内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价报告

包头市雨辰地震工程技术服务有限公司

2022 年 7 月

内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园

区域性地震安全性评价



统一社会信用代码

91150203779462304Y

营业执照

（副 本）

(2-1)

扫描二维码登录“国家企业信用信息公示系统”了解更多登记、备案、许可、监管信息。

名 称 包头市雨辰地震工程技术服务有限公司

类 型 有限责任公司（非自然人投资或控股的法人独资）

法定代表人 赵弘

经营范围 地震技术服务；工程场地地震安全性评价；减隔震技术开发与应用；地基基础工程检测（凭资质证经营）；软件开发；房屋租赁；安全系统监控服务；机械设备租赁(不含特种设备)；汽车租赁；劳务派遣（凭许可证经营）；建筑材料生产、销售；矿产品的销售；环境污染防治及治理；环境保护治理工程；污染治理工程；防震工程技术服务（凭资质经营）；检测服务（凭资质经营）。（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动）

注册资本 壹佰万（人民币元）

成立日期 2005年09月05日

营业期限 自2005年09月05日至 2024年09月04日

住 所 内蒙古自治区包头市青山区青山路22号408

登记机关

2021 年 07 月 21 日

国家企业信用信息公示系统网址： http://www.gsxt.gov.cn

市场主体应当于每年1月1日至6月30日通过国家企业信用信息公示系统报送公示年度报告。

国家市场监督管理总局监制

联系电话：0472-5153800

传　　真：0472-5153800

邮　　箱：bt-yuchen@163.com

地　　址：内蒙古包头市青山区青山路 22 号

说　　明：无单位印章和法定代表人、技术负责人、报告主要编写人等主要技术人员签字无效。

负责人签章页

项目名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价

委 托 方：包头金山工业园区管理委员会

承 担 方：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司

法定代表人：

技术负责人：

专业技术负责人：

地震学：

地震地质学：

地震工程学：

2022 年 5 月

目　录

前言
第一章　区域地震活动性和地震构造评价……1
1.1　区域地震资料……1
1.2　区域地震活动性……5
1.3　地震时间分布特征和未来活动趋势……9
1.4　历史地震影响烈度……13
1.5　区域现代构造应力场……17
1.6　区域地震构造背景……20
1.7　区域新构造运动特征与分区……26
1.8　区域地球物理场特征……33
1.9　区域主要断裂的活动性……39
1.10　区域地震构造条件评价……66
1.11　区域地震活动性和地震构造综合评价……68
第二章　近场区地震活动性和地震构造评价……70
2.1　近场区地震活动性……70
2.2　地貌与地质条件概况……71
2.3　新构造运动特征……72
2.4　近场区主要断裂及活动性……73
2.5　近场区地震地质构造综述……93
第三章　目标区断层勘查与活动性鉴定……94
3.1　浅层地震勘探……94
3.2　地震剖面分析……98
3.3　目标区探槽开挖工作……108
3.4　目标区断裂活动性鉴定……117
第四章　地震工程地质条件勘测……119
4.1　场地概况……119
4.2　土层场地勘测……124
第五章　地震动预测方程确定……236
第六章　概率地震危险性分析……240
6.1　地震危险性分析方法概述……240
6.2　潜在震源区划分……241
6.3　地震活动性参数确定……246
6.4　地震危险性计算结果……253
6.5　本章小结……270
第七章　场地地震动参数的确定……271
7.1　基岩地震动时程合成……271
7.2　场地土层地震反应计算……282
7.3　规准化场地地震动加速度反应谱……311
7.4　场地地震动参数的确定……311
7.5　场地地表地震动时程……323
7.6　使用说明……332
7.7　本章小结……333
第八章　场地地震地质灾害评价……334

8.1 地震砂土液化评价……334
8.2 场地软土震陷评价……336
8.3 场地滑坡与崩塌评价……337
8.4 泥石流灾害评价……339
8.5 活动断层断错灾害评价……340
8.5 综合评价……341
第九章 区域性地震安全性评价技术服务系统……342
9.1 区评技术服务系统架构设计……342
9.2 主要功能说明……344
第十章 结论……347
10.1 地震活动环境评价……347
10.2 区域地震构造背景……348
10.3 近场区地震构造环境与目标区活动断层勘查……348
10.4 地震危险性分析……349
10.5 场地地震工程地质条件和地震地质灾害评价……349
10.6 场地地震动参数……350
10.7 建议……354
参考文献和资料……356

附件 1 内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目浅层地震勘探成果报告
附件 2 内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价钻孔勘探与波速测试工作报告
附件 3 内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目动三轴试验报告

前　言

0.1　项目概述

内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园（以下简称目标区）位于内蒙古自治区包头市固阳县金山镇镇区东南。北界一级公路，东临固石公路，西经包白公路（S210）与镇区相连，地理位置优越，交通便利。

金山产业园重点发展先进金属冶炼加工、新能源新材料制造产业。拟在金山产业园区区域内培育金山园区化工集中区，该集中区依托丰富的硅石资源优势，重点发展工业硅、多晶硅、有机硅及下游深加工等新能源新材料化工产业，围绕“碳达峰、碳中和”目标，重点发展源网荷储、制氢储氢、氢能冶金化工等新型绿电冶金化工全产业链项目。

目标区工程场地共有四个地块，共占地约 3.23km^2。园区各地块基本信息如下表 0.1 所示。目标区地理位置示意图见图 0.1。

表 0.1 内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园各地块基本信息表

地块	地块面积（km^2）	总面积（km^2）
地块一	0.827	3.23
地块二	0.369	
地块三	1.167	
地块四	0.862	

入驻企业基本情况：目标区四个地块规划范围现已入驻及在建企业主要共有 5 家，分别为地块一 1 个项目；地块二 2 个项目；地块三 1 个项目；地块四 1 个项目。

地块一规划的 1 个项目概况：东方日升 15 万吨金属硅项目。建设规模：建设 16×33MVA 电炉生产系统及配套生产、辅助生产设施，项目分二期建设，其中一期建设 8×33MVA 电炉生产系统及配套的余热发电系统、高纯硅粉制备系统、原料系统、脱硫脱硝除尘环保系统、给排水设施、供配电设施、机修、检化验及办公生活设施等公用工程和附属工程。二期建设 8×33MVA 电炉生产系统及配套的余热发电系统、高纯硅粉制备系统、原料系统、脱硫脱硝除尘环保系统、给排水设施、供配电设施。余热发电一期总体规划，预留二期建成后的汽轮机、发电机等位置。一期二期分双区错峰建设。

地块二规划的 2 个项目概况：

⑴ 圣昱年产 900 吨碳纳米管和 1.8 万吨导电浆料项目。建设规模：新型锂离子电池碳纳

米导电材料项目，一期新建碳纳米管生产车间 2 栋共 4000 平米，12 条碳纳米管生产线及配到设施，二期扩建导电剂生产车间 4000 平米，生产线 6 条及配套设施，新建办公楼 400 平米。

⑵ 东方日升 10GW 拉晶项目、东方日升源网荷储一体化 3GW 组件项目。总占地 368565.6 平方米。

东方日升 10GW 拉晶项目建设规模及内容：新建 10GWN 型高效拉晶生产线，按功能分区分为生产区（生产区布置于整个厂区，主要布置 10GW 拉晶厂房以及 3GW 组件厂房)、生产辅助配套区（生产辅助配套区布置在厂区的西南位置以及厂区的东部，西南位置主要布置仓库、废水处理站以及固体垃圾站，厂区的东部主要布置氩气罐区、氩气回收站、应急水池、消防水池等）、办公生活区（办公生活区布置在厂区的北侧，主要布置办公楼、宿舍以及研发楼）等。

东方日升源网荷储一体化 3GW 组件项目建设规模及内容：新建 3GW 组件生产线,与拉晶项目共用一个厂区，占地约 550 亩，按功能分区分为生产区（生产区布置于整个厂区,主要布置 10GW 拉晶厂房以及 3GW 组件厂房。)、生产辅助配套区(生产辅助配套区布置在厂区的西南位置以及厂区的东部，西南位置主要布置仓库、废水处理站以及固体垃圾站，厂区的东部主要布置氩气罐区、氩气回收站、应急水池、消防水池等。)、办公生活区(办公生活区布置在厂区的北侧，主要布置办公楼、宿舍以及研发楼。）等。

地块三规划的 1 个项目概况：弘元 15 万吨高纯工业硅和 10 万吨高纯晶硅。建设规模：本项目总用地面积 1136005 平方米，预留二期项目用地面积 406806 平方米，总建筑面积约 75 万平方米。建设内容:项目分期建设（一期建设 8 万吨高纯工业硅、5 万吨高纯晶硅，二期建设 7 万吨高纯工业硅、5 万吨高纯晶硅），主要建设内容包括高纯工业硅及高纯晶硅的生产线，配套的公用工程和辅助设施，以及配套厂前区，包括综合办公楼、倒班宿舍、食堂及活动中心等。项目建成后，形成年产 15 万吨高纯工亚硅及 10 万吨高纯晶硅生产能力。

地块四规划的 1 个项目概况：内蒙古大全新材料有限公司年产年产 30 万吨高纯工业硅加 20 万吨有机硅项目。一期 15 万吨工业硅生产装置主要设施包括：12 台 33 MW 工业硅炉、12 套余热锅炉系统、12 套烟气净化除尘系统、一套锅炉供水系统。12 台工业硅炉分为 3 个车间，每个车间 4 台硅炉，每个车间由主厂房、浇注广房、成品广房组成。每个车间配置两套出炉精炼浇注除尘系统、每个车间配置一套独立的上配料系统。辅助设施配置了一套工业硅破粹系统、一个修包车间、一套原料处理系统，每套系统均配置环保除尘设施。每台硅炉及变压器冷却配置一套闭式循环水系统。全车间配置一套空压系统、一套 VPSA 空分制氧系

统、一套软水处理系统、一座机修车间、一座 110KV 开关站。厂前区为办公楼、中控室、食堂、浴室、分析中心、停车场、地磅房组成、一座消防站、一座雨水处理池等。

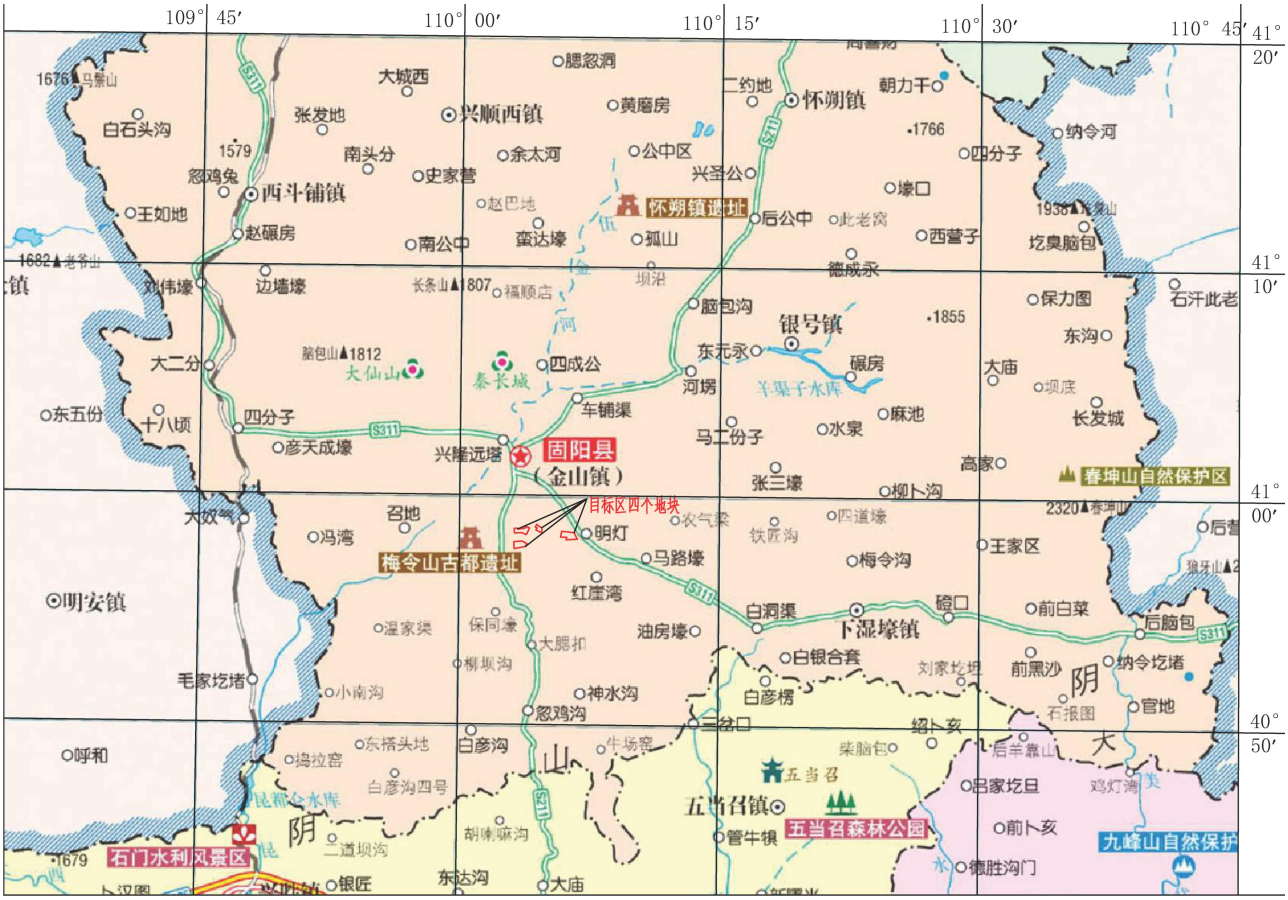


图 0.1　目标区地理位置示意图

为了给园区内重要的房屋建筑和城市基础设施等工程建设提供即安全又经济合理的抗震设防依据，受包头金山工业园区管理委员会（甲方）委托，包头市雨辰地震工程技术服务有限公司（乙方）承担了该项目区域性地震安全性评价工作。

0.2　工作依据

本工作依据下列法规和规范进行：

(1)　《中华人民共和国防震减灾法》（2009）；

(2)　《地震安全性评价管理条例》（2019 年修正本）；

(3)　《地震安全性评价管理办法（暂行）》（中震防发[2017]10 号）；

(4)　《内蒙古自治区区域性地震安全性评价管理办法》（内震发[2021]44 号）；

(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)　《工程场地地震安全性评价》（GB17741—2005）；

(7) 《中国地震动参数区划图》（GB18036—2015）；

(8) 《浅层地震勘查技术规范》（DZ/T0170—2020）；

(9) 《活动断层探测》（GB/T 36072—2018）；

(10) 《城市工程地球物理探测标准》（CJJ/T7—2017）；

(11) 《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）（2016 年版）；

(12) 《构筑物抗震设计规范》（GB50191—2012）

(13) 《岩土工程勘察规范》（GB50021—2001）（2009 年版）；

(14) 《土工试验方法标准》（GB/T 50123—2019）；

(15) 《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ83—2011）；

(16) 《冶金建筑抗震设计规范》（YB 9081-97）；

(17) 《石油化工构筑物抗震设计规范》（SH/T3417－2014）。

0.3 工作任务和技术要求

根据国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741－2005）、《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函[2019]21 号）以及《内蒙古自治区区域性地震安全性评价管理办法》（内震发[2021]44 号）等相关规定，对本项目目标区开展区域性地震安全性评价工作。根据国家标准 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》，本项目目标区场址位于基本地震动峰值加速度 0.20g（图 0.2 目标区峰值加速度分区位置图），基本地震动加速度反应谱特征周期 0.40s（图 0.3 目标区加速度反应谱特征周期分区位置图）分区。确定本项目目标区场地 5%阻尼比 50 年超越概率 63％、10％、2％和 100 年超越概率 63％、10％、2％、1%水平向设计地震动参数及目标区多概率水准的不同地震地质灾害评价结果。本项目最终所确定的场地地表地震动参数能够满足目标区规划的各类工程项目的抗震设计使用要求。

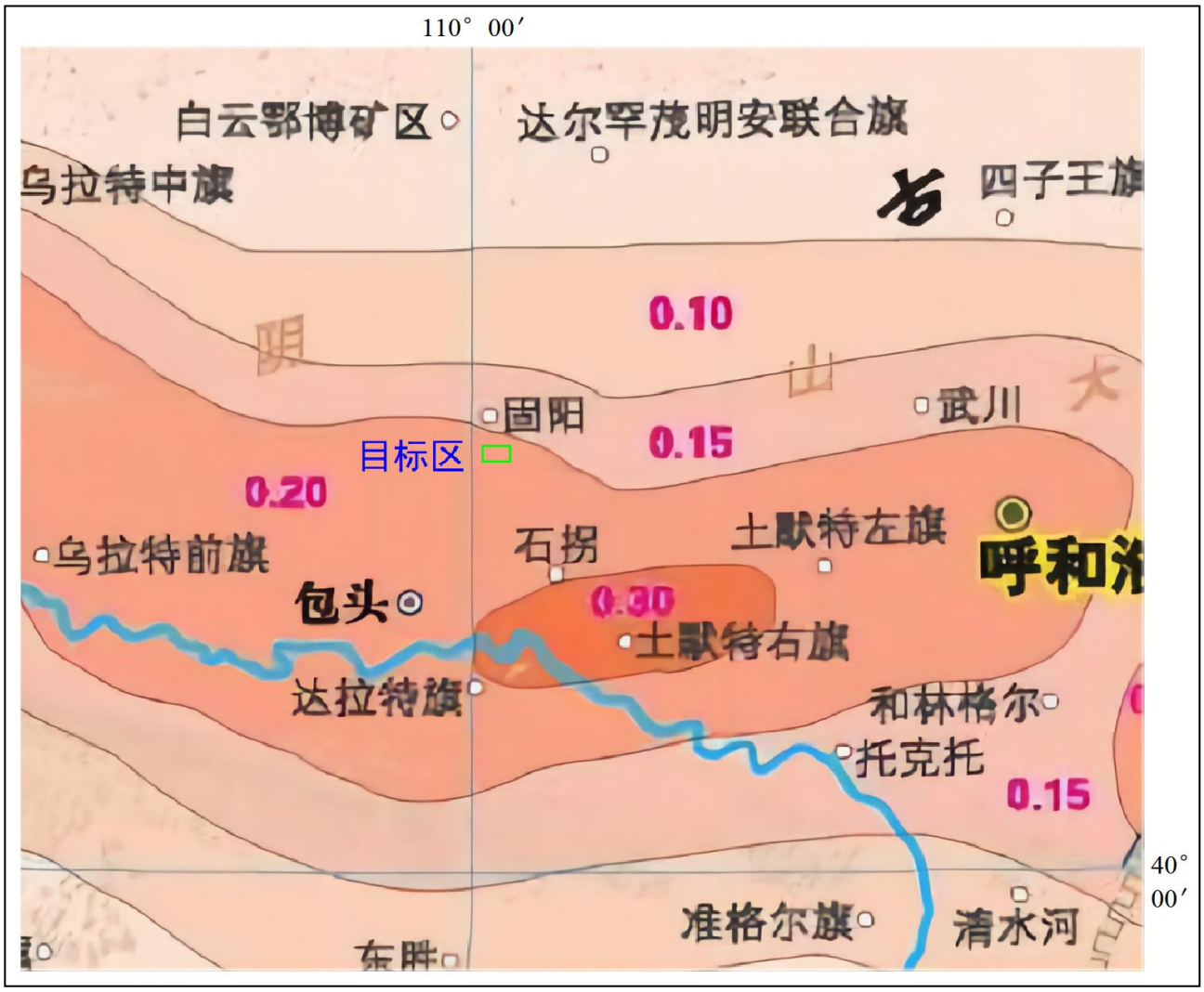


图 0.2　目标区基本地震动峰值加速度分区位置图

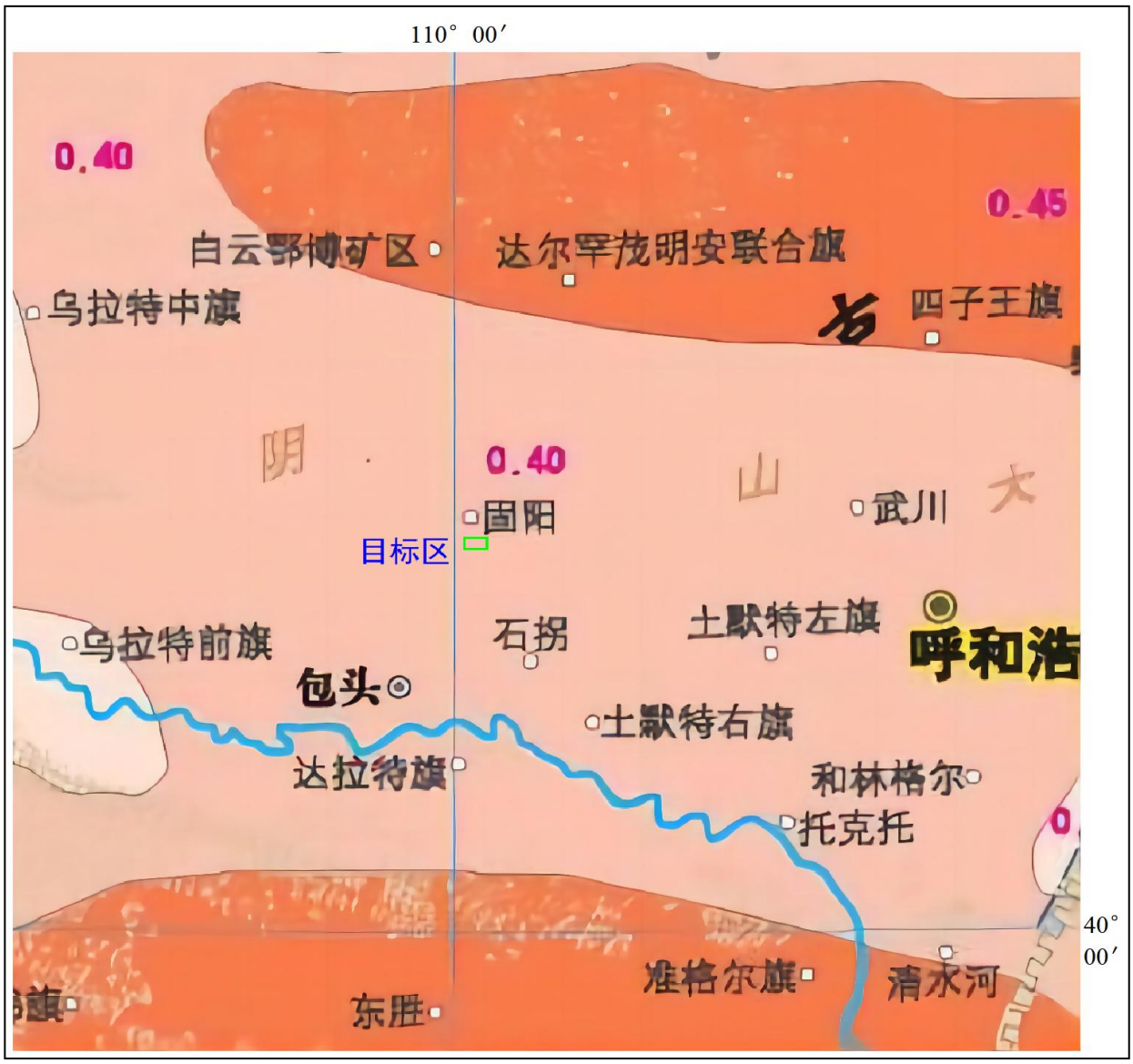


图 0.3　目标区基本地震动加速度反应谱特征周期分区位置图

0.4　工作范围

本项目根据《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）和《区域性地震安全性评价工作大纲》（中震防函〔2019〕21 号）的技术要求，确定目标区的区域和近场区范围。区域研究范围和近场区研究范围分别不小于目标区外延 150km 和 25km。在确定区域范围时达到了 160km 左右，在确定近场范围时达到了 27-28km，均满足了区域和近场区的工作范围的要求。针对区域性地震安全性评价工作所适用的工程结构类型，本项目确定的区域和近场区范围能够充分考虑地震构造环境对目标区地震危险性的影响。区域性地震安全性评价主要工作范围目标区，为内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园目标区 3.23 km^2 规划范围。选取的各研究范围具体地理坐标如下：

区域范围	108.08°～112.09°E	39.52°～42.41°N
近场区范围	109.71°～110.46°E	40.71°～41.22°N
地块一（中心）	110.0575°E	40.9728°N
地块二（中心）	110.0807°E	40.9746°N
地块三（中心）	110.1197°E	40.9685°N
地块四（中心）	110.0555°E	40.9592°N

0.5 技术路线

结合目标区所处的区域地震构造和地震活动背景，以及区内的工程地质条件，确定工作技术路线如下：

(1) 区域地震活动性和地震构造评价；

(2) 近场区地震活动性和地震构造调查与评价；

(3) 目标区主要断层勘查和活动性鉴定；

(4) 地震动预测方程确定；

(5) 目标区概率地震危险性分析；

(5) 目标区场地地震工程地质条件勘测；

(6) 目标区土层波速与非线性参数测试；

(7) 目标区场地土层模型建立、场地地震反应分析与地震动参数确定；

(8) 目标区场地地震地质灾害评价；

(9) 技术服务系统数据库建设。

总体技术途径，如下图所示：

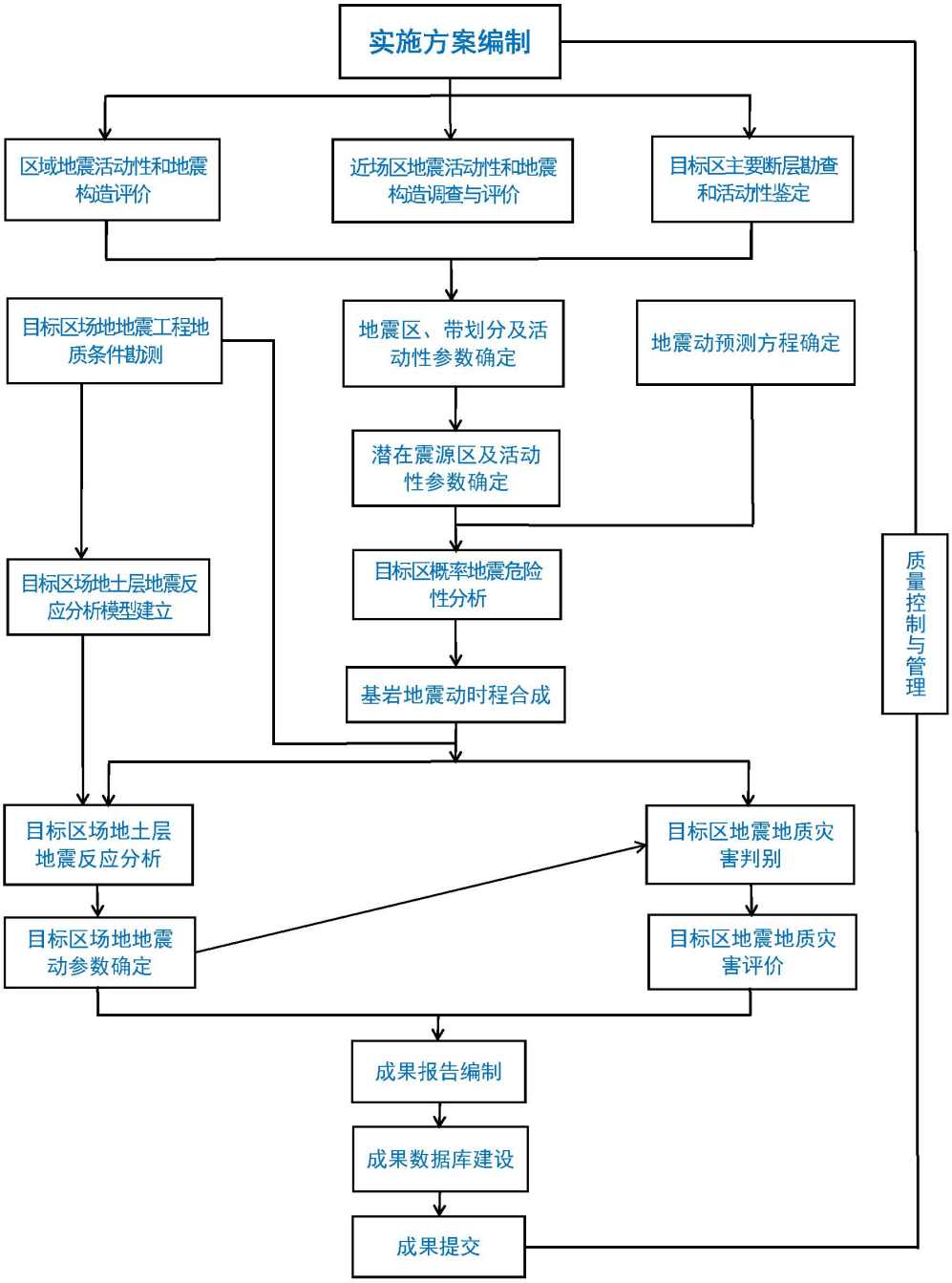


图 0.5　工作技术路线框图

0.6　项目组织

项目技术负责：李贵民（副高级工程师）

审　　核：岳茂华（正高级工程师）

参加人员：

地震学专业组

负责人：马桂芳（副高级工程师）

成　员：张明汇（副高级工程师）、李继成（副高级工程师）、郭凤英（副高级工程师）、武泽南（助理工程师）、王伟（技术员）

地震地质学专业组

负责人：李贵民（副高级工程师）

成　员：岳茂华（正高级工程师）、王彤飞（工程师）、赵弘（技术员）、臧士杰（助理工程师）、葛鹏飞（技术员）

地震工程学专业组

负责人：张生亮（副高级工程师）

成　员：黄生成（副高级工程师）、邢智文（工程师）、樊中华（助理工程师）、高建（助理工程师）

0.7　项目实施概况

自项目签订合同后组成项目组，分为三个阶段对项目进行实施。

1、资料收集及实施方案编制

2、现场调查与勘测

3、室内整理及报告编写

收集整理了工作区大量有关地震、地质构造、地震地质、地球物理等方面的资料。在此基础上进行野外地质调查、工程场地地震工程地质条件勘测及报告的编制工作：

（1）收集 1：20 万区域地质调查报告及场区有关工程地质勘察报告和地震安全性评价报告（主要参考:《包头市活动断层探测与地震危险性评价报告》、《内蒙古能源发电包头固阳金山工业园区热电厂 2×350MW 发电机组工程场地地震安全性评价报告》等报告资料）。

（2）完成了区域和近场区地震活动性和地震构造环境评价，编制目标区区域地震地质构造图、近场区地震地质构造图、地震活动震中分布图等相关图件。

（3）在近场区范围内，进行野外地质地貌考察，确定断裂对场址的影响。

（4）在目标区内采用浅层地震勘探方法，开展断层控制性调查与探测，查明目标区范围内是否存在断层，对发现的第四纪以来有活动的主要断层开展断层的活动性鉴定。

（5）根据目标区工程地质条件和目标区建设工程的功能布局规划，对目标区场地合理布设控制性钻孔，开展各控制孔工程地质条件勘探和剪切波速测试，确定每个钻孔场地建筑

类别。选取不少于控制性钻孔数量 1/3 的典型钻孔土样进行动三轴试验（共振柱试验）和土工试验，分别得到典型钻孔土样的动剪切模量比和阻尼比随剪应变的变化参数、典型钻孔土样的土工试验参数。

（6）划分潜在震源区，选择与场地相适应的地震动预测方程，进行概率地震危险性分析计算，得到目标区各控制点多概率水准基岩水平向地震动峰值加速度和加速度反应谱（阻尼比 5%）。

（7）根据上述工作，建立土层反应分析模型，计算确定目标区 5%阻尼比 50 年和 100 年不同超越概率水平向设计地震动参数，给出每个控制点处多概率水准的地面地震动峰值加速度和场地相关反应谱；以场地地震动反应谱作为拟合目标反应谱（阻尼比 5%）人工合成地震动时程，每个目标反应谱宜合成 5 条地震动时程；根据控制点上的地震动加速度峰值和特征周期值，编制目标区多概率水准的地震动峰值和特征周期分区图或等值线图。

（8）根据目标区特征，确定可能发生的地震地质灾害类型，目标区地震地质灾害主要考虑活动断层错动、砂土液化、软土震陷、崩塌滑坡等问题。对于活动断层地表错动的判定，应用地球物理勘探辅以钻探工作，确定断层相关性质。

（9）给出目标区控制性钻孔土层计算模型库、目标区各控制点多概率水准的基岩地震动参数库、目标区各控制点多概率水准地表地震动参数库、目标区各控制点多概率水准地表地震动时程库、目标区多概率水准的多参数地震动区划等值线库。

主要工作量统计表

项目	目标区
现场钻探	布设控制性钻孔 15 孔，总进尺 477.2m
土层剪切波速测试	完成土层剪切波速测试 15 孔
浅层地震勘探测线	6 条，共 18.957km
常规土工试验	15 个
标准贯入试验	26 次
动三轴/共振柱试验	28 组
取样钻孔数量	8 个

0.8 致谢

在项目实施过程中，包头金山工业园区管委会及园区各企事业单位、村庄和施工机构的领导和同志们给予了大力协助，谨致谢意。

第一章 区域地震活动性和地震构造评价

本章依据历史地震资料和现代地震观测资料，开展地震活动性分析。其目的在于通过对一定范围内的地震活动在空间、时间和强度上的分布特点和规律性以及历史上破坏性地震对工程场地的影响等进行分析和研究，为工程场地及周围地区一定时间内的地震活动趋势和地震环境做出评价，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。

从区域大地构造环境、新构造运动、地球物理场和主要第四纪活动断裂带的基本特征出发，讨论区域地震构造环境，分析区域范围内的发震构造条件。

1.1 区域地震资料

1.1.1 地震资料完整性评价

地震资料的完整程度，决定了它所反映的地震活动时、空图像的可靠程度，以及由地震资料所得到统计结果的准确程度。而历史资料，由于在不同地区和不同的历史时段，社会经济、文化发展水平不同，以及政治稳定状况的差异，历史资料的完整程度必然有一定的差异。地震资料完整性分析是区域地震活动性及未来地震活动趋势分析，以及概率地震危险性评价中地震活动性参数估计的重要依据。

银川-河套地震带和鄂尔多斯地震统计区历史地震资料缺失较多，M6 级以上地震资料在 1900 年以后基本完整，M5 级以上地震资料在 1920 年以后基本完整（五代区划图地震活动性参数报告，2011）；东北地震区 M5 级以上的地震资料，公元 1920 年以后的记录较为完整（黄玮琼等，1994）。

内蒙古自治区地震台网是 1970 年开始组建的，经过“九五”、“十五”和“十一五”的长期建设地震监测能力显著提高。但由于受到内蒙古自治区地域狭长、行政区域划分部规则等限制，地震监测能力存在明显的区域不均衡。截至 2008 年，内蒙古区域地震台网共建成数字化地震台站 39 个，同时引入甘肃、宁夏、山西、河北、辽宁、黑龙江等邻省区域地震台网的 43 个地震台站组成地震监测网络。刘芳等（2014）利用 PMC（基于概率的完整性震级）方法，计算得到内蒙古区域地震台网 39 个台站对周边地震事件的检测概率及台网检测概率，可以看出区域研究范围在近辽蒙交界的最小完整性监测能力较高，在近蒙古交界一侧的最小完整性监测能力较低（图 1.1-1）。

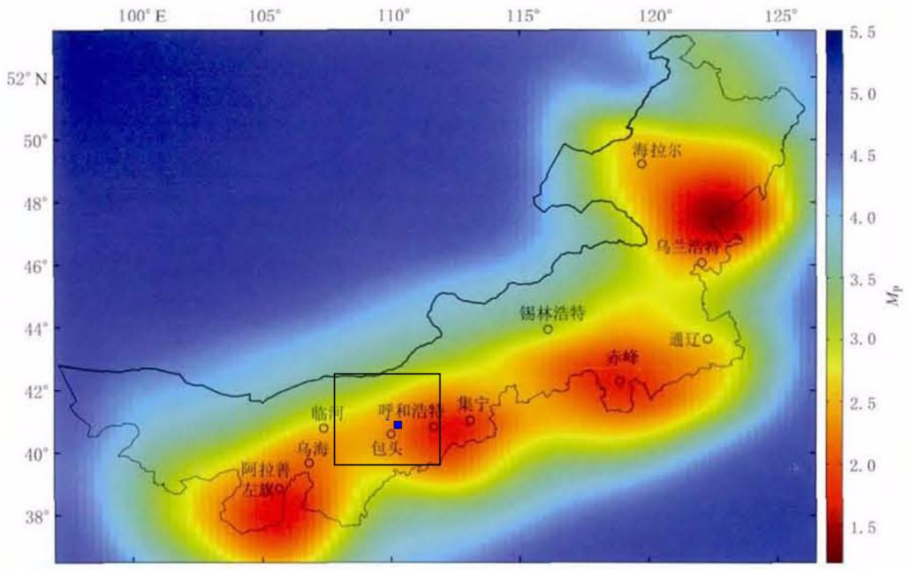


图 1.1-1　内蒙古区域地震台网基于概率的完整性震级分布图

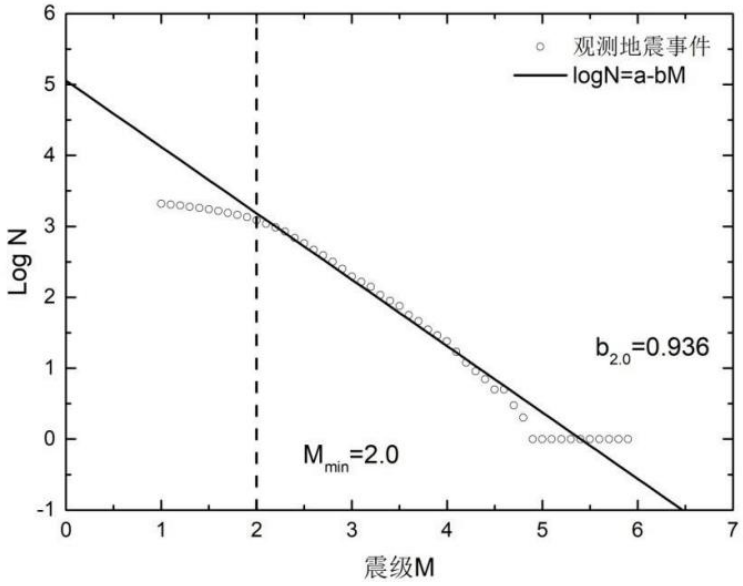


图 1.1-2　利用 G—R 震级频度关系检验地震观测目录的震级下限

为了进一步分析 1970 年以来仪器记录地震资料的完整性，检验地震观测目录的震级完整性下限Mmin，利用古登堡—里克特震级—频度关系估计震级完整性下限。使用最大似然估计方法估计常数a和b，计算得到的最小完整性震级为2.2级（图1.1-2），拟合优度达到 92.8%，得到的b值为0.942。为了统筹地震完整性和利用更多的地震资料，也计算了当最小完整性震级取 2.0时的拟合优度，当采用2.0 级，拟合优度也可达到 87.9%。上述计算分析结果差别不大，并且与《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）结合历史地震分析得到的结果非常接近。因此本次工作中，将区域工作中的最小完整性震级确定为2.0级。

1.1.2 区域地震目录

1．编目原则

本次工作全面收集了区域内已有的各种地震资料，并确定了以下几条主要地震目录编制原则：

（1）对以往工作中已经进行过详细调查并获得评审通过的历史地震，直接引用其地震参数的调查结论。

（2）以正式出版的地震目录为准，对具有不同认识的一些地震条目，根据不同版本目录编目资料的可靠性和工作深度确定其取舍，综合编制项目使用的目录。

2．主要资料来源

（1）震级 Ms≥4.7 地震从以下资料中选取：

①国家地震局震害防御司编《中国历史强震目录》（公元前 23 世纪至公元 1911 年），1995 年；

②中国地震局震害防御司编《中国近代地震目录》（公元 1912 年至 1990 年，M≥4.7），1999 年；

③第五代地震区划图地震目录（公元 1991 年至 2010 年）；

④中国地震台网中心，《中国台网正式地震目录（统一编目目录）》（2011 年至 2022 年 3 月）。

（2）震级 2.0≤M≤4.6 地震从以下资料中选取：

国家地震科学数据共享中心网站 http://data.earthquake.cn/index.html（1970 年至 2022 年 3 月）。

3．地震目录编制说明

（1）编目的时、空、强范围

本次编制的地震目录分为两个部分：①历史地震目录，包括区域内迄今所能记载到的、由历史文献记载确定的或由地震台网记录到的 M≥4.7 级破坏性地震。②现代小震目录，包括区域台网所记录到的小地震，起始时间为 1970 年，根据区域台网监测能力在 2 级以上地震基本无遗漏，小震目录震级取 2.0≤M≤4.6。本次地震目录编制的区域范围、时间段及震级范围如表 1.1-1 所列。

表 1.1-1　地震编目的时、空、强范围

区域范围	东经 108.08°～112.09°，北纬 39.52°～42.41°	
时间段	849 年～2022 年 3 月	1970 年～2022 年 3 月
震级范围	M≥4.7	2.0≤M≤4.6

（2）地震震级的确定

历史地震震级采用的是 Ms，这部分地震为 Ms≥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（Ms）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。

现代小震的震级多采用 M_L，为了与历史地震震级统一，以往将其转换为 M 震级，采用转换公式：

$$Ms=1.13M_L-1.081 \qquad (1.1\text{-}1)$$

该公式为郭履灿 1971 年根据邢台地震资料统计得到的，适用于中国华北地区，其他地区兼用，震中距≤1000km（国家地震局震害防御司，1990）。

在编辑五代图地震目录时，汪素云等（2009）对 1990-2007 年同时测定 Ms、M_L 数据且震源深度＜70km 的地震（6577 个）进行了拟合，结果如下式所示：

$$Ms=0.932M_L+0.295 \qquad (1.1\text{-}2)$$

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

$$Ms=M_L \qquad (1.1\text{-}3)$$

公式（1.1-3）相当于 Ms 和 M_L 之间不用转换，从图中可以直观的看出公式（1.1-3）与公式（1.1-2）的直线和接近，只在直线两端有些分开。考虑到数据点的分散，拟合关系的不确定性较大等因素，粗略的认为公式（1.1-2）和公式（1.1-3）基本一致。

本项目使用公式（1.1-3）代替以往的公式（1.1-1），现代小震的震级 M_L 将不再转换为 M_S 而直接使用，并且用国标规定的 M 代替 Ms 和 M_L。

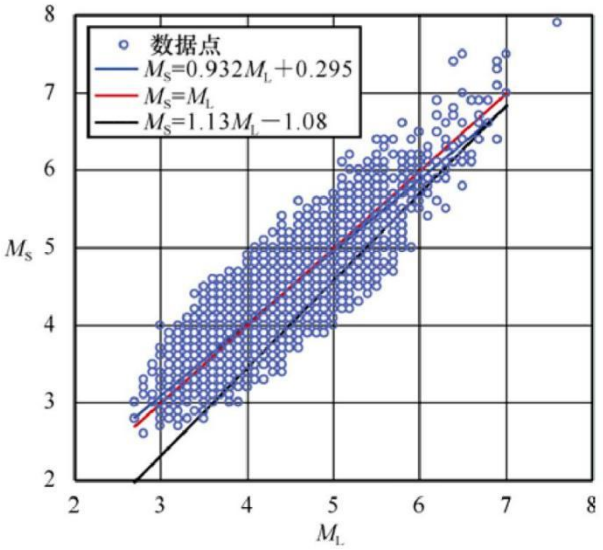


图 1.1-3　震级 Ms 和 M_L 关系曲线

（3）地震震中参数的选取

凡同时具有仪器震中与宏观震中位置的地震，均取宏观震中位置。

1.2 区域地震活动性

1.2.1 区域地震空间分布特征

根据上述资料，编制了区域范围内破坏性地震（M≥4.7 级）（849 年～2022 年 3 月）和现代小震（2.0≤M≤4.6）（1970 年～2022 年 3 月）目录。截止 2022 年 3 月，区域范围内共记录到 M≥4.7 级地震 9 次，其中 4.7～4.9 级地震 3 次，5.0～5.9 级地震 2 次，6.0～6.9 级地震 3 次，7.0～7.9 级地震 1 次。最大地震是 849 年内蒙古包头 7 级地震，最早地震也是 849 年内蒙古包头 7 级地震。表 1.2-1 和图 1.2-1 给出了区域破坏性地震目录和震中分布图。

自 1970 年有区域性地震台网记录以来，区域内共记录到 2.0≤M≤4.6 级地震 1733 次，其中 4.0～4.6 级 21 次，3.0～3.9 级地震 236 次，2.0～2.9 级地震 1476 次。由于现代小震数目太多，这里不再给出小震目录。

表 1.2-1 区域破坏性地震目录（M≥4.7）

序号	年月日	北纬（°）	东经（°）	震级	精度	深度(km)	震中烈度	位置
1	849.10.24	40.8	109.8	7	-	-		内蒙古包头西北
2	1898. -.-	40.4	111.9	4¾	3	-	VI	内蒙古和林格尔
3	1929.1.14	40.7	111.3	6	-	-	VIII	内蒙古毕克齐
4	1929.1.20	40.7	111.3	5½	-	-	VII	内蒙古毕克齐
5	1934.1.21	41.1	108.3	6¼	3	-	VIII	内蒙古五原附近

序号	年月日	北纬（°）	东经（°）	震级	精度	深度(km)	震中烈度	位置
6	1965.10.22	40.1	109.9	4.8	-	-	-	内蒙古达拉特旗南
7	1970.11.10	40.75	109.42	4.8	1	10	-	内蒙古包头西北
8	1979.8.25	41.03	108.2	5.2	1	18	-	内蒙古五原
9	1996.5.3	40.83	109.62	6.4	1	25	VIII	内蒙古包头西

表中“-”号表示缺乏资料。需注意的是，1970 年以后地震精度分类的含义是：1 类震中误差≤5km；2 类震中误差≤10km；3 类震中误差≤30km。1970 年以前地震精度分类的含义是：1 类震中误差≤10km；2 类震中误差≤25km；3 类震中误差≤50km；4 类震中误差≤100km；5 类震中误差＞100km。

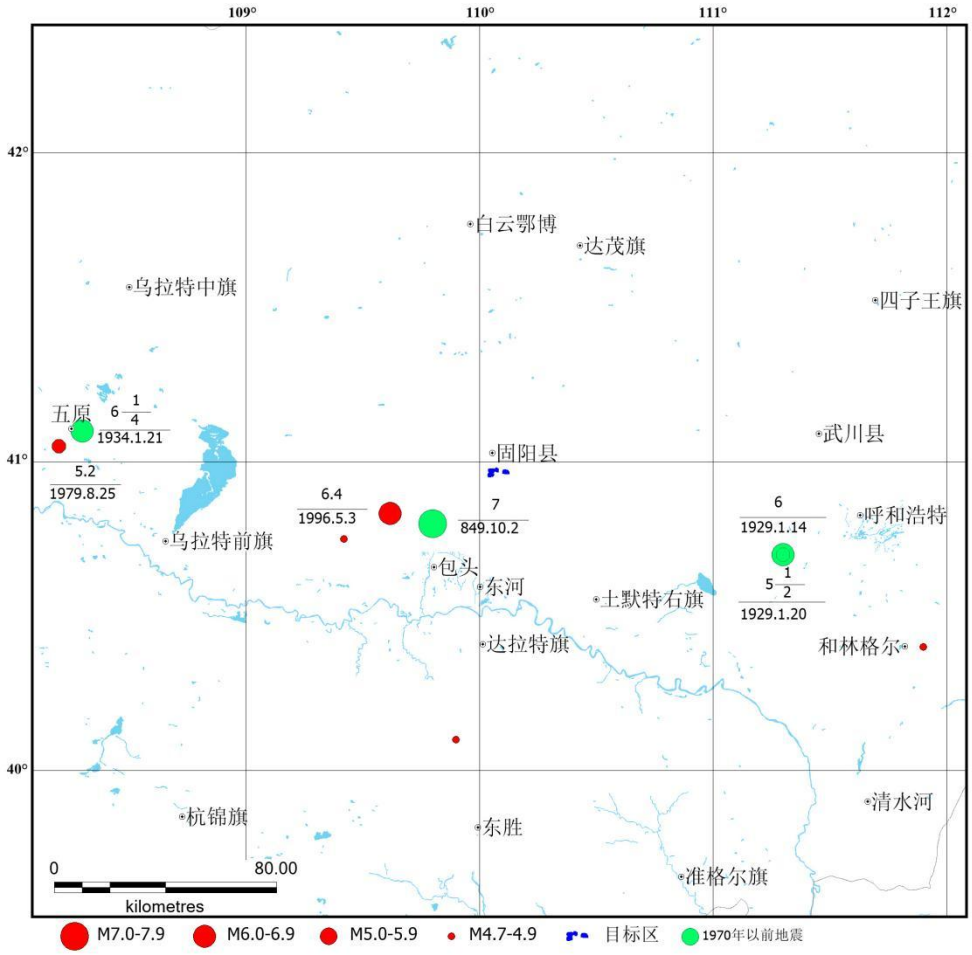


图 1.2-1　区域破坏性地震震中分布图（M≥4.7，849 年～2022 年 3 月）

图 1.2-1 给出了区域破坏性地震震中分布图，由图可知，破坏性地震主要分布在河套断陷带上，从西向东分为 3 个断陷凹陷和 2 个凸起，地震主要分布在临河凹陷、白彦花凹陷和和呼和凹陷。临河凹陷有多条活动断裂分布，例如色尔腾山山前断裂、五原断裂和乌梁素海断裂，发生了中强地震 3 次，分别是 1934 年五原 6¼级地震、1979 年五原 6 级地震和五原 5.2 级地震，这些地震活动与构造密切相关。白彦花凹陷规模较

小，历史地震记载较少，只在 1996 年发生了包头西 6.4 级地震，北面有乌拉山山前断裂，是全新世活动断裂，古地震记载丰富，记载了 13 次古地震事件，重复周期达到了 1300 年到 1800 年（冉勇康，2003）。呼和凹陷北面以大青山山前断裂为界，记载了 3 次中强地震，分别是 849 年 7 级地震、1929 年毕克齐 6 级和 5½级地震。阴山隆起区内没有记载到 M≥4¾级地震，隆起区在新构造时期是一个持续隆起的构造单元，内部差异活动不明显。鄂尔多斯隆起区内部没有活动构造，是一个整体性强没有构造活动分异的大陆地块，最大地震是 1965 年达拉特旗南 4.8 级地震。

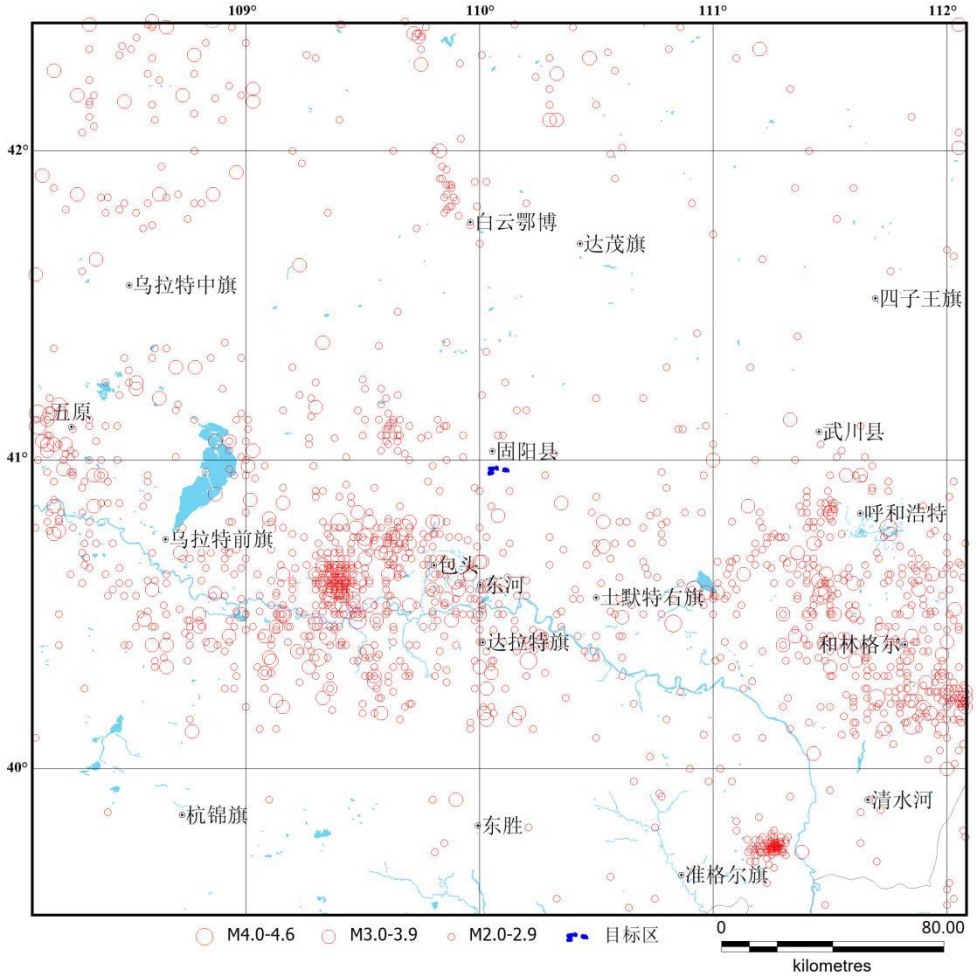


图 1.2-2　区域现代小震震中分布图（2.0≤M≤4.6，1970 年 1 月～2022 年 3 月）

1970 年以来中小震震中分布图（图 1.2-2）表明，区域小震较活跃，主要分布三个地区：1）第一个地区是呼和浩特和和林格尔附近；2）第二个地区是包头和达拉特旗附近；3）第三个五原附近地区。这些地区基本上沿着河套盆地呈 NWW 向分布，与历史地震的空间分布基本一致性，表明历史地震和现代地震的集中活动区，仍然是未来强震活动的主要场所。

1.2.2 地震震源深度分布特征

根据 1970 年有台网记录以来的小震记录，其中有震源深度的地震数据 1278 个，震级为 2.0-4.6，得出了研究区地震震源深度分布（表 1.2-2）、震源深度直方图（图 1.2-3）和震源深度分布图（图 1.2-4）。从中可以看出，小震震源深度全都分布于 40km 以内，属于浅源地震，其中绝大多数深度分布在 6~15km 以内，占总数的 74%。

有 3 次历史破坏性地震有震源深度数据，1970 年包头 4.8 级地震、1979 年五原 5.2 级、1996 年包头 6.4 级地震震源深度分别是 10km、18km、25km，中强地震震源深度平均为 18km。

表 1.2-2 区域现代小震震源深度分布表

深度(km)	＜6	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40
地震个数	86	567	381	132	76	26	8	2
占百分比(%)	7	44	30	10	6	2	1	0.2

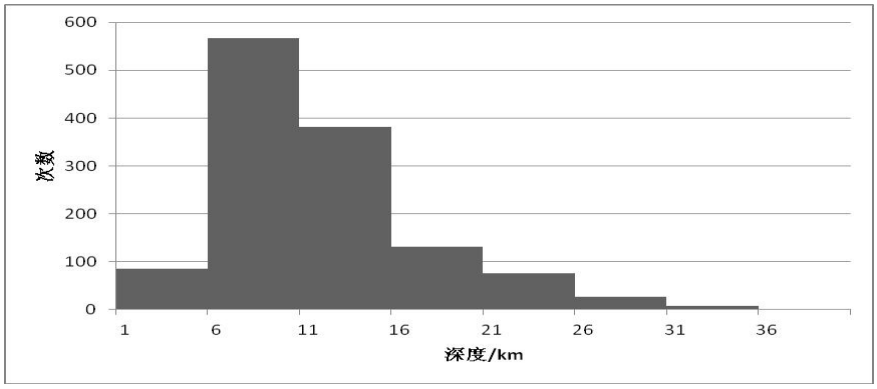
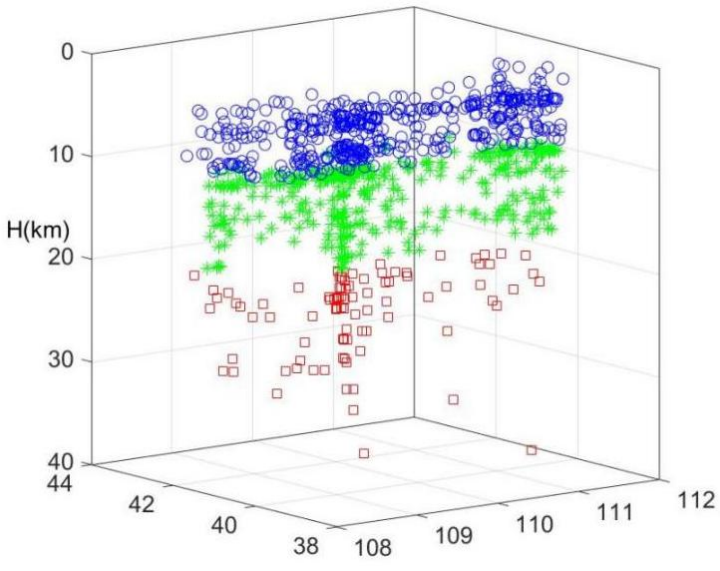


图 1.2-3 区域震源深度直方图



○h=1～10km，✶h=11～20km，□h=21～40km

图 1.2-4 区域震源深度分布图

1.3 地震时间分布特征和未来活动趋势

1.3.1 地震统计区的划分

我国地震活动有密集成带分布的特点，不同地区地震活动特征不同。在地震区划工作中，地震学者对地震区、地震带的划分已做过相当系统的研究。为反映地震活动的这种空间不均匀性，在地震危险性概率分析方法中，用划分地震统计区来体现。地震统计区是分析地震时间分布特征、估计未来百年地震活动趋势及地震危险性分析中地震活动性参数估算的基本单元。本次分析采取的是《中国地震动参数区划图GB18306-2015》使用的地震区、带划分方案，区域涉及到银川-河套地震带、鄂尔多斯地震统计区、东北地震区及汾渭地震带（图 1.3-1）。

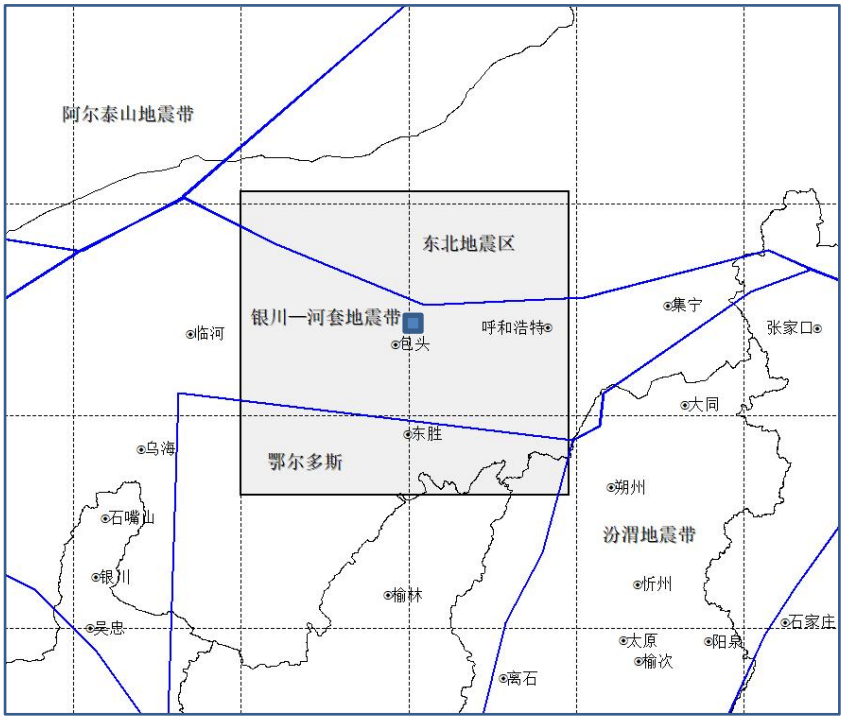


图 1.3-1 地震区带划分图

1.3.2 地震统计区时间分布特征及未来趋势

已有的研究成果显示，地震活动在时间轴上存在平静与活跃交替起伏的现象，给出了各个地震统计区 M≥4¾地震的地震应变释放曲线和 M-T 图。地震统计区的地震活动性特征主要参考了中国新一代地震区划的成果（全国地震区划图编制地震活动性参数确定工作组，2011），在此基础上更新了地震目录至 2022 年 3 月。

一、银川-河套地震带

银川—河套地震带位于鄂尔多斯的北缘和西缘，新构造的演化主要受正断层活动

的控制，银川断陷盆地呈南北向展布，河套断陷盆地为东西向分布，均为第四纪沉降剧烈的地堑型盆地，盆地内地震活动频繁。该区最早的地震记载为 849 年 10 月 24 日包头 7 级地震，该区共记到 M≥4.7 的破坏性地震 57 次，其中 8 级地震 1 次（1739 年 1 月 3 日银川-平罗 8 级地震）；7.0～7.9 级地震 1 次；6.0～6.9 级地震 8 次，5.0-5.9 级地震 32 次。

图 1.3-2 给出了银川—河套地震带公元 1910 年以来 M4.7 级以上地震的 M-T 图和应变释放曲线，1920 年以后 5 级以上的历史地震资料才较为完整，因此无法对该地震统计区的地震活动周期进行划分。但 20 世纪以来该地区发生多次 6 级以上地震，成为近百年来华北地震区地震活动显著增强的区域。

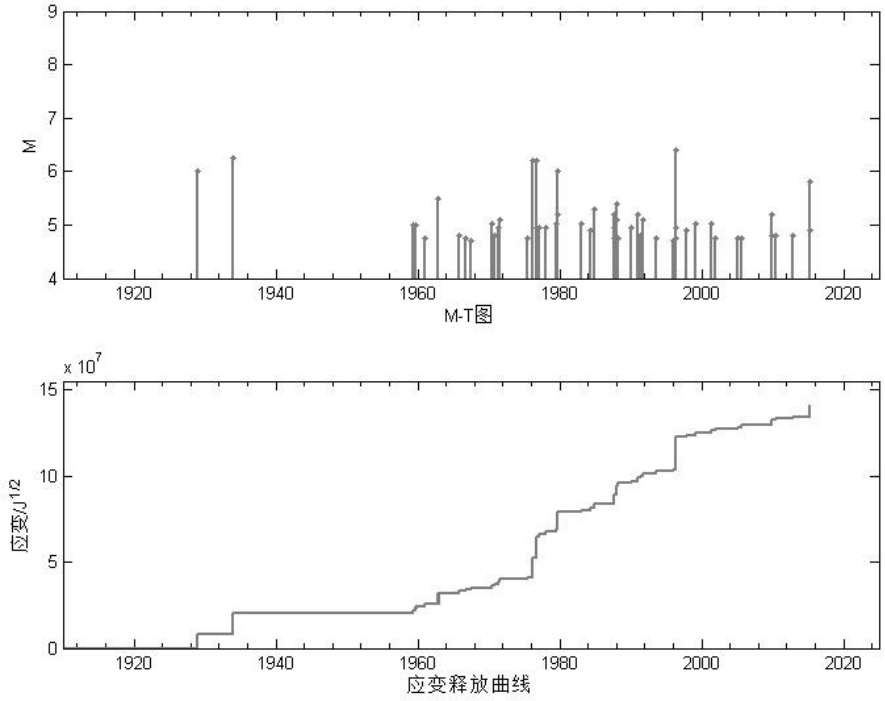


图 1.3-2　1910 年以来银川—河套地震带 M-T 图及应变释放曲线

二、鄂尔多斯地震统计区

鄂尔多斯地震统计区位于鄂尔多斯块体内部，四周为正断—走滑断裂系所控 制，是一地质构造比较稳定的地区，该区地震活动微弱，仅有数次 5 级左右地震记载。该区共记到 M≥4.7 的破坏性地震 16 次，其中 5.0-5.9 级地震 14 次，4.7-4.9 级地震 2 次，最大地震 5½级。该区最早的地震记载为 1448 年 10 月 9 日榆林 5½级地震。

图 1.3-3 给出了该区公元 1400 年以来 M4.7 级以上地震的 M-T 图和应变释放曲线。该地区地震样本过少，因此难以根据地震活动周期进行有效划分。但大致在 1540~1685

年、1880~1925 年间地震较为活跃，分别发生过 10 次和 5 次地震。

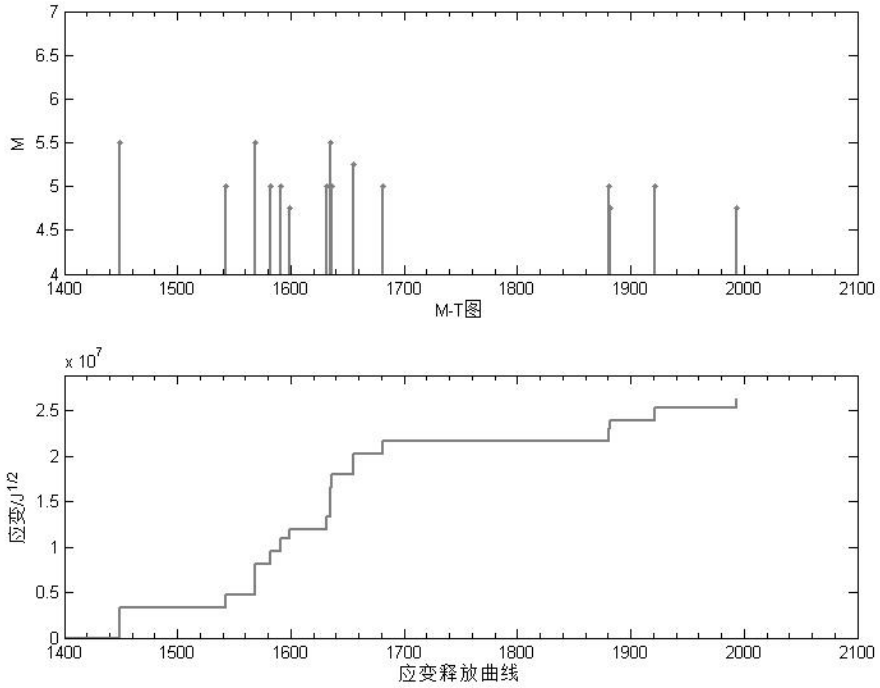


图 1.3-3 鄂尔多斯地震统计区 1400 年以来 MT 图和应变释放曲线图

三、东北地震区

东北地震区浅源地震活动较弱，以中等强度地震活动为主要特征。东北地震区共发生 M4.7 以上地震 69 次（浅源地震），其中 6.0-6.9 级地震 6 次，5.0-5.9 级地震 39 次，最大地震为 1119 年 2 月前郭 6¾级地震（不含深震）和 1290 年 10 月 4 日宁城 6¾级地震。东北地震区地震活动总体分布较为弥散，但沿松辽盆地、大兴安岭、依兰—伊通断裂带及辽西一带地震活动较为密集，其中以松辽盆地活动性最强，发生过 4 次 6 级以上地震。该区东部延吉—珲春一带存在深震群活动，震级较大，发生多次 7 级以上地震，震源深度一般 500~600km，为太平洋板块在日本岛弧向西俯冲带的所产生的地震活动，略向西倾，倾角很缓，一般 10~20°左右。东北地震区最早的地震记载为 419 年朝阳 5½级地震，1900 年之前地震资料缺失严重，自 1900 年以来地震记录才比较完整。

图 1.3-4 给出了东北地震区公元 1900 年以来 4.7 级以上浅源地震 M-T 图和应变释放曲线，由图可知，东北地震区自 1900 年以来一直较为活跃，未来该区以 1900 年以来的活动水平估计，有发生 6-7 级地震的可能。

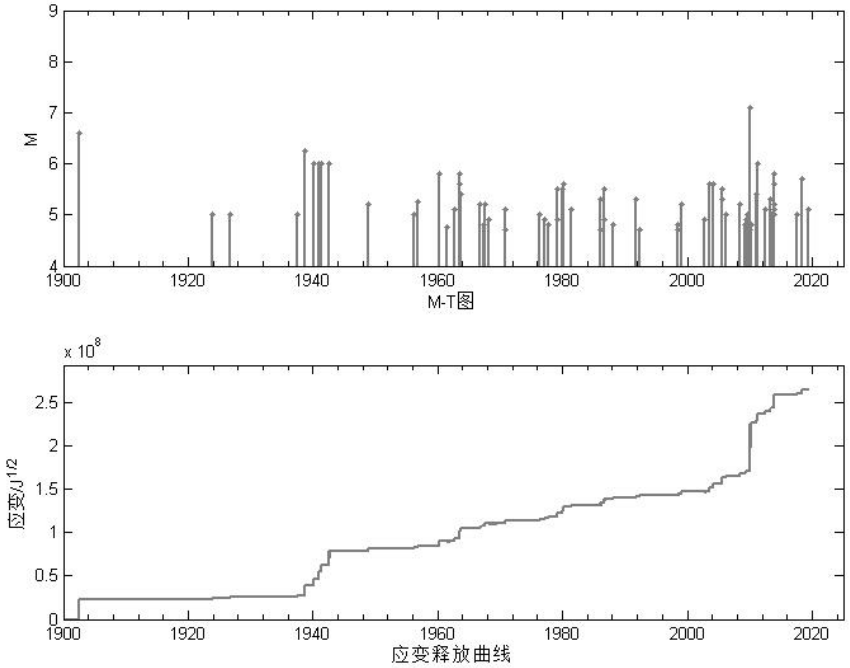


图 1.3-4 东北地震区 1900 年以来 M≥4.7 级地震 M-T 图和应变释放曲线

四、汾渭地震带

汾渭地震带南起渭河盆地，贯穿山西全境，北止于怀来—延庆盆地，是华北地区的一个强震活动区。由延怀、大同、灵丘、忻定、太原、临汾、运城、渭河等一系列活动断裂所控制的断陷盆地组成，强震主要位于山西断陷带的忻定盆地、临汾盆地和渭河断陷带的东部地区。该区共记到 M≥4.7 的破坏性地震 187 次，其中 8 级地震 2 次（1556 年 2 月 2 日华县 8¼级地震和 1303 年 9 月 25 日洪洞 8 级地震）；7.0～7.9 级地震 7 次；6.0～6.9 级地震 22 次，5.0～5.9 级地震 99 次。

该区最早的地震记载为公元前 23 世纪山西永济蒲州 5½级地震。公元前 23 世纪至公元 1000 年间仅有 22 次地震记载，表明地震资料缺失严重，尽管公元 1000 年以来不能保证 M≥5 级地震资料的完整，但地震记录较为连续，可以定性地分析地震活动在时间上的变化过程。图 1.3-5 给出了汾渭地震带公元 1000 年以来 4.7 级以上地震的 M-T 图和应变释放曲线，从图上看，该区 1000 年以来经历有两个地震活跃期（1209—1368 年，1484—1720 年），其间相对平静了 116 年。第一活跃期活动了 159 年，总共记到 1 次 8 级地震，4 次 6.0～6.9 级地震。第二活跃期活动了 236 年，共记到 1 次 8 级地震；5 次 7.0～7.9 级地震；10 次 6.0～6.9 级地震。除了第一活跃期早期地震资料不完整的因素外，第二活跃期在活动时间和活动强度、频度上大大超过第一活跃期。自 1815 年至今，该区小震和震群活动很活跃，1998 年在该区北部发生了引人瞩目

的 6.3 级地震。显示这个地震带目前地震活动正处于向相对活跃时期发展的阶段，预示着未来有可能进入应变加速释放。从保守角度出发，未来百年地震活动趋势，应以本地震带活跃期的地震活动水平来估计。

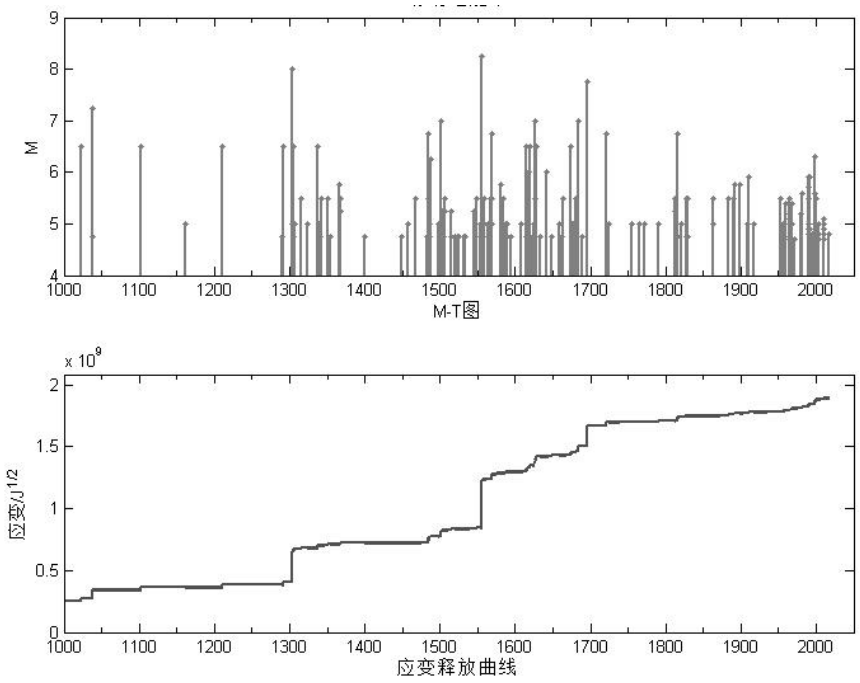


图 1.3-5 汾渭地震带 1000 年以来 Ms≥4.7 级地震 M-T 图和应变释放曲线

1.4 历史地震影响烈度

历史地震的影响烈度，系指用烈度来衡量历史地震对目标区的影响程度。为了分析目标区受历史地震的影响，除了区域范围内 M≥4¾的历史地震外，区域范围外可能对目标区产生Ⅵ度以上烈度影响的大地震也在考虑之列。

采用五代图东部强震活跃区椭圆模型烈度衰减关系（肖亮，2011）的长轴确定历史地震对目标区影响烈度：

I=5.7123+1.3626*M-4.2903*log10（R+25）　　长轴

I=3.6588+1.3626*M-3.5406*log10（R+13）　　短轴

式中，R 为震中距，M 为震级，标准差 s=0.5826。

一、849 年内蒙古包头 7 级地震影响烈度

该地震属于疑难地震。据史书（《旧唐书》卷一八《宣宗纪》）记载，“大中三年十月辛巳（公元 849 年 10 月 20 日），京师地震，河西、天德、灵、夏尤甚，戍卒压死者数千人”。说明在中国北方发生了一次大地震。然而，由于历史文献记录简略，

加上地震距今已有1000多年时间，地震遗迹已消失殆尽。《中国地震资料年表》（1956）年中提及震中位置不确定，后经过孙加林研究认为，这次地震发生在河套地区，震级可能为8-8½级（孙加林，1979）。关于849年地震的史料都出自《新唐书》、《旧唐书》和《唐荟要》，依据这些史料，地震的位置不应该偏离河套盆地东部太远。聂宗笙等（《鄂尔多斯周缘活动断裂系》，1988）等对河套断陷周边活动断裂在晚更新世和全更新世活动进行研究，认为该地震是大青山山前断裂带的活动，并综合孙加林和其他学者的研究成果，认定地震震级为7½级。中国历史强震目录中该地震震级定为7级。该地震没有较完整的等震线资料，只能通过计算得到地震对目标区的影响烈度，如震级为7级，对目标区的影响烈度为VIII度（计算烈度7.9度）；如震级为7½级则影响烈度为VIII度（计算烈度8.6度）。保守起见，本项目认为该地震对目标区影响烈度为VIII度。

二、1996年包头西6.4级地震

此次地震基本参数如下：

发震时间：1996年5月3日11时32分46秒；

震中位置：北纬40°42.7′，东经109°36.9′；

震级：Ms6.4级；

震源深度：24km。

根据薛丁等编写的《中国震例（1995-1996）》，此次地震是新中国成立以来内蒙古自治区发生的最大的一次地震灾害，也是1976年唐山地震后，6级以上地震首次在百万人口的城市造成灾害，人员伤亡较大，经济损失很严重。地震距包头市区仅10多公里。至5月4日共发生余震254次。地震中死亡26人，受伤364人，其中重伤60人，失踪5人。房屋破坏面积近2000万平方米，其中毁坏近43万平方米，灾区人口210万人，涉及9个旗县区、87个乡镇。包头市青山区、昆都仑区、石拐区部分烟囱倒塌，部分楼房有裂缝，包头至固阳的110千伏供电线路中断，造成固阳县城停电。5月4日凌晨0时14分伊盟地办报告，黄河南岸伊盟达拉特旗的恩格贝示范区2号水库（蓄水量400万立方米），震后大坝背后抛出约1万多立方米土，大坝处于危险状态。地震造成的直接经济损失约15亿元。

此次地震宏观震中在包头西郊阿嘎如泰苏木与巴彦淖尔盟乌拉特前旗沙德格苏木之间（北纬40°50′，东经109°37′）（40.83°，109.62°）（《中国震例》（1995-1996））。

此次地震的烈度区范围如下：

VIII度区：北起乌拉特前旗安乡营盘口一带，南到包头郊区阿尔如泰苏木北部乌拉山山区，西起沙德格苏木营井一带，东到朝阳乡土蛤蟆精村附近，面积约 360 平方公里。基本形态呈椭圆形，长轴约 26 公里，呈北东方向，短轴约 17 公里，呈北西方向，长短轴之比为 1.5。地震时人们听到一声巨响，上下颠簸，坐立不稳，行走十分困难。乌拉山山区山崩地裂，岩石飞滚，沟谷滑坡塌方，房屋倒塌，烟雾滚滚，尘土飞扬。沙德格苏木阳湾子沟北山钾长石岩脉裂缝，宽 2cm，长 20cm，走向北东 69°，断续延伸达 5km。建于 20 世纪 50、60 年代的砖木结构房屋，属 I、II 类场地条件，而且无抗震设防和加固措施，50%左右的房屋严重毁坏和倒塌。民房烟筒 70%左右毁坏、掉头或转向，多数呈现上部向南东旋转 40°，位移 15-20cm。房顶脊瓦错位，瓦盖波浪起伏。

另外有两个 VIII 度异常点，位于乌拉山山前活动断裂带附近的第四纪断层陡坎南侧或河漫滩上。第一点位于哈德门金矿，其山体陡立，地震时采石场沿基岩裂缝面滑坡塌方 2000 余立方米，当场砸死 6 人，中山 3 人，轻伤 15 人。矿区有地面裂缝长 30 多米，宽 2cm，走向北东 70°左右。砖混结构的采矿办公楼承重构件明显裂缝宽 0.2-0.3cm，选矿车间设备受损。第二点位于张家营，变电站受损。炼钢用的高 40 米左右的烟筒损坏，一个掉头，一个顶头掉落，精密仪器受损，科研楼严重裂缝，不能继续使用。

VII度区：北起乌拉特前旗西到分子，南到黄河以南达拉特旗四村一线，西起乌拉特前旗敖布拉格，东到包头市东河区以东一线，面积约 3250 平方公里。其基本形态呈椭圆形，长轴方向呈北西向，长约 90km，短轴方向为北东向，长约 60km，长短轴之比为 1.5。地震时人们普遍听到闷雷似的响声，感到强烈颠簸晃动，室内人惊慌外逃，其中有一患心脏病 70 岁老妇因惊吓而死。山区两岸滑坡崩塌，岩石崩落到处可见，有的道路堵塞，交通中断。沿黄河两岸低洼沼泽地带喷沙冒水，串珠状裂缝展布且断续延伸达 30km。局部地段出现隆起与凹陷，相间排列，轴部走向北东 70°。农田淹没，机井坍塌，水利设施、林带和建筑均遭破坏。据统计毁耕田 1 万亩，机井 200 多眼，房屋倒塌和严重破坏 1000 多间。宝钢、一机厂和 202 厂等大型企业的高精尖端仪器仪表、高精度设备等基础设施严重损坏、控制失灵。如一机厂从的国紧扣的 2×2500T 高精度压力机，地震时地基变形，致使价值一亿多元的设备无法运行。

VI度区：北起乌拉特前旗小余太，南到达拉特旗柴磴、新城一带，西起乌拉特前旗公忽洞、公庙子一线，东到土默特右旗大城西一带，面积约 5600 平方公里。其基本形态呈椭圆形，长轴方向呈北西向，长约 130km，短轴方向为北东向，长约 90km，长短轴之比约为 1.5。I、II 类房屋遭到不同程度破坏，老旧土房倒塌，III 类房屋轻微破坏。

V 度区：北起白云鄂博矿区，南到伊金霍洛旗北部，西起临河，东到呼和浩特。一些老旧危房倒塌，个别楼房出现细微裂缝。

此次地震的震中烈度为VIII度，对目标区影响烈度为 VI 度（图 1.4-1）。

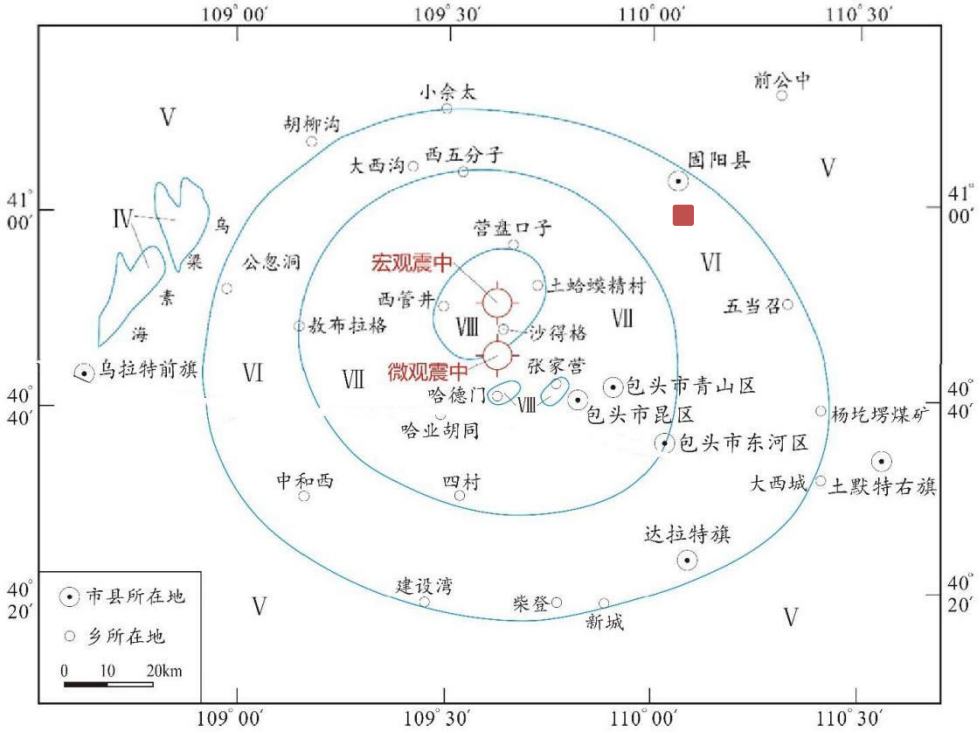


图 1.4-1 1996 年包头 6.4 级地震烈度分布图

通过分析历史地震等震线和计算地震烈度，编制了历史地震影响烈度表（表 1.4-1）和综合等震线图（图 1.4-2）。历史地震对目标区最大影响烈度为 VIII 度，共有 2 次地震对目标区影响烈度超过VI度，分别是 849 年内蒙古包头 7 级地震和 1996 年包头西 6.4 级地震，影响烈度分别为 VIII 度和 VI 度。

表 1.4-1 历史地震影响烈度表

序号	发震时间	震中位置(°)		参考地名	震级	震中烈度	最近距离(km)	计算烈度	影响烈度
	年 月 日	北纬	东经						
1	849.10.24	40.8	109.8	内蒙古包头	7 (7½)	-	26	7.9 (8.6)	VIII
2	1929.1.14	40.7	111.3	内蒙古五原	6	VIII	103	4.8	V
3	1934.1.21	41.1	108.3	内蒙古毕克齐	6¼	VIII	145	4.7	IV
4	1976.4.6	40.17	112.17	内蒙古和林格尔东南	6.2	VII	195	4.1	IV
5	1979.8.25	41.03	108.2	内蒙古五原	6	VII	170	4.1	IV
6	1996.5.3	40.83	109.62	内蒙古包头西	6.4	VIII	38	-	VI

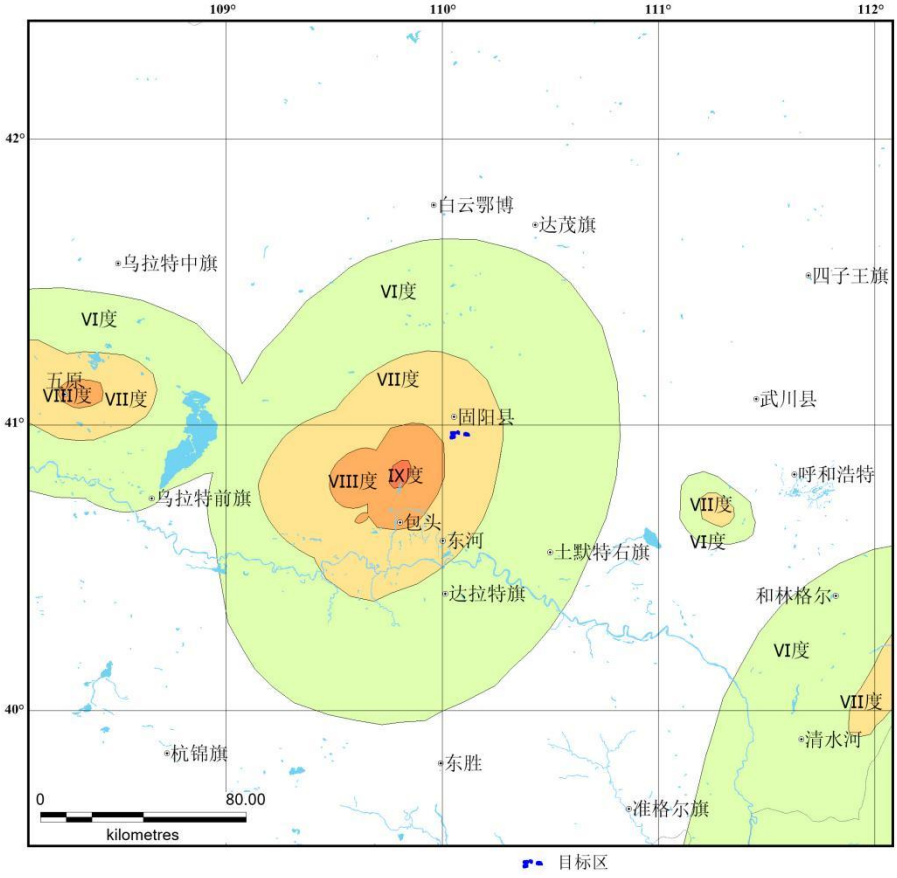


表 1.4-2 历史地震综合等震线图

1.5 区域现代构造应力场

印度板块与欧亚板块碰撞是造成中国西部地区地震破裂的主要动力。由于印度板块现今继续北移挤压，在青藏高原上形成一系列北西西向弧形构造带。在东北方向又受到鄂尔多斯块体和阿拉善块体的阻挡，使破裂多以逆冲—走滑方式出现。区域及周

边 M≥5.0 级地震震源机制解结果（表 1.5-1）显示，该区的断层活动与华北地台内断层活动有相同的运动方式，断层活动以水平分量为主。 综合分析震源机制解可看出，区域应力场的最大主压应力方向是北东至南西方向，最大主张应力方向为北西至南东方向（图 1.5-1 和图 1.5-2）。

地震的两个剪切破裂面分别为北北东—南南西向和北西西—南东东向。在上述应力场中，一般沿北北东向断裂发生地震，其发震断层为右旋扭动；沿北西西向断裂发生地震，其发震断层为左旋扭动。由表 1.5-1 可知，内蒙古中西部地区最大主压应力轴方向为北东 30°～65°左右，这与华北地区北北东—北东向的构造应力方向基本一致。

表 1.5-1 区域及邻区 M≥5.0 级地震震源机制解参数

序号	发震时间	纬度	经度	震级	地名	A 节面			B 节面			P 轴	
						走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角
1	1966/3/22	37°30'	115°06'	7.2	河北邢台	19°	直立	90°	109°	直立	90°	64°	2°
2	1976/4/6	40°14'	112°12'	6.2	和林格尔	26°	NW	75°	61°	NE	72°	73°	2°
3	1976/9/23	39°54'	106°24'	6.2	巴音木仁	15°	SE	52°	84°	NNE	89°	40°	84.5°
4	1979/8/25	41°12'	108°06'	6	内蒙古五原	177°	NEE	70°	94°	SSW	70.5°	46°	0°
5	1981/8/13	40°34'	113°24'	5.8	内蒙古丰镇	78°	SSE	55°	13°	NW	90°	213.5°	24°
6	1982/4/14	36°45'	105°30'	5.7	宁夏海原	339°	NNE	80°	68°	NNW	78°	21°	20°
7	1983/1/17	40°22'	107°01'	5.2	内蒙磴口	21°	NW	85°	70°	SE	90°	245.5°	3.5°
8	1987/8/10	38°06'	106°25'	5.2	宁夏灵武	10°	NW	50°	142°	NE	52°	256°	1°
9	1989/10/19	39°55'	113°54'	6.1	山西大同	24°	SEE	74°	112°	NNE	81°	67°	17°
10	1991/1/13	40°33'	106°03'	5.2	内蒙古阿左旗	70°	SE	70°	346°	SW	70°	207°	29°
11	1991/6/16	38°54'	105°36'	5	内蒙古阿左旗	163°	NE	35°	85°	SE	68°	28°	13°
12	1996/5/3	40°47'	109°41'	6.4	内蒙古包头	32°	NW	55°	295°	SW	80°	249.8°	32.5°
13	1997/10/21	41°12'	107°06'	5	内蒙古乌后旗	84°	SE	85°	169°	NEE	45°	224.5°	26.5°
14	1998/1/10	41°06'	114°18'	5	河北张北	186°	SE	71°	296	NNE	44	247°	16°
15	2015/4/15	39°46'	106°22'	5.8	内蒙古阿左旗	360º	NEE	70º	267º	NEE	82º	222º	70º

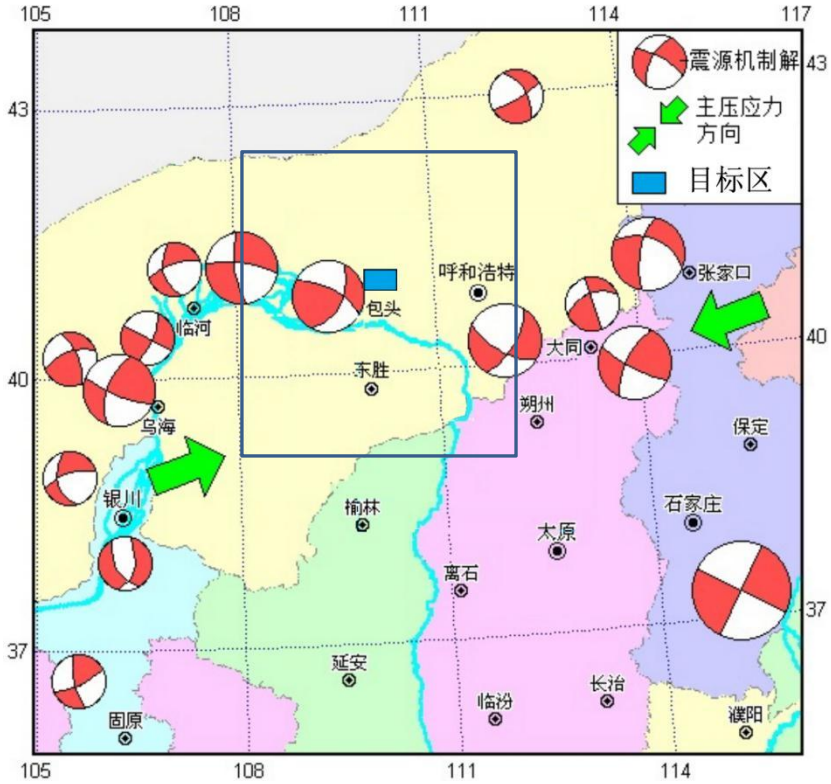


图 1.5-1 区域及邻近区域震源机制解分布图

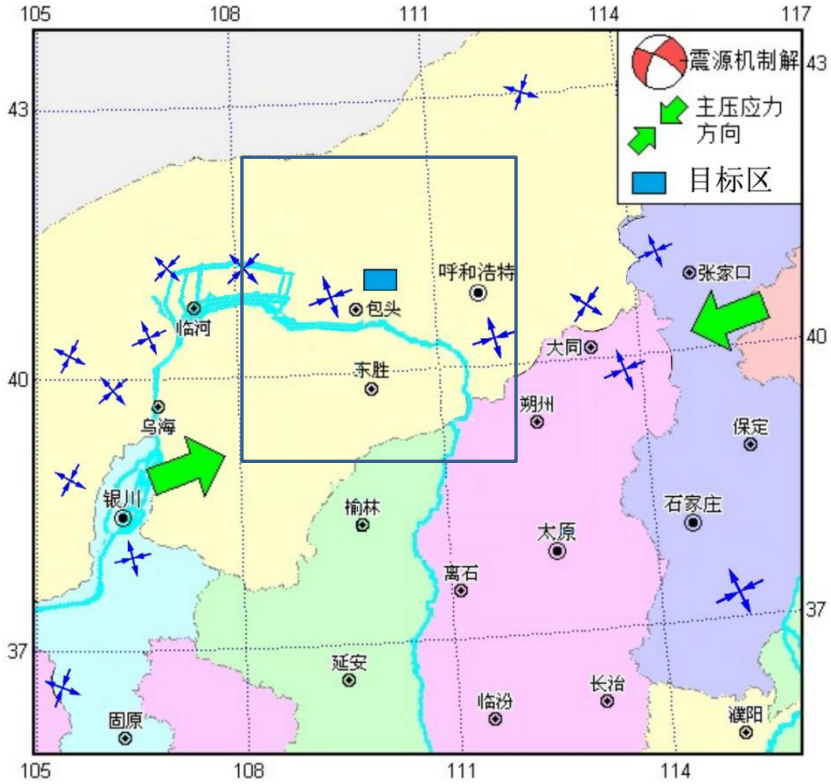


图 1.5-2 区域及邻区震源机制解 PT 轴分布图

1.6 区域地震构造背景

1.6.1 大地构造分区特征

区域处在内蒙古中西部，大地构造单元属于中朝准地台，并跨三个二级大地构造单元（图 1.6-1），区内大地构造单元划分见表 1.6.1。

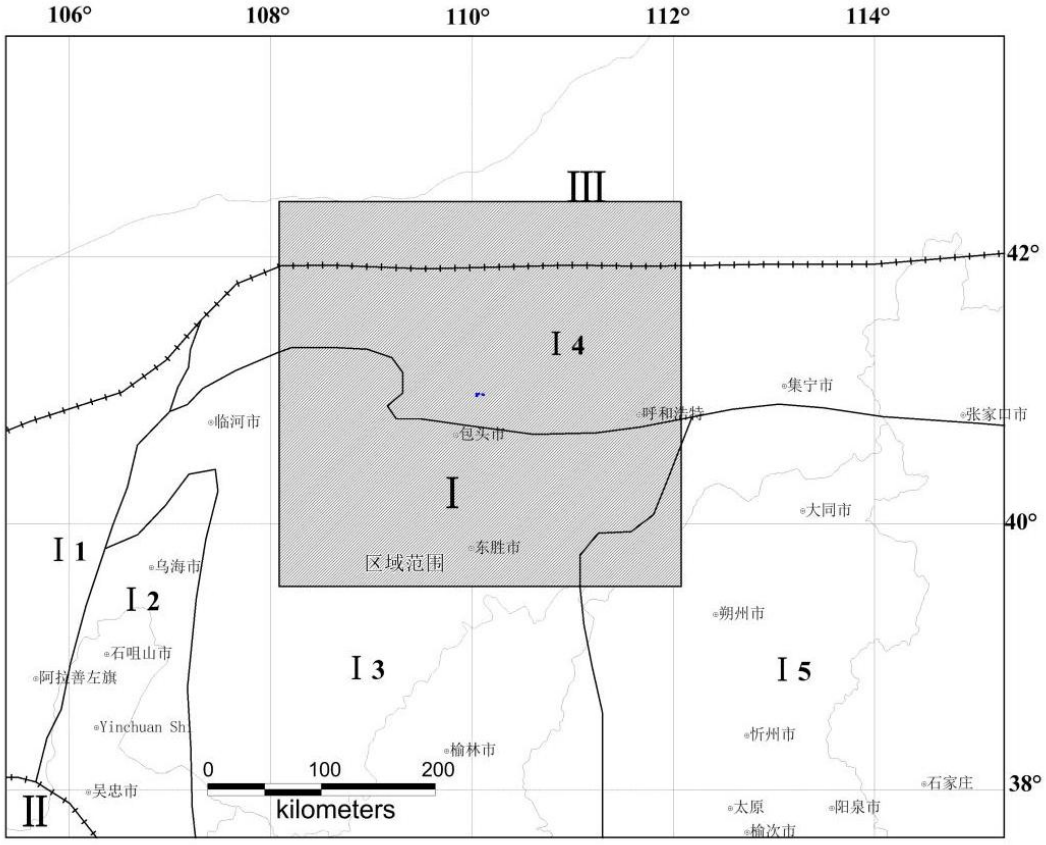


图 1.6-1 区域大地构造单元划分示意图

表 1.6.1 区域大地构造单元划分表

一级大地构造单元	二级大地构造单元
中朝准地台（Ⅰ）	阿拉善台隆（Ⅰ1）
	鄂尔多斯台缘褶带（Ⅰ2）
	鄂尔多斯台拗（Ⅰ3）
	内蒙地轴（Ⅰ4）
	山西断隆（Ⅰ5）
祁连褶皱系（Ⅱ）	
内蒙-大兴安岭褶皱系（Ⅲ）	

中朝准地台是中国最古老的地台，其形成与演化至少可追溯到 35 亿年前。在大约 30—35 亿年前左右，形成了比较稳定的古老陆核，由古陆核到中国地台结晶基底形成，其间经历了迁西运动、阜平运动、五台运动和中岳运动等多次构造运动。后经晋宁、

兴凯、加里东、华力西、印支、燕山、喜马拉雅等多次构造运动改造，形成目前构造格局。

华北地台基底形成于吕梁—中岳运动，加里东早期贺兰山拗拉槽形成，中生代发生强烈的裂陷作用。西北地台的基底形成于晋宁运动。由于燕山运动，地台与西北地台进入一个崭新的活跃时期。鄂尔多斯块体与周缘的分异构造作用十分明显，构造活动强烈，在其周缘形成一系列褶皱和压性断层，构造较为复杂。在阴山、河套和阿拉善地区，近东西向的褶皱构造和逆冲或逆掩断层活动加剧，并有酸性岩浆侵入。在吉兰泰—银川断陷带及其邻区，形成北北东—北东向的挤压构造带，其构造格局对新生代构造的形成、演化具有重要的控制作用。中生代末期，区内隆升作用强烈，鄂尔多斯、阿拉善块体结束了内陆拗陷历史，以整体抬升为主。进入新生代时期，区域构造活动相对稳定，以剥蚀夷平作用为主，形成较为广泛的夷平面。始新世至渐新世，阿拉善块体、鄂尔多斯块体明显抬升，银川—河套断陷开始发育，与两侧地块的分异构造作用明显加强。从上新世至第四纪时期，随着青藏高原的隆起，区内地壳分异构造作用继续进行。河套平原与阴山山区的差异升降幅度达万米。银川断陷新生界厚度达7000m，吉兰泰断陷新生界厚度达2000m。新生代的构造作用使本区地壳进一步解体，进入强烈的断块差异活动的构造演化时期。

1.6.2 地层与岩浆活动

一、地层

区域地层呈现明显的分区特征，在北部的阴山地区、中部的河套断陷带和南部的鄂尔多斯地区分别出露了不同时代和不同特征的地层单元。河套断陷带地表主要被第四纪沉积物覆盖。阴山隆起区经历了长期的地质演化，受构造抬升影响，区域大量出露前寒武系，山地多由前寒武系构成，其间发育断陷盆地，在断陷盆地中有大量沉积岩分布。鄂尔多斯隆起区主要出露中生界—新生界，仅在区域西南部清河凸起区出露太古宙结晶基底岩系。李文国等（1996）对内蒙古自治区岩石地层进行了较为详细的划分，区域整体位于华北地层大区，可以进一步划分为北部的阴山分区和南部的鄂尔多斯分区，仅在区域北端和西南角出露了其它地层分区的地层（表1.6.2）。

表 1.6.2　区域地层划分表

			阴山分区	鄂尔多斯分区
新生界	第四系	全新统	冲洪积、冲积等	冲洪积、冲积、风积等
		更新统	马兰黄土、冲洪积等	离石黄土、马兰黄土等
	新近系	上新统	宝格达乌拉组	乌兰图克组
		中新统	汉诺坝组	五原组
	古近系	渐新统		临河组
		始新统		乌拉特组
		古新统		
中生界	白垩系		白女羊盘组	
			固阳组	志丹群
			李三沟组	
			金家窑子组	
	侏罗系		大青山组	安定组
				直罗组
			石拐群	延安组
				富县组
	三叠系			延长组
				二马营组
				和尚沟组
				刘家沟组
上古生界	二叠系		老窝铺组	孙家沟组
			脑包沟组	石盒子组
			石叶湾组	山西组
			杂怀沟组	太原组
	石炭系		拴马桩组 / 阿木山组	本溪组
	泥盆系			
下古生界	志留系			
	奥陶系		乌兰胡洞组	
			二哈公组	马家沟组
			山黑拉组	三山子组
	寒武系		老孤山组	炒米店组
				张夏组
			色麻沟组	馒头组
元古界			什那干群	
			渣尔泰山群 / 白云鄂博群	
			二道凹群 / 宝音图群	
太古界			色尔腾山岩群	
			乌拉山岩群	
			集宁岩群	
			兴和岩群	

1、前寒武系

太古宙主要沿阴山山脉出露，包括集兴和岩群、集宁岩群、乌拉山岩群和色尔腾山岩群。区域范围内主要出露集宁岩群、乌拉山岩群和色尔腾山岩群，其中乌拉山岩群和色尔腾山岩群出露规模较大。集宁群的变质岩组合下部以矽线石榴钾长片麻岩、黑云斜长片麻岩为主，下部以含石榴石浅粒岩、钾长片麻岩为主，主要在土默特左旗

出露，区域东部和林格尔和清水河一带也有一定规模出露。乌拉山群主要集中分布在乌拉山和大青山地区，呈近东西向断续展布，是隆起山地的重要物质组成。岩石类型主要为角闪斜长片麻岩、矽线石榴片麻岩、斜长角闪岩、石墨片麻岩、磁铁石英岩、大理岩。乌拉山岩群在大青山一带与集宁岩群呈构造接触。色尔腾山岩群为一套中级变质的绿片岩建造，含一定数量的混合岩化片麻和混合岩，主要分布于阴山山脉中段乌拉特前旗、大西沟和固阳县等地。色尔腾山岩群与下伏乌拉山岩群以及上覆渣尔泰山群均为构造接触。

区域元古界地层发育较为齐全。属于华北地层区的阴山地层分区，沿乌拉特后旗—达尔罕茂明安联合旗一带出露元古界白云鄂博群、渣尔泰山群、宝音图群、二道凹群、什那干群等。二道凹群岩性为变质砾岩、各种片岩和大理岩的变质岩石组合，在大青山地区不整合于乌拉山群之上，其上被渣尔泰群不整合覆盖。宝音图群为一套中、浅变质岩石组合，以云母石英片岩、云母片岩和石英岩等为主，在达旗以北的地区有一定规模出露。渣尔泰山群主要为碎屑岩、碳质页岩、粉砂岩及碳酸盐岩，主要分布于渣尔泰山—固阳县一带，呈近东西向展布，不整合于乌拉山岩群之上，从下至上划分为书记沟组、增隆昌组、阿古鲁沟组和刘鸿湾组。白云鄂博群岩性主要为浅变质或未变质沉积岩系，包括都拉哈拉组、尖山组、比鲁特组等，主要分布于白云鄂博一线，不整合于色尔腾山岩群之上。

2、下古生界

在阴山分区，寒武系和奥陶系发育较为完全，缺失志留系。区域下古生界主要在色尔腾山、乌拉山和大青山出露，包括寒武系色麻沟组和老孤山组，奥陶系山黑拉组、二哈公组和乌兰胡洞组。其中色麻沟组为一套砂岩、页岩、粉砂质灰岩地层，主要在色尔腾山地区出露，不整合于什那干群之上。老孤山组岩性主要为微晶灰岩、砂屑灰岩、白云质灰岩，主要分布于乌拉特前旗。奥陶系主要为灰岩、白云岩地层，分布于乌拉特前旗、渣尔泰山一带，各组之间为连续沉积。

在鄂尔多斯分区，寒武系—奥陶系出露较为完整，同样缺失志留系。在区域西南部清水河至河曲一带广泛发育下古生界，包括寒武系馒头组、张夏组、系炒米店组，奥陶系三山子组和马家沟组。馒头组岩性为页岩、砂岩夹灰岩，张夏组和炒米店组岩性主要为鲕状灰岩、白云质灰岩、竹叶状灰岩。三山子组主要出露于清水河一带，岩性以白云岩、白云质灰岩、白云质页岩等为主，与上下地层整合接触。马家沟组为一

套浅海相厚层灰岩，主要在区域西南部清水河一带出露。

在区域北部还出露了一定规模的奥陶系包尔汉图群，为一套中基性火山熔岩、火山碎屑岩地层。

3、上古生界

在阴山区主要出露石炭系栓马桩组和阿木山组，下二叠统大红山组、杂怀沟组、石叶湾组、寿山沟组，上二叠统老窝铺组和脑包沟组。阿木山组主要出露于达旗北部，为一套海相碳酸盐为主的岩石地层序列。拴马桩组主要分布于阴山地区，不整合于奥陶系乌兰胡洞之上，主要岩性为灰绿色页岩、石英砂岩、砾岩等，上界被中生代地层不整合覆盖。杂怀沟组、石叶湾组、脑包沟组和老窝铺组主要分布于包头市石拐区一带，岩性主要为页岩、中砂岩、粗砂岩等，各地层之间为整合接触。

在鄂尔多斯分区，缺失下石炭统，出露上石炭统本溪组和太原组，上二叠统山西组和石盒子组，下二叠统孙家沟组。其中本溪组为紫红铁质、铝土质泥岩，太原组岩性为粘土岩、泥岩，是重要的含煤地层。山西组由陆相砂岩、页岩和煤构成的旋回层组成。

4、中生界

鄂尔多斯分区，三叠系主要出露下三叠统刘家沟组、和尚沟组，中三叠统二马营组，上三叠统延长组，岩性主要为砂岩、泥岩和粉砂岩。侏罗系主要出露富县组、延安组、直罗组和安定组，岩性主要为砂岩、泥岩等。白垩系主要出露下白垩统志丹群和左云组。其中志丹群岩性为杂色碎屑岩、泥岩、泥灰岩、包括洛河组、环河组、罗汉洞组、泾川组、东胜组，广泛分布于鄂尔多斯盆地，不整合于侏罗系或更老岩系之上。左云组为一套干燥气候下的湖相沉积，区域仅在和林格尔西出露。

在阴山分区，缺失三叠系。侏罗系出露中-下侏罗统石拐群（五当沟组、召沟组和长汉沟组），中侏罗统大青山组。其中，五当沟组、召沟组为含煤地层，长汉沟组为湖相沉积地层，大青山组为红色粗陆源碎屑岩。区内白垩系主要发育于沉积盆地内，为陆相沉积，出露了白女羊盘组、固阳组、李三沟组、金家窑子组等。金家窑子组为一套陆相火山岩地层，仅在固阳一带出露。李三沟组主要分布于固阳盆地，为一套河湖相杂色碎屑岩组合。其中固阳组出露面积最大，在主要盆地内均有分布，岩性为杂色碎屑岩、灰黑色泥岩夹泥灰岩、石膏。

在区域北端还零星出露了其它地层分区的地层，包括白垩系巴音戈壁组、大磨拐

河组、二连组。其中二连组出露规模较大，为一套浅灰、灰绿泥质砂岩、砂岩组合。

5、新生界

（1）古近系

区域古近系出露规模很小，只在区域北部零星分布，包括古新统—始新统脑木根组、阿山头组等，渐新统清水营组、乌兰戈楚组和呼尔井组，以上地层都不位于阴山或鄂尔多斯地层分区。在鄂尔多斯地层分区中，乌拉特组、临河组和五原组都是根据河套盆地钻探资料建立的。

（2）新近系

新近系在区域广泛发育，在区域北部乌拉特中旗、达尔罕茂明安联合旗、四子王旗，区域南部清水河县、河曲县大面积出露，包括中新统汉诺坝组、通古尔组，上新统宝格达乌拉组、静乐组、苦泉组，乌兰图克组。其中，宝格达乌组出露规模最大，广泛分布于区域北部的盆地内和南部的山间洼地中，岩性主要为砖红色砂质泥岩、砂岩、砂砾岩、局部含钙质结核，不整合于汉诺坝组或通古尔组之上。

（3）第四系

区域第四系主要集中分布于河套盆地和鄂尔多斯高原，山区冲沟中也有零星分布，其中河套盆地内第四系松散堆积物厚度可达 2000m 以上，为不同成因类型的陆相堆积。更新统主要出露于山麓台地，其成因类型复杂，在区域东南部有较大规模出露，包括中-下更统离石组和午城组，上更新统峙峪组、萨拉乌苏组和马兰黄土

全新统广泛分布于盆地和平原地区，包括冲洪积、风积、湖积、冲积积等成因地层。冲洪积层呈带状分布于阴山山前，构成山前洪积扇。冲湖积层为湖沼河流相向黄河泛流相的过渡沉积。风积地层主要分布于黄河南岸的沙漠地区，由新月形沙丘、沙丘链等组成。

二、岩浆岩

区域整体位于华北准地台，自太古宙以来，经历多次构造动动，岩浆活动强烈，形成的岩浆岩在区域北部阴山隆起区广泛分布。区内岩浆活动明显受构造运动控制，具有多旋回特征。太古宙至中生代的岩浆岩在区域基本都有出露，其中太古宙、石炭纪、二叠纪和三叠纪岩浆岩主露规模较大。区域出露的中太古宙变质深成侵入体岩性为灰色片麻岩和紫苏花岗岩，新太古宙变质深成侵入体岩性主要为片麻状斜长花岗岩和花岗闪长岩。在目标区乌拉山和大青山隆起区出露的岩浆岩主要有山和原沟深成侵

入岩、老爷庙深成侵入岩，昆都仑深成侵入岩、平方沟重熔岩体，中生代老爷庙岩体等。

1.7 区域新构造运动特征与分区

1.7.1 区域新构造运动分区

区域内新构造格架是在燕山运动奠定的基础上，受喜马拉雅运动的强烈影响所形成。第四纪时期，大体上继承了新近纪的构造格局，在河套断陷带，其沉陷深度最深达 2400m。同时，河套断陷带西侧的狼山及北侧的色尔腾山、乌拉山大青山山体间歇性抬升，形成多级台地和河流阶地；其南侧的鄂尔多斯台地相对缓慢隆起遭受剥蚀，形成了现今区域地质地貌景观，这些特征为区域新构造分区提供依据。新构造运动分区的基本原则主要考虑了新构造运动升、降性质和新构造活动的基本特点及其发展阶段。新构造单元的划分与大地构造单元的划分区别是，大地构造分区的边界趋于稳定，而新构造只是在河套盆地内受第四纪活动断裂的影响，形成了新的构造单元，新构造单元的边界其分区标志为：大的地貌单元分界；新生代盆地边界；规模较大断裂带和活动断裂带等。而新构造边界的活动断裂均是深大断裂，延伸上百公里，沉积了深达千米的沉积物。

根据上述原则，采用《鄂尔多斯周缘活动断裂系》的划分方案，将区域新构造可划分三个区：（I）阴山隆起带、（II）河套断陷带、（III）鄂尔多斯隆起区。各分区均为活动断裂或构造活动带所分隔，其中近东西走向的河套断陷带为阴山东西向隆起带与鄂尔多斯隆起区的分界断陷带（图 1.7-1）。

一、阴山隆起

阴山隆起带的主要构造线方向和山脉走向均为近东西向，由东逐渐转成北东东至北东向。该区在地质历史时期经历了复杂的构造变动，基本构造格架为燕山运动形成。中生代时期受南北向的挤压应力作用，形成近东西向的褶皱、断裂构造，以及北东东和北西西向两组规模较大的断裂带，阴山地块破裂解体。早中侏罗纪世和晚侏罗世时，形成了近东西向的断陷盆地，接受巨厚的沉积。经历了燕山运动后，阴山隆起基本固结成一稳定的地块，晚白垩世山地隆起遭受剥蚀。

新生代时期，阴山隆起区南侧破裂解体，形成河套断裂带。由于受阴山山前活动断裂带控制，阴山山地相对间歇性抬升，遭受剥蚀作用，形成阴山夷平面、剥蚀台地、

深切沟谷、河流阶地和山前台地。山前河套盆地不断沉降，接受了巨厚的沉积，形成广阔的河套平原。山体与平原之间线性特征十分明显，山麓洪积扇、裙极为发育。在地形上隆起区呈阶梯状上升趋势，总体上向北倾斜，大青山夷平面分布大青山主峰以北，海拔标高为1600~2200m，南高北低，南部遭受强烈剥蚀作用，夷平面被深切沟谷分隔；北部保存连续、完整，由宽缓的谷地和浑圆的山丘组成。第四纪时期，隆起区除河谷两侧有阶地堆积外，广大地区遭受剥蚀，在新构造时期是一个持续隆起的构造单元，其内部差异活动不甚明显，6.0级以上地震主要发生在隆起区南侧的河套断陷带内。

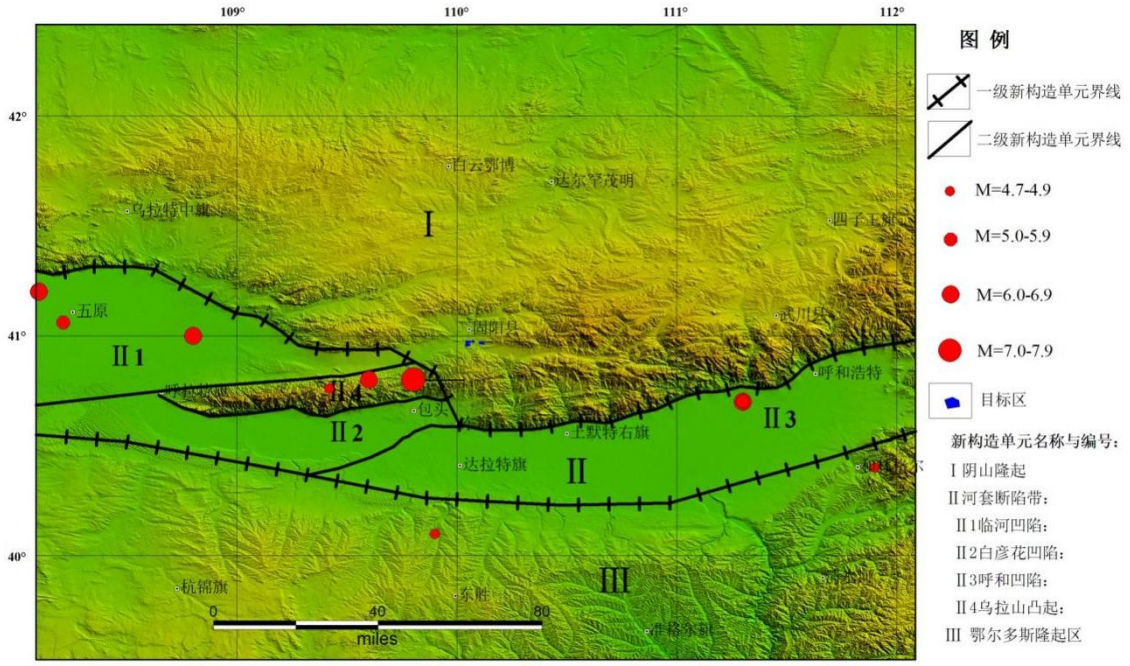


图 1.7-1 区域新构造分区

二、河套断陷带

河套断陷带是一个复式盆地，存在两个次一级的隆起，分别为西山咀凸起和包头凸起，其中包头凸起位于目标区内。包头凸起在地貌上有一定显示，自东河区向西南潜入盆地，长30km，宽5-7km，主要大青山山前断裂控制，呈东南陡、西北缓的不对称地垒。凸起东南缘为大青山山前断裂，西北缘为西沙湾－兴胜断裂。根据钻孔资料，凸起的基底为太古宙片麻岩，上覆厚数米至200余米的第四系，在昭君坟渡口附近，片麻岩出露地表。西山咀凸起位于乌拉山向西延伸方向，潜伏于盆地中，走向北东东。凸起由下白垩统组体，总体向北西倾斜，自东向西埋深逐渐增大，新生代沉积增厚，表明凸起可能为乌拉山西延沉陷所致。

由西山咀凸起和包头凸起分隔，河套断陷带可以划分为为左行右阶错列的三个凹陷：临河凹陷、白彦花凹陷和呼和凹陷。这三个凹陷分别受控于狼山－色尔腾山山前断裂带、乌拉山山前断裂带和大青山山前断裂带，基本形态为北深南浅的箕状断陷。各凹陷于渐新世开始形成，新生代地层厚度及沉积速率见表 1.7.1。河套断陷带新生界厚度巨大，在临河凹陷可达 10 公里以上。各地质时期内不同凹陷的沉积厚度不同，但都显示沉积速率自渐新世至第四纪逐渐增大的特征。物探剖面显示三个凹陷均为北深南浅的箕状断陷（图 1.7-2）。河套断陷带是一个地震活跃带，地震活动震级大、频度高。河套断陷带的地震活动主要受阴山山前活动断层控制，6.0 级以上破坏性地震主要发生在断陷带内。

表 1.7.1 河套断陷带新生代地层最大厚度与沉积速率

地区 / 时代	临河凹陷		白彦花凹陷		呼和凹陷	
	厚 度（m）	沉积速率（mm/a）	厚 度（m）	沉积速率（mm/a）	厚 度（m）	沉积速率（mm/a）
第四纪	2400	1.00	2000	0.83	2300	0.95
上新世	6000	2.14	900	0.32	1800	0.64
中新世	3800	0.20	1200	0.05	2300	0.12
渐新世	2600	0.20	1000	0.08	1000	0.08
新生代	14800	0.40	5100	0.14	7400	0.20

注：地层厚度据长庆油田地调处 1981-1984 年资料

（1）临河凹陷

临河凹陷位于河套断陷带西部，受狼山—色尔腾山山前断裂控制。凹陷西北侧在狼山山前下陷达 15km，东南侧在黄河断裂前下陷也有 2km。临河凹陷可以进一步划分为北部凹陷、南部断阶和东部斜坡 3 个亚一级构造单元。渐新世以来，受阴山山前断裂带强烈活动影响，河套断陷带开始形成，临河凹陷接受巨厚沉积。新生界累计厚度达 15km，其中渐新统厚 2600m，中新统厚 3800m，上新统厚 6000m，第四系厚 2400m。各时期沉积厚度都大于其它两个凹陷，这表明断陷带的沉降中心始终位于临河凹陷。

（2）白彦花凹陷

白彦花凹陷位于河套断陷带中部，受北部乌拉山山前断裂控制。根据石油勘探资料，凹陷基底为太古宙片麻岩，其上为下白垩统不整合覆盖，岩性主要为河湖相碎屑沉积，厚度为 0-1400m，向西、向北加厚，在公庙子一带最厚。白彦花凹陷形成于渐新世，在晚白垩世、古新世和始新世为隆起遭受剥蚀。渐新世始，乌拉山山前断裂带

强烈活动，白彦花凹陷不断沉降，接受巨厚沉积，在哈拉汉补隆和公庙子一带沉积最厚。新生界累计厚度为5100m，其中渐新统厚1000m，中新统厚1200m，上新统厚900m，第四系厚2000m。盆地基底北深南浅，为一箕状断陷。

（3）呼和凹陷

呼和凹陷位于河套断陷带东部，主要受大青山山前断裂探制。凹陷北翼陡窄，南翼宽缓，北部在大青山前基底最大埋深可达7km以上，南部为一平缓斜坡，向南渐次抬升与伊盟隆起相接。同时，受大青山山前断裂下降盘大幅沉降影响，凹陷南侧基底产生补偿性拱张，生成了一系列反向正断层。根据凹陷形态特征，可以进一步划分出北部凹陷、南部斜坡和西部断块三个亚一级构造单元。呼和凹陷形成于渐新世，受北侧大青山山前断裂强烈活动影响，接受了巨厚沉积，新生界厚7400m，其中第四系厚2300m，各时期沉降幅度小于临河凹陷的沉降幅度，但大于白彦花凹陷的沉降幅度。

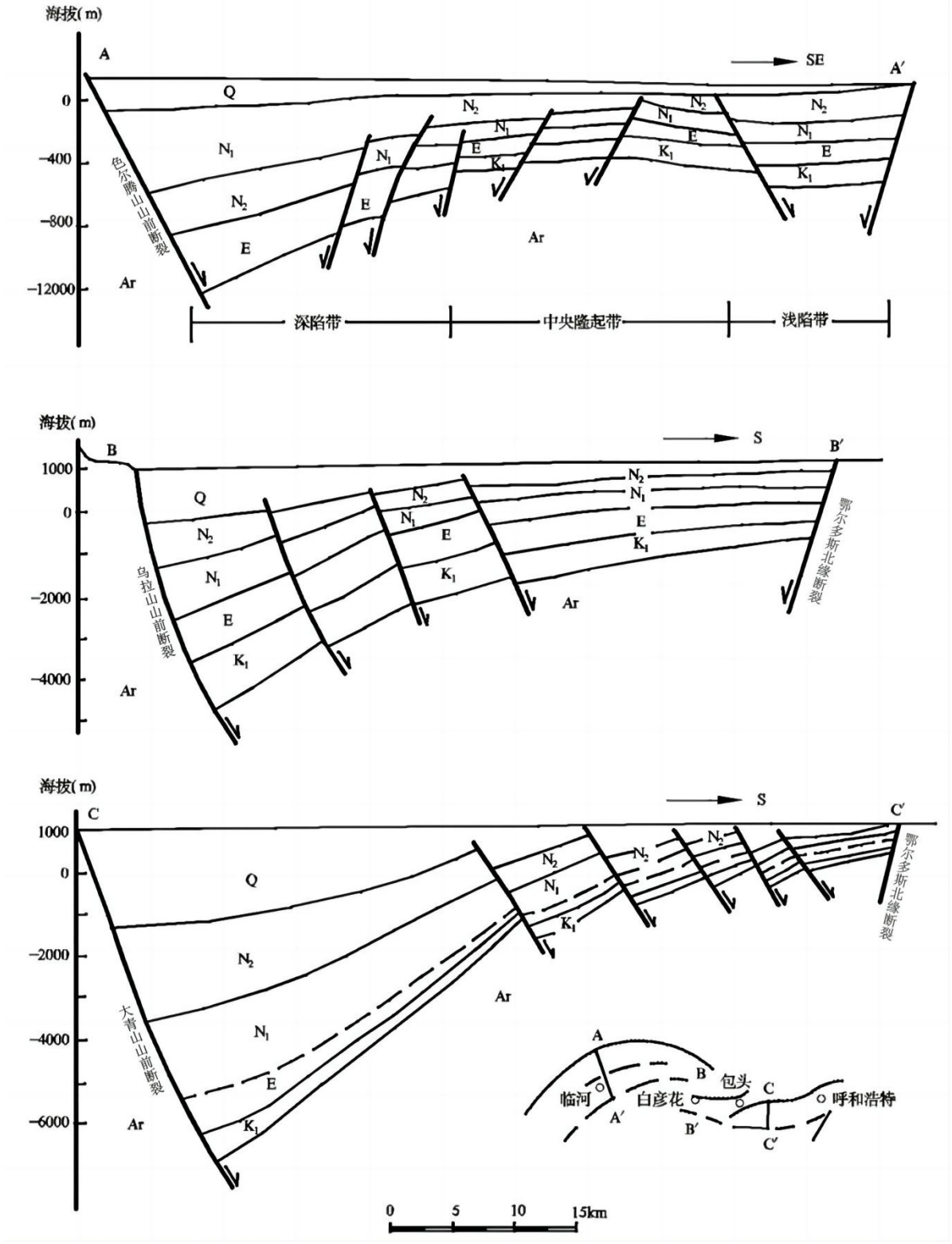


图 1.7-2　河套盆地横剖面图（《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组，1988）

（4）乌拉山凸起

乌拉山山前断裂北侧是乌拉山凸起，新生代时期山体相对抬升，渐新世时形成的夷平面海拔高程为 2000m，高出白彦花盆地面 100m。乌拉山凸起主要出露前寒武纪基

底花岗片麻岩, 山前断陷盆地沉积了巨厚的新生界, 山前平原主要出露晚更新世— 全新世地层。 在晚更新世, 河套断陷带发育了覆盖整个断陷带的古大湖, 是区域重要的古气候及古环境演化事件, 其标志性的湖相地层在钻孔、 台地中大量揭露, 该套地层可与标准的萨拉乌苏组地层对比。 河套地区晚第四纪地层存在多种划分方案, 但这些方案基本都认为湖相地层底界是(或接近)上更新统底界。

三、鄂尔多斯隆起区

鄂尔多斯隆起区是一个相对完整的隆起区，内部变形微弱。块体四周被断裂和断陷盆地带所围限，包括银川—吉兰泰断陷带、河套断陷带、山西断陷带、渭河断陷带等。鄂尔多斯地块作为一稳定地区，在中生代相对于周边的挤压隆起作不均匀沉降，形成西深东浅的大型拗陷盆地，广泛堆积了三叠世至早白垩世的沉积。新生代以来，块体持续隆升。第四纪时期，块体的差异构造活动仍集中于其周缘断陷带及断陷带两侧山区。新构造期以来鄂尔多斯地块一直处于隆起状态，隆起区内部没有活动构造，也无强震发生，是一个整体性强没有构造活动分异的大陆地块。

鄂尔多斯盆地自白垩纪后期隆起之后，除盆地西及西北线有古近系超覆之外，盆内广大地区仅有新近系沉积。新近系为杂色砂泥岩夹石膏层，厚 20-360m。第四纪地层在盆地内部基本以北纬 38 度为界，北部是砂砾层，南部是黄土，厚度 70-300m。他们与下伏地层的接触关系均为不整合。该区的新生代地层主要发育于周缘断陷盆地之中，在渭河断陷盆地内厚度可达 7000m 左右，在河套断陷盆地内厚度近于 9000m，在银川断陷盆地中厚度为 5000m 左右。

1.7.2 新构造运动特征

新构造运动系指造成现代地貌基本特点的构造运动。这个运动的特点具有普遍性和节奏性，它最普遍的表现是振荡性升降。本区经过燕山运动，乌拉山和大青山隆起一直在抬升处于剥蚀状态，只有河套盆地和鄂尔多斯中台拗接受沉积。新近纪时期，垂直差异运动表现十分明显，形成台地与平原截然分明的壮观特征。新构造运动在本区的表现如下：

1．断裂构造：新生断裂和古老继承性活动断裂是新构造运动最直接、最可靠、最有利的证据。主要断裂有乌拉山山前断裂、大青山山前断裂、鄂尔多斯北缘断裂、乌拉山北缘断裂、达拉特隐伏断裂及包头北东向断裂。

进入第四纪时期，河套断陷带各边界断裂的活动仍较强烈，断裂带普遍错断了第

四系，明显的地貌标志和构造标志沿断裂带均可看到。断裂活动仍保持晚第三纪以来的特点，外围山地缓慢抬升，断陷盆地不断下降。但随着时间的推移，山前断裂带活动重心有向盆地方向迁移的特点，以至于在狼山与色尔腾山的一些地点，第三纪地层已构成上升山区的一部分，而在各处山前晚更新世湖河相地层组成的台地已位于主要的第四纪活动的断裂的北面，抬升到相当高的位置上。

2．地貌景观：这是新构造运动的外部反映。本区自北向南可分为山地、平原和高原三大地貌单元。这三个地貌单元均呈东西向展布，受活动构造控制明显。各地貌单元的界线均为具继承性深大断裂所分割。

3．河流的改道和迁移：是新构造运动中差异性升降所致。例如本区内黄河河道迁移就是一个明显的例子。在大青山、乌拉山的山前阶地上有黄河冲刷的痕迹。河流的突然改向表现在流入黄河内各川河都具有同向歪斜，显示本区新构造运动的特点，在以升降运动的基础上辅以水平运动。在鄂尔多斯高原局部地区，向北流动的川河，进入平原之后立即消失，河水沿断裂下渗，形成断头河。

4．山前台地广泛分布

沿狼山、色尔腾山、乌拉山和大青山山髓，山前台地发育，一般发育三级。Tl 缀台地分布于山前主断裂南侧，主要由全新统砂砾石和黄土砾石层组成，分布不连续，台面海拔高程为 1040-1060 米，相对高程 5-10 米，台面向南倾斜。在乌加河西柳树泉和土默特右旗黑麻板，利用腐殖土测得 ^{14}C 年龄为 9690±553 年和 9637±105 年。在土默特左旗把什，利用砾石的钙膜和钙土充填物作无机碳测定，^{14}C 年龄为 9799±100 年，因而 T1 级台地应为全新世早期形成的。

T2 级台地为基座台地，沿山前主断裂北侧展布，台面海拔高程为 1070-1080 米，相对高程为 15-20 米。在狼山口、乌拉山电厂和包头东沙尔沁一带，相对高程可达 40-50 米，台面宽度一般为 50-100 米，最宽可达 400 米。台地前缘常见基岩断崖，向盆地倾斜，倾角较陡。

T3 级台地亦为基座台地，台地顶部为松散的砂砾石层组成，覆于河湖相沉积层之上，其下为前新生代基岩，台面海拔高程一般 1100-1120 米，最高可达 1160 米。由于在台地上河湖相砂砾石层和黄绿色粉细砂层中采到了萨拉乌苏组化石，可将台地顶部的砂砾石层确定为晚更新世晚期所形成的，是河套断陷盆地由河湖相转变为河流相的沉积，故 T3 级台地应为晚更新世晚期形成的。

5．山前冲洪积扇发育

全新世时期，河套断陷带周缘断裂仍继承性活动，在山麓地带发育一系列洪积扇群，尤以阴山南麓最为壮观。在乌拉山南麓，洪积扇群呈带状分布，宽度一般为 2-4km，最宽可达 8-10km，前缘已被黄河侵蚀切割，山麓上还常见扇上扇的叠置现象。在大青山南麓，洪积扇形态保存完整，卫星影像显得十分清楚。在毕克齐以东，洪积扇规模较大，延伸较远，其下常见泥炭层，太阁牧附近泥炭层的 ^{14}C 年龄为 9600±107 年，因而洪积扇为早全新世形成的。中、晚全新世洪积扇规模较小，常叠置于早全新世洪积扇之上。

6．侵蚀阶地：在乌拉山山前冲积扇上，有基岩组成的阶地面上冲洪积物覆盖极少，形成明显侵蚀阶地。它是地壳上升较快，河床下切作用的产物，在白彦花一带发育较好。

1.7.3 新构造运动与地震活动关系

地震活动与新构造运动关系十分密切.新构造运动强烈地区，地震活动的强度和频率也高，反之亦然。通过对古地震事件考察，古地震事件均发生在地壳垂直差异运动和水平差异运动明显的地区。现代地震活动是地壳运动的现今表现形式之一。历年来发生的地震活动几乎都是构造地震。震中分布的空间特征明显反映地震活动沿活动性断裂分布，且在部分地段有密集分布，说明新构造运动存在明显的分段性。河套断陷盆地内所发生的6级以上地震，无一例外地发生在垂直差异运动明显地段。

1.8 区域地球物理场特征

1.8.1 重力场特征

一、数据来源

区域重力资料来源于中国地质调查局1:50万布格重力异常网格数据，异常精度达0.8mGal，数据范围为北纬39°~42°、东经108°~112°，网格为81×61，数据纵横向点距均为5km（图1.8-1）。

