

徐州天地岩土科技有限公司	
合同编号	
报告编号	

连云港高新技术产业开发区
区域性地震安全性评价报告

徐州天地岩土科技有限公司

二〇二三年四月

江苏省地震局

苏震区评〔2023〕7号

关于连云港高新技术产业开发区 区域性地震安全性评价结果的批复

连云港高新技术产业开发区管理委员会：

《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价报告》已于2023年3月通过我局组织的技术审查。根据《江苏省防震减灾条例》《江苏省区域性地震安全性评价工作管理办法》等有关规定，现予以批准。

你单位在连云港高新技术产业开发区项目规划建设时，要加强宣传、管理和服务，切实将区域性地震安全性评价成果应用于区内发展规划、工程布局和抗震设防等，确保区内建（构）筑物达到抗震设防要求。

附件：《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价报告》审查意见



抄送：中国地震局震害防御司，连云港市地震局。

附件

《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价报告》审查意见

2023 年 1 月，江苏省地震局组成专家组对徐州天地岩土科技有限公司承担完成的《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价报告》进行审查，形成审查意见如下：

1、报告收集整理了区域范围内的地震地质、地震活动性、地球物理等资料，评价了区域地震构造环境和地震活动性。

2、在已有工作成果的基础上，对近场区主要断裂的活动性进行了分析，评价了近场区地震构造和地震活动性。

3、采用浅层地震勘探等方法，对目标区活动断层进行探查并进行了活动性鉴定。

4、通过概率地震危险性分析，计算了目标区 21 个控制点的 11 个超越概率水准的基岩水平向峰值加速度和加速度反应谱。

5、开展了目标区地震工程地质条件勘测，完成了各控制钻孔钻探和剪切波速测试，进行了典型土样的土动力特性试验。建立了目标区浅层三维地层结构，评价了目标区地震工程地质条件。

6、完成了各控制钻孔的场地土层地震反应计算，确定了场地地震动参数，编制了目标区场地地震动参数分区图。

7、初步评价了目标区场地地震地质灾害。

该报告技术思路正确，工作方法恰当，资料翔实，论述充分，结论可信，符合 GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函【2019】21号）和 DB 32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》的要求，同意报告通过评审。

技术责任表

项目名称：连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价

委托单位：连云港高新技术产业开发区管理委员会

承担单位：徐州天地岩土科技有限公司

技术负责人：



主要技术人员：

地震构造



工程场地地震影响评价



地震活动性



目 录

前 言

第一章 区域及近场地震活动特征.....	1
1.1 地震资料.....	1
1.2 区域地震时空分布特征.....	5
1.3 近场区地震活动性.....	19
1.4 区域与近场区地震活动环境评价.....	21
第二章 区域地震构造背景.....	22
2.1 区域大地构造分区及特征.....	22
2.2 新构造运动特征.....	25
2.3 区域地球物理场特征.....	31
2.4 主要断裂活动特征.....	34
2.5 中、新生代盆地.....	65
2.6 区域及邻区震源机制解及现代构造应力场.....	66
2.7 区域地震构造环境分析与评价.....	74
第三章 近场区及目标区地震构造环境.....	77
3.1 地貌、地质构造概况.....	77
3.2 近场区新地层.....	80
3.3 近场区地质构造展布及发育特征.....	82
3.4 新构造运动特征.....	83
3.5 主要断裂活动性.....	83
3.6 近场区地震构造环境评价.....	108
第四章 目标区断层勘查与活动性鉴定.....	109
4.1 目标区第四系及地貌概述.....	109
4.2 目标区断裂探测及活动性研究.....	109
4.3 目标区断层活动性评价.....	116
第五章 目标区地震工程地质条件勘测.....	118
5.1 目标区工程地质条件勘测.....	118
5.2 土层剪切波速测试与工程场地类别划分.....	154
5.3 土体动剪切模量比和阻尼比实验.....	166
5.4 目标区浅部土层结构三维模型建立.....	171
5.5 目标区地震工程地质条件综合评价.....	176

第六章 地震危险性分析	178
6.1 分析方法简介	178
6.2 潜在震源区的划分	179
6.3 地震活动性参数的确定	184
6.4 地震动衰减关系	189
6.5 地震危险性计算结果及分析	194
第七章 基岩地震动加速度时程合成	206
7.1 基本原理和方法	206
7.2 基岩加速度时程合成参数的确定	207
7.3 基岩地震动加速度时程合成	208
第八章 场地土层地震反应计算	220
8.1 土层地震反应分析	220
8.2 各控制点地震动参数	278
8.3 场地地震动参数区划	286
第九章 目标区地震地质灾害初步评价	296
9.1 活动断层断错灾害评价	296
9.2 目标区场地地基土液化灾害评价	297
9.3 目标区场地软土震陷评价	309
9.4 目标区场地及周边坡体地震崩塌滑坡危险性评价	312
9.5 目标区地震地质灾害综述	313
第十章 技术服务系统建设与系统使用说明	314
10.1 技术服务系统简介	314
10.2 软件安装与配准	314
10.3 建设项目地震动参数确定	315
10.4 使用说明	316
第十一章 结论	317
11.1 主要结论	317
11.2 设计地震动参数使用说明	330
参考文献	333
附件	
附件 1: 连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价项目波速测试报告	

附件 2：连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价项目典型土样动剪切模量比和阻尼比试验研究报告

附件 3：连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价项目浅层人工地震勘探报告

附件 连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价技术服务系统

前 言

0.1 项目概况

连云港高新技术产业开发区管理委员会按照国务院办公厅发布的《关于开展工程建设项目审批制度改革试点的通知》文件要求，建设工程规划许可证核发时一并进行设计方案审查，推行由政府统一组织对地震安全性评价等事项实行区域评估。

连云港高新技术产业开发区管理委员会负责开展连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价相关工作，通过公开招投标的形式，徐州天地岩土科技有限公司（乙方）承担连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价工作。

连云港高新技术产业开发区位于江苏省连云港市，北至烧香河，西至通灌南路，东至润州路，南至福海路。连云港高新技术产业开发区总面积约 6.80 km²。目前主要为农田和农村房屋以及部分小区，未来建设为经济开发区，主要为住宅、仓储用地、广场、绿地、厂房等，目前未规划大型工业用地。（具体位置见图 0-1，目标区边界拐点坐标如表 0-1）。

根据 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》，目标区基本地震动峰值加速度位于 0.10 g 地震动分区，特征周期为 0.45 s。（具体见图 0-2）。

0.2 工作依据

- （1）《中华人民共和国防震减灾法》；
- （2）《地震安全性评价管理条例》；
- （3）《江苏省防震减灾条例》；
- （4）《江苏省区域性地震安全性评价工作管理办法》；
- （5）《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函[2019]21 号）；
- （6）DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》
- （7）GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》；
- （8）GB/T 36072-2018《活动断层探测》；
- （9）GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》；
- （10）GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）；
- （11）GB 50191-2012《构筑物抗震设计规范》；
- （12）GB 50021-2001《岩土工程勘察规范》（2009 版）；
- （13）GB/T 50269-2015《地基动力特性测试规范》；
- （14）DZ/T 0017-1991《工程地质钻探规程》；
- （15）DZ/T 0170-2021《浅层地震勘查技术规范》；
- （16）JGJ 83-2011《软土地区工程地质勘察规范》；

(17) GB/T 50123-2019《土工试验方法标准》；

(18) 项目合同的规定。

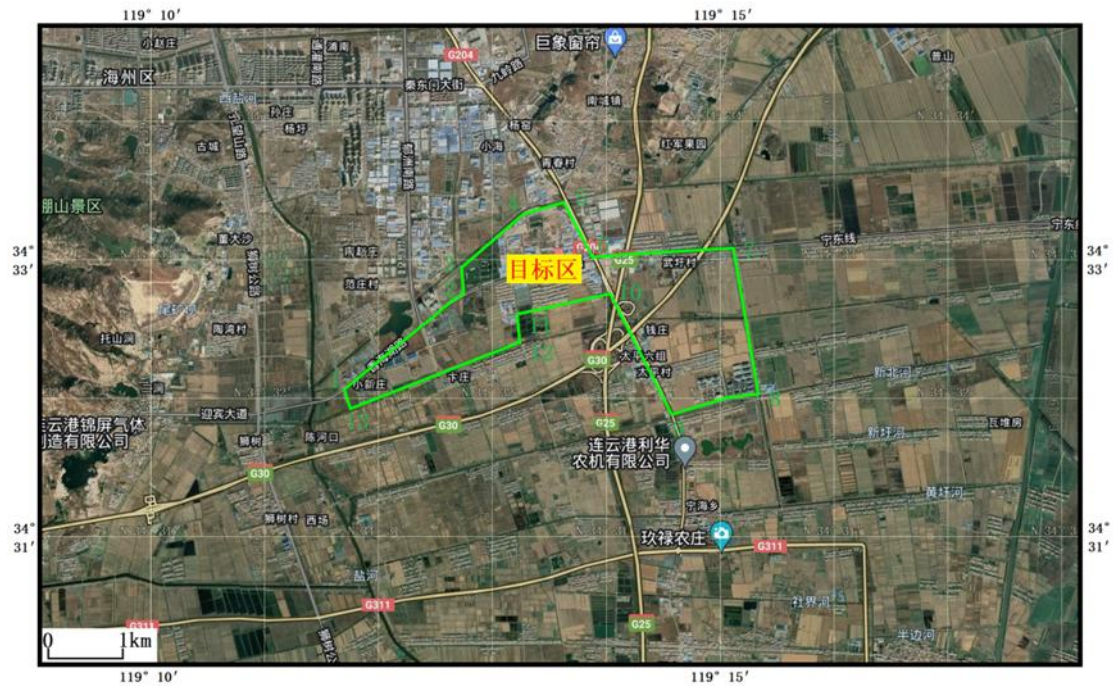


图 0-1 目标区位置示意图

表 0-1 目标区位置坐标

拐点 编号	坐标		拐点 编号	坐标	
	经度/°	纬度/°		经度/°	纬度/°
中心点	119.2291	34.5473	7	119.2519	34.5512
1	119.1951	34.5341	8	119.2556	34.5336
2	119.2125	34.5457	9	119.2428	34.5311
3	119.2122	34.5489	10	119.2339	34.5456
4	119.2214	34.5555	11	119.2202	34.5432
5	119.2271	34.5566	12	119.2206	34.5398
6	119.2313	34.5500	13	119.1959	34.5318

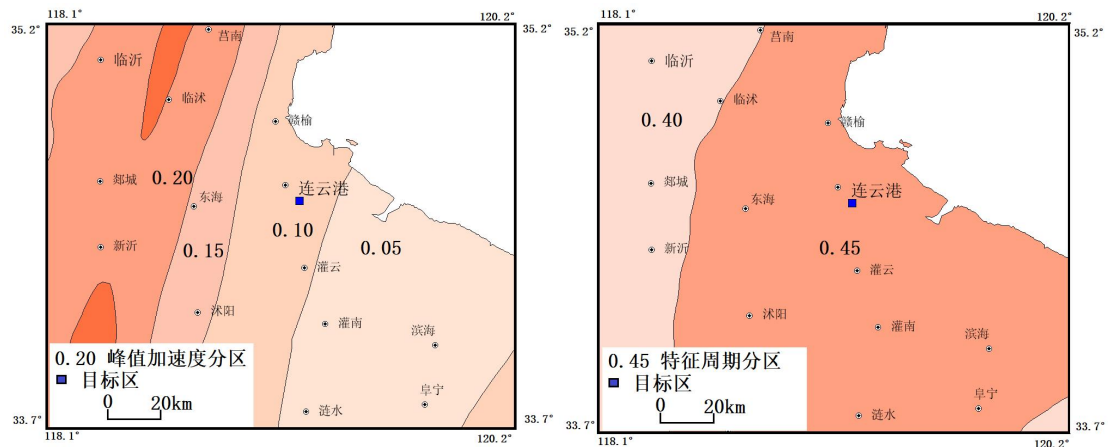


图 0-2 目标区在 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》上位置示意图

0.3 技术思路

项目主要按照通过评审的《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价实施方案》以及 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》中的有关规定开展工作，技术思路如图 0-3 所示。

区域以目标区为中心、半径不小于 150 km 范围。近场区则以目标区场地边界外延 25 km 范围。在充分收集、整理和分析研究区域范围内的地震地质、地球物理、地震活动、地震工程等方面已有成果和资料的基础上，着重在近场区和目标区范围内开展地震地质调查，布置物探测线开展断裂构造勘探，开展场地工程地震的地质条件勘察，收集整理工程地质勘探资料和水文地质资料以及一些地质灾害资料等，进行地震活动性分析，确定工作区内潜在震源区及其地震活动性参数，选择合适的区域性地震烈度和地震动衰减关系、合理的震源模型和地震复发模型，采用地震危险性概率方法计算分析，得出对应不同设防水准（年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} ）的基岩地震动水平峰值加速度值，进而确定相应的基岩地震动水平向加速度时程，建立目标区多概率水准的基岩地震动参数数据库。

收集场地范围内已经开展的地震安全性评价工作的钻孔资料，尤其是深孔的岩土层的波速资料和土工实验数据等，进行综合判断分析，充分了解场地的地震地质条件、工程地质和水文地质条件。依据 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》要求，充分考虑目标区工程规划布置和功能设置，合理布设钻孔，对规划核心区，考虑其功能定位和区内详控要求，适当加密控制性钻孔，对一般建筑、规划绿地等区域则按工作大纲最低要求布设控制钻孔。对控制钻孔取土样进行土动力性能试验，在控制性钻孔中进行土层弹性波速的原位测试工作，结合不同场地条件和地质资料、各类土的静动力学参数，建立模型进行场地土层地震反应分析，计算给出不同控制钻孔对应不同设防水准（年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} ）的峰值加速度，以及反应谱（阻尼比为 5%），编制目标区多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱区划图。收集、整理和综合分析地质条件、水文地质条件以及所处的不同工程地质单元，结合地震地质背景，对不同场地条件下可能存在的地震地质灾害进行评价，包括地震液化、软土震陷，以及其它可能的地震地质灾害。在上述工作的基础上，建设基于 GIS 平台的数据库和地理底图库，并具备相应服务功能的技术系统。

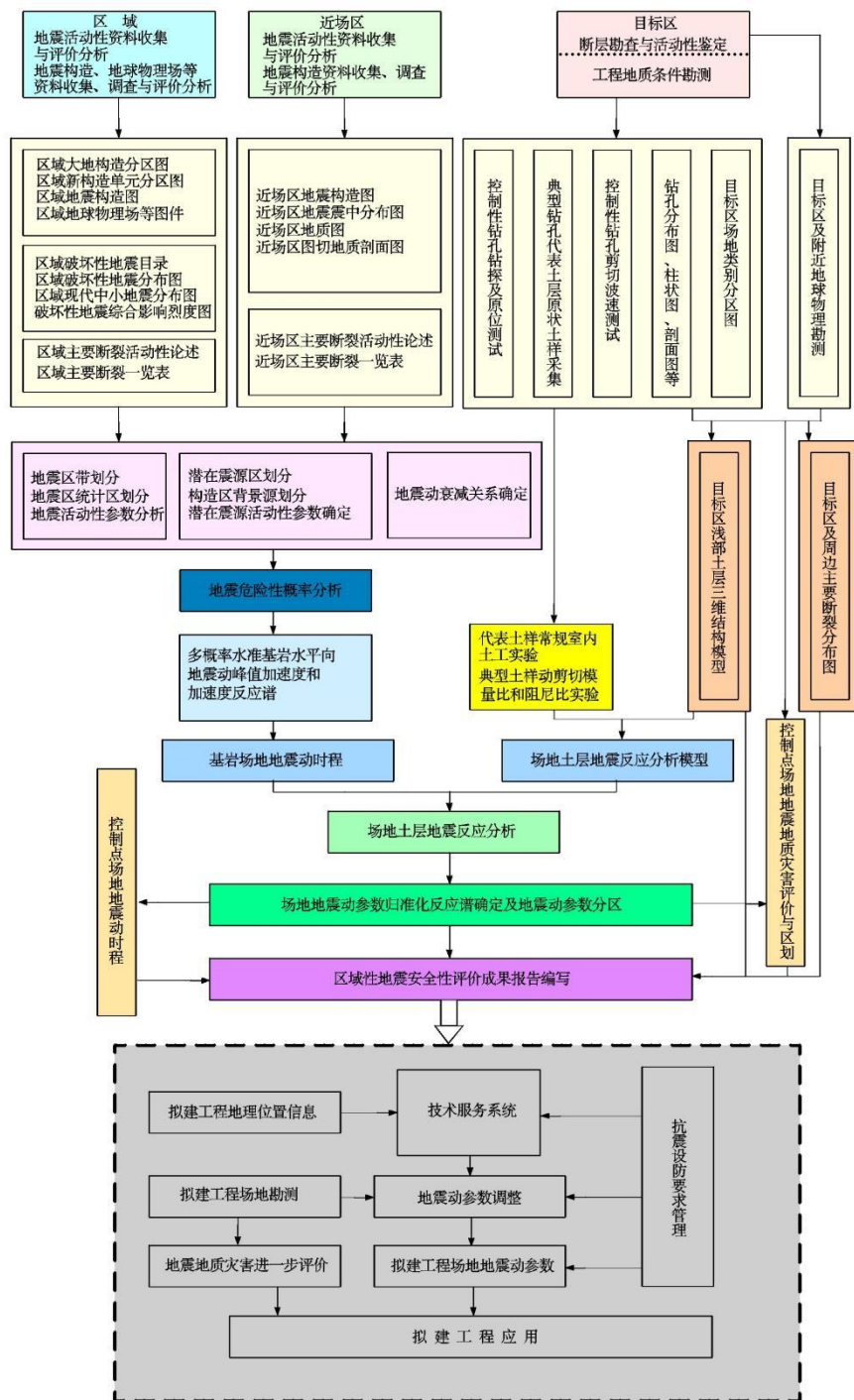


图 0-3 区域性地震安全性评价技术思路图

0.4 工作范围

根据国家标准 GB17741-2005《工程场地地震安全性评价》和 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》的规定，确定本项目工作的范围为：

(1) 区域范围：包括目标区及外延不小于 150 km 的地区，区域范围为 117.50°E~120.97°E/33.19°N~36.07°N。

(2) 近场区范围：取目标区及其外延不小于 25 km 的范围，近场范围为

118.90°E~119.55°E/34.29°N~34.80°N。

(3) 目标区范围：连云港高新技术产业开发区位于江苏省连云港市，北至烧香河，西至通灌南路，东至润州路，南至福海路。中心位置约 119.2291°E, 34.5473°N（具体见图 0-1）。

0.5 工作内容

区域性地震安全性评价，包括目标区主要断层活动性鉴定、地震危险性评价、地震动参数评价和地震地质灾害初步评价。其基本工作内容包括：区域地震活动性和地震构造评价，近场区地震活动性和地震构造调查与评价，目标区主要断层勘查和活动性鉴定，目标区浅部土层结构三维模型建立，地震动预测方程确定，目标区概率地震危险性分析，地震工程地质条件钻孔勘查、土层波速与非线性参数测试，典型土层模型建立、场地地震反应分析与地震动参数确定等，建立目标区地层数据体和多参数地震动参数数据体，建设区域性地震安全性评价技术服务系统。依据场地工程地质条件，由技术服务系统计算给出设定场点建设工程所需的设计地震动参数，并给出地震地质灾害初步评价结果。

在广泛收集整理资料的基础上，对区域、近场区和目标区三个层次开展工作。区域地震构造的研究范围不小于目标区外延 150 km，近场区范围不小于目标区外延 25 km，具体范围详见 0.4 节。

考虑目标区的具体情况，本次工作内容如下。

(1) 区域地震活动性和地震构造分析

目标区域范围内的地震构造活动特征和地震活动规律，研究了断层的最新活动年代以及现代和历史地震活动时间、空间分布，地震影响场等，找出构造和破坏性地震之间的关系，分析了区域范围内未来可能发生的地震及地震活动对目标区的影响，为后续地震区带划分、潜在震源区划分、地震活动性参数的确定提供了重要依据。

(2) 近场区地震活动性及地震构造评价

对近场区进行了野外实地调查，结合收集到的资料，对区内主要断裂的位置及活动性进行了分析研究。对近场区范围内发生的破坏性地震、历史地震影响场等进行了研究，编制了现代仪器记录地震目录、地震震中分布图，研究了历史地震对场地产生的最大影响。对近场区地貌、新地层分布进行分析，编制了近场区地震构造图，研究了地震分布和地震构造之间的关系，为确定发震构造和划分潜在震源区提供了依据。

根据已有资料，近场区范围内发育有海州-韩山断裂、猴嘴-南城断裂、烧香河断裂、伊芦山北断裂、排淡河断裂、猴嘴-一沟断裂、玉带河断裂、南城-新浦断裂、

海州-韩山断裂支断裂、伊芦山南断裂，这些断裂均为第四系所覆盖，对其活动性的鉴定主要依据地球物理探测资料或跨断层钻孔资料。《连云港市活动断层探测与危险性》项目（山东省地震工程研究院，2018）对近场区内的这些断裂均进行了较为详细的探测及分析，为本次工作提供了大量的参考资料。根据《连云港市活动断层探测与危险性》项目（山东省地震工程研究院，2018）资料，猴嘴-南城断裂穿越目标区西部，玉带河断裂穿越目标区，烧香河断裂距离目标区东南角最近距离仅 100 m 左右。根据资料，近场区内这些断裂均为前第四纪断裂，虽然 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》对前第四纪断裂没有专门的强制规定，本次工作仍将对猴嘴-南城断裂、玉带河断裂在目标区内的展布情况及活动性，烧香河断裂是否延伸进入目标区以及其活动性进行复核。

（3）目标区主要断层勘查和活动性鉴定

在收集已有研究资料的基础上，通过场地地貌调查、地质考察、地球物理勘探、工程地质钻探等工作明确目标区是否存在第四纪断裂。本次工作围绕目标区附近共布设 6 条地球物理测线，共计 18.6 km，通过这些测线的探测结果，推测目标区范围内没有第四纪断裂通过，如发现目标区内存在第四纪断裂，则将对该断裂布设活动性鉴定孔，这些活动性鉴定钻孔可与原布置钻孔结合考虑。

（4）地震工程地质条件勘测

收集、整理、分析场地及附近地区已有的工程地质勘察资料、水文地质等资料，以便于对场地工程地质概况有基本了解。根据目标区浅部土层结构和目标区建设工程的功能布局规划，结合 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》要求，按照钻孔间距不大于 700 m 的标准布设钻孔，对于浅部土层结构复杂地段加密钻孔进行控制，空间间隔一般不大于 500 m。根据项目组对连云港高新技术产业开发区工程地质条件的掌握情况，目标区内覆盖层厚度约为 30.0m，且较为均匀，因此本次工作均匀布设钻孔，总计布设钻孔 21 口，最大间距为 600 多米，最小间距为 400 多米。钻孔深度约 40.0 m，在深度范围内均达到了剪切波速大于 500 m/s，为确定地震波输入计算界面提供依据。同时，系统地采集原状土样、对砂土（粗砂）进行标贯试验。对本次工作中布设的 21 口钻孔进行了孔内（现场）波速测试，确定了每个土层单元的波速值，并绘制了波速剖面图。对本次工作中采集的动三轴样品进行了测试。对采取的原状土样测试了动剪强度、 $G-\gamma$ 曲线、 $\lambda-\gamma$ 曲线和土常规物理力学性质。结合收集的水文地质资料和工程地质资料以及实际钻孔揭示的地层信息，对目标区进行了工程地质单元分区。以上工作为场地地震动效应研究和地震动参数确定提供了基础数据。

(5) 目标区浅部土层结构三维模型建立

收集目标区内的浅层地震勘探、钻孔等资料,采用浅层地震勘探等方法,对目标区内基岩埋深、土层的主要分层和空间分布特征进行控制性探测,并结合地质勘查资料区分出第四系不同地质时代地层的底界埋深。编制了覆盖土层结构分布的三维模型。

(6) 概率地震危险性评价

在地震地质、地震活动性及地球物理场分析研究的基础上,吸收地震分析预报的最新科研成果,科学的划分潜在震源区,确定各潜在震源区的震级上限、地震空间分布函数和各地震带的地震活动性参数,研究确定适用于本地区的长周期(10 s)地震动衰减规律,用概率方法计算目标区各控制点(21个控制性钻孔)多概率水准基岩地震动参数,分析了基岩地震动参数的空间分布特征,建立了目标区多概率水准的基岩地震动参数数据库。数据库包括每个控制点的年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 水平向基岩地震动参数。

(7) 场地地震动参数确定

地震动预测方程确定、场地地震动效应分析及场地地震动参数确定。采用适用于本地区的长周期反应谱衰减关系,确定了场地不同概率水准的基岩反应谱,合成具有目标区地震动特征的基岩地震动加速度时程,以此作为场地地震动效应分析的输入地震波。根据场地原位测试及实验室试验结果和场地地震工程地质条件,建立了21个钻孔土层地震动反应分析模型。进行场地土层的地震反应分析,研究场地的地震动效应,确定了目标区21个控制点年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 水平向地震动峰值加速度、反应谱(阻尼比5%、周期至10 s)。建立了目标区各计算控制点的自由基岩场地地震动时程数据库、地震反应分析模型数据库、地表地震动参数数据库、11个概率水准的地表地震动时程数据库。

(8) 场地地震动参数区划

根据计算点的地震动参数,结合工程地质单元分区结果,对目标区地震动峰值和反应谱进行了分区。编制了目标区多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱区划图,并以等值线形式表示目标区地震动参数分区结果。地震动峰值加速度相邻等值线差异一般为5%,反应谱特征周期相邻等值线差异一般为0.05 s;图件比例为了便于表示,采用了线段比例尺(满足大于1:50 000的要求)。

(9) 地震地质灾害评价

通过对历史地震资料的考证、调查与分析，查明目标区及其附近地区地震地质灾害类型和程度，并结合现场地震地质灾害场地勘查，对目标区地震地质灾害作出预测与评价，编制了给定概率水平地震作用下的地震地质灾害分区图。

（10）技术服务系统

建设了基于 GIS 平台的数据库（目标区地层数据体和多参数地震动参数数据体等）和地理底图库，并具备相应服务功能的技术系统。依据场地工程地质条件，技术服务系统能计算给出设定场点建设工程所需的设计地震动参数、地震地质灾害初步评价结果。

技术服务系统具有技术先进、界面友好、数据管理简便，方便用户使用等特点。

野外实际完成主要工作量与实施方案计划工作量对比表（表0-2）

表0-2 实际完成主要工作量与实施方案计划工作量对比表

编号	项目	单位	实际数量	计划数量
1	钻孔	口	21	21
2	取样	个	85	不少于50
3	波速测试	孔	21	21
4	浅层人工地震	km	18.6	18.3 左右

0.6 组织实施

2022 年 9 月，本项目开始启动；2022 年 9 月，通过公开招投标，我公司中标并签订合同；合同签订后，我公司依据 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》等及本项目合同书，迅速组织研究力量，编制了《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价实施方案》，2022 年 10 月通过江苏省地震局震害防御处组织的评审。

项目组按合同规定之计划进度，克服时间紧、任务重，不良天气，特别是疫情对外业工作影响大等困难，完成项目实施、报告编写。报告评审后，项目组根据专家意见，认真修改完善本报告。

本项目完成的主要工作包括：区域地震活动性和地震构造评价，近场区地震活动性和地震构造调查与评价，目标区主要断层勘查和活动性鉴定，目标区浅部土层结构三维模型建立，地震动预测方程确定，目标区概率地震危险性分析，地震工程地质条件 21 个钻孔勘查、土层波速与非线性参数测试，典型土层模型建立、场地地震反应分析与地震动参数确定等，建立目标区地层数据体和多参数地震动参数数据体，建设区域性地震安全性评价技术服务系统。依据场地工程地质条件，由技术服务系统计算给出设定场点建设工程所需的地震动参数，并给出地震地质灾害初步评价结果。

本项目按评价工作的阶段性与工作内容的相对独立性，将相关工作分为 10 个专题，分阶段实施，各专题负责如下：

项目负责人：梁军 高级工程师（工程地震学，一级注册工程师）

技术负责人：梁军

专题一：区域和近场区地震构造分析

专题负责人：胡荣华 高级工程师（地震构造学，一级注册工程师）

专题二：区域和近场区地震活动性

专题负责人：代向阳 高级工程师（地震学，二级注册工程师）

专题三：目标区主要断层勘查和活动性鉴定

专题负责人：胡荣华

专题四：场地地震工程地质条件勘测（长春骄鹏地质仪器技术服务有限公司协作）

专题协调人：钱开 高级工程师（岩土工程，地震学）

专题五：场地土层剪切波速测试

专题负责人：赵加飞 高级工程师（地震构造学）

专题六：目标区浅部土层结构三维模型

专题负责人：蔡昊 高级工程师（地质工程）

专题七：场地土动力学参数测试（北京防灾科技有限公司）

专题协调人：蔡昊

专题八：概率地震危险性评价

专题负责人：梁军

专题九：场地地震动参数确定

专题负责人：梁军

专题十：地震地质灾害评价

专题负责人：梁军、李然 高级工程师（地震学，二级注册工程师）

专题十一：技术服务系统建设（南京山海工程技术有限公司）

专题协调人：梁军

报告各章节由相关专题负责编写，前言由梁军负责编写，结论由梁军负责编写。

0.7 致谢

本项工作在实施过程中，得到了江苏省地震局、连云港高新技术产业开发区管理委员会、连云港地震局、中国地震局地球物理研究所、北京防灾科技有限公司、江苏省地震台领导和有关工程技术人员的大力支持，在此一并表示衷心感谢！

第一章 区域和近场区地震活动特征

本章依据历史地震资料 and 现代地震观测资料,开展地震活动性分析。其目的在于通过对研究区内的地震活动在空间、时间和强度上的分布特点、特征和规律性以及历史上破坏性地震对目标区的影响等进行分析和研究,为目标区及周围地区一定时间内的地震活动趋势和地震环境作出评价,为合理划分潜在震源区和确定其地震活动性参数提供依据。根据《区域性地震安全性评价工作大纲(试行)》(中震防函〔2019〕21号)等要求,工作的区域范围和近场区范围分别不应小于目标区外围 150 km 和 25 km,本次工作考虑到目标区周围的地震地质构造和地震活动环境条件,区域范围确定为: $117.50^{\circ}\text{E}\sim 120.97^{\circ}\text{E}$; $33.19^{\circ}\text{N}\sim 36.07^{\circ}\text{N}$; 近场区范围确定为: $118.90^{\circ}\text{E}\sim 119.55^{\circ}\text{E}$; $34.29^{\circ}\text{N}\sim 34.80^{\circ}\text{N}$ 。

1.1 地震资料

1.1.1 地震资料来源

本报告中所使用的地震目录,震级 $M\geq 4.7$ 地震主要采用《中国历史强震目录(公元前 23 世纪至公元)》(国家地震局震害防御司编,1995)和《中国近代地震目录(公元 1912~1990 年, $M_s\geq 4.7$)》(中国地震局震害防御司编,1999),国家地震局地球物理研究所编《中国地震年报》(1991 年~2000 年),中国地震局地球物理研究所和中国地震台网中心编《中国数字地震台网观测报告》(2001 年~2009 年);国家地震科学数据中心下载的中国台网正式地震目录(<https://data.earthquake.cn/>)(2009 年 1 月~2022 年 9 月);目录中的地震参数是根据仪器记录得到的,同时参考了有关地震考察报告和震例研究报告。

震级 $2.0\leq M\leq 4.6$ 地震主要采用全国第五代地震动参数区划图地震目录(1970 年 1 月~2010 年 12 月底)和国家地震科学数据中心下载的中国台网正式地震目录(<https://data.earthquake.cn/>)(2011 年 1 月~2022 年 9 月)。

1.1.2 地震震级的确定

历史地震震级采用的是 M_s ,这部分地震为 $M_s\geq 4.7$ 级以上地震。其中,无仪器记录的地震,其震级的确定均由史料记载评定其震中烈度,再按震级(M_s)与震中烈度的经验关系换算出;凡有仪器记录的地震,其震级以仪器测定的为准。

而现代地震通常用近震震级 M_L 。为与历史地震震级统一,以往将其转换为 M 震级,采用的转换公式(1-1):

$$M_s=1.13M_L-1.08 \quad (1-1)$$

该公式是 1971 年郭履灿等根据邢台地震资料进行统计得出的,适用于中国

华北地区，其它地区兼用，震中距 $\Delta \leq 1000$ km（国家地震局震害防御司，1990）。

在编辑第五代区划图用的地震目录时，对 1990 年~2007 年间同时测定有 M_s 、 M_L 数据且震源深度 <70 km 的地震（6577 个）进行了拟合，结果如（1-2）式：

$$M_s = 0.932M_L + 0.295 \quad (1-2)$$

图 1.1-1 绘出公式（1-1）和公式（1-2）的拟合直线，从图中可见，公式（1-1）的直线明显偏于数据组的下侧，说明公式（1-1）已不适用。为了比较，在图中还给出公式（1-3）的拟合直线：

$$M_s = M_L \quad (1-3)$$

公式（1-3）相当于 M_s 与 M_L 之间不用转换。从图中可直观地看到公式（1-3）与公式（1-2）的直线很接近，只在两端有些分开。考虑到数据点的分散，拟合关系的不确定性较大等因素，粗略地认为公式（1-2）与公式（1-3）基本一致。本项目中将以公式（1-3）代替用了三十多年的公式（1-1），并且用国标规定的“ M ”代替“ M_s ”和“ M_L ”。

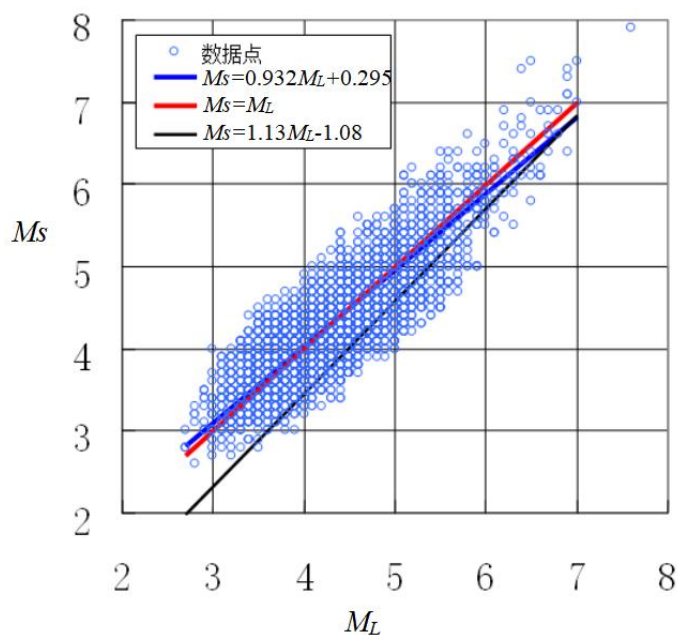


图1.1-1 公式拟合直线

1.1.3 地震资料的完整性及可靠性分析

本区域及所属地震区带地处经济、文化发展较早的中国东部地区，历史地震记载时间较长，华东地区公元前618年就有地震记载，自明、清地方志盛行后地震史料更为丰富。一般来说，华东地区自16世纪以来陆地部分 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震记载比较完整，19世纪以来海域部分 $M \geq 6$ 级地震记载比较完整。根据黄玮琼等（1994）研究成果及区域地震记载的实际情况，区域陆地部分自公元1484年 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震基本完整。

江苏省1970年开始建立地震台网，到目前数字地震台网的完成，地震监测能力不断提高。1975年前，地震台站较少，对于陆地的监测能力估计在4.0级以上；1976年唐山地震以后，加快地震台网建设，直至数字化地震台网建设，这阶段模拟地震台的数量基本稳定，地震监测能力大致为 $M \geq 2.0 \sim 3.0$ 级；2007年数字化地震台网建设完成并全面启用后，目前测震台站72个，台站平均间距为30公里；前兆台站54个，共143套仪器；强震固定台站72个、流动台4个。我省陆地地震监测能力已经达到 $M \geq 1.5 \sim 2.0$ 级，近海海域处于 $M \geq 2.5$ 级地震的监测能力范围内。由此可见，在1970年至今的地震观测中，1976年以后模拟地震台网的记录使用时段最长，地震监测能力较为稳定。图1.1-2为江苏省及邻省地震台网及地震监测能力图。

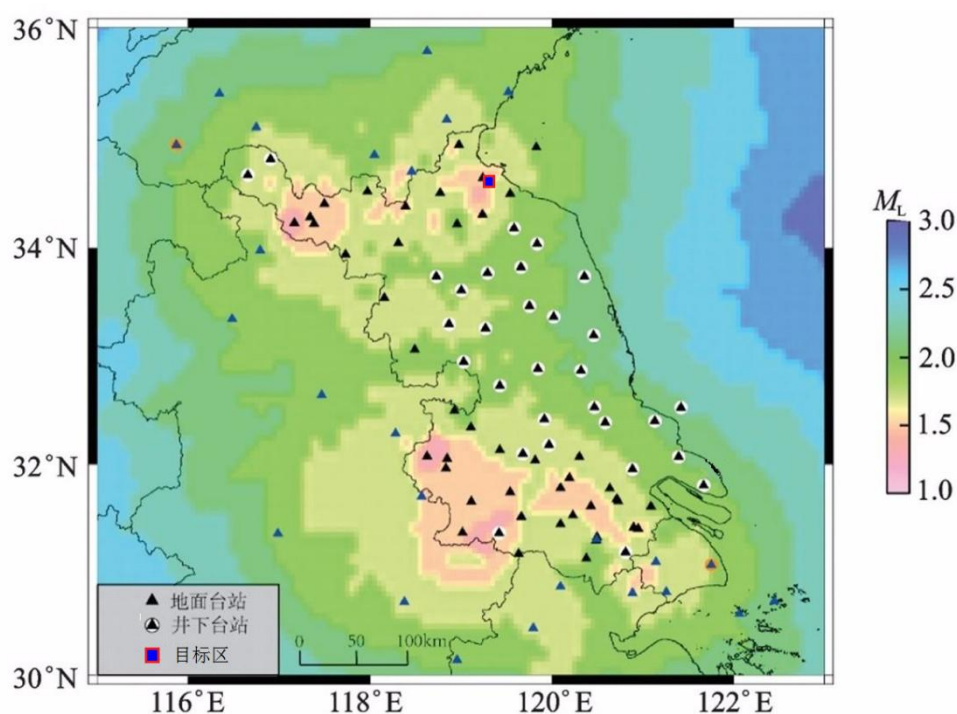


图1.1-2 江苏省及邻省地震台网及地震监测能力图

1967年山东始建了第一个近震观测台—泰安基准地震台。根据《山东省地震目录》中记录，自1967年至1980年，山东已建测震台站26个，初步形成了具有一定监测能力的区域地震台网。1981年后，又对山东省地震台网的布局及仪器配备进行了优化，先后调整、增建了6个测震台及加强无线传输子台网，使山东内陆地区地震监测能力，尤其是鲁南地区地震监测能力有所提高，除鲁北及胶东半岛部分地区外，山东内陆地区地震监测能力为 $M \geq 2.0$ ，其中鲁南地区地震监测能力可达 $M \geq 1.7$ 。1991年后，根据山东及邻近地区地震活动特点及震情发展趋势，对山东地震台网进行了加密与优化，台站增加到32个。尤其随着数字化观测技术的飞速发展，于2000年先后建成19个数字观测台站组成的山东省数字地震台网，明显提高了山东内陆及近海的地震监控能力和定位精度。山东省内陆地区地震监测

能力逐步达到 $M \geq 1.8$ 。“十五”期间，山东省数字遥测地震台站已大致在省内均匀分布，据山东数字地震台网的监测能力的分析结果（季爱东等，2008）表明：鲁西地区、黄海海域和渤海海域的地震监测能力实现了 $M \geq 1.7$ ，中东部地区地震监测能力实现了 $M \geq 1.4$ ，部分地区最高监控能力可达 $M \geq 0.8$ （图1.1-3）。

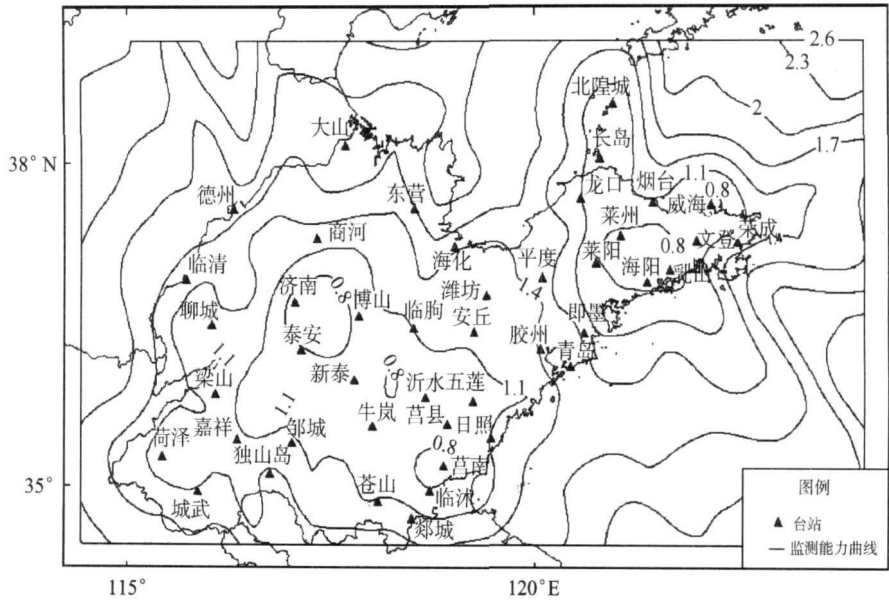


图1.1-3 “十五”山东数字台网监测能力

此外，区域范围还涉及安徽省，“十五”数字地震台网建成后，安徽测震台网可以接收邻省19个台站数据，使得安徽省内及周边地区监控能力达到 $M2.5$ 以上。

根据上述区域地震台网的监测能力分析，目前本区域基本处于 $M2.5$ 级监测能力范围内，区域陆地部分监测能力可达 $M2.0$ 级。

1.1.4 地震资料概况

区域范围内自公元1477年5月~2022年9月，共记载到 $M \geq 4.7$ 地震23次，其中4.7~4.9级地震9次，5.0~5.9级地震12次，6.0~6.9级地震1次，8级以上地震仅有1次，即1668年7月25日山东郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震（表1.1-1、图1.2-4）。

另据区域地震台网记录，自1970年1月~2022年9月，区域共记录到 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 地震1260次，其中2.0~2.9级地震1090次，3.0~3.9级地震149次，4.0~4.6级地震21次（图1.2-5）。因区域内现代小震地震数目过多，故不以表格形式列出。

表1.1-1 区域破坏性地震目录

（公元1477年5月~2022年9月 $M \geq 4.7$ ）

序号	发震时间			震中位置		震级(M)	精度	深度 km	参考地点
	年	月	日	北纬	东经				
1	1477	05	22	35.0°	117.8°	4¾	3	--	山东临沂西
2	1485	03	15	35.3°	117.9°	5½	3	--	山东费县
3	1495	11	08	34.6°	119.1°	4¾	3	--	江苏连云港海州
4	1502	--	--	33.4°	120.1°	4¾	3	--	江苏盐城

序号	发震时间			震中位置		震级(M)	精度	深度 km	参考地点
	年	月	日	北纬	东经				
5	1509	04	21	35.4°	119.7°	4 $\frac{3}{4}$	3	--	山东日照东海域
6	1537	05	23	33.6°	117.6°	5 $\frac{1}{2}$	2	--	安徽灵璧
7	1543	05	08	35.2°	118.5°	5	3	--	山东临沂东
8	1546	09	29	34.5°	117.7°	5 $\frac{1}{2}$	3	--	江苏邳县寨山
9	1662	--	--	33.4°	120.1°	4 $\frac{3}{4}$	2	--	江苏盐城
10	1668	07	25	34.8°	118.5°	8 $\frac{1}{2}$	2	--	山东郯城
11	1670	12	--	35.3°	118.0°	5	3	--	山东费县
12	1671	09	--	35.3°	118.0°	5	3	--	山东费县一带
13	1672	06	17	35.6°	118.8°	6	--	--	山东莒县
14	1796	03	--	36.0°	119.4°	5	3	--	山东诸城
15	1829	11	18	33.2°	117.9°	5 $\frac{1}{2}$	2	--	安徽五河
16	1831	--	--	35.9°	117.8°	4 $\frac{3}{4}$	2	--	山东新泰
17	1852	11	17	36.0°	118.8°	5	3	--	山东诸城西
18	1859	03	12	35.2°	118.2°	5 $\frac{1}{2}$	3	--	山东临沂西
19	1924	02	19	35.0°	120.0°	5	--	--	黄海 J
20	1987	02	17	33.57°	120.76°	5.0	1	11	江苏射阳东南
21	*	1991	11	5	33.50°	119.92°	4.9	--	25 江苏盐城西北
22	*	1992	10	22	33.86°	120.23°	4.7	--	17 江苏射阳北
23	*	1995	09	20	34.98°	118.13°	5.3	--	16 山东苍山北

注：①上表中“--”表示缺乏资料。

②表中“精度”含义是 1970 年以前的地震精度分类为 1 类震中误差 ≤ 10 km；2 类震中误差 ≤ 25 km；3 类震中误差 ≤ 50 km；4 类震中误差 ≤ 100 km；5 类震中误差 > 100 km。1970 年以后的地震精度分类为：1 类震中误差 ≤ 5 km；2 类震中误差 ≤ 15 km；3 类震中误差 ≤ 30 km；4 类震中误差 > 30 km。

③表中序号带*的地震为以《中国地震简目》和《江苏地震志》等增补或根据研究资料进行了参数修正。

④“黄海 J”表示的是此次地震的震中参数和震级的参考资料均来源于《中国地震简目（B.C.780~A.D.1986, $M \geq 4.7$ ）》（中国地震简目汇编组，1988）；

1.2 区域地震时空分布特征

地震是现代构造活动的一种表现形式，研究地震活动的空间分布特征是识别活动构造和划分潜在震源区的重要依据之一。地震的发生在时间分布上也是非均匀的，表现为平静与活跃相间的周期性特征，研究地震活动的时间分布特征，有助于对未来地震活动趋势的判断，进而为地震带地震活动性参数的确定提供重要的依据。

1.2.1 地震区、带划分

地震区、带划分反映了地震活动在空间分布上的不均匀性。地震区系指大范围内的地震活动性（主要是强度、活动期、空间分布）和地震构造环境相类似的地区。在地震区的基础上进一步划分出地震带，地震带是地震活动性参数的统

计单元。图1.2-1采用GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》编委会的地震区带划分方案编制。

由图1.2-1可见，本区域跨越郯庐地震带和长江下游-南黄海地震带。因此，研究和分析郯庐地震带和长江下游-南黄海地震带以及区域地震活动的时、空分布特征，可以为工程场地地震安全性评价提供较合理的地震活动性依据。

1.2.2 郯庐地震带地震活动的时空分布特征

郯庐地震带是我国东部规模最大的地震带，呈北北东走向，沿郯城—庐江断裂展布并包括郯庐断裂带两侧及其邻近地区与之平行或斜交的次级断裂，贯穿整个中朝断块区和华北断块区的东部。郯庐断裂带是一条巨大的重力梯度带，深部重力异常表现为东高西低，东部为重力高区，西侧为重力低区。该断裂带也是一条航磁异常梯度带，在向上延拓 10 km 磁异常图上，该断裂带仍是一条正负异常区的分界带。

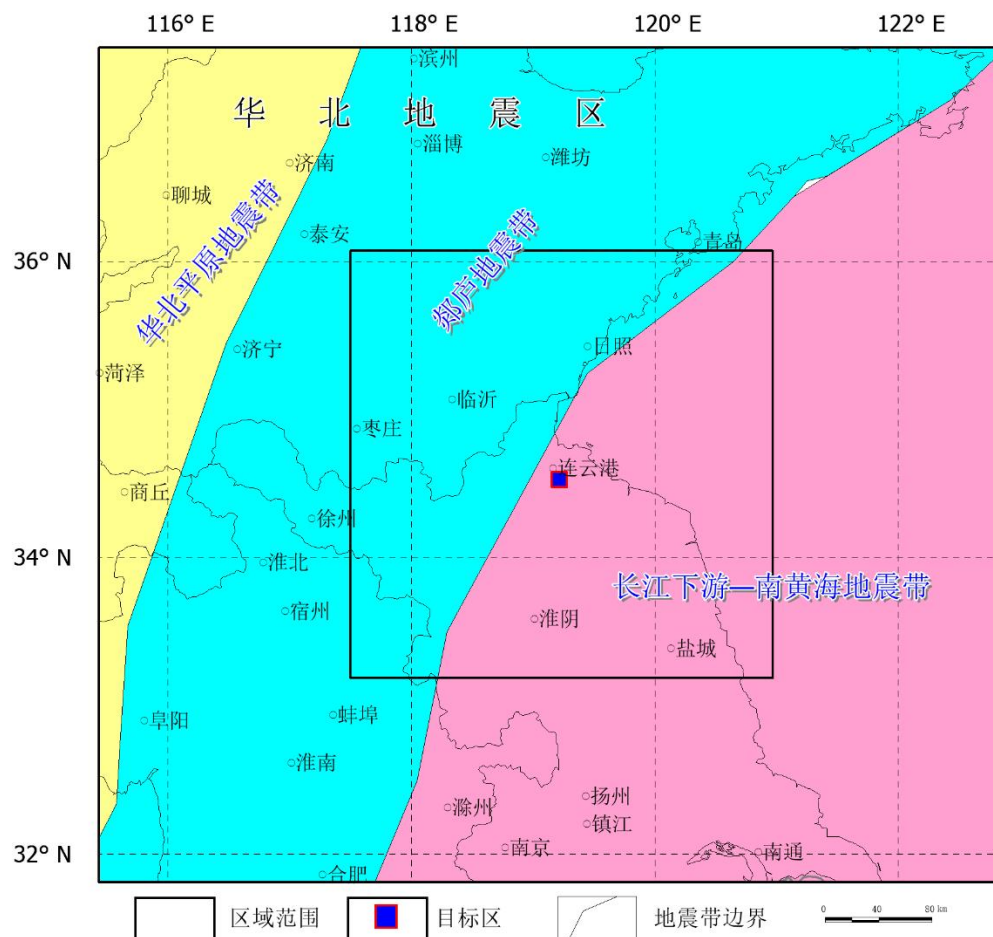


图1.2-1 区域地震区带划分示意图

郯庐地震带自公元前 70 年至 2022 年 9 月，共记载到 $M \geq 6$ 级地震 23 次（删除前、余震），其中 6.0~6.9 级地震 16 次，7.0~7.9 级地震 6 次，8 级以上地震 1 次。主要地震有中国东部历史上最大的 1668 年郯城 8½ 级大地震、1969 年渤海

7.4 级强震以及 1975 年辽宁海城 7.3 级强震等，这些强震大多发生在北北东向活动断裂与北西向活动断裂的交汇部位。尤其是在郯城-庐江断裂带与燕山渤海断裂带交汇的渤海区域，历史上发生过 4 次 7 级以上强震。纵观郯庐地震带中、强震的分布图像，其地震活动的空间分布是不均匀的，基本格局具有分段性，结合地质构造、地球物理场特征等的分析，可将该地震带自北向南划分为 4 段，各段的地震活动性特征为：金县以北强震频度虽然较低，但最高震级达 7.3 级；潍坊—渤海段地震强度大、频度高，是 7 级以上强震的高发区；潍坊—宿迁段地震活动最强，最高震级达 8½ 级，表现为低频度强破裂的特征；泗洪以南地震活动主要以 5~6 级地震为主。根据对该带 1970 年以来现代地震 ($M \geq 2.0$) 震源深度的统计，其震源深度主要分布在 10 km~20 km 范围内，其中 5 次 ($M \geq 5.0$) 地震中有 4 次地震的震源深度在 7 km~16 km 范围内，因而多属壳内浅源地震。

郯庐地震带的时间分布特征也存在强弱变化的准周期性。自 1400 年以来，郯庐地震带存在两个活跃期，第一个活跃期从 1477 年开始，到 1687 年结束。在这个活跃期内，郯庐地震带发生 7~7.9 级地震 2 次，8 级以上地震 1 次，最大地震是 1668 年山东郯城 8½ 级地震。1829 年进入另一个活跃期，自 1829 年~今，发生 7 级以上地震 3 次，最大地震是 1888 年渤海湾 7½ 级地震，现处于该活跃期的后期(图 1.2-2)。

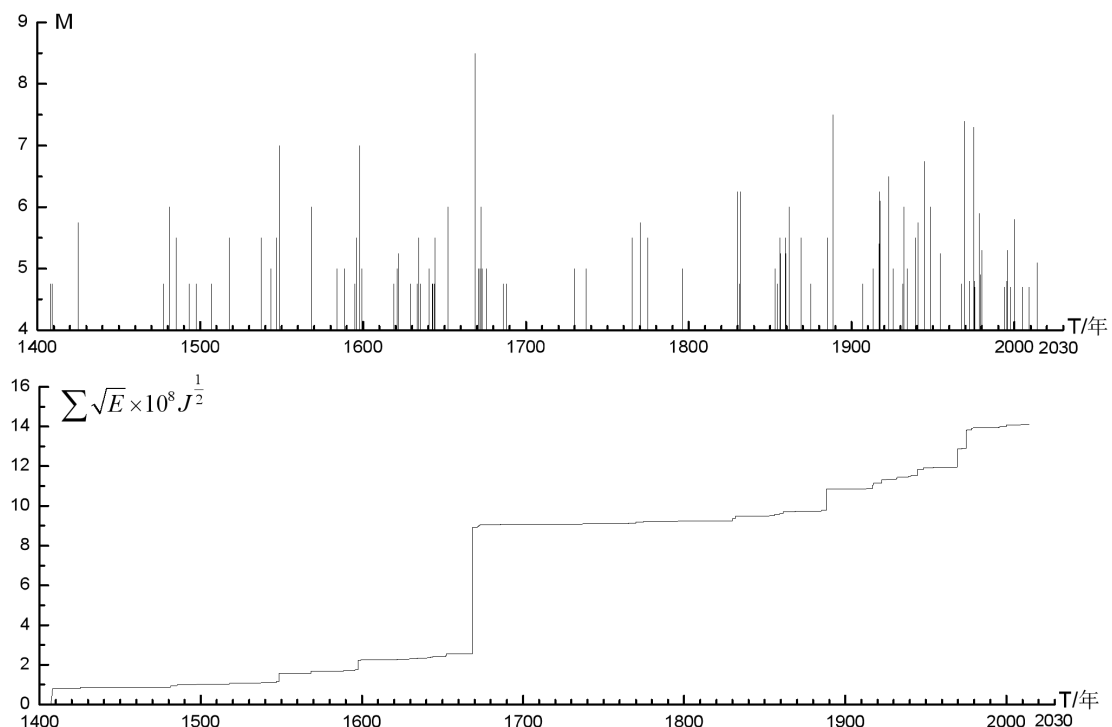


图 1.2-2 郯庐地震带 1400 年以来 4.7 级以上地震的 M - T 图和应变释放曲线

从地震应变能释放曲线看，郯庐地震带在 1477 年~1652 年地震应变能释放比较稳定、相对平缓，1668 年地震应变能释放达到了第一个活跃期的高潮，之后转入地震应变能调整阶段；1829 年地震应变能释放开始加速，发生了 1888 年

渤海湾7½级地震、1969年渤海7.4级地震和1975年海城7.3级地震（图1.2-2）。从保守角度看，郯庐地震带未来百年仍应考虑活跃期的平均活动水平。

1.2.3 长江下游-南黄海地震带地震活动的时空分布特征

长江下游-南黄海地震带是华北地震区的中强地震活动带，该带主要包括安徽东南、浙江北部、江苏大部分地区、上海地区和南黄海。基底由元古界变质岩系组成。地壳厚度变化平缓，海域为27 km~30 km，陆区为30 km~34 km。重力场总体上呈北东-北北东向展布，以正异常为主，负异常区则主要沿贵池-泾县-广德-湖州一线以南分布，轴向为近东西向。航磁异常展布方向以北东、北北东向为主，在北纬32°以北渐变为近东西向的宽缓负异常区，其南以正异常为主和正负异常相间排列的异常图象。

断块差异运动是本区新生代以来构造活动最显著的特点。大致以长江为界（也是磁场分区界线），以北为苏北、南黄海断陷区，新近纪以来的沉积物厚度达1800 m；以南的苏南、浙西、皖南为隆起区。本带内发育北东、北西和近东西向三组活动断裂，新构造时期均有不同程度的活动，对区内地震活动有明显的控制作用，尤其是断裂的交汇处。

长江下游-南黄海地震带自公元499年~2022年9月，历史上共记载到 $M \geq 5$ 级地震62次，其中5.0~5.9级地震46次，6.0~6.9级地震19次，7级以上地震1次，即1846年8月4日黄海7级地震。地震活动在空间分布上也是不均匀的，具有地震活动的丛集性，海域地震常常分布在黄海各级凹陷及其附近，陆域地震活动则主要集中分布在扬州-镇江、溧阳地区、苏中沿海以及昆山-长江口一带等，并显示出北东、北西带状分布的特点，与构造关系密切。地震活动强度表现为由东北向西南减弱的趋势，带内黄海水域地震活动强于陆地，发震的频次与震级均高于陆地。地震活动还有较好的重复性，可视为同一构造部位或原地重复的比例约50%，且大多为同一活动周期内的重复，重复地震主要分布在南黄海海域、扬州-镇江、茅山断裂带附近、昆山附近及长江口等地。根据对该带1970年以来地震（ $M \geq 2.0$ ）震源深度的统计，其震源深度主要分布在10 km~20 km范围内，其中5级以上地震均分布在这一深度范围内，多属壳内浅源地震。

长江下游-南黄海地震带一半以上地区是海域，历史地震记载缺失较多。最早记载的地震是公元499年南京4¾级地震，最大地震是1846年8月4日黄海7级地震。对该带1400年以来的5级以上地震资料研究表明，目前已经经历了两个活跃期和一个平静期。其中1505年~1679年为活跃期（以1505年黄海6½级地震为标志）；1680年~1845年为平静期；后一个活跃期始于1846年的黄海7.0级地震。图1.2-3给出了长江下游—南黄海地震带1400年以来4.7级以上地震的 $M-T$ 图和应变释放曲线，从图中可以看出，1846年~今的活跃期地震频数明显

高于前一个活跃期。目前该带处于本活跃期的后期，推测未来百年还将发生多次6.0级以上地震，但未来百年的地震活动水平估计可能低于前一百年。在确定地震活动性参数时，采用以往地震活动的平均水平。

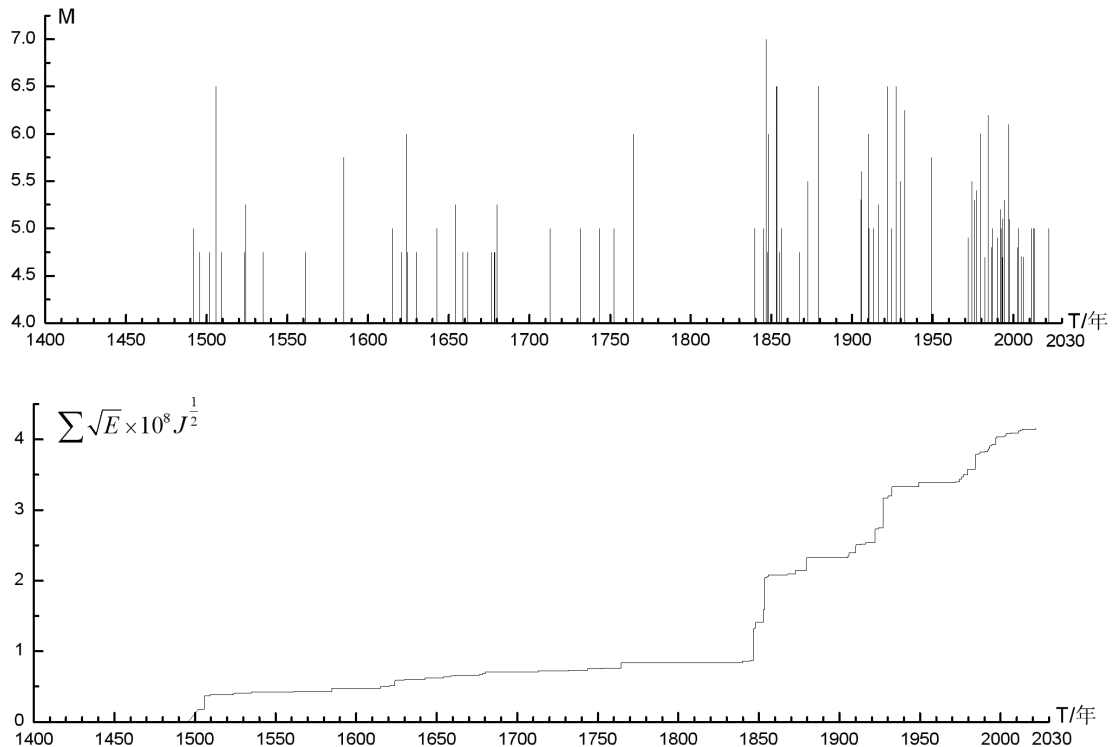
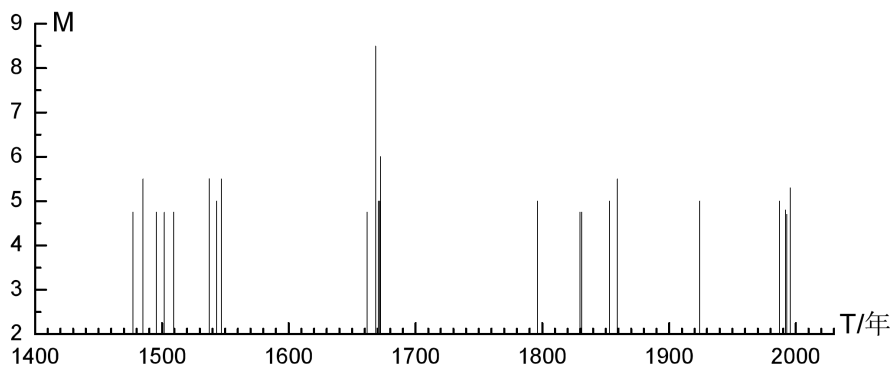


图1.2-3 长江下游-南黄海地震带1400年以来4.7级以上地震的M-T图和应变释放曲线

1.2.4 研究区未来地震活动形势分析

研究区位于郯庐地震带和长江下游—南黄海地震带内，地震活动具有明显周期性，1400年以来的地震活动也经历了两个活动期，时间分别是1485-1672年和1859年至今（图1.4-1）。第一活动期大释放阶段是1668年前后，发生了1668年郯城8½级地震，大释放后地震活动逐渐衰减。第二活动期的活动水平比较低，最大地震仅为5½级，且仅发生 $M \geq 5$ 级地震4次，考虑到华北地区和研究区所属地震带未来活动水平，估计未来百年研究区活动水平不会很高，可能会发生6级多地震。



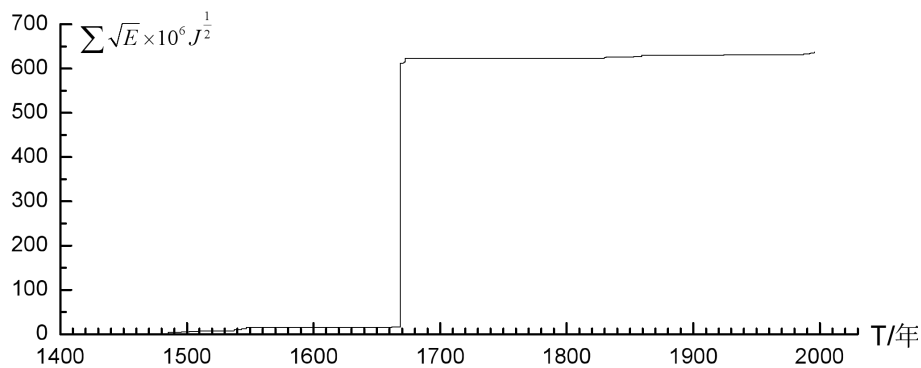


图1.2-4 研究区1400年以来4.7级以上地震的M-T图和应变释放曲线

1.2.5 区域地震活动空间分布特征

区域破坏性地震震中分布图像（图1.2-5）显示：本区域地震活动的空间分布是不均匀的，主要表现为成团成片成条带状分布的丛集性特征。区域内的破坏性地震主要分布在鲁南、黄海海域地区。与华北北部地区比较，本区域的地震活动表现为低频度强破裂特征，如1668年7月25日发生在山东郯城的8½级大地震，位于目标区西北方约74 km处，这是中国东部历史上发生的最大地震。

图1.2-6为区域现代地震震中分布图。1970年以来地震观测结果表明：区域现代小震活动相对频繁，沿莒县、郯城、宿迁一线，小震密集成带呈北东向分布，地质构造上对应北北东向郯庐地震带的潍坊-宿迁段；其余地区地震呈片状分布，条带状分布不明显。与历史地震震中分布相比较，在东部的黄海海域，小震明显增多，表明现代仪器记载范围已扩大至海域。

历史地震记载很少给出地震震源深度参数，区域内记录到的 $M \geq 4.7$ 级地震 23 次，仅有 4 次地震有震源深度数据。为了对区域地震的震源深度分布特征进行详细的分析，本报告选取了区域范围内 1970 年以来 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级地震数据统计地震震源深度。区域内 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级的地震共有 1260 个，其中有地震震源深度参数的地震有 676 个，区域地震震源深度分布统计结果列于表 1.2-1，深度分档区间取 5 km。

从表 1.2-1 的统计结果来看，90%以上的地震震源深度在 6 km～25 km 深度范围内，平均深度为 15.5 km。因此，区域地震属于地壳中上层的浅源构造地震，这一结果与华北地震区震源深度分布的总体特征是一致的。

表 1.2-1 区域地震次数随深度分布统计

次 数 震级档	深度 (km)	1～5	6～10	11～15	16～20	21～25	26～30	>30
$2.0 \leq M \leq 4.6$		24	156	186	160	108	33	9
$M \geq 4.7$		0	0	1	2	1	0	0
所占百分比(%)		3.5	22.9	27.5	23.8	16.0	4.9	1.3

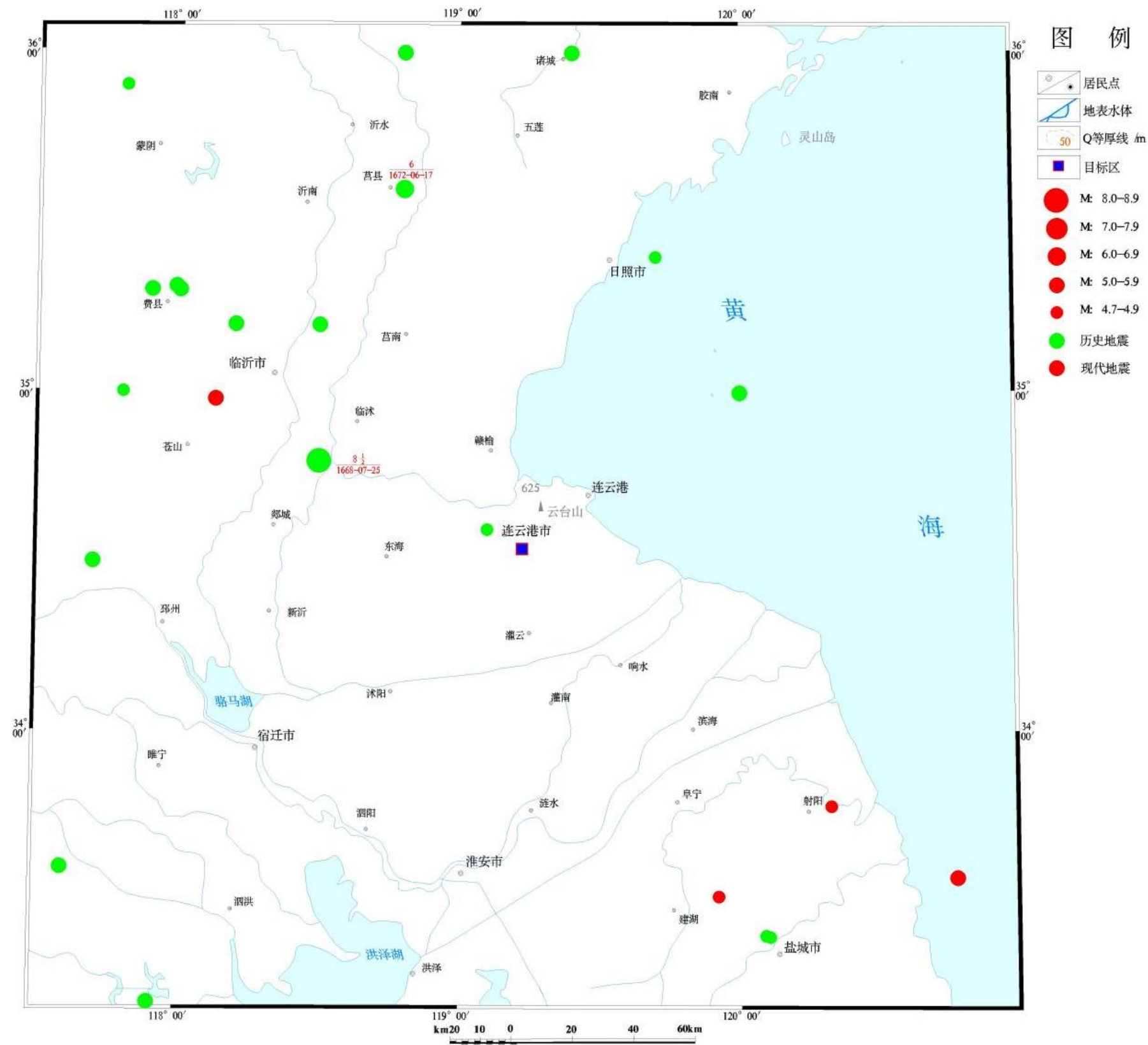


图1.2-5 区域破坏性地震震中分布图（公元1477年~2022年9月 $M \geq 4.7$ 级）

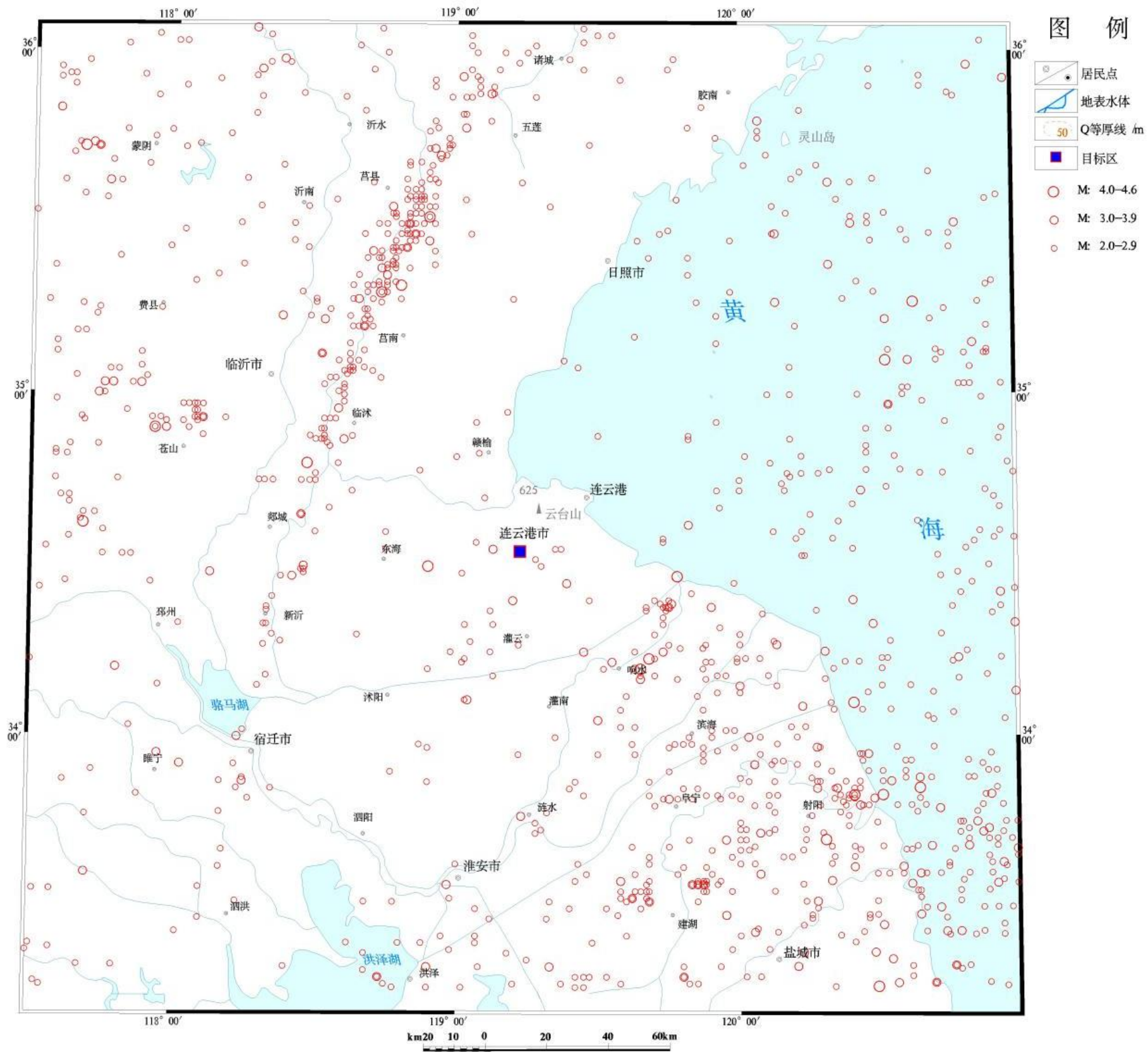


图1.2-6 区域现代中小地震震中分布图（1970年1月~2022年9月 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级）

1.2.6 历史地震对目标区的影响

分析历史地震对目标区的影响，是地震安全性评价的一个重要组成部分，以此了解历史地震对目标区的影响情况，包括历史上所遭受的最大影响烈度。历史地震影响评价除了考虑区域范围内的破坏性地震外，还应考虑区域外围可能对目标区产生Ⅴ度以上烈度影响的大地震。

从两方面来考察历史地震对目标区的影响：一是根据有历史地震等震线资料的地震，确定历史地震在目标区的地震影响烈度；二是应用地震烈度衰减关系式估算没有等震线资料或等震线资料不全的地震对目标区的影响烈度。最后根据两方面的资料对目标区的历史地震影响进行综合评价。

项目采用了 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》（简称“五代图”）编制过程中所确定的东部强震区地震烈度衰减关系的长轴方向对目标区的影响烈度进行计算分析：

$$\begin{cases} I_a = 5.7123 + 1.3626M - 4.2903 \lg(R + 25) \\ I_b = 3.6588 + 1.3626M - 3.5406 \lg(R + 13) \end{cases} \quad \sigma = 0.5826$$

式中， I_a 和 I_b 分别为长、短轴方向的烈度； R 为震中距，单位为km； M 为震级； σ 为标准差。

目标区位于长江下游—南黄海地震带内，其震灾主要由近场区破坏性地震和中、远场强震活动所引起。以下是有历史记载并对目标区影响烈度达Ⅴ级以上的部分历史地震概况：

① **1668年7月25日山东郯城8½级大地震**（震中烈度 \geq Ⅺ度），据史料记载“鲁、苏、浙、皖、赣、鄂、豫、冀、晋、辽、陕、闽诸省及朝鲜同时地震。山东郯城、沂州、莒州破坏最重。50多万km²范围内的150多个州县遭受不同程度的破坏，有感半径800多km。极震区内城廓、公廨、官民庐舍、庙宇等一时尽毁，郯城倒塌如平地，莒州百里无存屋，并伴有大规模的山崩地裂、地陷、涌水喷沙等现象。震时如舟覆，如桔槔上下，崩为堑，漩为渊，沙涌井湮，地侧村偃，百谷陨箨。共压毙5万余人，死尸遍野，不能殓葬者甚多，凡值村落之处，腥臭之气达于四处。暴雨烈日，瘟疫随作，人民流散。”

郯城：城楼垛口、监仓衙库、官舍民房并村落寺观一时俱倒如平地，阁县震塌房屋约数十间，死男女8700有奇。马头集房屋尽塌，压死1000余人。李家庄（城北70里）一镇井陷，凡数千家。刘马庄庄尽毁，地裂处或宽不可越，或深不敢视。地陷塌如阶级，有层次，裂缝两岸皆有淤泥细沙。地裂涌泉，上喷二三丈高，遍地水流，沟浍皆盈，移时即化为乌有。瘟疫随作，人民流散。

莒州（今莒县）：官民房屋、学署、寺庙、监库、牌坊、城垣俱倒，六房文案沉压泥水无存，周围百里无一存屋。13层塔崩裂一半。马蓄山崩四散，五庐固

山劈裂一半，阎家固、旋风朵、科罗朵、马齐山大山各裂一半。城内四乡遍地裂缝，或宽一尺至三尺，长数丈至数百步，亦有十字形裂者。沐河东崖裂，缝宽三尺。自官庄至葛湖长十五里裂处皆翻土扬沙，涌流黄水。压死人丁在册3590余丁，男女老幼压死20000余人，赦免大粮六分，并诏发赈银9915两。

据史料记载当时连云港所在海州：“地震城倾十之二、三，州城屋宇多圯，知州署地震淫雨渐就倾颓。学宫地震圯，文昌宫倾覆，砖瓦木石无一存者”；嘉庆《海州直隶周志·拾遗录》卷31页81记载：地震时，海州、赣榆“戌时，有声从东南来，如雷，地大震，州城屋宇多圯。赣城崩，官廓民居尽倾，惟文庙岿然独存。...地裂处沙涌水飞，深者数十丈。”

赣榆：城全崩，县署并六房舍宇倾塌殆尽，县学，重光寺，八腊庙，观音阁，青云塔等皆倾，地裂以丈尺计，井水上喷二丈，凡河俱暴涨，压死者以千计。

根据高维明、郑郎荪（1988）的研究成果，绘制了地震等震线图。此外，江苏省地震局在连云港核电站可行性论证（1995）中，对此也做了专门的研究。综合历史地震等震线资料，目标区位于IX度影响区内（图 1.2-7）。

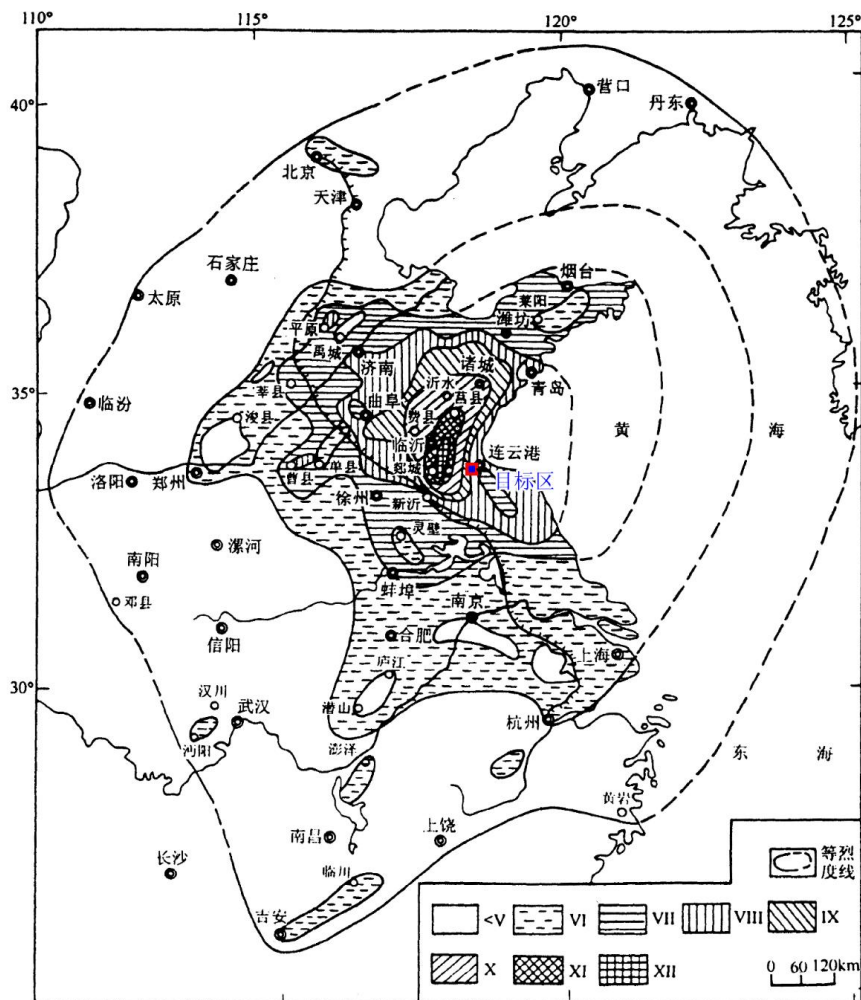


图 1.2-7 1668 年 7 月 25 日山东郯城 8½级地震等震线图

② 1668年7月26日山东安丘6 $\frac{3}{4}$ 级地震（震中烈度无记载）。据史料记载，该地震为郯城大地震余震。

安丘：连日大地颤摇，房屋陆续倾倒。波及山东：泰安、掖县、潍县、昌邑、高密、峰城、蒙阴、诸城、临朐、莱芜、益都、鱼台、莒州、郯城、临沂、兖州、德州、冠县、淄川、章丘、济南、聊城；江苏：丰县、徐州、沭阳、赣榆、宿迁、东台、南京、溧阳；安徽：凤阳、当涂；浙江：湖州、绍兴；河北：盐山、清河及天津等地。该地震等震线图（图1.2-8）显示，目标区位于有感范围内。具体影响烈度需参考根据衰减关系计算的结果，据“东部强震区地震烈度衰减关系”计算，该地震对目标区造成的最大影响烈度为V度。

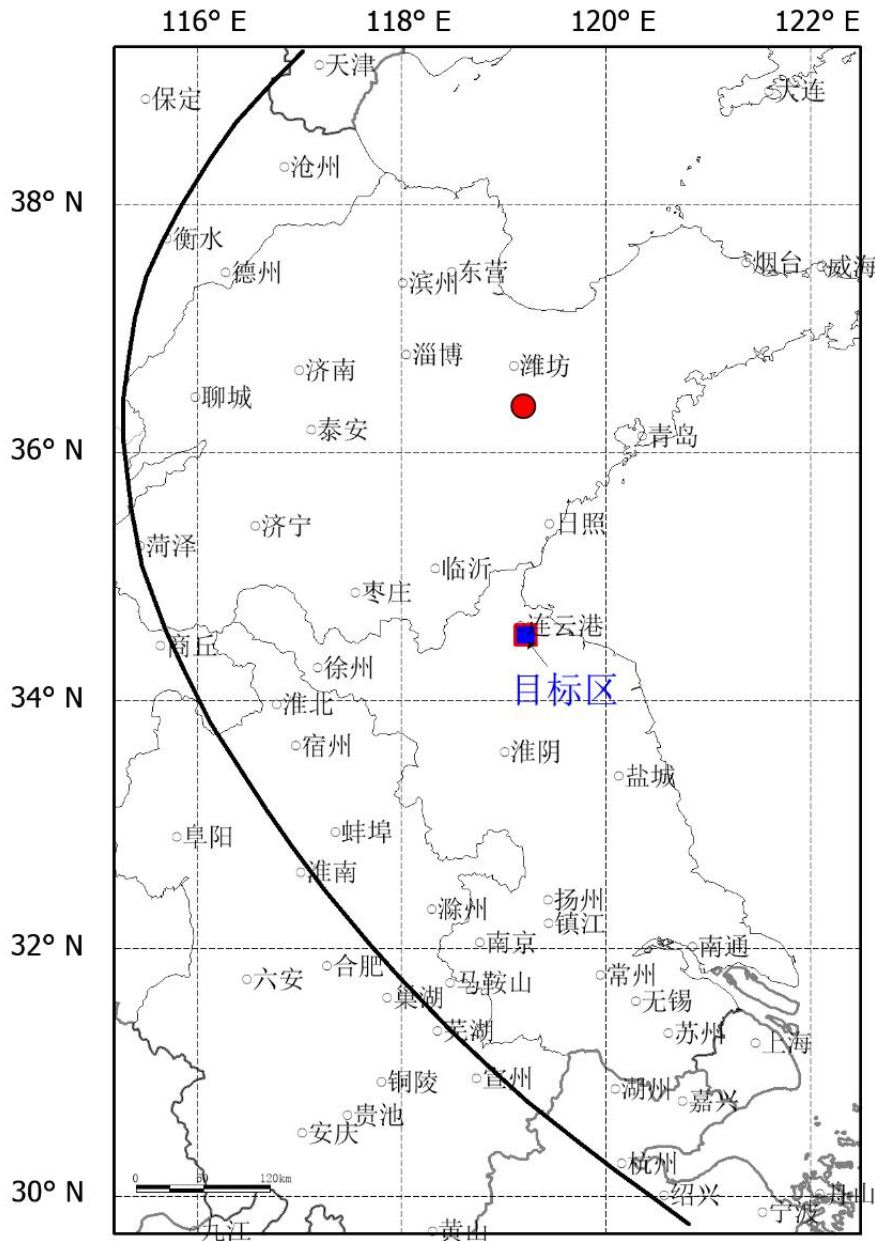


图 1.2-8 1668 年 7 月 26 日山东安丘 6 $\frac{3}{4}$ 级地震等震线图

③ 1846年8月4日黄海7级地震，据中国地震局震害防御司编制的《中国历史强震目录》（公元前23世纪～1911年）资料显示：“江、浙等处屋瓦横飞，居民狂奔，呐喊之声山鸣谷应。**江苏省**：常熟五更地大动，万人惊醒；太仓璜泾镇缸水尽翻，人声鼎沸；仪征、盐城、苏州、吴江，邳州（今邳县邳城，记十六日），宿迁、昆山（以上二县记同月）、武进（记五月十三日）、睢宁（记同年）等均震。”根据历史地震烈度分布图1.2-9显示，目标区位于有感范围内。由于该地震震中位于海域，地震破坏情况记录较少，为保险起见，对工程场地的影响烈度还需参考根据衰减关系计算的结果。据“中国东部强震区地震烈度衰减关系”计算，该地震对目标区造成的最大影响烈度也为IV度。

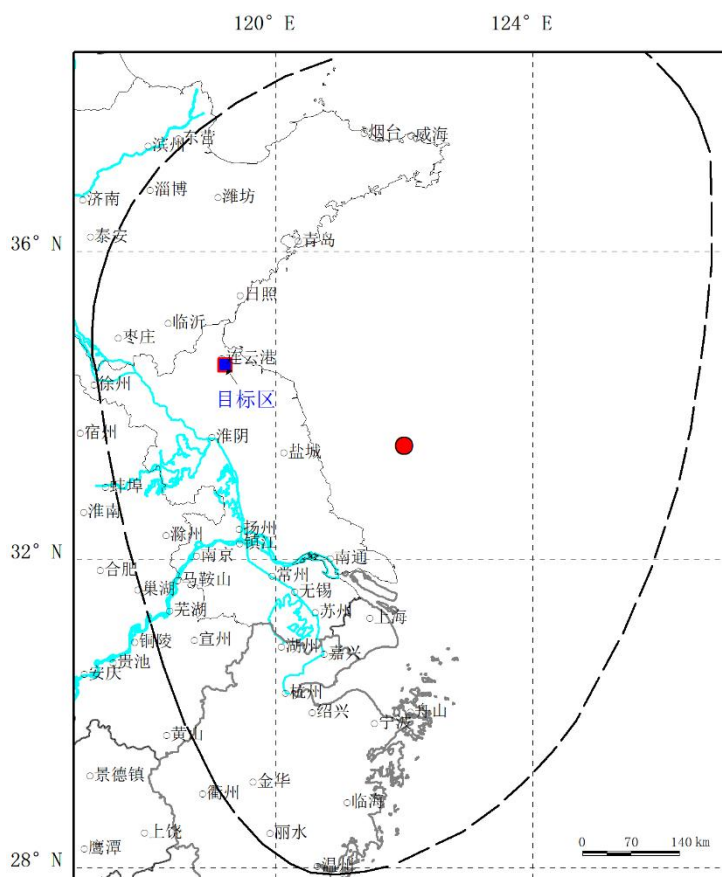


图 1.2-9 1846 年 8 月 4 日黄海 7 级地震等震线图

④ 1927年2月3日黄海海域6½级地震（震中烈度无记载）。

阜宁：住房被震倒十余处。

海安：老旧砖墙倒塌较多，城外草房亦有倒塌者。

扬州：墙壁坍塌者多处。

宝应：城内旧房倒塌颇多。

上海：江湾墙皮震脱，部分石墙震倒。

江阴（房屋震动甚剧，各乡电杆均被吹倒）、南京、镇江、东台、如皋、如

东、泰县、江都、盐城、南通、苏州、松江、无锡、常熟、嘉定、清江；浙江省之杭州、嘉兴、临海、清江、灌南、涟水、徐州平湖、溲水；安徽省之蚌埠、凤阳、芜湖均有感。

综合历史地震等震线资料，该地震对目标区的影响烈度为IV~V度（图1.2-10）。

根据已有资料和研究成果，区域及邻区主要破坏性地震及其对目标区的影响烈度由表1.2-2给出。目标区宏观影响烈度来自《中国历史强震目录》（公元前23世纪~公元1911年）和《中国近代地震目录》（公元1912年~1990年）。目标区共遭受过4次V度及以上的地震影响，其中最大的影响烈度为IX度，是由公元1668年山东郯城8½级地震造成的。

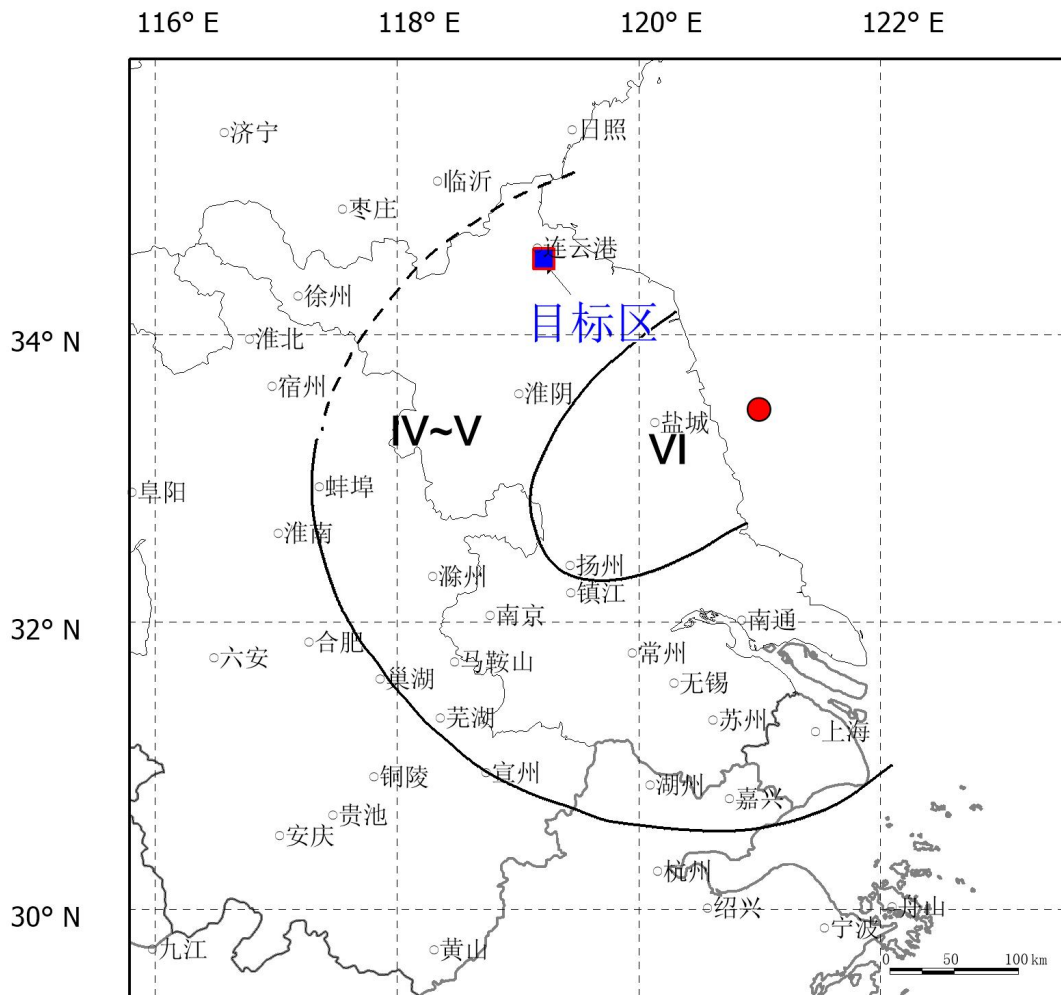


图1.2-10 1927年2月3日黄海6½级地震烈度分布图

基于历史地震资料绘制区域综合等震线图如图1.2-11，目标区位于IX度区内，这一结果与地震烈度衰减关系计算结果一致。目标区遭受的历史地震影响主要来自区域及周围中、强地震动，所遭受的最大影响是1668年山东郯城8½级地震。

表1.2-2 主要破坏性地震对目标区的最大影响烈度（ $I \geq V$ 度）

编号	发震时间			参考地名	震级(M)	震中烈度	与目标区最近距离(km)	影响烈度	备注
	年	月	日						
1	1495	11	8	江苏连云港海州	4¾	-	15	V	据衰减关系
2	1668	7	25	山东郯城	8½	≥XI	74	IX	据宏观资料
3	1668	7	26	山东安丘	6¾	-	207	V	据衰减关系
4	1927	2	3	黄海	6½	-	201	IV~V	据宏观资料

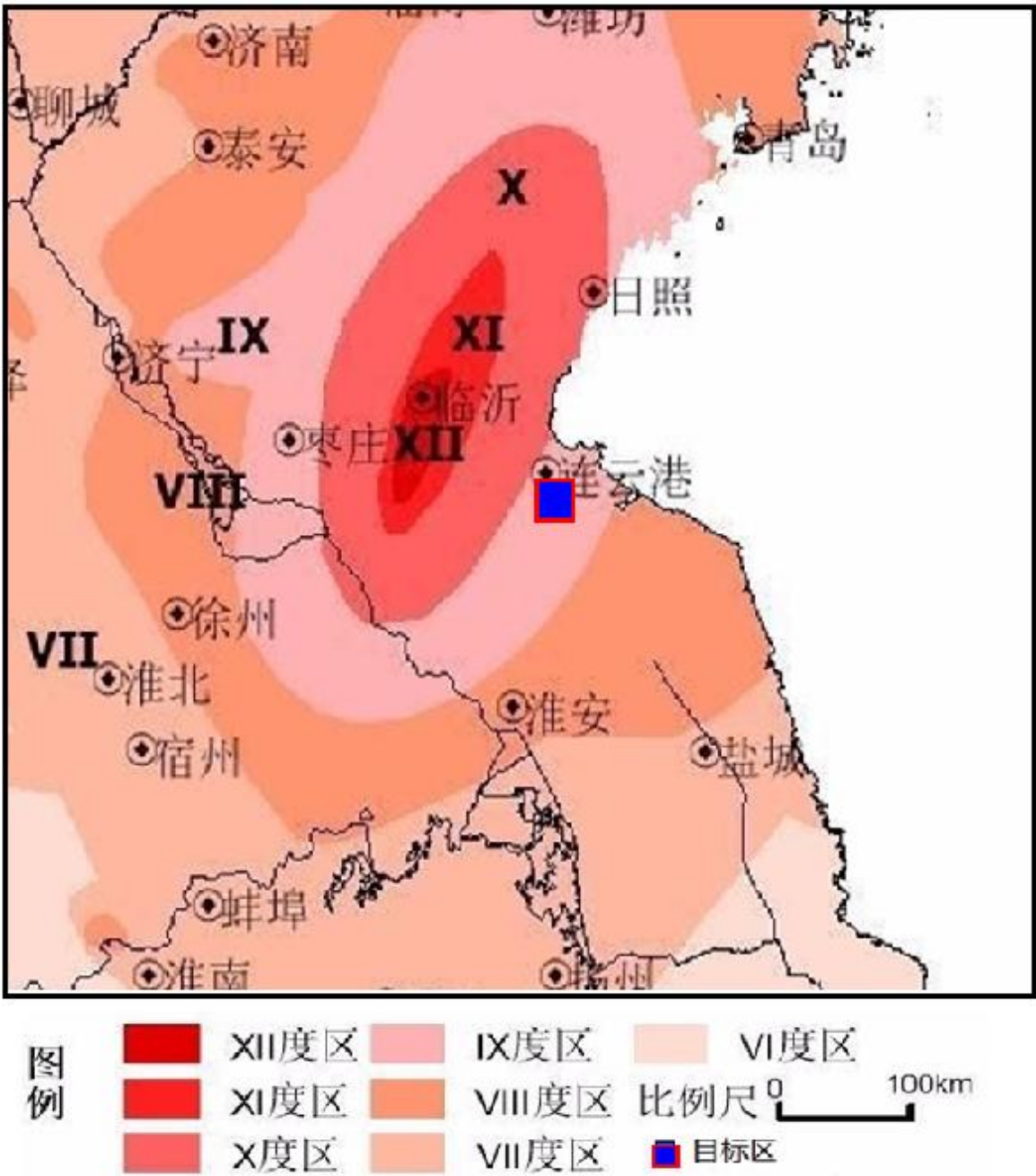


图1.2-11 目标区综合等震线图

1.3 近场区地震活动性

近场区横跨郯庐地震带和长江下游-南黄海地震带，属中强震活动区。据地震史料记载，近场区历史上发生破坏性地震 1 次，为 1495 年 11 月 8 日江苏连云港海州 4¾级地震，该地震距目标区约 15 km，造成的影响烈度为Ⅴ度。

据区域地震台网记录，自 1970 年 1 月~2022 年 9 月，近场区内共记录到 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级地震 15 次（图 1.3-1、表 1.3-1），其中 2.0~2.9 级地震 12 次，3.0~3.9 级地震 2 次，4.0~4.6 级地震 1 次，即 1973 年 6 月 26 日连云港东海县 4.1 级地震，该地震距目标区约 32 km。这些地震活动的空间分布也是不均匀的，主要分布在目标区的南部，但是没有明显的丛集性和线性分布特征。图 1.3-2 显示，1970 年以来近场区地震活动不存在明显周期性。

表1.3-1 近场区 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级地震目录

序号	发震时刻			震中位置		震级（ <i>M</i> ）	深度（km）
	年	月	日	北纬	东经		
1	1973	6	26	34.40°	119.20°	3.8	24
2	1973	10	01	34.50°	118.90°	4.1	18
3	1975	03	06	34.57°	119.07°	2.2	-
4	1977	09	29	34.50°	119.30°	2.1	-
5	1977	10	11	34.55°	119.35°	2.0	-
6	1978	04	06	34.52°	119.28°	2.5	-
7	1978	5	14	34.33°	119.03°	2.5	15
8	1989	08	24	34.55°	119.37°	2.0	-
9	1991	10	19	34.37°	119.12°	2.1	10
10	1993	7	19	34.40°	119.47°	2.2	-
11	1996	8	10	34.33°	119.13°	2.1	-
12	2000	12	11	34.48°	119.02°	2.8	-
13	2001	10	03	34.70°	119.10°	2.2	-
14	2009	10	20	34.55°	119.13°	3.0	8
15	2015	9	12	34.46°	119.34°	2.9	11

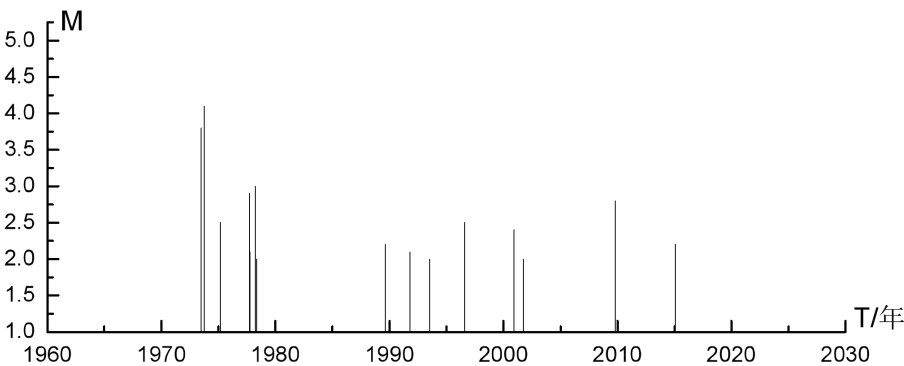


图1.3-2 近场区地震*M-T*图

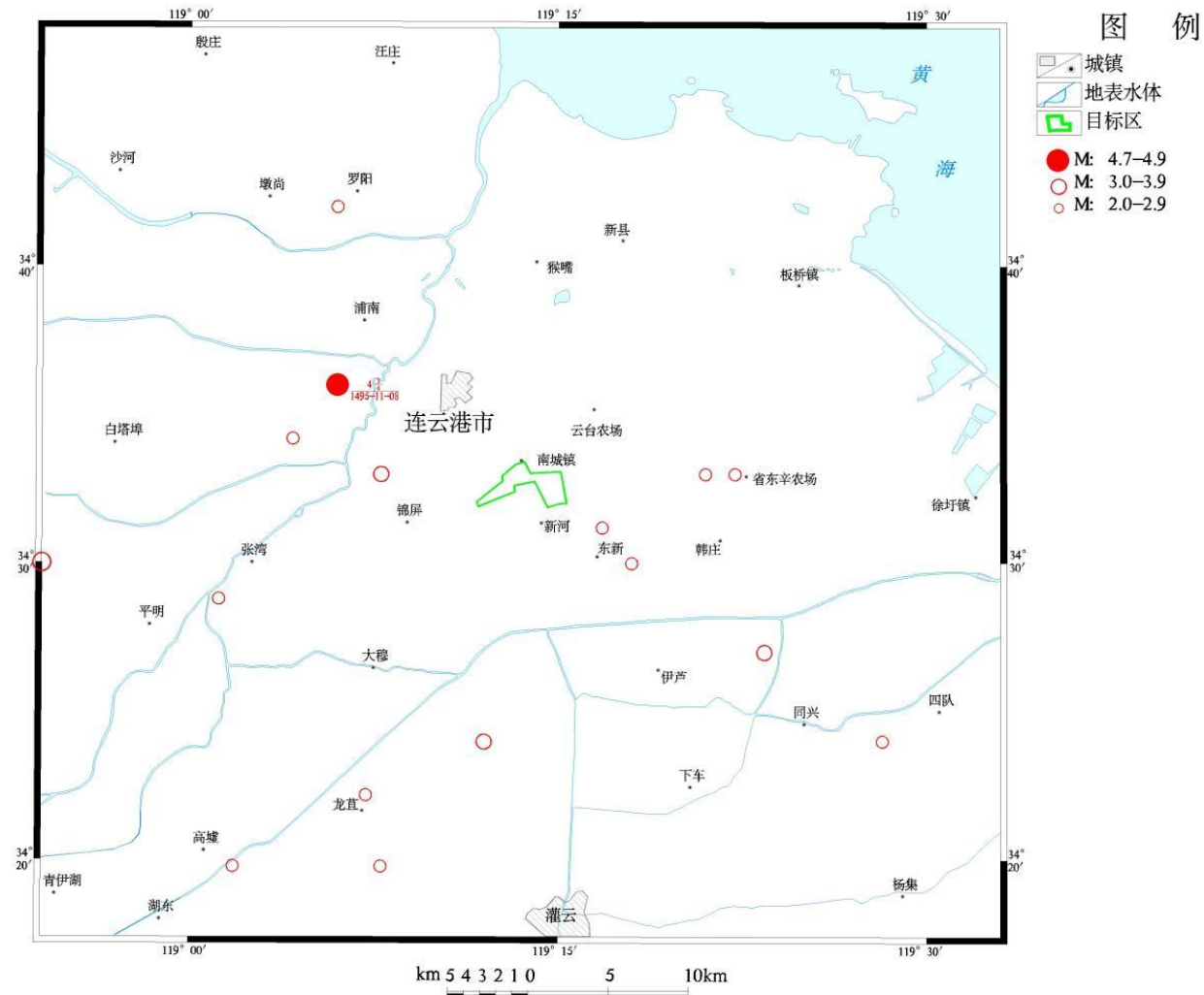


图1.3-1 近场区地震震中分布图

($M \geq 4.7$, 1495年~2022年9月; $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级, 1970年1月~2022年9月)

1.4 区域与近场区地震活动环境评价

通过本章对地震活动空间和时间分布特征的分析研究，区域与近场区地震活动环境总体评价如下：

(1) 区域位于郯庐地震带和长江下游-南黄海地震带内。区域范围内自公元1477年5月~2022年9月，共记载到 $M \geq 4.7$ 地震23次，其中4.7~4.9级地震9次，5.0~5.9级地震12次，6.0~6.9级地震1次，7级以上地震仅有1次，即1668年7月25日山东郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震。自1970年1月~2022年9月，区域共记录到 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 地震1260次，其中2.0~2.9级地震1090次，3.0~3.9级地震149次，4.0~4.6级地震21次。

(2) 区域地震活动的空间分布是不均匀的，主要表现为成团成片成条带状分布的丛集性特征。区域内的破坏性地震主要分布在鲁南、黄海海域地区。与华北北部地区比较，本区域的地震活动表现为低频度强破裂特征，如1668年7月25日发生在山东郯城的 $8\frac{1}{2}$ 级大地震，位于目标区西方约74 km处，这是中国东部历史上发生的最大地震。区域现代小震活动相对频繁，沿莒县、郯城、宿迁一线，小震密集成带呈北东向分布，地质构造上对应北北东向郯庐地震带的潍坊-宿迁段；其余地区地震呈片状分布，条带状分布不明显。

(3) 郯庐地震带目前仍处于第二地震活跃期的后期，未来百年将按活跃期的地震活动水平考虑。长江下游-南黄海地震带目前处于第二活跃期的第三个活跃幕，未来百年将按活跃期的地震活动水平考虑。

(4) 目标区震灾主要由近场区破坏性地震和中、远场强震活动所引起。目标区共遭受过4次V度及以上的地震影响，其中最大的影响烈度为IX度，是由1668年7月25日山东郯城 $8\frac{1}{2}$ 级地震造成的。

(5) 近场区历史上发生破坏性地震1次，为1495年11月8日江苏连云港海州 $4\frac{3}{4}$ 级地震。自1970年1月~2022年9月，近场区内共记录到 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级地震15次，其中2.0~2.9级地震12次，3.0~3.9级地震2次，4.0~4.9级地震1次，该地震距目标区约32 km。这些地震活动的空间分布也是不均匀的，主要分布在目标区的南部，但是没有明显的丛集性和线性分布特征。

第二章 区域地震构造背景

本章在广泛收集区域范围内相关大地构造、新构造、大型断裂、构造形变、地球物理场等资料的基础上,着重论述了区域的地质构造演化特征、深部及浅部的地质构造特征、区域地质构造分布及活动性特征、以及它们与地震活动的相关性,为后续地震危险性概率分析方法中潜在震源区划分提供基本的地震构造背景资料。

2.1 区域大地构造分区及特征

研究区域位于我国大陆东部,依据区域内各地质块体的地质发展历史、沉积建造、构造特征、岩浆活动和地球物理场特征的差异,可将区域划分为3个一级大地构造单元,即华北断块区(I)、秦岭-大别断褶系(II)和下扬子断块区(III)(图2.1-1),各断块间多以大断裂为界,如图2.1-1所示。下面对区域范围内的3个一级构造单元进行简要论述:

(1) 华北断块区 I

华北断块区是我国最古老的岩石圈断块,它经历了前古生代的形成及古生代的平稳发展阶段而进入中、新生代的激发阶段(张文佑等,1983)。区域范围内以铁佛沟断裂为界,又可进一步分为3个二级大地构造单元,北部为胶辽断块、及鲁西断块,西南部为徐淮断块。

胶辽断块 I_1

区域范围内仅为其西南角,胶辽断块西界为郯庐断裂带东边界,南界是五莲-荣成断裂(山相家-郝戈庄断裂)。由辽东群(Ar_3^2)、荆山群(Pt_1^1)和粉子山群(Pt_1^2)组成结晶基底,构造线以北东向为主。基底形成后长期处于隆升状态,缺失盖层沉积。到中生代白垩纪发育了诸城、高密、莱阳等一系列断陷和坳陷盆地,堆积的白垩系一般厚2000 m~5000 m,诸城盆地最厚达8000余米,燕山运动使盆地构造反转,地层褶皱,同时伴有花岗岩侵入。新生代表现间歇性抬升。区内以北东向断裂为主,除少数断裂为第四纪早、中更新世断裂外,大多数为前第四纪断裂。胶辽断块(陆域)历史上发生过6次破坏性地震,最大震级5级。总体看,胶辽断块的地震活动水平不高。

鲁西断块 I_2

鲁西断块位于区域北部,其东界为郯城-庐江断裂带,南界为铁佛沟断裂。其基底由太古界泰山群组成,基底褶皱比较发育,由一系列紧密的背斜、向斜相间排列构成,轴向为北20°~60°西,片理方向亦多呈北西向;由于强烈褶皱,地层产生同向背、向斜或倒转褶皱等现象,轴面多倾向南西,倾角在50°~80°之间。盖层由震旦系至中新生界组成;震旦系至下古生界以碳酸盐建造为主,岩层间多

以连续沉积或假整合接触为特征，反映地壳以下沉为主的发展阶段；晚奥陶世至早石炭世，整个华北断块区处于上升阶段，缺失这个时期的沉积；中石炭世至二迭纪，华北断块区则以含煤建造为主，属海陆交替相沉积，鲁西断块亦如此；三迭纪后鲁西断块的地壳再度以上升为主，缺失沉积，仅在一些山间断陷盆地内接受了少量晚侏罗世、早白垩世和古近纪的沉积；盖层构造以断裂为主，褶皱少见且平缓。中生代中晚期地壳经历了巨大的构造变革，尤燕山运动最为强烈，断裂十分发育，断裂走向主要为北西向，其次为东西向和北北西向，它们对后期的沉积环境起了控制作用。

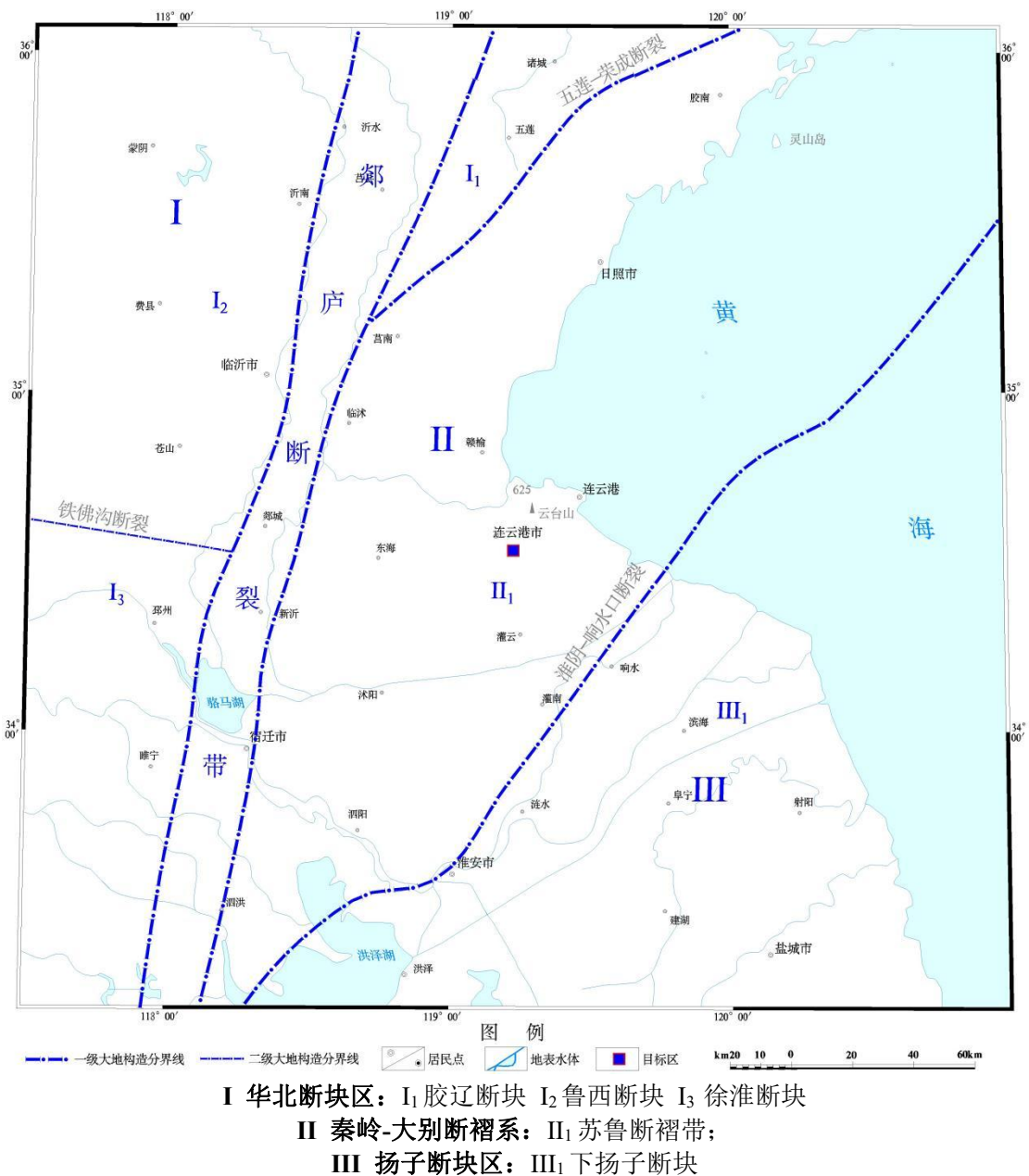


图 2.1-1 区域大地构造分区划分图（江苏省地震局，2014；2016）

徐淮断块 I₃

徐淮断块位于区域的西南侧，其东以郯城-庐江断裂带为界与下扬子断块相邻；北以铁佛沟断裂为界与鲁西断块相接。

其基底由太古界的五河群、下元古界的风阳群组成。震旦纪和古生代以碳酸盐岩建造为主，其次为石英砂岩、砂页岩和含煤建造，各套地层多呈整合或假整合接触，反映该区构造运动以整体升降运动为主。晚侏罗世以后断块差异运动加强，形成一些近东西向和北东向的断陷盆地，如合肥盆地，在该盆地内接受了厚达5000 m~6000 m的红色碎屑沉积（J₃-E）。新近纪和第四纪虽仍以陆相碎屑岩建造为主，但构造垂直差异运动的强度大大减弱，表现为大面积的缓慢沉降运动。区内基底构造以近东西向断裂为主，盖层构造则以北北东向断裂为主。在徐淮断块内，地震活动属中等水平。

（2）秦岭-大别断褶系 II

印支期形成的地槽褶皱系，向西与祁连、昆仑褶皱系相接，向东被郯庐深断裂截切。它是从寒武纪初至三叠纪长期发育的以冒地槽为主的多旋回地槽褶皱系，经历加里东、华力西、印支三个发展阶段。加里东、华力西褶皱带分布于北秦岭地区，印支旋回结束地槽发展。后期又经受燕山和喜马拉雅运动的强烈改造，前者并伴有相当规模的、以中酸性为主的岩浆活动。区域范围内仅涉及其1个二级构造单元，苏鲁断褶带。

苏鲁断褶带 II₁

位于区域东侧，其北界、西界分别以五莲-荣成断裂和郯庐断裂带为界与华北断块区相邻，南界以淮阴-响水口断裂为界与扬子断块区相邻。

苏鲁断褶带由北面的超高压变质带和南面的高压高质带组成。在苏鲁断褶带中有大量100 Ma~150 Ma的花岗岩侵入体，并被白垩纪火山岩及碎屑岩组成的陆相盆地不整合覆盖，变质地体南部的安峰山有新近纪玄武岩分布。由于超高压变质带经历了俯冲、折返及最后抬升的不同构造演化阶段，因此出露的超高压变质地体主要表现为折返阶段（特别是折返后期）以来的构造变形特征，早期的构造变形记录不易保存。在苏鲁断褶带之上，曾有印支褶皱盖层（震旦纪-三叠纪）覆盖，但随着大陆俯冲板片的快速折返，发生退变质反应作用及形成折返构造，印支褶皱盖层受到强烈的顶蚀。自80 Ma以来该区地壳开始缓慢隆升并一直延续至今。因中生代断块差异活动加强，在苏鲁断褶带南部形成了沭阳断陷盆地，接受陆相碎屑岩沉积，K+E厚度达1500 m。大规模的岩浆侵入和喷发形成了大面积的中酸性侵入体和火山岩。区内断裂走向主要为北东、北北东向。在新构造期地壳仍以升降运动为主，隆起区有所扩大，但运动强度已大为减弱。晚新生代断块构造活动较为稳定，地震强度、频度均较低。目标区位于该构造单元之内。

(3) 扬子断块区 III

扬子断块区形成于元古代, 晋宁运动 (850 Ma~1050 Ma) 造就了基底的变形和回返固结。基底具有较典型的双层结构, 由一套中深变质岩且普遍混合岩化的结晶基底和一套浅变质岩系褶皱基底构成, 代表岩系上溪群和张八岭群多出露在地台的南、北边缘。震旦纪-中三叠纪为海相沉积岩盖层, 盖层发育好。经历了两次明显的地裂期, 第一次局限于地台西缘, 相当早震旦纪澄江旋回, 有中酸性熔岩喷出。第二次发生在晚二叠世早期, 有广泛而大量的玄武岩浆喷发。中、晚三叠世间的印支运动结束了海相沉积历史。晚印支运动, 在西及西南缘形成褶皱带。燕山运动期大部分地区活动仍较强烈, 喜山运动全区隆升, 形成一系列山间盆地和山前断陷盆地。区域范围仅为其二级构造单元下扬子断块的一小部分, 位于区域的东南角。

下扬子断块 III₁

元古代以来的拗陷区。晚元古代-早古生代主要为稳定型沉积, 晚古生代地壳运动明显, 不同地区地层发育情况互有差异。早-中三叠世最后一次海侵沉积了碳酸岩和碎屑岩为主的岩系下扬子断块基底由上元古界张八岭群 (同位素 U-Pb 法测龄年代为 $8.64 \times 10^9 \text{ a} \sim 10.31 \times 10^9 \text{ a}$) 组成, 沉积盖层十分发育, 并以角度不整合覆于基底之上。震旦纪至三迭纪沉积以碳酸盐岩建造、砂页岩建造为主, 各套地层之间以整合、假整合接触。印支运动造成了变形强烈的台褶带, 其褶皱轴及断裂均以北东向为主。燕山运动以断块差异运动为主, 断裂活动强烈, 并伴有强烈的岩浆活动, 形成一系列规模不等的断陷盆地; 白垩纪和古近纪时, 在盆地内接受了巨厚的红色碎屑岩沉积, 并伴有火山喷溢; 新近纪和第四纪时, 盆地虽继续扩大, 但沉降速度减慢, 盆地已由原来的断陷型转为拗陷型, 表明该区新构造期以大面积的升降运动为主。自新生代以来, 断块内南北沉积差异明显: 北部苏北、南黄海地区仍保持持续沉降, 苏北沉积厚度为 3000 m~4000 m, 南黄海沉积厚度大于 6000 m; 苏南地区盆地仅零星分布, 面积较小, 一般几百平方千米, 沉积厚度多小于 1000 m。区内地震活动在溧阳-镇江-扬州及南黄海海域、长江口等地较强, 且多集中在北北东、北西及近东西向三组第四纪断裂交汇的部位或断陷盆地的边缘地带。该断块为区域内中强震活动水平较高的地区。

2.2 新构造运动特征

2.2.1 地貌概述

研究区平原、山地、丘陵等地貌单元丰富, 河流与湖泊交错。大致以郯庐断裂带分为东、西两大地貌单元分布区, 流经区域内主干河流为淮河。西部从北向南依次分布着枣庄-台儿庄低山丘陵、黄淮平原、淮北平原、江淮丘陵。枣庄-台儿庄低山丘陵区海拔高程 200 m~500 m 左右, 地面高低不平, 山丘与岗地并存,

由于经常被洪水冲刷,岗地多成陇岗地貌。黄淮平原属华北平原南部,海拔高度100 m 以下,略向东南倾斜。淮北平原海拔20 m~40 m,地面平坦,微向东、东南倾斜。江淮丘陵为低山丘陵区,其它广大地区为岗坳相间的波状平原,仅在一些较大河流两侧冲积形成较宽阔的河谷平原。江淮分水岭沿六安、吴山庙及章广一线延展,海拔高度可达80 m~90 m。北部的淮南-凤阳低山丘陵,海拔大部分在50 m~200 m,最高峰狼窝山为340 m,发育海拔高度200 m的三级(淮南期)夷平面。波状平原海拔高一般在40 m 以下,从江淮分水岭分别向西北和东南倾斜,东南侧残留白垩系、侏罗系岗丘。

郯庐断裂以东,北部为鲁东南山地,海拔高程300 m~500 m左右,区内最高云台山海拔高度为625 m,沂沭河在其西部通过,郯庐断裂沿沂沭河谷展布。苏北平原,中部为下扬子盆岭带,南部为九华山、黄山山地。苏北平原属黄淮冲积平原之冲积、湖积平原。在黄海西岸附近地面海拔为2 m~4 m,向西逐渐增高。平原内部地势平坦,河渠纵横,并分布有洪泽湖等大型湖泊。下扬子盆岭带,总体呈北东、北东东向分布,为系列条状隆起和凹陷相间组成的岭谷地貌。隆起带表现为低山丘陵,峰顶海拔200 m~400 m,个别高达600 m 以上。

2.2.2 区域新构造分区及其主要特征

研究区分属华北断块区、郯庐活动断裂带和华南断块区。根据新构造运动方式、性质和幅度的差异及其造成的新构造变形特征以及地貌形态、单元组合型式、地震活动性的差异,区域范围内华北新构造区为鲁西-皖北断块隆起区,又可进一步划分出2个三级区,区域范围内华南新构造区为鲁东断块隆起区,又可进一步划分出2个三级区,目标区位于鲁西-皖北断块隆起区胶辽弱断隆和鲁东断块隆起区灌云-千里岩掀斜沉降区分界线附近(图2.2-1)。

(1) 鲁西-皖北断块隆起区 I

该区位于齐河-广饶断裂以南,东以郯庐断裂带为界。该隆起区中心位于鲁中地区,高峰达千米以上。区内主要发育鲁中期、唐县期和临城期三级夷平面,海拔高分别为500 m~600 m、400 m 和100 m~200 m。它们向南分别降为400 m~500 m、200 m~300 m 和50 m~100 m,具向南掀斜特征。山体受北西向构造控制,发育条状断块山和古近纪地层组成的残山、丘陵及第四纪断陷盆地。该隆起北面、西面和南面倾伏于华北平原之下,有残山分布。在鲁西南地区,晚中生代古近纪时期受近东西向、近南北向和北东向断裂控制形成系列次级凹陷和凸起。区内历史上发生过多中、强地震,最大为1937年菏泽7级。

根据构造演化、升降幅度,区域范围内划分出胶辽弱断隆、鲁西南较强烈断隆、徐淮弱断隆3个次级新构造单元。



图 2.2-1 区域新构造分区划分示意图

胶辽弱断隆 I₁

为新生代以来抬升区，在构造演化、运动形式和抬升幅度上有差异。区域包括胶莱稳定弱断隆、胶南弱断隆和千里岩断陷。胶莱稳定弱断隆表现为缓慢的抬升，地貌上呈现低平、波状起伏的准平原。胶南弱断隆零星分布鲁中期夷平面，海拔 400 m~500 m，向南降为 400 m。千里岩断陷古近纪基本处于隆升，局部发育小而浅的凹陷。新近纪以来，受南黄海-苏北盆地持续沉降运动的影响，逐渐沦为沉降，沉积了厚数百米的新近系-第四系。唐县期夷平面海拔 200 m，临城期夷平面分布广，海拔 50 m~100 m。该隆起区内断裂以北北东、北东向为主，第四纪活动弱，历史地震活动水平低。

鲁中南较强烈断隆 I₂

该区主要为长期上升的山地与河谷盆地，其中高达 1000 m 以上的有泰山、

徂徕山、沂山、蒙山，并发育了鲁中期、唐县期、临城期三级夷平面。据唐县期夷平面高度计算，新近纪以来鲁中南隆起区上升幅度达 400 m。区内盆地多为地堑型断陷盆地（肥城盆地、莱芜盆地）与单断盆地（泗水盆地、枣庄盆地）。该区内大部分北西向断裂直到晚更新世时期仍有活动，但活动的规模缩小、强度减弱，全新世时期未发现活动迹象。鲁中南隆起区主要由以下凹陷与凸起组成：淄博-庄平凹陷、泰山断块凸起；莱芜凹陷、肥城凹陷、玉皇堂凸起、新汶凹陷、大汶口凹陷、蒙山凸起；尼山-白彦断阶、山亭断阶、泗水凹陷、枣庄凹陷、滕州凹陷。

徐淮弱断隆 I₃

该区是鲁西隆起的南延部分，与鲁中南隆起以近东西向河口-铁佛沟、韩庄断裂为界，为低山丘陵-平原地貌。古近纪时受近东西向断裂控制，局部发育有断陷和坳陷盆地。新近纪以来缓慢抬升，遭受风化剥蚀，蚀余残丘高一般 200 m 左右，大致相当唐县期夷平面。地震活动水平低。

（2）郯庐活动断裂带 II

区内为郯庐断裂带的鲁苏沂沭段，由 4~5 条北北东向断裂组成。该断裂在新构造期仍呈现中间隆起、两侧低洼的狭长地垒式构造地貌形态。整个断裂带以右旋逆平移活动为主，局部为右旋正平移活动。在山东境内，表现为这些主干断裂组成两堑夹一垒的构造格架，进入江苏后主干断裂数量逐渐减少，且被一些北西向断裂切割，在长期的发展演化过程中，断裂表现出明显的分段活动特征。其中以区域北边的安丘-郯城段最为活动，公元 1668 年郯城 8½ 级地震就发生在该段上。郯庐断裂带晚第四纪强烈活动的倾滑走滑段并与近东西向、北西向断裂交汇处是大震发生地带。

（3）鲁东断块隆起区 III

为新生代以来抬升区，在构造演化、运动形式和抬升幅度上有差异。区域范围仅包括该隆起区胶南弱断隆。胶南弱断隆，零星分布鲁中期夷平面，海拔 400 m~500 m，向南降为 400 m。唐县期夷平面不发育，临城期夷平面分布广，海拔 50 m~100 m。区内断裂以北北东、北东向为主，第四纪活动弱，历史地震活动水平低。

灌云-千里岩掀斜沉降区 III₁

北邻胶南隆起，南以淮阴-响水口断裂为界。上新世以前以继承性上升为主，上新世以来逐渐转为向南掀斜下沉。区内新近系和第四系厚 200 m~400 m，南厚北薄。该区地震活动频度较低，历史上仅 1495 年和 1929 年先后发生 4¾ 级和 5 级地震，地震活动总体水平不高。

苏北平原中强拗陷区 III₂

苏北平原主体部分属于苏北盆地，晚白垩世和古近纪断陷活动强烈，在一系列北东至北北东向断裂控制下，形成洪泽、阜宁、盐城、高邮和海安等 10 多个凹陷，相应组成北东东向展布的盐阜拗陷和海安拗陷，其间夹以建湖隆起。新近纪以来断陷活动基本消失，代之以热沉降和重力调整作用导致的整体拗陷，呈面状堆积新近系和第四系，厚 800 m~1200 m，最后在海安凹陷，达 1800 m。其中第四系厚 100 m~250 m。无论新近系还是第四系，都是西薄东厚，该区新构造活动西弱东强，地震活动水平亦是如此。

2.2.3 新构造运动基本特征

区域范围古近纪以来以上升运动为主，局部出现差异性断块沉降。新近纪，地壳相对稳定，经长期剥蚀夷平，形成了新近纪夷平面。早更新世，地壳运动主要表现为不均衡抬升或掀斜隆起，使新近纪夷平面发生构造变形，成为现代山丘之雏形。中更新世为又一次剥蚀夷平时期，但时间较短，所形成的夷平面发育不够充分，主要由山麓剥蚀面和河流二级阶地面组成，沿山丘呈环带状分布或沿河流延伸。晚更新世以来，本区继续发展断块差异性升降活动，使上述夷平面被分割成不连续分布。全新世以来，本区山丘继续上升，盆地则继续下降，但幅度和速度都不大。

(1) 整体性、继承性和间歇性

从古近纪开始，鲁西地块和徐淮地块全面隆起，新近纪以后主要表现为幅度不大的整体抬升，在间歇式整体抬升过程中形成了多级夷平面。第一期为唐县期夷平面，海拔一般在 300 m~400 m，其上沉积有上新世唐县砾石层及玄武岩，在沿海地区降低到 200 m，表现为丘陵地形；第二期夷平面为临城期剥蚀准平原，主要发育于第四纪早期，海拔 200 m~300 m 至几十米，构成河谷盆地及准平原地形，在山东发育典型且分布面积大。

据唐县期夷平面的高度推算，鲁西地区新近纪以来上升的幅度可达 400 余米，而在山东境内郯庐断裂带以东的胶东半岛隆起属于长期稳定上升的山地，唐县期夷平面抬升的幅度较小，多数地区仅达 100 余米。

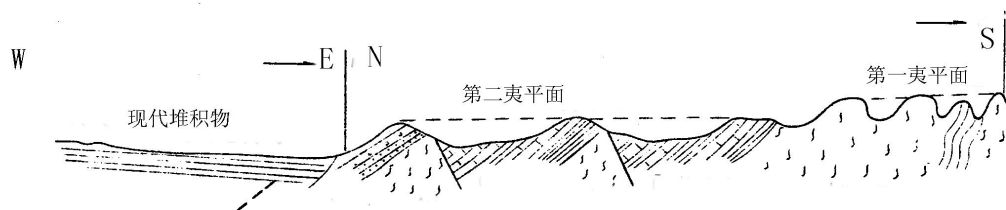


图 2.2-2 鲁西地块夷平面示意图（据山东地质局水文队）

第四纪时期区域内地壳运动主要以间歇式抬升运动为主，表现为多级河流阶

地的发育。

在鲁西北、鲁西南及渤海地区古近纪时期是裂陷作用强烈发展的时期，差异运动的幅度大，有厚达千米以上的内陆河湖相沉积。新近纪和第四纪时期区域范围内差异构造活动变弱，由强烈裂陷变为了总体缓慢沉降的拗陷区，新近系和第四系呈超覆关系盖于古近系及早期的隆起区之上渤海中部地区新近系和第四系厚度可达5000 m左右。

（2）差异性和新生性

新构造时期区域范围内在整体性和继承性升降运动的背景之上还存在明显的差异运动、掀斜运动，以及构造活动的新生性。鲁西地区古近纪时期沿北西向断裂形成了狭长的盆地，但在新近纪以后多数盆地发生了抬升，成为侵蚀盆地；同时，又有一些新的盆地开始沉积沉降。而区内的郯庐断裂带的运动性质更是发生巨大的变化，由早期的左旋运动变为右旋运动；北西向断裂在新构造期以来构造作用更明显，由于断裂的活动，形成或控制了一些小型断陷盆地的发育。

（3）郯庐断裂带新构造运动特点

郯庐断裂带是我国大陆东部一条重要的构造单元分界线，在区域范围内是郯庐断裂带中段，又称沂沭断裂带。沂沭断裂带具有两堑夹一垒的构造格局，是本区的主导构造，新构造活动比较强烈，仍继承了前期的构造格局特点，在东西地堑中分别发育了近南北向的沭河和沂河，见有一、二级阶地发育。其东西两侧块体新构造活动亦有明显的差异，山东陆地范围内西强东弱。郯庐断裂带东地堑内的安丘-莒县断裂是全新世活动断裂，并在中部发现了1668年郯城地震断层。沿安丘-莒县断裂形成了马陵山、岭泉、晓店和窑湾等一系列隆起和凹陷，地质调查表明，这些隆起和凹陷形成于晚更新世以来。

综上所述，区域范围内的新构造运动是继承前期构造运动的基础上，仍以升降运动为主要特征。只不过晚更新世以前表现比较明显，晚更新世以后表现微弱。目标区大体处于徐州低山丘陵上升区向下降区过渡地带，断裂全新世以来活动不明显，地壳活动相对稳定。

2.2.4 新构造运动与地震活动的关系

综合区域范围及其邻近地区新构造运动、地震构造和地震活动的基本特征，对新构造运动与地震活动的关系论述如下：

（1）新构造运动以断块隆起和拗陷或沉降为主要特征，故不同构造区之间的边界，尤其是隆起区与拗陷区之间的断裂，常是地震活动地段。

（2）差异活动明显的次级构造区之间的断裂、穹状隆起区轴部的断裂，以及沉降区内第四纪下沉幅度较大的断陷盆地或局部垂直差异活动强烈的地段，也是地震活动部位。

(3) 郯庐断裂既是多个新构造单元的构造边界,同时也是区内活动最强的一个新构造单元,沿郯庐断裂曾于区域范围北部发生过1668年郯城8½级地震。

(4) 北西向断裂及其组成的断裂带与地震活动的关系不容忽视。

2.3 区域地球物理场特征

地球物理资料可以用来研究地球内部结构。本项工作主要研究区域布格重力异常特征、区域航磁 ΔT_a 异常特征、地壳厚度和结构特征与强震活动的关系。地震的孕育和发生是由很多因素决定的,而地壳厚度的突变部位、莫霍面上拱部位以及地壳厚度等值线突然转折的部位,往往是构造应力容易积累的场所,当地应力积累达到一定程度时,将沿着这些特殊部位释放能量进而导致地震的发生。地壳深部构造研究结果表明,这些特殊部位往往表现为重力异常梯度带和航磁正负异常带,因此区域重力异常图和航磁异常图可很好地反映地壳厚度的变化和深部构造特点。

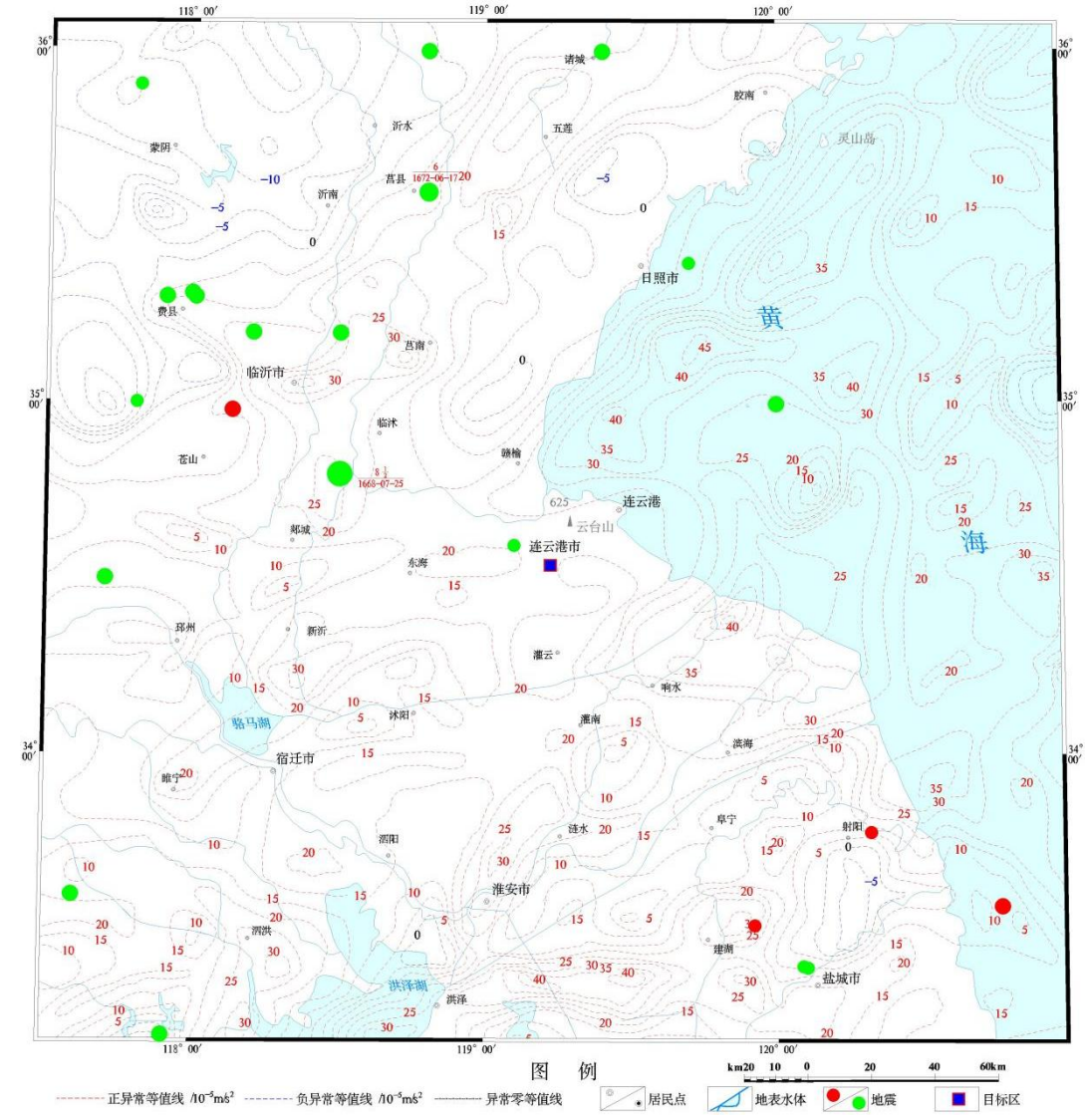
2.3.1 区域重力异常特征

由区域布格重力异常图(图 2.3-1)可见,区域内布格重力异常总体上以正值为主,布格重力异常等值线走向总体上以北东向、北北东向、北西和近东西向为主。区域布格重力异常的最大值可达 $45 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,位于日照市东南的黄海海域。布格重力负异常最大值 $-25 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$,位于苍山县北西方向。布格重力异常区主要分布在区域西北部的山东沂水-沂南-费县-苍山一线以西,异常等值线走向以北西向和北东向为主。对照区域的地震构造图分析,布格重力异常图中重力异常等值线分布形态主要反映区域基底构造特征,重力异常等值线走向和区内断裂展布方向一致,重力异常梯级带和断裂构造分布位置相对应。如沿郯庐断裂带在郯城县以北显示一条由局部北东向正异常斜列而成的北北东向异常带,在临沂一带的局部异常,异常值达 $35 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。此外,海头-千里岩断裂、淮阴-响水口断裂、洪泽-沟墩断裂和邵店-桑墟断裂均有相应重力异常等值线梯度带与之对应。重力异常平缓变化区和起伏不大的平缓基底相对应。历史上破坏性地震常发生在重力异常等值线突变地带。

2.3.2 区域航磁异常特征

根据区域磁场差异变化特征及其分布范围(图 2.3-2),大致以郯庐断裂带为界,区域可分为两个区。包括海头-千里岩断裂、郯庐断裂带及其以西地区的西区以异常值高、正负磁场相间为特征,异常值变化较大,最大负异常在莒县南部、费县西北和五莲、诸城附近地区,最大负异常值达 -250 nT ,磁异常等值线走向以北北东向为主,其次为北东向。东区较为平缓,磁异常等值线分布较宽缓稀疏,航空磁力异常等值线分布形态主要受火山岩和侵入岩的分布控制,而岩浆

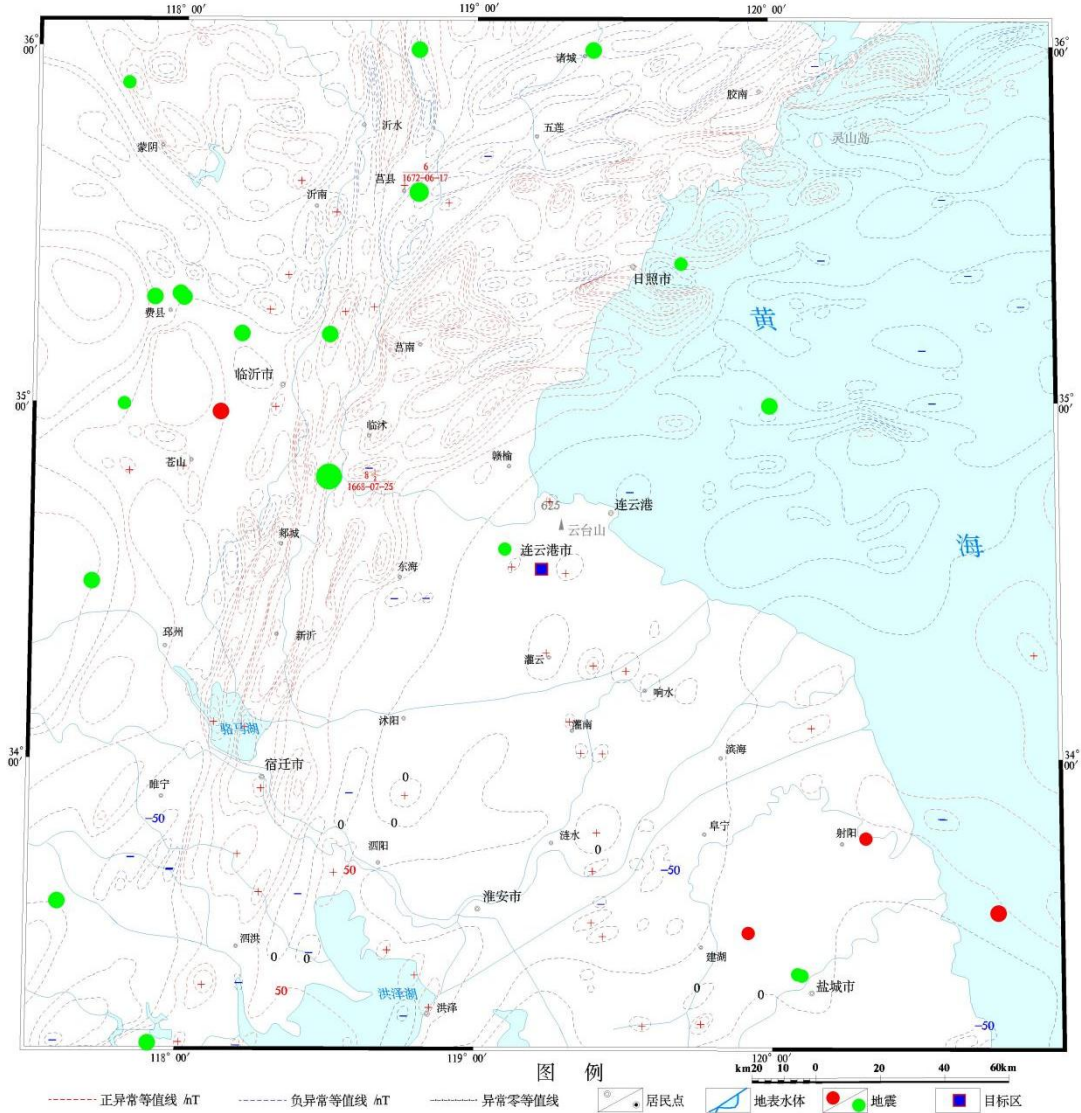
活动通常和区域构造运动相关。航磁异常等值线走向和区域构造线方向一致，等值线密集带常和断层侵入或喷出的岩浆岩相对应。沿郯庐断裂带表现为串珠状正异常带，大致从莒县、新沂、宿迁一线通过。异常带呈楔形，北宽南窄，宽约 10 多千米，走向北北东，总体为一条线状高值正异常，带内强弱不均的正异常呈串珠状分布，延续性号，数值在+100 nT~+500 nT 之间变化。



2.3.3 区域地壳结构特征

依据 1980 年国家地震局物探大队的泗水-临沂-连云港地震勘探深剖面 and 1984 年地矿部华东石油地质局第六物探大队的 HQ-13 线地震勘探深剖面，区域地壳可分为上、中、下三层。上地壳厚度为 6 km~12 km，底面代表结晶基底面，总体显示南薄北厚的特点，在剖面经过郯城-庐江断裂带部位时上地壳底面有上拱现象；中地壳厚度为 12 km~15 km，底面代表康氏界面，埋深 21 km~24 km，总体显示南厚北薄的特点。在泗水-连云港剖面上，在郯城-庐江断裂部位有

明显向下挠褶现象，而后往东又抬升。在 HQ-13 线剖面上，该面直到镇江以东才抬升。下地壳厚度为 8 km~12 km，其底面即为莫氏界面，埋深 29 km~34 km。据泗水-连云港剖面和鲁南地震区划工作中所做的宿迁-高桥剖面资料，莫氏界面在郯城-庐江断裂带部位可深达 35 km~37 km，上地幔明显下凹。同时在下地壳内存在有低速层，并在郯城-庐江断裂带部位增厚，这种现象在郯城以南消失。

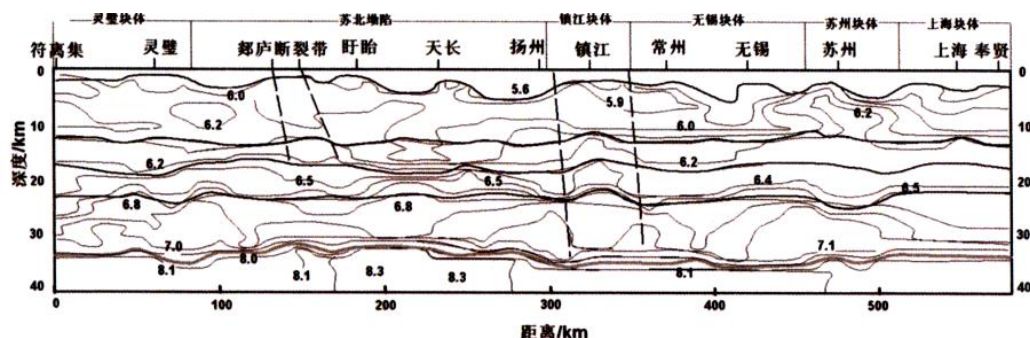


2.3.4 深部构造与地震活动的关系

对区域重、磁组合关系的研究表明，“重低磁低”的异常组合基本上对应于中-新生代的凹陷或断陷盆地，“重高磁低”的异常组合基本上与中生代以前的褶皱隆起区有关，而“磁高重高”和“磁高重低”的异常组合区，与相应的岩浆活动、古老的含铁岩系和有关岩矿关系密切。

全区地壳厚度在 29 km 至 34 km 之间变化。地震震源深度小于 40 km，大部分地震震源深度分布在 10 km~20 km 的范围。表明本区地震活动与中下地壳的

介质不均匀性有密切的关系。其中郯城-庐江断裂带的沂沭段存在着莫霍面下拗，上地壳上拱以及分布有低速层等异常现象，地壳总厚度在新沂以北明显增厚，这在本区是特有的现象。1668 年郯城 8½ 级地震就发生在这个地壳厚度变异带内。另外许多中强地震分布在航磁 ΔTa 零值线小曲率转折处，常常是地球物理场发生陡变或多组断裂交汇的地方（图 2.3-1、图 2.3-2）。



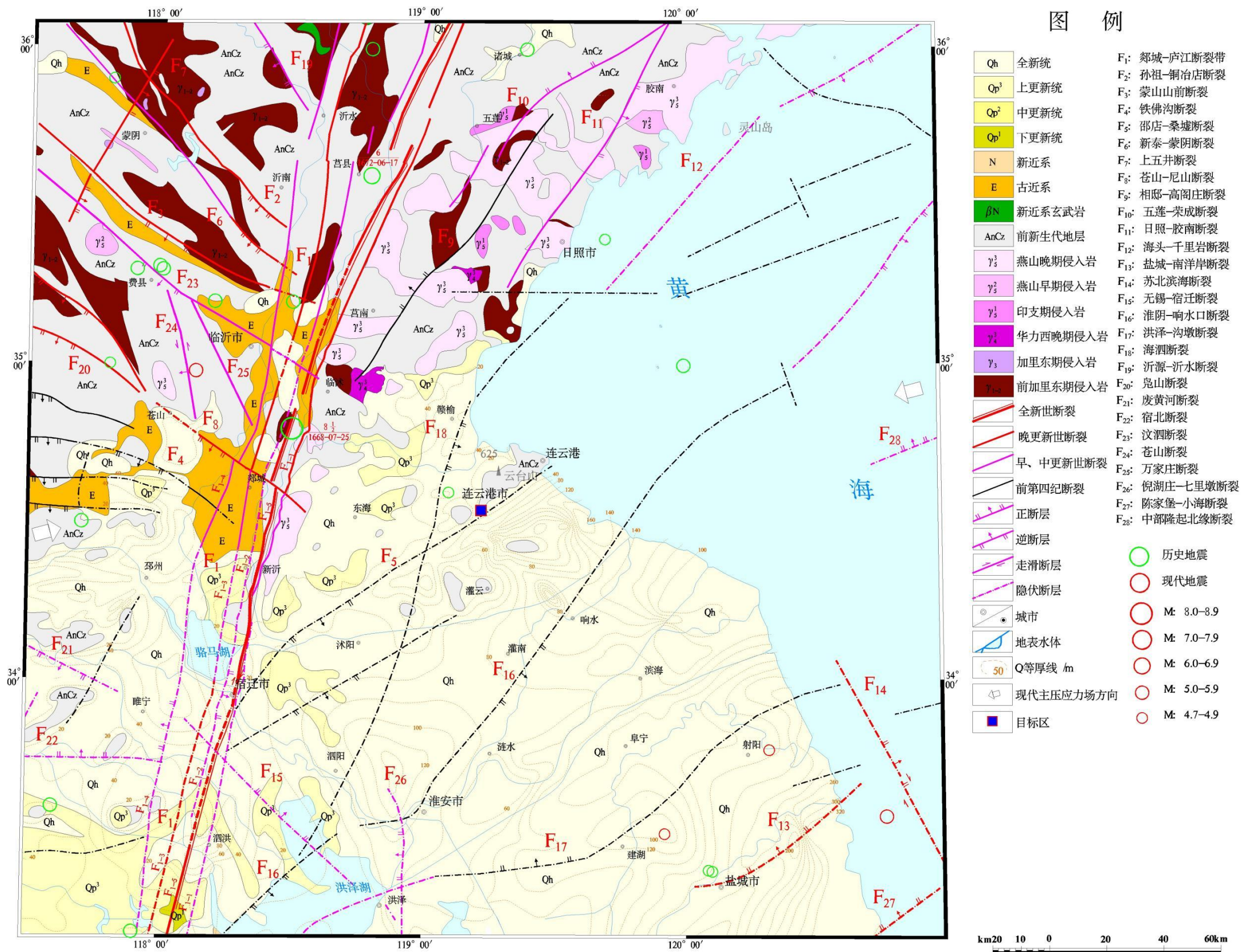


图 2.4-1 区域地震构造图

区域范围内内郯庐断裂带总体由五条主干断裂所组成，即山左口-泗洪断裂（ F_{1-1} ）、新沂-新店断裂（ F_{1-2} ）、墨河-凌城断裂（ F_{1-3} ）、窑湾-高作断裂（ F_{1-4} ）和发育于山左口-泗洪断裂和新沂-新店断裂之间的马陵山-重岗山断裂（ F_{1-5} ）。

① 山左口-泗洪断裂 F_{1-1}

该断裂在区域范围内涉及到两段，大部分属于江苏段，称为山左口-泗洪断裂（王庄-苏圩断裂），北部为山东段称为昌邑-大店断裂。

昌邑-大店断裂在晚中生代时期曾为沂沭断裂带东地堑的东边界，第四纪时期主要在早、中期活动，仅局部地段，如五连县汪湖乡英家崖头村和郯城县桃林村，可见白垩系王氏组紫红色砂页岩逆冲到上更新统紫红色粉土夹砂层之上，表现为晚更新世活动。又如在莒县牛庄可见白垩系王氏组砂岩逆冲于晚更新世含钙质结核的亚粘土之上（图 2.4-2）。

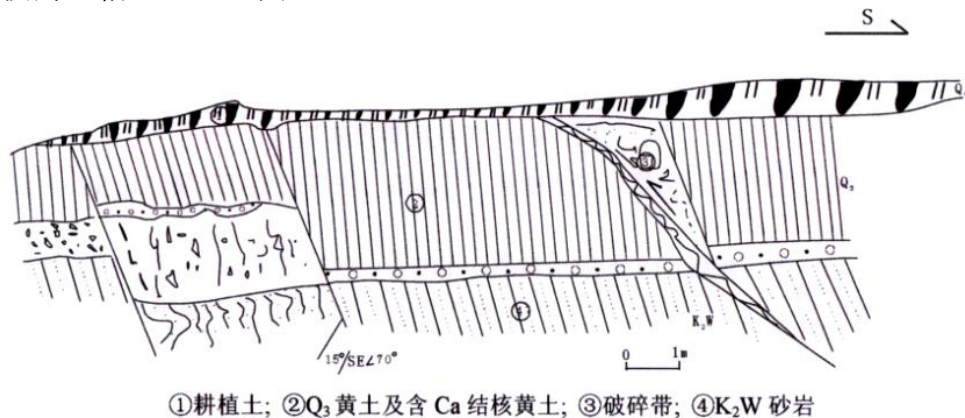


图 2.4-2 莒县牛庄昌邑-大店断裂剖面（山东省地震工程院）

在黑龙潭水库南可见断裂在地貌上呈冲沟状，断裂西侧为白垩纪砂砾岩，产状为 $305^\circ \angle 20^\circ$ ，南侧为花岗岩，冲沟处为一宽数十米的破碎带（图 2.4-3），破碎带宽约 5 m 左右，其内岩性杂乱，可见花岗岩、砂砾岩、砂岩等，断裂形成的沟谷内沉积了较薄的第四系，该处在卫片上线性构造痕迹十分清晰，说明断裂在第四纪应该有过明显的活动。

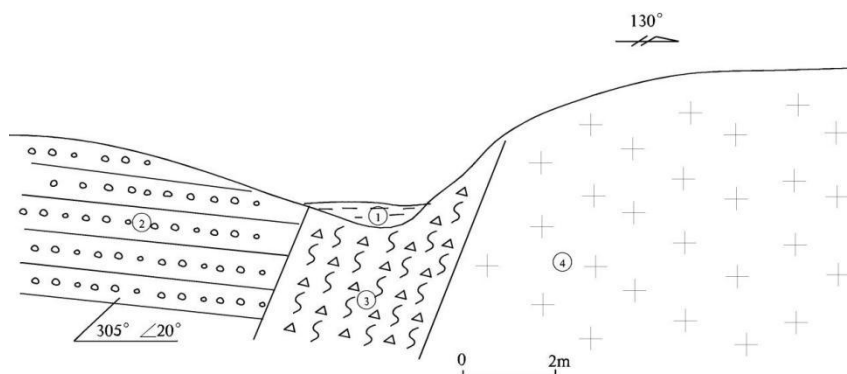


图 2.4-3 黑龙潭水库边断裂剖面图

秦晶晶等（2020）在宿迁附近对郯庐断裂带进行了浅层地震勘探，探测结果认为山左口-泗洪断裂在浅层地震剖面上为西倾的正断层，错断了第四系覆盖层的底界和其下的新近纪地层。在测线桩号约 6.7 km 附近，还存在有 1 条错断反射波组 T_Q 和 T_g 的断裂 F_{1-1} ，该断层向东倾，应是郯庐断裂带中的 1 条次级断裂。从断裂 F_1 （山左口-泗洪断裂）和 F_{1-1} 的上断点深度及其所切割的地层反射波组特征分析，秦晶晶等（2020）认为这 2 条断裂均没有错断晚更新世地层，推测应是第四纪早期的断裂，晚更新世以来已停止活动（图 2.4-4 中 F_1 及 F_{1-1} ）。

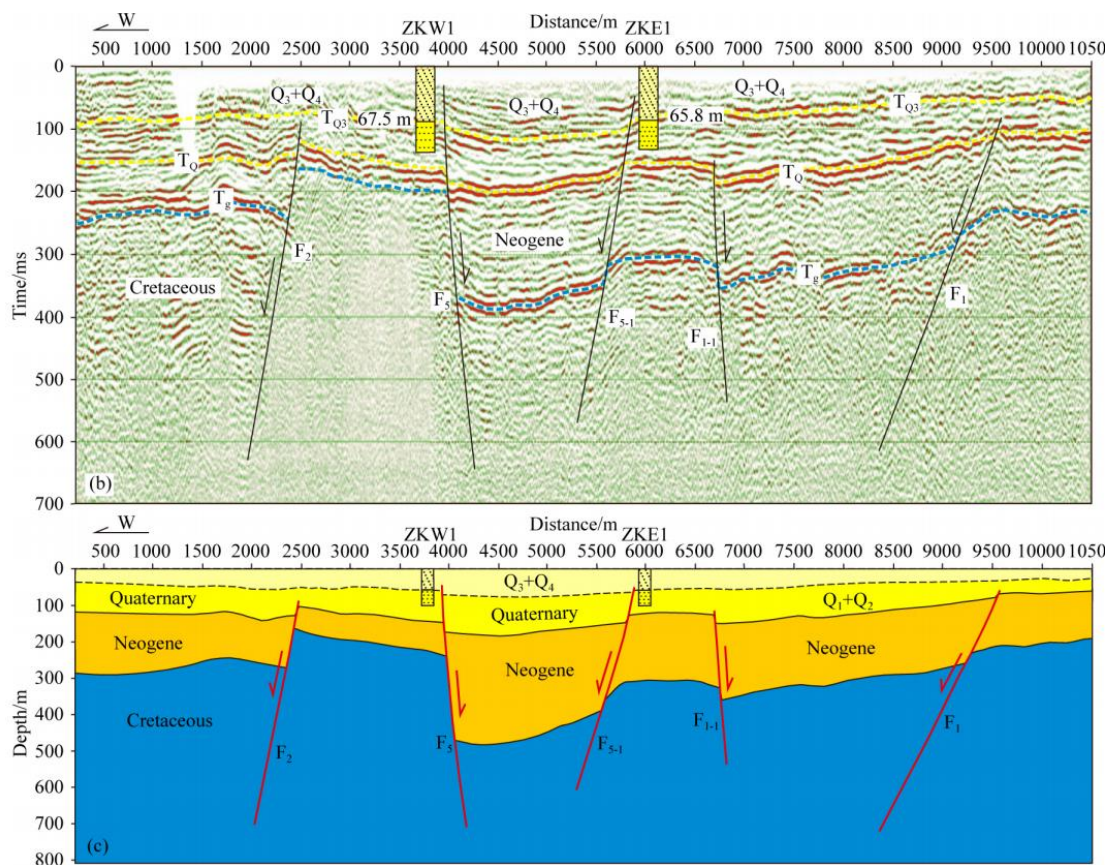


图 2.4-4 测线反射波叠加时间剖面及其深度解释（秦晶晶等，2020）

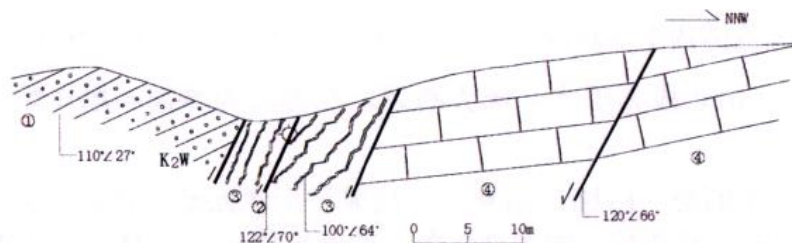
综合现有资料分析，在区域范围内该断裂在苍山-尼山断裂以北为晚更新世活动断裂，以南为第四纪早中更新世断裂。

② 白芬子-浮来山断裂 F_{1-2}

该断裂在区域范围内涉及到两段，山东段称为白芬子-浮来山断裂，江苏段称为大官庄-双庄断裂（新沂-新店断裂）。

白芬子-浮来山断裂位于沂水-汤头断裂与安丘-莒县断裂之间，构成沂沭断裂带东地堑的西边界断裂，总体走向为 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，倾向 SE 表现为一系列不连续的北北东向断裂组，同时该断裂带内还发育北东向、近东西向断裂以及岩层内的顺层断裂，由于长期、多次活动，使得断裂带内地质构造十分复杂。在青峰岭大坝北端西侧约 100 m 处，可见断裂出露（图 2.4-5）断裂东侧为白垩系王氏组砂岩，产状 $110^{\circ} \angle 27^{\circ}$ ，西侧为寒武系紫红色砂岩、薄层泥灰岩等，断裂破碎带宽约

15 m, 以粉砂岩页岩的破碎、角砾化为主。在东卢家岔河, 可见断裂东侧砾岩与西侧花岗片麻岩断层接触, 没有发现断裂对微地形的控制作用。在南白石沟村东约 800 m 处, 太古代花岗岩片麻岩与(震旦系)石英岩之间断层接触, 发育厚约 0.5 m 的断层泥及断层角砾带, 近断裂面处花岗片麻岩挤压扁豆体较为发育, 发育的断层泥已经固结。总体来说山东段断裂活动性为早中更新世断裂。



①王氏组砾岩;②浅绿色断层泥;③古生界紫红色粉砂岩页岩及泥灰岩破碎带;④青灰岩.

