

【恒科(郑)震安第 HXKJ-LZA-23-0801 号】

郑州中原新区须水河核心片区 区域性地震安全性评价报告



河南恒翔地震科技有限公司

二〇二三年八月



目 录

0 前 言.....	3
1 地震活动性.....	12
1.1 地震资料.....	12
1.2 区域地震活动时空特征分析.....	18
1.3 现代构造应力场.....	28
1.4 破坏性地震对目标区的影响.....	31
1.5 近场地震活动性.....	40
1.6 地震活动环境分析.....	43
2 区域地震地质环境.....	45
2.1 大地构造环境.....	45
2.2 区域地球物理场及地壳结构.....	49
2.3 区域新构造特征及其与地震活动的关系.....	53
2.4 区域主要断裂活动特征.....	61
2.5 区域地震构造条件.....	140
2.6 区域地震构造综合分析.....	142
3 近场区地震构造环境.....	145
3.1 近场区地质地貌特征.....	145
3.2 近场区新构造活动特征.....	148
3.3 近场区活动断裂.....	150
3.4 近场现代构造活动特点.....	190
3.5 近场区发震构造评价.....	190
4 目标区主要断层勘查和活动性鉴定.....	192
4.1 目标区及周边断裂活动情况.....	192
4.2 地震剖面分析.....	193
4.3 结论.....	196
5 目标区工程地震条件勘测.....	197
5.1 场地地形地貌特征.....	197

5.2 场地条件.....	198
5.3 场地剪切波速测试.....	214
5.4 场地土动力性能测定.....	226
6 地震危险性概率分析.....	242
6.1 分析方法概述.....	242
6.2 潜在震源区的划分.....	243
6.3 地震活动性参数的确定.....	249
6.4 地震动衰减关系.....	253
6.5 目标区场地地震危险性分析计算结果.....	257
7 场地地震反应分析模型及其参数确定.....	261
7.1 场地地震分析模型.....	261
7.2 输入地震动参数的确定.....	267
7.3 场地地震反应计算结果场地地震相关反应谱.....	285
7.4 场地地震动参数分区.....	309
8 地震地质灾害评价.....	325
8.1 活动断层断错灾害评价.....	325
8.2 目标区场地地基土液化灾害评价.....	326
8.3 目标区场地软土震陷评价.....	341
8.4 目标区场地及周边坡体地震崩塌滑坡危险性评价.....	342
8.5 地震地质灾害综合评价.....	344
9 结论与建议.....	345
9.1 区域及近场地震活动环境评价.....	345
9.2 区域及近场地震构造环境评价.....	346
9.3 场地地震危险性分析.....	346
9.4 场地地震地质灾害评价.....	347
9.5 场地设计地震动参数.....	348
9.6 使用建议.....	350
9.7 成果使用说明.....	351
10. 技术服务系统说明.....	352
10.1 系统访问方法.....	352
11 主要参考资料.....	353

0 前 言

一、概述

拟建的郑州中原新区须水河核心板块位于郑州市西部，东北至丹水大道，西至新田大道，南至御马路，总规划面积 1.5 平方公里（实际可评估面积约为 1.1 平方公里），东西跨度 1.3km，南北跨度 1.9km，规划红线宽度约 200 米的中西路从目标区穿过，项目交通条件优越，具有成为区域核心引擎潜力，是构建郑州大都市圈的重要节点，承接郑州东西向城市发展轴的西端战略地位，须水河片区核心板块是郑州国土空间规划着力打造的 32 个核心板块之一，场地内部地势平整，未有大量开发，仅有一处已建住宅地块及中机六院地块。项目现况多为空地，中原西路及道路绿化带已建，新田大道道路部分已建。

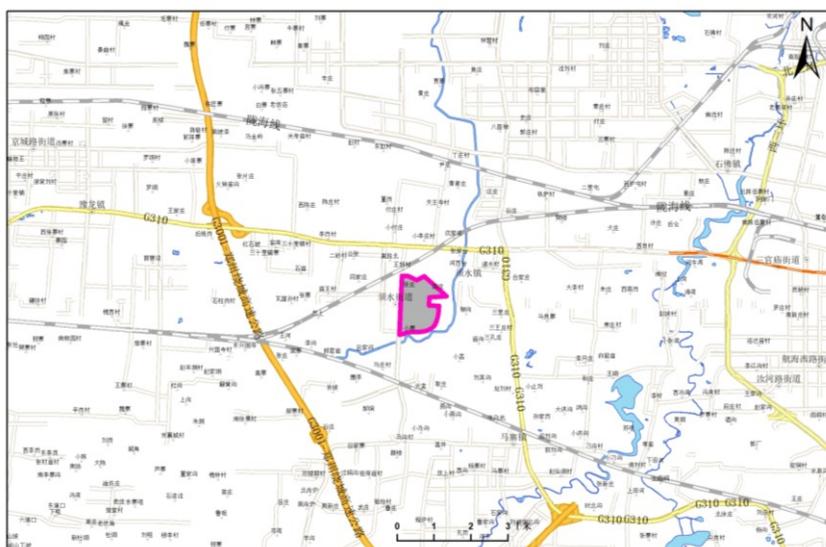


图 0.0.1 目标区位置示意图(紫色框为目标区范围)

根据《中国地震动峰值加速度区划图》(GB18306-2015)，目标区所在地区的设计基本地震加速度值为 0.15g，地震动反应谱特征周期为 0.40s。目标区的地震加速度和特征周期在中国地震动峰值加速度区划图中的位置如图 0.0.2、0.0.3。

根据该工程性质，依照《中华人民共和国防震减灾法》、《河南省实施〈地震安全性评价管理条例〉办法》(河南省人民政府令第 120 号)及《区域性地震安全性评价工作大纲(试行)》的通知(中震防函【2019】21 号文件精神，本工程需进行区域性地震安全性评价工作，通过区域性地震安全性评价工作确定科学的抗震设防要求。

受郑州中原发展投资（集团）有限公司的委托，河南恒翔地震科技有限公司承担了郑州中原新区须水河核心板块区域性地震安全性评价工作。

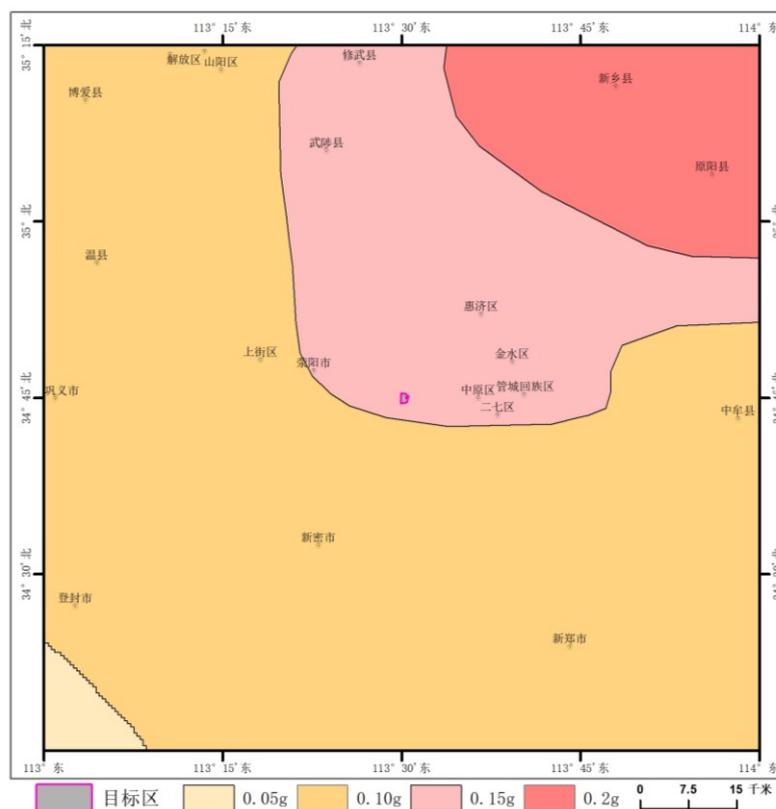


图 0.0.2 目标区在区划图上的位置图（加速度）

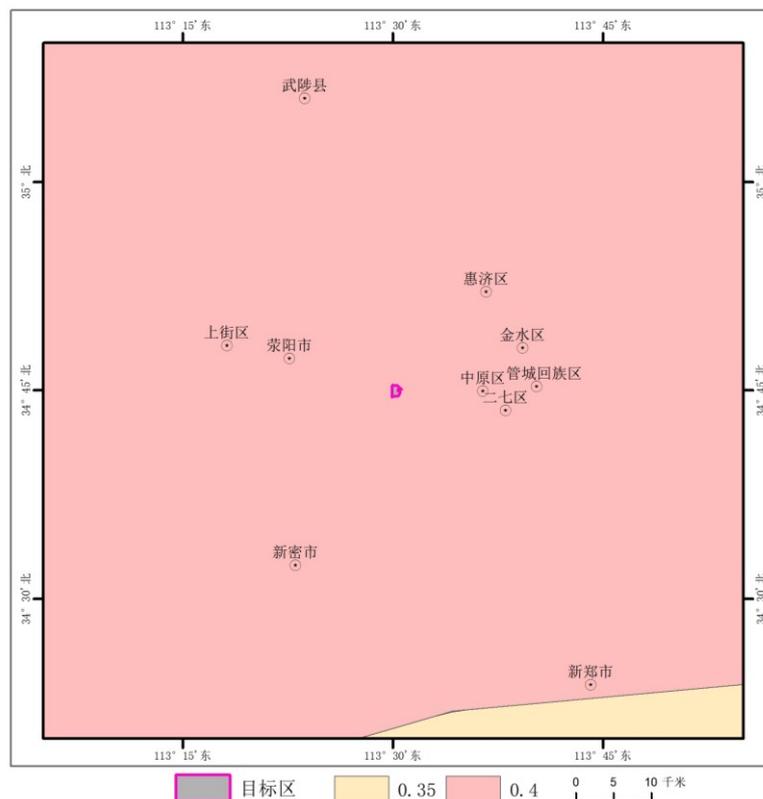


图 0.0.3 目标区在区划图上的位置图（特征周期）

目标区边界范围如图 0.0.4 所示，目标区各边界角点的经纬坐标如表 0.0.1 所示。

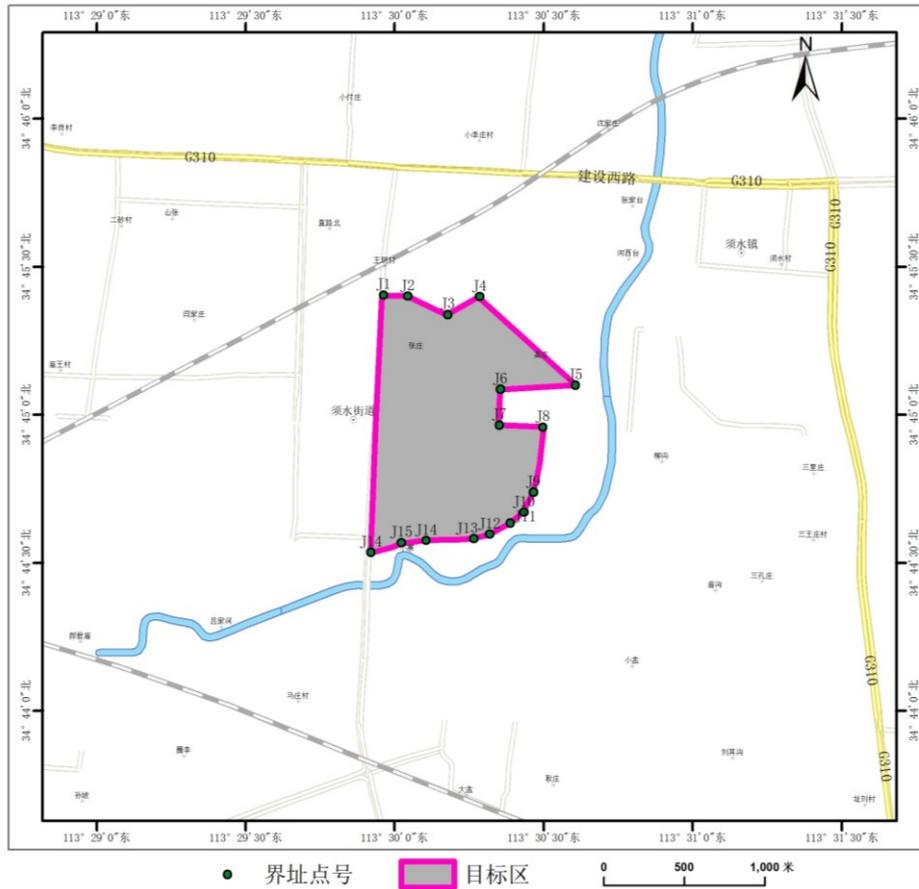


图 0.1.4 目标区边界位置图

表 0.0.1 目标区边界角点经纬度表经纬度坐标

界址点号	经度(E)	纬度(N)	界址点号	经度(E)	纬度(N)
J1	113° 29' 57.8"	34° 45' 24.29"	J9	113° 30' 27.91"	34° 44' 44.36"
J2	113° 30' 2.62"	34° 45' 24.03"	J10	113° 30' 26.02"	34° 44' 40.26"
J3	113° 30' 10.69"	34° 45' 20.34"	J11	113° 30' 23.29"	34° 44' 38.08"
J4	113° 30' 17.08"	34° 45' 23.93"	J12	113° 30' 19.12"	34° 44' 35.81"
J5	113° 30' 36.38"	34° 45' 6.01"	J13	113° 30' 15.87"	34° 44' 34.86"
J6	113° 30' 21.26"	34° 45' 5.19"	J14	113° 30' 6.36"	34° 44' 34.5"
J7	113° 30' 21.13"	34° 44' 57.96"	J15	113° 29' 55.28"	34° 44' 32.14"
J8	113° 30' 29.87"	34° 44' 57.51"	J16	113° 30' 1.34"	34° 44' 34.11"

二、技术思路

根据《区域性地震安全性评价工作大纲(试行)》的通知(中震防函【2019】21号)、《河南省区域性地震安全性评价工作管理办法(试行)》豫震防发[2020]25号及《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005),本项区域地震安全性评价工作内容(如图0.2.1)所示。

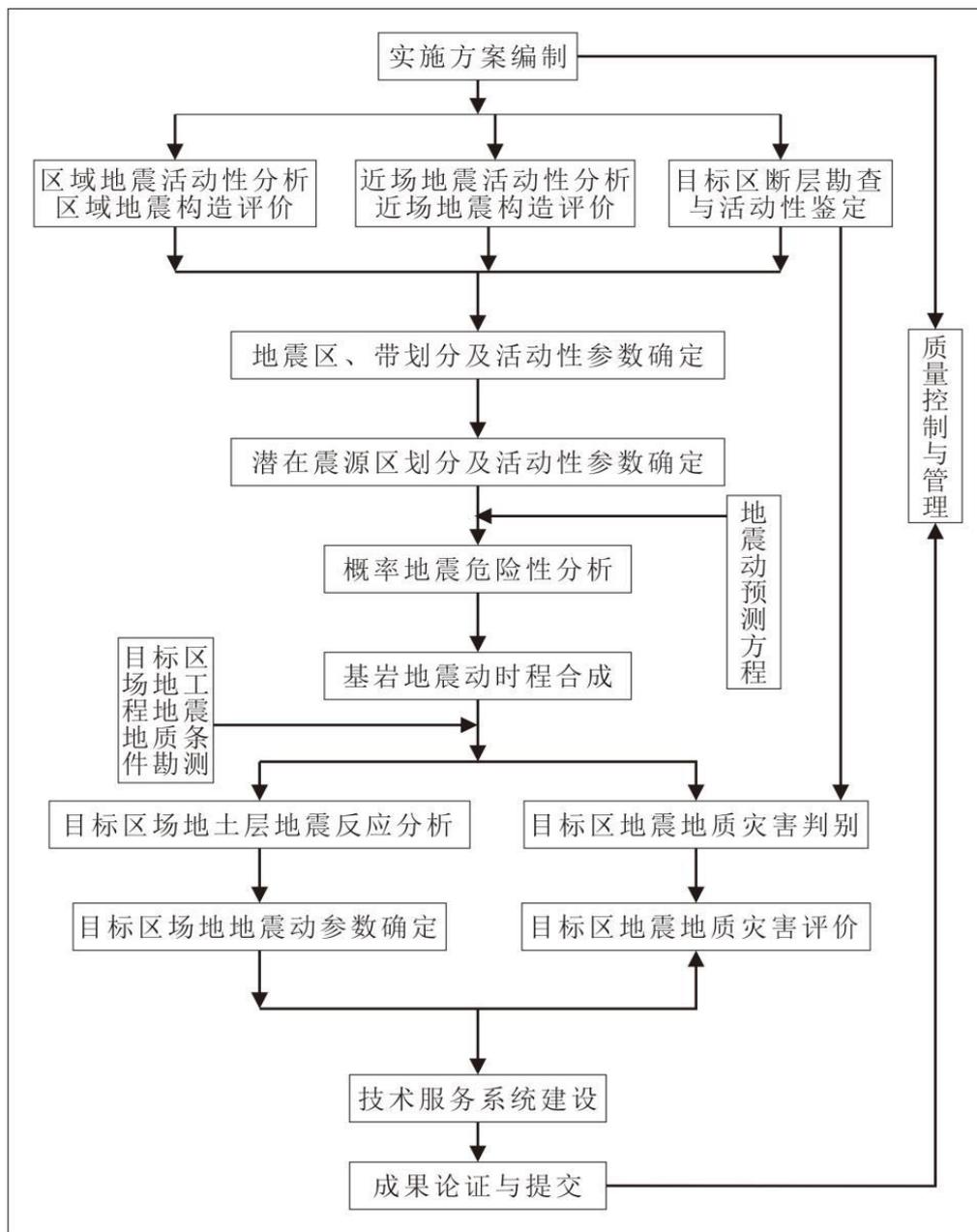


图 0.2.1 工作流程图

在充分收集、整理和分析研究区域范围内的地震地质、地球物理、地震活动、地震工程等方面已有成果和资料的基础上,着重在近场区和目标区范围内进行地震

地质调查，布置物探测线开展断裂构造勘探，开展场地工程地震的地质条件勘察，收集整理工程地质勘探资料和水文地质资料以及一些地质灾害资料等，进行地震活动性分析，确定区内潜在震源区及其地震活动性参数，选择适合本地区的地震烈度和地震动衰减关系、合理的震源模型和地震复发模型，采用地震危险性概率方法计算分析，得出对应不同设防水准及其各概率的基岩地震动水平峰值加速度值，进而确定相应的基岩地震动水平向加速度时程，建立目标区多概率水准的基岩地震动参数数据库。

收集场地范围内已经开展的地震安全性评价工作的钻孔资料，尤其是深孔的岩土层的波速资料和土工实验数据等，进行综合判断分析，充分了解场地的地震地质条件、工程地质和水文地质条件。依据《区域性地震安全性评价工作大纲(试行)》要求，需要充分考虑目标区工程规划布置和功能设置，合理布设钻孔，考虑其功能定位和区内详控要求，适当加密控制性钻孔，对一般建筑、规划绿地等区域则按工作大纲最底要求布设控制钻孔。根据要求，在充分对目标内规划情况的详细研究后，对目标区内布置了 8 个控制点，每个控制点处布设 1 口钻孔，并对其中 3 口钻孔取常规土样及动三轴土样进行场地土动力学性能试验，对每口控制性钻孔进行土层弹性波速的原位测试工作，结合不同场地条件和地质资料、各类土的静、动力学参数，建立模型进行场地土层地震反应分析，计算给出不同控制钻孔对应 50 年、100 年超越概率 63%、10%、2%多设防水准的峰值加速度，以及反应谱（阻尼比为 0.05），编制目标区 50 年、100 年超越概率 63%、10%、2%多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱分区图。收集、整理和综合分析地质条件、水文地质条件以及所处的不同工程地质单元，结合地震地质背景，对不同场地条件下可能存在的地震地质灾害进行评价，包括地震液化、软土震陷，以及其它可能的地震地质灾害。并在上述工作的基础上，建设基于 GIS 平台的数据库和地理底图库，并具备相应服务功能的技术系统。

三、主要工作内容

(1)区域及近场地震地质调查和地震活动性分析

根据《区域性地震安全性评价工作大纲(试行)》的要求，区域范围是指以目标区为中心，半径不小于 150km 的范围；近场范围可取为目标区及其外延不小于 25km 的地区。

地震地质研究和地震活动性分析是地震安全性评价工作的基础。通过这两个

方面的研究摸清目标区所处的地震地质环境和地震活动性背景，划分出地震活动区带并勾划出潜在震源区，同时确定出地震带和潜在震源区的参数，这是地震危险性分析的最基础的数据。

(2) 目标区主要断层勘查和活动性鉴定。在收集已有研究资料的基础上，通过场地地貌调查、地质考察、地球物理勘探、工程地质钻探等工作，确定目标区及附近地区主要断裂的特性及其展布位置，通过地质学、地层学和年代学等方法评价断裂的最新活动时代。本次工作针对目标区所在的地理位置进行了野外调查的基础上，目标区紧邻中原西路，再结合目标区规划情况，共收集完成了 2 条南北向的浅层地震剖面 and 1 条东西向地震剖面。

(4) 目标区浅部土层结构三维模型建立。在收集目标区内的浅层地震勘探、钻孔等资料的基础上，主要基于钻孔资料获得覆盖土层结构分布的三维模型，适当补充物探测线进行控制探测。编制横波速度 500m/s 的等值线图，以及岩土层变化大的区段大比例尺速度（或地层）等值（深）线图。

(5) 地震工程地质条件勘测。收集、整理、分析目标区及附近已有的工程地质勘察资料、水文地质等资料，以便于对场地工程地质概况有基本了解。根据目标区浅部土层结构和目标区建设工程的功能布局规划，按照钻孔间距不超过 700 米的标准布设钻孔。根据收集到钻孔资料，在目标区范围布置了 8 个控制点（各控制点坐标如表 0.3.1 所示），且每个控制点处布置 1 口钻孔，孔深为 50 米~60 米之间，钻孔间距满足要求，并对 8 口钻孔进行了剪切波速测试。研究水文地质资料和工程地质资料，进行工程地质单元分区。并对目标区范围内 3 个钻孔取原状土样进行动三轴实验，开展场地土层动力性能参数测试工作；并对其它达到液化判别标准的钻孔进行标准贯入试验，并根据收集到的钻孔资料，为场地地震动效应研究和地震动参数确定提供基础数据。

(6) 地震烈度与基岩地震动参数衰减关系的确定

依据本区域历史地震烈度资料，回归统计适合本工程场址的地震烈度衰减关系。

由于本地区缺乏强震记录，本工程采用烈度-震级转换法确定基岩地震动参数衰减关系，包括基岩地震加速度峰值衰减关系和反应谱衰减关系。

本次工作选取了《区域性地震安全性评价工作大纲》推荐的东部强震的衰减关系参数。

(7) 基岩地震危险性分析与基岩地震动时程的合成

概率地震危险性评价。在地震地质、地震活动性及地球物理场分析研究的基础上，吸收地震分析预报的最新科研成果，科学的划分潜在震源区，确定各潜在震源区的震级上限、地震空间分布函数和各地震带的地震活动性参数，研究确定适用于本地区的地震动衰减规律，用概率方法计算目标区各控制点多概率水准基岩地震动参数，分析基岩地震动参数的空间分布特征，建立目标区多概率水准的基岩地震动参数数据库。数据库一般应包括每个控制点的 50、100 年超越概率（63%、10%、2%）水平向基岩地震动参数。

(8) 基于建立场地土动力学模型的土层反应分析场地地震动参数确定

采用适用于本地区的反应谱衰减关系，确定场地不同概率水准的基岩反应谱，合成具有场址区地震动特征的基岩地震动加速度时程，以此作为场地地震动效应分析的输入地震波。根据场地原位测试及实验室试验结果和场地地震工程地质条件，建立 8 个土层地震动反应分析模型。进行场地土层的地震反应分析，研究场地的地震动效应，确定目标区各控制点 50、100 年超越概率（63%、10%、2%）水平向地震动峰值加速度、反应谱（阻尼比 5%、周期至 6s）。建立目标区各计算控制点的自由基岩场地地震动时程数据库、地震反应分析模型数据库、地表地震动参数数据库、6 个概率水准的地表地震动时程数据库。

(9) 场地地震动参数区划

根据计算点的地震动参数，结合工程地质单元分区结果，分析目标区是否具备地震动参数分区条件，决定是否对地震动峰值和反应谱分区。编制目标区多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱分区图，并以分区界线的形式表示目标区地震动参数分区结果。地震动峰值加速度相邻等值线差异一般为 5%，反应谱特征周期相邻等值线差异一般为 0.05s；图件比例尺不小于 1:50000。

(10) 地震地质灾害评价

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

(11) 技术服务系统

按照系统的需求，对区域性地震安全性评价成果数据进行对象化处理后，采用预处理方式检查并入库后，在关系型数据库中集中存储管理，实现各种数据一体化无缝建库，同时基于数据库平台和插件式系统架构，运用空间数据管理、GIS 可视化、数据库等技术，采用单机版应用模式设计区域性地震安全性评价技术服

务系统，实现区域性地震安全性评价成果的查询、输出与服务功能。

0 表 0.3.1 各控制点经纬度坐标

控制点编号	经度 (E)	纬度 (N)	高程 (m)
k1	113° 30' 1.90"	34° 45' 18.89"	135
k2	113° 30' 0.97"	34° 45' 0.70"	143
k3	113° 30' 0.39"	34° 44' 39.34"	146
k4	113° 30' 16.73"	34° 45' 16.92"	134
k5	113° 30' 15.34"	34° 45' 0.43"	142
k6	113° 30' 26.00"	34° 45' 9.08"	136
k7	113° 30' 14.80"	34° 44' 39.88"	140
k8	113° 30' 25.81"	34° 44' 48.88"	138

四、技术要求

- (1) 《中华人民共和国防震减灾法》；
- (3) 《地震安全性评价管理条例》（中华人民共和国国务院令第 323 号）；
- (3) 《河南省实施〈地震安全性评价管理条例〉办法》（河南省人民政府令第 120 号）
- (4) GB50223-2008 《建筑工程抗震设防分类标准》；
- (5) GB18306-2015 《中国地震动参数区划图》；
- (6) GB17741-2005 《工程场地地震安全性评价》；
- (7) GB/T36072-2018 《活动断层探测》；
- (8) GB55002-2021 《建筑与市政工程抗震通用规范》；
- (9) GB50191-2012 《构筑物抗震设计规范》；
- (10) GB 55017-2021 《工程勘察通用规范》；
- (11) GB/T50269-2015 《地基动力特性测试规范》；
- (12) JGJ83—2011 《软土地区工程地质勘察规范》；
- (13) GB 50011-2010 《建筑物抗震设计规范》（2016 版）
- (14) 《区域性地震安全性评价大纲（试行）》（中震防函[2019]21 号）
- (16) 河南省区域性地震安全性评价工作管理办法（试行）豫震防发[2020]25 号。

五、主要工作量统计

本次工作对近场区内主要断裂开展了野外考察工作，以进一步确认断裂活动对目标区的影响，同时对地震资料，特别是对最新地震资料进行了收集整理，对断裂的最新物探成果进行收集运用。根据收集到本目标区的地层分布情况，在现场布设了 8 个控制点，每个控制点布设 1 口控制性钻孔，并开展了相应的剪切波速测试、标准贯入试验、动三轴实验、浅层地震测线收集等工作。利用上述资料，进行了报告编制工作。主要工作量见表 0.5.1。

表 0.5.1 主要工作量统计表

工 作 内 容	工 作 量
钻探	8 孔，钻探总进尺为 449m
剪切波速测试	8 孔，测试深度为 50~60m
野外工作	4 人·8 天
浅层地震测线	收集 3 条
资料收集	3 人·7 天
计算控制点	8 个
资料分析	5 人·6 天
动三轴实验	27 组

六、项目组织

本项目由罗守占高级工程师担任项目总负责，赖晓玲研究员担任总技术负责人，张修田高级工程师担任地震构造评价专业负责人，罗守占高级工程师担任地震活动性评价专业负责人，赖晓玲担任工程场地地震影响评价专业负责人。以及其他主要完成人员张同春、吴振峰、谢浩、李松林、段向阳、张莹允、睢建设、赵智礼、王俊娇等。按评价工作的阶段性与工作内容的相对独立性，将相关工作分为 4 个专题，分阶段实施。

七、致谢

在本项目的实施过程中，得到了郑州中原发展投资（集团）有限公司、郑州市中原区须水街道办事处、郑州市应急管理局、郑州市防灾减灾中心、河南省地震局、中国地震局地球物理勘探中心、河南省地震局地震工程勘察研究院等有关各方的大力支持，在此表示衷心感谢！

1 地震活动性

1.1 地震资料

1.1.1 研究范围

根据GB17741-2005《工程场地地震安全性评价》的规定，区域范围取目标区外延不小于150km的地区，从地震活动性来看，目标区位于中国东部地震较活动的区域，其外延150km的范围，地震活动资料较为完整性。因此，区域范围确定为目标区外延150km是合适的。

近场区范围界定充分考虑断裂的影响，目标区及其外延25km范围内没有以下情况存在：①断裂基本被第四系所覆盖，但在这个范围外缘有较明显的地质和地貌现象出露；②与地震构造条件评价密切相关的地质和地貌证据不充分，但在这个范围外缘有其典型的或有利的证据存在。根据收集相关资料表明，目标区25km范围外不存在上述需要扩大近场区范围的情况，所以本项目近场区选取目标区周边25km范围。

本项研究范围确定如下：

- 1、区域:东经:111° 30' ~115° 30' ,北纬:33° 00' ~36° 30' ;
- 2、近场:东经:113° 05' ~113° 55' ,北纬:34° 20' ~35° 10' 。

1.1.2 资料来源及说明

1、资料来源

本次工作中用于地震活动性分析的资料包括两部分。

第一部分是 $M \geq 4.7$ 级的破坏性地震目录。这部分资料 1970 年以前的目录主要取自中国地震局震害防御司《中国历史强震目录》(公元前 23 世纪—公元 1911 年)和《中国近代地震目录》(公元 1912 年—1990 年 $M_s \geq 4.7$)，中国地震局地球物理研究所编《中国地震年报》(1991 年至 2000 年)；中国地震局地球物理研究所和中国地震局数据台网中心编《中国数字地震台网观测报告》(2001 年至 2009 年)；中国地震台网中心汇编，《中国地震详目》(2010 年至 2012 年 12 月)；国家地震科学数据共享中心《中国地震台网统一地震目录》(2011 年至 2023 年 5 月)。

第二部分为现代小震。这部分资料取自中国地震台网中心编录的地震目录，目录中的地震参数是根据仪器记录得到的。本次工作收集、整理了区域范围内 $4.7 > M \geq 3.0$ 级、近场范围内 $M \geq 2.0$ 级的地震资料。

2、地震目录的地震震级的确定说明

历史地震震级采用的是 M_s ，这部分地震为 $M_s \geq 4.7$ 级以上地震。其中，无仪器记录的地震，其震级的确定均由史料记载评定其震中烈度，再按震级 (M_s) 与震中烈度的经验关系换算出；凡有仪器记录的地震，其震级以仪器测定的为准。而现代地震通常用近震震级 M_L 。为与历史地震震级统一，以往将其转换为 M 震级，采用的转换公式 (1-1)：

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

该公式是 1971 年郭履灿等根据邢台地震资料进行统计得出的，适用于中国华北地区，其它地区兼用，震中距 $\Delta \leq 1000$ km (国家地震局震害防御司，1990)。

在编辑第五代地震动参数区划图 (GB18306-2015) 时，汪素云等 (2009) 根据 1990~2007 年《中国地震年报》中同时给出 M_s 和 M_L 震级，且震源深度小于 70km 的 6577 个浅源地震资料，统计回归得到了全国和各地区的 M_s 和 M_L 之间的经验关系，结果如公式 (1-2)。

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

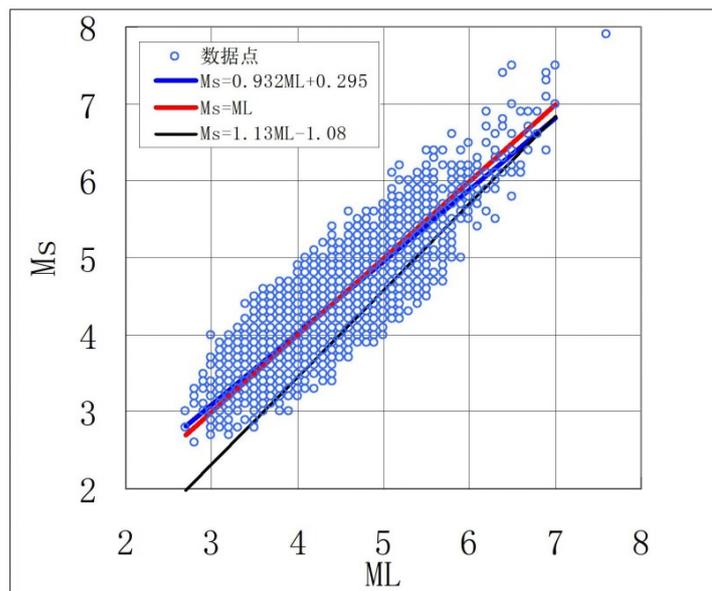


图 1.1.1 震级数据组及拟合直线

图 1.1.1 绘出公式 (1-2) 和公式 (1-1) 的拟合直线，图 1.1.1 表明，公式 (1-1) 的直线明显偏于数据组的下侧，说明该式已不能代两者的关系；同时图中可

直观地看到公式(1-2)与 $M_s=M_L$ 的直线很接近，只在直线两端有些分开，考虑到数据点的离散型以及拟合关系的不确定性较大等因素，可以大致认为公式(1-2)与 $M_s=M_L$ 关系式基本一致。基于上述分析，本次地震活动性参数统计中，现代小震的震级 M_L 将不再转换为 M_s 而直接使用，且表示成 M 。

1.1.3 区域地震资料状况分析

区域位于我国历史上经济和文化较发达的地区，有着比较丰富和完整的史料记载，因此相对而言该区历史资料较完整可靠。据黄玮琼（1994）、徐伟进（2014）研究成果，区域自 1484 年以来 $M \geq 4.7$ 级的地震基本完整。但为了使采用的地震资料更具有完整性、可靠性，根据具体情况采用了不同的可信时间域和震级域。尽管 1970 以后已有区域台网记录的 $M \geq 1.0$ 级地震目录，但相对而言 1976 年以后才逐渐形成较完善的地震监测台网，根据焦元碧、吴开统等人的研究成果（1990），区域 1989 年之后处于 $M_L \geq 3.0$ 级地震的有效监测范围内。2008 年 1 月河南数字地震台网正式运行，全省范围内地震监测能力达到 $M 2.5$ 级，局部地区达到 $M 1.5 \sim 2.0$ 级。因此，结合不同时期监控地震的能力，对于现代地震，本项目中采用 $M \geq 3.0$ 级地震是较为合适的。

根据上述资料，列出了目标区范围内 4.7 级及 4.7 级以上地震的目录。需注意的是，1970 年以后地震的精度分类的含义是：1 类震中误差 $\leq 5\text{km}$ ；2 类震中误差 $\leq 10\text{km}$ ；3 类震中误差 $\leq 30\text{km}$ ；4 类震中误差 $> 30\text{km}$ 。1970 年以前地震的精度分类的含义是：1 类震中误差 $\leq 10\text{km}$ ；2 类震中误差 $\leq 25\text{km}$ ；3 类震中误差 $\leq 50\text{km}$ ；4 类震中误差 $\leq 100\text{km}$ ；5 类 $> 100\text{km}$ 。

对于近代地震，区域范围主要涉及山西省及河南省，首先对两省的测震台网台站分布及监测能力进行分析：

河南省地震台网由国家级地震台网、省级地震台网、市县级地震台网和专用地震台网四级组成。测震站网共有地动速度观测站 63 个（图 1.1.2），其中省级观测站 28 个，包含 3 个国家级观测站。市县级观测站 35 个，包含“一县一台”项目建设的 32 个观测站和南阳市防震减灾中心建设的 3 个观测站。在河南省台网控制范围内，全境具有 $M \geq 1.8$ 级地震的监测能力，西部及西北部地区监测能力达到 1.1 级。

山西数字测震台网由 3 个国家数字地震台、29 个区域数字地震台及一个台网部组成。32 个台站中有 25 个为宽频带地震计，7 个为甚宽频带地震计，均为地面台

站（含山洞），全部实时传输到国家测震台网中心。台站分布详见图 1.1.3。山西省总面积 15.66 万平方千米，通过国家测震台网中心实时接收邻省 15 个台站数据，全省范围总体监测能力达到 M2.5 级，中部地区监测能力达到 M2.0 级，详见图 1.1.4。

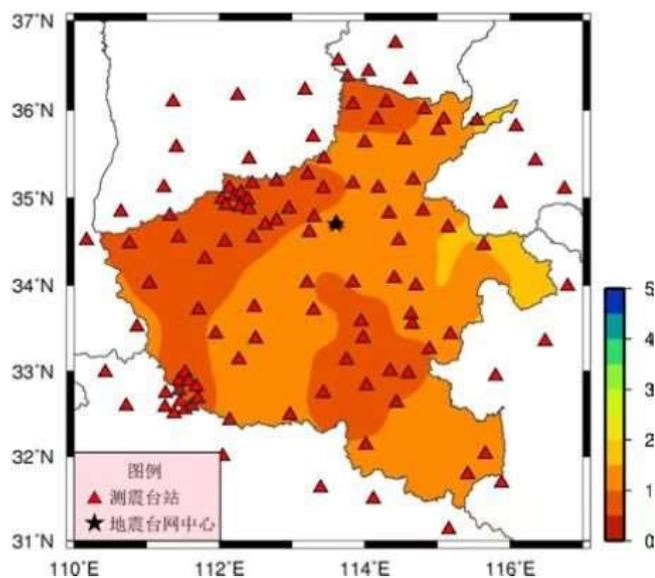


图 1.1.2 河南测震台网监控能力（河南省监测预报中心，2021）

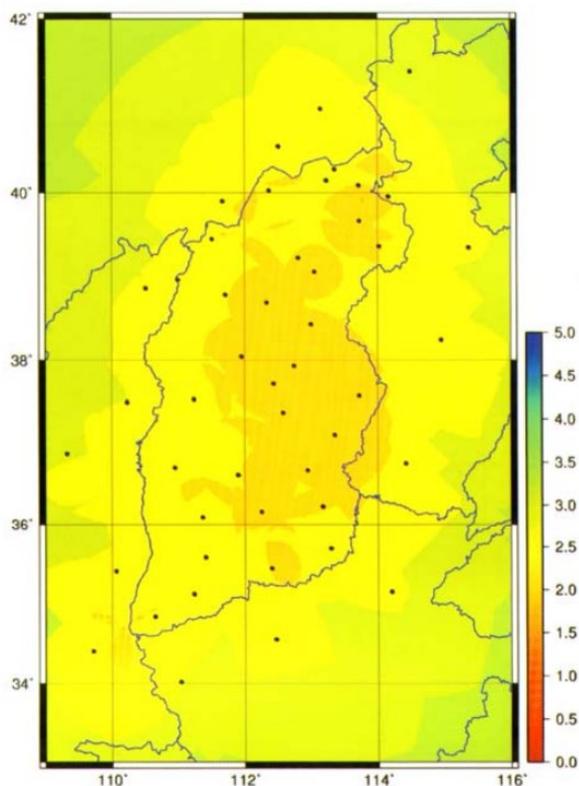


图 1.1.3 山西省测震台网监测能力图（2017 年）

所以区域范围现代地震北部监测能力达到 M2.0 级，南部监测能力达到 M2.5 级。根据焦远碧、吴开统等人的研究结果，区域范围 1989 年之后基本处于区域地

震台网对 $M \geq 3.0$ 级地震的有效监测范围内。尽管 1970 年以后已有正式区域台网记录的 $M \geq 1.0$ 级地震目录，但相对而言 1976 年后才逐渐形成较完善的地震台网。因此，结合不同时期及不同区域监控地震的能力，研究区域地震活动性时，对 1970 年以来的地震目录选取 $M \geq 3.0$ 级地震较为适宜。

根据图 1.1.2 和图 1.1.3，近场范围内的地震监测能力已达到 $M 2.0$ 级，选取 $M \geq 2.0$ 级地震较为适宜。

1.1.4 区域地震资料的基本情况

区域地理范围包括了：河南省大部分地区 and 山西省、河北省、山东省、安徽省部分地区。该区域自公元前 1767 年至 2023 年 5 月共记载 $M \geq 4.7$ 级地震 68 次（如表 1.1.1），其中 4.7~4.9 级地震 19 次，5.0~5.9 级地震 33 次，6.0~6.9 级地震 12 次，7.0~7.9 级地震 3 次，分别为：1695 年 5 月 18 日山西临汾 $7\frac{3}{4}$ 级地震、1830 年 6 月 12 日河北磁县 $7\frac{1}{2}$ 级地震、1937 年 8 月 1 日山东菏泽 7 级地震，8 级以上地震 1 次，为 1303 年 9 月 17 日山西洪洞 8 级地震。

区域现代地震自 1970 年 1 月~2023 年 5 月共记录到 $3.0 \leq M < 7.0$ 级地震 372 次，其中 $M 3.0 \sim 3.9$ 级地震 331 次， $M 4.0 \sim 4.9$ 级地震 37 次， $M 5.0 \sim 5.9$ 级地震 3 次， $M \geq 6.0$ 级地震 1 次，最大地震为 1983 年 11 月 7 日山东菏泽 $M 6.3$ 级地震（见表 1.1.1）。

表 1.1.1 区域范围内地震统计表

破坏性地震统计 (B. C. 1767~2023. 5)	震级范围	$M 4.7 \sim 4.9$	$M 5.0 \sim 5.9$	$M 6.0 \sim 6.9$	$M 7.0 \sim 7.9$	$M > 8.0$
	地震个数	19	33	12	3	1
现代地震统计 (1970. 1~2023. 5)	震级范围		$M 3.0 \sim 3.9$	$M 4.0 \sim 4.9$	$M 5.0 \sim 5.9$	$M 6.0 \sim 6.9$
	地震个数		331	37	3	1

表 1.1.2 区域范围内 $M \geq 4.7$ 级地震目录 (B. C. 1767~2023 年 5 月)

编号	发震时间 (年. 月. 日)	震中位置		震级 (M)	精度	震中烈度	震中地区
		纬度	经度				
1	B. C. 1767	112.0°	34.2°	6	5	VIII	河南偃师西南
2	B. C. 646	111.7°	36.3°	5	4	VI	山西洪洞
3	B. C. 519. 8. 8	112.5°	34.7°	$5\frac{1}{2}$	3	VII	河南洛阳
4	46. 10. 21	33.0°	112.5°	$6\frac{1}{2}$	3	VIII	河南南阳
5	294. 12. -	33.7°	114.2°	$5\frac{1}{2}$	5	VII	河南西华
6	315. 02. -	36.1°	111.5°	5	2	VI	山西临汾
7	344. 12. -	35.4°	114.3°	6	3	VIII	河南卫辉东

8	649.09.15	36.1°	111.5°	6¼		VIII	山西临汾
9	863.01.-	35.6°	111.7°	5½		VII	山西绛县北
10	927.08.-	34.8°	113.6°	4¾	4	VI	河南郑州
11	953.11.-	36.3°	115.2°	4¾	4	VI	河北大名
12	1209.12.13	36.0°	111.8°	6½		VIII	山西浮山县西北
13	1291.09.01	36.1°	111.5°	6½		VIII	山西临汾
14	1303.09.25	36.3°	111.7°	8		XI	山西洪洞
15	1304.02.-	36.1°	111.5°	5		VI	山西临汾
16	1342.04.23	34.5°	114.5°	4¾	3	VI	河南通许
17	1493.05.04	35.5°	115.2°	5¼	4		河南范县西南
18	1497.02.26	36.3°	112.9°	5	2	VI	山西屯留一带
19	1502.10.27	35.7°	115.3°	6½	2	VIII	河南范县
20	1504.08.24	34.4°	114.2°	4¾	4		河南杞县西南
21	1519.11.23	33.5°	114.1°	5	3		河南西平
22	1522.02.07	34.2°	114.1°	5¾		VII	河南鄢陵长葛一带
23	1524.02.14	34.0°	114.1°	6		>VII	河南许昌张潘店
24	1525.09.13	33.8°	115.4°	5¾	4		河南太康东南
25	1527.01.-	35.8°	114.9°	4¾	3		河南范县西北
26	1587.04.10	35.3°	113.7°	6	3	VII—VIII	河南修武东
27	1587.04.10	35.3°	113.5°	5½	3		河南修武东
28	1594.03.24	34.3°	114.7°	5	4		河南通许东南
29	1614.06.09	36.4°	111.5°	4¾			山西洪洞刘家垣
30	1623.12.26	36.1°	115.2°	4¾	2	VI	河南南乐
31	1638.12.22	34.5°	112.4°	4¾	3		河南新安东南
32	1640.04.-	34.7°	112.5°	4¾	2	VI	河南洛阳
33	1662.10.11	33.2°	114.8°	5½	2	VII	河南项城
34	1675.-.-	34.1°	114.8°	5½	3	VII	河南太康
35	1695.05.18	36.0°	111.5°	7¾		X	山西临汾
36	1737.09.30	35.1°	114.4°	5½	2	VII	河南封丘
37	1814.01.10	34.6°	113.5°	5	3	VI	河南荥阳贾峪
38	1814.02.04	35.8°	114.4°	5½	3	VII	河南汤阴浚县间
39	1820.08.04	34.1°	113.9°	6	2	VIII	河南许昌东北
40	1830.05.02	35.7°	115.0°	4¾	3		河南濮阳
41	1830.06.12	36.4°	114.3°	7½	2	X	河北磁县
42	1830.06.13	36.4°	114.3°	5½	3		河北磁县
43	1830.06.26	36.4°	114.3°	5¾	2	VII+	河北磁县
44	1862.11.28	35.4°	111.5°	5			山西闻喜绛县交界
45	1862.12.26	35.6°	111.5°	5½		VII	山西曲沃
46	1889.10.-	36.3°	115.1°	5	2	VI	河北大名

47	1900.05.-	36.1°	114.2°	5	3	VI	河南安阳西
48	1918.08.09	34.5°	114.5°	5¼	-1	VI	河南通许
49	1923.09.16	35.7°	115.4°	5		VI	河南范县
50	1937.08.01	35.2°	115.3°	7	2	IX	山东菏泽
51	1937.08.01	35.3°	115.4°	6¾	2	VIII	山东菏泽
52	1948.05.29	35.1°	115.4°	5½	3		山东菏泽附近
53	1964.09.02	35.1°	111.6°	4.7	2	VII	山西夏县东南
54	1965.01.10	35.0°	111.5°	5.2	2		山西垣曲南
55	1965.01.13	35.0°	111.63°	5.5	1	VII+	山西垣曲
56	1965.01.15	35.1°	111.6°	5.1	2		山西夏县垣曲交界
57	1965.01.15	35.1°	111.6°	4.7	2		山西垣曲
58	1970.08.07	35.45°	111.97°	4.7	3		山西绛县附近
59	1978.06.05	35.35°	113.92°	4.9	1	VI	河南卫辉
60	1980.08.02	35.95°	113.87°	5.1	1	VI	河南林州东南
61	1983.11.07	35.28°	115.28°	6.3	1	VII+	山东菏泽
62	1992.01.14	34.38°	113.28°	4.7			河南登封
63	2000.04.29	33.22°	112.05°	4.7	1	VI	河南内乡
64	2003.11.25	36.17°	111.62°	5.0	1	VI	山西洪洞
65	2006.04.09	35.67°	115.40°	4.7	1		河南濮阳
66	2008.3.10	34.93°	114.72°	4.8	1	VI	河南封丘
67	2010.10.24	34.07°	114.65°	5.1	1	VI	河南太康
68	2011.03.08	34.00°	114.60°	4.7	1	VI	河南太康

1.2 区域地震活动时空特征分析

1.2.1 区域地震活动的空间分布特征

图1.2.1为区域破坏性地震震中分布图。从图中可以看出，区域破坏性地震活动在空间分布上具有不均匀性，在临汾一带曾多次发生6级以上地震，最大地震为1303年洪洞8级地震；菏泽一带也曾多次发生6级以上地震。由破坏性地震活动空间分布特征可以看出，无论是频度还是强度，区域北部的地震活动水平高于南部。

图1.2.2为区域现代地震震中分布图，从图中可以看出区域现代地震活动的空间分布表现为临汾一带、菏泽一带的地震成带状分布，这与区域破坏性地震的震中分布大致相同。但破坏性地震相对集中许昌及周边历史破坏性地震相对较为集中，但现代地震活动相对较弱。区域北部的小震活动水平明显高于南部，其空间分布特征与破坏性地震分布特征基本上一致。值得注意的是近几年来区域东部的河南封丘、兰考，河南范县与山东鄄城交界等地区发生了多次有感地震。

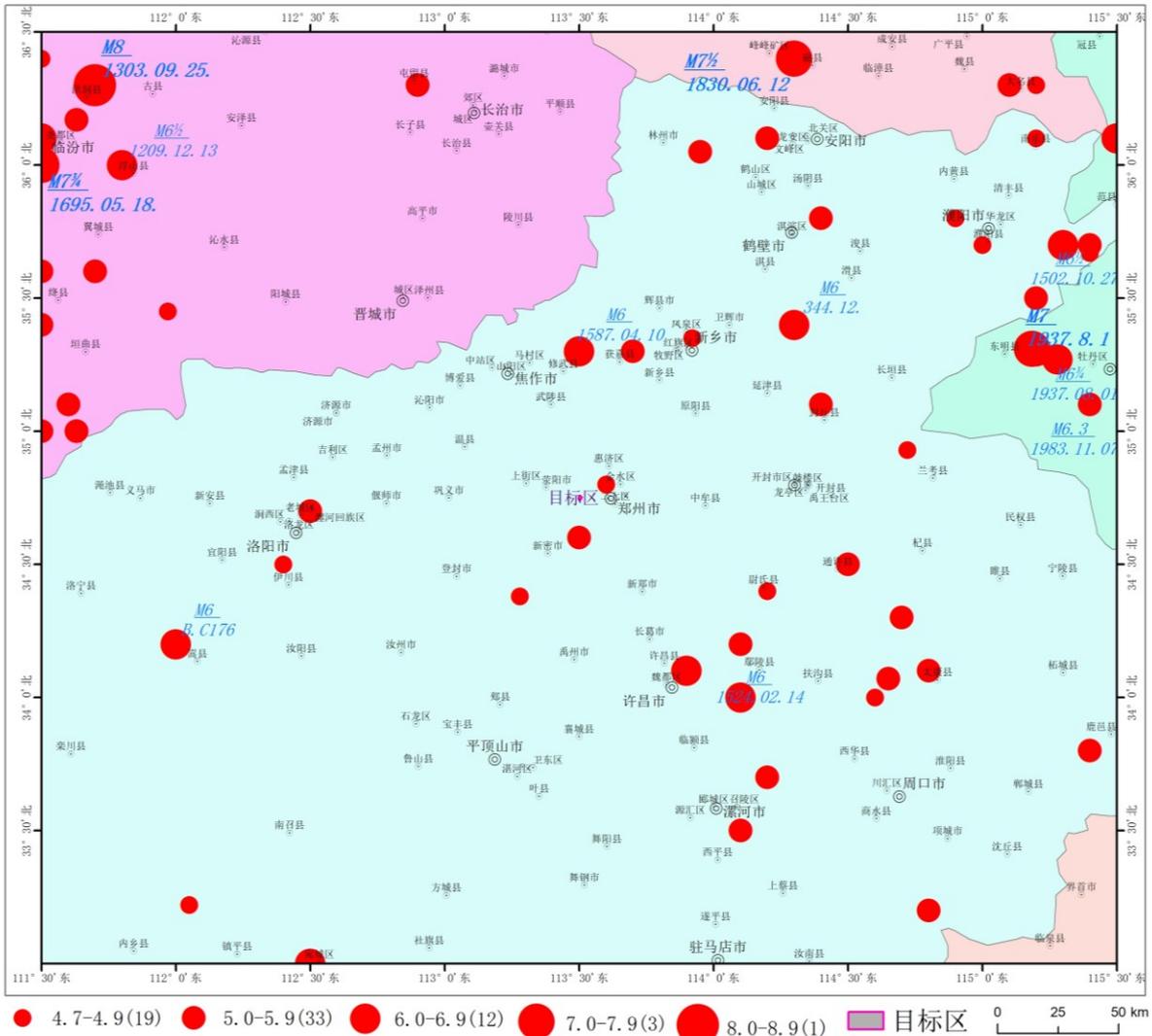


图 1.2.1 区域破坏性地震震中分布图 (B. C1767 年~2023.5, $M \geq 4.7$)

1970年以来地震观测结果表明，区域现代地震活动较为频繁，其空间分布也主要集中在一些活动断裂带附近。从图1.2.2可以看出区域现代地震的空间分布特征表现为以下特点：

(1) 其中范县-鄄城-菏泽一带、临汾-洪洞一带地震活动密集，呈带状分布，且具有团簇特征；磁县、林州、新乡地震活动也相对密集，呈团簇状分布；在许昌-济源一带有一北西向的弱地震条带分布。

(2) 密集成丛性：在强地震震中附近，小震分布较密集。如山西临汾附近、山东菏泽至范县一带的小震活动频繁。这种分布特点表明强地震的发震断裂是构造活动比较强烈的地区。

(3) 随机分布性：区内小震并不完全受已有的构造所控制，有些小震的发生没有受活动断裂的控制，呈随机分布。

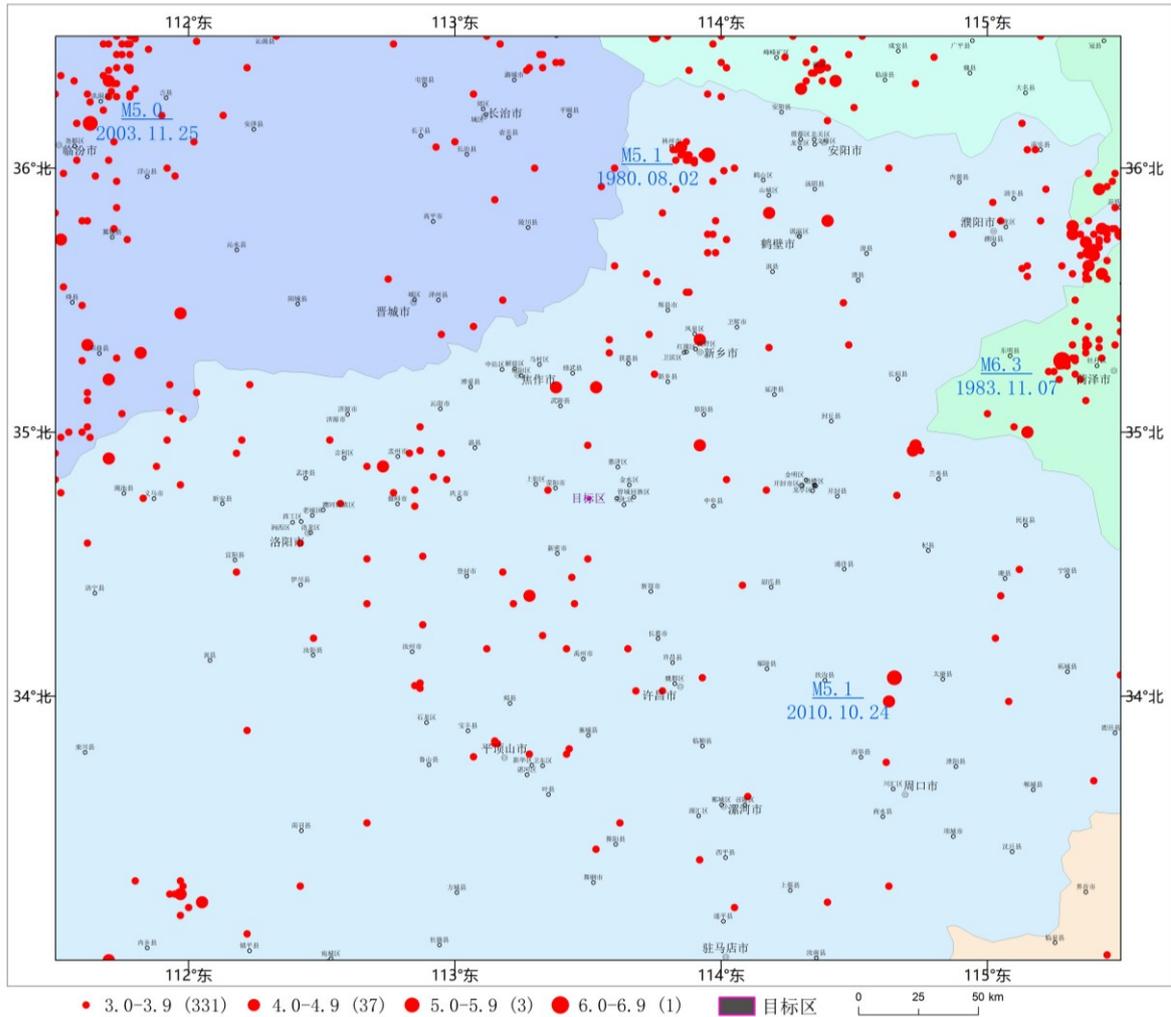


图 1.2.2 区域现代地震震中分布图 (1970.1~2023.5, $M \geq 3.0$)

1.2.3 区域地震活动的时间分布特征

分析本区域地震活动的时间分布特征以前, 先对华北地区地震活动时间特征及未来趋势进行研究。公元 90 年以来, 华北地区 $M \geq 6$ 级地震的强震活动呈现平静与活动交替的特点, 可大致分为 4 个活动期, 活动期持续时间 300 年左右。图 1.2.3 给出 1400 年以来以来经历有两个地震活跃期, 第一活跃期 194 年, 是以 1 次 8 级、8 次 6.0~6.9 级地震的形式出现; 第二活跃期是以 5 次 7.0~7.9 级、14 次 6.0~6.9 级地震的形式活动, 两者的活动特点不一致。1984 年至 2010 年间, 该区未有 5.5 级地震, 仅发生 2 次 5 级左右地震 (2006 年 7 月文安 5.1 级地震和 2010 年 10 月周口 5 级地震)。第二活跃期有可能到 1983 年已经结束。鉴于两个活跃期之间仍有个别 6 级地震出现, 从保守角度出发, 未来百年地震活动趋势应以本地震统计区的平均地震活动水平来估计。

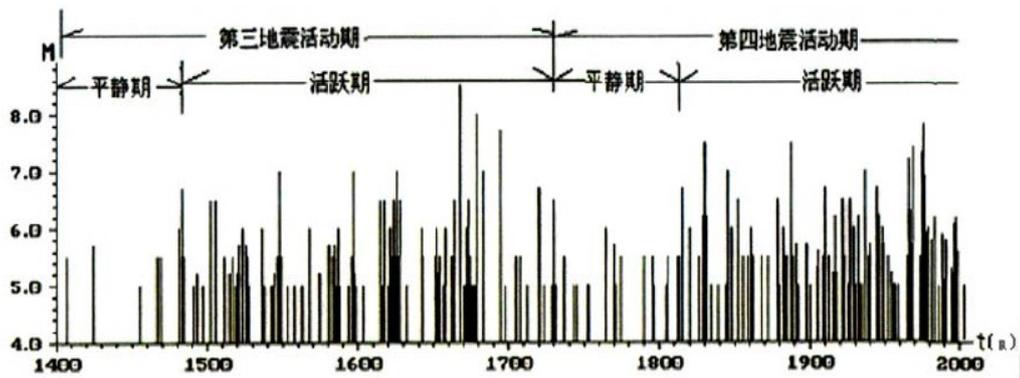


图 1.2.3 华北地震区第三、第四地震活动期 M-t 图 ($M \geq 5$, 1400~2023.5)

图 1.2.4 和图 1.2.5 分别为区域破坏性地震和现代地震随时间的分布时序。从区域破坏性地震时间分布图来看，该区自 1493 年以来，地震活跃时段大体可做如下划分：1493-1695 年、1814 年至今，与大华北地区的地震时序分布基本一致。

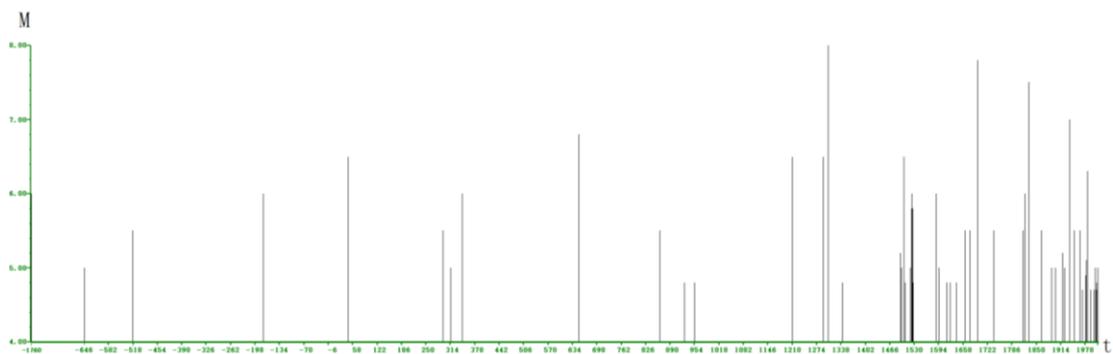


图 1.2.4 区域破坏性地震 M-t 图 (公元元年~2023.5, $M \geq 4.7$)

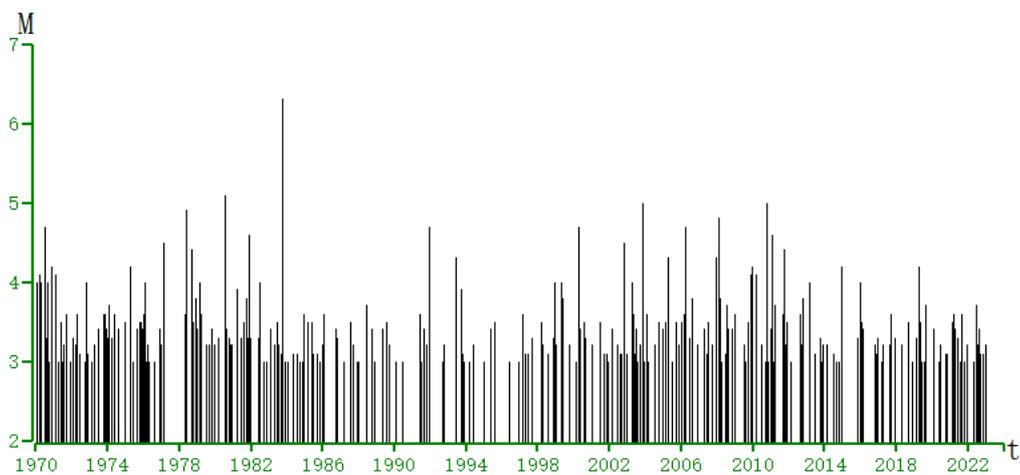


图 1.2.5 区域现代地震 M-t 图 (1970.1~2023.5, $M \geq 3.0$)

1.2.4 地震震源深度分布特征

历史地震记载是没有震源深度的，只有仪器记录的地震才有可能测定此参数。因此本次工作采用了区域范围内 1970 年以来 $M \geq 3.0$ 级地震的数据统计地震的震源深度分布。在 372 次记录中，244 次地震有震源深度数据。图 1.2.6 为区域地震震源深度直方图，区域地震震源深度分布的具体统计数据参见表 1.2.1。

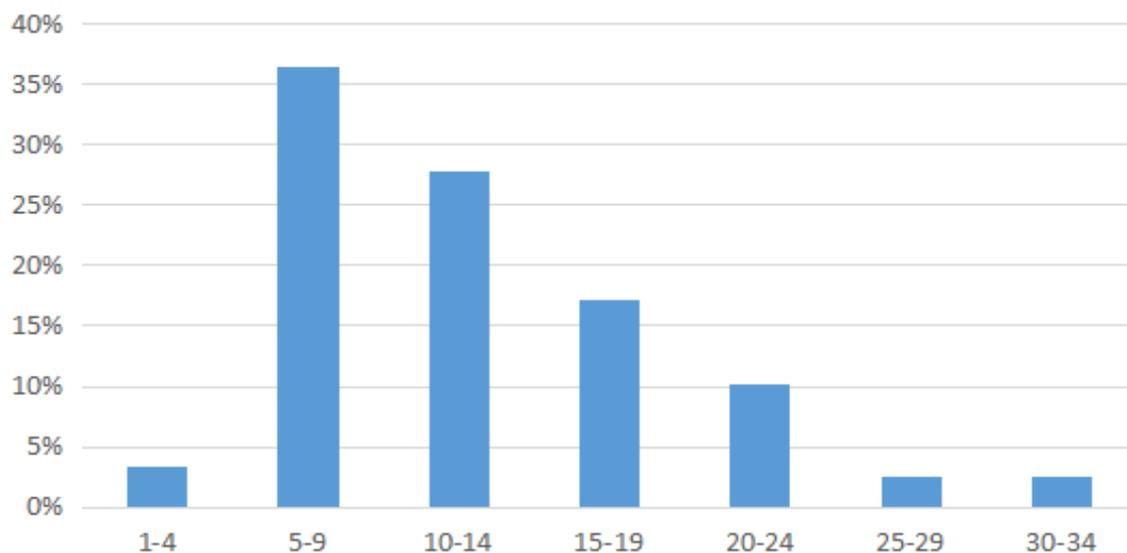


图 1.2.6 区域现代地震震源深度频次分布直方图 (1970.1~2023.5, $M \geq 3.0$)

表 1.2.1 区域范围内地震震源深度分布统计

震源深度 (km)	1~4	5~9	10~14	15~19	20~24	25~29	30~34
地震个数	3	45	62	36	24	6	6
百分比 (%)	3.3	36.5	27.9	17.2	10.2	2.5	2.5

总体来看在目标区的区域范围内，地震震源深度绝大部分在 30km 以内，地震属于发生在地壳中上层的浅源地震。

1.2.5 地震区、带地震活动特征

根据中国地震区划研究成果采用 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》的地震统计区划方案，区域范围涉及华北平原地震带和汾渭地震带（图 1.2.7）。



图 1.2.7 区域地震区带图（蓝色框为场地区域范围）

(1) 华北平原地震带

华北平原地震带呈北北东向展布，为浅源强烈地震活动构造带。主要涉及河南、河北、京津唐地区（图 1.2.8）。本带现代发生过 1966 年邢台 M7.2 级地震和 1976 年唐山 M7.8 级地震等一系列强震，最大一次地震为 1679 年 9 月 2 日河北三河平谷 M8 级地震，地震活动水平较高，共发生 M7.0~8.0 级地震 6 次，M6.0~6.9 级地震 30 次。华北平原地震带主要控制构造为晚新生代继承性强烈活动的北北东向华北平原断陷沉降带，该带形成于早新生代，为系列裂陷作用下的盆岭伸展构造，其北部中部晚新生代沉积厚度 1000-2200m，南部 200~600m，其北部、中部发育一系列雁列展布的北北东向强震断裂构造和相应共轭的北西向横向剪切强震断裂构造。该带北部、中部为大震活动区，南部为中等地震活动区，呈现北强南弱特征。

根据活动构造展布、地震活动水平等，本带可分为三部分。北部京津唐地震构造区，强震较频繁，如 1679 年三河平谷 M8 级地震、1976 年唐山 M7.8 级地震和滦县 M7.1 级地震，M5.0~6.9 级地震呈北西向与北东向共轭密集分布，区

内发育众多全新世、晚更新世活动断裂。中段华北中部地震构造区大震强度稍低，有 1830 年磁县 M7½级地震、1937 年菏泽 M7 级地震，和 1966 年邢台 M7.2、M6.8、M6.7 级强震群，M5.0~6.9 级地震亦较多。区内发育较多的晚更新世活动断裂和少量全新世活动断裂。其华北南部地震构造区为中等地震活动水平，有地震记载以来，共发生 $M \geq 4 \frac{1}{4}$ 级地震 20 次，M5.0~5.9 级地震 13 次，M6.0~6.9 级地震 4 次，最大地震为 46 年 10 月河南南阳 M6 级地震，其次为 1524 年、1820 年许昌附近 2 次 M6 级地震，构造展布方向以北西西为主，主要地震构造多为早第四纪断裂，少数为晚更新世活动断裂。

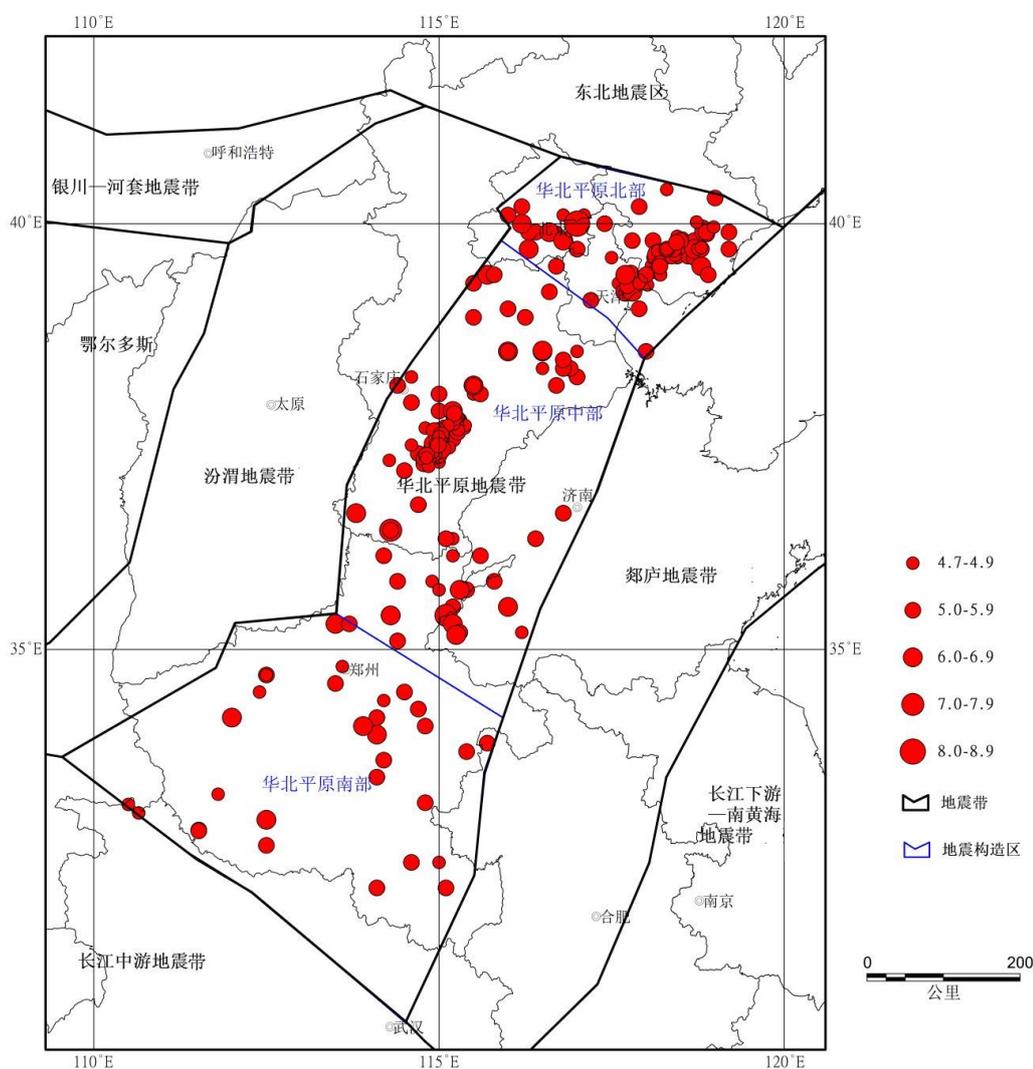


图 1.2.8 华北平原地震带震中分布图

(2) 汾渭地震带

汾渭地震带南起渭河盆地，贯穿山西全境，是华北地区的一个强震活动区。该带北起河北宣化-怀安盆地、怀来-延庆盆地，向南经阳原盆地、蔚县盆地、大同

盆地、忻定盆地、灵丘盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地至渭河盆地，这一系列盆地构成汾渭地震带（图 1.2.9）

沿地震构造带存在规模不等的莫氏面隆起，在断陷盆地区地壳明显减薄。本地震带处于两条东西向重力梯度带之间，其间的北北东向重力异常带与地震带位置基本一致。布格重力异常值在 $-80\sim-200\times 10^{-5} \text{ m. s}^{-2}$ 之间，并存在自北向南减少的趋势。沿断陷盆地看不出明显的航磁异常。有地震记载以来，发生过 8 级以上地震 2 次（1556 年华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震和 1303 年洪 8 级地震），M7.0~7.9 级地震 7 次，M6.0~6.9 级地震 22 次，5.0~5.9 级地震 99 次。

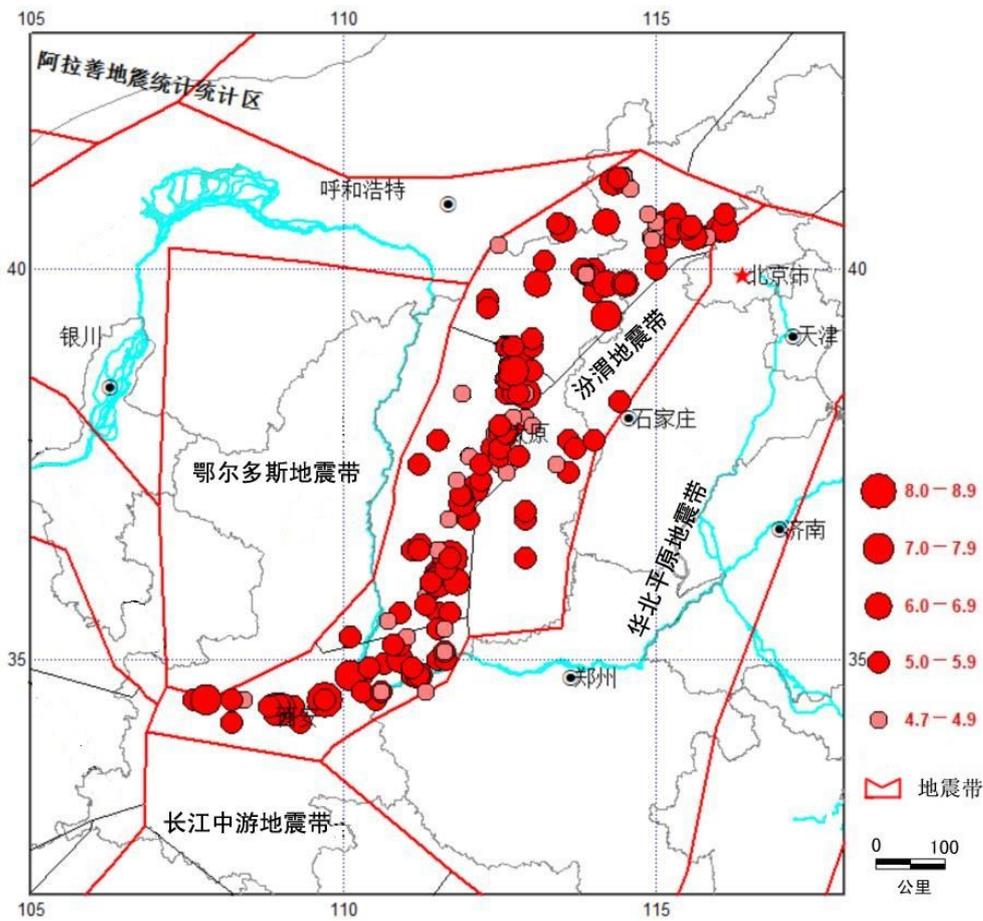


图 1.2.9 汾渭地震带震中分布图

1.2.5.1 华北平原地震带地震活动时间特征及未来趋势

华北平原地震带最早的地震记载为公元前1767年河南偃师6级地震。图1.2.8和图1.2.9给出华北平原地震带自公元前1800年和1400年以来 $M\geq 4.7$ 级地震的M-T图与应变释放曲线。由图1.2.10可以看出1450年之前，仅记有19次地震，地震缺失较多，1450年后地震记录才基本完整。由图1.2.11可以看出该地震带1450年以来经历有两个地震活跃期（1485-1679年，1791-2021年）。第一活跃期194年，是以1次8

级、8次6.0~6.9级地震的形式出现，最大地震1679年三河、平谷8级；第二活跃期至今223年，是以5次7.0~7.9级、14次6.0~6.9级地震的形式活动，最大地震1976年唐山7.8级地震。两者的活动特点不一致。1984年至2014年间，该地震带未有5.5级地震，仅发生3次5级左右地震（2006年7月文安5.1级地震、2010年10月周口5级地震和2012年丰润5.1级地震）。鉴于两个活跃期之间仍有个别6级地震出现，从保守角度出发，未来百年地震活动趋势应以本地震带的平均地震活动水平来估计。

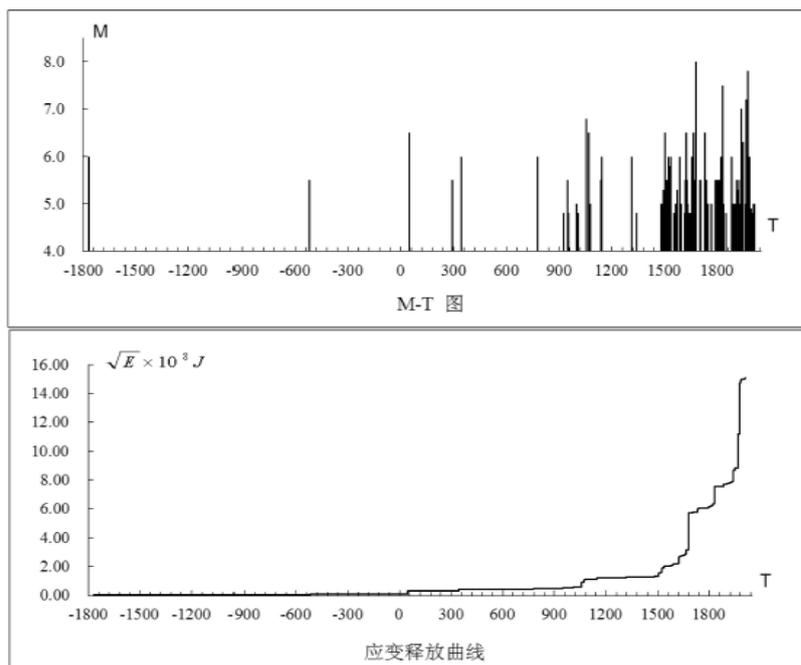


图 1. 2. 10 公元前 1800 年以来华北平原地震带 M-T 图及应变释放曲线

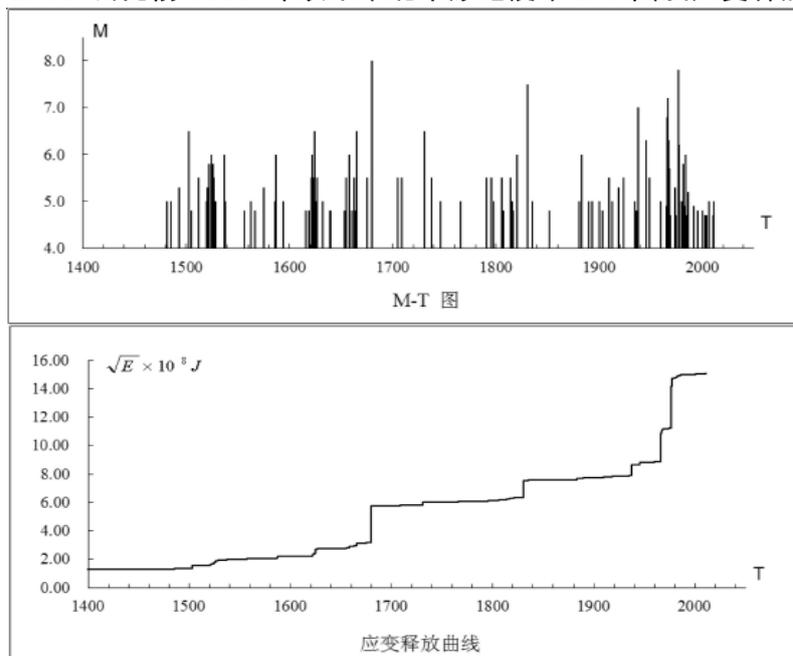


图 1. 2. 11 公元 1400 年以来华北平原地震带 M-T 及应变释放曲线

1.2.5.2 汾渭地震带地震活动时间特征及未来趋势

汾渭地震带最早的地震记载为公元前23世纪山西永济蒲州5½级地震。图1.2.12给出了汾渭地震带自有地震记载以来4.7级以上地震的M-T图和应变释放曲线。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 $M \geq 5$ 级地震资料的完整，但地震记录较为连续，可以定性分析地震活动在时间上的变化过程。

图1.2.13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，该地震带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，该地震带小震和震群活动很活跃，1998年在该地震带北部发生了引人注目的6.3级地震。显示该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。

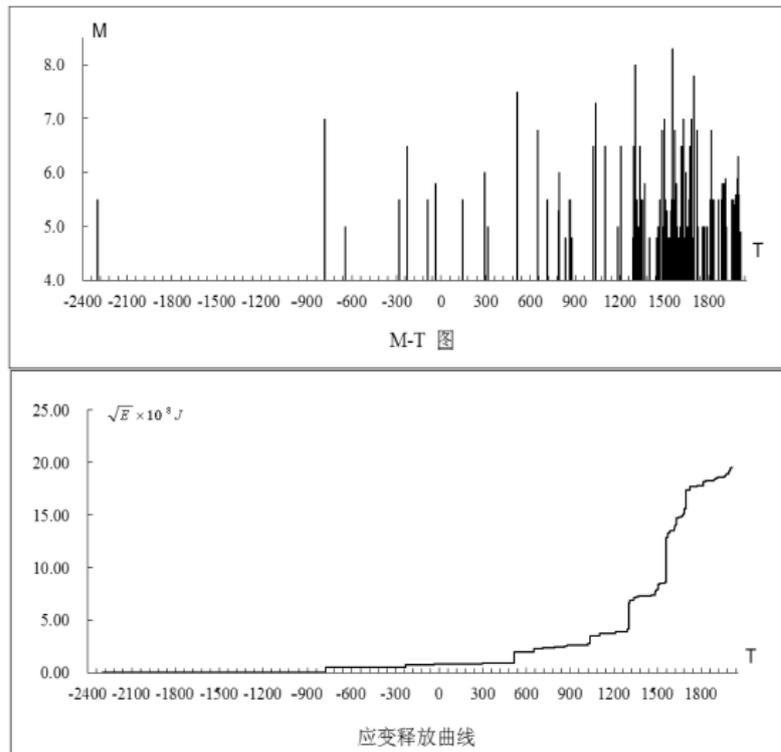


图1.2.12 公元前23世纪至公元1000年汾渭地震带M-T 图及应变释放曲线

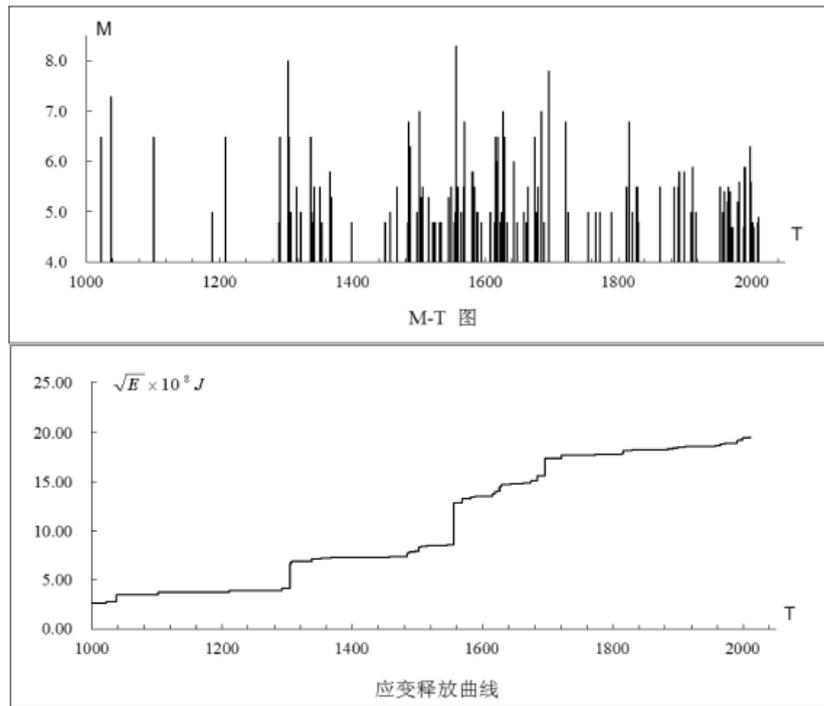


图 1.2.13 公元 1020 年以来汾渭地震带 M-T 及应变释放曲线

1.3 现代构造应力场

在一定区域内，用较多地震的主压应力方向求得的平均值，代表了该区的现代构造应力场的方向。

根据谢智、刘尧兴等（2002）对河南及邻区地震的震源机制解资料分区计算结果，主压应力轴走向为北东东向，主张应力轴为北北西向，说明区域主要处于以北东东走向的近水平压应力和北北西走向的水平张应力为特征的构造应力场中，与华北地区构造应力场基本一致。分区计算表明：晋陕豫交界平均 P 轴走向为 67°，冀鲁豫交界平均 P 轴走向为 76°。

本项目收集到的区域内 55 个地震的震源机制解资料见表 1.3.1，图 1.3.1 为区域地震震源机制解分布图，可以看出，区域内地震断层多为走滑型断层类型。

在一定区域内，用较多地震的主压应力方向求得的平均值，代表了该区的现代构造应力场的方向。图 1.3.2 是区域震源应力场 P、T 轴的方位角与仰角分布图。从图中可以看出，P 轴优势方位为北东东向，T 轴优势方位为北北西向，说明区域主要处于以北东东走向的水平压应力和北北西走向的水平张应力为特征的构造应力场作用之下。P、T 轴的仰角大多数小于 40°，说明区域构造应力场的方向主要为近水平向。

表 1.3.1 区域及邻区地震震源机制解汇总表

编号	地震日期 年月日	地名	震中位置		震级 (M)	深度 (km)	节面 A(°)		节面 B(°)		P 轴(°)		T 轴(°)	
			北纬 (°)	东经 (°)			走向	倾角	走向	倾角	方位	仰角	方位	仰角
1	1965.1.13	山西垣曲	35.10	111.6	5.5	10	280	70	20	64	239	33	331	4
2	1968.04.02	河北大名	36.20	115.2	4.2		7	65	221	26	62	69	290	20
3	1974.02.19	山东菏泽	35.40	115.4	3.7	21	91	85	358	56	39	20	140	27
4	1975.04.22	河南林州	36.07	113.87	3.8	4	85	82	181	55	217	30	318	18
5	1976.02.14	河南内乡	33.25	111.97	3.5	10	223	68	115	52	165	10	266	44
6	1977.03.10	河北磁县	36.37	114.32	4.0	17	35	55	272	53	332	1	67	57
7	1978.05.28	河南内乡	33.25	111.97	3.0	10	162	82	259	51	293	33	37	20
8	1978.06.05	河南卫辉	35.35	113.92	4.9	22	5	80	104	49	135	36	241	20
9	1978.10.01	河南鹤壁	35.83	114.18	3.9	23	147	56	2	40	72	8	189	70
10	1979.01.02	河南淇县	35.68	113.95	3.2	20	203	75	108	70	246	25	155	3
11	1979.03.20	河南修武	35.17	113.38	3.5	20	188	81	285	54	62	18	320	32
12	1980.08.02	河南林州	36.03	113.9	5.1	20	27	88	119	48	261	26	155	30
13	1981.04.17	河南林州	36.07	113.82	3.6	8	203	77	105	60	248	31	151	11
14	1981.10.23	河南南乐	36.07	115.13	3.2	11	165	65	300	33	58	17	293	63
15	1981.12.23	山东菏泽	35.42	115.30	4.0	16	211	61	320	60	88	1	350	44
16	1982.05.29	河北邯郸	36.45	114.75	4.4	20	125	75	265	16	233	59	25	30
17	1982.07.29	山东东明	34.98	115.07	3.6	19	305	73	198	47	243	16	357	43
18	1983.10.15	河南孟州	34.87	112.73	3.7	19	30	74	126	70	256	3	171	26
19	1983.11.07	山东菏泽	35.28	115.28	6.3	12	42	51	294	70	251	44	352	12
20	1986.11.21	山西运城	35.20	113.05	4.2	20	296	70	36	64	75	33	167	4
21	1992.01.14	河南登封	34.38	113.28	4.7	23	226	75	132	74	269	22	179	1
22	1995.08.23	河南清丰	35.90	115.03	3.0	17	7	84	102	46	226	25	155	34
23	1998.03.25	河南濮阳	35.78	115.42	3.0	16	25	80	286	16	328	22	76	38
24	1998.12.09	河南滑县	35.28	114.37	2.9	14	266	60	41	40	44	64	157	11
25	1998.12.26	河南濮阳	35.65	115.27	3.5	20	76	80	342	71	120	21	28	6
26	1999.05.20	河南范县	35.78	114.97	3.5	24	191	77	88	47	243	40	131	19
27	1999.06.22	河南中牟	34.87	113.97	3.2	22	138	80	40	51	83	19	187	35
28	2000.04.29	河南内乡	33.22	112.05	4.7	16	284	76	21	65	60	28	154	7
29	2000.06.03	河南安阳	36.28	114.00	3.0	6	216	74	323	45	96	18	348	44
30	2002.11.07	河南原阳	34.93	113.93	4.0	18	72	56	173	75	36	36	300	13
31	2003.11.25	山西洪洞	36.20	111.60	5.0		108	88	200	34	170	34	48	37
32	2005.04.27	河南范县	35.63	115.38	3.8	13	196	46	329	54	81	5	181	64
33	2008.01.03	河南封丘	34.95	114.73	4.3	9	44	89	134	89	89	0	359	1
34	2008.03.10	河南封丘	34.93	114.72	4.8	15	41	88	131	86	86	1	356	4
35	2008.03.20	河南封丘	34.93	114.750	3.8	8	167	46	5	46	266	0	357	81
36	2008.04.02	河南范县	35.77	115.450	3.7	8	81	52	287	41	183	6	296	76
37	2009.12.20	河南修武	35.17	113.531	4.1	5	200	68	298	72	68	2	160	29
38	2010.01.15	河南范县	35.72	115.370	4.2	10	160	90	250	71	113	13	207	13
39	2010.04.07	山西洪洞	36.33	111.697	4.1	5	104	71	203	65	62	32	155	4
40	2010.10.24	河南太康	34.07	114.650	5.1	6	55	78	149	74	12	20	103	2
41	2011.03.08	河南太康	33.99	114.630	4.7	10	34	88	303	56	264	25	163	22
42	2011.04.21	山西长子	36.08	112.945	3.7	8	197	68	304	53	254	9	155	43
43	2011.09.30	山西襄垣	36.50	113.118	3.6	7	135	83	225	87	90	7	0	3
44	2012.09.12	河南济源	35.18	112.243	3.6	10	94	53	187	86	57	28	315	22
45	2012.11.02	山西浮山	35.95	111.727	3.8	5	37	85	128	81	83	3	352	10
46	2013.04.04	山西垣曲	35.34	111.615	4.0	14	50	76	298	34	286	49	164	24
47	2015.01.18	河南范县	35.69	115.382	4.2	7	342	77	73	87	298	11	207	7
48	2017.10.19	山西尧都	35.99	111.529	3.6	19	13	60	281	87	233	23	331	19
49	2018.10.11	河南林州	35.75	113.953	3.5	6	21	75	129	41	83	20	330	46
50	2019.4.21	河北临漳	36.34	114.425	4.2	6	90	64	191	69	52	34	319	4

51	2019.05.29	河南陕州	34.77	111.517	3.5	6	12	71	106	80	238	6	330	21
52	2019.09.12	山东菏泽	35.21	115.339	3.7	10	116	85	209	63	69	22	165	15
53	2019.09.15	河南滎池	34.97	111.917	3.5	5	31	70	127	74	258	3	350	26
54	2021.03.02	河南开封	34.75	114.651	3.6	7	107	89	197	86	62	4	152	2
55	2021.04.08	山西洪洞	36.29	111.711	3.6	18	101	55	358	72	53	11	314	39

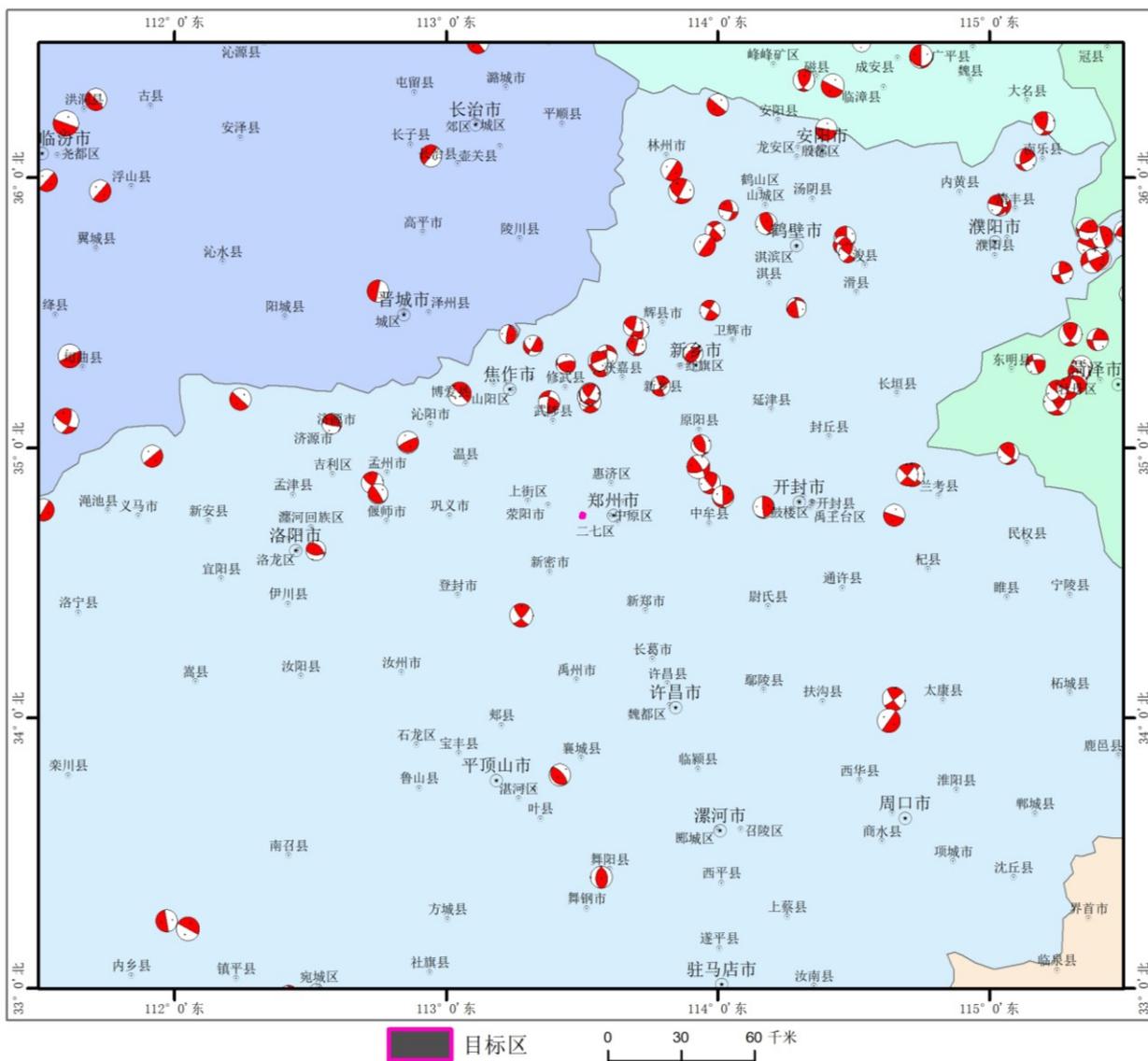


图 1.3.1 区域地震震源机制解图

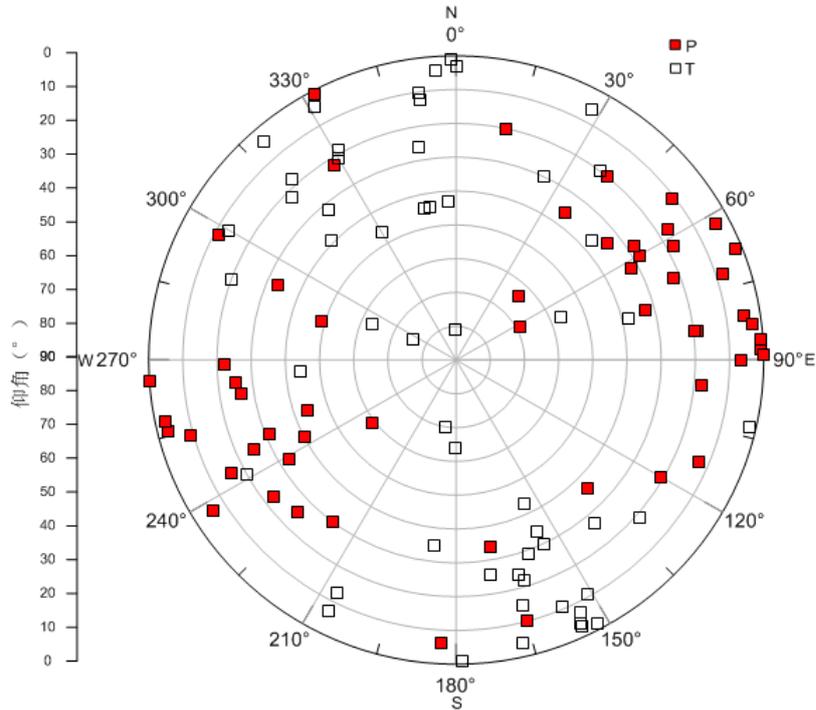


图 1.3.2 P、T 轴方位角与仰角分布图

1.4 破坏性地震对目标区的影响

分析历史地震对场地的影响是本项工程地震安全性评价的重要组成部分。本报告将从两个方面来分析地震影响情况。一是根据现有的历史地震等震线资料，给出它们对场地的实际影响；另一方面是应用地震烈度衰减关系式，计算破坏性地震对它们的影响烈度值。

1.4.1 破坏性地震影响

对场地造成 V 度及 V 度以上的历史地震事件见表，对其中几个较大的破坏性地震情况简述如下：

1.4.1.1 公元 927 年 8 月河南郑州 4¼级地震

距目标区最近的 M4.7 级及以上地震是 927 年 8 月河南郑州 4¼级地震，震中距目标区的最近距离分别为 10km 和 11km，震中烈度为 VI 度，史料记载“地大震，杀二人”。虽然震级不大，但因距目标区较远，对目标区的影响烈度均为 V 度。

1.4.1.2 公元 1814 年 1 月荥阳贾峪 5 级地震

1814 年 1 月 10 日未时，荥阳贾峪发生 5 级地震，据贾峪镇谷山庙重修祖始庙碑记载：“……未时地震，庙宇颓塌……饥馑荐臻，人相食，继之瘟疫流行，死者大半。”这是郑州地区有记载的最强烈的一次地震。

此次地震的震中烈度为Ⅵ度，对目标区的影响烈度为Ⅴ度。

1.4.1.3 公元1303年9月山西赵城、洪洞8级地震

据记载：“太原、平阳二路尤甚，坏官民庐舍十万计，宫观摧圮者1400余区；山摧阜移，村堡移徙，地裂成渠，赵城、洪洞、临汾三县之利泽渠圯坏；压死者20余万（或说死十万有余），伤数十万人”；浮山“学宫毁，罗汉院故殿廊庑俱已颠覆，荡然一空，玉兔寺（县西南十里）废，人打死三分”。

此次地震震中烈度为Ⅺ度，对目标区的影响烈度均为Ⅵ度，如下图1.4.1。

1.4.1.4 1522年2月7日河南鄢陵、长葛5¼级地震

鄢陵：“屋仆者相望。县外西北干明寺内十八层砖塔铁顶坠地。一夜动一百余次，旬日始宁”。长葛：“坏民庐舍。”许昌：“地大震，前后40余日方止”。

此次地震震中烈度达Ⅷ度，对目标区的影响烈度均为Ⅴ度（如下图1.4.2所示）。

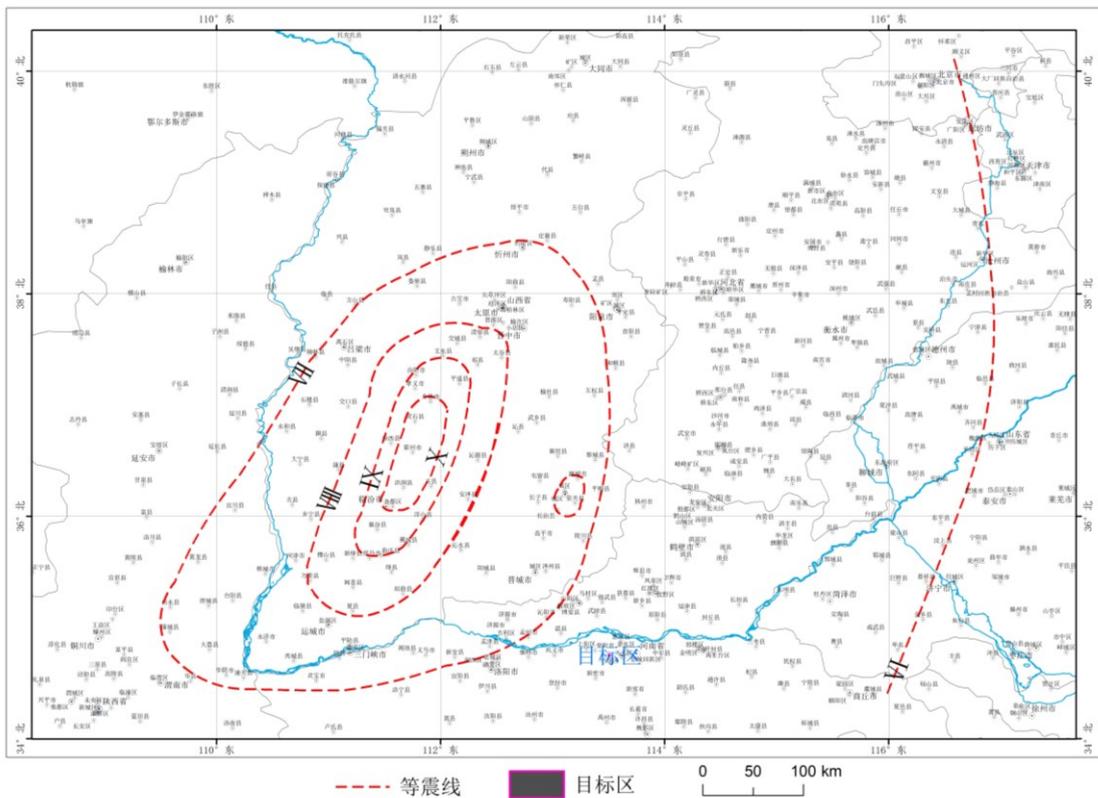


图 1.4.1 1303 年 9 月山西赵城、洪洞 8 级地震等震线

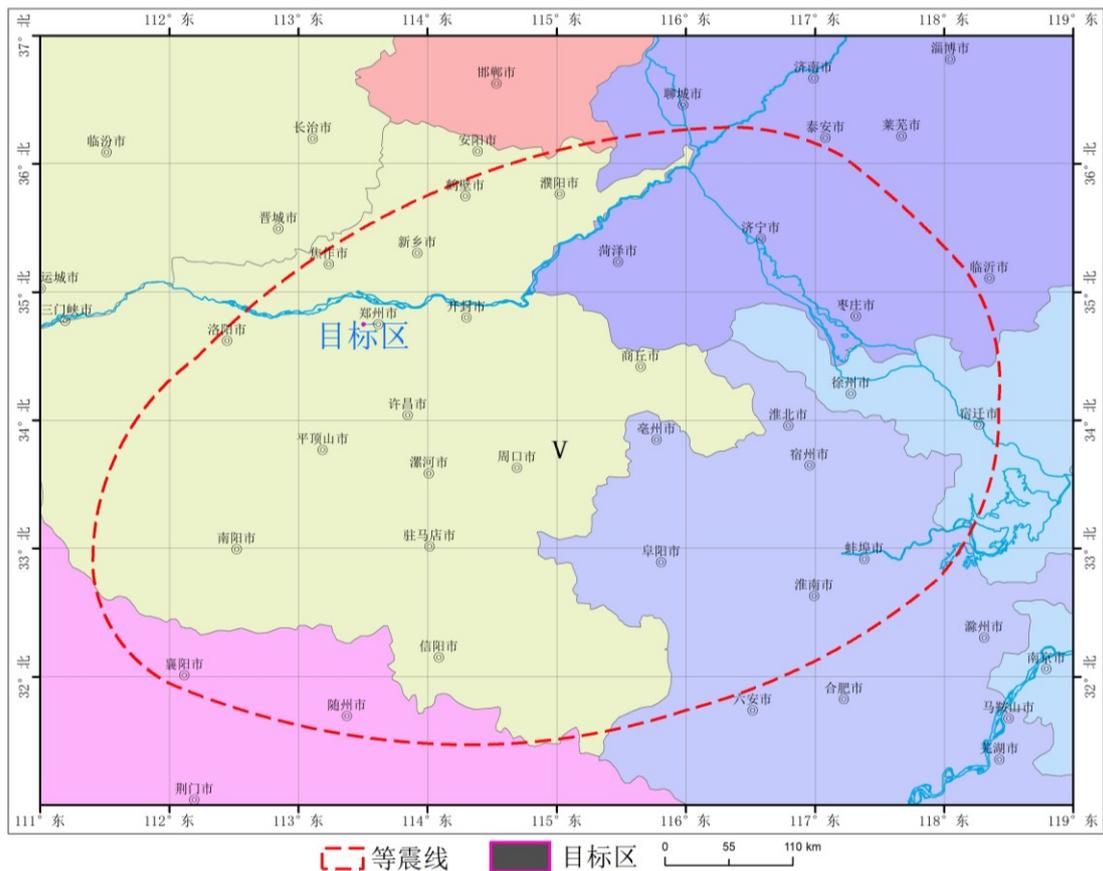


图 1.4.2 1522 年 1 月河南郟陵、长葛 $5\frac{3}{4}$ 级地震等震线图

1.4.1.5 公元 1556 年 2 月陕西华县 $8\frac{1}{4}$ 级地震

此次地震史称关中大地震，不仅在中国大陆，而且在全球是因地震死亡人数最多的一次地震。《嘉靖实录》载：“压死官吏军民奏报有名者八十三万有余，其不知名未奏报者复不可数计”。

“秦晋之交，地忽大震，声如万雷，川原坼裂，郊墟迁移，道路改观，树木倒置，阡陌更反。五岳动摇，寰宇震殆遍。陵谷变迁，起者成阜，下者成壑，或岗阜陷入平地，或平地突起山阜，涌者成泉，裂者成涧，地裂纵横如画，裂之大者水火并出。井泉涸废，新泉涌流，喷高丈余。山移河徙四五里，涌沙、陷没亘数千里。”

“华县、渭南、华阴及朝邑、蒲州等处尤甚。郡城邑镇皆陷没，塔崩、桥毁、碑折断，城垣、庙宇、官衙、民庐倾颓摧圮，一望丘墟，人烟几绝两千里；四处起火，数日火烟未灭；民天寒露处，抢掠大起。