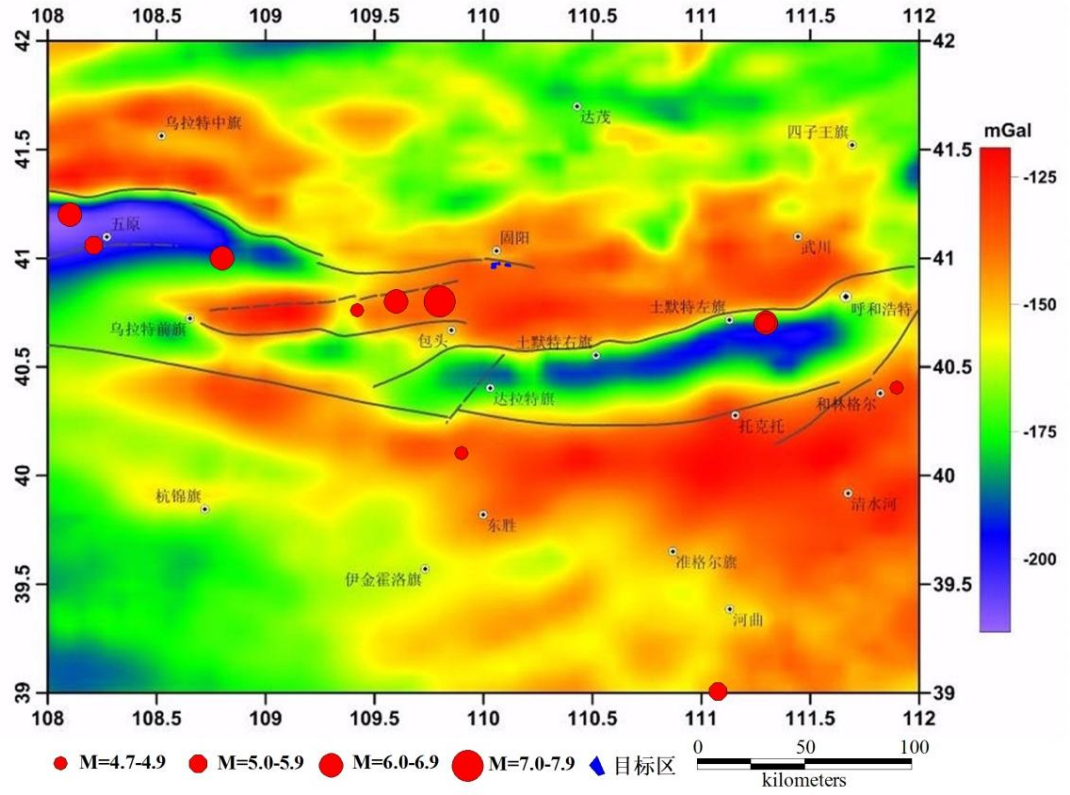


图 1.8-1 区域布格重力异常图

区域布格重力异常整体东、南高而北、西低，反映出研究区基底和莫霍面深度东、南浅而北、西深的趋势特征。区域分布有“两高加一低”的不同级别的梯级带，走向基本大致为东西向，反映东西向的断裂构造带发育且切割较深。北边高异常带及局部团块状异常主要对应为古老基底隆升带，及不同时期岩浆活动形成的花岗岩、闪长岩等火成岩体。中间低异常带主要对应为河套断陷带，反映断陷带内基底下降及低密度沉积层覆盖。南部的高异常带及大范围高异常区反映了鄂尔多斯块体的古老基底隆起。大型重力异常梯级带与已知主要断裂吻合较好，如色尔腾山山前断裂、乌拉山山前断裂、大青山山前断裂、鄂尔多斯北缘断裂等。而河套断陷带内部的局部重力异常反映出断陷内基底局部隆起凹陷及次生基底或沉积盖层断裂的发育。

二、数据处理

对区域布格重力异常作了不同高度的向上延拓，得到相应的延拓场，延拓高度步长 10km，范围 10km~40km（图 1.8-2）。在一定范围内向上延拓的高度越大，所反映的地质信息越是宏观的，也相当于深度越大。功率谱分析估计 30km 延拓场主要反映 16km 以下的深源体异常，40km 延拓场主要反映 20km 以下的深源体异常。

三、重力异常特征

在不同高度区域重力延拓场中，色尔腾山山前断裂西段、大青山山前断裂、鄂尔多斯北缘断裂东段所在位置有明显的重力异常梯级带，这些断裂对应的梯级带在不同高度延拓场几乎均有呈现，说明这几条断裂向下延伸可达 16km 以下，属于地壳深断裂。而其他断裂在布格重力 30km 和 40km 延拓场中几乎没有梯级带反映，这些断裂对应的梯级带或异常变化带大都只呈现在高度于 30km 的延拓场中，说明它们延伸较浅，深度在 16km 以上，属于断陷带内基底或盖层断裂。

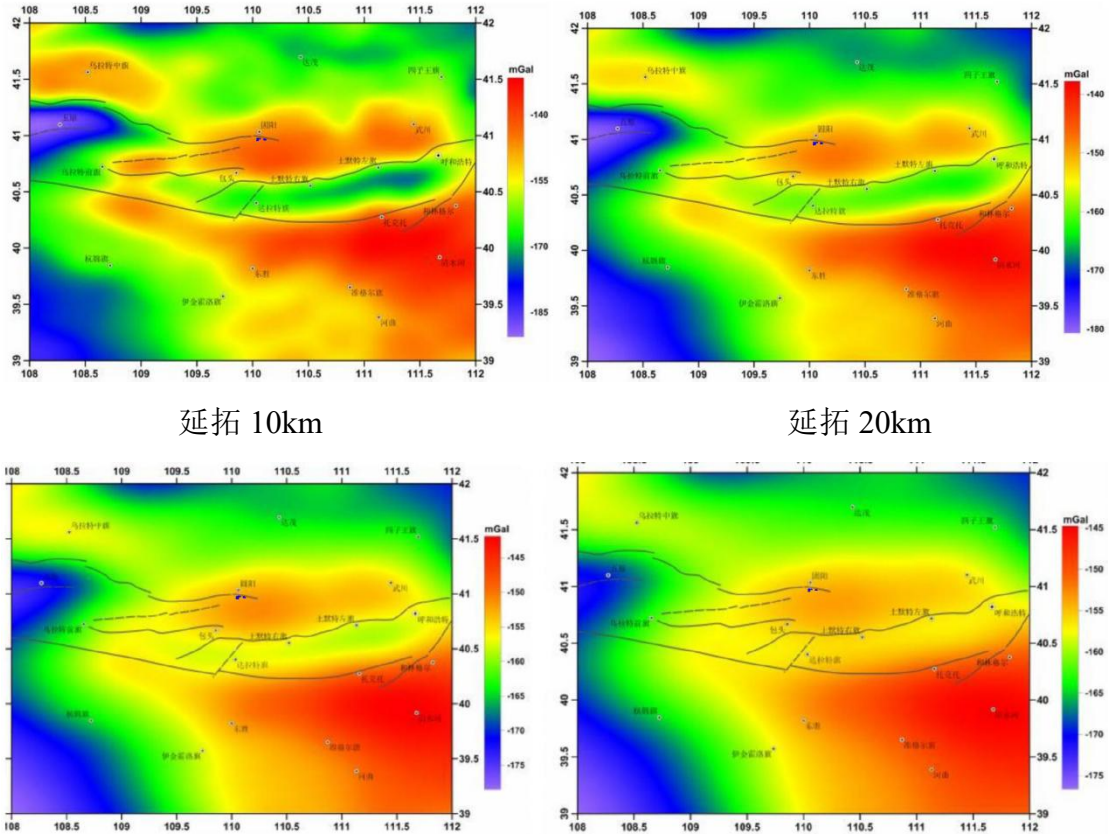


图 1.8-2 布格重力异常不同高度向上延拓的延拓场

（40km 延拓场主要反映 20km 以下深源体异常）

1.8.2 航磁异常特征

一、数据来源

区域航磁异常数据来源于中国国土资源航空物探遥感中心航空磁测的 1:20 万航磁异常网格数据，异常精度 2nT，数据范围为北纬 39°~42°、东经 108°~112°，网格为 201×151，数据纵横向点距均为 2km（图 1.8-3）。

二、数据处理

根据区域的磁倾角、磁偏角分布特征，对区域航磁异常数据采用变倾角化极的方法（Guo et al., 2013）得到化极磁异常。对化极磁异常作了不同高度的向上延拓，得到相应的延拓场，延拓高度步长 10km，范围 10km~40km。功率谱分析估计 30km 延拓场主要反映 17km 以下的深源体异常。

三、航磁异常特征

在区域磁异常中，色尔腾山山前断裂西段、大青山山前断裂、鄂尔多斯北缘断裂东段所在位置有明显的磁异常梯级带，这些断裂对应的梯级带在不同高度延拓场几乎均有呈现，说明这几条断裂向下延伸可达 17km 以下（图 1.8-4），属于地壳深断裂。而其他断裂在区域异常几乎没有梯级带反映，这些断裂对应的梯级带或异常变化带大都只呈现在高度小等于 30km 的延拓场中，说明它们延伸较浅，深度在 17km 以上，属于断陷带内基底或盖层断裂。

四、化极磁异常反演基底深度

结合研究区地质资料、前人深地震探测资料，对化极磁异常作带宽 800km~50km 的优化滤波而分离出基底磁异常，它反映了磁性基底起伏情况。

利用频率域界面反演方法，结合前人深地震测深和深反射地震剖面探测成果，对水平滤波带宽 50～800km 的滤波分离后的基底磁异常进行深度反演。反演时引入补偿圆滑滤波等相关约束，在反演中分别选取了以下参数：参考面深度 6km；磁化强度 0.5A/m、迭代次数 5 次。经过反演处理得到了研究区磁性基底深度分布，见图 1.8-5 所示。

从图可见，区域磁性基底深度南北浅、中间深，变化范围为-0.39~-9.21km。呼包断陷带基底较深，深度可达-9km，基底上覆古生代至今的较厚沉积层，断陷带内部局部有基底隆起。断陷带两侧基底较浅，北侧基底隆起有地表露头的前寒武纪变质基底吻合，而南侧基底隆起但其浅表被较薄的第四纪等沉积覆盖。

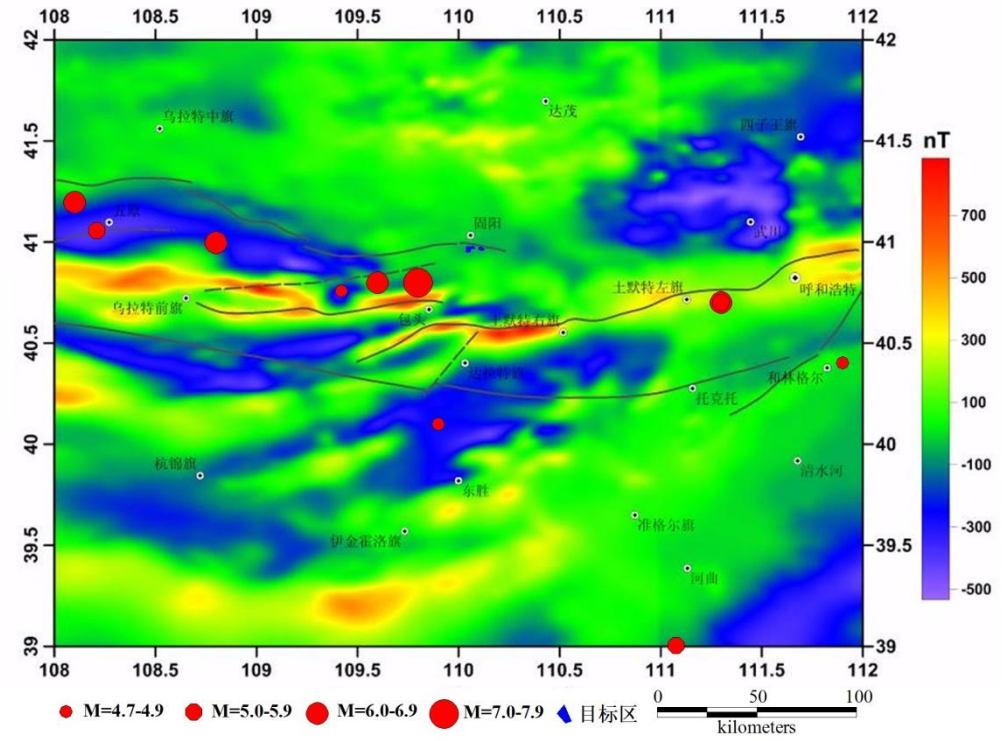
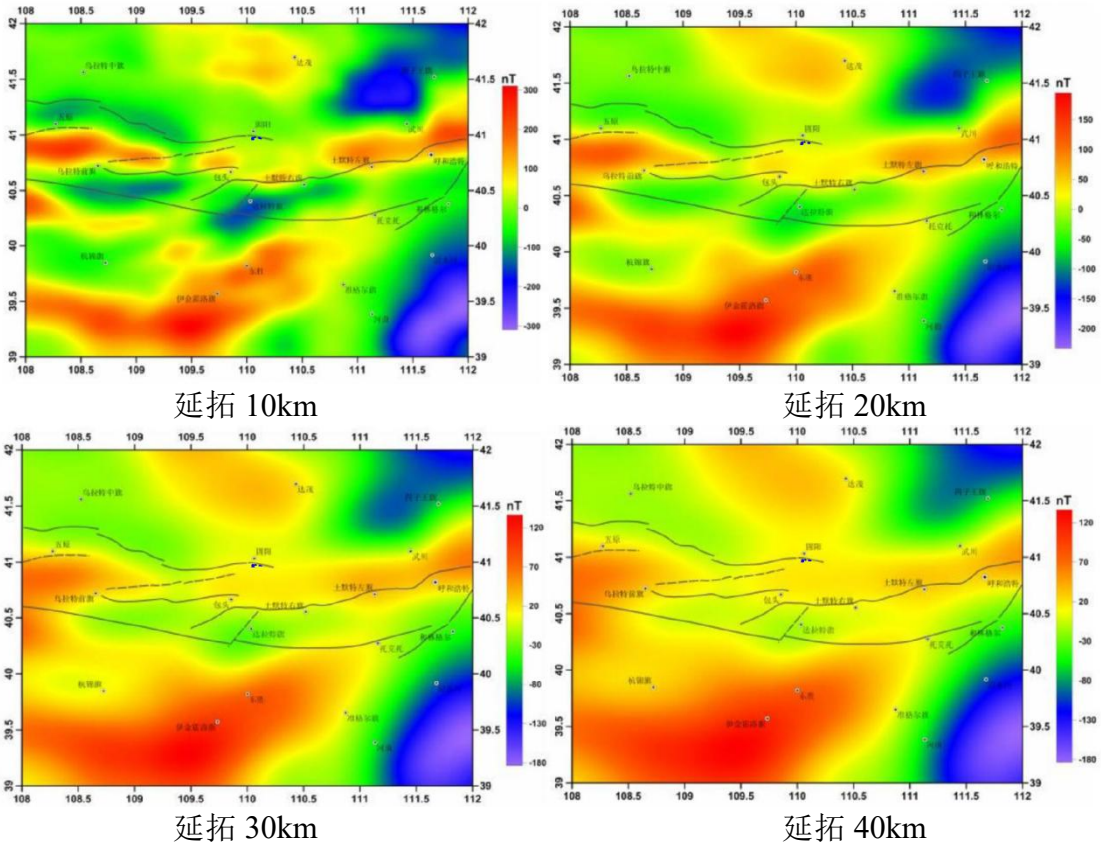


图 1.8-3 区域航磁异常图



延拓 10km　　延拓 20km

延拓 30km　　延拓 40km

图 1.8-4 区域化极磁异常不同高度向上延拓的延拓场

30km 延拓场主要反映 17km 以下的深源体异常

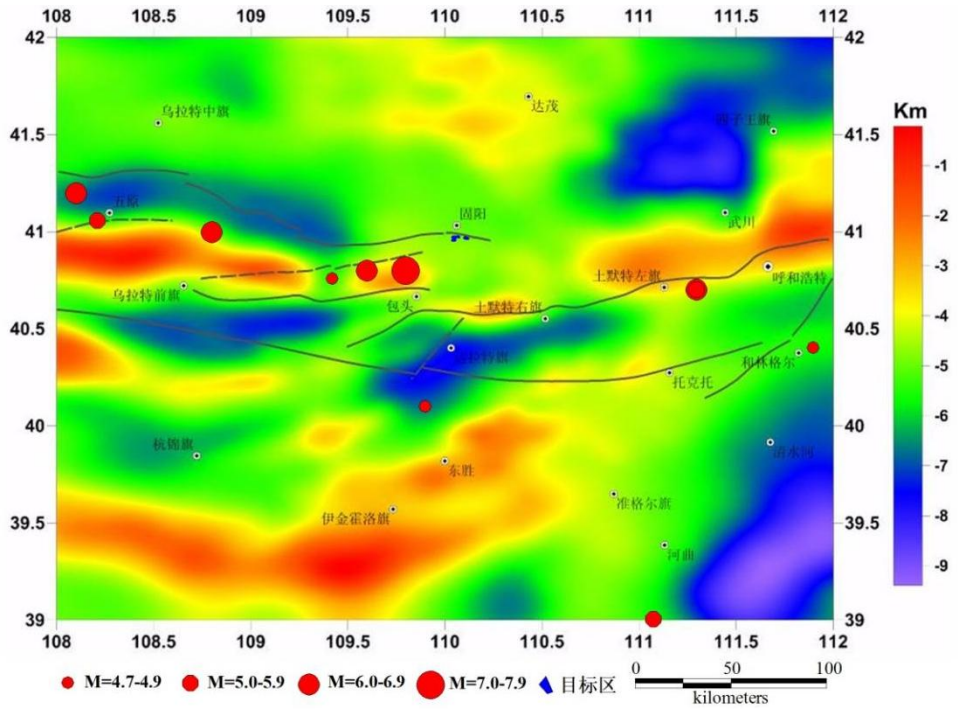


图 1.8-5 区域磁性基底深度

1.8.3 地壳厚度分布特征

结合研究区地质资料、前人深地震探测资料，对布格重力异常作带宽 800km 的优化滤波而分离出了莫霍面重力异常，它反映了莫霍面的起伏情况。利用频率域界面反演方法，结合前人深地震测深和深反射地震剖面探测成果，对莫霍面重力异常进行了深度反演。反演引入了补偿圆滑滤波等相关约束，在反演中分别选取了以下参数：参考面深度 46.3km；剩余密度 0.1g/cm³、迭代 6 次。经过反演处理得到了研究区基底深度分布，反演结果与深地震测深反映出的莫霍面深度大致吻合。

从图 1.8-6 可见，整个研究区域的地壳厚度存在明显的差异，研究区的平均地壳厚度在 40km 以上，莫霍面深度整体趋势为西深东浅，变化范围为 44.1~48.05km。呼包凹陷莫霍面较深，深度可达 45.8~46.3km，南北两侧深度逐渐变浅，最浅处只有 44.2km，变化幅度最大有 2km。基底上覆上古生代至今的较厚沉积层，凹陷内部局部有基底隆起。

大青山山前断裂带和色尔腾山山前断裂两侧的基底深度、莫霍面埋深深度也明显不同。色尔腾山山前断裂为明显的基底深度和莫霍面变化梯度带，基底北浅南深，断裂北侧莫霍面埋深呈逐渐变深的趋势，而在其南侧莫霍面埋深呈抬升的趋势。沿大青山山前断裂带同样为基底北浅南深，在断裂西端，其南北两侧莫霍面深度也有较为明显的变化，而在大青山山前断裂带东端，莫霍面埋深较浅。

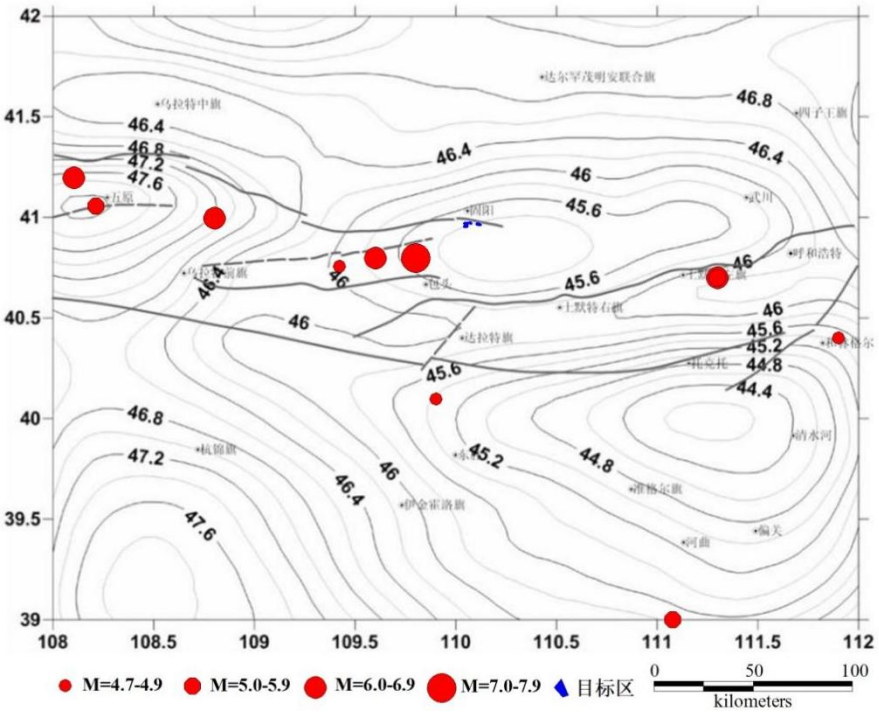


图 1.8-6 地壳厚度分布特征图

1.9 区域主要活动断裂特征

区域范围内发育的主要活动断裂包括乌拉山山前断裂、大青山山前断裂、乌拉山北缘断裂、色尔腾山山前断裂、鄂尔多斯北缘断裂、达拉特旗断裂、和林格尔断裂等（图 1.9-1、表 1.9.1）。其中乌拉山山前断裂、大青山山前断裂和色尔腾山山前断裂为全新世活动断裂。乌拉山北缘断裂、鄂尔多斯北缘断裂、达拉特旗断裂以及和林格尔断裂为隐伏断裂，其最新活动时代为晚更新世。

表 1.9.1 区域主要活动断裂

断裂编号	断裂名称		断错地貌	产状			长度（km）	最新活动时代	活动性质
				走向	倾向	倾角			
F1	乌拉山山前断裂	西山咀-公庙子段	山前台地	EW	S	60~75°	110	Q_h	正断
		公庙子-和顺庄段	T2 阶地面						
		和顺庄-昆都仑区段	T1 阶地前缘						
F2	大青山山前断裂	麻池段	T2 阶地前缘	EW-NEE	S-SSE	50~70°	240	Q_h	正断
		东河-土默特右旗段	T1 阶地前缘						
		土默特右旗-土默特左旗段	T2 阶地前缘						

		土默特左旗-乌索图召段	T1 阶地前缘、T1 台地						
F3	达拉特旗隐伏断裂			NE	NW	39~58°	40	Q_{p3}	正断
F4	色尔腾山山前断裂	乌加河段	T1 台地	EW-NWW	S	55°左右	150	Q_h	正断
		乌句蒙口-东风村段	T1 阶地						
		大佘太段	早期洪积扇						
		乌兰忽洞段	T1 阶地						
F5	乌拉山北缘断裂		山前台地	NEE	NNW	55~66°	＞75	Q_{p3}	正断
F6	五原－杭锦后旗隐伏断裂		断错晚更新统地层	NEE	NNW	50°左右	150	Q_{p3}	正断
F7	鄂尔多斯北缘断裂		断错晚更新统地层	EW	N	51~70°	360	Q_{p3}	正断
F8	和林格尔断裂		断错晚更新统地层	NE	NW	60~70°	120	Q_{p3}	正断
F9	乌梁素海西缘断裂		断错晚更新统地层	NNE	SE		36	Q_{p3}	正断
F10	乌梁素海东缘断裂		断错晚更新统地层	NE	NW		37	Q_{p3}	正断
F11	西沙湾-兴胜断裂		断错早中更新统地层	NE	NW	80°左右	20	Q_{p1-2}	正断

一、乌拉山山前断裂（F1）

乌拉山山前断裂带展布于乌拉山南麓山前，构成乌拉山与白彦花凹陷的分界线。断裂西起乌拉特前旗西山咀，经公庙子北、和顺庄、哈业胡同，往东延伸至包头市九原区北部王老大窑子村附近，总体呈近东西走向，全长约 110km（图 1.9-2）。该断裂带在重力、航磁及石油地震勘探剖面资料上均有反映，由一系列正断层或阶状正断层组成，断面倾向南，地表倾角较陡，深部变缓，总体构成铲形断层特征（国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》工作组，1988）。它与狼山山前断裂、色尔腾山山前断裂以及大青山山前断裂在平面上呈右阶斜列展布，共同控制着河套断陷带的北界。冉勇康等（2003）综合已有研究结果，在乌拉山山前断裂确认了 12 次古地震事件，其中全新世以来有 6 次古地震事件，显示断裂具有较强的活动性。

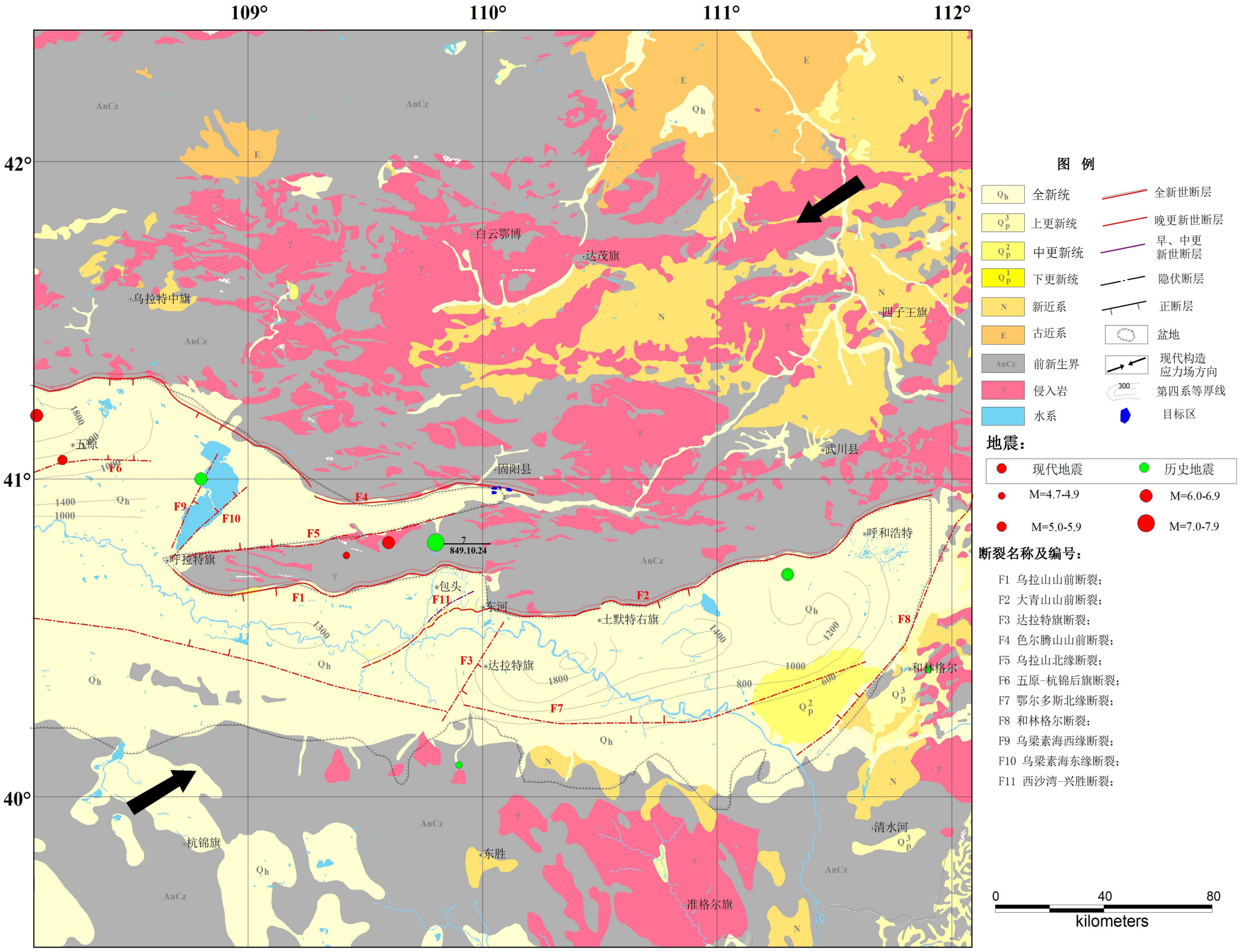


图 1.9-1 区域地震构造图

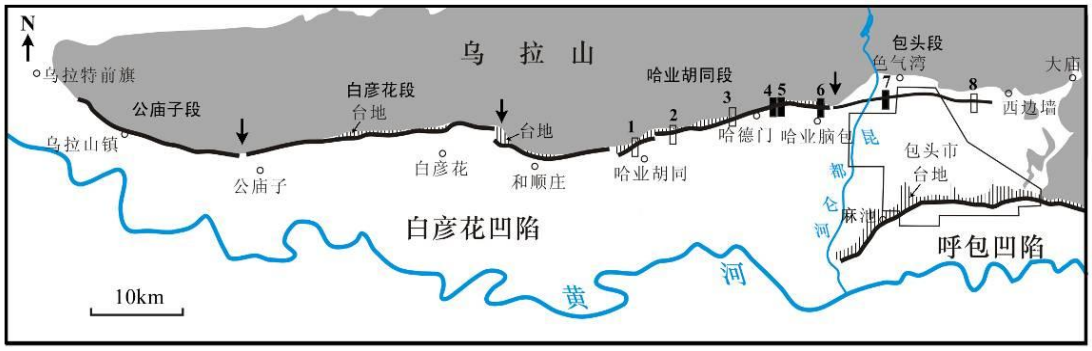


图 1.9-2 乌拉山山前断裂带的分段特征

图中向下的箭头表示分段位置，空心竖长方形为前人开挖的探槽，

实心竖长方形为包头活断层开挖的探槽

对于乌拉山山前断裂的第四纪活动性研究最早始于国家地震局“七五”期间开展的鄂尔多斯周缘活动断裂系研究。该研究将该断裂分成三段，分别为西山咀—公庙子段、公庙子—和顺庄段及和顺庄—包头昆区段，并估计出该区晚更新世以来累计抬升速率为 5mm/a。马保起等（1998）对断裂晚第四纪活动进行了研究，认为断裂活动的最强烈时期为晚更新晚期，根据构造地貌、活动速率等因素，以和顺庄为界将断裂划分为东西两段，认为晚更新晚期以来活动性东强西弱。在对断裂沿线的高台地和低台地相对于盆地面的高度进行系统测量（图 1.9-3）的基础上，根据公庙子北高台地上部粉砂夹层热释光年龄（42.76±3.63）ka，哈业胡同北高台地上部粉砂热释光年龄（53.8±4.58）ka，昆都仑河口台地粉砂热释光年龄（39.09±3.07）ka，并同大青山和色尔腾山山前的台地对比，估计高台地形成年代为距今 30-40ka。根据公庙子北低台地和白彦花北低台地上部粉砂的热释光年龄为（9.52±0.81）ka 和（10.15±0.86）ka，估计低台地形成年代为距今 9-10ka。据上述数据，估算得到晚更新世晚期以来断裂下盘的抬升速率在乌拉山电厂至白彦花一带为 1.5-2.0mm/a，由乌拉山电厂向西逐渐降低，哈业胡同至昆都仑河为 0.5-0.2mm/a。抬升速率具有西大东小的特点。

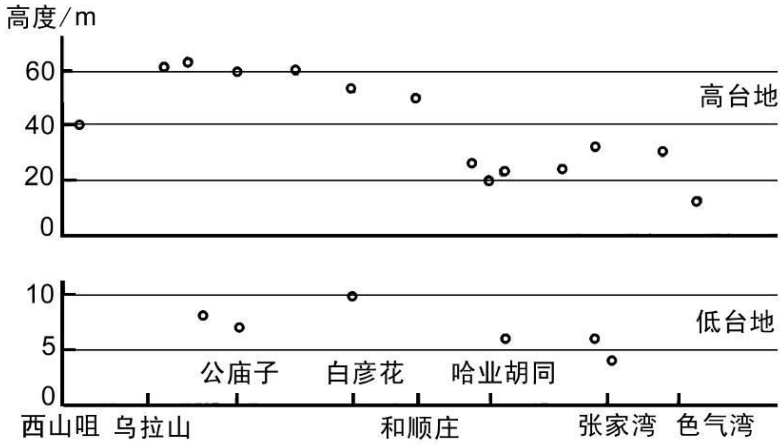


图 1.9-3 乌拉山山前断裂高台地与低台地高度（据马保起等，1998）

此后，陈立春（2002）和郝彦军（2010）也分别对乌拉山山前断裂各级台地的高度进行过测量，并分别给出了不同级别的台地自形成以来的抬升速率。陈立春（2002）给出了乌拉山山前断裂各段约 7.8ka B.P.以来的垂直位移速率分别为：公庙子—和顺庄段 0.77mm/a，和顺庄—包头段 0.55mm/a。约 12ka B.P.以来乌拉山山前断裂各段垂直位移速率：公庙子—和顺庄段 1.33mm/a，和顺庄—包头段 0.93mm/a。郝彦军（2010）给出了乌拉山山前断裂西段（乌拉特前旗—公庙子段）晚更新晚期以来，垂直抬升速率 2mm/a；中段（公庙子—和顺庄段）晚更新世晚期以来，垂直抬升速率 1.8mm/a，全新世以来，垂直抬升速率 0.7mm/a；东段（和顺庄—包头段）晚更新世晚期以来，垂直抬升速率 1.5mm/a，全新世以来，垂直抬升速率 0.8mm/a。

前人对哈业胡同至平方沟之间的台地高度进行了系统测量（图 1.9-4）测量结果为：T1 台地高 0.5-4.0m，大部分地段高约 2m。T2 台地高 2.0-8.0m，大部分地段高约 4m。T3 台地高 7.0-17.0m，大部分地段高约 10m。根据乌拉山山前三级台地已有的测年数据及台地面形成时代的估计（马保起等，1998；陈立春，2002），即 T1 台地 0.8 万年，T2 台地 1.2 万年，T3 台地 4 万年，估算得到晚更新世晚期以来平均滑动速率为 0.25-0.33mm/a。

乌拉山山前断裂历史上未记录到 7 级以上地震，关于该断裂的古地震研究，主要是依据在不同级别断层陡坎前开挖的探槽确定的（陈立春，2002；冉勇康等 2003；李彦宝，2013）。冉勇康等（2003）综合已有研究结果，在乌拉山山前断裂确认了 12 次古地震事件，其中全新世以来有 6 次古地震事件。前人在乌拉山山前断裂东段开挖了 3

个探槽，结合前人研究结果，认为乌拉山山前断裂东段 25ka 以来发生了 8 次古地震事件，平均复发间隔 3.3±0.5ka，最后一次事件离逝时间为 4.1±0.1ka B.P。

综上所述，乌拉山山前断裂为全新世活动断裂，潜在的最大地震震级为 M7.5 级。

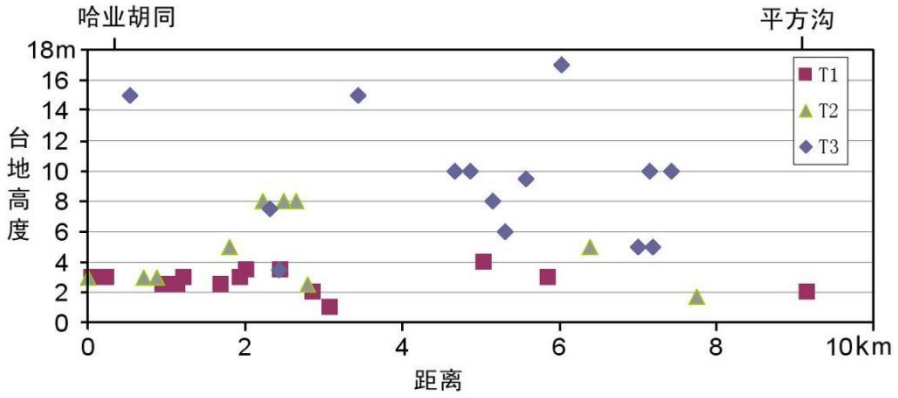


图 1.9-4 乌拉山山前断裂哈业胡同至平方沟不同级别的台地高度（陈立春，2002）

近 30 多年来，沿断裂带在山前凹陷中小震群时有发生。因而是河套断陷带中一条重要的活动断裂带，也是区域的主要活动断裂，其活动时代为全新世。

二、大青山山前断裂带（F2）

大青山山前断裂展布于大青山南麓山前，是大青山山地与呼和凹陷的分界线。西起包头黄河南岸昭君坟，东直至呼和浩特以东，全长约 240km。断裂总体走向 NEE，倾向 S，倾角~60°，为正断性质。第四纪以来，断裂活动性非常强烈，在大青山山前形成了典型的正断层构造地貌。前人沿断裂不同地点开挖了众多的探槽，均发现有古地震遗迹。大青山山前断裂各段中，共发生过 21 次古地震事件，其中全新世以来的事件为 14 次（冉勇康等，2003）。根据断裂的几何特征和活动性差异，自西向东可将断裂划分为 5 个段落，分别为昭君坟－雪海沟段、雪海沟－土右旗段、土右旗－土左旗段、土左旗－乌素图段和乌素图－奎素段（图 1.9-5）。

自 20 世纪 80 年代开展鄂尔多斯周缘活动断裂系研究以来，已有较多关于断裂带展布、活动特征以及古地震研究的报告（邓起东等，1985；李克等，1987，1994；吴卫民等，1995，1996；聂宗笙等，1988，1991，1996，2010，2011，2013；马保起等，1999，2000；江娃利等，2000，2001；冉勇康等，2002，2003）。

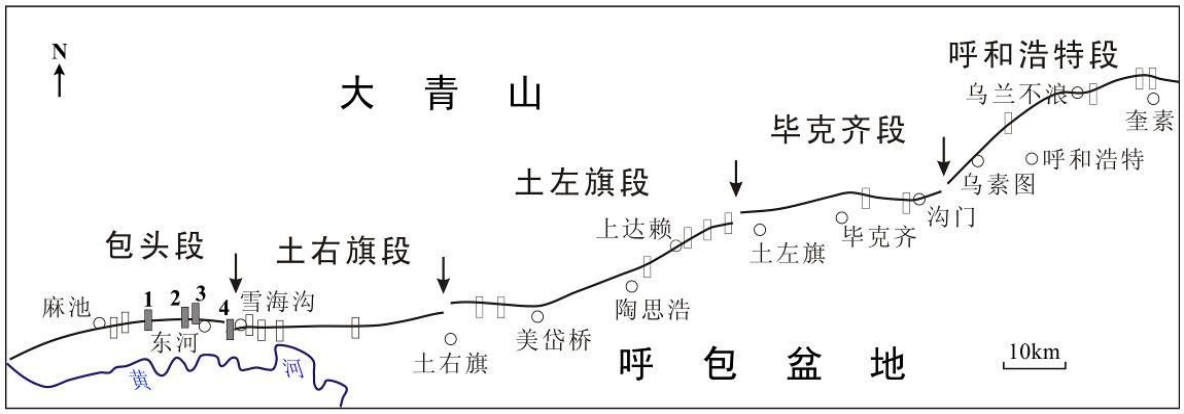


图 1.9-5 大青山山前断裂分段及探槽分布（据冉勇康等，2003）

空心四边形为前人开挖探槽，实心四边形为包头活断层项目开挖探槽

昭君坟－雪海沟段：断层呈凹向盆地的弧形，倾向南东，倾角 60-70°，全长 45km，包头西南通过黄河的部分隐伏于盆地中，于昭君坟一带复又出露地表。断裂在地表断续出露，沿 T2 台地前缘展布，台地前缘高程为 1050m，高出黄河Ⅰ级阶地 20-30m。在麻池和万水泉，台地剖面下部地层为灰绿色粉砂层，具水平微细层理，^{14}C 年龄为 37929-47168 年；中部为黄色粉细砂，在新开挖的路堑剖面上可见层间褶皱；上部为砾石层，聂宗笙（1988）在其中采得纳玛象（Palaeoloxodon namadicus）牙三件，^{14}C 年龄为 22486±1256 年。说明组成台地的该套地层时代属晚更新世晚期，区域对比应属萨拉乌苏组。根据台地前缘钻孔揭露的相应地层对比，晚更新世晚期以来断层垂直位错量达 56-73m，平均位移速率为 1.8-3.4mm/a。前人在该段曾开挖了 2 个探槽（李克等，1994；冉勇康等，2003）。 在西脑包、壕赖沟和万水尔一带开挖了 2 个探槽，并清理了数个断层剖面，提示该段在距今 2 万年以来应该发生过多次古地震事件，但仅有 2 次可限定其年代，即 15.25±1.65 ka BP 和 3.2±2.0 ka BP。3.2±2.0 ka BP 的地震事件为距今最近 1 次地震事件，离逝时间为 3.2±2.0 ka。

雪海沟－土右旗段：该段总体走向近东西，倾向南，露头断面倾角 60-70°，全长约 35km。断层北侧上升盘，存留有 3 级台地，相对于盆地面台地面高度分别为：7-14m、30-60m 和 60-100m。山区中河流发育 3-5 级阶地。该段断裂前人古地震研究程度较高，揭示了全新世以来的多次古地震事件。包头活断层（2015）在雪海沟东清理开挖了一个探槽，揭露了 2 次古地震事件，最新的一次事件发生在（1260~935）a BP，为公元 849 年地震破裂事件。聂宗笙等（1996）在铝厂开挖的探槽揭露全新世以来的 6 次古地

震事件，最新一次发生在1280 BP以来，亦为公元849年地震破裂事件；冉勇康等（2003）对雪海沟—土右旗段古地震事件进行了系统分析，认为全新世以来发生过5次事件，地震平均重复间隔为2289年，最新一次事件发生在1280a BP以来，为公元849年地震。最近，李彦宝（2013）在莎木佳一带开挖的探槽揭露的最新一次事件发生在1920a BC以来，推断为公元849年地震。综合上述研究结果，大青山山前断裂全新世共发生过5次古地震事件，平均复发间隔为2.3±0.6 ka BP。最近1次地震事件为公元849年地震。

土右旗－土左旗段：在土右旗北，断裂向北凸出，往东过美岱桥后转为北东东向延伸至把什，长约56km。在此段，大青山拔地而起，由海拔2000m的山头组成的古分水岭，距山前断裂最近处不到7km，山体遭受强烈的剥蚀作用，深切沟谷、瀑布发育，十分美观。美岱召以西，在沙免沟、圪力更、道试、沙尔庆等地，均可见到断层错断第四系砂砾石层，表现为阶状正断层。

土左旗至乌素图段：断裂沿山麓地带时而呈近东西向展布，时而呈北东向展布，全长约43km。断裂带北侧，山前台地一般发育三级，与西段大致可进行对比，其中T3台地连续性较好。沿断裂带，在把什、大沟门、乌素图召等地，均可见到上更新统和全新统遭受断错，表现为阶状正断层或剖面上的共轭断裂系。

乌素图至奎素段：乌素图召至哈拉沁，断裂带呈北东向，在红山口以东转为北东东向，山体与平原线性特征明显，但断层露头已不多见，地震勘探查明断裂向东逐渐消失。

综上所述，大青山山前断裂为全新世活动断裂，潜在的最大地震震级为M8.0级。

该断裂带为区域的主要活动断裂，其活动特征在第三章将进一步描述。

三、达拉特旗断裂（F3）

该断裂南起鄂尔多斯台地北缘，以北东走向过达拉特旗至黄河附近，长约40km。断层走向北东50°~55°，倾向南东，倾角39°~58°，基本处于隐伏状态。在地震反射剖面上，它切割了第四系及其以下各反射层。渐新世以来的总断距约1800m，第四纪以后起断距450m。

为了获得该断裂的确切位置及活动时代，中国地震灾害防御中心在2010年对该断

裂进行了电阻率测深法和探地雷达法两种深浅不同的探测方法。具体工作如下：

剖面 1：该条物探测线长度为 1380 米，方向大致为北西—南东向，电阻率异常点号为 130～170 米段，顶面埋深为 12 米左右，产状为南东向；同时，探地雷达反射波能量在 130～170 米段迅速衰减，深度 12～15 米，而异常区段两侧均有清晰的水平带状反射波。可见，此出浅部有探地雷达的异常区域，深部有电阻率异常，相互佐证，由表及里，由浅入深，确定为断层的的顶面埋深和准确位置。见图 1.9-6 和图 1.9-7 所示。

剖面 2：该条物探测线长度为 725 米，方向大致为北西西—南东东向，电阻率异常点号为 380～410 米段，顶面埋深为 50 米左右，产状为南东向；同时，探地雷达反射波能量在 420～500 米段迅速衰减，深度 12～15 米。但由于探地雷达的探测深度不足 50 米，所以在电阻率异常区段没有异常出现，为正常情况；在探地雷达异常区段 420～500 米处，出现较低的电阻率值，埋深跟探地雷达相比大致相当，也相当于证明了两种方法的有效性。见图 1.9-8 和图 1.9-9 所示。

剖面 3：该条物探测线长度为 535 米，方向大致为北西—南东向。电阻率异常点号为 210～270 米段，顶面埋深为 12 米左右，产状为南东向；同时，探地雷达反射波能量在 210～270 米段迅速衰减，深度 12～15 米，而异常区段两侧均有清晰的水平带状反射波。此出浅部有探地雷达的异常区域，深部有电阻率异常，相互佐证，由表及里，由浅入深，确定为断层的的顶面埋深和准确位置。见图 1.9-10 和图 1.9-11 所示。

根据达拉特旗 L01、L02 和 L03 三条测深电阻率模型断面图和探地雷达反射波能量衰减度的显示，推断了达拉特旗东断裂的位置和走向：总体走向 50°～55°, 断面倾向南东,倾角 39°～58°；认为该断裂最新活动时代应为晚更新世。

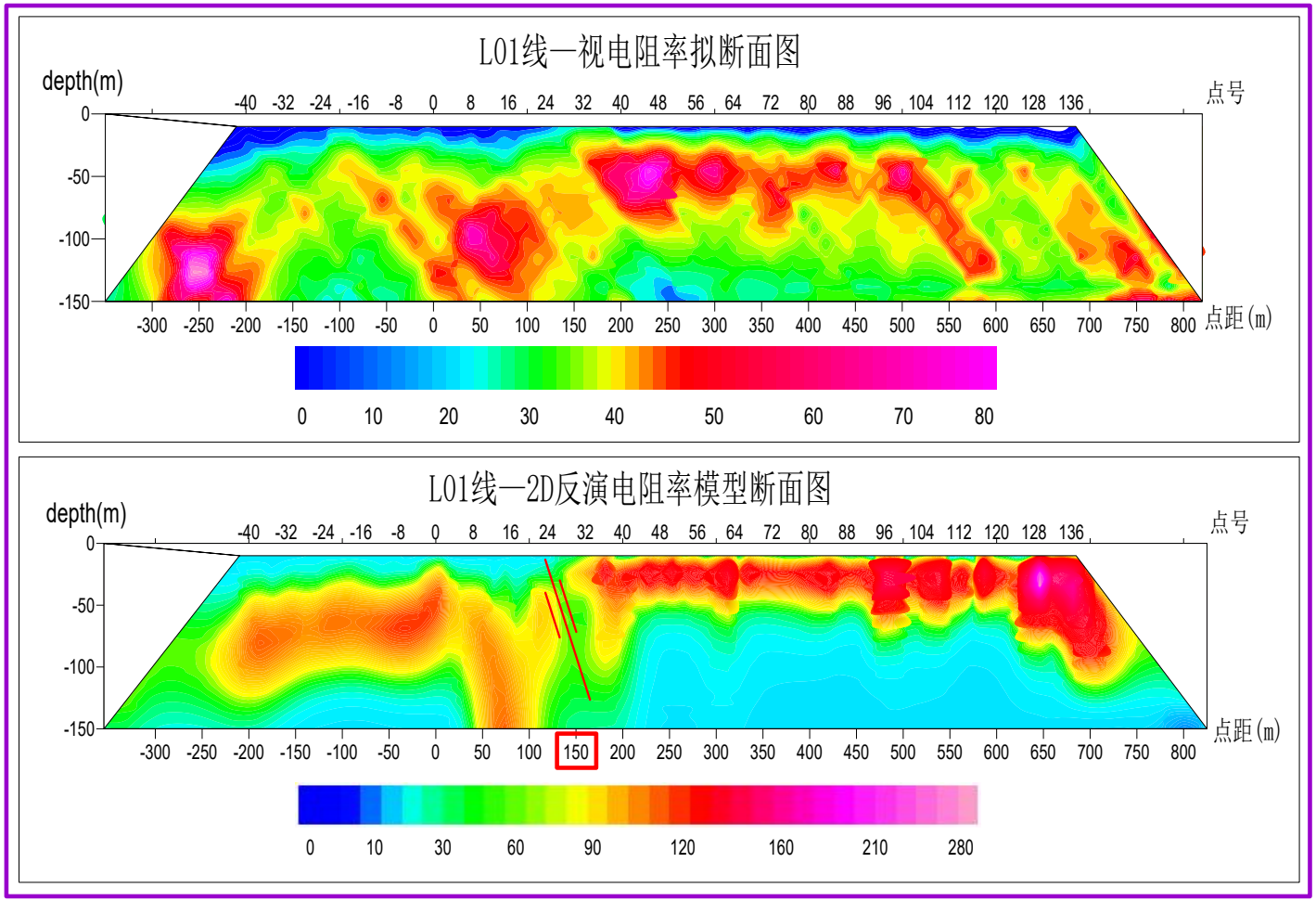


图 1.9-6　L01 线视电阻率拟断面和 2D 反演电阻率模型断面图（中国地震灾害防御中心，2010）

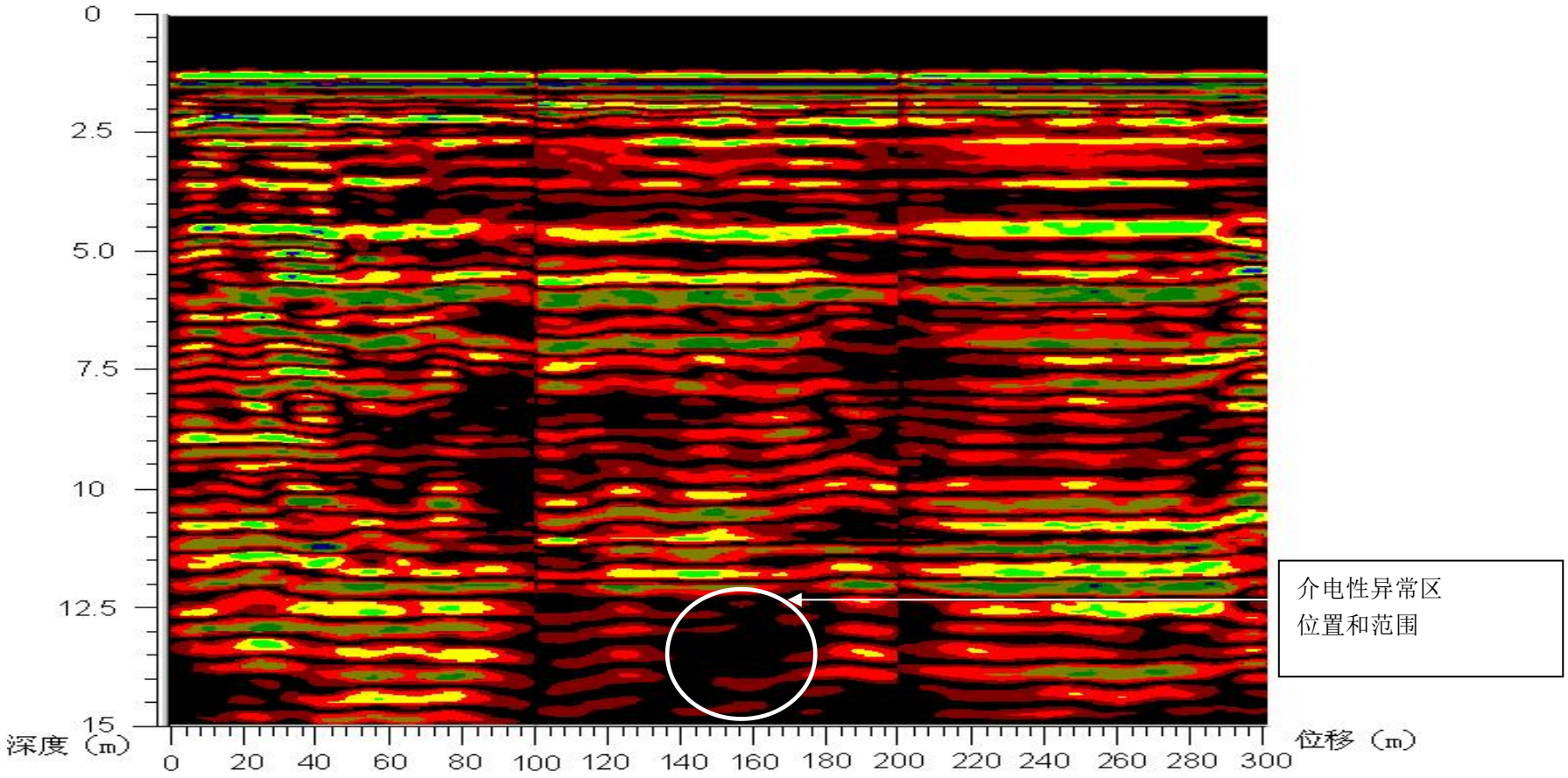


图 1.9-7　L01 线探地雷达剖面图（中国地震灾害防御中心，2010）

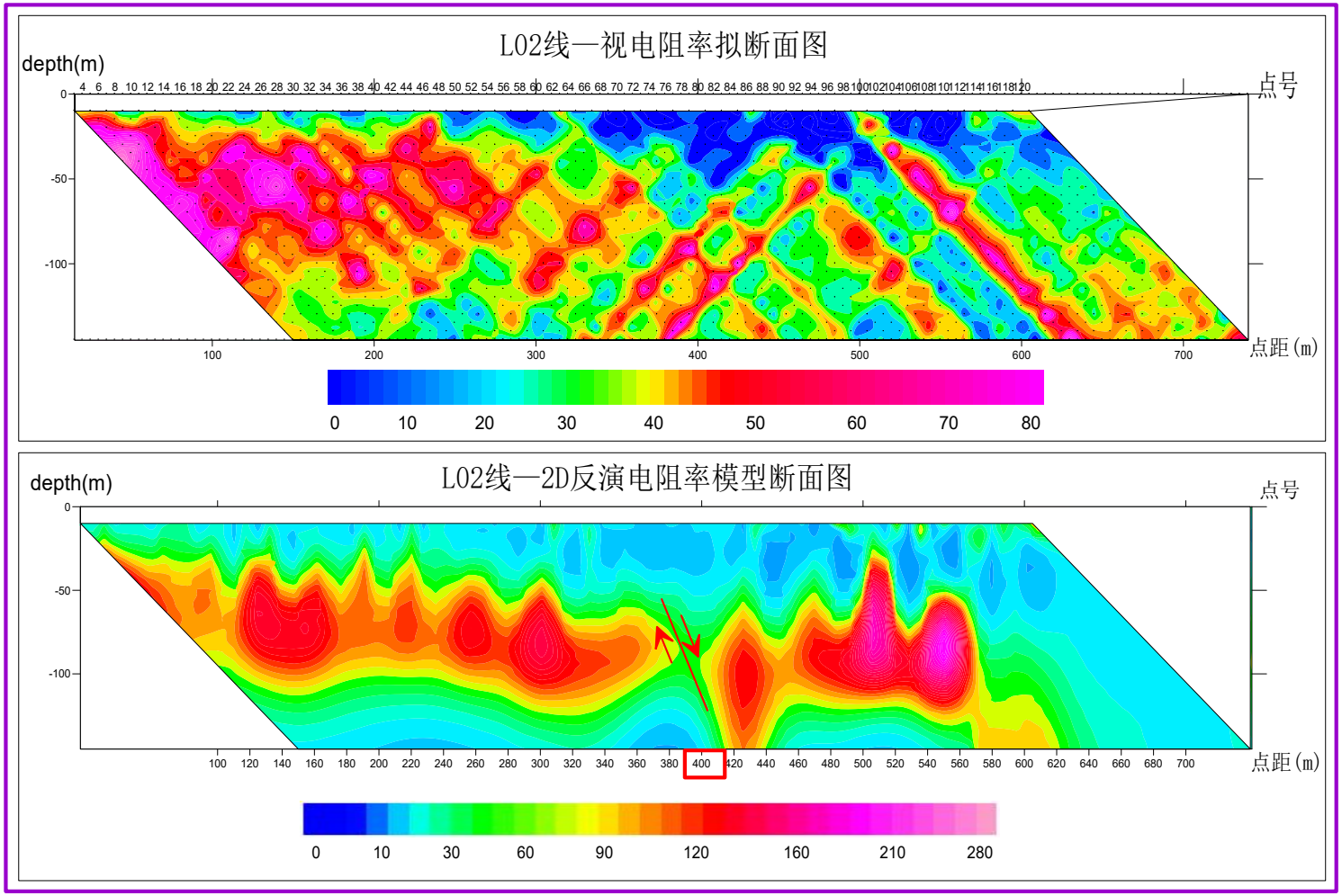


图 1.9-8　L02 线视电阻率拟断面和 2D 反演电阻率模型断面图（中国地震灾害防御中心，2010）

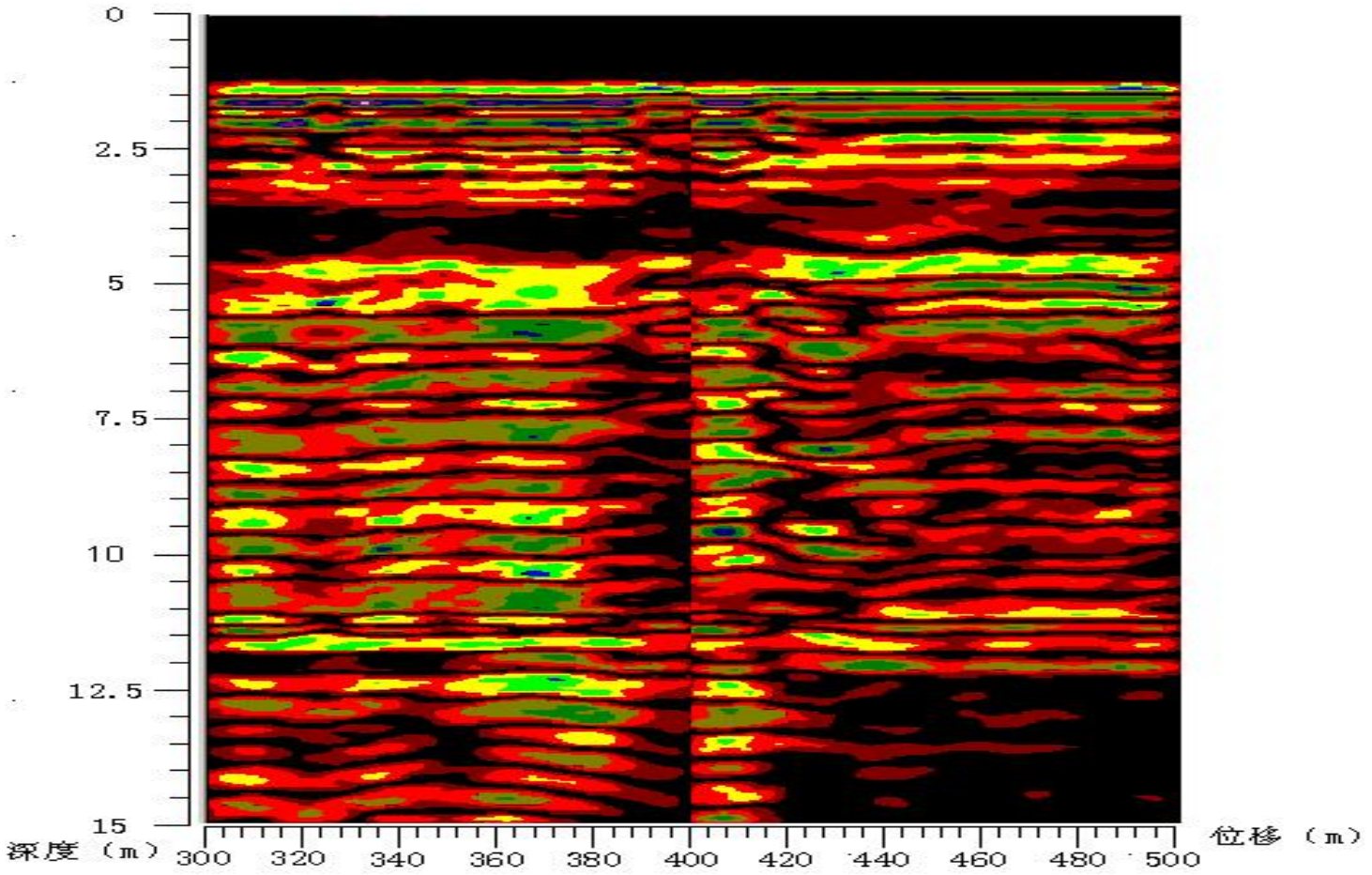


图 1.9-9　L02 线探地雷达剖面图（中国地震灾害防御中心，2010）

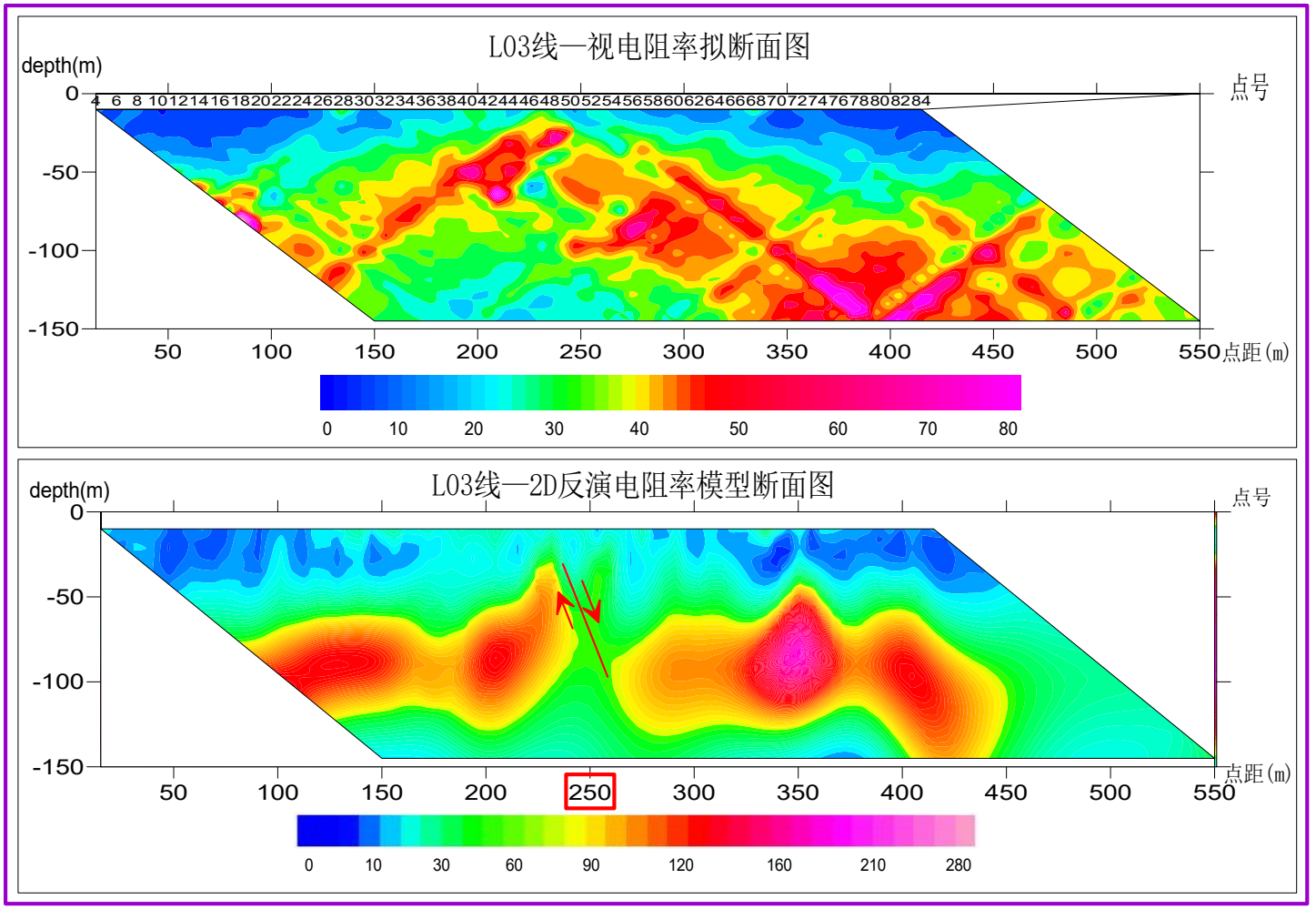
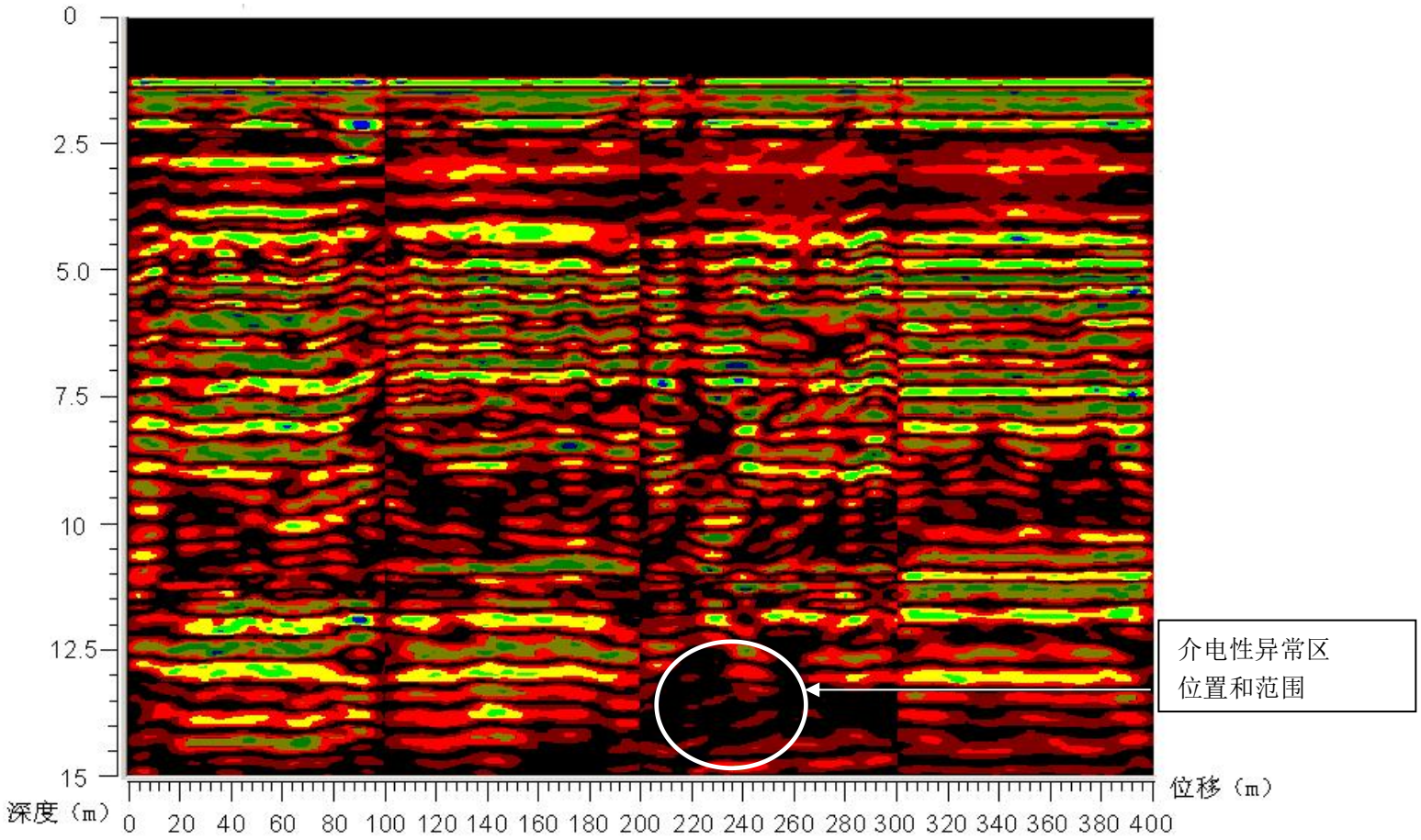


图 1.9-10　L03 线视电阻率拟断面和 2D 反演电阻率模型断面图（中国地震灾害防御中心，2010）



内蒙古测线 3 探地雷达剖面图

图 1.9-11　L03 线探地雷达剖面图（中国地震灾害防御中心，2010）

综上，判断达拉特旗断裂为一条晚更新世活动的隐伏断裂，潜在的最大地震震级为 M6.5 级。

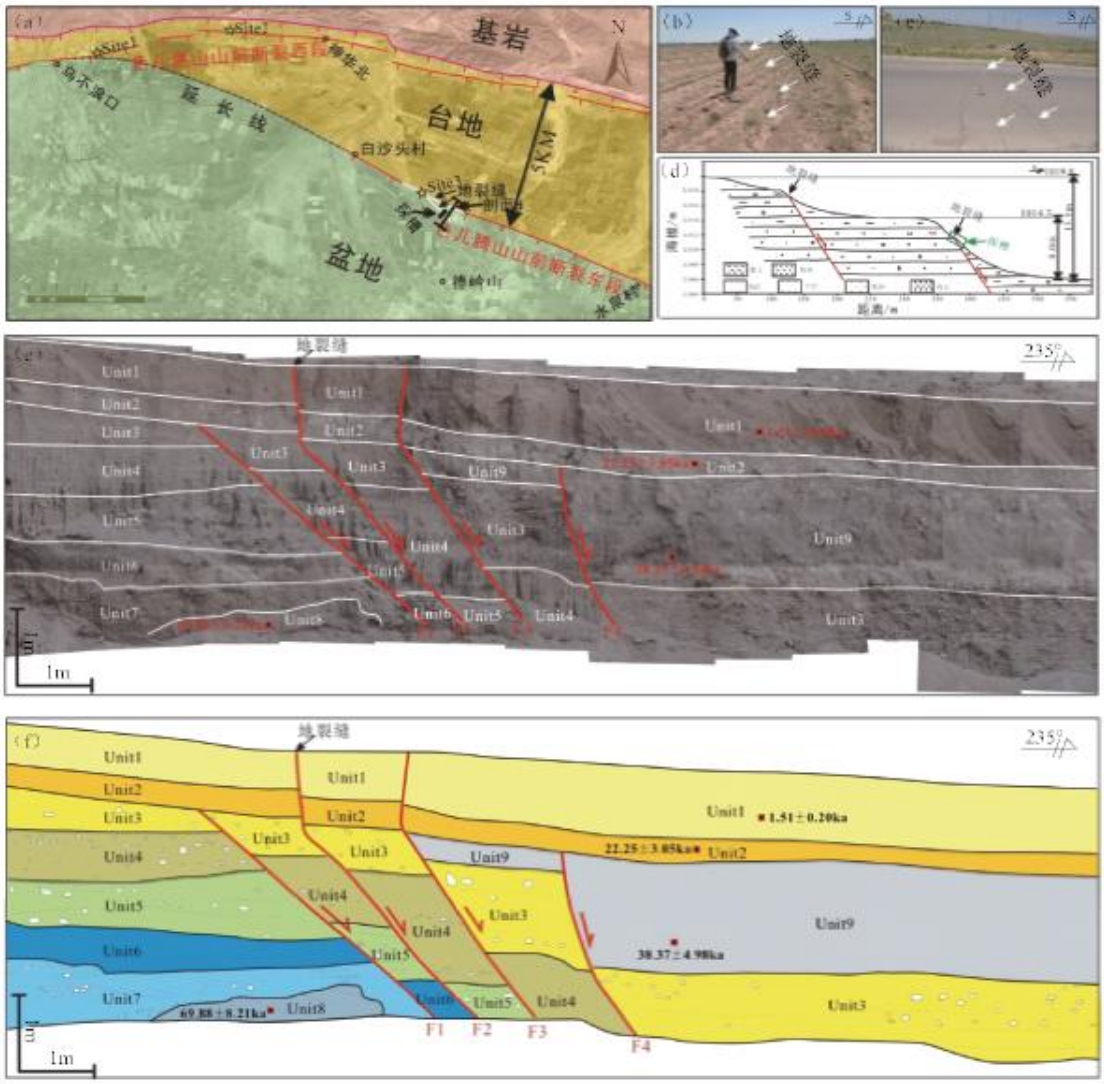
四、色尔腾山山前断裂带（F4）

色尔腾山山前断裂位于色尔腾山南麓山前，与狼山山前断裂一起构成河套断陷带的西北边界。断裂西段为近东西走向，经乌不浪口之后，转为走向 NW300°，至台梁附近逐渐消失，全长约 150km。据冉勇康等（2003）研究，色尔腾山山前断裂带全新世以来共发生了 8 次古地震事件，断裂是河套盆地北缘断裂系中一条主要活动断裂，历史上曾发生过 1934 年五原 6¾级地震和 1979 年五原 6.0 级地震。第四纪以来，由于断裂的强烈活动，在临河拗陷北部紧靠山前断裂沉积了巨厚的第四纪地层，最大沉积厚度在西段达 2400m，向东在五原一带沉积厚度约 1400m，五原以东逐渐变薄。断裂西段的活动程度较东段强烈。而断裂东段前人研究较少，对于东段是否继续延伸至近场区内也缺少足够的资料，为了弄清断裂东段的延伸问题及活动时代，在近场工作中对该断裂东段进行了详细的考察与研究，具体工作将在近场区进行论述，本部分内容只是对目前前人研究成果进行讨论。

通过前人对断裂的几何结构、晚第四纪活动构造特征，以及分段边界构造特征等方面的分析和研究及探槽揭露出的古地震事件的研究，可将色尔腾山山前断裂的破裂段落可以初步确定为：乌加河段、乌句蒙口－东风村段、大佘太段和乌兰忽洞段等 4 段（冉勇康，2005）。乌加河探槽揭露出 5 条阶状正断层，走向近东西，向南倾，倾角 39～57°，一般断距为 30~50cm，累计断距最大达 1.5m，断层错断了上更新统半胶结的砂砾石层和全新统松散砂砾石层，表明断裂带全新世晚期仍有活动。

1、断裂活动性

在德岭山镇北，色尔腾山前断裂东段的西北端。地貌上，该处自东北向西南依次发育基岩、宽阔的台地和盆地，其中基岩与台地间发育基岩断层，而台地前缘发育晚第四纪活动断裂（图 1.9-12（a））。开挖探槽揭示了多条断层的存在，断层皆表现为倾向南东的正断层（图 1.9-12（e）、（f））。这些断层的滑动错断了多套地层，致使其呈阶梯状排列。其中，断层 F2 和 F3 错断到地表且 F2 在地表形成了地裂缝。在最新地层 Unit1 中所取得的光释光样品测试年龄为（1.51±0.20）ka，说明断层 F2 和 F3 的最新活动时间在距今（1.51±0.20）ka 之后。



（a）色尔腾山山前断裂东段延长线与该断裂西段相交于乌不浪口附近；（b）—（c）德岭山北，宽阔的台地前缘发育的 2 条地裂缝错断了田垄和水泥路面；（d）台地前缘地裂缝处发育 2 条断层陡坎；（e）垂直于南侧地裂缝开挖的探槽剖面（He 等，2017）；（f）探槽地质剖面图。Unit3 及其以下地层明显被断层 F1—F4 错断，呈阶梯状分布

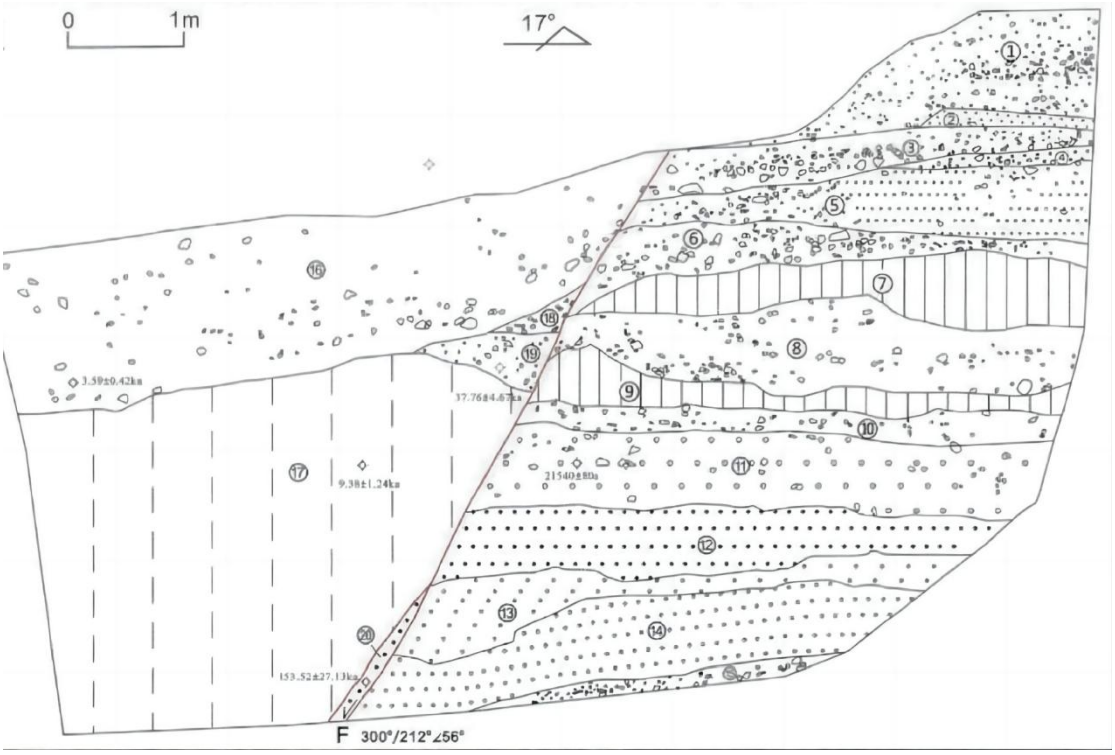
图 1.9-12 德岭山地质地貌特征解译图（梁宽，2019）

在乌兰村河流出口处发育3级台地，在3级台地前缘开挖了探槽，探槽东壁揭示了一条主要断裂，该断裂的倾向为212°，倾角为56°。由断层位错地层、位移累计和地层的岩性及沉积特点分析，可以确定有2次古地震事件（图1.9-13）。

事件1发生在层17沉积之后，崩积楔19形成之时，层18和19组成了一个典型的崩积楔，厚度约70cm。根据崩积楔的高度为断裂位移量的一半，该事件的垂直位移量为1.4m。该崩积楔测年结果为37.76±4.67ka，与其下覆层17年龄矛盾，推测该样品测年可能是由于崩积楔形成时充填太快，未充分曝光的原因。但该崩积楔仍能限定一次发

生于9.38±1.24ka之后的事件。

事件 1 发生并形成了层19的崩积楔，被层16覆盖后，断层再次活动，错断了层16，形成事件 2 ，该次事件发生于3.59±0.42ka之后。



①砂砾石层具有水平层理，砾石磨圆差、分选差，最大砾径约 10cm；②薄层细砂，厚度约 20cm；③角砾层，无分选，无磨圆，棱角状，最大砾径约 8cm；④中细砂薄层，局部有层理；⑤细砾石层，具有水平层理，砾石磨圆差，有一定的分选；⑥角砾石层，砾石无分选，无磨圆，最大的砾径约 8cm；⑦黄土层，厚约 20cm，最厚处达 50cm；⑧砾石层，有一定的分选，局部有斜层理，磨圆差，最大砾径约５ｃｍ，中间夹有水平黄色细砾层，厚度约 24cm；⑨黄土层；⑩碌石层，无分选，磨圆差，最大烁径约 4cm；⑪细砾石层，含砂，具有水平层理，有较好的分选，有一定的磨圆，中间夹杂角砾石，最大的砾径为 5cm，中间有水平的含碳碌石层，厚度约 2-5cm；⑫粗砂含烁层，褐色；⑬褐色砾石层，具有水平层理，有一定的分选；⑭灰白色细砾石层，具水平层理，分选较好，中间夹斜粗砾石层，厚度约 5cm，最大的碌径约 40cm。⑮砾石层，无层理，砾石磨圆较好，无分选，未见底；⑯含砾土层，有植物根系；⑰黄土层，无层理，含角砾，最大砾径约 6cm；⑱砾石层，含砂，无分选；⑲崩积楔下部，粉细砂，含砾石；⑳充填楔，灰白色中细砂，松散；

图 1.9-13 乌兰村探槽素描图（张浩，2017）

在断裂控制地段五原附近，1934 年、1979 年分别发生了 6.3 级和 6.0 级地震，这两次地震事件相隔 45 年原地重复发生，近 20 年来 4.0 级以下的地震和小震群地震仍然十分活跃。又据近几年跨断层短水准测量结果，其断层活动速率为 0.4~0.5mm/α，进一步反映了该断裂现今仍然活动较为强烈，判断其最新活动时代为全新世。

五、乌拉山北缘断裂带（F5）

该断裂是临河拗陷东段的南界边界，沿乌拉山北缘发育。断裂西起乌拉特前旗西山咀东北，东至固阳西南，呈北东东向延伸，地表出露长度约 75km，断面倾向北西，倾角 55°~66°，张性正断层性质，其西南端隐伏延伸临河断陷平原区。沿断裂带山前台地、冲洪积扇、断层陡坎、断层崖和第四纪阶状正断层普遍发育，断层错断晚更新统灰绿色粉细砂和砂质粘土，反映在晚更新世以来活动强烈。详见 2.4 章节。

六、五原－杭锦后旗隐伏断裂（F6）

该断裂发育临河盆地内部，位于临河凹陷内中央隆起带与杭五深陷之间，西起杭锦后旗，东至五原，东西长约150km，总体走向北东70°，局部有转折，倾向北西，倾角50°左右，深层断距2000m以上，浅层断距一般500m，为一张性正断层。现代地震活动沿断裂与其北东、北西向断层交汇地段分布，弱震活动明显。

根据河套盆地上更新统底板埋深，在杭锦后旗-五原隐伏断裂一带，等深线呈北东东向分布，与断裂走向一致。断裂下降盘（北西盘）上更新统底板埋深在 200～240m，而断裂上升盘（南东盘）上更新统底板等深线埋深在 80-120m，表明该隐伏断裂对晚更新世的沉积厚度有明显的控制作用，由此判断其最新活动时代为晚更新世。

七、鄂尔多斯北缘断裂带（F7）

鄂尔多斯北缘断裂是鄂尔多斯块体的北缘边界隐伏断裂。该断裂西起磴口，呈近东西向延伸经达拉特旗至托克托县，逐渐转为北东东向，东端至和林格尔北与和林格尔断裂交汇，全长约300km。由于库布齐沙漠覆盖，断裂整体出露较差，仅在个别区域见到断层陡坎和断层剖面。地震勘探和钻孔联合剖面研究显示鄂尔多斯北缘断裂为一条走向近东西、倾向北的正断层，第四纪时期有明显活动，其活动强度由西向东减弱。3万年以来该断裂无明显活动，仅可能在晚更新世早期有所活动。

酆少英等（2015）布设了跨呼和浩特—包头盆地的深地震反射剖面，剖面显示鄂尔多斯北缘断裂由 3 条断裂组成，在剖面上呈“Y”字形分布，主断裂北倾，呈上陡下缓的正断层，大约在深度20km左右归并到大青山山前断裂上（图1.9-14）。

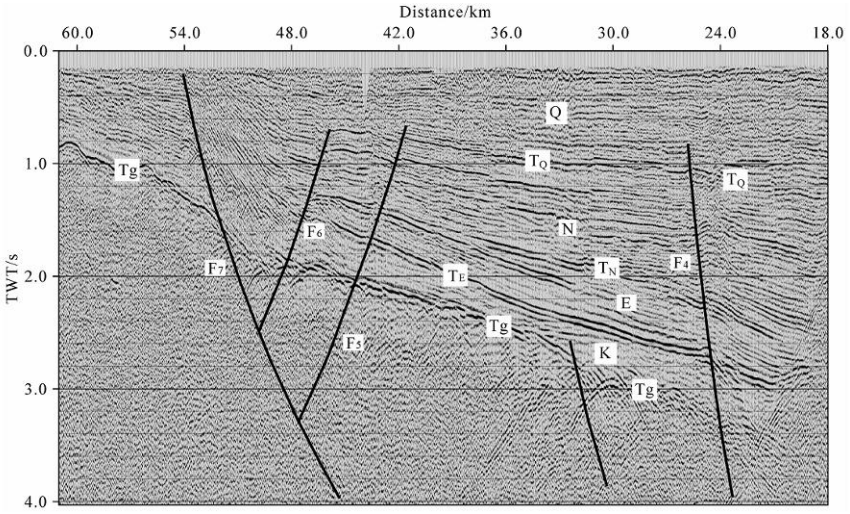


图 1.9-14 呼包盆地的沉积层反射图像，F7 为鄂尔多斯北缘断裂（酆少英等，2015）

由于库布齐沙漠覆盖，断裂整体出露较差，仅在瓦窑、城拐子等地见到高达20-30m的断层陡坎。在城拐子至白泥窑一带，陡坎由上更统湖相层组成，断裂表现为向北倾斜的正断层。地震勘探资料显示断裂为形成于上新世末的正断层，其断面向北倾斜，倾角78°，断距西段较大，为1500-2000m，向东逐渐减小，至黄河附近消失。由于断裂活动和鄂尔多斯块体北缘的间歇性抬升，向北流入黄河的水系发育4-5级阶地，河谷深切约60m。在卫星影像上，断裂带有较明显的线性特征。据乌兰探槽剖面揭露显示（图1.9-15），断层表现为一系列阶状正断层，以垂直差异运动为主，晚新更世以来的垂直活动速率约为0.3mm/a（邓起东等，1985）。

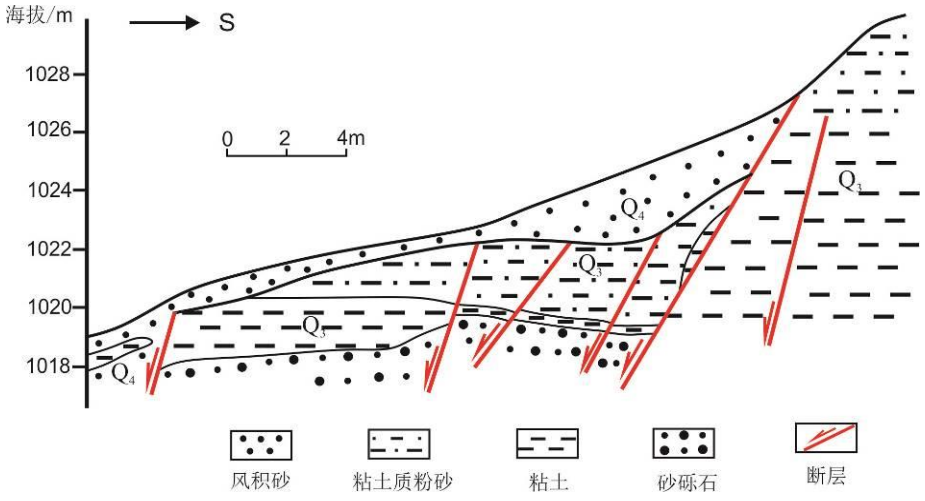


图 1.9-15 乌兰村探槽剖面（据邓起东，1985）

断裂在托克托县城以东隐伏于上更新统湖积平台下，地貌上表现不明显。根据大量钻孔资料，可确定该断裂的延伸。托克托县城东跨断裂钻孔联合剖面显示断裂南侧

上新世地层被抬升，其上仅覆盖晚更新统河湖相地层，缺失早、中更新统，断裂北侧为第四系。剖面中断裂之上覆盖一层黑色淤泥层，测年结果为31.3±1.9ka，说明该断裂3万年以来无活动（内蒙古自治区地震局和中国地震局地壳应力研究所等，1992）。

综上所述，鄂尔多斯北缘断裂为一条走向近东西、倾向北的正断层，第四纪时期有明显活动，其活动强度由西向东减弱。3 万年以来该断裂无明显活动，仅可能在晚更新世早期有所活动。

八、和林格尔断裂（F8）

和林格尔断裂南起黄河口冯彦一带，向北东经黑水泉、公喇嘛、南地，至呼和浩特东边的榆林镇一带，全长约120km，走向NE，倾向NW，倾角60°~70°，正断层性质，构成河套断陷带的东边界。

和林格尔断裂位于托克托台地东缘与和林格尔丘陵过渡的缓坡带上，断层出露很差。前人在巴尔此老村西沟中见到唯一的剖面，剖面中上新世红土层与河湖相沉积之间残留着断层陡坎，断层倾向NW，倾角60~70°，陡坎上覆盖着上更新世河湖相黄绿色粉砂夹钙板，钙板层^{14}C年龄表明断裂未切穿3万年左右以来的地层（图1.9-16）。

综上所述，和林格尔断裂为一条走向北东、倾向北西的正断层，初步判断该断裂在晚更新世以来存在活动。

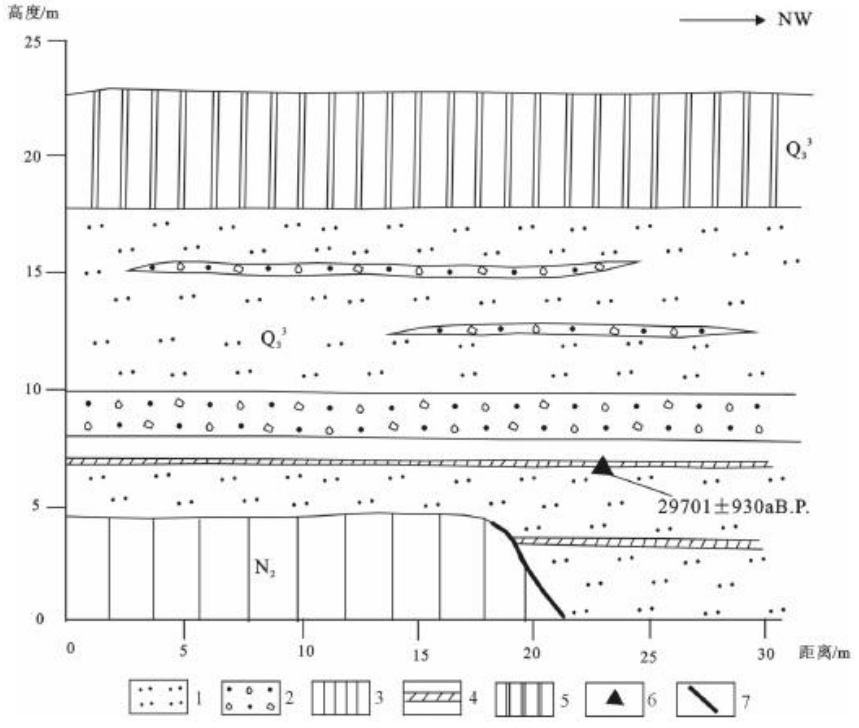


图 1.9-16 巴尔此老村村西南冲沟南壁剖面 （中国地震局地壳应力所，1998）

1.粉砂；2.砂砾石；3.红色粘土；4.钙板；5.黄土；6.^{14}C 采样点；7.断层

九、乌梁素海西缘和东缘断裂（F9、F10）

乌梁素海西缘断裂：也是一条物探推测隐伏断裂，它与乌梁素海东缘断裂共同形成乌梁素海地堑型凹陷。断裂长约36km，倾向南东，走向北北东向，性质为张扭性正断层，其活动时代为晚更新世。

乌梁素海东缘断裂：从西山咀镇北沿乌梁素海东岸呈北东向展布，长约80km，与乌拉山北缘断裂在西山咀北附近交汇，是一条物探推测的隐伏断裂。断裂倾向北西、性质为张性正断层，形成时代与乌拉山北缘断裂相同。其活动时代为晚更新世。

乌梁素海凹陷呈楔形夹在色尔腾山和乌拉山之间，亦即在狼山南缘断裂和乌拉山北缘断裂之间。断陷把乌拉山西段断入地下为潜山。

十、西沙湾-兴胜断裂（F11）

该断裂又称包头断裂，为一条根据物探资料推测的隐伏断裂，展布于包头凸起北侧，但断裂两侧新生界厚度度差别不大，说明断裂活动性较弱。包头活断层（2015）对西沙湾—兴胜断裂进行了详细探测，跨断裂布设了多条浅层人工地震测线和 2 条钻孔联合剖面。

在人工浅层地震测线中，有 6 条测线得到了可靠的断裂位置。根据物探确定的断点埋深、断距等，结合实际的场地施工条件，选取浅层地震测线 N3 和 KQD2-1 测线解译的断点位置进行联合钻孔地质剖面探测研究，分别布设了万兴公钻孔剖面和建设路钻孔剖面。

万兴公钻孔剖面：万兴公钻孔剖面沿浅层物探 N3 测线布置。N3 测线走向近南北，沿包头至鄂尔多斯铁路东侧的便道布设，测线南起于召湾村附近，北止于万兴公村西部，道间距 3m，测线全长 4884m。剖面南部反射界面起伏较大，为包头凸起的反映，并可能与测线南部大青山山前断裂由近东西向转为近北北东方向有关，剖面北部反射波组明显发育，呈单斜特征，反映包头凸起北部地层向白彦花凹陷缓倾。剖面共解译两个正断点，其中 F3 为西沙湾—兴胜断裂，其在地表投影位于 CDP1788 处，断裂倾向 NW，视倾角约 80°，错断了 TQ32、TQ、T6 和 Tg，上断点埋深约 77m。由于剖面北部近地表处反射界面相对无序，西沙湾—兴胜断裂错断最新地层、上断点埋深等推测结论相对不可靠（图 1.9-17）。为查明西沙湾—兴胜断裂断错的最新地层，沿 N3 测线布置了由 4 个钻孔组成的钻孔剖面，依次为 ZK-1、ZK-2、ZK-3 和 ZK-4，

孔间距分别为 18m、17m 和 20m，终孔深度分别为 80m、100m、100m 和 80m，总进尺为 360m。

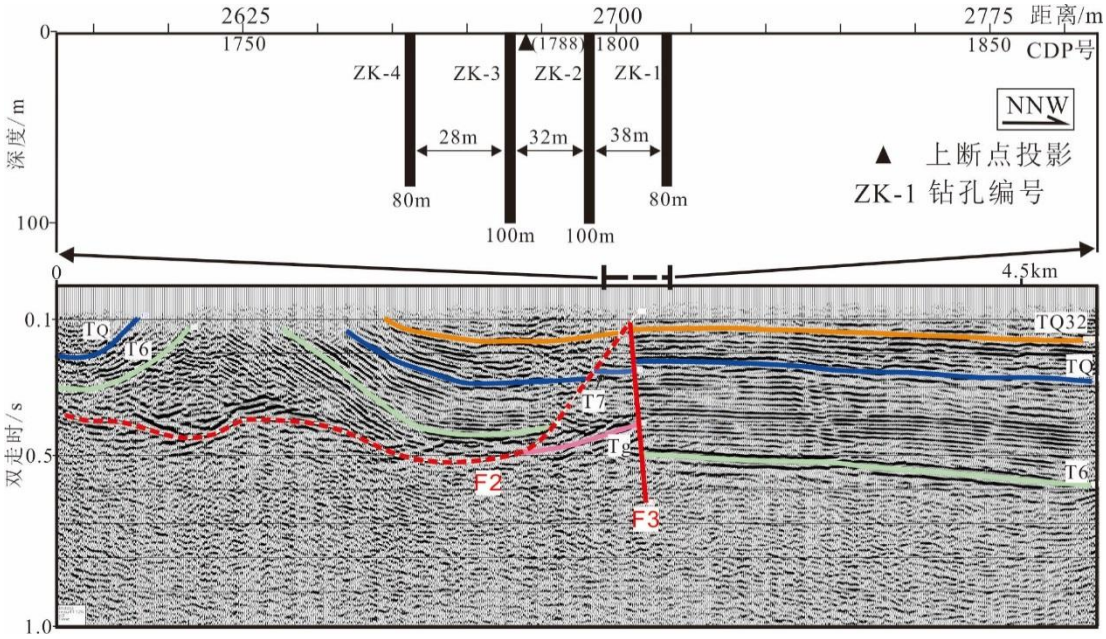


图 1.9-17 万兴公钻孔联合剖面钻孔布设位置图（包头活断层，2015）

钻孔联合剖面揭露的地层主要由粘土、粉土、砂、砾砂组成（图 1.9-18），出现较为特殊的地层为一层质地坚硬灰白色钙质胶结砂岩，出现于各钻孔岩芯的 40m 深度层位。根据钻孔岩芯岩性、颜色、构造等特征将钻孔地层划分为 4 个地层单元（图 1.9-19）。

在 4 套地层单元中，第 2 套地层单元底界的灰白色钙质胶结砂岩是最明显的标志层，在各钻孔中出现的深度层位基本一致。第 4 套地层单元顶部的砂砾石层也可以作为一层标志界面。四个钻孔中厚层砂砾石层顶界的深度一致，即第 3 套地层单元的底界是水平的。这表明钻孔中 55m 以浅的地层为原始沉积地层，无断层改造迹象。55m 深度以下的地层主要以中粗砂和砾砂为主，单层厚度变化较大，无法进行具体层位的对比，但地层总体特征基本相似，应为同一套地层，亦没有受地断层的明显错断。由于 2 个标志层（界面）在 4 个钻孔里都有揭露并基本保持水平，因此可以确定各钻孔 55m 以浅的地层为原始沉积地层，未受断层构造影响。

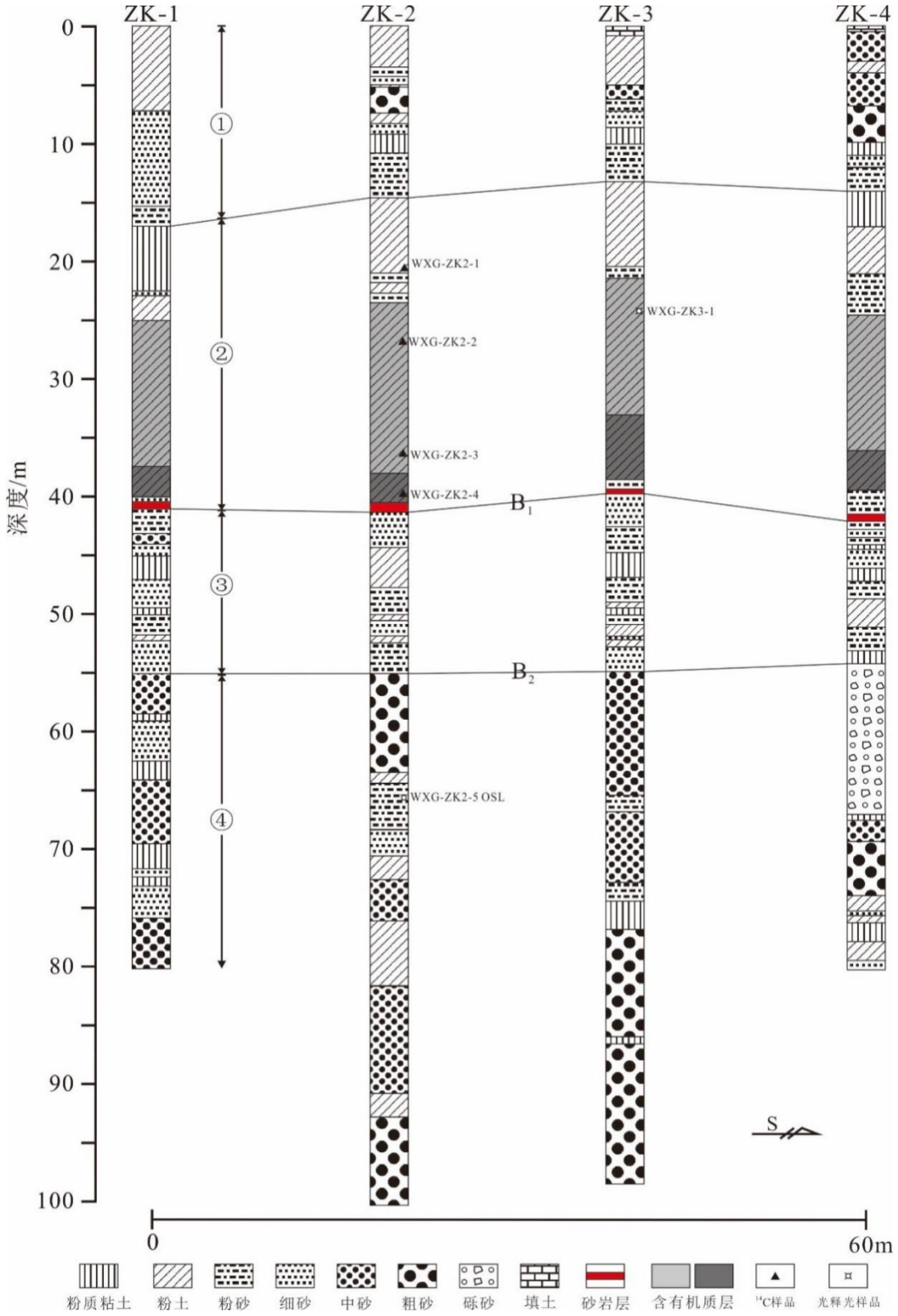


图 1.9-18　万兴公联合钻孔地质剖面（包头活断层，2015）

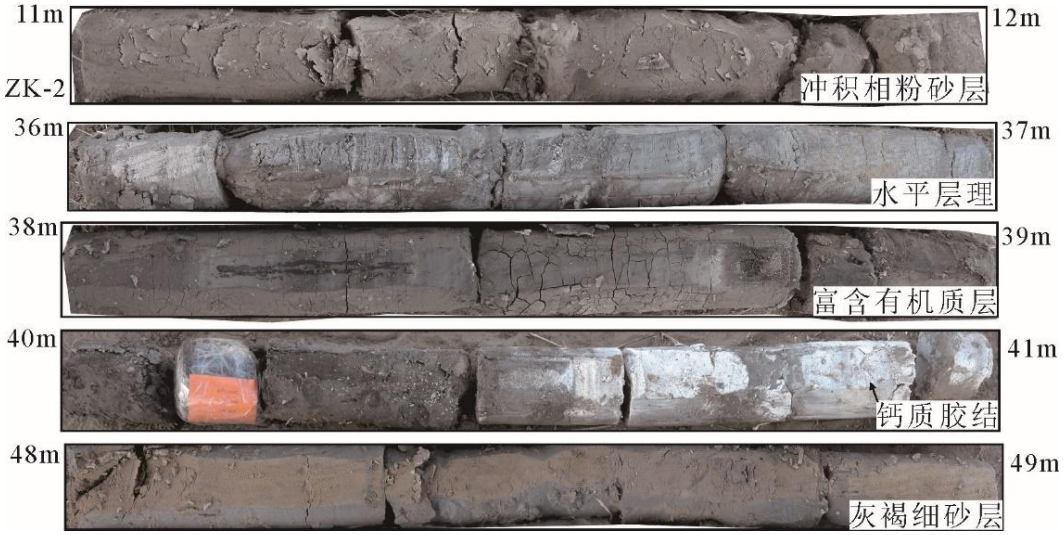


图 1.9-19　钻孔岩芯照片（包头活断层，2015）

通过详细的钻孔岩芯对比，在钻孔岩芯中未发现断层证据，55m 以浅的地层为原始沉积地层。对 ZK-2 中层 2 的含有机质粉土进行 ^{14}C 采样定年，测年结果在 3.4-3.2 万年左右（表 1.9.2）。以上证据表明晚更新世晚期以来钻孔位置无断层活动迹象。

表 1.9.2　万兴公钻孔岩芯年代样品测试结果

样品号	取样深度/m	岩性	测试编号	距今时代/a	较正年龄/a
WXG-ZK2-1	20.60-20.75	黑灰粉土	Beta-401023	30590±180	34825-34215
WXG-ZK2-2	27.00-27.10	黑灰粉土	Beta-401024	29690±170	34060-33615
WXG-ZK2-3	37.30-37.50	黑灰粉土	Beta-401025	28190±110	32430-31600
WXG-ZK2-4	40.10-40.20	灰黑粉土	Beta-401026	30110±170	34450-33890

注：较正年龄置信区间为 2σ，年龄值都为 BP 年龄

建设路钻孔剖面：建设路钻孔剖面沿人工浅层地震 KQD2-1 测线布置，KQD2-1 测线位于包头市区的中部，西段近东西走向，东段呈南东走向布设，道间距 5m，测线全长 20720m。剖面上一共解译了 9 个强反射界面，包括 TQ31、TQ32、T1、T2、T3、TQ、T4、T5 和 Tg，解译了 3 个正断点，分别为大青山断裂、西沙湾—兴胜断裂和白彦花凹陷的基底小断裂。西沙湾—兴胜断裂位于剖面中部，断裂倾向 NW，倾角约 82°。剖面上，西沙湾—兴胜断裂错断了基底反射界面 Tg，上断点位于 TQ（第四系底界）界面下方，第四系底界明显断错，上断点埋深约 95m，130m 深度处断距达 60m，上断点地表投影位于 CDP3476 处。

建设路钻孔剖面布置在 KQD2-1 测线南侧的公路绿化带中，由北西至南东方向，分别布设 4 个钻孔，依次编号为 ZK-1、ZK-2、ZK-3 和 ZK-4，目标断裂上断点地表

投影大致位于钻孔 ZK-2 和 ZK-3 之间。钻孔剖面全长 66m，孔间距依次为 23m、21m 和 22m，单孔孔深分别为 86m、90m、100.3m 和 90m，累计进尺 366.3m（表 1.9.3、图 1.9-20）。

表 1.9.3　建设路钻孔岩芯中标志层层位对比

标志层	岩性		ZK-1	ZK-2	ZK-3	ZK-3
B1	中、粗砂，砾砂	顶界	8	8.4	9.9	5.2
		底界	13	13.8	13.8	14
B2	黄绿湖相粉砂	顶界	13	13.8	13.8	14
		底界	18.9	19.5	18.4	17.4
B3	含有机质粉质粘土	顶界	25	22	19.9	19.8
		底界	30.9	29.8	29.3	30.6
B4	黄绿湖相粉砂	顶界	37.7	36.7	36.8	38.1
		底界	41	38.6	38.6	39.2
B5	钙质胶结砂岩层	顶界	-	85	-	86.5
		底界	-	85.5	-	87.2

注：“-”表示钻孔岩芯中未见明显标志层

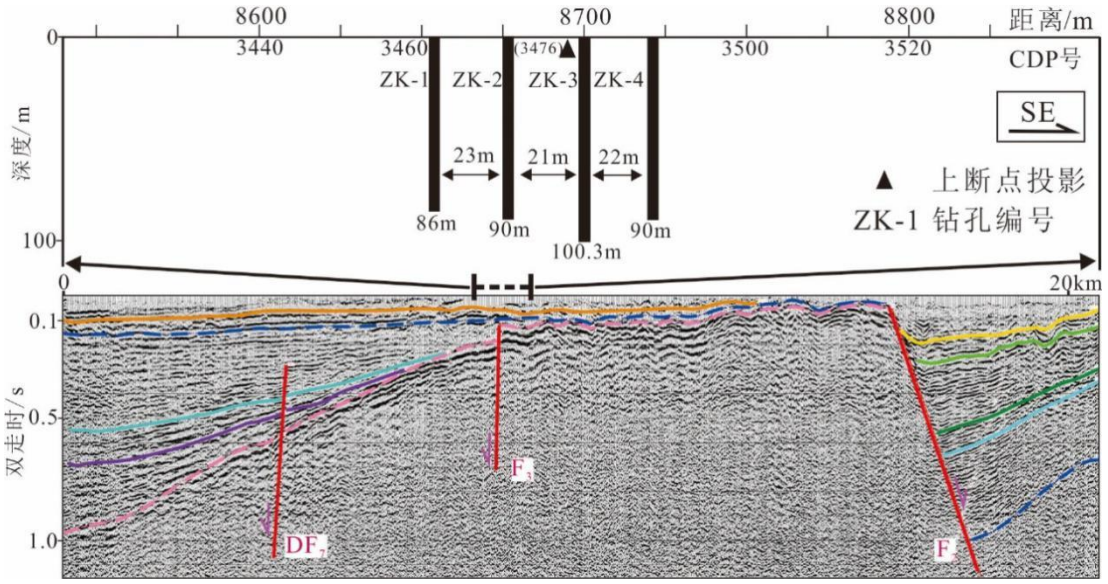


图 1.9-20　建设路钻孔联合剖面钻孔布设位置图（包头活断层，2015）

钻孔剖面揭露的地层主要由粉质粘土、粉土、砂、砾砂组成。各钻孔中 40m 以浅的地层一般可见 2 层黄绿色湖相粉砂层，40m 以深的地层普遍含有钙质结核或钙板，部分地层因含较多有机质而呈灰黑或黑灰色。根据各个钻孔岩心的岩性、颜色、结构等特征，进行综合对比，自上而下将钻孔岩芯划分为 5 个地层单元，并在此基础上确定了 5 层标志地层（图 1.9-21）。

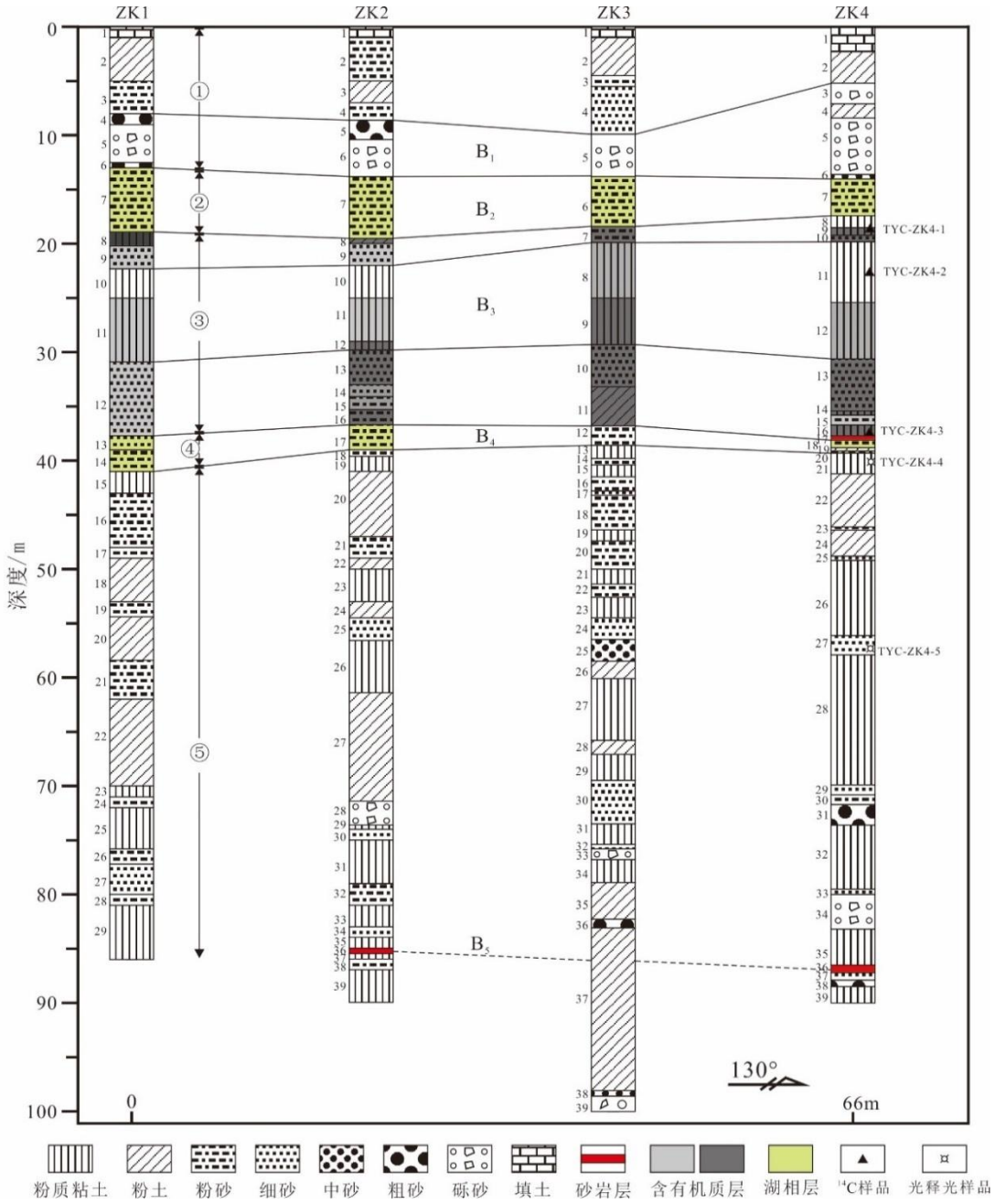


图 1.9-21　建设路联合钻孔地质剖面（包头活断层，2015）

标志层 B1、B2、B3 和 B4 在各个钻孔中均有揭露，虽然层位略有起伏，但基本连续，无明显断错现象。这一特征表明断层未影响 40m 以浅的地层的沉积。除钻孔 ZK-1 钻进深度较浅外，其余三个钻孔中 B5 标志层也大致保持连续，而且岩芯中未见明显的断层相关形迹，可以推断 80m 以浅的地层都为原始沉积结构，未受断层构造改造，但可靠性相对较差。在 ZK-4 中 19.00m 和 37.00m 层位深度中采集了含有机质的粉质粘土样品进行 ^{14}C 定年测试（图 1.9-22，表 1.9.4）。其中浅层的测年样品 TYC-ZK4-1 的较正年龄结果为 45225-43290 a BP，深层样品 TYC-ZK4-3 的较正年龄结果为

39610-38490 a BP，表明建设路钻孔中含有机质的灰黑或黑灰色地层的沉积时代在 4 万年左右。

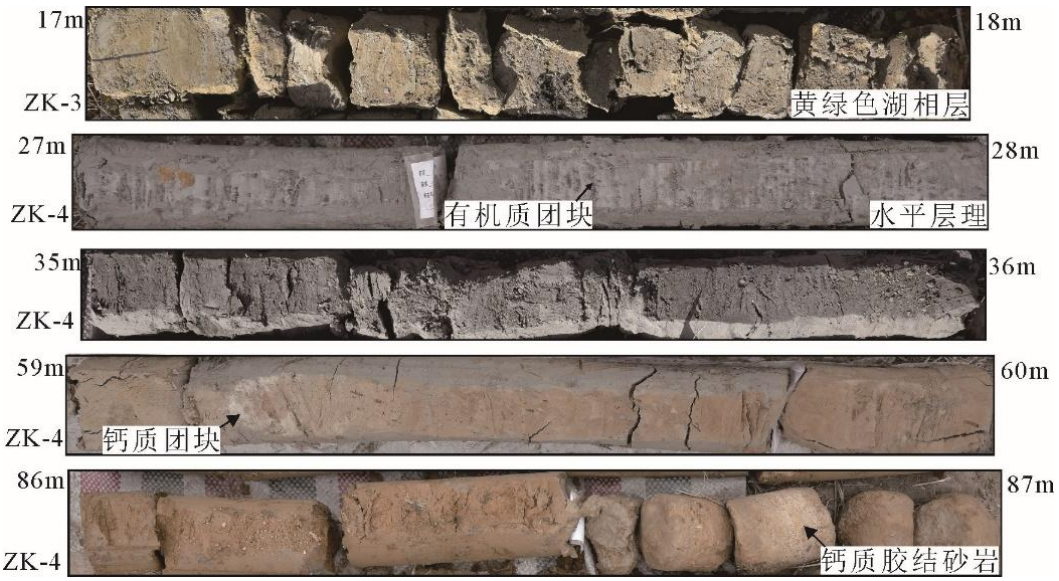


图 1.9-22 建设路钻孔部分岩芯照片（包头活断层，2015）

物探研究揭示的上断点埋深与钻孔终孔深度相当，布设排钻一方面可以检验断层是否延伸至更浅的地层之中，另一方面可以通过浅层原始沉积地层中样品的定年来限定断层的活动上限。通过建设路排钻中钻孔岩芯对比，可以确定原始未受构造影响的地层深度至少可达 40m，最深可能达到 80m。

表 1.9.4 建设路钻孔岩芯年代样品测试结果

样品号	取样深度/m	岩性	测试编号	距今时代/a	较正年龄/a
TYC-ZK4-1	18.90-19.00	黑灰粉质粘土	Beta-401028	40770±540	45225-43290
TYC-ZK4-3	37.65-37.70	灰黑粉质粘土	Beta-401029	34500±270	39610-38490

注：较正年龄置信区间为 2σ，年龄值都为 BP 年龄

综上所述，针对西沙湾—兴胜隐伏断裂布设的建设路和万兴公钻孔联合地质剖面中未发现断层。万兴公剖面中，通过地层对比可以确定钻孔中 55m 以浅的地层为原始的连续水平地层。在包头市活断层探测与地震危险性评价项目中实施的标准钻孔 BZK2 中，含有机质具微细水平层理厚层粉质粘土层的深度层位为 34~43m，这一地层之下在 64m 左右出现一套以粗砂（砾砂）为主的冲洪积地层。以上两套地层的岩性特征与深度层位大致与万兴公排钻剖面相当。标准钻孔中 50m 深度层位的光释光样品测年结果为 80.6ka（46.0-46.1m）和 84.4ka（52.7-52.8m），表明至少 8 万年以来，西沙

湾—兴胜隐伏断裂没有活动。建设路剖面中，通过地层对比可以确定钻孔中 40m 以浅的地层为原始地层，年代学测试结果表明40m以浅地层的沉积时代至少是4万年以来。建设路剖面中 40m 至终孔深度 100m 的地层为厚层粉土或粉质粘土层，地层总体稳定连续，未见楔状岩芯。大致在 70m 深度层位，建设路钻孔岩芯中出现较厚层的粗砂或砾砂地层，这一深度层位可能对应万兴公钻孔剖面的 B2 标志界面。因此，可以进一步推测，建设路剖面中 8 万年以来的地层为未受断裂影响的原始地层。

综上，通过地质地貌特征，未见地表存在线性特征，同时根据浅层地震勘探结果及跨断层钻孔工作，认为西沙湾—兴胜隐伏断裂主要错断第四系底界面和第四系下部地层，综合判断其为第四纪早期，即早、中更新世断裂。

1.10 区域地震构造条件评价

1.10.1 强震发生条件的综合分析

强震发生条件是研究潜在震源区的重要依据。区域是华北地区地质构造复杂，新构造运动和地质活动都十分强烈的地区，6 级以上地震的展布具有一定规律性，它们均受地质构造条件的控制。6 级以上地震一般与晚更新世以来的活动断裂，特别是与全新世活动断裂密切相关。研究强震发生的地质构造条件，对划分潜在震源区和预测强震的空间位置及强度具有重要意义。通过分析区内强震所处的位置与其地震地质特征，得出区内强震发生的主要地震地质条件如下：

1．倾斜断陷盆地深陡一侧的主边界断裂带上，且差异升降运动较大的地段，如 1929 年毕克齐 6.0 级地震和 1934 年五原 6.3 级地震；

2．盆地主边界断裂与次级横向断裂交汇地区，如 1979 年五原 6.0 级地震；

3．多组活动断裂的交汇区，如公元 849 年包头 7.0 级地震和 1996 年包头 6.4 级地震及 1976 年和林格尔 6.2 级地震；

4．强震发生在北东向与东西向断裂交汇区。

1.10.2主要发震构造的判别和最大潜在地震震级的确定

区域范围内主要发震构造有色尔腾山山前断裂、乌拉山山前断裂、乌拉山北缘断裂、大青山山前断裂、鄂尔多斯北缘断裂、和林格尔断裂等。

发震构造最大潜在地震震级的确定主要根据历史地震、古地震等资料，利用构造类比、断裂参数与震级回归关系等方法来确定。由于断裂参数（长度、位移大小等）

与震级大小的不确定性较大，一般说来，应以构造类比法为主。构造类比法是对发震构造特征详细分析的基础上，与历史上已发生强震的构造环境进行对比，从而估计可能发生的最大地震。

一、色尔腾山山前断裂

断裂是控制临河凹陷北部的边界断裂，区域涉及该断裂东南段。该段垂直构造差异相对西段而言不十分显著，第四纪断层不发育。1934 年和 1979 年在五原附近发生了 6.3 级和 6.0 级地震。1996 年该段东端发生包头 6.4 级地震。用构造类比法和历史地震法确定未来最大潜在地震震级为 7.5 级。

二、乌拉山北缘断裂

与色尔腾乌拉山山断裂共同控制临河凹陷东南边界。全新世断裂活动减弱，但有小地震和震群在活动。用构造类比和历史地震法，确定未来最大潜在地震震级为 6.5 级。

三、乌拉山山前断裂潜在地震震级估计

1、乌拉山山前断裂全长 110km，由于乌拉山山前断裂各段之间分段界线并不十分明确，可以考虑将整个断裂作为一个地震破裂段落。根据公式，计算得到乌拉山山前断裂潜在的最大地震震级为 M7.6±0.3 级，根据目前对震级估算的精度，可认为乌拉山山前断裂最大潜在的最大地震震级为 M7.5 级。

2、乌拉山山前断裂哈业胡同段

该段西起和顺庄，向西经哈业胡同、哈德门，至于卜尔汉图一带，长约 45km，采用断层破裂长度为 45±4.5km。根据公式，计算得到乌拉山山前断裂和哈业胡同段潜在的最大地震震级为 M7.0±0.2 级，根据目前对震级估算的精度，可认为乌拉山山前断裂和顺庄—包头段潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

四、大青山山前断裂

该断裂是控制呼包凹陷的主边界断裂，差异构造运动十分明显，晚更新世以来平均活动速率为 2.4~4.5mm/a，全新世活动速率最大为 1.7mm/a。断裂发生过多次全新世古地震事件。用构造类比法估计未来最大潜在地震震级为 8.0 级。

1、大青山山前断裂包头段潜在地震震级估计

大青山山前断裂西起黄河南岸的昭君坟，向北过黄河，经西召咀子、麻池、万水

泉、东河区西脑包，至壕赖沟附近，长约 45km，前人根据经验计算公式计算得到大青山山前断裂包头段潜在的最大地震震级为 M7.0±0.2 级，考虑到震级预测的不确定性，可以认为大青山山前断裂包头段潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

2、大青山山前断裂土右旗段潜在地震震级估计

大青山山前断裂土右旗段西起雪海沟，向东经古城湾、阿善沟、沙尔沁、莎木佳，至于土右旗附近，长约 35km，采用断层破裂长度为 35±3.5km。前人根据公式，计算得到大青山山前断裂土右旗潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

3、大青山山前断裂包头段+土右旗段潜在地震震级估计

考虑到断裂的级联破裂现象，将大青山山前断裂包头段和土右旗段作为一个破裂段，进行潜在地震震级估算。大青山山前断裂包头段和土右旗段总长 80km，采用断层破裂长度为 80±8km。根据公式，计算得到大青山山前断裂包头段潜在的最大地震震级为 M7.5 级。

五、鄂尔多斯北缘断裂

该断裂是控制河套断陷区的南边界断裂，性质为左旋走滑正断层。第四纪以来断裂形成高 20~50m 陡坎。近 30 多年来，沿断裂带有小震活动。用构造类比法估计未来最大潜在地震震级为 6.5 级。

六、和林格尔断裂

和林格尔断裂是控制河套断陷区的东边界断裂，第四纪以来活动较为强烈，性质为张性。近几十年来，地震活动频繁，虽未有 5 级以上地震记录，但有发生中强地震的地震地质条件。用构造类比法推断未来最大潜在地震震级为 6.5 级。

1.11 区域地震活动性和地震构造综合评价

综上所述，目标区所处的地震活动和地震构造综合评价如下：

（1）截止 2022 年 3 月，区域范围内共记录到 M≥4.7 级地震 9 次，其中 4.7～4.9 级地震 3 次，5.0～5.9 级地震 2 次，6.0～6.9 级地震 3 次，7.0～7.9 级地震 1 次。最大地震是 849 年内蒙古包头 7 级地震，最早地震也是 849 年内蒙古包头 7 级地震。区域强震主要沿河套断陷带分布。

（2）自 1970 年有区域性地震台网记录以来，区域内共记录到 2.0≤M≤4.6 级地震 1733 次，其中 4.0～4.6 级 21 次，3.0～3.9 级地震 236 次，2.0～2.9 级地震 1476 次。

区域小震较活跃，主要分布 3 个地区：呼和浩特和和林格尔附近、包头和达拉特旗附近、五原附近地区。

（3）区域涉及到银川-河套地震带、鄂尔多斯地震统计区、东北地震区及汾渭地震带。

（4）中强地震的深度在 18km 左右；小震震源深度全都分布于 40km 以内，其中绝大多数深度分布在 6~15km 以内，占总数的 74%。总体地震发生在中、上地壳内，属于浅源地震。

（5）共有 2 次地震对目标区影响烈度超过VI度，分别是 849 年内蒙古包头 7 级地震和 1996 年包头西 6.4 级地震，影响烈度分别为 VIII 度和 VI 度。

（6）区域所处区域构造应力场的最大主压应力轴为北东，最大主张应力轴为北西-南东向。地震的主破裂方向多为北北东，破裂方式为走滑兼斜滑或倾滑。

（7）区域主要位于华北准地台中北部，仅北部部分区域进入内蒙-大兴安岭褶皱系。华北准地台是我国最古老的一个陆块，其构造演化经历了结晶基底形成、盖层发育和伸展裂陷改造三个基本阶段。其在区域内可进一步划分为阿拉善台隆、鄂尔多斯太缘褶带、鄂尔多斯台拗、内蒙地轴和山西断隆 5 个二级构造单元。目标区位于内蒙地轴内。

（8）按新构造运动活动特征，区域可划分为阴山隆起区、河套断陷区和鄂尔多斯隆起区 3 个新构造单元，其中阴山隆起和鄂尔多斯隆起是相对稳定的构造单元，河套断陷带是构造活动相对强烈的构造单元。历史上的破坏性地震和现代中小地震主要发生在河套断陷带内，未来地震也将主要发生在河套断陷带内。

（9）控制河套断陷带北部的 3 条区域性断裂，即：色尔腾山山前断裂、乌拉山山前断裂和大青山山前断裂，是区域内大地震的主要发震构造。其中，色尔腾山山前断裂和大青山山前断裂是区域内规模最大、切割最深的 2 条断裂，重力和航磁反演其切割深度超过 20km，第四纪晚期以来表现出强烈的活动性，是区域内最主要的 2 个发震构造，综合判断其具有发生 7.0 级以上地震的构造条件。乌拉山山前断裂第四纪晚期以来虽然也表现出强烈的活动性，但断裂的规模、切割深度不如色尔腾山山前断裂和大青山山前断裂大和深，综合判断其具有发生 7.0 级地震的构造条件。

第二章　近场区地震活动性和地震构造评价

本章旨在通过对地质构造、新构造运动特征、主要断裂特征及其活动性的分析，判断近场区域可能发生地震的地点，综合评价近场区地震构造，为确定近场潜在震源区和场地地震动参数提供依据。

2.1 近场区地震活动性

近场区记载到破坏性（M≥4.7）地震 1 次，即 849 年 10 月 24 日内蒙古包头 7 级地震，位于目标区西南侧 26km 处。从 1970 年截止至 2022 年 3 月，近场区共记录 2.0~4.6 级地震 48 次，其中 4.0-4.6 级地震 0 次，M3.0~3.9 级地震 5 次，M2.0~2.9 级地震 43 次，近场区 3.0 级以上现代小震目录见表 2.1-1。小震空间分布没有明显的分布特征，相对集中于目标区西侧和南侧。近场区地震主要受到色尔腾山山前断裂、乌拉山北缘断裂、乌拉山山前断裂的影响。

值得注意的是 849 年包头地震属于疑难地震，不同资料对该次地震的震级和震中位置认定不同。据史书（《旧唐书》卷一八《宣宗纪》）记载，“大中三年十月辛巳（公元 849 年 10 月 20 日），京师地震，河西、天德、灵、夏尤甚，戍卒压死者数千人”。说明在中国北方发生了一次大地震。然而，由于历史文献记录简略，加上地震距今已有 1000 多年时间，地震遗迹已消失殆尽。《中国地震资料年表》（1956）年中提及震中位置不确定，后经过孙加林研究认为，这次地震发生在河套地区，震级可能为 8-8½级（孙加林，1979）。关于 849 年地震的史料都出自《新唐书》、《旧唐书》和《唐荟要》，依据这些史料，地震的位置不应该偏离河套盆地东部太远。聂宗笙等（《鄂尔多斯周缘活动断裂系》，1988）等对河套断陷周边活动断裂在晚更新世和全更新世活动进行研究，认为该地震是大青山山前断裂带的活动，并综合孙加林和其他学者的研究成果，认定地震震级为 7½级。中国历史强震目录中该地震震级定为 7 级。该地震没有较完整的等震线资料，只能通过计算得到地震对目标区的影响烈度，如震级为 7 级，对目标区的影响烈度为Ⅷ度（计算烈度 7.9 度）；如震级为 7½级则影响烈度为Ⅷ度（计算烈度 8.6 度）。综合考虑，本项目认为该地震对目标区影响烈度为Ⅷ度。

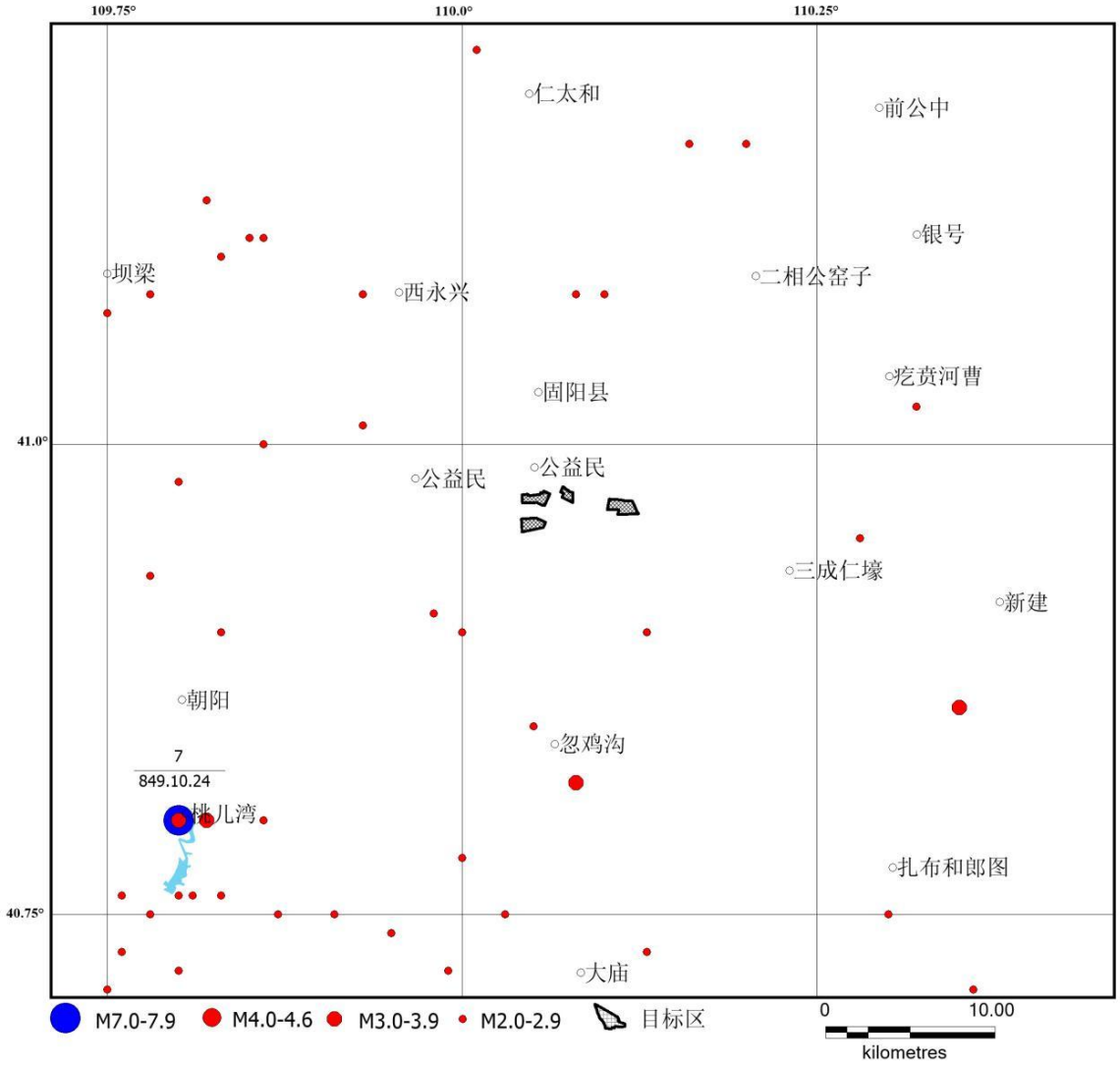


图 2.1-1 近场区地震震中分布图

表 2.1-1 近场区 3.0 级以上现代小震目录

序号	发震日期	发震时刻	纬度	经度	震级	深度	参考地名
1	19900705	5:17:35	40.86	110.35	3.5	-	内蒙古固阳县
2	20061217	20:26:08	40.82	110.08	3.2	8	内蒙古固阳县
3	20080131	17:27:44	40.8	109.8	3.1	5	内蒙古固阳县
4	20080203	12:54:23	40.8	109.82	3.6	13	内蒙古包头市
5	20080925	3:22:12	40.8	109.8	3.3	9	内蒙古包头市