图 2.4-5 青峰岭大坝北端西侧白芥子-浮来山断裂剖面 (山东省地震工程院)

新沂-新店断裂, 由新沂经祁园、新店、骆马湖, 至双庄-龙河集一带。主要出露于祁园、乱王及大官庄一带, 其余都为第四系覆盖 (也有人认为宿迁以南的重岗山、孙牌坊一段断层也归属于该断裂)。总体走向平行 F_{1-1} , 倾向 SE, 倾角 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 早期属正断层, 新活动表现为压扭性逆冲断层。断裂结构面挤压片理柔皱、挤压扁豆体发育。在新沂大祁湖村、新圩子村、新胡庄村东侧, 可见到断裂西侧为灰白色前震旦纪片麻岩, 断裂东侧为晚白垩世王氏组紫红色含砾砂岩。在新沂南马陵山江苏省地震局 (2016) 开挖了探槽, 探槽内未见晚更新世以来新地层发育, 断层物质发育不明显, 未结案新鲜断层泥发育, 有此可以佐证断裂晚第四纪以来未发生明显活动。

秦晶晶等 (2020) 在宿迁附近对郯庐断裂带进行了浅层地震勘探, 认为新沂-新店断裂断层面近于直立的正断层, 新生代地层厚度在断裂下降盘明显增厚, 且在靠近断层处, 地层出现褶皱变形, 显示出断裂对新生代地层厚度的控制作用, 从测线反射波叠加时间剖面及其深度解释图 (图 2.4-4 中 F_2) 上可以看出新沂-新店断裂错断了第四系底界并向上延伸至下-中更新统。

综合现有资料分析, 在区域范围内该断裂为第四纪早中更新世断裂。

③ 沂水-汤头断裂 F_{1-3}

该断裂在区域范围内涉及到两段, 山东段称为沂水-汤头断裂, 江苏段称为城岗-耿车断裂 (墨河-凌城断裂)。

沂水-汤头断裂在汤头以北出露较好, 为汞丹山地垒的东边界, 表现为太古代片麻岩、白垩系砂岩同第四系呈高角度正断层接触。最新断错上更新统, 地表出现陡坎, 冲沟水系穿过断裂发生右旋扭错或出现断头、断尾现象。在临沂后林子-沂水段断层带较宽, 发育有较新鲜的断层泥, 沿断层见断层坎, 局部错断晚更新世地层, 汤头后林子剖面见断裂呈正断运动 (图 2.4-6), 断裂东盘为泰山群片麻岩, 断层破碎带、断层泥发育, 西侧为第四纪早期含砂砾亚粘土及晚更新

世亚粘土层。

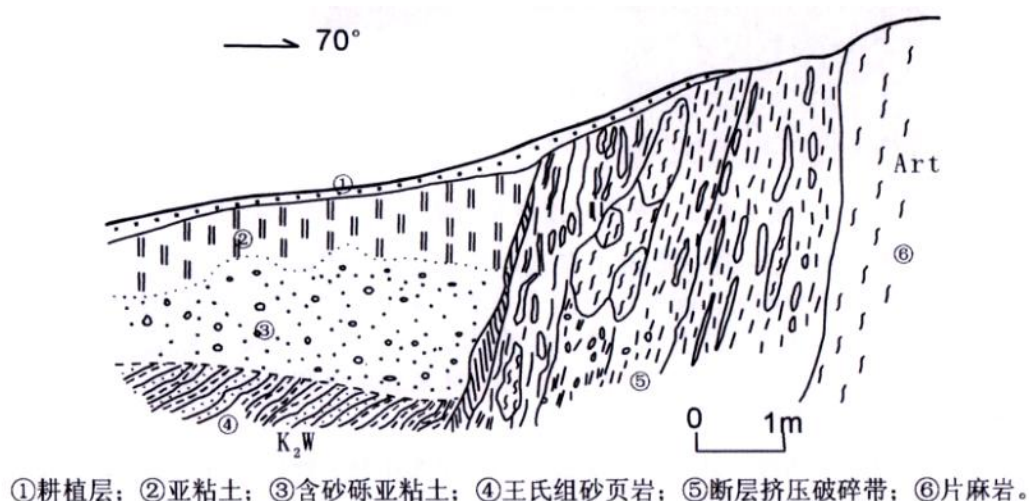


图 2.4-6 沂水-汤头断裂后林子剖面（山东省地震工程院）

该断裂的江苏段又称墨河-凌城断裂，倾向 NW，早期属正断层性质，新活动表现为压扭性逆冲断层。在江苏境内为第四系覆盖，区内位置主要根据物探和钻探等资料推测确定。地表见于泗县赤山东冲沟内，由白垩纪红色细砂岩逆冲到晚更新世黄褐色砂土之上（汤有标 等，1990），挤压破碎带宽 1.2 m，断裂走向 NE 10°，倾向 NW，倾角 85°。本区内其位置主要是根据物探和钻探等资料推测确定的。在北段城岗一带，它与 F₂ 组成地垒构造，中间出露片麻岩，在该断裂西侧为白垩系和晚新生代地层，基岩埋深可达 40 m~80 m，表明断裂在新近纪-第四纪期间有较强的活动，甚至到晚更新世仍有活动。

在新沂市针对该断裂进行过浅层人工地震勘探，根据 2 条测线的地震时间剖面（图 2.4-7，图 2.4-8），均存在 3 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将测线浅部地质结构分为 4 个物性层。第 1 物性层为 T₁ 反射界面之上部分，测线范围内厚度有所变化，层厚 12 m~25 m，层速度约为 1345 m/s。据场地区域地质资料，推测该层为第四系全新统-上更新统（Q_{3.4}）黏土层、中砂层；第 2 物性层为 T₁ 和 T₂ 反射界面之间部分，近水平层状，层厚 22 m~32 m，层速度约为 1532 m/s。据场地区域地质资料，推测该层为第四系中更新统（Q₂）黏土、中砂。第 3 物性层为 T₂ 和 T₃ 反射界面之间部分，近水平层状，层厚 35 m~45 m，层速度约为 1920 m/s。据场地区域地质资料，推测该层为第四系下更新统（Q₁）黏土层。第 4 物性层，推断 T₃ 为新近系 N₂ 地层顶界面的反射波组，该反射波同相轴相对平缓，埋深 75 m~100 m。1-1' 测线从探测结果（图 2.4-7）可知，N₂ 地层底界面反射波组在里程 1460 m 处，T₃ 波组有错断痕迹，并且该里程 T₂~T₃ 之间两侧波组特征明显改变，推断该里程处有一倾向为 105° 的正断层，断层视倾角 83°。断层上断点错断了新近系 N₂ 粗砂岩和第四系下更新统（Q₁）黏土层，上断点断距~5 m。2-2' 测线从探测结果（图 2.4-8）可知，在里程 1382 m 处，T₃ 反射波组有明显错断痕迹，并且该里程 T₂~T₃ 之间两侧波组特征不同，推断

该里程处有一倾向为 101° 的正断层，断层视倾角 84° ，断层上断点错断了新近系 N_2 粗砂岩和第四系下更新统 (Q_1) 黏土层，上断点断距 ~ 16 m。从本次工作的物探测线来看，这两个断点均未造成中更新统底界 (T_2) 的断错或扰动，说明断裂活动至少在中新世已经减弱甚至停止，该断裂应属于早第四纪断裂。

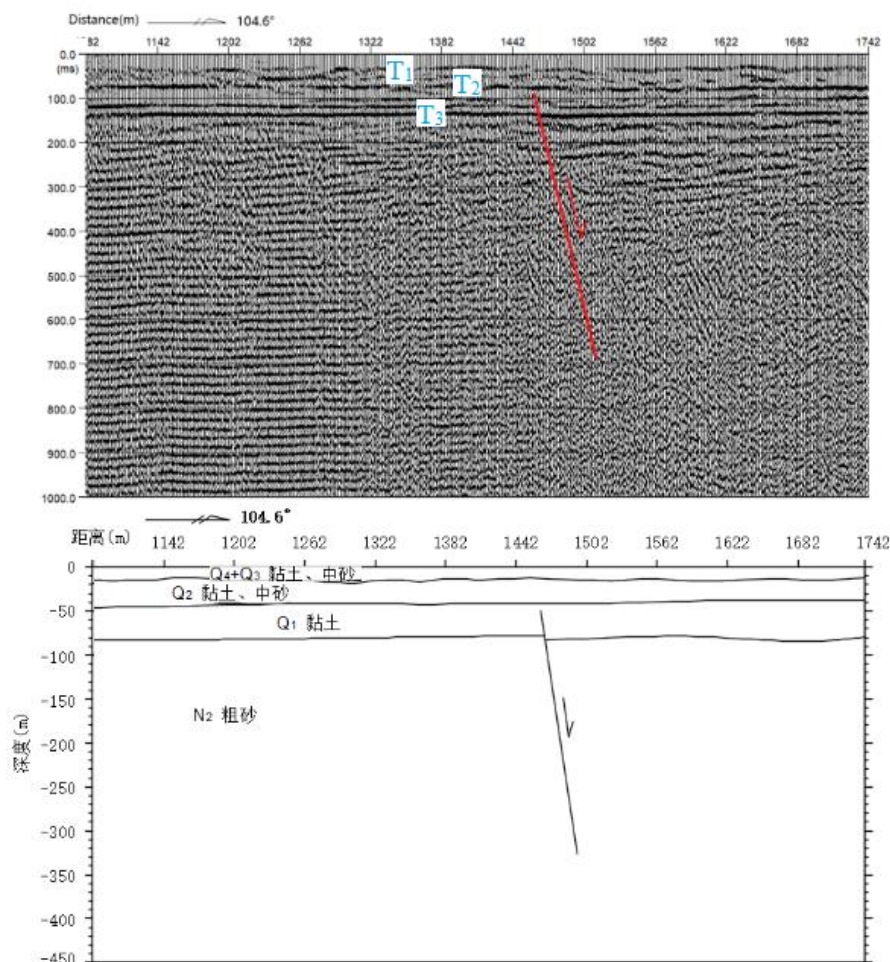


图 2.4-7 测线 1-1' 地震时间剖面及地质解释成果图（徐州天地岩土科技有限公司，2021）

在江苏省内，该断裂大致以骆马湖断裂可分为南北两段，新沂市活动断层探测项目（江苏省地震工程研究院，2020）对该断裂北段进行了探测，宿迁市活动断层项目（江苏省地震局，2016）对该断裂南段进行了探测，探测结果认为该断裂江苏段的北段为早第四纪断裂，南段为晚更新世活动断裂。

秦晶晶等（2020）在宿迁附近对郯庐断裂带进行了浅层地震勘探，认为墨河-凌城断裂断层面近于直立的正断层，新生代地层厚度在断裂下降盘明显增厚，且在靠近断层处，地层出现褶皱变形，显示出断裂对新生代地层厚度的控制作用，从测线反射波叠加时间剖面及其深度解释图（图 2.4-9 中 F_3 ）上可以看出墨河-凌城断裂错断了第四系底界并向上延伸至下-中更新统，甚至可能进入了上更新统，推测其活动时代可能是晚更新世早起（秦晶晶等，2020）。

综合现有资料分析，在区域范围内该断裂为山东省断为晚更新世活动断裂，江苏段的北段为早第四纪断裂，南段为晚更新世活动断裂。

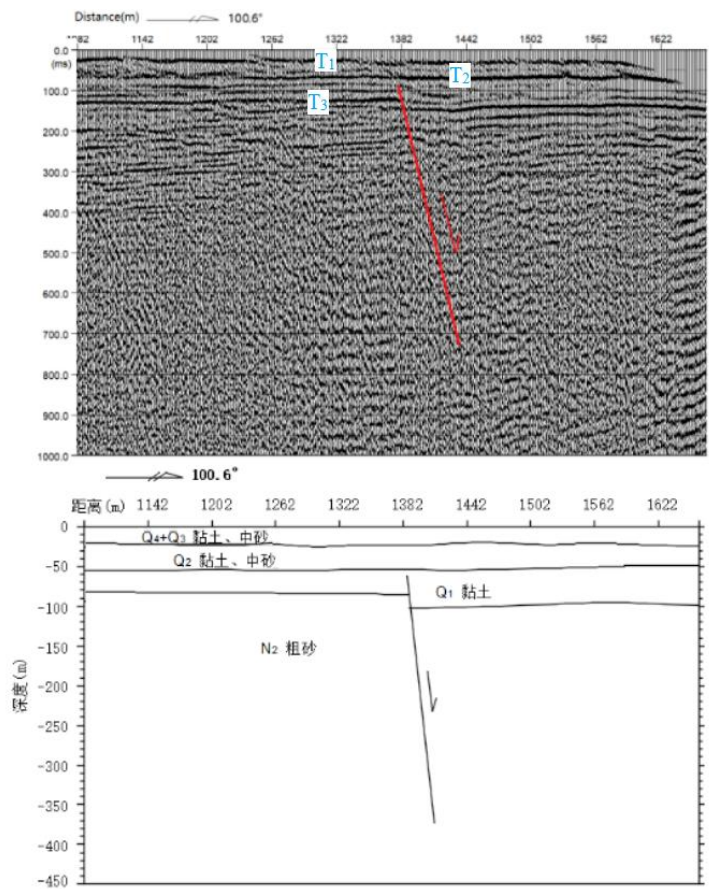


图 2.4-8 测线 2-2' 地震时间剖面及地质解释成果图（徐州天地岩土科技有限公司，2021）

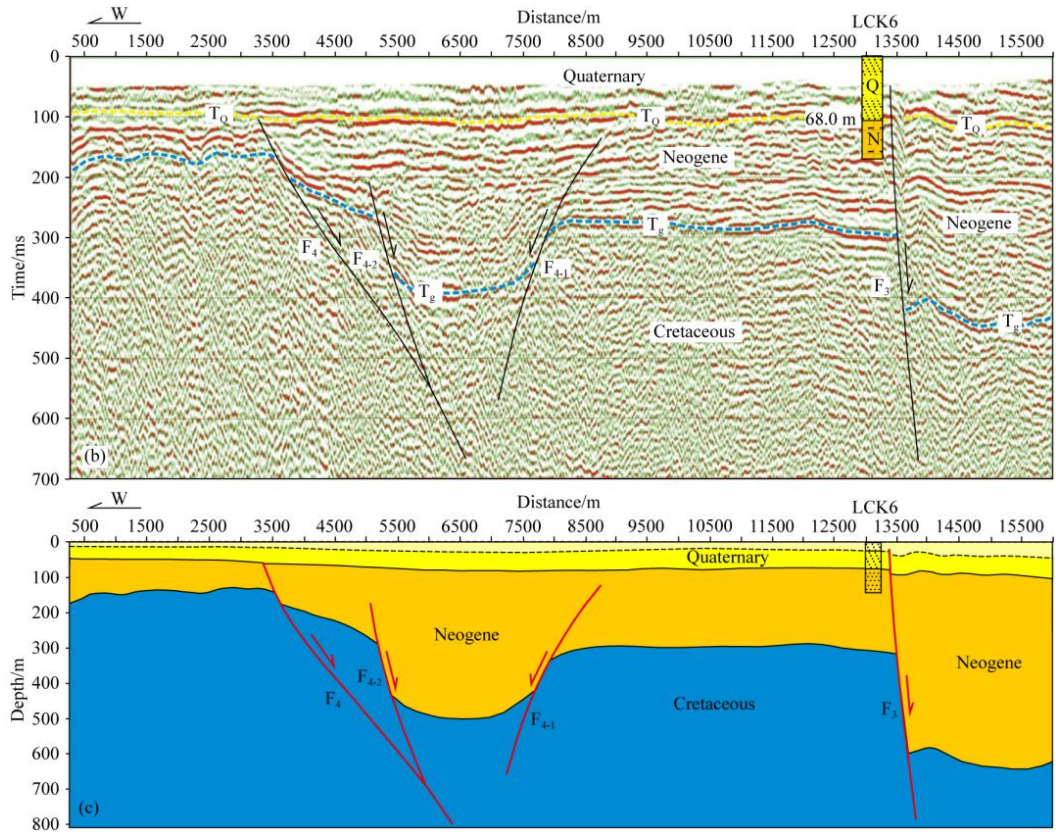


图 2.4-9 测线反射波叠加时间剖面及其深度解释（秦晶晶等，2020）

④ 郯部-葛沟断裂 F₁₋₄

该断裂在区域范围内涉及到两段，山东段称为郯部-葛沟断裂，江苏段称为窑湾-高作断裂（纪集-王集断裂）。

郯部-葛沟断裂为郯庐断裂带的西边界，在郯部镇东钟家南、寺山等地出露较好，断裂带平面出露宽度大于 400 m，断裂带陡立，岩石被强烈挤压破碎，常呈直立片状，局部发育揉皱，次级裂面、断层泥、断层角砾岩、构造透镜体等十分发育。综合剖面断裂的形态来看，郯部-葛沟断裂的上断点已穿透基岩顶面，波及了第四纪早期地层，为第四纪早更新世断裂。

纪集-王集断裂（或窑湾-高作断裂），为郯庐断裂带最西侧的主干断裂。该断裂在重力上为一条北北东向异常梯级带，经钻孔等资料证实，断裂两侧的正、负异常区分别代表高密度的灰岩（Z）和低密度的砂页岩（K）；七十年代煤田物探部门的人工地震、电法成果亦反映该断裂的存在，其破碎带具有一定的宽度。它控制了两侧的地质构造发展和沉积作用，断裂西侧主要分布上元古界地层，缺失大部分中、古生界；东侧为白垩纪断陷盆地，沉积了厚 1000 m 的白垩系。新构造运动时期，断裂显示继承性活动，对新近纪沉积起明显控制作用：古近系在东侧断陷盆地内沉积厚达 50 m~100 m；在断裂西侧则缺失。第四纪以来，断裂活动强度已经减弱，第四系厚度在断裂东侧为 100 m~130 m，西侧为 60 m~80 m。

秦晶晶等（2020）在宿迁附近对郯庐断裂带进行了浅层地震勘探，认为窑湾-高作断裂（图 2.4-9 中 F₄）为东倾的正断层，错断了第四系底界反射波 T_Q 之下的地层，对新近纪沉积有明显的控制作用。从剖面浅部的反射波组展布特征分析，推测该断裂可能为第四纪早期断裂。在窑湾-高作断裂的下降盘，浅层地震剖面还揭示了 2 条相向而倾的断裂（图 2.4-9 中 F₄₋₁、F₄₋₂），这 2 条断裂发育在新近纪地层中，与断裂窑湾-高作断裂共同构成“Y 字形”的断层组合。

综合分析，推断该断裂为第四纪早中更新世断裂。

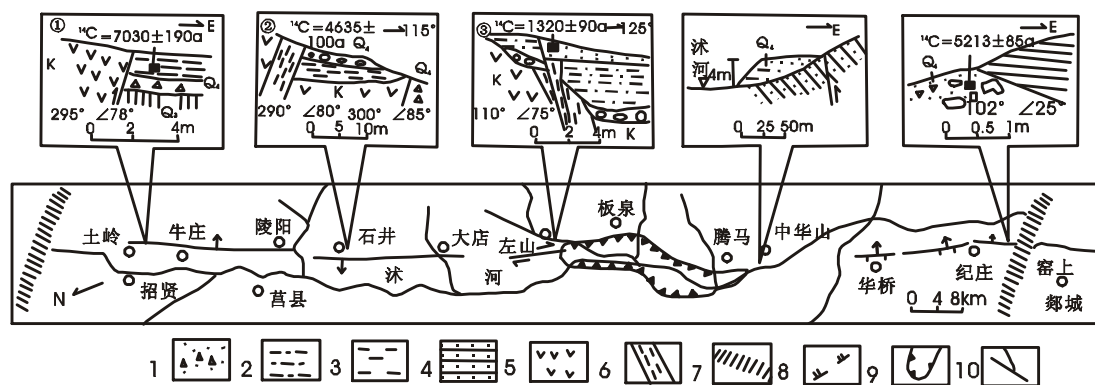
⑤ 安丘-莒县断裂 F₁₋₅

该断裂在区域范围内涉及到两段，大部分属于江苏段，称为马陵山-重岗山断裂（桥北镇-宿迁断裂），北部为山东段称为安丘-莒县断裂。

安丘-莒县断裂起于潍坊止于嘉山，全长 360 km，是郯庐断裂带晚第四纪活动的主要断裂，并是 1668 年 8½ 级郯城大地震的发震构造（李家灵等，1994）。该断裂晚第四纪以来活动最为强烈，总体可分 3 大段，即安丘-昌邑段、莒县-郯城段和新沂-泗洪段。

安丘-昌邑段：在安丘向北以至莱州湾海域内安丘-莒县断裂仍是占主导地位的活动断裂，对地震活动的控制作用不可忽视，可能与公元前 70 年安丘 7 级地震的发生具有密切关系。

莒县-郯城段：由两条平行的断层组成，在石埠子形成局部断陷盆地。断层发育在上白垩统砂砾岩中，形成数米的断层陡崖，为逆冲走滑性质（李家灵等，1994）。在莒县西北沿断裂形成长达 2 km 的断裂陡坎，坎高 1 m~3 m，并右旋断错冲沟，扭距一般在 5 m 以上，其东边一支还断错沭河 I、II 级阶地（中国地震局地壳应力研究所，1999）。沿该段发生了 1668 年郯城 8½ 地震。在地表形成长达 120 km 的地震断层（图 2.4-10）。



1砂；2松散砂砾层；3亚砂土；4砂质亚粘土；5砂岩；6火山碎屑岩；7断层泥；8断层崖；9盆地；10河流（m）

图 2.4-10 安丘-莒县断裂 1668 年郯城 8½ 级地震断层平面图

（中国地震局地壳应力研究所，1999）

新沂-泗洪段：又称马陵山-重岗山断裂。该断裂位于 F_{1-1} 、 F_{1-2} 之间，它由苏鲁交界的沭河向南到马陵山、晓店、宿迁、重岗山，过淮河进入安徽紫阳一带，地貌形态反映比较明显。也有人认为其位置仅在南马陵山东侧至宿迁城一段内，未向南延伸，将宿迁以南的过重岗山西侧的断裂称作 F_{1-2} 断裂。据 1958 年和 1978 年嶂山闸抗震加固工作成果，新沂河南、北两岸地质剖面均显示该断裂错开了晚更新世地层：1984 年宿迁复线船闸工程进行的钻探和大量开挖工作揭示该断裂系由数条平行的断层组成，断层错断晚更新世棕黄色含有砂砾的亚粘土层，但晚更新世顶部地层及全新世灰黑砂砾石层、淤泥质粉砂层未见错断和挠动现象。上述现象在桥北镇、蔡林及知青农场等地地质剖面上有类似的表现，它们都存在王氏组紫红色砂岩逆冲到晚更新世黄土之上这一特征，挤压破碎带宽度从几米到 50 多米，带内发育挤压扁豆体、断层泥。1994 年在宿迁市地震小区划工作中，选择了嶂山闸东约 1 km 处的新沂河南岸、晓店东水库坝下菜场和茶壶窑等地进行开挖观察，并对断层泥和断裂两侧及上覆地层进行年龄测试，结果表明该断裂最新活动时代为晚更新世晚期。

但对断裂最新活动时代尚有不同认识，据李起彤等对郯庐断裂江苏段 1: 5 万活动断裂填图工作研究，桥北镇南马陵山东侧与王氏组呈断层接触的黄色粉砂质亚粘土 ^{14}C 测龄值为 6000 多年（图 2.4-11）；晓店水库东侧冲沟内与白垩纪青山组接触的松散地层 ^{14}C 测龄值为 2000 多年；在重岗山西侧，可见砖红色砂岩（ K_2w ）逆冲到西侧土黄色粘土层（ Q_3 ）之上（图 2.4-12），断裂挤压带发育挤压扁豆体和断层泥，上覆一层黑褐色粘土层（ Q_4 ），在断层上方发育 Q_4 冲积层

构成的楔形体，由此认为该断裂最新活动时代在全新世。

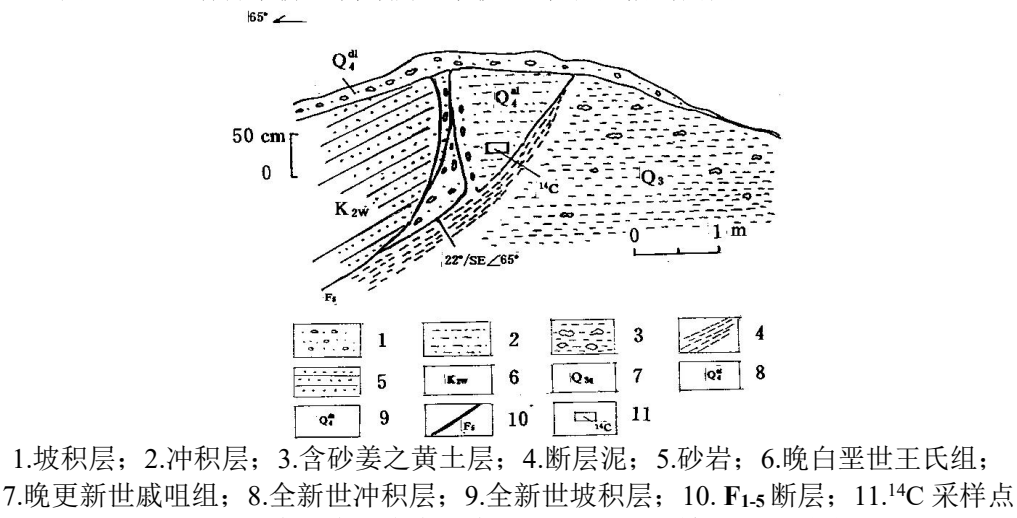
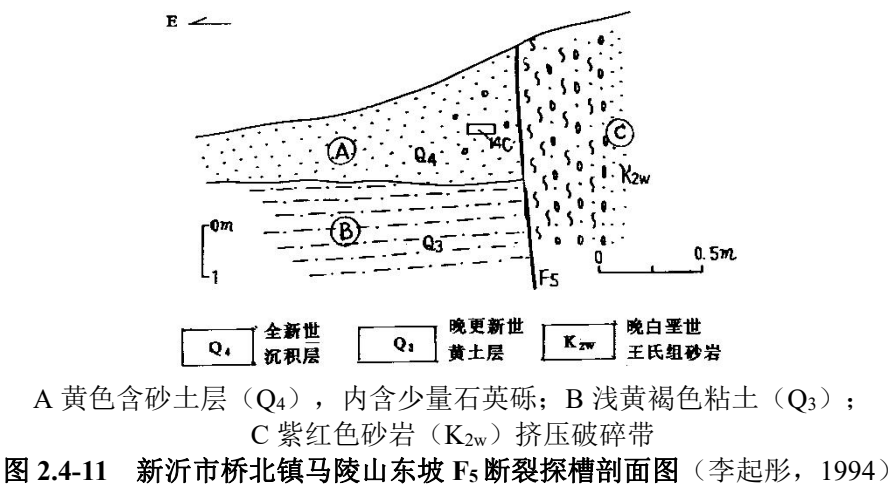
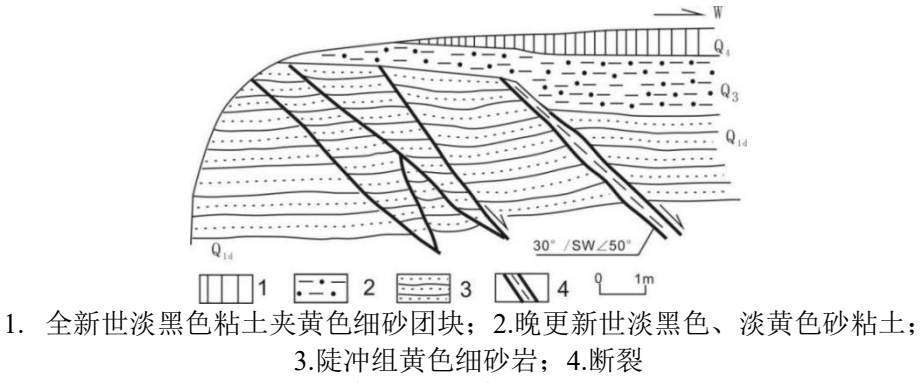


图 2.4-12 泗洪县重岗山乡何庄东重岗山西缘 F₁₋₅ 断裂剖面图 (李起彤, 1994)

闵伟等(2010)在泗洪孙牌坊、大小红山、狼窝岗等地开挖了探槽(图 2.4-13)，剖面显示新近纪地层强烈变形，断裂发育，断裂带宽度大于 10 m。第四纪以来断裂活动明显减弱，表现为沿断裂分布的早更新统豆冲组产状平缓，断错第四系的断层规模都不大，沿着早期形成的挤压破碎带个别断面发生逆右旋错动或正断，如狼窝岗剖面、大红山 TC3 剖面，从断层的地貌特征及断错最近地层分析，郑庐断裂淮河以北段为晚更新世以来活动明显。



郑庐断裂带安丘-莒县断裂山东段公认为全新世活动断裂 (高维明等, 1988；

晁洪太等, 1992, 1994; 李家灵等, 1991, 1994)。如前所述, 安丘-莒县断裂新沂以南是否为全新世活动断裂目前还有不同认识。郯庐断裂峰山以南的安徽段经 1: 5 万活动断裂填图研究, 认为是第四纪早期活动断裂(汤有标等, 1992), 晚更新世以来不活动。最新的研究成果认为断裂全新世活动段一直延伸到女山湖(姚大全等, 2017), 女山湖以南未发现断裂晚第四纪活动证据(杨源源等, 2019)。

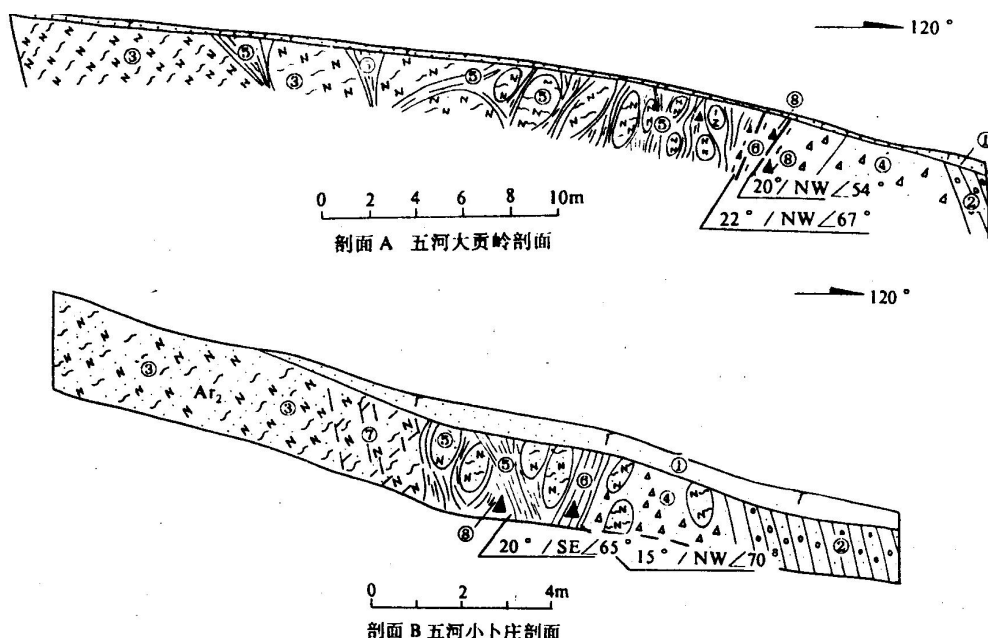


图 2.4-14 郯庐断裂带五河-嘉山段西界断裂控制剖面(汤有标等, 1992)

新沂河南岸剖面上见到断裂东侧青灰色富集大块钙质结核黏土层逆冲于西侧黑褐色黏土之上(图 2.4-15), 其逆冲量近 1 m。富集钙质结核黏土层为本区域典型的晚更新世地层。根据宿迁活动断层探槽项目中在本处所开挖探槽的测年结果, 层③黑褐色黏土为全新世地层, 该层光释光测年结果在 $(13.4 \pm 0.7) \text{ ka B.P.} \sim (3.8 \pm 0.3) \text{ ka B.P.}$ 。本剖面代表了断裂在本处造成逆冲量约 1 m 的一次全新世古地震事件(江苏省地震工程研究院, 2020)。

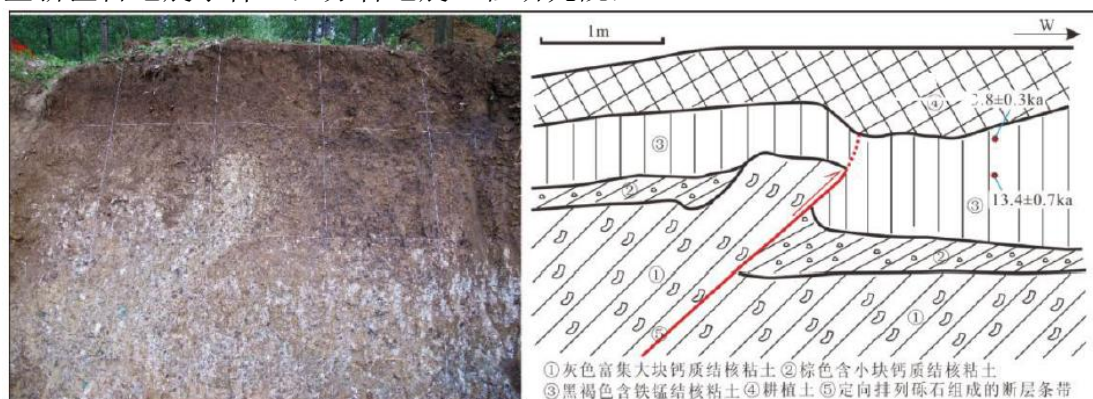
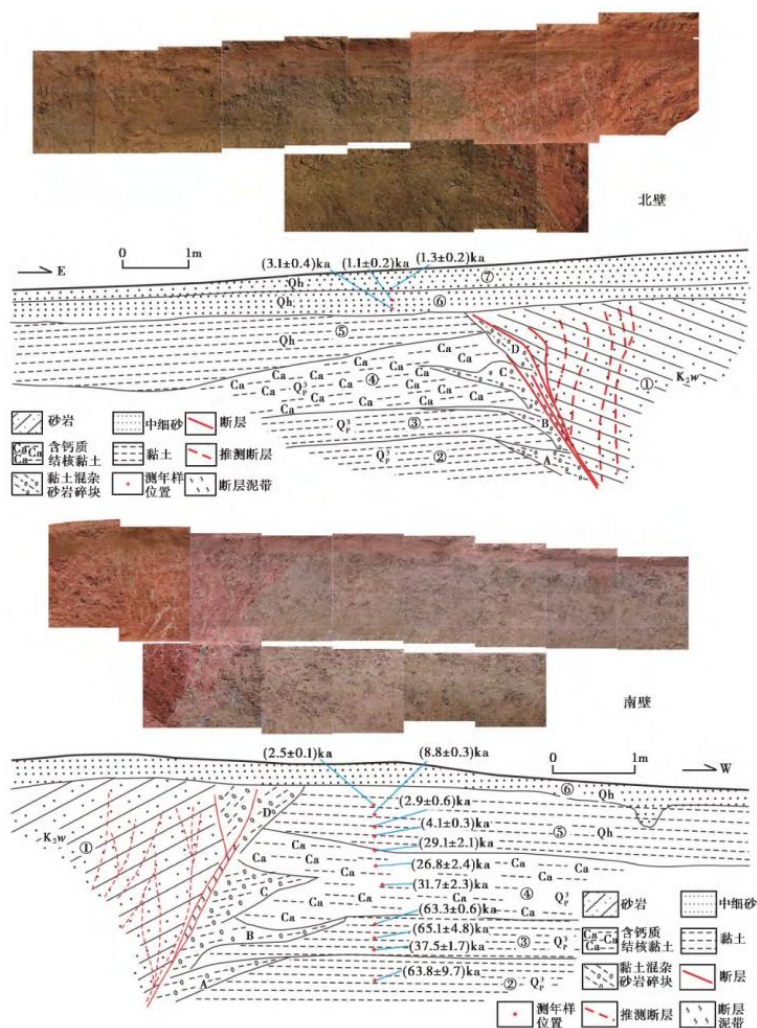


图 2.4-15 新沂河南岸岸边断裂(张鹏等, 2015)

张鹏等(2019)在重岗山西侧的后陈村开挖了一处探槽, 清楚地揭示了马陵山-重岗山断裂的存在。该处断裂东侧为王氏组砂岩, 靠近断裂处较为破碎; 西

侧为黄褐色、灰褐色黏土。断层倾角约 50° ，向下变陡。断层顶部被约 0.5 m 厚的砂层所覆盖（图 2.4-16）。由剖面上发育的崩积楔判断，本探槽共揭示了 4 次古地震事件，崩积楔由红棕色亚黏土夹小块砂岩碎块组成。最后一次古地震事件发生在层⑥沉积之前。结合地层发育特征、历史大震记录和地质资料综合分析，判断层⑤为全新世早中期地层，其测年结果取 $(8.8 \pm 0.3) \text{ ka} \sim (4.1 \pm 0.3) \text{ ka B.P.}$ 。层⑥覆盖于断层之上，水平层理发育，表明该层沉积后断层没有更新的活动，该层底部的光释光测年结果为 $(3.1 \pm 0.4) \text{ ka B.P.}$ 。因层⑥水平砂层经过充分搬运、曝光，其光释光测年结果比快速堆积的黏土层（层⑤）更可靠，故将 $(3.1 \pm 0.4) \text{ ka B.P.}$ 作为最新一次事件的上限时间更为合理（张鹏等，2019）。

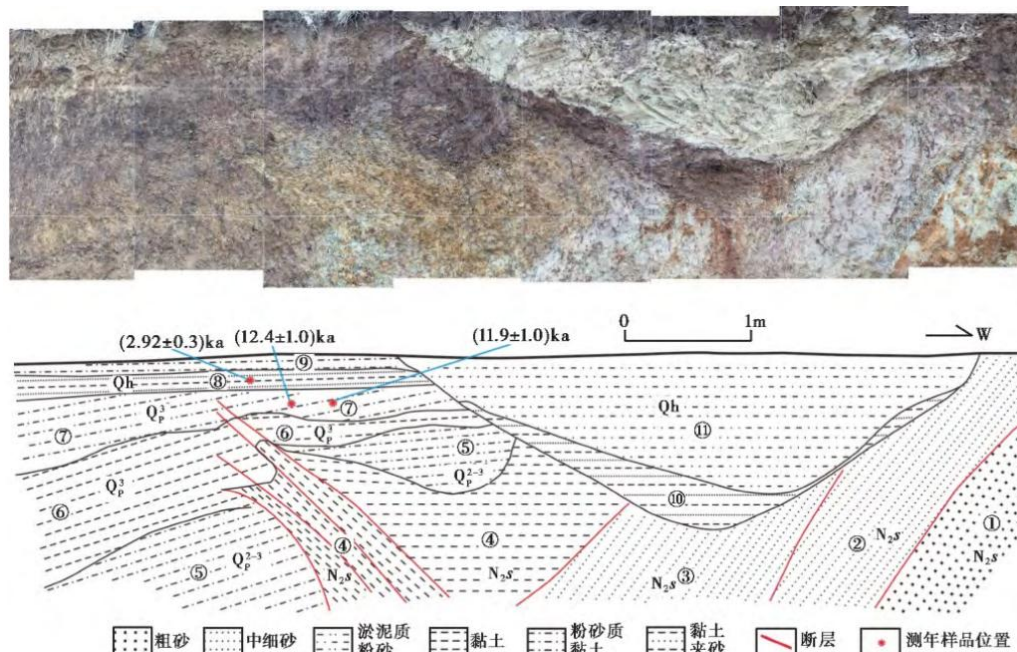


①红色砂岩破碎带，高度风化，发育灰绿色条带；②黄褐色黏土；③棕黄色夹青灰色黏土；④棕黄色黏土，含铁锰结核，发育圆形、粒径为 2 cm~4 cm 的白色钙质结核；⑤灰褐色黏土，含铁锰结核，较下部黏土更为松软，黏性更大；⑥棕褐色中细砂，含大量成层状铁锰结核，水平层理发育；⑦棕黄色细砂，水平层理发育，夹小砾石层。A、B、C、D 为崩积楔，由红棕色亚黏土组成，含小块砂岩碎块，对应了推断的 4 次古地震事件

图 2.4-16 重岗山西侧后陈村探槽镶嵌照片及解译（张鹏等，2019）

曹筠等（2015）在宿迁市合欢路旁开挖探槽，发现该处马陵山-重岗山断裂

新构造时期以来总体为正断层，在第四纪晚期反转为逆断层，其最新一次活动时间在 (5.9 ± 0.3) ka B.P. 之后。张鹏等（2019）在宿迁市合欢路北侧新开挖了合欢路北探槽。该探槽位于曹筠等（2015）所开挖探槽北侧约 100 m，该处地貌上显示为西高东低、高约 2 m 的 SN 走向陡坎。经探槽验证，该陡坎位于主断层西侧 10 m 的位置，其形成与断层相关，但并非因断层的最新活动而形成。探槽中断层发育于新近系宿迁组与第四系土层之中，马陵山-重岗山断裂由多条断层组成，其东支断层表现为逆冲性质，进入第四系内部，并断错了层⑥和层⑦，代表了其最新一次活动（图 2.4-17）。而厚约 10 cm 的层⑧黄棕色细砂夹黏土未被断层断错，水平成层性好（图 2.4-18），则表明在断层最新一次活动后，又沉积了层⑧和层⑨，其后在断层带上方的软弱带处形成冲沟，并沉积了层⑩和层⑪。在层⑦中获得的 2 个光释光样品的测年结果为 (11.9 ± 1.0) ka B.P. 和 (12.4 ± 1.0) ka B.P.，由此判断地层时代为晚更新世末期-全新世早期；在层⑧中获得的 1 个光释光样品的测年结果为 (2.92 ± 0.3) ka B.P.，判断为全新世晚期。该处马陵山-重岗山断裂的最新活动时代在 (2.92 ± 0.3) ka B.P. 之前， (11.9 ± 1.0) ka B.P. 之后。本处断层形态总体也具备花状构造的特征，判断断层最新一次活动为走滑兼具逆冲性质。



①黄绿色、灰白色粗砂；②淡紫色细砂，夹深褐色黏土条纹；③灰绿色中细砂，夹棕色黏土条纹；④棕黄色黏土，含少量钙质结核，夹灰绿色条纹；⑤褐色砂质黏土，底部含大量砾石；⑥褐色黏土，发育竖向条纹，局部黑褐色，含较多铁锰结核；⑦灰褐色粉砂质黏土，含铁锰结核；⑧黄棕色细砂夹黏土，厚约 10cm，水平成层性好，夹大量小砾石；⑨黄褐色粉砂质黏土，厚约 6cm；⑩褐色黏土夹砂，成层性好，底部堆积大量砾石；⑪灰绿色淤泥质粉土、粉砂

图 2.4-17 宿迁合欢路北探槽南壁镶嵌照片及解译（张鹏等，2019）



图 2.4-18 探槽南壁局部，层⑧未被断层所断错（张鹏等，2019）

区域范围内的郯庐断裂带为鲁苏沂沭段部分，从断层的地貌特征及断错最新地层分析，淮河以北的鲁苏沂沭段晚更新世以来活动明显，最新活动时代为全新世，特别是 F_{1-5} ，其全新世活动段一直延伸到女山湖南侧（姚大全等，2017）。其它主干断裂（ $F_{1-1} \sim F_{1-4}$ ）淮河以南的南段没有发现断错第四纪晚更新世的剖面，断裂破碎带胶结坚硬，普遍被晚更新世以来洪积砾石层覆盖，结合前人研究结果，认为郯庐断裂带（除 F_{1-5} 为女山湖以南外）淮河以南段最新活动时代为第四纪早期。总之，郯庐断裂带中、南段的地震活动性具有向南逐渐减弱的特征。区域范围内的郯庐断裂带具有发生强破坏性地震的深、浅部地质构造背景，要特别注意这一地区未来发生强破坏性地震可能性及其对近场区的影响。

（2）孙祖-铜冶店断裂 F_2

西起铜冶店，向东经小辛庄、上温村、龙廷、岸堤水库、孙祖到达沂河并于郯庐断裂带相交汇，断裂呈 NW 走向，倾向南西。该断裂龙廷以东段，第四纪没有活动迹象，龙廷以西段是莱芜盆地的控盆断裂之一，第四纪活动明显（郑德顺等，2013）。莱芜市大洛庄村北的断裂剖面显示，基底为未变形变质的黑云二长花岗岩，上覆第四纪沉积地层，发育一组呈花状构造特征的 NWW 向高角度张扭性正断层，断层控制第四纪的沉积（李少俊等，2018）。在铜冶店簸箕山北所见此断层派生的北东向小断层错断了晚更新世地层（晁洪太等，1992）。跨断层冲沟和河流有左旋扭动，例如在小辛庄和前孤山南可见断层明显地错断冲沟，水平断距分别达 5 m 和 7 m，因此该断裂为晚更新世断裂。

（3）蒙山山前断裂 F_3

蒙山山前断裂西起公家庄，向东与郯城-庐江断裂带交汇，走向北 60° 西，倾向南西，倾角 $45^\circ \sim 85^\circ$ ，控制南侧中生代平邑盆地的发育，该断裂断错临城夷平面，并发育断层崖，在山东费县资丘乡杨庄水库剖面，断错了年龄距今 $(4.41 \pm 0.34) \times 10^4$ a 的砂砾石层，但断层上覆 4020 a 的全新统淤泥未断错（国家

地震局地质研究所, 1997)。断裂东部通太庄至崖头一带, 断层发育充填楔, 可能是晚更新世末或全新世早期活动产物, 表明该断裂最新活动在晚更新世末。

(4) 铁佛沟断裂 F_4

铁佛沟断裂是一条区域性断裂, 走向为近东西。在徐州北铁佛沟一带, 该断裂走向东西, 由 3 条次级断裂组成, 沿断裂局部地段发育了古近纪断陷盆地。铁佛沟断裂从微山岛北侧通过, 在微山岛可见到该断裂的断层带, 断层走向北 80° 东, 倾向南南东, 倾角 50° 。在断层带内有 25 cm~50 cm 的断层泥, 断层泥中砾石已压扁、拉长, 并可见紫色和黄色断层泥相间成条带状。次级挤压面指示断层上盘(南盘)上冲, 显示早期挤压特征, 后期该断裂已具正断性质。在古侵蚀夷平面上沉积的第四系(Q)未受断层影响, 说明铁佛沟断裂虽控制了晚侏罗-古近纪沉积, 并使官庄组(E)发生冲断, 但未错断第四系沉积。此外, 沿铁佛沟断裂很少发生破坏性地震, 现代小地震活动亦很微弱。综合分析推断铁佛沟断裂是一条新近纪早期(N)断裂, 自第四纪以来基本已停止活动。

(5) 邵店-桑墟断裂 F_5

该断裂是鲁苏断块区内的一条主要隐伏断裂, 西起邵店、侍岭镇一带, 经新沂河、颜集镇附近出图幅。在图幅外经颜集、桑墟、新坝、板桥南入黄海, 走向北 $45^\circ\sim 55^\circ$ 东, 倾向南东, 倾角 $30^\circ\sim 65^\circ$ 。该断裂由 2 条相互平行的断裂所组成。据江苏省地震局 1997 年物、化探和钻探资料并结合其它资料综合分析。该断裂控制了沭阳盆地的形成和发展。盆地内沉积的 K_2 -E 红色陆屑建造, 厚达 2000 余米。

断裂西北侧缺失 K_2 、E 地层, N+Q 沉积之下的片麻岩与断裂直接接触。沿断裂带存在一条明显的重力异常梯级带。重力上延 5 km 梯级带消失, 表明断裂切割地壳不深, 是一条基底断裂。据江苏省地震工程院完成的宿迁道坊村地震勘探 A—A'测线剖面资料, 在 CDP152 号桩点附近有断裂显示, 断到宿迁组(N_2s)下部, 以上地层未被错动。断面倾向南东, 倾角约为 $60^\circ\sim 65^\circ$ 。这与沭阳盆地发展史相一致, 在新构造期(N_2 -Q)盆地已消失, N-Q 沉积受苏北-南黄海盆地沉降的影响, 由南向北超覆在 E、 K_2 、Ar-Pt 不同时代地层之上, 表明邵店-桑墟断裂在新构造期已趋于稳定, 因此推断邵店-桑墟断裂为前第四纪断裂。

(6) 新泰-蒙阴断裂 F_6

该断裂自西向东经过刘家庄、马固头、尚庄及青驼等地, 与沂沭断裂带交汇。走向 $300^\circ\sim 325^\circ$, 倾向南西, 倾角 $50^\circ\sim 70^\circ$, 左旋正断性质, 全长约 100 km。断裂北段处于隐伏状态且活动性相对较弱, 推测为前第四纪断裂。蒙阴县尚庄北见断裂活动, 其产状为 $230^\circ\angle 82^\circ$, 断裂西侧为石炭系紫红色砂页岩, 断裂东侧为太古代花岗片麻岩, 断裂断错晚更新统棕红色粘土, 没有断错全新统亚砂土层。

该断裂控制着第四纪盆地的发育，对第四纪中、晚更新统地层有控制作用。尚庄以东的隐伏段，第四纪晚更新统受沂沭断裂带活动的影响和牵动，形成长达 25 km 的活动段。该断裂在航磁图与布格重力异常图上无明显显示，推测为壳内断裂，且断距不大。上述结果表明，新泰-蒙阴断裂最新活动时代为晚更新世，全新世以来没有活动。

(7) 上五井断裂 F_7

上五井断裂南起平邑仲村，北至临朐上五井，走向北东，倾向南东，陡倾角，区内长约 17 km，该断裂北段控制临朐新生代断陷盆地，其 N+Q 厚度超过 290 m。断裂切割莱芜断裂、新泰-蒙阴断裂等，在临朐西北宋家阎见到断裂错断了 Q_2 砾石层、亚粘土层及 Q_3 黄土，其断距达 4 m。南段沿断裂形成北北东向新隆起，是沂河水系和微山湖水系的分水岭。沿断裂曾发生 1892 年临朐 6 级地震（出区域）和 1831 年新泰 4 $\frac{3}{4}$ 级地震。综合分析，推断上五井断裂是一条晚更新世活动断裂。

(8) 苍山-尼山断裂 F_8

苍山-尼山断裂走向北 50° 西，倾向南西，倾角较陡。据山东省地震局调查，在平邑白彦官庄西见太古界变质岩逆冲到 Q_3 地层之上（图 2.4-19），沿断裂面发育有 50 cm~60 cm 的断层泥带，并挤入到 Q_3 褐黄色亚粘土中，断距为 1.5 m，其上全新世砂土层未见错断，在城前等地也有类似发现。在苍山以东全为第四系所覆盖，据钻孔资料分析该断裂仍然存在。

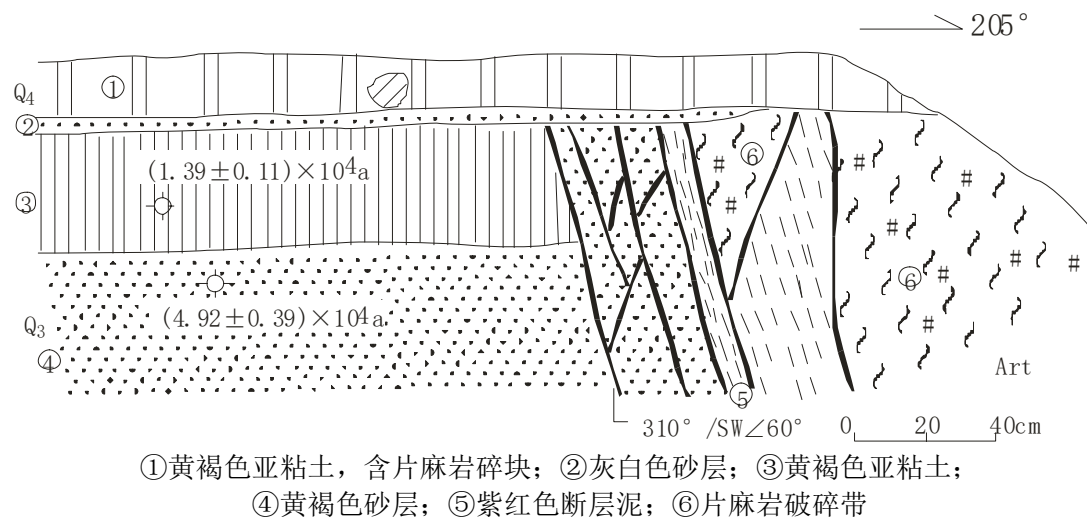


图 2.4-19 白彦官庄苍山-尼山断裂剖面（王志才等，2001）

此外，在苍山-尼山断裂东端，即在山左口西北部的翻水站可以见到该断裂露头。苍山-尼山断裂在地貌及水系发育上均有明显显示。小震沿断裂带呈线性分布，1995 年在苍山北发生了苍山 5.2 级地震。综合分析，推断苍山-尼山断裂是一条晚更新世活动断裂。

(9) 相邸-高阁庄断裂 F_9

断裂总体走向北 $35^\circ \sim 40^\circ$ 东, 由相邸经文疃、黄墩、王世疃、户部岭至皇华店南, 全长约 110 km。在相邸-西书院 5 km 地段为分散小断裂面, 长数百米。西书院一带在北东向煌斑岩墙一侧变质岩中有宽 1 m, 走向北 30° 东的密集裂隙带。相邸西有厚达 7 m, $N35^\circ E$ 延伸的煌斑岩墙, 墙壁上具有水平擦痕的方解石薄膜, 说明燕山后期有活动, 但对更新世地层, 临城期夷平面无错动。在文疃南石河, 断裂发育在青山组流纹-安山岩中, 走向 70° , 北西倾, 倾角 80° 。断裂带宽 15 m, 擦痕明显。据擦痕判断断裂为逆冲性质, 从羽状裂隙和地层柔皱现象来看, 断裂有水平运动。断裂的活动性质属压扭性。断裂带东南盘影响带达数百米, 广泛发育破裂面与擦痕。断裂带上覆的第四系残坡积物无影响。黄墩东北塔岭一带主要发育 4 组断裂, 以 $N70^\circ E$ 断裂最发育, 往往被近南北向的断裂左旋错移数十厘米至数米, 被 $N30^\circ E$ 方向断裂追踪归并。断裂有 3 期擦痕, 第 1 期近水平, 第 2 期向西侧伏, 侧伏角 60° , 第 3 期平行倾向, 表明早期左旋平移转变为后期逆冲。各组断裂均未切穿第四纪地层, 唯北塔河谷受 $N70^\circ E$ 断裂控制, 但两岸并无明显的差异。洪河村一带有宽 100 余米的挤压破碎带。王世疃-高阁庄-柳家庄段断裂走向北 30° 东左右, 主断裂与方向、性质相同的小断裂构成宽 4 km~8 km 的断裂带, 断裂切割了燕山后期中-酸性脉岩。主断裂普遍发育碎裂岩、角砾岩、断裂泥、破劈理、韧性剪切带以及重晶石脉, 断裂带宽 50 m~400 m, 呈压性左旋平移。在柳家庄北见断裂剖面, 覆盖在断裂之上的晚更新世沉积物未被错断。

综上所述认为, 相邸-高阁庄断裂未发现第四纪时期的新活动证据, 是一条前第四纪断裂。

(10) 五莲-荣成断裂 F_{10}

五莲-荣成断裂简称五荣断裂, 它是苏鲁断褶带的边界断裂, 走向北东。五荣断裂被牟平-即墨断裂所截分为两段, 西南段在莒县招贤一带与郯庐断裂带斜接, 斜接处被胶莱盆地沉积层覆盖。近些年沿五荣断裂南侧相继发现了榴辉岩等超基性岩及韧性剪切带, 这是地体拼贴和陆-陆碰撞的产物。夹持在五荣断裂和淮阴-响水口断裂之间的苏鲁断褶带, 很多方面可与秦岭-大别山断褶带对比或类比, 两者分布在现在的位置, 有学者认为是华南华北碰撞造山(晚三叠世-早侏罗世)及郯庐断裂带左行平移运动的结果。综合分析, 推断该断裂是一条早第四纪断裂。

(11) 日照-胶南断裂 F_{11}

日照-胶南断裂亦称胶南断裂, 由日照至胶南, 呈北东向延伸, 长 270 km 左右。重力上延 40 km 仍有显示, 反应该断裂为一条地壳断裂。该断裂系由 1975

年航测资料推断的,显示为一条北东向高航磁异常带,异常值达 250 nT,宽度 5 km~9 km。地质上是一系列中酸性侵入岩体分布的位置,形成于太古代晚期,燕山期有强烈活动,侵入了大量中酸性岩体,在山东和江苏交界地区可见糜棱岩带。局部新地段新近纪(N)以来仍有活动,但不明显。多处见覆盖在断裂之上的晚更新世以来沉积层连续,未被扰动或错断,故推测断裂在第四纪晚期不活动,是一条早第四纪断裂(江苏省地震工程研究院)。

(12) 海头-千里岩断裂 F₁₂

海头-千里岩断裂是黄海海域最为重要的断裂之一,又称为泗阳-连云港-千里岩断裂或者赣榆-荣成断裂,其主体部分位于南黄海北部海域。它经过泗阳、韩山、海州,由赣榆东侧入海州湾延伸至灵山岛、长门岩岛、千里岩岛附近,向北达荣成以东海域,总体北东走向,长约 300 km。它是苏鲁超高压变质岩带的东南边界,印支期强烈挤压活动。断裂大致以朝连岛断裂为界,可分为 2 段,区域范围内为其北段,在日照东南海域内跨断裂布设的 3 条声波浅地层测线剖面(山东省地震局,2008),显示基岩面之上的第四纪地层横向连续性好,没有发现海头-千里岩断裂错断晚更新世地层的情况,声波剖面上晚更新世地层没有受到断层错断的影响,推测为第四纪早、中期活动断裂(山东省地震局,2008)。

(13) 盐城-南洋岸断裂 F₁₃

盐城-南洋岸断裂是盐城凹陷的南缘边界断裂,为第四系所覆盖,总体走向北东 50°左右,向海域延伸至东经 121°后形迹不明,陆区长约 60 km。该断裂形成于晚白垩世,主要活动时期在始新世末,具边断边沉积的生长性断裂活动特性,其中古近系被垂直断错达千米以上,新近系盐城组底部断距达 200 m~300 m,据江苏省地震工程研究院的地震勘探资料显示,断层断至第四系下部。历史上在盐城、大丰一带曾多次发生 4³/₄级~5.1 级中等地震,现代小震沿断裂活动较为明显。以往的认识该断裂为第四纪早、中更新世断裂。

符颖强(2018)认为该断裂位于城凹陷与建湖隆起的交界地带,并且跨该断裂布设了 2 条浅层高分辨率地震反射波法测线,对该断裂的活动性进行了研究。根据探测结果,盐城-南洋岸断裂有明显的断层反映,且主断裂最新活动时间在晚更新世早期。从时间剖面来看,在建湖隆起与盐城凹陷分界处,基岩面以下波组呈现明显的错断,且两边波组产状发生明显变化。在主断裂附近派生出分支断层,分支断层又派生出次级断层;次级断层一般分布于上盘,与分支断层、主断裂组成树状断层,如图 2.4-20 所示。在另外一条测线上沿主断裂派生出的分支断层位于凹陷内部,却没有派生出次级断层,但是在这类次级断层附近有数个波组发生错断、扭曲的现象,与断点现象类似,此类“断点”呈现上断下不断的迹象,即上部地层断点迹象明显,下部地层断点不明显或消失,如图 2.4-21 所示。因此

推测此类迹象为地裂缝的反映，有可能由过度抽取地下水或者重力差所引起。从这 2 条测线的时间剖面来看，断裂（或分支）断错了上更新统的底界，说明了断裂晚第四纪的活动性。

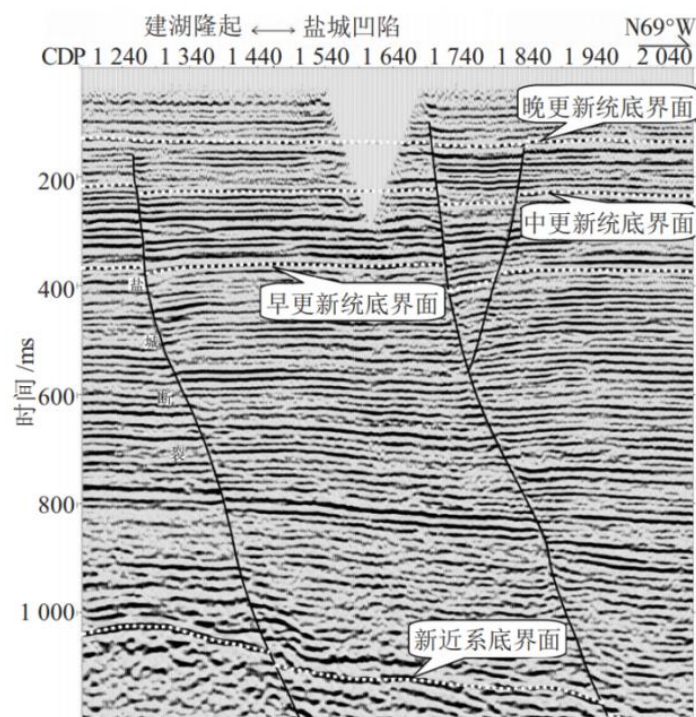


图 2.4-20 盐城-南洋岸断裂浅层高分辨率地震反射波法时间剖面 I
(位于盐城凹陷与建湖隆起的交界地带) (符颖强, 2018)

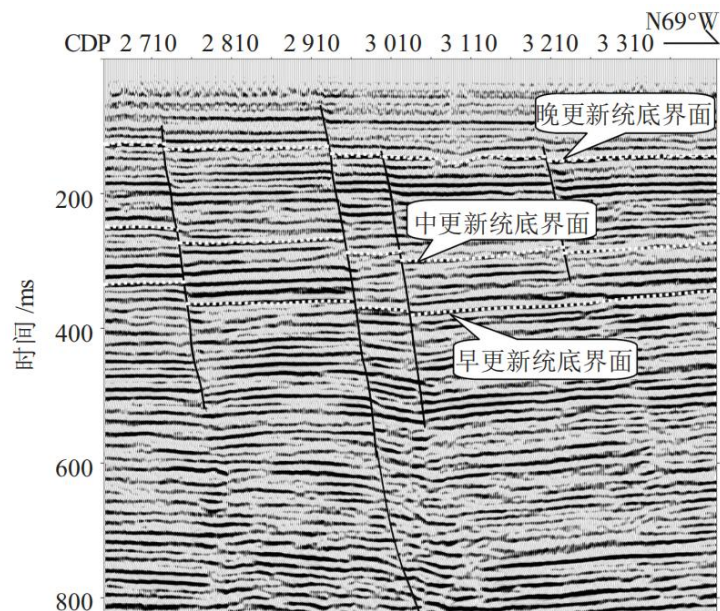


图 2.4-21 盐城-南洋岸断裂浅层高分辨率地震反射波法时间剖面 II
(位于盐城凹陷与建湖隆起的交界地带) (符颖强, 2018)

另外，在盐城市活动断层探测项目断层活动性鉴定专题验收会上确认了盐城-南洋岸断裂最新活动时代是晚更新世晚期（图3.4-22），虽然具体资料还没公开，但本次工作采纳盐城市活动断层探测项目的研究成果，将该断裂的活动性定为晚更新世活动。

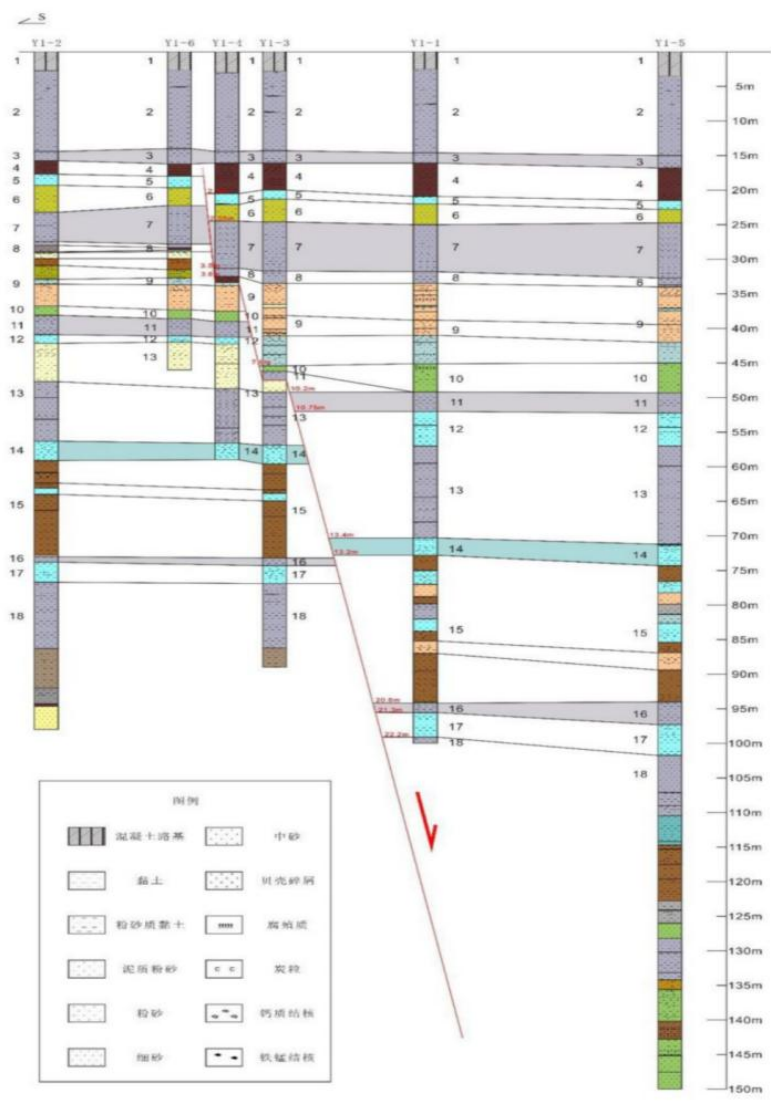


图 2.4-22 跨盐城-南洋岸断裂 Y1 钻孔联合剖面柱状图
(应急管理部国家自然灾害防治研究院，2020)

(14) 苏北滨海断裂 F₁₄

苏北滨海断裂亦称“苏东沿海断裂”或“南黄海 5 号断裂”，该断裂地处南黄海海域和苏北陆地过渡的滨海地区，走向北北西。它是苏北与南黄海新构造运动和现代构造运动的重要分界线，不仅控制了苏北海岸线的发育形态，断裂两侧构造线方向也有明显差异。依据江苏省地震工程研究院完成的《南黄海地震区划研究报告》（2001），苏北滨海断裂由三段组成，北段位于废黄河口外至射阳河口外约 15 km 的海域，长约 55 km；中段位于海丰农场海岸外 30 km~40 km 的暗沙-庄家沙一带，长约为 100 km；南段（区外）位于吕四镇东约 19 km 处的海域。沿苏北滨海断裂多处分布喜山期玄武岩，并错断多条北东东向断裂。选用海洋石油部门 1987 年所做的北东向 CL8714 剖面（图 2.4-23）进行上部资料的计算机再处理，结果显示该断裂带由数条断裂组成。无论从偏移剖面、迭加剖面还是瞬时相位剖面，皆可看出断裂切割了第四系。断裂附近历史上发生过十多次破

坏性地震。其中，中段活动性最强，曾发生 2 次 6.2 级和 3 次 5.0~5.9 级破坏性地震。1984 年发生的 6.2 级地震，使上海及江苏、浙江部分地区震感强烈。据上述资料综合分析，推断苏北滨海断裂中段为晚第四纪活动断裂。该断裂的北段研究程度较低，以往资料一般认为其为早第四纪断裂。朱孟浩等（2021）通过小多道地震探测技术，对苏北滨海断裂北段及附近海域进行探测，识别出 4 个反射界面，将研究区第四纪地层划分为 4 个地震层序，分别对应全新世、晚更新世、中更新世和早更新世 4 个地质时期。对照区域地质构造，对地震剖面断点进行分析，认为苏北-滨海断裂断裂错动的最新地层为晚更新世（图 2.4-24），因此推断苏北滨海断裂为晚更新世活动断裂。

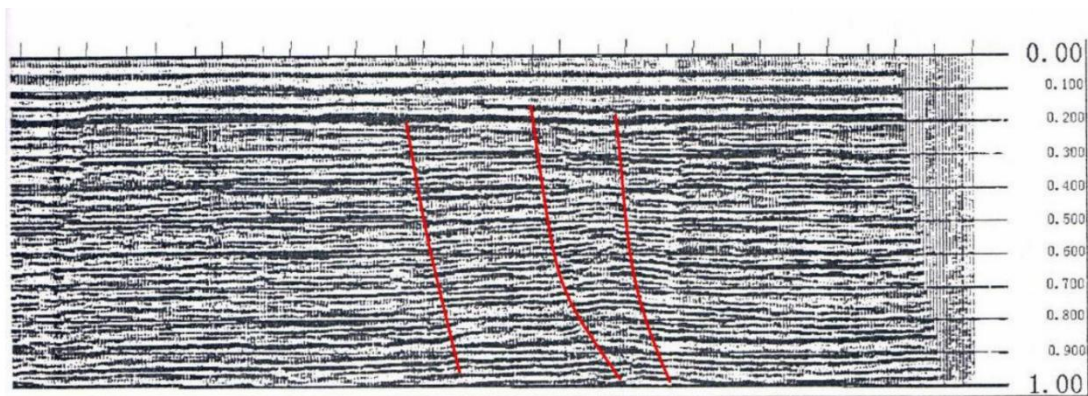


图 2.4-23 CL8714 剖面 1 s 以上重新处理的时间剖面（江苏省地震工程院）

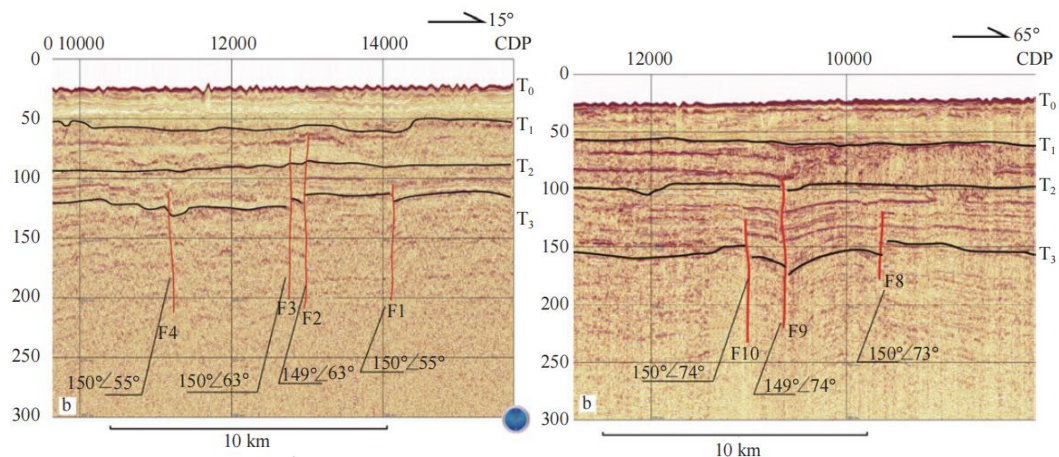


图 2.4-24 YC5 及 YC2 地震成像剖面及解释（朱孟浩等，2021）

（15）无锡-宿迁断裂 F₁₅

无锡-宿迁断裂经宿迁、洪泽、高邮、江都、常州、无锡至苏州以东，全长约 300 余千米，总体走向为南东-北西。其存在及新构造活动特性在地质地貌上均表现明显，断裂带构成了下扬子区地貌构造单元的分界线，断裂带以东为平原区，以西为低山丘陵区，断裂两侧地形高差明显，形成了明显的西高东低的地貌特征。由于断裂长期活动，沿断裂发育了一系列湖泊，从南至北有太湖、邵伯湖、高邮湖、洪泽湖、骆马湖等。断裂带以西有众多火山口分布。断裂切穿了其它方

向的构造，反映了最新活动构造特征。整个断裂大体可分为三段，即苏州-常州段（南段）、扬州-高邮段（中段）、洪泽湖-宿迁段（北段）；其苏南段习称苏锡常断裂。地震活动亦具分段活动特点，中段、北段活动较南段强。在无锡钱桥见该断裂错断了中、下更新统地层，但未错断上更新统残坡积层。综合分析，推断无锡-宿迁断裂为早第四纪断裂。

（16）淮阴-响水口断裂 F_{16}

淮阴-响水口断裂系华北断块区与扬子断块区的分界断裂，中新世时是苏北拗陷与鲁苏断块隆起的分界线。据重磁延拓资料推断该断裂深达 30 km~40 km，表明是一条规模巨大、多期活动的地壳断裂。据物探资料，在布格重力异常平面图上，表现为密集的梯度带。在视电阻率平面等值线图上表现为等值线密集带。在地震勘探反射剖面上亦清楚地显示出断裂是由 2~3 条次级断裂组成的断裂带。断裂走向北东 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，倾向南东，倾角大于 60° 。

据钻孔资料分析（图 2.4-25），该断裂北侧钻遇基岩为震旦系灰岩、角砾岩、前震旦系片麻岩；南侧钻遇地层为古近系、上白垩统碎屑岩。在 70 余米深断裂通过处钻遇到断层角砾岩。

据石油地震勘探解释剖面分析，推断淮阴-响水口断裂错动的最新地层为新近系盐城组（ N_{2y} ）下部。江苏省地震工程研究院在淮阴市地震小区划（1995）及淮江线高速公路工程地震烈度复核（1997）等工作中，曾对该断裂进行详细的物化探勘查。从地震勘探反射剖面可以看出，断层破碎带宽约 106 m，错断了代表新近系下部的 T_4 波组，而位于其上的代表 Q_{1-2} 、 Q_{3-4} 、 N_{2y} 上部的 T_1 - T_3 波组则连续未断。

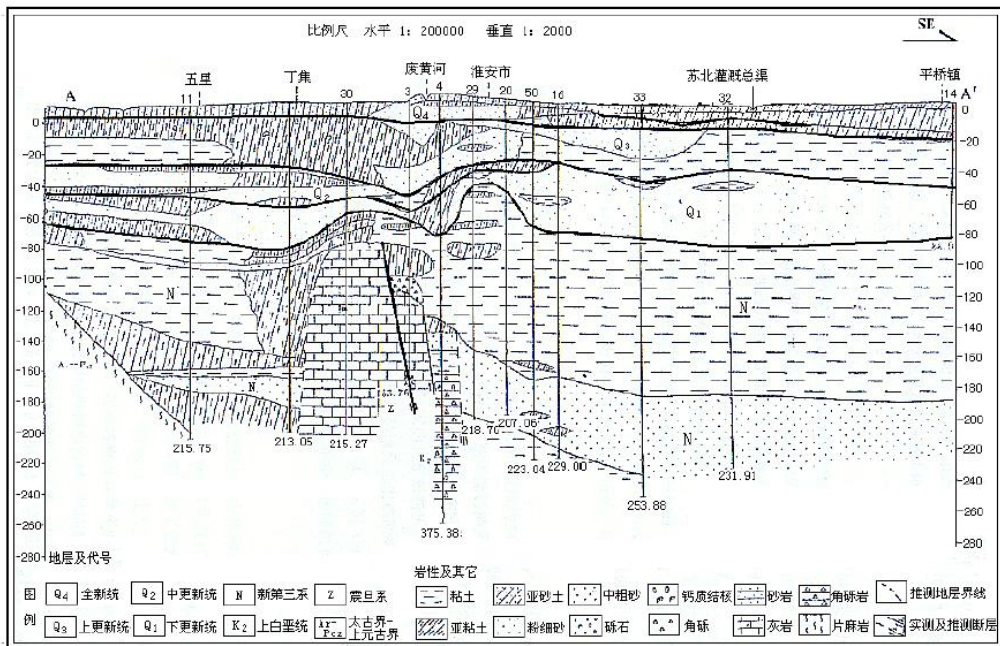


图 2.4-25 淮阴-响水口断裂构造剖面图

淮阴-响水口断裂的最新活动,除在地震勘探反射剖面上有清楚显示外,断裂两侧 N+Q 的厚度亦有差异。据钻孔地质资料,其东南侧 N 厚度达 160 m 以上,而西北侧仅 20 m 左右。在断层东南侧钻孔中于 147.5 m 深处见到新近纪玄武岩。第四系等厚线走向明显不受断裂影响,卫星照片上反映该断裂的线性特征亦不明显。此外,沿断裂未见小震活动成密集带的现象,自 1970 年以来,区内断裂附近仅发生几次小地震。

综上所述,推断淮阴-响水口断裂的最新活动应在新近纪早中期,所以该断裂是一条前第四纪断裂。

(17) 洪泽-沟墩断裂 F₁₇

洪泽-沟墩断裂全为第四系所覆盖,其西延部分称为洪泽-淮河断裂。该断裂长约 200 km,主要由两条相互平行的断裂组成,皆为正断层性质。该断裂构成了建湖隆起与洪泽凹陷、淮安凸起之间的边界断裂,沿断裂有玄武岩分布。据地震勘探深资料,洪泽-沟墩断裂已断至中地壳,在布格重力异常平面图上显示为较宽的密集重力梯度带。据地震勘探和钻探调查,该断裂总体走向北东 50°~60°,倾向北西,倾角 70° 左右。断裂东段错断了新近系 (N_{2y}) 下中部,未错断第四系,故是前第四纪断裂。

在洪泽-沟墩断裂西段,特别是杨庄-万集断裂以西地段,该断裂地貌上有明显的显示,卫片上线性影像清晰,自 1953 年以来,沿断裂曾多次发生 3~4 级地震。综合分析,推断的洪泽-沟墩断裂西段(淮安以西)为第四纪早、中更新世断裂,东段(淮安以东)为一条前第四纪断裂。

(18) 海泗断裂 F₁₈

该断裂为一条地貌特征不明显的隐伏断裂,是由 4 条北北东向基岩断裂构成的断裂带。位于海州-泗阳一带。断裂走向 NE18°,倾向 SE,倾角约 70°。据钻探资料,在第四系覆盖层之下,该断裂两侧地层岩性分布差异较大,断裂西侧以太古界-下元古界 (Ar-Pt₁) 深变质岩系为主,断裂东侧以中元古界 (Pt₂) 浅变质岩系为主。断层控制了几个晚白垩世至古近纪盆地的发育,但晚新生代地层

(N+Q) 厚度在断层两侧无明显差异,尤其是断层两侧第四纪海积层厚度也大体一致,另据近期地震勘探资料分析,晚新生代地层 (N+Q) 未见错断。故推断该断裂自新近纪以来已无明显活动。

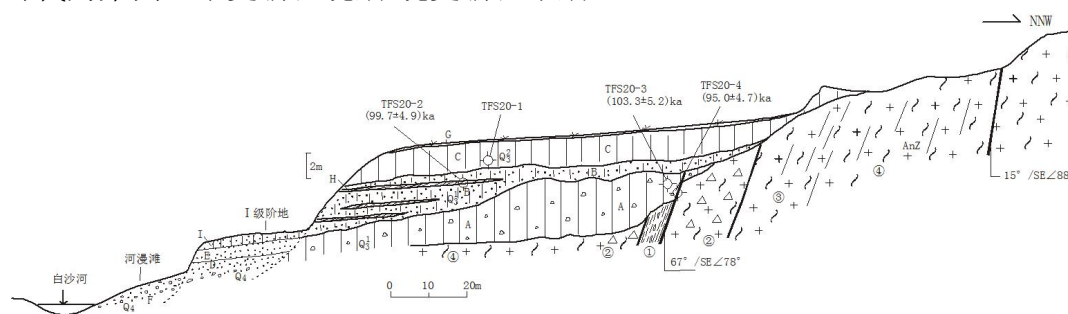
(19) 沂源-沂水断裂 F₁₉

苍山-尼山断裂、蒙山山前断裂、汶泗断裂几条近似平行的北西向断裂主要分布在沂沭断裂带的西侧,具有一定的等间距性,各条断裂的总体走向为北西向,南倾。中生代时期北西向断裂伴随着沂沭断裂带的强烈活动开始发育,古近纪时

期活动最强烈，错断了结晶基底、沉积盖层，以张性正断活动为特征，垂直断距达数百米，控制北西向断陷盆地的发育。新近纪时期，北西向断裂以压性逆断活动为特征，盆地抬升遭受侵蚀。第四纪晚期除苍山-尼山断裂中段具有较强的挤压逆冲活动外，其它断裂的活动段均显示弱的张性左旋扭动。总之，北西向断裂具有多期活动的特点。第四纪晚期各条北西向断裂具有分段活动的特征，且活动段的长度不同。北西向断裂主要最新活动时期为晚更新世末，这与沂沭断裂带强烈活动时期一致，表明本地区晚更新世末—全新世初是断裂活动的重要阶段。第四纪晚期北西向断裂活动的力学性质、运动方式与沂沭断裂带新活动相关，是在同一构造应力场作用下形成的，并与现代构造应力场一致。根据江苏省地震局资料，该断裂在区域范围内属于早第四纪断裂。

(20) 鳧山断裂 F₂₀

鳧山断裂东起苍山县向城镇附近，向北西方向经双河、徐庄镇北、东明镇后，转向向西延伸，经界河镇、岗头镇，错断微山湖，在南阳镇常李寨与菏泽断层衔接。断裂在平面上呈舒缓波状延伸，总体走向近 EW，东段倾向 SW，西段倾向 S，倾角约 70°~85°，长约 140 km。断裂东段错断的最新地质层位是 Q₁ 地层，说明该断裂在早更新世活动，中更新世以来不活动（山东同方防震技术有限公司，2018）。鳧山断裂西段在滕州马河水库大坝下游约 1 km 的水库溢洪道西侧岩壁上，断裂剖面清楚，断裂走向为 67°，倾向 S，倾角为 78°（图 2.4-26）。断裂带宽度较大，由断层泥、碎裂岩及破碎影响带组成，包括多条断裂滑动面。在最新断层泥中取样品 TFS20-4，测得热释光年龄为 $(9.50 \pm 0.47) \times 10^4$ a；断层面上覆的二级阶地的两个热释光样品测年结果分别为 $(10.33 \pm 0.52) \times 10^4$ a、 $(9.97 \pm 0.49) \times 10^4$ a（据山东省工程地震研究中心，2000）。综合分析认为，鳧山断裂最新活动时代为第四纪中更新世晚期-晚更新世早期。



①红色及浅黄绿色断层泥带；②碎裂岩带；③劈理化及破碎影响带；④斜长花岗片麻岩
A 红色残坡积含砾粘土；B 红色砾砂含粘土夹三层灰色粉土；C 红棕色亚粘土；
D 白色中砂；E 黄色中细砂；F 白色砾砂；G 耕植土；H 灰色粉土；I 灰色亚砂土

图 2.4-26 马河水库溢洪道西侧壁鳧山断裂断裂剖面图

（据山东省地震工程院，2000）

(21) 废黄河断裂 F₂₁

又称徐州断裂，是一条隐伏断裂，地质、物探资料均证实了其存在。整个断

裂由2~3条断层构成，宽约2 km，其主干断裂在徐州-铜山-睢宁（西部）一带为现今废黄河河曲所在，即西起夹河塞，经苏山头、徐州市，沿废黄河，经梁堂至双沟以北。断面产状，走向 $290^{\circ}\sim 295^{\circ}$ ，倾向南西。该断裂在地貌上表现十分明显，断裂北侧北东向山体到断裂附近突然消失成平原，平原标高35 m 左右，山体标高大于100 m，形成地貌上明显的断阶带。断裂两侧磁场强度不同，南侧北东向带状负异常至此变窄或消失。在北侧山体中，紧邻废黄河断裂的相同方向断裂中，断层泥及充填物经热释光法年代测定，其年代距今为 $(66.07\pm 4.8)\times 10^4$ a 和 $(23.05\pm 1.74)\times 10^4$ a，反映了该断裂在中更新世曾有过较明显的活动。沿断裂未发生过破坏性地震，现代小震活动也很少。据上述资料推测该断裂属第四纪中更新世曾有过活动的断裂，但自晚更新世以来基本已停止活动。

（22）宿北断裂 F₂₂

宿北断裂系物探解释、钻孔证实的隐伏断裂。沿断裂重、磁异常均反映为沿该断裂分布有近东西向的梯级带。断裂南北两侧在地层上差异较大：北侧东部为由震旦系及古生界组成的北东向紧密褶皱，西部据钻孔及电测深资料分析有厚达3000 m~4000 m 的古近系；南侧东部为由古生界组成的短轴宽缓褶皱，西部据钻孔资料揭示，在2910 m 之下，即为上太古界的霍丘群，表明北侧下降达数千米。综合分析推断宿北断裂最新活动期为新近纪。

该断裂是N₂+Q 等深线的突变带，断裂南侧N₂+Q 厚度急剧加深；汴河、扒河、濉河等东南向河注穿过断裂后均转向东，表明该断裂第四纪可能仍具微弱活动。陈昌武（2016）根据耿皇井田三维地震资料分析，发现宿北断裂耿皇支断层在第四系底界落差约10 m~50 m，时间剖面显示断面断入第四系浅部，运用“断层生长线”模型得出断裂最新活动时代为35 万年（中更新世）（图 2.4-27）。

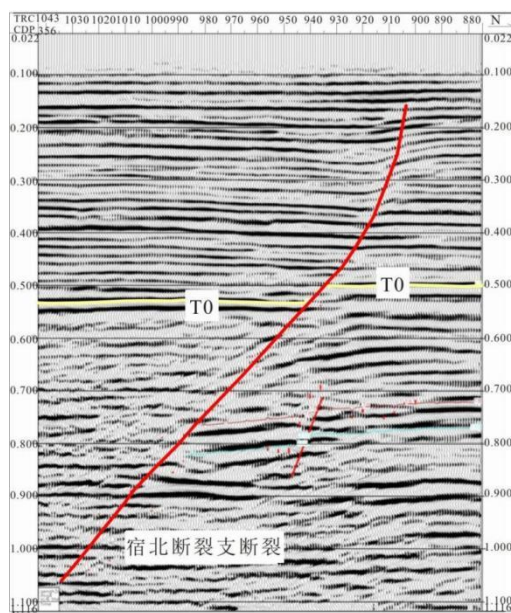


图 2.4-27 耿皇井田宿北分支断裂（陈昌武，2016）

(24) 汶泗断裂 F₂₄

该断裂总体走向 300°~320°，全长约 210km，自北西向南东经南长行庄南、北山阳、小胡阳庄、邵家屯、义山子、石桥等地，向东南则完全隐伏于第四系之下。山东省地质矿产局地质三队将该断裂向东隐伏于第四系之下的部分称为俄庄-玉皇庙断裂，分析认为石桥向东南，俄庄至后七沟一线，基岩和第四系差异不大，从地貌上看，沿断裂有洼地及水塘连续分布，且冉家屯村北柳青河由南北向转为北西向。

在后七沟至坡埠一带，基岩地质图上为北西向地质分界线，该线以南，自西而东依次出现止凤庄组灰黄色细粒砂岩、青山群火山岩。马朗沟组砂砾岩；该线以北为大面积砂岩，其西部见有少量青山群八亩地组安山岩，两侧左行平移约 8km，地质分界线北第四系厚度略大于线南。在石碑、玉皇庙、郑田庄一线，航片上为走向 310°，长约 8 km 的直线状影像。沿线断续分布有许多水塘、水沟。线南基岩埋深 0.50 m，线北基岩埋深 5 m~10 m，发育临沂组和黑土湖组。循此线形影像向南东延伸，即为临沭中生代盆地的北缘盆地。

在白泉村采石场和白泉村北冲沟中见汶泗断裂出露。主断面倾向南西，倾角 70°~80°，断层北东盘为寒武系厚层灰岩，有大理岩化现象，断层南西盘为新-古近纪砂砾岩和泥页岩，断裂性质为正断层。断裂破碎带宽数十米。断裂之上覆盖有厚 1.5 m~2 m 的晚更新世砾石层，混杂有亚粘土，该层没有被断错。断裂在地形地貌上表现为灰岩陡坎。断层南西盘新-古近纪砂砾岩和泥页岩破碎和风化强烈。新-古近纪砂砾岩和泥页岩中发育有一系列次级破裂面。

综上所述，近场区内该断裂没有错段晚更新世地层，断裂以正断活动为主，兼左行走滑；据地貌分析，断裂最新活动时代为早更新世，中更新世以来没有发生过错断地表的运动。

(24) 苍山断裂 F₂₄

该断裂位于金桥屯-苍山-沙元一带，走向近南北，自北向南断续出露于许油洞、新庄、黑土湖、矿坑、金桥屯东、高家庄、圈里等地。据省地质五队资料，该断裂宽 3 m~20 m，最大断距 1500 m，明显错断的最新地质体为新近系，倾向多变，一般西倾，倾角 60°~80°，断裂具清楚的挤压扭动特征，断裂带内构造角砾岩发育。在矿坑村北采煤坑东侧，主断裂面被覆盖。断裂通过处地形上略有显示，西侧稍高，为低丘地貌，东侧地形略低，为山间平原。西侧岩性为石炭系硅化薄层灰岩及煤系地层，东侧为寒武系灰黄色薄层灰岩夹页岩。在主断裂面西侧石炭系灰岩中还发育一系列小断层，其产状分别为 237°∠82°、75°∠80°。从石炭系地层的褶皱牵引现象分析，该断裂具有左旋运动性质。综合地质、地貌等资料分析，可以推测其最新活动时代可能为第四纪早期，晚更新世以来没有发生过

错断地表的活動。

(25) 万家庄断裂 F₂₅

该断裂总体走向NW，自南东州开始，向南东经万良庄、岩坡、陈家庄至斗立庄一段，走向330°~350°，发育于下古生界地层间，常构成不同地层层位间的界线。该断裂对宏观地形地貌有一定控制作用，西侧为低山丘陵，东侧为平原区。向南东英家庄、万家庄、卧虎山东麓至山北头一段，走向330°，断续出露于下古生界灰岩之中，断层东侧为平原区，偶尔见有丘陵分布，西侧以低山丘陵为主。自山北头向南东经坞南庄、北白埠子至义和庄，其间断续出露，两侧地形差别较小，但仍为西高东低，而且断裂对于小丘的展布方向有一定的控制作用。沿断裂往往有规模较小的浅成闪长玢岩岩体侵入，这些岩体侵入后断裂活动又使之破碎变形，同时沿断裂线下古生界灰岩还有大理岩化现象。再向南东则渐渐隐伏于第四系之下。在北白埠子村东见该断裂有较好露头。断裂对地形地貌有一定控制作用，断层以东为北西向小岩丘，断层以西为山间平原。主断面产状为60°~80°，倾向北东，倾角~80°，断层东侧为寒武系厚层灰岩，有大理岩化现象，断层西侧为燕山期闪长玢岩岩体，破碎，风化强烈。断裂破碎带宽约20 m，其中有一系列次级破裂面，倾向南西。断层泥带宽约5 cm，颜色为灰黄色，其中夹杂有Q₂含砾、铁锰豆粘土碎屑。取断层泥样测得ESR年龄为距今(39.02±7.80)万年。通过上述的地质地貌、断裂带结构及断层物质年龄综合分析，该断裂的最新活动时代为中更新世，晚更新世以来没有发生过错断地表的活動。

(26) 倪湖庄-七里墩断裂 F₂₆

倪湖庄-七里墩断裂总体走向NS，倾向为W，倾角72°~82°，断面近直立或呈S形的上下反倾特点，显示该断裂为正断兼具走滑性质。浅层地震勘探揭示，断点埋深47 m~79 m，第四系内垂直断距9 m~19 m；三排钻孔联合剖面探测结果显示，断裂最新活动时代为中更新世中晚期，断裂活动性质为正走滑，垂直断错下更新统底界~24 m，垂直断错中更新统底界9 m~18 m。断裂平均垂直错动速率在早更新世期间为~0.007 mm/yr，在中更新世期间为0.014 mm/yr~0.028 mm/yr（应急管理部国家自然灾害防治研究院，2021）。

(27) 陈家堡-小海断裂 F₂₇

该断裂位于邵伯和吴堡一线，是高邮凹陷和白驹凹陷的南界断裂，走向N50°E，倾向NW。陈家堡-小海断裂是由数条断距300 m~800 m的断裂切割成的断阶带（苏浙皖闽油气区石油地质志编写组，1992）。古近纪它强烈拉张活动，控制了高邮和白驹凹陷的发育，堆积的古近系厚3000 m~4000 m。新近纪对凹陷沉积亦起到一定控制作用；此外，它还明显控制了第四系沉积，如在高邮凹陷南缘，第四系等厚线与该断裂走向大体一致，且沿断裂形成了4个串珠状的沉积中

心，其厚度从120 m~320 m不等。此外，据钻探资料，该断裂错断了新近纪盐城组沉积。测震资料表明，沿该断裂小地震较多，且表现出北东向条带状分布图象。综上所述，陈家堡-小海断裂不但错断了盐城组，局部还控制了第四系沉积，而且对现代小地震活动亦有一定控制作用，所以推断该断裂是一条隐伏的中更新世断裂。

在对扬州市活断层探测（江苏省地震工程研究院，2017）中，对陈家堡-小海断裂进行了浅地震、中深地震探测，其中 D4-9 测线较准确的反映了该断裂的基本特征和最新活动年代。在 D4-9 测线上共发现 3 个断点，其中 f_{4-9-1} 纵波反射地震测线的 836 m 处，基岩反射信号 T_g 发生明显跌落，且两侧信噪比产生明显变化（图2.5-28），该断点两侧出现约9 ms的落差，推测该断点为北倾正断层，两侧基岩面落差约6 m，上断点深度约228 m，错断了新近系底部地层。 f_{4-9-2} 断点位于D4-9纵波反射地震测线的1089 m处，基岩反射信号 T_g 发生明显错动，该断点两侧出现约29 ms的落差，为北倾正断层，两侧基岩面落差约25 m，上断点深度246 m左右，错断了新近系底部地层。 f_{4-9-3} 断点位于D4-9纵波反射地震测线的1438 m处，基岩反射信号 T_g 发生错动，断点两侧出现约168 ms的落差，为北倾正断层，两侧基岩面落差约155 m，上断点深度417 m左右，断点错断了新近系底部地层。

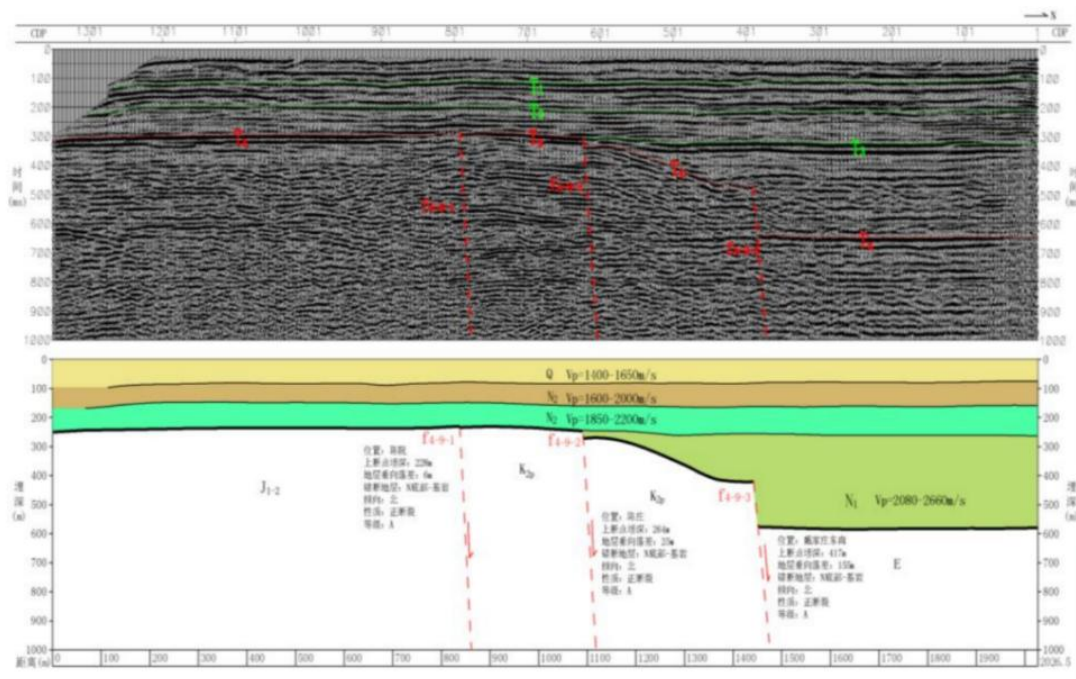


图 2.5-28 陈家堡-小海断裂 D4-9 浅地震时间剖面及地质解释图

（江苏省地震工程研究院，2017）

此外，据盐城市活动断层探测一条物探资料（图2.5-29）（应急管理部国家自然灾害防治研究院，2020），上断点的埋深为埋深约75 m~100 m，可识别的断距为3 m~7 m，上断点位于晚更新世地层之中。综合扬州及盐城活动断层探测资料分析认为，陈家堡-小海断裂可分为两段，西段为早-中更新世断裂，东段为

晚更新世活动断层。区域范围内为该断裂的西段，为早第四纪断裂。

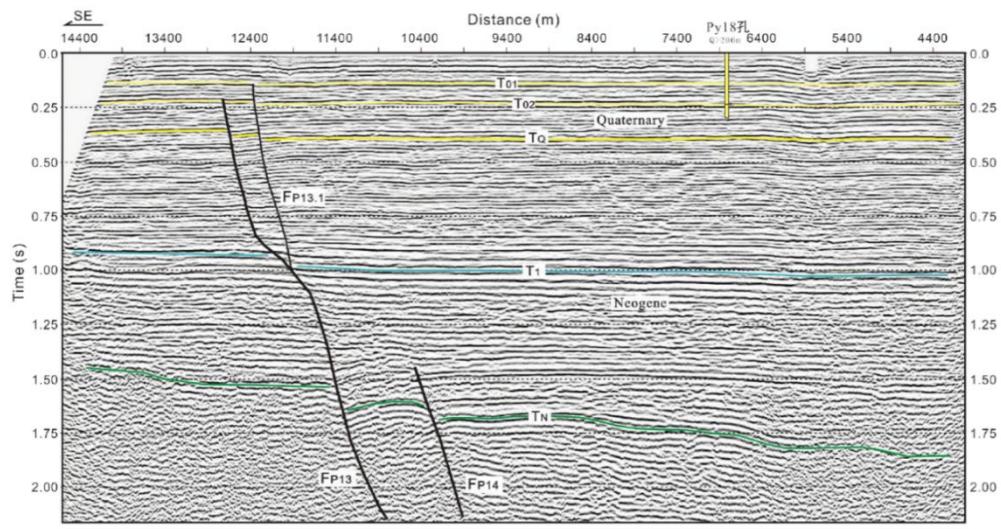


图 2.5-29 跨陈家堡-小海断裂的浅层地震剖面
(应急管理部国家自然灾害防治研究院，2020)

(28) 中部隆起北缘断裂 F₂₈

位于北部拗陷南缘，为拗陷内西凹与中部隆起间的边界断裂，控制了西凹的形成与发展。断裂呈北东东走向，倾向北北西，长 53 km，为正断层性质。形成于晚白垩世末，古近纪（尤其在早期）强烈活动，使上、下盘上白垩统至古近系厚度相差达 1060 m。该断裂具同生断层特征，断层面上陡下缓，断距上小下大，最大断距达 1870 m。新近系以来至第四纪时期，该断裂继续控制了断层南北两侧的沉降速度及幅度：北侧新近系及第四系厚达 1400 余 m；南侧仅 600 m~800 m。在声学反射界面埋深图及第四系厚度图上亦有明显反映，但在 R₁ 反射界面埋深图上则无显示，故确定该断裂为早第四纪断裂。

表 2.4-1 区域主要断裂一览表

编号	断裂名称		产 状			性质	长度 (区内长度) (km)	最新活 动时代	主要 地震 情况
			走 向	倾向	倾 角				
F ₁	郯城 - 庐江断裂	山左口-泗洪断裂 F ₁₋₁	NNE	NW W	~65°	左旋 正断	>1000 (320)	苍山 - 尼山断 裂 以北 Q ₃ , 以南 Q ₁₋₂	1668 年 8½级; 1543 年 5 级;
		新沂-新店 断裂 F ₁₋₂		SE	~65°	压扭		Q ₁₋₂	1829 年 5½级;

编号	断裂名称		产 状			性质	长度 (区内长度) (km)	最新活 动时代	主要 地震 情况
			走 向	倾 向	倾 角				
	带	墨河-凌城 断裂 F ₁₋₃		SE/ NW	~80°	走滑 正断		苍山-尼 山断裂 以北 Q ₃ , 以南到 骆马湖 南 Q ₁₋₂ , 马湖南 以南区 域范围 内 Q ₃	1972 年 6 级
		窑湾-高作 断裂 F ₁₋₄		NW	~75°	压扭		Q ₁₋₂	
		马陵山-重 岗山断裂 F ₁₋₅		SE	~70°	正断		Q ₄	
F ₂	孙祖-铜冶店断 裂		NW	SW	60°~80°	正断	130 (100)	Q ₃	
F ₃	蒙山山前断裂		NWW	SW	45°~85°	左旋 正断	200 (120)	Q ₃	1859 年 5½级
F ₄	铁佛沟断裂		NEE	SSE	陡	正断	>400 (85)	AnQ	
F ₅	邵店-桑墟断裂		NE	SE	50°~70°	正断	>250 (140)	AnQ	
F ₆	新泰-蒙阴断裂		NW	SW	50°~70°	正断	150 (125)	Q ₃	
F ₇	上五井断裂		NE	SE	陡	张扭 正断	>200 (95)	Q ₃	1892 年 6 级 1831 年 4¾级
F ₈	苍山-尼山断裂		NW	SW	70°~83°	左旋 正断	215 (130)	Q ₃	1995 年 5.2 级
F ₉	相邸-高阁庄断 裂		NE	NW		正断	120 (120)	AnQ	
F ₁₀	五莲-荣成断裂		NE	NW	较陡	正断	>100 (95)	Q ₁₋₂	
F ₁₁	日照-胶南断裂		NE	SE	较陡	正断	150 (110)	Q ₁₋₂	
F ₁₂	海头-千里岩断 裂		NE	SE	较陡	正断	>150 (140)	Q ₁₋₂	
F ₁₃	盐城-南洋岸断 裂		NE	NW	~85°	正断	71 (71)	Q ₃	大丰一 带多次 4¾级地 震
F ₁₄	苏北滨海断裂		NW	NE	55°~65°	张扭	>250 (80)	Q ₃	附近多 次 6 级 左右地 震
F ₁₅	无锡-宿迁断裂		NW	NE	较陡	扭张	>400 (80)	Q ₁₋₂	
F ₁₆	淮阴-响水口断 裂		NE	SE	陡	正断	>350 (345)	AnQ	

编号	断裂名称	产 状			性质	长度 (区内长度) (km)	最新活 动时代	主要 地震 情况
		走 向	倾向	倾 角				
F ₁₇	洪泽-沟墩断裂	NE	NW	65°	正断	>300 (195)	西段 Q ₁₋₂	
							东段 AnQ	
F ₁₈	海泗断裂	NE	SE	70°	正断	220 (220)	AnQ	
F ₁₉	沂源-沂水断裂	NW	SW	75°~80°	正断	66 (50)	Q ₁₋₂	
F ₂₀	鳧山断裂	NWW	SW	70°~80°	正断	60 (45)	Q ₃	
F ₂₁	废黄河断裂	NW	SW	陡	正断	80 (30)	Q ₁₋₂	
F ₂₂	宿北断裂	近 EW	N	陡	正断	230 (45)	Q ₁₋₂	
F ₂₃	汶泗断裂	NW	SW	70°~80°	正断	>300 (115)	Q ₁₋₂	
F ₂₃	苍山断裂	NW	W	70°~80°	左旋	30 (30)	Q ₁₋₂	
F ₂₅	万家庄断裂	NW	NE	~80°	正断	50 (50)	Q ₁₋₂	
F ₂₆	倪湖庄-七里墩 断裂	近 SN	W	72°~82°	正断	>50 (48)	Q ₂	
F ₂₇	陈家堡-小海断 裂	NE	NW	~45°	正断	>300 (26)	Q ₃	
F ₂₈	中部隆起北缘 断裂	NE	NW	较陡	正断	93 (25)	Q ₁₋₂	

2.5 中、新生代盆地

燕山运动是区域内的一次重要构造变动,使区内形成一系列北东走向的断裂及其受断裂控制的断陷盆地。根据盆地的发生、发展历史可分为白垩纪盆地、古近纪盆地和新近纪-第四纪盆地。区域内盆地分布较广,在不同的大地构造单元上,其形态不一,发展历史也有差异。在华北断块区不同断块内的盆地,其表现形式各地不同。沿郯城-庐江断裂带,带内形成的裂谷型盆地,主要活动期为白垩纪,为一套红色陆屑建造和火山碎屑岩建造,厚达 2000 余米,白垩纪末褶皱隆起,结束裂谷发展历史。后期由于郯城-庐江断裂带的分段活动特征,形成隆、凹相间的格局,在凹陷处接受河湖相的粘土、砂及砂砾沉积,厚度较小,仅数十米。徐淮断块内的盆地,则主要受东西向断裂的控制,在白垩纪和古近纪沉积幅度较大,在新构造期,则表现为向西退缩的特点。鲁西断块以发育 NE 走向的古近纪盆地为主。下扬子断块内的盆地,有南北之别:南部的宣城-南陵-广德盆地及句容盆地(区域外),分别在白垩纪或古近纪时就已结束盆地发展的历史,在新构造期则作为整体处于上升状态,仅在外表上仍表现为盆地形态,沉积较薄的第四纪沉积;北部的苏北-南黄海盆地,原来本是一系列单个的受断裂控制的断陷盆地,在剖面上具南侧陡深、北侧缓浅的箕状特征,由于该地区一直处于持续沉降过程之中,盆地逐渐扩大、联通,最终形成现今统一的坳陷型盆地。按照盆地成因,大致可将盆地划分为断陷盆地和坳陷盆地。断陷盆地受活动断裂控制,

拗陷盆地由侵蚀拗折形成。强震活动与活动断陷盆地相关,但由于断裂活动性质不同,断陷盆地的结构和力学成因的不同及沉降幅度的差异,它们与强震活动的关系也有所区别。区内盆地主要有淮北盆地、苏北盆地及下扬子盆地。

(1) 淮北盆地

为鲁皖隆起上受多组断裂围限的盆地。古近纪时期则主要受近东西向断裂的控制,局部发育孤立的断陷或拗陷,新近纪~第四纪以来,盆地逐渐拗陷下沉、扩展,并形成宿北、固镇-泗县和下庄等深300 m~400 m 的沉降中心。地震发生在盆地的北北东向断裂和近东西向断裂上。如1979年固镇5.0级地震,1537年灵璧5½级地震。

(2) 苏北盆地

该盆地经历了白垩纪断拗、古近纪断陷和新近纪以来的拗陷阶段,内部受一系列北东、北东东或近东西向断裂控制,它在剖面上构成具南侧陡深,北侧缓浅的一系列箕状半地堑或地堑。由于新近纪以来处于整体持续沉降,盆地逐渐扩大,构成现今统一的盆地。沉降中心有东移特点,同时沉积从南向北又有南厚北薄的特点。地震一般发生在盆地内部次级地堑、半地堑陡深一侧。如1642年盱眙西北5级地震发生在洪泽地堑陡深的南侧,1502、1662年盐城4¾级地震发生在盐城半地堑陡深的南侧。

(3) 下扬子盆地

为多受北东向断裂控制的系列半地堑或地堑盆地。晚白垩~古近纪地壳强烈拉伸和郯庐断裂带等主要断裂的右旋水平位移,致使前期盆地进一步扩展、加深,盆内磨拉石沉积达数千米。新近纪时期地壳整体处于上升状态,大部分盆地沉积缺失,仅在沿江盆地带(望江-宁芜盆地带)有较薄的沉积,只有无为盆地的厚200 m 的沉积,据钻孔资料主要为新近系,厚度为120 m。第四纪时期,大部分盆地下沉,且沉降中心由南向北迁移。盆地沉积范围明显扩大,超覆于前第四纪基岩之上,主控盆缘断裂已被掩盖,沿江盆地第四系厚度一般20 m~50 m,无为县城东南达70 m~80 m。南陵及句容、潜江等盆地在白垩纪或古近纪时已结束盆地沉积历史,新构造时期整体处于上升状态,仅有较薄的第四纪沉积。地震发生在盆地边缘,尤其陡深一侧。如潜山盆地西缘发生的1497年潜山西南4¾级地震,又如无为盆地陡深西侧发生的1585年巢湖南5¾级地震。

2.6 震源机制解及现代构造应力场

震源机制的研究对于了解区域构造应力场状况的形成及地震发生的机制是十分重要的。本报告主要采用下列两种资料处理办法,进行震源机制和现代构造应力场的分析:(1)利用P波初动求解单个地震的发震机制和应力场特征;(2)从统计角度采用格点尝试法求小震综合节面解。

2.6.1 震源机制解

震源机制解能在一定程度上反映孕震区应力场的基本特征,通过对区域及邻近地区震源机制解结果的分析,可初步得出该区现今构造应力场的特征。区域及邻近地区的震源机制解与构造应力场前人曾做过大量工作(许忠淮,1983;汪素云,1985)。搜集了华东地区(东经 116.0°~123.5°,北纬 29.2°~36.5°)内(1970~2021 年, $M \geq 2.0$)的地震震源机制解(表 2.6-1),其中 $M \geq 4.0$ 级地震 22 次,(图 2.6-1)。统计结果显示,节面 I 和节面 II 的倾角,大于或等于 60°的分别占总数的 81%和 75%,且全部大于或等于 45°,表明断裂面绝大多数倾角较陡。主压应力轴(P 轴)和主张应力轴(T 轴)的倾角较小,多数小于 45°,一般为 10°~40°,表明区域及邻区地震构造应力处在以水平挤压为主的基本应力状态中,这些地震是在以水平挤压分量为为主的应力场环境下发生。本区域现今处在 NEE 向主压、NNW 向主张的应力场的控制下,主体方位分别为 76°和 342°左右;主应力的作用方式以水平和近水平为主。

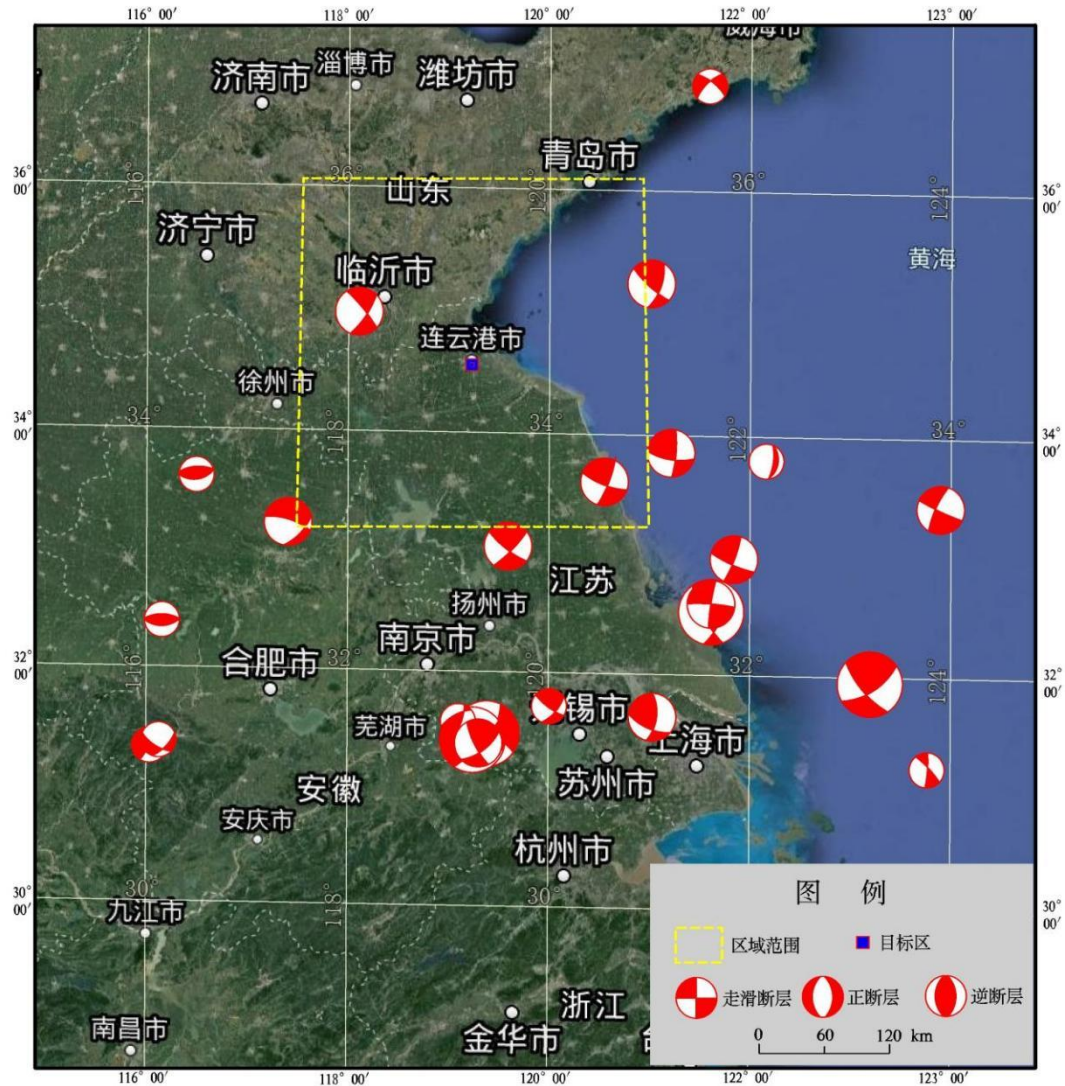


图 2.6-1 1970 年以来区域及邻区地区 4.0 以上地震震源机制解投影图
(据江苏省地震工程研究院 2021 资料改编)

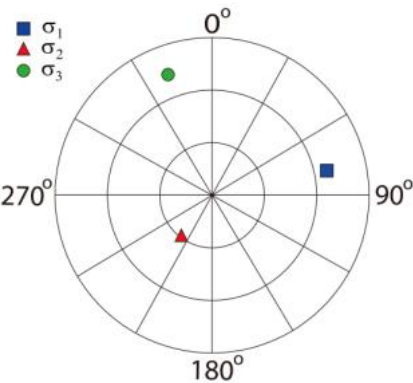


图 2.6-2 主应力分布图（江苏省地震工程研究院，2021）

表 2.6-2 主应力反演结果（江苏省地震工程研究院，2021）

主应力	σ_1		σ_2		σ_3	
反演值	方向/°	倾角/°	方向/°	倾角/°	方向/°	倾角/°
	78	23	217	60	340	17

图 2.6-3 和图 2.6-4 分别为区域及邻近地区地震震源机制解主压应力（P 轴）和主张应力（T 轴）方向水平投影示意图，图中显示该区主压应力轴优势方向为 NEE，主张应力轴为 NNW。基于震源机制解资料(江苏省地震工程研究院，2021)，采用 Gephart 应力张量方法，获得区域主应力方向（图 2.6-2 和表 2.6-2），其中最大主应力 σ_1 方位角分别为 78°，主要呈现 NEE-SWW 向，最小主应力 σ_3 方位角分别为 340°，呈 NNW-SSE 向。表明本区域的现代构造应力场以水平作用为主，震源错动方式以走滑型错动为主。该结果与中国东部大陆的构造应力场(汪素云和许忠淮，1985)、由大量的地震资料推断的我国大陆构造应力场(许忠淮等，1989)及江苏南部地区应力场(孙业君等，2015)的分布特征较为一致。

2.6.2 小震综合节面解

区域及邻近地区地震的强度不大，除了一些地震能求取震源机制解外，大量地震无法求出震源机制解，通过测定小震综合断层面解亦能有效地推断构造应力场的方向。程德利、王铮铮等(江苏省地震局，1994年)采用格点尝试法研究了华东及近海的构造应力场，搜集了(东经100°~125°，北纬26°~38°)范围内1970年以来记录到的 $M_L \geq 1.5$ 级地震的清楚的PG或PN初动符号，总计使用地震数1972次，初动符号5131个，按地理经纬度滑动，步长为2°×2°，计算区面积3°×3°，共测定了32个分区的小震综合节面解，其中涉及本项目区域的有4个分区(表2.6-3)。总体上看，本地区P、T 轴基本呈水平，主压应力轴（P轴）为北东东方向，主张应力轴（T轴）为北北西方向，且具有较好的一致性分布特征。

表 2.6-1 区域及邻区地震震源机制参数表

序号	发震日期	震中位置		震级	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		资料来源
		东经	北纬		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	
1	1973-03-11	116° 12'	31° 24'	4.3	64°	SE	65°	319°	NNE	52°	288°	44°	199°	12°	⑩
2	1973-03-11	116° 12'	31° 24'	4.5	35°	SE	85°	302°	NE	54°	85°	28°	343°	20°	⑩
3	1973-09-22	116° 30'	33° 36'	4.5	83°	NNW	85°	356°	NEE	65°	37°	23°	133°	12°	⑩
4	1974-04-22	119° 19'	31° 27'	5.5	27°	SE	60°	276°	NE	60°	60°	45°	151°	0°	①
5	1975-09-02	121° 48'	32° 54'	5.3	102°	SW	81°	14°	NW	77°	237°	16°	329°	3°	②
6	1976-06-14	117° 30'	32° 00'	3.0	21°	NWW	75°	295°	NE	75°	247°	2°	337°	20°	⑩
7	1976-08-30	117° 06'	32° 30'	3.6	2°	NWW	65°	285°	NNE	65°	53°	0°	323°	37°	⑩
8	1976-11-27	117° 54'	32° 18'	3.1	65°	NW	77°	319°	SW	60°	283°	40°	191°	3°	⑩
9	1977-05-10	119° 06'	31° 36'	4.1	42°	NW	55°	124°	SW						⑩
10	1978-04-14	117° 24'	32° 30'	2.3	46°	NW	74°	291°	SW						⑩
11	1979-03-02	117° 25'	33° 11'	5.0	44°	NW	55°	294°	SW	65°	255°	45°	351°	6°	③
12	1979-05-31	117° 25'	33° 12'	3.2	41°	NW	82°	302°	SW	60°	265°	33°	168°	10°	⑩
13	1979-07-09	119° 15'	31° 27'	6.0	20°	SE	75°	289°	NE	80°	64°	18°	154°	5°	①
14	1981-05-10	116° 10'	32° 23'	2.8	67°	SE	75°	320°	NE	60°	103°	44°	193°	1°	⑩
15	1981-05-20	117° 36'	32° 11'	2.7	45°	SE	60°	297°	NE	47°	89°	44°	346°	14°	⑩
16	1982-03-29	117° 24'	31° 28'	2.1	45°	NW	60°	317°	NE	85°	90°		2°	14°	⑩
17	1982-09-19	119° 12'	31° 12'	2.3	56°	NE	65°	311°	NE	60°	95°	41°	2°	35°	⑩
18	1983-03-28	117° 24'	33° 12'	3.0	44°	SE	65°	323°	SW	49°	281°	19°	176°	36°	⑩
19	1983-04-18	119° 12'	32° 19'	2.3	21°	NW	75°	301°	NE	60°		10°		32°	⑩
20	1984-05-21	121° 36'	32° 31'	5.7	350°	NEE	85°	77°	NWW	60°	37°	25°	299°	18°	①
21	1984-05-21	121° 36'	32° 29'	6.2	145°	NE	52°	10°	NW	50°	74.4°	1.1°	347.2°	63°	②
22	1984-10-16	117° 01'	30° 29'	2.3	79°	NWW	75°	337°	SW	50°	301°	36°	206°		⑩
23	1985-05-10	116° 34'	31° 36'	3.5	61°	SE	70°	334°	SW	70°	289°		196°	22°	⑩
24	1985-05-30	117° 31'	32° 45'	2.8	38°	NE	80°	302°	SW	75°	80°	25°	171°	3°	⑩
25	1985-09-06	115° 58'	30° 54'	3.2	73°	NEE	70°	334°	SSW	60°	104°	36°	21°	10°	⑩

序号	发震日期	震中位置		震级	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		资料来源
		东经	北纬		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	
26	1986-07-12	118° 03'	30° 49'	2.8	37°	SE	75°	280°	NE	60°	73°	60°	343°	0°	⑩
27	1987-02-17	120° 32'	33° 35'	5.0	8°	SEE	85°	95°	NNE	65°	54°	25°	317°	18°	④
28	1987-10-28	116° 20'	31° 38'	3.2	57°	NE	60°	323°	SW	70°	101°	22°	8°	8°	⑩
29	1990-02-10	121° 00'	31° 36'	5.1	2°	92°	55°	111°	201°	65°	54°	6°	150°	45°	⑤
30	1992-01-23	121° 04'	35° 12'	5.3	44°	SE	70°	131°	NE	82°	83°	20°	181°	8°	⑥
31	1993-08-06	115° 23'	32° 21'	3.5	17°	NW	45°	230°	SE	50°	305°	3°	207°	73°	⑩
32	1993-10-28	116° 24'	32° 27'	2.8	54°	NW	50°	307°	SW	70°	267°	44°	4°	13°	⑩
33	1995-09-20	118° 06'	34° 58'	5.3		134°	80°		226°	79°	272°	0°	179°	15°	⑦
34	1996-10-10	116° 46'	31° 25'	2.5	57°	NW	70°	307°	SW	45°	284°	49°	177°	15°	⑩
35	1996-11-09	123° 06'	31° 50'	6.1	51°	NW	75°	136°	SW	70°	-89°	24°	182°	3°	⑤
36	1997-07-28	122° 10'	33° 43'	5.1		131°	80°		230°	47°	277°	21°	171°	37°	⑦
37	1997-08-28	117° 02'	31° 17'	2.8	41°	NW	60°	340°	NEE	50°	103°	7°	5.5°	43°	⑩
38	1998-05-24	116° 15'	31° 32'	3.2	41°	NW	60°	296°	SW	65°	257°	41°	349°	4°	⑩
39	1999-01-23	118° 25'	30° 58'	2.9	50°	SE	65°	305°	NE	60°	88°	40°	354°	4°	⑩
40	1999-06-14	116° 42'	30° 40'	2.6	49°	NW	85°	312°	SW	35°	288°	40°	167°	31°	⑩
41	1999-09-11	117° 25'	31° 33'	3.0	21°	NW	60°	278°	SSW	70°	238°	38°	331°	6°	⑩
42	2002-01-28	117° 53'	30° 54'	2.6	34°	NW	60°	298°	SW	80°	252°	28°	249°	14°	⑩
43	2008-11-22	115° 5'	32° 7'	3.2	345°	33°	-87°	75°	29°	89°	120°	30°	298°	59°	⑩
44	2008-11-22	123° 18'	36° 27'	3.7	312°	59°	-135°	58°	115°	128°	179°	5°	79°	57°	⑩
45	2008-12-23	119° 13'	31° 24'	3.1	283°	67°	-170°	80°	154°	166°	201°	2°	110°	16°	⑩
46	2009-03-11	115° 27'	35° 44'	3	151°	84°	172°	86°	166°	-61°	104°	41°	232°	54°	⑩
47	2009-03-29	116° 28'	32° 28'	3	327°	72°	-173°	86°	156°	122°	218°	33°	96°	39°	⑩
48	2009-05-24	116° 51'	32° 31'	3.1	13°	79°	42°	81°	307°	99°	29°	35°	229°	52°	⑩
49	2009-07-14	124° 49'	35° 0'	3.1	213°	87°	125°	63°	306°	110°	21°	16°	253°	65°	⑩
50	2009-09-27	121° 23'	35° 3'	3.1	143°	43°	26°	74°	334°	-124°	207°	48°	89°	22°	⑩
51	2009-11-07	121° 6'	30° 59'	3.1	313°	80°	155°	72°	7°	-134°	233°	44°	128°	15°	⑩
52	2010-01-15	121° 19'	34° 3'	3.1	156°	33°	165°	83°	109°	-66°	43°	46°	179°	34°	⑩

序号	发震日期	震中位置		震级	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		资料来源
		东经	北纬		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	
53	2010-03-12	121° 1′	33° 9′	3.1	179°	82°	-120°	89°	52°	89°	142°	44°	321°	45°	⑩
54	2010-08-27	122° 22′	33° 42′	3.0	78°	84°	-158°	68°	349°	-12°	508°	23°	215°	6°	⑩
55	2010-10-12	117° 21′	31° 4′	3.1	260°	42°	-133°	43°	142°	-165°	350°	39°	100°	22°	⑩
56	2010-10-31	122° 19′	35° 7′	3.1	116°	42°	158°	70°	121°	-27°	80°	33°	173°	4°	⑩
57	2010-11-14	121° 7′	33° 46′	3.1	332°	75°	159°	80°	3°	-116°	245°	48°	115°	30°	⑩
58	2010-11-20	121° 33′	32° 39′	3.0	22°	79°	137°	75°	209°	73°	313°	28°	98°	56°	⑩
59	2011-10-22	115° 22′	35° 48′	3.0	284°	73°	-102°	18°	114°	129°	352°	30°	147°	57°	⑩
60	2011-11-18	115° 23′	35° 42′	3.0	186°	61°	-97°	84°	233°	-90°	143°	50°	324°	39°	⑩
61	2011-11-29	120° 35′	36° 42′	3.0	180°	23°	-146°	90°	147°	-90°	57°	45°	237°	45°	⑩
62	2012-03-20	115° 27′	35° 44′	3.0	346°	68°	-157°	84°	135°	102°	213°	38°	59°	48°	⑩
63	2012-03-21	121° 5′	36° 57′	3.0	108°	88°	88°	18°	81°	-96°	181°	62°	356°	26°	⑩
64	2012-07-20	123° 37′	31° 07′	4.9	109°	85°	18°	17°	72°	175°	249°	14°	150°	31°	⑧
65	2012-08-11	117° 51′	31° 5′	3.0	320°	75°	-112°	53°	102°	107°	180°	6°	64°	74°	⑩
66	2013-02-19	117° 29′	31° 59′	3.0	155°	68°	142°	74°	122°	-69°	58°	55°	196°	27°	⑩
67	2013-12-25	117° 10′	35° 25′	3.0	6°	19°	-96°	84°	205°	-89°	115°	50°	294°	39°	⑩
68	2013-12-30	120° 15′	32° 58′	3.0	82°	-81°	161°	71°	11°	8°	326°	7°	234°	19°	⑩
69	2014-04-04	121° 40′	36° 49′	4.6	65°	26°	9°	81°	292°	154°	341°	11°	246°	23°	⑩
70	2014-04-20	116° 7′	31° 21′	4.4	37°	73°	-40°	71°	199°	-113°	77°	57°	307°	22°	⑩
71	2016-08-02	120° 5′	34° 49′	3.5	171°	70°	-123°	82°	36°	85°	131°	37°	300°	52°	⑩
72	2016-10-15	120° 21′	33° 39′	3.5	228°	38°	131°	55°	270°	126°	335°	4°	237°	60°	⑩
73	2021-11-17	121° 11′	33° 30′	5.0	11°	82°	155°	104°	65°	8.8°	60°	12°	325°	23°	⑨
74	2021-12-22	119° 58′	31° 43′	4.2	301°	81°	28°	206°	62°	170°	71°	13°	167°	26°	⑩

注：① 江苏省地震局；② 林命周；③ 华东六省一市小组；④ 谢华章；⑤ 王琤琤；⑥ 董旭光；⑦ 周翠英；⑧ 孙业君；⑨ 上海地震局；⑩ 南京山海公司

2.6.3 现代区域构造应力场分析

从上述两种方法资料处理结果来看,单个地震的震源机制解平均值与分区小震综合节面解两者数据含义虽有一定程度的差别,但结果较为接近,显示本区域大部分地段的现代构造应力场处于北东东向的水平压应力的作用,与华北地区的应力特征基本相似,只是更向东偏,反映了力源是来自东部太平洋板块对中国大陆的挤压。该结果与汪素云等(1985年)对中国东部大陆的地震构造应力场所作的系统工作和许忠淮等(1983年)所做的华北地区东部应力场分区结果是基本一致的。结合地震构造、地震活动和区域构造应力场特征分析,认为区内北北东-北东及北西-北西西走向的断裂与破坏性地震关系密切,是区内的主要发震断裂。

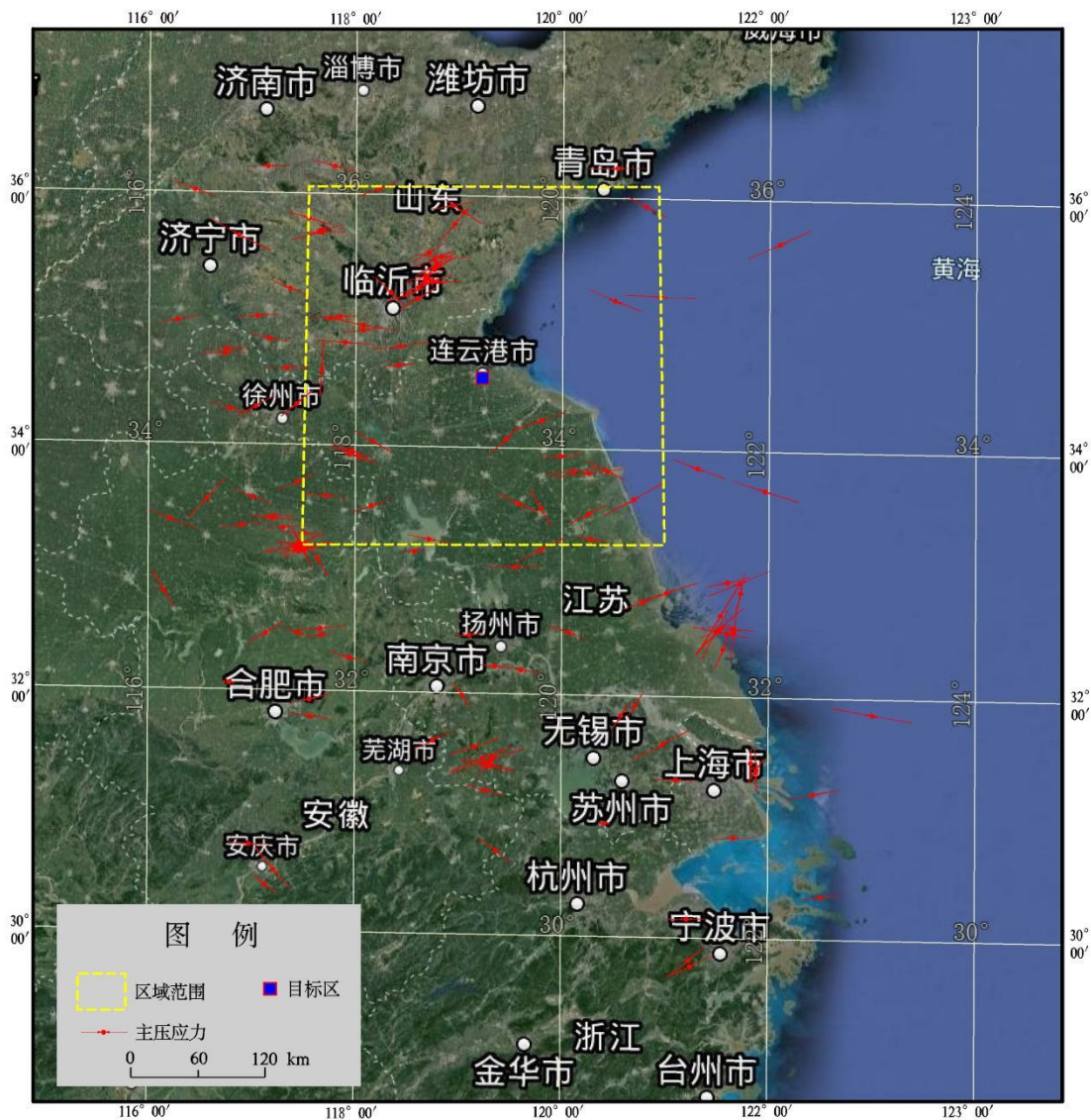


图2.6-3 区域及邻区地震震源机制解主压应力(P轴)方向水平投影示意图
(根据江江苏省地震工程研究院资料改编)

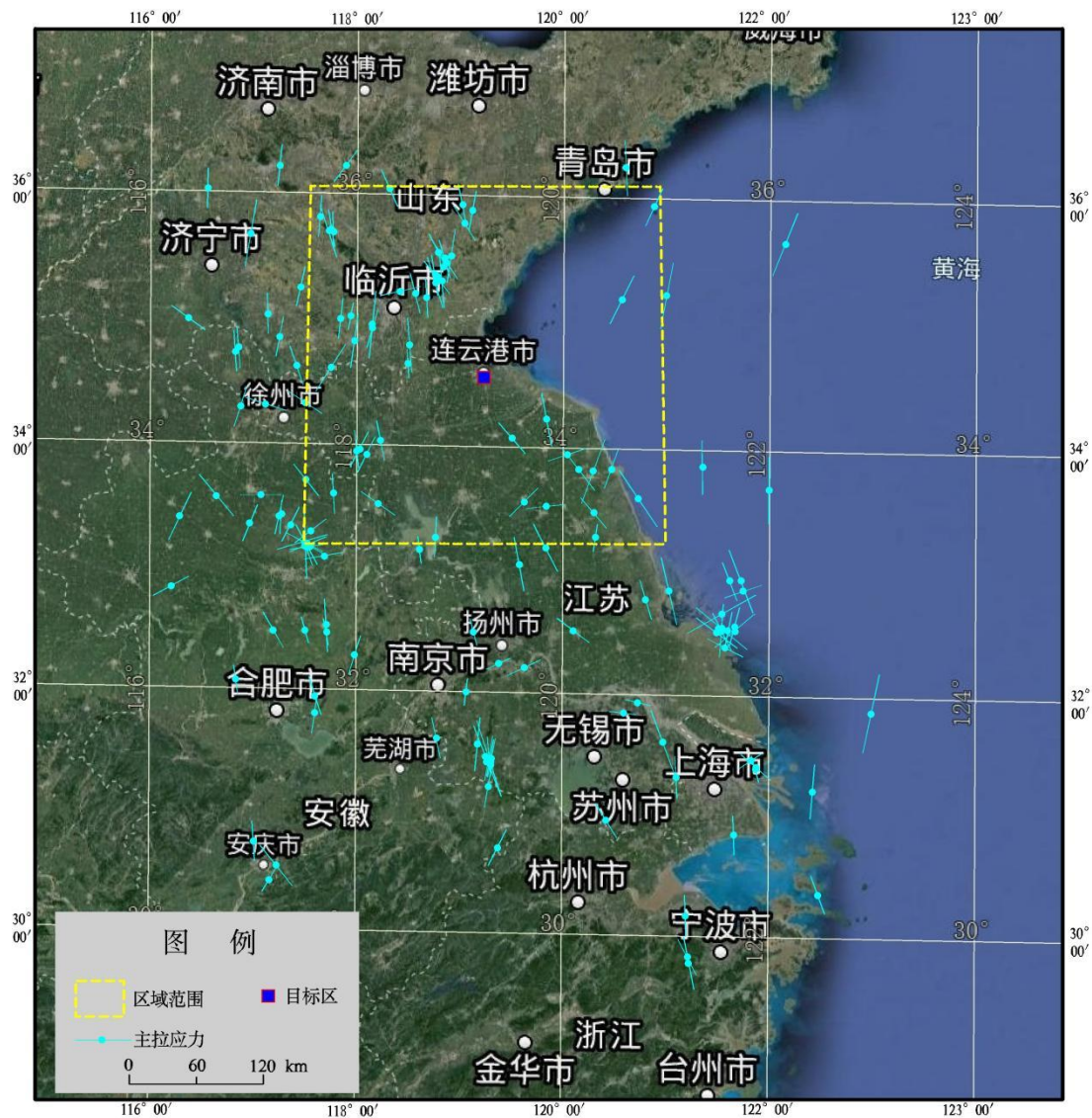


图2.6-4 区域及邻区地震震源机制解主张应力（T轴）方向水平投影示意图
（根据江苏省地震工程研究院资料改编）

表2.6-3 分区小震综合节面解（根据江苏省地震工程研究院资料）

序号	范围		地震数	符合数	矛盾比	节面 A		节面 B		P 轴		T 轴	
	东经	北纬				方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角
1	116-118	34-36	333	112	0.32	307°	88°	37°	87°	82°	90°	352°	87°
2	118-120	34-36	374	159	0.33	295°	86°	205°	87°	250°	85°	340°	89°
3	120-123	34-36	87	46	0.41	197°	88°	287°	80°	240°	81°	334°	84°
4	116-118	32-34	449	134	0.29	131°	89°	41°	85°	86°	86°	355°	87°
5	118-120	32-34	359	160	0.37	301°	87°	31°	81°	77°	86°	345°	81°
6	120-123	32-34	216	100	0.38	158°	51°	318°	41°	213°	11°	329°	85°
7	116-118	30-32	311	95	0.29	121°	86°	31°	86°	76°	84°	346°	90°
8	118-120	30-32	241	99	0.34	293°	66°	38°	61°	76°	87°	343°	50°
9	120-123	30-32	116	50	0.34	191°	50°	318°	54°	258°	30°	164°	88°

2.7 区域地震构造环境分析与评价

综合上述区域新构造运动及分区、断裂活动、地壳形变等方面的特征, 研究分析它们与地震活动的关系, 进一步分析强震的发震构造, 总结归纳出强震发生的地震构造标志, 综合评价区域地震构造环境。

2.7.1 地震构造标志

区内地震活动在空间分布上是不均匀的, 地震相对集中在一些特定的地区或呈条带状沿断裂分布。综合分析, 区内地震大多发生在如下关键构造部位:

(1) $M \geq 8.0$ 级地震构造

区域内仅在郯庐断裂带上发生过该级别的地震, 为1668年的郯城8 $\frac{1}{2}$ 地震, 震例较少, 根据构造类比等方法, 归纳出区域内该级别地震的发震构造标志:

- ① 历史上发生过此级别地震的断裂;
- ② 全新世活动断层长度 $> 100 \text{ km}$, 有较大的切割深度, 活动速率一般 $\geq 2.0 \text{ mm/a}$;
- ③ 强烈隆起区与新生代拗陷区边缘带上;
- ④ 重力失衡地区或地段, 线性重力异常剧变带、梯级带或密集带。

(2) $M = 7.0 \sim 7.9$ 级地震构造

区域内未记录到该级别的地震, 考虑到郯庐断裂带上发生过8 $\frac{1}{2}$ 地震, 在区外发生过安丘7级地震, 因此不排除区域范围内在该带上发生7.0~7.9级地震的可能性, 根据构造类比等方法, 归纳出区域内该级别地震的发震构造标志:

- ① 凡具备发生 $M \geq 8.0$ 地震构造条件的地段, 同样具备发生 $M = 7.0 \sim 7.9$ 级地震的构造条件;
- ② 全新世活动断层长度 $> 100 \text{ km}$, 有较大的切割深度, 活动速率一般 $\geq 1.0 \text{ mm/a}$;
- ③ 多条活动断裂交汇的地段;
- ④ 第四纪以来差异性升降运动明显的新构造单元的边缘带上;
- ⑤ 第四纪断陷盆地边界差异活动较强烈地段的的活动断裂带。

(3) $M = 6.0 \sim 6.9$ 级地震构造

区域内仅在郯庐断裂带上发生过该级别的地震, 为1972年的莒县6.0级地震, 震例较少, 根据构造类比等方法, 归纳出区域内该级别地震的发震构造标志:

- ① 凡具备发生 $M = 7.0 \sim 7.9$ 级地震构造条件的地段, 同样具备发生 6 级地震的构造条件;
- ② 区域性新近纪以来的活动断裂带, 尤其是晚第四纪活动断裂带;
- ③ 两组或多组第四纪断裂交汇区, 尤其是北北东向和北西向第四纪断裂的交汇区;

- ④ 新构造运动分区边缘，即沉降区与上升区的交接地带；
- ⑤ 巨型拗陷内几个次一级构造的交接部位；
- ⑥ 晚新生代断陷盆地的边缘，尤其是受断裂控制的箕状断陷的陡深一侧。

2.7.2 区域地震构造综合评价

(1) 基于区域内各地质块体的地质发展历史、沉积建造、构造特征、岩浆活动和地球物理场特征的差异，区域划分为华北断块区的胶辽断块、鲁西断块、徐淮断块；秦岭-大别断褶系的苏鲁断褶带；扬子断块区的下扬子断块。

(2) 区域主要由鲁东南低山、淮南丘陵部分地区、苏北平原和下扬子盆岭带构成了区内地貌的主体。

(3) 地震活动性研究资料表明，新生代以来断陷幅度较大的盆地与地震活动关系密切，特别是新近纪至第四纪以来形成的断陷盆地，无论是地震活动的频度还是强度均大于早期（中生代、古近纪）形成的断陷盆地。

(4) 新近纪以来，我国大陆的构造格局和应力场基本没有发生改变，因此，地质学界将新近纪以来的构造阶段称为新构造阶段。区域新构造运动以断裂和断块活动为主，新构造运动具有大面积间歇性升降运动和新构造运动的差异性、继承性和新生性这两个基本特征。

(5) 不同的新构造区，新构造活动有不同特征，地震活动性也不一。区域地震总体活动水平与区域新构造运动强度和性质有着密切关系。强震主要集中发生在新构造运动强度大、差异运动较强的新构造区或内部存在差异活动的地带、地段。新构造分区边界或块体边界，由于活动断裂带，通常也是地震发生带。

(6) 区域强震一般发生在地球物理场的梯度带或畸变部位，如重力异常梯度带或异常等值线的扭曲部位，航磁异常体的边缘部位、两个正磁异常体的夹持部位、长条形大面积磁异常区的端部或扭曲畸变部位，上地幔隆起的翼部或转折部位等。如沿郯庐断裂带存在正磁异常和上地幔隆起等。

(7) 结合地震构造、地震活动和区域构造应力场特征分析，认为区内北东-北东及北西-北西西走向的断裂与破坏性地震关系密切，是区内的主要发震断裂。

(8) 区域范围经历了多期次构造运动，断裂构造较为发育，涉及了北东向或北北东向、北西向或北北西向、近东西向或北西西向的 20 余条主要断裂，其中的郯庐断裂带部分活动性最强，全新世以来仍具备较强的活动性，特别是其主干断裂马陵山-重岗山断裂（安丘-莒县断裂），为全新世活动断裂，历史上发生过安丘 7 级地震、郯城 8½ 级地震，具有发生最大震级 8.5 级地震的构造条件，其余主干断裂如山左口-泗洪断裂、墨河-凌城断裂部分段落在区域范围内晚更新世有过活动，具有发生最大震级 7.0 级地震的构造条件，其余 2 个主干断裂为早第

四纪断裂，具有发生最大震级 6.0 级地震的构造条件。其次，盐城-南洋岸断裂活动时代为晚更新世晚期，具有发生最大震级 7.0 级地震的构造条件，郯庐断裂带部分段、苍山-尼山断裂、崑山断裂、蒙山山前断裂、苏北滨海断裂、新泰-蒙阴断裂、孙祖-铜冶店断裂、上五井断裂为晚更新世活动断裂，具有发生最大震级 6.5 级地震的构造条件。此外，属于早、中更新世的五莲-荣成断裂、日照-胶南断裂、无锡-宿迁断裂等断裂具有发生最大震级 6.0 级地震的构造条件。

第三章 近场区地震构造环境

本章在系统收集地质、钻探、地震、遥感等资料的基础上,进行了野外地震地质考察、场地物探等工作,分析研究了近场区地形地貌特征、新地层划分、地震活动性、主要断裂构造及其活动评价,综合分析了近场区地震构造条件。对近场区的地质构造概况、新构造运动特征、主要断裂活动性和地震构造环境等加以论述,为近场区的断裂活动性鉴定和潜在震源区划分提供依据。

3.1 近场区构造地貌特征

近场区大致东北部为海域,西南部为陆域(图 3.1-2)。陆域部分为新生代以来的缓慢抬升区,可划分为低山丘陵、平原等地貌单元。低山丘陵主要分布在烧香河北侧云台山地区,系沂蒙山余脉。云台山呈东北至西南方向展布,自西向东依次为锦屏山、前云台山、中云台山和后云台四条山脉,山地顶面高程在 200 m~625 m,最高峰前云台山海拔 625.3 m(为江苏省最高峰)。后云台大桅尖高 605.0 m,万丈岩高 583.0 m。一般山峰海拔在 200 m 左右。平原上独立山体的山麓与平原的交界线清楚,堆积物较薄。

近场区内陆地地貌类型以平原为主,是黄淮平原的组成部分。按其成因可以进一步区分为剥蚀堆积平原、河湖相冲积平原和海积平原。其中,剥蚀堆积平原主要分布在低山丘陵岗地的前缘,随地势由西向东倾斜,组成物质以洪积、冲积相黄色砂土、含砾砂土为主。河湖相冲积平原主要因河流冲积和湖相淤积而成,沿河床微向下游缓倾,地面平坦开阔,坡度小于 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,相对高差小于 5 m。区内临沭河、蔷薇河、烧香河等源远流长,水量大,夹带物质丰富。特别是黄河夺淮后,夹带大量泥沙,在河口形成三角洲平原。平原由东北向西南逐渐变宽,在赣榆县城南乡和墩尚乡、连云港锦屏镇及灌云县一带有泻湖相沉积。海积平原位于沿海,由河流冲积物经海流搬运形成。其组成碎屑物质分选性十分明显,从灌河口到临洪河口粒径由大到小,依次为中细砂-细砂-粉砂-淤泥,含砂量逐渐递减。由于受海州湾局部地形影响,在兴庄河口以北沉积物含砂量较高,而在兴庄河口以南沉积物含粘粒较高;到临洪河口两侧则全部为淤泥,沿海平原中相当一部分土地没有完全脱盐。

近场区东北部为滨浅海地貌,又分为滨海和浅海两部分,是大陆架的组成部分。滨海是海陆交互地带,其范围是低潮线与高潮线之间地带。除后云台山等处滨海为岩滩外,近场区其它海滩均为泥质海滩。低潮线以下为浅海,近场区中由陆地往海洋方向,水深逐渐加大,水深大致在 2 m~15 m;在近场区东北角海水深度超过 15 m。

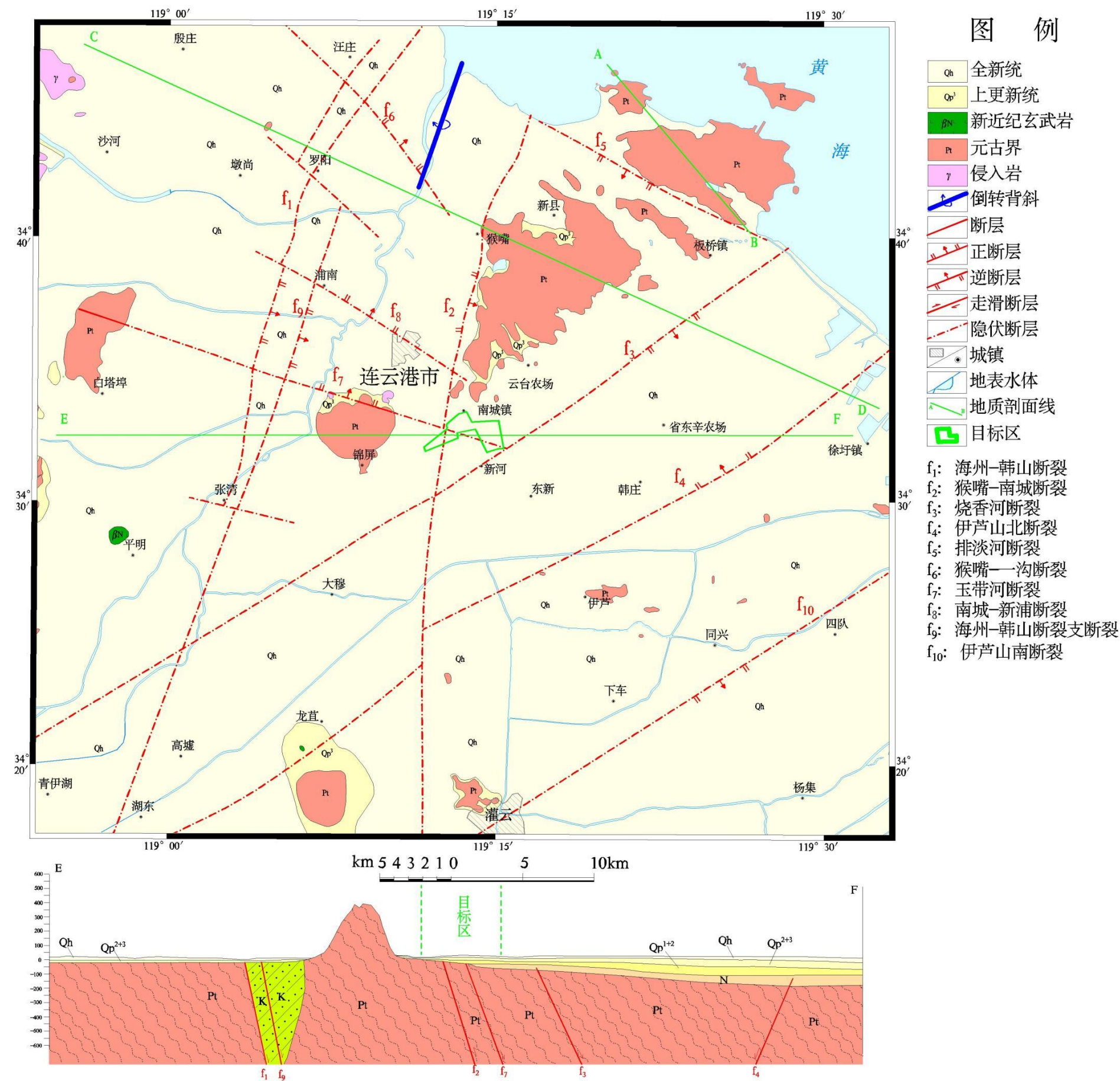
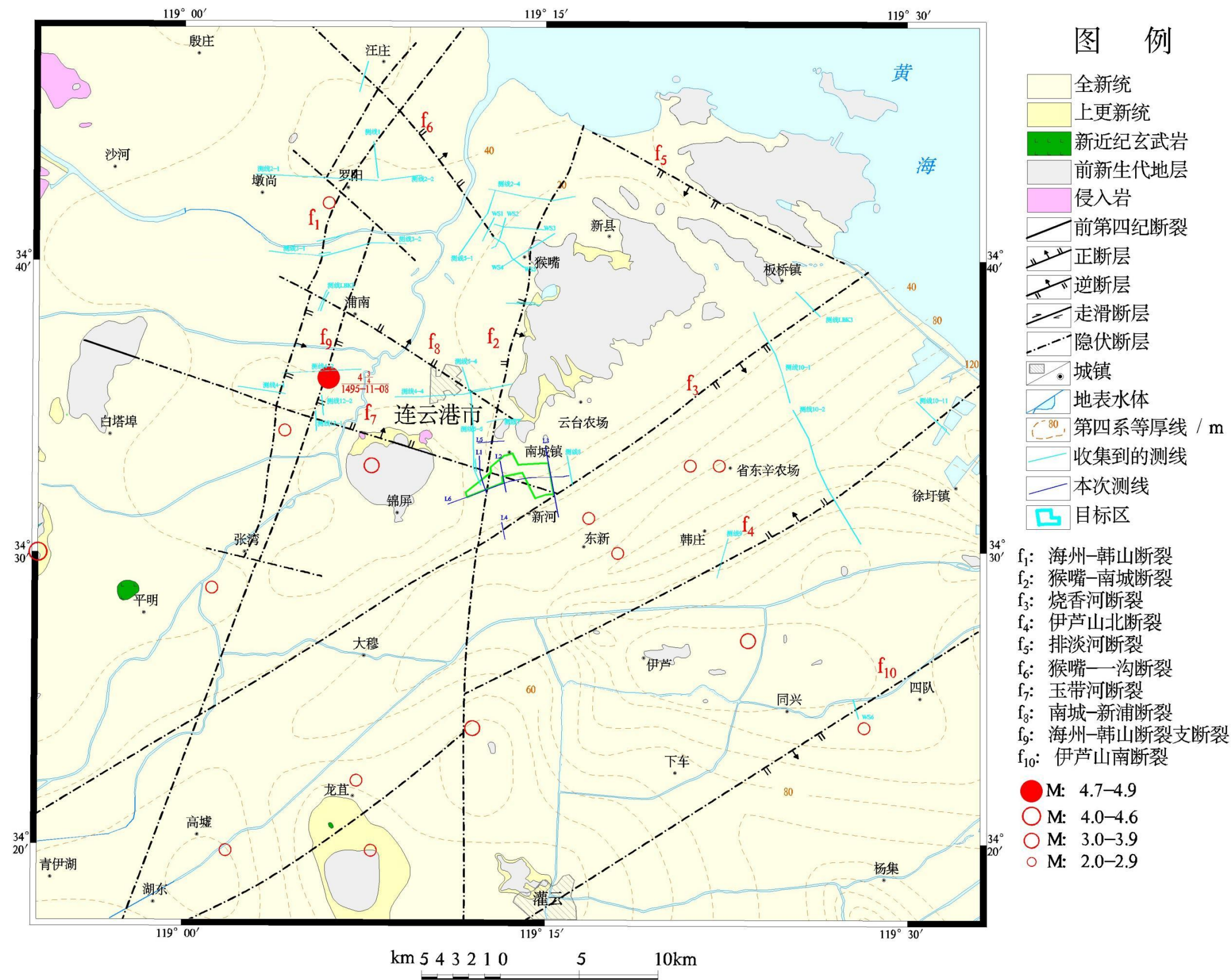


图 3.1-1 近场区地质构造图（A-B、CD 剖面见后文）



3.2 近场区新地层划分

近场区位于黄淮平原东北部，大部分地区为第四系覆盖；在云台山地区大片出露前震旦纪变质岩系，参见图 3.1-2。据钻孔揭示，在烧香河南侧及海泗断裂东南侧分布几个小型中生代断陷盆地，有白垩纪红色地层和新近纪以来沉积。近场区地层由老至新分述如下：

(1) 前新生代主要地层

太古界东海群 (Ar_2dh)

东海群包括墩尚组和胸山组，分布于赣榆县的武强山、秦山岛等地，是本区最古老的变质岩。据 U-Pb 法和 K-Ar 法测年，其年龄值为 21.27×10^9 a ~ 27.96×10^9 a。东海群总厚度大于 13785 m。墩尚组岩性主要为片麻岩类和各种混合岩，夹有大理岩、云母石英片岩。胸山组在连云港胸山及一些钻孔中见到，主要岩性为混合岩化片麻岩和片麻岩，夹有钾长变粒岩和石英片岩，厚 2500 m。与上覆海州群呈不整合接触。

元古界海州群 ($Pt_{1-3}hz$)

海州群主要包括锦屏组 (Pt_2j) 和云台组 (Pt_2y)，出露于锦屏山、刘志洲山和云台山。锦屏组为白云（二云）石英片岩夹白云钠长变粒岩（可相变为钙质云母片岩、大理岩）和磷灰岩等，厚 160 m ~ 400 m，含磷岩系年龄为 19×10^9 a。云台组是一套以灰白、肉色白云钠长变粒岩为主的一套区域浅变质岩，厚度大于 4290 m，Rb-Sr 法测年值为 9.29×10^9 a，下与锦屏组整合接触。

上白垩统王氏组 (K_2w)

分布在邵店-桑墟断裂东南侧的新坝、羊场等地，在海泗断裂带内，如前罗阳、仲官河一带，也有分布。据钻孔资料，王氏组岩性主要为紫红色砂岩、页岩和砂砾岩。与下伏变质岩系呈不整合接触。

侵入岩

近场区西侧边缘还发育较小面积的侵入岩体，主要是晚元古代晋宁期荣成超单元的刘上砚柱单元条带状中粒黑云二长花岗岩（近场区西北角）以及磨山单元弱片麻状中细粒含霓石碱长花岗岩。

(2) 晚新生代地层

研究晚新生代地层划分、厚度变化和构造变动，可为确定断裂新活动性提供地质依据。晚新生代地层主要分布在平原区。近场区内新近系和第四系 (N+Q) 等厚线变化趋势是：自西北向东南逐渐增厚。以云台山基岩区为界，在其北侧临洪口及南侧东辛农场一带，分布两个北东走向的晚新生代凹陷。

新近系上新统 (N_2s)

分布在近场区的新近纪上新统是宿迁组 (N_{2s})，在东辛农场一带及后云

台山与东西连岛之间的海域均有分布。宿迁组岩性为灰、灰黄、灰白色砂层，最大厚度 50 m 左右。主要岩性特征是：沉积物颜色以灰白色为主，间夹灰绿、棕黄、灰黄等色。岩性由 2~3 个由粗—细沉积物构成的正韵律层，往往中、下部粗颗粒的分选、磨圆差，上部较好、并具水平层理。厚度在 20 m~60 m 不等，自北向南有逐渐增厚的趋势。

新近纪玄武岩

近场区平明北侧发育小面积新近纪玄武岩，致密，可见杏仁构造，发育柱状节理。

第四纪地层 Q

① 下更新统 Qp¹

近场区内沉积有下更新统豆冲村组。地表没有出露，钻孔揭示主要分布在前云台山以南平原区，埋深在 70 m~80 m 以下，厚度 0~30 m 左右。岩性为褐黄色亚粘土夹灰色泥质粉砂，属陆相平原沉积-海陆过渡相沉积。该层与下伏新近系宿迁组呈不整合接触。

② 中更新统 Qp²

近场区内沉积有中更新统泊岗组，据钻孔揭示，泊岗组主要分布在平原区，如赣榆县墩尚、一沟和东海县白塔埠、黄川、平明及临洪河入海口附近，中、后云台山之间和两端入海口地带以及云台山以南平原地区。泊岗组岩性下部为棕黄、灰白色亚砂土、泥质中粗砂及中细砂互层，上部为棕黄色亚粘土夹亚砂土，厚度 0~40 m。在西部丘陵地区，零星出露于二级阶地残丘上，岩性为淡黄、灰黄、褐色砂砾石层，主要由粗砂及卵石组成，砾石磨圆一般，分选性极差。

③ 上更新统 Qp³

区内沉积有上更新统戚咀组，按其分布情况可分为平原区和丘陵山区。在平原区的戚咀组主要分布在平原东部，岩性为黄灰、棕黄色亚粘土、粘土与粉砂互层，含较多的钙质结核和铁锰质结核，在亚粘土中含海相蚌壳化石。厚约 25 m，属海陆交互相松散沉积。

分布在丘陵区东部的戚咀组，主要分布在锦屏山、云台山等山体边缘，为洪、坡积层。其岩性为棕黄、褐黄色亚粘土及砂砾石层，厚度约 5 m~10 m 不等，粘土层中有较发育的铁锰薄膜及粗大的白色条。在西部、西北部分地区，戚咀组分布在波状平原洼地部分、缓坡下缘、山前缓坡和大冲沟两侧。其岩性可分为上、下两部分，上部为棕黄、褐黄色含钙质结核亚粘土；下部为砾石层，常含铁锰质结核。

④ 全新统 Qh

地表广泛分布全系统，其岩性为：上部为棕黄、褐黄色亚粘土、粘土及淡黄色亚粘土、粉细砂含少量砾砂层，下部为灰黑色淤泥、粉砂质亚粘土、砂层，含有机质及少量铁锰质结核，厚度 0~25 m。按其成因全新统可分成沼泽相、冲积相、海相和海陆交互相等。沼泽相分布在剥蚀平原古洼地或水系两侧等洼地处。在赣榆县城南乡、前罗阳、锦屏山西南等地均有分布，岩性从上到下依次为：褐黄色粉砂，灰色网纹状粉砂，灰色及褐色相间的粉砂，灰黑色草木灰、粉砂及粉质粘土。海相分布广泛，岩性以亚粘土、淤泥、粘土及粉砂为主。

在陶湾矿区采石坑中及南城等地，可见到大量海相瓣鳃类及少量腹足类化石，浦南发现大量鲸鱼化石。冲积相分布于新沭河、朱嵇河流域，岩性为灰黄色粉砂、粘土质粉砂。

在现代河流中为灰黄色砂、砾石层或含砾砂层。海陆交互相分布在沿海一带大河河口及山前沟谷中，岩性主要为灰、浅灰色粉砂质亚粘土及粘土质粉砂；钻孔中所见岩性为棕黄色亚粘土与灰白、灰黄色砂砾层互层，为冲积-海积混合物。

3.3 近场区地质构造展布及发育特征

近场区在大地构造上归属于秦岭-大别断褶系的苏鲁断褶带，中生代断块差异活动较强烈，大规模的岩浆侵入和喷发形成了大面积的中酸性侵入体和火山岩。在新构造期地壳仍以升降运动为主，隆起区有所扩大，但运动强度已大为减弱。晚新生代断块构造活动较为稳定，地震强度、频度均较低。近场区内构造活动不强烈，断裂均为前第四纪断裂（图 3.1-2）。由近场区图切地质剖面（A-B 测线位置见图 3.1-1，剖面见图 3.5-1，C-D 测线位置见图 3.1-1，剖面见图 3.5-2，E-F 测线见图 3.1-1）可知近场区内基底主要是元古界海洲群白云斜长片麻岩夹混合质白云残斑浅粒岩及云母片岩或角闪片岩，片岩夹层以上部为多，下部夹白云石英片岩（或浅粒岩或石英变粒岩），本段岩石中偶含方解石（图 3.5-1，剖面位置见图 3.1-1 或图 3.1-2），局部地区发育白垩系砂岩以及新近系泥岩、砂岩，上覆第四系。近场区内海州-韩山断裂是白垩纪罗阳-浦南盆地的西边界断裂，错断了白垩纪王氏组砂砾岩地层（图 3.1-2）。近场区内陆域北端为一个倒转的背斜，基底为海州群，另外在近场区内还存在着部分不整合面，总体上近场区地质构造较为简单。

目标区内发育猴嘴-南城断裂，该断裂NNE向穿越目标区东侧，它是前第四纪断裂（图3.1-1、图3.1-2）。另外，玉带河断裂NW向穿越目标区，它也是前第四纪断裂（图3.1-1、图3.1-2）。烧香河断裂位于目标区东南侧侧外约400

m处，该断裂为前第四纪断裂（图3.1-1、图3.1-2）。

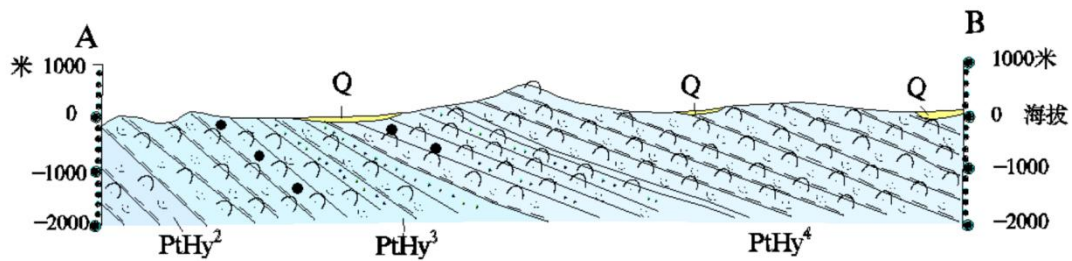


图 3.5-1 近场区 A-B 地质剖面图

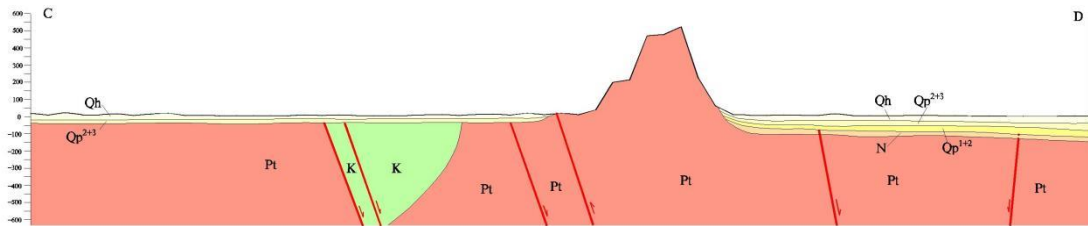


图 3.5-2 近场区 C-D 地质剖面图

3.4 新构造运动特征

近场区新构造运动主要表现为弱的隆升、差异性和间歇性3种特征。其中以弱的隆升为主，而间歇性运动基本上贯穿整个新构造时期。

（1）弱隆升运动

新构造早期该区范围内表现为整体性隆起，缺失古近纪时期的堆积。新近纪、早更新世仍以整体性隆起为主，仅局部有较弱的差异运动，堆积同时期的地层。

（2）差异性运动

中更新世以来则表现为差异性升降运动。北部和西侧表现为较弱的隆起，中部的平原则表现为较弱的下沉。

（3）间歇性运动

古近纪和新近纪，近场区地壳以整体抬升为主。但在上新世末至早更新世初，地壳抬升作用趋于停滞，在区内普遍发育这一时期的风化壳和洞穴流水堆积，反映地壳运动的间歇性特征。在经历了上新世末至早更新世构造运动的稳定阶段之后，地壳抬升有一个加剧的过程，而到中更新世，地壳再次处于稳定阶段。

3.5 主要断裂活动性

连云港地区地质调查研究程度较高，早期为寻找磷矿等资源，在锦屏山等地区做了详细的地质勘察工作。连云港地区开展过 1:20 万和 1:5 万区域地质调查、水工环地质调查和防震抗灾规划工作。特别是 1992 年和 1997 年江苏省地震局为连云港地震小区划及连云港田湾核电站做了大量详细的地震

地质调查。此外，在连云港地区还完成了多项工程地震安全性评价工作。在充分收集前人已有地质、钻探、地震、物探、遥感等资料基础上，编绘了近场区地震构造图，参见图 3.1-2。

近场区断裂构造发育，主要断裂有 10 条。按断裂方向，区内断裂可分为 3 组：（1）以猴咀-南城断裂为代表的北北东向断裂组；（2）以烧香河断裂为代表的北东向断裂组；（3）以排淡河断裂为代表的北西向断裂组。其中海州-韩山断裂和海州-韩山断裂支断裂应属于区域断裂海泗断裂(F_{18})的一部分，烧香河断裂为区域邵店-桑墟断裂(F_5)的东北延伸段。以下对近场区主要断裂的特征及其活动性进行介绍和评价。

（1）海州-韩山断裂 f_1

针对海州-韩山断裂以往曾有大量的研究工作，首先在锦屏磷矿勘探中发现了该断裂的存在。在张庄西北-李庄（图 3.5-1）、西白马墩-买屯南、后条河北-前大屯西（图 3.5-2）三条勘探钻孔剖面中，断裂错断了各类片麻岩、石英云母片岩以及磷矿层，两侧均发育锦屏岩群磷矿层，沿断裂带发现了数十米厚的断层角砾岩；在这些钻孔剖面中断裂两侧的第四系无明显的差异。

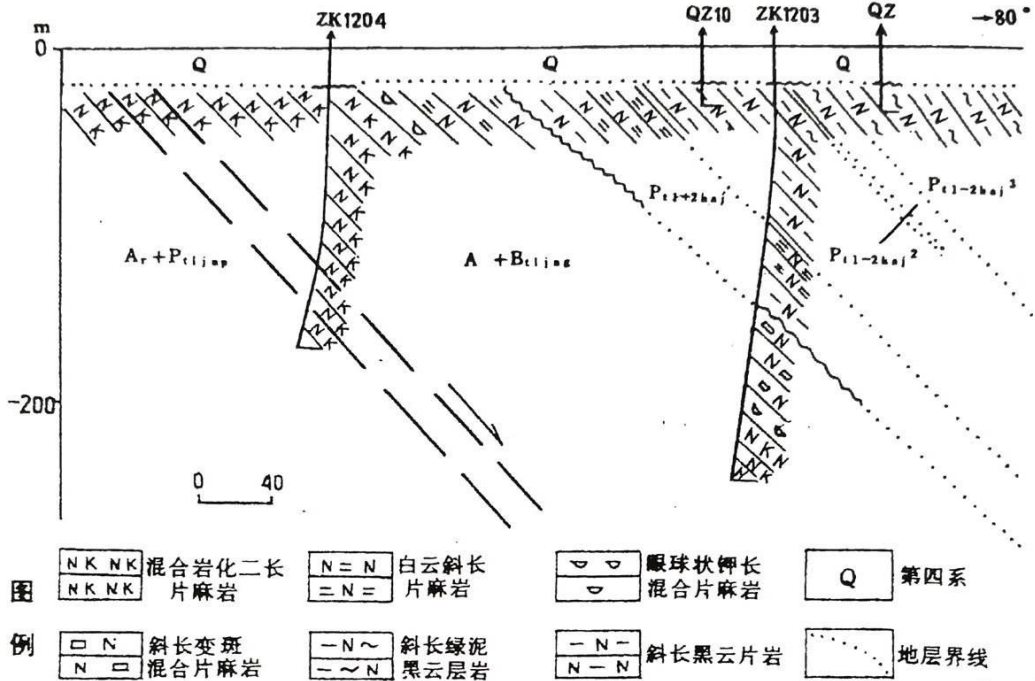


图 3.5-1 张庄西北-李庄海州-韩山断裂钻孔剖面图
(江苏省地质矿产六队，锦屏-上房磷矿普查 A12 线)

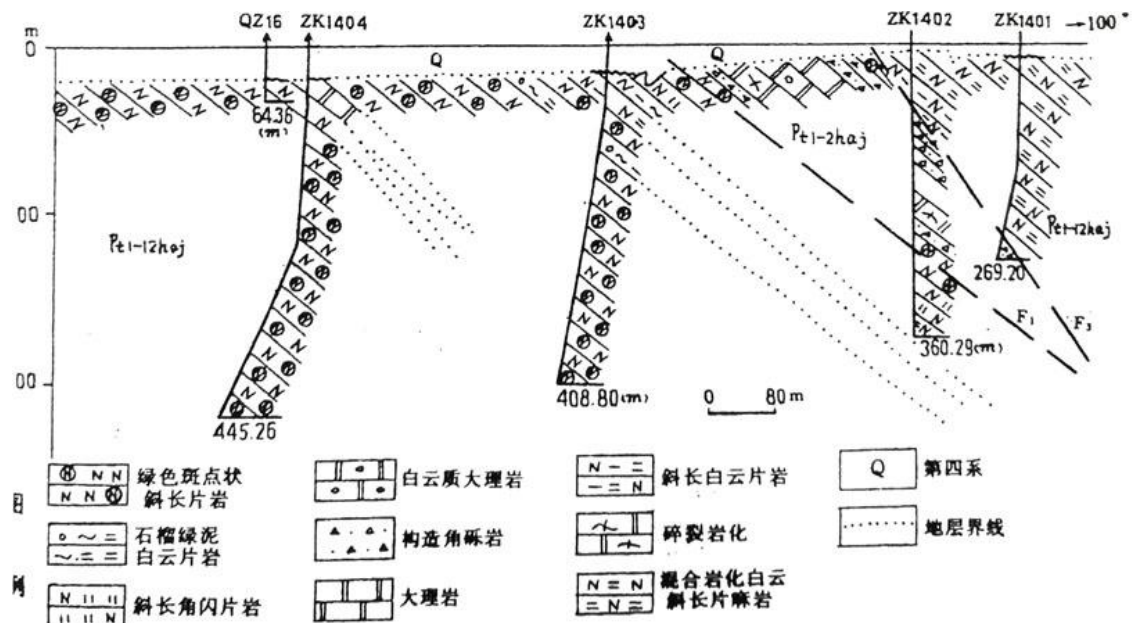


图 3.5-2 后条河北-前大屯西海州-韩山断裂钻孔剖面图

(江苏省地质矿产六队, 锦屏-上房磷矿普查 B14 线)

另外, 江苏省地质六队在赣榆县后小河口至小东关一带东西向跨断裂带开展了钻探工作 (图 3.5-3), 该钻孔剖面显示, 沿海韩断裂发育断层角砾岩, 厚度百余米, 断裂西盘的基岩为元古代片麻岩等变质岩, 东盘为白垩纪王氏组的砾岩、砂岩等沉积岩, 也就是说该断裂作为边界断裂, 控制了白垩纪晚期断陷盆地发育。从钻探结果分析, 该断裂带之上直接覆盖的是第四系, 对于第四系沉积无明显的控制作用。

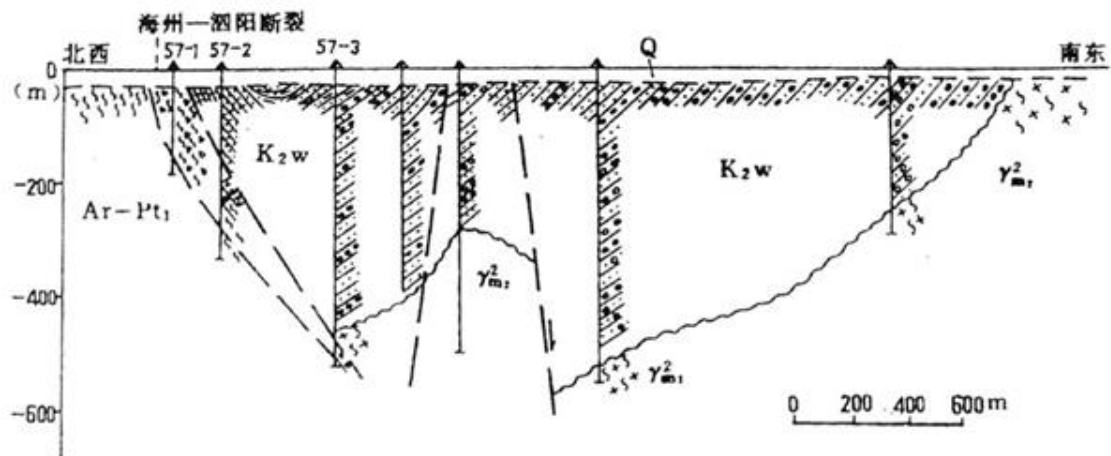


图 3.5-3 后小河口-小东关跨海州-韩山断裂钻孔剖面图 (江苏省地质矿产六队)

1990 年代江苏省地震局在开展核电地震评价时, 又针对该断裂开展了大量的浅层人工地震勘探和断层气测量等研究工作, 浅层地震勘探工作表明, 覆盖层中波组连续性好。跨断裂完成了三条断层气测量剖面, 分布在谷丰庙、前小河和十里墩, 均有异常显示, 背景值为 0.5 Bq/L~1.5 Bq/L, 峰值为 2.5 Bq/L~7 Bq/L, 说明断裂胶结好, 透气性差 (江苏省地震局, 1992)。

《连云港市活动断层探测与危险性》项目（山东省地震工程研究院，2018）在浦南镇刘滩村北开展了跨断层联合钻孔剖面探测工作（图 3.5-4），其中钻孔 PZ10 剖面共揭露了 10 层主要地层：①-⑥层为第四系，⑦层为破碎带，⑧层为燕山期脉岩，⑨层为中生界白垩系，⑩层为中太古界地层。第四系发育了全新统（ Q_4 ）、上更新统（ Q_3 ）地层，地层分布连续稳定，基本呈水平状分布，未见第四系错动现象。

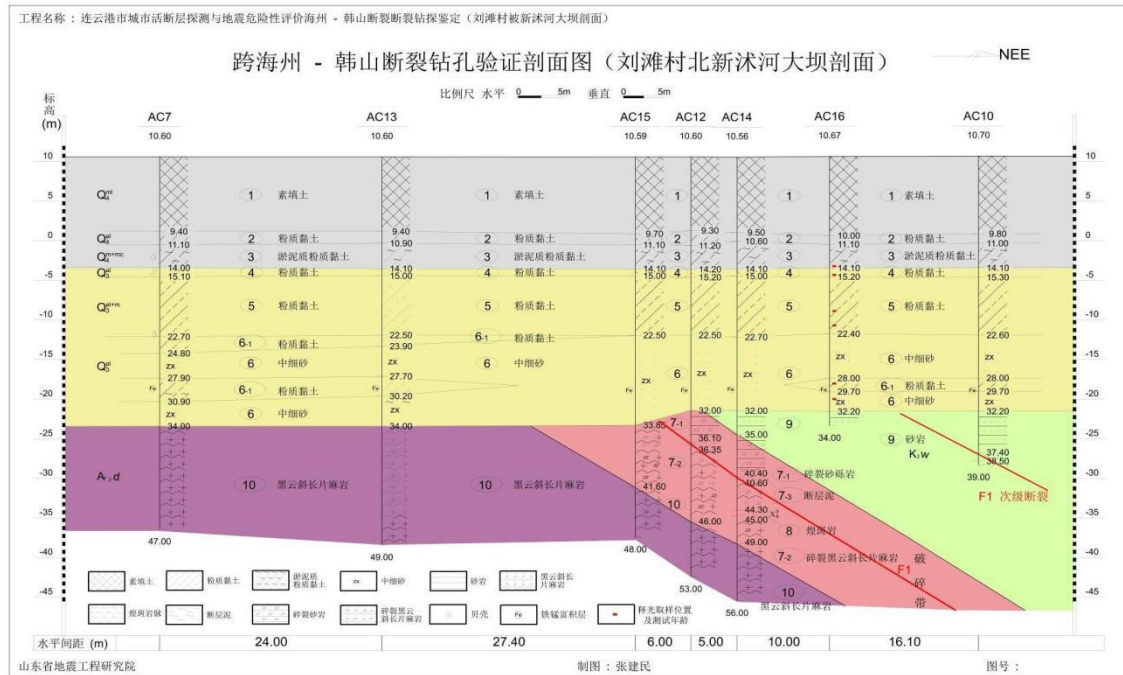


图3.5-4 跨海州-韩山断裂刘滩村北新沭河大桥钻孔剖面图
(山东省地震工程研究院，2018)

下伏基岩，东侧为上白垩统砂岩，西侧为中太古界黑云斜长片麻岩，两者呈断层接触，在 AC15、AC12、AC14 孔发育碎裂砂岩和碎裂黑云斜长片麻岩，并且在 AC12、AC14 两孔中钻遇主断层面，发育薄层灰白色-兰灰色-紫红色相间断层泥。靠近断层泥带的紫红色砂岩、砾岩碎裂化明显，敲击易裂开，常见紫红色细腻黏土质光亮镜面，不同方向的破裂面上常见擦痕。在碎裂化黑云斜长片麻岩中，岩芯破碎，风化强烈，发育破裂面，沿破裂面见发育薄层状的兰灰色-灰白色黏土矿物。在 AC10 号孔下部 38.2 m 附近泥质砂岩中局部发育小型破裂构造。分析认为海州-韩山断裂上断点位于 AC15 和 AC12 孔之间，埋深 34.0 m 左右。

断裂在光学 ETM 影像中无色调变化、线性构造等断裂迹象，浅层人工地震探测结果显示 T_Q 反射波组被错断，东西两侧不连续，断点倾向 E，视倾角约 50° 左右，表现为正断层。断点附近反射波组 T_Q 上方波组连续，未见错断迹象。说明海州-韩山断裂错断了第四系之下的基岩地层，但未影响第四系（山东省地震工程研究院，2018）。综合分析，断裂走向 NNE，倾向 SEE，倾角

约为 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，具有走滑兼正断活动特征。该断裂隐伏于第四纪地层之下，是白垩纪罗阳-浦南盆地的西边界断裂，错断了白垩纪王氏组砂砾岩地层。它没有错断上覆的全新统（ Q_4 ）、上更新统（ Q_3 ）地层。

《连云港市活动断层探测与危险性》项目（山东省地震工程研究院，2018）在该断裂上布设了多条地震勘探线，在测线 1（测线位置见图 3.1-2），可见断点位于 CDP1808 处， T_Q 反射波组存在转折现象，为断裂存在的标志（图 3.5-5）。断面倾向 E，视倾角较陡，约 70° 左右，正断层性质。反射波组 T_Q 上方波组连续，未见异常，判断断点对应海州-韩山断裂。测线 2（测线位置见图 3.1-2），可见断点位于 CDP3255 处， T_Q 反射波组存在转折现象，断面倾向 E，视倾角较陡，约 70° 左右，剖面表现为正断层。反射波组 T_Q 上方波组连续，未见异常，判断 f_h 断点为海州-韩山断裂带的组成断裂（图 3.5-6）。测线 4-1（测线位置见图 3.1-2），可见断点位于 CDP850 处， T_Q 反射波组存在转折现象，断面倾向 E，视倾角较陡，约 60° 左右，表现为正断层。反射波组 T_Q 上方波组连续，未见错断迹象，判断 f_d 断点为海州-韩山断裂（ F_1 ）的次级断裂（图 3.5-7）。从这些地震勘探剖面可以看出断裂均未断错基岩顶面。

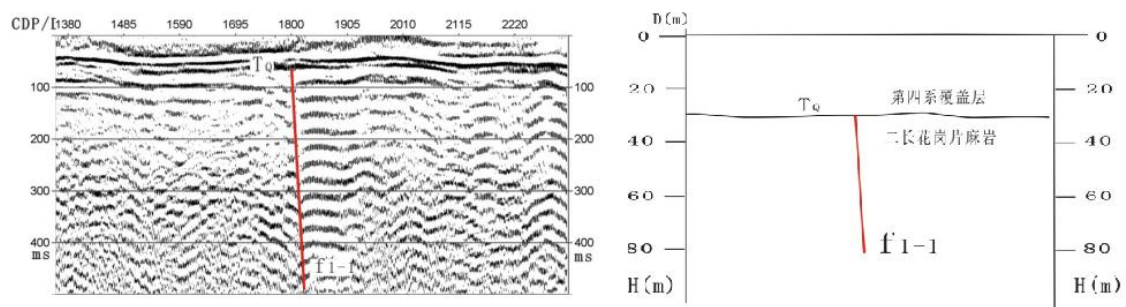


图3.5-5 测线1断点f1-1局部时间剖面及其地质解释剖面
（山东省地震工程研究院，2018）

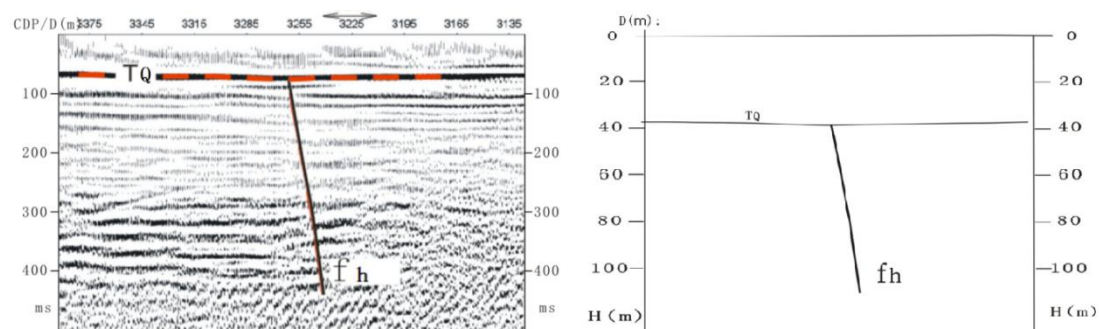


图3.5-6 测线2-1断点fh局部时间剖面及其地质解释剖面
（山东省地震工程研究院，2018）

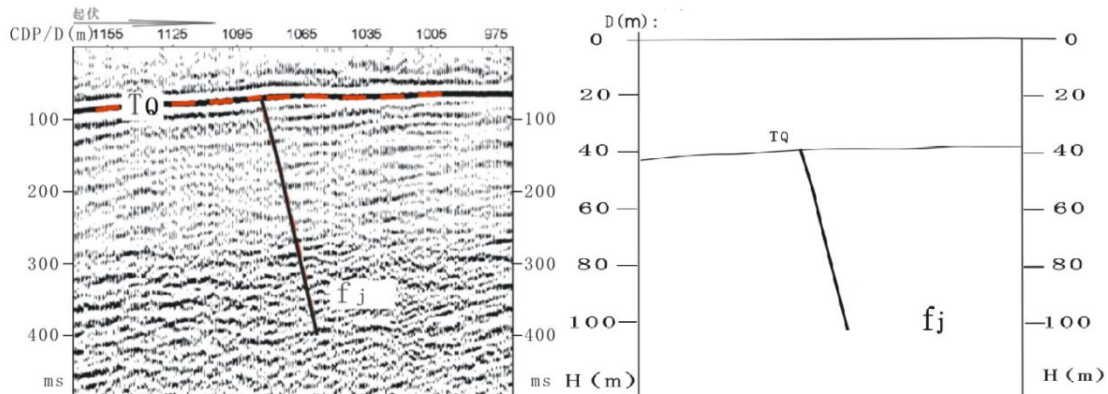


图3.5-7 测线4-1断点 f_j 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院, 2018)

综合分析认为, 海州-韩山断裂为前第四纪断裂。

(2) 猴嘴-南城断裂 f_2

该断裂位于猴咀-南城一线, 走向 $N10^\circ \sim 15^\circ E$, 倾向南东, 倾角约 75° , 向北延向海域, 向南延可达吴集一带, 长度超过 30 km, 切割深度超过 5 km。在 1: 5 万连云港地区布格重力异常平面图上, 该断裂西部 NNE 向延伸的高值重力异常等值线与东部 NW 向延伸的异常等值线在断裂处斜交, 反映了断裂东西两侧密度差异较大, 地质体的延伸方向也不同。在 1: 10 万连云港地区航磁 ΔT 等值线图上, 该断裂亦有清晰显示。

在遥感图像上, 沿该断裂存在一条线性影纹。前云台山西侧山体基岩中的片理走向与断层走向一致, 钻孔揭露到糜棱岩和角砾岩。跨断裂的钻孔剖面 (图 3.5-8) 反映断裂带宽 28 m~250 m, 见到断层角砾岩, 角砾胶结良好。江苏省地震工程研究院 (1992) 完成的江苏省连云港核电厂地震地质综合研究工作中, 在新滩北进行过跨断层地震勘探和断层气测量工作, 并进行了探槽开挖。研究成果表明, 该断裂由两条断层组成, 但第四系底面对应的地震波组没有被错断, 在断层通过的探槽中没有发现断层新活动迹象, 前云台山西麓不存在断层新活动标志, 尤其是中晚更新世地层组成的洪积扇没有被切割或变形现象, 这些都反映了该断裂在第四纪没有活动过, 是一条前第四纪断裂。

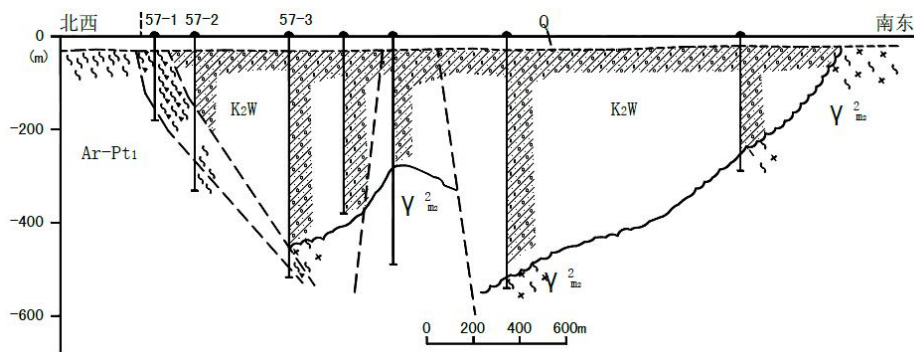


图 3.5-8 跨断层钻孔剖面 (江苏省地震工程研究院, 2013)