陕西、山西、河南三省 97 州县遭受破坏。波及甘肃、河北、山东、湖北、湖南、江苏、安徽等省 130 余县。

此次地震震中烈度达 XI 度，对目标区的影响烈度为均 VI 度，如图下 1.4.3。

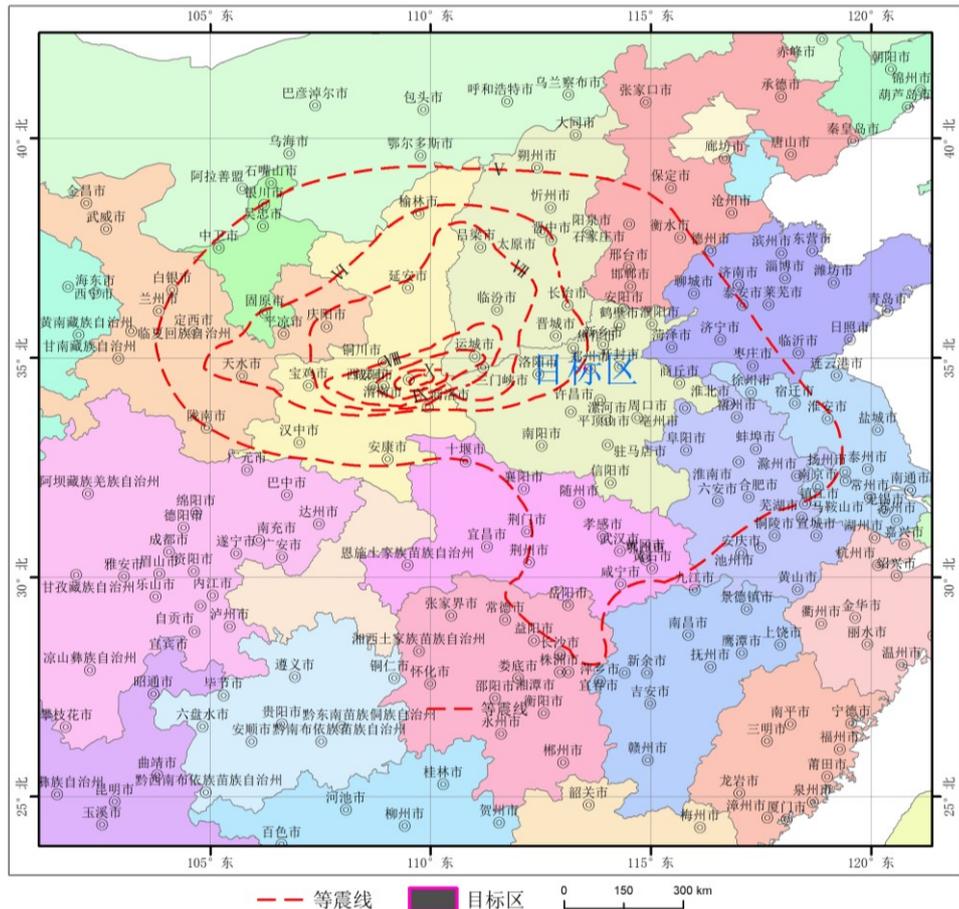


图 1.4.3 1556 年 2 月陕西华县 8¼ 级地震等震线

1.4.1.6 1668 年 7 月山东郯城 8¼ 级地震

震中位于山东郯城北，烈度 $\geq XI$ 。据记载：“此次地震波及鲁、苏、皖、浙、闽、赣、鄂、豫、冀、晋、陕、辽诸省及朝鲜等，山东郯城、沂州、莒县破坏最重。包括州志、县志、方志、诗文、碑刻等 500 多种史料记载了这次地震。震中周围 50 多万平方公里范围内的 150 多个州县遭受不同程度破坏，共压毙 5 万多人，有感半径达 800 多公里。这次地震惊动朝野，康熙命户部速行详议，分别蠲赈。发免山东沂州等 40 州、县、卫年租多寡不等，银二十二万七千三百有奇，并遣官赈济”。

极震区北至莒县，南至新沂，沿沂沭断裂带呈北北东向分布，其中郯城县、临沭县部分地区烈度达 XII 度，其它地区烈度达 XI 度。对目标区的影响烈度为均 V 度，如下图 1.4.4。

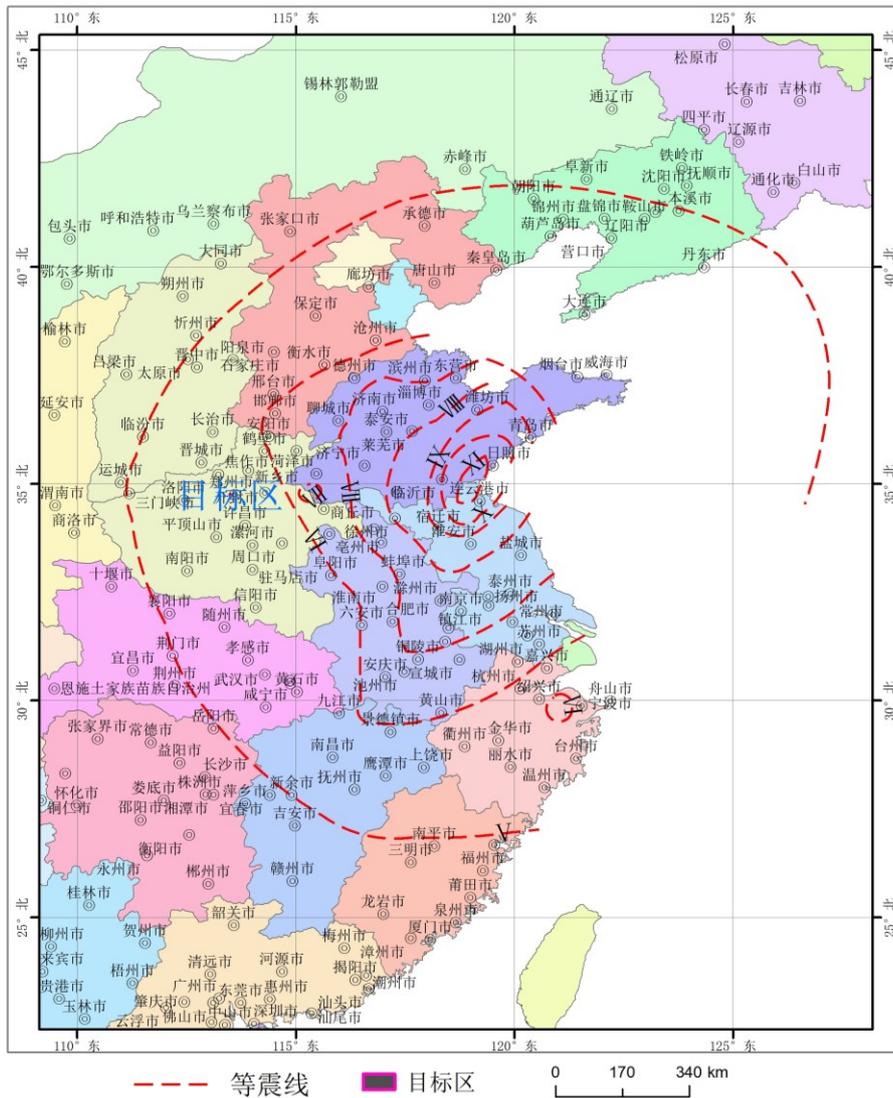


图 1.4.4 1668 年 7 月山东郯城 8½ 级地震等震线

1.4.1.7 公元 1695 年 5 月山西临汾 7¼ 级地震

据史料记载：“平阳（治临汾）地震，临、襄、洪、浮四邑较彼一时，临汾尤甚，浮山三邑，城廓房舍存无二三（一说倾倒公私廨舍房屋 4 万余间），居民死伤十有七八（一说死毙人 52600 余名），有阖门尽毙不留一人者。地裂涌水，哮哭惊声日夜不绝，民皆露处，黠暴乘间剽掠。

浮山：“城垣、县署、学宫、察院、庙坊倾圮，坏庐舍十之五，压死者数万人，民皆露处，南关房屋尽倾，仅存瓦砾遗址”。

洛阳：地大震，屋壁皆倾。

此次地震震中烈度达 X 度，对目标区的影响烈度为均 V 度，如图下 1.4.5。

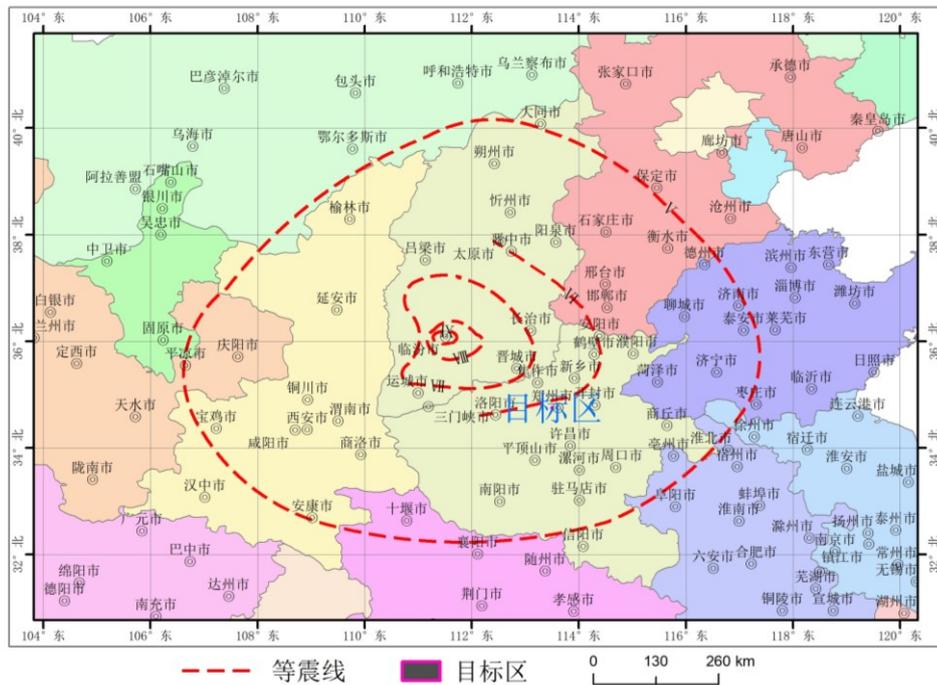


图 1.4.5 1695 年 5 月山西临汾 7½级地震等震线

1.4.1.8 1830 年 6 月河北磁县 7½级地震

据记载：“冀豫之间同时地大震，磁州尤甚，官民房屋倒塌殆尽，人物压毙无算。城关及西乡最重，南乡次之，东北二乡稍轻。山陵分崩，河渠翻凸，桥梁尽折，莹墓皆平，村庄道路不复可辨。章滏两河水尽涸见底，平地坼裂，水涌出，其色黑白不等，水尽继以沙，沙尽继之以寒气”。

此次地震震中烈度达 X 度，对目标区的影响烈度为均 V 度，如下图 1.4.6。

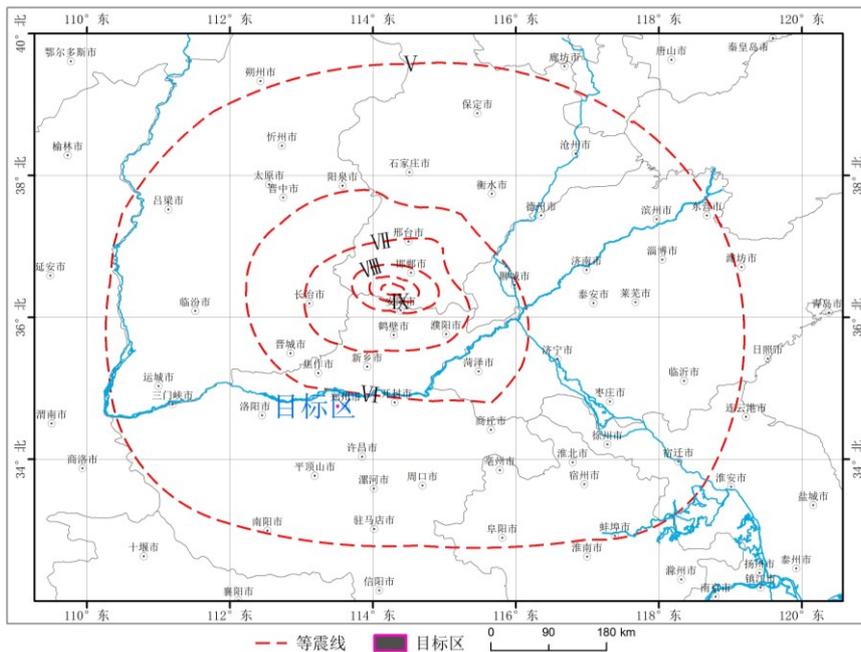


图 1.4.6 1830 年 6 月河北磁县 7½级地震等震线图

1.4.1.9 1920年12月宁夏海原8½级地震

据记载：“东六盘山地区村镇埋没，地面或成高陵或陷深谷，山崩地裂，黑水横流，海原、固原等四城全毁。只海原一县死 73604 人，死亡率 59%。全区因地震而死者不下 20 万人。洛阳：个别旧房屋前椽塌下，一般旧房掉灰。宜阳：个别破旧席棚倒塌。

此次地震震中烈度达 XII 度，对目标区的影响烈度为均 V 度，如图下 1.4.7。

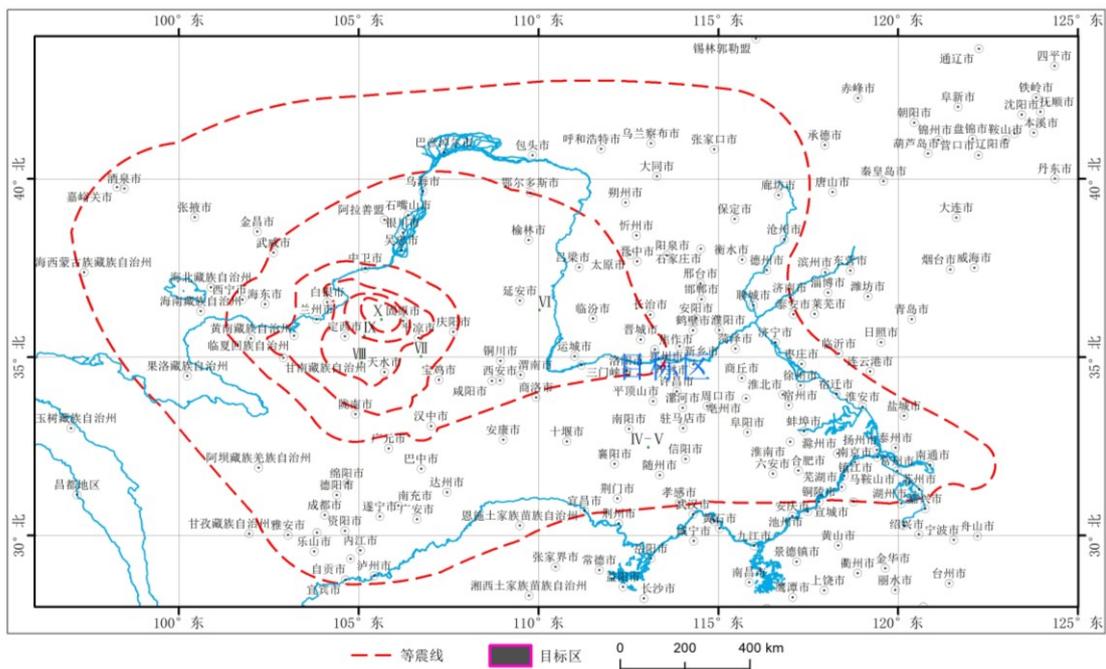


图 1.4.7 1920年12月宁夏海原8½级地震等震线图

1.4.1.10 1937年8月山东菏泽7级地震

“今菏泽马岭岗公社解元集、木里一带。东到马岭岗，西至东明县五坝岗，南到通古集，北至耿海，面积82平方公里。区内房屋几乎全部倒塌，解元集、木里、高庙等村房屋尽毁。地裂普遍，宽者一米，人畜有陷落者，涌黑水及流沙，死390余人，伤者更众”。

此次地震震中烈度达IX度，对目标区的影响烈度为均V度，如图下1.4.8。

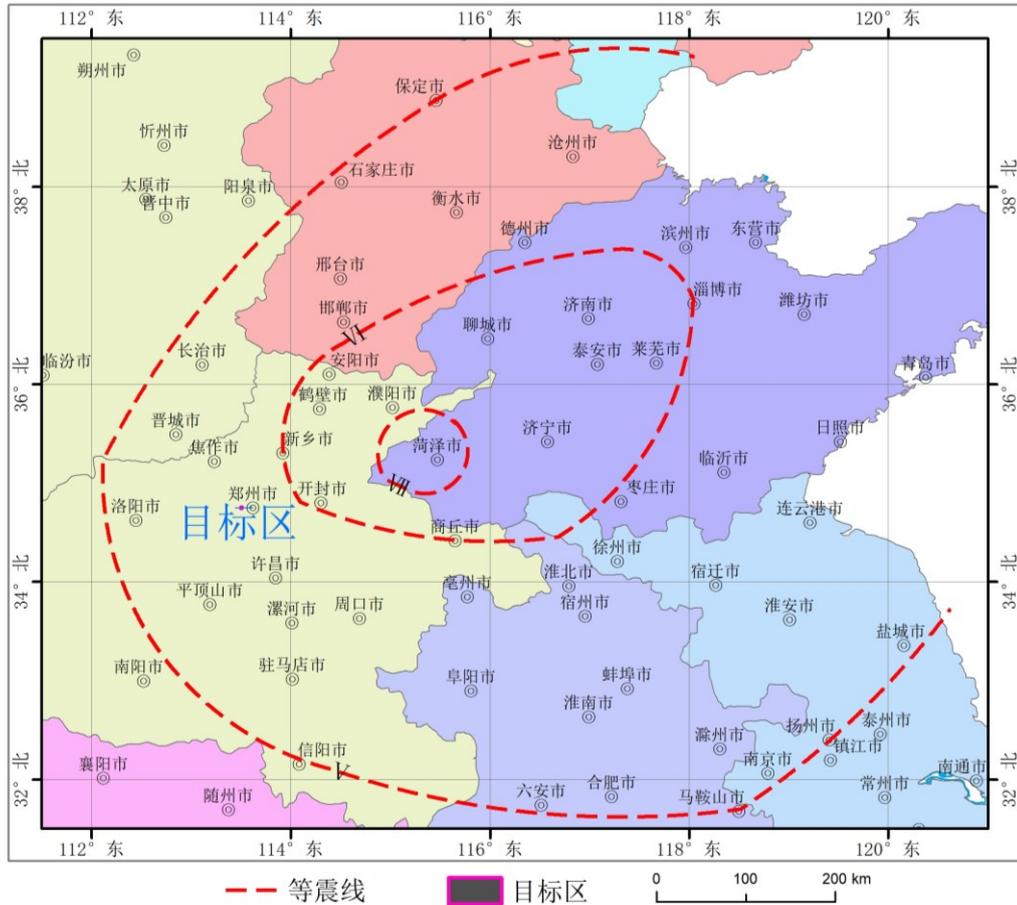


图 1.4.8 1937 年 8 月山东菏泽 7 级地震等震线图

1.4.2 影响烈度的统计分析

历史地震对场地的影响，在史料记载充分的情况下可以直接参考各次地震所造成的宏观影响烈度，在历史资料缺乏时，可以采用中国地震动参数第五代区划图的成果中所给出的破坏性地震烈度衰减关系，具体为：

$$\text{长轴方向: } I_a = 5.841 + 1.071M - 3.657 \text{Lg}(R_n + 15), \quad \sigma_{Ia} = 0.5200$$

$$\text{短轴方向: } I_b = 3.944 + 1.071M - 2.845 \text{Lg}(R_b + 7), \quad \sigma_{Ib} = 0.5200$$

式中 R 为震中距，单位为 km，M 为震级。

经过计算，选取两个方向影响烈度最大的数值，给出了对目标区的影响见表 1.4.1。表 1.4.1 给出了目标区所遭受的破坏性地震影响烈度（阿拉伯数字为计算值）。根据对破坏性地震资料的统计，共有 16 次地震对目标区的影响烈度达 V 度或 V 度以上，最大影响烈度为 VI 度。场地宏观影响烈度来自新出版的《中国历史强震目录》（公元前 23 世纪至 1911 年）和《中国近代地震目录》（公元 1912 年至 1990 年）。

表 1.4.1 破坏性地震对目标区的影响烈度

编号	发震日期	东经(°)	北纬(°)	参考地名	震级(M)	距目标区最近距离(km)	震中烈度	计算烈度	宏观烈度	影响烈度
1	344.12	114.3	35.4	河南卫辉东	6	103				V
2	927.08	113.6	34.8	河南郑州	4¾	11	VI	5.5		V
3	1303.09.25	111.7	36.3	山西洪洞	8	238	XI	6.2	VI	VI
4	1502.10.27	115.3	35.7	河南范县	6½	195	VIII			V
5	1522.02.07	114.1	34.2	河南鄢陵	5¾	82	VII		V	V
6	1524.02.14	114.1	34.0	河南许昌	6	99	>VII	4.7		V
7	1556.02.02	109.7	34.5	陕西华县	8¾	349	XI	5.9	V	VI
8	1587.04.10	113.7	35.3	河南修武	6	64	VII~VIII	5.4		V
9	1668.07.25	118.5	34.8	山东郯城	8½	456	XI	5.8	V	VI
10	1695.05.18	111.5	36.0	山西临汾	7¾	229	X	5.9	V	VI
11	1814.01.10	113.5	34.6	河南荥阳	5	16	VI	5.5		V
12	1815.10.23	111.2	34.8	山西平陆	6¾	210				V
13	1820.08.04	113.9	34.1	河南许昌	6	81	VIII	5.0		V
14	1830.06.12	114.3	36.4	河北磁县	7½	198	X	5.8	V	VI
15	1920.12.16	105.7	35.5	宁夏海原	8½	714	VII	5.0	V	V
16	1937.08.01	115.3	35.2	山东菏泽	7	171	VIII	5.3	V	V

上述历史地震的等震线资料来自《中国历史强震目录》(公元前 23 世纪至 1911 年)和《中国近代地震目录》(公元 1912 年至 1990 年)。

根据区域历史地震的等震线资料绘制了该区域综合等震线图(图 1.4.9),由图可以看出,目标区均位于宏观影响烈度为 VI 度区。

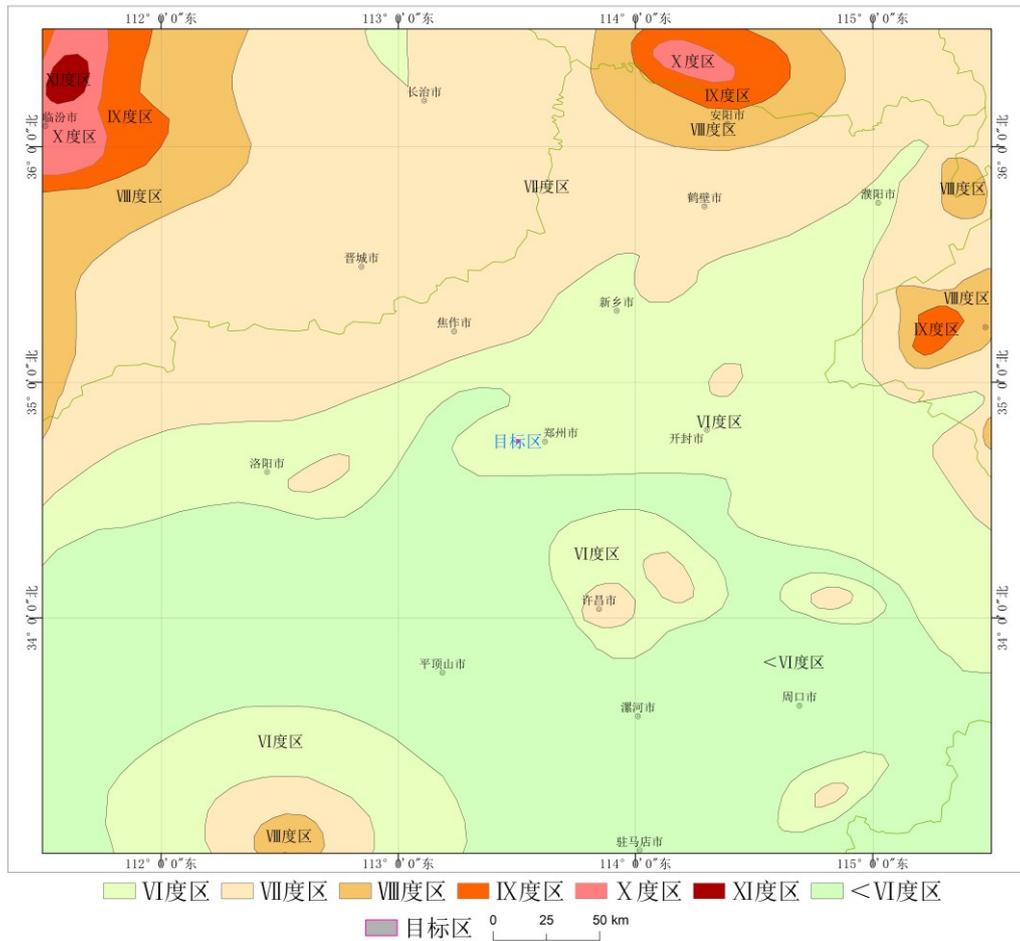


图 1.4.9 区域范围内综合等震线图

1.5 近场地震活动性

近场区内历史上发生过 2 次 $M \geq 4.7$ 级地震，1970 年以来发生过 1 次 4.7 级以上地震(表 1.5.1)，这三次破坏性地震距目标区最近的距离分别为：11km、16km、41km，对目标区的影响烈度均为 V 度。

表 1.5.1 近场破坏性地震目录

编号	发震时间 (年.月.日)	震中位置		震级 (M)	影响烈度	震中位置
		纬度	经度			
1	927.08.-	34.8°	113.6°	4 $\frac{3}{4}$	V	河南郑州北
2	1814.01.10	34.6°	113.5°	5	V	河南荥阳
3	1992.01.14	34.38	113.28	4.7	V	河南登封

近场区内 1970 年全国地震台网建立以来，共记录到 $M \geq 2.0$ 级地震 34 次(表 1.5.2)，其中 $M_{2.0} \sim 2.9$ 级地震 26 次， $M_{3.0} \sim 3.9$ 级地震 7 次， $M_{4.0}$ 级以上地震

1 次，最近一次为 1992 年 1 月 14 日发生在登封的 M4.7 级地震。

表 1.5.2 近场区现代地震目录（1970.1~2023.5, $M \geq 2.0$ ）

序号	日期	北纬(°)	东经(°)	M
1	1972-11-20	34.65	113.58	2.0
2	1974-04-18	34.95	113.50	3.3
3	1974-09-16	35.07	113.18	2.7
4	1974-09-16	35.07	113.18	2.3
5	1975-11-02	34.47	113.18	3.4
6	1980-01-20	34.35	113.45	3.2
7	1980-05-28	35.10	113.57	2.0
8	1981-12-04	35.10	113.15	2.5
9	1982-03-19	34.88	113.28	2.1
10	1984-11-14	34.85	113.27	2.0
11	1984-12-19	34.35	113.22	3.0
12	1985-06-29	34.52	113.22	2.0
13	1985-11-27	34.65	113.35	2.3
14	1990-04-05	34.83	113.37	2.2
15	1992-01-14	34.38	113.28	4.7
16	1994-06-30	34.78	113.35	3.2
17	1994-07-28	34.87	113.23	2.2
18	1994-08-07	34.83	113.27	2.6
19	1999-04-19	35.08	113.20	2.7
20	2002-02-09	35.00	113.45	2.8
21	2002-07-03	34.37	113.22	2.9
22	2002-11-07	34.92	113.88	2.5
23	2003-03-12	34.92	113.48	2.4
24	2005-06-15	34.90	113.15	2.9
25	2007-08-26	34.90	113.10	2.8
26	2010-04-30	34.43	113.12	2.7
27	2010-07-13	34.83	113.28	2.2
28	2016-10-28	34.47	113.68	2.8
29	2019-03-14	34.48	113.37	2.4
30	2019-05-01	34.45	113.35	2.0
31	2019-09-06	34.92	113.32	2.0
32	2021-09-21	34.52	113.50	3.6
33	2022-03-22	34.89	113.43	2.2
34	2022-07-06	34.45	113.44	3.7

图 1.5.1 为近场地震震中分布图，图 1.5.2 为近场现代地震时序 M-T 图。近场区现代地震活动在空间分布上，呈现出均匀性，未见明显空间异常图像，呈分散状分布，无明显的丛集或条带状特征。近场区现代地震主要分布在近场区北部。在时间分布上也不均匀，但未出现明显的丛集现象。可以看出，现代地震活动的频度和强度均较低。

总之，近场区地震活动的强度和频度都不高，但值得注意的是豫北地区及其附

近多震区的强震对目标区的影响，这些地区历史上曾发生 1830 年磁县 7½级地震和 1937 年菏泽 7.0 级地震，近年来 4~5 级地震时有发生。

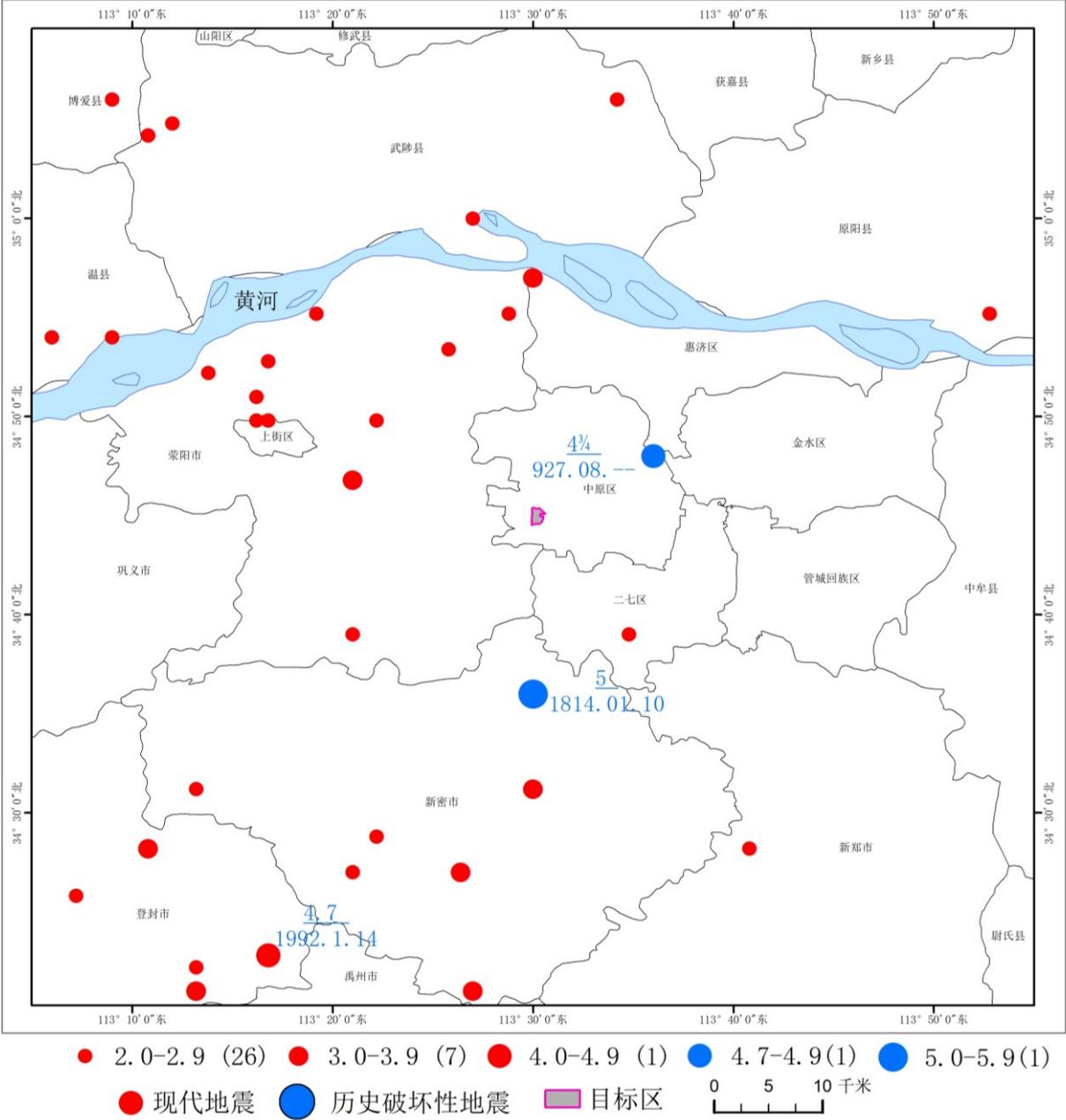


图 1.5.1 近场区地震震中分布图

(现代小震：1970.1~2023.5, $M \geq 2.0$, 破坏性地震：公元 1~2023.5 $M \geq 4.7$)

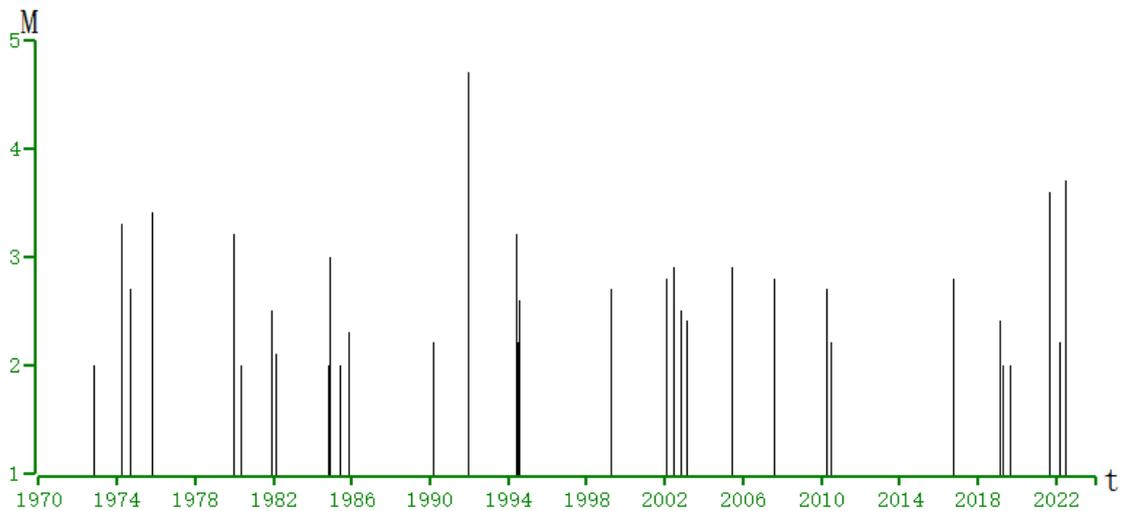


图 1.5.2 近场区小震 M-T 图 (1970.1~2023.5, $M \geq 2.0$)

1.6 地震活动环境分析

通过本章的论述，可以对地震环境作出如下评价：

(1) 区域位于地震活动较为强烈的华北地震区，具体涉及华北平原地震带、汾渭地震带；华北平原地震带未来百年地震活动趋势应以平均活动水平来估计，汾渭地震带未来百年可能进入下一活跃期前的应变加速释放阶段，会有中强、强地震活动。

(2) 从公元前 1767 年到公元 2023 年 5 月，区域内共记载 $M \geq 4.7$ 级破坏性地震 68 次，其中 4.7~4.9 级地震 19 次，5.0~5.9 级地震 33 次，6.0~6.9 级地震 12 次，7.0~7.9 级地震 3 次，分别为：1695 年 5 月 18 日山西临汾 7 $\frac{1}{4}$ 级地震、1830 年 6 月 12 日河北磁县 7 $\frac{1}{4}$ 级地震、1937 年 8 月 1 日山东菏泽 7 级地震，8 级以上地震 1 次，为 1303 年 9 月 25 日山西洪洞 8 级地震。

(3) 1970 年至 2023 年 5 月以来，区域内共记载 $3.0 \leq M < 7.0$ 级地震 372 次，其中 $M 3.0 \sim 3.9$ 级地震 331 次， $M 4.0 \sim 4.9$ 级地震 37 次， $M 5.0 \sim 5.9$ 级地震 3 次， $M 6.0 \sim 6.9$ 级地震 1 次。区域范围最大的一次破坏性地震为 1983 年 11 月 7 日山东菏泽 $M 6.3$ 级地震。

(4) 区域地震的空间分布显示了明显的不均匀性，4.7 级以上历史中强地震呈现北北东向或北西向分布。区域现代小震活动也较为频繁。仪器记录地震与历史中强地震活动的空间分布特征基本一致，在菏泽、林州、范县、内乡以及山西洪洞、黎城等地各有一个小震密集区。

(5) 据 1970 年之后的仪器记录资料，在整个区域内地震震源深度均在 35km 以内，其中 91.8% 在 5~24km 的深度范围内，说明本地区所发生的地震属于地壳中上层的浅源构造地震。

(6) 区域内在历史上曾多次遭受过中强地震的影响，历史地震对目标区的最大影响烈度达 VI 度。

(7) 在近场区范围内历史上记载过 2 次 4³/₄级以上地震，1970 年以来发生过大于 4.7 级的地震 1 次，近场区内最大破坏性地震的震级为 5 级，自公元 1970 年至 2023 年 5 月记录到 $M \geq 2.0$ 级地震 34 次，最大震级为 M4.7 级。因此，综合近场及其外围地震活动性分析认为，近场区存在发生中强地震的背景。

2 区域地震地质环境

区域范围为：东经 $111^{\circ} 30' - 115^{\circ} 30'$ ，北纬 $33^{\circ} - 36^{\circ} 30'$ ，本章以大地构造、地球物理场、新构造运动、断裂活动、现代地壳形变等方面的研究为基础，综合讨论区域内地震发生的地质环境。

2.1 大地构造环境

区域涉及华北断块区和秦岭断褶系两个一级大地构造单元。前者包括太行断块、冀鲁断块和豫皖断块三个二级构造单元，秦岭断褶系包含北秦岭褶皱带和南阳—襄樊拗陷(图 2.1.1)。华北断块区是我国东部地区一个非常重要的地震活动单元。断块区内的各级断块均以规模较大，切割较深，活动性较强的断裂为界。区内地震活动在空间上呈条带状分布，在历史上曾发生过多次强烈地震。

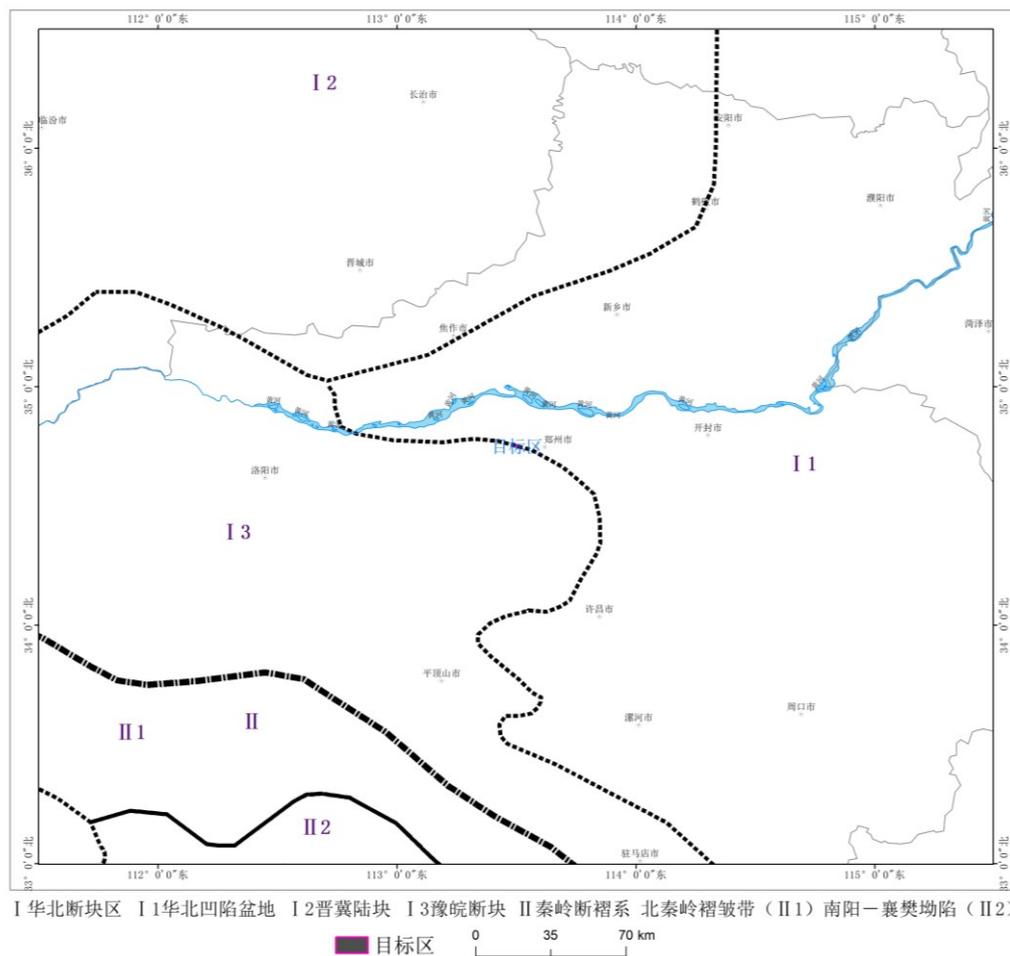


图 2.1.1 区域大地构造分区图

表 2.1.1 区域大地构造单元划分一览表

一级构造单元名称	基底形成时代	盖层形成时代	构造线方向	二级构造单元名称
华北断块区(I)	太古代、早元古代	元古、古、中生代	北东、东西	华北凹陷 (I1) 晋冀断块 (I2) 豫皖断块 (I3)
秦祁褶皱系(III)	古生代、早中生代	晚中生代	北西向为主	北秦岭褶皱带 (II1) 南阳—襄樊拗陷 (II2)

2.1.1 华北断块区 (I)

华北断块区包括了我国贺兰山、六盘山以东，秦岭、大别山以北，北纬 42° 线以南的广大地区。华北断块区的地质历史可概略地划分为三个阶段：断块区形成阶段也是华北断块区地壳的早期演化时期，这是一个地壳从简单到复杂、由薄到厚、从活动转化为稳定的剧烈大变动时期；断块区平稳发展阶段从寒武纪末至二叠纪末华北地区地壳差异运动微弱，岩浆活动不明显，可能是由于深部地幔物质处于平静分异状态，并且经过前寒武纪地壳演化过程已经有了比较硬化的较厚基底。从沉积建造、岩浆活动和构造变形等地质作用看来，都表明它已进入“地台”阶段；断块区激发阶段（地台活化期）包括了中生代至现代的地质历史，这是华北断块区地质构造发展的重要阶段。在此阶段强烈的地壳运动伴随着深部地幔物质上升，古老的前寒武纪基底断裂再次活动，它们水平或垂直位移，产生块状断陷和隆起。这时期岩浆活动十分活跃，基底断裂重新活动引起沉积盖层产生褶皱和断裂（张文佑等，华北断块区的形成与发展，1980）。

2. 华北凹陷 (I1)

基底构造有明显的分区性，大致以沧州、聊城一线附近为界，其东部的基底构造-岩相带是沿北西、北西西向分布的，属鲁西的泰山群向北延伸的反映；在该线以西，基底的构造-岩相带呈北东向展布，系五台群及相当的岩系所构成的基底。褶皱基底之上具有不整合面，直接覆于其上的有震旦亚界的长城系，这是我国最古老的沉积盖层。本区中、新生代以来构造运动十分强烈，形成华北断陷盆地。晚白垩世-古近纪，平原区的地堑内广泛堆积了黑色含煤、含油碎屑岩建造，沉积厚度最大可超过 5000m。新近纪-第四纪继续沉陷，新近纪的沉积物以陆相细碎屑岩建造为主，厚度一般为 500~700m。第四纪时期，平原内广泛发育河湖相、海相碎屑岩，一般厚度在 100~400m。断裂构造以北东向为主。工作区内包括黄淮海拗陷的中南部。区内地震活动强烈。

2. 晋冀断块 (I2)

晋冀断块又称太行断块，该断块西界以汾渭断陷带与鄂尔多斯断块为邻，东界以太行山山前断裂带和冀鲁断块相连，南界以封门口断裂和盘谷寺 - 新乡断裂与豫皖断块相连。太行断块是个长期隆起的大背斜，新近纪以来的新构造活动主要表现为整体间歇性抬升的背景上，局部形成一些走向近南北的盆地构造，较大的有长治凹陷盆地、林州断陷盆地等。断块内部虽然也有较大的第四纪活动断裂存在，但地壳厚度不存在陡变带，重磁异常也不存在梯级带，故强震很少发生。

3. 豫皖断块 (I3)

豫皖断块北以盘谷寺 - 新乡断裂与太行山断块相分，北东以新乡 - 商丘断裂与冀鲁断块相望，南以栾川 - 确山 - 固始断裂与秦岭断褶系为邻。本断块属于“华北型”，结晶基底及沉积盖层同于华北其他断块。断块内构造走向北部多为东西向，中部和南部多为北西向或北西西向。东部地区为新生界覆盖区，东西向“盆地”构造发育，规模大，形成早，活动时间长。较大的有开封凹陷、太康隆起、周口凹陷、正阳隆起等。开封凹陷和周口凹陷形成于中生代，新生代早期强烈沉陷，新近纪以来整体下沉，其中开封和周口凹陷新生界厚度近万米，隆起上的古、新近系和第四系厚度在 500~1500m。西部多为基岩出露区，在一些山间形成槽地和小型断陷盆地。

2.1.2 秦岭断褶系

秦岭断褶系南界以青峰断裂、三里岗 - 坪坝断裂、团凤 - 广济断裂与江汉断块相接。该断褶系是在中元古代华北断块结晶基底的裂陷作用中分离出来的。在裂陷的基础上，经过加里东旋回、华力西旋回和印支旋回的地槽型的沉积，直到三迭纪中、晚期才变质转化为褶皱带。进入燕山期、北西向或北西西向断裂活动加剧，中酸性岩浆大规模地沿其侵入并发生大面积的同化作用。白垩纪北西向和北西西向断裂控制的断陷盆地边下沉边接收沉积，同时火山喷溢作用不断地发生，形成了白垩系火山岩与沉积岩相间的地层。较大的断陷盆地有罗山 - 潢川凹陷、南阳盆地、西峡盆地、襄樊盆地等。新生代强烈沉陷作用主要发生在桐柏山和大别山麓，其中罗山 - 潢川凹陷新生界厚度为 1000~2000m，而南阳盆地达 4000m。

北西向或北西西向断裂规模大、切割深、活动时间长。但是，进入第四纪，除

个别断裂或局部地段活动外，大部分断裂进入休眠状态，而北北东向断裂规模虽不及北西向或北西西向宏伟，但却往往是第四纪活动断层。

秦岭断褶系也是一个低强、低频的弱震带，5级以上地震受第四纪活动断裂控制明显，如公元46年南阳6½级地震发生在北西西向朱阳关—夏馆第四纪活动断裂与北东向白河第四纪活动断裂的交汇处；商城附近的1925年5级地震，麻城的1913年5级地震和1932年的6级地震，罗田的1634年5级地震，黄冈1640年5级地震等皆发生在北北东向商城—团凤第四纪活动断裂与北西西向、北西向较大的断裂交汇处。

秦岭褶皱系在区内主要有2个二级构造单元，分别为**秦岭褶皱带**和**南阳—襄樊拗陷**

(1) 北秦岭褶皱带 (II1)

位于秦岭褶皱系北部，木家垭—内乡—桐柏—商城深断裂以北，北以栾川—确山—固始深断裂为界，与中朝准地台相邻，呈北西向展布在伏牛山区和桐柏山、大别山区北部。

本区经中条旋回优地槽、王屋山旋回断陷优地槽、晋宁旋回早期断陷优地槽发展演化之后，转变为褶皱带隆起，与桐柏—大别山褶皱带连在一起，成为分隔我国南北的北西西向古陆。区内长期活动的深断裂带对褶皱带起着相当重要的控制作用。

本区构造方向为北西西向，地层、构造岩浆岩带、变质相带、混合岩带和更次级的构造单元及山脉走向皆呈北西西向带状展布。断裂以北西西向深大断裂带为主，在信阳以东地区发育有燕山朝期北北东向断裂。上述构造组合在一起，构成褶皱带现今复杂面貌。

(2) 南阳—襄樊拗陷 (II2)

位于河南省南阳—湖北省襄樊一带，面积近1000km²。

拗陷内磁场为北西西向正负航磁场。在北部社旗—泌阳和中部内乡—唐河县黑龙镇平行展布有中珠状北西西向正航磁异常带。重力主要为重力低区，但在东北部社旗—泌阳一带则为重力高区。正航磁异常带和重力高区一方面反映社旗—泌阳一带基底埋藏较浅，另一方面反映下部可能有基性—超基性岩带存在。

此拗陷是叠置在秦岭褶皱系之上的近南北向中生代拗陷。地表广为第四系覆

盖，但在其边缘地带零星分布有上白垩统、古近系和新近系地层。据周围区地质构造特征和区内物探、钻孔资料分析，本区基底为秦岭区元古界—古生界地层。燕山旋回以前，南阳—襄樊坳陷与秦岭褶皱系是统一的整体，地质构造特征基本相似。自燕山旋回开始，周围地区上升隆起，本区下陷，成为叠置在秦岭褶皱系之上的断(坳)陷盆地。燕山旋回晚期—喜马拉雅旋回早期，本区在原有北西西向断裂和新生的北北东向断裂活动影响下，作不均衡下降，形成北西西向两个断(坳)陷和一个隆起，构成一隆两坳的构造格局。隆起区缺失白垩纪—古近纪沉积。坳陷内则沉积了上白垩统山麓河流相—湖相红色砾岩、砂砾岩、砂岩及粘土岩。古近系为以各种湖相为主的暗红色或红色粘土岩、砂岩夹少量砂砾岩、泥灰岩组成的次稳定型复陆屑建造。古近纪以后，大型褶皱运动使本区普遍大幅度沉陷，接受沉积，堆积了新近系、第四系河湖相碎屑岩系。形成了现今叠置在北西西向秦岭褶皱系之上的近南北向展布的南阳—襄樊坳陷面貌。中新生界最大厚度达 7000m 以上。

2.2 区域地球物理场及地壳结构

2.2.1 重力场特征

区域大部分处在布格重力负异常区内，自西向东呈逐渐增大的趋势，以三门峡、义马、平顶山、漯河一线为界，区域北部布格重力异常反映了以华北断块为背景的重力场特征，区域性重力场总体按北北东向展布，从东向西重力值逐渐降低。区内主要有三条重力梯级带，它们分别对应着深部断裂破碎带(如图 2.2.1)。

太行山重力梯级带：属于我国东部地区一条重要的大兴安岭—太行山—武陵山重力梯级带的一部分。在区内沿太行山分布，近南北走向，宽约 50km，最大水平梯度值为 $1.3 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{km}$ ，在新乡、焦作附近逐渐转向东西，梯级带特征随着减弱，在三门峡一带终止。区内许多强震分布在该梯级带上。

聊兰重力梯级带：走向呈北东 30° 左右。长约 120km，宽约 10km，水平梯度为 $2.0 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{km}$ ，它反映了一条控震的切壳断裂，1937 年以来，菏泽地区不少强震都发生在该带及其附近地区。

汾渭重力梯级带：区域内位于三门峡以北中条山东缘，走向北东，宽约 10km，最大水平梯度为 $3.5 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{km}$ 。1815 年平陆 $6\frac{3}{4}$ 级地震发生在此带

上，1303 年洪洞 8 级、1695 年临汾 $7\frac{3}{4}$ 级地震都发生在该梯级带北西侧的局部重力异常上。

三门峡-义马-平顶山-漯河一线以南，重力异常方向为北西西向占优势。典型的有南召-嵩县梯级带和洛宁梯级带，其分布与秦岭、伏牛山、大别山断裂、褶皱带相吻合。

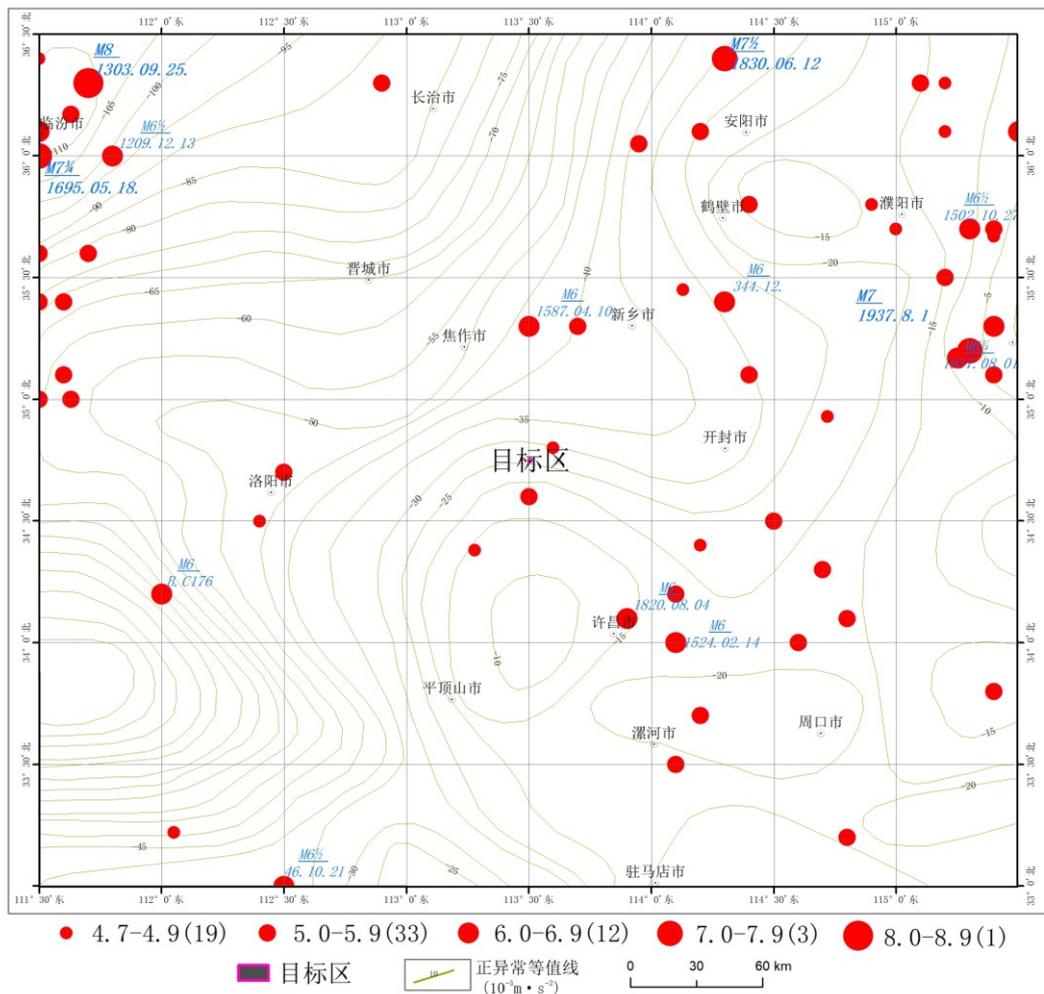


图 2.2.1 区域布格重力异常图（地质矿产部航空物探遥感中心，1979）

目标区的重力异常值位于 $-25 \sim -30 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / \text{km}$ 之间。

2.2.2 磁场特征

磁异常主要是由地壳上部具有磁性的地层所引起的。区域位于晋、陕、豫、皖异常区范围内，这一大区域的磁场特征是以面积宽阔的正磁异常为背景，在此背景上叠加了走向各异的局部强磁异常和平缓的负异常（见图 2.2.2）。

沿焦作-新乡一线有东西向磁力高异常区，化极上延后改异常南侧为一东西向梯级带，反演为一条深大断裂。在区域南部汝阳-平顶山-阜阳一线位于华北地台的

南部，自西向东贯穿北秦岭。该线位于异常的梯级带处，北侧异常为高值。该线的西南侧为伏牛山磁异常变化区，区内磁异常呈线型分布，正负线性异常带呈北西西向展布，带内局部异常峰尖翼陡，这是褶皱带典型的磁场特征。临汾附近由一北东向强磁异常，化极上延后其东侧出现完整的磁力梯级带，与汾渭重力梯级带相吻合。

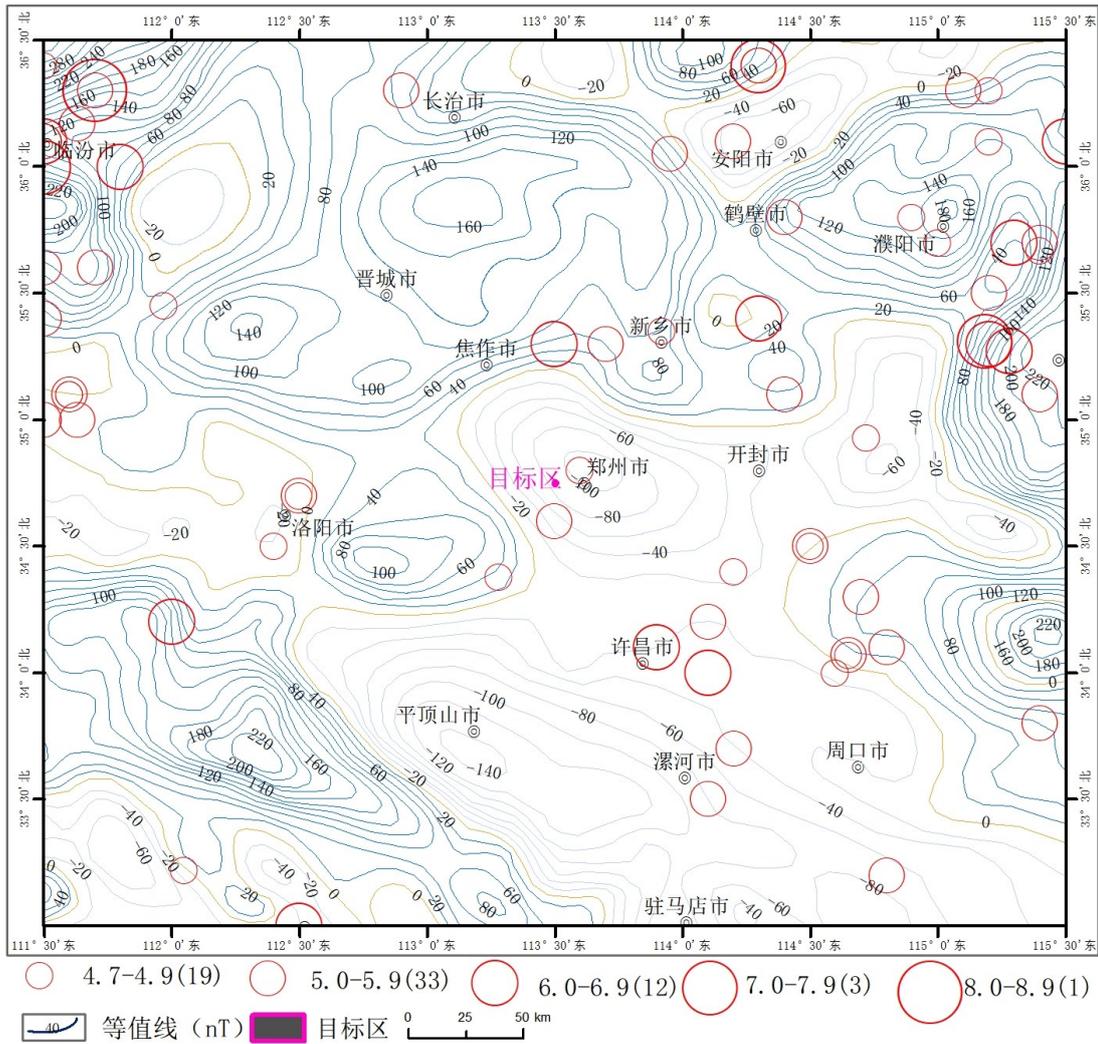


图 2.2.2 区域航磁 ΔT_a 异常图 (单位: nT)

(地质矿产部航空物探遥感中心, 1979)

目标区处于平静的正常场背景区，磁场强度在 $-80\text{nT} \sim -60\text{nT}$ 之间，无明显磁性差异的地质构造或磁性地质体，应属于深部构造活动较弱的地区（河南省地震局，1989）。沿新乡—焦作一线存在一东西向的磁力高异常带，强度 200nT 左右，它反映了结晶基底埋藏浅或基底隆起的特征。沿黄河一线的地震位于这一异常带的南缘，如1587年修武5级地震即发生在这一带上，根据磁场资料反演是一条东西向的深大断裂带。区域东部出现一些中等强度的异常群体，这些异常反映了鲁西隆起

及一些岩浆岩分布的情况。沿聊城—兰考一线出现的磁异常带，与重力异常带十分吻合，反演结果为一条切壳深断裂，控制了沿带的地震活动。

2.2.3 地壳结构

图 2.2.3 为区域地壳厚度等值线图。区域地壳由东向西逐渐增厚，东部地壳厚度最薄在 30km 左右，西部地壳厚度最厚在 38km 左右。郑州市附近地壳厚度在 34km 左右，而人工地震测深资料（安阳—随县剖面）郑州一带地壳厚度仅有 32km 左右，认为重力资料反演结果偏深。但鹤壁、焦作、洛阳、平顶山一线地壳厚度有着明显的阶梯状变化，这些梯度带中的某些地段是强震的发生带，如菏泽 7 级地震即发生在聊城—兰考地壳厚度梯度带上。

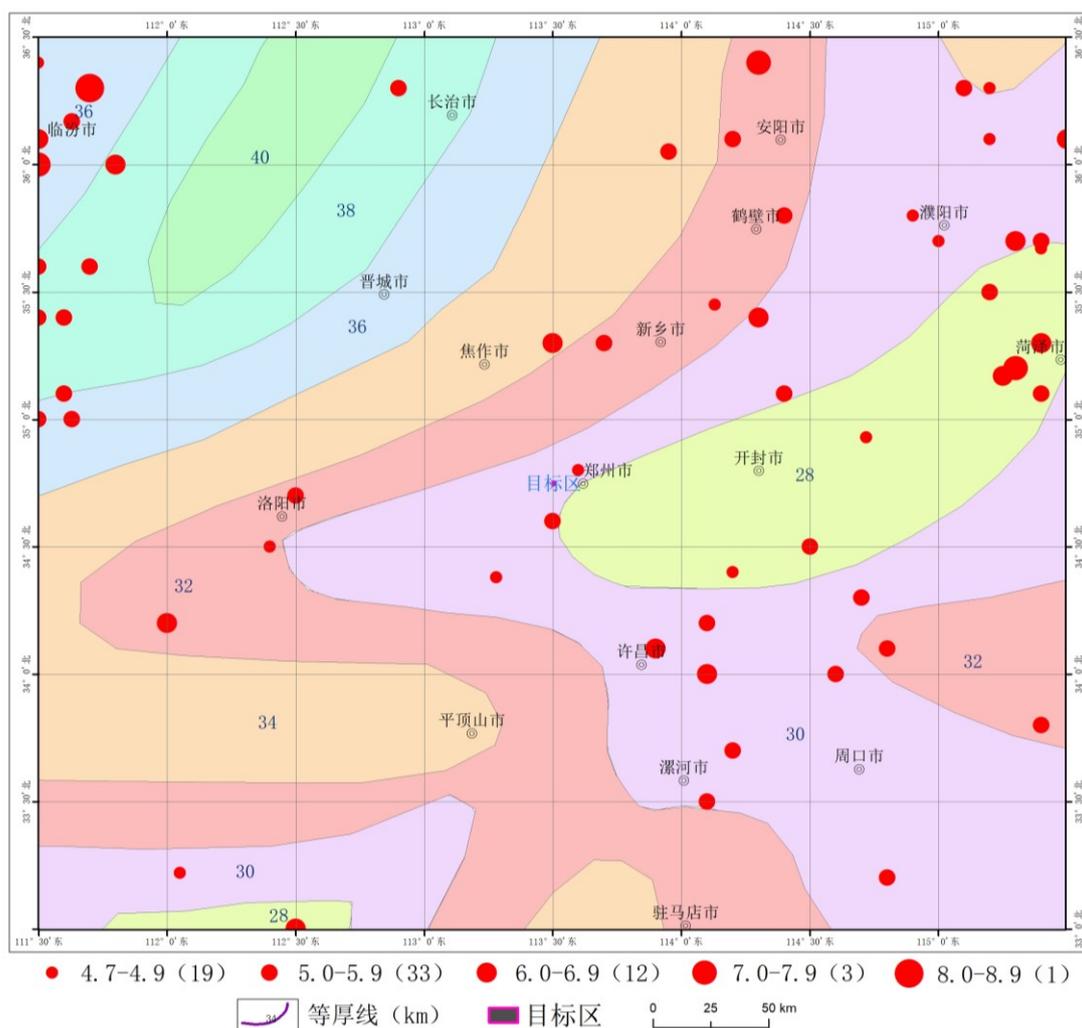


图 2.2.3 区域及其外围地区莫霍面深度图（中国地震局地球物理勘探中心，1986）

在太行山东部，存在地壳厚度急剧变化的梯级带，地壳厚度由东向西从 34km 增至 38km。梯度带西侧的山西隆起区，地壳厚度变化不大。在山西断陷盆地带的盆地中，如临汾、太原等盆地，均存在地壳厚度明显减薄，一般幅度达 2km 左

右。梯度带东侧的地壳厚度变化亦不强烈，存在有宽缓的穹隆和凹陷，在大区域范围内呈北东-北北东向排列。区域南部地壳厚度总体分布特征近东西向。

区域地震活动的分布、主要地震带的展布与区域重、磁场反映的构造带走向基本一致。地震多发生在不同方向重、磁异常带相汇处或异常的转折处、正负异常的交接处及重、磁异常梯级带附近，这些地方往往是地壳磁性基底隆起、凹陷的变化过渡带或地壳厚度的变异处，并伴有深大断裂。

区域内最为典型的是在太行山东麓存在一大规模的地壳陡变带。它是中国东部大兴安岭-太行山-武陵山北东向地壳陡变带的中段。沿陡变带由于受近东西向深部构造的影响，出现局部弯曲，莫霍界面深度由 40km 变化到 34km。它又是黄淮海凹陷内次一级构造块体的分界线。在各次级块体内还分布有局部的上地幔凸起和凹陷，最突出的是许昌附近出现的上地幔隆起，其地壳厚度最薄减少到 30km。工程场地之下的莫霍面深度为 28~30km 之间。

2.2.4 地球物理场与地震活动的关系

区域地震的发生与重力梯度带，航磁异常带、地壳结构速度梯度带和上地幔变异带等有密切的关系。如菏泽 7 级地震与聊城-兰考重力梯度带和航磁异常带分布一致；洛阳 5½ 级地震与太行山重力梯度带相关；修武 6 级地震与新乡-焦作磁异常带相关；同时，修武 6 级、荥阳 5 级地震与地壳结构深度梯度带相关，汤阴 5½ 级、洛阳 5½ 级等地震与太行山地壳厚度陡变带相关等。

2.3 区域新构造特征及其与地震活动的关系

2.3.1 新构造运动概述

区域新构造运动以大面积升降作用为主，并伴有老断裂的新活动，表现为沿断裂的差异运动，在断裂控制下，形成了不同规模的隆起和凹陷。此外，水平运动也有显示。

大面积抬升作用表现为西部山区地貌形态上的多级夷平面与河流阶地的发育，东部平原地带的下沉和相应的巨厚的新生代堆积物的形成。在总体下沉基础上由于断裂作用又形成不同沉降幅度的凸起与凹陷。伴随断裂活动还有玄武岩浆的喷发，如沿太行山东麓，北起鹤壁的鹿楼南至前营、黑山、杨小屯到浮山、大赉店、庙沟、北四井等地，均有玄武岩分布，构成一北东向的橄榄玄武岩带（赵

景珍等, 1991)。

本区除垂直差异运动外, 水平运动形迹也有显示, 如汤西断裂具右旋走滑运动分量, 南阳盆地北西向断裂的左旋走滑 20m, 说明水平运动的存在是无疑的。

2.3.2 新构造单元的划分

根据大地构造性质、新构造运动强度、块体运动方式、断裂、地震活动, 将本区划分出6个一级新构造单元: 太行山隆起区 (I)、河北平原沉降区 (II)、豫中差异沉降区 (III)、豫西隆起区 (IV)、秦岭-大别隆起区 (V) 和汾渭断陷带 (VI)。根据单元内部的新构造活动差异又可细分出多个二级构造单元, 如表 2.3.1 所示, 目标区位于豫中差异沉降区的济源-开封凹陷内, 新构造单位划分具体情况如图 2.3.1 所示。

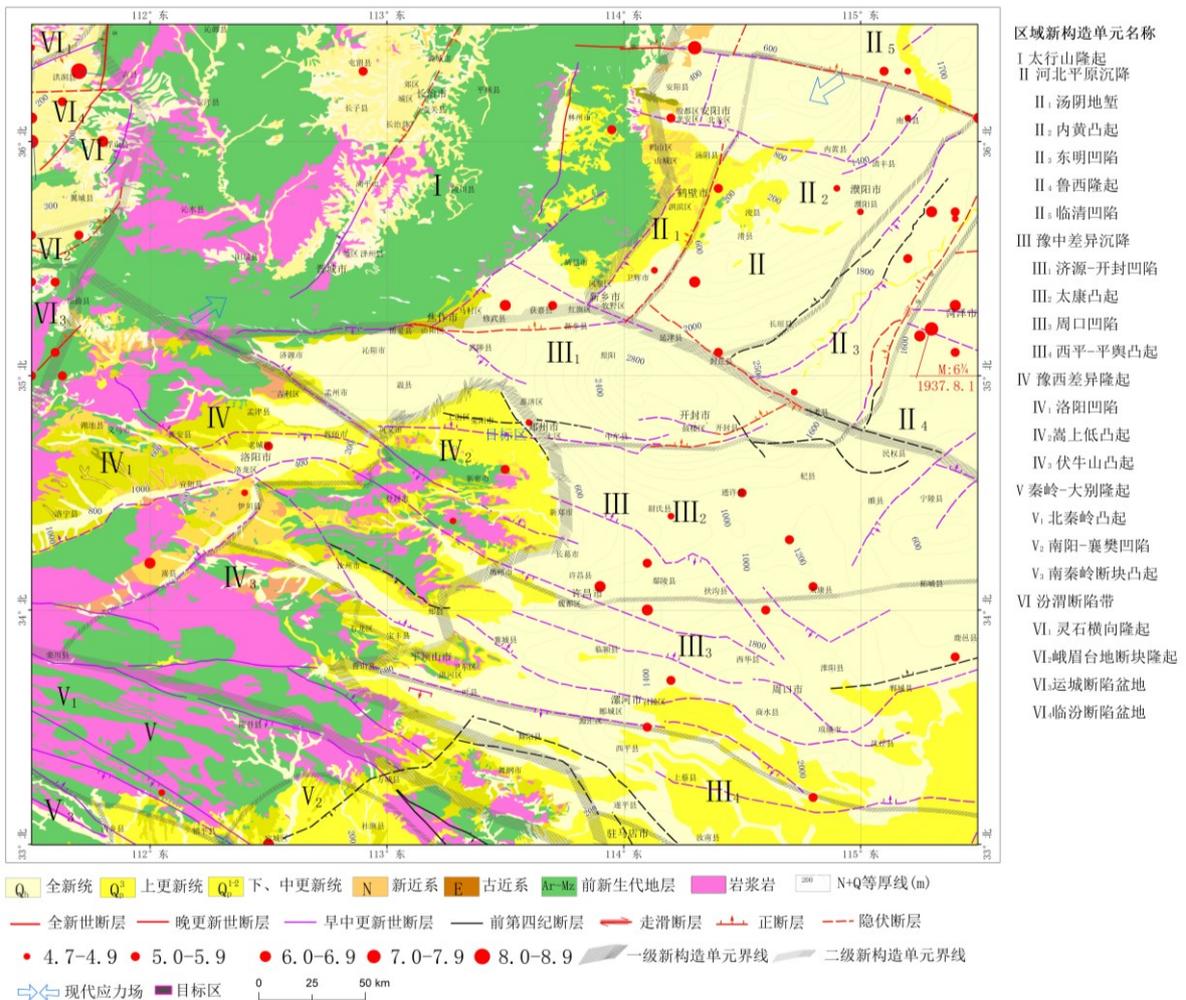


图 2.3.1 区域新构造单元分区图

表 2.3.1 区域新构造单元划分一览表

一级新构造单元	二级新构造单元
太行山隆起 (I)	
河北平原沉降 (II)	汤阴地堑 (II ₁) 内黄凸起 (II ₂) 东明凹陷 (II ₃) 鲁西隆起 (II ₄) 临清凹陷 (II ₅)
豫中差异沉降 (III)	济源-开封凹陷 (III ₁) 太康凸起 (III ₂) 周口凹陷 (III ₃) 西平-平舆凸起 (III ₄)
豫西差异隆起 (IV)	洛阳凹陷 (IV ₁) 嵩山低凸起 (IV ₂) 伏牛山凸起 (IV ₃)
秦岭-大别隆起 (V)	北秦岭凸起 (V ₁) 南阳-襄樊凹陷 (V ₂) 南秦岭断块凸起 (V ₃)
汾渭断陷带 (VI)	灵石横向隆起 (VI ₁)、峨眉台地断块隆起区 (VI ₂) 运城断陷盆地 (VI ₃) 临汾断陷盆地 (VI ₄)

2.3.3 新构造单元特征

2.3.3.1 太行山隆起 (I)

太行山隆起区西与山西断陷带相邻,东以太行山山前断裂带和冀鲁断块为邻。新生代整体掀斜式隆升,隆起幅度自东向西逐渐增大,西侧北台期夷平面海拔 1800m 左右,向东降至 1000m,而唐县期夷平面由西部的 1400m 降至东侧的 200m。断块隆起区内部差异活动不甚明显,地震活动较弱,破坏性地震主要沿东西两侧的边界断裂带分布,但太行山隆起区内部晋获断裂带中南段历史上也曾发生过中小地震。

2.3.3.2 河北平原沉降 (II)

位于新乡-商丘断裂以北,西邻太行断块隆起区并以断裂与其分开,东界为郟庐断裂带,北界为华北断块区北缘断裂。本区中、新生代以来构造运动十分强烈,岩浆活动和褶皱、断裂等作用使构造骨架变得更为复杂,形成多个次级隆起和坳陷。断块内断裂活动以水平错动为主,而且北北东断裂活动性比北西西向活动性强,强震往往发生在两组断裂的交汇处附近。在区域内包括:汤阴地堑 (II₁)、内黄凸起 (II₂)、东明凹陷 (II₃)、鲁西隆起 (II₄) 和临清凹陷 (II₅)。

(1) 汤阴地堑 (II₁)

汤阴地堑分别以汤东断裂和汤西断裂为边界构成双边地堑,南北截于安阳南断裂和新乡-商丘断裂带附近,总体走向北北东,南北延伸约 110km,东西宽 20~25km。

汤阴地堑内部的新构造活动特点是:在垂直运动方面,地堑随同其东西两侧的太行山台地和内黄凸起一起回返上升,并且向东南掀斜,使新、古近纪古湖泊

消失，地堑两侧的断裂只有很小幅度的垂直活动；在水平方面，在北东 - 南西主压应力的作用下，地堑两侧断裂发生右旋运动。

(2) 内黄凸起 (II₂)

内黄凸起以太古代古老变质岩和早古生代地层为基底，表层覆盖有 200~500m 厚的新近系，总体上为向南东倾斜的单面山式隆起，是基底整体性较好的坚硬地块。隆起中心在浚县北部五陵镇 - 王庄集一带地表盖层约厚 300m 左右，局部地点基岩直接出露地表，表明内黄凸起古近纪表现为向东掀斜的抬升区，直到新近纪以后，才整体接受新近系和第四系沉积，新构造期以来本区为相对隐伏的隆起区。

(3) 东明凹陷 (II₃)

位于豫鲁两省交界，东、西、南三面分别被聊兰断裂、长垣断裂、焦作 - 商丘断裂所围陷，呈北北东向展布于豫鲁两省交界的范县、濮阳、长垣、东明、兰考一带，面积约 400km²。据物探及钻孔资料揭示，拗陷基底为上古生界，其上为新生界，局部有中生界，最大厚度可达 7500m 以上。东明凹陷构造线方向为北北东向。断裂比较发育，主要为北北东向高角度正断层，次为北西西向平推正断层。自燕山旋回晚期以来，主要断裂长期活动，控制着东明凹陷的形成和发展。

(4) 鲁西隆起 (II₄)

东以郟庐断裂带为界，南以六安断裂为界。基底由太古界五河群、下元古界凤阳群组成。凤阳运动使其结束地槽发展阶段而进入地台发展阶段。震旦纪和古生代以碳酸盐岩建造为主，次为石英砂岩、砂页岩和含煤建造。各套地层多呈整合和假整合接触，反映了整体以升降运动为主。晚侏罗世以后，断块差异运动加强，形成一些近东西向和北东向的断陷盆地，合肥盆地内接受了厚达 5000~6000m 的红色碎屑沉积。新近纪和第四纪虽仍以陆相碎屑岩建造为主，但差异运动的强度大大减弱，表现为大面积的缓慢沉降。区内基底构造以近东西向断裂为主，盖层构造亦以东西向为主，断裂走向为北北东向。

(5) 临清凹陷 (II₅)

西以太行山山前断裂为界，东以聊兰断裂为界，南以磁县 - 大名断裂为界，北与邢衡隆起相邻。该拗陷是在印支运动基础上发育起来的中、新生代断陷盆地。燕山运动广泛影响本区，尤其是燕山晚期强烈，临清地区普遍接受了晚侏罗 - 早白垩世沉积，古近纪时继承了晚中生代构造活动特征，主要受北北东、北东

- 北东东向及北西西向三组断裂控制。新近纪以来尤其第四纪时期边界断裂和断块差异活动较弱。

2.3.3.3 豫中差异沉降 (III)

位于新乡 - 商丘断裂、盘谷寺 - 新乡断裂以南, 华北断块区南缘断裂以北, 是中新生代强烈下陷的地区。由于拗陷内部北西向、近东西向断裂的活动, 形成多个次级隆起和拗陷, 其构造走向也为东西或北西西向。其间堆积中生代中晚期陆相碎屑岩和火山碎屑岩, 古近纪陆相地层厚达 5000m 以上。其后继承性下沉, 堆积了厚约 500~1000m 的新近系和第四系, 并形成今日之南华北平原。拗陷内部主要发育早第四纪隐伏断裂, 地震活动水平较弱, 有个别 6 级及 6 级以上地震发生。在区域内包括: 济源 - 开封凹陷、太康凸起、周口凹陷和西平 - 平舆凸起。

(1) 济源 - 开封凹陷 (III₁)

沿黄河呈近东西向展布在济源 - 开封 - 民权一带。济源凹陷是中、新生代继承性下沉盆地, 其沉降幅度达 6000~9000m, 新近纪后下沉速度减弱, 并形成北升南降的掀斜式盆地。开封凹陷是新生代强烈下陷的断陷盆地。新近系和第四系沉积厚度达 2400~3000m, 沉降中心在原阳附近。拗陷西北深、东南浅, 具掀斜运动性质。第四纪继承性下沉, 沉降中心在开封地区, 最大厚度达 400m 左右; 向西北逐渐减薄, 形成东南厚西北薄的掀斜块体。

(2) 太康凸起 (III₂)

位于开封和周口凹陷之间, 上新世开始沉降, 南、北两侧厚度大, 达 1300m 左右, 中间仅为 400m 左右。第四系厚 100~200m。

(3) 周口凹陷 (III₃)

周口凹陷内主要沉积了古近系河湖相黏土岩、砂岩夹泥灰岩组成的次稳定型暗色 - 红色复陆屑建造。新近系河湖相杂色黏土岩、砂岩夹煤线组成的次稳定型复陆屑建造。第四系为黏土、砂、砂砾层。新生代沉积最大厚度达 7000m 以上。断裂比较发育, 分为北西西向和北东向两组。

(4) 西平 - 平舆凸起 (III₄)

位于周口凹陷以南, 隆起之上广泛沉积了新近系湖相杂色黏土岩、砂岩夹煤线组成的次稳定型复陆屑建造, 第四系为河湖相黏土、砂、砂砾等碎屑物。此外, 在北部边缘地带尚发育有古近系。新生界最大厚度约 1500m, 西薄东厚。断裂以北西

或北西西向为主，次为北东或北北东向。地震活动水平较弱，以中小地震活动为主。

2.3.3.4 豫西差异隆起（IV）

位于区域西南部，为大面积抬升隆起区，该区广泛出露早古生代震旦系变质岩、新元古代浅变质火山岩-沉积岩，及燕山期花岗岩，仅在隆起边缘和内部次级凹陷盆地中有第四纪地层出露，有第四纪地层分布，主要受北西和北东向两组断裂控制。第四纪以来断裂活动和地震活动均较弱。区内有洛阳凹陷、嵩山低凸起和伏牛山凸起三个二级构造单元。

（1）洛阳凹陷（IV₁）

洛阳拗陷呈近东西向分布，为中、新生代继承性下沉盆地，其沉降幅度达3000~5000m，新近纪以来最大厚度达50~600m。普遍出露第四纪地层。沉降中心位于洛阳附近。拗陷受控于北西向和近东西向两组断裂的活动，南深北浅，具掀斜运动性质。

（2）嵩山低凸起（IV₂）

位于伏牛山凸起东侧，覆盖郑州西南嵩山、箕山地区。二者由太古界和下元古界组成基底，上元古界、震旦系等组成上覆地层。基岩内老断裂比较发育，主要有北西、北东向两组断裂将凸起切割成大小不等的多个小型块体。凸起上基岩出露，广泛出露下古生界震旦系变质岩、上元古界浅变质火山岩-沉积岩，及燕山期花岗岩。很少有第四纪地层分布。凸起南侧和东侧受断裂控制，边界比较平直，为新生代隆起幅度较弱的地区。地震活动水平较弱，以中小地震活动为主。

（3）伏牛山凸起（IV₃）

主体位于新安—伊川断裂和鲁山—漯河断裂之西南侧，由秦岭褶皱系组成北西向的构造条带，新生代以来全面隆起形成中低山系。第四纪地层不发育。西南高东北低，具掀斜隆起性质。

2.3.3.5 秦岭—大别隆起（V）

（1）北秦岭凸起（V₁）

位于秦岭断褶系的北部，本区经中条旋回优地槽、王屋山旋回断陷优地槽、晋宁旋回早期断陷优地槽发展演化之后，转变为褶皱带隆起。断裂以北西西向深大断裂为主，其次在信阳以东地区尚发育有燕山期北北东向横断裂。

（2）南阳—襄樊凹陷（V₂）

位于河南南阳到湖北襄阳一带，是近南北向的中新生代拗陷，古近纪后大型褶皱运动使本区普遍大幅度沉陷，堆积了新近系和第四系河湖相碎屑岩系。中新界最大厚度达 7000m 以上。

(3) 南秦岭断块凸起 (V₃)

与北秦岭褶皱带相邻，于内乡 - 邓县彭桥以东没入南阳 - 襄樊拗陷之下。是一个华力西褶皱带。断裂主要为北西西向，北部比较发育，多形成于华力西以前各期，具规模较大、长期活动、性质多变的特征，并控制着各期岩浆活动。

2.3.3.6 汾渭断陷带 (VI)

汾渭断陷带主要由延怀、蔚县、灵丘、大同、忻定、太原、临汾等十来个大小不等的北东、北东东向的地堑或半地堑式盆地作右行斜列组成，总体走向北北东，平面上呈“S”形，全带长约1200km。该带是太行山隆起区与吕梁山隆起区的分界构造带，它是一条上新世至第四纪发展起来的北北东向右旋剪切拉张带，形成于上新世末，第四纪时期承袭了上新世奠定的构造轮廓。断陷带自上新世开始形成，具陆内裂谷性质，地表沉降，断陷带下部地幔上隆，地壳减薄，是研究区内差异垂直运动最强烈的地带。

断陷带内活动断裂发育，主要分布在盆地边缘，多数走向北东-北东东断裂，在盆地间发育北西-近东西向断裂。区域内包括山西断陷带南段的临汾盆地。临汾盆地形成于上新世初，这时的一次规模较大的构造运动，使盆地边缘及内部产生了一系列张扭性正断裂，盆地沿这些断裂成阶状下陷。同时，盆地内部还发育了一系列近东西向断裂，形成一些次级的凸起与凹陷，其中有些近东西向断裂还明显表现出左旋水平扭动特征。此外，在上新世、早更世初，以及中更新世末期到晚更新世初也都发生过强烈运动。中更新世末的运动加上气候变干，使全区整体抬升，结束了长期存在的湖泊状态。盆地断块的新构造运动控制了本区河流、湖泊的发育和消长，以及相关沉积物在地域上的差异与时间上的演化（国家地震局《鄂尔多斯周缘断裂系》课题组，1988）。山西断陷带是地震强烈活动带，而临汾盆地是该带最著名的地震活动区。临汾盆地发生过1303年洪洞8级地震和1695年临汾7 $\frac{3}{4}$ 级地震。

(1) 灵石横向隆起 (VI₁)

灵石横向隆起是汾渭断陷带内太原断陷盆地与临汾断陷盆地之间的推挤构造，成为两个盆地之间的隆起区。上新世时期在太原、临汾断陷盆地开始形成的时期，本区也同时沉降，其地面高程沿汾河一带与南北两侧盆地地面大体一致，向东西两

侧逐渐增高，上新世汾河砾石层广泛分布于高出现今汾河河谷 260m 左右的基岩面上，成为最高的汾河阶地，就是十分充足的证据。第四纪时期，灵石隆起由沉降转为抬升，整个第四纪时期抬升的幅度由汾河第 8 级阶地高程与介休义棠一带汾河河谷高程对比，义棠一带为 105m，灵石张家庄一带为 256m。灵石隆起第四纪抬升的幅度在空间上不均匀，以上述张家庄一带为最大，向南北西侧逐渐降低呈拱曲上升。第四纪时期灵石隆起抬升的速率为 0.044-0.11mm/a。在时间上，灵石隆起的抬升是间歇性的，主要抬升阶段有上新世后期至第四纪初，早更新世早期至早更新世中期，早更新世晚期至中更新世和中更新世至晚更新世，抬升的幅度分别是 40m、49m、65m 和 62m。全新世时期抬升幅度 11.5m-15m，抬升速率达 1.15-1.5mm/a，第四纪以来灵石隆起的抬升速率有加速趋势。

(2) 峨眉台地断块隆起区(VI₂)

峨嵋台地隆起东起中条山东麓，沿紫金山、稷王山、孤峰山一线向西南延伸，走向 60° ~70°，长约 60km，宽约 25km。台地顶面大部分地区被黄土覆盖，海拔高程在 500m 以上，最高峰为孤峰山，海拔高程 1411m，为基岩山。在地貌上表现为南北两侧有明显陡坎的台地，台地上出露的基岩显示台地基底为一背斜构造，背斜轴部与上述岛状山的连线一致。钻孔揭示台地上新生界基底埋深约 300m，与南侧运城断陷盆地基底埋深 3500m 和北侧临汾断陷盆地基底埋深 1700m 形成了明显的对照，反映峨嵋台地隆起是一个明显的构造隆起区。有史料记载以来隆起区内无 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震发生。

(3) 运城断陷盆地(VI₃)

运城盆地走向 NEE，北部转为 NE。盆地形成于中新世，上新世至第四纪一直持续断陷沉降，沉降中心在盆地南部的虞乡、解州一带，新生代断陷幅度 5600m。第四纪以来沉降中心有由东向西迁移的趋势，最大断陷幅度 1600m。盆地东、南侧受中条山北麓断裂控制，盆地结构较为简单。有史料记载以来在盆地南缘的中条山北麓断裂带发生过 1 次 6 级地震。该盆地的东北角在区域内，是运城盆地断陷最浅的地方，断陷幅度不足 100m。

(4) 临汾断陷盆地(VI₄)

总体走向 NNE，南北长约 150km，盆地内部结构复杂，由辛置、浮山和襄汾 3 个凸起和洪洞、临汾和侯马 3 个凹陷共 6 个次级构造单元组成。凹陷是盆地的主体构造单元。洪洞凹陷、临汾凹陷位于盆地中北部，二者以苏堡断裂为界，总体

走向 NNE，上新世以来持续下沉，形成 3 个较明显的沉降中心。在临汾至甘亭一带，新生代断陷 2200m，第四纪断陷深达 800m；龙祠一带新生代断陷 1800m，第四系 700m；洪洞、广胜寺一带新生代断陷约 1600m，第四纪 500m。侯马凹陷一带，新生代断陷 1000-1700m，第四纪 800m。据此可计算出，临汾盆地的临汾至甘亭一带，新生代以来的平均断陷速率分别是：上新世 0.33mm/a，早更新世 0.18mm/a，中更新世 0.27mm/a，晚更新世 0.34mm/a，全新世 1.95mm/a，第四纪以来该盆地沉降速率有逐渐增强的趋势。

据历史记载，临汾盆地具有地震活动频度高、强度大的特点。自公元 649 年以来，盆地内共发生过 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震 15 次，其中 8 级地震 1 次， $7\frac{3}{4}$ 级地震 1 次， $6\frac{1}{2}$ - $6\frac{3}{4}$ 级地震 3 次， $M \geq 6$ 级地震除 1291 年浮山 $6\frac{1}{2}$ 级地震外大都生于洪洞、临汾凹陷内。

2.3.4 区域新构造运动与地震活动的关系

区域新构造运动与地震活动的关系主要表现在如下几点：

1) 一级新构造分区界线是地震发生的主要场所。如一级构造单元边界沿霍山等北东-北北东断裂发生洪洞 8 级地震和临汾 $7\frac{3}{4}$ 级地震，太行山东麓边界带和新乡-商丘边界带是历史上多次地震的发生带，修武 6 级地震和封丘 $5\frac{1}{2}$ 级地震等都发生在这些边界带上。

2) 二级新构造分区界线也是地震发生的重要地带，如菏泽 7 级地震既发生于东明凹陷与鲁西斜坡带的边界带上。又如汤阴 $5\frac{1}{2}$ 级地震即发生在汤阴地堑与内黄凸起的边界带上。

3) 垂直差异运动强烈的地带是地震发生的地带。如开封拗陷与内黄凸起之间是垂直差异运动十分强烈的地带，其新近纪以来的差异幅度达 1000 余米，在该带上曾发生过卫辉东 6 级地震和封丘 $5\frac{1}{2}$ 级地震。

4) 拗陷内下沉最强烈的部位是地震发生的位置。如洛阳拗陷内洛阳地震区是新近纪以来下沉最强烈的位置，历史上发生过 $4\frac{3}{4}$ 级和 $5\frac{1}{2}$ 级地震。

5) 在凸起上局部下沉的部位是地震容易发生的地区，如太康凸起南侧和北侧属于隆起区的局部下沉部位，历史上既发生过许昌 6 级地震和荥阳 5 级地震。

2.4 区域主要断裂活动特征

图 2.4.1 为区域地震构造图，区域范围内涉及的断裂构造较多，其晚更新世

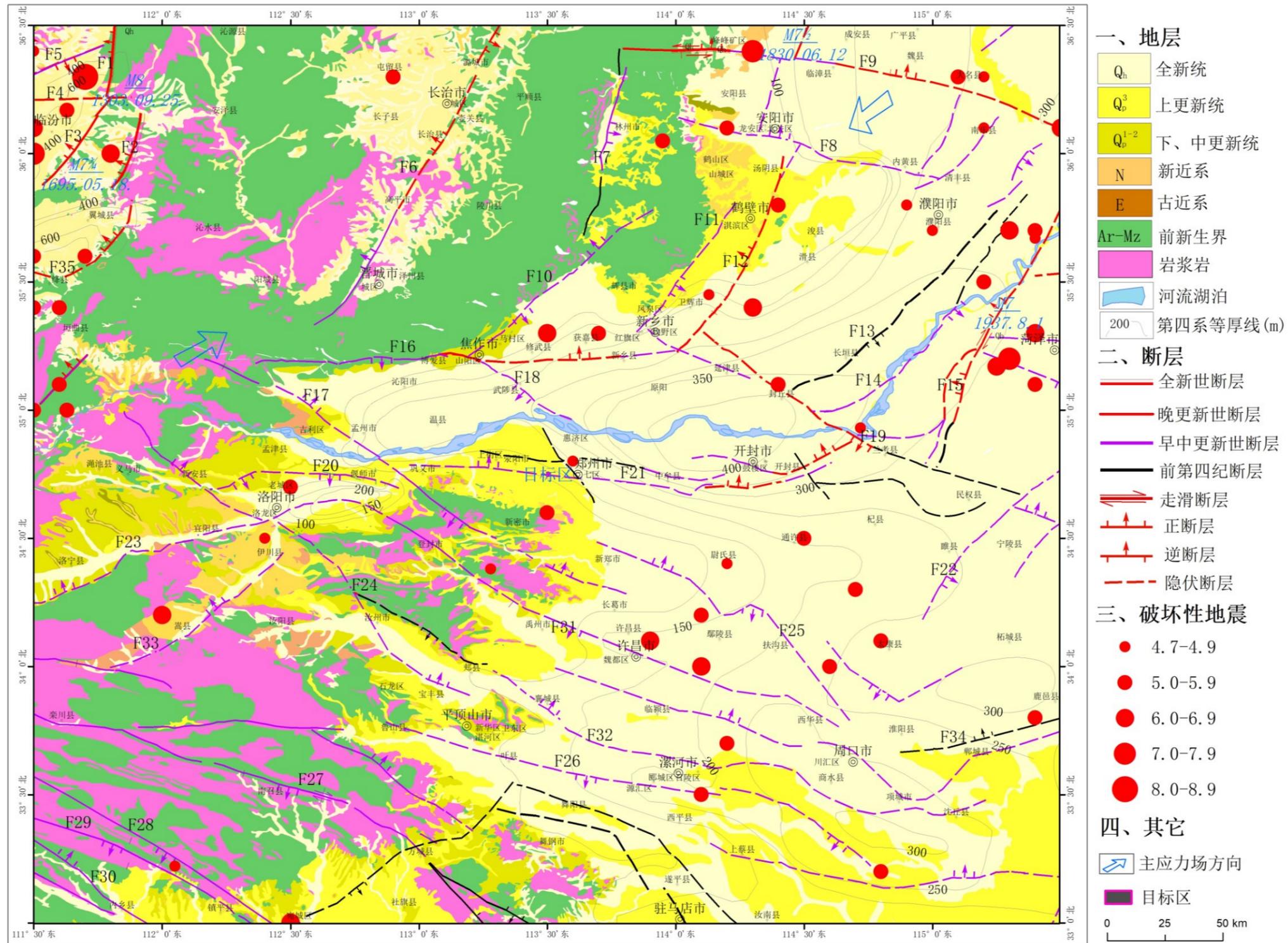
及其以后活动的断裂为本区的主要发震断裂，为此，将这类断裂编入图中，并在报告中作重点论述，另外，本区还分布一些中强地震，它们的活动在空间上与很多早、中更新世断裂相关，对这类断裂也编入图中，区域范围断裂的构造特征见表 2.4.1。

根据前人的资料（赵景珍等，1989；河南省地震局，1989），区域内第四纪断裂主要有三组：北北东向、北西向和近东西向，它们控制了本区活动断裂的总体面貌，是与本区地震相关的断裂构造。本节将重点讨论这些断裂的活动性、活动时代及其与地震的关系。

表 2.4.1 区域主要断裂活动特征一览表

断层序号	断层名称	长度(km)	产状			最新活动性质	最新活动时代		断裂附近地震活动情况
			走向	倾向	倾角				
F1	霍山山前断裂	116	NNE	NW	65-75°	右旋正断	Q ₄		1303 年洪洞 8 级地震
F2	浮山断裂	40	NNE	W	66-78°	正断	Q ₄		1209 年 6½ 级地震
F3	大阳断裂	45	NE	NW		正	Q ₃		
F4	洪洞断裂	32	SEE	NNE	70-80°	正断	Q ₃		
F5	万安断裂	34	80°	SE	45-70°	正断	Q ₃		
F6	晋获断裂	350	25°	W	60°	正断	高平以北	Q ₃	多次 5 级左右
							高平以南	Q ₂	
F7	林州断裂	135	NNE	E	>50°	正断	北、南段	前 Q	1980 年林州 4.7 级
							中段	Q ₃	
							南段	前 Q	
F8	安阳南断裂	160	NWW	N	80°	正断	Q ₁₋₂		1900 年安阳 5 级地震
F9	磁县-大名断裂	150	NWW	N	陡	正断左旋	西段	Q ₃₋₄	1830 年磁县 7½ 级地震
							东段	Q ₃	
F10	薄壁断裂	120	NE	NW/SE	50-70°	正断	Q ₁₋₂		
F11	汤西断裂	70	NNE	SE	>60°	正走滑	Q ₂		
F12	汤东断裂		NNE	NW	60°	正断右旋	北段	Q ₂	344 年卫辉东 6 级 1814 年汤阴浚县间 5½ 级 1978 年新乡 4.5 级地震
							中段		
							南段	Q ₃	
F13	长垣断裂	140	NNE	SE	50°	正断	北段	前 Q	1830 年濮阳 4½ 级地震
							南段	前 Q	
F14	黄河断裂	80	NNE	NW	50°	正断	黄河北	前 Q	1502 年濮城 6½ 级
		70					黄河南	Q ₂	
F15	聊兰断裂	360	20°-30°	NW	50-70°	正断	禹城-韩屯	Q ₁₋₂	1937 年菏泽 7 级、6¼ 级, 1983 年菏泽 6 级
							聊城-范县段	Q ₃	
							濮城-兰	Q ₄	

							考段		
F16	盘谷寺-新乡断裂	200	EW	S/N	60°	正断	西段	Q ₃	1587年修武6级
							中段	Q ₁₋₂	
							东段	Q ₁₋₂	
F17	封门口-五指岭断裂	100	NW	SW/NE	40-70°	左旋正断	Q ₂		1814年荥阳贾峪5级地震
F18	武陟断裂	32	NW	SW		正断	Q ₁₋₂		
F19	新乡-商丘断裂	250	300°	NE或SW	60°	正断	新乡段	Q ₂	1737年封丘5¼级
							封丘段	Q ₃	
							民权段	前Q	
							商丘段	Q ₁₋₂	
F20	洛阳断裂	55	EW	S	63°	正断	Q ₁₋₂		
F21	郑州-开封断裂	120	EW	N	60-70°	正断	Q ₁		927年郑州4¼级
F22	曹县断裂	200	NNE	NW	陡	正断	Q ₁		1520年郟城西北5级
F23	洛河断裂	120	NEE	NNW	60-70°	正断	Q ₁		
F24	新安-郟县断裂	160	NW	NE/SE	60-70°	正断	Q ₂		1638年新安东南4¼级地震
F25	新郑-太康断裂	190	NW-NEE	N/S	陡	左旋走滑	西支	Q ₂	1675年太康5½级 1820年许昌东北6级 2010年太康4.7级
							东支	Q ₁₋₂	
F26	鲁山-漯河断裂	240	NWW	SW	陡	正断	Q ₁₋₂		1662年项城5½级地震
F27	栾川-南召-方城断裂	100	NNW/EW	SW	50-70°	正走滑	西段	Q ₁₋₂	
							东段	前Q	
F28	朱阳关-南阳断裂	350	200-310°	SW/NE	40-80°	正断	Q ₁₋₂		公元46年南阳6½级地震
F29	商丹断裂	120	NWW	SW/NE	65-70°	正走滑	Q ₂		
F30	内乡-木家垭断裂	60	NW	NE	陡	正断	Q ₁₋₂		
F31	登封-鲁庄断层	23	NW	SW	65-80°	正断	Q ₁		1992年登封禹州交界4.7
F32	襄城断裂	90	NW-NWW	N/S	45°	正断	Q ₁₋₂		
F33	伊河断裂	80	NE	NW	较陡	正断	Q ₁		
F34	周口-鹿邑断裂	100	EW	N	50°	正断层	前Q		1841年亳州级6地震
F35	峨眉台地北缘断裂	120	NEE	N	65-85°	正断层	Q ₂₋₄		



断层编号及名称

F1霍山山前断裂 F2浮山断裂 F3大阳断裂 F4洪洞断裂 F5万安断裂 F6晋获断裂 F7林州断裂 F8安阳南断裂 F9磁县-大名断裂 F10薄壁断裂 F11汤西断裂
 F12汤东断裂 F13长垣断裂 F14黄河断裂 F15聊兰断裂 F16盘谷寺-新乡断裂 F17封门口-五指岭断裂 F18武陟断裂 F19新乡-商丘断裂 F20洛阳断裂
 F21郑州-开封断裂 F22曹县断裂 F23洛河断裂 F24新安-郟县断裂 F25新郑-太康断裂 F26鲁山-漯河断裂 F27栾川-南召-方城断裂 F28朱阳关-南阳断裂
 F29商丹断裂 F30内乡-木家垵断裂 F31登封-鲁庄断层 F32襄城断裂 F33伊河断裂 F34周口-鹿邑断裂 F34峨眉台地北缘断裂

图 2.4.1 区域地震构造图

2.4.1. 断裂活动性分述

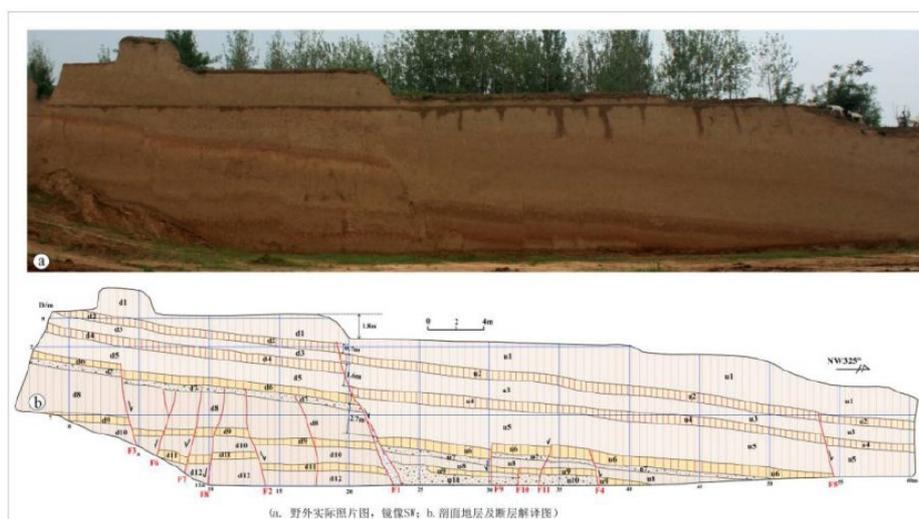
2.4.1.1 霍山山前断裂(F1)

该断裂位于霍山山脉的西麓，是临汾盆地东部的主控边界断裂，断裂南自洪洞县苏堡镇，向北经广胜寺、沙窝、观堆至冯村后，一直延伸至静升盆地，在龙凤镇北止于太谷断裂带以南，全长116km，总体走向 15° ，倾向NW，以山前主控断层为主，个别地段发育次级断层。根据断裂的几何展布及活动性特征，以霍州东李曹镇为界，分为南段和北段两大段，进一步又将南、北两段各分为三个次级段落，编号为A-F段（何宏林，2012）。

(1) 断裂南段

① 断裂南段A次级段（苏堡-广胜寺段）

苏堡-广胜寺段，出露长度8.2km，走向从 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 转为NNE，是临汾盆地洪洞凹陷与盆地边缘丘陵台地间的地貌分界，性质为张性倾滑。沿断裂发育一系列落水漏斗，黄土中张性裂缝很发育。位于洞峪沟村的人工取土揭露了完整的断层剖面（图2.4.1-1），断层错断了一系列古土壤标志层，自地表向下的古土壤三层标志层分别垂直位错为0.7m、1.6m、2.5m，反映了断层的累积位移信息。剖面揭露的主要地层为上更新统中上部至全新统。因此，该段在晚更新世晚期至全新世以持续倾滑活动为主。



u1层：浅灰黄色粉砂层，近地表30cm为灰黑色腐殖层；u2层：灰色粉砂粘土层；u3层：灰黄色、浅红色粉砂粘土层；
u4层：浅褐色粉砂粘土层；u5层：灰黄色粉砂层；u6层：鲜红色粘土层、古土壤层；u7层：薄层灰白色含1-3cm钙质结核层；
u8层：浅黄色粉砂层；u9层：薄层红褐色古土壤层；u10层：灰白色含1-3cm钙质结核；
d1层：灰黄色粉砂层，与u1层对应；d2层：灰黑色粉砂粘土层，与u2层对应；d3层：灰白色粉砂层，与u3层对应；
d4层：灰黑色粉砂粘土层，与u4层对应；d5层：灰黄色粉砂层；d6层：红褐色古土壤层，与u6层对应；
d7层：灰白色含1-3cm灰白色钙质结核的粉砂层；d8层：灰黄色粉砂层；d9层：浅红褐色古土壤层；
d10层：灰白色、浅黄色粉砂层；d11层：浅红褐色古土壤层；d12层：灰白色含少量钙质结核的粉砂层，未见底。

图2.4.1-1 洞峪沟断层剖面（据何宏林，2012）

②断裂南段B次级段（广胜寺-观堆段）

广胜寺-观堆段断层出露最为清晰，出露长度27km，走向近SN，局部有转折。在宛川一带，发育有一条次级断裂，延伸长度约10km，为次生黄土与基岩山地的分界线，在沙窝一带交汇于主断裂。野外沿线见多处断层露头，在兴旺峪村东南主断层崖部位开挖探槽（图2.4.1-3）显示，距今5455年以来断裂经历了三次大地震事件，事件I发生在距今5455至4475年间，事件II发生在距今3475a至2555a间，事件III即为1303年8级地震。地震重复间隔为(1500~2000)（徐锡伟等，1993）

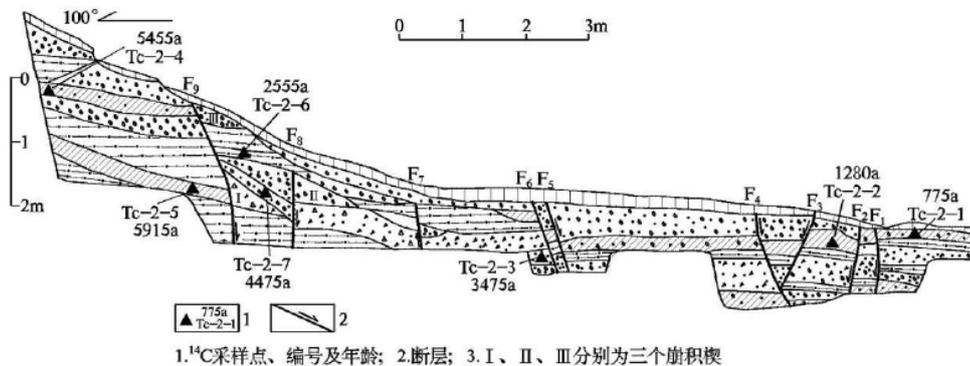


图2.4.1-3 兴旺峪探槽（Tc-2）剖面（据徐锡伟，1993）

③断裂南段C次级段（观堆-杨家庄段）

观堆-杨家庄段主断裂延伸约10km，走向为NE，主断裂分布于李曹镇东南山前一带，为基岩山地与山前坡麓及河流冲洪积、黄土台地堆积地貌为主，主断层两侧地貌差异明显。李曹镇、罗润村东南山前两断层剖面擦痕皆显示，断层活动以倾滑运动为主，具有右旋走滑分量。

（2）断裂北段

④断裂北段D次级段（犁湾-南车腰段）

犁湾-南车腰段为在李曹镇附近的山前出现的次级断层，走向NNE，但不连续，从犁湾村南至南车腰，断层又转为近SN，野外发现大量的断层三角面和断层面上擦痕。断层面直达地表，沿线发育断层崖、冲沟，断层错断了含砾石的黄土沉积、砾石层、粉砂黏土层。反映断层以倾滑活动为主，晚更新世以来活动强烈。

⑤断裂北段F次级段（霍口-龙凤段）

该段断层为多个山脊垭口与山前低级台地的分界，与霍山山前断裂的整体走向较为一致，但是断层倾向多处转为SE，与整体NW 倾向有差别。错断地层的释光年

龄为12~15ka，说明该段断层在晚更新世晚期至全新世期间活动（谢新生，2004）。

⑥断裂北段E次级段（南车腰-霍口段）

该段主断裂在霍山西麓的出露长度约23km，走向NE，北端截止于NE向的太谷断裂西南段，两侧地貌差异显著。野外发现多处断层露头，断层错断了黄土古土壤层，以正断为主，兼具一定水平分量运动。