2.2 地貌与地质条件概况

2.2.1 地貌特征

近场区地处阴山北麓，色尔腾山东延的低山丘陵地带，大青山近东西向分布南部，总体地势南北高中部低，缓慢倾斜，海拔一般为 1300~1900m。南部属中低山区，中西部有低山陡坡，北部为低山丘陵区。主要地貌有剥蚀波状高平原地貌，大都为

起伏低山、中山地貌。主要水系为昆都仑河、伍金河。

2.2.2 地质概况

中生代时期，由于受南北向挤压力作用，中部有花岗岩和变质岩隆起，形成近东西走向的固阳盆地和白灵淖盆地，接受了较厚的下白垩世沉积。此后，一直处于上升剥蚀阶段，至第三纪中新世时，在盆地边缘沿北东或北西方向一组共轭裂隙有玄武岩喷发，但范围小，只是局部活动。因此，新构造运动时期对固阳盆地的影响不是很显著。在上新世时，只有盆地外围红泥井一带有沉积物，在盆地内无此期次沉积，可能是当时盆地一直处于上升剥蚀阶段，只有较低洼的积水湖泊才有上新世沉积。至第四纪时，沿低洼地带发育的近代沟谷，沉积了薄层冲积洪积层。区内侵入岩发育，分布广泛。地质构造复杂，褶皱、断裂发育。

近场区内出露的前第四纪地层主要以太古界乌拉山群斜长片麻岩、二长片麻岩、元古界渣尔泰群变质石英砂岩、板岩，中生界的白垩系砂岩、砾岩等为主。

近场区第四系的分布及岩性特征为：①下、中更新统零星分布于山麓地带，以冲洪积砾岩为主；②上更新统洪积、坡积层主要分布于山间小盆地和大冲沟两侧，为灰黄色、棕黄色黄土状亚黏土、亚砂土，夹少量薄层透镜状砂砾层，柱状节理发育。上更新统冲积层上部为灰色-灰黄色砂层夹砂砾透镜体，下部为灰色-灰黄色砂砾层夹透镜状砂层。均呈半固结状，构成一级阶地；③全新统冲积、洪积物分布于大小河系和冲沟中，为松散的砂砾层和砂土层。湖沼沉积分布于低洼地带，为灰黑色、土红色黏土、亚黏土及砂土。

2.3 新构造运动特征

整个近场区在新构造运动时期总体表现为整体抬升隆起。新生代以来，区内整体一直抬升，处于构造剥蚀状态，差异性构造运动表现十分微弱，表现为山顶夷平面、山前台地、河流阶地、冲洪积扇等地貌现象发育。地震活动主要分布在近场区西南的临河盆地东边缘的色尔腾山山前断裂与乌拉山北缘断裂锐角交汇区，1996 年包头 6.4 级地震就发生在该区内。

近场区内第四系地层主要为色尔腾山山前断裂所控制的断陷盆地，该盆地沉积了较厚的第四系地层，但由于色尔腾山山前断裂在近场区内属于断裂的东端，活动性减弱，越向东部断陷盆地发育越弱。

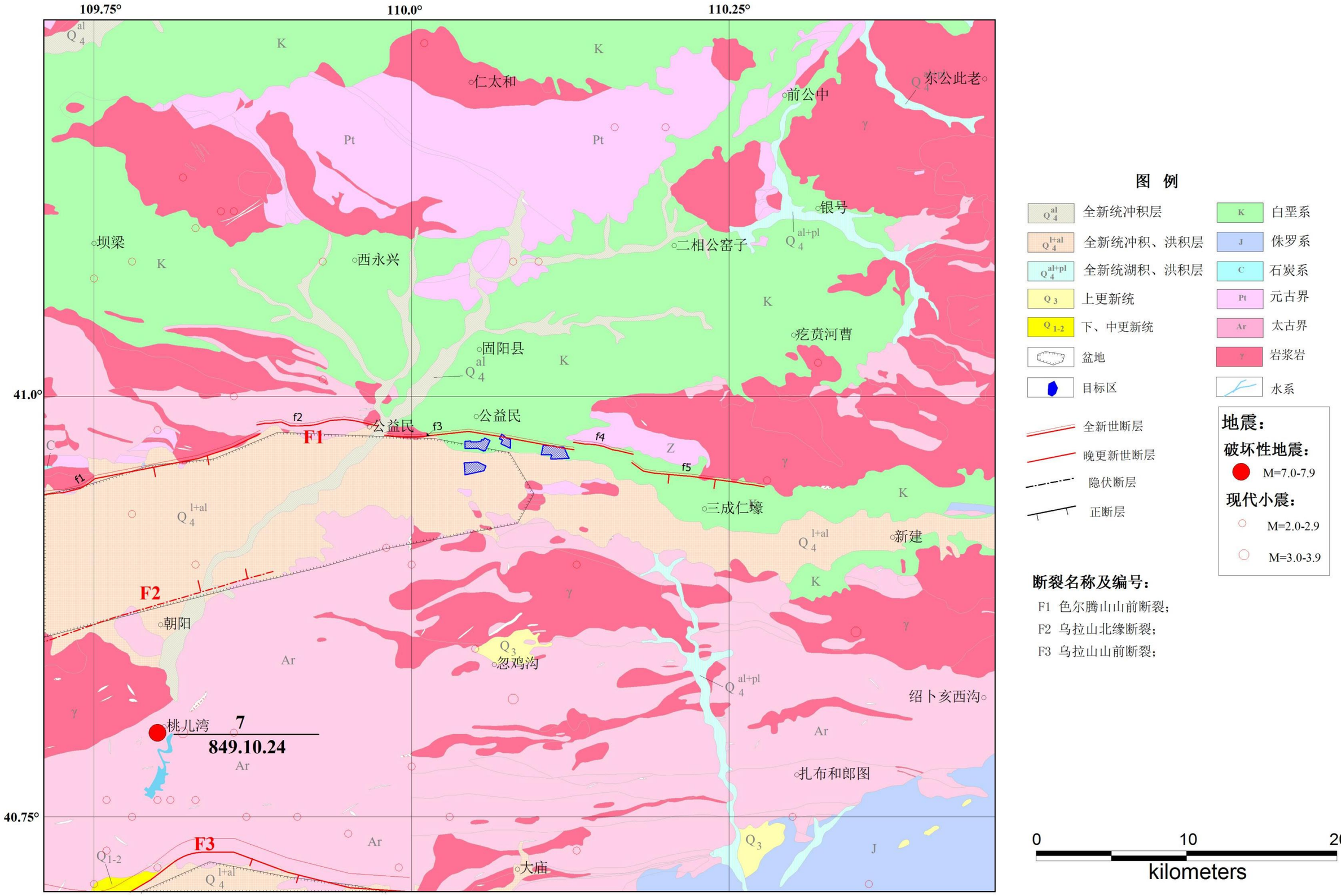


图 2.4-1 近场地震构造图

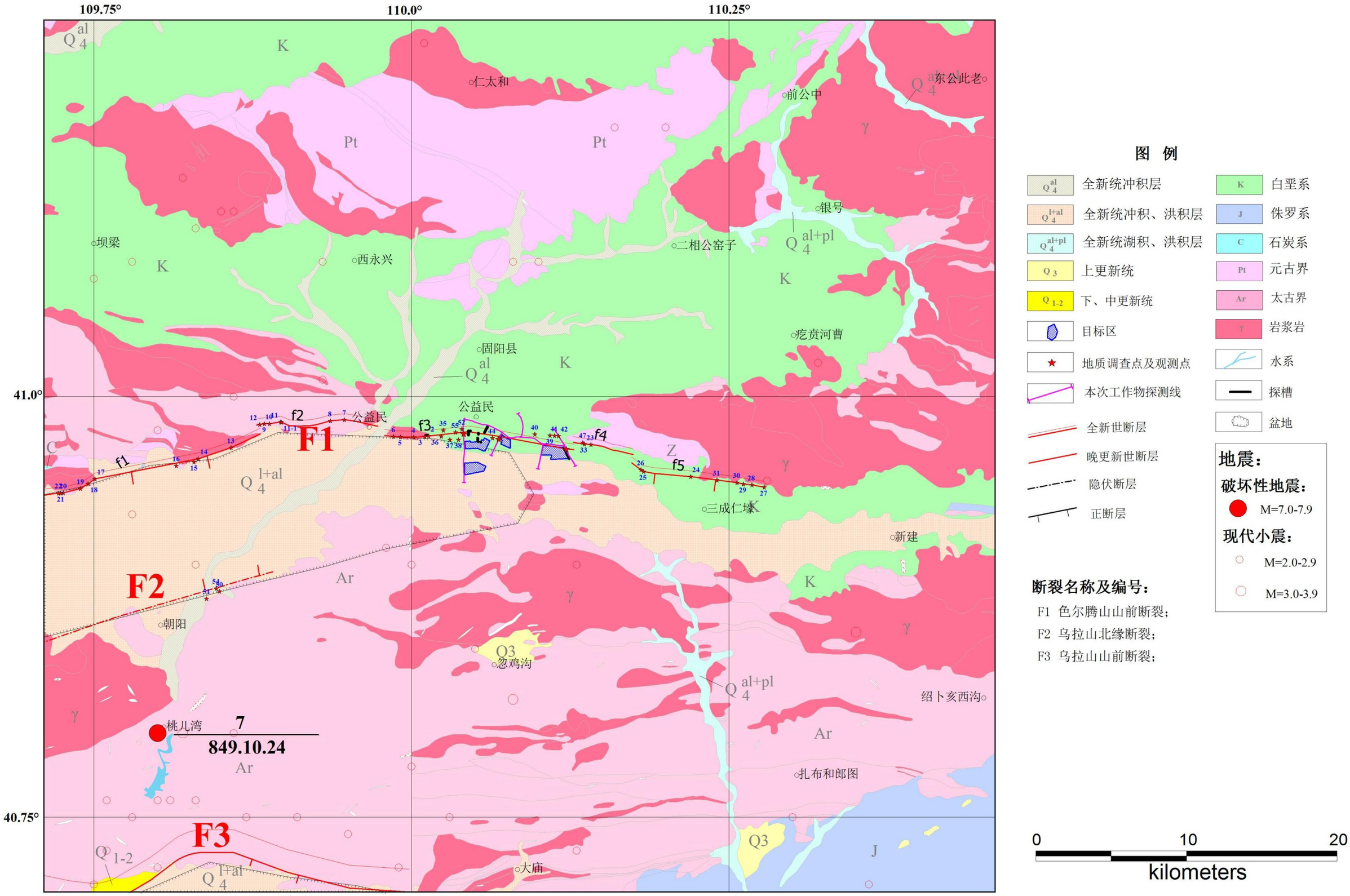


图 2.4-2 近场实际材料图

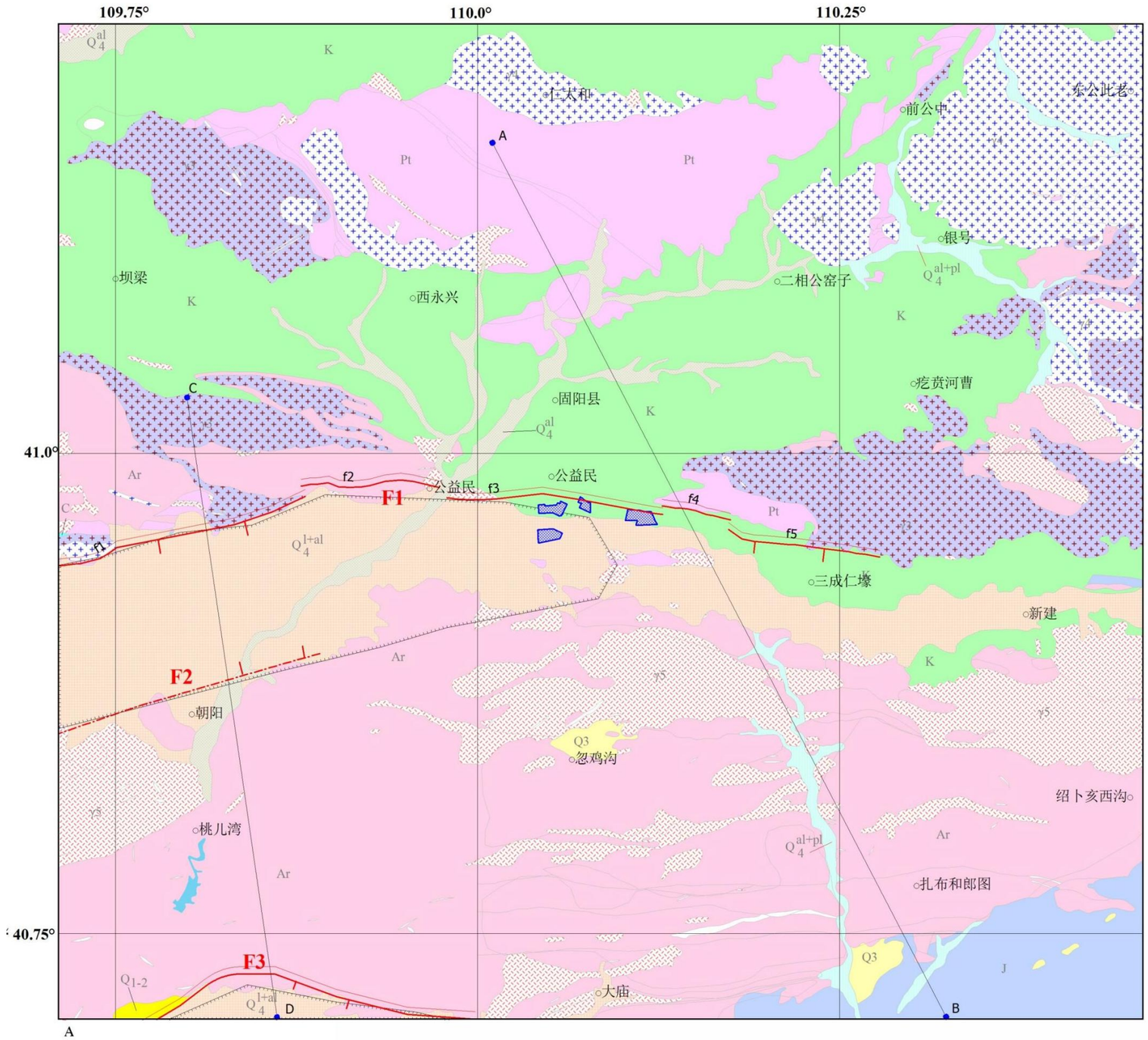


图 例

- 第四系
  - 全新统
    - Q_4^{al} 全新统冲积层
    - Q_4^{l+al} 全新统冲积、洪积层
    - Q_4^{al+pl} 全新统湖积、洪积层
  - 更新统
    - Q_3 上更新统
    - Q_{1-2} 下、中更新统
- 中生界
  - 白垩系 K 灰白色砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩夹煤层
  - 侏罗系 J 灰白色砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩夹煤层
- 石炭系 C 灰绿、黄绿色粉砂岩、安山质凝灰岩及灰岩
- 元古界 Pt 深灰色板岩、变质砂岩、千枚岩、泥质结晶灰岩
- 太古界 Ar 斜长片麻岩、矽线石榴片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩
- 燕山期侵入岩 肉红色中细粒钾长花岗岩
- 华力西期侵入岩 肉红色中细粒黑云二长花岗岩
- 加里东期侵入岩 灰绿色石英闪长岩
- 水系
- 盆地
- 全新世断层
- 晚更新世断层
- 隐伏断层
- 正断层
- A B 地质剖面线
- 目标区

断裂名称及编号：

F1 色尔腾山山前断裂；
F2 乌拉山北缘断裂；
F3 乌拉山山前断裂；

0 10 20
kilometers

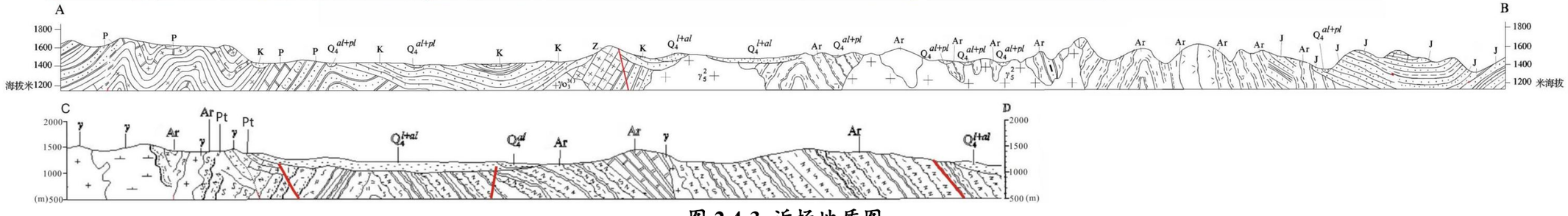


图 2.4-3 近场地质图

2.4 近场区主要断裂及活动性

近场区内断裂包括色尔腾山山前断裂、乌拉山北缘断裂和乌拉山山前断裂等（图 2.4-1~图 2.4-3，表 2.4.1）。其中色尔腾山山前断裂和乌拉山山前断裂为全新世活动断裂，乌拉山北缘断裂为晚更新世断裂。现根据该项目的研究及相关工作成果，对上述断裂的活动性进行论述。

表 2.4.1 近场区断裂活动性评价一览表

编号	断裂名称	断裂总长度（km）	断层性质	产状 倾向/倾角	最新活动时代	距目标区最近距离（km）
F1	色尔腾山山前断裂	＞175	正断	S∠60°~80°	Q_h	相交通过目标区
F2	乌拉山北缘断裂	＞75	正断	N∠80°左右	Q_{p3}	15
F3	乌拉山山前断裂	110	正断	S∠60°~75°	Q_h	29

一、色尔腾山山前断裂（F1）

该断裂位于色尔腾山南麓，西起狼山口，由近东西向延伸至乌布浪口后转为南东 120°方向延伸至大佘太以东，长约 150km。通过对断裂的几何结构、晚第四纪活动构造特征，以及分段边界构造特征等方面的分析和研究及探槽揭露出的古地震事件，可将色尔腾山山前断裂的破裂段落可以初步确定为：乌加河段、乌句蒙口－东风村段、大佘太段和乌兰忽洞段等 4 段（冉勇康，2003）。依据前人相关资料，结合本次野外调查和浅层人工地震勘探结果，认为色尔腾山山前断裂在乌兰忽洞段以东仍有分布，总长度大于 175km。

前已述及，根据色尔腾山山前断裂的几何结构、晚第四纪活动构造特征、分段边界构造特征以及槽揭露出的古地震事件等方面的分析和研究，将色尔腾山山前断裂的破裂段落划分为乌加河段、乌句蒙口-东风村段、大佘太段和乌兰忽洞段等 4 段（冉勇康，2003）。为了调查色尔腾山山前断裂是否继续向东延伸穿过近场区，本次工作在卫星影像分析的基础上，结合前人资料，对近场区进行了野外详细调查和探测（表 2.4.2）。根据断裂带的几何结构、晚第四纪活动特征等，对近场区范围内色尔腾山山前断裂细分为 5 个更小的次级段落，从西向东编号为 f_1 至 f_5。其中 f_1 和 f_2 归属于上述的乌兰忽洞段，f_3 至 f_5 属于乌兰忽洞以东的段落。各段落基本特征见表 2.4.3。

表 2.4.2 近场区地质调查点及观测点

地质调查点及观测点	经度（°）	纬度（°）	地质点类型
2#	110.0136	40.9765	断层地貌
3#	110.0104	40.9762	断层地貌
4#	110.0018	40.9759	断层地貌
5#	109.9912	40.9761	断层地貌
6#	109.9859	40.9762	断层地貌
7#	109.9471	40.9863	断层地貌
8#	109.9360	40.9855	断层地貌
9#	109.8841	40.9839	断层地貌
10#	109.8881	40.9839	断层地貌
11#	109.8970	40.9848	断层地貌
11-1#	109.8975	40.9847	断层地貌
12#	109.8804	40.9834	断层剖面
13#	109.8579	40.9695	断层地貌
14#	109.8320	40.9630	断层地貌
15#	109.8287	40.9610	断层地貌
16#	109.8148	40.9588	断层地貌
17#	109.7508	40.9510	断层地貌
18#	109.7453	40.9481	断层地貌
19#	109.7393	40.9453	断层地貌
20#	109.7259	40.9427	断层剖面
21#	109.7237	40.9425	断层剖面
22#	109.7219	40.9426	断层剖面
23#	110.1411	40.9715	断层地貌
24#	110.2198	40.9524	断层地貌
25#	110.1826	40.9555	断层地貌
26#	110.1807	40.9565	断层剖面
27#	110.2777	40.9461	断层地貌
28#	110.2680	40.9475	断层地貌
29#	110.2613	40.9480	断层地貌
30#	110.2563	40.9489	断层地貌
31#	110.2404	40.9504	断层地貌
33#	110.1360	40.9717	断层剖面
35#	110.0250	40.9799	地貌观测点
36#	110.0235	40.9764	地貌观测点
37#	110.0303	40.9744	地貌观测点
38#	110.0369	40.9743	地貌观测点
39#	110.1090	40.9768	地貌观测点
40#	110.0971	40.9776	地貌观测点
41#	110.1127	40.9767	地貌观测点
42#	110.1158	40.9765	地貌观测点
44#	110.0637	40.9753	地貌观测点
47#	110.1350	40.9727	断层地貌
52#	110.0396	40.9806	地貌观测点
55#	110.0346	40.9788	地貌观测点
50#	109.8488	40.8842	地貌观测点
51#	109.8387	40.8799	地貌观测点
54#	109.8462	40.8860	地貌观测点

表 2.4.3 近场区色尔腾山山前断裂次级段落基本特征

编号	段落名称	长度（km）	产状	活动性质	活动时代
f_1	召庙段	17（调查长度）	走向近 EW，倾向 S	正断	Q_h
f_2	东宫井段	8	走向近 EW，倾向 S	正断	Q_h
f_3	梅令山段	12	走向近 EW，倾向 S	正断	Q_{p3+h}
f_4	明灯山段	4	走向近 EW，倾向 S	正断	Q_{p3+h}
f_5	石家渠段	9（调查长度）	走向近 EW，倾向 S	正断	Q_{p3+h}

各段落基本活动特征由西向东分述如下。

1、召庙段（f1）

近场区涉及到该段小召蒙梁养殖场以东段落，沿色尔腾山山前展布，调查长度约 17km。断层地貌表现为一条或两条平行陡坎，相距数十米至数百米不等，断续或零星分布。如在小六分子西约 0.5km 一带，断层陡坎表现为近于平行延伸的两条，相距二百米左右。北侧断崖高度通常在十多米至二三十米，构成Ⅱ、Ⅲ级地貌面的分界线，而南侧断崖高一般为数米，构成Ⅰ、Ⅱ级地貌面的分界线（图 2.4-4）（15#地质调查点）。

Ⅰ级地貌面广泛分布于山前，相当于Ⅰ、Ⅱ级阶地，其中Ⅰ级阶地仅零星分布于冲沟内，高 1m 左右，Ⅱ级阶地分布广，高度通常为 2-4m。Ⅰ级地貌面出露地层上部为较薄的全新统冲洪积层，下部为上更新统冲洪积层，冲沟等部分地段出露基岩；Ⅱ级地貌面相对Ⅰ级高度一般为几米，个别可达十多米，上覆较薄的第四系或基岩直接出露地表；Ⅲ级地貌面相对Ⅱ级高度通常在十多米至二三十米，基岩直接出露地表或上覆较薄的第四系（15#地质调查点）。北侧断层崖形成时代较早，断层的最新活动位于南侧断层崖一带。

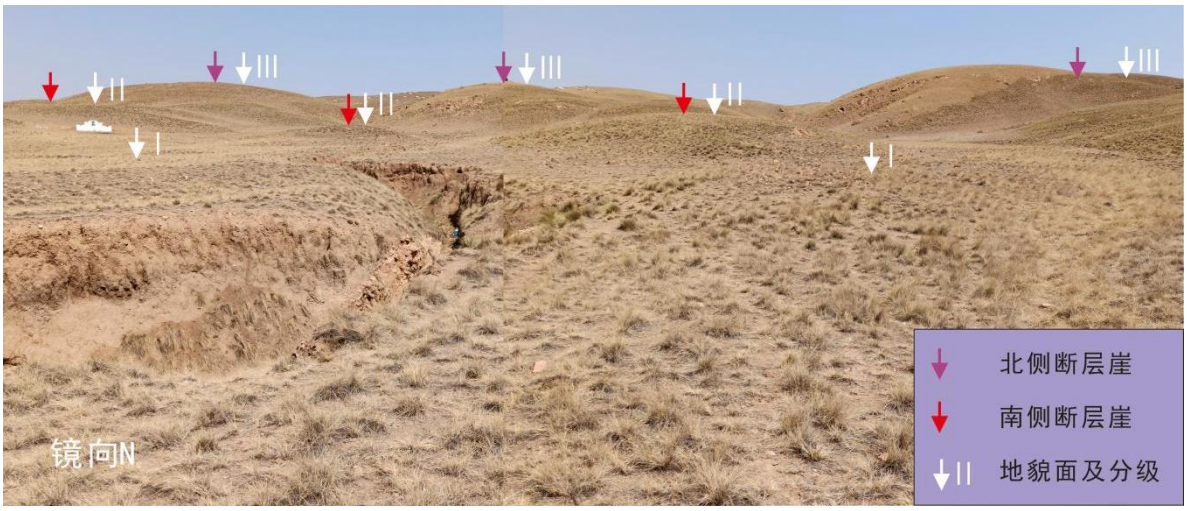


图 2.4-4 小六分子西约 0.5km 一带断层地貌特征（15#地质调查点）

养殖场东约 0.5km 处，断层沿山前分布，在一条冲沟东壁，见到断层剖面。图 2.4-5a 是断层地貌和剖面照片（21#地质调查点），图 2.4-5b 是断层剖面素描图。断层破碎带宽 0.5m 左右，断面向南陡倾。断层断错了层②冲坡积浅灰色粉砂土夹砂砾石层，靠近断层处发生正向牵引变形，倾角变陡。断面被厚约 1m 的层①覆盖。与位于同一段落断层上的乌兰忽洞探槽剖面岩性特征和测年结果进行对比，乌兰忽洞探槽剖面中的松散砂砾石层测年结果为全新世，而半胶结的砂砾石层测年结果为晚更新世晚期。

依据固阳幅 1:20 万《区域地质测量报告》对第四系的分布、岩性特征及形成时代的描述，上更新统洪积、坡积层主要分布于山间小盆地和大冲沟两侧，为灰黄色、棕黄色黄土状亚黏土、亚砂土，夹少量薄层透镜状砂砾层，柱状节理发育。上更新统冲积层上部为灰色-灰黄色砂层夹砂砾透镜体，下部为灰色-灰黄色砂砾层夹透镜状砂层。均呈半固结状，构成一级阶地；全新统冲积、洪积物分布于大小河系和冲沟中，为松散的砂砾层和砂土层。湖沼沉积分布于低洼地带，为灰黑色、土红色黏土、亚黏土及砂土。本剖面中，层①未固结，较松散，层②稍有固结。由此初步分析认为层①形成时代为全新世，层②形成时代应为全新世早期至晚更新世晚期。初步判断断层的最新活动时代应为全新世。

该断层段向东延伸至上八份子村一带终止，与以东的东宫井段 f_2 在上八份子村北一带构成左阶错列，阶区间距 0.6km 左右。近场区内 f_1 断层的调查长度约 17km。

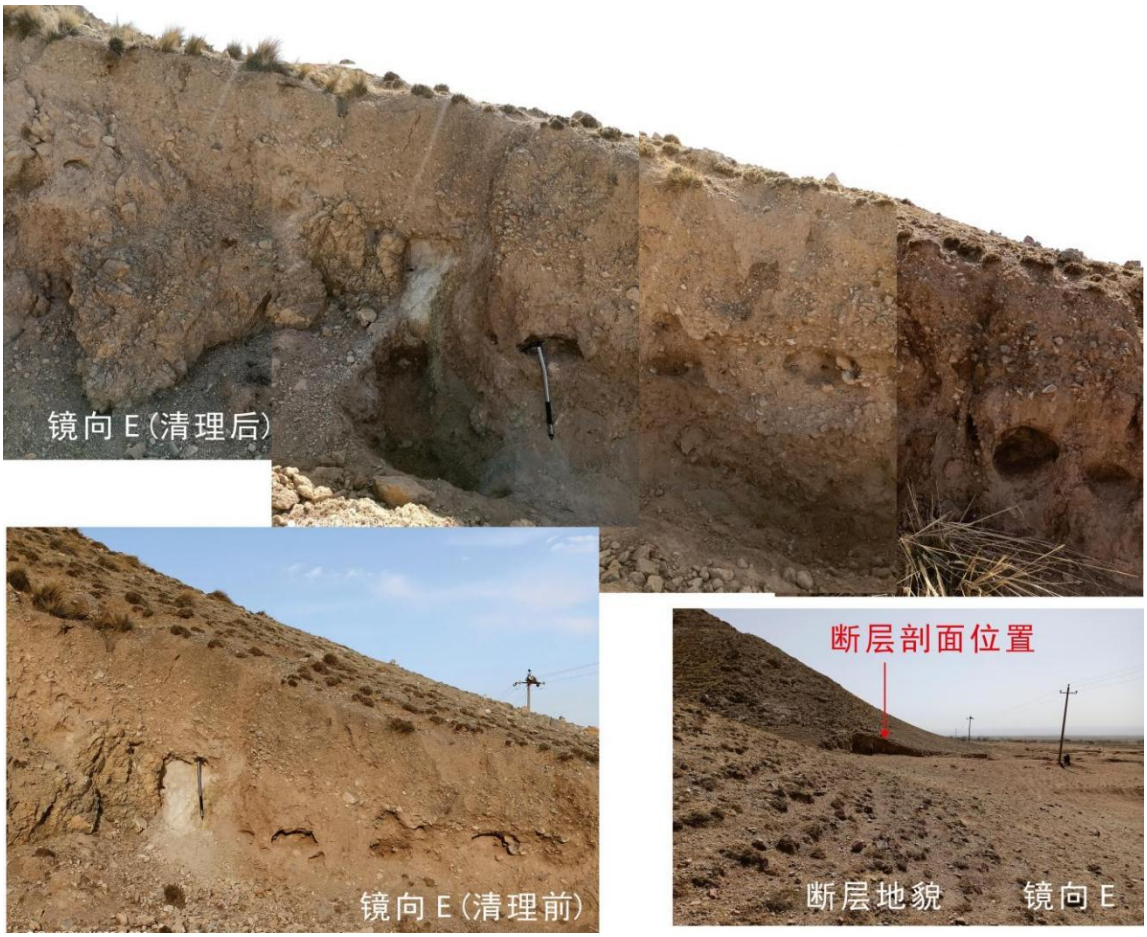


图 2.4-5a　小召蒙梁养殖场东约 0.5km 处断层地貌与剖面照片（21#地质调查点）

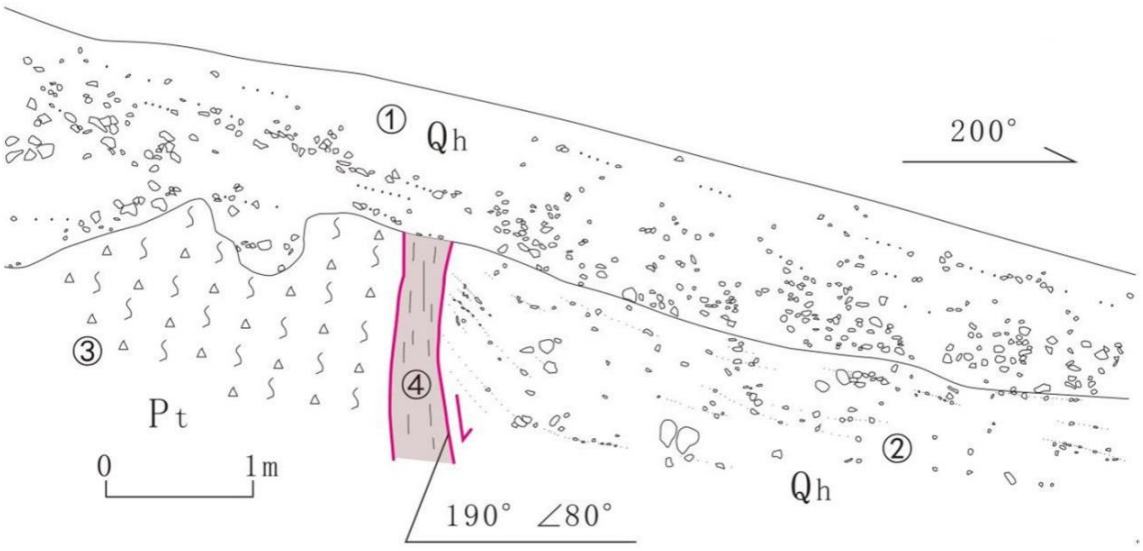


图 2.4-5b　小召蒙梁养殖场东约 0.5km 处断层剖面素描图（21#地质调查点）

①灰色坡积砂砾石层，砾径 1~2cm ，大者 5cm 左右，棱角状，未固结，较松散；
②冲坡积浅灰色粉砂土夹砂砾石层，次棱角状，稍有固结；③元古界变质岩，破碎，层理不清；
④主要由元古界构成的灰白色夹黄绿色断层破碎带

综上所述，召庙段为全新世活动断裂段，判断该断裂段潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

2、东宫井段（f_2）

西起上八份子村北，向东延伸至昆都伦河西岸一带，长度约 8km。沿断层分布有断层陡坎，近东西向断续延伸，陡坎向南倾斜，高度一般小于 5m。如在上八份子村西，可见清楚的断层陡坎，高度 2～3m（图 2.4-6a）（12#地质调查点）。一条近南北向冲沟横切东西向断层陡坎，在冲沟东、西两壁均见到断层面。图 2.4-6a 和图 2.4-6b 分别是经人工剥离清理后的断层剖面照片和素描图。断层断错了层②及以下各层，被层①覆盖。其中：层②和层⑤为楔状砂砾石堆积，砾径大小不一，层理不明显，没有固结，应为断层断错后坎前短期内的快速堆积，反映了断层活动的两次古地震事件。层④和层③砂砾石夹粉土层具近水平层理，呈半固结或稍有固结状态，应为第一次古地震事件之后较长时期的正常堆积层。层①砂砾石层具近水平层理，为第二次古地震事件之后较长时期的正常堆积层。

依据固阳幅 1:20 万区测资料对第四系的划分及岩性特征，结合近场区第四系地层调查资料，并同样与乌兰忽洞探槽剖面岩性特征和测年结果进行对比，对本剖面中第四系各层的颜色、岩性、固结程度等特征进行分析，初步认为层①、层②和层③颜色相近，均呈未固结的较松散状态，形成时代推测为全新世。层④、层⑤和层⑥颜色均稍浅，呈半固结或稍固结状态，形成时代推测为晚更新世晚期。由此初步分析，断层的最新活动时代应为全新世。由于剖面底部第四系未完全揭露出来，本剖面反映了断层晚更新世晚期以来至少发生过两次古地震事件。

综上所述，东宫井段为全新世活动断裂段，判断该断裂段潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

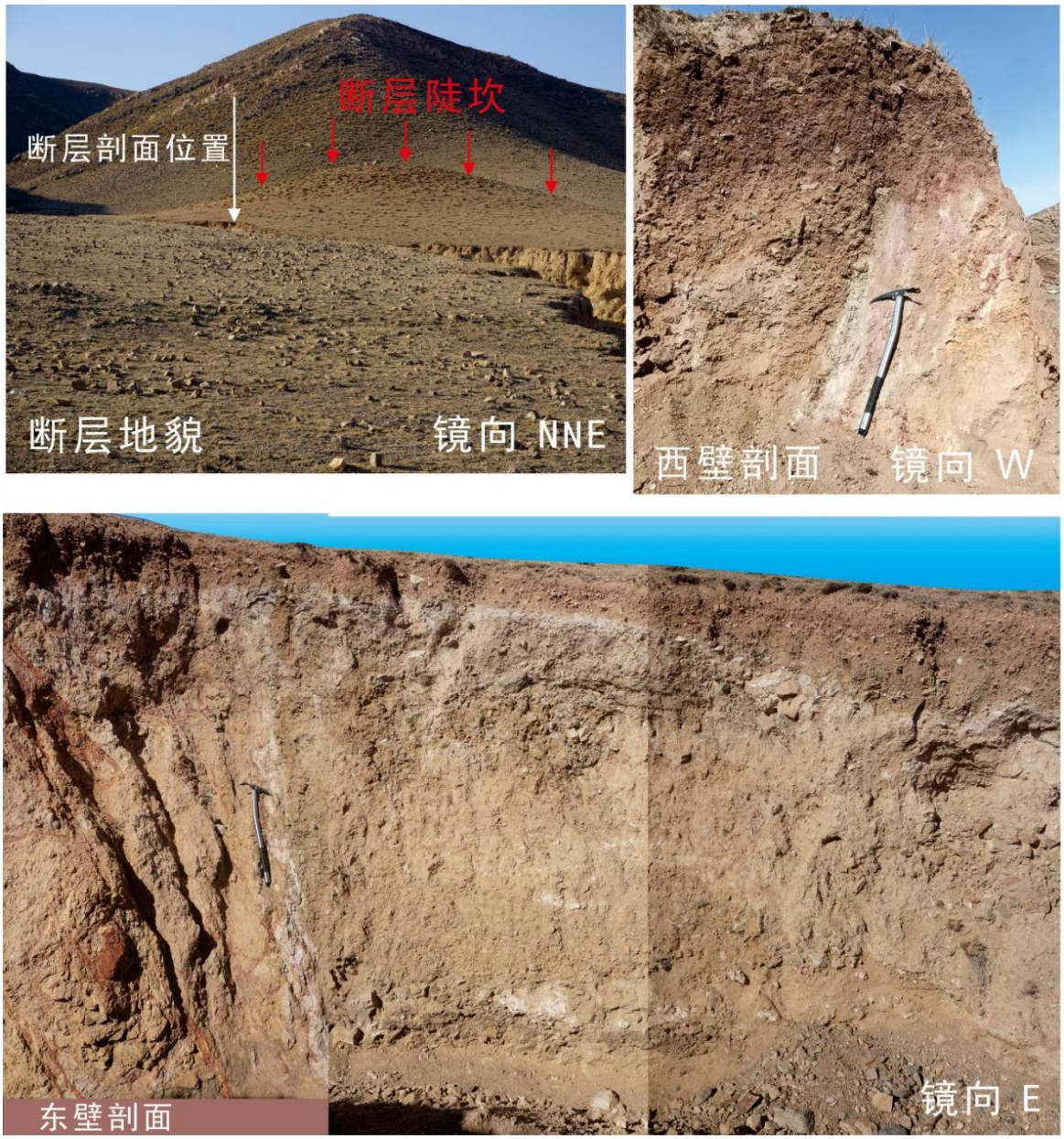


图 2.4-6a　上八份子村西断层地貌与剖面照片（12#地质调查点）

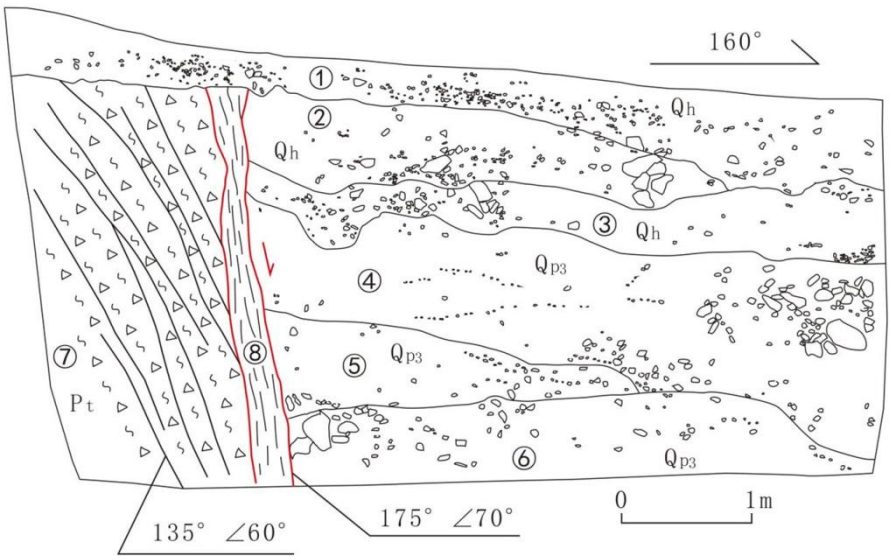


图 2.4-6b　上八份子村西冲沟东壁断层剖面素描图（12#地质调查点）

①红褐色砂砾石层，砾径 0.5~2cm，大者 3~5cm，次棱角状，具近水平层理，未固结，较松散；②浅红褐色夹浅灰色砂砾石楔状堆积，砾径大小不一，小者小于 1cm，大者 10~20cm ，未固结，较松散；③浅红褐色、浅棕黄色砂砾石层夹土红色粉土，砾径 1~3cm，个别达 10cm 以上，未固结；④浅灰夹灰白色粉土，含砾，半固结，较硬，具近水平层理；⑤褐灰色砂砾石楔状堆积，砾径小者小于 1cm，大者 5cm 左右，稍有固结；⑥浅褐灰夹灰白、灰绿色砂砾石层、砂土层，砾径 1~3cm，大者 5~10cm，次棱角状，半固结，较硬；⑦元古界变质岩，破碎，层理不清；⑧主要由元古界构成的灰白色夹红褐色断层破碎带

3、梅令山段（f_3）

断层从昆都仑河东岸呈近东西向穿过目标区附近地区，终止于目标区以东，长约 12km。与东宫井段（f_2）在昆都仑河一带构成右阶错列，阶区间距 0.5km 左右。断层西段沿东西向条带状梅令山南侧山前通过，条带状基岩低山向东延伸逐渐变低，消失于目标区以西约 2.3km 处。图 2.4-7a（6#地质调查点）和图 2.4-7b（4#地质调查点）是分别位于梅令山西段和东段的断层地貌照片。可以看出，西段断续分布有断层陡坎，而东段则未见断层陡坎，活动性明显减弱。沿梅令山一带未发现断层剖面。



图 2.4-7a　梅令山西段一带断层地貌远眺（6#地质调查点）



图 2.4-7b　梅令山东段一带断层地貌（4#地质调查点）

梅令山以东，断层地貌不明显，表现为北高南低的缓坡状，坡角一般小于 10°，断续分布。目标区中部以东，断层地貌基本没有显示。断层向东延伸过目标区后逐渐尖灭。梅令山段（f_3）进入目标区一带段落将在目标区活断层调查与探测部分中详细讨论。调查结果表明，梅令山段（f_3）断层最新活动时代为晚更新世至全新世。

综上所述，梅令山段为晚更新世至全新世断裂段，判断该断裂段潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

4、明灯山段（f_4）

沿明灯山南麓一带分布，走向近东西。浅层地震测线 Z_6 上未解释出该断层，表明断层向西延伸尖灭于测线以东，长约 5km。该段断层与梅令山段（f_3）在目标区以东构成左阶错列，阶区间距 0.5km 左右。

沿断层局部分布有断层陡坎，如在前明灯村东南，陡坎高约 4m，走向近东西。一条南北向冲沟切过断层陡坎，在其东壁见到断层剖面（图 2.4-8a，图 2.4-8b）（33# 地质调查点）。断层带宽约 4m，发育在下白垩统砂岩中，顶部被厚约 0.3～0.6m 的层①粉砂土覆盖。断层带中夹有黄土状粉土“断片”，表明断层活动具有一定的水平分量。从乌兰忽洞探槽剖面及本区地层特征对比分析，初步认为较松散的层①粉砂土形成时代应为全新世，而夹于断层带中的半固结、较硬的黄土状粉土层②形成时代推测为晚更新世，由此推测断层的最新活动时代为晚更新世至全新世。

综上所述，明灯山段为晚更新世至全新世断裂段，判断该断裂段潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

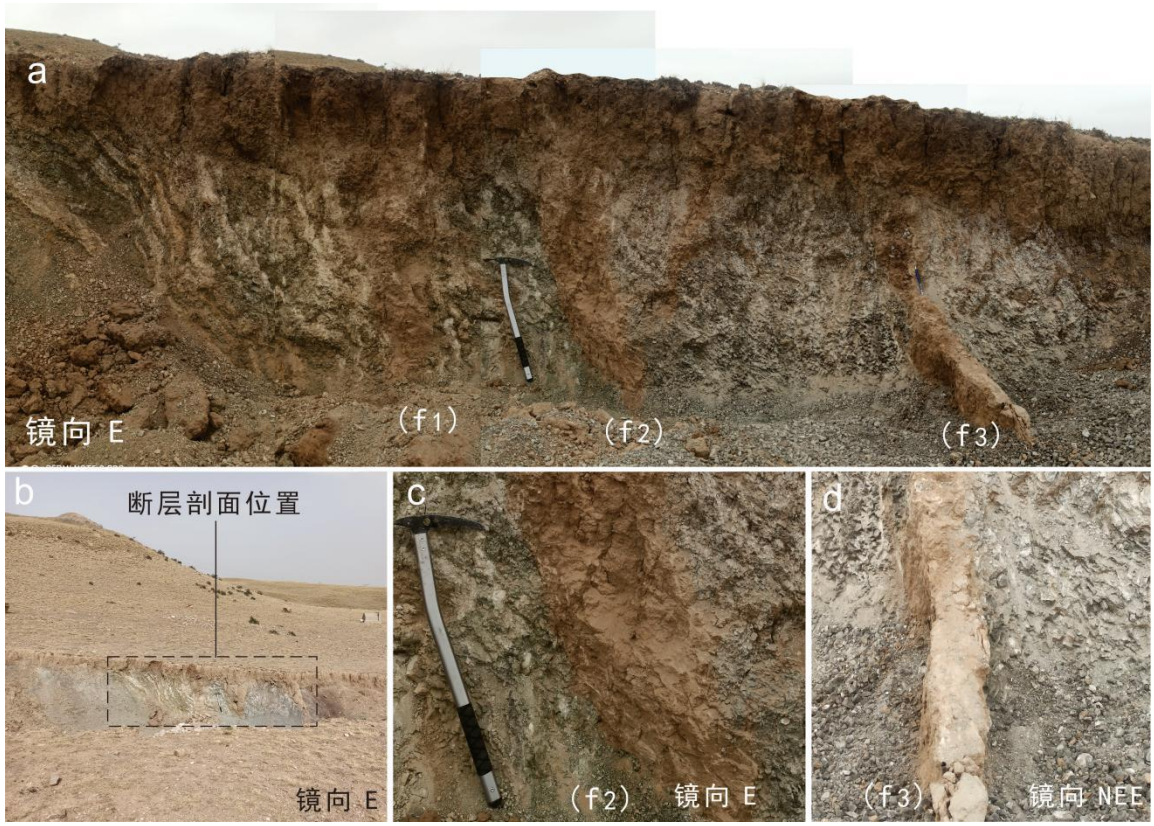


图 2.4-8a　前明灯村东南断层剖面照片（33#地质调查点）

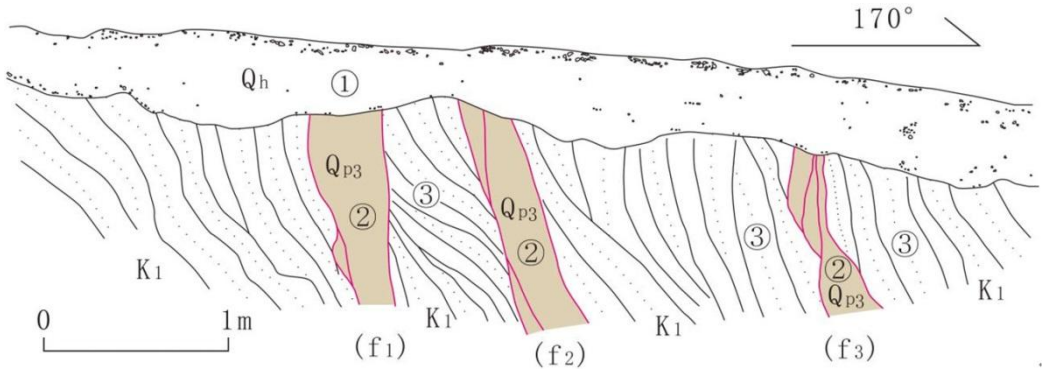


图 2.4-8b　前明灯村东南断层剖面素描图（33#地质调查点）

①灰色粉砂土，较松散；②夹于断层带中淡红色黄土状粉土，半固结，较硬；
③棕褐、褐红色夹浅灰色下白垩统砂岩

5、石家渠段（f_5）

呈近东西向分布，在马路壕村北一带与 f_3 构成右阶错列，阶距 0.8km 左右。该段断层调查长度约 8km，从影像分析，断层向东还可能继续延伸。

沿断层，地貌特征总体不明显，在个别地段可见到断层陡坎。如蔺家渠村西一带，见到断层陡坎呈近东西向断续延伸，高 2～4m（图 2.4-9）（24#地质调查点）。



图 2.4-9　蔺家渠村西一带断层地貌照片（24#地质调查点）

马路壕村北侧，在一条南北向冲沟西壁，见到断层断错了黄土状粉土层②（图2.4-10）（26#地质调查点）。断面总体走向近东西，向南陡倾，表现为（f1）和（f2）两组。断层顶部被未固结的含细砾粉砂土层①覆盖，厚度 0.3～0.5m。同样与乌兰忽洞探槽剖面及本区地层特征进行对比，初步认为较松散的层①含细砾粉砂土形成时代应为全新世，呈半固结、较硬的黄土状粉土层②形成时代推测为晚更新世，由此推测断层的最新活动时代为晚更新世至全新世。

综上所述，石家渠段为晚更新世至全新世断裂段，判断该断裂段潜在的最大地震震级为 M7.0 级。

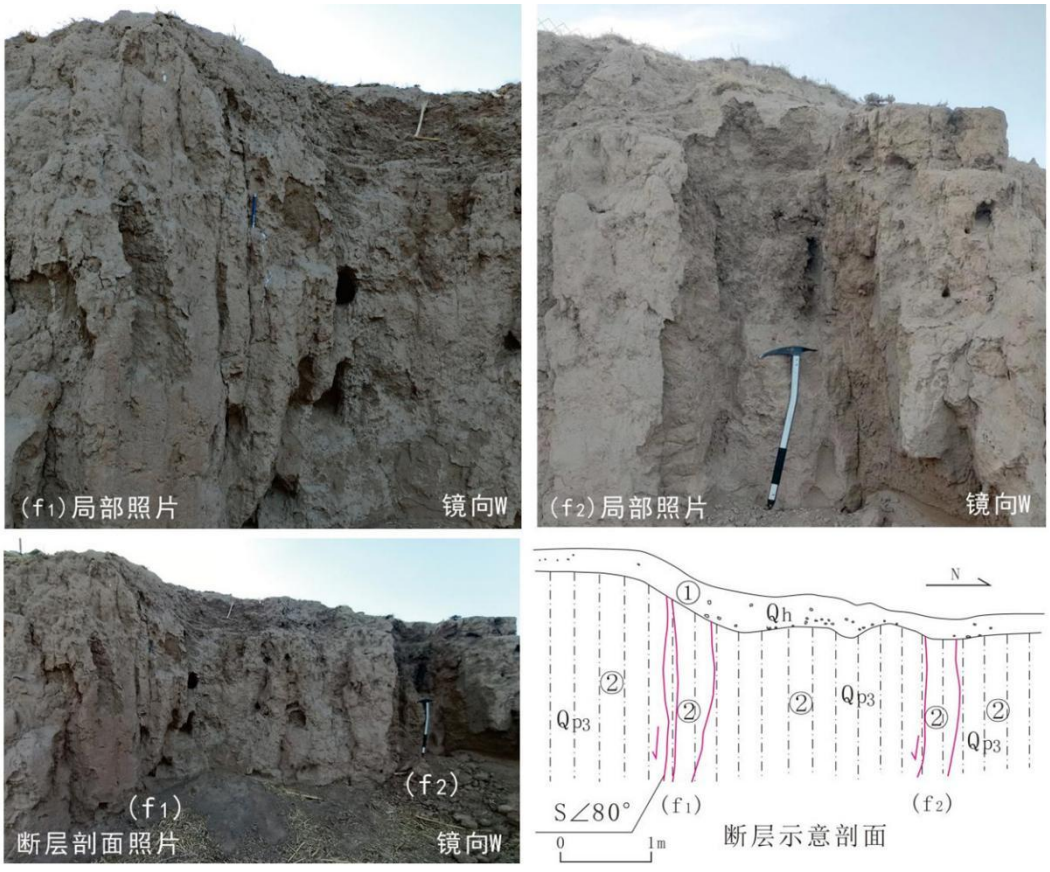


图 2.4-10 马路壕村北断层照片与剖面图（26#地质调查点）

① 统褐色、褐灰色粉砂土，含细砾，略具层理，未固结；②土红色黄土状粉土，偶含细砾，半固结，较硬

总之，根据对色尔腾山山前断裂的考察及研究，除 f1 和 f2 断裂为全新世活动断裂外，初判在近场区内另外的三条断裂段（f3、f4 和 f5）均为晚更新世晚期-全新世早期活动。但这些段落的活动性判断只是根据前人研究的探槽剖面及本区地层特征进行的对比，还是无法准确的确认断错地层时代，因此，为保守起见，认为该断裂在近场区内的 5 个段落最新活动时代均为全新世。根据各段的断层陡坎高度分析，初判了该断裂的最大垂直位移为 2-4m，全新世以来色尔腾山山前断裂东段的最大垂直滑动速率为 0.33m/a。

二、乌拉山北缘断裂（F2）

该断裂在早元古代时期就已经开始发育，元古代的基性侵入岩、古生代的斜长花岗岩和中生代的花岗岩在断裂两侧均有分布，表明该断裂在古生代和中生代一直都在发展着。从卫星影象上看，断裂展布的线性特征在西段明显，山前阶地较发育，由西向东线性特征逐渐消失，在东段山麓前缘平缓向冲积平原过渡。在山前断裂上盘基岩出露的地段上覆盖有松散堆积砂土，砂土堆积连续，没有间断，砂土取样测试年龄约 6 万年左右（图 2.4-11），这些表明断裂在约 6 万年以来活动微弱。1996 年在该断裂南部发生 6.4 级地震，但也未见地表有错动迹象。

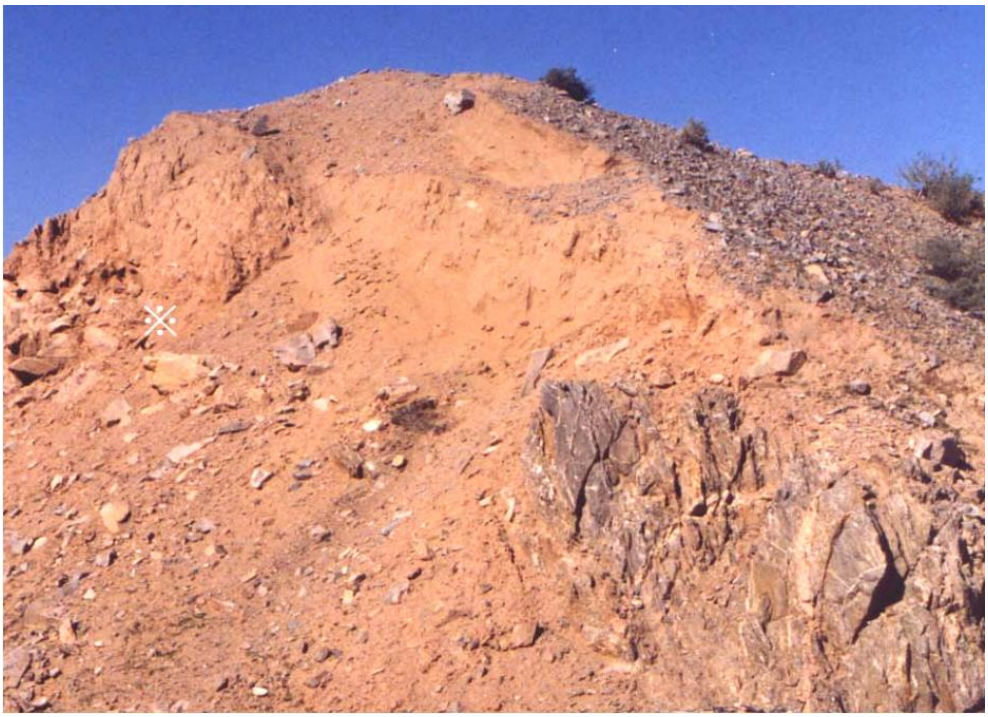


图 2.4-11 乌拉山北缘断裂断层图

经布置物探剖面测试，顶点埋深 20m 左右，断裂宽 30m（图 2.4-12）。

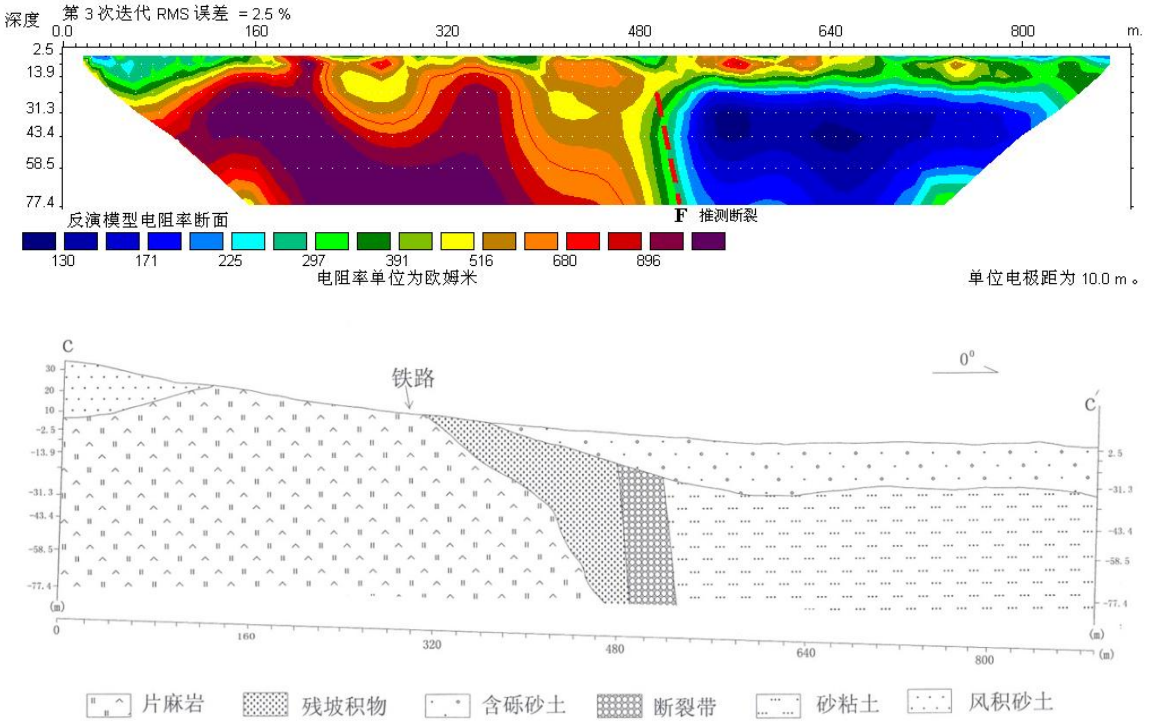


图 2.4-12 乌拉山北缘断裂物探测量地电剖面图*（地震预测研究所，2003）

三、乌拉山山前断裂（F3）

该断裂展布于乌拉山南麓山前，西起乌拉特前旗西山咀，经公庙子北、和顺庄、哈业胡同北，东至包头市九原区王老大窑子村附近，总体呈近东西走向，全长约120km。该断裂带在重力、航磁及石油地震勘探剖面资料上均有反映，由一系列正断层或阶状正断层组成，断面倾向南，地表倾角较陡，在60-75°之间变化，深部变缓，为44-62°，总体构成铲形断层特征（鄂尔多斯周缘断裂系，1988）。它与狼山山前断裂、色尔腾山山前断裂以及大青山山前断裂在平面上显示左行排列特征，共同控制着河套断陷带的北界。根据断层几何形态特征、位移量等运动学特征，把该断裂分为三个活动特征不同的段落：西山咀－公庙子段、公庙子－和顺庄段以及和顺庄－包头段。

该断裂在近场区的段落属于和顺庄－包头段，长40余公里，主要表现为山前晚更新世和全新世的湖积和冲洪积地层被断错，在山麓地带形成了壮观的断层陡坎。断裂进入包头市区北部后，由于人为活动和活动性减弱的影响，断层陡坎不明显。

在哈业胡同北，断裂错段了T3台地，形成了壮观的台地断层陡坎，高约15m（图2.4-13）。往东依次断错了T1和T2台地，断层陡坎分别高约4m和10m。T3台地为基座

台地，基座为黄绿色湖相砂层，盖层为洪积物。在T3台地前缘亦可见断层出露，断错了基座和洪积物，但被较新洪积物覆盖（图2.4-14）。在哈业胡同北，已有古地震研究工作（陈立春，2002；李彦宝，2013）表明最新一次事件发生在早-中全新世。



图 2.4-13　哈业胡同北 T3 台地断层陡坎（镜向 NE）

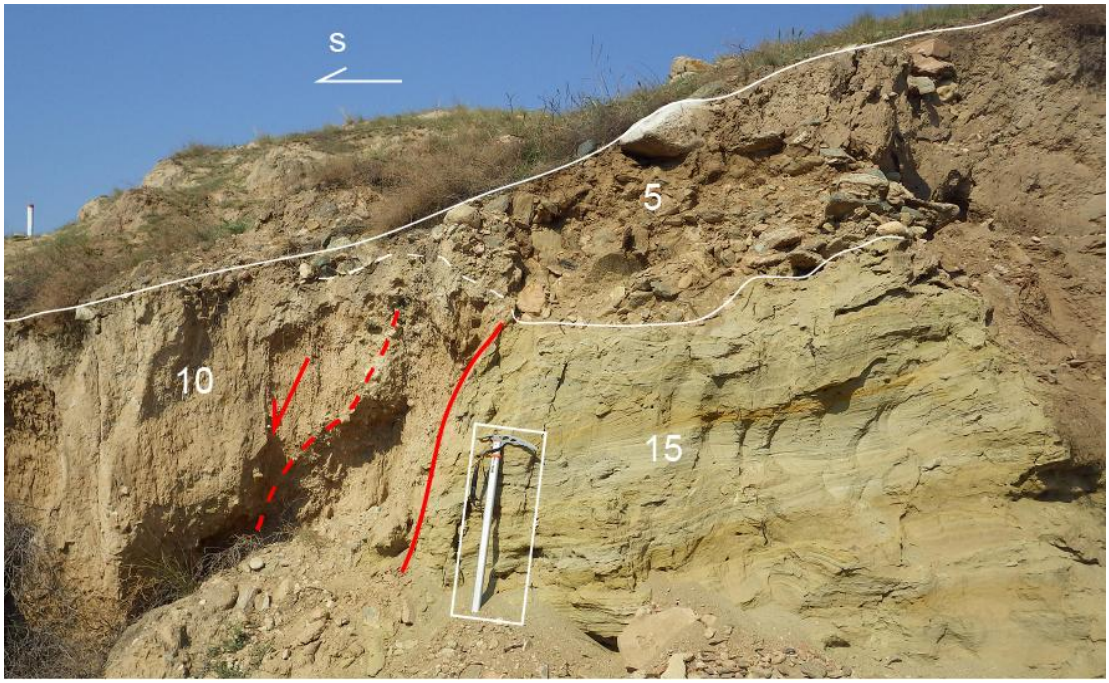


图 2.4-14　哈业胡同北 T_3 台地前缘断层露头（镜向 W）（包头活断层，2015）

白色矩形框中为长 68cm 的冰镐

5 砾石层；10 土黄色含砾砂层；15 黄绿色湖相砂层，发育水平层理



图 2.4-15 阿贵沟两级台地断层陡坎（镜向 NNW）（包头活断层，2015）
白色椭圆圈内为参照物，高 1.7-1.8m

在阿贵沟西侧，山前冲洪积台地前缘可见两级平行的断层陡坎（图 2.4-15），南侧 T2 台地前缘陡坎高约 3m，北侧 T3 台地前缘陡坎高约 9m。阿贵沟往东进入呼鲁斯太，断层走向发生了“之”字形变化，即从近 EW 走向转变为 SE，之后又变为 NEE。断层不仅断错了 T_2 台地，还断错了 T_1 台地形成了高约 50cm 的陡坎。该处断层陡坎向东延续到养殖场西侧，然后跳跃到武警黄金部队驻地北侧侧，表现为高约 6m 的 T_2 台地断层陡坎（图 2.4-16）。



图 2.4-16 黄金部队驻地 T_2 台地断层陡坎（镜向 E）（包头活断层，2015）

向东在三道坝、白石头沟和阿嘎如泰一带，断层断错了 T_2 台地，形成了高约 5-10m 作用的断层陡坎。T_1 台地面较平坦，未见断错。在森林派出所东侧，T2 台地前缘可见两级断层陡坎（图 2.4-17）。陡坎前缘至今仍保留着冉勇康等（2003）开挖的探槽，李彦宝（2013）又对该探槽进行了重新采样，获得了两个炭样的年龄，通过对该探槽与哈业胡同北另一探槽进行比对，最终确定了两次事件发生的年代分别为：7020 B.C.之前和 7100-4700 B.C.。断层往东进入哈德门金矿厂西侧后，两级陡坎合并为一个陡坎，坎高约 10m。再往东至哈德门村西，断层陡坎连续展布。在哈

德门河西侧，T_3 台地上覆的冲洪积物较薄，仅有零星分布。

在哈德门预制板厂，断层断错了 T_3 台地的冲洪积砾石层及上盘发育的古土壤层（图 2.4-18）。古土壤层上覆的风积砂层亦被断错，表明该剖面揭露了至少两次事件。在预制板厂以东，断裂分成南北两支。北支在平方沟 T_2 台地面上表现为两级陡坎。北侧陡坎坡度大于南侧，表明北侧陡坎比南侧陡坎较新。我们在南北两级陡坎上各开挖了一个大型探槽（图 2.4-19 和图 2.4-20），并采集了一系列 OSL 测年样品。OSL 测年结果表明北侧探槽最新一次地震活动时间略早于 9.5±0.3ka，南侧探槽最新一次地震活动时间为 26.4±2.0ka 左右。两个探槽中揭露的最新一次事件的年龄与地形坡度是匹配的。此外，平方沟探槽最新一次事件要早于哈业胡同－哈德门金矿探槽揭露的最新事件，并且断层陡坎高度也明显小于西边，表明乌拉山山前断裂可能存在从西往东地震活动强度减弱的趋势。



图 2.4-17 哈德门金矿 T_3 台地两级断层陡坎（包头活断层，2015）
A 镜向 W，B 为一级陡坎，镜向 NNE，白色椭圆圈中为参照物，高 1.75m

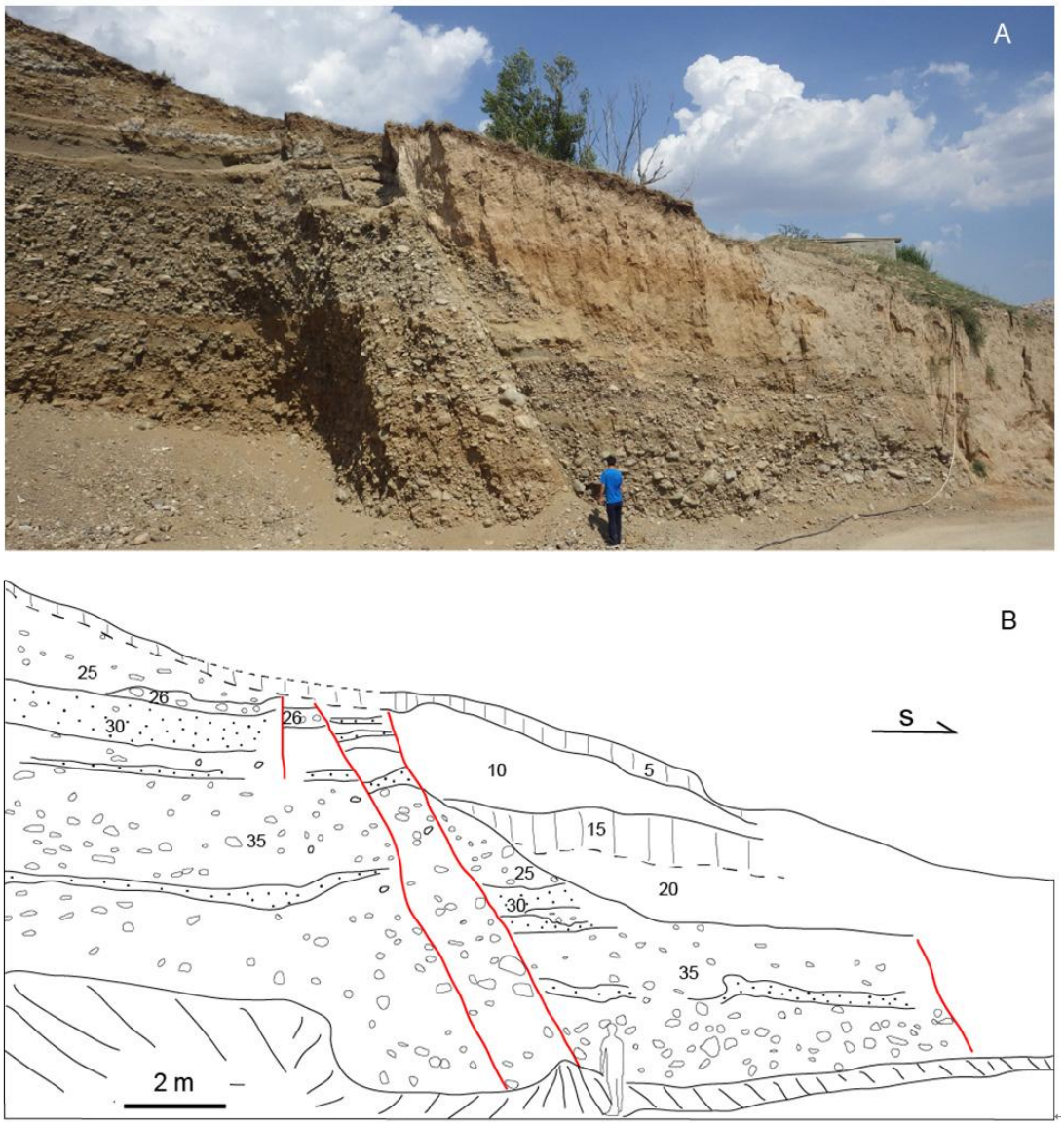


图 2.4-18 哈德门预制板厂剖面（包头活断层，2015）

短虚线表示推测界线，长虚线表示过度界线，红色实线表示断层；人高 1.8m
5 近地表土壤层；10 土黄色风积砂；15 黄褐色古土壤层；20 土黄色风积砂；25 砾石层；26 灰白色钙质胶结砾石层；30 灰色含砾粗砂层；35 砾石层，夹有粗砂透镜体

南支断裂位于哈德门村南侧，距北侧铁路约 100m。断层在地形上表现为 T_2 台地前缘陡坎，并可见两级近平行的断层陡坎。我们在台地西侧清理一断层剖面，可见断层断错了砾石层及其上覆的古土壤层（图 2.4-21），测年结果表明断层最后一次活动发生在 3-6 万年，属于晚更新世中晚期。该支断裂往东延伸 300m 后，具体展布不详，可能往 NE 方向延伸，与北支断裂汇合；也有可能是往正 E 方向延伸，与我们在高速公路北侧发现的高约 1-1.5m 的断层陡坎为同一条断裂（图 2.4-22）。为了进一步验证该陡坎是否为断层陡坎，我们横跨该陡坎开挖了一个长约 20m，深 4m

的探槽。通过对探槽的详细解译，发现了两期崩积楔，表明发生了两次古地震事件，测年结果显示两次事件应该发生在晚更新世末期。

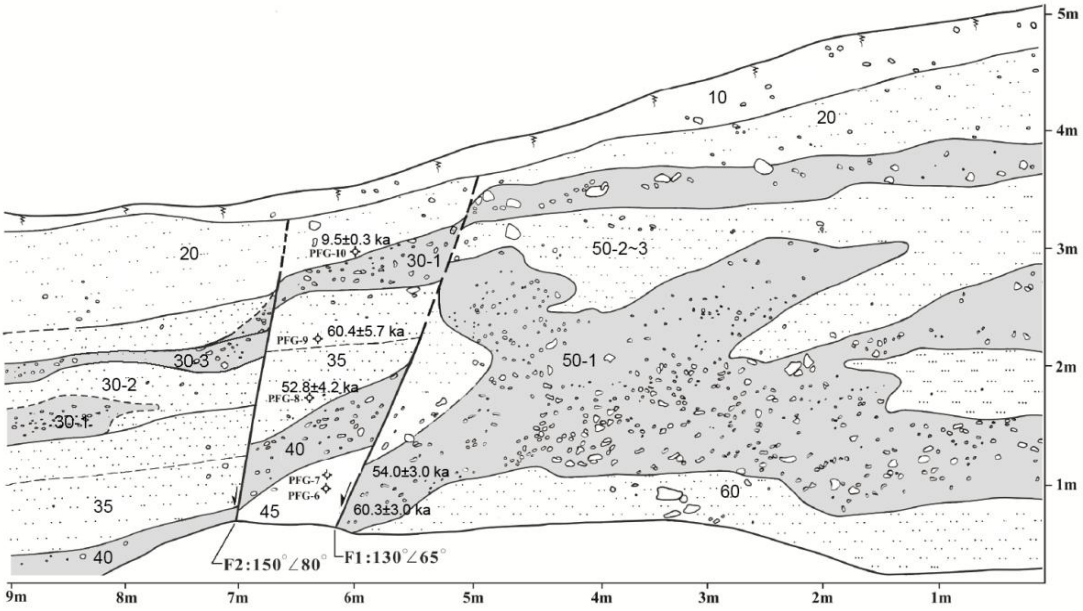


图 2.4-19　平方沟 T_2 台地北侧探槽西壁解译图（包头活断层，2015）

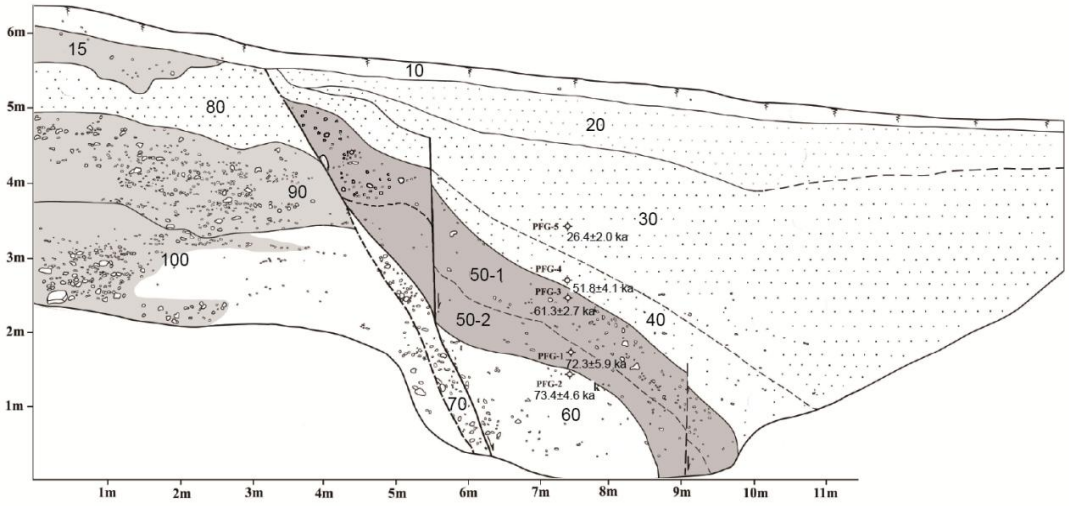


图 2.4-20 平方沟 T_2 台地南侧探槽东壁解译图（包头活断层，2015）

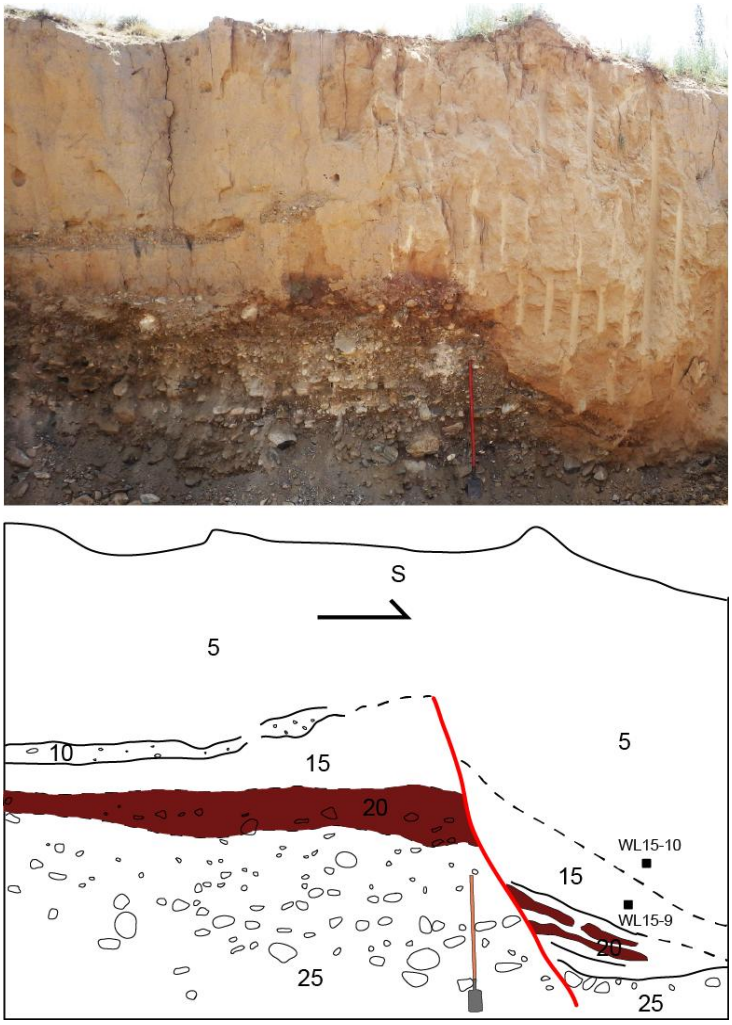


图 2.4-21 哈德门铁路南侧 T_2 阶地断层剖面（包头活断层，2015）

5 土黄色风积细砂；10 粗砂细砾；15 粉红色-土黄色风积细砂；20 棕褐色含砾古土壤；25 砾石层；图中参照物长约 1.5m，黑色正方形代表光释光样品



图 2.4-22 卜尔汉图北侧断层陡坎（包头活断层，2015）

在包头市西侧昆都仑河东前口子村南人工开挖的大坑中，可见断裂出露。断层

断错了黄绿色湖相砂层及上覆的河流相砾石层和风积砂层（图 2.4-23）。该断裂断错的台地应为 T_2 台地。西侧昆河东岸的 T_1 阶地未见断错，并且 T_1/T_2 陡坎高度约为 4m。断裂经过该点后可能往 NE 方向延伸至颐和山庄一带。从颐和山庄往东至人民公墓一带，可见长约 500m 的断层陡坎，陡坎高 3-5m。断裂经过人民公墓后，往东在王老大窑子村西侧 T2 台地前缘砂石坑中曾见断层露头，由于近几年包头市加大了城市绿化，该坑已经被掩埋，无法再次进行详细研究。根据前人（马保起，2009）对该剖面的描述，断层产生的断距约为 1.5m，未断至地表，断错的最新地层年龄为 35.4±4.1ka。

自王老大窑子村向东，再未见断层乌拉山山前断裂出露，虽然地表有疑似断层陡坎，但是经过我们实地踏勘及开挖，排除了断层的可能性。乌拉山山前冲洪积扇平坦，向东逐渐与大青山相连，说明断层至此已尖灭消失。

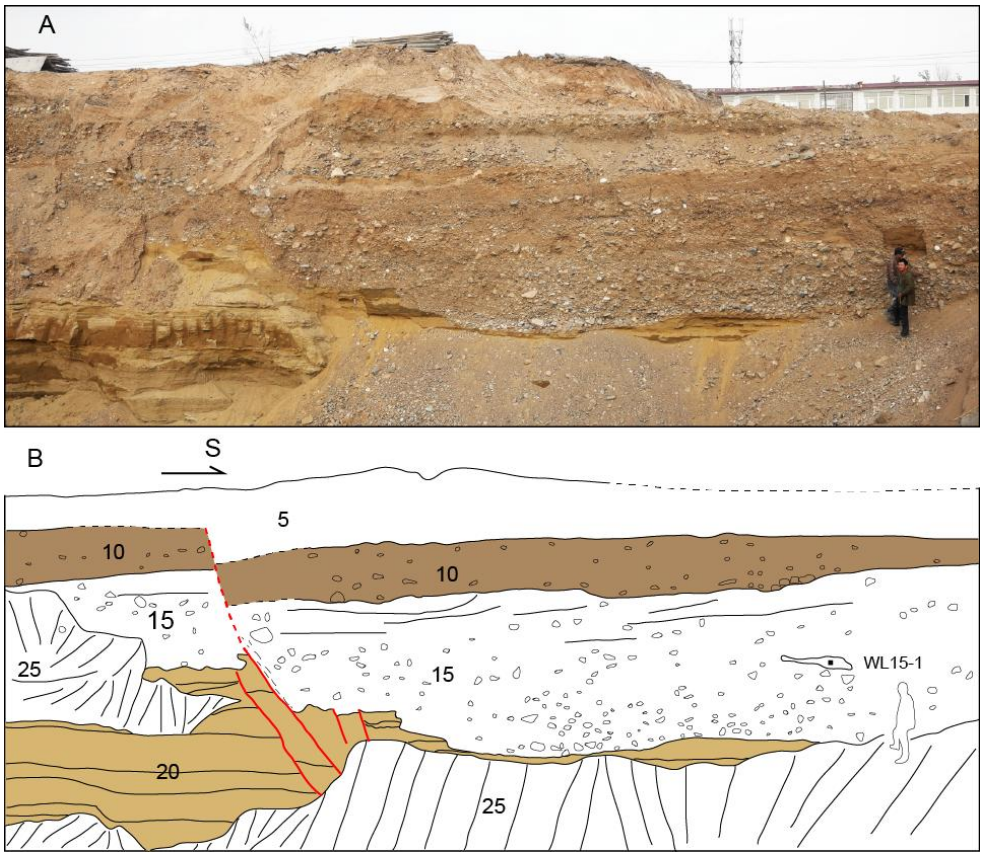


图 2.4-23 前口子村南断层剖面（包头活断层，2015）

图中参考物人的高度为 1.75m；红色实线为断层，红色虚线表示推测断层
5 土黄色风积砂；10 砾石层；15 砾石层，含有中粗砂透镜体；
20 黄绿色中粗砂湖相层，发育水平层理；25 坡积物

2.5 近场区地震地质构造综述

综上所述，目标区所处的近场区地震活动性和地震构造综合评价概述如下：

近场区记载到破坏性（M≥4.7）地震 1 次，即 849 年 10 月 24 日内蒙古包头 7 级地震，位于目标区西南侧 26km 处。从 1970 年截止至 2022 年 3 月，近场区共记录 2.0~4.6 级地震 48 次，其中 4.0-4.6 级地震 0 次，M3.0~3.9 级地震 5 次，M2.0~2.9 级地震 43 次，小震空间分布相对集中于目标区西侧和南侧。

近场区内主要发育有色尔腾山山前断裂、乌拉山北缘断裂和乌拉山山山前断裂，其中乌拉山山前断裂为控制呼包断陷盆地沉积的主边界断裂，断裂两侧差异新构造运动十分明显。

近场区内色尔腾山山前断裂和乌拉山山山前断裂为全新世活动断裂，沿断裂带曾发生过7级以上地震或发现有古地震遗迹，因此，认为这2条断裂具有发生7级以上地震的构造条件。乌拉山北缘断裂为晚更新世活动断裂，具有发生6.5级地震的构造条件。

第三章　目标区断层勘查与活动性鉴定

在目标区内采用浅层地震勘探方法，开展断层控制性调查与探测，查明目标区范围内是否存在断层，对发现的第四纪以来有活动的主要断层开展断层的活动性鉴定。河北明创地质勘查有限公司承担了本项目浅层地震勘探工作。

本次工作在收集已有资料基础上，结合野外地质地貌调查，确定目标区范围内有1条活动断裂通过，即色尔腾山山前断裂，并确定了其活动性问题（详见2.4章节），该断裂呈近东西向穿越目标区中部（图3.1-1）。为了更为准确的判断色尔腾山山前断裂是否有分支断层通过目标区，同时也为了确定在目标区内没有其他的活动断裂，我们在野外踏勘、地震勘探设计方案的基础上，开展了内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域地震安全性评价项目浅层地震勘探工作。

据本次园区内钻探施工及收集到的内蒙古自治区第一地质矿产勘查开发院《固阳县公义明铁矿勘探报告》等项目在本次勘探区域附近的钻孔资料揭露，第四系地层均为晚更新世至全新世（Q）沉积，主要以粉土、粉砂和粗砾砂层为主，厚度整体西厚东薄，均小于25m；下伏基岩为白垩系（K）沉积岩，地层岩性以棕红色、灰红色泥岩、砂岩、砾岩等为主；局部为太古界（Ar）变质岩，地层岩性以各类片麻岩为主。

3.1 浅层地震勘探

在本次浅层地震勘探工作中，使用美国劳雷公司生产的NZXP Ⅱ型地震仪及配套GEODE采集站组成的地震采集系统；根据探测目的，采用道间距3m的浅层地震反射技术。共完成6条地震勘探测线，测线长度计18.957km，野外有效地震记录1185张（图3.1-2，3.1-3）。



图 3.1-2 浅层地震勘探现场工作图

测线布置是根据前人推断断裂的走向，以及测区、地形地貌和人文环境等综合因素确定。测线布置的原则是：长短线结合、尽量增加控制测线、控制测区主体构造、地震测线便于施工以及后期处理和解释。本次浅震探测测线坐标参数见表 3.1.1，同时在根据物探所获得的活动断层位置并结合本目标区内第四系厚度较浅的情况，在断层可能通过的位置开展了探槽开挖工作，具体位置如实际材料图 3.1-1 所示。

表 3.1.1　地震测线坐标

测线号	纬度	经度	备注	测线长度（m）	测线方向	测试方法
Z1	40°56′56.13″	110°02′28.92″	起点	4143	S-N	纵波反射
	40°59′11.27″	110°02′30.76″	终点			
Z2	40°59′10.80″	110°02′30.80″	起点	6969	W-E	纵波反射
	40°58′13.95″	110°07′13.02″	终点			
Z3	40°57′53.82″	110°03′45.86″	起点	1689	SW-NE	纵波反射
	40°58′43.09″	110°04′16.66″	终点			
Z4	40°58′33.36″	110°05′11.73″	起点	1653	S-N	纵波反射
	40°59′24.00″	110°05′02.34″	终点			
Z5	40°57′25.06″	110°05′58.36″	起点	1677	SW-NE	纵波反射
	40°58′18.20″	110°06′13.22″	终点			
Z6	40°58′50.17″	110°06′44.45″	起点	2826	NW-SE	纵波反射
	40°57′31.13″	110°07′44.70″	终点			

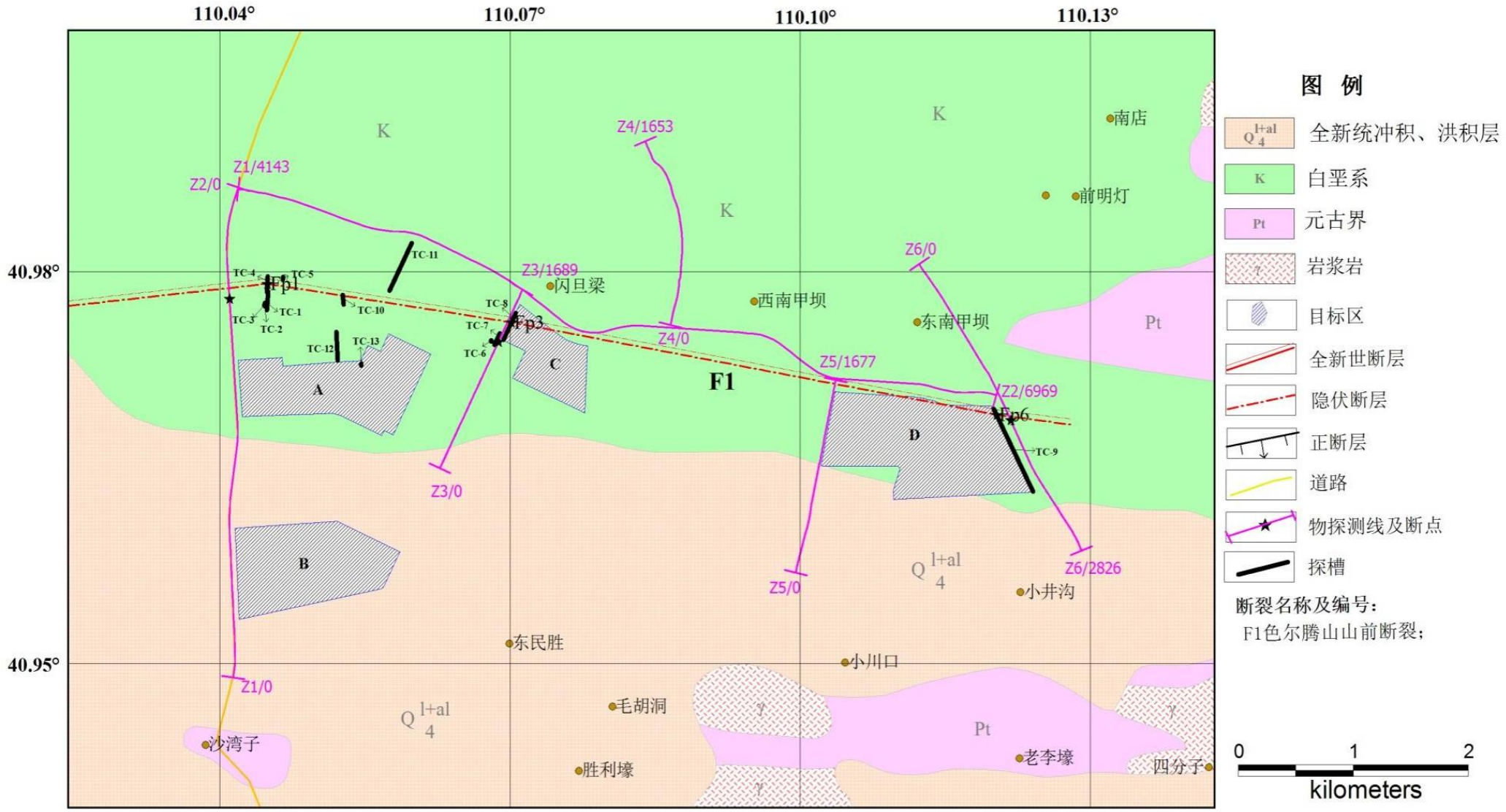


图 3.1-1 目标区断层分布与实际材料图

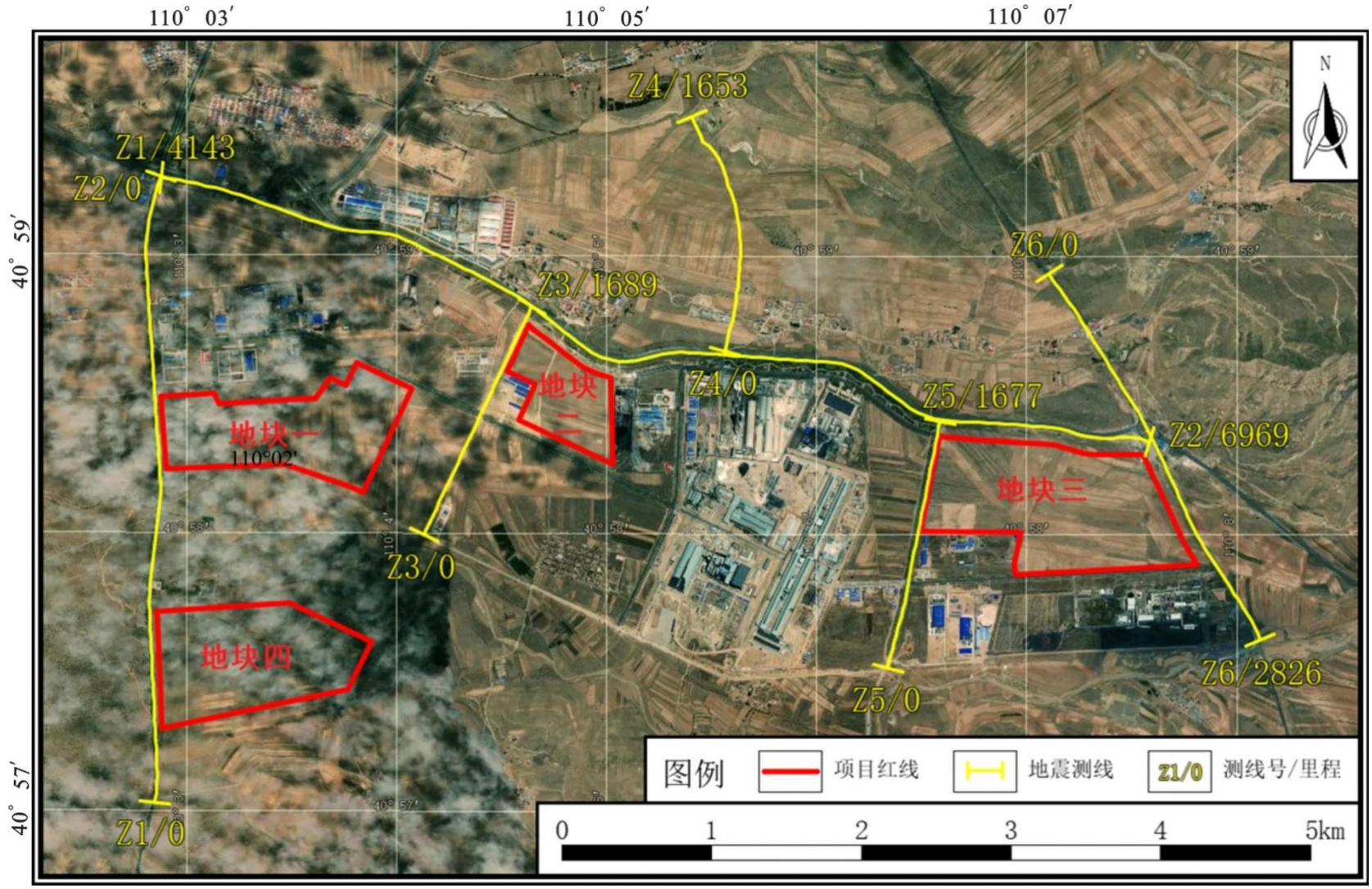


图 3.1-3 浅层地震勘探测线平面布置图

3.2 地震剖面分析

一、本次浅层地震勘探资料分析

1. Z1 测线

图 3.2-1（a）是 Z1 测线经过数据处理后的地震反射时间剖面图，该剖面方向自南向北。根据各波组特征及波组间的相互关系，确认在剖面图上共显示 1 层地层界面反射，即 T_Q，已在剖面上用红色标示。由图可见，在 CDP1850#-2130#处各反射层均出现同相轴扭曲、错位、消失等现象，结合地质资料推断该处存在一条断裂，该断裂呈南倾正断性质，错断了全新统底界，命名为 F_{P1}。在经过速度分析、得到了动校迭加剖面图后，依据 $Vr\text{-}t_0$ 曲线即可对时间剖面进行时深转换，并得到 Z1 测线的地质解释剖面图（见图 3.2-1（b））。

2. Z2 测线

图 3.2-2（a）是 Z2 测线经过数据处理后的地震反射时间剖面图，该剖面方向自西向东。根据各波组特征及波组间的相互关系，确认在剖面图上共显示 1 层地层界面反射，即 T_Q，已在剖面上用红色标示。由图可见，该反射层基本清晰连续，未发现可识别为断层的反射波特征存在，该测线控制范围内未发现断层通过。在经过速度分析、得到了动校迭加剖面图后，依据 $Vr\text{-}t_0$ 曲线即可对时间剖面进行时深转换，并得到 Z2 测线的地质解释剖面图（见图 3.2-2（b））。

3. Z3 测线

图 3.2-3（a）是 Z3 测线经过数据处理后的地震反射时间剖面图，该剖面方向自西南向东北。根据各波组特征及波组间的相互关系，确认在剖面图上共显示 1 层地层界面反射，即 T_Q，已在剖面上用红色标示。由图可见，在 CDP540#-800#处各反射层均出现同相轴扭曲、错位、消失等现象，结合地质资料推断该处存在一条断裂，该断裂呈北倾正断性质，错断了第四系底界，命名为 F_{P3}。在经过速度分析、得到了动校迭加剖面图后，依据 $Vr\text{-}t_0$ 曲线即可对时间剖面进行时深转换，并得到 Z3 测线的地质解释剖面图（见图 3.2-3（b））。

4. Z4 测线

图 3.2-4（a）是 Z4 测线经过数据处理后的地震反射时间剖面图，该剖面方向自南向北。根据各波组特征及波组间的相互关系，确认在剖面图上共显示 1 层地层界面反射，即 T_Q，已在剖面上用红色标示。由图可见，各反射层基本清晰连续，未发

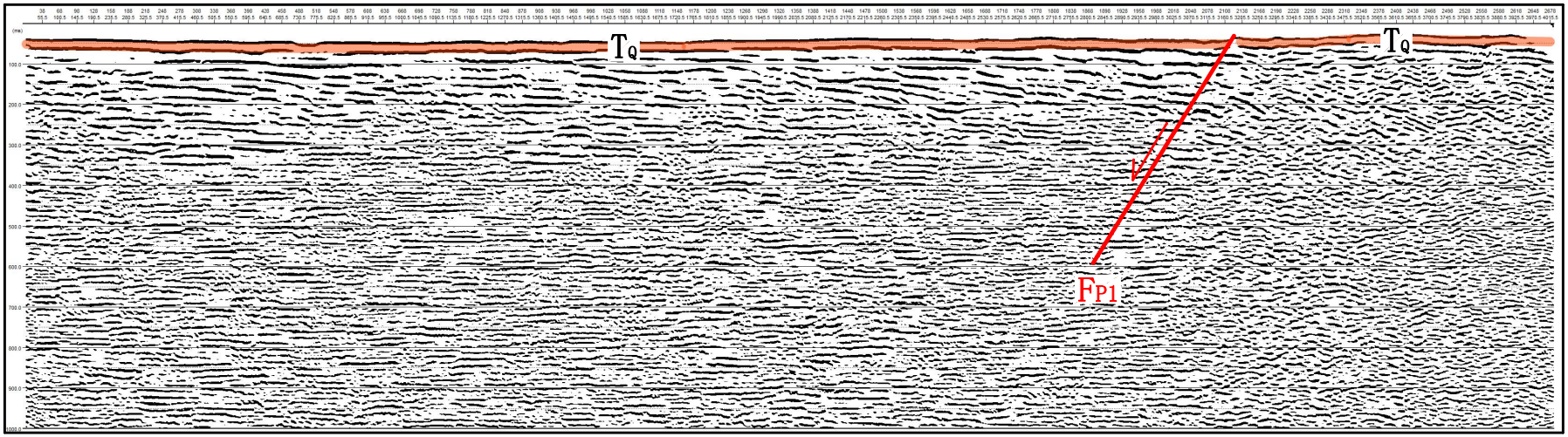
现可识别为断层的反射波特征存在，该测线控制范围内未发现断层通过。在经过速度分析、得到了动校迭加剖面图后，依据 Vr-t_0 曲线即可对时间剖面进行时深转换，并得到 Z4 测线的地质解释剖面图（见图 3.2-4（b））。

5. Z5 测线

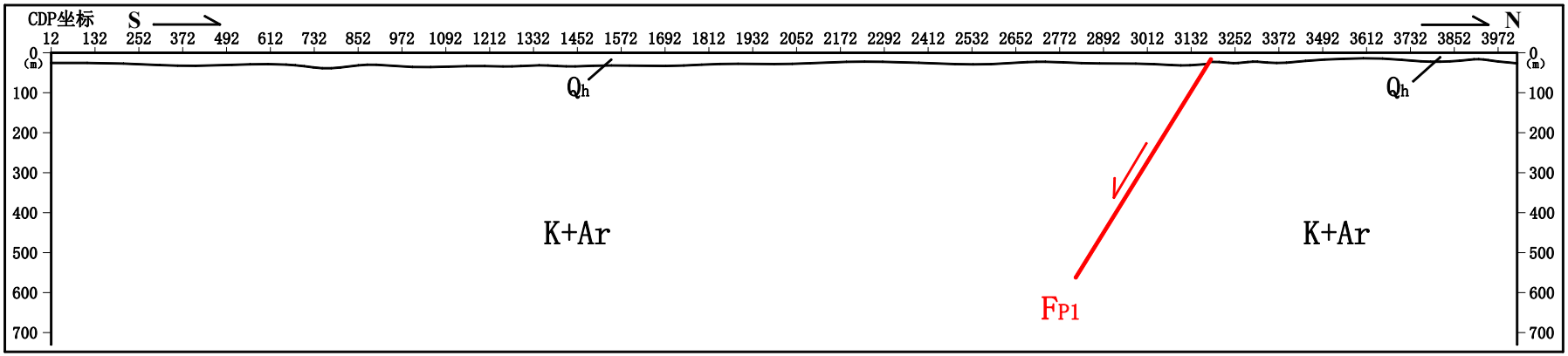
图 3.2-5（a）是 Z5 测线经过数据处理后的地震反射时间剖面图，该剖面方向自西南向东北。根据各波组特征及波组间的相互关系，确认在剖面图上共显示 1 层地层界面反射，即 T_Q，已在剖面上用红色标示。由图可见，该反射层基本清晰连续，未发现可识别为断层的反射波特征存在，该测线控制范围内未发现断层通过。在经过速度分析、得到了动校迭加剖面图后，依据 Vr-t_0 曲线即可对时间剖面进行时深转换，并得到 Z5 测线的地质解释剖面图（见图 3.2-5（b））。

6. Z6 测线

图 3.2-6（a）是 Z6 测线经过数据处理后的地震反射时间剖面图，该剖面方向自西北向东南。根据各波组特征及波组间的相互关系，确认在剖面图上共显示 1 层地层界面反射，即 T_Q，已在剖面上用红色标示。由图可见，在 CDP1020#-1380#处各反射层均出现同相轴扭曲、错位、消失等现象，结合地质资料推断该处存在一条断裂，该断裂呈北倾正断性质，错断了全新统底界，命名为 F_{P6}。在经过速度分析、得到了动校迭加剖面图后，依据 Vr-t_0 曲线即可对时间剖面进行时深转换，并得到 Z6 测线的地质解释剖面图（见图 3.2-6（b））。



（a）



（b）

图 3.2-1　地震勘探 Z1 测线纵波地震反射时间和地质解释剖面图

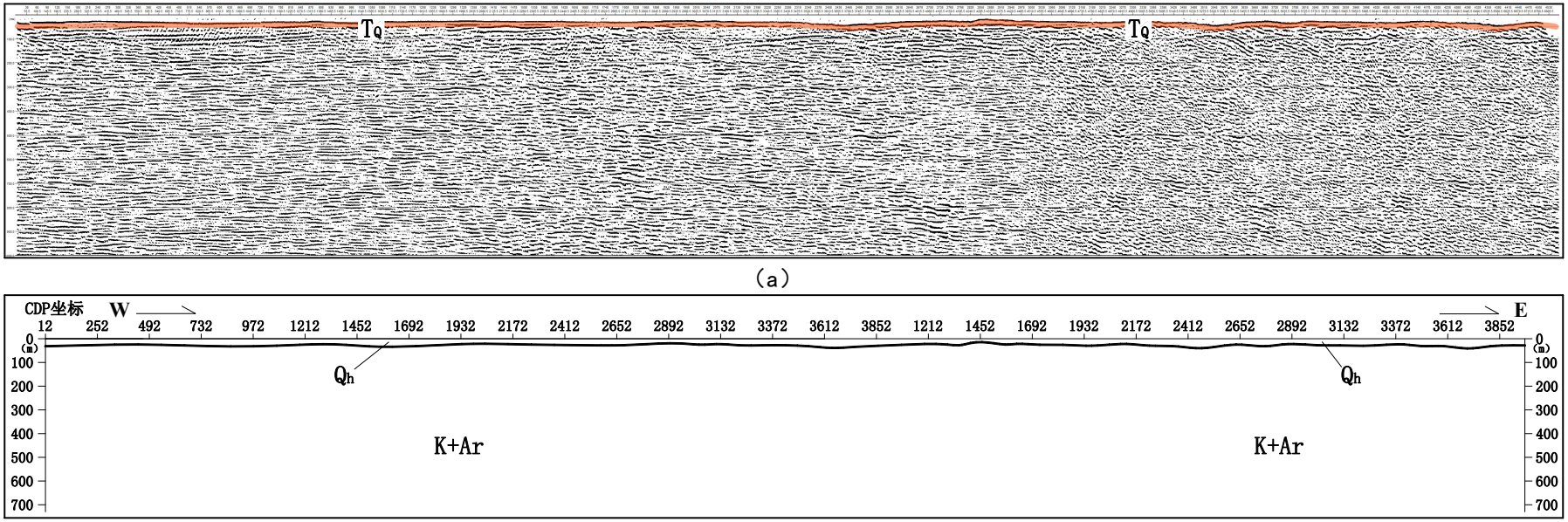
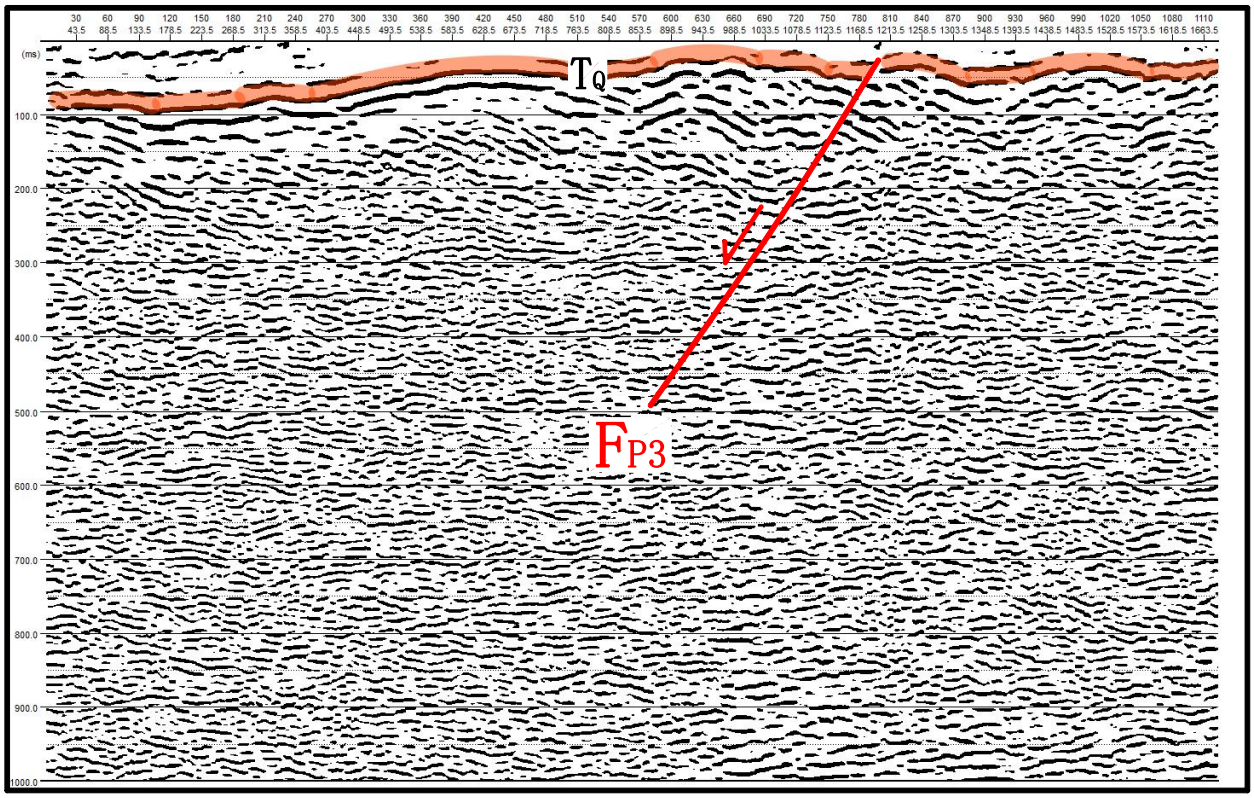
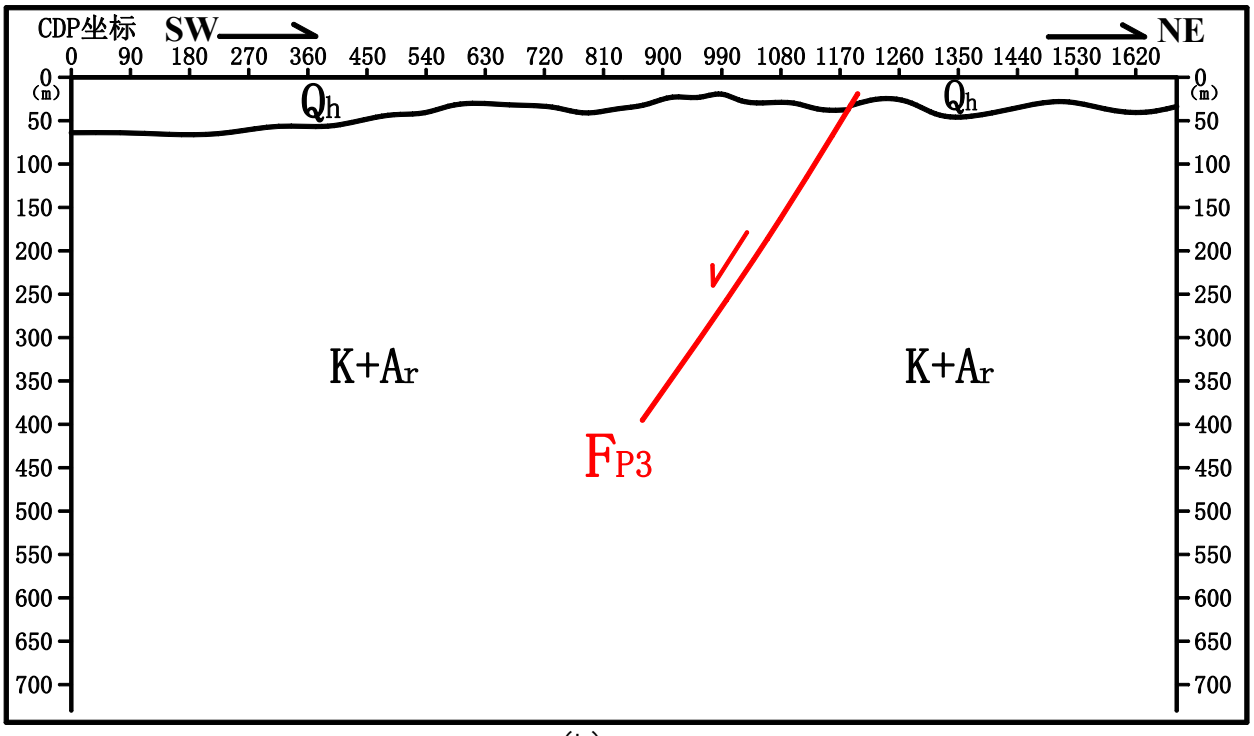


图 3.2-2　地震勘探 Z2 测线纵波地震反射时间和地质解释剖面图

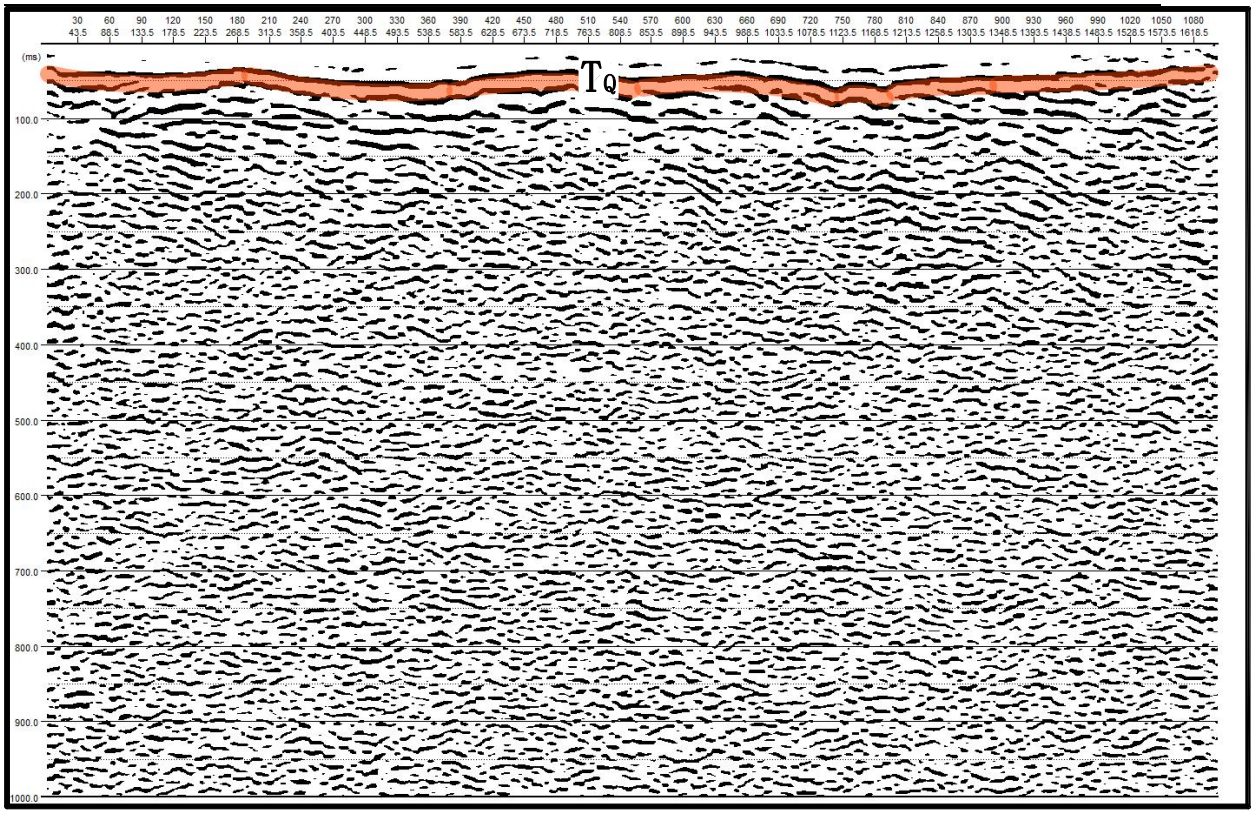


（a）

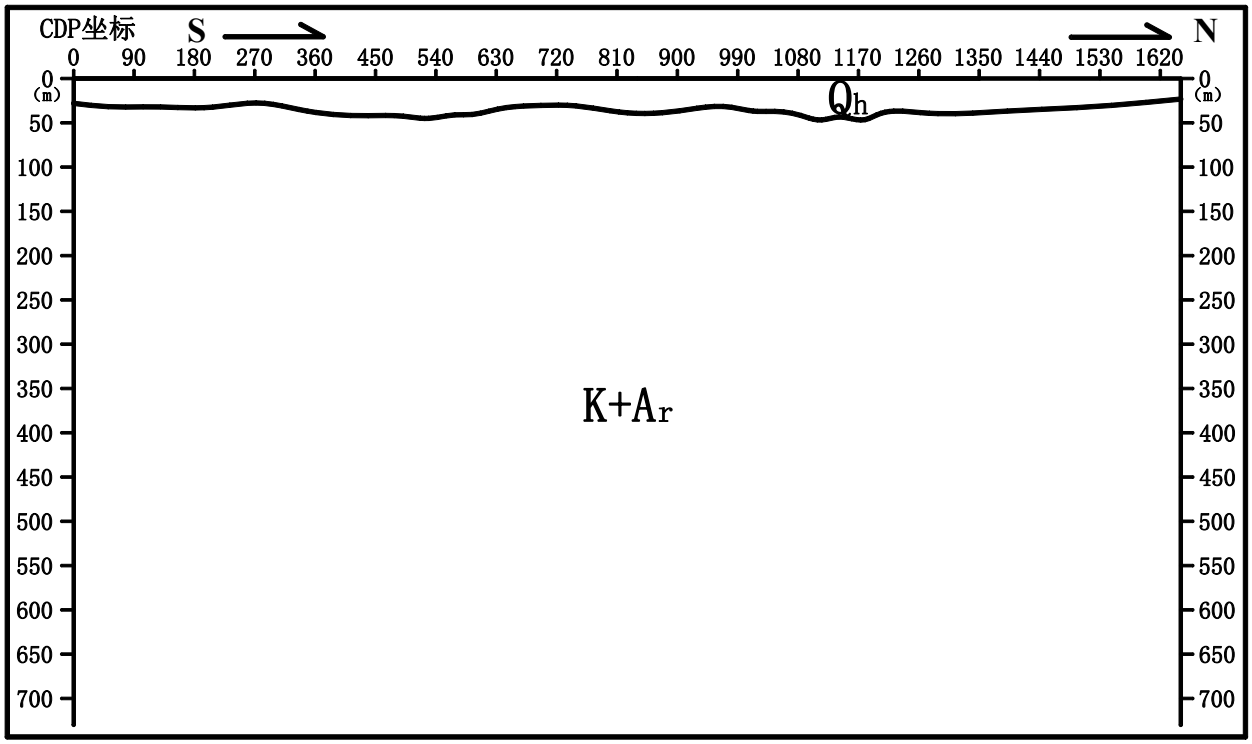


（b）

图 3.2-3　地震勘探 Z3 测线纵波地震反射时间和地质解释剖面图

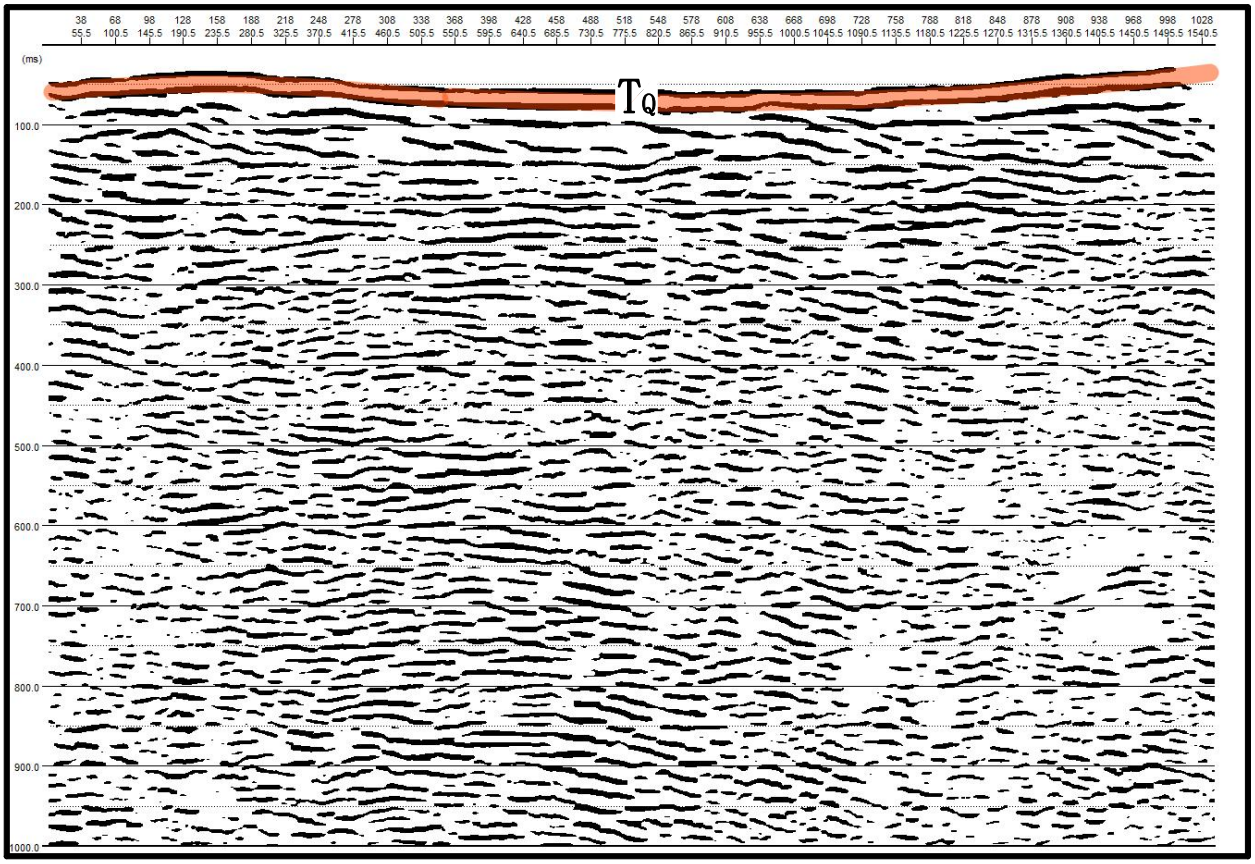


（a）

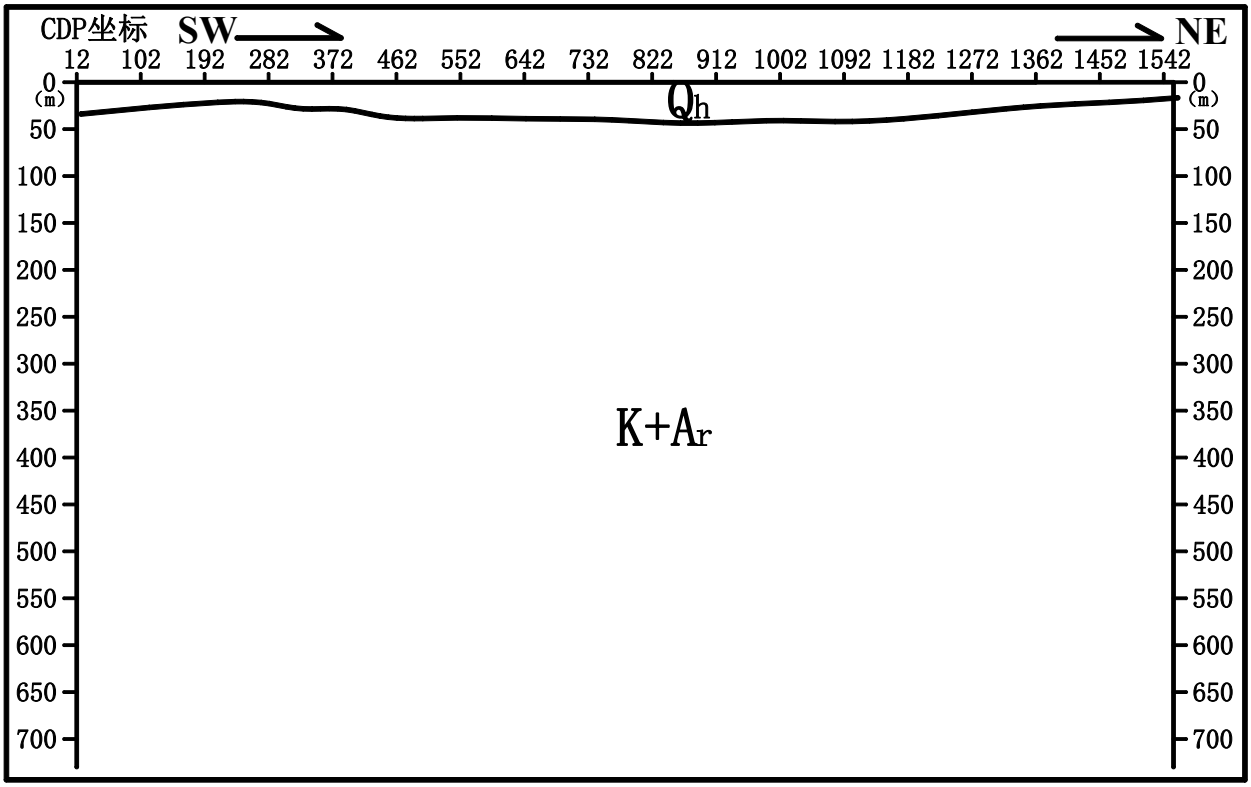


（b）

图 3.2-4　地震勘探 Z4 测线纵波地震反射时间和地质解释剖面图

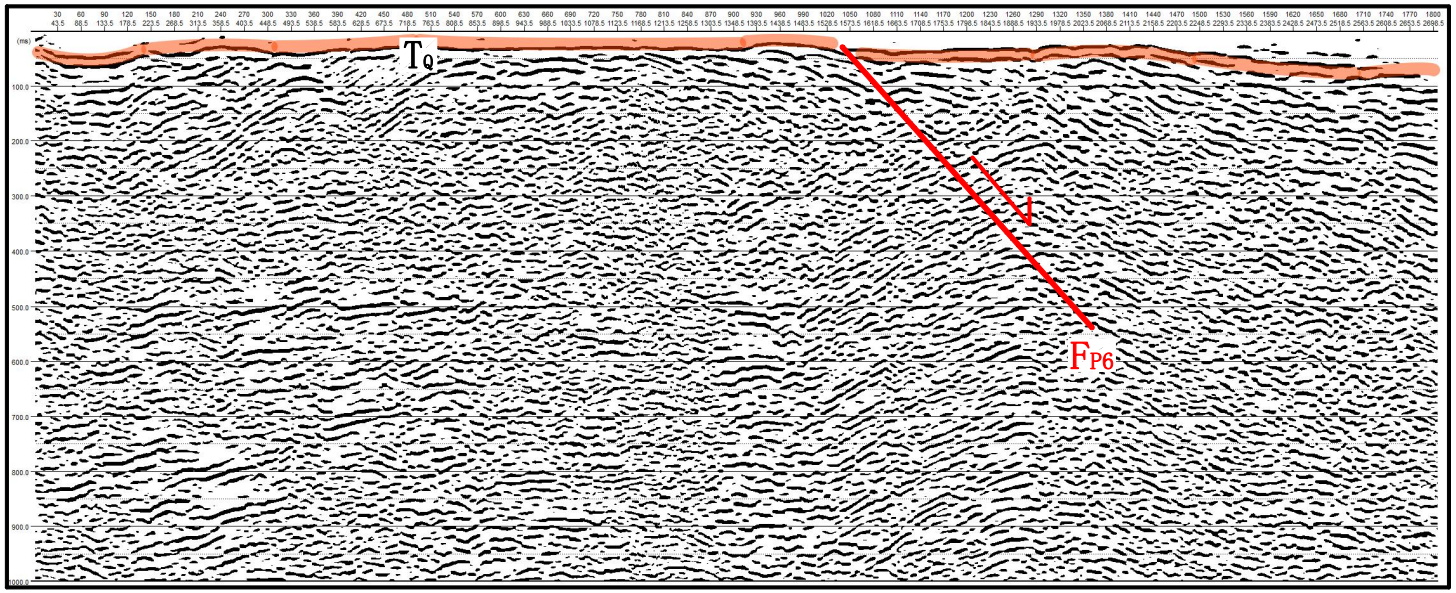


（a）

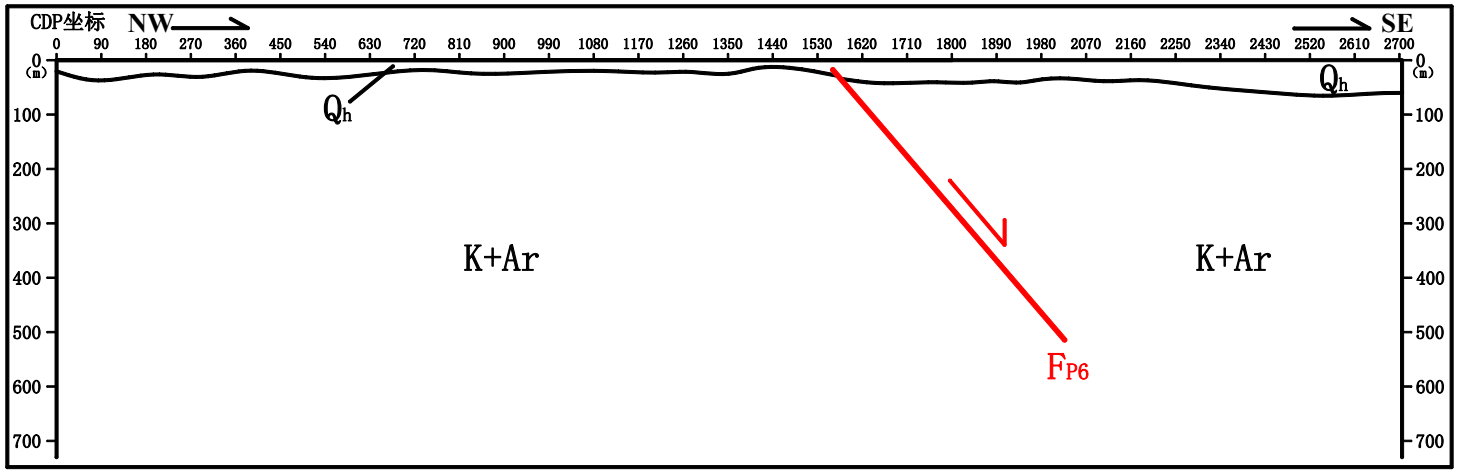


（b）

图 3.2-5　地震勘探 Z5 测线纵波地震反射时间和地质解释剖面图



（a）



（b）

图 3.2-6　地震勘探 Z6 测线纵波地震反射时间和地质解释剖面图

二、取得的成果和建议

为了获得适合本测区不同测线条件的工作方法和参数，工作中还进行了大量的现场试验。在资料处理过程中，根据测区各干扰波特征，以及个别测线原始记录信噪比较低等不利因素，通过采用叠前叠后去噪、静校正、动校正、偏移等一系列有针对性的数据处理方法，获得了高信噪比的反射波叠加剖面图。资料解释中，在参考已有地质资料、初勘成果的基础上，对地震反射剖面进行分析和解释，得到了测线的深度解释剖面图，从而得到地质解释结果，综合以上对地震勘探测线剖面的分析解释结果。本次浅层地震勘探的主要探测成果概述如下：

⑴Z1 测线-Z6 测线均发育有 1 组反射波组，结合地质资料可标示为 TQ。该界面对应第四系及风化壳与下伏完整基岩的分界面，大部分埋深在 0m-20m。该界面有一定起伏。

(2) 结合场地附近地质资料与浅层地震勘探地质解释成果，推测 Z1、Z3、Z6 测线各存在一断点，分别命名为 FP1、FP3、FP6、,在地震剖面上可以初步确定出上断点的地表投影位置。尽管根据地震剖面确定的断点位置不一定是真实意义上的断点，但是根据断点的埋深，有助于对基岩断裂的活动性进行初步评价。结合前人地质资料及工作成果，判断三个断点均归属于色尔腾山山前断裂，断裂活动时代为全新世。断点特征及坐标见下表 3.2.2 所示，分布见图 3.2-7。

(3) Z2、Z4、Z5 测线波组同相轴连续可追踪，未见同相轴的错断、终止、扭曲、分叉合并、相位转换等波组异常，也未见断面波、绕射波等异常波，表明在该测线通过地区和勘探控制深度范围内，工程场地下部地层层位稳定，未发现隐伏断层通过。

(4)经综合分析，推测色尔腾山山前断裂从场地经过。场地探测深度范围内未发现其它隐伏断层通过。断裂具体位置见图 3.2-7。

⑸场地覆盖层薄，断层活动性弱，白垩系基岩变形强烈，地质条件复杂，建议在后续验证中采用探槽开挖方式。

表 3.2.2 物探测线断点参数一览表

断点号	测线号	断点位置(m)	断点坐标		断层性质	上断点埋深(m)	断距(m)	断层倾向	断层倾角（°）	活动时代
			N	E						
FP1	Z1	3192	40°58′40.61″	110°02′27.51″	正断	<25	<5	S	40-60	Q_h
FP3	Z3	1200	40°58′28.76″	110°04′07.71″	正断	<25	<5	S	40-60	Q_h
FP6	Z6	1554	40°58′07.10″	110°07′18.38″	正断	<25	<5	S	40-60	Q_h