在飞泉村西侧农耕土路上开展的跨猴嘴-南城断裂钻孔联合剖面探测（图 3.5-9）显示，猴嘴-南城断裂的上断点位于 B8 和 B1 孔之间，上断点埋深估计 11.1 m 左右。断裂及两侧基岩顶面平坦，无明显高差，对上覆的第四系没有错断或变形影响，综合分析认为猴嘴-南城断裂是前第四纪断裂。

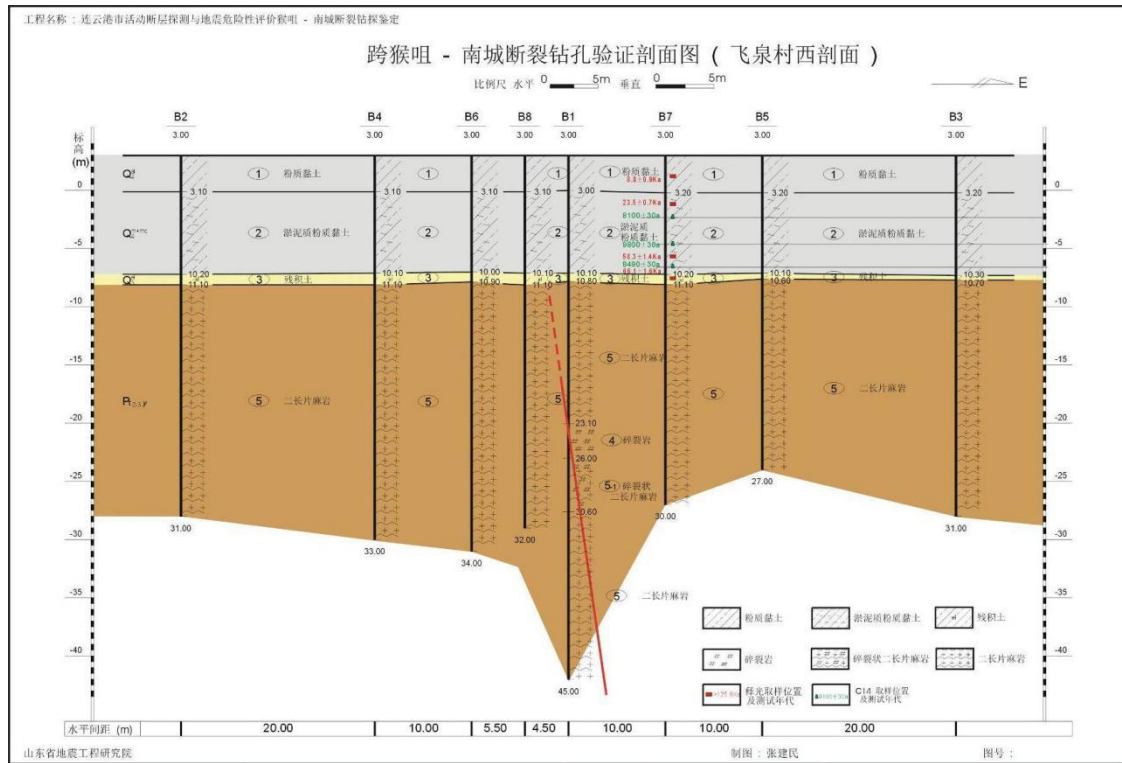


图 3.5-9 跨猴嘴-南城断裂飞泉村西钻孔剖面图（山东省地震工程研究院，2018）

山东省地震工程研究院（2018）曾跨该断裂布设过地震勘探测线（测线 2-4，测线位置见图 3.1-2），其中纵波反射测线（图 3.5-10）时间剖面及解释剖面上共发现 2 处断点，编号为 f_{2-3} 和 f_{2-4} ，对应猴嘴-南城断裂，其中 f_{2-4} 断点为主断裂。 f_{2-4} 断点在测线 CDP1255 处， T_Q 反射波组在此被错断，东西两侧不连续，大约存在 8 ms 的时差。断点倾向 E，视倾角较陡，约 70° 左右。反射波组 T_Q 上方波组连续，未见错断迹象，判断猴嘴-南城断裂 f_{2-4} 断点为基岩断裂。 f_{2-3} 断点在测线 CDP1170 处， T_Q 反射波组在此被错断，东西两侧不连续，大约存在 6 ms 的时差。断点倾向 W，视倾角较陡，约 70° 左右。反射波组 T_Q 上方波组连续，未见错断迹象，判断 f_{2-3} 断点为基岩断裂。横波反射测线（图 3.5-8）时间剖面及解释剖面上共发现 2 处断点，编号为 f_{2-6} 和 f_{2-7} ，分别对应于 f_{2-3} 和 f_{2-4} 断点。 f_{2-6} 断点位于测线 CDP428 处， T_Q 反射波组在此被错断，东西两侧不连续，大约存在 10ms 的时差。断点倾向 W，视倾角较陡，约 70° 左右，判断 f_{2-7} 断点为猴嘴-南城断裂（ F_2 ）的次级断裂。 f_{2-7} 断点位于测线 CDP560 处， T_Q 反射波组在此被错断，东西两侧不连续，大约存在 16ms

的时差。断点倾向 E，视倾角较陡，约 70° 左右，判断 f_{2-6} 断点为猴嘴-南城断裂 (F_2) 的主断裂。

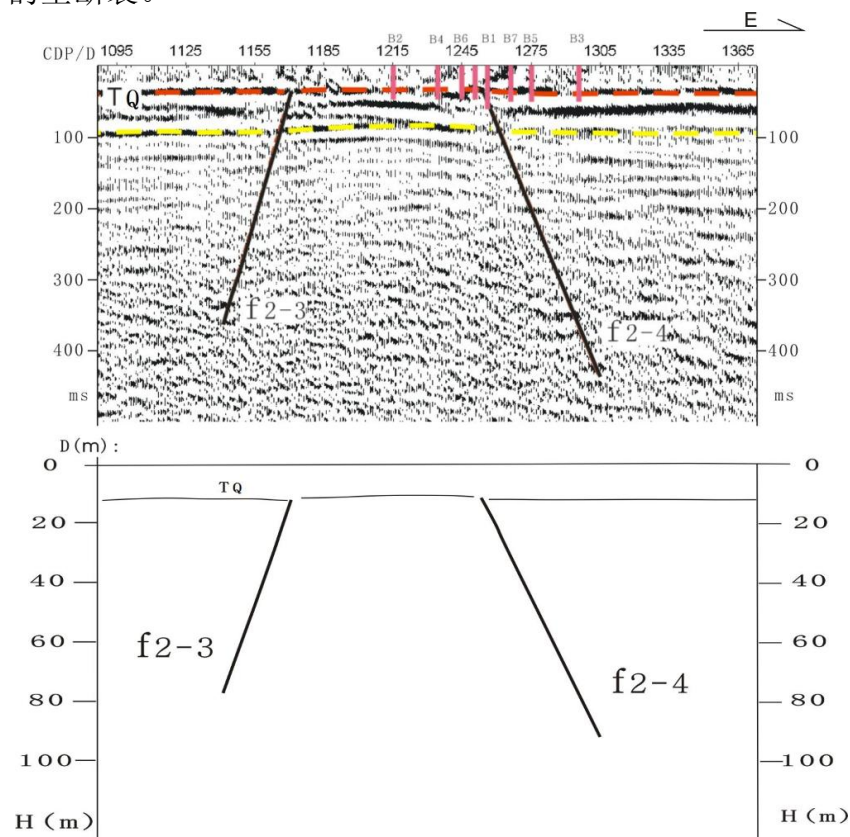


图 3.5-10 纵波反射测线断点 f_{2-3} 和 f_{2-4} 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院, 2018)

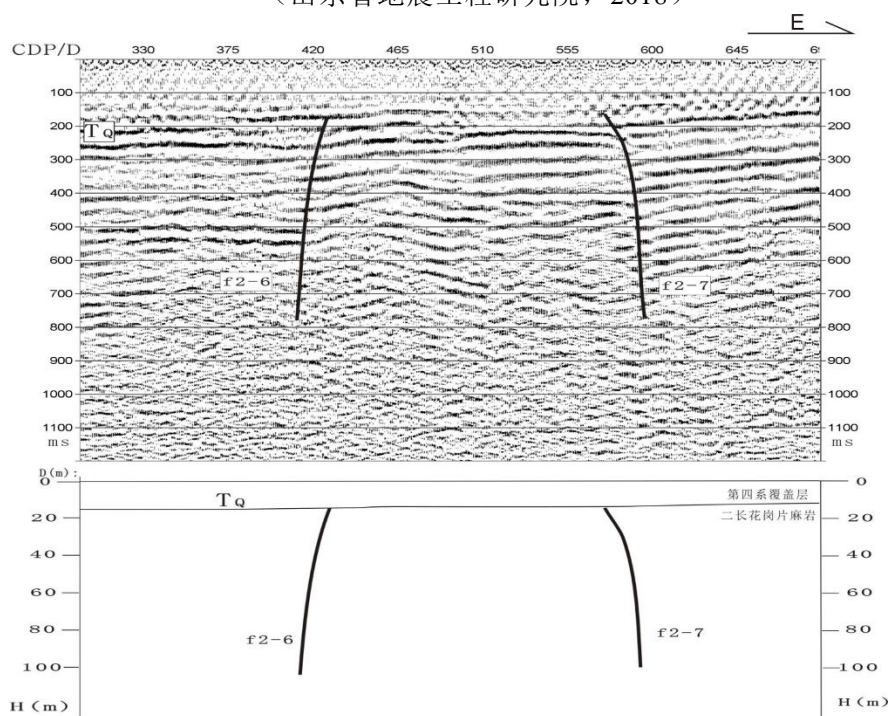


图 3.5-11 横波反射测线断点 f_{2-6} 和 f_{2-7} 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院, 2018)

山东省地震工程研究院（2018）曾跨该断裂布设过地震勘探线（图 3.5-12），在测线时间剖面及解释剖面上共发现 1 处断点，编号为 f_{2-5} ，对应猴嘴-南城断裂主断裂。该断点位于测线 CDP480 处， T_Q 反射波组在此被错断，东西两侧不连续，大约存在 6ms 的时差。断点倾向 E，视倾角较陡，约 70° 左右；反射波组 T_Q 上方波组连续，未见错断迹象，判断 f_{2-5} 断点为基岩断裂。

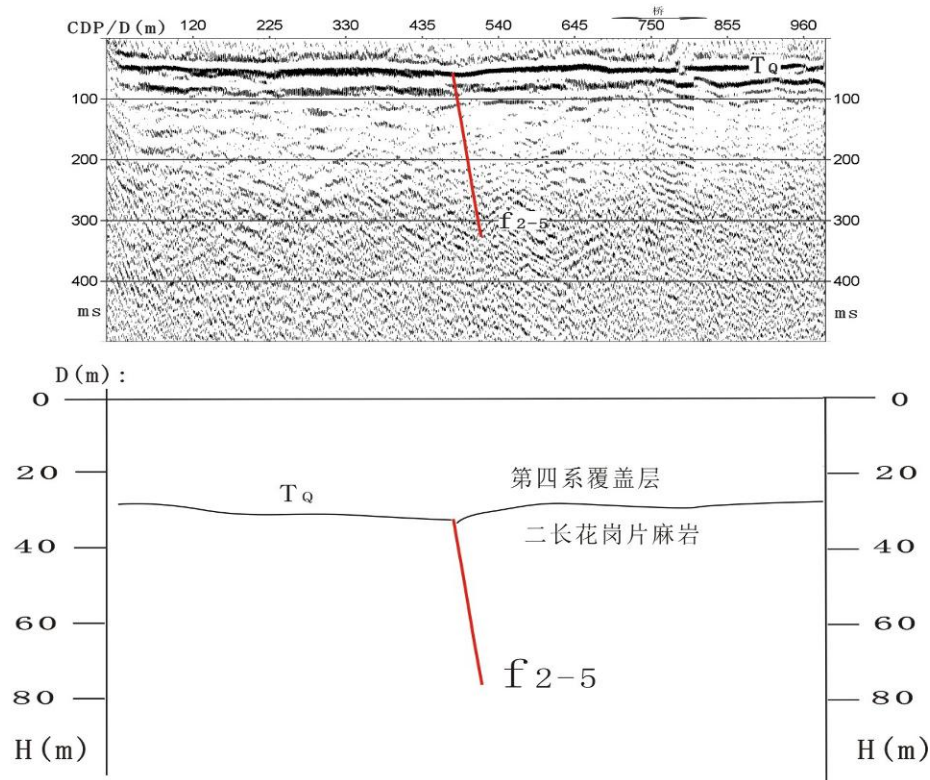


图 3.5-12 测线 7 断点 f_{2-5} 断点局部解释图（山东省地震工程研究院，2018）

我公司（2021）在目标区内布设的两条测线（WS3 测线和 WS4 测线，测线位置示意图见图 3.1-2）探测到了该断裂。

测线 WS3 呈近南北向布设，剖面长 3291 m，由测线 WS3 地震时间剖面及解译剖面图（图 3.5-13）可见，存在 1 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 2 个物性层。第一物性层为 T_1 反射界面之上部分，层厚有一定变化，层厚 24 m~35 m，层速度约为 1260 m/s。据场地区域地质资料，推测该层为第四系上更新统-全新统（ Q_{3+4} ）粉土及粉质黏土层和粗砂。第二物性层为基岩顶面反射波组（ T_1 ）以下的基岩部分，该反射波同相轴基本是水平的，埋深 24 m~35 m。 T_1 同相轴总体上连续性较好，在 2400 m 里程处同相轴发生了扰动，下部反射轴错乱。并且在 1630 m~2350 m 里程段同相轴有“下沉”趋势，推断为基岩内部 2400 m 里程，存在一个逆断层，下盘基岩受挤压作用，产生了一定范围的变形。断层处基岩顶面

岩层有一定的连续性，未发生明显错断。结合区域地质资料，推断该断裂为猴嘴-南城断裂。断裂视倾向 SE，视倾角为 79° ，断点埋深 26 m，断距 3 m。从地震测线 WS3 的反射波组看，基岩顶面反射波组有一定的扰动，但总体上连续性和成层性连好，没有明显错动，并且基岩顶面上覆反射波组代表的第四系地层是连续的。因此，推断该测线处断层为基岩内断层未错动第四系。

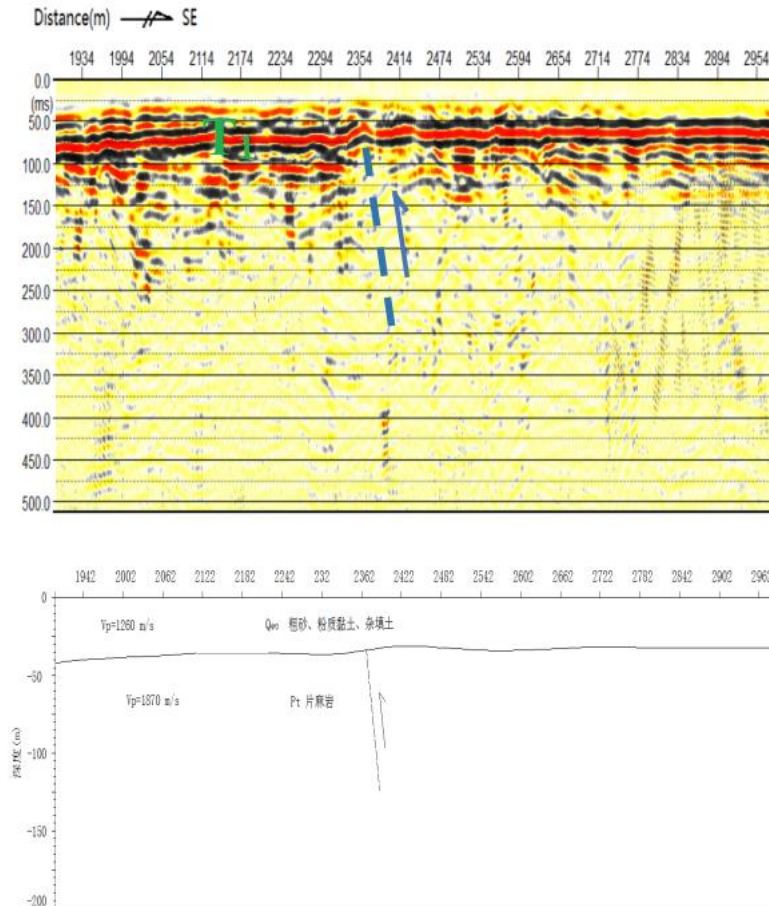


图 3.5-13 测线 WS3 地震时间剖面及地质解译成果图（局部）

测线 WS4 呈北东-南西向布设，剖面长 3681 m，由测线 WS4 地震时间剖面及解译剖面图（图 3.5-14）可见，存在 1 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 2 个物性层。第一物性层为 T_1 反射界面之上部分，层厚有一定变化，层厚 18 m~30 m，层速度约为 1260 m/s。据场地区域地质资料，推测该层为第四系上更新统-全新统（ Q_{3+4} ）粉土及粉质黏土层和粗砂。第二物性层为基岩顶面反射波组（ T_1 ）以下的基岩部分，该反射波同相轴基本是水平的，埋深 18 m~30 m。 T_1 同相轴总体上连续性较好，在 1934 m 里程处同相轴发生了扰动。大桩号端基岩内部反射波阻向上的扰动，推断该里程处存在一个逆断层，断层处基岩顶面波组仍然较连续，未发生明显错断。结合区域地质资料，推断该断裂为猴嘴-南城断裂。断裂视

倾向 SE，视倾角为 80° ，断点埋深 19 m，断距 4 m。地震测线 WS4 的反射波组，虽然基岩顶面反射正相位能量明显减弱，但总体上到 2055 里程处，正相位的波组与断点位置处正相位波组是有一定的延续性，并且上覆负相位的反射波组连续性很好，没有扰动痕迹。因此，推断该测线处断层为基岩性断层未错动第四系。

综合分析，该断裂为前第四纪断裂。

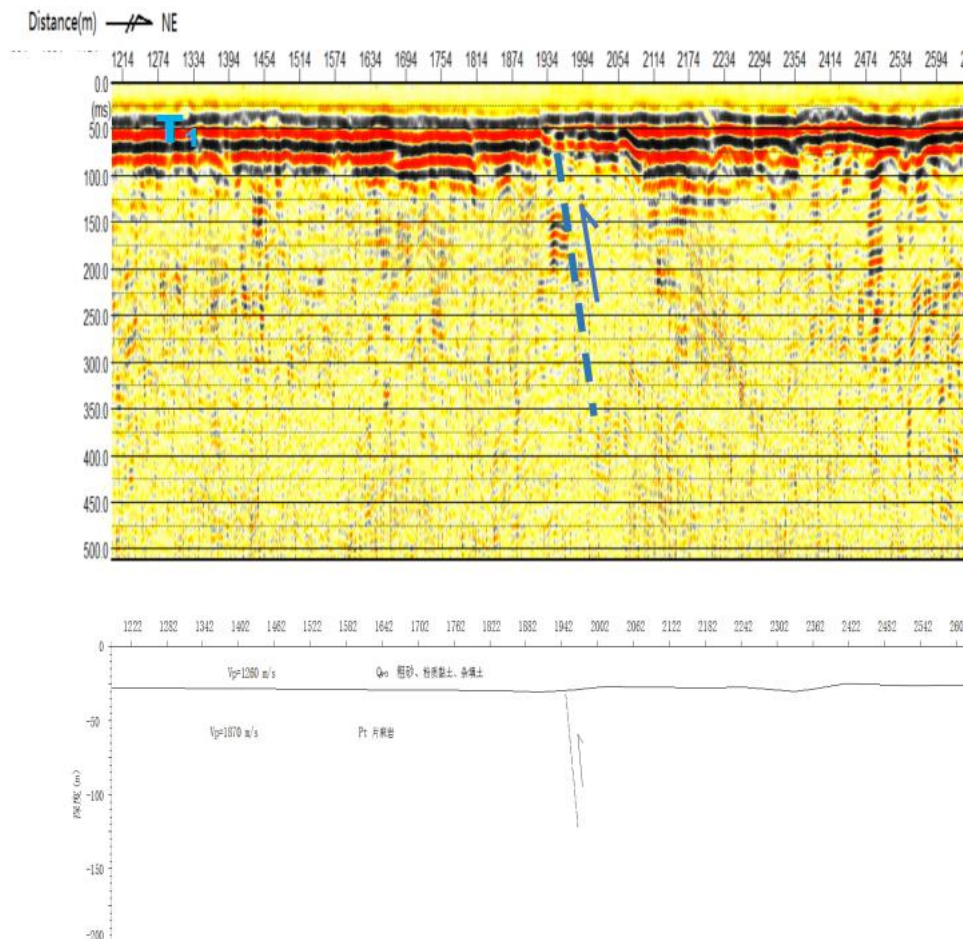


图 3.5-14 测线 WS4 地震时间剖面及地质解译成果图（局部）

(3) 烧香河断裂 f_3

烧香河断裂沿烧香河南岸分布，系邵店-桑墟断裂的东北延伸段，断裂性质属于基底断裂。沿烧香断裂长约 120 km，走向 $NE45^\circ \sim 55^\circ$ ，倾向 SE，倾角 $30^\circ \sim 65^\circ$ ，它是沭阳盆地、板浦 K_2-E 盆地的北缘断裂，控制着中新生代地层厚度的分布，沿断裂分布有重力异常梯级带。烧香河断裂呈北东向延伸在云台山东南麓，自桑墟经新坝北、板浦北延至板桥镇南入海，这是一条正断层，主断面倾向南东。经钻探和地震勘探证实，在主断裂和云台山之间的山前地带，在变质岩层（ Pt_{2-3y} ）之上披覆的第四系（ Q_{2-4} ）厚约 30 m~40 m，远离山体第四系厚度加大。全新世沉积厚度从 2 m 逐步加大到 10 m，最厚达 15 m，参见图 3.5-15 和图 3.5-16。

另据地震勘探, 并结合钻孔资料分析, 烧香河断裂明显错断了变质岩层 (Pt) 顶面、王氏组 (K_{2W}) 顶面和 N_2-Q_1 沉积, 总错距达 150 m~160 m, N_2-Q_1 错距约 3 m, 其上更新地层未见错动迹象, 参见图 3.5-17。

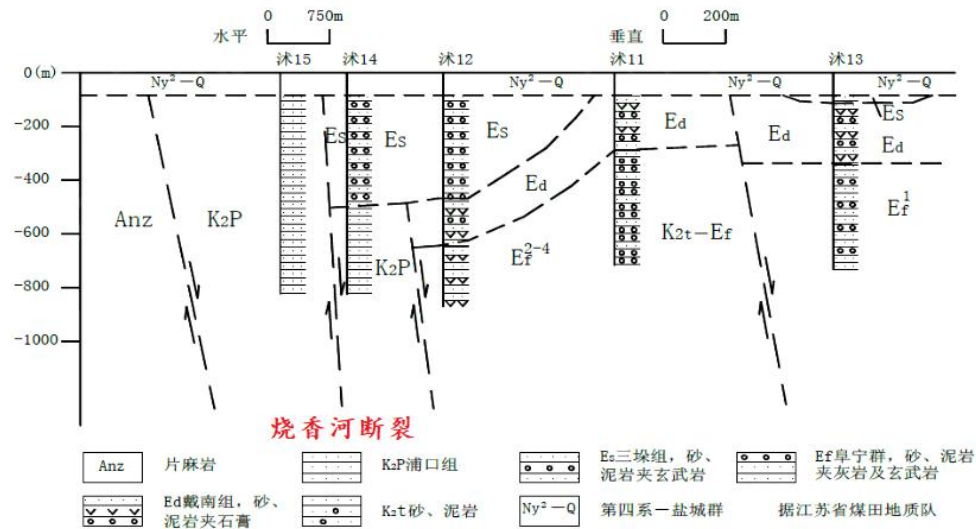


图 3.5-15 烧香河断裂 (沭阳段) 钻孔剖面图 (江苏省地震工程研究院, 1992; 1997)

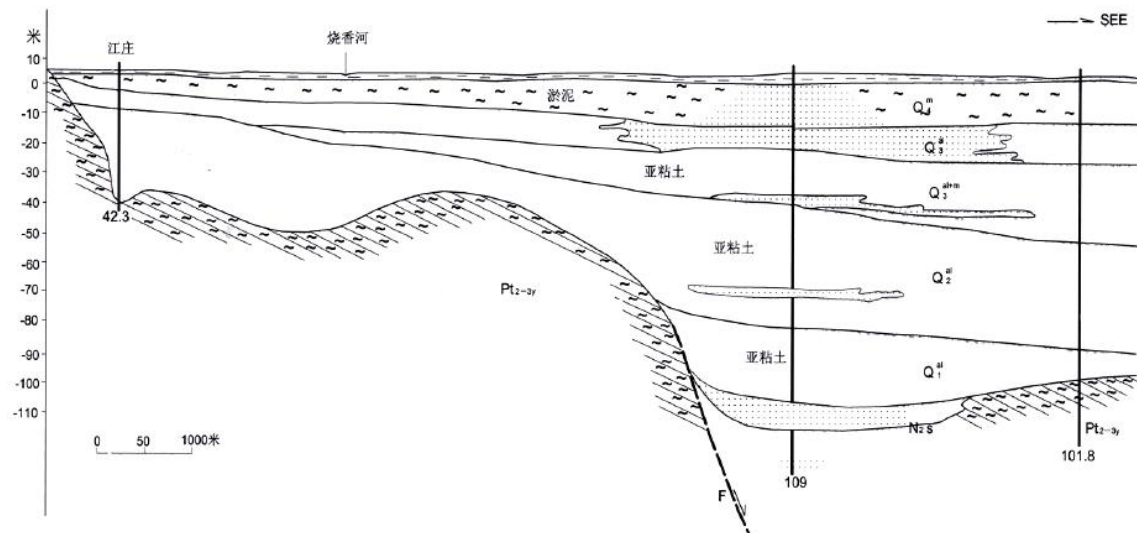


图 3.5-16 烧香河断裂钻孔剖面图

(据江苏省地矿局第二水文地质工程地质大队; 江苏省地震工程研究院, 1992; 1997)

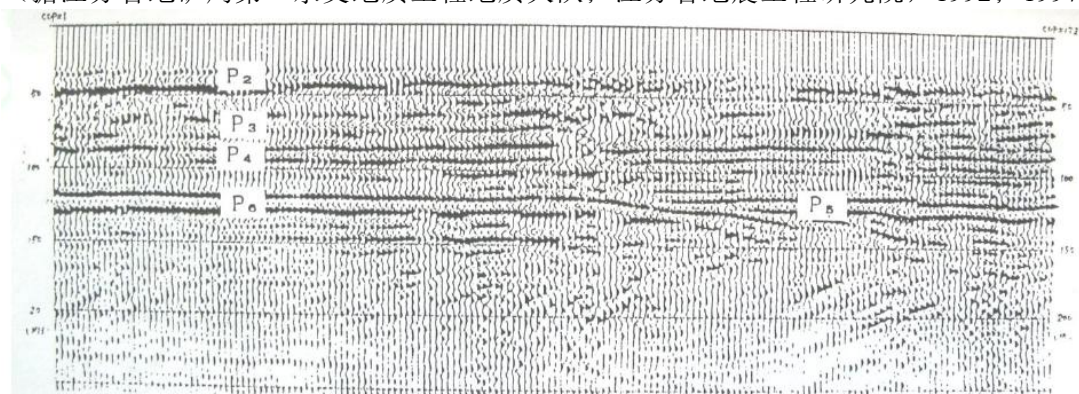


图 3.5-17 烧香河断裂浅层地震勘探时间剖面图

(江苏省地震工程研究院, 1992; 1997)

据江苏省地震工程研究院（1992）《江苏省连云港核电厂地震地质综合评价报告》，地震勘探结果表明，邵店-桑墟断裂沿测线存在明显的断点，其性质为正断裂，断裂走向 $N48^{\circ}E$ ，倾向 SE ，倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。断面似犁形结构，属一组在老断裂基础上，在新生代以来有过活动的断裂。推测断距达 160 m。江苏省地震局（1997）针对该断裂又进行了一系列调查研究工作（包括物、化探，钻探，测年等），并完成了《连云港核电厂地震地质补充工作报告》（邵店-桑墟断裂活动性评价），根据该报告研究成果，烧香河断裂是一条前第四纪断裂。

山东省地震工程研究院（2018）曾针对该断裂布设过 3 条地震勘探测线，其中测线 10-1（测线位置见图 3.1-2），在该测线上 CDP2395 处有明显的转折现象，大约存在 10 ms 的时差。断点倾向 N ，视倾角较陡，约 45° 左右，推测 f_c 断点为烧香河断裂（图 3.5-18）。测线 8（测线位置见图 3.1-2）横波时间剖面及解释剖面共发现 1 处断点，编号为 f_{3-4} ，对应烧香河断裂。 T_Q 反射波组在 CDP1537 处有明显的转折现象，大约存在 10ms 的时差。断点倾向 S ，视倾角较陡，约 65° 左右，表现为上盘下降、下盘上升的正断层，判断 f_{3-4} 断点为烧香河断裂（图 3.5-19）。测线 LBK3（测线位置见图 3.1-2）时间剖面及解释剖面共发现 1 处断点，编号为 f_{3-3} ，对应烧香河断裂。 f_{3-3} 断点位于测线 CDP780 处， T_Q 反射波组有明显的转折现象，大约存在 10 ms 的时差。断点倾向 S ，视倾角较陡，约 45° 左右，表现为上盘下降、下盘上升的正断层（图 3.5-20）。从这些地震勘探测线可以看出断点上覆反射波组（基岩顶面）均连续，未被断错。

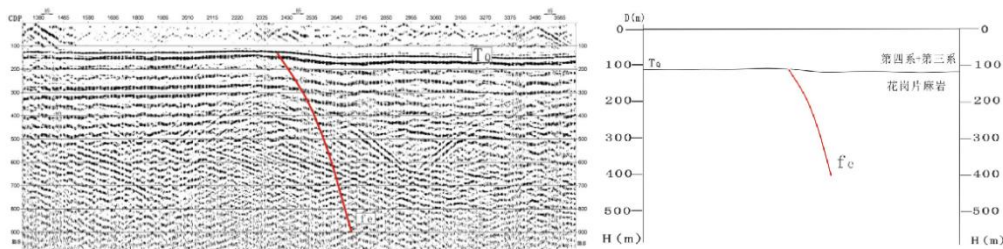


图 3.5-18 测线 10-1 断点 f_c 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院，2018)

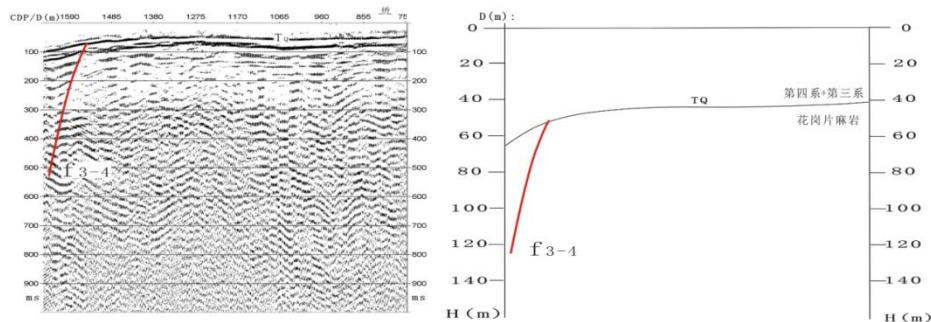


图 3.5-19 测线 8 断点 f_{3-4} 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院，2018)

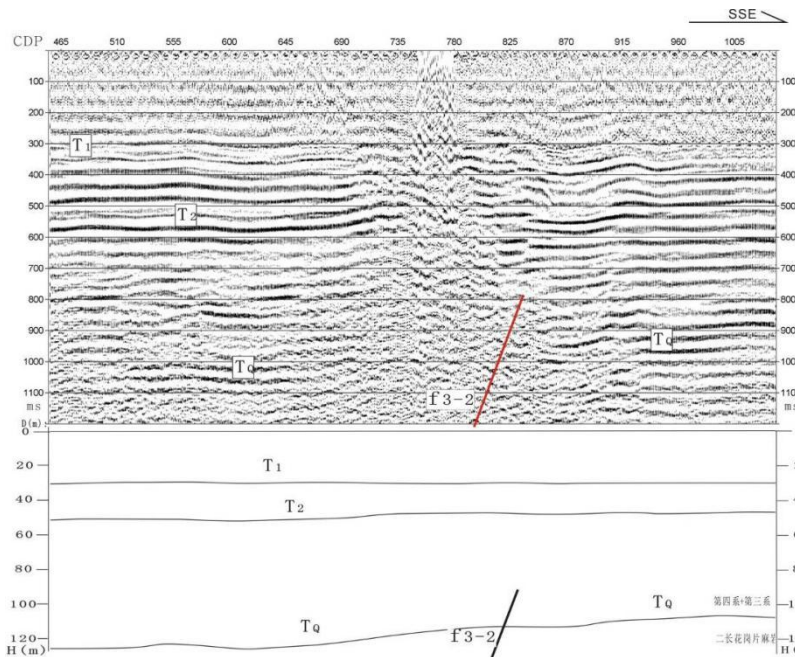


图 3.5-20 测线 LBK3 断点 f3-2 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院, 2018)

综合上述资料, 烧香河断裂为前第四纪断裂。

(4) 伊芦山北断裂 f_4

伊芦山北断裂延伸于小伊山、伊芦山、西隄山北侧, 走向北东。该断裂与烧香河断裂大体平行, 亦是一条隐伏断裂。经断层气测量, 两条剖面上氦异常值均超过背景值 3~4 倍。在伊芦山周围进行了野外地质考查, 伊芦山北麓没有发现断裂活动迹象。山前基岩中发育一条北东向断层, 其断裂破碎带宽约 40 cm 左右, 其中发育有断层角砾岩, 但已固结成岩。另据钻孔资料分析, 伊芦山北断裂形成时间、主要活动时间与烧香河断裂基本相同, 但活动强度要弱一些。

江苏省地震工程研究院对该断裂曾布置了一条地震勘探线进行探测, 位置在徐圩盐场西北, 板桥至圩丰镇公路东侧, 测线走向 NW, 测线长 2515 m。目的是确定伊芦山北断裂的确切位置和活动性。探测结果显示 (图 3.5-21), 基岩 (Pt) 顶面反射波的 P_4 波组, 在整条测线上均有发育, 能量强, 在 351#CDP 点处 P_4 波组同相轴不连续, 其主要特征是同相轴由弧形突转为平坦, 且自 SE 向 NW 方向呈向下切割状, 为断裂构造的较明显特征。上覆土层中的反射波组没有错动、扰动迹象。该断裂视断距较小, 倾向北西, 视倾角约 70° , 为上盘下降、下盘上升的正断层。

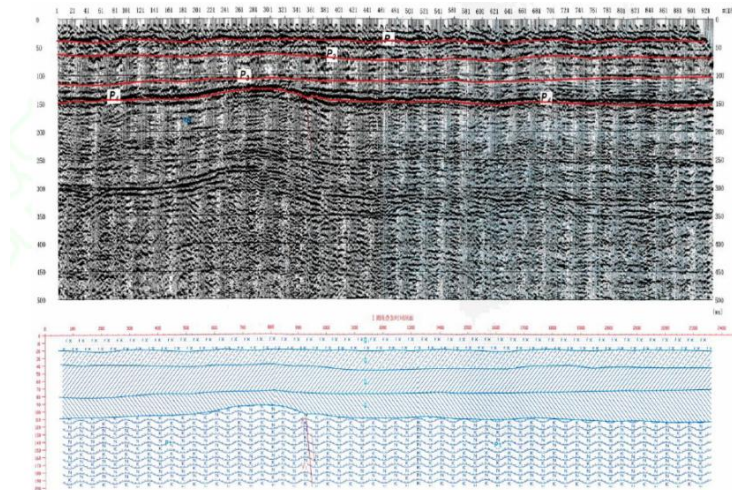


图 3.5-21 地震勘探时间剖面图（伊芦山北断裂）
（江苏省地震工程研究院，2013）

山东省地震工程研究院（2018）曾针对该断裂布设过地震勘探测线，其中测线 9（测线位置见图 3.1-2）时间剖面剖面上，发现 1 处断点，编号为 f_{4-1} ，对应伊芦山北断裂。断点位于 CDP1360 处， T_Q 反射波组被错断，东西两侧不连续，大约存在 5 ms 的时差。断点倾向 N，视倾角较陡，约 70° 左右，表现为上盘下降、下盘上升的正断层，上覆地层未见明显错动（图 3.5-22）。测线 10-2（测线位置见图 3.1-2）时间剖面上，共发现 1 处断点，编号为 f_{4-2} ，对应伊芦山北断裂。断点位于 CDP6355 点处， T_Q 反射波组被错断，东西两侧不连续，大约存在 4 ms 的时差（图 3.5-23）。断点倾向 N，视倾角较陡，约 80° 左右，表现为上盘下降、下盘上升的正断层，断到基岩顶面，上覆地层未见明显错动。综合分析，推断伊芦山北断裂是一条隐伏的前第四纪断裂。

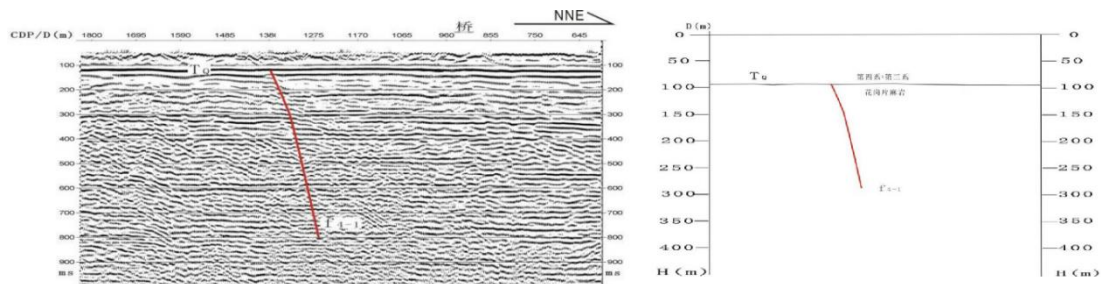


图 3.5-22 测线 9 断点 f_{4-1} 局部时间剖面及其地质解释剖面
（山东省地震工程研究院，2018）

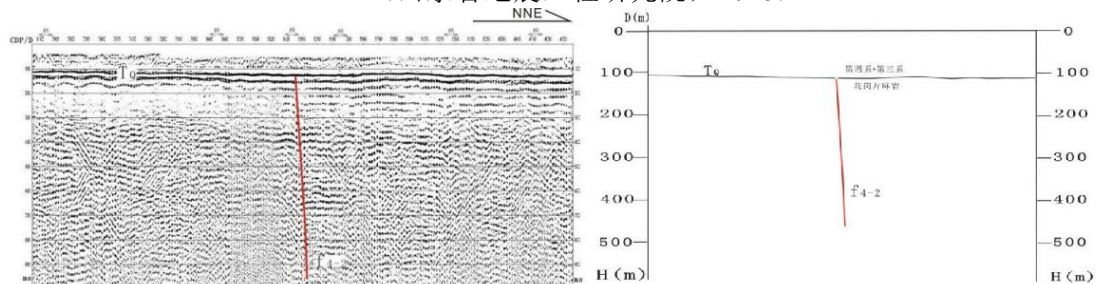


图 3.5-23 测线 9 断点 f_{4-2} 局部时间剖面及其地质解释剖面
（山东省地震工程研究院，2018）

(5) 排淡河断裂 f₅

排淡河断裂位于中云台山与后云台山之间，走向 NW。该断裂规模不大，延伸不远，长约 18 km。1992 年江苏省地震局对排淡河断裂做了详细的物化探勘查，共布设了 9 条折射剖面，1 条反射剖面。结合钻孔资料可知，排淡河断裂上方覆盖层为 Q₄、Q₃、Q₂、Q₁-N 地层，总厚度近 50 m。基岩中均有断点，断点连线走向约 NW300°左右，断面倾向 SW，倾角约 60°，具正断性质。排淡河断裂发育在基岩中，断距 5 m~8 m，上覆 Q₁-N 等地层没有受任何影响，更未被错断。在断裂部分段落，中更新统（Q₂）直接覆盖在排淡河断裂上，但 Q₂ 地层未被断裂错断或扰动。

此外，据野外地质考察（江苏省地震工程研究院，2013），在神山水庙西北端采石场，见到一条与排淡河断裂平行发育的北西向断层和节理密集带（图 3.5-24），断层破碎角砾已胶结并充填有石英脉。取断层带中充填的石英作 ESR 测龄，其年龄为 $(81.71 \pm 24.5) \times 10^4$ a。断裂向北西方向延伸，穿越老君堂洪积扇，洪积扇由砂、砾和粘土（Q₂）组成，地貌上没有任何断裂显示。沿断裂没有历史地震记载，亦无现代小地震活动记录。综合分析，推断排淡河断裂是一条前第四纪断裂。

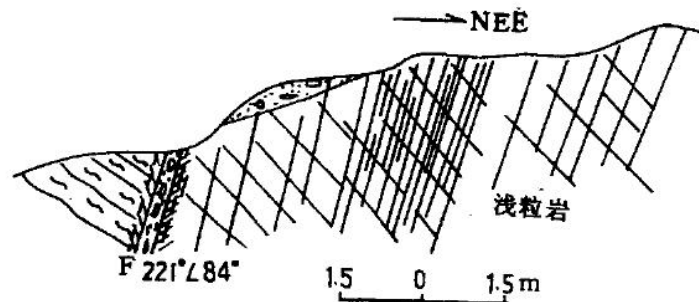


图 3.5-24 排淡河断裂老君堂水库北西向剖面
(江苏省地震工程研究院，2013)

江苏省地震局（1992）针对该断裂在板桥工区反Ⅱ测线上，断裂发育在基岩中，断距 5 m~8 m，上覆 N-Qp¹ 地层没有受任何影响（图 3.5-25）。

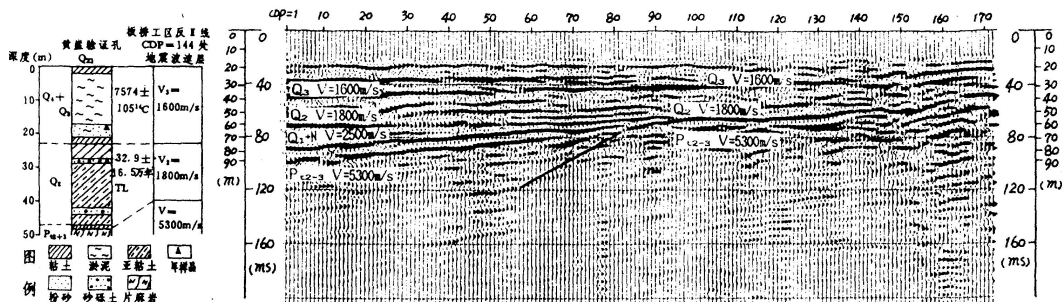


图 3.5-25 排淡河断裂板桥工区反Ⅱ测线动较迭加时间剖面（据江苏省地震局，1992）

(6) 猴嘴-一沟断裂 f_6

猴咀-一沟断裂东南起自老猴咀采石场一带，向西北方向可能延伸至一沟附近，大部分为隐伏断裂。猴咀-一沟断裂走向 NW340°，倾向 NE，长度约 20 km。据猴咀露头区观察，沿断裂发育了挤压破碎带，宽 42 cm~48 cm，破碎带已胶结。断裂下盘见 2 mm~3 mm 浅黄色断层泥，取断层泥作热释光测龄，其年龄为 $(30.47 \pm 2.38) \times 10^4$ a。在山坡上断层被残坡积层覆盖，地貌上无断层反映。经开挖，断层破碎带全被风化，在厚 40 cm~50 cm 的残坡积层中未见断层扰动迹象。

对猴嘴-一沟断裂东延方向的云台山西麓的猴嘴一带进行的野外地质考察，仅在连云港市明亮基础工程有限公司南 200 m 附近采石坑内，发现一小型断裂构造。该断裂发育破碎带、劈理化带，表现为灰白色碎裂岩和断层泥混杂。主要发育云母片岩、变质岩和断层破碎带，其中破碎带附近片理、劈理化明显，发育擦痕，倾向东，侧伏角 40°~45°。剖面所在处山坡地形连续完整，未发现新活动错断现象。

山东省地震工程研究院（2018）在宋庄镇范店村北开展的跨断裂钻孔联合剖面工作（图 3.5-26），该剖面周边地形平坦，地貌上属于连云港云台山西侧平原地带，冲海积平原地貌单元。剖面显示断裂带上覆的第四系分布连续、层位稳定，基本呈水平状分布；该断裂带构成了南西侧元古界片麻岩与北东侧白垩纪王氏组砂砾岩的分界线，两侧基岩顶面平坦，无明显的高差；上覆的第四系没有错动或扰动现象。结合断裂错断地层、破碎带、断层泥固结程度等特点，分析认为猴嘴-一沟断裂为前第四纪断裂。该断裂为正断层，剖面视倾角大致在 28°~35°，估算真倾角为 45°~50°，断层面倾向北东，断裂破碎带宽度约 14 m~17 m。断裂上断点埋深 32.0 m 左右，上断点位于 FB9 孔附近。

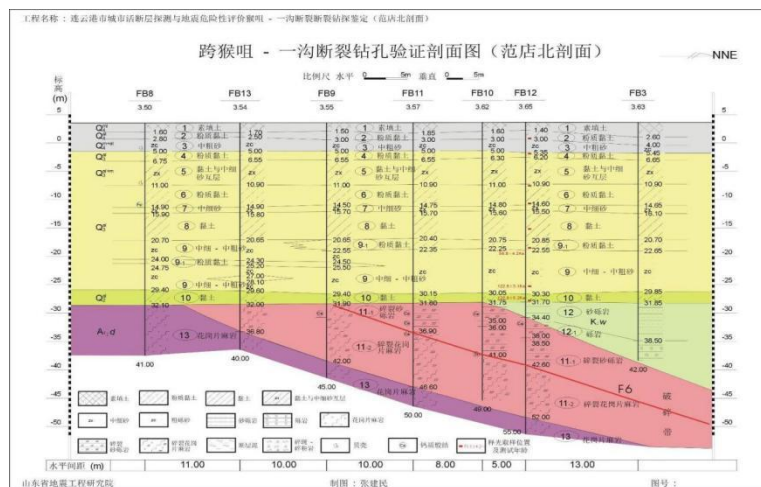


图 3.5-26 跨猴嘴-一沟断裂范店北钻孔联合剖面图（据山东省地震工程研究院，2018）

根据连云港市活动断层探测项目的探测结果，该断裂止于猴嘴西侧，我公司（2021）布置的测线（WS2 测线和 WS5 测线，测线位置示意图见图 3.1-2）上也未探测到该断裂的断点，也可以说明断裂并未向东延伸。在 WS1 测线（测线位置示意图见图 3.1-2）上探测到了该断裂的断点。测线 WS1 总体呈南北向布设，剖面长 1162 m，由测线 WS1 地震时间剖面及解译剖面图（图 3.5-27）可见，存在 1 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 2 个物性层。第一物性层为 T_1 反射界面之上部分，层厚有一定变化，层厚 24 m~26 m，层速度约为 1260 m/s。据场地区域地质资料，推测该层为第四系上更新统-全新统（ Q_{3+4} ）粉土及粉质黏土层和粗砂。第二物性层为基岩顶面反射波组（ T_1 ）以下的基岩部分，该反射波同相轴基本是水平的，埋深 24 m~26 m。 T_1 同相轴总体上连续性较好，在 254 m 里程处同相轴发生了错动，下部反射轴错动明显。推断该里程处存在一个正断层。断层处基岩顶面岩层有一定的连续性，未发生明显错断。结合区域地质资料，推断该断裂为猴嘴-一沟断裂。断裂视倾向 NE，视倾角为 78° ，断点埋深 25 m，断距 3 m。

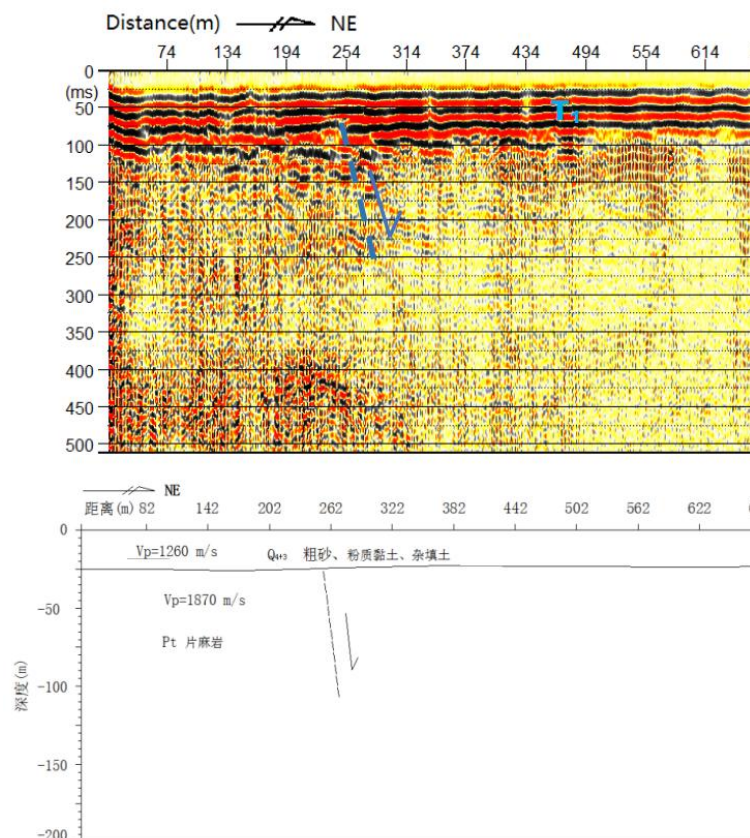


图 3.5-27 测线 5-5'地震时间剖面及地质解译成果图（局部）
结合上诉资料，该断裂为前第四纪断裂。

(7) 玉带河断裂 f_7

玉带河断裂基本沿玉带河展布，走向北西西。根据《连云港市幅 1:5 万区域地质调查报告》钻孔资料，在玉带河断裂北侧基岩为元古界变质岩，埋深为 26.20 m（孔望山北 56 号钻孔）；而在玉带河断裂南侧元古界变质岩埋深为 22.70 m（孔望山西北 64 号钻孔）。此外，在南城镇西山南侧采石坑中发现一条断裂，该断裂是一条与玉带河断裂大体平行、宽约 2 m 的北西西向次级断裂，在该断裂带中发育了厚度约 10 cm 的灰绿色断层泥。

为了探查玉带河断裂的具体位置、性质及断层所错断的最新地层的埋深，江苏省地震工程研究院曾布置 3 条地震勘探测线（江苏省地震工程研究院，2013）。探测结果显示，该断裂为上盘下降、下盘上升的正断层，最大断距约 4 m，倾向 NE，视倾角约 65°，覆盖层内部反射层位没有错断现象。

山东省地震工程研究院（2018）在连云港云台山西侧平原地带跨玉带河断裂布置 7 个钻孔的排钻剖面（图 3.5-28），共揭露了 11 层主要地层，①-⑧层为第四系，⑨层为中上元古界云台岩群黑云斜长片麻岩。第四系发育了全新统（ Q_4 ）、上更新统（ Q_3 ）、中更新统（ Q_2 ）地层。①~②层为全新统，上部为冲积相黏土，下部为海相-海陆交互相淤泥质粉质黏土，厚度 9.1 m~9.4 m，各层分布连续、稳定，呈水平状分布；③~⑥-1 层为上更新统，上部为褐黄-棕黄色粉质黏土，下部以中粗砂-粗砾砂、含砂粉质黏土为主，厚度 13.4 m~13.8 m，除⑥层中粗砂-粗砾砂层底深度略有变化外，各层分布连续、稳定，基本呈水平状；⑦~⑧-1 层为中更新统，以棕黄~兰灰色粉质黏土为主，底部为薄层中粗砂混卵砾石，厚度 6.9 m~8.0 m，除⑧层粉质黏土和⑧-1 层中粗砂混卵砾石层底深度略有变化外，各层分布连续、稳定，基本呈水平状。下伏基岩为中上元古界云台岩群黑云斜长片麻岩，基岩岩性稳定，结构较完整。下伏基岩顶面埋深介于 29.7 m~30.9 m 左右（图 3.5-28），各孔基岩埋深（或第四系厚度）差别很小，南部略浅，北部略深，大致呈渐变过渡。综上所述，钻孔剖面中第四系分布连续、层位稳定，基本呈水平状分布，断裂对第四系的发育没有明显的控制作用，也未见明显的断错和扰动现象。

山东省地震工程研究院（2018）曾针对该断裂布设过地震勘探测线，其中测线 5-5（测线位置见图 3.1-2）时间剖面及解释剖面共发现 1 处断点，编号为 f_{7-1} ，对应玉带河断裂。 T_Q 反射波组在 CDP1225 处被错断，东西两侧不连续，大约存在 4 ms 的时差。断点倾向 N，视倾角较陡，约 80°左右，表现为上盘下降、下盘上升的正断层，判断 f_{7-1} 断点为玉带河断裂（图 3.5-29）。测线 12-1（测线位置见图 3.1-2）时间剖面及解释剖面共发现 1 处断点，编号为 f_{7-2} ，对应玉带河断裂。 T_Q 反射波组在 CDP400 点处被错断，东西两侧不连

续，大约存在 6ms 的时差。断点倾向 N，视倾角较陡，约 70°左右，表现为上盘下降、下盘上升的正断层，判断 f₇₋₂ 断点为玉带河断裂（图 3.5-30）。

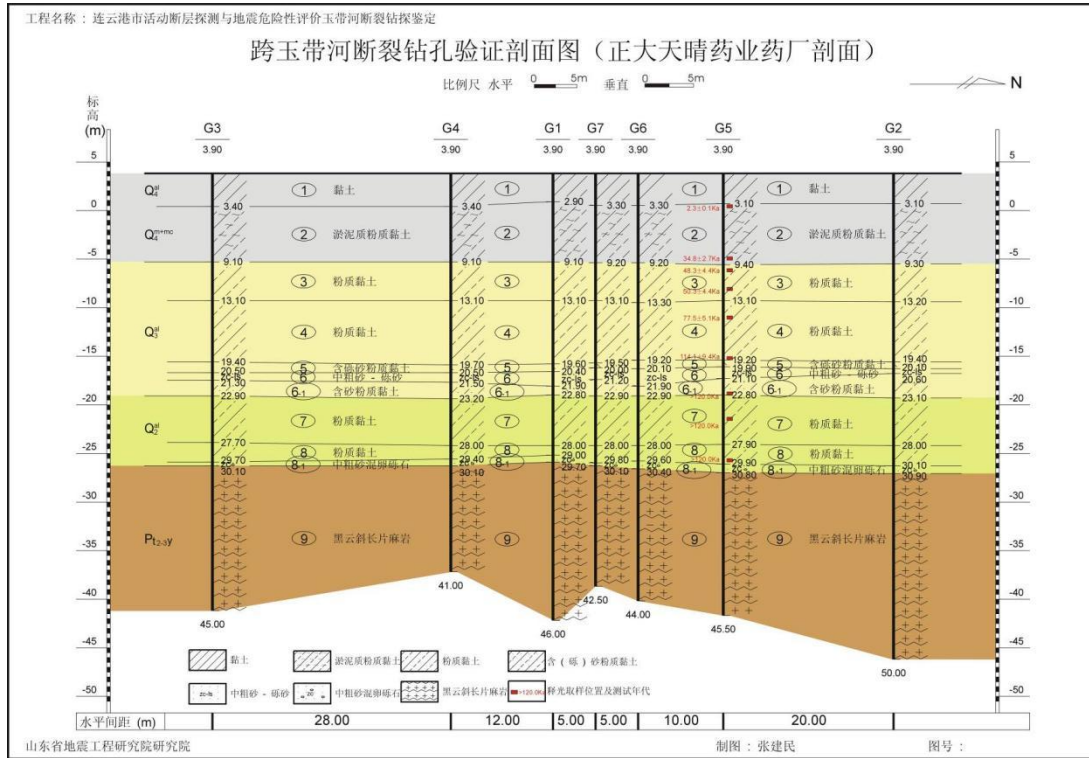


图 3.5-28 跨玉带河断裂钻孔剖面图（据山东省地震工程研究院，2018）

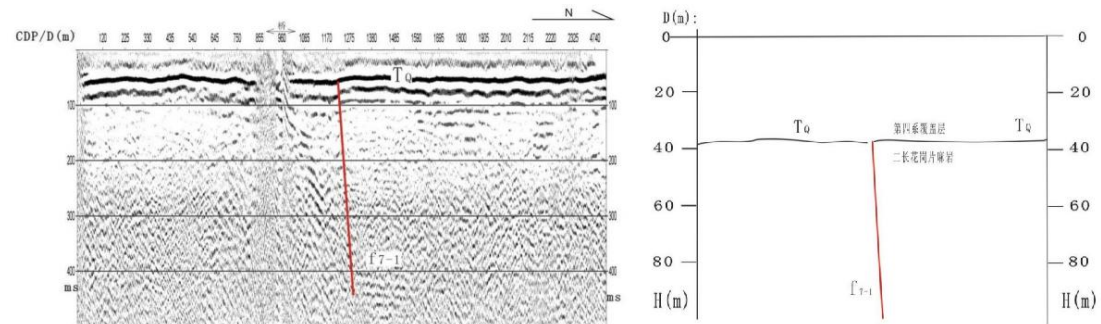


图 3.5-29 测线 5-5 断点 f7-1 局部时间剖面及其地质解释剖面
（山东省地震工程研究院，2018）

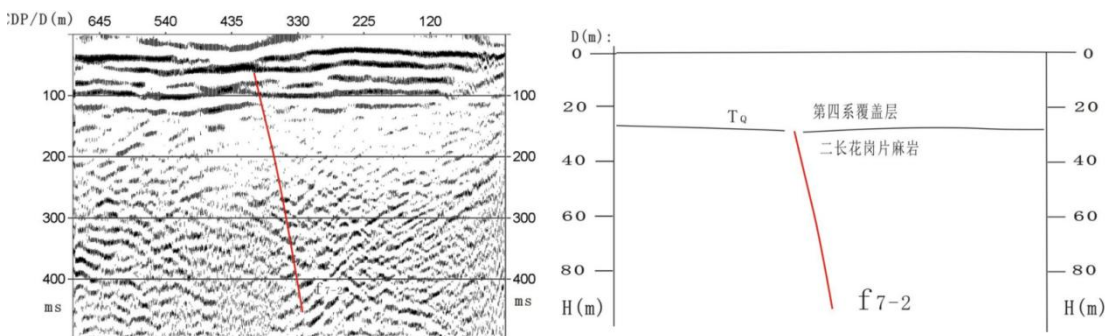


图 3.5-30 测线 12-1 断点 f7-2 局部时间剖面及其地质解释剖面
（山东省地震工程研究院，2018）

该断裂整体走向北西西，倾向北东，该断裂发育在元古代变质岩之中，新构造期以来活动性不明显，为前第四纪断裂。

(8) 南城-新浦断裂 f_8

南城-新浦断裂在南城西山有出露（图 3.5-31）。南城-新浦断裂覆盖段由物探和钻探资料推测，该断裂走向北西，倾向北东，倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。断裂破碎带宽 3 m 多，断层面上发育灰绿色断层泥和挤压透镜体带，宽 20 cm \sim 30 cm。从断裂带内伴生的劈理及滑动面上的进一步判断，该断裂见左旋压扭性质。取断层泥作 SEM 扫描分析，石英颗粒呈次棱角状，表面有溶蚀淋滤现象，大多数呈虫孔-蜂窝状，偶见光滑平整面，具有粘滑特征。覆盖断裂上方的残积层未见错动，地貌上没有任何断裂显示，探槽揭示海相淤积层（ Q_4 ）没有扰动迹象。取断层泥用 ESR 法测年，其年龄为 $(19.56 \pm 5.87) \times 10^4$ a。

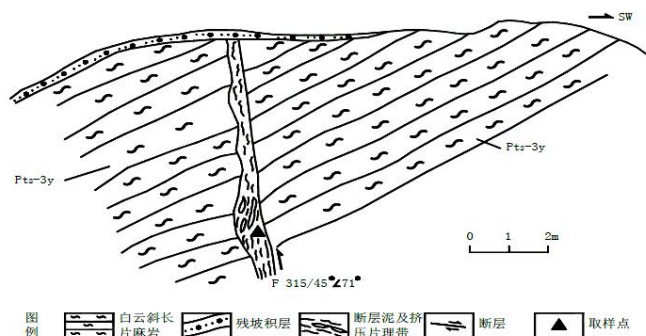


图 3.5-31 南城西山西北坡北西向断层剖面图（江苏省地震工程研究院，2013）

山东省地震工程研究院（2018）在连云港云台山西侧平原地带跨南城-新浦断裂布置 5 个钻孔的排钻剖面（图 3.5-32），钻探共揭露了 11 层主要地层，① \sim ⑧层为第四系，⑨层中上元古界云台岩群黑云斜长片麻岩。第四系发育了全新统（ Q_4 ）、上更新统（ Q_3 ）、中更新统（ Q_2 ）地层。① \sim ③层为全新统地层，上部为冲积相粉质黏土，下部为海相-海陆交互相淤泥质粉质黏土，厚度 10.8 m \sim 11.8 m；④ \sim ⑦层为上更新统地层，上部以棕黄色粉质黏土为主，下部为细砂层，厚度 9.3 m \sim 10.1 m；⑧ \sim ⑩层为中更新统地层，上部以黄褐-黄灰色粉质黏土为主，下部为薄层粉细砂和卵石土，厚度 9.1 m \sim 10.8 m。第四系除④层和⑥层粉质黏土层底界线在个别钻孔差距稍大外，场地发育的第四系各地层总体来说分布连续、层位基本稳定，大致呈水平状分布，特别是第四系厚度各孔差别不大，不存在断错和扰动现象。下伏基岩为中上元古界云台岩群片麻岩，基岩岩性稳定，在钻探深度内，风化程度均匀，以强风化为主，风化裂隙发育。

综上所述，排钻剖面上第四系分布连续、层位基本稳定，大致呈水平状分布，第四系未见错断或扰动变形现象。南城-新浦断裂带构成了白垩系与变质岩之间的断裂边界，断裂带之上覆盖的第四系分布连续、层位稳定，基本呈水平状分布，没有发现错动或扰动现象；断裂带及其附近的基岩顶面平直，未见埋藏陡坎地形；结合断层物质及固结程度等特点，分析认为南城-新浦断

裂为前第四纪断裂，断裂破碎带宽度约 8 m。

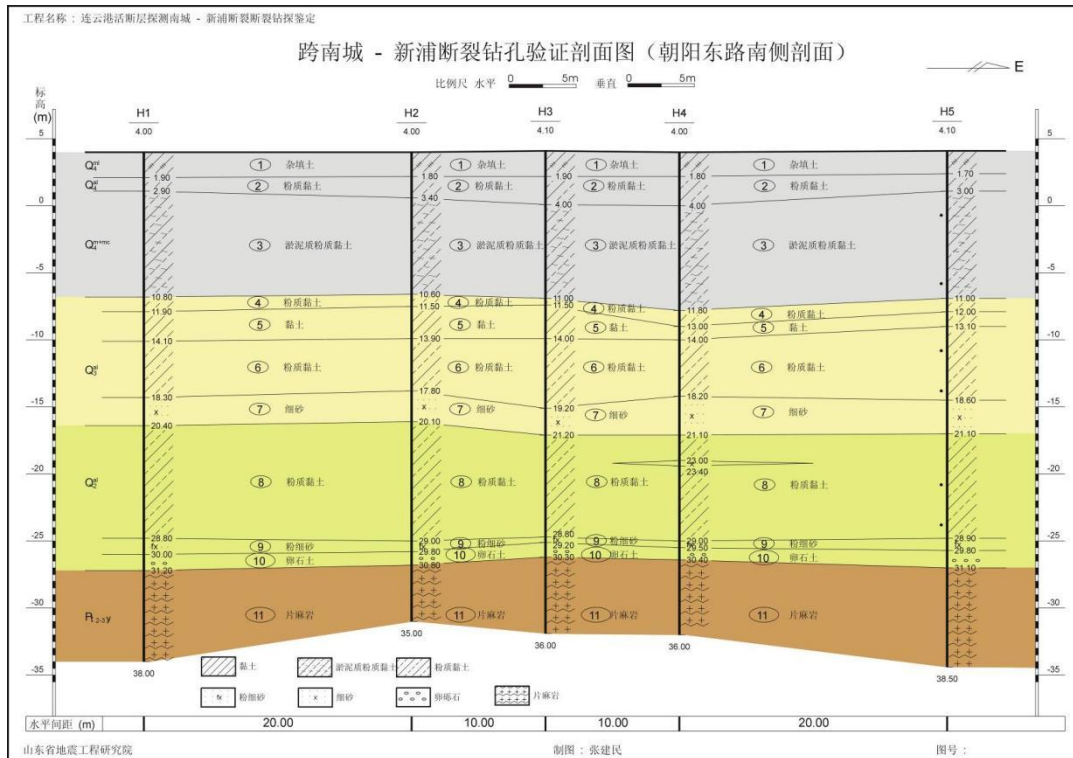


图 3.5-32 跨南城-新浦断裂钻孔剖面图 (朝阳东路南侧剖面)
(据山东省地震工程研究院, 2018)

(9) 海州-韩山断裂支断裂 f_9

该断裂是推测的发育在海泗断裂带内海州-韩山断裂东侧的一条支断裂，走向 NE，为隐伏断裂。山东省地震工程研究院（2018）在下滩村西北新沭河大坝附近跨海州-韩山断裂支断裂 布置 7 个钻孔的排钻剖面（图 3.5-33），钻探共揭露了 8 层主要地层，其中①～⑦层为第四系，⑧层为中生界白垩系上统王氏组砂岩。第四系发育了全新统（ Q_4 ）、上更新统（ Q_3 ）地层。①～③层为全新统地层，最上部为人工堤坝填土，中部为冲积相黄褐色粉质黏土，下部为海相-海陆交互相淤泥质粉质黏土夹淤泥质粉砂，厚度 12.9 m～13.7 m。④～⑦-1 层为上更新统，顶部以黄灰色含姜石粉质黏土为主，上部为黄棕色粉质黏土夹海相含贝壳细砂层，下部为灰黄-棕黄-兰灰色黏土，底部含姜石团块，厚度 8.7 m～10.1 m。

排钻剖面上第四系各层总体来说分布连续、层位基本稳定，大致呈水平状分布，不存在断错和扰动现象。下伏基岩为中生界白垩系上统王氏组砂岩，基岩岩性稳定，在钻探深度内，风化程度较均匀，以全风化、强风化为主，见节理、裂隙发育，局部见砂岩中沿裂隙面呈灰白色钙质胶结或风化为灰白-兰灰色黏土状。

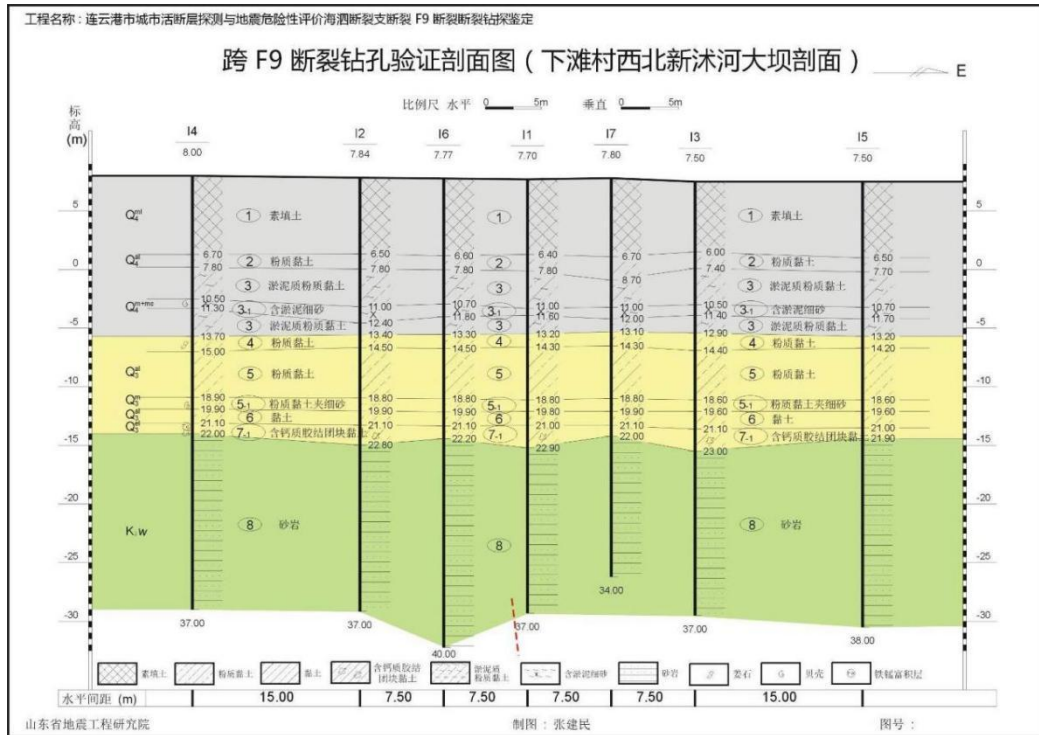


图 3.5-33 排钻钻孔联合剖面图 (下滩村西北新沭河大坝附近钻孔联合剖面)
(据山东省地震工程研究院, 2018)

山东省地震工程研究院 (2018) 曾针对该断裂布设过地震勘探测线, 其中测线 3-2 (测线位置见图 3.1-2) 时间剖面及解释剖面共发现 2 处断点, 编号为 f_{9-1} 、 f_c , 对应海州-韩山断裂支断裂。T_Q 反射波组在 CDP2165 点处被错断, 东西两侧不连续, 大约存在 8ms 的时差。断点倾向 E, 视倾角较陡, 约 80°左右, 表现为上盘下降、下盘上升的正断层, 判断 f_{9-1} 断点为海州—韩山断裂支断裂 (F₉)。同时在 CDP3290 点处被错断, 东西两侧不连续, 大约存在 8ms 的时差。断点倾向 W, 视倾角较陡, 约 70°左右, 表现为上盘下降、下盘上升的正断层, 判断 f_c 断点为海州—韩山断裂支断裂 (F₉) (图 3.5-34)。

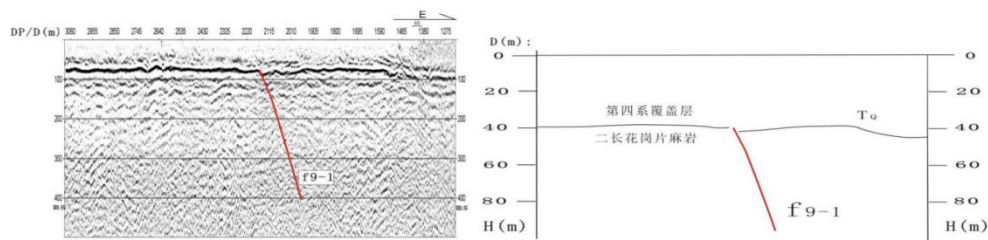


图 3.5-34 测线 3-2 断点 f_{9-1} 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院, 2018)

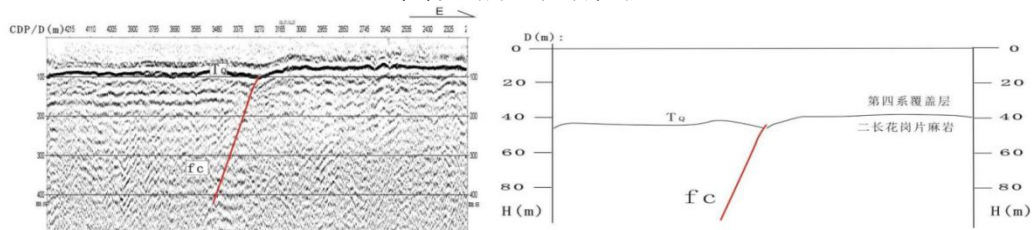


图 3.5-35 测线 3-2 断点 f_c 局部时间剖面及其地质解释剖面
(山东省地震工程研究院, 2018)

根据以上分析，认为海韩断裂支断裂为前第四纪断裂。

(10) 伊芦山南断裂 f₁₀

伊芦山南断裂延伸于灌云县小伊山、伊芦山、西隄山、东隄山南侧地区，走向北东，倾向南东。伊芦山南断裂与伊芦山北断裂、烧香河断裂是一组平行发育的隐伏断裂，走向北东，延伸于连云港云台山脉东南侧。烧香河断裂与伊芦山北断裂之间形成了第四纪凹陷，覆盖层厚达百米。而在伊芦山北断裂与伊芦山南断裂之间则形成了第四纪隆起，覆盖层较薄，并出现串珠式岛状低山残丘，如伊芦山海拔为212.1 m，东隄山高86.9 m。而在伊芦山南断裂南侧地区，又形成一个第四纪凹陷，覆盖层（N+Q）厚度在120 m以上。综合分析，考虑到伊芦山北断裂与烧香河断裂、伊芦山南断裂的相似性及关联性，推断伊芦山南断裂亦是一条隐伏的前第四纪断裂。我公司（2020）在该断裂上布设了一条浅层人工地震探测测线，根据探测结果，基岩顶面连续，未见断裂迹象，也间接说明了该断裂属于老的基岩断裂，为前第四纪断裂。

我公司近期（2022）跨该断裂布设的测线（WS6），可识别追踪的反射波组主要有3组（图3.5-36），其中T_g波组推测为基岩顶界面反射波。该组反射在整条测线发育，波组连续，总体波组能量强。基岩面起伏，整体由北西向南东逐渐加深。测线桩号#994处双轴强反射波组下部强轴发生错断，上部强轴发生扭曲，推测为断层的反映，解释为断点f₁。基岩反射波组T_g在测线桩号#583附近双轴强反射波组发生扭曲，基岩内反射波组存在明显的错断，推测为断层的反映，解释为断点f₂。双回程反射时间在190 ms~250 ms，上覆层平均速度约为1680 m/s，反映界面埋深在160 m~210 m。

T₂波组推测为新近系（N）顶界面反射波，T₁波组推测为第四系中更新统（Q₂）顶界面反射波，这两个波组反射在整条测线较为发育，波组较连续，总体波组能量较强。探测结果表明第四系平坦，沉积稳定。基岩顶界面总体趋势较为平缓，局部略有起伏。根据剖面反射波波组特征以及断层在剖面上的判断依据，在该测线剖面上解释了2个断点。断点f₁为正断层，视倾向南东，可分辨的上断点位于测线桩号#994处，埋深约为192m。上盘下降、下盘上升，为正断层的特征。基岩顶界面双强轴反射波组下部强轴发生错断，上部强轴发生扭曲，基岩内反射波组存在明显的错断。断点f₂为正断层，视倾向南东，可分辨的上断点位于测线桩号#583处，埋深约为175m。上盘下降、下盘上升，为正断层的特征。基岩顶界面双强轴反射波组受断层影响发生扭曲，基岩内反射波组存在明显的错断。

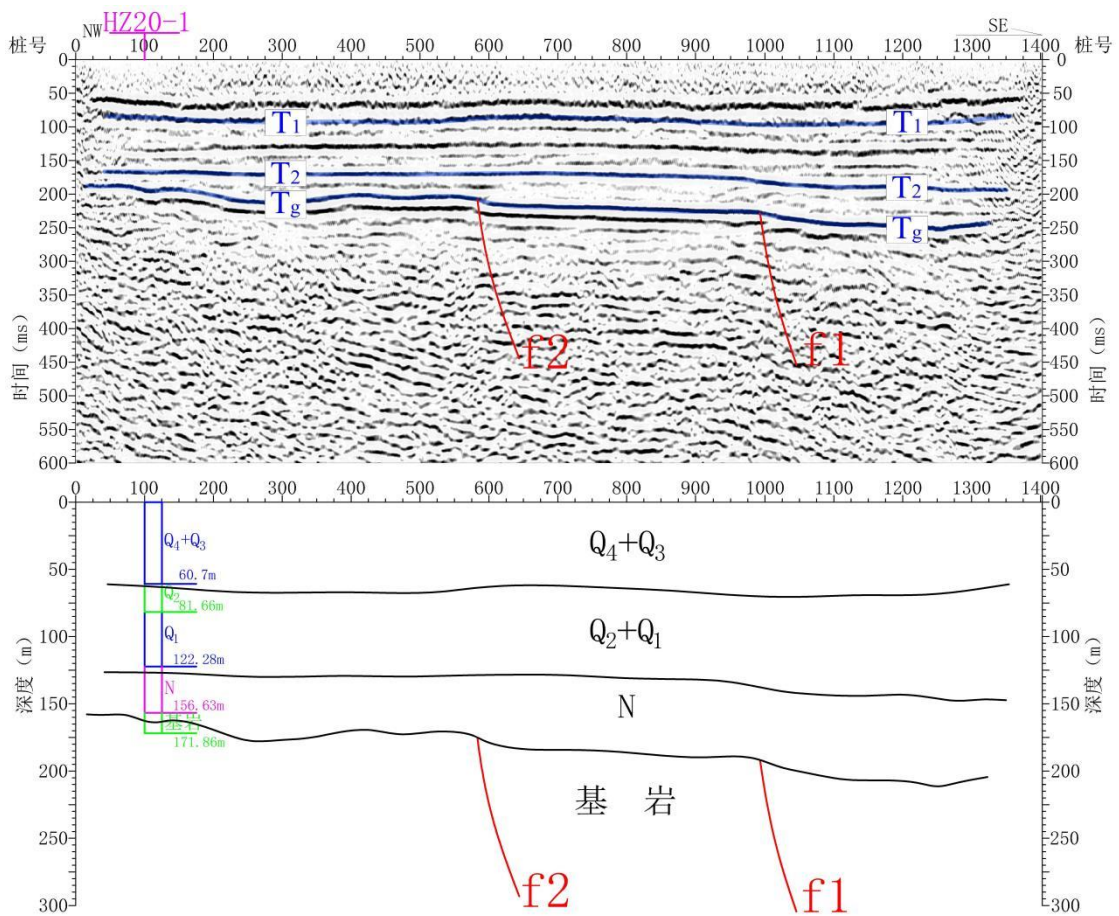


图 2.4-36 跨伊芦山南断裂测线地震时间剖面及解释剖面图

基岩顶界面反射波组受断层影响发生扭曲，基岩内反射波组存在明显的错断。断点位置附近上覆新近系（N）顶界面反射波组 T2 波组能量强，连续性好，并未发现明显的断层迹象。结合前人研究和区域地质资料，从剖面断点特征分析，推测 f1 和 f2 断点为伊芦山南断裂的反映，最新活动时代为前第四纪。

表 3.5-1 近场区主要断裂一览表

编号	断裂名称	产 状			性质	区内长度 (km)	最新活 动时代	距离目 标区最 近距离 (km)
		走向	倾向	倾 角				
1	海州-韩山断裂	NNE	SEE	50°~70°	正断	65	AnQ	12
2	猴嘴-南城断裂	NNE	SEE	~75°	逆断	50	AnQ	穿越
3	烧香河断裂	NE	SE	30°~65°	正断	62	AnQ	0.4
4	伊芦山北断裂	NE	NW	~70°	正断	60	AnQ	9
5	排淡河断裂	NW	SW	~60°	正断	18	AnQ	19
6	猴嘴-一沟断裂	NW	NE	45°~50°	正断	18	AnQ	14
7	玉带河断裂	NW	NE	~65°	正断	30	AnQ	穿越

编号	断裂名称	产 状			性质	区内长度 (km)	最新活 动时代	距离目 标区最 近距离 (km)
		走向	倾向	倾 角				
8	南城-新浦断裂	NW	NE	70°~80°	正断	18	AnQ	2
9	海州-韩山断裂 支断裂	NNE	SEE	~70°	正断	46	AnQ	10
10	伊芦山南断裂	NE	SE	50°~70°	正断	34	AnQ	21

3.6 近场区地震构造环境评价

(1) 近场区断裂构造比较发育，主要断裂有 10 条，按方向大体可归并为 3 组：以猴咀-南城断裂为代表的北北东向断裂组，以烧香河断裂为代表的北东向断裂组，以排淡河断裂为代表的北西向断裂组。这些断裂除了猴嘴-南城断裂（主要表现为逆冲断裂）外，主要表现为正断层活动性质，活动性一般都较弱，在第四纪以前就已停止了活动。

(2) 猴嘴-南城断裂 NNE 向穿越目标区；玉带河断裂 NW 向穿越目标区，烧香河断裂位于目标区东南侧侧外约 400 m 处，这 3 条断裂都是前第四纪断裂，不会对目标区稳定性产生直接影响。近场区内其余断裂均位于目标区外延 2 km 之外，且都是前第四纪断裂，近场区内未见发育第四纪断裂。

(3) 综合分析近场区地形地貌特征、新地层划分、地震活动性及主要断裂活动特征，可以认为近场区在上新世末，新构造运动曾有过较强烈活动。但至早第四纪以来，近场区新构造运动逐渐减弱，现代地震活动无论是强度、还是频度均比较低。因此，近场区属新构造运动相对较弱的地区，地震活动水平也较低。

第四章 目标区断层勘查与活动性鉴定

4.1 目标区第四系及地貌概述

目标区表层大部分为全新统所覆盖，东侧部分地区仅表层有薄层（ $\sim 2\text{ m}$ ）第四系（根植土、素填土）下部为二长片麻岩（ $\text{Pt}_{2-3\text{y}}$ ），目标区内第四系主要有如下特征（山东省地震工程研究院，2018）：

① 层粉质黏土（ Q_4 ）：灰褐-灰色，饱和，流塑 \sim 软塑，含有机质，略有臭味，切面较光滑，中等干强度，中等韧性。厚度： $8.30\text{ m}\sim 11.60\text{ m}$ 。

② 层粉质黏土（ Q_3 ）：黄褐色，饱和，可 \sim 硬塑，含少量锰结核，切面光滑，高干强度，高韧性。厚度： $3.90\text{ m}\sim 11.90\text{ m}$ 。

③ 层粗砂（ Q_3^{cl} ）：黄褐色，湿，密实，石英、长石为主，磨圆度较好，偶见卵石。厚度： $0\sim 13.00\text{ m}$ 。

目标区场地地貌类型为冲洪积平原地貌单元，场地地形较平坦，地面标高约 $2.10\text{ m}\sim 4.50\text{ m}$ ，地形平坦，微向海面倾斜。

4.2 目标区断裂探测及活动性研究

4.2.1 物探工作目的

根据现有工作，目标区地形地貌以冲洪积平原地貌为主，地形较为平坦，第四系覆盖层厚度不大，基岩埋深 $22.0\text{ m}\sim 39.0\text{ m}$ 。根据现有资料，目标区内未见第四纪断裂通过，本次目标区断裂探测的目的是对目标区布设控制性测线，明确是否有第四纪断裂进入目标区，并明确前第四纪断裂猴嘴-南城断裂在目标区内的展布位置，以及前第四纪断裂猴嘴-一沟断裂是否延伸进入目标区。

4.2.2 测线布设方案

结合上述项目目标，根据《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价实施方案》在目标区外布设 6 条地球物理测线，共计约 18.6 km （测线的具体坐标见表 4.2-1，位置见图 4.2-1）。

4.2.3 野外工作方法及资料采集

本次人工地震勘探工作依据 DZ/T0170-2021《浅层地震勘查技术规范》、GB/T 36072-2018《活动断层探测》、《江苏省区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（苏震发〔2018〕4 号）、《江苏省区域性地震安全性评价工作管理办法（暂行）》（苏震规〔2018〕1 号）、《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价实施方案》相关要求进行。地震仪采用 SE863 分布式地震勘探数据采集系统，震源采用 GeoPen 公司生产的 LVIB-15 可控震源，接收采用重庆地质仪器厂生产的 CDJ-100 型 100 Hz 三串检波器。施工本次震勘探采用纵波反射波法，观测方

式采用多次覆盖滚动采集，具体工作参数为：道距 2 m，80 道接收，10 次覆盖，采样率 0.512 ms，记录长度 1 s，炮间距 4 m，每炮垂向叠加 8~12 次。地震数据处理采用了骄佳技术公司 (Geogiga Technology Corp.) 研制的 Geogiga Seismic Pro 地震软件系统。经该系统处理获得的浅层地震深度剖面信噪比和分辨率高、可视性好，保证了地质资料的解释与结果分析的准确性和可靠性（详见附件 3）。

表 4.2-1 测线端点坐标及工作量一览表

测线号	起点经纬度 (°)		终点经纬度 (°)		完成长度 (m)	测线方向
	L	B	L	B		
L1	119.2044	34.5547	119.2100	34.5343	2382	SSE
L2	119.2187	34.5527	119.2228	34.5340	2158	SE
L3	119.2504	34.5587	119.2588	34.5204	4506	SE
L4	119.2206	34.5171	119.2211	34.5063	1134	SE
L5	119.1996	34.5618	119.2199	34.5631	1878	NE
L6	119.1910	34.5303	119.2629	34.5437	6510	NE
合计	-	-	-	-	18568	-



图 4.2-1 浅层人工地震探测测线布置示意图

4.2.4 探测结果

本次完成浅层人工地震勘探线 6 条，剖面总计 18568 m。根据探测结果（详见附件 3），所有测线均存在 1~2 组信噪比高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 2 个物性层。第一物性层为 T_1 反射界面之上部分，层厚有一定变化，层厚 29 m~78 m，层速度约为 1450 m/s~1556 m/s。据场地区域地质资料，推测该层为第四系（Q）杂填土、粉质黏土层、粗砂。第二物性层为基岩顶面反射波组（ T_1 ）以下的片麻岩（Pt）部分，该反射波同相轴基本是水平的，埋深 29 m~40 m。除部分测线（L1）外，在该物性层内还有一组较为明显的反射波组（ T_2 ）埋深约为 109 m~172 m。

L1 测线呈 SE 向布设，剖面长 2382 m，由地震时间剖面及解译剖面图可见， T_1 同相轴总体上连续性较好，在 870 m 里程处，反射波波组出现明显的扰动（图 4.2-2），并在该里程两侧深部反射波具有明显不同的特征，其中小桩号方向深部基本无明显反射层位，而大桩号方向，深部地层有近似层状的反射波组。据此推断在该里程处存在一处断裂构造（f1），根据基岩反射 T_1 的变化趋势，推断该断层为视倾向 NE 的正断层，断层视倾角 75° ，断点埋深 35 m，为基岩内部断裂。根据区域地质资料，该断点应为玉带河断裂所形成的，从地震时间剖面及解译剖面图可见 T_1 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

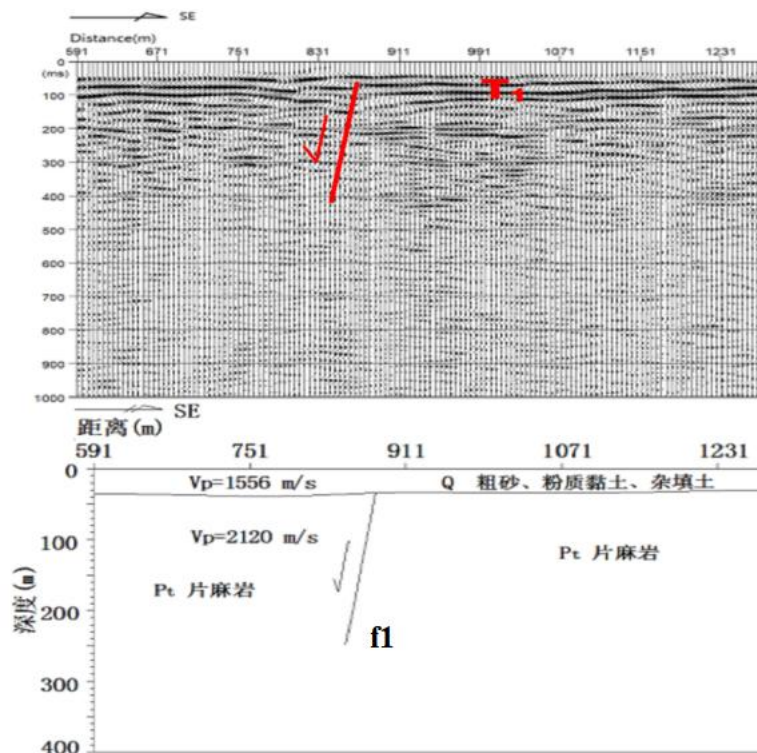


图 4.2-2 L1 测线地震时间剖面及解释剖面图（部分）

L2 测线呈 SSE 向布设，剖面长 2158 m，由地震时间剖面及解译剖面图可见（图 4.2-3），共有 2 组反射波组，其中 T_1 同相轴连续性好，未见断错、明显扰动现象。基岩内部反射波组（ T_2 ）呈近水平层状，埋深 109 m~117 m，在里程 1800 m 处，该组反射发生了错动，并且顶部基岩反射层受到扰动，但顶界面（第四系底面）未错动，据此推断该处为一基岩内断裂（f2），根据 T_2 错动方向推断该断裂为正断层，上断点埋深 41 m，视倾角 73° ，视倾向 NW，断距约 7 m，推断与测线 L1 为同一断裂。根据区域地质资料，该断点应为玉带河断裂所形成的，从 L1 地震时间剖面及解译剖面图可见 T_1 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

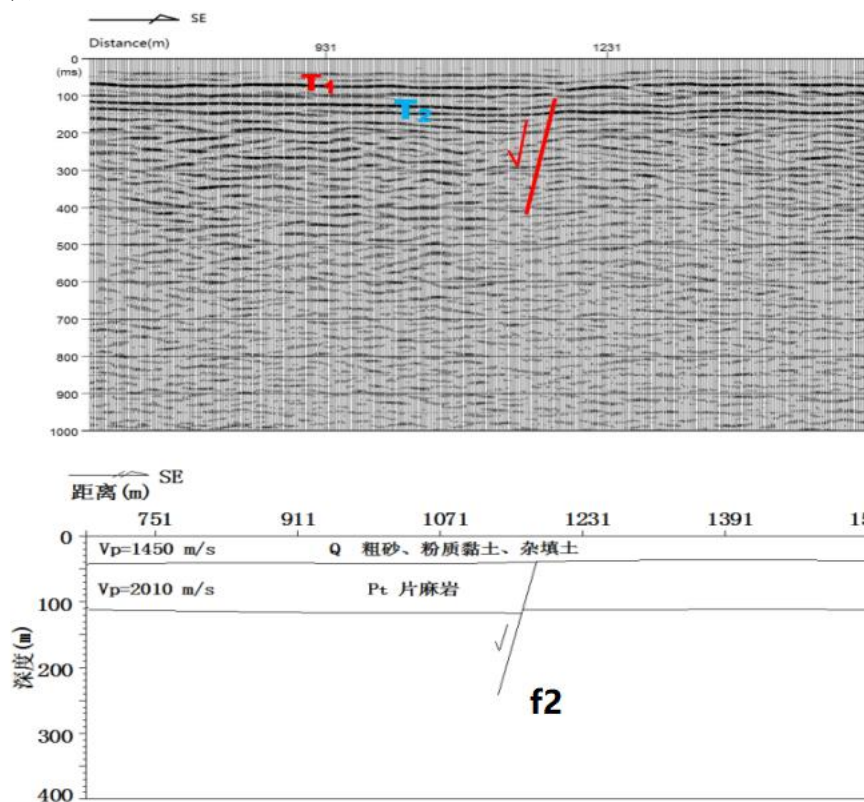


图 4.2-3 L2 测线地震时间剖面及解释剖面图（部分）

L3 测线呈 SSE 向布设，剖面长 2158 m，由地震时间剖面及解译剖面图（图 4.2-4）可见，共有 2 组反射波组，其中 T_1 同相轴连续性好，未见断错、明显扰动现象。在 2582 m 里程处， T_2 同相轴发生错断，双程时间为 180 ms 处同相轴有错动痕迹（f3），推断为测线 L1、L2 探测到断裂的延伸。为基岩内部的正断层，断点埋深 100 m，断层视倾向 N，视倾角 75° ，断距 6 m。根据区域地质资料，该断点应为玉带河断裂所形成的，从地震时间剖面及解译剖面图可见 T_1 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

同时在 3532 m 里程处 T_2 同相轴发生了错动 (f4)，大桩号端发生明显向下错动，并且大桩号端深部反射波频率与相位特征与小桩号端明显不同，具有明显的成层性，推断在该处存在一基岩内的正断层。断裂视倾向 S，视倾角为 73° ，断点埋深 54 m，断距 20 m。根据区域地质资料，该断点应为烧香河断裂所形成的，从地震时间剖面及解译剖面图可见 T_1 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

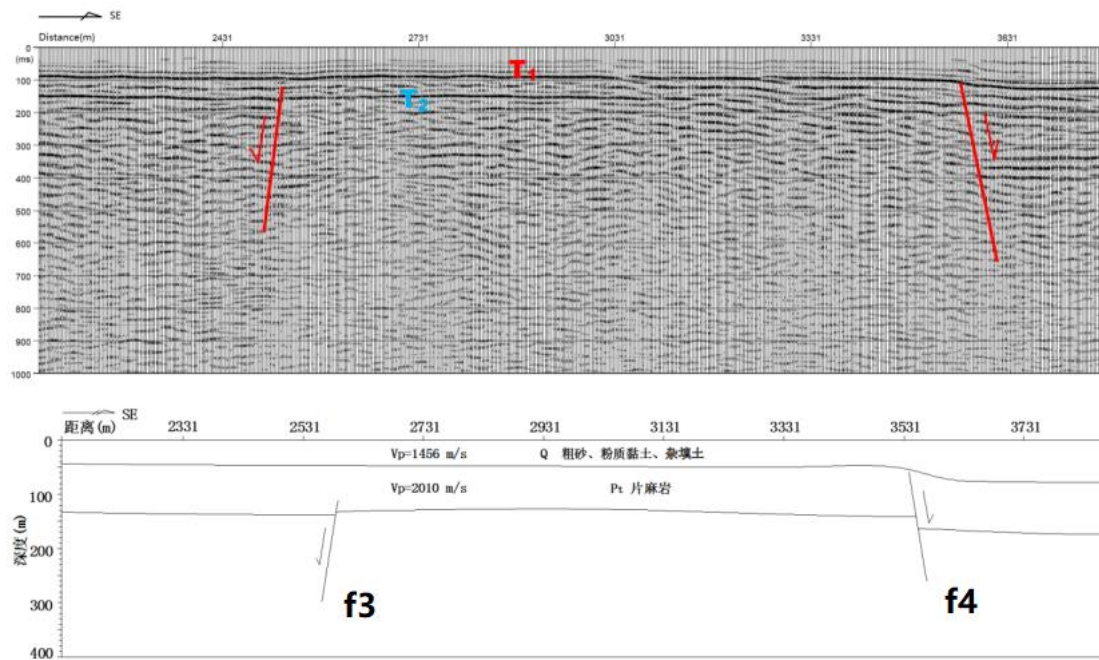


图 4.2-4 L3 测线地震时间剖面及解释剖面图（部分）

L4 测线呈 SSE 向布设，剖面长 1134 m，由地震时间剖面及解译剖面图（图 4.2-5）可见，共有 2 组反射波组，其中 T_1 同相轴连续性好，未见断错、明显扰动现象。在 620 m 里程处 T_2 反射同相轴明显错动 (f5)，但基岩顶界面反射波组 (T_1) 未有明显错动，推断该处为基岩内的正断层，断层视倾向为 S，断点埋深 54 m，视倾角 78° 。根据区域地质资料推断该断层与测线 L3 在 3532 m 里程的断裂为同一断裂。根据区域地质资料，该断点应为烧香河断裂所形成的，从地震时间剖面及解译剖面图可见 T_1 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

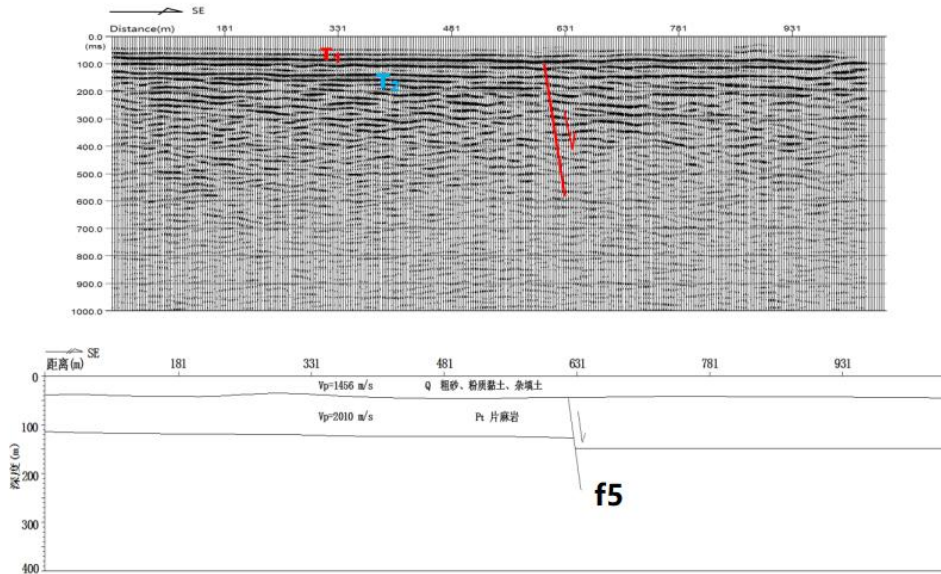


图 4.2-5 L4 测线地震时间剖面及解释剖面图

L5 测线呈 NEE 向布设，剖面长 1878 m，由地震时间剖面及解译剖面图（图 4.2-6）可见，共有 2 组反射波组，其中 T₁ 同相轴连续性好，未见断错、明显扰动现象。基岩内部反射波组（T₂）在 1590 m 里程处明显错断（f₆），根据反射波组特征推断该测线下方存在一基岩内的逆断层。断层视倾向为 E，视倾斜角 78°，断点埋深 95 m，断距为 11 m。根据区域地质资料推断该断层与测线 L3 在 3532 m 里程的断裂为同一断裂。根据区域地质资料，该断点应为猴嘴-南城断裂所形成的，从地震时间剖面及解译剖面图可见 T₁ 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

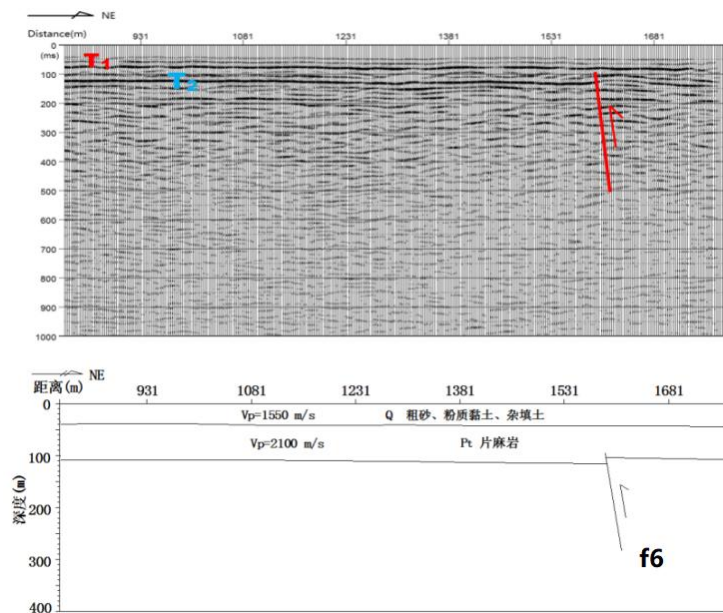


图 4.2-6 L5 测线地震时间剖面及解释剖面图（部分）

L6 测线呈 NEE 向布设，剖面长 6510 m，由地震时间剖面及解译剖面图（图 4.2-7）可见，共有 2 组反射波组，其中 T_1 同相轴连续性好，未见断错、明显扰动现象。在 1760 m 和 3420 m 里程处，基岩内部反射波组（ T_2 ）发生明显错断，推断该测线下方有效探测深度内存在两处基岩断裂，其中 1760 m 处为逆断层

（f7），推断为测线 L5 的断层为同一断层，断点视倾向 E，视倾角 76° ，上断点埋深 98 m，断距为 10 m。根据区域地质资料，该断点应为猴嘴-南城断裂所形成的，从地震时间剖面及解译剖面图可见 T_1 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。3420 m 里程的正断层为基岩断层（f8），与测线 L1，测线 L2 以及测线 L3 在 2583 m 处探测到的断层为同一断裂，断层视倾向 E，视倾角 75° ，上断点埋深 97 m，断距 13 m。根据区域地质资料，该断点应为玉带河断裂所形成的，从地震时间剖面及解译剖面图可见 T_1 反射波组的顶面（第四系底面）是连续的，没有受到断裂活动的扰动，可以判定该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

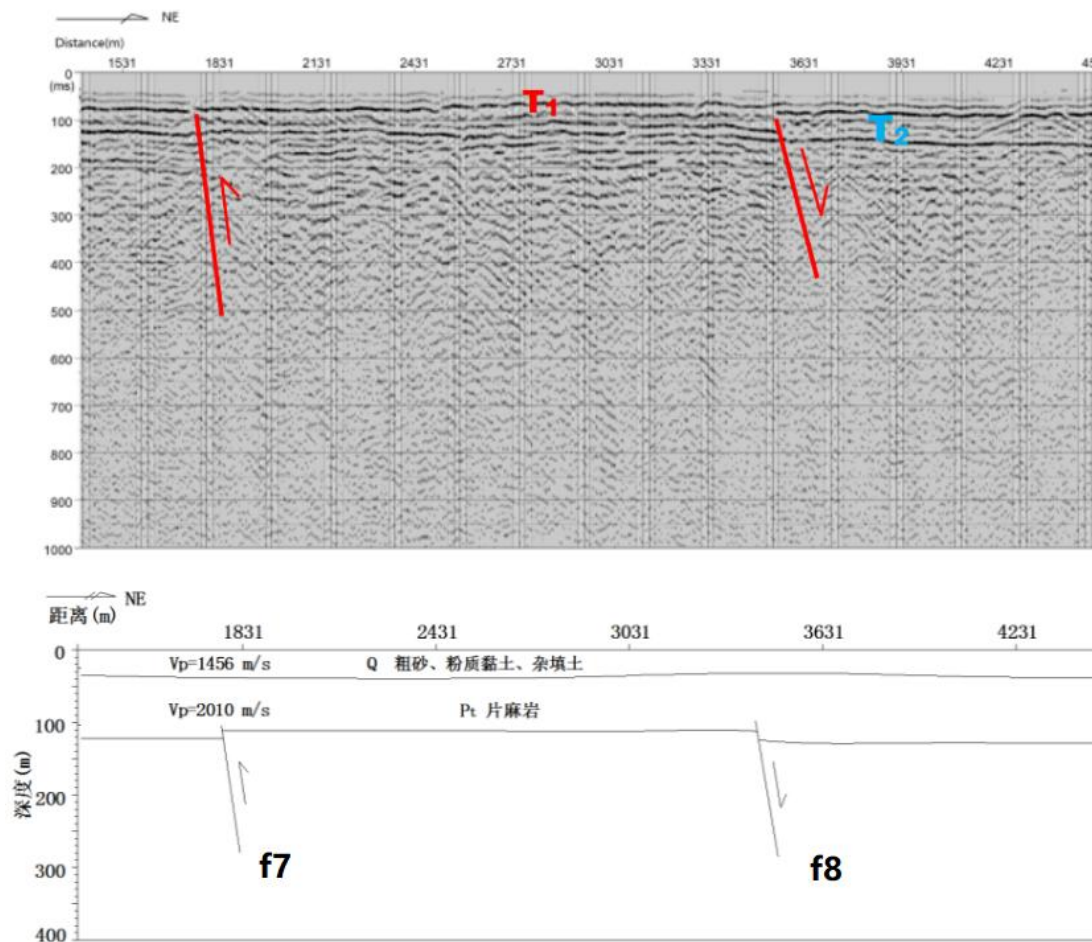


图 4.2-7 L6 测线地震时间剖面及解释剖面图（部分）

4.3 目标区断层活动性评价

目标区及附近大部分区域被第四系所覆盖（图 3.1-1），为了分析目标区及附近断裂构造展布情况，根据上述地球物理探测结果对目标区及附近绘制了 1:5 万目标区及附近断层分布图（图 4.3-1），绘制过程中对目标区内及周边断裂的走向根据本次探测的结果进行了微调。从图上可知，共有 2 条断裂穿越目标区，分别为玉带河断裂和猴嘴-南城断裂。本次探测共探测到玉带河断裂的 4 个断点，断点位置与区域地质（前人）资料基本吻合，4 个断点可以较好的控制该断裂在目标区内的展布位置，探测结果显示该断裂断错了基岩内部层位（ T_2 ），但未断错基岩顶面/第四系底面（ T_1 ），为一条前第四纪断裂。本次探测共探测到猴嘴-南城断裂的 2 个断点，断点位置与区域地质（前人）资料基本吻合，2 个断点可以较好的控制该断裂在目标区内的展布位置，探测结果显示该断裂断错了基岩内部层位（ T_2 ），但未断错基岩顶面/第四系底面（ T_1 ），为一条前第四纪断裂。烧香河断裂为距离目标区最近的断裂，最近距离约为 400 m（图 4.3-1），本次探测共探测到烧香河断裂的 2 个断点，断点位置与区域地质（前人）资料基本吻合，2 个断点可以较好的控制该断裂在目标区内的展布位置，探测结果显示该断裂断错了基岩内部层位（ T_2 ），但未断错基岩顶面/第四系底面（ T_1 ），为一条前第四纪断裂。目标区内虽然有 2 条断裂穿越，但这 2 条断裂均为前第四纪断裂，上断点埋深均超过 30 m，不会对目标区内拟建工程构成潜在地表破裂的危险。

表 4.3-1 断层上断点地面投影坐标

测线号	断点号	经纬度 (°)	
		L	B
L1	f1	119.2048	34.5466
L2	f2	119.2203	34.5424
L3	f3	119.2550	34.5362
	f4	119.2568	34.5278
L4	f5	119.2211	34.5116
L5	f6	119.2169	34.5630
L6	f7	119.2105	34.5370
	f8	119.2291	34.5413

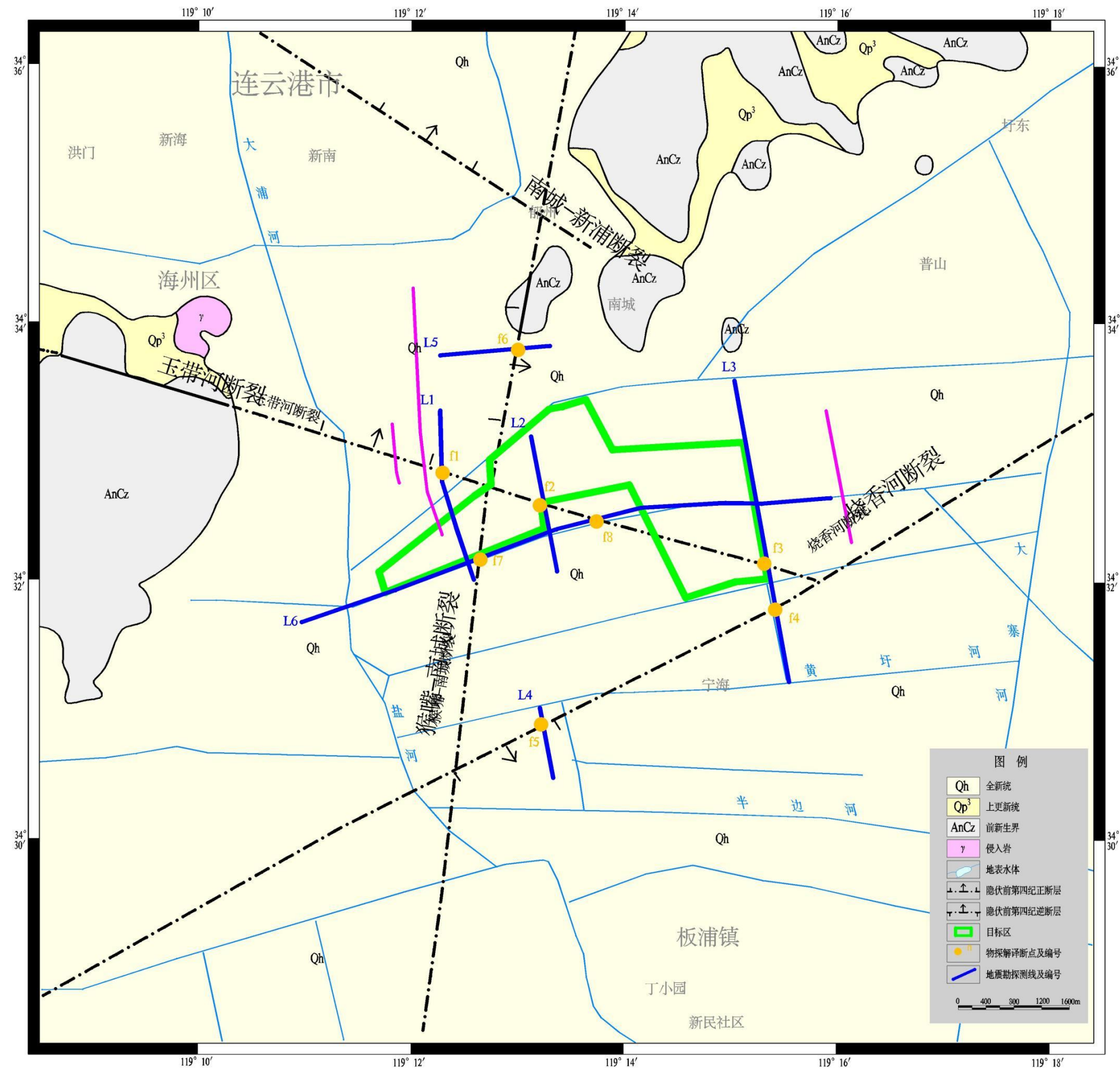


图 4.3-1 目标区及附近断层分布图

第五章 目标区地震工程地质条件勘测

为了揭示目标区场地范围内的工程地质条件,根据《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价实施方案》,在目标区场地内布设了 21 个钻孔,工程地质钻探、剪切波速测试、土样共振柱实验将为场地地震动参数计算及地震地质灾害评价提供基础资料。在目标区布设了 6 条浅层地震勘探线,共计约 18.6 km,探明目标区内覆盖层空间分布情况以及对猴嘴-南城断裂、玉带河断裂在目标区内的展布情况及活动性,烧香河断裂是否延伸进入目标区以及其活动性进行复核。(图 5-0)。

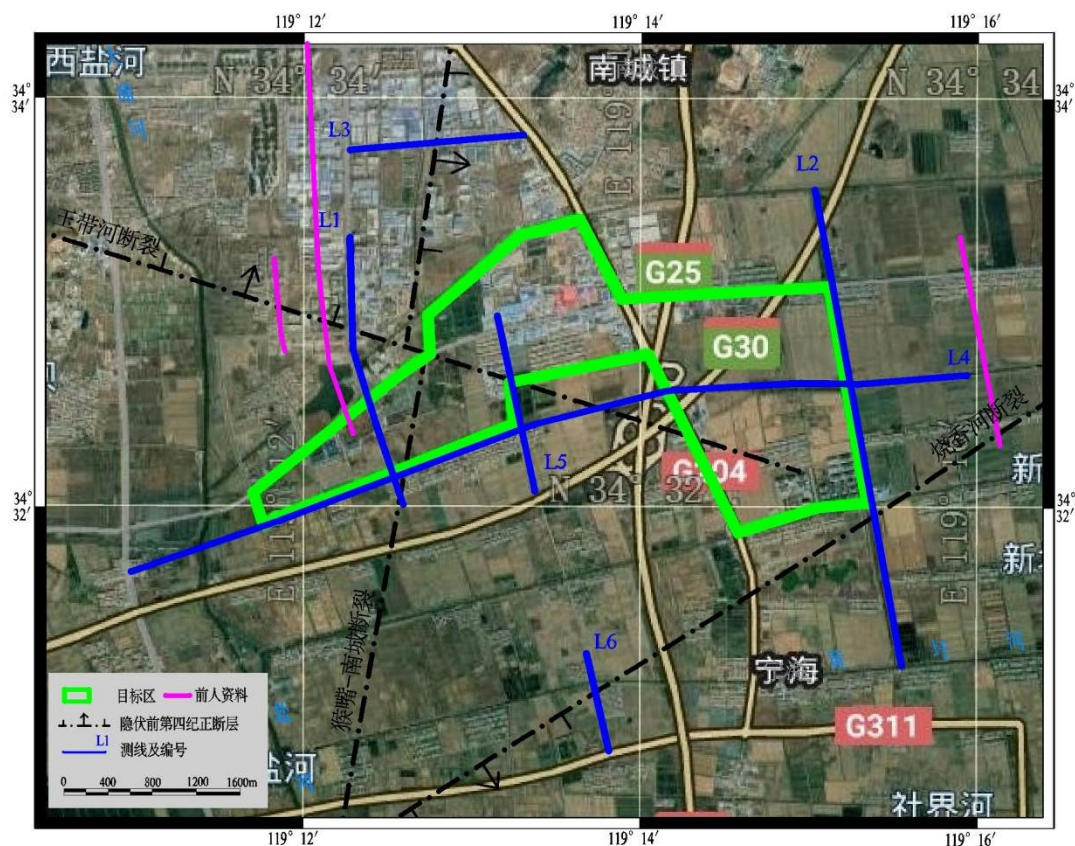


图 5-0 连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价目标区测线布置图

5.1 目标区工程地质条件勘测

目标区场地勘测是根据工程场地地震安全性评价工作要求提出的,其目的是为土层地震动反应分析提供土动力学参数。根据《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价施工方案》,在目标区场地内布设了 21 个钻孔(图 5.1-1),编号为 ZK1、ZK2……ZK21,钻孔间最大间距为 600 多米,最小间距为 400 多米,满足 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》的有关规定(钻孔 700 m 覆盖图如图 5.1-2、钻孔 350 m 覆盖图如图 5.1-3)。照片 1 为现场钻探照片。设计钻孔深度的确定原则是按抗震规范定义的场地覆盖层厚度,当覆盖层厚度小于

100 m 时，钻至剪切波速大于 500 m/s 处终孔；当覆盖层厚度大于 100 m 时，钻至 100 m 处终孔。钻孔必须达到的要求是取得目标区场地所需的场地代表性土样提供动力试验使用，并保证现场剪切波速测试的深度。依据上述钻探深度原则，21 个钻孔钻探深度为 29.0 m~51.0 m。

5.1.1 场地地形地貌

目标区场地地貌类型为冲洪积平原地貌单元，场地地形较平坦，地面标高约 4.50 m~5.10 m。

5.1.2 场地地基土工程地质特征

根据本次勘探揭露的地层情况，按成因时代、岩性特征、埋藏条件及物理力学性质，场地勘探深度以浅可划分为 5 个工程地质层。

- ① 层 杂填土 (Qh)：粉质黏土为主，夹杂植物根茎、生活垃圾、碎石等。
- ② 层 淤泥质粉质黏土 (Qh)：灰褐色，饱和，流塑，局部软塑，含有机质，略有臭味，切面稍有光泽，干强度中等，韧性中等。
- ③ 层 粉质黏土 (Qp³)：灰绿-黄褐色，饱和，可-硬塑，含少量锰结核，切面稍有光泽，干强度高，韧性高。
- ④ 层 粗砂 (Qp³)：灰黄色，湿，密实，主要矿物成分为石英，长石次之。
- ⑤ 层 片麻岩 (Pt)：灰褐-灰白色，片麻状，变晶结构，颗粒以石英长石为主，风化沿裂隙面发育，岩芯短柱状，较破碎，锤击声哑、易碎，进尺稳定，风化中等，软岩，岩体基本质量等级 V 级。

钻孔所揭露的土层分布详见图 5.1-4~图 5.1-24 所示的钻孔柱状图。

图 5.1-25~图 5.1-33 为目标区场地工程地质剖面图，由图可以看出，目标区场地地下伏岩土层横向变化较小。因此，现场勘探工作布置 21 个钻孔能揭示下伏岩土层的变化，满足安评规范的要求。



照片 1 钻探试验现场工作照

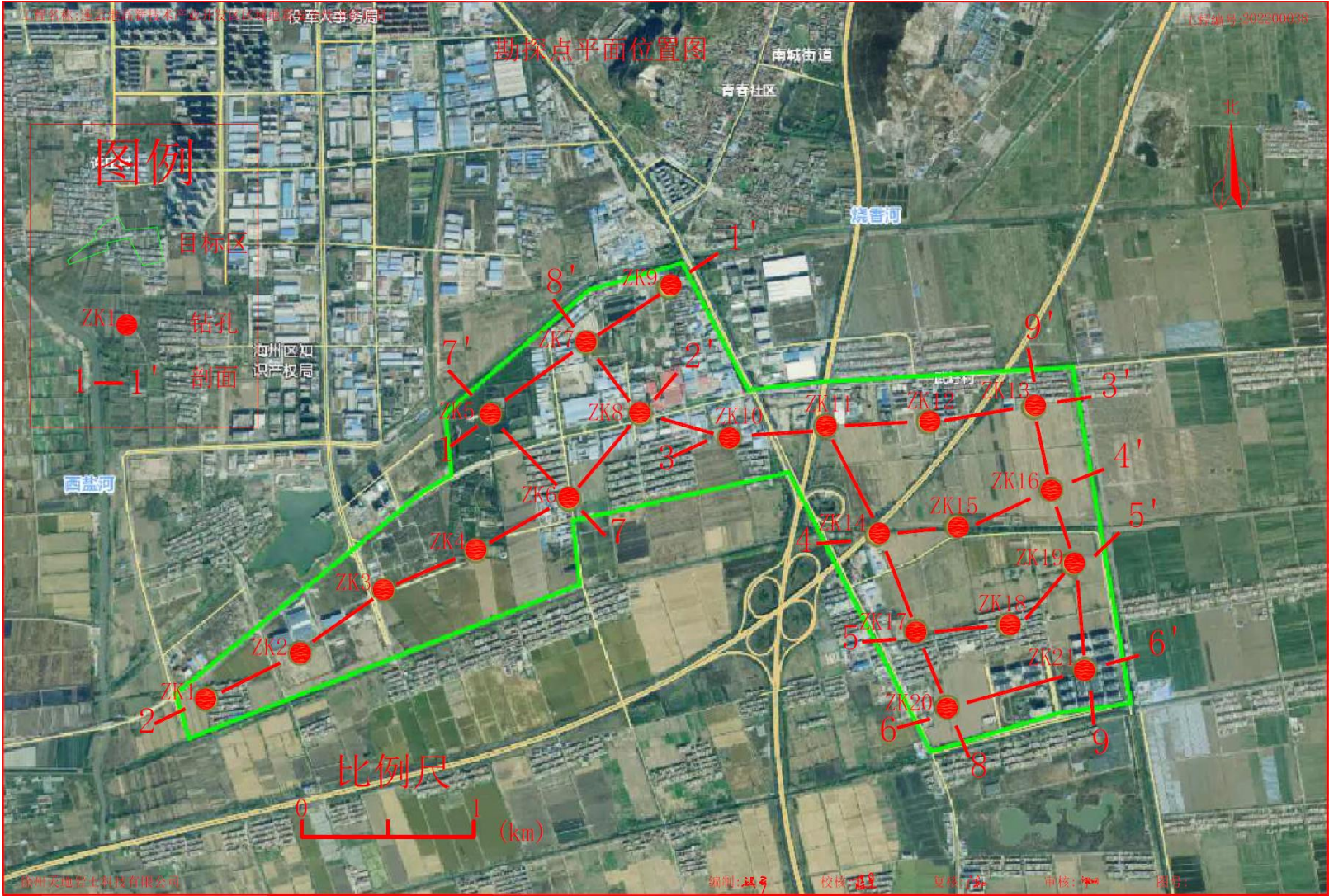


图 5.1-1 连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价项目钻孔平面布置总图

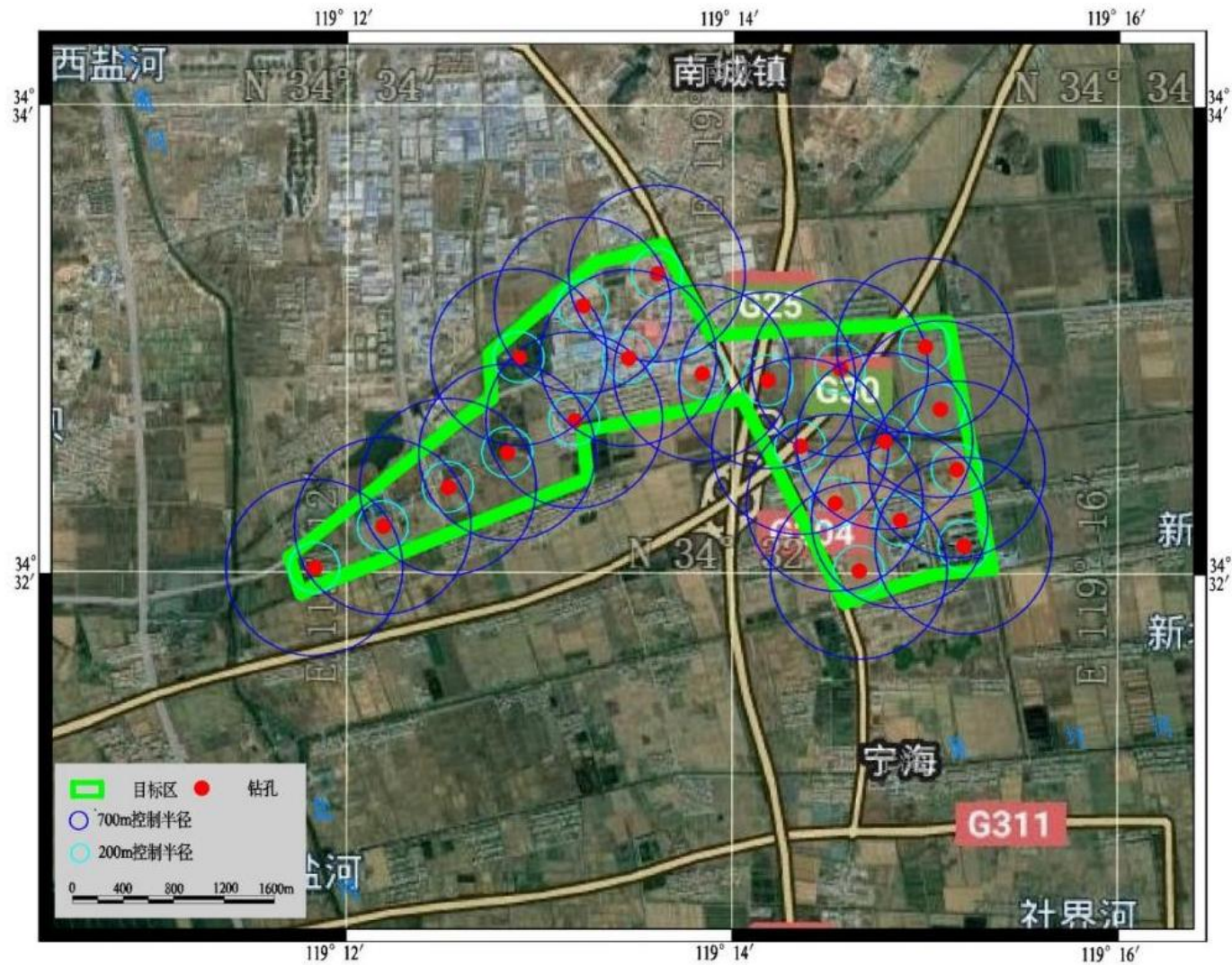


图 5.1-2 连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价钻孔覆盖图（700 m 及 200 m 半径控制）



图 5.1-3 连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价钻孔覆盖图（350 m 半径控制）

钻孔柱状图

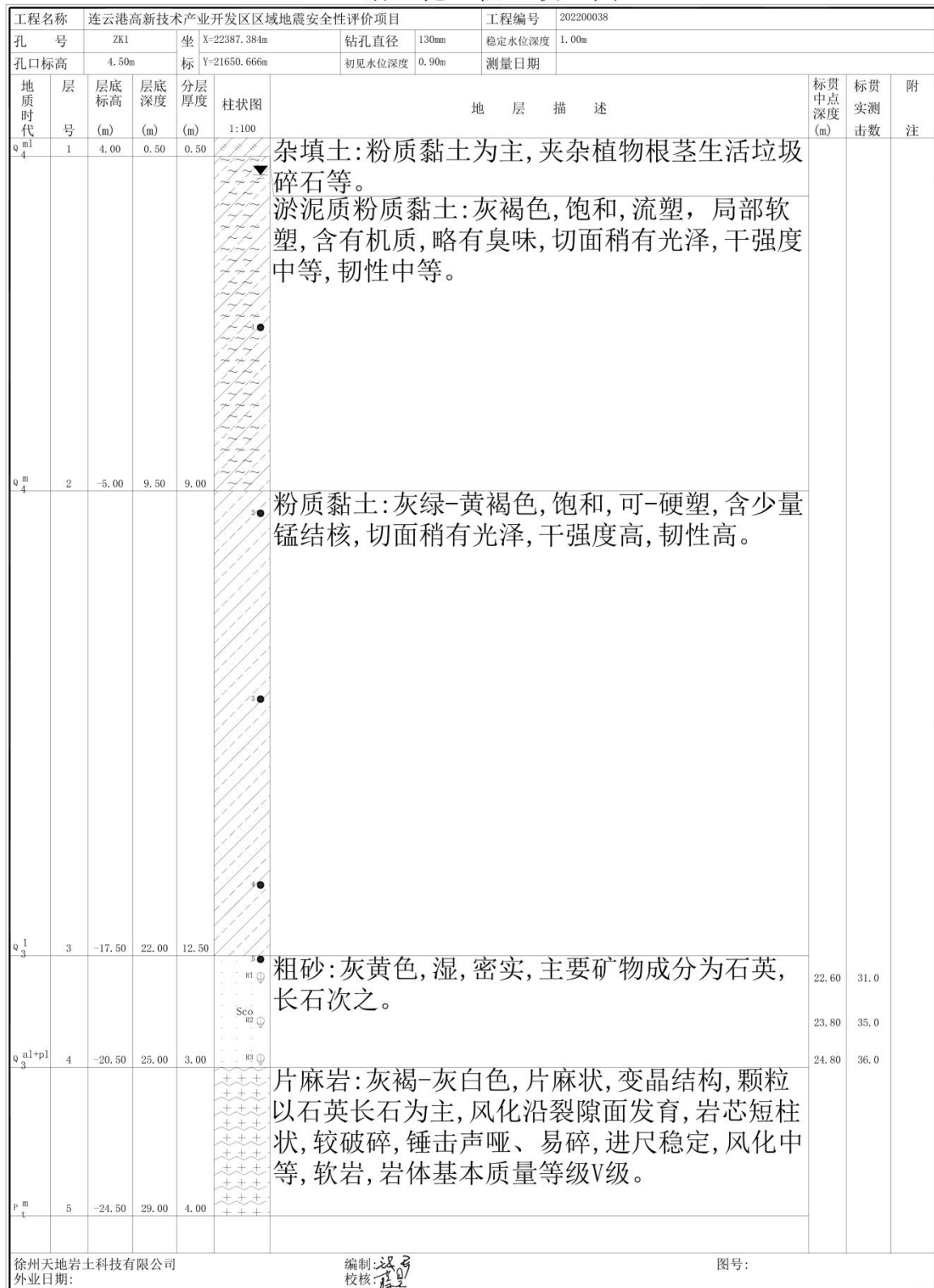


图 5.1-4 ZK1 孔柱状图

钻孔柱状图

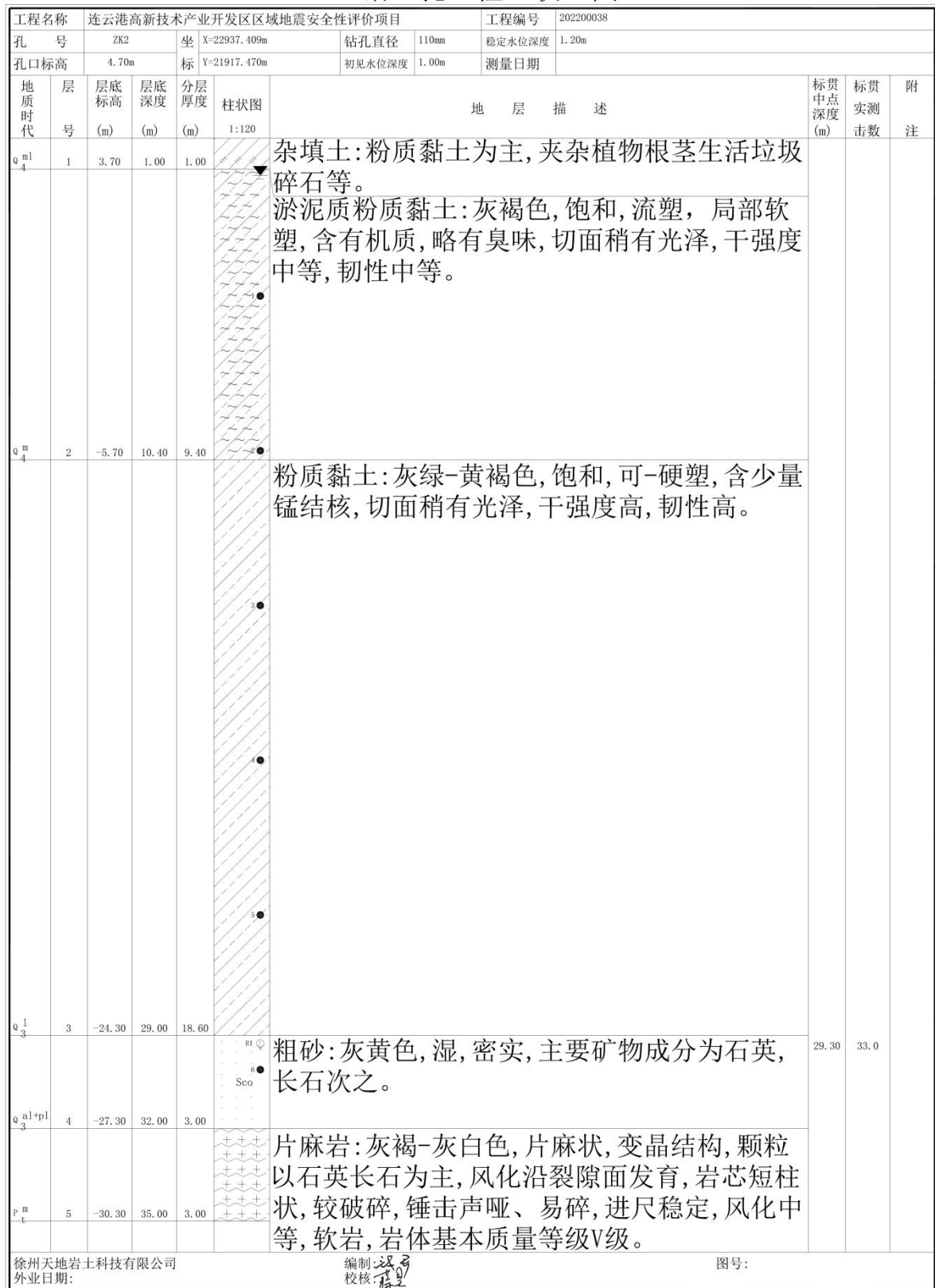


图 5.1-5 ZK2 孔柱状图

钻孔柱状图

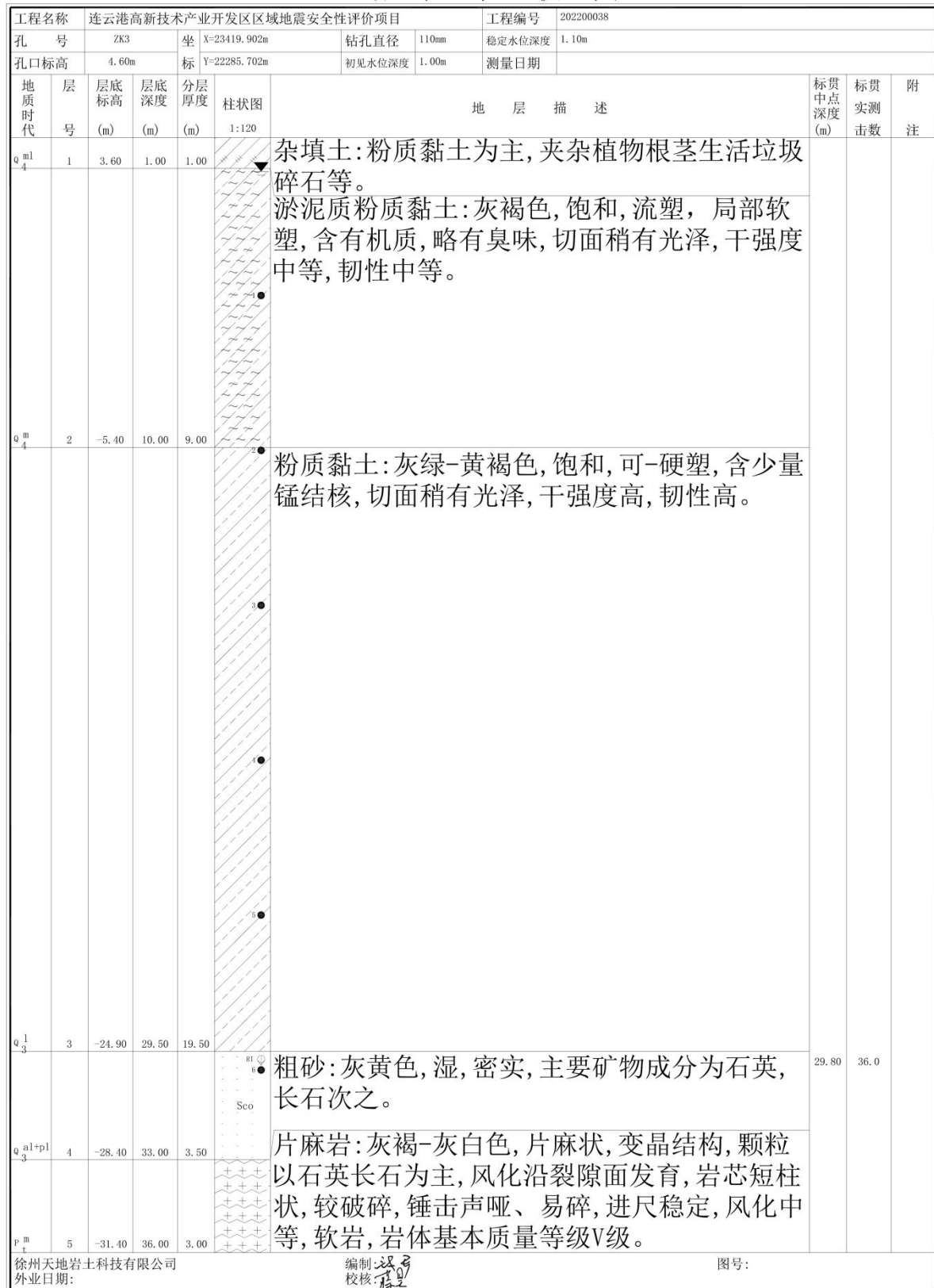


图 5.1-6 ZK3 孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

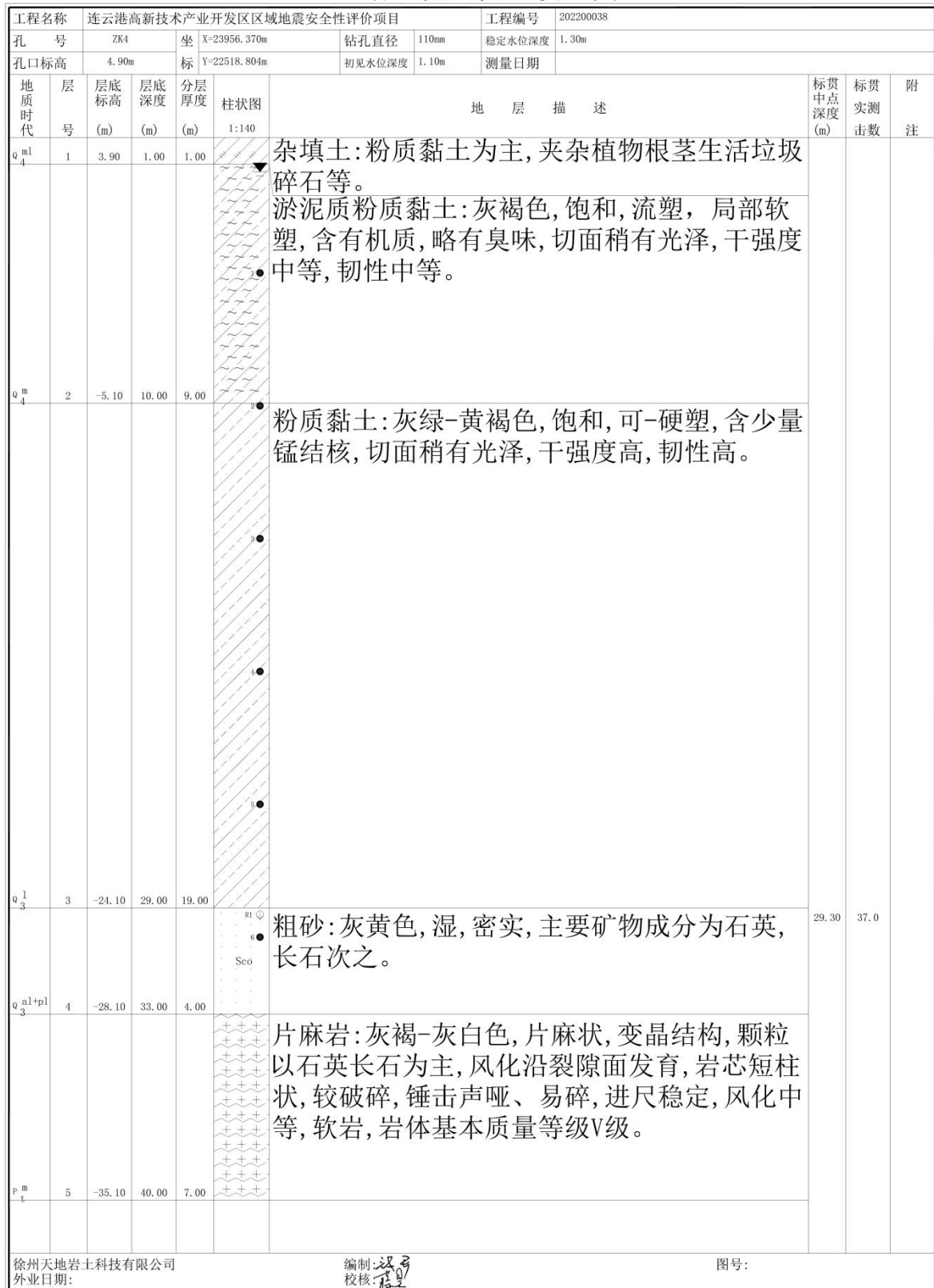


图 5.1-7 ZK4 孔柱状图

钻孔柱状图

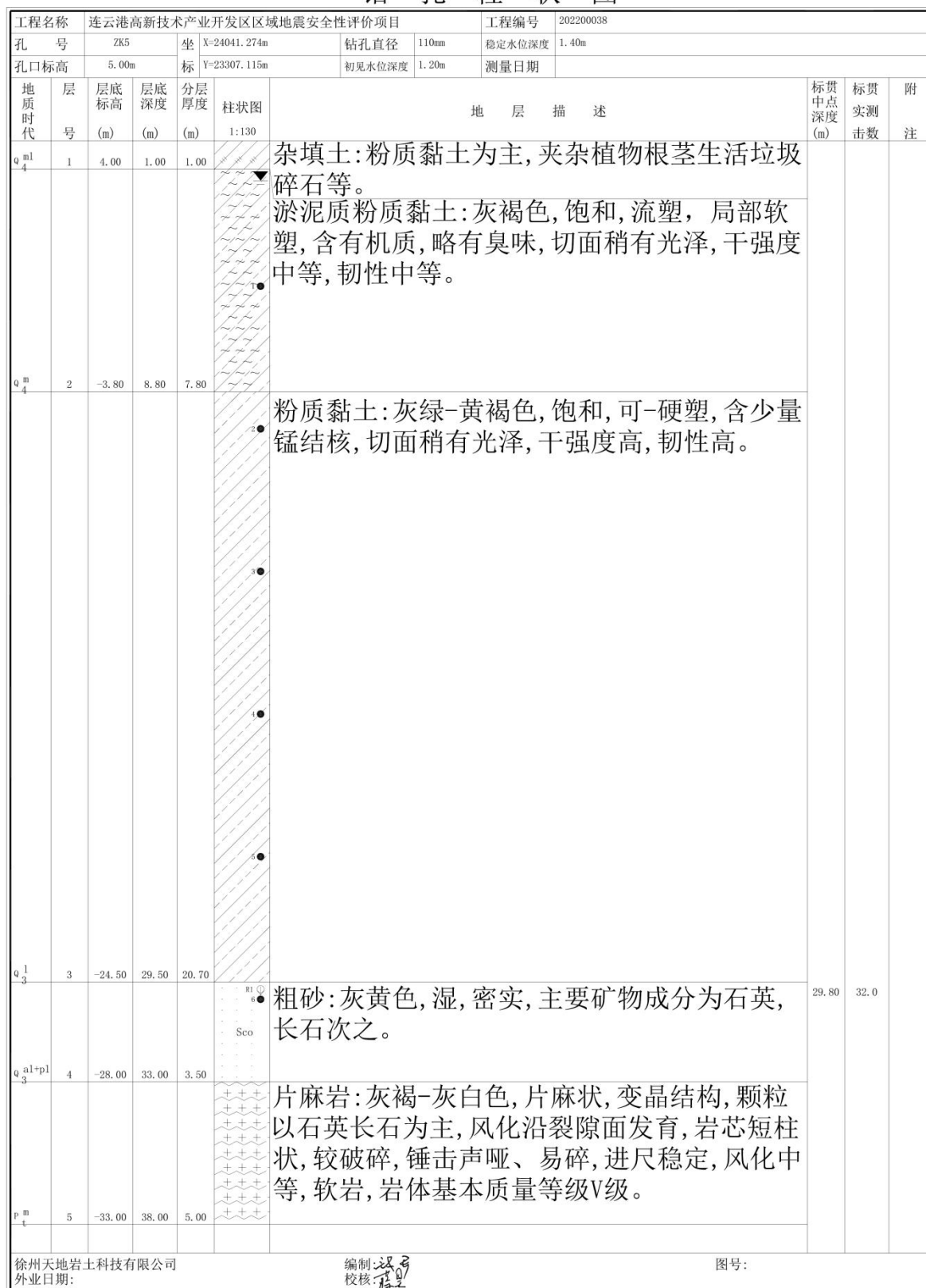


图 5.1-8 ZK5 孔柱状图

钻孔柱状图

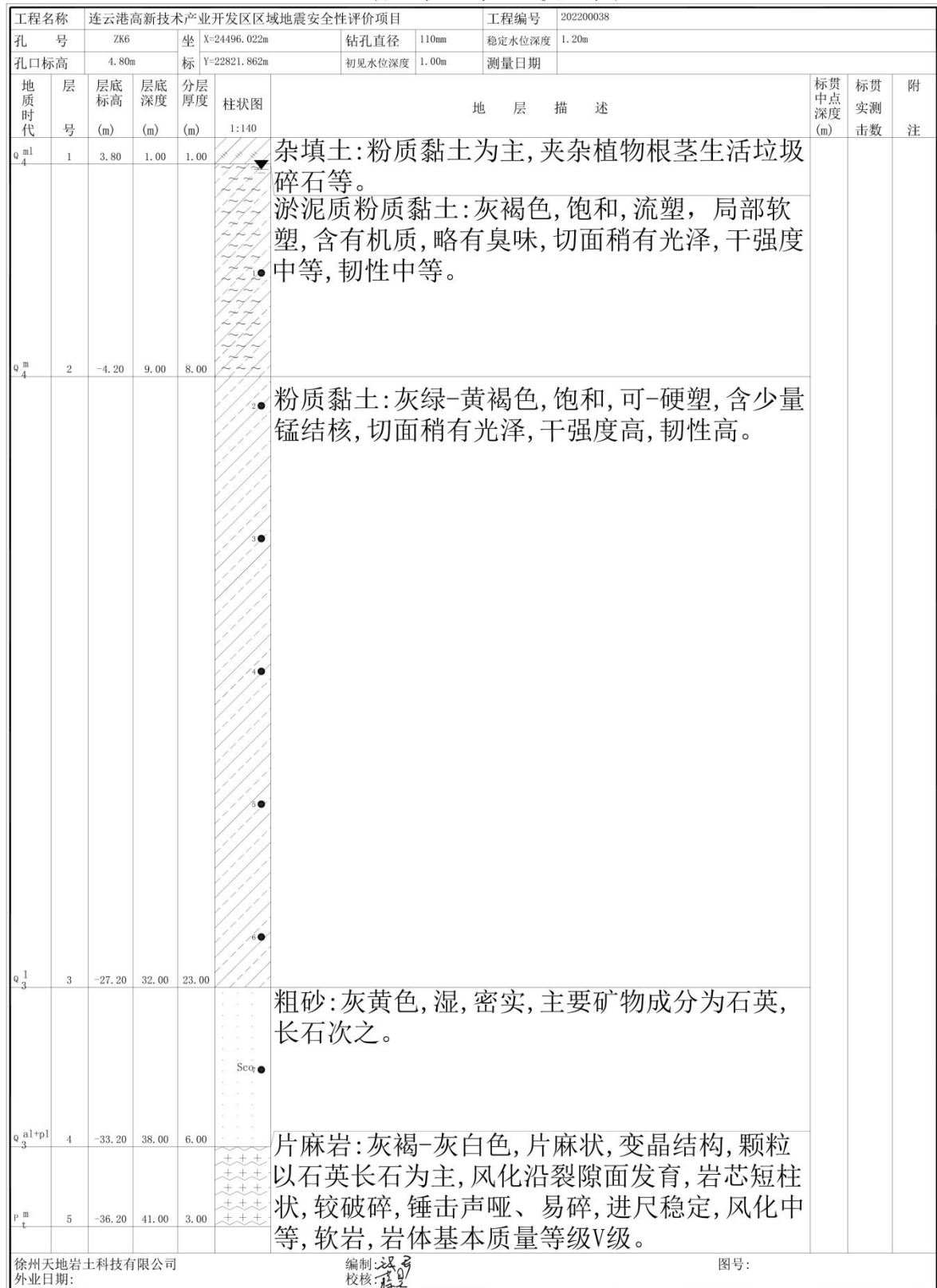


图 5.1-9 ZK6 孔柱状图

钻孔柱状图

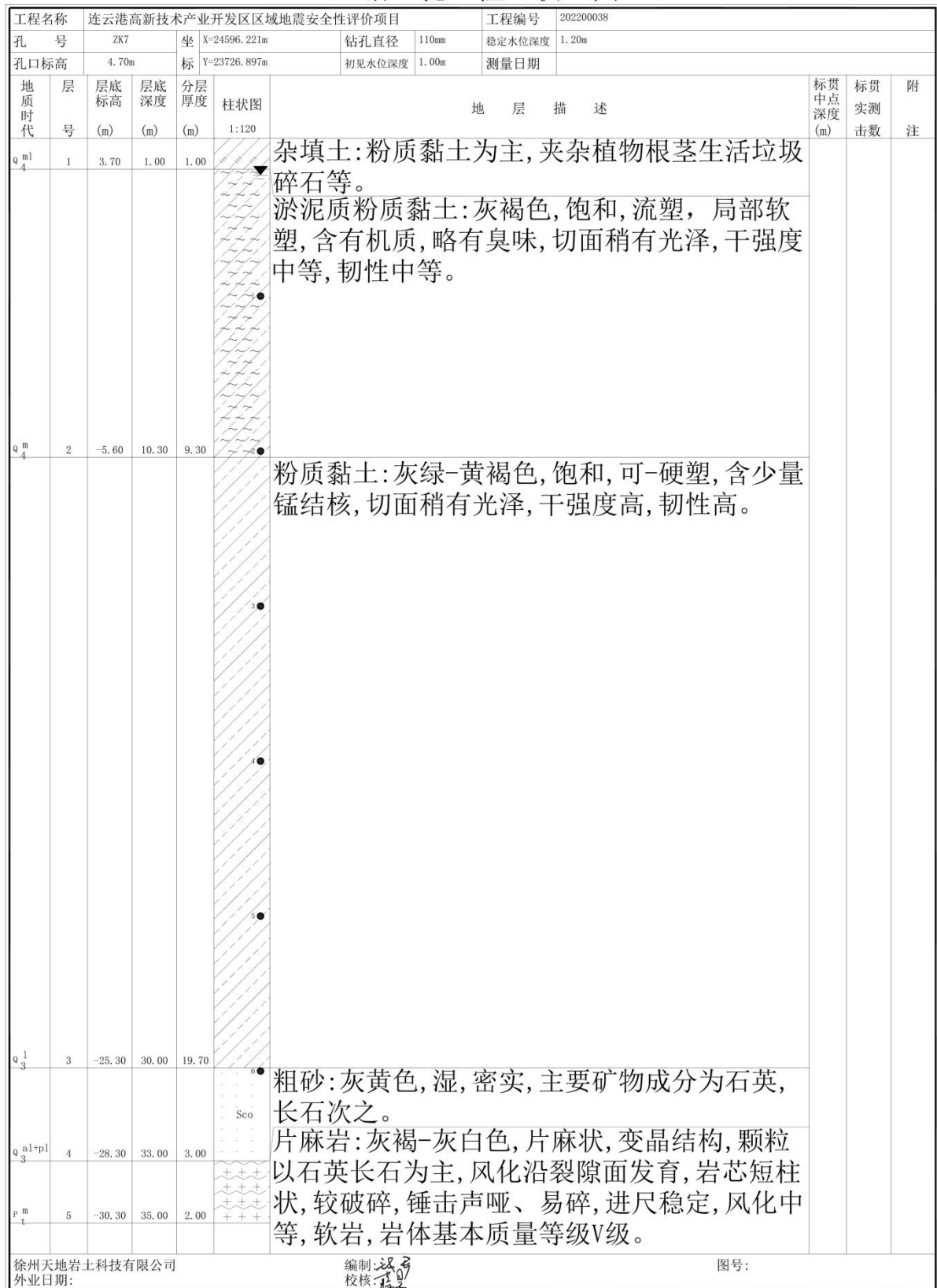


图 5.1-10 ZK7 孔柱状图

钻孔柱状图








工程名称	连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目					工程编号	202200038		
孔号	ZK8		坐	X=24908.378m		钻孔直径	110mm	稳定水位深度	1.10m
孔口标高	4.50m		标	Y=23314.817m		初见水位深度	1.00m	测量日期	
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	地 层 描 述			标贯中点深度 (m)
Q ₄ ^{ml}	1	3.70	0.80	0.80		杂填土:粉质黏土为主,夹杂植物根茎生活垃圾碎石等。 淤泥质粉质黏土:灰褐色,饱和,流塑,局部软塑,含有机质,略有臭味,切面稍有光泽,干强度中等,韧性中等。			
Q ₄ ^m	2	-5.50	10.00	9.20		粉质黏土:灰绿-黄褐色,饱和,可-硬塑,含少量锰结核,切面稍有光泽,干强度高,韧性高。			
Q ₃ ^l	3	-27.00	31.50	21.50		粗砂:灰黄色,湿,密实,主要矿物成分为石英,长石次之。			
Q ₃ ^{al+pl}	4	-29.50	34.00	2.50		片麻岩:灰褐-灰白色,片麻状,变晶结构,颗粒以石英长石为主,风化沿裂隙面发育,岩芯短柱状,较破碎,锤击声哑、易碎,进尺稳定,风化中等,软岩,岩体基本质量等级V级。			
P ₁ ^m	5	-34.50	39.00	5.00					
徐州天地岩土科技有限公司 外业日期:					编制:  校核: 	图号:			

图 5.1-11 ZK8 孔柱状图

钻孔柱状图

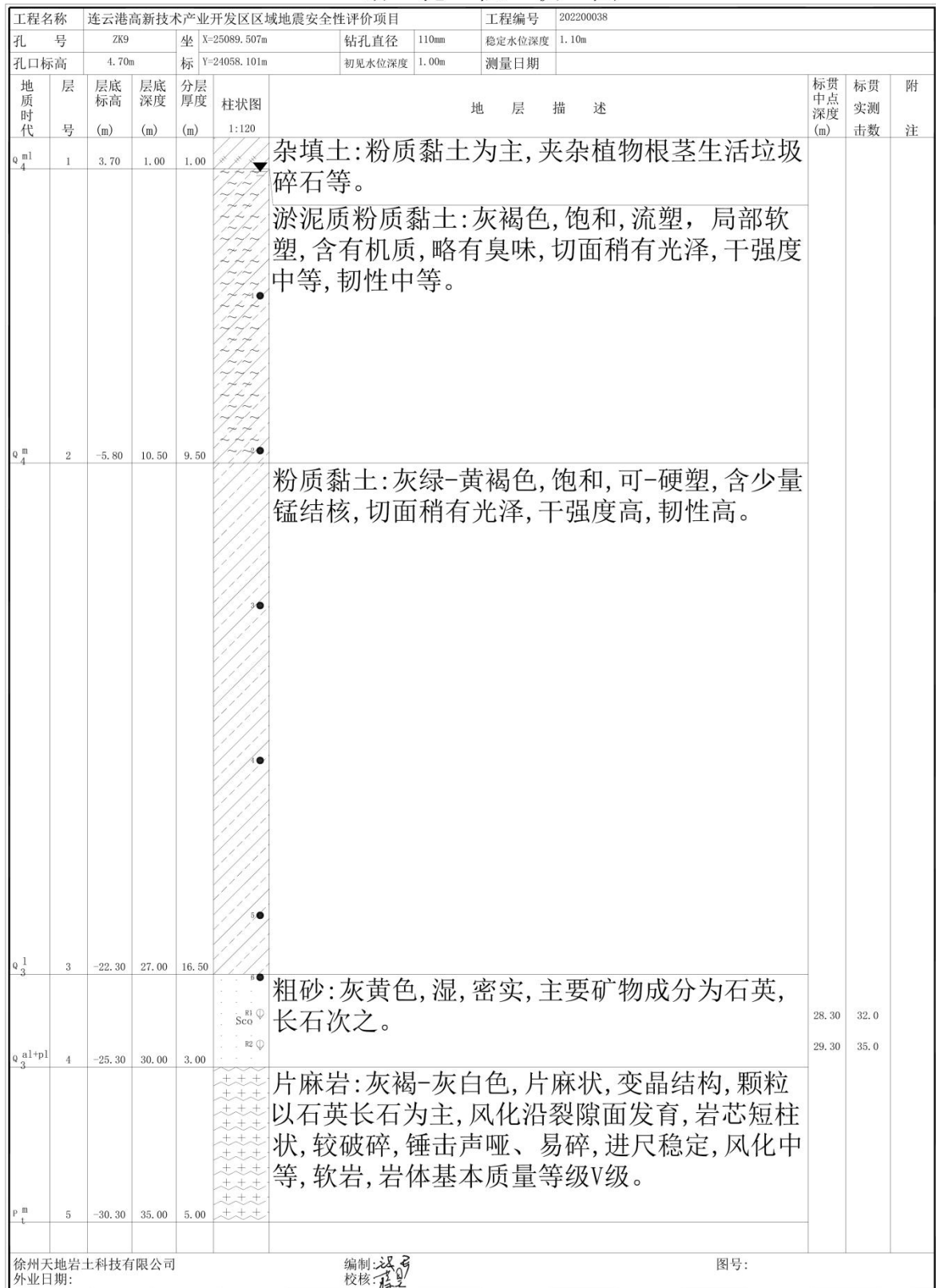


图 5.1-12 ZK9 孔柱状图

钻孔柱状图





工程名称					连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目					工程编号		202200038			
孔 号		ZK10		坐 标		X=25428.641m		钻孔直径		110mm		稳定水位深度		1.20m	
孔口标高		4.80m		标		Y=23168.471m		初见水位深度		1.00m		测量日期			
地质时代	层号	层底标高(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	地 层 描 述							标贯中点深度(m)	标贯实测击数	附注
q ₄ ^{m1}	1	3.30	1.50	1.50		杂填土:粉质黏土为主,夹杂植物根茎生活垃圾碎石等。									
						淤泥质粉质黏土:灰褐色,饱和,流塑,局部软塑,含有机质,略有臭味,切面稍有光泽,干强度中等,韧性中等。									
q ₄ ^m	2	-6.40	11.20	9.70	粉质黏土:灰绿-黄褐色,饱和,可-硬塑,含少量锰结核,切面稍有光泽,干强度高,韧性高。										
q ₃ ^l	3	-26.20	31.00	19.80		粗砂:灰黄色,湿,密实,主要矿物成分为石英,长石次之。									
q ₃ ^{al+pl}	4	-28.20	33.00	2.00		片麻岩:灰褐-灰白色,片麻状,变晶结构,颗粒以石英长石为主,风化沿裂隙面发育,岩芯短柱状,较破碎,锤击声哑、易碎,进尺稳定,风化中等,软岩,岩体基本质量等级V级。									
p _t ^m	5	-32.20	37.00	4.00											
徐州天地岩土科技有限公司 外业日期:					编制:  校核: 					图号:					

图 5.1-13 ZK10 孔柱状图

钻孔柱状图

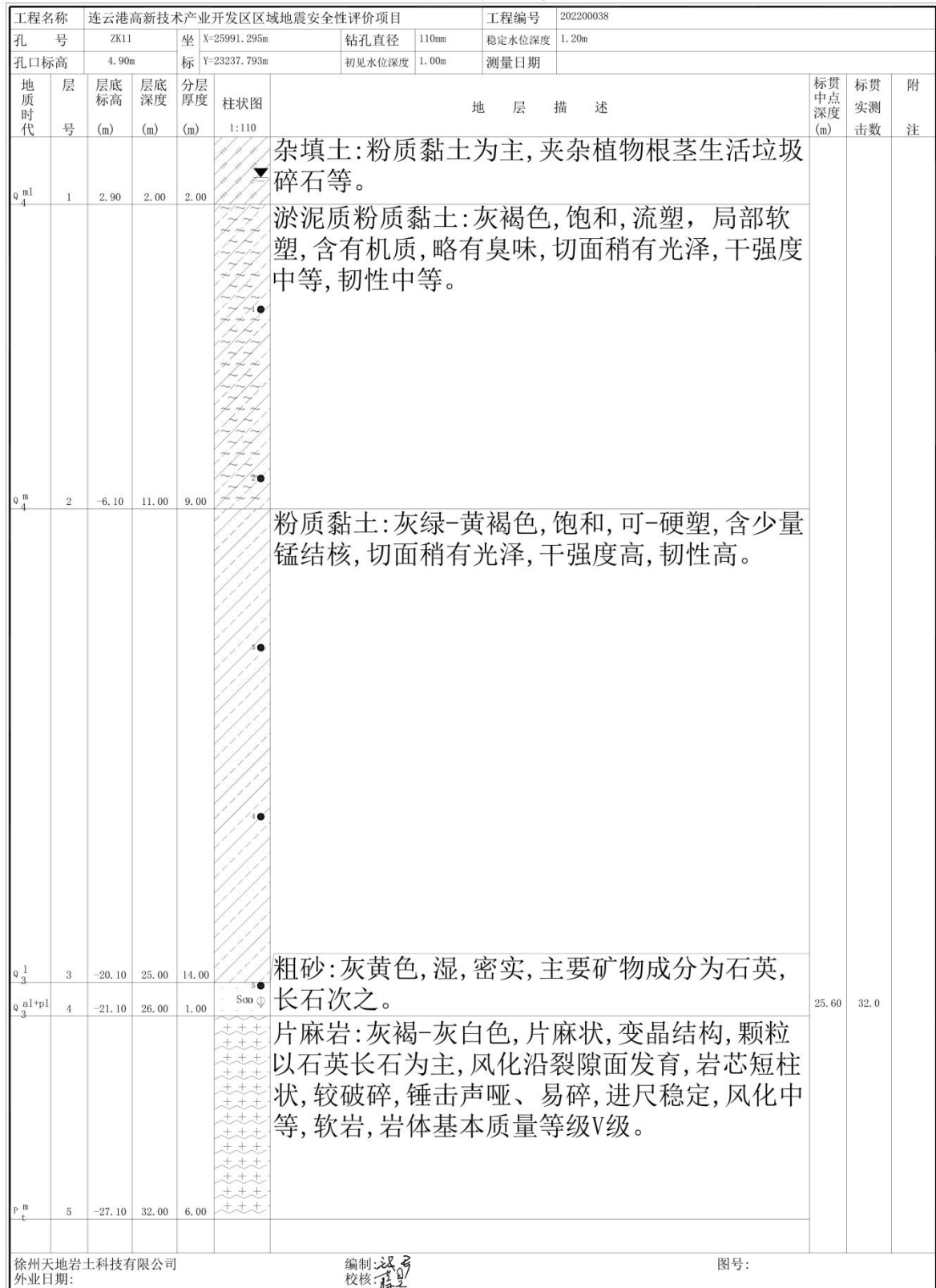


图 5.1-14 ZK11 孔柱状图

钻孔柱状图







工程名称					连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目					工程编号		202200038							
孔 号		ZK12		坐 标		X=26592.486m		钻孔直径		110mm		稳定水位深度		1.10m					
孔口标高		4.70m		标		V=23264.752m		初见水位深度		1.00m		测量日期							
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:120	地 层 描 述							标贯中点深度 (m)	标贯实测击数	附注				
q ₄ ^{ml}	1	3.70	1.00	1.00		杂填土:粉质黏土为主,夹杂植物根茎生活垃圾碎石等。													
						淤泥质粉质黏土:灰褐色,饱和,流塑,局部软塑,含有机质,略有臭味,切面稍有光泽,干强度中等,韧性中等。													
q ₄ ^m	2	-5.30	10.00	9.00		粉质黏土:灰绿-黄褐色,饱和,可-硬塑,含少量锰结核,切面稍有光泽,干强度高,韧性高。													
q ₃ ^l	3	-22.20	26.90	16.90		粗砂:灰黄色,湿,密实,主要矿物成分为石英,长石次之。							28.30	31.0					
q ₃ ^{al+pl}	4	-25.30	30.00	3.10									29.30	34.0					
p _t ^m	5	-29.30	34.00	4.00		片麻岩:灰褐-灰白色,片麻状,变晶结构,颗粒以石英长石为主,风化沿裂隙面发育,岩芯短柱状,较破碎,锤击声哑、易碎,进尺稳定,风化中等,软岩,岩体基本质量等级V级。													
徐州天地岩土科技有限公司 外业日期:																编制:  校核: 		图号:	

图 5.1-15 ZK12 孔柱状图

钻孔柱状图

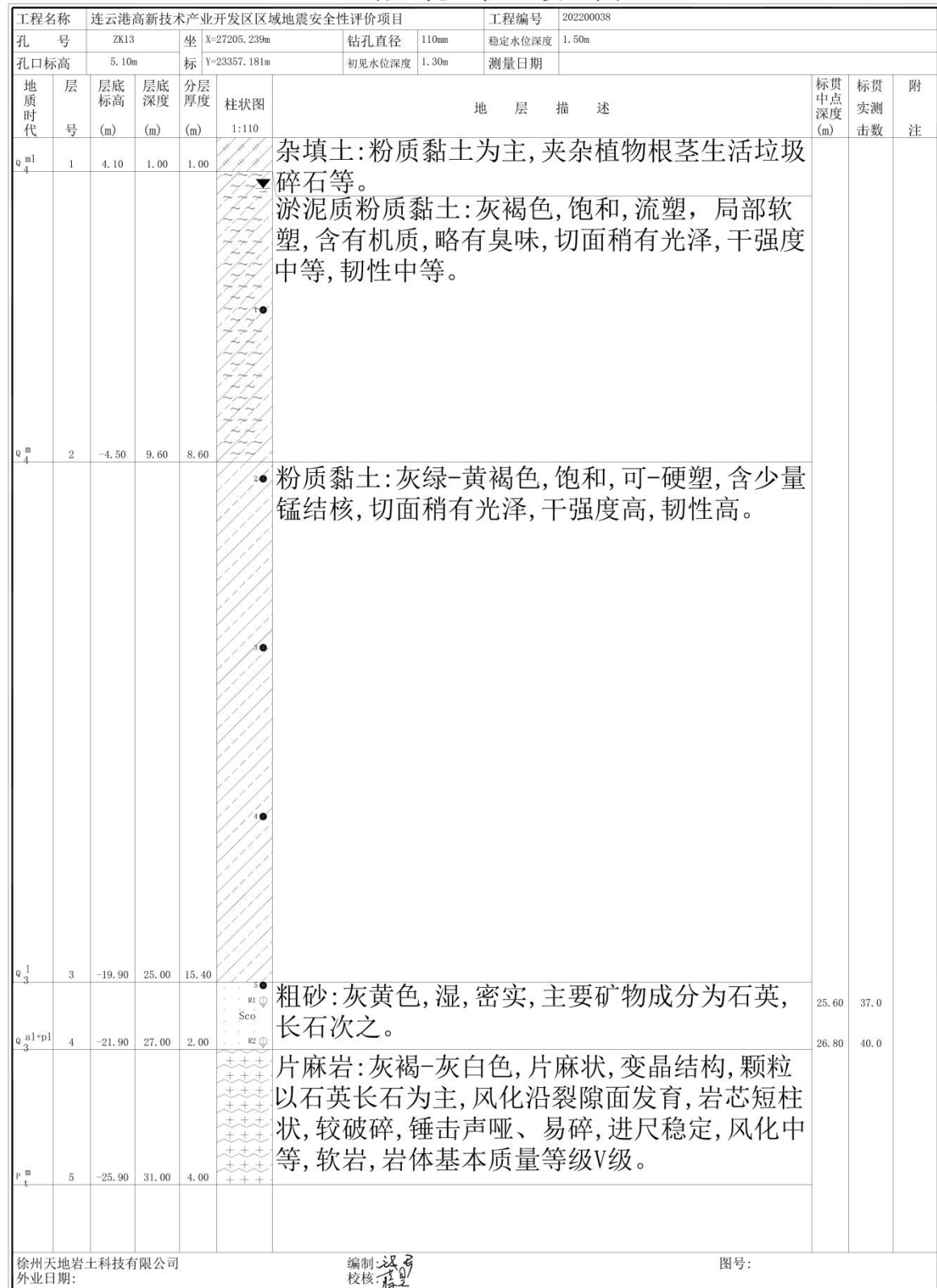


图 5.1-16 ZK13 孔柱状图

钻孔柱状图

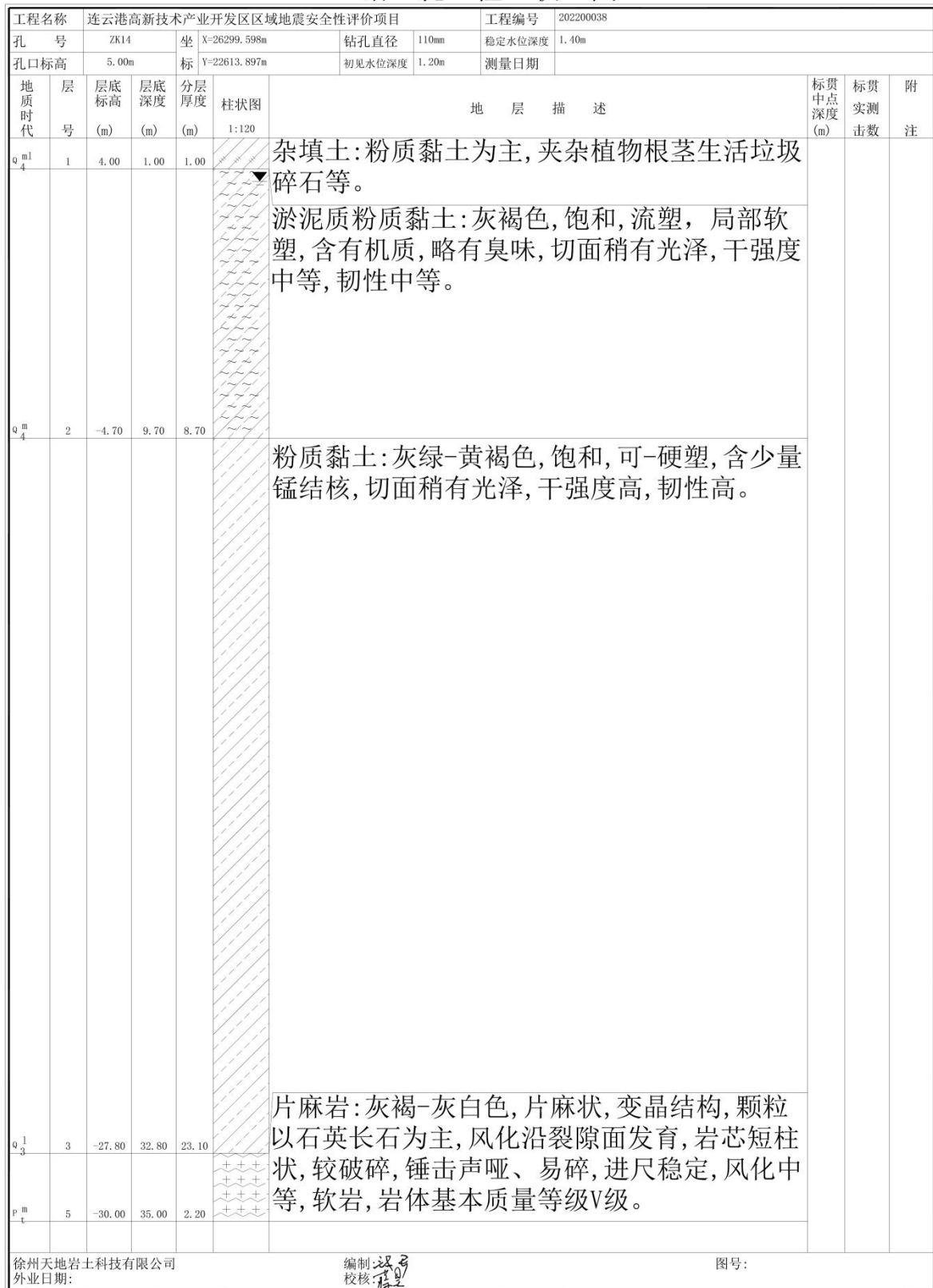


图 5.1-17 ZK14 孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

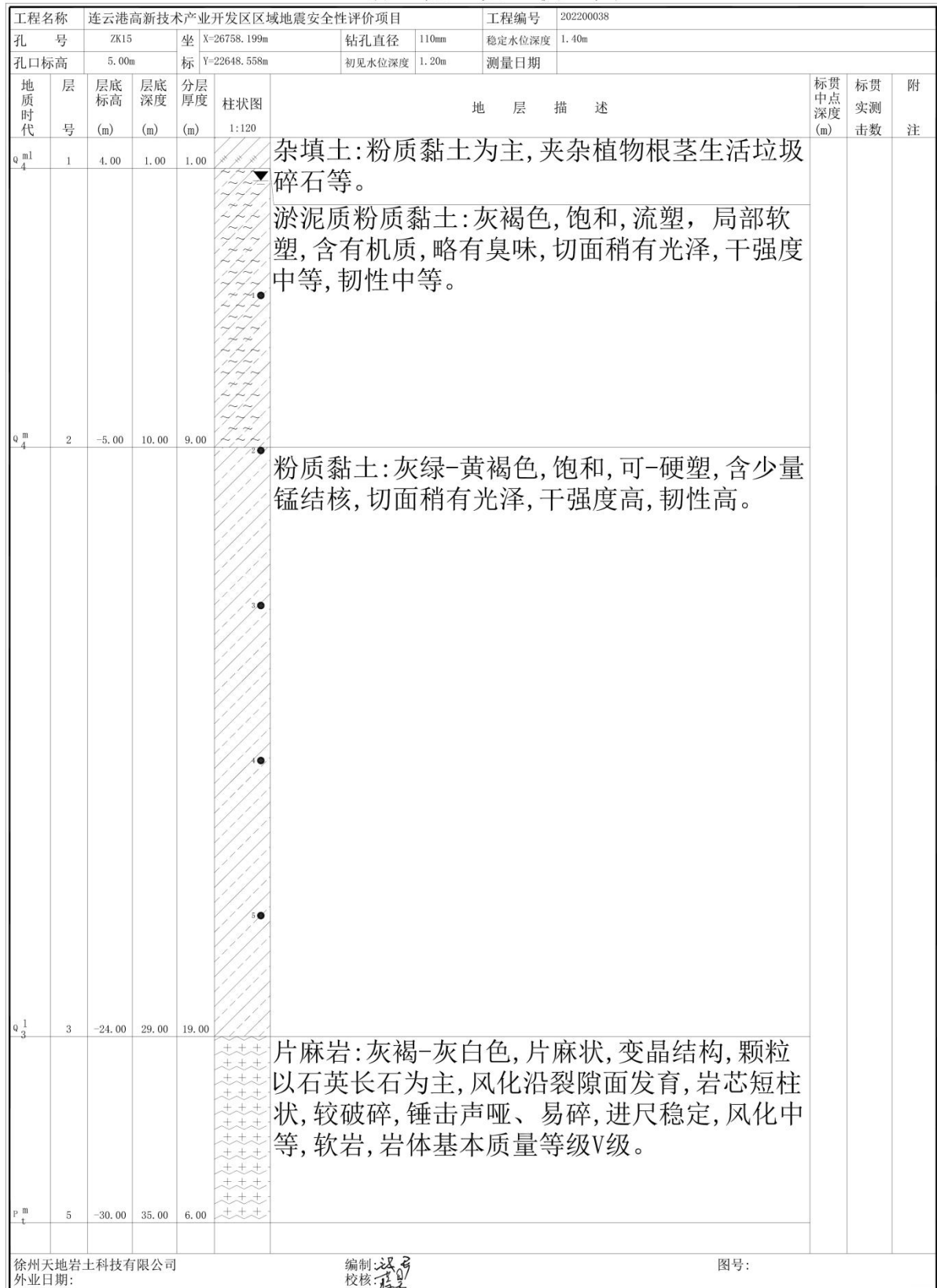


图 5.1-18 ZK15 孔柱状图

钻孔柱状图

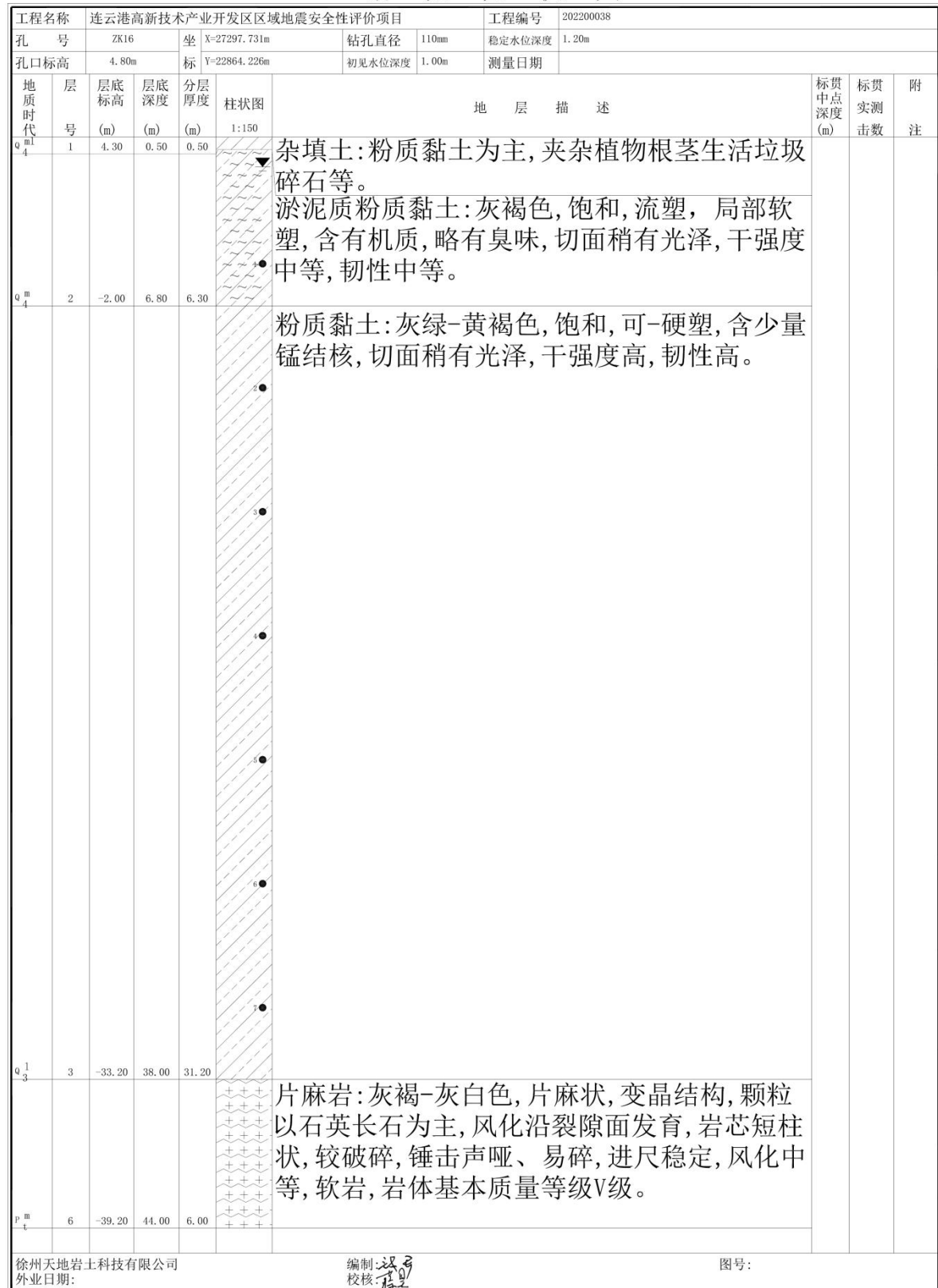


图 5.1-19 ZK16 孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

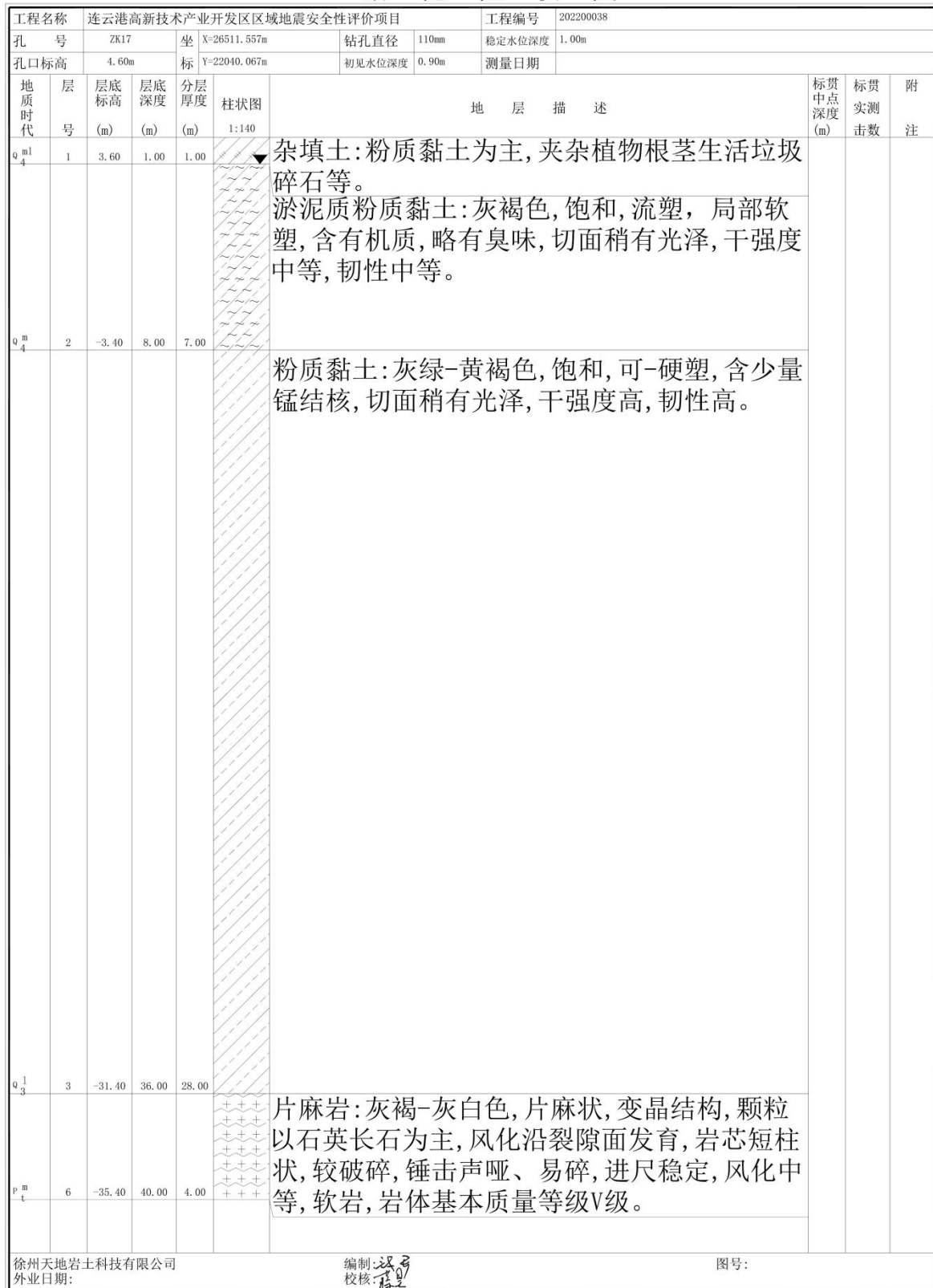


图 5.1-20 ZK17 孔柱状图

钻 孔 柱 状 图





工程名称					连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目					工程编号		202200038						
孔 号		ZK18		坐 标		X=27058.796m Y=22082.430m		钻孔直径		110mm		稳定水位深度		1.40m				
孔口标高		4.80m		标		V=22082.430m		初见水位深度		1.20m		测量日期						
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:140	地 层 描 述							标贯中点深度 (m)	标贯实测击数	附注			
Q ^{ml} ₄	1	3.80	1.00	1.00		杂填土:粉质黏土为主,夹杂植物根茎生活垃圾碎石等。 淤泥质粉质黏土:灰褐色,饱和,流塑,局部软塑,含有机质,略有臭味,切面稍有光泽,干强度中等,韧性中等。												
Q ^m ₄	2	-3.90	8.70	7.70		粉质黏土:灰绿-黄褐色,饱和,可-硬塑,含少量锰结核,切面稍有光泽,干剪强度高,韧性高。												
Q ^l ₃	3	-30.20	35.00	26.30		片麻岩:灰褐-灰白色,片麻状,变晶结构,颗粒以石英长石为主,风化沿裂隙面发育,岩芯短柱状,较破碎,锤击声哑、易碎,进尺稳定,风化中等,软岩,岩体基本质量等级V级。												
P ^m _t	6	-35.20	40.00	5.00														
徐州天地岩土科技有限公司 外业日期:															编制:  校核: 		图号:	