综上所述，霍山山前断裂总体为一条全新世活动断裂，以正倾滑运动为主，兼具一定的右旋运动。

2.4.1.2 浮山断裂（F2）

浮山断裂是浮山盆地东缘边界断裂，北起玉石坡，向南经赵家坡、前交、东二里和乔家坡，至朱家山，长约 17.5km。该断裂走向 30° ，倾向北西，倾角 $65\sim 80^\circ$ ，为一高角度正倾滑断裂。浮山断裂在 17.5km 长范围内大部分断开了上更新统黄土，局部还可见到错断全新世沉积物，在赵家坡，该断裂使得距今 2.672 ± 0.206 万年的上更新统黄土发生断裂，累积位移达 8m。在乔家坡，在 15m 范围内，该断裂在中更新统红色土和上更新统黄土中形成了三个断层陡坎，高 4~15m，中奥陶统灰岩中的断层角砾岩带宽至少 25m。在东二里，该断裂在中更新统红色土中出现了一系列断面，带宽 28m，以走向 $14\sim 20^\circ$ 的断面占主导，主断面使得距今 0.790 ± 0.062 万年，厚 0.5~1m 的坡面沉积物断错（中国地震局地质研究所，2000）。由此可见，浮山断裂是一条全新世活动断层。另外，依据断错地层和地貌分析，该断裂可能是 1209 年浮山 $6\frac{1}{2}$ 级地震的发震断裂，造成的地表垂直位移量约为 0.3m（中国地震局地质研究所，2000）。

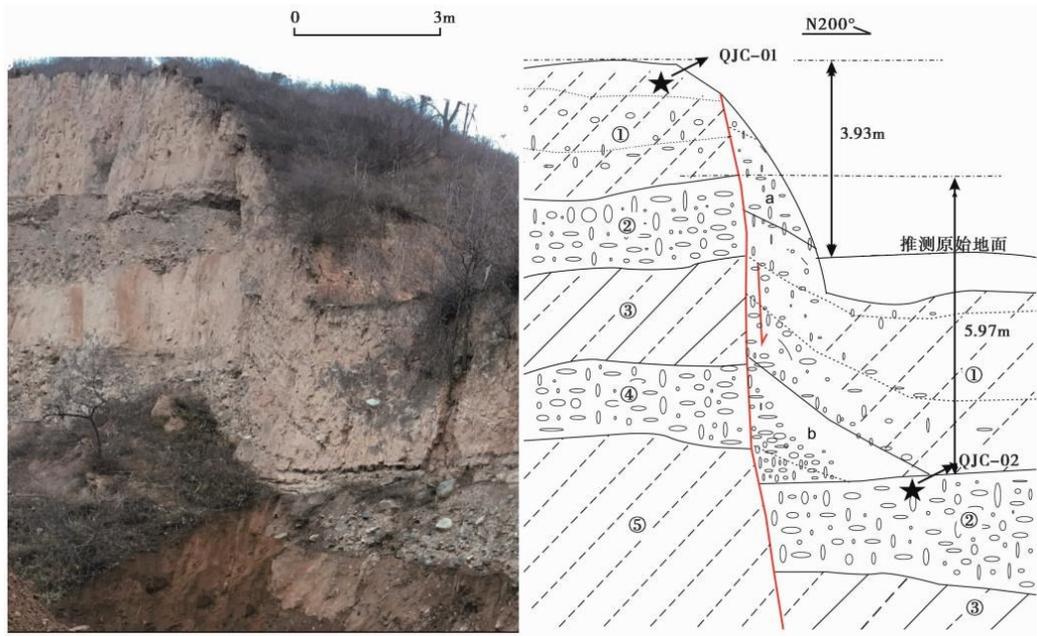


图 2.4.2-1 浮山断裂地质剖面 (闫小兵等, 2022)

(0-⑤为地层单元编号;a为地层单元五星为采集年代样品的位置, JC-01、QJC-02 为品编号:双箭头黑粗线、点虚线及旁边的数字表示断层两侧地层单元或地貌面的位错量)

图2.4.2-1 是浮山断裂在前交村出露的地质剖面, ⑤褐黄色一褐红色粉土, 密实, 分层不明显崩积层 a、b, 砾石、粉土混杂堆积, 略有成层性。

前交村断裂剖面共揭示 1 条主断层, 断层错断剖面内所有地层, 根据断层两侧相同层位不同的断错量, 分析得到浮山断裂在前交村断裂剖面的地层错断信息如下:

(1) 本剖面揭示出的最老地层为堆积地层⑤:在地层⑤沉积之后, 接着堆地层④;

(2) 随后堆积地层③和地层②之后发生 1 期断裂活动, 将地层②-⑤错断, 堆积崩积层b;在层b中可识别粗、细二元结构;

(3) 最新堆积地层①覆盖了上次断错的所有地层。在堆积到一定厚度之后, 发生最新一期地层断错事件, 将包括地层①在内的所有地层全部错断并形成崩积层 a。层 a 因人工和自然改造而局部出露, 不能识别堆积结构和期次。

在前交村断裂剖面共获取2个有效年(图2.4.2-1)其样品 0JC-01 为地层中的松散粉土其地层年龄为(7220±580)a样品 0JC-02 为地层2中的粉细砂其年龄为(175201±440)a。

综合判定认为：

(1) 基岩断层面分形法是地层错断期次研究的有效方法，对于基岩覆盖区正断层的地层错断序列尤为适用。

(2) 浮山断裂为全新世活动断裂，具备发生7级地震的能力晚更新世(今 17ka)以来的平均位移速率约为0.34mm/a。从老到新，第1期事件发生于距今17~7ka造成了2.04m的地层错断量，平均位移速率为0.2mm/a；第2期事件发生于距今7ka以来造成了3.93m的地层错断量，平均位移速率为0.56mm/a晚更新世以来位移速率有增大的趋势其未来地震危险性值得关注。

(3) 综合分析 1209 年浮山地震的发震构造为浮山断裂的可能性最大。但由于缺少年代下限且仅有的年代上限与历史地震时间相距甚远，需要对断层开展更为详细的调查研究，以确定是否存在年代更新、震级相当的古地震事件。

2.4.1.3 大阳断裂(F3)

该断裂北起洪洞县苏堡附近，向南西经大阳镇东、大苏南部止于塔儿山北缘断裂，全长46km，总体走向NE，倾向NW。在地貌上表现为NNE—NE向延伸的黄土陡坡带，在100~150m的范围内两侧高差达70m左右，局部地段直接出露三叠系基岩陡坎。断裂东侧为浮山台地，西侧为临汾凹陷，断裂两侧地层差异明显。据山西省地矿局水文队钻孔资料（1976）可知，在断层东盘的浮山县西佐乡辛落村的275号孔，孔口标高约807m，孔深353.79m，上新统与下更新统界面标高为603m；而断裂西盘的临汾市大阳镇成堰村305号孔，孔口标高约532.21m，孔深299.4m，上新统与下更新统界面标高为316m，因而断裂两侧第四纪以来的差异升降运动幅度约为287m。在大阳断裂通过的上村至北谛一带，断层主要在三叠系砂页岩与中更新统粉质黏土之间通过，而未切割上更新统马兰黄土（图2.4.3-1）。在南段卧虎山西麓的黄麓泉，断层仅切割了中更新统粉质黏土及棕红色古土壤，断距约0.8~1m，且在断层带上有自流泉出露，未见切穿上覆上更新统黄土，断裂的主要活动时期为中更新世（徐锡伟等，1993）。

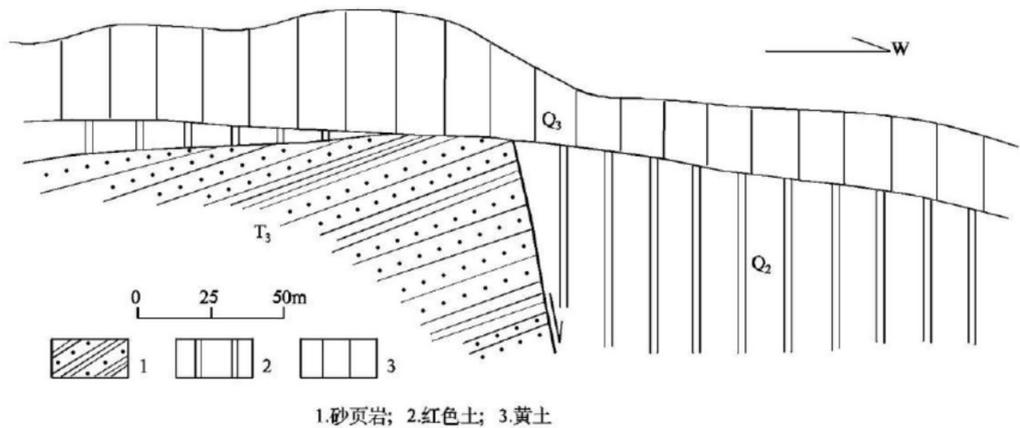
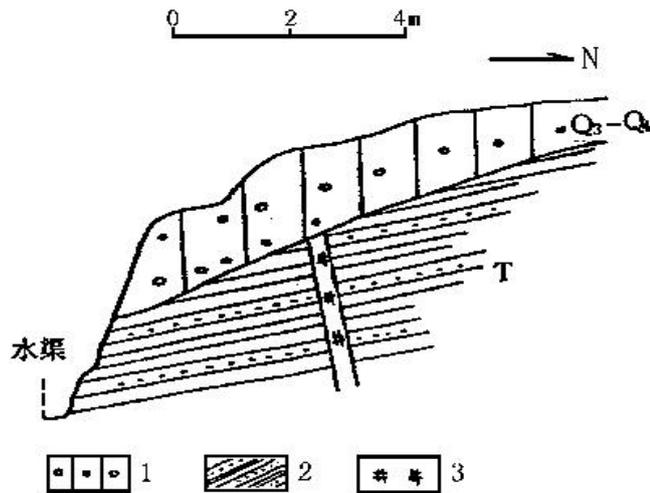


图2.4.3-1 上村北谛大阳东断裂剖面图（据徐锡伟等，1993）

2.4.1.4 洪洞断裂（F4）

洪洞断裂是划分临汾盆地北半部洪洞凹陷和南半部临汾凹陷的分界断裂，具左旋走滑性质。走向 100° ，倾向北北东，陡倾角，切割北东向断裂，长约 32km（邓起东等，1993）。该断裂在苏堡村一带直接出露地表，断裂北侧为基岩山区，而南侧为第四纪松散堆积物，断裂向西进入临汾盆地后表现为隐伏断裂。该断裂具左旋走滑性质，它实际上是临汾盆地南北两个张性凹陷之间的边界断裂。于之水等（1993）曾横跨洪洞断裂完成了 2 条浅层地震反射剖面，结果表明，断裂是一条高角度正断层，错断第四系上部，基岩断距达 600~800m，第四系上部断距约 10m。另一方面，断裂左旋错断霍山-大阳断裂带，错距达 5km，而霍山断裂是 1303 年洪洞 8 级地震的发震断裂，同时也是一条全新世活动断裂。另外，从临汾盆地第四系厚度等值线（图 2.1.4-1）图可以看出，沿苏堡断裂发生左旋偏转（中国地震局地质研究所，2000）。



1、黄土状土；2、砂页岩；3、断层破碎带

图 2.1.4-1 洪洞断裂蜀村剖面图（中国地震局地质研究所，2000）

2.4.1.5 万安断裂(F5)

万安断裂属于罗云山山前断裂带的一部分，分布于临汾市的土门镇以北，洪洞县左家沟乡以南，北自左家沟西姚头村往南西经华子节至临汾的银桥凹村，长15km，走向NE50°，倾向南东，倾角40~80°。前人认为万安段东北端已达临汾盆地东界的霍山山前断裂，长达45km(苏宗正，1988)，实地调查发现断裂断错地貌自北东往南西越来越清楚。

在断裂的西南吉家庄汇丰石料厂，经开挖见到灰岩与洪积扇后缘断层接触，断层出露三条，其中f1产状为NE55°/SE∠60°，断错①~⑤层，被⑥层覆盖，⑤层样品热释光年龄TL-33(59.54±5.06)ka，⑥层为TL-34(23.19±1.97)ka，事件应发生在晚更新世中、晚期。断距不清(图2.4.5-1、图2.4.5-2)。



图 2.4.5-1 吉家庄汇丰石料厂地质剖面（镜像 SW）（谢新生等，2012）

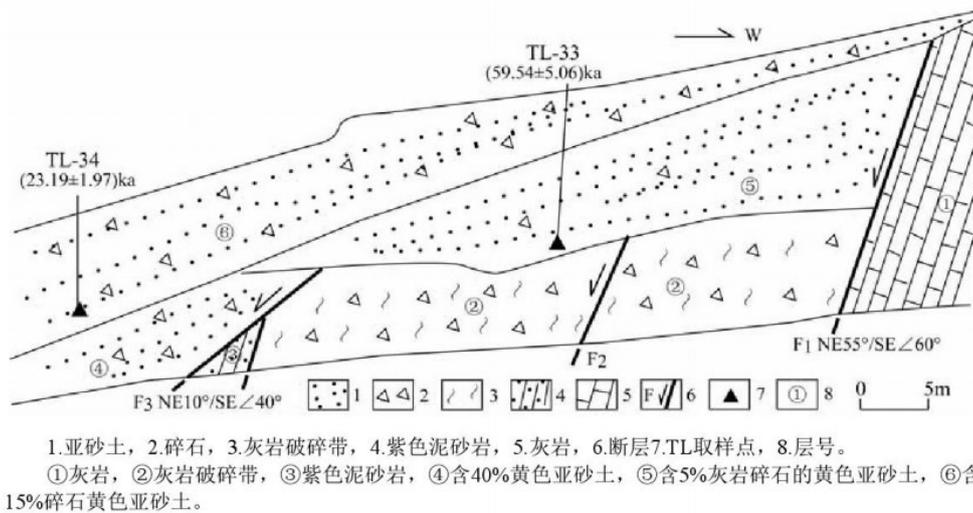
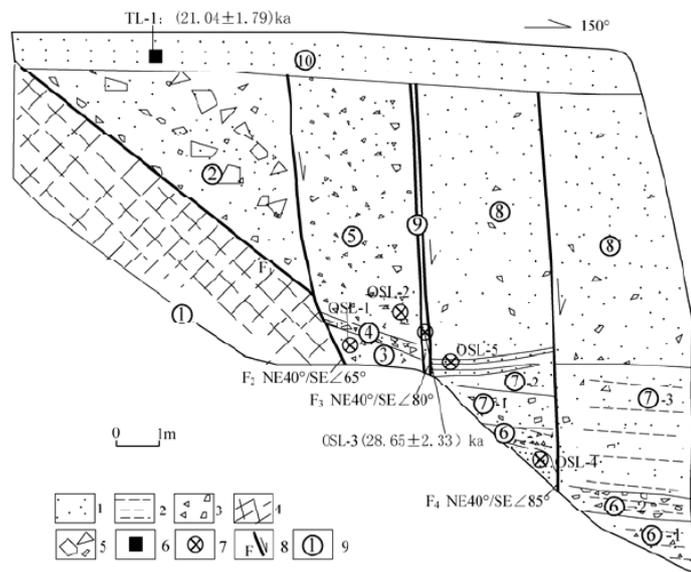


图 2.4.5-2 吉家庄汇丰石料厂地质剖面（谢新生等，2012）

万安镇西姚头西南的涧西村西北山前，经开挖见到灰岩破碎带与碎石、亚砂土断层接触，断层有四条，其中 f2: $NE40^{\circ} / SE \angle 65^{\circ}$ ，f3: $NE40^{\circ} / SE \angle 80^{\circ}$ ，f4: $NE40^{\circ} / SE \angle 85^{\circ}$ （照片 2.4.5-3、2.4.5-4）。从图中可以看出，f3 断层是由两条组成，其中夹的黄色亚砂土层 ⑨ 年龄 OSL-3 (28.65 ± 2.33) ka，其上部又被层 ⑩ TL-1 (21.04 ± 1.79) ka 黄色亚砂土覆盖，即最新事件发生在晚更新世晚期。垂直位移至少 2m。



图 2.4.5-3 万安镇涧西村西北地貌景观（镜像 NE）（谢新生等，2012）



1.亚砂土, 2.具层理的亚砂土, 3.碎石, 4.灰岩, 5.块石, 6.TL取样点, 7.OSL取样点, 8.断层, 9.层号, ①灰岩, ②块石层, ③灰褐色含碎石10%亚砂土, ④具层理的含碎石30%亚砂土, ⑤含5%碎石的黄色亚砂土, ⑥含10%碎石的亚砂土, ⑦含5%碎石的黄色亚砂土, ⑧含零星碎石的红褐色亚黏土, ⑨黄色亚砂土, ⑩黄色亚砂土。

图 2.4.5-4 万安镇涧西村西北地质剖面（谢新生等，2012）

综上所述，万安断裂活动性特征为：

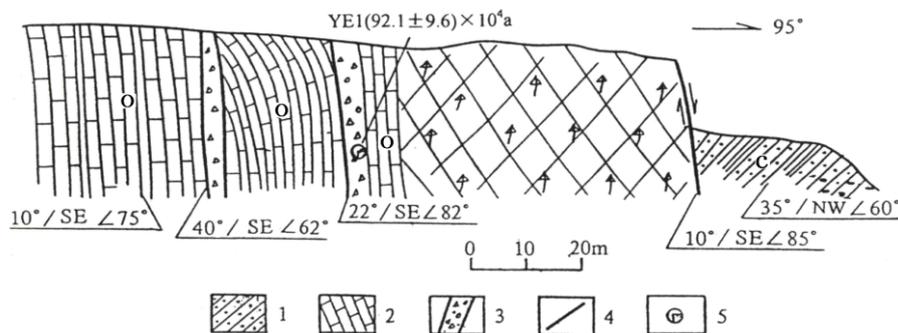
①万安断裂断错地貌自南西往北东渐渐变弱，沿断裂走向基岩断距由南西往北东逐渐减小，反映该段的断层活动特点也是由西南往北东逐渐变弱；

②万安断裂的最新活动时间应是晚更新世中期偏晚。以涧西村西北剖面的2.5万年为最新活动时间，垂直位移2.5m计算，则万安段的垂直活动速率为0.1mm/a。更早期的活动发生在距今59.54ka之后，断距不清。

2.4.1.6 晋获断裂(F6)

断裂带南起济源北，向北经晋城、高平、长治、获鹿，总长350km。总体走向25°。倾向南东或北西，倾角60°左右，正断为主。断裂控制长治盆地的发育。从其构造角砾岩和断层泥的胶结固化程度，结合地形地貌分析、以及ESR测年结果，说明该断裂带在高平以北为晚更新世活动断裂，以南为早、中更新世活动断裂。沿断裂北段有多次中强地震及小震群发生，最大震级为5.5级。

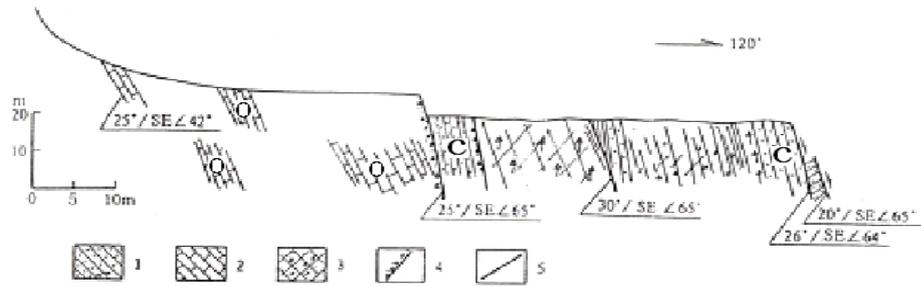
高平以南断裂活动性减弱，据中国地震局地质研究所等（2000）研究，断裂沿石炭系砂页岩与奥陶系灰岩的平行不整合面活动。在北岭村，砂页岩与灰岩之间呈断层接触，构造带因两盘岩性差异强烈，地貌上表现为垭口，总体走向30°。构造带宽约60m，具多期活动特点，带内岩石破碎，发育构造角砾岩和断层泥，同时发育不同方向的节理。构造角砾岩由不同程度的硅质、钙质胶结，断层泥具较强的高岭土化，剖面上没有发现新构造活动的迹象。往北，在晋城南村镇北西村采石场，断裂构造带揭露比较完整（图2.4.6-1）。断裂带宽100m，东侧一直延续到盆地边缘，由构造破劈理带、构造角砾岩和灰岩透镜体组成。构造角砾成分为灰岩，具钙质胶结，取其旁侧断层泥用电子自旋共振测年，结果为 $(92.1 \pm 9.6) \times 10^4 a$ 。盆地边缘，没有断层陡坎等构造地貌，说明构造带没有新活动。再往北，在寺河村西南采石场，构造带特征与上述剖面基本相同（图2.4.6-2），而构造角砾岩胶结更为致密，早期断层泥也已胶结固化。断裂带具有多期次活动特点。



1. 石炭系砂页岩；2. 奥陶系灰岩；3. 断层破碎带；4. 断裂；5. ESR测年采样地点

图2.4.6-1 南村镇北西村断裂剖面图（据中国地震局地质研究所等，2000）

综上所述，从其构造角砾岩和断层泥的胶结固化程度，结合地形地貌分析、以及ESR测年结果，说明该断裂带在高平以北为晚更新世活动断裂，以南为中更新世断裂。沿断裂北段有多次中强地震及小震群发生，最大震级为5.5级。

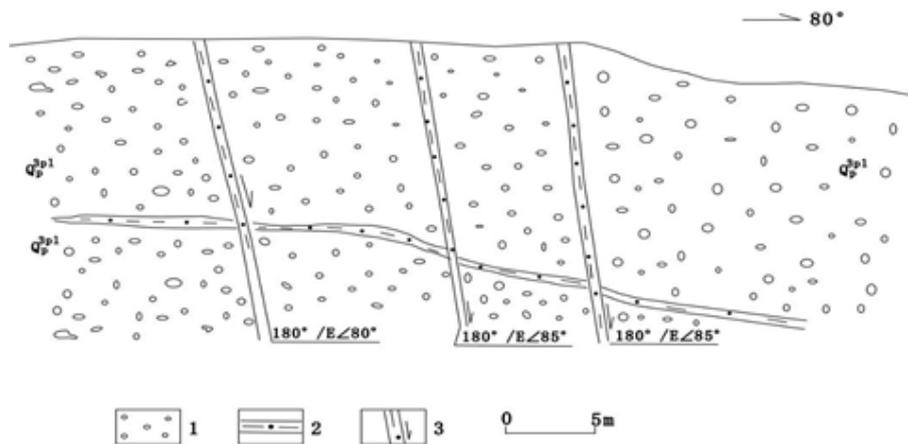


1. 石炭系砂页岩；2. 奥陶系灰岩；3. 断层破碎带；4. 断层角砾岩；5. 断裂
图2.4.6-2 寺河村断裂剖面图（据中国地震局地质研究所等，2000）

2.4.1.7 林州断裂(F7)

林州断裂位于林州市西部，北起河北省武安县徘徊镇以南，向南经关防、合漳西、林州盆地西侧、合涧镇西、郊口东、后庄西、止于上八里镇，长约135km。走向北北东—南北，倾向东，倾角 50° 以上。断裂切割太古界、古生界，西盘抬升，东盘下降，正断层性质。沿该断裂为重力梯度带。大部分段落地貌上显示清楚，是太行山南段地貌分界线。断裂以东，山地最高海拔1000m左右，断裂以西，最高海拔1800m左右，平均高差800m左右。控制林州盆地的段落，盆地面海拔300m左右，山地平均海拔1500m左右，平均高差1200m左右。

该断裂燕山期活动强烈，伴有中性、碱性岩浆侵入和矽卡岩型铁矿形成。第四纪以来，断裂仍继续活动，特别林州盆地西缘段控制了盆地的西边界。



1. 层裂隙灰色粗砾石层；2. 黄褐色含砂黏土；3. 断层裂隙

图2.4.7-1 红旗渠桃园渡槽断层剖面（中国地震局地质研究所、2012）

林州断裂北段和南段切割古生界或元古界，断裂两侧地形高差无明显变化，对现今地貌不起控制作用，推测是前第四纪断裂。中段控制林州第四纪盆地的发育，断层地貌清楚。从盆地到山地间，发育宽达1km的上更新统洪积砾石层，砾石层中

又发育南北走向的断层裂隙，它们将砾石层中的含砂黏土层产生垂直位错（见图2.4.7-1）。因此，该段断裂应是晚更新世活动的断裂，活动性质为正断层。

2.4.1.8 安阳南断裂(F8)

该断裂西起安阳县水冶西的许家沟附近，向东横切汤阴地堑，经安阳市南到内黄境内。走向北西西，倾向北，倾角 80° ，全长约160km。据人工地震测深资料，汤阴次凹的北部即安阳沉降中心受该断裂的控制，估计新近系底面落差在200m左右。第四纪早期，该断裂控制了下降盘（北盘）一侧早更新统的沉积，在安阳附近形成了一个沉降带，第四系等厚线明显受该断裂的控制。断裂以南上新统河湖相堆积裸露于地，呈现湖积台地地貌；而断裂以北新近系均不直接裸露地表，其上普遍覆盖了一层较厚的早更新世的红土砾石层。这表明该断裂以北的地壳在早更新世一度下沉，接受了红土砾石层堆积，其后该区地层的沉积并没有明显受该断裂的控制。

野外调查中，在安阳许家沟一带采石场发现一露头剖面（图2.4.8-1），发育在奥陶系灰岩中，走向 280° ，倾向北，倾角 80° 。断层破碎带宽达1m，断层周围构造劈理发育，断层泥厚5~7cm，热释光测年值为49.5万年，最新断层面上运动擦痕分布明显，表现为左旋正断性质。断面上覆棕红色含砾粉质黏土层（ Q_2 ）被断开，但位差不大；其上的黄土（ Q_3 ）底面（热释光测年值为11.9万年）较平，没有受断裂的影响表明断裂在中更新世有过弱活动，晚更新世以来没有活动（中国地震局分析预报中心，1997）。

在AC103测线时间剖面上该断裂错断T1~T5波组，且落差自下而上有逐步减少的趋势（图2.4.8-2），断裂晚更新世以来没有活动。

综合认为，该断裂主要差异活动在古近纪，新近纪以来渐渐变弱，尤其是第四纪差异幅度最小。该断裂最新活动时代为早、中更新世，晚更新世以来没有活动。

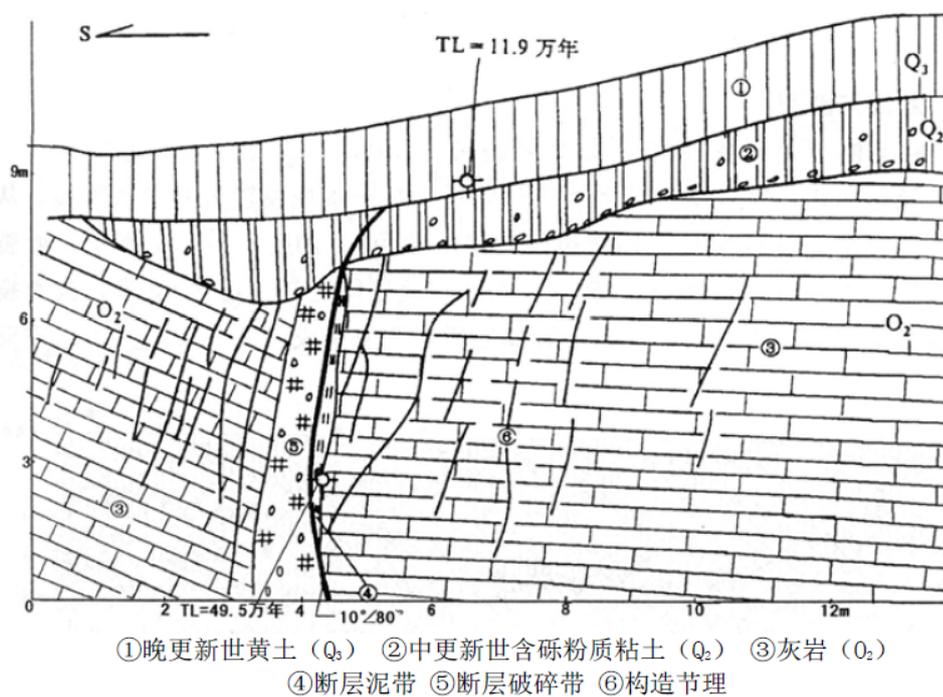


图2.4.8-1 许家沟安阳南断层剖面 (据中国地震局分析预报中心, 1997)

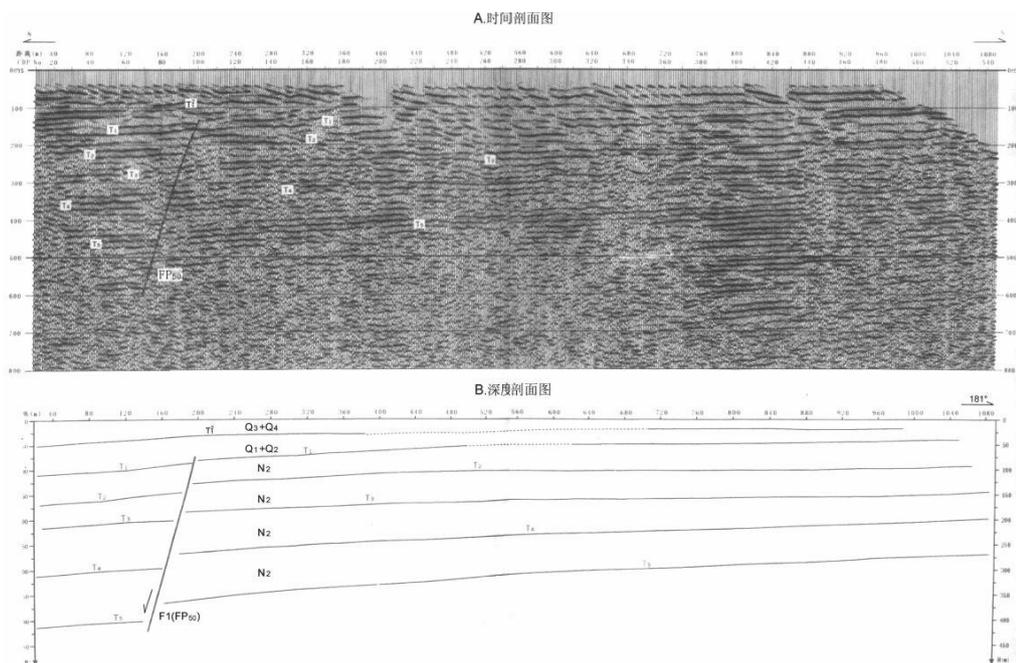


图2.4.8-2 AC103 浅层人工地震测线剖面图 (据国家地震局地球物理勘探中心, 1997)

2.4.1.9 磁县一大名断裂(F9)

该断裂东起朝城南, 西经大名、临漳、磁县北, 进入太行山隆起区、到峰峰、陶泉以西, 全长150多千米。该断裂走向北西西, 倾向北, 倾角较陡, 控制内黄凸起和临清拗陷的发育, 是中生代以来长期活动的一条边界大断裂。

磁县一大名断裂带划分为4个段落：东段为大名—临漳段落，西段又分为磁县—峰峰段落（长22km），大部分隐伏；东田井村—陶泉乡段落（长27.5km），与磁县—峰峰段落左阶斜列；韩家沟村—甘泉村段落（长约8km），完全位于基岩区。

东段的大名—临漳段，是构成内黄凸起和临清凹陷的分界断裂，向东南方向过朝城镇后断断续续与马陵断裂相接。在布格重力异常图、航磁图上都有清楚的显示。据钻孔资料，楚1孔揭示624m穿过新近系见太古界，该断裂北侧临清拗陷内中生界发育，下降盘一侧残留厚度达2500~4000m（包括三叠系）；古近纪时期断裂活动不很强烈，下降盘一侧未形成明显的沉降中心，魏县西南一带厚度最大，为2000m。新近纪以来该断裂活动较为强烈，下降盘一侧在大名以西新近系—第四系厚达1800~1900m，较上升盘厚200~300m。沿断裂在大名一带发生过953年4¼级和1889年5级地震。判断该断裂东段的大名断裂的最新活动时代为晚更新世。

西段的磁县断裂，据人工地震资料，始新统底面落差为2100m，渐新统底面落差1300m，新近系底面落差为200m；该断裂东段始新统底面落差为1200m，新近系底面落差为300m（河北省地震局，1986）。

该断裂是一条活动较强的断裂。据历史资料记载，已发生较大的地震自东向西是1654年朝城5½级地震、1889年大名5级地震、1830年磁县7½级地震（图2.4.9-1）和1314年涉县6级地震。1970年9月29日和1977年3月10日在峰峰和磁县一带又发生M4.0级和M4.5级地震，等震线为北西西向。

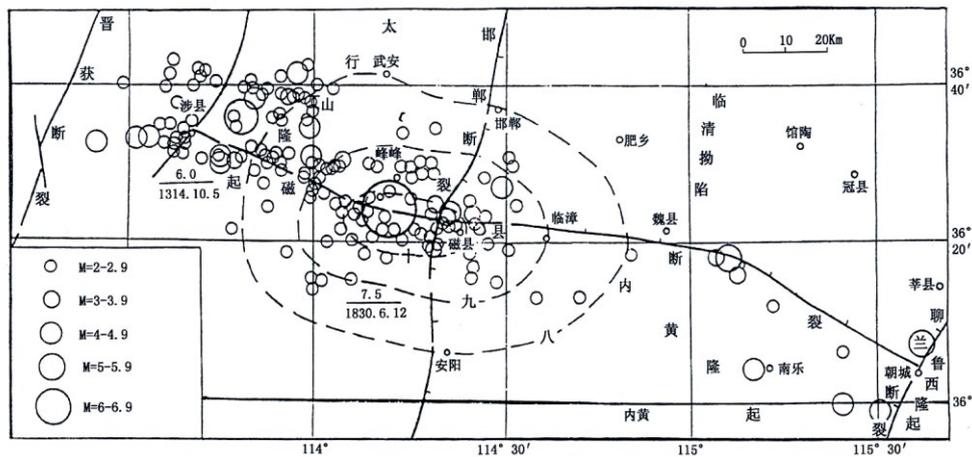


图2.4.9-1 1830年磁县7½级地震的断裂构造图（刘德林，1988）

该断裂在磁县西峰峰南山村附近，断错基岩山体，形成一个东西方向延伸，南高北低高差100m的断层陡崖，并切割了该处的北北东向断裂，水平位移300~

400m，垂直位移40~60m（图2.4.9-2）。断裂显示左旋走滑正断层活动性，活动时期在北北东向断裂构造形成之后。

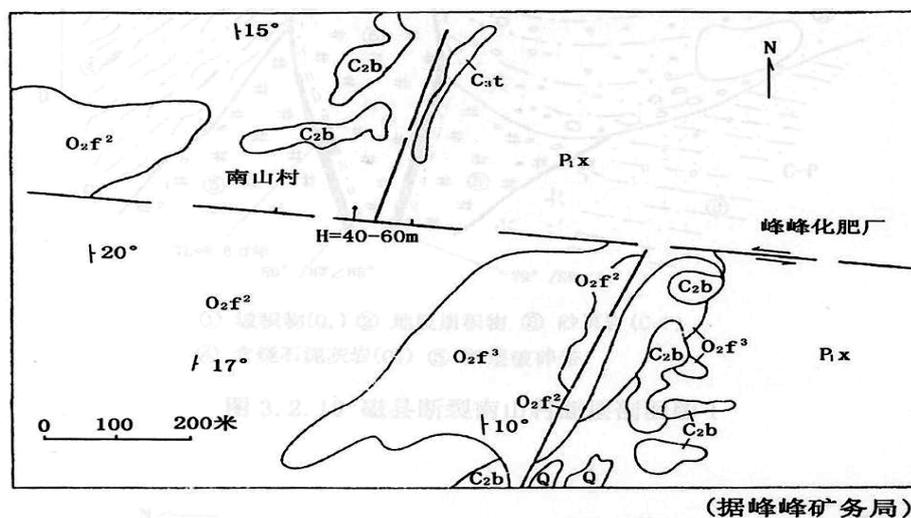


图2.4.9-2 磁县南山村西坡地震断层剖面（江娃利等，1994）

在磁县南山村通过探槽开挖揭示了该断裂。南山村西坡顶上断层剖面，北盘为砂页岩（C-P），其上覆盖全新统坡积物（ Q_4 ），南盘为含燧石灰岩（ O_2 ），断裂破碎带较宽，约2~3m。断层破碎面有2~3条，其中两条主滑面，断面平直光滑，擦痕明显，倾伏角 35° ，显示左旋正断性质。断层泥较厚，热释光测年值为8.6万年。地形上显示了基岩地貌陡坎，西壁（a）坎下有一套1m左右厚的地震崩积物；东壁（b）该套崩积物上覆盖1.2万年以来的坡积物；并被断错。该剖面表明，层②代表了1.2万年前的一次古地震事件，层①代表1830年地震。

南山村刘马虎屋东南角开挖了一个断层剖面（图2.4.9-3）。从东南角剖面可以看出，崩积碎石层；③层代表了2.4万年左右，②层沉积后的一次地震事件；①层崩积物代表了最新的一次地震事件。两次地震事件的垂直位错最大为1.4m。

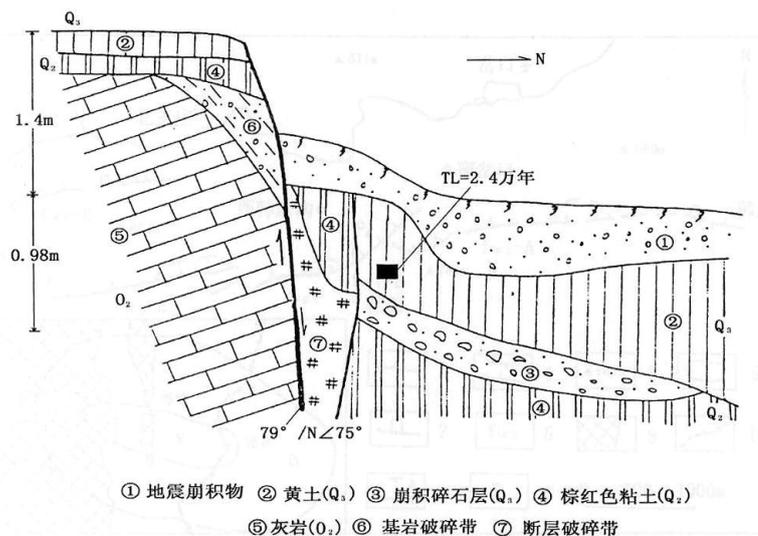


图2.4.9-3 磁县南山村刘茂福屋东南角地震断层剖面（河北省工程地震勘察研究院2008）

以上剖面点的资料表明，在2.1~2.4万年以来该断裂有过两次地震事件，其中最新的一次为1830年磁县7½级地震。

1830年地震地表破裂走向北东东，各次级破裂呈右阶斜列形式，其总体展布方向为北西西，极震区长轴也是北西西向的，这种事实表明，1830年地震的主滑面为北西西向，因此北西西向磁县-大名断裂为发震构造。

在西部山区的中岔口乡附近，发现最新地表破裂带即1830年磁县7½级地震形变带，北北东向次级破裂段呈右阶斜列分布，与上述资料一致。

而根据中国地震局地壳应力研究所的张路等的研究结果显示，在西段又分为磁县—峰峰段落（长22km），大部分隐伏；东田井村—陶泉乡段落（长27.5km），与磁县—峰峰段落左阶斜列；韩家沟村—甘泉村断落（长约8km），完全位于基岩区。

通过对磁县—大名断裂带西段探槽和剥落剖面的断层活动研究，获得了以下断层带各个断层段晚更新世以来的断层活动时代。

磁县—峰峰段落为早中更新世断裂。

东田井村—陶泉乡段：东田井村段(F₃₁)2次，68~62 ka, 22 ka 以来；石桥村段(F₃₃)1次，79ka 之前；南山村段4次，21~24 ka, 12 ka 以来，3867~4640 a B.P, 和 1830 年。该段东段地貌不显著，大部分隐伏，其东端的东田井村一带发生过两次晚更新世晚期活动(距今 20 ka 和 68 a)。F₃段落东段，鼓山南山村一带，前人发现晚更新世和全新世多个古地震事件(距今 4 ka 距今 12 ka、距今

22 ka), 以及磁县 1830 年大地震;西段, 张家楼村—陶泉乡段, 地表未见踪迹, 为推测全新世断层。

韩家沟村—甘泉村段:该段 3 次: 16.3 ka 以来, 4 ka 以来和 1830 年; F 断层段 4 次: 距今 158 ka, 33ka, 5.85 ka 和 1830 年; 大名—临漳段 1 次, 12.69 ka 以来。将这些断层活动事件按时间顺序和空间位置绘制成时空分布图(图 2.4.9-4)。纵向为时间轴, 表示断裂活动事件发生的时间, 单位为 ka, 向下破裂时间变老。横向是空间轴, 左西右东, 与断层展布方向一致, 将断裂带平面图放置于横轴, 表示断裂事件发生位置所在的断裂段。将上述磁县一大名断裂带西段晚更新世以来的断层活动事件, 对应于发生时间和断层段位置, 用红色短粗线绘制于图中。如果事件发生时间是“以来”或“之前”, 以小箭头表示断层事件的时间向更新(上)或向更老(下)方向有延伸, 箭头方向在该事件幕内留有时间余量。图中可以发现, 晚更新世后期和全新世的断层活动事件较多, 它们按时间分组形成整个断裂的完整 6 个事件幕, 图中以 6 个绿色时间带表示(其中有一个事件幕未发现断层活动)。从图中可以估计, 磁县一大名断裂带西段断裂活动复发周期 6000 年左右。1830 年磁县大地震是最新一次事件(第 7 个事件幕)。

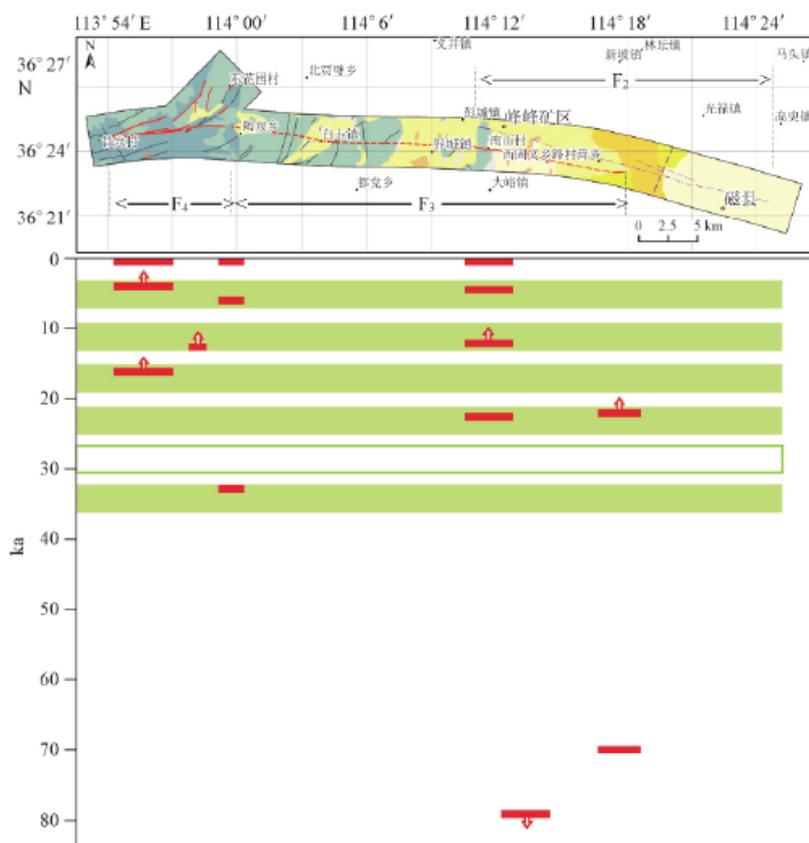


图 2.4.9-4 磁县-大名断裂带西端晚更新世以来断层活动时空分布 (据张路等, 2020)

该段位于基岩山区，使用地衣测年法判断断层面破裂时代，确定多个磁县 1830 年大地震破裂面。探槽或剥落剂面研究揭露主破裂和次生破裂都有 3~4 次古地震事件。

上述资料表明，磁县-大名北西西向断裂为 1830 年 7½ 级地震的发震断层，地表破裂由数条北东东向次级断裂右旋斜列而成，宏观震中位于磁县峰峰南山村，极震区长轴为北西西向，长度约 30km，反映深部北西西向发震断层为左旋走滑为主的活活动。该断层西段晚更新世晚期（2.1~2.4 万年）以来有过两次断错地表的活活动，而断层东段最新活活动时代为晚更新世。

2.4.1.10 薄壁断裂(F10)

薄壁断裂南起焦作市巡返村，经峪河口，上八里、黄水，过南村盆地和淇滨盆地后继续向北延伸，总体走向 40°。断裂带为正断层性质，倾角为 60°，破碎带宽 20~70m。断裂带主要由两条相背或相向倾斜的断裂组成，晚更新世地层和地貌面均未见错动，断层泥 ESR 年龄大于 150 万年（张秉良等，1995 年）。

地貌上呈直线形延伸，沿断裂下、中更新统呈长条形分布（刘尧兴，2001）。薄壁断裂为一条依据钻孔和物探结果确定的隐伏断裂，地貌上基本构成山地与盆地的分界，是薄壁地堑的西界断裂，钻孔资料显示该断裂的主要活活动时代在上新世晚期，上新统砾岩被明显错断。浅层物探研究结果也说明该断裂第四纪以来没有明显的活活动（国家地震局地质研究所，1995）。该断裂自黄水往北出露于基岩中，在黄水乡北出露一个剖面，可见宽数米的断层破碎带，带内物质胶结坚硬，地貌上也没有反映。

该断裂北端从临淇盆地西侧通过，断层经过处早更新世砾岩未见变形，说明该断裂的活活动主要在第四纪以前。在南村盆地，薄壁断裂向西倾斜，构成了盆地的东边界，野外考察发现南村盆地是在早期断裂活活动影响下，在裂隙较为发育的灰岩地区形成的溶蚀盆地，盆地内仅有薄薄的一层第四纪沉积物，以下为埋藏的古岩溶（图 2.4.10-1），据此分析，南村盆地以及上面谈到的临淇盆地，不是构造盆地。

在辉县市上八里和寺庵处发现一宽约 8m 左右的断层破碎带（图 2.4.10-2），上新统 N2 红褐色砂砾岩被断层破坏，破碎带中夹有断层角砾岩和沉积物，破碎带走向约为北东 40°，倾角为 70°-80°，倾向北西，断层两侧均见有明显的垂直擦痕，反应断层的垂向运动。

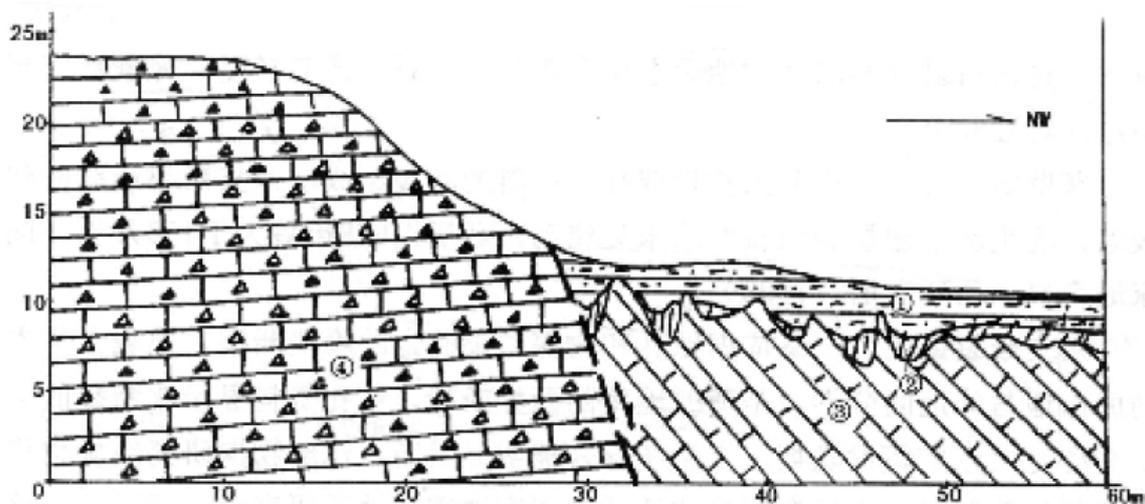
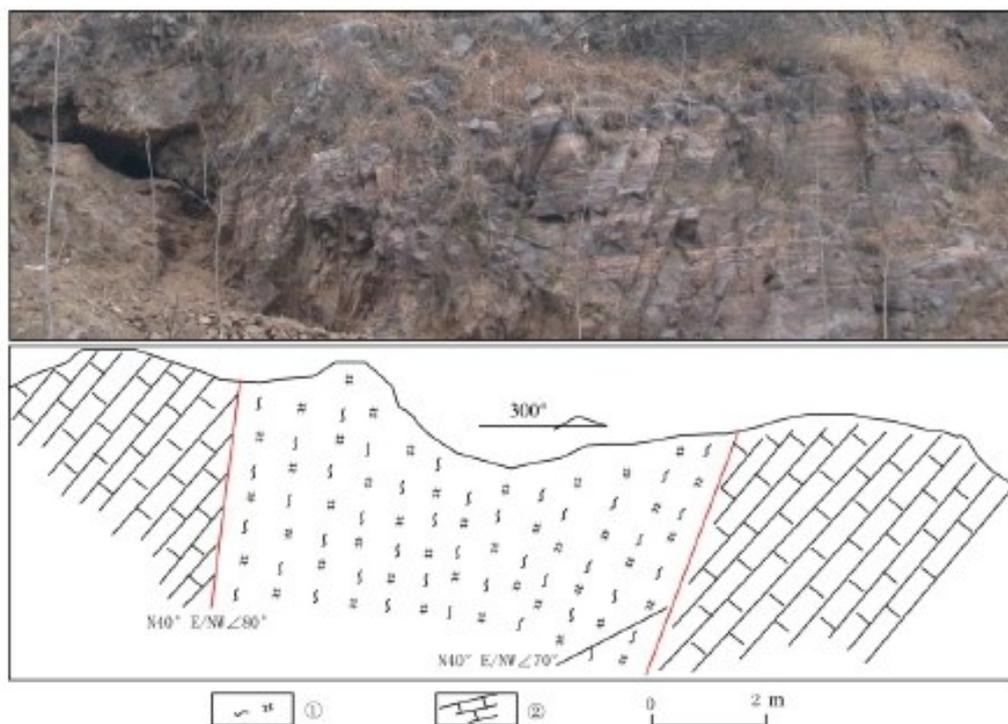


图 2.4.1.10-1 南村盆地东南缘地质剖面①平层理粉砂层②砖红土型风化壳③灰岩④角砾状灰岩
(据中国地震局分析预报中心, 1997)



① 上新统 N_2 红褐色砂砾岩, 表面强风化。② 断层破碎带

图 2.4.1.10-2 辉县市上八里和寺庵处薄壁断裂剖面图 (镜向西南) (据焦作市活动断层探测与地震危险性评价, 2016)

综上所述, 确定该断裂最新活动时代为早更新世。

2.4.1.11 汤西断裂(F11)

汤西断裂是汤阴地堑的西边界断裂，也是太行山区与南华北平原的主要分界线，断裂带南起新乡，经太公泉、青羊口、庙口，过宜沟后，逐渐隐伏于汤阴以西的丘陵中，走向北东 30° ，倾向东，倾角 75° ，全长70km，沿断裂为重力梯度陡变带，且有橄榄玄武岩分布，因此是切割较深的断裂带。

(1) 地形地貌表现特征：

该断裂与汤东断裂构成汤阴地堑的边界，在现今地形上，沿地堑形成狭长的长条形浅洼地—汤东断层洼地(韩慕康，1980)，在ETM卫星影像上，该断裂线性清晰同时还表现为不连续的陡崖形迹(图2.4.11-1)，而在MSS5波段影像上，该断裂也有较清晰的线性显示(图2.4.11-2)，由TM彩色合成的三维影像也反映出汤西断裂的形迹(图2.4.11-3)。

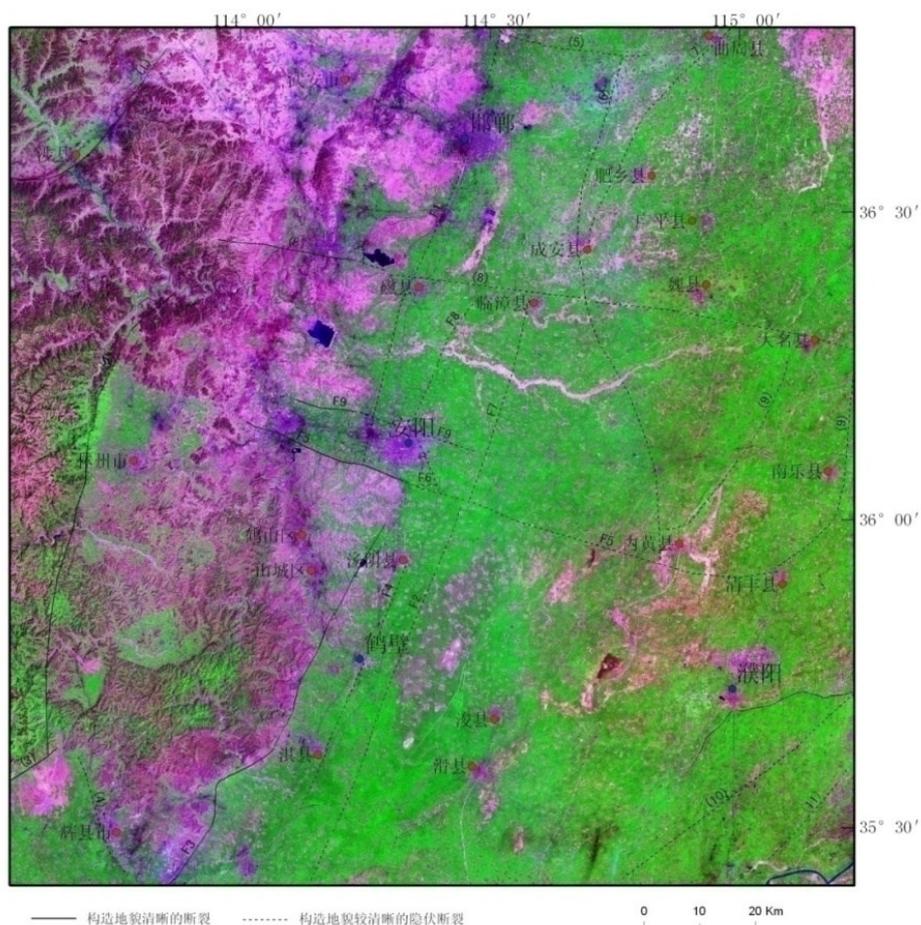
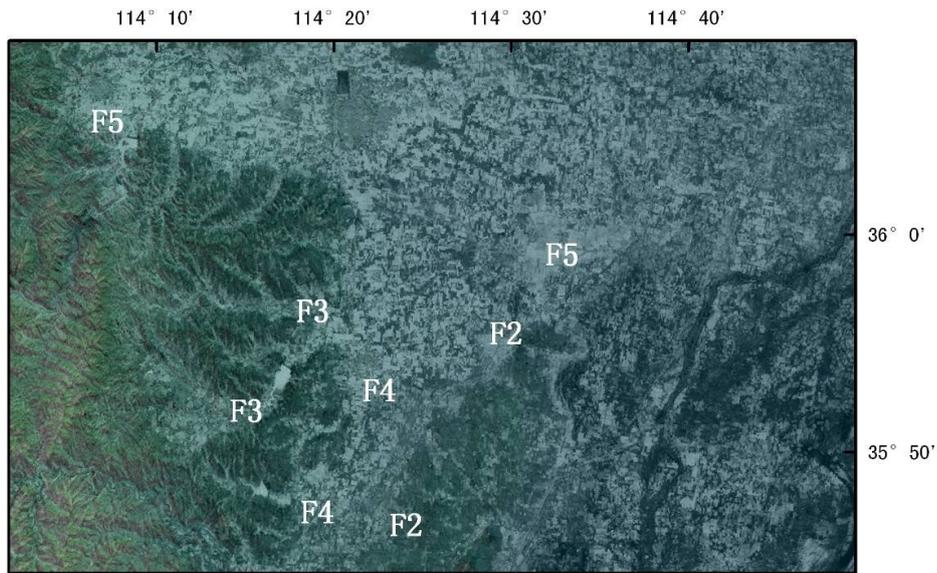


图2.4.11-1 安阳市及邻区ETM卫星影像主要断裂解译图(安阳市活动断层探测与地震危险性评价，中国地震局地质研究所，2015)



汤东断裂(F2)、汤西断裂(F3)、汤中断裂(F4)、安阳南断裂(F5)

图2.4.11-2 MSS5波段影像上的断裂显示（安阳市活动断层探测与地震危险性评价，中国地震局地质研究所，2015）

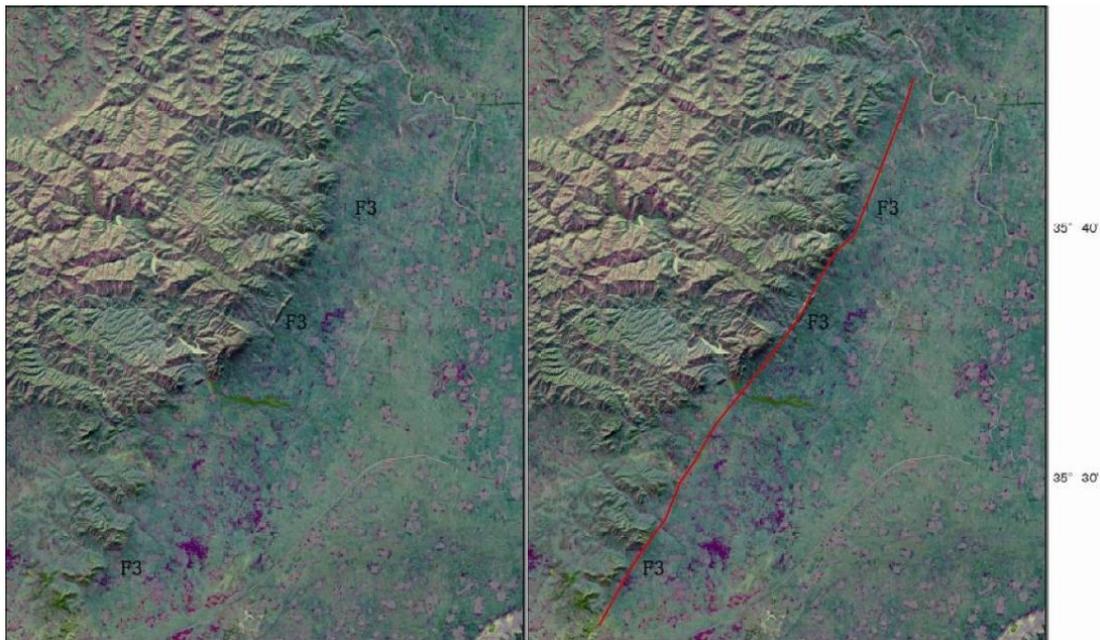


图2.4.11-3 由TM彩色合成的三维影像上所反映的汤西断裂(F3)的形迹（安阳市活动断层探测与地震危险性评价，中国地震局地质研究所，2015）

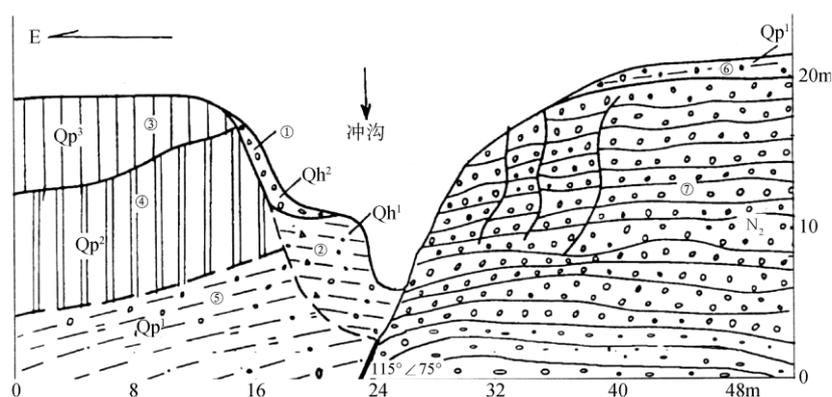
(2) 野外地质调查和钻孔结果

根据野外地质地貌调查结果并参考有关物探和钻探资料。汤西断裂在潞王坟以南隐伏于南华北平原之下，在潞王坟，该断裂从古生界基岩中通过，断层倾向南东，倾角 70° 左右，单个断层宽度 $1\sim 3\text{m}$ 不等，断层带内为胶结的断层角砾岩带，

镜面和阶步发育，镜面上斜向擦痕向南侧伏，侧伏角为 60° ，指示断裂有明显的右旋走滑活动。

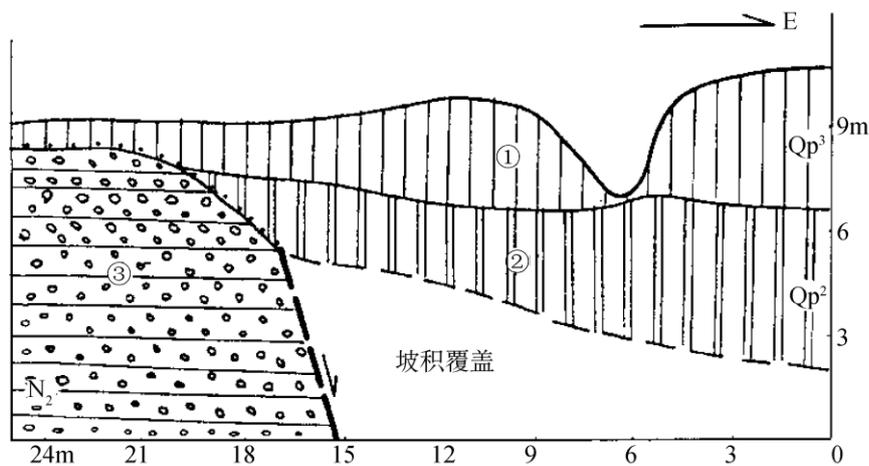
在卫辉代村附近，汤西断裂横切十里河河谷，使十里河发生偏转，剖面上断裂走向 25° ，倾向南东，倾角 75° ，断裂上升盘奥陶系直接出露，灰岩中还存在一张性断面，上覆上新世砾岩和薄层下更新统砾石层，砾岩前缘为该断裂的断层面，断面平直，磨光面及阶步清晰可见，断层泥发育(图2.4.11-4)，断层泥测年值为58万年，显示右旋正断层性质。

断层面附近正好为一冲沟位置，冲沟中充填全新统冲洪积坡积碎石层覆盖于断面一侧，断裂东盘河谷突然展宽，断裂两盘早更新世含碎石层理的亚黏土层与上新世砾岩呈断层接触关系，上覆棕红色亚黏土和黄土层，而在河谷北壁可见到棕红色亚黏土和黄土层，直接超覆在砾岩和断面之上(图2.4.11-5)，



①坡积碎石层；②冲洪积层；③晚更新世黄土；④中更新世棕红色黏土；⑤早更新世含碎石的黏土层；⑥红土砾石层；⑦砾岩

图2.4.11-4 卫辉代村十里桥下汤西断层综合剖面(据中国地震局分析预报中心, 1997)



①土(Qp3)；②棕红色亚黏土(Qp2)；③砾岩(N2)

图2.4.11-5 代村十里桥下汤西断层综合剖面(据中国地震局分析预报中心, 1997)

另外，在汤阴庙口附近还发现了该断裂的剖面，上新世砾岩与奥陶系灰岩呈断层接触关系，前缘的灰岩上超覆上新世砾岩，断裂附近东盘上的煤井中上新世到第四系厚约550m，表明新近纪以来该断裂有过活动，该剖面往东，思德河南岸出露N2和Qp1砾石层被错断约3m，上覆中更新世红土层未变形(图2.4.11-6)，

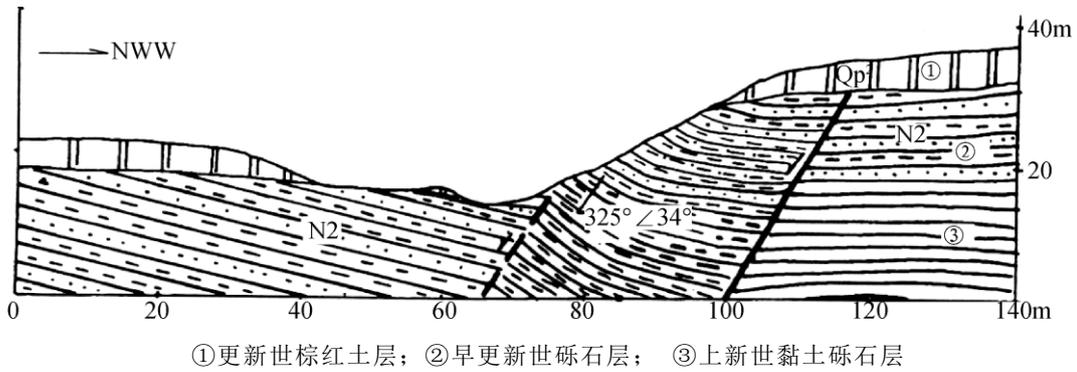


图 2.4.11-6 汤阴庙口汤西断裂剖面 (据中国地震局分析预报中心, 1997)

汤西断裂过西形盆断裂带后，踪迹逐渐模糊，向北隐伏于上新世砂砾岩之下，仅局部见到小断裂面出露，如许家沟东淇河边上新统泥灰岩在断裂两侧被错开约10m，从钻孔及地貌特征分析，汤西断裂向北可能延伸到汤阴以西汤河水库一带，钻孔揭露断裂西盘晚新生代地层厚约300m，而东盘增至600m左右，在汤河水库北，断裂两盘地貌落差约20m，上新统被错断并局部褶曲，上覆的中更新世红土层未变形(图2.4.11-7)

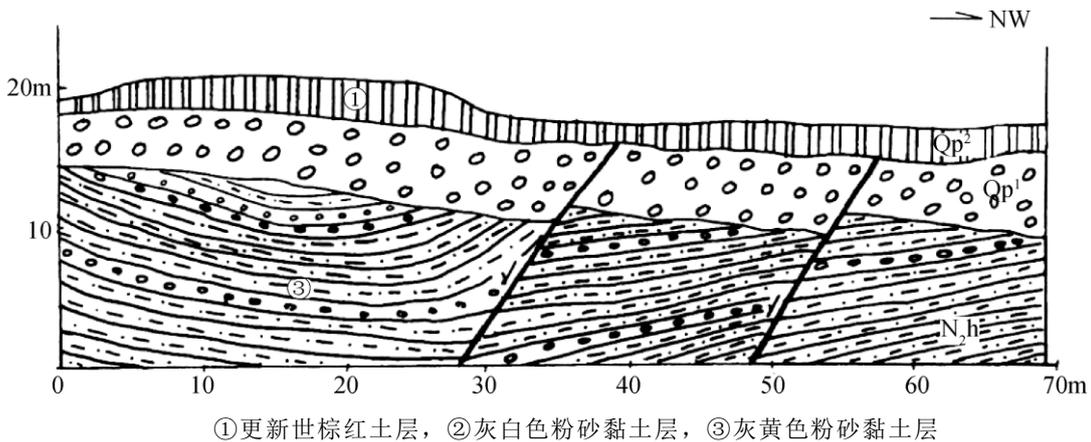


图 2.4.11-7 汤河水库北汤西断裂剖面(据中国地震局分析预报中心, 1997)

钻探及相关的人工地震研究资料表明:汤西断裂的强烈活动，主要发生新近纪时期，在新近纪时期该断裂仍然有强烈活动。断裂西盘出露太古界、元古界和古生界，东盘新近系一第四系厚达千米(其中第四系较薄，最厚仅30m)，青羊口附近新33孔深896.4m，卫辉岱村附近陈16孔深991.2m均未穿过新近系，再向北庙口以

北新 21 孔新近系底面埋深 527m，以下为二叠系，断裂两盘前新生界基岩落差大于 1000m(河南省地震局、北京大学地理系，1982)，可见新生代断裂强烈活动，表 2.4.1 为汤西断裂晚新生代垂直断距统计表，可以看出：汤西断裂上新世以来的活动，总体上南段的活动强度较高，若对比区域地层序列资料，以 340 万年作为该套地层的底界的话，汤西断裂新构造期以来的南、北段的滑动速率大约是 0.085m/a 和 0.15mm/a 左右。

从上述剖面资料分析，汤西断裂的明显活动基本上都限于中更新世以前，剖面上中更新世棕红色土层未见明显的变形，断层泥测年结果也说明汤西断裂的最新活动发生在中更新世早期。

表 2.4.11-1 汤西断裂晚新生代垂直断距统计表(单位:m)

地点	西盘埋深	东盘埋深	两盘落差
鹤壁	-314	-603	289
庞村	-43	-272	229
庙口	-173	-464	291
青羊口	-201	-794	593
太公泉	-301	-765	464

第四纪该断裂仍有较明显的活动，上新统鹤壁组砾岩顶面的落差幅度，是由北向南加大，在鹤壁东为 20m，在淇县西南沧河出口处为 25m，新乡附近潞王坟组泥灰岩落差 70 多米，据此估算，汤西断裂第四纪时期的垂向滑动速率在北段为 0.08~0.10mm/a，南段为 0.29m/a，除此之外，断裂活动在地貌上的反映亦表现在夷平面和河流阶地垂直位错上，如青羊口一带，断裂西盘的上新世基岩侵蚀面与东盘同一期的河湖相堆积面(埋深 80 多米)两侧相差约 110m，向北至庙口一带为 80m，安阳活断层探测野外调查期间，在汤阴西南汤河水库以南和南坝肩附近沿断裂的北东延伸方向进行追索。在鹤壁组地层中未见断层迹线，鹤壁组地层在很宽的范围内产状近水平，反映汤西断裂未延伸到汤河水库。

天然剖面和钻孔资料共同反映，该断裂新近纪活动强烈，第四纪早、中更新世仍活动。活动性质为倾向东的右旋正断层。

2.4.1.12 汤东断裂 (F12)

该断裂长约 100km。走向 30°，倾向北西，陡倾角，正断为主。它位于汤阴地堑东侧，隐伏于第四纪冲洪积物之下。断层上盘浚县隆起为太古界，隆起西陡东

缓，向东倾伏，地表零星出露下古生界，呈残山分布于平原上。下盘汤阴凹陷沉积了巨厚的新近系。

从地貌上看，沿断裂东侧浚县隆起出露新近系湖相沉积物，形成垅岗地形，西侧形成一条狭长的洼地，新近系湖相沉积物被第四系冲洪积物埋于地下 10~48m。河流坡降比较明显，在淇河西板桥坡降突然变陡，在卫河一段坡降值为零。这反映了汤东断裂西盘沿此段有明显的下沉。沿断裂为布格重力异常梯度带通过处，地壳厚度在 34~36km 之间，其深部断差达 1~2km。断裂南段对第四系等值线有明显的控制作用。

汤东断裂是汤阴地堑东缘与浚县隆起的分界断裂。断裂以东的浚县隆起为太古界至古生界组成的向东倾伏的隆起，地表为新近系覆盖，局部地段古生界基岩残山直接出露；断裂西盘的汤阴地堑则沉积了巨厚的新、古近系。钻探资料揭示新生代底界面的断距大于 3000m。尽管由于表层堆积物的覆盖，难以在现场直接见到断裂活动的地质剖面，但地貌形态以及物化探异常都清晰地显示了该断裂的存在。根据野外地貌研究结果和有关的物化探异常解译结果，基底滑脱面深度约 5000~6000m。根据断裂的平面展布、剖面结构及其地貌表现特征，汤东断裂大致以河头和石奶庙为界，划分为三段：

断裂北段：从本项目的地震勘探结果和对以往资料的综合对比显示，该段至少有两个分支断层组成，西支为次级断层，自河头北的翟家村，经伏道西和白营，在卧牛山附近止于安阳南断裂，该段断裂由单一断层构成；东支为主断层，从南阳村经伏道、小屯、古贤、东段村，延伸到安阳南断层附近。

汤东断裂北段自河头的翟家村，经伏道西和菜园西，止于将台南。汤东断裂北段控制了汤阴次级凹陷的发育，是汤阴凹陷的主要边界断裂，断层附近古近系、新近系和第四系最大厚度分别为 3100m、1400m 和 40m 左右，而在断裂下盘的内黄凸起上，第四系很浅，有的地方古近系与新近系出露。

在《安阳市活动断层探测与地震危险性评价》（中国地震局地质研究所，2015）中，对汤东断裂北段做了大量工作，有 KDZS08-1 测线、小屯测线等浅层人工地震勘探线，并在这两条测线断点处分别布设了东段剖面、小屯剖面等联合钻孔剖面。KDZS08-1 位于汤阴东北菜园西，图 2.4.12-1 为该测线时间及地质解释综合剖面图，断层以东（右）反映新生界底界的 T5 波反射层向东不断抬升，起伏明显，上面的 T1、T2 波反射层为近水平产状。而断层以西一定的范围

内，T1、T2 波反射层则由水平突然变得向东倾斜、弯曲，同时找不到相对应的 T5 波。该断层为倾向西的正断层，视倾角 62° 。

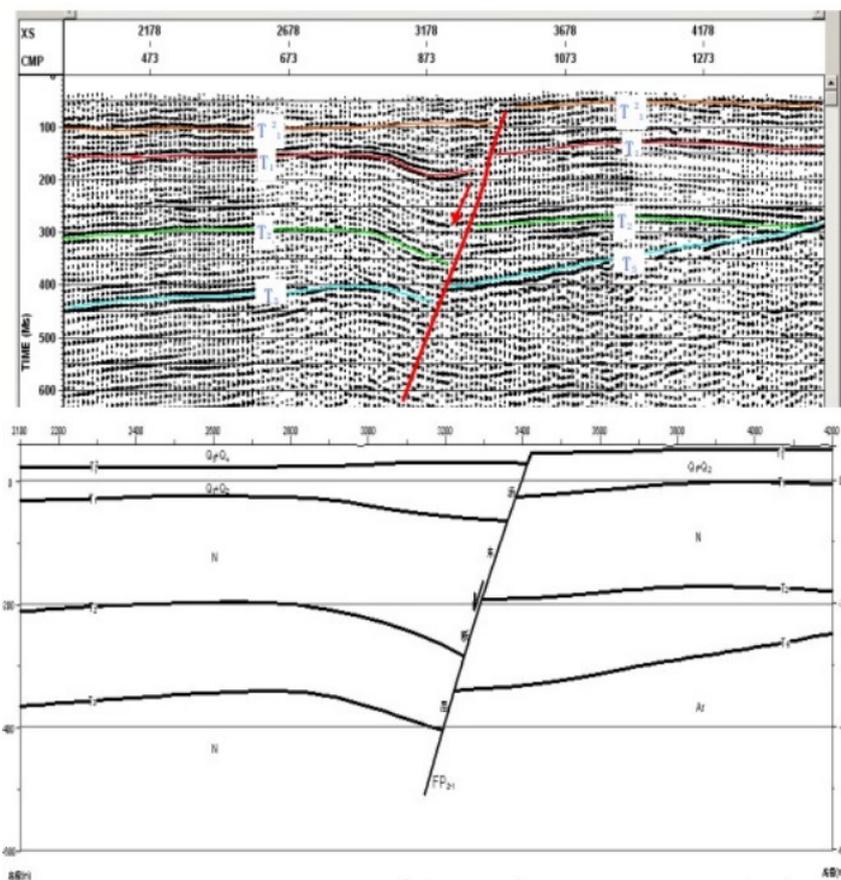


图 2.4.12-1 KDAS08-1 测线浅层人工地震勘探时间及地质解释
(河南省地球物理工程勘察院 2008)

小屯测线沿着小屯村北的汤屯线自西向东布设，西端起点桩号为 700m，东端终点桩号为 3138m，测线全长 2438m。图 2.4.12-2 为小屯测线的反射波叠加时间剖面图，在测线桩号 2200m 左右，可看到剖面上的多组地层反射均出现明显的错断以及反射波能量的变化，其西侧双程走时 800ms 以上的反射震相清晰可辨，而桩号 2200m 以东，在双程走时 400ms 以下没有明显的地层反射，剖面图中标示的 FP7 应为汤东断裂，可分辨的上断点埋深约为 50m 左右，在地面上的垂直投影点位于测线桩号 2212m 附近，对应 T1 反射界面的断距约 4~6m。因此，可判断汤东断层的北段最新活动时代应在中更新世中晚期。

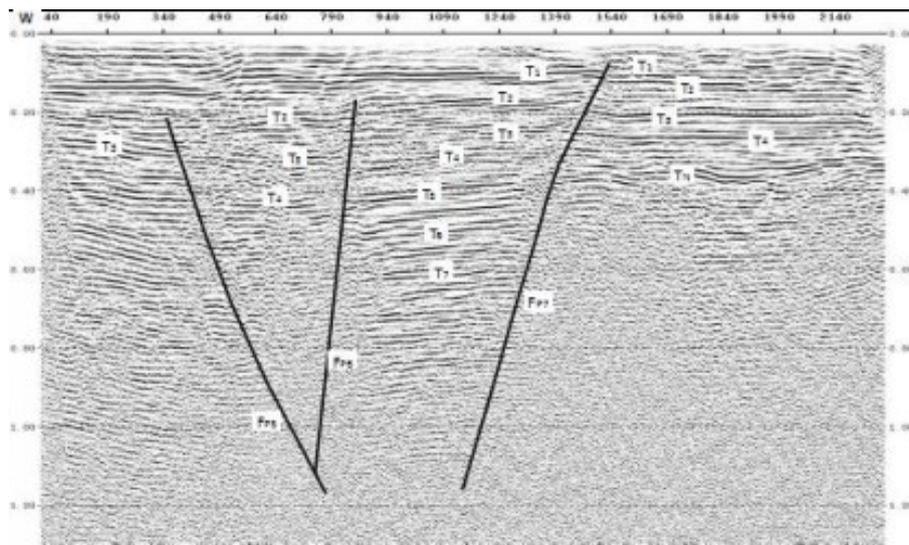


图 2.4.12-2 小屯测线反射波叠加时间剖面图（中国地震局地质研究所，2015）

中段从河头向南开始，汤东断裂带几何结构趋向复杂，平面上表现为由 2 条或多条断层组成向南撒开状，剖面上往往形成阶梯式断层或小型地堑地垒组合。在钜桥 - 玉皇顶一带，两支相距约 800m，共同组成阶梯状的断裂带，东支位于玉皇顶山脚下，构成汤阴地堑与内黄凸起的地貌边界，西支断裂出现在聂下雾村东水渠边（图 2.4.12-3）。

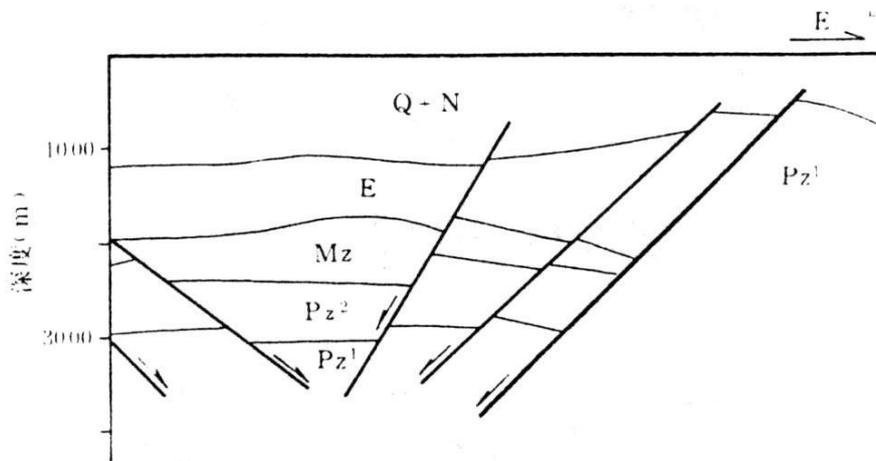


图 2.4.12-3 淇县次级凹陷汤东断裂综合剖面（据中原油田石油地质志编辑委员会，1993）

汤东断裂带中段具有明显的地貌反映，表现为汤阴地堑东侧边缘长条状的洼地，如钜桥 - 玉皇顶一带，地面标高在钜桥附近海拔约 80m，往东在断裂带上为 74m，越过断裂后后突然升高达到 115m。汤东断裂在钜桥 - 玉皇顶一带明显错断了第四系底界面，并使上更新统底面受到明显扰动，在东支断裂断面上 T1 界面突然消失，缺乏连续性。据此分析，汤东断裂带南段第四纪早期有明显的活动，晚更新世仍有活动。

断裂南段，从石奶庙以南，汤东断裂南段对地貌的控制不明显。然而浅钻发现，在大李庄 - 石奶庙之间，第四纪底界面在断裂西盘埋深约 16m，往东越过断层突减至 4m，断层两盘第四系落差 12m 左右（图 2.4.12-4）。进一步的资料还证实：淇河在流过汤东断裂南段时，河漫滩界面从上游的拔河 1~0.6m 突然降低到河面以下 1m 多深处，反映河漫滩特征的总标量也迅速下降。而当淇河流过该断裂进入浚县隆起之后，河漫滩界面又迅速升露到河面以上 0.6m，河漫滩总标量值也随之增大。可见第四纪晚期，断裂仍有活动。

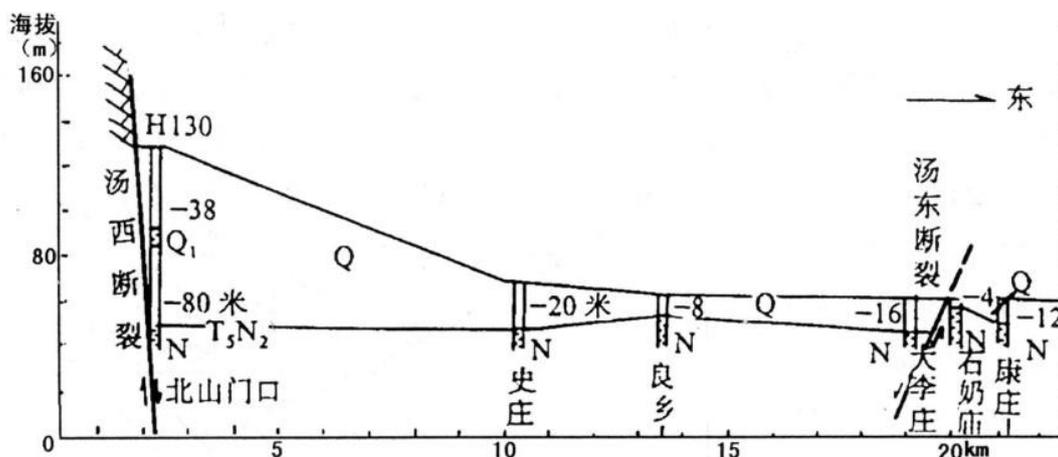


图 2.4.12-4 石奶庙附近汤东断裂两盘第四纪地层位错图（据中国地震局分析预报中心，1997）

为确定汤东断层的活动性，根据研究区前人水文地质、构造地质、地震地质等研究成果，结合依托项目开展的浅层人工地震探测和标准钻孔成果，新乡活动断层探测选择在汤东断裂两个代表性断裂断点场地实施开展跨断层钻孔探测及其构造活动性评价（如图 2.4.12-5）。这 2 个场地分别为邢李庄场地和张河村场地。其中张河村跨断层钻孔联合剖面探测结果表明，上断点埋深约 77m，断错 Qp3 的底界及其之下的地层。

汤东断裂北段（鹤壁河头村以北）最新活动年代为中更新世，中段和南段为晚更新世。该断裂曾发生过 344 年卫辉东 6 级地震、1814 年汤阴-浚县间 5½ 级地震、1978 年新乡 4.5 级地震。

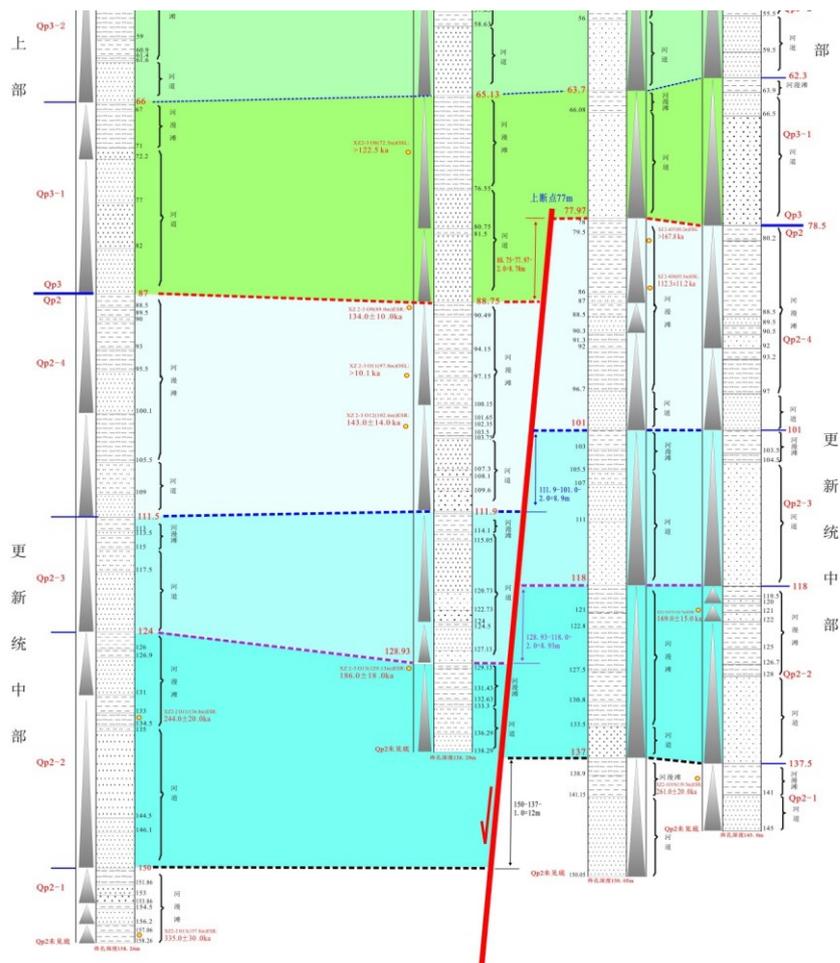


图 2.4.12-4 张河村场地第四纪断错层段钻孔对比与构造综合解释图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2012)

2.4.1.13 长垣断裂(F13)

该断裂为东明凹陷西界断裂，分布在濮阳清河 - 长垣一带。走向北北东，倾向南东，倾角 50° 。西盘上升，东盘下降。上盘为中生代及新生代地层，下盘为古生代及新生代地层。它由数条呈雁列状的平行断裂组成，由北向南为宋庙断层、六塔断层、马寨断层、石家集断层和长垣断层等，各分支断层呈左阶排列。从钻孔资料得知，断裂从古近系顶部断至寒武 - 奥陶系，东盘下沉、西盘上升，断距可达 2000m。它控制了中生代地层的沉积。

2012 年中国地震局地球物理勘探中心完成了一条辉县 - 长垣深地震反射剖面（图 2.4.13-1），其中，长垣断断裂（F2）位于剖面桩号 101.7km 左右，该断裂为倾向南东，视倾角较陡的正断层，错断了双程到时 1.5s 左右的新近系底界 TN 之下的地层，向下错断基底反射波 Tg，延伸至地壳深处，但其向上没有错断新近纪上部地层和第四纪盖层；在本次区划场地浅层地震勘探工作中，跨区划场地布设了

一条长度为 25.512km 的近东西向浅层地震勘探线，所获得的地震反射时间剖面特征不存在由断裂所造成的地震反射波形的畸变和同相轴扭曲、错断等现象，因此在该测线双程到时 800ms（深度约 700m）以上没有发现断层通过，从而进一步证明了长垣断裂南段的上断点较深。根据河南省地质水文一队《区域水文地质普查报告》中的钻孔资料，区划场地及其附近地区下更新统（Q1）底板埋深 360~380m，说明断裂没有错断第四纪地层，因此长垣断裂南段（长垣断裂分支断层 - 长垣断层）为前第四纪断裂。

综上所述，长垣断裂北段的分支断层 - 马寨断层与六塔断层为早 - 中更新世活动断裂；长垣断裂的南段（长垣断裂分支断层 - 长垣断层）为前第四纪断裂。

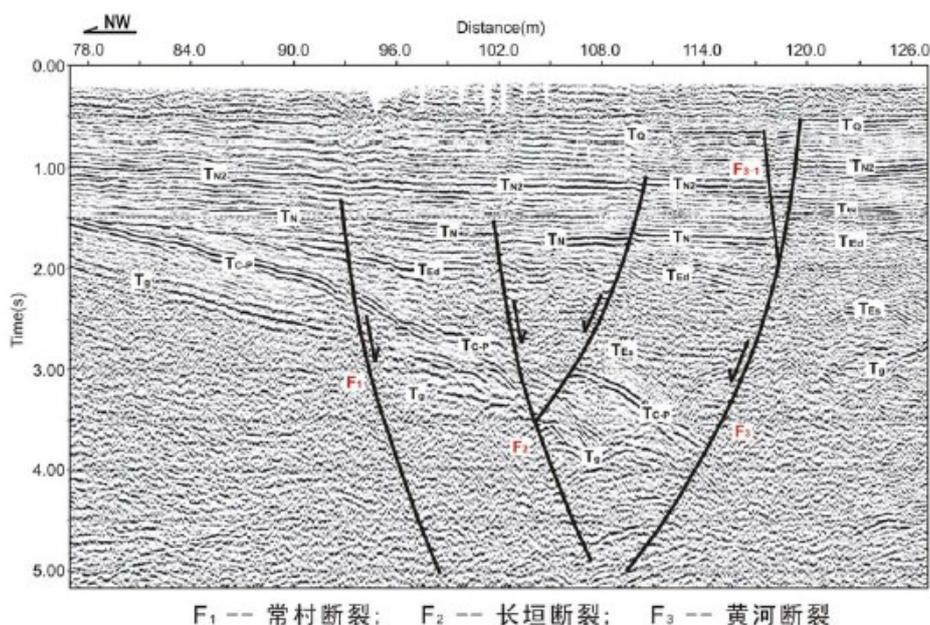


图 2.4.13-1 辉县 - 长垣深地震反射剖面 (中国地震局地球物理勘探中心, 2012)

2.4.1.14 黄河断裂 (F14)

该断裂位于东明凹陷中部，走向北北东，倾向北西，倾角 50° 以上，为西盘下降东盘上升的正断层。东明凹陷内中央凸起和西部次级凹陷的形成、发展具有控制作用。该断裂北起范县，南至封丘，纵贯东濮断陷中央。断裂走向北北东，倾向北西，倾角 40~70°，是控制断陷内部二级构造单元的二级断陷，形成于中生带末或古近纪早期。由于该断裂的存在以及长期活动，使断陷内形成了“两凹夹一隆”的构造形态。该断裂仅在第四纪早期有过活动。

(1) 黄河以北段

2016年5月河南省地震局地震工程勘察研究院在文留镇西北的王明屯村北布设了一条长5.225km浅层地震勘探测线。该测线沿穿过王明屯村的乡村公路自西向东布设，西端起于后杜固村北，东端止于前高庄。图2.4.14-1为文留测线浅层地震勘探测线的反射波叠加时间剖面图。由时间剖面图可以看出，1200ms以上反射震相比较丰富，波组特征明显，存在多组能够连续追踪的反射同相轴，反射能量较强；1200ms以下地层反射能量明显变弱，导致反射波同相轴连续性变差。根据测线北部收集到一个钻孔一文6孔，据钻孔揭露的地层显示，第四系(Q)厚度319m，新近系(N)厚度1270m，结合区域地质资料对本次施工获得的时间剖面的波组特征进行分析，共追踪对比了5个波组(T0、TQ、T1、T2、TN)，各波组特征描述如下：

T0波：分布在0.22s附近，在时间剖面上基本能够连续追踪，能量较强，反射界面基本水平，在测线西段反射界面逐渐变浅，由于受道路车辆等干扰，在局部地段反射波连续性较差。经对比分析，确定T0波为第四系内部的一组反射波。

TQ波：分布在0.43s附近，在时间剖面上能连续追踪对比，反射波能量强，反射界面水平，经对比分析，确定该波组为第四系底界面反射波。

T1波：分布在0.70s左右，在剖面上波组特征明显，该波组有两个波峰，间距大致20ms，反射界面水平，基本能够连续追踪对比，经分析，认为该波组为新近系明化镇组内部一组反射波。

T2波：分布在0.97~1.00s之间，在时间剖面上能连续追踪对比，反射波能量强，反射界面水平，局部受车辆、工厂等影响，使得反射波连续性变差，综合区域地质资料对比分析，确定该波组为新近系明化镇组与馆陶组分界面反射波。

TN波：分布在1.10s附近，在时间剖面上基本能够进行追踪对比，剖面中部反射波能量较强，反射界面基本水平，在东段反射能量减弱，同相轴不连续、波组特征不明显，综合区域地质资料对比分析，确定该波组为新近系底界面反射波。

通过本次地震勘探，初步了解了测线附近浅部构造环境，测线上西段桩号4980（经度：115°17'05"，纬度：35°40'33"）有断层通过，为正断层，其断面视倾向东，视倾角85°，断距23~50m，上断点埋深380m左右，综合分析认为该断点是黄河断裂在测线上的反映。测线附近的第四系和新近系厚度比较稳定，分布相对均匀，测线附近第四系厚度大致在360~400m之间；黄河断层未在第四系

内部有明显的反应，认为断裂为前第四纪断裂（河南省地震局地震工程勘察研究院，2016）。

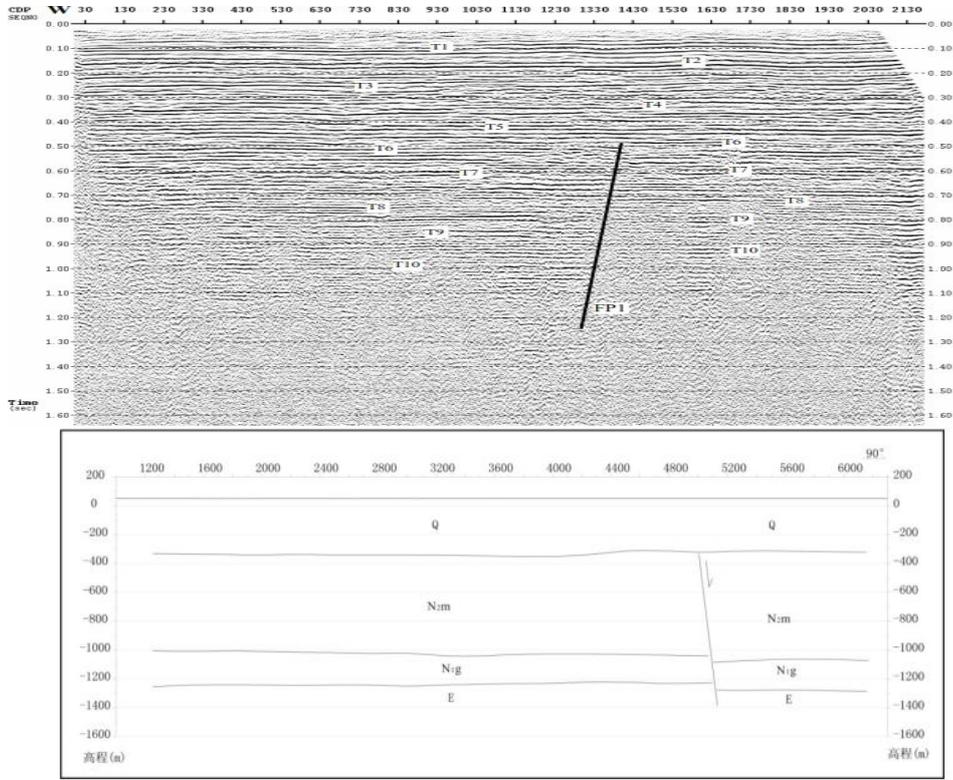


图 2.4.14-1 王明屯测线浅层地震勘探线反射波叠加时间剖面图
（河南省地震局地震工程勘察研究院，2016）

(2) 黄河以南段

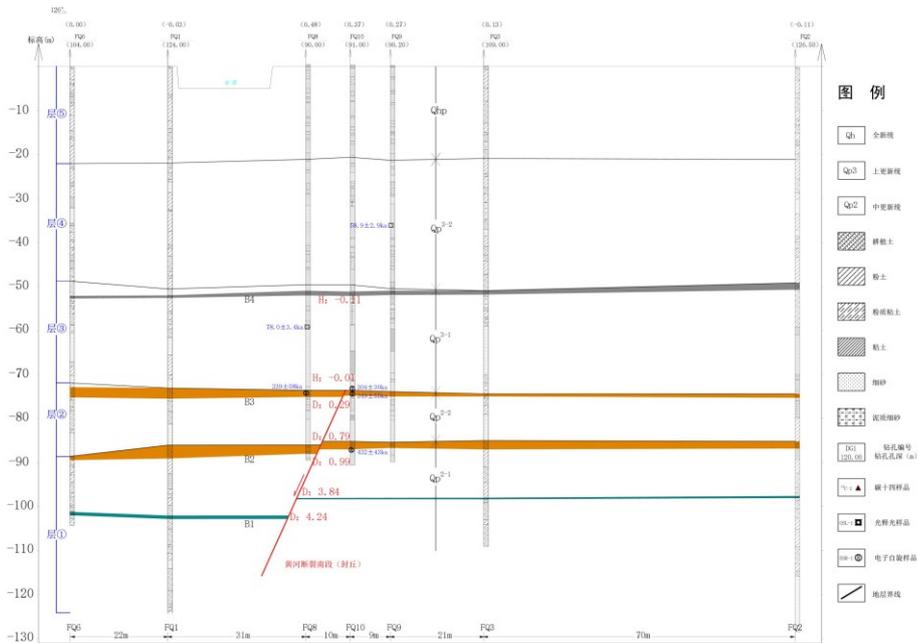


图 2.4.14-2 跨黄河断裂南段钻孔联合剖面（河南省地震局，2020）

黄河断裂在黄河以南段活动性有所增强，根据河南省地震局在该段开展的工作，跨黄河断裂钻孔联合剖面显示断裂上断点埋深 70 余米，年代测试结果显示断裂活动止于 (304 ± 30) ka 之前（见图 2.4.14-2）。因此，认为该段为中更新世断裂。

综上所述，黄河断裂是一条早更新世活动断裂，中更新世以后断裂即停止活动。

2.4.1.15 聊兰断裂(F15)

该断裂南起兰考，向北经范县、聊城至韩屯转向北东，全长约360km。断裂走向 $20 \sim 30^\circ$ ，倾向北西，倾角 $50 \sim 70^\circ$ ，为一上陡下缓的铲形滑脱正断层。该断裂是华北盆地与鲁西隆起的分界断裂。该断裂具有明显的分段特征，由北向南划分成三段：禹城 - 韩屯段（北段）、聊城 - 范县濮城段（中段）和濮城 - 兰考段（南段）。各段的活动时代并不一致，总体上由北向南逐渐变新。

（1）禹城 - 韩屯段（北段）

1. 根据在禹城南的钻孔资料及山东地矿局第二水文地质工程地质大队（1988）编的第四系地质剖面，早、中更新世断裂两侧垂直差异运动明显。剖面通过禹城和聊城东南侧，新近系断差达 100~200m，早、中更新世断差达 50~100m 左右（魏顺民等，2001）。该段向上断错了早更新世地层和中更新世地层的下部，是一条早 - 中更新世活动的断层。

（2）聊城 - 范县濮城段（中段）

中段断裂结构上较为简单，为直线延伸的单一断裂。在布格重力异常等值线和航磁异常等值线图上表现不明显。是莘县凹陷和范县凹陷的边界断裂。该断层段在古近纪活动强烈，断裂两侧垂直断距约 3000~4000m。新近纪活动有所减弱，断裂两侧的垂直断距约 600~1000m。第四纪以来，断裂表现为继承性正断活动，但活动强度明显减弱，早 - 中更新世断距约 80~100m。晚更新世以来在局部地段有较弱活动，全新世以来不活动。沿该段，历史上曾发生过 5.5 级中强震。

在临清 - 聊城的钻孔地质剖面表明，断面西倾，倾角陡立，约 70° 左右。断裂断错了新近系和早更新世地层及中更新世地层下部，对晚更新世地层的沉积厚度有明显的控制作用。在冠县 - 莘县钻孔剖面上，断裂倾向、倾角与临清 - 聊城剖面一致。断裂明显断错了早、中更新世地层，晚更新世地层横跨断裂连续分布，两侧厚

度无明显差异。

2010年中国地震局地球物理勘探中心在濮城杨集布设了一条长8.68km的浅层人工地震测线，图2.4.15-1为濮城东测线的反射波叠加时间剖面图与深度解释剖面，根据该时间剖面的特征，在双程走时1100ms以上可识别出11组反射能量较强、在整个剖面上能够连续追踪的反射震相，它们在剖面图中的标识自上而下分别为T1~T11。从反射震相的横向连续性来看，剖面上部的T1、T2反射同相轴连续性较好，没有明显的错断迹象。T3反射同相轴在测线桩号5200m附近有错断迹象，其下的地层反射在相应位置也有波形紊乱和同相轴的扭曲、错断现象，根据断层判别依据推测该处可能存在断层，在剖面图中以FP1标出。断层FP1在剖面上是一个倾向南西西的正断层，其可分辨的上断点在地面上的垂直投影点位于测线桩号5164m附近，埋深约为138m。它错断了剖面上T3以下的所有地层，在T3反射界面的垂直断距很小，约为1~3m。

综合上述资料，认为该段在晚更新世以来局部地段有活动，是一条晚更新世活动较弱的断层。

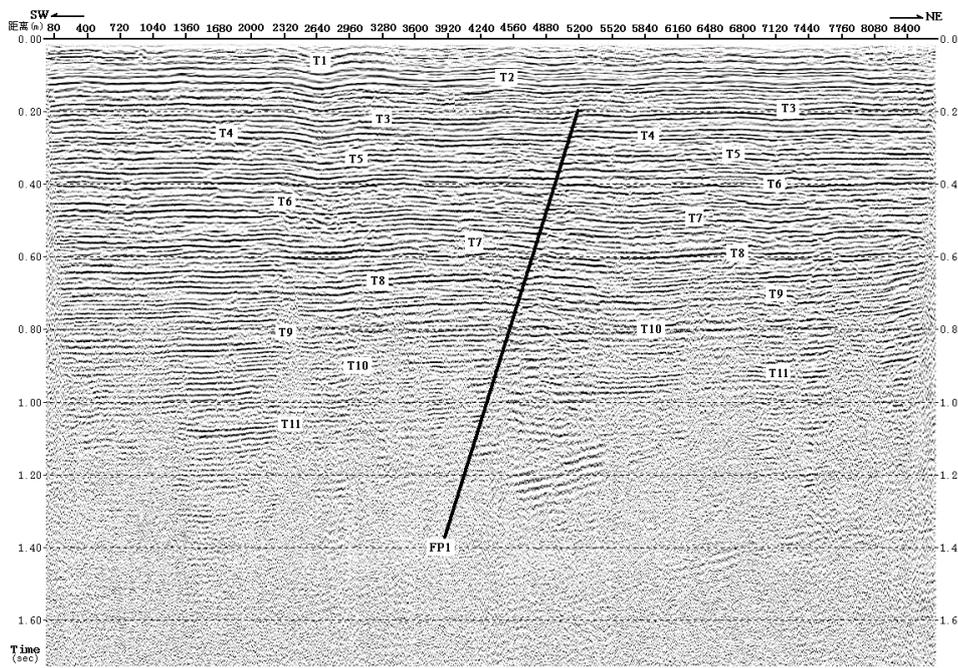


图 2.4.15-1 濮城东测线反射波叠加时间剖面图

(中国地震局地球物理勘探中心，2010)

(3) 濮城 - 兰考段 (南段)

南段活动时代最新，根据向宏发等人(1999)研究，断裂向上断错了晚更世地层，并控制影响到全新世地层的分布，为晚更新世 - 全新世早期活动断裂。

1) 鄆城董口探测剖面 (I)

图 2.4.24-2 (上) 是鄆城剖面 CDP6 次叠加地震时间剖面, 剖面长度为 1246.5m。图中选出明显四个反射波组其 t_{or} 分别为 $T_1 \approx 130 \sim 140\text{ms}$, $T_2 \approx 160 \sim 200\text{ms}$, $T_3 \approx 250 \sim 300\text{ms}$, $T_4 \approx 330 \sim 380\text{ms}$ 。 $T_1 \sim T_4$ 各界面 CDP 叠加速度分别为: 800m/s、100m/s 和 1300m/s。对应的地质界面平均深度分别为: $H_1 \approx 52 \sim 56\text{m}$, $H_2 \approx 80 \sim 100\text{m}$, $H_3 \approx 150 \sim 180\text{m}$, $H_4 \approx 215 \sim 247\text{m}$ 。图 2.4.15-2 (下) 为浅层地震剖面的地质解释图, 根据速度和地质资料判断, 时间界面 T_2 和 T_4 分别与上更新统和中更新统底界大致相当。从图 2.4.15-2 (上) 看出, 上更新统界面在 CDP No.180 附近出现断裂。断裂高角度倾向西, 倾角达 80° 以上。上更新统和中更新统底界断距分别为 15m 和 26m, 断裂向上穿达地表以下 52m 左右。再往上, 有一段地层扰动, 并似有牵引现象, 但达地表以下 30m 左右则为一平整的波速层 (T_0) 盖在断裂之上, 表明断裂影响的最新层位可达全新世底部。

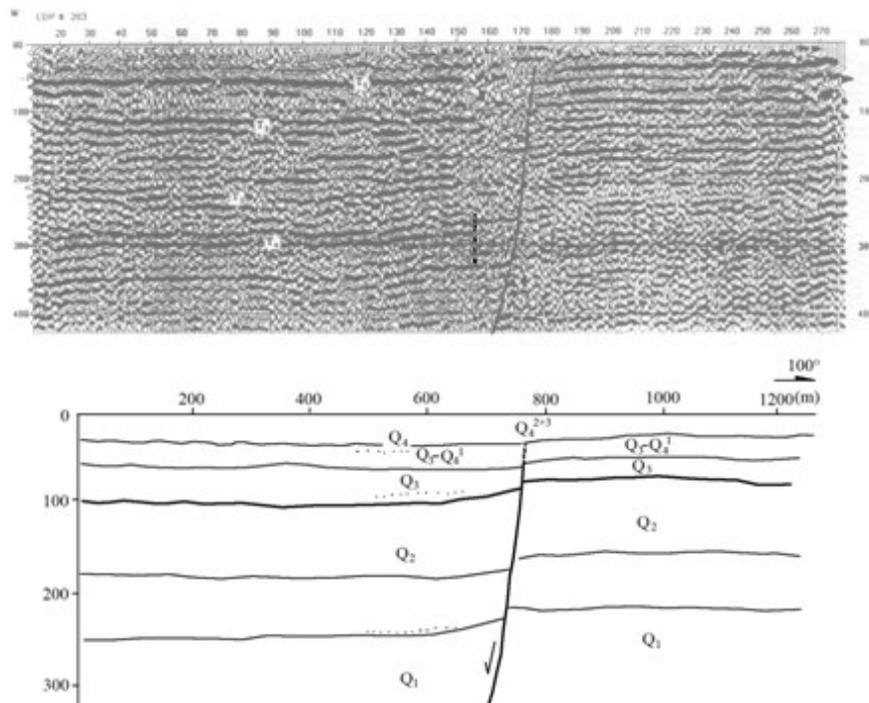


图 2.4.15-2 鄆城董口浅层地震剖面 (上) 及地质解释图 (下)

(中国地震地质研究所, 1999)

2) 东明郝桥剖面 (II)

2. 图 2.4.15-3 (上) 是东明剖面的 CDP6 次叠加地震时间剖面, 长度为 1453.5m。在图中出现的明显时间界面为 $T_1 \approx 180 \sim 200\text{ms}$, $T_2 \approx 230 \sim 265\text{ms}$, $T_3 \approx$

310~340ms, $T_4 \approx 370 \sim 410\text{ms}$ 。 $T_1 \sim T_4$ 界面 CDP 叠加速度分别为: 800m/s、1000m/s、1200m/s 和 1300m/s。对应的地质界面的平均深度分别为: $H_1 \approx 72 \sim 80\text{m}$, $H_2 \approx 115 \sim 132\text{m}$, $H_3 \approx 255 \sim 279\text{m}$, $H_4 \approx 235 \sim 256\text{m}$ 。图 2.4.15-3 (下) 是浅层地震剖面的地质解释图。根据速度和地质资料判断, 时间界面 T_1 和 T_4 分别对应于上更新统和中更新统的底界面。由图看出, Q_3 界面在 CDP No. 245 附近出现断裂。断面倾向西, 上陡下缓, 断层上盘的 $T_2 \sim T_4$ 界面均有明显的正向牵引现象。断裂向上明显切错地表以下 70m 层位。再向上主要表现为地层扰动和断层上盘地层的逆牵引现象。而至地表以下 33m 处附近, 断层已无任何活动形迹。这与地质分析和钻探剖面显示的断裂已切错晚更新世地层, 并影响到全新世下部层位的结果相一致。浅层地震剖面显示, 上更新统和中更新统底界断距分别为 17m 和 31m。