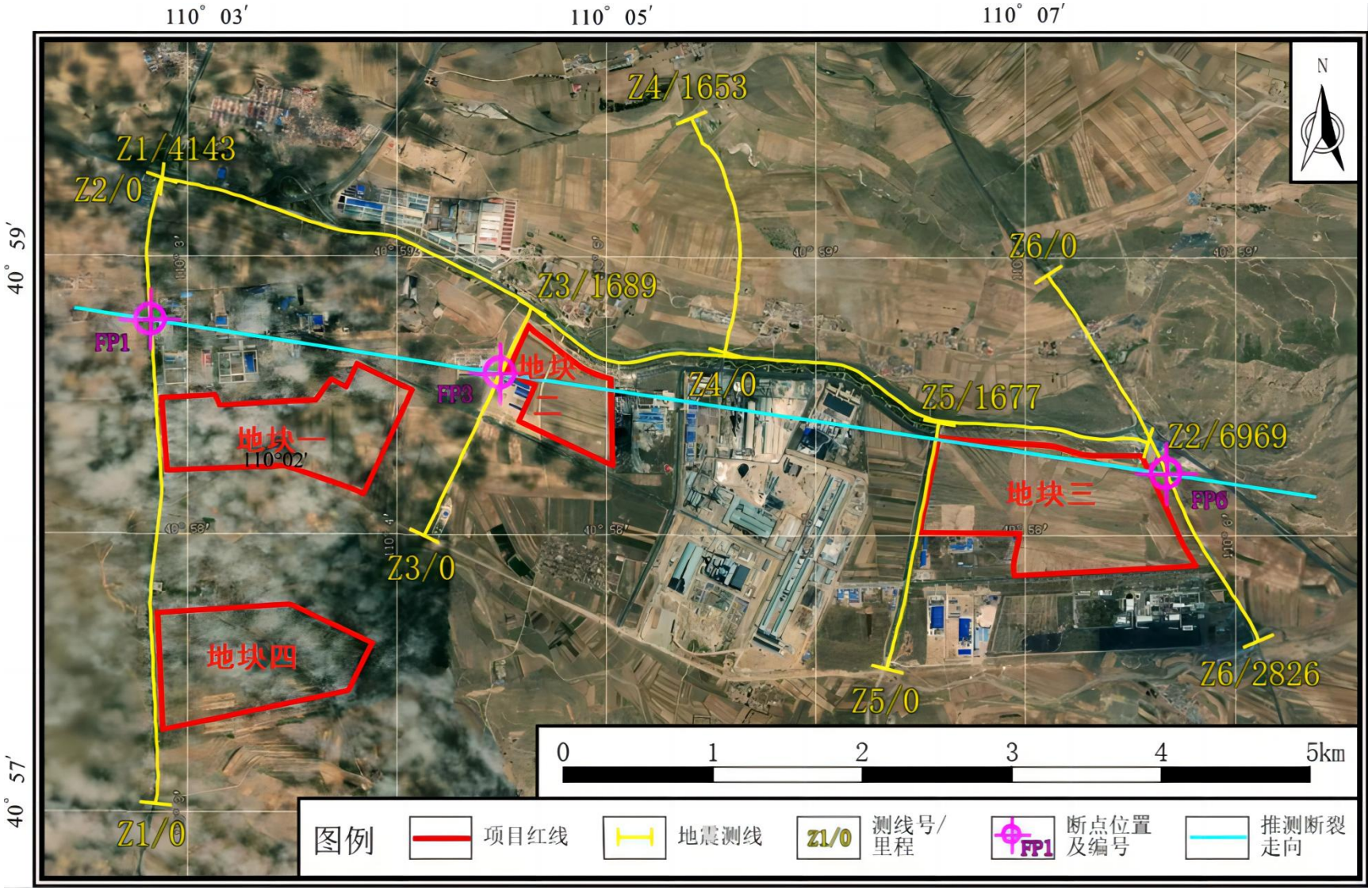


图 3.2-7 地震勘探断点分布及构造综合解释图

3.3 目标区探槽开挖工作

一、目标区概况

1、目标区地质地貌特征

目标区地貌总体表现为北高南低的缓坡状，局部稍有起伏，但起伏不大。相对南侧的山间盆地，处于侵蚀堆积环境。

根据目标区地质地貌调查、钻探、槽探等结果，目标区第四系厚度不大，厚的地段大于 4m，一般厚度小于 4m，一些地段厚度仅 1m 左右。近场区部分依据固阳幅 1:20 万《区域地质测量报告》，对第四系的分布、岩性特征及形成时代为作了描述，本区上更新统洪积、坡积层为灰黄色、棕黄色黄土状亚黏土、亚砂土，夹少量薄层透镜状砂砾层，柱状节理发育。上更新统冲积层上部为灰色-灰黄色砂层夹砂砾透镜体，下部为灰色-灰黄色砂砾层夹透镜状砂层。均呈半固结状，构成一级阶地。全新统冲积、洪为松散的砂砾层和砂土层。湖沼沉积为灰黑色、土红色黏土、亚黏土及砂土。目标区仅分布有上更新统和全新统。

目标区一带，第四系下伏地层为下白垩统泥岩、砂岩、砾岩，呈现出褐红色、灰绿色、灰白色等。下白垩统受早期地质构造运动的影响，变形强烈。目标区内总体走向北西西，多倾向北，倾角变化较大，从近水平到近直立都有。目标区北部一带产状变缓，倾向变为向南缓倾。

2、浅层地震勘探

浅层地震勘探在目标区布置了 4 条近南北向测线，由西向东编号分别为 Z1、Z3、Z5 和 Z6。除了 Z5 测线由于断层可能从其北端附近通过而未解释出断点外，Z1、Z3 和 Z6 这 3 条测线各解释出 1 个断点，由西向东编号分别为 Fp1、Fp3、Fp6 。解释出的 3 个断点均为断面向南倾斜的正断层，倾角 40°～60°。上断点埋深均小于 25m，总断距均小于 5m。3 个断点的地震剖面特征和解释出的基本参数相似或相同，认为属同一条断层，归属于色尔腾山山前断裂。

二、探槽开挖

由于目标区断层两盘岩性相同，断距小于 5m，活动性弱，这给浅层地震勘探的解释带来的一定困难和不确定性，因而需要对断点 Fp1、Fp3 和 Fp6 进一步确定核实。根据场地地质构造条件，采用槽探方法进行揭露，共开挖了大小 13 个探槽（图 3.1-1），

各探槽坐标及发现断层的探槽见（表 3.3.1、表 3.3.2），具体现从西向东对开挖到的探槽进行分述如下：

表 3.3.1 固阳金山工业园区目标区地质探槽开挖位置表

探槽编号	探槽位置			长度(m)	备注
TC-1	北端点	110°2′41.95″	40°58′42.59″	159	
	南端点	110°2′41.43″	40°58′37.46″		
TC-2	北端点	110°2′41.02″	40°58′39.51″	32	
	南端点	110°2′40.73″	40°58′38.49″		
TC-3	北端点	110°2′40.66″	40°58′39.50″	24	
	南端点	110°2′40.45″	40°58′38.74″		
TC-4	北端点	110°2′41.77″	40°58′46.74″	134	Fp_1-断点-TC
	南端点	110°2′41.48″	40°58′42.41″		
TC-5	北端点	110°2′47.43″	40°58′46.56″	20	
	南端点	110°2′47.32″	40°58′45.90″		
TC-6	北端点	110°4′4.94″	40°58′29.09″	9	
	南端点	110°4′4.89″	40°58′28.80″		
TC-7	北端点	110°4′8.18″	40°58′31.00″	109	
	南端点	110°4′6.11″	40°58′27.84″		
TC-8	北端点	110°4′14.12″	40°58′36.72″	254	Fp_3-断点-TC
	南端点	110°4′9.58″	40°58′29.24″		
TC-9	北端点	110°7′11.98″	40°58′10.21″	785	Fp_6-断点-TC
	南端点	110°7′26.62″	40°57′47.34″		
TC-10	北端点	110°3′9.63″	40°58′41.67″	84	
	南端点	110°3′10.07″	40°58′38.97″		
TC-11	北端点	110°3′35.40″	40°58′55.99″	450	
	南端点	110°3′27.10″	40°58′42.82″		
TC-12	北端点	110°3′7.20″	40°58′31.49″	248	
	南端点	110°3′7.84″	40°58′23.48″		
TC-13	北端点	110°3′16.56″	40°58′22.77″	20	
	南端点	110°3′16.51″	40°58′22.11″		

表 3.3.2 地质探槽调查断点位置表

断点号	探槽	断点坐标		备注
		N	E	
Fp_1-断点	TC-4	40°58′44.69″	110°02′41.63″	
Fp_3-断点	TC-8	40°58′34.06″	110°04′12.45″	
Fp_6-断点	TC-9	40°58′08.54″	110°07′13.14″	

1、Fp_1断点

Z_1测线沿国道G210施测，Fp_1断点附近没有开挖探槽条件，调查后选在Fp_1断点以东约330m一带。断层地貌表现为北高南低的缓坡（图3.3-1a）。首先横跨解释的断层线开挖，探槽长度约160m，深2.5～3m（局部4m）未发现断层，该段称为南段探槽（图3.3-1b）。对Z_1测线的解释又作了进一步的核实分析，认为断层可能在Fp_1断点及其向北百米一带。之后继续向北开挖，总长度约134m，深2.5～3m，称为北段探槽（图3.3-1c）。为了更快找到断层，减少开挖量，北侧探槽紧靠南北向人工开挖的陡坎下方一侧（西侧）布施。南北向人工陡坎以西的地段，上部第四系已被挖除，陡坎以东则为原始地貌面。在北段探槽中发现了断层，之后对断层剖面上段部分进行了揭露清理(图3.3-1d)。探槽东壁上、下段连接部位亦可清楚看到断层带连续分布(图3.3-1e)。

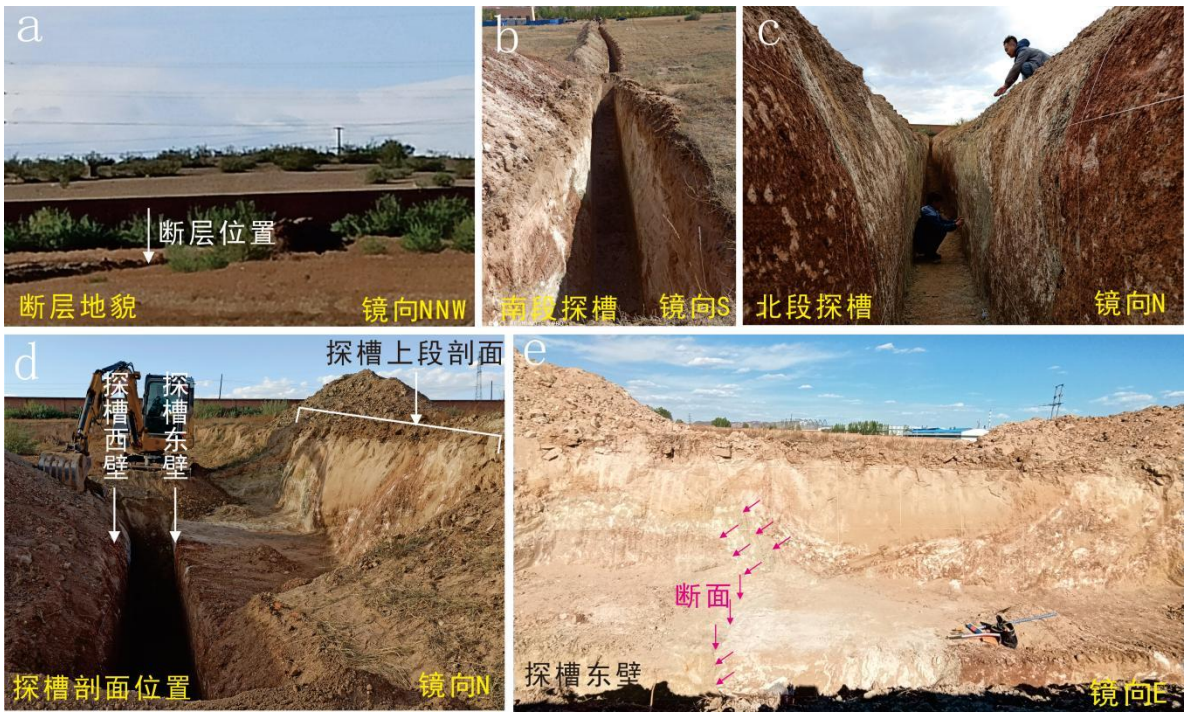


图3.3-1　Fp_1断点东侧断层地貌、探槽及剖面位置与东壁剖面照片

图3.3-2a和图3.3-2b分别是Fp_1断点东侧探槽西壁和东壁断层剖面素描图及断层局部照片，两壁剖面特征相似。剖面中均发育有两条相向倾斜的断层面（f1）和（f2），层②下白垩统在断层两盘整体向北倾斜，倾角十几度，靠近断层处局部有变陡的现象。断层北盘下白垩统以灰绿色为主，而南盘则呈现出红色基调。（f1）和（f2）之间夹持的层③下白垩统则以灰白、浅灰色为主，夹有灰绿、红色，变形强烈。

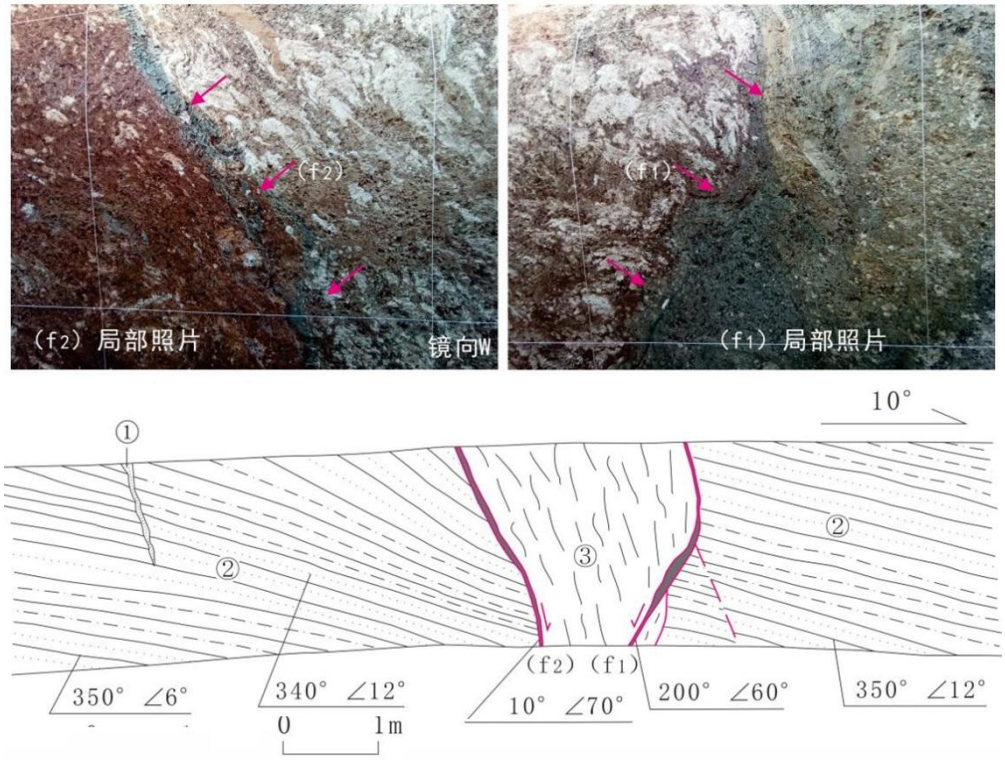


图 3.3-2a　探槽西壁

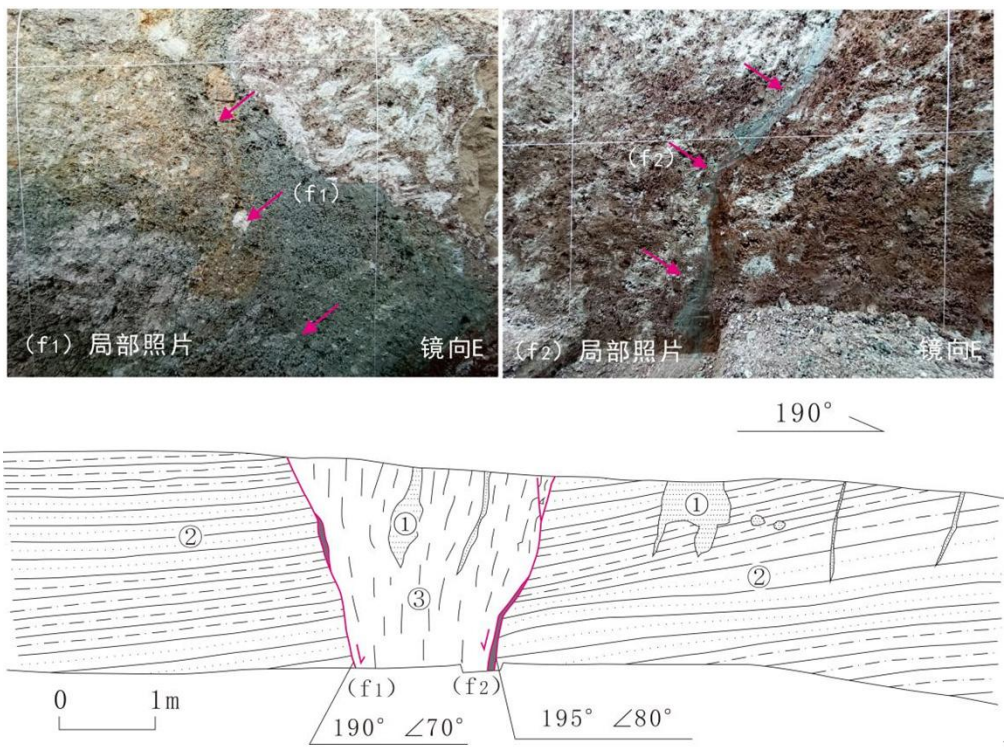


图 3.3-2b　探槽东壁

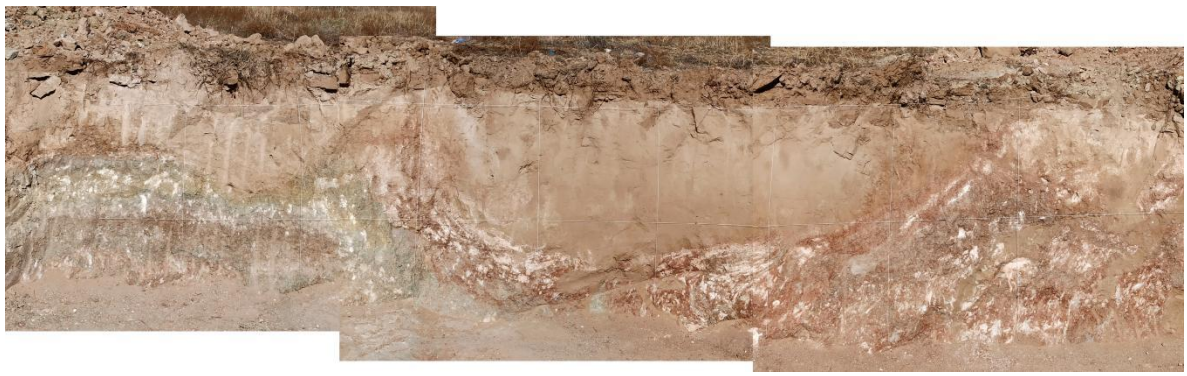
图 3.3-2　Fp_1 断点东侧探槽剖面图与断层局部照片

①浅灰色裂隙充填粉砂，较松散；②下白垩统砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩、泥岩。

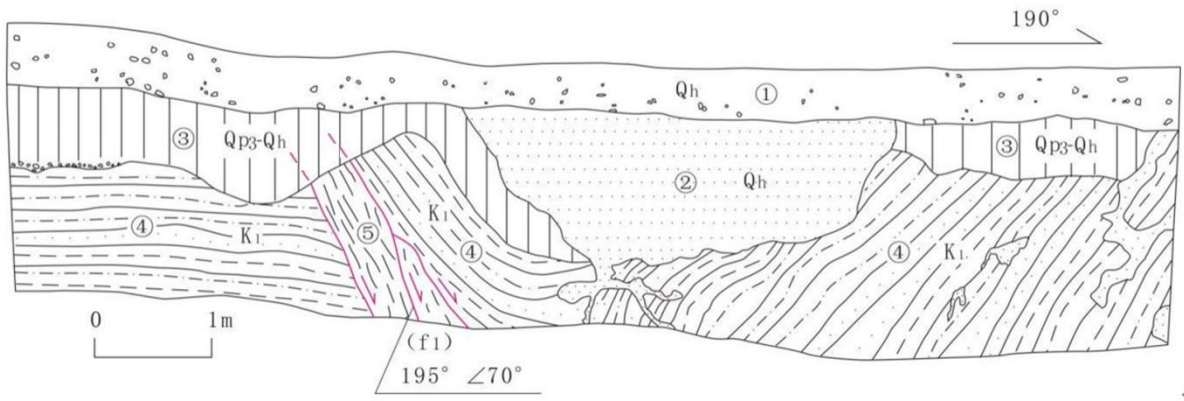
断层北盘为灰绿色，南盘为红色；③下白垩统灰白、浅灰色砂岩、泥质砂岩、泥岩，变形强烈

图 3.3-3 是 Fp_1 断点东侧探槽上段部分照片和断层剖面图。层①为表层全新统浅褐红色粉土，含细砾，较松散，厚度 0.4m 左右。层②为全新统浅灰、浅褐灰色粉砂，未固结，较松散，该层在层③和层④中有裂隙状充填。层③为浅灰、灰白、淡土红色黄土状粉土，半固结，较硬。断层（f_1）发育在层④下白垩统砂岩、泥岩中。断层北盘主要为灰绿色，南盘则以红色为主。断面（f_2）在剖面中未见发育，连续性差，（f_1）断层应为主断面，向南倾斜，一些地段与（f_2）在剖面中构成“Y”字型构造。层⑤为下白垩统砂岩、泥岩构成的断层带，以灰绿色为主，夹有灰白、褐红色，变形强烈。

剖面中，层①至层③覆盖于断层带之上，层③很可能被断层断错，与前述的乌兰忽洞探槽剖面岩性特征和测年结果进行对比，层③形成时代应为晚更新世晚期至全新世早期。初步保守分析，认为断层的最新活动时代应为全新世早期。



a　断层剖面照片



b　断层剖面图

图 3.3-3　Fp_1 断点东侧探槽上段部分照片与断层剖面图

①全新统浅褐红色粉土，含细砾，较松散；②全新统浅灰、浅褐灰色粉砂，未固结，较松散；③浅灰、灰白、淡土红色黄土状粉土，半固结，较硬；④下白垩统砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩、泥岩。断层北盘主要为灰绿色，南盘则以红色为主；⑤由下白垩统砂岩、泥岩构成的断层带，以灰绿色为主，夹有灰白、褐红色，变形强烈

2、Fp_3 断点

Z_3 测线沿园区内的一条南北向道路施测，根据现场初步勘察，断点 Fp_3 一带第四系厚度 1m 左右，地貌表现为北高南低的缓坡状（图 3.3-4b）。根据场地地质构造条件，同样采用槽探方法进行揭露。道路东侧不具备开挖条件，探槽布置在道路西侧。首先在断点 Fp_3 附近一带进行初步勘察，对可疑点局部开挖，未发现断层。之后在测线西侧跨断点 Fp_3 断层线布置南北向探槽，相距 Z_3 测线约 20m。探槽长约 50m（断点南、北各 25m），深 2.5～2.8m（局部大于 2.8m），仔细清理观察后未发现断层。继续在南、北两侧加长探槽开挖，与断点 F_{P1} 情况相似，主要向北开挖，总长约 110m（图 3.3-4a）。对探槽两壁进行清理，反复观察，地层总体向北倾斜，倾向变化在 350°～17°之间，一般为 10°左右，倾角一般为 50°～70°，向北倾角有变缓的趋势，没有发现断层。

探槽北端向北至 Z_3 测线北端长约 200m 的地段，开挖路基时在道路西侧还不同程度保留有地质剖面，高度 2～4m。其中与探槽相接的 100m 地段在下埋管线时已被回填和掩埋，而北段 100m 未被回填。出露 K_1 地层，总体走向近东西，向南缓倾，倾角一般小于 20°，仔细调查未发现断层。由此分析，断层应该位于被回填的段落内，由于下埋管线，不宜规模开挖。仔细调查后对可疑地点局部开挖，发现断层（图 3.3-4b）。正好道路东侧开挖南北向围墙墙基，位置与道路西侧回填段对应，长度超过 100m，弥补了道路西侧被掩埋的地段。墙基开挖深度 0.5～1.5m，但由于平整场地时上部地层已被挖除，所以 K_1 地层直接出露地表。调查后亦发现断层（图 3.3-4b），与道路西侧断层相对应。探槽和道路两侧人工地质剖面可对接起来，不会遗漏其它断层。

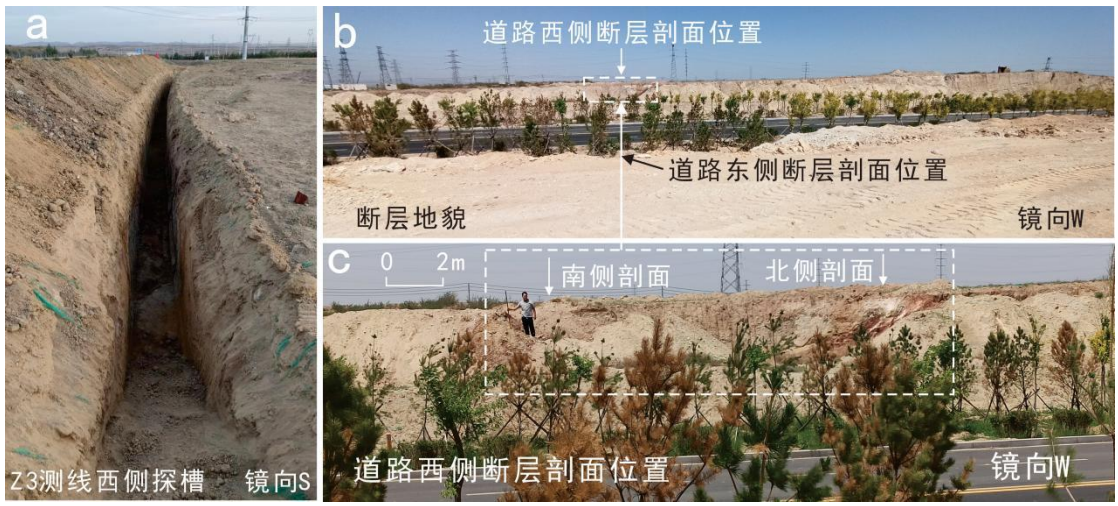
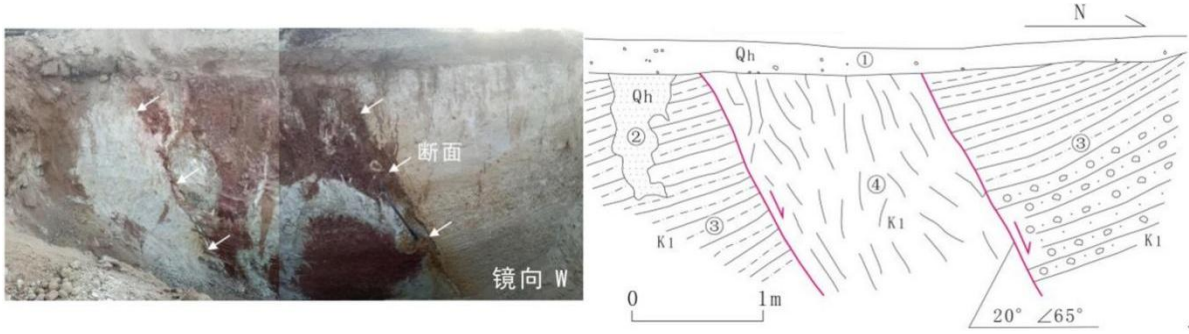


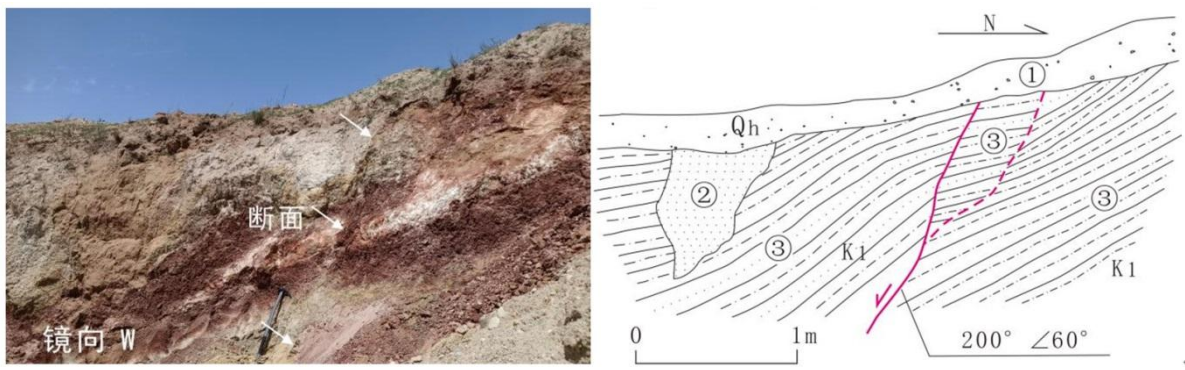
图 3.3-4　断层地貌与位置

图 3.3-4c 是道路西侧断层剖面位置，由南、北侧局部开挖剖面构成，相距约 10m。图 3.3-5a 是南侧断层剖面，断层发育在下白垩统地层中，两条断面均向北倾斜，断面清晰，倾角 65°左右。断层两盘 K1 地层总体向南缓倾，两条断层之间的层④明显变形，显示断面正断错动的牵引变形。断层顶部被层①全新统含细砾粉土覆盖。图 3.3-5b 是北侧断层剖面，断层同样发育在下白垩统地层中，断面向南倾斜，倾角 60°左右。断层两盘 K1 地层总体向南缓倾，断层附近产状变陡。该断面不甚清晰，但两盘 K1 地层有明显正断落差，断层活动主要表现为断错和构造变形。

南侧和北侧剖面揭露的断层相向倾斜，地表相距约 10m，剖面表现为“Y”字型结构。根据浅层地震解释结果，主断面向南倾斜，因而北倾断面向下延伸应终止于南倾断面，属同一条断层。两个剖面中断层顶部均被层①含细砾粉土覆盖，厚度 0.3m 左右，未固结，其形成时代推测为全新世，由此初步分析断层的活动时代应为晚更新世。



a　南侧剖面



b　北侧剖面

图 3.3-5　Z_3 测线道路西侧断层照片与剖面

①全新统灰色、褐灰色粉土，含细砾，未固结；②浅红色裂隙充填粉砂，较松散；③下白垩统红色、灰色、灰白色砂岩、泥岩、砂砾岩；④由红色、灰白色下白垩统构成的断层带，变形明显

图 3.3-6 是道路东侧断层照片和剖面图，断层带宽 0.4m 左右，夹有 5～10cm 厚的黑色条带，下白垩统褐红、灰白色砂岩、砾岩总体向南缓倾，靠近断层处倾角变陡，发生牵引变形，反映南盘相对向下错动。断层带在近地表处产状陡立，根据浅层地震

解释结果，断层向下延伸应向南倾斜。

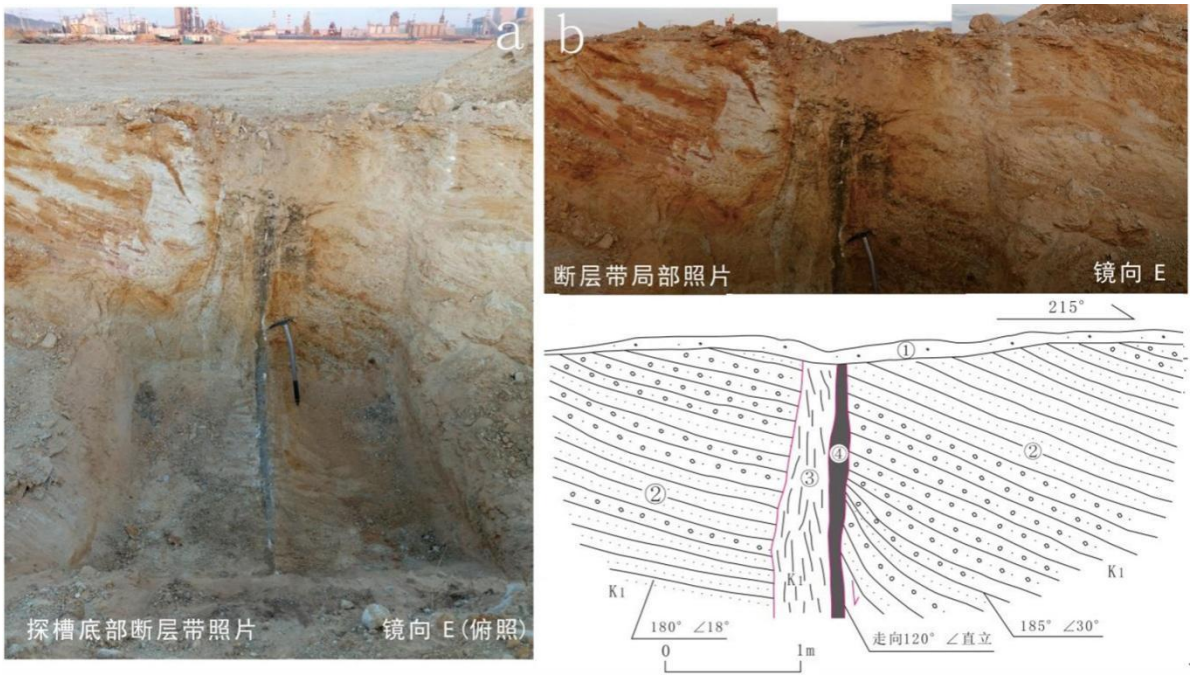


图 3.3-6 道路东侧断层照片和剖面图

①人工开挖残留浮土；②下白垩统褐红、灰白色砂岩、砾岩；

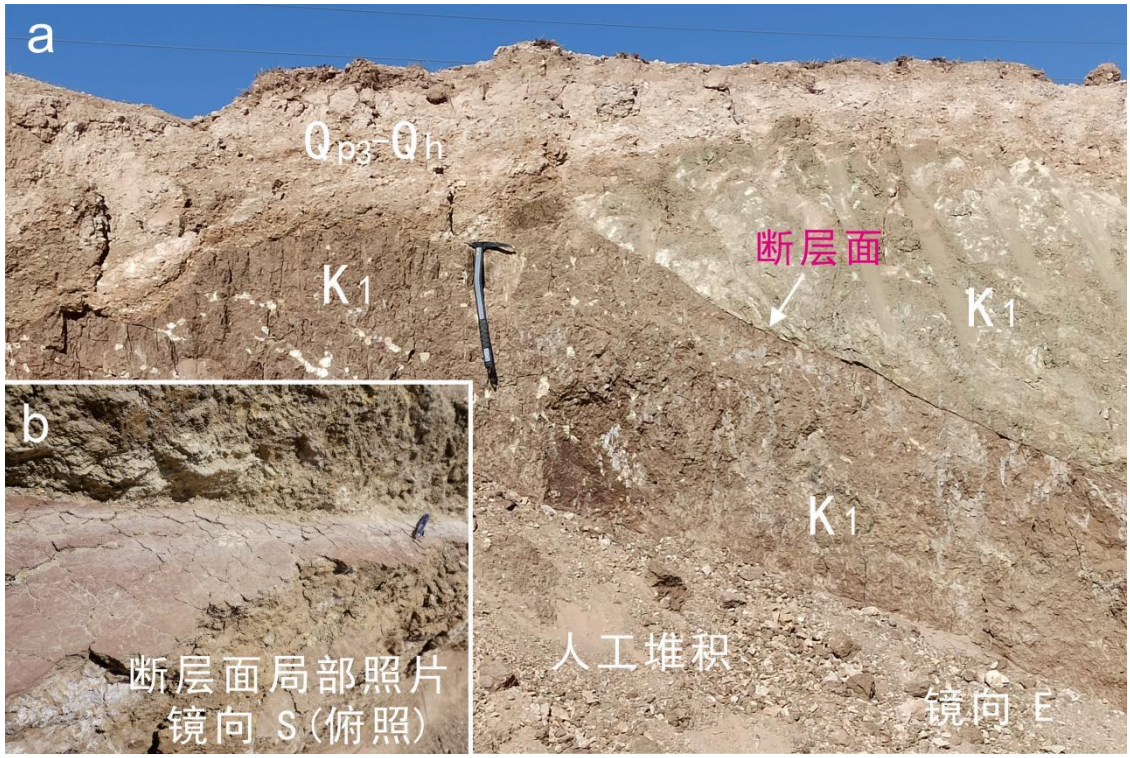
③由下白垩统构成的断层带，变形强烈；④断层带中的黑色条带

3、Fp_6 断点

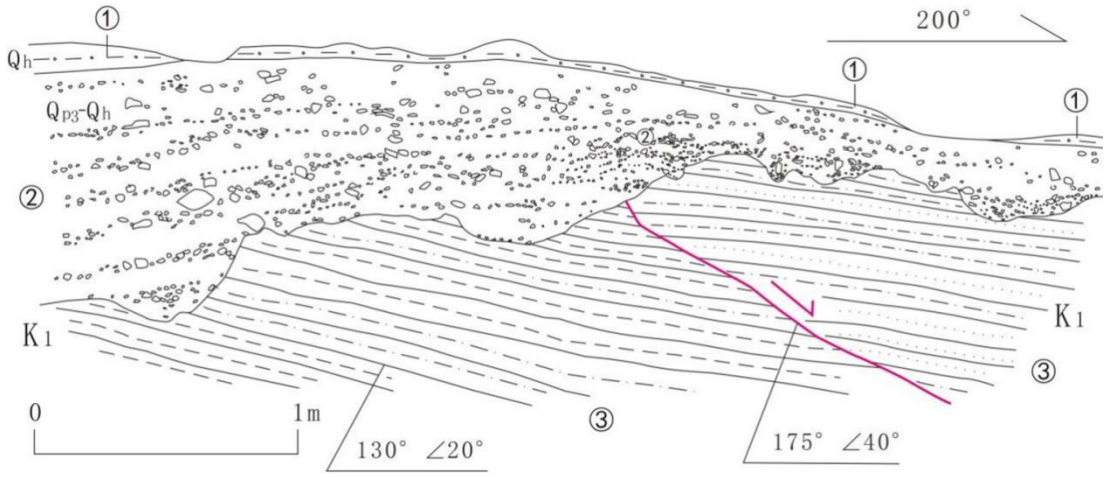
Z_6 测线沿目标区东侧的一条北北西向道路施测，解释出 Fp_6 一个断点。前述的断点 Fp_1 和 Fp_3 地貌上均表现为北高南低的缓坡状，而断点 Fp_6 一带地貌面平整，沿断点 Fp_6 向东调查，地貌上亦无任何显示。

在测线西侧约 100m，有一条与测线平行延伸的人工地质剖面，长约 785m，高度一般为 4～6m。剖面中出露地层为下白垩统泥岩、砂岩、砾岩，呈现出褐红色、灰绿色、灰白色。顶部为厚度约 1m 的第四系砂砾石、砂土层。K_1 地层总体倾向北，倾角 40°～70°，在靠近剖面北端一带产状变为向南南东缓倾，倾角 20°。对地质剖面进行详细观察，仅在断点 Fp_6 西侧发现断层。

图 3.3-7 是断层剖面照片（图 3.3-7a）和素描图（图 3.3-7b），断层向南倾斜，倾角 40° 左右。断层发育在 K_1 地层中，上盘为灰绿色，下盘呈棕褐、褐红色，断层被层①和层②覆盖。层①为褐灰色含细砾粉土，较松散，厚度 10cm 左右，形成时代为全新世。层②为浅灰色砾石层，半固结，最大厚度 1m 左右，与乌兰忽洞探槽剖面岩性特征和测年结果进行对比，其形成时代应为晚更新世晚期至全新世早期。



a　断层剖面照片



b　断层剖面图

图 3.3-7　Fp_6 断点断层照片和剖面图

①褐灰色含细砾粉土，较松散，厚度 10cm 左右；②浅灰色砾石层，半固结，最大厚度 1m 左右；③下白垩统泥岩、泥质砂岩、砂岩。断层上盘为灰绿色，下盘呈棕褐、褐红色

4、断层活动基本特征的讨论

以上对目标区内浅层地震勘探解释的 3 个断点均进行了槽探揭露，对断层剖面进行了分析。其活动特征可归纳为以下几点：

①断点 Fp_1 和断点 Fp_3 地貌上均表现为北高南低的缓坡状，坡角小于 10°，断点 Fp_6 地貌上无任何显示。目标区断层微地貌特征明显不同于色尔腾山山前断裂全新世活

动段。

②目标区标区第四系厚度一般小于 4m，局部地段大于 4m。个别地段第四系厚度仅在 1m 左右，均未被断层断错。另外，有一条人工开挖的南北向埋设管线沟槽长度约 600m，深 4m 左右。沟槽南段跨过断层，揭露的第四系厚度 4m 左右，但 K_1 地层尚未揭露出来。第四系主要为浅红色、浅灰色粉土、黏土夹砂砾石层，呈半固结状态，较硬，未被断层断错，断层应位于下伏的 K_1 地层中。目标区一带未发现有早第四纪堆积，揭露的最老地层形成时代与色尔腾山山前断裂其他探槽地层岩性和测年结果进行对比，并参考固阳幅 1:20 万《区域地质测量报告》对第四系的描述，认为该地层的形成时代应为晚更新世晚期至全新世早期。断层最新活动时代至少应在全新世之前。由于缺少年龄样测试结果，虽然通过探槽开挖判断断层只断错了晚更新世地层，但由于缺少测年资料，从保守考虑，认为该断裂段的最新活动时代为全新世。

③浅层人工地震勘探解释的断层总断距小于 5m，地震剖面断层特征不明显，反映出断层活动强度较弱，这与探槽揭露的断层剖面特征相吻合。

总之，从保守考虑，认为目标区断层段是一条全新世活动断层。

3.4 目标区断裂活动性鉴定

通过地质资料及前人工作成果收集等，并结合对目标区范围内开展的 6 条控制性浅层人工地震勘探测线及槽探等结果显示，目标区范围内存在活动断层色尔腾山山前断裂。综合浅层地震勘探和槽探结果显示，目标区内的色尔腾山山前断裂判断为全新世活动断裂（表 3.4.1）。

本次项目综合利用地质调查、浅层地震勘探和槽探相结合的方法确定了目标区范围内色尔腾山山前断裂的精确位置。该断裂属于全新世活动断层，具备发生地表破裂性地震的能力，因此依据《区域性地震安全性评价大纲（试行）》有关规定，需要确定活动断层地表变形带和未来地震的破裂范围。

地震勘探和槽探等研究显示色尔腾山山前断裂为一条走向近东西、倾向南的正断层，第四纪时期有明显活动。判断该断裂在全新世有过活动，同时认为该断裂最大潜在地震震级为 7.0 级。而 7 级地震一般会产生同震地表破裂，因此推断色尔腾山山前断裂应该具备发生地表破裂性地震的可能性。同时根据前人（江娃利，2002）总结，色尔腾山山前断裂东段的平均同震位移在 3m 左右，而根据本次工作对该断裂东段的

研究，其垂直位移在 2-4m 左右，那么可大致推断出，该断裂东段在全新世以来的最大垂直滑动速率为 0.33 mm/a 左右。

同时认为除色尔腾山山前断裂外在目标区内无其他隐伏断裂存在，并给出了目标区内活动断层条带状分布图（1:10000 比例尺）（图 3.4-1），并按照全新世活动断裂提供设防参数。

表 3.4.1 目标区断裂活动性评价一览表

编号	断裂名称	区内长度/km	产状	性质	同震位错(m)	最大震级	避让带宽度(m)	滑动速率（mm/a）	最新活动时间
F1	色尔腾山山前断裂	8.5	NWW/S∠40-60°	正断	3	7.0	200	0.33	Q_h

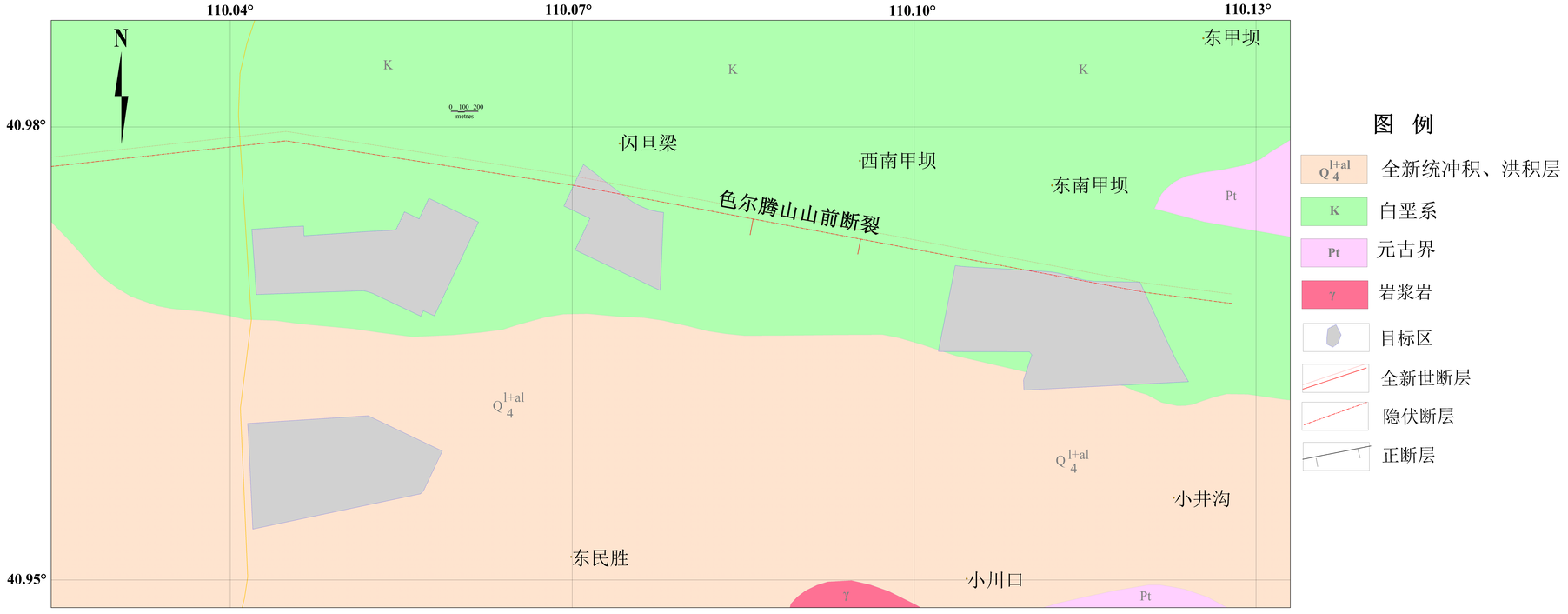


图3.4-1 目标区内活动断层条带状分布图

第四章 地震工程地质条件勘测

为合理确定场地地震动参数及评价场地地震地质灾害，勘测与分析场地工程地震地质条件是其必要的前提工作。场地工程地震地质条件是指对场地地震效应产生影响的场地条件，主要包括场地内及附近地区的工程地质、水文地质、地形地貌、地质构造条件及场地土体物理与力学特性等。根据《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）要求，场地工程地震地质条件勘测的主要工作内容包括场地钻探、场地土体物理与力学特性测试、编制相关的工程地质图表和综合评价场地特性等。

根据目标区工程地质条件和目标区建设工程的功能布局规划，对目标区场地合理布设控制性钻孔，控制孔的空间间隔均小于700m，开展各控制孔工程地质条件勘探和剪切波速测试，确定每个钻孔场地建筑类别。目标区共布设15个控制性钻孔，选取8个典型钻孔的28组土样进行动三轴试验和土工试验，分别得到典型钻孔土样的动剪切模量比和阻尼比随剪应变的变化参数、典型钻孔土样的土工试验参数。

包头市雨辰地震工程技术服务有限公司完成目标区场地工程地质钻探、波速测试和土工常规样品采集，委托河北极致地震预防服务有限公司完成典型钻孔土样的动三轴试验。

4.1 场地概况

4.1.1 项目概况

内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园（以下简称目标区）位于内蒙古自治区包头市市固阳县金山工业园区，交通便利，地理位置优越。目标区工程场地由地块一至地块四4个地块组成，共占地约3.23km^2。各地块位置见图4.1-1，面积见表4.1-1。

目标区基本地震动峰值加速度值为0.20g，设计地震分组为第二组。

表 4.1-1 内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价对象面积表

地块	地块面积（km^2）	总面积（km^2）
地块一	0.827	3.23
地块二	0.369	
地块三	1.167	
地块四	0.862	

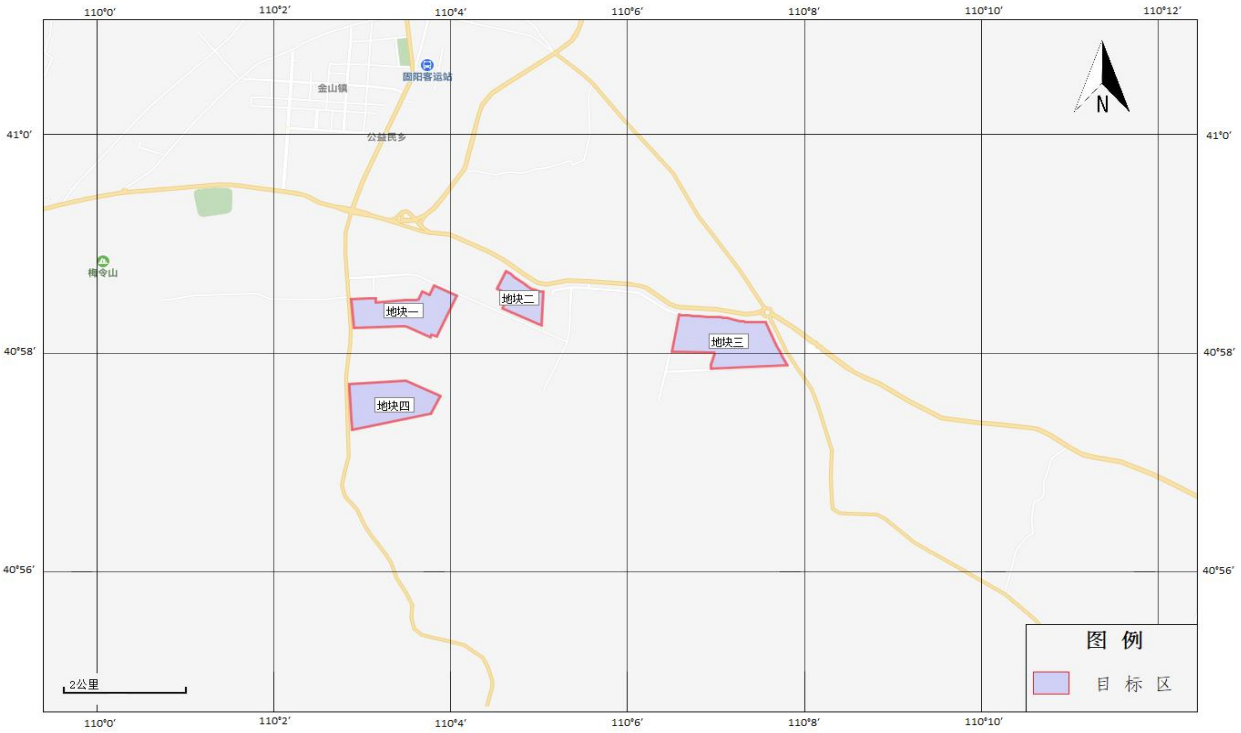


图4.1-1 目标区各区块位置分布图

4.1.2 场地地形、地貌与地下水

根据收集目标区范围历年有关项目勘察报告，并结合本次现场调查，目标区场地位于内蒙古高原的大青山段，属低山丘陵地貌。场地现状为已建工厂及未建区。目标区总体地势有一定起伏，局部较平坦或经人工平整，地形整体呈现北高南低、东高西低的趋势（照片4.1.2-1）。勘察期间场地未见地下水。



地块一西南角（镜像 EN 65°）



地块一西北角（镜像 ES 120°）



镜像为 ZK3 钻孔场地及附近（镜像 ES 124°）



镜像为 ZK2 钻孔场地及附近（镜像 S 200°）



地块二西北角（镜像 ES 140°）



地块二东南角（镜像 WN 325°）



地块三西北角（镜像 ES 115°）



地块三东北角（镜像 W 260°）



镜像为地块四 ZK13、ZK15 钻孔场地及附近（镜像 W180°）

照片4.1.2-1 目标区场地地形地貌

4.2 土层场地勘测

为揭示土层覆盖场地岩土层状、下伏岩土性质、地下水位、岩土物性，确定场地类别等工程地质条件，在已确定的土层覆盖场地范围内布设了地震勘测钻孔，钻孔总数15个，钻探深度20.0~39.0米不等。钻孔平面布置见图4.2-2，其中地块一有zk1、zk2、zk3、zk4共4个钻孔，地块二有zk5、zk6共2个钻孔，地块三有zk7、zk8、zk9、zk10、zk11共5个钻孔，地块四有zk12、zk13、zk14、zk15共4个钻孔。

根据现场钻孔揭露地层情况，选取能够控制目标区总体地层的钻孔zk1、zk3、zk4、zk6、zk8、zk10、zk13、zk14为典型钻孔进行取样。各钻孔经纬度见表4.2-1，钻孔位置分布见图4.2-1。

表 4.2-1　各钻孔经纬度坐标一览表

孔号	经度（°）	纬度（°）	钻孔深度 m	孔号	经度（°）	纬度（°）	钻孔深度 m
zk1	110.0435257	40.97212197	34	zk9	110.1173258	40.96846326	20
zk2	110.0496411	40.96964315	39	zk10	110.1125265	40.96339297	20
zk3	110.0573874	40.96909228	37	zk11	110.1219234	40.96385953	32
zk4	110.0590825	40.97333704	31	zk12	110.0426888	40.95684251	37
zk5	110.0731587	40.97429289	30	zk13	110.0486648	40.9592408	34
zk6	110.0749961	40.97203749	30	zk14	110.0564861	40.9578148	30
zk7	110.1040578	40.96593284	37.6	zk15	110.0490832	40.955222	28
zk8	110.1089883	40.96862816	37.6				

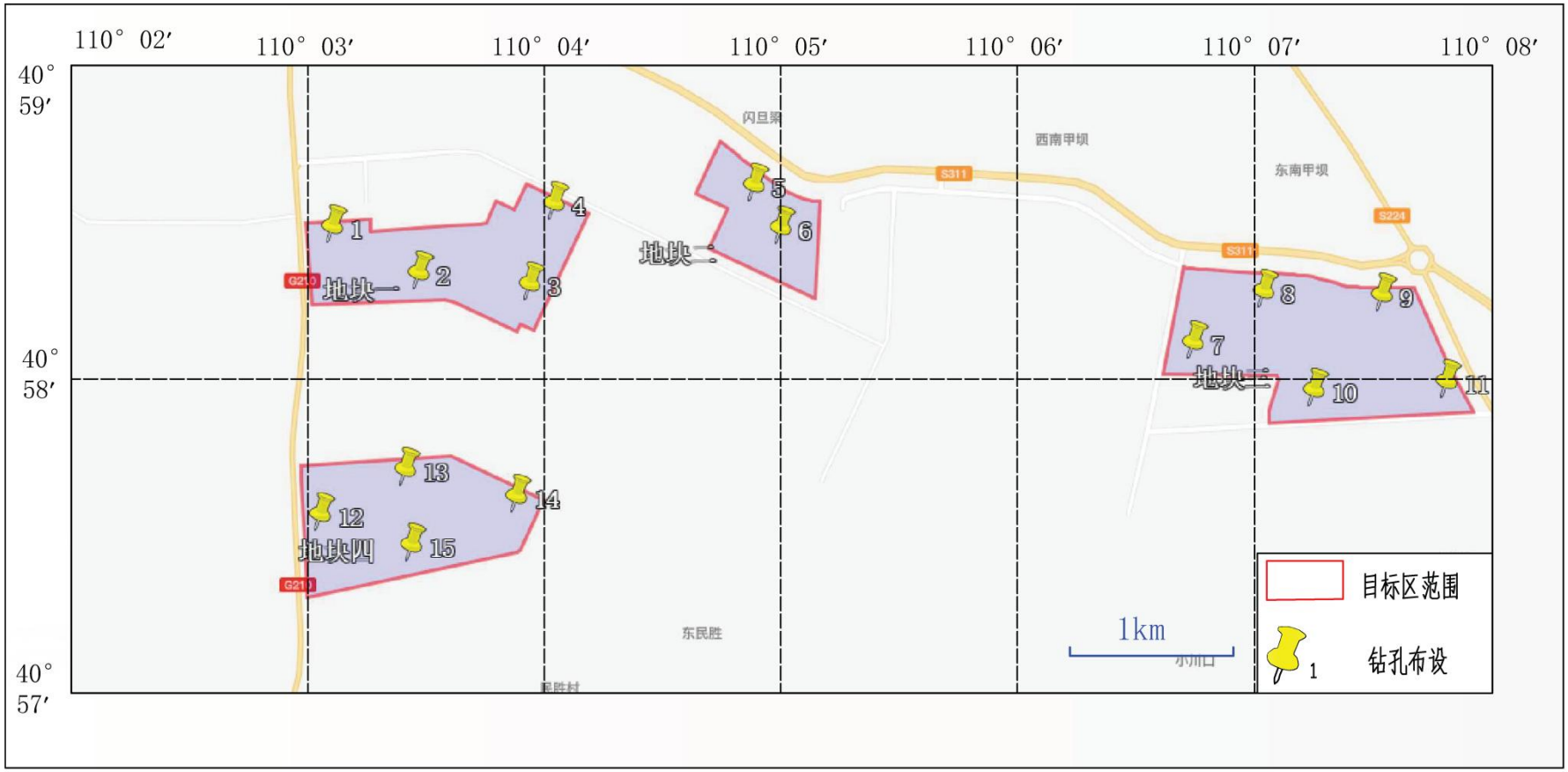


图4.2-1　钻孔位置分布图

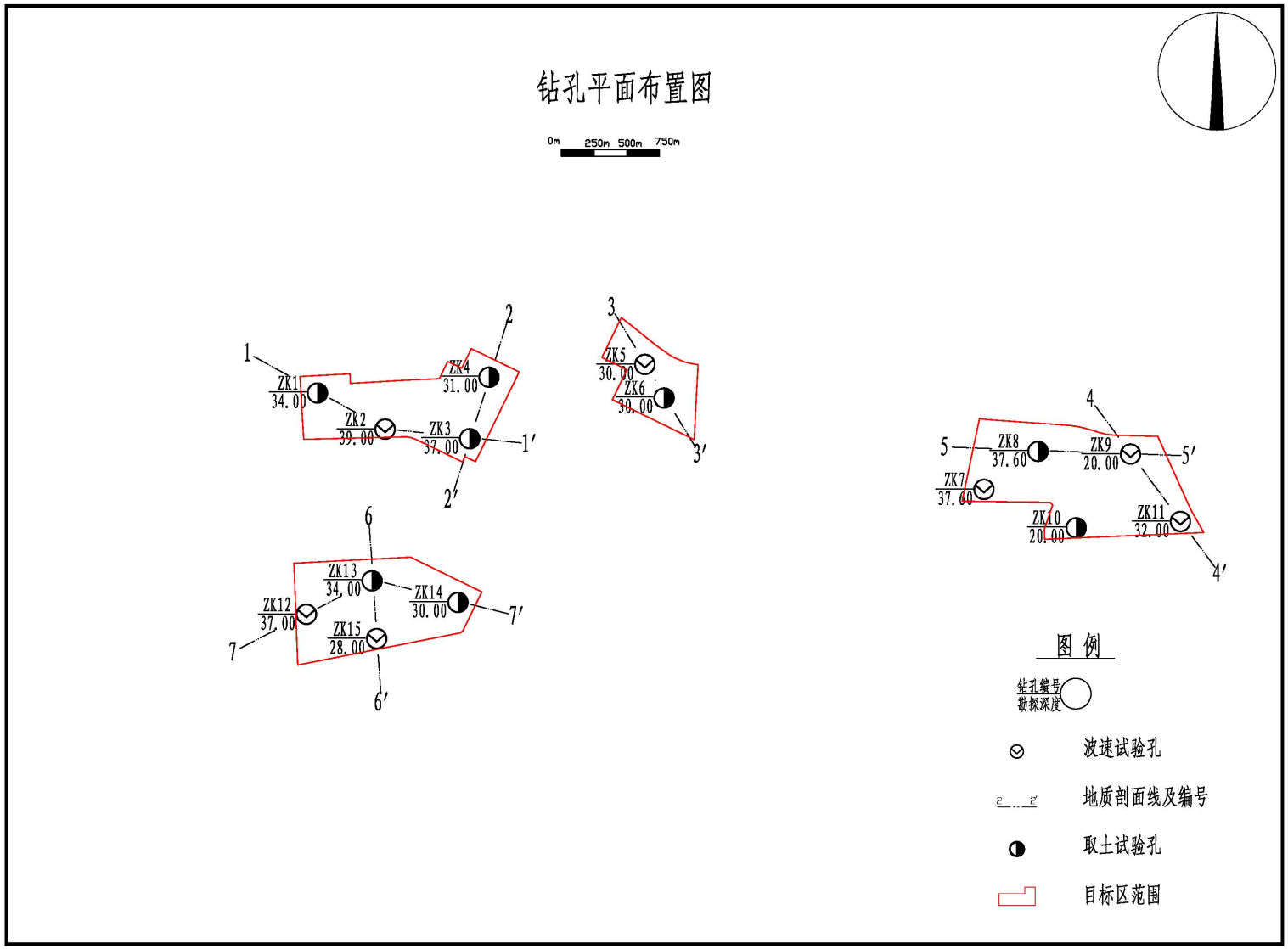


图4.2-2　钻孔平面布置图

4.2.1 钻探勘察

本次波速测试孔采用钻探方法揭露地层，采用标准贯入试验手段对深度30米以上土层进行原位测试，并在钻孔中取土试样。具体施工过程与要求如下：

（1）钻探施工共投入Dpp-100型汽车钻机3台。5m以上采用干法钻进，5m以下采用泥浆护壁回转钻进；

（2）现场原状土试样的采取，采用薄壁取土器静力连续压入取土法，原状土样质量等级Ⅰ级；扰动土试样采用标准贯入取土器取土，塑料袋密封；

（3）标准贯入试验采用自动脱钩落锤装置，操作严格遵守《岩土工程勘察规范》；

（4）室内常规土工试验与土动力学试验严格遵守《土工试验方法标准》；

（5）场地钻探点使用南方银河1RTK测量坐标，采用国家2000坐标系统，1985黄海高程，并将其实际位置投影在钻孔平面布置图上；

（6）钻孔勘探现场施工与波速测试过程见后附《钻探施工照片》（图4.2.1-1）。

目标区钻孔土层岩性特征及分布规律见钻孔柱状图4.2.1-2（共计15个钻孔），目标区给出了不同方向的控制性综合工程地质剖面图4.2.1-3～4.2.1-9，室内土工试验结果见图4.2.1-10～4.2.1-11，目标区三维地质模型见图4.2.1-12～4.2.1-15。


HUAWEI Mate 30 5G
SuperSensing Camera | LEICA


vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/11 17:45

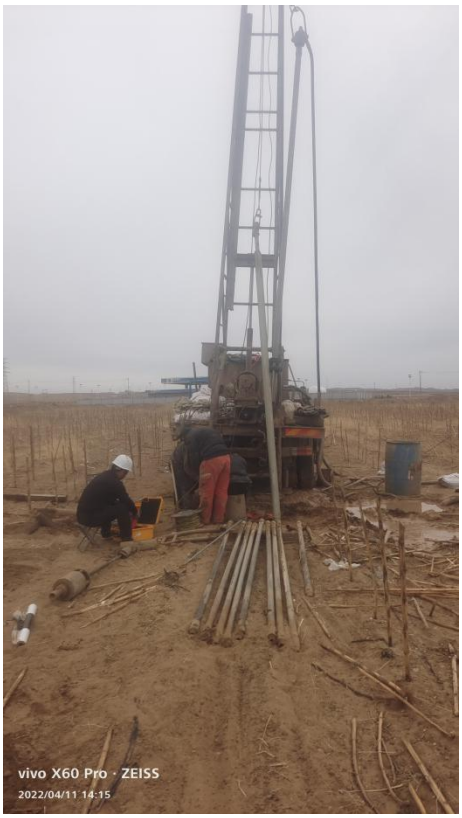
ZK1




vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/11 16:49

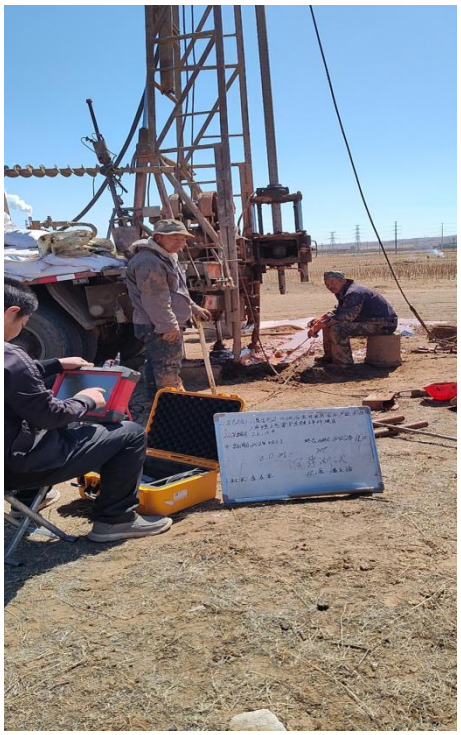
ZK2





ZK3





ZK4


HUAWEI Mate 30 5G
SuperSensing Camera | LEICA


vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/08 19:34

ZK5


SuperSensing Camera | LEICA

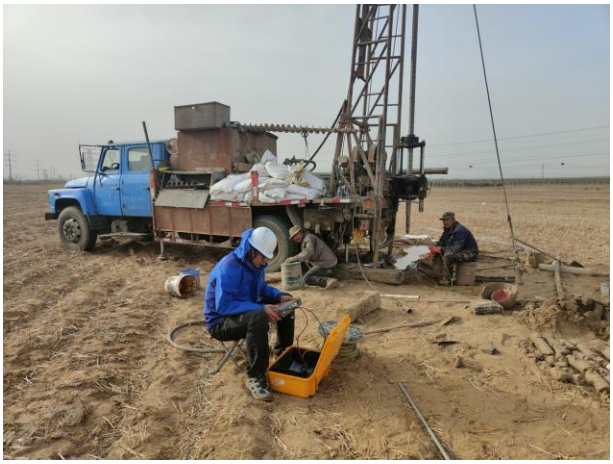

vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/09 18:52

ZK6





ZK7





ZK8


HUAWEI Mate 30 5G
SuperSensing Camera | LEICA


vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/10 19:36

ZK9


HUAWEI Mate 30 5G
SuperSensing Camera | LEICA


vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/10 12:55

ZK10




vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/10 19:02

ZK11


vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/12 16:37

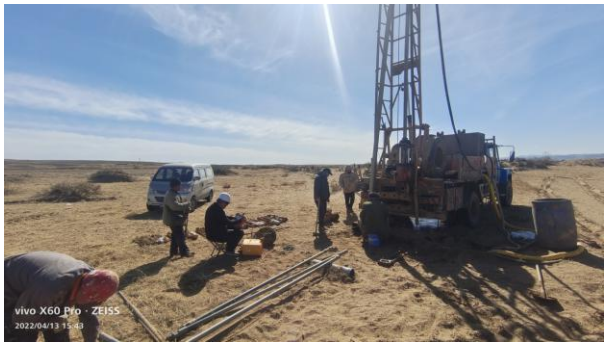


ZK12


HUAWEI Mate 30 5G
SuperSensing Camera | LEICA


vivo X60 Pro · ZEISS
2022/04/12 17:52

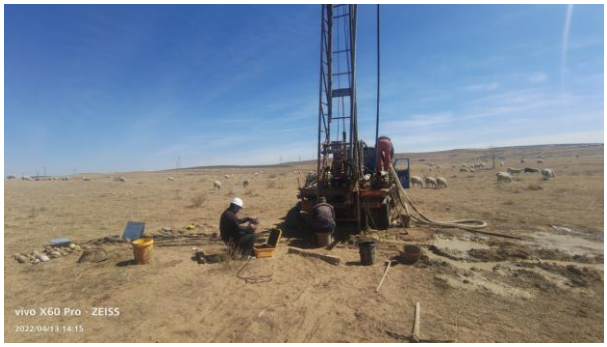
ZK13


vivo X60 Pro · ZEISS


HUAWEI Mate 30 5G
SuperSensing Camera | LEICA

ZK14





ZK15

图 4.2.1-1 钻探施工照片

4.2.2 场地土层结构

根据此次勘察钻孔深度所揭露的地层范围内，主要分布有第四系全新统冲洪积（Q_4^{al+pl}）粉土、粉砂、粉质粘土、粗砂、砾砂；白垩系（K）砂岩、泥岩、砾岩；太古代（Ar）片麻岩。各土层地层结构及岩性特征具体如下：

1-1 层粉砂:以褐黄色为主，矿物成分以长石、石英为主，普遍含土量大，局部颗粒较均匀。在 ZK1、ZK2、ZK10、ZK14、ZK15 钻孔中有揭露。厚度:1.70～5.50m,平均 2.76m;层底标高:1302.56～1386.98m,平均 1328.32m;层底埋深:1.70～5.50m,平均 2.76m。

1-2 层粉土:黄色,稍密，稍湿，土质均匀，手搓有砂感。目标区地块一、地块三、地块四内均有分布，厚度:0.90～4.50m,平均 2.10m;层底标高:1306.80～1373.26m,平均 1334.73m;层底埋深:0.90～5.00m,平均 2.88m。

1-3 层粉质粘土:黄红色，可塑-硬塑，韧性强，干强度高，局部含钙质结核。目标区 ZK3、ZK6、ZK13、ZK14 有揭露，厚度:1.80～8.00m,平均 4.87m;层底标

高:1287.60～1333.76m,平均 1305.76m;层底埋深:3.30～24.20m,平均 15.32m。

1-4 层粗砂:黄褐色,中密-密实，稍湿，砂粒矿物成分以长石、石英为主。目标区 ZK6、ZK11、ZK14、ZK15 有揭露，厚度:1.50～5.20m,平均 2.65m;层底标高:1315.66～1397.40m,平均 1341.28m;层底埋深:1.50～7.20m,平均 3.82m。

1-5 层砾砂:黄褐色,密实，稍湿，局部含圆砾、角砾，砂粒矿物成分以长石、石英为主。目标区除地块二普遍分布，厚度:0.70～16.50m,平均 5.42m;层底标高:1292.80～1385.88m,平均 1321.21m;层底埋深:3.00～19.00m,平均 10.07m。

1-6 层填土:黄褐色,松散，稍湿，以粉砂、角砾、块石为主。目标区仅 ZK9 钻孔中分布，厚度:2.80m;层底标高:1385.60m;层底埋深:2.80m。

2-1 层泥岩:棕红色，泥质结构，层状构造，裂隙较发育。目标区普遍分布，厚度:0.90～13.40m,平均 5.43m;层底标高:1280.86～1392.90m,平均 1327.40m;层底埋深:4.20～29.70m,平均 18.02m。

2-2 层砂岩:黄褐色、灰白色、灰蓝色,砂粒矿物成分以长石、石英为主，泥质胶结，层状构造。目标区普遍分布，厚度:0.50～18.10m,平均 3.80m;层底标高:1291.26～1385.90m,平均 1322.95m;层底埋深:6.00～24.30m,平均 15.70m。

2-3 层砾岩:黄褐、灰色,砂砾结构,矿物成分以石英、长石为主,。目标区零星分布，厚度:2.50～14.50m,平均 7.92m;层底标高:1276.06～1326.58m,平均 1301.99m;层底埋深:12.80～32.00m,平均 20.92m。

3 层片麻岩:灰绿、灰褐色，变晶结构，片麻状构造，主要矿物成分以长石、石英为主。目标区仅 ZK7、ZK10、ZK14 钻孔中揭露，厚度:3.40～17.30m,平均 9.95m;层底标高:1344.57～1382.48m,平均 1365.88m;层底埋深:7.10～30.10m,平均 16.25m。

各层土的分布和埋藏条件详见《钻孔柱状图》（后附）。

从后附《工程地质剖面图》中可以看出，该场地地层结构较为复杂，分布基本稳定、连续。布设的地震钻孔能够代表整个场地的工程地震地质条件。

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK1		
孔口高程(m)	1308.06	坐标(m)	X = 419492.43	开工日期	2022.4.11	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4537917.97	竣工日期	2022.4.11	测量水位日期	2022.4.12

地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数(击)	稳定水位深度(m)	横波波速(m/s)
①$_1$	Q_4^{al+pl}	1302.6	5.50	5.50		粉砂:褐黄;稍密-中密;稍湿;颗粒均匀,2.0m以下为褐黄色,含10%粉土局部夹落粗砂,含10%粉砂。	1 1.00-1.20 2 4.00-4.20	=9.00 1.50-1.80 =14.00 3.00-3.30		
②$_{1a}$	K	1294.1	14.00	8.50		强风化泥岩:褐红;泥质结构,层状构造,泥质胶结,岩芯呈柱状,局部为灰色,节理裂隙较发育。	3 7.00-7.20 4 9.00-9.20 5 13.00-13.20			
②$_{2a}$		1291.3	16.80	2.80		强风化砂岩:灰色;细粒结构,层状构造,主要矿物成为长石,石英,泥质胶结,岩芯呈柱状。	6 15.00-15.20			
②$_{3a}$		1286.3	21.80	5.00		强风化砾岩:灰色;砂粒结构,粗砾结构,层状构造,主要矿物成长石、石英,岩芯呈柱状,手捏易碎。	7 20.00-20.20			
②$_{1a}$		1280.9	27.20	5.40		强风化泥岩:棕红色;泥质结构,层状构造,泥质胶结,节理裂隙较发育,岩芯呈柱状,26-27m为灰蓝色。	8 23.00-23.20			
②$_{3a}$		1276.1	32.00	4.80		强风化砾岩:灰红色;砂粒结构,层状构造,主要矿物成分为长石、石英,岩芯呈柱状。				
②$_{1a}$		1274.1	34.00	2.00		强风化泥岩:褐色;泥质结构,层状构造,泥质胶结,节理裂隙较发育,岩芯呈柱状。	9 33.00-33.20			

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	1	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK2		
孔口高程(m)	1313.82	坐标(m)	X = 420004.18	开工日期	2022.4.11	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4537637.07	竣工日期	2022.4.11	测量水位日期	2022.4.12

地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图 1:250	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	稳定水位深度(m)	横波波速(m/s) 150 300 450 600
①$_1$		1311.8	2.00	2.00		粉砂:黄褐;稍密;稍湿;含土10%,稍有粘性,岩芯散状。		=9.00		
①$_3$	Q_4^{al+pl}	1295.3	18.50	16.50		砾砂:黄褐;中密;稍湿;粗砂充填,级配良好。	1 4.80-5.00 2 7.80-8.00 3 10.80-11.00 4 15.80-16.00	1.50-1.80		
②$_{1a}$	K	1286.3	27.50	9.00		强风化泥岩:灰绿;岩石风化强,组织大部分破坏,岩石节理裂隙较发育,岩芯呈半岩半土状,碎块状,短柱状,胶结少呈碎屑。	5 21.30-21.50 6 24.80-25.00			
②$_{1b}$		1274.8	39.00	11.50		中风化泥岩:红褐;组织结构部分破坏,岩石节理裂隙呈碎块、短柱状,胶结少呈岩石碎屑,局部夹碎屑岩薄层。	7 30.30-30.50 8 33.30-33.50 9 36.30-36.50 10 38.80-39.00			

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	2	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK3		
孔口高程(m)	1318.42	坐标(m)	X = 420655.57	开工日期	2022.4.11	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4537568.83	竣工日期	2022.4.11	测量水位日期	2022.4.12

地层编号	时代成因	层底高程	层底深度	分层厚度	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	剪波速 (m/s)
①$_2$		1317.5	0.90	0.90		粉土:黄;稍密;稍湿;土质均匀,手搓有砂感,无粘性。		=10.00	
①$_3$	Q_4^{al+pl}	1302.9	15.50	14.60		砾砂:黄褐;密实;稍湿;颗粒不均匀,粗砂充填,级配一般,最大粒径约15mm约占15%,粗砂,粉土充填。	1 3.00-3.40 2 7.00-7.40 6 11.40-11.80	0.50-0.80 =43.00 6.50-6.80	
①$_3$		1297.2	21.20	5.70		粉质粘土:灰白;硬塑;切面光滑有光泽,手搓成条有韧性,局部夹细砂薄层。	16 18.20-18.40		
②$_{1a}$	K	1293.9	24.50	3.30		强风化泥岩:棕红;泥质结构,块状构造,泥质胶结,岩芯呈柱状,锤击易碎成块状。	8 23.80-24.00		
②$_{1a}$		1281.4	37.00	12.50		中风化泥岩:棕红灰;泥质结构,层状构造,泥质胶结,岩芯呈长柱状,锤击不易碎。	10 27.80-28.00 13 31.00-31.40 14 34.00-34.40		

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	3	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK4		
孔口高程(m)	1322.78	坐标(m)	X = 420803.33	开工日期	2022.4.11	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4538038.69	竣工日期	2022.4.11	测量水位日期	2022.4.12

地层编号	时代成因	层底高程	层底深度	分层厚度	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	剪波波速 (m/s) 150 300 450 600
①2	Q_4^{al+pl}	1320.2	2.60	2.60		粉土:黄色;中密;稍湿;土质均匀,手捏有砂感。	1 1.80-2.00	=12.00 1.50-1.80	
①3		1319.5	3.30	0.70			2 3.00-3.20		
②h		1318.3	4.50	1.20		砾砂:黄白;密实;稍湿;颗粒不均匀,全部为角砾,含有块石约30mm的砾石,级配良好。			
②h	K	1308.4	14.40	9.90		全风化泥岩:棕红;结构和构造基本破坏,泥质胶结,含少量砾。 强风化泥岩:棕红;泥质结构,层状构造,泥质胶结,岩芯软软呈柱状,锤击易碎。	4 6.00-6.40 5 10.00-10.40 7 13.00-13.40		
②h		1306.0	16.80	2.40		中风化砂岩:灰色;泥砂结构,层状构造,泥质胶结,含砾,岩芯较软呈柱状,锤击易碎。	9 16.00-16.40		
②h		1291.8	31.00	14.20		中风化泥岩:棕红;泥质结构,层状构造,泥质胶结,岩芯呈长柱状,锤击不易断裂,脱水后易开裂。	11 20.00-20.60 12 23.00-24.00 15 26.00-26.40 17 29.00-29.40		

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	4	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK5		
孔口高程(m)	1339.38	坐标(m)	X = 421989.27	开工日期	2022.4.8	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4538132.18	竣工日期	2022.4.8	测量水位日期	2022.4.9

地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图 1:200	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	稳定水位深度(m)	横波波速(m/s) 150 300 450 600
②$_{4}$	K	1326.6	12.80	12.80		全风化砾岩:黄褐;稍湿;原岩结已基本破坏,且尚可辨认,有残余结构强度,泥质胶结,岩芯呈柱状,10m以下为灰色。	1 2.80-3.00 2 7.00-7.20 3 10.00-10.20	>50.00 1.50-1.80 >50.00 3.00-3.30		
②$_{4}$		1323.6	15.80	3.00		强风化砂岩:黄褐;稍湿;岩芯呈砂状,泥质胶结。	4 13.00-13.20			
②$_{4}$		1318.9	20.50	4.70		强风化泥岩:黄褐;稍湿;泥质结构,层状构造,泥质胶结,节理裂隙较发育,岩芯呈柱状和块状。	5 16.00-16.20 6 19.00-19.20			
②$_{4}$		1318.4	21.00	0.50						
②$_{4}$		1315.9	23.50	2.50		强风化砂岩:黄褐;稍湿;岩芯呈块状,砂质结构。	7 22.00-22.20			
②$_{4}$		1309.4	30.00	6.50		强风化砾岩:灰色;稍湿;砂砾结构,层状构造,主要矿物成分为长石、石英,岩芯呈长柱状。 中风化泥岩:灰色;稍湿;泥质结构,层状构造,节理裂隙较发育,岩芯呈柱状。	8 25.00-25.20 9 28.00-28.20			

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	5	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK6		
孔口高程(m)	1337.06	坐标(m)	X = 422141.26	开工日期	2022.4.9	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4537880.07	竣工日期	2022.4.9	测量水位日期	2022.4.10

地层编号	时代成因	层底高程	层底深度	分层厚度	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	横波波速 (m/s)
①4	Q4al+pl	1335.6	1.50	1.50		粗砂: 黄褐; 中密; 稍湿; 级配较好, 颗粒较均匀, 主要矿物成分为长石、石英, 含10%黏粒, 表层0.30m以上为耕土层。	1 1.10-1.30 1.80-2.00	=13.00 0.70-1.00 =12.00	
①3		1333.8	3.30	1.80					
②1		1332.9	4.20	0.90		粉质粘土: 杂色; 稍湿; 可塑; 韧性一般, 干湿度差, 含10%砾石。		3.00-3.30 >50.00	
②2	K	1329.1	8.00	3.80		全风化泥岩: 黄绿; 原岩结构已基本破坏且尚可辨认, 有残余结构强度, 岩芯呈砾状和半石土状。	3 4.80-5.00 4 7.00-7.20	4.30-4.60	
②3		1324.8	12.30	4.30		全风化砂岩: 黄灰绿; 细粒结构, 层状结构, 主要矿物成分为长石、石英, 岩芯呈砾状和碎块状。	5 10.00-10.20		
②4		1320.1	17.00	4.70		强风化泥岩: 黄褐灰; 泥质结构, 层状结构, 泥质胶结, 节理裂隙较发育, 岩质较软, 岩芯呈柱状。局部中风化短柱状。 强风化砂岩: 黄褐; 砂质结构, 层状结构, 岩芯呈块状和短柱状手掰不易碎, 锤击易碎。	6 13.00-13.20 7 15.00-15.20		
②5		1316.3	20.80	3.80		强风化泥岩: 灰色; 泥质结构, 泥质胶结, 岩芯呈柱状, 锤击不易碎。	8 18.00-18.20 9 20.00-20.20		
②6		1307.1	30.00	9.20		中风化泥岩: 灰-黑灰; 泥质结构, 层状结构, 泥质胶结, 岩质较软, 岩芯呈柱状。	10 29.00-29.20		

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	6	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK7		
孔口高程(m)	1374.67	坐标(m)	X = 424580.50	开工日期	2022.4.9	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4537176.62	竣工日期	2022.4.9	测量水位日期	2022.4.10

地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数(击)	剪切波速(m/s)
①$_2$	Q_4^{al+pl}	1373.1	1.60	1.60		粉土:黄色;稍密;稍湿;表层0.3m为砾砂,手捏有砂感。		=12.00 0.90-1.20	
③$_{4a}$	A_r	1361.9	12.80	11.20		全风化片麻岩:灰绿;结构构造基本破坏,岩芯呈土夹砾砂状。	1 3.00-3.20 2 5.90-6.10 3 10.80-11.00	=38.00 3.00-3.30 =37.00 6.00-6.30	
③$_{3a}$		1344.6	30.10	17.30		强风化片麻岩:灰绿;鳞片粒状变晶结构,片麻状构造,岩芯较破碎,成块状或颗粒状。	4 13.80-14.00 5 17.80-18.00 6 21.80-22.00 8 28.80-29.00		
③$_{2a}$		1337.1	37.60	7.50		中风化片麻岩:灰绿;鳞片粒状变晶结构,片麻状构造,岩芯呈块状或短柱状,锤击不易碎。	11 33.30-33.90 12 36.30-36.90		

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	7	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK8		
孔口高程(m)	1377.76	坐标(m)	X = 424998.60	开工日期	2022.4.10	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4537471.71	竣工日期	2022.4.10	测量水位日期	2022.4.11

地层编号	时代成因	层底高程	层底深度	分层厚度	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	横波波速 (m/s)
①₂	Q_4^{al+pl}	1373.3	4.50	4.50		粉土：黄色；稍密；稍湿；土质均匀，手捏有砂感，见水无粘性，局部夹有薄层砾砂。	1 3.00-3.20	=13.00	150 300 450 600
①₃		1369.7	8.10	3.60		砾砂：黄褐；密实；稍湿；颗粒不均匀，砾砂是角砾，粗砂充填，级配一般。	3 5.00-5.40	3.10-3.40	
②ₕ	K	1368.4	9.40	1.30		强风化砂岩：灰白；泥质胶结，砂质结构，层状构造，含圆砾，手掰不易碎。	4 7.80-8.00	=38.00	
②ₕ		1355.0	22.80	13.40		强风化泥岩：棕红；泥质结构，块状构造，泥质胶结，岩芯呈柱状或块状，锤击易碎。	6 13.00-13.20	6.50-6.80	
							8 17.00-17.20		
②ₕ		1348.1	29.70	6.90		中风化泥岩：灰蓝；泥质结构，块状构造，泥质胶结，岩芯呈长柱状，锤击易碎呈块状。	10 24.00-24.40		
							13 27.80-28.00		
②ₕ		1340.2	37.60	7.90		微风化泥岩：灰蓝；泥质结构，块状构造，泥质胶结，岩芯呈长柱状，锤击易碎呈块状，脱水后易开裂。	14 32.40-32.60		
							16 36.80-39.00		

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	8	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK9		
孔口高程(m)	1388.41	坐标(m)	X = 425700.24	开工日期	2022.4.10	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4537446.27	竣工日期	2022.4.10	测量水位日期	2022.4.11

地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数(击)	稳定水位深(m)/水位日期	横波波速(m/s)
①$_4$		1385.6	2.80	2.80		填土：黄褐；松散；稍湿；以粉砂、角砾、块石为主。				
②$_{1a}$	K	1381.9	6.50	3.70		全风化泥岩：棕褐色；稍湿；原岩结构已基本破坏且尚可辨认，有残余构造强度，岩芯呈黏土状和砾状，4.0m-4.6m为黄绿色。	1 5.00-5.20			
②$_{1b}$	K	1373.4	15.00	8.50		强风化泥岩：棕色；稍湿；泥质结构，层状构造，泥质胶结，节理裂隙较发育，岩芯呈柱状。	2 8.00-8.20 3 12.00-12.20 4			
②$_{2}$	K	1368.4	20.00	5.00		中风化泥岩：棕色；稍湿；泥质结构，层状构造，泥质胶结，节理裂隙较发育，钻进困难。	15.00-15.20 5 19.80-20.00			150 300 450 600

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	9	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK10		
孔口高程(m)	1389.58	坐标(m)	X = 425290.53	开工日期	2022.4.10	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4536887.28	竣工日期	2022.4.10	测量水位日期	2022.4.11

地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	稳定水位深度(m)	横波波速(m/s)
①1	Q_4^{al+pl}	1387.0	2.60	2.60		粉砂:褐黄;稍密;稍湿;级配较好,颗粒均匀,含20%粉土。	1 2.00-2.20	=10.00 1.50-1.80		200 400 600 800
①3		1385.9	3.70	1.10		砾砂:黄褐;密实;稍湿;级配好,含10%黏粒,主要矿物成分为长石、石英质。	2 3.00-3.20	=23.00 3.30-3.60		
③4		1382.5	7.10	3.40		全风化片麻岩:黄灰绿;原岩结构已基本破坏且尚可辨认,有残余结构强度,岩芯呈砂状。	3 6.00-6.20	>50.00 4.50-4.80		
③5	A_r	1374.6	15.00	7.90		强风化片麻岩:灰褐;中粒、粗粒结构,粒状构造,主要矿物成分为石英、钾长石、黑云母,含少量角闪石,岩芯呈块状和柱状,锤击易碎。	4 9.00-9.20 5 12.00-12.20	>50.00 6.00-6.30		
③6		1369.6	20.00	5.00		中风化片麻岩:灰褐;中粒、粗粒结构,粒状构造,主要矿物成分为石英、钾长石、黑云母,角闪石为主,岩芯呈柱状。	6 15.00-15.20 7 18.00-18.20			

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	10	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK11		
孔口高程(m)	1399.40	坐标(m)	X = 426082.11	开工日期	2022.4.10	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4536931.11	竣工日期	2022.4.10	测量水位日期	2022.4.11

地层编号	时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数(锤)	静力触探	横波波速(m/s)
①$_4$	Q$_4^{al+pl}$	1397.4	2.00	2.00		粗砂:黄褐;密实;稍湿;矿物成分以长石、石英为主,表层为回填土,含10%砾砂,10%角砾。		=22.00 1.20-1.50		150 300 450 600
②$_{1a}$	K	1392.9	6.50	4.50		全风化泥岩:红褐;岩石完全风化,原岩结构街基本破坏,岩心呈块状。	1 4.80-5.00			
②$_{1a}$		1387.4	12.00	5.50		强风化泥岩:红褐;原岩结构清晰可辨,层状构造,岩心呈短柱状。	2 8.80-9.00			
②$_{1a}$		1385.9	13.50	1.50		强风化砂岩:红褐;矿物成分以长石、石英为主,岩心呈碎块状,锤击易碎。	3 11.80-12.00			
②$_{1a}$		1384.4	15.00	1.50		强风化泥岩:灰绿;原岩结构清晰可辨,层状构造,岩心呈短柱状。				
②$_{1a}$		1367.4	32.00	17.00		中风化泥岩:灰;原岩结构清晰可辨,层状构造,岩心呈短柱状。	4 17.80-18.00 5 20.80-21.00 6 23.80-24.00 7 26.80-27.00 8 29.80-30.00			

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	11	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK12		
孔口高程(m)	1319.68	坐标(m)	X = 419403.40	开工日期	2022.4.12	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4536221.87	竣工日期	2022.4.12	测量水位日期	2022.4.13

地层编号	时代成因	层底高程	层底深度	分层厚度	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	稳定水位深度和测量日期	横波波速 (m/s)
②$_k$	K	1305.2	14.50	14.50		全风化砾岩：黄褐；原岩结构已基本破坏，且尚可辨认，岩心呈散状、碎块状。	1 3.40-3.60 2 5.40-5.60 3 8.30-8.50 4 11.30-11.50			150 300 450 600
②$_k$		1295.7	24.00	9.50		强风化泥岩：褐红；原岩结构部分破坏，岩心呈块状，局部呈短柱状。	5 17.30-17.50 6 20.30-20.50 7 23.80-24.00			
②$_k$		1282.7	37.00	13.00		中风化泥岩：褐红；岩心呈短柱状，锤击音脆。	8 26.80-27.00 9 29.80-30.00 10 32.80-33.00 11 35.80-36.00			

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	12	日期	2022.5.6

钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK13		
孔口高程(m)	1311.80	坐标(m)	X = 419909.43	开工日期	2022.4.12	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4536482.72	竣工日期	2022.4.12	测量水位日期	2022.4.13

地层编号	时代成因	层底高程 m	层底深度 m	分层厚度 m	柱状图 1:200	岩土名称及其特征	取样	标贯击数 (击)	稳定水位深度 m 和水位日期	横波波速 (m/s) 150 300 450 600
①$_3$	Q_4^{al+pl}	1308.8	3.00	3.00		砾砂:黄灰;密实;稍湿;分选差,表层为粉砂含植物根系,矿物成分以长石、石英为主。	1 3.00-3.20	=9.00 3.20-3.50		
①$_2$		1306.8	5.00	2.00		粉土:褐黄;稍密;稍湿;土质较均匀,粘性较强,下部含粉砂量大。	2 5.00-5.20			
①$_3$		1305.3	6.50	1.50		砾砂:黄褐;密实;稍湿;分选差,矿物成分以长石、石英为主。	3 8.00-8.20			
①$_1$		1297.3	14.50	8.00		粉质粘土:褐黄;稍湿;硬塑;有韧性,干强度高。	4 11.00-11.20			
①$_3$		1292.8	19.00	4.50		砾砂:黄褐;密实;稍湿;分选差,磨圆度中等,矿物成分以长石、石英为主,混角砾,含卵石。	5 16.00-16.20			
①$_1$		1287.6	24.20	5.20		粉质粘土:褐黄;稍湿;硬塑;韧性较强,干强度较高,局部含钙质结核。	6 19.00-19.20			
②$_{4b}$	K	1283.2	28.60	4.40		强风化泥岩:黄红;泥质结构,层状构造,泥质胶结,裂隙较发育,岩心呈柱状。	7 25.00-25.20			
②$_{4a}$		1277.8	34.00	5.40		中风化泥岩:黄红;泥质结构,层状构造,泥质胶结,裂隙较发育,岩心呈柱状。	8 30.00-30.20			

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	13	日期	2022.5.6

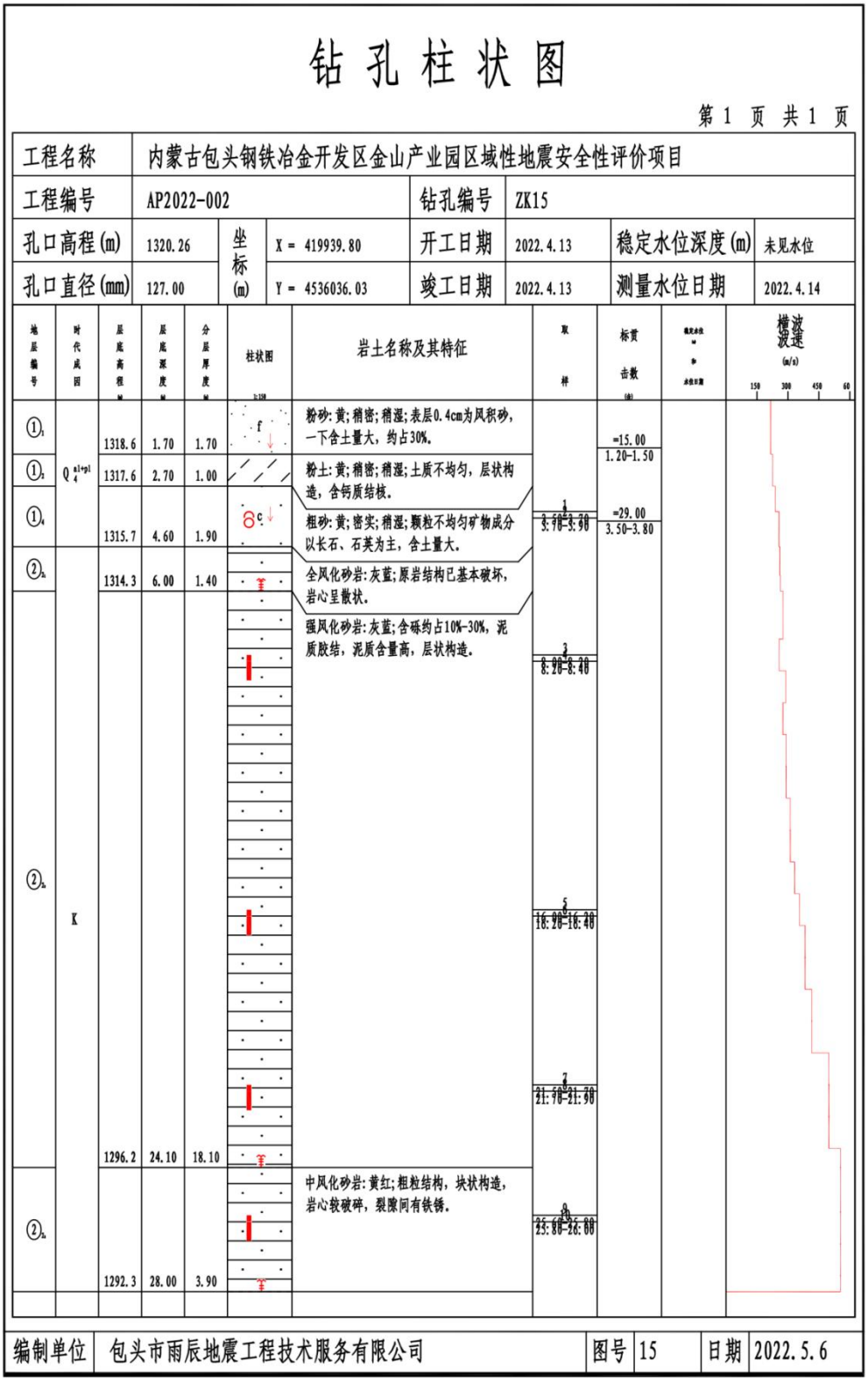
钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK14		
孔口高程(m)	1323.70	坐标(m)	X = 420566.18	开工日期	2022.4.13	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4536317.22	竣工日期	2022.4.13	测量水位日期	2022.4.14

地层编号	时代成因	层底高程	层底深度	分层厚度	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	横波波速 (m/s)
①1	Q_4^{al+pl}	1321.7	2.00	2.00		粉砂: 褐黄; 稍密; 稍湿; 颗粒均匀, 表层为风积砂, 含植物根系。		=19.00 1.50-1.80	
①4		1316.5	7.20	5.20		粗砂: 黄灰-褐黄; 中密; 稍湿; 分选较差, 磨圆度中等, 矿物成分以长石、石英为主, 局部夹粉土薄层, 局部含砾。	1 3.00-3.20 2 6.00-6.20	=17.00 3.30-3.60	
①3		1314.0	9.70	2.50		粉质粘土: 黄红; 硬塑; 韧性较强, 干强度较高, 局部含钙质结核。	3 9.00-9.20		
①5		1310.7	13.00	3.30		砾砂: 黄褐; 密实; 稍湿; 分选差, 矿物成分以长石、石英为主, 含圆砾、角砾和15%黏粒。	4 12.00-12.20		
①3		1304.7	19.00	6.00		粉质粘土: 黄红; 硬塑; 韧性强, 干强度高, 局部含钙质结核。	5 15.00-15.20 6 18.00-18.20		
②h	K	1301.7	22.00	3.00		强风化泥岩: 褐黄; 泥质结构, 层状构造, 岩心呈短柱状。	7 21.00-21.20		
②h		1299.4	24.30	2.30		强风化砂岩: 白灰; 细粒结构, 层状构造, 主要矿物成分以长石、石英为主, 岩心呈柱状, 锤击易碎。	8 23.00-23.20		
②h		1297.2	26.50	2.20		强风化泥岩: 棕红; 泥质结构, 层状构造, 节理裂隙较发育, 岩心呈柱状。	9 26.00-26.20		
③h	A_r	1293.7	30.00	3.50		强风化片麻岩: 黄褐; 片状构造, 变晶结构, 主要矿物成分为长石、石英, 岩心呈块状和短柱状。	10 29.00-29.20		

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	14	日期	2022.5.6



钻 孔 柱 状 图

第 1 页 共 1 页

工程名称	内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目						
工程编号	AP2022-002			钻孔编号	ZK15		
孔口高程(m)	1320.26	坐标(m)	X = 419939.80	开工日期	2022.4.13	稳定水位深度(m)	未见水位
孔口直径(mm)	127.00		Y = 4536036.03	竣工日期	2022.4.13	测量水位日期	2022.4.14

地层编号	时代成因	层底高程	层底深度	分层厚度	柱状图	岩土名称及其特征	取样	标贯击数	剪切波速 (m/s)
①1		1318.6	1.70	1.70		粉砂:黄;稍密;稍湿;表层0.4cm为风积砂,一下含土量大,约占30%。		=15.00 1.20-1.50	
①2	Q_4^{al+pl}	1317.6	2.70	1.00		粉土:黄;稍密;稍湿;土质不均匀,层状构造,含钙质结核。			
①4		1315.7	4.60	1.90		粗砂:黄;密实;稍湿;颗粒不均匀矿物成分以长石、石英为主,含土量大。	4 3.90-3.90	=29.00 3.50-3.80	
②5		1314.3	6.00	1.40		全风化砂岩:灰蓝;原岩结构已基本破坏,岩心呈散状。			
②6	K	1296.2	24.10	18.10		强风化砂岩:灰蓝;含砾约占10%-30%,泥质胶结,泥质含量高,层状构造。	3 8.20-8.40 5 16.90-16.40 7 21.70-21.90		
②8		1292.3	28.00	3.90		中风化砂岩:黄红;粗粒结构,块状构造,岩心较破碎,裂隙间有铁锈。	8 25.80-26.00		

编制单位	包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	图号	15	日期	2022.5.6

图 4.2.1-2 钻孔柱状图

工 程 地 质 剖 面 图

水平比例：1:5000
垂直比例：1:500

1-----1'

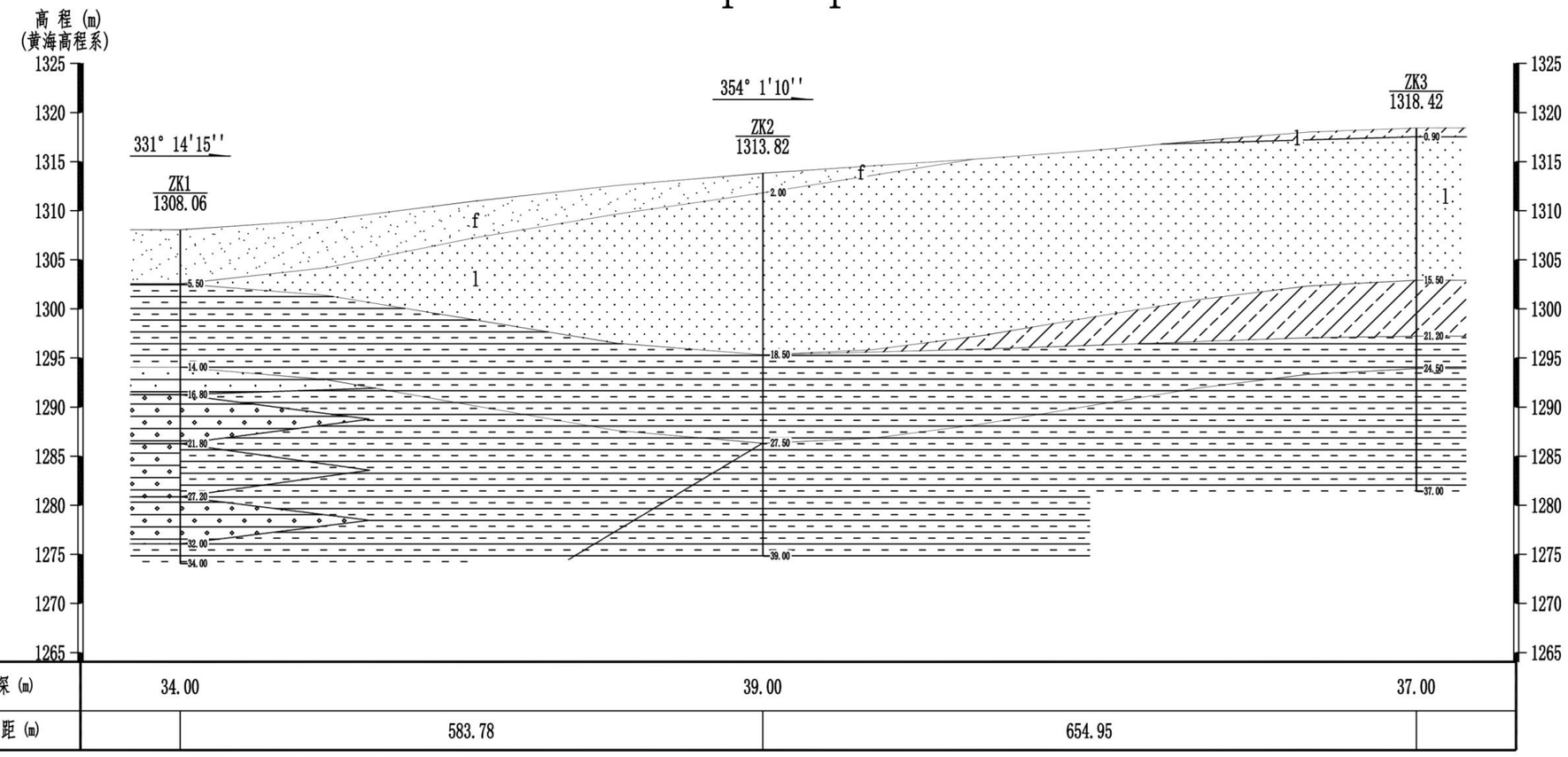


图 例

粉土　　砾砂　　粉砂　　粉质粘土　　泥岩

1—1'　剖线编号　　砂岩　　砾岩　　地层分界线

工程地质剖面图 4.2.1-3

工 程 地 质 剖 面 图

水平比例：1:2000
垂直比例：1:500

2-----2'

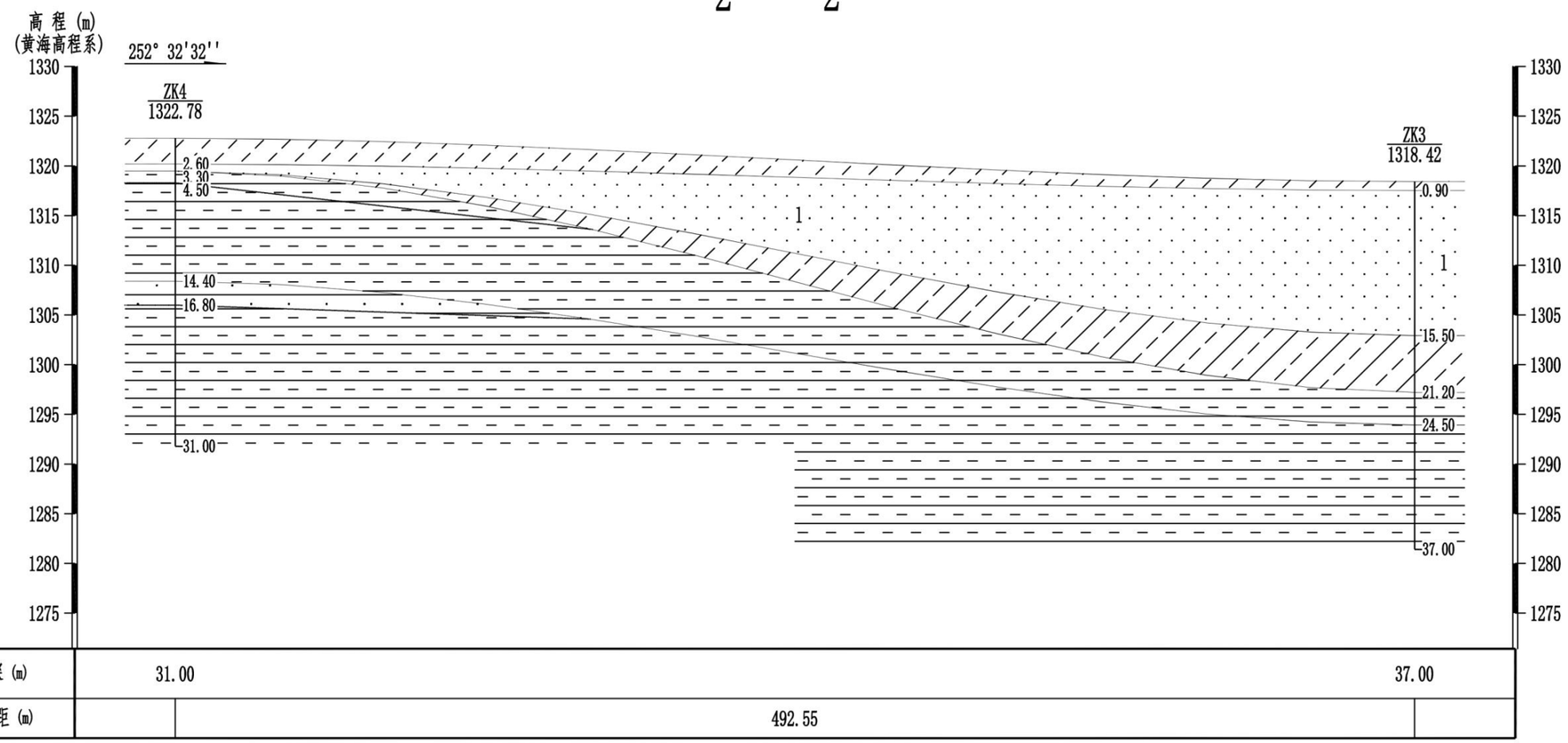


图 例

粉土　　砾砂　　泥岩　　砂岩　　粉质粘土

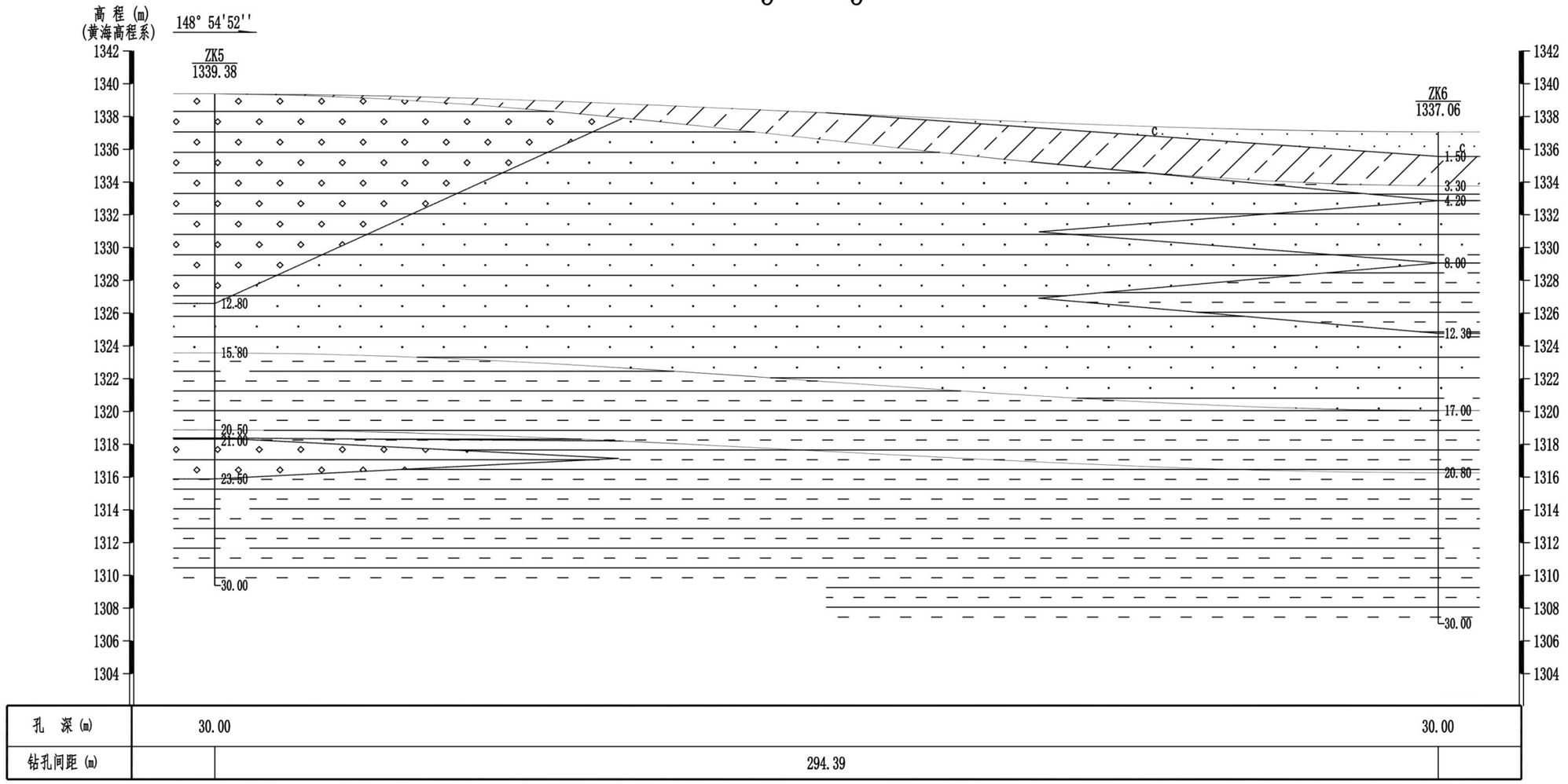
地层分界线　　剖线编号

工程地质剖面图 4.2.1-4

工 程 地 质 剖 面 图

水平比例：1:1000
垂直比例：1:250

3-----3'



工程地质剖面图 4.2.1-5

工 程 地 质 剖 面 图

水平比例：1:2500
垂直比例：1:500

4-----4'

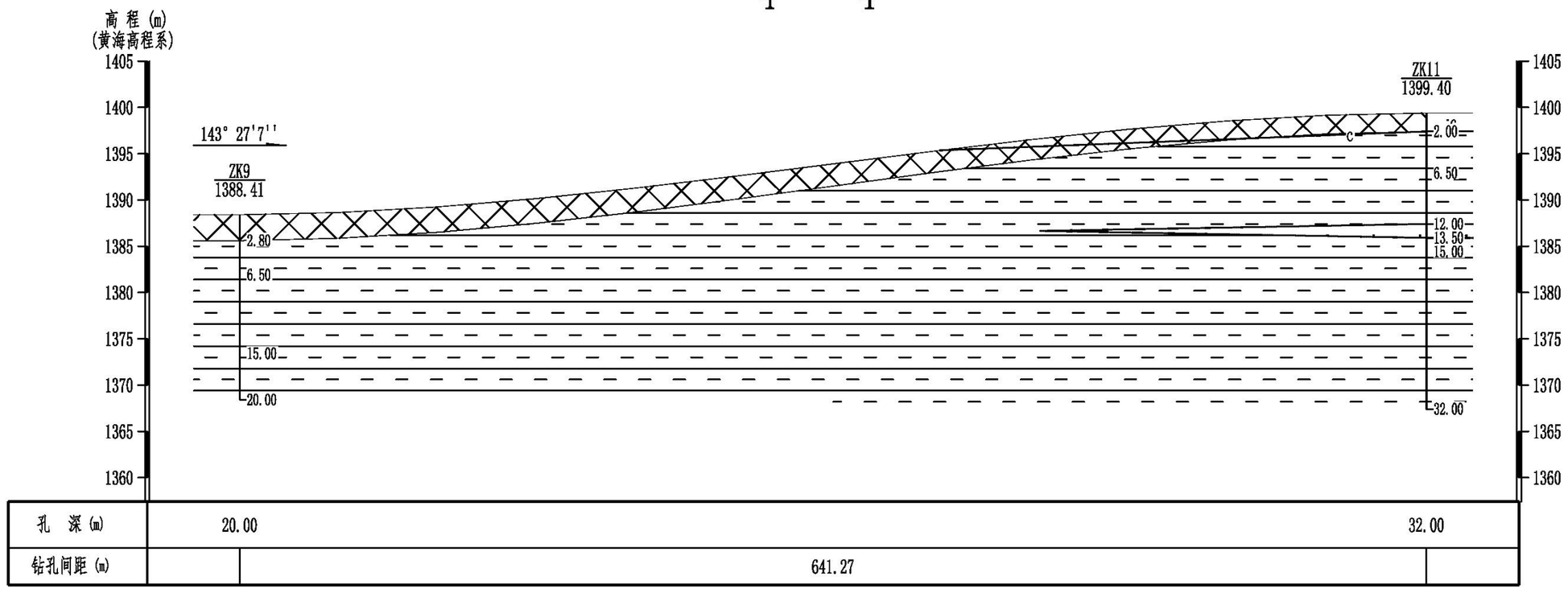


图 例

- C 粗砂
- 泥岩
- 填土
- 砂岩
- 地层分界线
- 1—1' 剖线编号

工程地质剖面图 4.2.1-6

工 程 地 质 剖 面 图

水平比例：1:2500
垂直比例：1:500

5-----5'

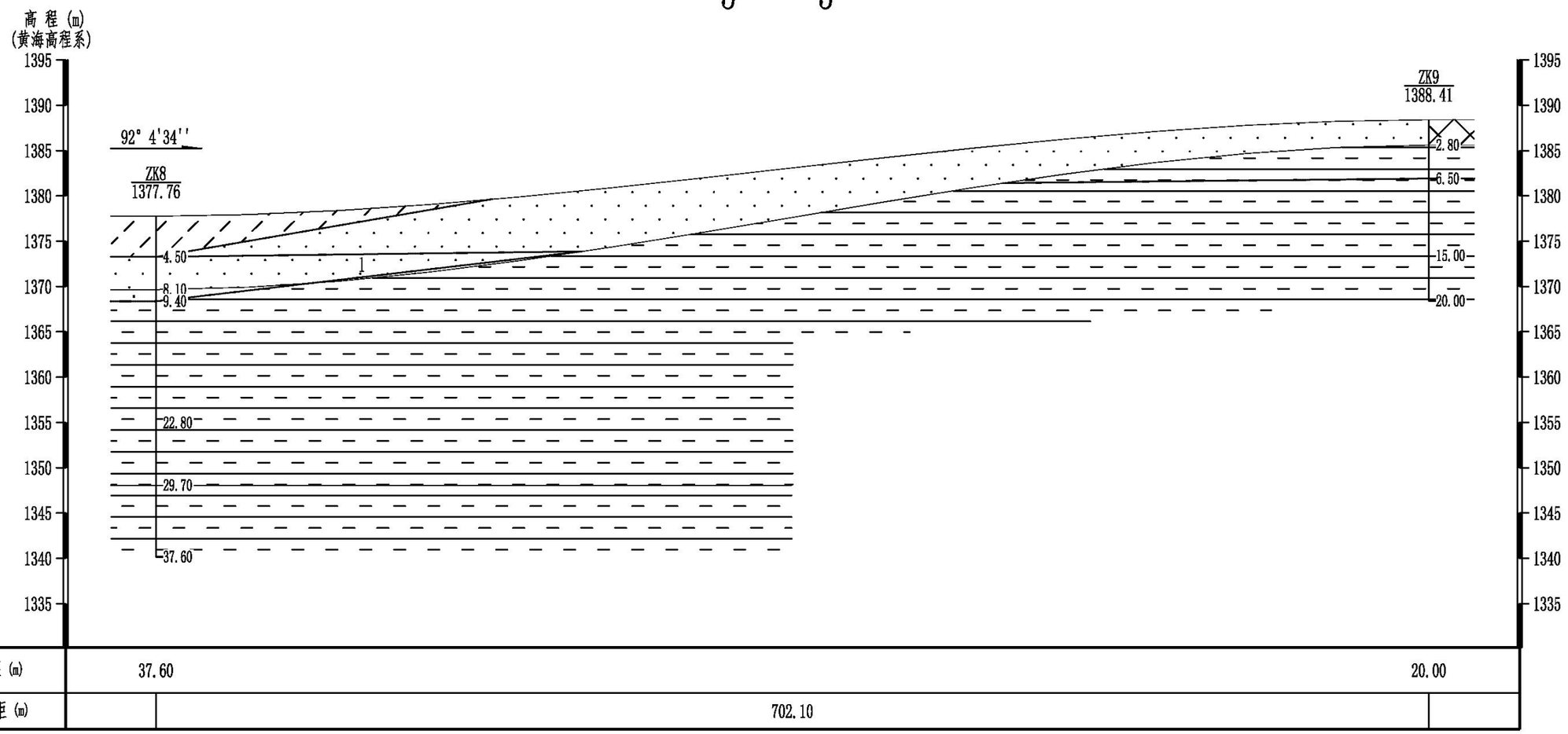


图 例

填土　泥岩　粉土　砾砂　砂岩

钻孔　地层分界线　1—1' 剖线编号

工程地质剖面图 4.2.1-7

工 程 地 质 剖 面 图

水平比例：1:2500
垂直比例：1:500

6-----6'

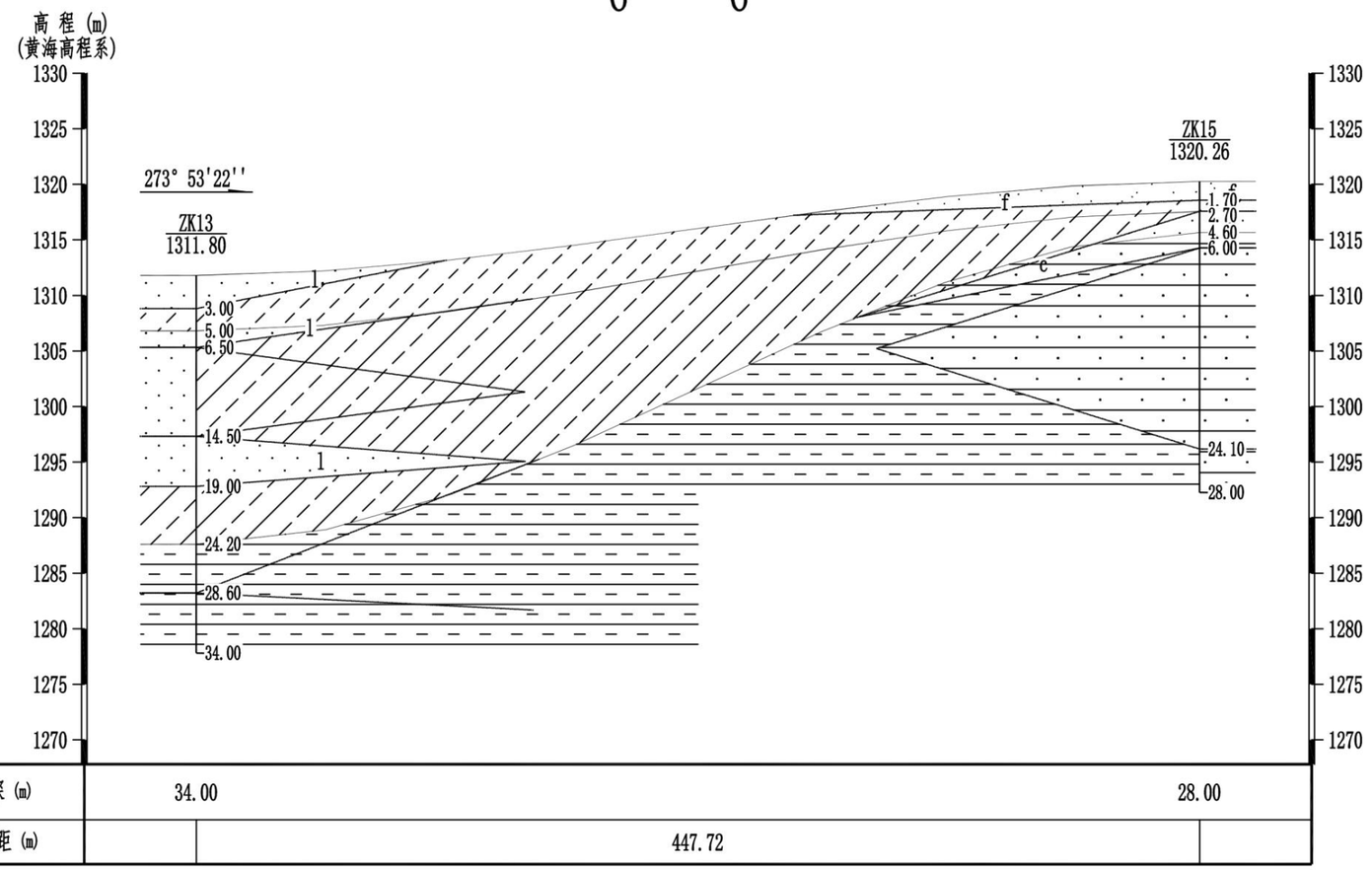


图 例

f 粉砂	粉土	c 粗砂	砂岩	l 砾砂
1—1' 剖线编号	粉质粘土	泥岩	地层分界线	

工程地质剖面图 4.2.1-8

工 程 地 质 剖 面 图

水平比例：1:5000
垂直比例：1:500

7-----7'

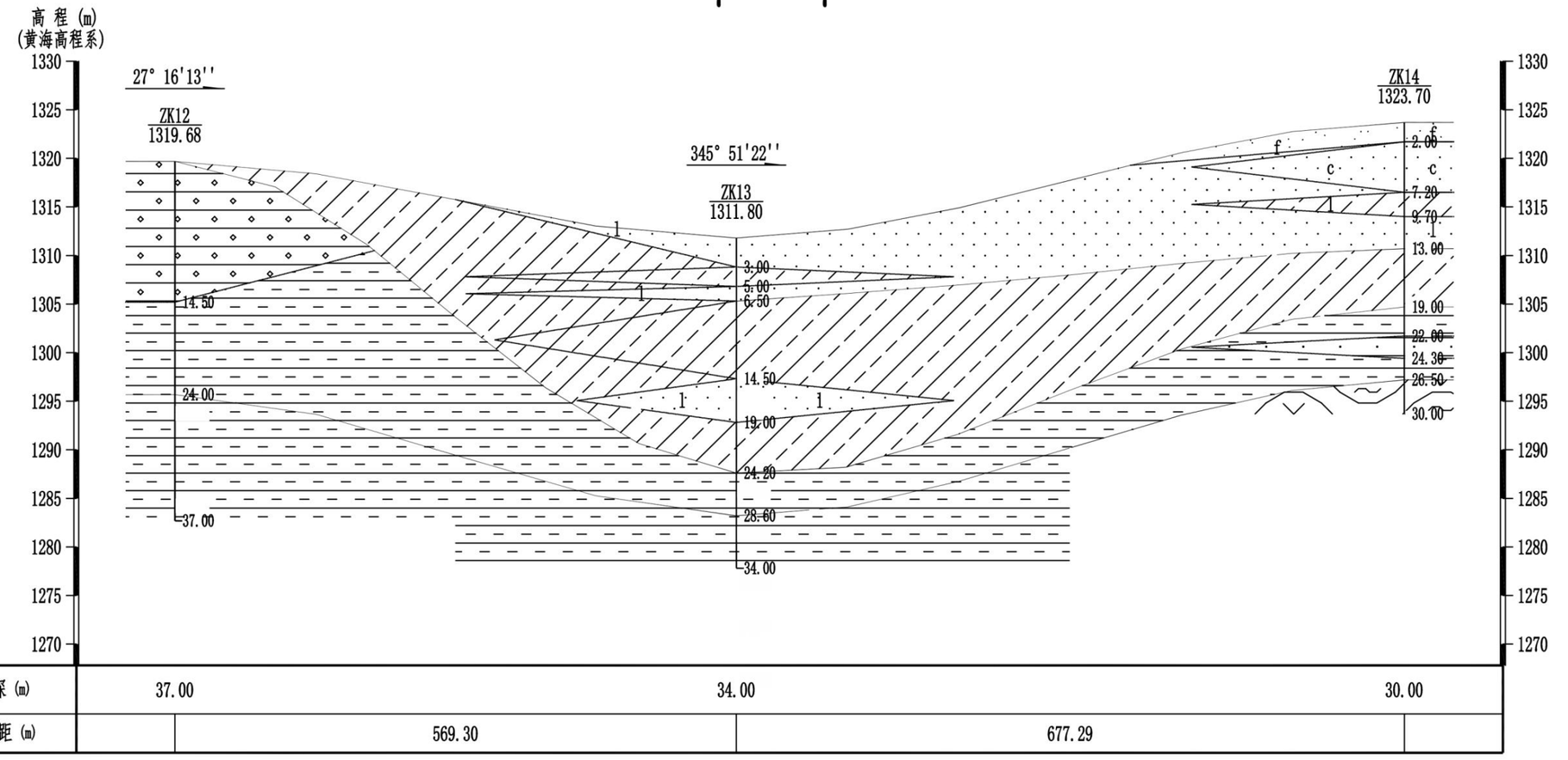


图 例

- f 粉砂
- c 粗砂
- 砾岩
- 粉质粘土
- 1 砾砂
- 片麻岩
- 地层分界线
- 1—1' 剖线编号
- 粉土
- 泥岩
- 砂岩

工程地质剖面图 4.2.1-9



CMA
220501060014
有效期2028年01月09日

FYJC-BG-KCJ-202204-0001

检验检测报告

委托单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司

工程(产品)名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目

检测项目：含水量、密度、干密度、比重、颗粒分析等

检测类别：委托检测

报告日期：2022年4月21日

内蒙古福宇检测技术有限公司

图 4.2.1-10 土工试验成果表

土工试验综合成果表

220501060014

检测单位：内蒙古福宇检测技术有限公司

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目

报告日期：2022年4月21日

编号	孔号	试样深度(m)	质量密度ρ(g/cm³)	天然含水量ω(%)	土粒比重Gs	液限ωL(%)	塑限ωp(%)	塑性指数IP	干密度ρ(g/cm3)	颗粒组成百分数							室内定名
										~>10mm(%)	~>2.0mm(%)	~>0.5mm(%)	~>0.25mm(%)	~>0.075mm(%)	~<0.075mm(%)	~<0.005mm(%)	
/	ZK1	7.0-7.2	2.22	11.0	2.55	/	/	/	2.00	/	/	/	/	/	/	/	泥岩
/	/	13.0-13.2	1.99	12.2	2.52	/	/	/	1.77	/	/	/	/	/	/	/	泥岩
/	ZK3	3.2-3.4	/	/	/	/	/	/	/	/	60	18	13	7	2	/	角砾
/	/	11.4-11.6	/	/	/	/	/	/	/	/	75	10	6	7	2	/	角砾
/	/	18.2-18.4	2.10	17.6	2.72	/	/	/	1.79	/	/	/	/	/	/	/	粉质黏土
/	/	23.8-24.0	2.05	19.9	2.72	/	/	/	1.71	/	/	/	/	/	/	/	泥岩
/	ZK6	4.8-5.0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	74	26	/	粉砂
/	/	15.0-15.2	2.06	8.7	2.54	/	/	/	1.90	/	/	/	/	/	/	/	砂岩
/	ZK8	5.2-5.4	/	/	/	/	/	/	/	/	63	17	12	6	2	/	角砾
/	/	13.0-13.2	2.19	12.8	2.60	/	/	/	1.94	/	/	/	/	/	/	/	泥岩
/	/	16.8-17.0	1.98	18.8	2.51	/	/	/	1.67	/	/	/	/	/	/		泥岩
/	ZK13	11.0-11.2	2.09	15.3	2.72	/	/	/	1.81	/	/	/	/	/	/	/	粉质黏土
/	/	30.0-30.2	2.03	21.7	2.56	/	/	/	1.67	/	/	/	/	/	/	/	泥岩
/	ZK14	6.0-6.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	58	23	16	3	/	粗砂
/	/	12.0-12.2	/	/	/	/	/	/	/	/	41	30	16	7	6	/	砾砂