图 5.1-21 ZK18 孔柱状图

钻孔柱状图

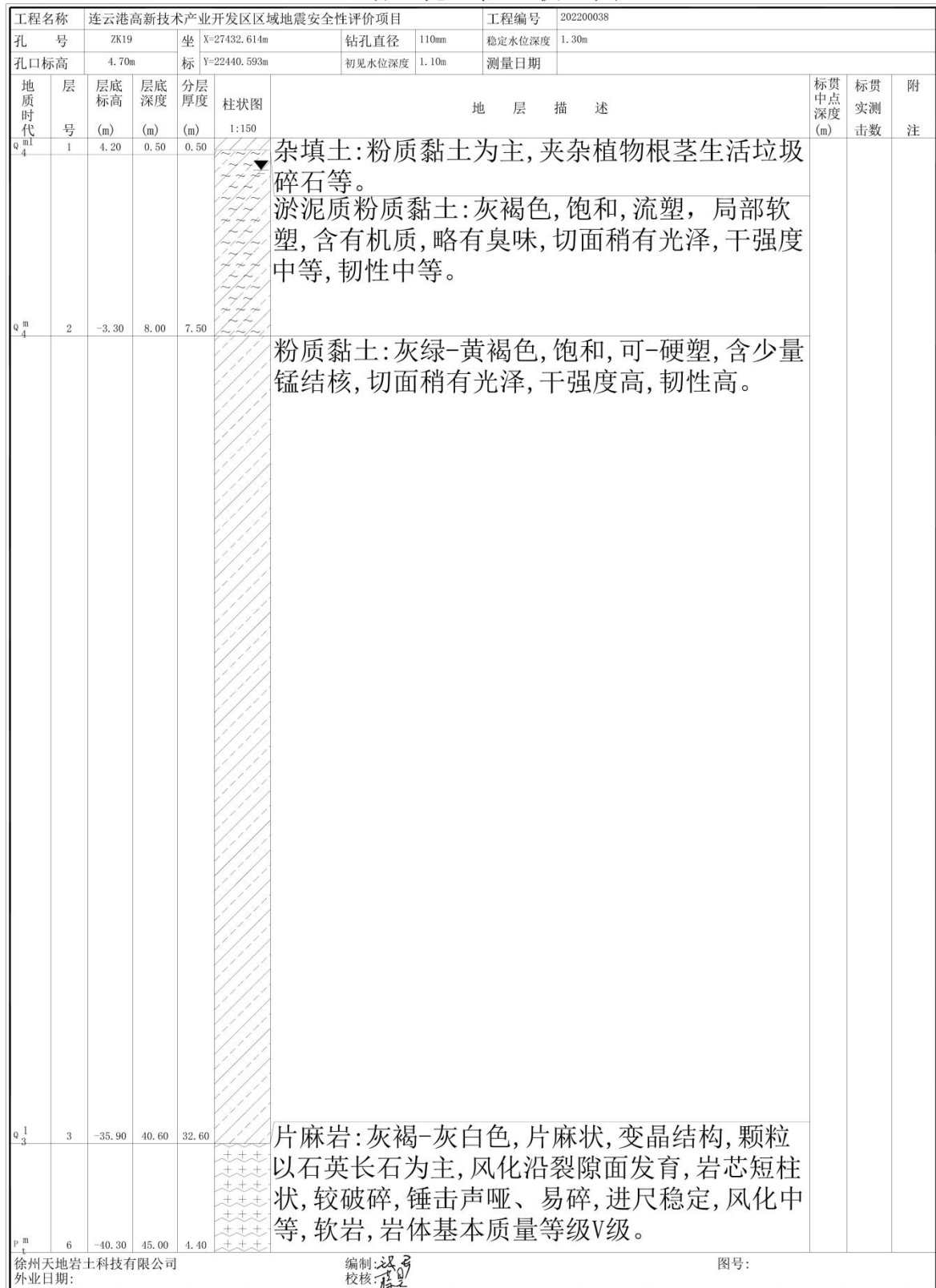


图 5.1-22 ZK19 孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

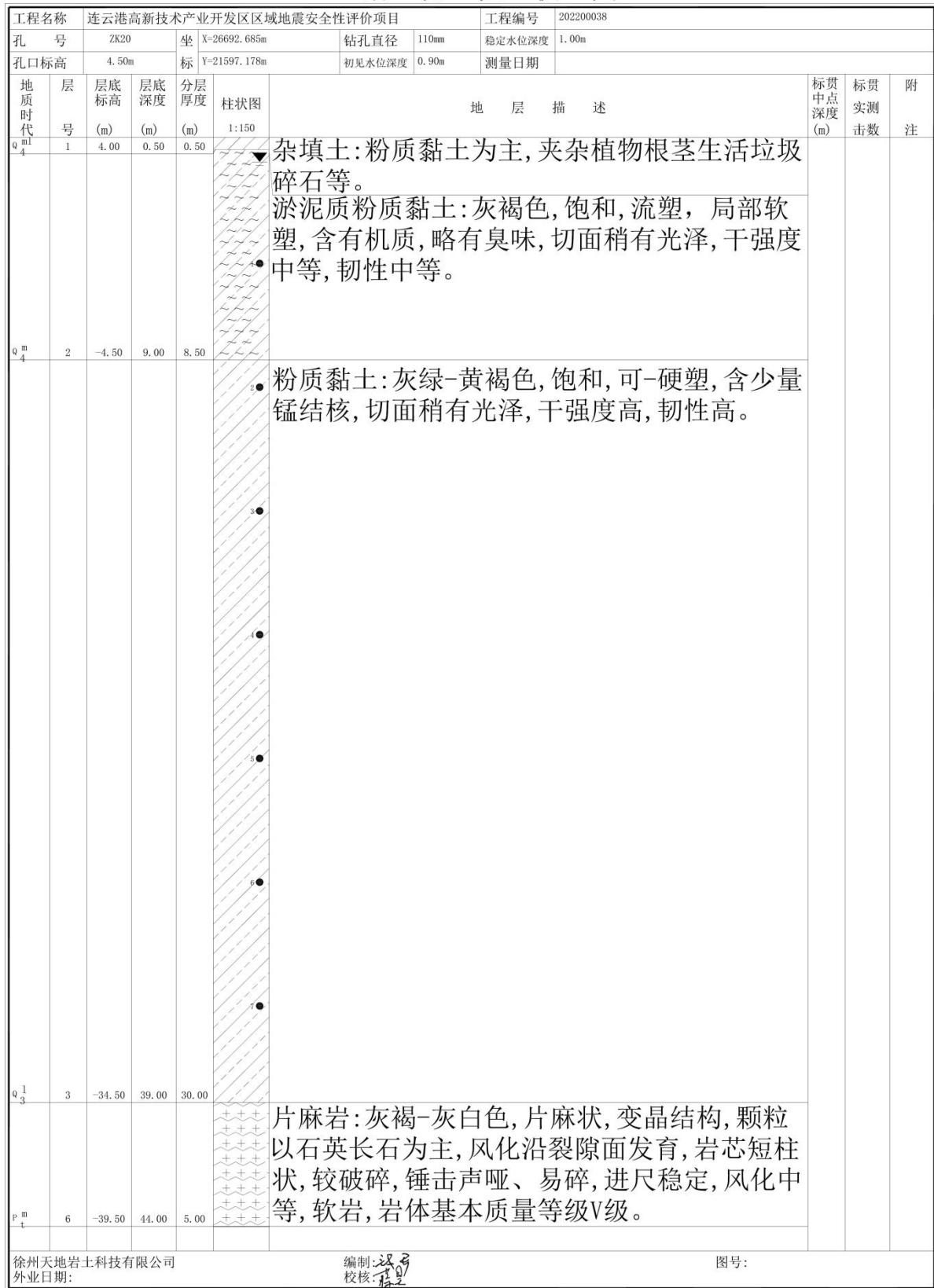


图 5.1-23 ZK20 孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

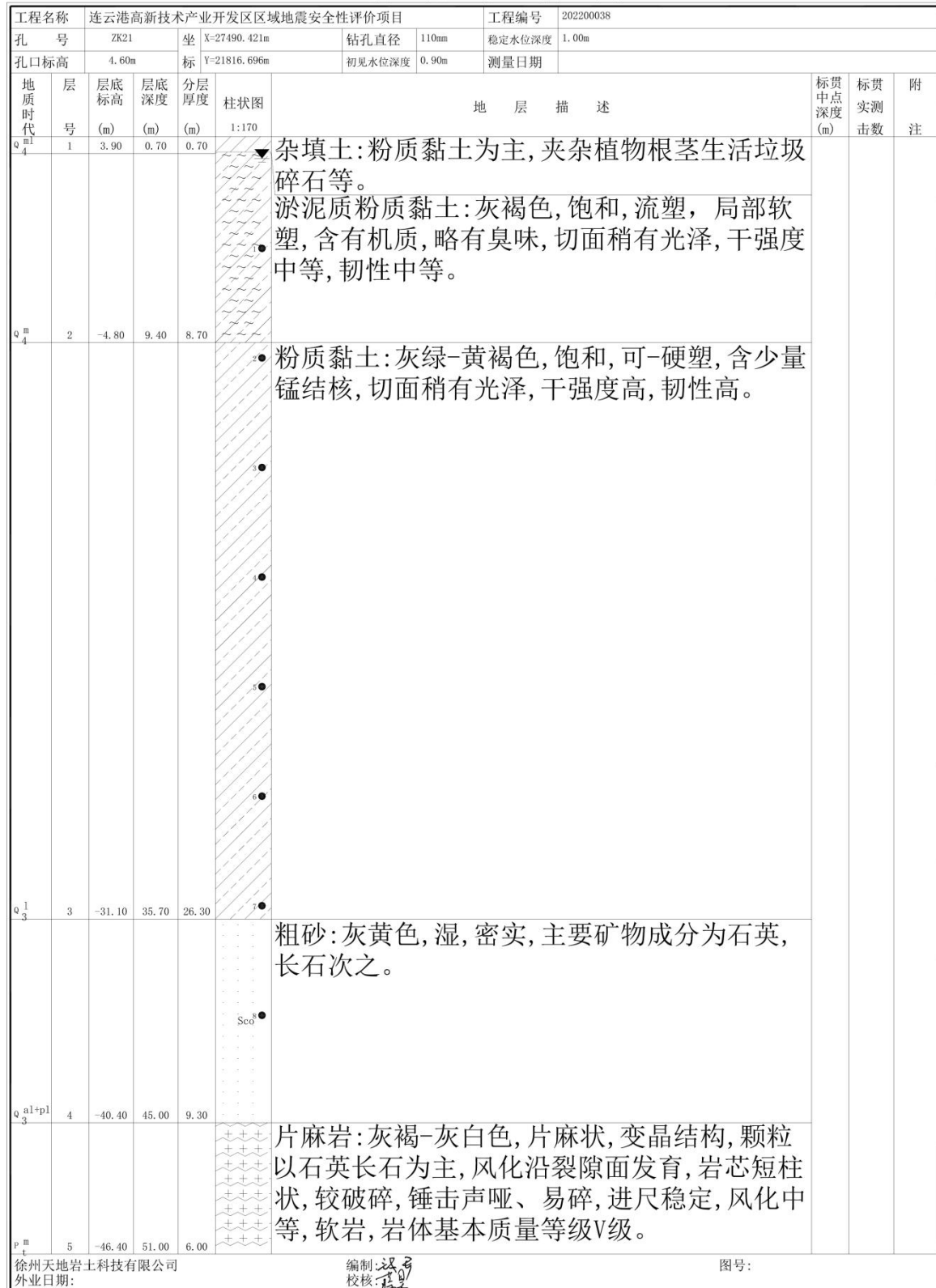


图 5.1-24 ZK21 孔柱状图

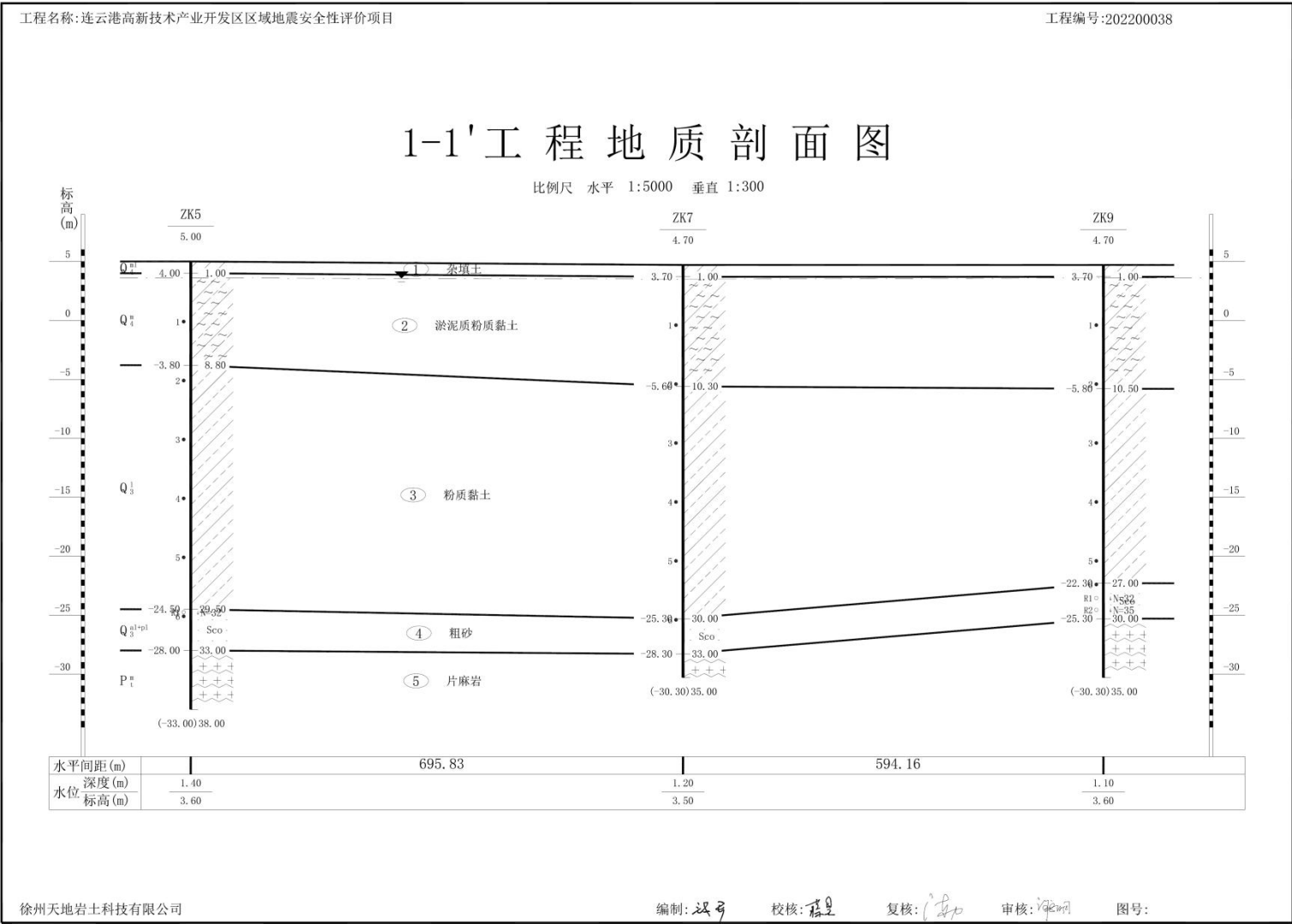


图 5.1-25 1-1'工程地质剖面图

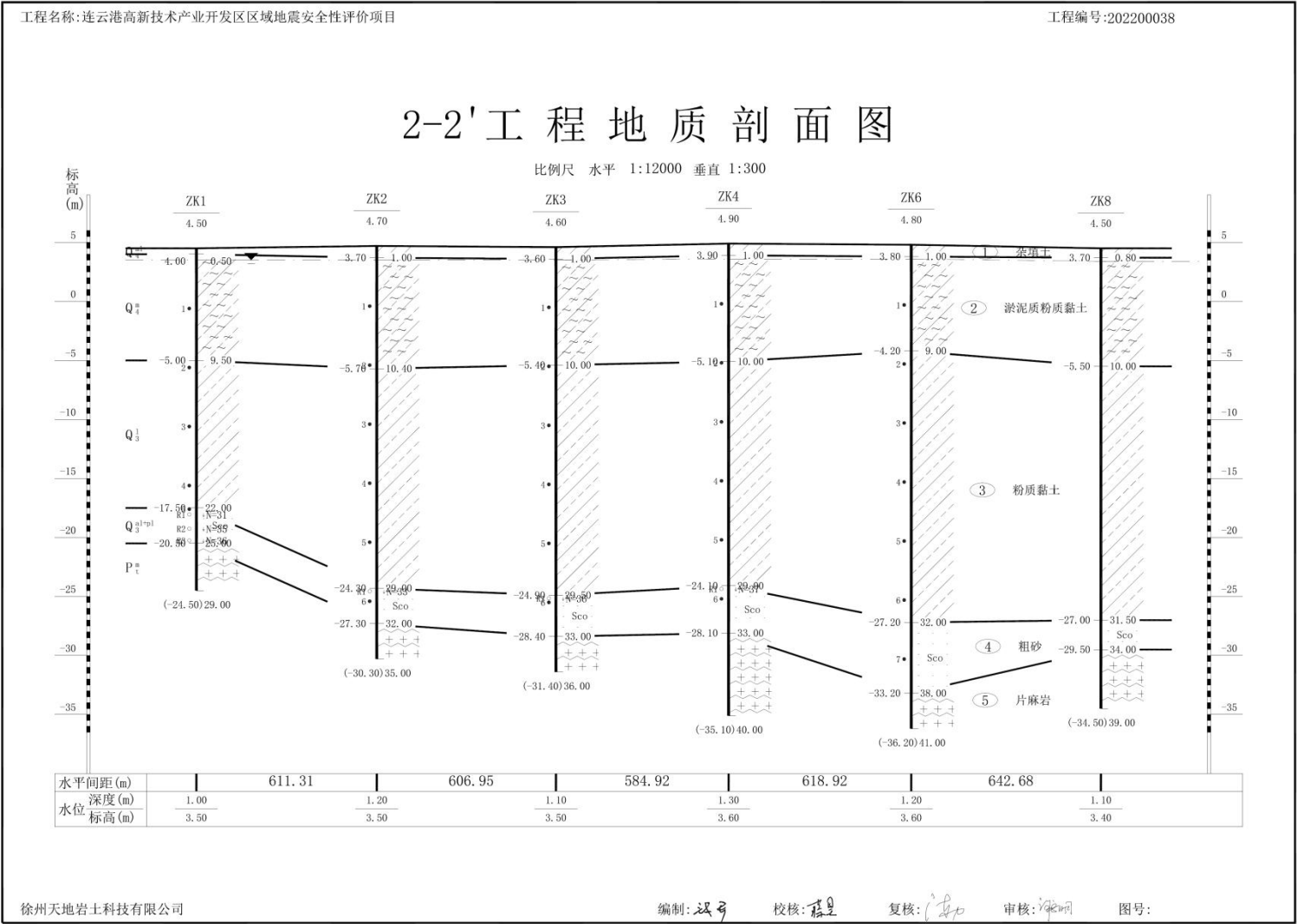


图 5.1-26 2-2'工程地质剖面图

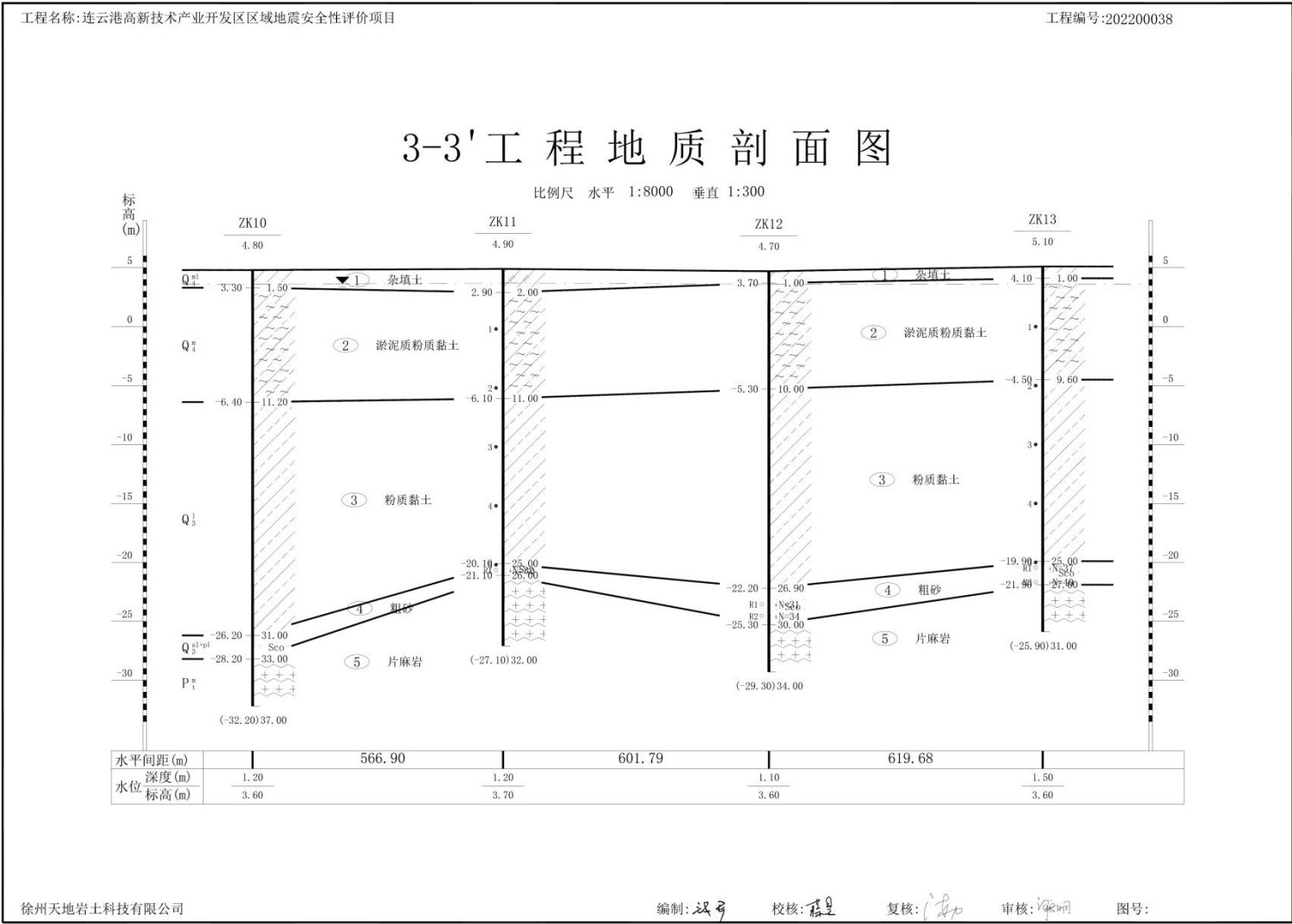


图 5.1-27 3-3'工程地质剖面图

图 5.1-28 4-4'工程地质剖面图

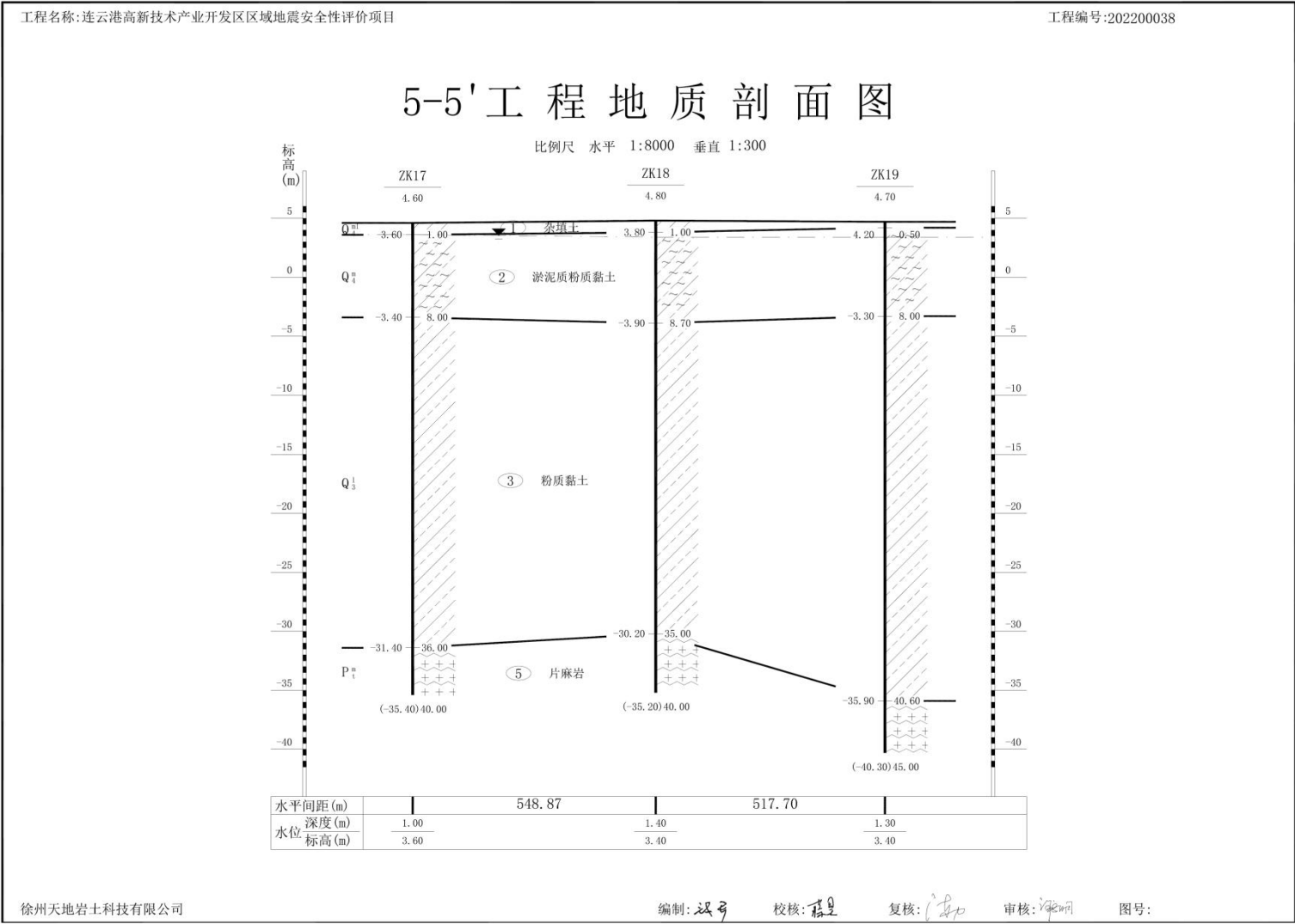


图 5.1-29 5-5'工程地质剖面图

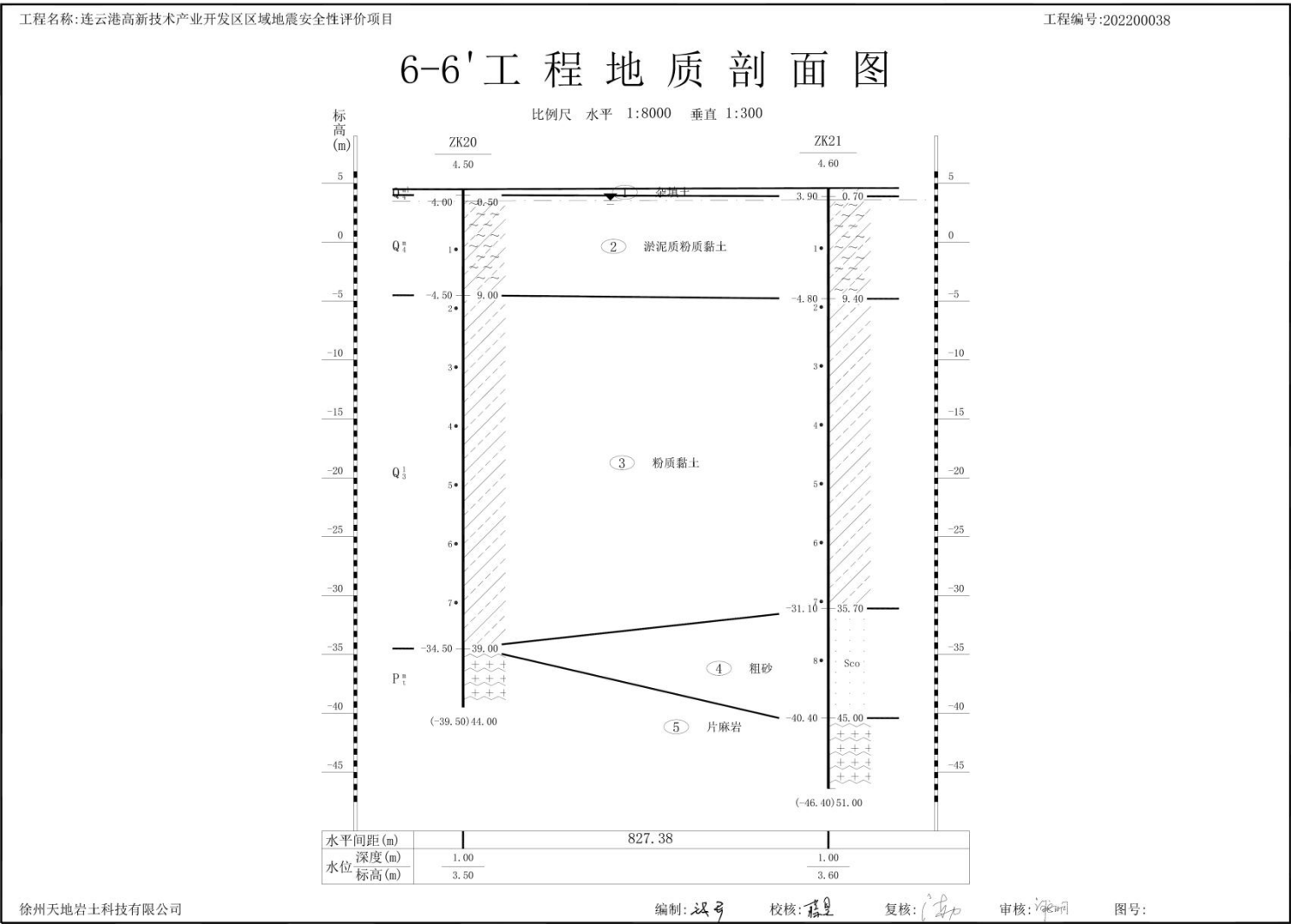


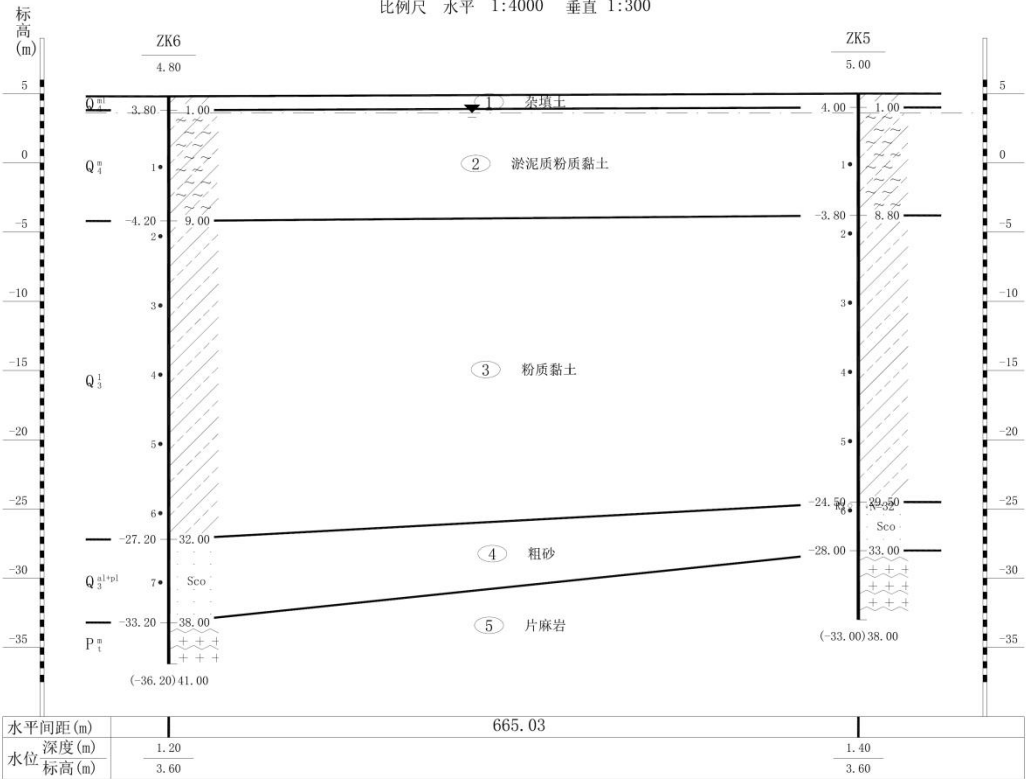
图 5.1-30 6-6'工程地质剖面图

工程名称:连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目

工程编号:202200038

7-7'工程地质剖面图

比例尺 水平 1:4000 垂直 1:300



徐州天地岩土科技有限公司

编制: 汉弓 校核: 程星 复核: 程星 审核: 程星 图号:

图 5.1-31 7-7'工程地质剖面图

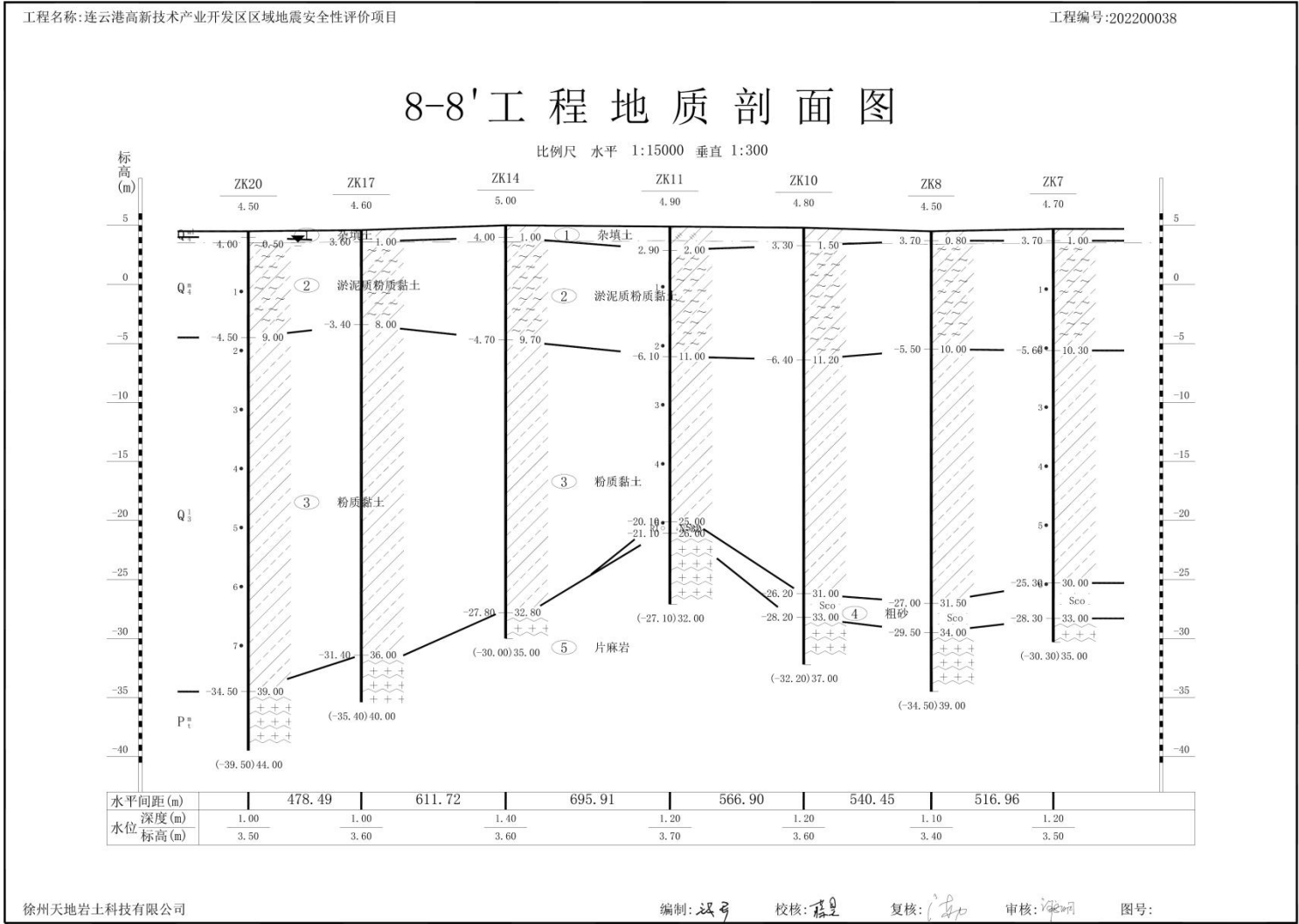


图 5.1-32 8-8'工程地质剖面图

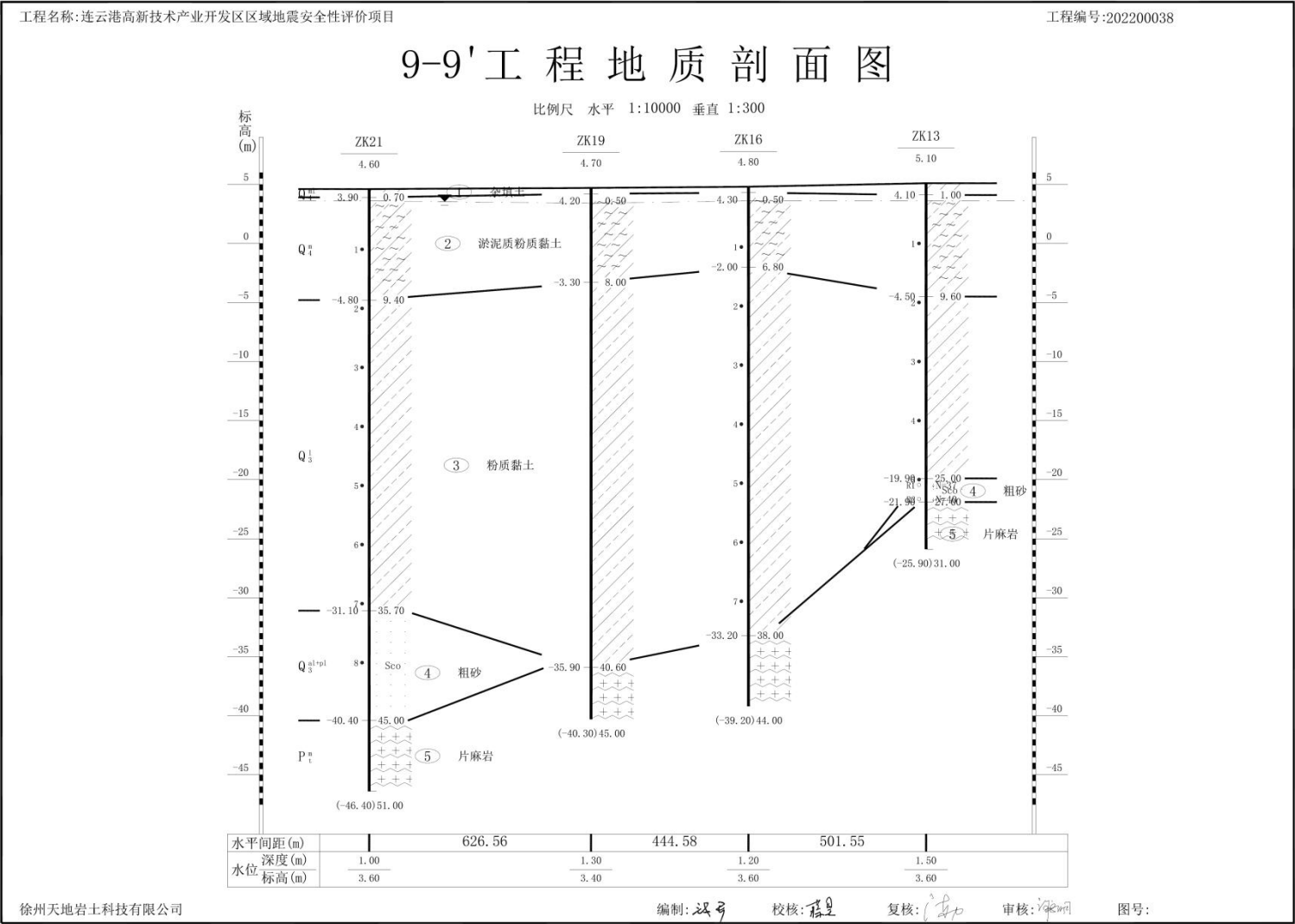


图 5.1-33 9-9'工程地质剖面图

5.2 土层剪切波速测试与工程场地类别划分

5.2.1 土层剪切波速测试

根据 GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》的要求，在开展目标区场地工程地质条件勘测钻孔的同时，应进行钻孔分层岩土剪切波速的原位测量，给出场地钻孔剖面岩土分层剪切波速随深度的变化，以获取实际场地条件与环境下的土层波速资料，确保场地地震反应计算中所建立的场地力学模型的合理性。

按照场地地震安全性评价工作大纲要求，项目组对目标区场地 21 个钻孔进行了土层剪切波（S 波）的现场测试工作，以了解该工程场地各分层土的剪切波速随深度的变化，为场地安评地震反应分析建模提供波速资料。

本工程波速测试使用仪器为重庆地质仪器厂生产的 DZQ48 高分辨地震勘探数据采集系统。该仪器的波速测井模式为井上激振，利用铁锤水平撞击横木，使板与地面之间发生运动，产生丰富的剪切波，从而在钻孔内不同高度处分别接收通过土层向下传播的剪切波。

图 5.2-1 为工作方法示意图。

各钻孔波速如表 5.2-1～表 5.2-21，测试结果详见附件 1。

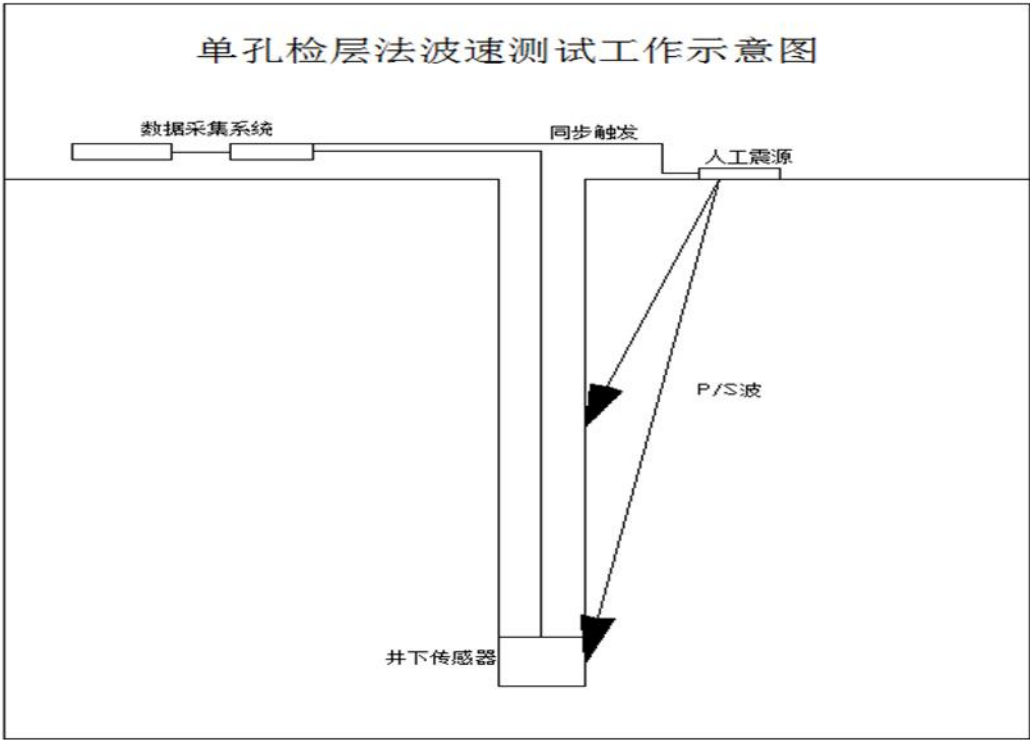


图 5.2-1 工作方法示意图

表 5.2-1 ZK1 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	151	6	127	11	173	16	196	26	627
2	109	7	115	12	174	17	210	27	783
3	113	8	120	13	195	18	225	28	784
4	114	9	141	14	184	19	285		
5	121	10	156	15	196	20	286		

表 5.2-2 ZK2 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	108	8	137	15	208	22	222	29	303
2	113	9	132	16	208	23	222	30	370
3	109	10	128	17	208	24	238	31	370
4	121	11	194	18	208	25	278	32	417
5	124	12	195	19	222	26	278	33	555
6	130	13	207	20	222	27	278	34	692
7	131	14	207	21	222	28	303		

表 5.2-3 ZK3 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	111	8	118	15	221	22	256	29	303
2	115	9	114	16	221	23	238	30	303
3	112	10	127	17	221	24	256	31	333
4	121	11	183	18	255	25	256	32	333
5	123	12	184	19	256	26	278	33	476
6	117	13	195	20	256	27	278	34	555
7	117	14	221	21	256	28	303	35	666

表 5.2-4 ZK4 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	113	9	127	17	222	25	256	33	417
2	118	10	144	18	222	26	303	34	555
3	113	11	194	19	208	27	333	35	666
4	114	12	195	20	222	28	333	36	666
5	112	13	221	21	238	29	333		
6	113	14	221	22	238	30	238		
7	118	15	221	23	256	31	333		
8	118	16	208	24	256	32	417		

表 5.2-5 ZK5 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	115	9	122	17	237	25	302	33	416
2	112	10	164	18	255	26	303	34	554
3	112	11	182	19	255	27	333	35	665
4	111	12	183	20	255	28	333	36	665
5	118	13	194	21	277	29	333		
6	115	14	194	22	302	30	333		
7	117	15	207	23	302	31	333		
8	121	16	236	24	302	32	416		

表 5.2-6 ZK6 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	100	9	143	17	208	25	303	33	370
2	108	10	183	18	208	26	303	34	417
3	113	11	194	19	208	27	303	35	417

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
4	116	12	194	20	256	28	303	36	476
5	119	13	195	21	277	29	333	37	476
6	120	14	207	22	277	30	333	38	476
7	126	15	221	23	277	31	333	39	666
8	137	16	221	24	278	32	333	40	832

表 5.2-7 ZK7 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	104	8	114	15	237	22	302	29	333
2	112	9	127	16	237	23	277	30	333
3	114	10	123	17	237	24	303	31	370
4	120	11	157	18	255	25	303	32	370
5	119	12	206	19	256	26	303	33	417
6	125	13	236	20	277	27	303	34	666
7	121	14	236	21	277	28	303		

表 5.2-8 ZK8 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	104	9	127	17	221	25	303	33	370
2	109	10	132	18	222	26	333	34	370
3	114	11	194	19	238	27	333	35	476
4	120	12	194	20	238	28	333	36	832
5	123	13	207	21	277	29	333	37	832
6	130	14	207	22	302	30	333	38	832
7	122	15	221	23	302	31	333		
8	118	16	221	24	303	32	370		

表 5.2-9 ZK9 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	109	8	122	15	207	22	277	29	303
2	117	9	132	16	221	23	277	30	303
3	115	10	127	17	255	24	278	31	476
4	117	11	157	18	255	25	278	32	665
5	119	12	194	19	256	26	303	33	665
6	125	13	195	20	256	27	303	34	666
7	126	14	207	21	277	28	303		

表 5.2-10 ZK10 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	119	9	114	17	255	25	256	33	370
2	111	10	123	18	255	26	278	34	555
3	115	11	133	19	256	27	256	35	555
4	117	12	194	20	256	28	278	36	666
5	115	13	207	21	238	29	278		
6	113	14	221	22	256	30	257		
7	113	15	236	23	256	31	303		
8	110	16	255	24	256	32	278		

表 5.2-11 ZK11 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	118	7	129	13	209	19	262	25	287
2	117	8	130	14	224	20	263	26	394
3	111	9	130	15	209	21	263	27	525
4	111	10	136	16	225	22	263	28	629

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
5	117	11	137	17	242	23	263	29	630
6	119	12	196	18	262	24	263	30	662

表 5.2-12 ZK12 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	118	8	130	15	185	22	263	29	394
2	113	9	125	16	210	23	263	30	451
3	110	10	131	17	225	24	263	31	630
4	128	11	131	18	242	25	263	32	638
5	132	12	184	19	242	26	287		
6	128	13	185	20	242	27	263		
7	129	14	185	21	263	28	351		

表 5.2-13 ZK13 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	130	7	124	13	223	19	286	25	315
2	116	8	124	14	240	20	302	26	307
3	120	9	125	15	260	21	296	27	567
4	122	10	120	16	261	22	315	28	568
5	121	11	194	17	261	23	308	29	662
6	123	12	208	18	262	24	323	30	662

表 5.2-14 ZK14 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	105	8	112	15	241	22	263	29	287
2	112	9	116	16	262	23	263	30	316

3	121	10	125	17	262	24	263	31	351
4	123	11	195	18	242	25	287	32	395
5	122	12	208	19	242	26	287	33	451
6	123	13	223	20	263	27	287	34	631
7	120	14	241	21	263	28	316		

表 5.2-15 ZK15 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	137	8	116	15	224	22	295	29	399
2	115	9	125	16	225	23	295	30	492
3	116	10	136	17	244	24	285	31	577
4	112	11	184	18	259	25	285	32	569
5	122	12	208	19	254	26	307	33	631
6	119	13	224	20	271	27	307	34	788
7	120	14	224	21	278	28	307		

表 5.2-16 ZK16 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	122	10	163	19	230	28	302	37	351
2	113	11	182	20	234	29	312	38	351
3	110	12	206	21	234	30	319	39	525
4	112	13	207	22	234	31	319	40	630
5	119	14	218	23	242	32	312	41	630
6	125	15	212	24	262	33	326	42	631
7	121	16	223	25	276	34	305		
8	163	17	224	26	272	35	334		
9	161	18	224	27	299	36	330		

表 5.2-17 ZK17 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	112	9	194	17	242	25	287	33	316
2	111	10	207	18	242	26	287	34	351
3	122	11	208	19	242	27	287	35	395
4	115	12	223	20	243	28	316	36	395
5	122	13	224	21	243	29	316	37	526
6	134	14	224	22	243	30	316	38	631
7	135	15	242	23	287	31	316	39	631
8	135	16	242	24	315	32	316	40	632

表 5.2-18 ZK18 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	110	9	136	17	225	25	263	33	363
2	105	10	183	18	242	26	286	34	363
3	115	11	195	19	225	27	285	35	393
4	114	12	208	20	242	28	307	36	583
5	116	13	209	21	242	29	332	37	664
6	123	14	224	22	263	30	333	38	651
7	129	15	224	23	263	31	333		
8	129	16	224	24	263	32	363		

表 5.2-19 ZK19 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	127	10	183	19	209	28	279	37	362
2	117	11	197	20	210	29	307	38	363
3	126	12	208	21	210	30	307	39	363

4	123	13	208	22	222	31	333	40	356
5	117	14	208	23	222	32	327	41	451
6	114	15	210	24	235	33	338	42	576
7	124	16	209	25	249	34	333	43	573
8	125	17	209	26	257	35	333	44	632
9	172	18	210	27	263	36	364		

表 5.2-20 ZK20 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	110	10	193	19	234	28	307	37	363
2	114	11	209	20	226	29	307	38	365
3	126	12	218	21	230	30	285	39	441
4	129	13	214	22	237	31	307	40	665
5	118	14	215	23	246	32	298	41	665
6	123	15	218	24	249	33	316	42	728
7	120	16	223	25	266	34	334		
8	116	17	221	26	285	35	333		
9	121	18	221	27	285	36	363		

表 5.2-21 ZK21 孔波速表

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	112	11	190	21	284	31	309	41	338
2	116	12	186	22	297	32	323	42	365
3	116	13	187	23	293	33	316	43	361
4	119	14	199	24	285	34	333	44	383
5	116	15	203	25	307	35	333	45	466
6	111	16	212	26	289	36	333	46	570
7	112	17	224	27	315	37	333	47	665

深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
8	113	18	243	28	317	38	350	48	665
9	119	19	265	29	332	39	345	49	666
10	126	20	281	30	330	40	357	50	711

5.2.2 工程场地类别划分

目标区现场钻探 21 个钻孔, 各钻孔覆盖层厚度为 25.0 m~45.0 m。覆盖土层的等效剪切波速为 151.0 m/s~169.0 m/s。据 GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》(2016 版) 表 4.1.6, 此目标区场地类别为 II 类建筑场地。各钻孔覆盖土层等效剪切波速、场地类别结果如表 5.2-22。目标区场地覆盖层等厚线如图 5.2-2, 目标区场地基岩埋深等深线如图 5.2-3, 目标区场地等效剪切波速等值线如图 5.2-4, 目标区场地等效剪切波速 150 m/s 等深线如图 5.2-5, 目标区场地等效剪切波速 250 m/s 等深线如图 5.2-6, 目标区场地类别分区如图 5.2-7。目标区场地类别划分详见附件 1, 目标区场地波速试验报告。

表 5.2-22 波速孔确定目标区场地类别

孔 号	等效剪切波速 V_{se} (m/s)	覆盖层厚度 (m)	场地类别	孔 号	等效剪切波速 V_{se} (m/s)	覆盖层厚度 (m)	场地类别
ZK1	156	25	II 类	ZK12	152	30	II 类
ZK2	154	32	II 类	ZK13	163	26	II 类
ZK3	152	33	II 类	ZK14	157	33	II 类
ZK4	152	33	II 类	ZK15	159	30	II 类
ZK5	154	33	II 类	ZK16	160	38	II 类
ZK6	155	38	II 类	ZK17	169	36	II 类
ZK7	155	33	II 类	ZK18	158	35	II 类
ZK8	154	35	II 类	ZK19	160	41	II 类
ZK9	155	31	II 类	ZK20	159	39	II 类
ZK10	151	33	II 类	ZK21	151	45	II 类
ZK11	155	26	II 类				

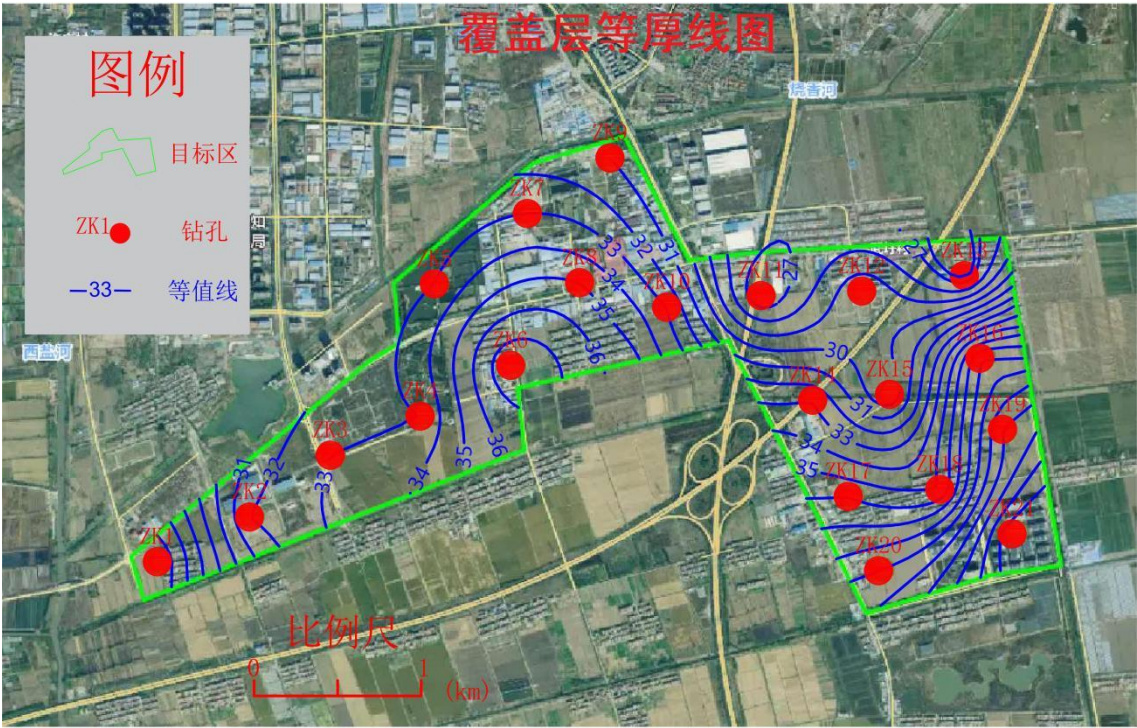


图 5.2-2 目标区场地覆盖层等厚线图

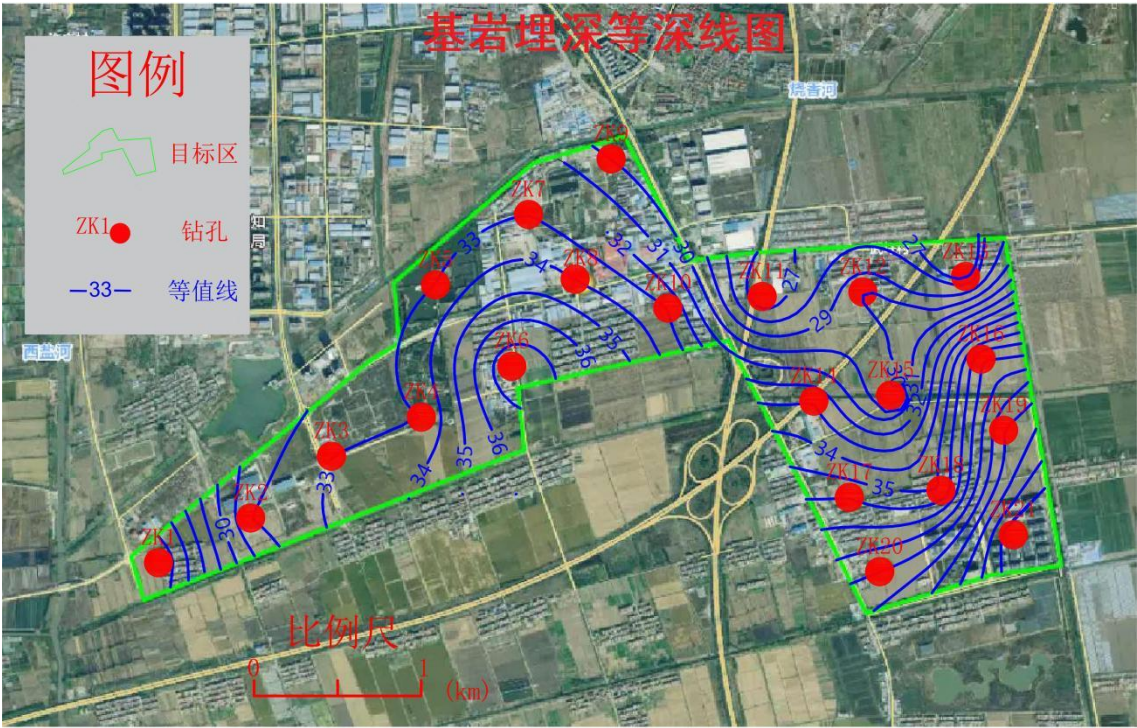


图 5.2-3 目标区场地基岩埋深等深线图

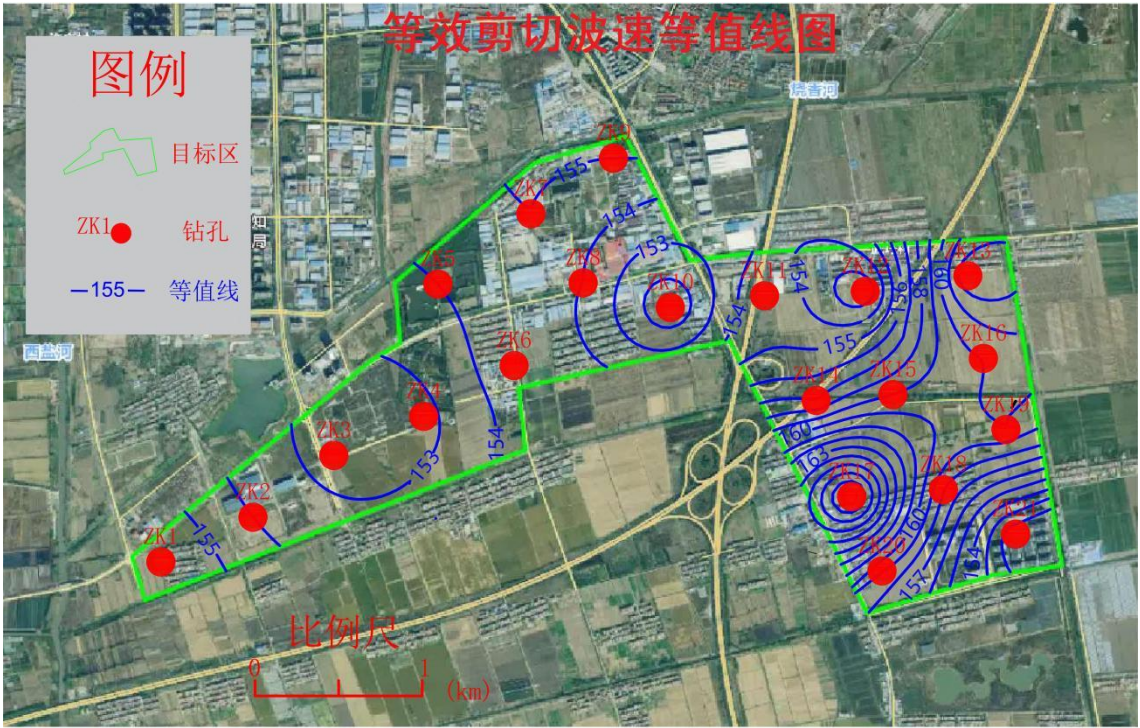


图 5.2-4 目标区场地等效剪切波速等值线图

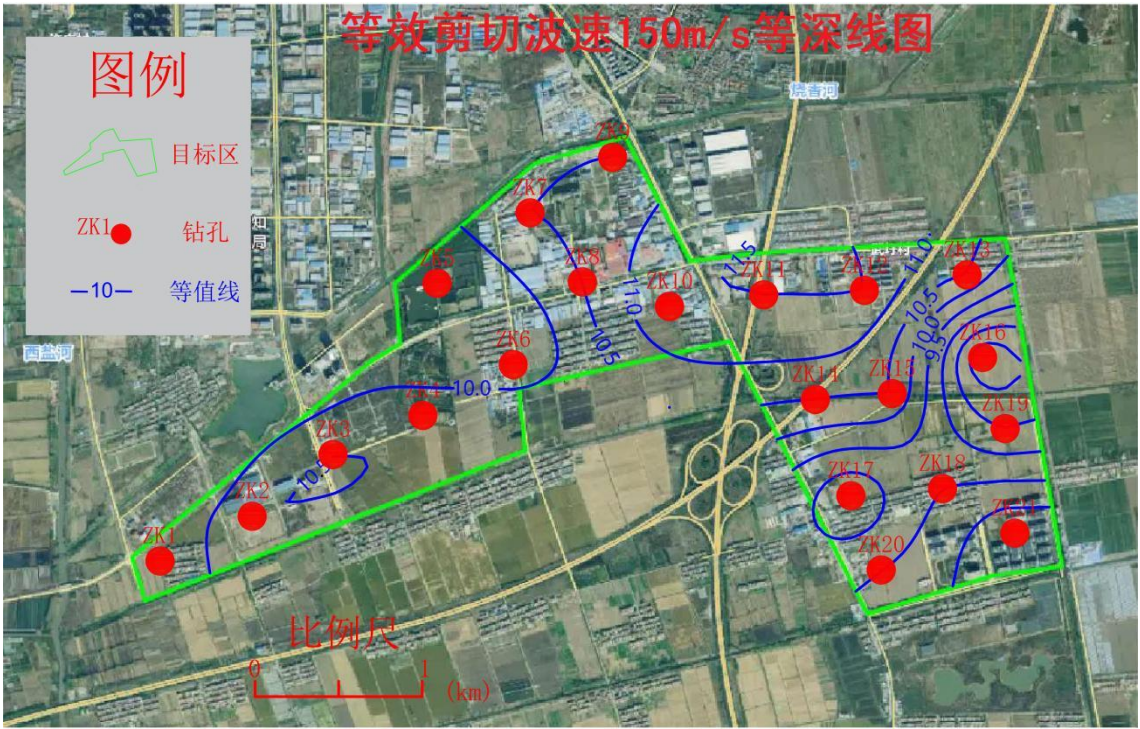


图 5.2-5 目标区场地等效剪切波速 150m/s 等深线图

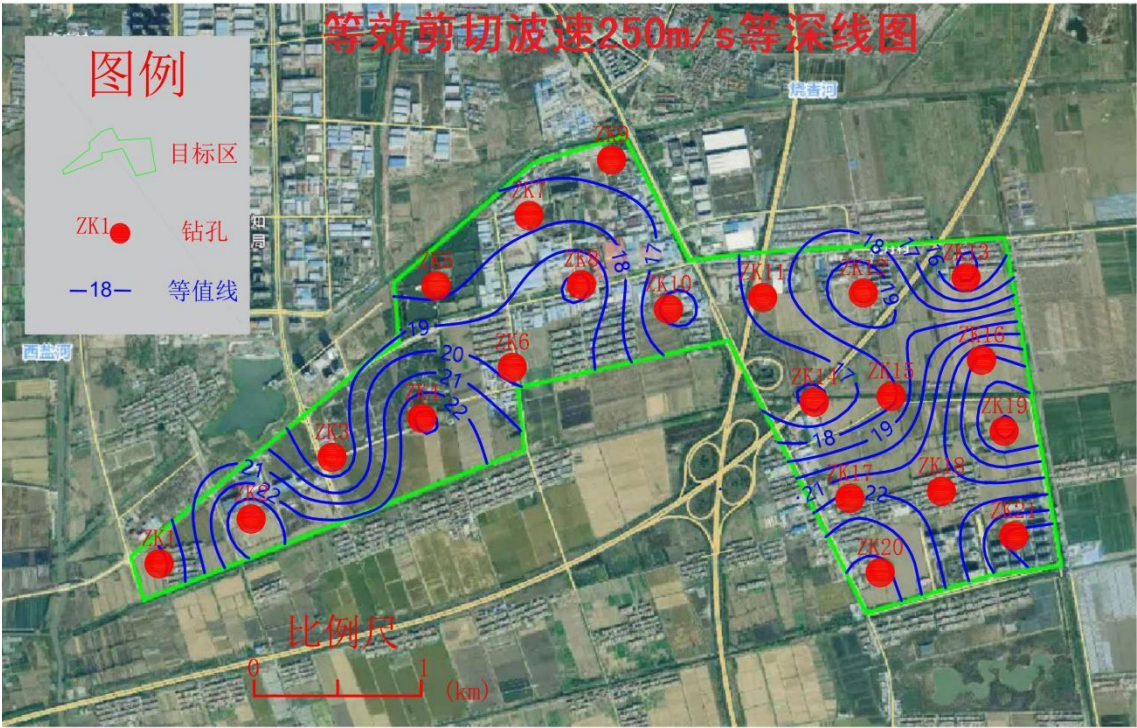


图 5.2-6 目标区场地等效剪切波速 250m/s 等深线图

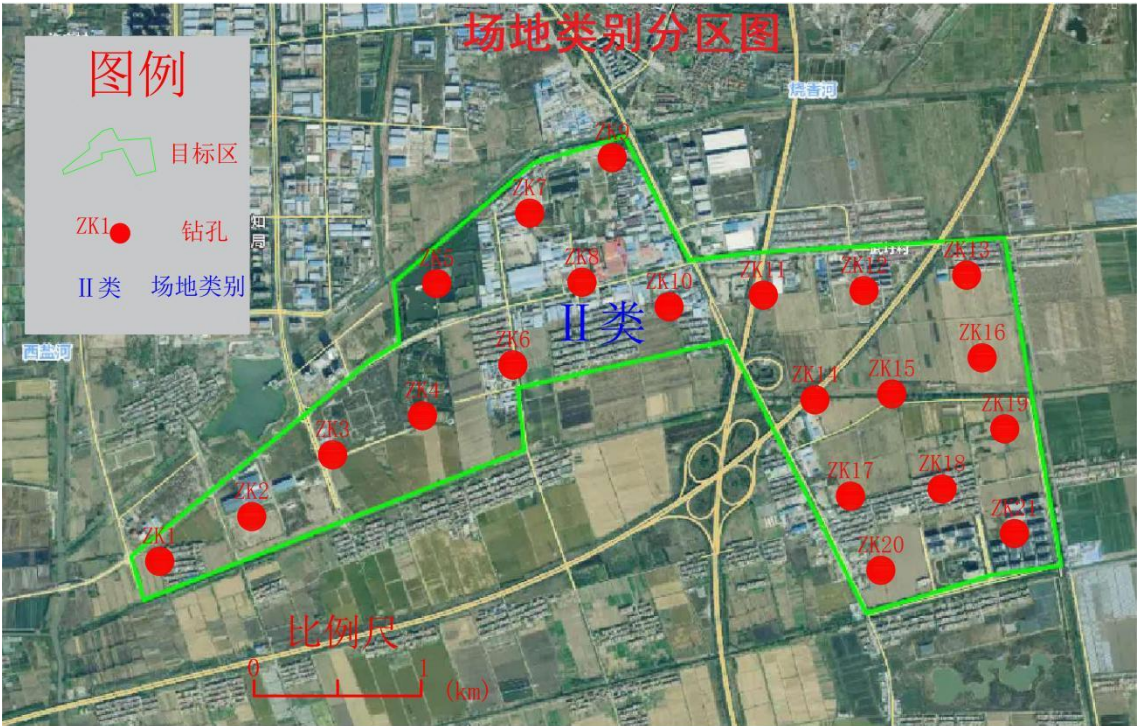


图 5.2-7 目标区场地类别分区图

5.3 土体动剪切模量比和阻尼比实验

土体动剪切模量比和阻尼比实验的目的是为场地地震安全性评价工作提供场地土体动力性能参数。要求测定动剪切模量比、阻尼比随剪应变的变化规律。

本项目工作对现场钻探取得的 39 件土样委托北京防灾科技有限公司进行了动

剪切模量与阻尼比的自振柱试验，表 5.3-1 列出了实验土样的编号、岩土名称及特性、取土深度、土样密度及自振柱试验时施加的固结压力 σ_c 等信息，表 5.3-2 列出了各试样动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系。相关实验原理与实验结果详见附件 2。

表 5.3-1 土样编号、土样描述、取土深度及共振柱试验时施加的固结压力 σ_c

试验编号	现场编号	取样深度(m)	土样描述	状态或密实度	γ (kN/m ³)	σ_c (kPa)	G_{max} (MPa)
G1	ZK1-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.4	50	17.9
G2	ZK1-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.8	135	46.4
G3	ZK1-5	22.00-22.20	粗砂	密实	19.8	150	50.2
G4	ZK2-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.4	70	29.8
G5	ZK2-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.2	170	58.3
G6	ZK3-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.6	70	29.9
G7	ZK3-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.4	170	53.7
G8	ZK4-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.9	50	19.5
G9	ZK4-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.7	135	45.5
G10	ZK4-6	30.00-30.20	粗砂	密实	20.0	200	56.7
G11	ZK5-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.8	70	27.5
G12	ZK5-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	19.9	170	55.6
G13	ZK6-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.7	70	30.4
G14	ZK6-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	20.2	135	53.1
G15	ZK6-7	35.00-35.20	粗砂	密实	20.1	235	63.2
G16	ZK7-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.6	50	20.1
G17	ZK7-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	20.1	135	51.6
G18	ZK7-6	30.00-30.20	粗砂	密实	20.2	200	59.3
G19	ZK9-2	10.00-10.20	淤泥质粉质黏土	流塑	19.2	70	25.2
G20	ZK9-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.7	135	50.3
G21	ZK9-6	27.00-27.20	粗砂	密实	20.1	180	53.1
G22	ZK11-2	10.00-10.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.9	70	27.4
G23	ZK11-5	25.00-25.20	粗砂	密实	19.9	170	52.3
G24	ZK13-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.8	135	54.9
G25	ZK13-5	25.00-25.20	粗砂	密实	20.2	170	55.1

试验编号	现场编号	取样深度(m)	土样描述	状态或密实度	γ (kN/m ³)	σ_c (kPa)	G_{max} (MPa)
G26	ZK15-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.8	35	17.6
G27	ZK15-2	10.00-10.20	粉质黏土	硬塑	19.6	70	31.4
G28	ZK15-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.2	170	57.1
G29	ZK16-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	19.1	50	22.4
G30	ZK16-3	15.00-15.20	粉质黏土	硬塑	19.9	100	42.6
G31	ZK16-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	19.7	170	56.8
G32	ZK16-7	35.00-35.20	粉质黏土	硬塑	20.3	235	62.5
G33	ZK20-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.5	70	31.4
G34	ZK20-6	30.00-30.20	粉质黏土	硬塑	20.1	200	58.8
G35	ZK21-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.7	50	21.8
G36	ZK21-3	15.00-15.20	粉质黏土	硬塑	20.1	100	44.3
G37	ZK21-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.3	170	56.6
G38	ZK21-7	35.00-35.20	粉质黏土	硬塑	20.2	235	62.1
G39	ZK21-8	40.00-40.20	粗砂	密实	20.4	265	69.2

表 5.3-2 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系

编号	γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G1	G/G_{max}	0.994	0.987	0.933	0.871	0.570	0.402	0.126	0.070
ZK1-1	λ	0.0124	0.0147	0.0288	0.0421	0.0956	0.1218	0.1623	0.1702
G2	G/G_{max}	0.995	0.989	0.944	0.891	0.613	0.443	0.142	0.078
ZK1-4	λ	0.0152	0.0184	0.0344	0.0473	0.0939	0.1158	0.1493	0.1558
G3	G/G_{max}	0.996	0.990	0.947	0.894	0.624	0.460	0.162	0.094
ZK1-5	λ	0.0142	0.0170	0.0317	0.0435	0.0853	0.1047	0.1352	0.1416
G4	G/G_{max}	0.994	0.988	0.931	0.865	0.545	0.374	0.110	0.060
ZK2-2	λ	0.0162	0.0203	0.0409	0.0572	0.1104	0.1324	0.1623	0.1676
G5	G/G_{max}	0.997	0.992	0.956	0.911	0.646	0.471	0.150	0.081
ZK2-5	λ	0.0138	0.0166	0.0310	0.0432	0.0899	0.1131	0.1493	0.1563
G6	G/G_{max}	0.994	0.987	0.929	0.861	0.540	0.372	0.112	0.062
ZK3-2	λ	0.0162	0.0203	0.0413	0.0577	0.1105	0.1319	0.1611	0.1664
G7	G/G_{max}	0.996	0.991	0.948	0.895	0.612	0.443	0.147	0.083
ZK3-5	λ	0.0142	0.0171	0.0326	0.0457	0.0932	0.1152	0.1486	0.1552
G8	G/G_{max}	0.994	0.988	0.934	0.872	0.571	0.404	0.129	0.072

编号	γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
	λ	0.0124	0.0147	0.0292	0.0428	0.0959	0.1214	0.1605	0.1682
G9	G/G_{max}	0.996	0.992	0.955	0.909	0.642	0.465	0.141	0.075
ZK4-4	λ	0.0143	0.0171	0.0315	0.0438	0.0909	0.1145	0.1511	0.1580
G10	G/G_{max}	0.997	0.993	0.960	0.919	0.679	0.516	0.188	0.108
ZK4-6	λ	0.0126	0.0149	0.0266	0.0365	0.0740	0.0930	0.1251	0.1321
G11	G/G_{max}	0.993	0.985	0.924	0.855	0.535	0.367	0.108	0.058
ZK5-2	λ	0.0173	0.0218	0.0434	0.0599	0.1131	0.1348	0.1644	0.1696
G12	G/G_{max}	0.996	0.991	0.949	0.899	0.628	0.458	0.149	0.082
ZK5-5	λ	0.0145	0.0176	0.0331	0.0457	0.0921	0.1144	0.1489	0.1557
G13	G/G_{max}	0.993	0.986	0.924	0.854	0.532	0.365	0.108	0.058
ZK6-2	λ	0.0170	0.0215	0.0430	0.0597	0.1128	0.1343	0.1635	0.1687
G14	G/G_{max}	0.995	0.989	0.945	0.892	0.613	0.442	0.139	0.076
ZK6-4	λ	0.0153	0.0185	0.0346	0.0477	0.0949	0.1173	0.1514	0.1579
G15	G/G_{max}	0.997	0.993	0.957	0.911	0.664	0.505	0.192	0.115
ZK6-7	λ	0.0126	0.0149	0.0269	0.0370	0.0739	0.0919	0.1219	0.1286
G16	G/G_{max}	0.995	0.989	0.939	0.880	0.580	0.407	0.123	0.067
ZK7-1	λ	0.0130	0.0155	0.0308	0.0447	0.0995	0.1260	0.1657	0.1732
G17	G/G_{max}	0.994	0.988	0.942	0.890	0.616	0.447	0.143	0.078
ZK7-4	λ	0.0157	0.0190	0.0350	0.0479	0.0940	0.1160	0.1501	0.1567
G18	G/G_{max}	0.997	0.994	0.964	0.925	0.687	0.521	0.185	0.105
ZK7-6	λ	0.0124	0.0145	0.0259	0.0357	0.0739	0.0937	0.1271	0.1342
G19	G/G_{max}	0.995	0.989	0.938	0.877	0.579	0.414	0.137	0.078
ZK9-2	λ	0.0130	0.0158	0.0319	0.0462	0.0986	0.1226	0.1589	0.1662
G20	G/G_{max}	0.994	0.987	0.934	0.874	0.582	0.417	0.136	0.076
ZK9-4	λ	0.0160	0.0196	0.0375	0.0516	0.0993	0.1204	0.1517	0.1579
G21	G/G_{max}	0.997	0.993	0.955	0.908	0.651	0.488	0.177	0.104
ZK9-6	λ	0.0132	0.0156	0.0283	0.0390	0.0787	0.0979	0.1291	0.1358
G22	G/G_{max}	0.996	0.991	0.943	0.885	0.592	0.426	0.143	0.082
ZK11-2	λ	0.0128	0.0155	0.0314	0.0457	0.0985	0.1230	0.1602	0.1678
G23	G/G_{max}	0.997	0.993	0.957	0.913	0.662	0.496	0.174	0.099
ZK11-5	λ	0.0133	0.0157	0.0283	0.0388	0.0785	0.0983	0.1308	0.1376
G24	G/G_{max}	0.994	0.988	0.941	0.886	0.605	0.435	0.136	0.074
ZK13-4	λ	0.0157	0.0191	0.0357	0.0490	0.0964	0.1185	0.1521	0.1586

编号	γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G25	G/G_{max}	0.996	0.992	0.955	0.910	0.661	0.497	0.178	0.103
ZK13-5	λ	0.0135	0.0160	0.0287	0.0392	0.0782	0.0975	0.1295	0.1364
G26	G/G_{max}	0.994	0.988	0.934	0.872	0.565	0.396	0.121	0.066
ZK15-1	λ	0.0127	0.0152	0.0304	0.0446	0.1001	0.1266	0.1663	0.1739
G27	G/G_{max}	0.993	0.985	0.921	0.851	0.532	0.367	0.111	0.061
ZK15-2	λ	0.0173	0.0219	0.0435	0.0600	0.1122	0.1333	0.1622	0.1675
G28	G/G_{max}	0.997	0.992	0.946	0.888	0.594	0.427	0.145	0.083
ZK15-5	λ	0.0142	0.0175	0.0354	0.0502	0.0999	0.1213	0.1527	0.1590
G29	G/G_{max}	0.995	0.989	0.938	0.878	0.577	0.406	0.124	0.068
ZK16-1	λ	0.0125	0.0149	0.0293	0.0429	0.0973	0.1240	0.1645	0.1723
G30	G/G_{max}	0.994	0.987	0.934	0.874	0.573	0.403	0.124	0.067
ZK16-3	λ	0.0162	0.0199	0.0386	0.0533	0.1033	0.1253	0.1569	0.1628
G31	G/G_{max}	0.996	0.992	0.955	0.909	0.645	0.474	0.155	0.085
ZK16-5	λ	0.0139	0.0167	0.0312	0.0434	0.0892	0.1118	0.1474	0.1545
G32	G/G_{max}	0.996	0.992	0.952	0.904	0.641	0.476	0.168	0.097
ZK16-7	λ	0.0135	0.0163	0.0310	0.0432	0.0876	0.1088	0.1427	0.1498
G33	G/G_{max}	0.994	0.986	0.926	0.857	0.531	0.361	0.104	0.056
ZK20-2	λ	0.0168	0.0212	0.0428	0.0597	0.1142	0.1362	0.1657	0.1709
G34	G/G_{max}	0.997	0.993	0.957	0.914	0.660	0.490	0.165	0.091
ZK20-6	λ	0.0135	0.0162	0.0303	0.0420	0.0866	0.1089	0.1450	0.1523
G35	G/G_{max}	0.995	0.989	0.942	0.886	0.595	0.423	0.131	0.071
ZK21-1	λ	0.0126	0.0149	0.0288	0.0419	0.0950	0.1218	0.1634	0.1715
G36	G/G_{max}	0.993	0.985	0.927	0.863	0.562	0.397	0.125	0.069
ZK21-3	λ	0.0169	0.0210	0.0405	0.0554	0.1040	0.1249	0.1549	0.1606
G37	G/G_{max}	0.996	0.992	0.955	0.908	0.643	0.470	0.152	0.083
ZK21-5	λ	0.0139	0.0167	0.0312	0.0435	0.0899	0.1126	0.1482	0.1552
G38	G/G_{max}	0.996	0.992	0.953	0.906	0.646	0.479	0.166	0.095
ZK21-7	λ	0.0136	0.0164	0.0307	0.0426	0.0864	0.1078	0.1420	0.1491
G39	G/G_{max}	0.996	0.991	0.952	0.906	0.663	0.509	0.200	0.122
ZK21-8	λ	0.0126	0.0152	0.0280	0.0380	0.0730	0.0897	0.1178	0.1243

5.4 目标区浅部土层结构三维模型建立

为了从整体上详细揭示场地土层结构，利用工程地质钻探成果以及已有地质资料，对目标区浅部土层结构进行三维地质模型。三维地质建模技术可使地质体呈现连续的、有规律的、可视化的三维模型，可用于模型的精确定位操作，可以用不同的颜色显示各种地层，也可以从任意的角度来查看土质、土层厚度和连续情况，支持对三维地质模型的剖切，能够全面、准确地展现地层的空间分布情况和地质体的空间分布规律，为场地地震动参数计算及地震地质灾害评价提供依据。

5.4.1 研究方法

三维地质建模遵循由点到面、由面到体的流程。第一步，数据处理。通过勘察测绘工作获取钻孔、地形资料，进行数据解译与数据处理，建立钻孔数据属性库；第二步，构建面状模型。利用算法对原始钻孔数据进行数学插值、空间拟合，构建面状模型，最终生成覆盖全部钻孔位置的网络，目前常用的数学插值算法包括离散光滑插值法、克里金插值法等；第三步，层序建模。根据钻孔和地质调查数据，以地质构造和地层为基础，通过建立精度高的层序模型反映地层的剥蚀和尖灭等不整合关系；第四步，实体建模。根据层序关系，在面状模型的基础之上建立地质真三维几何模型；第五步，属性建模。针对所建立的地质真三维几何模型进行内部的属性参数的建模，包括岩土体的物理力学参数等，最终实现在真三维空间中对地质实体的几何形体和地质实体内部属性参数的建模。

本次三维地质建模以目标区内 21 个钻孔数据为主，目标区场地地貌类型为冲积平原地貌单元，场地地形较平坦。结合区域地质调查和资料分析等成果，首先建立目标区标准地层层序，然后根据钻探数据经过 Kriging 差值及地质推断，建立实体模型。对于夹层、尖灭、透镜体等特殊地质构造，依托勘察数据对模型进行修正，使得地层尖灭线、透镜体等得到了精确的表达，提高建模的精确度。

5.4.2 建模流程

建模内容主要包括资料收集、数据处理、建立目标区标准地层层序，地表地形建立，控制性钻孔建立，钻孔数据匹配，地质模型生成，地质剖面切片等。

(1) 基础数据获取

按照数据来源，三维地质建模可以分为基于钻孔数据、剖面数据、物探数据以及多源数据等的多种建模方式，钻孔数据是地质建模最直接、最可靠的数据。本次建模数据以目标区场地钻探成果为主要资料来源，以平面地质图和地形图等其他地质资料及地质认识为补充数据源。钻孔数据主要包括：钻孔编号、孔口三维坐标（X、Y、Z）、地层层底埋深、地层厚度和岩性等信息。利用目标区场地中的 21 个钻孔进行建模，钻孔标高约 4.50 m~5.10 m，孔深 25.00~51.00 m，

孔间距在 400 m~600 m 之间。

（2）数据处理

三维建模过程中，钻孔地层的缺失或录入错误等常见的异常情况会造成自动构模逻辑错误而不兼容，需对数据进行质量检查与预处理。经质量检查后，在保证数据质量准确性的基础上，对数据进行了统一转换处理，进行了空间和属性数据组织和输入。

（3）建立标准地层层序

通过收集区域地质背景资料，依据钻孔地层分布特点、形成时代、厚度变化、成因类型、土层性质等对目标区沉积特征和地层发育情况进行分析，对目标区内的地层从上至下建立一套标准地层层序，并将尖灭等情况下的地层看做厚度为零，以满足地层的连续性。根据本次勘探揭露的地层情况，将场地划分为 7 个工程地质层。

（4）创建三维地形模型

创建数字地形模型是大部分三维地层建模工作的基础。根据现场测量的地形点位坐标和高程，经过数据的差值和平滑等处理，生成目标区的数字地形模型网格，并绘制地形等高线。选用 Kriging 插值法进行空间插值，同传统插值方法相比，它在数据网格化过程中，考虑了被描述对象的空间相关性，使插值更科学更接近于实际情况。

（4）建立控制性钻孔

控制性钻孔是为控制场地地层结构，满足场地、地基基础和基坑工程的稳定性、变形评价的要求而布设的勘探点。在三维地质建模中，需要选定控制性钻孔作为模型层序和岩性的参考基准，控制性钻孔应包含标准层序中的所有地层。

当地层结构复杂时，在模型中引入虚拟钻孔。它是在构建三维地层模型模型的过程中，由于建模工作的需要而在特定位置添加一个或多个具有假想性质的地质钻孔，是由工程人员根据经验和其它勘察手段获取的结果作出的推断，从而建立相对精确的三维地层模型。

（5）钻孔数据匹配

依据标准地层层序和控制性钻孔资料，依次提取每个钻孔分层层位的高程数据，建立模型层位数据。对于出现地层缺失、夹层、尖灭、透镜体等情况而不能建立标准地层层序的钻孔，根据地质资料综合判定其层位状态，合理圈定地层尖灭、透镜体等复杂地质现象。

（6）地质模型生成

根据各钻孔柱状图，将所有数据投影变换成统一的平面直角坐标系，提取地层层位数据，利用匹配后的层位数据生成三维地质模型。在三维模型中对地层尖

灭、透镜体等复杂地质现象进行提取校正。

(7) 地质剖面切片

在所生成三维地质模型的基础上,选取具有代表性的部位对地质剖面进行切片,以更直观的展示出目标区三维地质构造概况。

5.4.3 三维模型构建

三维建模技术的不断成熟和计算机技术的快速发展,促使许多商业化软件的出现。当前应用较广泛的软件有 GEO 5、SKUA-GOCAD、Petrel、Surpac、3DMine、Vulcan、MicroLynx、GSI3D 等等。其中 GEO 5 地质建模软件是主要应用于地质领域的三维可视化建模软件。GEO5 三维地质建模软件,可导入钻孔、标贯 SPT、静探 CPT、扁铲 DMT、旁压 PMT 等勘察数据,建立三维地质模型后可 360 度方位观察场地地层情况、可任意切二维剖面、可看场地内任一点下地层(用初勘资料指导详勘)、可做地质剖面及柱状剖面、可地基承载力及单桩承载力及基础沉降、计算边坡稳定性等。

GEO 5 软件采用向导式的工作流程,按步骤导入建模数据。同时可以在流程中校正建模数据,生成地层面和断层面的空间展布形态、位置和相互关系,较好地处理了断层与地层的相交、切割关系。在流程中重点考虑了钻孔中地层分层对地层面的校正作用。在 GEO 5 中导入上述钻孔、地层分层、透镜体和地层尖灭线分层数据,利用构造-地层实体模型流程,定义地层剖面,设置每个地层层位的接触关系(整合、不整合、侵蚀等),建立三维地层层面模型,根据建立的层面结构模型,生成实体模型。同时,它的另一个更重要的功能是对场地内的各项工程进行管理,从而使得同一场地内的各项工程能够更加清晰和直观地被用户调用。

5.4.4 三维地质结构模型

根据本次勘探揭露的地层情况,按成因时代、岩性特征、埋藏条件及物理力学性质,场地勘探深度以浅可划分为 5 个工程地质层。

① 层 杂填土(Qh):粉质黏土为主,夹杂植物根茎、生活垃圾、碎石等。

② 层 粉质黏土(Qh):灰褐色,饱和,流塑,局部软塑,含有机质,略有臭味,切面稍有光泽,干强度中等,韧性中等。

③ 层 粉质黏土(Qp³):灰绿-黄褐色,饱和,可-硬塑,含少量锰结核,切面稍有光泽,干强度高,韧性高。

④ 层 粗砂(Qp³):灰黄色,湿,密实,主要矿物成分为石英,长石次之。

⑤ 层 片麻岩(Pt):灰褐-灰白色,片麻状,变晶结构,颗粒以石英长石为主,风化沿裂隙面发育,岩芯短柱状,较破碎,锤击声哑、易碎,进尺稳定,风化中等,软岩,岩体基本质量等级 V 级。

根据钻孔勘探结果，结合已有地质资料，绘制了目标区浅层三维地质结构模型和三维地质结构模型切片。（图 5.4-1～图 5.4-6）。

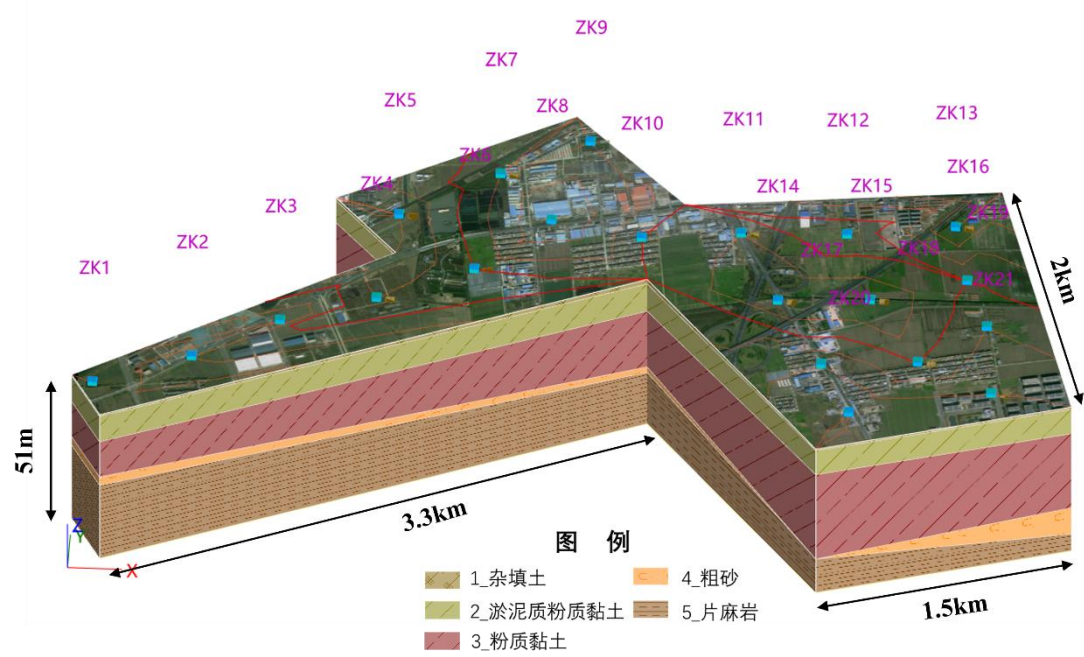


图 5.4-1 三维地质剖面①（垂向放大 20 倍）

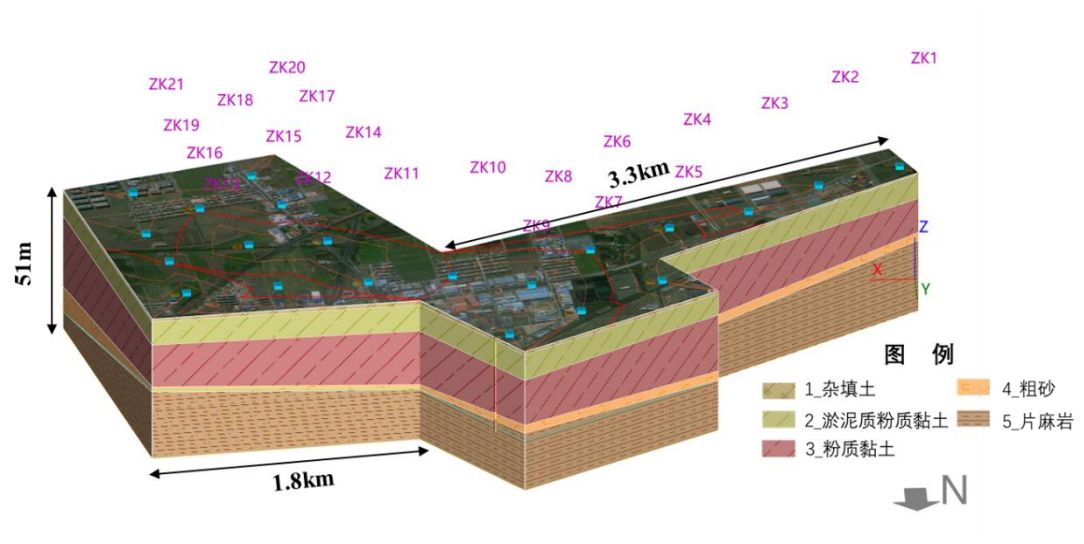


图 5.4-2 三维地质剖面②（垂向放大 20 倍）

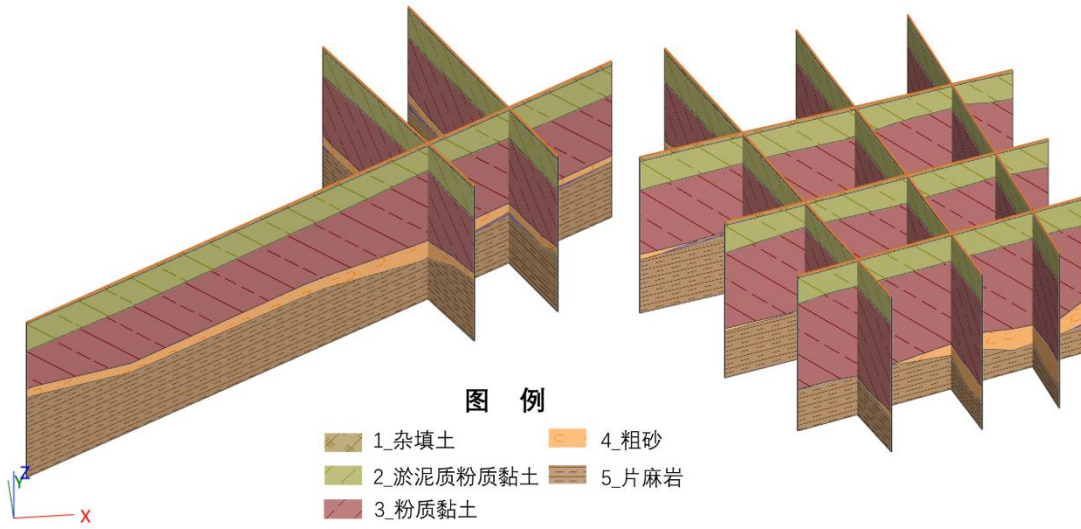


图 5.4-3 三维地质切片①（垂向放大 20 倍）

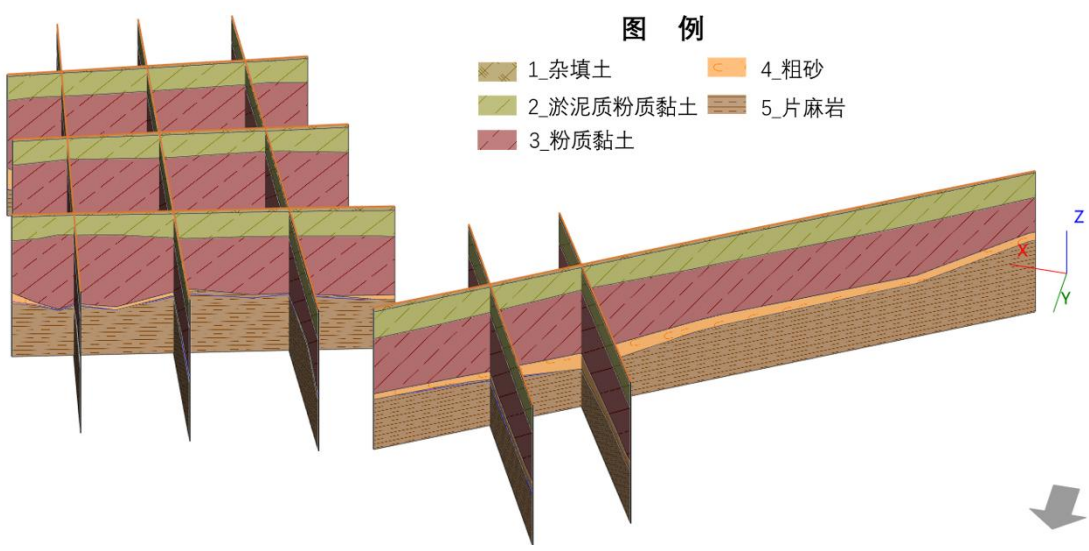


图 5.4-4 三维地质切片②（垂向放大 20 倍）

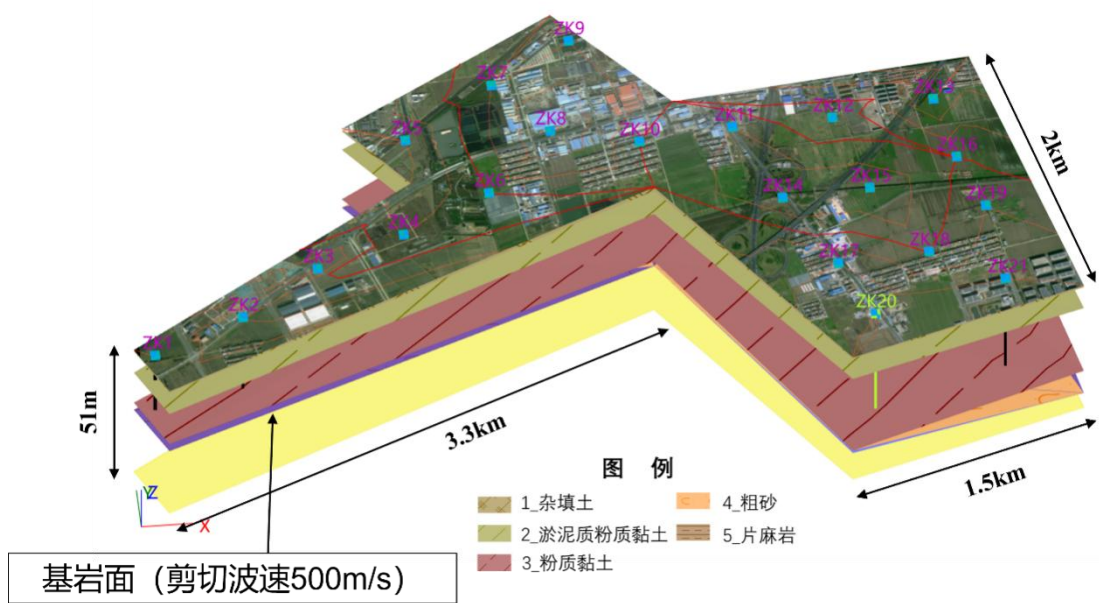


图 5.4-5 基岩面-地质切片（垂向放大 20 倍）

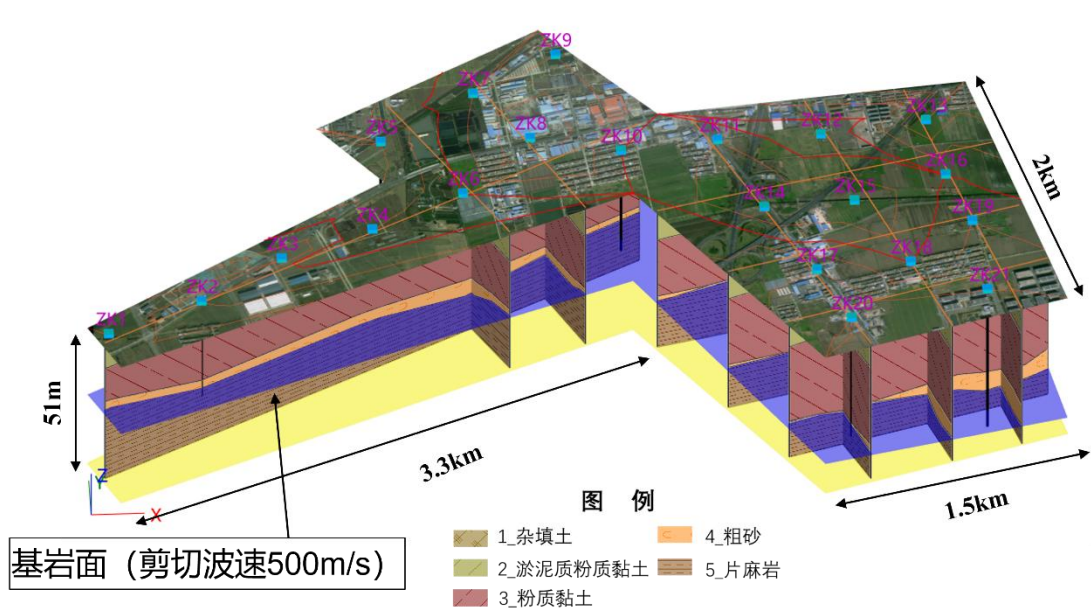


图 5.4-6 基岩面-地层层面（垂向放大 20 倍）

5.5 目标区地震工程地质条件综合评价

(1) 目标区场地地貌类型为冲洪积平原地貌单元，场地地形较平坦，地面标高约 4.50 m~5.10 m。

(2) 根据本次勘探揭露的地层情况，按成因时代、岩性特征、埋藏条件及物

理力学性质，场地勘探深度以内可划分为 5 个工程地质层。

（3）目标区共布设 21 个钻孔，各钻孔覆盖层厚度为 25.0 m~45.0 m。覆盖土层的等效剪切波速为 151.0 m/s~169.0 m/s。据 GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）表 4.1.6，目标区场地类别为 II 类建筑场地。

（4）项目采用 GEO 5 软件，建立了三维地层层面模型，结合数据系统用户可以清晰、直观调用目标区内的各项地层信息。

第六章 地震危险性概率分析

本章的目的是：在前述区域地震活动性和地震地质研究的基础上，划分对目标区场地地震安全性有影响的潜在震源区，确定各潜在震源区地震活动性参数，选择适用本区的地震动衰减关系，应用地震危险性分析的概率方法，给出目标区场地未来可能遭遇超越概率为不同设防水准（年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} ）基岩水平向峰值加速度和基岩加速度反应谱，为确定目标区基岩场地地震动参数和人工合成基岩加速度时程提供依据。

6.1 分析方法简介

地震概率危险性分析方法的基本思路和方法如下：

（1）首先确定地震统计单元，假定每个地震统计单元内地震时间过程符合分段的泊松过程模型。给定地震带的震级上限为 M_{uz} ，震级下限为 M_0 ， t 年内 $M_0 \sim M_{uz}$ 之间地震年平均发生率 v_0 ， v_0 由未来的地震活动趋势来确定，则统计单元内未来 t 年内发生 n 次 $M_0 \sim M_{uz}$ 之间地震的概率为：

$$P(N = n) = \frac{(v_0 t)^n}{n!} e^{-v_0 t} \quad (6.1-1)$$

式中 v_0 为未来百年内 $M_0 \sim M_{uz}$ 之间地震的年平均发生率。该值反映了地震活动的时间非均匀性，可以通过地震未来百年地震活动趋势的预测结果得到。

同时地震统计单元内地震活动性遵从修正的震级频度关系，相应的震级概率密度函数为：

$$f_M(M) = \frac{\beta e^{-\beta(M-M_0)}}{1 - e^{-\beta(M_{uz}-M_0)}} \quad (6.1-2)$$

式中 M_{uz} 为该统计单元的震级上限； M_0 为相应单元的震级下限； $\beta = b \ln 10$ ， b 为地震带累积频度关系式中的 b 值。当震级小于震级下限 M_0 和大于震级上限 M_{uz} 时，概率密度值为零。实际工作中，将震级 M 分成 N_M 档， M_j 表示震级范围为 $(M_j \pm \frac{1}{2} \Delta M)$ 的震级档，则地震统计区内发生 M_j 档地震的概率为：

$$P(M_j) = \frac{2}{\beta} \cdot f(M_j) \cdot Sh(\frac{1}{2} \beta \cdot \Delta M) \quad (6.1-3)$$

（2）在地震区（带）内部划分潜在震源区，假定每一潜在震源区内部地震危险性是相同的。潜在震源区由几何边界、震级上限和震级分档的地震空间分布函数 f_{i,M_j} 来描述。

潜在震源区的地震空间分布函数 f_{i,M_j} 是一个与震级有关的常数，其物理含义是一次震级为 $M_j \pm \frac{\Delta M}{2}$ 的地震落在第 i 个潜在震源区内的概率。它作为震级的

条件概率，可以反映地震带内地震强度空间分布的非均匀性，对指定震级档的 f_{i,M_j} 在整个地震带内是归一化的，即

$$\sum_{l=1}^{N_s} f_{i,M_j} = 1 \quad (6.1-4)$$

(3) 根据分段泊松分布模型和全概率求和原理，可以得到第 k 个地震统计单元内发生一次地震时，影响到场点地震动参数 A 超过给定值 a 的概率，基本计算公式为：

$$P_k(A \geq a) = 1 - \exp \left\{ -v_0 \sum_{i=1}^{N_s} \iiint P(M_j) \cdot \frac{f_{i,M_j}}{S_l} \cdot P(A \geq a|E) \cdot f_l(\theta) dx dy d\theta \right\} \quad (6.1-5)$$

式中 $P(A \geq a|E)$ 为震级 ($M \pm \frac{1}{2}\Delta M$)、震中位置 (x, y)、地震动椭圆衰减长轴方向与正东方向夹角为 θ 时，场点地震动超过给定 a 的概率； $f_\theta(\theta)$ 为等震线长轴取向概率密度函数，考虑到空间取向的离散性，实际计算中取两个主要的方向，此时该函数用 δ 函数表示。

(4) 考虑到 K 个统计单元对场点有贡献，则场地的总超越概率的计算公式为：

$$P(A \geq a) = 1 - \prod_{k=1}^K \{1 - P_k(A \geq a)\} \quad (6.1-6)$$

6.2 潜在震源区的划分

潜在震源区的判断与划分是地震危险性分析工作的重要基础。起到连接地震、地质和地球物理基础数据与地震危险性分析之间桥梁的作用。

本次潜在源区划分将直接采用国标 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》中 3 级划分原则进行，即地震区、带划分，地震构造区划分和潜在震源区划分。

(1) 所谓地震区是指区域地震活动性、现代构造应力场、地质构造背景及现代地球动力学环境相类似的区域。具体划分原则为：地震活动性相似，即地震区内地震活动的强弱程度大致相近、地震活动的似周期性大致相同，区域现代构造应力场和现代构造变形特征相似，新构造活动性相似，区域大地构造、地壳结构和地球物理场相似的区域。

(2) 所谓地震带是指地震区内的次级地震统计区域，通常指地震集中成带或密集分布、由一条大的活动构造带或一组现代构造应力条件和变形条件相似的构造带所控制的地带。地震带划分原则：在地震区内划分出具有不同构造背景、不同地震活动特征的地带，并满足确定地震活动性参数的要求。

(3) 所谓地震构造区是指在现今地球动力学环境下，地震构造环境和发震构造模型一致的地区。地震构造区的划分是在地震区、带内划分的基础上进行，其

划分原则：需要在考虑构造活动性与研究程度的差异的基础上，通过区域新构造运动特征研究，依据不同地区新构造整体特征差异，第四纪以来构造活动特征尤其是晚第四纪以来构造变形，并结合布格重力异常、均衡重力异常等地球物理场差异及发震构造条件等综合研究进行，进而区别出地震带内发震构造模型不同的地区，以利于构造类比判定潜在震源区；区别出地震带内背景地震不同的地区。

(4) 潜在震源区是指未来可能发生破坏性地震的震源所在地区，潜在震源区划分需要确定其边界位置和震级上限及空间分布函数等，将在地震区带和地震构造区内进行，其边界不跨越地震构造区的边界。

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015) 宣贯教材，本区域涉及郯庐地震带的鲁西、胶东、皖西地震构造区和长江下游—南黄海地震带的南黄海、苏北地震构造区。本工程场地位于长江下游—南黄海地震带的苏北地震构造区内(图 6.2-1)，该地震构造区背景地震的震级上限为 5.5 级。

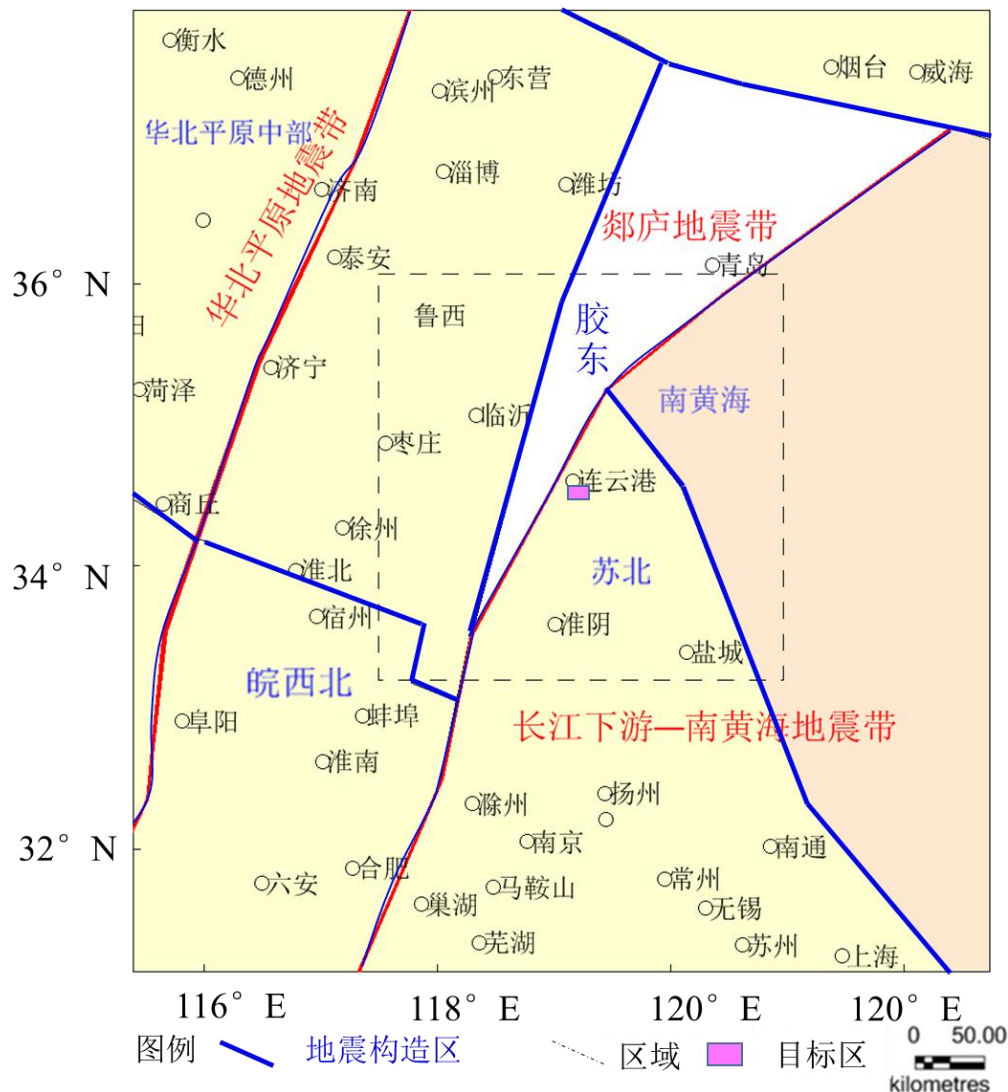


图 6.2-1 区域地震构造区划分图

6.2.1 潜在震源区划分原则

本次工作仍沿用历史地震重复与构造类比两个原则，其中构造类比原则的内涵有进一步的深化，即考虑断裂带所处不同级别活动块体边界带的差异、发震构造模型差异等因素；在强地震活动区，高震级潜在震源区的划分需要考虑地震构造区的发震构造模型的支撑；而在弱地震活动区，中强潜在震源区的划分需要考虑地震构造区中地震构造样式的约束。

在具体应用上述两条原则时，注意把握了以下 3 点：

① 采用历史地震重复原则为主进行判划时，辅以地震构造类比原则进行不确定性和充分性论证。

② 采用地震构造类比原则为主进行判划时，辅以地震活动强度（包括古地震）及潜在地震能力方面的论证。

③ 不同地震构造区内判划的潜在震源区在整个地震带内进行协调（包括最大潜在地震、不同震级档潜源个数等）。

在诸潜在震源区划分中，采用 3 级划分的潜在震源区模型，由地震统计区（地震带）、背景地震活动潜在震源区（简称背景源）和构造潜在震源区（简称构造源）构成。地震统计区是根据地震分区分带的地震活动特征确定的，它用以反映地震活动的总体统计特征；背景源的划分，重点依据了地震区带中的不同部分和段落在地震构造背景上的差异，及其对地震活动性的影响，用以反映不同地震构造环境中，中小震级地震活动特征的差异；构造源是依据局部构造条件及其地震活动特征划分，重点考虑了构造条件对中强地震的控制作用，用以反映局部构造相关的中强震级地震活动特征。地震统计区内地震活动性的不均匀性，由构造源上的中强地震活动性和背景源上中小地震活动性共同表现出来。

6.2.2 潜在震源区的划分结果

潜在震源区的划分包括 3 个方面的内容：潜在震源区的范围、方向和震级上限。

潜在震源区范围和方向的确定主要依据断裂延伸方向和断裂带的宽度，在山区和平原交接地带适当扩大潜在震源区的范围。在微观震中和宏观震中不一致时，应将两者均包括在潜在震源区内；对于盆地构造，弱震分布也应据实际情况加以考虑。

潜在震源区的震级上限是在考虑区域地震活动总体强度的基础上，通过对潜在震源区内的地震活动性和构造活动性分析来确定的。

按照潜在震源区划分的原则，根据第一章、第二章和第三章对区域和近场区地震活动性和地震地质构造的研究，参照 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》的成果，26 个构造源，10 个背景源，如图 6.2-2 所示，目标区位于背景源 1

内。区域涉及的潜源信息如表 6.2-1 所示。

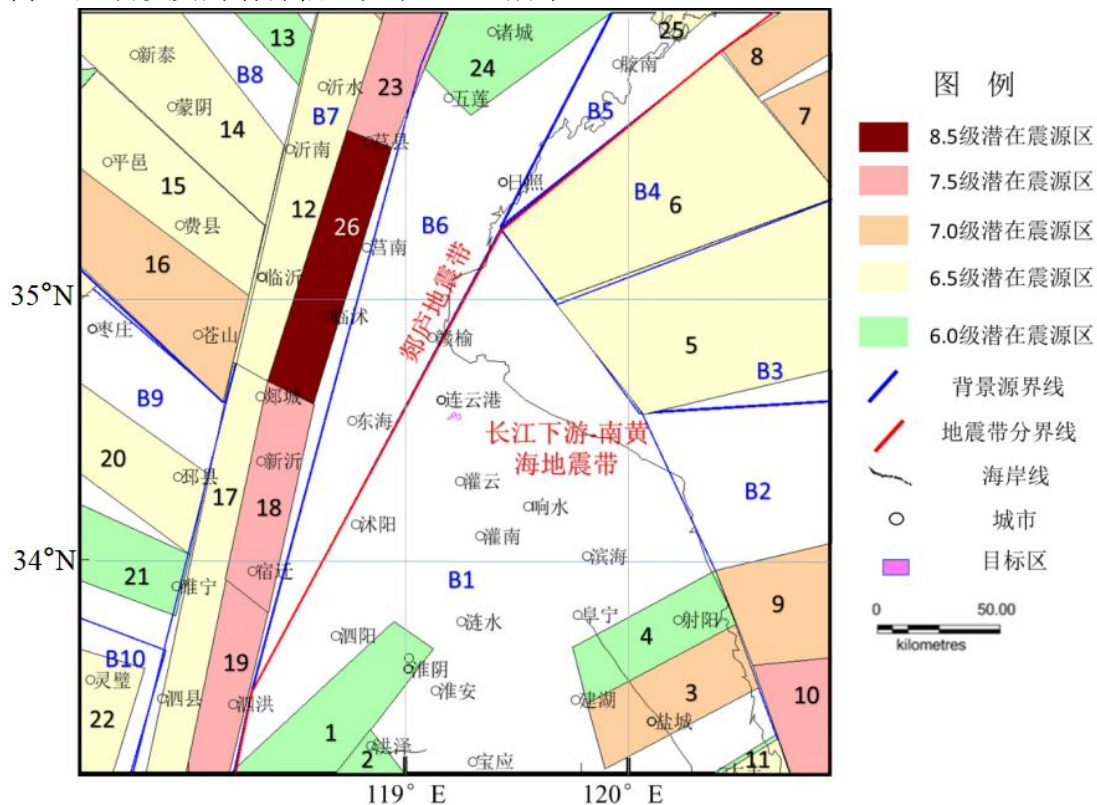


图 6.2-2 区域潜在震源区划分图

现将各主要潜源的情况简述如下：

(1) 郯城潜在震源区 (No.26, $M_u=8.5$)

郯城潜在震源区北邻安丘潜源区，南接新沂潜源区，西接临沂潜源区。该潜源区长轴方向北北东。郯庐断裂带东半部从临沭潜源区通过，该潜源区构造复杂，断裂活动强烈。郯庐带东边界断裂 (F_1) 及带内 F_2 、 F_5 断裂纵贯源区。 F_1 、 F_2 断裂为郯庐带东地堑边界断裂，在潜源区北缘 1668 年发生了郯城 8½ 级地震，区内 F_5 断裂新活动强度最大，多处见到 F_5 断裂错断了全新统、冲沟和水系，断裂具右旋逆冲性质。全新世以来发现 3 次古地震事件，强震复发间隔约为 3000 a~3500 a。断裂切割莫霍面，壳内和上地幔存在低速层。源区内还发育了多条北西向断裂。小震活动频度高、密集成带。郯城潜源区是郯庐断裂带活动时代最新、活动强度最大的地段，以该带历史地震最大震级 8.5 级作为郯城潜在震源区的震级上限。

(2) 宿迁潜在震源区 (No.18, $M_u=7.5$)

宿迁潜源区北邻郯城潜源区，南接泗洪潜源区，西接临沂潜源区。郯庐断裂带东半部从新沂潜源区通过。该潜源区构造复杂，断裂活动强烈。潜源区内有多条活动断裂通过，重要的有郯庐带中的 F_2 、 F_3 及 F_5 断裂。特别是 F_5 断裂，其新活动最新、最强，不但在晚更新世有很强活动，其局部地段甚至在全新世仍有活动表现，如新沂南马陵山桥北镇地区所见。区内的 F_2 、 F_3 断裂亦是一条晚更新

活动断裂。潜源区内还发育了多条北西至北西西向断裂，源区南部的宿迁闸-皂河走向北西西，在晚更新世仍有活动表现。潜源区内断裂活动的地质地貌标志在北段清晰明显。新沂潜源区内历史上尚未有发生过破坏性地震的记载。综合分析判定新沂潜在震源区震级上限为 7.5 级。

表 6.2-1 区域潜在震源区划分表

地震区、带	潜源编号	潜源名称	潜源震级上限
华北地震区 长江中下游-南黄海地震带	1	淮阴	6.0
	2	天长	6.0
	3	盐城	7.0
	4	射阳	6.0
	5	南黄海北部凹陷 2	6.5
	6	南黄海北部凹陷 1	6.5
	7	南黄海北部凹陷西边界	7.0
	8	千里岩断裂青岛海外段	7.0
	9	南黄海南部拗陷 2	7.0
	10	南黄海南部拗陷 1	7.5
	11	东台	6.0
	B2	背景源	6.0
	B1、B3、B4、	背景源	5.5
	12	临沂	6.5
	13	沂源	6.0
	14	蒙阴	6.5
	15	费县	6.5
	16	苍山	7.0
	17	泗县	6.5
	18	宿迁	7.5
	19	泗洪	7.5
	20	邳县	6.5
	21	徐州	6.0
	22	马鞍山	6.0
	23	安丘	7.5
	24	诸城	6.0
	25	青岛	6.5
	26	郯城	8.5
	B5、B6	背景源	5.0
	B7~B10	背景源	5.5

(3) 泗洪潜在震源区 (No.19, $M_u=7.5$)

郯庐断裂带东半部通过泗洪潜在震源区，该潜源区长轴方向北北东。泗洪潜源区北邻新沂潜源区，西接临沂潜源区。泗洪潜源区构造复杂，断裂活动强烈，特别是郯庐断裂带中的 F_5 断裂，在泗洪潜源区内呈断续状延伸，该断裂在晚更新世有强烈活动，如在泗洪县重岗山、孙牌坊、大红山地区所见。该潜源区内新

构造活动迹象明显，局部地段曾发现古地震事件。泗洪潜源区内历史上尚未有发生过破坏性地震的记载。综合分析判定泗洪潜在震源区震级上限为 7.5 级。

(4) 苍山潜在震源区 (No.16, $M_u=7.0$)

该潜在震源区位于郯庐断裂带西侧，沿北西向的苍山-尼山断裂划分，苍山-尼山断裂总长达 170 km，最新活动时代为晚更新世晚期，区内还发育北北西走向的第四纪早、中更新世活动的苍山断裂和万家庄断裂。1995 年发生过苍山 5.2 级地震，现代小地震活动频繁，相对密集。根据构造类比原则，该区震级上限定为 7.0 级。

(5) 邳县潜在震源区 (No. 20, $M_u=6.5$)

邳县潜在震源区位于郯庐地震带鲁西地震构造区内，该地震构造区背景地震为 5.5 级。邳县潜在震源区在郯庐断裂带西侧，潜源区长轴方向北西，其东南部与临沂潜在震源区相接，铁佛沟断裂从潜源区西北部通过。邳县潜源区内 1546 年曾发生邳县 5½ 级地震，其烈度等值线方向近 NW 向。另外，铁佛沟断裂是大地构造或者新构造单元的分区界线，且该潜在震源区临近郯庐断裂带，因此综合分析判定邳县潜在震源区震级上限为 6.5 级。

(6) 泗县潜在震源区 (No.17, $M_u=6.5$)

泗县潜在震源区位于郯庐地震带鲁西地震构造区内，该构造区背景地震为 5.5 级。泗县潜在震源区南接五河源，北接临沂源，东与宿迁、泗洪源相连。郯庐断裂带的西边界断裂 F_4 和带内 F_3 断裂贯穿泗县源，其中 F_3 断裂为晚更新世活动断裂，但活动性较东半部的 F_5 断裂弱。综合分析，判定泗县潜在震源区震级上限为 6.5 级。

(7) 安丘潜在震源区 (No.23, $M_u=7.5$)

宿迁潜在震源区位于郯庐地震带鲁西地震构造区内，该构造区背景地震为 5.5 级。该潜源区长轴方向北北东。该潜在震源区位于郯庐断裂带的安丘-莒县断裂北段（安丘段），该潜源区构造复杂，断裂活动较强烈。安丘-莒县断裂宿迁段属于 Qp^3 断裂，断裂在晚更新世有强裂活动。潜源区内历史上在安丘附近曾发生过 2 次破坏性地震，即公元前 70 年的 7 级地震、公元 1668 年 6¾ 级地震。根据历史地震重演的原则，判定安丘潜在震源区震级上限为 7.5 级。

6.3 地震活动性参数的确定

地震活动性参数是描述区域地震活动水平的特征量。为了反映地震活动的时空不均匀性，地震活动性参数按两级确定：第一级为地震区（带）活动性参数，它反映不同地区孕震条件和地震时空活动特征的差异；第二级为地震带内各个潜在震源区的参数，反映地震发生的空间不均匀性。

6.3.1 地震区(带)活动性参数的确定

(1) 震级上限 M_{uz} 和起算震级 M_0 的确定

震级上限 M_{uz} 的含义是指震级-频度关系式中，累积频度趋于零的震级极限值。确定 M_{uz} 有两条主要依据：一是历史地震资料足够长的地区，地震带中地震活动已经历几个地震活动期，可按该带内发生过的最大地震强度确定 M_{uz} ；二是在同一个大地震活动区内，用构造类比外推，认为具有相似构造条件的地震带，可发生相似强度的最大地震。在实际工作中，综合考虑以上两条原则，且遵从地震带的震级上限 M_{uz} 应等于带内各潜在震源区震级上限(M_u)的最大值这一原则，即 $M_{uz} = (M_u)_{\max}$ 。因此有：

郯庐地震带： $M_{uz}=8.5$ ；长江下游-南黄海地震带： $M_{uz}=7.5$ 。

起算震级 M_0 系指对目标区场地有影响的最小震级，它与震源深度、震源类型、震源应力环境等有关。由于区域范围内地震属浅源地震，一些 4 级地震也会产生一定程度的破坏，故在本研究中 M_0 取 4 级。

(2) 各地震带 b 值和 ν_4 的确定

b 值依据古登堡-里克特所定义的震级频度关系式 $\lg N = a - bM$ ，由实际地震数据统计确定。式中 a 、 b 为常系数， N 为震级大于等于 M 的地震个数。由于 b 值是在实际地震资料统计的基础上获得，它与资料的可靠性、完整性、取样时空范围、样本起始震级、震级间隔等因素有关。

ν_4 是地震带（地震统计区）4.0 级以上地震的年发生次数，即 4.0 级以上地震的年平均发生率。从概率角度来说， ν_4 代表地震带（地震统计区）年 4.0 级以上地震次数随机变量的泊松期望值。

本次工作中采用了新一代全国地震动参数区划图编制中确定 b 值和 ν_4 的方法，在不同方案进行统计分析后确定的 b 值和 ν_4 作为初值的基础上，根据地震带（地震统计区）内实际地震的发生率、地震带（地震统计区）未来地震活动趋势分析结果、1970 年以来近 40 年的仪器记录地震资料所反映的中强地震发生次数的分布特点等因素，并基于对未来地震危险性给予合理保守考虑的原则，进行必要的调整，最终确定地震统计区 ν_4 与 b 值的结果。虽然第五代全国地震动参数区划图编制中确定 b 值和 2010 年地震目录，与本项目 2022 年地震目录有一定不同，但是主要是小震目录不同，破坏性地震目录基本一致，对统计结果影响不大，因此本次工作最终使用的 b 和数值，直接采用了第五代全国地震动参数区划图编制中确定的结果。

本次计算涉及的三个地震带参数如表 6.3-1 所示。

表 6.3-1 各地震带活动性参数表

地震带名称	震级上限	b	ν_4
郟庐地震带	8.5	0.85	4.0
长江下游-南黄海地震带	7.5	0.85	3.0

长江下游-南黄海地震带

长江下游-南黄海地震统计区，是地震活动较强地区，以中强地震活动为主要特征，大地震较少，且主要发生在南黄海海域，最大地震震级为 7.0 级。该区最早的地震记载始于公元 499 年，1485 年之前地震缺失较多，1485 年后 5.0 级以上地震记录基本完整，1970 年以来 4.0 级以上地震记录较全。1491 年和 1839 年为两个地震活动相对密集期的开始，未来地震活动水平不应低估活跃期水平。

对 ν_4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① 4.0 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；
- ② 5.0 级以上地震年发生率应大致相当 1491、1839 年以来地震活动水平；
- ③ 较大震级发生率应重点考虑 1485 年以来地震活动情况。

经调整，确定长江下游-南黄海地震统计区地震活动性参数为 $b=0.85$ ， $\nu_4=3.0$ 。

图 6.3-1 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 ν_4 参数计算得到的理论发生率与各个时段的实际地震发生率符合较好，在 6.0~6.5 档略低，主要是该档地震在这一时期较为集中所致，理论发生率取多个时段的中间值。由于在高震级段样本较少，因此，理论发生率略保守。

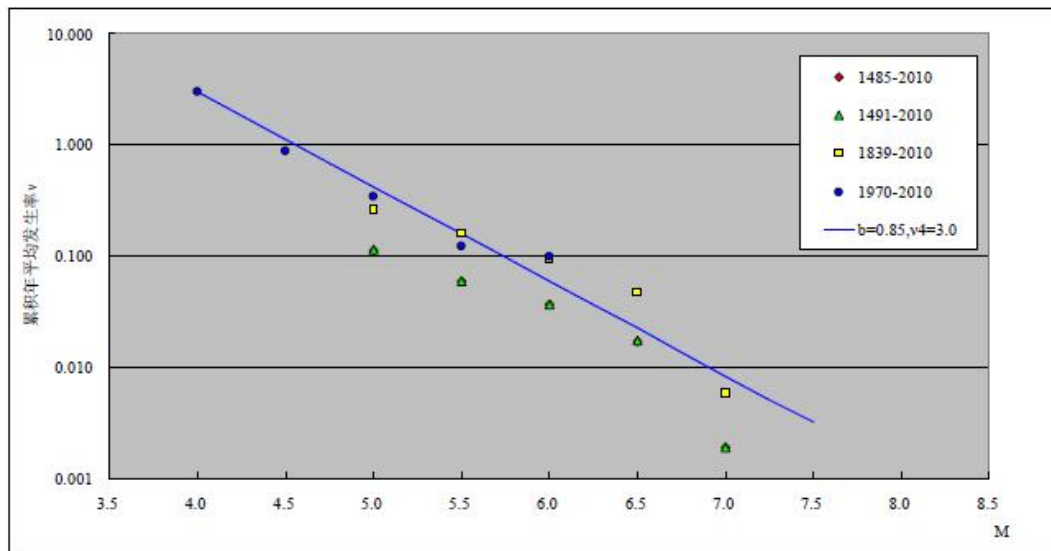


图 6.3-1 长江下游-南黄海地震带各时段实际统计与理论结果对比图

郟庐地震带

郟庐地震统计区发生过著名的 1668 年郟城-莒县 8½ 级特大地震。该区地震记载最早始于公元前 70 年，但公元 1500 年之前，地震缺失较多，1500 年后 5.0 级以上地震记录才基本完整， $M \geq 5.0$ 级地震发生较为平稳，1970 年以来 4.0 级以上地震记录较全。公元 1477 和公元 1829 年是两个地震活动相对密集期的开始，

未来地震活动水平不应低估活跃期水平。

对 ν_4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① 4.0 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；
- ② 5.0 级以上地震年发生率应不低估 1477 年、1892 年以来地震活动水平；
- ③ 较大震级发生率应重点考虑 1500 年以来地震活动情况。

经调整，确定郯庐地震统计区地震活动性参数为 $b=0.85$ ， $\nu_4=4.0$ 。图 6.3-2 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 ν_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段，与 1970 年以来的水平大致相当；在中强震级段与活跃期地震活动水平相当；而在高震级段，基本与 1500 年以来活动水平相当，考虑到这一时期发生过多次 7.0 级以上地震，因此，发生率应该具有一定的保守性。

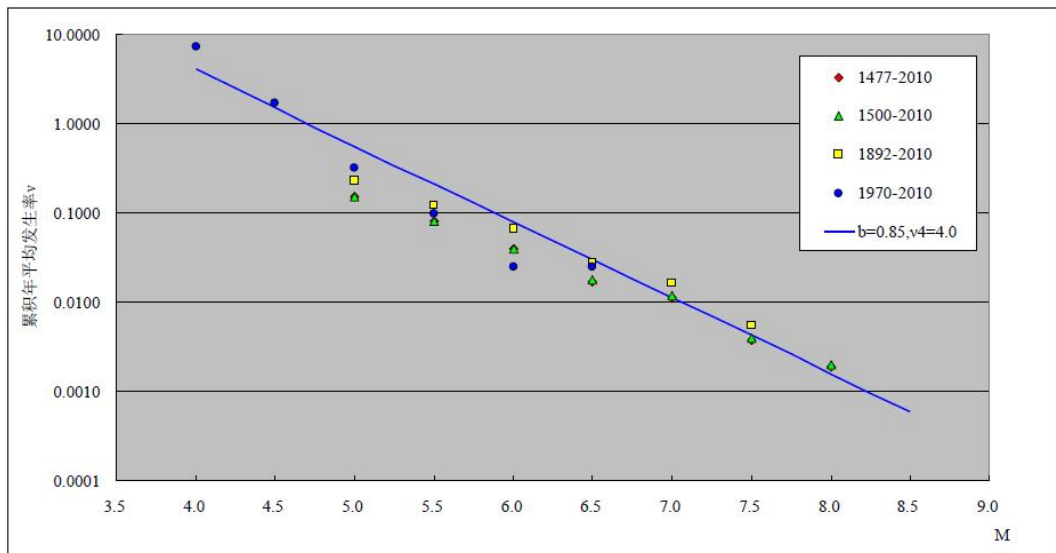


图 6.3-2 郯庐地震带各时段实际统计与理论结果对比图

6.3.2 潜在震源区活动性参数的确定

潜在震源区活动性参数包括：震级上限 M_u 、空间分布函数 f_{i,m_j} ，椭圆等震线长轴取向及分布概率。震级上限在划分潜在震源区时，依据潜在震源区本身的地震活动性及地震构造特征已经确定。

(1) 空间分布函数 f_{i,m_j}

为了不低估大地震的影响，恰如其分地将地震年平均发生率分配到区（带）内各潜在震源区内，因此采用震级分档来分配地震区（带）内地震年平均发生率的方法。

空间分布函数 f_{i,m_j} 的物理含义是地震区（带）内发生 M_j 档震级的地震落在第 i 个潜在潜在震源区的概率的大小。在同一地震区（带）内 f_{i,m_j} 满足归一条件：

$$\sum_{i=1}^n f_{i,M_j} = 1 \quad (\text{对不同震级档 } M_j) \quad (6.3-1)$$

这里 n 为地震区(带)内第 M_j 档潜在震源区的总数。在本报告中 M_j 共分成 8 个震级档, 即 4.0~4.9、5.0~5.4、5.5~5.9、6.0~6.4、6.5~6.9、7.0~7.4、7.5~7.9、8.0~8.5。选择决定空间分布函数大小采用多因子综合评判方法, 因子选择了地震活动特征、发生率、地震构造条件、地震活动度、网络活动性、大震发生率、中长期危险性和离逝时间等因子。根据实际资料, 确定每个潜在震源各个因子实际状态或数值, 计算了各潜在震源区的空间分布函数。在区域内涉及 5 个主要潜在震源区的空间分布函数, 列于表 6.3-2。

(2) 椭圆等震线长轴取向及其分布概率

由于地震等震线为椭圆形, 除地震震级和距离外, 等震线长轴取向对场地地震危险性起着一定的作用, 在近场尤其显著。通常, 内圈等震线比较狭长, 外圈等震线逐渐趋于圆形。因此, 等震线的取向对近场地震动的影响较大, 而对远场区的影响则较小。

在地震危险性分析计算中, 等震线取向与相应潜在震源区的构造走向有关, 其方向性函数可表示为:

$$f(\theta) = P_1 \delta(\theta_1) + P_2 \delta(\theta_2) \quad (6.3-2)$$

式中, θ 为潜在震源区内构造走向与正东方向的夹角, P_1 和 P_2 为相应的分布概率。具体确定时通常按以下三种情况分别取值:

① 单一断层性质

主破裂面沿区域构造走向, 特别是一些新生的断裂构造走向发育。这些地段的主破裂方向均取为新活动构造的走向。这是一种单一断层走向类型, 主破裂面只有一个走向。

② 共轭断层性质

在有共轭断裂存在的潜在震源区, 地震破裂面沿共轭断裂走向产生, 一般两个方向的概率各占 50%, 其椭圆长轴取向也应取两个方向, 其概率各占 50%。这时 $f(\theta) = 0.5 \cdot \delta(\theta_1) + 0.5 \cdot \delta(\theta_2)$ 。式中, θ_1 与 θ_2 分别为共轭断裂的两个走向。

③ 一组断层为主, 一组断层为辅

在表现为主干断裂和分支断裂相交汇的潜在震源区, 主干断裂走向的概率约为 0.7, 分支断裂走向的概率约为 0.3, 则 $f(\theta) = 0.7 \cdot \delta(\theta_1) + 0.3 \cdot \delta(\theta_2)$ 。式中, θ_1 与 θ_2 分别为主干断裂和分支断裂的走向。

本次工作区内主要潜在震源区具体的取向角度与分布概率也列于表 6.3-2 中。

表 6.3-2 区域潜在震源区活动性参数

潜源	M_u	震级分档								θ_1 (°)	P_1	θ_1 (°)	P_2
		4.0~4.9	5.0~5.4	5.5~5.9	6.0~6.4	6.5~6.9	7.0~7.4	7.5~7.9	8.0~8.5				
郯城	8.5	0.00980	0.00668	0.01429	0.01929	0.03214	0.14187	0.11577	0.4000	70	1	0	0
宿迁	7.5	0.00638	0.01199	0.01111	0.01965	0.03458	0.15251	0	0	70	1	0	0
泗洪	7.5	0.00607	0.01137	0.01027	0.02166	0.05115	0.12225	0	0	70	1	0	0
苍山	7.0	0.00689	0.00878	0.01256	0.02225	0.05851	0	0	0	140	1	0	0
邳县	6.5	0.00271	0.01520	0.00863	0.01526	0	0	0	0	140	1	0	0
泗县	6.5	0.00901	0.00645	0.01230	0.02275	0	0	0	0	70	1	0	0
B1 背景源	5.5	0.05276	0.036	0.0	0	0	0	0	0	0	0.5	90	0.5

6.4 地震动预测方程

地震动预测方程的确定是地震危险性分析中的重要环节。由于本次工作所涉及的研究区内没有足够的历史地震等震线资料及强震观测资料，不能统计出符合本区的地震动衰减关系，采用胡聿贤（1984）年提出的缺乏强震资料地区地震动参数（峰值加速度、速度、位移及反应谱等）衰减关系的确定方法来确定本区地震动衰减关系。该方法的基本假设为，在震级或震中烈度相同的情况下，相同烈度的场地具有相同的地震动参数。即利用本区的地震烈度衰减关系，并选择既有强震记录又有烈度衰减关系的美国西部地区作为参考区，转换得到相应的地震动衰减关系。

地震动衰减关系的一般形式如下：

$$\text{Log}Y = C_1 + C_2M + C_3 \text{Log}(R + C_4 e^{C_5 M}) + \varepsilon \quad (6.4-1)$$

式中， Y 是地震动参数， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 为回归系数。转换得到的本区地震动参数衰减关系的标准差采用参考区地震动参数衰减关系的标准差。

到目前为止，已有的地震动衰减关系的研究成果有很多，其中俞言祥博士给出地震地震动衰减关系是在最新资料的基础上，结合中国实际情况统计给出，代表地震动衰减关系的最新研究成果。本报告直接区评大纲推荐的水平向基岩地震动反应谱预测方程的东部活跃区的动峰值加速度和地震加速度反应谱衰减关系（表 6.4-1 和表 6.4-2）。地震动衰减关系模型如下：

当 $M < 6.5$ 时，

$$\text{Lg}Y(M, R) = A_1 + B_1 M - C \text{Lg}(R + D e^{EM}) \quad (6.4-1a)$$

当 $M \geq 6.5$ 时，

$$\text{Lg}Y(M, R) = A_2 + B_2 M - C \text{Lg}(R + D e^{EM}) \quad (6.4-1b)$$

式中， M 为面波震级， R 为震中距， A_1 、 B_1 、 A_2 、 B_2 、 C 、 D 、 E 为模型系

数, σ 为标准差。

PGA 衰减关系曲线如图 6.4-1, 反应谱衰减关系曲线如图 6.4-2~图 6.4-4。

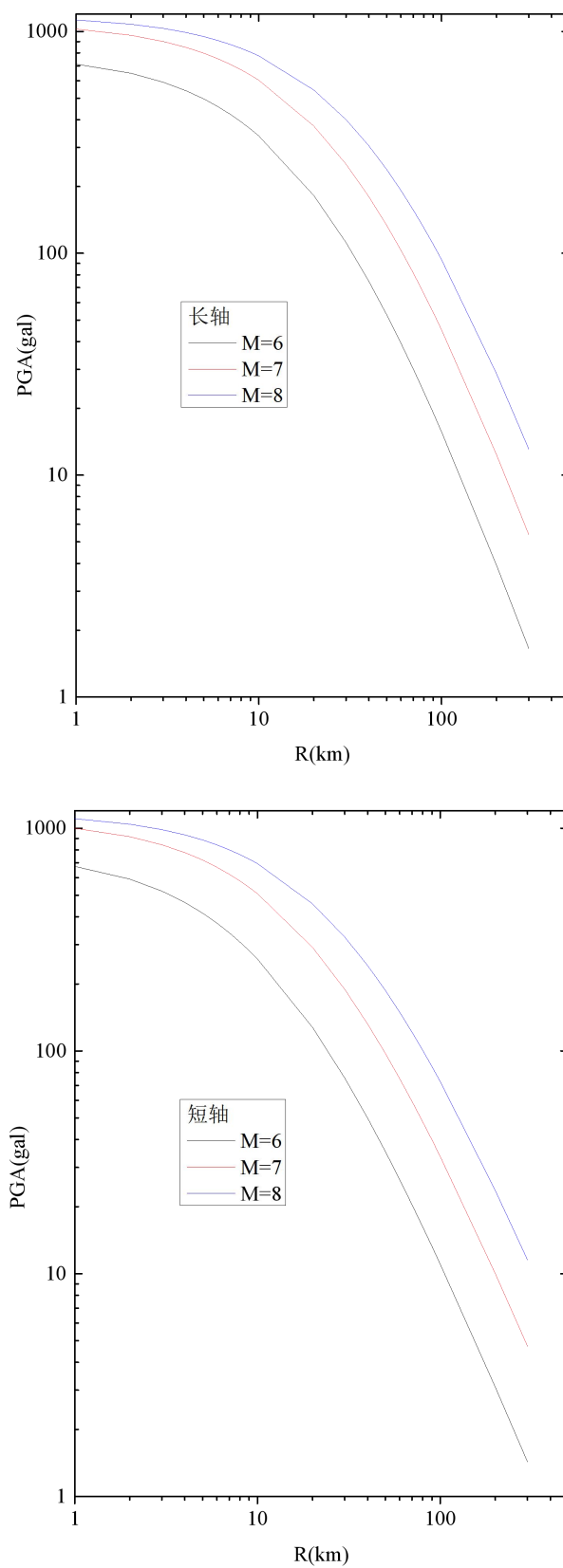


图 6.4-1 峰值加速度衰减关系曲线图

表 6.4-1 东部活跃区基岩水平向加速反应谱预测方程模型系数（长轴）

周期(s)	A_1	B_1	A_2	B_2	C	D	E	σ
0	2.024	0.673	3.565	0.435	2.329	2.088	0.399	0.245
0.04	2.048	0.674	3.617	0.432	2.322	2.088	0.399	0.261
0.05	2.205	0.654	3.706	0.423	2.319	2.088	0.399	0.266
0.07	2.315	0.65	3.774	0.425	2.307	2.088	0.399	0.265
0.1	2.456	0.64	3.903	0.417	2.297	2.088	0.399	0.261
0.12	2.493	0.637	3.855	0.427	2.294	2.088	0.399	0.261
0.16	2.617	0.632	3.798	0.449	2.306	2.088	0.399	0.261
0.2	2.558	0.643	3.68	0.47	2.309	2.088	0.399	0.261
0.24	2.32	0.675	3.632	0.472	2.29	2.088	0.399	0.264
0.26	2.094	0.696	3.541	0.472	2.249	2.088	0.399	0.27
0.3	1.878	0.715	3.426	0.477	2.211	2.088	0.399	0.274
0.34	1.852	0.715	3.304	0.491	2.212	2.088	0.399	0.273
0.4	1.501	0.765	3.262	0.494	2.214	2.088	0.399	0.274
0.5	1.358	0.776	3.026	0.519	2.214	2.088	0.399	0.276
0.6	1.004	0.814	2.885	0.524	2.187	2.088	0.399	0.283
0.8	0.65	0.847	2.608	0.545	2.174	2.088	0.399	0.291
1	0.226	0.895	2.409	0.559	2.157	2.088	0.399	0.3
1.2	0.006	0.917	2.227	0.574	2.159	2.088	0.399	0.315
1.5	-0.095	0.909	1.843	0.61	2.154	2.088	0.399	0.33
1.7	-0.196	0.909	1.621	0.629	2.143	2.088	0.399	0.338
2	-0.666	0.936	1.247	0.641	2.047	2.088	0.399	0.342
2.4	-0.781	0.917	0.709	0.687	2.011	2.088	0.399	0.343
3	-1.014	0.92	0.279	0.72	1.972	2.088	0.399	0.34
4	-1.244	0.909	-0.368	0.773	1.937	2.088	0.399	0.336
5	-1.417	0.9	-0.88	0.817	1.906	2.088	0.399	0.333
6	-1.432	0.859	-1.432	0.859	1.857	2.088	0.399	0.333
7	-1.692	0.865	-1.692	0.865	1.803	2.088	0.399	0.336
8	-1.862	0.875	-1.862	0.875	1.788	2.088	0.399	0.342
9	-2.113	0.885	-2.113	0.885	1.743	2.088	0.399	0.346
10	-2.177	0.879	-2.177	0.879	1.730	2.088	0.399	0.352

表 6.4-2 东部活跃区基岩水平向加速反应谱预测方程模型系数（短轴）

周期(s)	A_1	B_1	A_2	B_2	C	D	E	σ
0	1.204	0.664	2.789	0.42	2.016	0.944	0.447	0.245
0.04	1.241	0.663	2.837	0.418	2.01	0.944	0.447	0.261
0.05	1.393	0.645	2.933	0.408	2.007	0.944	0.447	0.266
0.07	1.517	0.639	3.005	0.411	1.997	0.944	0.447	0.265
0.1	1.665	0.629	3.14	0.402	1.988	0.944	0.447	0.261
0.12	1.707	0.625	3.091	0.412	1.985	0.944	0.447	0.261
0.16	1.814	0.622	3.053	0.431	1.997	0.944	0.447	0.261
0.2	1.779	0.628	2.918	0.454	1.999	0.944	0.447	0.261
0.24	1.533	0.662	2.868	0.457	1.983	0.944	0.447	0.264
0.26	1.309	0.685	2.786	0.458	1.948	0.944	0.447	0.27
0.3	1.095	0.707	2.677	0.464	1.915	0.944	0.447	0.274
0.34	1.068	0.706	2.558	0.477	1.916	0.944	0.447	0.273
0.4	0.698	0.759	2.501	0.482	1.919	0.944	0.447	0.274
0.5	0.557	0.769	2.265	0.507	1.919	0.944	0.447	0.276
0.6	0.196	0.81	2.122	0.514	1.897	0.944	0.447	0.283
0.8	-0.162	0.844	1.851	0.535	1.887	0.944	0.447	0.291
1	-0.599	0.895	1.644	0.55	1.873	0.944	0.447	0.3
1.2	-0.815	0.915	1.455	0.567	1.875	0.944	0.447	0.315
1.5	-0.91	0.907	1.087	0.6	1.871	0.944	0.447	0.33
1.7	-1	0.906	0.869	0.619	1.861	0.944	0.447	0.338
2	-1.449	0.934	0.516	0.632	1.779	0.944	0.447	0.342
2.4	-1.524	0.911	0.002	0.677	1.748	0.944	0.447	0.343
3	-1.733	0.912	-0.414	0.71	1.716	0.944	0.447	0.34
4	-1.932	0.898	-1.038	0.761	1.686	0.944	0.447	0.336
5	-2.075	0.887	-1.532	0.804	1.659	0.944	0.447	0.333
6	-2.041	0.841	-2.041	0.841	1.617	0.944	0.447	0.333
7	-2.287	0.848	-2.287	0.848	1.570	0.944	0.447	0.336
8	-2.455	0.858	-2.455	0.858	1.558	0.944	0.447	0.342
9	-2.693	0.869	-2.693	0.869	1.519	0.944	0.447	0.346
10	-2.753	0.863	-2.753	0.863	1.508	0.944	0.447	0.352

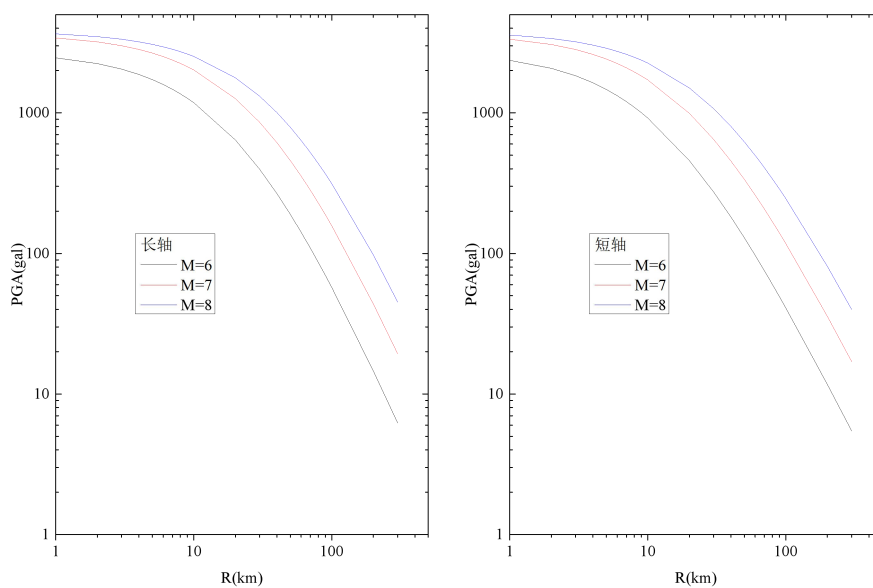


图 6.4-2 反应谱衰减关系曲线图 (0.1 s)

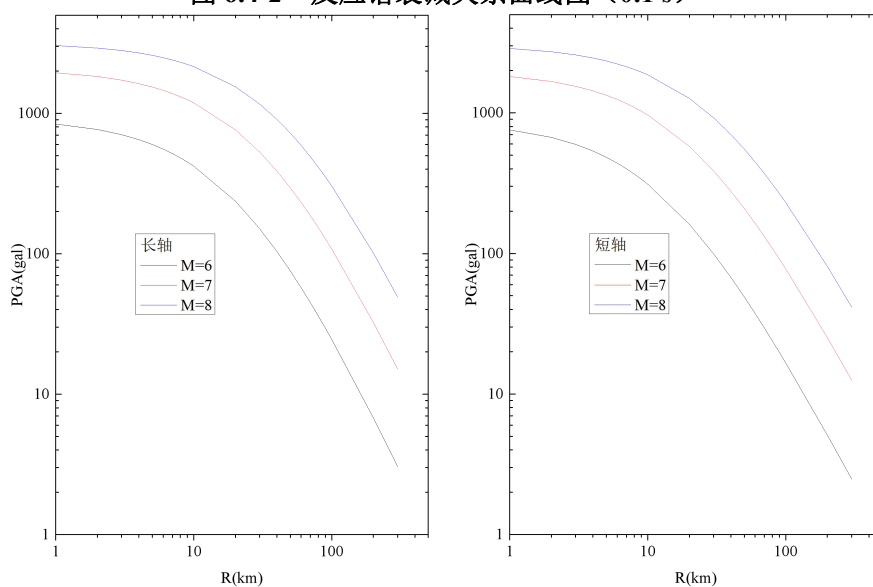


图 6.4-3 反应谱衰减关系曲线图 (1 s)

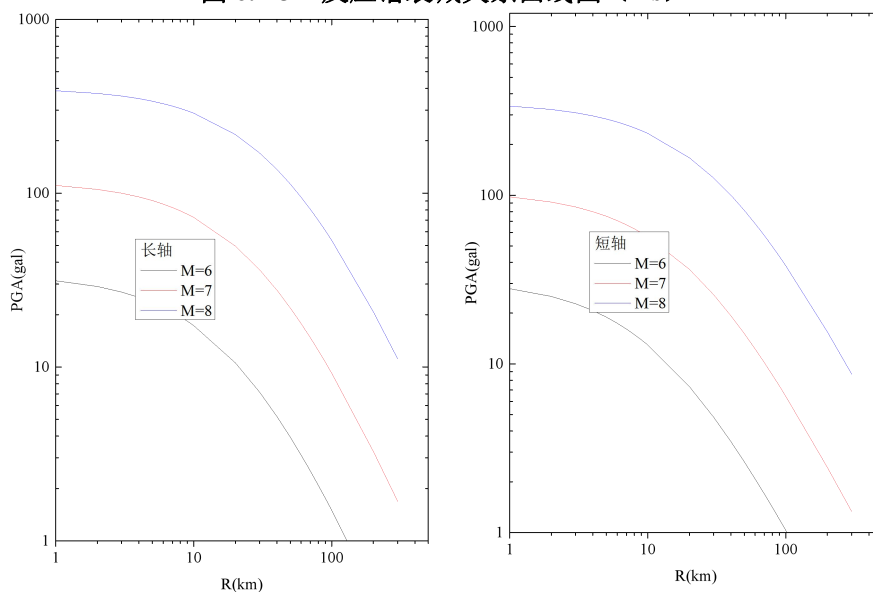


图 6.4-4 反应谱衰减关系曲线图 (6 s)

6.5 地震危险性计算结果及分析

按照 GB17741-2005《工程场地地震安全性评价》的要求,利用地震危险性概率分析计算程序及前面给出的有关参数和地震动衰减关系,对 21 个计算控制点(具体位置见表 6.5-1)进行了地震危险性概率分析,并对结果进行了不确定性校正,给出了各主要潜在震源区对场地地震动的贡献大小,计算了年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 的基岩地震水平峰值加速度和目标区场地基岩加速度反应谱(0.04 s~10.0 s、阻尼比为 0.05)。

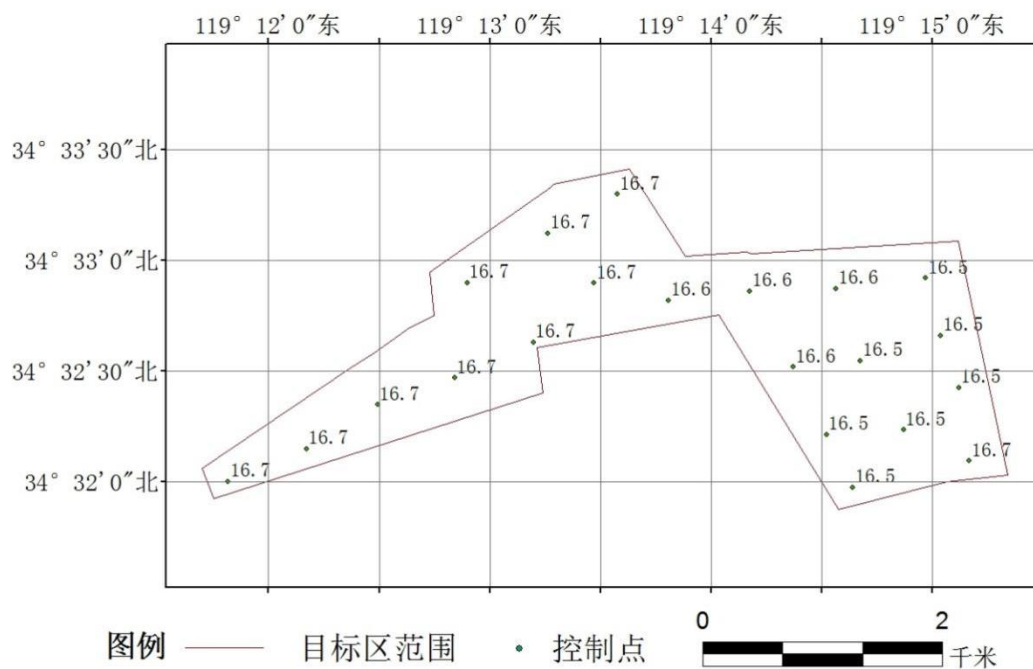
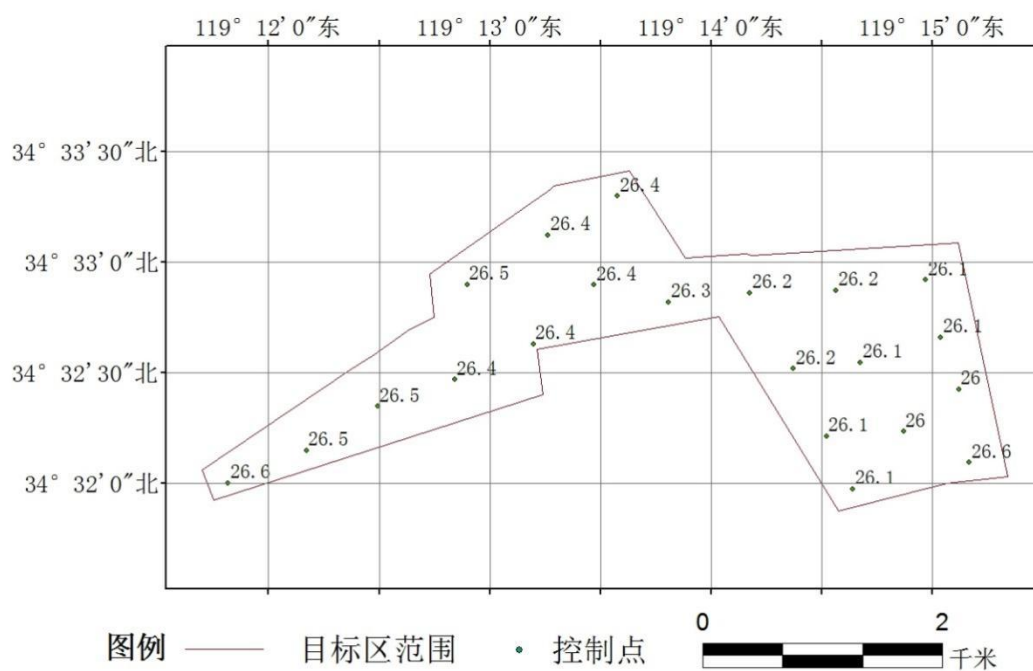
表 6.5-1 计算控制点位置一览表

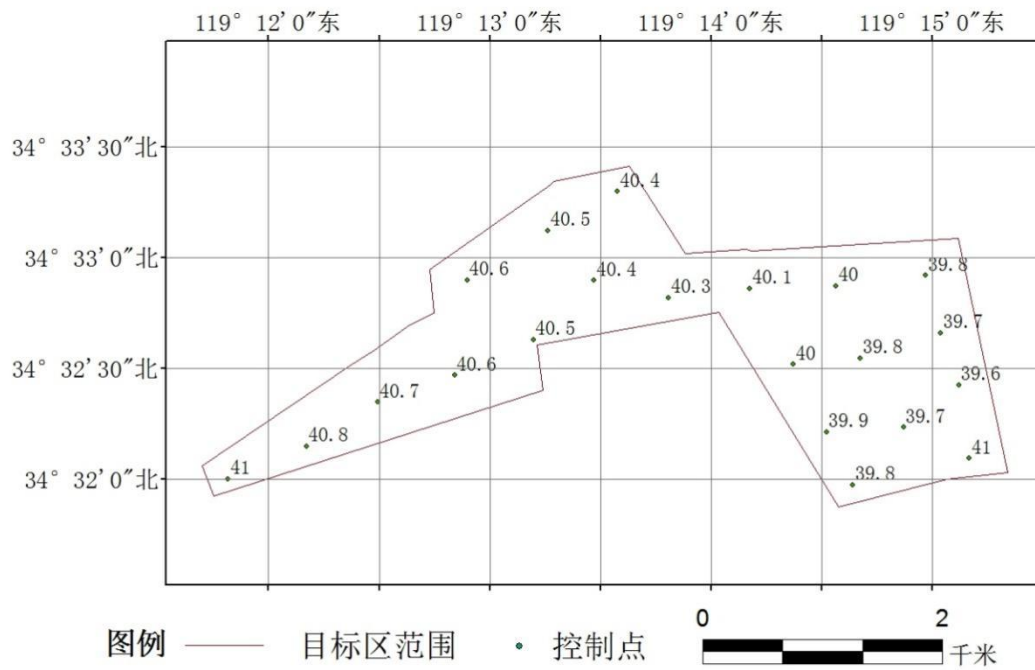
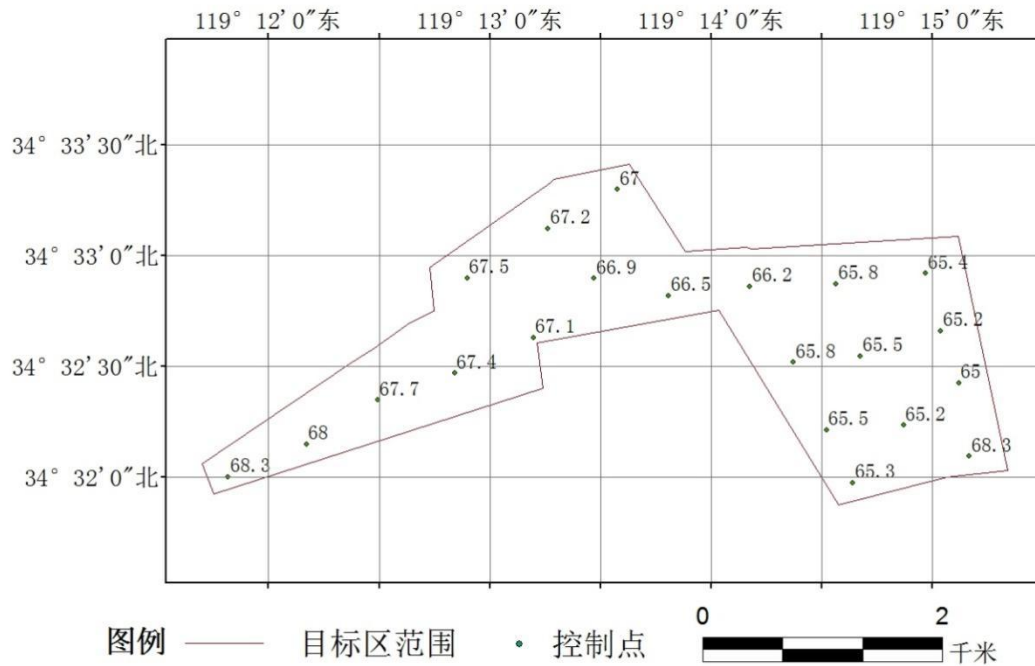
孔号	经度 (E)	纬度(N)	孔号	经度 (E)	纬度(N)
ZK1	119.1970	34.5334	ZK12	119.2427	34.5479
ZK2	119.2029	34.5359	ZK13	119.2495	34.5487
ZK3	119.2082	34.5392	ZK14	119.2395	34.5420
ZK4	119.2140	34.5412	ZK15	119.2445	34.5424
ZK5	119.2150	34.5483	ZK16	119.2506	34.5444
ZK6	119.2199	34.5439	ZK17	119.2420	34.5370
ZK7	119.2211	34.5520	ZK18	119.2478	34.5372
ZK8	119.2245	34.5483	ZK19	119.2520	34.5404
ZK9	119.2263	34.5550	ZK20	119.2440	34.5329
ZK10	119.2301	34.5470	ZK21	119.2527	34.5349
ZK11	119.2362	34.5477			

计算结果包括:

(1) 主要潜在震源区对目标区地震危险性的贡献,如表 6.5-2~表 6.5-4 所示。从表中数据可以看出,对目标区的贡献主要来自震级上限为 8.5 级的郯城潜在震源区和震级上限 7.5 级的宿迁潜在震源区,以及背景源 1。

(2) 21 个计算控制点年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 的基岩地震水平峰值加速度和目标区场地基岩加速度反应谱(0.04 s~10.0 s、阻尼比为 0.05)。结果如表 6.5-5 所示,如图 6.5-1~图 6.5-11,计算结果表明,不同超越概率下各计算控制点的计算结果差别很小。

图 6.5-1 目标区场地控制点年超越 2×10^{-2} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)图 6.5-2 目标区场地控制点年超越 1×10^{-2} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