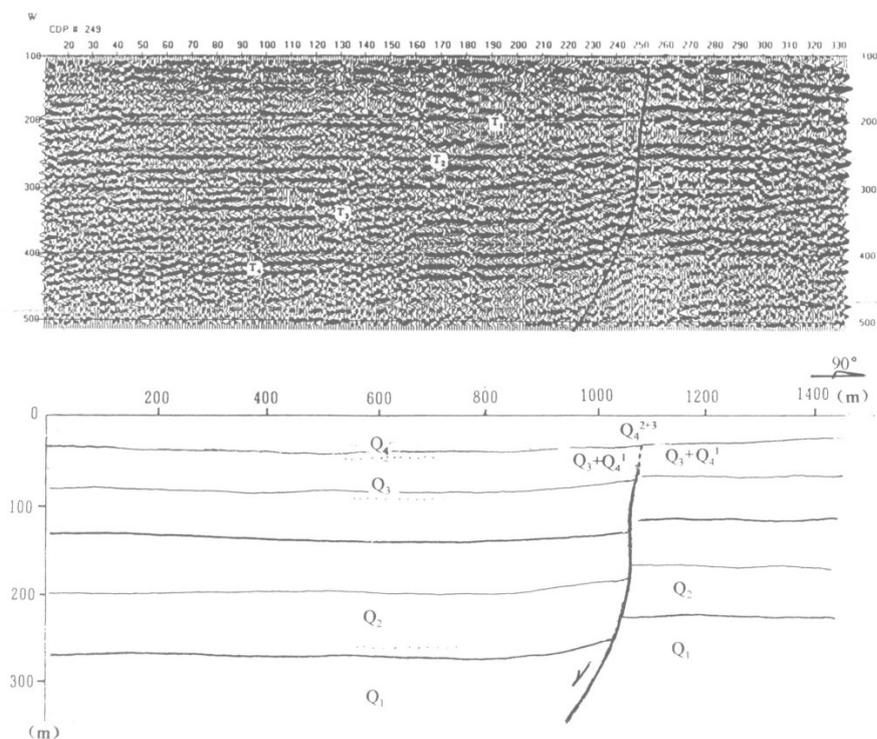


图 2.4.15-3 东明郝桥浅层地震剖面 (上) 及地震解释图 (下)

(中国地震地质研究所, 1999)

3) 兰考憨庙地震剖面 (III)

图 2.4.15-4 (上) 是剖面的 CDP 6 次叠加地震时间剖面, 长度为 1453.5m。图中出现的时间界面 $T_1 \approx 230 \sim 260\text{ms}$, $T_2 \approx 370 \sim 410\text{ms}$, $T_3 \approx 460 \sim 500\text{ms}$, $T_4 \approx 550 \sim 610\text{ms}$, $T_1 \sim T_4$ 各界面 CDP 叠加速度分别为: 1000m/s、1300m/s、1500m/s 和 1800m/s。对应的地质界面的平均深度分别为: $H_1 \approx 115 \sim 130\text{m}$, $H_2 \approx 240 \sim 266\text{m}$,

$H_3 \approx 345 \sim 375\text{m}$, $H_4 \approx 486 \sim 549\text{m}$ 。计算的剖面深度及地质解释见图 2.4.15-4 (下)。根据速度和地质资料判断, 时间界面 T1、T2 和 T3 可粗略认为是 Q_3 、 Q_2 和 Q_1 的底界面。由图看出, 该剖面在 CDP No. 130 处出现地层错位的断裂标志。断面高度角度倾向西, 计算表明, 下、中、上更新统底界面距依次 63m、26m 和 15m。由于该剖面主要目的层较深, 地表以下 50m 以上的 CDP 叠加波组资料不清楚。因此, 此点断裂向上切达层及影响最新层位的资料也缺失。但有意义的是, 该剖面取得下更新统底界面层位的断距。

区域范围主要涉及聊城-兰考断裂的南段, 即濮城-兰考段。1937 年断裂附近还发生过菏泽 7 级地震。

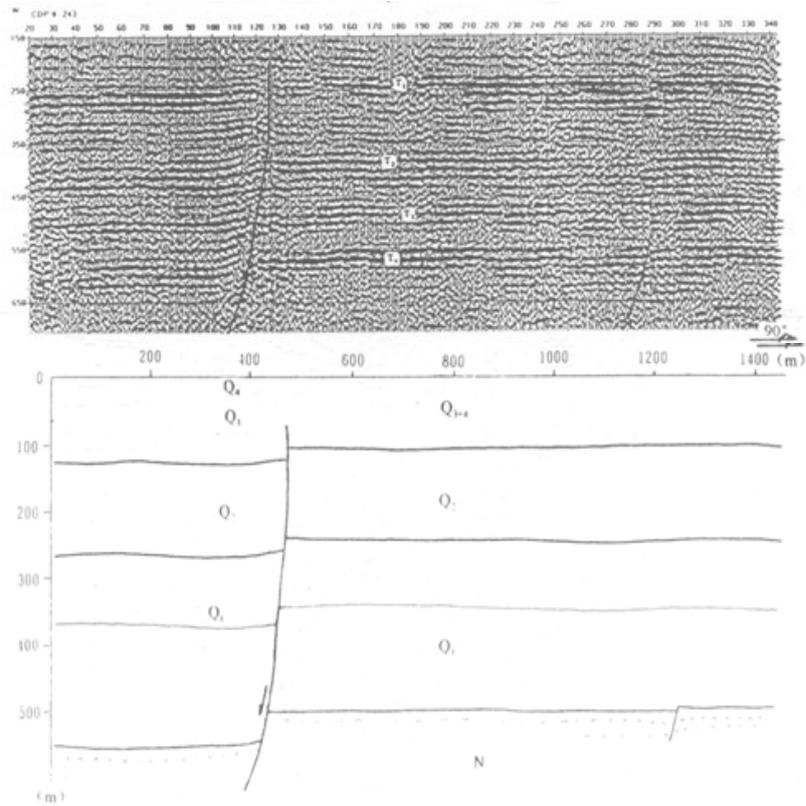


图 2.4.15-4 兰考愁庙浅层地震剖面(上)及地质解释图(下)
(中国地震地质研究所, 1999)

2.4.1.16 盘谷寺-新乡断裂(F16)

盘谷寺-新乡断裂位于太行山南麓, 已有资料表明, 该断裂西起克井盆地以西的山区, 向东经交地、盘谷寺、河口、仙神口、柏山, 后进入平原地区, 为隐伏断裂, 过朱村, 再向东延伸, 直到新乡市南的郎公庙, 全长约 160km, 该断裂为基底断裂。据野外及物探资料, 大致以柏山、大高村为界, 把盘谷寺断裂分为西、中、东三段。

西段：断裂沿山前地带断续出露，所见破碎带宽度约 20~70m，两盘基岩落差大于 700m。该断裂在丹河右岸上升盘山坡上标高 270m 处，见有新近系潞王坟组湖相灰白色钙质粘土层；而下降盘上的山前平原地面下一般 30m 处方可见此湖相地层，断层的地面延伸标高约 180~200m，故潞王坟组地层顶面的落差至少达上百米。根据西石河阶地及地质剖面，该断层使潞王坟组地层发生 70m 左右的落差。在蟒河出山口右岸电站附近的小平台上，见有新近系鹤壁组砾岩，其海拔高度约 70 多米，而在断裂南侧勋掌村北的 CK5 井中，同时代的地层已被埋入地下 100m 深处，显然在此鹤壁组砾岩落差已达 100 多米。由上述可见，沿盘古寺断裂上新统地层落差约为 100m，如果取上新世末到第四纪初的时间间隔为 5Ma，则盘古寺断裂上新世末到第四纪初的平均差异运动速率约 0.02mm/a。可见，新近纪时期该断裂活动比较强烈，虽然第四纪以来断裂的活动已向平原区迁移，但在山前仍有活动的迹象。

在尚庄北边的白涧河 1 号桥东侧公路边发现的该断层剖面(图 2.4.16-1)，断裂上盘为寒武系灰岩，下盘为太古界变质岩和奥陶纪灰岩，断裂破碎带宽 5m，在断面上取断层泥经热释光测定为(135.04±11.48)Ka。

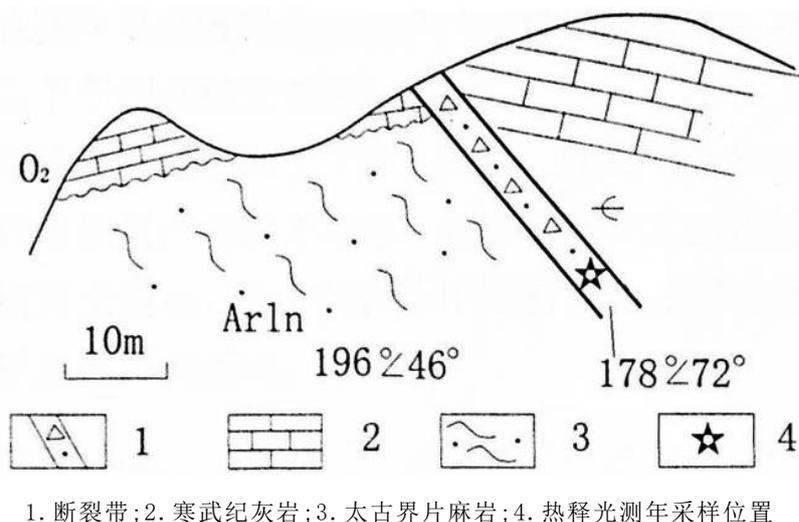


图 2.4.16-1 盘古寺-新乡断裂剖面图(白龙庙北) (中国地震局地质研究所等, 2000)

在八一水库溢洪道见断裂破碎带(35° 11' 53.4" N, 112° 46' 52.1" E)，断层下盘为下古生界，上盘下部被错断的地层为上新统，其上覆盖有一层厚约 80cm 左右的上更新统砾石层，砾石层与下部红土之间夹有一楔形黄土。上述砾石层局部已延伸到断裂带上，未见明显错断(图 2.4.16-2)，因此，推断该断裂主要活动时期为上新世，直到中更新世仍有微弱活动。

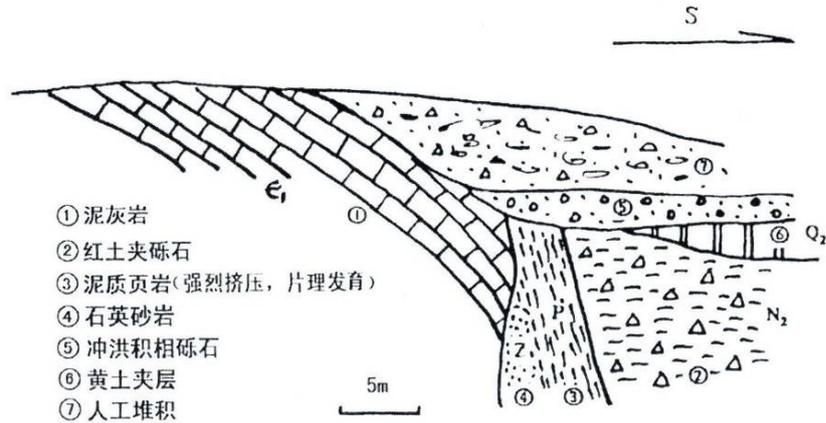


图 2.4.16-2 沁阳市紫陵镇八一水库溢洪道盘谷寺断裂剖面图
(中国地震局地质研究所等, 2000)

中段：从柏山向东到大高村，为盘谷寺断裂的中部隐伏段。断层走向 NWW—EW，倾向南，倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。在主干断裂南侧，于李万及大高村附近发育两条 NW 向的分支断裂，即武陟断裂和平陵断裂，它们是分割武陟隆起与济源凹陷的边界断裂。煤田钻探表明，主干断裂北侧新生界厚度一般不过 200m，而断层南侧到 766.1m 仍未揭穿新近系，其落差超过 600m，在朱村一带基岩断距达 1000m 以上，最大可达 1500m。从王褚到大高村，人工地震揭示该主干断裂在中生代表现为逆冲性质，断距约 200m 左右；新生代为拉张性质，断层位移自西向东由王褚的 800 多米，逐渐减小到大高村的 100m 左右。

针对中段开展的浅层地震勘探与联合钻孔探测工作显示，该断裂中段上断点埋深位于 46—90m 之间，在中原路上开展联合钻孔揭露该处断裂上断点埋深 46m 而根据地层划分与测年结果判断下更新统底界埋深 47.73m，据此认为中段的最新活动时代为晚更新世早期，普济路钻孔联合剖面同样说明了这一点（图 2.4.16-3）。

根据《焦作市活动断层探测与地震危险性评价》相关成果，该断裂中段为晚更新世活动段（图 2.4.16-4）。

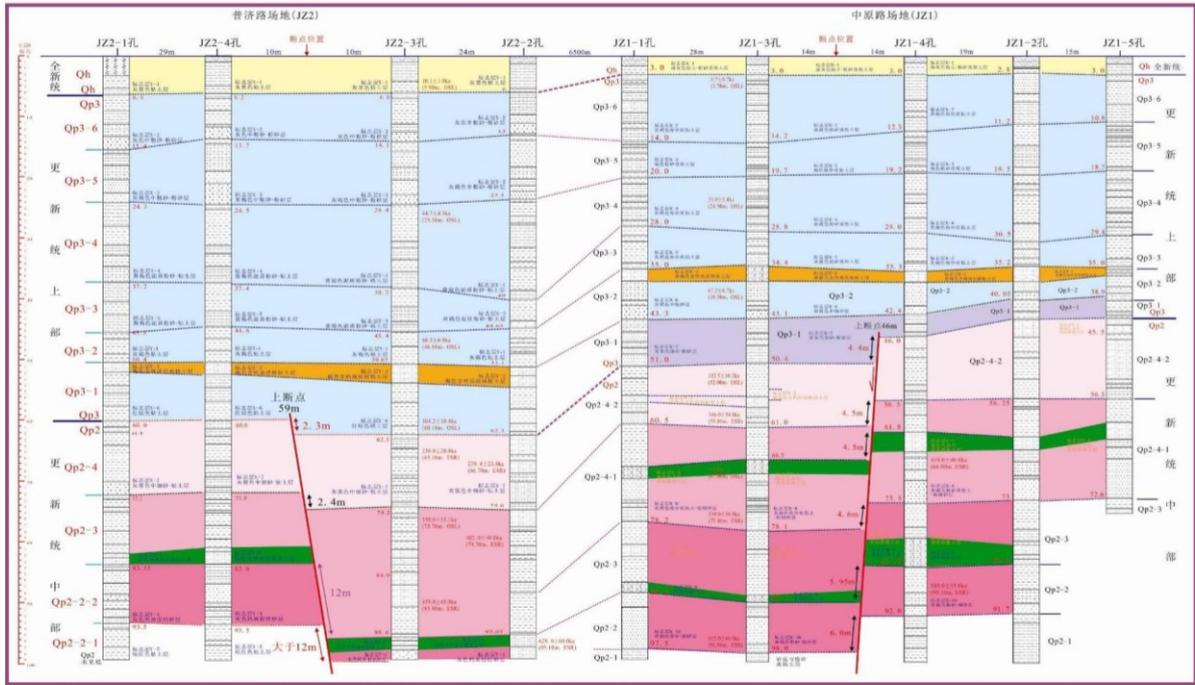


图 2.4.16-3 中原路与普济路联合钻孔综合解释图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2015)

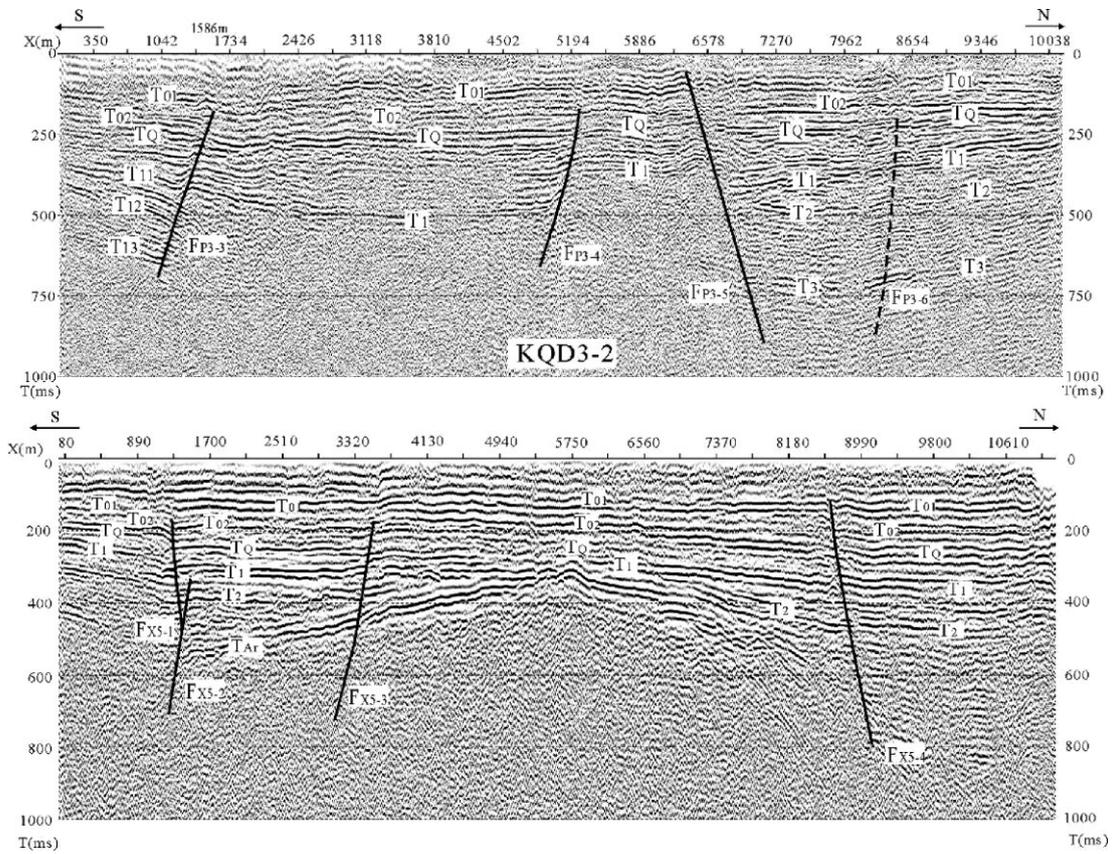


图 2.4.16-4 盘古寺—新乡断裂东段浅层地震勘探时间反射剖面

(中国地震局地球物理勘探中心, 2016)

东段自修武县向东继续延伸至新乡-商丘断裂附近, 根据中国地震局地球物理勘探中心对该段的探测认为, 其最新活动时代为早更新世(图 2.4.16-5)。

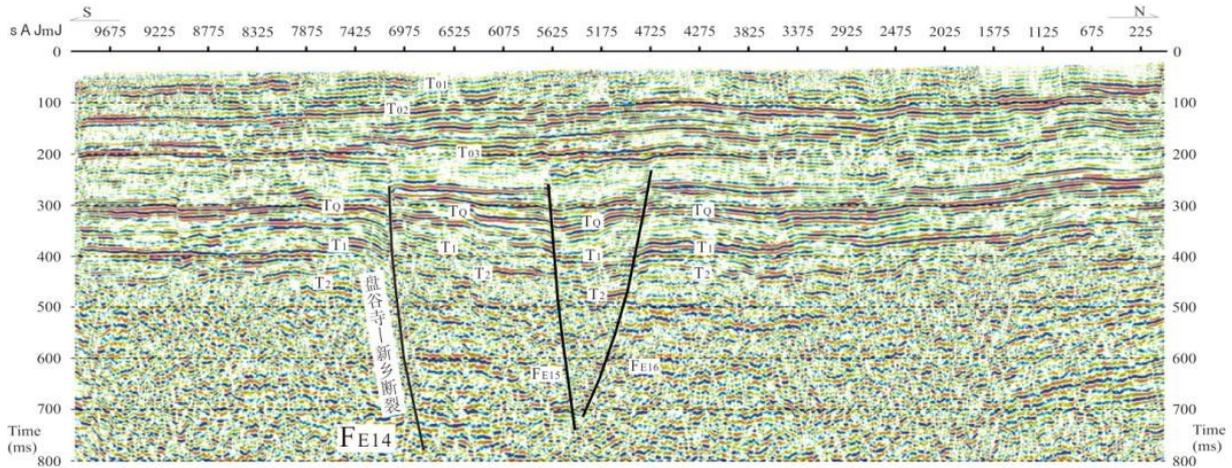


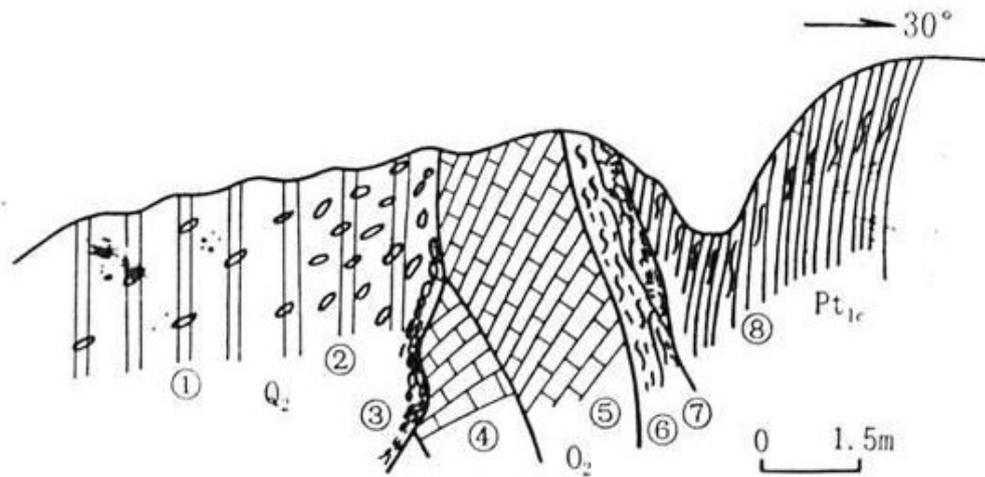
图 2.4.16-5 盘谷寺-新乡断裂东段浅层人工地震勘探剖面
(中国地震局地球物理勘探中心, 2016)

综上所述, 断裂带具有多期活动特点, 表现为早期倾角平缓的逆冲推覆构造和晚期靠近盆地一侧发育的高角度正断层, 区域内该断裂的最新活动时代为早更新世至晚更新世。

2.4.1.17 封门口-五指岭断裂(F17)

总体走向北西, 由数条断层组成。该断裂基本上以黄河为界分为两段, 北西段为封门口断裂, 南东段为五指岭断裂, 全长约100km。

封门口断裂: 北起封门口以北, 向南东方向延伸, 经清虚宫, 阳台宫, 济源, 西承留, 孟州南, 出露长度32km。走向北西, 倾向南西或北东, 倾角 $40^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。断层下盘出露下元古界, 上盘为二迭系和三迭系。从地层对比分析, 垂直断距可达2000m。沿断裂带有500~800m宽的动力变质带。卫星影像线性构造特征明显, 界线清楚。断裂早期具张性, 晚期具压扭(左旋运动)性质。断裂带地貌界线十分清楚, 断层崖及断层三角面发育。在阳台宫中更新统被错断(图2.4.17-1)。向南东方向延伸隐伏于第四纪冲、洪积物之下, 成为济源盆地的西南边界, 继续向南东方向延伸与五指岭断裂相接。



①红土；②高岭土；③黑色断层泥；④白云质灰岩；⑤灰岩；⑥泥灰岩；⑦红色断层泥；⑧片岩

图2.4.17-1 封门口断裂破碎带阳台宫剖面图（阳台宫）（河南省地震局, 1989）

五指岭断裂：由北西向南东方向延伸，经偃师境内、巩义涉村、登封卢京、新密，隐伏于第四纪松散沉积物之下，出露长度20余千米。断裂走向 315° ，倾向南西（局部倾向北东），倾角 $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。航磁 ΔT 向上延拓10km和20km后，有一北西向磁异常梯级带与五指岭断裂相吻合。

在断裂带内嵩山群的石英岩被挤压成构造透镜体及片理化带，破碎带宽10~100余米。断裂晚期发生扭性活动，可见到平直的扭断面切过早期的挤压带，并将北东盘的元古界向北西方向推移了7km。断裂截断了嵩山山脉，破坏了完整的嵩北背斜。该断裂在第四纪时期活动亦较明显，在登封塔水磨北见到中更新统地层被错断。在4、5、6、7等波段卫片上影像清晰，假彩色合成的密度分割中的线性构造特征明显。在断裂附近历史上曾发生过中等强度的地震。如1814年荥阳贾峪5级地震以及现今的小震活动。

综上所述，封门口-五指岭断裂形成时间早，遭受多次构造运动的影响，规模较大。基性岩浆沿断裂带附近分布表明切割深度已达上地幔。中更新统被错断，地震沿断裂带分布等表明，为中更新世活动断裂。

2.4.1.18 武陟断裂(F18)

该断裂西北起自李万东，向东南经武陟、秦厂延至黄河北岸，长约32km。断裂走向北西，倾向南西，为南西盘下降的正断裂。断裂控制两侧新生代地层的堆积厚度，东侧为武陟隆起，新生界厚仅1000m左右，西侧为济源中新代拗陷，新生界厚达5000m以上。但新近纪以后，断裂的差异活动已不明显，在断裂西侧的济2孔，

上新统厚496m；东盘的陟1孔上新统厚633m（中国地震局地质研究所，2001），两者之间变化不大。

根据《焦作市活断层探测与地震危险性评价项目》（子专题10）对武陟断裂的研究，在测线QDX4-1740m处（东经113° 18′ 2.3″，北纬35° 09′ 42.6″）剖面图反映此断裂视倾向南，视角较陡，埋深42-50m，垂直断距4-6m（图2.4.1.18-1）。

第四纪武陟隆起连同西侧济源凹陷整体下沉，接受被覆式第四系堆积，现断裂差异活动已不甚明显。据河南省地矿局（1988）提供的第四系下更新统等厚线图分析，断裂在更新世仍有一定差异活动显示，加之中小地震沿带有相对集中分布的趋势（谢智等，1998），据此将其定为早、中更新世断裂。

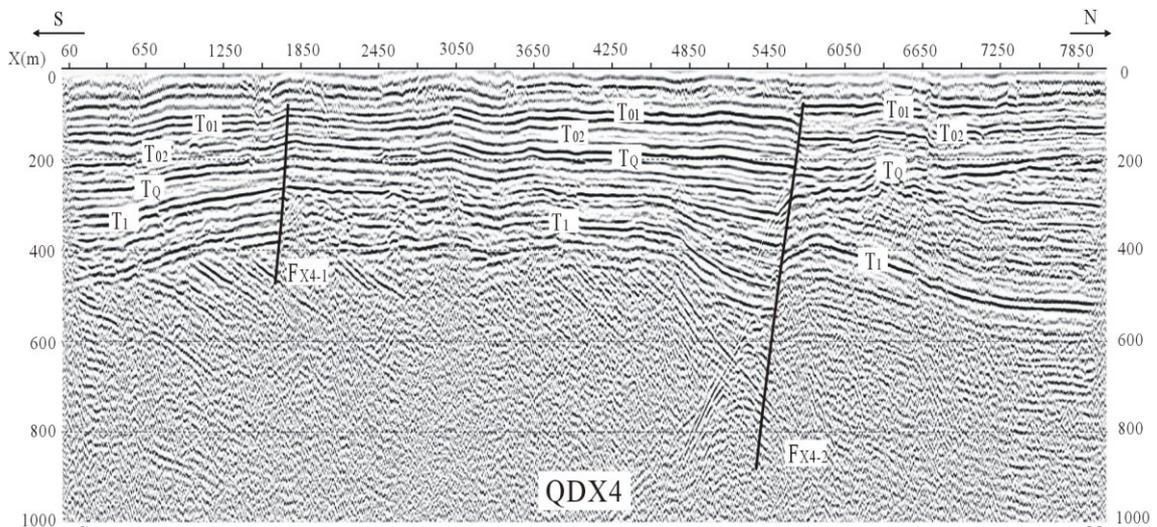


图2.4.1.18-1 武陟断裂QDX4地震勘探线时间剖面图

（中国地震局地球物理勘探中心郑州基础工程勘察研究院，2014）

2.4.1.19 新乡-商丘断裂(F19)

新乡-商丘区域性断裂带西起峪河口，向东经峪河北、赞成南到新乡西王村附近，向东南经延津、封丘、兰考、商丘延入安徽省境内，交于郟庐断裂带，是冀鲁断块与豫皖断块的边界断裂。走向北西约295°，被北东向、北北东向断裂切割成若干段，倾向各段有异。

该断裂分段性特征明显，大致以 NNE 向的汤东断裂、长垣断裂、聊兰断裂、曹县断裂、夏邑断裂为界，该断裂在河南省境内可分为新乡段、延津段、封丘段、民权段、商丘段、夏邑段，各段断层倾向多变断裂走滑性质明显，地震剖面上花状构造十分发育，活动性整体西强东弱。该断裂在第四纪时期有过强烈的构造活动，

沿此断裂带地震活动较频繁，历史上曾发生过卫辉东 6.0 级地震(公元 344 年)、封丘 5 级地震(公元 1737 年)、新乡 4.5 级地震 (1978 年) 和虞城 6.0 级地 (公元 66 年) 等 (王志等, 2017) ，这些地震位置多位于该断裂与北北东向断裂的交汇部位。

(1) 延津段

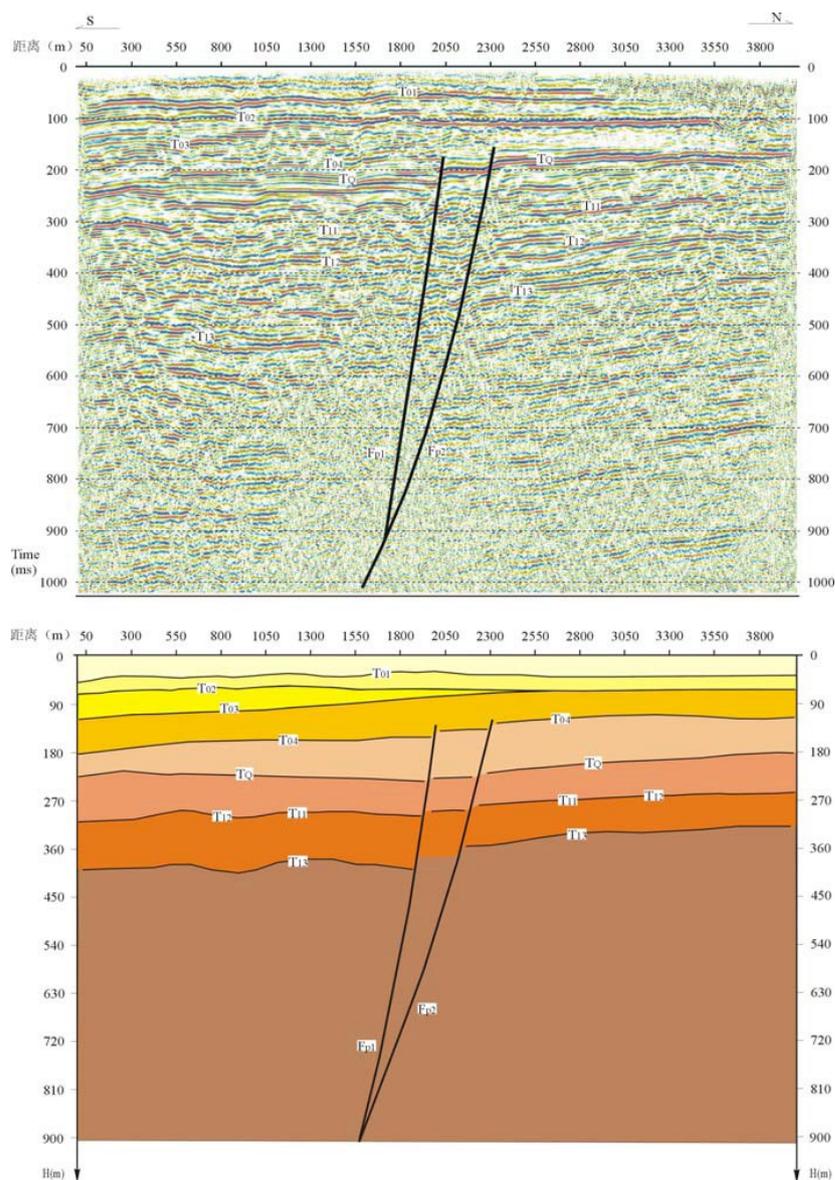


图2. 4. 19-2 XX1 测线反射波叠加时间剖面 and 深度解释剖面图

(中国地震局地球物理勘探中心, 2007)

为查明该断裂产状及活动时代，2007年中国地震局地球物理勘探中心在新乡市东的洪门附近由南向北布置了一条长4km的浅层人工地震测线XX1，道间距5m，覆盖次数30次。从该测线的深度解释剖面图可见（图2. 4. 19-2），该测线经过地段内的地下地层具有良好的反射性质，剖面浅部地层在横向上基本呈水平展布，相对起伏

变化不大，深度约75m以下的地层总体上呈南低北高的展布形态。第四系覆盖层的底界（TQ）埋深在测线上具有较大的起伏变化，在测线南端其厚度约为180m，在测线北端厚约125m，呈现出第四系地层厚度南厚北薄的形态。在测线桩号2025m和2310m处存在的断层FP1 和FP2 在剖面上呈“Y”字形分布，并大约在深部900m左右，断层FP1归并到FP2 断层上，剖面上这两条断层均错断了第四系覆盖层的底界面反射波TQ，断到了第四系内部，其上断点深度分别为140~145m和150~155m左右。

在新乡以东，河南省地震局于 2018-2020 年对其开展了详细的探测工作，根据张扬等（2020）通过钻孔联合剖面对该断裂延津段的活动性认识，认为该断裂最新活动时代为晚更新世，见图 2.4.19-3。

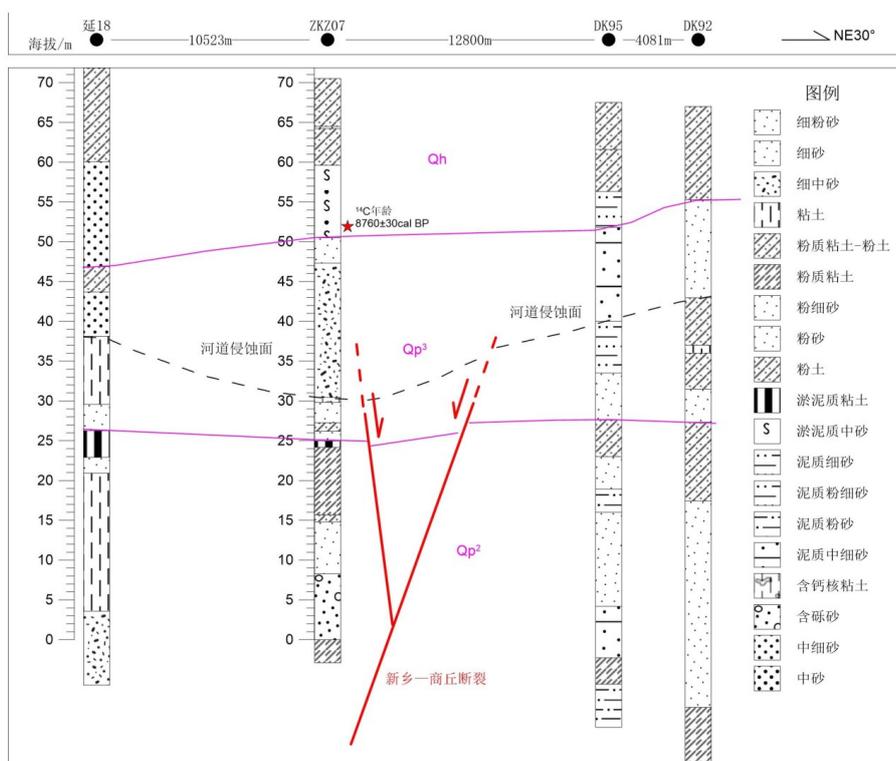


图2.4.19-3 新乡-商丘断裂延津段钻孔联合剖面图（张扬等，2020）

(2) 民权段

根据最新的探测成果（河南省地震局，2019），该段断裂上断点埋深约517m，为前第四纪断裂；。

(3) 商丘段

跨商丘以东段开展的浅层人工地震勘探深度和地质剖面。见图2.4.19-4图2.4.19-5。

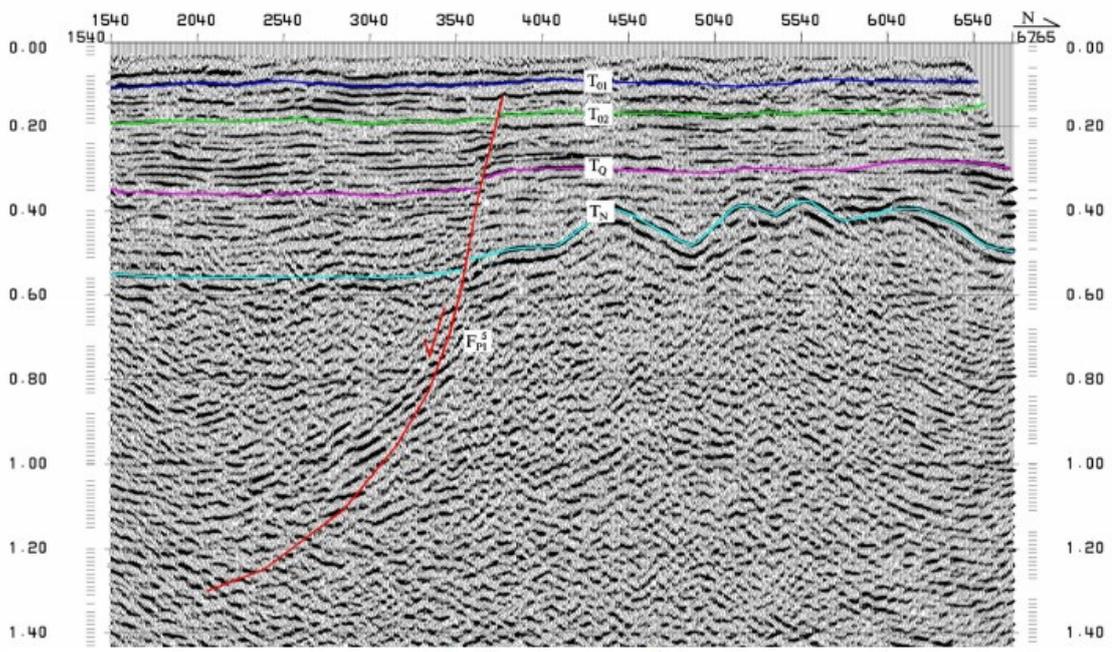
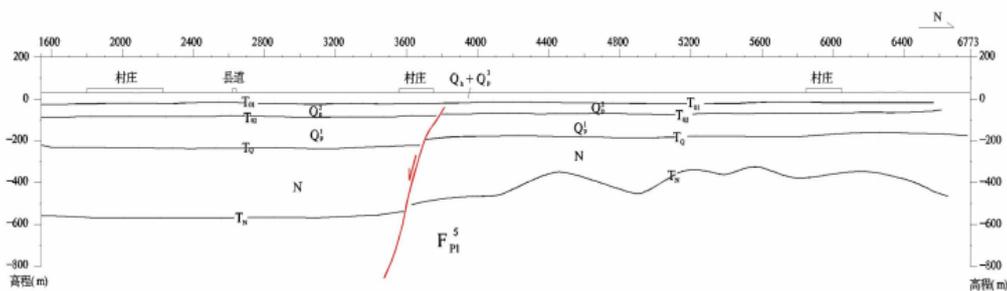


图 2.4.19-4 商丘以东段测线偏移时间剖面图（河南省地震局，2020）



2.4.19-5 商丘以东段测线深度剖面及解释图（河南省地震局，2020）

该剖面揭示的反射震相比较丰富，反射能量也较强，整个剖面地层特征较为明显。在双程走时 800ms 以上共解释了 4 组特征明显的地层反射，它们在图中分别标识为 T01、T02、TQ、TN。

从时间剖面中各地层反射的横向连续性来看，T02 及以上反射波同相轴具有较好的横向连续性，没有发现断层迹象；TQ 及以上的地层反射表现出明显的同相轴扭曲、错断现象，反映了断层的存在。据此在测线共解释了 1 个断点，以 Fp15 标注。Fp15：从各界面断点反映的断面形态上看，该断层为视倾向南的正断层，其可分辨上断点在地面上的垂直投影点位于剖面桩号 3812 附近，在错断 T02 界面后继续向上延展，上断点埋深约为 71m，它在该深度的垂直断距约为 5~10m。

根据断层所处位置和空间展布形态，认为 F_{P15} 为新乡-商丘断裂商丘以东段的反映。结合当地地层发育特征，认为此次浅层人工地震勘探揭示的断裂（段）为中更新世断裂。

综上，新乡-商丘断裂具有复杂的分段活动的特点，新乡段以及商丘以东段为早更新世断裂，延津段为晚更新世活动断裂，民权段为前第四纪断裂。

2.4.1.20 洛阳断裂（F₂₀）

该断裂位于邙山南缘。东起巩县芝田镇向西经忠义沟、堰师城北、平乐北至金水河一带与新安-郟县断裂相交，全长约 55km，为洛阳盆地的北界断裂。该断裂在堰师北见老断裂破碎带和断层角砾岩，破碎带宽近百米，断面走向 84°，倾向南，倾角 63°，上升盘三迭系构成低山，岩层北倾，倾角较缓，但在断裂附近岩层局部倾向南，倾角较陡。测线 y09-45-5（图 2.4.20-1）的时间反射剖面显示了该断裂的几何特征和断错特征，断裂深部倾角较缓，约 55°，向上逐渐陡倾，南盘地层中出现了大规模的挤压褶曲和牵引构造，同时可以看到^①盆地中部仍然发育相当规模的断裂，洛阳-偃师断裂倾向相反。陡倾且两侧地层明显弯折^②局部出现逆断特征，种古近纪之前地层中的褶曲与新生代盆地地貌不仅说明这些断层具有较大的走滑分量，说明洛阳盆地经历了由燕山运动到喜马拉雅运动的转变，进入新生代以来，造应力场已由早期的挤压转变为拉张，据解译结果，阳-偃师断裂下盘 C-缺失或分界不明，成新近系底界断错达 300 左右。

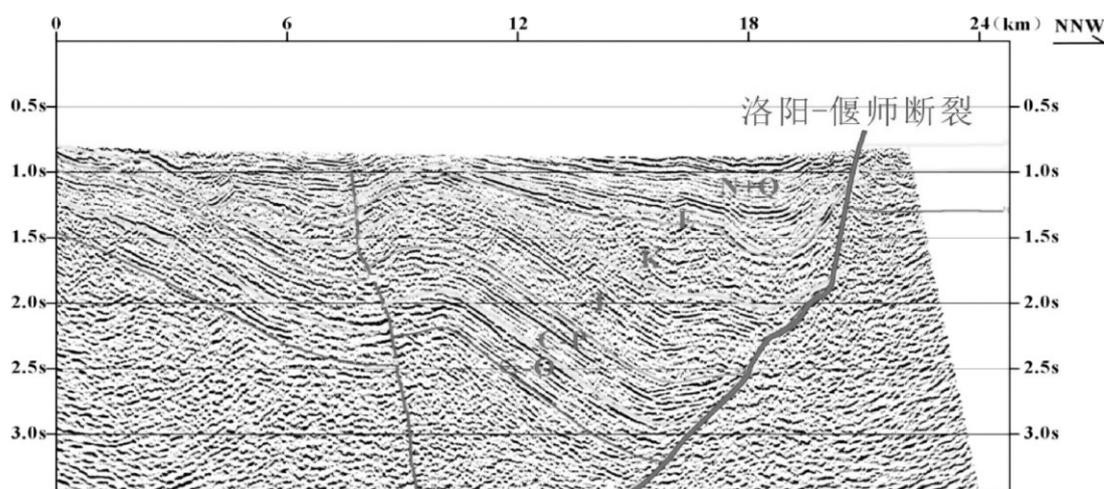


图 2.4.1.20-1 测线 y09-45-5 时间反射剖面

在汤泉沟中直接见到断层露头，下盘为三迭系红色砂岩夹页岩薄层，地层产状平缓，倾角约 15°，上盘则为中更新统红色黏土、砂土夹碎石层，可见厚度约 10m，基岩断裂带宽约 30m，老的断层角砾岩粒径约 5~10mm，破裂面走向 63°，倾

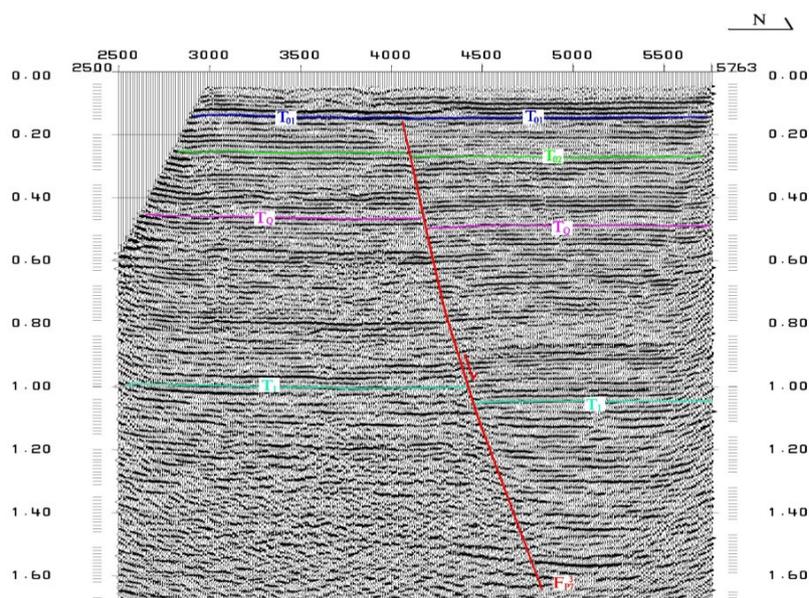
向南，倾角 80° 。破裂面上有一层厚约 $3\sim 5\text{mm}$ 的钙质淋漓层，断裂带上覆盖有一层厚约 15m 的上更新统黄土，未见任何变动形迹，说明该断裂最新活动时代为中更新世，晚更新世以后该断裂即已停止活动。

2.4.1.21 郑州-开封断裂带(F21)

该断裂带由多条近东西向断裂组成。由北往南有：中牟北断裂、中牟断裂、上街断裂、须水断裂等，全长约 120km 。

①中牟北断裂：有15条地震勘探线控制。地震剖面上 T_g 反射波错动在 400m 以上，控制了古近纪地层的沉积，而且还控制了侏罗-白垩纪沉积，未波及新近系地层，为前第四纪断裂。断裂走向近东西，呈舒缓波状，倾向北，倾角 $65\sim 70^{\circ}$ ，为正断层。

②中牟断裂：该断裂是组成郑州-开封断裂带的分支断裂之一，亦是开封凹陷与太康隆起的分界断裂，具有较为重要的地质意义。该断裂走向近东西，倾向北，倾角 $65^{\circ}-70^{\circ}$ ，为正断层，断距浅层 $100-200\text{m}$ ，深层 $200-700\text{m}$ ，断裂向东延伸至开封附近，根据《开封市活动断层探测与地震危险性评价》项目对该断裂的探测成果认为，该断裂为中更新世断裂（图 2.4.21-1）。因此可知，中牟断裂的活动性具有明显的分段特征，从西向东活动性逐渐增强。



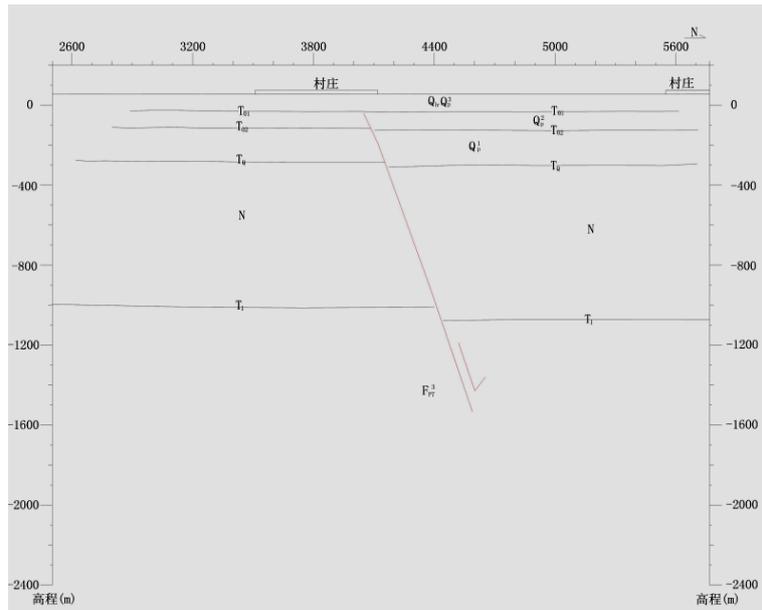


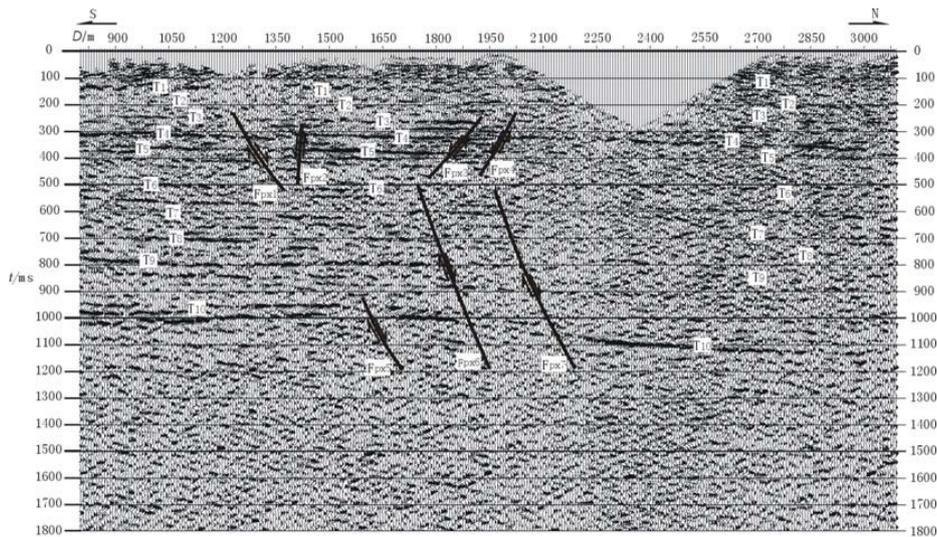
图 2.4.21-1 跨中牟断裂浅层人工地震勘探时间解释剖面与地质剖面
(开封市防震减灾中心, 2019)

③上街断裂：断裂走向东西，倾向北，倾角 70° ，北盘下降，南盘上升，为一正断层。西起上街，经郑州市区，一直延到中牟境内，被北西向断裂切割成数段，在荥阳附近已有 4 条地震剖面控制了断层的位置，为查明其向东延伸情况又做了两条人工地震剖面，从第 3 测线反射波图形看， T_p 、 T_g 波有明显错断，断距 200m 左右，其东延部分有数条测线控制，确定断裂的可靠断点有 10 个之多，所以断裂的存在及位置是准确无疑的（河南省地震局，1989）。

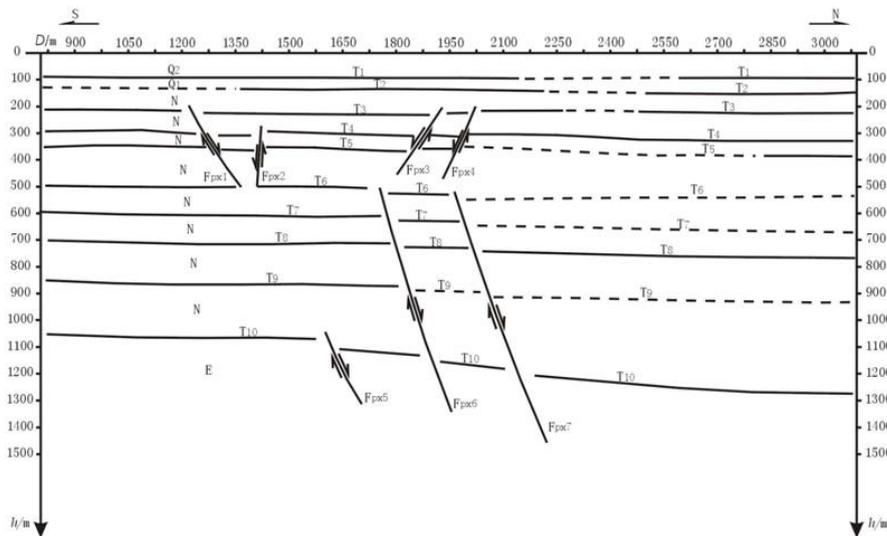
此后针对该断裂开展了更为全面的研究，2007 年布设一条中深层地震反射测线 CQZ3 和一条浅层地震折射测线 XSQ1。其中 CQZ3 剖面解释该断裂的上断点未进入到新近系，结合地质钻孔联合剖面 Q_p2-Q_h 地层连续的现象，认为该断裂在古近纪时期活动，进入到新近纪后不活动，为早第三纪断裂。

④须水断层西起荥阳西南的南新庄，向东经二十里铺、须水、郑州市南部，终止与圃田附近，全长 50km，走向近东西，倾向北，倾角 $60\sim 70^{\circ}$ ，为一正断层。

根据郑州活断层探测（2006）在位于南曹乡大燕庄村东 CQZ1 测线（如图 2.4.21-2），该南起老司赵站、老陇海铁路北侧，北至大燕庄村北潮河南岸，方向北北东，全长 3105m。CQZ1 是一条中深层地震反射勘探测线。



(a) 时间剖面



(b) 深度剖面

图 2.4.21-2 CQZ1 测线地震勘探的时间和深度剖面图 (赵成斌, 2007)

从图 2.4.21-2 可以看出, 该测线时间剖面图上反射震相比较丰富。根据该剖面纵向和横向波组特征, 从上到下可以识别出 10 个反射震相 T1~T10。从这些反射震相的展布特征可以看出, 该测线中上部地层基本呈水平形态, 只有 T10 地层界面存在明显的起伏变化, 表明南部埋藏较浅北部埋藏较深。从这些反射震相的展布形态和横向连续性可以看出, 该测线下地质构造复杂, 表现出上部和下部两组明显不同的构造及组合形态。须水断层的下部是由 3 条断层组成的断层带, 而其上部则表现有 4 条小断层。从深度剖面图可以看出, 须水断层上的各断点向上错断的最新地层界面为 T3, 这表明须水断层在新近系时期仍在活动。

郑州活断层探测 (2008) 结果显示, 该断裂空间展布由 3 条石油测线控制, 分别为 TK-93-228.5、07-01 以及 TK-91-320.5 测线 (图 2.4.21-3)。各

测线时间反射剖面（图 2.4.21-4、图 2.4.21-5、图 2.4.21-6）。

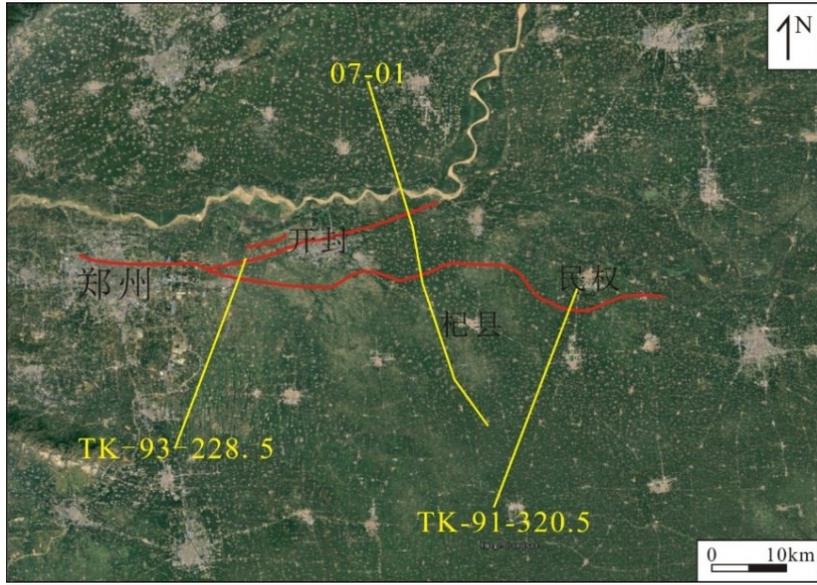


图 2.4.21-3 郑州—开封断裂石油测线分布图（据王志铄，2017）

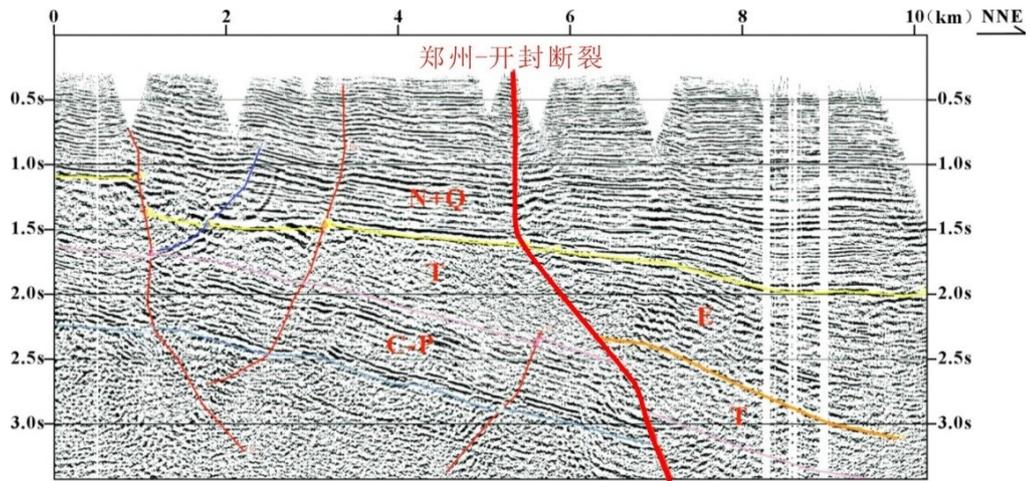


图 2.4.21-4 TK—93—228.5 测线时间反射剖面（据王志铄，2017）

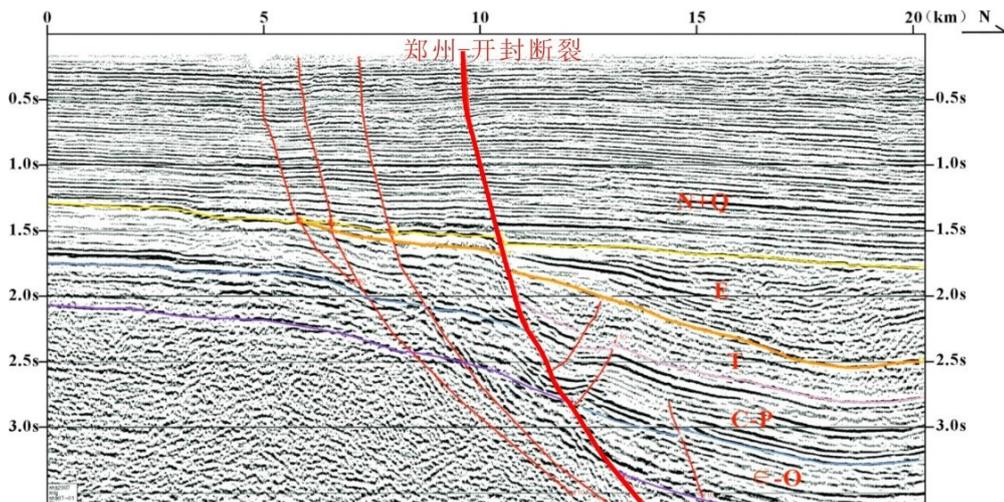


图 2.4.21-5 07—01 测线时间反射剖面（据王志铄，2017）

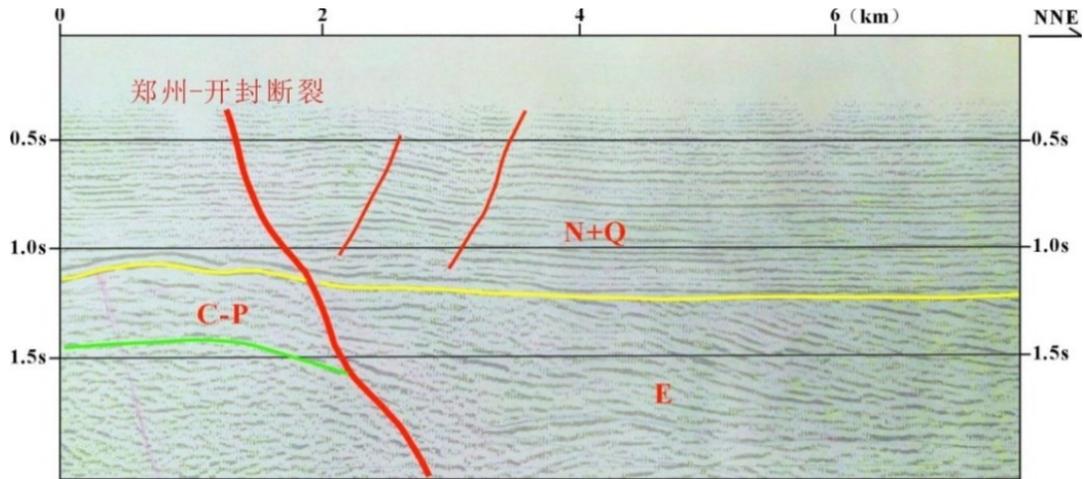


图 2.4.21-6 TK—91—320.5 测线时间反射剖面（据王志铄，2017）

为明确该断裂的上部断错特征及最新活动时代，2007 年借助郑州市城市活断层探测工程，针对郑州—开封断裂带做了多条浅层地震勘探测线，结果认为该断裂最新活动时代为早更新世。

2.4.1.22 曹县断裂 (F22)

该断裂北起阳谷，经梁山、曹县、睢县至太康北，长约200km 左右。总体走向北北东—北东，呈“S”型展布，并错断了近东西的汶泗断裂、郟城断裂、菏泽断裂、鳧山断裂和北西向的新乡—商丘断裂。倾向东—南东，倾角上陡下缓成铲状。

该断裂在不同的时期有分段活动的特点，古近纪时期断裂整体活动，但以曹县—成武活动较强烈，致使成武凹陷形成古近纪沉积盆地。早更新世以来，断裂北段活动，使下更新统被限制在断裂以西，而断裂南段早更新统为超覆沉积。曹县断裂切错了一系列近东西向的断裂，而一些中、小地震主要集中在切错交汇部位，说明曹县断裂在第四纪时期仍在活动，推测为第四纪早—中更新世活动断裂。

2.4.1.23 洛河断裂 (F23)

该断裂西起洛宁故县，向北东延伸，经宜阳、丰李镇，至关林东，全长约120km。走向北东东，倾向北北西，倾角 60~70°，为一正断层。该断裂在丰李镇以西断裂线显著，东端被第四系覆盖。杨店南中、上寒武系与震旦系接触。断裂带地貌反映为山前、河谷地貌。该断裂形成于燕山期，控制了洛宁新生代盆地的东南边界和洛阳盆地的南部沉积边界。根据《洛阳城市活断层探测与地震危险性评价》跨越洛河断裂实施了多条浅层地震勘探测线，如 LH1 测线，具体见图 2.4.23-1 所示。

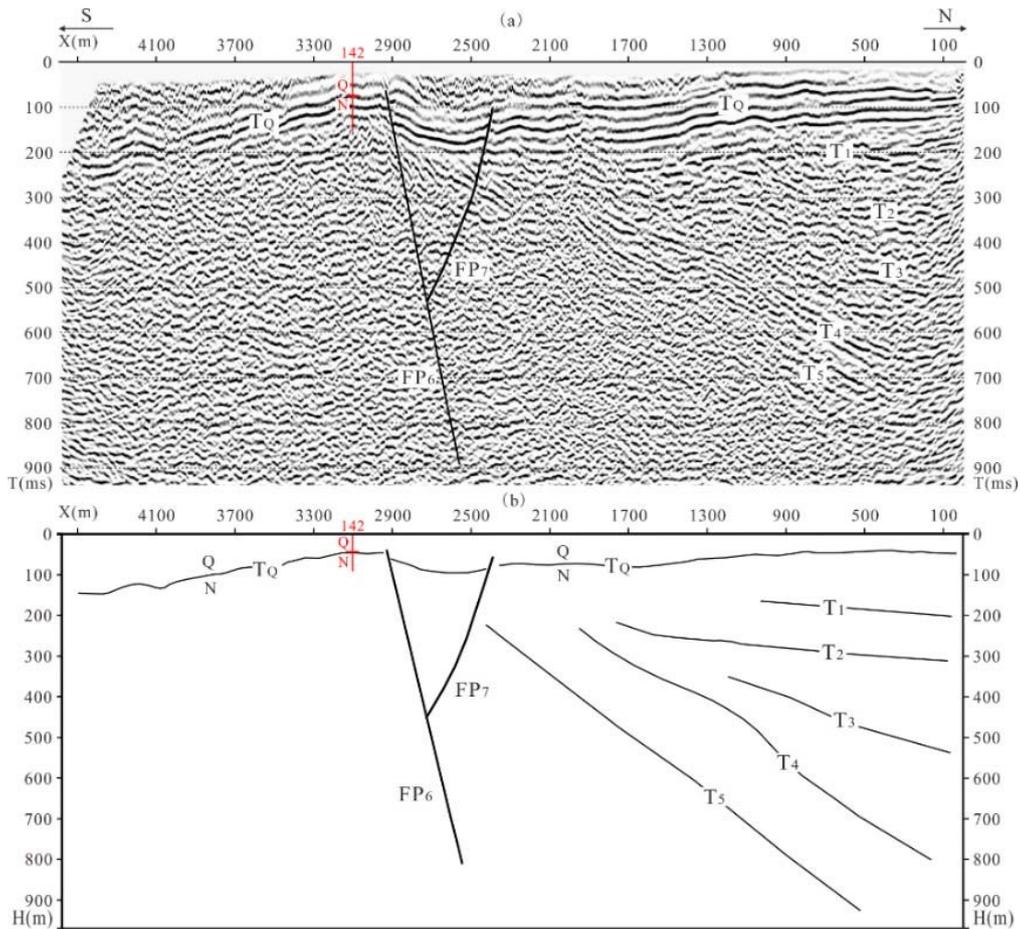


图 2.4.23-1 洛河断裂在 LH1 测线的显示及地质解释图

FP6 为向北倾的正断层，可分辨的上断点位于测线桩号 2926m 的下方，埋深约为 35~40m，在该深度上它的垂直断距约为 3~5m。断点 FP6 以南，反射震相比较少，仅有双程走时 200ms 以内一组能量较强的反射波；断点 FP6 以北，反射震相比较多，反射同相轴数量较多。FP7 为向南倾的正断层，可分辨的上断点位于测线桩号 2389m 的下方，埋深约为 51~54m，在该深度上它的垂直断距约为 3~5m。FP7 与 FP6 相向而倾。根据当地的水文地质钻孔，局部的第四系厚度约 44m，因此认为洛河断裂上延已经进入第四系下段。

该断裂在新近纪仍有活动，第四纪以来活动不明显，推测其最新活动时代为早更新世早期。

2.4.1.24 新安-郟县断裂带(F24)

断裂分布于区域西部，呈北西向展布，断裂自西北段村起，向东南经新安、伊川、临汝、郟县，止于襄城东南，全长约 190km。由左阶排列形式的新安-伊川断裂和临汝北-襄城断裂组成，阶区位于临汝盆地内。断裂控制了伊川盆地，临汝盆地的发育历史，成为盆地的边界断裂，盆地形成于古近纪，新近纪、第四纪继

续活动。新安-伊川断裂倾向北东，临汝北-襄城断裂倾向南东，正断层运动性质。

该断裂向东南隐伏于新安一带，在 XG 地震剖面上，断面陡立，倾向西北，错断古生界至新近系（图 2.4.24-1），由于该测线经过露头区，浅层资料保存较差，上断点 500ms 左右寒武-奥陶系与三叠系断层接触。结合煤田地质资料，岸上断裂没有确定的上下盘，该断裂为深切基底的深大断裂，新安县城附近沿断裂温泉有温泉分布，地热资源十分丰富。

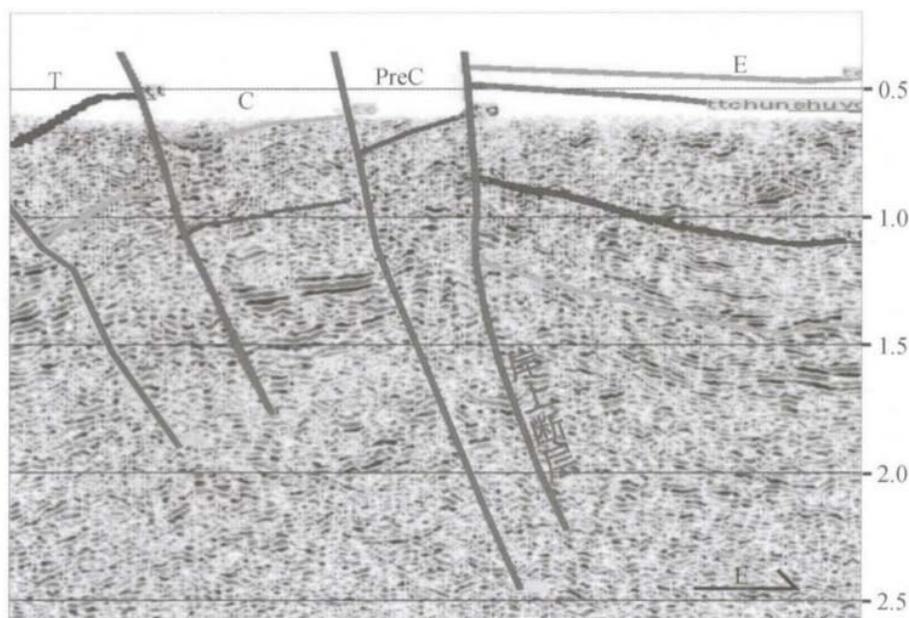


图 2.4.24-1 XG 地震剖面

综合分析认为该断裂属于早-更新世活动断裂。

2.4.1.25 新郑-太康断裂(F25)

新郑—太康断裂西起河南省新郑市，向东南方向途径鄢陵县北、扶沟县北，至太康县南后继续向北东东方向延伸，新近系底界平面延伸长度190km左右。断裂为太康凸起和周口凹陷的分界断裂，由东、西两支断裂构成，断层倾角较大，新近系底界断点清晰。在断裂不同位置，断层走向、倾向、垂向断距不同，剖面上断层性质有正有逆，呈现走滑断层运动特点。

河南省构造编图项目中，通过对比分析太康地区7口预探井所获的各种测井资料（岩心、岩屑等取芯以及录井资料）的基础上，对区内新近系底界进行了界定，藉此对本地区101条二维地震剖面进行了追踪解释，厘定了新郑—太康断裂的新生代活动形迹（图2.4.25-1）。

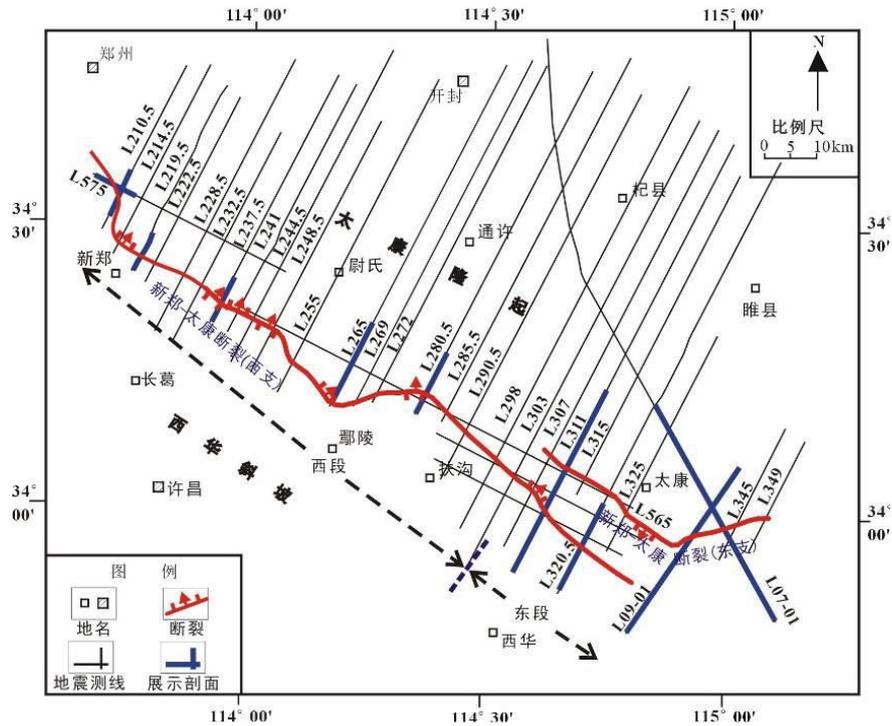


图2.4.25-1 太康地区典型二维地震剖面与主要断裂分布图（据王志铄，2017）

新郑-太康断裂（西支）位于太康地区南部，走向NW，倾向北，从新郑向东南经鄢陵北、扶沟北，一直延伸到太康以南，延伸长度150km左右，为分割太康凸起和西华斜坡的边界走滑断层。该断裂倾角大，在部分地震剖面上近直立，自下而上错断古生界-新生界地层。该断裂主要活动时期为古近纪，新近纪-第四纪该断裂进一步活动，在不同的地震剖面上表现为新近系和第四系地震反射同相轴的错断，地震剖面证实新近系底界断距为5-475m不等，其断距整体上由西北向东南逐渐减小。

图2.4.25-2是L311测线，该测线显示断裂有向上延入第四系的趋势，反映断裂第四纪早期仍有明显活动。图2.4.25-3是L320.5地震剖面，在浅层因村庄等障碍物出现“缺口”，但缺口两侧仍表现出明显同相轴错断的趋势，可能为断裂第四纪早期活动的影响。断裂西支在剖面上呈现“正”断、“逆”断交互出现的现象，反映断裂新生代活动性质可能以走滑运动为主。

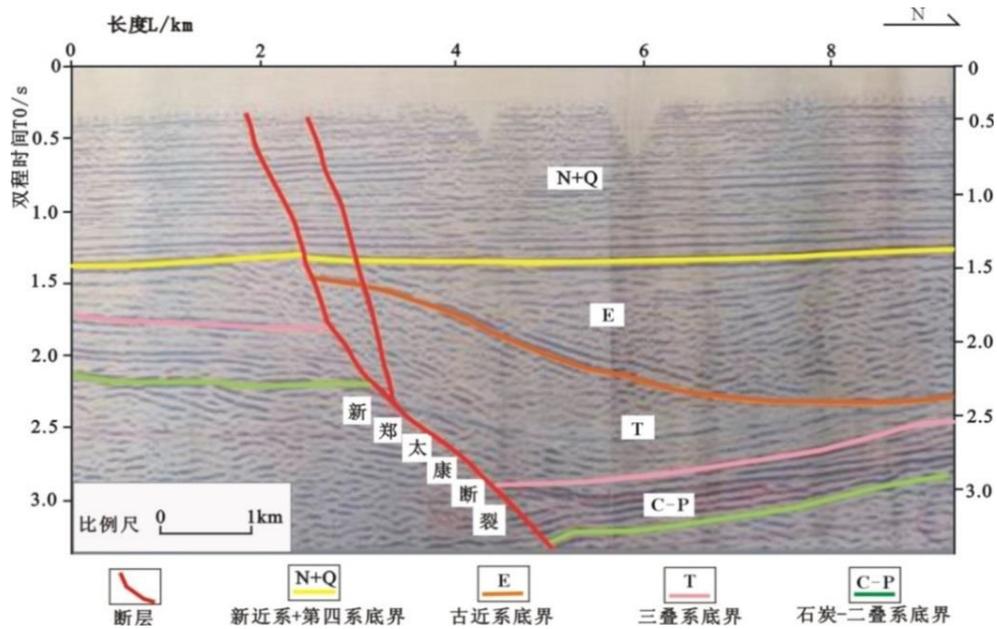


图2.4.25-2 新郑—太康断裂西支剖面图（L311测线）（据王志铄，2017）

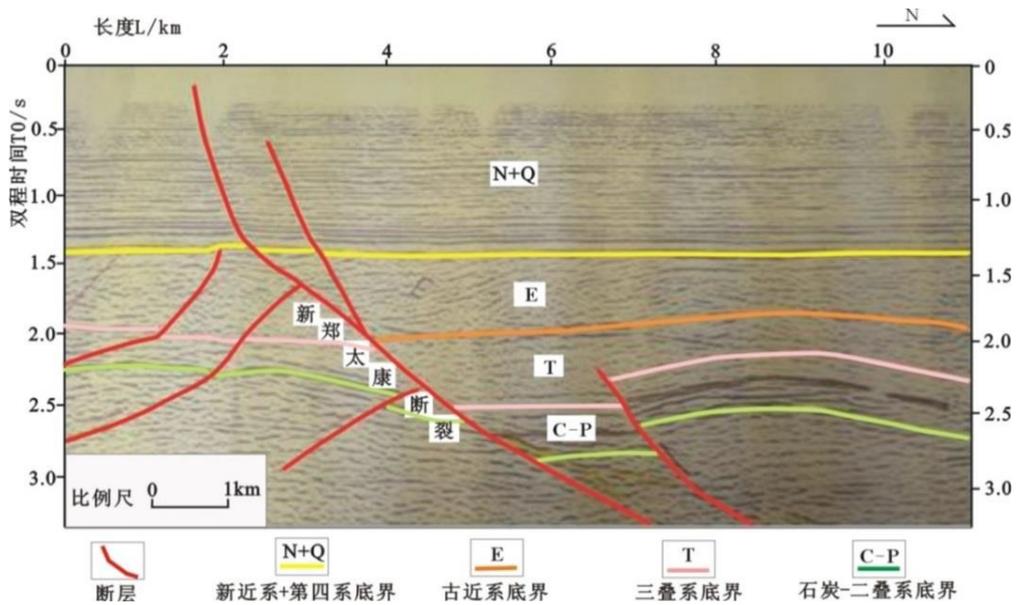


图2.4.25-3 新郑—太康断裂西支剖面图（L320.5测线）（据王志铄，2017）

新郑—太康断裂西支东段仅有3条测线控制，但由于新近系及其以上地层地震资料品质较好，其测网密度间隔为4km和9km，断点较清晰，所以断裂可靠度较高。L210.5测线(图2.4.25-4)和L575测线(图2.4.25-5)，显示新近系底界出现了明显的地震波同相轴错断现象；L265测线(2.4.25-6)，因剖面短而对新近系底界的错断没有控制，但剖面南端下部有明显的新郑—太康断裂显示。这几条测线对断裂走向和拐弯的画法有控制作用。

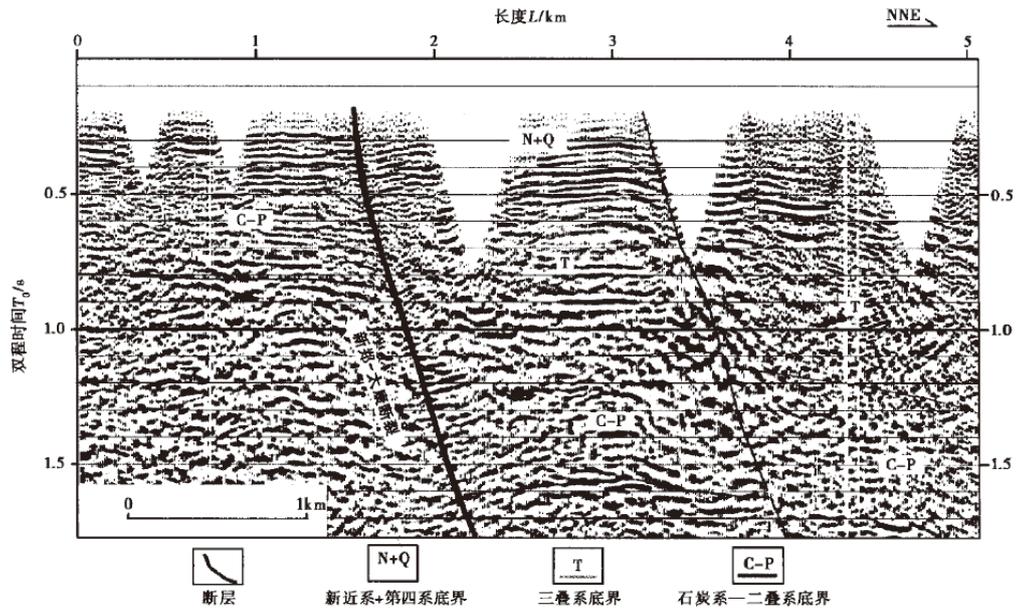


图2.4.25-4 新郑—太康断裂西支剖面图 (L210.5测线) (据王志铄, 2017)

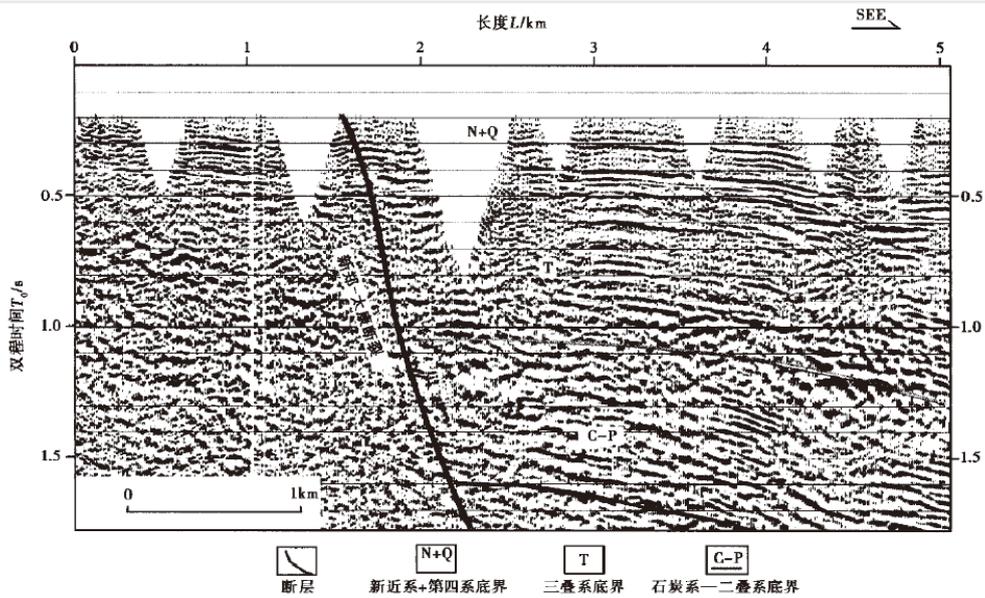


图2.4.25-5 新郑—太康断裂西支剖面图 (L575.5测线) (据王志铄, 2017)

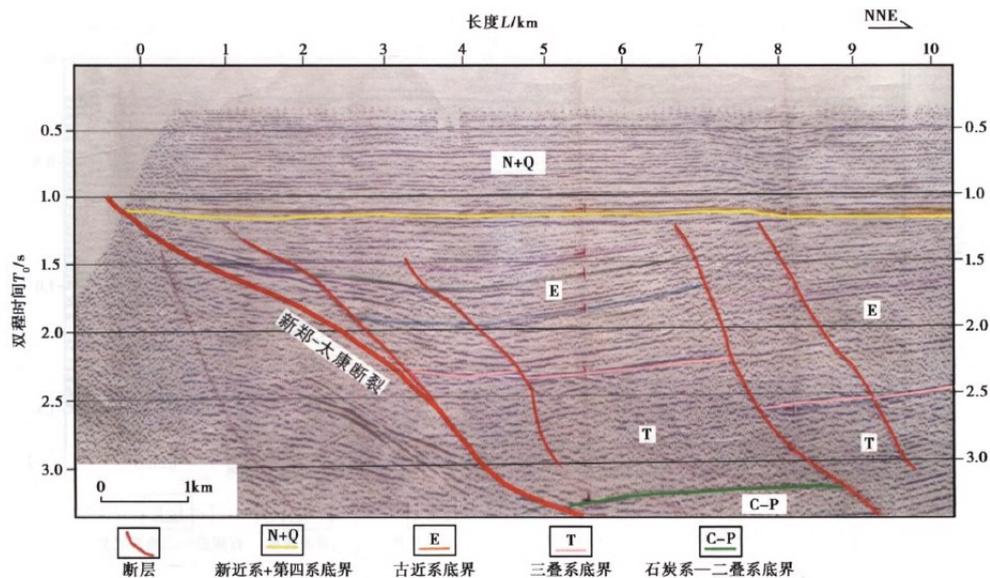


图2.4.25-6 新郑—太康断裂东支剖面图（L265测线）（据王志铄，2017）

新郑—太康断裂(东支)平面上长约50km，西部起于长营镇，向东延伸至安平镇以东，倾向整体向S，走向为NW—NEE；其中西段走向为NW，东段为NEE。控制该断层的测线有L307—L349等11条测线。地震资料证实，该断裂西段新近系—第四系地震反射同相轴均有错断，新近系底界断距整体呈现中间大，往断裂2端逐渐减小的趋势。L09-01测线地震剖面证实该断裂新近系底界有错断，垂向断距为40m(图2.4.25-7)；往东的L07-01二维地震剖面显示该断裂自下而上切割了古生界、古近系、新近系馆陶组和明化镇组，其中新近系底界垂向断距为20m(图2.4.25-8)。

综合分析认为，新郑—太康断裂是1条区域性隐伏断裂，控制着太康凸起与周口凹陷的分界，其新生代活动形迹位于新郑至太康一线，由东、西2支组成，西支总体走向NW向，长达150km；东支走向NW—NEE，倾向SW—SEE，倾角较陡，长约50km。断裂新近纪有过强烈活动，局部地段第四纪早期仍有活动迹象。新郑—太康断裂可能是新郑至太康地区中强地震的主要发震断层，现代地震主要沿该断裂带东、西2支的叠合区分布。

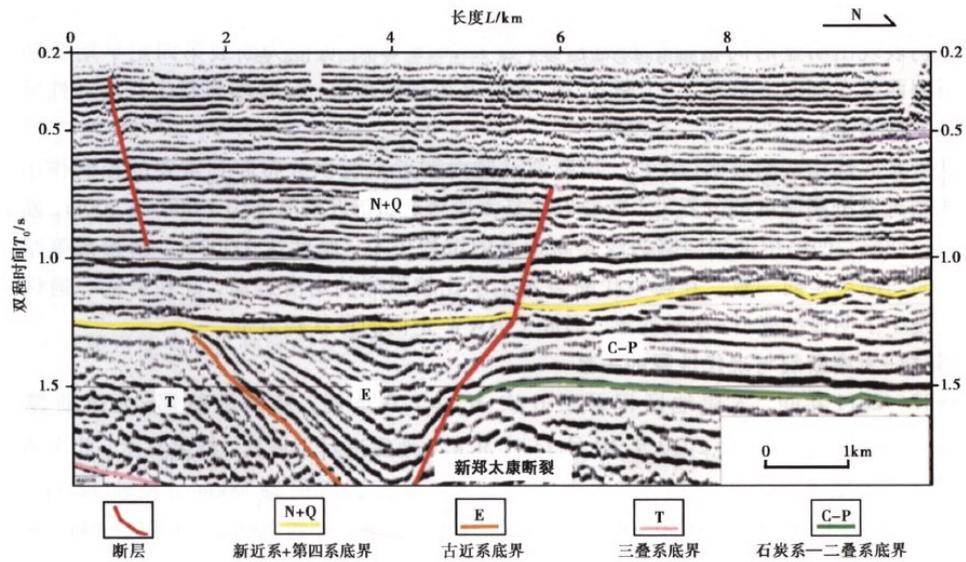


图2.4.25-7 新郑—太康断裂西支剖面图 (L09-01测线) (据王志铄, 2017)

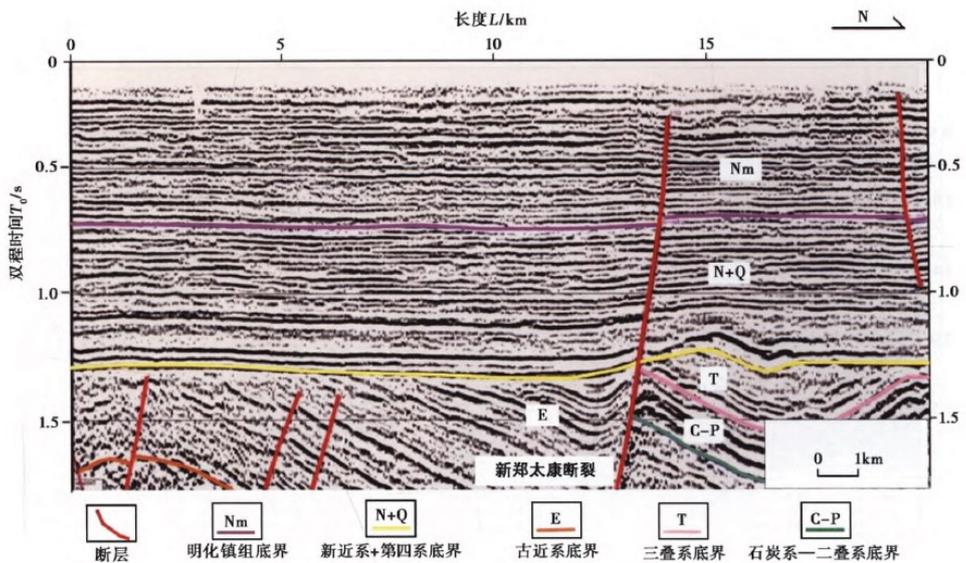


图2.4.25-8 新郑—太康断裂东支剖面图 (L07-01测线) (据王志铄, 2017)

2.4.1.26 鲁山 - 漯河断裂 (F26)

该断裂西自东村西，经鲁山、叶县北、漯河河南，再向东南经老城进入安徽境内，全长大于280km，区域内长240km。呈北西西向展布。断裂西段（鲁山以西）分布于震旦系基岩内，对大地貌有一定的控制作用，断裂走向与山脉延伸方向一致。东段（鲁山以东）全部隐伏于新生代盆地组成的周口凹陷内（地质部西北地质局，1965），断裂使基底产生南盘升、北盘降的垂直差异运动，断差达1000~2000m。新近纪以后断裂为正断层运动性质，鲁山 - 漯河段南降北升，断差达300m左右，漯河 - 老城段南升北降，落差达500m左右。对第四系地层的沉积有明显控制作用，

第四系等厚线沿断裂走向分布，其厚度北厚南薄，其断差达40~60m。推测为早、中更新世断裂。沿断裂于1662年发生过项城5½级地震。

为确定该断裂的活动性，2009年河南省地震局专门布置了一条浅层地震勘探剖面控制该断层（图 2.4.51）。

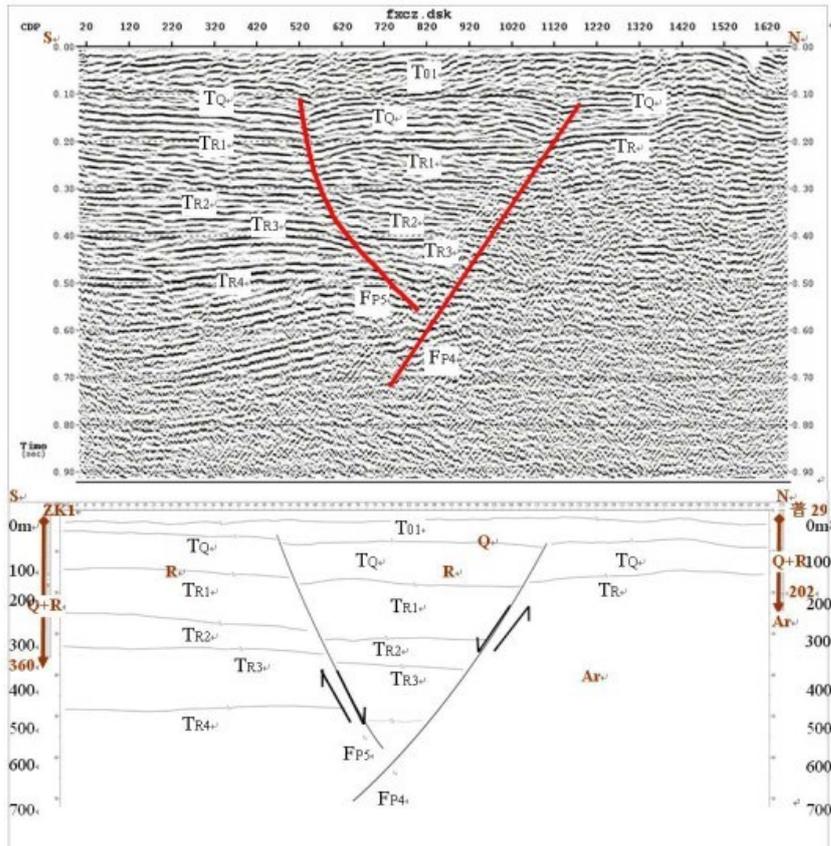


图 2.4.26-1 曹镇剖面地震勘探时间和深度剖面（河南省地震局，2009）

该剖面反射信息丰富，在双程走时 700ms 以上存在多个反射波组，且各波组间也有较丰富的层间弱反射。剖面上共解释了 6 个特征反射波组，各波组在剖面南段均表现为反射能量强、同相轴可连续追踪的清晰反射特征。剖面北侧各波组反射能量较南测弱，其中 TR 以下波组在剖面北侧部分测段基本无法识别，仅从局部特征加以推测解释。

综上所述，鲁山-漯河断层是一条区域性大断裂，新生界最大断距超过 2000m，为一正断层。该断层在新近纪仍有强烈活动，地震勘探显示断层错断第四系底界面。因此，将鲁山-漯河断裂定为早-中更新世活动断裂。

2.4.1.27 栾川-南召-方城断裂(F27)

该断裂位于牧护关、洛南、栾川、南召和方城一线，呈北西西向延伸。它由陕西省境内的铁炉子-三要断裂及河南省境内栾川-确山-南召断裂组成，总体走向

北西 50° — 70° ，倾向北东，倾角 50° — 70° 。该断裂再往西与北西向的八渡—虢镇断裂相连，后者呈半隐伏状态且沿线有温泉出露，曾发生过 6 级地震（陕西省地质矿产局 1989）。铁炉子—栾川—南召断裂向东经栾川入南阳盆地后形迹不明显。张二朋等（1993）认为它向东在安徽境内止于郟庐断裂带，陈胜早（1995）根据地球物理资料认为它向东延伸进入了海域，把中国东部大陆分为南北两个亚板块。

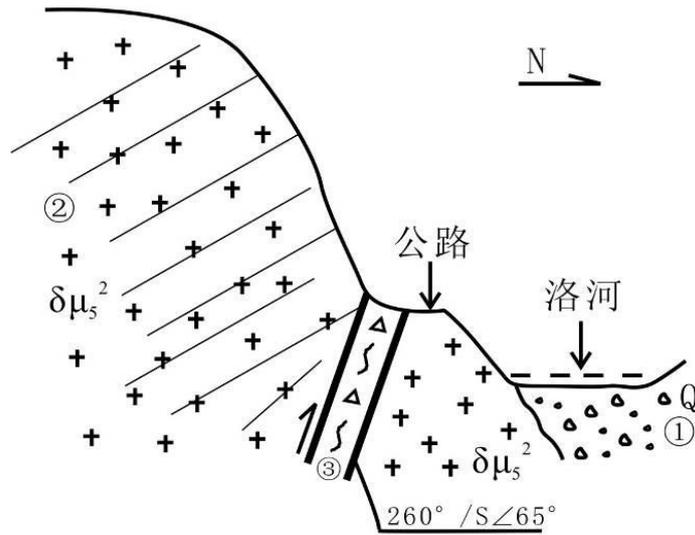
栾川—南召—方城断裂具有明显的分段活动特征，活动强度由西向东逐渐减弱。西段铁炉子—栾川—方城段为洛南新生代盆地的南界，是商丹缝合带北侧洛南—栾川逆冲推覆断层的一段，地貌特征明显，断裂陡崖直线状延伸。洛南盆地以东段发育于秦岭隆起内部，没有控制新生代盆地，卫星影像上有一定的线性特征，但没有明显的线性和水系位错等特征。

洛南盆地至卢氏盆地以东的野外地震地质调查工作表明（北京中震创工程技术研究院，2009），该段断裂发育于秦岭隆起内部，没有控制新生代盆地，卫星影像上具有一带线性特征，但没有直线状陡崖地貌，水系也没有明显位错。卢氏西至南召的关山段（中国地震局地球物理研究所，2007，2009）在东南段杨村庄至南召一带作过调查研究，在南召县北回龙沟高速公路隧道口工程开挖揭露出断裂剖面中，断裂上覆有总厚 8~10m 的第四系砂砾粘土和含砂砾土层，其中下部层位砖红色、半胶结，时代属于中更新世；上部层位是黄棕色、较为致密、半胶结，时代应为晚更新世。这套第四系堆积层位无断错变形迹象。另外，在瓦房河右岸和东北湾以东开挖了三个探槽，断裂上覆有 TL 测年属晚更新世的沉积层，此层未见断错迹象。该段断裂对水系的控制（中国地震局地球物理研究所，2007，2009）表明其明显具有走滑性质，其活动时代为早、中更新世。

在卢氏盆地南赵家凹修公路时开挖出 2 个断层剖面，剖面 1（图 2.4.27-1，图 2.4.27-2）显示断裂基本平行公路，为一条高角度逆冲断裂，两盘都为燕山早期花岗闪长斑岩，其中密集发育平行断裂走向的劈理。断裂带宽约 2m，充填有胶结良好的断层角砾岩，断裂向西延伸在第四系坡积物覆盖的山坡上未见地貌标志。



图 2.4.27-1 赵家凹断裂剖面 1 (镜向 N) (中国地震局地球物理研究所, 2007)



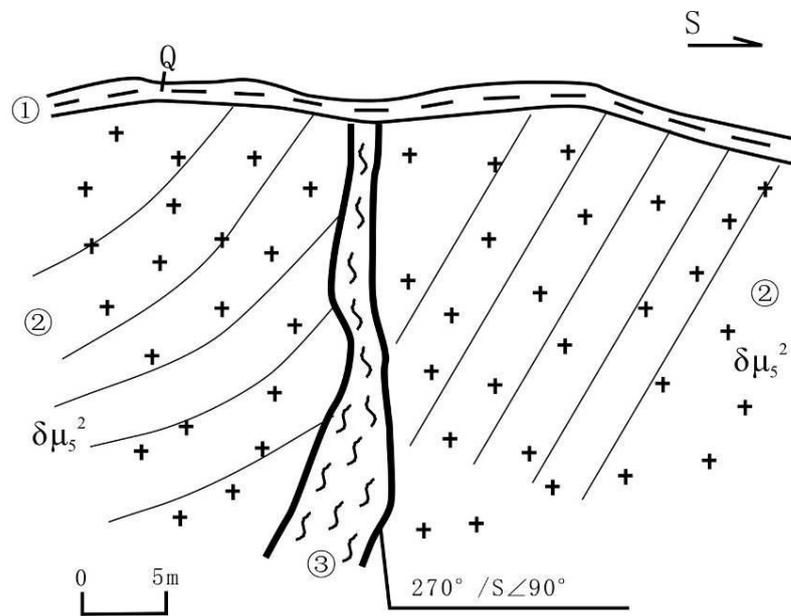
① 河流冲积砂砾石层；②燕山期花岗闪长斑岩；③断裂角砾岩带

图 2.4.27-2 赵家凹断裂剖面 1 (中国地震局地球物理研究所, 2007)

赵家凹公路边见另一发育于燕山早期花岗闪长斑岩内的断裂剖面，断裂走向近东西，倾角近于直立。上下盘花岗岩内发育走向近东西，倾角 30—60° 的劈理带。断裂破碎带宽 0.2—1m，顶部覆盖有很薄的现代坡积层（图 2.4.27-3，图 2.4.27-4），断裂在地表没有陡坎等新活动的地貌标志。



图 2.4.27-3 赵家凹断裂剖面 2 照片(镜向 E) (中国地震局地球物理研究所, 2007)



① 现代坡积层; ②燕山期花岗闪长斑岩; ③断裂破碎带

图 2.4.27-4 赵家凹断裂剖面 2 (中国地震局地球物理研究所, 2007)

在卢氏盆地东南七寸街, 跨越断裂的一冲沟发育有 3 级阶地, 拔河高度约 8m 的三级阶地也未被断层错断。

栾川-卢氏西至南召的关山段（中国地震局地球物理研究所 2007，2009；北京中震创工程技术研究院，2009）为走滑性质，其活动时代为早中更新世；关山以东，野外地震地质调查结果显示其为前第四纪断裂。

2.4.1.28 朱阳关 - 南阳断裂 (F28)

该断裂是一条规模较大的深大断裂。西起兰田，向东经朱阳关、南阳，止于桐柏大河一带，长约 350km，走向 290~310°。该断裂的南阳断陷以西，倾向多变，倾角 60~80° 南阳断陷以东，断面主要倾向北东，倾角 40~80°。断面沿走向及倾向均舒缓状波状弯曲。挤压破碎带宽约 50~100m，最宽可达数百米。岩石普遍具角砾状结构或压碎结构。该断裂在震旦纪已形成，但在屡次构造运动中有所表现。南西盘相对下降，北东盘相对上升。

在马山口以西的毛家营，断裂地貌表现为线状负地形。剖面上断裂倾向南西，断裂北盘为秦岭群大理岩，南盘为上白垩统红色砾岩，靠近断裂地层倾角增大至陡立。断裂附近，北盘秦岭群大理岩显示破碎，南盘的砾岩地层强烈破碎和片理化，压性特征明显。剖面顶部覆有第四纪坡积层，未见被断裂错动迹象(图 2.4.28-1)。

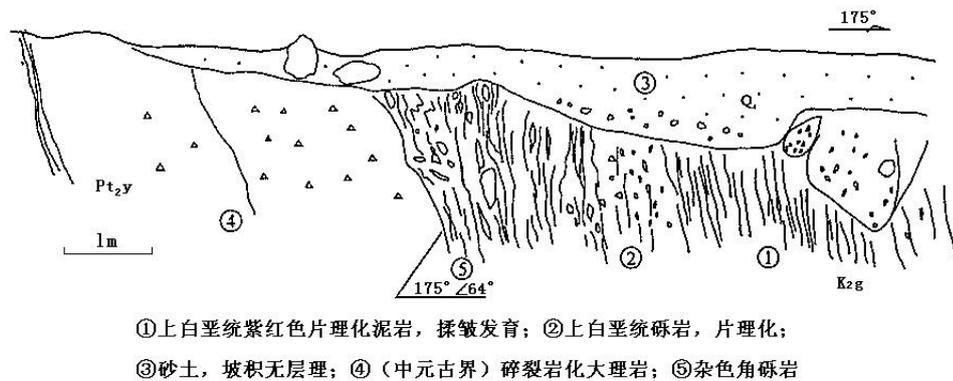


图 2.4.28-1 马山口西毛家营剖面(中国地震局地质研究所，1990)

马山口以北的默河河口，断层通过处河流及 T1、T2 阶地，未见垂直或左旋错动迹象。在金庄河东岸可见秦岭群大理岩与上白垩统砂砾岩高角度断裂接触，近断裂处砂砾岩产状陡立，在断裂附近河流左扭约 80m。在河东侧山坡上断层剖面上，上覆第四系盖层没有错动(图 2.4.10-2)。

在滴水崖村，东侧河流在断层通过位置没有明显左旋扭动，其河流 T2 阶地连续，未见错动迹象，但断裂北盘可见残余的 T3 阶地，而南盘没有发育，推测 T3 阶地断层南盘被错逝。

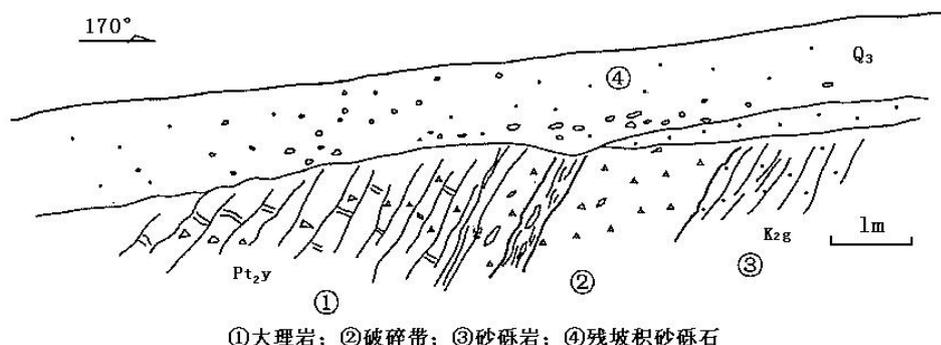


图 2.4.28-2 金庄河东剖面(中国地震局地质研究所, 1990)

南阳市活断层项目有 10 条测线控制该断层分布，黄台岗镇浅层地震剖面对朱夏断裂的反映最为典，在其反射波时间剖面图中，地层反射信息丰富而清晰，新生界（特别是 N 及以上地层）上部分层近水平，有从西南向东北抬升的趋势，中部—东北部基底抬升更为明显。断错信息根据反射波组特征和断层判别依据，在剖面上共解释了 3 个断点，根据断点所处的空间位置、它们所错断的地层界面埋深以及剖面反射波组特征，推断它们应属于朱夏断裂。

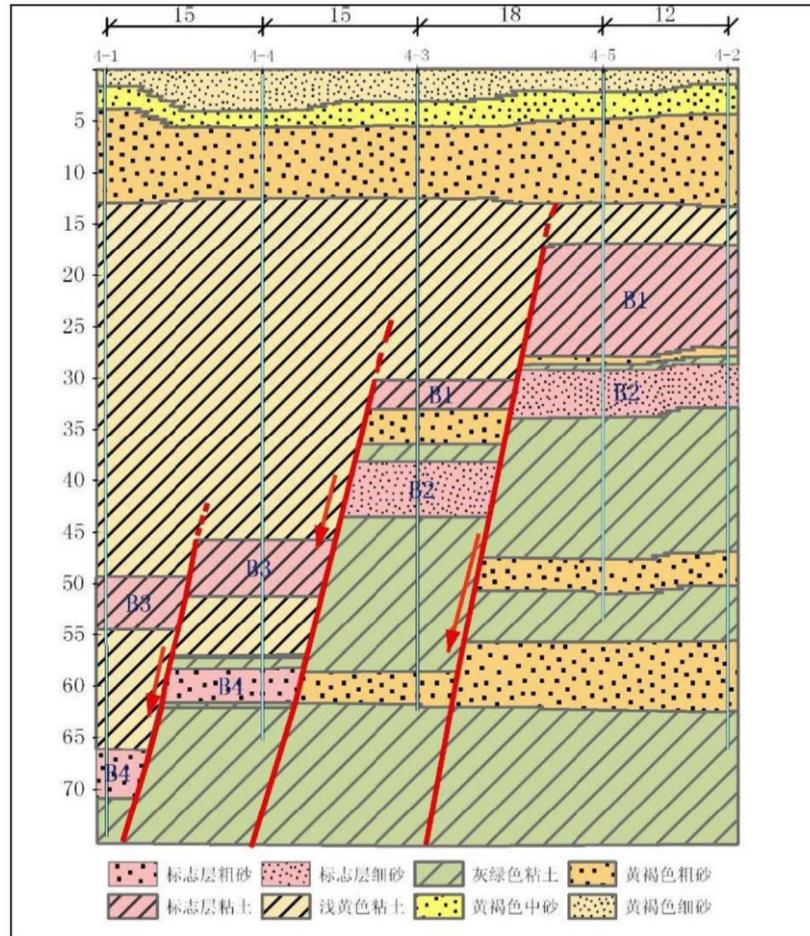


图 2.4.28-3 王营钻孔联合探测地质剖面图

(中国地震局地质研究所；河南省地震局；南阳市地震局，2012)