检测：董志敏 审核：张建芳 批准：边强 日期：2022-04-21

图 4.2.1-11 土工试验成果表

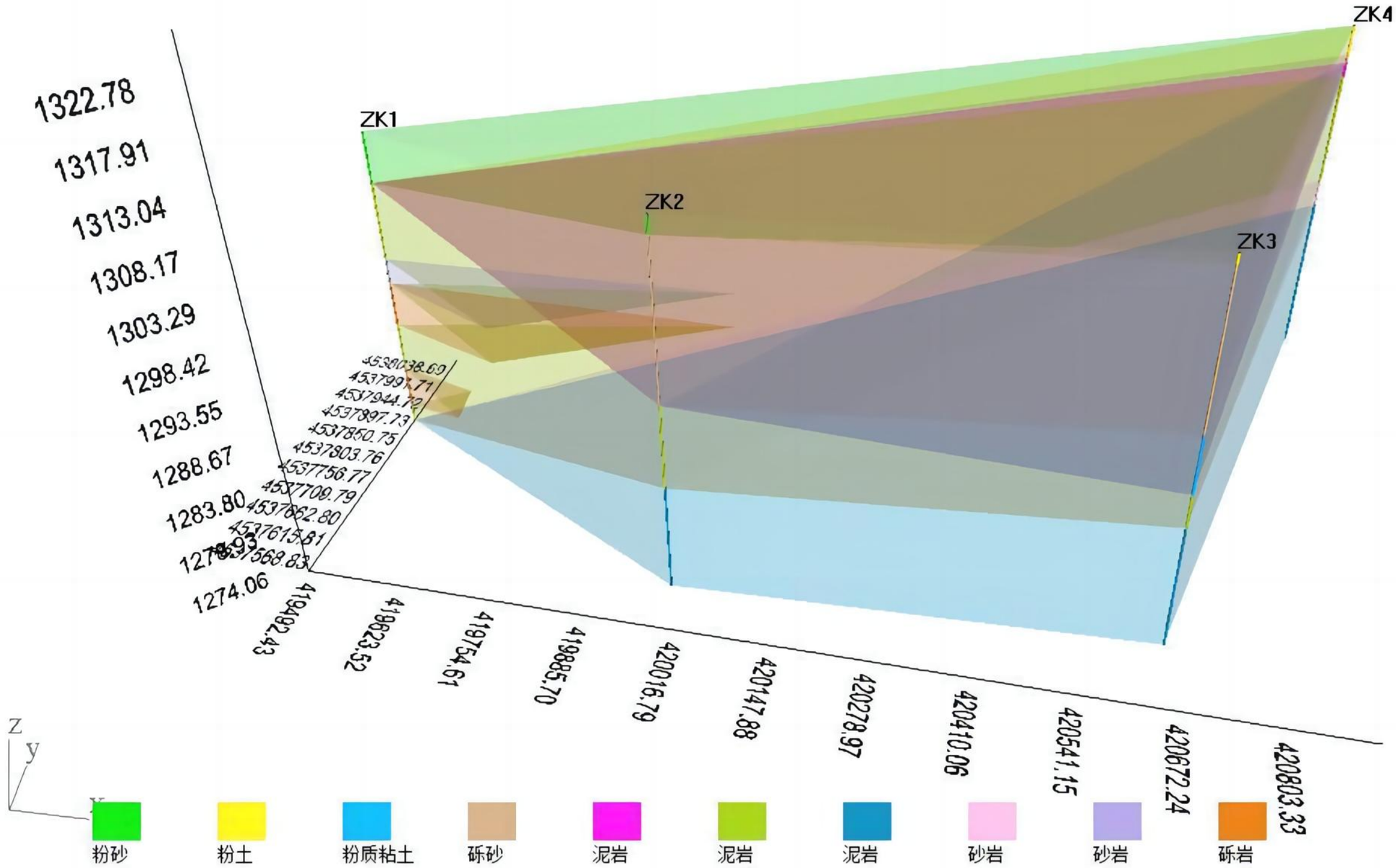


图 4.2.1-12 目标区（地块一）三维地质模型图

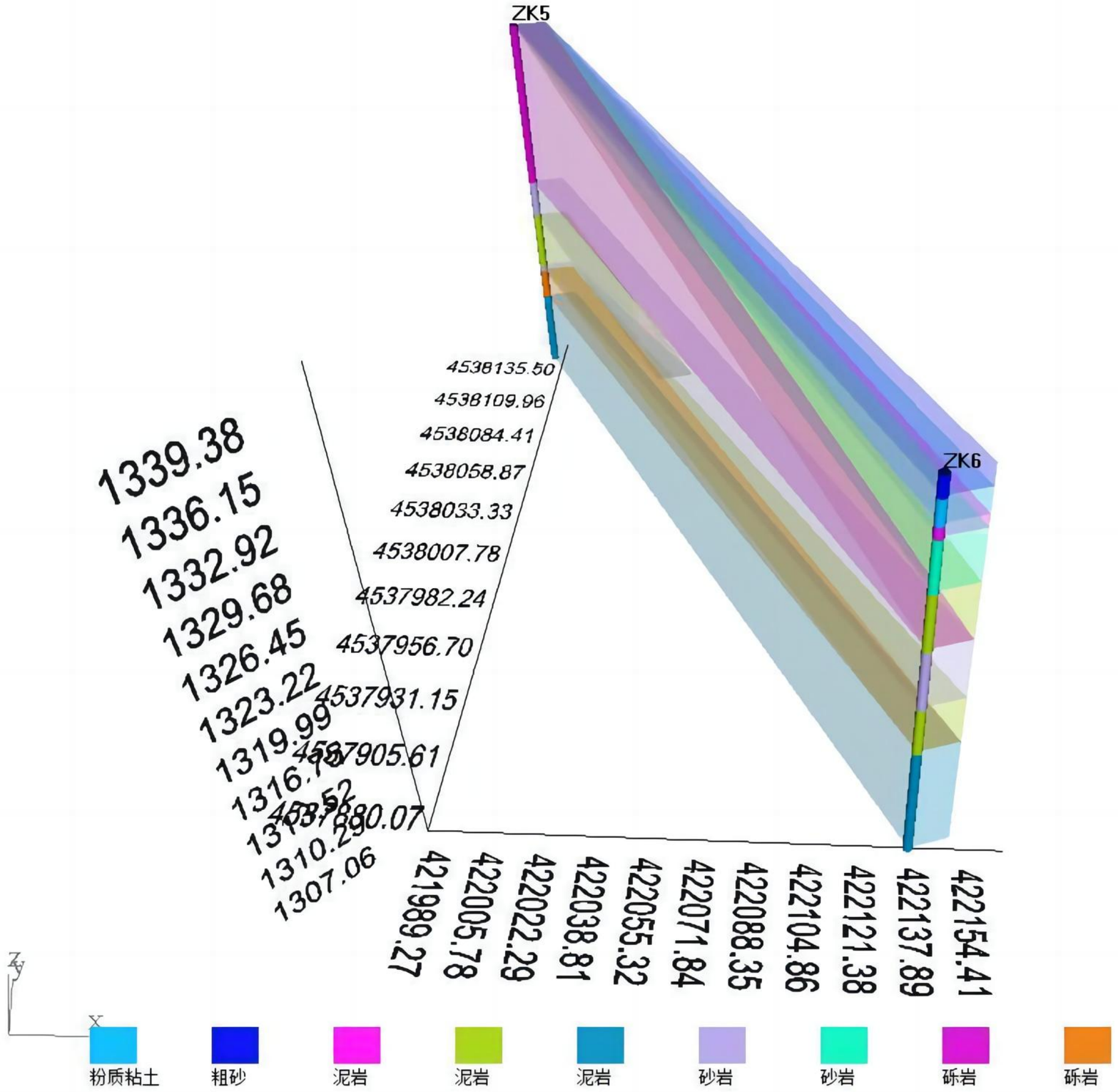


图 4.2.1-13 目标区（地块二）三维地质模型图

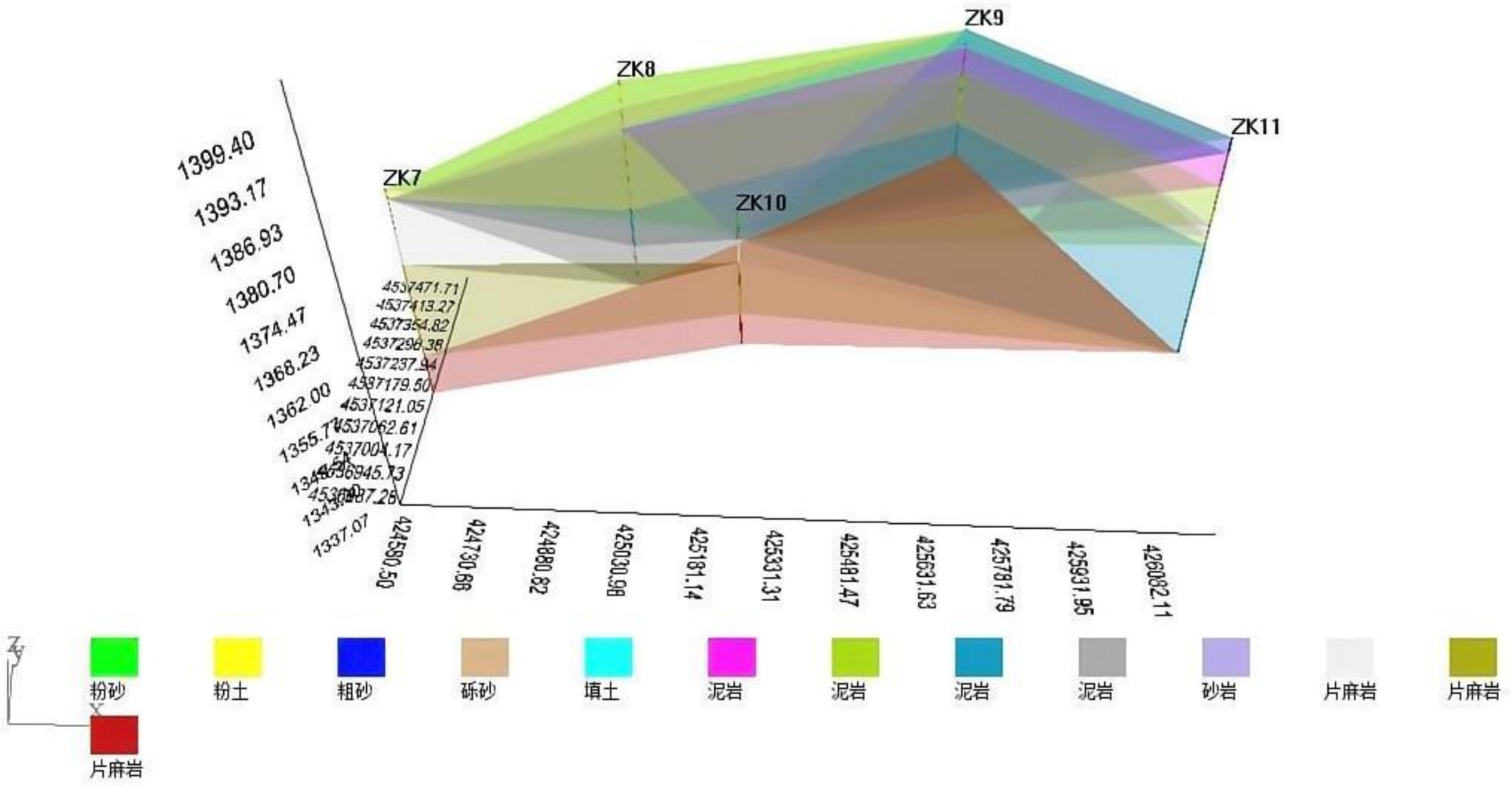


图 4.2.1-14 目标区（地块三）三维地质模型图

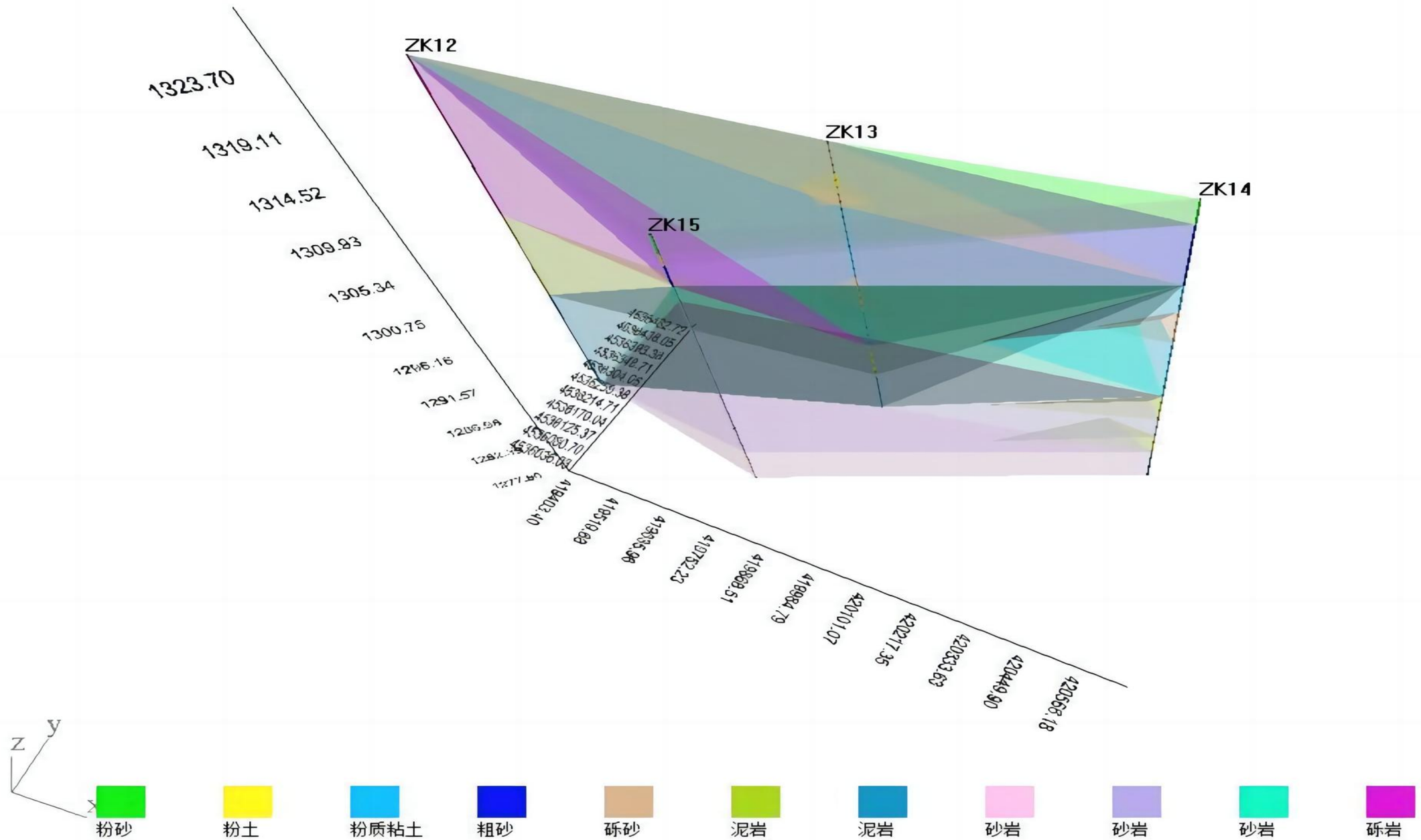


图 4.2.1-15 目标区（地块四）三维地质模型图

4.2.3 土层波速测试

测试工作依据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）2016版、《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函〔2019〕21号）及《地基动力特性测试规范》（GB/T50269-2015）中的有关规定进行。

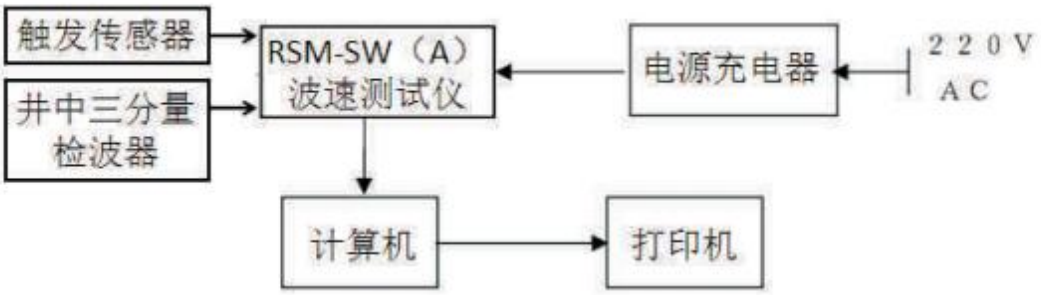
一、测试目的

本次剪切波速测试的目的是通过现场测试获得实际场地条件与环境下的土层波速资料，以此反应出各种地质体及其组成物质的动力性能，为场地土层地震反应分析提供地基土动力参数；同时通过计算获取等效（加权平均）剪切波速，为划分场地类别提供依据，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。

二、测试仪器

本次波速测试仪器采用武汉中岩科技股份有限公司生产的RSM-SW(A) 波速测试仪。

波速测试仪主要由主机、井中三分量检波器、触发传感器及连接电缆等组成，以及目前比较先进的配套软件。



主机仪器主要技术指标：

显示方式：12.1 寸真彩液晶显示屏；

存储模式：16G 电子硬盘；

采样间隔：5～2000μ；

记录长度：0.5k、1k、2k、4k、8k 五档可调；

放大倍数：最大 100000 倍；

A/D 转换精度：多核 16 位 A/D；

通道数：外触发通道 1 个;采样通通道 3 个；

带宽：0.1Hz～4000Hz；

触发方式：通道触发/外触发；

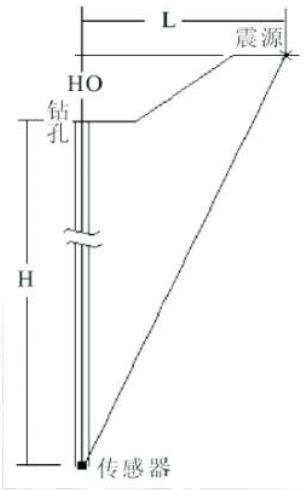
温度：-20～+55℃。

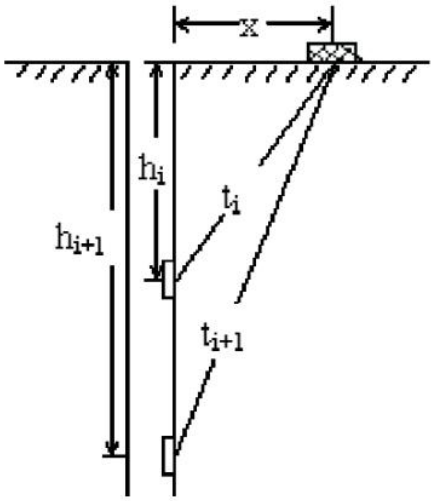




三、测试原理与测试方法

该仪器进行剪切波速测试的原理是：该仪器是在地面振源激发产生剪切波信号，剪切波一方面使安装在地面的传感器触发，一方面沿着地层介质向下传播，在事先钻好的孔内放置井中三分量检波器来接收剪切波信号，井中三分量检波器经过转换把地层的振动信号转换成电信号，通过电缆传送到波速测试仪，由测试仪器记录并显示剪切波信号曲线。

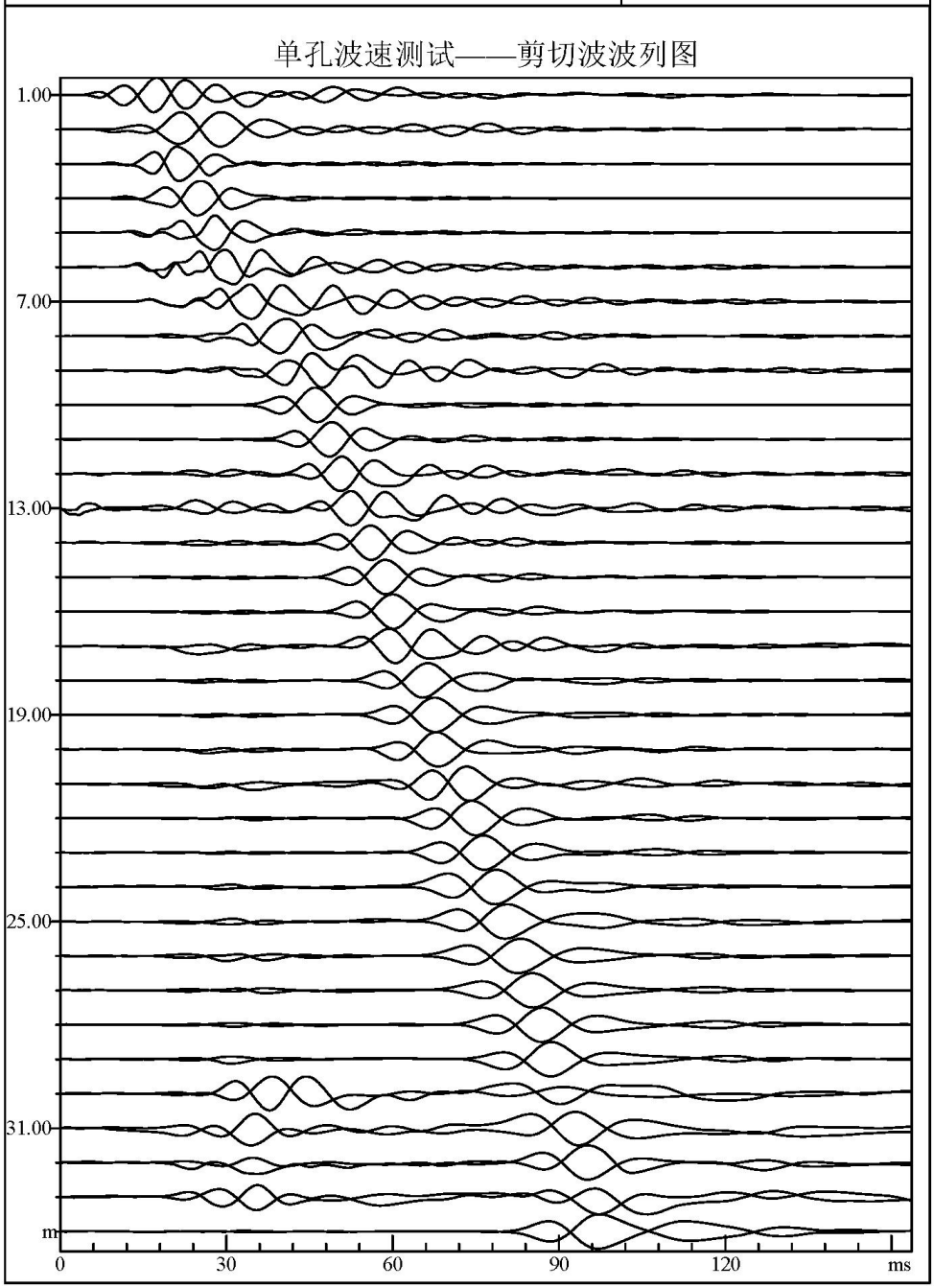




四、钻孔波速测试成果

通过对15个钻孔波速测试的实测数据进行分析计算，得到各钻孔波速测试结果，各孔测试深度内的剪切波速度见表4.2.3-1~表4.2.3-15。

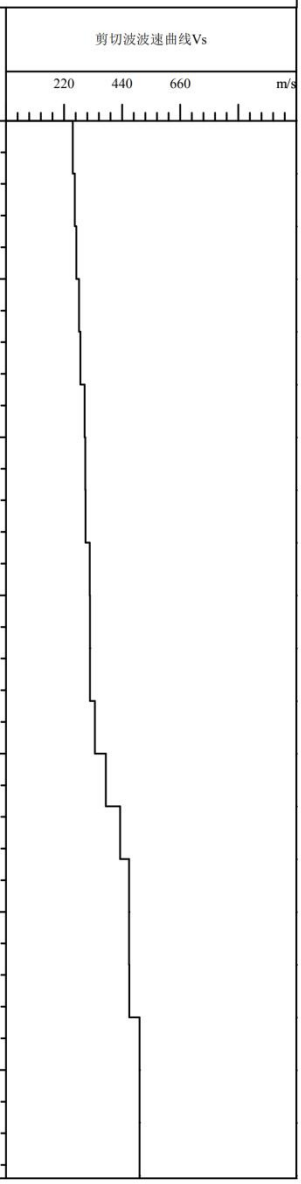
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK1	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK1	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)
1	1.00		253.47
2	2.00		260.83
3	3.00		267.29
4	4.00		277.48
5	5.00		282.33
6	6.00		298.68
7	7.00		300.44
8	8.00		301.54
9	9.00		317.94
10	10.00		318.53
11	11.00		318.96
12	12.00		336.86
13	13.00		378.95
14	14.00		433.03
15	15.00		466.49
16	16.00		466.84
17	17.00		467.11
18	18.00		506.08
19	19.00		506.31
20	20.00		506.49



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK1	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
					220 440 660 m/s
21	21.00		506.65	21	
22	22.00		506.77		
23	23.00		506.88		
24	24.00		552.94	24	
25	25.00		553.05		
26	26.00		553.13		
27	27.00		553.21	27	
28	28.00		553.28		
29	29.00		553.34		
30	30.00		553.39	30	
31	31.00		553.43		
32	32.00		608.74		
33	33.00		608.78	33	
34	34.00		608.83		

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK1	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

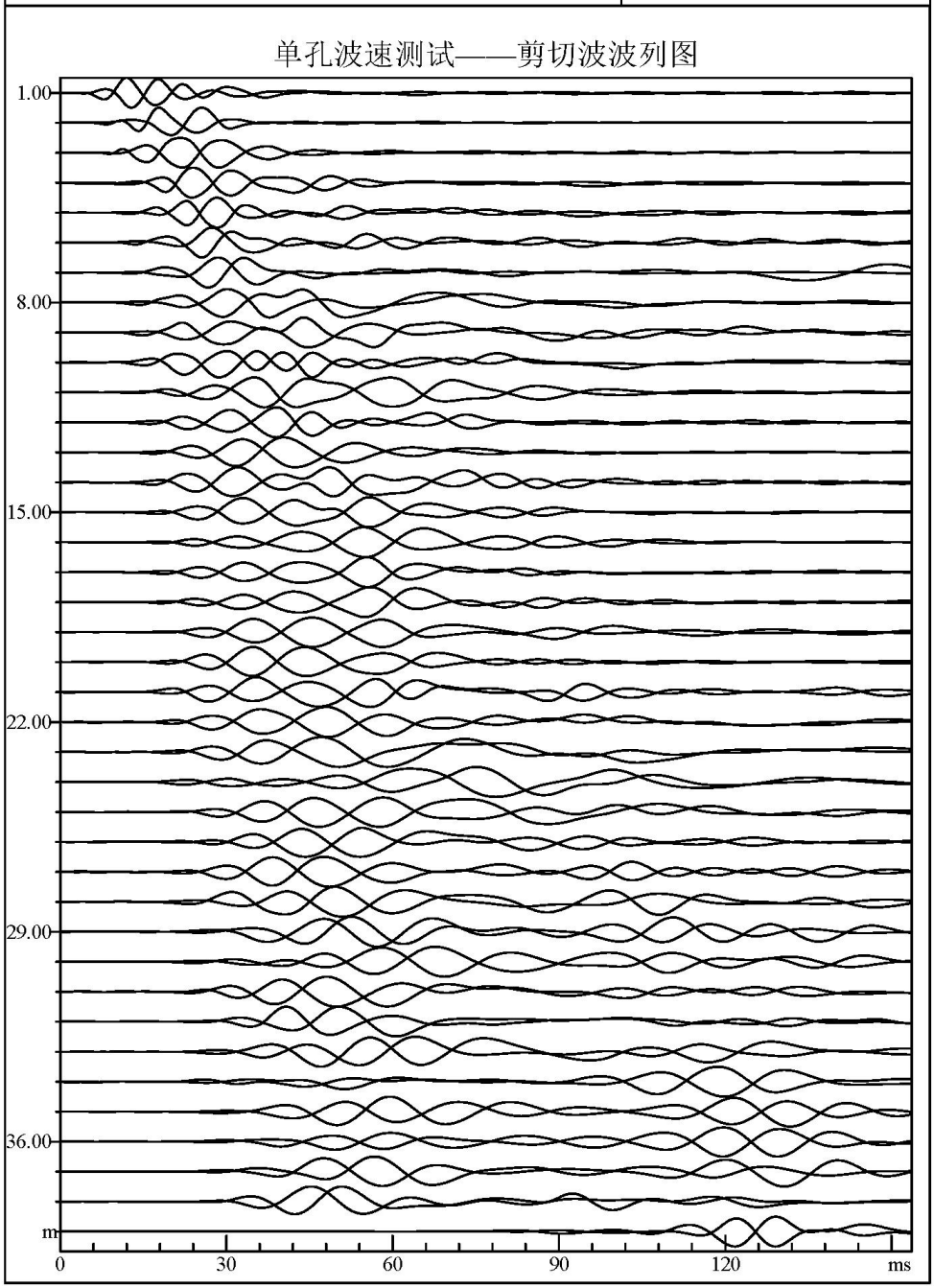
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	253.47
2	2.00	260.83
3	3.00	267.29
4	4.00	277.48
5	5.00	282.33
6	6.00	298.68
7	7.00	300.44
8	8.00	301.54
9	9.00	317.94
10	10.00	318.53
11	11.00	318.96
12	12.00	336.86
13	13.00	378.95
14	14.00	433.03
15	15.00	466.49
16	16.00	466.84
17	17.00	467.11
18	18.00	506.08
19	19.00	506.31
20	20.00	506.49
21	21.00	506.65
22	22.00	506.77
23	23.00	506.88
24	24.00	552.94
25	25.00	553.05
26	26.00	553.13
27	27.00	553.21
28	28.00	553.28
29	29.00	553.34
30	30.00	553.39

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK1	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	553.43
32	32.00	608.74
33	33.00	608.78
34	34.00	608.83

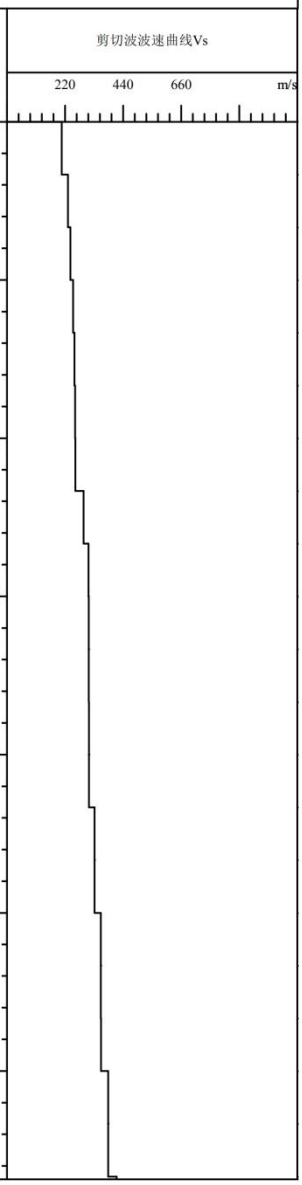
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK2	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK2	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

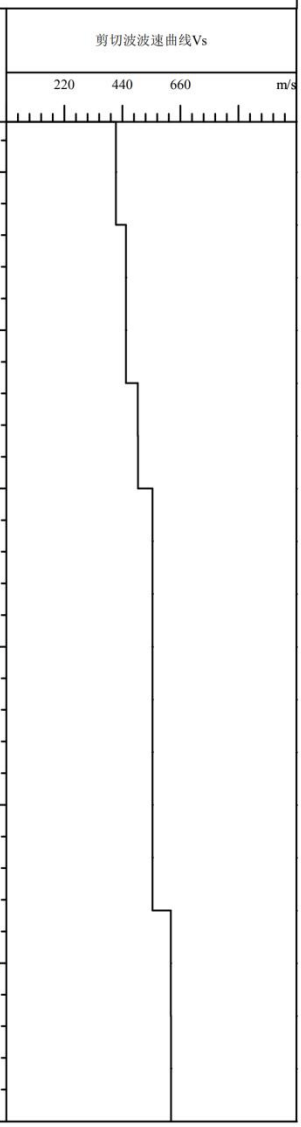
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)
1	1.00		207.97
2	2.00		231.76
3	3.00		240.48
4	4.00		250.82
5	5.00		255.62
6	6.00		258.14
7	7.00		259.60
8	8.00		290.55
9	9.00		309.33
10	10.00		310.04
11	11.00		310.54
12	12.00		310.90
13	13.00		311.17
14	14.00		332.00
15	15.00		332.20
16	16.00		355.98
17	17.00		356.14
18	18.00		356.27
19	19.00		383.68
20	20.00		383.79



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK2	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
21	21.00		415.77	
22	22.00		415.87	
23	23.00		453.66	
24	24.00		453.75	
25	25.00		453.83	
26	26.00		499.17	
27	27.00		499.25	
28	28.00		554.67	
29	29.00		554.75	
30	30.00		554.82	
31	31.00		554.87	
32	32.00		554.93	
33	33.00		554.98	
34	34.00		555.02	
35	35.00		555.06	
36	36.00		624.39	
37	37.00		624.43	
38	38.00		624.47	
39	39.00		624.50	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK2	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

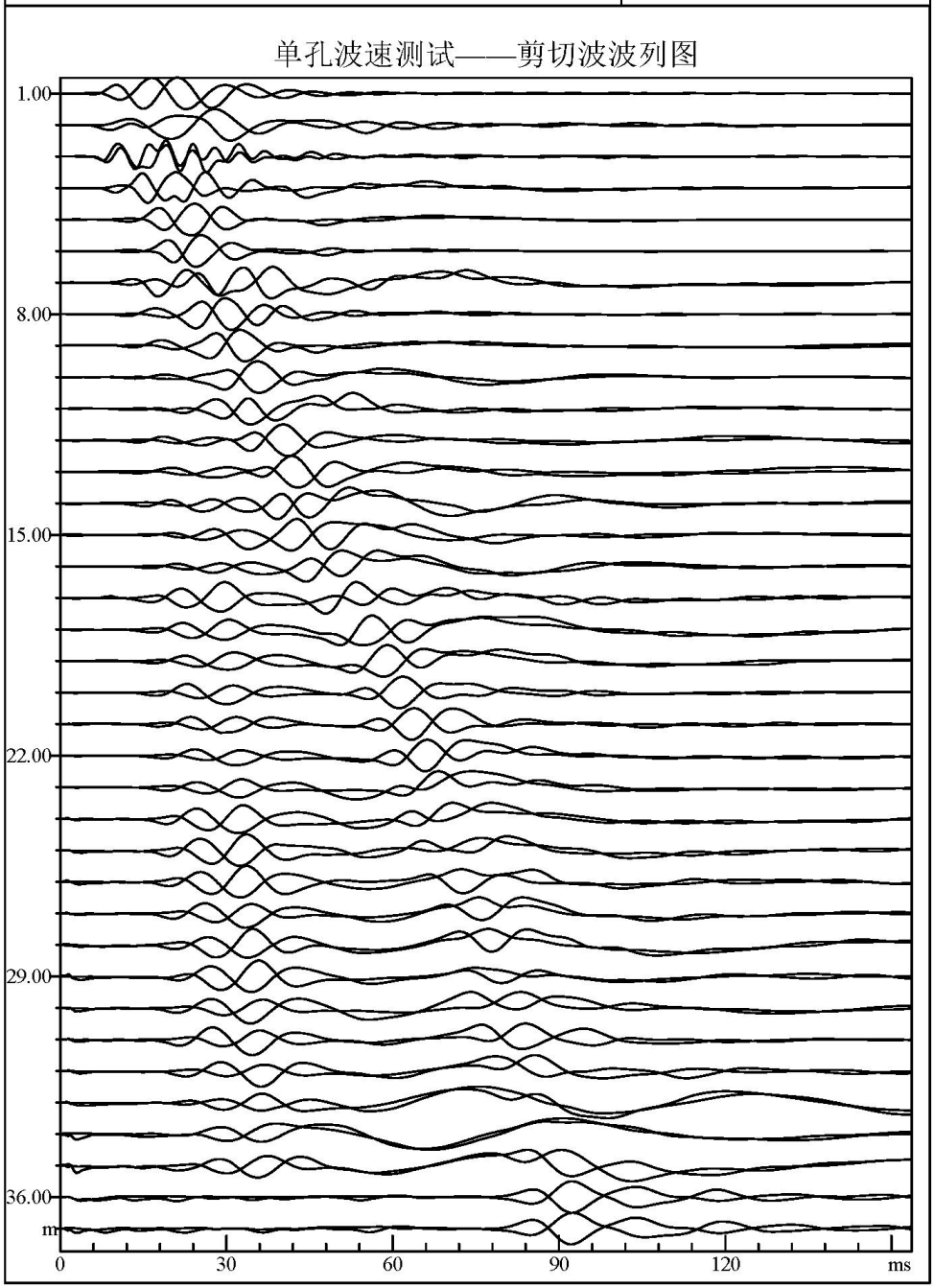
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	207.97
2	2.00	231.76
3	3.00	240.48
4	4.00	250.82
5	5.00	255.62
6	6.00	258.14
7	7.00	259.60
8	8.00	290.55
9	9.00	309.33
10	10.00	310.04
11	11.00	310.54
12	12.00	310.90
13	13.00	311.17
14	14.00	332.00
15	15.00	332.20
16	16.00	355.98
17	17.00	356.14
18	18.00	356.27
19	19.00	383.68
20	20.00	383.79
21	21.00	415.77
22	22.00	415.87
23	23.00	453.66
24	24.00	453.75
25	25.00	453.83
26	26.00	499.17
27	27.00	499.25
28	28.00	554.67
29	29.00	554.75
30	30.00	554.82

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK2	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	554.87
32	32.00	554.93
33	33.00	554.98
34	34.00	555.02
35	35.00	555.06
36	36.00	624.39
37	37.00	624.43
38	38.00	624.47
39	39.00	624.50

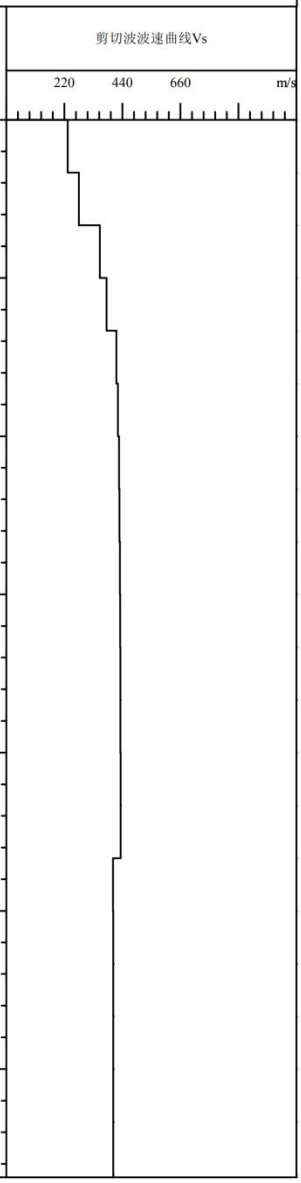
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK3	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK3	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

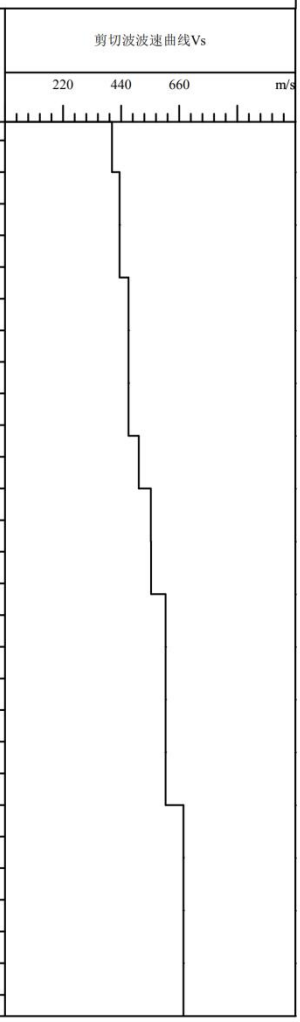
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)
1	1.00		232.92
2	2.00		275.29
3	3.00		355.11
4	4.00		380.08
5	5.00		417.24
6	6.00		423.79
7	7.00		427.41
8	8.00		429.58
9	9.00		430.98
10	10.00		431.93
11	11.00		432.60
12	12.00		433.09
13	13.00		433.46
14	14.00		433.74
15	15.00		405.17
16	16.00		405.31
17	17.00		405.43
18	18.00		405.52
19	19.00		405.60
20	20.00		405.67



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK3	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
21	21.00		405.73	
22	22.00		434.69	
23	23.00		434.75	
24	24.00		468.17	
25	25.00		468.22	
26	26.00		468.26	
27	27.00		507.26	
28	28.00		553.34	
29	29.00		553.40	
30	30.00		608.69	
31	31.00		608.75	
32	32.00		608.80	
33	33.00		608.84	
34	34.00		676.43	
35	35.00		676.48	
36	36.00		676.53	
37	37.00		676.56	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK3	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

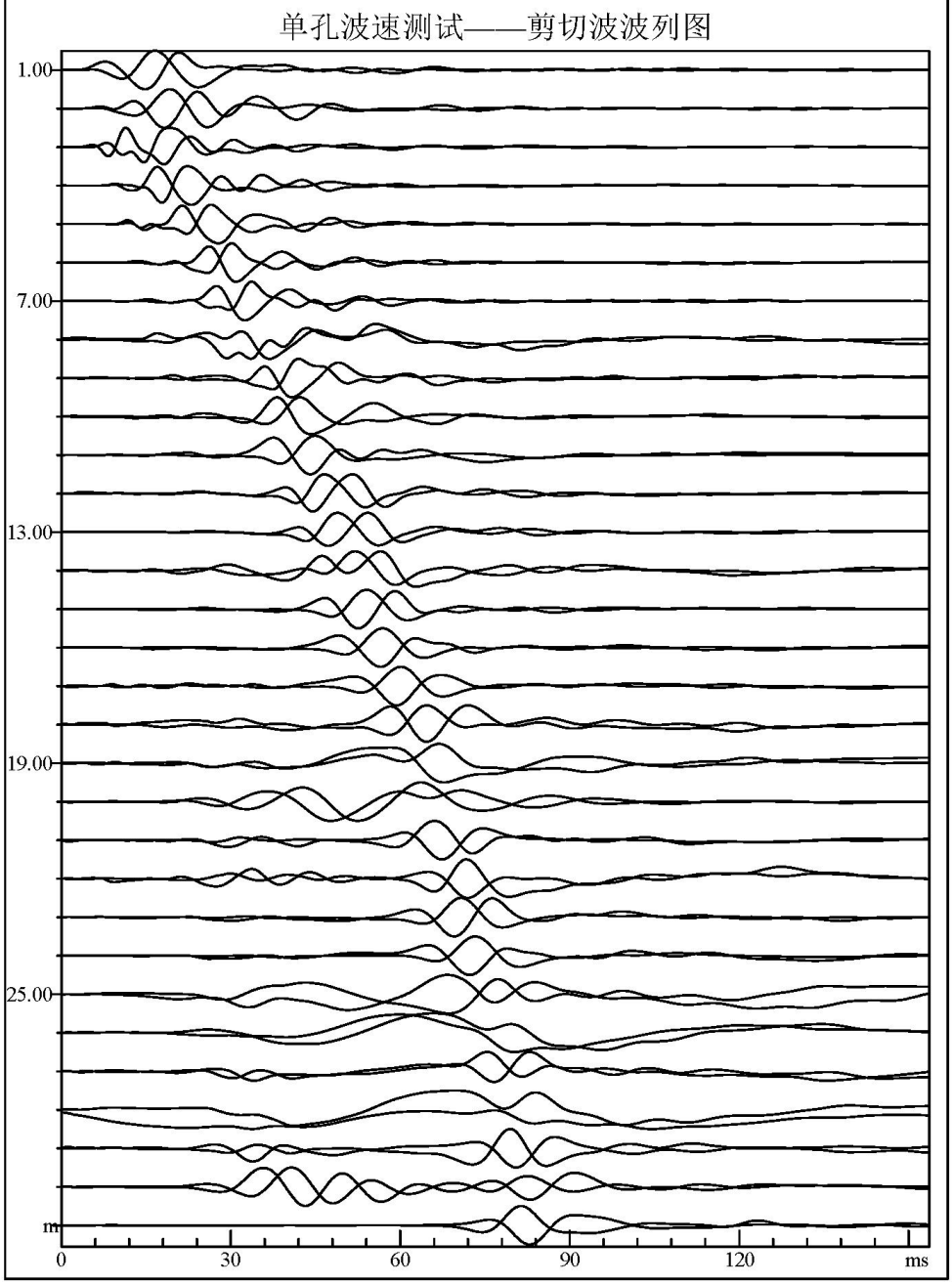
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	232.92
2	2.00	275.29
3	3.00	355.11
4	4.00	380.08
5	5.00	417.24
6	6.00	423.79
7	7.00	427.41
8	8.00	429.58
9	9.00	430.98
10	10.00	431.93
11	11.00	432.60
12	12.00	433.09
13	13.00	433.46
14	14.00	433.74
15	15.00	405.17
16	16.00	405.31
17	17.00	405.43
18	18.00	405.52
19	19.00	405.60
20	20.00	405.67
21	21.00	405.73
22	22.00	434.69
23	23.00	434.75
24	24.00	468.17
25	25.00	468.22
26	26.00	468.26
27	27.00	507.26
28	28.00	553.34
29	29.00	553.40
30	30.00	608.69

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/11
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK3	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	608.75
32	32.00	608.80
33	33.00	608.84
34	34.00	676.43
35	35.00	676.48
36	36.00	676.53
37	37.00	676.56

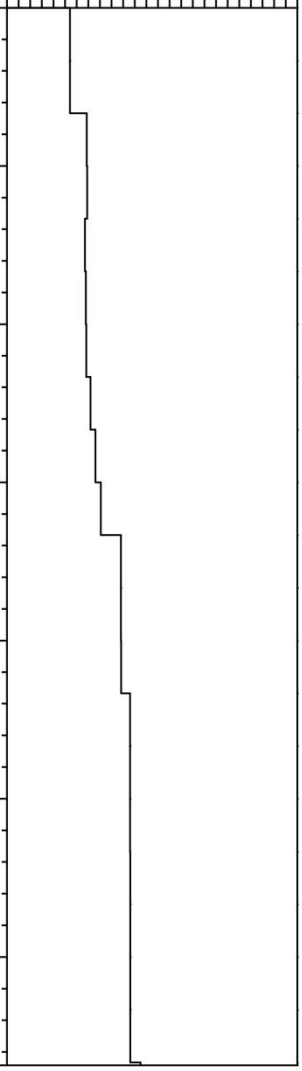
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK4	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK4	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
1	1.00		239.39		
2	2.00		238.72		
3	3.00		302.14		
4	4.00		304.05		
5	5.00		295.92		
6	6.00		298.85		
7	7.00		300.55		
8	8.00		317.19		
9	9.00		335.42		
10	10.00		355.61		
11	11.00		431.55		
12	12.00		432.29		
13	13.00		432.83		
14	14.00		466.31		
15	15.00		466.70		
16	16.00		467.01		
17	17.00		467.25		
18	18.00		467.45		
19	19.00		467.61		
20	20.00		467.75		



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK4	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
					220 440 660 m/s
21	21.00		506.72	21	
22	22.00		506.84		
23	23.00		552.89		
24	24.00		553.00	24	
25	25.00		553.10		
26	26.00		553.18		
27	27.00		608.45	27	
28	28.00		608.54		
29	29.00		676.10		
30	30.00		676.18	30	
31	31.00		676.25		

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK4	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

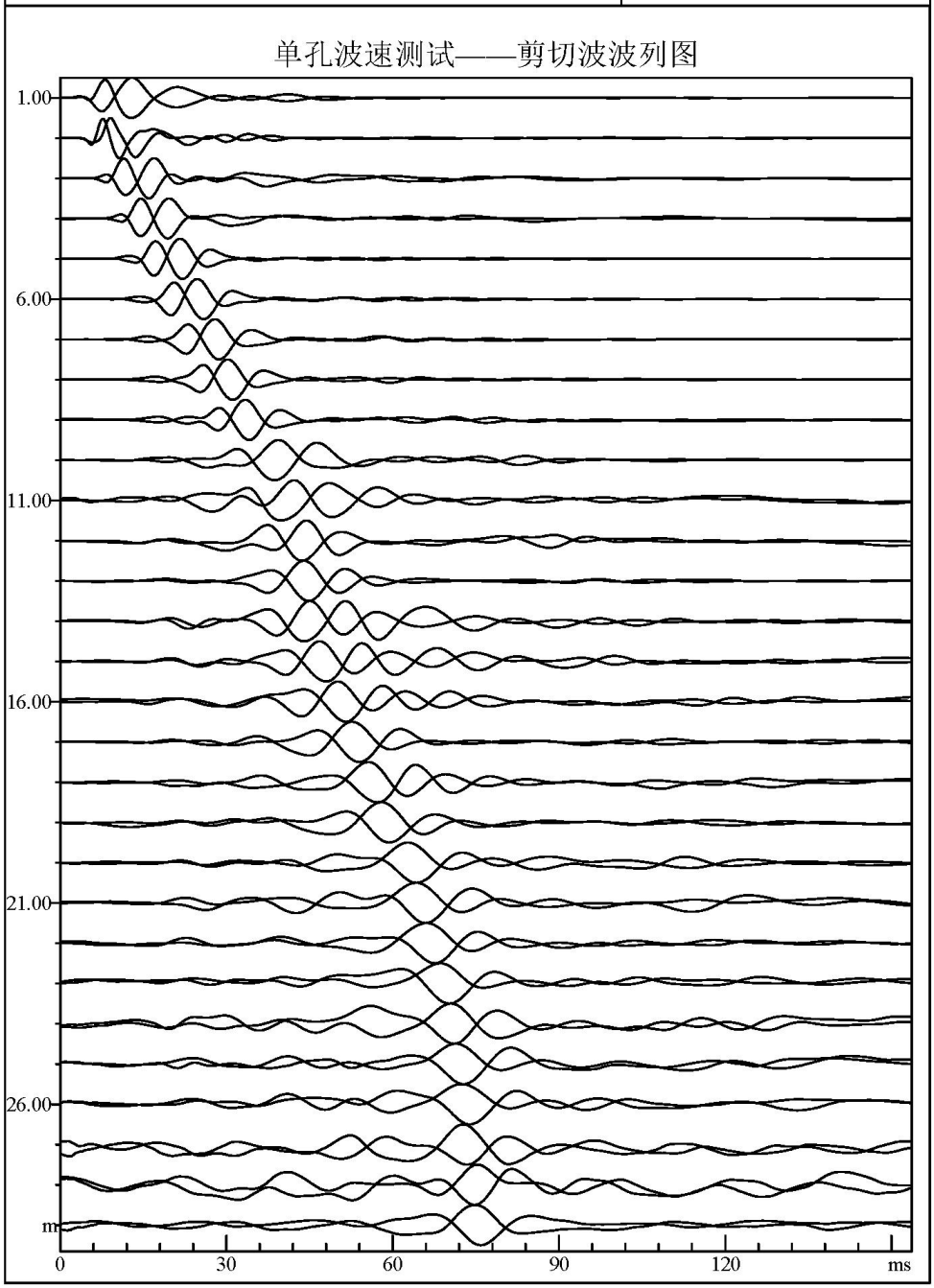
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	239.39
2	2.00	238.72
3	3.00	302.14
4	4.00	304.05
5	5.00	295.92
6	6.00	298.85
7	7.00	300.55
8	8.00	317.19
9	9.00	335.42
10	10.00	355.61
11	11.00	431.55
12	12.00	432.29
13	13.00	432.83
14	14.00	466.31
15	15.00	466.70
16	16.00	467.01
17	17.00	467.25
18	18.00	467.45
19	19.00	467.61
20	20.00	467.75
21	21.00	506.72
22	22.00	506.84
23	23.00	552.89
24	24.00	553.00
25	25.00	553.10
26	26.00	553.18
27	27.00	608.45
28	28.00	608.54
29	29.00	676.10
30	30.00	676.18

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK4	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	676.25

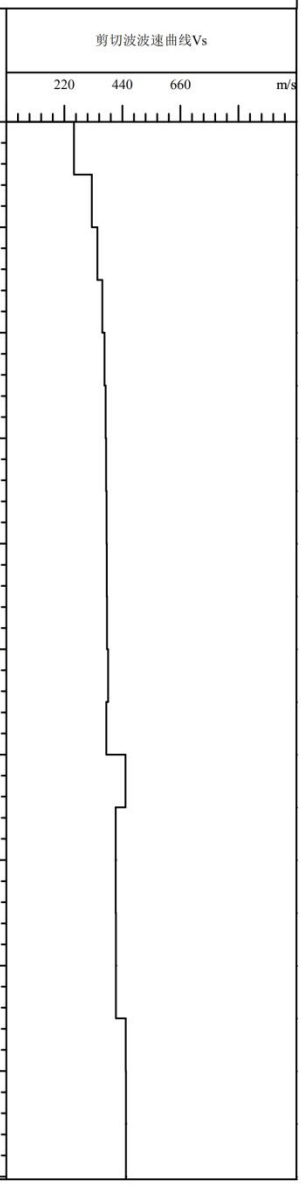
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK5	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK5	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

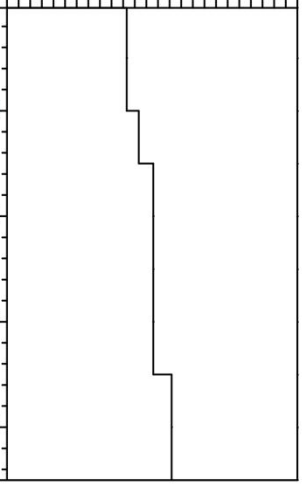
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)
1	1.00		256.53
2	2.00		324.85
3	3.00		346.05
4	4.00		364.23
5	5.00		372.41
6	6.00		376.60
7	7.00		378.99
8	8.00		380.47
9	9.00		381.44
10	10.00		382.10
11	11.00		386.08
12	12.00		379.50
13	13.00		452.34
14	14.00		415.20
15	15.00		415.42
16	16.00		415.59
17	17.00		415.72
18	18.00		453.49
19	19.00		453.62
20	20.00		453.72



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK5	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
21	21.00		453.81		
22	22.00		453.89		
23	23.00		499.23		
24	24.00		554.65		
25	25.00		554.74		
26	26.00		554.81		
27	27.00		554.87		
28	28.00		624.16		
29	29.00		624.24		

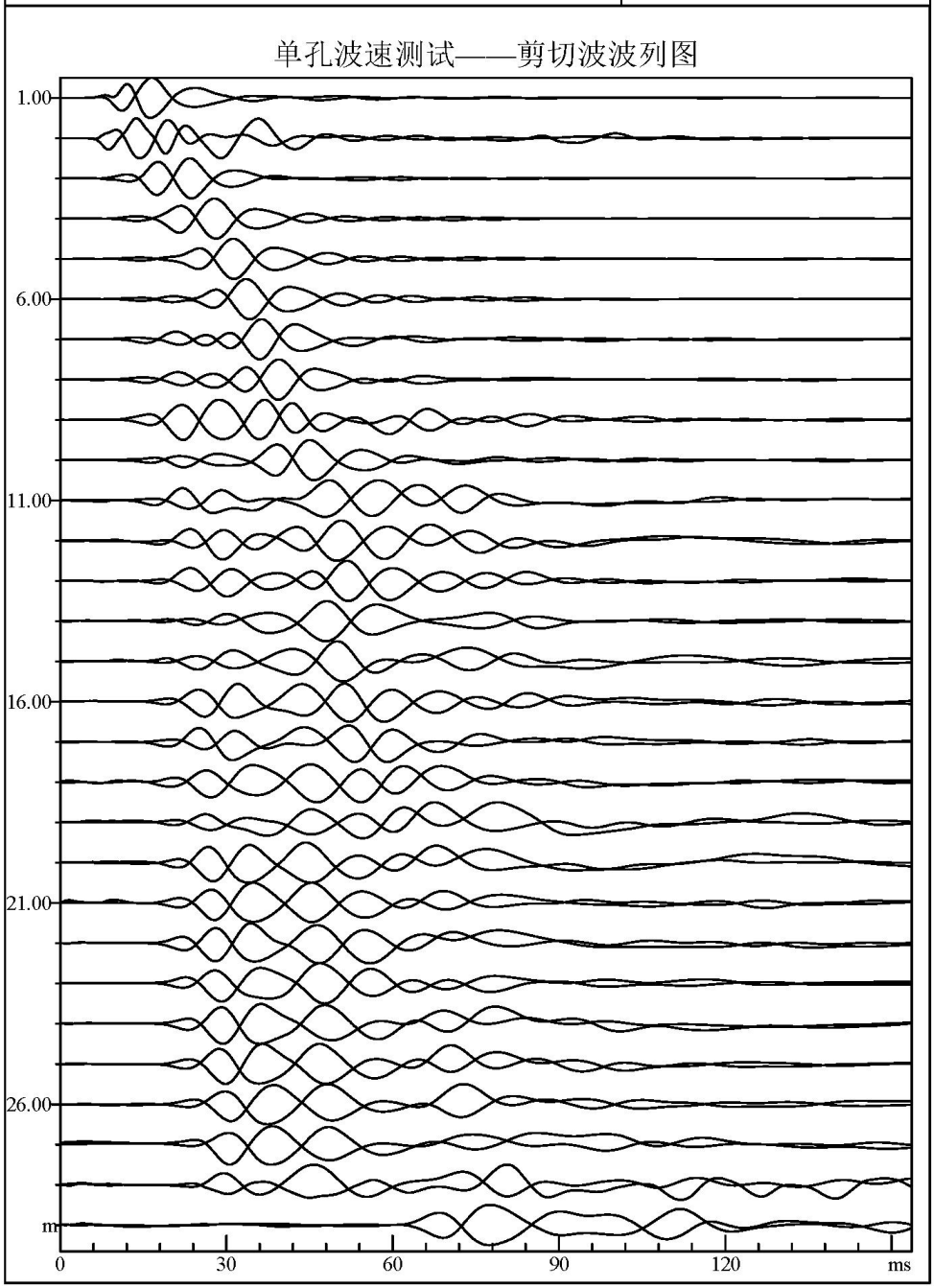


工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK5	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	256.53
2	2.00	324.85
3	3.00	346.05
4	4.00	364.23
5	5.00	372.41
6	6.00	376.60
7	7.00	378.99
8	8.00	380.47
9	9.00	381.44
10	10.00	382.10
11	11.00	386.08
12	12.00	379.50
13	13.00	452.34
14	14.00	415.20
15	15.00	415.42
16	16.00	415.59
17	17.00	415.72
18	18.00	453.49
19	19.00	453.62
20	20.00	453.72
21	21.00	453.81
22	22.00	453.89
23	23.00	499.23
24	24.00	554.65
25	25.00	554.74
26	26.00	554.81
27	27.00	554.87
28	28.00	624.16
29	29.00	624.24

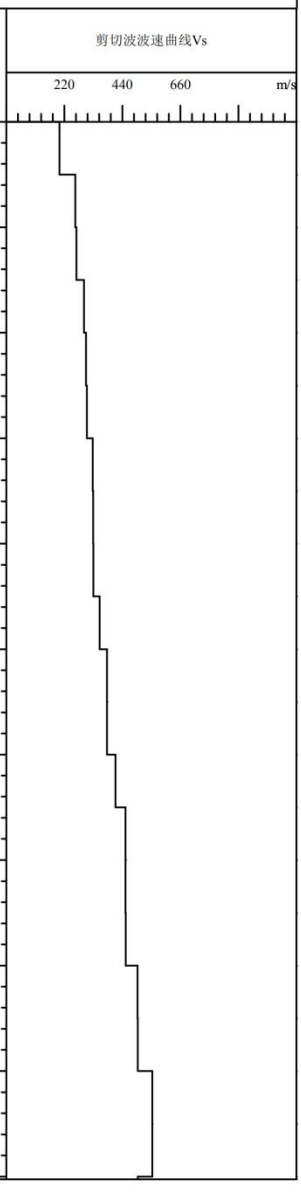
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK6	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK6	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

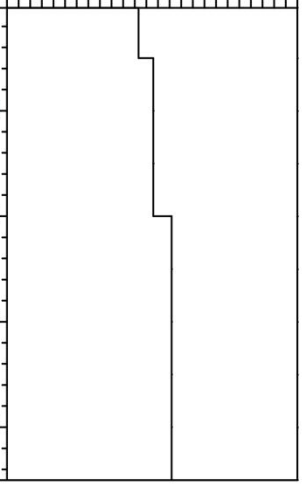
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)
1	1.00		202.03
2	2.00		262.08
3	3.00		266.15
4	4.00		295.18
5	5.00		302.20
6	6.00		305.77
7	7.00		327.77
8	8.00		329.28
9	9.00		330.26
10	10.00		354.26
11	11.00		381.83
12	12.00		382.37
13	13.00		414.39
14	14.00		452.19
15	15.00		452.57
16	16.00		452.86
17	17.00		498.16
18	18.00		498.41
19	19.00		553.76
20	20.00		553.99



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK6	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
21	21.00		498.94		
22	22.00		554.32		
23	23.00		554.45		
24	24.00		554.57		
25	25.00		623.81		
26	26.00		623.92		
27	27.00		624.03		
28	28.00		624.11		
29	29.00		624.19		

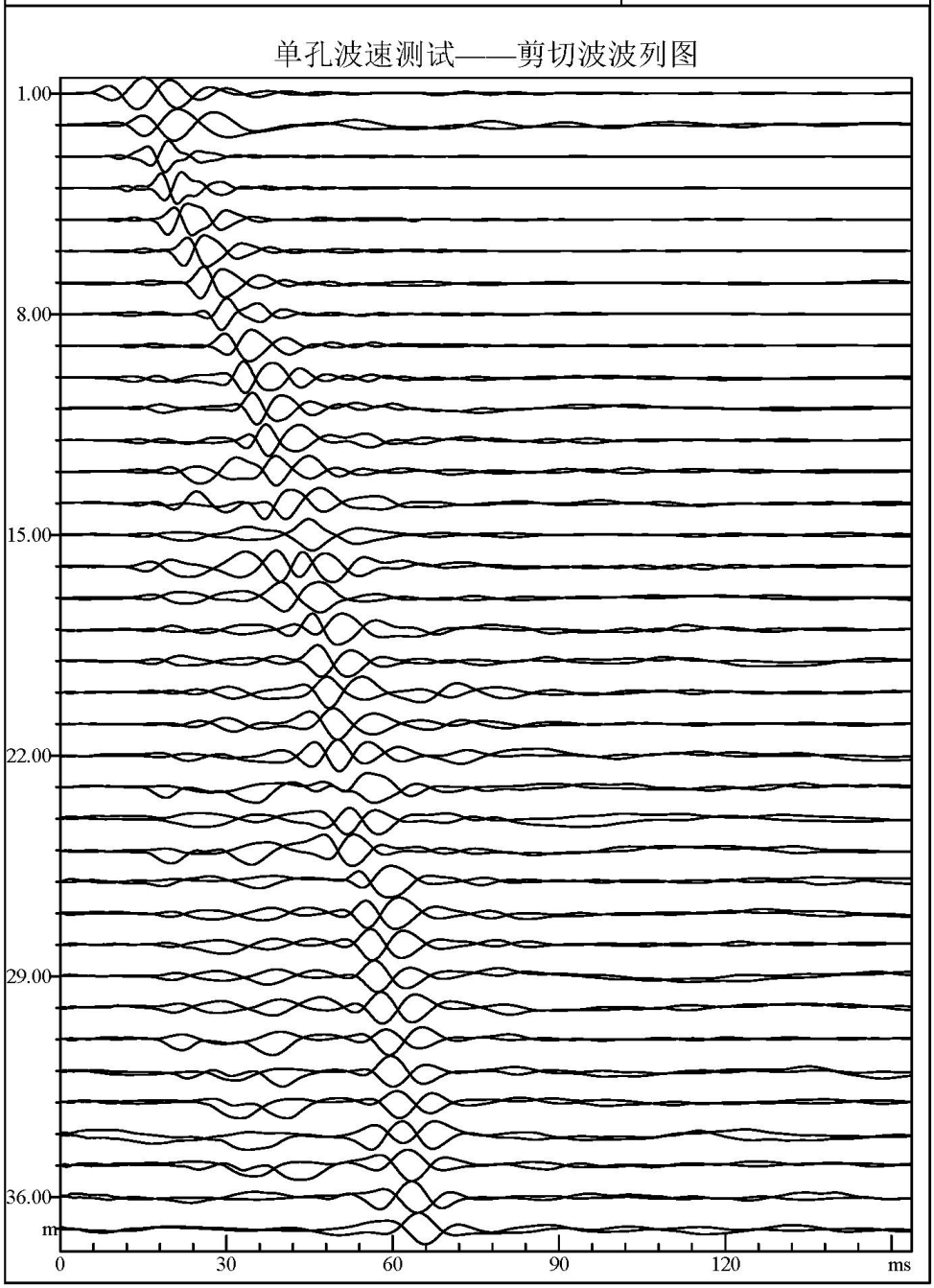


工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK6	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	202.03
2	2.00	262.08
3	3.00	266.15
4	4.00	295.18
5	5.00	302.20
6	6.00	305.77
7	7.00	327.77
8	8.00	329.28
9	9.00	330.26
10	10.00	354.26
11	11.00	381.83
12	12.00	382.37
13	13.00	414.39
14	14.00	452.19
15	15.00	452.57
16	16.00	452.86
17	17.00	498.16
18	18.00	498.41
19	19.00	553.76
20	20.00	553.99
21	21.00	498.94
22	22.00	554.32
23	23.00	554.45
24	24.00	554.57
25	25.00	623.81
26	26.00	623.92
27	27.00	624.03
28	28.00	624.11
29	29.00	624.19

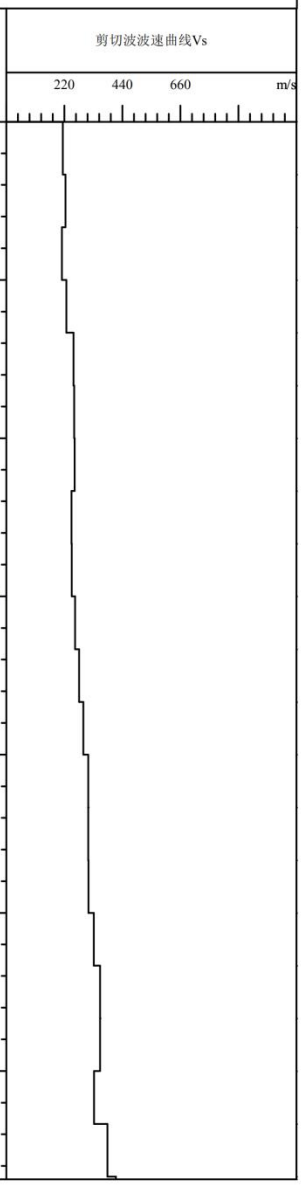
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK7	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK7	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

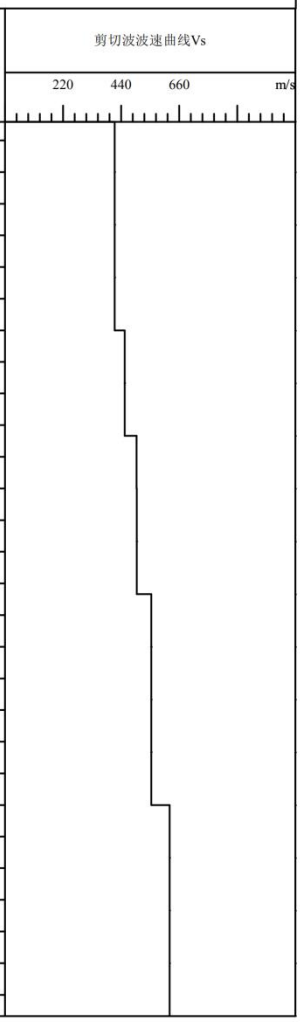
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)
1	1.00		214.27
2	2.00		224.40
3	3.00		211.52
4	4.00		227.90
5	5.00		254.94
6	6.00		257.75
7	7.00		259.36
8	8.00		247.56
9	9.00		248.11
10	10.00		261.42
11	11.00		276.15
12	12.00		292.57
13	13.00		310.99
14	14.00		311.24
15	15.00		311.43
16	16.00		332.25
17	17.00		356.02
18	18.00		356.17
19	19.00		332.62
20	20.00		383.70



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK7	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
21	21.00		415.68	
22	22.00		415.79	
23	23.00		415.88	
24	24.00		415.96	
25	25.00		453.75	
26	26.00		453.83	
27	27.00		499.18	
28	28.00		499.25	
29	29.00		499.32	
30	30.00		554.75	
31	31.00		554.81	
32	32.00		554.88	
33	33.00		554.93	
34	34.00		624.23	
35	35.00		624.29	
36	36.00		624.34	
37	37.00		624.39	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK7	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

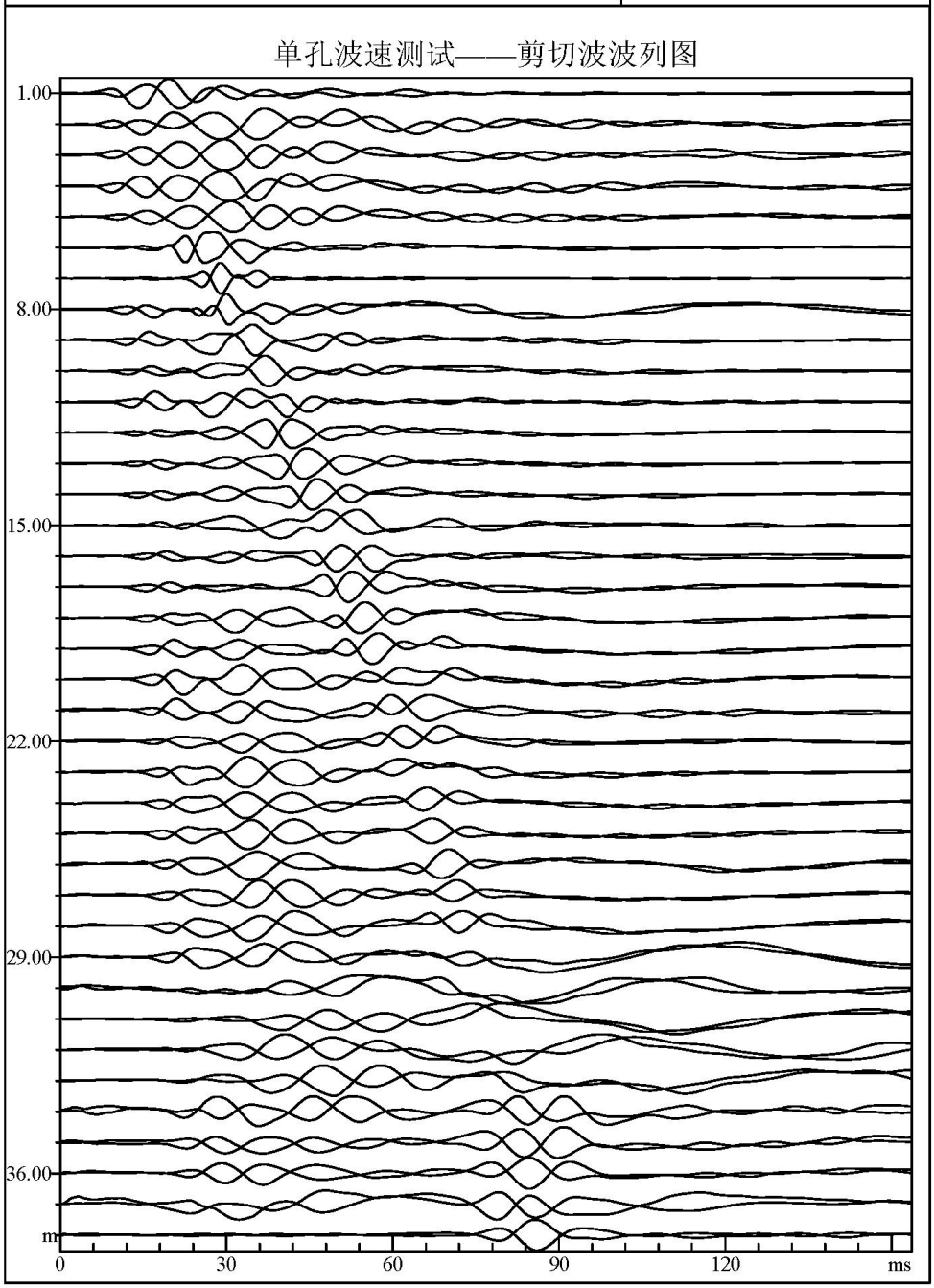
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	214.27
2	2.00	224.40
3	3.00	211.52
4	4.00	227.90
5	5.00	254.94
6	6.00	257.75
7	7.00	259.36
8	8.00	247.56
9	9.00	248.11
10	10.00	261.42
11	11.00	276.15
12	12.00	292.57
13	13.00	310.99
14	14.00	311.24
15	15.00	311.43
16	16.00	332.25
17	17.00	356.02
18	18.00	356.17
19	19.00	332.62
20	20.00	383.70
21	21.00	415.68
22	22.00	415.79
23	23.00	415.88
24	24.00	415.96
25	25.00	453.75
26	26.00	453.83
27	27.00	499.18
28	28.00	499.25
29	29.00	499.32
30	30.00	554.75

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/09
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK7	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	554.81
32	32.00	554.88
33	33.00	554.93
34	34.00	624.23
35	35.00	624.29
36	36.00	624.34
37	37.00	624.39

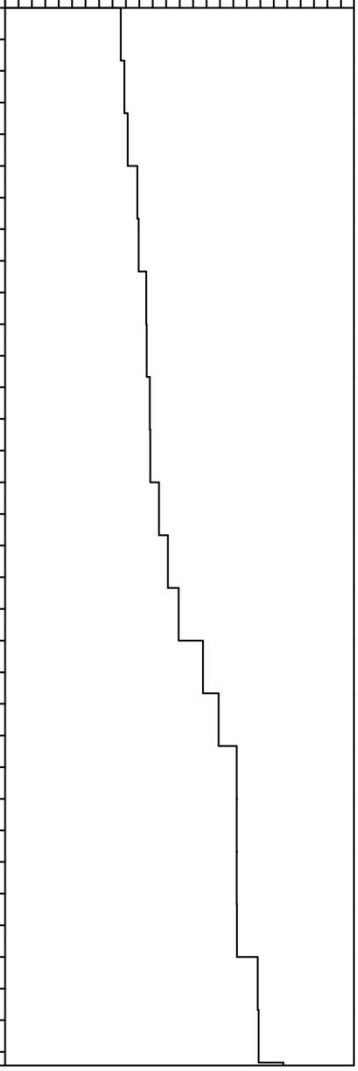
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK8	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK8	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

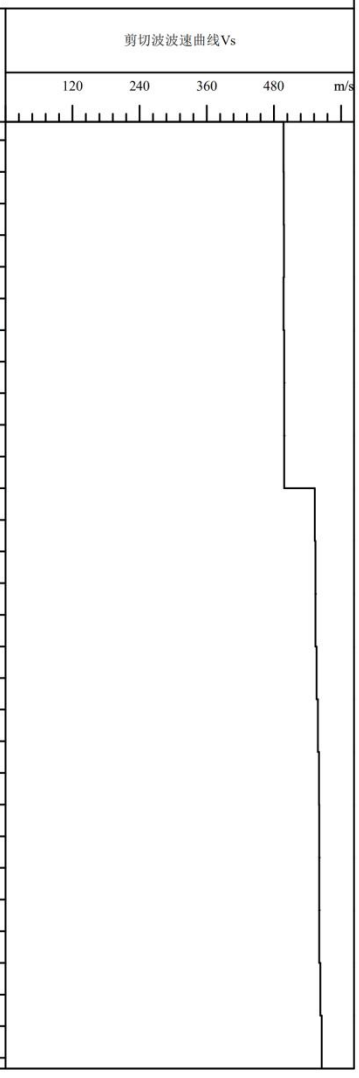
序号	测点深度	波速 (m/s)
1	1.00	207.16
2	2.00	213.49
3	3.00	219.68
4	4.00	236.83
5	5.00	239.33
6	6.00	252.95
7	7.00	253.52
8	8.00	259.26
9	9.00	260.11
10	10.00	275.50
11	11.00	291.41
12	12.00	310.88
13	13.00	354.45
14	14.00	382.48
15	15.00	414.82
16	16.00	414.68
17	17.00	414.63
18	18.00	415.09
19	19.00	452.06
20	20.00	453.87



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK8	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
21	21.00	498.01	
22	22.00	498.47	
23	23.00	498.88	
24	24.00	498.08	
25	25.00	499.44	
26	26.00	499.43	
27	27.00	499.50	
28	28.00	554.08	
29	29.00	555.30	
30	30.00	555.37	
31	31.00	557.53	
32	32.00	559.73	
33	33.00	561.92	
34	34.00	561.96	
35	35.00	562.00	
36	36.00	562.04	
37	37.00	564.24	
38	38.00	566.45	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK8	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

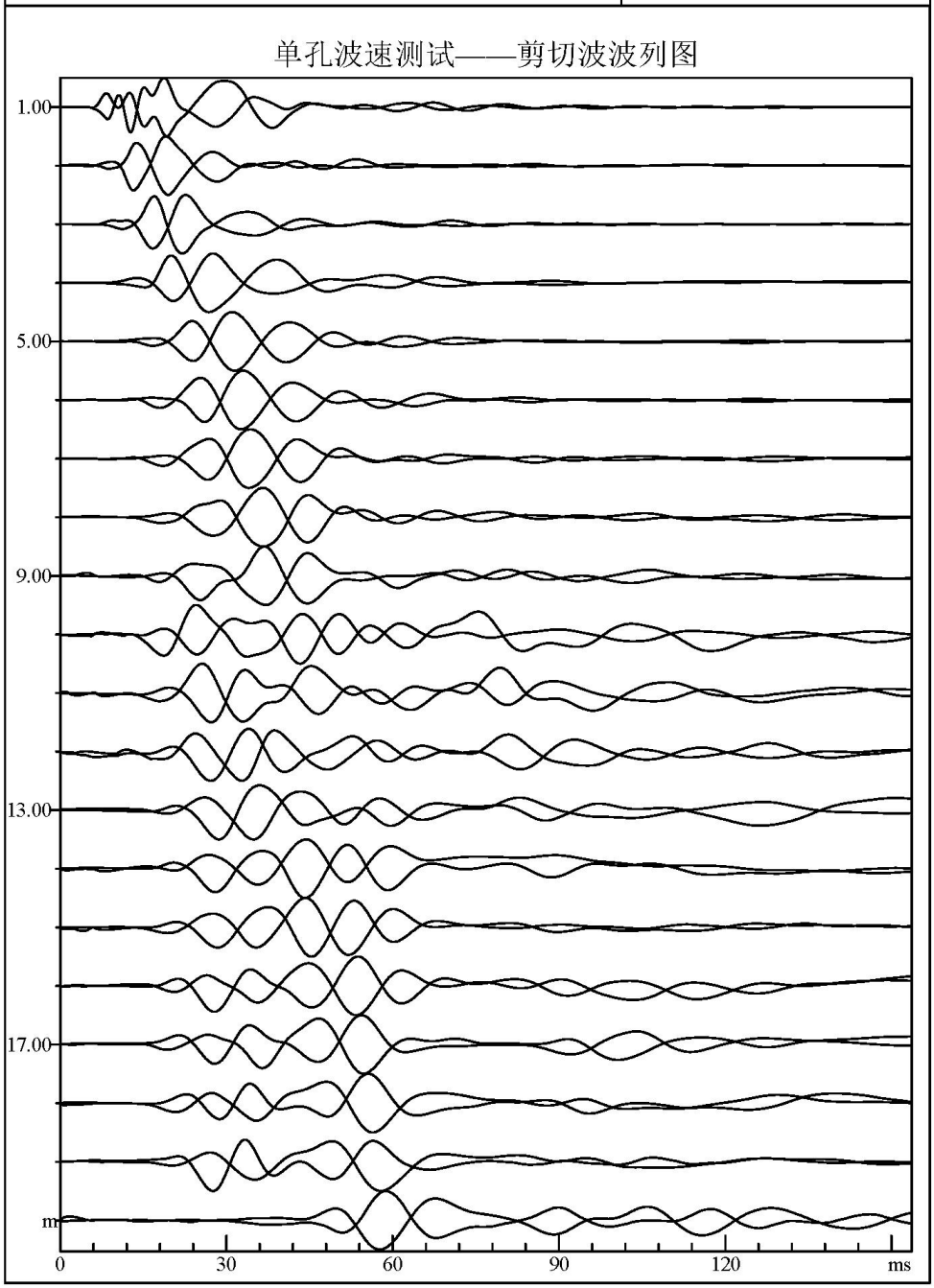
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	207.16
2	2.00	213.49
3	3.00	219.68
4	4.00	236.83
5	5.00	239.33
6	6.00	252.95
7	7.00	253.52
8	8.00	259.26
9	9.00	260.11
10	10.00	275.50
11	11.00	291.41
12	12.00	310.88
13	13.00	354.45
14	14.00	382.48
15	15.00	414.82
16	16.00	414.68
17	17.00	414.63
18	18.00	415.09
19	19.00	452.06
20	20.00	453.87
21	21.00	498.01
22	22.00	498.47
23	23.00	498.88
24	24.00	498.08
25	25.00	499.44
26	26.00	499.43
27	27.00	499.50
28	28.00	554.08
29	29.00	555.30
30	30.00	555.37

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK8	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	557.53
32	32.00	559.73
33	33.00	561.92
34	34.00	561.96
35	35.00	562.00
36	36.00	562.04
37	37.00	564.24
38	38.00	566.45

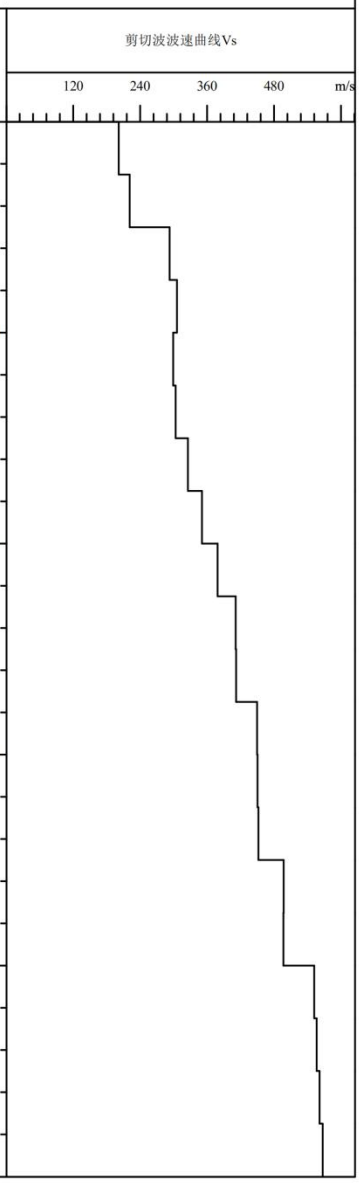
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK9	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK9	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
1	1.00	202.03	
2	2.00	221.65	
3	3.00	293.32	
4	4.00	306.67	
5	5.00	299.84	
6	6.00	304.09	
7	7.00	326.18	
8	8.00	351.50	
9	9.00	379.60	
10	10.00	411.96	
11	11.00	412.85	
12	12.00	450.31	
13	13.00	451.26	
14	14.00	452.77	
15	15.00	497.99	
16	16.00	497.72	
17	17.00	553.09	
18	18.00	557.58	
19	19.00	562.88	
20	20.00	568.24	

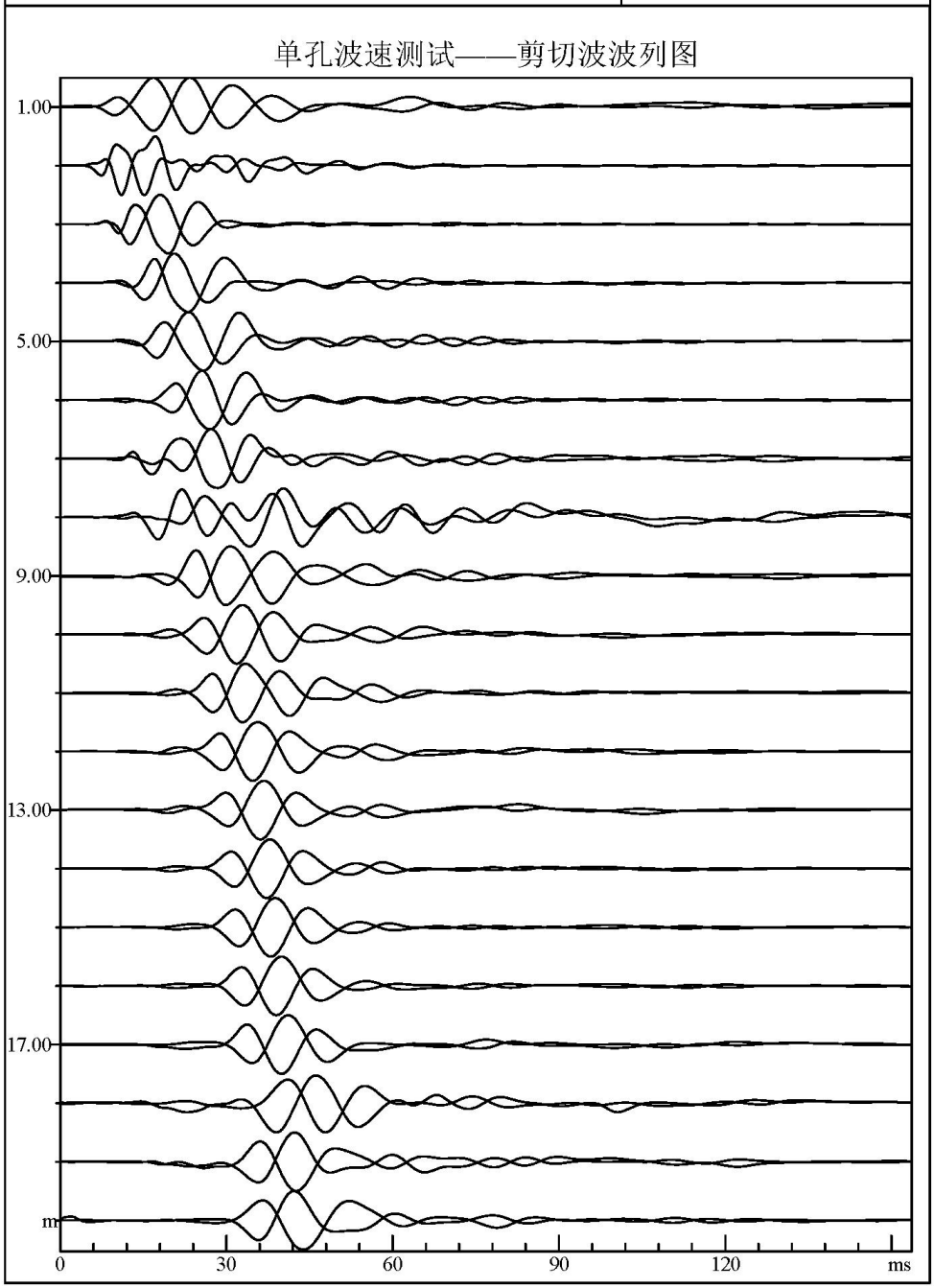


工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK9	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	202.03
2	2.00	221.65
3	3.00	293.32
4	4.00	306.67
5	5.00	299.84
6	6.00	304.09
7	7.00	326.18
8	8.00	351.50
9	9.00	379.60
10	10.00	411.96
11	11.00	412.85
12	12.00	450.31
13	13.00	451.26
14	14.00	452.77
15	15.00	497.99
16	16.00	497.72
17	17.00	553.09
18	18.00	557.58
19	19.00	562.88
20	20.00	568.24

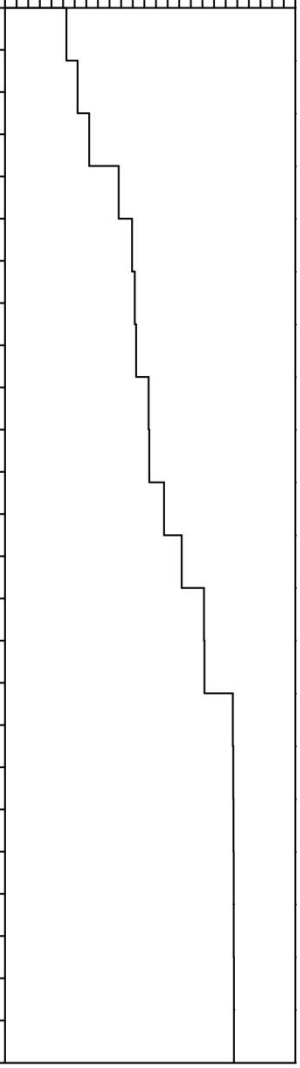
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK10	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK10	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
1	1.00		232.92	
2	2.00		275.29	
3	3.00		319.76	
4	4.00		431.10	
5	5.00		481.96	
6	6.00		491.64	
7	7.00		496.91	
8	8.00		544.35	
9	9.00		546.86	
10	10.00		602.50	
11	11.00		670.15	
12	12.00		754.42	
13	13.00		755.82	
14	14.00		863.90	
15	15.00		865.03	
16	16.00		865.90	
17	17.00		866.60	
18	18.00		867.14	
19	19.00		867.60	
20	20.00		867.96	

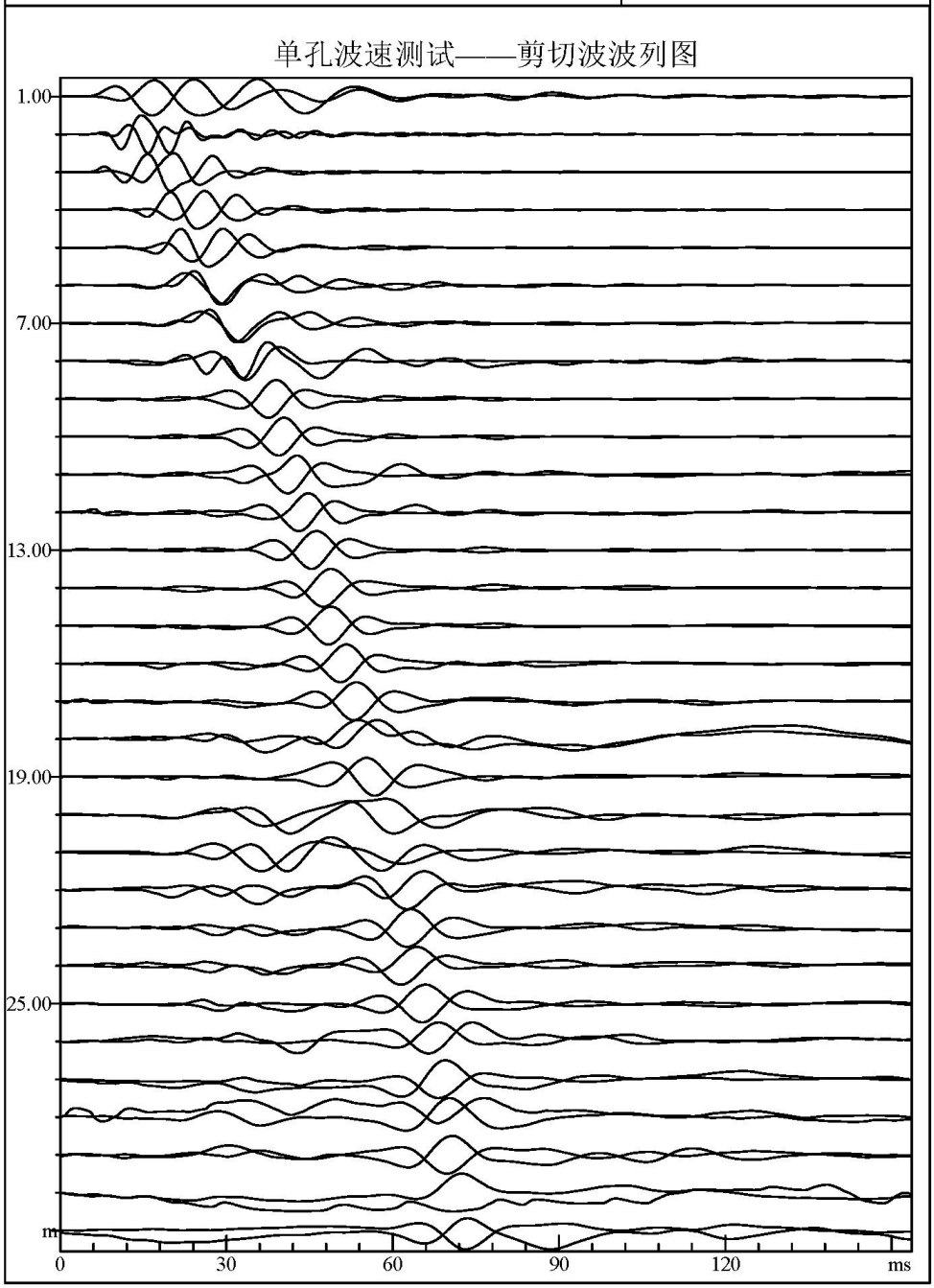


工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK10	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	232.92
2	2.00	275.29
3	3.00	319.76
4	4.00	431.10
5	5.00	481.96
6	6.00	491.64
7	7.00	496.91
8	8.00	544.35
9	9.00	546.86
10	10.00	602.50
11	11.00	670.15
12	12.00	754.42
13	13.00	755.82
14	14.00	863.90
15	15.00	865.03
16	16.00	865.90
17	17.00	866.60
18	18.00	867.14
19	19.00	867.60
20	20.00	867.96

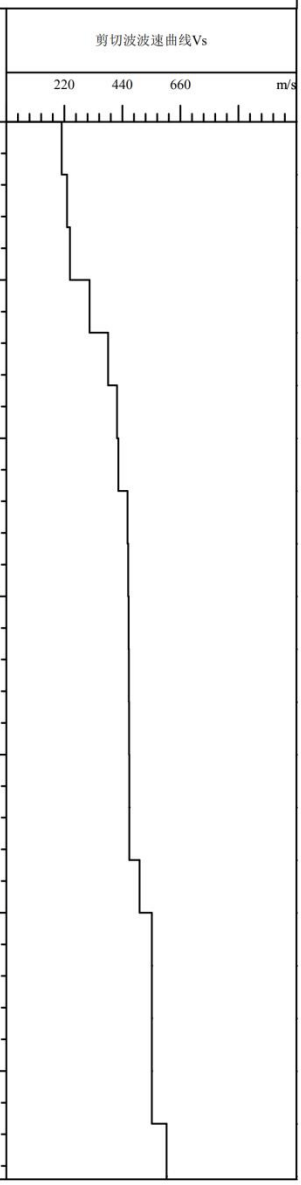
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK11	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK11	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)
1	1.00		210.19
2	2.00		230.27
3	3.00		241.97
4	4.00		315.96
5	5.00		386.08
6	6.00		420.39
7	7.00		425.28
8	8.00		460.27
9	9.00		462.49
10	10.00		463.97
11	11.00		464.99
12	12.00		465.73
13	13.00		466.27
14	14.00		466.69
15	15.00		505.67
16	16.00		551.71
17	17.00		552.03
18	18.00		552.30
19	19.00		552.51
20	20.00		607.74



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK11	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
					220 440 660 m/s
21	21.00		607.93	21	
22	22.00		608.09		
23	23.00		608.23		
24	24.00		608.35	24	
25	25.00		675.88		
26	26.00		675.99		
27	27.00		676.09	27	
28	28.00		676.18		
29	29.00		676.26		
30	30.00		676.32	30	
31	31.00		676.39		

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK11	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

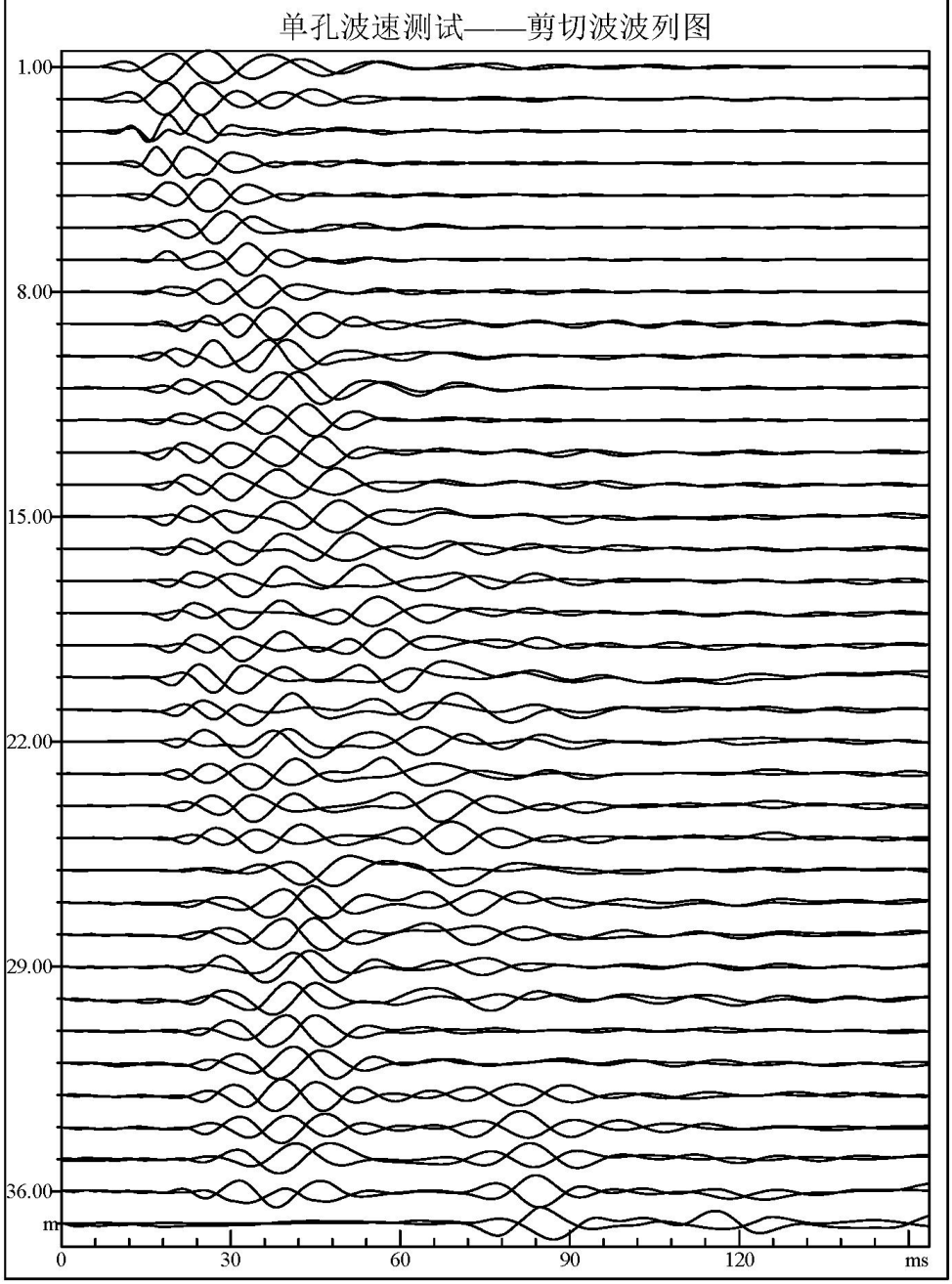
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	210.19
2	2.00	230.27
3	3.00	241.97
4	4.00	315.96
5	5.00	386.08
6	6.00	420.39
7	7.00	425.28
8	8.00	460.27
9	9.00	462.49
10	10.00	463.97
11	11.00	464.99
12	12.00	465.73
13	13.00	466.27
14	14.00	466.69
15	15.00	505.67
16	16.00	551.71
17	17.00	552.03
18	18.00	552.30
19	19.00	552.51
20	20.00	607.74
21	21.00	607.93
22	22.00	608.09
23	23.00	608.23
24	24.00	608.35
25	25.00	675.88
26	26.00	675.99
27	27.00	676.09
28	28.00	676.18
29	29.00	676.26
30	30.00	676.32

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/10
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK11	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	676.39

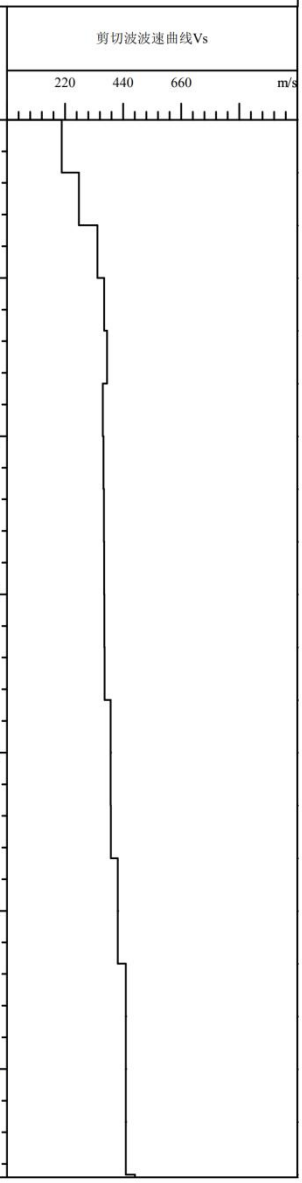
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK12	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK12	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

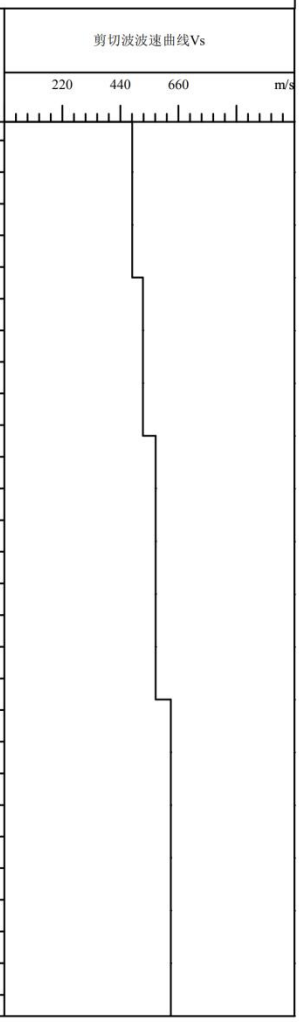
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
1	1.00		207.40	
2	2.00		272.65	
3	3.00		342.93	
4	4.00		368.54	
5	5.00		379.69	
6	6.00		363.38	
7	7.00		365.97	
8	8.00		367.55	
9	9.00		368.58	
10	10.00		369.28	
11	11.00		369.79	
12	12.00		393.09	
13	13.00		393.43	
14	14.00		393.69	
15	15.00		420.01	
16	16.00		420.21	
17	17.00		450.27	
18	18.00		450.43	
19	19.00		450.57	
20	20.00		450.68	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK12	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
21	21.00		485.34	
22	22.00		485.44	
23	23.00		485.53	
24	24.00		525.97	
25	25.00		526.05	
26	26.00		526.11	
27	27.00		573.91	
28	28.00		573.98	
29	29.00		574.04	
30	30.00		574.09	
31	31.00		574.14	
32	32.00		631.51	
33	33.00		631.57	
34	34.00		631.60	
35	35.00		631.64	
36	36.00		631.68	
37	37.00		631.71	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK12	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

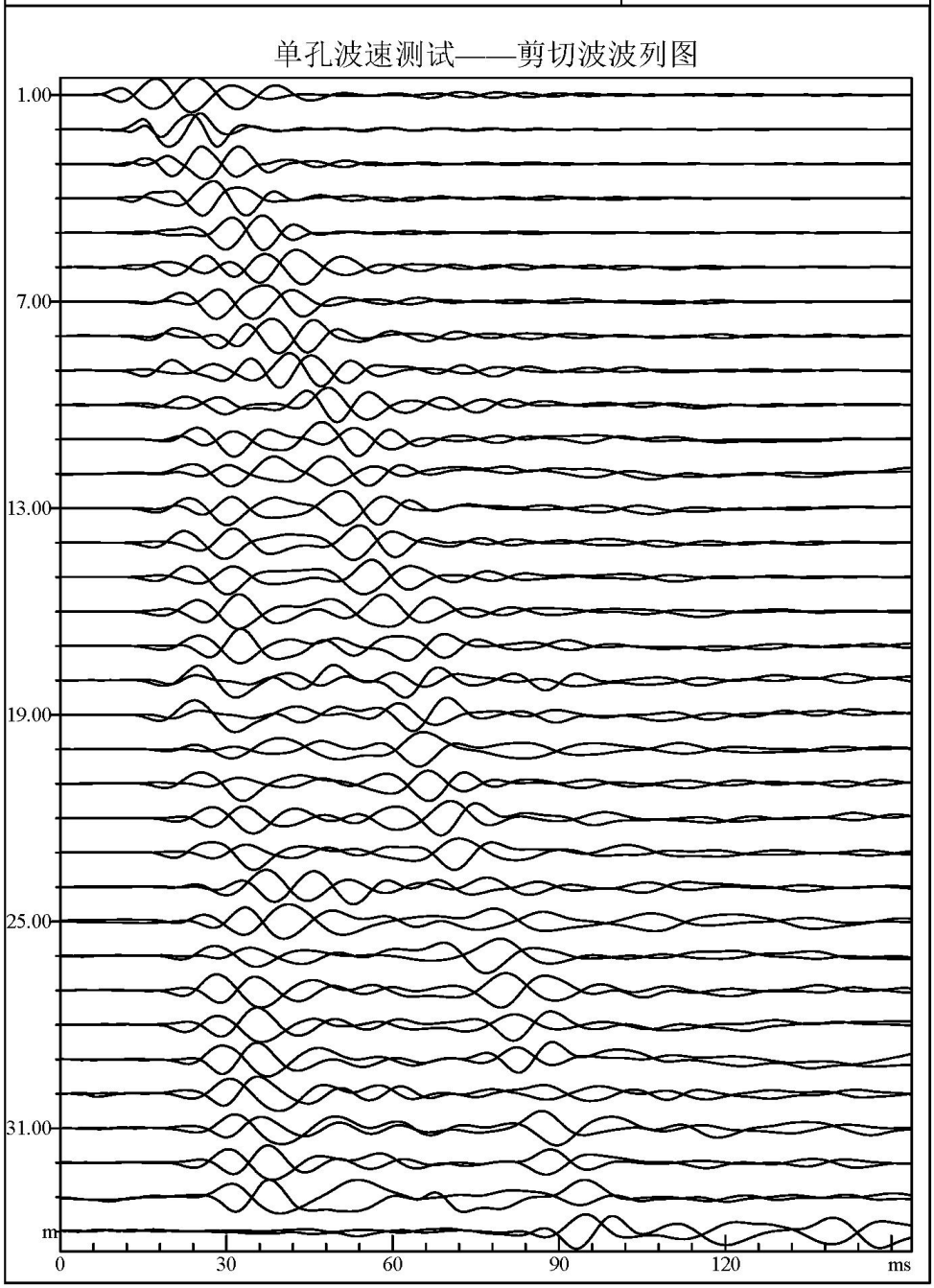
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	207.40
2	2.00	272.65
3	3.00	342.93
4	4.00	368.54
5	5.00	379.69
6	6.00	363.38
7	7.00	365.97
8	8.00	367.55
9	9.00	368.58
10	10.00	369.28
11	11.00	369.79
12	12.00	393.09
13	13.00	393.43
14	14.00	393.69
15	15.00	420.01
16	16.00	420.21
17	17.00	450.27
18	18.00	450.43
19	19.00	450.57
20	20.00	450.68
21	21.00	485.34
22	22.00	485.44
23	23.00	485.53
24	24.00	525.97
25	25.00	526.05
26	26.00	526.11
27	27.00	573.91
28	28.00	573.98
29	29.00	574.04
30	30.00	574.09

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK12	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	574.14
32	32.00	631.51
33	33.00	631.57
34	34.00	631.60
35	35.00	631.64
36	36.00	631.68
37	37.00	631.71

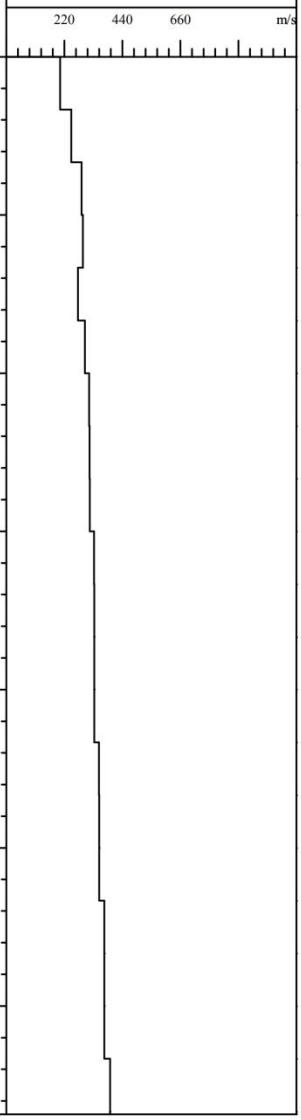
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK13	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK13	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

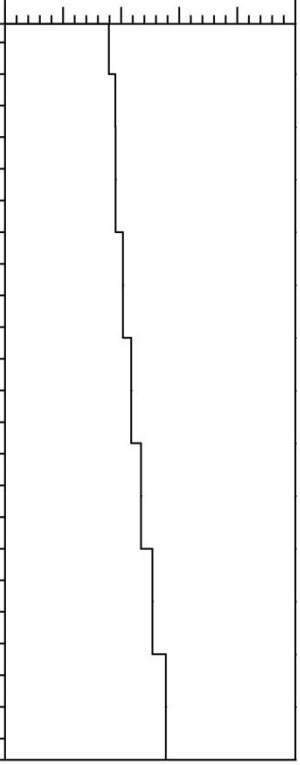
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
1	1.00		204.23	
2	2.00		246.49	
3	3.00		285.63	3
4	4.00		290.35	
5	5.00		271.95	
6	6.00		298.59	6
7	7.00		314.48	
8	8.00		315.87	
9	9.00		316.77	9
10	10.00		333.06	
11	11.00		333.57	
12	12.00		333.94	12
13	13.00		334.22	
14	14.00		351.93	
15	15.00		352.13	15
16	16.00		352.29	
17	17.00		371.91	
18	18.00		372.04	18
19	19.00		372.14	
20	20.00		394.05	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK13	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)
21	21.00		394.14	21
22	22.00		418.78	
23	23.00		418.86	
24	24.00		418.92	24
25	25.00		446.85	
26	26.00		446.90	
27	27.00		478.82	27
28	28.00		478.87	
29	29.00		515.69	
30	30.00		515.74	30
31	31.00		558.70	
32	32.00		558.75	
33	33.00		609.51	33
34	34.00		609.57	



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK13	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

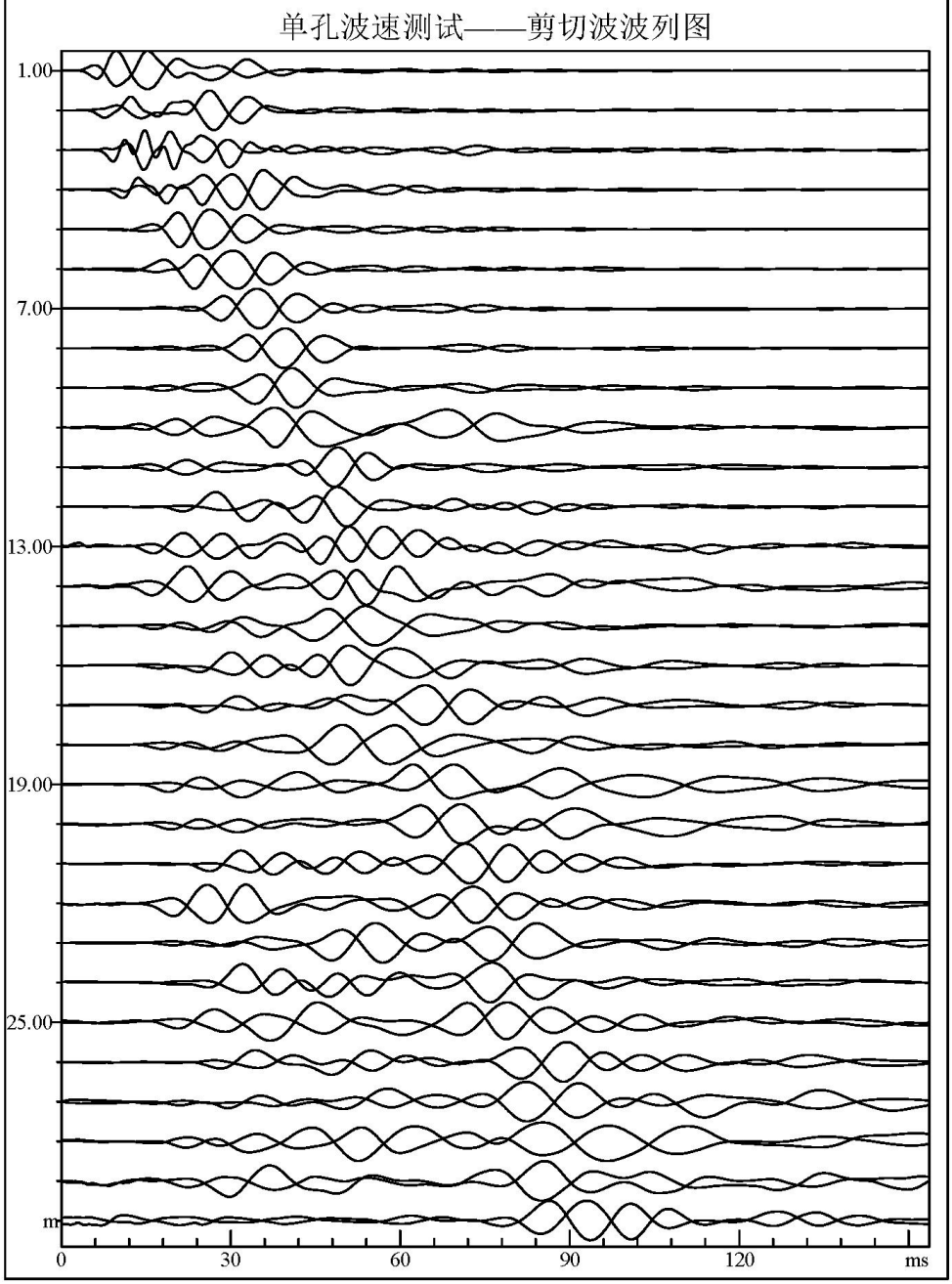
序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	204.23
2	2.00	246.49
3	3.00	285.63
4	4.00	290.35
5	5.00	271.95
6	6.00	298.59
7	7.00	314.48
8	8.00	315.87
9	9.00	316.77
10	10.00	333.06
11	11.00	333.57
12	12.00	333.94
13	13.00	334.22
14	14.00	351.93
15	15.00	352.13
16	16.00	352.29
17	17.00	371.91
18	18.00	372.04
19	19.00	372.14
20	20.00	394.05
21	21.00	394.14
22	22.00	418.78
23	23.00	418.86
24	24.00	418.92
25	25.00	446.85
26	26.00	446.90
27	27.00	478.82
28	28.00	478.87
29	29.00	515.69
30	30.00	515.74

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/12
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK13	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
31	31.00	558.70
32	32.00	558.75
33	33.00	609.51
34	34.00	609.57

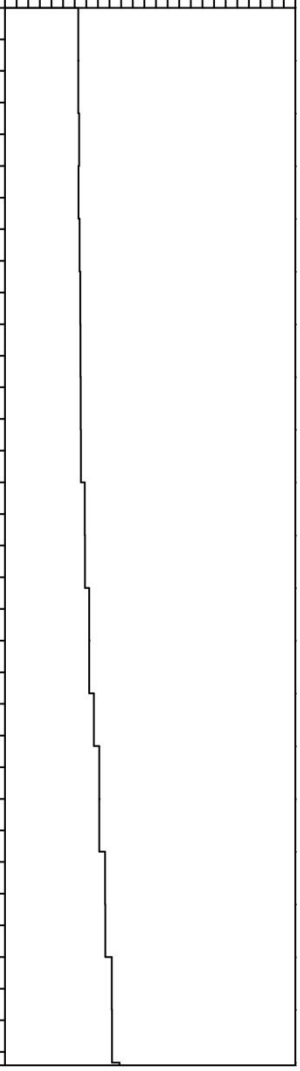
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK14	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK14	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
1	1.00		278.00		
2	2.00		278.17		
3	3.00		281.70		
4	4.00		278.84		
5	5.00		283.01		
6	6.00		285.29		
7	7.00		286.65		
8	8.00		287.52		
9	9.00		288.11		
10	10.00		302.78		
11	11.00		303.14		
12	12.00		319.25		
13	13.00		319.49		
14	14.00		337.33		
15	15.00		357.25		
16	16.00		357.42		
17	17.00		379.80		
18	18.00		379.94		
19	19.00		405.29		
20	20.00		405.40		



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK14	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

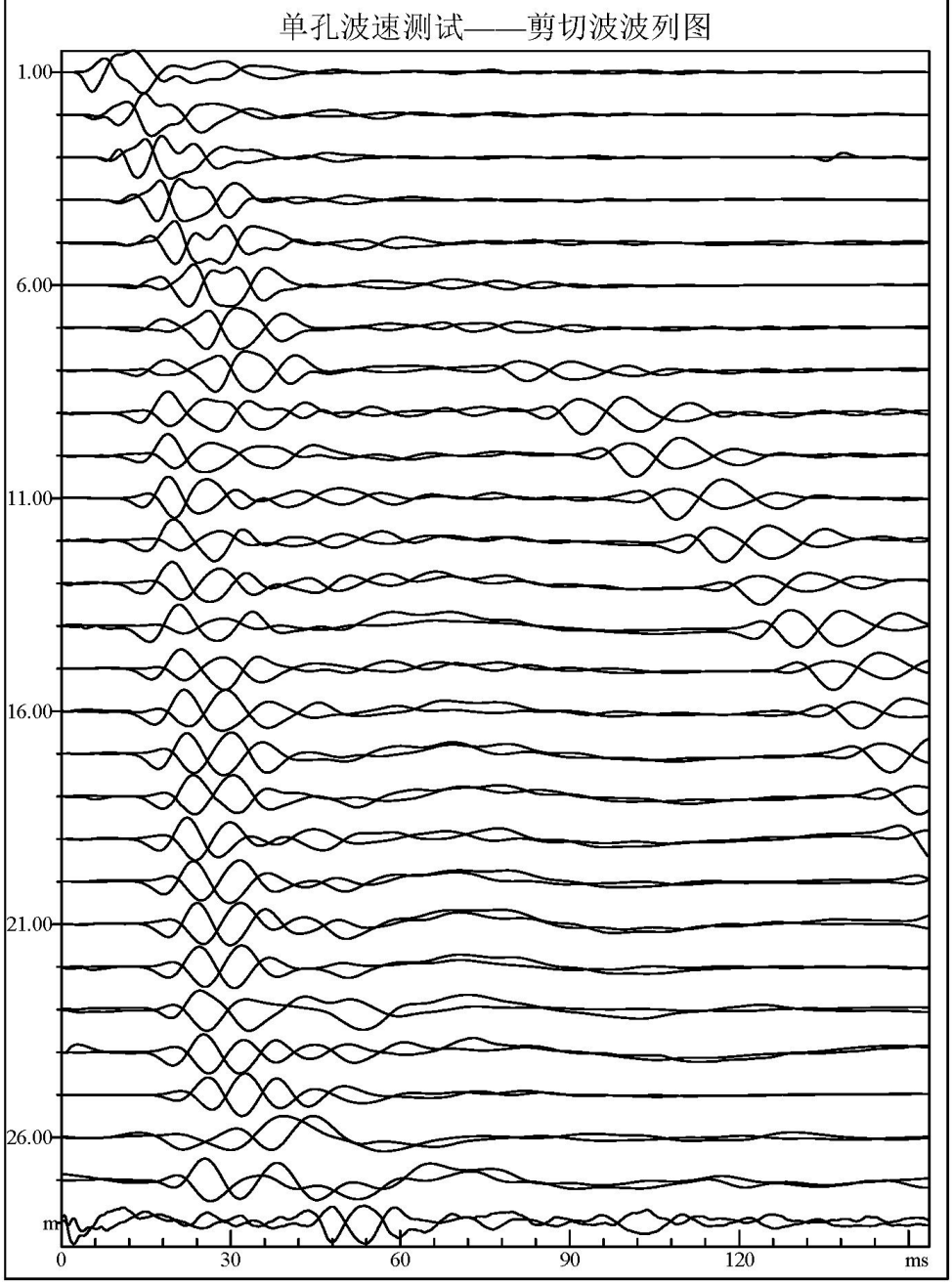
序号	测点深度	土层描述	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
					220 440 660 m/s
21	21.00		434.37	21	
22	22.00		434.46		
23	23.00		434.55		
24	24.00		467.97	24	
25	25.00		468.04		
26	26.00		468.11		
27	27.00		507.10	27	
28	28.00		553.17		
29	29.00		553.24		
30	30.00		608.52		

工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK14	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	278.00
2	2.00	278.17
3	3.00	281.70
4	4.00	278.84
5	5.00	283.01
6	6.00	285.29
7	7.00	286.65
8	8.00	287.52
9	9.00	288.11
10	10.00	302.78
11	11.00	303.14
12	12.00	319.25
13	13.00	319.49
14	14.00	337.33
15	15.00	357.25
16	16.00	357.42
17	17.00	379.80
18	18.00	379.94
19	19.00	405.29
20	20.00	405.40
21	21.00	434.37
22	22.00	434.46
23	23.00	434.55
24	24.00	467.97
25	25.00	468.04
26	26.00	468.11
27	27.00	507.10
28	28.00	553.17
29	29.00	553.24
30	30.00	608.52

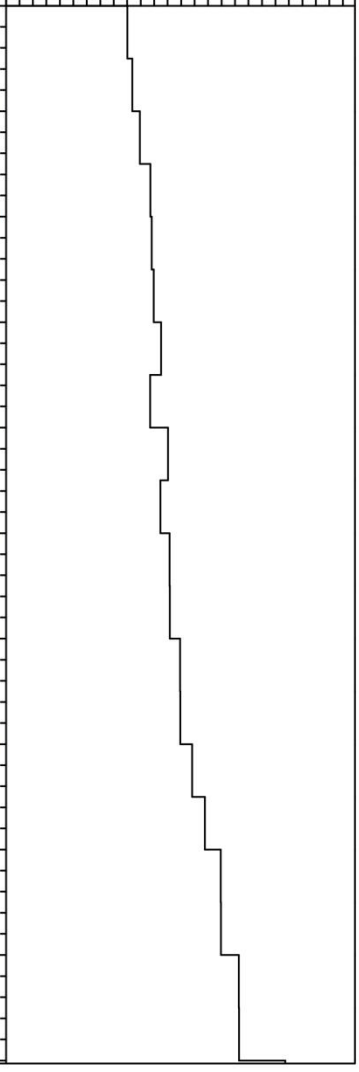
工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK15	测试仪器：RSM-SW



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK15	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

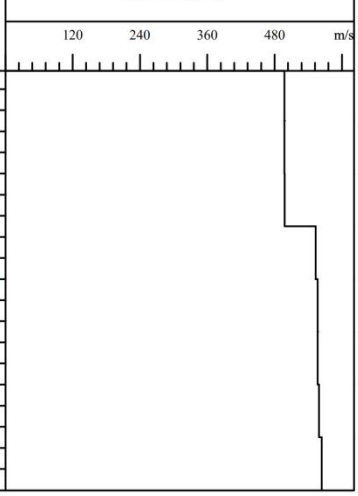
序号	测点深度	波速 (m/s)
1	1.00	216.54
2	2.00	225.37
3	3.00	238.74
4	4.00	257.53
5	5.00	260.21
6	6.00	263.76
7	7.00	276.67
8	8.00	257.29
9	9.00	289.05
10	10.00	275.61
11	11.00	292.08
12	12.00	292.39
13	13.00	310.84
14	14.00	311.06
15	15.00	332.33
16	16.00	355.06
17	17.00	383.27
18	18.00	383.75
19	19.00	415.64
20	20.00	415.86



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK15	测试仪器：RSM-SW

剪切波测试成果图

序号	测点深度	波速 (m/s)	标尺 (1:100)	剪切波波速曲线Vs
21	21.00	498.43		
22	22.00	498.59		
23	23.00	498.73		
24	24.00	554.04		
25	25.00	557.72		
26	26.00	557.83		
27	27.00	560.21		
28	28.00	564.87		



工程名称：内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区评	测试日期：2022/04/13
测试单位：包头市雨辰地震工程技术服务有限公司	测试人员：王伟
钻孔编号：ZK15	测试仪器：RSM-SW

单孔波速测试——结果数据表

序号	测点深度(m)	Vs(m/s)
1	1.00	216.54
2	2.00	225.37
3	3.00	238.74
4	4.00	257.53
5	5.00	260.21
6	6.00	263.76
7	7.00	276.67
8	8.00	257.29
9	9.00	289.05
10	10.00	275.61
11	11.00	292.08
12	12.00	292.39
13	13.00	310.84
14	14.00	311.06
15	15.00	332.33
16	16.00	355.06
17	17.00	383.27
18	18.00	383.75
19	19.00	415.64
20	20.00	415.86
21	21.00	498.43
22	22.00	498.59
23	23.00	498.73
24	24.00	554.04
25	25.00	557.72
26	26.00	557.83
27	27.00	560.21
28	28.00	564.87

4.2.4 场地类别划分

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）第4.1.5条，土层的等效剪切波速应按下式计算：

$$v_{se} = d_0 / t$$

$$t = \sum_{i=1}^{n} d_i / v_{si}$$

上式中：v_{se}——土层等效剪切波速；

d_0——计算深度（m），取覆盖层厚度和20m两者的较小值；

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；

v_{si}——计算深度范围内第i土层的剪切波速；

n——计算深度范围内土层的分层数。

由上式可求得场地各孔的土层等效剪切波速(Vse)。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）第4.1.6条，有关建筑物场地类别划分标准见表4.2.4-1，判别结果见表4.2.4-2，目标区场地类别分区见图4.2.4-1。

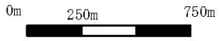
表4.2.4-1　各类建筑场地的覆盖层厚度（m）

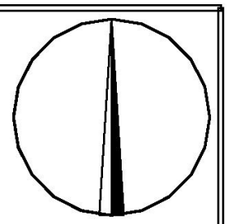
岩石的剪切波速或 土的等效剪切波速（m/s）	场地类别				
	I_0	**I_1**	**II**	**III**	**IV**
$V_s > 800$	0				
800≥Vs > 500		0			
500≥Vse > 250		< 5	≥5		
250≥Vse > 150		< 3	3 ~ 50	> 50	
Vse≤150		< 3	3 ~ 15	15 ~ 80	> 80

表4.2.4-2　场地建筑类别判别结果

孔号	等效剪切波速(m/s)	覆盖层厚度(m)	场地类别	孔号	等效剪切波速(m/s)	覆盖层厚度(m)	场地类别
ZK1	330.89	18m	**II**	ZK9	349.65	17m	**II**
ZK2	293.62	28m	**II**	ZK10	375.03	8m	**II**
ZK3	388.62	27m	**II**	ZK11	367.91	15m	**II**
ZK4	357.85	21m	**II**	ZK12	367.99	24m	**II**
ZK5	383.62	24m	**II**	ZK13	314.78	29m	**II**
ZK6	348.47	19m	**II**	ZK14	315.32	27m	**II**
ZK7	275.07	30m	**II**	ZK15	292.07	24m	**II**
ZK8	294.83	28m	**II**				

目标区场地类别分区图





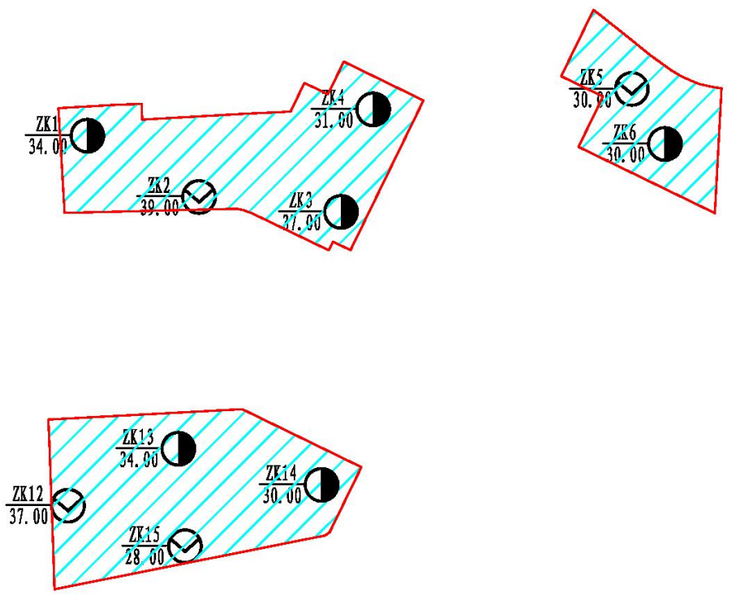


图 例

钻孔编号
勘探深度

Ⅱ类场地

目标区场地类别分区图 4.2.4-1

4.2.5 场地土动力特征

根据《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）规范，对ZK1、ZK3、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14等8个典型钻孔在不同岩性和深度处取得的土样，进行了28个土样的室内土动力三轴试验。本次试验采用西安康拓力公司生产的新型电机伺服控制动三轴仪，采用排水均等固结方式，固结比为1。

本次试验共完成28个试样的测试工作，土样情况列于表4.2.5-1中，表中给出了试验中测出的试样湿容重，以及根据取土深度施加的固结压力。经试验给出了28个样品的动模量比及动阻尼比与剪应变关系曲线,试样在八个典型剪应变时的剪切模量比和阻尼比列于表4.2.5-2中，各试样的G_d/G_{dmax}~γ_d和λ~γ_d的关系曲线见图4.2.5-1。

表4.2.5-1　土样情况表

序号	土样编号	取土深度（m）	岩土名称	密度（g/cm^3）	含水率%	固结压力（kPa）	固结时间（h）	备注
1	ZK1-1	1.0～1.2	粉砂	1.903	3.74	50	6	重塑
2	ZK1-2	4.0～4.2	粉细砂	1.991	3.71	50	6	重塑
3	ZK1-3	9.0～9.2	泥岩	1.936	11.16	90	8	原状
4	ZK1-4	15.0～15.2	砂岩	2.125	8.44	150	6	原状
5	ZK3-1	3.0～3.2	砾砂	2.041	3.19	50	6	重塑
6	ZK3-2	11.2～11.4	砾砂	2.073	10.92	110	6	重塑
7	ZK3-3	18.0～18.2	粉质粘土	2.006	19.04	180	10	原状
8	ZK3-4	23.6～23.8	泥岩	1.993	22.09	240	7	原状
9	ZK4-1	1.8～2.0	粉土	1.970	16.85	50	11	重塑
10	ZK6-1	1.1～1.3	粗砂	1.992	17.34	50	6	重塑
11	ZK6-2	1.8～2.0	粉质粘土	2.020	16.83	50	11	重塑
12	ZK6-3	10.0～10.2	泥岩	1.991	20.13	100	7	重塑
13	ZK6-4	13.0～13.2	砂岩	2.140	15.11	130	6	原状
14	ZK6-5	18.0～18.2	泥岩	1.959	18.56	180	6	重塑
15	ZK8-1	3.0～3.2	粉土	1.971	16.68	50	10	重塑
16	ZK8-2	5.0～5.2	砾砂	2.058	0.59	50	6	重塑

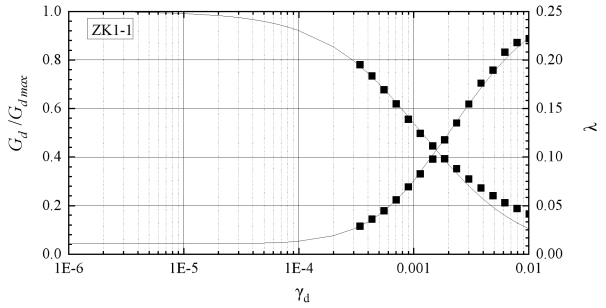
17	ZK8-3	12.8～13.0	泥岩	1.802	15.03	130	8	原状
18	ZK10-1	2.0～2.2	粉砂	1.935	3.16	50	6	重塑
19	ZK13-1	3.0～3.2	粉土	1.958	11.44	50	11	原状
20	ZK13-2	5.0～5.2	砾砂	2.003	17.57	50	6	重塑
21	ZK13-3	8.0～8.2	粉质粘土	1.895	14.99	80	9	重塑
22	ZK13-4	16.0～16.2	砾砂	2.064	3.60	160	6	重塑
23	ZK13-5	19.0～19.2	粉质粘土	1.981	24.23	190	8	重塑
24	ZK13-6	25.0～25.2	泥岩	2.175	22.91	250	8	重塑
25	ZK14-1	3.0～3.2	粗砂	2.010	5.89	50	6	重塑
26	ZK14-2	9.0～9.2	粉质粘土	1.939	20.76	90	9	原状
27	ZK14-3	21.0～21.2	泥岩	2.016	20.50	210	8	原状
28	ZK14-4	23.0～23.2	砂岩	2.264	17.75	230	6	原状