图 6.5-3 目标区场地控制点年超越 5×10^{-3} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)图 6.5-4 目标区场地控制点年超越 2×10^{-3} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

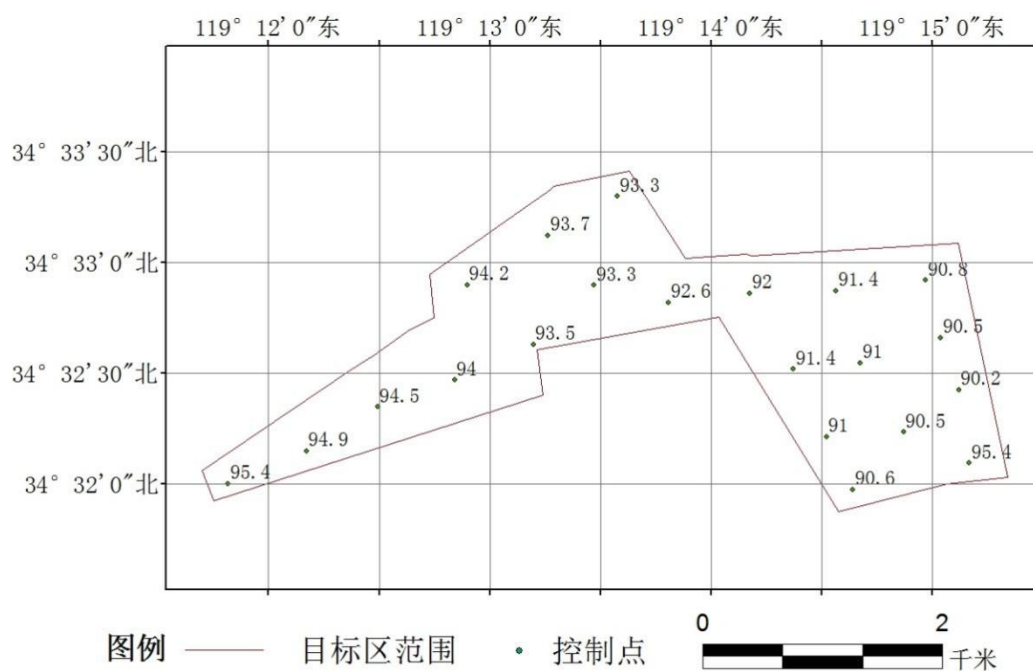


图 6.5-5 目标区场地控制点年超越 1×10^{-3} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

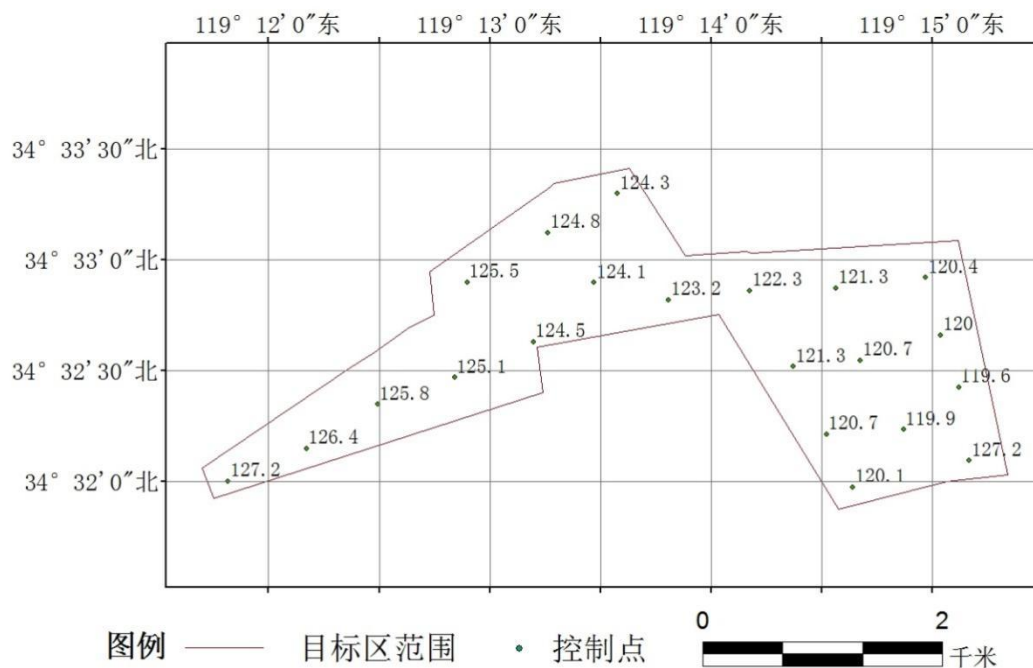


图 6.5-6 目标区场地控制点年超越 5×10^{-4} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

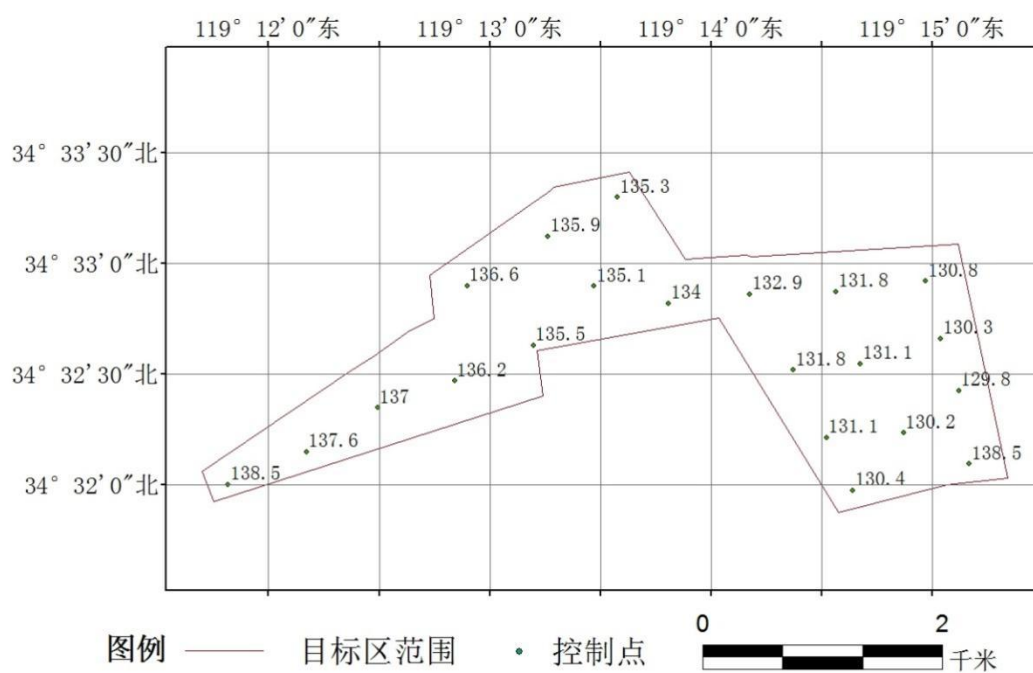


图 6.5-7 目标区场地控制点年超越 4×10^{-4} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

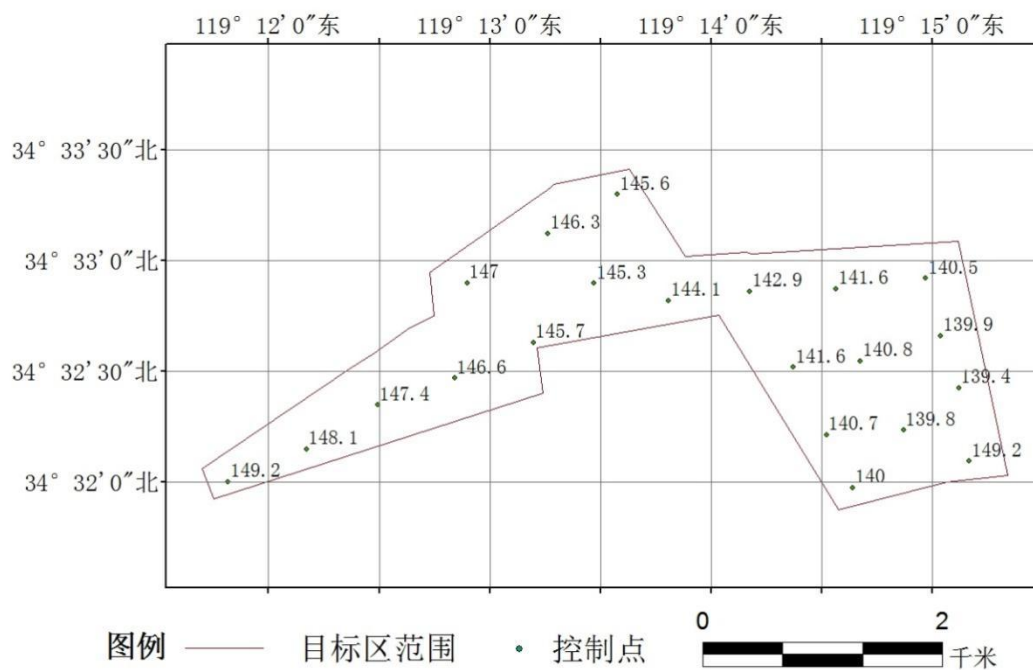
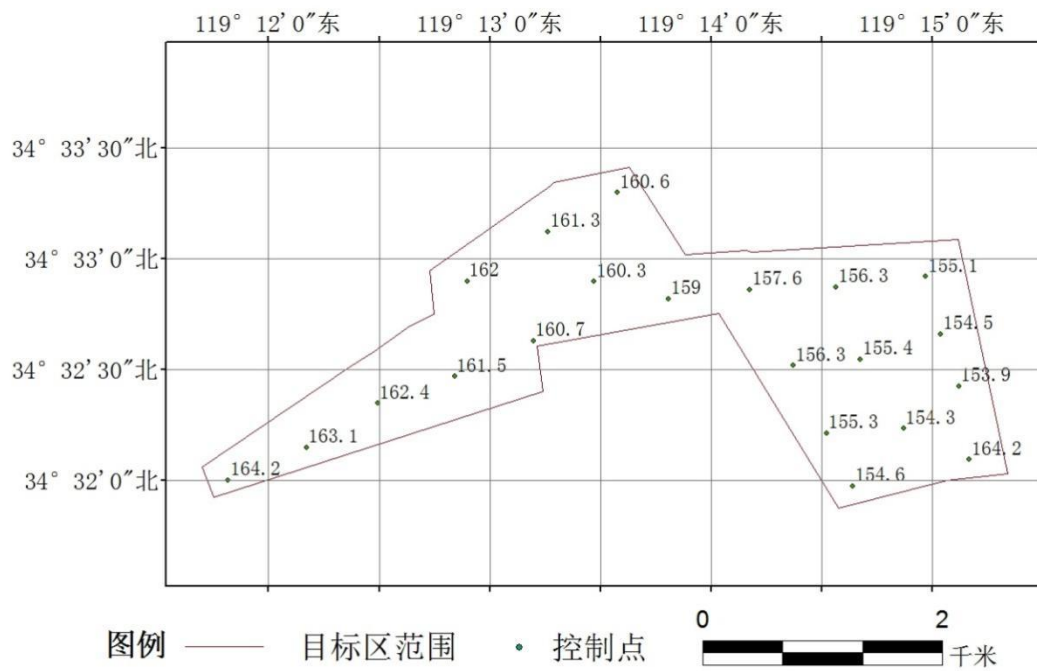
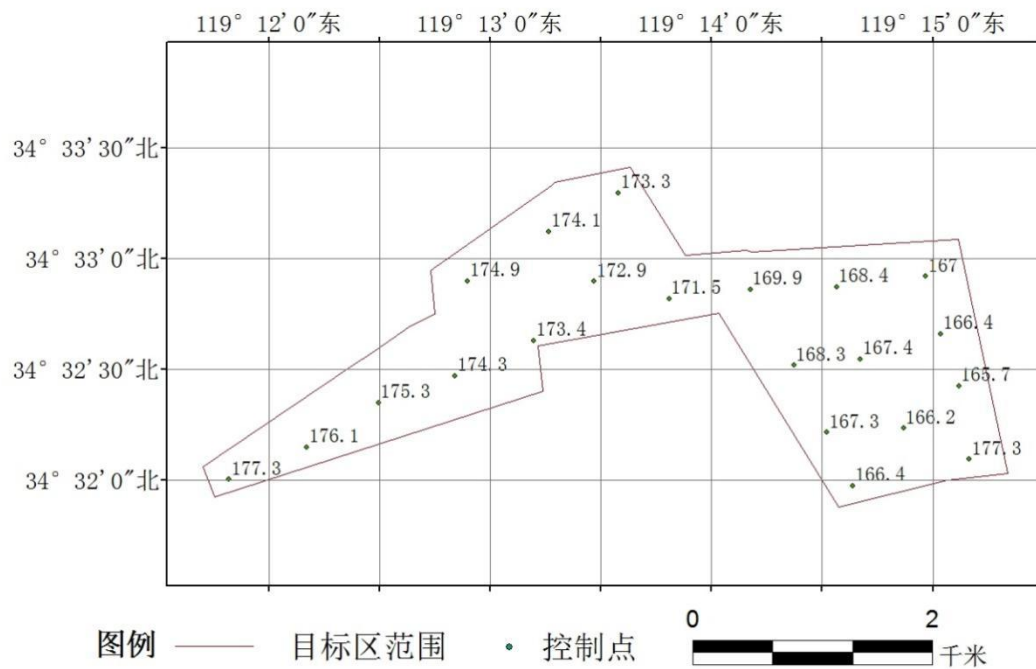


图 6.5-8 目标区场地控制点年超越 3.3×10^{-4} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

图 6.5-9 目标区场地控制点年超越 2.5×10^{-4} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)图 6.5-10 目标区场地控制点年超越 2×10^{-4} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

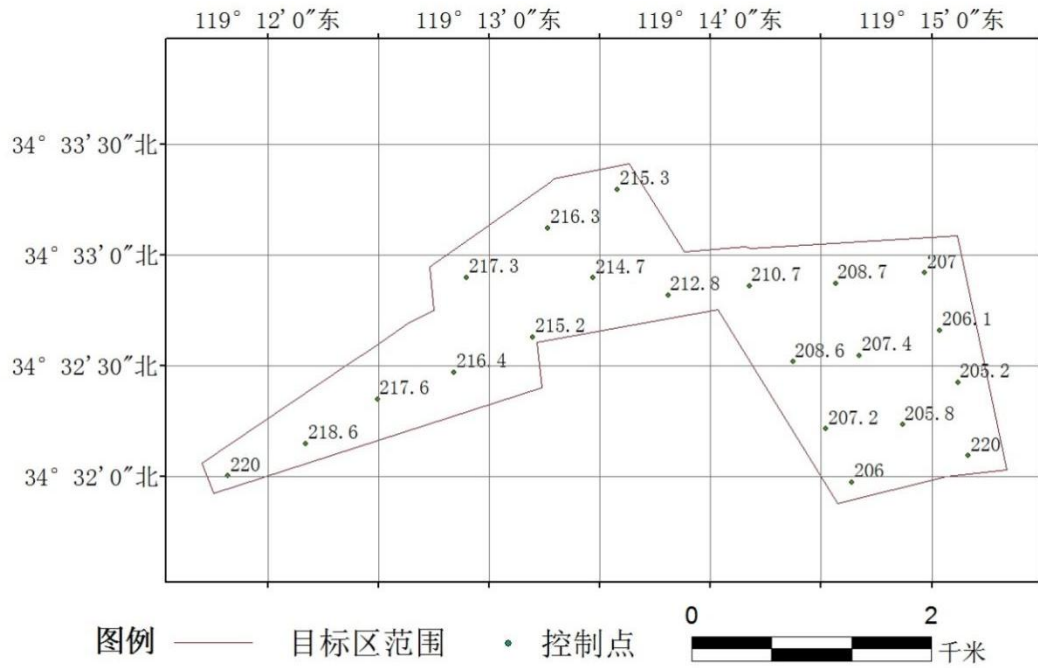
图 6.5-11 目标区场地控制点年超越 1×10^{-4} 基岩水平加速度峰值 (单位: gal)

表 6.5-2 主要潜在震源区对目标区的地震危险性的加速度反应谱值贡献百分率 (0 s)

年超越概率	2×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
背景源 1	23.42	22.44	19.42	13.19	10.53	7.73	6.82	5.91	5.24	4.58	3.31
南黄海北部 凹陷 1(6)	4.22	3.21	2.15	0.89	0.51	0.23	0.17	0.10	0.07	0.04	0.01
南黄海北部 凹陷 2(5)	4.25	3.43	2.46	1.13	0.69	0.34	0.25	0.16	0.12	0.07	0.02
南黄海凹陷 1(9)	4.79	2.47	0.95	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
泗洪(19)	6.53	6.50	5.21	2.52	1.54	0.70	0.50	0.30	0.20	0.10	0.01
宿迁(18)	14.74	20.29	25.19	28.12	27.19	23.92	22.24	20.55	18.89	17.23	13.00
郯城(11)	17.45	26.13	35.58	50.99	58.25	66.61	69.77	72.92	75.39	77.85	83.60

表 6.5-3 主要潜在震源区对目标区的地震危险性的加速度反应谱值贡献百分率 (0.6 s)

年超越概率	2×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
背景源 1	10.14	8.19	5.39	2.28	1.10	0.51	0.40	0.29	0.20	0.10	0.02
南黄海北部 凹陷 1(6)	4.81	4.10	2.72	1.03	0.43	0.17	0.12	0.08	0.05	0.02	0.00
南黄海北部 凹陷 2(5)	4.81	4.29	3.09	1.34	0.62	0.27	0.21	0.14	0.09	0.04	0.01
南黄海凹陷 1(9)	11.75	9.91	5.62	1.17	0.20	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
泗洪(19)	7.59	8.79	8.24	4.66	2.43	1.13	0.88	0.63	0.40	0.16	0.03
宿迁(18)	12.69	17.95	24.90	28.26	24.77	19.65	18.02	16.38	13.85	11.32	7.57
郯城(11)	15.71	23.66	36.68	56.74	68.64	77.49	79.77	82.05	85.05	88.05	92.30

表 6.5-4 主要潜在震源区对目标区的地震危险性的加速度反应谱值贡献百分率 (3 s)

年超越概率	2×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
背景源 1	3.48	1.89	0.75	0.21	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
南黄海北部 凹陷 1(6)	3.89	2.85	1.51	0.58	0.19	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
南黄海北部 凹陷 2(5)	3.85	2.94	1.67	0.71	0.26	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
南黄海凹陷 1(9)	15.63	16.29	11.42	5.37	1.91	0.19	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
泗洪(19)	7.13	9.10	9.14	6.74	4.12	1.60	1.09	0.70	0.50	0.30	0.03
宿迁(18)	10.33	16.00	22.77	24.89	21.78	14.22	11.85	9.93	8.28	6.99	2.77
郯城(11)	13.00	22.10	37.30	54.21	68.69	83.15	86.36	89.05	90.99	92.64	97.18

(3) 由于各计算控制点的计算结果差别较小, 这里选取计算结果较大的 ZK1 控制点作为代表性控制点。

(4) 代表性控制点 (1 年、50 年、100 年) 的基岩水平峰值加速度超越概率曲线, 如图 6.5-12。

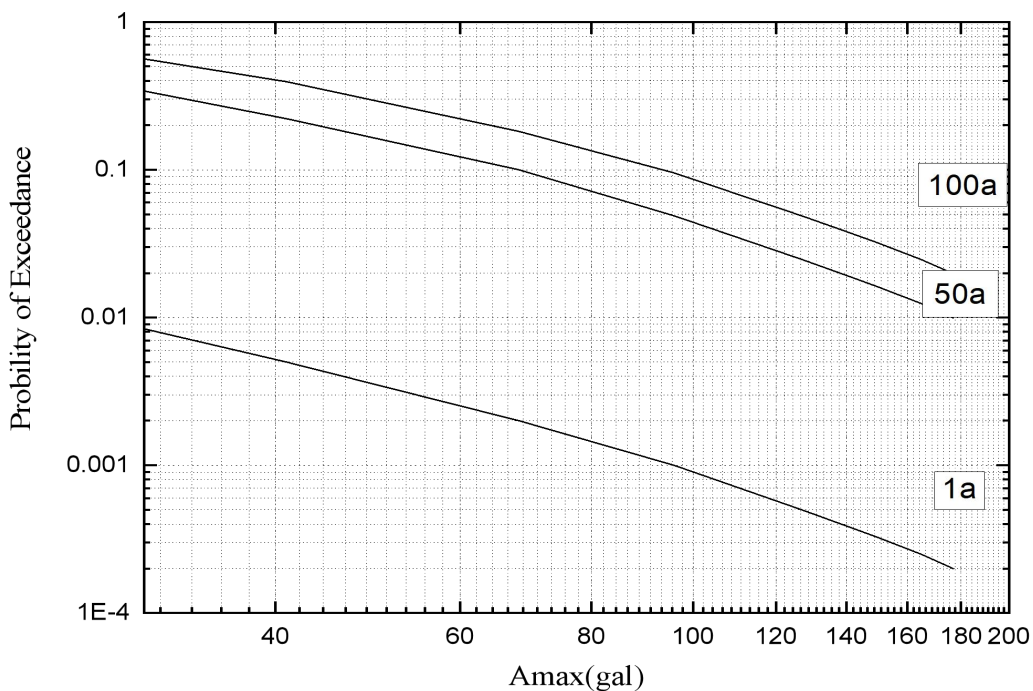


图 6.5-12 目标区场地峰值加速度超越概率曲线

(5) 控制钻孔年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 的基岩地震水平峰值加速度 (PGA), 如表 6.5-4。目标区代表性控制钻孔场地基岩加速度反应谱 (0.04 s~10.0 s、阻尼比为 0.05、阻尼比为 0.05), 如表 6.5-5 和图 6.5-13 所示。从表 6.5-5 可以看出, 年超越概率 2×10^{-3} 的基岩水平峰值加速度分别为 68.3 gal。

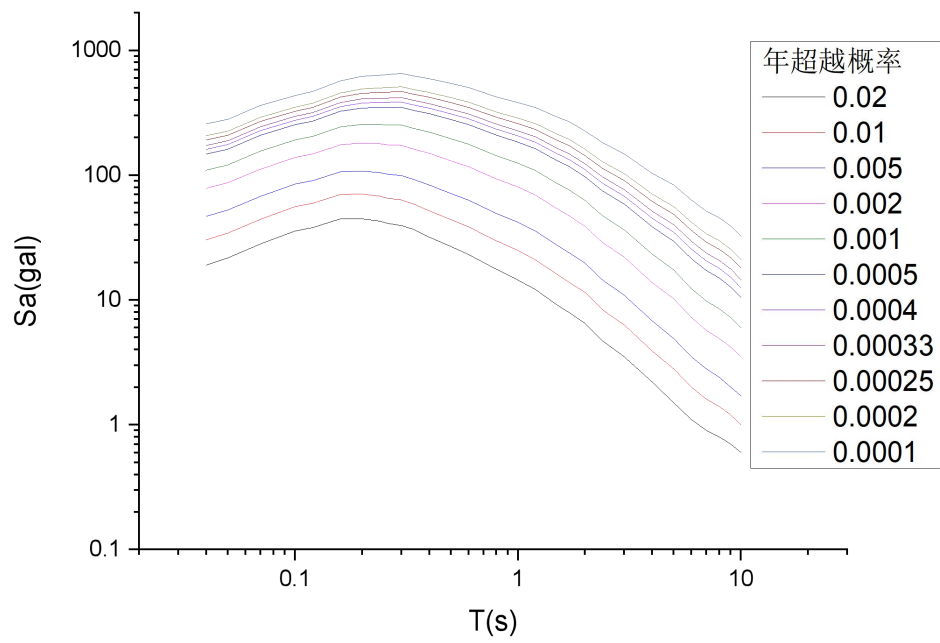


图 6.5-13 目标区代表性钻孔场地基岩水平加速度目标反应谱

表 6.5-4a 计算控制点目标区场地基岩水平加速度峰值(gal)

控制点	年超越概率										
	2×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
ZK01	16.7	26.6	41.0	68.3	95.4	127.2	138.5	149.2	164.2	177.3	220.0
ZK02	16.7	26.5	40.8	68.0	94.9	126.4	137.6	148.1	163.1	176.1	218.6
ZK03	16.7	26.5	40.7	67.7	94.5	125.8	137.0	147.4	162.4	175.3	217.6
ZK04	16.7	26.4	40.6	67.4	94.0	125.1	136.2	146.6	161.5	174.3	216.4
ZK05	16.7	26.5	40.6	67.5	94.2	125.5	136.6	147.0	162.0	174.9	217.3
ZK06	16.7	26.4	40.5	67.1	93.5	124.5	135.5	145.7	160.7	173.4	215.2
ZK07	16.7	26.4	40.5	67.2	93.7	124.8	135.9	146.3	161.3	174.1	216.3
ZK08	16.7	26.4	40.4	66.9	93.3	124.1	135.1	145.3	160.3	172.9	214.7
ZK09	16.7	26.4	40.4	67.0	93.3	124.3	135.3	145.6	160.6	173.3	215.3
ZK10	16.6	26.3	40.3	66.5	92.6	123.2	134.0	144.1	159.0	171.5	212.8
ZK11	16.6	26.2	40.1	66.2	92.0	122.3	132.9	142.9	157.6	169.9	210.7
ZK12	16.6	26.2	40.0	65.8	91.4	121.3	131.8	141.6	156.3	168.4	208.7
ZK13	16.5	26.1	39.8	65.4	90.8	120.4	130.8	140.5	155.1	167.0	207.0
ZK14	16.6	26.2	40.0	65.8	91.4	121.3	131.8	141.6	156.3	168.3	208.6
ZK15	16.5	26.1	39.8	65.5	91.0	120.7	131.1	140.8	155.4	167.4	207.4
ZK16	16.5	26.1	39.7	65.2	90.5	120.0	130.3	139.9	154.5	166.4	206.1
ZK17	16.5	26.1	39.9	65.5	91.0	120.7	131.1	140.7	155.3	167.3	207.2
ZK18	16.5	26.0	39.7	65.2	90.5	119.9	130.2	139.8	154.3	166.2	205.8
ZK19	16.5	26.0	39.6	65.0	90.2	119.6	129.8	139.4	153.9	165.7	205.2
ZK20	16.5	26.1	39.8	65.3	90.6	120.1	130.4	140.0	154.6	166.4	206.0
ZK21	16.7	26.6	41.0	68.3	95.4	127.2	138.5	149.2	164.2	177.3	220.0

表 6.5-4b 计算控制点目标区场地基岩水平加速度反应谱（周期 1 s）(gal)

控制点	年超越概率										
	2×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
ZK01	14.4	24.9	41.9	80.3	124.5	183.7	206.2	226.4	258.7	286.2	381.3
ZK02	14.4	24.8	41.7	79.9	123.7	182.6	205.0	225.1	257.2	284.5	379.1
ZK03	14.4	24.8	41.6	79.5	123.2	181.7	204.1	224.2	256.1	283.3	377.6
ZK04	14.4	24.8	41.5	79.1	122.4	180.6	202.9	222.8	254.6	281.6	375.4
ZK05	14.5	24.8	41.6	79.2	122.7	181.2	203.6	223.7	255.7	282.9	377.3
ZK06	14.4	24.8	41.4	78.7	121.7	179.4	201.6	221.4	253.1	279.8	373.2
ZK07	14.5	24.8	41.4	78.8	122.0	180.1	202.4	222.3	254.2	281.2	375.2
ZK08	14.4	24.7	41.3	78.4	121.3	178.9	201.1	220.9	252.5	279.2	372.6
ZK09	14.4	24.8	41.3	78.5	121.4	179.2	201.4	221.3	253.1	279.9	373.7
ZK10	14.4	24.7	41.2	77.9	120.5	177.5	199.6	219.2	250.7	277.1	369.8
ZK11	14.4	24.7	41.1	77.5	119.6	176.2	198.2	217.6	249.0	275.3	367.1
ZK12	14.4	24.6	40.9	77.0	118.7	174.8	196.6	216.0	247.0	273.2	364.1
ZK13	14.4	24.6	40.8	76.5	117.8	173.4	194.9	214.3	244.9	270.9	361.1
ZK14	14.4	24.6	40.9	77.1	118.8	174.9	196.6	216.0	246.9	273.1	363.8
ZK15	14.4	24.6	40.8	76.7	118.2	173.8	195.4	214.7	245.4	271.4	361.6
ZK16	14.4	24.6	40.7	76.3	117.4	172.6	194.0	213.2	243.6	269.5	359.1
ZK17	14.4	24.6	40.8	76.8	118.2	173.8	195.3	214.6	245.2	271.2	361.1
ZK18	14.4	24.6	40.7	76.3	117.4	172.5	193.8	213.0	243.2	269.1	358.2
ZK19	14.4	24.5	40.7	76.1	116.9	171.7	192.9	212.1	242.2	267.9	356.8
ZK20	14.4	24.6	40.8	76.5	117.7	172.9	194.3	213.5	243.8	269.6	358.9
ZK21	14.4	24.5	40.6	75.9	116.5	171.0	192.0	211.1	240.9	266.5	354.8

表 6.5-5 目标区代表性钻孔场地基岩水平加速度反应谱(gal)

周期 (s)	年超越概率										
	2×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
0	16.7	26.6	41.0	68.3	95.4	127.2	138.5	149.2	164.2	177.3	220.0
0.04	19.0	30.3	46.7	78.3	109.4	147.3	160.6	172.8	191.1	206.5	257.4
0.05	21.7	34.3	52.5	86.9	120.6	161.0	175.6	188.7	208.5	224.9	279.5
0.07	28.1	44.3	67.6	111.6	155.6	208.4	227.1	243.8	268.9	290.6	362.2
0.10	35.6	55.8	84.8	138.2	191.0	253.3	275.0	295.3	324.2	349.0	433.5
0.12	37.9	59.4	90.3	147.6	204.3	271.0	295.4	316.4	348.6	376.9	467.9
0.16	44.6	70.0	106.3	175.0	243.1	324.5	353.9	381.4	421.6	454.6	568.2
0.20	44.6	70.4	107.8	180.8	254.7	344.5	378.0	408.3	452.2	490.8	619.2
0.24	42.7	67.7	104.7	178.4	254.3	347.0	381.7	412.7	458.6	499.1	631.7
0.26	41.0	65.3	101.7	175.0	252.0	346.3	381.8	413.6	460.9	502.5	638.4
0.30	39.4	63.1	99.1	173.0	251.8	349.2	386.0	418.5	467.8	510.5	652.0
0.34	36.7	58.7	92.4	161.8	236.7	330.1	364.7	397.4	444.2	485.4	623.3
0.40	31.8	51.8	83.1	149.4	221.1	310.9	343.2	373.8	420.1	458.6	592.0
0.50	26.8	44.0	71.1	130.0	195.5	278.5	309.4	336.8	380.7	417.7	543.2
0.60	23.1	38.5	63.0	116.9	177.0	254.2	282.6	308.9	348.6	384.2	503.8
0.80	17.6	29.7	49.3	93.2	142.9	209.1	233.6	256.0	290.7	320.0	422.5
1.00	14.4	24.9	41.9	80.3	124.5	183.7	206.2	226.4	258.7	286.2	381.3
1.20	12.1	20.9	35.6	69.2	108.7	162.5	183.3	202.8	232.2	258.2	347.5
1.50	9.1	16.0	27.4	53.7	85.7	130.4	148.0	164.2	190.1	212.7	291.5
1.70	7.9	13.8	23.8	47.2	76.0	117.0	133.0	148.3	172.2	193.2	267.5
2.00	6.5	11.5	19.7	38.8	62.6	96.9	110.4	123.1	143.2	161.0	225.4
2.40	4.7	8.3	14.4	28.8	47.2	74.6	85.8	96.4	113.0	127.7	181.9
3.00	3.5	6.3	10.9	22.0	36.4	58.6	67.7	76.5	90.5	102.9	147.7
4.00	2.2	3.9	6.8	13.8	23.3	38.6	45.2	51.4	61.5	70.6	103.5
5.00	1.5	2.8	4.9	10.2	17.4	29.5	34.9	40.1	48.5	55.9	83.4
6.00	1.1	2.0	3.5	7.2	12.3	21.4	25.5	29.5	36.0	41.9	63.2
7.00	0.9	1.6	2.8	5.7	9.8	17.2	20.5	23.7	29.0	33.9	51.5
8.00	0.8	1.4	2.4	4.9	8.5	15.0	17.9	20.7	25.5	29.8	45.5
9.00	0.7	1.2	2.0	4.2	7.2	12.7	15.2	17.7	21.8	25.4	39.2
10.00	0.6	1.0	1.7	3.5	6.0	10.5	12.5	14.6	18.0	21.1	32.4

第七章 基岩地震动加速度时程合成

影响场地地震动的主要因素有地震震源特性、地震波从震源传播至场地的途径及场地条件。前面在对区域地震地质构造、地震活动性、潜在震源区划分及活动性参数确定和区域基岩地震动峰值加速度和反应谱衰减关系研究的基础上,采用地震危险性的概率分析方法给出了基岩地震动峰值加速度和反应谱值,这一结果已包含了地震震源特性、地震波从震源传播至场地的途径对场地地震动的影响。本章以地震危险性分析得到的基岩峰值加速度和反应谱作为人工合成地震动的目标函数,结合适应目标区地震活动特征的强度包络函数,采用拟合目标函数的三角级数叠加法合成基岩地震动加速度时程,作为场地土层地震分析的地震动输入。

7.1 基本原理和方法

三角级数叠加法是 GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》宣贯教材所推荐的合成基岩地震动加速度时程的方法。其基本思路是用一个三角级数构造一个零均值的平稳高斯过程,然后乘以强度包络函数,得到非平稳的基岩加速度时程。

该方法的主要思路为:

(1) 用反应谱与功率谱的转换关系,将目标反应谱转换成相应的功率谱 $S(\omega_k)$ 。转换关系为:

$$S(\omega_k) = \frac{\xi}{\pi \omega_k} [S_a(\omega_k)]^2 \frac{1}{\ln \left[\frac{-\pi}{\omega_k T_d} \ln(1-P) \right]} \quad (7.1-1)$$

其中 $S_a(\omega_k)$ 为给定的目标反应谱在频率 ω_k 处的幅值, ξ 为阻尼比, P 为反应不超过目标反应谱值的概率, T_d 为地震动总持续时间。

(2) 用三角级数叠加法,生成零均值的平稳高斯过程:

$$X(t) = \sum_0^n C_k [\cos(\omega_k t + \varphi_k)] \quad (7.1-2)$$

其中: $C_k = \sqrt{4S_a(\omega_k)\Delta\omega}$; $\omega_k = 2\pi k/T_d$; φ_k 表示初相角,为 $(0, 2\pi)$ 区间内均匀分布的随机量。

(3) 将平稳高斯过程 $X(t)$ 乘以非平稳强度包络函数 $f(t)$, 得到一个非平稳的初始加速度时程:

$$A(t) = f(t)X(t) \quad (7.1-3)$$

强度包络函数的形式为:

$$f(t) = \begin{cases} (t/T_1)^2 & 0 \leq t < T_1 \\ 1 & T_1 \leq t < T_2 \\ \exp[-c(t-T_2)] & T_2 \leq t < T_d \end{cases} \quad (7.1-4)$$

其中 $(0, T_1)$ 为振幅上升段, (T_1, T_2) 为振幅平稳段, (T_2, T_d) 为振幅衰减段;
 c 为振幅衰减系数。强度包络曲线的示意图见图 7.1-1。

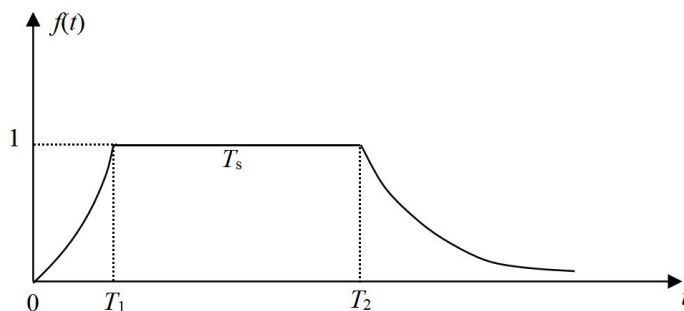


图 7.1-1 强度包络曲线示意图

(4) 由于上面的反应谱与功率谱转换关系是近似的, 平稳高斯过程的傅氏幅值谱与功率谱的关系是概率平均的, 所以按初始时程计算出来的反应谱一般只能近似于目标谱, 符合的程度也是概率平均的。为了提高拟合精度, 还需要进行迭代调整。调整的手段包括傅氏幅值谱调整和相位调整。

(5) 经过反复调整使合成的地震动加速度时程的反应谱在给定周期点的值与目标谱值间的误差小于给定的容许误差。

7.2 基岩加速度时程合成参数的确定

地震动持时参数的确定, 采用地震危险性分析结果与地震动时程合成过程中地震动能量匹配的原则, 即以地震危险性分析所得到等效震级与距离, 以及由地震动持时参数统计经验所得的地震动持时作为参考, 在地震动时程合成过程中综合考虑地震动反应谱与强度包络参数之间的匹配情况, 调整地震动持时参数值, 最终综合确定。所采用的经验公式为:

(1) 总持时时间 T_d

本项目采用概率地震危险性分析软件给出的等效震级和等效距离来确定持续时间。地震动持续时间的计算采用王亚勇给出的经验公式:

$$\lg T_d = -1.555 + 0.165M + 0.831 \cdot \lg(R + 30) + 0.148T_s \quad (7.2-1)$$

式中 T_s 为场地卓越周期, 在此取 0.1 s。

(2) 振幅上升段持续时间和平稳段时间的确定, 采用大崎顺彦公式:

$$T_1 = \begin{cases} 0.16T_d & M = 6 \\ 0.12T_d & M = 7 \\ 0.08T_d & M = 8 \end{cases} \quad T_2 = \begin{cases} 0.54T_d & M = 6 \\ 0.50T_d & M = 7 \\ 0.46T_d & M = 8 \end{cases} \quad (7.2-2)$$

(3) 峰值衰减系数 c ，按振动结束时振幅为峰值的 5% 来确定：

$$c = \frac{\ln 0.05}{T_2 - T_d} \quad (7.2-3)$$

应用上述公式计算并结合工程经验，并咨询相关专家确定了目标区场地不同概率水平下的基岩地震动强度包络函数参数（表 7.2-1）。

表 7.2-1 基岩地震动时程强度包络参数表

年超越概率	$T_1(s)$	$T_2(s)$	$T_d(s)$	c
2×10^{-2}	4.0	14.0	28.0	0.20
1×10^{-2}	4.0	16.0	32.0	0.20
5×10^{-3}	5.0	18.0	36.0	0.18
2×10^{-3}	5.0	18.0	36.0	0.18
1×10^{-3}	5.0	20.0	40.0	0.18
5×10^{-4}	5.0	20.0	40.0	0.16
4×10^{-4}	6.0	22.0	44.0	0.16
3.3×10^{-4}	6.0	22.0	44.0	0.16
2.5×10^{-4}	6.0	24.0	48.0	0.14
2×10^{-4}	6.0	24.0	48.0	0.14
1×10^{-4}	6.0	26.0	50.0	0.12

7.3 基岩地震动加速度时程合成

合成目标区场地基岩地震动时程时，年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 所对应的目标加速度峰值和反应谱取第六章地震危险性分析得到的结果。结合 6.2 节确定的参数，每一概率水平下分别合成了 10 条相互独立地震动时程，各概率下 10 个相位相关系数如表 7.3-1～表 7.3-11 所示，表中结果显示，每概率下不同相位地震动时程间的相关系数均小于 0.16，并对合成的每一条地震动时程采用《地震动的谱分析入门》（大崎顺彦）中推荐的方法进行了基线修正。对 21 个钻孔进行人工合成地震动，由于篇幅有限，给出 ZK01 典型控制点的一个样本的基岩时程合成情况，如图 7.3-1～图 7.3-11 所示。

为保证合成地震动时拟合目标反应谱的精度，在 0.04 s～10 s 内选取了 64 个目标反应谱控制点。在合成过程中，采用逐步逼近目标谱的办法，使合成的加速度时程精确满足基岩加速度峰值，近似满足基岩加速度反应谱。本次工作中，拟合目标加速度反应谱的相对误差取为小于 5%。为合成时程的时间步长均为 0.02 s，离散时间点数为 4096。以下是目标区代表性钻孔年超越概率 2×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 4×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 2.5×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 一个代表性加速度时程样本反应谱与目标反应谱之间的拟合图及所合成的时程代表

性样本（图 7.3-1～图 7.3-11）。合成地震动的加速度时程所对应的速度和位移时程无基线漂移，满足规范要求。

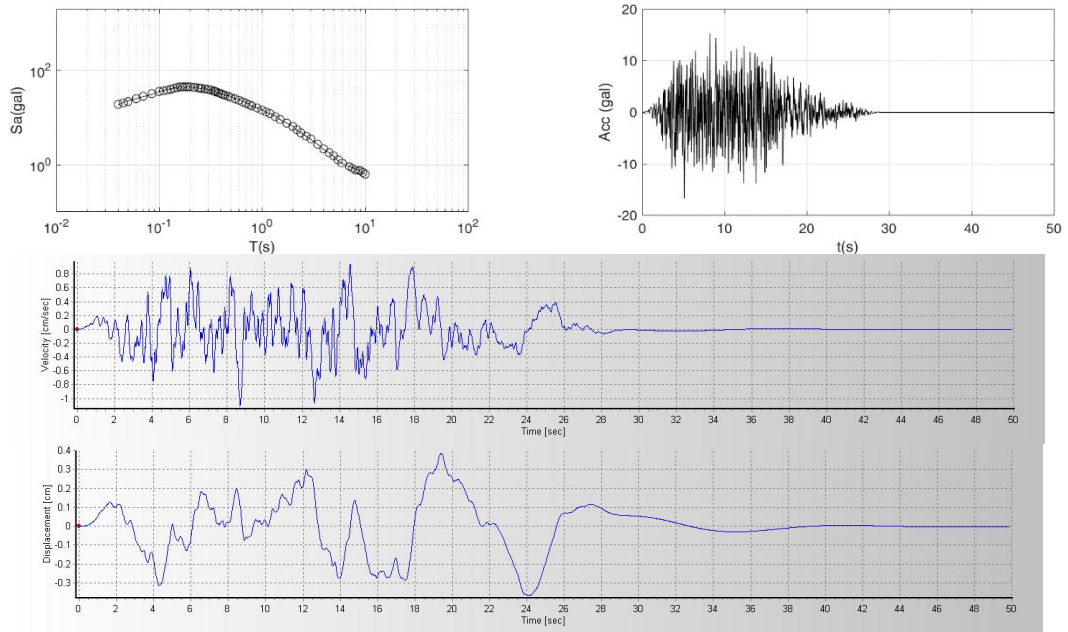


图 7.3-1 年超越概率 2×10^{-2} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

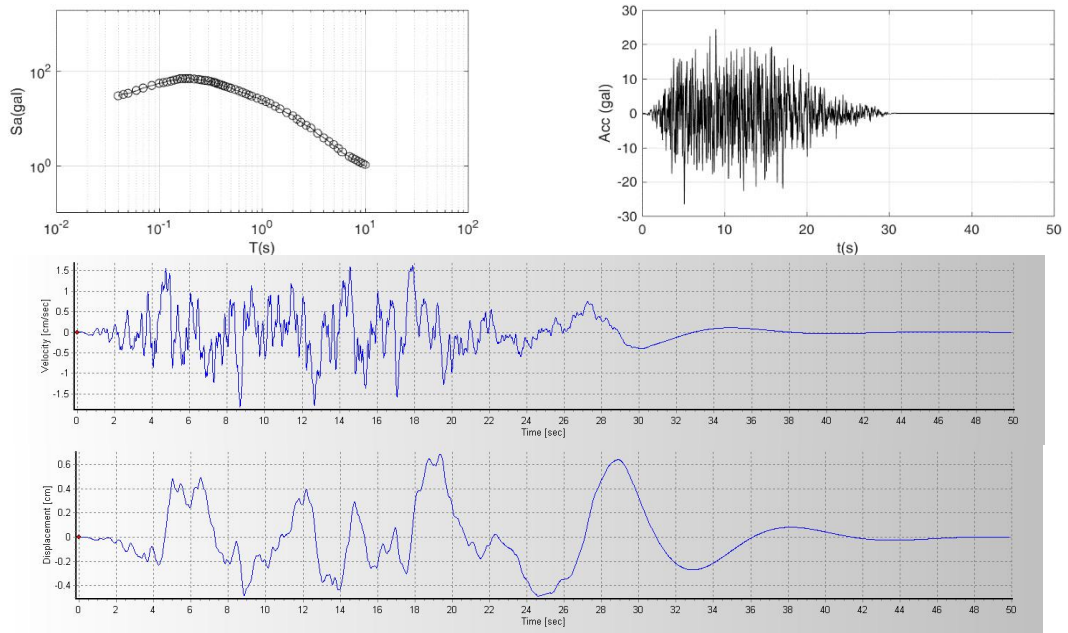
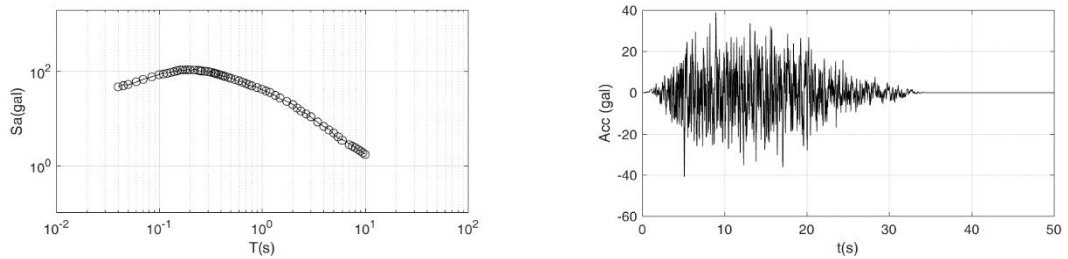


图 7.3-2 年超越概率 1×10^{-2} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合



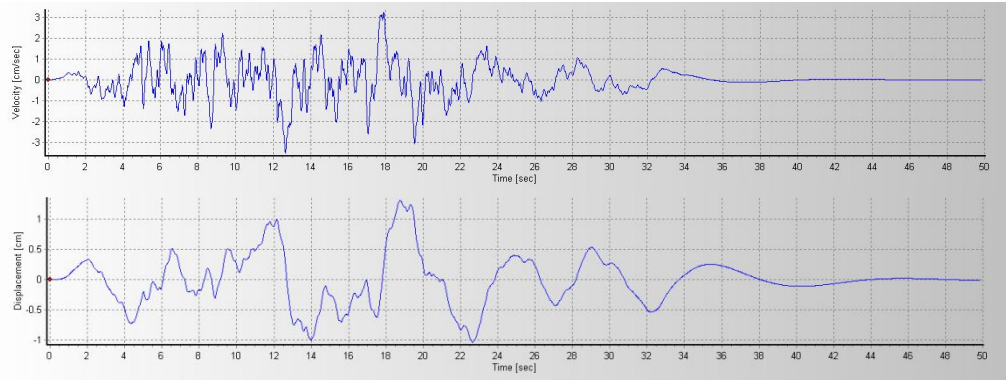


图 7.3-3 年超越概率 5×10^{-3} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

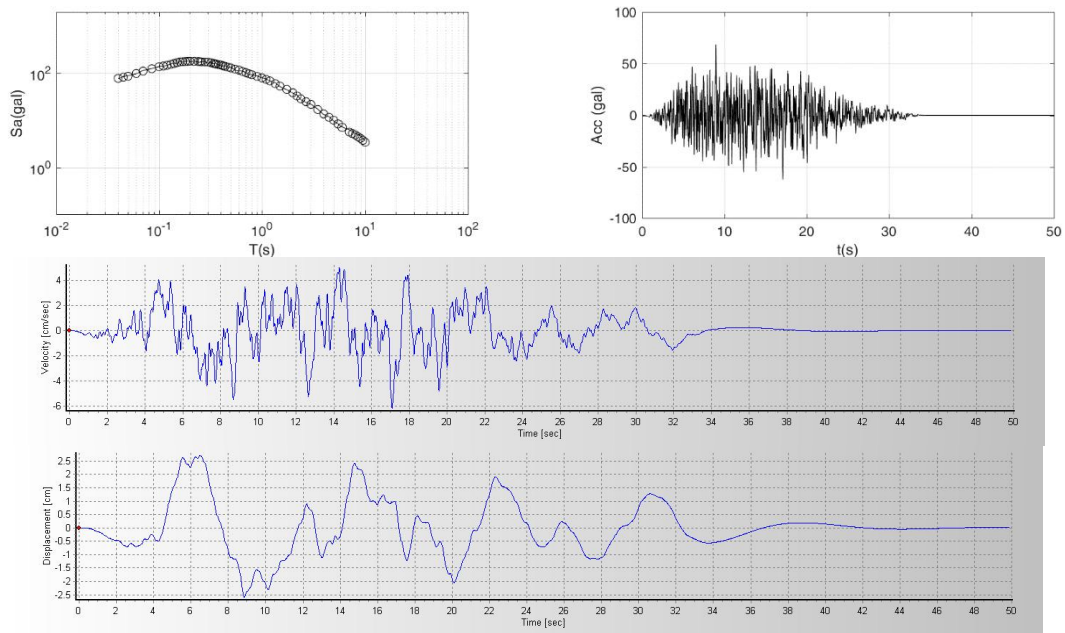


图 7.3-4 年超越概率 2×10^{-3} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

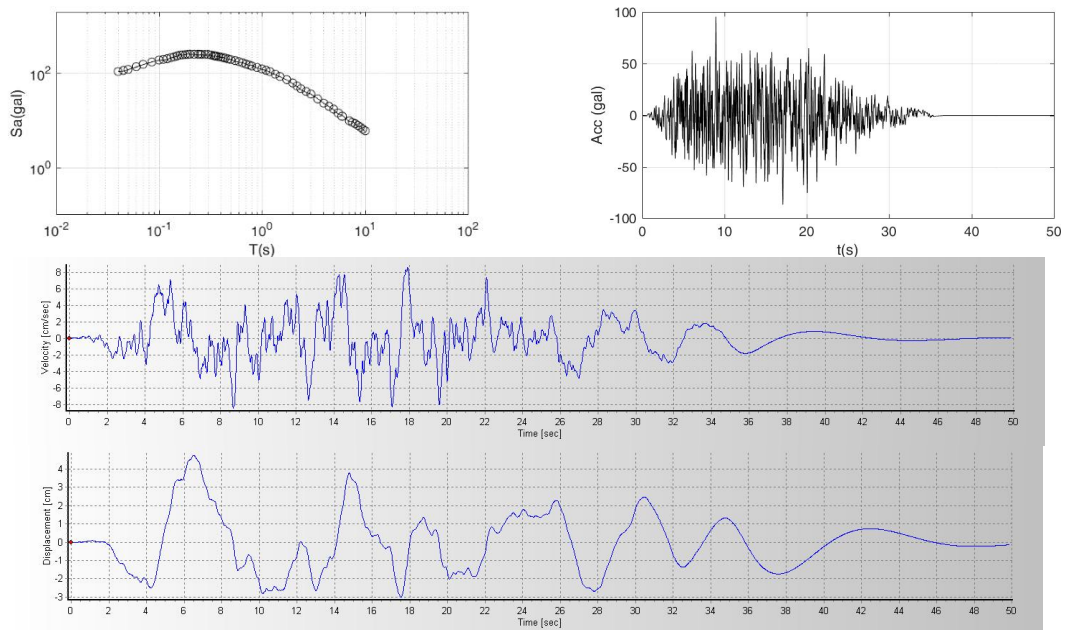


图 7.3-5 年超越概率 1×10^{-3} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

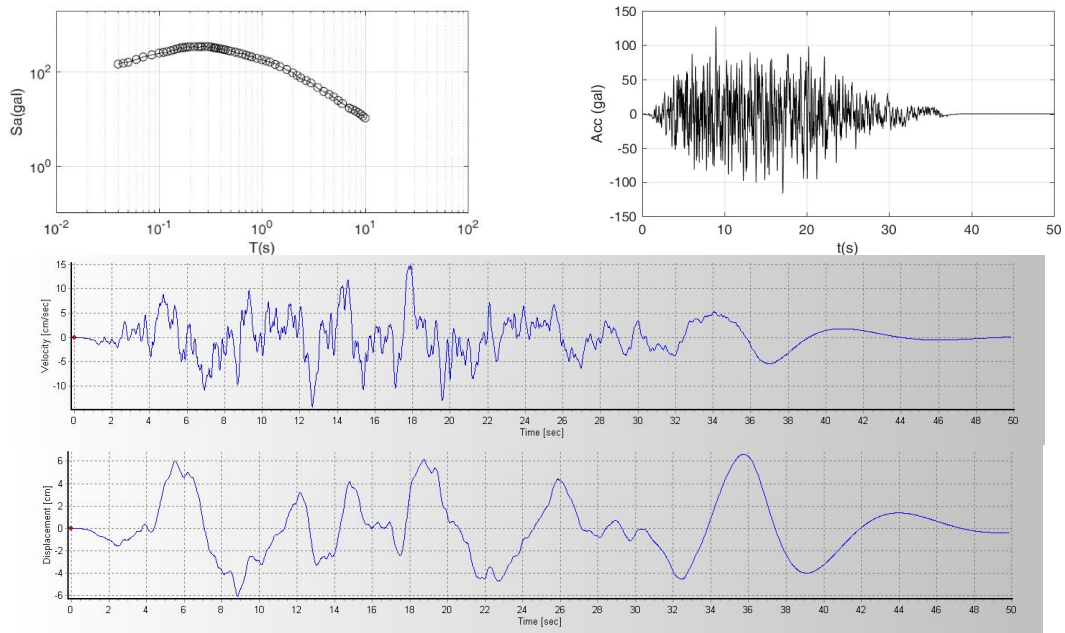


图 7.3-6 年超越概率 5×10^{-4} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

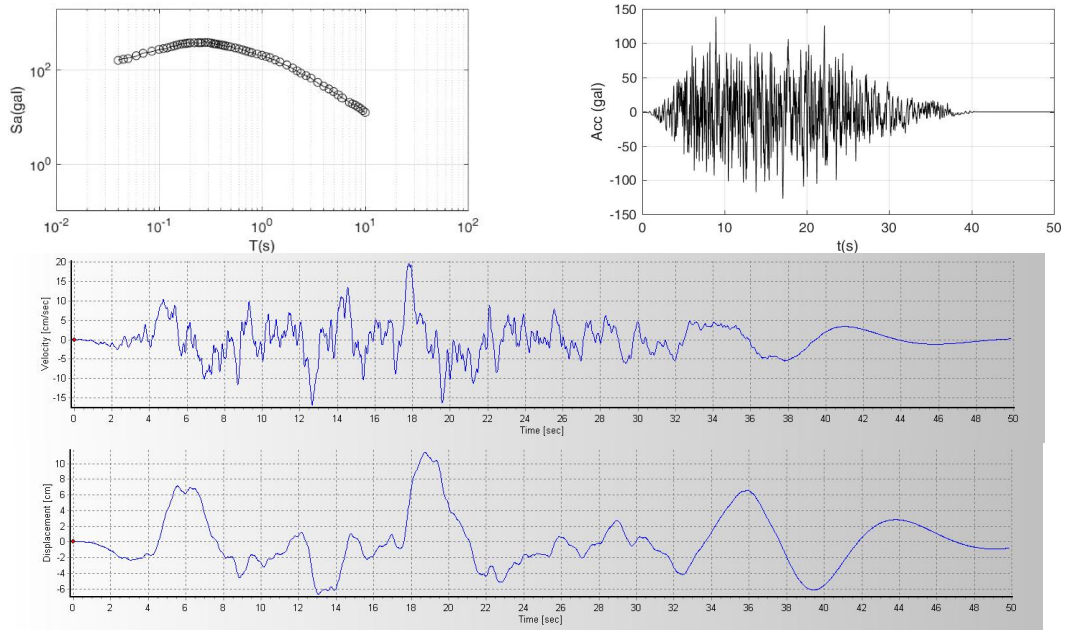
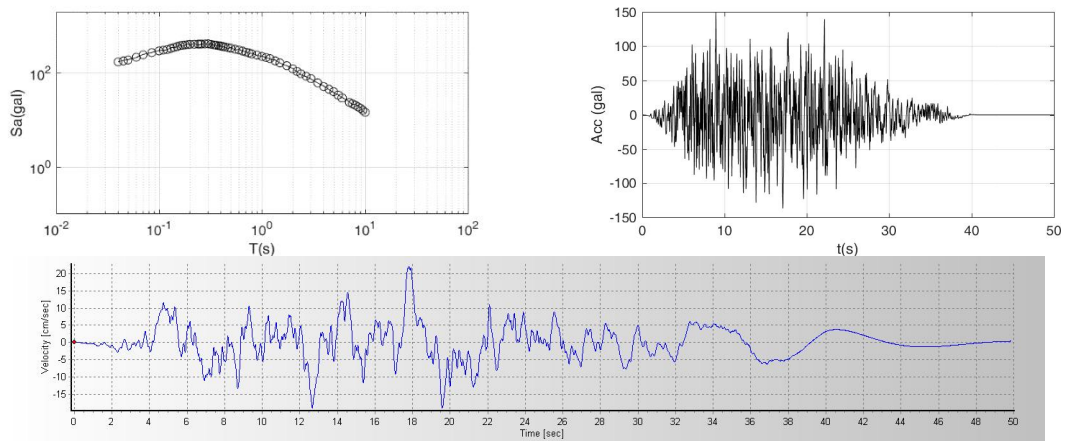


图 7.3-7 年超越概率 4×10^{-4} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合



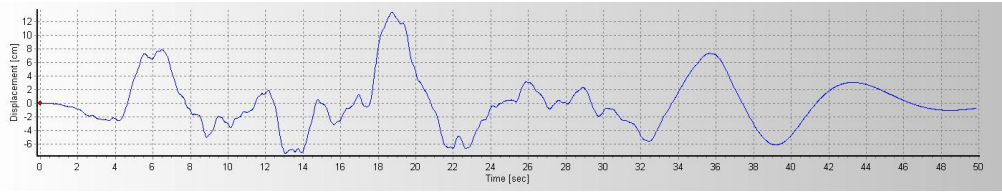


图 7.3-8 年超越概率 3.3×10^{-4} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

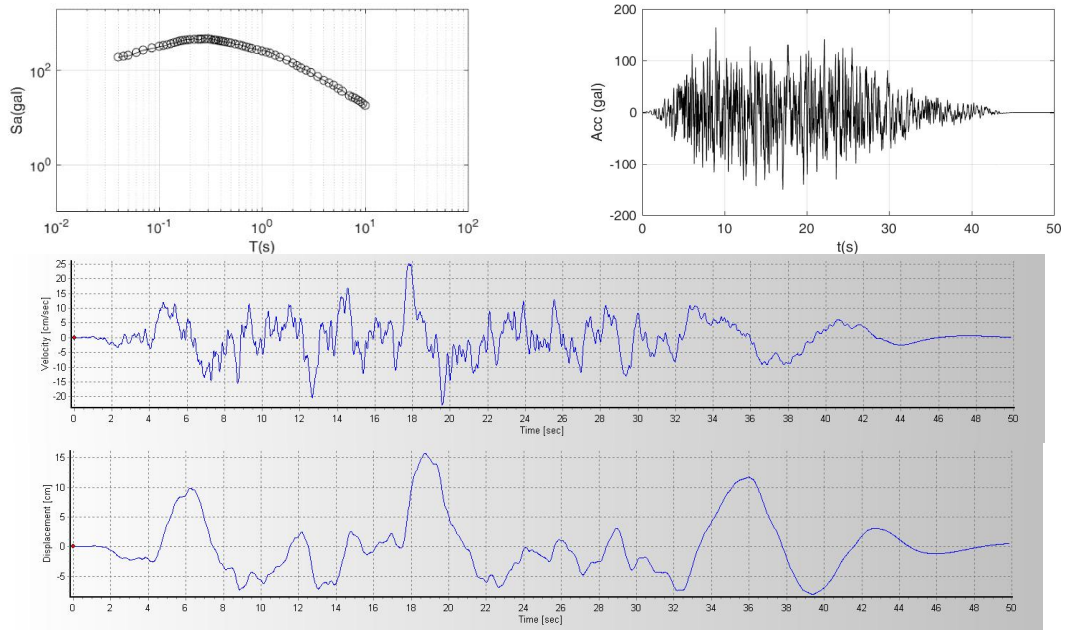


图 7.3-9 年超越概率 2.5×10^{-4} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

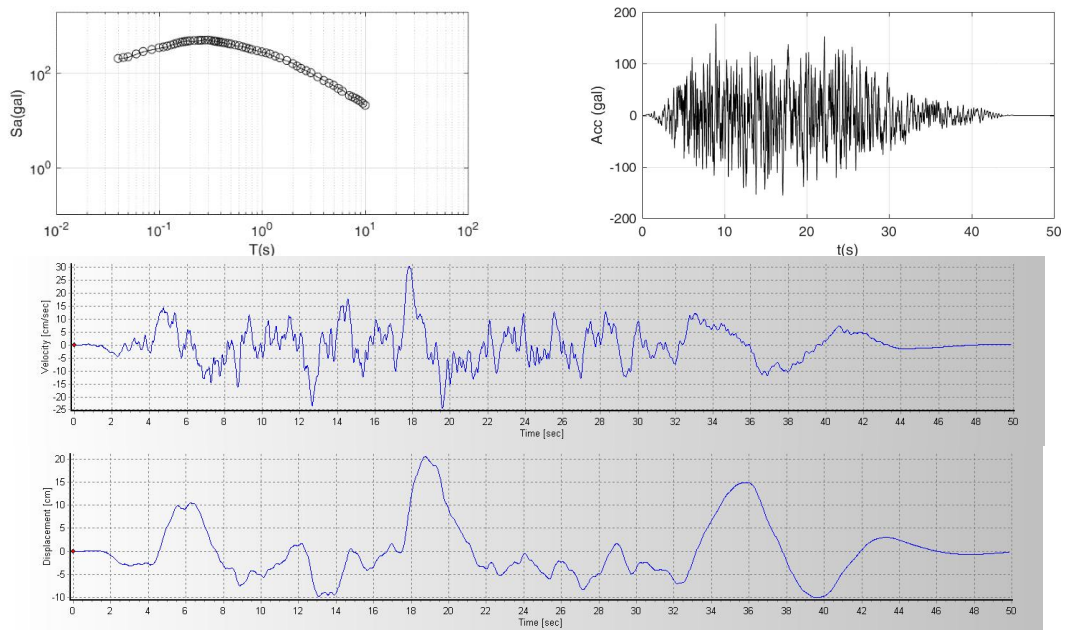
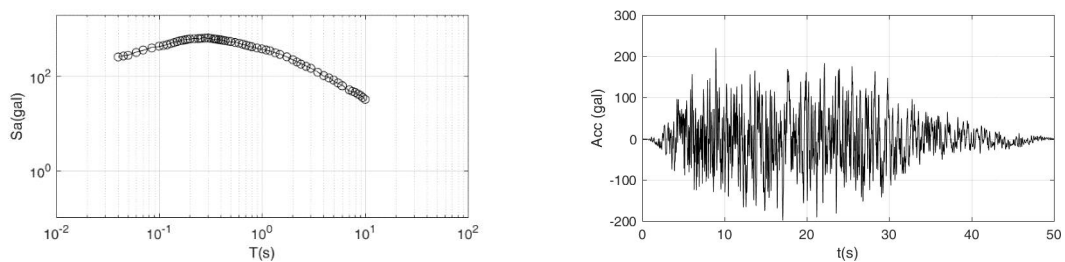


图 7.3-10 年超越概率 2×10^{-4} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合



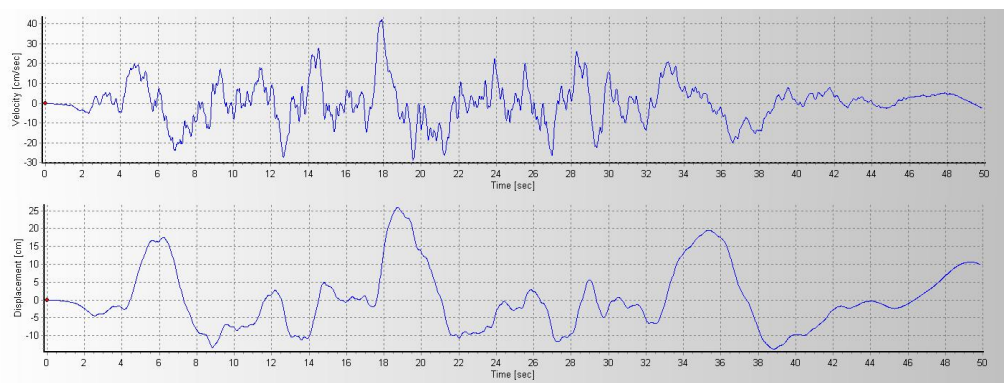


图 7.3-11 年超越概率 1×10^{-4} 人工合成基岩时程代表性样本及其反应谱拟合

表 7.3-1 年超越概率 2×10^{-2} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.001	0.011	0.079	0.02	-0.01	0.019	0.005	-0.026	-0.03
相位 2	-0.001	1	-0.015	-0.048	-0.028	-0.035	-0.022	0.057	-0.005	0.012
相位 3	0.011	-0.015	1	-0.082	0.03	0.049	0.05	0.016	-0.004	0.018
相位 4	0.079	-0.048	-0.082	1	0.058	0.094	0.022	-0.028	0.064	-0.051
相位 5	0.02	-0.028	0.03	0.058	1	0.021	0.047	0.009	-0.013	-0.02
相位 6	-0.01	-0.035	0.049	0.094	0.021	1	0.024	0.03	0.005	-0.029
相位 7	0.019	-0.022	0.05	0.022	0.047	0.024	1	-0.059	-0.01	-0.029
相位 8	0.005	0.057	0.016	-0.028	0.009	0.03	-0.059	1	-0.005	0.038
相位 9	-0.026	-0.005	-0.004	0.064	-0.013	0.005	-0.01	-0.005	1	0.02
相位 10	-0.03	0.012	0.018	-0.051	-0.02	-0.029	-0.029	0.038	0.02	1

表 7.3-2 年超越概率 1×10^{-2} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.023	0.007	0.081	0.04	0.014	-0.007	0.005	-0.019	-0.05
相位 2	-0.023	1	-0.004	-0.032	0	-0.026	-0.026	0.018	0.012	0.014
相位 3	0.007	-0.004	1	-0.087	0.033	0.04	0.05	0.015	-0.011	0.005
相位 4	0.081	-0.032	-0.087	1	0.023	0.06	-0.013	0.014	0.047	-0.035
相位 5	0.04	0	0.033	0.023	1	0.036	0.037	0.044	0.022	-0.011
相位 6	0.014	-0.026	0.04	0.06	0.036	1	0.01	-0.008	0.012	-0.03
相位 7	-0.007	-0.026	0.05	-0.013	0.037	0.01	1	-0.023	-0.014	-0.008
相位 8	0.005	0.018	0.015	0.014	0.044	-0.008	-0.023	1	0.009	0.045
相位 9	-0.019	0.012	-0.011	0.047	0.022	0.012	-0.014	0.009	1	0.014
相位 10	-0.05	0.014	0.005	-0.035	-0.011	-0.03	-0.008	0.045	0.014	1

表 7.3-3 年超越概率 5×10^{-3} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	0.005	0.003	0.066	0.033	-0.008	-0.008	0.008	-0.023	-0.061
相位 2	0.005	1	-0.017	-0.007	0.02	-0.022	-0.008	0.023	0.013	-0.007
相位 3	0.003	-0.017	1	-0.03	0.015	0.033	0.037	-0.001	-0.037	0.01
相位 4	0.066	-0.007	-0.03	1	0.055	0.073	0.011	-0.016	0.06	-0.033
相位 5	0.033	0.02	0.015	0.055	1	0.017	0.033	-0.014	-0.011	-0.05
相位 6	-0.008	-0.022	0.033	0.073	0.017	1	-0.004	0.016	0.005	-0.031
相位 7	-0.008	-0.008	0.037	0.011	0.033	-0.004	1	-0.014	-0.026	-0.029
相位 8	0.008	0.023	-0.001	-0.016	-0.014	0.016	-0.014	1	0.012	0.086
相位 9	-0.023	0.013	-0.037	0.06	-0.011	0.005	-0.026	0.012	1	0.021
相位 10	-0.061	-0.007	0.01	-0.033	-0.05	-0.031	-0.029	0.086	0.021	1

表 7.3-4 年超越概率 2×10^{-3} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	0.009	0.001	0.077	0.017	0.009	0.001	0.004	-0.007	-0.066
相位 2	0.009	1	0.005	-0.013	0.028	-0.046	0.019	0.049	0.015	0.001
相位 3	0.001	0.005	1	-0.089	0	0.006	0.086	0.004	-0.048	-0.001
相位 4	0.077	-0.013	-0.089	1	0.1	0.067	-0.037	-0.012	0.044	-0.052
相位 5	0.017	0.028	0	0.1	1	0.014	0.05	0.005	-0.001	-0.049
相位 6	0.009	-0.046	0.006	0.067	0.014	1	0	-0.004	0	-0.025
相位 7	0.001	0.019	0.086	-0.037	0.05	0	1	0.011	-0.032	-0.026
相位 8	0.004	0.049	0.004	-0.012	0.005	-0.004	0.011	1	-0.008	0.084
相位 9	-0.007	0.015	-0.048	0.044	-0.001	0	-0.032	-0.008	1	0.024
相位 10	-0.066	0.001	-0.001	-0.052	-0.049	-0.025	-0.026	0.084	0.024	1

表 7.3-5 年超越概率 1×10^{-3} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.021	0.001	0.047	0.034	-0.012	-0.005	0.03	0.004	-0.081
相位 2	-0.021	1	-0.007	0.01	0.006	-0.066	-0.041	0.04	-0.014	-0.007
相位 3	0.001	-0.007	1	-0.056	0.012	-0.006	0.041	0.047	-0.085	0.007
相位 4	0.047	0.01	-0.056	1	0.094	0.056	-0.017	-0.014	0.036	-0.033
相位 5	0.034	0.006	0.012	0.094	1	0.035	0.052	0.019	0.001	-0.031
相位 6	-0.012	-0.066	-0.006	0.056	0.035	1	-0.003	-0.048	-0.014	-0.044
相位 7	-0.005	-0.041	0.041	-0.017	0.052	-0.003	1	-0.002	-0.007	-0.024
相位 8	0.03	0.04	0.047	-0.014	0.019	-0.048	-0.002	1	-0.011	0.067
相位 9	0.004	-0.014	-0.085	0.036	0.001	-0.014	-0.007	-0.011	1	-0.029
相位 10	-0.081	-0.007	0.007	-0.033	-0.031	-0.044	-0.024	0.067	-0.029	1

表 7.3-6 年超越概率 5×10^{-4} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.014	-0.007	0.055	0.01	-0.014	-0.007	0.04	-0.019	-0.076
相位 2	-0.014	1	0.007	0.02	0.024	-0.055	-0.014	0.052	-0.017	-0.011
相位 3	-0.007	0.007	1	-0.053	0.005	-0.003	0.055	0.074	-0.062	-0.001
相位 4	0.055	0.02	-0.053	1	0.088	0.053	-0.03	-0.015	0.034	-0.03
相位 5	0.01	0.024	0.005	0.088	1	0.04	0.05	0.033	0.025	-0.02
相位 6	-0.014	-0.055	-0.003	0.053	0.04	1	0.018	-0.056	-0.011	-0.044
相位 7	-0.007	-0.014	0.055	-0.03	0.05	0.018	1	0.034	-0.025	-0.013
相位 8	0.04	0.052	0.074	-0.015	0.033	-0.056	0.034	1	-0.012	0.064
相位 9	-0.019	-0.017	-0.062	0.034	0.025	-0.011	-0.025	-0.012	1	-0.03
相位 10	-0.076	-0.011	-0.001	-0.03	-0.02	-0.044	-0.013	0.064	-0.03	1

表 7.3-7 年超越概率 4×10^{-4} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.017	0.007	0.05	0.023	-0.027	-0.018	0.058	-0.045	-0.053
相位 2	-0.017	1	-0.024	-0.011	0.041	-0.055	0.022	0.032	-0.066	0.001
相位 3	0.007	-0.024	1	-0.044	0.012	0.018	0.045	0.058	-0.028	0.035
相位 4	0.05	-0.011	-0.044	1	0.099	0.056	0.008	-0.016	0.026	-0.006
相位 5	0.023	0.041	0.012	0.099	1	0.046	0.078	0.018	0.002	-0.048
相位 6	-0.027	-0.055	0.018	0.056	0.046	1	0.032	-0.032	0.008	-0.007
相位 7	-0.018	0.022	0.045	0.008	0.078	0.032	1	0.009	0.007	0.011
相位 8	0.058	0.032	0.058	-0.016	0.018	-0.032	0.009	1	-0.045	0.047
相位 9	-0.045	-0.066	-0.028	0.026	0.002	0.008	0.007	-0.045	1	-0.017
相位 10	-0.053	0.001	0.035	-0.006	-0.048	-0.007	0.011	0.047	-0.017	1

表 7.3-8 年超越概率 3.3×10^{-4} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.02	0.004	0.048	0.036	-0.024	-0.02	0.059	-0.027	-0.053
相位 2	-0.02	1	-0.01	-0.014	0.036	-0.055	0.019	0.045	-0.074	-0.004
相位 3	0.004	-0.01	1	-0.027	0.013	0.05	0.073	0.043	-0.016	0.022
相位 4	0.048	-0.014	-0.027	1	0.122	0.055	-0.004	-0.016	0.035	0.013
相位 5	0.036	0.036	0.013	0.122	1	0.032	0.055	0.025	-0.021	-0.029
相位 6	-0.024	-0.055	0.05	0.055	0.032	1	0.027	-0.033	-0.013	-0.005
相位 7	-0.02	0.019	0.073	-0.004	0.055	0.027	1	0.014	0.007	-0.015
相位 8	0.059	0.045	0.043	-0.016	0.025	-0.033	0.014	1	-0.033	0.054
相位 9	-0.027	-0.074	-0.016	0.035	-0.021	-0.013	0.007	-0.033	1	-0.04
相位 10	-0.053	-0.004	0.022	0.013	-0.029	-0.005	-0.015	0.054	-0.04	1

表 7.3-9 年超越概率 2.5×10^{-4} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.009	-0.003	0.052	0.028	-0.015	-0.009	0.052	-0.026	-0.036
相位 2	-0.009	1	-0.027	-0.028	0.042	-0.025	0.016	0.052	-0.075	0.021
相位 3	-0.003	-0.027	1	-0.036	0.043	0.015	0.043	0.053	-0.017	0.024
相位 4	0.052	-0.028	-0.036	1	0.071	0.041	-0.022	-0.02	0.032	0.026
相位 5	0.028	0.042	0.043	0.071	1	0.027	0.04	0.042	-0.019	-0.001
相位 6	-0.015	-0.025	0.015	0.041	0.027	1	0.031	-0.039	-0.002	-0.027
相位 7	-0.009	0.016	0.043	-0.022	0.04	0.031	1	0.021	0.017	-0.04
相位 8	0.052	0.052	0.053	-0.02	0.042	-0.039	0.021	1	-0.043	0.081
相位 9	-0.026	-0.075	-0.017	0.032	-0.019	-0.002	0.017	-0.043	1	-0.018
相位 10	-0.036	0.021	0.024	0.026	-0.001	-0.027	-0.04	0.081	-0.018	1

表 7.3-10 年超越概率 2×10^{-4} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.015	-0.015	0.045	0.036	-0.041	-0.015	0.043	-0.016	-0.039
相位 2	-0.015	1	-0.011	-0.027	0.044	-0.042	0.014	0.056	-0.065	-0.004
相位 3	-0.015	-0.011	1	-0.045	0.044	0.007	0.056	0.061	-0.026	0.027
相位 4	0.045	-0.027	-0.045	1	0.07	0.016	0.012	-0.031	0.044	0.013
相位 5	0.036	0.044	0.044	0.07	1	-0.002	0.057	0.049	-0.016	-0.023
相位 6	-0.041	-0.042	0.007	0.016	-0.002	1	0.044	-0.05	0.004	-0.023
相位 7	-0.015	0.014	0.056	0.012	0.057	0.044	1	0.001	0.006	0.006
相位 8	0.043	0.056	0.061	-0.031	0.049	-0.05	0.001	1	-0.041	0.074
相位 9	-0.016	-0.065	-0.026	0.044	-0.016	0.004	0.006	-0.041	1	-0.031
相位 10	-0.039	-0.004	0.027	0.013	-0.023	-0.023	0.006	0.074	-0.031	1

表 7.3-11 年超越概率 1×10^{-4} 各相位地震动时程间相关系数

相位	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
相位 1	1	-0.014	-0.011	0.034	0.036	0.011	-0.048	0.035	0.032	-0.038
相位 2	-0.014	1	-0.012	-0.032	0.064	-0.057	0.144	0.052	-0.007	0.031
相位 3	-0.011	-0.012	1	-0.039	0.053	0.046	0.058	0.054	-0.015	0.039
相位 4	0.034	-0.032	-0.039	1	0.078	0.02	0.036	-0.023	0.078	0.03
相位 5	0.036	0.064	0.053	0.078	1	0.01	0.039	0.039	0.041	-0.031
相位 6	0.011	-0.057	0.046	0.02	0.01	1	0.001	-0.027	-0.058	-0.039
相位 7	-0.048	0.144	0.058	0.036	0.039	0.001	1	0.066	0.008	0.028
相位 8	0.035	0.052	0.054	-0.023	0.039	-0.027	0.066	1	0.08	0.08
相位 9	0.032	-0.007	-0.015	0.078	0.041	-0.058	0.008	0.08	1	-0.008
相位 10	-0.038	0.031	0.039	0.03	-0.031	-0.039	0.028	0.08	-0.008	1

第八章 场地土层地震反应计算

8.1 土层地震反应分析

震害调查及强震记录表明,地表覆盖土层对地震地面运动的幅值、频谱及强振动持续时间等有重要影响。在多数情形下,地表土层对地震波有放大作用;但在特殊情况下,如地表有较强硬的持力层,而下部含有软弱夹层,则软弱夹层可能会起某种减震作用。因此,对目标区进行土层地震反应分析是必要的。目标区场地勘察结果表明,目标区范围内介质特性变化和地表起伏沿水平面方向并不十分显著,在工作区域范围内土层地震反应可以采用一维等效线性化波动法进行求解。该方法的基本假设是:① 覆盖土层和下卧基岩为力学性质竖向成层变化,横向为均匀的半无限空间;② 地震输入是垂直向上入射的平面剪切波。下面对一维土层地震反应等效线性化波动解法做一简要介绍:

8.1.1 线弹性土层的稳态地震反应

土层模型如图 8.1-1 所示。 $N-1$ 个土层覆盖在基岩均匀半无限空间之上,各覆盖层厚度、介质质量密度和剪切模量分别为 h_n , ρ_n 和 μ_n , $n=1, 2, \dots, N-1$, 下卧基岩半空间的质量密度和剪切模量为 ρ_N 和 μ_N 。各层界面的编号已标示于图 8.1-1 中。采用局部坐标系并将 z 轴的坐标原点设置在各层上界面,正方向垂直向下。设第 N 层(基岩半空间)的入射地震波位移(略去时间因子 $\exp(i\omega t)$,下同)为

$$\mu_n^* = (1 + 2d_n i) \mu_n \quad (8.1-3)$$

式中 d_n 为第 n 层土介质的阻尼比。由于波速 $c_n = \sqrt{\mu_n / \rho_n}$, 波数 $k_n = \omega / c_n$, 亦可通过将 c_n 或 k_n 分别换为 c_n^* 或 k_n^* 获得,

$$\begin{aligned} c_n^* &= c_n \sqrt{1 + 2d_n i} \approx (1 + d_n i) c_n \\ k_n^* &= k_n \sqrt{1 + 2d_n i} \approx (1 - d_n i) k_n \end{aligned} \quad (8.1-4)$$

其中, $k_n = \omega / c_n$, $c_n = \sqrt{\mu_n / \rho_n}$ 分别为第 n 层剪切波波数与波速, E_n 和 F_n 分别为第 n 层介质内上行和下行波波幅系数。求解这一波动问题的关键是传递矩阵概念。所谓传递矩阵就是把任意两层的波幅系数联系起来的矩阵,它可由相邻两层的波幅系数之间的转换关系导出。建立了传递矩阵之后,依据边界条件即可求得问题的解答。

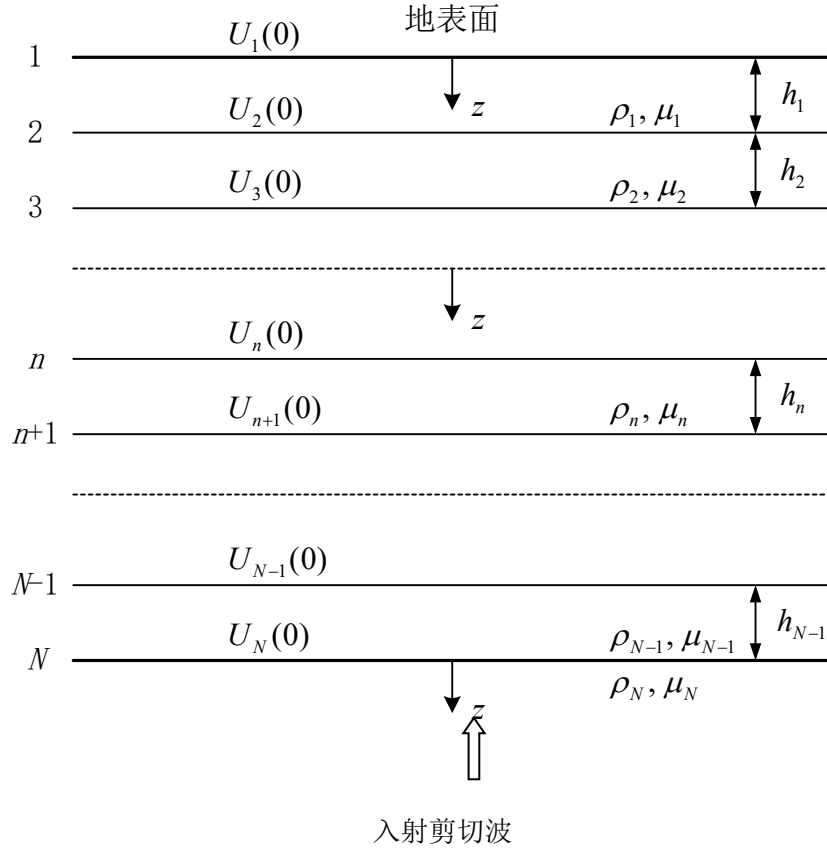


图 8.1-1 土层地震反应分析的一维力学模型

8.1.2 线性滞回阻尼土层的稳态地震反应

当考虑线性滞回阻尼效应时，稳态地震反应可由线弹性土层的稳态解通过简单替换求得。为此，仅需将第 n 层介质的剪切模量 μ_n 换为 μ_n^* 。

$$\mu_n^* = (1 + 2d_n i) \mu_n \quad (8.1-3)$$

式中 d_n 为第 n 层土介质的阻尼比。由于波速 $c_n = \sqrt{\mu_n / \rho_n}$ ，波数 $k_n = \omega / c_n$ ，亦可通过将 c_n 或 k_n 分别换为 c_n^* 或 k_n^* 获得，

$$\begin{aligned} c_n^* &= c_n \sqrt{1 + 2d_n i} \approx (1 + d_n i) c_n \\ k_n^* &= k_n / \sqrt{1 + 2d_n i} \approx (1 - d_n i) k_n \end{aligned} \quad (8.1-4)$$

8.1.3 非线性土层暂态地震反应的等效线性化解法

由于在非线性条件下叠加原理不成立，土层的非线性暂态地震反应不能利用傅里叶变换通过叠加各个频率的稳态解求得。为了应用叠加原理必须引入新的假定，这就是等效线性化的假定。所谓等效线性化就是在总体动力学效应大致相当的意义上用一个等效的剪切模量 $\overline{\mu_n}$ 及等效阻尼比 $\overline{d_n}$ 去替换所有不同应变振幅下

的 μ_n 及 d_n 。由于 $\overline{\mu_n}$ 及 $\overline{\lambda_n}$ 与应变振幅无关，整个问题化为线性问题。因此，实际计算时，先假定每一土层内介质反应的初始等效动力剪切应变，利用上述方法进行反应计算，并计算出相应的土层内中点处介质的剪应变反应的最大值，而后取每一土层内层中点处介质反应的最大剪应变值乘以折减系数（常取 0.65）的值作为该土层中介质的等效剪应变的计算值。比较计算所用等效剪切应变及计算所得等效剪切应变相对应的等效动力剪切模量和滞回阻尼比值，如果它们的相对误差都小于给定的允许误差（这里取 0.05），则认为土体的非线性特性的考虑满足了要求；否则，以最新计算所得等效剪切应变值取代初始等效剪切应变值，并重复上述计算过程，直到相对误差都小于允许误差为止。

8.1.4 场地土层计算模型及动力参数的确定

本工程将对目标区进行场地地震反应分析。目标区场地工程地震条件调查工作提供了目标区的钻孔资料。工程地质钻孔资料包括钻孔深度、土层分层厚度、土层岩性描述等（详见第五章）。此外，还对钻孔进行了现场土层土体剪切波速的测量（详见第五章），工程地质钻孔的深度达到剪切波速大于等于 500 m/s 处。从钻孔中取得部分有代表性的土层原状土样进行了非线性特征试验，获得了土体的非线性特征数据，包括初始剪切模量、剪切模量比与剪应变关系曲线、阻尼比与剪应变关系曲线（详见第五章），对同一土类 3 m~5 m 的动力学参数进行了统计分析，粉质粘土、粗砂等给出了不同埋深不同土类总计 13 组动力参数，杂填土和基岩参数使用中国地震局行业标准中推荐的值，如表 8.1-22 所示。目标区场地有关工程地质资料表明，工程场地介质特性变化及地形变化沿水平方向并不显著，因此，根据以上资料，土动力学参数选取采用同一类土，埋深就近原则，建立了各钻孔的场地土层地震反应一维计算模型，见表 8.1-1~表 8.1-21 所示。

表 8.1-1 钻孔 ZK1 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	151	0.5	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	109	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	113	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	114	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	121	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	127	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	115	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	120	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	141	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	156	9.5	1.88	1
11	粉质黏土	173	11	1.96	2

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
12	粉质黏土	174	12	1.96	2
13	粉质黏土	195	13	1.96	2
14	粉质黏土	184	14	1.96	2
15	粉质黏土	196	15	1.96	2
16	粉质黏土	196	16	2	4
17	粉质黏土	210	17	2	4
18	粉质黏土	225	18	2	4
19	粉质黏土	285	19	2	4
20	粉质黏土	286	20	2	4
21	粉质黏土	314	21	1.99	5
22	粉质黏土	315	22	1.99	5
23	粗砂	315	23	1.98	6
24	粗砂	350	24	1.98	6
25	粗砂	393	25	1.98	6
26	片麻岩	627	*	2.2	15

表 8.1-2 钻孔 ZK2 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	108	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	113	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	109	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	121	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	124	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	130	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	131	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	137	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	132	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	128	10	1.88	1
11	淤泥粉质黏土	194	10.4	1.91	3
12	粉质黏土	195	12	1.96	2
13	粉质黏土	207	13	1.96	2
14	粉质黏土	207	14	1.96	2
15	粉质黏土	208	15	1.96	2
16	粉质黏土	208	16	2	4
17	粉质黏土	208	17	2	4
18	粉质黏土	208	18	2	4
19	粉质黏土	222	19	2	4
20	粉质黏土	222	20	2	4
21	粉质黏土	222	21	1.99	5
22	粉质黏土	222	22	1.99	5

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
23	粉质黏土	222	23	1.99	5
24	粉质黏土	238	24	1.99	5
25	粉质黏土	278	25	1.99	5
26	粉质黏土	278	26	2.01	7
27	粉质黏土	278	27	2.01	7
28	粉质黏土	303	28	2.01	7
29	粉质黏土	303	29	2.01	7
30	粗砂	370	30	2.01	8
31	粗砂	370	31	2.01	10
32	粗砂	417	32	2.01	10
33	片麻岩	555	*	2.2	15

表 8.1-3 钻孔 ZK3 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	111	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	115	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	112	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	121	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	123	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	117	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	117	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	118	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	114	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	127	10	1.88	1
11	粉质黏土	183	11	1.96	2
12	粉质黏土	184	12	1.96	2
13	粉质黏土	195	13	1.96	2
14	粉质黏土	221	14	1.96	2
15	粉质黏土	221	15	1.96	2
16	粉质黏土	221	16	2	4
17	粉质黏土	221	17	2	4
18	粉质黏土	255	18	2	4
19	粉质黏土	256	19	2	4
20	粉质黏土	256	20	2	4
21	粉质黏土	256	21	1.99	5
22	粉质黏土	256	22	1.99	5
23	粉质黏土	238	23	1.99	5
24	粉质黏土	256	24	1.99	5
25	粉质黏土	256	25	1.99	5
26	粉质黏土	278	26	2.01	7

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
27	粉质黏土	278	27	2.01	7
28	粉质黏土	303	28	2.01	7
29	粉质黏土	303	29	2.01	7
30	粉质黏土	303	29.5	2.01	7
31	粗砂	333	31	2.01	10
32	粗砂	333	32	2.01	10
33	粗砂	476	33	2.01	10
34	片麻岩	555	*	2.2	15

表 8.1-4 钻孔 ZK4 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	113	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	118	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	113	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	114	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	112	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	113	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	118	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	118	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	127	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	144	10	1.88	1
11	粉质黏土	194	11	1.96	2
12	粉质黏土	195	12	1.96	2
13	粉质黏土	221	13	1.96	2
14	粉质黏土	221	14	1.96	2
15	粉质黏土	221	15	1.96	2
16	粉质黏土	208	16	2	4
17	粉质黏土	222	17	2	4
18	粉质黏土	222	18	2	4
19	粉质黏土	208	19	2	4
20	粉质黏土	222	20	2	4
21	粉质黏土	238	21	1.99	5
22	粉质黏土	238	22	1.99	5
23	粉质黏土	256	23	1.99	5
24	粉质黏土	256	24	1.99	5
25	粉质黏土	256	25	1.99	5
26	粉质黏土	303	26	2.01	7
27	粉质黏土	333	27	2.01	7
28	粉质黏土	333	28	2.01	7
29	粉质黏土	333	29	2.01	7

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
30	粗砂	238	30	2.01	8
31	粗砂	333	31	2.01	10
32	粗砂	417	32	2.01	10
33	粗砂	417	33	2.01	10
34	片麻岩	555	*	2.2	15

表 8.1-5 钻孔 ZK5 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	115	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	112	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	112	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	111	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	118	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	115	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	117	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	121	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	122	8.8	1.88	1
10	粉质黏土	164	10	1.96	2
11	粉质黏土	182	11	1.96	2
12	粉质黏土	183	12	1.96	2
13	粉质黏土	194	13	1.96	2
14	粉质黏土	194	14	1.96	2
15	粉质黏土	207	15	1.96	2
16	粉质黏土	236	16	2	4
17	粉质黏土	237	17	2	4
18	粉质黏土	255	18	2	4
19	粉质黏土	255	19	2	4
20	粉质黏土	255	20	2	4
21	粉质黏土	277	21	1.99	5
22	粉质黏土	302	22	1.99	5
23	粉质黏土	302	23	1.99	5
24	粉质黏土	302	24	1.99	5
25	粉质黏土	302	25	1.99	5
26	粉质黏土	303	26	2.01	7
27	粉质黏土	333	27	2.01	7
28	粉质黏土	333	28	2.01	7
29	粉质黏土	333	29	2.01	7
30	粉质黏土	333	29.5	2.01	7
31	粗砂	333	31	2.01	10
32	粗砂	416	32	2.01	10

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
33	粗砂	416	33	2.01	10
34	片麻岩	554	*	2.2	15

表 8.1-6 钻孔 ZK6 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	100	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	108	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	113	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	116	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	119	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	120	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	126	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	137	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	143	9	1.88	1
10	粉质黏土	183	10	1.96	2
11	粉质黏土	194	11	1.96	2
12	粉质黏土	194	12	1.96	2
13	粉质黏土	195	13	1.96	2
14	粉质黏土	207	14	1.96	2
15	粉质黏土	221	15	1.96	2
16	粉质黏土	221	16	2	4
17	粉质黏土	208	17	2	4
18	粉质黏土	208	18	2	4
19	粉质黏土	208	19	2	4
20	粉质黏土	256	20	2	4
21	粉质黏土	277	21	1.99	5
22	粉质黏土	277	22	1.99	5
23	粉质黏土	277	23	1.99	5
24	粉质黏土	278	24	1.99	5
25	粉质黏土	303	25	1.99	5
26	粉质黏土	303	26	2.01	7
27	粉质黏土	303	27	2.01	7
28	粉质黏土	303	28	2.01	7
29	粉质黏土	333	29	2.01	7
30	粉质黏土	333	30	2.01	7
31	粉质黏土	333	31	2.01	9
32	粉质黏土	333	32	2.01	9
33	粗砂	370	33	2.01	10
34	粗砂	417	34	2.01	10
35	粗砂	417	35	2.01	10

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
36	粗砂	476	36	2.01	12
37	粗砂	476	37	2.01	12
38	粗砂	476	38	2.01	12
39	片麻岩	666	*	2.2	15

表 8.1-7 钻孔 ZK7 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	104	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	112	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	114	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	120	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	119	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	125	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	121	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	114	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	127	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	157	10	1.88	1
11	粉质黏土	206	10.3	1.96	2
12	粉质黏土	236	12	1.96	2
13	粉质黏土	236	13	1.96	2
14	粉质黏土	237	14	1.96	2
15	粉质黏土	237	15	2	4
16	粉质黏土	237	16	2	4
17	粉质黏土	255	17	2	4
18	粉质黏土	256	18	2	4
19	粉质黏土	277	19	2	4
20	粉质黏土	277	20	1.99	5
21	粉质黏土	302	21	1.99	5
22	粉质黏土	277	22	1.99	5
23	粉质黏土	303	23	1.99	5
24	粉质黏土	303	24	1.99	5
25	粉质黏土	303	25	2.01	7
26	粉质黏土	303	26	2.01	7
27	粉质黏土	303	27	2.01	7
28	粉质黏土	333	28	2.01	7
29	粉质黏土	333	29	2.01	7
30	粗砂	370	30	2.01	10
31	粗砂	370	31	2.01	10
32	粗砂	417	32	2.01	10
33	片麻岩	666	*	2.2	15

表 8.1-8 钻孔 ZK8 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	104	0.8	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	109	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	114	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	120	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	123	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	130	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	122	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	118	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	127	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	132	10	1.88	1
11	粉质黏土	194	11	1.96	2
12	粉质黏土	194	12	1.96	2
13	粉质黏土	207	13	1.96	2
14	粉质黏土	207	14	1.96	2
15	粉质黏土	221	15	1.96	2
16	粉质黏土	221	16	2	4
17	粉质黏土	221	17	2	4
18	粉质黏土	222	18	2	4
19	粉质黏土	238	19	2	4
20	粉质黏土	238	20	2	4
21	粉质黏土	277	21	1.99	5
22	粉质黏土	302	22	1.99	5
23	粉质黏土	302	23	1.99	5
24	粉质黏土	303	24	1.99	5
25	粉质黏土	303	25	1.99	5
26	粉质黏土	333	26	2.01	7
27	粉质黏土	333	27	2.01	7
28	粉质黏土	333	28	2.01	7
29	粉质黏土	333	29	2.01	7
30	粉质黏土	333	30	2.01	7
31	粉质黏土	333	31	2.01	9
32	粉质黏土	370	31.5	2.01	9
33	粗砂	370	33	2.01	10
34	粗砂	370	34	2.01	10
35	片麻岩	832	*	2.2	15

表 8.1-9 钻孔 ZK9 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	109	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	117	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	115	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	117	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	119	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	125	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	126	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	122	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	132	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	127	10	1.88	1
11	淤泥粉质黏土	157	10.5	1.91	3
12	粉质黏土	194	12	1.96	2
13	粉质黏土	195	13	1.96	2
14	粉质黏土	207	14	1.96	2
15	粉质黏土	207	15	1.96	2
16	粉质黏土	221	16	2	4
17	粉质黏土	255	17	2	4
18	粉质黏土	255	18	2	4
19	粉质黏土	256	19	2	4
20	粉质黏土	256	20	2	4
21	粉质黏土	277	21	1.99	5
22	粉质黏土	277	22	1.99	5
23	粉质黏土	277	23	1.99	5
24	粉质黏土	278	24	1.99	5
25	粉质黏土	278	25	1.99	5
26	粉质黏土	303	26	2.01	7
27	粉质黏土	303	27	2.01	7
28	粗砂	303	28	2.01	8
29	粗砂	303	29	2.01	8
30	粗砂	303	30	2.01	8
31	片麻岩	655	*	2.2	15

表 8.1-10 钻孔 ZK10 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	119	1	1.86	14
2	杂填土	111	1.5	1.86	14
3	淤泥粉质黏土	115	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	117	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	115	5	1.88	1

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
6	淤泥粉质黏土	113	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	113	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	110	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	114	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	123	10	1.88	1
11	淤泥粉质黏土	133	11	1.91	3
12	淤泥粉质黏土	194	11.2	1.91	3
13	粉质黏土	207	13	1.96	2
14	粉质黏土	221	14	1.96	2
15	粉质黏土	236	15	1.96	2
16	粉质黏土	255	16	2	4
17	粉质黏土	255	17	2	4
18	粉质黏土	255	18	2	4
19	粉质黏土	256	19	2	4
20	粉质黏土	256	20	2	4
21	粉质黏土	238	21	1.99	5
22	粉质黏土	256	22	1.99	5
23	粉质黏土	256	23	1.99	5
24	粉质黏土	256	24	1.99	5
25	粉质黏土	256	25	1.99	5
26	粉质黏土	278	26	2.01	7
27	粉质黏土	256	27	2.01	7
28	粉质黏土	278	28	2.01	7
29	粉质黏土	278	29	2.01	7
30	粉质黏土	257	30	2.01	7
31	粉质黏土	303	31	2.01	9
32	粗砂	278	32	2.01	10
33	粗砂	370	33	2.01	10
34	片麻岩	555	*	2.2	15

表 8.1-11 钻孔 ZK11 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	118	1	1.86	14
2	杂填土	117	2	1.86	14
3	淤泥粉质黏土	111	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	111	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	117	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	119	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	129	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	130	8	1.88	1

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
9	淤泥粉质黏土	130	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	136	10	1.88	1
11	淤泥粉质黏土	137	11	1.91	3
12	粉质黏土	196	12	1.96	2
13	粉质黏土	209	13	1.96	2
14	粉质黏土	224	14	1.96	2
15	粉质黏土	209	15	1.96	2
16	粉质黏土	225	16	2	4
17	粉质黏土	242	17	2	4
18	粉质黏土	262	18	2	4
19	粉质黏土	262	19	2	4
20	粉质黏土	263	20	2	4
21	粉质黏土	263	21	1.99	5
22	粉质黏土	263	22	1.99	5
23	粉质黏土	263	23	1.99	5
24	粉质黏土	263	24	1.99	5
25	粉质黏土	287	25	1.99	5
26	粗砂	394	26	2.01	8
27	片麻岩	525	*	2.2	15

表 8.1-12 钻孔 ZK12 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	118	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	113	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	110	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	128	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	132	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	128	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	129	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	130	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	125	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	131	10	1.88	1
11	粉质黏土	131	11	1.96	2
12	粉质黏土	184	12	1.96	2
13	粉质黏土	185	13	1.96	2
14	粉质黏土	185	14	1.96	2
15	粉质黏土	185	15	1.96	2
16	粉质黏土	210	16	2	4
17	粉质黏土	225	17	2	4
18	粉质黏土	242	18	2	4

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
19	粉质黏土	242	19	2	4
20	粉质黏土	242	20	2	4
21	粉质黏土	263	21	1.99	5
22	粉质黏土	263	22	1.99	5
23	粉质黏土	263	23	1.99	5
24	粉质黏土	263	24	1.99	5
25	粉质黏土	263	25	1.99	5
26	粉质黏土	287	26	2.01	7
27	粉质黏土	263	26.9	2.01	7
28	粗砂	351	28	2.01	8
29	粗砂	394	29	2.01	8
30	粗砂	451	30	2.01	8
31	片麻岩	630	*	2.2	15

表 8.1-13 钻孔 ZK13 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	130	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	116	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	120	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	122	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	121	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	123	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	124	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	124	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	125	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	120	9.6	1.88	1
11	粉质黏土	194	11	1.96	2
12	粉质黏土	208	12	1.96	2
13	粉质黏土	223	13	1.96	2
14	粉质黏土	240	14	1.96	2
15	粉质黏土	260	15	1.96	2
16	粉质黏土	261	16	2	4
17	粉质黏土	261	17	2	4
18	粉质黏土	262	18	2	4
19	粉质黏土	286	19	2	4
20	粉质黏土	302	20	2	4
21	粉质黏土	296	21	1.99	5
22	粉质黏土	315	22	1.99	5
23	粉质黏土	308	23	1.99	5
24	粉质黏土	323	24	1.99	5

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
25	粉质黏土	315	25	1.99	5
26	粗砂	307	26	2.01	8
27	粗砂	567	27	2.01	8
28	片麻岩	568	*	2.2	15

表 8.1-14 钻孔 ZK14 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	105	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	112	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	121	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	123	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	122	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	123	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	120	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	112	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	116	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	125	9.7	1.88	1
11	粉质黏土	195	11	1.96	2
12	粉质黏土	208	12	1.96	2
13	粉质黏土	223	13	1.96	2
14	粉质黏土	241	14	1.96	2
15	粉质黏土	241	15	1.96	2
16	粉质黏土	262	16	2	4
17	粉质黏土	262	17	2	4
18	粉质黏土	242	18	2	4
19	粉质黏土	242	19	2	4
20	粉质黏土	263	20	2	4
21	粉质黏土	263	21	1.99	5
22	粉质黏土	263	22	1.99	5
23	粉质黏土	263	23	1.99	5
24	粉质黏土	263	24	1.99	5
25	粉质黏土	287	25	1.99	5
26	粉质黏土	287	26	2.01	7
27	粉质黏土	287	27	2.01	7
28	粉质黏土	316	28	2.01	7
29	粉质黏土	287	29	2.01	7
30	粉质黏土	316	30	2.01	7
31	粉质黏土	351	31	2.01	9
32	粉质黏土	395	32	2.01	9
33	粉质黏土	451	32.8	2.01	9

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
34	片麻岩	631	*	2.2	15

表 8.1-15 钻孔 ZK15 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	137	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	115	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	116	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	112	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	122	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	119	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	120	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	116	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	125	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	136	10	1.88	1
11	粉质黏土	184	11	1.96	2
12	粉质黏土	208	12	1.96	2
13	粉质黏土	224	13	1.96	2
14	粉质黏土	224	14	1.96	2
15	粉质黏土	224	15	1.96	2
16	粉质黏土	225	16	2	4
17	粉质黏土	244	17	2	4
18	粉质黏土	259	18	2	4
19	粉质黏土	254	19	2	4
20	粉质黏土	271	20	2	4
21	粉质黏土	278	21	1.99	5
22	粉质黏土	295	22	1.99	5
23	粉质黏土	295	23	1.99	5
24	粉质黏土	285	24	1.99	5
25	粉质黏土	285	25	1.99	5
26	粉质黏土	307	26	2.01	7
27	粉质黏土	307	27	2.01	7
28	粉质黏土	307	28	2.01	7
29	粉质黏土	399	29	2.01	7
30	片麻岩	577	*	2.2	15

表 8.1-16 钻孔 ZK16 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	122	0.5	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	113	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	110	3	1.88	1

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
4	淤泥粉质黏土	112	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	119	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	125	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	121	6.8	1.88	1
8	粉质黏土	163	8	1.96	2
9	粉质黏土	161	9	1.96	2
10	粉质黏土	163	10	1.96	2
11	粉质黏土	182	11	1.96	2
12	粉质黏土	206	12	1.96	2
13	粉质黏土	207	13	1.96	2
14	粉质黏土	218	14	1.96	2
15	粉质黏土	212	15	1.96	2
16	粉质黏土	223	16	2	4
17	粉质黏土	224	17	2	4
18	粉质黏土	224	18	2	4
19	粉质黏土	230	19	2	4
20	粉质黏土	234	20	2	4
21	粉质黏土	234	21	1.99	5
22	粉质黏土	234	22	1.99	5
23	粉质黏土	242	23	1.99	5
24	粉质黏土	262	24	1.99	5
25	粉质黏土	276	25	1.99	5
26	粉质黏土	272	26	2.01	7
27	粉质黏土	299	27	2.01	7
28	粉质黏土	302	28	2.01	7
29	粉质黏土	312	29	2.01	7
30	粉质黏土	319	30	2.01	7
31	粉质黏土	319	31	2.01	9
32	粉质黏土	312	32	2.01	9
33	粉质黏土	326	33	2.01	9
34	粉质黏土	305	34	2.01	9
35	粉质黏土	334	35	2.01	9
36	粉质黏土	330	36	2.03	11
37	粉质黏土	351	37	2.03	11
38	粉质黏土	351	38	2.03	11
39	片麻岩	525	*	2.2	15

表 8.1-17 钻孔 ZK17 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	112	1	1.86	14

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
2	淤泥粉质黏土	111	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	122	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	115	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	122	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	134	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	135	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	135	8	1.88	1
9	粉质黏土	194	9	1.96	2
10	粉质黏土	207	10	1.96	2
11	粉质黏土	208	11	1.96	2
12	粉质黏土	223	12	1.96	2
13	粉质黏土	224	13	1.96	2
14	粉质黏土	224	14	1.96	2
15	粉质黏土	242	15	1.96	2
16	粉质黏土	242	16	2	4
17	粉质黏土	242	17	2	4
18	粉质黏土	242	18	2	4
19	粉质黏土	242	19	2	4
20	粉质黏土	243	20	2	4
21	粉质黏土	243	21	1.99	5
22	粉质黏土	243	22	1.99	5
23	粉质黏土	287	23	1.99	5
24	粉质黏土	315	24	1.99	5
25	粉质黏土	287	25	1.99	5
26	粉质黏土	287	26	2.01	7
27	粉质黏土	287	27	2.01	7
28	粉质黏土	316	28	2.01	7
29	粉质黏土	316	29	2.01	7
30	粉质黏土	316	30	2.01	7
31	粉质黏土	316	31	2.01	9
32	粉质黏土	316	32	2.01	9
33	粉质黏土	316	33	2.01	9
34	粉质黏土	351	34	2.01	9
35	粉质黏土	395	35	2.01	9
36	粉质黏土	395	36	2.03	11
37	片麻岩	526	*	2.2	15

表 8.1-18 钻孔 ZK18 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	110	1	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	105	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	115	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	114	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	116	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	123	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	129	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	129	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	136	8.7	1.88	1
10	粉质黏土	183	10	1.96	2
11	粉质黏土	195	11	1.96	2
12	粉质黏土	208	12	1.96	2
13	粉质黏土	209	13	1.96	2
14	粉质黏土	224	14	1.96	2
15	粉质黏土	224	15	1.96	2
16	粉质黏土	224	16	2	4
17	粉质黏土	225	17	2	4
18	粉质黏土	242	18	2	4
19	粉质黏土	225	19	2	4
20	粉质黏土	242	20	2	4
21	粉质黏土	242	21	1.99	5
22	粉质黏土	263	22	1.99	5
23	粉质黏土	263	23	1.99	5
24	粉质黏土	263	24	1.99	5
25	粉质黏土	263	25	1.99	5
26	粉质黏土	286	26	2.01	7
27	粉质黏土	285	27	2.01	7
28	粉质黏土	307	28	2.01	7
29	粉质黏土	332	29	2.01	7
30	粉质黏土	333	30	2.01	7
31	粉质黏土	333	31	2.01	9
32	粉质黏土	363	32	2.01	9
33	粉质黏土	363	33	2.01	9
34	粉质黏土	363	34	2.01	9
35	粉质黏土	393	35	2.01	9
36	片麻岩	583	*	2.2	15

表 8.1-19 钻孔 ZK19 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	127	0.5	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	117	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	126	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	123	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	117	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	114	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	124	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	125	8	1.88	1
9	粉质黏土	172	9	1.96	2
10	粉质黏土	183	10	1.96	2
11	粉质黏土	197	11	1.96	2
12	粉质黏土	208	12	1.96	2
13	粉质黏土	208	13	1.96	2
14	粉质黏土	208	14	1.96	2
15	粉质黏土	210	15	1.96	2
16	粉质黏土	209	16	2	4
17	粉质黏土	209	17	2	4
18	粉质黏土	210	18	2	4
19	粉质黏土	209	19	2	4
20	粉质黏土	210	20	2	4
21	粉质黏土	210	21	1.99	5
22	粉质黏土	222	22	1.99	5
23	粉质黏土	222	23	1.99	5
24	粉质黏土	235	24	1.99	5
25	粉质黏土	249	25	1.99	5
26	粉质黏土	257	26	2.01	7
27	粉质黏土	263	27	2.01	7
28	粉质黏土	279	28	2.01	7
29	粉质黏土	307	29	2.01	7
30	粉质黏土	307	30	2.01	7
31	粉质黏土	333	31	2.01	9
32	粉质黏土	327	32	2.01	9
33	粉质黏土	338	33	2.01	9
34	粉质黏土	333	34	2.01	9
35	粉质黏土	333	35	2.01	9
36	粉质黏土	364	36	2.03	11
37	粉质黏土	362	37	2.03	11
38	粉质黏土	363	38	2.03	11
39	粉质黏土	363	39	2.03	11
40	粉质黏土	356	40	2.03	11

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
41	粉质黏土	451	40.6	2.03	11
42	片麻岩	576	*	2.2	15

表 8.1-20 钻孔 ZK20 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	110	0.5	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	114	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	126	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	129	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	118	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	123	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	120	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	116	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	121	9	1.88	1
10	粉质黏土	193	10	1.96	2
11	粉质黏土	209	11	1.96	2
12	粉质黏土	218	12	1.96	2
13	粉质黏土	214	13	1.96	2
14	粉质黏土	215	14	1.96	2
15	粉质黏土	218	15	1.96	2
16	粉质黏土	223	16	2	4
17	粉质黏土	221	17	2	4
18	粉质黏土	221	18	2	4
19	粉质黏土	234	19	2	4
20	粉质黏土	226	20	2	4
21	粉质黏土	230	21	1.99	5
22	粉质黏土	237	22	1.99	5
23	粉质黏土	246	23	1.99	5
24	粉质黏土	249	24	1.99	5
25	粉质黏土	266	25	1.99	5
26	粉质黏土	285	26	2.01	7
27	粉质黏土	285	27	2.01	7
28	粉质黏土	307	28	2.01	7
29	粉质黏土	307	29	2.01	7
30	粉质黏土	285	30	2.01	7
31	粉质黏土	307	31	2.01	9
32	粉质黏土	298	32	2.01	9
33	粉质黏土	316	33	2.01	9
34	粉质黏土	334	34	2.01	9
35	粉质黏土	333	35	2.01	9

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
36	粉质黏土	363	36	2.03	11
37	粉质黏土	363	37	2.03	11
38	粉质黏土	365	38	2.03	11
39	粉质黏土	441	39	2.03	11
40	片麻岩	665	*	2.2	15

表 8.1-21 钻孔 ZK21 土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
1	杂填土	112	0.7	1.86	14
2	淤泥粉质黏土	116	2	1.88	1
3	淤泥粉质黏土	116	3	1.88	1
4	淤泥粉质黏土	119	4	1.88	1
5	淤泥粉质黏土	116	5	1.88	1
6	淤泥粉质黏土	111	6	1.88	1
7	淤泥粉质黏土	112	7	1.88	1
8	淤泥粉质黏土	113	8	1.88	1
9	淤泥粉质黏土	119	9	1.88	1
10	淤泥粉质黏土	126	9.4	1.88	1
11	粉质黏土	190	11	1.96	2
12	粉质黏土	186	12	1.96	2
13	粉质黏土	187	13	1.96	2
14	粉质黏土	199	14	1.96	2
15	粉质黏土	203	15	1.96	2
16	粉质黏土	212	16	2	4
17	粉质黏土	224	17	2	4
18	粉质黏土	243	18	2	4
19	粉质黏土	265	19	2	4
20	粉质黏土	281	20	2	4
21	粉质黏土	284	21	1.99	5
22	粉质黏土	297	22	1.99	5
23	粉质黏土	293	23	1.99	5
24	粉质黏土	285	24	1.99	5
25	粉质黏土	307	25	1.99	5
26	粉质黏土	289	26	2.01	7
27	粉质黏土	315	27	2.01	7
28	粉质黏土	317	28	2.01	7
29	粉质黏土	332	29	2.01	7
30	粉质黏土	330	30	2.01	7
31	粉质黏土	309	31	2.01	9
32	粉质黏土	323	32	2.01	9

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	层底深度 (m)	密度 (g/cm ³)	土动力学参 数序号
33	粉质黏土	316	33	2.01	9
34	粉质黏土	333	34	2.01	9
35	粉质黏土	333	35	2.01	9
36	粉质黏土	333	35.7	2.03	11
37	粗砂	333	37	2.01	12
38	粗砂	350	38	2.01	12
39	粗砂	345	39	2.01	12
40	粗砂	357	40	2.01	12
41	粗砂	338	41	2.04	13
42	粗砂	365	42	2.04	13
43	粗砂	361	43	2.04	13
44	粗砂	383	44	2.04	13
45	粗砂	466	45	2.04	13
46	片麻岩	570	*	2.2	15

表 8.1-22 土动剪切模量比和阻尼比

土类	γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
1 淤泥质粉质黏土 (5-10m) 选取统计土样编号 (G1、G8、G16、G26、G29、G35)	G/G_{max}	0.9945	0.9883	0.9367	0.8765	0.5763	0.4063	0.1257	0.0690
	λ	0.0126	0.0150	0.0296	0.0432	0.0972	0.1236	0.1638	0.1716
2 粉质黏土 (10-15m) 选取统计土样编号 (G4、G6、G11、G13、G27、G33)	G/G_{max}	0.9935	0.9862	0.9258	0.8572	0.5358	0.3677	0.1088	0.0592
	λ	0.0168	0.0212	0.0425	0.0590	0.1122	0.1338	0.1632	0.1685
3 淤泥质粉质黏土 (10-15m) 选取统计土样编号 (G19、G22)	G/G_{max}	0.9955	0.9900	0.9405	0.8810	0.5855	0.4200	0.1400	0.0800
	λ	0.0129	0.0157	0.0317	0.0460	0.0986	0.1228	0.1596	0.1670
4 粉质黏土 (15-20m) 选取统计土样编号 (G30、G36)	G/G_{max}	0.9935	0.9860	0.9305	0.8685	0.5675	0.4000	0.1245	0.0680
	λ	0.0166	0.0205	0.0396	0.0544	0.1037	0.1251	0.1559	0.1617
5 粉质黏土 (20-25m) 选取统计土样编号 (G2、G9、G14、G17、G24)	G/G_{max}	0.9948	0.9892	0.9454	0.8936	0.6178	0.4464	0.1402	0.0762
	λ	0.0152	0.0184	0.0342	0.0471	0.0940	0.1164	0.1508	0.1574
6 粗砂 (20-25m) 选取统计土样编号 (G3)	G/G_{max}	0.9960	0.9900	0.9470	0.8940	0.6240	0.4600	0.1620	0.0940
	λ	0.0142	0.0170	0.0317	0.0435	0.0853	0.1047	0.1352	0.1416
7 粉质黏土 (25-30m) 选取统计土样编号 (G5、G7、G12、G28、G31、G37)	G/G_{max}	0.9963	0.9917	0.9515	0.9017	0.6280	0.4572	0.1497	0.0828
	λ	0.0140	0.0170	0.0324	0.0453	0.0924	0.1147	0.1492	0.1560
8 粗砂 (25-30m) 选取统计土样编号 (G3、G11、G27)	G/G_{max}	0.9967	0.9927	0.9557	0.9103	0.6580	0.4937	0.1763	0.1020
	λ	0.0133	0.0158	0.0284	0.0390	0.0785	0.0979	0.1298	0.1366
9 粉质黏土 (30-35m) 选取统计土样编号 (G34)	G/G_{max}	0.9970	0.9930	0.9570	0.9140	0.6600	0.4900	0.1650	0.0910
	λ	0.0135	0.0162	0.0303	0.0420	0.0866	0.1089	0.1450	0.1523
10 粗砂 (35-40m) 选取统计土样编号 (G10、G18)	G/G_{max}	0.9970	0.9935	0.9620	0.9220	0.6830	0.5185	0.1865	0.1065
	λ	0.0125	0.0147	0.0263	0.0361	0.0740	0.0934	0.1261	0.1332
11 粉质黏土 (35-40m) 选取统计土样编号 (G32、G38)	G/G_{max}	0.9960	0.9920	0.9525	0.9050	0.6435	0.4775	0.1670	0.0960
	λ	0.0136	0.0164	0.0309	0.0429	0.0870	0.1083	0.1424	0.1495
12 粗砂 (35-40m) 选取统计土样编号 (G15、G10)		0.9970	0.9930	0.9585	0.9150	0.6715	0.5105	0.1115	0.9970
		0.0126	0.0149	0.0268	0.0368	0.0740	0.0925	0.1235	0.0126
13 粗砂 (40-45m) 选取统计土样编号 (G39)	G/G_{max}	0.9960	0.9910	0.9520	0.9060	0.6630	0.5090	0.2000	0.1220

	λ	0.0126	0.0152	0.0280	0.0380	0.0730	0.0897	0.1178	0.1243
14 杂填土	G/G_{max}	0.96	0.95	0.8	0.7	0.3	0.2	0.15	0.1
	λ	0.025	0.028	0.03	0.035	0.08	0.1	0.11	0.12
15 基岩	G/G_{max}	1	1	1	1	1	1	1	1
	λ	0.004	0.008	0.01	0.015	0.021	0.03	0.036	0.046

8.1.5 计算和结果

对目标区场地进行场地地震反应计算时，分别取 11 个超越概率基岩地震动加速度时程（各 10 条样本）幅值的一半作为一维土层地震反应计算模型的基底入射波输入量，并假定地震波为从基岩面垂直入射。对应每一种情况，计算出工程场地地表地震动反应的加速度时程及其反应谱，21 个钻孔模型各超越概率的地表反应的水平向地震动峰值加速度的计算结果见表 8.1-23～表 8.1-33，地震动参数中的地表水平加速度峰值可以取不同钻孔的不同随机相位反应的平均值，综合分析地表的地震动加速度峰值和反应谱并作归准化处理得到的各计算点加速度反应谱曲线及规准曲线见图 8.1-2～图 8.1-22。

表 8.1-23 50 年超越概率 63% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	50 年超越概率 63% 地表峰值加速度计算结果										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	31.1	29.9	30.2	32.2	33.0	31.2	33.2	31.1	30.3	31.8	28.3
ZK2	29.2	31.6	27.5	26.8	29.3	34.2	29.5	26.6	27.0	29.3	30.4
ZK3	29.4	29.3	27.0	28.2	27.7	35.9	28.2	28.8	26.3	31.5	31.0
ZK4	30.3	30.2	30.3	27.8	28.3	35.9	28.6	29.3	27.9	33.2	31.9
ZK5	30.8	31.5	30.9	28.1	30.5	35.3	31.6	29.1	28.4	31.8	30.5
ZK6	30.6	32.3	30.8	28.7	29.7	34.9	30.9	28.8	28.1	30.2	31.5
ZK7	30.5	31.2	26.8	28.1	31.3	34.7	31.7	29.8	28.4	32.7	30.5
ZK8	30.2	30.9	30.6	28.5	29.4	34.1	31.0	27.9	27.3	32.0	30.5
ZK9	29.8	30.4	27.1	28.1	29.9	35.2	30.6	28.7	27.8	30.9	29.6
ZK10	29.7	27.8	26.8	30.4	26.8	34.9	27.3	28.9	28.0	34.6	31.4
ZK11	29.3	29.7	27.3	29.7	30.4	31.1	31.4	28.9	27.3	29.5	27.3
ZK12	30.1	31.9	31.5	28.3	30.5	36.6	29.8	28.1	25.9	29.1	29.3
ZK13	29.4	27.6	29.1	29.9	31.2	29.4	32.4	30.7	26.9	29.5	27.1
ZK14	31.3	31.5	29.7	28.1	30.8	36.8	30.5	30.6	29.2	33.7	32.2
ZK15	30.0	30.5	27.1	28.3	31.1	35.1	31.0	30.2	28.4	30.4	28.3
ZK16	29.2	31.2	26.3	28.3	27.8	32.6	29.6	27.6	26.5	30.7	31.7
ZK17	29.5	32.4	30.0	27.2	29.8	32.1	30.8	28.5	27.2	27.3	29.2
ZK18	31.1	32.8	32.3	27.9	30.5	34.4	31.2	28.9	29.2	31.5	32.5
ZK19	29.3	29.5	28.8	29.0	27.0	32.8	28.0	27.2	26.7	32.1	31.5
ZK20	31.7	31.4	29.8	31.4	27.9	36.0	29.1	30.3	29.9	36.5	35.1
ZK21	30.3	28.3	27.2	32.1	30.1	33.7	31.3	28.0	25.2	35.7	30.9

表 8.1-24 100 年超越概率 63% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 63% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	47.4	48.0	45.3	46.1	51.5	55.8	48.3	45.5	41.3	49.0	43.7
ZK2	45.0	48.2	44.3	41.3	45.3	54.3	43.7	42.3	41.6	46.4	43.1
ZK3	45.1	44.5	43.8	42.5	45.0	55.4	42.8	45.2	37.8	50.1	43.7
ZK4	45.6	44.9	43.8	43.6	46.2	55.7	43.3	45.8	41.2	47.8	43.8
ZK5	46.7	48.7	44.5	41.8	50.4	57.9	47.1	44.2	40.3	47.0	44.8
ZK6	47.1	49.6	44.7	42.9	48.8	58.2	46.9	44.8	42.4	47.2	45.5
ZK7	47.1	47.2	45.5	42.5	50.8	58.4	47.1	44.7	40.0	49.7	44.9
ZK8	45.7	47.2	43.8	42.1	46.3	58.0	45.9	43.9	38.6	46.3	44.5
ZK9	45.8	46.7	46.2	40.8	46.8	58.3	45.4	42.8	39.2	47.2	44.2
ZK10	45.2	45.5	42.6	45.3	41.6	54.8	41.3	44.6	40.8	50.0	45.9
ZK11	45.3	46.5	46.2	42.9	45.5	58.5	46.3	41.2	36.4	45.2	44.8
ZK12	45.5	48.8	46.3	40.5	47.9	58.7	44.5	41.2	37.7	46.0	43.4
ZK13	45.5	43.0	45.3	43.5	48.7	53.3	47.6	41.1	39.6	47.9	45.5
ZK14	47.1	46.9	46.1	44.1	48.3	58.3	45.3	46.7	42.9	49.0	43.8
ZK15	46.1	46.7	45.0	41.7	48.2	58.2	45.8	42.7	40.1	47.1	45.4
ZK16	44.9	46.9	42.7	41.8	45.8	56.8	45.2	41.6	39.5	46.1	42.5
ZK17	45.3	48.8	42.7	40.5	50.4	55.7	47.0	40.8	39.6	45.3	42.2
ZK18	46.6	46.3	45.1	43.4	47.5	58.0	47.1	45.7	41.5	49.2	42.3
ZK19	44.6	45.5	39.2	43.5	46.0	53.0	43.8	41.7	41.8	49.0	42.2
ZK20	47.9	48.4	43.2	47.3	45.6	57.6	44.3	47.5	42.5	54.9	48.0
ZK21	46.2	45.0	43.8	47.3	46.0	51.1	47.1	44.3	36.8	52.2	48.7

表 8.1-25 100 年超越概率 39% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 39% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	70.2	70.8	59.2	69.2	70.5	82.4	66.5	72.2	66.2	73.2	71.6
ZK2	66.0	68.8	66.2	67.3	64.8	70.6	65.7	69.4	59.3	64.6	63.7
ZK3	66.3	70.9	63.4	68.6	64.7	68.6	68.7	62.8	57.3	72.7	65.6
ZK4	67.9	71.4	64.7	67.9	68.4	71.9	69.8	64.8	58.7	74.4	66.6
ZK5	67.7	67.3	60.3	66.5	67.3	77.8	66.1	67.7	65.8	70.7	67.9
ZK6	68.5	69.7	62.5	68.0	70.1	76.7	69.4	67.6	63.1	69.3	69.1
ZK7	67.9	67.1	59.3	67.2	68.0	78.8	67.0	70.7	62.4	71.1	67.8
ZK8	65.8	66.3	58.9	66.4	65.3	73.9	65.2	66.0	60.6	69.7	65.9
ZK9	65.7	66.1	58.0	64.4	64.9	74.4	64.3	67.0	59.4	71.6	66.9
ZK10	65.9	70.4	60.7	72.0	67.2	64.5	66.7	59.7	56.8	74.6	66.9
ZK11	65.7	65.4	55.9	65.9	61.7	76.8	64.3	68.9	61.3	69.3	67.3
ZK12	65.5	66.2	58.9	66.8	65.9	66.4	64.9	74.7	59.5	66.3	65.4
ZK13	65.4	64.0	59.9	64.8	64.7	76.3	64.5	63.7	60.8	71.7	63.7
ZK14	68.2	70.6	66.3	69.3	63.3	73.6	68.5	71.8	60.5	71.9	65.8
ZK15	65.9	64.1	58.7	64.8	65.6	74.8	63.5	69.6	61.8	69.5	66.5
ZK16	66.4	70.9	61.0	65.6	68.4	70.9	64.3	66.8	58.4	73.5	64.3
ZK17	66.8	67.3	63.3	62.9	65.7	77.1	66.3	71.8	61.3	65.9	66.5
ZK18	69.5	73.1	62.7	67.8	68.8	77.2	68.6	72.7	62.5	73.1	68.3
ZK19	67.3	72.5	68.7	69.3	67.8	67.7	66.4	65.3	61.0	71.0	63.0
ZK20	69.6	75.3	66.9	75.4	70.3	69.4	72.2	60.4	62.6	74.4	68.7
ZK21	67.3	70.1	58.6	74.1	65.2	65.8	64.5	62.8	63.4	79.3	69.0

表 8.1-26 50 年超越概率 10% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	50 年超越概率 10% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	113.6	119.4	95.8	107.3	112.7	120.3	119.7	108.5	111.7	126.4	114.7
ZK2	111.6	124.9	107.4	107.9	105.5	108.3	123.8	113.1	100.2	118.4	106.2
ZK3	108.9	121.2	100.4	100.5	101.1	107.5	116.3	115.1	96.0	119.4	111.5
ZK4	113.2	123.5	104.3	106.3	109.3	110.9	120.2	117.2	103.0	123.1	114.5
ZK5	112.8	125.6	102.5	108.1	111.2	114.2	117.0	113.6	104.3	122.6	108.9
ZK6	115.6	126.4	110.5	111.1	112.9	108.6	126.6	115.5	107.3	124.8	112.4
ZK7	111.9	122.9	101.3	107.1	110.6	114.3	119.9	111.0	101.3	120.3	110.5
ZK8	109.3	123.1	99.6	103.4	104.2	110.0	117.9	110.1	100.3	119.2	105.1
ZK9	108.7	121.4	96.7	103.1	106.9	111.3	117.4	110.0	100.7	115.9	103.3
ZK10	106.8	122.6	95.9	102.6	98.5	102.4	110.4	114.5	94.8	117.1	109.7
ZK11	106.3	115.8	95.4	100.7	108.3	108.1	106.1	104.2	103.2	112.4	108.7
ZK12	107.4	124.7	98.7	112.2	106.5	106.2	105.6	111.2	100.4	110.4	98.1
ZK13	104.5	106.6	96.4	96.5	110.7	108.5	99.3	101.0	100.3	120.3	105.7
ZK14	110.4	126.6	99.9	104.1	104.4	114.1	111.3	112.1	99.1	121.5	111.2
ZK15	106.4	120.3	96.8	104.2	98.7	112.3	107.2	108.4	97.8	114.6	103.3
ZK16	108.2	120.7	103.9	108.9	109.1	98.8	107.9	114.8	97.0	117.2	103.7
ZK17	106.9	116.7	102.3	104.9	103.6	105.9	117.6	104.6	97.8	110.3	105.7
ZK18	112.9	128.1	105.4	110.6	108.9	110.8	116.9	111.9	105.2	119.1	112.1
ZK19	108.5	122.8	110.0	108.0	107.8	98.1	107.6	105.5	100.8	118.6	105.8
ZK20	112.9	131.1	105.3	107.3	102.3	108.0	110.0	116.9	103.5	126.2	118.3
ZK21	103.1	121.4	94.5	100.0	97.5	96.6	97.6	108.4	90.1	114.5	110.6

表 8.1-27 100 年超越概率 10% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 10% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	156.7	174.0	138.1	170.5	154.0	151.5	162.8	165.8	139.1	150.5	161.2
ZK2	153.5	171.1	144.4	160.1	147.7	133.0	160.2	150.1	155.0	147.0	166.2
ZK3	144.5	168.0	131.7	148.4	138.5	128.7	148.5	144.8	153.6	128.5	154.3
ZK4	153.4	172.9	139.0	158.3	148.5	133.9	152.4	166.6	150.8	145.2	166.3
ZK5	156.5	173.2	141.5	167.2	149.9	138.7	158.7	174.2	146.5	151.7	163.3
ZK6	162.0	178.2	147.8	178.3	160.6	136.5	160.8	185.0	145.1	159.1	168.9
ZK7	153.7	170.4	139.2	166.8	152.5	139.1	155.2	166.7	144.7	147.5	154.8
ZK8	150.6	169.7	135.5	157.3	144.3	134.2	152.4	165.3	145.1	143.7	158.0
ZK9	149.1	157.2	134.3	161.0	146.5	132.8	153.3	163.4	143.8	144.2	155.0
ZK10	139.1	157.2	126.0	146.0	134.4	120.8	138.1	136.6	152.4	134.2	145.0
ZK11	150.3	161.9	133.9	163.5	151.8	137.7	153.1	167.6	135.1	146.6	152.0
ZK12	144.4	165.5	141.5	158.5	134.8	118.2	143.1	144.9	153.6	132.9	151.4
ZK13	142.2	158.0	129.7	156.2	144.9	138.7	143.0	145.3	129.5	138.0	139.0
ZK14	145.1	165.4	129.4	147.8	144.5	131.3	150.4	152.2	147.6	130.7	152.0
ZK15	147.5	168.4	132.3	160.3	144.1	130.6	152.3	155.4	136.0	143.5	152.1
ZK16	150.9	166.8	139.0	164.2	153.5	120.2	147.9	161.1	138.1	152.7	165.8
ZK17	154.1	169.7	138.7	174.8	155.6	131.9	151.2	163.9	140.4	151.0	163.6
ZK18	160.1	173.6	144.9	177.8	167.2	132.6	157.4	178.3	141.6	158.0	169.8
ZK19	148.2	166.6	139.9	153.0	140.3	125.3	145.3	162.2	142.0	143.4	164.2
ZK20	152.1	175.1	135.4	154.5	148.5	137.7	148.7	161.6	149.2	145.4	164.4
ZK21	140.8	161.6	122.5	144.1	141.6	126.4	139.0	147.1	142.9	137.6	145.2

表 8.1-28 100 年超越概率 5% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 5% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	205.0	230.0	204.4	209.3	194.4	168.8	205.0	201.5	225.5	192.3	219.1
ZK2	200.7	226.3	186.7	198.2	204.4	171.8	189.9	187.6	234.6	193.6	213.5
ZK3	191.0	206.4	176.0	204.6	211.0	166.2	159.2	184.6	233.2	184.2	184.6
ZK4	201.8	221.9	179.2	207.2	210.5	179.3	186.0	192.2	234.6	197.9	208.8
ZK5	202.1	226.0	188.0	202.5	198.1	174.1	197.3	197.7	233.5	190.6	212.9
ZK6	213.7	235.2	191.5	232.8	214.7	182.9	211.9	211.0	223.6	200.8	232.2
ZK7	196.6	221.1	177.5	197.3	194.8	171.4	193.1	197.3	229.2	181.2	203.1
ZK8	195.9	220.4	181.6	198.6	194.3	169.7	187.0	190.8	231.1	182.1	203.1
ZK9	197.4	220.2	189.5	198.7	188.5	167.9	191.6	192.6	228.9	185.7	210.6
ZK10	182.5	193.2	173.5	196.5	207.0	156.3	159.7	178.8	222.7	171.0	166.3
ZK11	201.6	225.9	189.8	213.5	189.5	170.1	200.9	199.9	216.8	191.8	218.0
ZK12	189.8	207.5	183.4	201.1	191.9	164.7	162.6	175.3	234.7	196.7	180.3
ZK13	184.1	201.4	170.6	194.4	184.7	160.4	179.7	185.5	200.3	181.0	182.9
ZK14	189.6	212.8	164.8	197.6	208.8	167.8	163.5	185.4	232.6	175.7	187.3
ZK15	190.3	213.7	182.3	187.9	189.3	164.5	183.8	190.9	221.1	180.1	189.6
ZK16	201.6	222.6	184.7	218.3	199.3	176.3	196.7	193.0	205.2	193.2	227.1
ZK17	207.9	220.6	194.3	232.6	228.0	180.8	202.6	195.8	200.8	204.5	219.5
ZK18	209.9	228.6	189.4	232.2	217.4	180.1	208.4	214.0	217.9	191.4	219.4
ZK19	194.6	222.7	172.5	191.7	199.8	177.5	182.1	186.3	210.8	191.3	210.8
ZK20	203.5	227.2	176.5	210.1	215.0	190.1	182.6	193.5	236.5	195.7	207.6
ZK21	187.0	205.8	177.5	207.7	194.6	167.0	166.0	181.3	211.7	178.9	179.7

表 8.1-29 50 年超越概率 2% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	50 年超越概率 2% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	219.7	239.4	220.2	222.0	233.5	187.9	210.0	219.1	231.7	238.6	194.8
ZK2	220.4	238.1	200.5	222.1	238.8	186.7	218.9	224.2	232.8	241.2	200.6
ZK3	201.6	210.3	183.6	220.8	209.8	169.5	206.1	213.1	230.5	191.4	181.1
ZK4	219.9	243.0	192.2	231.6	230.6	184.4	225.8	228.3	232.6	236.1	194.4
ZK5	220.8	243.1	206.0	228.8	239.0	184.3	213.7	223.6	233.7	242.9	192.7
ZK6	232.8	253.3	206.8	232.9	269.7	196.0	225.7	226.8	221.0	264.5	230.8
ZK7	207.6	230.1	188.3	193.9	224.2	183.1	202.7	227.7	219.6	225.2	181.5
ZK8	211.6	227.8	192.4	216.6	227.0	178.4	205.2	223.7	234.0	226.7	184.7
ZK9	214.4	231.6	202.1	224.3	232.0	178.2	205.6	218.5	228.4	235.9	187.8
ZK10	193.4	193.5	179.5	218.1	202.7	160.1	207.6	190.1	227.8	178.1	176.1
ZK11	222.0	234.9	208.9	233.7	246.0	188.8	209.5	200.6	244.3	246.9	206.5
ZK12	200.8	208.4	193.6	217.2	204.2	177.4	198.4	190.5	237.6	199.1	181.1
ZK13	197.6	212.8	184.2	205.4	215.4	179.0	186.3	193.5	216.6	210.1	172.3
ZK14	197.7	218.2	180.4	208.5	206.8	174.2	200.3	201.2	217.2	196.4	174.2
ZK15	205.1	225.0	194.9	215.4	226.2	175.7	193.9	204.5	220.4	220.5	174.4
ZK16	223.1	242.8	197.4	223.7	260.8	197.3	211.0	212.2	210.7	258.1	217.5
ZK17	227.1	240.9	205.7	226.1	266.8	203.8	222.1	206.3	220.7	245.6	233.4
ZK18	230.4	249.0	201.5	226.1	267.3	208.2	217.0	229.7	215.7	261.0	228.0
ZK19	215.2	241.3	188.6	215.8	232.2	198.3	218.6	200.9	215.0	251.2	190.0
ZK20	211.1	232.9	183.8	213.5	215.7	201.8	223.1	216.4	226.2	217.6	179.7
ZK21	201.0	209.1	176.9	227.5	198.5	181.3	204.5	203.6	231.7	205.7	170.9

表 8.1-30 100 年超越概率 3.3% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 3.3% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	228.9	257.3	233.7	213.4	235.3	194.2	217.0	226.0	257.8	250.6	203.8
ZK2	230.4	242.2	209.1	244.5	245.8	184.1	238.9	226.3	247.1	253.4	212.5
ZK3	210.6	208.8	193.1	236.8	227.2	173.0	223.7	207.7	247.7	199.5	188.9
ZK4	230.9	252.4	200.2	240.0	237.7	197.4	243.8	230.0	257.2	248.4	201.6
ZK5	235.8	257.7	221.4	248.2	246.7	191.8	235.2	227.1	265.4	259.2	205.5
ZK6	252.0	277.2	226.6	254.9	281.9	212.1	248.4	238.8	255.0	292.9	232.0
ZK7	223.0	250.7	207.3	241.1	230.0	189.6	219.6	221.8	245.3	232.5	192.2
ZK8	224.8	244.1	207.6	235.8	233.3	187.7	223.0	221.3	256.7	241.6	196.4
ZK9	228.1	245.7	219.5	239.4	235.6	185.2	227.6	218.1	264.5	245.3	200.4
ZK10	202.3	190.3	189.5	230.1	220.5	176.6	220.3	188.9	231.6	190.0	185.5
ZK11	236.0	253.3	237.7	255.0	253.3	207.6	219.1	208.3	250.4	266.5	208.7
ZK12	209.1	208.7	194.9	231.7	213.7	187.0	213.9	199.0	244.8	206.1	190.9
ZK13	213.9	226.8	198.4	234.1	219.1	188.7	206.3	204.8	250.5	221.0	188.8
ZK14	206.4	219.8	189.4	210.6	228.6	178.3	211.1	209.1	234.5	199.7	183.2
ZK15	218.5	236.4	210.5	234.8	225.6	184.6	211.2	212.4	246.8	235.4	187.5
ZK16	237.7	262.6	214.1	237.2	270.7	198.6	238.7	219.3	230.1	280.7	225.0
ZK17	240.7	263.1	214.0	235.3	288.9	203.7	239.0	231.7	213.1	272.7	245.5
ZK18	243.4	272.4	211.0	238.5	282.9	204.4	237.0	238.7	236.0	281.4	231.5
ZK19	229.2	257.9	196.4	238.6	236.3	203.8	243.6	222.1	230.9	259.2	202.8
ZK20	224.9	239.6	201.5	243.0	230.7	211.3	234.4	228.4	250.7	223.8	185.9
ZK21	211.8	216.0	188.9	242.7	217.0	192.0	220.3	205.0	249.6	202.5	183.7

表 8.1-31 100 年超越概率 2.5% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 2.5% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	244.5	275.3	220.9	254.2	264.4	217.4	231.2	246.3	278.9	244.2	212.5
ZK2	242.7	256.2	225.1	274.5	269.4	214.4	247.5	243.5	252.5	241.4	202.9
ZK3	222.5	209.7	202.6	252.9	266.1	201.3	235.1	207.6	232.4	214.3	203.4
ZK4	242.2	248.0	221.9	279.2	273.1	214.8	248.0	243.3	250.4	231.8	211.2
ZK5	247.0	264.4	226.9	271.7	272.5	218.8	240.5	250.0	265.7	253.0	206.2
ZK6	271.2	307.5	251.7	265.3	273.5	246.8	269.6	264.3	267.9	310.3	255.4
ZK7	234.8	254.4	212.9	251.8	251.8	218.3	225.8	240.4	266.1	230.8	196.0
ZK8	235.2	247.5	211.5	255.6	259.2	215.4	230.7	240.0	259.0	233.9	199.3
ZK9	237.8	251.3	219.9	270.0	255.0	210.3	235.4	237.3	258.5	238.5	202.0
ZK10	217.5	209.8	198.2	252.5	259.2	195.2	217.3	205.5	232.2	201.7	203.8
ZK11	252.8	273.1	258.5	266.3	246.4	222.6	239.9	236.2	263.9	274.8	246.2
ZK12	220.3	199.6	204.0	260.6	254.9	205.6	221.5	214.6	222.7	214.8	205.0
ZK13	222.6	239.4	215.0	248.5	217.5	213.8	199.2	225.9	246.5	227.7	192.5
ZK14	215.7	206.5	191.0	245.0	264.2	194.5	205.0	214.6	224.2	212.8	199.6
ZK15	227.3	241.8	209.7	245.8	240.7	208.9	219.3	229.9	256.9	225.2	194.5
ZK16	259.7	291.5	239.8	263.4	265.2	243.0	259.3	249.1	240.6	291.6	253.7
ZK17	263.6	290.2	241.5	248.5	281.1	247.6	277.2	262.3	243.6	289.8	254.6
ZK18	267.5	298.4	235.2	276.4	281.5	247.6	265.7	262.2	264.6	289.6	254.0
ZK19	247.3	266.4	230.6	270.4	252.6	230.4	242.4	249.6	246.1	251.4	232.6
ZK20	234.6	231.3	220.2	269.6	267.5	220.4	232.6	231.1	244.8	227.8	200.7
ZK21	225.1	211.5	202.3	266.6	253.5	201.9	225.2	230.8	235.7	216.1	206.9

表 8.1-32 100 年超越概率 2% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 2% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	262.8	267.0	234.2	292.3	298.4	232.7	258.8	254.0	285.4	252.9	252.7
ZK2	257.5	260.6	237.1	293.0	287.9	222.6	275.5	260.7	255.7	241.1	240.3
ZK3	235.3	215.0	208.9	273.2	285.8	212.7	230.7	222.7	253.4	209.7	240.8
ZK4	258.3	243.5	237.9	289.1	294.5	223.2	267.6	259.5	266.1	257.4	244.5
ZK5	264.2	268.6	239.9	296.4	291.0	225.8	271.9	274.4	272.0	255.1	246.7
ZK6	296.5	315.8	274.9	317.9	294.4	261.2	286.6	300.9	302.7	319.4	290.8
ZK7	252.5	226.8	227.5	289.5	284.1	226.1	252.8	260.6	269.3	253.1	234.9
ZK8	251.8	234.6	224.3	295.1	286.6	225.0	260.0	250.7	257.7	245.7	237.8
ZK9	252.8	248.6	230.6	296.0	261.7	225.9	262.7	251.0	262.4	241.5	247.4
ZK10	228.3	215.6	198.1	277.2	266.1	202.6	229.9	214.9	242.7	197.5	237.9
ZK11	271.8	281.1	257.1	312.1	274.7	240.1	255.0	261.1	289.5	285.2	262.0
ZK12	235.9	195.6	220.7	273.2	278.4	223.2	226.4	231.2	258.9	213.8	237.5
ZK13	240.1	254.9	220.0	280.0	247.6	214.7	214.7	246.2	263.9	227.4	231.5
ZK14	230.1	201.8	205.2	268.9	283.4	211.5	225.8	220.2	254.9	208.2	221.2
ZK15	244.8	236.0	217.2	281.9	272.4	215.9	247.0	248.5	262.8	230.5	235.9
ZK16	282.2	296.8	267.2	301.3	280.6	260.8	265.3	284.4	273.1	309.6	282.8
ZK17	291.5	310.3	260.5	277.3	297.8	273.5	287.4	299.7	259.8	347.5	301.1
ZK18	289.5	304.4	259.5	311.3	288.7	258.6	284.5	296.2	293.0	311.8	287.1
ZK19	261.8	271.0	240.6	301.1	278.4	243.0	261.7	270.9	266.0	245.9	239.0
ZK20	247.5	220.2	229.5	297.2	293.1	227.5	242.6	240.1	272.6	228.8	223.2
ZK21	233.0	208.5	214.2	251.9	272.8	219.0	232.2	220.2	260.9	224.8	226.0

表 8.1-33 100 年超越概率 1% 下目标区场地地表反应水平向峰值加速度 (单位: gal)

计算点 (钻孔)	100 年超越概率 1% 地表峰值加速度计算结果 (gal)										
	平均值	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	相位 6	相位 7	相位 8	相位 9	相位 10
ZK1	300.9	293.8	269.5	285.2	346.7	298.8	310.8	303.0	281.2	317.6	302.7
ZK2	294.4	304.0	280.0	253.4	335.0	279.5	305.4	296.7	281.2	300.2	308.1
ZK3	268.1	262.8	213.2	248.9	301.3	246.4	316.9	265.0	256.6	260.7	309.7
ZK4	290.7	290.5	262.8	252.3	318.3	284.6	321.7	304.7	272.2	284.2	315.4
ZK5	294.0	297.7	274.9	250.5	341.4	286.9	310.7	314.1	275.9	281.5	306.9
ZK6	343.3	306.3	328.7	365.9	392.9	315.7	339.8	327.7	358.9	390.1	307.4
ZK7	297.7	279.2	276.4	298.8	344.0	291.8	296.2	307.2	284.5	299.0	299.6
ZK8	280.8	281.5	256.6	249.0	315.1	283.5	298.0	302.4	268.4	256.9	296.4
ZK9	285.4	282.9	264.9	245.2	329.6	279.4	305.3	303.2	265.5	281.2	296.8
ZK10	260.2	260.8	207.0	251.2	303.0	232.2	311.1	236.3	251.0	266.1	282.8
ZK11	320.6	265.6	323.6	354.4	378.1	296.0	312.6	322.1	296.6	359.7	297.2
ZK12	260.2	263.9	214.1	243.1	279.6	244.1	311.9	265.6	256.2	250.7	272.9
ZK13	277.8	257.4	260.7	266.2	315.5	278.3	273.5	274.2	276.3	290.5	285.2
ZK14	259.4	276.0	221.3	233.5	293.9	249.8	305.3	258.7	237.9	247.5	270.4
ZK15	276.5	276.1	256.8	254.3	325.8	275.6	287.5	279.7	254.8	264.9	290.0
ZK16	339.1	356.6	323.0	347.9	358.7	323.4	323.9	303.4	340.2	391.5	322.4
ZK17	345.6	359.5	323.8	322.7	347.0	354.6	347.3	344.1	338.9	379.5	338.5
ZK18	336.8	346.8	316.5	353.8	376.0	320.5	323.5	296.0	342.5	375.3	316.6
ZK19	309.9	291.7	291.2	299.6	343.8	304.1	298.6	317.0	310.8	335.4	306.7
ZK20	284.3	300.3	257.7	236.5	311.3	282.2	306.9	302.8	267.9	295.8	281.8
ZK21	258.9	254.4	236.3	236.4	288.4	250.8	289.1	256.8	220.9	267.6	287.8

表 8.1-34 超越概率对照表

年超越概率	2×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-4}
50 年或 100 年超越概率	50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.30%	100 年 2.50%	100 年 2%	100 年 1%