对该断裂的 4 个跨断层联合排钻的初步结果显示，朱夏隐伏断裂的上断点最浅 12 米左右（图 2.4.28-3），根据标准钻孔及地层特征，为中更新世中晚期活动断裂（中国地震局地质研究所；河南省地震局；南阳市地震局，2012）。

2.4.1.29 商丹断裂(F29)

由陕西丹凤、商南入境经云彩山、黄柳店至鱼关口，没入南阳盆地。区内走向北西西，倾向南西，倾角 $70\sim 80^\circ$ 以上，正断层。该断裂形成于加里东期，并具长期，多次活动的特点。喜山期表现压性、压扭性的特征。渐新世后，在大华北地区北西向张性应力场的影响而表现为正断性质。航卫片、航磁异常反映清楚。属伏牛 - 大别弧形构造带。是山地和盆地的交线，形成明显的沟凹地形。控制西峡红盆的北部边界，唐家湾洋淇沟一带，古近系砾岩中有强烈的挤压面。南阳断陷以西断裂切割了下元古界秦岭群、中元古界信阳群及白垩系。北侧有中元古代和加里东期超基性岩分布，破碎带内有超基性岩脉和伟晶岩脉侵入。

根据南阳市活断层探测项目在辛店村浅层人工地震探测结果，显示正断性质明显。图 2.4.29-1 为辛店村测线的反射波时间剖面图，剖面断错地层情况：根据反射波组特征和断层判别依据，在该剖面上解释了 2 个断点，分别以 FP9、FP10 标识。

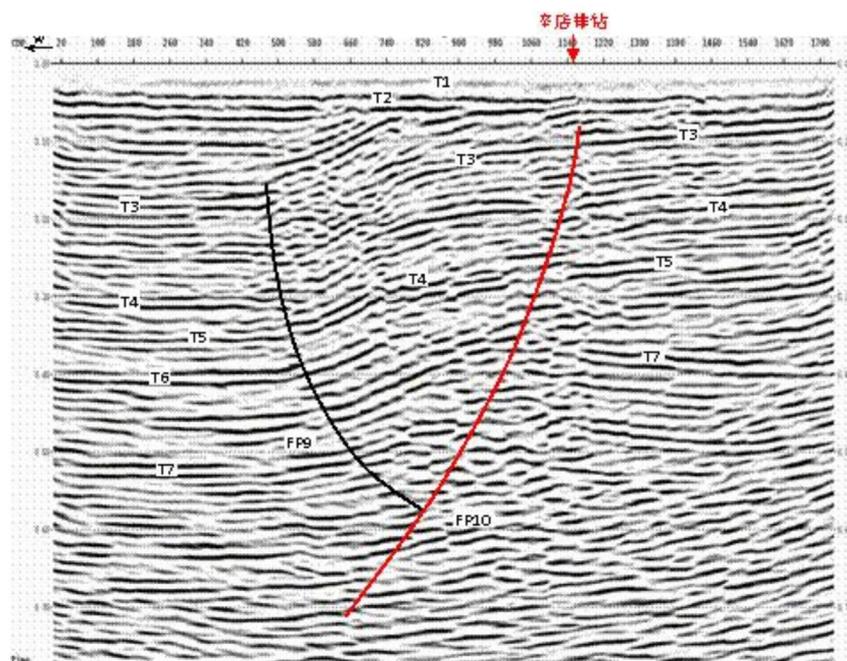


图 2.4.29-1 辛店村测线反射波时间剖面图(道间距 1m) (河南省地震局; 2012)

图 2.4.29-2 为二屯测线的反射波时间剖面图，显示地下反射信息非常丰富。根据反射波场特征，在该剖面上共解释了 7 组特征明显的地层反射，分别以 T1~T7 标出。根据反射波组特征和断层判别依据，在该剖面上解释了 2 个断点，分别以 FP18、FP19 标识。

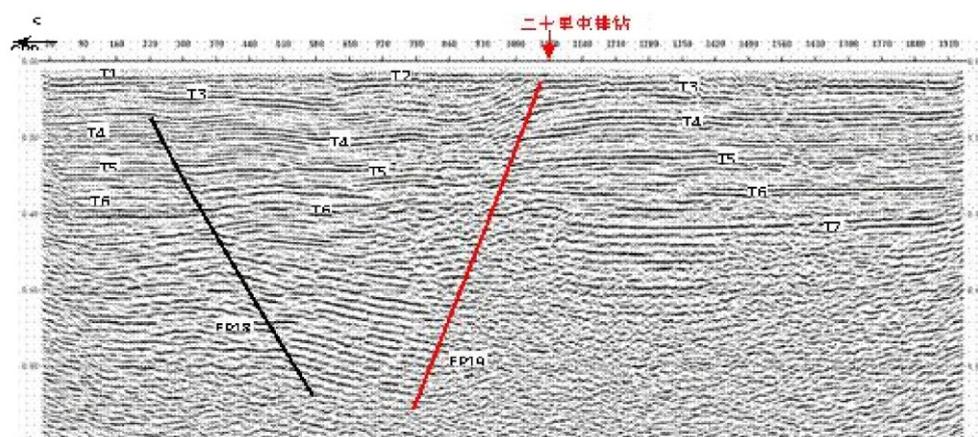


图 2.4.29-2 二屯测线反射波时间剖面图(道间距 3m) (河南省地震局; 2012)

根据 FP18、FP19 所处的空间位置、它们所错断的地层界面埋深以及剖面反射波组特征，证实它们属于商丹断裂白河南段在二屯剖面上的反映。

四个钻探剖面（钦田、二屯、李庄、辛店）确定的断层上断点埋深分别是 14.9~19.0m、14.4~18.3m、12.0~16.0m（图 2.4.29-3）、14.9~19.0m，位于中更新统的中上部，地层年代对比，说明该断裂最新活动时代为中更新世中晚期（中国地震局地质研究所；河南省地震局；南阳市地震局，2012）。

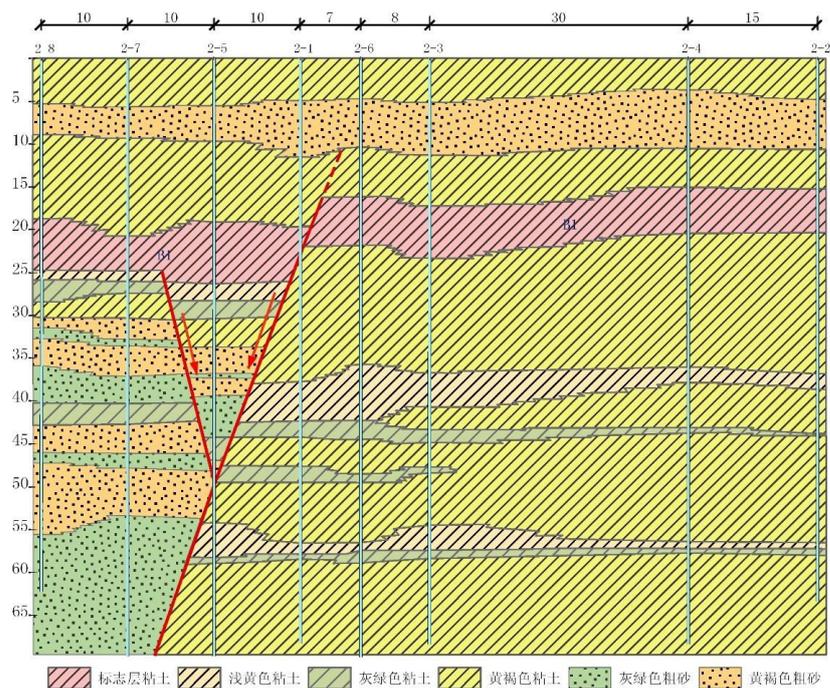
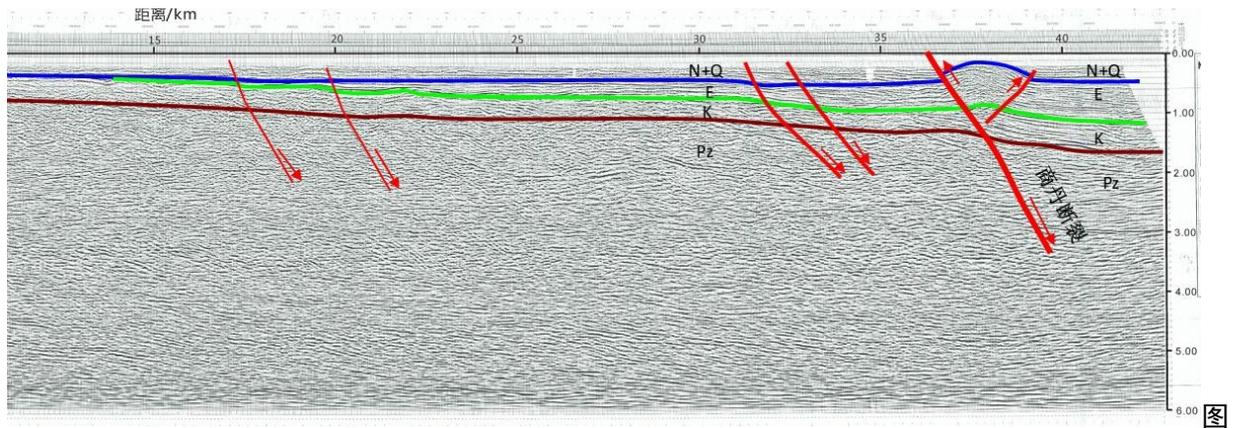


图 2.4.29-3 李庄钻孔联合探测地质剖面图（中国地震局地质研究所；河南省地震局；南阳市地震局，2012）

尽管浅部人工地震勘探显示该断裂为正断性质，但从深部结构特别是石油剖面上来看，该断裂显示为花冠状构造（据刘绍龙等，1999），因此结合断层倾向多变和力学性质多变以及水系通过断裂同步转弯现象，均反映出该断层的走滑性质，形成局部拉分、局部挤压逆冲的特点。例入，南阳西南角、唐河附近，石油剖面显示出该断裂典型逆冲性质（图 2.4.29-4、图 2.4.29-5），由多个分支组成，主断层倾向南西。而基岩区断裂的线性特征明显，沿断裂带基岩区河流冲沟有左扭现象；隐伏区通过断层的潦河、白河水系表现有同步转弯现象，这些特征表明断裂活动以左旋走滑为主，这一方式与现代应力场下区域上北西向断裂的运动方式协调。



2.4.29-4 NE-9 号石油测线时间剖面(据刘绍龙等, 1999)

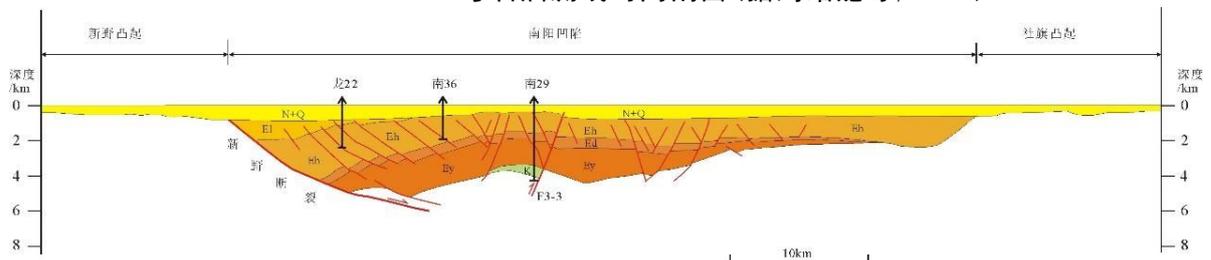


图 2.4.29-5 南阳拗陷南北向基干剖面 03 线地震反射解释剖面
(图中 F3-3 为商丹断裂)(据刘绍龙等, 1999)

综上所述，该断层断错中更新世地层，为中更新世中晚期活动断裂（中国地震局地质研究所；河南省地震局；南阳市地震局，2012）。

2.4.1.30 内乡 - 木家垭断裂(F30)

该断裂由陕西入境，经重阳、丁河店、西峡、西关至内乡，没入南阳盆地。断裂走向北西，倾向北东，正断层。压性、扭压性的特征，属伏牛 - 大别弧形构造带。控制西峡红层盆地的南缘，使第三纪红层直接与震旦系接触。在区内断裂附近的四个钻孔揭示出，位于断裂上盘的邓浅四孔与南浅八孔第四系地层厚60~70m，位于断裂下盘的K12孔和唐浅5孔第四系地层厚20m左右。

2009年，中国地震局地球物理研究所西峡以东对该断裂开展了野外地震地质调查工作，在西峡火车站与黄家营村附近获得的断层剖面（图 2.4.30）均显示该断裂没有断错中-上更新统地层。

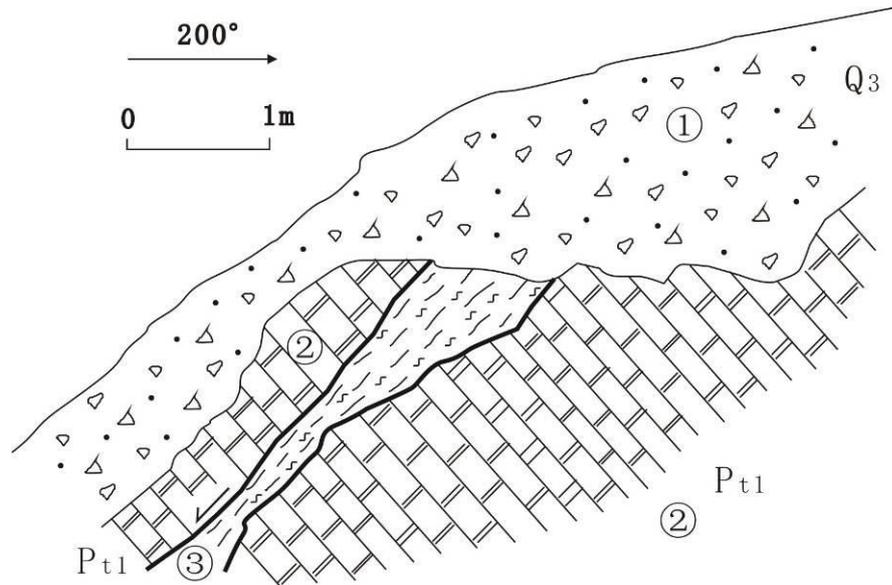


图 2.2.30 西峡火车站南断裂剖面（中国地震局地球物理研究所，2009 年）
①更新统残坡积砂砾石层；②下元古界白云质灰岩；③断层破碎带。

在内乡以东，它隐于第四系之下，据南阳盆地北部的局部石油物探剖面，在河南油田整个三维工区内，该断裂在沉积盖层中没有显示，所以在南阳盆地内，该断裂白河以东多表现为基底断裂存在。另据其北边一些断裂的浅层地震探测等资料推测（中国地震局地球物理研究所，2007），它可能影响到第四系底部。因此推测该断裂为早—中更新世活动断裂。

2.4.1.31 登封-鲁庄断层（F31）

该断裂穿越登封中岳庙附近，向北西经崇福宫、申半坡、鲁庄至偃师南；向南东经五渡村至告城东南和君召-玉皇庙断裂相交。总长度约 23km。断裂走向 315° ，倾向西南，倾角 $65\sim 80^{\circ}$ 。断裂两端隐伏，中间段出露太古界至上古生界地层。沿断裂可见破碎带宽 100~200m，均为石英岩的角砾组成，断层有 5~10cm 的细角砾岩带，角砾呈次圆状，直径最大 2~3cm。在地貌上，该断裂使嵩山山体反向扭错。断裂多期活动，为正断层。断裂切断东金店复向斜，使向斜的北东段向北西方向错动了约三千余米，并使向斜南西段接近断裂处向北东呈弧状弯曲。

据在鲁庄东南一带，该断裂发育在下二迭统绢云石英千枚状板片岩与中上石炭统灰岩、页岩、泥质砂岩中。断层以正断层为主，见千板岩中有宽达 5~6m 断层角砾岩、劈理化角砾岩带，断裂砾岩胶结坚硬，无新活动形迹。断裂带之上覆盖有中更新世棕红色亚黏土，未见断裂有任何变形显示。沿断裂走向追索，在鲁庄东南均见中更新世黄土台地平整覆盖在断裂延伸方向上，未有断裂地形地貌显示。

在登封城南玉皇庙断裂出露断层剖面（图 2.4.31-1），断裂切穿古近系地层，断层两侧可见破碎状砾岩层，上覆第四纪地层。据在鲁庄东南一带，该断裂发育在下二迭统绢云石英千枚状板片岩与中上石炭统灰岩、页岩、泥质砂岩中。断层以正断层为主，见千板岩中有宽达 5~6m 断层角砾岩、劈理化角砾岩带，断裂砾岩胶结坚硬，无新活动形迹。断裂带之上覆盖有中更新世棕红色粉质粘土，未见断裂有任何变形显示。沿断裂走向追索，在鲁庄东南均见中更新世黄土台地平整覆盖在断裂延伸方向上，未有断裂地形地貌显示

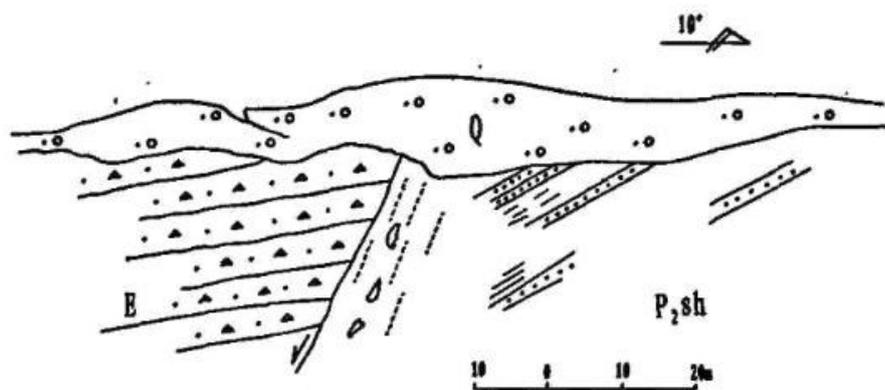


图 2.4.31-1 登封玉皇庙断层剖面（中国地震局地质研究所，1990）

综上所述分析认为，其最新活动时代为为早更新世早期。

2.4.1.32 襄城断裂 (F32)

位于平顶山凸起北部，西起郟县东，经襄城向南东延伸，走向 310° ，倾向北东，倾角 45° ，总长大于90km，是区域性大断裂。但断面均呈现上陡下滑，呈叠瓦状向深部收敛合并于同一滑脱面。该断层断面上陡下滑，在剖面上表现为浅表为正断层，深部为逆冲断裂。根据地层厚度资料，该断裂控制着新近系-第四系沉积，但不控制中更新统沉积厚度和上更新统底板埋藏深度。断裂通过处地形平坦，没有地貌显示。该断裂曾多期活动，据《河南平原第四纪地质研究报告》，断裂切断中更新统底界，说明最近一次活动发生在中更新世早期，由此推定为该断裂为中更新世活动断裂。

2.4.1.33 伊河断裂 (F33)

该断裂起于潭头，向北东延伸，至伊川一带，长约80km。走向北东，倾向北西，倾角较陡，正断层。沿断裂两侧有新近系辉石橄榄玄武岩出露，地形地貌、重力、航磁、遥感航、卫片等均有较明显显示。

据水利电力部“黄河水利委员会”资料，当年陆浑水库坝基开挖时发现约30m宽

的断层破碎带（图2.4.33-1），其上盘主要分布一套古近系-新近系砂岩、砂质泥岩、砂砾岩、粘土岩等桔红色碎屑岩系，并发育倾向南东。以下的缓坡状单斜层（倾向断裂方向）。而断裂下盘则为外方山隆起的一部分，分布有中元古界火山岩，新近系河湖相碎屑岩则被抬升到山顶。其破碎带中见有30m宽的伴生组分，挤压透镜体、断层角砾岩、挤压劈理等十分发育，具有早期典型的挤压构造带特征，后期在大华北地区北西向张性应力场的影响下转换为正断性质。

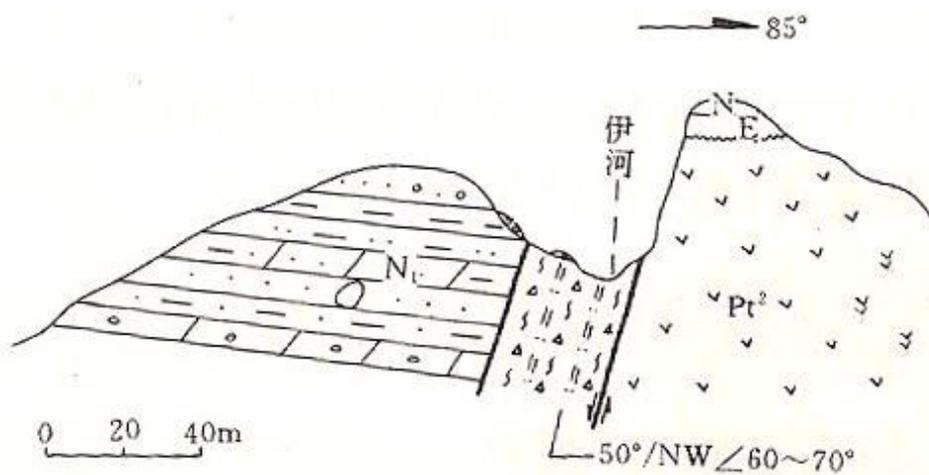


图2.4.33-1 伊河断裂陆浑水库剖面图（据黄河水利委员会，1989）



图2.4.33-2 盆窑村南断裂照片（E112.20782°，N34.21758°，镜向NE）

（中国地震局地球物理勘探中心，2009）

从陆浑水库大坝向北沿伊河东岸追索，在田湖镇盆窑村以南，在陆浑水渠东壁可以见到该断裂分布迹象（图2.4.33-2），此观察点南距陆浑水库大坝不足一公里，在熊耳群马家河组安山玄武岩见到50-100米的断层碎裂带，其间发育多组断

面，其主断面走向为北东向，近于直立（很可能是伊河断裂截切杨树岭断裂处），其上被近系砂砾岩及第四系黄土覆盖，没有错断第四系的显示。

针对伊河断裂，中国地震局地球物理勘探中心（2009）在河南洛阳核电杨家岭厂址初可研阶段项目中开展了浅层地震勘探工作（测线总长11.17km），在5条勘探测线剖面中，有2条剖面显示了伊河断裂存在。剖面揭示的断裂分别位于L3测线桩号640m和596m、L4测线桩号802m附近（图2.4.33-3），其中，断裂FP1为向西倾的正断层，其上断点埋深约55~60m，没有错断第四系底界，断裂FP2为向东倾的逆冲断层，上断点埋深约130~140m；断裂FP3向东倾，为逆断层，其上断点埋深约为75~80m。

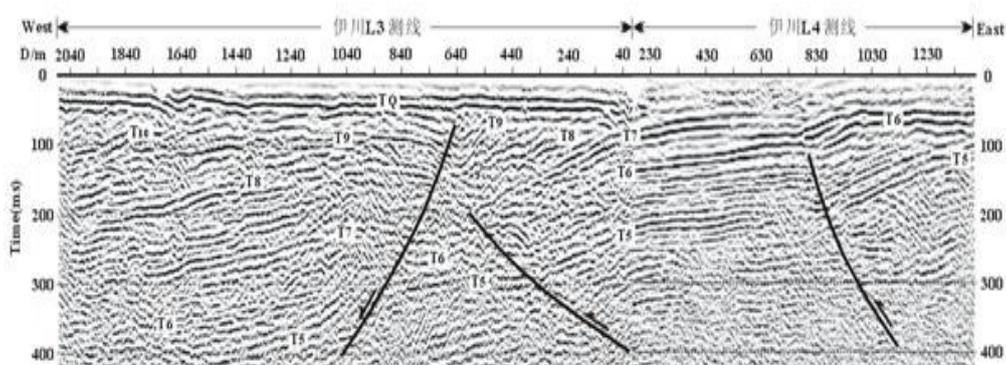


图 2.4.33-3 L3—L4 测线地震反射时间叠加剖面（中国地震局地球物理勘探中心，2009）

另据中国地震局地壳应力研究所韩德润（1995）的研究，在嵩县县城至田湖、鸣皋一带高于1:10万精度的地面调查和追索，伊河两岸阶地发育呈不对称状、I级阶地多分布在左岸且台面平整，即使冲沟发育地段，两侧台面亦平直对称。其表层主要为上更新统亚砂土、砂砾层等，全新统仅见于河漫滩，沿线追索未发现上第四系变形、错断现象。尽管物探剖面显示该断裂控制并错段新近纪沉积，为第四系沉积覆盖，但伊河断裂在地貌上对伊川盆地及嵩县盆地控制比较明显。综合以上资料推测为伊河断裂为早更新世活动断裂。

2.4.1.34 周口-鹿邑断裂(F34)

该断裂西起东夏亭断裂南端，向东延伸经鹿邑，一直延至安徽省境内的亳州南，交于夏邑-新县断裂，全长100km，走向近东西，倾向北，倾角50°左右，正断层，为鹿邑凹陷与郸城凸起的分界断裂。根据王宗礼等（2005）研究，鹿邑凹陷在早古生代克拉通盆地演化期，地壳稳定，沉积了500~1200m的寒武-奥陶系地

层。中生代早期，在区域大隆大坳的背景下，凹陷内广泛沉积了中、下三叠统地层，沉积厚度较大，凹陷的东部最大残余厚度约 2000m，晚三叠世末，该断裂初具雏形。古近纪末，该断裂有过强烈的活动，使得本区又强烈抬升，遭受剥蚀，但不同的地区剥蚀程度有所差异。新近纪以来，南华北盆地整体进入凹陷式盆地演化阶段，鹿邑凹陷沉积厚度约 100~1950m，且沉积稳定，构造较平缓，该断裂在新近纪晚期停止了活动。根据区域地质调查报告，该断裂断至新近系地层，断距大于 300m，基岩断距 6000~9000m，上部断距小，愈向深部断距愈大。通过近场区地震地质调查，在断裂通过处没有地貌显示，也没有发现错断第四系地层迹象，反映了该断裂第四纪以来没有活动，为前第四纪断裂。

2.4.1.35 峨眉台地北缘断裂(F35)

峨眉台地北缘断裂是临汾盆地侯马凹陷的南界主控断裂，总体走向 NEE70°，正倾滑断层，断面倾向北，全长 120km。根据断层出露情况、活动状况及地貌形态特征，以南柳、谭家庄为界分为三段，分别为西段小梁-谭家庄段、中段谭家庄-南柳段和东段南柳-西彰坡段。

峨眉台地北缘断裂为临汾盆地侯马凹陷的南边界断裂，东起绛县的郡王，西至长乐村，全长 100km。断裂走向 NEE，倾向 N，为南升北降的正断层，该断裂山前洪积扇发育，多处可见到第四纪断层，在西洋城南西冲沟发育着一系列正断层，其断裂走向均在 60°-85°。倾向 N，倾角 60°-70°，断距约 1-2m。

根据断层出露情况、活动状况和地貌形态特征，以南柳、谭家庄为界分为 3 段，分别为西段小梁-谭家庄段、中段谭家庄-南柳段和东段南柳-西彰坡段。西段总体走向近 EW，长 55km，沿峨眉台地北缘展布。该段仅在郭庄至谭家庄之间的冲沟内见跨台地北缘陡坎处，上新统红黏土及中更新统离石黄土被错断。谭家庄南冲沟沟壁所见剖面中，断层错断了上新统粘土及离石黄土，为马兰黄土所覆盖。郭庄东黄土台地北缘陡坎处剖面亦揭示了相同的构造特点。郭庄以西未发现明显的断层剖面多个冲沟内黄土中的古土壤层自台地前缘向盆地内连续倾斜，如兰村东冲沟沟壁顶部揭示的古土壤层跨台地前缘地形陡坎连续：禅曲南台地北缘冲沟沟壁古土壤层向盆地方向缓缓降低，潜伏于盆地地表以下：西坡东冲沟沟壁发育中更新统河湖相砂层及离石黄土，跨地形陡坎处地层连续，这些现象表明，小梁至谭家庄段断层在中更新世早期有过活动，之后活动性减弱或不再活动。

中段总体走向 EW，长 40km。该段在金沙南和任庄南错断了全新世洪积扇，表明断裂在全新世有过活动，任庄及金沙探槽（图 2.4.35-1）揭露的断层最新活动时代在 2.00-1.29 ka BP.，并与陈国顺（1993）在侯马至河津一带，通过发现大规模的地震断层及地震遗迹得出的古地震最新活动事件可对比。

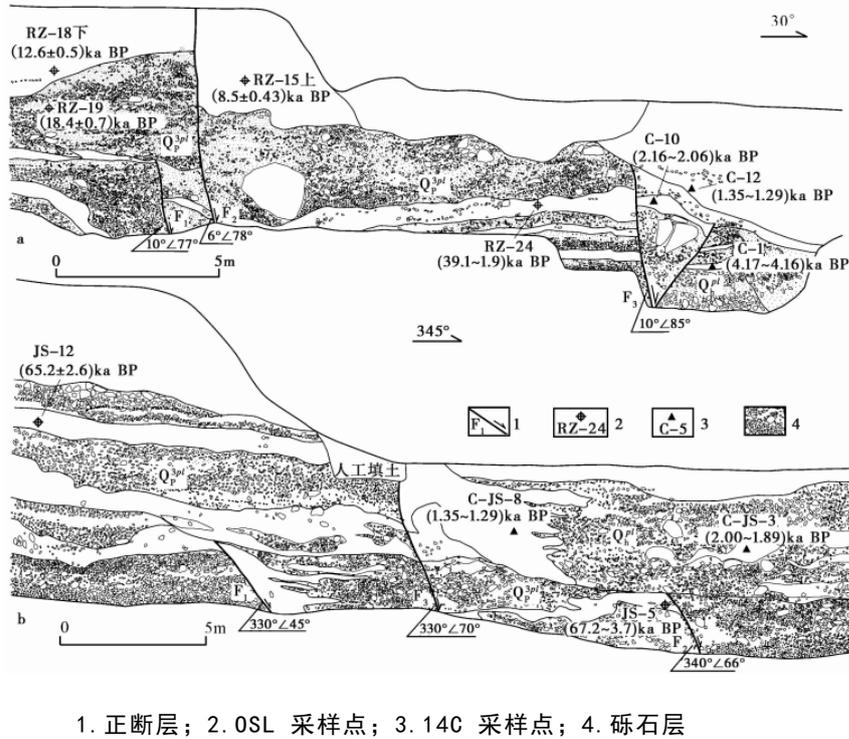
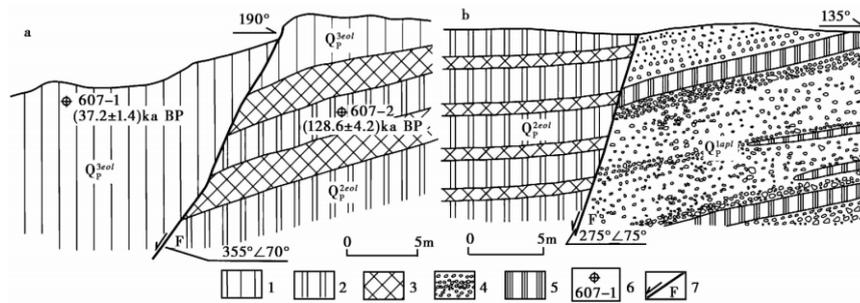


图 2.4.35-1 任庄探槽 (a) 与金沙探槽 (b) (据徐伟等, 2014)



1. 马兰黄土; 2. 离石黄土; 3. 古土壤; 4. 砂砾石层; 5. 红黏土; 6. OSL 采样点; 7. 正断层

图 2.4.35-2 郇王南 (a) 与续鲁南 (b) 断层剖面 (据徐伟等, 2014)

东段地貌特征与西段类似，断层沿山前冲洪积台地前缘展布，台地前缘受断层活动控制，形成高大的地形陡坎，高 50-100 米，显示良好的线性特征。在郇王至续鲁一线台地前缘地形陡坎处普遍见下更新统砾石、黄土断层剖面（图 2.4.35-2）。以郇王断层剖面最为典型，该剖面断面清晰，见正倾滑擦痕，下盘为棕红色黄土夹 2 层古土壤，在古土壤所夹黄土层中取光释光样 607-2，测其年

代为 (128.6 ± 4.2) ka B.P.，表明上下 2 层古土壤为 s1 和 s2；上盘均为黄白色黄土，在上部取光释光样，测其年代为 (37.26 ± 1.4) ka B.P.，为马兰黄土，上盘尚未揭露出古土壤层，s1 剖面可见高度 >10 m，由此得出该段晚更新世以来断层滑动速率 ≥ 0.1 mm/a。

2.4.2 断裂活动与地震的关系

通过区域内断裂活动性的分析认为：晚更新世、特别是全新世以来活动的断裂与历史上发生的强震、中强震有密切的关系，某些隐伏的早、中更新世断裂可能与中强地震的发生有一定的关系。

1) 作为第四纪活动块体的边界断裂是强震和中强震的发震断裂，如山西隆起与华北拗陷之间的边界断裂-汤西、汤东断裂和新乡-盘谷寺断裂历史上多次发生过 6~7 级地震。

2) 全新世仍有活动的断裂是大震的发震断裂，如聊城-兰考断裂历史上发生过一次历史地震，其震级达 7 级（菏泽地震）。

3) 晚更新世活动断裂是强震和中强震的发震断裂。如汤东断裂历史上发生过一次 6 级一次 $5\frac{1}{2}$ 级地震。

4) 第四纪垂直差异运动强烈的早、中更新世断裂，强震和中强震活动也较频繁，如新乡-商丘断裂历史上发生过 6 级和 $5\frac{1}{2}$ 级地震，鲁山-漯河断裂上发生过项城 $5\frac{1}{2}$ 级地震。

5) 某些早、中更新世隐伏断裂可能与强震、中强震活动有关，如许昌-太康断裂上发生过许昌 6 级地震，曹县断裂上发生过太康 $5\frac{1}{2}$ 级地震等。

2.5 区域地震构造条件

总结区域发震构造特征，主要是为正确进行构造类比分析提供依据。本工作区位于大华北地区，因此，对大华北地区的发震构造进行总结，综合本区地震构造、地震地质、地震活动性诸方面的研究成果，归纳出各级强震的构造条件，并以此作为潜在震源区划分的标志。

(1) 8 级以上地震的发震条件

在华北地区共发生 8 级以上地震 6 次，它们的发震构造可归纳为以下几点：

① 这些地震都发生在大型活动块体的边界带上。这些边界带一般都是活动的深

大断裂带。如郟庐断裂带、张家口—蓬莱断裂带和鄂尔多斯周缘活动断裂系等。

②发震断裂一般都具有明显的全新世活动迹象。

③发震构造往往是两组活动构造带相交的部位。1739年平罗8级地震、1556年华县 $8\frac{1}{4}$ 级地震发生在北东向和近东西向断裂交汇处，1303年洪洞8级地震的发生与北东向断裂和近东西向横向隆起相交有关。

④有些8级地震，往往与第四纪以来垂直运动具有最大幅度的地段有关。如洪洞8级地震，地震都发生在深拗陷的盆地内。

⑤所有已发生8级以上地震的断层都具有走滑运动分量。

(2) 7.0~7.9级地震的发震条件

①发生在大型隆起与拗陷的边界断裂带上，且位于隆起区的一侧。

②有NNE向控制拗陷、隆起发育的大型断裂与NWW向发震构造共轭交切，两者都以走滑性质为主。

③发生在活动强烈的大型拗陷或断陷盆地内，尤其是深拗陷的边缘带。

④发生在区域地球物理场与形变以及地壳、上地幔隆起边缘的转折部位。

⑤发生在6级以上地震网络的交汇点，或者有5.5级以上地震的围空区及其它地震学指标有异常的地区。

同时或主要具备上述发震条件的地区可划分为7.0~7.9级地震危险区。

(3) 6.0~6.9级地震发震条件

同时或主要具备下述发震条件的地区可划分为6.0~6.9级地震危险区。

①凡是具有发生7级以上发震条件的地区，有可能发生6.0~6.9级地震；

②新近纪至第四纪以来活动的壳内断裂，包括断裂端部，各组断裂交汇部位以及差异活动明显的地段；

③新近纪至第四纪活动断陷盆地内部，特别是断陷盆地的边缘或陡深一侧；

④区域6级以上地震的网络带上以及小震网络的交汇部位；

⑤单独出现的这类地震，往往都发生在构造活动性较弱或构造比较简单的地区。

(4) 5级地震的发震条件

5级左右的中强地震发生的随机性比较大，难以总结它们的发震构造标志。因此，将最大震级在6级以上的潜在震源区以外的地区，作为地震发生的背景区，其

震级上限定为 5.5 级。

2.6 区域地震构造综合分析

2.6.1 区域主要地震构造评价

区域内断裂构造发育众多，晚更新世以来活动的断裂（段）也较多，如磁县一大名断裂、汤东断裂、长治断裂、盘谷寺一新乡断裂等等。构造形式以北东—北北东向断裂和北西西—北西向断裂组成的共轭系统为主要特征。以下将根据地震活动性、断裂的几何学与运动学、构造类比结果等要素讨论各断裂的地震危险性。

①磁县一大名断裂

该断裂具有典型的分段活动特征，西段为全新世活动段，中段为早中更新世活动段，东段为晚更新世活动段。西段曾于 1830 年发生磁县 7½级地震。考虑到该段断裂的规模有限，将该断裂西段的震级上限定为 7.0-7.5 级，中段活动性弱，发震能力较西段弱，东段活动性强，且与聊兰断裂交汇，发震能力又有所提高；

②汤东断裂

该断裂活动具有明显的分段性，大致以河头村为界，北段为早中更新世断裂，南段为晚更新世活动断裂，断裂附近曾发生了汤阴 1814 年 5½级地震和 344 年卫辉东 6 级地震。根据《新乡市活动断层探测与地震危险性评价》对该断裂震级上限的研究成果，认为该断裂的震级上限为 7 级（中国地震局地球物理勘探中心，2016）；

③聊兰断裂

区域范围内涉及聊兰断裂的中段和南段，根据已有资料，聊兰断裂为一条颇具规模的区域性大断裂，构成了东明凹陷的东边界。断裂南段的活动性最强，为全新世活动断裂，附近曾发生 1937 年菏泽 7.0 级地震。断裂南段与新乡—商丘深大断裂交汇，活动块体的边界易成为地震多发区，认为聊兰断裂南段具备发生 7.0-7.5 级地震的可能性；

④新乡—商丘断裂

该断裂为区域内重要的区域性深大断裂，构成了北华北拗陷和南华北拗陷的地质界线。断裂构造形式复杂，西段与汤东断裂、汤西断裂相交，东段与聊兰断裂、长垣断裂相交。在靠近太行山山前一带，由于盘谷寺一新乡断裂和汤东断裂活动性

较高，导致新乡—商丘断裂的西段地震危险性高于中段和东段，根据中国地震局地球物理勘探中心（2016）的研究成果，认为新乡—商丘断裂西段最大潜在地震为 6.0-6.5 级；

⑤盘谷寺—新乡断裂

该断裂沿太行山南缘一带发育，从济源一带向东延伸至新乡市南，具有典型的分段活动特征，区域内涉及该断裂的中段，为晚更新世活动段，但该段长度有限，根据中国地震局地球物理勘探中心（2016）的研究成果，认为盘谷寺—新乡断裂中段的最大潜在地震为 6.0-6.5 级；

⑥安阳南断裂

安阳南断裂走向北西西、为二级新构造单元的分界线，断裂规模小于磁县断裂，总长约 85km。根据中国地震局地质研究所（2015）对该断裂的研究成果，认为该断裂的震级上限为 6.0-6.5 级。

2.6.2 区域地震构造环境综合评价

(1) 区域涉及 2 个一级大地构造单元，即华北断块区和秦岭褶皱系。目标区位于华北断块区的豫皖断块上。

(2) 地球物理场方面，区域内重、磁异常和地壳厚度三者有较好的一致性，且与地震的空间分布有较好的对应关系。区内存在北东东、北西西、近东西向的重、磁异常梯度带和地壳厚度转折带，发生的地震多与这些异常带有关。

(3) 区域新构造运动具明显的分区特点，可划分出 6 个一级新构造单元和多个二级新构造单元。这些新构造单元的界线多以断裂为界，构造单元活动特征与地震活动关系密切。因此控制一、二级新构造分区界线的断裂带往往是地震发生的主要场所。

(4) 区域地震构造中的汾渭断陷、东濮地堑和汤阴地堑三个大的构造单元控制着区域内北北东向的大型隆起与坳陷的发育规模，并且在这些大型隆起与坳陷的边界断裂带发育着与大型隆起与坳陷轴向一致的大型断裂。汾渭断陷符合 8.0 级左右地震的发震构造条件，具有发生 8.0 级地震的背景；东濮地堑和汤阴地堑符合 7.0~7.9 级地震的发震构造条件，具有发生 7.0~7.9 级地震的背景。

(5) 区域地震构造环境中对目标区有影响的主要构造还有：封门口—五指岭断裂、盘谷寺—新乡断裂、新乡—商丘断裂等，其在与北北东、北东向断裂的交汇处

及其形成的断陷盆地的边部符合中、强地震的发震构造条件。其次区域范围内地震危险性较高、历史上发生过强震的主要构造是聊兰构造带，在新生代早期都有较强烈的构造运动，并在晚近时期都有强震发生。区域内涉及该断裂的为全新世活动断裂（段），具有发生 7.0~7.9 级地震的构造背景。

3 近场区地震构造环境

本章在收集、整理、分析已有的调查资料和研究成果基础上，对近场区的地质构造概况、新构造运动特征、主要断裂活动性和地震构造环境等加以论述，为近场区的断裂活动性鉴定和潜在震源区划分提供依据。

根据《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)规定：“近场区可取为目标区及其外延 25km 的地区”，本项目近场区范围为：东经： $113^{\circ} 05' \sim 113^{\circ} 55'$ ，北纬： $34^{\circ} 20' \sim 35^{\circ} 10'$ 。

3.1 近场区地质地貌特征

3.1.1 近场区第四纪地质构造特征

(1) 地质构造特征

郑州市位于中朝准地台的秦岭东西向复杂构造带东端。自太古代以来，先后经过嵩阳、中岳、少林三次著名造山运动等不同期次、不同方向构造作用的迭加与改造，致使本区构造形态、构造格架异常复杂

(2) 第四纪地层特征

1. 中更新统 (Qp2)

本统成因以次生黄土为主，呈斑点状覆盖于基岩山体表面。

颜色主要成棕红色，较硬，含较多的钙质结核与小砾石，为次生黄土，岩性为粉土。本统底板埋深 200~260m，厚度 100~140m。

2. 上更新统 (Qp3)

本统成因以冲洪积和冲积为主，浅部为风成黄土，覆盖于山前较高的台地面。

冲积层：主要为黄河冲积物，岩性主要为灰黄色、土黄色粉砂、粉细砂和中细砂。在顶部部分的地区有 2~3m 厚的淤泥层。

冲洪积层：主要分布于黄河以南地区，属早期黄河冲积扇堆积物。主要为褐黄色、混杂有灰绿色粉砂和粉质粘土。

本统底板埋深 100~140m，厚度 40~50m。

3. 全新统 (Qh)

全新世地层覆盖了近场区东部，在近场区广大地区，岩相为冲积相和风积相的粉砂质粘土、粉砂、细砂。黄河河漫滩为现今堆积的冲积细砂、粉砂质粘土等。本统厚度 20~50m。 总之，近场区内早更新世地层以湖积成因为主，堆积物主要是粘土质物质。中更新世地层以冲积-洪积为主，堆积物主要是粉砂质粘土和细砂。晚更新世地层以冲洪积物为主，堆积物主要为细砂和粉砂质粘土。全新世地层以冲积成因为主，伴有少量的风成堆积，堆积物为粉砂、细砂和粉砂质粘土。

近场区地层的地质剖面图如图 3.1.1。

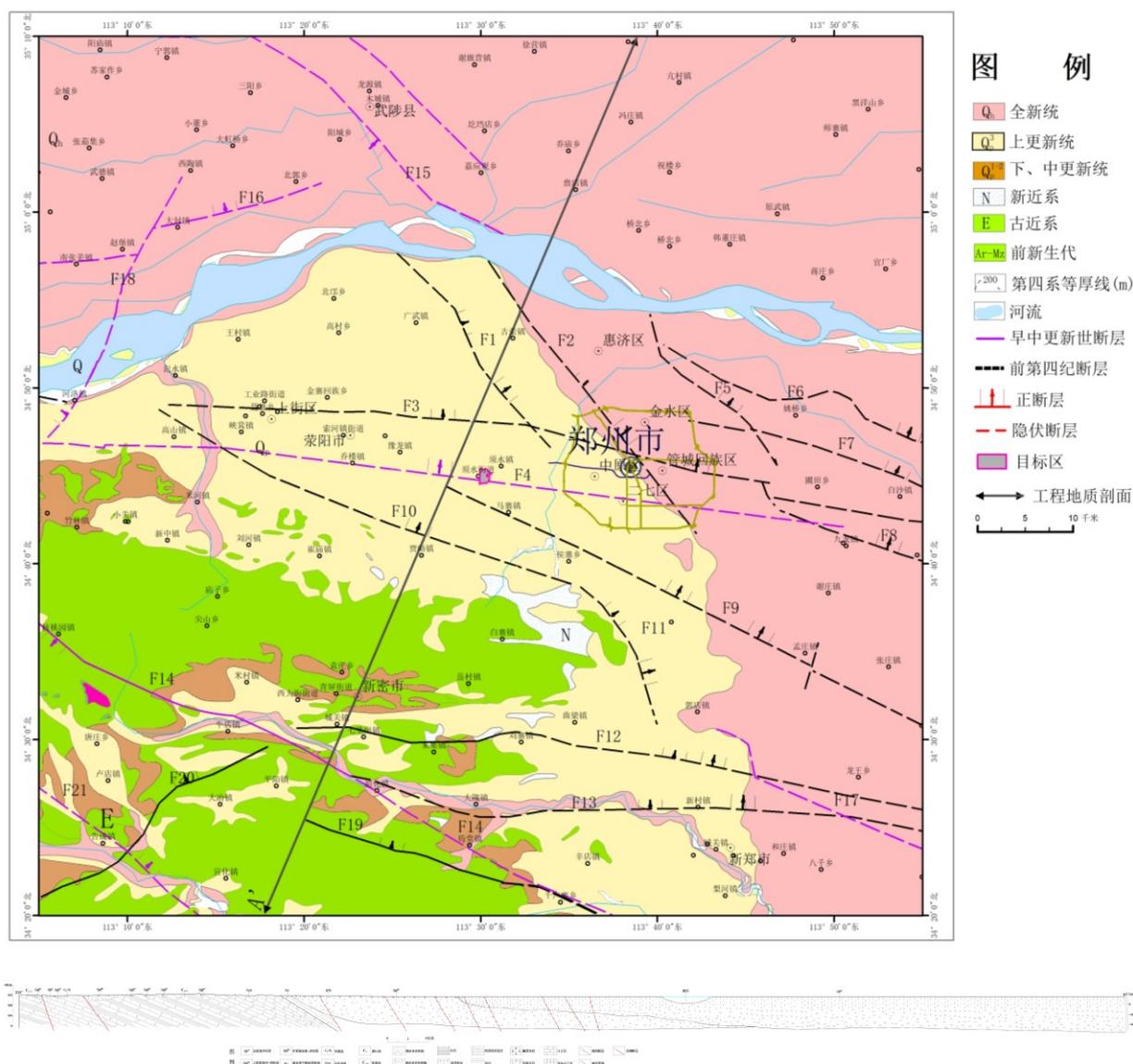


图 3.1.1 近场区地质构造剖面图

3.1.2 近场区地形地貌特征

近场区内地貌大致分为三种类型，分别是基岩裸露的低山区、被强烈切割的粉砂质黏土（黄土）台地区和黄河冲积平原区（图 3.1.1）。它们各自的地貌特征见表

3.1.1.1。

表 3.1.1 近场区范围地貌类型及特征一览表

地貌类型	海拔高度 (m)	相对高度 (m)	地表出露地层
低山区	445	100	新近纪和前新近纪基岩
黄土台区	108~240	15~80	晚更新世粉砂质粘土或粘土
冲积平原区	80~100	小于 10m	全新世冲积粉质粘土、细砂

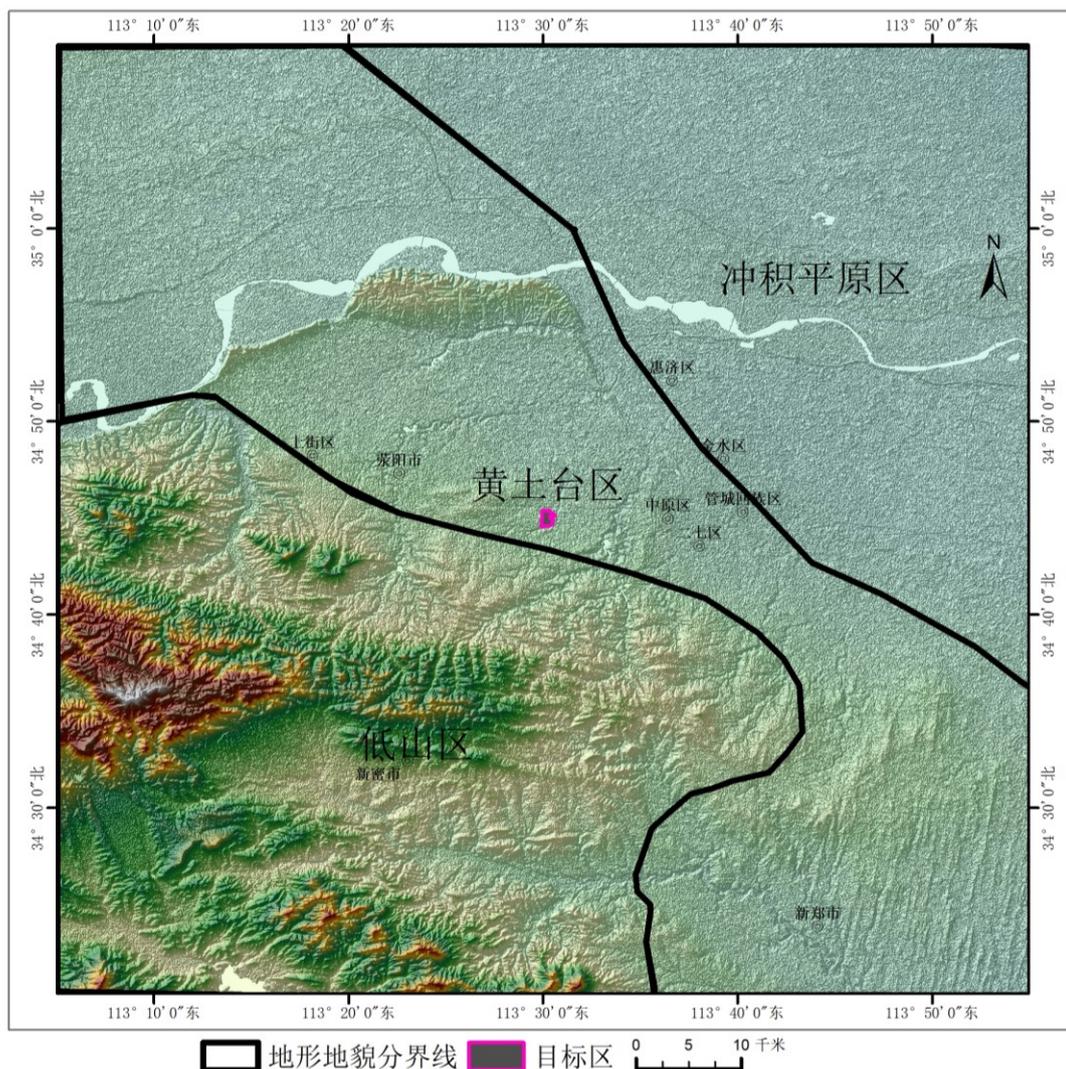


图 3.1.1 近场区地形地貌图

低山区：新近纪以来处于长期的隆起阶段，整个华北平原连成一片，新近系和第四系厚度由西南向东北逐渐增加，荥阳、贾峪北为 50m，郑州市内为 600~1000m，到东北部增加到 2900m。第四系上更新统底界深度，在郑州市西南不足 30m，而市区东北乳牛场可达近百米。全新统在市区东部厚度 20~30m，其他地段没有沉积。

黄土台地区：老鸦陈断层以西形成地势较高的黄土台地，海拔高度 108~240m 左右，总体向南东倾斜，地形切割强烈，最大相对高差近 100m（刘尧兴，2001）。古荥到须水之间的黄土台地，地形起伏较小，海拔高度仅 110m 左右，切割微弱。

冲积平原区：位于老鸦陈断层以东地区，新近纪以来长期处于沉降状态。形成地势低平、开阔的黄河冲积平原、黄河河漫滩和风成沙丘，海拔高度分别为 85~100m、90m、90~120m。

3.2 近场区新构造活动特征

目标区的近场区内新构造活动以块体的差异升降为特征。根据其活动强度的不同，大致以邙山北缘和京广铁路为界，将研究区分为三个一级构造区：嵩山低凸起、开封凹陷和太康凸起。嵩山低凸起区内又分出二个二级新构造区，如表 3.2.1、图 3.2.1。

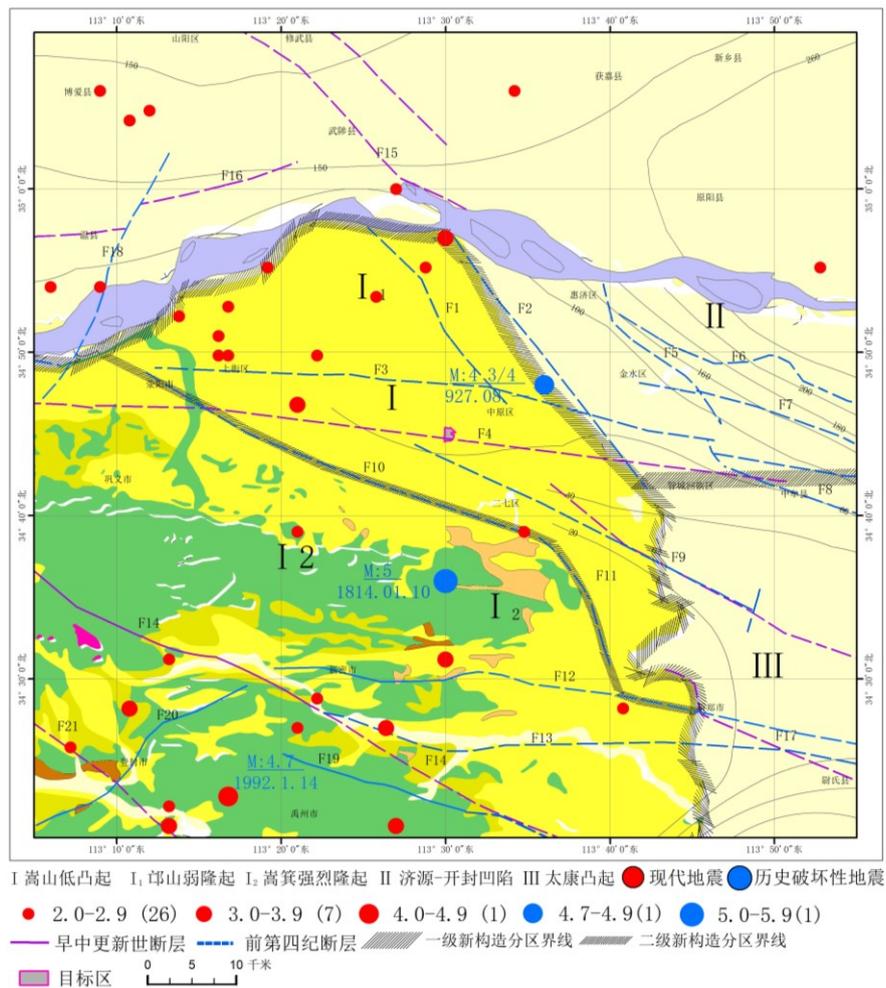


图 3.2.1 近场区新构造单元划分图

表 3.2.1 近场区主要新构造分区表

一级构造分区名称	二级新构造分区名称	海拔高度 (m)	新近系底界海拔高度 (m)	新近系顶界海拔高度 (m)
嵩山低凸起 (I)	邙山弱隆起 (I ₁)	258 (区外); 240 (区内)	-629	53
	嵩箕强烈隆起 (I ₂)	1494 (区外); 445 (区内)		260
济源-开封凹陷区 (II)			2400~ 3000m	
太康凸起 (III)		65	1200 (埋深)	

1. 嵩山低凸起 (I)

大面积抬升降起区，西南高东北低，具掀斜隆起性质。内部有次级凹陷盆地（如汝阳凹陷）发育，其中有第四纪地层出露。

(1) 邙山弱隆起 (I₁)

位于老鸦陈断裂以西，为嵩山凸起的延伸，第四纪以来差异隆升高度约为 100~150m，第四纪地层厚度仅有 57m（河南省地质局，1981）。

(2) 嵩箕强烈隆起 (I₂)

位于郑州西南嵩山、箕山地区，由太古界和下元古界组成基底，上元古界、震旦系等组成上覆地层。基岩内老断裂比较发育，主要有北西、北东向两组断裂将凸起切割成大小不等的多个小型块体。凸起上基岩出露，很少第四纪地层分布。凸起南侧和东南侧受断裂控制，边界比较平直，为新生代隆起幅度较弱的地区。

2. 济源-开封凹陷区 (II)

济源-开封凹陷位于上街-中牟断裂以北，总体走向北西西，是新生代强烈下陷的断陷盆地。新近系和第四系沉积厚度达 2400~3000m，沉降中心在原阳附近。凹陷西北深、东南浅，具掀斜运动性质。第四纪继承性下沉，沉降中心在开封地区，最大厚度达 400m 左右；向西北逐渐减薄，形成东南厚西北薄的掀斜块体。

3. 太康凸起 (III)

位于近场区的南部，开封断裂以南，地势平坦，区内有多条小河流经过。近场区部分属于太康隆起的北部，靠近开封凹陷部分，地层主要为第四纪全新统沉积，构造环境稳定。上新世开始沉降，南、北两侧厚度大，达 1300m 左右，中间仅为 400m 左右。第四系厚 100~200m。

从上表中的数据可以看出，第四纪以来嵩山凸起和邙山弱隆起差异隆升高度约为 200m，嵩山低凸起和开封凹陷西部郑东新区一带差异升降幅度约为 100~150m。

大致沿京广铁路展布的一级新构造分区界线基本上控制了研究区第四纪地层的沉积。界线以东，第四纪地层厚度约为 140~190m，而界线以西的邙山弱隆起上，第四纪地层厚度仅有 57m（河南省地质局，1981）。

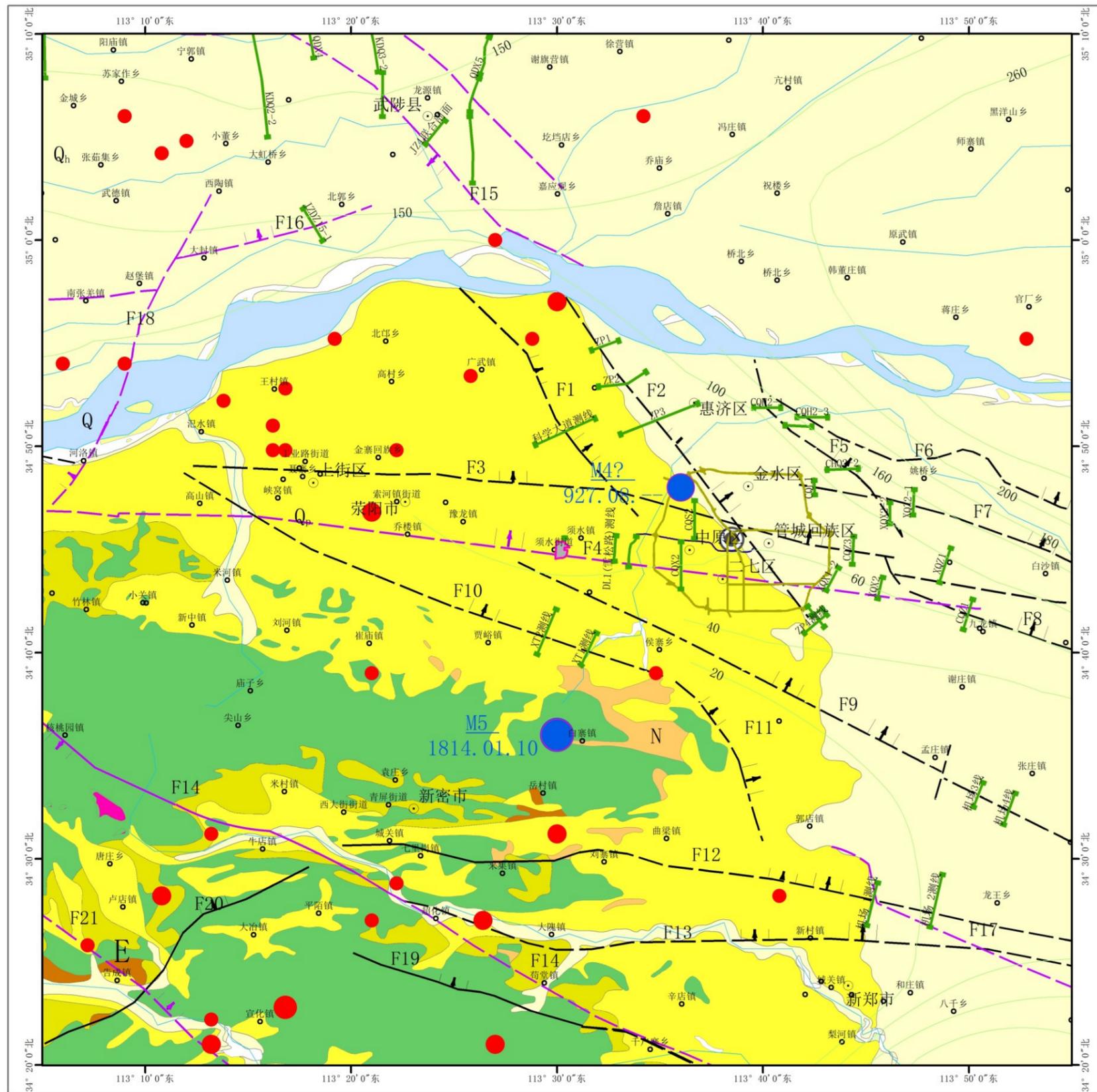
3.3 近场区活动断裂

根据郑州市 1:100000 基岩地质图（河南省地矿局，1988 年）、郑州市地震小区划研究报告（河南省地震局，1989 年）、郑州市郑东新区地震小区划报告（中国地震局地质研究所，2003 年）、郑州市活断层探测与地震危险性评价（郑州市地震局，2006 年）、郑州新区地震小区划报告（北京中震创业工程科技研究院，2010 年）和豫北地区新构造活动特征及中长期地震预报研究（刘尧兴等，2001 年），近场区范围内的主要断层有老鸦陈断裂、上街断裂等断裂，具体断裂见图 3.3.1。各断裂的基本特征见表 3.3.1。以下是利用近场区内钻探、地球化学探测、浅层地震勘探、第四纪地层和年代测定资料，在结合微地貌信息讨论近场区内主要断层的活动性。

表 3.3.1 近场区主要断裂活动一览表

断裂编号	断裂名称	断裂长度 (km)	产状			最新活动时代	断裂性质	与目标区最近距离 (km)
			走向 (°)	倾向	倾角 (°)			
F1	古荥断层	23	330	NE	70°	前 Q	正断	8
F2	老鸦陈断层	35	330	NE	60~70°	前 Q	正断	14
F3	上街断层	44	近 EW	N	70°	前 Q	正断	7
F4	须水断层	33	近 EW	N	60~70°	Q ₁₋₂	正断	穿越
F5	花园口断层	26	315~330	NE	70°	前 Q	正断	21
F6	中牟北断层	40	NWW	NNE	65~70°	前 Q	正断	23
F7	中牟断层	36	NWW	NNE	70~80°	前 Q	正断	20
F8	芦医庙断层	30	NW	WS	60~75°	前 Q	正断	27
F9	尖岗断层	50	NW	NE	65°	前 Q	正断	2

F10	郭小寨断裂	30	305	NE	60~80°	前 Q	正断	7
F11	三十里铺断层	20	340	NE	65°	前 Q	正断	15
F12	七里岗断层	80	275	NNE	65~ 80°	前 Q	正断	26
F13	大隗镇断裂	52	近 EW	N	70°	前 Q	正断	33
F14	五指岭断层	70	315°	SW	75~ 90°	Q ₂	正断	32
F15	武陟断层	32	NW	SW	>60°	Q ₂	正断	27
F16	温县断裂	18	NEE	N	<70°	Q ₁₋₂	正断	34
F17	新郑-太康断裂西支	150	NW	N	陡	Q ₂	左旋走滑	33
F18	大封-南山口断层	44	30	NW	>80	Q ₁₋₂	正断	37
F19	新寨断裂		EW	N	陡	前 Q	正断	38
F20	魏窑-尧破山断裂	25	NE	NW	65~ 80°	前 Q	正断	33
F21	登封-鲁庄断层	23	NW	SW	65~ 80°	Q ₁	正断	49



图例

一、地质

- Q_h 全新统
- Q₃ 上更新统
- Q₁₋₂ 下、中更新统
- N 新近系
- E 古近系
- Ar-Mz 前新生代

- 200、150、100、60、40、20 第四系等厚线(m)
- 河流
- 早中更新世断层
- 前第四纪断层
- 正断层
- 隐伏断层

二、现代地震

- M2.0-2.9
- M3.0-3.9
- M4.0-4.9

三、历史破坏性地震

- M4.7-4.9
- M5.0-5.9

五、其它

- 浅层地震测线
- 目标区

四、断裂编号及名称

- F1 古荥断层
- F2 老鸦陈断层
- F3 花园口断层
- F4 中牟北断层
- F5 中牟断层
- F6 上街断层
- F7 须水断层
- F8 芦医庙断层
- F9 尖岗断层
- F10 郭小寨断层
- F11 三十里铺断层
- F12 七里岗断层
- F13 大隗镇断裂
- F14 五指岭断层
- F15 武陟断层
- F16 新寨断层
- F17 新郑-太康断裂西支
- F18 大封-南山口断裂
- F19 新寨断裂
- F20 魏尧-尧破山断裂
- F21 登封-鲁庄断裂

图 3.3.1 近场区地震构造图

3.3.1 古荥断裂 (F1)

根据人工地震资料和郑州市基岩地质图（河南省地矿局地质研究所，1988），古荥断裂北起黄河北岸，向南东方向延伸与上街断裂交汇。断裂长约30 km，走向330°，倾向北东，倾角70°，为正断层，地貌上没有显示。

T1~T3反射层的地层可以连续追踪，呈近水平形态展布，表明该区段的沉积环境较为稳定。T4反射层在测线桩号710m的下方，表现出明显的扭曲，并且T5存在错断显示，其下的地层反射在相关位置也存在不同程度的波形紊乱和同相轴的扭曲、错断现象。据此解释了一条断层，断层是一条正断层，在剖面上向东倾。其可分辨的上断点埋深约为170m左右，对应T5反射界面的垂直断距约为15m，从断层的位置和特征来看，推测它可能是古荥断裂断裂在剖面上的反映，断层地面投影坐标为：N34° 48' 31.7"、E113° 31' 54.8"。测线附近的第四系厚度约为90m，其下为新近纪地层。从浅震处理剖面上各反射同相轴的横向连续性来看，古荥断裂在本测线控制范围内为第三系或者更早活动断裂。

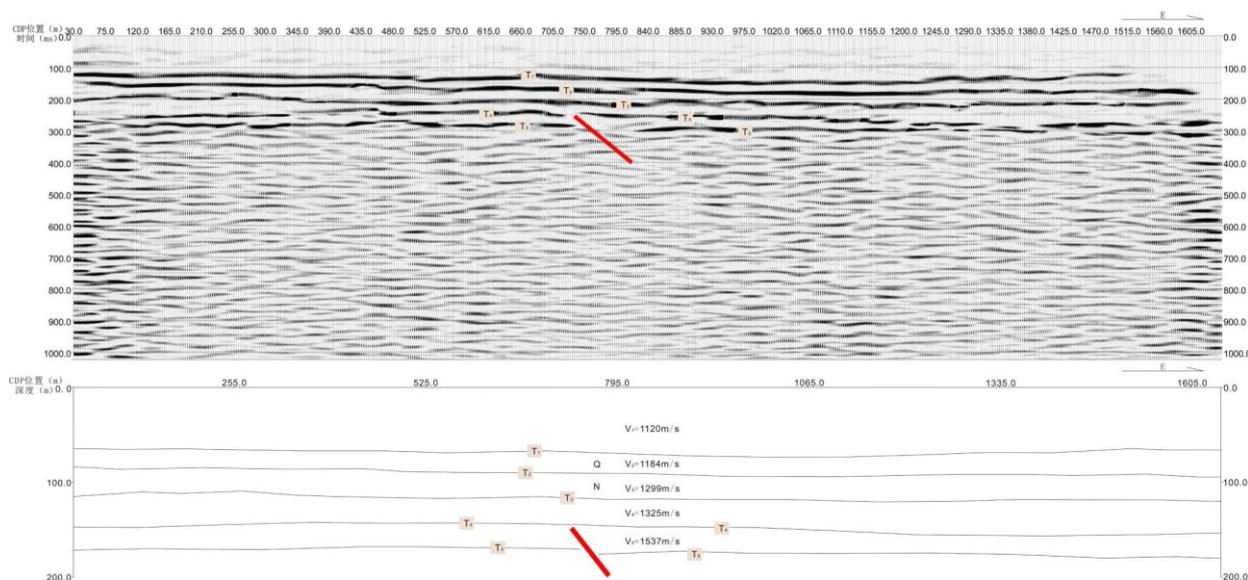


图3.3.1-1 古荥断裂科学大道测线反射波偏移时间剖面 and 地质解释图

(山东同方防震技术有限公司，2014)

3.3.2 老鸦陈断裂 (F2)

老鸦陈断裂分布于近场区的西北部，重力异常为一北北西向的重力梯度带。北起黄河南岸，从邙山东侧地貌陡坎处通过，向南东方向延伸经河南省体育馆东侧穿过市区，并与上街断层、须水断层交汇，野外调查表明该断裂没有往东南十八里河方向延伸的迹象。走向330°，倾向北东，视倾角60~70°，西南盘上升，东北盘下降，为一正断层，探明长度约35km（魏文恭，1992）。

在卫星影象图上，从邙山东侧通过的向南东方向延伸的北北西向线性构造比较清楚。地形地貌表现为邙山东侧突然下切，形成陡坎。西为黄土丘陵，东为一望无际的平原。野外调查表明该断裂没有往东南十八里河方向延伸的迹象。石油地震勘探资料表明奥陶系灰岩顶板有明显错断，其幅度 200~400m。该断层控制了古近系地层沉积。垂直断距由南向北增大，为 200~400m。

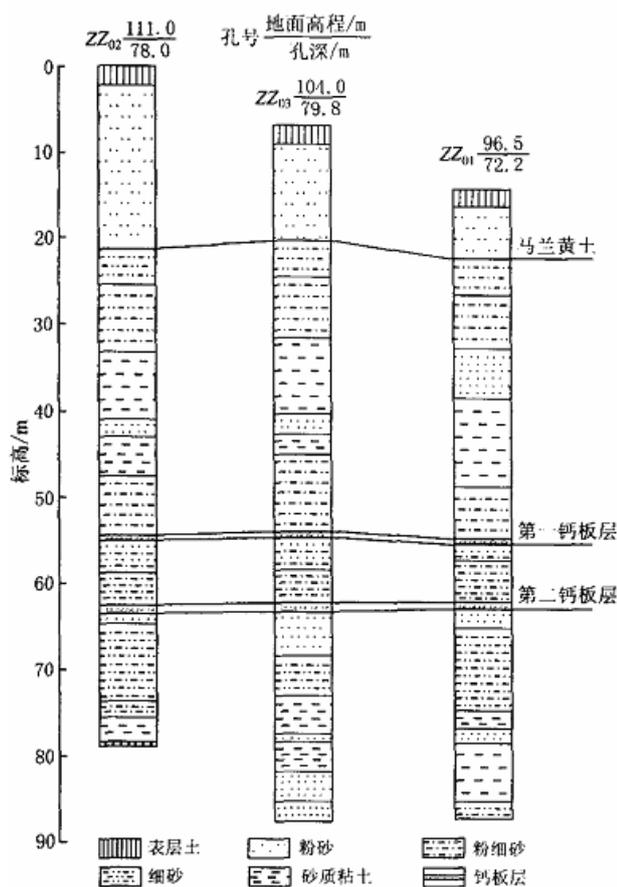


图 3.3.2-1 古荥镇大河路 L1 联合钻孔剖面 (郝凯等, 2008)

老鸦陈断裂活动时代的认识近几年有了很大进展。老鸦陈断裂最早是在 1988 年郑州市地震小区划工作中发现的，该断裂后来被认为是全新世活动断裂 (侯清卫, 吴怡, 2000)，其主要依据是当时布设在东风路和金水路的浅层地震横波勘探剖面解译和邙山东侧的地貌陡坎。但在郑州市活动断层探测项目中的老鸦陈断裂探测和活动性调查专题工作中，中浅层地震勘探结果表明老鸦陈断裂仅存在于新近纪以前的地层，而在新近纪地层内均未发现该断层错断和活动迹象。地表的地质地貌调查也发现“地貌陡坎”与老鸦陈断裂的位置不一致。另外钻探和钻孔联合剖面的分析也表明，地表的陡坎仅发育在马兰黄土中，其下地层平缓，没有错断现象 (图 3.3.2-1)，认为该陡坎的形成与老鸦陈断层没有关系，但可能与黄河改道变迁的侵

蚀作用有关。因此，老鸦陈断裂不属于活动断裂（郝凯等，2008），为前第四纪断裂。

在郑州市活断层探测与地震危险性评价项目中，为了进一步查明老鸦陈断层的位置、性质及其活动性，2006 年底中国地震局地球物理勘探中心跨老鸦陈断层进行了高分辨率的浅层地震 P 波和 S 波探测。图 3.3.2-2 为郑州市北郊古荥镇大河路测线浅层地震 P 波反射叠加剖面（刘保金等，2008），在图中可以清楚地看到第四系底界反射波 T_Q 出现的起伏变化，而且，在第四系内部还能划分出 3 组反射震相 T_{01} 、 T_{02} 和 T_{03} ；在新近纪内部除了能看到信噪比较高、横向连续性较好的 T_1 和 T_2 反射波外，从剖面上还能划分出 3 组地层反射，即 T_{11} 、 T_{21} 和 T_{31} 。总的看来，该测线经过地段内的第四纪地层界面在横向上起伏变化不大，仅在剖面的中部出现小的隆起。而在双程到时 200ms 以下的新近纪地层内部，所有的地层反射均呈西高东低的单斜形态，且随着深度的增加，这些反射面的倾角逐渐变大。从剖面反射波同相轴的横向连续性来看，这些反射同相轴在横向上都比较连续，尤其是标准反射波 T_Q 和 T_2 在整个剖面上都能被连续可靠追踪，且不存在反射波同相轴的错断现象，因此，在该测线范围内不存在第四纪以来的活动断层，即表明老鸦陈断层没有延伸到第四系内部。

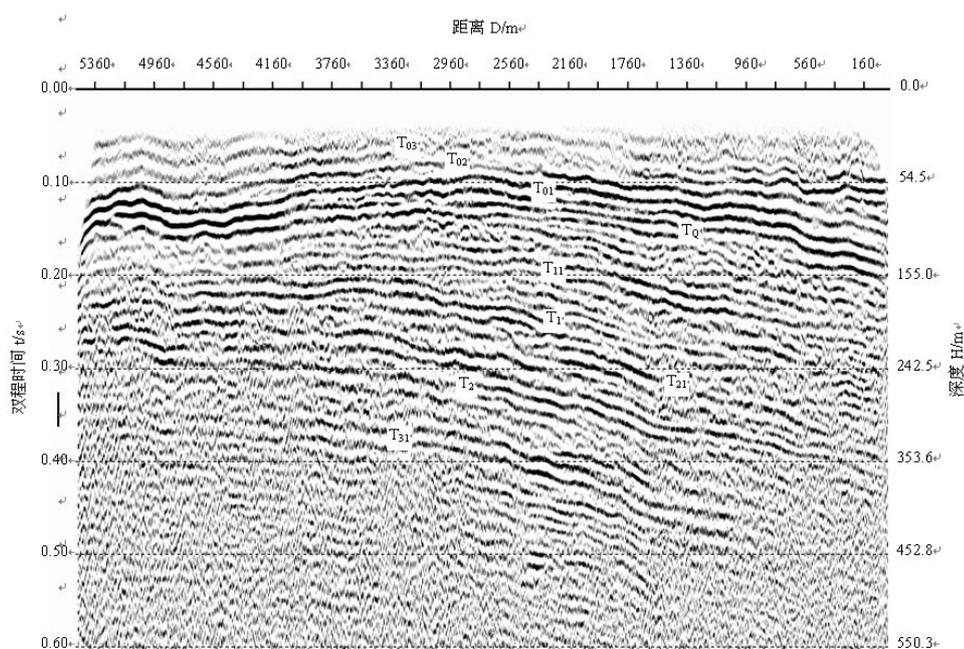


图 3.3.2-2 古荥镇大河路测线浅层地震 P 波反射叠加剖面（刘保金等，2007）

图 3.3.2-3 为郑州市东风路测线浅层地震 S 波反射叠加剖面（刘保金等，

2008), 由图可以看出, 在剖面双程到时 600ms(深度约 110m)以浅, 从剖面上可分辨出 7 组反射能量较强、横向连续性较好、界面起伏变化形态清楚的横波反射 $T_{01} \sim T_{07}$ 。从剖面反射波场特征来看, 这 7 组横波反射在剖面上具有明显不同的展布特点。剖面上部 200ms(深度约 18.5m)以浅, 由反射波 T_{05} 、 T_{06} 和 T_{07} 组成第一反射层组, 该反射层组在剖面上呈近水平展布, 相对起伏变化不大; 剖面双程到时 200~400ms(深度约 18.5~55.8m)之间, 为反射波 T_{03} 和 T_{04} 组成的第二反射层组, 该层组内的反射波特征较为一致, 且在剖面上起伏变化较大, 剖面桩号约 610m 以西, 反射波 T_{03} 和 T_{04} 表现为西浅东深的单斜形态, 桩号 750m 以东, 该层组内的反射波为近水平展布; 根据剖面所揭示的横波反射震相特征和测区地质资料, 把埋深约 18~20m 的 T_{05} 反射波解释为全新统(Q4)的底界。反射波 T_{03} 的埋藏深度约为 33~55m, 相应于上更新统(Q3)的底界, 而 T_{04} 为 Q3 内部的波阻抗界面产生的反射波; T_{01} 为来自 Q2 底界的反射波, 该反射波在剖面上向东倾, 在剖面西端的南阳路附近, T_{01} 反射波的埋深约为 80m, 剖面东端, 其深度约为 110m, 其界面视倾角约为 2° 左右。从 DFL 剖面上各横波反射同相轴的展布特征和横向连续性来看, 该测线上不存在 Q2 以来的活动断层, 虽然在剖面桩号 610~810m 之间, T_{03} 和 T_{04} 反射同相轴出现有不对称的下凹形态, 但由于其下的反射波 T_{01} 和 T_{02} 横向连续性较好, 且无错断显示, 因此表明老鸦陈断层没有错断 Q2 以浅的地层。

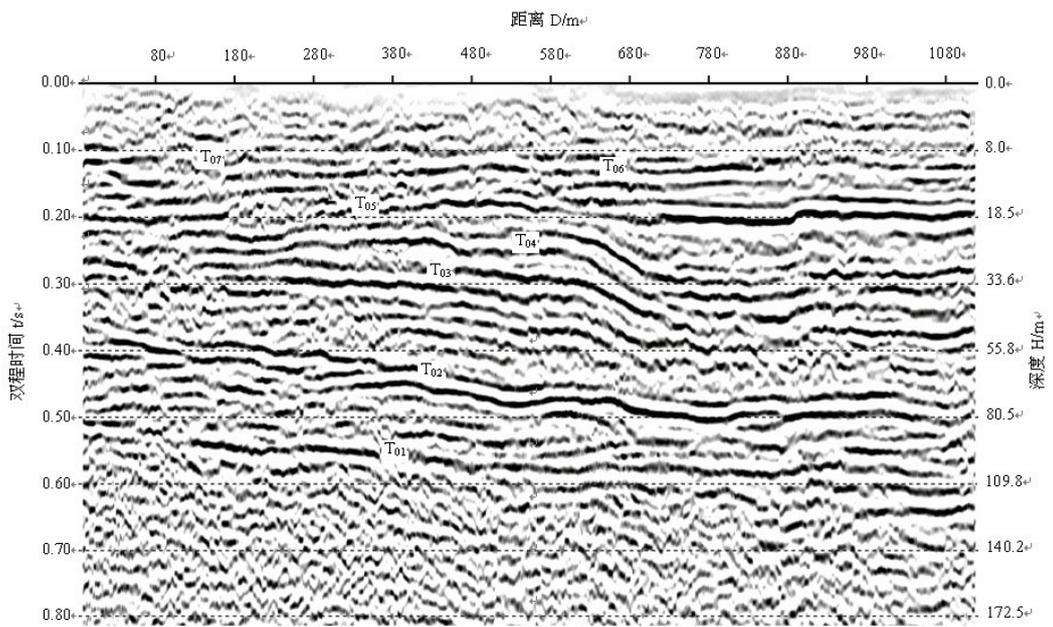


图 3.3.2-3 郑州市东风路测线浅层地震 P 波反射叠加剖面 (刘保金等, 2007)

综合跨老鸦陈断层和地表陡坎的中深层地震剖面、浅层 P 波和 S 波剖面结果以

及钻孔资料可知，该断层错断了古近纪、二叠纪、石炭纪或奥陶纪地层，向下延伸至结晶基底，向上终止于深约 800~850m 的新近纪地层的底界，自新近纪以来没有活动。

3.3.3 上街断裂 (F3)

该断层西起荥阳县上街镇附近，向东经郑州市区，一直延伸到中牟县境内，终止于白沙一带。被古荥断层、老鸦陈断层等北西向断层切割成数段。全长约 120km，走向近东西，倾向北，倾角 70° ，北盘下降，南盘上升，为一正断层。

前人在荥阳附近（近场区外）做了6条人工地震剖面，基本上查明了上街断层的延伸情况。李廷栋等（1992）在郑州市西郊百炉屯附近完成了一条地震剖面，最大探测深度约3.0km，探测结果表明断层明显错断奥陶系和二叠系，但没有断错新近纪地层。

中国地震局地球物理勘探中心在2007年郑州市活断层探测项目中，在郑州市西部秦岭路跨上街断层布置CQS2 测线，浅层地震测线上没有发现明显的异常，因此认为上街断层第四系底板没断。

图3.3.3-1为CQZ3测线地震反射时间和深度剖面图（赵成斌，2007）。在图3.3.3-1(a)的时间剖面上存在13组能够连续追踪的反射震相(T1~T13)。这些震相所反映的地层结构特征是：在剖面的上部，T1~T4地层界面基本呈水平展布，中部T5~T10地层界面呈现出轻微的南高北低形态，下部T10~T13 地层界面也呈现出明显的南高北低的倾斜形态，且倾斜幅度较大。从深度剖面的整体形态来看，下部地层与中上部地层表现出明显不同的特征。一是T11和12两地层界面与T10地层界面存在明显的合并形态，表明T10地层界面下面的地层存在尖灭现象，它反映了新、古近系为角度不整合接触。二是T12和T13地层界面存在明显的错断现象，分别在测线桩号1785m、1425m和885m处存在3个断点。其中一条视倾向南，另两条视倾向北，视倾角都较陡，都是正断层，断距约100m。从深度剖面图可以看它们向上都没有错断T10地层界面，即都没有错断新近系。从这3个断点的位置和性质来看，这些应该是上街断层的反映，表明上街断层也是由多个分支断层组成的断层带，并且在古近纪时期仍在活动，但新近纪以来已不再活动。

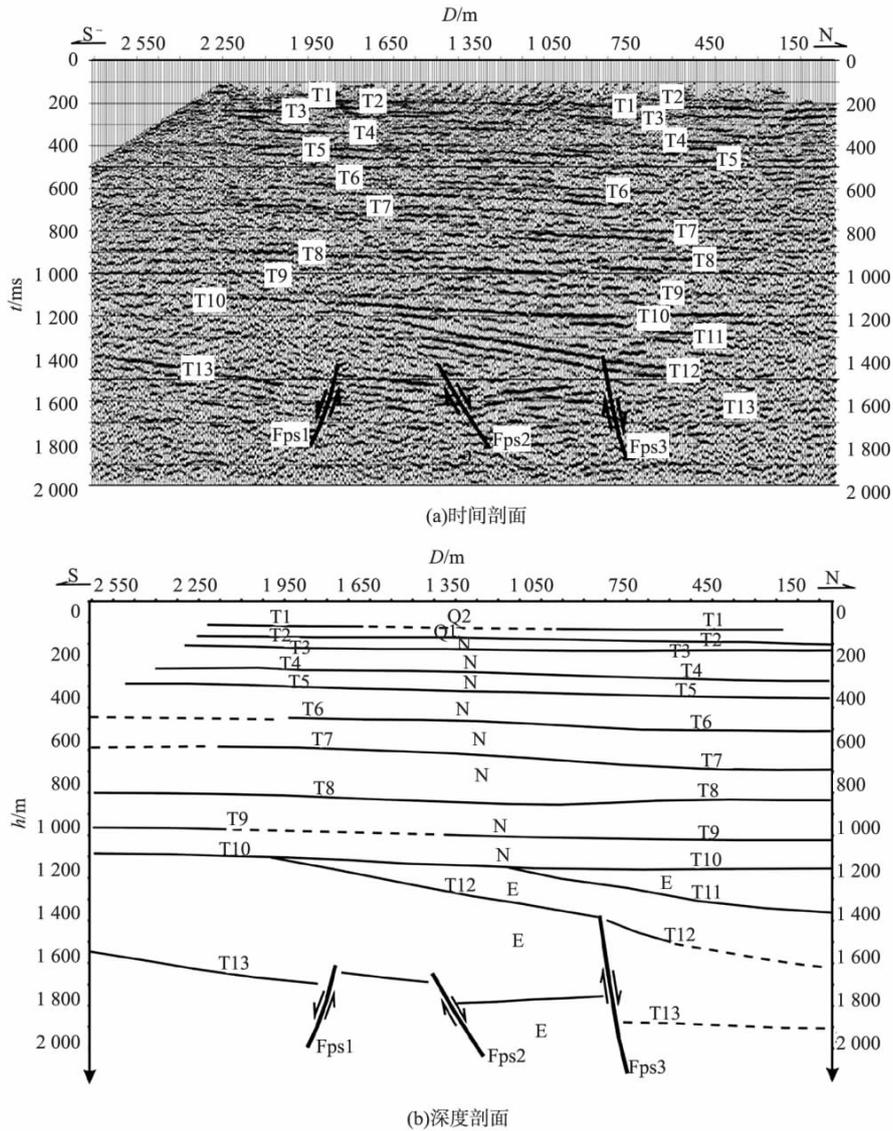


图 3.3.3-1 CQZ3 测线地震勘探反射时间和深度剖面图 (赵成斌等, 2007)

3.3.4 须水断裂 (F4)

须水断层西起荥阳西南的南新庄, 向东经二十里铺、须水、郑州市南部, 终止与圃田附近, 全长 50km, 走向近东西, 倾向北, 倾角 $60\sim 70^\circ$, 为一正断层。

李廷栋等 (1992) 在郑州市西郊朱庄一带完成了一条长约 4km 的地震剖面, 探测深度约 2900m。剖面中奥陶系和二叠系明显错断, 二叠系顶面断距在 200m 左右; 新近系底部反射层连续性较好, 无明显断错现象。

中国地震局地质研究所等 (2003) 在圃田乡西南的炸药库至圃田营之间布设了一条近南北向的浅层地震剖面 (图 3.3.4-1), 显示须水断层视倾角 65° 左右, 为一条正断层, 明显错断了 T1 以下的反射层, 但没有影响 T2 反射界面。T2 同相轴为中更新统和下更新统的分界面, T3 反射界面的位置相当于新近纪与第四纪地层的

分界深度。因此，须水断层切割了新近系以下的地层，影响到早更新世地层，但没有切错到中更新统地层，属于早更新世活动断层。

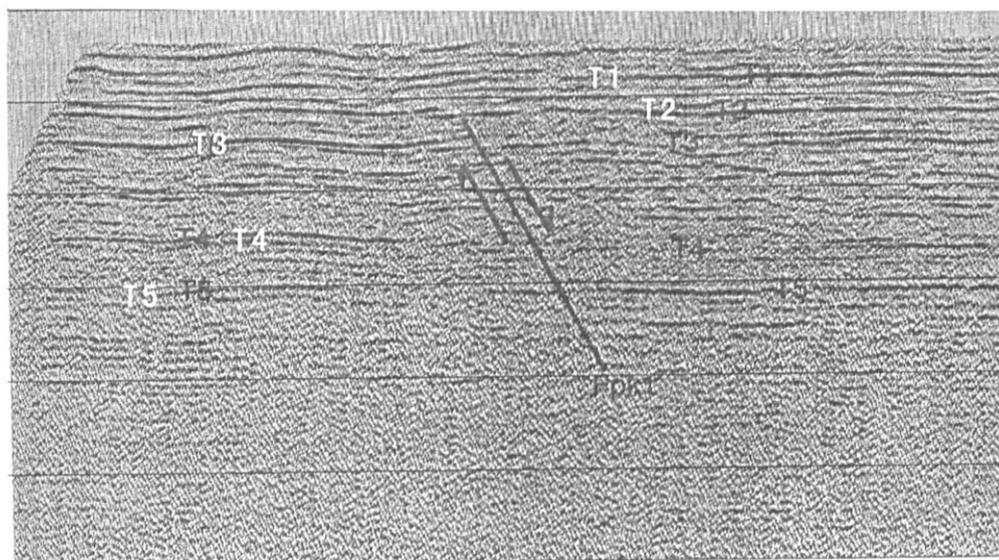


图 3.3.4-1 炸药库 - 圃田营之间跨须水断层地震反射剖面（据中国地震局地质研究所等，2003）

图 3.3.4-2 为横跨须水断层的浅层地震勘探的时间和深度剖面图（赵成斌，2004），从图 3.3.4-2a 可以看出，该测线时间剖面图上反射震相比较丰富。根据该剖面纵向和横向波组特征，从上到下可以识别出 10 个反射震相 T1 - T10。从这些反射震相的展布特征可以看出，该测线中上部地层基本呈水平形态，只有 T10 地层界面存在明显的起伏变化，表明南部埋藏较浅北部埋藏较深。从这些反射震相的展布形态和横向连续性可以看出，该测线下地质构造复杂，表现出上部和下部两组明显不同的构造及组合形态。须水断层的下部是由 3 条断层组成的断层带，而其上部则表现有 4 条小断层。从深度剖面图可以看出，须水断层上的各断点向上错断的最新地层界面为 T3，这表明须水断层在新近系时期仍在活动。综上所述，须水断层属于早更新世活动断层。

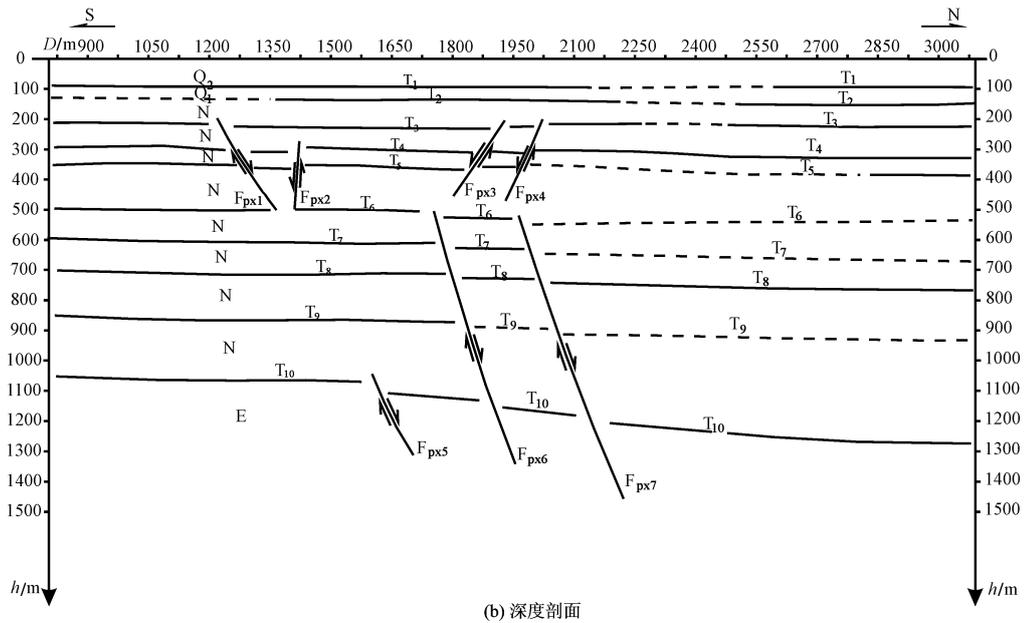
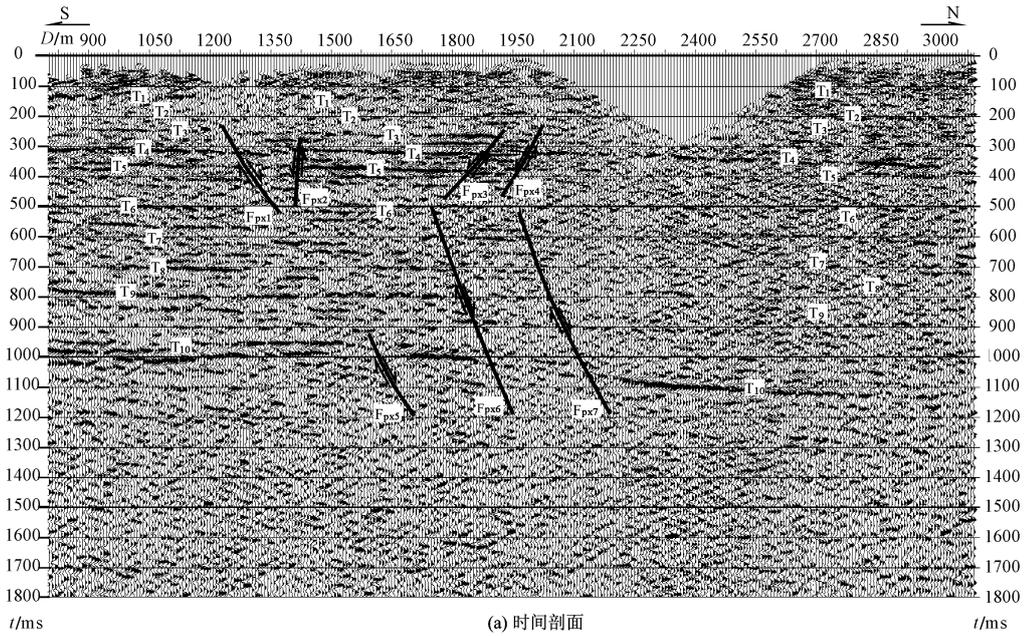


图 3.3.4-2 须水断层的浅层地震勘探的时间和深度剖面图（赵成斌等，2007）

为了进一步查明须水断裂的最新活动时代，中国地震局地球物理勘探中心在2007年郑州市活断层探测项目中，在国家郑州经济技术开发区的第三大街上布置XQX1-2测线，在国家郑州经济技术开发区的第八大街上布置XQX2测线，位于华山路布上布置CQX2测线，图3.3.4-3~图3.3.4-5为地震剖面图。从上述对穿过须水断层的三条地震剖面的讨论可知，须水断层是一条视倾向北的正断层，但它也不是一条简单的断层，而是由多条断层组成的一个断层带，而且该断层带浅部和深部的断层组合形态复杂。根据须水断层的特征，须水断层在中更新世时期仍在活动。另外，

在须水断层的南部，还发现了芦医庙断层，芦医庙断层是一条视倾向北的正断层，它在新近纪时期仍在活动。

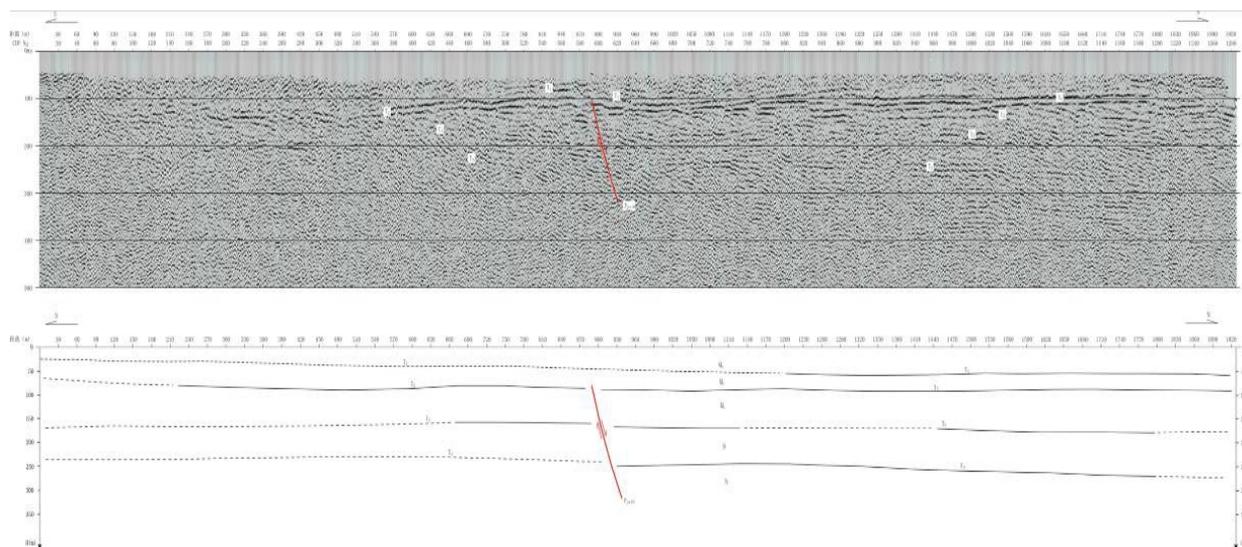


图 3.3.4-3 CQX2 测线地震勘探的时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2007)

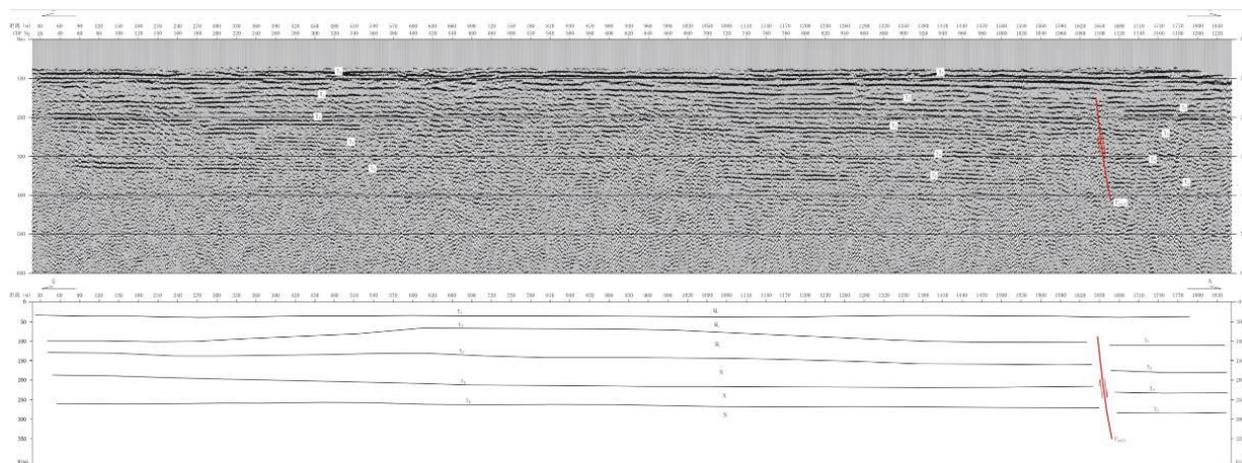


图 3.3.4-4 XQX1-2 测线地震勘探的时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2007)

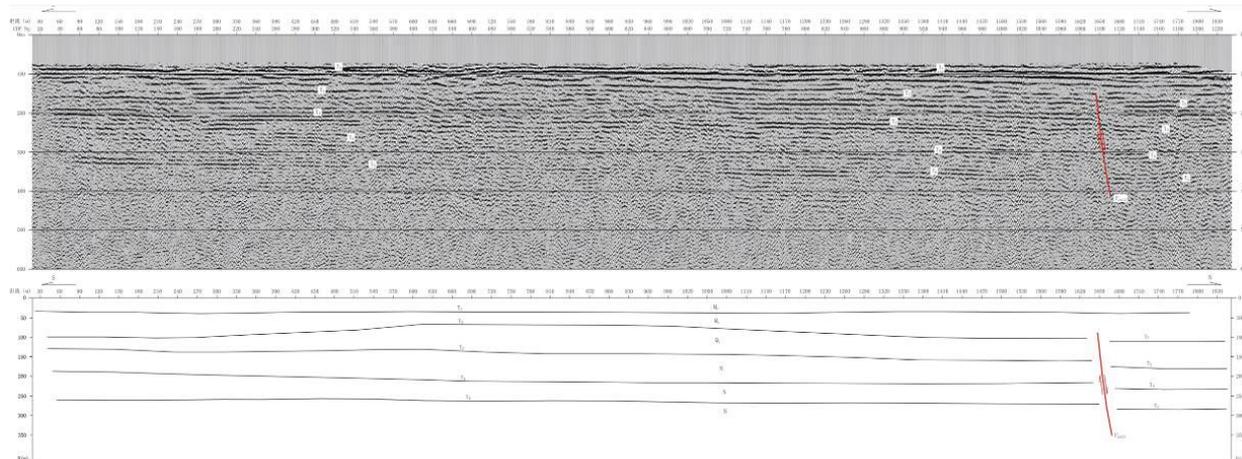


图 3.3.4-5 XQX2 测线地震勘探的时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2007)

综上所述, 须水断层属于早更新世活动断层。

3.3.5 花园口断裂 (F5)

花园口断层北起黄河南岸花园口, 经花园口向东南方向延伸约 18km, 在祭城东与中牟断层交汇, 断层总长约 26km, 断层走向 $315\sim 330^\circ$, 倾向北东, 倾角 70° , 正断层。中国地震局地质研究所等 (2002) 在郑东新区布设的 CHQ2-2 浅层地震反射剖面中 T4、T5、T6 反射层被断层错断, 而 T1、T2、T3 反射层连续完整 (图 3.3.5-1)。由于 T4、T5、T6 反射层是新近纪断层内部的 3 个反射波组, T3 是新、古近系与第四系的分界处的反射波组, 从剖面上看花园口断层没有错断第四纪地层。

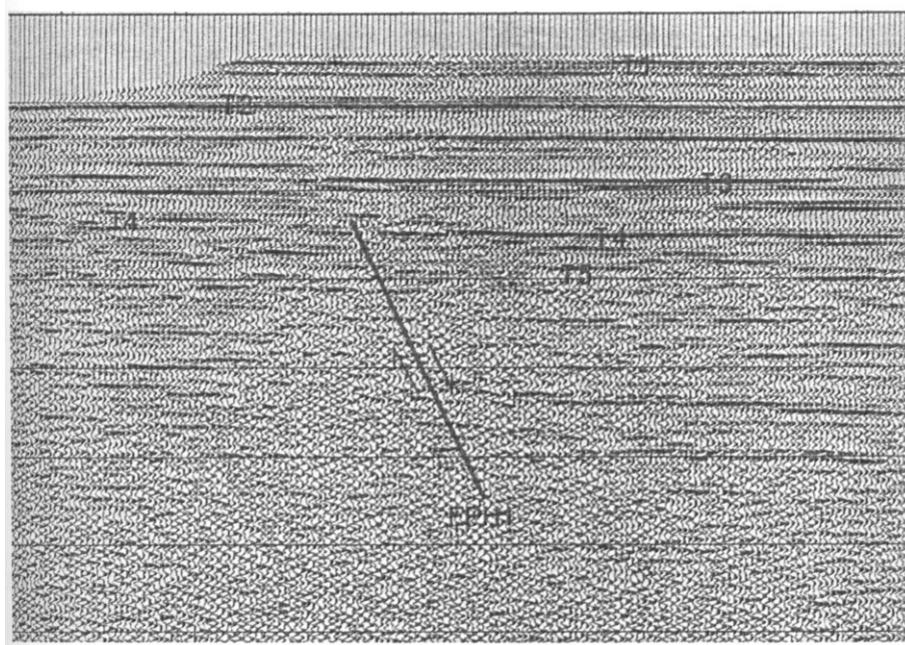


图 3.3.5-1 跨花园口断裂地震反射剖面 (据中国地震局地质研究所等, 2003)

中国地震局地球物理勘探中心在 2007 年郑州市活断层探测项目中横跨花园口断层布置了两条地震勘探测线 (CQZ2 和 CQH2, CQH2 由 CQH2-1、CQH2-2 和 CQH2-3 组成, 其中 CQH2-1 布置在花园口断裂上), 测线位置见图 3.3.1, 浅层地震测线上没有发现明显的异常, 因此认为花园口断层第四系底板没断。

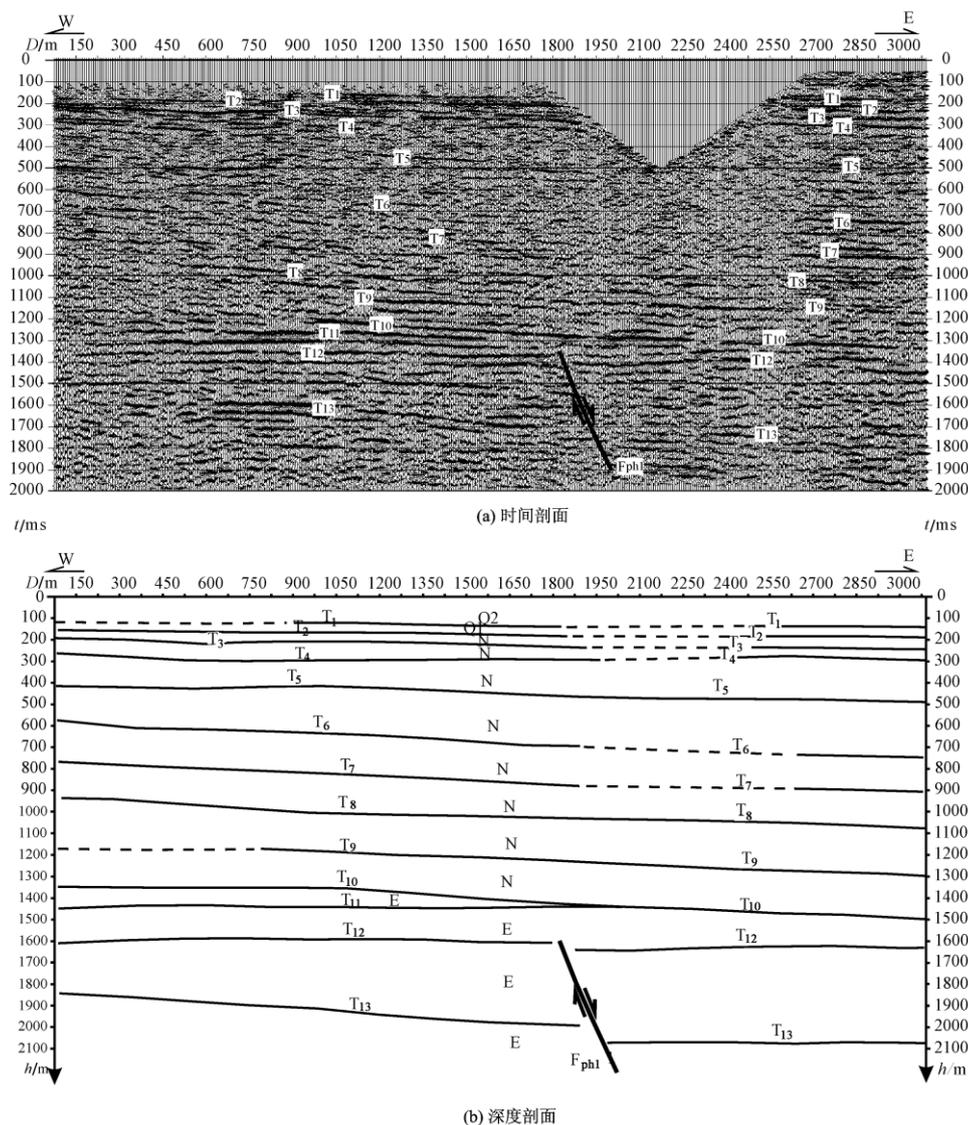


图 3.3.5-2 CQZ2 测线地震勘探反射时间和深度剖面图 (赵成斌等, 2007)