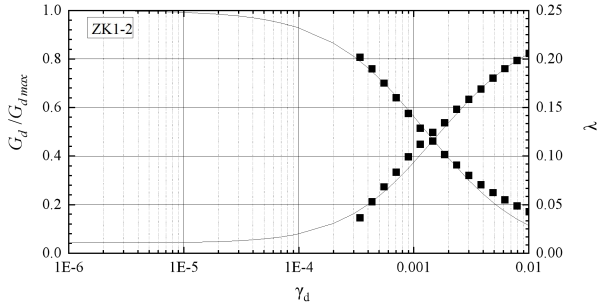
表4.2.5-2　剪切模量比和阻尼比

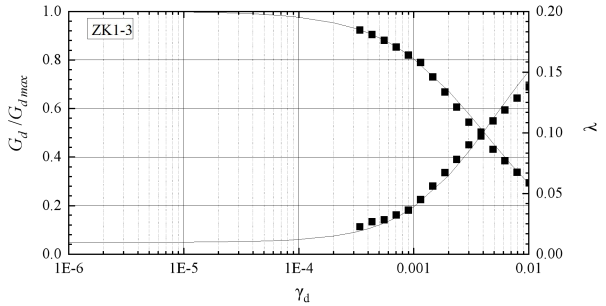
土样编号	取土深度（m）	剪应变γ_d / 参数	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
1(ZK1-1)	1.0 ~ 1.2	G/G_{max}	0.9958	0.9915	0.9591	0.9214	0.7009	0.5395	0.1898	0.1049
		λ_d	0.0105	0.0106	0.0114	0.0133	0.0408	0.0757	0.1883	0.2227
2(ZK1-2)	4.0 ~ 4.2	G/G_{max}	0.9961	0.9923	0.9626	0.9279	0.7203	0.5629	0.2048	0.1141
		λ_d	0.0107	0.0110	0.0147	0.0199	0.0590	0.0936	0.1815	0.2053
3(ZK1-3)	9.0 ~ 9.2	G/G_{max}	0.9988	0.9976	0.9880	0.9763	0.8917	0.8045	0.4514	0.2915
		λ_d	0.0099	0.0099	0.0108	0.0120	0.0240	0.0390	0.1129	0.1507
4(ZK1-4)	15.0 ~ 15.2	G/G_{max}	0.9993	0.9985	0.9927	0.9856	0.9318	0.8723	0.5775	0.4059
		λ_d	0.0090	0.0091	0.0098	0.0107	0.0189	0.0287	0.0819	0.1148
5(ZK3-1)	3.0 ~ 3.2	G/G_{max}	0.9958	0.9917	0.9599	0.9229	0.7054	0.5449	0.1932	0.1069
		λ_d	0.0110	0.0117	0.0173	0.0242	0.0679	0.1018	0.1788	0.1980
6(ZK3-2)	11.2 ~ 11.4	G/G_{max}	0.9966	0.9932	0.9671	0.9362	0.7459	0.5948	0.2270	0.1280
		λ_d	0.0192	0.0232	0.0401	0.0526	0.0981	0.1228	0.1686	0.1790
7(ZK3-3)	18.0 ~ 18.2	G/G_{max}	0.9977	0.9954	0.9773	0.9556	0.8116	0.6829	0.3010	0.1772
		λ_d	0.0102	0.0103	0.0112	0.0127	0.0296	0.0506	0.1335	0.1654
8(ZK3-4)	23.6 ~ 23.8	G/G_{max}	0.9988	0.9977	0.9885	0.9773	0.8961	0.8118	0.4632	0.3014
		λ_d	0.0103	0.0105	0.0121	0.0141	0.0289	0.0447	0.1114	0.1427
9(ZK4-1)	1.8 ~ 2.0	G/G_{max}	0.9963	0.9926	0.9640	0.9304	0.7279	0.5722	0.2110	0.1180
		λ_d	0.0105	0.0105	0.0110	0.0121	0.0307	0.0569	0.1535	0.1860
10(ZK6-1)	1.1 ~ 1.3	G/G_{max}	0.9953	0.9907	0.9554	0.9145	0.6815	0.5169	0.1763	0.0967
		λ_d	0.0104	0.0105	0.0121	0.0151	0.0451	0.0754	0.1553	0.1769
11(ZK6-2)	1.8 ~ 2.0	G/G_{max}	0.9963	0.9926	0.9641	0.9308	0.7289	0.5734	0.2119	0.1185
		λ_d	0.0102	0.0103	0.0116	0.0141	0.0393	0.0664	0.1474	0.1716

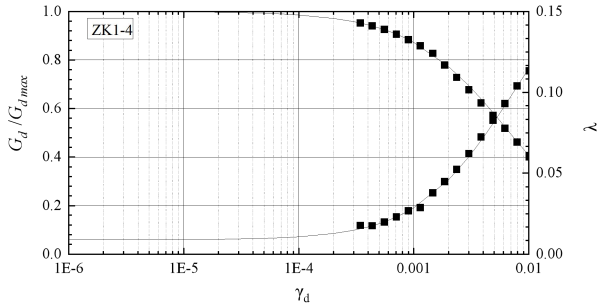
12(ZK6-3)	10.0 ~ 10.2	G/G_{max}	0.9988	0.9976	0.9882	0.9766	0.8930	0.8067	0.4549	0.2944
		λ_d	0.0104	0.0111	0.0152	0.0193	0.0418	0.0608	0.1250	0.1508
13(ZK6-4)	13.0 ~ 13.2	G/G_{max}	0.9992	0.9984	0.9919	0.9839	0.9246	0.8597	0.5507	0.3799
		λ_d	0.0101	0.0108	0.0147	0.0182	0.0363	0.0513	0.1048	0.1291
14(ZK6-5)	18.0 ~ 18.2	G/G_{max}	0.9989	0.9978	0.9892	0.9786	0.9013	0.8203	0.4773	0.3135
		λ_d	0.0110	0.0121	0.0176	0.0226	0.0467	0.0654	0.1247	0.1481
15(ZK8-1)	3.0 ~ 3.2	G/G_{max}	0.9958	0.9917	0.9596	0.9224	0.7039	0.5431	0.1921	0.1062
		λ_d	0.0110	0.0115	0.0162	0.0224	0.0636	0.0968	0.1740	0.1935
16(ZK8-2)	5.0 ~ 5.2	G/G_{max}	0.9964	0.9928	0.9648	0.9319	0.7325	0.5779	0.2150	0.1204
		λ_d	0.0123	0.0138	0.0226	0.0313	0.0732	0.1011	0.1597	0.1740
17(ZK8-3)	12.8 ~ 13.0	G/G_{max}	0.9984	0.9969	0.9845	0.9694	0.8637	0.7601	0.3879	0.2406
		λ_d	0.0141	0.0162	0.0261	0.0340	0.0680	0.0909	0.1502	0.1692
18(ZK10-1)	2.0 ~ 2.2	G/G_{max}	0.9950	0.9900	0.9520	0.9084	0.6648	0.4980	0.1655	0.0902
		λ_d	0.0106	0.0108	0.0141	0.0192	0.0601	0.0958	0.1791	0.1998
19(ZK13-1)	3.0 ~ 3.2	G/G_{max}	0.9956	0.9912	0.9576	0.9187	0.6934	0.5306	0.1844	0.1016
		λ_d	0.0105	0.0106	0.0126	0.0162	0.0502	0.0845	0.1761	0.2011
20(ZK13-2)	5.0 ~ 5.2	G/G_{max}	0.9962	0.9925	0.9637	0.9300	0.7264	0.5704	0.2098	0.1172
		λ_d	0.0106	0.0110	0.0147	0.0196	0.0546	0.0845	0.1593	0.1794
21(ZK13-3)	8.0 ~ 8.2	G/G_{max}	0.9972	0.9945	0.9729	0.9472	0.7820	0.6421	0.2640	0.1521
		λ_d	0.0100	0.0100	0.0102	0.0106	0.0200	0.0366	0.1205	0.1562
22(ZK13-4)	16.0 ~ 16.2	G/G_{max}	0.9973	0.9946	0.9735	0.9484	0.7860	0.6474	0.2686	0.1552
		λ_d	0.0103	0.0105	0.0125	0.0153	0.0383	0.0611	0.1315	0.1542
23(ZK13-5)	19.0 ~ 19.2	G/G_{max}	0.9978	0.9956	0.9785	0.9580	0.8201	0.6951	0.3132	0.1857
		λ_d	0.0095	0.0095	0.0099	0.0106	0.0212	0.0372	0.1146	0.1486

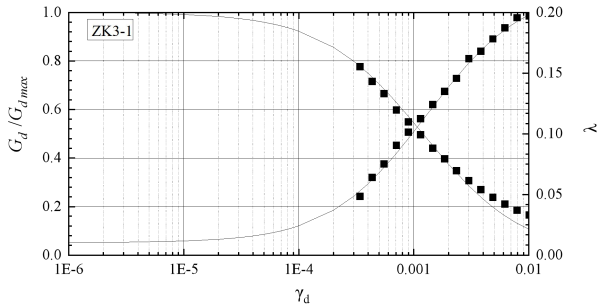
24(ZK13-6)	25.0 ~ 25.2	G/G_{max}	0.9988	0.9977	0.9885	0.9773	0.8959	0.8114	0.4625	0.3009
		λ_d	0.0092	0.0093	0.0102	0.0115	0.0232	0.0371	0.1034	0.1371
25(ZK14-1)	3.0 ~ 3.2	G/G_{max}	0.9957	0.9915	0.9587	0.9207	0.6990	0.5373	0.1885	0.1040
		λ_d	0.0106	0.0108	0.0135	0.0177	0.0550	0.0903	0.1818	0.2065
26(ZK14-2)	9.0 ~ 9.2	G/G_{max}	0.9973	0.9946	0.9737	0.9487	0.7871	0.6489	0.2699	0.1560
		λ_d	0.0101	0.0101	0.0103	0.0107	0.0203	0.0370	0.1221	0.1586
27(ZK14-3)	21.0 ~ 21.2	G/G_{max}	0.9990	0.9979	0.9897	0.9796	0.9056	0.8274	0.4895	0.3241
		λ_d	0.0097	0.0101	0.0126	0.0153	0.0317	0.0470	0.1049	0.1310
28(ZK14-4)	23.0 ~ 23.2	G/G_{max}	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
		λ_d	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999

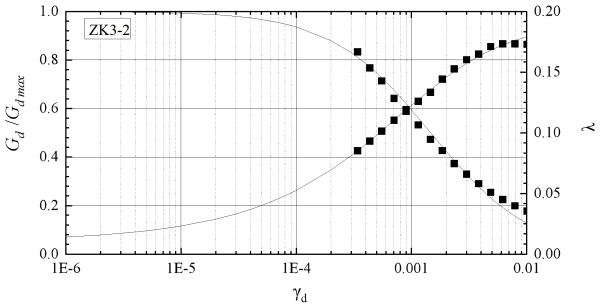

ZK1-1
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

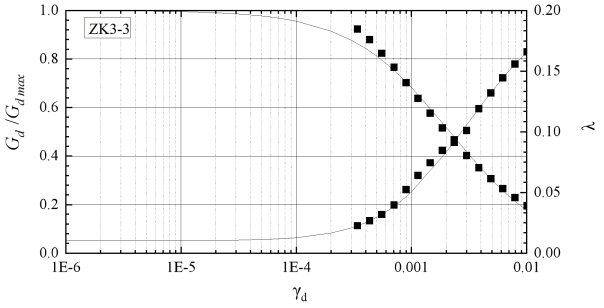

ZK1-2
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

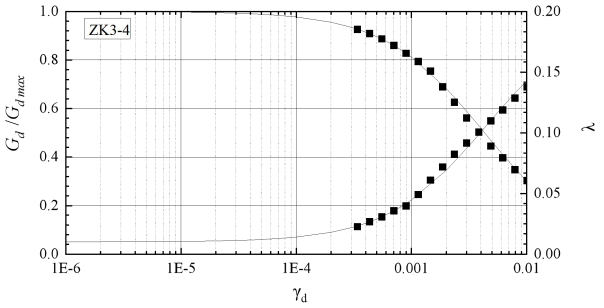

ZK1-3
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

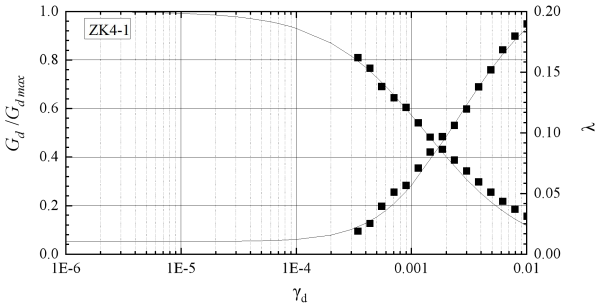

ZK1-4
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

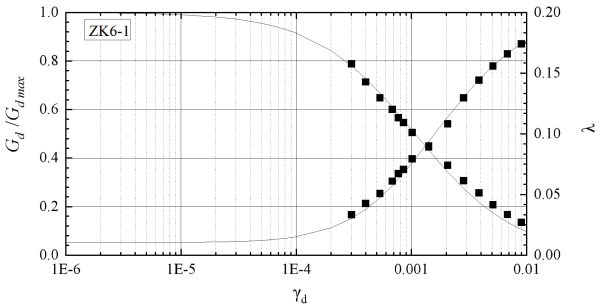

ZK3-1
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

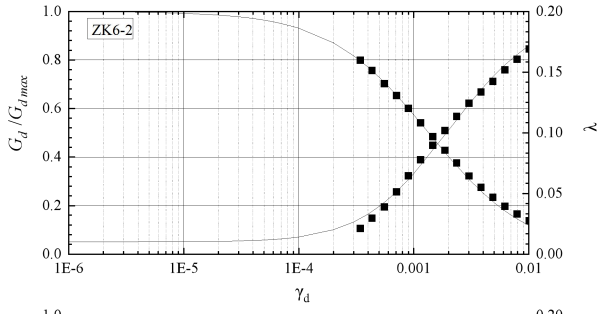

ZK3-2
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

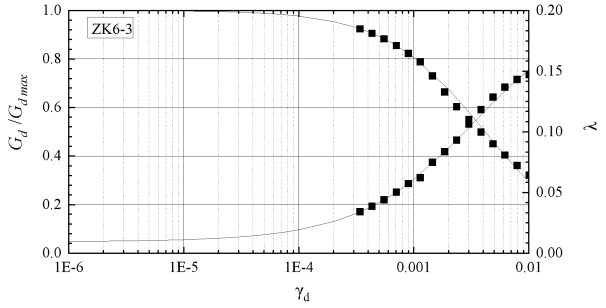

ZK3-3
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

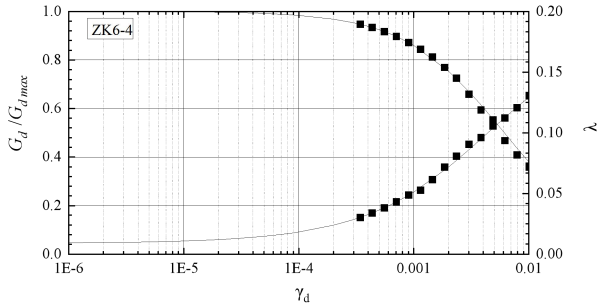

ZK3-4
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

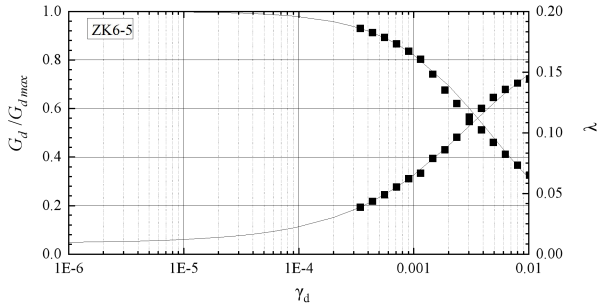

ZK4-1
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

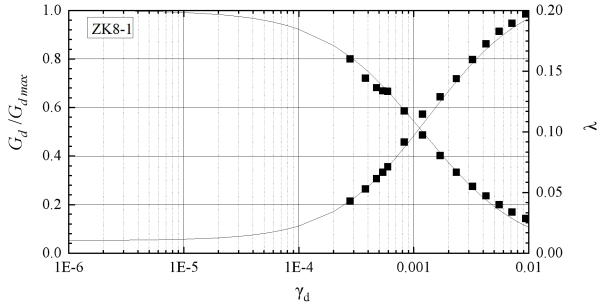

ZK6-1
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

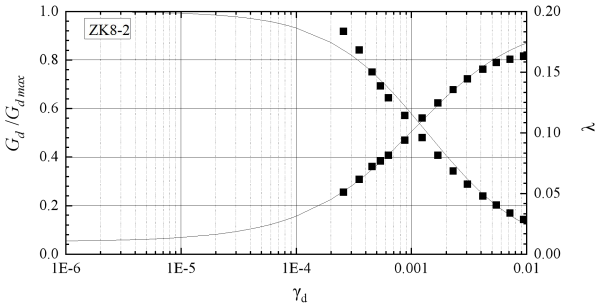

ZK6-2
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

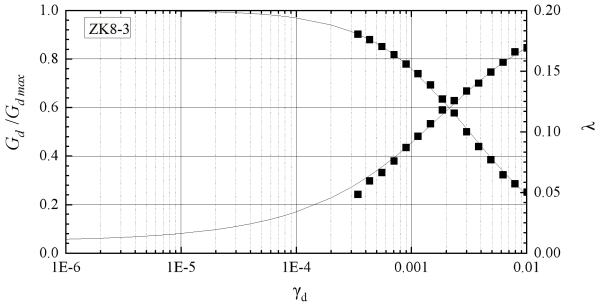

ZK6-3
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

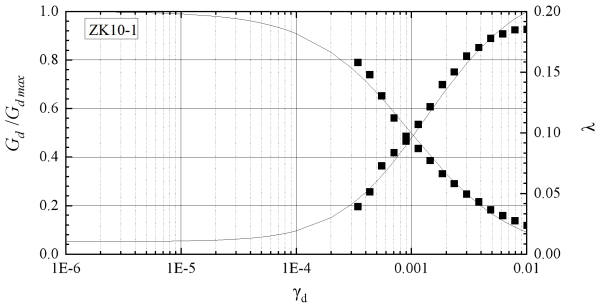

ZK6-4
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

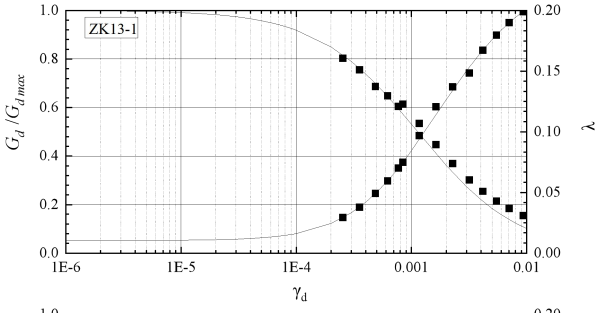

ZK6-5
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

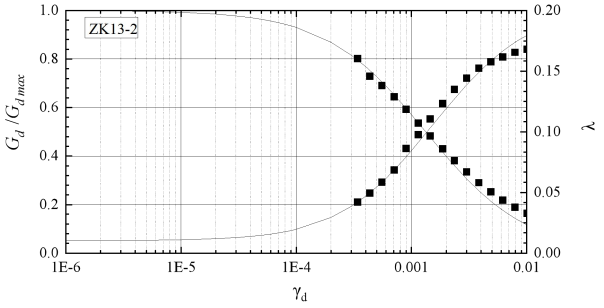

ZK8-1
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

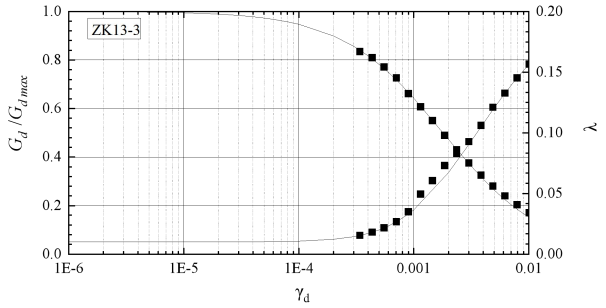

ZK8-2
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

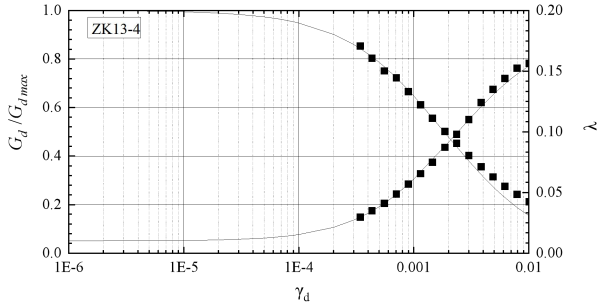

ZK8-3
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

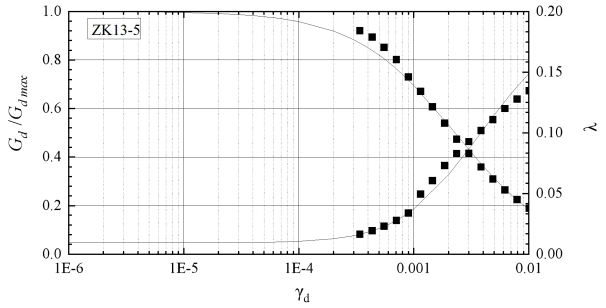

ZK10-1
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

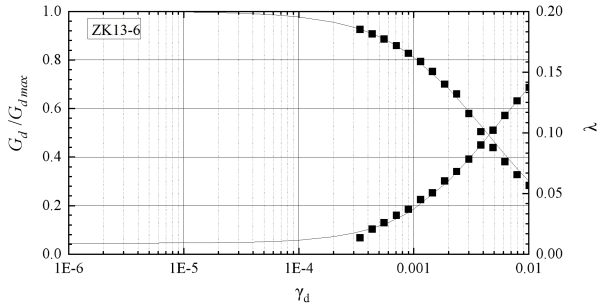

ZK13-1
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

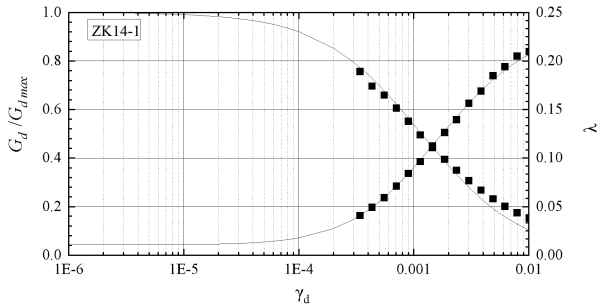

ZK13-2
G_d/G_{dmax}
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01


ZK13-3
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01


ZK13-4
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01


ZK13-5
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01


ZK13-6
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01


ZK14-1
$G_d/G_{d\,max}$
λ
γ_d
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
1E-6
1E-5
1E-4
0.001
0.01

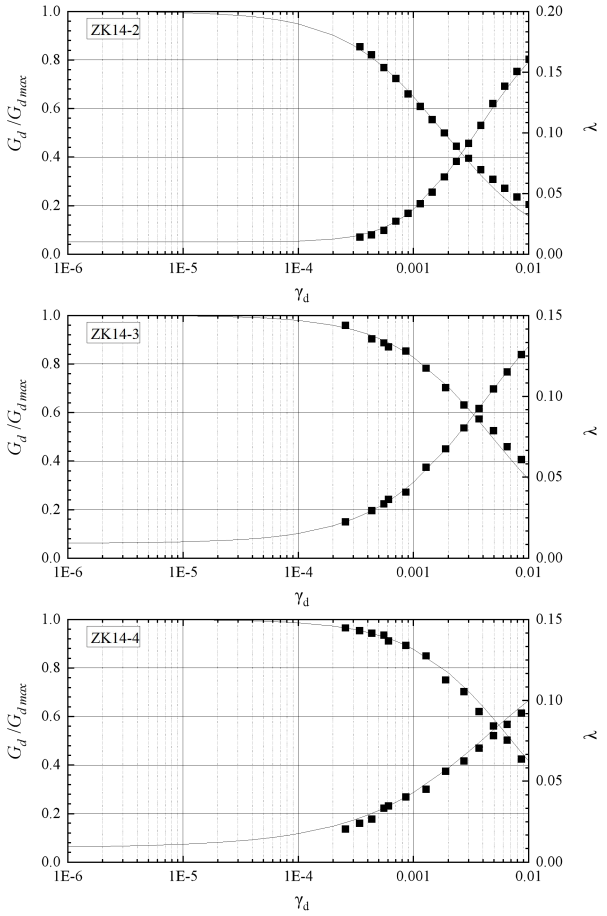


图4.2.5-1 试样剪切模量比和阻尼比随剪应变变化曲线

第五章 地震动预测方程确定

地震动预测方程的确定是地震危险性分析中的重要环节。地震动预测方程通常需要利用强震观测记录资料回归分析来得到，但对于我国大部分地区（也包括本项目工程所在地区）由于缺少足够多的强震记录，无法直接基于强震记录资料来确定相应的地震动预测方程。为此，一般采用胡聿贤等（1984）提出的缺乏强震资料地区地震动预测方程的确定方法来确定本区地震动预测方程，即利用本区的地震烈度等震线资料，确定地震烈度衰减关系，然后选择既有丰富的强震记录又有烈度衰减关系的美国西部地区作为参考区，转换得到本区的地震动预测方程。

肖亮（2011）和俞言祥等（2013）采用美国用于其全国区划图而开展的“下一代地震动衰减关系（NGA）项目”的加速度记录记录数据库，并补充了国内包括 2008 年汶川地震在内的 5 次地震的加速度记录，建立了我国不同地区烈度衰减关系和地震动预测方程，已经应用到第五代全国地震区划图编制工作中。基岩地震动水平向峰值加速度预测方程采用考虑大震近场饱和特征的分段线性模型，其衰减模型为：

$$\lg Y = \begin{cases} A_1 + B_1 M - C\lg[R + D\exp(EM)] + \varepsilon & M \le 6.5 \\ A_2 + B_2 M - C\lg[R + D\exp(EM)] + \varepsilon & M > 6.5 \end{cases}$$

其中，M 为震级，R 为震中距（单位：km），Y 为地震动参数，A~E 为回归系数，ε为满足正态分布的随机变量，其均值为零，方差为σ。《关于征求《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》意见的函》(中震防函〔2019〕21 号)附录，给出了东部活跃区地震预测方程系数，如表 5.1-1 所示。利用该地震动预测方程，计算所得基岩地震动峰值加速度的衰减曲线如图 5-1 所示；计算所得震中距 R=100km 处不同震级的基岩地震动反应谱曲线如图 5-2（长轴）、5-3（短轴）所示。在获取该地震动预测方程时，使用了目标区所在区域的地震烈度衰减关系；同时，该衰减关系在新一代地震区划图的编制过程中得到了应用，并被《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》推荐，因此，该地震动预测方程适用于目标区的概率地震危险性分析工作。

表 5.1-1a 东部强震活跃区基岩水平向地震动加速度反应谱预测方程系数（长轴）

周期(s)	A_1	B_1	A_2	B_2	C	D	E	σ
PGA	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	0.650	3.774	0.425	2.307	2.088	0.399	0.265

0.10	2.456	0.640	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
0.20	2.558	0.643	3.680	0.470	2.309	2.088	0.399	0.261
0.24	2.320	0.675	3.632	0.472	2.290	2.088	0.399	0.264
0.26	2.094	0.696	3.541	0.472	2.249	2.088	0.399	0.270
0.30	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
0.40	1.501	0.765	3.262	0.494	2.214	2.088	0.399	0.274
0.50	1.358	0.776	3.026	0.519	2.214	2.088	0.399	0.276
0.60	1.004	0.814	2.885	0.524	2.187	2.088	0.399	0.283
0.80	0.650	0.847	2.608	0.545	2.174	2.088	0.399	0.291
1.00	0.226	0.895	2.409	0.559	2.157	2.088	0.399	0.300
1.20	0.006	0.917	2.227	0.574	2.159	2.088	0.399	0.315
1.50	-0.095	0.909	1.843	0.610	2.154	2.088	0.399	0.330
1.70	-0.196	0.909	1.621	0.629	2.143	2.088	0.399	0.338
2.00	-0.666	0.936	1.247	0.641	2.047	2.088	0.399	0.342
2.40	-0.781	0.917	0.709	0.687	2.011	2.088	0.399	0.343
3.00	-1.014	0.920	0.279	0.720	1.972	2.088	0.399	0.340
4.00	-1.244	0.909	-0.368	0.773	1.937	2.088	0.399	0.336
5.00	-1.417	0.900	-0.880	0.817	1.906	2.088	0.399	0.333
6.00	-1.432	0.859	-1.432	0.859	1.857	2.088	0.399	0.333

表 5.1-1b 东部强震活跃区基岩水平向地震动加速度反应谱预测方程系数（短轴）

周期(s)	A_1	B_1	A_2	B_2	C	D	E	σ
PGA	1.204	0.664	2.789	0.420	2.016	0.944	0.447	0.245
0.04	1.241	0.663	2.837	0.418	2.010	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
0.10	1.665	0.629	3.140	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
0.20	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	0.270
0.30	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
0.40	0.698	0.759	2.501	0.482	1.919	0.944	0.447	0.274
0.50	0.557	0.769	2.265	0.507	1.919	0.944	0.447	0.276
0.60	0.196	0.810	2.122	0.514	1.897	0.944	0.447	0.283
0.80	-0.162	0.844	1.851	0.535	1.887	0.944	0.447	0.291
1.00	-0.599	0.895	1.644	0.550	1.873	0.944	0.447	0.300
1.20	-0.815	0.915	1.455	0.567	1.875	0.944	0.447	0.315
1.50	-0.910	0.907	1.087	0.600	1.871	0.944	0.447	0.330
1.70	-1.000	0.906	0.869	0.619	1.861	0.944	0.447	0.338

2.00	-1.449	0.934	0.516	0.632	1.779	0.944	0.447	0.342
2.40	-1.524	0.911	0.002	0.677	1.748	0.944	0.447	0.343
3.00	-1.733	0.912	-0.414	0.710	1.716	0.944	0.447	0.340
4.00	-1.932	0.898	-1.038	0.761	1.686	0.944	0.447	0.336
5.00	-2.075	0.887	-1.532	0.804	1.659	0.944	0.447	0.333
6.00	-2.041	0.841	-2.041	0.841	1.617	0.944	0.447	0.333

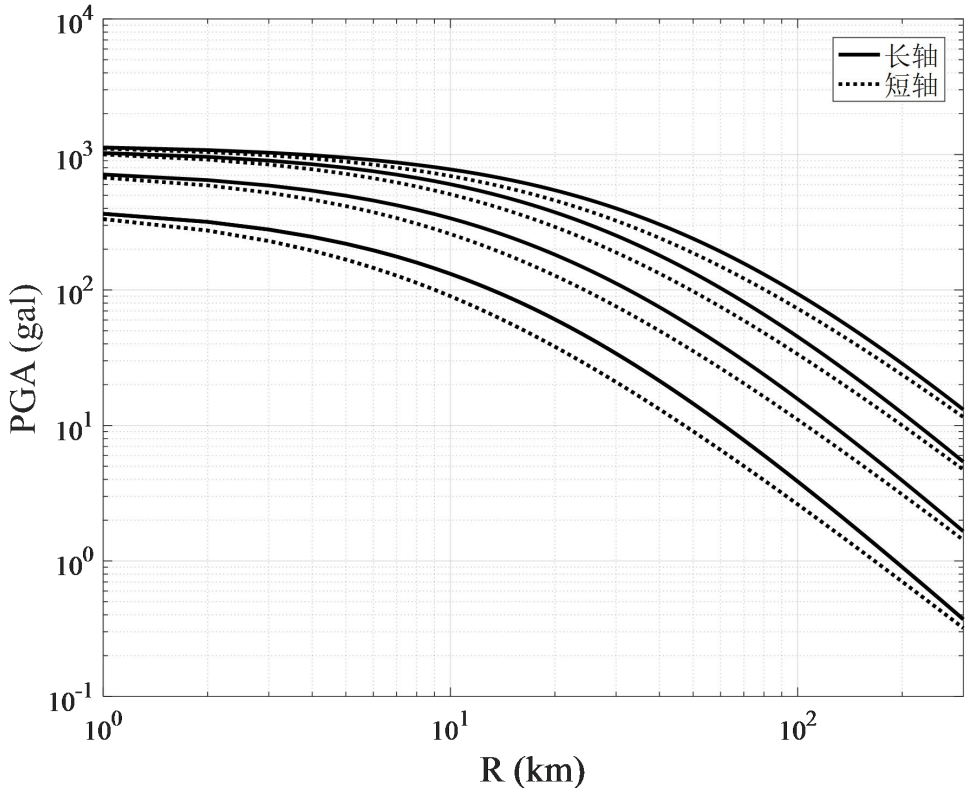


图 5-1 地震动预测方程计算所得峰值加速度衰减曲线（M=5，6，7，8）

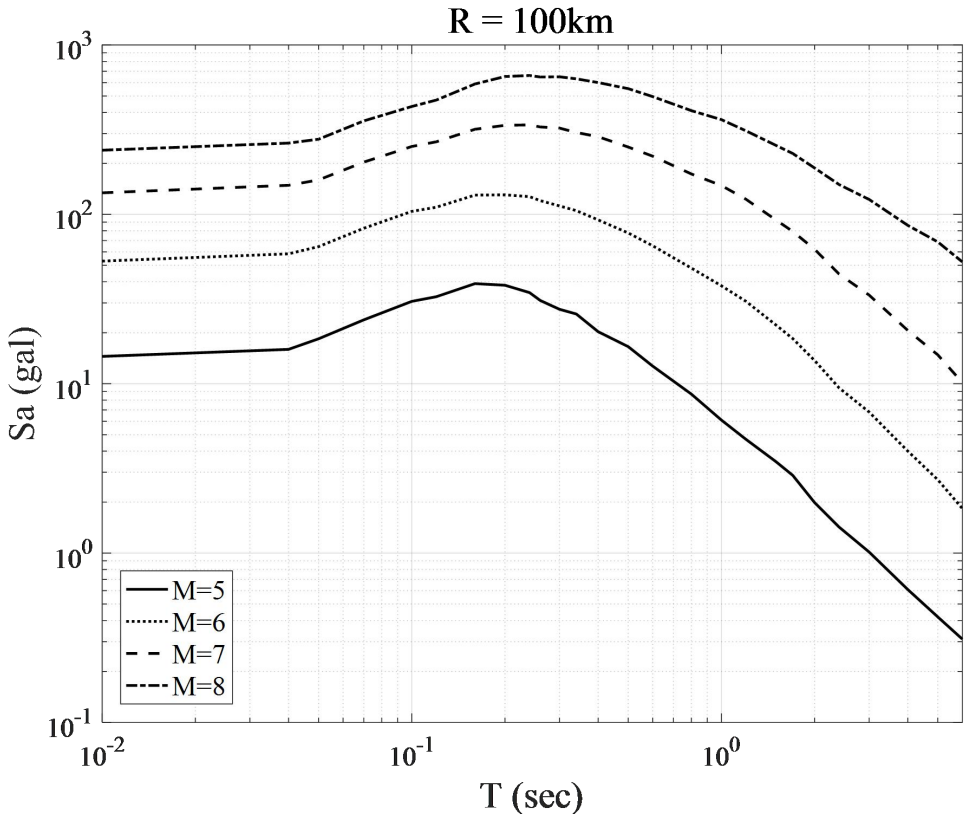


图 5-2 地震动预测方程计算所得地震动反应谱曲线（长轴）

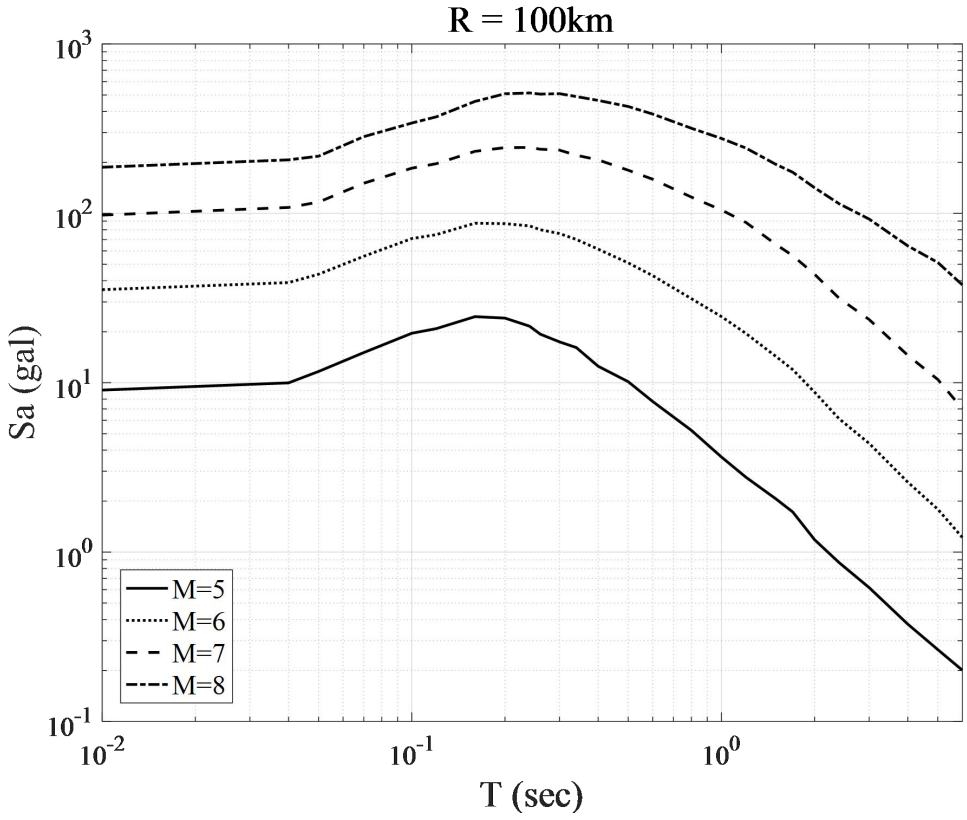


图 5-3 地震动预测方程计算所得地震动反应谱曲线（短轴）

第六章　概率地震危险性分析

按《工程场地地震安全性评价 GB17741-2005》的要求，本章采用地震危险性概率分析方法，依据区域及近场区地震地质和地震活动性研究结果，对工程场区进行地震危险性分析，其内容包括划分潜在震源区、确定地震活动性参数和地震动衰减关系、进行地震危险性概率计算。

6.1 地震危险性分析方法概述

地震危险性分析的基本技术思路和计算方法概述如下：

（1）首先确定地震统计单元（地震区、带），并以此作为考虑地震活动时间非均匀性、确定未来百年地震发生的概率模型和地震危险性空间相对分布概率模型的基本单元。对每个统计单元采用分段的泊松过程模型。令 N 表示统计单元未来 t 年内发生地震次数的随机变量，根据泊松过程的基本假定，发生 n 次 4 级以上地震的概率为：

$$P(N=n)=\frac{(v_4 t)^n}{n!}e^{-v_4 t}$$

式中：v4 为 4 级以上地震的年平均发生率，是通过对地震带未来百年地震活动趋势预测结果得到，它反映了统计单元地震活动的时间非均匀性。

统计单元内地震震级概率密度函数为截断的指数函数：

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

式中：Muz 为该统计单元的震级上限；M0 为相应单元的震级下限；β＝2.3×b。其中 b 是地震活动性统计得到的震级-频度关系中的 b 值。当震级小于震级下限和大于震级上限时，概率密度值为零。

（2）在地震带（统计单元）内部划分潜在震源区。潜在震源区内地震危险性是均匀分布的。潜在震源区由几何边界、震级上限和分震级档的地震空间分布函数 fi,mj 来描述。

（3）利用全概率求和原理计算给定统计单元内发生一次地震时，场点给定地震动值（I）超越给定值（i）的超越概率。基本计算公式为：

$$P(I \geq i) = \iiint\iint P(I \geq i \mid E) f(x, y \mid M) f_m(M) f_{|x,y}(\theta) dx dy dM d\theta$$

式中：P（I≥i丨E）为震级 M、震中位置为（x，y）、地震动椭圆衰减长轴方向与正东方向夹角为θ时，场点给定地震动值（i）被超过的概率，该函数由地震动衰减关系确定；f（x，y丨M）为给定震级的空间分布函数，该函数可以考虑震级分档情况和潜在震源区的面积，由 fi,mj 计算得到；fm（M）为潜在震源区发生给定震级的概率。f|x,y（θ）为等震线长轴取向的概率密度函数，考虑到空间取向的离散性，实际计算中取两个主要方向，此时该函数用δ函数表示。在同一潜在震源区内等震线长轴取向概率密度函数相同，不同的潜在震源区该函数可以不同。

（4）利用地震发生次数的分段泊松模型，可以计算得到某个统计单元 k 对场点的超越概率：

$$P_{ik}(I \geq i) = 1 - e^{-v_4 tp(I \geq i)}$$

（5）若有 k 个统计单元对场点有影响，则场点总的超越概率为：

$$P_i(I \geq i) = 1 - \prod_{k-1}^{k} (1 - P_{ik}(I \geq i))$$

6.2 潜在震源区划分

潜在震源区的判断和划分是地震危险性分析中的一项重要的基础工作。潜在震源区的含义一般定义为未来可能发生破坏性地震的地区。本项目采用三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。

6.2.1 潜在震源区划分原则

潜在震源区划分的原则可概括为历史地震重演和构造类比两条基本原则：

1、历史地震重演原则。该原则认为历史上发生过大地震的地方，将来还可能发生类似的地震。对历史上已发生过强震的地段或地区，可以划分为具有同类震级或高于原最大震级的潜在震源区；此外，地震活动在空间上的迁移、填空特点，有时也被用于作为划分潜在震源区的辅证。

2、地震构造类比原则。该原则是根据已发生强震的地区发震构造条件的研究，外推到具有相同或类似构造条件的区域。当某地区历史上虽然没有强烈地震或有中等地震记载，但与已发生过强震地区的构造条件具有类似特点，可以划分具有同类震级上限的潜在震源区；或者是虽无强震记载，但已发现有古地震遗迹的地段，也可以划分为相当于最大古地震震级的潜在震源区。

在具体应用上述两条原则时，主要注意把握以下三点：

1、采用历史地震重复原则为主进行潜源划分时，辅以地震构造类比原则进行不确定性和充分性论证。

2、采用地震构造类类比原则为主进行潜源划分时，辅以地震活动强度（包括古地震）及潜在发震能力方面的论证。

3、不同地震构造区内判定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、不同震级档潜在震源区个数等）。

划分潜在震源区的步骤归纳如下：

1、根据地震活动、构造活动和地球物理场特征，划分出地震活动不同的地震区和地震带。其中地震带的划分对潜在震源区的确定具有重要意义，它将地震活动强烈、具有明显成带特点的地带与地震活动不强烈、分布零散、没有明显空间分布特点的地区分开。

2、分析地震区、带内地震活动空间分布特点和各级地震的发震构造条件，划分出具有不同震级上限的潜在源区，它进一步反映出地震带内地震活动的空间不均匀特征。

6.2.2 潜在震源区划分方法

在传统的基于构造活动性、规模与强震活动关系分析，考虑强震分布及中小

地震条带展布、深部地球物理场分布等因素的潜在震源区划方法的基础上，在潜在震源区划分的方法上有如下进展：

（1）在基于发震构造模型分析强震发生的构造条件基础上，采用潜在震源区系统划分法。划分潜在震源区要在对地震构造区（或扩展至地震带范围）内不同震级档强震发生的构造条件分析归纳的基础上进行，分析归纳工作考虑了发震构造模型的平面组合样式、变形强度、深浅构造关系及其不同震级档地震的控制能力。鉴于强震区地震构造模型相对清晰，在这类地区重点应用发震构造模型来划分潜在震源区，重点关注了以下 4 个方面的问题：

——发震构造模型体系中不同构造带潜在发震能力的差异，在潜在震源区划分中需体现这一特点；

——同一构造带中的一些特殊构造部位潜在发震能力相对增强，在这类地段划分潜在震源区时，应在考虑断裂活动规模与同震位移的基础上适当提高震级上限。

——相似发震构造模型的变形规模与强度有差异时，对整个模型体系内的潜在震源区潜在发震能力有控制作用，评定潜在震源区震级上限时需考虑这一因素；

——大型活动断裂带的分段与级联破裂是其两个重要的属性，在以前的潜在震源区划分实践中，比较注重大型活动断裂带的分段问题，但对段落的稳定性问题重视不够，容易导致低估这些断裂带上潜在发震能力。在本次潜在震源区划分中，加强了对该问题的分析与应用。对于不具备级联条件的各断层段，潜源沿相应断层段划分，通过利用断层段规模、潜在破裂面的面积、同震位移等参数与震级的关系式，结合历史地震大小评估震级上限；当不同段落之间可能存在存在级联破裂时，潜在震源区包括最大级联破裂的两个或多个断层段，考虑发生更大地震的可能性，震级上限根据最大级联破裂规模评估。

（2）采用基于新构造以来地震构造环境样式与强弱的总体分析与定位、发震构造条带识别与分段、不同段落潜在发震能力的判别、历史地震与仪器记录中小地震活动特征分析等途径来划分潜在震源区的方法，更有利于中强地震区对区域性潜在震源区分布带的合理把握。

6.2.3 潜在震源区划分结果

根据上述划分潜在震源区的原则和方法以及区域内的强震发震条件，本项目采用《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》潜在震源区划分方案（以下简称“五代图方案”）。在区域范围内共划分出构造潜在震源区 15 个，背景潜在震源区 6 个，其中震级上限 8.0 级构造源 1 个，7.5 级构造源 3 个，7.0 级构造源 5 个，6.5 级构造源 3 个，6.0 级构造源 3 个。目标区下方所在的背景源主要依据河套地震构造区划分，震级上限为 6.0 级。潜在震源区划分结果见图 6.2-1，对目标区影响较大的潜在震源区划分依据见表 6.2-1。

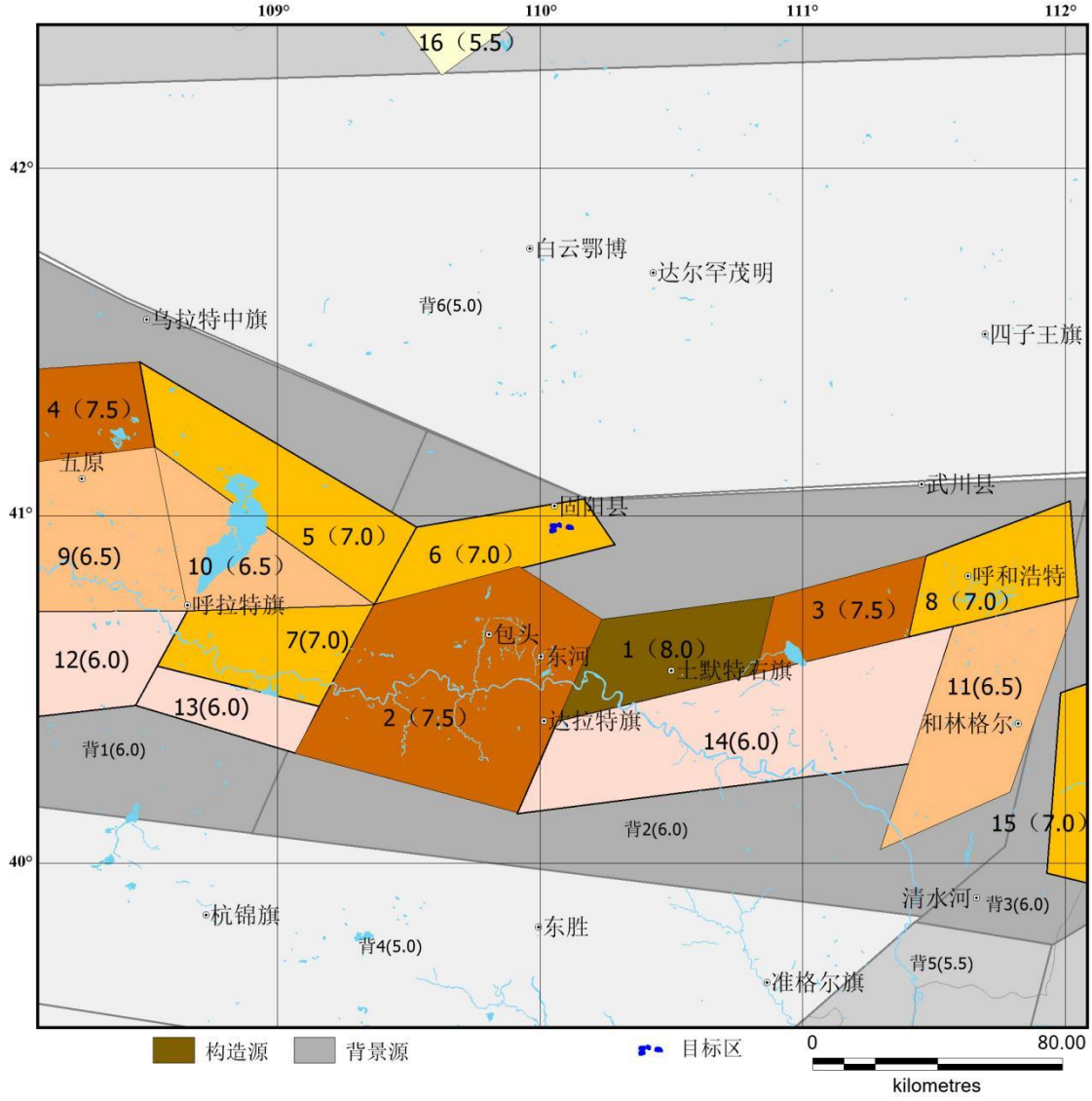


图 6.2-1 潜在震源区划分图

表 6.2-1 主要潜在震源区划分一览表

潜源编号	潜源名称	震级上限	潜源划分依据
1	土默特右旗	8.0	处于河套断陷带中的包头次级凸起与呼和凹陷的北部凹陷区的衔接部位，也是大青山山前断裂带活动最强烈的地段。大青山山前断裂带是典型的正断层，呈北东东向展布于大青山南麓，倾向南，长达 200km，剖面上具有铲式断裂特征，该段为西段，即包头西段，公元 849 年河套大地震的震中可能就在这一带，从包头至土左旗都存在该次地震的破裂遗迹，估算震级为 7¾级左右。近代小地活动微弱属一严重缺震区。震级上限参考历史地震震级和断裂活动性，定为 8.0 级。
2	包头	7.5	为河套断陷带白彦花盆地（乌前凹陷）和包头次级凸起以及呼和浩特盆地内的西部断块区等多个次级构造单元的交汇地区，主要受乌拉山山前断裂和大青山山前断裂以及鄂尔多斯北缘断裂的共同控制。也是乌拉山山前断裂与大青山山前断裂带尾端的拉张区交接复合区。近 20 年在包头西北和达拉特旗附近发生过 2 次 4.8 级地震和一次 6.4 级地震，近代中小地震活动频繁。 震级上限参考现代地震及断裂活动性等方面，确定为 7.5 级
3	土默特左旗	7.5	处于河套断陷带中的北部凹陷区的中间位置，也是大青山山前断裂带活动较强烈的地段，全新世以来有多期古地震事件。近代有小震活动。潜源北界取大青山山前断裂，东西两个边界为断裂分段界线。震级上限为 7.5 级。
4	乌加河	7.5	潜源位置和边界主要考虑临河盆地断陷最深部分和北侧的狼山—色尔腾山山前断裂最活动的段落。色尔腾山山前断裂沿色尔腾山山麓展布，该段走向为近东西向，倾向南，长约 100 公里，是河套断陷带西北边界断裂带，属于张性性质，渐新世以来一直强烈活动。历史上发生过 2 次 6-6.9 级地震。现代地震活动较强烈，发生过多次 5-6 级地震。震级上限依据构造类比和历史地震、古地震强度，定为 7.5 级。
5	大佘太	7.0	以色尔腾山山前断裂活动性分段界线作为东西边界，北部边界取临河盆地控制边界断裂。色尔腾山山前断裂是河套断陷带西北边界断裂带，属于张性性质，渐新世以来一直强烈活动，全新世以来具有多期古地震事件。历史上发生过 1 次 6¼级地震，现代中小地震活动较强烈。该源震级上限定为 7.0 级。
6	哈沙兔	7.0	主体为色尔腾山山前断裂最东段，也属于东部斜坡区的东端部位，介于乌拉山隆起山地与色尔腾山隆起山地之间的复合交接部位，呈窄长条形低地。该段色尔腾山山前断裂走向近东西向，倾向南东，长约 70 公里。乌拉山北缘断裂基本与色尔腾山山前断裂平行，倾向北西。边界依据南北两侧的色尔腾山山前断裂东端和乌拉山北缘断裂东段，震级上限依据构造类比定为 7.0 级。
7	白彦花	7.0	处于临河盆地和白彦花盆地内的多个次级构造单元的交接复合区，受乌拉山山前断裂和鄂尔多斯北缘断裂的共同控制。具有发生中强地震的构造条件。潜源内主要断裂为乌拉山山前断裂的西段，位于乌拉山南麓，总体走向近东西，呈正断性质，断面向南倾斜，也呈铲形断层特征，为全新世活动断裂。近 20 年发生过多次中小地震。

潜源编号	潜源名称	震级上限	潜源划分依据
8	呼和浩特	7.0	以河套断陷带中的北部凹陷区的东端部分为主体划分潜源，北侧和东侧分别以东段的大青山山前断裂带和和林格尔断裂带为边界。该区受大青山山前断裂东段控制，大庆山断裂第四纪，特别是全新世以来其活动性由西向东逐渐减弱，东段相对不及西段强烈。震级上限确定为 7.0 级。
9	五原	6.5	潜在震源范围和边界主要考虑临河盆地断陷的中央凸起区部分及隐伏断裂，现代地震活动较强烈，发生过多次 4-5 级地震。震级上限依据构造类比和现代地震强度，定为 6.5 级。
10	召圪台	6.5	潜源主体为临河盆地东部斜坡区，东南以乌拉山北缘断裂为界。乌拉山北缘断裂沿乌拉山北缘山前展布，走向北东东，倾向北西，是临河盆地与乌拉山的分界断裂，但研究程度低，区域对比，其最新活动时代可能为晚更新世。无历史地震记载。震级上限确定为 6.5 级
11	和林格尔	6.5	根据和林格尔北东向断裂、中小地震活动密集区划定潜源。和林格尔断裂沿和林格尔丘陵西缘呈北东向展布，走向为北东 30－40°，倾向北西，倾角 60°左右，全长约 80km，是控制河套断陷带的东界正断层。断层在地貌生有明显反映，卫星线性影像特征清晰，在晚更新时期曾有活动。近几十年来，沿断裂中小地震活动相当频繁，1975 年在断裂附近发生 4.4 级地震。震级上限确定为 6.5 级。
12	西阿木清	6.0	为临河盆地的南部和鄂尔多斯北部边缘地带，主体断裂构造为鄂尔多斯北缘近东西向断裂西段的西端部分。鄂尔多斯北缘断裂处于鄂尔多斯地块与河套盆地的分界，走向近东西向，倾向北，晚更新世以来有弱活动，沿该断裂无历史地震记载。断裂和地震活动性都较弱，震级上限确定为 6.0 级。
13	沙尔召	6.0	潜源位于白彦花盆地的南部浅凹陷区，主要为鄂尔多斯北缘近东西向断裂西段的东端部分。鄂尔多斯北缘断裂处于鄂尔多斯地块与河套盆地的分界，走向近东西向，倾向北，晚更新世以来有弱活动。该处沿该断裂无历史地震记载。断裂和地震活动性都较弱，震级上限确定为 6.0 级。
14	托克托县	6.0	该潜源区主要根据呼和浩特盆地的南部地区，以及鄂尔多斯北缘断裂东段综合判定，该断裂处于鄂尔多斯地块与河套盆地的分界，走向近东西向，倾向北，晚更新世以来有弱活动，断裂和地震活动性较弱，沿该断裂无历史地震记载，震级上限确定为 6.0 级。
15	永兴	7.0	该潜源处于鄂尔多斯地块的东北角，主体断裂构造为永兴－盆地清断裂，该断裂为一条北北东向的隐伏活动断裂，南起新双古城附近，北至凉城，长约 40km 左右，在地貌上有一定显示，在卫星影像上线性构造反映明显。在该断裂与岱海南缘断裂交汇区，中小地震活动频繁，1976 年 4 月 6 日发生过 6.2 级地震。主要依据永兴－盆地清活动断裂和中小地震活动密集区划分潜在震源区。震级上限参考已发生地震的震级，震级上限确定为 7.0 级。

6.3 地震活动性参数确定

地震活动性参数包括地震统计单元和潜在震源区的地震活动性参数两部分。

地震统计单元的地震活动性参数指震级上限 Muz，起算震级 M0，震级频度关系式中的 b 值，地震年平均发生率 v。为了恰当地把地震带的年平均发生率分配到每个潜在震源区，还要确定各个地震带中各潜在震源区的空间分布函数 $f_{i,mj}$ 以及各潜在震源区等震线椭圆长轴走向分布函数 f (θ)。

6.3.1 地震活动性参数确定的原则

（1）以地震活动带作为地震活动性参数的基本统计单元。

（2）为保持地震事件独立性和随机性，消除大地震的余震和群震活动影响。

（3）由地震活动趋势分析来衡量与评价未来地震活动水平，对年平均发生率 v 进行调整。

（4）按震级档来进行年平均发生率的分配，并采用空间分布函数来描述地震活动的时、空不均匀性。

（5）用综合评定方法确定空间分布函数 $f_{i,mj}$ 时，各项因子的选择既要反映各潜在震源区存在的可靠性，也要考虑到地震活动时空的非均匀性，还要尽量吸收中长期地震预报研究中的结果。

6.3.2 地震统计区地震活动性参数的确定

确定地震活动性参数首先需要划分地震统计单元。地震统计单元是地震活动具有完整性和时序性的相对独立的基本单元。地震统计单元一般与地震活动区或活动带一致，并与地震构造区或地震构造带的划分一致。区域范围涉及银川-河套地震统计区、鄂尔多斯地震统计区、东北地震区、汾渭地震统计区。

（1）震级上限 Muz

震级上限 Muz 是指震级-频度关系式中，累积频度趋于零的震级极限值。地震带的震级上限 Muz 与地震带的历史最大地震震级，地震活动水平以及最大地震的重现周期有关，是地震危险性分析中的重要参数之一。

银川-河套地震统计区的震级上限 Muz=8.0，鄂尔多斯地震统计区震级上限 Muz=6.5，东北地震区震级上限 Muz=7.5，汾渭地震统计区震级上限 Muz=8.5。

（2）起算震级 M_0

M0 是指对工程场点有影响的最小震级。在我国大陆地区，震级为 4 级的地震在震中附近就能造成一定程度的影响。所以，在大多数情况下，均将起算震级

M0 定为 4.0 级。在本项研究中，也将起算震级 M0 定为 4.0 级。

（3）震级频度关系式中的 b 值和年平均发生率 v4

b 值代表着地震带内不同大小地震频数的比例关系，在地震危险性分析中，b 值是一个重要的参数，它的作用在于可以确定地震带内有效震级范围内地震震级的分布密度函数和各级地震的年平均发生率。其统计表达式为：logN=a-bM。由于 b 值是实际资料统计得到的，因此它与实际资料的完整性、可靠性、统计样本量的大小有关。

地震年平均发生率，是指一定统计区（地震带）内，平均每年发生等于和大于起算震级 M0 的地震次数。对年平均发生率的主要影响因素是 b 值和选取资料的统计时段。要求被统计时段的地震活动性能代表未来百年内地震活动水平。

《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）给出了区带参数（b 值和 v4）的计算方法（全国地震区划图编制地震活动性参数工作组，2011；潘华等，2013），在不同方案进行统计分析后确定的 b 值和 v4 作为初值的基础上，根据地震带（地震统计区）内实际地震的年发生率、地震带（地震统计区）未来地震活动趋势分析结果、1970 年以来 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，最终确定地震带（地震统计区）参数。本项目直接采用《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）确定的 b 值和 v4 结果。

一、银川-河套地震统计区

银川-河套地震统计区为强震活动区，最大地震震级达到 8 级。该区最早的地震记载始于公元 849 年 10 月 24 日包头 7 级地震，但银川—河套地震统计区地震资料缺失较多，1500 年以来只记到 1 次 7 级以上地震，直到 1920 年以后 M5 级以上的历史地震资料才较为完整，20 世纪以来该区 6 级以上地震活动显著增强。1970 年以后 M4 级以上地震记录较全。银川-河套地震统计区地震资料缺失严重，因此，近代地震记录对 v_4 与 b 值调整非常重要。对 v_4 与 b 值调整重点考虑以下控制：

①M4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；

②M5 级以上地震年发生率应不低于 1920 年以来地震活动水平，考虑到近

期中强地震活动水平，M6 级以上地震还重点考虑不低于 1970 年以来的活动水平；

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，确定银川—河套地震统计区地震活动性参数为 b=0.90，v_4=4.5。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，b、v_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段不低于 1970 年以来的活动水平，在中强震级段，相当于 1920 年以来地震活动水平；在高震级段 7 级左右地震数据较缺乏，中强段控制的 b 值外推结果 8 级以上地震重现期在千年左右，与这里大地震重现期基本相当。

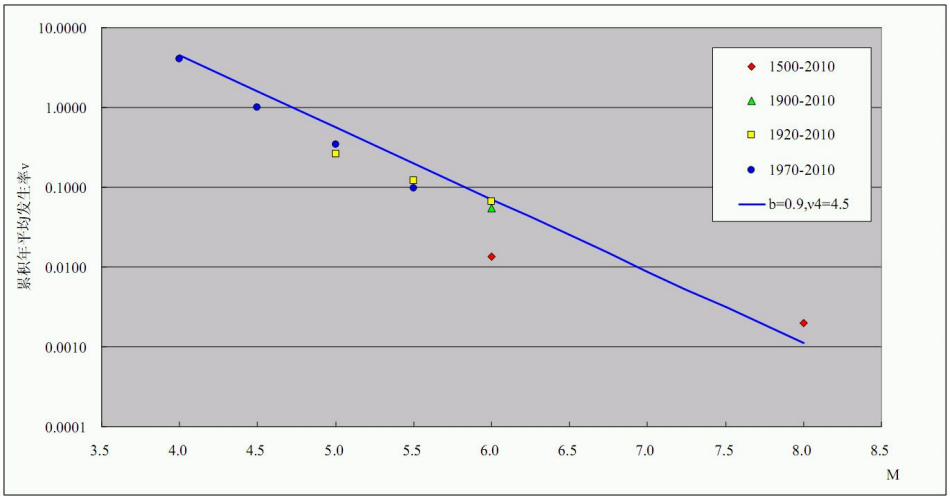


图 6.3-1 银川—河套地震带各时段实际统计与理论结果对比

二、鄂尔多斯地震统计区

鄂尔多斯地震统计区地震活动微弱，仅有数次 5 级左右地震记载，地震记载较短，缺乏地震资料，无法采用统计方法得到较为合理的地震活动性参数，因此，采用类比的方式确定其参数。该区最大地震为 5½级，历史上大致在 1540～1685 年、1880～1925 年间 5 级左右地震较为活跃，分别发生过 10 次和 5 次地震，年平均发生率达到 0.069、0.11，1900 年以来 M≥5 年平均发生率达到 0.027。全国地震区划图编制地震活动性参数工作组（2011）将该区与地震活动较弱的长江中游地震统计区进行类比，取 b=1.2，以上述 M≥5 年平均发生率推算 v_4，并取均值得到 v_4=1.0。

三、东北地震区

东北地震区浅源地震活动较弱，以中等强度地震活动为主要特征，最大地震为 6¾级。该区最早的地震记载始于 419 年，1920 年之前地震资料缺失严重，自

1920 年以来 M5 级以上地震比较完整，1970 年以后 M4 级以上地震记录较全。东北地震区自 1920 年以来地震活动一直较为平稳，未来该区地震活动水平应不低估自 1920 年以来的平均活动水平。

东北地震区地震资料缺失严重，且记录到的震级没有超过 7 级，因此，近代地震记录对 v_4 与 b 值调整非常重要。对 v_4 与 b 值调整重点考虑以下控制：

①M4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；

②M5 级以上地震年发生率应不低于 1920 年以来地震活动水平；

③M6 级左右强震发生率应重点考虑 1900 年以来地震活动情况；

经调整，确定东北地震区地震活动性参数为 b=1.0，v_4=5.0。图 6.3-2 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，从结果可以看出，b、v_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段和中强震级段，均不低于 1920 年、1970 年以来的活动水平；在强震级段比 1900 年以来的地震活动水平略保守，考虑到东北地震区内划分了较多 7 级以上潜在震源区，且缺乏 7 级以上地震记录，总体地震记载时间也短，因此，适当在强震段取略保守的结果是可以接受的。

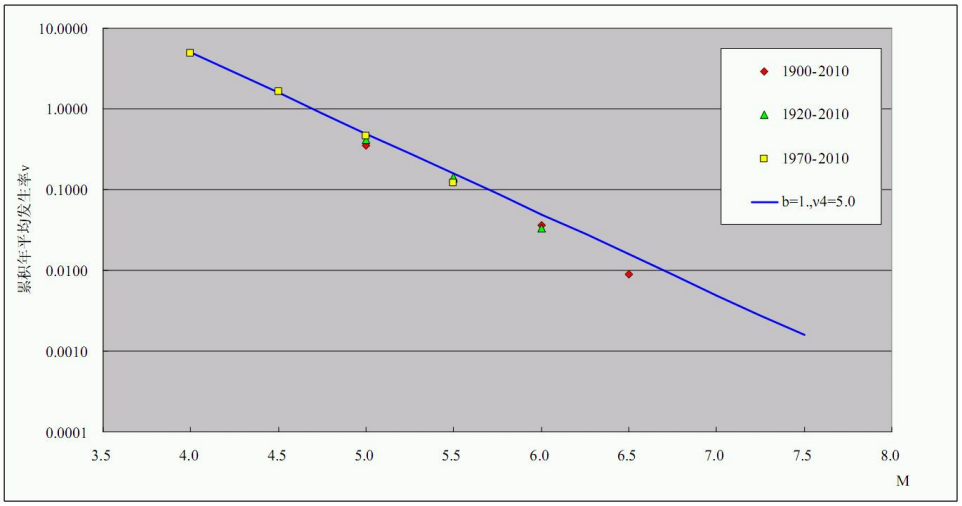


图 6.3-2 东北地震区各时段实际统计与理论结果对比

四、汾渭地震统计区

汾渭地震统计区为强震活动区，最大地震震级达到 8¼级，该区最早的地震记载始于公元前 23 世纪，公元 1000 年前地震资料缺失严重，公元 1000 年以来 M≥6 级地震记录较为连续，1500 年以来 M5 级以上地震资料较完整，1950 年以来 M4 级以上地震记录较全。公元 1209 和公元 1484 年是两个地震活动相对密集

期的开始，而 1484 年以来的地震活动水平要高于前一个活动期。

未来地震活动水平不应低估活跃期地震活动水平。对 v_4 和 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

①M4 级以上地震年发生率应大致相当 1950 年以来地震活动水平；

②M5 级以上地震年发生率应大致相当 1484 年、1500 年以来地震活动水平；

③较大震级发生率应重点考虑 1484、1500 年以来地震活动情况；

经调整，确定汾渭地震统计区地震活动性参数为 b=0.78，v_4=2.5。图 6.3-3 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，b、v_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段，与 1950 年以来的水平大致相当；在中强震级段以及高震级段，均与 1484 年、1500 年以来的地震活动水平相当。

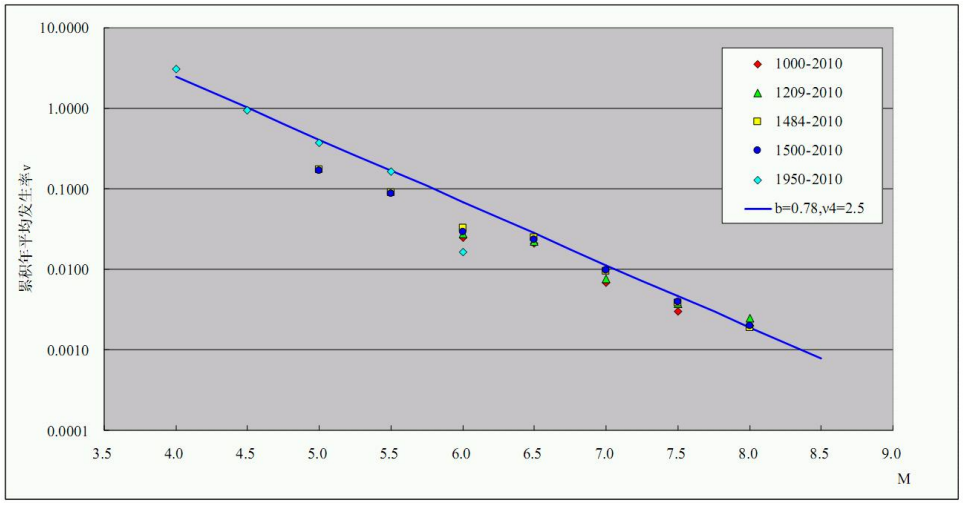


图 6.3-3 汾渭地震统计区各时段实际统计与理论结果对比

6.3.3 潜在震源区地震活动性参数的确定

（1）潜在震源区的震级上限 Mu

潜在震源区的震级上限 Mu 是指该潜在震源区内可能发生的最大地震。

（2）空间分布函数 $f_{i,mj}$

本工作采用了按震级分档来分配年平均发生率的方法。地震带内第 i 个潜在震源区，M_j 震级档的地震年平均发生率（$v_{i,mj}$）可以表示为：

$$v_{imj}=\begin{cases}\dfrac{2ve^{-\beta(M_j-M_0)}sh(\beta\Delta M/2)}{1-e^{-\beta(M_{uz}-M_0)}}\cdot f_{i,mj} & M_0\le M_j\le M_u\\ 0 & \text{其它情况}\end{cases}$$

式中，v 为地震带 $M\ge4$ 地震的年平均发生率，即 v_4；Muz 为地震带的震级上

限；Mu 为潜在震源区的震级上限；ΔM 为震级分当间隔；M_j 为分档间隔中心对应的震级值；$\beta = b\ln 10$；$\sin(\beta\Delta M/2)$ 为正弦双曲函数。

由于地震带内地震活动是一个复杂的物理过程，必须从各个可能的方面来描述才能避免片面性，所以要采用多因子的综合评判方法来确定空间分布函数 $f_{i,mj}$。《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》选用地震活动特征（A1）、区划图发生率（A2）、地震构造条件（B1）、地震活动度（B21）、网格活动性（B22）、大震发生率（C1）、中长期危险性（C2）、离逝时间（C3）等 8 个因子，分 4.0～4.9 级、5.0～5.4 级、5.5～5.9 级、6.0～6.4 级、6.5～6.9 级、7.0～7.4 级、7.5 以上 7 个震级档，综合评判确定空间分布函数 $f_{i,mj}$。

（3）椭圆长轴取向及其方向性函数

等震线长轴的取向与地震震源的破裂方式有关，而震源破裂方式又可以通过等震线形态和震源机制的研究结果来了解。一个地区等震线长轴的取向主要来源于对该地区等震线几何形状的统计研究。根据对研究区等震线长轴取向的分析结果，绝大部分 6 级以上地震的极震区长轴走向与区域活动断裂一致。因此，可按区域构造走向来预测未来地震等震线长轴走向。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：

$$f(\theta)=P_1 \cdot \delta(\theta_1)+P_2 \cdot \delta(\theta_2)$$

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 为相应的取向概率。θ、P_1 和 P_2 在同一潜在震源区内相同，不同的潜在震源区可以不同。具体确定时，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

如果两组断裂构造相互交汇呈共轭形式，难以分清哪一组为主，则两个方向的权重各占 50%。

3）一组断层为主，另一组断层为辅

对于某些位于区域主干断裂和分支断裂交汇地区的潜在震源区，按前述的统计分析结果，则取主干断裂走向的概率为 70%，分支断裂走向的概率为 30%。

本工程各潜在震源区不同震级档对应的空间分布函数具体结果如下表所示。

表 6.3-1 主要潜在震源区的空间分布函数

潜在震源区	Mu	空间分布函数 $f_{i,mj}$							方向性函数 $f(\theta)$			
		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	θ_1	P_1	θ_2	P_2
1 号土默特右旗	8.0	0.01691	0.03187	0.01443	0.03025	0.05063	0.13489	0.20864	10	1	0	0
2 号包头	7.5	0.02462	0.01814	0.0196	0.05056	0.07263	0.17135	0.000	0	1	0	0
3 号土默特左旗	7.5	0.00869	0.04937	0.01632	0.02255	0.03692	0.14234	0.000	15	1	0	0
5 号大佘太	7.0	0.02014	0.01574	0.01388	0.03581	0.05636	0.000	0.000	135	1	0	0
6 号哈沙兔	7.0	0.01898	0.01483	0.00835	0.05464	0.05647	0.000	0.000	20	1	0	0
背景源 2 号	6.0	0.08845	0.06531	0.10833	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.5	90	0.5
背景源 6 号	5.0	0.01355	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.5	90	0.5

6.4 地震危险性计算结果

根据前面所确定的潜在震源区、地震活动性参数及地震动预测方程，利用概率分析方法，对目标区进行地震危险性分析计算。根据《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》的要求，计算了15个控制点（每个控制点对应一个控制钻孔）50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%、1%共7个概率水准的基岩地震动水平向峰值加速度和反应谱，用于后续基岩地震动时程合成工作。

所有钻孔基岩地震动峰值加速度计算结果如表6.4-1所示。目标区计算控制点分布如图6.4-1所示，不同超越概率水平的基岩地震动峰值加速度分布如图6.4-2至6.4-8所示。可以看出，不同控制点计算结果相差不大。其中，目标区西南部分控制点的基岩地震动峰值加速度略大于其他控制点，这与其更靠近2号7.5级包头潜在震源区有关。因此，本项目的计算结果与目标区周边潜源分布情况是相匹配的。

主要潜在震源区对控制点1地震动峰值加速度、1.0s反应谱和3.0s反应谱的超越概率的贡献率如表6.4-2、6.4-3、6.4-4所示。可以看出，对目标区地震危险性起控制作用的潜在震源区主要包括6号7.0级固阳源、2号7.5级包头源、1号8.0级土默特右旗源和2号背景源，且随着超越概率水平的降低和反应谱周期的延长，1号8.0级土默特右旗源的贡献越来越大。这是符合概率地震危险性计算原理的。控制点1

不同超越概率水平的基岩地震动反应谱如表6.4-5所示。图6.4-9给出了控制点1基岩地震动峰值加速度的超越概率曲线，图6.4-10给出了不同超越概率水平对应的基岩地震动加速度反应谱曲线。其余控制点计算结果与控制点1相近，在本项目形成的技术系统中全部给出。表6.4-6至6.4-19给出了其他控制点的基岩地震动反应谱的数值。

表 6.4-1 所有钻孔的基岩地震动峰值加速度（gal）

钻孔编号	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
1	42.9	174.0	342.6	67.9	235.7	422.4	513.0
2	42.9	174.0	342.4	67.9	235.6	422.2	512.8
3	42.8	173.4	341.4	67.8	234.8	421.0	511.4
4	42.6	172.4	339.9	67.3	233.4	419.1	509.3
5	42.2	170.8	337.3	66.8	231.1	415.8	505.5
6	42.3	171.2	337.9	67.0	231.7	416.5	506.3
7	42.0	169.5	334.5	66.5	229.1	412.2	501.3
8	41.8	168.6	333.0	66.2	227.8	410.4	499.2
9	41.7	167.9	331.8	66.0	226.8	408.8	497.4
10	42.0	169.2	333.8	66.5	228.5	411.3	500.2
11	41.7	168.1	331.7	66.1	226.9	408.7	497.1
12	43.6	177.1	350.7	69.2	239.9	432.8	521.1
13	43.4	176.1	348.9	68.8	238.5	430.7	518.6
14	43.3	175.6	347.9	68.7	237.8	429.6	517.3
15	43.6	176.8	350.0	69.1	239.4	432.0	520.2

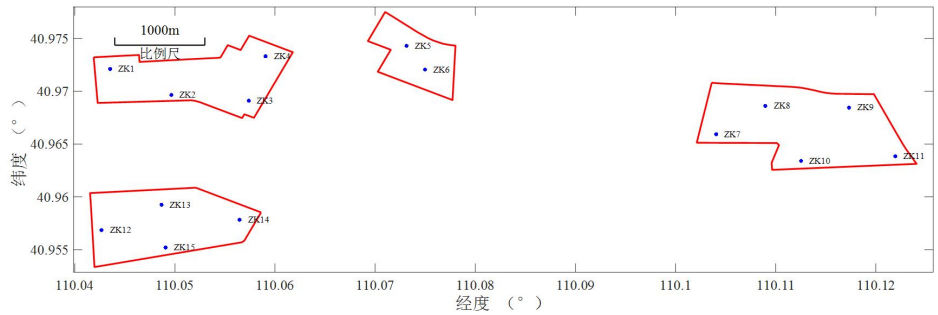


图 6.4-1 目标区的钻孔分布

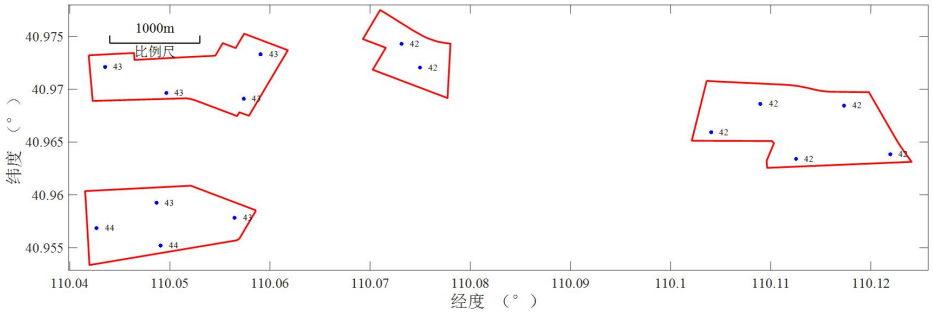


图 6.4-2 目标区的峰值加速度（单位：gal；50 年超越概率 63%）

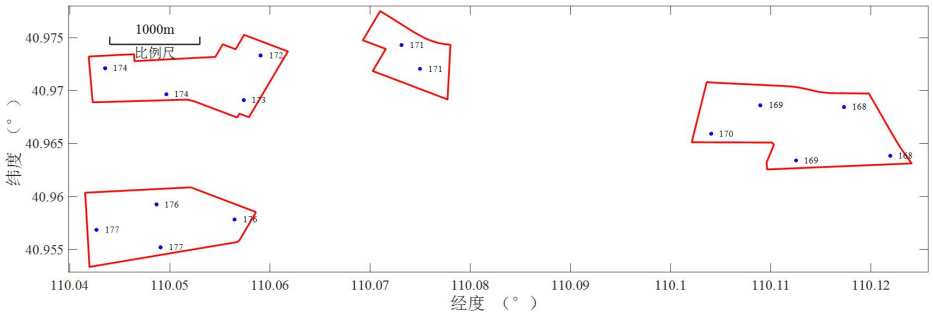


图 6.4-3 目标区的峰值加速度（单位：gal；50 年超越概率 10%）

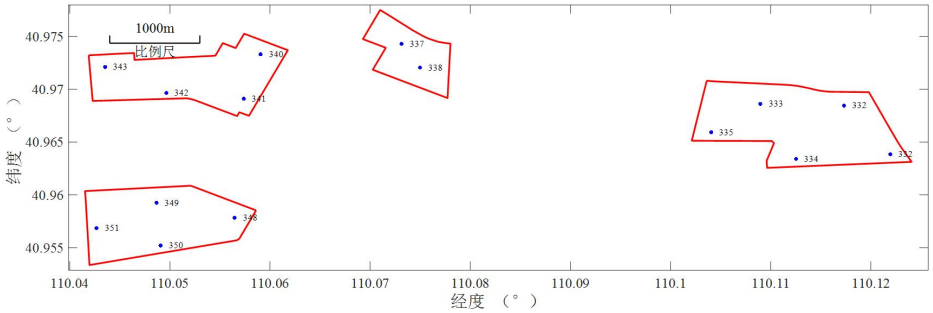


图 6.4-4 目标区的峰值加速度（单位：gal；50 年超越概率 2%）

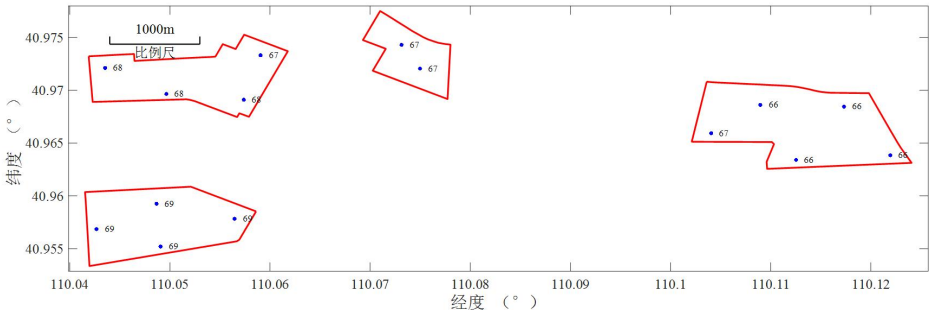


图 6.4-5 目标区的峰值加速度（单位：gal；100 年超越概率 63%）

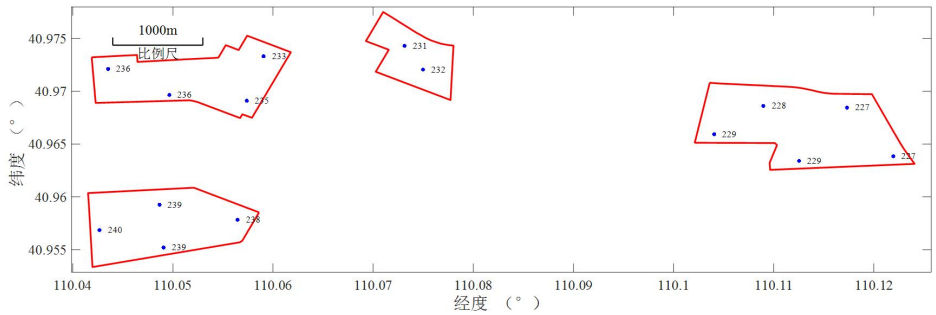


图 6.4-6 目标区的峰值加速度（单位：gal；100 年超越概率 10%）

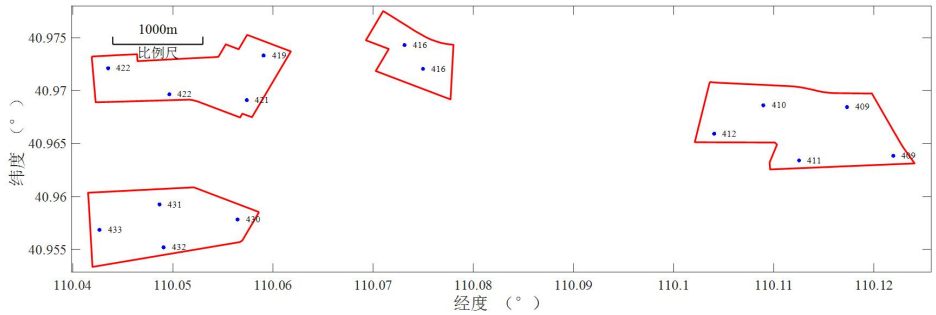


图 6.4-7 目标区的峰值加速度（单位：gal；100 年超越概率 2%）

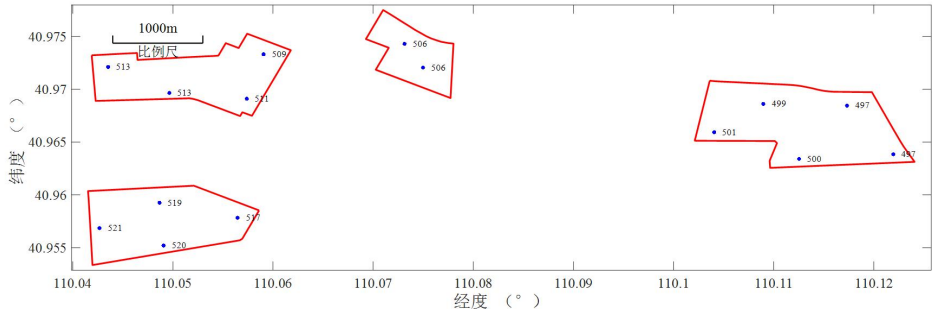


图 6.4-8 目标区的峰值加速度（单位：gal；100 年超越概率 1%）

表 6.4-2 钻孔 1 的主要潜源贡献率（%）（峰值加速度）

50 年超越概率 63%		50 年超越概率 10%		50 年超越概率 2%		100 年超越概率 63%		100 年超越概率 10%		100 年超越概率 2%		100 年超越概率 1%	
潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率
6	46	6	89	6	97	6	56	6	97	6	97	6	97
2	19	2	9	2	3	2	19	2	3	2	3	2	3
1	14	1	2	-	-	1	15	-	-	-	-	-	-
背 2	13	-	-	-	-	背 2	8	-	-	-	-	-	-

表 6.4-3 钻孔 1 的主要潜源贡献率（%）（1s 反应谱）

50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%

潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率
6	31	6	67	2	70	6	46	6	71	2	70	2	70
2	21	1	16	1	30	2	23	2	18	1	30	1	30
1	16	2	16	-	-	1	18	1	12	-	-	-	-
背 2	8	-	-	-	-	背 2	2	-	-	-	-	-	-

表 6.4-4 钻孔 1 的主要潜源贡献率（%）（3s 反应谱）

50 年超越概率 63%		50 年超越概率 10%		50 年超越概率 2%		100 年超越概率 63%		100 年超越概率 10%		100 年超越概率 2%		100 年超越概率 1%	
潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率	潜源	贡献率
6	27	6	39	1	96	6	41	1	61	1	100	1	100
2	20	1	37	2	4	2	23	2	23	-	-	-	-
1	15	2	24	-	-	1	17	6	16	-	-	-	-
背 2	6	-	-	-	-	背 2	1	-	-	-	-	-	-

表 6.4-5 钻孔 1 的基岩地震动反应谱数据

周期(sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.040	48.8	197.8	401.2	77.2	269.8	501.6	607.7
0.050	56.5	219.1	444.9	87.9	298.9	558.9	673.9
0.070	72.6	278.8	564.2	112.7	380.2	708.9	849.0
0.100	92.2	345.0	690.9	141.9	468.3	850.7	1030.3
0.120	98.1	367.2	735.0	150.7	497.0	916.7	1108.7
0.160	116.1	431.1	860.6	178.0	584.5	1072.1	1292.1
0.200	115.0	440.3	883.5	178.1	598.4	1106.0	1338.2
0.240	106.1	435.6	886.9	168.7	596.7	1114.4	1351.4
0.260	97.8	420.0	865.1	158.6	577.9	1091.4	1329.0
0.300	90.1	405.0	839.3	149.1	558.3	1061.4	1301.7
0.340	83.7	378.2	783.4	138.6	520.8	989.4	1207.8
0.400	69.8	345.6	728.9	120.4	481.5	923.1	1135.0
0.500	58.0	296.5	627.4	101.2	413.3	796.0	979.6
0.600	47.9	260.3	558.5	85.9	365.1	713.7	883.5
0.800	35.1	201.9	439.6	64.4	284.7	564.6	703.0
1.000	27.4	169.3	375.7	52.0	241.1	484.7	605.4
1.200	22.5	143.7	327.3	43.1	207.3	425.6	536.3
1.500	17.0	109.4	255.4	32.4	158.9	335.3	426.6

1.700	14.5	94.2	223.6	27.7	138.0	296.2	379.5
2.000	11.0	72.3	172.2	21.2	106.0	228.2	292.4
2.400	7.8	51.2	122.7	15.0	75.2	163.7	210.3
3.000	5.7	37.7	90.8	11.0	55.5	120.9	155.8
4.000	3.4	22.7	55.2	6.6	33.5	73.8	95.5
5.000	2.4	16.0	39.3	4.6	23.7	52.9	69.0
6.000	1.7	10.8	26.8	3.2	16.1	36.3	47.5

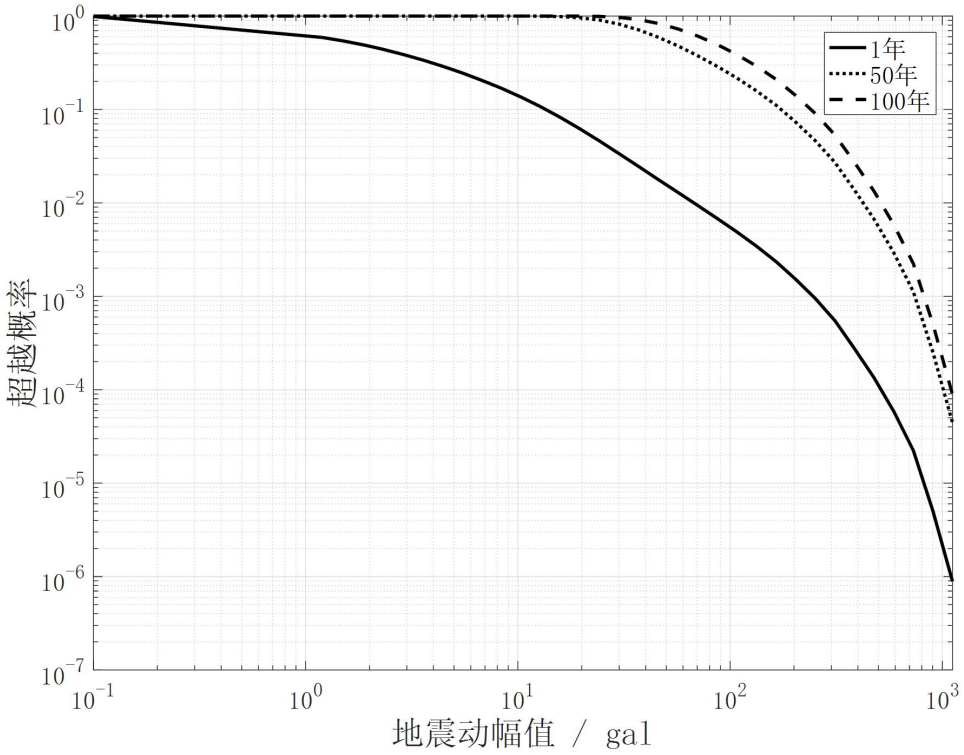


图 6.4-9 钻孔 1 的基岩地震动峰值加速度超越概率曲线

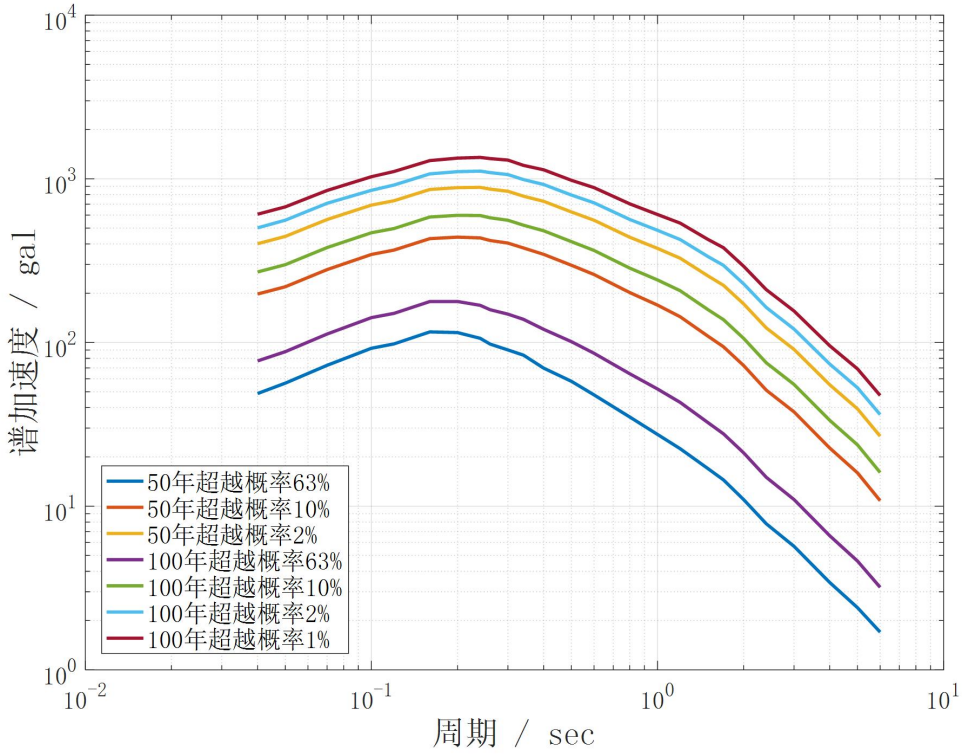


图 6.4-10 钻孔 1 的基岩地震动反应谱曲线

6.4-6 钻孔 2 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	42.9	174.0	342.4	67.9	235.6	422.2	512.8
0.040	48.8	197.8	401.0	77.2	269.7	501.4	607.4
0.050	56.5	219.0	444.7	87.9	298.8	558.6	673.6
0.070	72.6	278.8	564.0	112.7	380.0	708.6	848.7
0.100	92.3	345.0	690.6	142.0	468.1	850.4	1029.8
0.120	98.1	367.1	734.6	150.8	496.8	916.3	1108.1
0.160	116.1	431.1	860.3	178.0	584.3	1072.1	1292.4
0.200	115.0	440.3	883.4	178.1	598.4	1105.8	1338.0
0.240	106.1	435.6	886.8	168.8	596.6	1114.3	1351.3
0.260	97.8	420.0	865.0	158.7	577.9	1091.3	1329.1
0.300	90.1	405.1	839.4	149.1	558.4	1061.5	1302.0
0.340	83.7	378.3	783.6	138.6	520.9	989.7	1208.1
0.400	69.8	345.7	729.1	120.5	481.7	923.4	1135.3
0.500	58.0	296.7	627.7	101.3	413.5	796.4	980.2
0.600	47.9	260.4	558.8	86.0	365.3	714.2	884.1
0.800	35.1	202.0	439.9	64.5	285.0	565.2	703.8
1.000	27.5	169.4	376.1	52.0	241.3	485.2	606.2

1.200	22.5	143.8	327.7	43.1	207.5	426.2	537.1
1.500	17.0	109.5	255.7	32.4	159.1	335.8	427.3
1.700	14.5	94.3	224.0	27.7	138.2	296.7	380.2
2.000	11.0	72.4	172.5	21.2	106.2	228.6	293.0
2.400	7.8	51.2	123.0	15.0	75.3	164.1	210.8
3.000	5.7	37.7	90.9	11.0	55.6	121.2	156.2
4.000	3.4	22.7	55.3	6.6	33.5	74.1	95.9
5.000	2.4	16.0	39.4	4.6	23.8	53.1	69.3
6.000	1.7	10.8	26.9	3.2	16.1	36.4	47.7

6.4-7 钻孔 3 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	42.8	173.4	341.4	67.8	234.8	421.0	511.4
0.040	48.7	197.1	399.8	77.0	268.7	500.0	605.8
0.050	56.3	218.3	443.2	87.7	297.7	556.8	671.7
0.070	72.4	277.9	562.0	112.4	378.6	706.4	846.4
0.100	92.0	343.8	688.3	141.6	466.4	847.9	1026.8
0.120	97.8	365.8	732.3	150.3	495.1	913.6	1104.8
0.160	115.8	429.6	857.5	177.5	582.3	1068.6	1288.4
0.200	114.7	438.9	880.6	177.6	596.5	1102.5	1334.4
0.240	105.8	434.2	884.0	168.3	594.8	1110.9	1347.7
0.260	97.6	418.8	862.3	158.2	576.0	1088.1	1325.5
0.300	89.9	404.0	837.0	148.8	556.8	1058.7	1298.7
0.340	83.5	377.2	781.6	138.3	519.5	987.3	1205.6
0.400	69.6	344.8	727.0	120.2	480.4	921.2	1132.9
0.500	57.8	295.8	626.2	101.0	412.4	794.6	978.2
0.600	47.8	259.8	557.5	85.8	364.3	712.6	882.3
0.800	35.0	201.5	439.0	64.3	284.3	564.0	702.5
1.000	27.4	169.0	375.4	51.9	240.8	484.4	605.3
1.200	22.4	143.5	327.1	43.0	207.0	425.5	536.3
1.500	17.0	109.2	255.3	32.4	158.7	335.3	426.8
1.700	14.5	94.1	223.6	27.6	137.9	296.3	379.8
2.000	11.0	72.3	172.3	21.1	106.0	228.4	292.8
2.400	7.8	51.1	122.9	15.0	75.2	164.0	210.8
3.000	5.7	37.7	90.9	11.0	55.5	121.1	156.3
4.000	3.4	22.7	55.3	6.6	33.5	74.1	95.9
5.000	2.4	16.0	39.4	4.6	23.7	53.1	69.4
6.000	1.7	10.8	26.9	3.2	16.1	36.4	47.7

6.4-8 钻孔 4 的基岩地震动反应谱数据

周期(sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	42.6	172.4	339.9	67.3	233.4	419.1	509.3
0.040	48.4	195.9	397.9	76.5	267.3	497.9	603.4
0.050	56.0	217.0	440.9	87.2	296.0	554.2	669.1
0.070	72.0	276.2	559.1	111.7	376.4	702.9	843.1
0.100	91.5	341.8	684.7	140.7	463.7	844.4	1022.5
0.120	97.3	363.7	729.0	149.5	492.5	910.0	1100.2
0.160	115.1	426.8	853.0	176.5	578.8	1050.2	1271.5
0.200	114.0	436.3	875.9	176.6	593.4	1097.0	1328.4
0.240	105.2	431.6	879.3	167.4	591.6	1105.3	1341.5
0.260	97.0	416.3	857.8	157.3	572.7	1082.7	1319.1
0.300	89.4	401.6	832.6	147.9	553.5	1053.3	1292.5
0.340	83.1	374.8	777.5	137.5	516.6	982.4	1200.4
0.400	69.2	342.7	723.0	119.5	477.8	916.9	1128.0
0.500	57.5	294.0	623.0	100.4	410.0	790.6	973.5
0.600	47.5	258.3	554.4	85.3	362.1	708.7	877.6
0.800	34.8	200.3	436.6	63.9	282.6	560.9	698.7
1.000	27.3	168.1	373.2	51.6	239.3	481.9	602.2
1.200	22.3	142.6	325.3	42.8	205.9	423.2	533.4
1.500	16.9	108.6	253.9	32.2	157.8	333.5	424.4
1.700	14.4	93.5	222.3	27.5	137.1	294.6	377.6
2.000	10.9	71.9	171.3	21.0	105.4	227.1	291.2
2.400	7.8	50.8	122.2	14.9	74.8	163.0	209.6
3.000	5.7	37.5	90.4	10.9	55.2	120.5	155.4
4.000	3.4	22.5	55.0	6.6	33.3	73.7	95.4
5.000	2.4	15.9	39.2	4.6	23.6	52.8	68.9
6.000	1.7	10.8	26.7	3.2	16.0	36.2	47.5

6.4-9 钻孔 5 的基岩地震动反应谱数据

周期(sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	42.2	170.8	337.3	66.8	231.1	415.8	505.5
0.040	48.0	193.9	394.5	75.9	264.8	494.1	599.1
0.050	55.5	215.0	436.9	86.4	293.0	549.5	664.3
0.070	71.4	273.6	554.0	110.8	372.7	696.8	837.2
0.100	90.7	338.6	678.6	139.5	459.1	838.0	1014.7
0.120	96.4	360.1	722.2	148.2	488.1	903.3	1091.8

0.160	114.1	422.8	845.5	175.0	573.2	1042.4	1262.0
0.200	113.1	432.2	868.2	175.1	588.1	1087.9	1318.5
0.240	104.3	427.6	871.5	165.9	586.1	1096.0	1331.3
0.260	96.2	412.5	850.4	156.0	567.3	1073.8	1308.5
0.300	88.7	398.1	825.7	146.7	548.5	1045.0	1282.9
0.340	82.4	371.4	771.4	136.4	512.2	975.1	1192.5
0.400	68.7	339.7	716.9	118.5	473.6	910.3	1120.6
0.500	57.1	291.4	618.3	99.6	406.7	784.9	966.9
0.600	47.2	256.2	550.0	84.6	359.1	703.3	871.3
0.800	34.6	198.5	433.3	63.4	280.4	556.8	693.8
1.000	27.1	166.8	370.4	51.2	237.4	478.8	598.5
1.200	22.2	141.5	323.1	42.4	204.4	420.4	530.0
1.500	16.8	107.8	252.3	32.0	156.6	331.4	421.8
1.700	14.3	92.8	220.8	27.3	136.1	292.6	375.2
2.000	10.8	71.4	170.3	20.9	104.7	225.8	289.6
2.400	7.7	50.5	121.5	14.8	74.3	162.2	208.7
3.000	5.6	37.3	89.9	10.8	54.8	119.9	154.7
4.000	3.4	22.4	54.7	6.5	33.1	73.4	95.0
5.000	2.4	15.8	39.1	4.6	23.5	52.6	68.7
6.000	1.7	10.7	26.6	3.2	15.9	36.1	47.3

6.4-10 钻孔 6 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	42.3	171.2	337.9	67.0	231.7	416.5	506.3
0.040	48.1	194.5	395.2	76.1	265.4	494.9	599.9
0.050	55.7	215.5	437.7	86.7	293.7	550.3	665.1
0.070	71.6	274.4	555.1	111.1	373.6	698.1	838.4
0.100	91.0	339.5	679.9	140.0	460.3	839.3	1016.2
0.120	96.7	361.1	723.5	148.6	489.1	904.5	1093.2
0.160	114.5	424.0	847.3	175.6	574.6	1044.2	1264.1
0.200	113.4	433.4	870.2	175.6	589.7	1090.2	1321.0
0.240	104.6	428.9	873.6	166.5	587.7	1098.5	1334.0
0.260	96.5	413.8	852.4	156.5	568.9	1076.1	1311.6
0.300	89.0	399.4	827.8	147.2	550.2	1047.6	1286.0
0.340	82.7	372.7	773.5	136.8	513.7	977.6	1195.2
0.400	68.9	340.8	719.0	118.9	475.1	912.5	1123.1
0.500	57.3	292.4	620.0	100.0	407.9	787.1	969.6
0.600	47.3	257.0	551.8	84.9	360.3	705.5	874.0
0.800	34.7	199.3	434.8	63.7	281.3	558.8	696.3

1.000	27.2	167.4	371.9	51.4	238.3	480.5	600.7
1.200	22.2	142.0	324.3	42.6	205.1	422.0	532.1
1.500	16.8	108.2	253.2	32.1	157.2	332.7	423.6
1.700	14.3	93.2	221.7	27.4	136.7	293.9	376.9
2.000	10.9	71.7	171.0	21.0	105.1	226.8	291.0
2.400	7.7	50.7	122.1	14.9	74.6	163.0	209.7
3.000	5.6	37.4	90.4	10.9	55.1	120.5	155.6
4.000	3.4	22.5	55.0	6.5	33.3	73.8	95.6
5.000	2.4	15.9	39.3	4.6	23.6	53.0	69.2
6.000	1.7	10.7	26.8	3.2	16.0	36.3	47.7

6.4-11 钻孔 7 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	42.0	169.5	334.5	66.5	229.1	412.2	501.3
0.040	47.8	192.5	391.0	75.6	262.5	489.9	594.0
0.050	55.2	213.3	432.4	86.1	290.3	543.9	658.3
0.070	71.0	271.7	548.8	110.3	369.5	690.3	830.7
0.100	90.3	336.2	672.3	139.0	455.1	831.2	1006.1
0.120	96.0	357.3	714.5	147.6	483.8	894.0	1081.1
0.160	113.6	419.9	838.3	174.2	568.5	1034.7	1252.3
0.200	112.5	429.4	861.7	174.4	583.7	1079.8	1309.5
0.240	103.9	425.0	864.9	165.4	581.7	1087.9	1322.2
0.260	95.9	410.2	843.9	155.5	563.3	1065.6	1299.5
0.300	88.4	396.3	820.9	146.3	545.4	1039.0	1276.1
0.340	82.2	369.7	767.5	136.0	509.5	970.2	1187.2
0.400	68.5	338.2	712.9	118.2	471.0	905.9	1115.4
0.500	57.0	290.2	615.9	99.4	405.0	782.2	964.2
0.600	47.1	255.3	548.1	84.4	357.8	701.0	868.9
0.800	34.5	198.0	432.6	63.3	279.7	556.1	693.4
1.000	27.0	166.5	370.2	51.2	237.1	478.8	598.9
1.200	22.1	141.3	323.1	42.4	204.2	420.8	531.0
1.500	16.7	107.7	252.5	31.9	156.5	332.0	423.1
1.700	14.3	92.8	221.1	27.2	136.1	293.3	376.5
2.000	10.8	71.4	170.8	20.9	104.8	226.7	291.2
2.400	7.7	50.5	122.1	14.8	74.5	163.3	210.3
3.000	5.6	37.3	90.5	10.8	55.0	120.9	156.3
4.000	3.4	22.4	55.2	6.5	33.3	74.1	96.3
5.000	2.4	15.8	39.4	4.6	23.6	53.3	69.8
6.000	1.7	10.7	26.9	3.2	16.0	36.6	48.1

6.4-12 钻孔 8 的基岩地震动反应谱数据

周期(sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	41.8	168.6	333.0	66.2	227.8	410.4	499.2
0.040	47.5	191.3	389.1	75.2	261.1	487.8	591.7
0.050	54.9	212.1	430.2	85.6	288.6	541.3	655.7
0.070	70.6	270.1	546.0	109.7	367.3	686.9	827.3
0.100	89.8	334.2	668.8	138.2	452.5	827.6	1001.7
0.120	95.5	355.2	710.8	146.8	481.3	889.7	1076.5
0.160	113.0	417.6	834.0	173.3	565.2	1030.3	1246.8
0.200	111.9	427.0	857.1	173.4	580.3	1074.4	1303.7
0.240	103.3	422.6	860.4	164.5	578.4	1082.4	1316.2
0.260	95.4	407.9	839.6	154.7	560.1	1060.5	1293.0
0.300	88.0	394.1	816.7	145.5	542.4	1033.9	1270.2
0.340	81.8	367.5	763.7	135.3	506.8	965.6	1182.4
0.400	68.2	336.4	709.2	117.6	468.4	901.7	1110.1
0.500	56.7	288.6	612.9	98.9	402.9	778.6	959.9
0.600	46.9	254.0	545.3	84.0	355.8	697.5	864.7
0.800	34.4	196.9	430.4	63.0	278.2	553.4	690.0
1.000	26.9	165.6	368.3	50.9	235.8	476.7	596.3
1.200	22.0	140.6	321.6	42.2	203.1	418.8	528.5
1.500	16.7	107.1	251.2	31.7	155.7	330.4	421.1
1.700	14.2	92.3	220.1	27.1	135.5	291.9	374.6
2.000	10.8	71.1	170.0	20.8	104.2	225.7	289.9
2.400	7.7	50.3	121.5	14.7	74.1	162.5	209.5
3.000	5.6	37.1	90.1	10.8	54.8	120.3	155.7
4.000	3.4	22.3	55.0	6.5	33.1	73.8	95.9
5.000	2.4	15.8	39.3	4.5	23.5	53.1	69.5
6.000	1.7	10.7	26.8	3.1	16.0	36.5	47.9

6.4-13 钻孔 9 的基岩地震动反应谱数据

周期(sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	41.7	167.9	331.8	66.0	226.8	408.8	497.4
0.040	47.4	190.5	387.6	75.0	260.1	486.0	589.4
0.050	54.8	211.3	428.3	85.3	287.3	538.9	653.2
0.070	70.4	269.1	543.6	109.4	365.8	684.0	824.4
0.100	89.5	333.0	666.0	137.8	450.6	824.5	997.9
0.120	95.1	353.8	707.6	146.3	479.3	885.7	1072.2

0.160	112.6	416.0	830.6	172.8	562.9	1026.7	1242.4
0.200	111.6	425.4	853.8	172.9	577.9	1070.4	1299.1
0.240	103.0	421.0	857.0	164.0	576.1	1078.3	1311.6
0.260	95.1	406.4	836.3	154.2	557.9	1056.4	1287.8
0.300	87.7	392.8	813.9	145.1	540.5	1030.5	1266.1
0.340	81.5	366.3	761.3	134.9	505.1	962.6	1179.1
0.400	68.0	335.3	706.7	117.3	466.7	898.7	1106.5
0.500	56.5	287.6	611.1	98.6	401.6	776.4	957.4
0.600	46.8	253.3	543.7	83.8	354.7	695.5	862.4
0.800	34.3	196.3	429.3	62.9	277.5	552.1	688.5
1.000	26.9	165.2	367.4	50.8	235.2	475.6	595.2
1.200	22.0	140.2	320.9	42.1	202.6	418.0	527.6
1.500	16.6	106.8	250.7	31.7	155.3	329.9	420.5
1.700	14.2	92.1	219.7	27.0	135.2	291.4	374.1
2.000	10.8	70.9	169.8	20.7	104.0	225.5	289.6
2.400	7.7	50.2	121.4	14.7	74.0	162.4	209.4
3.000	5.6	37.0	90.0	10.8	54.7	120.3	155.7
4.000	3.4	22.3	54.9	6.5	33.1	73.8	95.9
5.000	2.4	15.8	39.3	4.5	23.5	53.1	69.6
6.000	1.7	10.7	26.8	3.1	15.9	36.5	48.0

6.4-14 钻孔 10 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	42.0	169.2	333.8	66.5	228.5	411.3	500.2
0.040	47.7	192.1	390.0	75.5	262.0	488.7	592.6
0.050	55.2	212.9	431.2	86.0	289.6	542.4	656.7
0.070	70.9	271.2	547.5	110.2	368.6	688.6	828.9
0.100	90.1	335.5	670.5	138.8	454.1	829.3	1003.6
0.120	95.8	356.6	712.5	147.4	482.7	891.4	1078.2
0.160	113.4	419.2	836.4	174.0	567.3	1032.6	1249.6
0.200	112.4	428.7	859.9	174.2	582.5	1077.6	1307.0
0.240	103.8	424.3	863.1	165.2	580.6	1085.6	1319.6
0.260	95.8	409.6	842.2	155.4	562.2	1063.4	1297.0
0.300	88.4	395.8	819.5	146.2	544.6	1037.3	1274.0
0.340	82.1	369.2	766.4	135.9	508.8	968.8	1185.7
0.400	68.5	337.9	711.8	118.2	470.3	904.6	1113.8
0.500	56.9	289.9	615.2	99.3	404.5	781.4	963.3
0.600	47.1	255.1	547.5	84.4	357.4	700.3	868.1
0.800	34.5	197.9	432.3	63.3	279.5	555.9	693.1

1.000	27.0	166.4	370.0	51.1	236.9	478.7	598.8
1.200	22.1	141.2	323.1	42.4	204.1	420.8	531.1
1.500	16.7	107.6	252.5	31.9	156.5	332.1	423.3
1.700	14.3	92.7	221.2	27.2	136.1	293.5	376.7
2.000	10.8	71.4	170.8	20.9	104.8	226.9	291.5
2.400	7.7	50.5	122.2	14.8	74.5	163.5	210.7
3.000	5.6	37.3	90.6	10.8	55.0	121.1	156.7
4.000	3.4	22.4	55.3	6.5	33.3	74.3	96.5
5.000	2.4	15.9	39.5	4.6	23.6	53.5	70.1
6.000	1.7	10.7	27.0	3.2	16.0	36.7	48.3

6.4-15 钻孔 11 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	41.7	168.1	331.7	66.1	226.9	408.7	497.1
0.040	47.5	190.7	387.4	75.1	260.2	485.7	589.0
0.050	54.9	211.5	428.1	85.5	287.5	538.6	652.8
0.070	70.5	269.4	543.6	109.6	366.0	683.8	824.1
0.100	89.6	333.3	665.7	138.0	450.7	824.1	997.2
0.120	95.3	354.1	707.2	146.5	479.4	885.1	1071.3
0.160	112.7	416.4	830.6	173.0	563.2	1026.5	1242.0
0.200	111.7	425.9	854.1	173.2	578.4	1070.5	1299.1
0.240	103.2	421.5	857.4	164.3	576.6	1078.5	1311.7
0.260	95.3	407.0	836.7	154.6	558.4	1056.6	1288.7
0.300	87.9	393.4	814.6	145.4	541.2	1031.2	1266.9
0.340	81.7	366.9	762.0	135.2	505.8	963.4	1179.9
0.400	68.2	335.9	707.5	117.6	467.3	899.5	1107.4
0.500	56.7	288.2	612.0	98.8	402.3	777.4	958.7
0.600	46.9	253.8	544.5	84.0	355.4	696.6	863.8
0.800	34.4	196.8	430.2	63.0	278.1	553.2	690.0
1.000	26.9	165.6	368.2	50.9	235.7	476.7	596.5
1.200	22.1	140.5	321.7	42.2	203.1	419.0	529.0
1.500	16.7	107.1	251.4	31.7	155.7	330.8	421.9
1.700	14.2	92.3	220.3	27.1	135.5	292.3	375.4
2.000	10.8	71.1	170.3	20.8	104.3	226.2	290.7
2.400	7.7	50.3	121.8	14.7	74.2	163.1	210.3
3.000	5.6	37.1	90.4	10.8	54.9	120.9	156.5
4.000	3.4	22.4	55.2	6.5	33.2	74.2	96.5
5.000	2.4	15.8	39.5	4.5	23.6	53.4	70.1
6.000	1.7	10.7	26.9	3.1	16.0	36.7	48.3

6.4-16 钻孔 12 的基岩地震动反应谱数据

周期(sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	43.6	177.1	350.7	69.2	239.9	432.8	521.1
0.040	49.6	201.5	406.7	78.6	274.1	507.6	614.5
0.050	57.4	222.9	451.3	89.5	303.9	566.3	681.1
0.070	73.8	284.0	572.9	114.7	386.7	719.1	866.0
0.100	93.8	351.2	701.4	144.4	476.4	861.1	1042.9
0.120	99.7	373.6	744.3	153.4	504.6	927.0	1121.0
0.160	118.0	439.1	874.0	181.1	594.5	1089.0	1312.7
0.200	116.9	448.3	897.8	181.2	608.1	1121.9	1356.4
0.240	107.9	443.6	901.2	171.8	606.3	1129.2	1370.2
0.260	99.5	427.5	878.6	161.5	588.2	1107.3	1347.9
0.300	91.6	412.3	853.0	151.8	568.4	1078.0	1320.9
0.340	85.1	385.5	795.7	141.1	529.9	1004.4	1229.5
0.400	70.9	352.0	739.8	122.6	489.4	936.2	1149.9
0.500	58.9	302.3	637.7	103.1	420.6	808.6	994.5
0.600	48.7	265.0	568.2	87.5	371.8	725.9	898.0
0.800	35.6	205.7	447.5	65.6	290.0	574.7	715.4
1.000	27.9	172.4	382.8	52.9	245.7	492.9	615.5
1.200	22.8	146.4	333.2	43.8	211.0	433.4	546.2
1.500	17.2	111.3	259.9	33.0	162.0	341.4	434.5
1.700	14.7	96.0	227.8	28.2	140.5	301.9	386.8
2.000	11.1	73.6	175.3	21.5	108.0	232.4	298.0
2.400	7.9	52.1	125.1	15.2	76.5	166.8	214.3
3.000	5.8	38.3	92.4	11.1	56.5	123.2	159.0
4.000	3.5	23.1	56.3	6.7	34.1	75.3	97.5
5.000	2.4	16.2	40.1	4.7	24.1	54.1	70.6
6.000	1.7	11.0	27.3	3.2	16.3	37.1	48.5

6.4-17 钻孔 13 的基岩地震动反应谱数据

周期(sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	43.4	176.1	348.9	68.8	238.5	430.7	518.6
0.040	49.4	200.3	404.8	78.2	272.6	505.5	612.1
0.050	57.1	221.6	449.0	89.0	302.2	563.6	678.5
0.070	73.4	282.4	569.9	114.1	384.6	715.6	861.2
0.100	93.3	349.2	697.8	143.7	473.7	857.5	1038.4
0.120	99.2	371.5	740.9	152.6	502.0	923.2	1116.8

0.160	117.4	436.6	869.5	180.2	591.4	1083.7	1306.5
0.200	116.3	445.8	893.2	180.3	605.0	1117.2	1350.5
0.240	107.3	441.1	896.6	170.9	603.2	1124.5	1364.1
0.260	99.0	425.2	874.2	160.6	584.9	1102.1	1341.9
0.300	91.2	410.1	848.7	151.0	565.3	1072.8	1315.1
0.340	84.7	383.3	792.0	140.3	527.1	999.9	1224.3
0.400	70.6	350.1	736.5	122.0	487.1	932.2	1145.4
0.500	58.6	300.6	634.7	102.6	418.4	805.0	990.4
0.600	48.4	263.6	565.4	87.1	369.9	722.5	894.0
0.800	35.5	204.7	445.3	65.3	288.6	572.0	712.2
1.000	27.8	171.5	381.0	52.7	244.5	490.8	613.1
1.200	22.7	145.6	331.7	43.6	210.0	431.5	543.8
1.500	17.2	110.8	258.8	32.8	161.2	340.0	432.7
1.700	14.6	95.5	226.8	28.0	139.9	300.6	385.2
2.000	11.1	73.3	174.6	21.4	107.5	231.5	296.8
2.400	7.9	51.8	124.6	15.2	76.2	166.2	213.5
3.000	5.7	38.2	92.1	11.1	56.3	122.8	158.4
4.000	3.4	23.0	56.1	6.7	33.9	75.0	97.2
5.000	2.4	16.2	40.0	4.7	24.1	53.9	70.4
6.000	1.7	10.9	27.2	3.2	16.3	36.9	48.4

6.4-18 钻孔 14 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	43.3	175.6	347.9	68.7	237.8	429.6	517.3
0.040	49.3	199.7	403.6	78.0	271.8	504.2	610.5
0.050	57.0	221.0	447.6	88.8	301.2	561.9	676.7
0.070	73.3	281.6	568.2	113.9	383.4	713.5	858.8
0.100	93.1	348.3	695.7	143.4	472.3	855.4	1035.8
0.120	99.0	370.4	738.8	152.3	500.5	920.8	1113.6
0.160	117.2	435.4	867.1	179.8	589.9	1080.8	1303.4
0.200	116.1	444.7	890.9	179.9	603.5	1114.6	1347.5
0.240	107.1	440.0	894.2	170.5	601.7	1122.1	1361.1
0.260	98.8	424.2	871.9	160.3	583.3	1099.3	1338.8
0.300	91.0	409.2	846.8	150.7	564.0	1070.6	1312.5
0.340	84.5	382.5	790.3	140.1	526.0	997.9	1222.1
0.400	70.5	349.3	735.0	121.8	486.0	930.5	1143.5
0.500	58.6	300.0	633.6	102.4	417.6	803.7	988.9
0.600	48.4	263.2	564.4	86.9	369.2	721.2	892.6
0.800	35.4	204.3	444.7	65.2	288.1	571.3	711.4

1.000	27.7	171.3	380.5	52.6	244.1	490.3	612.6
1.200	22.7	145.4	331.3	43.6	209.7	431.1	543.5
1.500	17.2	110.7	258.6	32.8	161.0	339.8	432.6
1.700	14.6	95.4	226.6	28.0	139.7	300.4	385.1
2.000	11.1	73.2	174.5	21.4	107.4	231.5	296.9
2.400	7.9	51.8	124.6	15.2	76.1	166.2	213.7
3.000	5.7	38.1	92.1	11.1	56.2	122.9	158.7
4.000	3.4	22.9	56.1	6.7	33.9	75.1	97.4
5.000	2.4	16.2	40.0	4.7	24.1	54.0	70.5
6.000	1.7	10.9	27.3	3.2	16.3	37.0	48.5

6.4-19 钻孔 15 的基岩地震动反应谱数据

周期 (sec)	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
0.010	43.6	176.8	350.0	69.1	239.4	432.0	520.2
0.040	49.6	201.1	405.9	78.5	273.6	506.7	613.4
0.050	57.4	222.5	450.3	89.4	303.2	565.0	679.8
0.070	73.7	283.5	571.7	114.6	386.0	717.6	864.5
0.100	93.7	350.6	700.0	144.3	475.5	859.7	1041.1
0.120	99.6	372.9	742.8	153.2	503.6	925.3	1119.0
0.160	117.9	438.3	872.4	180.9	593.5	1087.2	1310.7
0.200	116.8	447.6	896.4	181.0	607.2	1120.4	1354.4
0.240	107.7	442.9	899.7	171.6	605.3	1127.6	1368.2
0.260	99.3	426.9	877.1	161.3	587.2	1105.5	1345.9
0.300	91.5	411.8	851.8	151.6	567.6	1076.6	1319.4
0.340	85.0	385.0	794.7	140.9	529.2	1003.2	1228.2
0.400	70.9	351.5	738.9	122.5	488.8	935.1	1148.7
0.500	58.9	301.9	637.0	103.0	420.1	807.9	993.8
0.600	48.6	264.7	567.6	87.5	371.4	725.2	897.3
0.800	35.6	205.5	447.2	65.5	289.8	574.4	715.1
1.000	27.9	172.2	382.6	52.9	245.6	492.7	615.4
1.200	22.8	146.2	333.1	43.8	210.9	433.3	546.2
1.500	17.2	111.3	259.9	33.0	161.9	341.4	434.6
1.700	14.7	95.9	227.8	28.1	140.5	301.9	386.9
2.000	11.1	73.6	175.3	21.5	108.0	232.5	298.2
2.400	7.9	52.0	125.2	15.2	76.5	166.9	214.5
3.000	5.8	38.3	92.5	11.1	56.5	123.4	159.3
4.000	3.5	23.1	56.4	6.7	34.1	75.4	97.8
5.000	2.4	16.2	40.2	4.7	24.2	54.2	70.7
6.000	1.7	11.0	27.4	3.2	16.3	37.2	48.6

6.5 本章小结

在对本工程所涉及区域的地震地质、地震活动性、地球物理等基础资料的综合分析和研究的基础上，划分出对工程场址地震危险性有影响的潜在震源区，并确定其地震活动性参数。根据目标区所处的地震带，选择我国东部强震区的地震动预测方程，用于本项目目标区的概率地震危险性分析。在此基础上，通过开展概率地震危险性计算，得到了目标区 15 个控制点的基岩地震动参数，包括 7 个超越概率水平的基岩地震动峰值加速度和加速度反应谱，用于后续基岩地震动时程的合成。

第七章 场地地震动参数的确定

本章将根据概率地震危险性分析和场地地震工程地质条件勘测成果，进一步考虑局部场地条件的影响，进行场地土层地震反应分析，确定场地地震动参数，为工程结构提供合理的抗震设计依据。

7.1 基岩地震动时程合成

以概率地震危险性分析得到的基岩地震动峰值加速度和反应谱为目标，用数值方法合成基岩地震动时程，作为场地地震反应分析的输入。

7.1.1 方法简介

本项目基岩地震动时程的合成主要思路如下。

1. 利用地震动反应谱与功率谱的近似转换关系，将目标基岩地震动反应谱转换成相应的功率谱。该转换关系为：

$$S(\omega)=\frac{\zeta}{\pi\omega-\ln\left[-\pi\ln\left(1-r\right)/(\omega T)\right]}\frac{S_{\mathrm{T}}^{2}(\omega)}{} \qquad (7.1-1)$$

其中，$S(\omega)$为功率谱，ζ为阻尼比，$S_{\mathrm{T}}(\omega)$为目标反应谱，T为地震动平稳段持续时间，r为超过目标反应谱值的概率，ω为圆频率。

2. 利用三角级数叠加法，生成零均值的平稳高斯过程：

$$X(t)=\sum_{j=0}^{N}A_{j}cos\left(\omega_{j}t+\varphi_{j}\right) \qquad (7.1-2)$$

其中，$A_j=\sqrt{2\pi\Delta fS(\omega_j)}$为谐波分量的幅值，谐波分量的初相位$\varphi_j$假定为$[0,2\pi]$均匀分布的随机变量，$\Delta f=1/T_{\mathrm{d}}$为离散频率间隔（$T_{\mathrm{d}}$为地震动总持续时间），$\omega_j=2\pi j\Delta f$为离散频率。

3. 利用公式$(7.1-2)$定义的随机过程，设定初始随机数，即可得到平稳地震动加速度时程样本$x(t)$，将该时程样本乘以非平稳强度包络函数，得到强度非平稳的地震动加速度时程：

$$a(t)=\Psi(t)x(t) \qquad (7.1-3)$$

其中，非平稳强度包络函数为如下形式：

$$\Psi(t)=\begin{cases}(t/t_1)^2, & t\le t_1\\ 1, & t_1<t\le t_2\\ exp\left[-c(t-t_2)\right], & t>t_2\end{cases} \qquad (7.1-4)$$

其中，t_1为地震动加速度时程平稳段起始时刻，t_2为平稳段终止时刻，c为包络曲线下降段的衰减系数。

由于式$(7.1-1)$表示的反应谱与功率谱的关系是近似关系，所以公式$(7.1-3)$所得初始时程$a(t)$计算出来的反应谱一般只近似于目标谱，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。本项目采用基于小波函数的地震动反应谱拟合方法（张郁山和赵凤新，2014）对初始地震动加速度时程进行调整，在确保最终所得地震动的反应谱与目标反应谱满足规范规定的精度要求的同时，保证地震动的速度和位移时程曲线不出现基线漂移。

7.1.2 地震动加速度强度包络参数的确定

本工作的地震动强度包络参数的确定参考下式（霍俊荣等，1988）的计算结果：

$$lg\,Y=a_1+a_2M+a_3\,lg\,(R+R_0) \qquad (7.1-5)$$

其中，Y为强度包络参数，代表公式$(6.1-4)$中的t_1和c、以及T_S。T_S为地震动加速度时程平稳段的持时，即$T_S=t_2-t_1$。M为等效震级，R为等效震中距。a_1、a_2、a_3和R_0为回归系数，具体取值参见霍俊荣等（1988）给出的基岩地震动强度包络回归系数。

参照概率地震危险性分析所得等效震级、等效震中距及式$(7.1-5)$，得到的基岩地震动强度参数如表 7.1-1 所示。

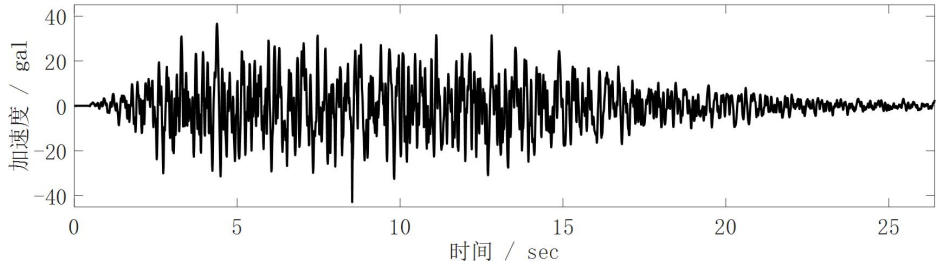
表 7.1-1　基岩地震动加速度时程强度包络参数值

超越概率水平	t_1(sec)	T_S(sec)	t_2(sec)	c
50 年 63%	3.0	10.0	13.0	0.20
50 年 10%	3.0	15.0	18.0	0.15
50 年 2%	3.0	20.0	23.0	0.10
100 年 63%	3.0	12.0	15.0	0.20
100 年 10%	3.0	17.0	20.0	0.15
100 年 2%	3.0	22.0	25.0	0.10
100 年 1%	3.0	27.0	30.0	0.10

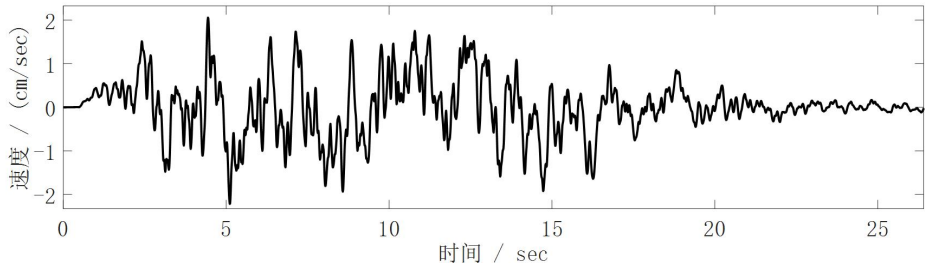
7.1.3 基岩地震动时程合成结果

在合成基岩地震动时程时，目标反应谱分别取不同概率水平的基岩谱。根据基岩谱及表 7.1-1 所给参数合成地震动时程。为了考虑相位随机性的影响，按照规范要求，针对每个超越概率水平，分别合成 5 个不同随机相位的地震动时程样本。合成的时程均以 0.01s 为间隔，离散值点数为 8192。目标反应谱在 0.04～6s 内取 77 个控制点，均匀分布在对数坐标轴上。最终所合成的基岩地震动的反应谱与目标反应谱之间的相对误差小于 5%，所有钻孔、所有超越概率水平下不同基岩地震动样本之间的互相关系数均小于 0.16，满足不相关的要求。

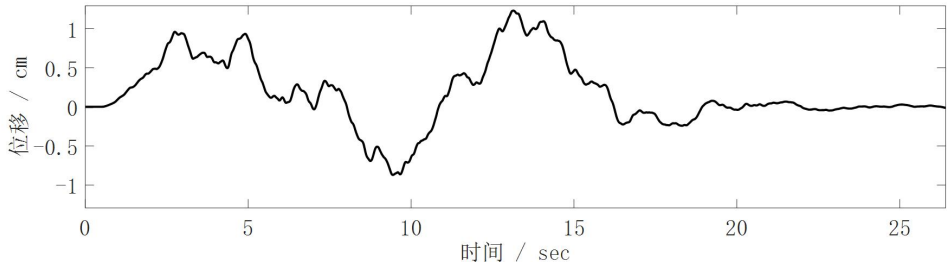
图 7.1-1 至图 7.1-14 给出了第 1 个钻孔对应于不同超越概率水平的基岩地震动合成结果，包括第 1 个样本的地震动加速度、速度和位移时程曲线，以及地震动的反应谱与目标反应谱的对比曲线。可以看出，本项目合成的基岩地震动速度和位移不存在基线漂移，而且能够很好地拟合目标反应谱。表 7.1-2 至 7.1-8 给出了钻孔 1 不同超越概率水平下不同地震动样本之间的相关系数，均满足小于 0.16 的要求。其余样本结果与样本 1 相似，其余钻孔的基岩地震动合成结果与钻孔 1 相似。



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.1-1 基岩地震动时程曲线（钻孔 1、50 年超越概率 63%、样本 1）

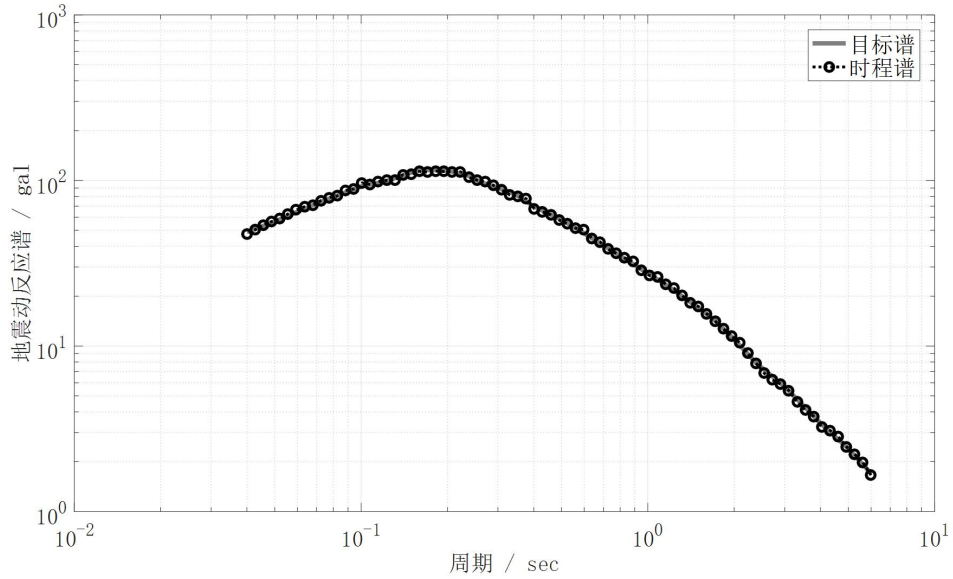
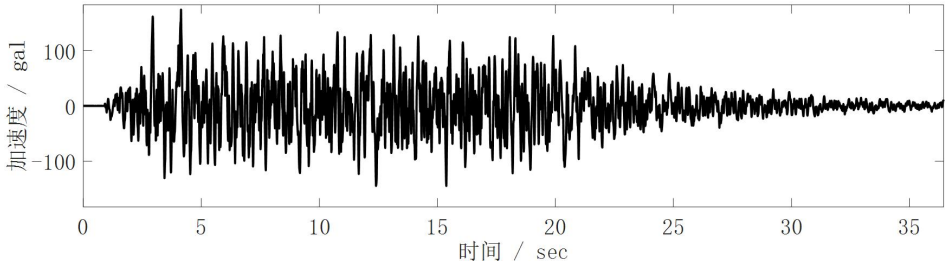
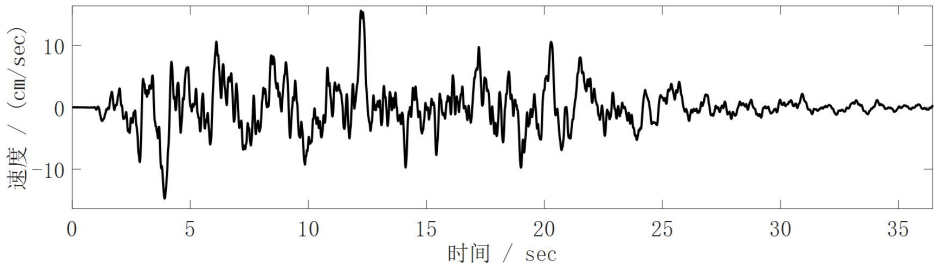