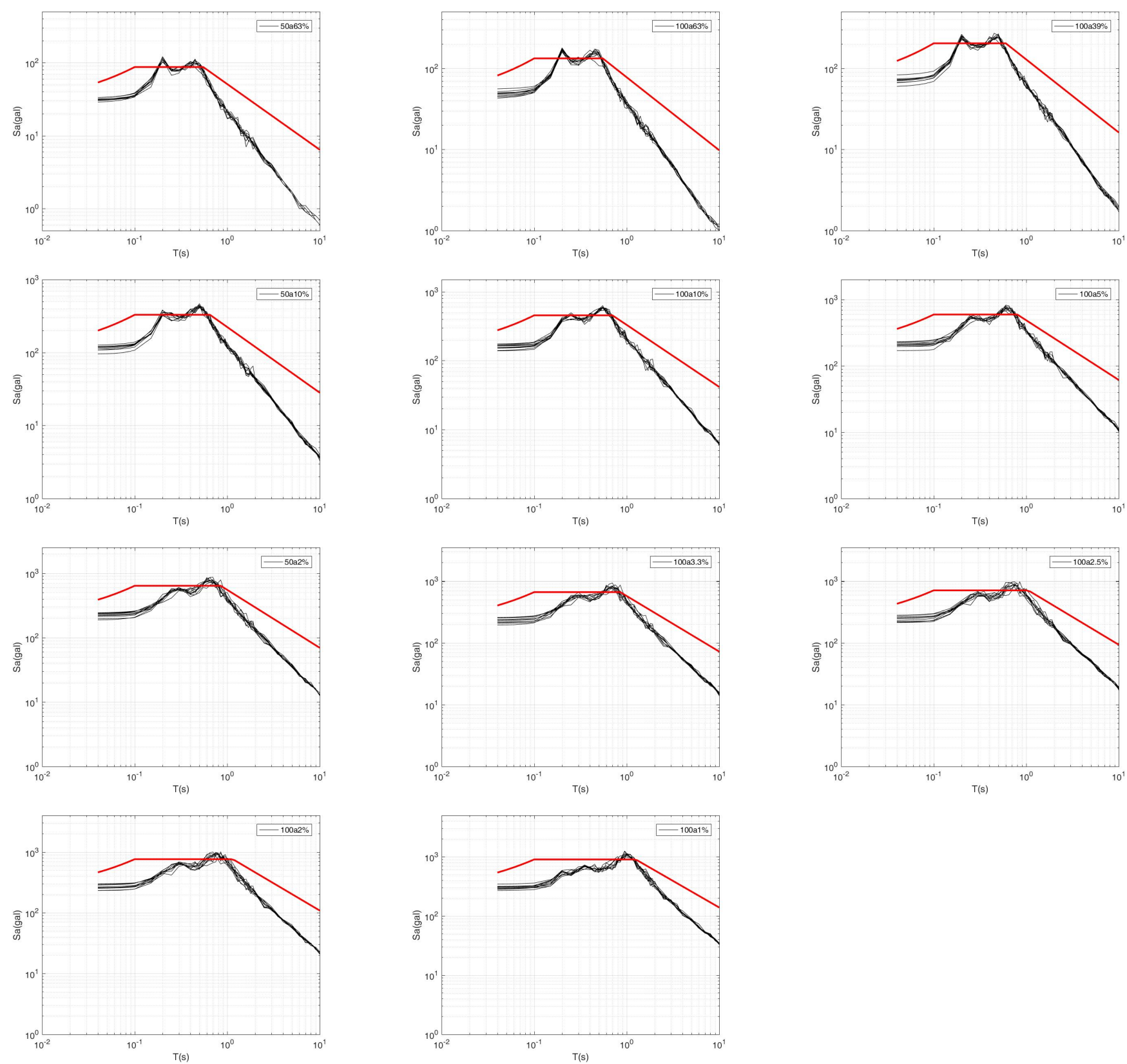


图 8.1-2 ZK1 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

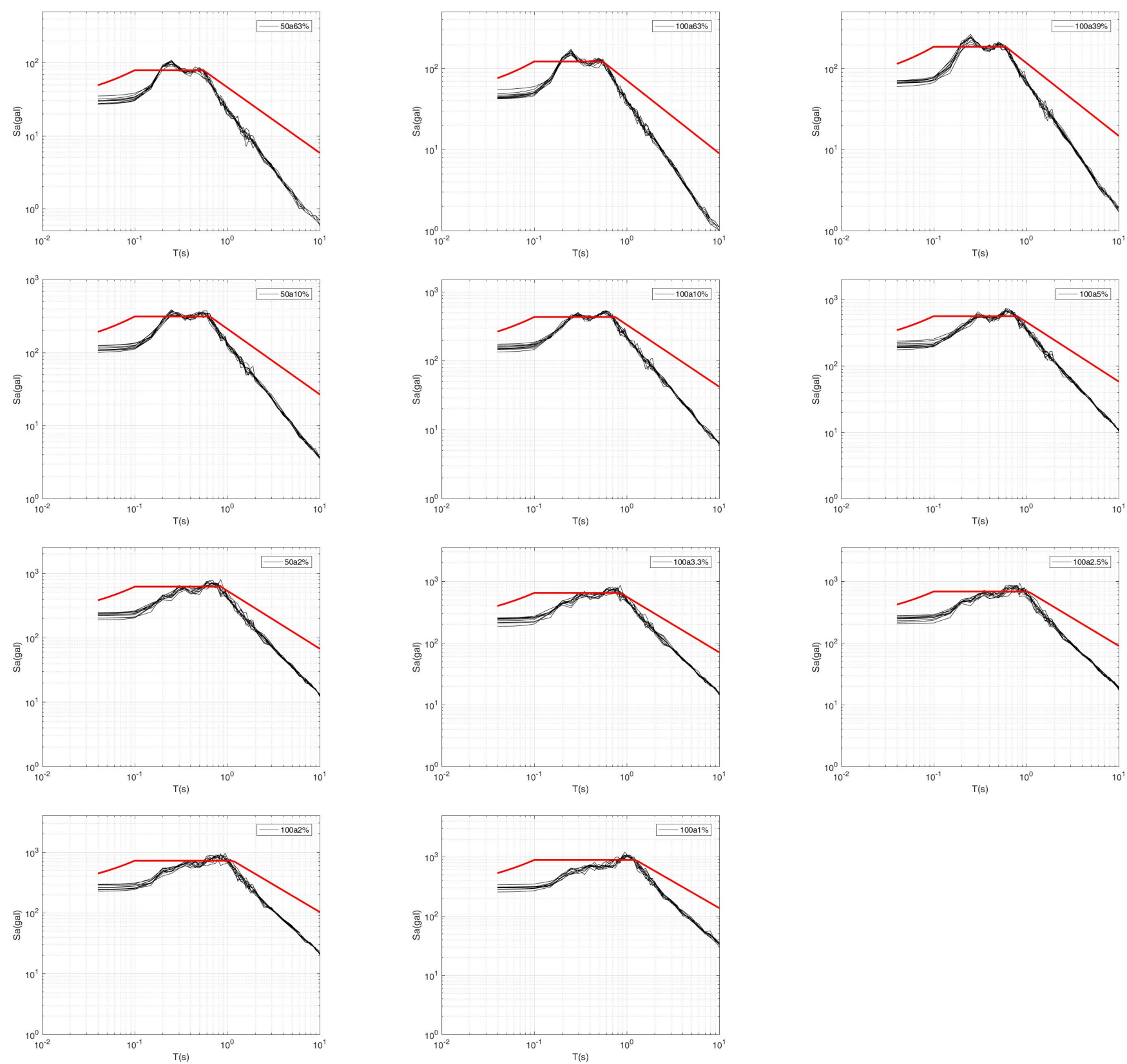


图 8.1-3 ZK2 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

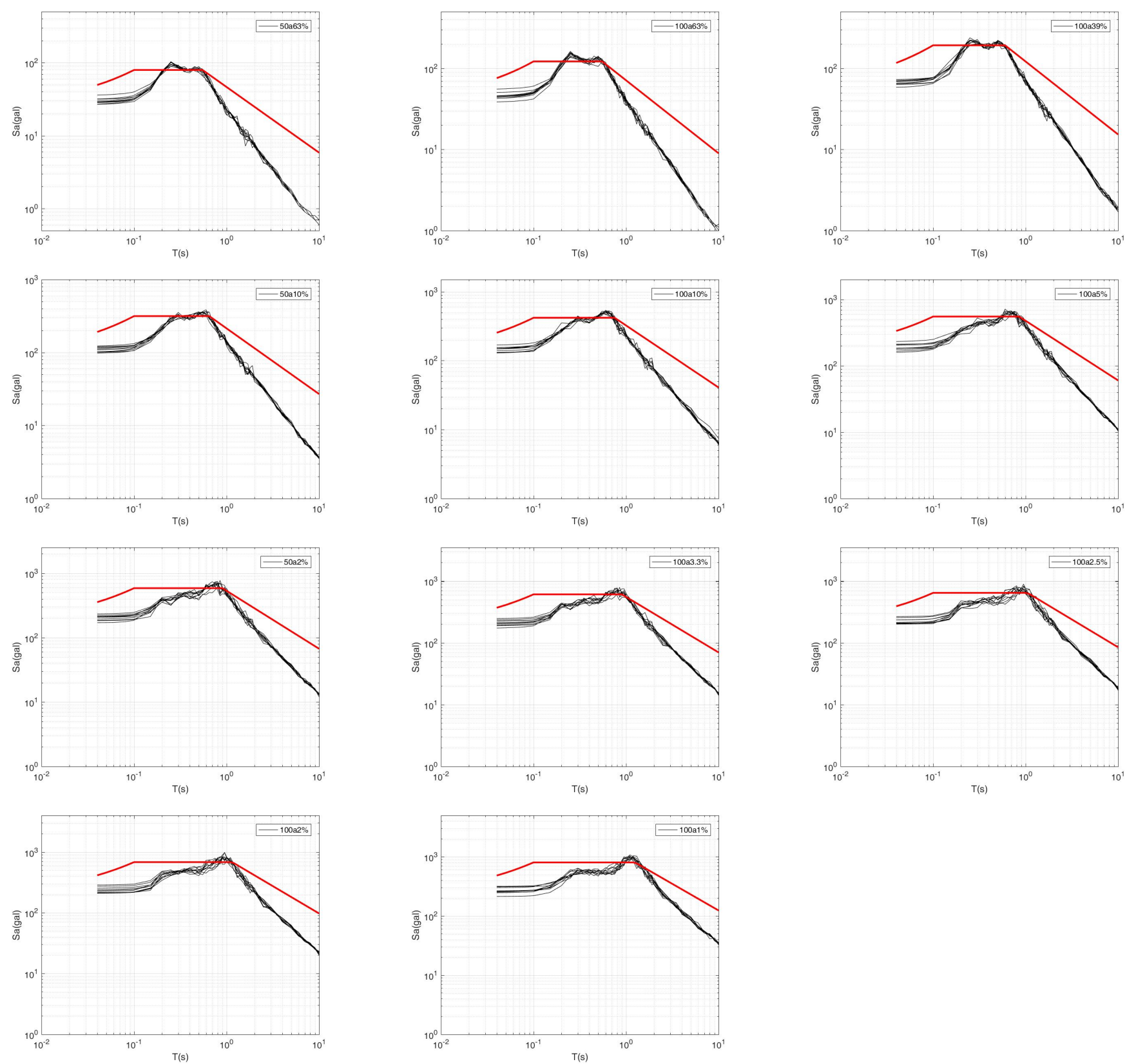


图 8.1-4 ZK3 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

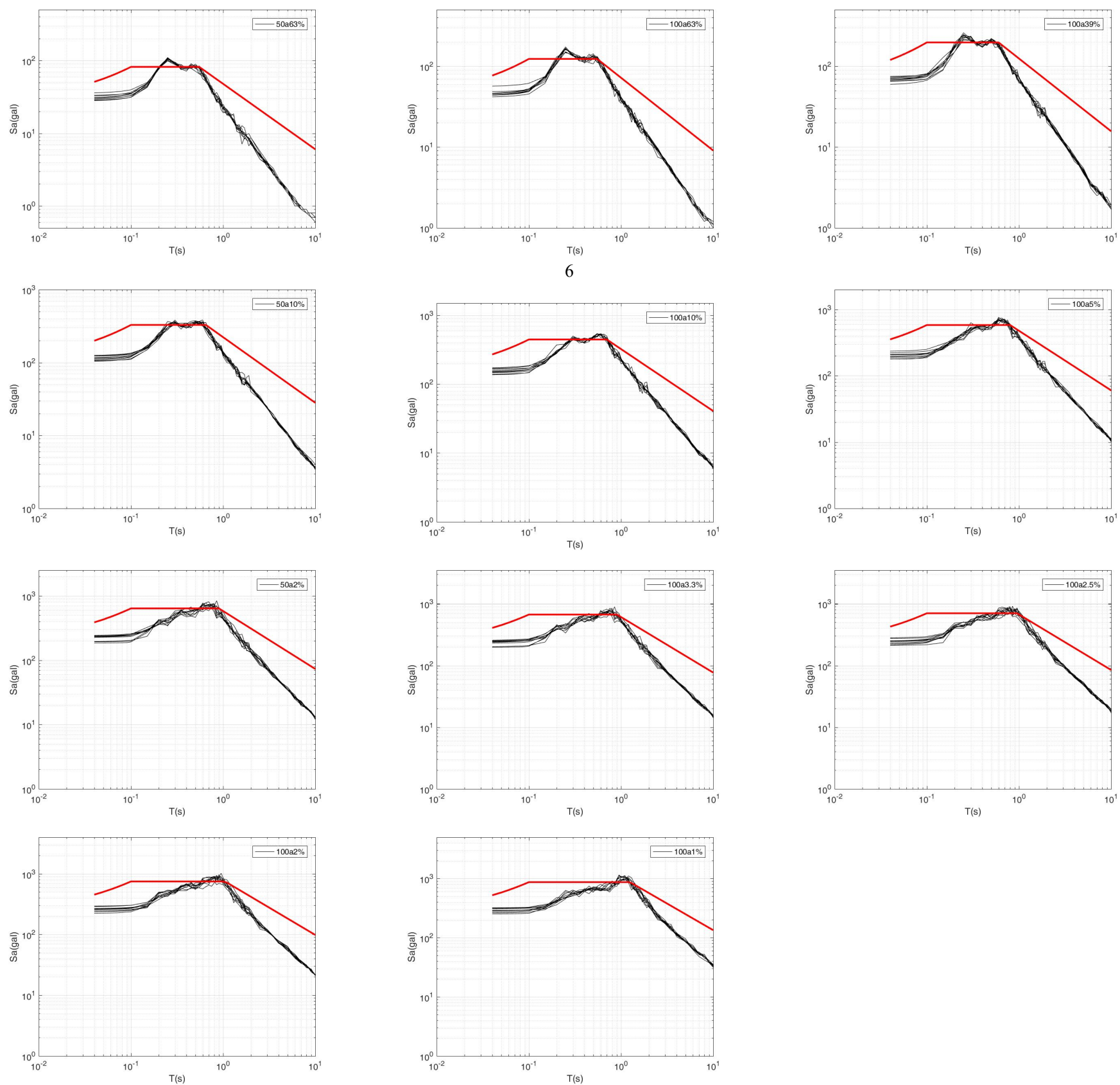


图 8.1-5 ZK4 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规准曲线（红线）

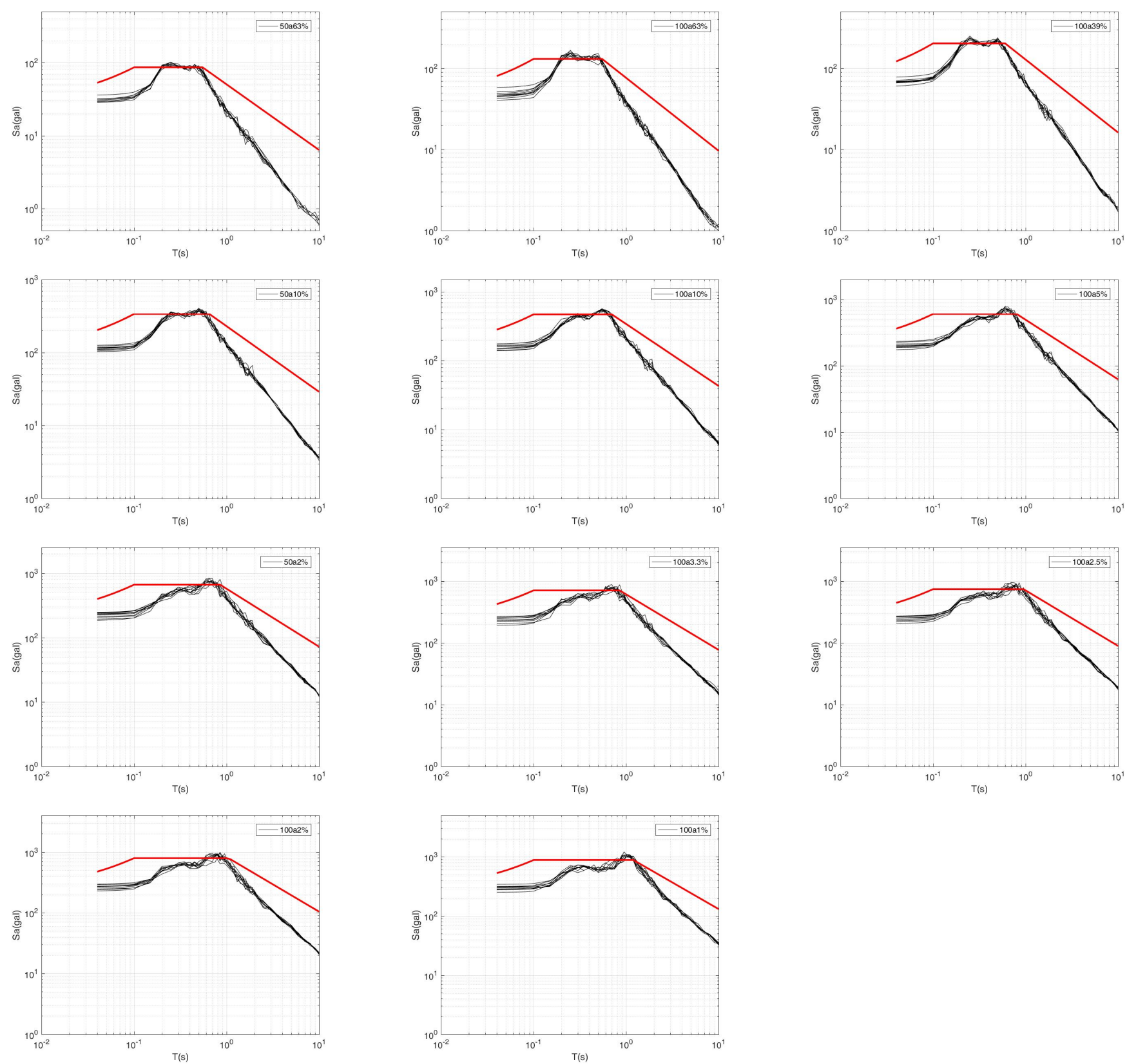


图 8.1-6 ZK5 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

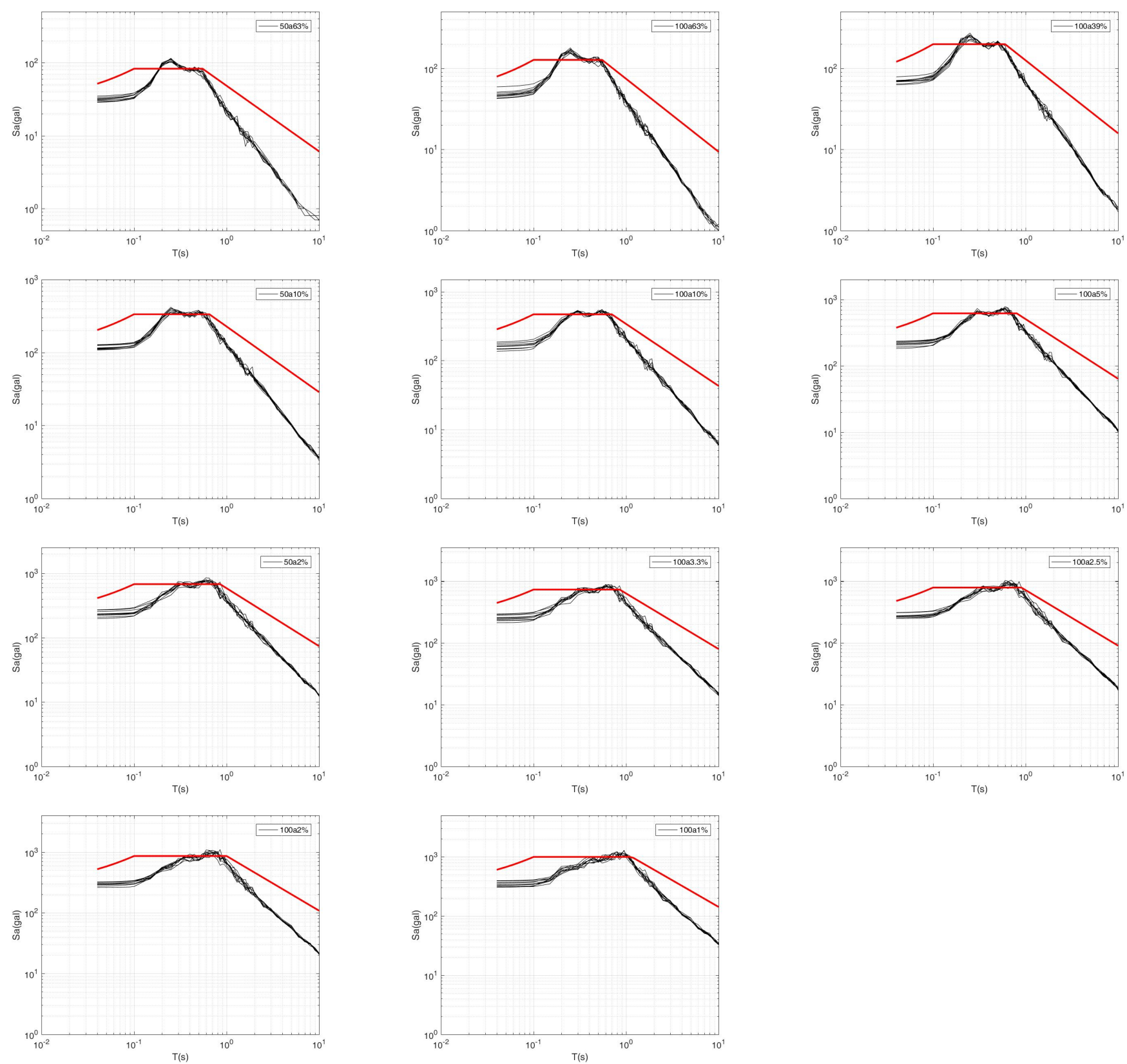


图 8.1-7 ZK6 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

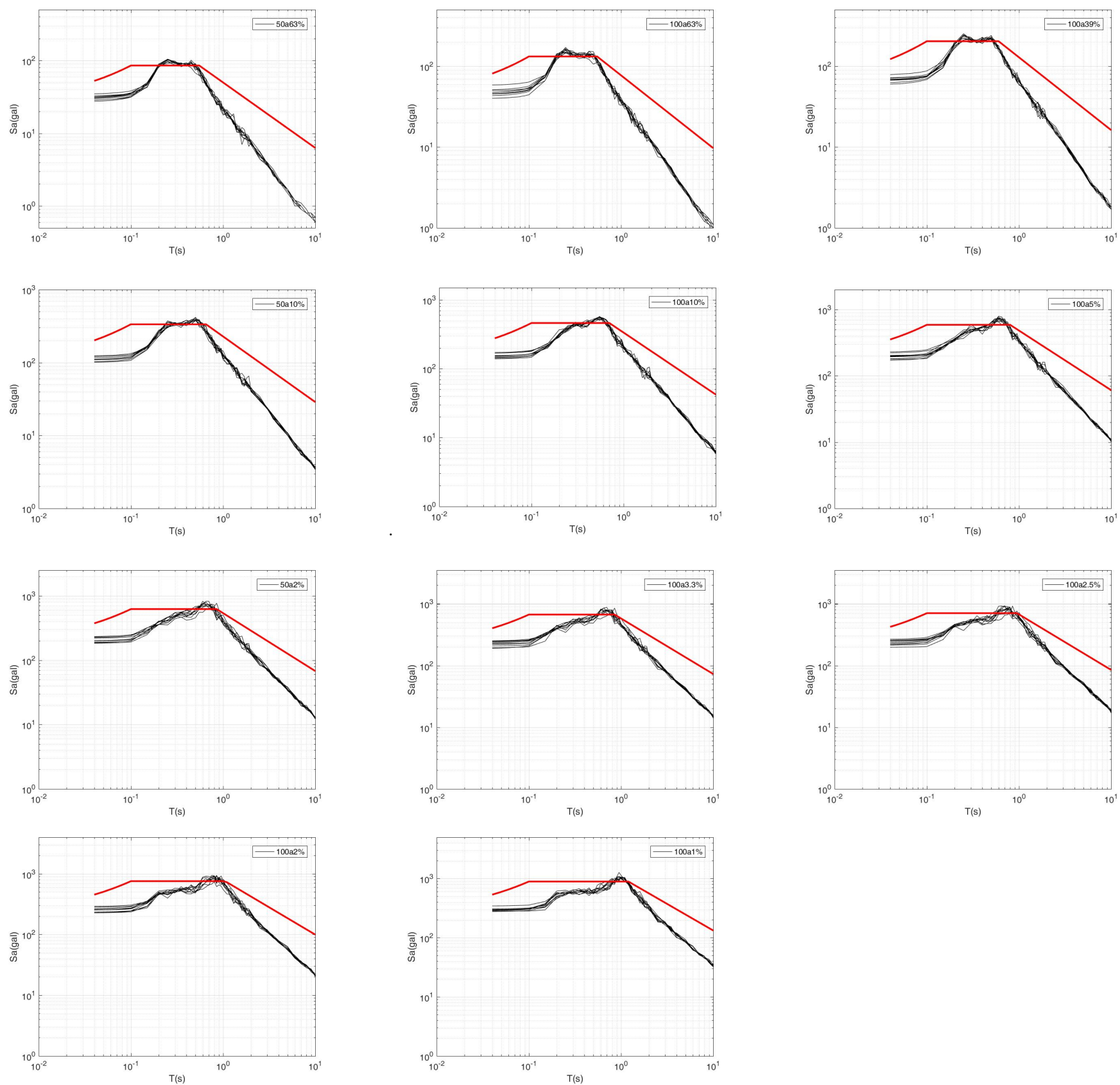


图 8.1-8 ZK7 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规准曲线（红线）

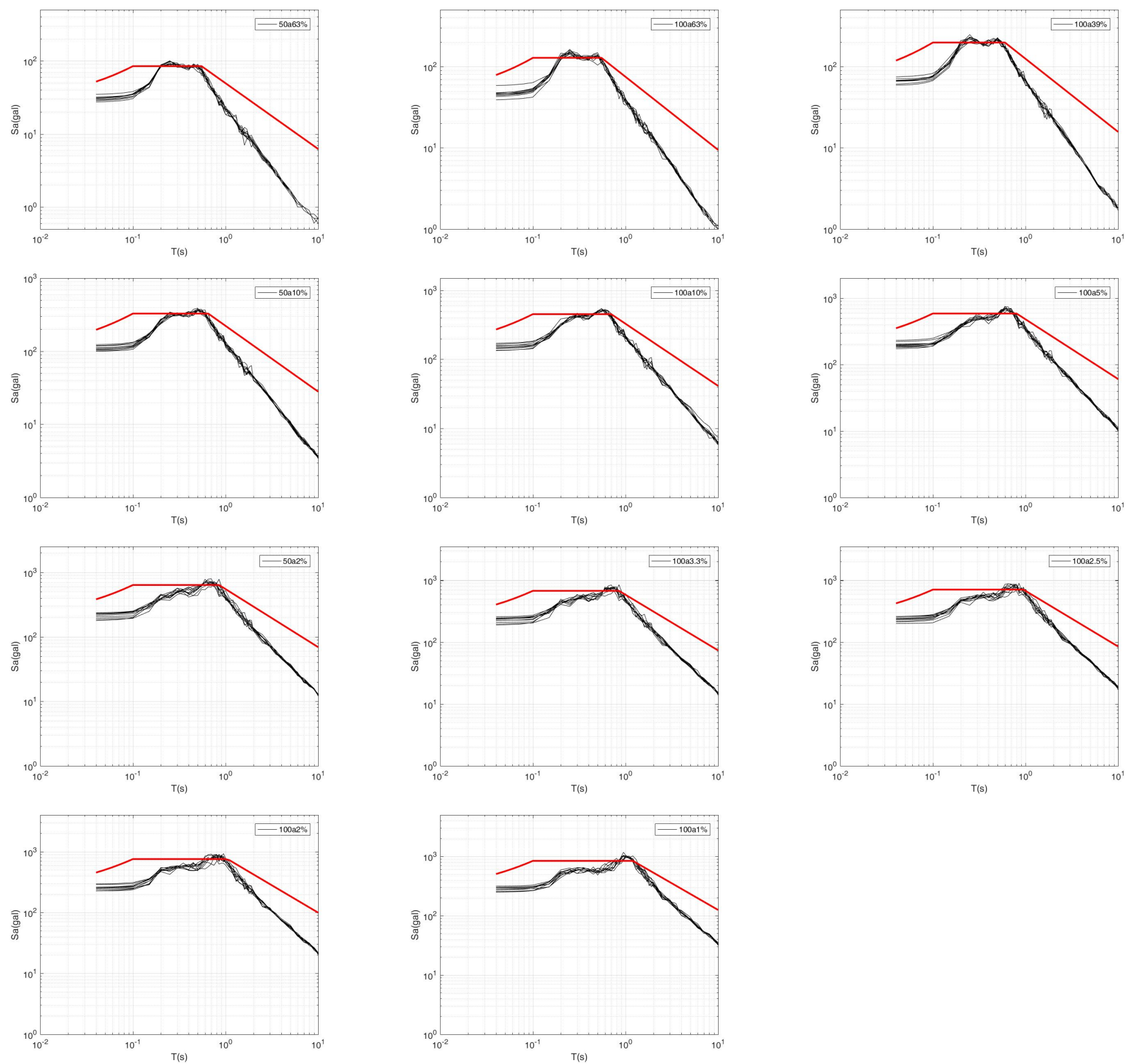


图 8.1-9 ZK8 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

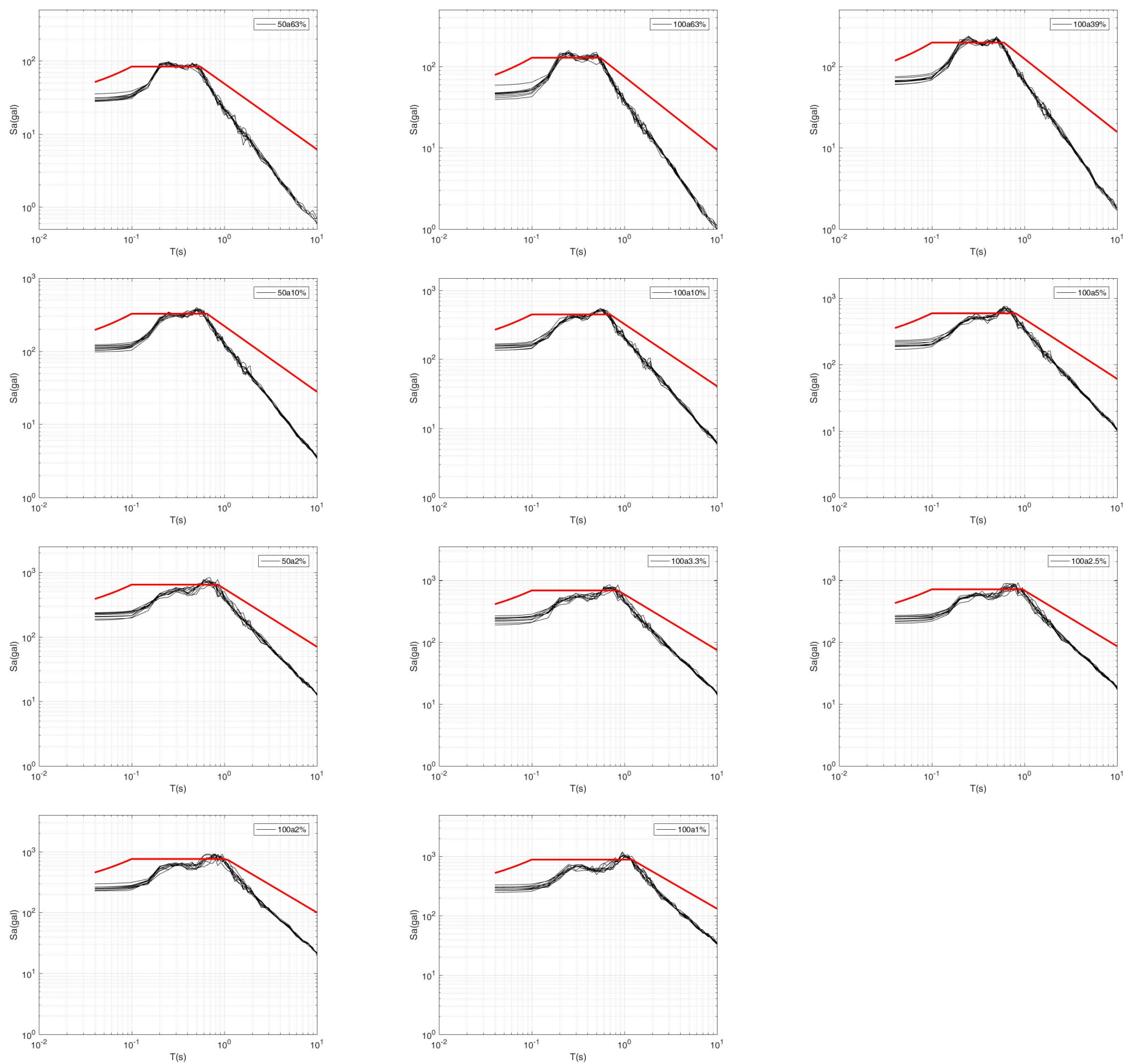


图 8.1-10 ZK9 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

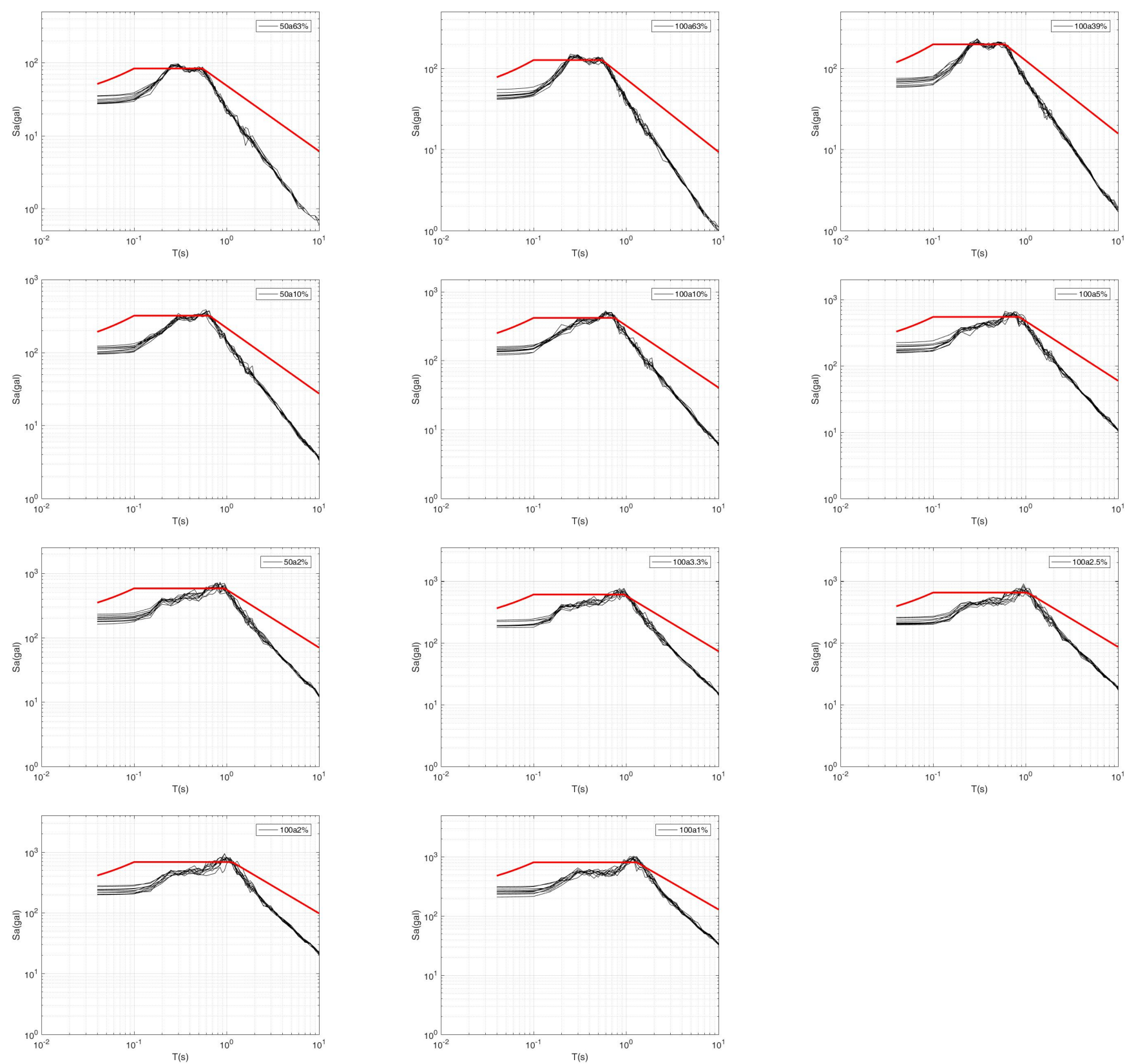


图 8.1-11 ZK010 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规准曲线（红线）

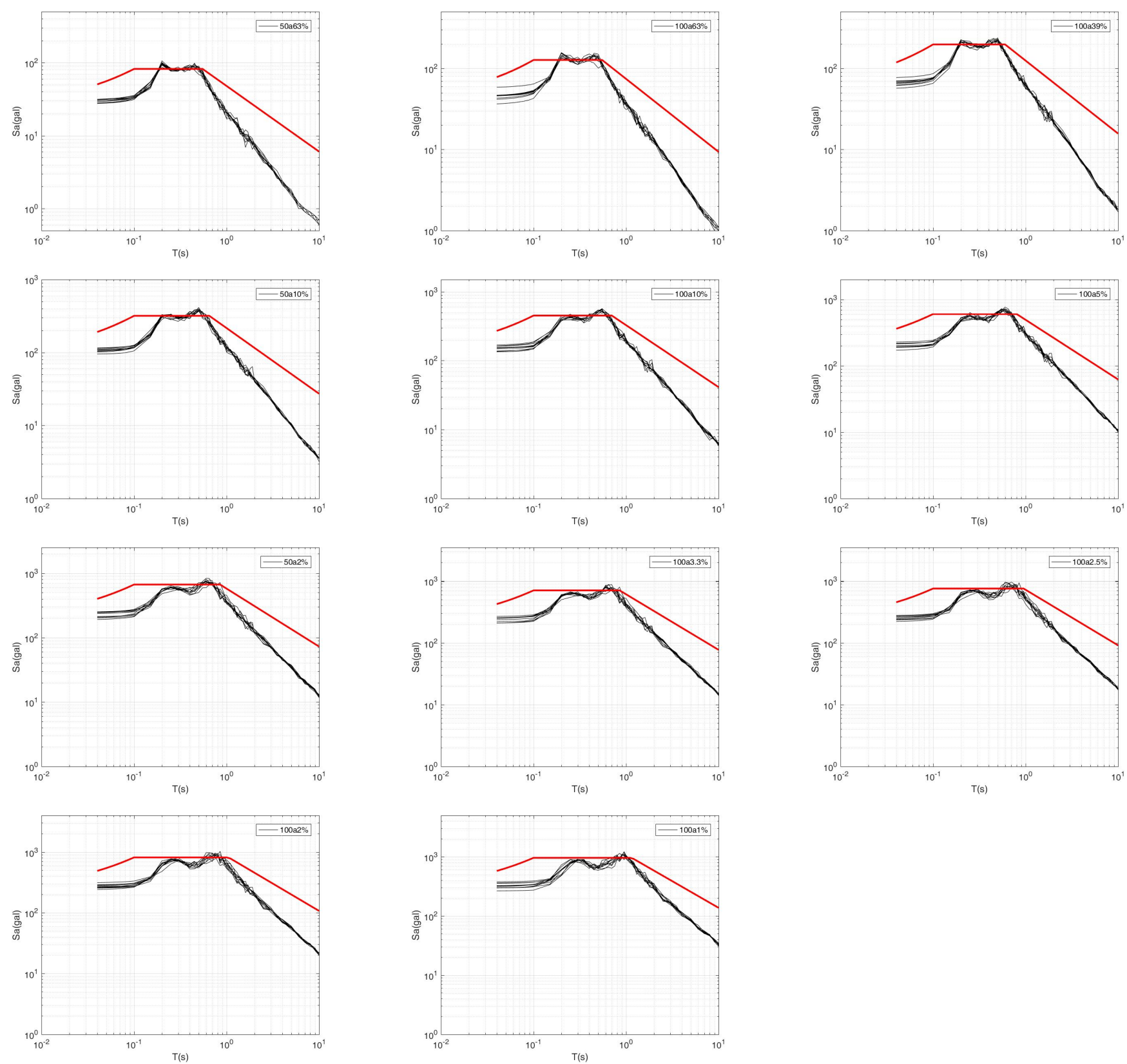


图 8.1-12 ZK011 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规准曲线（红线）

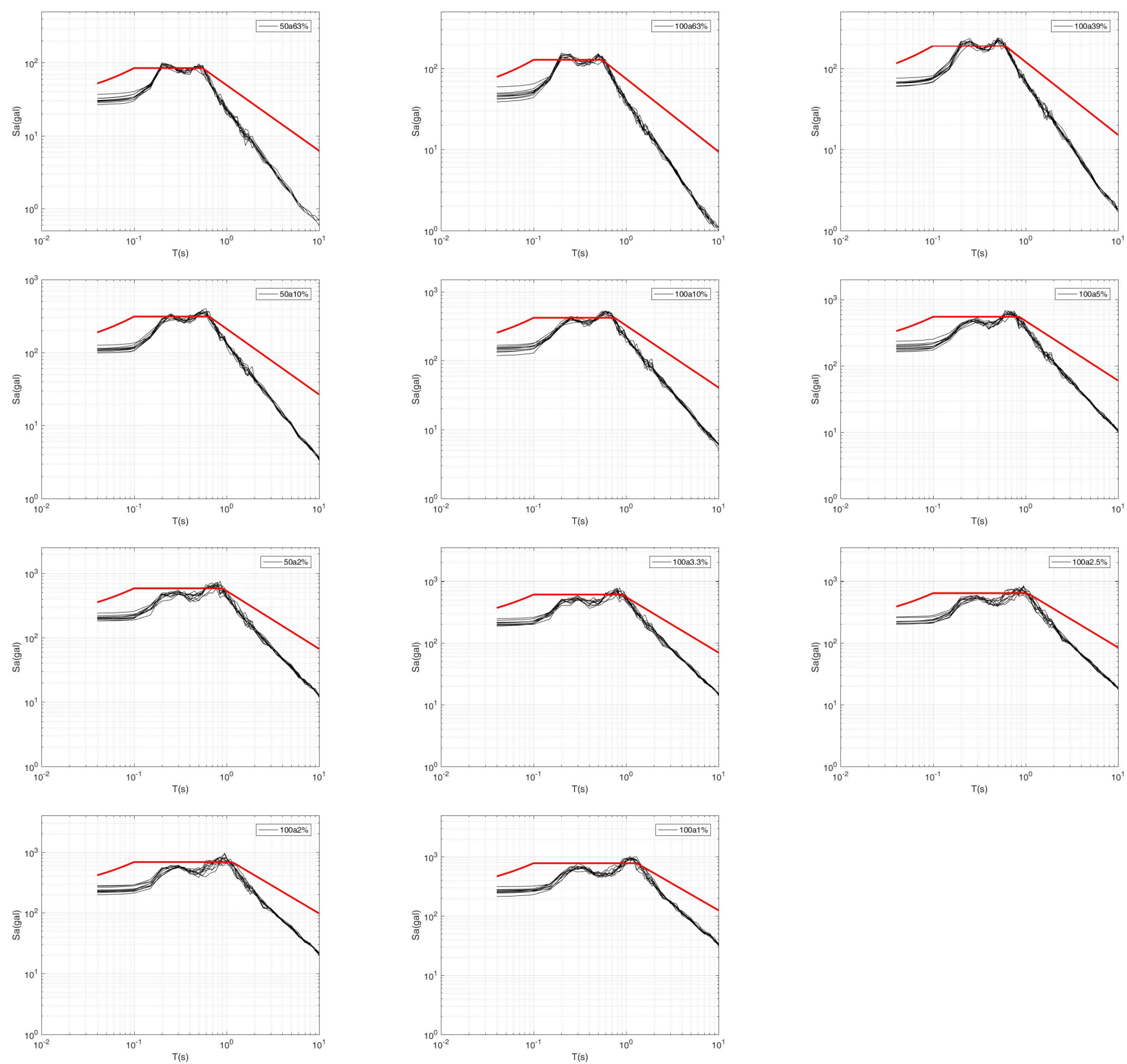


图 8.1-13 ZK012 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

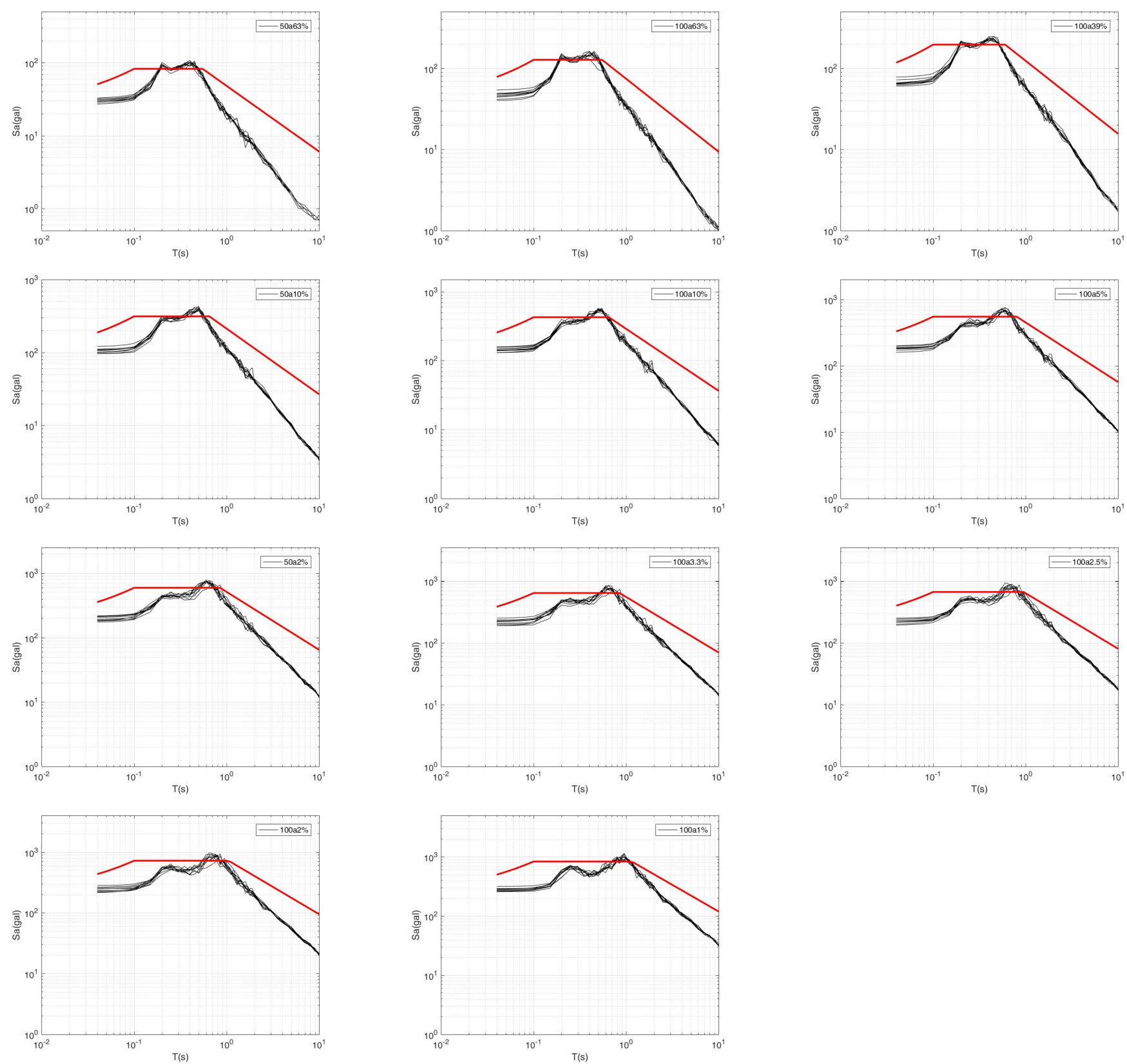


图 8.1-14 ZK013 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

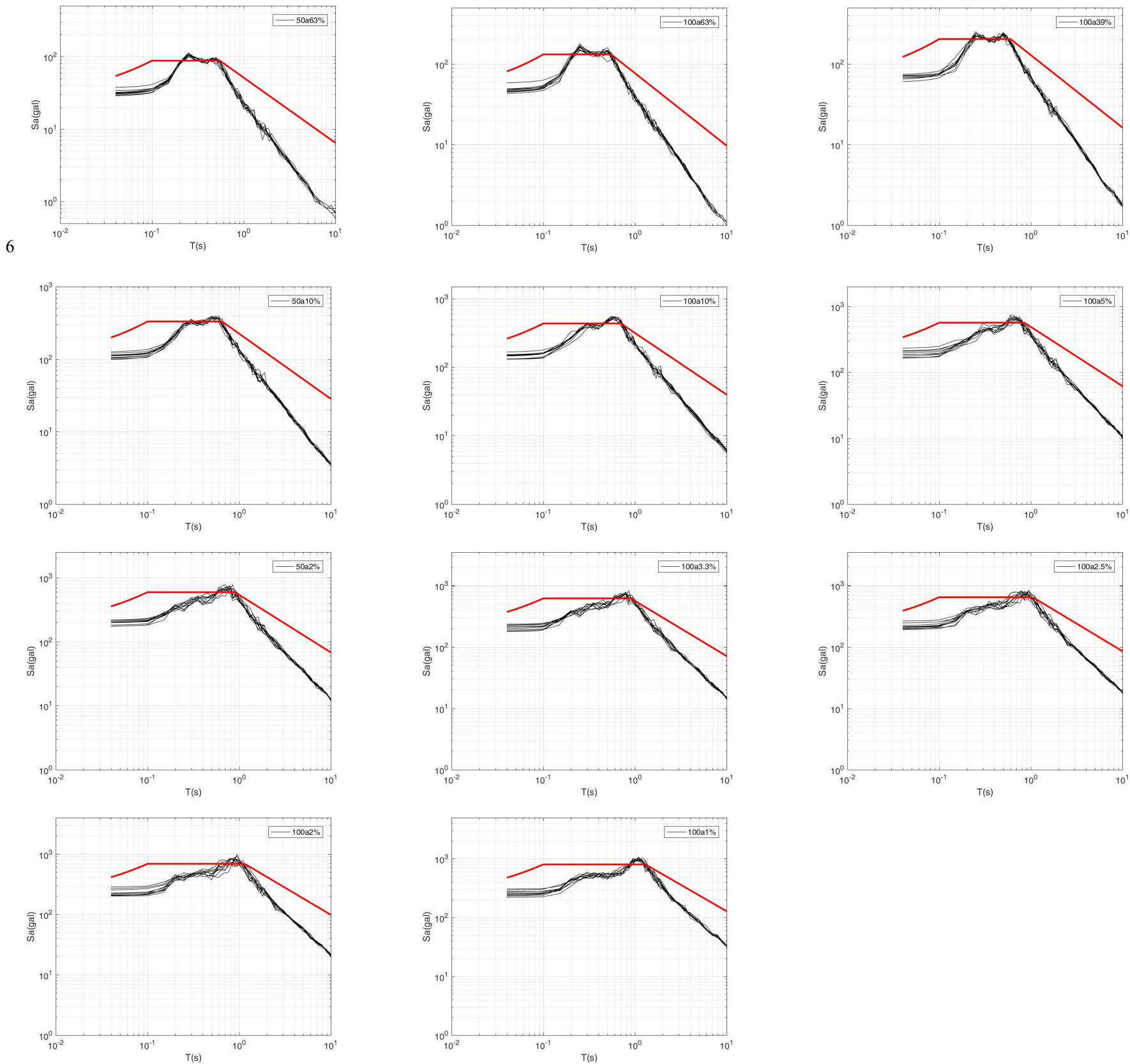


图 8.1-15 ZK014 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

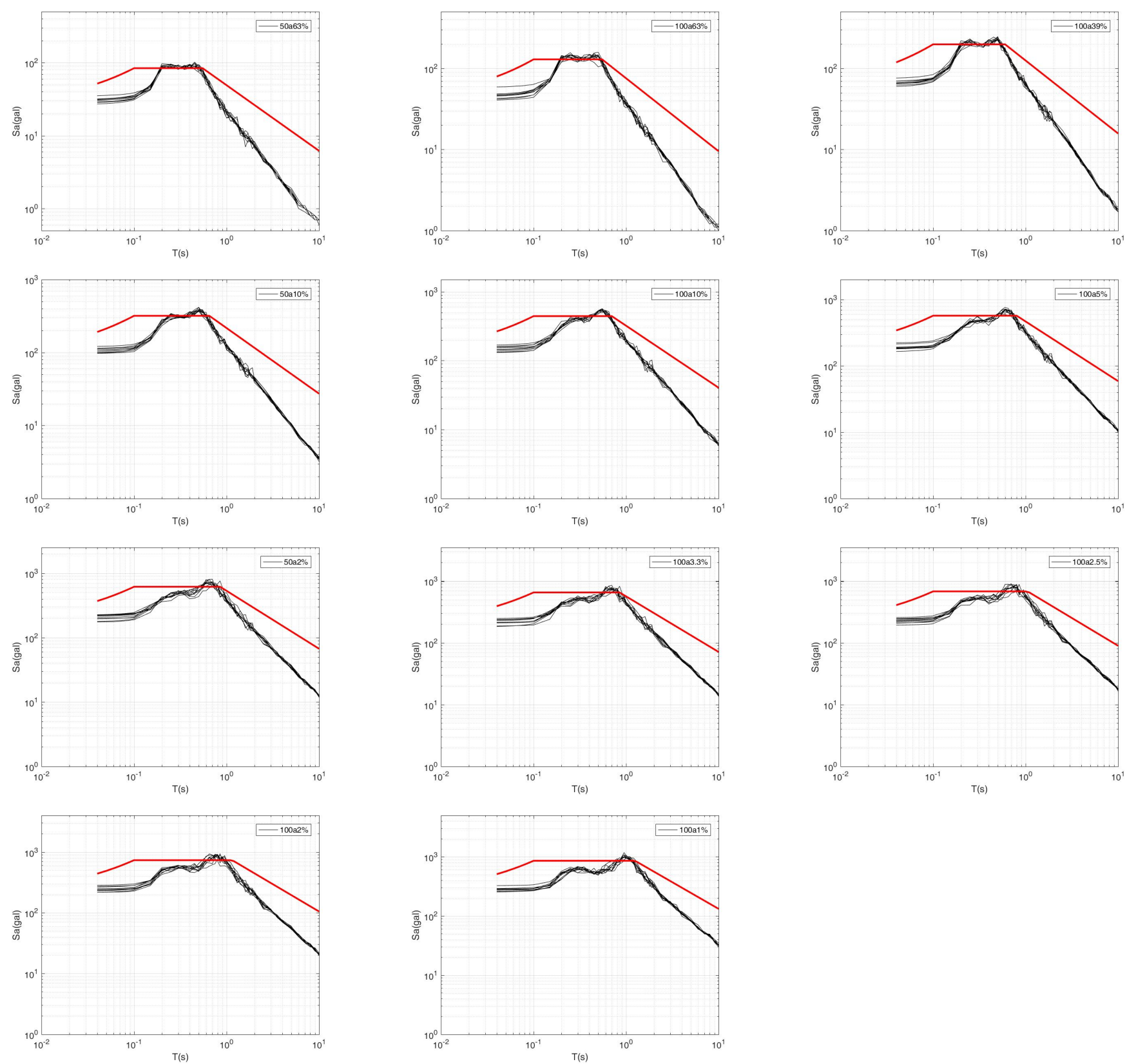


图 8.1-16 ZK015 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

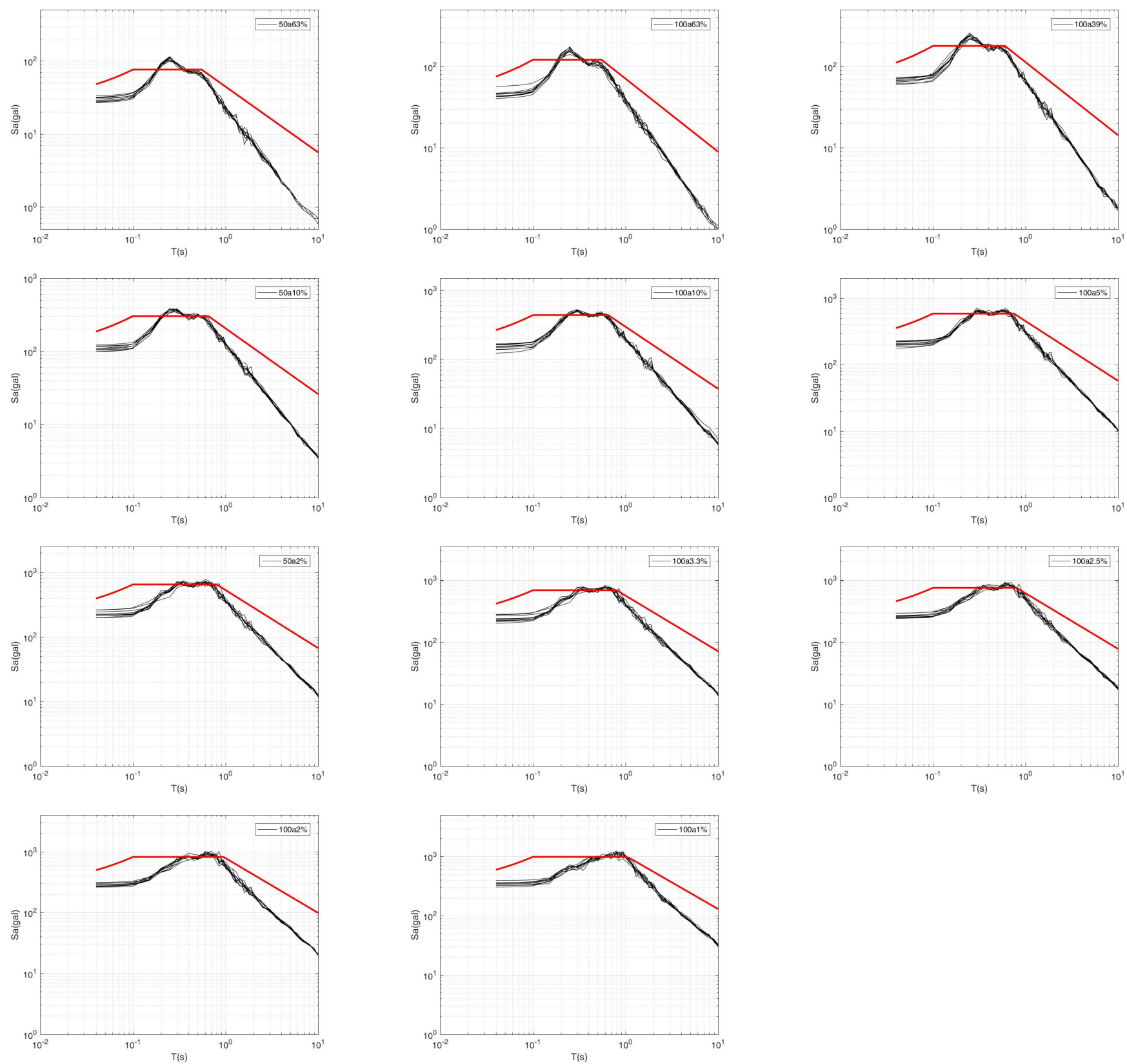


图 8.1-17 ZK016 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

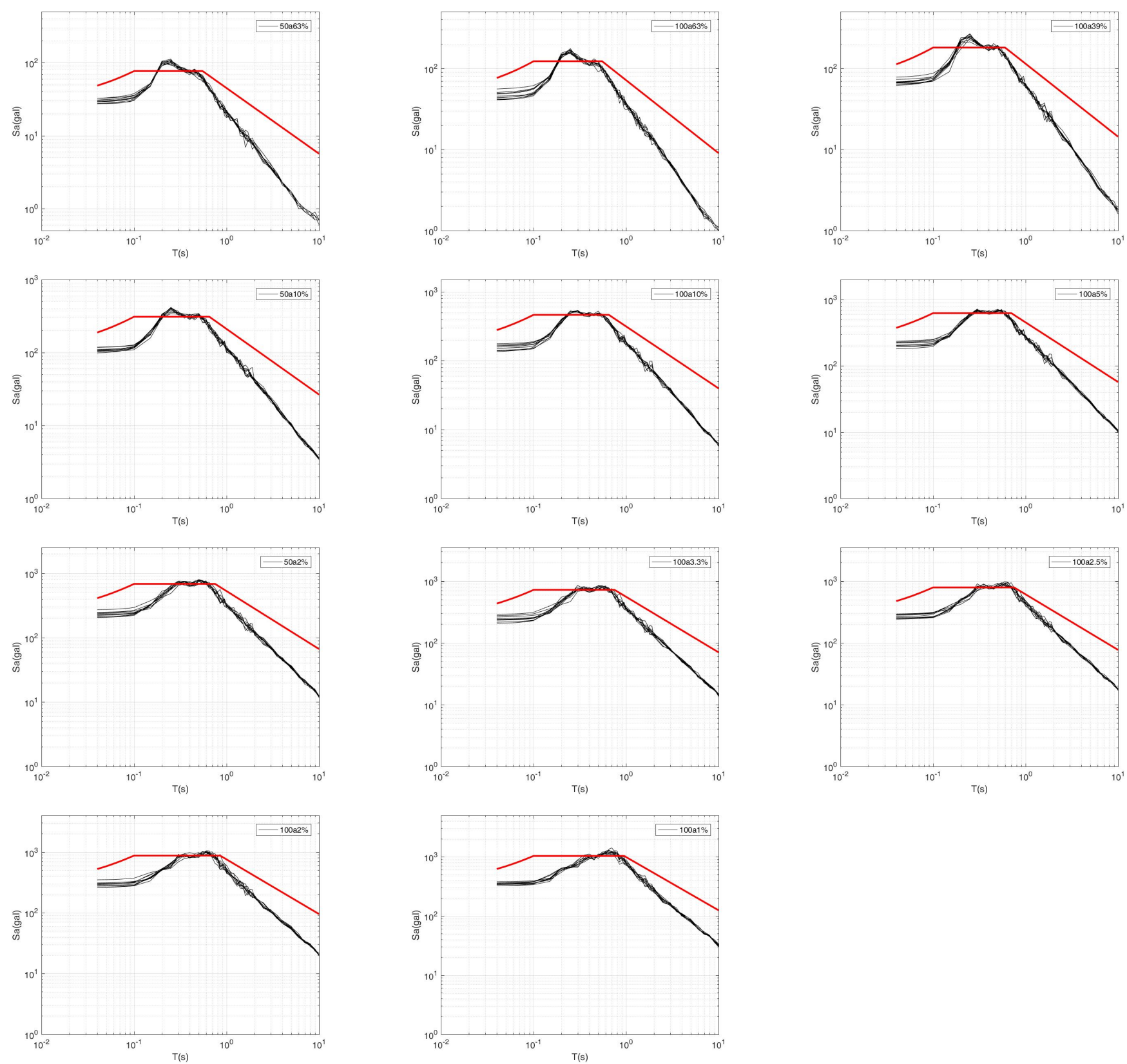


图 8.1-18 ZK017 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

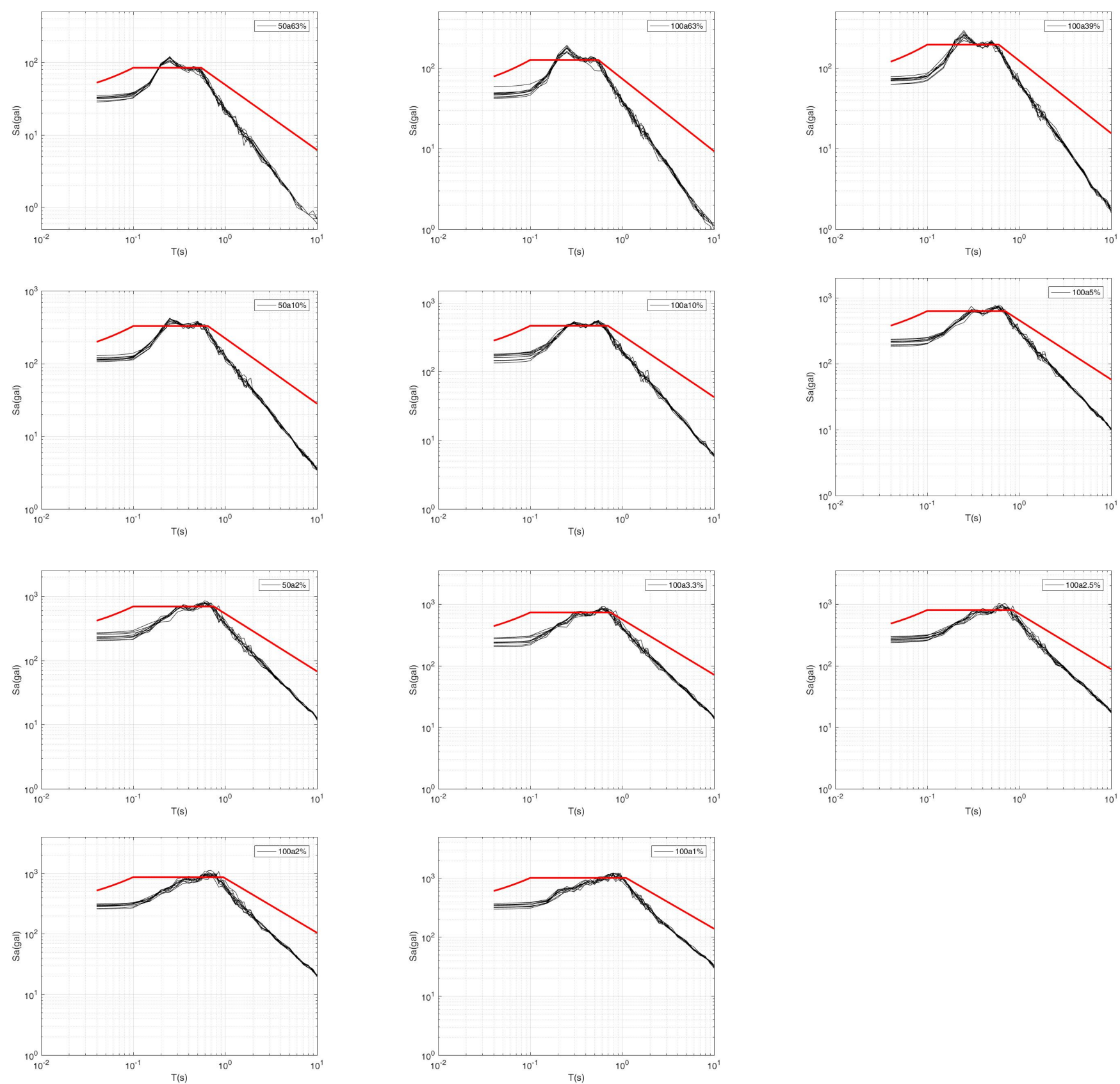


图 8.1-19 ZK018 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规准曲线（红线）

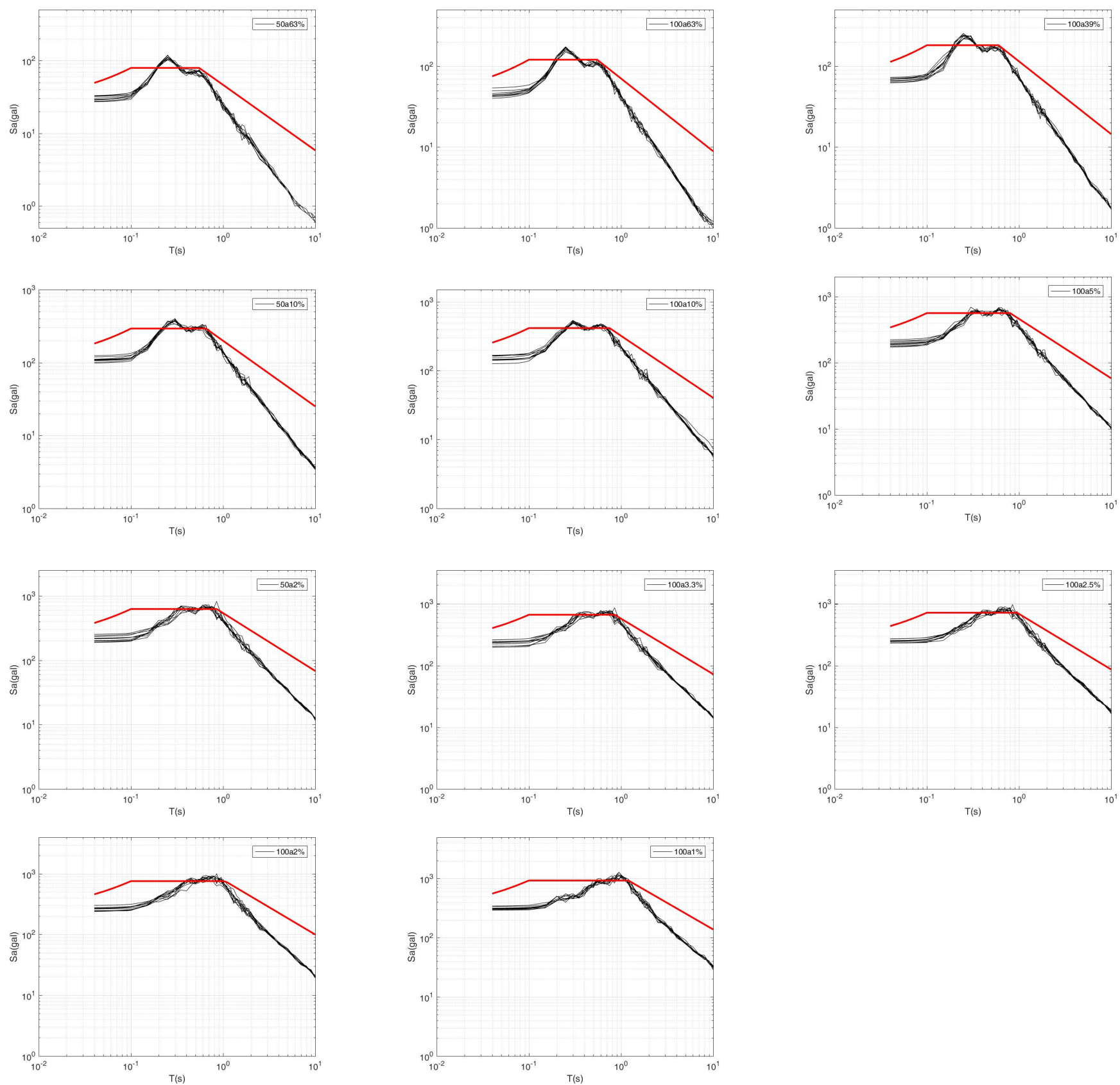


图 8.1-20 ZK019 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规范曲线（红线）

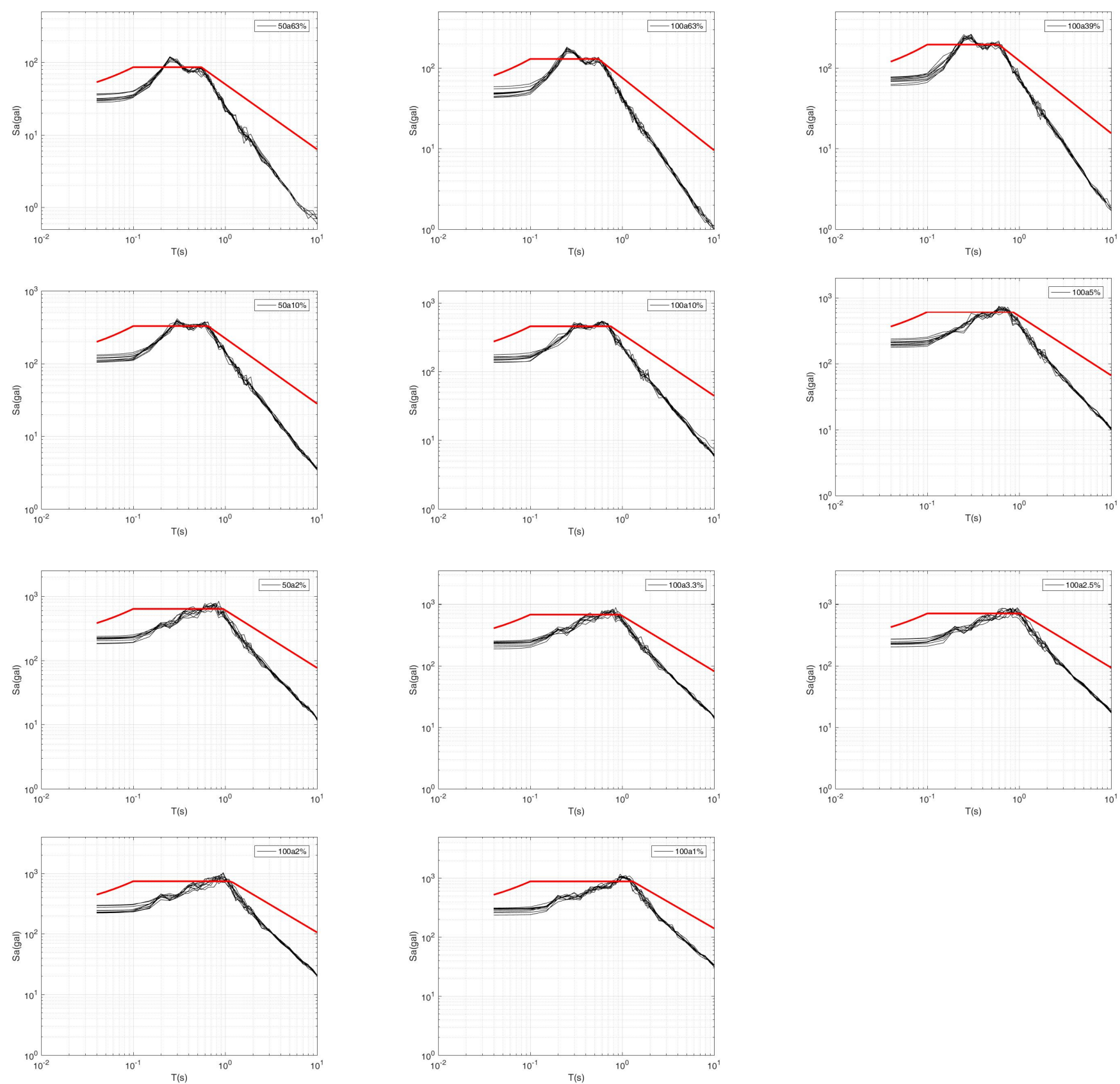


图 8.1-21 ZK20 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规准曲线（红线）

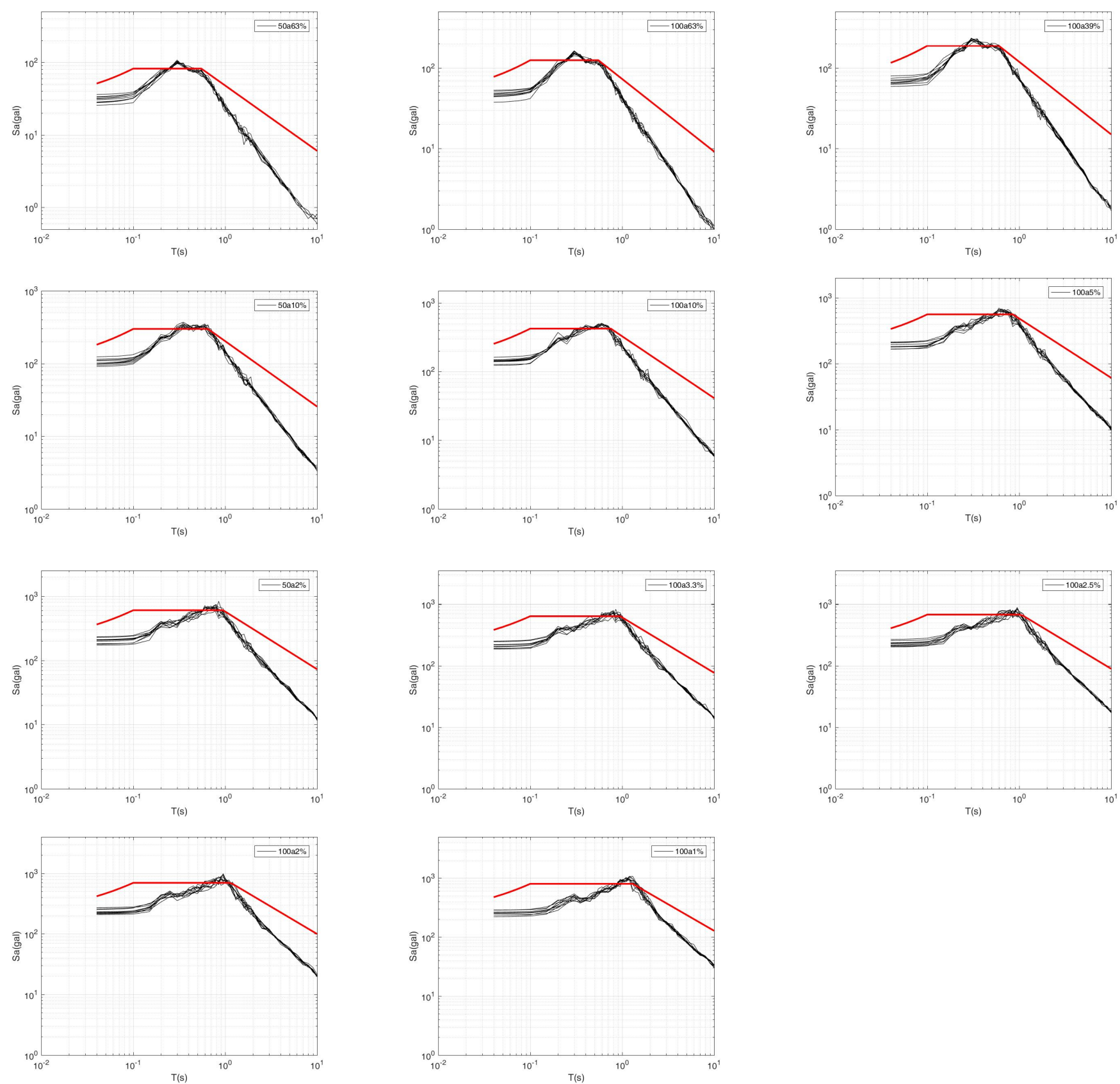


图 8.1-22 ZK21 钻孔地表水平向地表加速度反应谱（黑线）与规准曲线（红线）

8.2 各控制点地震动参数

8.2.1 场地地震动反应谱

目标区场地地震动加速度反应谱取为：

$$S_a(T) = A_{\max} \beta(T) \quad (8.2-1)$$

其中 A_{\max} 为地震动峰值加速度， $\beta(T)$ 为地震动峰值加速度放大系数反应谱，且有

$$\beta(T) = \begin{cases} 1 & T \leq 0.04s \\ 1 + (\beta_m - 1) \frac{T - 0.04}{T_1 - 0.04} & 0.04 \leq T \leq T_1 \\ \beta_m & T_1 < T \leq T_2 \\ \beta_m \left(\frac{T_2}{T} \right)^\gamma & T_2 < T \leq 10.0s \end{cases} \quad (8.2-2)$$

据 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》，目标区场地地震动加速度峰值位于 $0.10 g_n$ 分区，特征周期位于 $0.45s$ 分区。根据各计算点（控制性钻孔）加速度反应谱参数结果（见表 8.2-1），结合反应谱标定峰值加速度结果，以及考虑不低于 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》地震动参数原则，确定了地震动参数为最低抗震设防要求，综合分析给出了反应谱参数，为了偏安全考虑各个超越概率水平的反应谱特征周期取值不小于 $0.45s$ ，50 年超越概率 63% 值取 50 年超越概率 10% 值三分之一，与最终确定各控制点地表水平向加速度反应谱参数如表 8.2-1 所示。

表 8.2-1 各控制点地表水平向加速度反应谱参数表 (阻尼比 0.05)

计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
Zk1	$A_{\max} (g_n)$	0.045	0.054	0.083	0.134	0.185	0.242	0.260	0.271	0.289	0.311	0.368
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.113	0.135	0.208	0.335	0.463	0.605	0.650	0.678	0.723	0.778	0.920
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZK2	$A_{\max} (g_n)$	0.042	0.050	0.075	0.127	0.175	0.229	0.252	0.263	0.277	0.294	0.360
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.105	0.125	0.188	0.318	0.438	0.573	0.630	0.658	0.693	0.735	0.900
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk3	$A_{\max} (g_n)$	0.043	0.050	0.078	0.129	0.171	0.226	0.238	0.249	0.263	0.278	0.328
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.108	0.125	0.195	0.323	0.428	0.565	0.595	0.623	0.658	0.695	0.820
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk4	$A_{\max} (g_n)$	0.045	0.050	0.080	0.134	0.181	0.239	0.260	0.273	0.286	0.305	0.356
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.113	0.125	0.200	0.335	0.453	0.598	0.650	0.683	0.715	0.763	0.890
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	1.25
	γ	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.9
Zk5	$A_{\max} (g_n)$	0.046	0.053	0.083	0.138	0.191	0.247	0.270	0.288	0.302	0.323	0.360
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

第八章 场地土层地震反应计算

计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
计算点 (钻孔)	α_{\max}	0.115	0.133	0.208	0.345	0.478	0.618	0.675	0.720	0.755	0.808	0.900
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk6	A_{\max} (g_n)	0.046	0.052	0.081	0.137	0.192	0.253	0.275	0.298	0.321	0.351	0.406
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.115	0.130	0.203	0.343	0.480	0.633	0.688	0.745	0.803	0.878	1.015
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.15
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk7	A_{\max} (g_n)	0.046	0.054	0.083	0.137	0.188	0.240	0.254	0.273	0.287	0.309	0.364
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.115	0.135	0.208	0.343	0.470	0.600	0.635	0.683	0.718	0.773	0.910
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk8	A_{\max} (g_n)	0.045	0.052	0.080	0.134	0.184	0.240	0.259	0.275	0.288	0.308	0.343
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.113	0.130	0.200	0.335	0.460	0.600	0.648	0.688	0.720	0.770	0.858
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk9	A_{\max} (g_n)	0.044	0.052	0.080	0.133	0.182	0.241	0.262	0.279	0.291	0.309	0.361
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.110	0.130	0.200	0.333	0.455	0.603	0.655	0.698	0.728	0.773	0.903
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk10	A_{\max} (g_n)	0.044	0.052	0.081	0.131	0.170	0.223	0.237	0.247	0.266	0.279	0.329

第八章 场地土层地震反应计算

计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
计算点 (钻孔)	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.110	0.130	0.203	0.328	0.425	0.558	0.593	0.618	0.665	0.698	0.823
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max} (g_n)	0.043	0.052	0.080	0.130	0.184	0.247	0.272	0.289	0.309	0.332	0.392
Zk11	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.108	0.130	0.200	0.325	0.460	0.618	0.680	0.723	0.773	0.830	0.980
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.15
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max} (g_n)	0.042	0.052	0.077	0.127	0.171	0.224	0.237	0.247	0.260	0.279	0.318
Zk12	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.105	0.130	0.193	0.318	0.428	0.560	0.593	0.618	0.650	0.698	0.795
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max} (g_n)	0.043	0.052	0.080	0.128	0.174	0.225	0.242	0.262	0.272	0.294	0.340
Zk13	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.108	0.130	0.200	0.320	0.435	0.563	0.605	0.655	0.680	0.735	0.850
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.65	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.15
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max} (g_n)	0.045	0.054	0.083	0.135	0.177	0.232	0.242	0.252	0.264	0.281	0.328
Zk14	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.113	0.135	0.208	0.338	0.443	0.580	0.605	0.630	0.660	0.703	0.820
	T_g (s)	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max} (g_n)	0.045	0.054	0.083	0.135	0.177	0.232	0.242	0.252	0.264	0.281	0.328

第八章 场地土层地震反应计算

计算点	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
Zk15	$A_{\max} (g_n)$	0.043	0.053	0.081	0.130	0.180	0.233	0.251	0.267	0.278	0.299	0.350
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.108	0.133	0.203	0.325	0.450	0.583	0.628	0.668	0.695	0.748	0.875
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk16	$A_{\max} (g_n)$	0.041	0.049	0.073	0.124	0.178	0.238	0.264	0.281	0.307	0.334	0.401
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.103	0.123	0.183	0.310	0.445	0.595	0.660	0.703	0.768	0.835	1.003
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.65	0.75	0.80	0.80	0.80	0.80	1.05
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk17	$A_{\max} (g_n)$	0.042	0.050	0.074	0.126	0.189	0.254	0.278	0.294	0.322	0.357	0.423
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.105	0.125	0.185	0.315	0.473	0.635	0.695	0.735	0.805	0.893	1.058
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.65	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.95
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk18	$A_{\max} (g_n)$	0.045	0.051	0.079	0.134	0.189	0.257	0.282	0.298	0.327	0.354	0.412
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.113	0.128	0.198	0.335	0.473	0.643	0.705	0.745	0.818	0.885	1.030
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	1.10
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk19	$A_{\max} (g_n)$	0.040	0.049	0.074	0.119	0.169	0.230	0.254	0.271	0.292	0.310	0.379
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.100	0.123	0.185	0.298	0.423	0.575	0.635	0.678	0.730	0.775	0.948
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20

第八章 场地土层地震反应计算

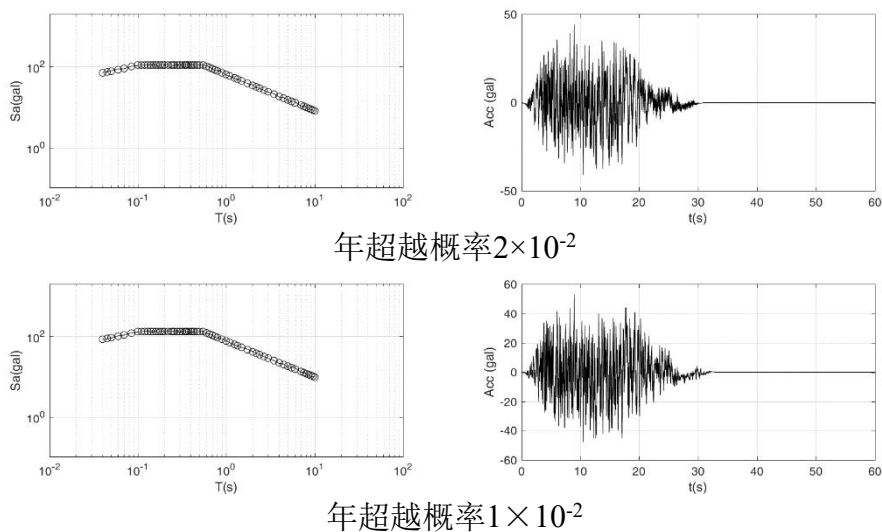
计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk20	$A_{\max} (g_n)$	0.045	0.053	0.079	0.134	0.186	0.249	0.258	0.275	0.287	0.303	0.359
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.113	0.133	0.198	0.335	0.465	0.623	0.645	0.688	0.718	0.758	0.898
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk21	$A_{\max} (g_n)$	0.041	0.051	0.077	0.122	0.172	0.229	0.246	0.259	0.275	0.285	0.327
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	α_{\max}	0.103	0.128	0.193	0.305	0.430	0.573	0.615	0.648	0.688	0.713	0.818
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

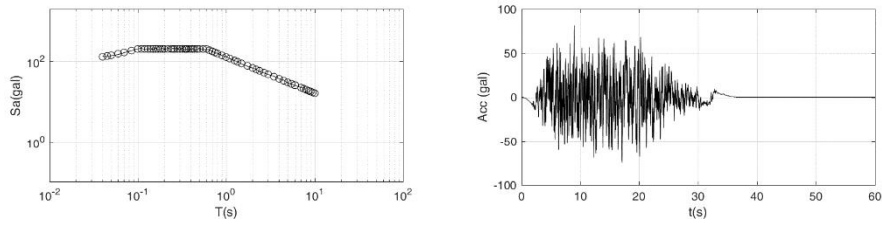
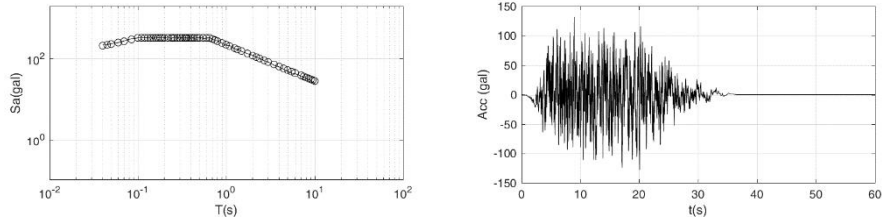
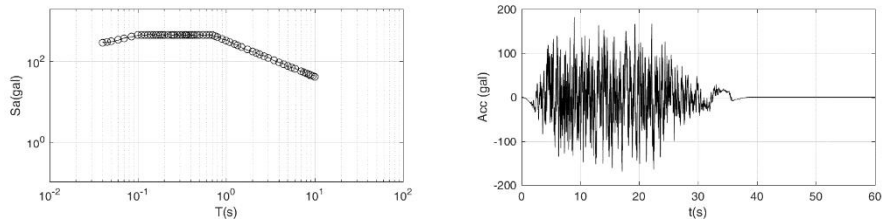
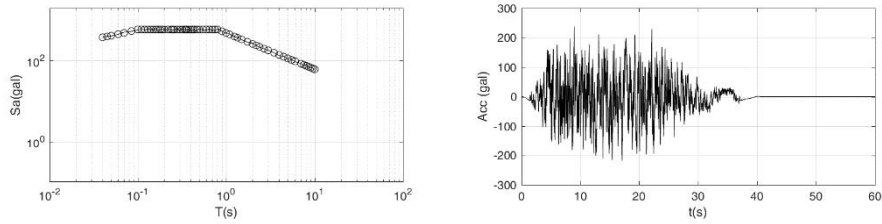
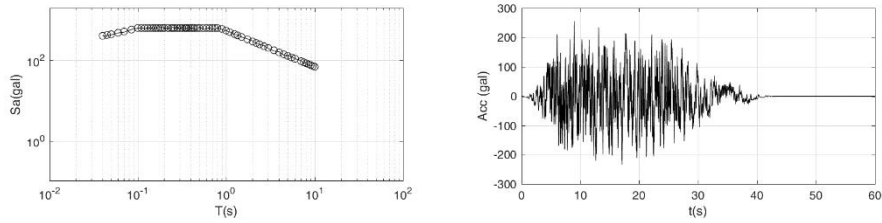
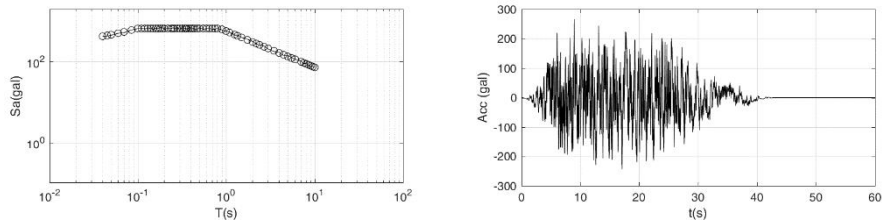
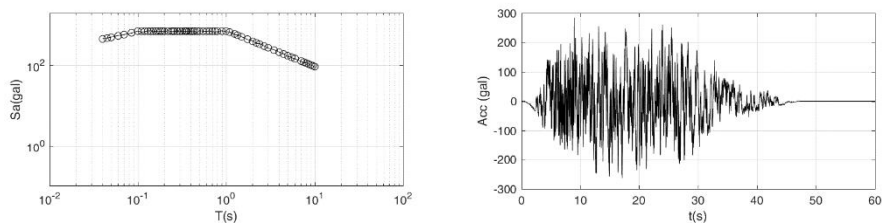
8.2.2 场地地震动加速度时程

根据工程结构抗震计算的需要（采用时程分析法计算），本节依据目标区场地地震动参数值人工合成场地地震动加速度时程，以作为工程结构动力反应分析计算的地震输入。利用前文确定的场地地震峰值加速度、目标加速度反应谱，地表地震动时程强度包络参数按基岩地震动时程强度包络参数持时增加2s，如表8.2-2所示，按前述方法进行人工合成场地地面加速度时程。分别对目标区各控制点合成各超越概率水平下各10个地震加速度时程样本。时程采样步长为0.02秒，在0.04 s~10 s内选取了64个目标反应谱控制点，合成时程的反应谱与目标反应谱之间的相对误差小于5%。由于有单独数据库章节，因此本章只给出了ZK1钻孔控制点的地面加速度时程如图8.2-1所示。

表 8.2-2 地表地震动时程强度包络参数表

年超越概率	$T_1(\text{s})$	$T_2(\text{s})$	$T_d(\text{s})$	c
2×10^{-2}	4.0	16.0	30.0	0.20
1×10^{-2}	4.0	18.0	34.0	0.20
5×10^{-3}	5.0	20.0	38.0	0.18
2×10^{-3}	5.0	20.0	38.0	0.18
1×10^{-3}	5.0	22.0	42.0	0.18
5×10^{-4}	5.0	22.0	42.0	0.16
4×10^{-4}	6.0	24.0	46.0	0.16
3.3×10^{-4}	6.0	24.0	46.0	0.16
2.5×10^{-4}	6.0	26.0	50.0	0.14
2×10^{-4}	6.0	26.0	50.0	0.14
1×10^{-4}	6.0	28.0	52.0	0.12



年超越概率 5×10^{-3} 年超越概率 2×10^{-3} 年超越概率 1×10^{-3} 年超越概率 5×10^{-4} 年超越概率 4×10^{-4} 年超越概率 3.3×10^{-4} 年超越概率 2.5×10^{-4}

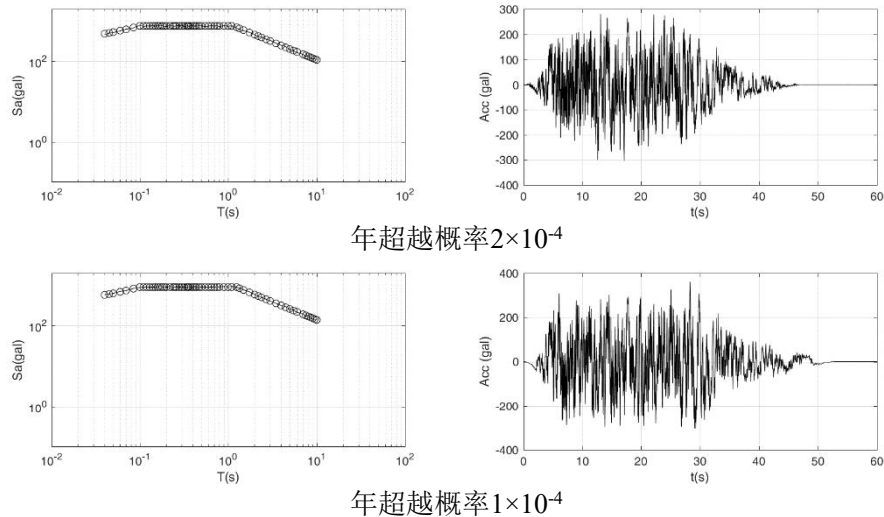


图8.2-1 ZK1地表水平向人造地震动时程样本

8.3 场地地震动参数区划

场地地震动参数区划是基于场地地震反应分析所给出的场地地震动参数结果，同时还需要考虑目标区范围内的地形、地貌和岩土性质的特点，即工程地质单元的分区结果，经综合分析后，按照地震动峰值加速度的大小与反应谱的形状进行划分。区划可以是分区的，也可以是等值线而容许内插。

根据《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价实施方案》要求，编制目标区多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱区划图，并以等值线形式表示目标区地震动参数分区结果。根据《区域性地震安全性评价工作大纲(试行)》（中震防函〔2019〕21号）和《江苏省区域性地震安全性评价技术规范》要求，地震动峰值加速度相邻等值线差异宜为5%且为5 gal的整数倍，反应谱特征周期相邻等值线差异一般为0.05 s。

(1) 地表加速度峰值分区

根据计算结果，GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》标定方法确定地表峰值加速度，土层场地各计算50年超越概率63%的PGA取50年超越概率10%的三分之一 $0.040 g_n \sim 0.046 g_n$ ，100年超越概率63%的PGA范围在 $0.049 g_n \sim 0.054 g_n$ ，100年超越概率39%的PGA范围在 $0.073 g_n \sim 0.083 g_n$ ，50年超越概率10%的PGA范围在 $0.119 g_n \sim 0.138 g_n$ ，100年超越概率10%的PGA范围在 $0.169 g_n \sim 0.192 g_n$ ，100年超越概率5%的PGA范围在 $0.223 g_n \sim 0.253 g_n$ ，50年超越概率2%的PGA范围在 $0.237 g_n \sim 0.282 g_n$ ，100年超越概率3.3%的PGA范围在 $0.247 g_n \sim 0.298 g_n$ ，100年超越概率2.5%的PGA范围在 $0.260 g_n \sim 0.321 g_n$ ，100年超越概率2%的PGA范围在 $0.278 g_n \sim 0.357 g_n$ ，100年超越概率1%的PGA范围在 $0.318 g_n \sim 0.423 g_n$ 。图8.3-1～图8.3-11为目标区不同超越概率水准下的场地地表峰值加速度分区图。

(2) 反应谱特征周期分区

结合目标区场地工程地质条件, 以及考虑 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》等规范所确定的地震动参数为最低抗震设防要求, 据表 8.2-1, 根据各计算点(控制性钻孔)加速度反应谱参数结果, 图 8.3-12~图 8.3-21 为目标区不同超越概率水准下的场地特征周期分区图。

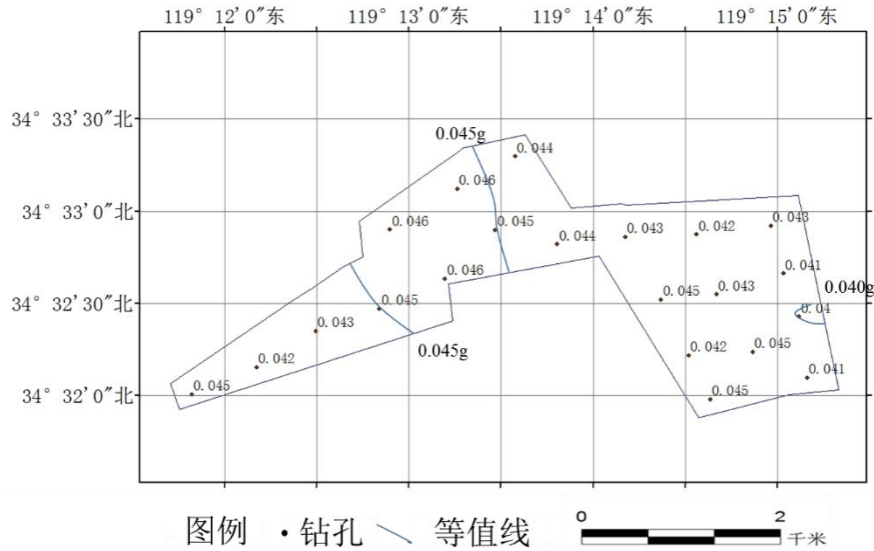


图 8.3-1 地表水平向地震动峰值加速度等值线图(50 年超越概率 63%)

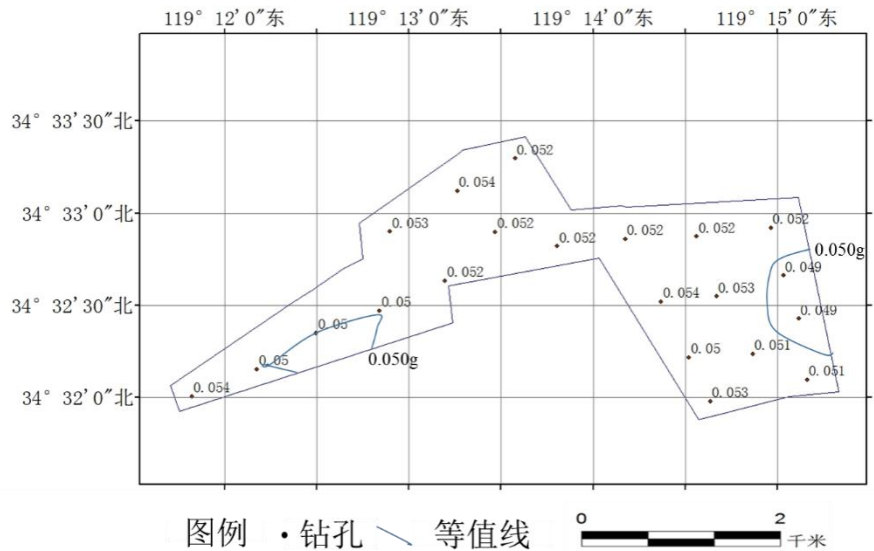
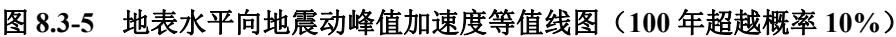
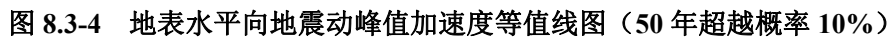
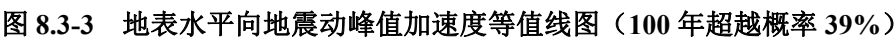


图 8.3-2 地表水平向地震动峰值加速度等值线图(100 年超越概率 63%)



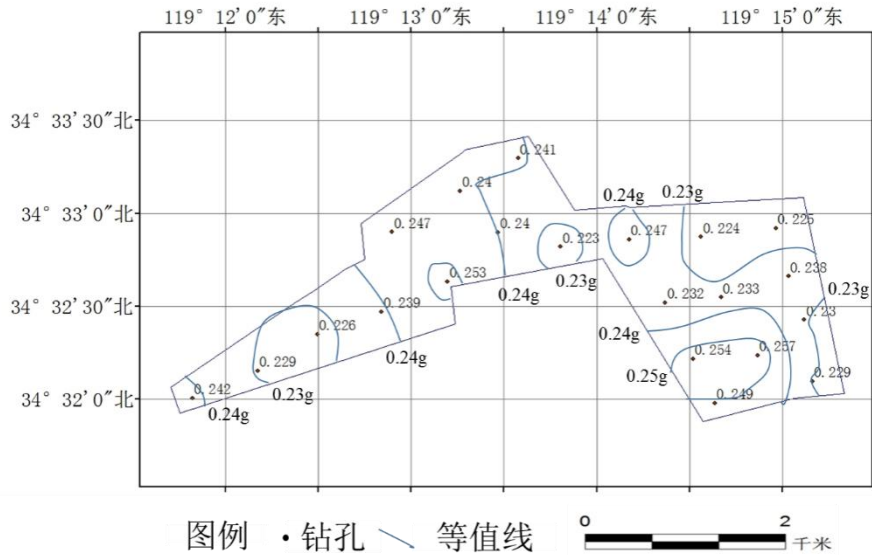


图 8.3-6 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 5%)

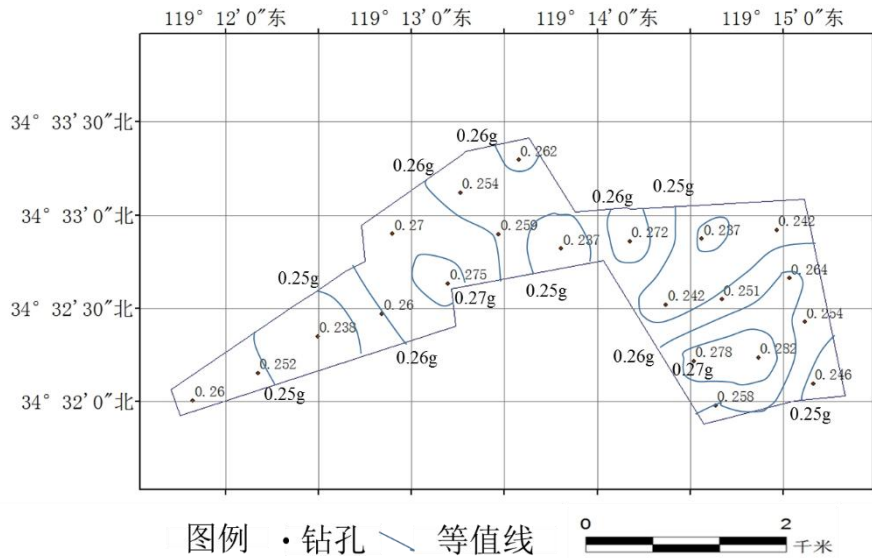


图 8.3-7 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (50 年超越概率 2%)

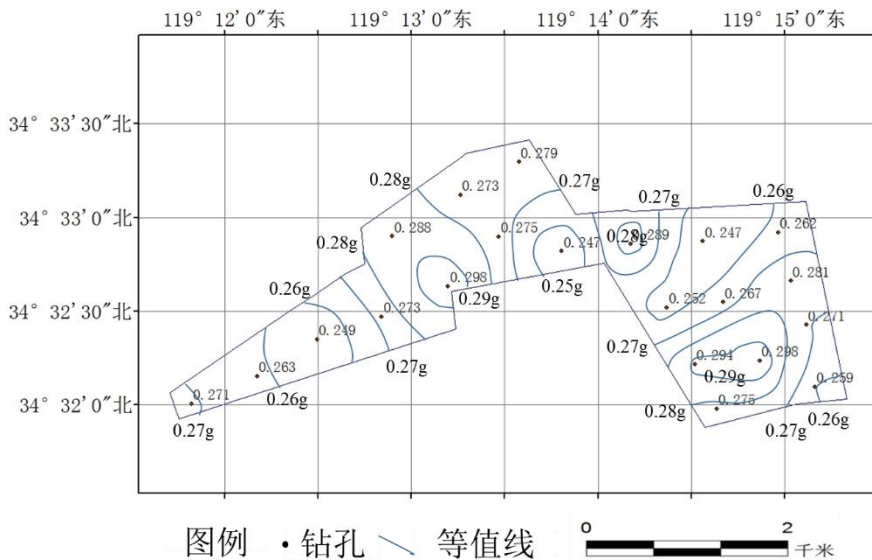


图 8.3-8 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 3.3%)

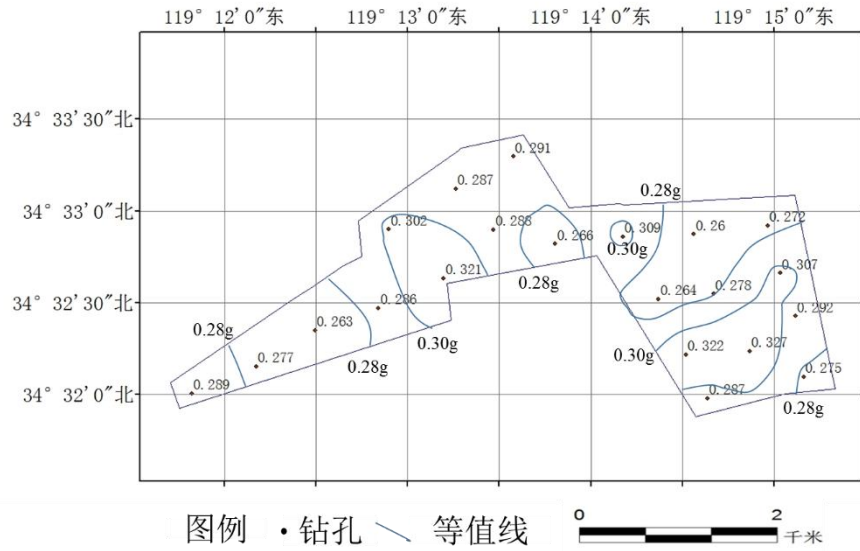


图 8.3-9 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 2.5%)

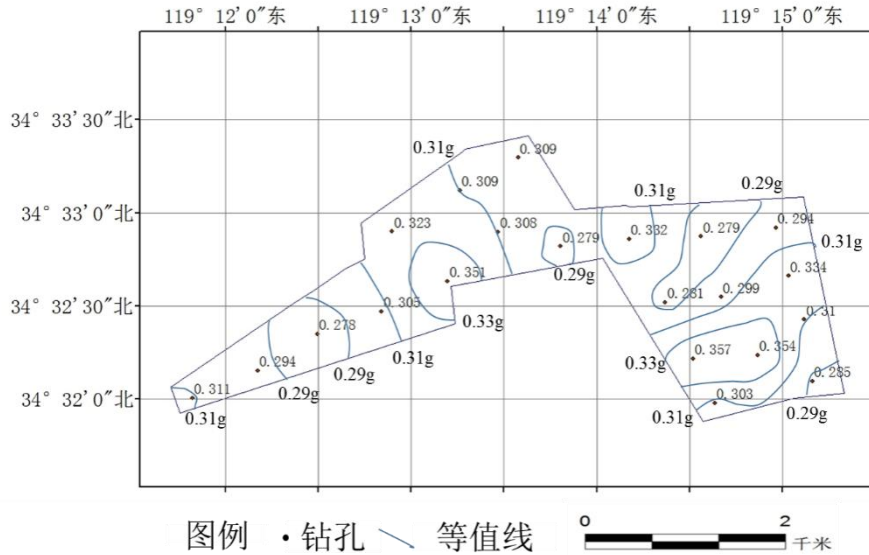


图 8.3-10 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 2%)

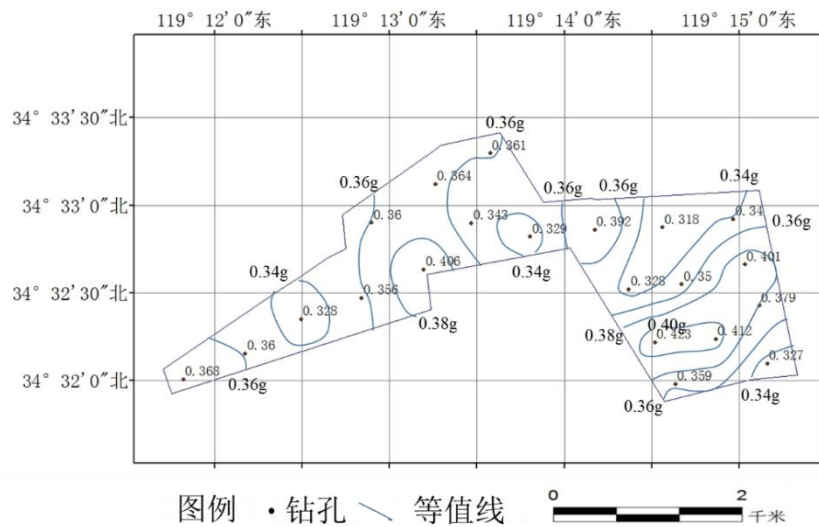


图 8.3-11 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 1%)

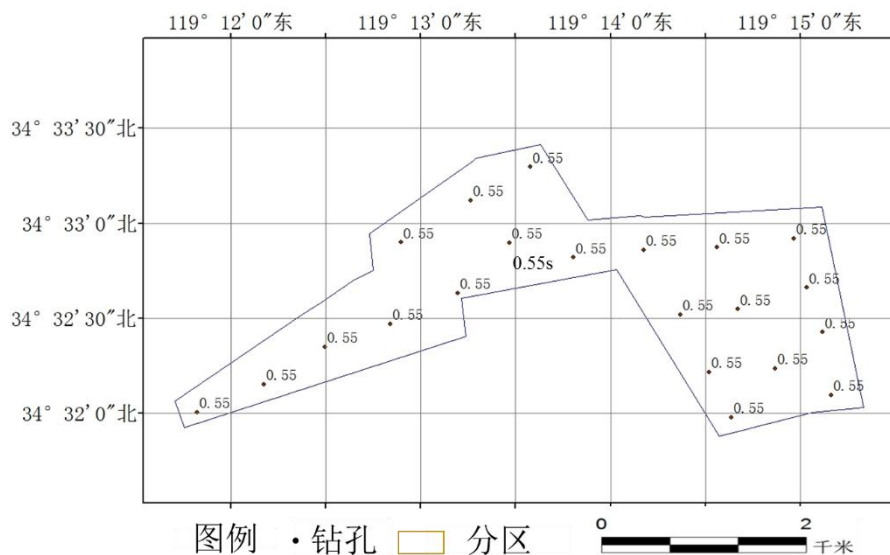


图 8.3-12 地表水平向地震动特征周期分区图 (50 年和 100 年超越概率 63%)

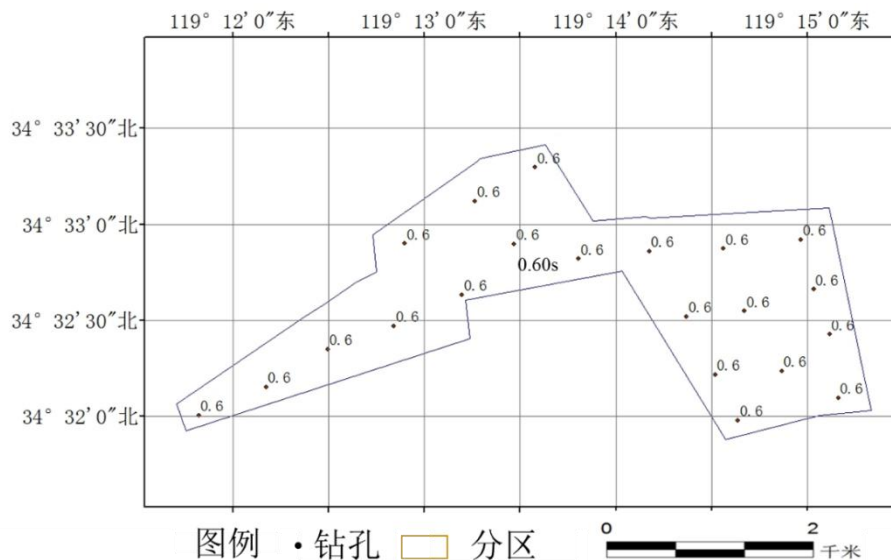


图 8.3-13 地表水平向地震动特征周期分区图 (100 年超越概率 39%)

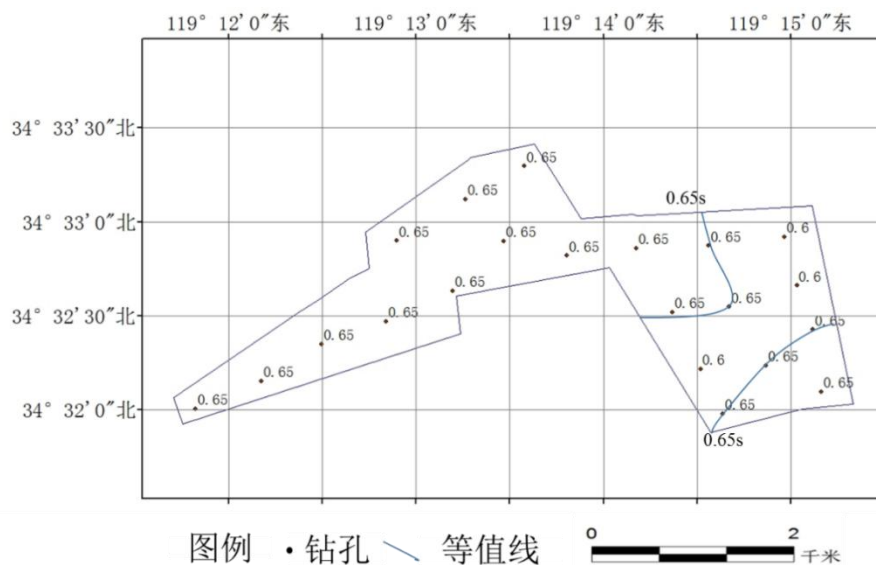


图 8.3-14 地表水平向地震动特征周期等值线图 (50 年超越概率 10%)

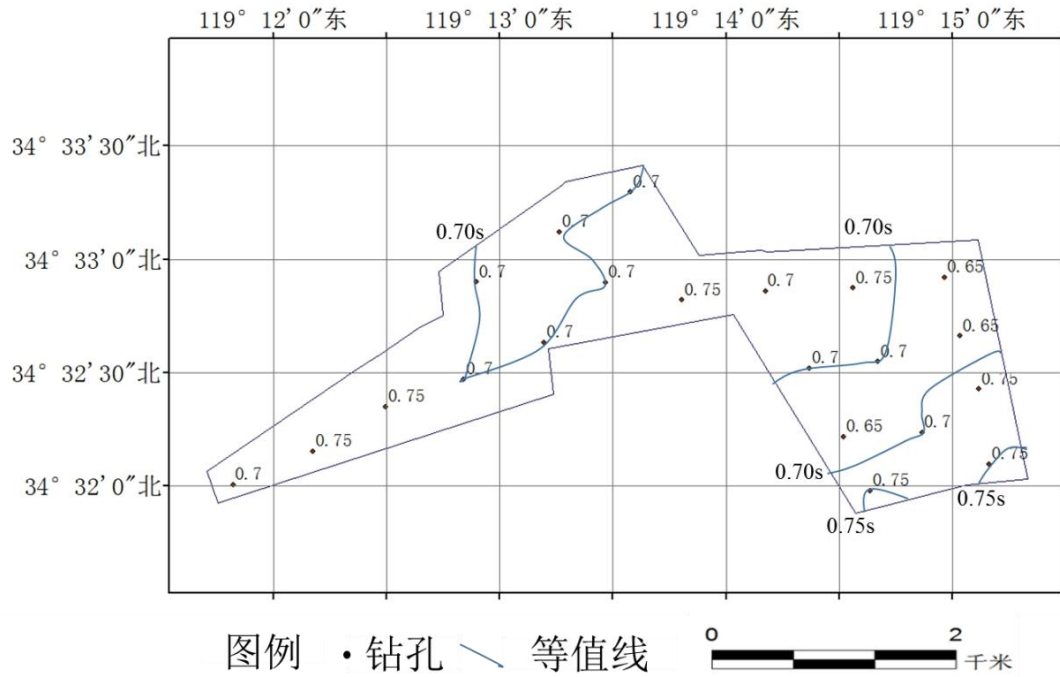


图 8.3-15 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 10%)

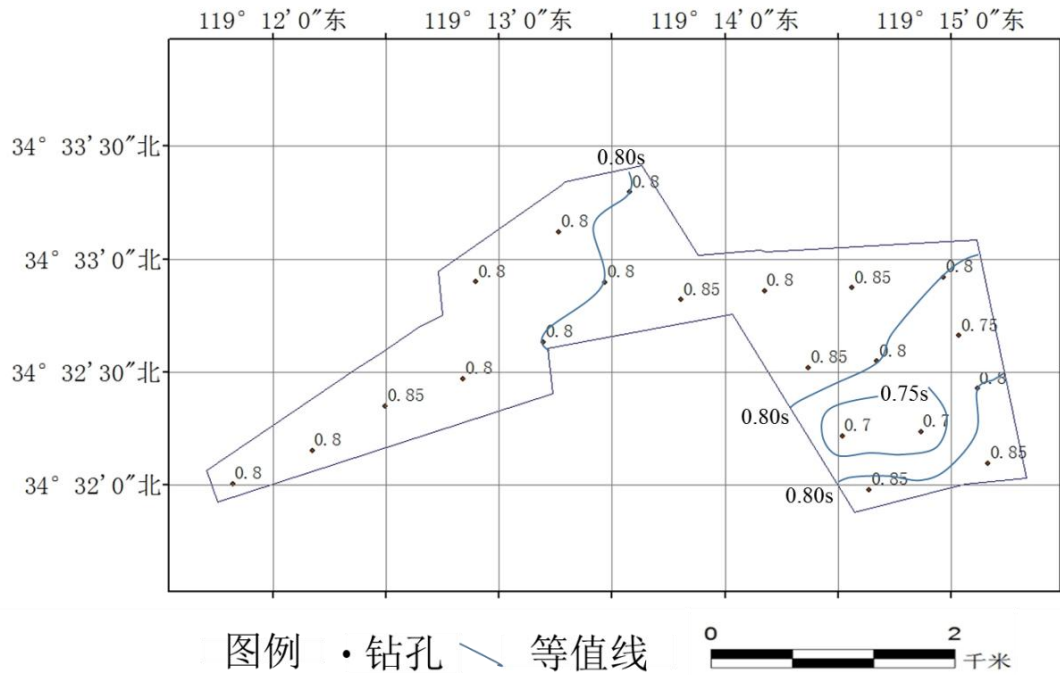


图 8.3-16 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 5%)

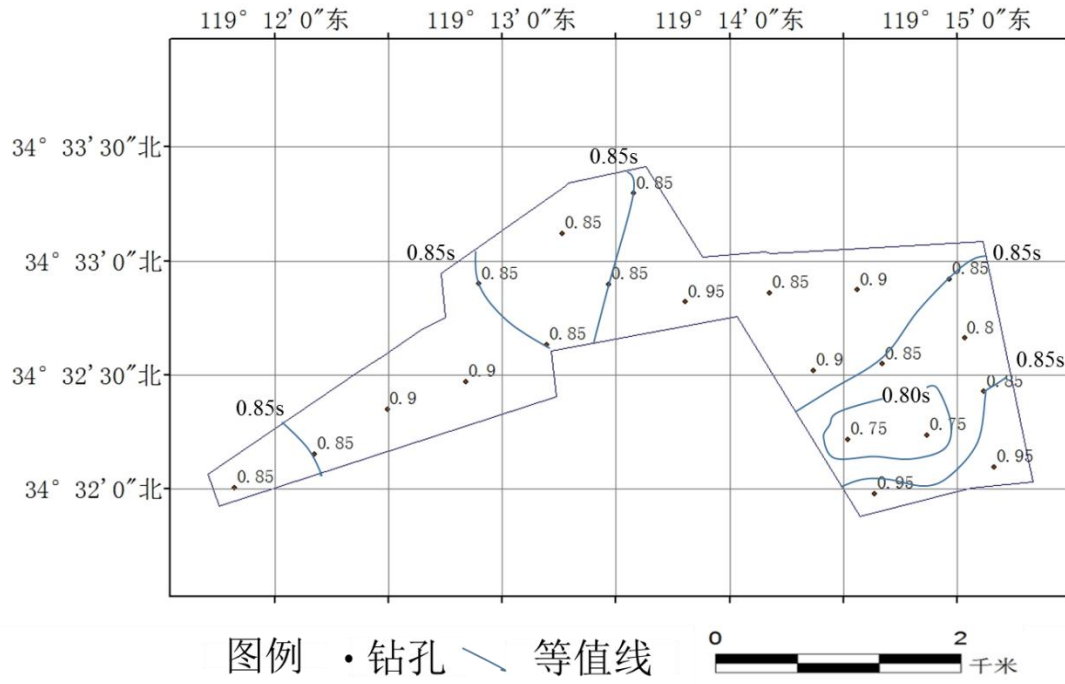


图 8.3-17 地表水平向地震动特征周期等值线图（50 年超越概率 2%）

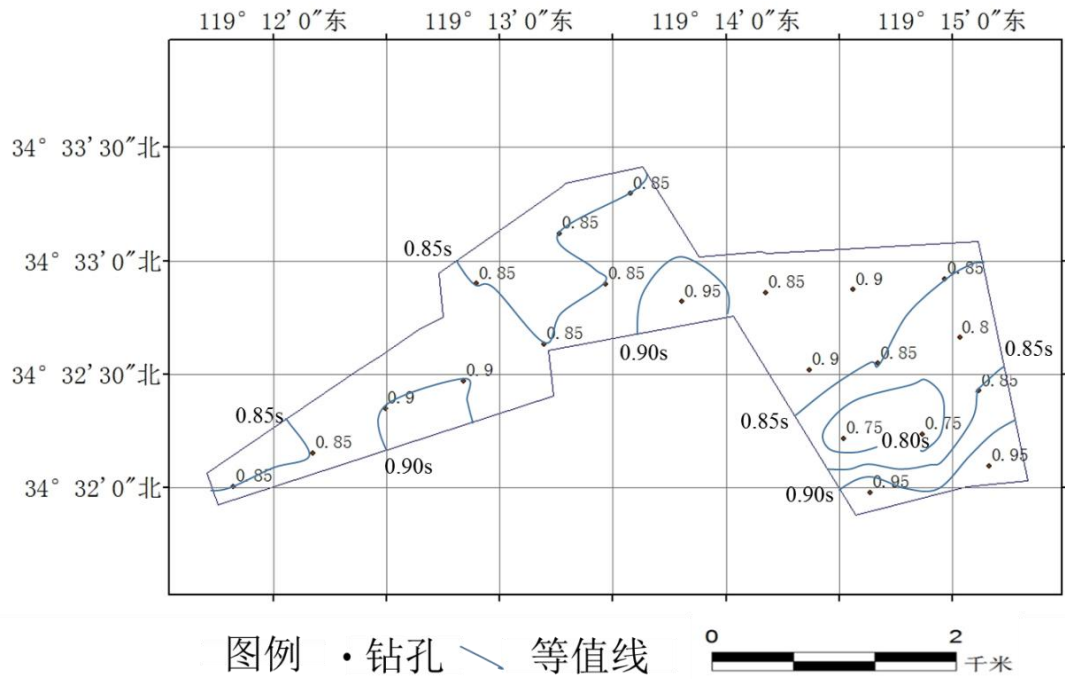


图 8.3-18 地表水平向地震动特征周期等值线图（100 年超越概率 3.3%）

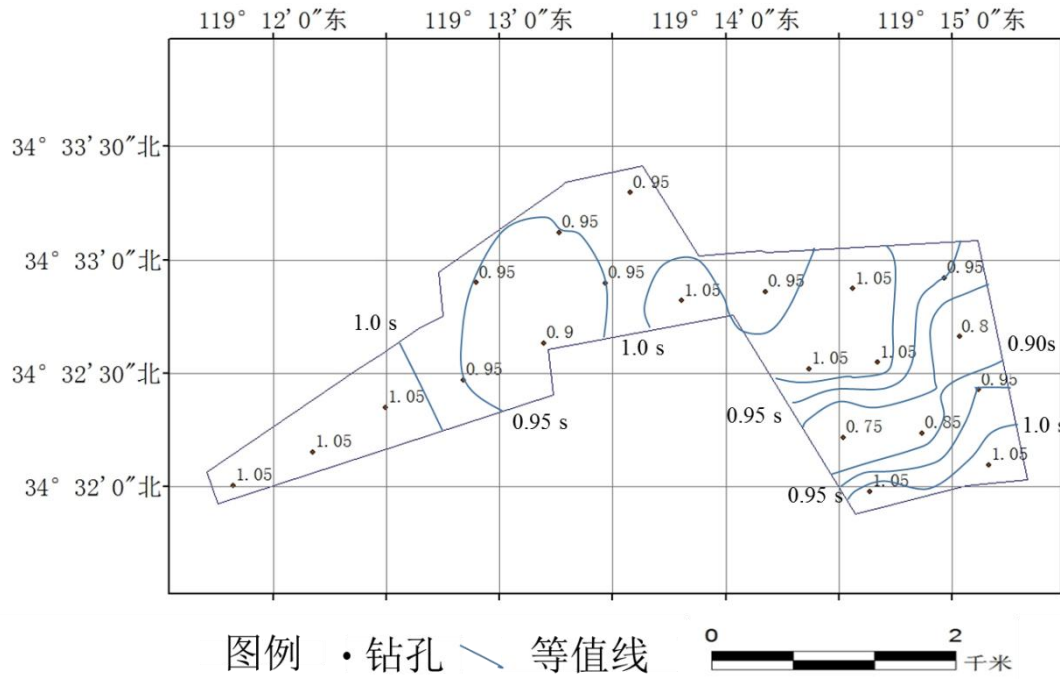


图 8.3-19 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 2.5%)

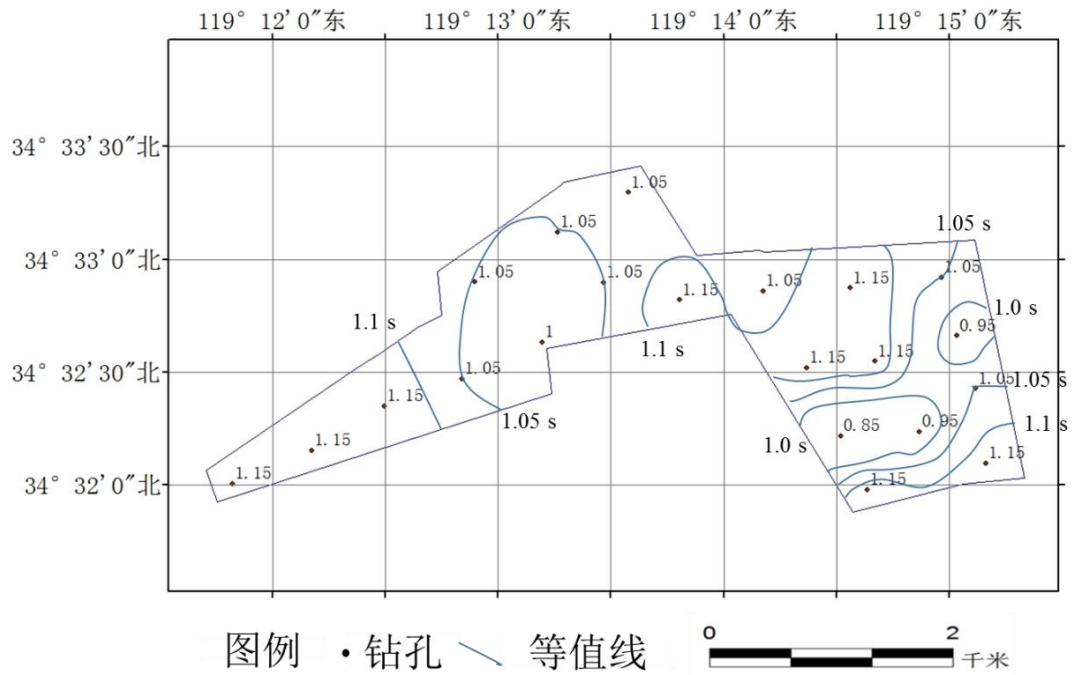


图 8.3-20 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 2%)

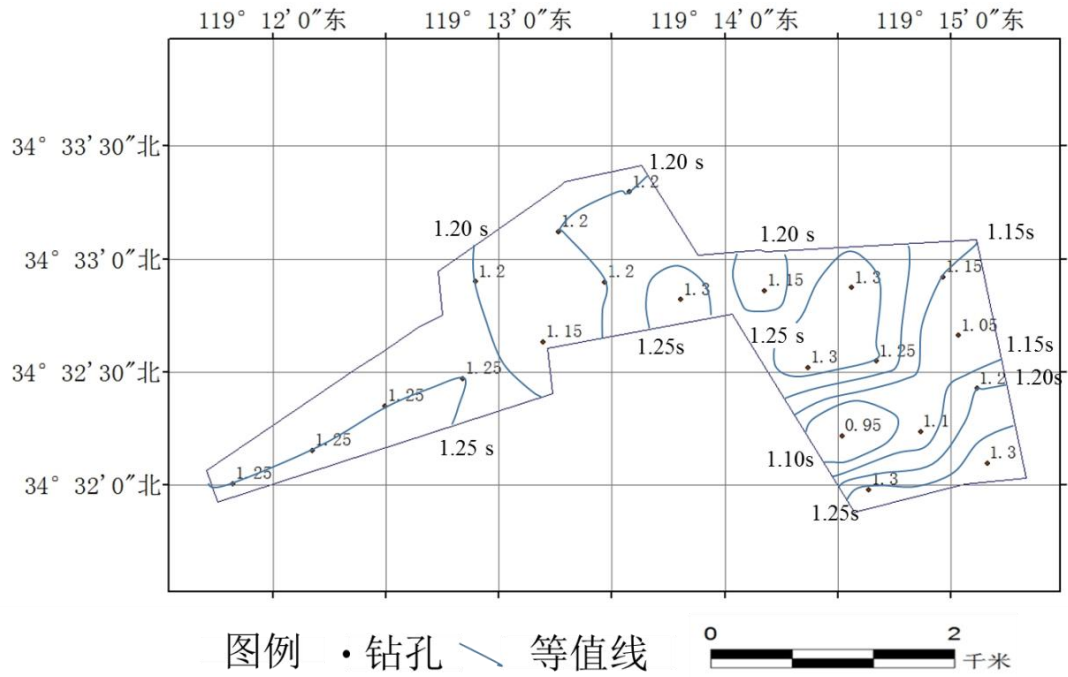


图 8.3-21 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 1%)

第九章 目标区地震地质灾害初步评价

地质灾害是强烈地震动之外造成地震严重灾害损失的第二个重要原因。研究地震地质灾害对于判别地震烈度、判断震中位置等具有重要意义。同时，历次震害表明，对不良地质条件地区，忽略其地震地质灾害的估计，将造成不可低估的损失。

场地地震地质灾害是指由于地震动或断层错动引起的可能影响场地上工程性能的地面破裂（活动断层断错）、场地失效（液化、震陷）、斜坡失稳（崩塌、滑坡）以及海啸、湖涌等灾害。本章节在研究前面各章节资料基础上，综合分析评判该目标区可能遭遇的地震地质灾害，主要包括活动断层断错评价、地基土液化灾害评价、软土震陷评价和坡体崩塌、滑动评价。

9.1 活动断层断错灾害评价

活断层是指目前正在活动着的断层，或曾有过活动而不久的将来可能会重新活动的断层。目前学者普遍认为活动断层是晚更新世（12.5 万年）以来活动过并且在将来可能继续活动的断层。其中，全新世活断层（1 万年以来）是第一级活断层，晚更新世活断层（1 万年之前至 12.5 万年内）是第二级活断层，不属于第一、二级活断层但是其存在并未受到明确认定的断层是第三级断层。

活动性断裂可以通过地质现象、地球物理勘探等方法进行探查。根据 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）（第四章第一节第七款：场地内存在活动断裂时，应对断裂的工程影响进行评价，并符合下列要求：

（1）对符合下列规定之一的情况，可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响：

- ① 抗震设防烈度小于 VIII 度；
- ② 非全新世活动断裂；
- ③ 抗震设防烈度为 VIII 度和 IX 度时，隐伏断裂的土层覆盖层厚度分别大于 60 m 和 90 m。

（2）对不符合本条 1 款规定的情况，应避开主断裂带。其避让距离不宜小于表 9.1-1 的规定。在避让距离的范围内确有需要建造分散的、低于三层的丙、丁类建筑时，应提高一度采取抗震措施，并提高基础和上部结构的整体性，且不得跨越断层线。

表 9.1-1 发震断裂的最小避让距离（m）

烈度	建筑抗震设防类别			
	甲	乙	丙	丁
VIII	专门研究	200 m	100 m	—
IX	专门研究	400 m	200 m	—

根据区域地质资料及本次工作的详细探测，目标区内不存在第四纪断层，可不考虑断层断错灾害。

9.2 目标区场地地基土液化灾害评价

松散的砂土、粉土受到震动时有变得更加紧密的趋势。饱和砂土的孔隙全部被水填充，这种趋于紧密的作用导致孔隙水压力上升，并且在地震过程的短暂时间内水压力来不及消散，致使有效压力减小。当有效压力完全消失时，砂层完全丧失抗剪强度和承载能力，变得像水一样，即是砂土液化现象。这会导致喷砂冒水等地面变形，会使建在完全失去承载能力土体上的建筑发生倾覆等破坏现象。

依据《区域性安评地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函（2019）21 号）的要求：场地存在可液化土层且具液化可能性时，对地面以下 10 m 深度内和 10 m~30 m 深度范围内的可液化土层进行地震液化判别，其中地面以下 10 m 深度范围内可依照依照 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）进行地震液化判别，地面以下 10 m~30 m 深度范围内，可采用标准贯入试验，采用《区域性安评地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函（2019）21 号）提供公式进行液化判别，实测标贯击数 N 不大于标准贯入击数临界值 N_{cr} 时，判为液化。

依据 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》的要求：目标区场地存在可液化土层且具液化可能性时，对地面以下 20 m 深度内和 20 m~30 m 深度范围内的可液化土层进行地震液化判别，其中地面以下 20 m 深度范围内可依照 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）进行地震液化判别，地面以下 20 m~30 m 深度范围内，可采用标准贯入试验判别法进行地震液化判别。

9.2.1 地震液化

（1）地震液化机理

当地震发生时，可液化土层在地震作用下，往复剪应变使孔隙水压力升高，颗粒间有效应力降低。当有效压力等于零的瞬间，土颗粒之间互不接触，处于悬浮状态，土体近似于液体，丧失强度，土体发生大量变形，使建筑物发生沉降并倾斜。

（2）震害调查统计情况

震害调查统计资料表明，平原地区的地震震害中有半数以上是由于砂土液化造成的。以唐山、海城地震为例，由于地基液化造成严重损害的建筑物数目约占地基基础震害总数的 54%。

（3）影响地震液化的主要因素

影响地震液化的因素众多且复杂，归纳其主要因素如下：

- ① 土的颗粒组成、粘粒含量；

- ② 砂土、粉土的密实度；
- ③ 土层埋深、饱和度、地下水水位；
- ④ 地震动强度及持续时间。

9.2.2 地基土液化判别分析

(1) 初步判别

初判条件包含了两个内容，即是否产生液化和是否考虑液化影响，前者属液化判别问题，后者则为液化危害性评价问题。初步判别是根据直接震害经验和影响液化的宏观地质因素来定性判别，各种规范和规程对初判的规定基本相同。初步判别为不液化或不考虑液化影响的场地则不需要进行液化可能性的详判，反之，当初步判别认为有液化可能时，再作进一步判别。在地面以下 20 m 范围内有饱和砂土层或饱和粉土层（不含黄土层），当符合下列条件之一时，可初步判别为不液化或可不考虑液化影响：

① 地质年代为第四纪晚更新世（ Q_3 ）及其以前时，VII度、VIII度时可判别为不液化；

② 粉土的粘粒（粒径小于 0.005 mm 的颗粒）含量百分率，VII度、VIII度、IX度分别不小于 10、13 和 16 时，可判别为不液化土。（注：用于液化判别的粘粒含量系采用六偏磷酸钠作分散剂测定，采用其他方法时应按有关规定换算。）

③ 浅埋天然地基的建筑，当上覆非液化土层厚度和地下水位深度符合下列条件之一时，可不考虑液化的影响：

$$d_u > d_0 + d_b - 2 \quad (9.2-1)$$

$$d_w > d_0 + d_b - 3 \quad (9.2-2)$$

$$d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5 \quad (9.2-3)$$

式中： d_w —地下水位深度（m），宜按设计基准期内年平均最高水位采用，也可按近期内年最高水位采用；

d_u —上覆盖非液化土层厚度（m），计算时宜将淤泥和淤泥质土层扣除；

d_b —基础埋置深度（m），不超过 2 m 时应采用 2 m；

d_0 —液化土层特征深度（m），可按表 9.2-1 采用。

表 9.2-1 液化土特征深度（m）

饱和土类别	VII度	VIII度	IX度
粉土	6	7	8
砂土	7	8	9

注：当区域的地下水位处于变动状态时，应按不利的情况考虑。

(2) 判别方法

根据 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》(2016 版), 当初步判别认为需要进一步进行液化判别时, 应采用标准贯入试验判别法判别地面以下 20 m 深度范围内的液化。当饱和土标准贯入锤击数 N (未经杆长修正) 小于或等于液化判别标准贯入锤击数临界值 N_{cr} 时, 应判别为液化土。

在地面下 20 m 深度范围内, 液化判别标准贯入锤击数临界值可按式计算:

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{3/\rho_c} \quad (9.2-4)$$

式中: N_{cr} —液化判别标准贯入锤击数临界值;

N_0 —液化判别标准贯入锤击数基准值, 应按表 9.2-2 采用;

d_s —饱和土标准贯入点深度 (m);

d_w —地下水位 (m);

ρ_c —粘粒含量百分率, 当小于 3 或为砂土时, 应采用 3;

β —调整系数, 设计地震第一组取 0.8, 第二组取 0.95, 第三组取 1.05。

表 9.2-2 液化判别标准贯入锤击数基准值 N_0

设计基本地震加速度 (g)	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
液化判别标准贯入锤击数基准值	7	10	12	16	19

依据《区域性安评地震安全性评价工作大纲(试行)》(中震防函(2019)21 号)的要求: 场地存在可液化土层且具液化可能性时, 对地面以下 10 m~30 m 深度范围内, 可采用标准贯入试验判别法进行地震液化判别, 实测标贯击数 N 不大于标准贯入击数临界值 N_{cr} 时, 判为液化。液化判别标准贯入击数临界值 N_{cr} 按下式计算:

$$N_{cr} = \gamma \beta_0 \frac{58\alpha_{\max}}{\alpha_{\max} + 0.4} \times (1 - 0.02d_w) \times \left(0.27 + \frac{d_s}{d_s + 6.2} \right) \times \sqrt{3/\rho_c}$$

式中: N_{cr} —液化判别标准贯入锤击数临界值;

γ —工作等级系数, 取 1.0

β_0 —调整系数, 位于 GB18306-2015 中基本地震动加速度反应谱特征周期 0.35s、0.40s 和 0.45s 分区内场地, 分别取 0.85、1.00 和 1.10;

α_{\max} —场地地震动峰值加速度 (g_n);

d_s —可液化土层标准贯入点深度 (m);

d_w —地下水位深度 (m);

ρ_c —粘粒含量百分比, 当小于 3 或为砂土时, 应采用 3;

对存在液化土层的地基,应探明各液化土层的深度和厚度,依据 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》(2016 版)和《区域性安评地震安全性评价工作大纲(试行)》(中震防函(2019)21 号)推荐的计算公式(9-2-5)计算每个钻孔的液化指数,并按表 9.2-3 综合划分地基的液化等级:

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n (1 - \frac{N_i}{N_{cri}}) d_i W_i \quad (9.2-5)$$

式中:

I_{LE} —液化指数;

n —在判别深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总数;

N_i 、 N_{cri} —分别为 i 点标准贯入锤击数的实测值和临界值,当实测值大于临界值时应取临界值的数值;

d_i — i 点所代表的土层厚度(m),可采用与该标准贯入试验点相邻的上、下两标准贯入试验点深度差的一半,但上界不高于地下水位深度,下界不深于液化深度;

W_i — i 土层单位土层厚度的层位影响权函数值(单位为 m^{-1})。区域性安评推荐:对应浅基础结构,当该层中点深度不大于 5 m 时应采用 10,等于 30 m 时应采用零值,5 m~30 m 时应按线性内插法取值。对于深基础结构和地下结构,0 m~30 m 内均应采用 10。

表 9.2-3 液化等级与液化指数的对应关系

液化等级	轻微	中等	严重
液化指数	$0 < I_{LE} \leq 6$	$6 < I_{LE} \leq 18$	$I_{LE} > 18$

(3) 液化判别和评价结果

(i) 按《区域性安评地震安全性评价工作大纲(试行)》(中震防函(2019)21 号)进行液化判别

根据目标区钻探结果,目标区场地大约在 20.0~30.0 m 深度范围内有④层粗砂具有发生液化的可能,依据工作大纲,需要对④层粗砂进行液化判别。依据《区域性安评地震安全性评价工作大纲(试行)》(中震防函(2019)21 号)的要求,埋深 10.0 m 以内的依据 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》(2016 版)进行液化判别,埋深大于 10.0 m 的依据《区域性安评地震安全性评价工作大纲(试行)》(中震防函(2019)21 号)提供公式进行液化判别。

根据第八章的计算结果,目标区各概率水准下地震动加速度峰值如下:

50 年超越概率 63%的 PGA 范围在 0.040 g_n ~0.046 g_n , 100 年超越概率 63%的 PGA 范围在 0.049 g_n ~0.054 g_n , 100 年超越概率 39%的 PGA 范围在 0.073 g_n ~0.083

g_n , 50 年超越概率 10% 的 PGA 范围在 $0.119 g_n \sim 0.138 g_n$, 100 年超越概率 10% 的 PGA 范围在 $0.169 g_n \sim 0.192 g_n$, 100 年超越概率 5% 的 PGA 范围在 $0.223 g_n \sim 0.253 g_n$, 50 年超越概率 2% 的 PGA 范围在 $0.237 g_n \sim 0.282 g_n$, 100 年超越概率 3.3% 的 PGA 范围在 $0.247 g_n \sim 0.298 g_n$, 100 年超越概率 2.5% 的 PGA 范围在 $0.260 g_n \sim 0.321 g_n$, 100 年超越概率 2% 的 PGA 范围在 $0.278 g_n \sim 0.357 g_n$, 100 年超越概率 1% 的 PGA 范围在 $0.318 g_n \sim 0.423 g_n$ 。

目标区位于中国地震动参数区划图峰值加速度 $0.10 g_n$, 特征周期 $0.45 s$ 区域, 目标区具有发生粗砂液化的可能。依据工作大纲, 需要对④层粗砂进行液化判别。根据试验, 粉砂的粘粒含量小于 3%, 地下水位按 $0.50 m$ 考虑。计算出各钻孔在不同概率水准 (地震动峰值加速度) 情况下的液化判别结果如表 9.2-4、表 9.2-5、表 9.2-6、表 9.2-7、表 9.2-8、表 9.2-9、表 9.2-10、表 9.2-11。

表 9.2-4 50 年超越概率 10% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 $10.0 m$ $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.134	3	31	16.7	不液化
		0.5	23.8	0.134	3	35	16.9	不液化
		0.5	24.8	0.134	3	36	17.0	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.127	3	33	16.7	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.129	3	36	16.9	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.134	3	37	17.4	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.138	3	32	17.8	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.133	3	32	17.2	不液化
		0.5	29.3	0.133	3	35	17.3	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.130	3	32	16.7	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.127	3	31	16.6	不液化
		0.5	29.3	0.127	3	34	16.7	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.128	3	37	16.5	不液化
		0.5	26.8	0.128	3	40	16.6	不液化

表 9.2-5 100 年超越概率 10% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 $10.0 m$ $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.185	3	31	21.1	不液化
		0.5	23.8	0.185	3	35	21.2	不液化
		0.5	24.8	0.185	3	36	21.4	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.175	3	33	21.1	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.171	3	36	20.8	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.181	3	37	21.6	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.191	3	32	22.4	不液化

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK9	④	0.5	28.3	0.182	3	32	21.5	不液化
		0.5	29.3	0.182	3	35	21.6	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.184	3	32	21.4	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.171	3	31	20.6	不液化
		0.5	29.3	0.171	3	34	20.7	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.174	3	37	20.6	不液化
		0.5	26.8	0.174	3	40	20.7	不液化

表 9.2-6 100 年超越概率 5% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 10.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.242	3	31	25.1	不液化
		0.5	23.8	0.242	3	35	25.3	不液化
		0.5	24.8	0.242	3	36	25.5	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.229	3	33	25.2	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.226	3	36	25.0	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.239	3	37	25.9	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.247	3	32	26.5	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.241	3	32	25.9	不液化
		0.5	29.3	0.241	3	35	26.0	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.247	3	32	25.9	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.224	3	31	24.7	不液化
		0.5	29.3	0.224	3	34	24.8	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.225	3	37	24.4	不液化
		0.5	26.8	0.225	3	40	24.6	不液化

表 9.2-7 50 年超越概率 2% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 10.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.260	3	31	26.2	不液化
		0.5	23.8	0.260	3	35	26.5	不液化
		0.5	24.8	0.260	3	36	26.6	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.252	3	33	26.7	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.238	3	36	25.9	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.260	3	37	27.3	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.270	3	32	27.9	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.262	3	32	27.3	不液化
		0.5	29.3	0.262	3	35	27.4	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.272	3	32	27.5	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.237	3	31	25.6	不液化

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
		0.5	29.3	0.237	3	34	25.7	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.242	3	37	25.6	不液化
		0.5	26.8	0.242	3	40	25.8	不液化

表 9.2-8 100 年超越概率 3.3% 时目标区场地液化判别计算表

[埋深大于 10.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.271	3	31	26.9	不液化
		0.5	23.8	0.271	3	35	27.1	不液化
		0.5	24.8	0.271	3	36	27.3	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.263	3	33	27.4	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.249	3	36	26.6	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.273	3	37	28.1	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.288	3	32	29.0	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.279	3	32	28.3	不液化
		0.5	29.3	0.279	3	35	28.4	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.289	3	32	28.5	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.247	3	31	26.3	不液化
		0.5	29.3	0.247	3	34	26.4	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.262	3	37	26.9	不液化
		0.5	26.8	0.262	3	40	27.1	不液化

表 9.2-9 100 年超越概率 2.5% 时目标区场地液化判别计算表

[埋深大于 10.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.289	3	31	27.9	不液化
		0.5	23.8	0.289	3	35	28.2	不液化
		0.5	24.8	0.289	3	36	28.3	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.277	3	33	28.3	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.263	3	36	27.5	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.286	3	37	28.8	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.302	3	32	29.8	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.291	3	32	29.0	不液化
		0.5	29.3	0.291	3	35	29.1	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.309	3	32	29.6	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.260	3	31	27.1	不液化
		0.5	29.3	0.260	3	34	27.3	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.272	3	37	27.5	不液化
		0.5	26.8	0.272	3	40	27.7	不液化

表 9.2-10 100 年超越概率 2% 时目标区场地液化判别计算表

[埋深大于 10.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.311	3	31	29.1	不液化
		0.5	23.8	0.311	3	35	29.4	不液化
		0.5	24.8	0.311	3	36	29.6	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.294	3	33	29.3	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.278	3	36	28.4	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.305	3	37	29.9	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.323	3	32	31.0	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.309	3	32	30.0	不液化
		0.5	29.3	0.309	3	35	30.2	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.332	3	32	30.8	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.279	3	31	28.3	不液化
		0.5	29.3	0.279	3	34	28.4	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.294	3	37	28.8	不液化
		0.5	26.8	0.294	3	40	29.0	不液化

表 9.2-11 100 年超越概率 1% 时目标区场地液化判别计算表

[埋深大于 10.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.368	3	31	31.9	液化
		0.5	23.8	0.368	3	35	32.2	不液化
		0.5	24.8	0.368	3	36	32.4	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.360	3	33	32.8	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.328	3	36	31.2	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.356	3	37	32.6	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.360	3	32	32.8	液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.361	3	32	32.7	液化
		0.5	29.3	0.361	3	35	32.8	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.392	3	32	33.6	液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.318	3	31	30.5	不液化
		0.5	29.3	0.318	3	34	30.6	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.340	3	37	31.2	不液化
		0.5	26.8	0.340	3	40	31.4	不液化

综上所述, 根据《区域性安评地震安全性评价工作大纲(试行)》(中震防函(2019) 21 号) 判别: 目标区范围内④层粗砂在 100 年超越概率 1% (地震动峰值加速度大于 0.30 g) 时有局部钻孔会发生液化, 在其他概率水准下目标区范围内④层粗砂不发生液化。

(ii) 按 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》进行液化判别

根据第八章的计算结果，目标区各概率水准下地震动加速度峰值如下：

50 年超越概率 63% 的 PGA 范围在 $0.040 g_n \sim 0.046 g_n$ ，100 年超越概率 63% 的 PGA 范围在 $0.049 g_n \sim 0.054 g_n$ ，100 年超越概率 39% 的 PGA 范围在 $0.073 g_n \sim 0.083 g_n$ ，50 年超越概率 10% 的 PGA 范围在 $0.119 g_n \sim 0.138 g_n$ ，100 年超越概率 10% 的 PGA 范围在 $0.169 g_n \sim 0.192 g_n$ ，100 年超越概率 5% 的 PGA 范围在 $0.223 g_n \sim 0.253 g_n$ ，50 年超越概率 2% 的 PGA 范围在 $0.237 g_n \sim 0.282 g_n$ ，100 年超越概率 3.3% 的 PGA 范围在 $0.247 g_n \sim 0.298 g_n$ ，100 年超越概率 2.5% 的 PGA 范围在 $0.260 g_n \sim 0.321 g_n$ ，100 年超越概率 2% 的 PGA 范围在 $0.278 g_n \sim 0.357 g_n$ ，100 年超越概率 1% 的 PGA 范围在 $0.318 g_n \sim 0.423 g_n$ 。

目标区位于中国地震动参数区划图峰值加速度 $0.10 g_n$ ，特征周期 $0.45 s$ 区域，目标区④层粗砂具有发生液化的可能。依据工作大纲，需要对④层粗砂进行液化判别。依据 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》的要求，20.0 m 深度范围内④层粗砂依据 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）进行液化判别，20.0 m～30.0 m 深度范围内依据《区域性安评地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函（2019）21 号）提供公式进行液化判别。根据试验，④层粗砂的粘粒含量 3%，地下水位按 0.50 m 考虑。计算出各钻孔在不同概率水准（地震动峰值加速度）情况下的液化判别结果如表 9.2-12、表 9.2-13、表 9.2-14、表 9.2-15、表 9.2-16、表 9.2-17、表 9.2-18、表 9.2-19。

表 9.2-12 50 年超越概率 10% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.134	3	31	16.7	不液化
		0.5	23.8	0.134	3	35	16.9	不液化
		0.5	24.8	0.134	3	36	17.0	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.127	3	33	16.7	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.129	3	36	16.9	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.134	3	37	17.4	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.138	3	32	17.8	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.133	3	32	17.2	不液化
		0.5	29.3	0.133	3	35	17.3	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.130	3	32	16.7	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.127	3	31	16.6	不液化
		0.5	29.3	0.127	3	34	16.7	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.128	3	37	16.5	不液化
		0.5	26.8	0.128	3	40	16.6	不液化

表 9.2-13 100 年超越概率 10% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水 水位 $d_w(m)$	标贯点 深度 $d_s(m)$	峰值 加速度 a_{max}	粘粒 含量 $\rho_c(\%)$	实测 击数 $N_{63.5}$	临界 击数 N_{cr}	判别 结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.185	3	31	21.1	不液化
		0.5	23.8	0.185	3	35	21.2	不液化
		0.5	24.8	0.185	3	36	21.4	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.175	3	33	21.1	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.171	3	36	20.8	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.181	3	37	21.6	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.191	3	32	22.4	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.182	3	32	21.5	不液化
		0.5	29.3	0.182	3	35	21.6	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.184	3	32	21.4	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.171	3	31	20.6	不液化
		0.5	29.3	0.171	3	34	20.7	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.174	3	37	20.6	不液化
		0.5	26.8	0.174	3	40	20.7	不液化

表 9.2-14 100 年超越概率 5% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水 水位 $d_w(m)$	标贯点 深度 $d_s(m)$	峰值 加速度 a_{max}	粘粒 含量 $\rho_c(\%)$	实测 击数 $N_{63.5}$	临界 击数 N_{cr}	判别 结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.242	3	31	25.1	不液化
		0.5	23.8	0.242	3	35	25.3	不液化
		0.5	24.8	0.242	3	36	25.5	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.229	3	33	25.2	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.226	3	36	25.0	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.239	3	37	25.9	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.247	3	32	26.5	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.241	3	32	25.9	不液化
		0.5	29.3	0.241	3	35	26.0	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.247	3	32	25.9	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.224	3	31	24.7	不液化
		0.5	29.3	0.224	3	34	24.8	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.225	3	37	24.4	不液化
		0.5	26.8	0.225	3	40	24.6	不液化

表 9.2-15 50 年超越概率 2% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水 水位 $d_w(m)$	标贯点 深度 $d_s(m)$	峰值 加速度 a_{max}	粘粒 含量 $\rho_c(\%)$	实测 击数 $N_{63.5}$	临界 击数 N_{cr}	判别 结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.260	3	31	26.2	不液化
		0.5	23.8	0.260	3	35	26.5	不液化
		0.5	24.8	0.260	3	36	26.6	不液化

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK2	④	0.5	29.3	0.252	3	33	26.7	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.238	3	36	25.9	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.260	3	37	27.3	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.270	3	32	27.9	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.262	3	32	27.3	不液化
		0.5	29.3	0.262	3	35	27.4	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.272	3	32	27.5	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.237	3	31	25.6	不液化
		0.5	29.3	0.237	3	34	25.7	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.242	3	37	25.6	不液化
		0.5	26.8	0.242	3	40	25.8	不液化

表 9.2-16 100 年超越概率 3.3% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.271	3	31	26.9	不液化
		0.5	23.8	0.271	3	35	27.1	不液化
		0.5	24.8	0.271	3	36	27.3	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.263	3	33	27.4	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.249	3	36	26.6	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.273	3	37	28.1	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.288	3	32	29.0	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.279	3	32	28.3	不液化
		0.5	29.3	0.279	3	35	28.4	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.289	3	32	28.5	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.247	3	31	26.3	不液化
		0.5	29.3	0.247	3	34	26.4	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.262	3	37	26.9	不液化
		0.5	26.8	0.262	3	40	27.1	不液化

表 9.2-17 100 年超越概率 2.5% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.289	3	31	27.9	不液化
		0.5	23.8	0.289	3	35	28.2	不液化
		0.5	24.8	0.289	3	36	28.3	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.277	3	33	28.3	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.263	3	36	27.5	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.286	3	37	28.8	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.302	3	32	29.8	不液化

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK9	④	0.5	28.3	0.291	3	32	29.0	不液化
		0.5	29.3	0.291	3	35	29.1	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.309	3	32	29.6	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.260	3	31	27.1	不液化
		0.5	29.3	0.260	3	34	27.3	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.272	3	37	27.5	不液化
		0.5	26.8	0.272	3	40	27.7	不液化

表 9.2-18 100 年超越概率 2% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.311	3	31	29.1	不液化
		0.5	23.8	0.311	3	35	29.4	不液化
		0.5	24.8	0.311	3	36	29.6	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.294	3	33	29.3	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.278	3	36	28.4	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.305	3	37	29.9	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.323	3	32	31.0	不液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.309	3	32	30.0	不液化
		0.5	29.3	0.309	3	35	30.2	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.332	3	32	30.8	不液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.279	3	31	28.3	不液化
		0.5	29.3	0.279	3	34	28.4	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.294	3	37	28.8	不液化
		0.5	26.8	0.294	3	40	29.0	不液化

表 9.2-19 100 年超越概率 1% 时目标区场地液化判别计算表
[埋深大于 20.0 m $\beta=1.1$]

孔号	地层	地下水位 $d_w(m)$	标贯点深度 $d_s(m)$	峰值加速度 a_{max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
ZK1	④	0.5	22.6	0.368	3	31	31.9	液化
		0.5	23.8	0.368	3	35	32.2	不液化
		0.5	24.8	0.368	3	36	32.4	不液化
ZK2	④	0.5	29.3	0.360	3	33	32.8	不液化
ZK3	④	0.5	29.8	0.328	3	36	31.2	不液化
ZK4	④	0.5	29.3	0.356	3	37	32.6	不液化
ZK5	④	0.5	29.8	0.360	3	32	32.8	液化
ZK9	④	0.5	28.3	0.361	3	32	32.7	液化
		0.5	29.3	0.361	3	35	32.8	不液化
ZK11	④	0.5	25.6	0.392	3	32	33.6	液化
ZK12	④	0.5	28.3	0.318	3	31	30.5	不液化

孔号	地层	地下水位 $d_w(\text{m})$	标贯点深度 $d_s(\text{m})$	峰值加速度 a_{\max}	粘粒含量 $\rho_c(\%)$	实测击数 $N_{63.5}$	临界击数 N_{cr}	判别结果
		0.5	29.3	0.318	3	34	30.6	不液化
ZK13	④	0.5	25.6	0.340	3	37	31.2	不液化
		0.5	26.8	0.340	3	40	31.4	不液化

综上所述, 根据 DB32/T 4050-2021《区域性地震安全性评价技术规范》判别: 目标区范围内④层粗砂在 100 年超越概率 1% (地震动峰值加速度大于 0.30 g) 时有局部钻孔会发生液化, 在其他概率水准下目标区范围内④层粗砂不发生液化。

9.3 目标区场地软土震陷评价

强烈地震时软土发生震陷, 不仅被科学实验和理论研究证实, 而且在宏观震害调查中也证明它的存在。根据软土的工程性质特点是高压缩性、低强度、高灵敏度和低透水性。软土层具有良好的层理, 在互层中伴随有少数较密实的颗粒较粗的粉土或砂层, 在较大的地震力作用下容易出现震陷现象。根据 JGJ83-2011《软土地区工程地质勘察规程》的规定, 软土的判别应符合下列要求: (1) 外观以灰色为主的细粒土; (2) 天然含水量大于或等于液限; (3) 天然孔隙比大于或等于 1.0, 主要包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。软土震陷的研究成果尚不够充分, 较难进行预测和可靠的计算, 判别方法主要依靠 JGJ83-2011《软土地区工程地质勘察规程》, 设防烈度等于或大于 VII 度时, 对厚层软土分布区宜判别软土震陷的可能性, 并符合下列规定:

表 9.3-1 临界等效剪切波速值

抗震设防烈度	VII	VIII	IX
临界等效剪切波速 V_{sc} (m/s)	90	140	200

当临界等效剪切波速值大于表 9.3-1 所列数值时, 可以不考虑软土震陷的影响。

对于采用天然地基的建筑物, 当临界等效剪切波速小于或等于表 9.3-1 所列数值时, 甲级建筑物和对沉降有严格要求的乙级建筑物应进行专门的震陷分析计算, 对沉降无特殊要求的乙级建筑物和对沉降敏感的丙级建筑物, 可按表 9.3-2 的建筑物震陷估算值或根据地区经验确定。

表 9.3-2 软土震陷估算值

地基土条件 震陷估算值 (mm) 设防烈度	VII (0.1 g~0.15 g)	VIII (0.2 g)	IX (0.4 g)
地基主要承受力层内软土厚度 > 3 m 地基土等效剪切波速值 < 90 m/s	30~80	150	350

注: 1.当地基土实际条件与表中的两项条件相比, 只要有一项不符合时, 应按实际条件变化的大小和建筑物性质及结构类型, 适当地减小震陷值, 当地基土实际条件与表中的两项条件均不相符时, 可不考虑震陷对建筑物的影响; 2.当需要估算软土震陷量时, 宜采用以静力计算代

替动力分析的简化分层总和法。

根据第八章的计算结果，目标区各概率水准下地震动加速度峰值如下：

50 年超越概率 63% 的 PGA 范围在 $0.040 g_n \sim 0.046 g_n$ ，100 年超越概率 63% 的 PGA 范围在 $0.049 g_n \sim 0.054 g_n$ ，100 年超越概率 39% 的 PGA 范围在 $0.073 g_n \sim 0.083 g_n$ ，50 年超越概率 10% 的 PGA 范围在 $0.119 g_n \sim 0.138 g_n$ ，100 年超越概率 10% 的 PGA 范围在 $0.169 g_n \sim 0.192 g_n$ ，100 年超越概率 5% 的 PGA 范围在 $0.223 g_n \sim 0.253 g_n$ ，50 年超越概率 2% 的 PGA 范围在 $0.237 g_n \sim 0.282 g_n$ ，100 年超越概率 3.3% 的 PGA 范围在 $0.247 g_n \sim 0.298 g_n$ ，100 年超越概率 2.5% 的 PGA 范围在 $0.260 g_n \sim 0.321 g_n$ ，100 年超越概率 2% 的 PGA 范围在 $0.278 g_n \sim 0.357 g_n$ ，100 年超越概率 1% 的 PGA 范围在 $0.318 g_n \sim 0.423 g_n$ 。

根据对目标区现场勘察、波速测试结果，目标区场地存在：① 杂填土（Qh）：该层厚度为 0.50 m～2.00 m，平均厚度 1.20 m，场区内广泛分布，粉质黏土为主，夹杂植物根茎、生活垃圾、碎石等，填筑时间少于十年。② 淤泥质粉质黏土（Qh）：该层厚度为 7.00 m～10.00 m，平均厚度 9.50 m，场区内广泛分布。灰褐色，饱和，流塑，局部软塑，含有机质，略有臭味，切面稍有光泽，干强度中等，韧性中等。根据 JGJ83-2011《软土地区工程地质勘察规程》，标区场地存在：① 层 杂填土、② 层 淤泥质粉质黏土 符合软土判别要求，属于软土。

根据《连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价项目工程场地波速测试报告》，可以计算出① 层 杂填土、② 层 淤泥质粉质黏土的等效波速，并根据表 9.3-1 判断震陷，结果如下表 9.3-3、表 9.3-4。

表 9.3-3 ① 层 杂填土震陷判别表

孔号	平均等效 波速（m/s）	烈度 7 度 是否震陷	烈度 8 度 是否震陷	烈度 9 度 是否震陷
ZK1	151	否	否	是
ZK2	108	否	是	是
ZK3	111	否	是	是
ZK4	113	否	是	是
ZK5	115	否	是	是
ZK6	100	否	是	是
ZK7	104	否	是	是
ZK8	104	否	是	是
ZK9	109	否	是	是
ZK10	119	否	是	是
ZK11	118	否	是	是
ZK12	118	否	是	是
ZK13	130	否	是	是
ZK14	105	否	是	是

孔号	平均等效 波速 (m/s)	烈度 7 度 是否震陷	烈度 8 度 是否震陷	烈度 9 度 是否震陷
ZK15	137	否	是	是
ZK16	122	否	是	是
ZK17	112	否	是	是
ZK18	110	否	是	是
ZK19	127	否	是	是
ZK20	110	否	是	是
ZK21	112	否	是	是

表 9.3-4 ②层淤泥质粉质黏土震陷判别表

孔号	平均等效 波速 (m/s)	烈度 7 度 是否震陷	烈度 8 度 是否震陷	烈度 9 度 是否震陷
ZK1	120	否	是	是
ZK2	125	否	是	是
ZK3	118	否	是	是
ZK4	120	否	是	是
ZK5	116	否	是	是
ZK6	123	否	是	是
ZK7	119	否	是	是
ZK8	122	否	是	是
ZK9	122	否	是	是
ZK10	116	否	是	是
ZK11	124	否	是	是
ZK12	126	否	是	是
ZK13	122	否	是	是
ZK14	119	否	是	是
ZK15	120	否	是	是
ZK16	117	否	是	是
ZK17	125	否	是	是
ZK18	121	否	是	是
ZK19	121	否	是	是
ZK20	121	否	是	是
ZK21	116	否	是	是

综合分析可知,目标区内存在软土,①层 杂填土、②层淤泥质粉质黏土,在地震影响烈度为 VII 度时可不考虑震陷影响,在地震影响烈度为 VIII 度、IX 度时会发生震陷,具体震陷量将随建筑类型发生变化,参照 JGJ83-2011《软土地区工程地质勘察规程》,可能会达到 150 mm~350 mm 的震陷量,建设工程设计时需要注意。

9.4 目标区场地及周边坡体地震崩塌滑坡危险性评价

崩塌滑坡是两种性质不同但是又十分相似的地质灾害。滑坡是指斜坡上的土体或者岩体，受河流冲刷、地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等因素影响，在重力作用下，沿着一定的软弱面或者软弱带，整体地或者分散地顺坡向下滑动的自然现象。其形成需要地质条件（岩土层中存在软弱面）、地貌条件（下陡中缓上陡）、气候径流（地下水、地表等）以及其他的条件如地震、人为破坏边角、坡顶堆载等。崩塌（崩落、垮塌或塌方）是较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、堆积在坡脚（或沟谷）的地质现象。其形成一般是在陡峻的斜坡地段，坡度一般大于 55° ，高度大于 30 m，破坏面多不平整，上陡下缓，且岩体当中各种软弱结构面、裂隙发育。此外，地震、人类活动（如爆破、边坡开挖过陡等）也会引发崩塌。这二者地质灾害现象主要区别在坡度、水平移动距离、物质体、规模尺度上存在较大差别。

根据 GB17741-2005《工程场地地震安全性评价》修订版征求意见稿中采用地震崩塌滑坡危险性指数 H 来评价二者的危险性，并根据表 9.4-4 初步评价坡体地震崩塌滑坡危险程度。

$$H=S_a \times S_p \times S_r$$

式中： S_a —斜坡坡度危险度分级因子，按表 9.4-1 赋值。

S_p —地震动峰值加速度危险度分级因子，按表 9.4-2 赋值。

S_r —岩土体危险度分级因子，按表 9.4-3 赋值。

表 9.4-1 斜坡坡度危险度分级因子 S_a 赋值

滑坡坡度 ($^\circ$)	≤ 20	21~40	> 40
崩塌坡度 ($^\circ$)	≤ 40	41~60	> 60
程度	低	中等	高
S_a	1	2	3

表 9.4-2 地震动峰值加速度危险度分级因子 S_p 赋值

峰值加速度 (g)	< 0.04	0.04~0.18	≥ 0.19
对应烈度	$\leq V$	VI~VII	$\geq VIII$
程度	低	中等	高
S_p	1	2	3

表 9.4-3 岩土体危险度分级因子 S_r 赋值

岩体形状	程度	S_r
岩体完整或较完整，结构基本未变，岩石微风化或未风化；或斜坡内主要结构面倾向与坡向相反	低	1
岩体较破碎，结构部分破坏，岩石中等风化；或斜坡内主要结构面倾向与坡向斜交	中等	2
岩石破碎或极破碎，结构大部分破坏或基本破坏，岩石强风化或全风化；或斜坡内主要结构面倾向与坡向大致相同，并存在软弱地层	高	3
注 1：岩石完整度的定性分类参见 GB50021-2001，表 A.0.22；岩石风化程度分类参见 GB50021-2001，表 A.0.3；3：结构面应包括沉积地层层面与各类岩体中的构造节理面、断层面等。		

表 9.4-4 坡体地震崩塌滑坡危险程度分级

危险程度	低	中等	高
危险性指数	1~4	6~12	18~27

目标区位于江苏省连云港市，北至烧香河，西至通灌南路，东至润州路，南至福海路。目标区场地地貌类型为冲洪积平原地貌单元，场地地形较平坦，地面标高约 4.50 m~5.10 m，坡度较低，坡度较低 ($\leq 20^\circ$)，对目标区影响小。依据斜坡坡度危险度分级表。斜坡危险度因子 S_a 为 1。

根据本次勘探结果，目标区地层情况，按成因时代、岩性特征、埋藏条件及物理力学性质，场地勘探深度以浅可划分为 5 个工程地质层。①层 杂填土 (Qh)：粉质黏土为主，夹杂植物根茎、生活垃圾、碎石等。②层 淤泥质粉质黏土 (Qh)：灰褐色，饱和，流塑，局部软塑，含有机质，略有臭味，切面稍有光泽，干强度中等，韧性中等。③层 粉质黏土 (Qp³)：灰绿-黄褐色，饱和，可-硬塑，含少量锰结核，切面稍有光泽，干强度高，韧性强。④层 粗砂 (Qp³)：灰黄色，湿，密实，主要矿物成分为石英，长石次之。⑤层 片麻岩 (Pt)：灰褐-灰白色，片麻状，变晶结构，颗粒以石英长石为主，风化沿裂隙面发育，岩芯短柱状，较破碎，锤击声哑、易碎，进尺稳定，风化中等，软岩，岩体基本质量等级 V 级。依据岩土体危险度表。岩土体危险分级因子 S_r 取值为 1。

根据 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》和本报告第八章研究成果，目标区属于 VII 度 (0.10 g) 设防区域。地震动峰值加速度危险度分级因子 S_p 取值为 2。根据最新的 GB17741-2005《工程场地地震安全性评价》修订版征求意见稿中采用地震崩塌滑坡危险性指数 H 来评价二者的危险性，并根据表 9.4-4 初步评价坡体地震崩塌滑坡危险程度。地震崩塌滑坡危险性指数为 2，危险程度分级为低级。

9.5 目标区地震地质灾害综述

(1) 根据现有资料以及本次工作地震勘探结果，目标区内不存在第四纪以来的断层，可不考虑断层错动影响。

(2) 目标区发生地震崩塌滑坡危险程度较低。

(3) 目标区范围内④层粗砂在 100 年超越概率 1% (地震动峰值加速度大于 0.30 g) 时有局部钻孔会发生液化，在其他概率水准下目标区范围内④层粗砂不发生液化。

(4) 目标区场地在地震烈度 VII 度不存在软土震陷问题，在地震烈度 VIII 度、IX 度时会发生震陷，建设工程设计时需要注意。

(5) 本次地震地质灾害评价结果只是针对地震所引发或诱发的地质灾害，不能取代具体工程勘察工作中的地质灾害评价。

第十章 技术服务系统建设与系统使用说明

10.1 技术服务系统简介

区域性地震安全性评价是针对开发区、高新区、城市整体改造区域和企业集中建设区等具有较大规模范围区域开展的地震安全性评价工作，其成果可以直接应用于区内除中震防发〔2015〕59号文所列的重大工程目录以外的一般工程、较为重要的新建、扩建、改建建设工程选址、抗震设防要求确定、地震风险评价，也适用于该区发展规划、国土利用规划及防震减灾对策制定等工作。

本系统是开源的 PC 单机版软件系统，具有以下几大功能：

模块名称	模块功能点	功能点功能描述
成果查询	地震构造图	提供区域地震构造图、区域大地构造分布图、近场区地震构造图等成果查询查看功能
	震中分布图	提供区域破坏地震、区域现代中小地震、近场区地震查询查看功能
	地质纵剖面图	提供地质纵剖面图查看；
	钻孔基本查询	①钻孔的坐标查询； ②钻孔的布设位置在开发区、高新产业园的查询；
	钻孔资料查询	①钻孔的岩性柱状图查询 ②钻孔的地层底板等值线查询 ③钻孔的力学指标查询 ④钻孔的工程地质剖面图查询 ⑤钻孔的固结实验查询
	地震动参数查询	查询各钻孔不同概率水准下的地震动参数成果
	时程曲线查询	人造基岩波：按照时间为横值，加速度为纵值绘制波形图，可输出 JPG 格式图片 人造地表波：按照时间为横值，加速度为纵值绘制波形图，可输出 JPG 格式图片
查询评价	场地设置	提供地图点击设置、坐标输入方式设定场地位置
	地震动参数计算	输入场地类别、工程类型等参数，提供所需概率水准的地震动参数结果

10.2 软件安装与配准

系统是开源的、可完整独立运行的可执行程序，基于 Microsoft .Net Framework 编程环境，采用 C#语言开发，采用最新的计算机图形学和 GIS 专业算法，完成了地震安全性评价功能。

系统的主要 UI 架构：自定义 Ribbon 菜单（office2007 菜单样式），并采用多文档的方式来展现矢量图形和栅格图形数据、表格数据和数据库数据等。

(1) 安装方法

打开安装包的可执行文件，执行【区评系统】图标即可打开连云港经济技术开发区区域性地震安全性评价技术服务系统程序。

(2) 软件登录

【登录】，输入正确的用户名及密码，直接登录；初始账号：admin，密码：123456；

点击【退出】，则退出该登录界面



图 10.2-1 登录界面

(3) 成果查询

运行软件，查询主要成果，包括地震构造、震中分布、钻孔柱状图、地质纵剖面图、地震动参数分区图、场地分区图等主要图件以及主要结论等；进入系统主界面点击“成果展示”菜单面板，即可查询评价报告主要成果，如下图所示：

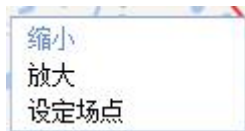


图 10.2-2 菜单栏

10.3 建设项目地震动参数确定

(1) 加载底图图层

单击【加载图层】，可显示影像底图和钻井。右击弹出的工具栏



可以放大、缩小，或者用鼠标滑轮缩放，点击拖动。单击【显示钻孔】，可见或隐藏钻孔，默认可见。界面左上角



按钮可切换地图类型。

(2) 选择参数计算的位置

具有三种设定方式：

1) 直接单击【图上选点】，获取想要位置，该位置的经纬度坐标见右侧“设

定场点”框。

2) 鼠标在地图上右键，弹出工具框，选择【图上选点】。

3) 在右上角输入框内输入经纬度

(3) 参数计算

设定场点后，点击【参数计算】，弹出弹窗，显示选定场地所在分区及对应的地表地震动参数。

(4) 导出查询报告

单击点击【查询报告】，在“安全评估报告”中填充相应的信息，选择的点落在哪个分区，安全评估报告中填充相应的地震动参数。

1) 在【项目概况】中手动添加或者导入文本 (*.txt)

2) 工程与场地类别

根据实际情况勾选【幼儿园、学校、医院】。

“概率水准”的复选框选择要查看并导出的指标。

在【创建简报】中选择保存目录，点击【导出】查询报告。

在【导出加速度曲线时程】中选择保存的文件夹，点击【导出】加速度时程。

(5) 单个钻孔属性查看

在地图界面选择要查看属性的钻孔，然后图上单击钻孔，弹出属性框。包括该钻孔基本信息、地震动参数、土木试验信息、图层计算模型、岩土分层信息。

10.4 使用说明

本查询系统确定工程场地地震动参数时，选择距离设定场点 1 km 范围内的控制点结果综合确定设定场点工程的地震动参数，具体操作如下：

(1) 设定场点距离控制点小于 200 m 时，取该控制点地震动参数和区划标准地震动参数二者的外包络值作为该设定场点工程的地震动参数；

(2) 设定场点距离控制点大于 200 m 时，选择该场点周围 1 km 范围内的多个控制点，取地震动参数大的控制点参数和区划标准地震动参数二者的外包络值作为该设定场点工程的地震动参数；

(3) 选择与设定场点反应谱特征周期相同的最近的控制点的时程或同一个加速度分区内与场点特征周期相同的控制点的时程，按比值法对选定的控制点地震动时程进行调整，作为该场点的地震动时程；

(4) 对需要竖向地震动的建设工程，采用竖向与水平向地震动比值确定场地竖向地震动，可取水平向地震动峰值加速度值的三分之二；设定场点附近地震活动对场地地震危险性起主要贡献情况时，宜取为 1。

(5) 按照GB18306-2015《中国地震动峰值加速度区划图》附录 E 的规定对于不同场地条件下地震动参数进行调整。

第十一章 结论及说明

11.1 主要结论

本项目完成了连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价工作。项目的主要工作内容为：区域地震活动性和地震构造评价，近场区地震活动性和地震构造调查与评价，目标区主要断层勘查和活动性鉴定，目标区浅部土层结构三维模型建立，地震动预测方程确定，目标区概率地震危险性分析，地震工程地质条件钻孔勘查、土层波速与非线性参数测试，典型土层模型建立、场地地震反应分析与地震动参数确定等，建立目标区地层数据体和多参数地震动参数数据体，建设区域性地震安全性评价技术服务系统。依据场地工程地质条件，由技术服务系统计算给出设定场点建设工程所需的设计地震动参数，并给出地震地质灾害初步评价结果。项目工作所获得的主要结果如下：

(1) 区域位于郯庐地震带和长江下游-南黄海地震带内。区域范围内自公元1477年5月~2022年9月，共记载到 $M \geq 4.7$ 地震23次，其中4.7~4.9级地震9次，5.0~5.9级地震12次，6.0~6.9级地震1次，7级以上地震仅有1次，即1668年7月25日山东郯城8½级地震。自1970年1月~2022年9月，区域共记录到 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 地震1260次，其中2.0~2.9级地震1090次，3.0~3.9级地震149次，4.0~4.6级地震21次。

(2) 目标区震灾主要由近场区破坏性地震和中、远场强震活动所引起。目标区共遭受过4次V度及以上的地震影响，其中最大的影响烈度为IX度，是由1668年7月25日山东郯城8½级地震造成的。

(3) 近场区历史上发生破坏性地震1次，为1495年11月8日江苏连云港海州4¾级地震。自1970年1月~2022年9月，近场区内共记录到 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 地震15次，其中2.0~2.9级地震12次，3.0~3.9级地震2次，4.0~4.9级地震1次，该地震距目标区约32 km。这些地震活动的空间分布也是不均匀的，主要分布在目标区的南部，但是没有明显的丛集性和线性分布特征。

(4) 区域范围经历了多期次构造运动，断裂构造较为发育，涉及了北东向或北北东向、北西向或北北西向、近东西向或北西西向的20余条主要断裂，其中的郯庐断裂带部分活动性最强，全新世以来仍具备较强的活动性，具备发生 ≥ 7.0 级地震的构造条件，特别是其分支马陵山-重岗山断裂（安丘-莒县断裂），为全新世活动断裂，历史上发生过安丘7级地震、郯城8½地震，具备发生8.5级地震的构造条件，其余分支断裂如山左口-泗洪断裂、墨河-凌城断裂部分段落在区域范围内晚更新世有过活动，具备发生7.0级左右地震的构造条件，其余2个分支为早第四

纪断裂，具备发生 6.0 级左右地震的构造条件。其次，盐城-南洋岸断裂活动时代为晚更新世晚期，其具备发生 7.0 级左右地震的构造条件，郯庐断裂带部分段、苍山-尼山断裂、崑山断裂、蒙山山前断裂、苏北滨海断裂、新泰-蒙阴断裂、孙祖-铜冶店断裂、上五井断裂为晚更新世活动断裂，具备发生 6.5 级左右地震的构造条件。此外，属于早、中更新世的五莲-荣成断裂、日照-胶南断裂、无锡-宿迁断裂等断裂具备发生 6.0 级左右地震的构造条件。

(5) 近场区断裂构造比较发育，主要断裂有 10 条，按方向大体可归并为 3 组：以猴咀-南城断裂为代表的北北东向断裂组，以烧香河断裂为代表的北东向断裂组，以排淡河断裂为代表的北西向断裂组。这些断裂除了猴嘴-南城断裂（主要表现为逆冲断裂）外，主要表现为正断层活动性质，活动性一般都较弱，在第四纪以前就已停止了活动。

(6) 猴嘴-南城断裂 NNE 向穿越目标区；玉带河断裂 NW 向穿越目标区，烧香河断裂位于目标区东南侧侧外约 400 m 处，这 3 条断裂都是前第四纪断裂，不会对目标区稳定性产生直接影响。近场区内其余断裂均位于目标区外延 2 km 之外，且都是前第四纪断裂，近场区内未见发育第四纪断裂。

(7) 综合分析近场区地形地貌特征、新地层划分、地震活动性及主要断裂活动特征，可以认为近场区在上新世末，新构造运动曾有过较强烈活动。但至早第四纪以来，近场区新构造运动逐渐减弱，现代地震活动无论是强度、还是频度均比较低。因此，近场区属新构造运动相对较弱的地区，地震活动水平也较低。

(8) 目标区场地地貌类型为冲洪积平原地貌单元，场地地形较平坦，地面标高约 4.50 m~5.10 m。根据本次勘探揭露的地层情况，按成因时代、岩性特征、埋藏条件及物理力学性质，场地勘探深度以内可划分为 5 个工程地质层。目标区共布设 21 个钻孔，各钻孔覆盖层厚度为 25.0 m~45.0 m。覆盖土层的等效剪切波速为 151.0 m/s~169.0 m/s。据 GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）表 4.1.6，目标区场地类别为 II 类建筑场地。

(9) 根据现有资料以及本次工作地震勘探结果，目标区内不存在第四纪以来的断层，可不考虑断层错动影响。目标区发生地震崩塌滑坡危险程度较低。目标区范围内④层粗砂在 100 年超越概率 1%（地震动峰值加速度大于 0.30g）时有局部钻孔会发生液化，在其他概率水准下目标区范围内④层粗砂不发生液化。目标区场地在地震烈度 VII 度不存在软土震陷问题，在地震烈度 VIII 度、IX 度时会发生震陷，建设工程设计时需要注意。本次地震地质灾害评价结果只是针对地震所引发或诱发的地质灾害，不能取代具体工程勘察工作中的地质灾害评价。

(10) 根据工程结构抗震设计的要求，对本项目工程场地进行场地地震反应计算时，分别取 11 个超越概率基岩地震动加速度时程（各 10 条样本）幅值的一

半作为一维土层地震反应计算模型的基底入射波输入量，并假定地震波为从基岩面垂直入射。对应每一种情况，计算出工程场地地表地震动反应的加速度时程及其反应谱。目标区 21 个钻孔分别建立了计算模型，得到计算结果见表 11.1-1。

(11) 结合目标区场地工程地质条件，以及考虑GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》等规范所确定的地震动参数为最低抗震设防要求，据表11.1-1，根据各计算点（控制性钻孔）加速度反应谱参数结果，图11.1-1~图11.1-11为目标区不同超越概率水准下的场地地表峰值加速度分区图；图11.1-1~图11.1-21为目标区不同超越概率水准下的场地特征周期分区图。

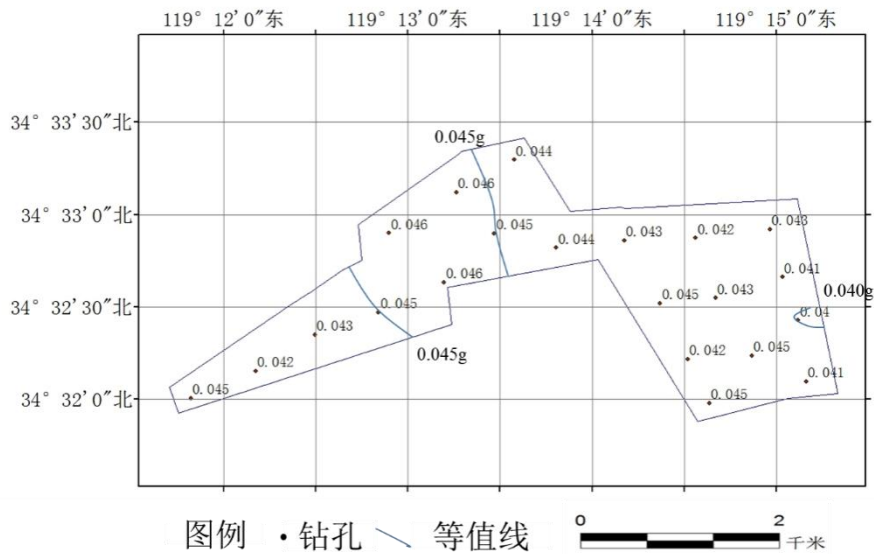


图 11.1-1 地表水平向地震动峰值加速度等值线图（50 年超越概率 63%）

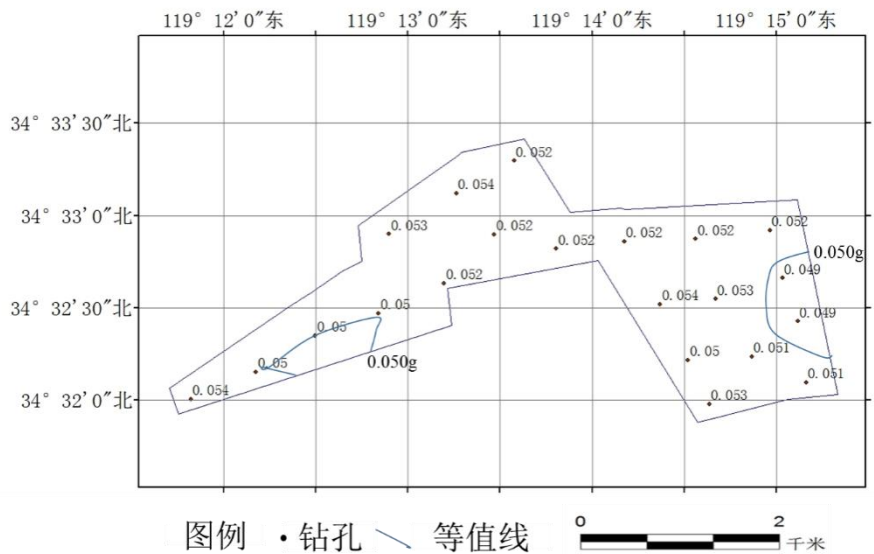


图 11.1-2 地表水平向地震动峰值加速度等值线图（100 年超越概率 63%）

表 11.1-1 各控制点地表水平向加速度反应谱参数表（阻尼比 0.05）

计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
Zk1	A_{\max}	0.045	0.054	0.083	0.134	0.185	0.242	0.260	0.271	0.289	0.311	0.368
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.113	0.135	0.208	0.335	0.463	0.605	0.650	0.678	0.723	0.778	0.920
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZK2	A_{\max}	0.042	0.050	0.075	0.127	0.175	0.229	0.252	0.263	0.277	0.294	0.360
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.105	0.125	0.188	0.318	0.438	0.573	0.630	0.658	0.693	0.735	0.900
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk3	A_{\max}	0.043	0.050	0.078	0.129	0.171	0.226	0.238	0.249	0.263	0.278	0.328
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.108	0.125	0.195	0.323	0.428	0.565	0.595	0.623	0.658	0.695	0.820
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk4	A_{\max}	0.045	0.050	0.080	0.134	0.181	0.239	0.260	0.273	0.286	0.305	0.356
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.113	0.125	0.200	0.335	0.453	0.598	0.650	0.683	0.715	0.763	0.890
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	1.25
	γ	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.9
Zk5	A_{\max}	0.046	0.053	0.083	0.138	0.191	0.247	0.270	0.288	0.302	0.323	0.360
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.115	0.133	0.208	0.345	0.478	0.618	0.675	0.720	0.755	0.808	0.900
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk6	A_{\max}	0.046	0.052	0.081	0.137	0.192	0.253	0.275	0.298	0.321	0.351	0.406
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
计算点 (钻孔)	$S_{\max} (g_n)$	0.115	0.130	0.203	0.343	0.480	0.633	0.688	0.745	0.803	0.878	1.015
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.15
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.046	0.054	0.083	0.137	0.188	0.240	0.254	0.273	0.287	0.309	0.364
Zk7	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.115	0.135	0.208	0.343	0.470	0.600	0.635	0.683	0.718	0.773	0.910
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk8	A_{\max}	0.045	0.052	0.080	0.134	0.184	0.240	0.259	0.275	0.288	0.308	0.343
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.113	0.130	0.200	0.335	0.460	0.600	0.648	0.688	0.720	0.770	0.858
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
Zk9	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.044	0.052	0.080	0.133	0.182	0.241	0.262	0.279	0.291	0.309	0.361
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.110	0.130	0.200	0.333	0.455	0.603	0.655	0.698	0.728	0.773	0.903
Zk10	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.044	0.052	0.081	0.131	0.170	0.223	0.237	0.247	0.266	0.279	0.329
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Zk11	$S_{\max} (g_n)$	0.110	0.130	0.203	0.328	0.425	0.558	0.593	0.618	0.665	0.698	0.823
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.043	0.052	0.080	0.130	0.184	0.247	0.272	0.289	0.309	0.332	0.392
Zk12	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.108	0.130	0.200	0.325	0.460	0.618	0.680	0.723	0.773	0.830	0.980
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.15
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
计算点 (钻孔)	$S_{\max} (g_n)$	0.105	0.130	0.193	0.318	0.428	0.560	0.593	0.618	0.650	0.698	0.795
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.043	0.052	0.080	0.128	0.174	0.225	0.242	0.262	0.272	0.294	0.340
Zk13	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.108	0.130	0.200	0.320	0.435	0.563	0.605	0.655	0.680	0.735	0.850
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.65	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.15
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk14	A_{\max}	0.045	0.054	0.083	0.135	0.177	0.232	0.242	0.252	0.264	0.281	0.328
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.113	0.135	0.208	0.338	0.443	0.580	0.605	0.630	0.660	0.703	0.820
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	1.30
Zk15	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.043	0.053	0.081	0.130	0.180	0.233	0.251	0.267	0.278	0.299	0.350
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.108	0.133	0.203	0.325	0.450	0.583	0.628	0.668	0.695	0.748	0.875
Zk16	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.25
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.041	0.049	0.073	0.124	0.178	0.238	0.264	0.281	0.307	0.334	0.401
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Zk17	$S_{\max} (g_n)$	0.103	0.123	0.183	0.310	0.445	0.595	0.660	0.703	0.768	0.835	1.003
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.65	0.75	0.80	0.80	0.80	0.80	1.05
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.042	0.050	0.074	0.126	0.189	0.254	0.278	0.294	0.322	0.357	0.423
Zk18	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.105	0.125	0.185	0.315	0.473	0.635	0.695	0.735	0.805	0.893	1.058
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.65	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.95
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk18	A_{\max}	0.045	0.051	0.079	0.134	0.189	0.257	0.282	0.298	0.327	0.354	0.412
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

计算点 (钻孔)	参数	概率水准										
		50 年 63%	100 年 63%	100 年 39%	50 年 10%	100 年 10%	100 年 5%	50 年 2%	100 年 3.3%	100 年 2.5%	100 年 2%	100 年 1%
计算点 (钻孔)	$S_{\max} (g_n)$	0.113	0.128	0.198	0.335	0.473	0.643	0.705	0.745	0.818	0.885	1.030
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	1.10
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.040	0.049	0.074	0.119	0.169	0.230	0.254	0.271	0.292	0.310	0.379
Zk19	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.100	0.123	0.185	0.298	0.423	0.575	0.635	0.678	0.730	0.775	0.948
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	1.20
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Zk20	A_{\max}	0.045	0.053	0.079	0.134	0.186	0.249	0.258	0.275	0.287	0.303	0.359
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.113	0.133	0.198	0.335	0.465	0.623	0.645	0.688	0.718	0.758	0.898
	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	1.30
Zk21	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	A_{\max}	0.041	0.051	0.077	0.122	0.172	0.229	0.246	0.259	0.275	0.285	0.327
	β_m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	$S_{\max} (g_n)$	0.103	0.128	0.193	0.305	0.430	0.573	0.615	0.648	0.688	0.713	0.818
Zk21	$T_g (s)$	0.55	0.55	0.60	0.65	0.75	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	1.30
	γ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

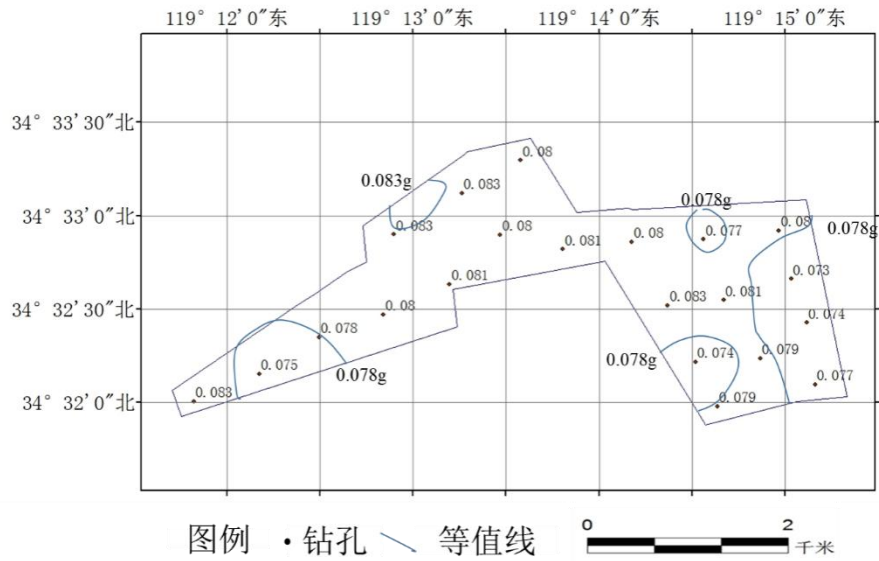


图 11.1-3 地表水平向地震动峰值加速度等值线图（100 年超越概率 39%）

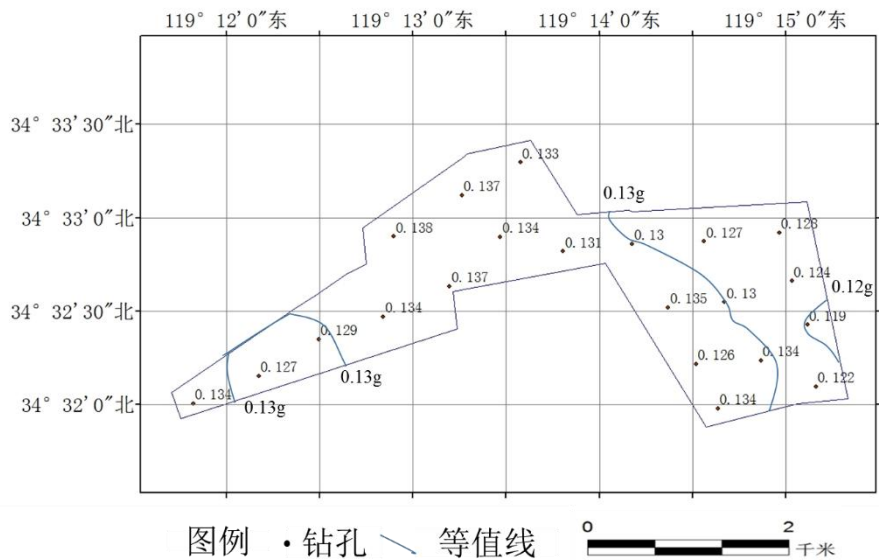


图 11.1-4 地表水平向地震动峰值加速度等值线图（50 年超越概率 10%）

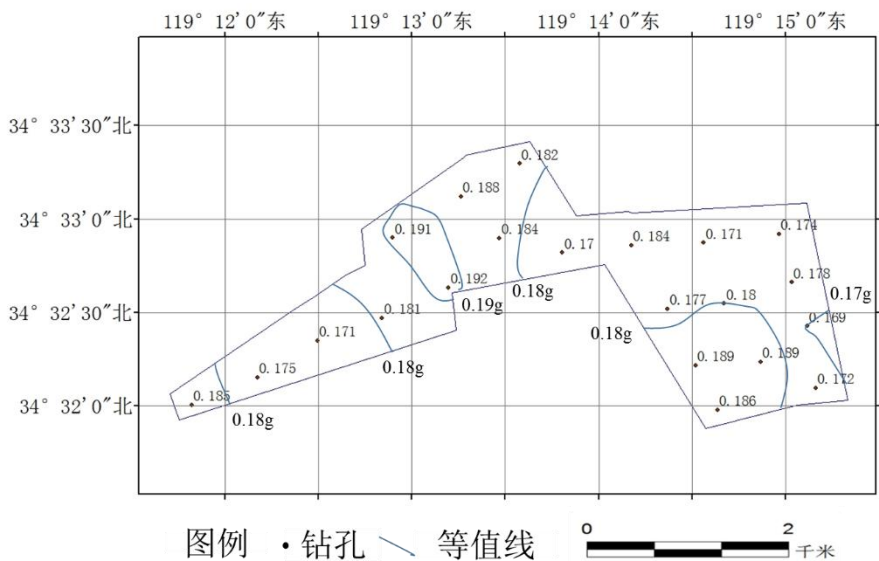


图 11.1-5 地表水平向地震动峰值加速度等值线图（100 年超越概率 10%）

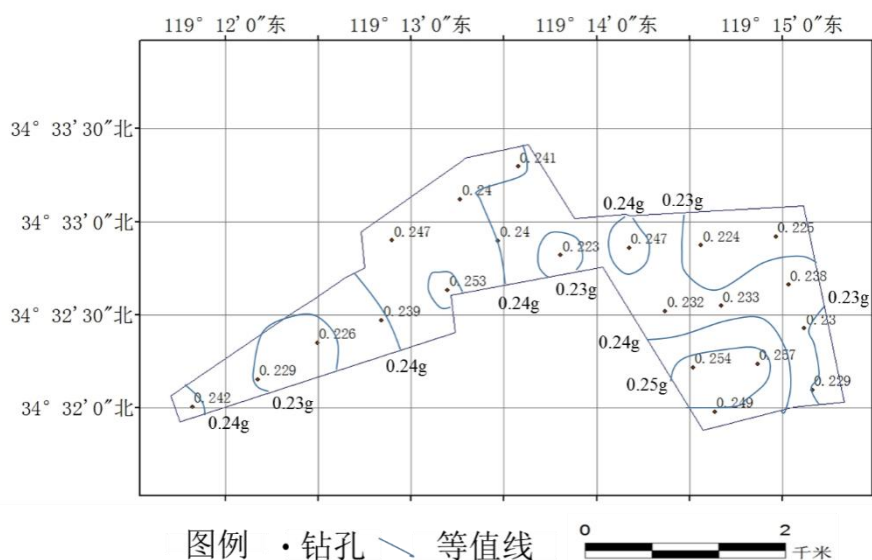


图 11.1-6 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 5%)