图 3.3.5-2 为 CQZ2 测线地震反射时间和深度剖面。根据该剖面的地震反射波组特征，从上到下可以识别出 13 组能够连续追踪的反射震相(T1 - T13)。根据这些反射震相的特征，该测线上部地层(T1 - T4)基本呈水平展布，相对起伏变化不大；中部地层埋深(T5 - T10)呈西浅东深的单斜形态；下部地层变化较大，表现出明显的受构造作用的影响。从 T10 和 T11 两地层界面的相互关系来看，T11 在测线的东部明显消失，与 T10 合并，这表明地层存在明显的尖灭现象，说明新、古近系为角度不整合接触。在剖面的下部，在测线桩号 1815m 处存在断层，该断层错断了 T12 和 T13 地层界面，但没有错断 T11 地层界面，即没有错断新近系。该断层视倾向东，视倾角较陡，断距上小下大，为一正断层。从断层的位置和性质来看，该断层应是

花园口断层，这表明花园口断层在古近纪时期仍在活动，但自新近纪以来已不再活动。因此，花园口断层是一条前第四纪断层。

3.3.6 中牟北断裂 (F6)

中牟北断层西起花园口南，向东呈舒缓波状向南东东方向延伸，过中牟县城北进入开封市。近场区内长约 40km，倾向北北东，倾角 $65\sim 70^\circ$ ，为正断层。断层北盘下降，沉积了侏罗系 - 白垩系及古近系；南盘上升，缺失侏罗系到古近系。魏文恭 (1992) 横跨中牟北断层完成了 15 条地震测线，剖面中 Tg 波组 (奥陶系灰岩顶面) 明显错断，断距 400m 以上。新近纪以来地层中反射界面 (TQ、TN) 连续完整、平缓，没有错断的迹象。

中国地震局地球物理勘探中心在 2007 年郑州市活断层探测项目中横跨中牟北断层布置了一条地震勘探测线 CQH2-3，测线位置见图 3.3.1，浅层地震测线上没有发现明显的异常 (图 3.3.6-1)，因此认为中牟北断层第四系底板没断。

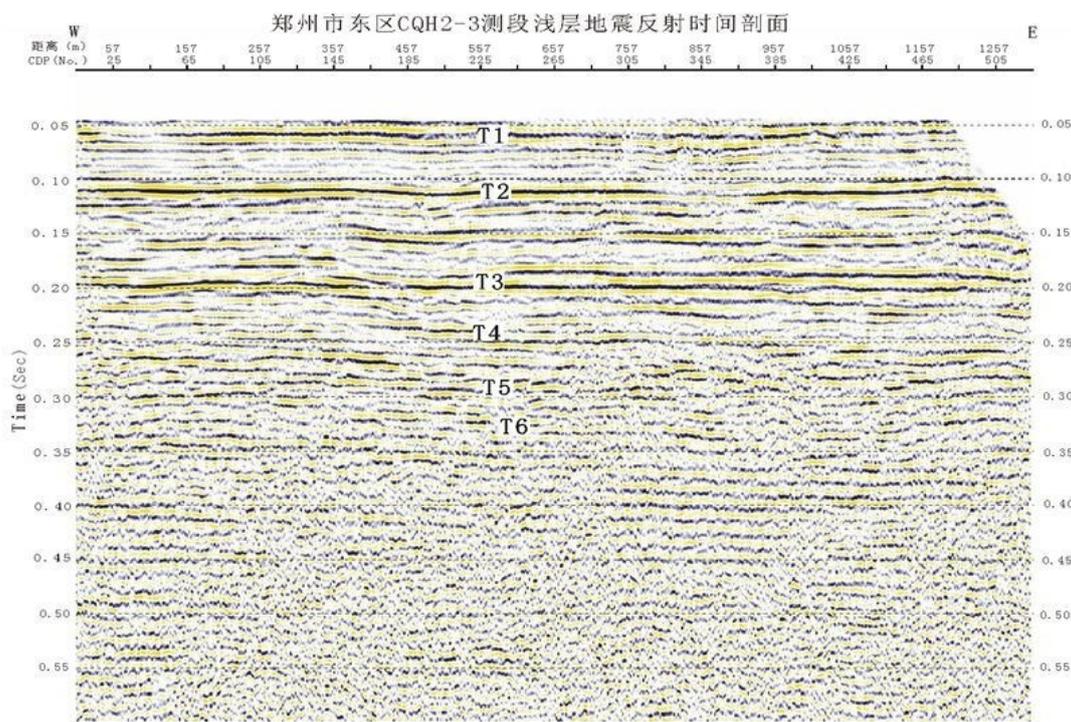


图 3.3.6-1 CQH2-3 测线的浅层地震勘探反射时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2007)

3.3.7 中牟断裂 (F7)

中牟断裂走向北西西，倾向北北东，倾角 $65\sim 70^\circ$ 。在郑州市基岩地质图上 (河南省地矿局地质研究所, 1988)，中牟断层西端 (花园口断层以西) 切割新生

界地层等厚线，东段则没有切割新生界地层等厚线。中牟断层没有错断新近纪以来地层等厚线，等厚线形态也没有发生突然转折的现象。

在 20 世纪七十年代石油部做的一次地震勘探 349.6、356.8、359.2、364.8、368.8 等剖面上， T_N 反射界面均有明显错动，确定为新近纪断层。

中国地震局地球物理勘探中心在 2007 年郑州市活断层探测项目中横跨花园口断层布置了 1 条地震勘探测线 CQL1（由 CQL1-1、CQL1-2 和 CQL1-3 组成），测线位置见图 3.3.1，浅层地震测线上没有发现明显的异常，因此认为中牟断层第四系底板没断。中国地震局地球物理勘探中心等（2003）横跨中牟断层完成的 6 条地球化学测线和 3 条浅层地震反射剖面（XQZ1，XQZ2-1，XQZ2-2），揭示出中牟断层没有错断第四纪地层（图 3.3.7-1～图 3.3.7-3）。中国地震局地质研究所等（2003）在断层南北两盘布置了钻孔，钻探结果显示全新世、晚更新世、中更新世地层为水平产状，没有受到断层活动的影响而改变其产状。因此，断层没有错断第四纪地层。

综上所述，中牟断层错断的最新地层为新近系，没有断错第四纪以来的地层，是一条前第四纪断层。

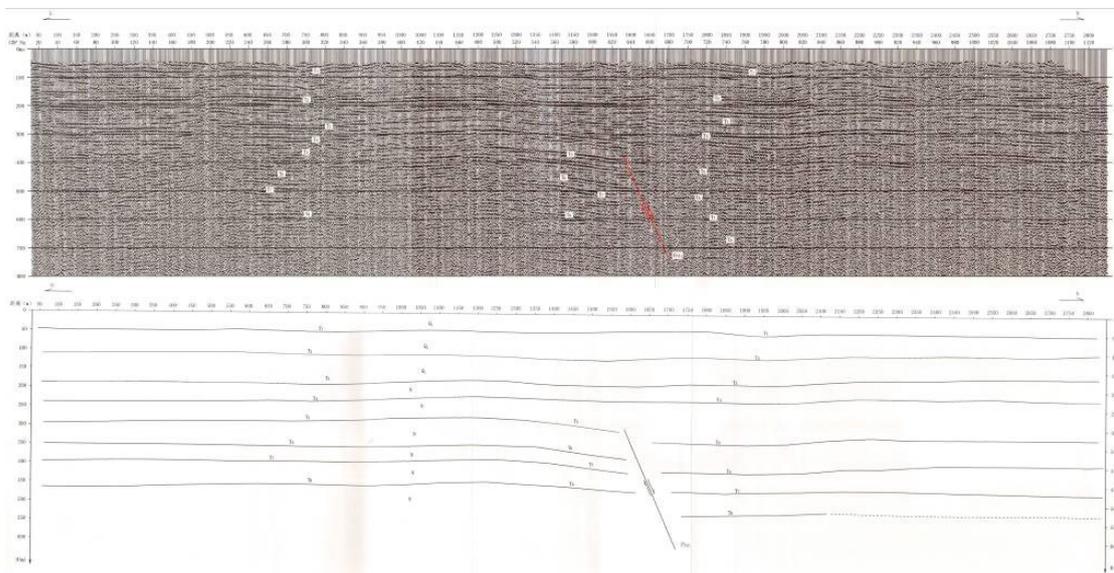


图 3.3.7-1 XQZ1 测线的浅层地震勘探反射时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心，2003)

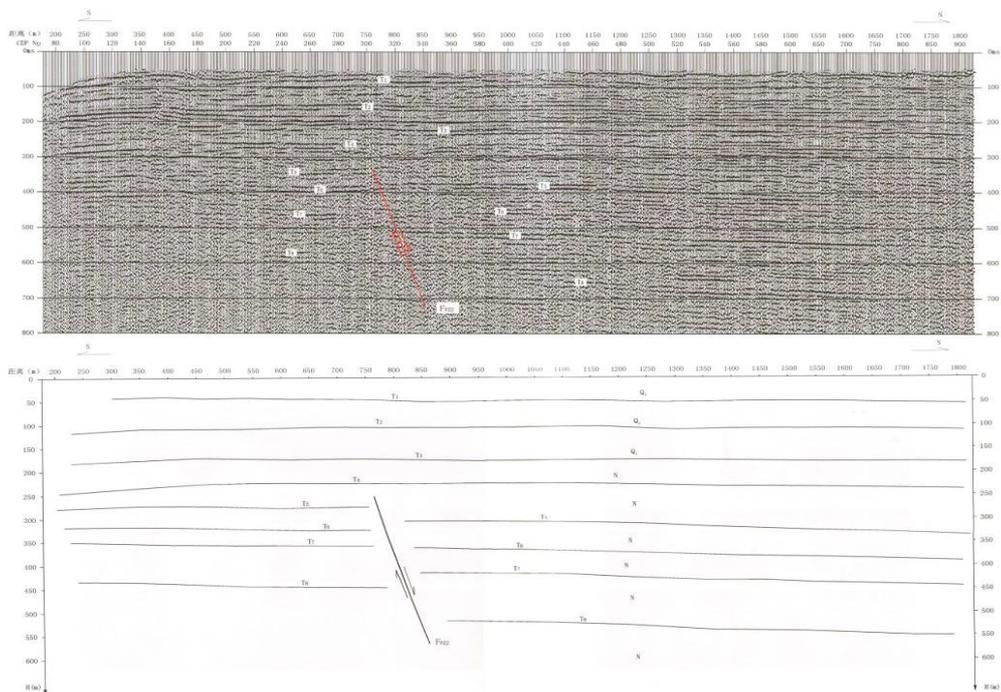


图 3.3.7-2 XQZ2-1 测线的浅层地震勘探反射时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2003)

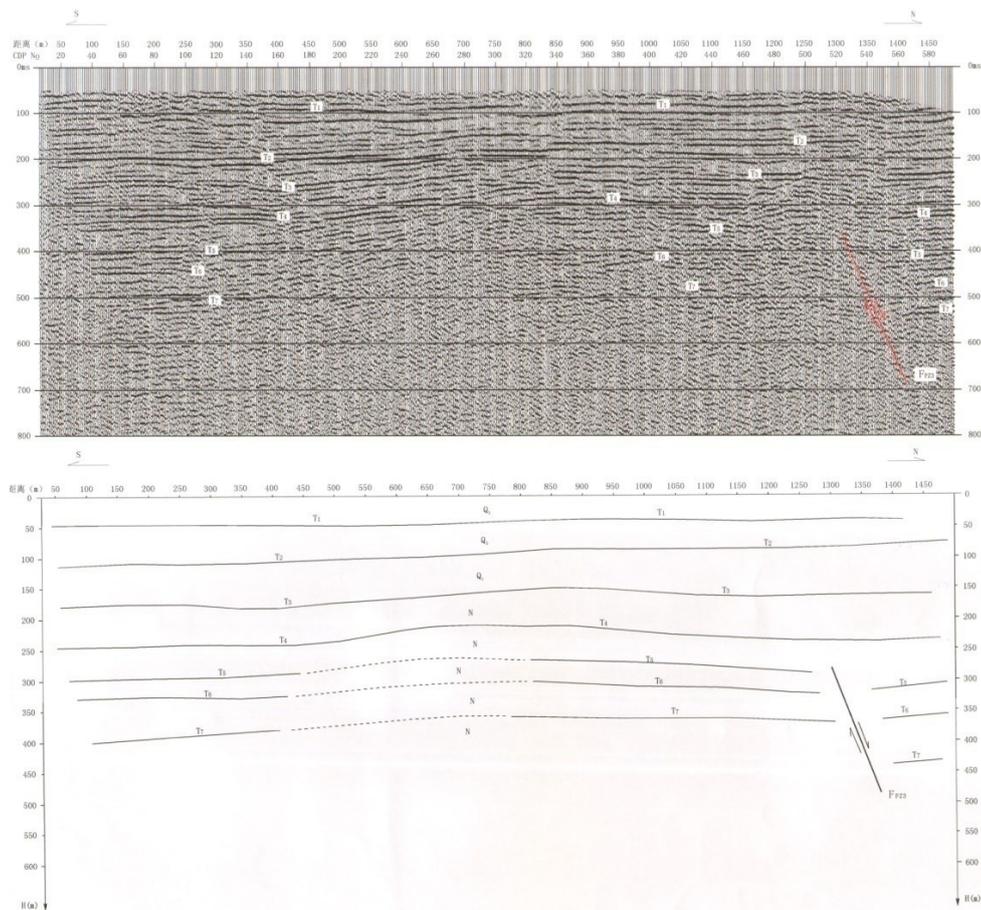


图 3.3.7-3 XQZ2-2 测线的浅层地震勘探反射时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2003)

3.3.8 芦医庙断裂 (F8)

在郑州市基岩地质图上（河南省地矿局地质研究所，1988），芦医庙断层切割中生界地层等厚线。芦医庙断层没有错断第四纪以来地层等厚线，等厚线形态也没有发生突然转折的现象。

黄河勘察规划有限公司（2010）完成了一条长 6.63km 长的钻探地质剖面，走向 162°，由 9 个钻孔组成，深 35m 到 80m 不等，在白沙西南 8km 处横跨断层。钻孔中大致揭露出 3 套地层：自地表到底板埋深 13-20m 处为一套粉质黏土和细砂层，为全新世河流摆动遗留的堆积物；底板埋深 35m，顶板埋深 13-20m 为一套厚层的细砂堆积，为晚更新世沉积物；埋深 35m 以下到终孔深度（80m），主要为一套粉质黏土夹细砂层，为中更新世堆积物（图 3.3.8-1）。早更新世断层的顶板近于水平，没有受到芦医庙断层的影响。从第四纪地层等厚线和断层的关系看，该断层第四纪以来没有活动，为前第四纪断层。

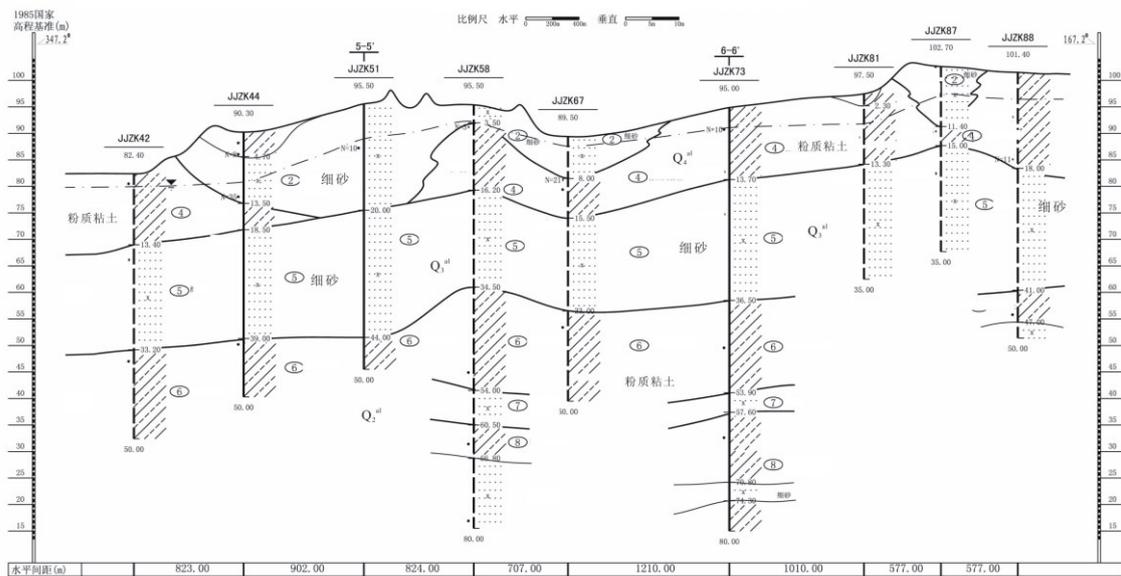


图 3.3.8-1 白沙西南 7-7' 钻探地质剖面（黄河勘察规划有限公司，2010）

3.3.1.9 尖岗断裂 (F9)

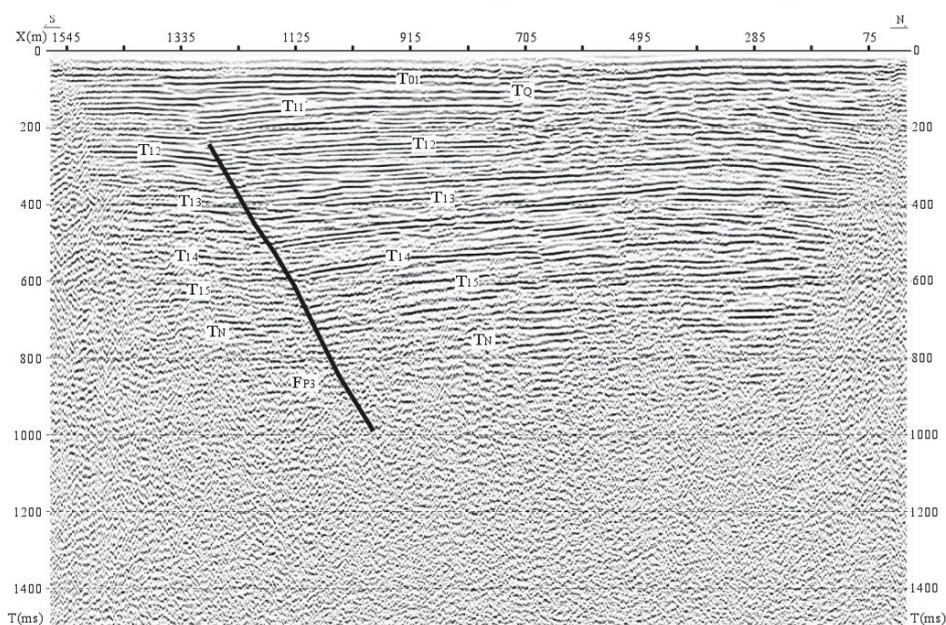
北接须水断层，向南东方向延伸，经尖岗、候寨北，交于孟庄断层，长 21km。走向 310°，倾向北东，倾角 65°，为一正断层。该断层处于北西向重力梯级带上。人工地震剖面表明该断层断距在 500m 左右，新近系地层没有错动。从地貌上看，断裂通过处没有地貌显示，地质工作者据此推断该断裂为前第四纪活动断裂。

根据中国地震局地球物理勘探中心于 2012 年 4 月在新郑航空区内沿推测的尖岗断裂位置正交方向（机场北约 5km 的大河刘村西的公路上和机场北约 5km 的张庄镇

东的公路上)分别布设了2条浅层地震勘探测线(如图3.3.9-1),本次浅层地震反射探测获得了信噪比较高的原始地震记录。获得了质量较高的反射波叠加时间剖面图像。由于在测线附近没有地质标准孔对地震剖面上的反射地层时代进行标定,因此对地震剖面上的反射地层时代只能依据区域地质资料和剖面上的反射波组特征进行判定,其中TQ为来自第四系底界的反射, TN为来自新近系底界的反射。根据时间剖面上的反射波特征,在2条测线上共发现了3个断点,其结果见图3.3.9-2、图3.3.9-3,有关各断点在相应浅层地震测线上的位置、性质等参数见表3.3.9-1。



图 3.3.9-1 尖岗断裂新郑航空港 3、4 测线平面位置图



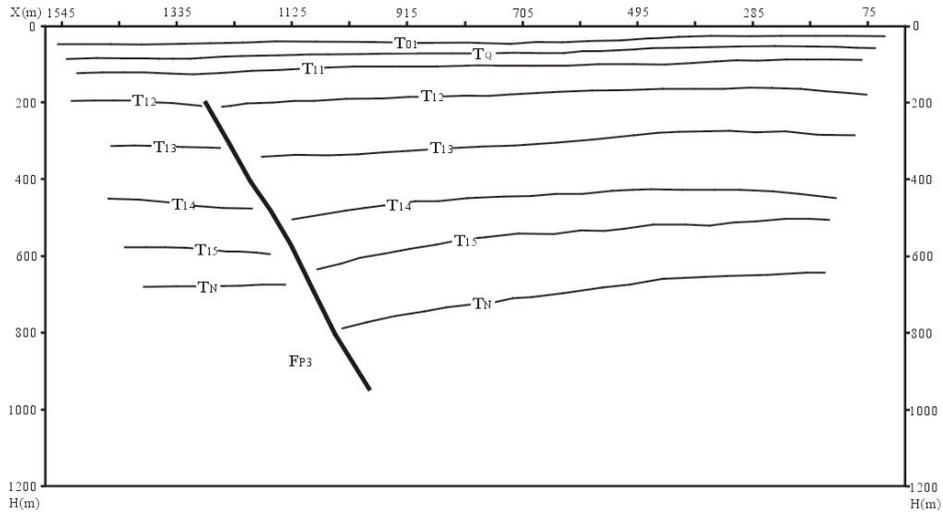


图 3.3.9-2 尖岗断裂新郑新郑航空港区机场 3 线地震反射剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2012)

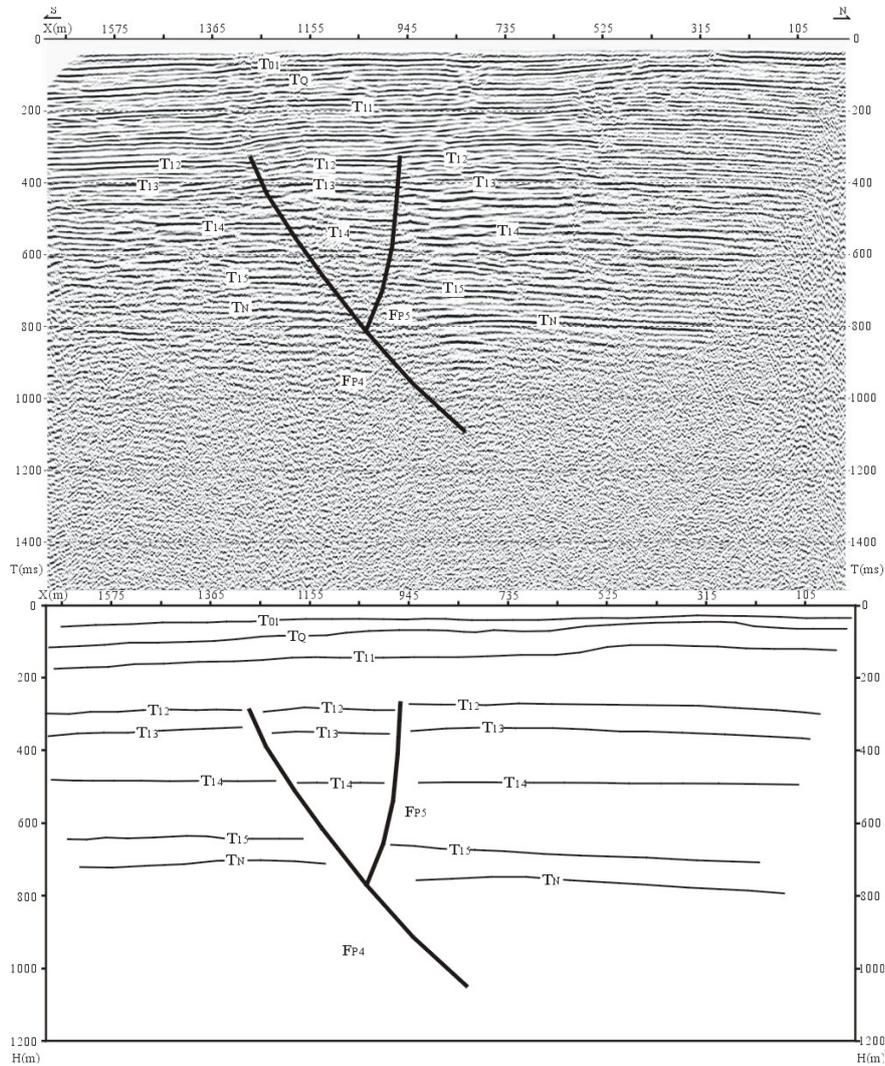


图 3.3.9-3 尖岗断裂新郑航空港区机场 4 线地震反射剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2012)

表 3.3.9-1 尖岗断裂浅层地震剖面揭示的断点参数一览表

断点编号	断点位置 (m)	断点经纬度	上断点埋深 (m)	垂直断距 (m)	视倾向	断层性质	活动时代
F _{P3}	1283	N34°33' 53.0" E113°51' 12.8"	208	1.5~2.0	N	正断	N
F _{P4}	1284	N34° 32' 53.0" E113° 53'19.7"	289	2.0~3.0	N	正断	N
F _{P5}	962	N34° 33' 03.7" E113° 53'23.4"	272	8.0~10.0	S	正断	N

综上所述，尖岗断层是一条前第四纪断层。

3.3.1.10 郭小寨断裂 (F10)

北起上街西，向南东延伸至候寨与三十里铺断层相交，长约 30km。该断层走向 305°，倾向北东，倾角 60°~80°，为正断层。断层错断了中生界及古生界地层。在浅层地震勘探工作中，跨郭小寨断裂布置了两条浅层地震勘探线，XL1（新田大道）测线，该测线位于新田大道上，测线方向近南北，沿新田大道布置。南端起自洞林湖新田城，北端止于辛沟村西，全长 1119m；XL2（X032 县道）测线，该测线位于新田大道西侧 X032 县道上，测线方向近南北，沿 X032 县道布置。北端起自陇海西路，南端止于贾峪镇，全长 4167m。

图 3.3.10-1 为 XL1 测线的地震反射时间和深度剖面图，该测线沿新田大道布置。从图 3.3.10-1 的时间剖面图可以看出，该剖面上部反射能量较强，反射震相相对较多；下部反射能量相对较弱，能够连续追踪的反射震相较少，反射特征在纵向上变化较大。根据该剖面纵向和横向的波组特征，从上到下可以识别出 2 组基本能够连续追踪的反射震相。从这 2 组反射震相的横向展布特征和图上的深度剖面图上的地层变化形态来看，该测线上部地层呈中间低两端高的下凹形态，下部地层在北部呈明显的倾斜形态。从图上各反射同相轴的横向连续性来看，上部的 TN 反射震相在剖面桩号 741m 处反射同相轴存在明显的错断现象，表明在该处存在断层 (FP1)。FP1 断裂视倾向北，视倾角较陡，为正断层。该断裂向上错断了 TN 反射震相，但其上部弱小反射波组虽有局部不连续现象，但因处于地震剖面浅部反射盲区附近，信号很弱，不能排除介质横向不均匀引起的不连续因素。分析认为，该断点在错断 TN 后未发现明显的向上延展迹象。根据该断裂的位置和性质，它可能是郭小寨断层的反映。

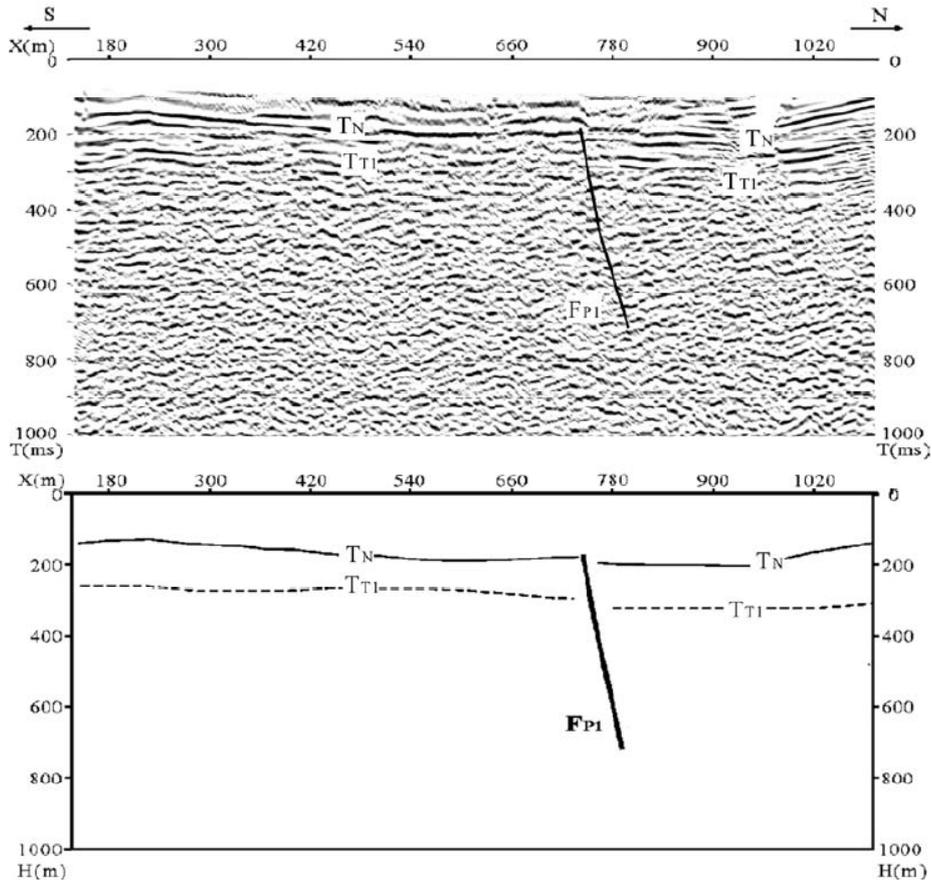


图 3.3.10-1 XL1(新田大道)测线地震反射时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2014)

图 3.3.10-2 为 XL2 测线的地震反射时间和深度剖面图，该测线沿 X032 县道布设。从图 3.3.10-2 的时间剖面图可以看出，该测线时间剖面上南、北两段特征差别较大。在南段反射震相比较少，北段反射震相比较多。根据该剖面纵向和横向的波组特征，从上到下可以识别出 5 组能量较强、横向上能连续追踪的反射震相（TQ+N~TN）。从各组反射震相的横向展布特征和图 3.3.10-2 的深度剖面图上的地层变化形态来看，该测线地层从上到下、从南到北变化都较大，南部为一局部隆起，北部为一局部凹陷。在南部隆起部位反射层位较少，在北部凹陷部位反射层位较多。

从图 3.3.10-2 各反射同相轴的横向连续性来看，在隆起和凹陷的边界部位（桩号 2244m）明显存在同相轴错动和波形畸变现象，表明在该处存在断层（FP2）。FP2 断裂视倾北，视倾角较陡，为正断层。该断裂向上错断了 TN1 反射震相，根据该断裂的位置和性质，它可能也是郭小寨断层的反映。

根据区域地质资料，测线附近的第四系厚度较薄，结合两条浅层地震勘探线 FP1 断层与 FP2 断层上断点的埋深，综合分析郭小寨断裂为前第四纪活动断裂。

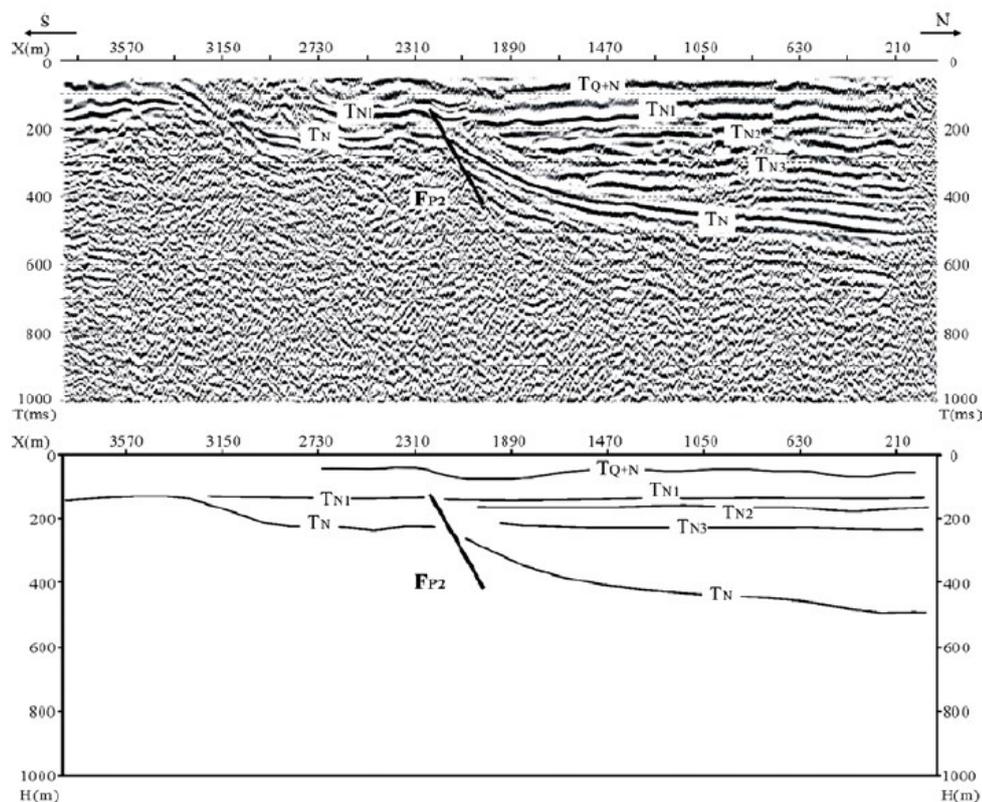


图 3.3.10-2 XL2(X032 县道)测线地震反射时间和深度剖面图
(中国地震局地球物理勘探中心, 2014)

3.3.11 三十里铺断裂(F11)

该断裂北西端起侯寨南，向南东方向延伸，长约 25km。走向 335°，倾向北东，倾角 65°，南西盘上升，北东盘下降，为一正断层。根据物探资料，断层两侧地层有明显差异，下降盘沉积了 700m 厚古近系，而上升盘一侧缺失古近系，断层控制了近系的沉积。从地貌上看，在断裂通过处没有地貌显示，也没有发现错断第四系地层迹象，反映了第四纪以来没有活动，据此推断该断裂为前第四纪活动断裂。

3.3.12 七里岗断裂(F12)

根据已有资料显示，该断裂西起新密西南，经七里岗进入第四纪覆盖区。走向近东西，倾向北，倾角 65~80°，为一正断层。断层西段可见奥陶统与下二叠系呈断层接触，中部可见二叠系上统与二叠系下统呈断层接触。东段处在掩盖区，根据

区域地质调查资料和物探资料，断裂切割了新近系，而上覆中更新统连续。地质工作者据此推断该断裂为前第四纪活动断裂。

七里岗断裂距离目标区较近，且由于七里岗断层地质资料不详，其位置是根据相关资料综合推测的，因此七里岗断裂的具体可能与实际存在一定的偏差，为了进一步查清七里岗断裂在新郑航空港附近的展布情况、断动活动性质以及活动时代等情况。根据中国地震局地球物理勘探中心于 2012 年 4 月在新郑航空区内沿推测七里岗断裂位置正交方向（后庙李村东南薛店至新郑的公路上和薛店镇南约 6km 的 223 省道上）分别布设了 1 条浅层地震勘探线（图 3.3.12-1 和图 3.3.12-2）。鉴于在测线附近没有地质标准孔对地震剖面上的反射地层时代进行标定，因此，对地震剖面上的反射地层时代依据区域地质资料和剖面上的反射波组特征进行判定，其中 TQ 为来自第四系底界的反射，TN 为来自新近系底界的反射。根据时间剖面上的反射波特征，在 2 条测线上共发现了 2 个断点，各断点在相应浅层地震测线上的位置、性质等参数见表 3.3.12-1。综合判断该断裂为前第四纪断裂。

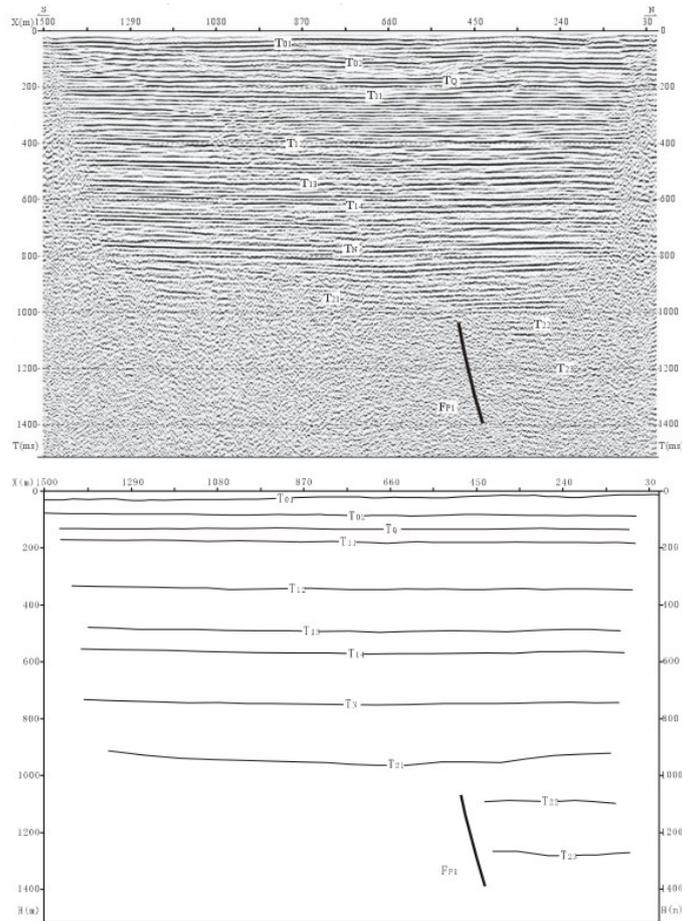


图 3.3.12-1 七里岗断裂新郑航空港区机场 1 线地震反射剖面图及地质解释

(中国地震局地球物理勘探中心, 2012)

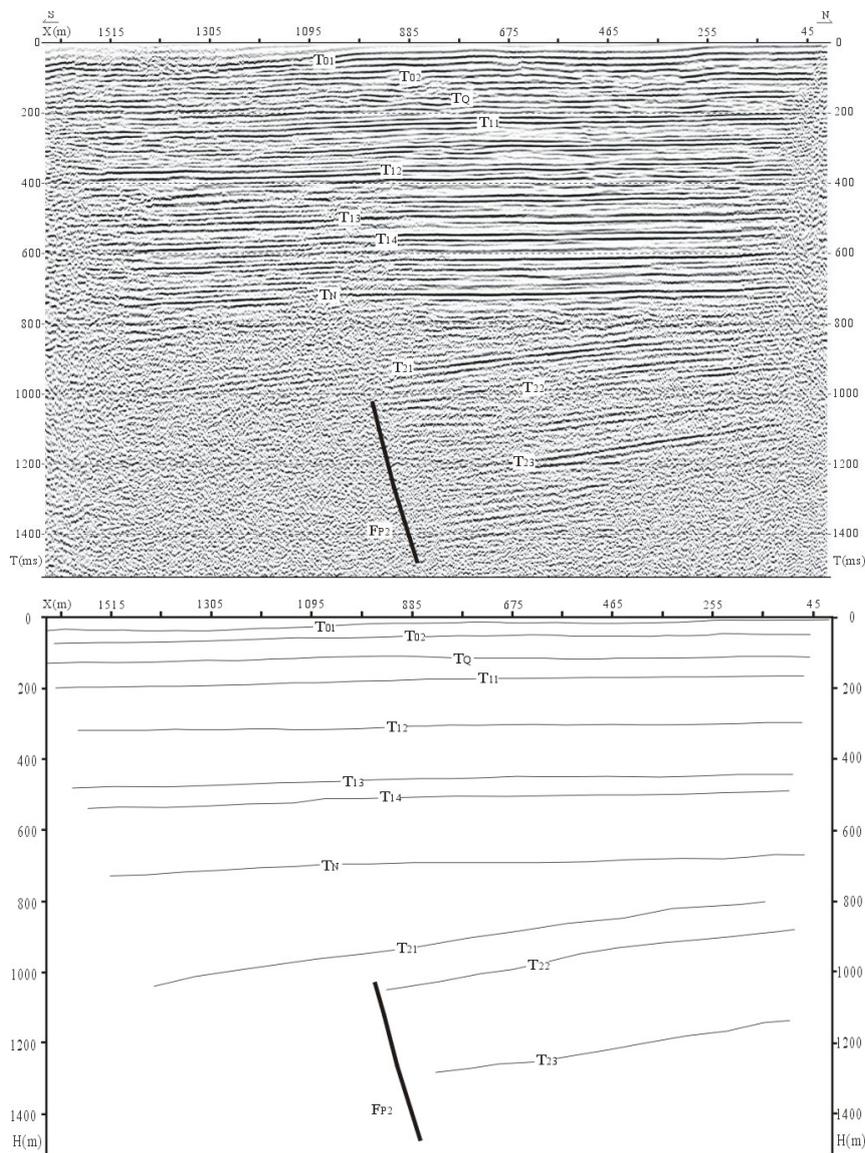


图 3.3.12-2 七里岗断裂新郑航空港区机场 2 线地震反射剖面图及地质解释

(中国地震局地球物理勘探中心, 2012)

表 3.3.12-1 七里岗断裂新郑航空港区浅层地震剖面揭示的断点参数一览表

断点编号	断点位置(m)	断点经纬度	上断点埋深(m)	视倾向	断层性质	活动时代
F _{P1}	487	N34°26'03.8" E113°48'45.2"	1090	N	正断	E
F _{P2}	964	N34°26'47.0" E113°47'12.2"	1050	N	正断	E

3.3.13 大隗镇断裂(F13)

西起超华西 7km，经大隗镇没入掩盖区，全长 52km，西段见二叠系石千峰组与寒武系接触，中部可见二叠系上石盒子组与石千峰组接触。在布格重力异常图上显示为东西向较密梯度带，煤田物测队在东部做的地震测线有 4 条通过该断层。剖面上断面波清楚，反射界面时间错动明显，T_g 波错动 0.3s 左右，深度相差 500m 以上。图 3.3.25 标明的断层两侧钻孔见地层深度相差较大，南盘 Q+N 下伏地层为上二叠系上石盒子组，而北盘为三叠系明显地不衔接。

大隗镇断裂走向近东西，倾向北，倾角 70°，它切割了包括新近纪在内的所有地层，推测它形成于喜山运动早中期，但到新近纪沉积时仍有活动。新近纪错动近 200m。大隗镇断裂是新郑煤田的北部边界。该断层最新活动时代为前第四纪活动断层。

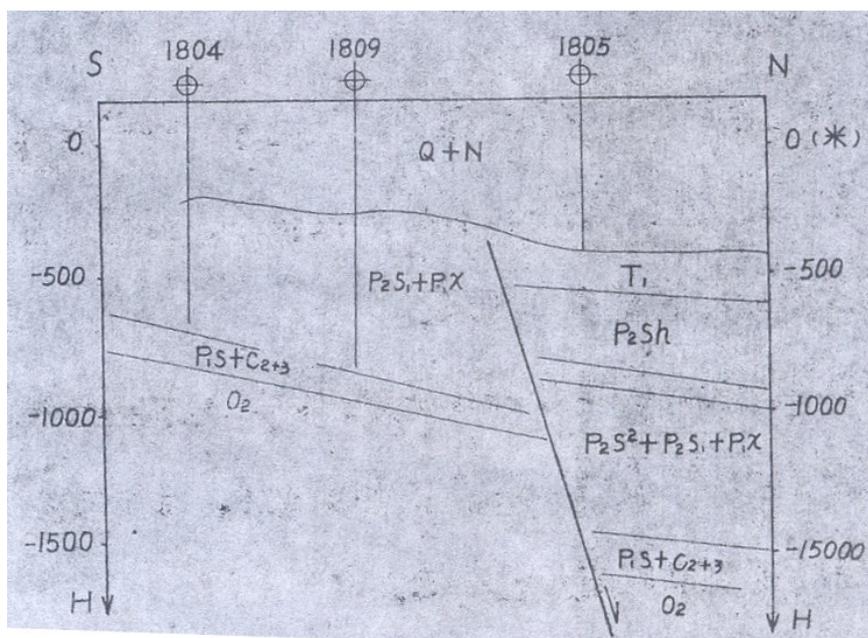


图 3.3.13-1 大隗镇断裂 18 勘探线剖面示意图

(据郑州地震小区划, 河南省地震局姚文斌等, 1989)

该断裂西起登封大冶东南的栗子沟，向东南经石榴村、钱家庄、新寨、鳌子顶，然后没入黄土。出露长度约 20km。断层呈舒缓波状延伸，总体走向 300°，倾向北东，倾角 45~50°。断层南西盘（下盘）均为下元古界五指岭组、庙坡组和花峪组所组成。北东盘均分布着古生代地层。沿断层见其两盘破碎，其破碎带中见有挤压透镜体、断层角砾岩，破碎带宽数十米，使上盘古生代地层产生片理化并强烈揉皱，小褶曲极为发育。断层面附近的岩石中，发育着与断层面平行和

垂直的两组裂隙。断层北东盘下降，为一正断层。覆盖区根据物探资料推测，该断层切割了元古界与古生界及中生界地层，而上覆第四纪地层未见变形，故推断该断裂为前第四纪活动断裂。

3.3.14 五指岭断裂（F14）

五指岭断裂：位于登封、巩义交界的五指岭南侧。南东段在花家岭没入第四系沉积物之下，向南东继续延伸，经牛店、大隗南至新郑、长葛间。北西段往北西经北阴潭、塔水磨、庙凹至老井沟，出露20余km。断裂走向 315° 。航磁 ΔT 向上延拓10km和20km后，有一北西向磁异常梯级带与五指岭断裂相吻合。断层两盘均分布着下元古界及其盖层震旦系和古生代地层，倾向南西，倾角 $75\sim 90^{\circ}$ 。在断裂带内嵩山群的石英岩被挤压成构造透镜体及片理化带，破碎带宽 $10\sim 100$ 余米。断裂晚期发生扭性活动，可见到平直的扭断面切过早期的挤压带，并将北东盘的元古界向北西方向推移了7km。断裂截断了嵩山山脉，破坏了完整的嵩北背斜。该断裂在第四纪时期活动亦较明显，在登封县塔水磨北见到中更新统地层被错断。在断裂附近小震活动较为频繁。

为进一步调查封门口—五指岭断裂的性质，北京勘察技术工程有限公司于2015年5月30日进行了实地野外地质调查工作，两名工作人员沿着断裂进行了追踪，对该断裂的断层露头进行了考察，成果如图3.3.14-1~3.3.14-3。该断裂呈NW走向出露于桥址的东侧，SPOT5影像上线性特征良好，陡坎清楚（图3.3.14-1），表现为地貌上山体与盆地的线性过渡。



图 3.3.14-1 封门口断裂影像解译(北京勘察技术工程有限公司, 2015)

在野外地质调查中, 将调查范围集中在山川村-上窑村-老井沟村一带, 认为该段对封门口断裂具有较好的代表性, 原因: 1、该断裂的地貌表现较为稳定, 在该区段内有较好的地貌线性特征; 2、较多的矿坑提供了丰富的断层剖面, 足以将断裂的活动性参数及空间展布情况论述清楚。

在上窑村, 断裂地貌上表现清晰, 断层上升盘是高耸的山体, 下降盘为多期洪积扇体及多成因堆积物(图3.3.14-2), 两侧高差约80-100m。

在老井沟村北, 发现断层出露剖面, 编号FMK-01(图3.3.14-1), 地理坐标为 $34^{\circ} 40' 00''$, $113^{\circ} 01' 35''$, 断层下盘为厚层均质寒武纪馒头组灰岩-白云质灰岩上盘为棕色二叠纪砂岩, 地貌上陡坎高度约7m(图3.3.14-3)。

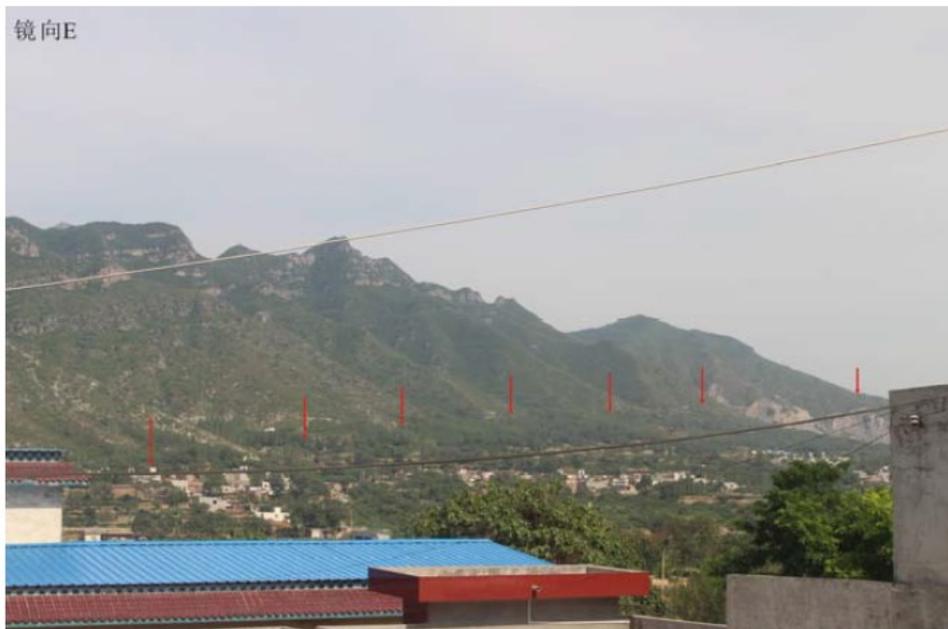


图 3.3.14-2 上窑村封门口断裂断错地貌(北京勘察技术工程有限公司, 2015)



图3.3.14-3 老井沟村北封门口断裂剖面(北京勘察技术工程有限公司, 2015)

结合大封-南山口断裂与封门口断裂的地貌表现来看，在下盘岩性相同的情况下，大封-南山口断裂地貌线性模糊不清，而封门口断裂线性特征清楚且地表尚残留高约7m的断错陡坎，说明封门口断裂的活动性远远强于大封-南山口断裂，依据明显的地貌特征及断面特点，结合前人在该断裂的测年资料，认为封门口断裂的活动性限于中更新世之前，是一条中更新世断裂。

3.3.15 武陟断裂 (F15)

该断裂西北端在李万村西北与盘谷寺一新乡断裂相接，向东南经武陟、秦厂延至黄河北岸，长约 32km。断裂走向北西，倾向南西，为南西盘下降的正断裂。断裂控制两侧新生代地层的堆积厚度，东侧为武陟隆起，新生界厚仅 1000m 左右，西侧为济源中新生代拗陷，新生界厚达 5000m 以上。但新近纪以后，断裂的差异活动已不明显，在断裂西侧的济 2 孔，上新统厚 496m；东盘的陟 1 孔上新统厚 633m（中国地震局地质研究所，2001），两者之间变化不大。第四纪武陟隆起连同西侧济源凹陷整体下沉，接受被覆式第四系堆积，现断裂差异活动已不甚明显。据河南省地矿局（1988）提供的第四系下更新统等厚线图分析（图 3.3.15-1），断裂在更新世仍有一定差异活动显示，加之中小地震沿带有相对集中分布的趋势（谢智等，1998），据此将其定为早、中更新世断裂。

根据近年完成的焦作市城市活断层探测工程，跨越武陟断裂完成多条浅层地震勘探探测线（图 3.3.15-2）及钻孔联合剖面，综合确定了该断裂的最新活动时代。根

据南睢村场地(JZ3)和小徐岗场地(JZ4) (图 3.3.15-3) 的钻孔联合剖面探测结果, 该断裂为一条中更新世断裂。

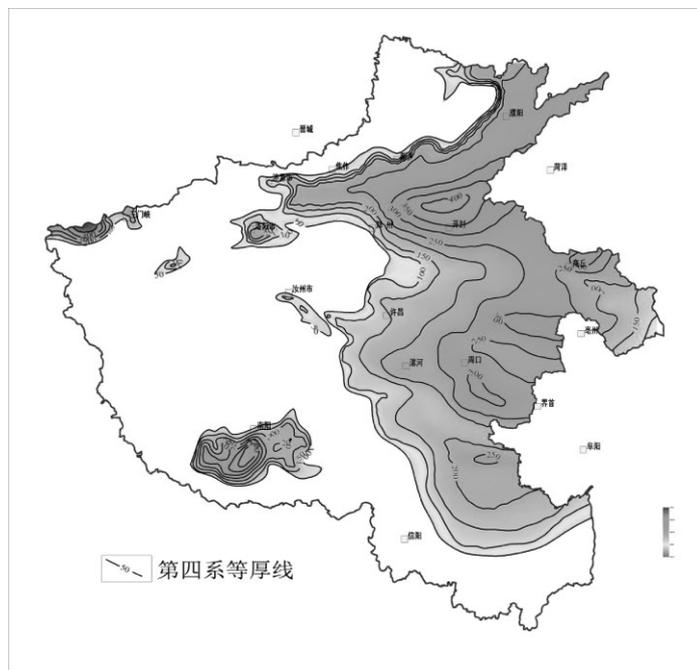


图 3.3.15-1 河南省第四系厚度图 (河南省地矿局, 1988)

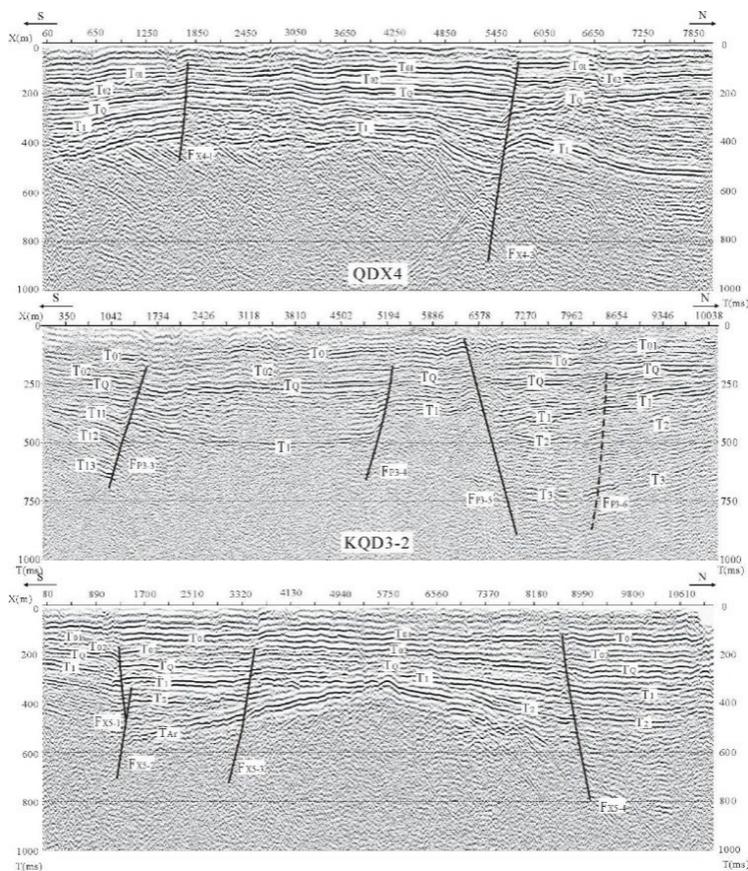
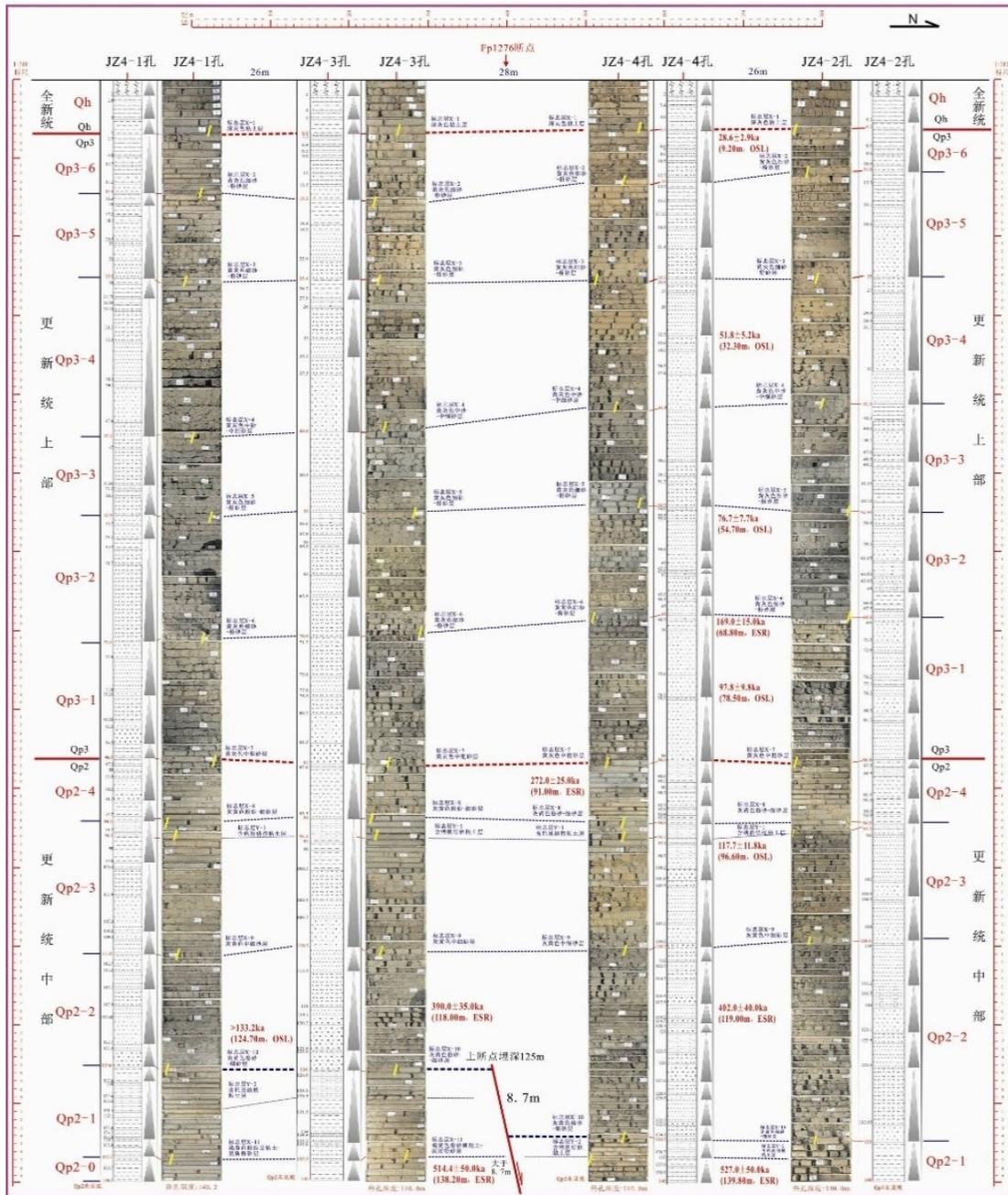


图 3.3.15-2 武陟断裂与平陵断裂浅层地震勘探时间反射剖面 (中国地震局地球物理勘探中心, 2015)



注：断层上断点进入Qp2

图 3.3.15-3 小徐岗场地钻孔联合剖面解释图(中国地震局地球物理勘探中心, 2015)

3.3.16 温县断裂(F16)

该断裂西起孟州西南，经祥云南、温县南，向沁河入黄河口方向延伸，在北郭南农场附近出图，总体走向近东西向，呈舒缓坡状延伸，倾向北，为一正断层。

该断裂是济源盆地的南界断裂，主要根据石油物探资料确定。根据 165 号人工地震资料（图 3.3.16-1）分析，温县断裂为一铲形正断层，浅部倾角约 70° ，6km 深处倾角约为 45° ，8km 以下倾角小于 25° ，断裂北盘基岩面南倾，基岩最大埋深

超过 7500m，覆盖层中古近系厚度超过 4000m，局部可达 5000m；而上升盘一侧基岩面北倾，古近系最大厚度仅为 1600m。垂直断距约 2800m，可见温县断裂古近纪活动非常强烈。

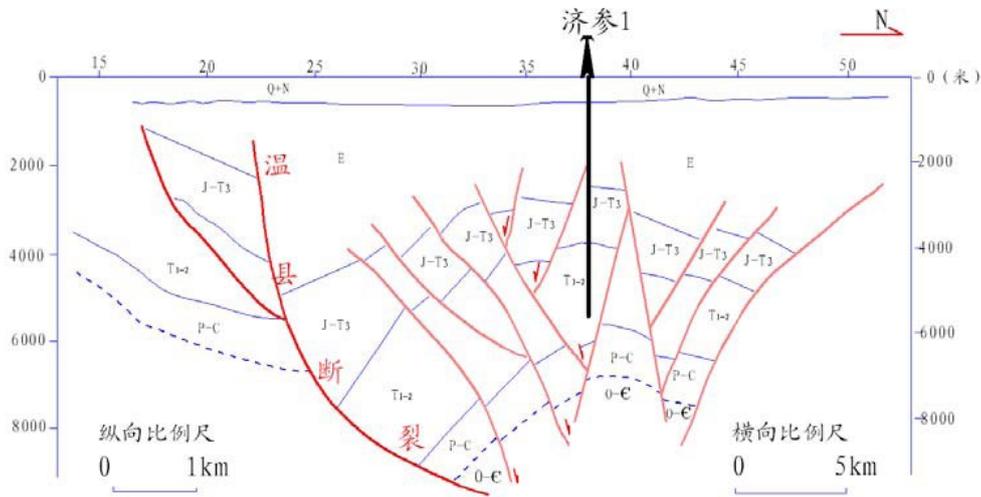


图3.3.16-1 温县断裂165号人工地震剖面解释结果（河南省地矿局，1989）

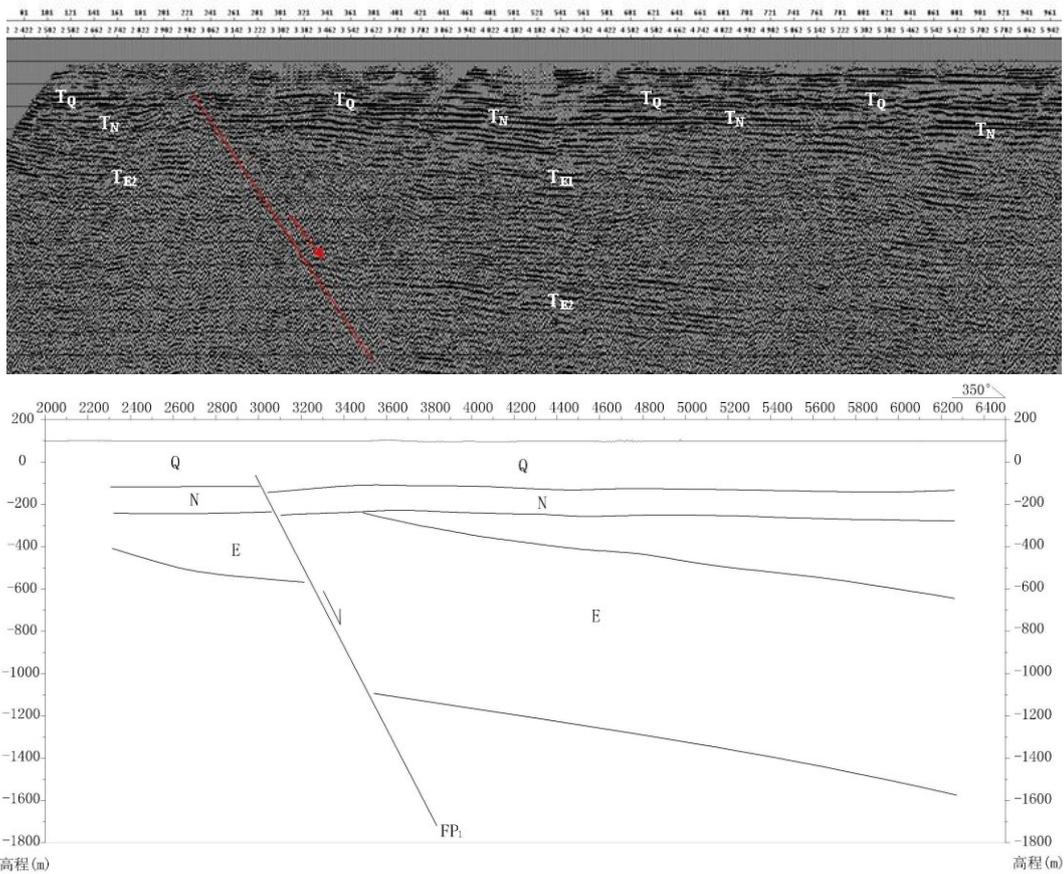


图 3.3.16-2 JZDZ15-1 线地震剖面及地质剖面图
（河南省地震局工程勘察研究院，2015）

另据第四系等厚线分析,断裂北盘第四系厚度均超过 100m,最厚达 300 余米,而南 300 余米,而南盘第四系厚度不超过 100m。现代地貌上黄河河滩北缘总体上与断裂走向一致,断裂北侧地表为全新统下部地层,南侧为全新统上部地层。

2015 年 9 月河南省地震局工程勘察研究院在黄河北岸北郭乡西布置了一条 4.12km 的浅层地震勘探 JZDZ15-1 剖面。测线附近有温县断层通过,该断点在测线桩号 3020 处,倾向北西,倾角 65° ,断距在 1000~2000m,该断层错断最新地层为第四系(图 3.3.16-2),近场区内沿断裂发生过多次 2~3 级地震。综合以上资料分析认为,温县断裂是一条早、中更新世活动断裂。

3.3.17 新郑-太康断裂(F17)

新郑-太康断裂(西支)位于太康地区南部,走向NW,倾向北,从新郑向东南经鄢陵北、扶沟北,一直延伸到太康以南,延伸长度约150km,为分割太康凸起和西华斜坡的边界走滑断层。该断裂倾角大,在部分地震剖面上近直立,自下而上错断古生界-新生界地层。该断裂主要活动时期为古近纪,新近纪-第四纪该断裂进一步活动,在不同的地震剖面上表现为新近系和第四系地震反射同相轴的错断,地震剖面证实新近系底界断距为5-475m不等,其断距整体上由西北向东南逐渐减小。

西段长约 120km,倾向北,在不同剖面上新近系底界表现为正断层或者逆断层,垂向断距为 20-475m 不等,根据地震剖面上断面两侧新近系、第四系地震反射波组变形的一致性,推测该断层断面可能上延至第四系,断层在第四纪早期仍有活动,L219.5 测线剖面上,断层下盘新近系底界断点埋深 T_0 为 475ms,上盘新近系底界断点埋深 T_0 为 950ms,显示为“正”断层。按照新近系以上地层平均 2000m/s(依据测井资料换算得到)的速度换算,该处垂向断距 475m(图 3.3.17-1),在 L237-5 测线上显示为“逆”断层,其新近系底界垂向断距为 120m(图 3.3.17-2),L280-5 测线显示为“逆”断层,垂向断距为 20m(图 3.3.17-3)。

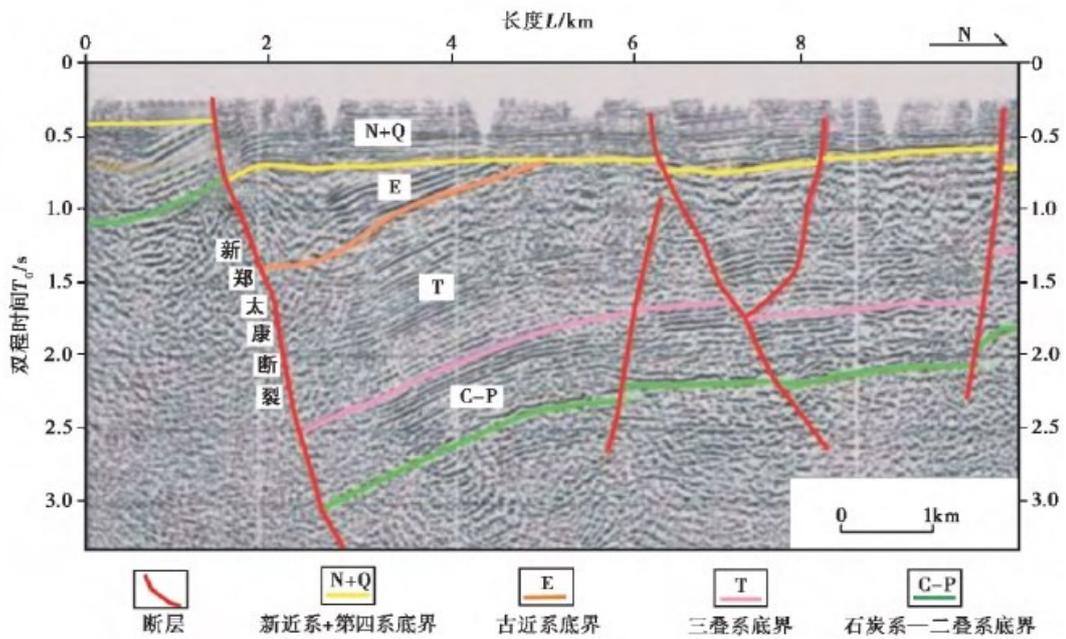


图3.3.17-1 新郑—太康断裂(西支)剖面图(L219.5测线) (王志铄等, 2017)

新郑—太康断裂(西支)东段长约 30km, 走向 NW, 倾向 N, 新近系底界及其以上地层均有错断, 新近系底界断距自西往东逐渐减少, 同时自 L311 测线以东该断裂伴生有一条次级断裂(图 3.3.17-4)。

L311 测线(图 3.3.17-4)和 L320-5 测线(图 3.3.17-5)显示新近系底界断距均为 10m, 其中 L311 测线显示新郑—太康断裂断可能对第四系有影响。

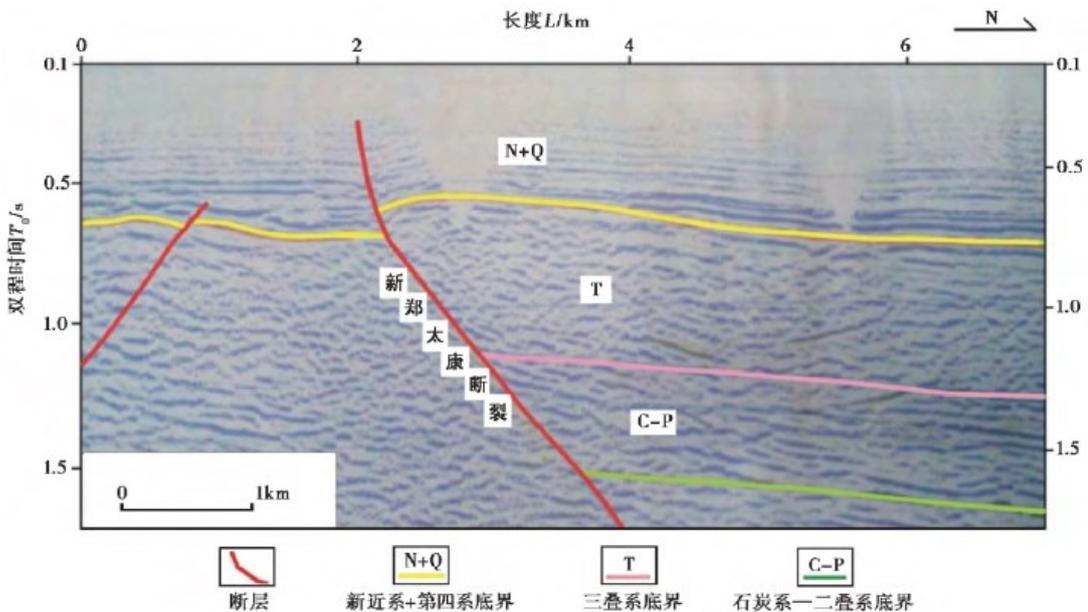


图3.3.17-2 新郑—太康断裂(西支)剖面图(L237.5测线) (王志铄等, 2017)

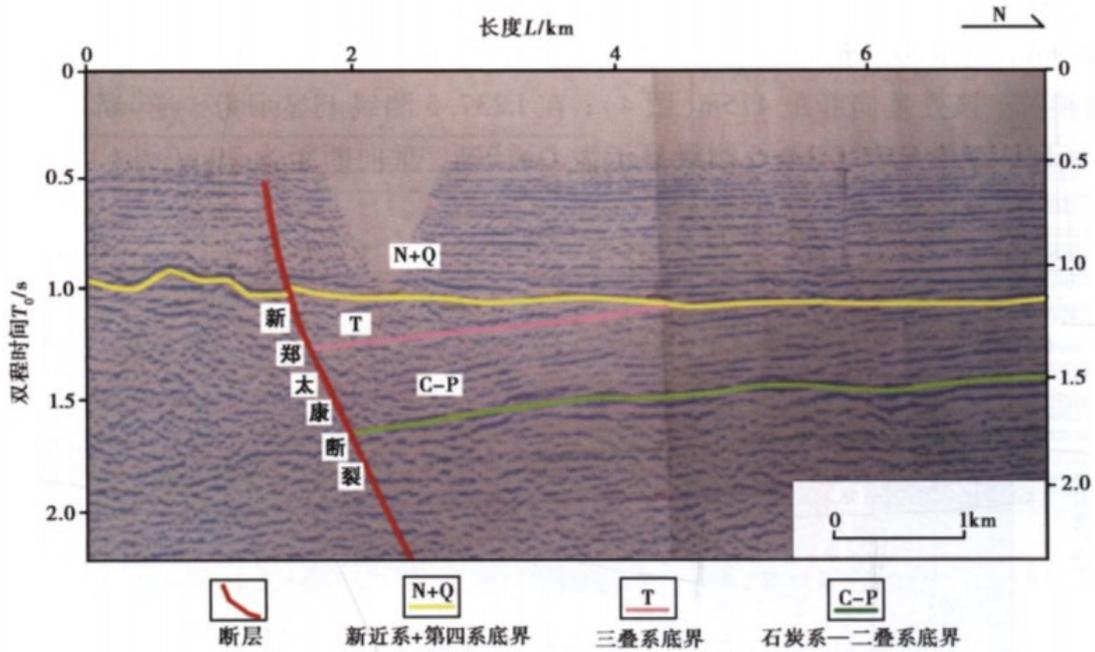


图 3.3.17-3 新郑—太康断裂(西支)剖面图 (L280.5测线) (王志铄等, 2017)

图3.3.17-4是L311测线, 该测线显示断裂有向上延入第四系的趋势, 反映断裂第四纪早期仍有明显活动。图3.3.17-5是L320-5地震剖面, 在浅层因村庄等障碍物出现“缺口”, 但缺口两侧仍表现出明显同相轴错断的趋势, 可能为断裂第四纪早期活动的影响。断裂西支在剖面上呈现“正”断、“逆”断交互出现的现象, 反映断裂新生代活动性质可能以走滑运动为主。

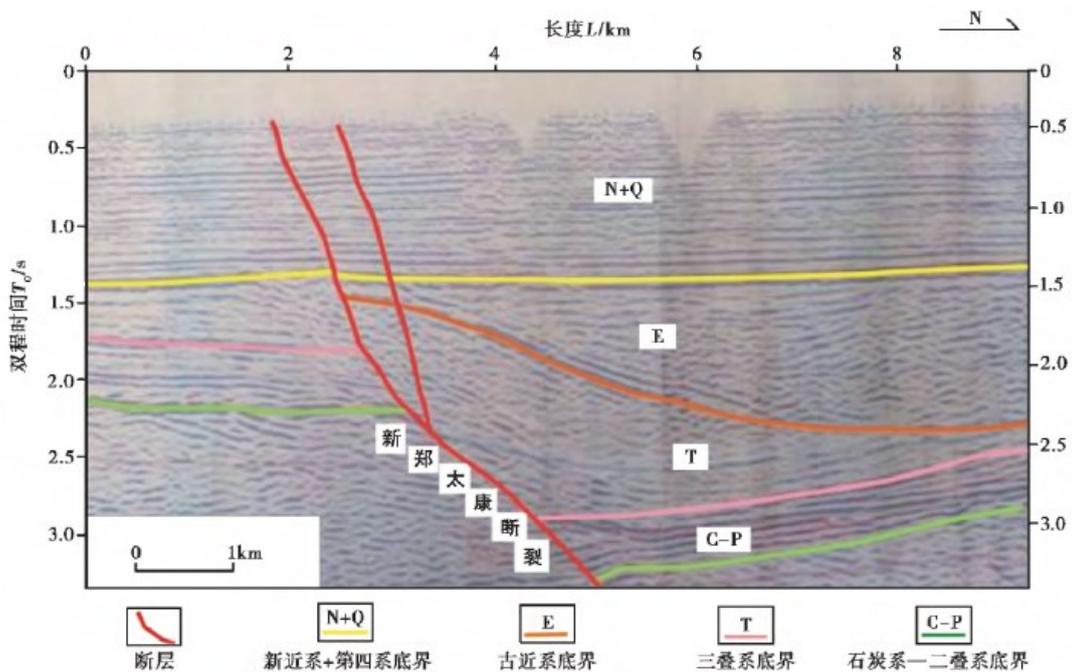


图3.3.17-4 新郑—太康断裂西支剖面图 (L311测线) (王志铄等, 2017)

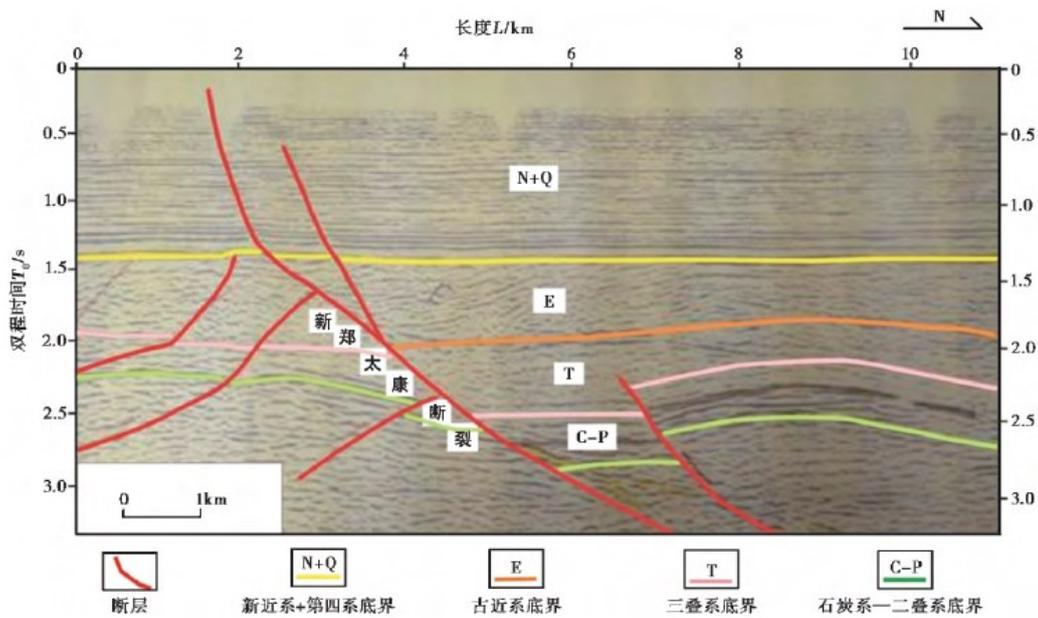


图3.3.17-5 新郑—太康断裂西支剖面图 (L320.5测线) (王志铄等, 2017)

新郑—太康断裂西支东段仅有3条测线控制，但由于新近系及其以上地层地震资料品质较好，其测网密度间隔为4km和9km，断点较清晰，所以断裂可靠度较高。L210.5测线(图3.3.17-6)和L575测线(图3.3.17-7)，显示新近系底界出现了明显的地震波同相轴错断现象；L265测线(图3.3.17-8)，因剖面短而对新近系底界的错断没有控制，但剖面南端下部有明显的新郑—太康断裂显示。这几条测线对断裂走向和拐弯的画法有控制作用。

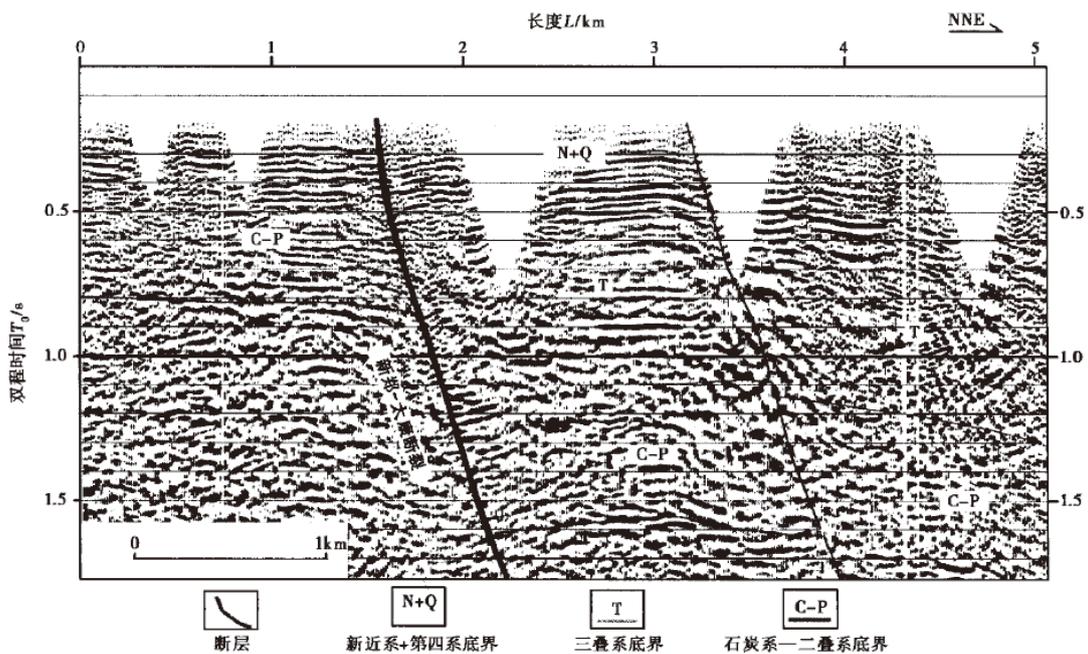


图3.3.17-6 新郑—太康断裂西支剖面图 (L210.5测线) (王志铄等, 2017)

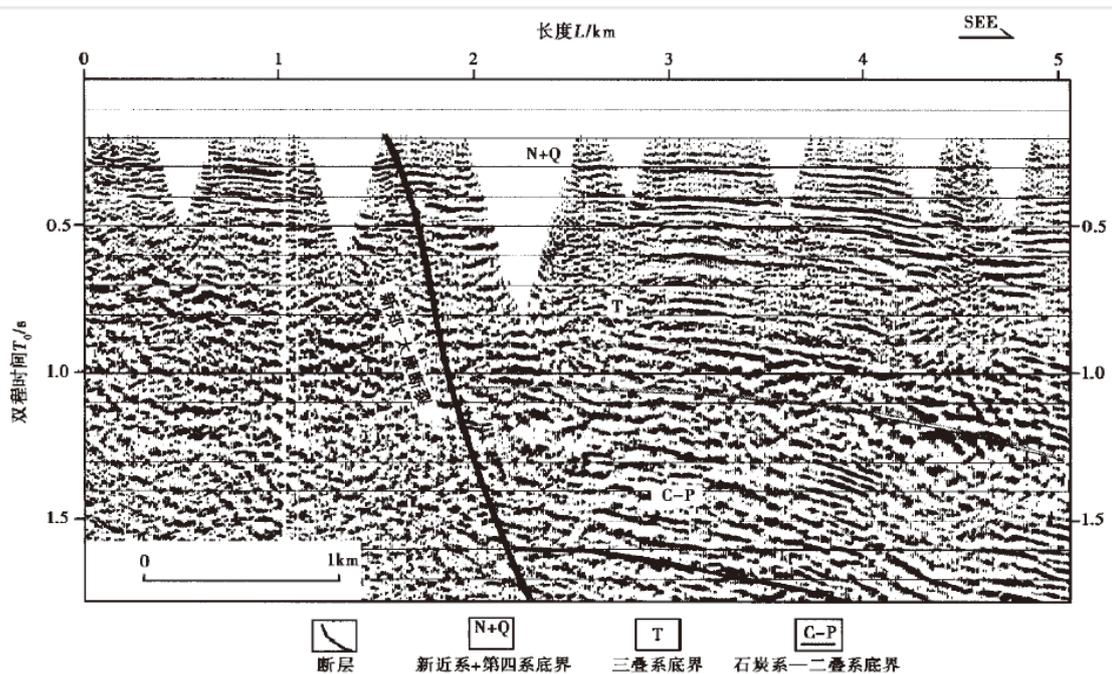


图3.3.17-7 新郑—太康断裂西支剖面图 (L575.5测线) (王志铄等, 2017)

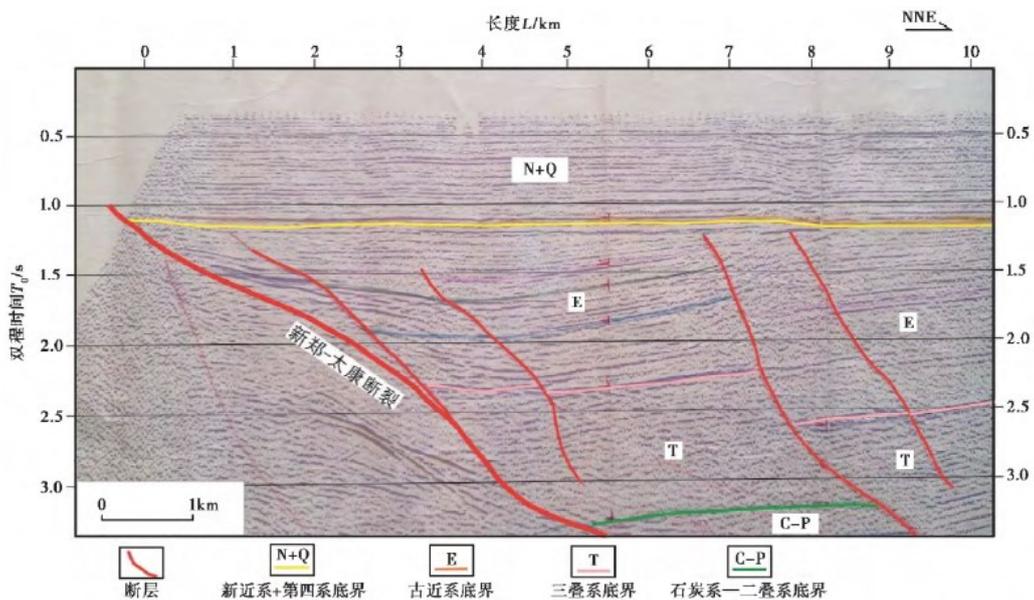


图 3.3.17-8 新郑—太康断裂 (西支) 剖面图 (L265测线) (王志铄等, 2017)

综上所述认为, 新郑-太康断裂为是一条中更新世活动断裂。

3.3.18 大封-南山口断裂 (F18)

该断层北东起武陟县东陶, 向南西经大封, 过黄河经沙鱼沟延到南山口, 被五指岭断层所切, 全长 44km。断层总体走向 30° , 倾向北西, 倾角大于 80° , 北东段没入第四系之下, 由物探资料证实断层存在。在南山口附近, 由断裂引起山区与

平原的自然分界，断面呈舒缓波状，其上斜擦痕发育。紧贴断面糜棱岩化现象明显。断层破碎带宽 50~60m，其内挤压透镜体呈明显的定向排列，在其透镜体周围由泥岩围绕，挤压片理也极为发育。构造角砾岩之角砾，多呈次棱角状，砾径大小不等，具定向和半定向排列，由钙质胶结，不很坚硬。其次见部分构造角砾岩呈透镜状，具明显定向排列。在透镜状构造角砾岩周围，挤压片理和揉皱现象也很发育。此外，在断层破碎带中，还可见到早期构造角砾连同胶结物被整齐切断的现象。据上述特征，该断层具多期活动。

根据 2003 年在河南豫联工业园区附近开展的高密度电阻率测量资料，该断层最新活动时代为中更新世早期。

3.3.19 新寨断裂(F19)

该断裂西起登封大冶东南的栗子沟，向东南展布于石榴村、钱家庄、新寨、鳌子顶，并没入第四系黄土之下。断层呈舒缓波状延伸，总体走向 300° ，倾向北东，倾角 $45-50^{\circ}$ ；断层南西盘为下元古界，北东盘为古生界。断层两盘破碎，其破碎带宽约数十米，可见到其中的挤压透镜体、上盘古生界地层片理化并强烈揉皱，次级褶曲发育，同时断层两盘的岩层中存在着与断面平行和垂直的两级裂隙。在观音寺附近的采石坑中，断层呈北西西走向，倾向北东，岩性为绢云母石英片岩，已挤压为断层角砾岩（图 3.3.19-1）。

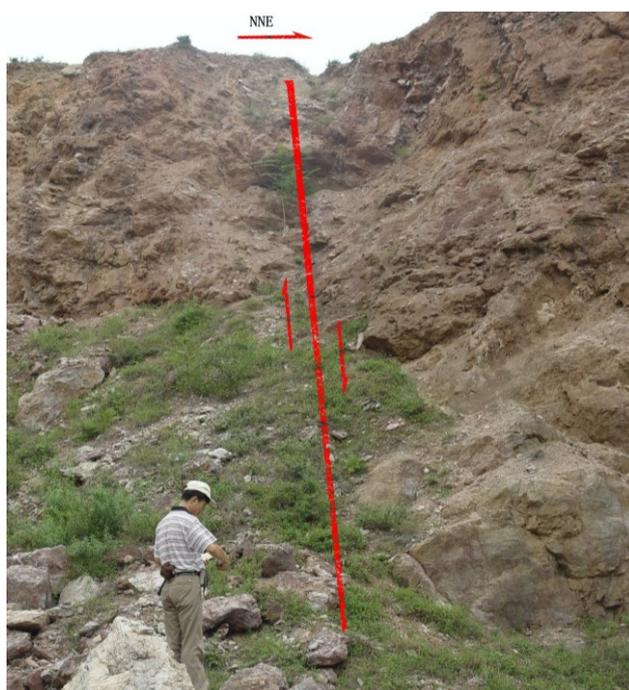


图 3.3.19-1 观音寺附近断层剖面（据河南省地震局，2002）

覆盖区主要依据物探资料推测，该断层不仅切割了元古界、古生界及中生界地层，而且错断第三系。说明该断层形成时间较早，活动时间长的特点，该断裂经历了由挤压与拉张运动正断方式的转换。由于物探剖面显示其上覆第四系未见变形，说明新寨断裂为前第四纪断裂。

3.3.20 魏窑-尧破山断裂 (F20)

该断裂南起登封东白栗坪北的魏窑村，经磨平寨北、双庙沟、尧破山西侧、大冶北的寨根，至新密南吴村处被五指岭断裂截断，长约 25km，位于近场区内。断裂走向 30° ，其中间微微弯曲，断面倾向北西，倾角 46° 。断裂北西侧(上盘)为二叠系和三叠系地层，展布着两个含煤向斜，其岩层产状多倾于北和北西，倾角一般 $5\sim 20^\circ$ 。南东侧(下盘)则出露着寒武、奥陶、石炭、二叠系地层，由于东西向和北东-南西向褶皱构造的影响，使其产状变化复杂。该断裂北西侧下降，为一正断层，推测断距约 200m。该断裂位于东金店复向斜的南西翼，在断层北东段，两种不同方向褶皱的交汇处，断层的南东侧，产生了小的羽毛状断裂。根据地质地貌特征，推断该断裂为前第四纪活动断裂。

3.3.21 登封-鲁庄断裂 (F21)

该断裂位于登封中岳庙，向北西经崇福宫、申半坡、鲁庄至偃师南；向南东经五渡村至告城东南和魏窑-尧破山断裂相交。断裂走向 315° ，倾向南西，倾角 $65\sim 80^\circ$ 。断裂两端隐伏，中间段出露着太古界至上古生界地层。沿断裂见破碎带宽 $100\sim 200\text{m}$ ，均为石英岩的角砾组成，近断层有 $5\sim 10\text{cm}$ 的细角砾岩带，角砾呈次圆状，砾径最大 $2\sim 3\text{cm}$ 。在地貌上，该断裂使嵩山山体反向扭错。断裂具多期活动，为正断层。断裂切断东金店复向斜，使向斜的北东段向北西方向错动了约 3 km 余，并使向斜南西段接近断裂处向北东呈弧形弯曲。在登封市西北，断裂走向北西，南西盘下降，形成数十米高的陡崖(图3.3.21-1)，断层地貌特征明显。



图 3.3.21-1 登封-鲁庄断裂地貌（镜向 NE，34.47553° N，113.04121° E）

根据玉皇庙断裂在登封城南的断层出露情况，通过电镜扫描绘制的剖面如图 3.3.21-2，断裂切穿古近系地层，断层两侧可见破碎状砾岩层，上覆第四纪地层。据在鲁庄东南一带，该断裂发育在下二迭统绢云石英千枚状板片岩与中上石炭统灰岩、页岩、泥质砂岩中。断层以正断层为主，见千板岩中有宽达 5~6m 断层角砾岩、劈理化角砾岩带，断裂砾岩胶结坚硬，无新活动形迹。断裂带之上覆盖有中更新世棕红色粉质粘土，未见断裂有任何变形显示。沿断裂走向追索，在鲁庄东南均见中更新世黄土台地平整覆盖在断裂延伸方向上，未有断裂地形地貌显示。

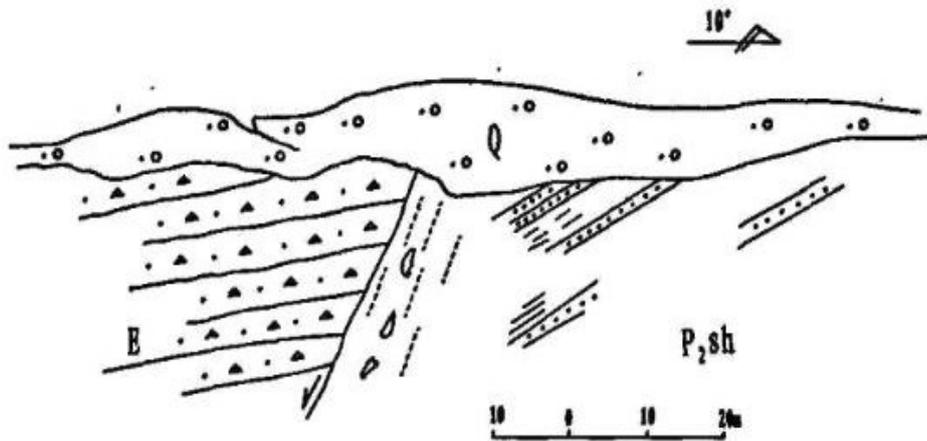


图 3.3.21-2 登封玉皇庙断层剖面（河南省地震局，1989）

在断裂附近有小震活动，推测其为新近纪末至第四纪早期的活动断裂，最新活动时代为早更新世。

3.4 近场现代构造活动特点

近场区处于嵩山隆起与郑汴拗陷的过渡地带。新生代以来近场内构造运动主要表现为差异性沉降运动，沉降幅度总体趋势为西南小，东北大。

新生代早期，拗陷范围较小，仅在一些次级拗陷内有沉积。新近纪时期发生大面积的沉陷，与整个华北平原连成一片。新近系和第四系地层的沉积厚度由西南到东北逐渐增加。荥阳贾峪北为 50m，郑州市区为 600~1000m，到东北增加至 2900m；本场地新近系和第四系沉积厚度为 700~800m。第四系晚更新世地层的沉积厚度，在郑州市西南不足 30m，而郑州市乳牛场一带可达近百米；全新统仅在郑州市东北部厚度 20~30m，其它地段没有沉积。

对商代古墓发掘发现，郑州市区西南的墓葬埋深仅几十厘米，陇海路第五中学附近墓葬埋深为 1.5~2m，人民路、北二七路墓葬埋深为 3m 左右，东北部经五路、经三路墓葬埋深为 4m 左右。

由此可见，近场区新构造运动具有继承性沉降特征，沉降幅度由西南向东北逐渐增大。

3.5 近场区发震构造评价

根据前面对近场区地震地质和地震活动性特征的分析，结合区域地震构造研究成果，

对近场区地震构造综合评价如下：

近场区涉及豫中差异沉降区的开封凹陷、太康凸起和和豫西差异隆起的嵩山低凸起三个二级新构造单元，目标区位于嵩山低凸起内。近场区新构造运动以明显的差异升降为特点，已有资料显示该区的强烈差异升降主要发生在新构造运动的早期，第四纪以来的地壳差异运动较弱。区内现代地壳运动总体上继承了新构造运动的特点并呈减弱趋势，表现为北东东向构造应力场下地壳的缓慢差异升降运动，西南部为隆起的台地，而东北部则是广阔的沉降平原。

近场区内有7条第四纪断裂活动断裂须水断层、武陟断裂、五指岭断裂、新郑-太康断裂、温县断裂、大封-南山口断裂和登封-鲁庄断裂，它们的最新活动时代为早、中更新世，其余均为前第四纪断裂，区内尚未发现断裂晚更新世以来活动的证

据。距离目标区最近的断裂的须水断裂，其最新的活动年代为早-中更新世，综合分析认为近场区具有发生中强地震的构造背景。

近场区处于华北平原地震带的西南部边缘，相对于华北平原地震带强烈的地震活动而言，近场区地震活动无论是强度还是频度都较低，历史上发生的最大地震震级为5级，近期小震零星分布，总体上近场区地震活动水平不高。

4 目标区主要断层勘查和活动性鉴定

目标区活动断裂勘查和活动性鉴定的主要目的是通过开展断层控制性调查和探测，查明目标区是否存在断层，并鉴定断层的活动性。根据中国地震局《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函【2019】21号）与《郑州中原新区须水河核心板块区域性地震安全性评价技术服务合同》的要求，对目标区内是否发育断裂以及断裂的最新活动特征开展针对性的鉴定工作。

4.1 目标区及周边断裂活动情况

综合前人工作结果及本项目野外调查结果，断裂通过处没有见到第四纪活动迹象，地貌也没有明显显示，沿断裂无现代地震分布，目标区周边有一条新近纪以来的断裂须水断裂，以及一条前第四纪断裂尖岗断裂。须水断裂的最新活动时代为早-中更新世。

根据对目标区以及近场区的主要断裂分布情况进行资料整理发现，目标区周边的主要分布有 DL1（雪松路）测线、XL3（新田大道）测线和郑州市活断层关于须水断层的 XXQ1 地震折射剖面。这些地震测线很好的控制了目标区及周边的地震构造情况，目标区及周边地震地质实际材料图如图 4.1.1 所示。

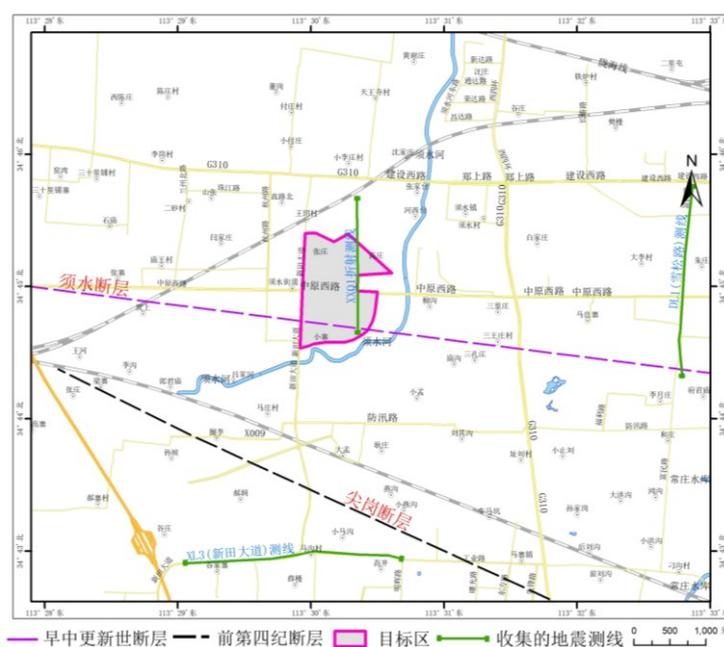


图 4.1.1 目标区及周边地震勘探资料

4.2 地震剖面分析

4.2.1 DL2（雪松路）浅层地震测线

根据我公司在目标区的以东 2500 米完成的《郑州中央文化区（CCD）北区核心板块区域地震安全性评价》项目（2021 年）中，委托河南航空遥感中心完成的郑州中央文化区（CCD）北区核心板块区域地震安全性评价浅层地震勘探报告里的 DL2 浅层地震测线，该地震测线的时间解释剖面及地震地质剖面图如图 4.2.1 所示，经过分析，这条地震测线的 F_{pDL2-1} 断点认为控制的是同一条断层 F_1 ，即须水断裂，走向东西，视倾向北，视倾角 78° ，断层落差 $95\sim 100\text{m}$ ；而在这两条地震测线周边的新生界地层包括第四系（Q）和新近系（N），其中第四系地层变化较小，沉积相对比较稳定，基本全区分布，大体呈水平形态，整体厚度大体在 $40\sim 53\text{m}$ 之间，表现为隐伏断层，上断点埋深为 $194\sim 320\text{m}$ 。新近系地层整体厚度较大，大体呈水平形态，存在一定倾斜形态，其底界面埋深在 $424\sim 678\text{m}$ 之间。

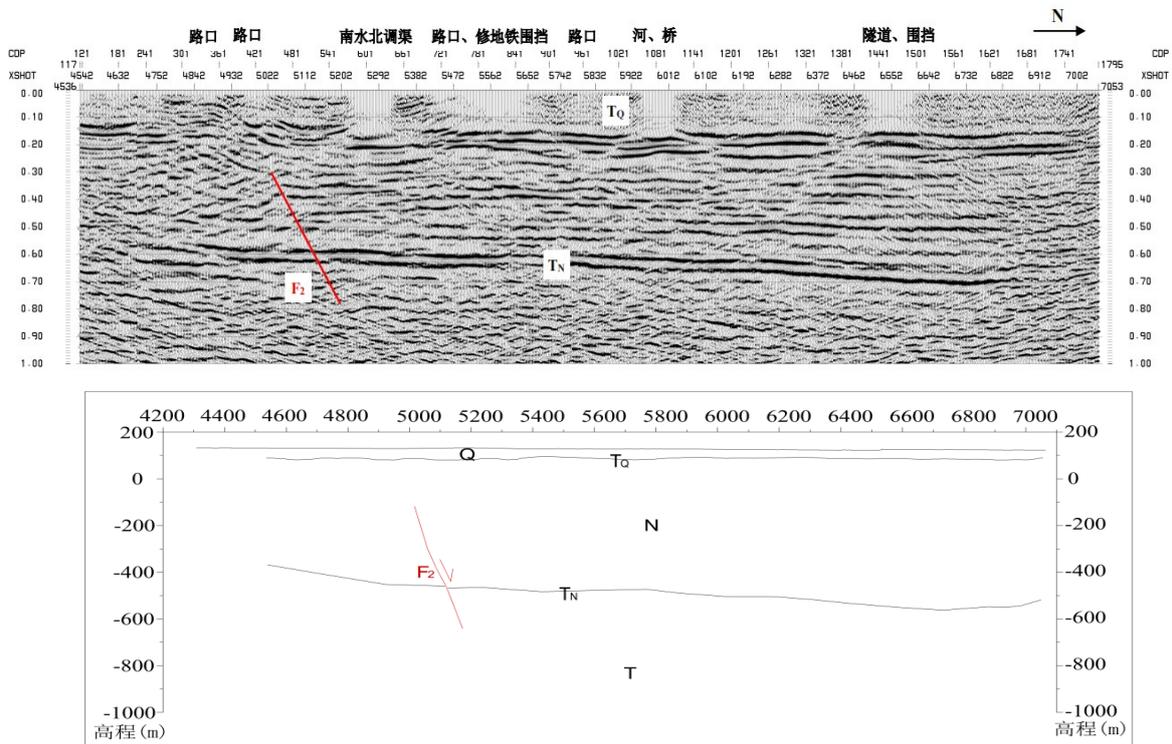


图 4.2.1 DL2(雪松路)浅层地震时间解释剖面及地震地质剖面图

4.2.2 XXQ1 浅层地震折射勘探测线

根据郑州市地震局完成的《郑州市活断层探测与地震危险性评价》(2006)关于须水断层的鉴定成果的相关资料显示，在目标区的白寨附近布设有一条浅层地震折

射勘探测线，测线编号 XXQ1，该测线的折射测线解释图如图 4.2.2。与 CQX1 测线重合，南北向垂直穿越须水断层，测线长 2km，共进行 33 次激发，最大接收距约 600m。通过利用初至波有限差分层析成像、时间项方法、差异时距曲线法三种方法对地震数据分析认为：XXQ1 测线在 2700m 桩号处显示了较为明显的断层迹象（4.2.2），P_q 界面在约 2550-2750m 桩号处出现迅速下陷，埋深约 80m，产状南缓北陡，与两侧形成约 25m-30m 的断差。为了确定该构造的是否存在，在相应区域布置了四个钻孔进一步详细勘探，这四个钻孔的代号和位置是 XXZK-1（2740m 桩号）、XXZK-2（2500m 桩号）、XXZK-3（2600m 桩号）和 XXZK-4（2850m 桩号），这里仅以 XXZK-3 与 XXZK-4 孔进行分析，XXZK-3（2600m 桩号）位于凹陷处，XXZK-4（2850m 桩号）位于凹陷北侧的凸起处，结果显示：深约 15m 以上为相同的粉土、粉质粘土；约 20m 以下就显示明显的不同，XXZK-1 在 20m、32m、48m、62m 和 73m 取样岩性分别是粉质粘土、粉砂、粉砂、细砂岩、粘土（坚硬-硬塑），而 XXZK-4 在相同位置深度分别是粘土、细砂岩、砂砾岩、粉质粉土（坚硬-硬塑）及细砂（密实），体现了凹陷处与北侧隆起处两类不同的岩性构造特征，也进一步证实了东西走向的须水断层的存在。

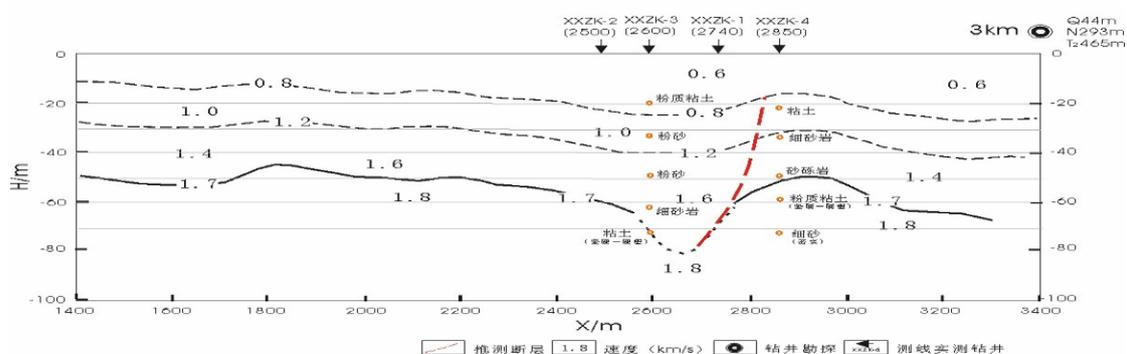


图 4.2.2 XXQ1 折射测线解释图（郑州市地震局，2006）

综合区域资料分析认为此断裂为较可靠断层，其最新活动时代为早-中更新世，其新近系地层的覆盖厚度 424~678m 之间。

4.2.2 XL3（新田大道）浅层地震剖面

该测线是中国地震局地球物理勘探中心 2014 年完成，测线沿新田大道的东、西方向段布设，图 4.2.3 为 XL3 测线的地震反射时间和深度剖面图。从图 4.2.3 和时间剖面图 4.2.4 可以看出，该剖面东、西两段差别较大，西段反射震相比较多，反射能量较强；东段反射震相比较少，反射能量较弱，这主要是两段激发和接收条件以