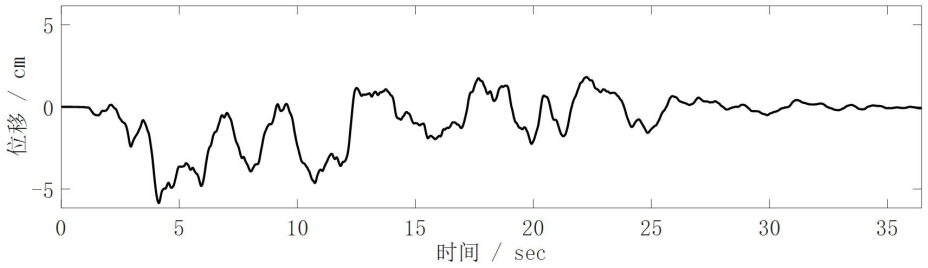
图 7.1-2 基岩地震动反应谱曲线（钻孔 1、50 年超越概率 63%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.1-3 基岩地震动时程曲线（钻孔 1、50 年超越概率 10%、样本 1）

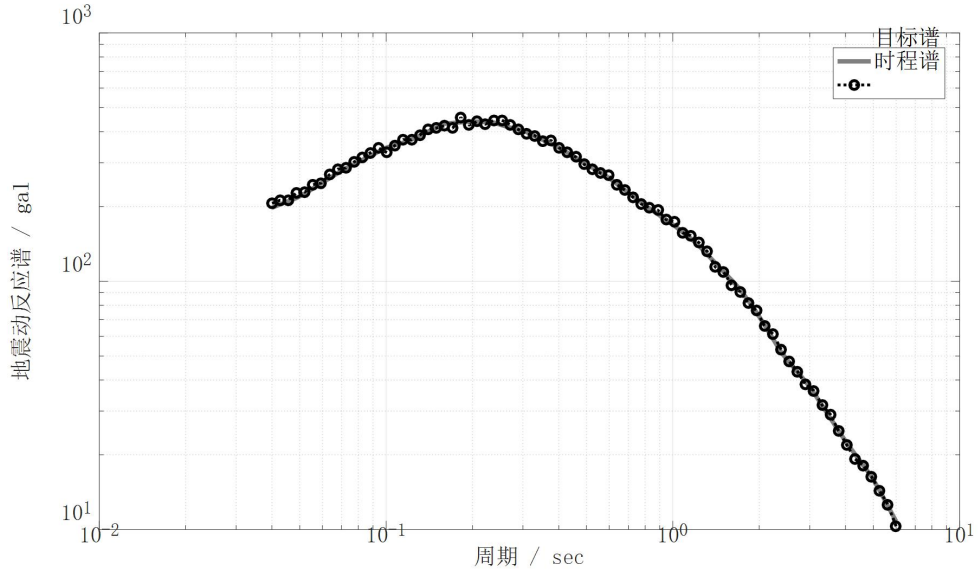
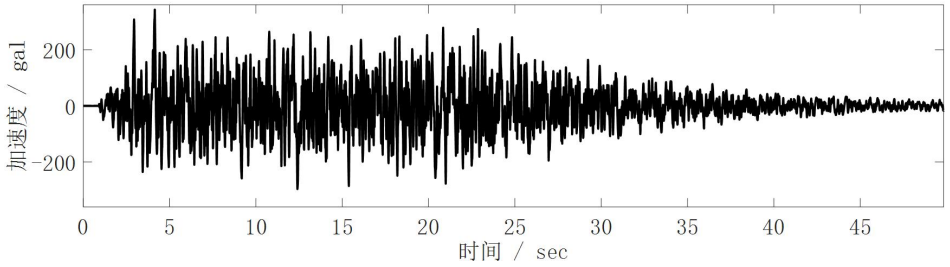
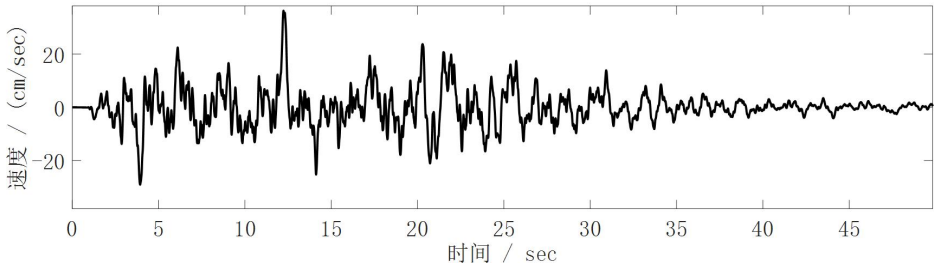


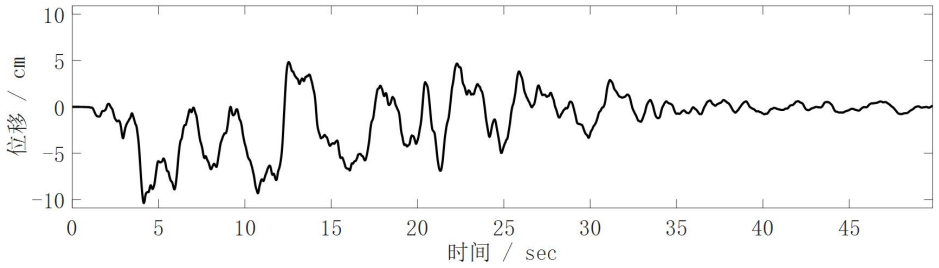
图 7.1-4 基岩地震动反应谱曲线（钻孔 1、50 年超越概率 10%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.1-5 基岩地震动时程曲线（钻孔 1、50 年超越概率 2%、样本 1）

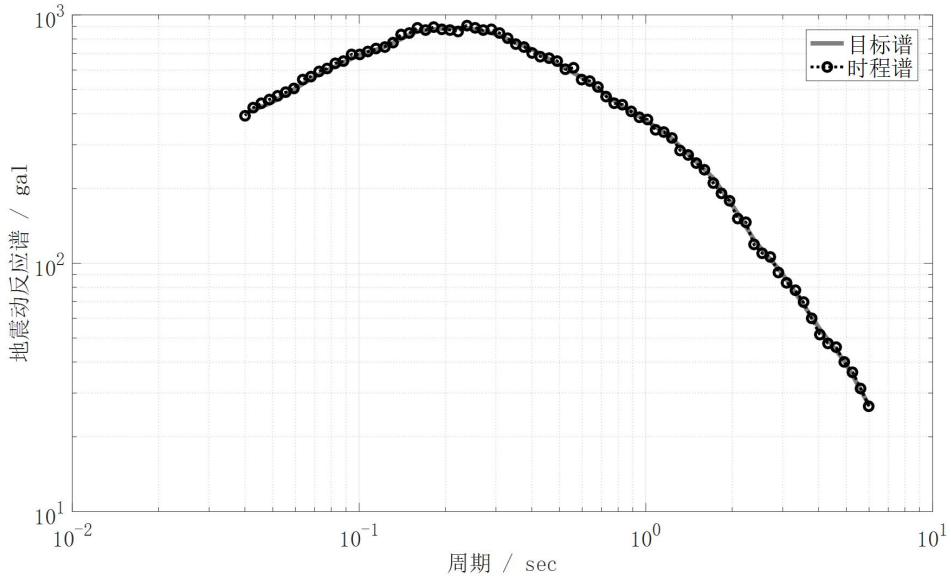
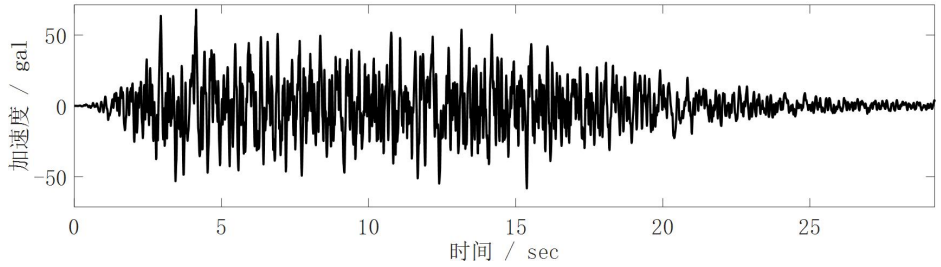
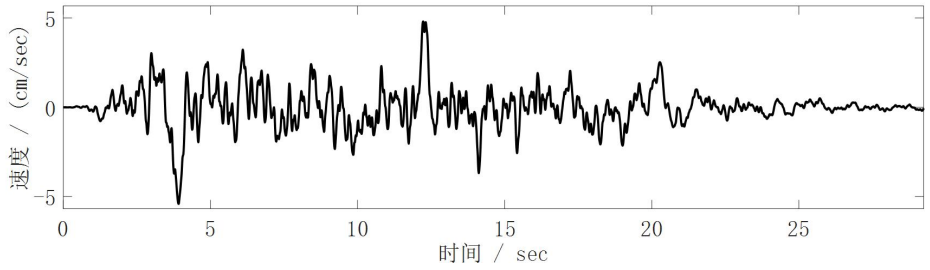


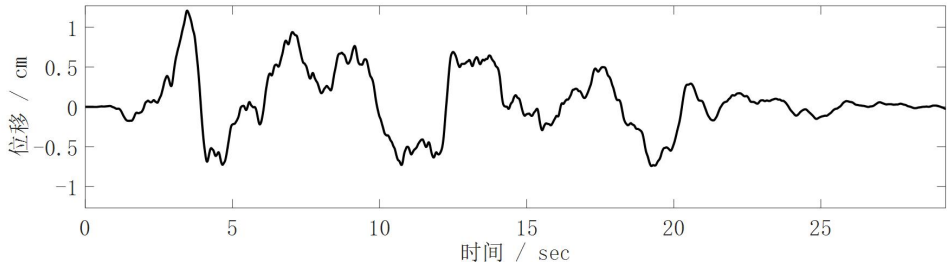
图 7.1-6 基岩地震动反应谱曲线（钻孔 1、50 年超越概率 2%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.1-7 基岩地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 63%、样本 1）

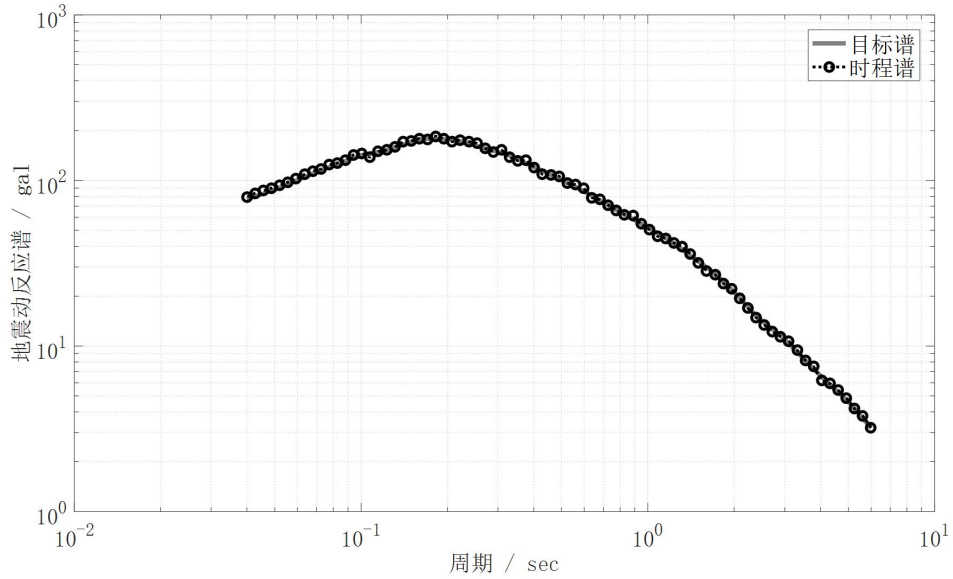
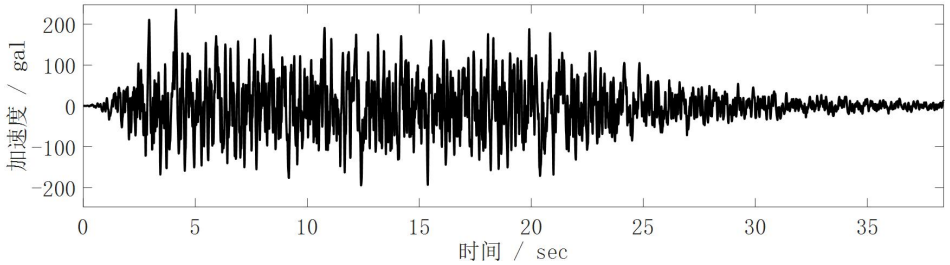
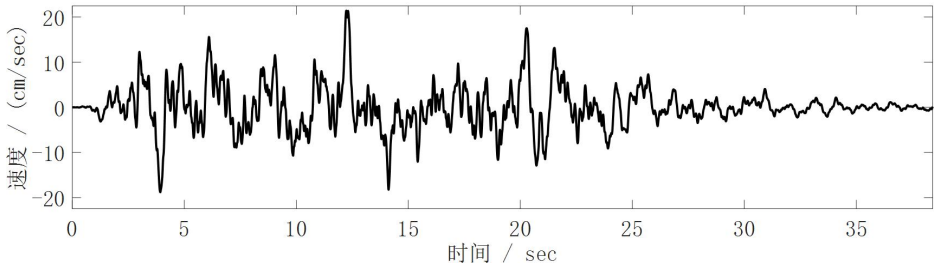


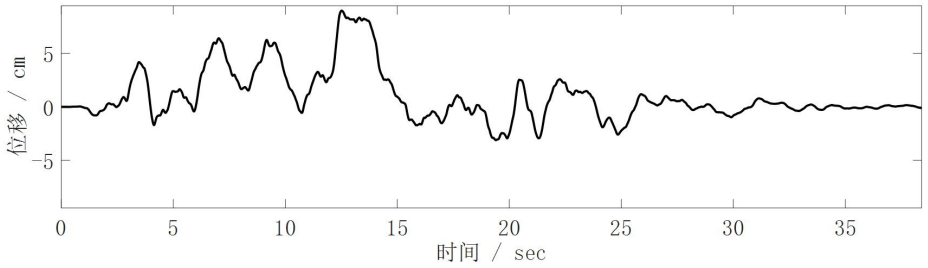
图 7.1-8 基岩地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 63%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.1-9 基岩地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 10%、样本 1）

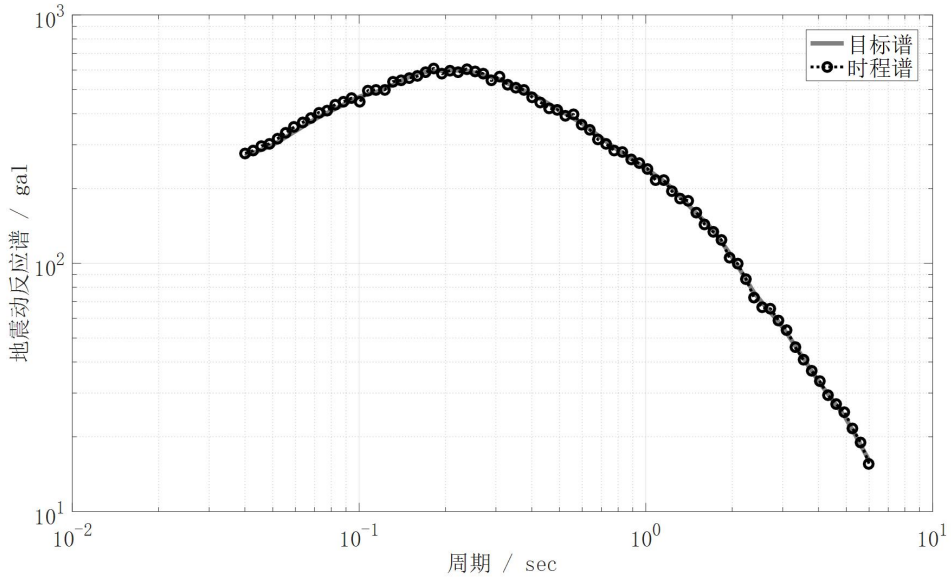
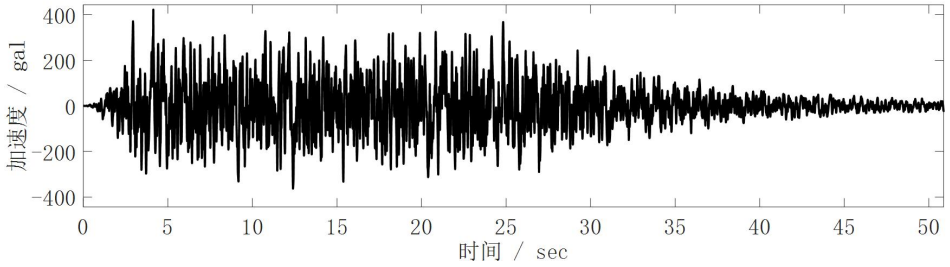
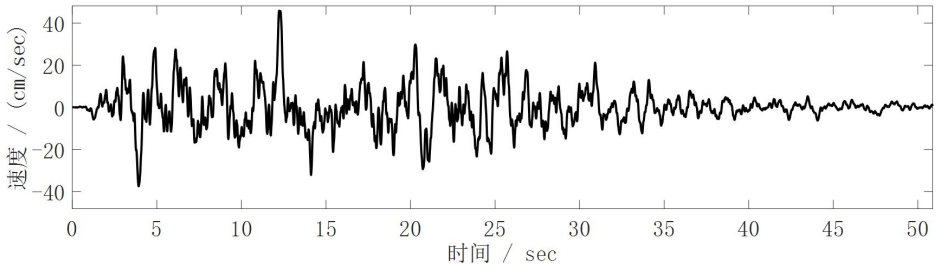


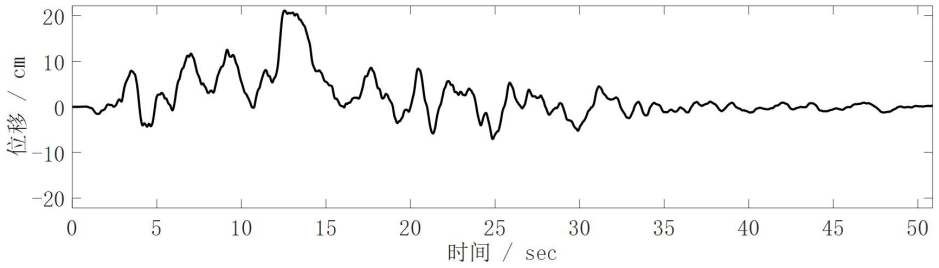
图 7.1-10 基岩地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 10%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.1-11 基岩地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 2%、样本 1）

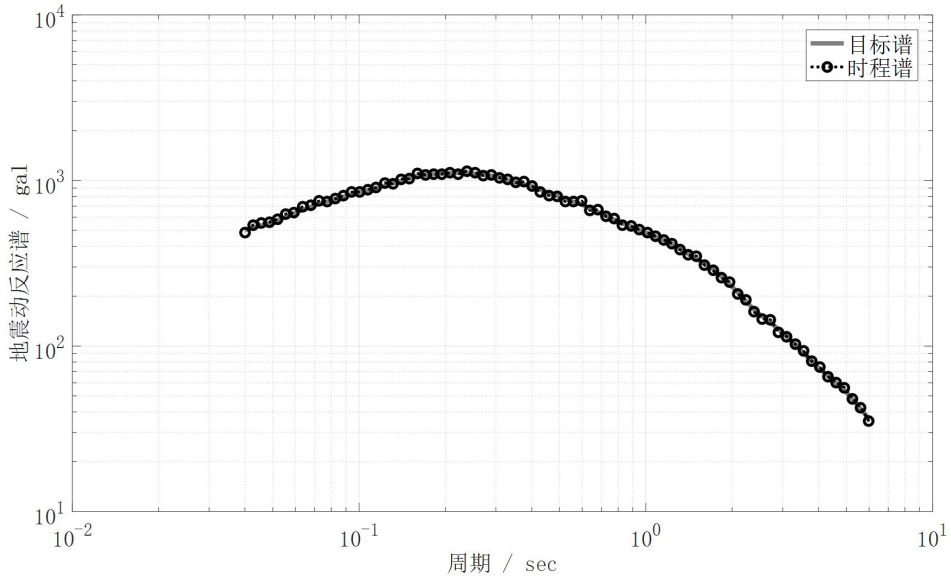
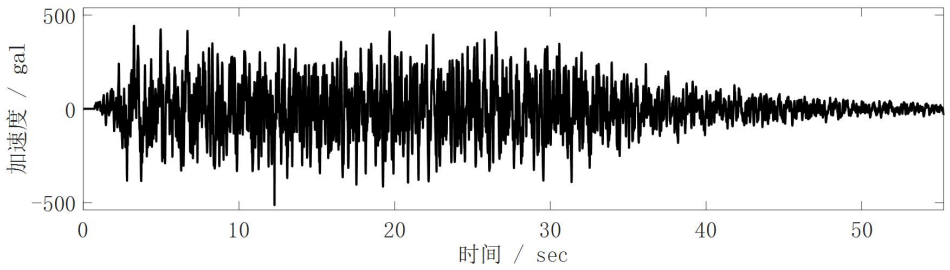
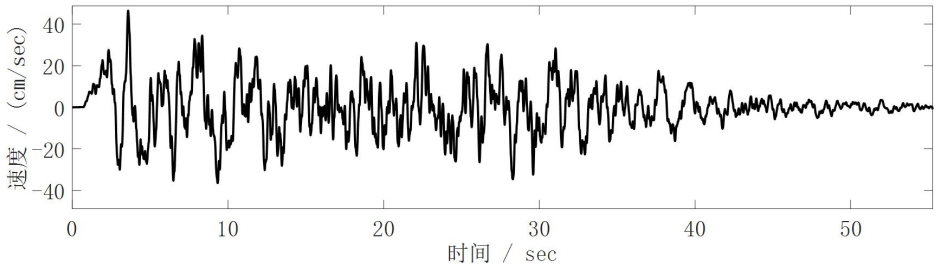


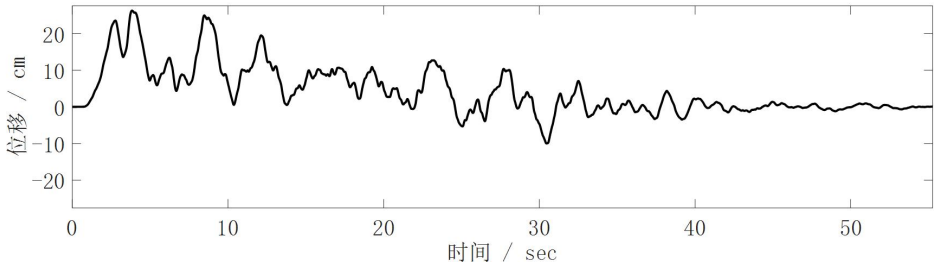
图 7.1-12 基岩地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 2%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.1-13 基岩地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 1%、样本 1）

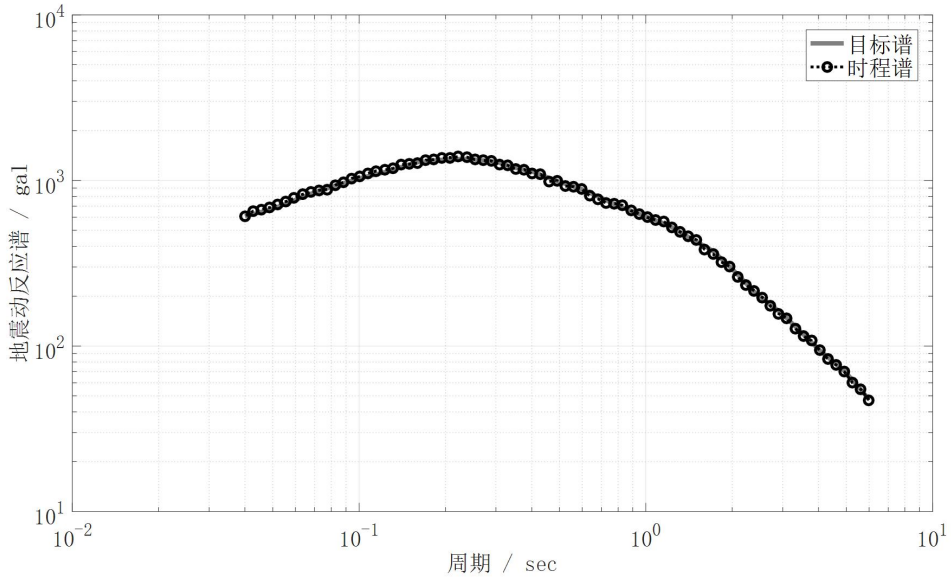


图 7.1-14 基岩地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 1%、样本 1）

表 7.1-2 第 1 个控制点 50 年超越概率 63%基岩地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.01	0.14	0.00	0.05
2	0.01	-	0.01	0.01	0.10
3	0.14	0.01	-	0.03	0.00
4	0.00	0.01	0.03	-	0.02
5	0.05	0.10	0.00	0.02	-

表 7.1-3 第 1 个控制点 50 年超越概率 10%基岩地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.05	0.04	0.08	0.04
2	0.05	-	0.02	0.04	0.10
3	0.04	0.02	-	0.04	0.08
4	0.08	0.04	0.04	-	0.06
5	0.04	0.10	0.08	0.06	-

表 7.1-4 第 1 个控制点 50 年超越概率 2%基岩地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.02	0.03	0.01	0.04
2	0.02	-	0.06	0.06	0.03
3	0.03	0.06	-	0.03	0.00
4	0.01	0.06	0.03	-	0.01
5	0.04	0.03	0.00	0.01	-

表 7.1-5 第 1 个控制点 100 年超越概率 63%基岩地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.02	0.03	0.08	0.02
2	0.02	-	0.01	0.00	0.02
3	0.03	0.01	-	0.04	0.01
4	0.08	0.00	0.04	-	0.02
5	0.02	0.02	0.01	0.02	-

表 7.1-6 第 1 个控制点 100 年超越概率 10%基岩地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.02	0.01	0.03	0.08
2	0.02	-	0.06	0.01	0.02
3	0.01	0.06	-	0.07	0.02
4	0.03	0.01	0.07	-	0.05
5	0.08	0.02	0.02	0.05	-

表 7.1-7 第 1 个控制点 100 年超越概率 2%基岩地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.02	0.01	0.03	0.01
2	0.02	-	0.01	0.00	0.04
3	0.01	0.01	-	0.03	0.06
4	0.03	0.00	0.03	-	0.05
5	0.01	0.04	0.06	0.05	-

表 7.1-8 第 1 个控制点 100 年超越概率 1%基岩地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.02	0.05	0.00	0.03
2	0.02	-	0.00	0.02	0.01
3	0.05	0.00	-	0.04	0.00
4	0.00	0.02	0.04	-	0.07
5	0.03	0.01	0.00	0.07	-

7.2 场地土层地震反应计算

7.2.1 计算模型及方法简介

场地地震工程地质条件勘察结果表明，本项目场地区域范围内，土层特性变化及地形变化沿水平面方向并不十分显著。因此，在工作区域范围可采用一维场地模型来考虑场地条件对地震动的影响。一维场地非线性地震反应分析，采用《工程场地地震安全性评价》（GB 17744-2005）所推荐的等效线性化方法，其基本原理如下。

假设剪切波从粘弹性半无限基岩空间垂直入射到水平成层（N）非线性土体中，并向上传播。对于这一计算模型，根据波传播理论，利用时频变换技术(即傅氏变换法)结合土体非线性特性的复阻尼模拟及等效线性化处理方法可以计算出场地介质动力反应值。

设有一剪切谐波自计算基底垂直向上入射并在土层中传播，则根据波动理论及复阻尼理论可知，每一土层中介质运动必须满足波动方程：

$$\rho_j \frac{\partial^2 U_j(x,t)}{\partial t^2} = G_j^{\mathrm{c}} \frac{\partial^2 U_j(x,t)}{\partial x^2} \qquad (7.2-1)$$

式中，$U_j(x,t)$为第j土层中介质反应的位移值，ρ_j为第j土层中介质的密度，G_j^{c}为第j土层中介质的动力复剪切模量，由下式给出：

$$G_j^{\mathrm{c}} = \left[1 + 2\lambda_j(\gamma_{\mathrm{e},j})\mathrm{i}\right] G_{\mathrm{d},j}(\gamma_{\mathrm{e},j}) G_{0,j} \qquad (7.2-2)$$

其中，$\mathrm{i}=\sqrt{-1}$，$G_{0,j}$为第j土层中介质的最大动力剪切模量，$G_{\mathrm{d},j}(\gamma_{\mathrm{e},j})$和$\lambda_j(\gamma_{\mathrm{e},j})$分别为第$j$土层中介质的等效动力剪切模量比和滞回阻尼比，$\gamma_{\mathrm{e},j}$为第$j$土层中层中点介质的等效动力剪切应变值。

各土层之间介质运动满足位移连续条件和应力连续条件：

$$U_j(x,t)\big|_{x=H_j}=U_{j+1}(x,t)\big|_{x=0} \qquad (7.2-3)$$

$$\tau_j(x,t)\big|_{x=H_j}=\tau_{j+1}(x,t)\big|_{x=0} \qquad (7.2-4)$$

$$\tau_1(x,t)|_{x=0}=0 \qquad (7.2-5)$$

其中，H_j为第j土层的层厚，且规定x坐标以垂直向下方向为正方向，坐标原点置于每一土层层顶面位置。求解方程式$(7.2-1)$，并利用已知的计算基底入射波值可得到土层中介质反应量的频域值，再利用傅氏变换方法可以得到土层中介质反应量的时域值。具体的求解过程及求解公式可以参见胡聿贤主编的《地震安全性评价技术教程》一书中第 358 页至 363 页的内容。

考虑到土体的非线性特性，各土层的等效动力剪切模量的无量纲系数和滞回阻尼比都是等效剪应变的函数。因此，实际计算时，先假定每一土层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，并计算出相应的各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（这里取 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。

在确定场地地震反应分析的地震输入时，地震输入界面处的输入地震波应按自由基岩地震动时程幅值的 50%确定。即由 7.1.3 节所得到的时程样本，按幅值缩小一半作为基底入射波幅值。

7.2.2 场地计算土层模型动力参数的确定

根据本项目场地地震工程地质条件勘察成果，建立所有钻孔的计算模型。所有钻孔计算模型见表 7.2-1 至 7.2-15 所示。本项目共开展了不同深度的粉砂、粗砂、砾砂、

粉土、粉质粘土、强风化砂岩和泥岩等土样的非线性动力参数测试工作。在建立钻孔计算模型时，针对同一土类，取 10m 深度范围内土样试验结果的平均值作为其非线性动力参数，最终得到 31 种土体非线性动力参数。其中，填土、中风化岩类、微风化岩和输入基底的参数使用了行业标准的推荐值。计算模型中各类土的非线性动力参数详见表 7.2-16。

表 7.2-1 钻孔-1 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
1	粉砂	2.0	257	1.94
1	粉砂	3.5	279	1.94
2	强风化泥岩	2.0	300	1.94
2	强风化泥岩	2.0	314	1.94
3	强风化泥岩	2.0	323	1.92
3	强风化泥岩	2.5	389	1.92
5	强风化砂岩	2.8	467	2.13
13	强风化砾岩	0.2	467	2.13
31	输入基底		506	2.20

表 7.2-2 钻孔-2 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
1	粉砂	2.0	219	1.94
7	砾砂	2.0	246	2.03
7	砾砂	2.0	257	2.03
7	砾砂	2.0	274	2.03
7	砾砂	2.0	310	2.03
8	砾砂	2.0	311	2.07
8	砾砂	2.0	321	2.07
8	砾砂	2.0	344	2.07
8	砾砂	2.5	361	2.07
3	强风化泥岩	2.0	391	1.92
4	强风化泥岩	2.0	425	2.06
4	强风化泥岩	2.0	454	2.06
4	强风化泥岩	2.5	489	2.06
31	输入基底		555	2.20

表 7.2-3 钻孔-3 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
11	粉土	0.9	233	1.97
7	砾砂	2.0	303	2.03

7	砾砂	2.0	395	2.03
7	砾砂	2.0	425	2.03
7	砾砂	2.0	430	2.03
7	砾砂	2.0	432	2.03
8	砾砂	2.0	433	2.07
8	砾砂	2.6	417	2.07
10	粉质粘土	2.0	405	1.99
10	粉质粘土	3.7	407	1.99
4	强风化泥岩	3.3	449	2.06
28	中风化泥岩	1.5	468	2.20
31	输入基底		507	2.20

表 7.2-4 钻孔-4 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
11	粉土	2.6	251	1.97
7	砾砂	0.7	303	2.03
23	全风化泥岩	1.2	301	1.94
2	强风化泥岩	2.0	299	1.94
2	强风化泥岩	2.0	317	1.94
2	强风化泥岩	2.0	366	1.94
3	强风化泥岩	3.9	444	1.92
27	中风化砂岩	2.4	467	2.20
28	中风化泥岩	3.2	468	2.20
31	输入基底		507	2.20

表 7.2-5 钻孔-5 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
19	全风化砾岩	2.0	287	2.13
19	全风化砾岩	2.0	355	2.13
19	全风化砾岩	2.0	374	2.13
19	全风化砾岩	2.0	380	2.13
19	全风化砾岩	2.0	382	2.13
19	全风化砾岩	2.8	400	2.13
5	强风化砂岩	3.0	418	2.13
3	强风化泥岩	2.0	430	1.92
3	强风化泥岩	2.7	454	1.92
6	强风化砂岩	0.5	454	2.26
14	强风化砾岩	2.0	475	2.26
31	输入基底		555	2.20

表 7.2-6 钻孔-6 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
12	粗砂	1.5	219	2.00
9	粉质粘土	1.8	269	1.95
23	全风化泥岩	0.9	297	1.94
17	全风化砂岩	3.8	317	2.13
2	强风化泥岩	2.0	342	1.94
3	强风化泥岩	2.3	386	1.92
5	强风化砂岩	2.0	438	2.13
5	强风化砂岩	2.7	469	2.13
3	强风化泥岩	3.8	526	1.92
28	中风化泥岩	0.2	499	2.20
31	输入基底		554	2.20

表 7.2-7 钻孔-7 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
11	粉土	1.6	218	1.97
21	全风化片麻岩	2.0	219	2.13
21	全风化片麻岩	2.0	250	2.13
21	全风化片麻岩	2.0	255	2.13
21	全风化片麻岩	2.0	252	2.13
21	全风化片麻岩	3.2	287	2.13
15	强风化片麻岩	2.0	311	2.13
15	强风化片麻岩	2.0	339	2.13
15	强风化片麻岩	2.0	346	2.13
15	强风化片麻岩	2.0	390	2.13
16	强风化片麻岩	2.0	416	2.26
16	强风化片麻岩	2.0	430	2.26
16	强风化片麻岩	2.0	471	2.26
16	强风化片麻岩	2.2	499	2.26
31	输入基底		555	2.20

表 7.2-8 钻孔-8 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
11	粉土	2.0	210	1.97
11	粉土	2.5	230	1.97
7	砾砂	3.6	253	2.03
5	强风化砂岩	1.3	265	2.13
3	强风化泥岩	2.0	290	1.92
3	强风化泥岩	2.0	345	1.92
3	强风化泥岩	2.0	404	1.92

3	强风化泥岩	2.0	415	1.92
3	强风化泥岩	2.0	441	1.92
4	强风化泥岩	3.4	490	2.06
28	中风化泥岩	2.0	499	2.20
28	中风化泥岩	2.2	499	2.20
31	输入基底		555	2.20

表 7.2-9 钻孔-9 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
26	填土	2.8	230	1.95
23	全风化泥岩	3.7	306	1.94
2	强风化泥岩	2.0	351	1.94
2	强风化泥岩	2.0	404	1.94
3	强风化泥岩	2.0	441	1.92
3	强风化泥岩	2.5	469	1.92
28	中风化泥岩	1.0	498	2.20
31	输入基底		553	2.20

表 7.2-10 钻孔-10 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
1	粉砂	2.6	265	1.94
7	砾砂	1.1	383	2.03
21	全风化片麻岩	3.3	484	2.13
31	输入基底		544	2.20

表 7.2-11 钻孔-11 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
12	粗砂	2.0	220	2.00
23	全风化泥岩	2.0	274	1.94
23	全风化泥岩	2.5	407	1.94
2	强风化泥岩	2.0	452	1.94
3	强风化泥岩	3.5	465	1.92
5	强风化砂岩	1.5	466	2.13
3	强风化泥岩	0.5	467	1.92
31	输入基底		506	2.20

表 7.2-12 钻孔-12 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
19	全风化砾岩	2.0	236	2.13
19	全风化砾岩	2.0	355	2.13
19	全风化砾岩	2.0	371	2.13

19	全风化砾岩	2.0	367	2.13
19	全风化砾岩	2.0	369	2.13
19	全风化砾岩	2.0	381	2.13
19	全风化砾岩	2.5	399	2.13
3	强风化泥岩	2.0	427	1.92
3	强风化泥岩	2.0	450	1.92
3	强风化泥岩	2.0	459	1.92
4	强风化泥岩	2.5	485	2.06
31	输入基底		526	2.20

表 7.2-13 钻孔-13 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
7	砾砂	3.0	241	2.03
11	粉土	2.0	281	1.97
7	砾砂	1.5	304	2.03
9	粉质粘土	2.0	316	1.95
9	粉质粘土	2.0	329	1.95
10	粉质粘土	2.0	334	1.99
10	粉质粘土	2.0	347	1.99
8	砾砂	2.0	357	2.07
8	砾砂	2.5	372	2.07
10	粉质粘土	2.0	394	1.99
10	粉质粘土	3.2	420	1.99
4	强风化泥岩	3.8	463	2.06
31	输入基底		516	2.20

表 7.2-14 钻孔-14 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
1	粉砂	2.0	278	1.94
12	粗砂	2.0	280	2.00
12	粗砂	3.2	285	2.00
9	粉质粘土	2.5	292	1.95
8	砾砂	3.3	313	2.07
10	粉质粘土	2.0	347	1.99
10	粉质粘土	2.0	368	1.99
10	粉质粘土	2.0	392	1.99
4	强风化泥岩	3.0	424	2.06
6	强风化砂岩	2.3	453	2.26
4	强风化泥岩	1.7	468	2.06
31	输入基底		507	2.20

表 7.2-15 钻孔-15 的计算模型

土类编号	土类名称	土层厚度(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm{^3})
1	粉砂	1.7	220	1.94
11	粉土	1.0	235	1.97
12	粗砂	1.9	255	2.00
17	全风化砂岩	1.4	263	2.13
5	强风化砂岩	2.0	266	2.13
5	强风化砂岩	2.0	283	2.13
5	强风化砂岩	2.0	292	2.13
5	强风化砂岩	2.0	311	2.13
5	强风化砂岩	2.0	343	2.13
5	强风化砂岩	2.0	383	2.13
5	强风化砂岩	2.0	415	2.13
6	强风化砂岩	3.0	499	2.26
31	输入基底		554	2.20

表 7.2-16 土体非线性动力参数

土类编号	参数类型	剪应变							
		5E-6	1E-5	5E-5	1E-4	5E-4	1E-3	5E-3	1E-2
1	模量比	0.9956	0.9913	0.9579	0.9192	0.6953	0.5335	0.1867	0.1031
	阻尼比	0.0106	0.0108	0.0134	0.0175	0.0533	0.0884	0.1830	0.2093
2	模量比	0.9988	0.9976	0.9880	0.9763	0.8917	0.8045	0.4514	0.2915
	阻尼比	0.0099	0.0099	0.0108	0.0120	0.0240	0.0390	0.1129	0.1507
3	模量比	0.9987	0.9974	0.9873	0.9749	0.8860	0.7957	0.4400	0.2828
	阻尼比	0.0118	0.0131	0.0196	0.0253	0.0522	0.0724	0.1333	0.1560
4	模量比	0.9989	0.9978	0.9889	0.9781	0.8992	0.8169	0.4717	0.3088
	阻尼比	0.0097	0.0100	0.0116	0.0136	0.0279	0.0429	0.1066	0.1369
5	模量比	0.9992	0.9985	0.9923	0.9848	0.9282	0.8660	0.5641	0.3929
	阻尼比	0.0095	0.0100	0.0123	0.0145	0.0276	0.0400	0.0934	0.1220
6	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
7	模量比	0.9961	0.9923	0.9628	0.9283	0.7214	0.5644	0.2060	0.1148
	阻尼比	0.0113	0.0122	0.0182	0.0250	0.0652	0.0958	0.1659	0.1838
8	模量比	0.9970	0.9939	0.9703	0.9423	0.7660	0.6211	0.2478	0.1416
	阻尼比	0.0147	0.0169	0.0263	0.0340	0.0682	0.0920	0.1501	0.1666
9	模量比	0.9969	0.9939	0.9702	0.9422	0.7660	0.6215	0.2486	0.1422
	阻尼比	0.0101	0.0101	0.0107	0.0118	0.0265	0.0467	0.1300	0.1621
10	模量比	0.9978	0.9955	0.9779	0.9568	0.8158	0.6890	0.3071	0.1815
	阻尼比	0.0099	0.0099	0.0106	0.0117	0.0254	0.0439	0.1240	0.1570
11	模量比	0.9959	0.9918	0.9604	0.9238	0.7084	0.5486	0.1958	0.1086
	阻尼比	0.0107	0.0109	0.0133	0.0169	0.0482	0.0794	0.1679	0.1935

12	模量比	0.9955	0.9911	0.9570	0.9176	0.6903	0.5271	0.1824	0.1003
	阻尼比	0.0105	0.0107	0.0128	0.0164	0.0500	0.0829	0.1685	0.1917
13	模量比	0.9992	0.9985	0.9923	0.9848	0.9282	0.8660	0.5641	0.3929
	阻尼比	0.0095	0.0100	0.0123	0.0145	0.0276	0.0400	0.0934	0.1220
14	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
15	模量比	0.9992	0.9985	0.9923	0.9848	0.9282	0.8660	0.5641	0.3929
	阻尼比	0.0095	0.0100	0.0123	0.0145	0.0276	0.0400	0.0934	0.1220
16	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
17	模量比	0.9992	0.9985	0.9923	0.9848	0.9282	0.8660	0.5641	0.3929
	阻尼比	0.0095	0.0100	0.0123	0.0145	0.0276	0.0400	0.0934	0.1220
18	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
19	模量比	0.9992	0.9985	0.9923	0.9848	0.9282	0.8660	0.5641	0.3929
	阻尼比	0.0095	0.0100	0.0123	0.0145	0.0276	0.0400	0.0934	0.1220
20	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
21	模量比	0.9992	0.9985	0.9923	0.9848	0.9282	0.8660	0.5641	0.3929
	阻尼比	0.0095	0.0100	0.0123	0.0145	0.0276	0.0400	0.0934	0.1220
22	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
23	模量比	0.9988	0.9976	0.9880	0.9763	0.8917	0.8045	0.4514	0.2915
	阻尼比	0.0099	0.0099	0.0108	0.0120	0.0240	0.0390	0.1129	0.1507
24	模量比	0.9987	0.9974	0.9873	0.9749	0.8860	0.7957	0.4400	0.2828
	阻尼比	0.0118	0.0131	0.0196	0.0253	0.0522	0.0724	0.1333	0.1560
25	模量比	0.9989	0.9978	0.9889	0.9781	0.8992	0.8169	0.4717	0.3088
	阻尼比	0.0097	0.0100	0.0116	0.0136	0.0279	0.0429	0.1066	0.1369
26	模量比	0.9600	0.9500	0.8000	0.7000	0.3000	0.2000	0.1500	0.1000
	阻尼比	0.0250	0.0280	0.0300	0.0350	0.0800	0.1000	0.1100	0.1200
27	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
28	模量比	0.9989	0.9978	0.9892	0.9786	0.9013	0.8203	0.4773	0.3135
	阻尼比	0.0110	0.0121	0.0176	0.0226	0.0467	0.0654	0.1247	0.1481
29	模量比	0.9993	0.9986	0.9930	0.9862	0.9345	0.8771	0.5879	0.4163
	阻尼比	0.0103	0.0110	0.0146	0.0176	0.0319	0.0431	0.0820	0.0999
30	模量比	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	阻尼比	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500
31	模量比	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	阻尼比	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500

7.2.3 计算结果

根据工作大纲的要求，对目标区工程场地进行场地地震反应计算时，分别以 7 种超越概率水平的基岩地震动加速度时程（各 5 条样本），按幅值缩小一半确定一维土层反应分析模型的计算基底入射波输入量。工程场地自由地表面处，对应于各个概率水准的水平向地震动峰值加速度所有样本计算结果见表 7.2-17 至 7.2-31。所有控制点场地地震反应的反应谱曲线图 7.2-1 至 7.2-15 中的细实线所示。

表 7.2-17 钻孔-1 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	53.0	53.1	53.8	54.6	56.4	54.2
50 年 10%	205.5	210.6	217.3	218.0	218.5	214.0
50 年 2%	394.0	410.3	424.7	427.9	428.5	417.1
100 年 63%	83.3	85.9	88.0	88.4	89.1	86.9
100 年 10%	274.6	288.1	292.7	294.4	300.9	290.1
100 年 2%	500.5	532.8	535.5	537.0	538.3	528.8
100 年 1%	639.5	650.9	652.8	663.5	685.4	658.4

表 7.2-18 钻孔-2 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	55.6	58.8	59.2	59.3	60.4	58.7
50 年 10%	217.7	219.6	224.5	226.0	228.5	223.3
50 年 2%	437.5	442.0	442.5	445.6	446.4	442.8
100 年 63%	88.2	89.6	91.2	92.0	92.6	90.7
100 年 10%	295.7	296.8	306.4	307.9	310.2	303.4
100 年 2%	541.9	550.0	575.5	575.7	576.1	563.8
100 年 1%	658.0	665.9	685.2	688.4	701.4	679.8

表 7.2-19 钻孔-3 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	41.1	45.8	45.8	45.9	46.7	45.1
50 年 10%	169.2	182.1	183.4	183.5	185.1	180.7
50 年 2%	362.1	370.9	374.0	374.8	375.3	371.4
100 年 63%	67.0	69.5	72.1	73.1	73.3	71.0
100 年 10%	238.1	245.2	248.3	251.1	253.3	247.2
100 年 2%	468.4	468.5	480.9	482.2	483.5	476.7
100 年 1%	527.3	547.1	561.5	564.4	575.0	555.0

表 7.2-20 钻孔-4 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	47.6	48.8	49.4	49.9	50.9	49.3
50 年 10%	192.3	192.7	193.2	194.0	194.7	193.4
50 年 2%	373.1	376.0	383.4	386.6	392.8	382.4
100 年 63%	76.2	77.9	78.1	78.1	78.8	77.8
100 年 10%	253.6	258.2	264.0	266.2	267.3	261.9
100 年 2%	480.5	497.1	498.4	502.0	524.5	500.5
100 年 1%	576.3	598.6	609.2	613.8	620.2	603.6

表 7.2-21 钻孔-5 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	49.6	51.4	51.7	52.1	52.2	51.4
50 年 10%	189.4	194.0	195.4	199.3	202.4	196.1
50 年 2%	337.3	351.7	362.1	367.6	374.0	358.5
100 年 63%	77.5	80.6	81.3	81.8	82.0	80.6
100 年 10%	246.6	258.7	259.8	263.0	266.8	259.0
100 年 2%	454.1	462.4	465.0	465.7	467.1	462.9
100 年 1%	529.8	565.1	565.9	566.9	578.8	561.3

表 7.2-22 钻孔-6 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	51.8	53.8	54.2	55.2	56.2	54.2
50 年 10%	202.3	208.0	208.3	210.6	212.1	208.2
50 年 2%	373.6	387.7	388.5	398.2	406.0	390.8
100 年 63%	82.6	84.3	84.9	85.2	87.0	84.8
100 年 10%	266.5	272.9	274.9	281.7	282.9	275.8
100 年 2%	468.9	475.0	491.5	505.9	530.4	494.3
100 年 1%	601.7	607.0	607.6	653.9	655.1	625.1

表 7.2-23 钻孔-7 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	57.0	59.1	59.9	60.8	62.6	59.9
50 年 10%	224.7	225.4	233.2	237.0	248.9	233.9
50 年 2%	435.1	437.8	445.5	448.0	450.9	443.5
100 年 63%	88.5	88.6	90.6	90.6	94.5	90.6
100 年 10%	286.2	290.1	297.2	299.8	301.5	295.0

100 年 2%	541.1	563.7	567.5	579.2	583.0	566.9
100 年 1%	669.3	677.7	682.5	710.1	713.1	690.5

表 7.2-24 钻孔-8 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	59.0	60.6	62.6	63.1	63.4	61.7
50 年 10%	220.5	232.4	233.7	234.4	235.6	231.3
50 年 2%	459.2	466.7	469.3	469.6	473.1	467.6
100 年 63%	91.2	91.5	92.1	96.0	96.6	93.5
100 年 10%	287.6	299.8	313.5	314.8	320.8	307.3
100 年 2%	574.4	576.7	576.7	594.6	601.6	584.8
100 年 1%	698.2	699.8	710.0	712.7	724.0	708.9

表 7.2-25 钻孔-9 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	51.5	51.8	53.3	53.5	54.7	52.9
50 年 10%	190.8	202.4	202.9	206.3	213.0	203.1
50 年 2%	390.3	396.5	408.7	423.2	425.4	408.8
100 年 63%	78.5	80.6	81.0	81.9	83.1	81.0
100 年 10%	264.6	271.5	274.6	291.6	293.6	279.2
100 年 2%	488.8	491.9	523.2	530.9	537.5	514.5
100 年 1%	613.3	656.3	664.4	673.4	680.3	657.6

表 7.2-26 钻孔-10 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	44.4	46.4	46.4	47.2	47.6	46.4
50 年 10%	173.4	180.4	183.6	184.5	186.9	181.8
50 年 2%	338.0	355.8	356.9	364.6	369.1	356.9
100 年 63%	68.8	70.7	72.4	73.3	73.3	71.7
100 年 10%	233.8	242.7	247.4	249.2	255.5	245.7
100 年 2%	442.9	445.1	445.4	454.8	455.4	448.7
100 年 1%	518.0	531.9	533.1	536.8	550.7	534.1

表 7.2-27 钻孔-11 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	46.6	46.9	48.1	49.6	53.1	48.9
50 年 10%	179.5	180.9	184.8	191.0	195.9	186.4

50 年 2%	353.9	357.5	369.7	373.3	387.2	368.3
100 年 63%	72.0	72.7	75.0	76.0	77.8	74.7
100 年 10%	243.4	245.2	256.1	268.3	269.8	256.6
100 年 2%	436.6	448.0	458.0	459.7	461.9	452.8
100 年 1%	526.4	537.3	538.3	546.6	556.6	541.0

表 7.2-28 钻孔-12 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	49.9	54.5	55.3	55.6	55.8	54.2
50 年 10%	197.8	203.5	212.4	213.6	215.3	208.5
50 年 2%	371.6	398.5	400.2	400.6	403.2	394.8
100 年 63%	86.0	86.8	87.2	87.2	87.2	86.9
100 年 10%	254.9	281.8	284.0	285.0	286.1	278.4
100 年 2%	453.1	460.7	486.7	494.2	507.2	480.4
100 年 1%	590.9	600.8	602.0	605.6	620.4	603.9

表 7.2-29 钻孔-13 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	56.3	56.4	56.6	57.1	57.6	56.8
50 年 10%	213.1	216.7	219.6	226.8	226.9	220.6
50 年 2%	427.3	436.4	444.0	448.4	450.2	441.2
100 年 63%	83.7	84.4	85.6	89.0	90.0	86.5
100 年 10%	283.3	290.5	295.4	295.9	300.4	293.1
100 年 2%	527.4	540.5	552.3	554.5	555.3	546.0
100 年 1%	634.9	644.3	660.0	662.7	666.7	653.7

表 7.2-30 钻孔-14 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	49.1	53.6	54.2	55.1	55.8	53.6
50 年 10%	192.0	210.5	211.3	211.7	212.4	207.6
50 年 2%	422.3	422.9	427.8	431.4	453.6	431.6
100 年 63%	83.9	84.4	85.7	85.8	89.5	85.9
100 年 10%	269.5	273.9	281.6	286.4	286.5	279.6
100 年 2%	536.1	552.8	555.6	556.7	566.3	553.5
100 年 1%	649.0	654.2	669.5	682.2	682.8	667.5

表 7.2-31 钻孔-15 场地地震动峰值加速度（gal）

超越概率	不同地震动样本计算结果					均值
	样本 - 1	样本 - 2	样本 - 3	样本 - 4	样本 - 5	
50 年 63%	57.5	58.2	59.9	60.7	61.2	59.5
50 年 10%	220.9	238.3	240.6	241.5	247.5	237.8
50 年 2%	466.6	473.3	479.2	492.7	492.8	480.9
100 年 63%	90.4	91.3	93.2	95.8	96.1	93.3
100 年 10%	289.3	314.1	332.2	335.3	336.1	321.4
100 年 2%	565.3	587.4	589.0	599.5	621.8	592.6
100 年 1%	702.5	719.3	724.6	730.2	757.0	726.7

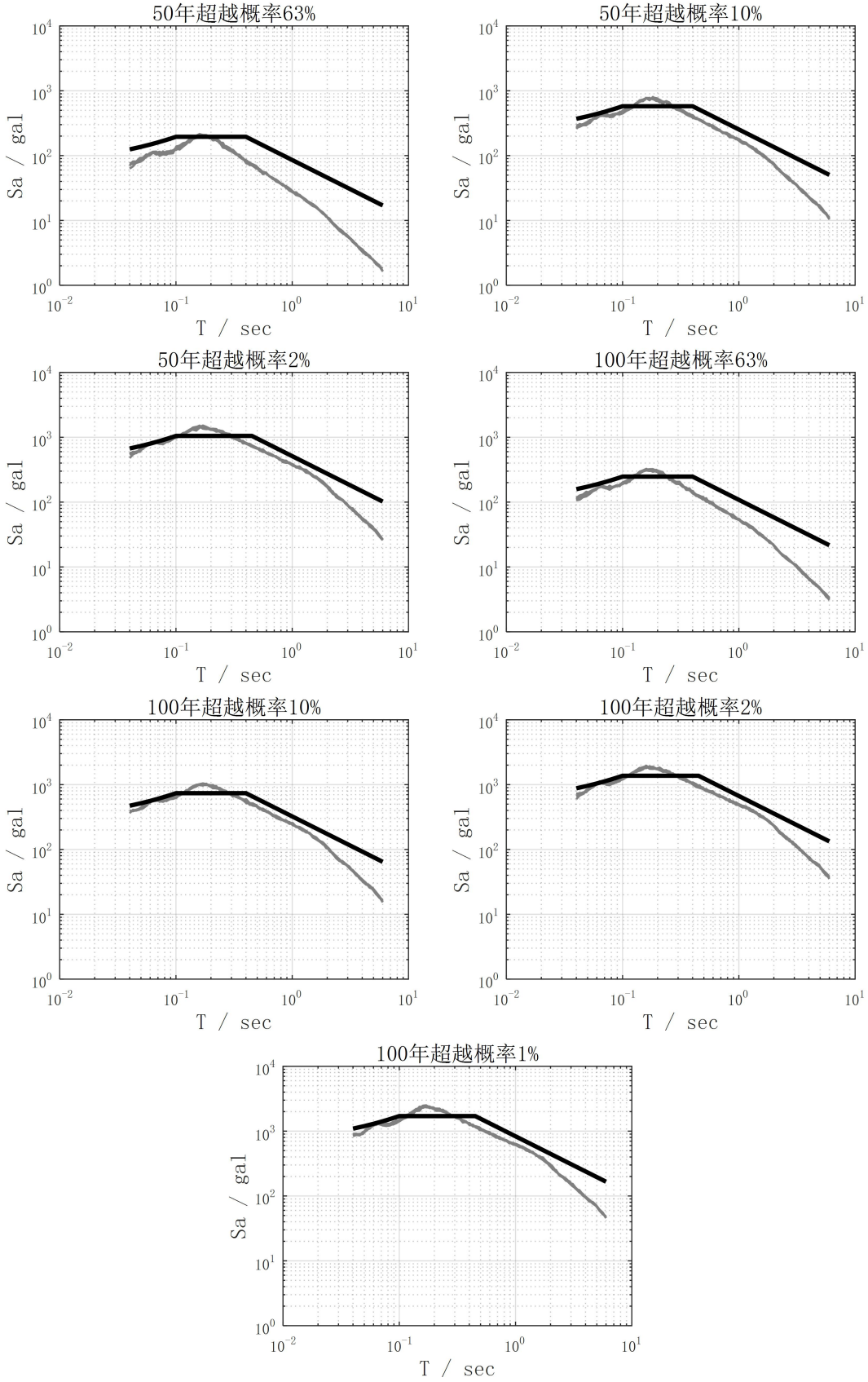


图 7.2-1 钻孔-1 的场地地震动反应谱曲线

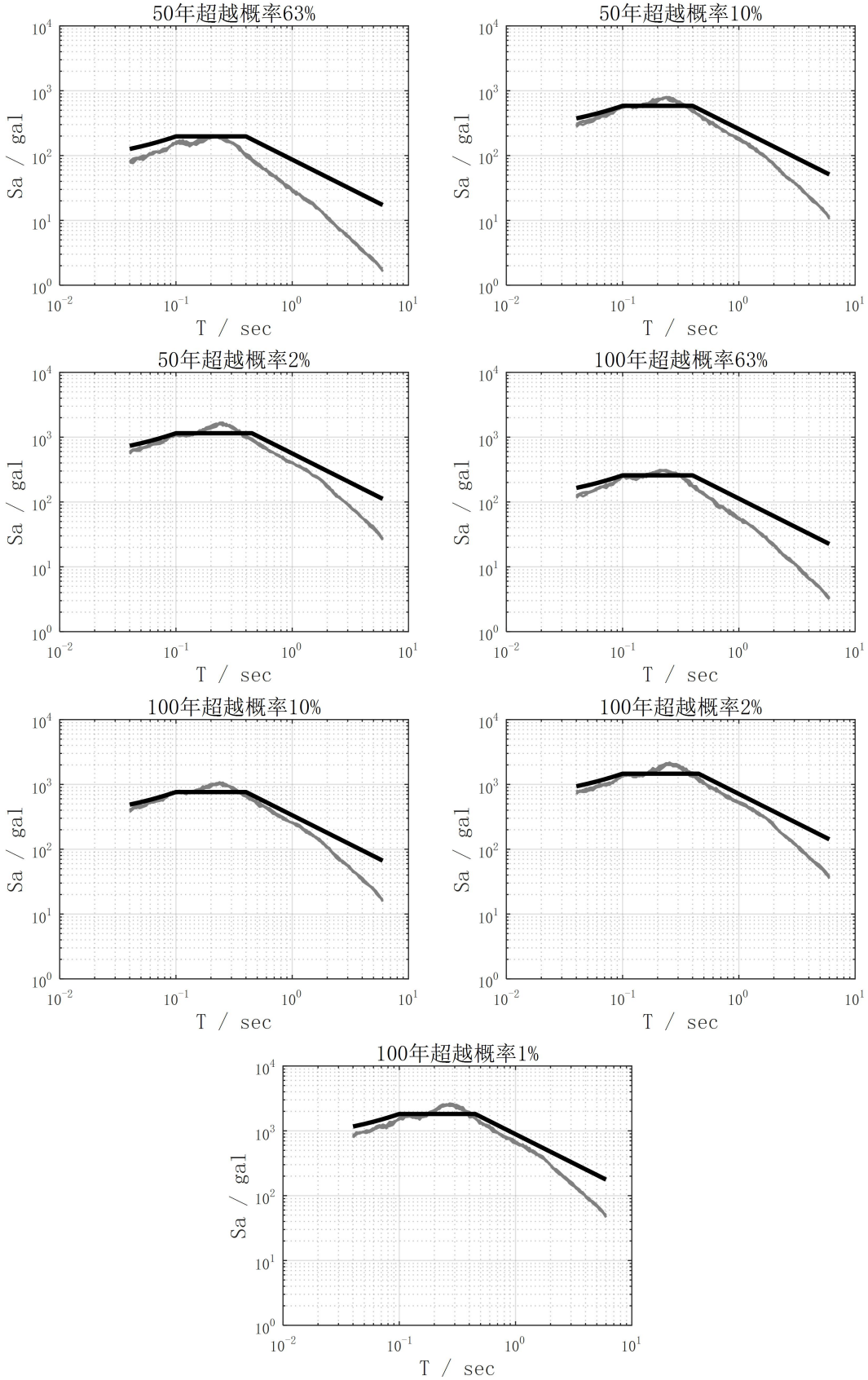


图 7.2-2 钻孔-2 的场地地震动反应谱曲线

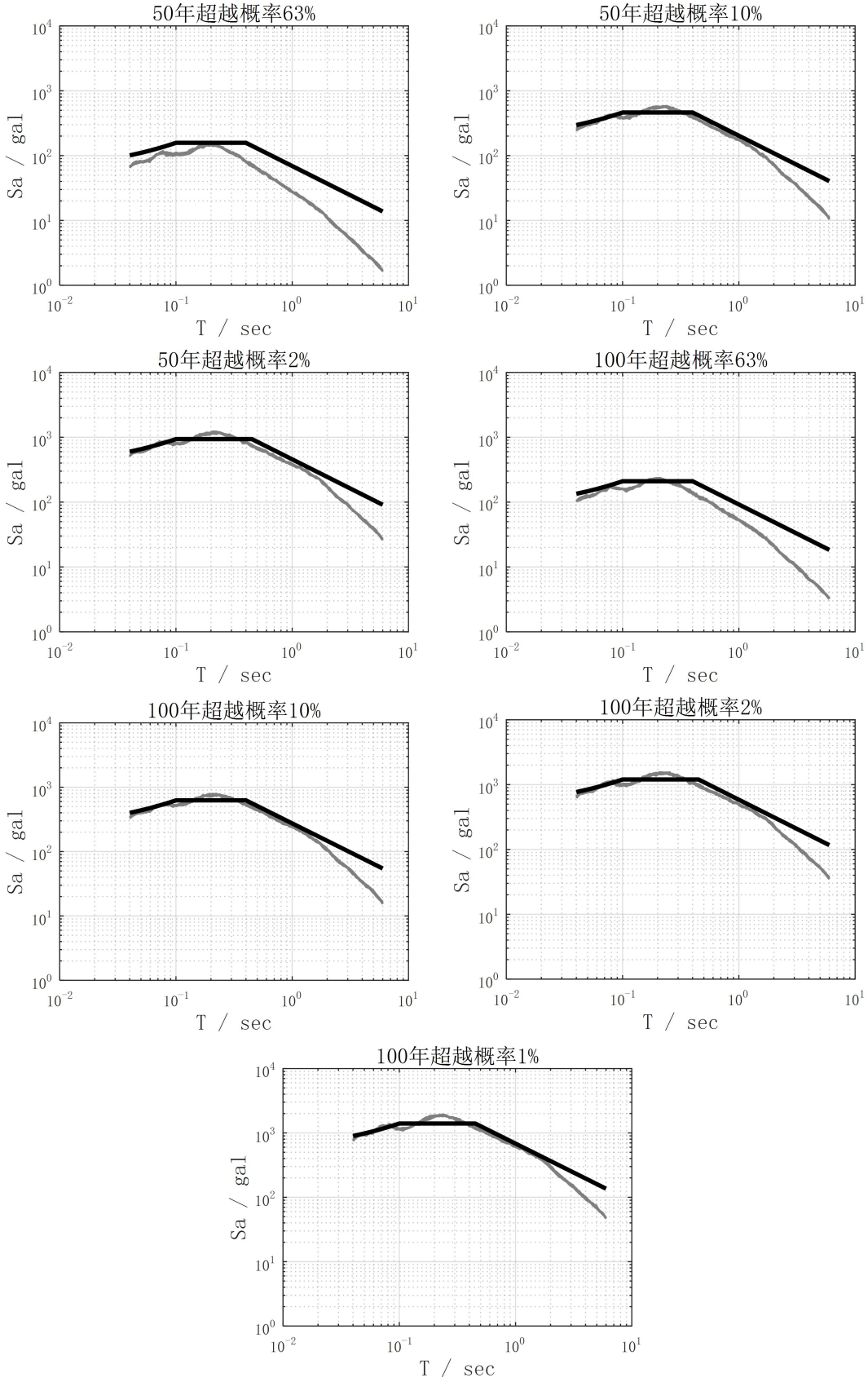


图 7.2-3 钻孔-3 的场地地震动反应谱曲线

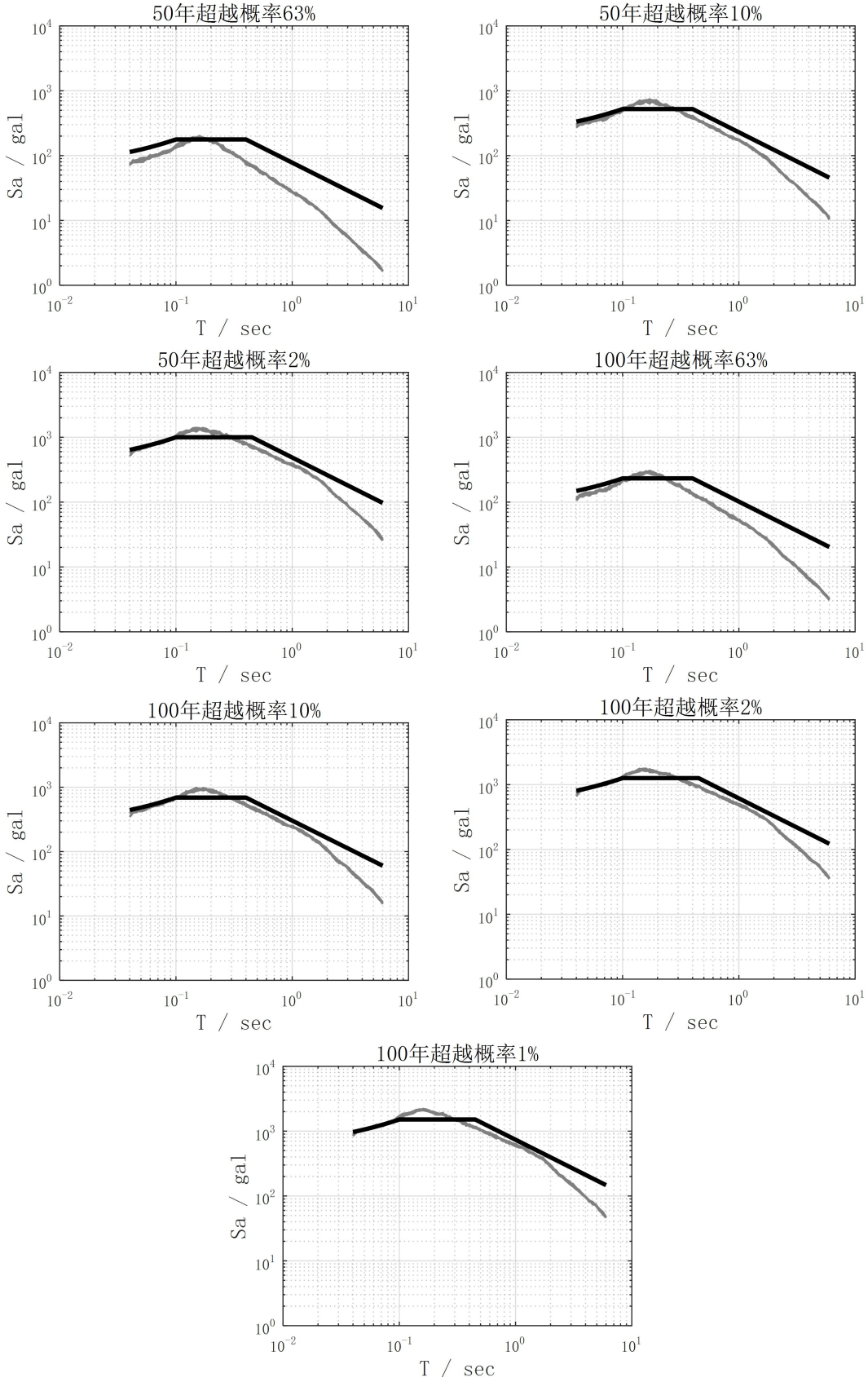


图 7.2-4 钻孔-4 的场地地震动反应谱曲线

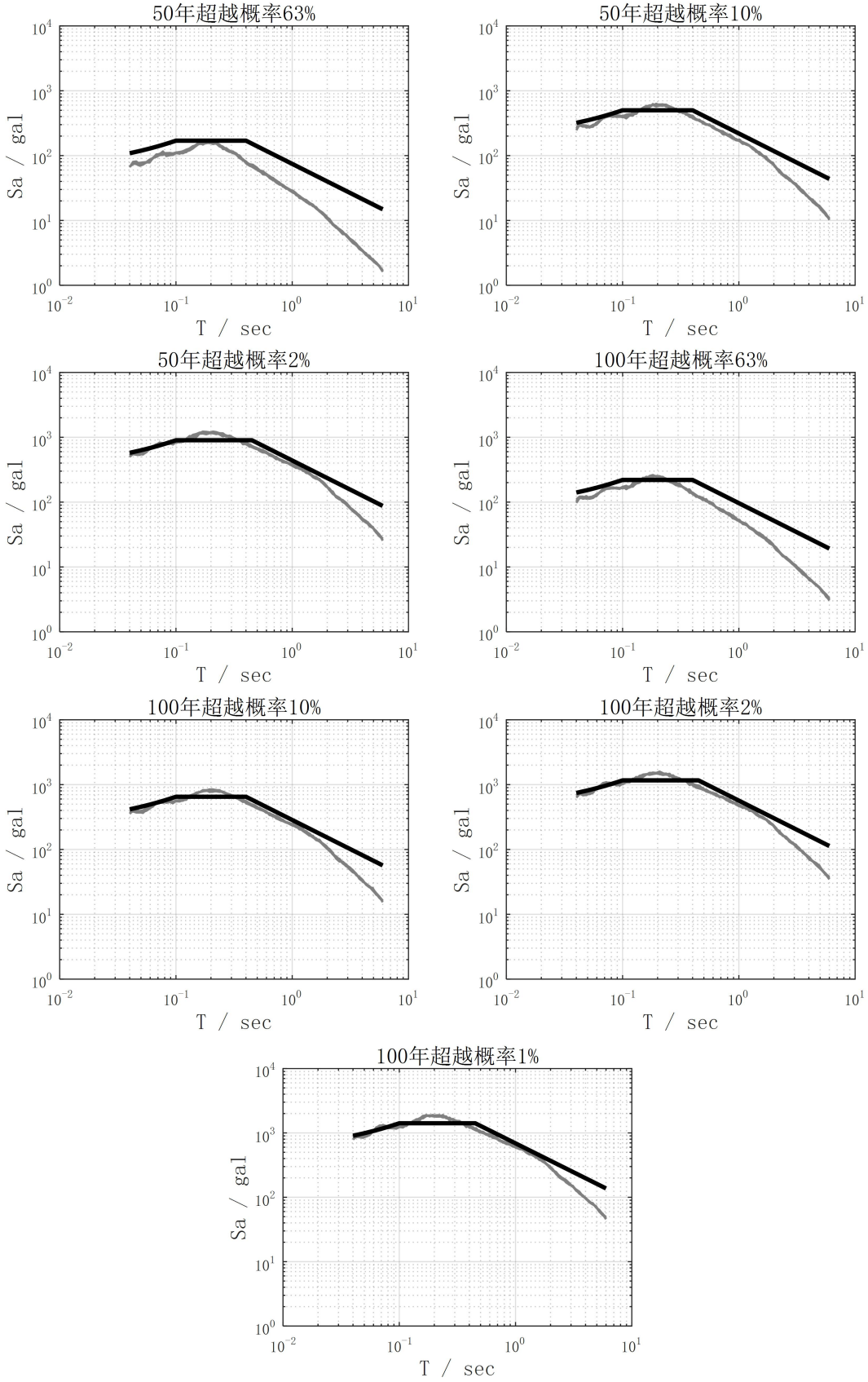


图 7.2-5 钻孔-5 的场地地震动反应谱曲线

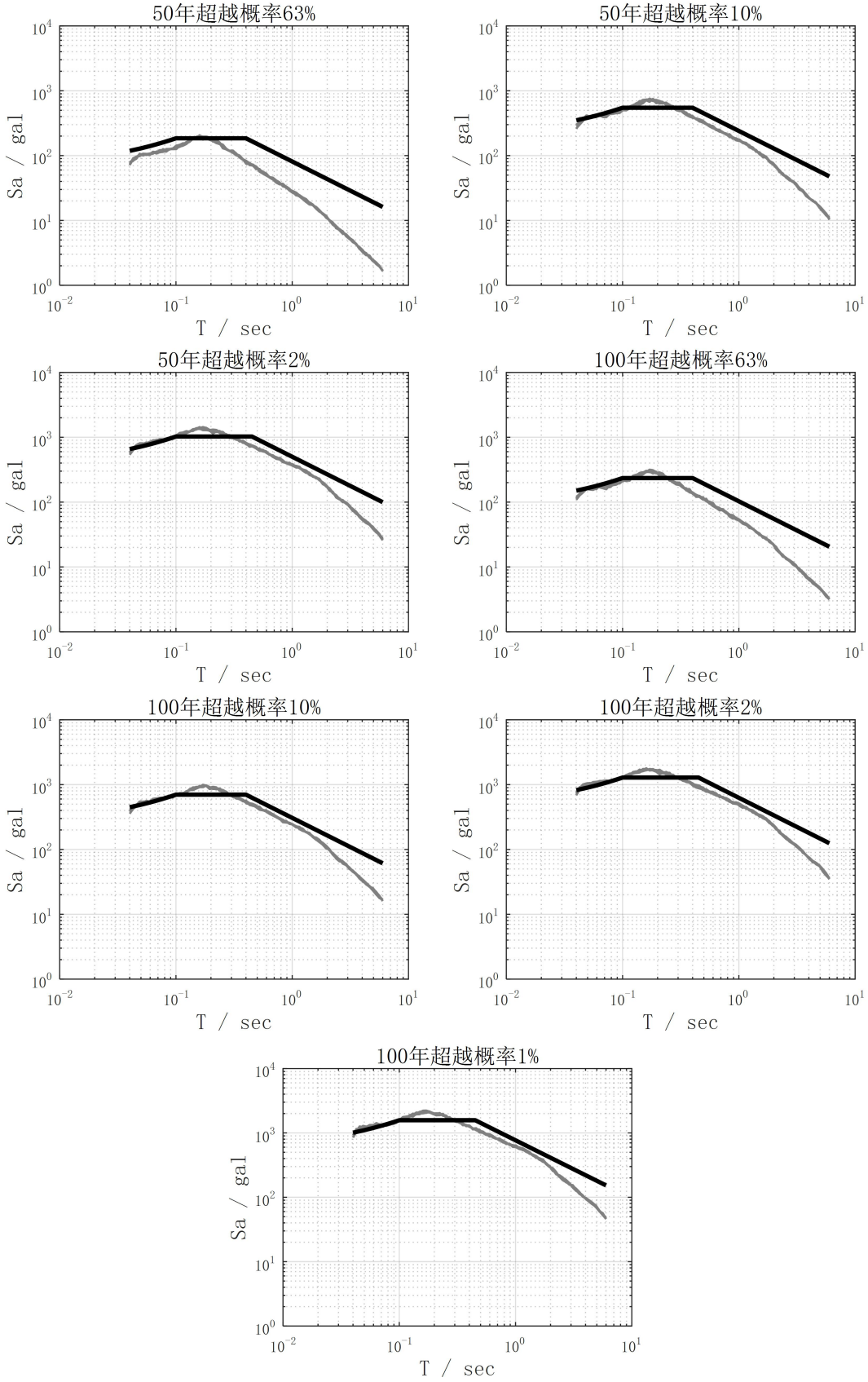


图 7.2-6 钻孔-6 的场地地震动反应谱曲线

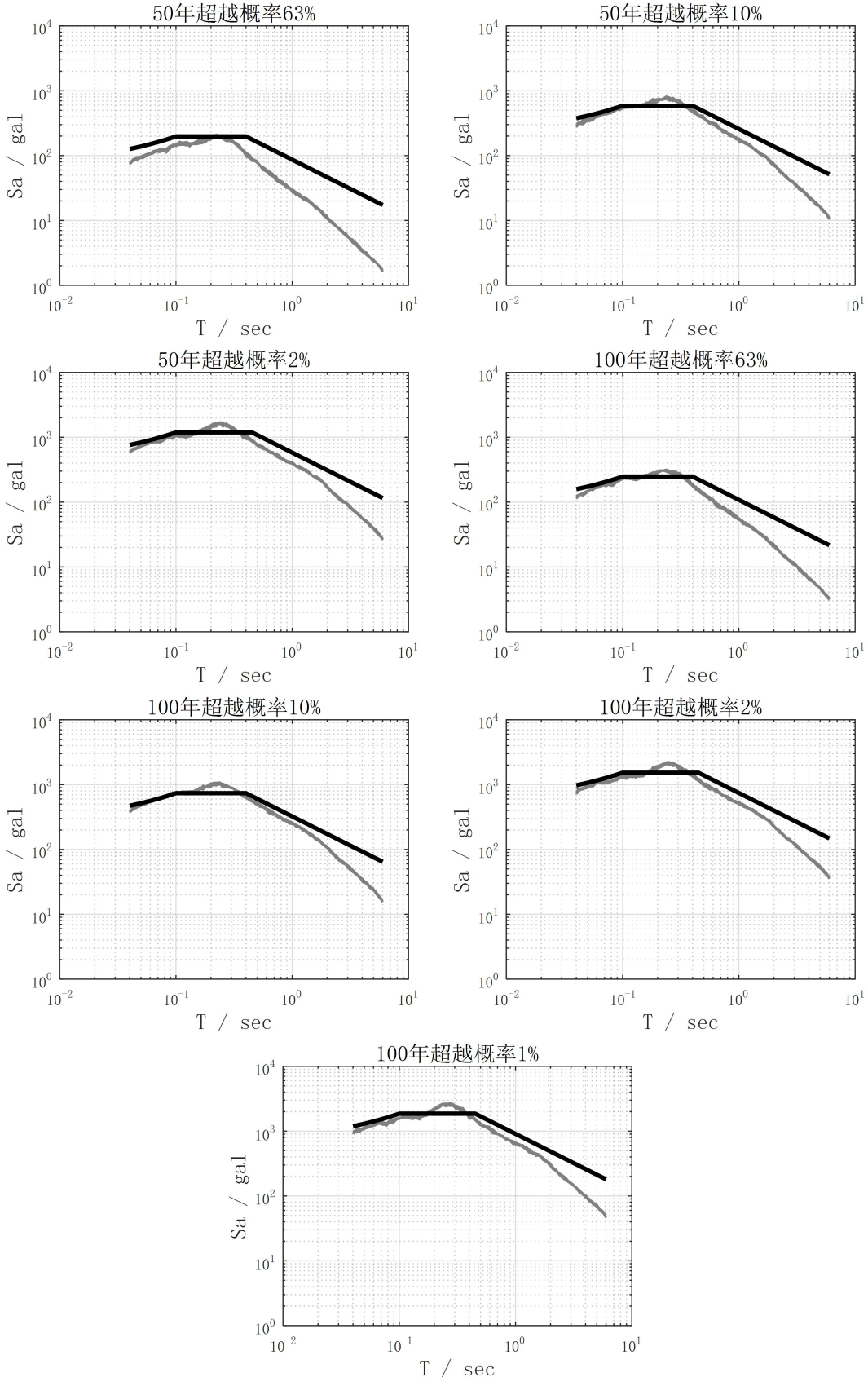


图 7.2-7 钻孔-7 的场地地震动反应谱曲线

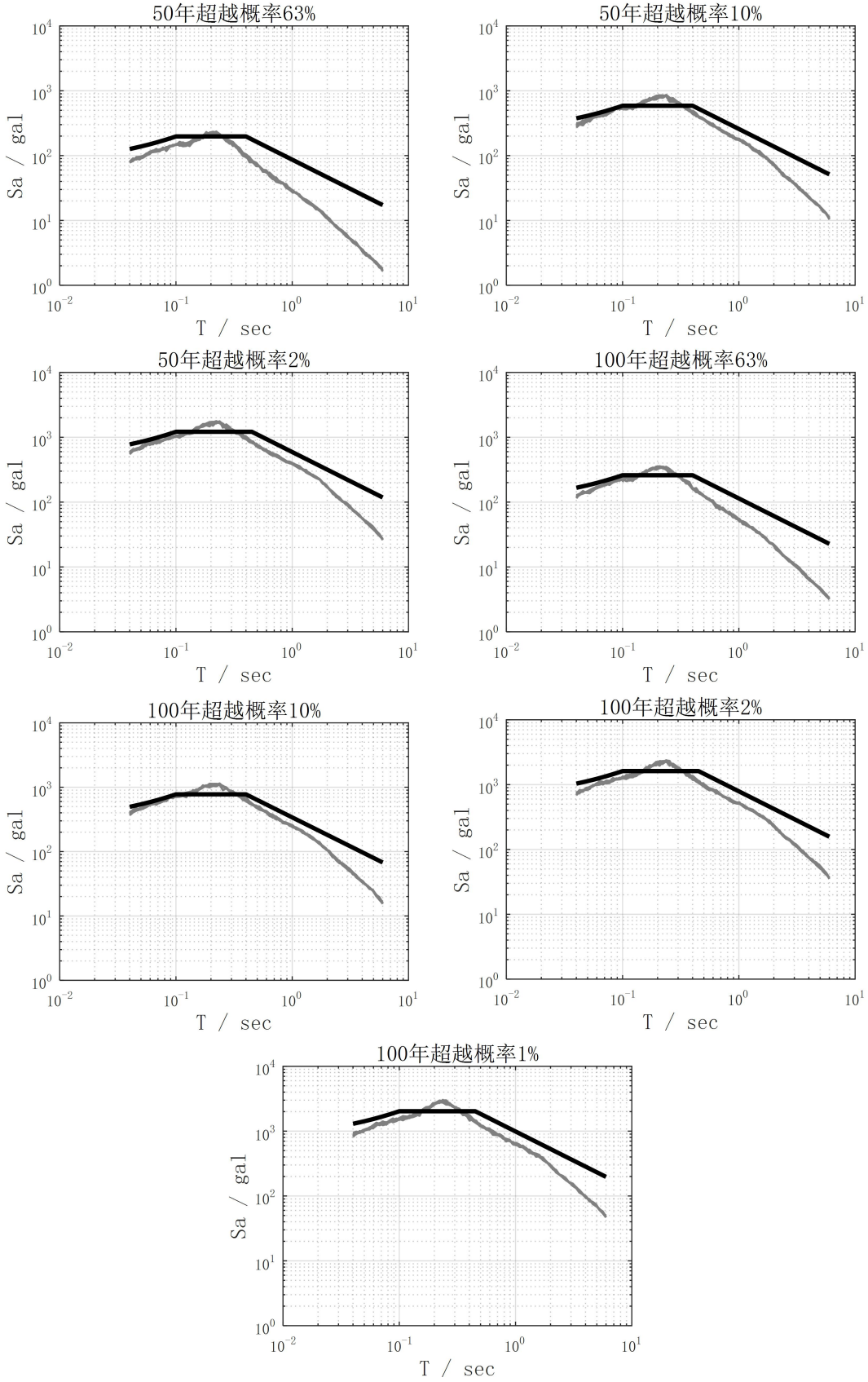


图 7.2-8 钻孔-8 的场地地震动反应谱曲线

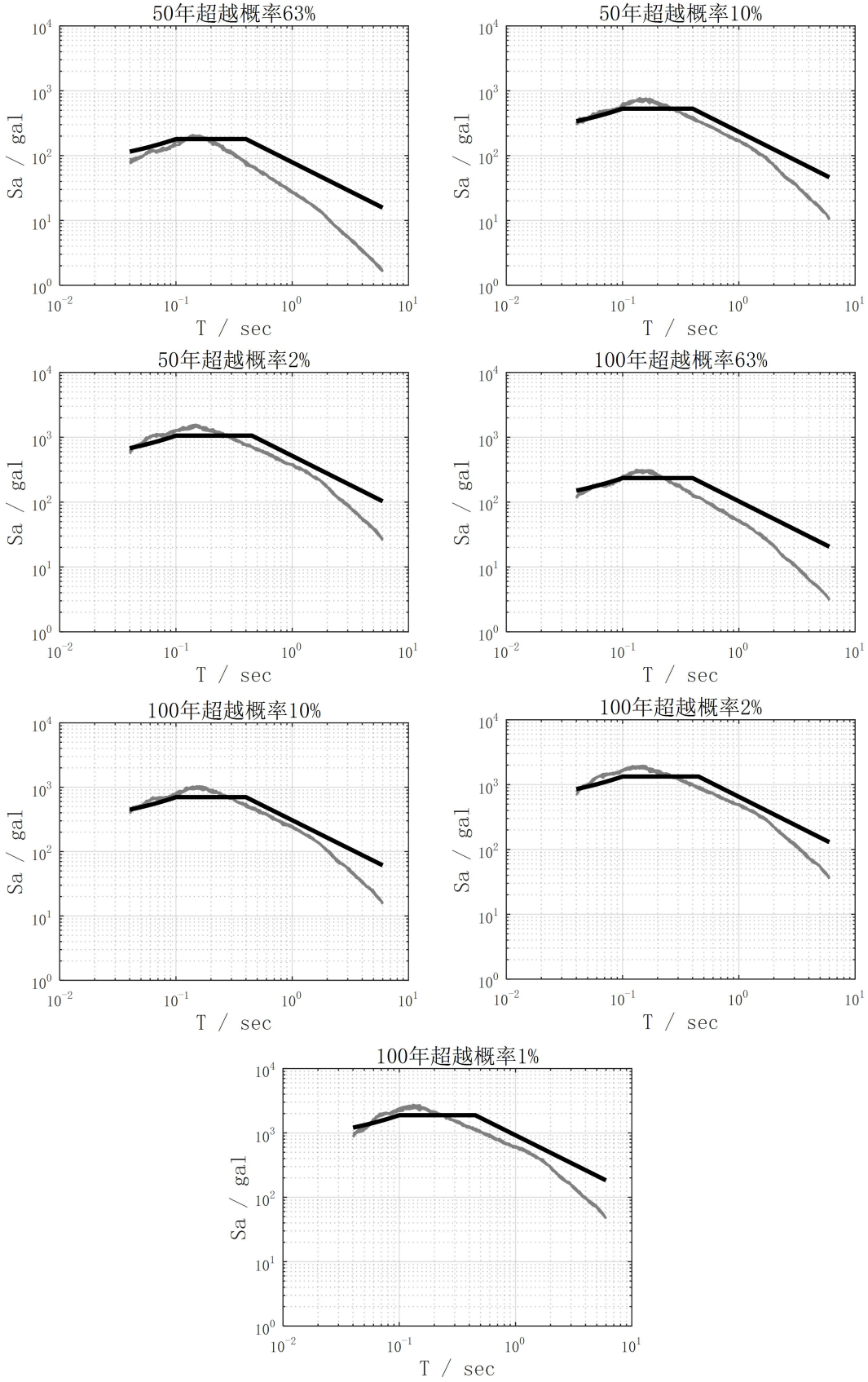


图 7.2-9 钻孔-9 的场地地震动反应谱曲线

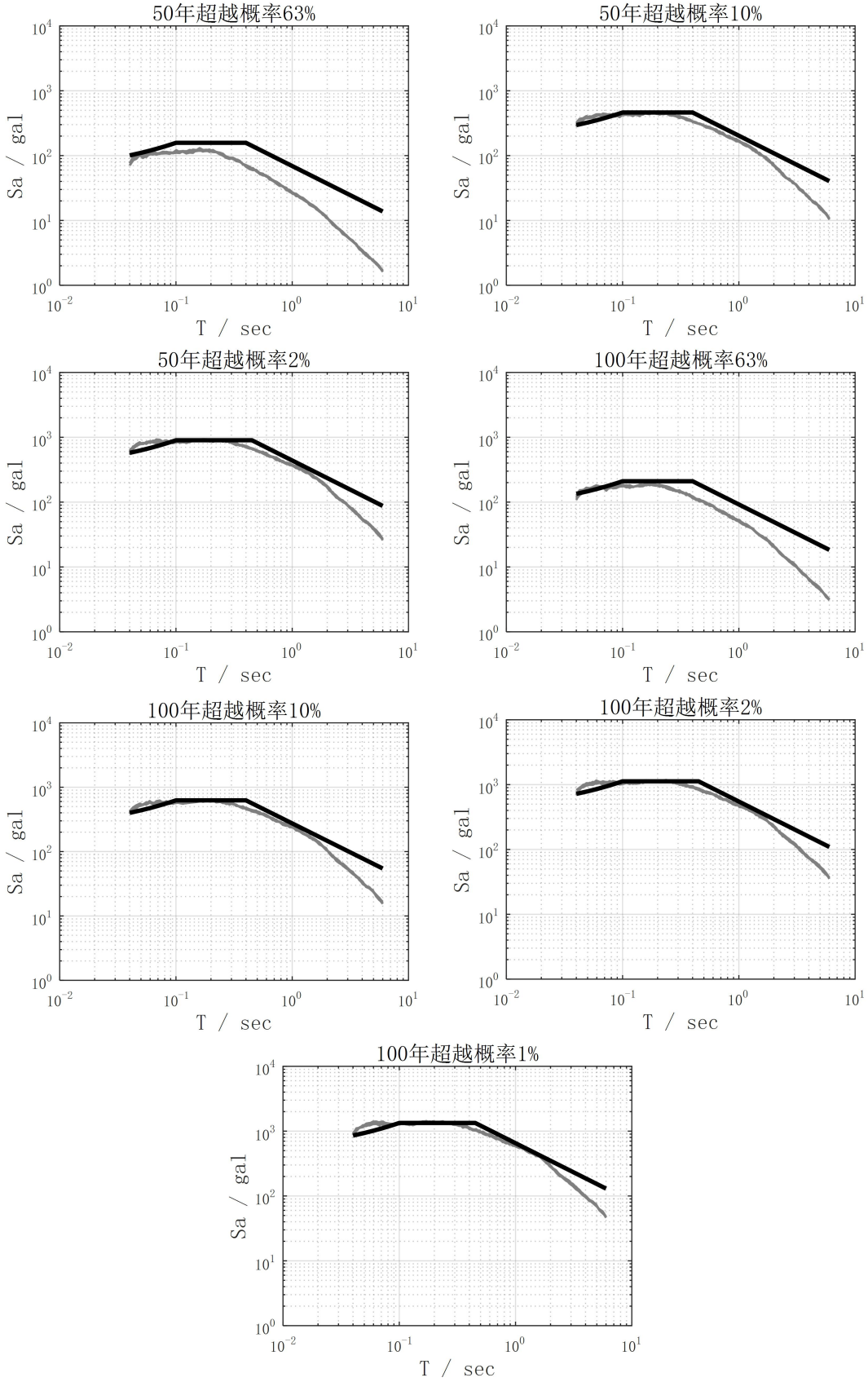


图 7.2-10 钻孔-10 的场地地震动反应谱曲线

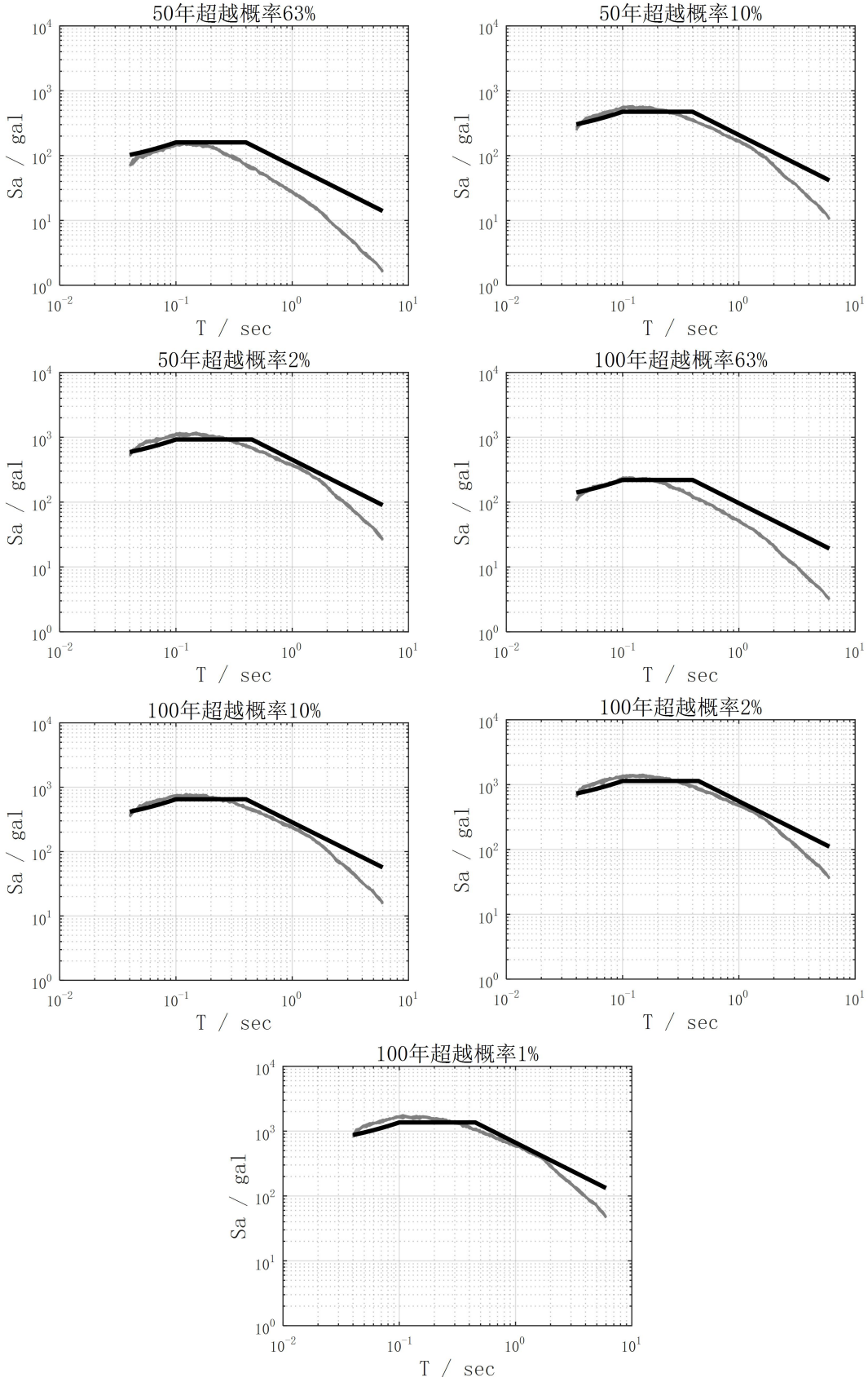


图 7.2-11 钻孔-11 的场地地震动反应谱曲线

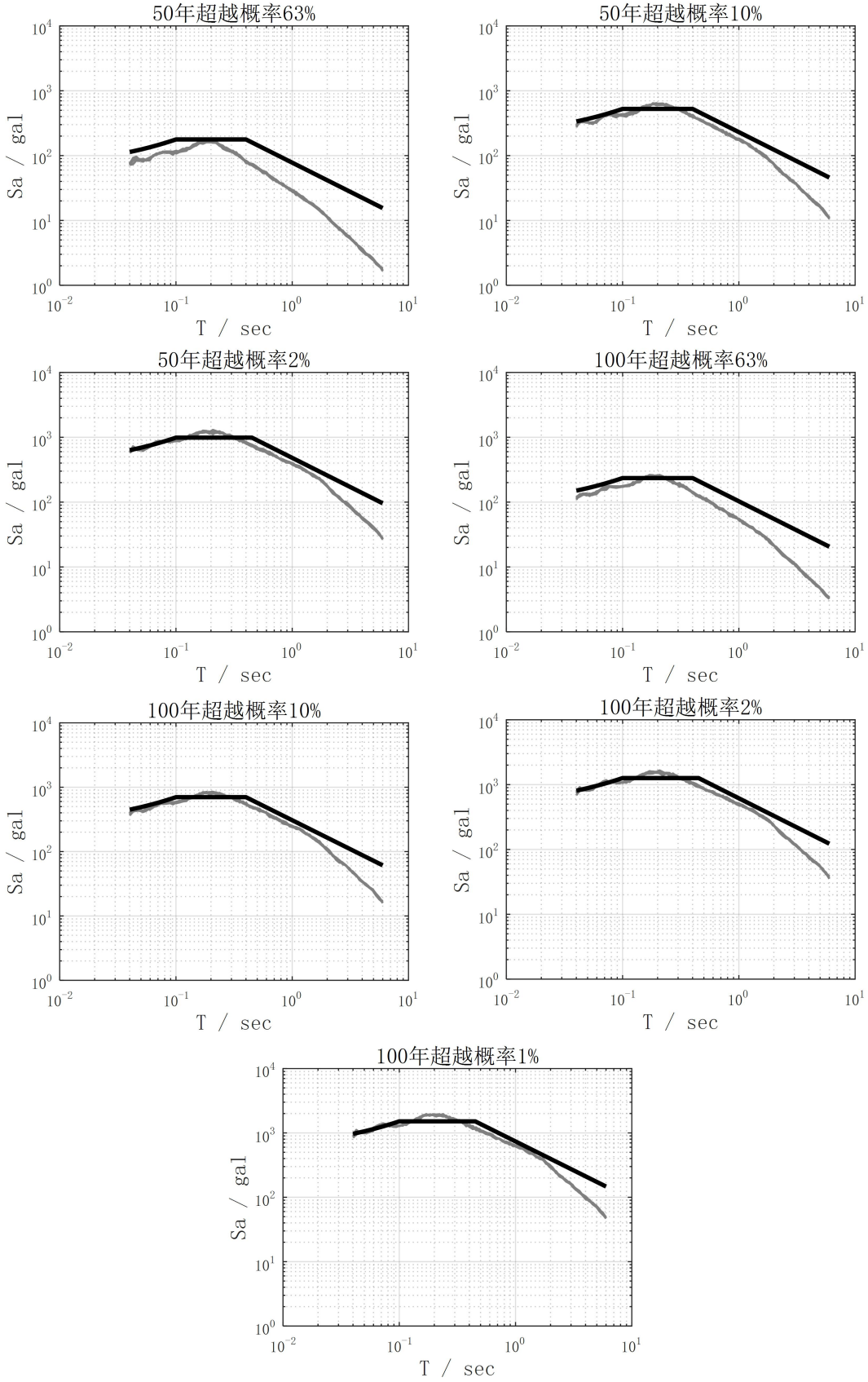


图 7.2-12 钻孔-12 的场地地震动反应谱曲线

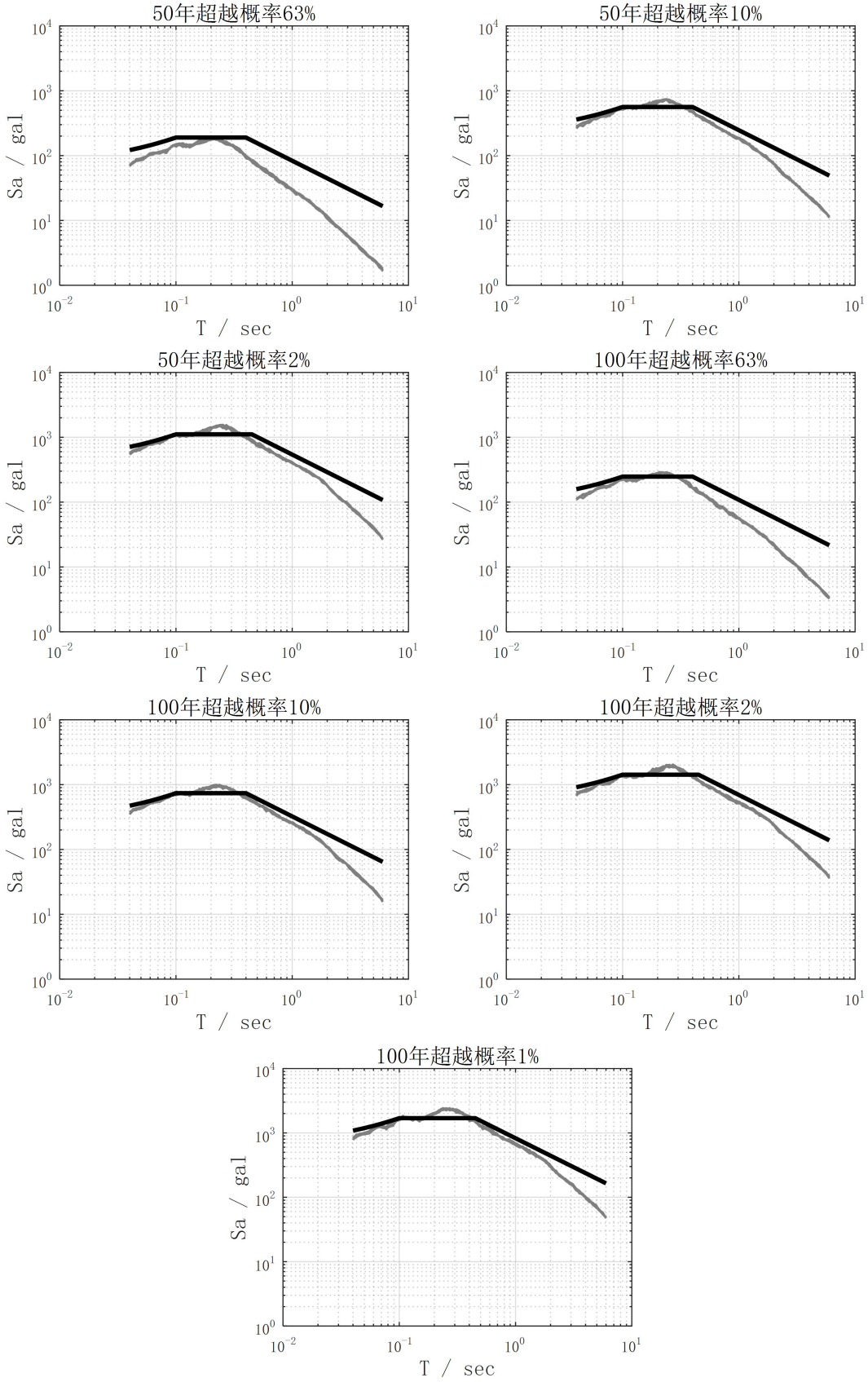


图 7.2-13 钻孔-13 的场地地震动反应谱曲线

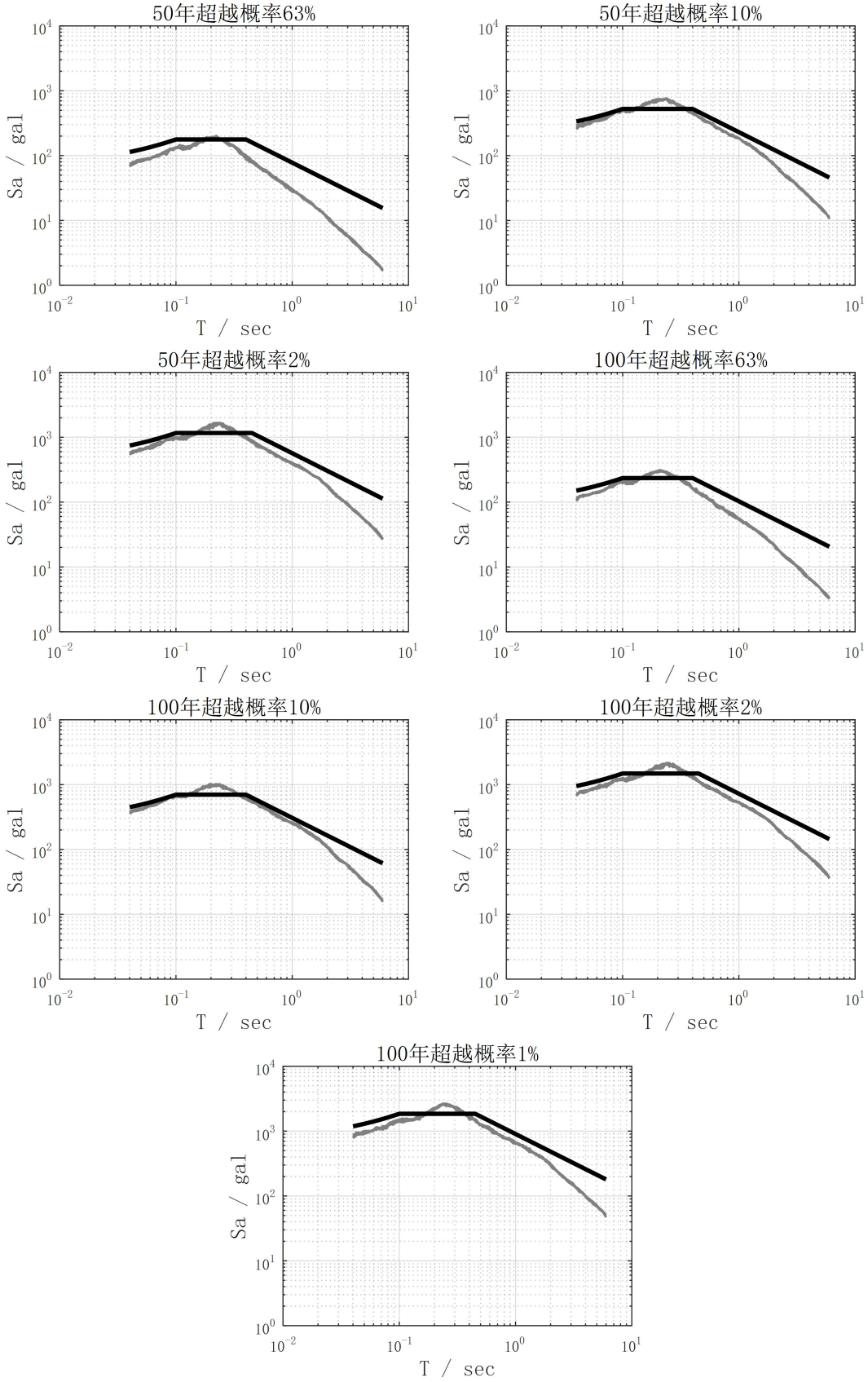


图 7.2-14 钻孔-14 的场地地震动反应谱曲线

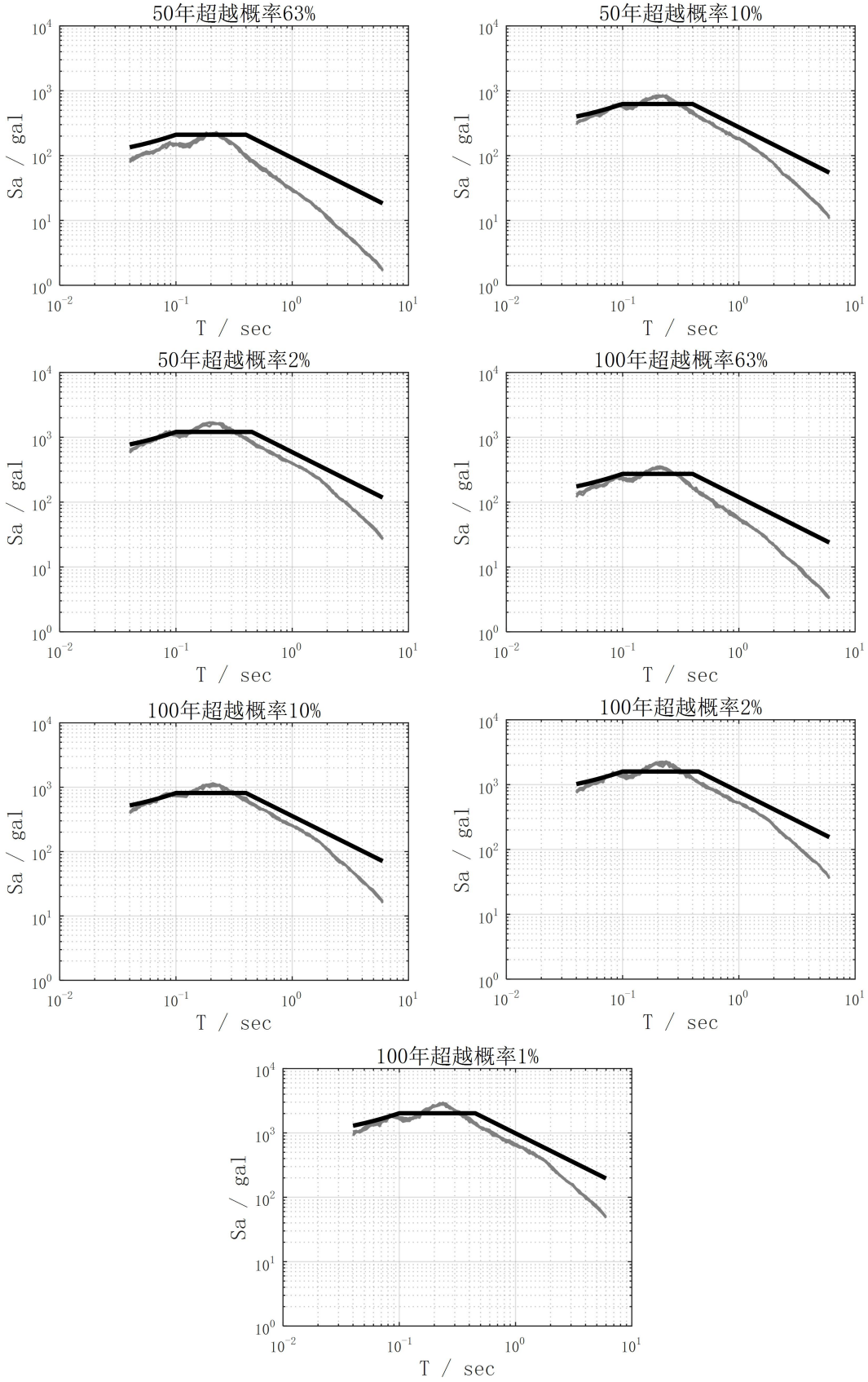


图 7.2-15 钻孔-15 的场地地震动反应谱曲线

7.3 规准化场地地震动加速度反应谱

本项目采用如下规准化场地地震动加速度反应谱公式：

$$S_{\mathrm{a}}(T)=A_{\max}\begin{cases}1+(\beta_{\max}-1)\dfrac{T}{T_1} & 0<T\le T_1\\ \beta_{\max} & T_1<T\le T_{\mathrm{g}}\\ \beta_{\max}\left\{\dfrac{T_{\mathrm{g}}}{T}\right\}^{\gamma} & T_{\mathrm{g}}<T\end{cases}\qquad(7.3-1)$$

其中，$A_{\max}$为场地地震动峰值加速度，$\beta_{\max}$为规准化放大系数谱最大值，T_{g}为特征周期，根据场地地震反应计算结果确定。

7.4 场地地震动参数的确定

针对7.2节所得不同超越概率水平对应的场地地震反应的反应谱计算结果，利用公式$(7.3-1)$对其进行拟合，得到规准化场地地震动反应谱（5%阻尼比）结果，如图7.2-1至图7.2-15中黑色实线所示。各钻孔不同超越概率对应的水平向规准化场地地震动参数如表7.4-1至表7.4-15所示（5%阻尼比）。在对场地地震反应计算结果进行拟合的过程中，首先保证规准谱的平台高度能够较好地拟合计算结果，然后将所得规准谱的平台值除以2.5得到场地地震动峰值加速度。按照《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）的相关规定，将场地50年和100年超越概率63%的峰值加速度分别提高至不低于50年和100年超越概率10%的1/3水平，将场地50年和100年超越概率63%的加速度反应谱特征周期分别按50年和100年超越概率10%的加速度反应谱特征周期取值。

由于本项目计算所得反应谱平台高度值较大，按照上述原则得到的场地地震动峰值加速度将会高于表7.2-17至7.2-31中的原始计算结果。不同超越概率水平的场地地震动峰值加速度等值线图如图7.4-1至7.4-7所示，特征周期的分区图如图7.4-8至7.4-14所示。

表 7.4-1 钻孔-1 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	78.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	231.0	2.5	0.59	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	420.0	2.5	1.07	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	99.0	2.5	0.25	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	295.0	2.5	0.75	0.10	0.40	0.90

100 年 2%	548.0	2.5	1.40	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	683.0	2.5	1.74	0.10	0.45	0.90

表 7.4-2 钻孔-2 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	79.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	234.0	2.5	0.60	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	460.0	2.5	1.17	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	103.0	2.5	0.26	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	305.0	2.5	0.78	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	585.0	2.5	1.49	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	728.0	2.5	1.86	0.10	0.45	0.90

表 7.4-3 钻孔-3 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	63.0	2.5	0.16	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	185.0	2.5	0.47	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	375.0	2.5	0.96	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	84.0	2.5	0.21	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	250.0	2.5	0.64	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	480.0	2.5	1.22	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	560.0	2.5	1.43	0.10	0.45	0.90

表 7.4-4 钻孔-4 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	71.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	209.0	2.5	0.53	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	400.0	2.5	1.02	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	93.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	276.0	2.5	0.70	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	504.0	2.5	1.29	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	605.0	2.5	1.54	0.10	0.45	0.90

表 7.4-5 钻孔-5 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	68.0	2.5	0.17	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	200.0	2.5	0.51	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	360.0	2.5	0.92	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	88.0	2.5	0.22	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	260.0	2.5	0.66	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	465.0	2.5	1.19	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	565.0	2.5	1.44	0.10	0.45	0.90

表 7.4-6 钻孔-6 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	74.0	2.5	0.19	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	219.0	2.5	0.56	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	411.0	2.5	1.05	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	514.0	2.5	1.31	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	630.0	2.5	1.61	0.10	0.45	0.90

表 7.4-7 钻孔-7 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	79.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	235.0	2.5	0.60	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	476.0	2.5	1.21	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	99.0	2.5	0.25	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	295.0	2.5	0.75	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	610.0	2.5	1.56	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	744.0	2.5	1.90	0.10	0.45	0.90

表 7.4-8 钻孔-8 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	79.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	235.0	2.5	0.60	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	486.0	2.5	1.24	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	104.0	2.5	0.27	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	310.0	2.5	0.79	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	647.0	2.5	1.65	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	811.0	2.5	2.07	0.10	0.45	0.90

表 7.4-9 钻孔-9 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	72.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	212.0	2.5	0.54	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	424.0	2.5	1.08	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	533.0	2.5	1.36	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	754.0	2.5	1.92	0.10	0.45	0.90

表 7.4-10 钻孔-10 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	63.0	2.5	0.16	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	185.0	2.5	0.47	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	360.0	2.5	0.92	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	84.0	2.5	0.21	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	250.0	2.5	0.64	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	450.0	2.5	1.15	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	535.0	2.5	1.36	0.10	0.45	0.90

表 7.4-11 钻孔-11 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	64.0	2.5	0.16	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	190.0	2.5	0.48	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	370.0	2.5	0.94	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	88.0	2.5	0.22	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	260.0	2.5	0.66	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	455.0	2.5	1.16	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	545.0	2.5	1.39	0.10	0.45	0.90

表 7.4-12 钻孔-12 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	71.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	210.0	2.5	0.54	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	395.0	2.5	1.01	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	505.0	2.5	1.29	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	605.0	2.5	1.54	0.10	0.45	0.90

表 7.4-13 钻孔-13 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	76.0	2.5	0.19	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	225.0	2.5	0.57	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	444.0	2.5	1.13	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	99.0	2.5	0.25	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	295.0	2.5	0.75	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	569.0	2.5	1.45	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	678.0	2.5	1.73	0.10	0.45	0.90

表 7.4-14 钻孔-14 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	71.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	210.0	2.5	0.54	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	466.0	2.5	1.19	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	594.0	2.5	1.52	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	741.0	2.5	1.89	0.10	0.45	0.90

表 7.4-15 钻孔-15 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	84.0	2.5	0.21	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	250.0	2.5	0.64	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	484.0	2.5	1.23	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	109.0	2.5	0.28	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	325.0	2.5	0.83	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	637.0	2.5	1.63	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	808.0	2.5	2.06	0.10	0.45	0.90

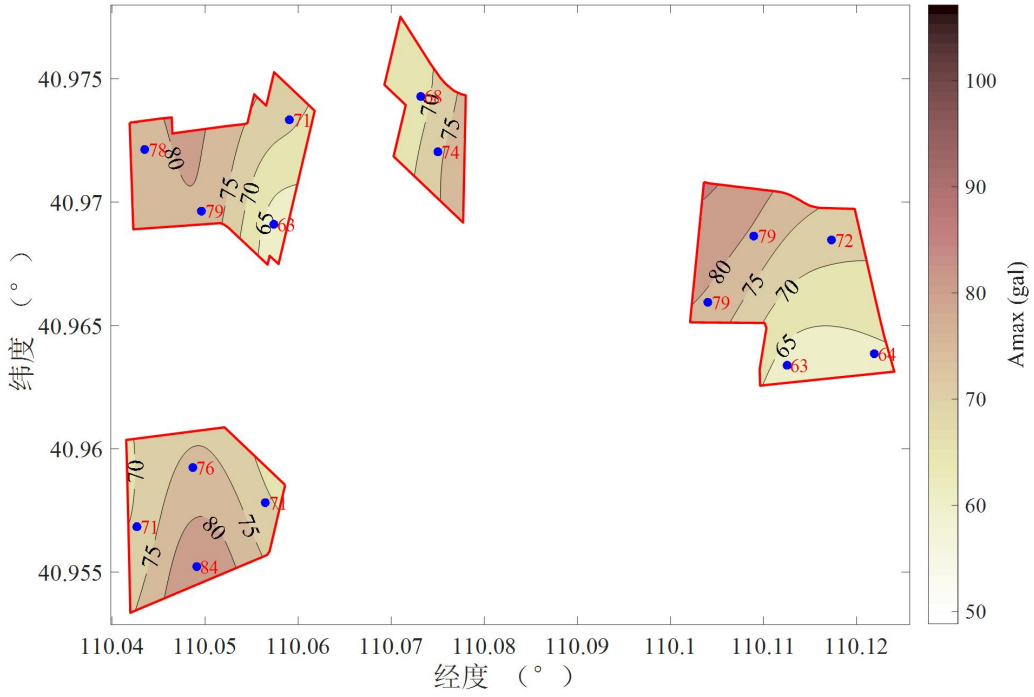


图 7.4-1 地震动峰值加速度等值线（50 年超越概率 63%）

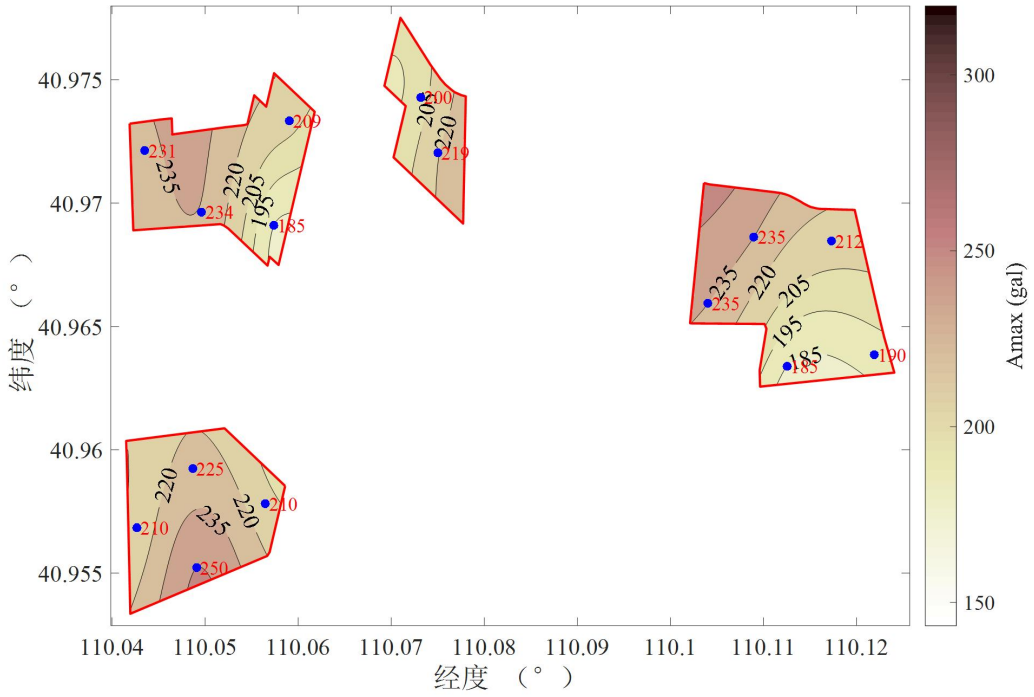


图 7.4-2 地震动峰值加速度等值线（50 年超越概率 10%）

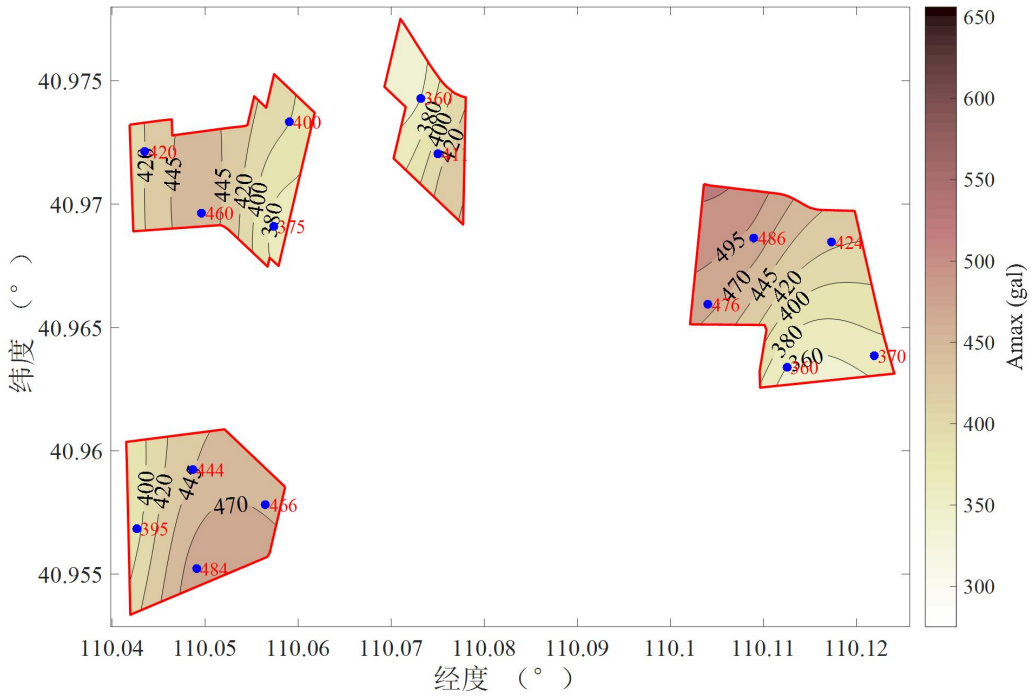


图 7.4-3 地震动峰值加速度等值线（50 年超越概率 2%）

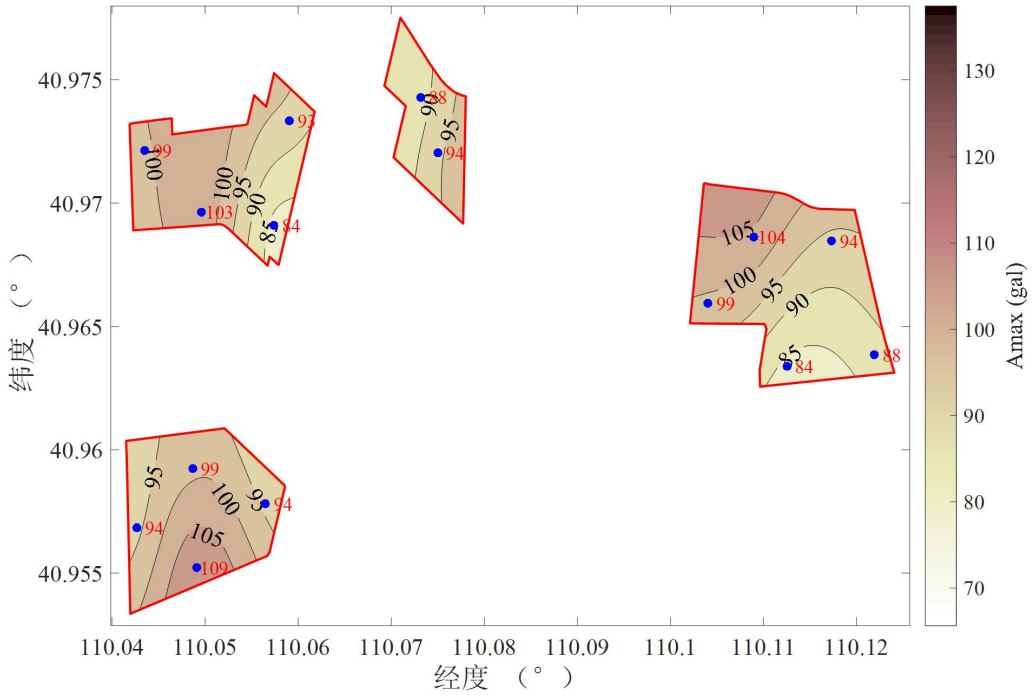


图 7.4-4 地震动峰值加速度等值线（100 年超越概率 63%）

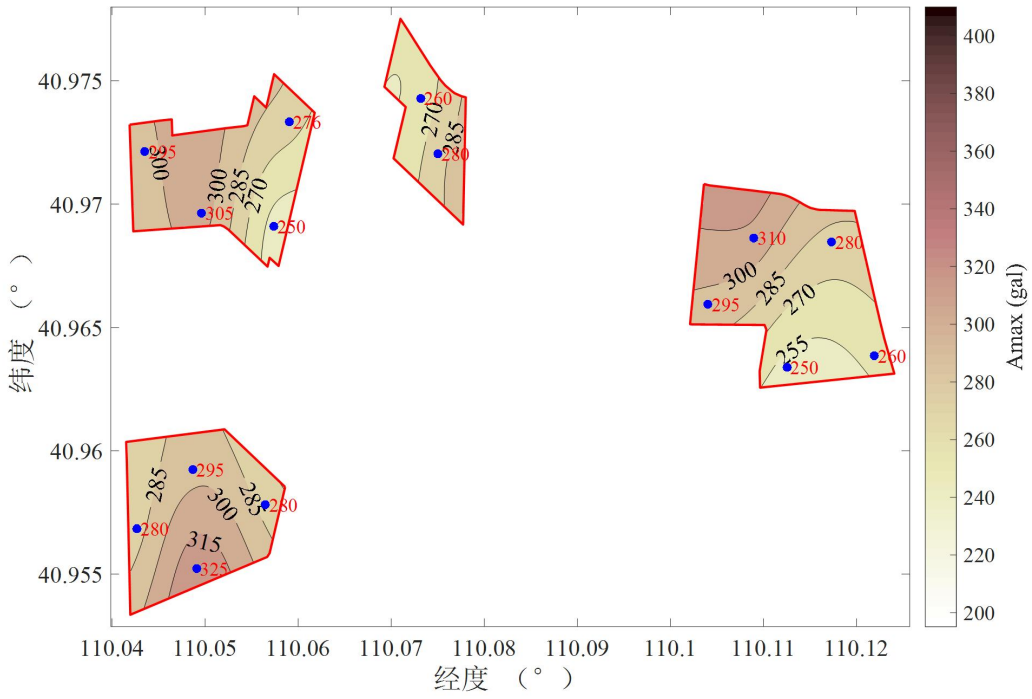


图 7.4-5 地震动峰值加速度等值线（100 年超越概率 10%）

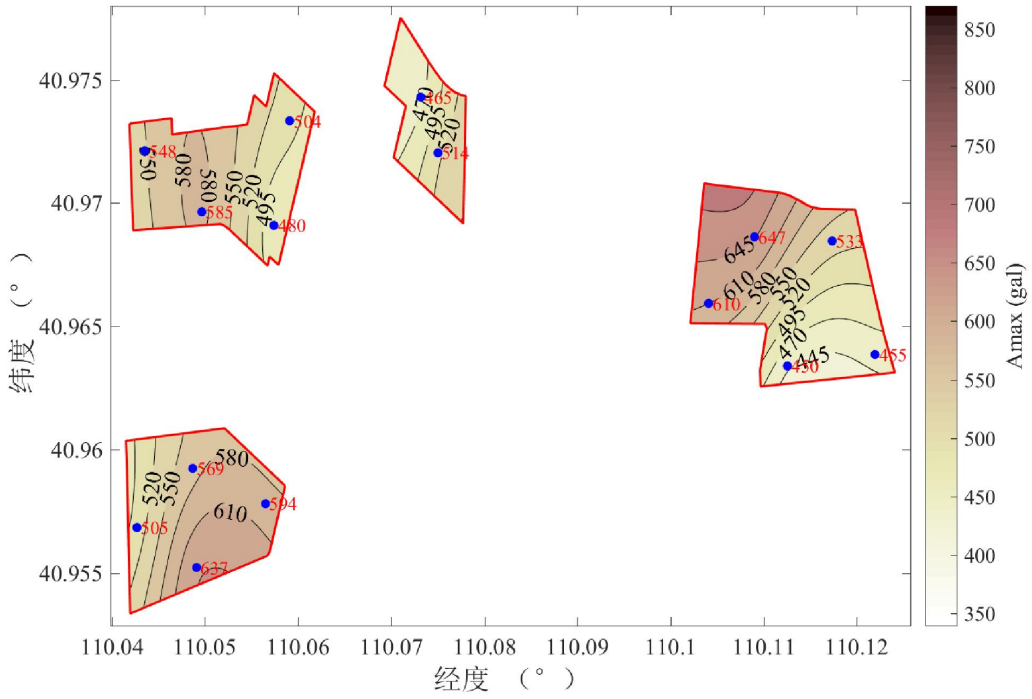


图 7.4-6 地震动峰值加速度等值线（100 年超越概率 2%）

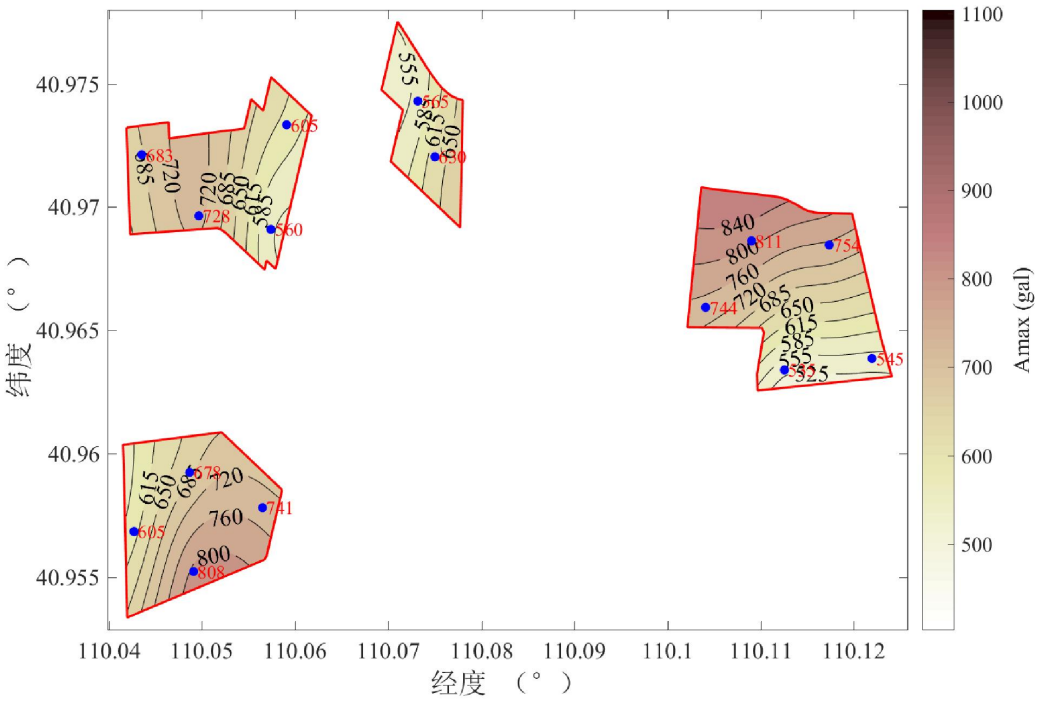


图 7.4-7 地震动峰值加速度等值线（100 年超越概率 1%）

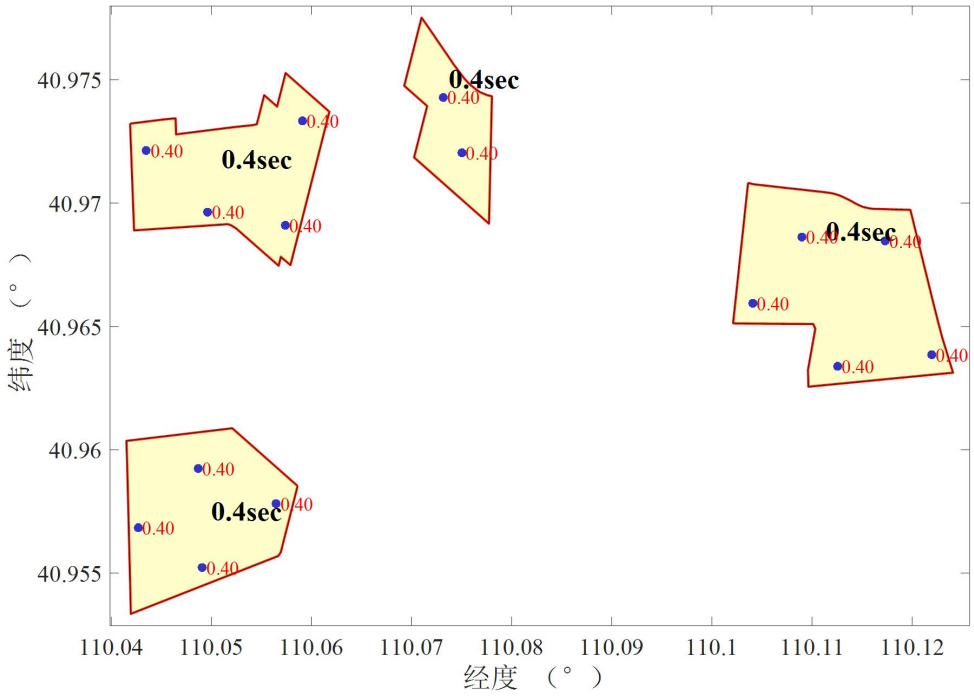


图 7.4-8 地震动特征周期等值线（50 年超越概率 63%）

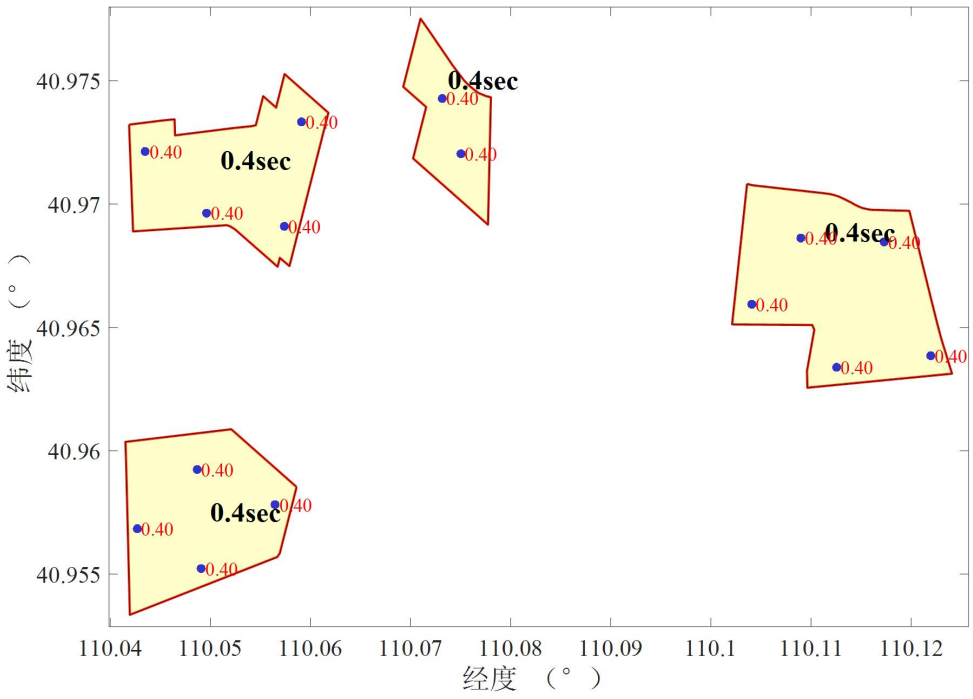


图 7.4-9 地震动特征周期等值线（50 年超越概率 10%）

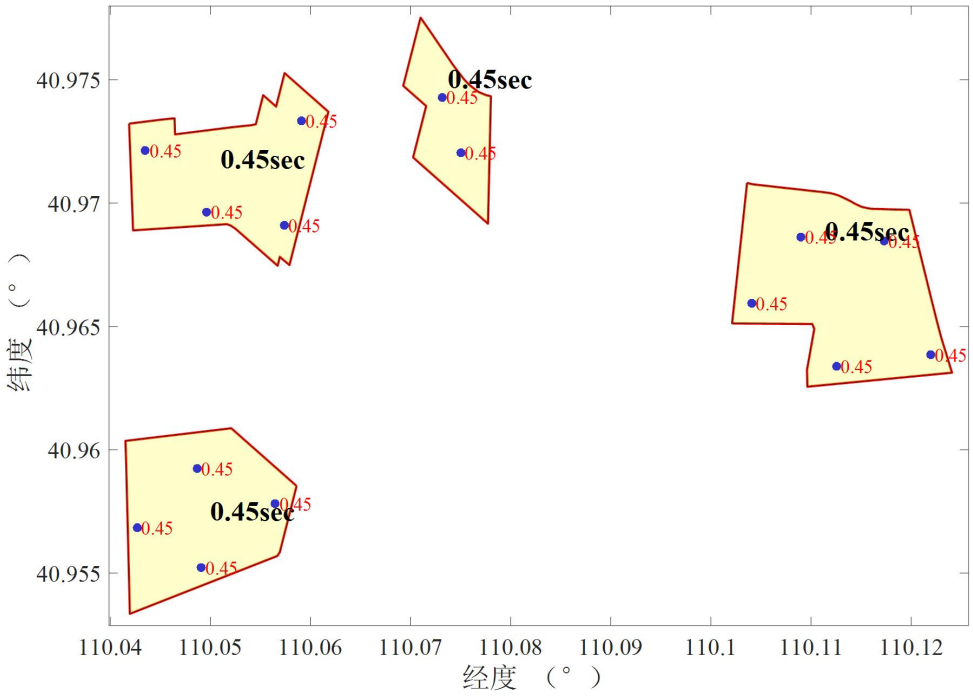


图 7.4-10 地震动特征周期等值线（50 年超越概率 2%）

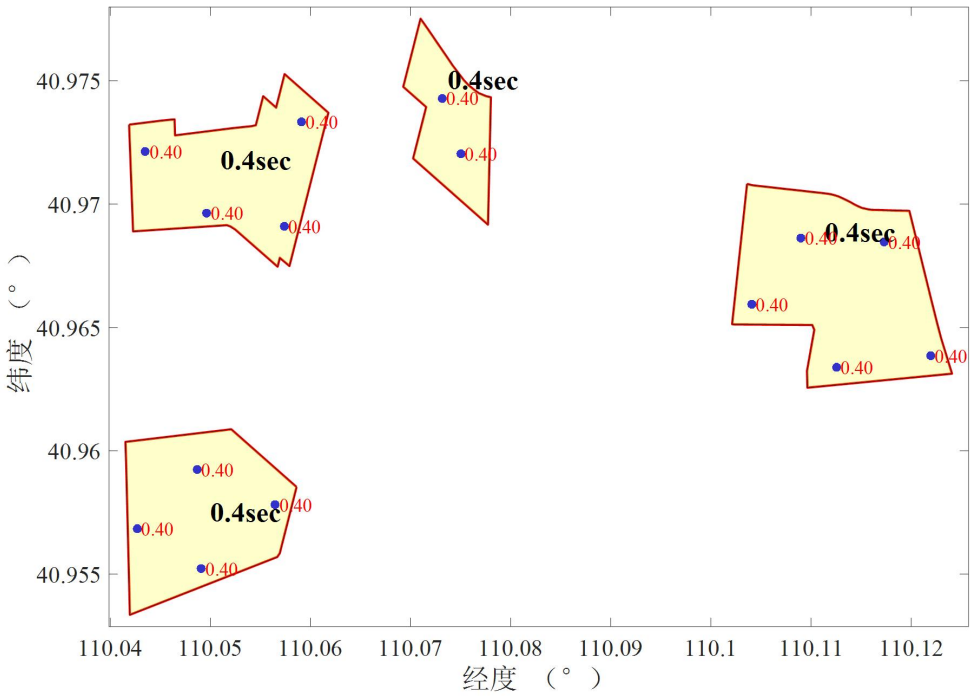


图 7.4-11 地震动特征周期等值线（100 年超越概率 63%）

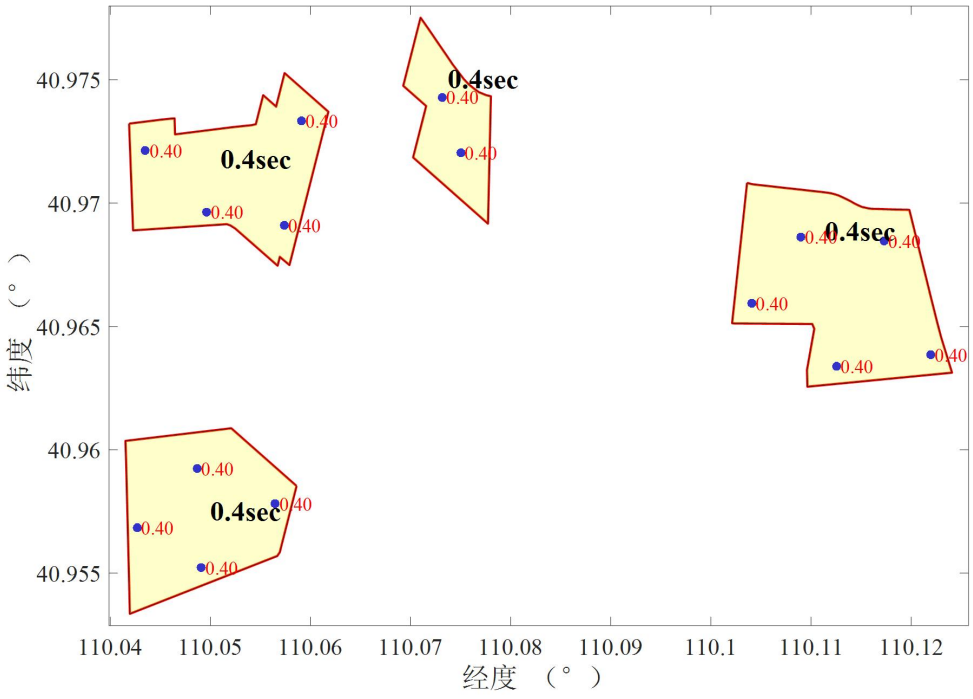


图 7.4-12 地震动特征周期等值线（100 年超越概率 10%）

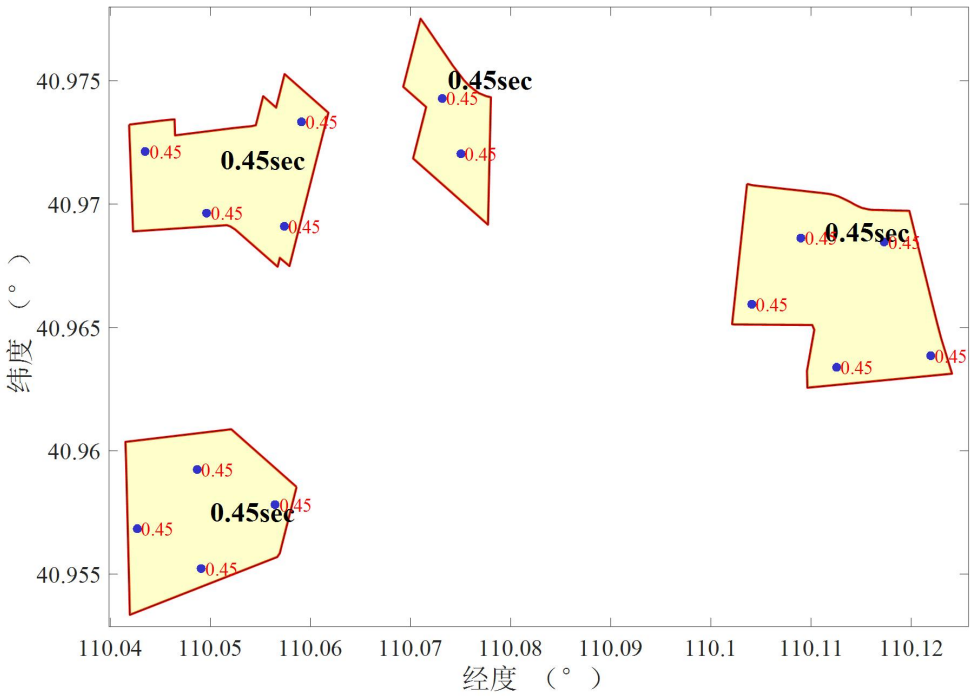


图 7.4-13 地震动特征周期等值线（100 年超越概率 2%）

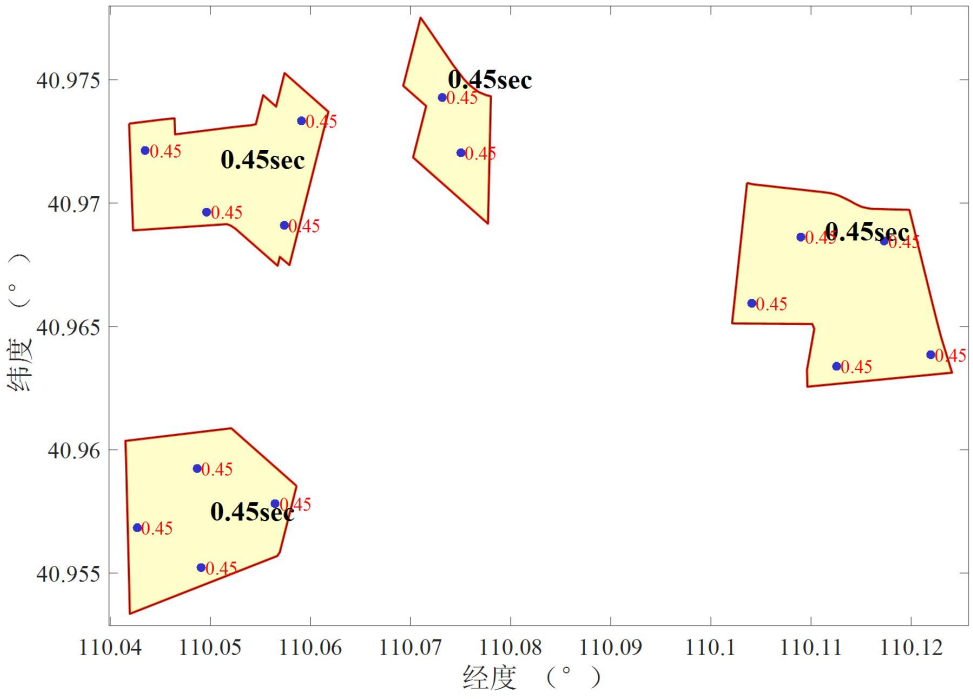


图 7.4-14 地震动特征周期等值线（100 年超越概率 1%）

7.5 场地地表地震动时程

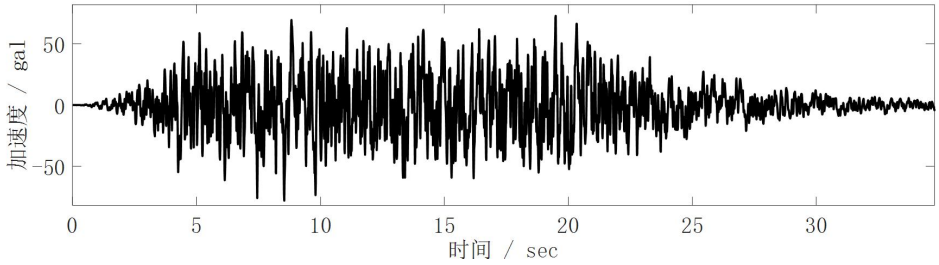
为满足目标区内建设工程抗震设计时，采用时程法进行验算的需要，本报告以各钻孔规准化场地地震动反应谱作为目标谱，按照《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》的要求，合成工程场地地震动时程。场地地震动强度包络采用公式$(7.1-5)$定义的形式，其中的回归系数a_1、a_2、a_3和R_0采用霍俊荣等（1988）给出的土层场地地震动强度包络回归系数。参考公式$(7.1-5)$的计算结果，本项目场地地震动强度包络参数如表 7.5-1 所示。