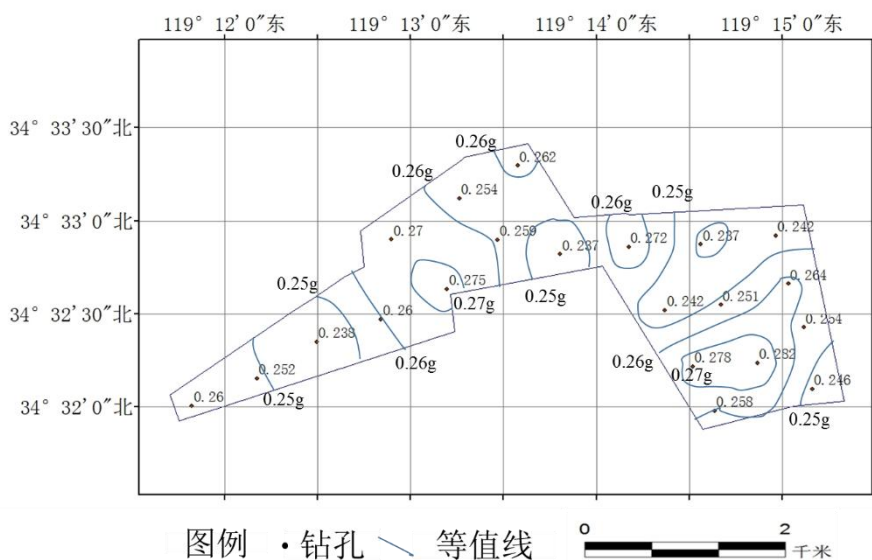


图 11.1-7 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (50 年超越概率 2%)

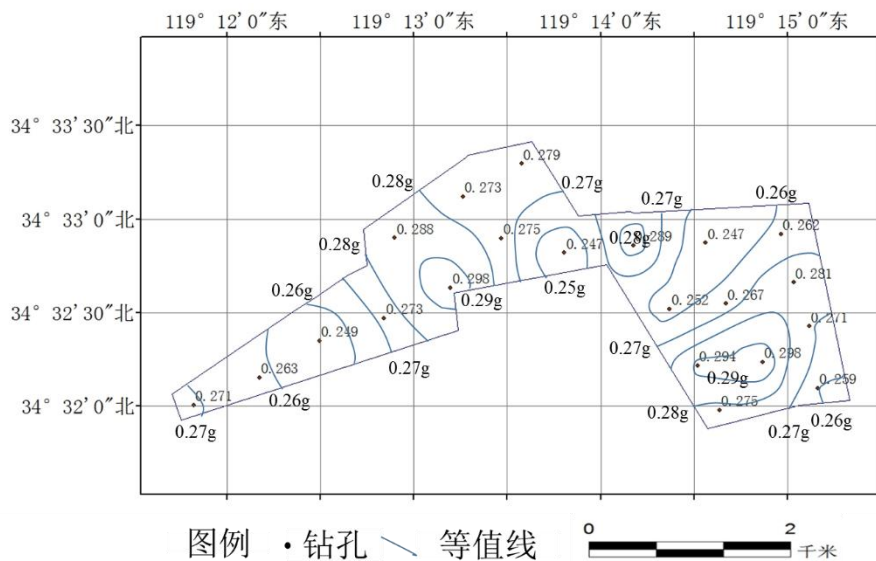


图 11.1-8 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 3.3%)

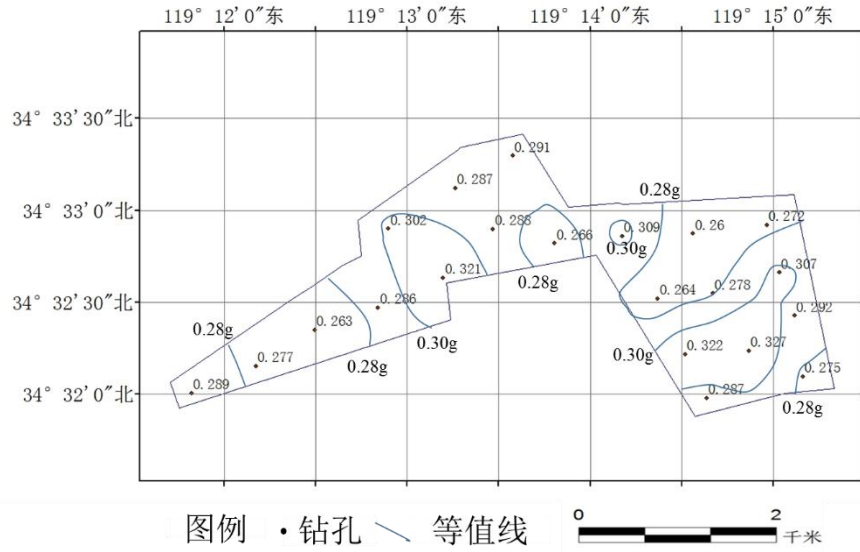


图 11.1-9 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 2.5%)

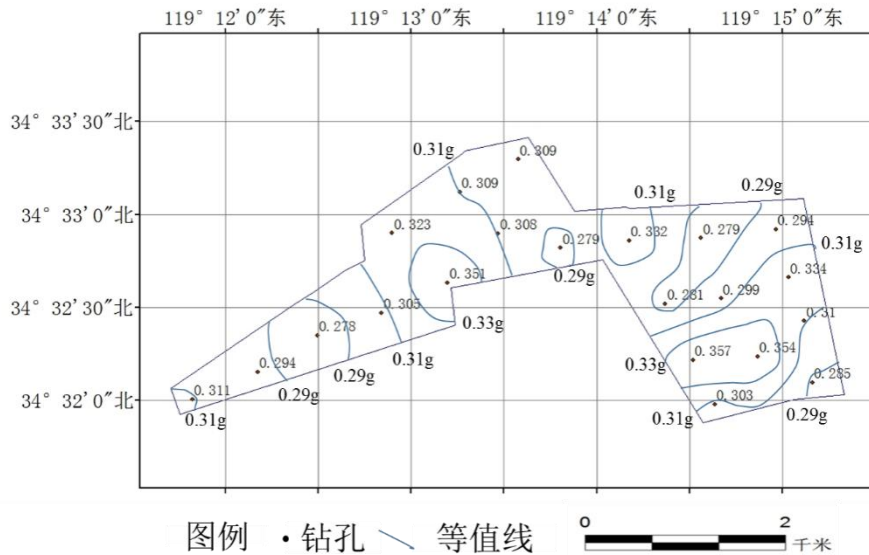


图 11.1-10 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 2%)

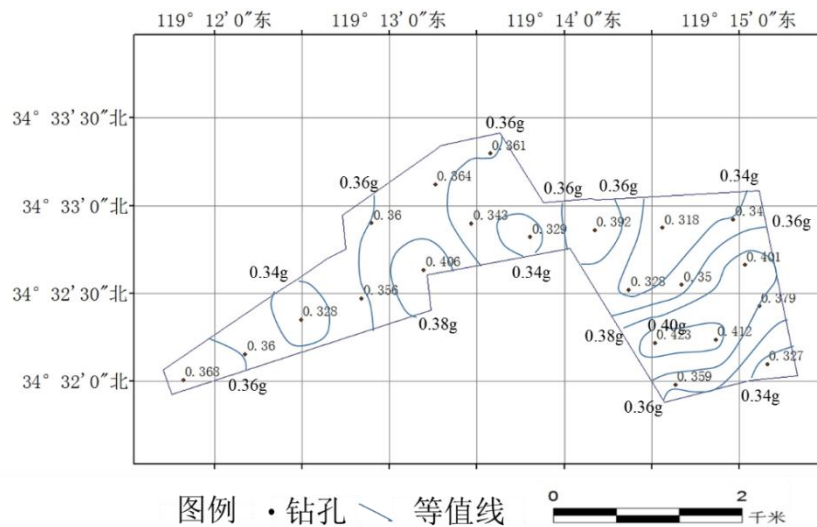


图 11.1-11 地表水平向地震动峰值加速度等值线图 (100 年超越概率 1%)

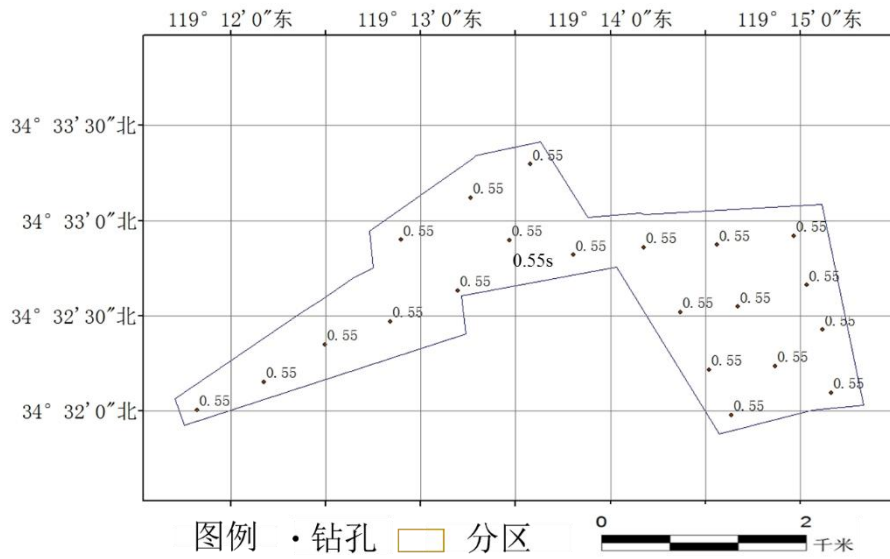


图 11.1-12 地表水平向地震动特征周期分区图（50 年和 100 年超越概率 63%）

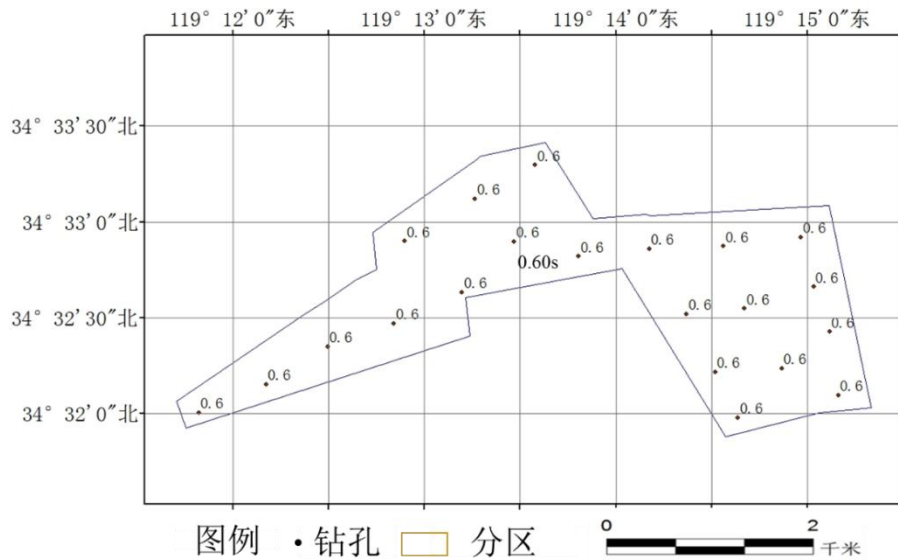


图 11.1-13 地表水平向地震动特征周期分区图（100 年超越概率 39%）

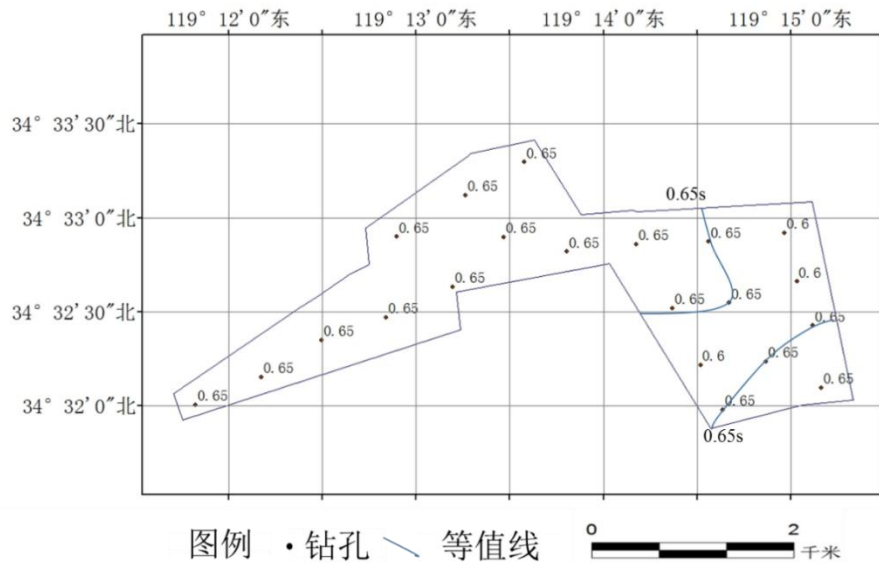


图 11.1-14 地表水平向地震动特征周期等值线图（50 年超越概率 10%）

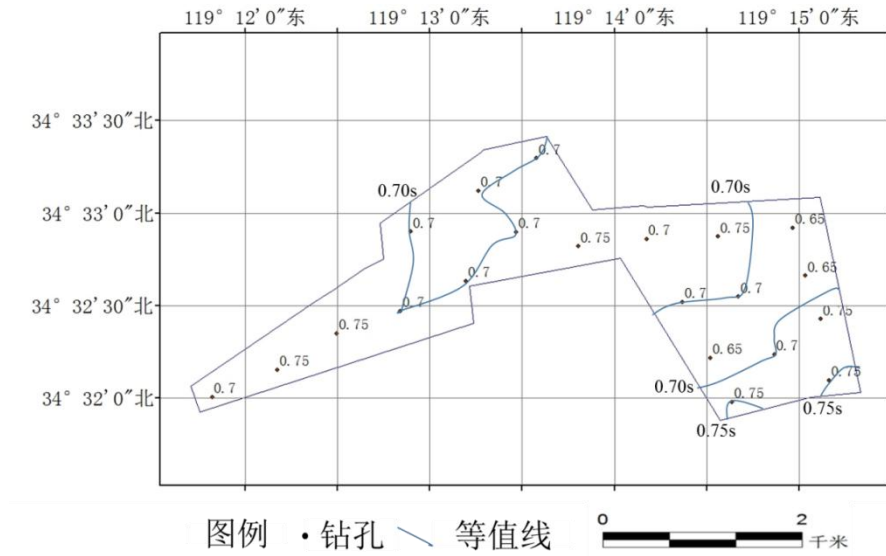


图 11.1-15 地表水平向地震动特征周期等值线图（100 年超越概率 10%）

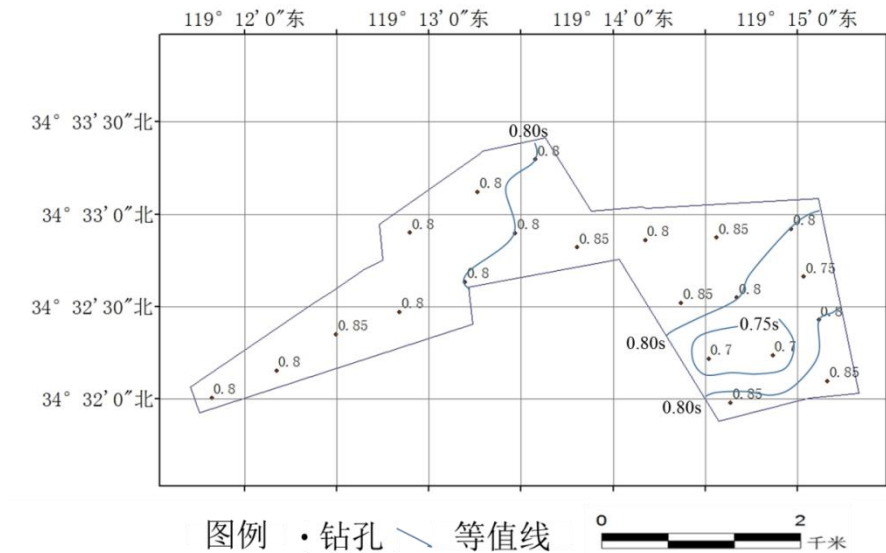


图 11.1-16 地表水平向地震动特征周期等值线图（100 年超越概率 5%）

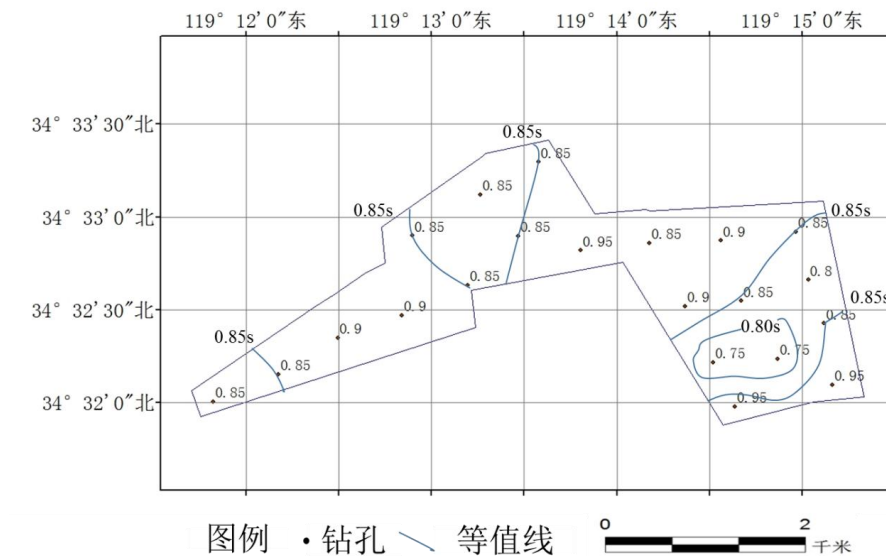


图 11.1-17 地表水平向地震动特征周期等值线图（50 年超越概率 2%）

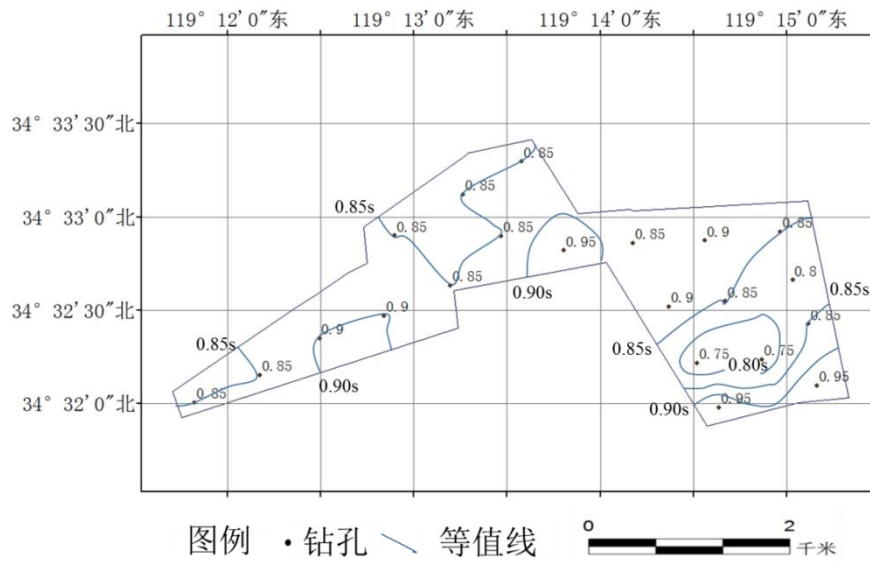


图 11.1-18 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 3.3%)

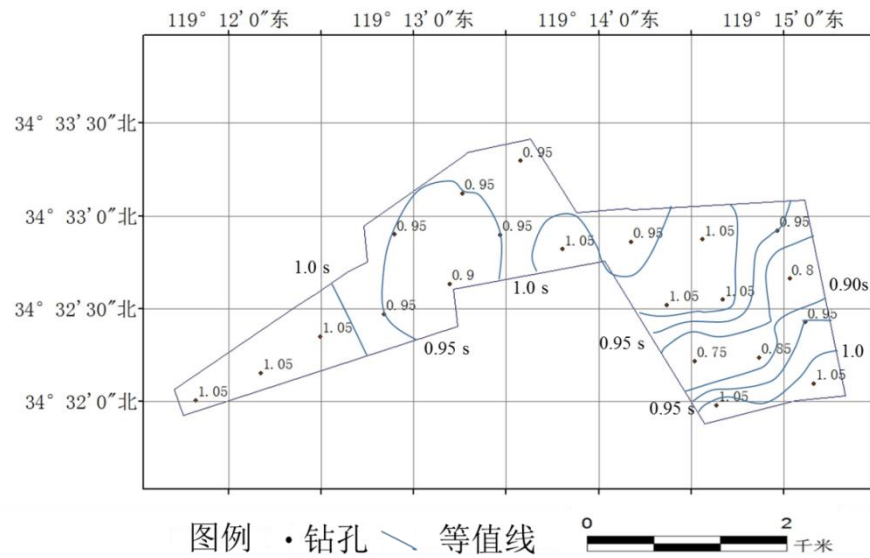


图 11.1-19 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 2.5%)

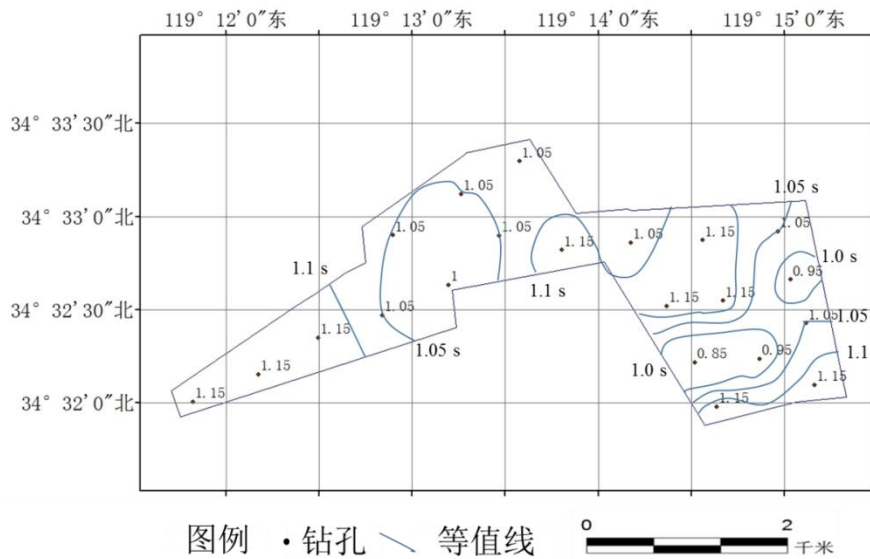


图 11.1-20 地表水平向地震动特征周期等值线图 (100 年超越概率 2%)

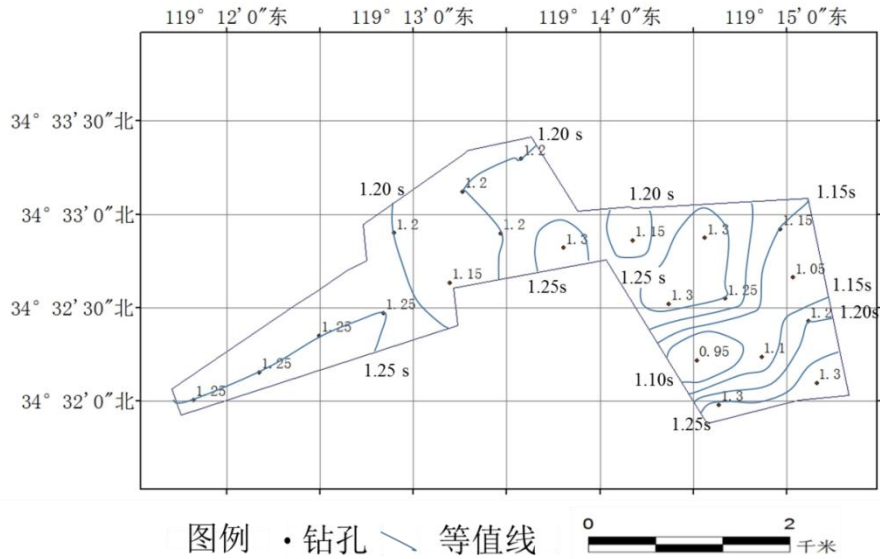


图 11.1-21 地表水平向地震动特征周期等值线图（100 年超越概率 1%）

11.2 设计地震动参数使用说明

（1）在详细研究目标区所处的地震构造背景、地震活动环境，特别是近场区范围内的地震活动环境、地质构造条件基础上，本区域性地震安全性评价成果充分考虑了局部场地条件对地震动的影响，故工作成果可以直接应用于目标区内除中震防发〔2015〕59 号文所列的重大工程目录以外的、不同于一般工程的较为重要的新建、扩建、改建建设工程选址、抗震设防要求确定、地震风险评价，也适用于该目标区发展规划、国土利用规划及防震减灾对策制定等工作。

（2）本区域性地震安全性评价成果提供了不同超越概率水准的场地地震动参数，建设工程可根据工程的重要性及工程所允许承担的风险，选用相应的地震动参数进行抗震设计。设计中如需要其它阻尼比的场地地震动参数，可根据相关规范的规定进行调整计算；设计中下降指数 γ 取 0.9；设计中如需要竖向场地地震动参数，峰值加速度、地震影响系数可根据相关规范规定按照水平向峰值加速度、地震影响系数进行折减取值，其它参数不变。

（3）目标区内设定场点工程场地地震动参数，可根据工程结构特征、场地工程地质条件和目标区地表地震动参数数据库、地震动时程数据库综合确定。

➤ 根据场地工程地质勘察报告，给出场地类别。

➤ 根据场地类别，依据 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》双参数调整要求，以 50 年超越概率 63%、10%、2%和年超越概率 10^{-4} 的四级地震作用地震动参数值，作为区划标准地震动参数。

➤ 依据工程结构所需的概率水准，选择距离场点 1 km 范围内的控制点结果综合确定场地地震动参数。其中，场点距离控制点小于 200 m 时，50 年超越概率 63%、10%、2%和年超越概率 10^{-4} 的四级地震作用地震动参数值，取该控制点地

震动参数和区划标准地震动参数二者的外包络值作为该场点的地震动参数；其他概率地震动参数值，取该控制点地震动参数作为该场点的地震动参数。场点距离控制点大于 200 m 时，50 年超越概率 63%、10%、2%和年超越概率 10^{-4} 的四级地震作用地震动参数值，选择该场点周围 1 km 范围内的多个控制点，取地震动参数大的控制点参数和区划标准地震动参数二者的外包络值作为该场点的地震动参数；其他概率地震动参数值，取地震动参数大的控制点参数的外包络值作为该场点的地震动参数。

➤ 对需要地震动时程的建设工程，依据场点与选定控制点地震动参数结果差异，按比值法对选定的控制点地震动时程进行调整处理，作为该场点的地震动时程。

➤ 对需要竖向地震动的建设工程，依据水平向地震动参数结果，采用竖向与水平向地震动比值确定场地竖向地震动，一般可取 2/3。

（4）本项工作成果综合反映了目标区场地附近一定范围内地震地质、地震活动性及局部场地条件等因素对地震动的影响，具有较强的地区性，本工作成果不适用目标区范围以外的区域。中震防发〔2015〕59 号文所列的重大工程应依法进行专门的场地地震安全性评价工作，在进一步的场地探测、勘测工作基础上，开展更详细、更有针对性场地地震动效应研究，确定场地地震动参数。

（5）目标区范围内幼儿园、学校、医院等人员密集场所的建设工程，应当在当地建筑抗震设防要求的基础上提高一档进行抗震设防，采取有效措施，增强抗震设防能力。

（6）根据现行法规，目标区范围内的一般建设工程，可以根据国家标准 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》确定地震动参数。但 GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》比例尺为 1: 400 万，给出的是大范围内地震危险度的平均估计（平均值）。本项工作针对目标区做了更加深入细致的工作，针对性更强、考虑的因素更多、精度要求更高，从而更能反映目标区的地震环境、局部场地条件、场地地震动特征等，故目标区范围内的一般建设工程，建议根据本报告主要结论部分表 8.2-1 确定地震动参数。

（7）本区域性地震安全性评价成果中 100 年超越概率 1%的场地地震动参数为极罕遇地震动，可应用于目标区防灾规划、地震灾害防治及应急备灾等。

（8）按照国家标准 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》中地震动峰值加速度分区与地震基本烈度对照表，目标区范围内 50 年超越概率 10%对应的地震基本烈度为 VII 度。

（9）场地地震地质灾害评价是在收集目标区场地范围内工程地质勘察资料基础上，结合开展的目标区工程地质勘察和地震动参数研究成果，综合分析目标区场地具体的工程地质条件，发现目标区存在部分地震地质灾害。对具体建设工程

场地，在工程建设时应根据工程地质详勘工作，开展进一步的地震地质灾害评价，并以此作为建设工程的基础设计依据。

（10）本报告成果仅限本项目目标区（具体范围见前言）中应用。

参 考 文 献

- [1] 国家地震局震害防御司, 1995, 中国历史强震目录(公元前 23 世纪-公元 1911 年) [M].北京: 地震出版社.
- [2] 国家地震局科技发展司, 1999, 中国近代地震目录($M_s \geq 4\frac{3}{4}$, 公元 1912-1990 年) [M].北京: 中国科学技术出版社.
- [3] 国家地震局分析预报中心, 1980, 中国东部地震目录[M].北京: 地震出版社.
- [4] 国家地震局地球物理研究所等, 1983 年, 明时期历史地震图集[M].北京: 地图出版社.
- [5] 国家地震局地球物理研究所等, 1983 年, 清时期历史地震图集[M].北京: 地图出版社.
- [6] 国家地震局地质研究所, 1987, 郯庐断裂[M].北京: 地震出版社.
- [7] 江苏省地质矿产局, 1984, 江苏省及上海市区域地质志[M].北京: 地质出版社.
- [8] 环文林、时振梁等, 1982, 中国东部及邻区中新世构造演化与太平洋板块运动[J].地质科学, 第二期.
- [9] 环文林等, 1990, 潜在震源区划分的构造成因法(华北地区)地震危险性分析中的综合概率法[M].北京: 地震出版社.
- [10] 环文林等, 1994, 中国大陆内部走滑型发震构造的构造应力场特征, 地震学报, 16(4).
- [11] 环文林等, 1995, 中国大陆内部走滑型发震构造的构造变形场特征[J].地震学报, 17(5).
- [12] 环文林等, 1997, 中国大陆内部走滑型发震构造粘滑运动的结构特征[J].地震学报, 19(6).
- [13] 黄玮琼, 1994, 中国大陆地震资料完整性研究之一——以华北地区为例[J].地震学报, 16.
- [14] 霍俊荣、胡聿贤、冯启民, 1988, 地面运动时程强度包络函数的研究[J].地震工程与工程振动, 8(1).
- [15] 霍俊荣, 1989, 近场强地面运动衰减关系的研究[D].博士论文.
- [16] 马宗晋、傅征祥、张郢珍等, 1982, 1966-1976 年中国九大地震[M].北京: 地震出版社.
- [17] 时振梁、汪良谋、傅征祥、金学申等, 1997, 中国大陆中长期强震危险性预测方法研究[M].北京: 海洋出版社.
- [18] 时振梁等, 1978, 建筑物的破坏和断层附近的地面运动[J].地球物理学报, 21(3).
- [19] 时振梁等, 1973, 我国强震活动和板块构造[J].地质科学, 4 期.

- [20] 汪素云等, 1993, 中国及邻区地震震源机制特征. 《中国地震区划文集》[M].北京: 地震出版社.
- [21] 汪素云等, 1985, 中国东部大陆的地震构造应力场[J].地震学报, 7 (1) .
- [22] 汪素云、时振梁, 1993, 有感半径与震级的关系及其应用, 国家地震局震害防御司编《中国地震区划文集》[M].北京: 地震出版社.
- [23] 杨理华, 李钦祖, 1980, 华北地区地壳应力场, 北京: 地震出版社.
- [24] 邱海峻、许志琴、乔德武, 2006, 苏北盆地构造演化研究进展[J].地质通报, 25 (9-10) .
- [25] 陈安定, 2010, 苏北盆地构造特征及箕状断陷形成机理[J].石油与天然气地质, 31 (2) .
- [26] 王建, 2005, 综合物探解释方法在盐阜地区中生界研究中的应用[J].勘探地球物理进展, 28 (5) .
- [27] 黄汲清, 1979, 按大地构造观点进行中国地震地质区划的尝试[J].中国地质科学院院报, 1 (1) .
- [28] 任纪舜、王作勋、陈炳蔚等, 1999, 从全球看中国大地构造-中国及邻区大地构造图简要说明[M].北京: 地质出版社.
- [29] 张诚, 曹新玲等, 中国地震震源机制[M].北京: 学术书刊出版社.
- [30] 周国藩等, 1989, 利用重力资料研究我国东部地区地壳深部构造和地壳结构特征[J].地球科学, 14 (3) .
- [31] 徐杰等, 2003 中国大陆东部新构造期北西向断裂带的初步探讨[J].地学前缘, 10 (8) .
- [32] 地质部航磁综合研究队, 1960, 长江下游地区航空物探结果报告[R].
- [33] 地质部地质科学研究院主编, 1964, 中国大地构造基本特征[M].北京: 中国工业出版社
- [34] 江苏省地震工程研究院, 1992, 江苏省连云港核电厂地震地质综合评价报告[R].
- [35] 江苏省地震工程研究院, 1997, 连云港核电厂地震地质补充工作报告(邵店-桑墟断裂活动性评价)[R].
- [36] 山东省地震工程研究院, 2018, 连云港市活动断层探测与地震危险性评价[R].
- [37] 秦晶晶等, 2020, 地震折射和反射方法研究郯庐断裂带宿迁段的浅部构造特征[J].地球物理学报[J].63 (2) .
- [38] 江苏省地震工程研究院, 2016, 宿迁市活动断层探测与地震危险性评价[R].
- [39] 江苏省地震工程研究院, 2011, 徐州市活动断层探测与地震危险性评价[R].
- [40] 江苏省地震工程研究院, 2020, 新沂市活动断层探测与地震危险性评价[R].
- [41] 汤有标, 姚大全, 1990, 郯庐断裂带赤山段晚更新世以来的活动性[J].中国地震,

- (2) .
- [42] 姚大全, 汤有标, 1990, 郯(城)—庐(江)断裂带赤山段晚白垩世晚期以来构造应力场[J]. 华南地震, (4) .
- [43] 汤有标, 姚大全, 1990, 郯庐断裂带南段新活动性的初步研究[J]. 地震研究, (2) .
- [44] 晁洪太等, 1994, 郯庐断裂带中段全新世活断层的特征滑动行为与特征地震[J]. 内陆地震, 1994 (4) .
- [45] 李家灵等, 1994, 1668 年郯城 8*(1/2)级地震断层及其破裂机制[J]. 地震地质, (3) .
- [46] 李家灵等, 1994, 郯庐活断层的分段及其大震危险性分析[J]. 地震地质, (2) .
- [47] 应急管理部国家自然灾害防治研究院, 2020, 盐城市活动断层探测与地震危险性评价[R].
- [48] 江苏省地震工程研究院, 2001, 南黄海地震区划研究报告[R].
- [49] 江苏省地震工程研究院, 1995, 淮阴市地震小区划[R].
- [50] 李起彤, 1994, 断层活动性定量评定之现状与展望[J]. 国际地震动态, (5) .
- [51] 杨源源等, 2019, 郯庐断裂带明光—一定远池河镇段的新活动性[J]. 震灾防御技术, 14 (1) .
- [52] 张鹏等, 2019, 郯庐断裂带安丘—莒县断裂江苏段全新世活动的新证据[J]. 地震地质, 41 (3) .
- [53] 曹筠, 2018, 郯庐断裂带安丘—莒县断裂南段(郯城—淮河)晚第四纪活动特征[J]. 地震研究, 41 (2) .
- [54] 曹筠等, 2017, 郯庐断裂带沂水—汤头断裂南段晚第四纪活动新证及构造意义[J]. 地震地质, 39 (2) .
- [54] 姚大全等, 2017, 郯庐断裂带淮河南到女山湖段晚第四纪以来的新活动[J]. 中国地震, 33 (1) .
- [55] 郑德顺等, 2013, 鲁西南蒙阴盆地古近系沉积特征及沉积环境[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 32 (6) .
- [56] 李少俊等, 2018, 鲁西地块新生代断裂体系活动性与深部动力机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 38 (4) .
- [57] 晁洪太等, 1992, 鲁中地区北西向断裂及其第四纪晚期的活动特征[J]. 地震学刊, (2) .
- [58] 王华林等, 1992, 鲁西北西向断裂的断层泥及其地震地质意义[J]. 地震地质, (2) .
- [59] 王志才等, 2001, 鲁中南隆起区第四纪晚期断裂活动特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, (4) .
- [60] 符颖强, 2018 苏北盆地北部活断层分布特点研究[J]. 能源技术与管理, 43 (5) .
- [61] 朱孟浩等, 2021, 苏北—滨海断裂北段最新活动时代研究[J]. 震灾防御技术, 16

- (1) .
- [62] 陈昌武, 高远, 2016, 利用地震资料研究活断层的方法和对煤矿安全开采的意义[J]. 西部探矿工程, 28 (10) .
- [63] 孙业君等, 2015, 江苏南部地区现今震源机制和应力场特征[J].地震研究, 38 (2).
- [64] 汪素云, 许忠淮, 1995, 中国东部大陆的地震构造应力场[J].地震学报, (1) .
- [65] 许忠淮等, 1983, 由多个小地震推断的华北地区构造应力场的方向[J].地震学报, (3) .

附件 1

连云港高新技术产业开发区
区域地震安全性评价项目
波速测试报告

测试负责人： 蒋昱

报告编写： 蒋昱

校 对： 刘可

复 核： 代如阳

审 核： 郭事



徐州天地岩土科技有限公司

二〇二二年十二月

目 录

1 前言	1
2 工程地质概况	1
3 测试仪器	2
4 现场测试工作	3
5 资料分析处理与测试结果	25
5.1 测试点速度值	25
5.2 场地覆盖层厚度的确定	36
5.3 场地土类型及场地类别的确定	47

1 前言

受连云港高新技术产业开发区管理委员会的委托，徐州天地岩土科技有限公司承担了连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目波速测试工作。依据工作要求，本次工作共进行 21 个钻孔的波速测试工作，孔号为 ZK1-ZK21。测试点距为 1m，测试岩土层部分的横波速度。

野外工作于 2022 年 11 月 16 日完成。

2 工程地质概况

根据钻探资料揭示，本场地勘察钻探深度范围内土层分布如下：

第① 层杂填土（Qh）：粉质黏土为主，夹杂植物根茎、生活垃圾、碎石等。

第② 层淤泥质粉质黏土（Qh）：灰褐色，饱和，流塑，局部软塑，含有机质，略有臭味，切面稍有光泽，干强度中等，韧性中等。

第③ 层粉质黏土（Qp³）：灰绿-黄褐色，饱和，可-硬塑，含少量锰结核，切面稍有光泽，干强度高，韧性高。

第④ 层粗砂（Qp³）：灰黄色，湿，密实，主要矿物成分为石英、长石次之。

第⑤ 层片麻岩（Pt）：灰褐-灰白色，片麻状构造，变晶结构，颗粒以石英、长石为主，风化沿裂隙面发育，岩芯短柱状，较破碎，锤击声哑、易碎，进尺稳定，风化中等，软岩，岩体基本质量等级 V 级。

据钻探资料揭示，测试孔地质资料如表 1。

波速试验孔岩土层埋深表

表 1-1

层序	土层名称	层底埋深(m)						
		ZK1	ZK2	ZK3	ZK4	ZK5	ZK6	ZK7
①	杂 填 土	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
②	淤泥质粉质黏土	9.5	10.4	10.0	10.0	8.8	9.0	10.3
③	粉质黏土	22.0	29.0	29.5	29.0	29.5	32.0	30.0
④	粗砂	25.0	32.0	33.0	33.0	33.0	38.0	33.0
⑤	片麻岩	29.0	35.0	36.0	40.0	38.0	41.0	35.0

波速试验孔岩土层埋深表

表 1-2

层序	土层名称	层底埋深(m)						
		ZK8	ZK9	ZK10	ZK11	ZK12	ZK13	ZK14
①	杂 填 土	0.8	1.0	1.5	2.0	1.0	1.0	1.0
②	淤泥质粉质黏土	10.0	10.5	11.2	11.0	10.0	9.6	9.7

③	粉质黏土	31.5	27.0	31.0	25.0	26.9	25.0	32.8
④	粗砂	34.0	30.0	33.0	26.0	30.0	27.0	-
⑤	片麻岩	39.0	35.0	37.0	32.0	34.0	31.0	35.0

波速试验孔岩土层埋深表 表 1-3

层序	土层名称	层底埋深(m)						
		ZK15	ZK16	ZK17	ZK18	ZK19	ZK20	ZK21
①	杂 填 土	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.7
②	淤泥质粉质黏土	10.0	6.8	8.0	8.7	8.0	9.0	9.4
③	粉质黏土	29.0	38.0	36.0	35.0	40.6	39.0	35.7
④	粗砂	-	-	-	-	-	-	45.0
⑤	片麻岩	35.0	44.0	40.0	40.0	45.0	44.0	51.0

3 测试仪器

本本工程波速测试使用仪器为重庆地质仪器厂生产的 DZQ48 高分辨地震勘探数据采集系统。该仪器的波速测井模式为井上激振，利用铁锤水平撞击横木，使板与地面之间发生运动，产生丰富的剪切波，从而在钻孔内不同高度处分别接收通过土层向下传播的剪切波。图 1 为工作方法示意图。

仪器组成：主机、采集单元、井下探头。
仪器性能：采样间隔：31.25 μs~500 μs；记录长度：512~4096 点。

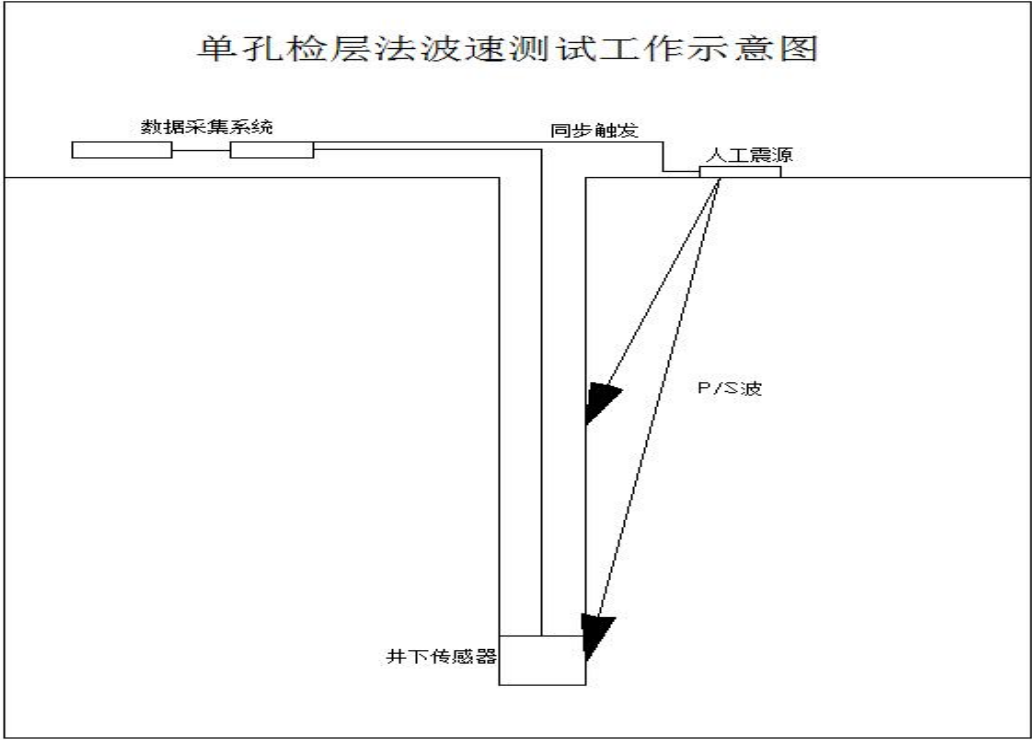


图 1 工作方法示意图

4 现场测试工作

本次测试工作严格按照 GB/T50269-2015《地基动力特性测试规范》进行。即采用地面激振，在钻孔中接收到直达波信号的测试方法，采用专用横波震源激发 S 波，激发点距孔口 1.1-1.4m 不等，仪器接收到的 S 波信号经放大器放大得到波形，经整理分析和计算得到土层的剪切波速。现场施工照片见图 2。

测试孔经纬度位置

表 2

孔号	经度 (E)	纬度(N)	孔号	经度 (E)	纬度(N)
ZK1	119.1970	34.5334	ZK11	119.2362	34.5477
ZK2	119.2029	34.5359	ZK12	119.2427	34.5479
ZK3	119.2082	34.5392	ZK13	119.2495	34.5487
ZK4	119.2140	34.5412	ZK14	119.2395	34.5420
ZK5	119.2150	34.5483	ZK15	119.2445	34.5424
ZK6	119.2199	34.5439	ZK16	119.2506	34.5444
ZK7	119.2211	34.5520	ZK17	119.2420	34.5370
ZK8	119.2245	34.5483	ZK18	119.2478	34.5372
ZK9	119.2263	34.5550	ZK19	119.2520	34.5404
ZK10	119.2301	34.5470	ZK20	119.2440	34.5329
			ZK21	119.2527	34.5349



图 2 现场施工照片

本次工作采用 $250\mu\text{s}$ 采样间隔，1024 点记录长度，测试点间距 1m。所采集的原始记录全部合格，S 波清晰可靠，并进行了现场重复测试，确保原始资料准确、可靠。各孔原始记录波形见图 3-1~图 3-21。

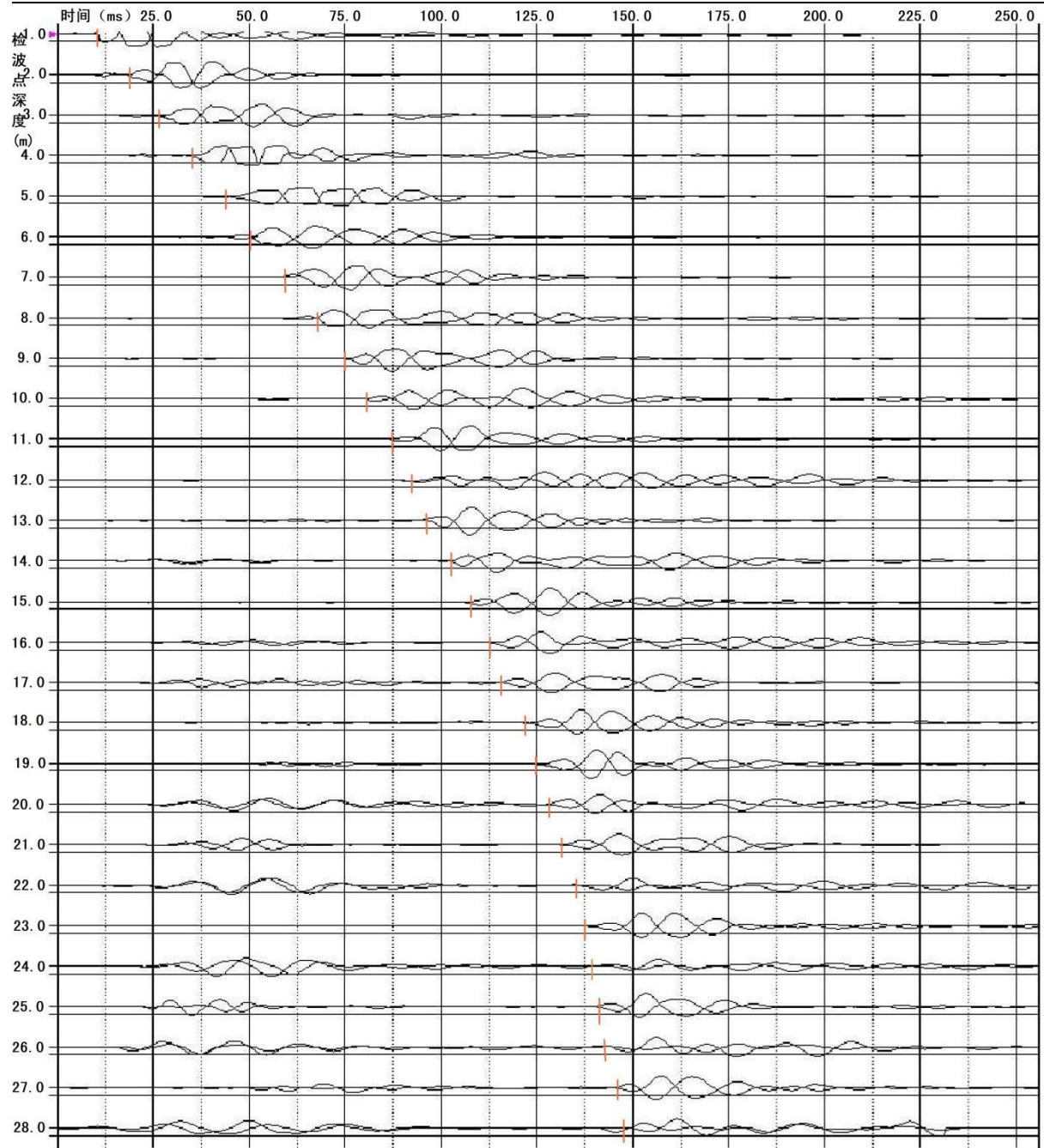


图 3-1 ZK1 原始记录波形

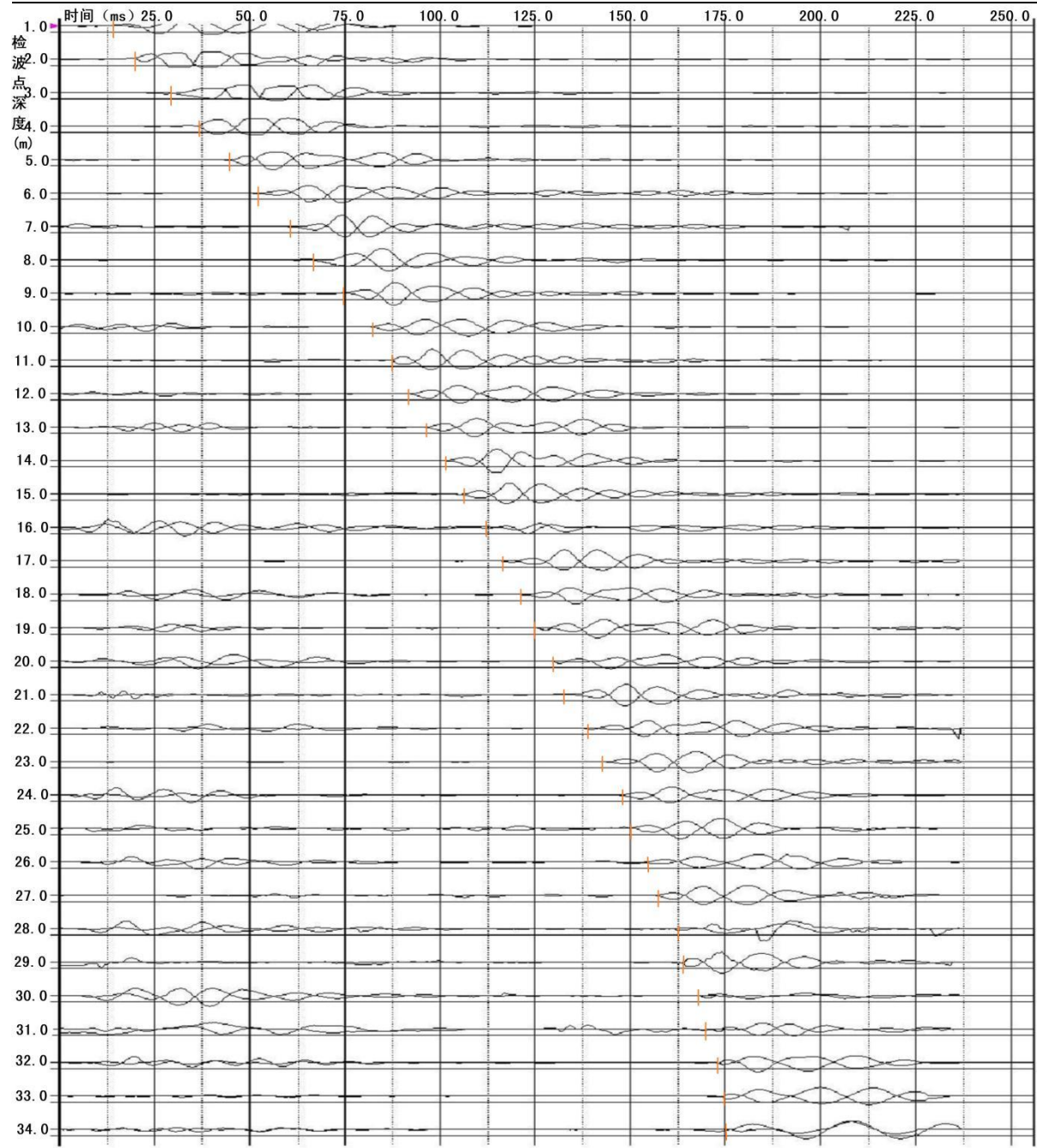


图 3-2 ZK2 原始记录波形

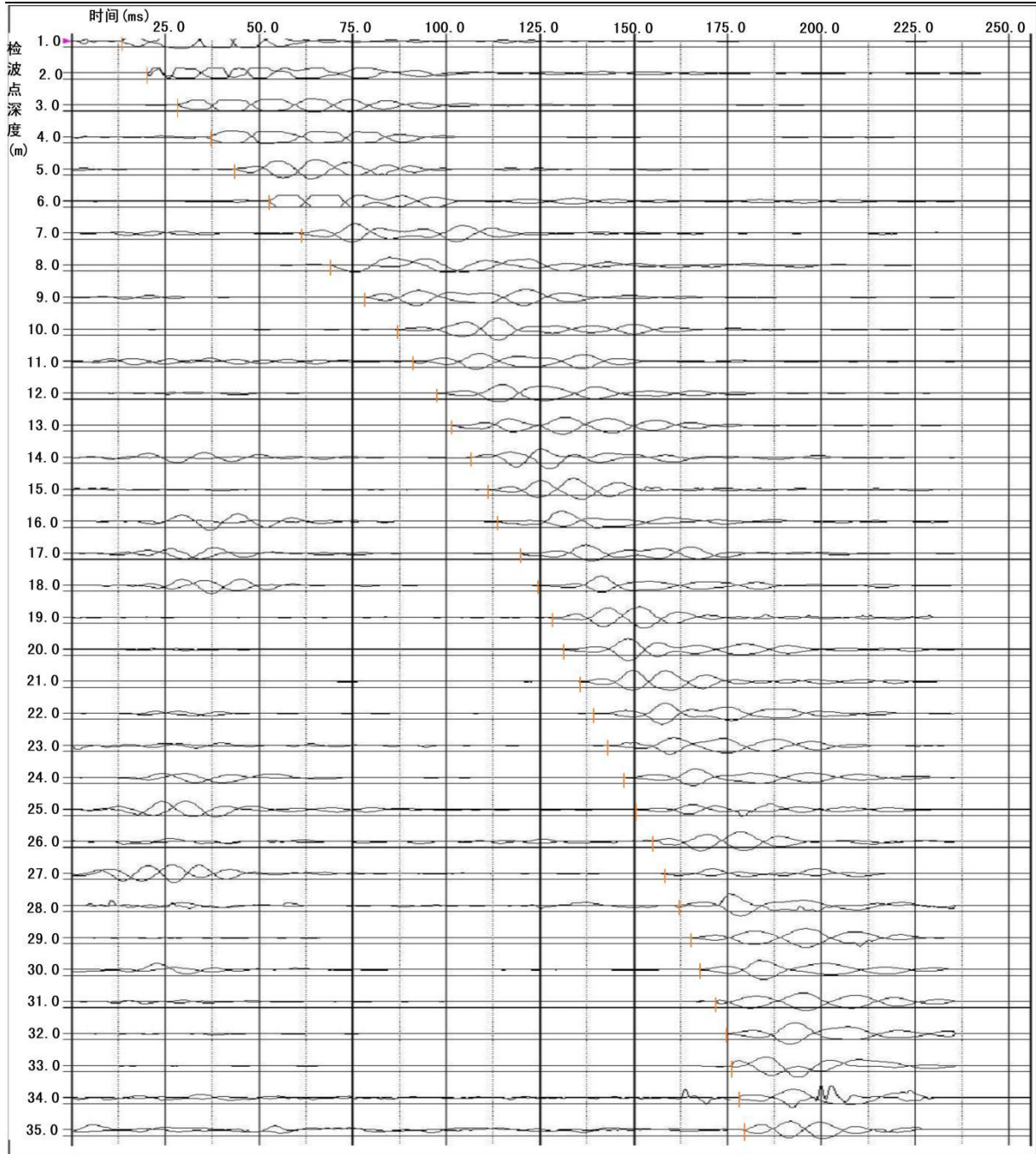


图 3-3 ZK3 原始记录波形

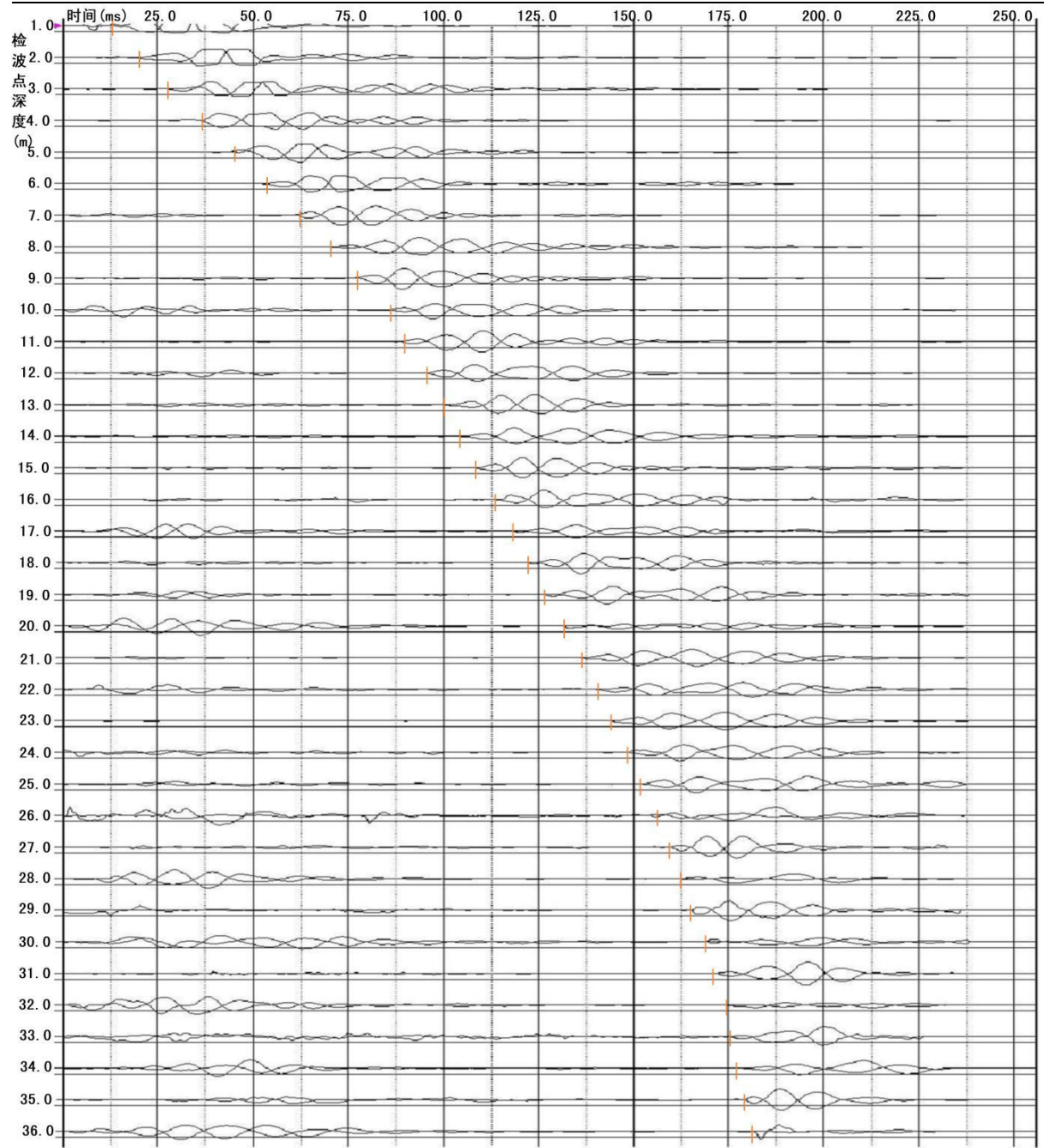


图 3-4 ZK4 原始记录波形

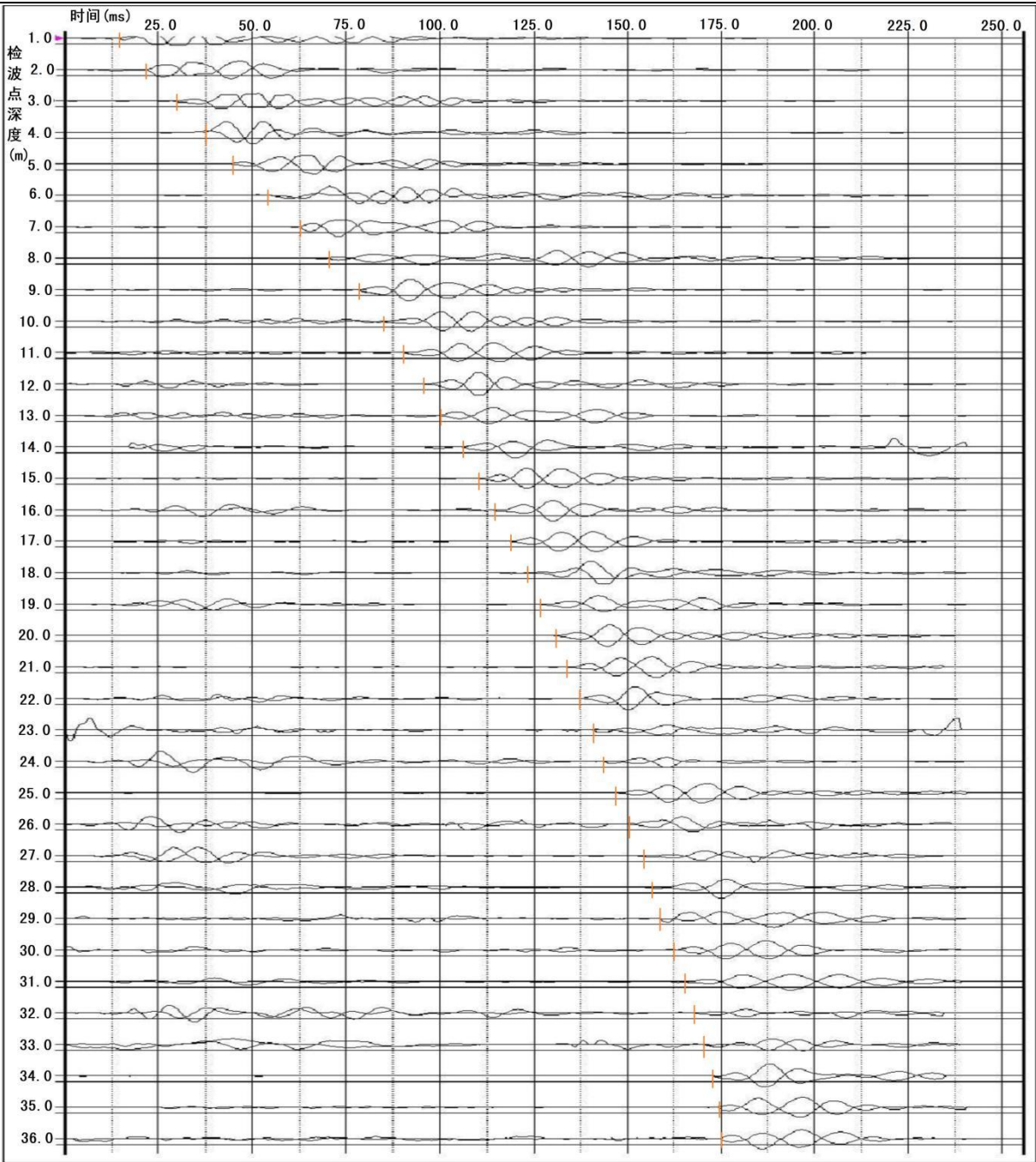


图 3-5 ZK5 原始记录波形

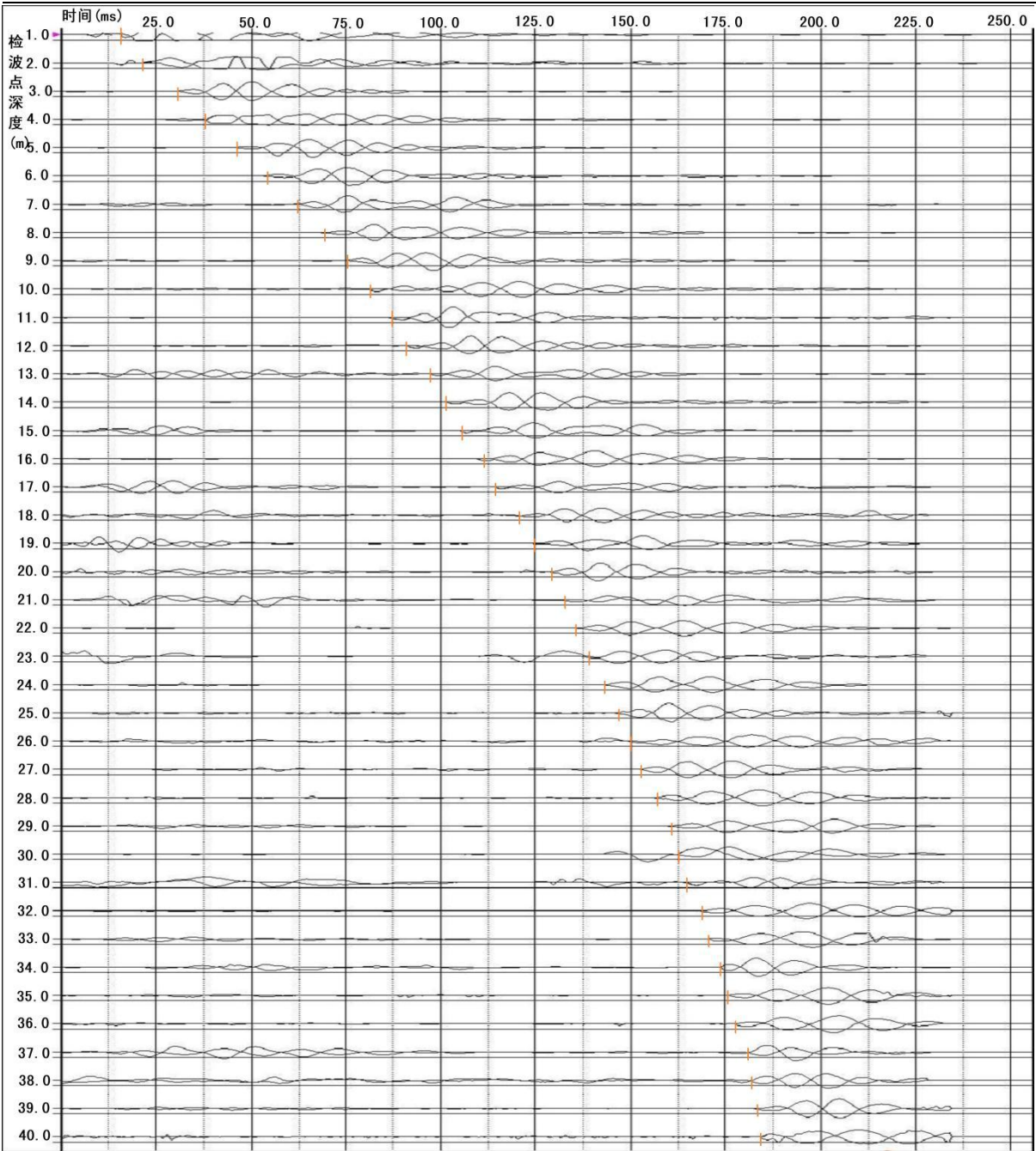


图 3-6 ZK6 原始记录波形

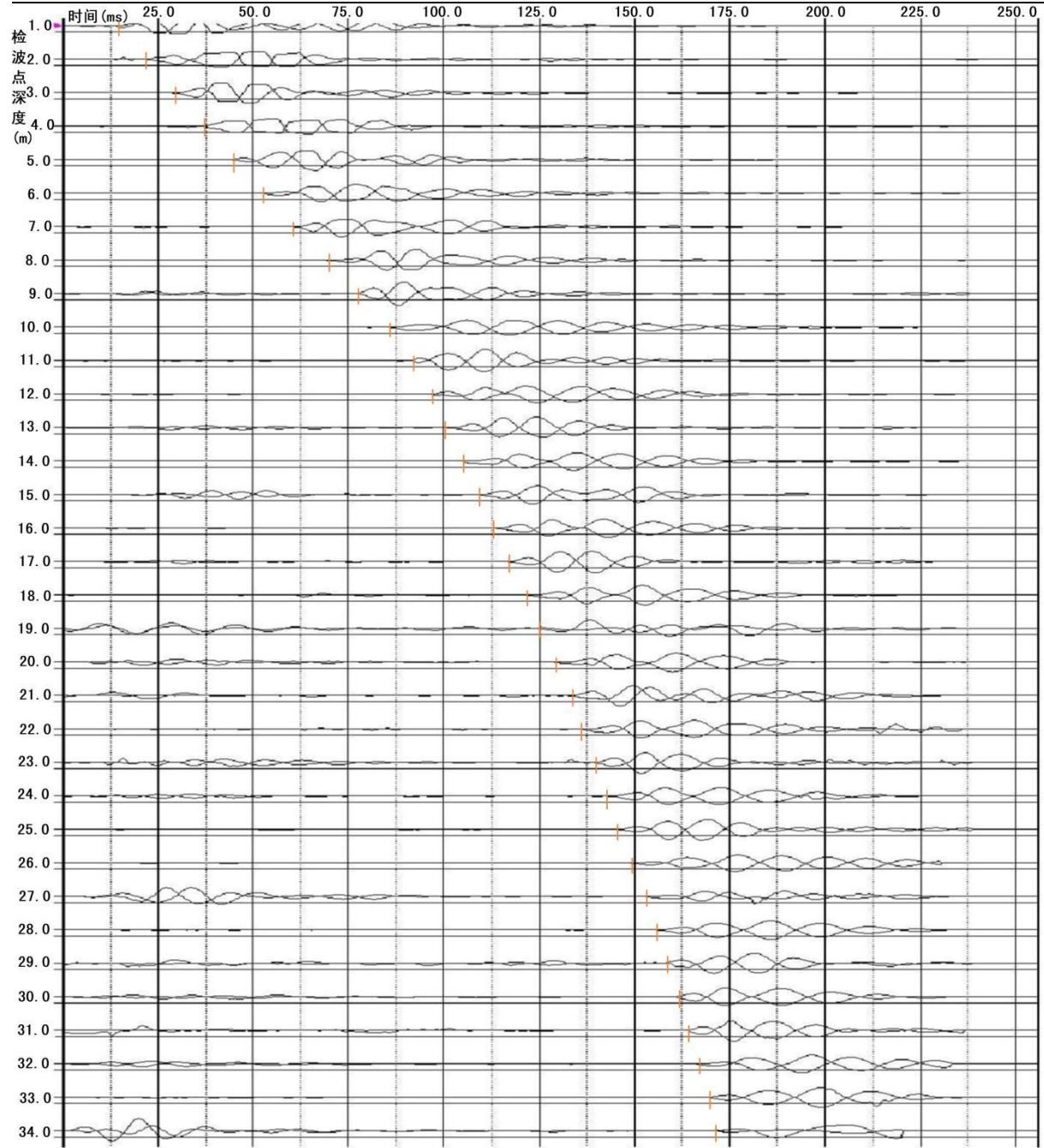


图 3-7 ZK7 原始记录波形

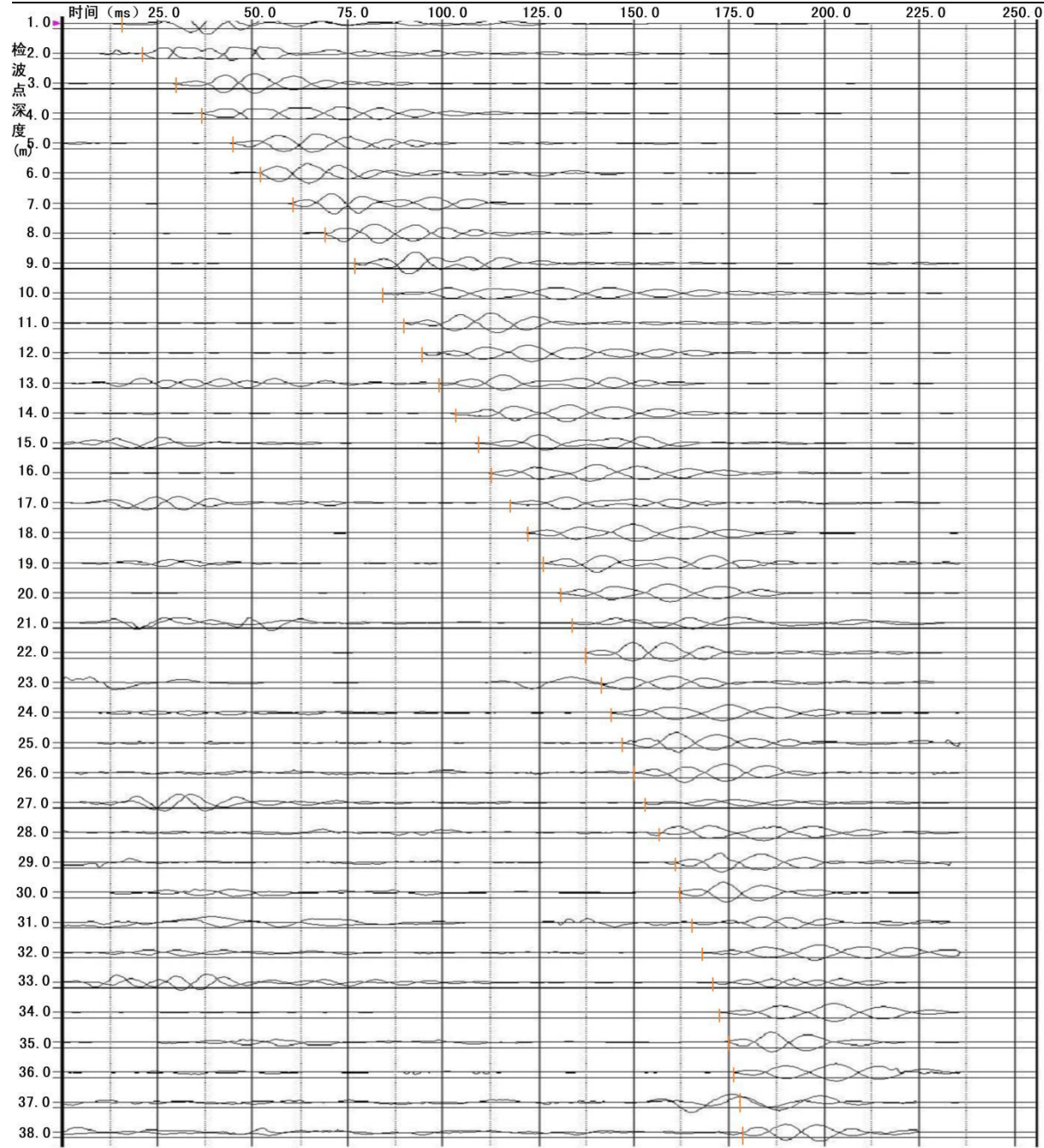


图 3-8 ZK8 原始记录波形

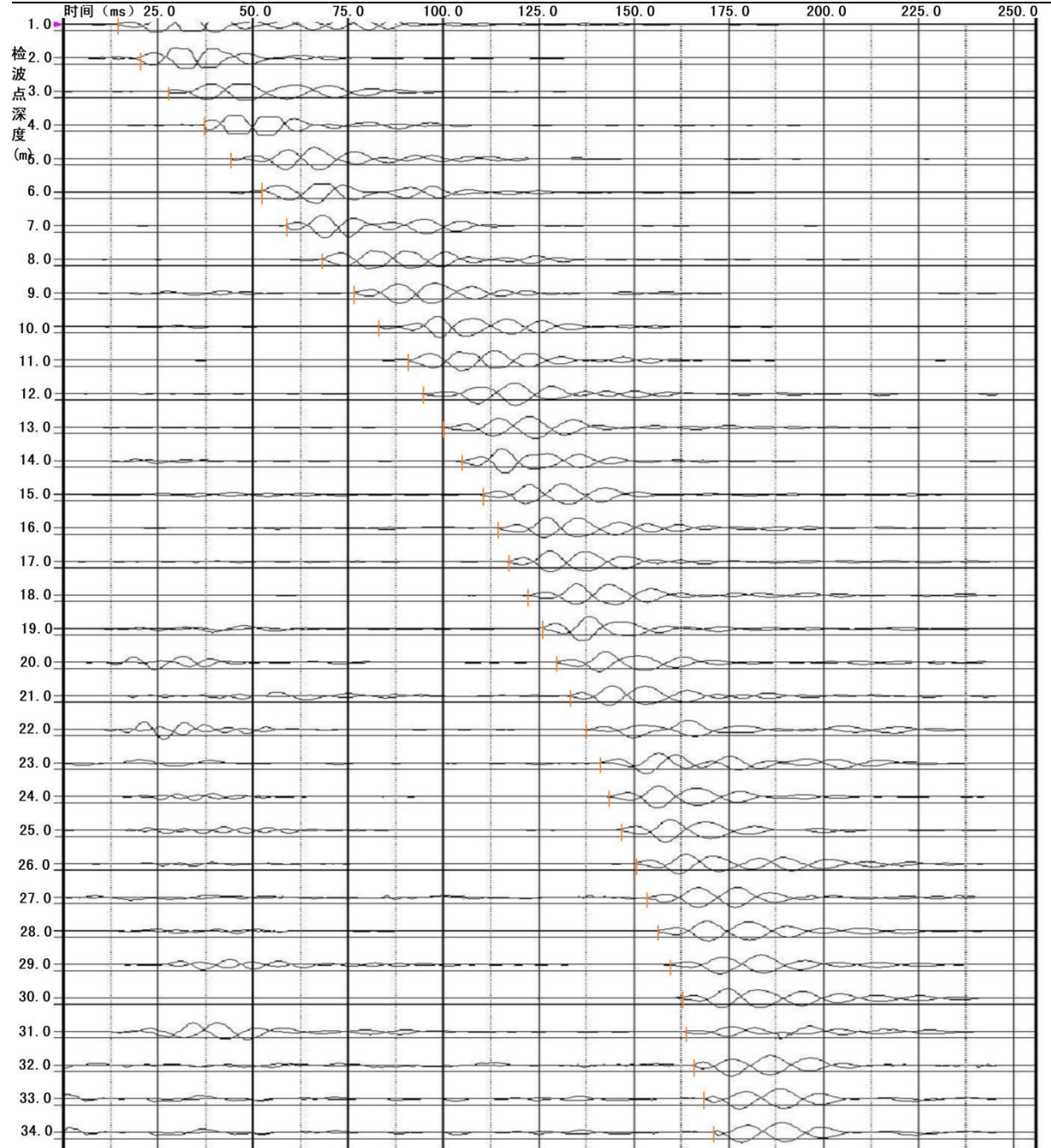


图 3-9 ZK9 原始记录波形

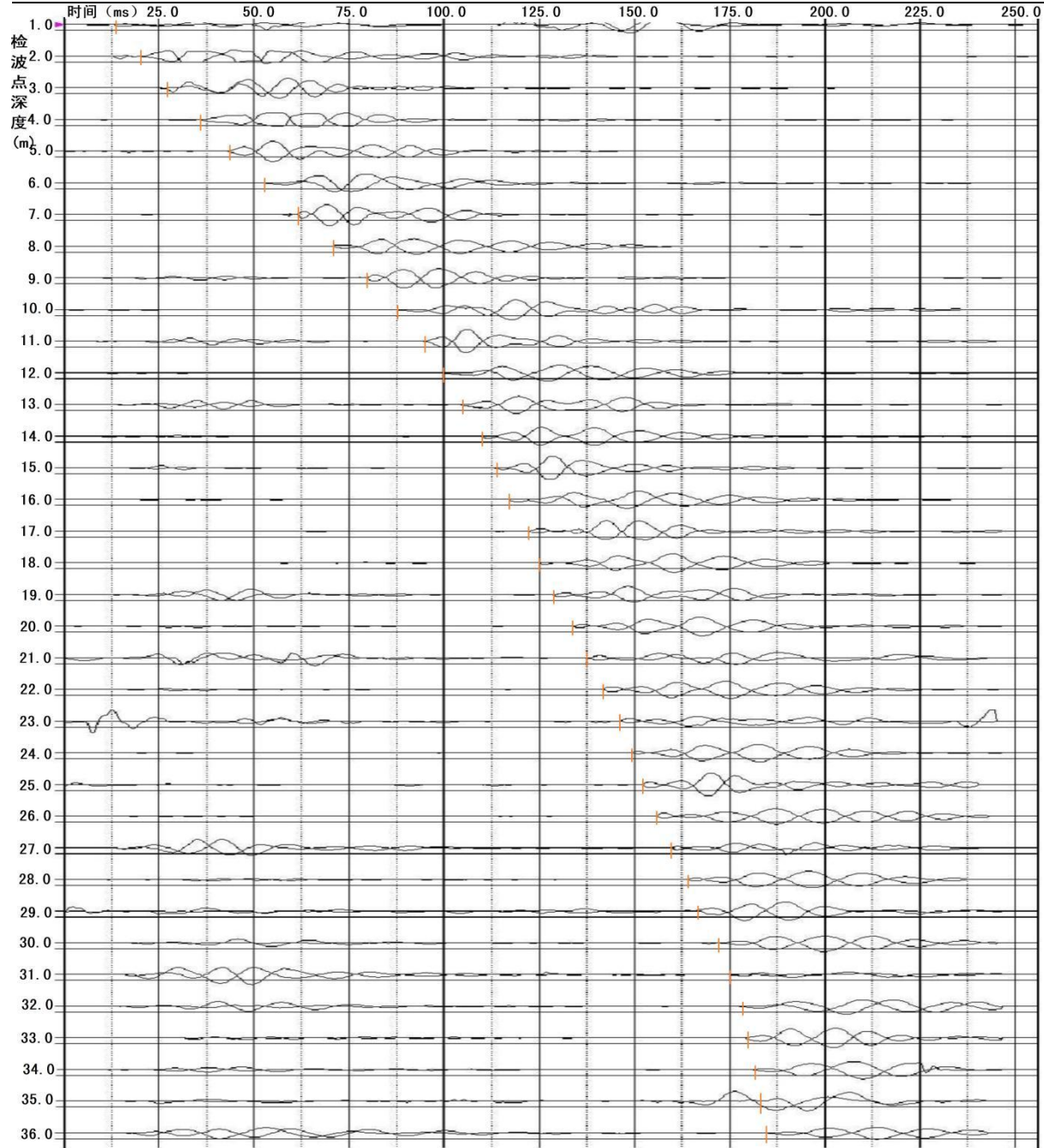


图 3-10 ZK10 原始记录波形

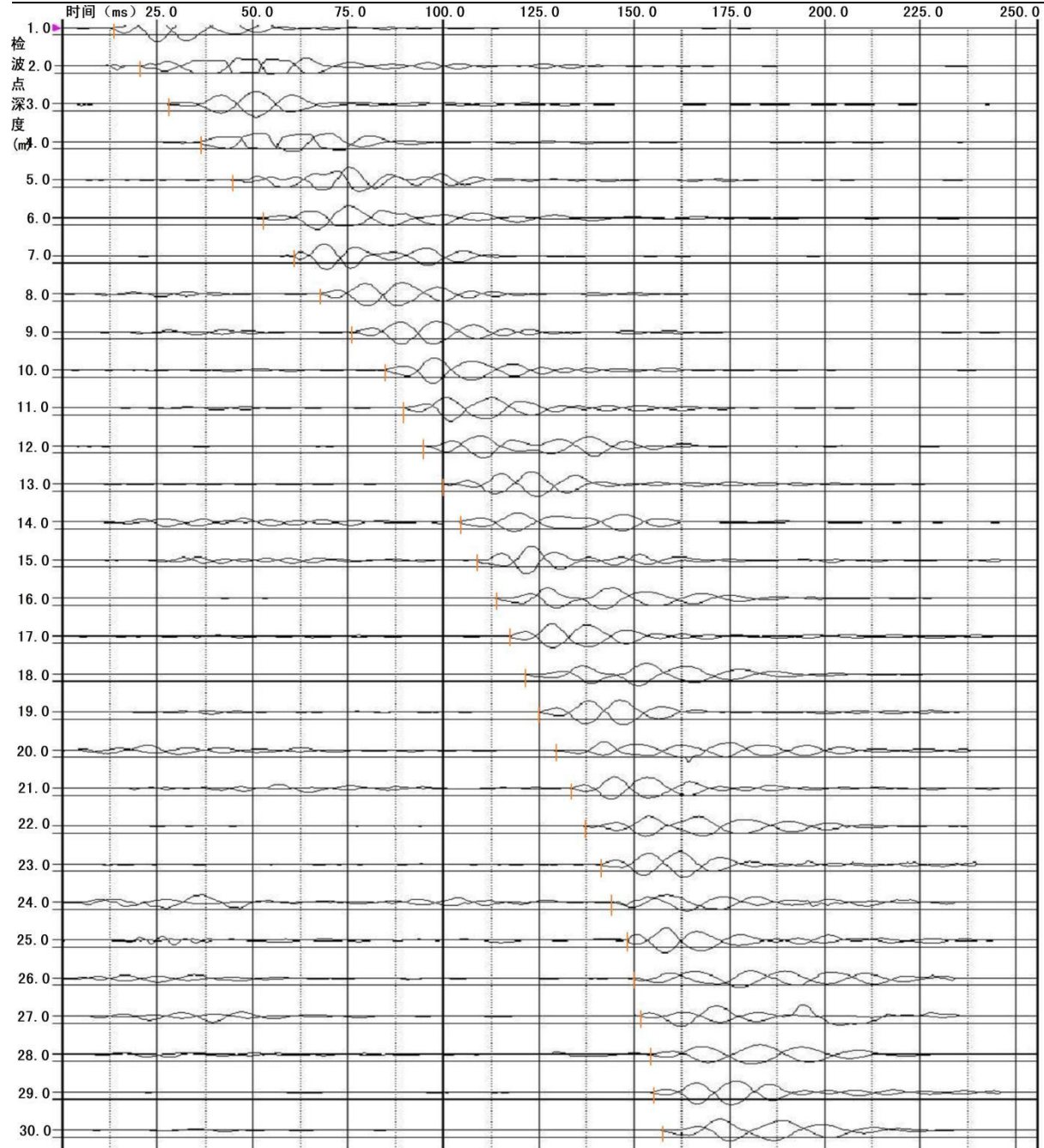


图 3-11 ZK11 原始记录波形

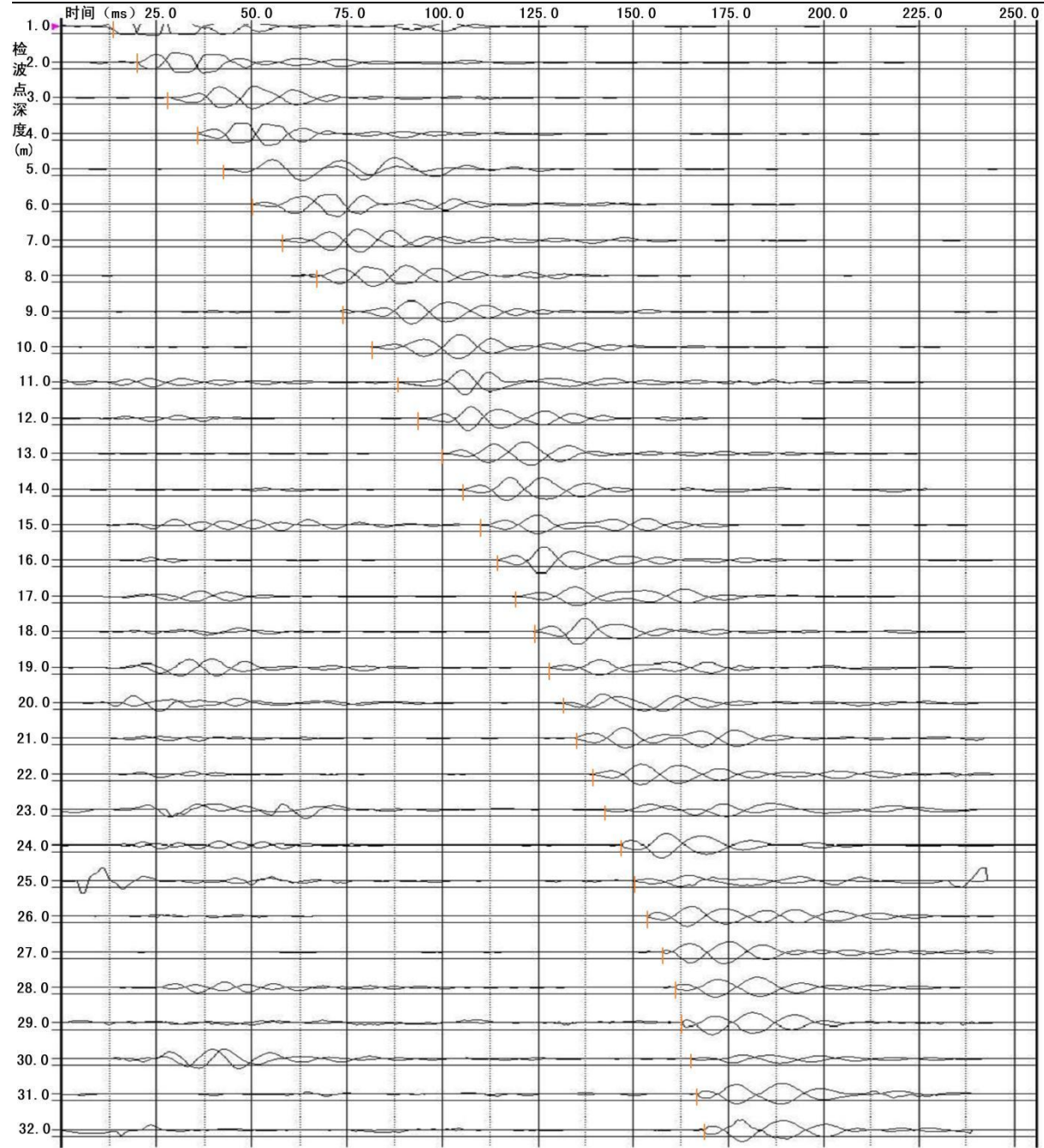


图 3-12 ZK12 原始记录波形

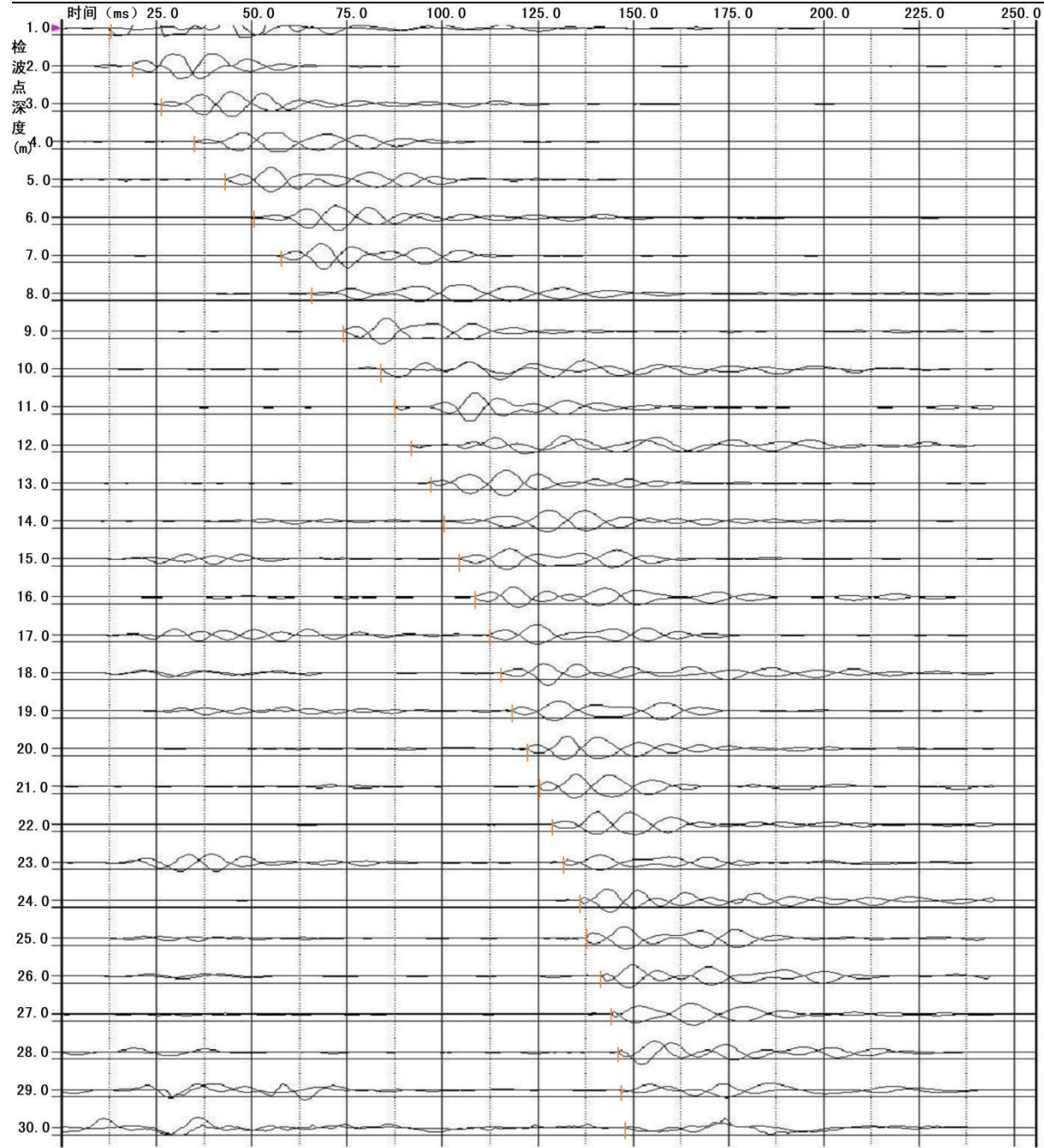


图 3-13 ZK13 原始记录波形

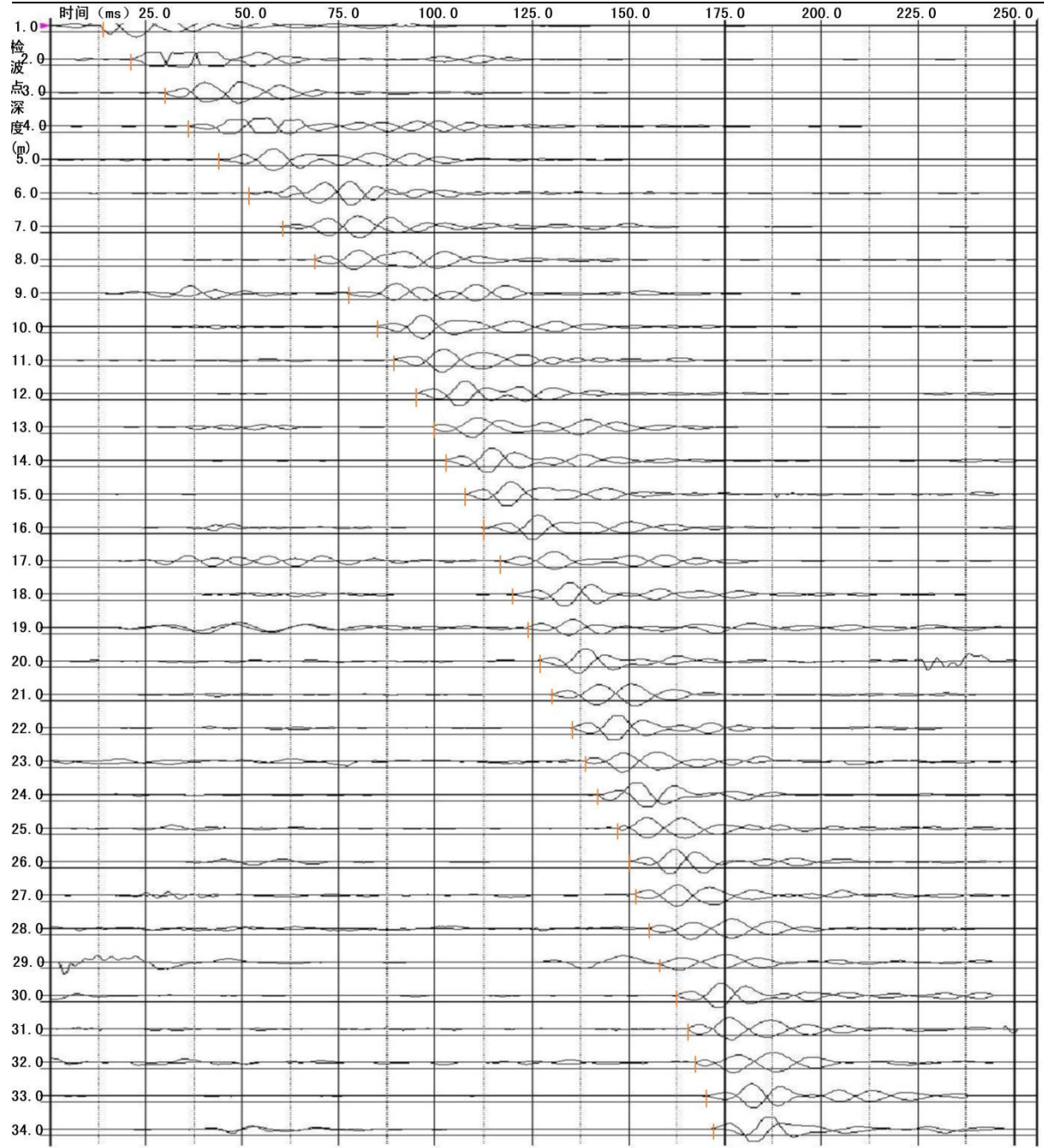


图 3-14 ZK14 原始记录波形

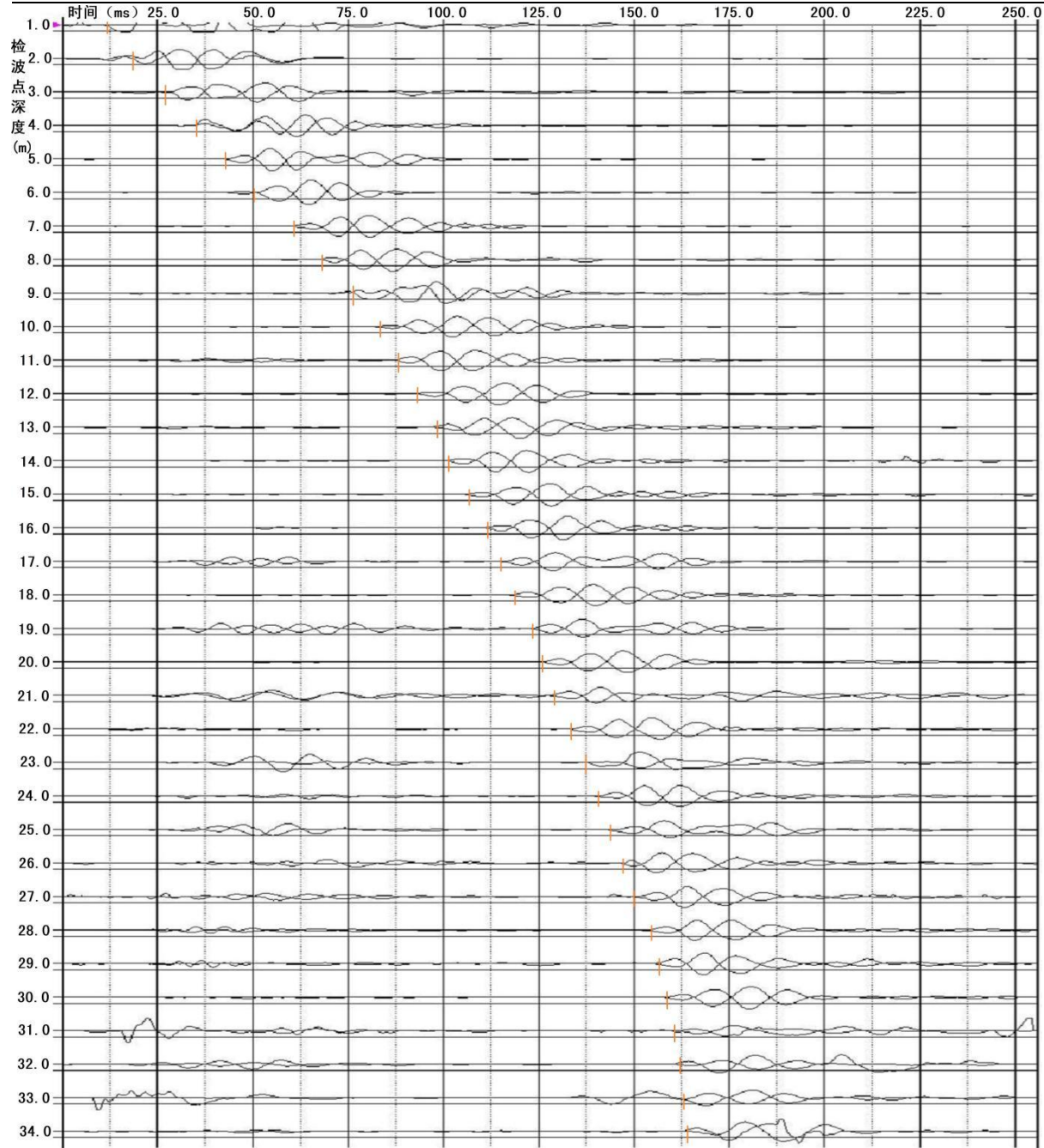


图 3-15 ZK15 原始记录波形

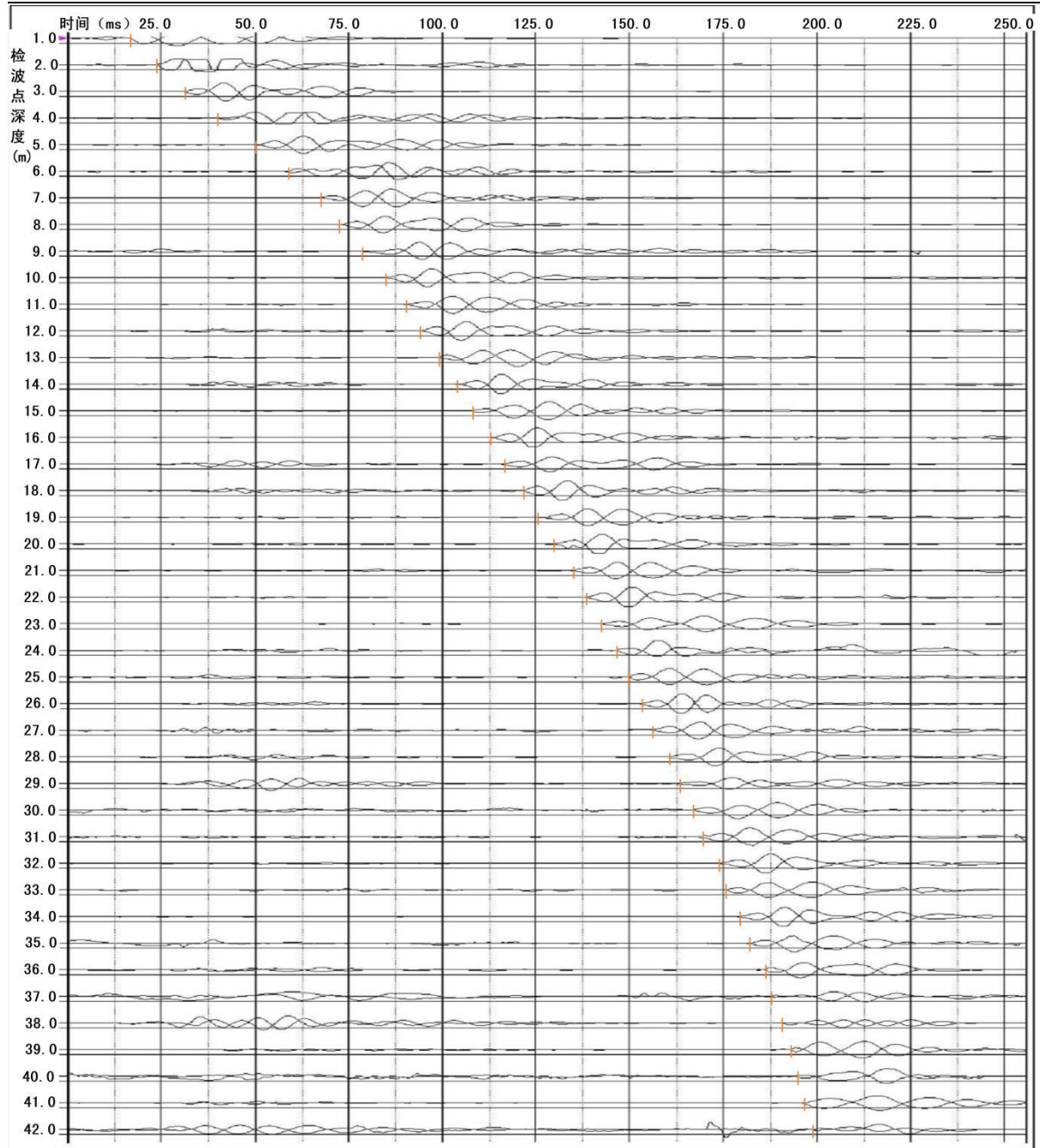


图 3-16 ZK16 原始记录波形

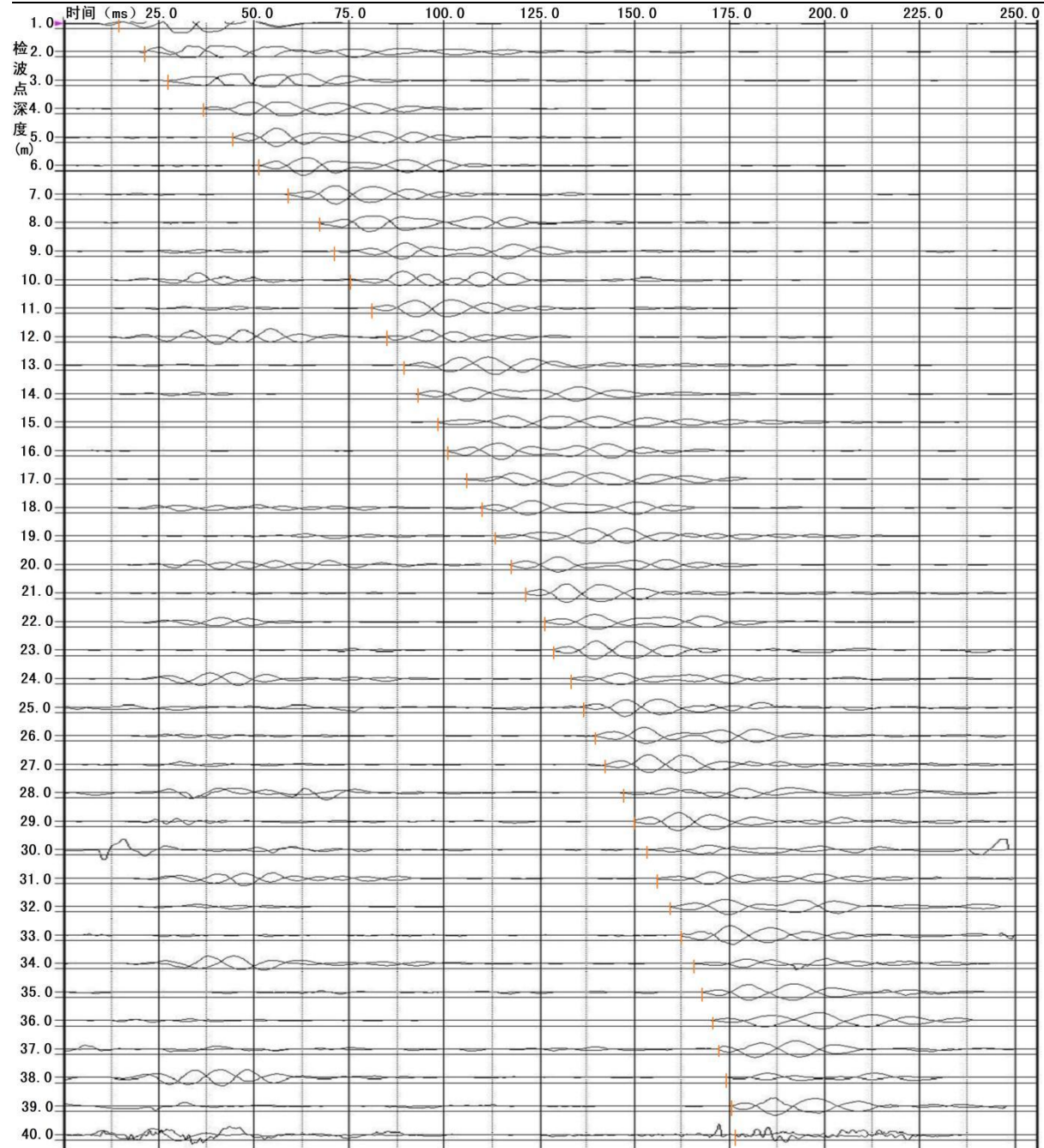


图 3-17 ZK17 原始记录波形

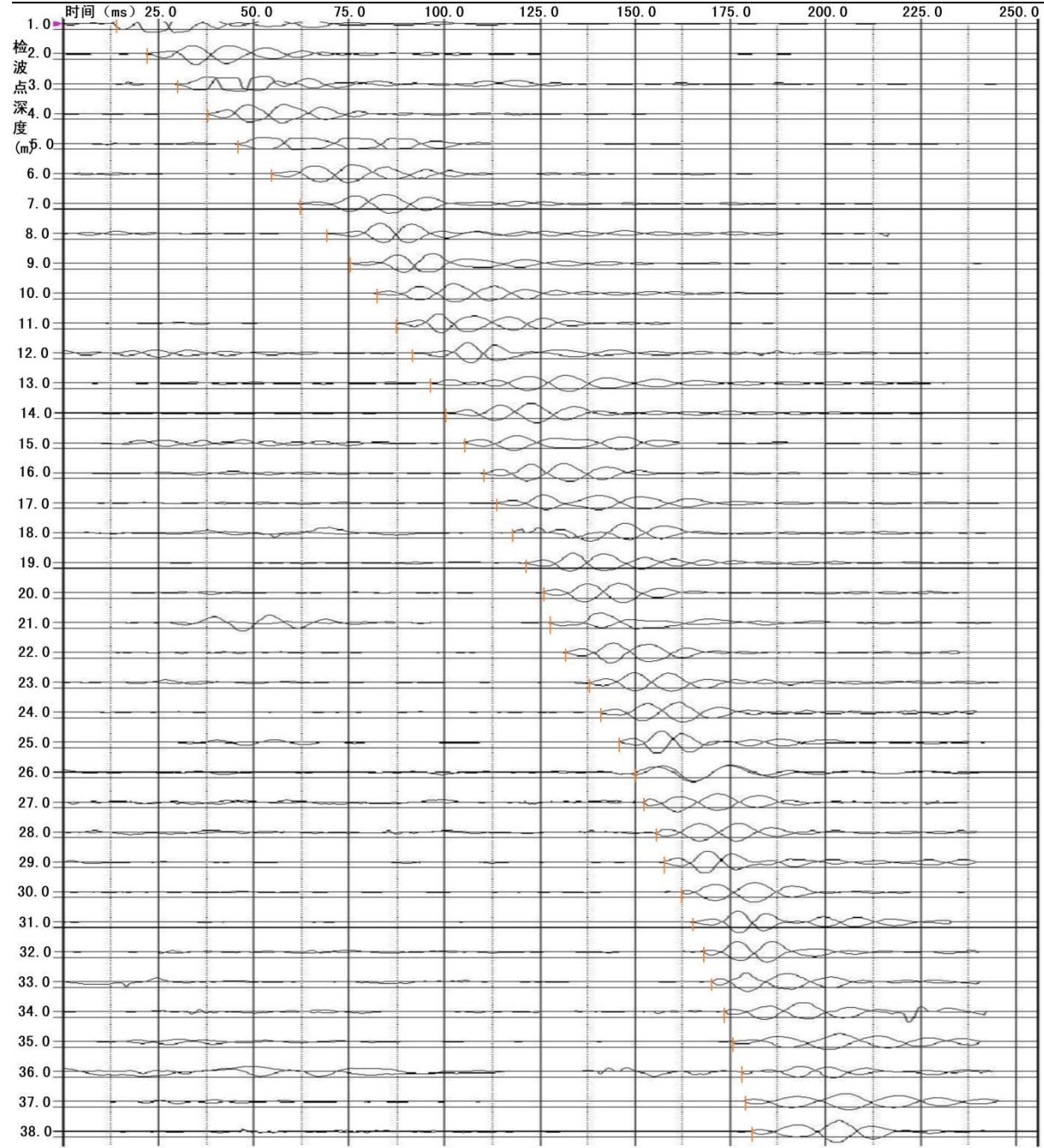


图 3-18 ZK18 原始记录波形

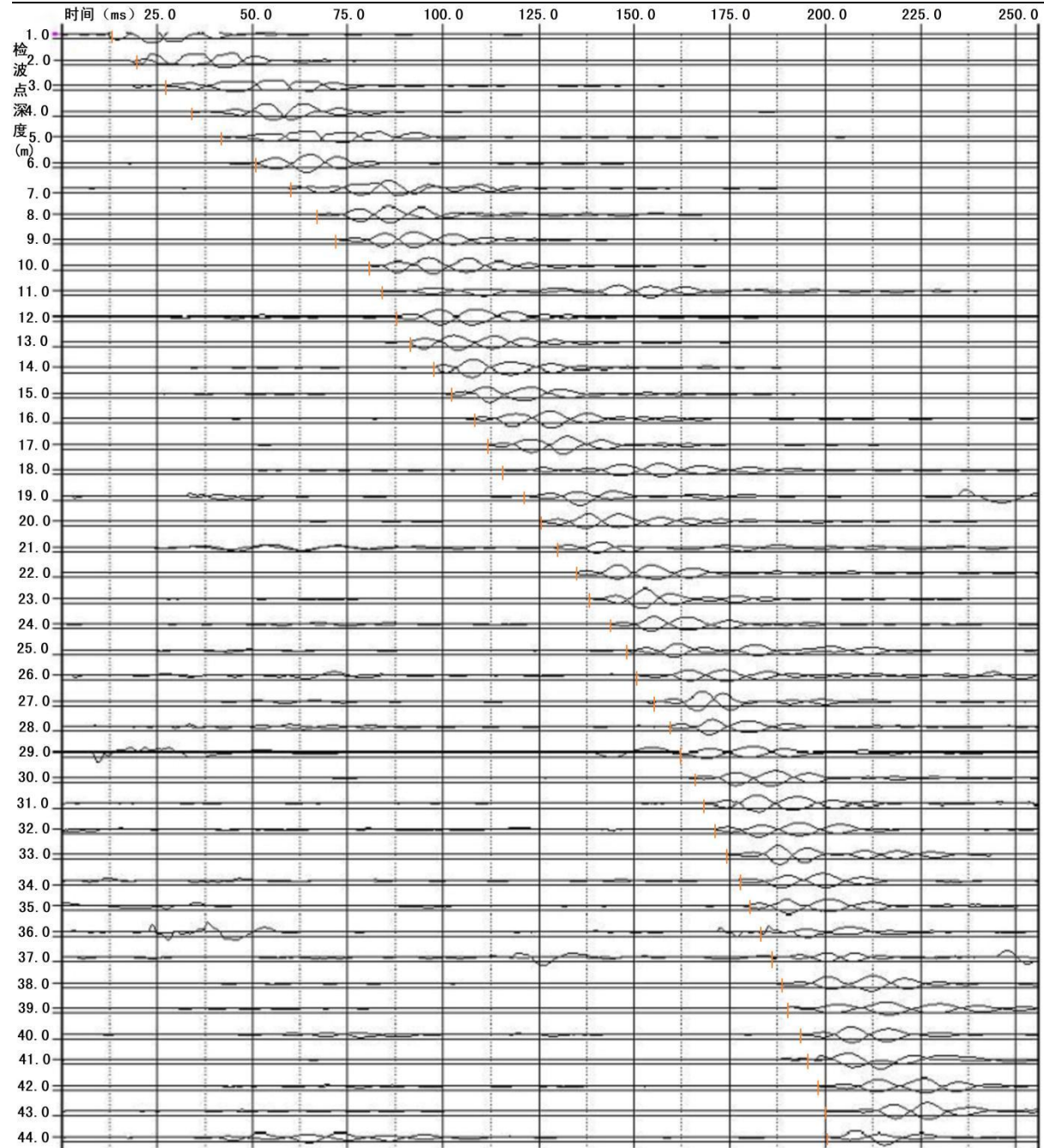


图 3-19 ZK19 原始记录波形

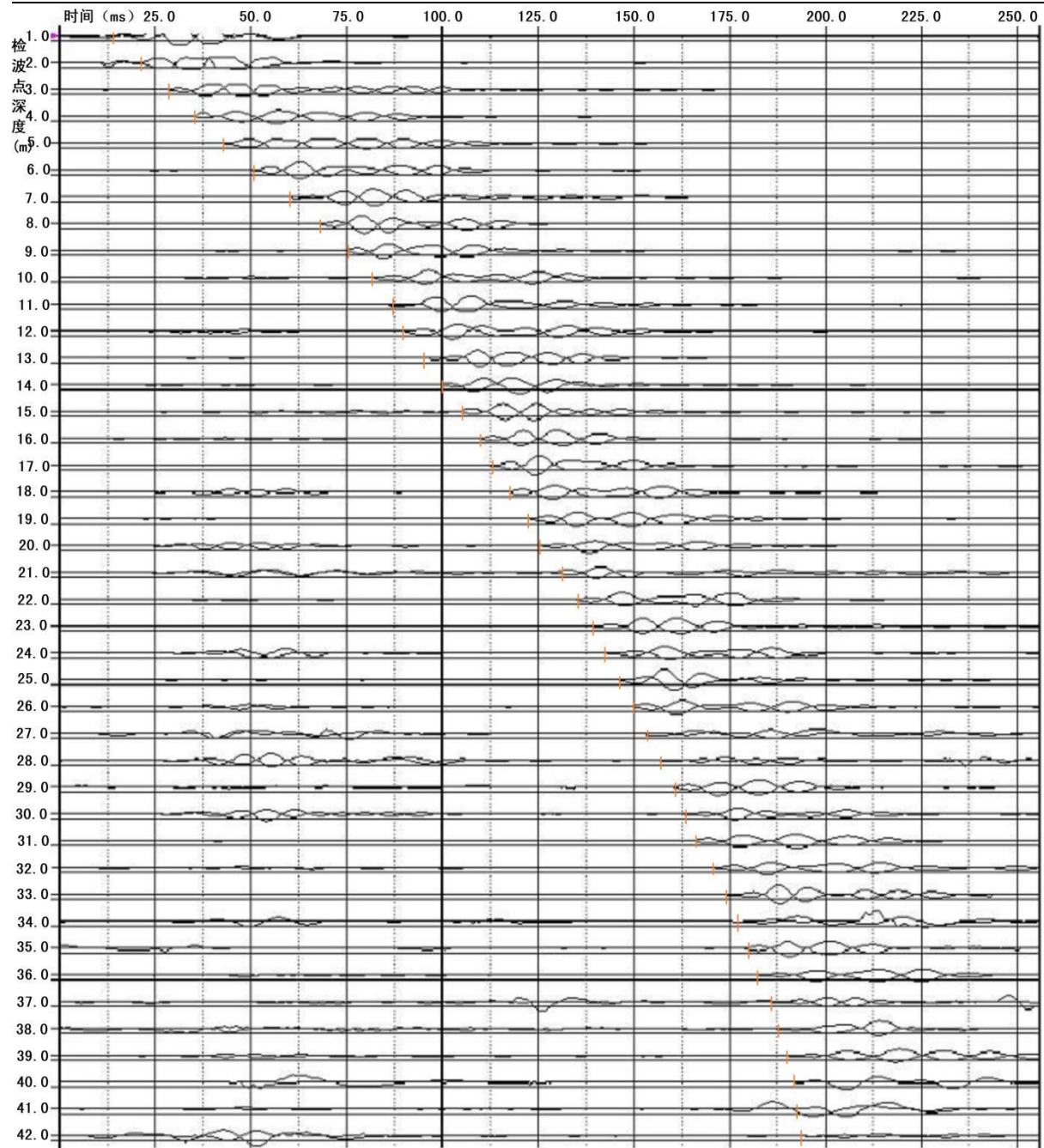


图 3-20 ZK20 原始记录波形

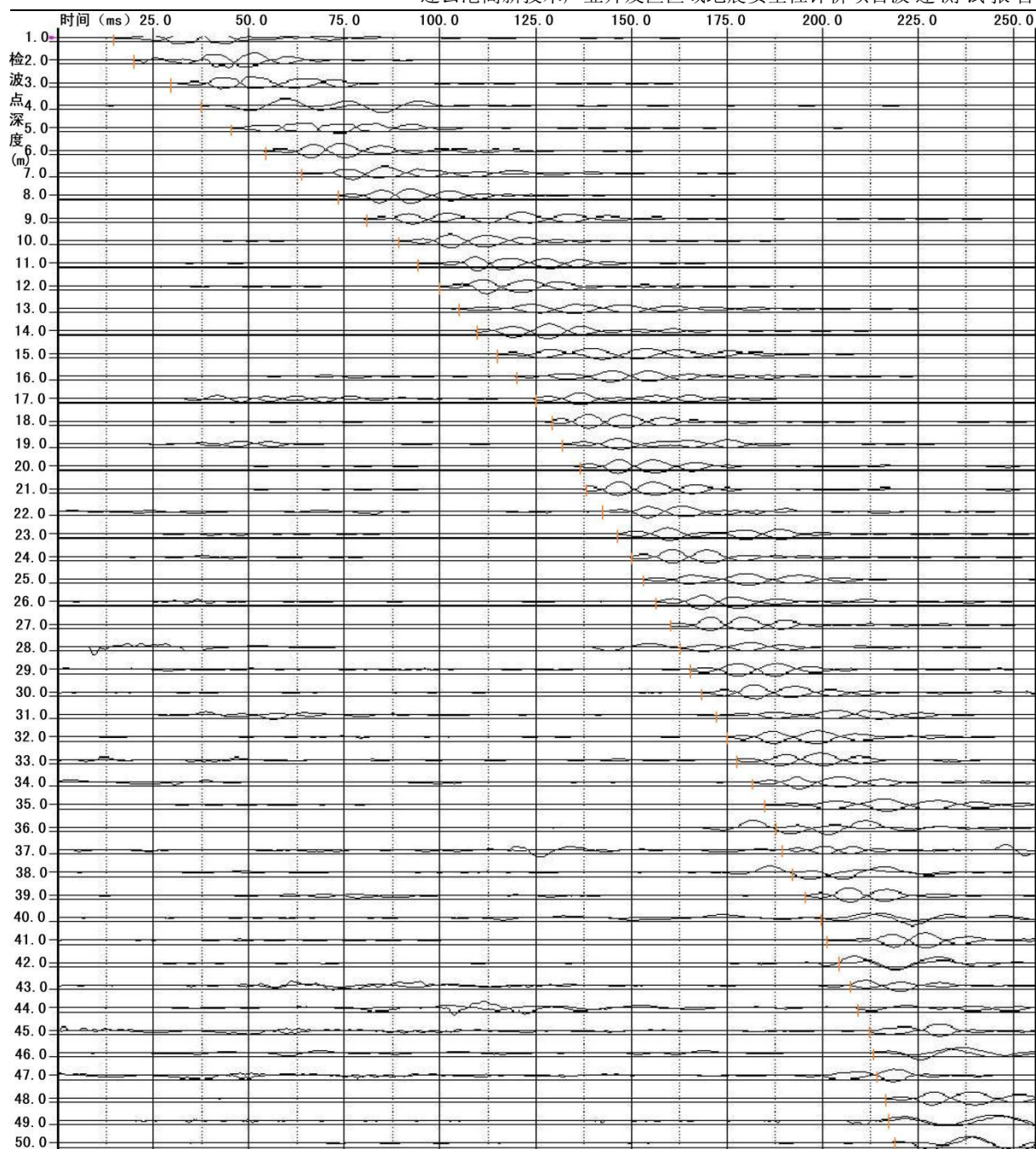


图 3-21 ZK21 原始记录波形

5 资料分析处理与测试结果

5.1 测试点速度值

对野外所获 21 个钻孔的资料进行了认真的分析、对比，尤其是注意在波的判读过程中采用统一的标准。得到所测试孔的波速值如表 3-1~表 3-21。现场波速测试成果图如图 4-1~图 4-21。

ZK1 波速表

表 3-1

ZK1									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	151	11	173	21	314				
2	109	12	174	22	315				
3	113	13	195	23	315				
4	114	14	184	24	350				
5	121	15	196	25	393				
6	127	16	196	26	627				
7	115	17	210	27	783				
8	120	18	225	28	784				
9	141	19	285						
10	156	20	286						

ZK2 波速表

表 3-2

ZK2									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	108	11	194	21	222	31	370		
2	113	12	195	22	222	32	417		
3	109	13	207	23	222	33	555		
4	121	14	207	24	238	34	692		
5	124	15	208	25	278				
6	130	16	208	26	278				
7	131	17	208	27	278				
8	137	18	208	28	303				
9	132	19	222	29	303				
10	128	20	222	30	370				

ZK3 波速表

表 3-3

ZK3									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	111	11	183	21	256	31	333		
2	115	12	184	22	256	32	333		
3	112	13	195	23	238	33	476		
4	121	14	221	24	256	34	555		
5	123	15	221	25	256	35	666		
6	117	16	221	26	278				
7	117	17	221	27	278				
8	118	18	255	28	303				
9	114	19	256	29	303				
10	127	20	256	30	303				

ZK4 波速表

表 3-4

ZK4									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	113	11	194	21	238	31	333		
2	118	12	195	22	238	32	417		
3	113	13	221	23	256	33	417		
4	114	14	221	24	256	34	555		
5	112	15	221	25	256	35	666		
6	113	16	208	26	303	36	666		
7	118	17	222	27	333				
8	118	18	222	28	333				
9	127	19	208	29	333				
10	144	20	222	30	238				

ZK5 波速表

表 3-5

ZK5									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	115	11	182	21	277	31	333		
2	112	12	183	22	302	32	416		
3	112	13	194	23	302	33	416		
4	111	14	194	24	302	34	554		
5	118	15	207	25	302	35	665		
6	115	16	236	26	303	36	665		
7	117	17	237	27	333				
8	121	18	255	28	333				
9	122	19	255	29	333				
10	164	20	255	30	333				

ZK6 波速表

表 3-6

ZK6									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	100	11	194	21	277	31	333		
2	108	12	194	22	277	32	333		
3	113	13	195	23	277	33	370		
4	116	14	207	24	278	34	417		
5	119	15	221	25	303	35	417		
6	120	16	221	26	303	36	476		
7	126	17	208	27	303	37	476		
8	137	18	208	28	303	38	476		
9	143	19	208	29	333	39	666		
10	183	20	256	30	333	40	832		

ZK7 波速表

表 3-7

ZK7									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	104	11	157	21	277	31	370		
2	112	12	206	22	302	32	370		
3	114	13	236	23	277	33	417		
4	120	14	236	24	303	34	666		
5	119	15	237	25	303				
6	125	16	237	26	303				
7	121	17	237	27	303				
8	114	18	255	28	303				
9	127	19	256	29	333				
10	123	20	277	30	333				

ZK8 波速表

表 3-8

ZK8									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	104	11	194	21	277	31	333		
2	109	12	194	22	302	32	370		
3	114	13	207	23	302	33	370		
4	120	14	207	24	303	34	370		
5	123	15	221	25	303	35	476		
6	130	16	221	26	333	36	832		
7	122	17	221	27	333	37	832		
8	118	18	222	28	333	38	832		
9	127	19	238	29	333				
10	132	20	238	30	333				

ZK9 波速表

表 3-9

ZK9									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	109	11	157	21	277	31	476		
2	117	12	194	22	277	32	665		
3	115	13	195	23	277	33	665		
4	117	14	207	24	278	34	666		
5	119	15	207	25	278				
6	125	16	221	26	303				
7	126	17	255	27	303				
8	122	18	255	28	303				
9	132	19	256	29	303				
10	127	20	256	30	303				

ZK10 波速表

表 3-10

ZK10									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	119	11	133	21	238	31	303		
2	111	12	194	22	256	32	278		
3	115	13	207	23	256	33	370		
4	117	14	221	24	256	34	555		
5	115	15	236	25	256	35	555		
6	113	16	255	26	278	36	666		
7	113	17	255	27	256				
8	110	18	255	28	278				
9	114	19	256	29	278				
10	123	20	256	30	257				

ZK11 波速表

表 3-11

ZK11									
深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	118	11	137	21	263				
2	117	12	196	22	263				
3	111	13	209	23	263				
4	111	14	224	24	263				
5	117	15	209	25	287				
6	119	16	225	26	394				
7	129	17	242	27	525				
8	130	18	262	28	629				
9	130	19	262	29	630				
10	136	20	263	30	662				

ZK12 波速表

表 3-12

ZK12									
深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	118	11	131	21	263	31	630		
2	113	12	184	22	263	32	638		
3	110	13	185	23	263				
4	128	14	185	24	263				
5	132	15	185	25	263				
6	128	16	210	26	287				
7	129	17	225	27	263				
8	130	18	242	28	351				
9	125	19	242	29	394				
10	131	20	242	30	451				

ZK13 波速表

表 3-13

ZK13									
深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	130	11	194	21	296				
2	116	12	208	22	315				
3	120	13	223	23	308				
4	122	14	240	24	323				
5	121	15	260	25	315				
6	123	16	261	26	307				
7	124	17	261	27	567				
8	124	18	262	28	568				
9	125	19	286	29	662				
10	120	20	302	30	662				

ZK14 波速表

表 3-14

ZK14									
深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	105	11	195	21	263	31	351		
2	112	12	208	22	263	32	395		
3	121	13	223	23	263	33	451		
4	123	14	241	24	263	34	631		
5	122	15	241	25	287				
6	123	16	262	26	287				
7	120	17	262	27	287				
8	112	18	242	28	316				
9	116	19	242	29	287				
10	125	20	263	30	316				

ZK15 波速表

表 3-15

ZK15									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	137	11	184	21	278	31	577		
2	115	12	208	22	295	32	569		
3	116	13	224	23	295	33	631		
4	112	14	224	24	285	34	788		
5	122	15	224	25	285				
6	119	16	225	26	307				
7	120	17	244	27	307				
8	116	18	259	28	307				
9	125	19	254	29	399				
10	136	20	271	30	492				

ZK16 波速表

表 3-16

ZK16									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	122	11	182	21	234	31	319	41	630
2	113	12	206	22	234	32	312	42	631
3	110	13	207	23	242	33	326		
4	112	14	218	24	262	34	305		
5	119	15	212	25	276	35	334		
6	125	16	223	26	272	36	330		
7	121	17	224	27	299	37	351		
8	163	18	224	28	302	38	351		
9	161	19	230	29	312	39	525		
10	163	20	234	30	319	40	630		

ZK17 波速表

表 3-17

ZK17									
深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	112	11	208	21	243	31	316		
2	111	12	223	22	243	32	316		
3	122	13	224	23	287	33	316		
4	115	14	224	24	315	34	351		
5	122	15	242	25	287	35	395		
6	134	16	242	26	287	36	395		
7	135	17	242	27	287	37	526		
8	135	18	242	28	316	38	631		
9	194	19	242	29	316	39	631		
10	207	20	243	30	316	40	632		

ZK18 波速表

表 3-18

ZK18									
深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)	深度 H (m)	速度 V_{si} (m/s)
1	110	11	195	21	242	31	333		
2	105	12	208	22	263	32	363		
3	115	13	209	23	263	33	363		
4	114	14	224	24	263	34	363		
5	116	15	224	25	263	35	393		
6	123	16	224	26	286	36	583		
7	129	17	225	27	285	37	664		
8	129	18	242	28	307	38	651		
9	136	19	225	29	332				
10	183	20	242	30	333				

ZK19 波速表

表 3-19

ZK19									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	127	11	197	21	210	31	333	41	451
2	117	12	208	22	222	32	327	42	576
3	126	13	208	23	222	33	338	43	573
4	123	14	208	24	235	34	333	44	632
5	117	15	210	25	249	35	333		
6	114	16	209	26	257	36	364		
7	124	17	209	27	263	37	362		
8	125	18	210	28	279	38	363		
9	172	19	209	29	307	39	363		
10	183	20	210	30	307	40	356		

ZK20 波速表

表 3-20

ZK20									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	110	11	209	21	230	31	307	41	665
2	114	12	218	22	237	32	298	42	728
3	126	13	214	23	246	33	316		
4	129	14	215	24	249	34	334		
5	118	15	218	25	266	35	333		
6	123	16	223	26	285	36	363		
7	120	17	221	27	285	37	363		
8	116	18	221	28	307	38	365		
9	121	19	234	29	307	39	441		
10	193	20	226	30	285	40	665		

ZK21 波速表

表 3-21

ZK21									
深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度	深度 H (m)	速度
	V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)		V_{si} (m/s)
1	112	11	190	21	284	31	309	41	338
2	116	12	186	22	297	32	323	42	365
3	116	13	187	23	293	33	316	43	361
4	119	14	199	24	285	34	333	44	383
5	116	15	203	25	307	35	333	45	466
6	111	16	212	26	289	36	333	46	570
7	112	17	224	27	315	37	333	47	665
8	113	18	243	28	317	38	350	48	665
9	119	19	265	29	332	39	345	49	666
10	126	20	281	30	330	40	357	50	711