及环境条件差别较大所致。根据该剖面的波组特征，在剖面上从上到下也可以识别出 4 组反射震相 ($T_{Q+N} \sim T_N$)，从这 5 组反射震相的横向展布特征和图 4.2.3 的深度剖面图上的地层变化形态来看，该测线地层从上到下基本呈水平展布，横向相对起伏变化不大，仅在某些局部存在轻微的起伏变化现象。

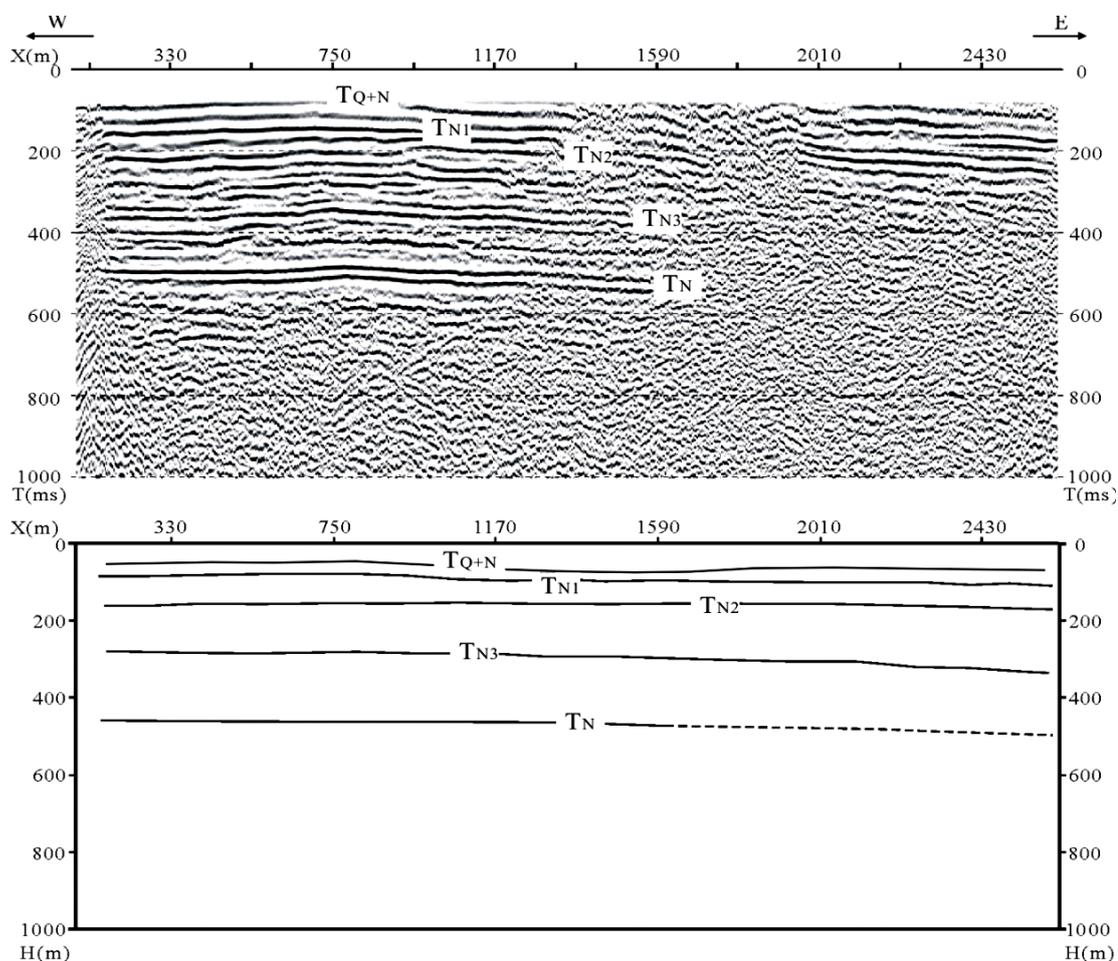


图 4.2.3 XL3 (新田大道) 测线地震反射时间和深度剖面图

从图 4.2.3 各反射同相轴的横向连续性来看，在剖面的东段各反射同相轴横向连续性都较好，不存在波形畸变和同相轴扭曲、错断等现象。虽然在剖面的西段反射能量较弱，反射同相轴连续性相对较差，但都不存在由断层所造成的反射同相轴的扭曲、错断等波形畸变现象，尤其从 T_{N3} 同相轴可以清楚地看出东、西两段同相轴能够连续追踪，因此在该测线没有发现断层特征。

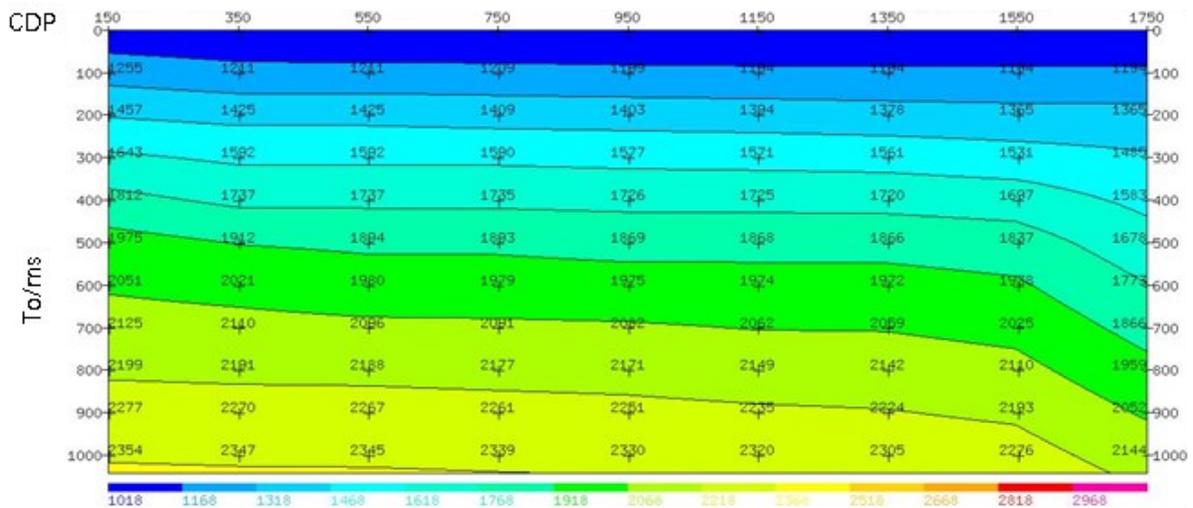


图 4.2.4 XL3 测线平均速度剖面图

4.3 结论

(1) 通过收集的目标区及周边的地震测线，初步了解了测线附近浅部的构造环境，测线经过区域有断裂通过。通过对上断点埋深的分析，上断点错断在新近系地层内部。

(2) 通过对以上三条地震测线的详细分析，初步了解了测线经过区域及其周边区域的新生界上部地层的地层层序，各地层的起伏形态和厚度变化情况。

(3) 目标区内新生界地层包括第四系 (Q) 和新近系 (N)，其中第四系地层变化较小，沉积相对比较稳定，基本全区分布，大体呈水平形态，整体厚度大体在 40~53 m 之间。查明须水断裂位从目标区南侧穿过，表现为隐伏断层，上断点埋深为 194~320 米。

(4) 新近系地层整体厚度较大，大体呈水平形态，存在一定倾斜形态，其底界面埋深在 424~678 m 之间。

5 目标区工程地震条件勘测

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）》有关的规定，对目标区内场地地震工程地质条件进行综合评价。场地地震工程地质环境是确定场地设计地震动参数和评价场地地震地质灾害的基础。为确定目标区场地地震工程地质条件，需要进行目标区场地工程地质条件勘测与评价。本次工作在目标区场地及其周边工程地质踏勘基础上进行了钻探，其主要目的是为了探测松散覆盖层厚度、土层结构、土层剪切波速、代表性土体动力非线性特性试验、土体常规土力学参数测试等，并获取场地工程地质相关资料，以便进行了场地地震反应分析和地震地质灾害评价。

5.1 场地地形地貌特征

目标区所在地区为郑州市中原区西部须水镇，东北至丹水大道，西至新田大道，南至御马路。地貌类型为黄河泛滥冲积平原，场地属新建场地，地形较为平坦（如图 5.1.1 所示）。目标区及邻区内多为住宅或农田，地势平坦，平均海拔高度位于 133~146m 之间。

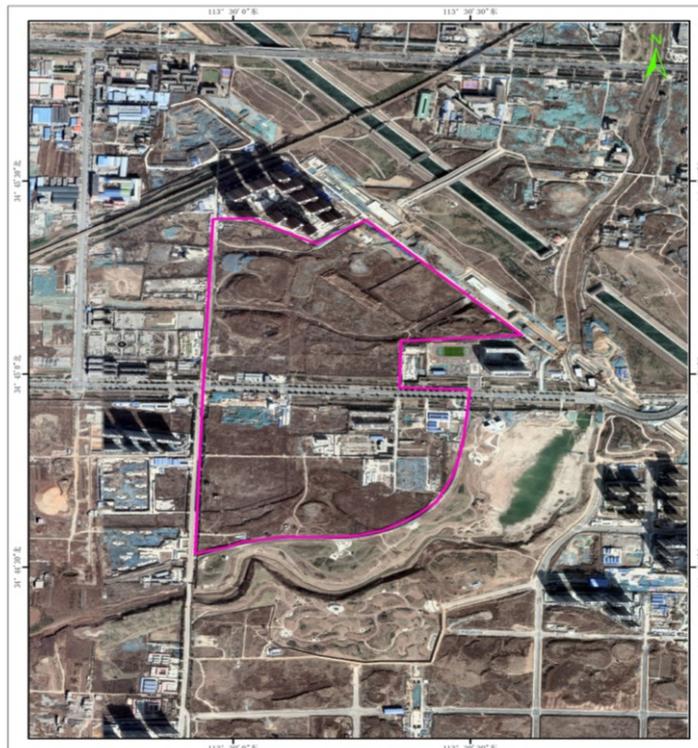


图 5.1.1 目标区地形地貌图(紫色框内为目标区)

5.2 场地条件

5.2.1 目标区工程地质条件勘测

依据《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（试行）》的要求，再结合目标区的分布情况和便于开展工作，我们在目标区内布置了 8 个控制点，在每个控制点处布设 1 口钻孔，共计 8 口钻孔，钻孔深度均为 45~60m，其中液化判别标贯孔 8 口，动三轴取样孔 3 口，工程地质剖面 5 条，收集地震测线 3 条，并对所有钻孔进行了剪切波速测试，具体的现场工作情况布置图如图 5.2.1 所示。

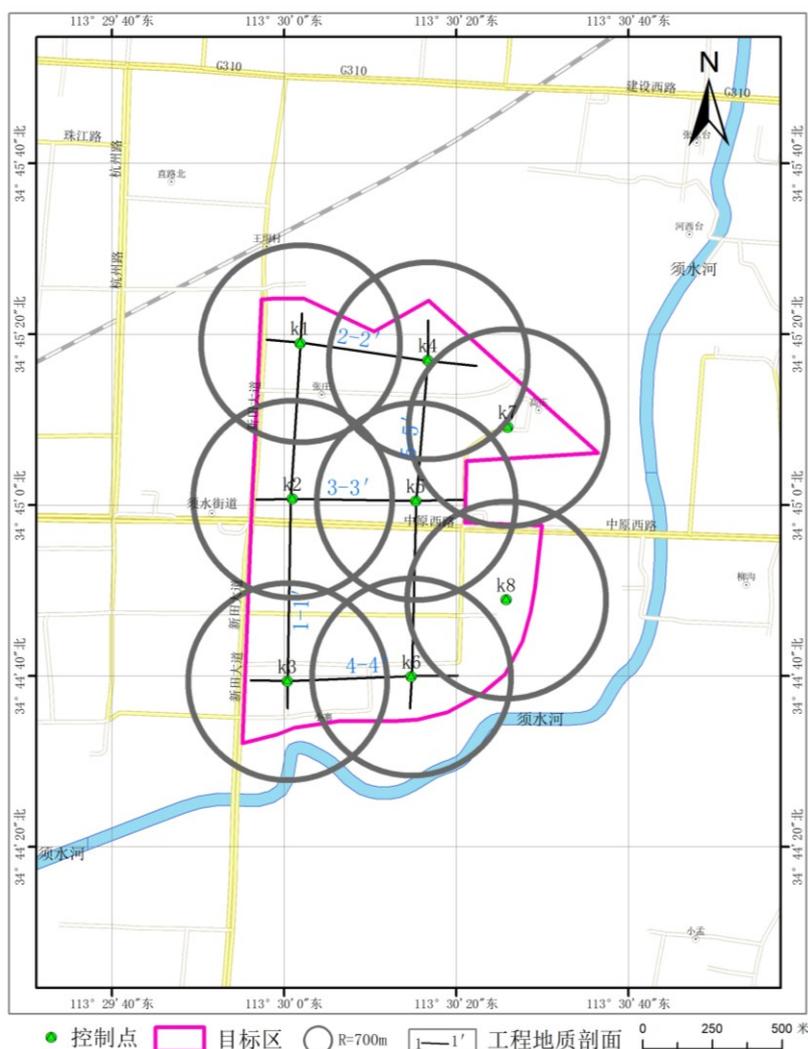


图 5.2.1 控制点平面位置图

依据钻探及土工试验成果，在勘探深度范围内，本场地地层属第四系全新统和上更新统，根据其物理力学性质及工程地质特性将本场地土分为 6 个主层，现自上

而下分层描述如下：

1-1, 素填土 (Q4m1) : 褐黄色, 稍湿, 稍密, 主要以粉土为主, 局部含有植物根系。该层在场地内局部缺失。

1-2, 杂填土 (Q4m1) : 杂色, 稍湿, 松散, 主要以碎石、碎砖、水泥路块等建筑垃圾构成, 局部为以粉土、粉砂为主的素填土。该层在场地内局部缺失。

2-1, 粉土 (Q4a1) : 褐黄色, 稍湿, 稍密~中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹, 偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。

2-2, 粉土 (Q4a1) : 褐黄色, 稍湿, 稍密~中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹, 偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。

2-3, 粉土 (Q4a1) : 褐黄色, 稍湿, 中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。

2-4, 粉土 (Q4a1) : 褐黄色, 稍湿, 中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑, 含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。

2-5, 粉土 (Q4a1) : 褐黄色, 稍湿, 密实, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑及灰色钙质斑点, 含钙质结核粒径, 该层在场地内局部缺失。

3-1, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。

3-2, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。

3-3, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。

3-4, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。

3-5, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 含大量钙质结核, 该层普遍存在。

3-6, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 含钙质结核, 粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在

3-7, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑~坚硬, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 该层普遍存在。

3-8, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑~坚硬, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 该层普遍存在。

3-9, 粉质黏土 (Q4a1) : 褐黄色, 硬塑~坚硬, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 该层普遍存在。

4-1, 黏土 (Q3a1) : 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核, 无摇振反响, 干强度高, 耐性高。

4-2, 黏土 (Q3a1) : 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核, 无摇振反响, 干强度高, 耐性高。

4-3, 细砂 (Q3a1) : 褐黄色, 饱和, 密实, 成分以石英、长石为主, 云母次之, 含少量黏粒。

4-4, 黏土 (Q3a1) : 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核, 无摇振反响, 干强度高, 耐性高。

4-5, 黏土 (Q3a1) : 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核, 无摇振反响, 干强度高, 耐性高。

4-6, 黏土 (Q3a1) : 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核, 无摇振反响, 干强度高, 耐性高。

4-7, 黏土 (Q3a1) : 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核, 无摇振反响, 干强度高, 耐性高。

5-1, 砂岩 (Q3a1) : 深灰色, 强风化, 砂质结构, 块状构造, 节理裂隙发育, 充填物为土及砂, 该层在场地内局部缺失。

5-2, 砂岩 (Q3a1) : 深灰色, 强风化, 砂质结构, 块状构造, 节理裂隙发育, 充填物为土及砂, 该层在场地内局部缺失。

6-1, 泥岩 (Q3a1) : 杏黄色, 强风化, 泥质结构, 层状构造, 局部夹薄层砂岩碎块。极软岩, 极破碎, 岩体基本质量等级为 V 级。

6-2, 泥岩 (Q3a1) : 杏黄色, 强风化, 泥质结构, 层状构造, 局部夹薄层砂岩碎块。极软岩, 极破碎, 岩体基本质量等级为 V 级。

6-3, 泥岩 (Q3a1) : 杏黄色, 强风化, 泥质结构, 层状构造, 局部夹薄层砂岩碎块。极软岩, 极破碎, 岩体基本质量等级为 V 级。

6-4, 泥岩 (Q3a1) : 杏黄色, 中风化, 泥质结构, 层状构造, 局部夹薄层砂岩层。极软岩, 极破碎, 岩体基本质量等级为IV级。

6-5, 泥岩 (Q3a1) : 杏黄色, 中风化, 泥质结构, 层状构造, 局部夹薄层砂岩层。极软岩, 极破碎, 岩体基本质量等级为IV级。

目标区各钻孔柱状图见图5.2.2, 工程地质剖面图见5.2.3。

根据工程地质剖面图, 目标区的高程没有完全在一个水平面, 各钻孔的层位及厚度变化不大, 部分层位在个别钻孔中有缺失。本次工程地质勘察工作中部分钻孔揭穿了第四系覆盖层。全新统各层顶面埋藏深度变化浮动基本平稳, 工程地质剖面上没有显示由于断裂活动造成地层厚度的突然变化或地层错动现象。

钻孔柱状图

工程名称		郑州中原新区须水河核心片区区域地震安全性评价					工程编号			
孔号	K1		坐	X=3847554.270m		钻孔直径	130mm		稳定水位深度	
孔口标高	135.15m		标	Y=454268.5917m		初见水位深度			测量日期	
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:300	岩性描述		标贯中点深度 (m)	标贯实测击数	附注
Q ₄ ^{ml}	1-1	133.95	1.20	1.20		素填土:褐黄色, 稍湿, 稍密, 主要以粉土为主, 局部含有植物根系。该层在场地内局部缺失。		2.30	6.0	
Q ₄ ^{al}	2-1	128.95	6.20	5.00		粉土: 褐黄色, 稍湿, 稍密~中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹, 偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。		3.30	7.0	
Q ₄ ^{al}	2-2	124.85	10.30	4.10		粉土: 褐黄色, 稍湿, 稍密~中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹, 偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。		4.30	8.0	
Q ₄ ^{al}	2-3	120.85	14.30	4.00		粉土: 褐黄色, 稍湿, 中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。		5.30	8.0	
Q ₄ ^{al}	2-4	116.65	18.50	4.20		粉土: 褐黄色, 稍湿, 中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑, 含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。		6.30	9.0	
Q ₄ ^{al}	3-1	112.65	22.50	4.00		粉土: 褐黄色, 稍湿, 中密, 无光泽反应, 干强度低, 韧性低, 具黄色铁锈斑, 含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。		7.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	3-2	108.55	26.60	4.10		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		8.30	7.0	
Q ₄ ^{al}	3-3	104.45	30.70	4.10		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		9.30	9.0	
Q ₄ ^{al}	3-4	101.65	33.50	2.80		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		10.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	3-5	98.15	37.00	3.50		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		11.30	11.0	
Q ₄ ^{al}	3-6	95.55	39.60	2.60		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		12.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	3-7	90.65	44.50	4.90		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		13.30	12.0	
Q ₃ ^{al}	4-1	86.45	48.70	4.20		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 含大量钙质结核, 粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。		14.30	13.0	
Q ₃ ^{al}	4-7	81.65	53.50	4.80		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 含大量钙质结核, 粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。		15.30	11.0	
Q ₃ ^{col}	6-1	77.55	57.60	4.10		粉质粘土: 褐黄色, 硬塑~坚硬, 切面光滑, 有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 该层普遍存在。		16.30	13.0	
Q ₃ ^{col}	6-2	75.15	60.00	2.40		粘土: 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核。		17.30	14.0	
						粘土: 浅红色, 坚硬, 含少量青色斑块, 钙质结核, 泥岩块, 泥质结核。		18.30	15.0	
						泥岩: 杏黄色, 强风化, 泥质结构, 层状构造, 局部夹薄层砂岩碎块。极软岩, 极破碎, 岩体基本质量等级为 V 级。				
						泥岩: 杏黄色, 强风化, 泥质结构, 层状构造, 局部夹薄层砂岩碎块。极软岩, 极破碎, 岩体基本质量等级为 V 级。				

图 5.2.2-1 目标区钻孔柱状图 (K1 孔)

钻孔柱状图

工程名称					郑州中原新区须水河核心片区区域地震安全性评价			工程编号			
孔号		K2		坐	X=3846993.788m		钻孔直径	130mm			
孔口标高		143.41m		标	Y=454242.2283m		初见水位深度				
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:300	岩性描述			标贯 中点 深度 (m)	标贯 实测 击数	附 注
Q ₄ ^{ml}	1-1	141.41	2.00	2.00		素填土:褐黄色,稍湿,稍密,主要以粉土为主,局部含有植物根系。该层在场地内局部缺失。			2.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	2-1	137.91	5.50	3.50		粉土:褐黄色,稍湿,稍密~中密,无光泽反应,干强度低,韧性低,具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹,偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。			3.30	12.0	
Q ₄ ^{al}	2-2	133.01	10.40	4.90		粉土:褐黄色,稍湿,稍密~中密,无光泽反应,干强度低,韧性低,具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹,偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。			4.30	15.0	
Q ₄ ^{al}	3-1	129.21	14.20	3.80		粉土:褐黄色,稍湿,稍密~中密,无光泽反应,干强度低,韧性低,具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹,偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。			5.30	17.0	
Q ₄ ^{al}	3-2	126.91	16.50	2.30		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			6.30	16.0	
Q ₄ ^{al}	2-3	125.31	18.10	1.60		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			7.30	18.0	
Q ₄ ^{al}	3-3	123.01	20.40	2.30		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			8.30	17.0	
Q ₄ ^{al}	3-4	121.41	22.00	1.60		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			9.30	16.0	
Q ₄ ^{al}	3-5	116.61	26.80	4.80		粉土:褐黄色,稍湿,中密,无光泽反应,干强度低,韧性低,具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。			10.30	13.0	
Q ₄ ^{al}	3-6	113.61	29.80	3.00		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			11.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	3-7	111.41	32.00	2.20		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			12.30	9.0	
Q ₄ ^{al}	3-8	108.61	34.80	2.80		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			13.30	12.0	
Q ₄ ^{al}	3-9	105.61	37.80	3.00		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			14.30	11.0	
Q ₃ ^{al}	4-1	101.11	42.30	4.50		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,含大量钙质结核,粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。			15.30	14.0	
Q ₃ ^{al}	4-3	96.11	47.30	5.00		粉质粘土:褐黄色,硬塑,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,含大量钙质结核,粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。			16.30	17.0	
Q ₃ ^{al}	4-4	94.11	49.30	2.00		粉质粘土:褐黄色,硬塑~坚硬,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,该层普遍存在。			17.30	19.0	
Q ₃ ^{al}	4-7	89.71	53.70	4.40		粉质粘土:褐黄色,硬塑~坚硬,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,该层普遍存在。			18.30	13.0	
Q ₃ ^{col}	6-1	86.01	57.40	3.70		粉质粘土:褐黄色,硬塑~坚硬,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,该层普遍存在。					
Q ₃ ^{col}	6-2	83.41	60.00	2.60		粉质粘土:褐黄色,硬塑~坚硬,切面光滑,有光泽反应,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,该层普遍存在。					
						粘土:浅红色,坚硬,含少量青色斑块,钙质结核,泥岩块,泥质结核。					
						细砂:褐黄色,饱和,密实,成分以石英、长石为主,云母次之。					
						粘土:浅红色,坚硬,含少量青色斑块,钙质结核,泥岩块,泥质结核。					
						粘土:浅红色,坚硬,含少量青色斑块,钙质结核,泥岩块,泥质结核。					
						泥岩:杏黄色,强风化,泥质结构,层状构造,局部夹薄层砂岩碎块。极软岩,极破碎,岩体基本质量等级为V级。					
						泥岩:杏黄色,强风化,泥质结构,层状构造,局部夹薄层砂岩碎块。极软岩,极破碎,岩体基本质量等级为V级。					

图 5.2.2-2 目标区钻孔柱状图 (K2 孔)

钻孔柱状图

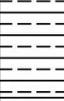
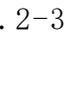
工程名称						郑州中原新区须水河核心区区域地震安全性评价				工程编号				
孔号		K3		坐		X=3846335.664m		钻孔直径		130mm		稳定水位深度		
孔口标高		145.67m		标		Y=454224.2193m		初见水位深度				测量日期		
地质时代	层号	层底标高(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	岩性描述						标贯 中点 深度 (m)	标贯 实测 击数	附 注
Q ₄ ^{ml}	1-2	141.17	4.50	4.50	1:300 	杂填土：杂色，稍湿，松散，主要以碎石、碎砖、水泥路块等建筑垃圾构成，局部为以粉土、粉砂为主的素填土。该层在场地内局部缺失。								
Q ₄ ^{al}	2-1	136.47	9.20	4.70		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。						5.30	7.0	
Q ₄ ^{al}	2-2	131.67	14.00	4.80		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。						6.30	8.0	
Q ₄ ^{al}	3-1	127.87	17.80	3.80		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。						7.30	6.0	
Q ₄ ^{al}	2-3	126.47	19.20	1.40		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。						8.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	3-2	123.07	22.60	3.40		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。						9.30	15.0	
Q ₄ ^{al}	3-3	121.07	24.60	2.00		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。						10.30	17.0	
Q ₄ ^{al}	3-4	116.87	28.80	4.20		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。						11.30	16.0	
Q ₄ ^{al}	3-5	113.17	32.50	3.70		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。						12.30	15.0	
Q ₄ ^{al}	3-6	110.67	35.00	2.50		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。						13.30	17.0	
Q ₃ ^{al}	4-1	108.57	37.10	2.10		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。						14.30	8.0	
Q ₃ ^{al}	5-1	106.47	39.20	2.10		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。						15.30	13.0	
Q ₃ ^{al}	5-2	101.97	43.70	4.50		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。						16.30	11.0	
Q ₃ ^{eol}	6-1	97.17	48.50	4.80		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。						17.30	15.0	
Q ₃ ^{eol}	6-2	92.67	53.00	4.50		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。						18.30	16.0	
						粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。						19.30	12.0	
						砂岩：深灰色，强风化，砂质结构，块状构造，节理裂隙发育，充填物为土及砂。								
						砂岩：深灰色，强风化，砂质结构，块状构造，节理裂隙发育，充填物为土及砂。								
						泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。								
						泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。								

图 5.2.2-3 目标区钻孔柱状图 (K3 孔)

钻孔柱状图

工程名称		郑州中原新区须水河核心片区区域地震安全性评价					工程编号		
孔号		K4		坐 标		X=3847491.701m	钻孔直径	130mm	稳定水位深度
孔口标高		133.72m		标		Y=454645.5096m	初见水位深度		测量日期
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩性描述	标贯中点深度 (m)	标贯实测击数	附注
Q ₄ ^{ml}	1-2	132.62	1.10	1.10	1:300	杂填土：杂色，稍湿，松散，主要以碎石、碎砖、水泥路块等建筑垃圾构成，局部为以粉土、粉砂为主的素填土。该层在场内局部缺失。	2.30 3.30 4.30	7.0 6.0 6.0	
Q ₄ ^{al}	2-1	128.12	5.60	4.50		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。	5.30 6.30 7.30 8.30 9.30	8.0 8.0 7.0 7.0 8.0	
Q ₄ ^{al}	2-2	124.22	9.50	3.90		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。	10.30 11.30 12.30 13.30 14.30	13.0 14.0 14.0 15.0 13.0	
Q ₄ ^{al}	2-3	119.92	13.80	4.30		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。	15.30 16.30 17.30 18.30	12.0 14.0 14.0 12.0	
Q ₄ ^{al}	2-4	115.12	18.60	4.80		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑，含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。			
Q ₄ ^{al}	3-1	110.22	23.50	4.90		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			
Q ₄ ^{al}	3-2	106.22	27.50	4.00		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			
Q ₄ ^{al}	3-3	101.32	32.40	4.90		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			
Q ₄ ^{al}	3-4	97.32	36.40	4.00		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			
Q ₄ ^{al}	3-5	92.42	41.30	4.90		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			
Q ₄ ^{al}	3-6	88.12	45.60	4.30		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。			
Q ₃ ^{al}	4-1	84.02	49.70	4.10		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。			
Q ₃ ^{al}	4-7	79.22	54.50	4.80		粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。			
Q ₃ ^{col}	6-1	75.22	58.50	4.00		粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。			
Q ₃ ^{col}	6-2	73.72	60.00	1.50		泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。			
						泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。			

图 5.2.2-4 目标区钻孔柱状图 (K4 孔)

钻孔柱状图

工程名称		郑州中原新区须水河核心片区区域地震安全性评价					工程编号			
孔号	K5		坐	X=3846983.647m		钻孔直径	130mm		稳定水位深度	
孔口标高	141.54m		标	Y=454607.6386m		初见水位深度			测量日期	
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:300	岩性描述		贯入点深度 (m)	标贯实测击数	附注
Q ₄ ^{al}	2-1	136.84	4.70	4.70			粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。	1.30	7.0	
								2.30	6.0	
Q ₄ ^{al}	2-2	132.14	9.40	4.70			粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。	3.30	9.0	
								4.30	11.0	
Q ₄ ^{al}	2-3	129.14	12.40	3.00			粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。	5.30	13.0	
								6.30	11.0	
Q ₄ ^{al}	3-1	126.94	14.60	2.20			粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。	7.30	14.0	
								8.30	8.0	
Q ₄ ^{al}	2-4	123.64	17.90	3.30			粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。	9.30	15.0	
								10.30	17.0	
Q ₄ ^{al}	3-2	119.14	22.40	4.50			粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑，含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。	11.30	16.0	
								12.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	3-3	118.14	23.40	1.00			粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。	13.30	9.0	
								14.30	15.0	
Q ₄ ^{al}	3-4	113.14	28.40	5.00			粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。	15.30	12.0	
								16.30	10.0	
Q ₄ ^{al}	3-5	109.54	32.00	3.60			粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。	17.30	7.0	
								18.30	6.0	
Q ₃ ^{al}	4-1	102.14	39.40	4.90			粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			
								Q ₃ ^{al}	4-3	
Q ₃ ^{al}	4-4	96.24	45.30	4.50			粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。			
								Q ₃ ^{al}	4-7	
						粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
						细砂：褐黄色，饱和，密实，成分以石英、长石为主，云母次之。				
						粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
						粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				

制图： 图号：
校核：

图 5.2.2-5 目标区钻孔柱状图 (K5 孔)

钻孔柱状图

工程名称		郑州中原新区须水河核心片区区域地震安全性评价					工程编号					
孔号		K6		坐 标		X=3847248.925m	钻孔直径		130mm	稳定水位深度		
孔口标高		135.55m		标		Y=454880.0872m	初见水位深度			测量日期		
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:300	岩性描述			标贯 中点 深度 (m)	标贯 实测 击数	附 注	
Q ₄ ^{ml}	1-2	131.05	4.50	4.50		杂填土：杂色，稍湿，松散，主要以碎石、碎砖、水泥路块等建筑垃圾构成，局部为以粉土、粉砂为主的素填土。该层在场地内局部缺失。						
Q ₄ ^{al}	2-1	129.45	6.10	1.60		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。			7.30	6.0		
Q ₄ ^{al}	2-2	124.95	10.60	4.50		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。			8.30	7.0		
Q ₄ ^{al}	2-3	123.05	12.50	1.90		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。			9.30	6.0		
Q ₄ ^{al}	3-1	121.05	14.50	2.00		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。			10.30	7.0		
Q ₄ ^{al}	2-4	116.85	18.70	4.20		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。			11.30	12.0		
Q ₄ ^{al}	3-2	112.05	23.50	4.80		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			12.30	13.0		
Q ₄ ^{al}	3-3	108.95	26.60	3.10		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑，含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。			13.30	14.0		
Q ₄ ^{al}	3-4	105.25	30.30	3.70		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			14.30	15.0		
Q ₃ ^{al}	4-1	100.35	35.20	4.90		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			15.30	10.0		
Q ₃ ^{al}	5-1	96.25	39.30	4.10		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			16.30	12.0		
Q ₃ ^{al}	5-2	90.55	45.00	5.70		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。			17.30	13.0		
						粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。			18.30	12.0		
						砂岩：深灰色，强风化，砂质结构，块状构造，节理裂隙发育，充填物为土及砂。						
						砂岩：深灰色，强风化，砂质结构，块状构造，节理裂隙发育，充填物为土及砂。						

制图： 图号：
校核：

图 5.2.2-6 目标区钻孔柱状图 (K6 孔)

钻孔柱状图

工程名称		郑州中原新区须水河核心片区区域地震安全性评价					工程编号			
孔号		K7		坐	X=3846350.513m	钻孔直径	130mm	稳定水位深度		
孔口标高		139.99m		标	Y=454590.7614m	初见水位深度		测量日期		
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:300	岩性描述		标贯 中点 深度 (m)	标贯 实测 击数	附 注
Q ₄ ^{al}	2-1	135.29	4.70	4.70		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。		1.30 2.30 3.30 4.30	6.0 8.0 12.0 15.0	
Q ₄ ^{al}	2-2	132.39	7.60	2.90		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。		5.30 6.30 7.30 8.30	16.0 9.0 15.0 17.0	
Q ₄ ^{al}	2-3	127.69	12.30	4.70		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹。该层普遍存在。		9.30 10.30 11.30 12.30	16.0 18.0 16.0 18.0	
Q ₄ ^{al}	2-4	124.49	15.50	3.20		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑，含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。		13.30 14.30 15.30 16.30	17.0 19.0 20.0 21.0	
Q ₄ ^{al}	2-5	121.29	18.70	3.20		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑，含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。		17.30 18.30	23.0 17.0	
Q ₄ ^{al}	3-1	116.39	23.60	4.90		粉土：褐黄色，稍湿，密实，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质斑点，含钙质结核粒径约为0.5-2.0cm。该层在场内地内局部缺失。				
Q ₄ ^{al}	3-2	112.79	27.20	3.60		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。				
Q ₄ ^{al}	3-3	109.29	30.70	3.50		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。				
Q ₄ ^{al}	3-4	104.99	35.00	4.30		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。				
Q ₃ ^{al}	4-1	100.59	39.40	4.40		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。				
Q ₃ ^{al}	4-2	98.99	41.00	1.60		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。				
Q ₃ ^{al}	4-3	96.79	43.20	2.20		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。				
Q ₃ ^{al}	4-4	93.39	46.60	3.40		粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
Q ₃ ^{al}	4-5	92.29	47.70	1.10		粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
Q ₃ ^{al}	4-7	88.59	51.40	3.70		粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
Q ₃ ^{ool}	6-1	84.09	55.90	4.50		细砂：褐黄色，饱和，密实，成分以石英、长石为主，云母次之。				
Q ₃ ^{ool}	6-2	79.99	60.00	4.10		粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
						粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
						粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。				
						泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。				
						泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。				

图 5.2.2-7 目标区钻孔柱状图 (K7 孔)

钻孔柱状图

工程名称		郑州中原新区须水河核心片区区域地震安全性评价				工程编号							
孔号		K8		坐 标		X=3846626.459m		钻孔直径		130mm		稳定水位深度	
孔口标高		137.66m		标		Y=454872.1233m		初见水位深度				测量日期	
地质时代	层号	层底标高 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:300	岩性描述		标贯 中点 深度 (m)	标贯 实测 击数	附 注			
Q ₄ ^{ml}	1-2	136.66	1.00	1.00		杂填土：杂色，稍湿，松散，主要以碎石、碎砖、水泥路块等建筑垃圾构成，局部为以粉土、粉砂为主的素填土。该层在场内地内局部缺失。		3.30	7.0				
Q ₄ ^{al}	2-1	134.96	2.70	1.70				4.30	6.0				
Q ₄ ^{al}	2-2	130.16	7.50	4.80		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。		5.30	7.0				
Q ₄ ^{al}	2-3	128.16	9.50	2.00				6.30	7.0				
Q ₄ ^{al}	3-1	123.76	13.90	4.40		粉土：褐黄色，稍湿，稍密~中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑及灰色钙质条纹，偶见蜗牛壳碎片。该层普遍存在。		7.30	8.0				
Q ₄ ^{al}	2-4	118.86	18.80	4.90				8.30	8.0				
Q ₄ ^{al}	3-2	114.06	23.60	4.80		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		9.30	9.0				
Q ₄ ^{al}	3-3	111.16	26.50	2.90				10.30	14.0				
Q ₄ ^{al}	3-4	106.36	31.30	4.80		粉土：褐黄色，稍湿，中密，无光泽反应，干强度低，韧性低，具黄色铁锈斑，含少量小颗粒钙质结核。该层普遍存在。		11.30	14.0				
Q ₄ ^{al}	3-5	101.66	36.00	4.70				12.30	13.0				
Q ₃ ^{al}	4-1	97.46	40.20	4.20		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，具黑色铁锰质斑及黄色铁锈斑。该层普遍存在。		13.30	15.0				
Q ₃ ^{eo1}	6-1	92.56	45.10	4.90				14.30	11.0				
Q ₃ ^{eo1}	6-2	88.16	49.50	4.40		粉质粘土：褐黄色，硬塑，切面光滑，有光泽反应，无摇振反应，干强度中等，韧性中等，含大量钙质结核，粒径1.0~4.0cm左右。该层普遍存在。		15.30	12.0				
Q ₃ ^{eo1}	6-3	84.16	53.50	4.00				16.30	13.0				
Q ₃ ^{eo1}	6-4	80.16	57.50	4.00		粘土：浅红色，坚硬，含少量青色斑块，钙质结核，泥岩块，泥质结核。		17.30	12.0				
Q ₃ ^{eo1}	6-5	77.66	60.00	2.50				18.30	14.0				
						泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。							
						泥岩：杏黄色，强风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩碎块。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为V级。							
						泥岩：杏黄色，中风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩层。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为IV级。							
						泥岩：杏黄色，中风化，泥质结构，层状构造，局部夹薄层砂岩层。极软岩，极破碎，岩体基本质量等级为IV级。							

制图： 图号：
 校核：

图 5.2.2-8 目标区钻孔柱状图 (K8 孔)

1-1'工程地质剖面图

比例尺 水平 1:5000 垂直 1:400

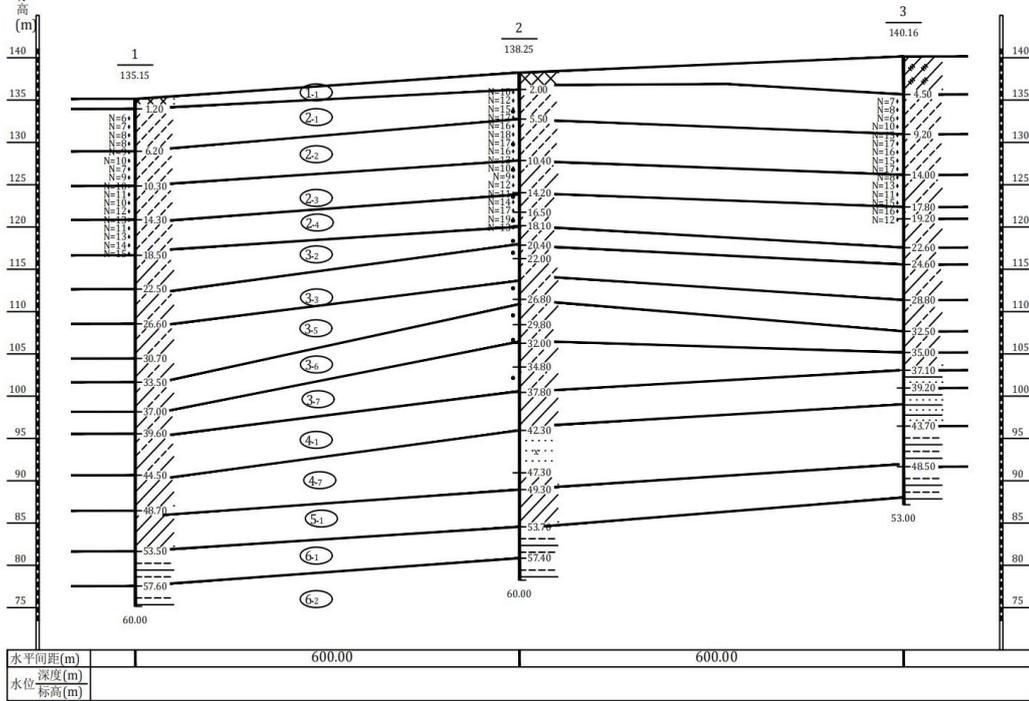


图 5.2.3-1 1-1 工程地质剖面

2-2'工程地质剖面图

比例尺 水平 1:5000 垂直 1:400

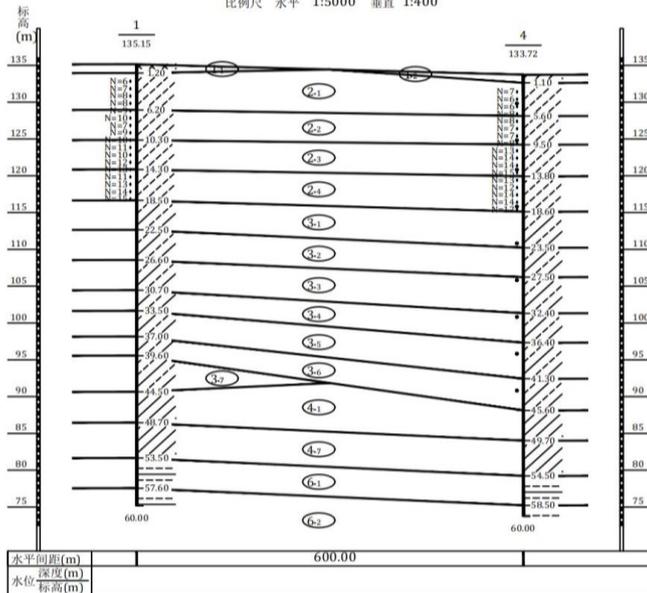


图 5.2.3-2 2-2 工程地质剖面

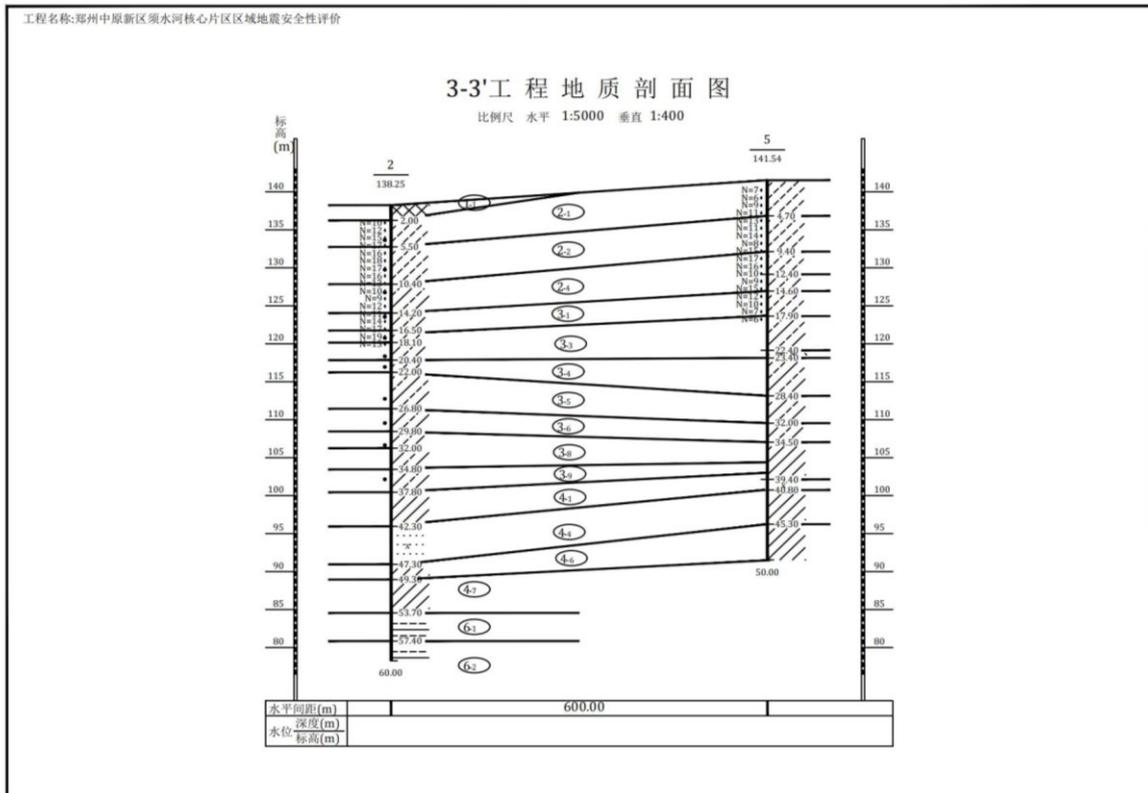


图 5.2.3-3 3-3 工程地质剖面

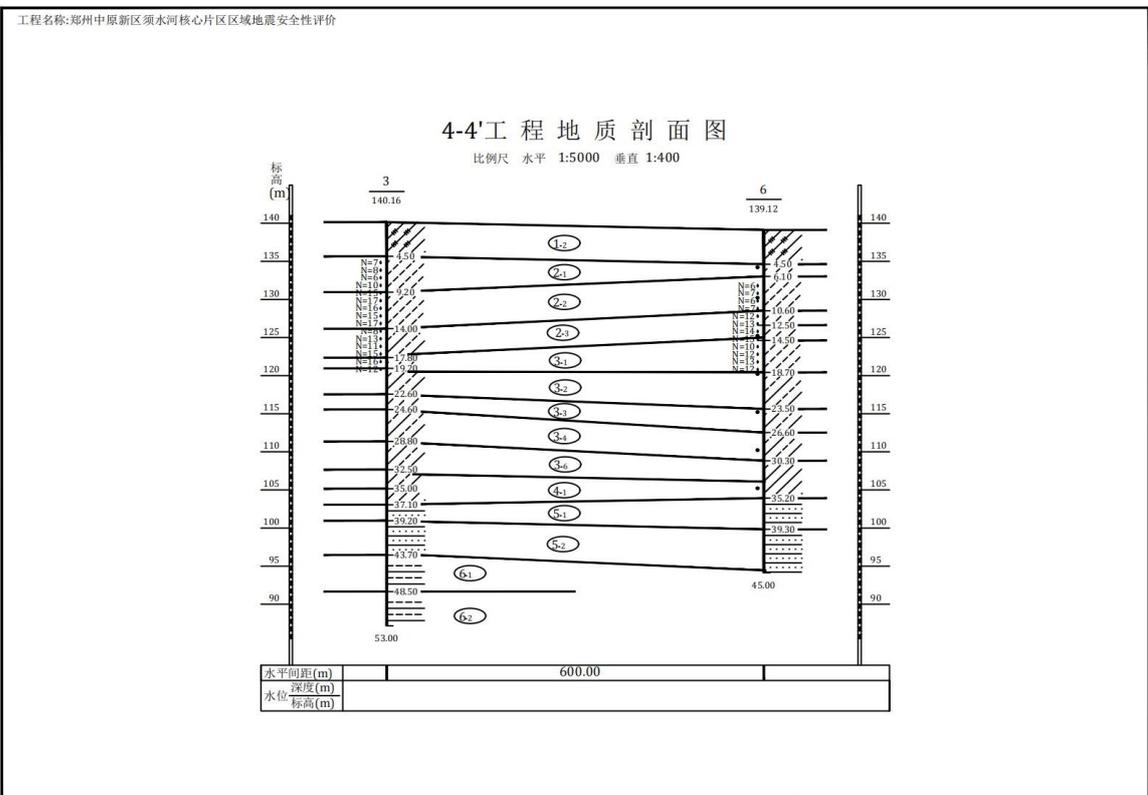


图 5.2.3-4 4-4 工程地质剖面

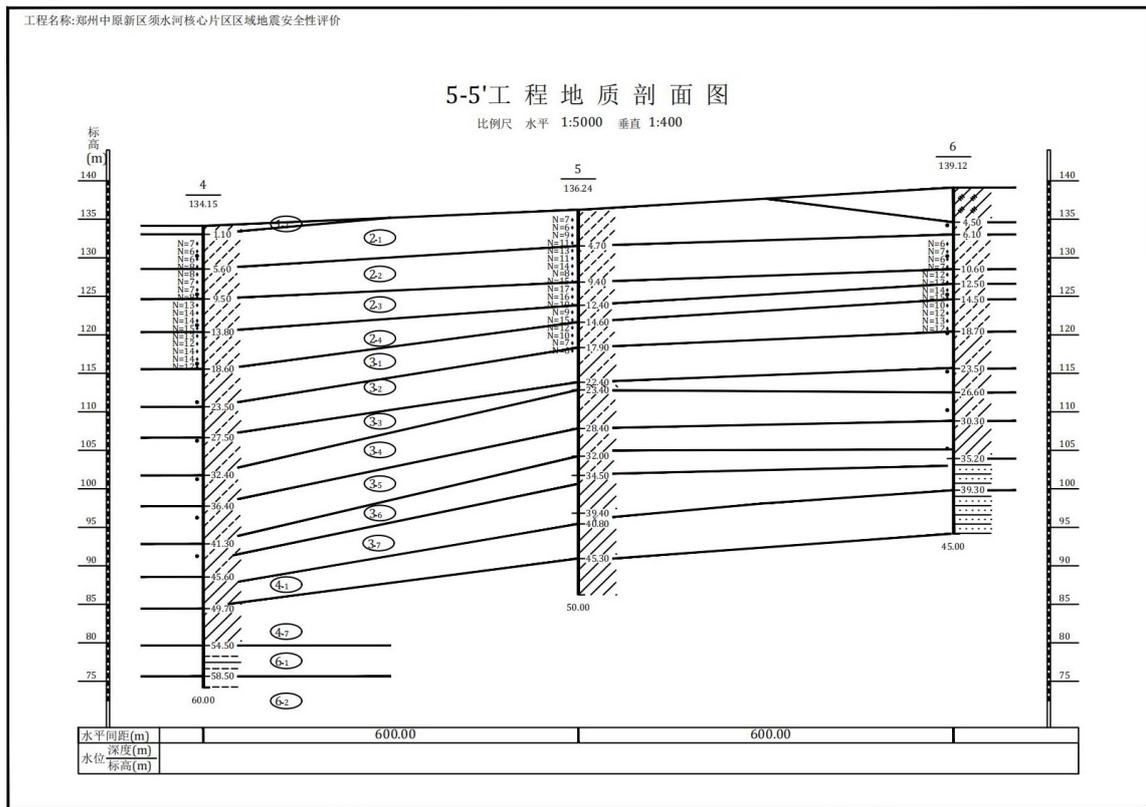


图 5.2.3-5 5-5' 工程地质剖面

5.2.2 目标区工程地质分区

工程地质条件的研究首先是进行岩土体划分,按岩体的成因分出岩体类型,结合岩石的坚硬程度及组合特征分出不同的岩组;对于土体而言,主要是按颗粒级配分为卵砾石、砂砾石、泥岩、石灰岩、粉土、粉质黏土、黏土、淤泥等土类。从钻孔揭露地层来看,目标区地层全部为第四系杂填或素填土、粉土、粉质黏土、黏土、泥岩等。在划分岩土体建造类型的基础上,结合场地地形、地貌、岩土体结构及组合等特征可以进一步划分工程地质区。

场地在地质构造分区上位于平原地区,根据本次钻孔揭示的土层分布及其组合特征,并结合本地区晚更新世以来的古地理环境演化特点,目标区工程地质条件单一,属于同一工程地质单元(图5.2.4):区内杂填土之下主要为粉土、粉质黏土、黏土、泥岩居多。

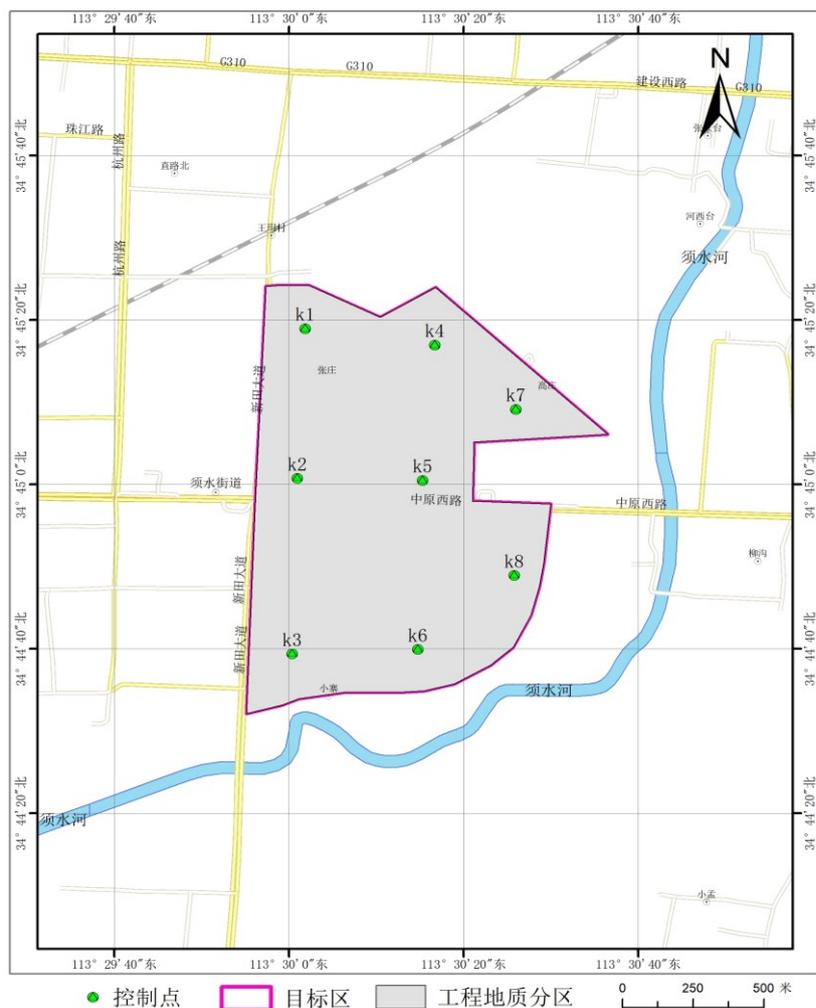


图 5.2.4 目标区工程地质单元分区图

5.2.3 目标区三维地层结构模型

根据《区域性地震安全性评价工作大纲》（试行）的要求，根据本次勘测成果，编制了目标区土层三维模型。模型平面控制点采用各个控制孔，水平间距不超过 700m，垂向控制节点间距不超过 700m，建立了郑州中原新区须水河核心板块目标区三维地层模型，见图 5.2.5。

本次三维建模软件采用地质钻孔数据库作为建模原始数据源，调用数据库中的钻孔岩土层信息，通过软件特定的算法，对钻孔层位的层厚、剖面三角形和尖灭方式进行人工干预，利用空间插值技术创建三维地质模型。根据图 5.2.5，可见目标区地表起伏不大，下部的土层沉积形态平缓，虽然部分地层存在尖灭和局部增厚的现象，但是整体在水平向延续性较好，显示了稳定的沉积环境。

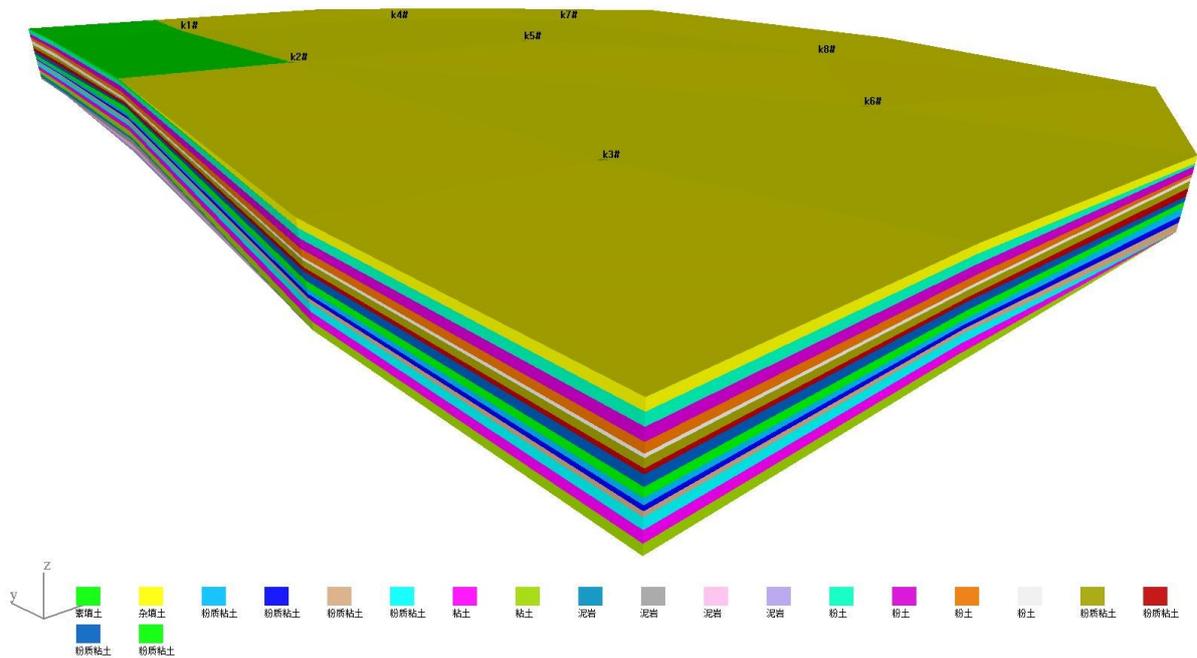


图 5.2.5 目标区三维地层结构模型示意图

5.3 场地剪切波速测试

场地土层剪切波速是划分场地土类型和场地类别的基本参数，是确定场地覆盖层厚度的依据，是地震反应模型建立的基础。

5.3.1. 测试仪器

使用仪器为北京中地远大勘测科技有限公司生产 ZD18 孔中激振式波速测试仪，仪器主要技术指标如下：

动态范围：96dB；

前放增益：18—60dB（8—1000 倍）；

道一致性：≤0.1ms；

通道数：1 至 3 道可选；

采样间隔：0.02—4ms 可调；

记录长度：512—16k 可调；

仪器接收信号的探头采用悬挂式井液耦合检波器，主要技术指标如下：水平检波器的固有频率为 40Hz，灵敏度为 30V/m/s。

电磁式激振源指标：供电电压直流 48V，电流 ≤6A。

5.3.2. 测试方法

测试方法采用单孔法，利用已经钻好的钻孔，采用孔中激振方式（即孔中激发，孔中接收，不需地面敲击振源），利用放置到钻孔中的检波器接收到震源传来的 S 波信号到达初至时间，来确定钻孔所处地层波速。

具体的做法是利用放置到钻孔中的检波器接收到源传来的 S 波信号到达初至时间，来确定钻孔所处地层波速的一种方法。在钻孔中以井液作为耦合剂，用磁震激振源垂直于井壁作用一瞬时冲击力，就在井壁地层中产生两种类型质点振动，一种是质点振动方向垂直于井壁，沿井壁方向传播，称为 S 波（剪切波，横波）；另一种是质点振动方向与传播方向相同称为 P 波（压缩波，纵波）。检波器接收 S 波的振动信号并转换成电信号，然后传输到计算机，计算机对信号进行数处理后采用两道互相关分析法，自动计算 S 波在两道检波器间传播的时自差，从而计算出两道间的 S 波传播速度。测试顺序自下而上逐点进行，测点深度基本间隔 1.0~2.0m。

5.3.3. 土层剪切波速测试结果

目标区内 8 口钻孔的土层剪切波速测试结果见图 5.3.1 至 5.3.8。

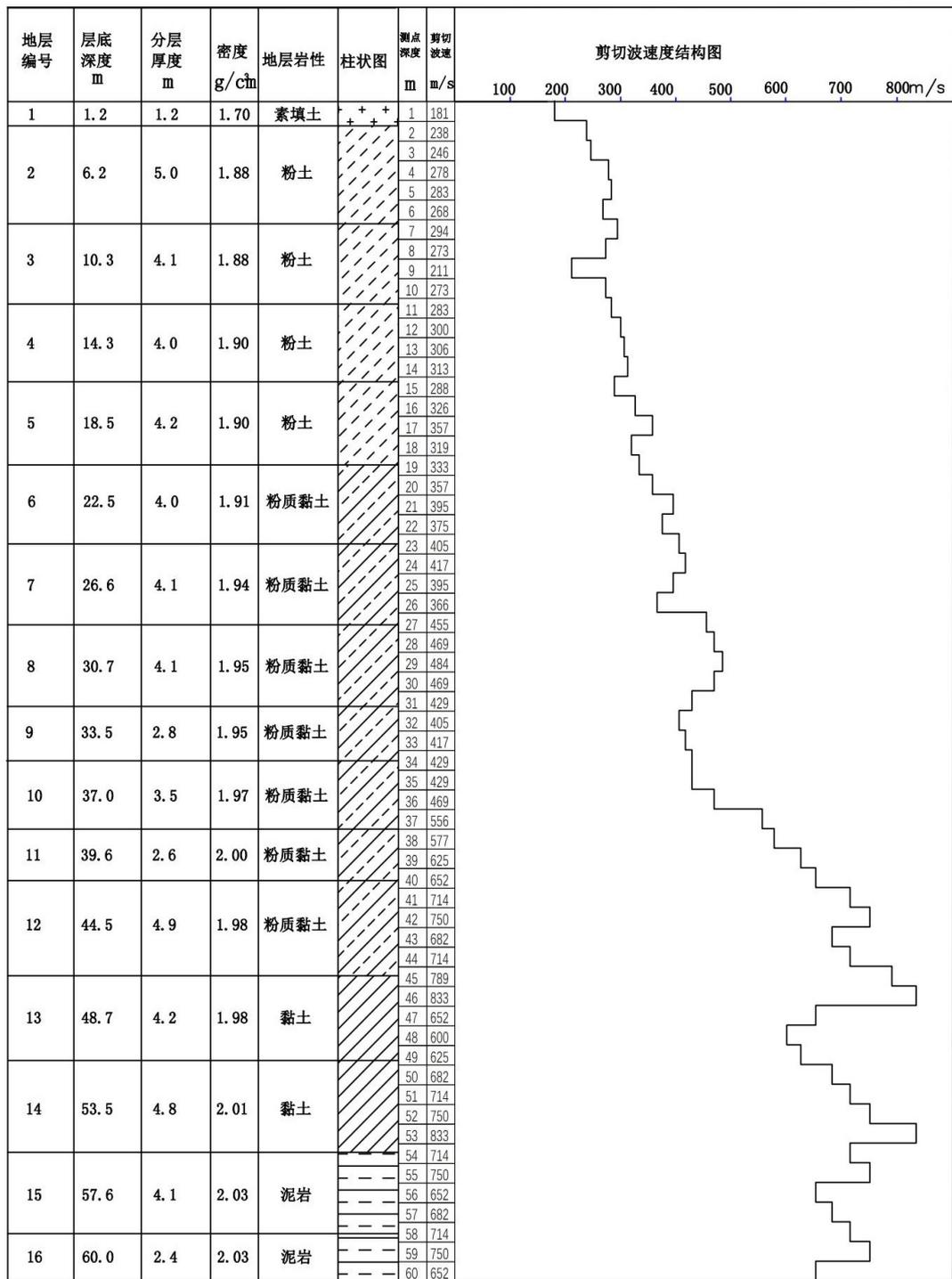


图5.3.1 K1孔剪切波速度测试结果

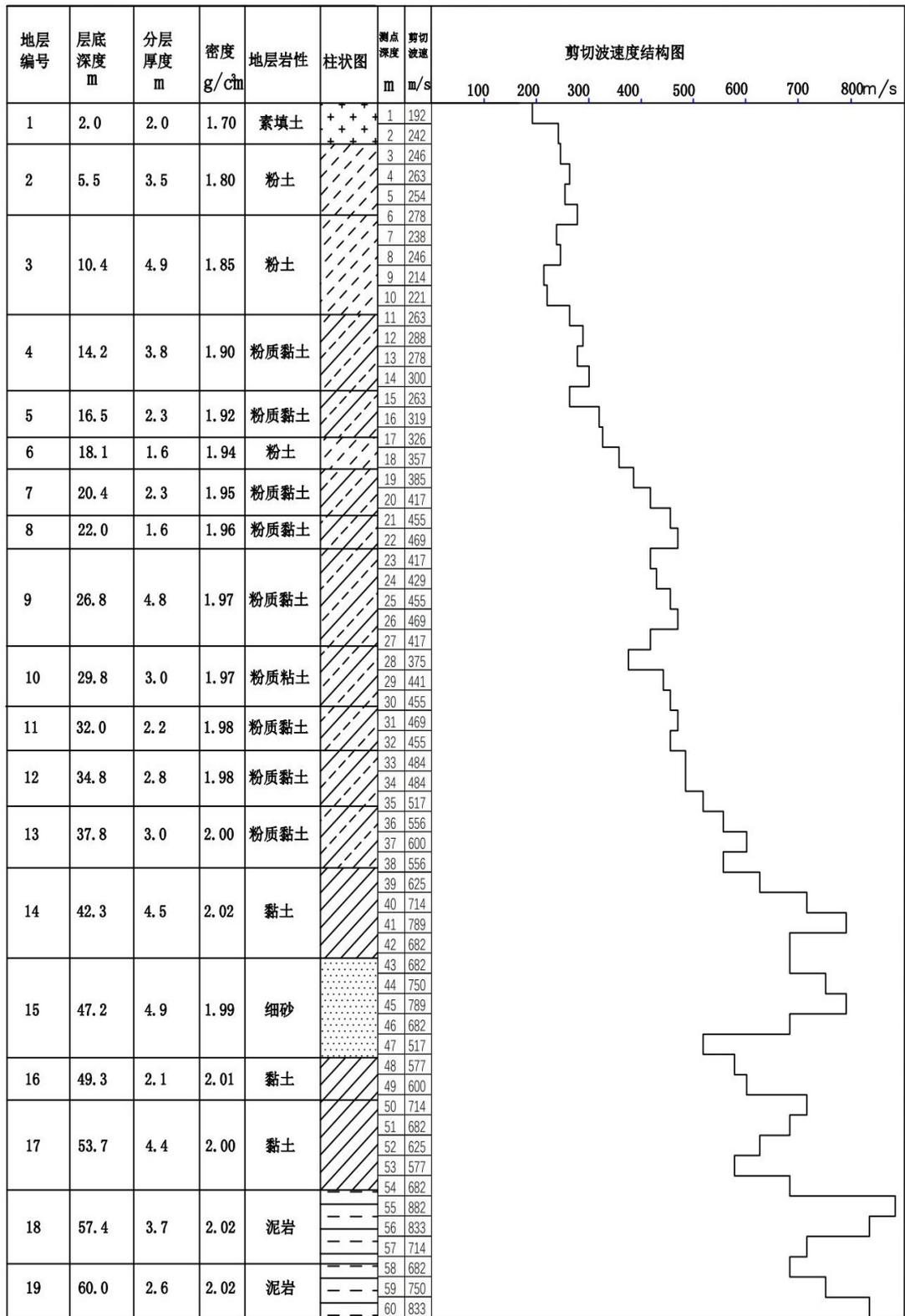


图5.3.2 K2孔剪切波速度测试结果

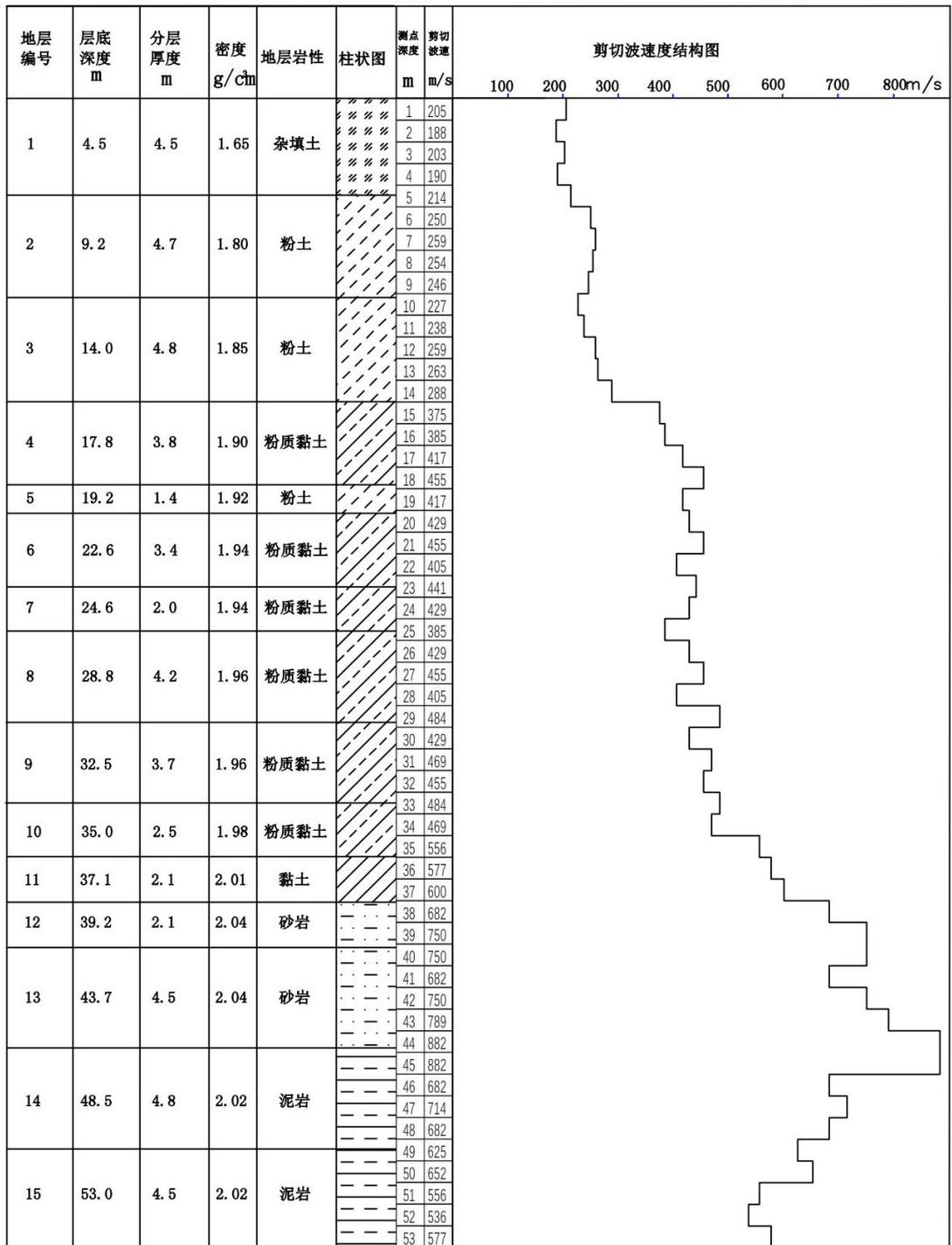


图5.3.3 K3孔剪切波速度测试结果

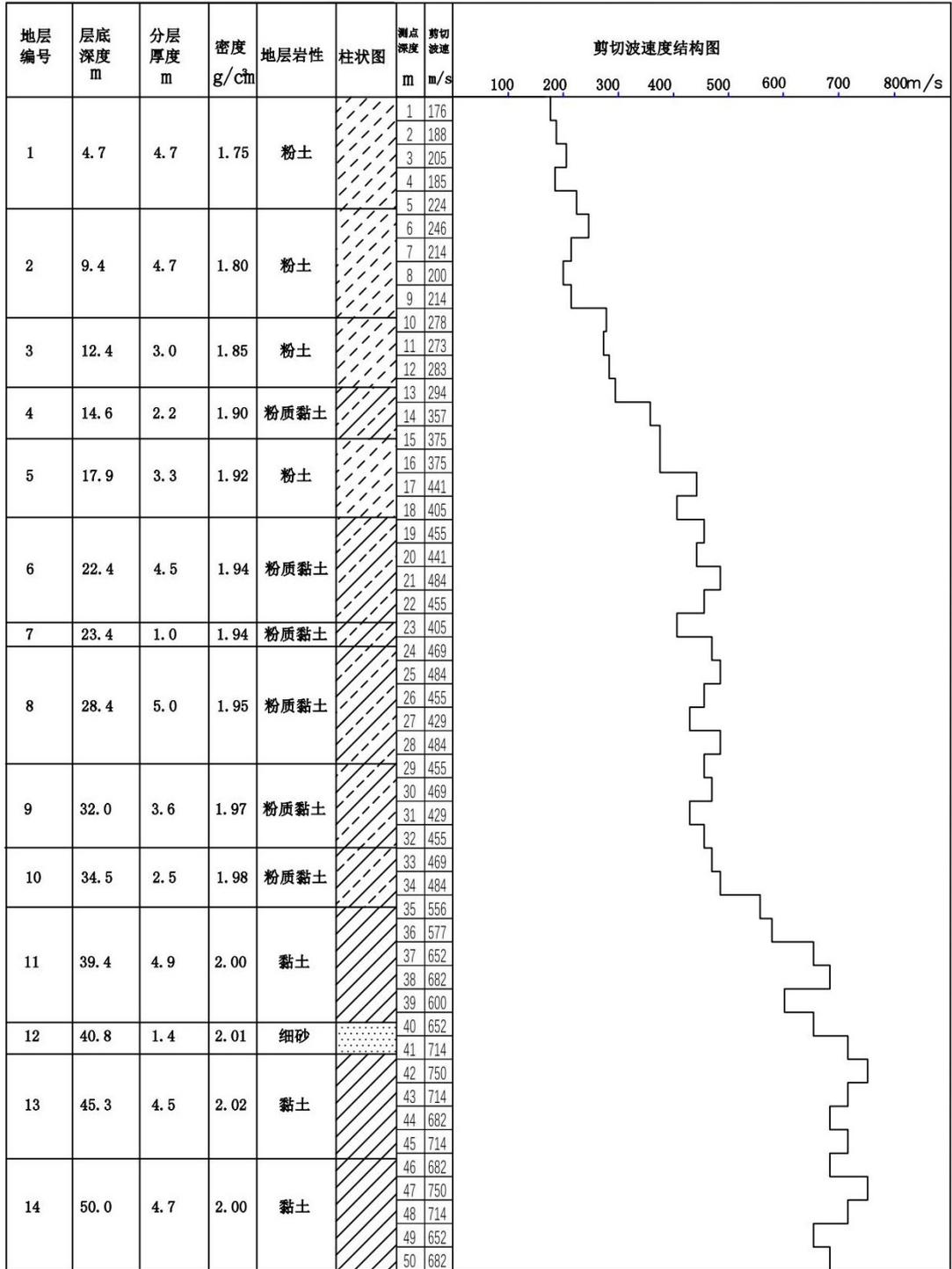


图5.3.5 K5孔剪切波速度测试结果

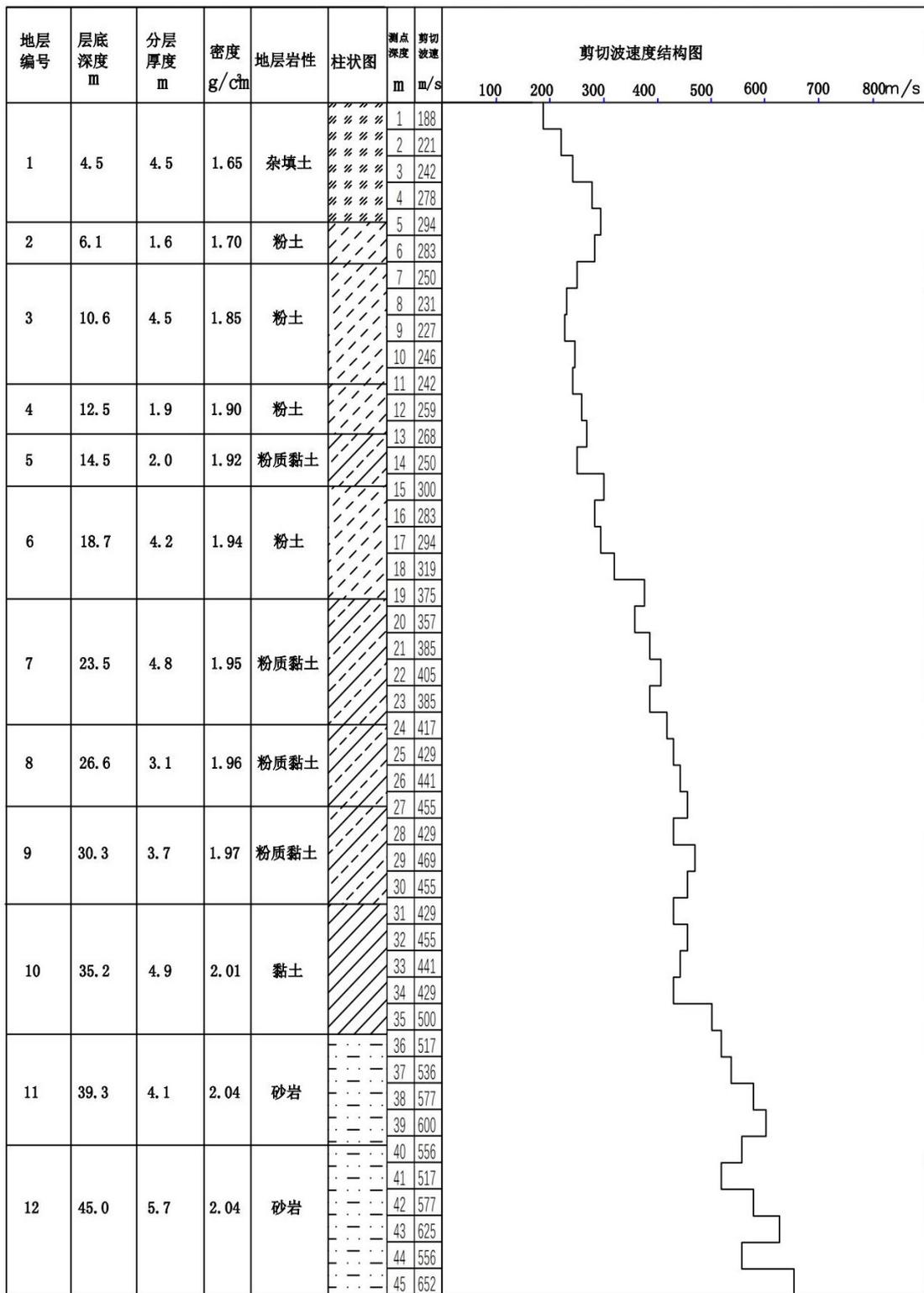


图5.3.6 K6孔剪切波速度测试结果

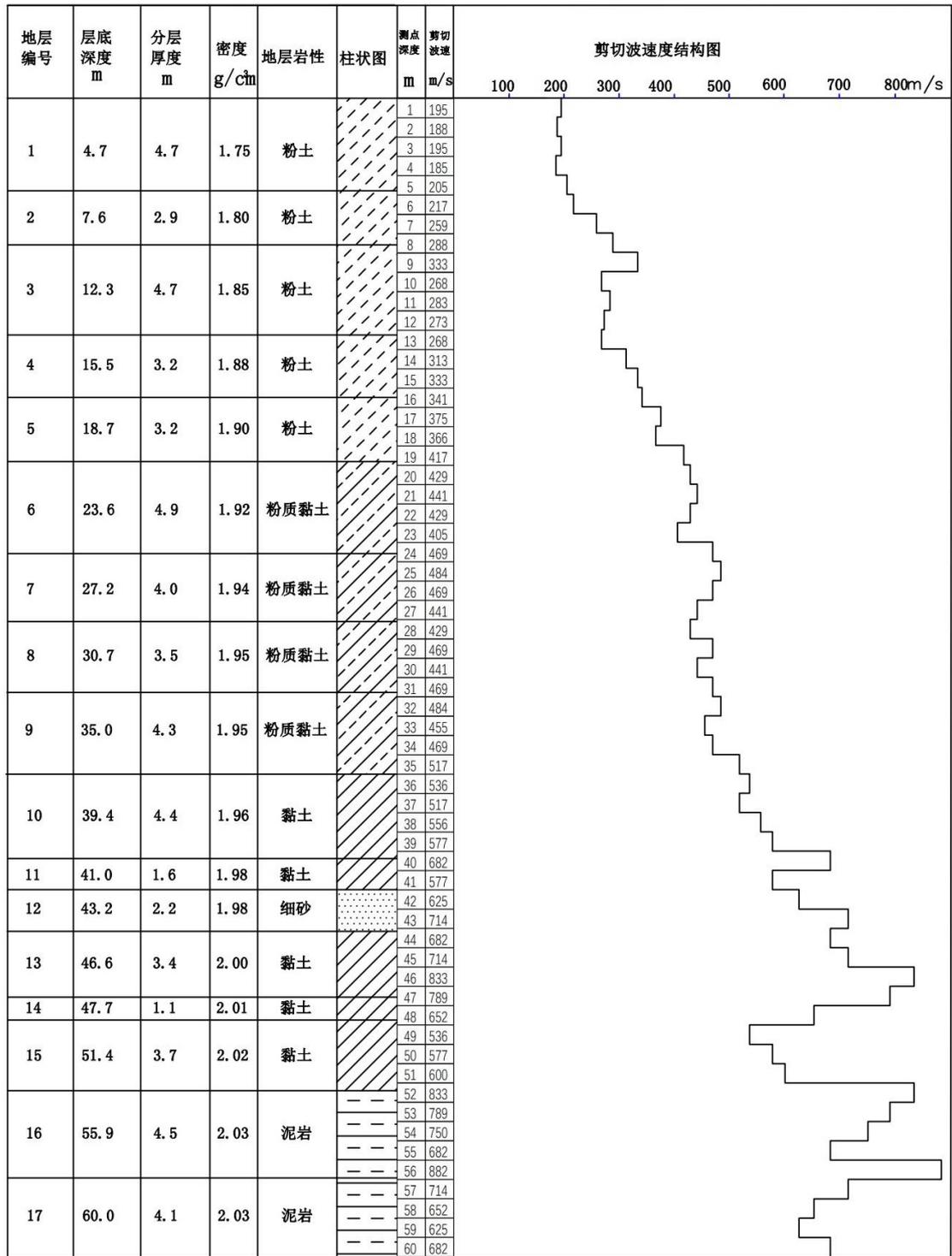


图5.3.7 K7孔剪切波速度测试结果

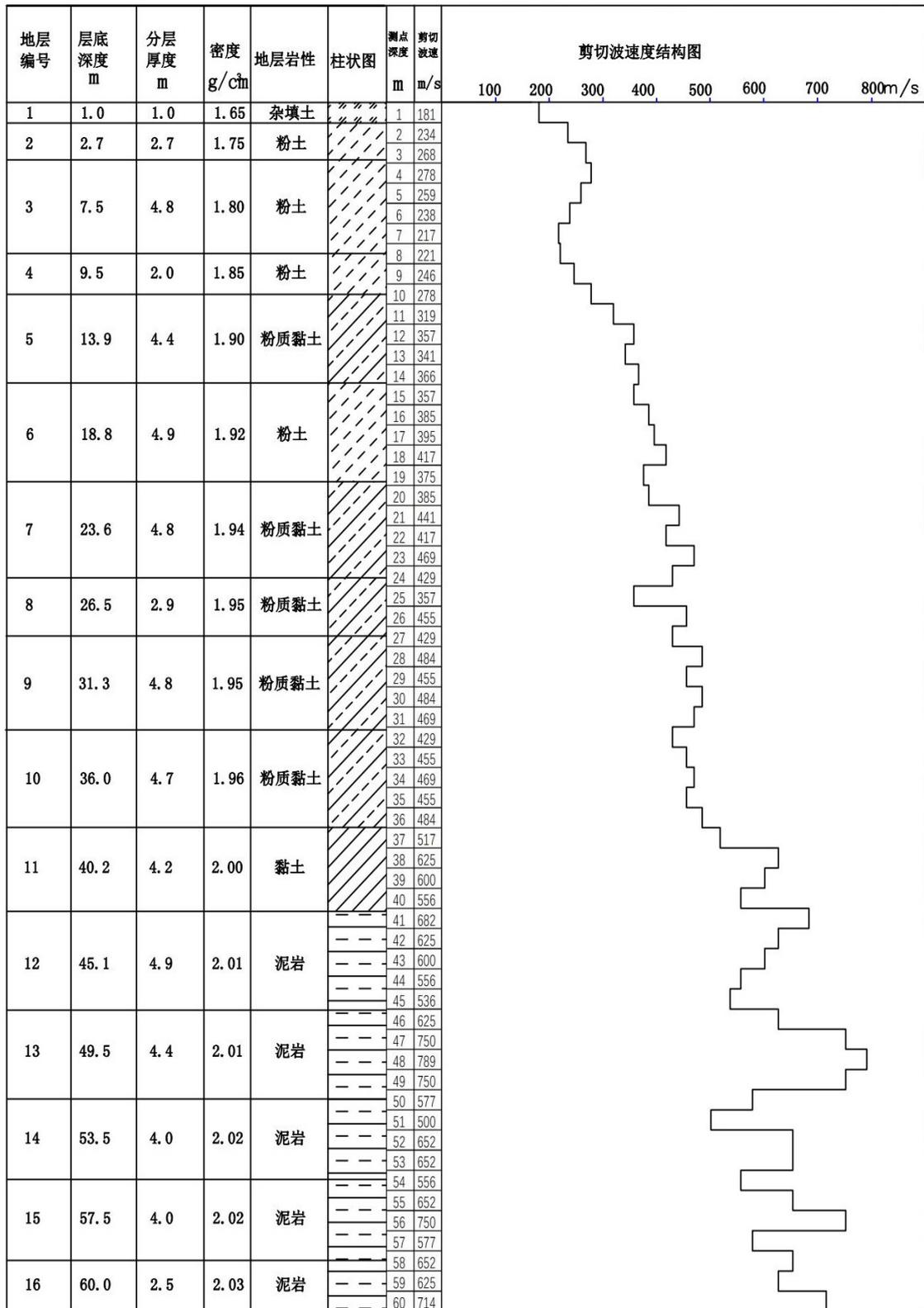


图5.3.8 K8孔剪切波速度测试结果

5.3.4 场地土类型、建筑场地类别

5.3.4.1 土层等效剪切波速

根据《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）中第4.1.4条规定，场地覆盖层厚度定义为地面至剪切波速大于500m/s的土层顶面的距离。当地面5m以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速2.5倍的土层，且该层及其下卧各层岩石的剪切波速均不小于400m/s时，可按地面至该土层顶面的距离确定。根据《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）中第4.1.4条、第4.1.5条和第4.1.6条的规定，利用横波速度进行场地类别的划分。其计算方法依据《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）公式：

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

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

式中： v_{se} --土层等效剪切波速(m/s)；

d_0 --计算深度(m)，取覆盖层深度和20m二者的较小值；

t --剪切波在地面至计算深度之间的传播时间；

d_i --计算深度范围内第*i*土层厚度(m)；

v_{si} --计算深度范围内第*i*土层的剪切波速(m/s)；

n --计算深度范围内土层的分层数。

详细计算结果见表5.3.1。

表5.3.1 场地覆盖层厚度和等效剪切波速值

孔号	覆盖层厚度(m)	等效剪切波速(m/s)	场地类别	场地土类型
K1	36	278.8	II	中硬
K2	34	269.5	II	中硬
K3	34	265.7	II	中硬
K4	35	272.3	II	中硬
K5	34	264.3	II	中硬
K6	34	263.4	II	中硬
K7	34	267.6	II	中硬
K8	36	289.0	II	中硬

5.3.4.2 场地土类型、建筑场地类别

根据《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）规定，从表 5.3.1 中可以看出，目标区的覆盖层厚度大约在 34m 至 36m 之间，等效剪切波速介于 263.4m/s 至 289.0m/s 之间，覆盖层厚度等值线如图 5.3.2，目标区范围内覆盖层厚度起伏不大，基本处于一个比较稳定平面。而根据表 5.3.1 的场地类别液化判别结果显示，目标区内各钻孔的场地土为中硬场地土，场地类别为 II 类场地。场地类别分区如图 5.3.3。

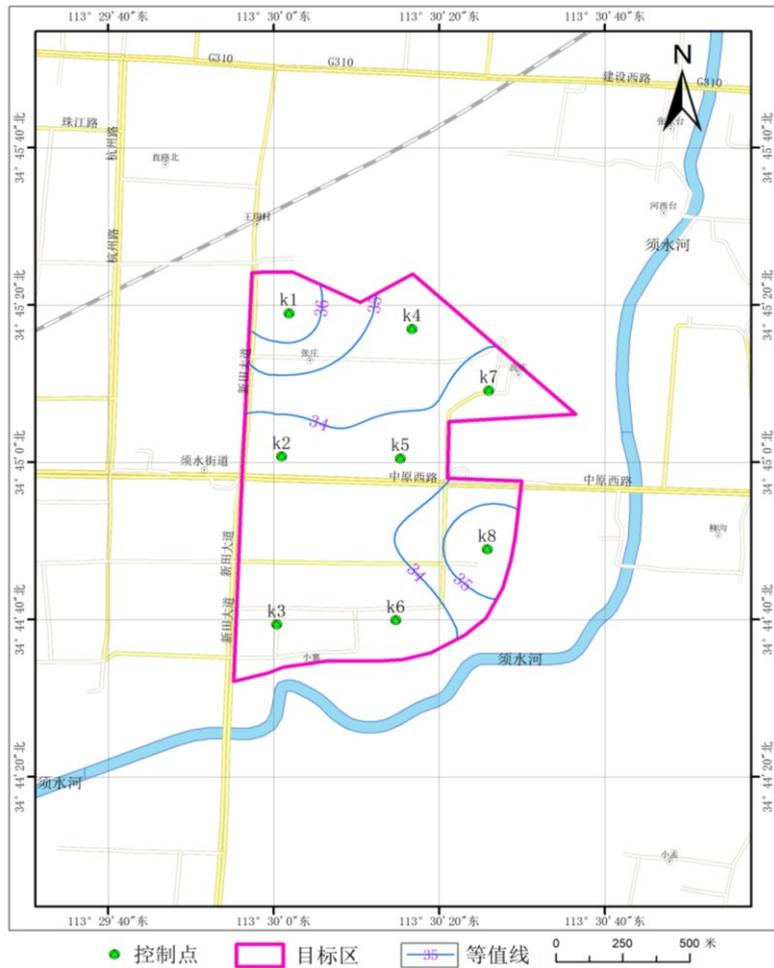


图 5.3.2 横波速度 500m/s 对应深度等值线图

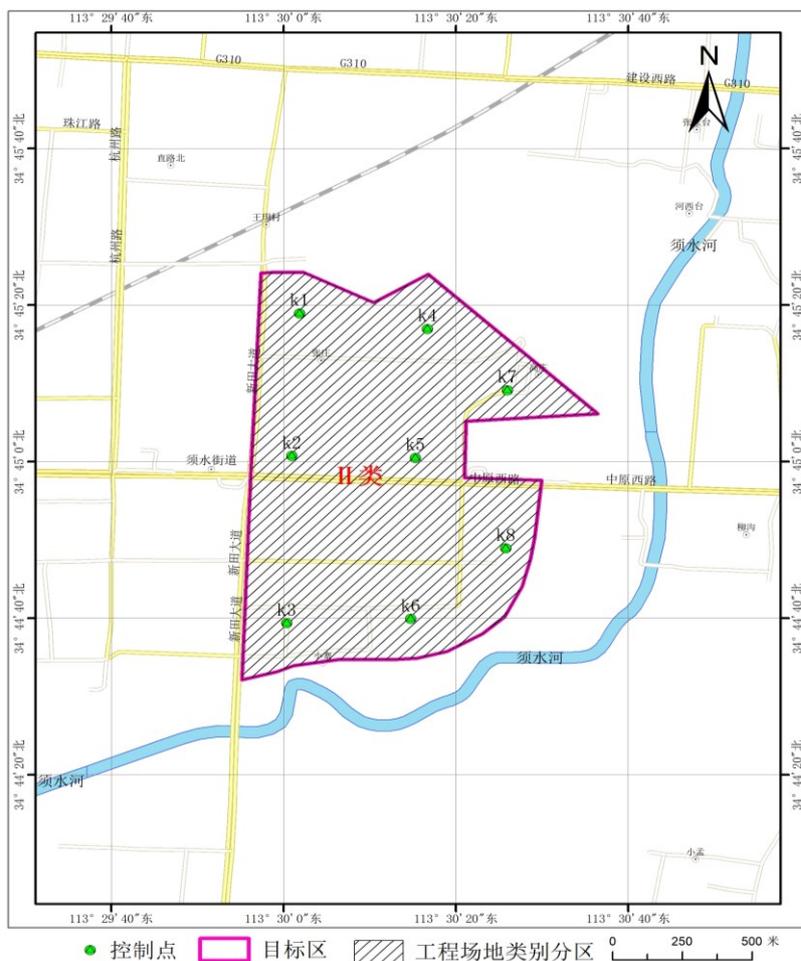


图 5.3.3 工程场地类别分区图

5.4 场地土动力性能测定

根据工程要求及场地勘测结果，特委托河南华水工程质量检测有限公司对本工程所取土样先后进行了基本物理性质试验及动力学特性试验，试验的成样、试验方法及试验资料整理均按《土工试验规程》SL237-1999中的有关规定进行。

根据此前收集的资料显示，目标区内地层情况大概有有粉土、粉质黏土、黏土、砂、砂岩、泥岩等多种岩性的情况，故本次对目标区内共抽取了27组有代表性的粉土、粉质黏土和黏土岩性土做了土动力学参数试验，相关试验数据见目标区的土动三轴试验报告，得出 $G/G_{max} \sim \gamma_d$ 和 $\lambda_d \sim \gamma_d$ 关系曲线(见附图5.4.1)。场地杂填土、砂、等岩性结构的则采用中国地震局行业标准中所推荐的参数值。土样相关物理性质指标情况见表5.4.1, 场地土动剪切模量比和阻尼比值列于表5.4.2。

表5.4.1 试样编号、物理性质指标

土样编号	取样深度 (m)	含水率 (%)	湿密度 g/cm ³	干密度 g/cm ³	液限 %	塑限 %	塑性指数	土样定名
K2-1	4.5-4.7	14.4	1.96	1.72	22.4	16.2	6.2	粉土
K2-2	8.4-8.6	15.4	2.01	1.74	25.6	17.7	7.9	粉土
K2-3	11.4-11.6	22.5	1.95	1.59	34.9	21.8	13.1	粉质黏土
K2-4	14.6-14.8	20.4	1.96	1.63	38.8	23.4	15.4	粉质黏土
K2-5	17.4-17.6	15.4	1.78	1.54	23.9	16.9	7.0	粉土
K2-6	19.8-20.0	21.3	1.96	1.61	39.3	23.6	15.7	粉质黏土
K2-7	21.2-21.4	23.7	1.98	1.60	29.9	19.7	10.2	粉质黏土
K2-8	25.4-25.6	21.3	2.04	1.68	38.3	23.2	15.1	粉质黏土
K2-9	28.6-28.8	23.3	1.93	1.56	37.4	22.8	14.6	粉质黏土
K2-10	31.5-31.7	25.1	2.05	1.64	36.4	22.4	14.0	粉质黏土
K2-11	36.0-36.2	24.0	2.03	1.64	34.2	21.5	12.7	粉质黏土
K4-1	3.8-4.0	23.3	1.95	1.58	29.1	19.3	9.8	粉土
K4-2	8.8-9.0	14.0	1.98	1.74	22.8	16.4	6.4	粉土
K4-3	12.8-13.0	16.5	2.06	1.76	27.9	18.8	9.1	粉土
K4-4	17.8-18.0	21.3	1.92	1.58	28.3	19.0	9.3	粉土
K4-5	22.8-23.0	16.9	2.05	1.76	37.8	23.0	14.8	粉质黏土
K4-6	27.8-28.0	17.1	1.99	1.70	39.0	23.5	15.5	粉质黏土
K4-7	32.8-33.8	20.0	2.03	1.69	33.2	21.1	12.1	粉质黏土
K4-8	37.8-38.0	21.8	1.98	1.62	33.7	21.3	12.4	粉质黏土
K4-9	42.8-43.0	19.9	1.94	1.62	32.7	20.9	11.8	粉质黏土
K6-1	4.8-5.0	13.2	1.86	1.64	22.0	16.0	6.0	粉土
K6-2	8.8-9.0	18.2	2.01	1.70	27.9	18.8	9.1	粉土

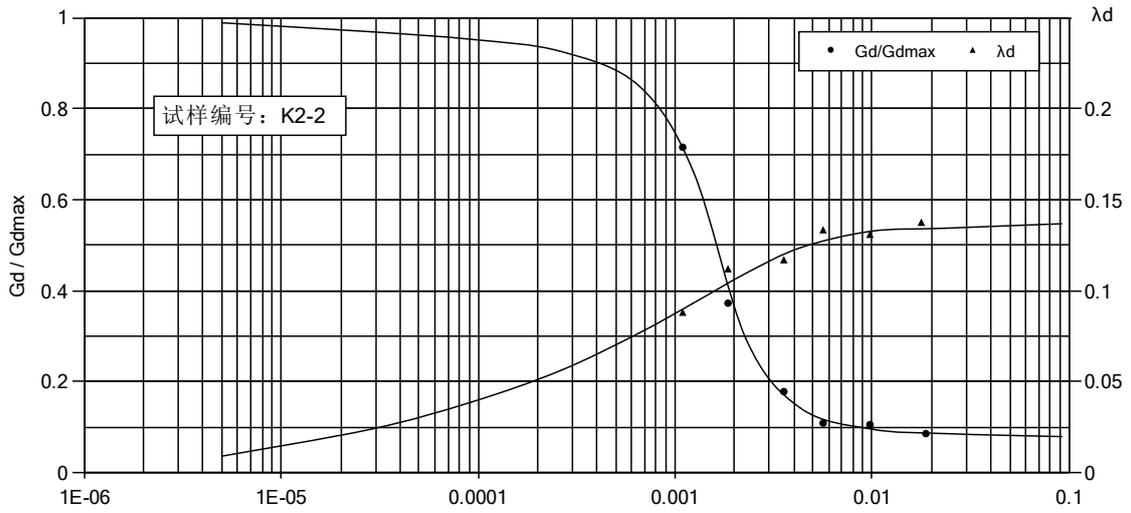
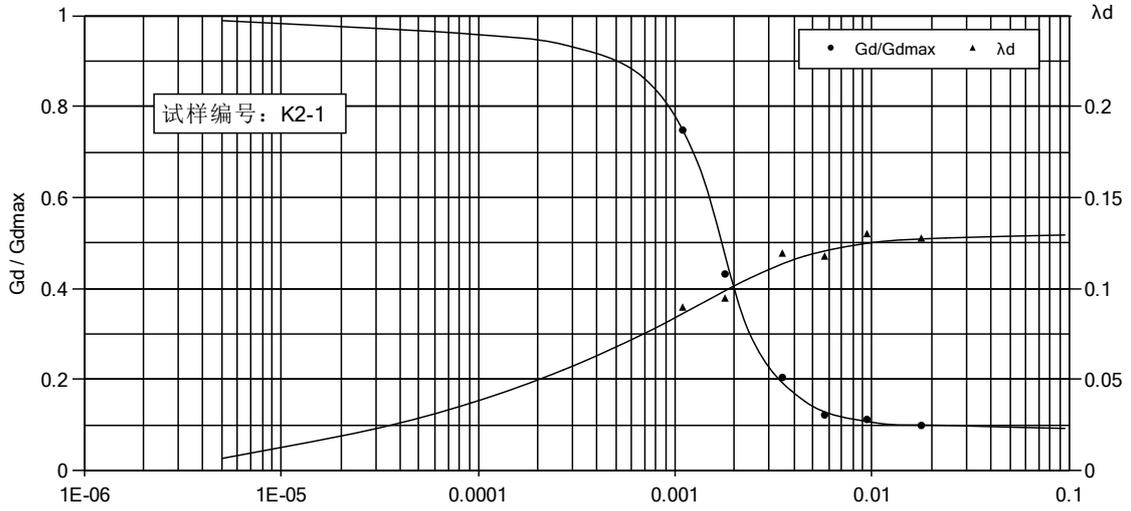
K6-3	13.8-14.0	19.8	1.89	1.57	37.6	22.9	14.7	粉质黏土
K6-4	18.8-19.0	20.3	1.91	1.59	32.2	20.7	11.5	粉质黏土
K6-5	23.8-24.0	26.5	1.87	1.48	33.0	21.0	12.0	粉质黏土
K6-6	28.8-29.0	21.0	1.90	1.57	36.9	22.6	14.3	粉质黏土
K6-7	33.8-34.0	23.2	1.93	1.57	43.2	25.8	17.4	黏土

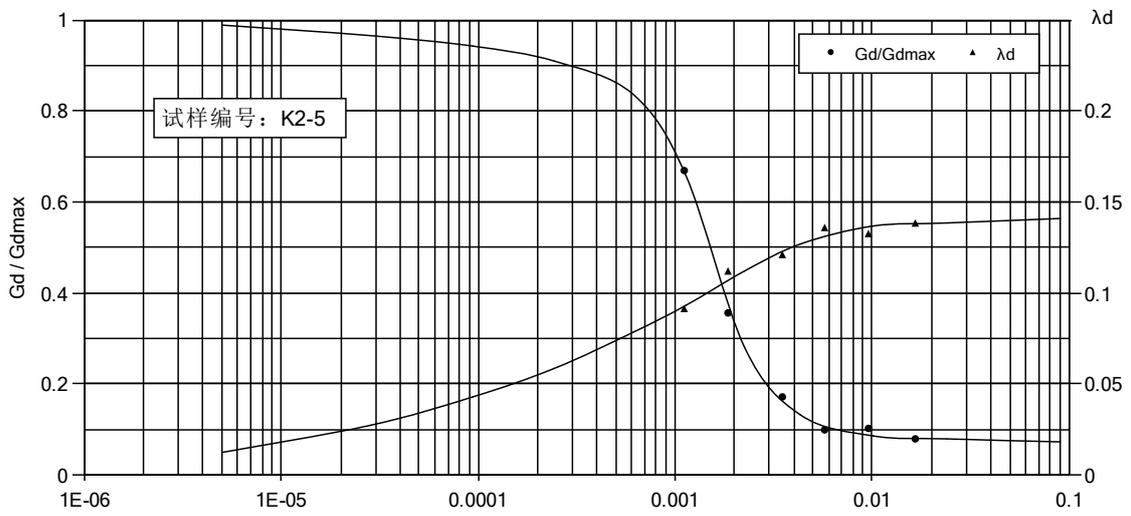
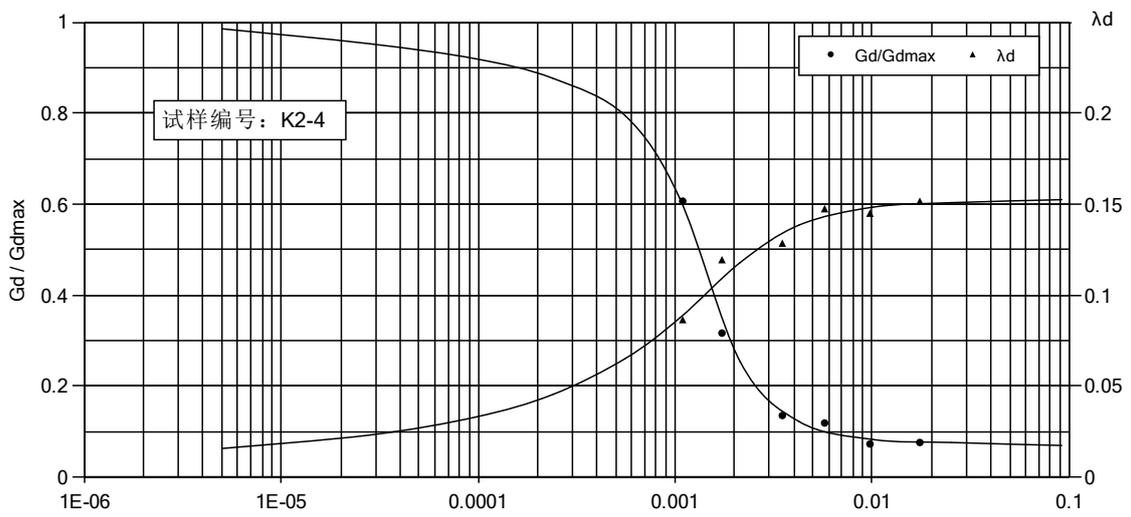
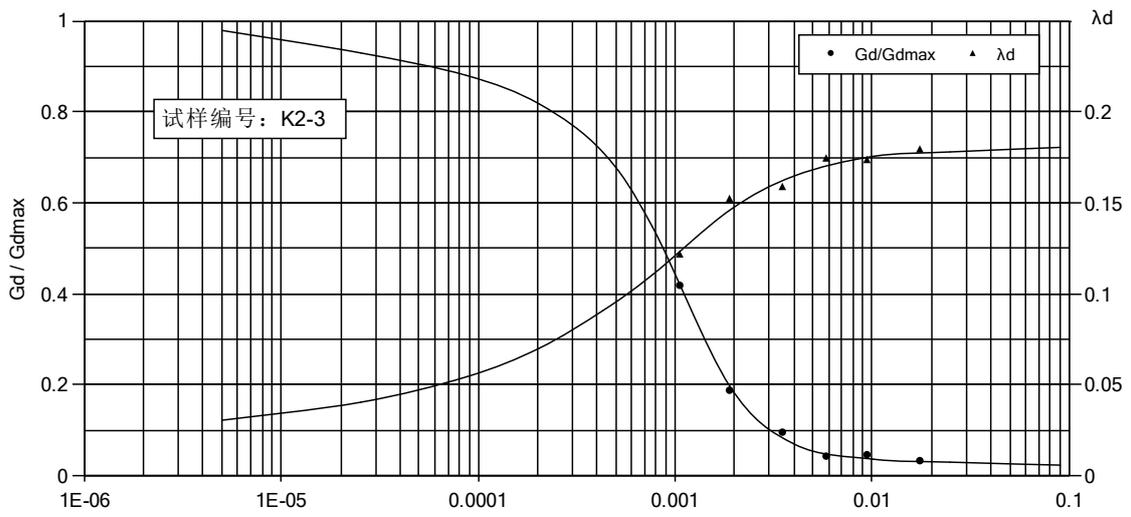
表 5.4.2 各试样剪应变标准点的动剪切模量比和阻尼比值