表 7.5-1　场地地震动加速度时程强度包络参数值

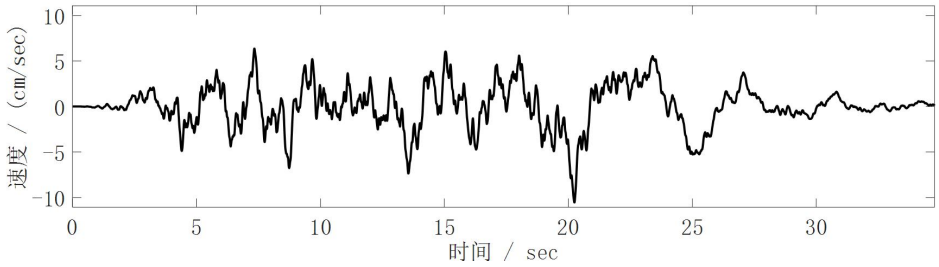
超越概率水平	t_1(sec)	T_S(sec)	t_2(sec)	c
50 年 63%	5.0	15.0	20.0	0.18
50 年 10%	5.0	19.0	24.0	0.13
50 年 2%	5.0	23.0	28.0	0.08
100 年 63%	5.0	17.0	22.0	0.18
100 年 10%	5.0	21.0	26.0	0.13
100 年 2%	5.0	25.0	30.0	0.08
100 年 1%	5.0	29.0	34.0	0.08

对于每种工况各合成 5 条不同随机相位的时程，以供抗震设计验算使用。合成地震动时程的采样间隔为 0.01 秒，总数据点数为 8192，反应谱控制周期点总数为 77 个，大致均匀分布在 0.04-6.0 秒之间的对数坐标轴上。合成地震动的反应谱与目标谱之间的相对误差不超过 5%。不同地震动样本之间的互相关系数均低于 0.16，满足不相关的要求，如表 7.5-2 至 7.5-8 所示。

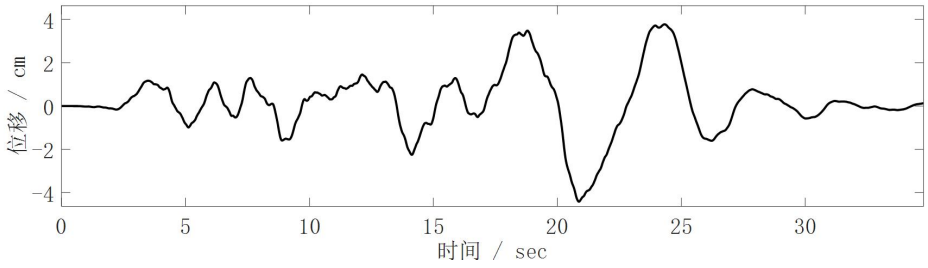
钻孔 1 不同超越概率水平对应的场地地震动时程合成结果如图 7.5-1 至 7.5-14 所示，包括场地地震动的加速度、速度和位移时程曲线，以及场地地震动的反应谱对目标反应谱的拟合情况。其余钻孔场地地震动时程合成结果与钻孔 1 相似。



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.5-1 场地地震动时程曲线（钻孔 1、50 年超越概率 63%、样本 1）

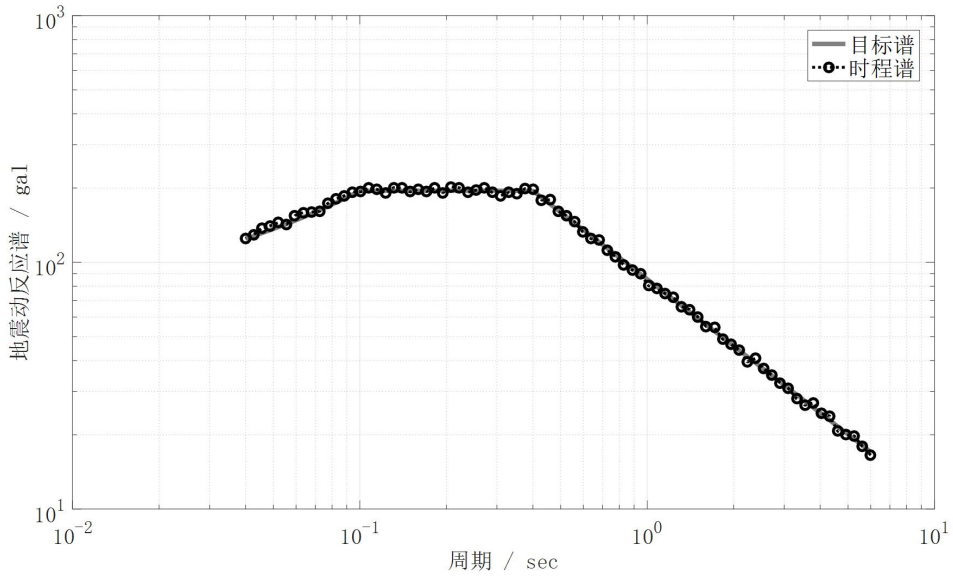
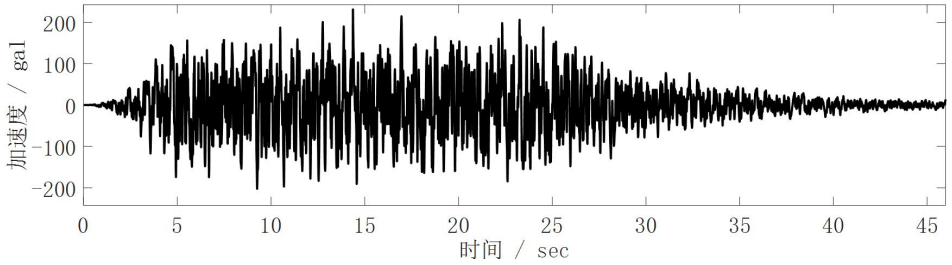
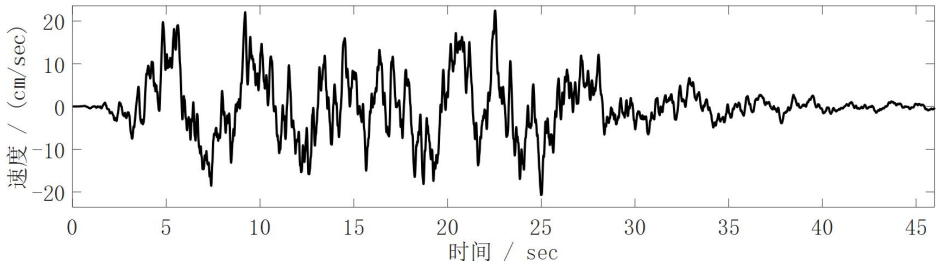


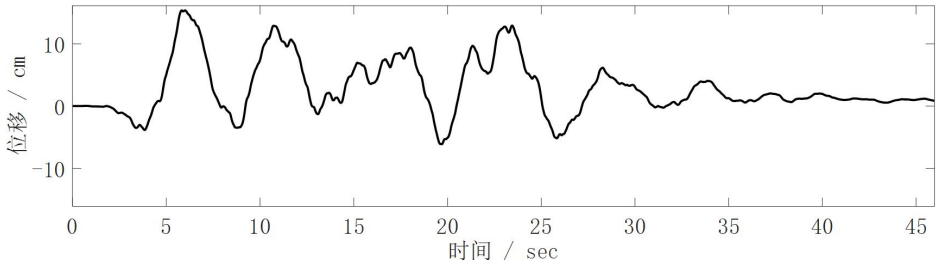
图 7.5-2 场地地震动反应谱曲线（钻孔 1、50 年超越概率 63%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.5-3 场地地震动时程曲线（钻孔 1、50 年超越概率 10%、样本 1）

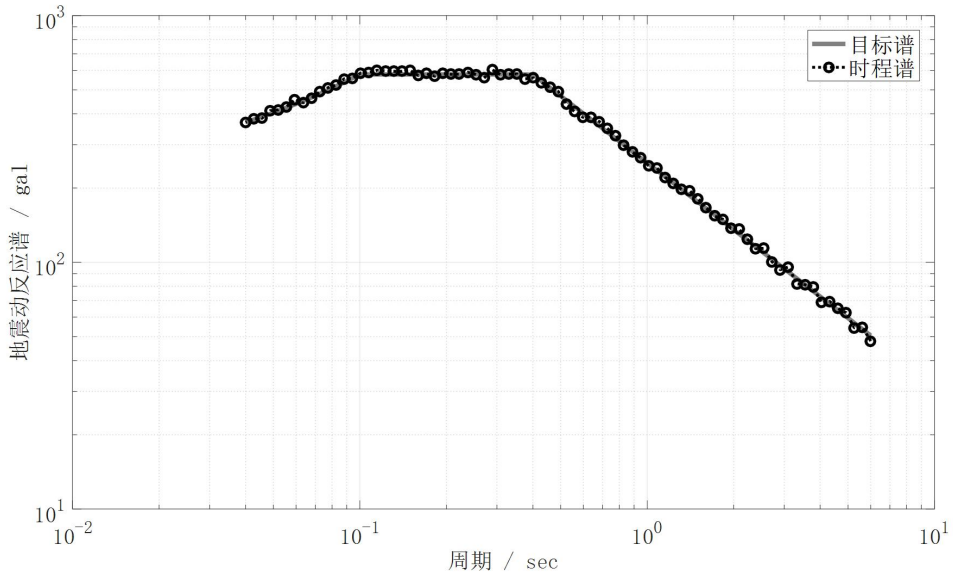
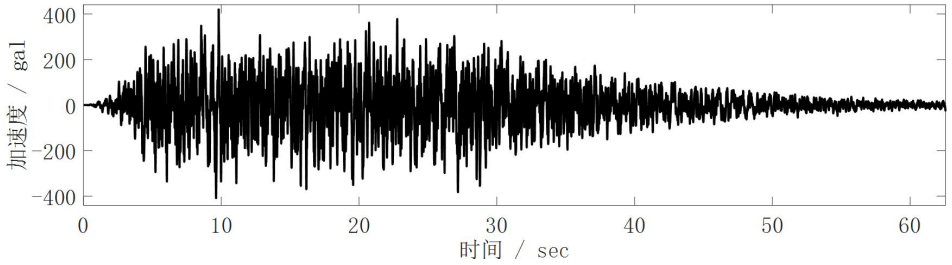
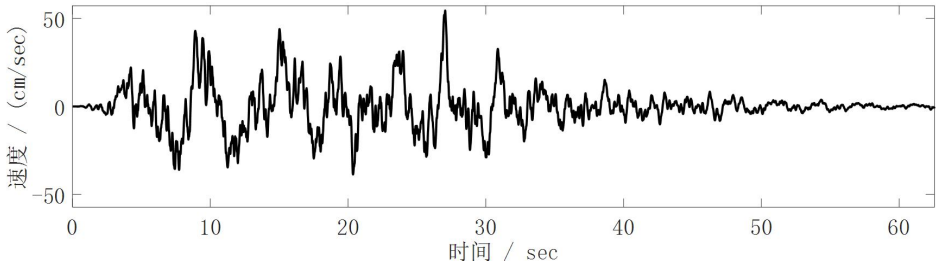


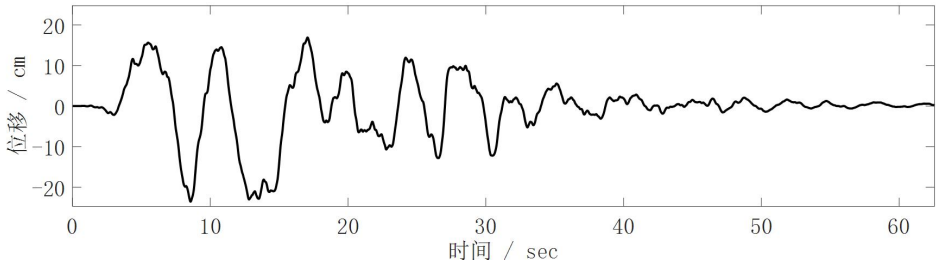
图 7.5-4 场地地震动反应谱曲线（钻孔 1、50 年超越概率 10%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.5-5 场地地震动时程曲线（钻孔 1、50 年超越概率 2%、样本 1）

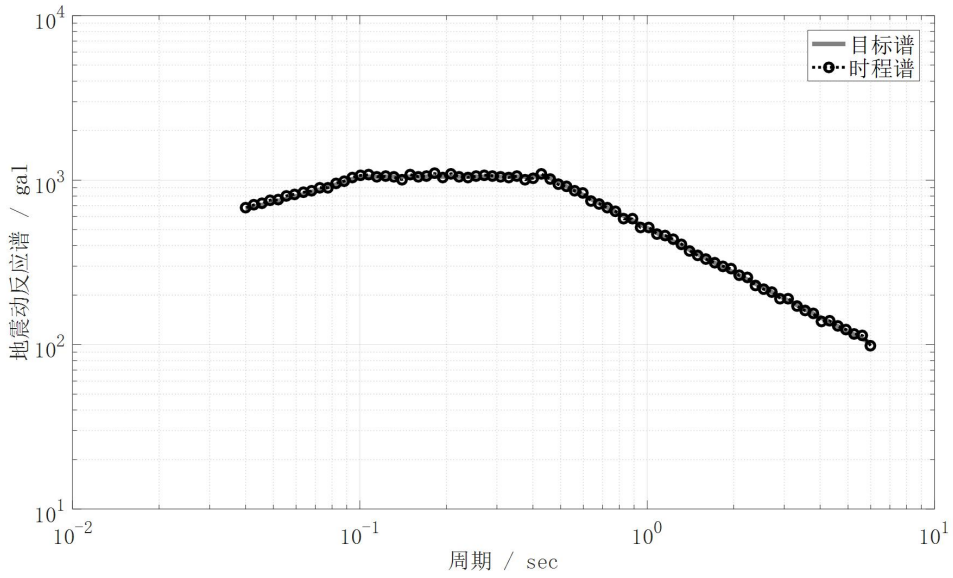
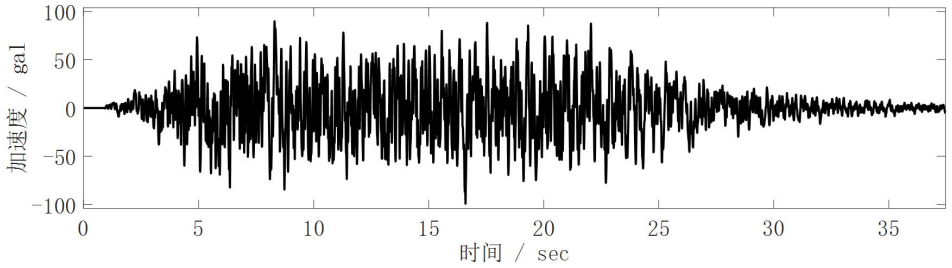
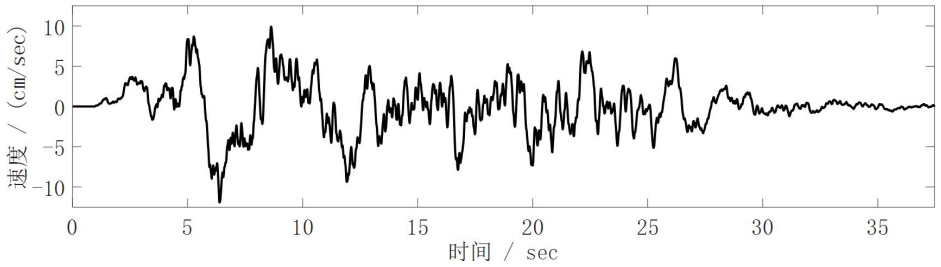


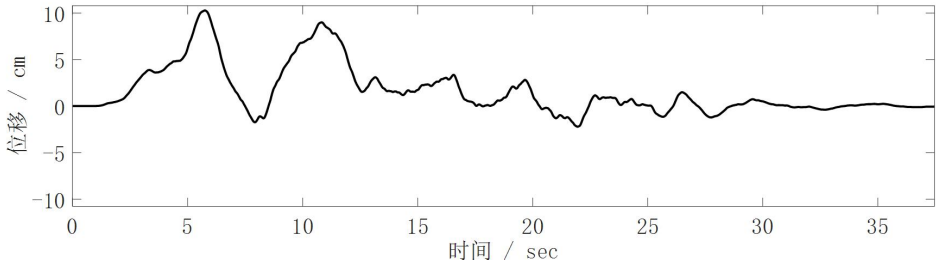
图 7.5-6 场地地震动反应谱曲线（钻孔 1、50 年超越概率 2%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.5-7 场地地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 63%、样本 1）

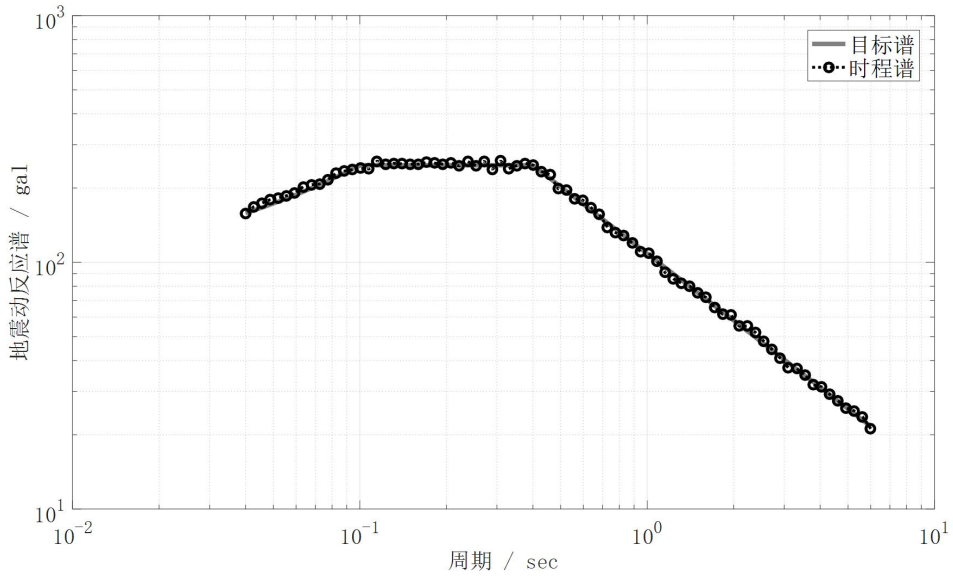
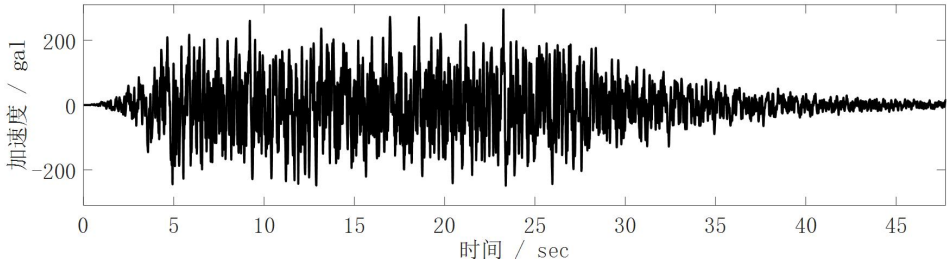
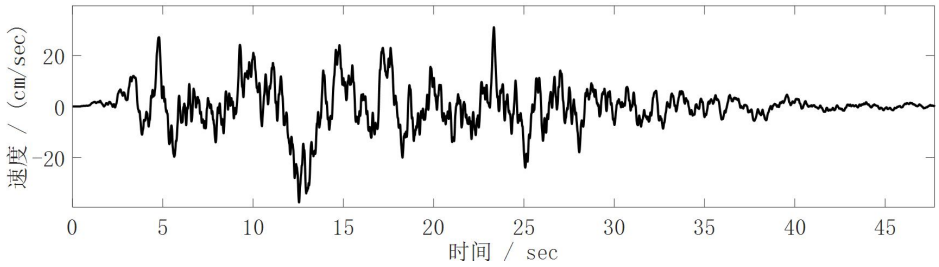


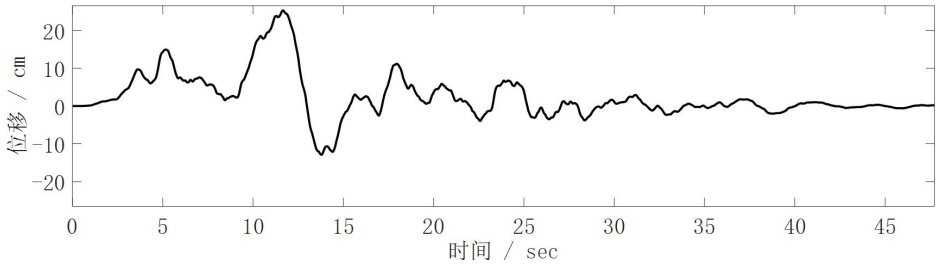
图 7.5-8 场地地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 63%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.5-9 场地地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 10%、样本 1）

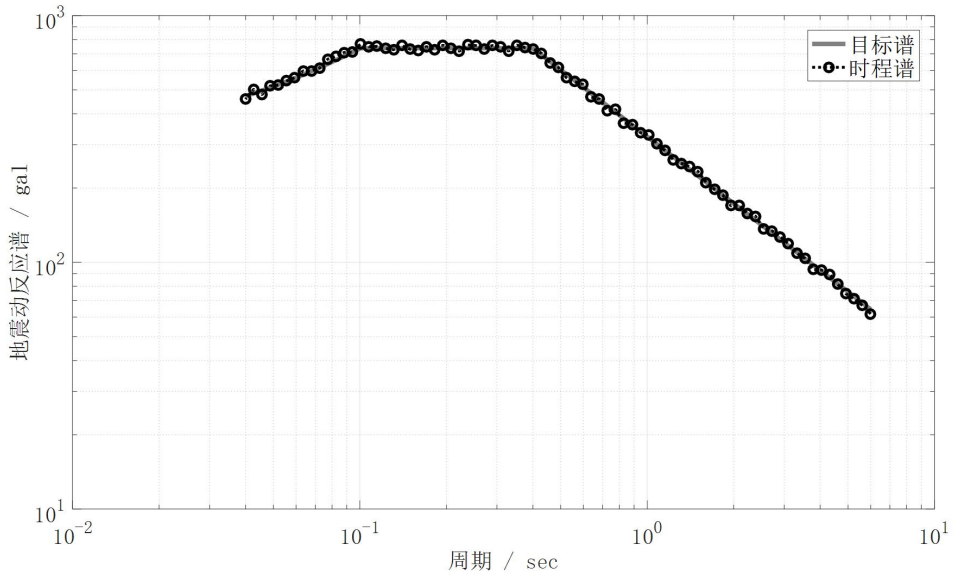
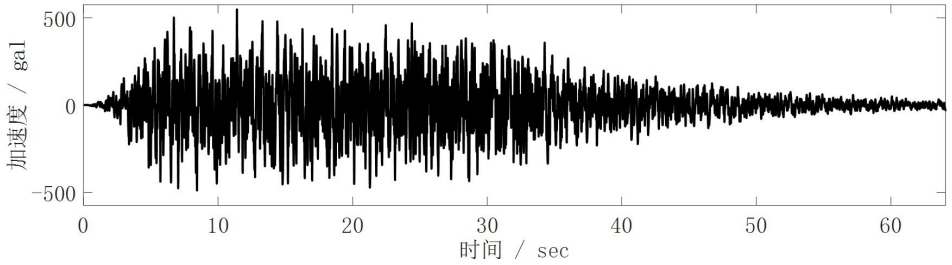
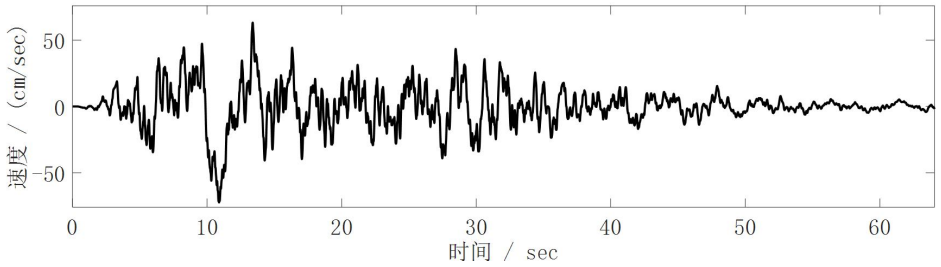


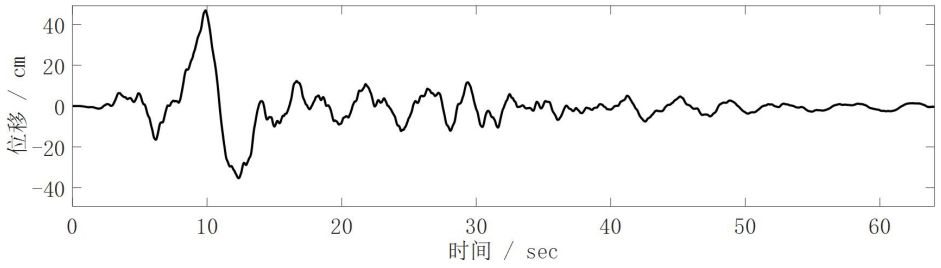
图 7.5-10 场地地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 10%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.5-11 场地地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 2%、样本 1）

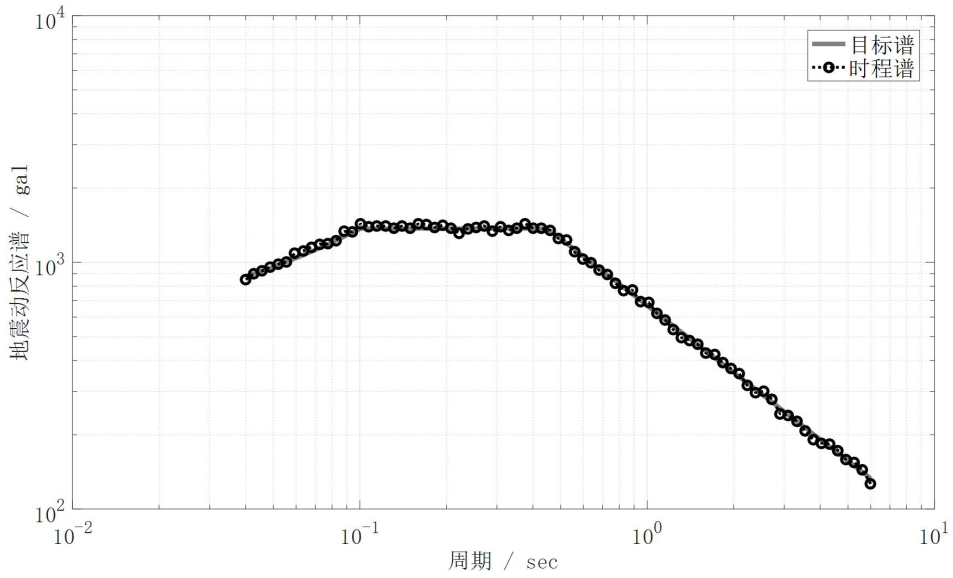
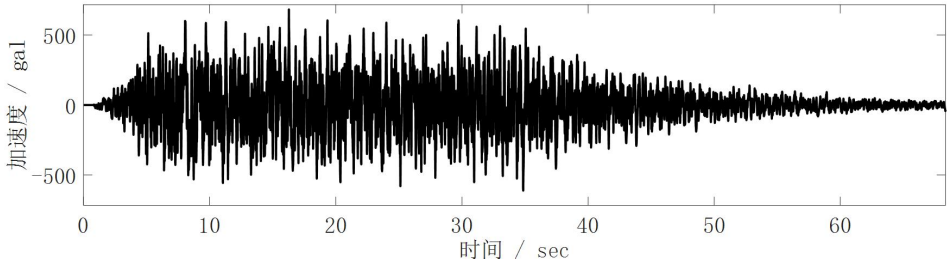
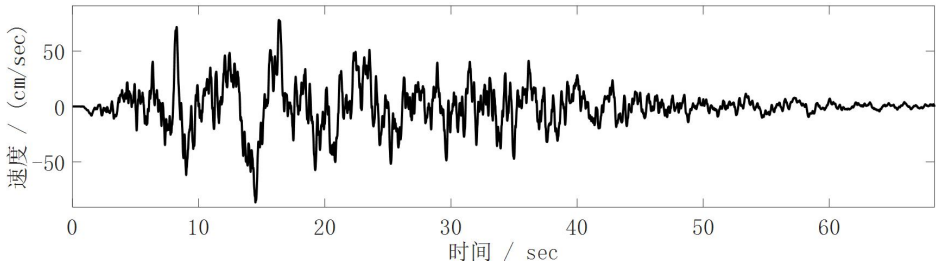


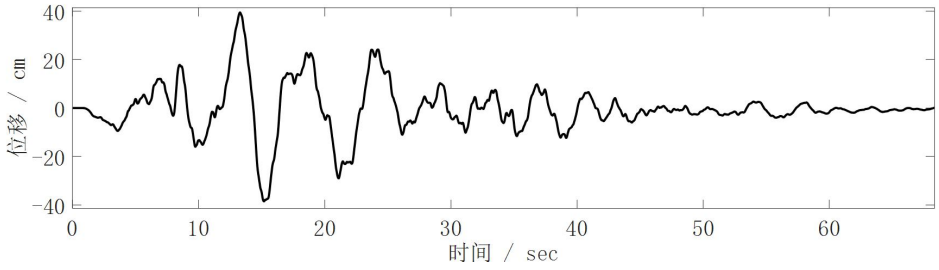
图 7.5-12 场地地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 2%、样本 1）



（a）加速度



（b）速度



（c）位移

图 7.5-13 场地地震动时程曲线（钻孔 1、100 年超越概率 1%、样本 1）

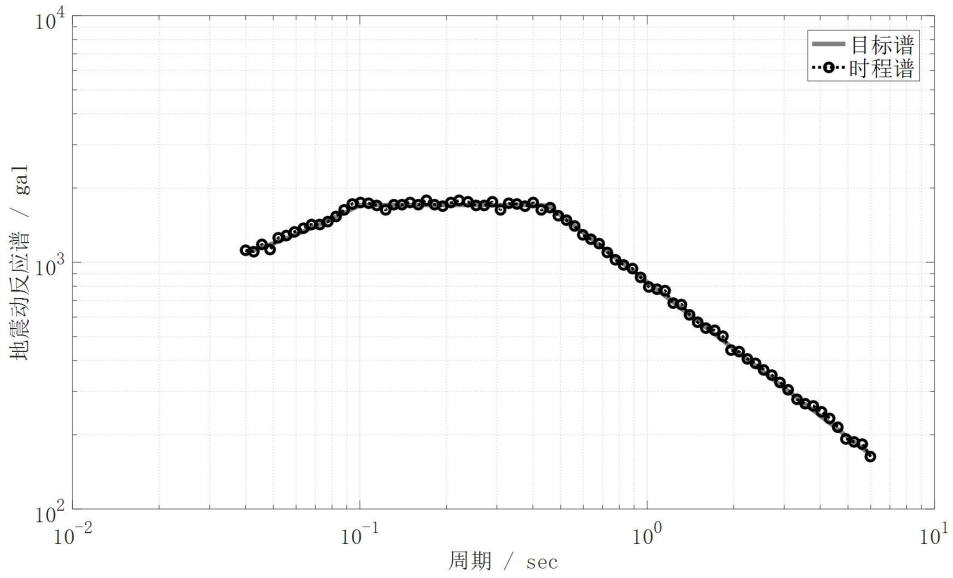


图 7.5-14 场地地震动反应谱曲线（钻孔 1、100 年超越概率 1%、样本 1）

表 7.5-2 第 1 个控制点 50 年超越概率 63%场地地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.01	0.09	0.09	0.04
2	0.01	-	0.03	0.01	0.04
3	0.09	0.03	-	0.01	0.03
4	0.09	0.01	0.01	-	0.06
5	0.04	0.04	0.03	0.06	-

表 7.5-3 第 1 个控制点 50 年超越概率 10%场地地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.00	0.04	0.02	0.02
2	0.00	-	0.05	0.01	0.02
3	0.04	0.05	-	0.02	0.02
4	0.02	0.01	0.02	-	0.01
5	0.02	0.02	0.02	0.01	-

表 7.5-4 第 1 个控制点 50 年超越概率 2%场地地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.00	0.01	0.00	0.03
2	0.00	-	0.05	0.02	0.01
3	0.01	0.05	-	0.04	0.05
4	0.00	0.02	0.04	-	0.02
5	0.03	0.01	0.05	0.02	-

表 7.5-5 第 1 个控制点 100 年超越概率 63%场地地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.02	0.01	0.04	0.00
2	0.02	-	0.05	0.01	0.01
3	0.01	0.05	-	0.04	0.05
4	0.04	0.01	0.04	-	0.01
5	0.00	0.01	0.05	0.01	-

表 7.5-6 第 1 个控制点 100 年超越概率 10%场地地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.01	0.02	0.04	0.06
2	0.01	-	0.02	0.01	0.04
3	0.02	0.02	-	0.05	0.00
4	0.04	0.01	0.05	-	0.04
5	0.06	0.04	0.00	0.04	-

表 7.5-7 第 1 个控制点 100 年超越概率 2%场地地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.02	0.00	0.03	0.05
2	0.02	-	0.01	0.01	0.04
3	0.00	0.01	-	0.03	0.04
4	0.03	0.01	0.03	-	0.01
5	0.05	0.04	0.04	0.01	-

表 7.5-8 第 1 个控制点 100 年超越概率 1%场地地震动样本之间的互相关系数

样本	1	2	3	4	5
1	-	0.01	0.00	0.05	0.02
2	0.01	-	0.02	0.03	0.04
3	0.00	0.02	-	0.03	0.01
4	0.05	0.03	0.03	-	0.03
5	0.02	0.04	0.01	0.03	-

7.6 使用说明

本章获得的地震动参数结果，综合反映了场址区附近一定范围内地震活动、地震地质环境和场址局部场地条件对地震动的影响，因此，其具有较强的地区相关性，仅适用于目标范围内重大工程（特殊重大工程除外）的抗震设计，在选取参数进行抗震设计时应根据以下步骤选取：

（1）根据建设工程所处的场点位置，选择距离场点 700m 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 200m 时，取该控制点地震动参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数；场点距离控制点大于 200m 时，选择考虑该场点周围 700m 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高值作为该场点的场地地震动参数。

（2）根据建筑场地类别选取评价结果。

（3）根据建设工程设计中不同的抗震设防需要选取不同超越概率水准的地震动参数。对于建筑工程，50 年超越概率 63%对应于多遇地震，其参数用于结构弹性承载力验算，确保“小震不坏”；50 年超越概率 2%对应于罕遇地震，其参数用于结构弹塑性变形验算，确保“大震不倒”。

（4）根据建筑结构材料确定对应的阻尼比，若阻尼比为 5%可直接采用本报告结果。若工程结构抗震设计中需要其它阻尼比的地震动加速度反应谱，可依据相关规

范中所给出的阻尼比调整规定，利用本报告给出的5%阻尼比加速度反应谱经计算得到。

（5）竖向地震动参数可取为对应概率水准下的水平向地震动参数。

（6）对于需要开展时程分析的工程结构，可采用本项目提供的场地地震动时程作为结构动力反应分析的输入。

（7）本报告提供了100年超越概率1%的场地地震动参数可为目标区大震应急备灾工作提供参考。

该结果不适用于核电、试验反应堆结构设施等特殊重大工程和超长自振周期建筑结构。

7.7 本章小结

本章首先以概率地震危险性分析所得到的基岩地震动反应谱为目标，针对每个计算场点，合成了基岩人工地震动加速度时程，每个概率水平合成5个样本，地震动样本离散时间间隔为0.01s，总时间点数为8192，每个样本与目标反应谱之间的相对误差最大值低于5%。通过分析、整理场地地震工程地质条件勘察成果，建立了所有钻孔的场地地震反应计算模型，利用频域等效线性化方法和复阻尼理论近似处理土体的非线性，在此基础上，开展一维场地非线性地震反应计算，得到15个钻孔的7个超越概率水平的计算结果。

根据一维场地非线性地震反应计算的结果，确定了不同计算场点的场地地震动参数，为结构抗震设计提供依据。以土层场地地表各钻孔规准化的场地地震动反应谱为目标谱，合成了不同超越概率水平下工程场地地表地震动时程根据不同场点地震反应计算结果，得到了目标区地震动峰值加速度等值线图。对于每种工况各合成 5 条不同随机相位的时程，以供抗震设计验算使用。

第八章 场地地震地质灾害评价

场地地震地质灾害是由地震动或断层错动引起的可能影响场地上工程性能的场地失效。常见的地震地质灾害有：砂土液化、软土震陷、岩体崩塌和开裂、岩土滑坡及地震断层作用导致地表错动、地裂缝与地面变形等。目标区场地位于内蒙古自治区包头市固阳县金山工业园区，根据国家标准《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）附图A.1、附图B.1和《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010，2016年版），抗震设防烈度为8度，目标区位于II类场地基本地震动峰值加速度值为0.20g，地震动加速度反应谱特征周期0.40s区。

8.1 地震砂土液化评价

按照《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》第三十九条，对地下10m内和10-30m深度范围采用不同的判别方式。

0-10m深度内根据规范要求，可采用标准贯入试验判别法进行判别。液化判别标准贯入击数临界值可按下式计算：

$$N_{cr} = N_0\beta[\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w]\sqrt{3/\rho_c}$$

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，可按表

d_s——饱和土标准贯入点深度（m）；

d_w——地下水位（m）；

ρ_c——黏粒含量百分率，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0.80，第二组取0.95，第三组取1.05。

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

说明：

β——调整系数，目标区位于固阳县金山镇，位于第二组取值0.95；

d_w——地下水位深度，单位为米（m）；由于目标区地处干旱区，本次勘察钻孔中未见地下水，通过走访得知，目标区范围内在雨季降水过后，地表会有短期雨水积滞，为保守起见，近期最高水位按0米取值。

8.1.1 地震动峰值加速度分区的峰值加速度范围

地震动峰值加速度分区值	地震动峰值加速度范围
0.05g	$0.04g \leq \alpha_{max} < 0.09g$
0.10g	$0.09g \leq \alpha_{max} < 0.14g$
0.15g	$0.14g \leq \alpha_{max} < 0.19g$
0.20g	$0.19g \leq \alpha_{max} < 0.28g$
0.30g	$0.28g \leq \alpha_{max} < 0.38g$
0.40g	$0.38g \leq \alpha_{max} < 0.75g$

根据目标区各控制点不同概率水准地震动参数，50年超越概率63%、10%、2%，100年超越概率63%、10%、2%分别对应的加速度归档分区统计如下：

8.1.2 0-10 米范围内计算采用地震动峰值加速度归档分区值

超越概率	0-10m 计算采用地震动峰值加速度分区值	备注
50 年 63%	0.05g	不考虑液化
50 年 10%	ZK3、10 归 0.15g 档，其余 0.20g	
50 年 2%	ZK5、10、11 归 0.30g 档，其余 0.40g	
100 年 63%	ZK3、5、10、11 归 0.05g 档，其余 0.10g	0.05g 不考虑液化
100 年 10%	ZK3、5、10、11 归 0.20g 档，其余 0.30g	
100 年 2%	0.40g	

经液化判别，0-10m内，50年超越概率10%液化钻孔有：ZK1、ZK2、ZK10，液化土层为1-1层粉砂；50年超越概率2%液化钻孔有：ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15，液化土层为1-1粉砂、1-2粉土、1-4粗砂；100年超越概率63%均不液化；100年超越概率10%液化钻孔有：ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15，液化土层为1-1粉砂、1-2粉土、1-4粗砂；100年超越概率2%液化钻孔有：ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15，液化土层为1-1粉砂、1-2粉土、1-4粗砂。计算结果见后附《砂土液化判别表》。

10-30m根据规范要求，可采用标准贯入试验判别法进行判别。液化判别标准贯

入击数临界值可按下式计算：

$$N_{cr} = \gamma\beta_0 \frac{58a_{max}}{a_{max}+0.4} \times (1-0.02d_w) \times \left(0.27+\frac{d_s}{d_s+6.2}\right) \times \sqrt{3/\rho_c}$$

上式中：Ncr——液化判别标准贯入击数临界值；

γ——工作等级系数，取1.0。

β_0——调整系数，场地固阳县金山镇，位于GB18306-2015中基本地震动加速度反应谱特征周期0.40s分区内场地，故取1.00。

a_{max}——场地地震动峰值加速度（gn），采用场地地震动参数确定的计算值；

d_w——地下水位深度，单位为米（m），按0米取值；

d_s——可液化土层标准贯入点深度，单位为米（m）；

ρ_c——粘粒含量百分率，小于3或为砂土时采用3；

由于目标区钻孔10米以下无液化土层，故可不进行10-30米液化判别。

目标区场地液化分区见图8.1-1-8.1-5。

综上所述，目标区场地砂土液化情况统计如下表：

8.1.3 目标区砂土液化判别结果情况统计表

超越概率	0-30 米范围内液化地层	发生液化的钻孔统计
50 年 10%	1-1 层粉砂	ZK1、ZK2、ZK10
50 年 2%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15
100 年 63%	无	无
100 年 10%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15
100 年 2%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15

目标区内ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15钻孔场地存在液化土层，建议根据建筑工程的抗震设防类别、地基的液化等级，结合具体情况采取相应的抗液化措施。

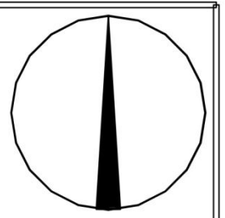
8.2 场地软土震陷评价

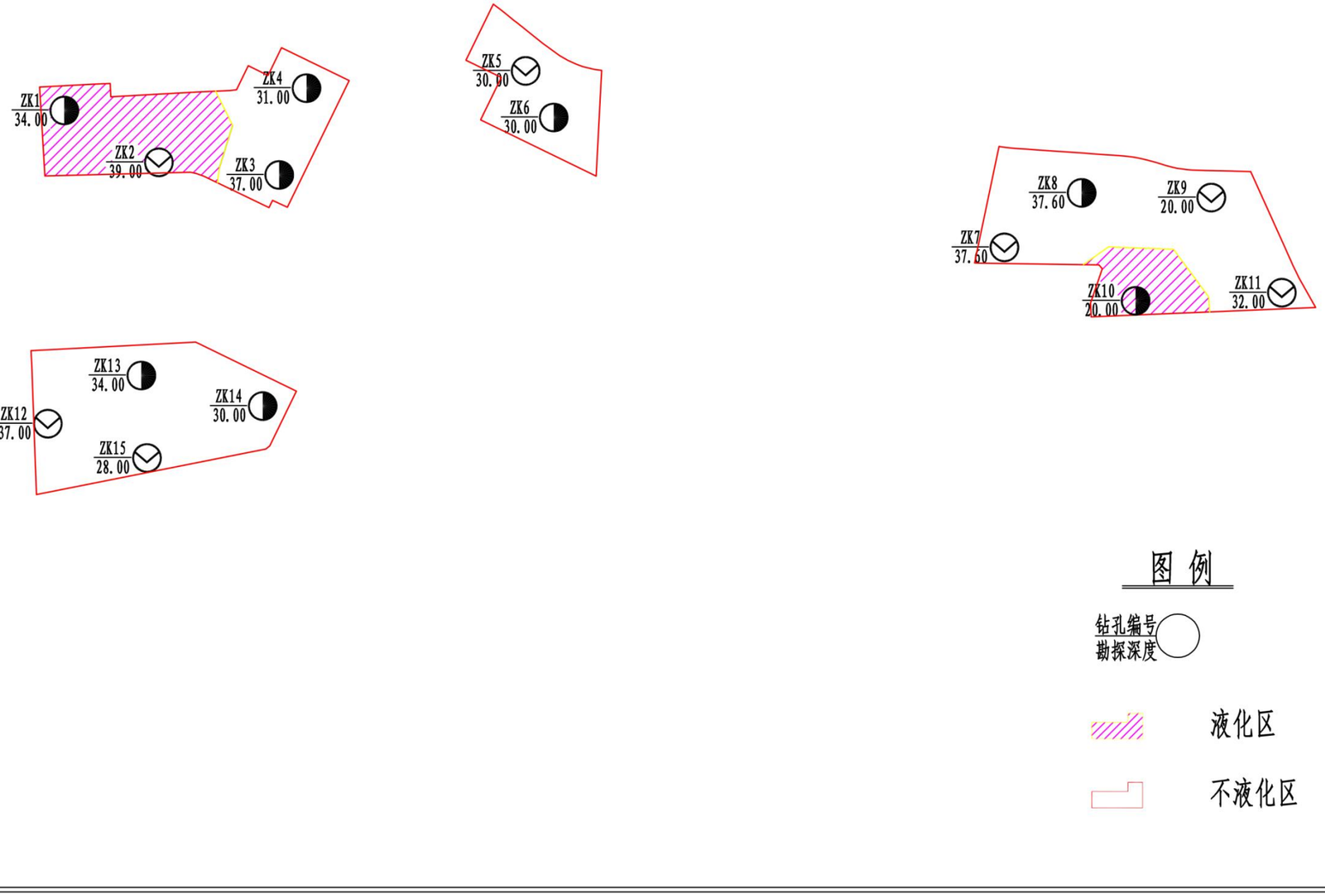
1.根据目标区历史地震软土震陷资料，分析软土震陷分布与特征。

2.对于含有较厚淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性软土覆盖层的钻孔，宜基于勘查得到的软土层等效剪切波速等资料，按照《软土地区岩土工程

目标区场地液化分区图（50年超越概率10%）



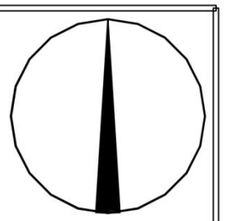


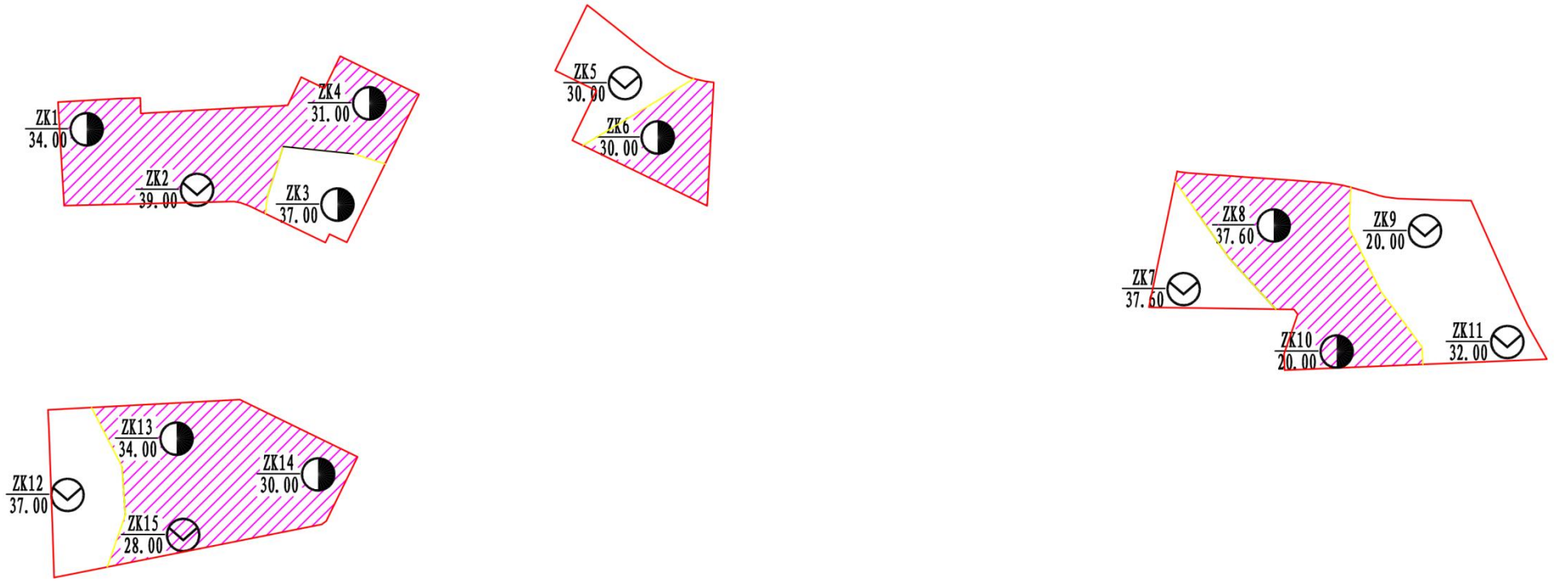


目标区场地液化分区见图 8.1-1

目标区场地液化分区图（50年超越概率2%）

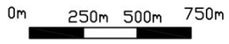


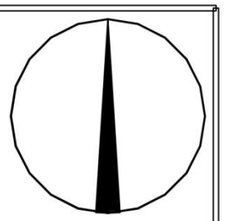


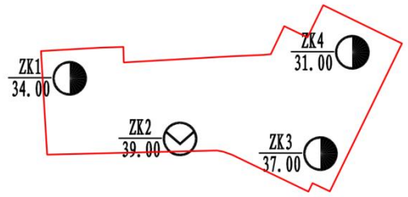


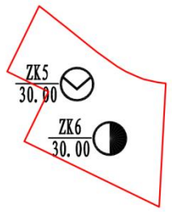
目标区场地液化分区见图 8.1-2

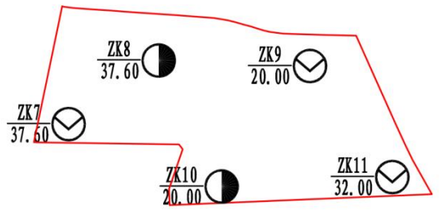
目标区场地液化分区图（100年超越概率63%）











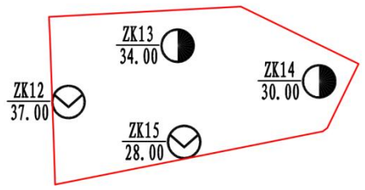


图 例

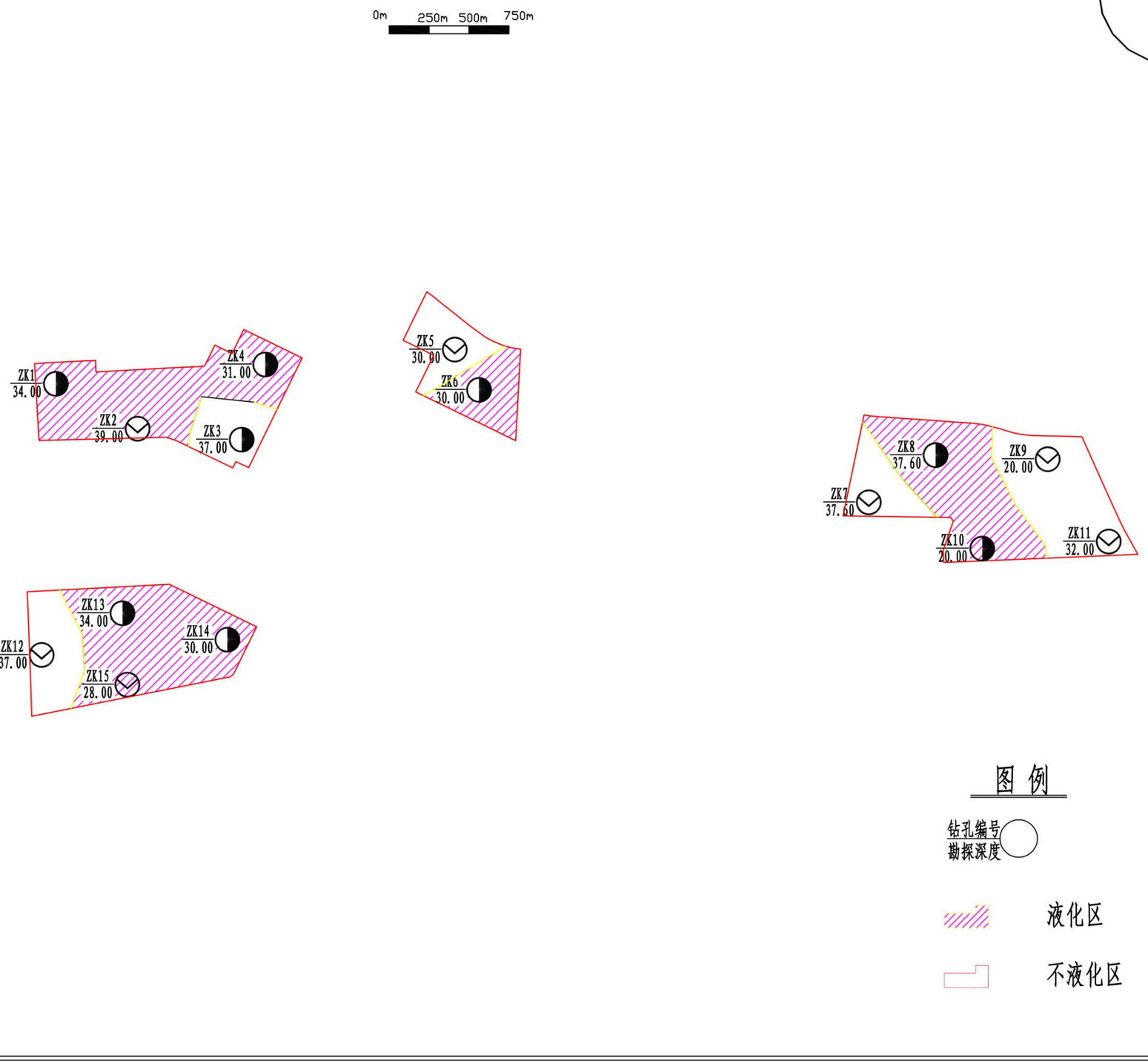
钻孔编号
勘探深度

液化区

不液化区

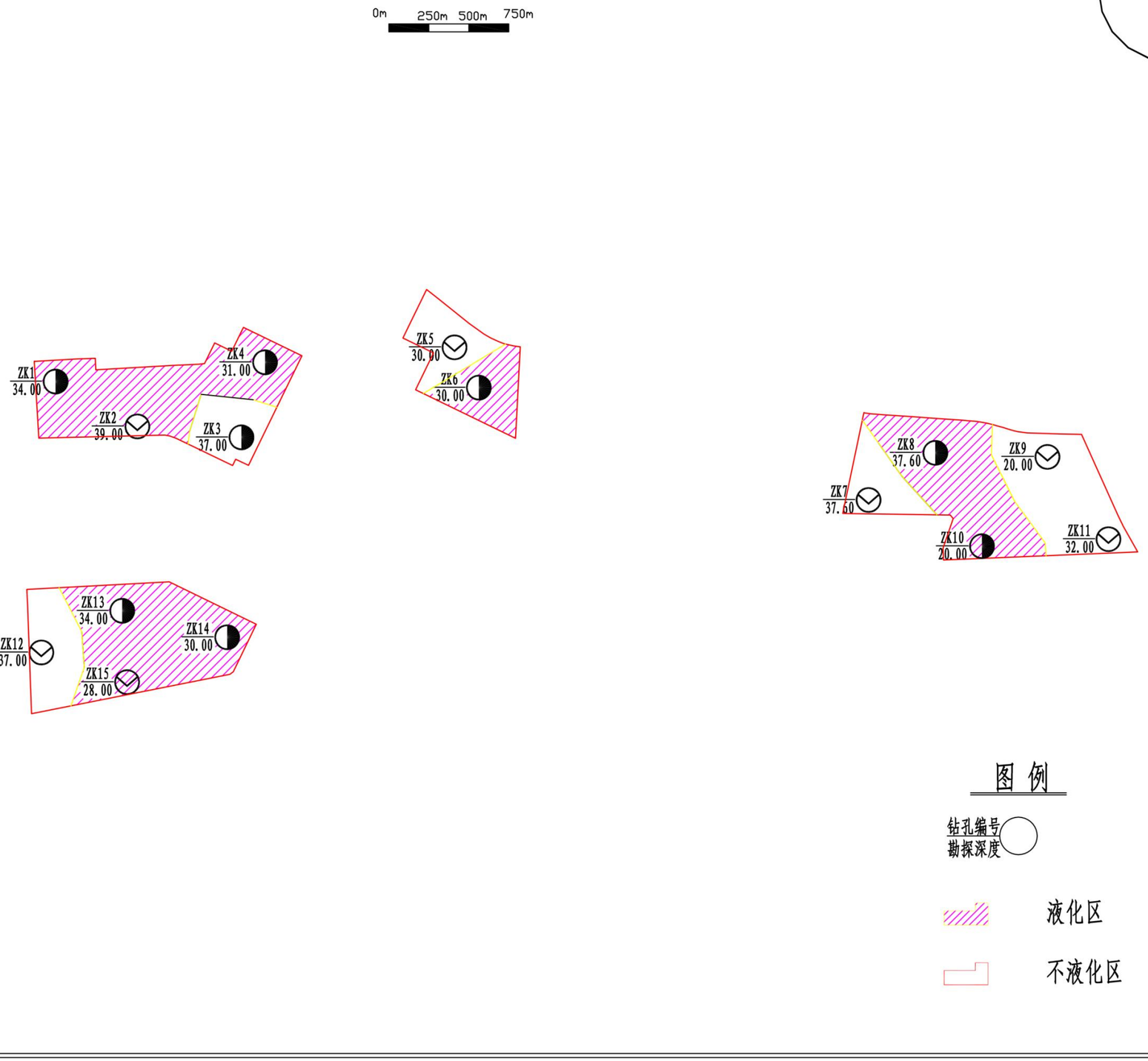
目标区场地液化分区见图 **8.1-3**

目标区场地液化分区图（100年超越概率10%）



目标区场地液化分区见图 8.1-4

目标区场地液化分区图（100年超越概率2%）



目标区场地液化分区见图 8.1-5

液 化 判 别 表

50 年超越概率 10%

勘探点编号	液化判别地下水位深度 dw (m)	抗震设防烈度(度)	地震加速度(g)	设计地震分组	判别深度(m)	基础埋深 db (m)	土层编号	土层名称	层底深度(m)	初判结果	标贯点底深(m)	标贯点所代表土层的中点深度 ds (m)	标贯点所代表的土层厚度 di (m)	粘粒含量 ρc (%)	标贯锤击数基准值 No (击)	临界锤击数 Ncri (击)	实际锤击数 Ni (击)	Ni/Ncri	详判结果	权值 Wi	液化指数			液化等级	
																					标贯点液化指数 (1-Ni/Ncri) *Wi*di	土层液化指数	钻孔液化指数	土层液化等级	钻孔液化等级/情况
ZK1	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	5.50	可能液化	1.80	1.20	2.40	3.00	12	12.78	9.00	0.70	液化	10.00	7.10	8.33	8.33	中等	中等
											3.30	3.95	3.10	3.00	12	14.58	14.00	0.96	液化	10.00	1.23				
ZK2	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	12	12.78	9.00	0.70	液化	10.00	5.92	5.92	5.92	中等	中等
							1-5	砾砂	18.50	可能液化															
ZK3	0.00	7	0.15	2	10.00	0.00	1-2	粉土	0.90	可能液化															
							1-5	砾砂	15.50	可能液化	6.80	7.95	14.10	3.00	10	15.65	43.00	2.75	不液化			0.00			
ZK4	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-2	粉土	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	12.10	12	6.36	12.00	1.89	不液化			0.00			
							1-5	砾砂	3.30	可能液化															
							2-1	泥岩	4.50	不液化															
ZK5	0	8	0.20	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	12.80	不液化															
ZK6	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	1.50	可能液化	1.00	0.75	1.50	3.00	12	11.82	13.00	1.10	不液化			0.00			
							1-3	粉质粘土	3.30	不液化															
							2-1	泥岩	4.20	不液化															
ZK7	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-2	粉土	1.60	可能液化															
							3-0	片麻岩	12.80	不液化															
ZK8	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-2	粉土	4.50	可能液化	3.40	2.25	4.50	12.10	12	7.32	13.00	1.78	不液化			0.00			
							1-5	砾砂	8.10	可能液化	6.80	6.30	3.60	3.00	12	18.78	38.00	2.02	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	9.40	不液化															
ZK9	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-6	填土	2.80	不液化															
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK10	0.00	7	0.15	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	3.00	10	10.65	10.00	0.94	液化	10.00	1.59	1.59	1.59	轻微	轻微
							1-5	砾砂	3.70	可能液化	3.60	3.15	1.10	3.00	10	12.45	23.00	1.85	不液化			0.00			
							3-0	片麻岩	7.10	不液化															
ZK11	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	2.00	可能液化	1.50	1.00	2.00	3.00	12	12.42	22.00	1.77	不液化			0.00			
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK12	0	8	0.20	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	14.50	不液化															
ZK13							1-5	砾砂	3.00	可能液化															
							1-2	粉土	5.00	可能液化	3.50	4.00	2.00	12.10	12	7.38	9.00	1.22	不液化			0.00			
							1-5	砾砂	6.50	可能液化															
							1-3	粉质粘土	14.50	不液化															
ZK14	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	12	12.78	19.00	1.49	不液化			0.00			
							1-4	粗砂	7.20	可能液化	3.60	4.60	5.20	3.00	12	14.94	17.00	1.14	不液化			0.00			
							1-3	粉质粘土	9.70	不液化															
ZK15	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	1.70	可能液化	1.50	0.85	1.70	3.00	12	12.42	15.00	1.21	不液化			0.00			
							1-2	粉土	2.70	可能液化															
							1-4	粗砂	4.60	可能液化	3.80	3.65	1.90	3.00	12	15.18	29.00	1.91	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	6.00	不液化															

50 年超越概率 2%

勘探点编号	液化判别地下水位深度 dw	抗震设防烈度(度)	地震加速度(g)	设计地震分组	判别深度(m)	基础埋深 db(m)	土层编号	土层名称	层底深度(m)	初判结果	标贯点底深(m)	标贯点所代表土层的中点深度 ds(m)	标贯点所代表的土层厚度 di(m)	粘粒含量 ρc(%)	标贯锤击数基准值 No(击)	临界锤击数 Ncri(击)	实际锤击数 Ni(击)	Ni/Ncri	详判结果	权值 Wi	液化指数			液化等级	
																					标贯点液化指数(1-Ni/Ncri)*Wi*di	土层液化指数	钻孔液化指数	土层液化等级	钻孔液化等级/情况
ZK1	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	5.50	可能液化	1.80	1.20	2.40	3.00	12	12.78	9.00	0.70	液化	10.00	7.10	8.33	8.33	中等	中等
											3.30	3.95	3.10	3.00	12	14.58	14.00	0.96	液化	10.00	1.23				
ZK2	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	12	12.78	9.00	0.70	液化	10.00	5.92	5.92	5.92	中等	中等
							1-5	砾砂	18.50	可能液化															
ZK3	0.00	7	0.15	2	10.00	0.00	1-2	粉土	0.90	可能液化															
							1-5	砾砂	15.50	可能液化	6.80	7.95	14.10	3.00	10	15.65	43.00	2.75	不液化			0.00			
ZK4	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-2	粉土	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	12.10	12	6.36	12.00	1.89	不液化			0.00			
							1-5	砾砂	3.30	可能液化															
							2-1	泥岩	4.50	不液化															
ZK5	0	8	0.20	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	12.80	不液化															
ZK6	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	1.50	可能液化	1.00	0.75	1.50	3.00	12	11.82	13.00	1.10	不液化			0.00			
							1-3	粉质粘土	3.30	不液化															
							2-1	泥岩	4.20	不液化															
ZK7	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-2	粉土	1.60	可能液化															
							3-0	片麻岩	12.80	不液化															
ZK8	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-2	粉土	4.50	可能液化	3.40	2.25	4.50	12.10	12	7.32	13.00	1.78	不液化			0.00			
							1-5	砾砂	8.10	可能液化	6.80	6.30	3.60	3.00	12	18.78	38.00	2.02	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	9.40	不液化															
ZK9	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-6	填土	2.80	不液化															
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK10	0.00	7	0.15	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	3.00	10	10.65	10.00	0.94	液化	10.00	1.59	1.59	1.59	轻微	轻微
							1-5	砾砂	3.70	可能液化	3.60	3.15	1.10	3.00	10	12.45	23.00	1.85	不液化			0.00			
							3-0	片麻岩	7.10	不液化															
ZK11	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	2.00	可能液化	1.50	1.00	2.00	3.00	12	12.42	22.00	1.77	不液化			0.00			
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK12	0	8	0.20	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	14.50	不液化															
ZK13							1-5	砾砂	3.00	可能液化															
							1-2	粉土	5.00	可能液化	3.50	4.00	2.00	12.10	12	7.38	9.00	1.22	不液化			0.00			
							1-5	砾砂	6.50	可能液化															
							1-3	粉质粘土	14.50	不液化															
ZK14	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	12	12.78	19.00	1.49	不液化			0.00			
							1-4	粗砂	7.20	可能液化	3.60	4.60	5.20	3.00	12	14.94	17.00	1.14	不液化			0.00			
							1-3	粉质粘土	9.70	不液化															
ZK15	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	1.70	可能液化	1.50	0.85	1.70	3.00	12	12.42	15.00	1.21	不液化			0.00			
							1-2	粉土	2.70	可能液化															
							1-4	粗砂	4.60	可能液化	3.80	3.65	1.90	3.00	12	15.18	29.00	1.91	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	6.00	不液化															

100 年超越概率 63%

勘探点编号	液化判别地下水位深度dw(m)	抗震设防烈度(度)	地震加速度(g)	设计地震分组	判别深度(m)	基础埋深db(m)	土层编号	土层名称	层底深度(m)	初判结果	标贯点底深(m)	标贯点所代表土层的中点深度ds(m)	标贯点所代表的土层厚度di(m)	粘粒含量ρc(%)	标贯锤击数基准值No(击)	临界锤击数Ncri(击)	实际锤击数Ni(击)	Ni/Ncri	详判结果	权值Wi	液化指数			液化等级	
																					标贯点液化指数(1-Ni/Ncri)*Wi*di	土层液化指数	钻孔液化指数	土层液化等级	钻孔液化等级/情况
ZK1	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	5.50	可能液化	1.80	1.20	2.40	3.00	8	8.52	9.00	1.06	不液化			0.00			不液化
											3.30	3.95	3.10	3.00	8	9.72	14.00	1.44	不液化						
ZK2	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	8	8.52	9.00	1.06	不液化			0.00			不液化
							1-5	砾砂	18.50	可能液化															
ZK4	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-2	粉土	2.60	不液化															不液化
							1-5	砾砂	3.30	可能液化															
							2-1	泥岩	4.50	不液化															
ZK6	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	1.50	可能液化	1.00	0.75	1.50	3.00	8	7.88	13.00	1.65	不液化			0.00			不液化
							1-3	粉质粘土	3.30	不液化															
							2-1	泥岩	4.20	不液化															
ZK7	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-2	粉土	1.60	可能液化															不液化
							3-0	片麻岩	12.80	不液化															
ZK8	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-2	粉土	4.50	不液化															不液化
							1-5	砾砂	8.10	可能液化	6.80	6.30	3.60	3.00	8	12.52	38.00	3.04	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	9.40	不液化															
ZK9	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-6	填土	2.80	不液化															不液化
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK12	0	7	0.10	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	14.50	不液化															不液化
ZK13	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-5	砾砂	3.00	可能液化															不液化
							1-2	粉土	5.00	不液化															
							1-5	砾砂	6.50	可能液化															
ZK14	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	8	8.52	19.00	2.23	不液化			0.00			不液化
							1-4	粗砂	7.20	可能液化	3.60	4.60	5.20	3.00	8	9.96	17.00	1.71	不液化			0.00			
							1-3	粉质粘土	9.70	不液化															
							1-5	砾砂	13.00	可能液化															
ZK15	0	7	0.10	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	1.70	可能液化	1.50	0.85	1.70	3.00	8	8.28	15.00	1.81	不液化			0.00			不液化
							1-2	粉土	2.70	可能液化															
							1-4	粗砂	4.60	可能液化	3.80	3.65	1.90	3.00	8	10.12	29.00	2.87	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	6.00	不液化															

100 年超越概率 10%

勘探点编号	液化判别地下水位深度dw	抗震设防烈度(度)	地震加速度(g)	设计地震分组	判别深度(m)	基础埋深db(m)	土层编号	土层名称	层底深度(m)	初判结果	标贯点底深(m)	标贯点所代表土层的中点深度ds(m)	标贯点所代表的土层厚度di(m)	粘粒含量ρc(%)	标贯锤击数基准值No(击)	临界锤击数Ncri(击)	实际锤击数Ni(击)	Ni/Ncri	详判结果	权值Wi	液化指数			液化等级	
																					标贯点液化指数(1-Ni/Ncri)*Wi*di	土层液化指数	钻孔液化指数	土层液化等级	钻孔液化等级/情况
ZK1	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	5.50	可能液化	1.80	1.20	2.40	3.00	15	15.97	9.00	0.56	液化	10.00	10.48	17.67	17.67	严重	严重
											3.30	3.95	3.10	3.00	15	18.23	14.00	0.77	液化	10.00	7.19				
ZK2	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	15	15.97	9.00	0.56	液化	10.00	8.73	8.73	8.73	中等	中等
							1-5	砾砂	18.50	可能液化															
ZK3	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-2	粉土	0.90	可能液化															
							1-5	砾砂	15.50	可能液化	6.80	7.95	14.10	3.00	12	18.78	43.00	2.29	不液化			0.00			
ZK4	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-2	粉土	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	3.00	15	15.97	12.00	0.75	液化	10.00	6.47	6.47	6.47	中等	中等
							1-5	砾砂	3.30	可能液化															
							2-1	泥岩	4.50	不液化															
ZK5	0	8	0.20	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	12.80	不液化															
ZK6	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	1.50	可能液化	1.00	0.75	1.50	3.00	15	14.78	13.00	0.88	液化	10.00	1.80	1.80	1.80	轻微	轻微
							1-3	粉质粘土	3.30	不液化															
							2-1	泥岩	4.20	不液化															
ZK7	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-2	粉土	1.60	可能液化															
							3-0	片麻岩	12.80	不液化															
ZK8	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-2	粉土	4.50	可能液化	3.40	2.25	4.50	3.00	15	18.38	13.00	0.71	液化	10.00	13.16	13.16	13.16	中等	中等
							1-5	砾砂	8.10	可能液化	6.80	6.30	3.60	3.00	15	23.48	38.00	1.62	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	9.40	不液化															
ZK9	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-6	填土	2.80	不液化															
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK10	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	3.00	12	12.78	10.00	0.78	液化	10.00	5.66	5.66	5.66	轻微	轻微
							1-5	砾砂	3.70	可能液化	3.60	3.15	1.10	3.00	12	14.94	23.00	1.54	不液化			0.00			
							3-0	片麻岩	7.10	不液化															
ZK11	0	8	0.20	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	2.00	可能液化	1.50	1.00	2.00	3.00	12	12.42	22.00	1.77	不液化			0.00			
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK12	0	8	0.30	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	14.50	不液化															
ZK13	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-5	砾砂	3.00	可能液化															
							1-2	粉土	5.00	可能液化	3.50	4.00	2.00	3.00	15	18.52	9.00	0.49	液化	10.00	10.28	10.28	10.28	中等	中等
							1-5	砾砂	6.50	可能液化															
							1-3	粉质粘土	14.50	不液化															
ZK14	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	15	15.97	19.00	1.19	不液化			0.00			
							1-4	粗砂	7.20	可能液化	3.60	4.60	5.20	3.00	15	18.67	17.00	0.91	液化	10.00	4.66	4.66	4.66	轻微	轻微
							1-3	粉质粘土	9.70	不液化															
ZK15	0	8	0.30	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	1.70	可能液化	1.50	0.85	1.70	3.00	15	15.53	15.00	0.97	液化	10.00	0.57	0.57	0.57	轻微	轻微
							1-2	粉土	2.70	可能液化															
							1-4	粗砂	4.60	可能液化	3.80	3.65	1.90	3.00	15	18.98	29.00	1.53	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	6.00	不液化															

100 年超越概率 2%

勘探点编号	液化判别地下水位深度dw	抗震设防烈度(度)	地震加速度(g)	设计地震分组	判别深度(m)	基础埋深db(m)	土层编号	土层名称	层底深度(m)	初判结果	标贯点底深(m)	标贯点所代表土层的中点深度ds(m)	标贯点所代表的土层厚度di(m)	粘粒含量ρc(%)	标贯锤击数基准值No(击)	临界锤击数Ncri(击)	实际锤击数Ni(击)	Ni/Ncri	详判结果	权值Wi	液化指数			液化等级	
																					标贯点液化指数(1-Ni/Ncri)*Wi*di	土层液化指数	钻孔液化指数	土层液化等级	钻孔液化等级/情况
ZK1	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	5.50	可能液化	1.80	1.20	2.40	3.00	18	19.17	9.00	0.47	液化	10.00	12.73	23.89	23.89	严重	严重
											3.30	3.95	3.10	3.00	18	21.87	14.00	0.64	液化	10.00	11.16				
ZK2	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	18	19.17	9.00	0.47	液化	10.00	10.61	10.61	10.61	中等	中等
							1-5	砾砂	18.50	可能液化															
ZK3	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-2	粉土	0.90	可能液化															
							1-5	砾砂	15.50	可能液化	6.80	7.95	14.10	3.00	18	28.17	43.00	1.53	不液化			0.00			
ZK4	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-2	粉土	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	3.00	18	19.17	12.00	0.63	液化	10.00	9.72	9.72	9.72	中等	中等
							1-5	砾砂	3.30	可能液化															
							2-1	泥岩	4.50	不液化															
ZK5	0	9	0.40	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	12.80	不液化															
ZK6	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	1.50	可能液化	1.00	0.75	1.50	3.00	18	17.73	13.00	0.73	液化	10.00	4.00	4.00	4.00	轻微	轻微
							1-3	粉质粘土	3.30	不液化															
							2-1	泥岩	4.20	不液化															
ZK7	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-2	粉土	1.60	可能液化															
							3-0	片麻岩	12.80	不液化															
ZK8	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-2	粉土	4.50	可能液化	3.40	2.25	4.50	3.00	18	22.05	13.00	0.59	液化	10.00	18.47	18.47	18.47	严重	严重
							1-5	砾砂	8.10	可能液化	6.80	6.30	3.60	3.00	18	28.17	38.00	1.35	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	9.40	不液化															
ZK9	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-6	填土	2.80	不液化															
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK10	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.60	可能液化	1.80	1.30	2.60	3.00	18	19.17	10.00	0.52	液化	10.00	12.44	12.44	12.44	中等	中等
							1-5	砾砂	3.70	可能液化	3.60	3.15	1.10	3.00	18	22.41	23.00	1.03	不液化			0.00			
							3-0	片麻岩	7.10	不液化															
ZK11	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-4	粗砂	2.00	可能液化	1.50	1.00	2.00	3.00	18	18.63	22.00	1.18	不液化			0.00			
							2-1	泥岩	6.50	不液化															
ZK12	0	9	0.40	2	10.00	0.00	2-3	砾岩	14.50	不液化															
ZK13	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-5	砾砂	3.00	可能液化															
							1-2	粉土	5.00	可能液化	3.50	4.00	2.00	3.00	18	22.23	9.00	0.40	液化	10.00	11.90	11.90	11.90	中等	中等
							1-5	砾砂	6.50	可能液化															
							1-3	粉质粘土	14.50	不液化															
ZK14	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	2.00	可能液化	1.80	1.00	2.00	3.00	18	19.17	19.00	0.99	液化	10.00	0.18	0.18	12.73	轻微	中等
							1-4	粗砂	7.20	可能液化	3.60	4.60	5.20	3.00	18	22.41	17.00	0.76	液化	10.00	12.55	12.55		中等	
							1-3	粉质粘土	9.70	不液化															
ZK15	0	9	0.40	2	10.00	0.00	1-1	粉砂	1.70	可能液化	1.50	0.85	1.70	3.00	18	18.63	15.00	0.81	液化	10.00	3.31	3.31	3.31	轻微	轻微
							1-2	粉土	2.70	可能液化															
							1-4	粗砂	4.60	可能液化	3.80	3.65	1.90	3.00	18	22.77	29.00	1.27	不液化			0.00			
							2-2	砂岩	6.00	不液化															

勘察规程》（JGJ 83-2011）中6.3.4条进行软土震陷判别与软土震陷等级评价。

根据《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）6.3.4条规定，并结合现场勘测，目标区所有控制性钻孔场地土等效剪切波速均大于140m/s ，故目标区场地可不考虑软土震陷的影响。

8.3 场地滑坡与崩塌评价

参考《地质灾害危险性评估规范》（GB/T 40112-2021）关于崩塌和滑坡的发育程度分级标准（表8.3.1和表8.3.2），在场地调查与数据分析的基础上，对目标区地震滑坡与崩塌的地震地质灾害进行评价。

表 8.3.1 崩塌（危岩）发育程度分级表

发育程度	发育特征
强	崩塌（危岩）处于欠稳定-不稳定状态，评估区或周边同类崩塌（危岩）分布多，大多已发生。崩塌（危岩）体上方发育多条平行沟谷的张性裂隙，主控裂隙面上宽下窄，且下部向外倾，裂隙内近期有碎石土流出或掉块，底部岩土体有压碎或压裂状；崩塌（危岩）体上方平行沟谷的裂隙明显。
中等	崩塌（危岩）处于欠稳定状态，评估区或周边同类崩塌（危岩）分布较少，有个别发生。危岩体主控破裂面直立呈上宽下窄，上部充填杂土生长灌木杂草，裂面内近期有掉块现象；崩塌（危岩）上方有细小裂隙分布。
弱	崩塌（危岩）处于稳定状态，评估区或周边同类崩塌（危岩）分布但均无发生，危岩体破裂面直立，上部充填杂土，灌木年久茂盛，多年来裂面内无掉块现象；崩塌（危岩）上方无新裂隙分布。

表 8.3.2 滑坡的稳定性（发育程度）分级表

判据	稳定性（发育程度）分级		
	稳定（弱发育）	欠稳定（中等发育）	不稳定（强发育）
发育程度	①滑坡前缘斜坡较缓，临空高差小，无地表径流流经和继续变形的迹象，岩土体干燥；②滑体平均坡度小于 25°，坡面上无裂缝发展，其上建筑物、植被未有新的变形迹象；③后缘壁上无擦痕和明显位移迹象，原有裂缝已被充填。	①滑坡前缘临空，有间断季节性地表径流流经，岩土体较湿，斜坡坡度为 30°-45°；②滑体平均坡度为 25°-40°，坡面上局部有小的裂缝，其上建筑物、植被无新的变形迹象；③后缘壁上有不明显变形迹象；后缘有断续的小裂缝发育。	①滑坡前缘临空，坡度较陡且常处于地表径流的冲刷之下，有发展趋势并有季节性泉水出露，岩土潮湿、饱水；②滑体平均坡度大于 40°，坡面上有多条新发展的裂缝，其上建筑物、植被有新的变形迹象；③后缘壁上可见擦痕或有明显位移迹象，后缘有裂缝发育。

目标区地貌总体表现为北高南低的缓坡状，局部稍有起伏，但起伏不大（图8.3-1）。相对南侧的山间盆地，处于侵蚀堆积环境。距山体较远，因此认为在目标区及边缘地带不存在地震滑坡与崩塌的灾害。



a 地块一地形地貌（镜向 NE）



b 地块二地形地貌（镜向 S）



c 地块三地形地貌（镜向 NW）



d 地块四地形地貌（镜向 NE）

图 8.3-1 目标区各地块地形地貌图

8.4 泥石流灾害评价

泥石流是山区特有的一种突发性地质灾害现象，常发生于山区小流域，是一种饱含大量泥沙石块和巨砾的固液两相流体，呈黏性层流或稀性紊流等运动状态，是

地质、地貌、水文、气象、植被等自然因素和人为因素综合作用的结果。自然活动中，地震活动、火山喷发都有可能成为泥石流发生的触发因素，而引发破坏性极强的自然灾害。

泥石流形成条件概况起来主要表现为三个方面：①地表大量的松散固体物质；②充足的水源条件；③特定的地貌条件，泥石流一般发生在山地沟谷区，具有较大的坡降。

目标区周边 3km 范围内地貌简单，地势相对平坦，存在地震诱发崩塌、滑坡、泥石流等边坡地质灾害的可能性较小。

8.5 活动断层断错灾害评价

地震活动断层是工程建设和地震安全性评价中最为重视的问题。地震活动断层灾害是指地震时，活动断层发生位移、升降等现象直接破坏地表，使位于断层带上及其附近的建筑物瞬间遭遇严重破坏，地震活动断层的破坏是现有抗御条件下难于抗御的地震地质灾害。

本次项目综合利用地质考察、浅层地震勘探和探槽等相结合的方法确定了目标区范围内色尔腾山山前断裂的精确位置。除 f1 和 f2 断裂为全新世活动断裂外，初判在近场区内另外的三条断裂段（f3、f4 和 f5）均为晚更新世晚期-全新世早期活动。具备发生地表破裂性地震的能力，但这些段落的活动性判断只是根据前人研究的探槽剖面及本区地层特征进行的对比，还是无法准确的确认断错地层时代，因此，为保守起见，认为该断裂在近场区内的 5 个段落最新活动时代均为全新世。因此依据《区域性地震安全性评价大纲（试行）》有关规定，需要确定活动断层地表变形带和未来地震的破裂范围。

地震勘探和槽探等研究显示色尔腾山山前断裂为一条走向近东西、倾向南的正断层，第四纪时期有明显活动。保守起见，判断该断裂各段落均在全新世有过活动，同时认为该断裂最大潜在地震震级为 7.0 级。而 7 级地震一般会产生同震地表破裂，因此推断色尔腾山山前断裂应该具备发生地表破裂性地震的可能性。

参考国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）划定一定范围为活动断层管制区。由于近年大量地震现场震害调查、岩石力学实验和地震破裂机制研究发现，活动断层同震地表破裂带仅数米至十数米，表现出变形或破裂局部化特

征（徐锡伟等，2016）。因此综合大量震例调查统计（Xu et al.，2006，2009，2013，2015；徐锡伟等，2008；Yu et al.，2010；Zhou et al.，2010；孙鑫喆等，2010），显示全新世活动断层地表破裂范围局限在活动断层迹线两侧有限范围内，因此根据大量统计结果规律（徐锡伟等，2017），前人总结了大量经验划定断层两侧 200m 的距离为活动断层管制区，因此建议划定色尔腾山山前断裂两侧各 200m 范围为活动断层管制区（图 8.5-1），区域内开发建设时采取相应措施。

8.6 综合评价

根据砂土液化判别计算，目标区内各控制性钻孔50年超越概率10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%五个概率水平下的砂土液化判别结果统计如下表：

超越概率	0-30 米范围内液化地层	发生液化的钻孔统计
50 年 10%	1-1 层粉砂	ZK1、ZK2、ZK10
50 年 2%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15
100 年 63%	无	无
100 年 10%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15
100 年 2%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15

目标区内ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15钻孔场地存在液化土层，建议根据建筑工程的抗震设防类别、地基的液化等级，结合具体情况采取相应的抗液化措施。

根据区域地质构造资料，目标区属于较稳定的地质构造单元，目标区及其附近没有岩溶、采空区等不良地质作用；目标区内不存在软土震陷；目标区及边缘地带不存在地震滑坡与崩塌的灾害；目标区周边 3km 范围内地貌相对简单，地势平坦，不存在地震诱发崩塌、滑坡、泥石流等边坡地质灾害的可能。

根据区域地质资料、地震地质调查及物探揭露，目标区内发现全新世活动的色尔腾山山前断裂。因此参考国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）等规范，建议划定目标区内色尔腾山山前断裂两侧各200m范围为活动断层管制区。

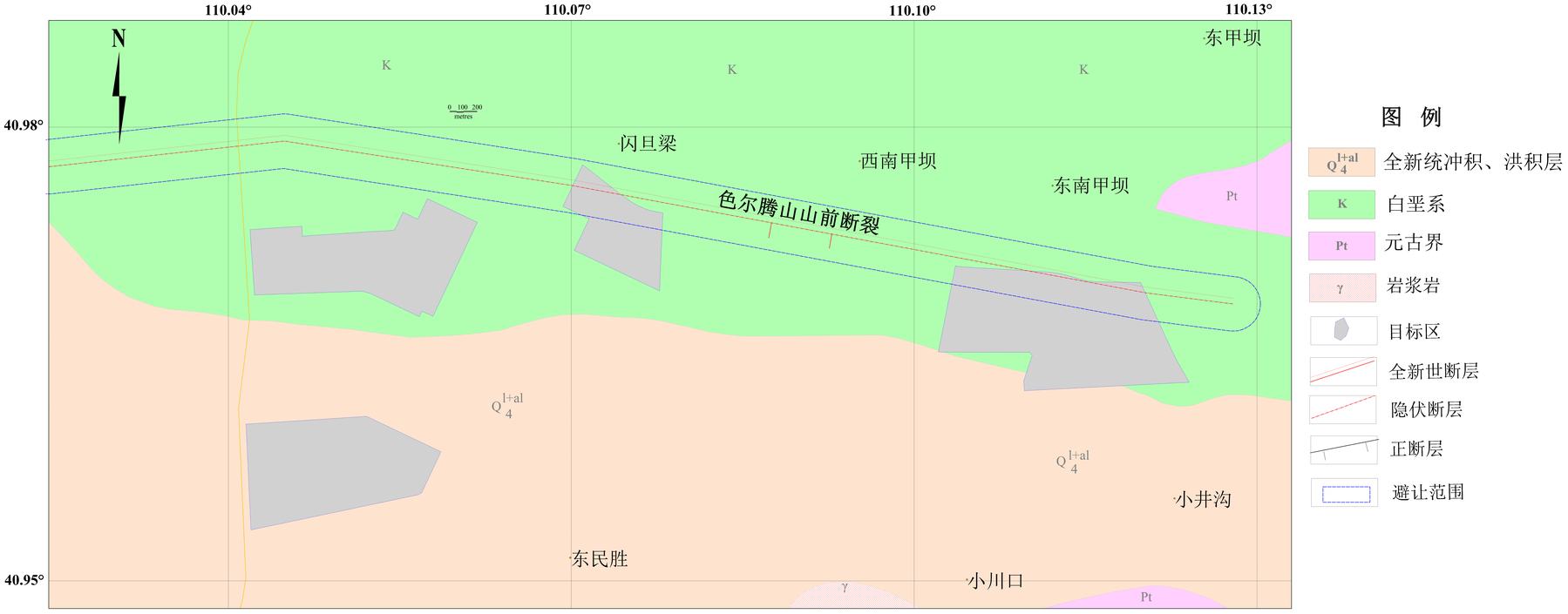


图8.5-1 目标区内活动断层避让范围图

第九章 区域性地震安全性评价技术服务系统

9.1 区评技术服务系统架构设计

“内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价技术服务系统”整合目标区内各类区域性地震安全性评价数据库，实现基于电子地图的各类数据查询和管理功能，方便用户基于已有安全性评价成果进行相关设定场点数据查询与地震动参数的计算，最终生成相关地震动参数查询报告。

9.1.1设计思路

该系统是一个数据查询及业务计算系统，要想实现业务高效的处理，系统的设计是至关重要的问题，无论从硬件还是软件，都需要做好总体设计，我们在分析系统建设的需求基础之上，采用以下设计原则对系统进行设计工作：

首先，坚持以业务为主线、数据为基础、技术为手段的设计总纲，充分分析和理解业务，设计高效的数据存储结构，采用主流的技术来构建系统。

其次，严格按照相关行业标准和规范进行设计，主要是技术路线，技术路线的选择，将直接关系到系统的开发效率，以及系统的安全、性能和扩展升级的灵活性。

第三，充分考虑用户的使用感受，尽可能符合用户使用习惯，简化用户操作，提高用户的使用效率。

9.1.2设计原则

系统不光只是提供网站人员的浏览，还同时需要提供给其它相关的部门及相关的项目进行对接，所以必须具备良好的开放性、安全性、稳定性、可用性、可伸缩性和可扩展性。由此系统建设的按照以下设计原则进行设计：

“统一规划、逐步实施”的含义是指系统的建设在统一规划的指引下进行，先打基础，建设好底层框架和数据库，然后逐步扩大系统的业务范围，优化用户界面。

开放性。系统的开放性涉及到网络、中间件和数据库、应用软件等，按照开

放性、标准化原则来规划设计方案，使系统具有一定的适应性和可移植性。

安全性。信息安全很重要，为了达到系统的安全要求，本系统采用操作权限控制保证系统运行和数据访问的安全。

实用性。系统的建设是为了更好地提供业务服务，而不是一个独立的实体，因此，必须具有实用性。良好的用户界面，简单的业务操作，是吸引用户的重要手段，也是提高业务处理效率的基本要求，本系统将重点对系统易用性进行优化，力争做到简单实用。

9.1.3结构设计

基于B/S构架可以很方便各个园区的数据进行整合并方便后台的数据计算与处理，通过权限系统也能很好控制不同用户处理各自的数据，并方便管理员以及上级部门在网页地图上查看整合数据。

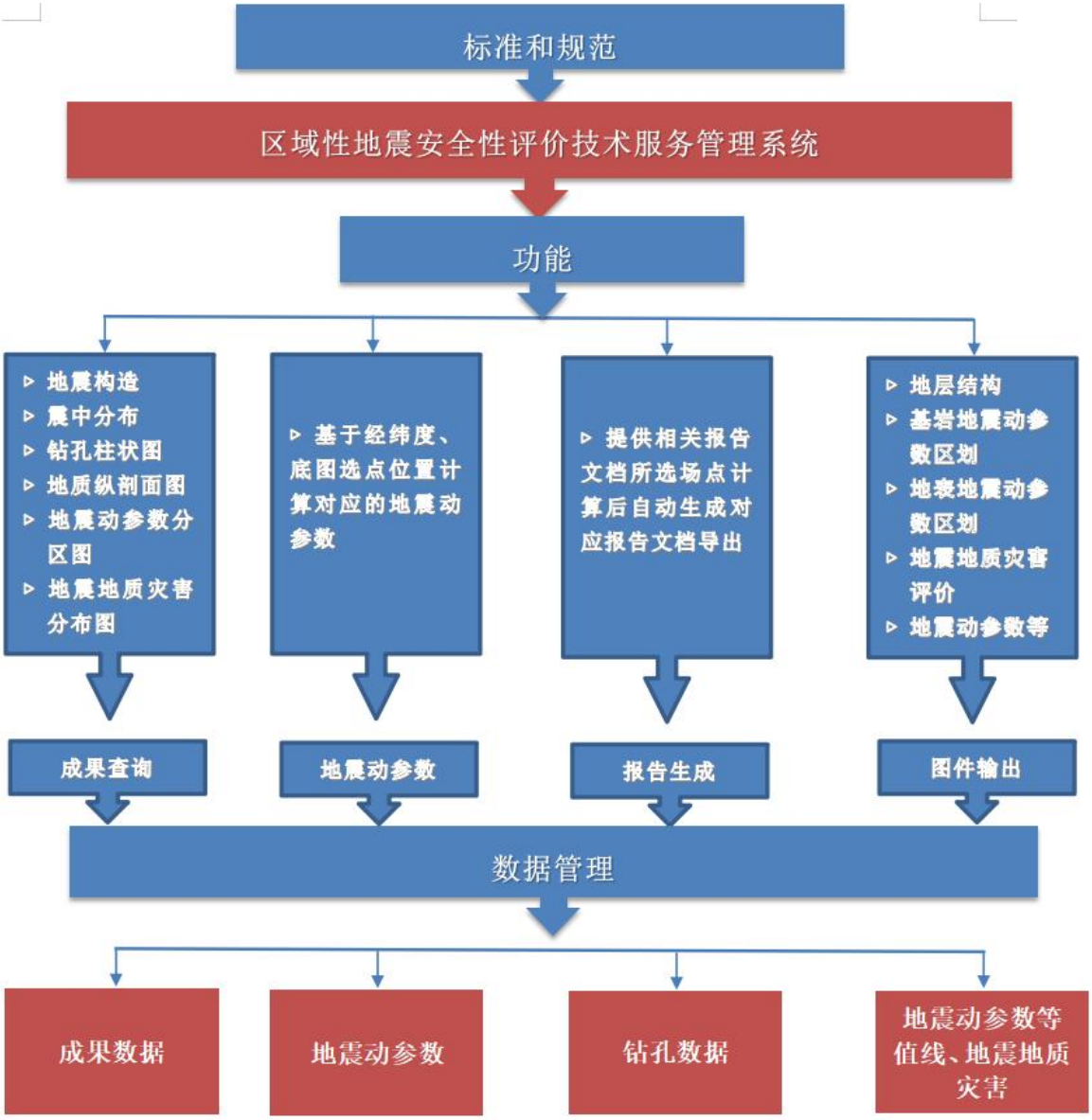


图 9.1-1 区域性地震安全性评价总体架构

9.2 主要功能说明

通过人机交互平台，“内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价技术服务系统”具有如下功能:

（1）查询《区域性地震安全性评价报告》主要成果，包括地震构造、震中分布、钻孔柱状图、钻孔波速图、地质纵剖面图、地震动参数分区图、地震地质灾害分布图等主要图件以及主要结论等。

（2）输出地层结构不同参数的数据表和图件（控制孔）。

（3）输出不同概率水准基岩地震动参数结果表和图件（控制孔）。

（4）输出不同概率水准地表地震动参数区划结果表和等值线形式的区划图。

（5）输出不同概率水准地震地质灾害初步评价结果数据表和图件。

（6）输出设定场地地震安全性评价成果简要报告。

（7）对设定场点地震动参数的确定，输入该点位置（场点经纬度或通过地理底图定点）、工程类型和场地类别后，具备能够给出基于区域性地震安全性评价结果、符合场地条件的地震动参数的功能，包括峰值加速度、加速度反应谱和地震动加速度时程。设定场点地震动参数的确定方法如下：

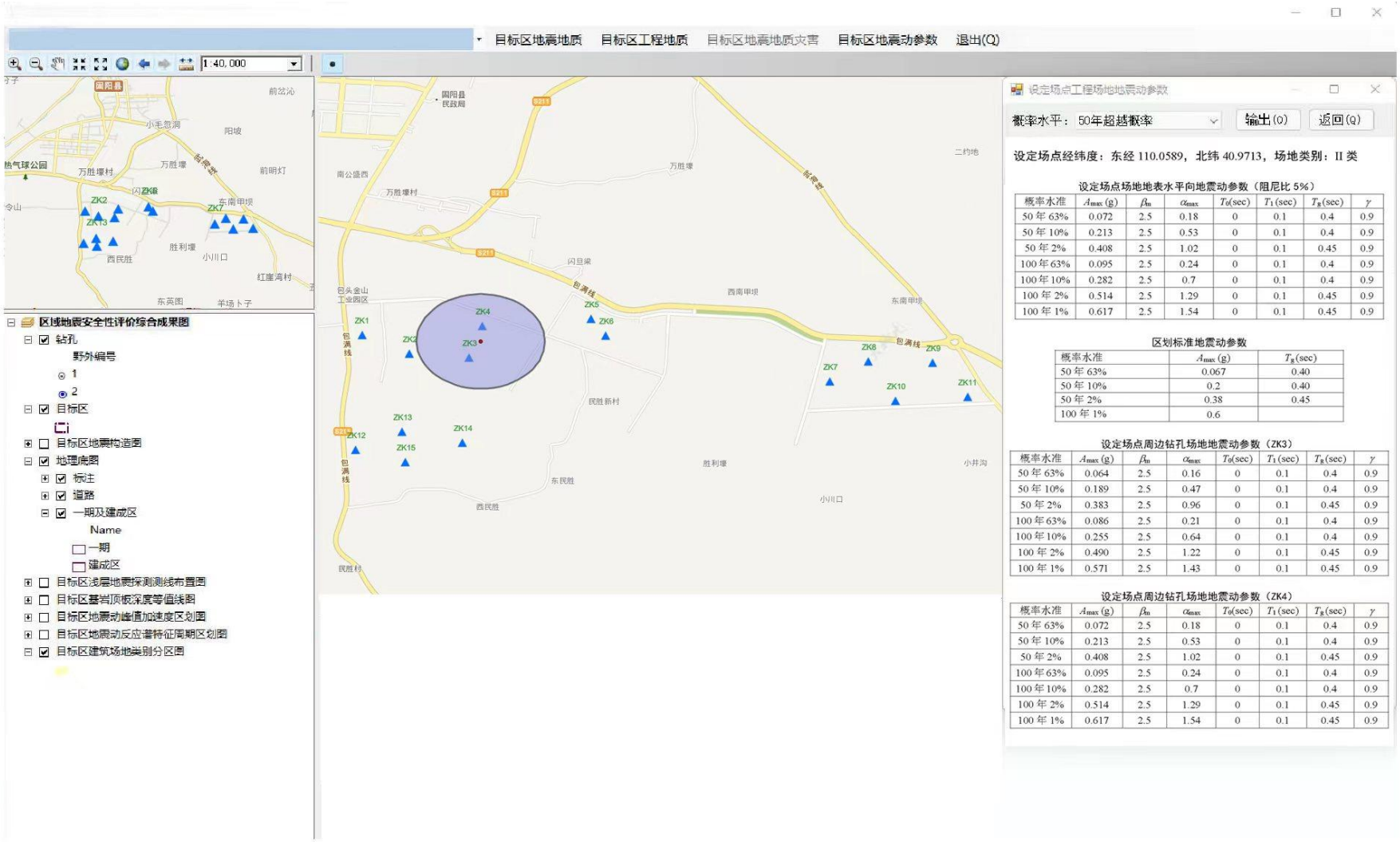
根据《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函〔2019〕21 号）等相关规范的要求，设定场点目标区地震动参数，应根据工程结构特性、场地工程地质条件和目标区地表地震动参数数据库、地震动时程数据库综合确定。

首先，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%的地震动参数值，作为相应超越概率水准的区划标准地震动参数。

其次，依据工程结构所需的概率水准，选择距离场点 700 米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 米时，取该控制点地震动参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数；场点距离控制点大于 200 米时，选择该场点周围 700 米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高值作为该场点的场地地震动参数。

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，作为该场点的场地地震动时程。

设定场点地震动参数确定环节见图 9.2-1。



概率水准	A_{max} (g)	β_m	α_{max}	T_0(sec)	T_1 (sec)	T_g(sec)	γ
50 年 63%	0.072	2.5	0.18	0	0.1	0.4	0.9
50 年 10%	0.213	2.5	0.53	0	0.1	0.4	0.9
50 年 2%	0.408	2.5	1.02	0	0.1	0.45	0.9
100 年 63%	0.095	2.5	0.24	0	0.1	0.4	0.9
100 年 10%	0.282	2.5	0.7	0	0.1	0.4	0.9
100 年 2%	0.514	2.5	1.29	0	0.1	0.45	0.9
100 年 1%	0.617	2.5	1.54	0	0.1	0.45	0.9

概率水准	A_{max} (g)	T_g(sec)
50 年 63%	0.067	0.40
50 年 10%	0.2	0.40
50 年 2%	0.38	0.45
100 年 1%	0.6	

概率水准	A_{max} (g)	β_m	α_{max}	T_0(sec)	T_1 (sec)	T_g(sec)	γ
50 年 63%	0.064	2.5	0.16	0	0.1	0.4	0.9
50 年 10%	0.189	2.5	0.47	0	0.1	0.4	0.9
50 年 2%	0.383	2.5	0.96	0	0.1	0.45	0.9
100 年 63%	0.086	2.5	0.21	0	0.1	0.4	0.9
100 年 10%	0.255	2.5	0.64	0	0.1	0.4	0.9
100 年 2%	0.490	2.5	1.22	0	0.1	0.45	0.9
100 年 1%	0.571	2.5	1.43	0	0.1	0.45	0.9

概率水准	A_{max} (g)	β_m	α_{max}	T_0(sec)	T_1 (sec)	T_g(sec)	γ
50 年 63%	0.072	2.5	0.18	0	0.1	0.4	0.9
50 年 10%	0.213	2.5	0.53	0	0.1	0.4	0.9
50 年 2%	0.408	2.5	1.02	0	0.1	0.45	0.9
100 年 63%	0.095	2.5	0.24	0	0.1	0.4	0.9
100 年 10%	0.282	2.5	0.7	0	0.1	0.4	0.9
100 年 2%	0.514	2.5	1.29	0	0.1	0.45	0.9
100 年 1%	0.617	2.5	1.54	0	0.1	0.45	0.9

图 9.2-1 区评技术服务系统示意图（依据设定场点周边 700 米多个钻孔确定场地地震动参数）

第十章　结论

综合上述各章研究结果，对内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价结论如下：

10.1　地震活动环境评价

1. 截止 2022 年 3 月，区域范围内共记录到 M≥4.7 级地震 9 次，其中 4.7～4.9 级地震 3 次，5.0～5.9 级地震 2 次，6.0～6.9 级地震 3 次，7.0～7.9 级地震 1 次。最大地震是 849 年内蒙古包头 7 级地震，最早地震也是 849 年内蒙古包头 7 级地震。区域强震主要沿河套断陷带分布。

2. 自 1970 年有区域性地震台网记录以来，区域内共记录到 2.0≤M≤4.6 级地震 1733 次，其中 4.0～4.6 级 21 次，3.0～3.9 级地震 236 次，2.0～2.9 级地震 1476 次。区域小震较活跃，主要分布 3 个地区：呼和浩特和和林格尔附近、包头和达拉特旗附近、五原附近地区。

3. 区域涉及到银川-河套地震带、鄂尔多斯地震统计区、东北地震区及汾渭地震带。

4. 中强地震的深度在 18km 左右；小震震源深度全都分布于 40km 以内，其中绝大多数深度分布在 6~15km 以内，占总数的 74%。总体地震发生在中、上地壳内，属于浅源地震。

5. 共有 2 次地震对目标区影响烈度超过VI度，分别是 849 年内蒙古包头 7 级地震和 1996 年包头西 6.4 级地震，影响烈度分别为 VIII 度和 VI 度。

6. 区域所处区域构造应力场的最大主压应力轴为北东，最大主张应力轴为北西-南东向。地震的主破裂方向多为北北东，破裂方式为走滑兼斜滑或倾滑。

7. 近场区记载到破坏性（M≥4.7）地震 1 次，即 849 年 10 月 24 日内蒙古包头 7 级地震，位于目标区西南侧 26km 处。从 1970 年截止至 2022 年 3 月，近场区共记录 2.0~4.6 级地震 48 次，其中 4.0-4.6 级地震 0 次，M3.0~3.9 级地震 5 次，M2.0~2.9 级地震 43 次，小震空间分布相对集中于目标区西侧和南侧。

10.2 区域地震构造背景

1. 区域主要位于华北准地台中北部，仅北部部分区域进入内蒙-大兴安岭褶皱系。华北准地台是我国最古老的一个陆块，其构造演化经历了结晶基底形成、盖层发育和伸展裂陷改造三个基本阶段。其在区域内可进一步划分为阿拉善台隆、鄂尔多斯太缘褶带、鄂尔多斯台坳、内蒙地轴和山西断隆 5 个二级构造单元。目标区位于内蒙地轴内。

2. 按新构造运动活动特征，区域可划分为阴山隆起区、河套断陷区和鄂尔多斯隆起区 3 个新构造单元，其中阴山隆起和鄂尔多斯隆起是相对稳定的构造单元，河套断陷带是构造活动相对强烈的构造单元。历史上的破坏性地震和现代中小地震主要发生在河套断陷带内，未来地震也将主要发生在河套断陷带内。

3. 控制河套断陷带北部的3条区域性断裂，即：色尔腾山山前断裂、乌拉山山前断裂和大青山山前断裂，是区域内大地震的主要发震构造。其中，色尔腾山山前断裂和大青山山前断裂是区域内规模最大、切割最深的2条断裂，重力和航磁反演其切割深度超过20km，第四纪晚期以来表现出强烈的活动性，是区域内最主要的2个发震构造，综合判断其具有发生7.0级以上地震的构造条件。乌拉山山前断裂第四纪晚期以来虽然也表现出强烈的活动性，但断裂的规模、切割深度不如色尔腾山山前断裂和大青山山前断裂大和深，综合判断其具有发生7.0级地震的构造条件。

10.3 近场区地震构造环境与目标区活动断层勘查

1. 近场区内主要发育有色尔腾山山前断裂、乌拉山北缘断裂和乌拉山山山前断裂，其中乌拉山山前断裂为控制呼包断陷盆地沉积的主边界断裂，断裂两侧差异新构造运动十分明显。

2. 近场区内色尔腾山山前断裂和乌拉山山山前断裂为全新世活动断裂，沿断裂带曾发生过7级以上地震或发现有古地震遗迹，因此，认为这2条断裂具有发生7级以上地震的构造条件。乌拉山北缘断裂为晚更新世活动断裂，具有发生6.5级地震的构造条件。

3. 通过地质资料及前人工作成果收集等，并结合对目标区范围内开展的 6 条控制性浅层人工地震勘探测线及槽探等结果显示，目标区范围内存在活动断层色尔腾

山山前断裂。综合浅层地震勘探和槽探结果显示，目标区内的色尔腾山山前断裂判断为全新世活动断裂，同时认为除色尔腾山山前断裂外在目标区内无其他隐伏断裂存在。

10.4 地震危险性分析

利用概率分析方法，对目标区进行了地震危险性分析计算，得到了目标区15个控制点50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%、1%共7个概率水准的基岩地震动水平向峰值加速度和加速度反应谱。主要控制点基岩地震动峰值加速度如表10.4-1所示。将50年超越概率10%的峰值加速度转换至一般场地后，目标区位于基本地震烈度VIII度（0.2g）的分区。

表 10.4-1 所有钻孔的基岩地震动峰值加速度（gal）

钻孔编号	50 年超越概率 63%	50 年超越概率 10%	50 年超越概率 2%	100 年超越概率 63%	100 年超越概率 10%	100 年超越概率 2%	100 年超越概率 1%
1	42.9	174.0	342.6	67.9	235.7	422.4	513.0
2	42.9	174.0	342.4	67.9	235.6	422.2	512.8
3	42.8	173.4	341.4	67.8	234.8	421.0	511.4
4	42.6	172.4	339.9	67.3	233.4	419.1	509.3
5	42.2	170.8	337.3	66.8	231.1	415.8	505.5
6	42.3	171.2	337.9	67.0	231.7	416.5	506.3
7	42.0	169.5	334.5	66.5	229.1	412.2	501.3
8	41.8	168.6	333.0	66.2	227.8	410.4	499.2
9	41.7	167.9	331.8	66.0	226.8	408.8	497.4
10	42.0	169.2	333.8	66.5	228.5	411.3	500.2
11	41.7	168.1	331.7	66.1	226.9	408.7	497.1
12	43.6	177.1	350.7	69.2	239.9	432.8	521.1
13	43.4	176.1	348.9	68.8	238.5	430.7	518.6
14	43.3	175.6	347.9	68.7	237.8	429.6	517.3
15	43.6	176.8	350.0	69.1	239.4	432.0	520.2

10.5 场地地震工程地质条件和地震地质灾害评价

1. 目标区场地位于内蒙古高原的大青山段，属沙地丘陵地貌。场地现状为已建工厂及未建区。目标区总体地势有一定起伏，局部较平坦或经人工平整，地形整体呈现北高南低、东高西低的趋势。勘察期间场地未见地下水。场地地层结构较为复杂，分布基本稳定、连续；

2. 目标区内15个控制孔场地类别均为II类；

3. 根据砂土液化判别计算，目标区内各控制性钻孔50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%六个概率水平下的砂土液化判别结果统计如下表：

超越概率	0-30 米范围内液化地层	发生液化的钻孔统计
50 年 10%	1-1 层粉砂	ZK1、ZK2、ZK10
50 年 2%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15
100 年 63%	无	无
100 年 10%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15
100 年 2%	1-1 粉砂、1-2 粉土、1-4 粗砂	ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15

目标区内ZK1、ZK2、ZK4、ZK6、ZK8、ZK10、ZK13、ZK14、ZK15钻孔场地存在液化土层，建议根据建筑工程的抗震设防类别、地基的液化等级，结合具体情况采取相应的抗液化措施。

根据区域地质构造资料，目标区属于较稳定的地质构造单元，目标区及其附近没有岩溶、采空区等不良地质作用；目标区内不存在软土震陷；目标区及边缘地带不存在地震滑坡与崩塌的灾害；目标区周边 3km 范围内地貌相对简单，地势平坦，不存在地震诱发崩塌、滑坡、泥石流等边坡地质灾害的可能。

根据区域地质资料、地震地质调查及物探揭露，目标区内发现全新世活动的色尔腾山山前断裂。因此参考国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）等规范，建议划定目标区内色尔腾山山前断裂两侧各200m范围为活动断层管制区。

10.6 场地地震动参数

经地震危险性分析和土层反应计算，得出目标区各控制点50年超越概率63%、10%、2%和100年63%、10%、2%、1%的地面水平向规准化场地地震动参数如表10.6-1至表10.6-15所示（5%阻尼比）。

目标区不同超越概率水平的场地地震动峰值加速度等值线图如图7.4-1至7.4-7，特征周期的分区图如图7.4-8至7.4-14（详见第七章7.4）。

表 10.6-1 钻孔-1 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	78.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	231.0	2.5	0.59	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	420.0	2.5	1.07	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	99.0	2.5	0.25	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	295.0	2.5	0.75	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	548.0	2.5	1.40	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	683.0	2.5	1.74	0.10	0.45	0.90

表 10.6-2 钻孔-2 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	79.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	234.0	2.5	0.60	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	460.0	2.5	1.17	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	103.0	2.5	0.26	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	305.0	2.5	0.78	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	585.0	2.5	1.49	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	728.0	2.5	1.86	0.10	0.45	0.90

表 10.6-3 钻孔-3 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	63.0	2.5	0.16	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	185.0	2.5	0.47	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	375.0	2.5	0.96	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	84.0	2.5	0.21	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	250.0	2.5	0.64	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	480.0	2.5	1.22	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	560.0	2.5	1.43	0.10	0.45	0.90

表 10.6-4 钻孔-4 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	71.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	209.0	2.5	0.53	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	400.0	2.5	1.02	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	93.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	276.0	2.5	0.70	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	504.0	2.5	1.29	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	605.0	2.5	1.54	0.10	0.45	0.90

表 10.6-5 钻孔-5 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	68.0	2.5	0.17	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	200.0	2.5	0.51	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	360.0	2.5	0.92	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	88.0	2.5	0.22	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	260.0	2.5	0.66	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	465.0	2.5	1.19	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	565.0	2.5	1.44	0.10	0.45	0.90

表 10.6-6 钻孔-6 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	74.0	2.5	0.19	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	219.0	2.5	0.56	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	411.0	2.5	1.05	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	514.0	2.5	1.31	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	630.0	2.5	1.61	0.10	0.45	0.90

表 10.6-7 钻孔-7 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	79.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	235.0	2.5	0.60	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	476.0	2.5	1.21	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	99.0	2.5	0.25	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	295.0	2.5	0.75	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	610.0	2.5	1.56	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	744.0	2.5	1.90	0.10	0.45	0.90

表 10.6-8 钻孔-8 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	79.0	2.5	0.20	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	235.0	2.5	0.60	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	486.0	2.5	1.24	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	104.0	2.5	0.27	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	310.0	2.5	0.79	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	647.0	2.5	1.65	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	811.0	2.5	2.07	0.10	0.45	0.90

表 10.6-9 钻孔-9 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	72.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	212.0	2.5	0.54	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	424.0	2.5	1.08	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	533.0	2.5	1.36	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	754.0	2.5	1.92	0.10	0.45	0.90

表 10.6-10 钻孔-10 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	63.0	2.5	0.16	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	185.0	2.5	0.47	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	360.0	2.5	0.92	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	84.0	2.5	0.21	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	250.0	2.5	0.64	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	450.0	2.5	1.15	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	535.0	2.5	1.36	0.10	0.45	0.90

表 10.6-11 钻孔-11 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	64.0	2.5	0.16	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	190.0	2.5	0.48	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	370.0	2.5	0.94	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	88.0	2.5	0.22	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	260.0	2.5	0.66	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	455.0	2.5	1.16	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	545.0	2.5	1.39	0.10	0.45	0.90

表 10.6-12 钻孔-12 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	71.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	210.0	2.5	0.54	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	395.0	2.5	1.01	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	505.0	2.5	1.29	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	605.0	2.5	1.54	0.10	0.45	0.90

表 10.6-13 钻孔-13 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	76.0	2.5	0.19	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	225.0	2.5	0.57	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	444.0	2.5	1.13	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	99.0	2.5	0.25	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	295.0	2.5	0.75	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	569.0	2.5	1.45	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	678.0	2.5	1.73	0.10	0.45	0.90

表 10.6-14 钻孔-14 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	71.0	2.5	0.18	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	210.0	2.5	0.54	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	466.0	2.5	1.19	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	94.0	2.5	0.24	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	280.0	2.5	0.71	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	594.0	2.5	1.52	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	741.0	2.5	1.89	0.10	0.45	0.90

表 10.6-15 钻孔-15 的规准化场地地震动反应谱谱参数

超越概率	Amax(gal)	βmax	αmax	T1(sec)	T2(sec)	γ
50 年 63%	84.0	2.5	0.21	0.10	0.40	0.90
50 年 10%	250.0	2.5	0.64	0.10	0.40	0.90
50 年 2%	484.0	2.5	1.23	0.10	0.45	0.90
100 年 63%	109.0	2.5	0.28	0.10	0.40	0.90
100 年 10%	325.0	2.5	0.83	0.10	0.40	0.90
100 年 2%	637.0	2.5	1.63	0.10	0.45	0.90
100 年 1%	808.0	2.5	2.06	0.10	0.45	0.90

10.7 建议

本项目所得研究结果仅适用于内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园目标区范围内重大工程（特殊重大工程除外）的抗震设计，在选取参数进行抗震设计时应根据以下步骤选取：

1. 根据建设工程所处的场点位置，选择距离场点700m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200m时，取该控制点地震动参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数；场点距离控制点

大于200m时，选择考虑该场点周围700m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高值作为该场点的场地地震动参数。

2. 根据建筑场地类别选取评价结果。

3. 根据建设工程设计中不同的抗震设防需要选取不同超越概率水准的地震动参数。对于建筑工程，50 年超越概率 63%对应于多遇地震，其参数用于结构弹性承载力验算，确保“小震不坏”；50 年超越概率 2%对应于罕遇地震，其参数用于结构弹塑性变形验算，确保“大震不倒”。

4. 根据建筑结构材料确定对应的阻尼比，若阻尼比为 5%可直接采用本报告结果。若工程结构抗震设计中需要其它阻尼比的地震动加速度反应谱，可依据相关规范中所给出的阻尼比调整规定，利用本报告给出的 5%阻尼比加速度反应谱经计算得到。

5. 竖向地震动参数取为对应概率水准下的水平向地震动参数。

6. 对于需要开展时程分析的工程结构，可采用本项目提供的场地地震动时程作为结构动力反应分析的输入。

7. 本报告提供了 100 年超越概率 1%的场地地震动参数可为目标区大震应急备灾工作提供参考。

该结果不适用于核电、试验反应堆结构设施等特殊重大工程和超长自振周期建筑结构。

参考文献和资料

[1] 中国地震局，中国地震动参数区划图 GB18306—2015，地震出版社，2015。

[2] 中国地震局，工程场地地震安全性评价技术规范 GB17741-2005，地震出版社，2005。

[3] 胡聿贤，工程地震学，地震出版社，1988。

[4] 中国地震局震害防御司，《中国历史强震目录（公元前 23 世纪至公元 1911 年，M≥4$\frac{3}{4}$）》，1995。

[5] 中国地震局震害防御司，《中国近代地震目录（公元 1912 年至 1999 年，Ms≥4.7）》，1999。

[6] 中国地震局分析预报中心，《中国地震详目（1970 年至 2022 年 3 月，M≥2.0）》。

[7] 冉勇康，大地震重复特征与平均重复间隔的取值问题，《地震地质》，1999。

[8] 中国建筑科学研究院等，建筑抗震设计规范（2016 版）GB50011—2010，中国建筑工业出版社，2010。

[9] 霍俊荣，1989，近场强地面运动衰减规律的研究，博士论文，中国地震局工程力学研究所。

[10] 丁国瑜等，中国岩石圈动力学概论，北京，地震出版社，1991

[11] 曹刚等，内蒙古地震研究，北京，地震出版社，2001

[12] 俞言祥，汪素云，中国东部和西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系，《震灾防御技术》，2006.9

[13] 潘华等，新版地震区划图地震活动性模型与参数确定，《震灾防御技术》，2013.3

[14] 冯浩，现代强震震中分布(1900—1985)，中国岩石圈动力学地图集，中国地图出版社，1989

[15] 全国地震区划图编制地震活动性参数确定工作组，中国地震动参数区划图地震活动性参数确定工作报告（送审稿），2011.6

[16] 《内蒙古自治区区域地质志》，内蒙古地质局，1986

[17] 杨发，刘德简等，内蒙古地震构造，中国岩石圈动力学地图集，中国地图出版社，1989

[18] 环文林等，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，地震出版社，1990

[19] 中国地震灾害防御中心，包头市活动断层探测与地震危险性评价报告，2016

[20] 包头雨辰，内蒙古能源发电包头固阳金山工业园区热电厂 2×350MW 发电机

组工程场地地震安全性评价报告，2015

[21] 河北明创地质勘查有限公司，内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目浅层地震勘探成果报告，2022

[22] 包头雨辰，内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价钻孔勘探与波速测试工作报告，2022

[23] 河北极致地震预防服务有限公司，内蒙古包头钢铁冶金开发区金山产业园区域性地震安全性评价项目动三轴试验报告，2022