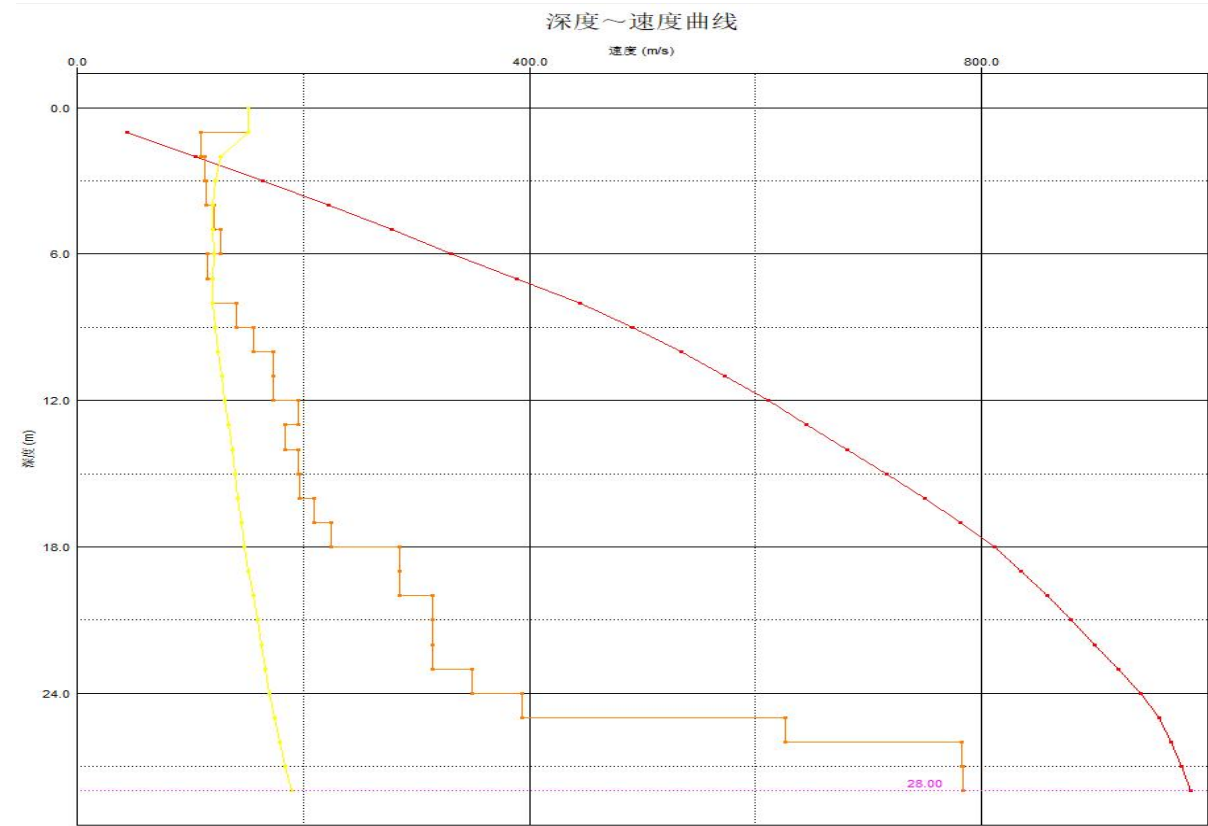


图 4-1 ZK1 孔现场波速测试成果图

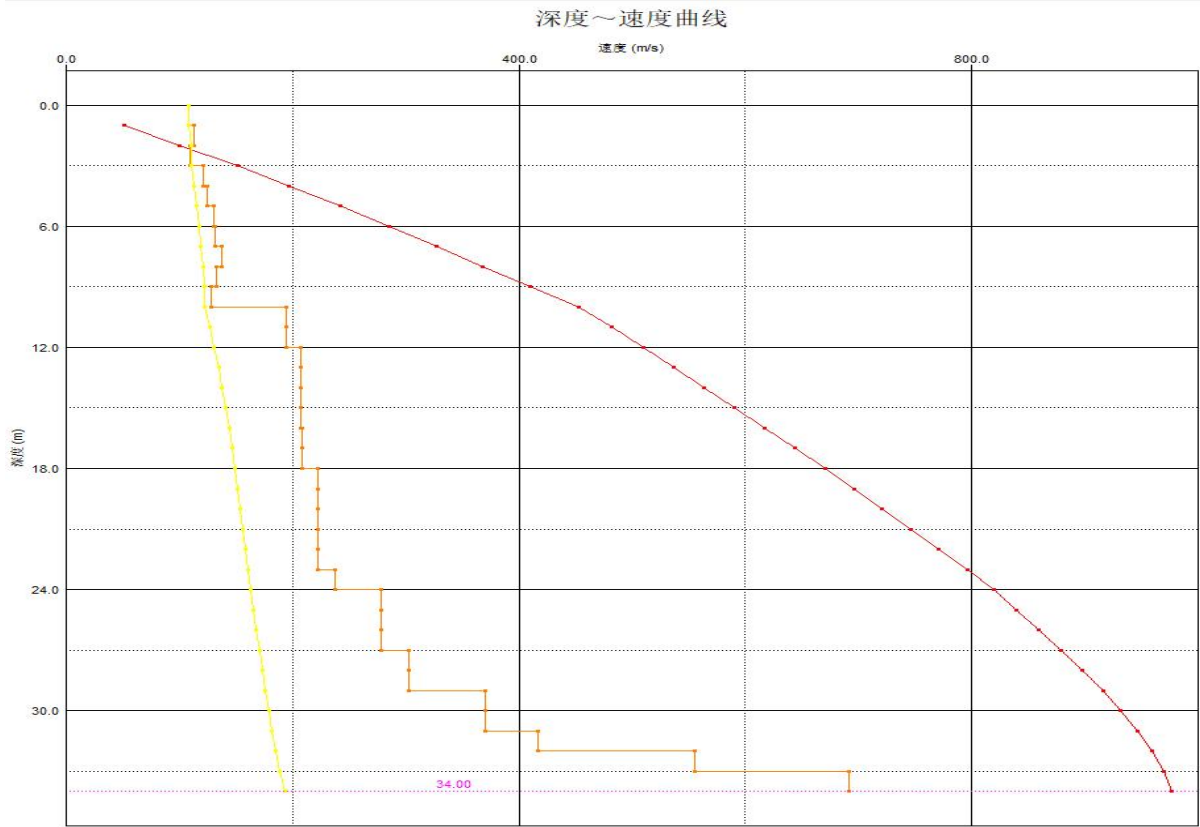


图 4-2 ZK2 孔现场波速测试成果图

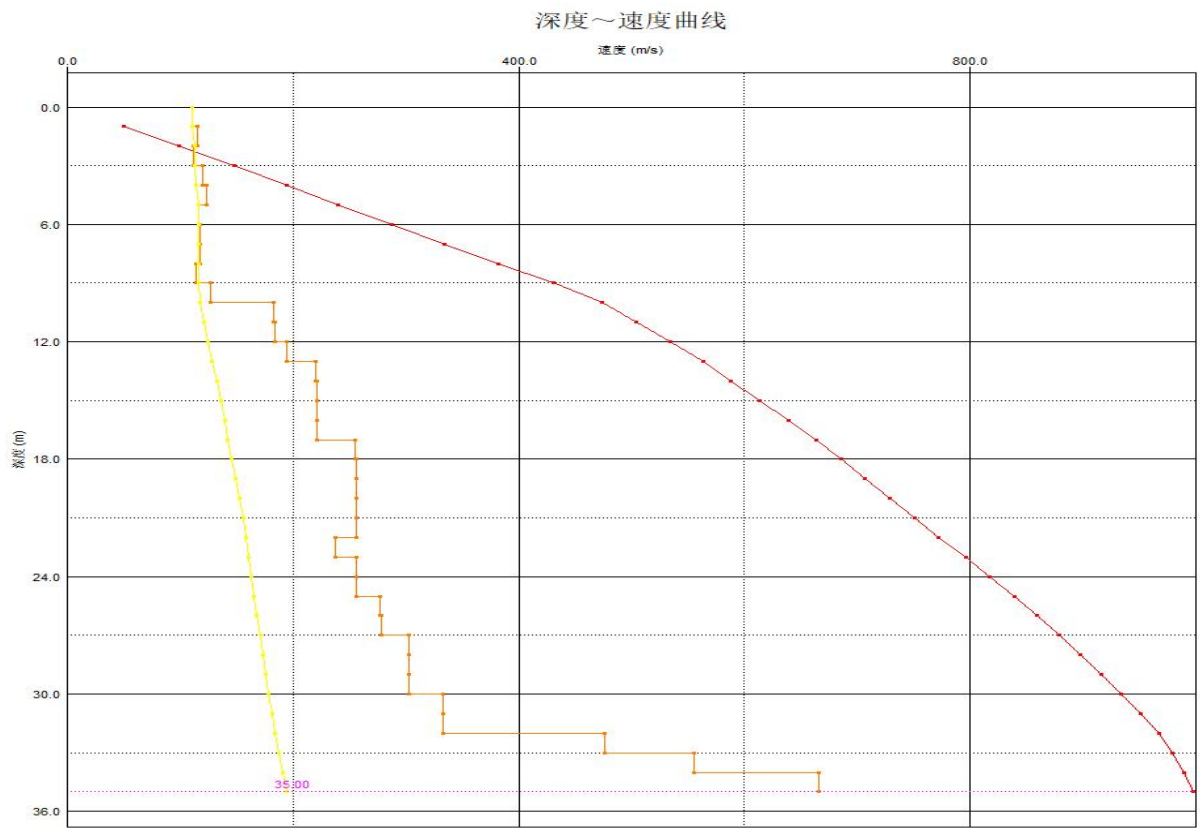


图 4-3 ZK3 孔现场波速测试成果图

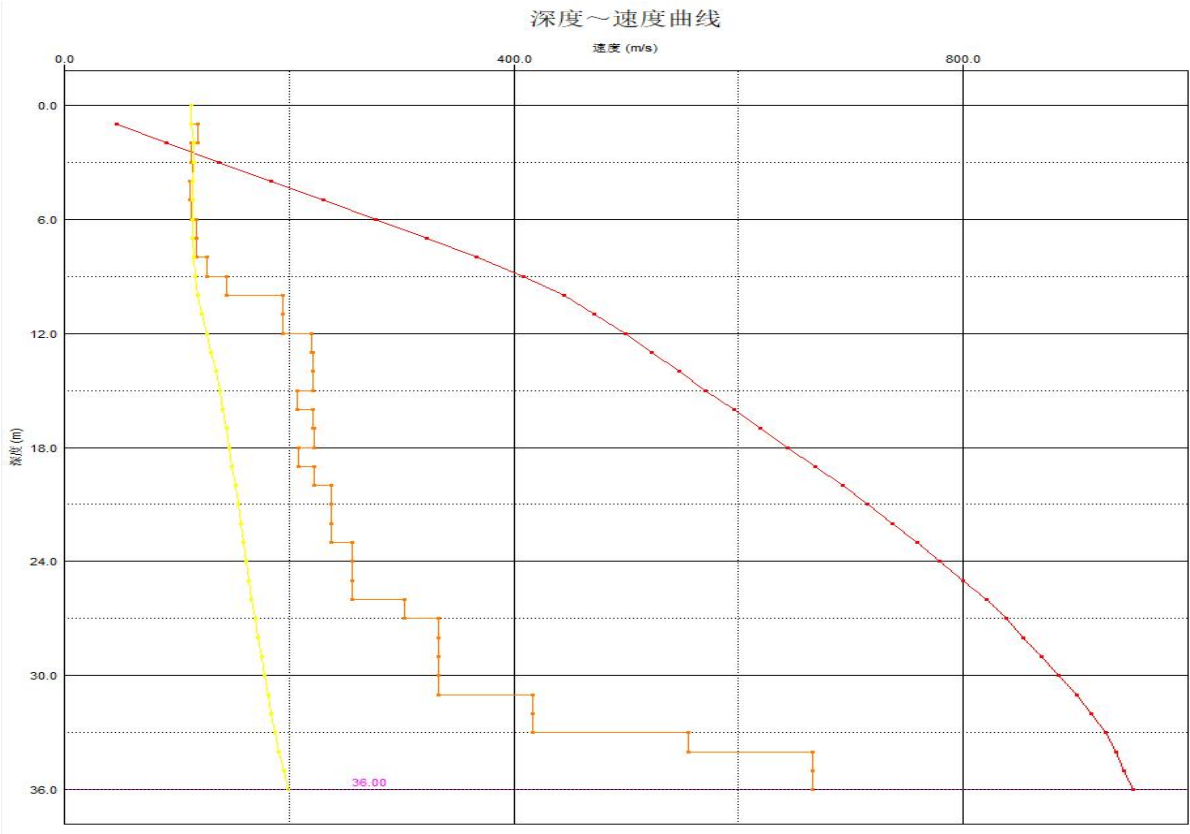


图 4-4 ZK4 孔现场波速测试成果图

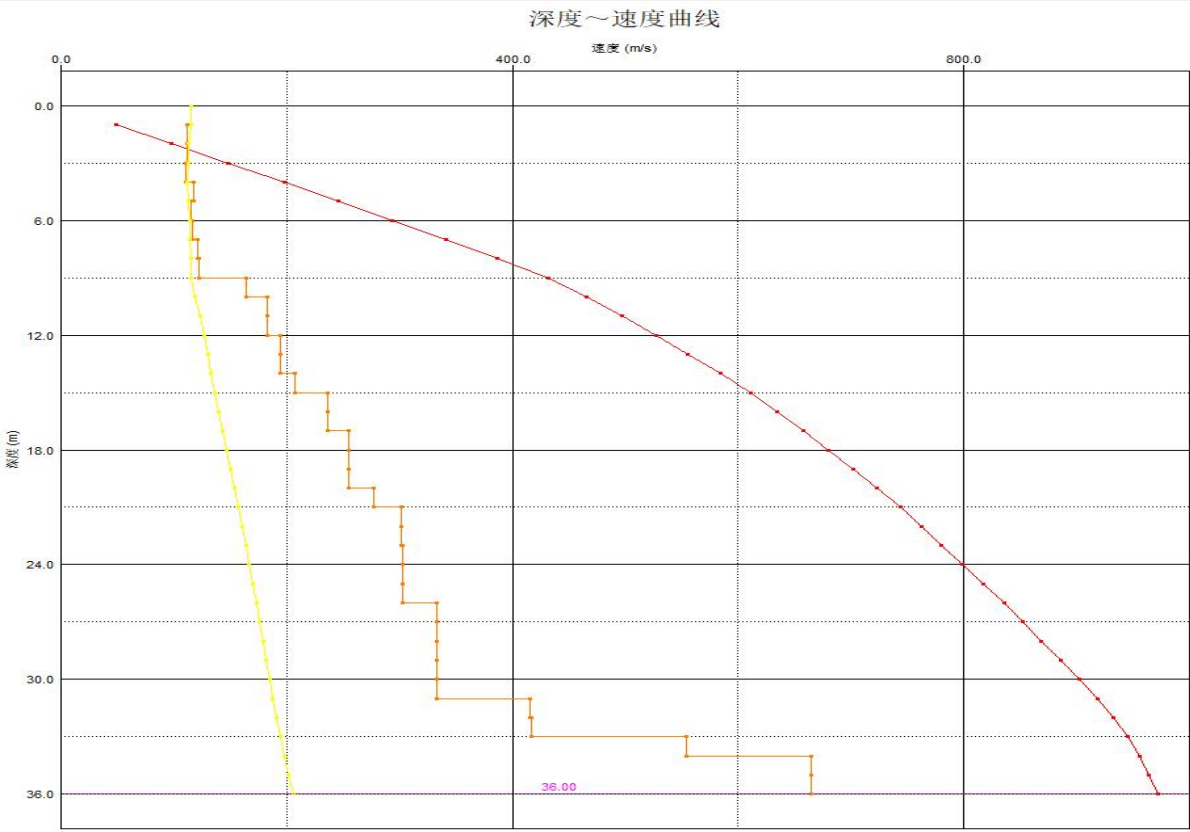


图 4-5 ZK5 孔现场波速测试成果图

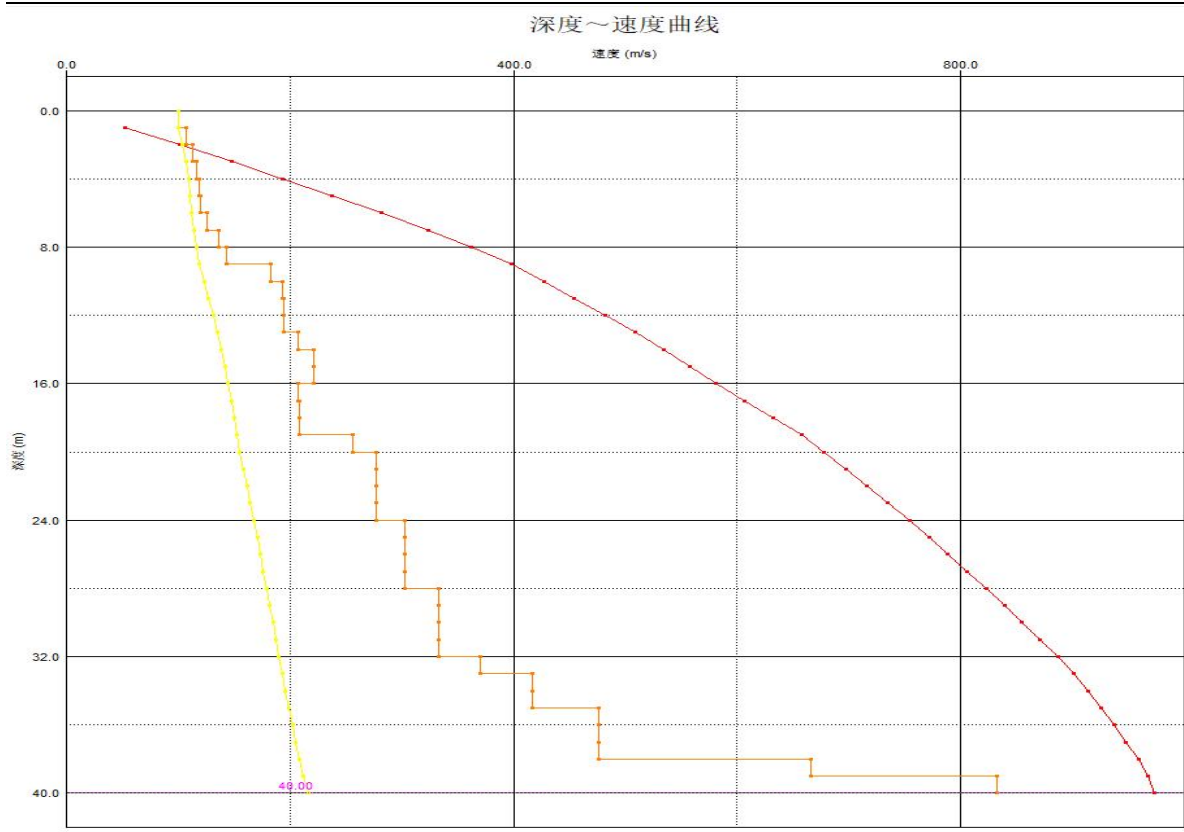


图 4-6 ZK6 孔现场波速测试成果图

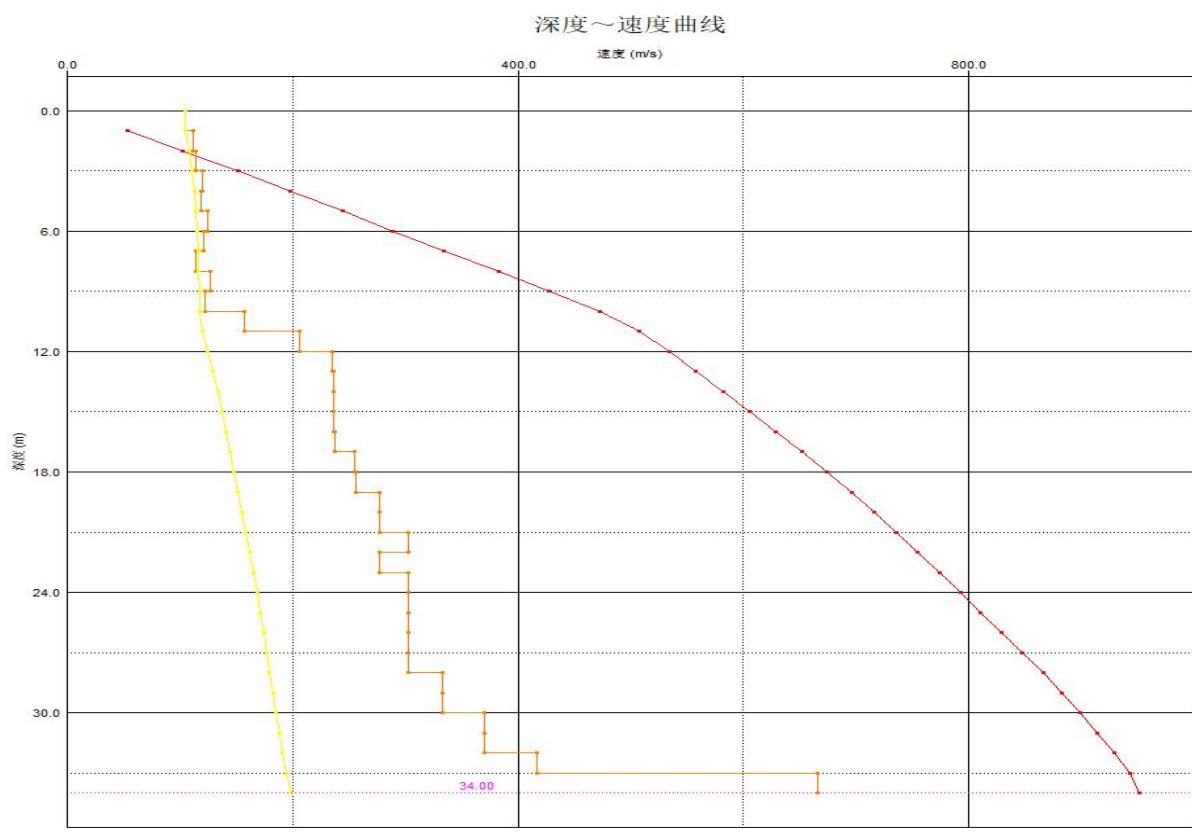


图 4-7 ZK7 孔现场波速测试成果图

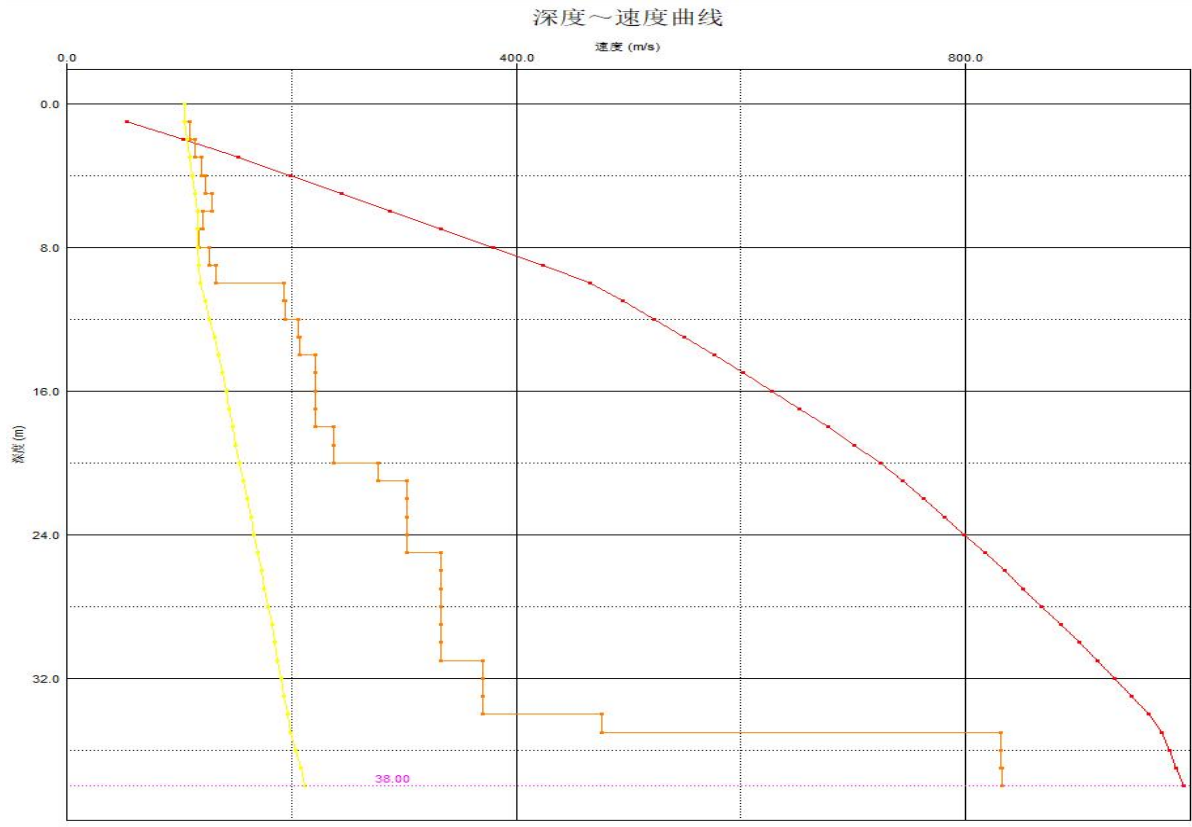


图 4-8 ZK8 孔现场波速测试成果图

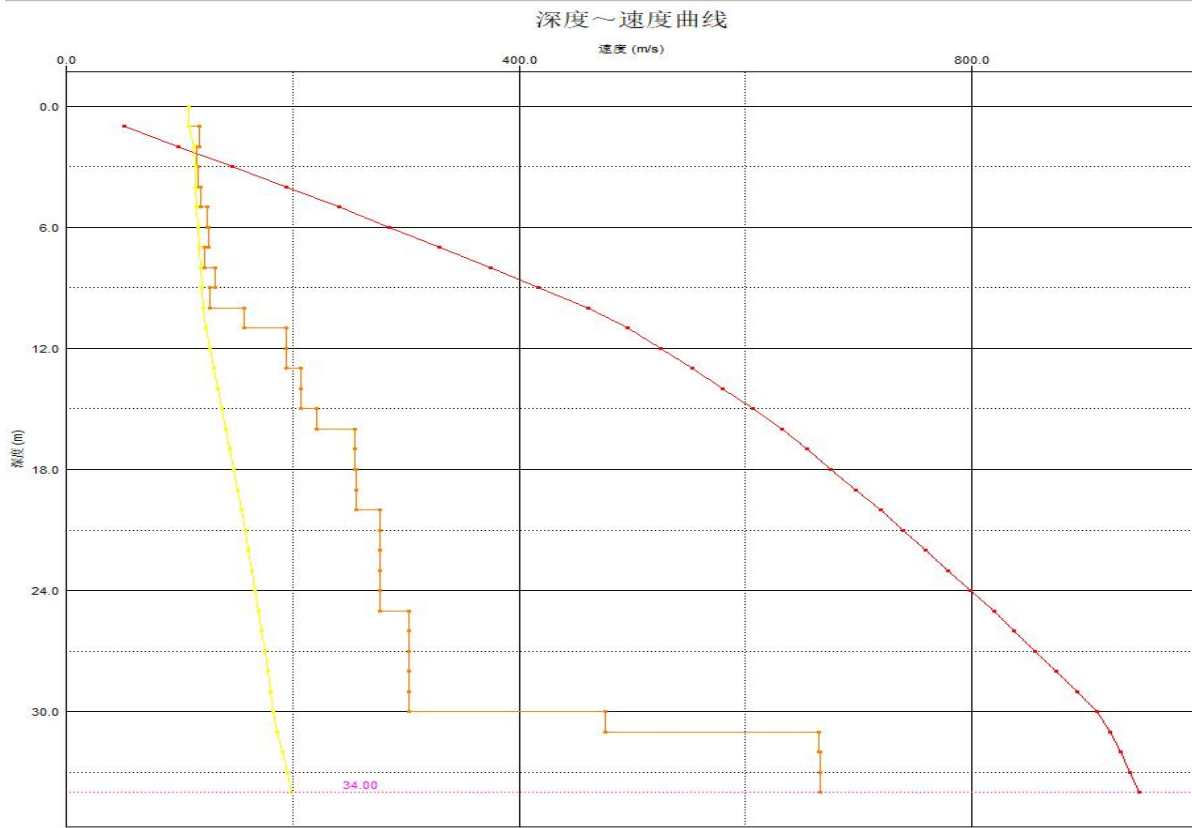


图 4-9 ZK9 孔现场波速测试成果图

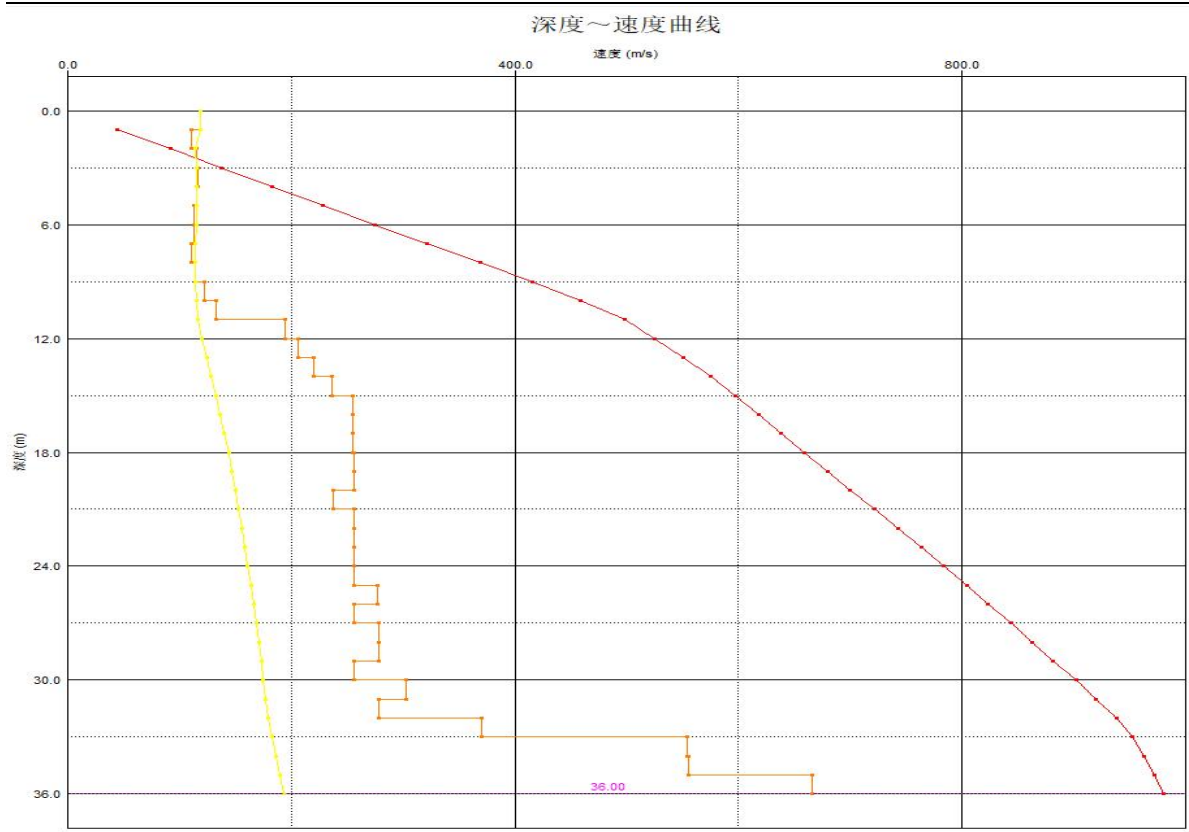


图 4-10 ZK10 孔现场波速测试成果图

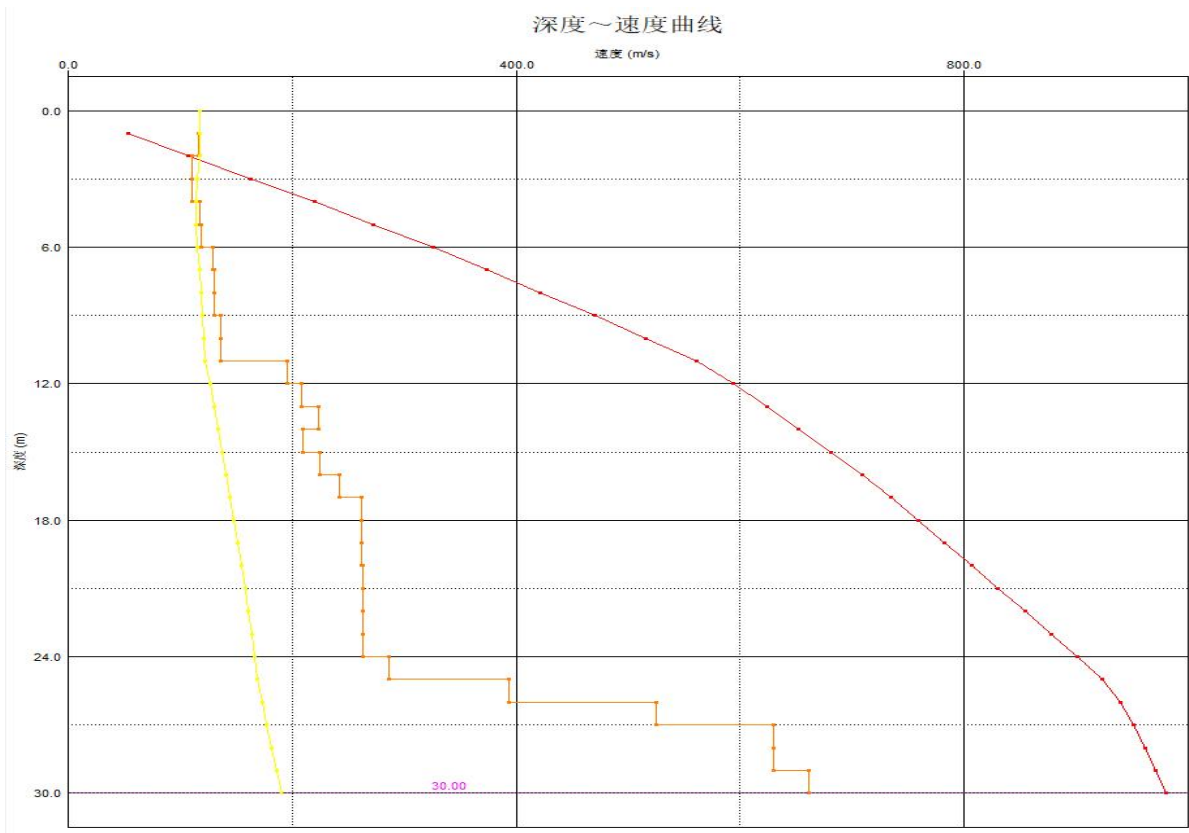


图 4-11 ZK11 孔现场波速测试成果图

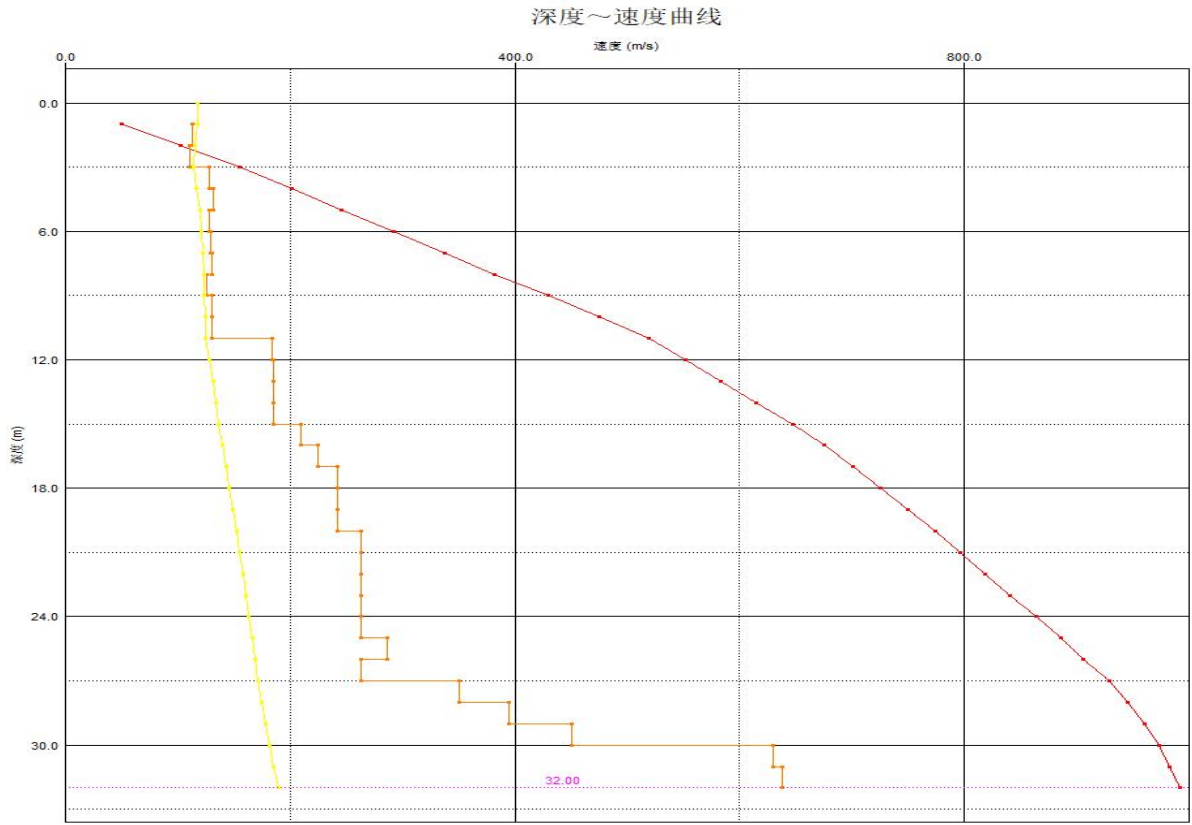


图 4-12 ZK12 孔现场波速测试成果图

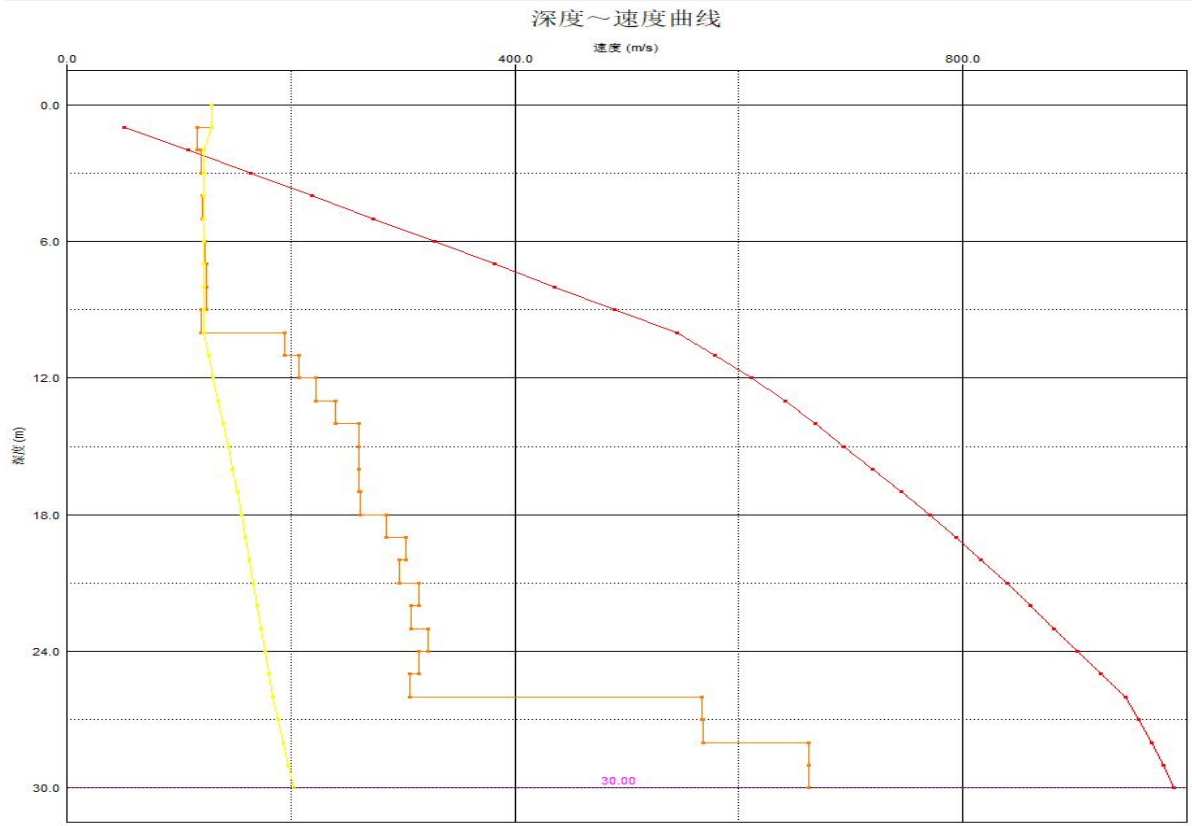


图 4-13 ZK13 孔现场波速测试成果图

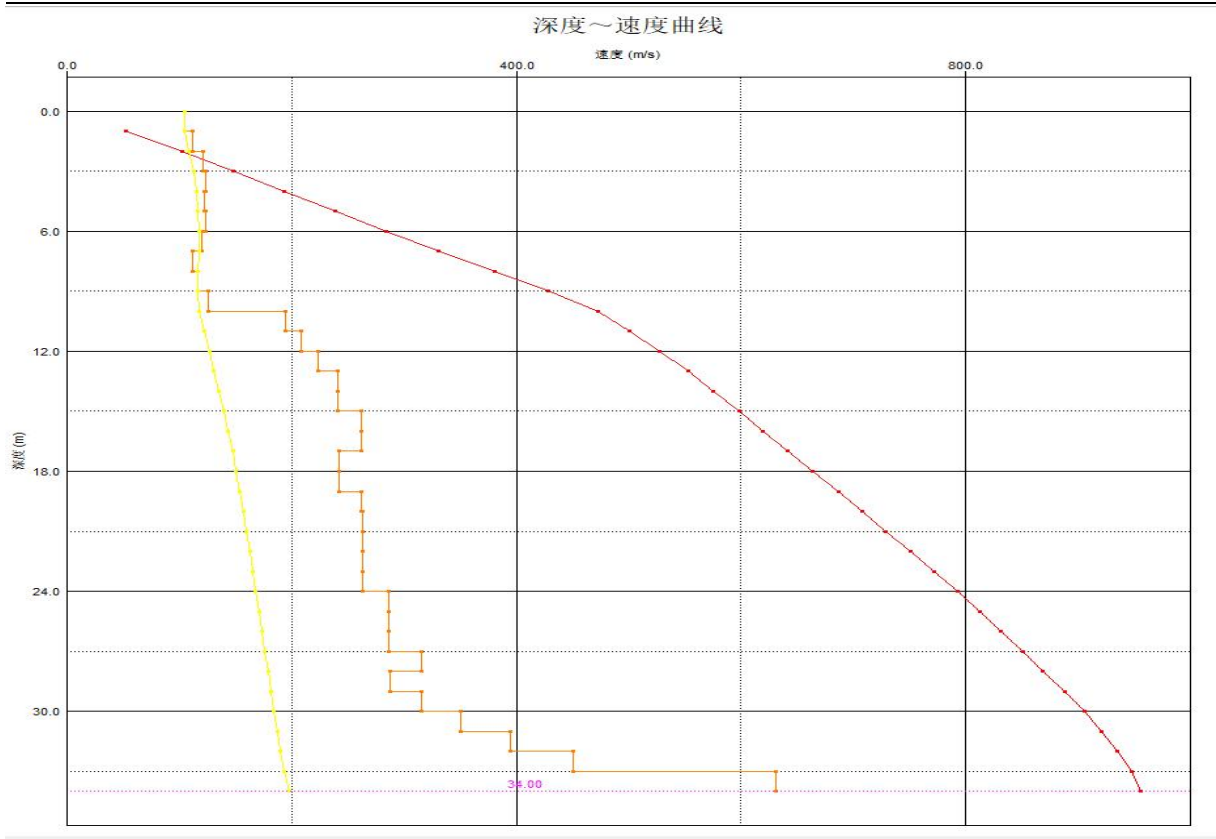


图 4-14 ZK14 孔现场波速测试成果图

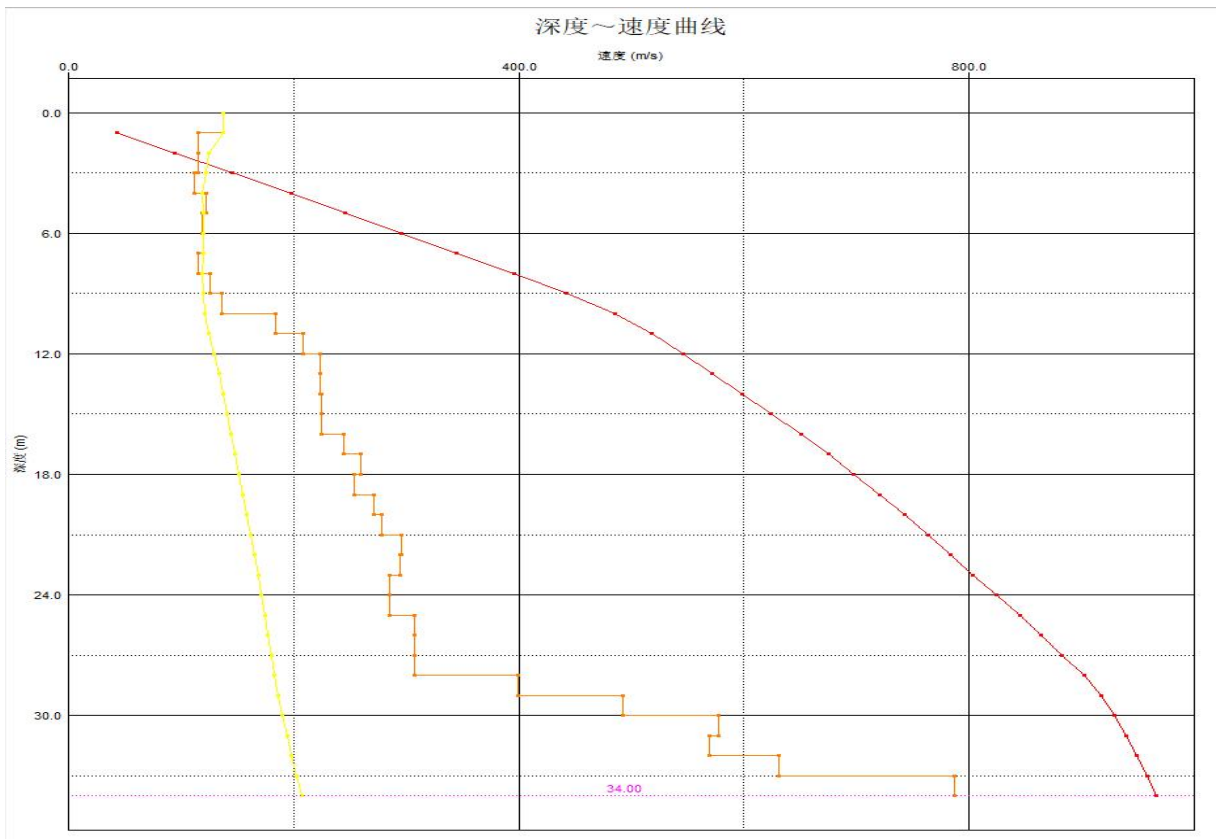


图 4-15 ZK15 孔现场波速测试成果图

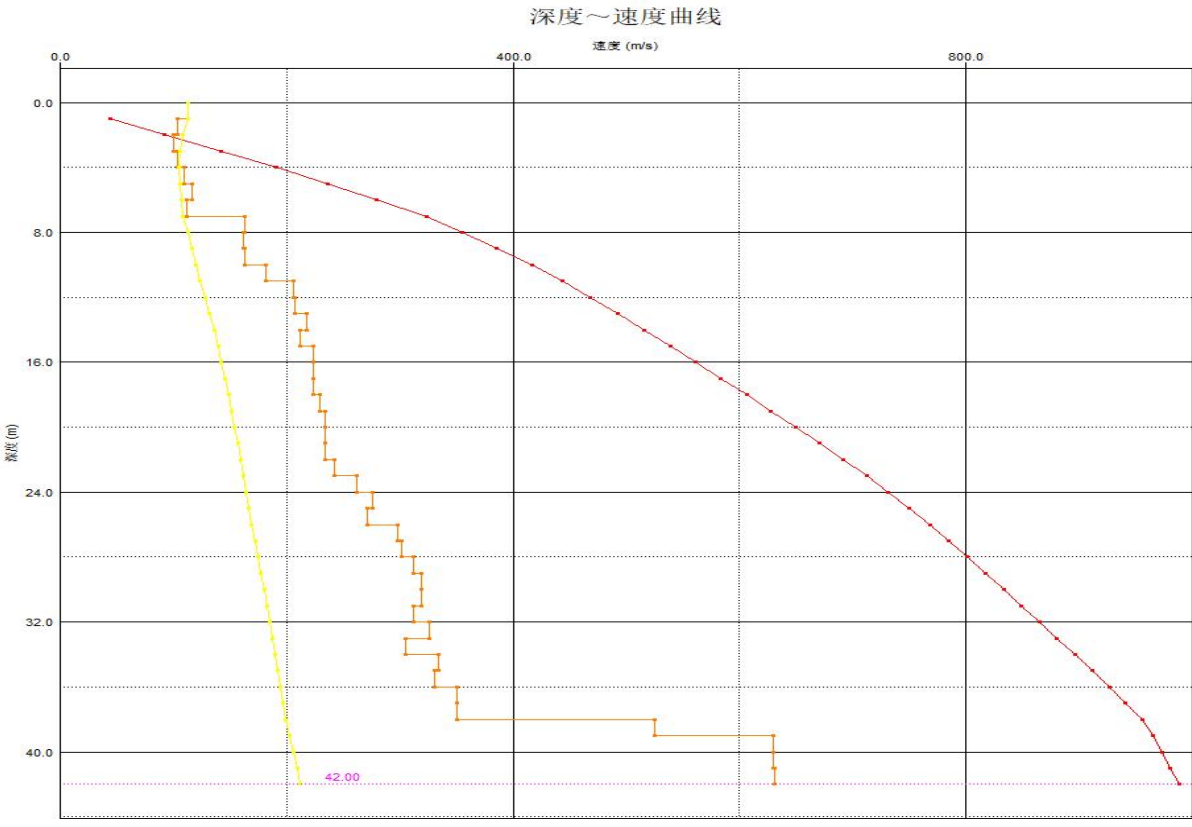


图 4-16 ZK16 孔现场波速测试成果图

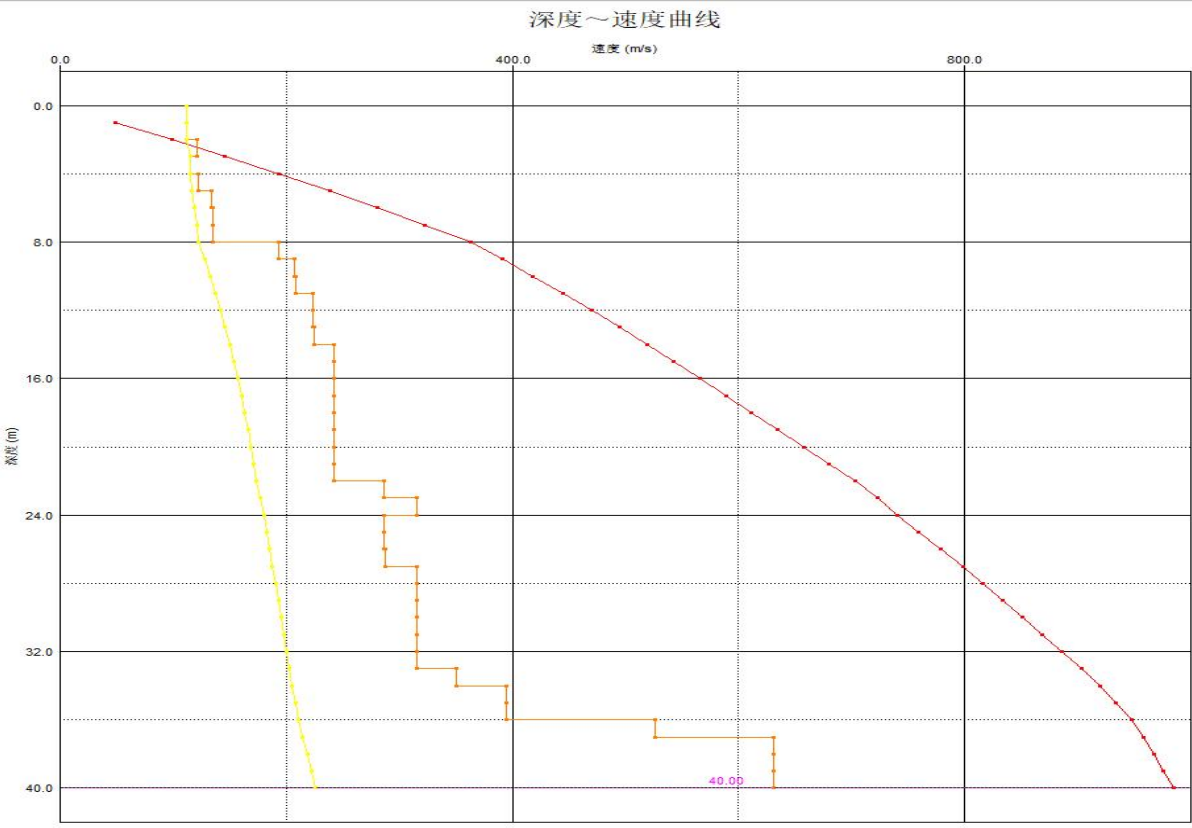


图 4-17 ZK17 孔现场波速测试成果图

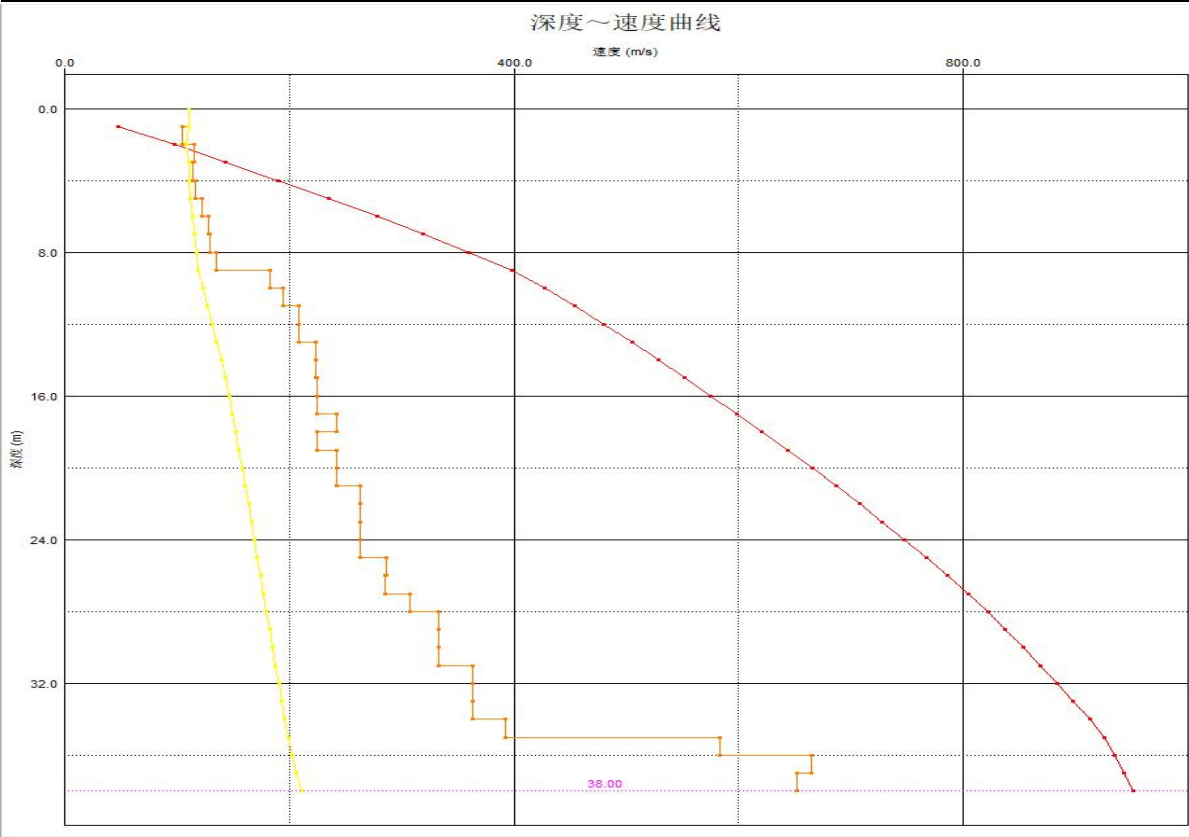


图 4-18 ZK18 孔现场波速测试成果图

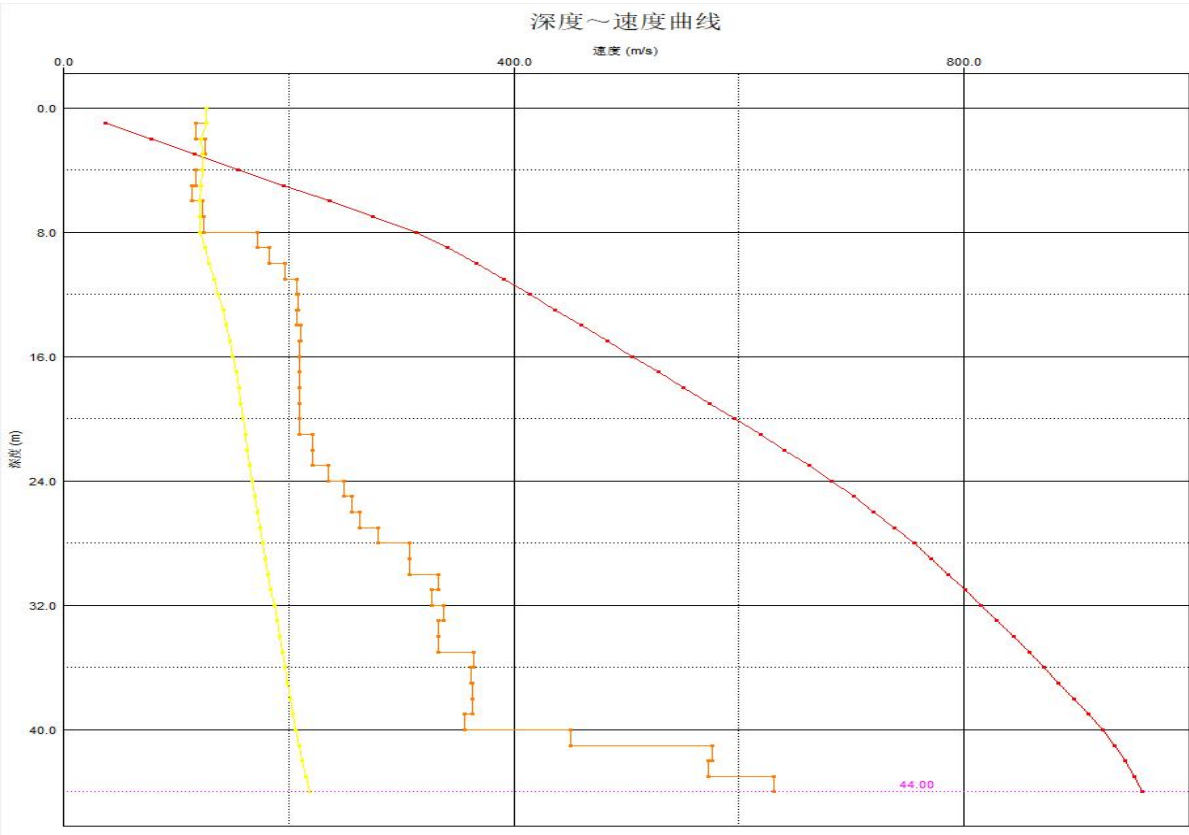


图 4-19 ZK19 孔现场波速测试成果图

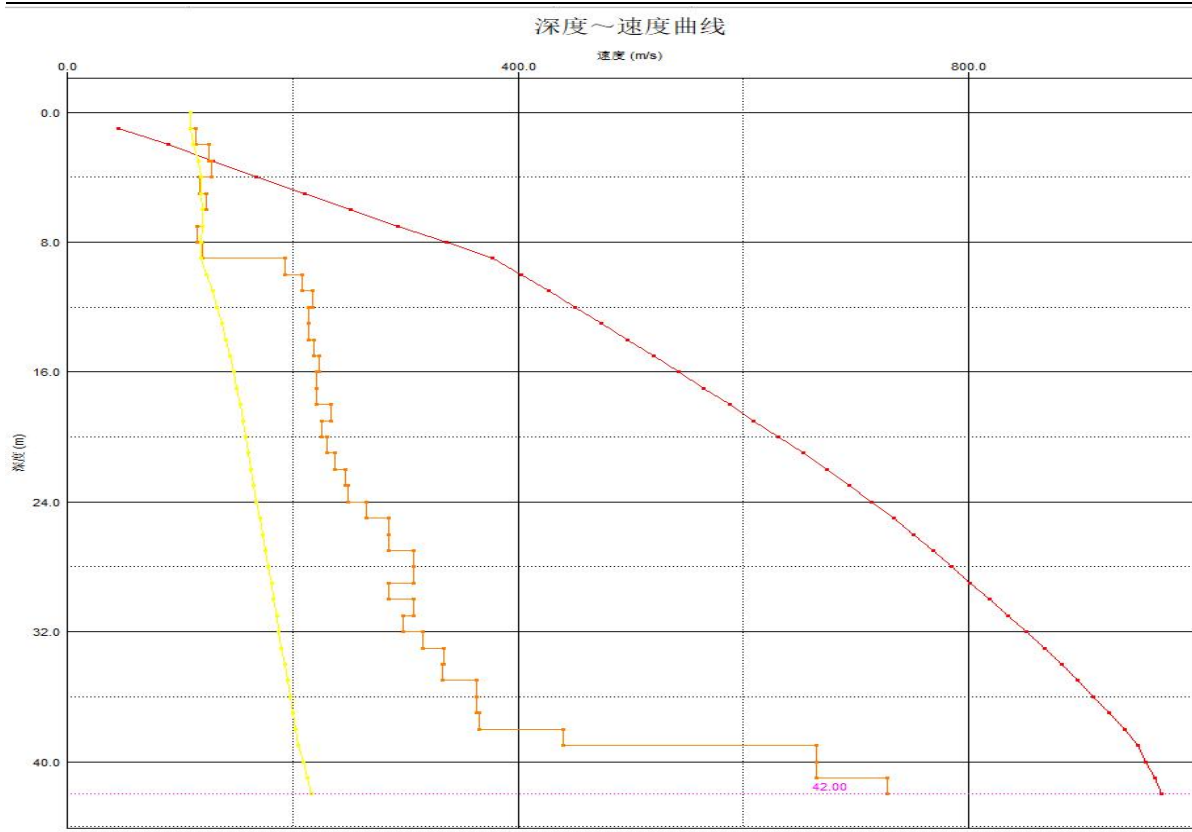


图 4-20 ZK20 孔现场波速测试成果图

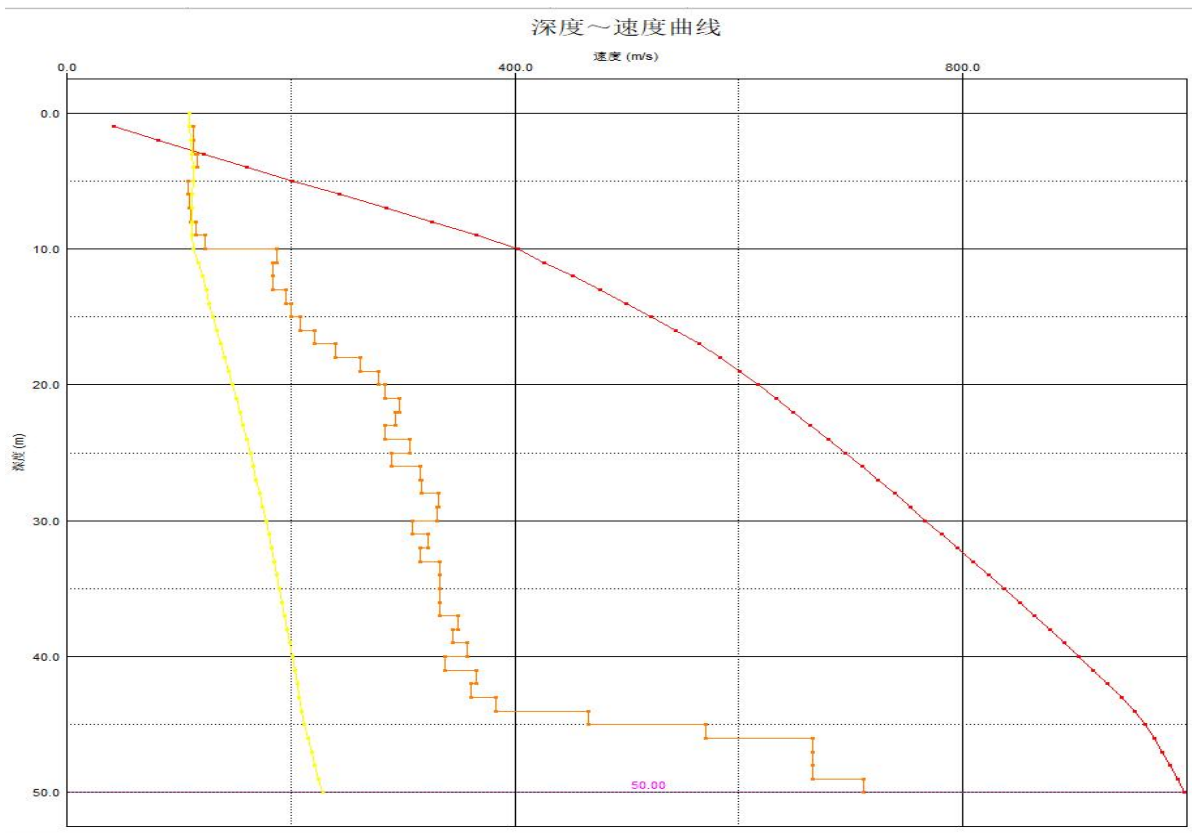


图 4-21 ZK21 孔现场波速测试成果图

5.2 场地覆盖层厚度的确定

根据 GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）中第 4.1.4 条规定，场地覆盖层厚度一般应按地面至剪切波速大于 500 m/s 土层顶面的距离确定，各钻孔覆盖层厚度结果见表 4。

波速孔覆盖层厚度表

表 4

孔 号	覆盖层厚度 (m)	孔 号	覆盖层厚度 (m)
ZK1	25	ZK11	26
ZK2	32	ZK12	30
ZK3	33	ZK13	26
ZK4	33	ZK14	33
ZK5	33	ZK15	30
ZK6	38	ZK16	38
ZK7	33	ZK17	36
ZK8	35	ZK18	35
ZK9	31	ZK19	41
ZK10	33	ZK20	39
		ZK21	45

5.3 场地土类型及场地类别的确定

按照 GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）第 4.1.5 规定土层的等效剪切波速的计算公式为：

$$V_{se} = d_0 / t$$

$$t = \sum_{i=1}^n (d_i / V_{si})$$

式中： V_{se} __土层等效剪切波速（m/s）；

d_0 __计算深度（m），取覆盖层厚度和 20 m 二者的较小值；

t __剪切波在地面至计算深度之间的传播时间；

d_i __计算深度范围内第 i 土层的厚度（m）；

V_{si} __计算深度范围内第 i 土层的剪切波速（m/s）；

n __计算深度范围内土层的分层数。

场地土类型及场地类别判别结果如表 5。

波速孔确定场地土类型及场地类别

表 5

孔 号	等效剪切波速 V_{se} (m/s)	场地土类型	场地类别
ZK1	156	中软土	Ⅱ类
ZK2	154	中软土	Ⅱ类
ZK3	152	中软土	Ⅱ类
ZK4	152	中软土	Ⅱ类
ZK5	154	中软土	Ⅱ类
ZK6	155	中软土	Ⅱ类
ZK7	155	中软土	Ⅱ类
ZK8	154	中软土	Ⅱ类
ZK9	155	中软土	Ⅱ类
ZK10	151	中软土	Ⅱ类
ZK11	155	中软土	Ⅱ类
ZK12	152	中软土	Ⅱ类
ZK13	163	中软土	Ⅱ类
ZK14	157	中软土	Ⅱ类
ZK15	159	中软土	Ⅱ类
ZK16	160	中软土	Ⅱ类
ZK17	169	中软土	Ⅱ类
ZK18	158	中软土	Ⅱ类
ZK19	160	中软土	Ⅱ类
ZK20	159	中软土	Ⅱ类
ZK21	151	中软土	Ⅱ类

根据 GB 50011-2010《建筑抗震设计规范》（2016 版）中第 4.1.3 条和第 4.1.6 条规定，利用横波速度进行场地土类型及场地类别划分的方法，得出该场地土为中软场地土。该场地属Ⅱ类建筑场地。

附件 2

连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目
典型土样动剪切模量比和阻尼比
试验研究报告

负责人：李军

完成人：李军

北京防灾科技有限公司

二零二二年12月



目 录

1、前言	1
2、试验仪器与试验方法	1
2.1 共振柱试验仪	1
2.2 动剪切模量、阻尼比试验原理	1
2.3 试样尺寸与固结	2
3、试验结果	2
3.1 试验土样及试验条件	2
3.2 试验结果	3

1、前言

受徐州天地岩土科技有限公司委托，对连云港高新技术产业开发区区域地震安全性评价项目所取的典型土样进行动剪切模量比与阻尼比的共振柱试验研究。2022 年 11 月 27 日提交成果报告。

2、试验仪器与试验方法

2.1 共振柱试验仪

试验采用 GCTS 型共振柱仪，根据扭转自由振动（共振柱）原理，用计算机控制试验过程及采集试验数据，故该设备具有良好的试验测试精度。

2.2 动剪切模量、阻尼比试验原理

共振柱仪扭转试验直接测定土样的动剪切模量 G 、阻尼比 λ ，根据波在杆件(试件)中传播理论，由式(1)确定剪切模量 G 。

$$G = \rho \left(\frac{2\pi f H}{\beta} \right)^2 \quad (1)$$

式中 G —土样的动剪切模量；

ρ —土样的质量密度；

f —扭转振动共振频率；

H —土样的高度；

β —扭转振动频率方程的特征值。

扭转自由振动（共振柱）法假定在动载作用下土的动剪应力 τ 和剪应变幅值 γ 之间的关系符合双曲线规律：

$$\tau = \frac{\gamma}{a + b\gamma} \quad (2)$$

式中 a 和 b 为试验参数。

土的动剪切模量定义为：

$$G = \tau / \gamma \quad (3)$$

则有

$$G = \frac{1}{a + b\gamma} \quad (4)$$

令

$$G_{\max} = 1/a \quad (5)$$

$$\gamma_r = a / b \quad (6)$$

由式（4）可知 $1/G \sim \gamma$ 呈直线关系，其截距 $a = 1/G_{\max}$ ， γ_r 为该线的截距 a 和斜率 b 的比值。

由于该模型参数较少，对部分土样拟合的效果不理想，而采用三参数的 Davidenkov 模型对各类土的 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 关系曲线进行拟合，实践表明该模型适用性较好。Davidenkov 模型的函数关系式为：

$$G = G_{\max} [1 - H(\gamma)] \tag{7}$$

其中，函数 $H(\gamma)$ 定义为：

$$H(\gamma) = \left[\frac{(\gamma/\gamma_0)^{2B}}{1 + (\gamma/\gamma_0)^{2B}} \right]^A \tag{8}$$

式中： A, B 和 γ_0 为拟合参数。由此模型可绘出从 $10^{-6} \sim 10^{-1}$ 剪应变幅值范围内的曲线。

土的阻尼比 λ 随剪应变幅值而变化，其经验关系如下：

$$\lambda = \lambda_{\min} + \lambda_0 (1 - G/G_{\max})^{n_\lambda} \tag{9}$$

式中 λ_{\min} 为土的基本阻尼比，与土的性质、固结状态等因素有关。根据扭转自由振动（共振柱）的试验结果，在 $10^{-6} \sim 10^{-1}$ 剪应变幅值范围内用双对数坐标绘制 $\lambda \sim (1 - G/G_{\max})$ 关系曲线，可求出 λ_{\min} 、 λ_0 、 n_λ ，并将 $\lambda \sim \gamma$ 关系曲线与 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 曲线绘在同一图中。

2.3 试样尺寸与固结

共振柱试验土样尺寸：直径 $D=5.00\text{ cm}$ ，高 $H=10.00\text{ cm}$ 。

试验过程：按试验预定条件制备试样；安装试样；给试样施加等向固结压力并使其固结；逐级增加振动应力，测取试样扭转方向的共振频率和相应的剪应变、阻尼振动线，计算动剪切模量和阻尼比。

试验在均等固结压力下进行。通常实际地层正应力大于侧向应力，试验用的均等固结压力取为正应力的 $2/3$ 。

3、试验结果

3.1 试验土样及试验条件

按照技术要求，对所送土样进行了动剪切模量、阻尼比试验研究。表 1 是土样编号、土样描述、取土深度及共振柱试验时施加的固结压力 σ_c 。

表 1 土样编号、土样描述、取土深度及共振柱试验时施加的固结压力 σ_c

试验编号	现场编号	取样深度(m)	土样描述	状态或密实度	γ (kN/m ³)	σ_c (kPa)	G_{\max} (MPa)
G1	ZK1-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.4	50	17.9
G2	ZK1-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.8	135	46.4
G3	ZK1-5	22.00-22.20	粗砂	密实	19.8	150	50.2
G4	ZK2-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.4	70	29.8

G5	ZK2-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.2	170	58.3
G6	ZK3-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.6	70	29.9
G7	ZK3-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.4	170	53.7
G8	ZK4-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.9	50	19.5
G9	ZK4-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.7	135	45.5
G10	ZK4-6	30.00-30.20	粗砂	密实	20.0	200	56.7
G11	ZK5-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.8	70	27.5
G12	ZK5-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	19.9	170	55.6
G13	ZK6-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.7	70	30.4
G14	ZK6-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	20.2	135	53.1
G15	ZK6-7	35.00-35.20	粗砂	密实	20.1	235	63.2
G16	ZK7-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.6	50	20.1
G17	ZK7-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	20.1	135	51.6
G18	ZK7-6	30.00-30.20	粗砂	密实	20.2	200	59.3
G19	ZK9-2	10.00-10.20	淤泥质粉质黏土	流塑	19.2	70	25.2
G20	ZK9-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.7	135	50.3
G21	ZK9-6	27.00-27.20	粗砂	密实	20.1	180	53.1
G22	ZK11-2	10.00-10.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.9	70	27.4
G23	ZK11-5	25.00-25.20	粗砂	密实	19.9	170	52.3
G24	ZK13-4	20.00-20.20	粉质黏土	硬塑	19.8	135	54.9
G25	ZK13-5	25.00-25.20	粗砂	密实	20.2	170	55.1
G26	ZK15-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.8	35	17.6
G27	ZK15-2	10.00-10.20	粉质黏土	硬塑	19.6	70	31.4
G28	ZK15-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.2	170	57.1
G29	ZK16-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	19.1	50	22.4
G30	ZK16-3	15.00-15.20	粉质黏土	硬塑	19.9	100	42.6
G31	ZK16-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	19.7	170	56.8
G32	ZK16-7	35.00-35.20	粉质黏土	硬塑	20.3	235	62.5
G33	ZK20-2	10.00-10.20	粉质黏土	可塑	19.5	70	31.4
G34	ZK20-6	30.00-30.20	粉质黏土	硬塑	20.1	200	58.8
G35	ZK21-1	5.00-5.20	淤泥质粉质黏土	流塑	18.7	50	21.8
G36	ZK21-3	15.00-15.20	粉质黏土	硬塑	20.1	100	44.3

G37	ZK21-5	25.00-25.20	粉质黏土	硬塑	20.3	170	56.6
G38	ZK21-7	35.00-35.20	粉质黏土	硬塑	20.2	235	62.1
G39	ZK21-8	40.00-40.20	粗砂	密实	20.4	265	69.2

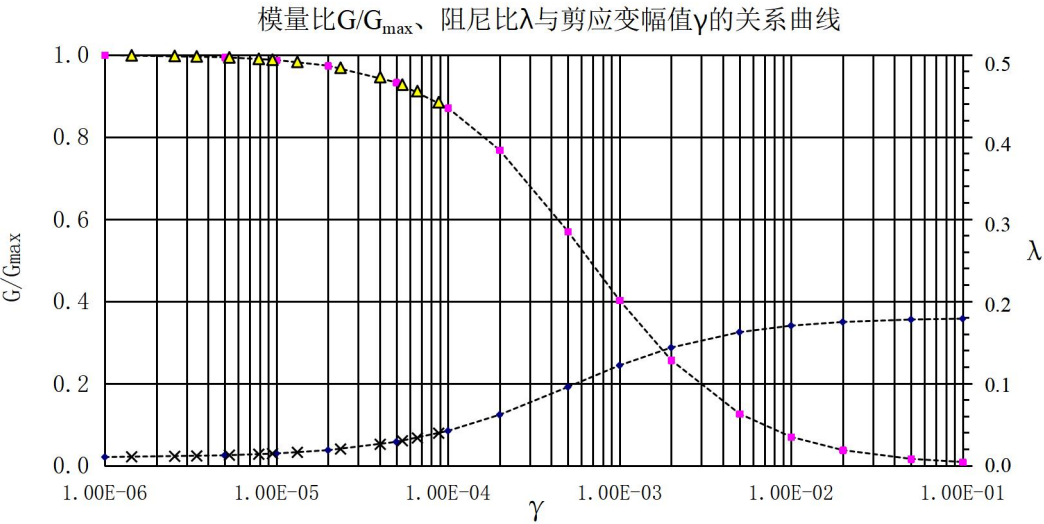
3.2 试验结果

ZK1-1 (5.00-5.20)

G1

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.987	0.933	0.871	0.570	0.402	0.126	0.070
λ	0.0124	0.0147	0.0288	0.0421	0.0956	0.1218	0.1623	0.1702

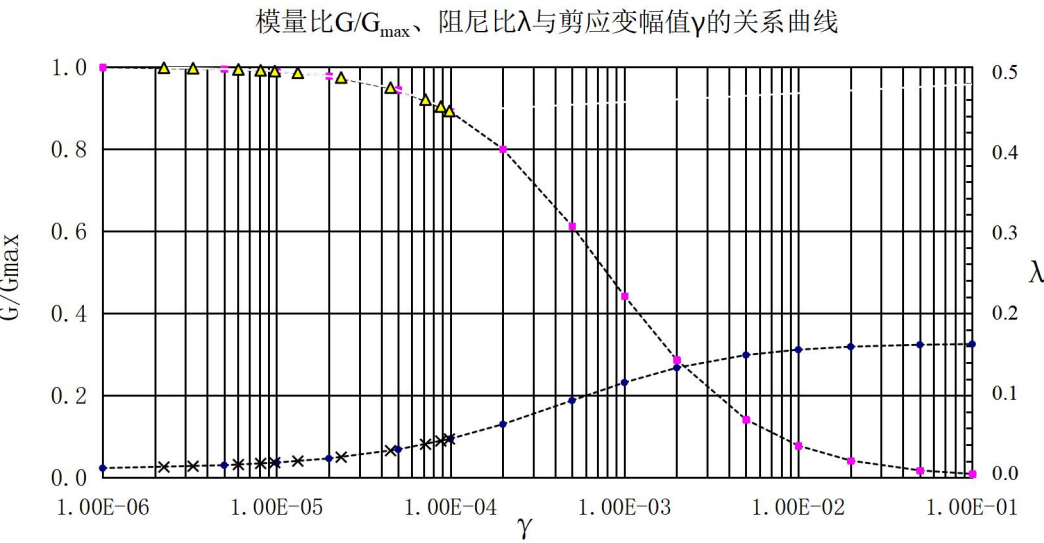


ZK1-4 (20.00-20.20)

G2

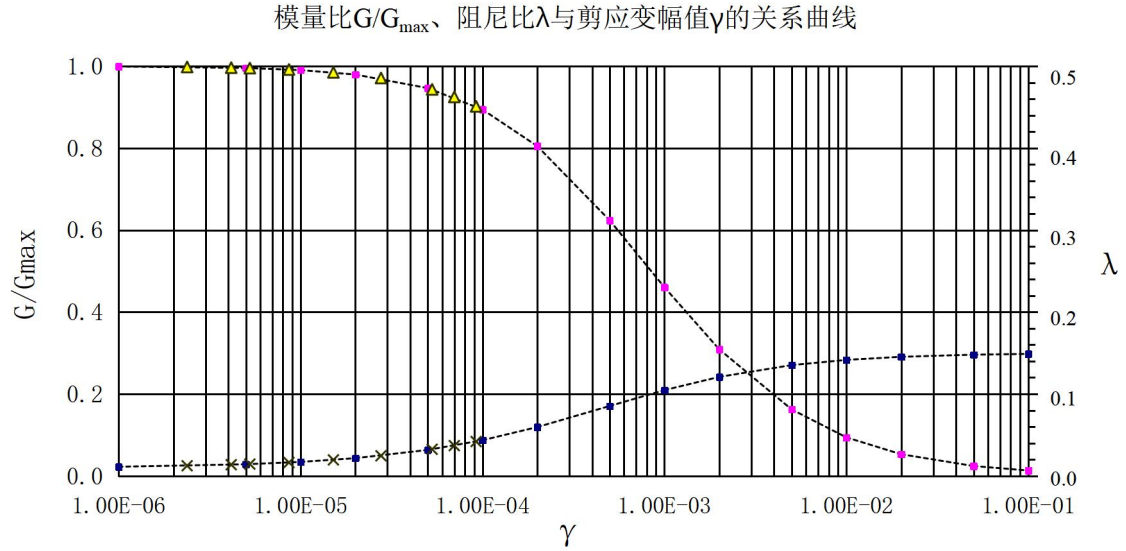
动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.995	0.989	0.944	0.891	0.613	0.443	0.142	0.078
λ	0.0152	0.0184	0.0344	0.0473	0.0939	0.1158	0.1493	0.1558



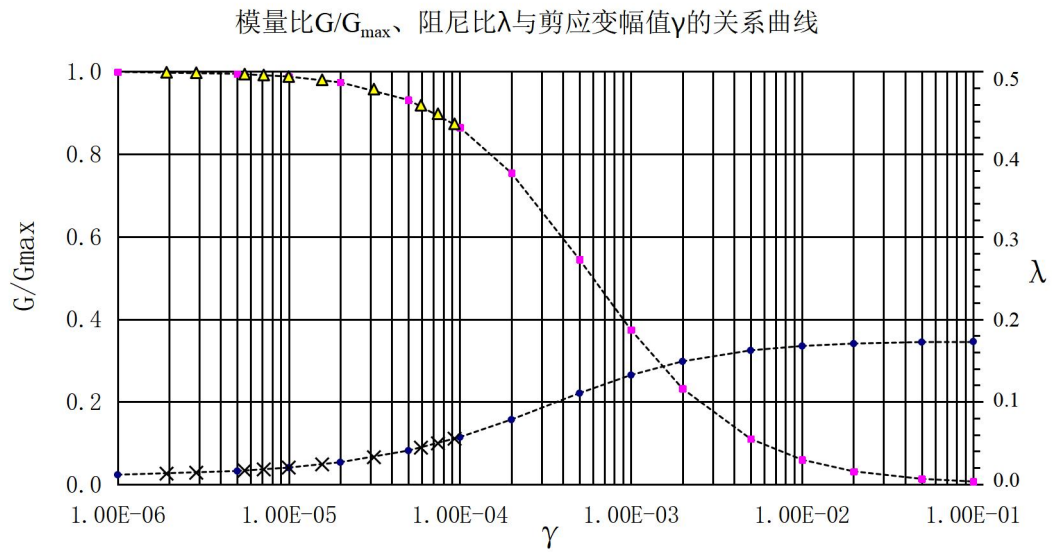
ZK1-5 (22.00-22.20) G3 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.990	0.947	0.894	0.624	0.460	0.162	0.094
λ	0.0142	0.0170	0.0317	0.0435	0.0853	0.1047	0.1352	0.1416

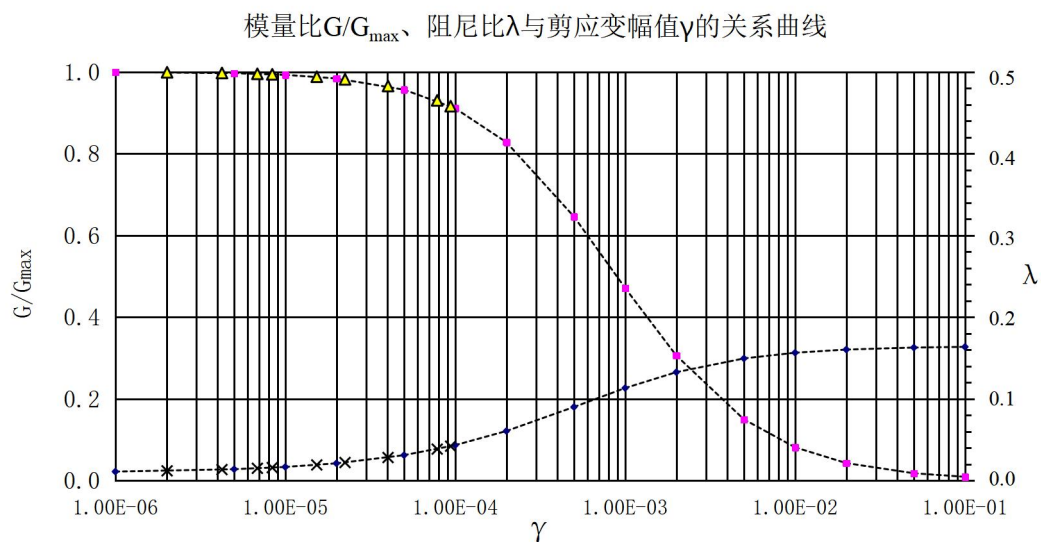


ZK2-2 (10.00-10.20) G4 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

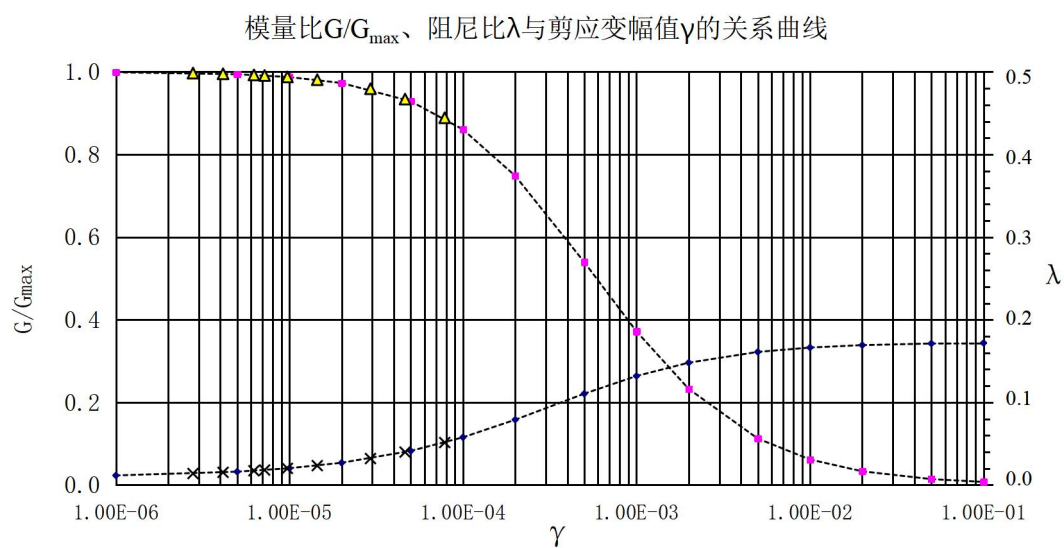
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.988	0.931	0.865	0.545	0.374	0.110	0.060
λ	0.0162	0.0203	0.0409	0.0572	0.1104	0.1324	0.1623	0.1676



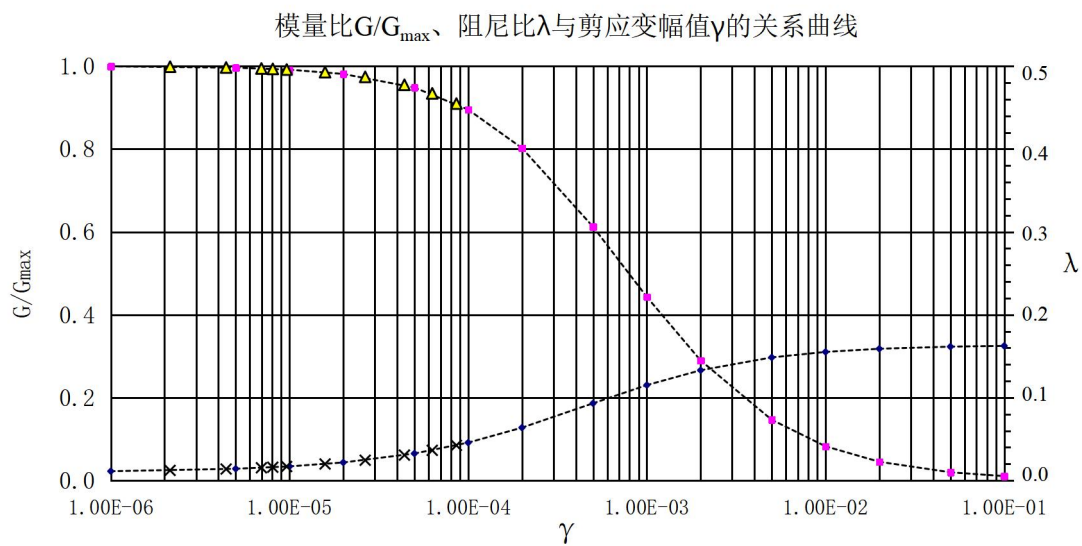
ZK2-5 (25.00-25.20)	G5		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.992	0.956	0.911	0.646	0.471	0.150	0.081
λ	0.0138	0.0166	0.0310	0.0432	0.0899	0.1131	0.1493	0.1563



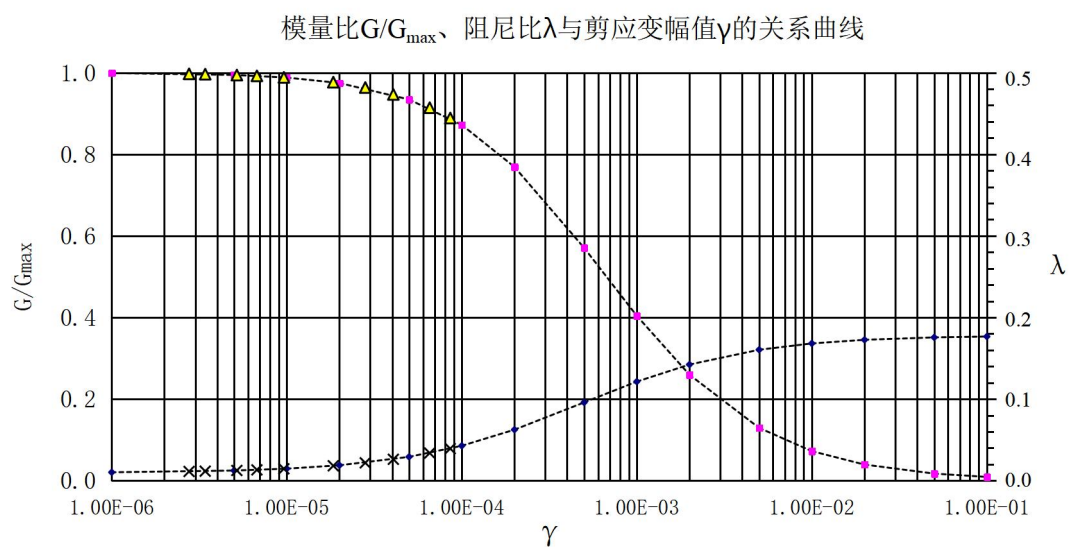
ZK3-2 (10.00-10.20)	G6		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.987	0.929	0.861	0.540	0.372	0.112	0.062
λ	0.0162	0.0203	0.0413	0.0577	0.1105	0.1319	0.1611	0.1664



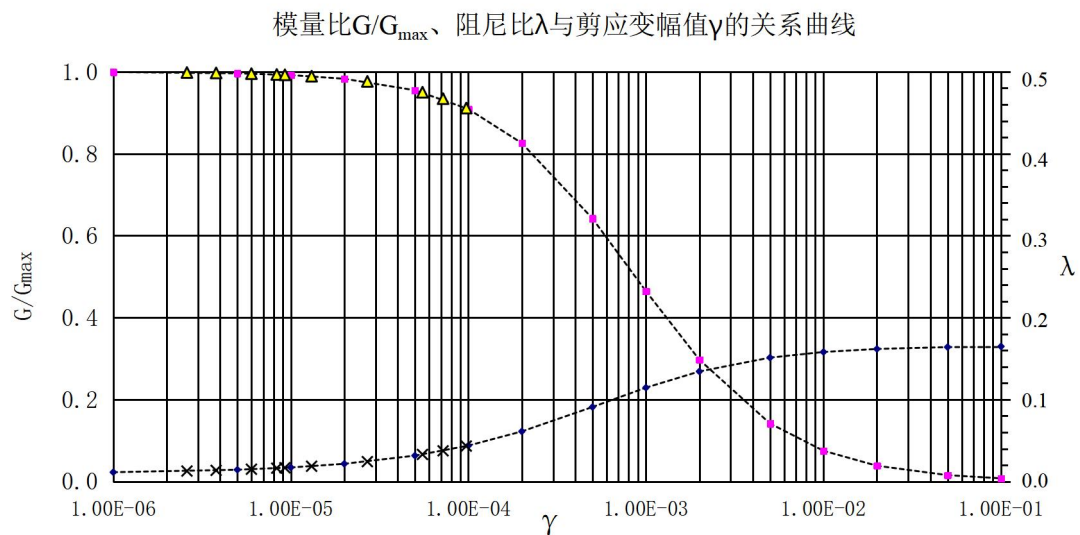
ZK3-5 (25.00-25.20)	G7		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.991	0.948	0.895	0.612	0.443	0.147	0.083
λ	0.0142	0.0171	0.0326	0.0457	0.0932	0.1152	0.1486	0.1552



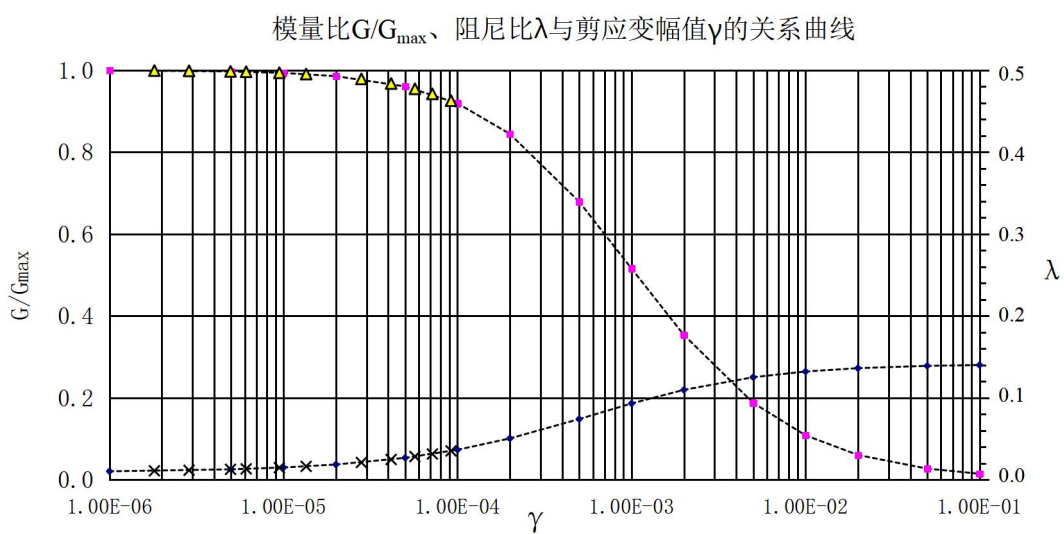
ZK4-1 (5.00-5.20)	G8		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.988	0.934	0.872	0.571	0.404	0.129	0.072
λ	0.0124	0.0147	0.0292	0.0428	0.0959	0.1214	0.1605	0.1682



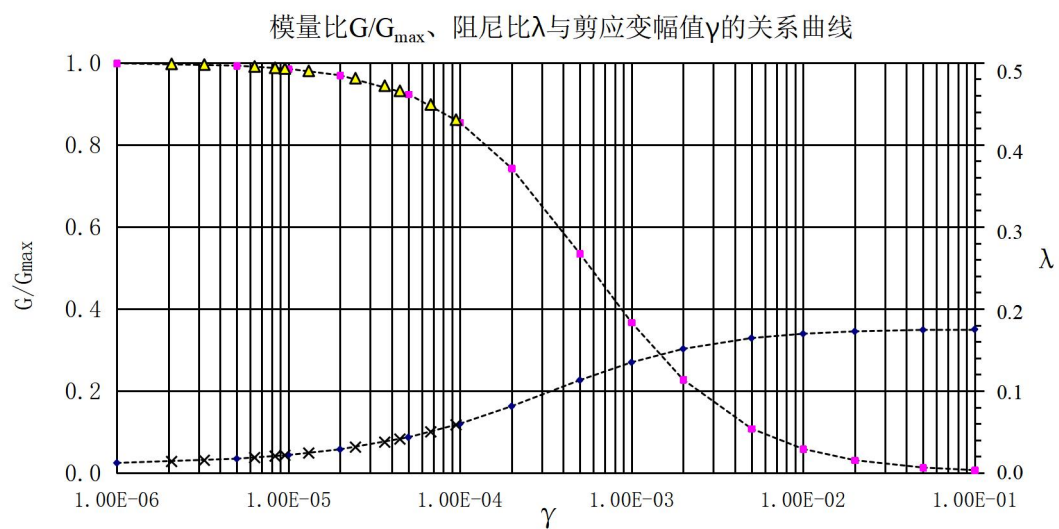
ZK4-4 (20.00-20.20)	G9		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.992	0.955	0.909	0.642	0.465	0.141	0.075
λ	0.0143	0.0171	0.0315	0.0438	0.0909	0.1145	0.1511	0.1580



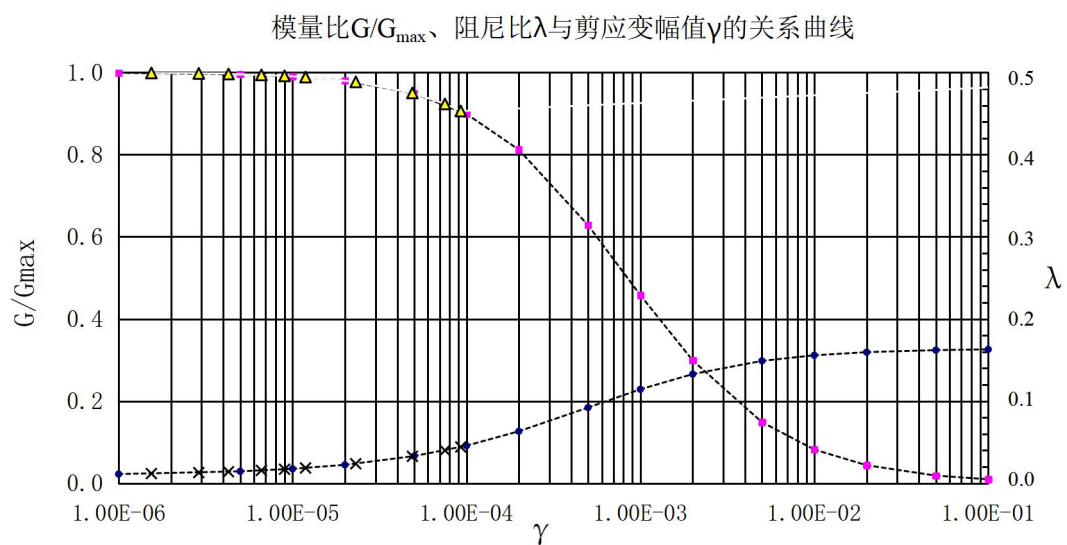
ZK4-6 (30.00-30.20)	G10		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.993	0.960	0.919	0.679	0.516	0.188	0.108
λ	0.0126	0.0149	0.0266	0.0365	0.0740	0.0930	0.1251	0.1321



ZK5-2 (10.00-10.20)	G11		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.993	0.985	0.924	0.855	0.535	0.367	0.108	0.058
λ	0.0173	0.0218	0.0434	0.0599	0.1131	0.1348	0.1644	0.1696

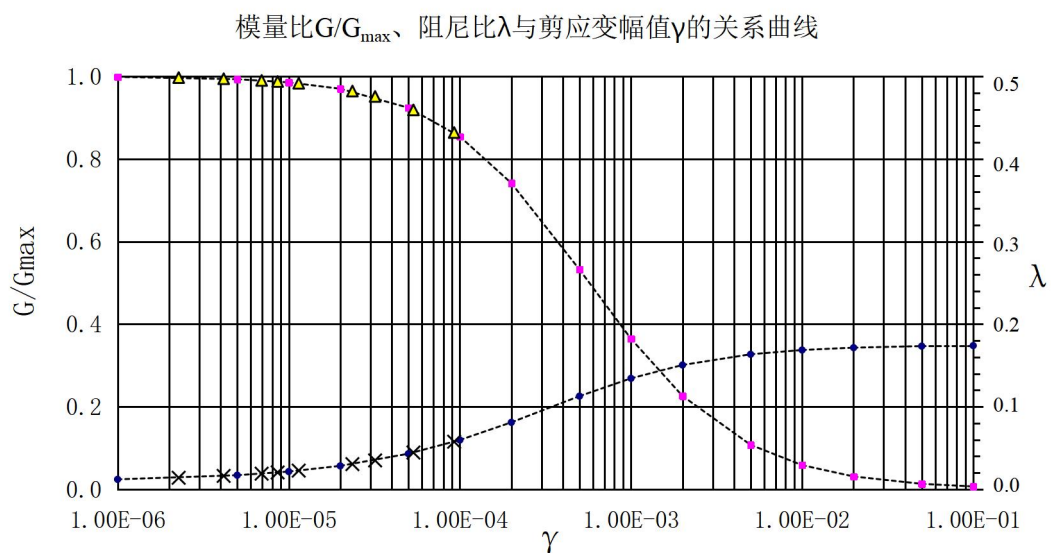


ZK5-5 (25.00-25.20)	G12		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.991	0.949	0.899	0.628	0.458	0.149	0.082
λ	0.0145	0.0176	0.0331	0.0457	0.0921	0.1144	0.1489	0.1557



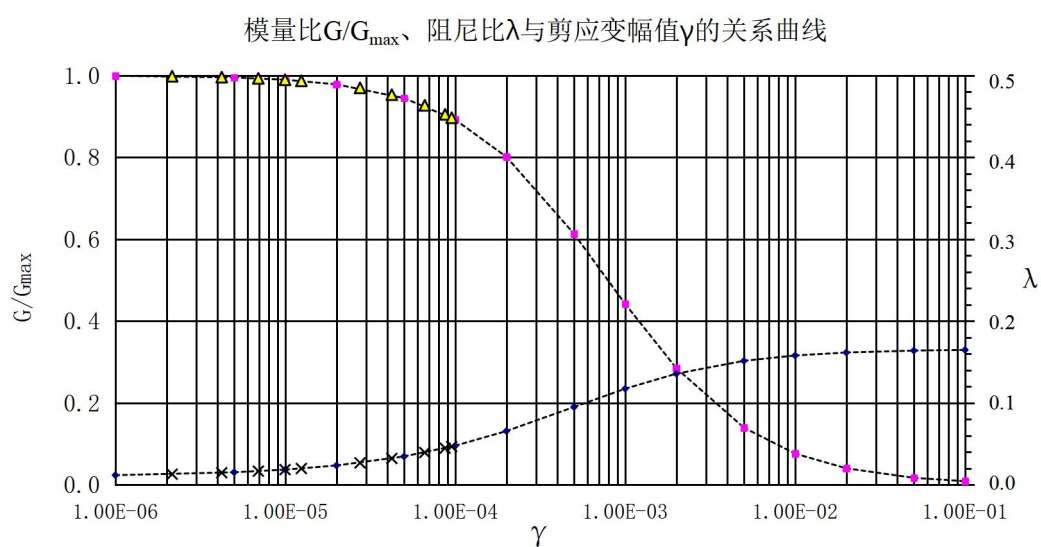
ZK6-2 (10.00-10.20) G13 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.993	0.986	0.924	0.854	0.532	0.365	0.108	0.058
λ	0.0170	0.0215	0.0430	0.0597	0.1128	0.1343	0.1635	0.1687

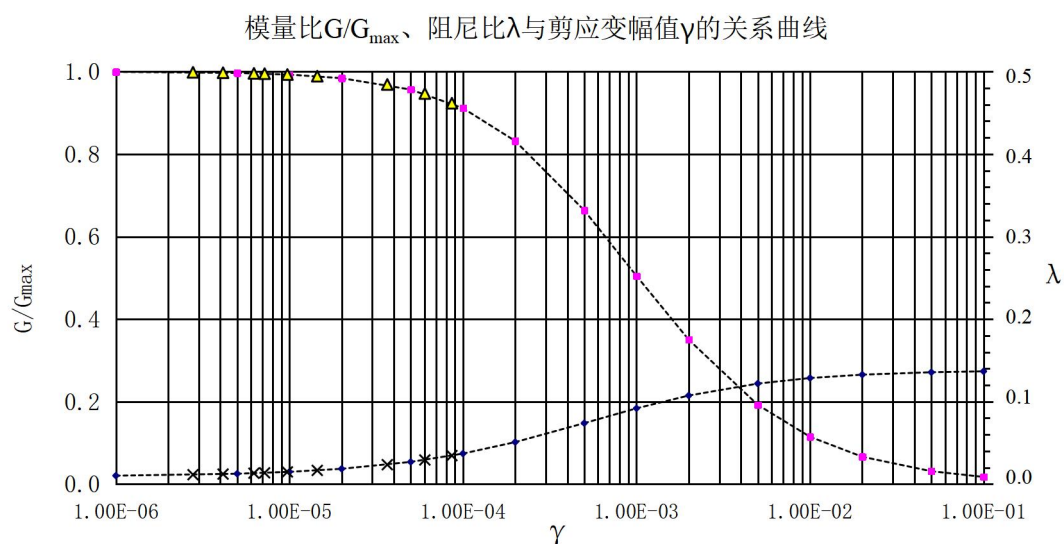


ZK6-4 (20.00-20.20) G14 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

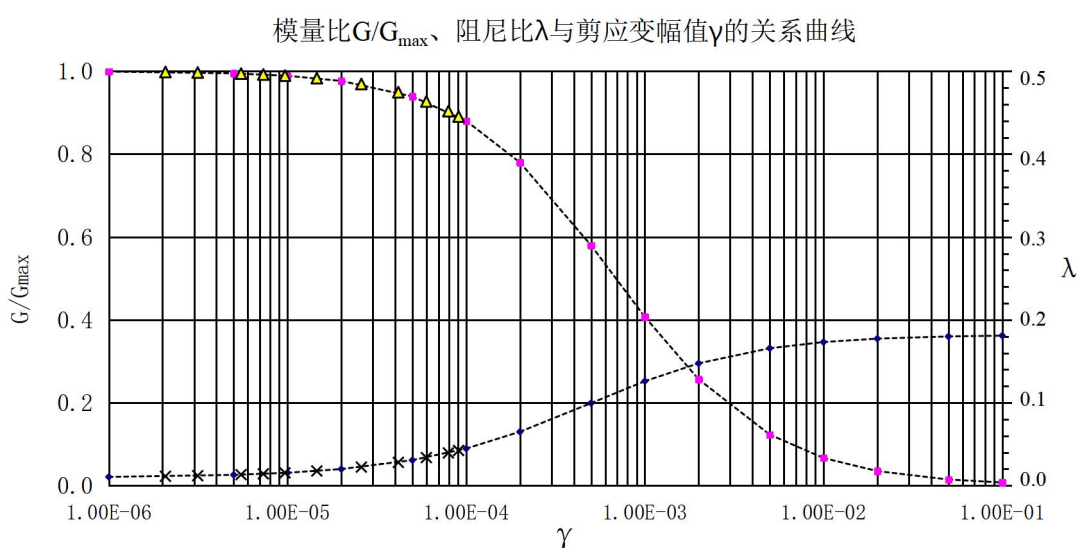
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.995	0.989	0.945	0.892	0.613	0.442	0.139	0.076
λ	0.0153	0.0185	0.0346	0.0477	0.0949	0.1173	0.1514	0.1579



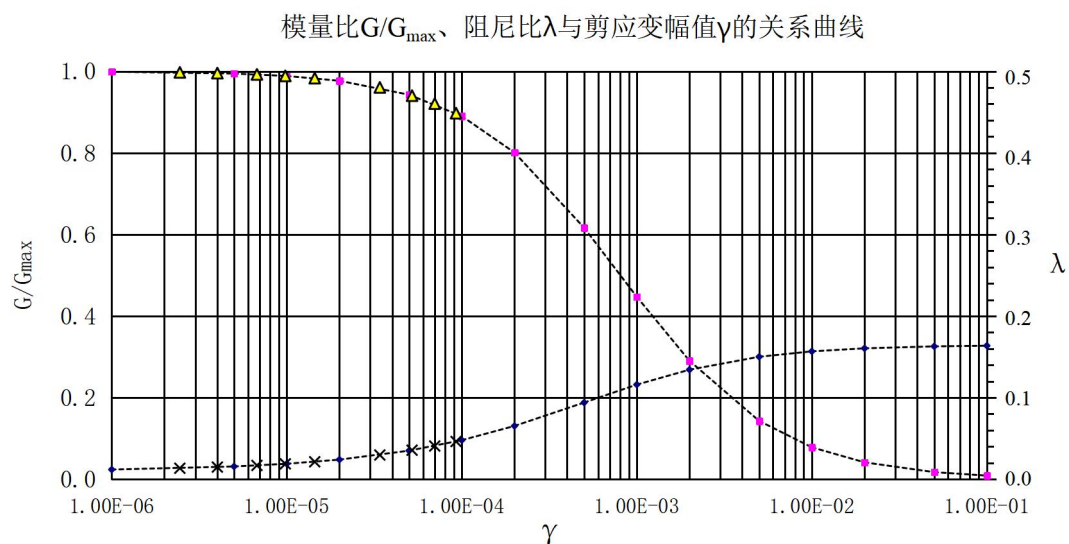
ZK6-7 (35.00-35.20)	G15		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.993	0.957	0.911	0.664	0.505	0.192	0.115
λ	0.0126	0.0149	0.0269	0.0370	0.0739	0.0919	0.1219	0.1286



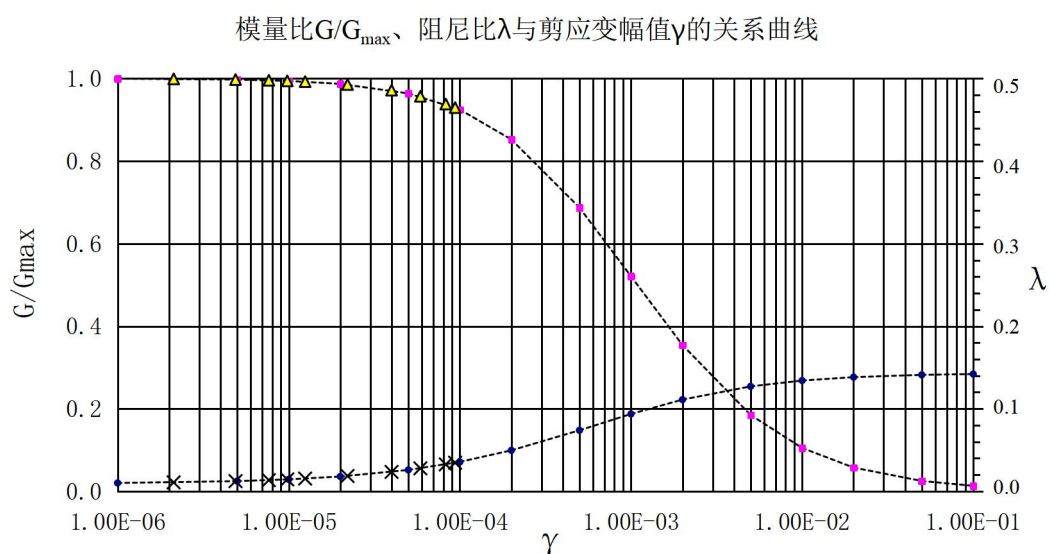
ZK7-1 (5.00-5.20)	G16		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.995	0.989	0.939	0.880	0.580	0.407	0.123	0.067
λ	0.0130	0.0155	0.0308	0.0447	0.0995	0.1260	0.1657	0.1732



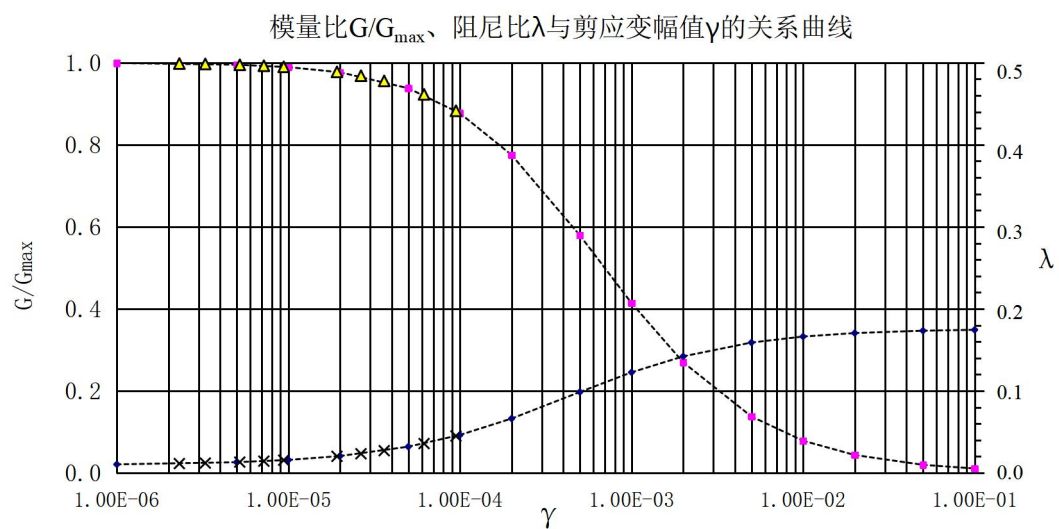
ZK7-4 (20.00-20.20)	G17		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.988	0.942	0.890	0.616	0.447	0.143	0.078
λ	0.0157	0.0190	0.0350	0.0479	0.0940	0.1160	0.1501	0.1567



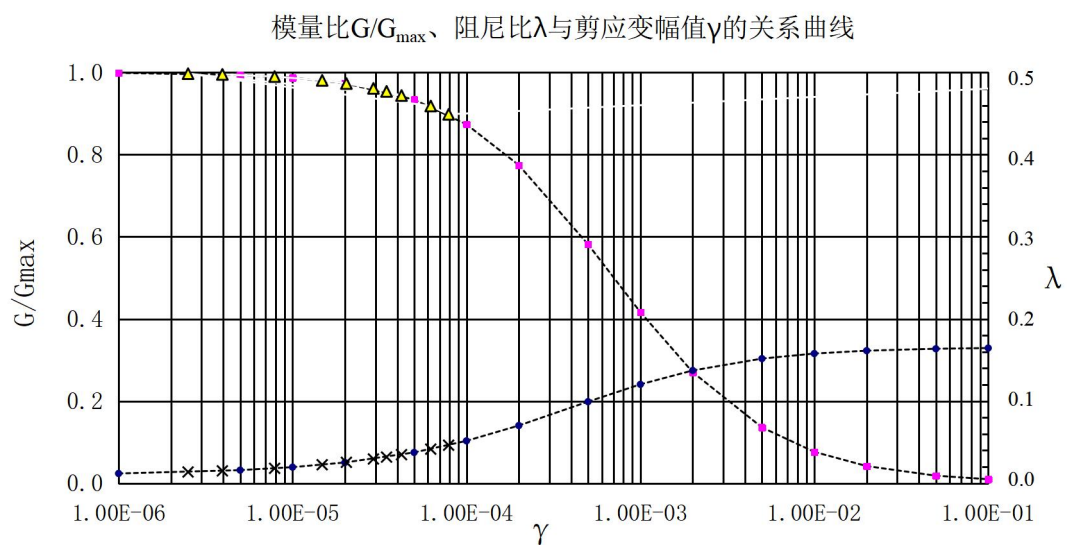
ZK7-6 (30.00-30.20)	G18		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.994	0.964	0.925	0.687	0.521	0.185	0.105
λ	0.0124	0.0145	0.0259	0.0357	0.0739	0.0937	0.1271	0.1342



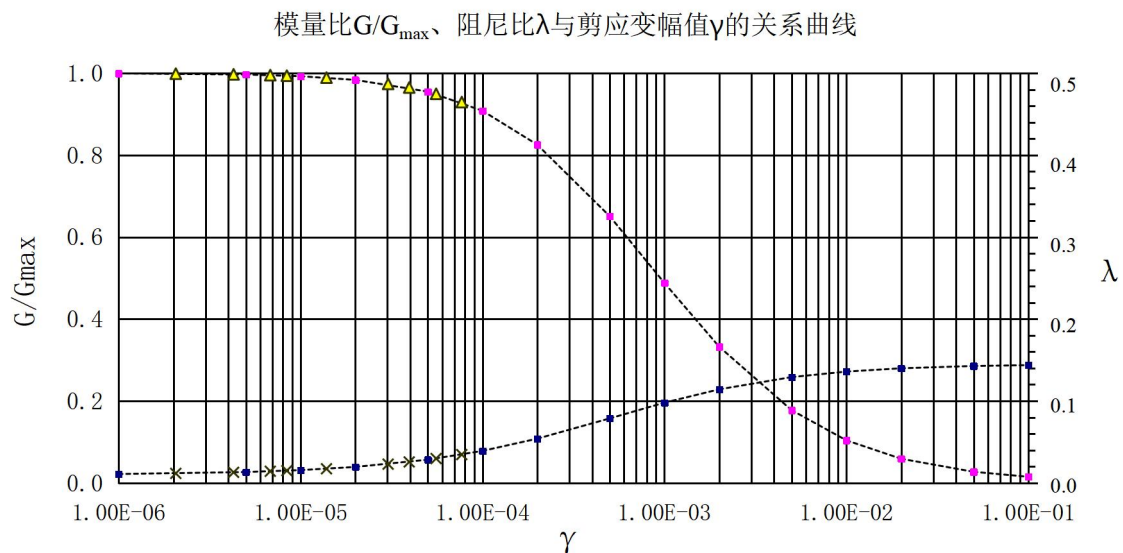
ZK9-2 (10.00-10.20)	G19		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.995	0.989	0.938	0.877	0.579	0.414	0.137	0.078
λ	0.0130	0.0158	0.0319	0.0462	0.0986	0.1226	0.1589	0.1662



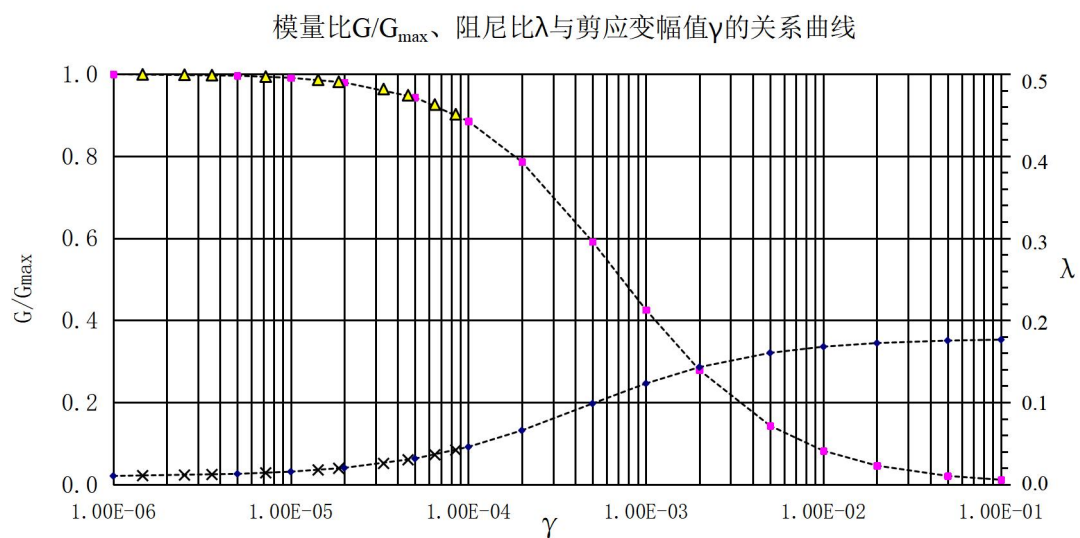
ZK9-4 (20.00-20.20)	G20		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.987	0.934	0.874	0.582	0.417	0.136	0.076
λ	0.0160	0.0196	0.0375	0.0516	0.0993	0.1204	0.1517	0.1579



ZK9-6 (27.00-27.20)	G21		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.993	0.955	0.908	0.651	0.488	0.177	0.104
λ	0.0132	0.0156	0.0283	0.0390	0.0787	0.0979	0.1291	0.1358



ZK11-2 (10.00-10.20)	G22		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.991	0.943	0.885	0.592	0.426	0.143	0.082
λ	0.0128	0.0155	0.0314	0.0457	0.0985	0.1230	0.1602	0.1678

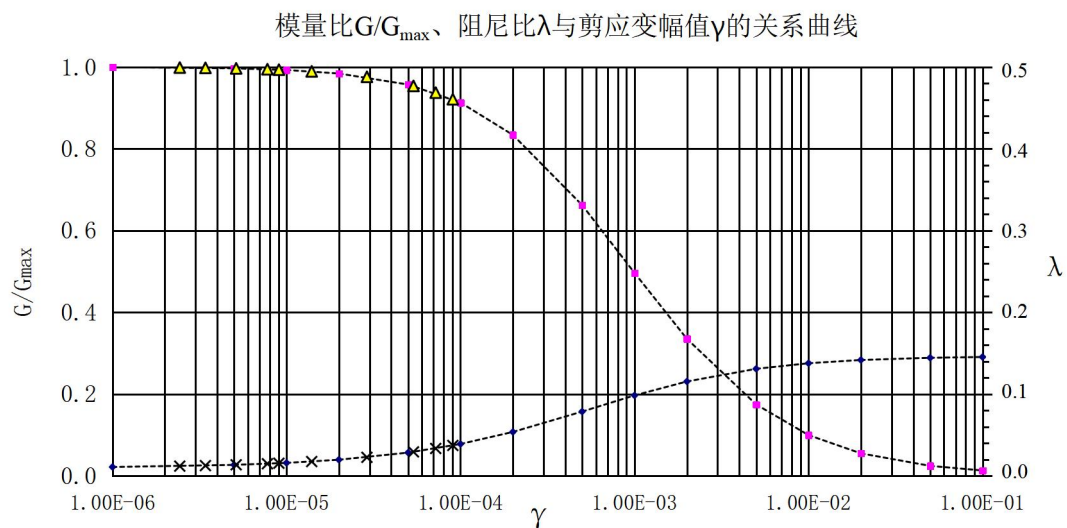


ZK11-5 (25.00-25.20)

G23

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.997	0.993	0.957	0.913	0.662	0.496	0.174	0.099
λ	0.0133	0.0157	0.0283	0.0388	0.0785	0.0983	0.1308	0.1376

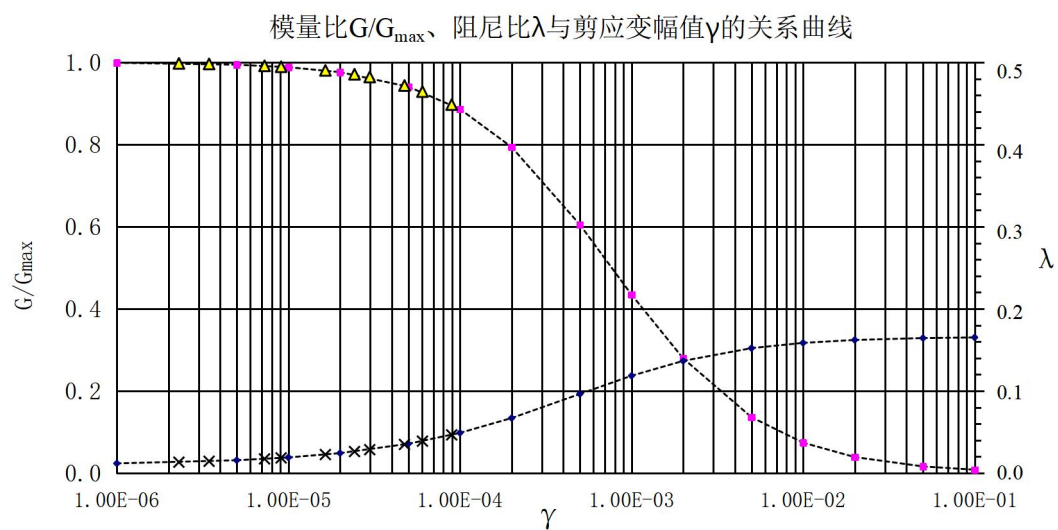


ZK13-4 (20.00-20.20)

G24

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.994	0.988	0.941	0.886	0.605	0.435	0.136	0.074
λ	0.0157	0.0191	0.0357	0.0490	0.0964	0.1185	0.1521	0.1586

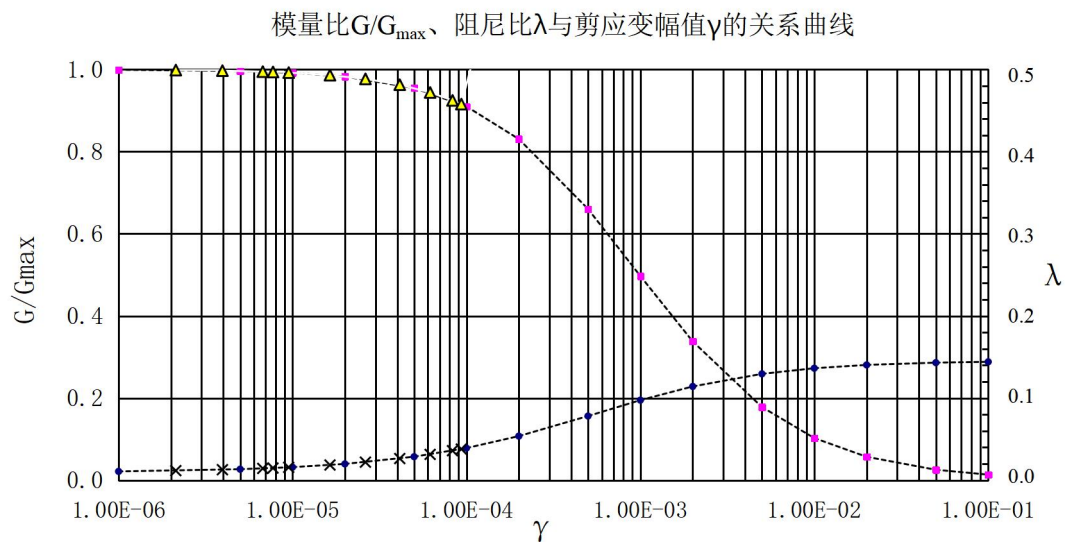


ZK13-5 (25.00-25.20)

G25

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.996	0.992	0.955	0.910	0.661	0.497	0.178	0.103
λ	0.0135	0.0160	0.0287	0.0392	0.0782	0.0975	0.1295	0.1364

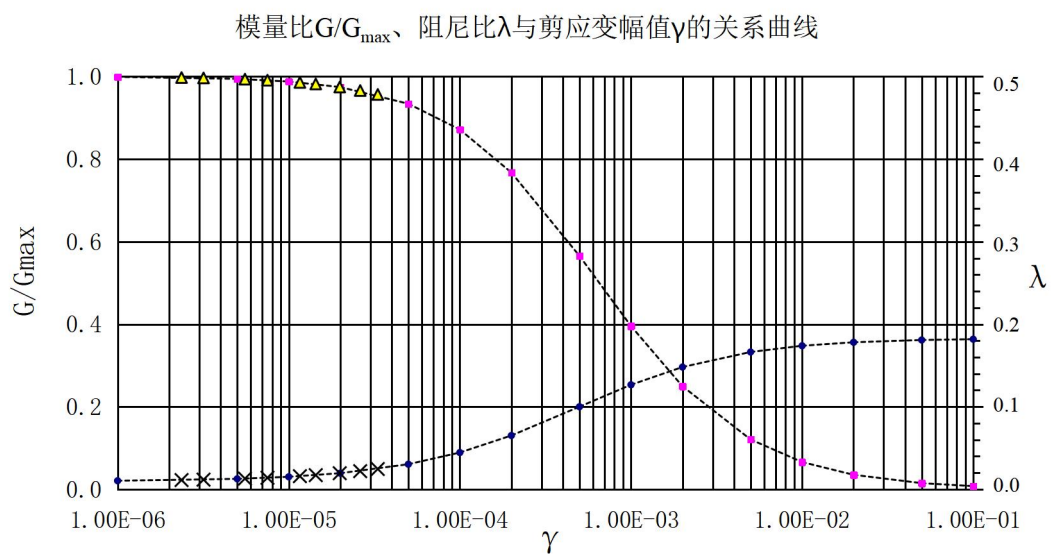


ZK15-1 (5.00-5.20)

G26

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.988	0.934	0.872	0.565	0.396	0.121	0.066
λ	0.0127	0.0152	0.0304	0.0446	0.1001	0.1266	0.1663	0.1739

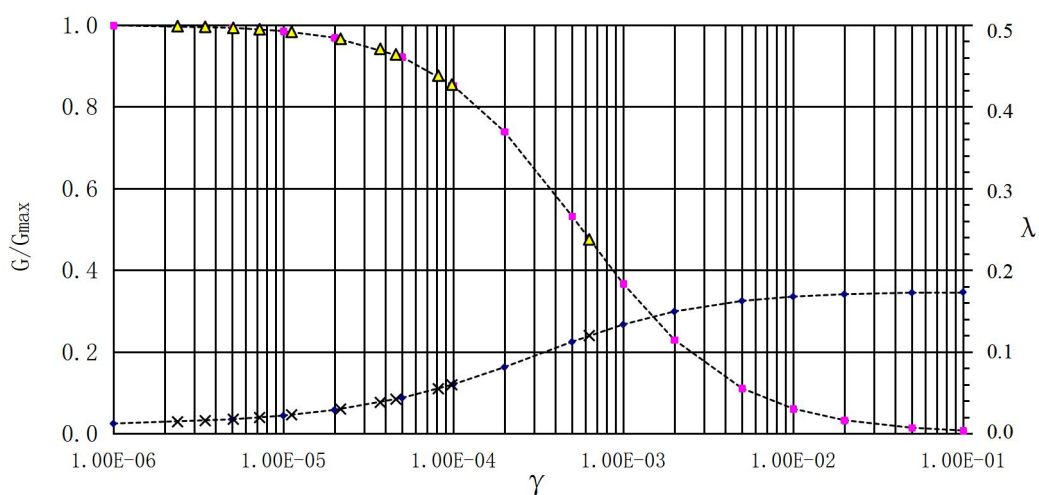


ZK15-2 (10.00-10.20)

G27

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.993	0.985	0.921	0.851	0.532	0.367	0.111	0.061
λ	0.0173	0.0219	0.0435	0.0600	0.1122	0.1333	0.1622	0.1675

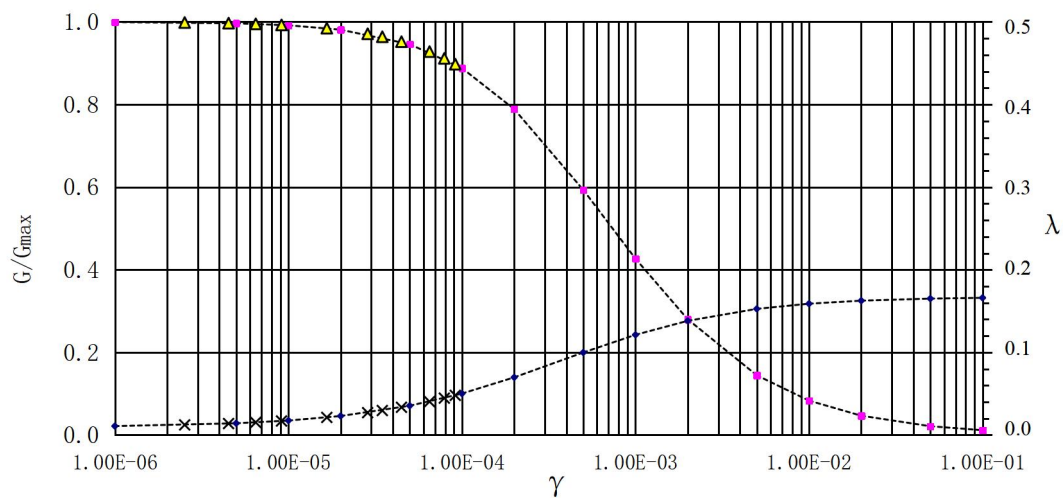
模量比 G/G_{max} 、阻尼比 λ 与剪应变幅值 γ 的关系曲线

ZK15-5 (25.00-25.20)

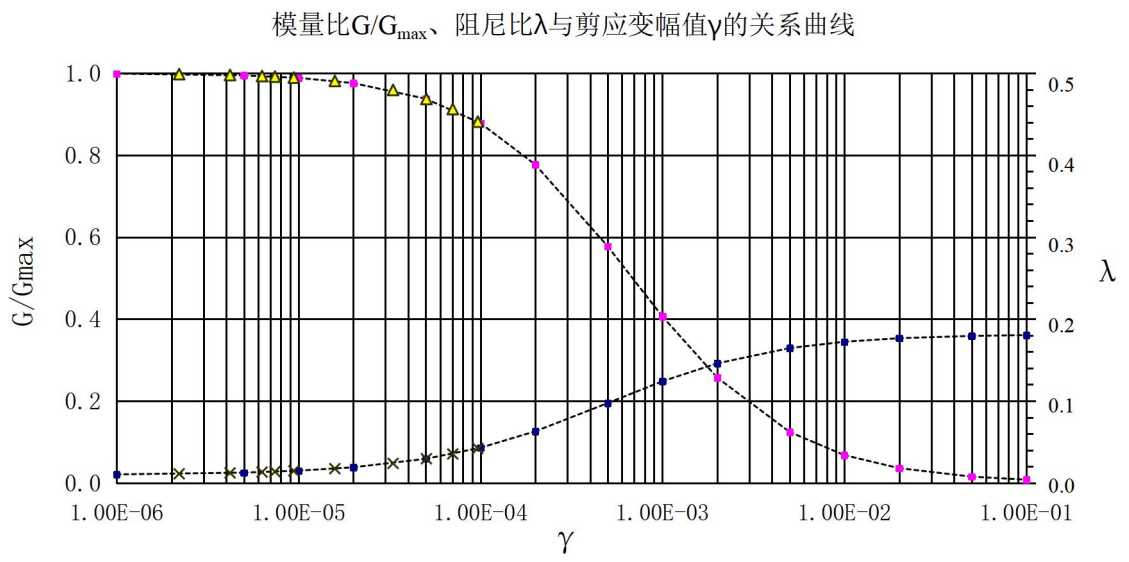
G28

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

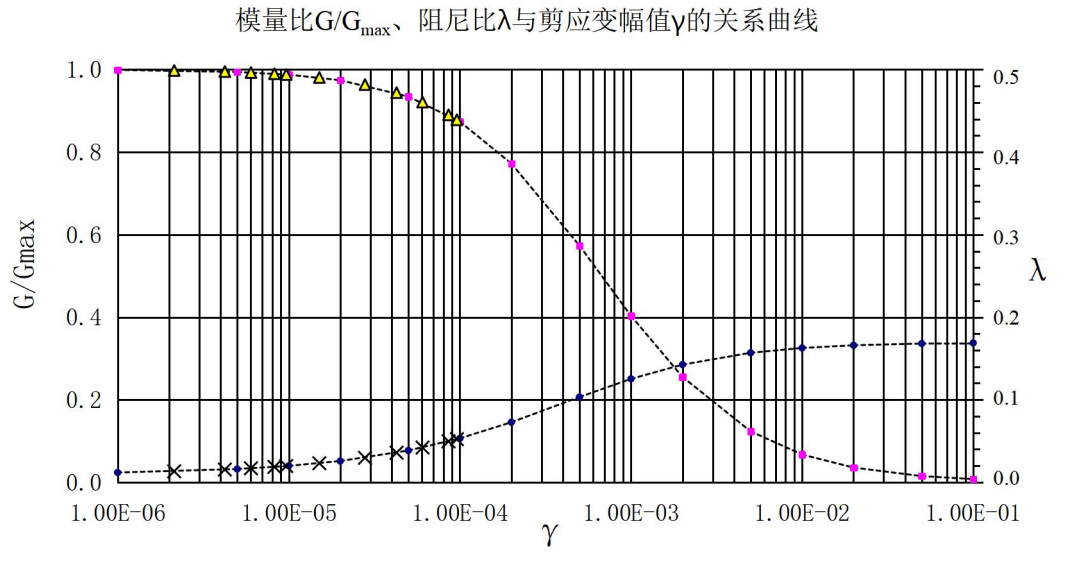
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.992	0.946	0.888	0.594	0.427	0.145	0.083
λ	0.0142	0.0175	0.0354	0.0502	0.0999	0.1213	0.1527	0.1590

模量比 G/G_{max} 、阻尼比 λ 与剪应变幅值 γ 的关系曲线

ZK16-1 (5.00-5.20)	G29		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.995	0.989	0.938	0.878	0.577	0.406	0.124	0.068
λ	0.0125	0.0149	0.0293	0.0429	0.0973	0.1240	0.1645	0.1723



ZK16-3 (15.00-15.20)	G30		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.987	0.934	0.874	0.573	0.403	0.124	0.067
λ	0.0162	0.0199	0.0386	0.0533	0.1033	0.1253	0.1569	0.1628

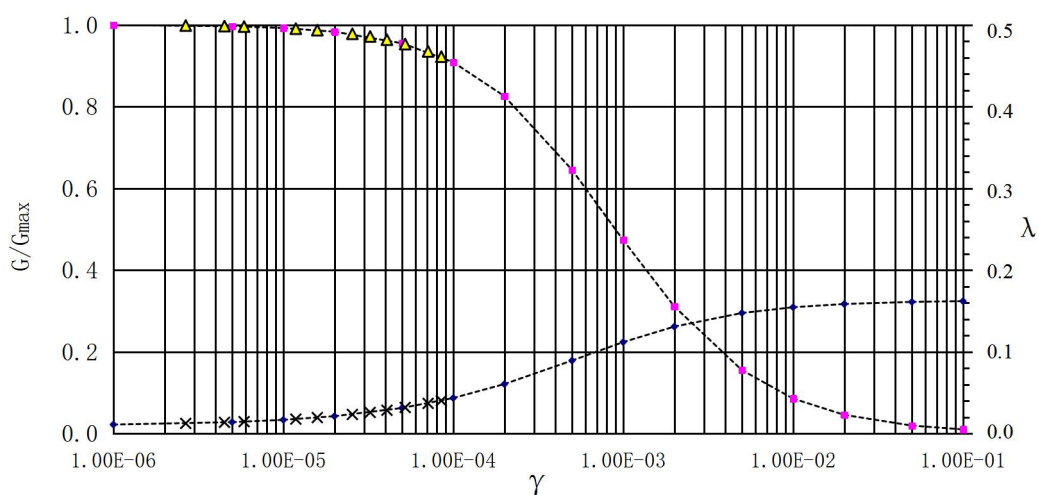


ZK16-5 (25.00-25.20)

G31

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.996	0.992	0.955	0.909	0.645	0.474	0.155	0.085
λ	0.0139	0.0167	0.0312	0.0434	0.0892	0.1118	0.1474	0.1545

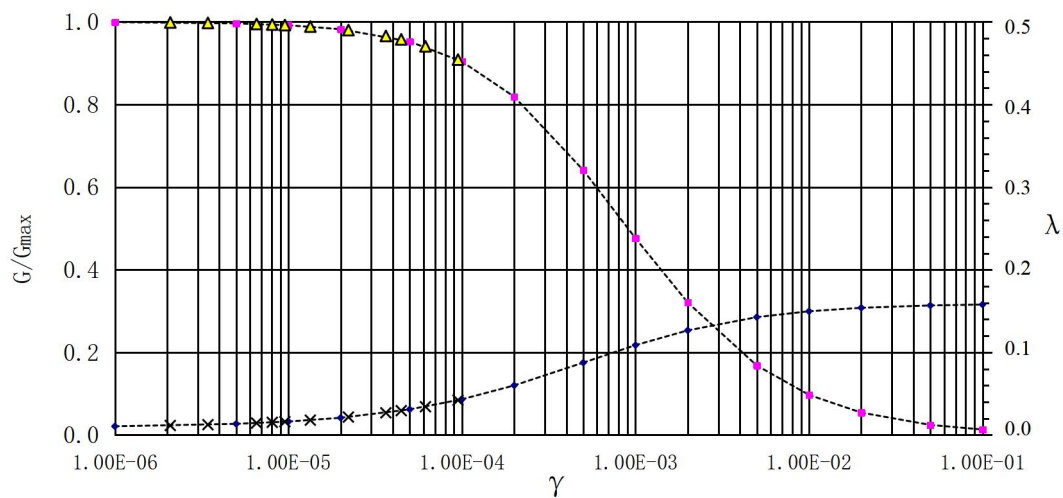
模量比 G/G_{\max} 、阻尼比 λ 与剪应变幅值 γ 的关系曲线

ZK16-7 (35.00-35.20)

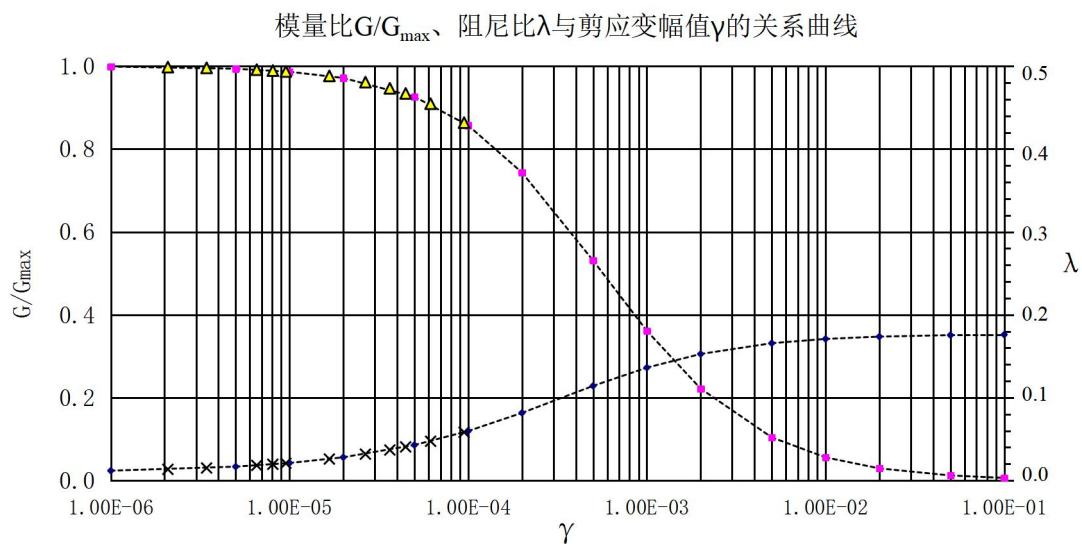
G32

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

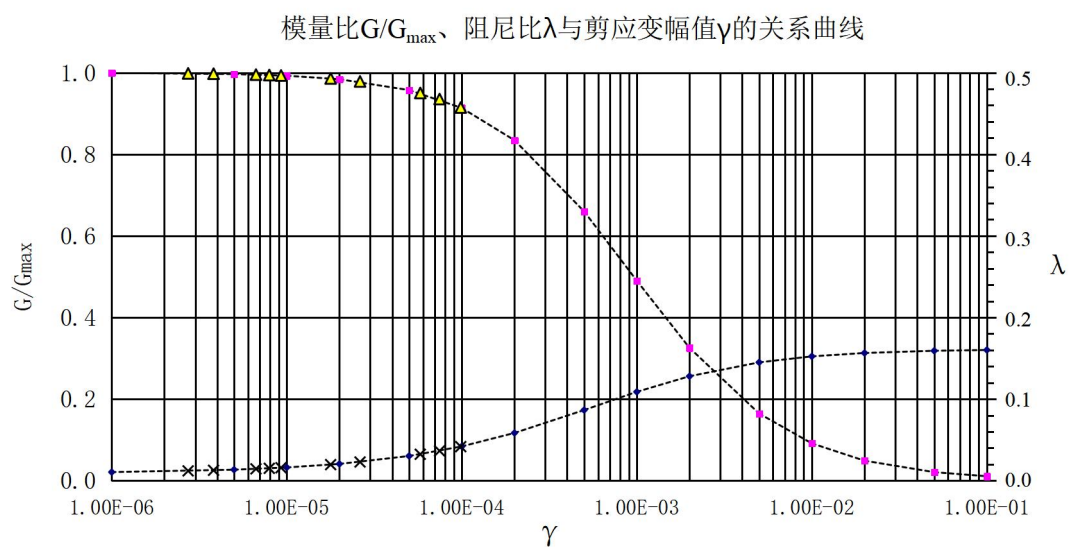
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.996	0.992	0.952	0.904	0.641	0.476	0.168	0.097
λ	0.0135	0.0163	0.0310	0.0432	0.0876	0.1088	0.1427	0.1498

模量比 G/G_{\max} 、阻尼比 λ 与剪应变幅值 γ 的关系曲线

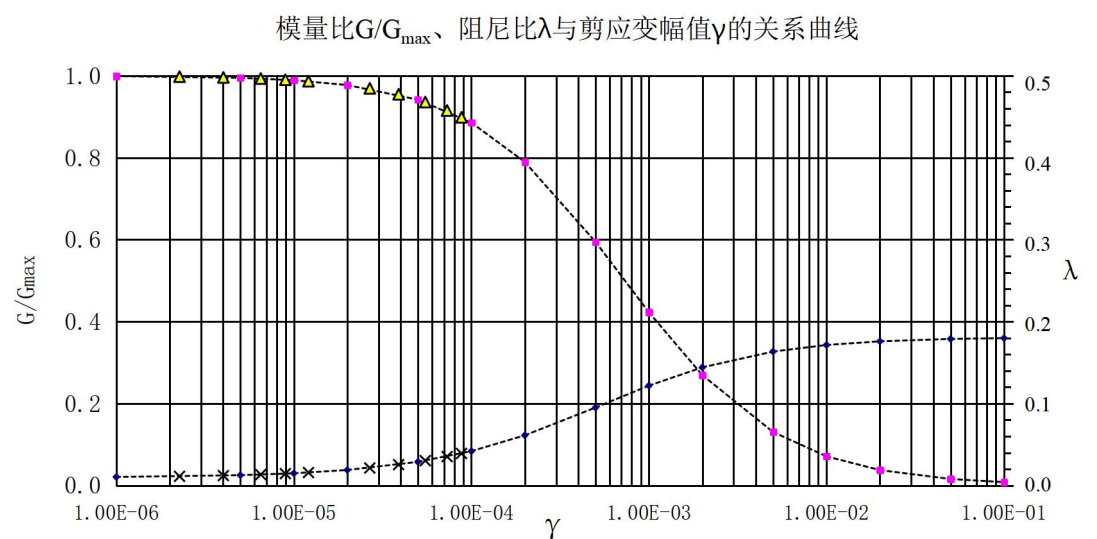
ZK20-2 (10.00-10.20)	G33		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.994	0.986	0.926	0.857	0.531	0.361	0.104	0.056
λ	0.0168	0.0212	0.0428	0.0597	0.1142	0.1362	0.1657	0.1709



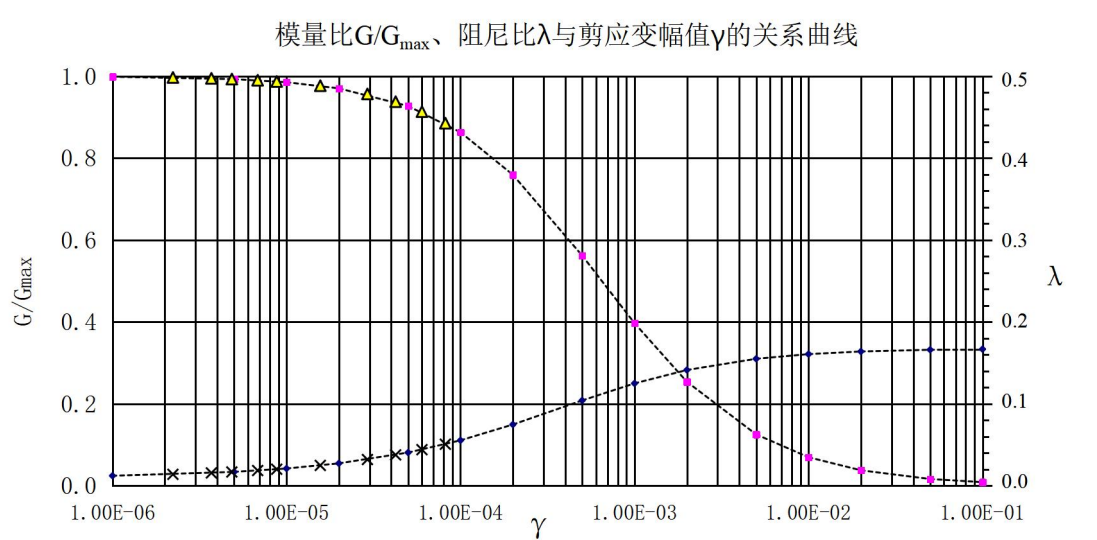
ZK20-6 (30.00-30.20)	G34		动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表					
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.997	0.993	0.957	0.914	0.660	0.490	0.165	0.091
λ	0.0135	0.0162	0.0303	0.0420	0.0866	0.1089	0.1450	0.1523



ZK21-1 (5.00-5.20)	G35 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表							
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.995	0.989	0.942	0.886	0.595	0.423	0.131	0.071
λ	0.0126	0.0149	0.0288	0.0419	0.0950	0.1218	0.1634	0.1715



ZK21-3 (15.00-15.20)	G36 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表							
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{max}	0.993	0.985	0.927	0.863	0.562	0.397	0.125	0.069
λ	0.0169	0.0210	0.0405	0.0554	0.1040	0.1249	0.1549	0.1606

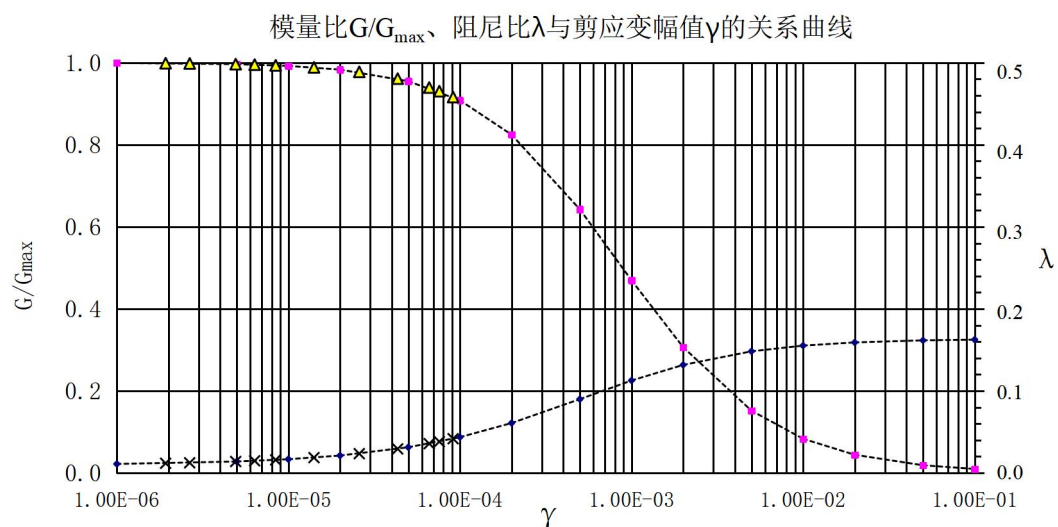


ZK21-5 (25.00-25.20)

G37

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.996	0.992	0.955	0.908	0.643	0.470	0.152	0.083
λ	0.0139	0.0167	0.0312	0.0435	0.0899	0.1126	0.1482	0.1552

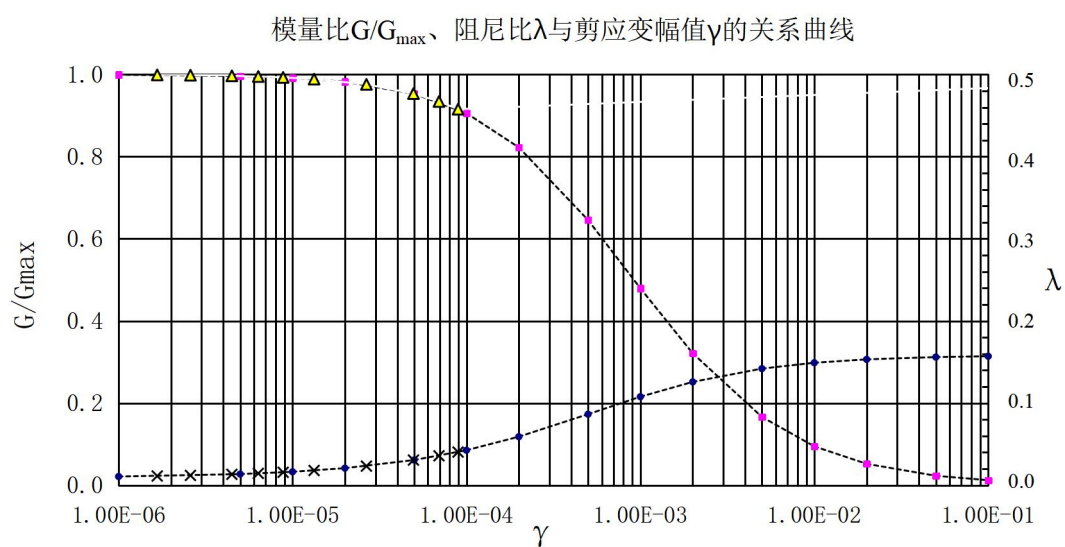


ZK21-7 (35.00-35.20)

G38

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.996	0.992	0.953	0.906	0.646	0.479	0.166	0.095
λ	0.0136	0.0164	0.0307	0.0426	0.0864	0.1078	0.1420	0.1491

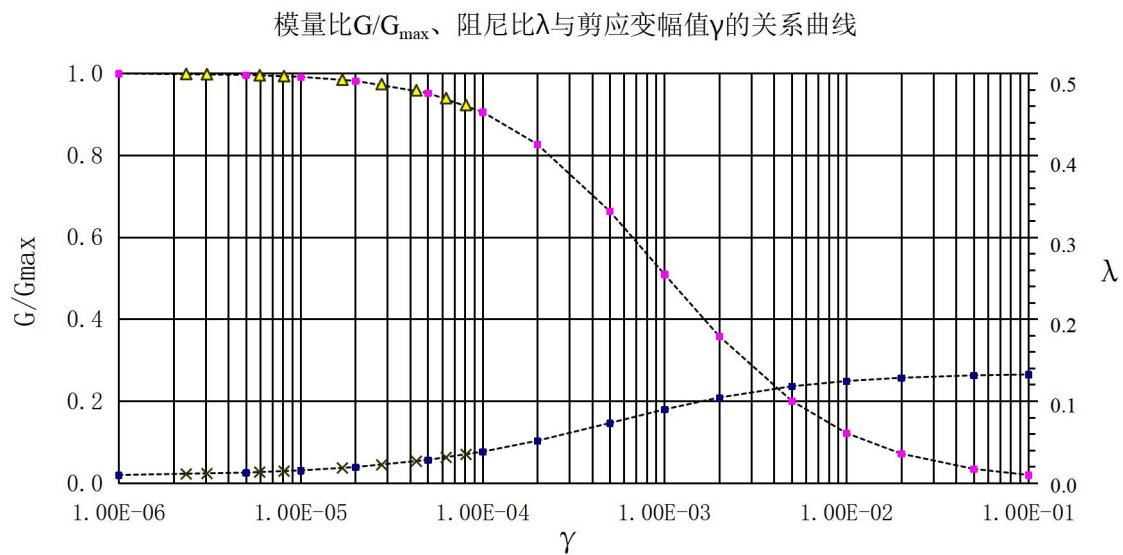


ZK21-8 (40.00-40.20)

G39

动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.996	0.991	0.952	0.906	0.663	0.509	0.200	0.122
λ	0.0126	0.0152	0.0280	0.0380	0.0730	0.0897	0.1178	0.1243



附件 3

连云港高新技术产业开发区 区域性地震安全性评价 浅层人工地震报告

技术负责：李正材

报告编写：梁家伟

校 对：丁勇

审 核：杨志



长春骄鹏地质仪器技术服务有限公司

二〇二二年十一月

目 录

1 前言	1
2 目标任务	1
2.1 工作目标任务	1
2.2 执行的技术标准	1
3. 工作方法技术	1
3.1 方法原理	1
3.2 仪器设备	3
3.3 测量工作	3
3.4 测线位置及完成工作量	3
3.3 浅层地震野外工作	4
3.4 综合地质解译	6
4 质量保证	7
5 工作成果及地质解译	7
5.1 地层结构划分及断点异常判别依据	7
5.2 工作成果及地质解译	8
6 结论	22

1 前言

受徐州天地岩土科技有限公司委托,我方承担了连云港高新技术产业开发区区域性地震安全性评价项目物探工作。本次浅层地震勘探的主要任务是查明工程场地区域是否存在隐伏活动断裂通过,如存在,则查明断裂的空间位置、产状。

我方于 2022 年 10 月 28 日~11 月 17 日进行野外数据采集,根据甲方设计要求结合实际工作环境情况,本次工作完成浅层地震勘探测线 6 条,测线总长 18568 m,具体测线位置见图 3-3。

2 目标任务

2.1 工作目标任务

采用人工地震勘探查明目标区可能存在的隐伏断裂的位置、产状、性质及错断地层层位,为场地地震安全性评价提供基础资料。

2.2 执行的技术标准

(1) DZ/T 0170-2021《浅层地震勘查技术规范》

(2) GB/T 36072-2018《活动断层探测》

3 工作方法技术

3.1 方法原理

地震反射波法利用地下介质物性差异界面上的地震反射波的运动学和动力学特征,探测地层或岩体的埋深及其速度结构,在油气、矿产资源及深部结构探测中得到了广泛而有效的应用,尤其是在断裂的探测方面起着重要作用。

如图 3-1 所示,分别在测线上不同位置的 O1、O2、O3,.....等处进行激发,在相应的接收点 S1、S2、S3.....等处接收来自地下反射界面 R 上同一点 A 的反射波,A 点称为共反射点或共深度点(CDP),M 称为共中心点(CMP),S1、S2、S3.....叫做共反射点(CDP)叠加道,相应的旅行时为 t1、t2、t3.....。共深度点叠加道的集合叫做共深度点道集。根据附图 3-1 所示的简单几何关系,可求得共深度点叠加道集内反射波的时距曲线方程为:

$$t_k = \frac{1}{V} \sqrt{4H^2 + X_k^2} \quad (3-1)$$

式中, X_k 为炮检距, H 为界面埋深, V 为层速度。当 $X_k=0$ 时, $t_0=2H/V$, 是共中心点 M 处的法线旅行时。

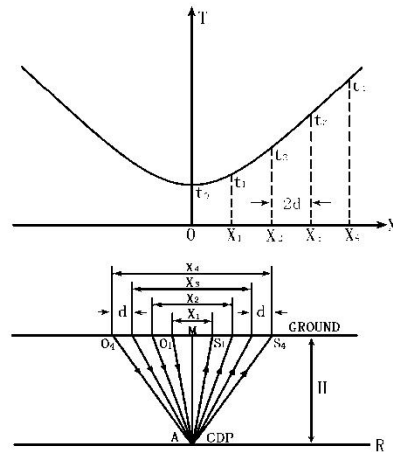


图 3-1 共反射点探测原理图

在共反射点叠加中，各叠加道中的第一个炮间距（ X_1 ）称为最小偏移距，相邻炮点的间距叫做炮点距（ d ），则叠加道间距为 $2d$ 。在水平层状均匀介质条件下，共反射点时距曲线与共炮点反射波时距曲线是类似的，区别在于共炮点反射波时距曲线反映的是来自地下反射界面上的一段，而共反射点时距曲线仅反映来自地下反射界面上的一个点。由共炮点反射波时距曲线方程可以得到共反射点时距曲线方程的正常时差为：

$$\Delta t_k = t_k - t_0 = \sqrt{\left(\frac{X_k}{V}\right)^2 + t_0^2} - t_0 \quad (3-2)$$

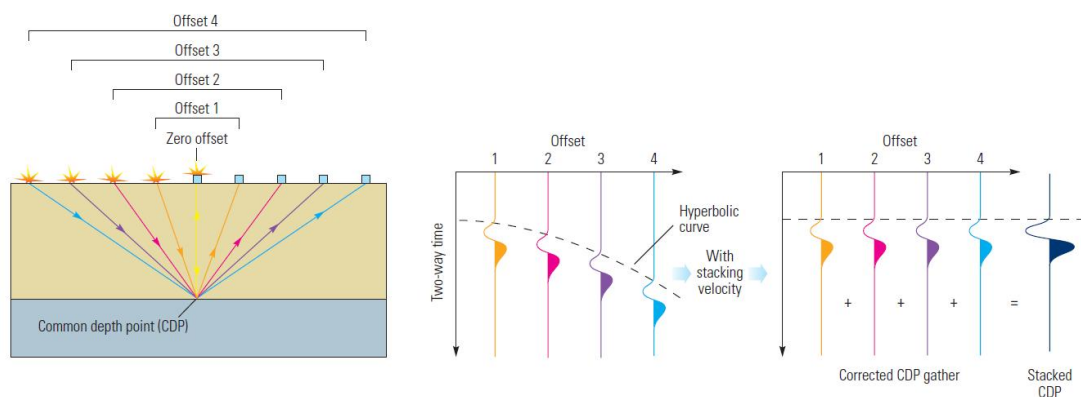


图 3-2 共反射点叠加示意图

因此，在数据处理时，经过动校正(即正常时差校正)之后，双曲线型的共反射点时距曲线被校正为一条直线，然后进行多次叠加，便得到了能量增强后的相当于在 M 点处自激自收的反射信号（图 3-2），将测线上多个测点的数据用上述方法处理后就得到一组反映各点自激自收信息的叠加时间剖面。该方法对于压制干扰波、提高信噪比有明显的效果。地震反射波法可以直观地反映出地层界面的起伏变化，对于探测地下隐伏断层、空洞及非均匀异常体十分有效。

3.2 仪器设备

- ①、地震仪：SE863 分布式地震勘探数据采集系统。
- ②、震 源：GeoPen 公司生产的 LVIB-15 可控震源。
- ③、检波器：重庆地质仪器厂生产的 CDJ-100 型 100 Hz 三串检波器

3.3 测量工作

本次野外施工的测量定位工作采用 GPS 定位。所有勘探测线的测点均采用 GPS 定位仪定位。

3.4 测线位置及完成工作量

为考虑浅层地震勘探效果，经实地踏勘，测线分别布设在开发区四周，能够基本控制可能通过该项目场地的断层。实际完成浅层地震勘探测线 6 条，剖面总计 18568 m，测线的具体坐标见表 3-1，位置见图 3-3。

表 3-1 测线端点坐标及工作量一览表

测线号	起点经纬度 (°)		终点经纬度 (°)		完成长度 (m)	测线 方向
	L	B	L	B		
L1	119.2044	34.5547	119.2100	34.5343	2382	SSE
L2	119.2187	34.5527	119.2228	34.5340	2158	SSE
L3	119.2504	34.5587	119.2588	34.5204	4506	SSE
L4	119.2206	34.5171	119.2211	34.5063	1134	SSE
L5	119.1996	34.5618	119.2199	34.5631	1878	NEE
L6	119.1910	34.5303	119.2629	34.5437	6510	NEE
合计	-	-	-	-	18568	-

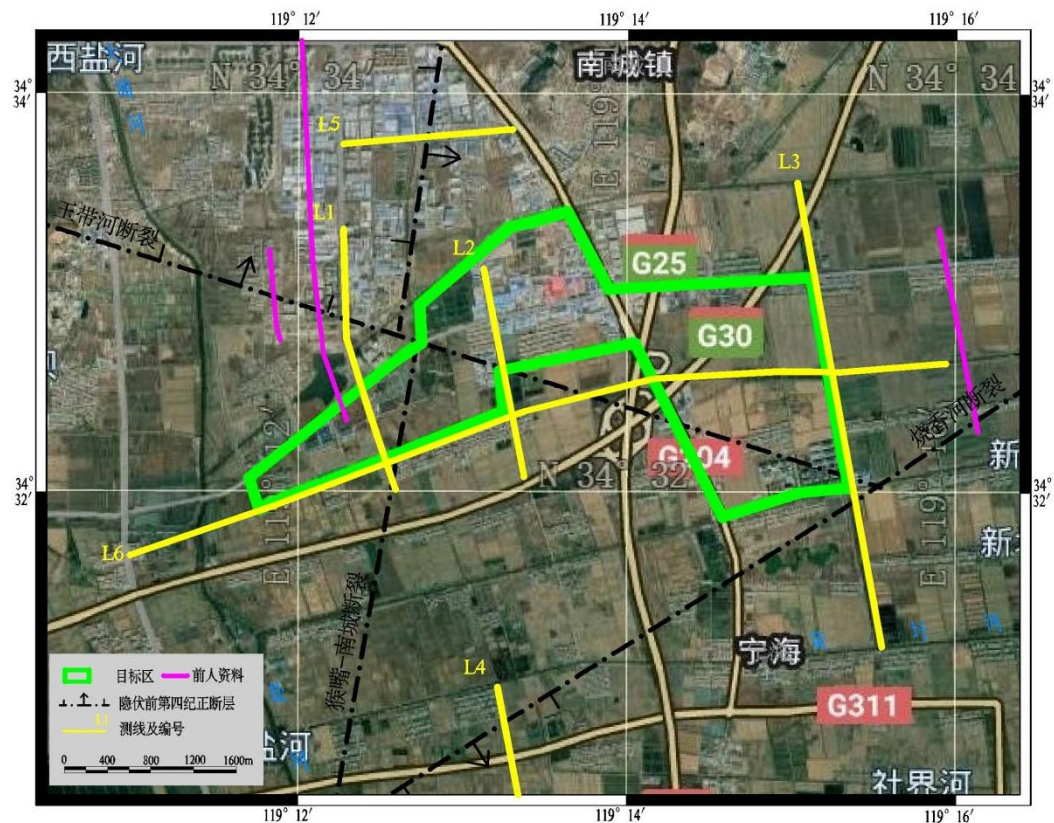


图 3-3 测线位置示意图

3.5 浅层地震野外工作

本次震勘探采用纵波反射波法，观测方式采用多次覆盖滚动采集。

3.5.1 观测系统

为了获得适合于测区浅层地震勘探的工作参数，在全面进行地震条件调查的基础上，选择代表性的地段进行现场试验工作，根据地震波场调查结果结合当地物探工作经验，确定最终观测系统参数为：

道距 2 m，80 道接收，10 次覆盖，记录长度 1s。震源采用液压伺服可控震源。首先在测线 6 进行了地震波场调果，确定最佳采集窗口。其中典型单炮原始记录见图 3-4。从单炮记录上看，有两组明显反射波组，深部 200 ms 处的反射波已有效避开了声波和面波。

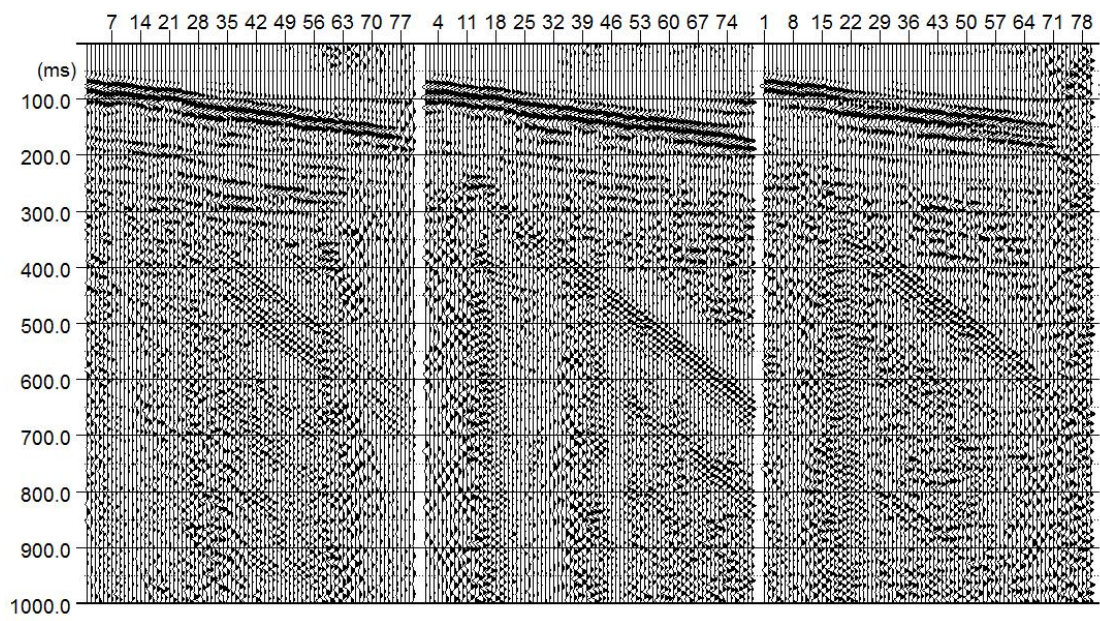
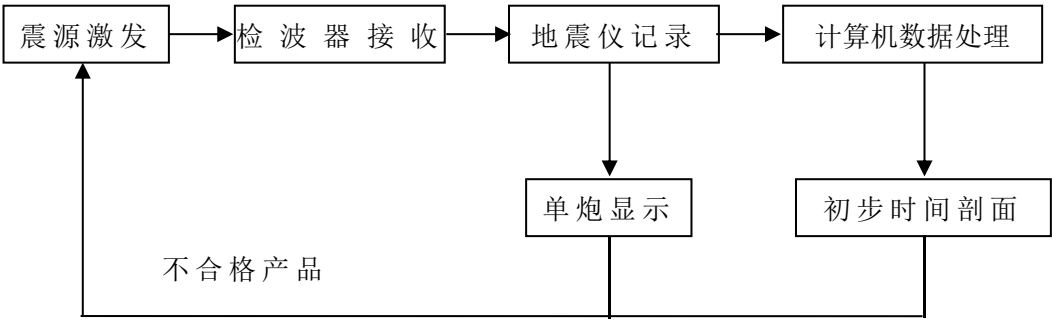


图 3-4 典型单炮原始记录

3.5.2 地震数据采集

地震数据采集工作流程为：



本次地震勘探难点在于测线临路，干扰较大，在进行数据采集时严格控制数据质量，尽量避开过往车辆，对于不合格的数据进行重复采集直至数据合格为止。

3.5.3 地震数据处理

地震数据处理主要包括：频谱分析、滤波、速度分析、剩余静校、动校正叠加处理等，形成反射地震时间剖面图，作为外业质量监控及成果解译用。具体流程见图 3-5。

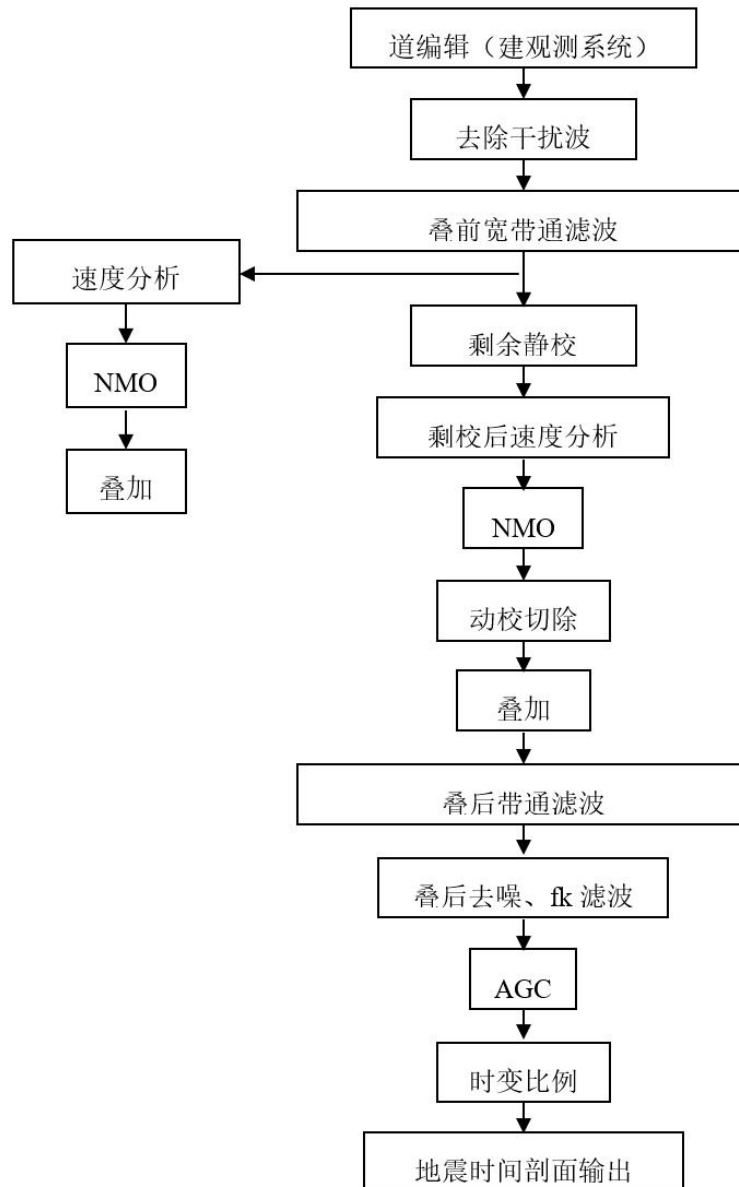


图 3-5 地震资料处理流程图

3.6 综合地质解译

在充分收集与本项目有关的地质、钻探及其它物探资料的基础上，结合本次资料，进行覆盖层分层、推断是否存在断裂。

反射波法解译的原则是运用波组对比追踪，认真进行有效波的反射相位对比和同相轴追踪。在反射同相轴明显的区域标定反射波，根据数据处理时的叠加速度，计算地层层速度以及平均速度并进行时-深换算，结合地震时-深转换剖面，参考钻探资料和地质资料进行标定、修正，绘制解译剖面图。在没有稳定反射界面区域的解译方法是分析局部反射波形特征，对反射波的振幅、频率、相位变化进行分析，确定地质特征，绘制解译剖面。在分析顺序上，先对信噪比较高的基岩反射相位连续追踪，再对覆盖层内反射相位尽可能进行识别、对比、分析，力

求连续、准确。

4 质量保证

本次质保工作的目的是使本项目实施的全过程严格处于质量监控之下，按有关规范要求高质量地完成任务。项目实施全过程以“质量第一”为原则，给予质保人员以“质量否决权”。为保证本次工作在有目标的监控下完成，对重要的工作流程建立质量监控点，主要由质保人员负责。即在完成一个工序后，由质保人员检查认可后，再进入下一个工序的工作，部分重要质量监控点由外部监控完成。

5 工作成果及地质解译

5.1 地层结构划分及断点异常判别依据

5.1.1 地层结构的划分

据区域地质资料，区内覆盖层为第四系（Q），主要为粉土、粉质黏土，局部地段见粗砂。下伏基岩地层构成较好的反射界面。

经地震时间剖面图对比分析，认为存在 2 组较明显的反射波组，结合区域地质资料，反射波组可划分出 3 个物性层，地震层序与地层结构关系列于表 5-1。

表 5-1 地震层序-地层结构对应表

地层	地震反射波组	推断的主要岩性
第四系（Q）		杂填土、粉质黏土、粗砂
基岩（P _t ）	T ₁	片麻岩
基岩（P _t ）	T ₂	片麻岩

5.1.2 断点异常判别依据

断点异常主要是根据地震时间剖面中有效反射相位特点判别，其判别依据为：

- （1）有效反射相位出现明显扭曲及局部缺失或能量减弱；
- （2）有效反射相位存在明显落差、突变或发育绕射波；
- （3）有效反射相位特征出现明显不同或增减、分叉、合并等异常情况；
- （4）覆盖层内出现上述有效反射相位异常特征时，表明该断点已断至该界面。

5.2 工作成果及地质解译

5.2.1 测线 L1 成果及地质解译

测线 L1 呈南南东向布设（图 3-3），剖面长 2382 m。

图 5-1 是测线 L1 地震时间剖面及解译剖面图，由图可见，存在 1 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 2 个物性层。

各物性层详述如下：

（1）第一物性层

推断 T_1 为基岩反射顶面，第一特性层为 T_1 反射界面之上部分，层厚基本水平，层厚 29 m~40 m，层速度约为 1556 m/s。据场地地质资料，推测该层为第四系（Q）杂填土、粉质黏土层、粗砂。

（2）第二物性层

推断 T_1 为基岩顶面反射，根据区域地质资料及钻孔资料，推断物性层为（ P_1 ）片麻岩，该反射层近水平层状，埋深 29 m~40 m。在 870 m 里程处，反射波波组出现明显的扰动，并在该里程两侧深部反射波具有明显不同的特征，其中小桩号方向深部基本无明显反射层位，而大桩号方向，深部地层有近似层状的反射波组。据此推断在该里程处存在一处断裂构造，根据基岩反射 T_1 的变化趋势，推断该断层为视倾向 N 的正断层，断层视倾角 75° ，断点埋深 40 m，上覆基岩顶面反射波组（ T_1 ）连续，未见断错现象，说明断裂应该没有断错基岩顶面，为基岩内部断裂。

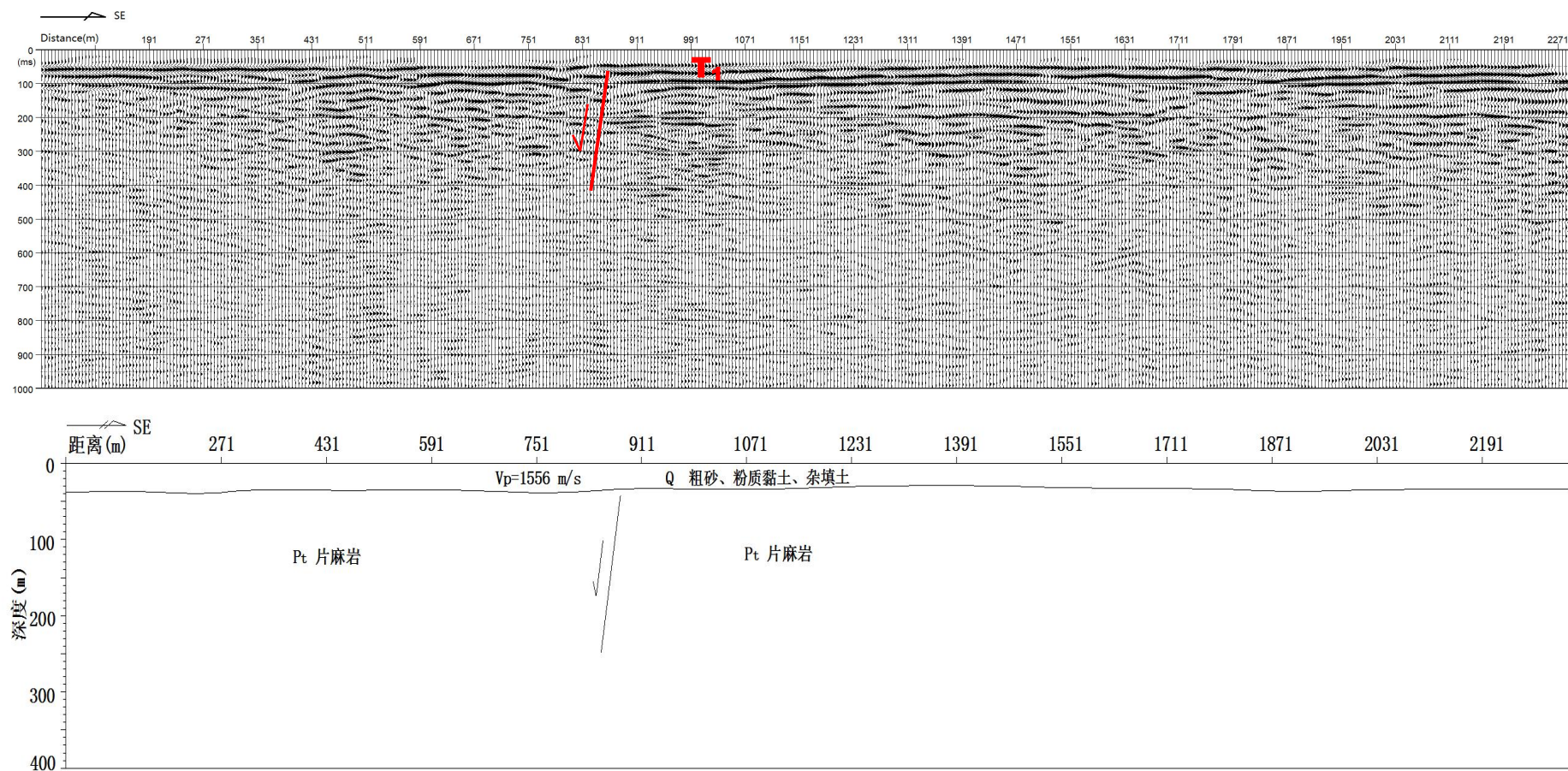


图 5-1 测线 L1 地震时间剖面及地质解译成果图

5.2.2 测线 L2 成果及地质解译

测线 L2 呈南东向布设（图 3-3），剖面长 2158 m。

图 5-2 是测线 L2 地震时间剖面及解译剖面图，由图可见，存在 2 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 3 个物性层。

各物性层详述如下：

（1）第一物性层

推断 T_1 为基岩反射顶面，第一特性层为 T_1 反射界面之上部分，层厚基本水平，层厚 36 m~43 m，层速度约为 1450 m/s。据场地地质资料，推测该层为第四系（Q）杂填土、粉质黏土层、粗砂。

（2）第二物性层

该层为 T_1 和 T_2 反射界面之间部分，该层推断为基岩内部的某一反射层，该层近水平层状，层厚 66 m~77 m，层速度约为 3910 m/s。据场地相关地质资料，推测该层为基岩（Pt）片麻岩。

（3）第三物性层

推断 T_2 为基岩内部反射。该反射层近水平层状，埋深 109 m~117 m。从探测结果（图 5-2）可知，在里程 1800 m 处，该组反射发生了错动，并且顶部基岩反射层受到扰动但顶界面未错动，据此推断该处为一基岩内部断裂，根据 T_2 错动方向推断该断裂为正断层，上断点埋深 45 m，视倾角 73° ，视倾向 N，断距约 7 m。上覆基岩顶面反射波组（ T_1 ）似有扰动， T_1 上覆地层反射同相轴连续，没有断错现象，并且该测线 L1 距离较近，综合测线 L1 说明断裂应该没有断错基岩顶面，为基岩内部断裂。推断与测线 L1 为同一断裂。

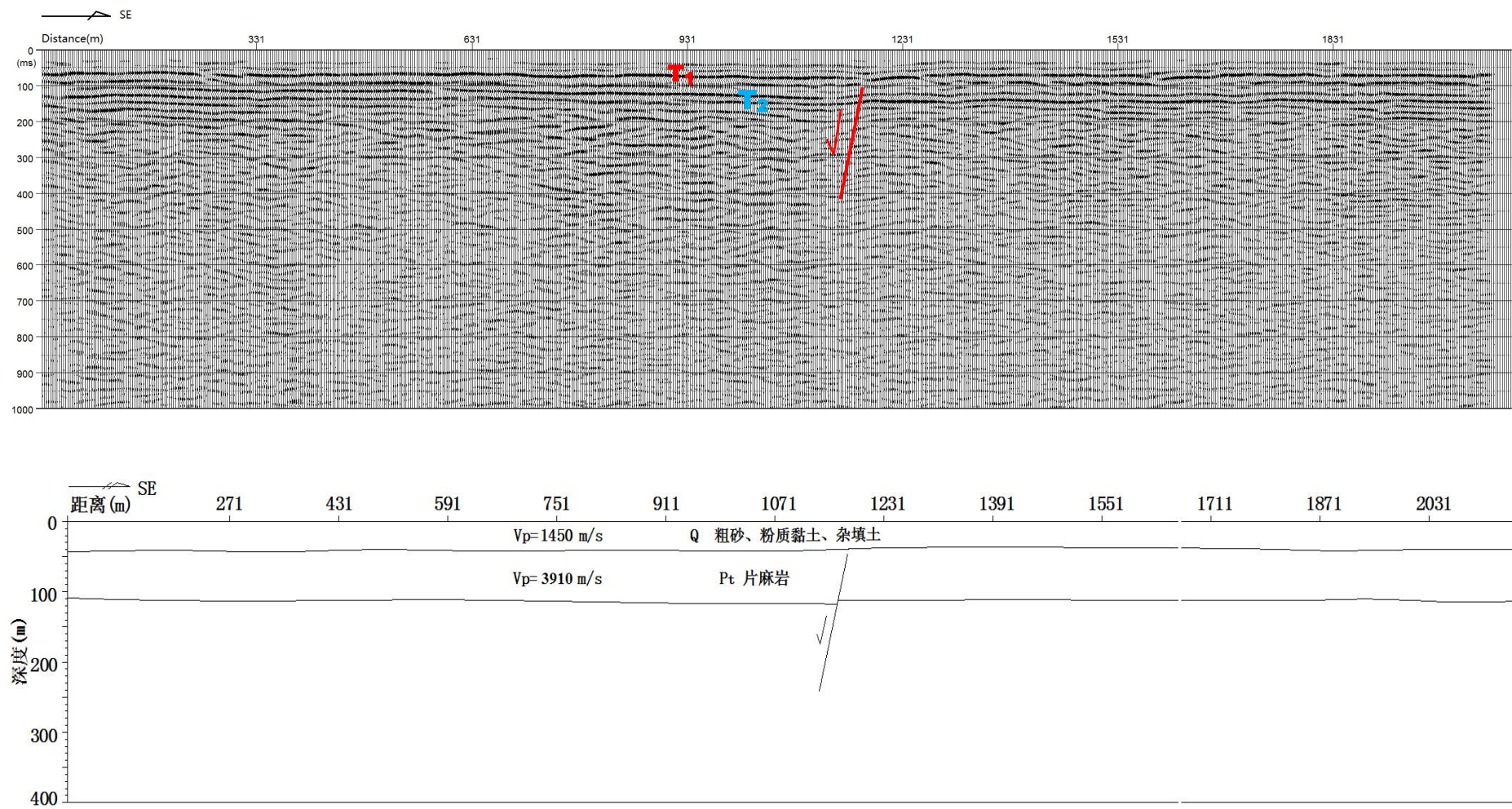


图 5-2 测线 L2 地震时间剖面及地质解译成果图

5.2.3 测线 L3 成果及地质解译

测线 L3 呈南南东向布设（图 3-3），剖面长 4506 m。

图 5-3 是测线 L3 地震时间剖面及解译剖面图，由图可见，存在 2 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 3 个物性层。

各物性层详述如下：

（1）第一物性层

推断 T_1 为基岩反射顶面，第一特性层为 T_1 反射界面之上部分，界面基本水平，层厚 32 m~78 m，层速度约为 1456 m/s。据场地地质资料，推测该层为第四系（Q）杂填土、粉质黏土层、粗砂。

（2）第二物性层

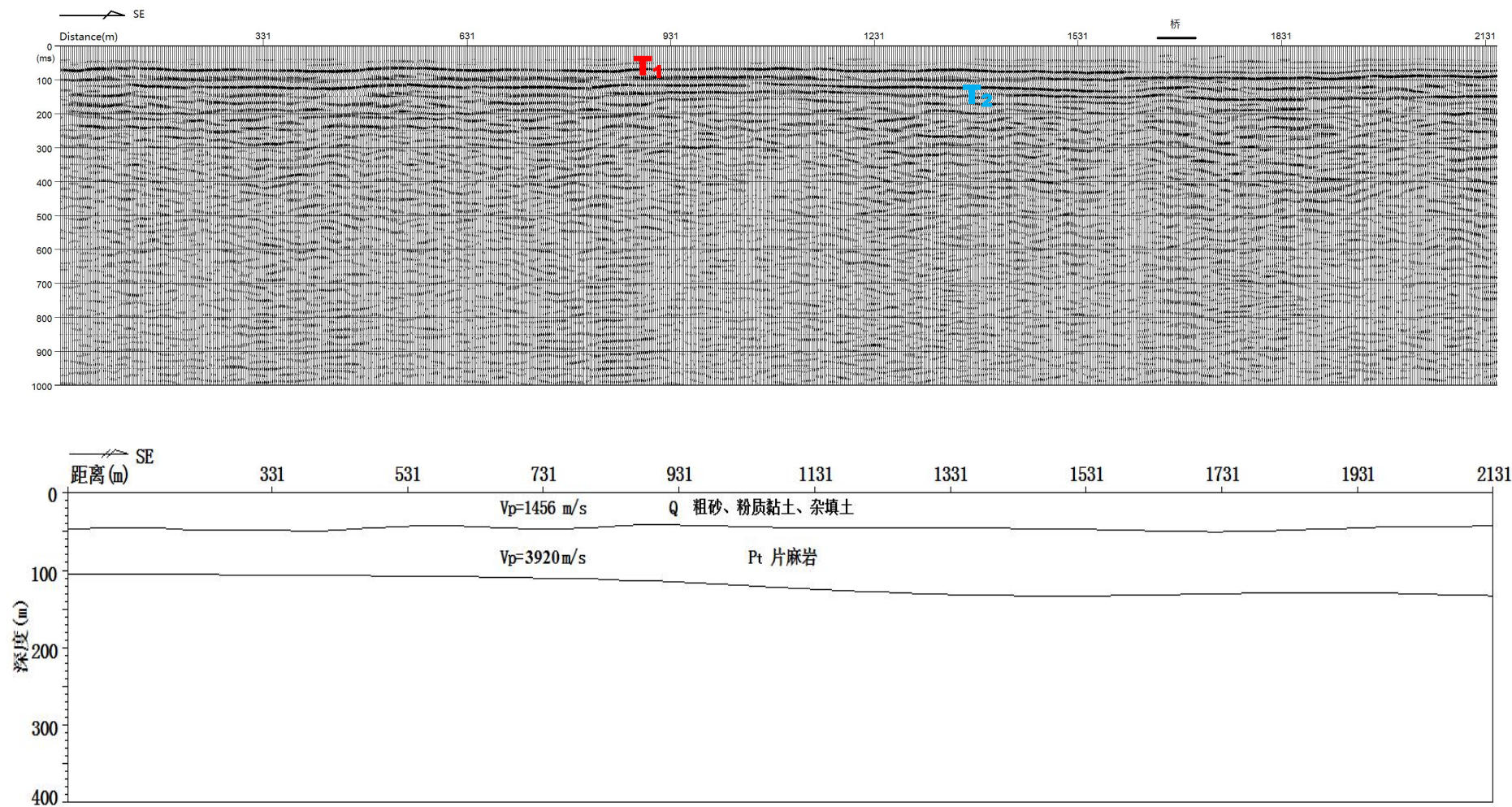
该层为 T_1 和 T_2 反射界面之间部分，为基岩内部反射，近水平层状，层厚 78 m~95 m，层速度约为 3920 m/s。据场地相关地质资料，推测该层为基岩（Pt）片麻岩。

（3）第三物性层

推断 T_2 为基岩内部反射。该反射层近水平层状，总体上小桩号埋深浅，大桩号埋深深，埋深范围 133 m~172 m。

从探测结果（图 5-3）可知， T_1 同相轴总体上是连续的，在 3532 m 里程处 T_2 同相轴发生了错动，大桩号端发生明显向下错动，并且大桩号端深部反射波频率与相位特征与小桩号端明显不同，具有明显的成层性，推断在该处存在一基岩内的正断层。断裂视倾向 S，视倾角为 73° ，断点埋深 80 m，断距 20 m。上覆基岩顶面反射波组（ T_1 ）连续，未见断错现象，并且上覆地层中的反射同相轴连续未错断，说明断裂应该没有断错基岩顶面，为基岩内部断裂。

同时在 2582 m 里程处， T_2 同相轴发生错断，双程时间为 180 ms 处同相轴有错动痕迹，推断为测线 L1、L2 探测到断裂的延伸。为基岩内部的正断层，断点埋深 60 m，断层视倾向 N，视倾角 75° ，断距 6 m。上覆基岩顶面反射波组（ T_1 ）连续，未见断错现象，说明断裂没有断错基岩顶面，为基岩内部断裂。



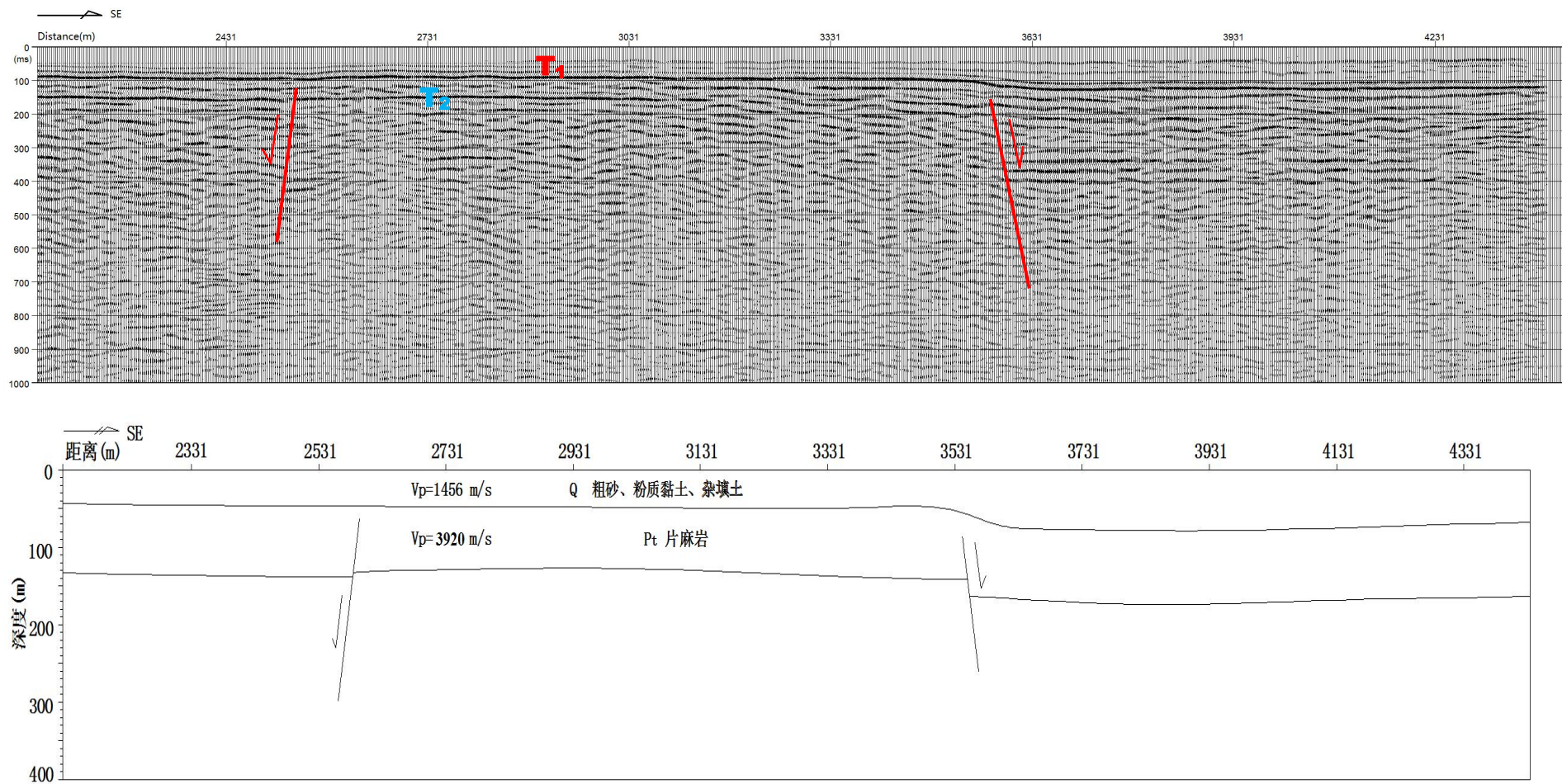


图 5-3 测线 L3 地震时间剖面及地质解译成果图

5.2.4 测线 L4 成果及地质解译

测线 L4 呈南南东向布设（图 3-3），剖面长 1134 m。

图 5-4 是测线 L4 地震时间剖面及解译剖面图，由图可见，存在 2 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 3 个物性层。

各物性层详述如下：

（1）第一物性层

推断 T_1 为基岩反射顶面，第一特性层为 T_1 反射界面之上部分，界面基本水平，层厚 35 m~46 m，层速度约为 1456 m/s。据场地地质资料，推测该层为第四系（Q）杂填土、粉质黏土层、粗砂。

（2）第二物性层

该层为 T_1 和 T_2 反射界面之间部分，近水平层状，层厚 75 m~106 m，层速度约为 3920 m/s。据场地相关地质资料，推测该层为基岩（ P_1 ）片麻岩。

（3）第三物性层

推断 T_2 为基岩内部反射。该反射层近水平层状，埋深范围为 113 m~150 m。

从探测结果（图 5-2）可知，在 620 m 里程处 T_2 下部反射同相轴明显错动，但基岩顶界面反射波组（ T_1 ）连续，未出现错动，推断该处为基岩内的正断层，断层视倾向为 S，断点埋深 82 m，视倾角 78° 。根据区域地质资料推断该断层与测线 L3 在 3532 m 里程的断裂为同一断裂，为基岩内部断裂。

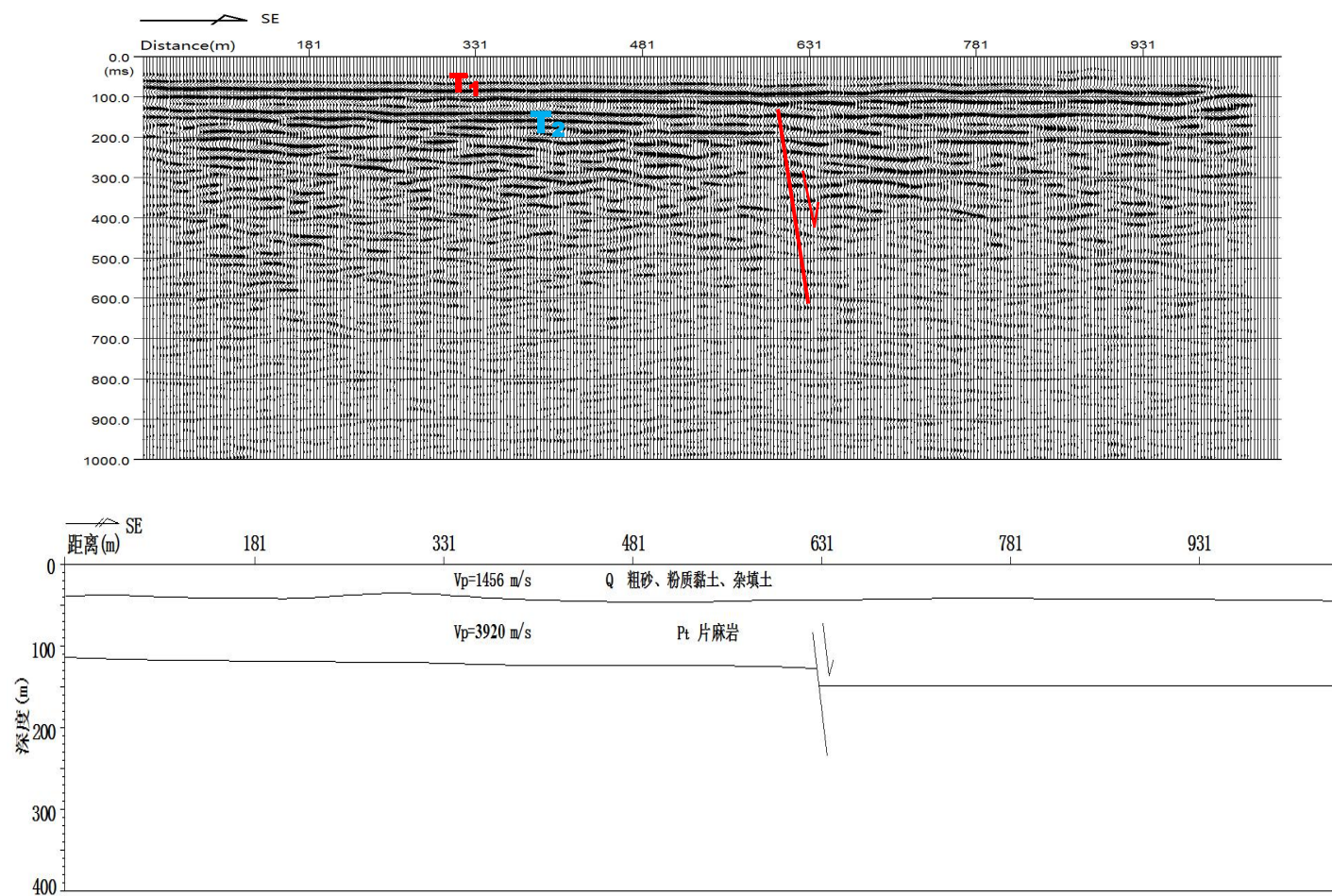


图 5-4 测线 4-4'地震时间剖面及地质解译成果图

5.2.5 测线 L5 成果及地质解译

测线 L5 呈北东东向布设（图 3-3），剖面长 1878 m。

图 5-5 是测线 L5 地震时间剖面及解译剖面图，由图可见，存在 2 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 3 个物性层。

各物性层详述如下：

（1）第一物性层

推断 T_1 为基岩反射顶面，第一特性层为 T_1 反射界面之上部分，层厚基本水平，层厚 32 m~45 m，层速度约为 1475 m/s。据场地地质资料，推测该层为第四系（Q）杂填土、粉质黏土层、粗砂。

（2）第二物性层

该层为 T_1 和 T_2 反射界面之间部分，近水平层状，层厚 90 m~106 m，层速度约为 3910 m/s。据场地相关地质资料，推测该层为基岩（ P_1 ）片麻岩。

（3）第三物性层

推断 T_2 为基岩内部反射。该反射层近水平层状，埋深 135 m~150 m。从探测结果（图 5-5）可知，基岩顶界面反射波组（ T_1 ）平缓、连续、稳定，但基岩内部反射波组（ T_2 ）在 1590 m 里程处明显错断，根据反射波组特征推断该测线下方存在一基岩内的逆断层。断层视倾向为 E，视倾斜角 78° ，断点埋深 65 m，断距为 11 m。上覆基岩顶面反射波组（ T_1 ）连续，未见断错现象，说明断裂没有断错基岩顶面，为基岩内部断裂。

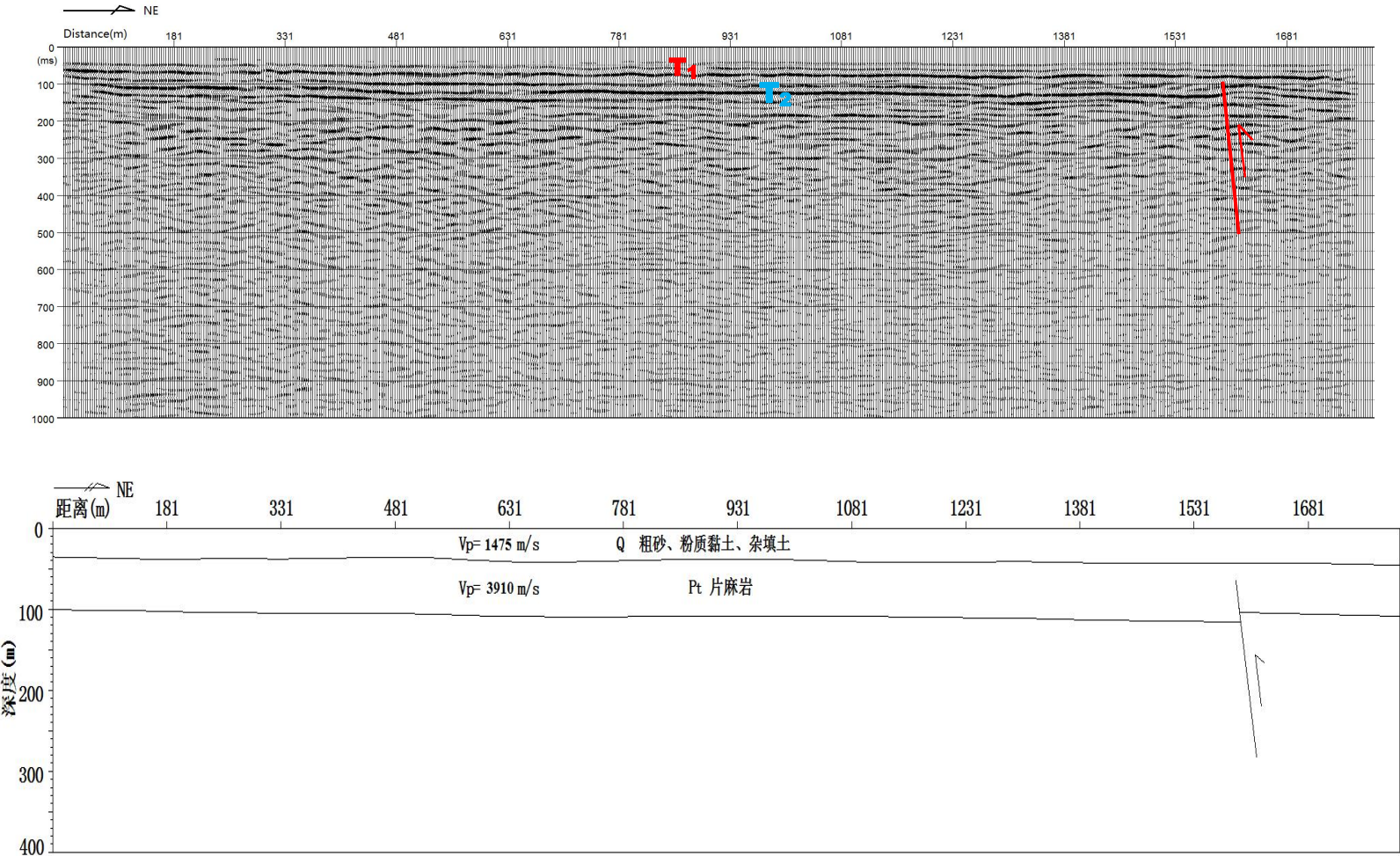


图 5-5 测线 L5 地震时间剖面及地质解译成果图

5.2.6 测线 L6 成果及地质解译

测线 L6 呈北东向布设（图 3-3），剖面长 6510 m。

图 5-6 是测线 L6 地震时间剖面及解译剖面图，由图可见，存在 2 组信噪比相对较高、连续性较好的反射波组，由此将该测线浅部地质结构分为 3 个物性层。

各物性层详述如下：

（1）第一物性层

推断 T_1 为基岩反射顶面，第一特性层为 T_1 反射界面之上部分，界面基本水平，层厚 25 m~42 m，层速度约为 1456 m/s。据场地地质资料，推测该层为第四系（Q）杂填土、粉质黏土层、粗砂。

（2）第二物性层

该层为 T_1 和 T_2 反射界面之间部分，近水平层状，层厚 78 m~96 m，层速度约为 3930 m/s。据场地相关地质资料，推测该层为基岩（Pt）片麻岩。

（3）第三物性层

推断 T_2 为基岩内部反射。该反射层近水平层状，埋深 103 m~135 m。

从探测结果（图 5-2）可知，基岩顶界面反射波组（ T_1 ）平缓，在 1760 m 和 3420 m 里程处，基岩内部反射波组（ T_2 ）发生明显错断，推断该测线下方有效探测深度内存在两处基岩断裂，其中 1760 m 处为逆断层，推断为测线 L5 的断层为同一断层，断点视倾向 E，视倾角 76° ，上断点埋深 52 m，断距为 10 m。3420 m 里程的正断层为基岩断层，与测线 L1，测线 L2 以及测线 L3 在 2583 m 处探测到的断层为同一断裂，断层视倾向 E，视倾角 75° ，上断点埋深 50 m，断距 13 m。上覆基岩顶面反射波组（ T_1 ）连续，未见断错现象，说明断裂没有错断基岩顶面，为基岩内部断裂。

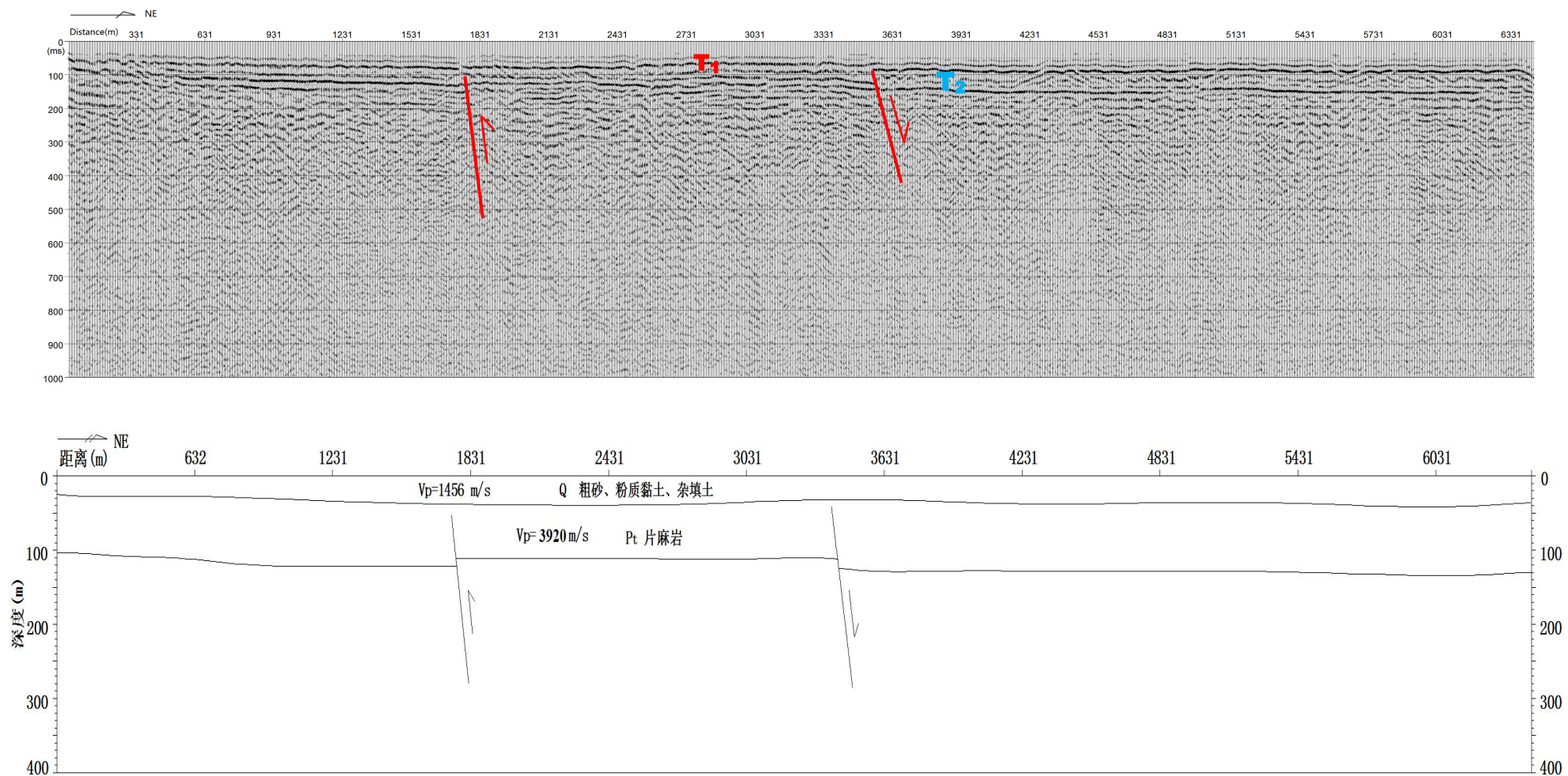


图 5-6 测线 L6 地震时间剖面及地质解译成果图



图 5-2 测线所在位置断裂断点位置图

各测线断点地面投影坐标如表 5-1 所示。

表 5-1 断层上断点地面投影坐标

测线号	经纬度 (°)	
	L	B
L1	119.2048	34.5466
L2	119.2203	34.5424
L3	119.2550	34.5362
	119.2568	34.5278
L4	119.2211	34.5116
L5	119.2169	34.5630
L6	119.2105	34.5370
	119.2291	34.5413

6 结论

① 本次浅层人工地震勘探完成测线 6 条，剖面总计 18.568 km。工作量满足任务要求。

② 根据区域地质资料并结合钻孔资料，共解释断点 8 个，均为基岩内部断裂，未断错上部基岩顶面，具体断点位置见表 5-1。

③ 断点位置与区域地质资料位置略有偏差，但总体误差不大，考虑到物探的不确定性以及投影等作图误差，应该可以认为所探测的断裂位置与以往资料是相符合的。

部分现场工作照：