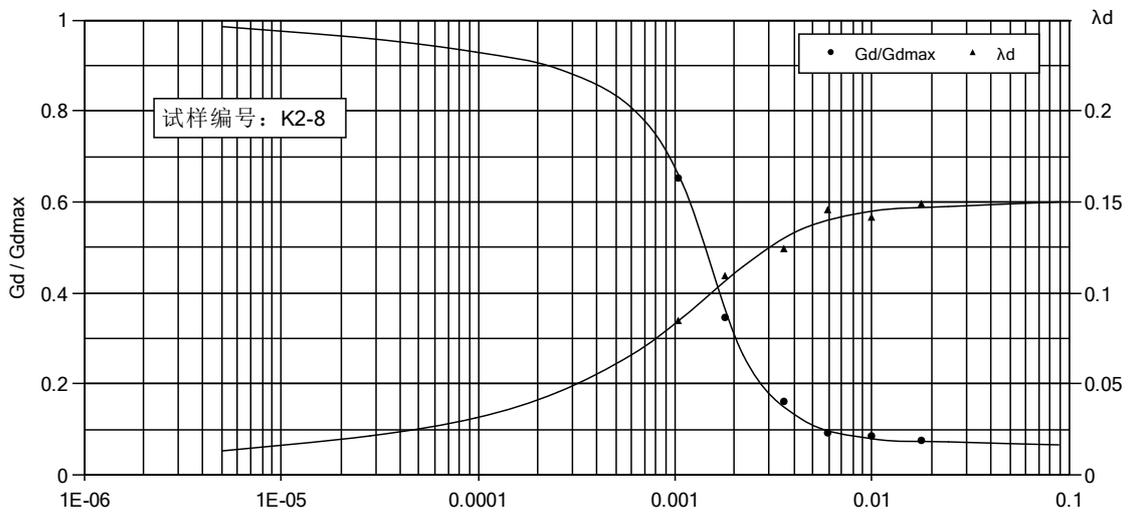
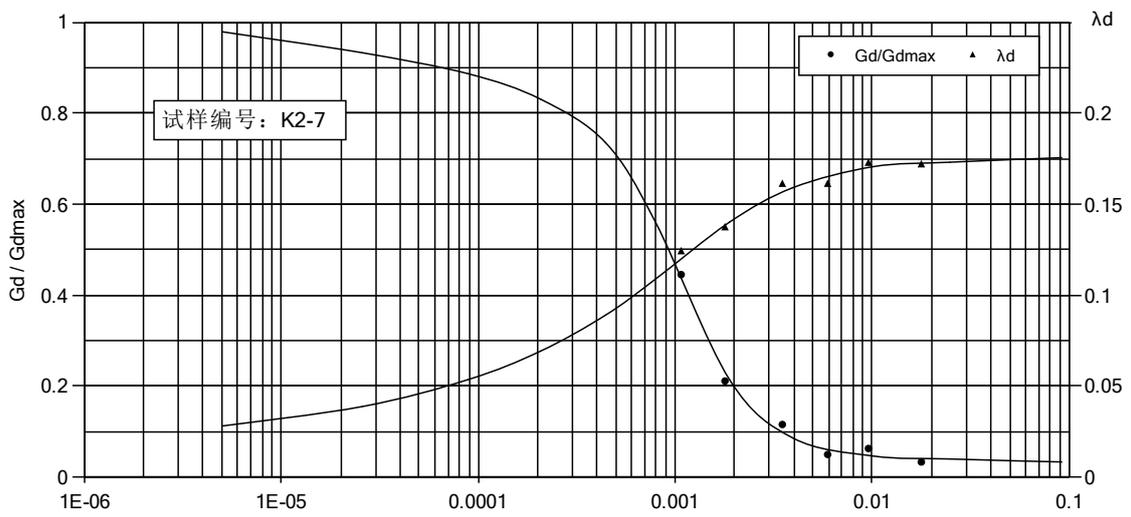
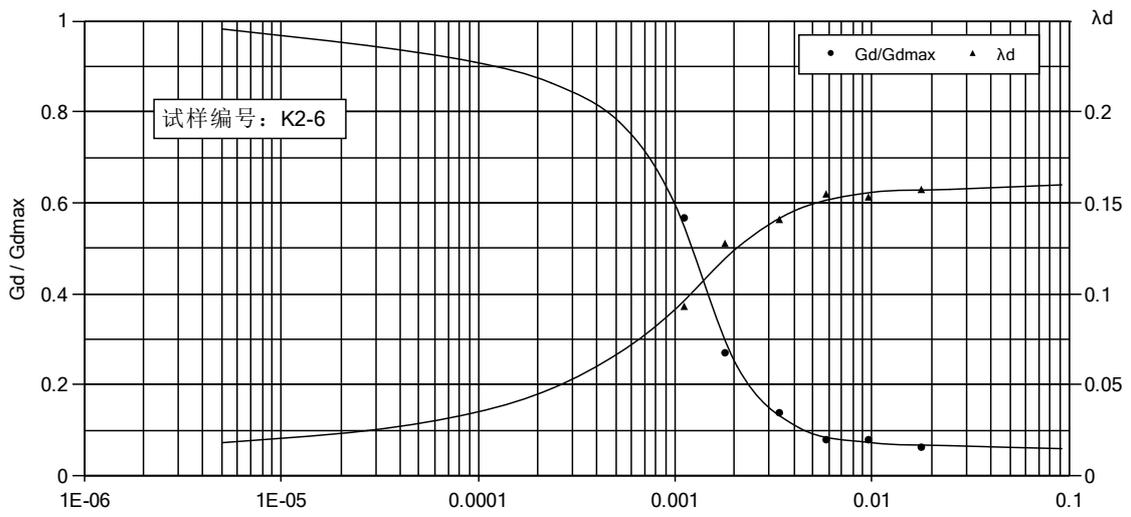
试样编号	施加围压 (kPa)	剪应变 r 参数	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
			G/Gmax	λ_d						
K2-1	100	G/Gmax	0.9903	0.9787	0.9625	0.9558	0.8962	0.7678	0.1385	0.1043
		λ_d	0.0066	0.0124	0.0286	0.0375	0.0673	0.0841	0.1195	0.1252
K2-2	100	G/Gmax	0.9886	0.9785	0.9587	0.9496	0.8798	0.7384	0.1221	0.0940
		λ_d	0.0093	0.0156	0.0313	0.0404	0.0701	0.0874	0.1261	0.1327
K2-3	200	G/Gmax	0.9773	0.9552	0.9029	0.8700	0.6756	0.4318	0.0496	0.0364
		λ_d	0.0305	0.0343	0.0478	0.0569	0.0964	0.1210	0.1681	0.1753
K2-4	200	G/Gmax	0.9843	0.9686	0.9359	0.9161	0.8074	0.6229	0.1056	0.0825
		λ_d	0.0154	0.0192	0.0285	0.0339	0.0618	0.0865	0.1409	0.1482
K2-5	200	G/Gmax	0.9876	0.9754	0.9526	0.9391	0.8603	0.6986	0.1157	0.0853
		λ_d	0.0127	0.0186	0.0348	0.0442	0.0737	0.0906	0.1294	0.1362
K2-6	200	G/Gmax	0.9832	0.9653	0.9260	0.9064	0.7810	0.5833	0.0891	0.0714
		λ_d	0.0182	0.0215	0.0289	0.0362	0.0668	0.0931	0.1504	0.1557
K2-7	300	G/Gmax	0.9792	0.9556	0.9062	0.8765	0.7052	0.4581	0.0661	0.0473
		λ_d	0.0280	0.0332	0.0465	0.0554	0.0932	0.1187	0.1641	0.1705
K2-8	300	G/Gmax	0.9865	0.9723	0.9420	0.9261	0.8304	0.6653	0.1055	0.0790
		λ_d	0.0132	0.0175	0.0261	0.0323	0.0610	0.0841	0.1376	0.1458
K2-9	300	G/Gmax	0.9754	0.9492	0.8930	0.8568	0.6525	0.4120	0.0628	0.0412
		λ_d	0.0322	0.0345	0.0437	0.0519	0.0916	0.1213	0.1732	0.1785
K2-10	400	G/Gmax	0.9721	0.9424	0.8766	0.8403	0.6327	0.3955	0.0463	0.0284
		λ_d	0.0363	0.0404	0.0511	0.0585	0.0956	0.1244	0.1771	0.1852
K2-	400	G/Gmax	0.9730	0.9491	0.8864	0.8502	0.6457	0.4024	0.0529	0.0323

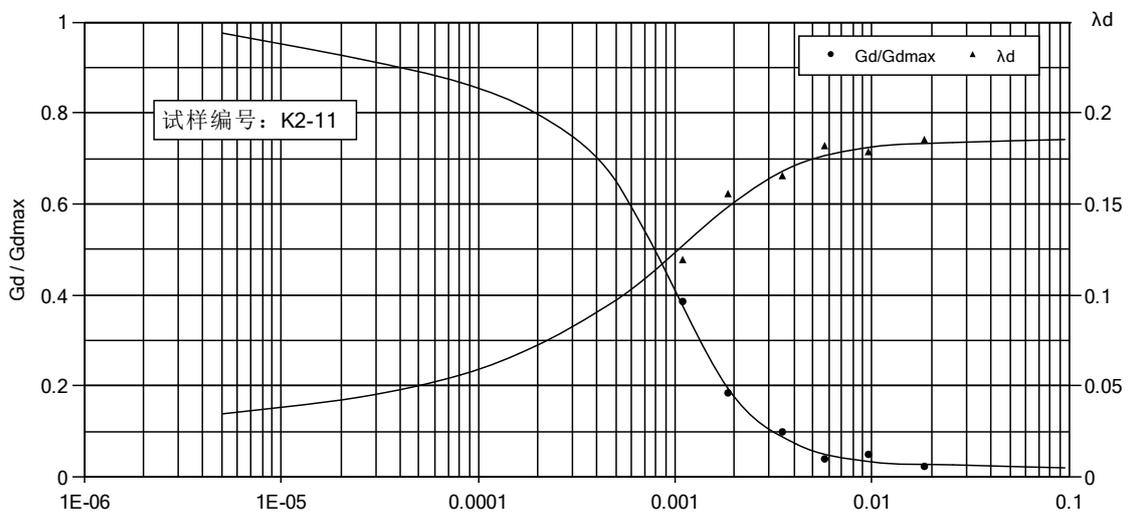
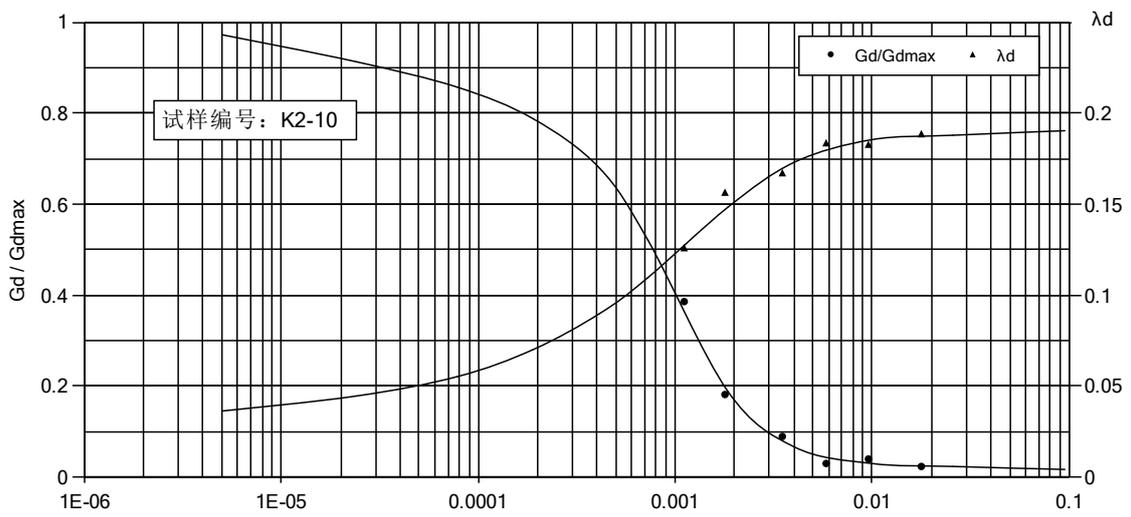
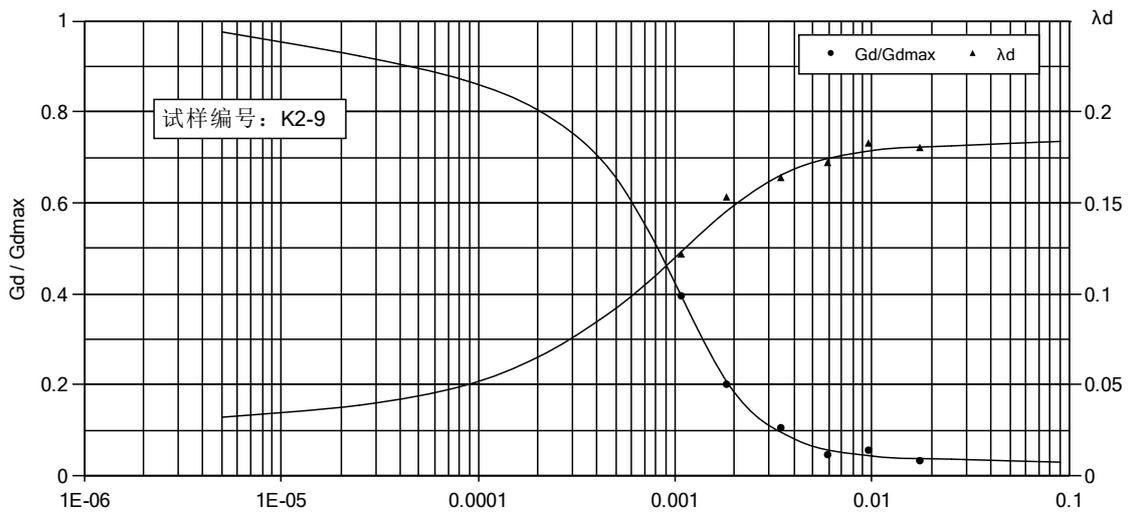
11		λ_d	0.0342	0.0376	0.0503	0.0602	0.0972	0.1242	0.1755	0.1810
K4-1	100	G/Gmax	0.9814	0.9589	0.8996	0.8634	0.6789	0.4647	0.0824	0.0583
		λ_d	0.0256	0.0282	0.0364	0.0445	0.0773	0.1038	0.1565	0.1652
K4-2	100	G/Gmax	0.9916	0.9824	0.9722	0.9624	0.9128	0.8041	0.1416	0.1103
		λ_d	0.0052	0.0106	0.0248	0.0337	0.0602	0.0758	0.1154	0.1236
K4-3	200	G/Gmax	0.9883	0.9756	0.9457	0.9295	0.8436	0.6787	0.1155	0.0920
		λ_d	0.0091	0.0140	0.0289	0.0374	0.0668	0.0835	0.1263	0.1357
K4-4	200	G/Gmax	0.9873	0.9725	0.9392	0.9193	0.8271	0.6657	0.1124	0.0903
		λ_d	0.0124	0.0182	0.0334	0.0420	0.0725	0.0890	0.1302	0.1384
K4-5	300	G/Gmax	0.9852	0.9657	0.9262	0.9028	0.7975	0.6196	0.1024	0.0852
		λ_d	0.0142	0.0190	0.0297	0.0355	0.0626	0.0834	0.1351	0.1417
K4-6	300	G/Gmax	0.9905	0.9823	0.9626	0.9523	0.8965	0.7744	0.1418	0.1152
		λ_d	0.0063	0.0108	0.0193	0.0272	0.0544	0.0742	0.1219	0.1273
K4-7	400	G/Gmax	0.9862	0.9688	0.9293	0.9095	0.8140	0.6362	0.1058	0.0871
		λ_d	0.0146	0.0191	0.0349	0.0438	0.0733	0.0923	0.1318	0.1390
K4-8	400	G/Gmax	0.9850	0.9655	0.9194	0.8963	0.7843	0.5899	0.1023	0.0814
		λ_d	0.0157	0.0196	0.0338	0.0429	0.0756	0.0948	0.1383	0.1442
K4-9	400	G/Gmax	0.9892	0.9758	0.9495	0.9326	0.8565	0.7217	0.1223	0.0954
		λ_d	0.0121	0.0173	0.0302	0.0373	0.0651	0.0832	0.1277	0.1360
K6-1	100	G/Gmax	0.9894	0.9786	0.9623	0.9554	0.8960	0.7711	0.1254	0.0957
		λ_d	0.0108	0.0164	0.0315	0.0412	0.0717	0.0878	0.1265	0.1359
K6-2	100	G/Gmax	0.9835	0.9654	0.9292	0.9027	0.7876	0.5866	0.0825	0.0602
		λ_d	0.0206	0.0263	0.0388	0.0475	0.0816	0.1022	0.1491	0.1563
K6-3	200	G/Gmax	0.9846	0.9688	0.9390	0.9163	0.8075	0.6194	0.0990	0.0762
		λ_d	0.0165	0.0198	0.0304	0.0378	0.0676	0.0892	0.1434	0.1503
K6-4	200	G/Gmax	0.9878	0.9784	0.9553	0.9422	0.8704	0.7250	0.1122	0.0863
		λ_d	0.0125	0.0184	0.0336	0.0429	0.0731	0.0915	0.1335	0.1432
K6-5	300	G/Gmax	0.9765	0.9493	0.8897	0.8535	0.6459	0.4021	0.0430	0.0295
		λ_d	0.0346	0.0379	0.0514	0.0593	0.0955	0.1211	0.1722	0.1804
K6-6	300	G/Gmax	0.9816	0.9622	0.9128	0.8865	0.7382	0.5207	0.0858	0.0661

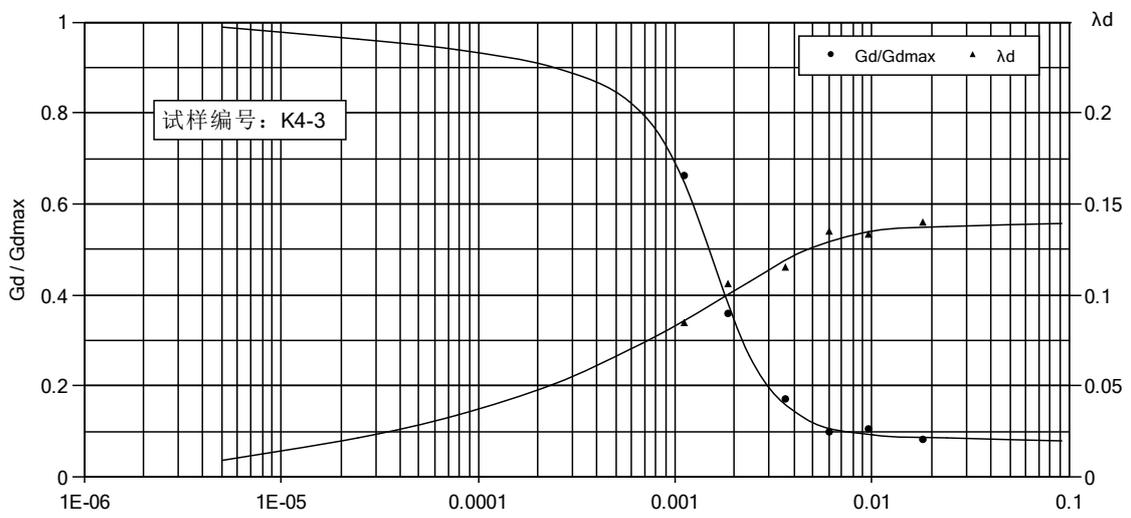
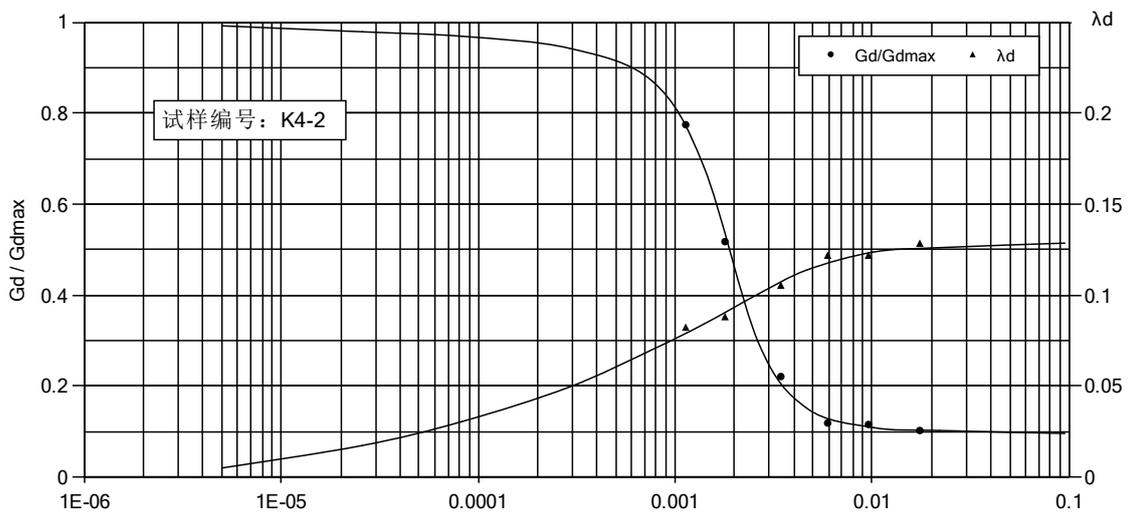
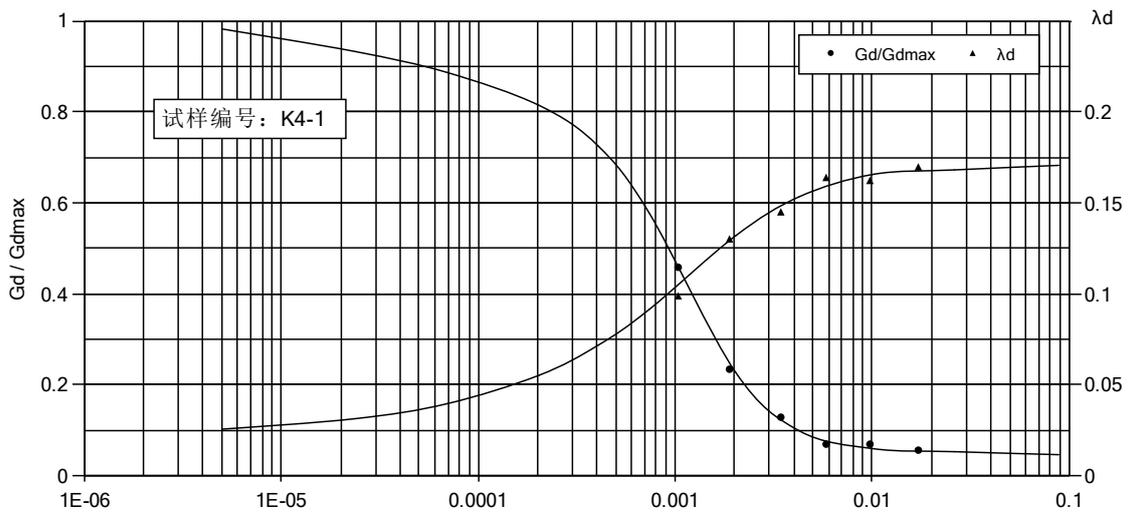
		λ_d	0.0223	0.0264	0.0347	0.0412	0.0753	0.1025	0.1549	0.1631
K6-7	400	G/Gmax	0.9854	0.9720	0.9494	0.9326	0.8271	0.6524	0.1089	0.0806
		λ_d	0.0155	0.0194	0.0287	0.0342	0.0623	0.0874	0.1392	0.1475

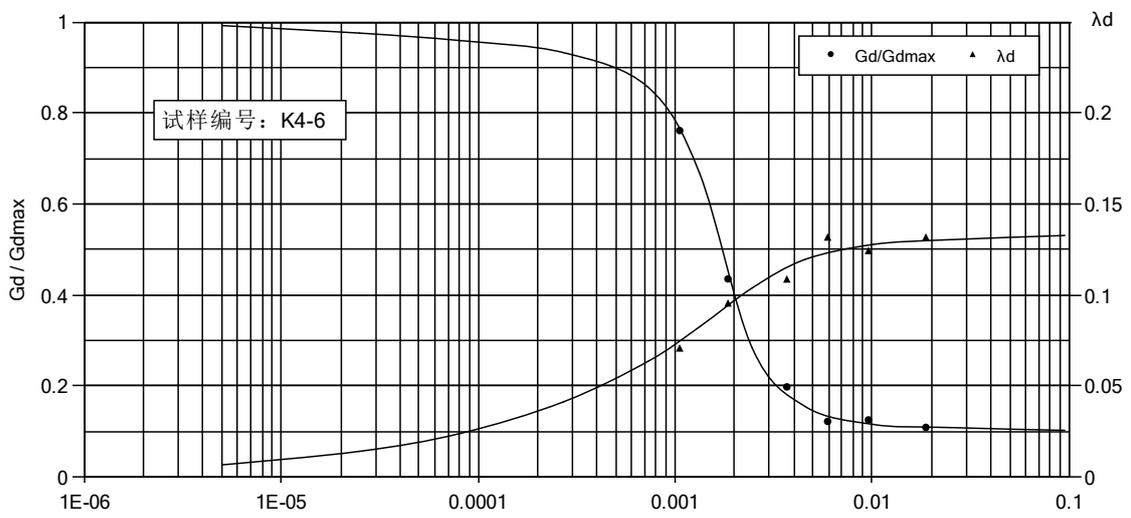
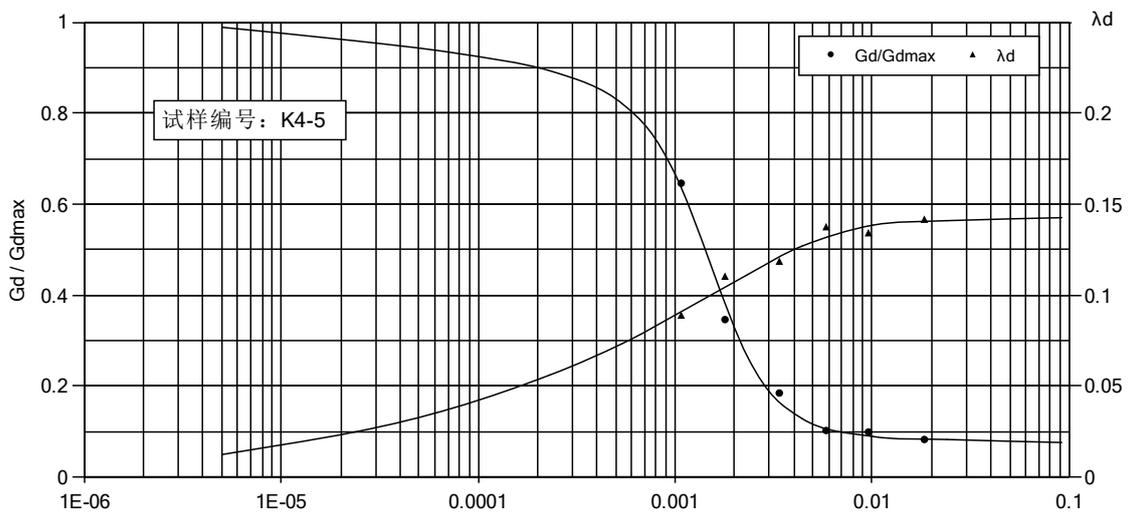
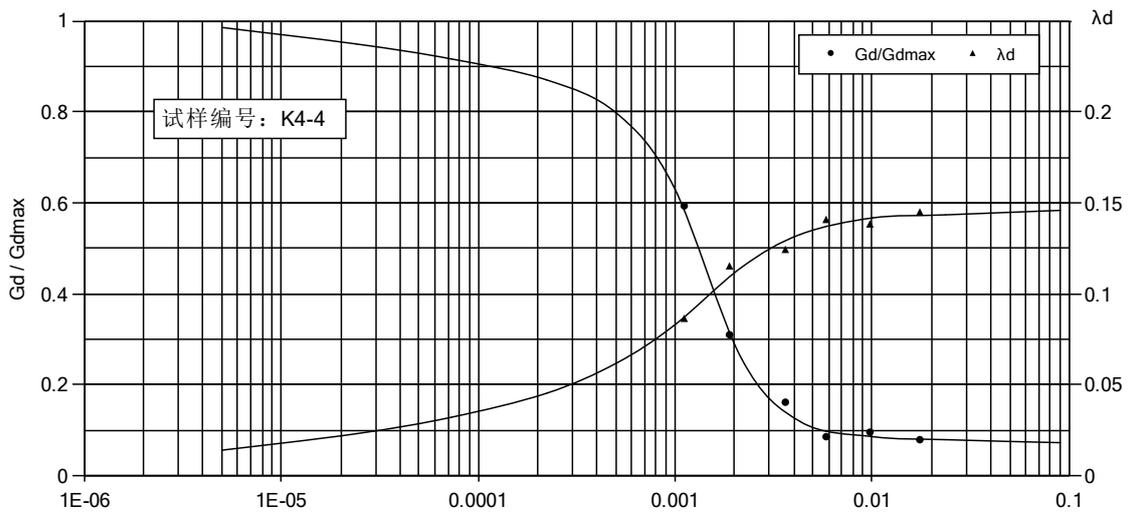


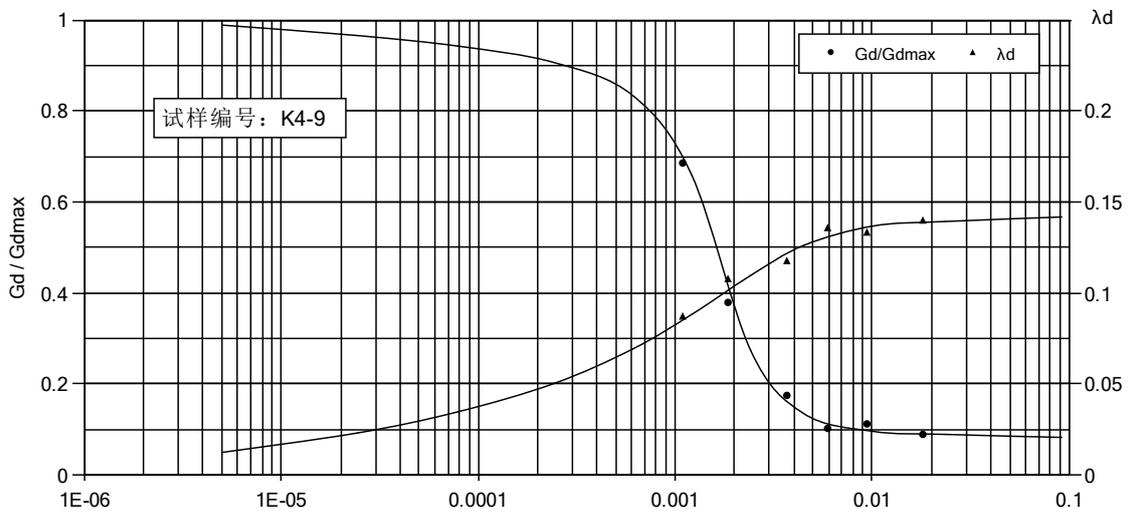
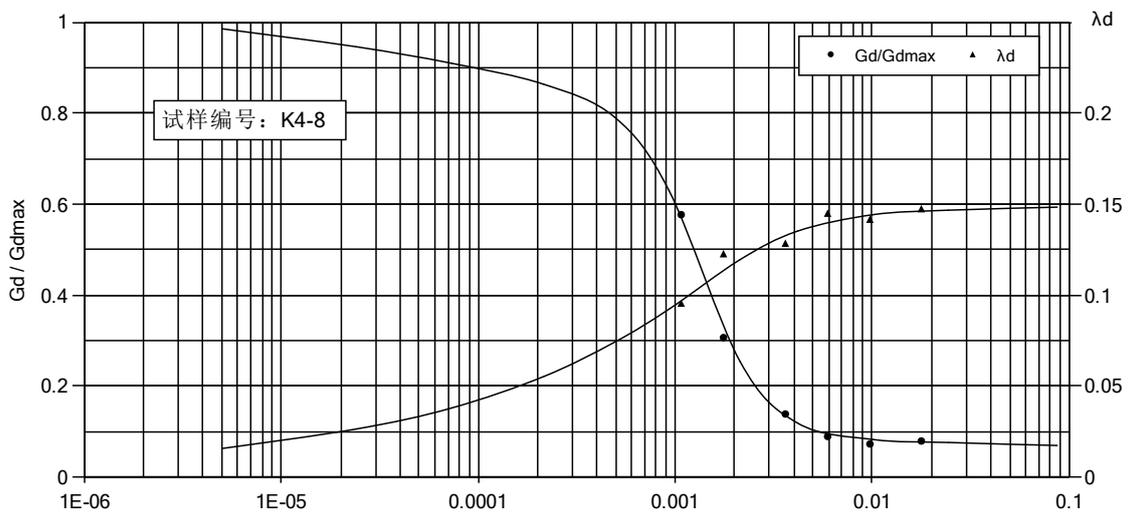
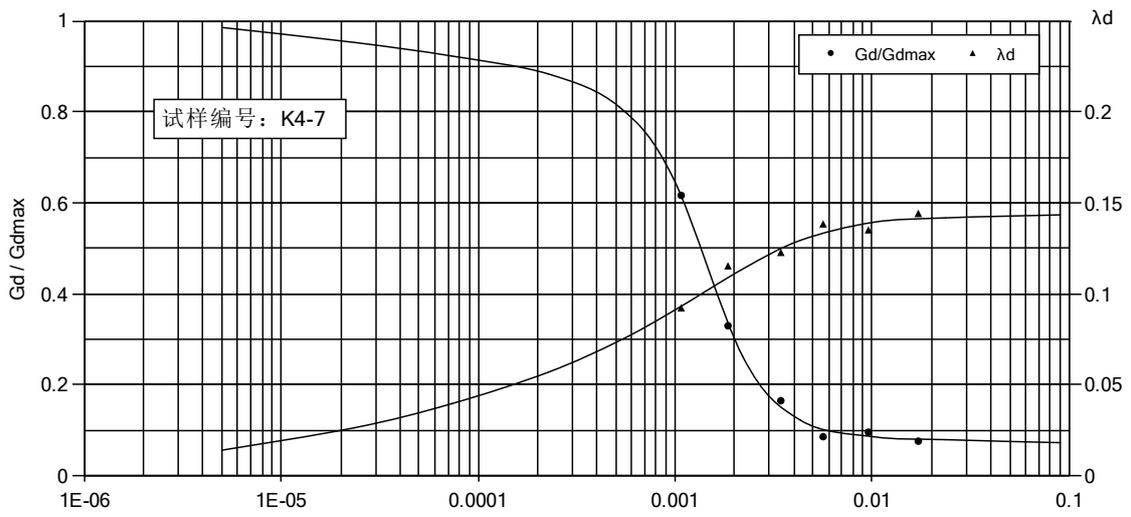


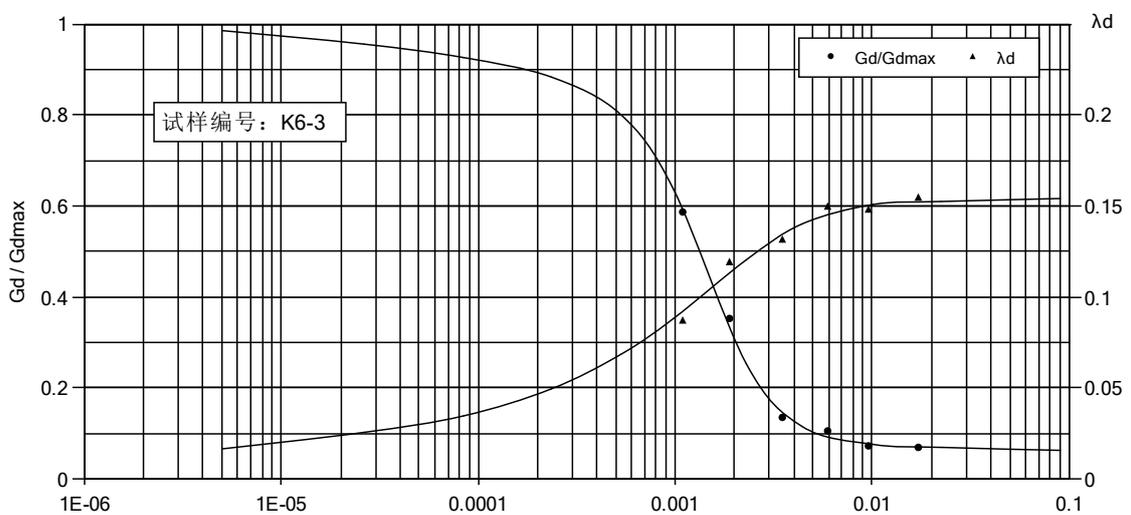
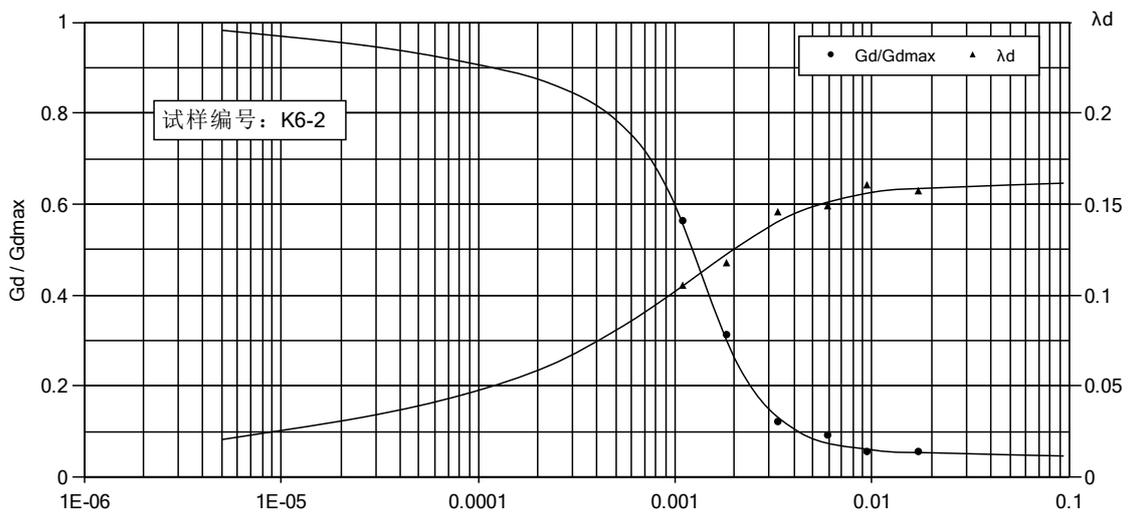
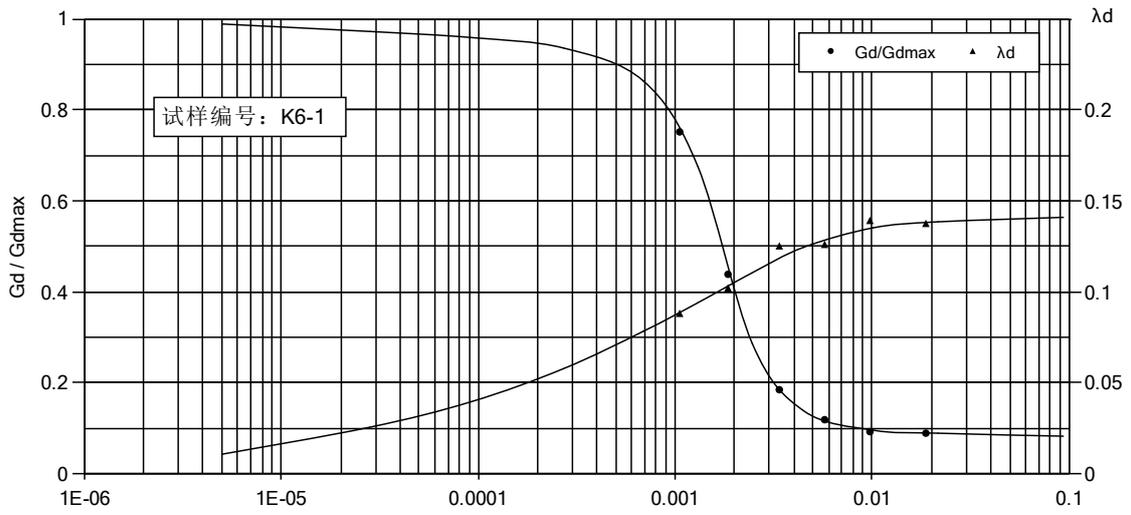


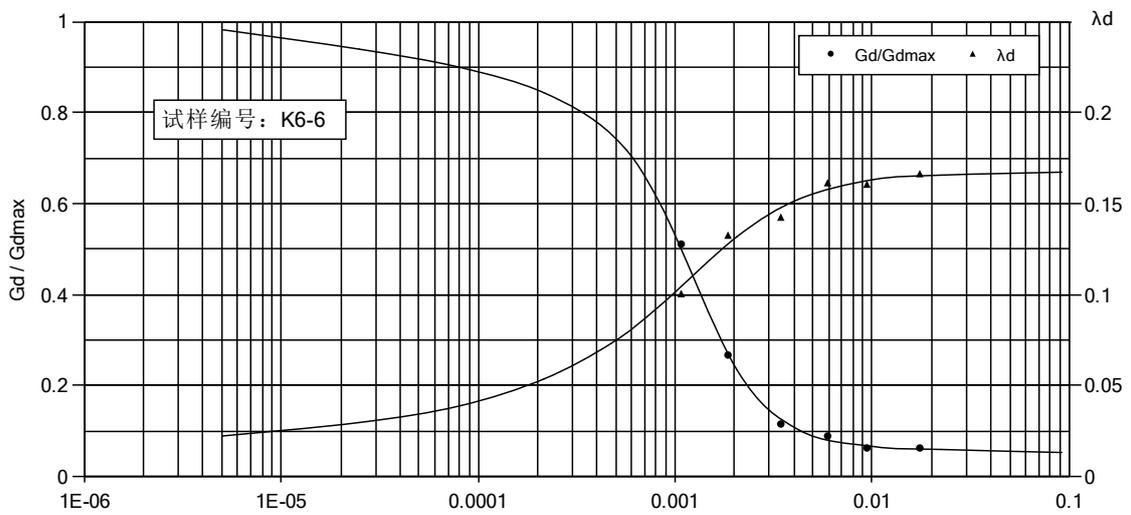
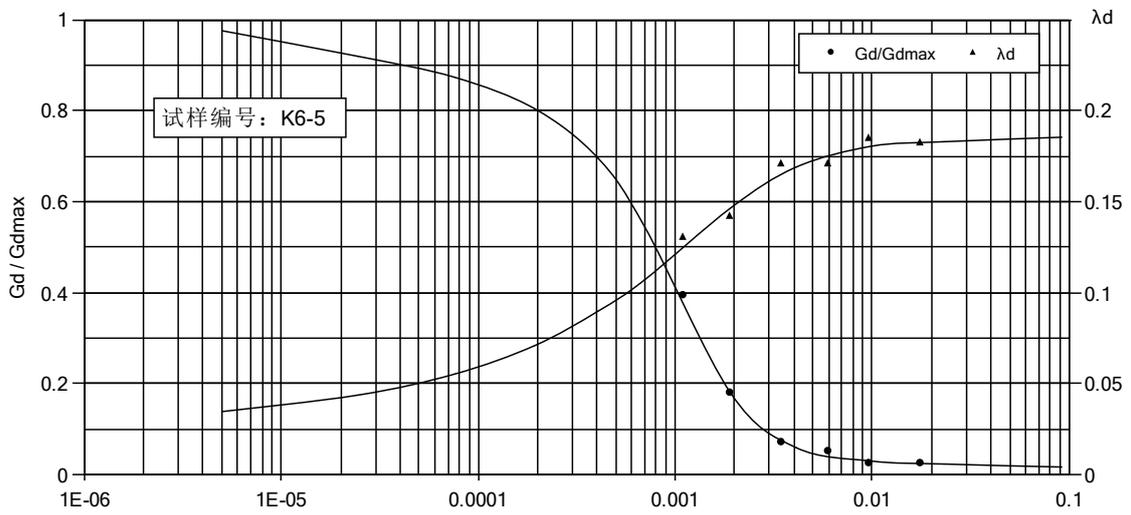
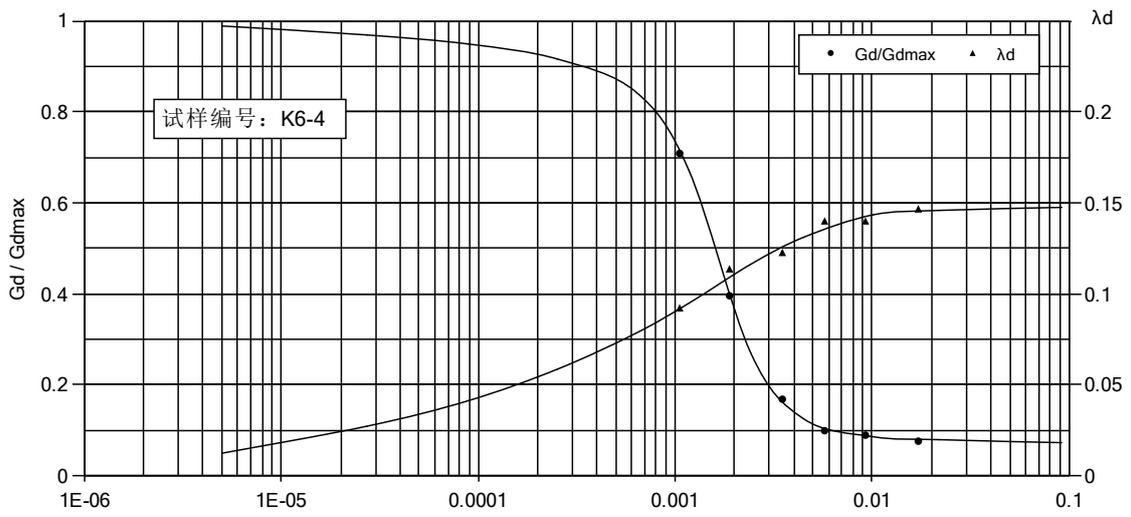


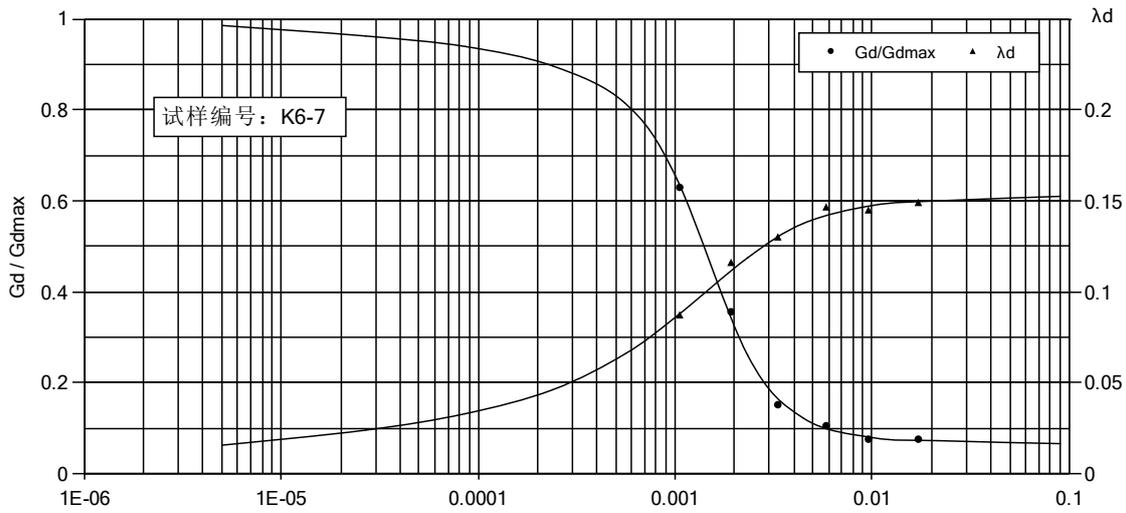












附图 5.4.1 $G_d/G_{dmax} \sim \gamma_d$ 和 $\lambda_d \sim \gamma_d$ 关系曲线

本次工作对于动三轴试验结果的参数选取的原则采用控制点周围就近选取合适层位的土层土体动力非线性参数的原则，杂填土、粉土、粉质黏土、黏土。砂类土依据中国地震局行业标准中所采用的推荐值，其剪切模量比和阻尼比列于 5.4.3。

5.4.3 目标区场地土层剪切模量比和阻尼比计算值表

编号	岩性	剪应变 γ 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	杂填土	G/G_{max}	0.960	0.950	0.800	0.700	0.300	0.200	0.150	0.100
		ξ	0.025	0.028	0.030	0.035	0.080	0.100	0.110	0.120
2	粉土 (4.5-4.7m)	G/G_{max}	0.9903	0.9787	0.9625	0.9558	0.8962	0.7678	0.1385	0.1043
		ξ	0.0066	0.0124	0.0286	0.0375	0.0673	0.0841	0.1195	0.1252
3	粉土 (8.4-8.6m)	G/G_{max}	0.9886	0.9785	0.9587	0.9496	0.8798	0.7384	0.1221	0.0940
		ξ	0.0093	0.0156	0.0313	0.0404	0.0701	0.0874	0.1261	0.1327
4	粉质黏土 (11.4-11.6m)	G/G_{max}	0.9773	0.9552	0.9029	0.8700	0.6756	0.4318	0.0496	0.0364
		λ_d	0.0305	0.0343	0.0478	0.0569	0.0964	0.1210	0.1681	0.1753
5	粉质黏土 (14.6-14.8m)	G/G_{max}	0.9843	0.9686	0.9359	0.9161	0.8074	0.6229	0.1056	0.0825
		λ_d	0.0154	0.0192	0.0285	0.0339	0.0618	0.0865	0.1409	0.1482
6	粉土 (17.4-17.6m)	G/G_{max}	0.9876	0.9754	0.9526	0.9391	0.8603	0.6986	0.1157	0.0853
		λ_d	0.0127	0.0186	0.0348	0.0442	0.0737	0.0906	0.1294	0.1362

7	粉质黏土 (19.8-20.0m)	G/G _{max}	0.9832	0.9653	0.9260	0.9064	0.7810	0.5833	0.0891	0.0714
		λ_d	0.0182	0.0215	0.0289	0.0362	0.0668	0.0931	0.1504	0.1557
8	粉质黏土 (21.2-21.4m)	G/G _{max}	0.9792	0.9556	0.9062	0.8765	0.7052	0.4581	0.0661	0.0473
		λ_d	0.0280	0.0332	0.0465	0.0554	0.0932	0.1187	0.1641	0.1705
9	粉质黏土 (25.4-25.6m)	G/G _{max}	0.9865	0.9723	0.9420	0.9261	0.8304	0.6653	0.1055	0.0790
		λ_d	0.0132	0.0175	0.0261	0.0323	0.0610	0.0841	0.1376	0.1458
10	粉质黏土 (28.6-28.8m)	G/G _{max}	0.9754	0.9492	0.8930	0.8568	0.6525	0.4120	0.0628	0.0412
		λ_d	0.0322	0.0345	0.0437	0.0519	0.0916	0.1213	0.1732	0.1785
11	粉质黏土 (31.5-31.7m)	G/G _{max}	0.9721	0.9424	0.8766	0.8403	0.6327	0.3955	0.0463	0.0284
		λ_d	0.0363	0.0404	0.0511	0.0585	0.0956	0.1244	0.1771	0.1852
12	粉质黏土 (36.0-36.2m)	G/G _{max}	0.9730	0.9491	0.8864	0.8502	0.6457	0.4024	0.0529	0.0323
		λ_d	0.0342	0.0376	0.0503	0.0602	0.0972	0.1242	0.1755	0.1810
13	粉土 (3.8-4.0m)	G/G _{max}	0.9814	0.9589	0.8996	0.8634	0.6789	0.4647	0.0824	0.0583
		λ_d	0.0256	0.0282	0.0364	0.0445	0.0773	0.1038	0.1565	0.1652
14	粉土 (8.8-9.0m)	G/G _{max}	0.9916	0.9824	0.9722	0.9624	0.9128	0.8041	0.1416	0.1103
		λ_d	0.0052	0.0106	0.0248	0.0337	0.0602	0.0758	0.1154	0.1236
15	粉土 (12.8-13.0m)	G/G _{max}	0.9883	0.9756	0.9457	0.9295	0.8436	0.6787	0.1155	0.0920
		λ_d	0.0091	0.0140	0.0289	0.0374	0.0668	0.0835	0.1263	0.1357
16	粉土 (17.8-18.0m)	G/G _{max}	0.9873	0.9725	0.9392	0.9193	0.8271	0.6657	0.1124	0.0903
		λ_d	0.0124	0.0182	0.0334	0.0420	0.0725	0.0890	0.1302	0.1384
17	粉质黏土 (22.8-23.0m)	G/G _{max}	0.9852	0.9657	0.9262	0.9028	0.7975	0.6196	0.1024	0.0852
		λ_d	0.0142	0.0190	0.0297	0.0355	0.0626	0.0834	0.1351	0.1417
18	粉质黏土 (27.8-28.0m)	G/G _{max}	0.9905	0.9823	0.9626	0.9523	0.8965	0.7744	0.1418	0.1152
		λ_d	0.0063	0.0108	0.0193	0.0272	0.0544	0.0742	0.1219	0.1273
19	粉质黏土 (32.8-33.8m)	G/G _{max}	0.9862	0.9688	0.9293	0.9095	0.8140	0.6362	0.1058	0.0871
		λ_d	0.0146	0.0191	0.0349	0.0438	0.0733	0.0923	0.1318	0.1390
20	粉质黏土 (37.8-38.0m)	G/G _{max}	0.9850	0.9655	0.9194	0.8963	0.7843	0.5899	0.1023	0.0814
		λ_d	0.0157	0.0196	0.0338	0.0429	0.0756	0.0948	0.1383	0.1442

21	粉质黏土 (42.8-43.0m)	G/G _{max}	0.9892	0.9758	0.9495	0.9326	0.8565	0.7217	0.1223	0.0954
		λ_d	0.0121	0.0173	0.0302	0.0373	0.0651	0.0832	0.1277	0.1360
22	粉土 (4.8-5.0m)	G/G _{max}	0.9894	0.9786	0.9623	0.9554	0.8960	0.7711	0.1254	0.0957
		λ_d	0.0108	0.0164	0.0315	0.0412	0.0717	0.0878	0.1265	0.1359
23	粉土 (8.8-9.0m)	G/G _{max}	0.9835	0.9654	0.9292	0.9027	0.7876	0.5866	0.0825	0.0602
		λ_d	0.0206	0.0263	0.0388	0.0475	0.0816	0.1022	0.1491	0.1563
24	粉质黏土 (13.8-14.0m)	G/G _{max}	0.9846	0.9688	0.9390	0.9163	0.8075	0.6194	0.0990	0.0762
		λ_d	0.0165	0.0198	0.0304	0.0378	0.0676	0.0892	0.1434	0.1503
25	粉质黏土 (18.8-19.0m)	G/G _{max}	0.9878	0.9784	0.9553	0.9422	0.8704	0.7250	0.1122	0.0863
		λ_d	0.0125	0.0184	0.0336	0.0429	0.0731	0.0915	0.1335	0.1432
26	粉质黏土 (23.8-24.0m)	G/G _{max}	0.9765	0.9493	0.8897	0.8535	0.6459	0.4021	0.0430	0.0295
		λ_d	0.0346	0.0379	0.0514	0.0593	0.0955	0.1211	0.1722	0.1804
27	粉质黏土 (28.8-29.0m)	G/G _{max}	0.9816	0.9622	0.9128	0.8865	0.7382	0.5207	0.0858	0.0661
		λ_d	0.0223	0.0264	0.0347	0.0412	0.0753	0.1025	0.1549	0.1631
28	黏土 (33.8-34.0m)	G/G _{max}	0.9854	0.9720	0.9494	0.9326	0.8271	0.6524	0.1089	0.0806
		λ_d	0.0155	0.0194	0.0287	0.0342	0.0623	0.0874	0.1392	0.1475

6 地震危险性概率分析

按照《工程场地地震安全性评价》(GB 17741-2005)的规定,本章依据前述章节关于区域及近场区域地震活动性、区域及近场区域地震构造背景研究,对目标区地震安全性有影响的地震带的确定及其各地震带未来百年地震活动趋势的估计,划分各地震带及潜在震源区,确定地震带及潜在震源区地震活动参数,并利用所确定的适合本区的地震动衰减关系,以地震危险性的概率分析方法,进行目标区的地震危险性分析计算。

6.1 分析方法概述

本项目采用了《工程场地地震安全性评价》(GB 17741-2005)规定的概率地震危险性分析方法,其主要特点在于考虑了地震活动的时空不均匀性。其基本思路和计算方法概述如下:

① 首先确定地震统计单元(地震带),以此作为考虑地震活动时间非均匀性、确定未来百年地震活动水平和地震危险性空间相对分布概率的基本单元。地震统计区内部地震活动在空间和时间上都是不均匀的。

地震带内地震时间过程符合分段的泊松过程。令地震带的震级上限为 m_{uz} ,震级下限为 m_0 , t 年内 $m_0 \sim m_{uz}$ 之间地震年平均发生率 ν_0 , ν_0 由未来的地震活动趋势来确定,则地震带内 t 年内发生 n 次地震的概率:

$$P(n) = \frac{(\nu_0 t)^n}{n!} e^{-\nu_0 t} \quad (6.1.1)$$

同时,地震带内地震活动性遵从修正的震级频度关系,相应的震级概率密度函数为:

$$f(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m - m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{uz} - m_0)]} \quad (6.1.2)$$

其中, $\beta = b \ln 10$, b 为震级频度关系的斜率。实际工作中,震级 m 分成 N_m 档, m_j 表示震级范围为($m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m$)的震级档。则地震带内发生 m_j 档地震的概率:

$$P(m_j) = \frac{2}{\beta} \cdot f(m_j) \cdot Sh(\frac{1}{2} \beta \Delta m) \quad (6.1.3)$$

②在地震带内部划分潜在震源区，并以潜在震源区的空间分布函数 f_{i,m_j} 来反映各震级档地震在各潜在震源区上分布的空间不均匀性，而潜在震源区内部地震活动性是一致的。假定地震带内共划分出 N_s 个潜在震源区 $\{S_1, S_2, \dots, S_{N_s}\}$ 。

③根据分段泊松分布模型和全概率公式，地震带内部发生的地震，影响到场点地震动参数值 A 超越给定值 a 的年超越概率为：

$$P_k(A \geq a) = 1 - \exp\left\{-\frac{2V_0}{\beta} \cdot \sum_{j=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_s} \iiint P(A \geq a | E) \cdot f(\theta) \cdot \frac{f_{i,m_j}}{A(S_i)} \cdot f(m_j) \cdot Sh(\frac{1}{2} \beta \Delta m) dx dy d\theta\right\} \quad (6.1.4)$$

$A(S_i)$ 为地震带内第 i 个潜在震源区的面积， $P(A \geq a | E)$ 为地震带内第 i 个潜在震源区内发生某一特定地震事件（震中 (x, y) ，震级 $m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m$ ，破裂方向确定）时场点地震动超越 a 的概率， $f(\theta)$ 为破裂方向的概率密度函数。

④假定共有 N_z 个地震带对场点有影响，则综合所有地震带的影响得：

$$P(A \geq a) = 1 - \prod_{k=1}^{N_z} (1 - P_k(A \geq a)) \quad (6.1.5)$$

下文将就本次概率地震危险性分析各环节所需参数的确定进行论述，并根据本次工作所得到的计算参数，给出场地概率地震危险性分析的结果。其中地震带划分在前面有关章节已经论述，这里将仅就区域内潜在震源区划分、地震带及潜在震源区地震活动性参数的确定进行详细论述。

6.2 潜在震源区的划分

本次工作潜在震源区划分，是在新编“中国地震动参数区划图”（2015）中国地震局地球物理研究所潜在震源区划分方案的基础上，结合前述区域及近场区地震构造条件的研究成果，最终确定的。

6.2.1 潜在震源区划分的原则和方法

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。

历史地震重演原则，是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。构造类比原则，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。

本次工作中潜在震源区的划分原则，着重考虑了以下几点：

① 区域地震构造格局对地震的控制作用。区域内地震活动多受北东—北北东向及北西向两组构造的控制，表现出沿这两组方向的条带分布。但在这两组构造中，北东—北北东向构造起主要的控制作用，发生地震强度较大，且极震区长轴方向通常都为北东—北北东；北西向构造的存在，使两者交汇部位易于积累应力发生地震，沿北西向断裂发生的地震强度也相对较小。基于此认识，区域内划分的高震级潜在震源区多为北东—北北东。

② 第四纪活动断裂及其活动性差异分段。区域内大多数第四纪活动断裂不同的段落具有不同的构造活动性。在晚更新世、甚至全新世以来有过活动的断裂段，多有 6 级以上地震发生。第四纪早期活动的断裂段，地震活动多在 4~5 级。区域地震活动与断裂活动性的关系密切，是潜在震源区震级上限确定的重要依据。

③ 不同方向断裂构造的交汇部位。区域内主要构造方向为北东—北北东向与北西—北西西向。这两组方向的断裂交汇的部位，是构造应力易于集中的地方，也是大震、强震易于发生的部位。

④ 地球物理场的畸变、转折部位或梯度带等特征与浅部构造的耦合部位。这些部位往往是构造深部背景的反应。

⑤ 新构造时期的断陷盆地是本区域重要的活动构造形式，区内的许多破坏性地震的发生与这些断陷盆地相关。强震常常发生在断陷盆地内某些特殊的构造部位上。

⑥ 历史地震的空间分布及其现代小地震活动的空间分布，是区域潜在震源区确定的重要基础依据。

基于以上原则，在第四代地震动参数区划图潜在震源划分综合方案的基础上，依照新一代全国地震动参数区划图潜在震源划分方案对本地区潜在震源区划分进行了修订，形成了本次工作地震危险性分析中所使用的潜在震源区划分方案，详述如下。

6.2.2 潜在震源区震级上限确定的依据

潜在震源区的震级上限是指该潜在震源区发生概率趋于 0 的极限地震的震级，通常与潜在震源区一并确定。震级上限按 0.5 个震级单位为间隔确定，通常分为 5.5，6.0，6.5，7.0，7.5，8.0 和 8.5 级等几个震级段。

1. 震级上限的确定依据

本报告潜在震源区划分中，潜在震源区震级上限的确定将综合考虑下列两项依据。

(1) 地震活动性依据

历史地震资料给出了各地区曾发生过的地震记载情况，由于有地震记载的历史年代不够长，缺失和遗漏都在所难免，因此，历史上记载到的最大震级可能并不足以表示未来可能发生的最大地震的震级。一般情况下，各潜在震源区的震级上限不应低于区内最大历史地震的震级。对于已有历史地震记载的潜在震源区，若历史地震记载时间悠久并资料比较充分，可以将历史上发生的最大地震的震级作为震级上限。在资料不完整的地区，则根据历史地震记载及该区地震构造分析的结果，将历史地震的最大震级加半级作为震级上限。在有可靠古地震资料的地方，古地震的强度也应是确定潜在震源区震级上限的依据之一。

(2) 地质构造依据

根据目前我国地震构造研究的状况，在确定发震构造所能产生的最大地震时，重点考虑活动断层的方向、性质以及构造规模与断层上发生地震最大震级的控制作用。

2. 潜在震源区震级上限的综合评定

本报告在确定潜在震源区震级上限时，不是以某一个条件作为依据，也不是采用个别震例简单的构造对比，而是综合考虑潜在震源区内地震活动的状况、地震发生的构造环境、现代构造应力场作用下的发震断层的活动性质和活动性，以及发震构造的规模等因素。且对于每一方面的依据，都是采用大量数据的统计结果作为构造对比的根据。

6.2.3 各震级档潜在震源区边界的确定

本项工作采用高震级档和低震级档两级划分方式，在较宽的低震级档潜源上叠加较窄的高震级档潜源区。高震级档包括上限 8、7.5、7 和 6.5 各震级段，低震级档包括上限 6 级及 5.5 震级段，其边界的确定原则如下：

1. 高震级档

在确定潜在震源区范围时，考虑到高震级档的潜在震源区的发震构造条件较为明确，地震多发生在一些特殊构造部位，因此对于构造条件较为明确、发震构造较清楚的高震级档潜在震源区应尽可能划小，勾划出未来震中可能的分布范围，以突出大地震活动空间不均匀性的特点，减少由于高震级档潜在震源区过大引起的平均稀释效应。这类潜在震源区宽度一般为 15~20km。对于发震构造由两

条以上发震断裂平行分布的高震级档潜源，可适当划大一些，宽度一般 20~30km。

2. 低震级档

对于发震构造条件不十分清楚、空间分布不确定性因素较大、发生过 6 级以下地震的低震级地震的区域，或高震级档潜源的外围地区、发生过 5 级左右地震和小震密集区，划为低震级档潜源区。该档潜在震源区适当划大或划多一些，以适应当前对这类地震的认识水平和空间位置预测上的不确定性。

由于 6.0 级以下地震的分布具有相当的离散性，它们往往在断裂两侧 10~30km 的范围内也有分布，这个范围往往也是小震密集带，故本区大部分发震构造带两侧 10~30km 的区域都划为震级上限为 6 级的低震级档潜在震源区。

6.2.4 区域潜在震源区的划分

根据上述潜在震源区划分的原则、标志，在参照《中国地震动参数区划图（2015）》的潜在震源区划分方案基础上，并参考前人在这一地区的工程场地地震安全性评价工作中的划分结果，结合本区域及近场区地震构造、地震活动性的研究成果，对近场和周围地区的潜在震源区边界、震级上限进行了复核。

6.2.4.1 潜在震源区划分结果

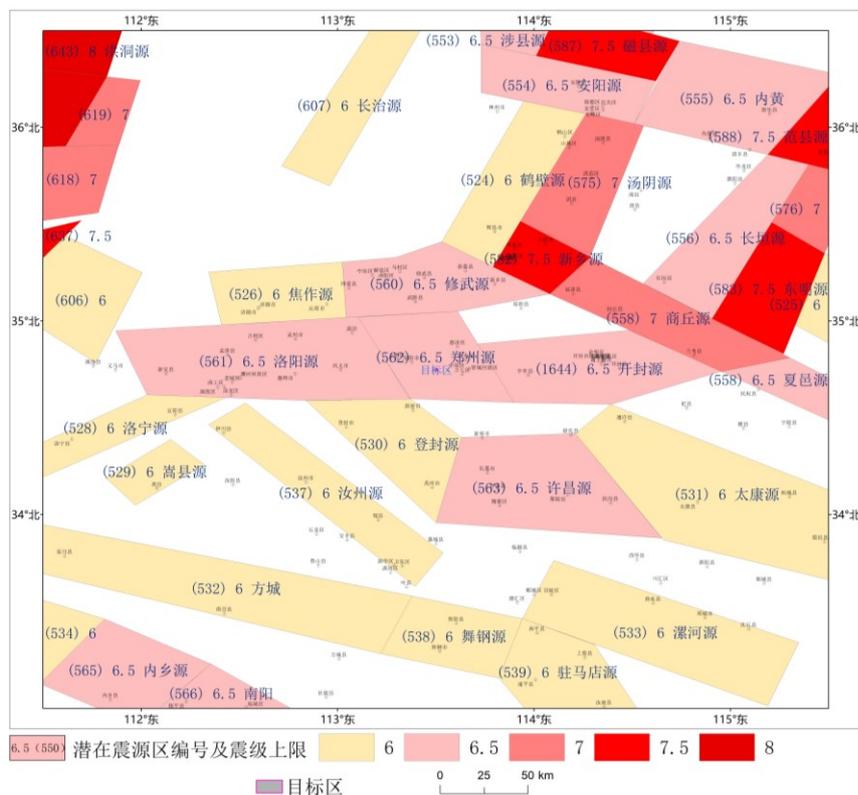


图 6.2.1 潜在震源区分布图

在本项目工作区内潜在震源区划分见图 6.2.1。本次工作区域所涉及范围的地震统计区在区域范围内的部分根据地震活动性和构造活动性的差异。各潜在震源区的震级上限如表 6.2.1 所示。现将对刚才场地有较大影响的潜在震源区描述如下：

(1) 汤阴潜在震源区 (575 号源)

汤阴源位于汤阴地堑北段，属华北平原地震带。北北东向的汤东断裂纵贯全区，汤西断裂在此尖灭，这些断裂均为第四纪活动断裂。据人工地震资料揭示，这里是地壳及上地幔隆起区，并位于太行山重力梯级带上，航磁异常表现为等值线的扭曲交接。在此曾发生过公元 344 年卫辉东 6 级地震。该潜在震源区的震级上限定为 7.0 级。

(2) 临汾潜在震源区 (646 号源)

该潜在震源区位于汾渭地震带中部，属汾渭地震带。该源以临汾盆地的中段为主体，两侧为罗云山山前断裂控制，东侧为霍山-浮山断裂，前者为第四纪强烈活动断裂。盆地内尚有横向和斜向构造。历史上该区曾发生过 1303 年的洪洞 8 级地震和 1695 年临汾 7¼ 级地震，现代小震仍在该地密集分布。该潜在震源区的震级上限定为 8.0 级。

(3) 新乡潜在震源区 (582 号源)

新乡潜在震源区位于汤阴地堑南段，属华北平原地震带，新生代活动强烈，古近系沉积厚度达 2000~3000m，新近系及第四系厚度达 1300m。区内发育有近东西向的盘谷寺-新乡断裂，北北东向的汤西断裂，汤东断裂和北西西向的新乡-商丘断裂，三组断裂在区内交汇。这些断裂均为第四纪活动的正-走滑断层，据槽探资料揭示，其中的汤西断裂至少在晚更新世仍有活动。另据重、磁及地壳厚度资料，该区均位于梯级带上。区内曾发生强震空段区。震级上限定为 7.5 级。

(4) 郑州潜在震源区 (562 号源)

近场区位于豫中差异沉降区，近场区内有 7 条为第四纪断裂（须水断层、武陟断层、五指岭断层、孟州-温县黄河断裂、平陵断裂、盘古寺-新乡断裂、大封-南山口断层），最新活动时代为早、中更新世，其余均为前第四纪断裂，区内尚未发现断裂晚更新世以来活动的证据。近场区处于华北平原地震带的西南部边缘，相对于华北平原地震带强烈的地震活动而言，近场区地震活动无论是强度还是频度都较低，历史上发生的最大地震震级为 5 级，近期小震零星分布。根据构造类比并考虑

潜源划分的不确定性，以及郑州是省会城市，地震安全性的地位十分重要，将本潜在震源区的震级上限仍确定为 6.5 级。

(5) 洛阳潜在震源区 (561 号源)

洛阳源在地震风险普查后进行了调整，合并了其东部的巩义潜在震源区的范围。洛阳源包括了洛阳盆地及其与郑州潜在震源区之间的区域。洛阳盆地是晚新生代的沉积盆地，晚新生代沉积厚度达 2165m，新生代以来整体上升，在该断陷盆地发育有近东西向的偃师断裂，该断裂带位于盆地北侧，是一条第四纪断裂，另有 5 条第四纪断裂。区内曾发生公元前 519 年 5½级地震和 1640 年 4¼级地震。其东部区域内发育北西和近东西向两组断裂，主要为北西向的封门口-五指岭断裂，近东西向的偃师断裂和上街断裂。封门口-五指岭断裂和偃师断裂均为第四纪断裂，它们在区内交汇。

表 6.2.1 区域潜在震源区划分表

地震带	潜源编号	潜源名称	震级上限
汾渭地震带	607	长治潜在震源区	6.0
	643	洪洞潜在震源区	8.0
	646	临汾潜在震源区	8.0
华北平原地震带	575	汤阴潜在震源区	7.0
	582	新乡潜在震源区	7.5
	1644	开封潜在震源区	7.0
	588	范县潜在震源区	7.5
	559	鄄城潜在震源区	6.5
	583	东明潜在震源区	7.5
	556	长垣潜在震源区	6.5
	553	涉县潜在震源区	6.5
	587	磁县潜在震源区	7.5
	554	安阳潜在震源区	6.5
	555	内黄潜在震源区	6.5
	526	焦作潜在震源区	6.0
	561	洛阳潜在震源区	6.5
	551	邢台潜在震源区	6.5
	562	郑州潜在震源区	6.5
524	鹤壁潜在震源区	6.0	
558	商丘潜在震源区	6.5	

6.2.4.2 背景源划分结果

本次工作区域所涉及范围的地震统计区在区域范围内的部分根据地震活动性和

构造活动性的差异，背景地震活动潜在震源区的震级上限分为 5.0 级和 5.5 级两档。在目标区在工作区内背景源区划分见图 6.2.2。

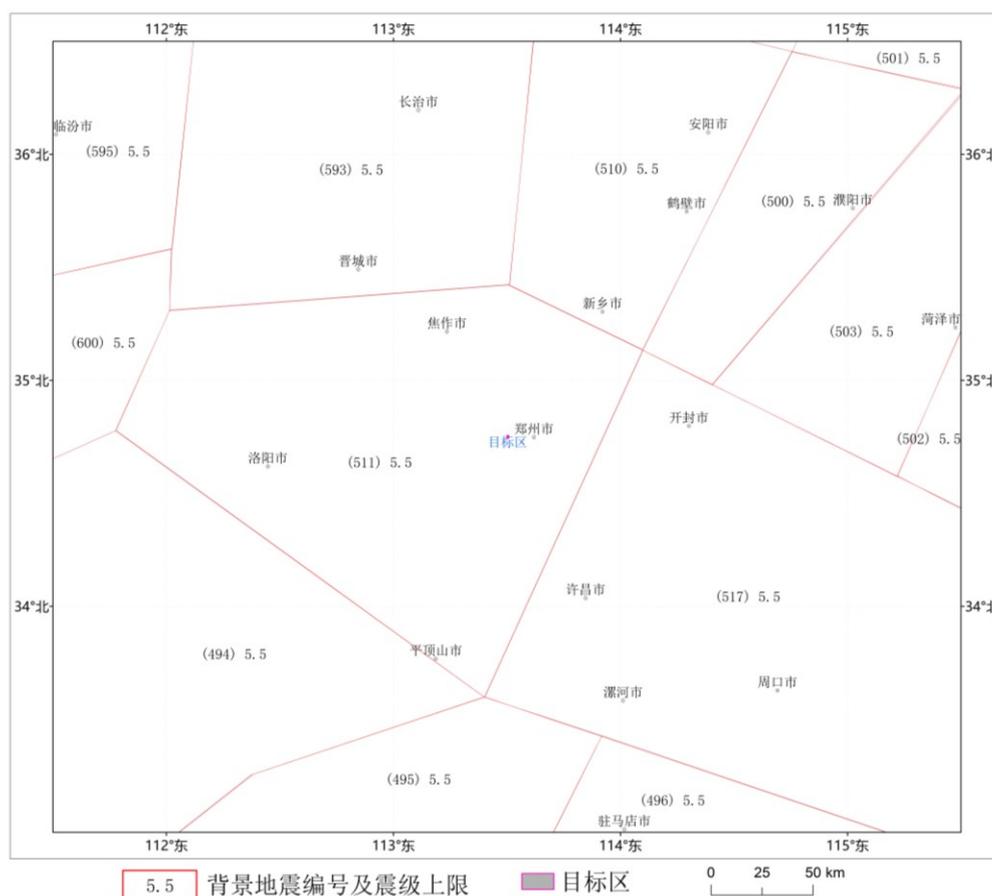


图 6.2.2 潜在背景源震源区划分图

本目标区所涉及背景潜在震源的震级上限为 5.5 级。

6.3 地震活动性参数的确定

为反映地震活动的空间不均匀性，地震活动性参数按两级确定。第一级为地震带活动性参数，它反映不同地区孕震条件和地震时、空活动特征的差异；第二级是地震带内各个潜在震源区的参数，反映地震带内地震活动的空间非均匀性。

6.3.1 地震带活动性参数的确定

1. 震级上限 M_{uz} 和起算震级 M_0 的确定

震级上限 M_{uz} 的含义是指震级—频度关系式中，累积频度趋于零的震级极限值。确定 M_{uz} 有两条主要依据：一是历史地震资料足够长的地区，地震带中地震活动已经历几个地震活动期，可按该带内发生过的最大地震强度确定 M_{uz} ；二是在同一个大地

震活动区内，用构造类比外推，认为具有相似构造条件的地震带，可发生相似强度的最大地震。在实际工作中，综合考虑以上两条原则，且遵从地震带的震级上限 M_{uz} 应等于带内各潜在震源区震级上限 (M_u) 的最大值这一原则，即 $M_{uz} = (M_u)_{max}$ 。因此有：

华北平原地震带： $M_{uz} = 8.0$ ；汾渭地震带： $M_{uz} = 8.5$ 。

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

2. 各地震带 b 值和 V_4 的确定

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

V_4 是地震带（地震统计区）4.0 级以上地震的年发生次数，即 4.0 级以上地震的年平均发生率。从概率角度来说， V_4 代表地震带（地震统计区）年 4.0 级以上地震次数随机变量的泊松期望值。

本次工作中采用了新一代全国地震动参数区划图编制中确定 b 值和 V_4 的方法，在不同方案进行统计分析后确定的 b 值和 V_4 作为初值的基础上，根据地震带（地震统计区）内实际地震的发生率、地震带（地震统计区）未来地震活动趋势分析结果、1970 年以来近 40 年的仪器记录地震资料所反映的中强地震发生次数的分布特点等因素，并基于对未来地震危险性给予合理保守考虑的原则，进行必要的调整，最终确定地震统计区 V_4 与 b 值的结果。本次工作最终使用的 b 和数值， V_4 直接采用了新一代全国地震动参数区划图编制中确定 b 值和 V_4 的结果。

(1) 华北平原地震带自 1484 年 $M \geq 5.0$ 级地震记录基本完整，1950 年以来 $M \geq 4.0$ 级地震记录较全。公元 1485 和公元 1791 年是两个地震活动相对密集期的开始，未来地震活动水平不应低估长期的平均地震活动水平。对 V_4 、 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① $M \geq 4.0$ 地震年发生率应大致相当 1950 年以来地震活动水平；
- ② $M \geq 5.0$ 级地震年发生率应大致相当 1484 年、1791 年以来地震活动水平；

② 较大震级发生率应重点考虑 1484 年以来地震活动情况；

经调整，确定华北平原地震带地震活动性参数为 $b=0.86$ ， $V_4=4.6$ 。图 6.3.1 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 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；在中强震级段与 1791 年以来的平均地震活动水平相当，该活动期以中强地震活动为主要特征；而在高震级段，以 1484 年以来的发生率控制。

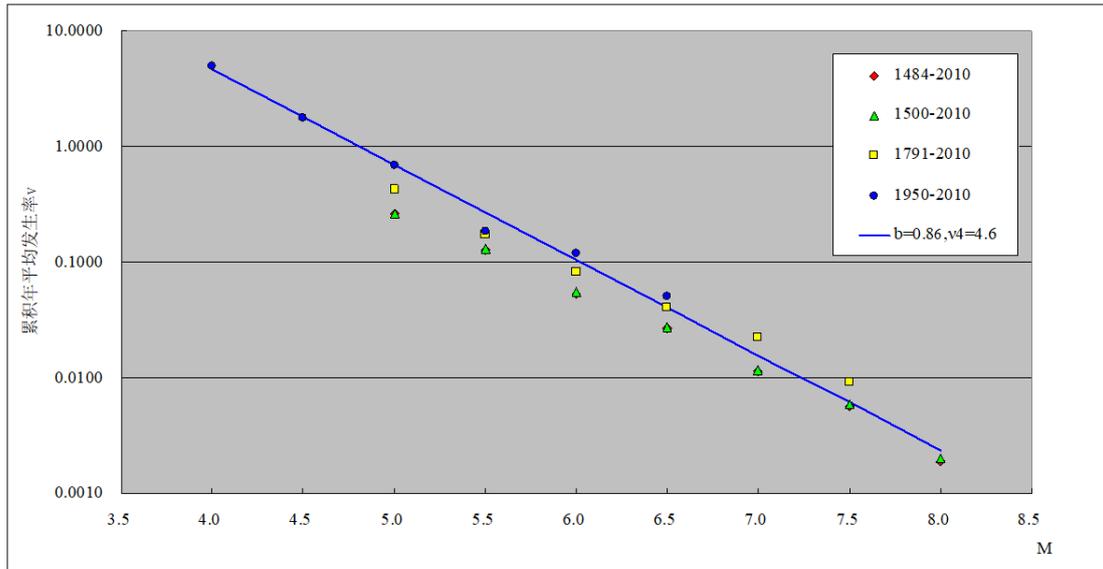


图 6.3.1 华北平原地震统计区各时段实际统计与理论结果对比

(2) 汾渭地震带公元 1000 年以来 $M \geq 6$ 级地震记录较为连续，1500 年以来 $M \geq 5.0$ 级地震资料较完整，1950 年以来 $M \geq 4.0$ 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 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① $M \geq 4.0$ 地震年发生率应大致相当 1950 年以来地震活动水平；
- ② $M \geq 5.0$ 级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 6.3.2 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 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。

本目标区采用中国地震局发布的第五代区划图的各地震带的地震活动性参数（表 6.3.1）。

表 6.3.1 地震带地震活动性参数

地震带	震级上限	b	ν_4
华北平原地震带	8.0	0.86	4.6
汾渭地震带	8.5	0.78	2.5

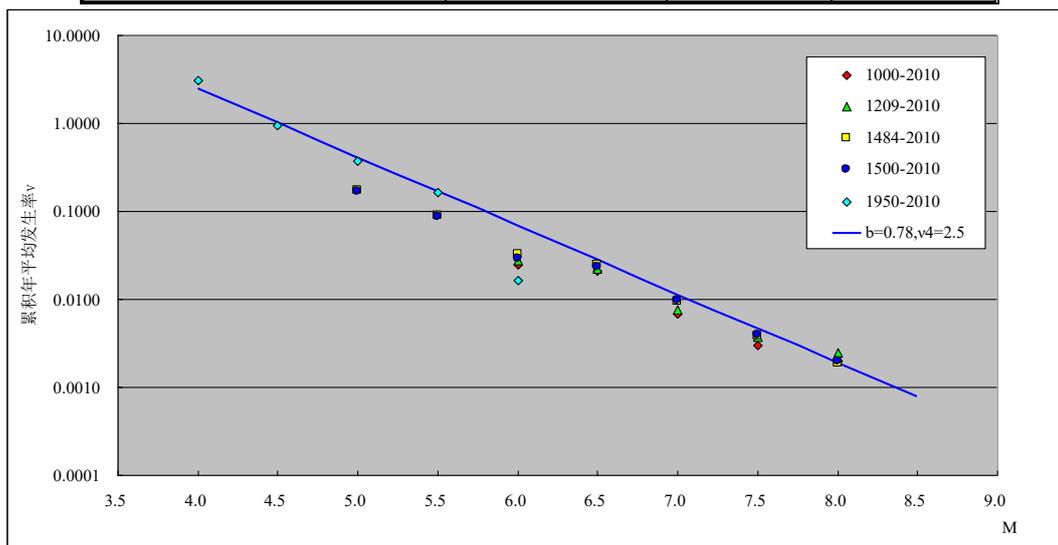


图 6.3.2 汾渭地震统计区各时段实际统计与理论结果对比

6.3.2 潜在震源区活动性参数的确定

潜在震源区活动性参数包括：震级上限 M_u ，空间分布函数 f_{i,m_j} ，椭圆等震线长轴取向及分布概率。震级上限在划分潜在震源区时，依据潜在震源区本身的地震活动性及地震构造特征已经确定（参见 6.2.1 章节）。

1. 空间分布函数 f_{i,m_j}

空间分布函数 f_{i,m_j} 是一个地震带内发生的 m_j 档震级的地震落在第 i 个潜在震源区内概率。在同一地震带内 f_{i,m_j} 满足归一条件：

$$\sum_{i=1}^n f_{i,m_j} = 1 \quad (\text{对不同震级档 } m_j) \quad (6.3.1)$$

这里 n 为地震带内第 m_j 档潜在震源区的总数。

确定影响空间分布函数时，主要考虑了以下因子：

对 6 级以下的低震级潜在震源区，主要是小地震空间分布密度。对 6.5 级以上的潜在震源区，主要是①长期地震活动背景；②具备发生 7 级以上地震的构造上的空段；③中国东部和中部 8 级大震减震效应；④潜在震源可靠程度。

本次工作分不同地震带计算出带内潜在震源区各自的空间分布函数。在区域内涉及的 24 个潜在震源区中，场址附近主要的 7 个潜在震源区的空间分布函数列于表 6.3.2。

表 6.3.2 区域几个主要潜在震源区 M_u 、 f_{i,m_j} 和方向性函数

震级档 潜源	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	M_u	θ_1 ($^\circ$)	P_1	θ_2 ($^\circ$)	P_2
643 (洪洞源)	0.0151	0.00926	0.01924	0.02367	0.01964	0.04961	0.18512	8.0	70	1.0		
646 (临汾源)	0.01045	0.02108	0.01139	0.03132	0.02752	0.02244	0.17833	8.0	60	1.0	/	/
575 (汤阴源)	0.00808	0.00781	0.01638	0.01974	0.08280	0.00000	0.00000	7.0	60	1.0	/	/
582 (新乡源)	0.00639	0.00934	0.00850	0.01811	0.03951	0.04204	0.00000	7.5	60	1.0	/	/
561 (洛阳源)	0.0058	0.00580	0.0097	0.0205	0.00000	0.00000	0.00000	6.5	80	1.0	90	0.0
562 (郑州源)	0.00795	0.00462	0.00978	0.02449	0.00000	0.00000	0.00000	6.5	10	0.7	115	0.3
(511) 背景源	0.03337	0.02579	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	5.5	0	0.5	90	0.5

注： M_u 为各潜在震源区的上限； θ_1 、 θ_2 为等震线长轴取向角度； P_1 、 P_2 为相应分布概率。

2. 等震线长轴取向及分布概率

我国大陆地震等震线多呈椭圆形，地震烈度在长轴和短轴方向衰减特征不同。在计算各潜在震源区对场地的影响时，必须确定长轴方向。所以对每个潜在震源区都给出方向性因子：即给出互相垂直的两个可能的长轴走向 θ_1 和 θ_2 和相应的概率值 P_1 和 P_2 。本区域内断裂活动以走滑为主，各潜在震源长轴取向大多与各潜在震源区构造走向一致。对某些具有共轭断层的潜在震源区，依照两个方向作用的大小，给予不同的概率值。各潜在震源区具体的取向角度与分布概率也列于表 6.3.2 中。表中的角度是指断裂构造走向与正东方向间的夹角。

6.4 地震动衰减关系

地震动衰减关系与地震震源特性和地震波传播途径中的介质有关，关系式中的震级 M 和距离 R 就分别是震源特性与震波传播途径中介质影响的简单表示。在我国中等强度以上地震，特别是 7 级以上大地震的等震线大多呈近似椭圆形，所以地震动衰减关系常采用考虑长、短轴的椭圆衰减模型。

一般来说，地震动衰减关系具有区域性，一个地区的地震动衰减关系应该用这一地区的强震记录资料经分步统计回归求得。但我国大陆无论是西部还是东部，强震记录资料都比较少，不足以统计出可靠的地震动衰减关系。目前，我国工程地震学界常采用胡聿贤院士提出的转换方法，即利用参考地区的地震动衰减关系和地震烈度衰减关系，结合研究地区的地震烈度衰减关系，采用数值求解法转换得到研究区的地震动衰减关系。

因区域主要涉及华北平原地震带且本目标区位于华北平原地震带，本次衰减关系采用采用中国地震局发布的《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》给出的适用于东部强震活跃区的分段线性模型，其表达式如下：

当震级 $M < 6.5$ 时：

$$LgY(M, R) = A_1(T) + B_1(T)M - C(T)Lg(R + D \exp(E * M)) + \sigma$$

当震级 $M \geq 6.5$ 时：

$$LgY(M, R) = A_2(T) + B_2(T)M - C(T)Lg(R + D \exp(E * M)) + \sigma$$

式中：Y 代表加速度峰值或反应谱值，R 为震中距，M 为震级， A_1 、 B_1 、 A_2 、 B_2 、C、D、E 为回归系数， σ 为标准差，该衰减关系系数见下表 6.4.1~6.4.2。

表 6.4.1 东部强震活跃区水平向基岩加速度反应谱的衰减关系(长轴)

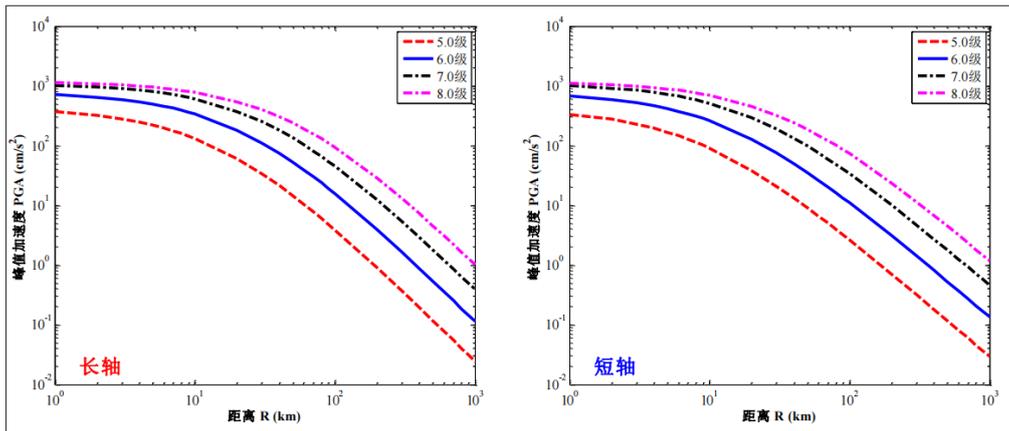
周期 (s)	M < 6.5		M ≥ 6.5		C	D	E	σ
	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂				
0.00	2.024	0.673	3.565	0.435	2.329	2.088	0.399	0.245
0.04	2.048	0.674	3.617	0.432	2.322	2.088	0.399	0.261
0.05	2.205	0.654	3.706	0.423	2.319	2.088	0.399	0.266
0.07	2.315	0.650	3.774	0.425	2.307	2.088	0.399	0.265
0.10	2.456	0.640	3.903	0.417	2.297	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

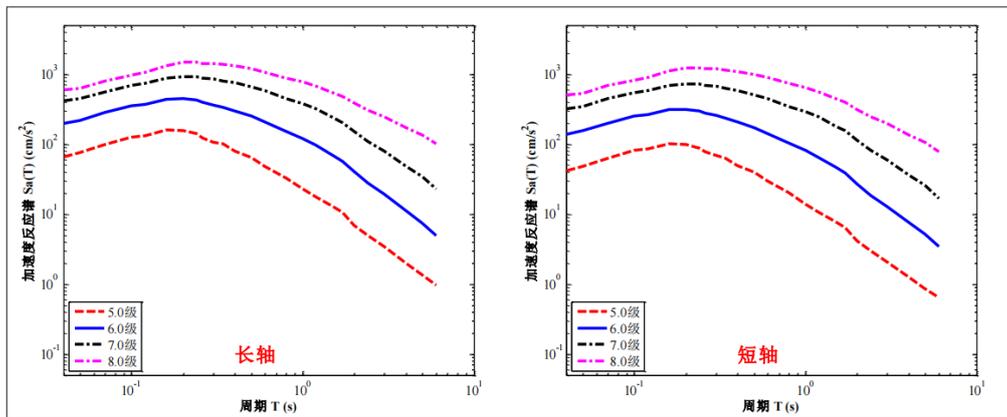
表 6.4.2 东部强震活跃区水平向基岩加速度反应谱的衰减关系(短轴)

周期 (s)	M<6.5		M≥6.5		C	D	E	σ
	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂				
0.00	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



基岩水平向峰值加速度预测方程曲线



基岩水平向加速度反应谱预测方程曲线 (R=20km)

图 6.4.1 东部强震区水平向基岩峰值加速度衰减关系图

从上图中可以看出无论是大震或小震、近场或远场此衰减关系都比较匹配本地区的实际情况，再参照多单位在郑州地区开展的多项地震安全性评价工作的丰富经验，采用东部强震区衰减关系得到的结果合理适用，因此认为该衰减关系适用本目标区。

6.5 目标区场地地震危险性分析计算结果

在调查研究目标区周围地区的地震地质、地震活动和地球物理场资料的基础上，判定并划分出了潜在震源区，确定了各项地震活动性参数，再结合本地区的基岩地震动水平向加速度衰减关系，采用中国地震局推荐的“考虑地震活动时、空不均匀性的地震危险性分析计算程序包”，对本目标区场地进行地震危险性分析计算。经地震危险性不确定性校正，得到目标区内8个控制点50年超越概率63%、10%、2%、100年超越概率63%、10%、2%的基岩地震动水平向峰值加速度和加速度反应谱。不同超越概率下所有场点基岩地震动水平向峰值加速度值见表6.5.1。为了考虑篇幅问题，本次工作以处于目标区中心位置的k2号控制点为代表性进行控制点基岩加速度反应谱曲线和基岩峰值加速度超越概率曲线及基岩加速度反应谱值展示，其它控制点各参数及图件详见附件。代表性控制点的基岩峰值加速度超越概率曲线如图6.5.2所示，代表性控制点的不同超越概率水平下基岩加速度反应谱值见表6.5.4，基岩加速度反应谱曲线见图6.5.3。代表性控制点的场地基岩地震动加速度在0秒和3.0秒周期下主要潜在震源区贡献表如表6.5.2、表6.5.3。

表 6.5.1 目标区基岩水平向峰值加速度

控制点	基岩地震动水平向峰值加速度 (gal)					
	超越概率			超越概率		
	50年 63%	50年 10%	50年 2%	100年 63%	100年 10%	100年 2%
K1	35.5	106.8	182.3	53.7	139.5	222.4
K2	35.5	106.8	182.3	53.7	139.5	222.4
K3	35.0	105.8	181.0	53.0	138.5	220.8
K4	35.5	107.0	182.6	53.8	139.7	222.7
K5	35.5	106.8	182.3	53.6	139.4	222.3
K6	35.5	107.0	182.6	53.8	139.7	222.7
K7	35.0	105.8	181.0	53.0	138.5	220.8
K8	35.2	106.3	181.7	53.3	139.0	221.7

表6.5.2 代表性控制点K2在不同概率下各主要潜在震源区对基岩地震动水平向反应谱值的贡献(T=0.0S)

潜源编号	超越概率					
	50年 63%	50年 10%	50年 2%	100年 63%	100年 10%	100年 2%
郑州源(559)	65.9%	81.6%	88.4%	79.0%	84.9%	90.9%
新乡源(579)	16.0%	7.8%	4.9%	9.7%	6.4%	3.9%

背景地震(508)	7.6%	5.2%	3.4%	5.0%	4.2%	2.9%
汤阴源(572)	5.3%	3.1%	1.8%	3.9%	2.6%	1.7%
偃师源(524)	4.7%	1.9%	1.5%	2.2%	1.8%	0.6%
其它	0.5%	0.4%	0	0.3%	0.1%	0

表6.5.3 代表性控制点k2不同概率下各主要潜在震源区对基岩地震动水平向反应谱值的贡献(T=3.0S)

潜源编号	超越概率					
	50年63%	50年10%	50年2%	100年63%	100年10%	100年2%
郑州源(559)	38.0%	41.0%	43.6%	43.1%	45.8%	48.5%
新乡源(579)	11.4%	22.8%	35.8%	17.0%	28.8%	39.9%
背景地震(508)	9.0%	6.5%	4.4%	7.7%	5.2%	3.0%
汤阴源(572)	8.0%	5.1%	3.8%	5.8%	4.6%	2.6%
偃师源(524)	6.6%	5.0%	3.7%	5.4%	4.4%	2.5%
其它	27%	19.6%	8.7%	21.0%	11.2%	3.5%

结果表明，各控制点的地震危险性来自多个潜在震源区的综合贡献。对控制点峰值加速度贡献最大的潜在震源区为场址所在的郑州潜在震源区，其次为新乡潜在震源区，同时汤阴潜在震源区和偃师潜在震源区也都有少量贡献。随着反应谱周期的增加，高震级潜源对目标区加速度反应谱值的贡献逐渐增加。在3秒周期处的谱值，贡献从大到小的潜源依次为郑州潜在震源区、新乡潜在震源区，区域以外的华县8.5级潜在震源区、临汾潜在震源区、霍州潜在震源区和汤阴潜在震源。这说明就峰值加速度而言，场点的地震危险性主要来自于场址周边潜在震源区及附近的潜在震源区，而对长周期部分的反应谱值而言，目标区的地震危险性除受到场址周边潜源影响之外，较远处的高震级潜源也有少量的贡献，这与目标区所处地震环境是协调的。

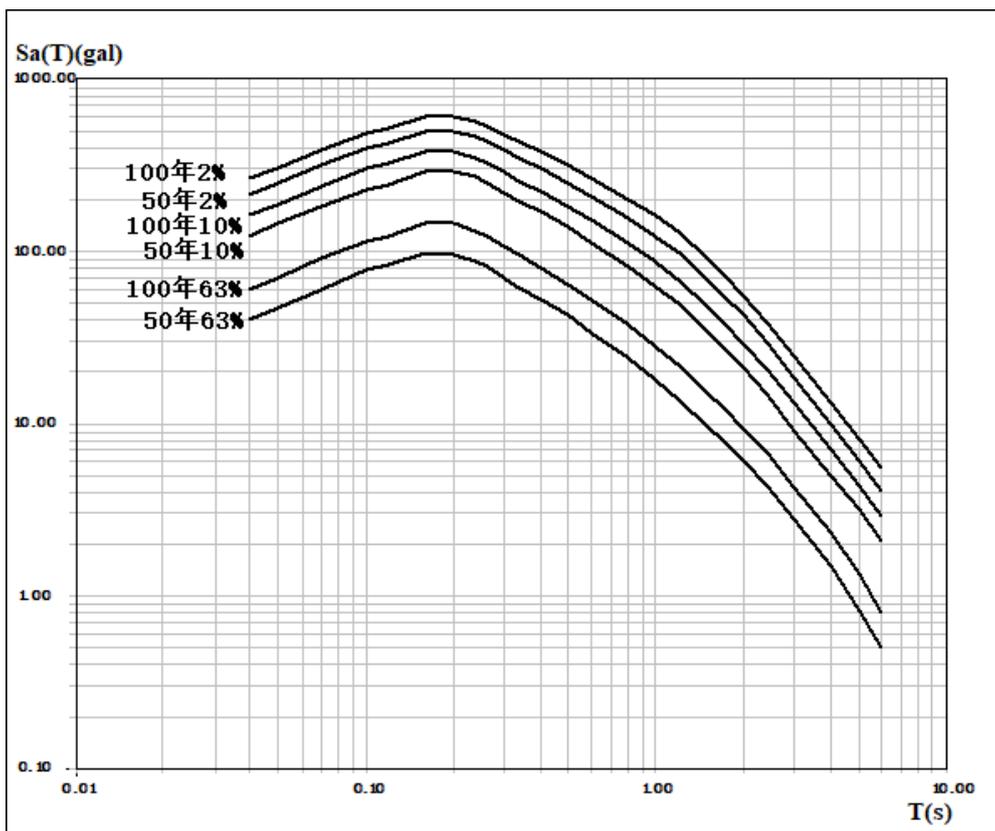


图 6.5.2 代表性控制点 K2 基岩加速度反应谱曲线

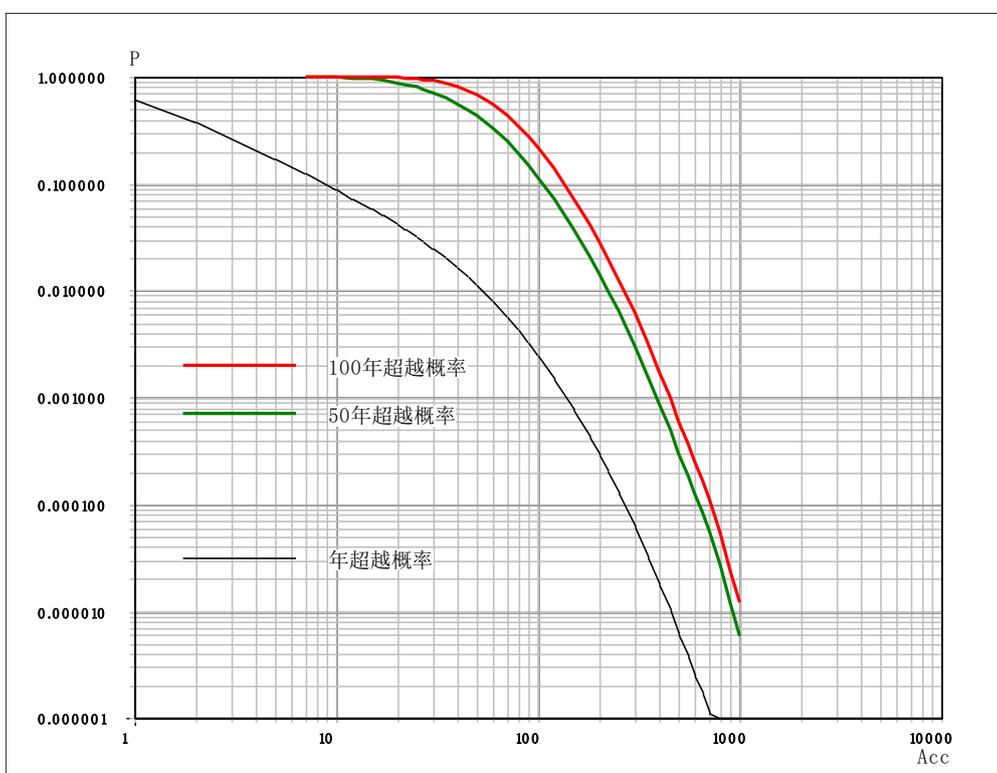


图 6.5.3 代表性控制点 K2 加速度超越概率曲线图

表 6.5.4 代表性控制点 k2 基岩地震加速度反应谱

周期 (s)	超越概率					
	50 年 63%	50 年 10%	50 年 2%	100 年 63%	100 年 10%	100 年 2%
0.04	39.9	122.3	213.3	60.5	160.8	263.2
0.05	46.7	143.5	248.3	70.6	186.5	304.6
0.07	60.2	182.5	319.2	90.9	238.9	389.1
0.10	77.1	230.9	397.0	116.0	299.2	484.9
0.12	82.5	246.2	425.1	124.3	321.6	516.5
0.16	96.9	291.0	498.7	146.1	378.3	607.9
0.20	96.4	290.0	497.3	145.4	377.0	606.2
0.24	86.8	266.3	463.4	132.1	346.4	568.2
0.26	77.7	240.4	426.2	117.8	317.2	525.2
0.30	69.6	216.7	388.7	105.9	288.1	481.5
0.34	64.9	201.3	360.7	98.2	268.0	445.8
0.40	52.4	168.4	305.3	79.9	222.8	383.0
0.50	43.0	139.8	254.0	66.0	185.0	320.1
0.60	34.0	112.3	208.8	52.4	150.1	265.9
0.80	24.1	81.2	155.6	37.4	111.2	197.6
1.0	18.1	63.1	124.2	28.3	86.8	160.7
1.2	14.4	50.7	100.7	22.5	70.1	132.6
1.5	9.7	34.4	69.4	15.1	48.0	90.6
1.7	7.9	27.4	55.4	12.2	38.2	71.6
2.0	6.0	21.0	42.2	9.4	29.2	55.4
2.4	4.5	14.9	29.5	6.7	20.6	38.4
3.0	2.7	9.2	18.5	4.3	12.7	24.3
4.0	1.5	5.0	10.3	2.3	7.0	13.7
5.0	0.8	3.2	5.9	1.2	4.4	7.9
6.0	0.5	1.9	4.5	0.8	3.2	5.6

7 场地地震反应分析模型及其参数确定

影响地震动的主要因素包括：震源机制、地震波传播路径和场地条件。前面在区域地震地质构造、地震活动性及区域基岩地震动峰值加速度和反应谱衰减关系研究的基础上，给出了基岩地震动峰值加速度与反应谱值，这一结果已包含了震级和地震波传播路径对场地地震动的影响，前述章节也给出了场地工程地质条件的有关数据。本章将在此基础上进一步考虑局部场地条件的影响，以便为目标区工程建筑物和构筑物提供合理的抗震设计依据。

7.1 场地地震分析模型

场地地震反应分析模型即场地力学模型的确定是场地地震反应分析的关键问题，场地工程地质条件资料是确定场地力学模型的基础。场地地震反应分析计算，考虑目标区条件对地震动的影响以确定工程场地地震动参数。

7.1.1 方法概述

地震时震源的震动能量是以波动形式向外传播的，地震过程实质上就是一个波动过程。地震震源产生的地震波首先传播至目标区下部基岩，然后通过上覆土层到达地表，场地地震动效应除与场址所处的地震环境有关外，还取决于场地上覆土层的厚度及土层性状。不同的场地条件及不同的地震环境，场地的地震动效应存在很大差异。

场地地震动效应研究需在工程场址地震危险性分析基础上，根据目标区土层静、动力特性参数原位测试和试验室试验结果，采用合适的波动模型进行场地地震反应分析。对水平成层的横向均匀土层，其波动问题的求解相对简单，目前已有许多行之有效的解析及数值方法。当场地存在局部不规则地形、局部地质构造以及土层介质横向不均匀性较大时，波在介质中的传播过程十分复杂，这类问题称为波的散射问题，其数学处理方法有两种：解析法及数值计算方法。由于所研究区域边界的复杂性及其介质的非均匀性，解析法的应用非常困难，在理论上至今还没有一种成熟的方法可直接应用。而数值法如有限元法（FEM）、有限差分法（FDM）及边界单元法（BEM）等，以其灵活、方便在工程中得到了广泛应用。

根据场地岩土勘察报告和剪切波速测试结果，工程场址各土层基本上水平展布，地面较平坦，因此适合采用一维等效线性化方法进行土层反应分析计算。（见图 7.1.1）

一维等效线性化方法的主要步骤为：

(1) 确定地震动输入面，并对土层进行分层，其主要依据是工程地质勘察结论和土层剪切波速测试结果。根据《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)，本目标区内各控制点基岩地震动输入面取 $V_s \geq 500\text{m/s}$ 的具体层位为见各控制点钻孔的场地土动力学分析模型。

(2) 确定各层的初始剪切模量 G_j 和阻尼比 ζ_j ，并由边界条件计算剪应变传递函数；

(3) 对输入地震动进行傅立叶变换得 $U(\omega, Z_m)$ ，其中 m 为地震动输入层号， Z_m 为该层内深度；

(4) 根据剪应变传递函数和输入地震动 $U(\omega, Z_m)$ ，确定各土层中点的剪应变的频域表示 $T(i\omega, Z_j)$ ，经傅立叶逆变换得到其时域过程 $\gamma_j = c \gamma_{j, \max}$ ， c 通常取 0.65；

(5) 对比计算得到的 γ_j ，与步骤(2)假设的等效模量 G_j 与阻尼比 ζ_j 是否相符，若不相符，则由计算结果重新设定 G_j 和 ζ_j ，重复(3)-(5)，直至 G_j 和 ζ_j 全部满足给定的精度为止。

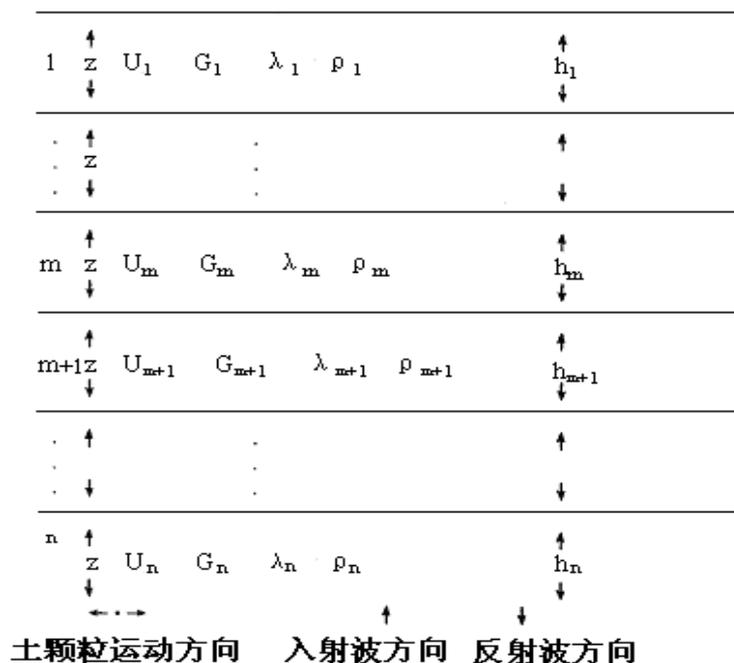


图 7.1.1 一维剪切波动模型

7.1.2 场地土动力模型的建立

进行场地土层地震动力反应分析时，需要土层剖面的土层厚度及土层土体性状描述资料，同时也需要土层中土体的力学特性资料，它们包括土体的波速值（剪切波速值）、土体的密度值及土体动力非线性特性参数值。鉴于每个钻孔剪切波速测试值均达到了大于 500m/s 的层位，因此，将剪切波速超过 500m/s 的层位确定为土层地震动反应分析计算模型的计算基底。基岩输入面确定后，根据上覆土层的划分情况和各土层的物理力学参数，以波速测试孔为基础建立的场地土动力学分析模型列于(表 7.1.1~表 7.1.8)。

表 7.1.1 k1 孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类编号	层底深度(m)	层厚(m)	密度(kg/m ³)	剪切波速度(m/s)	备注
1	杂填土	1	1.2	1.2	1.65	189	输出层位
2	粉土	14	6.2	5.0	1.95	264	
3	粉土	14	10.3	4.1	1.97	259	
4	粉土	15	14.3	4.0	1.98	300	
5	粉土	16	18.5	4.2	1.92	325	
6	粉质黏土	17	22.5	4.0	2.05	373	
7	粉质黏土	18	26.6	4.1	1.99	401	
8	粉质黏土	19	30.7	4.1	2.00	464	
9	粉质黏土	19	33.5	2.8	2.03	416	
10	粉质黏土	20	36.0	2.5	1.98	444	
11	粉质黏土				1.99	556	输入层位

表 7.1.2 k2 孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类编号	层底深度(m)	层厚(m)	密度(kg/m ³)	剪切波速度(m/s)	备注
1	杂填土	1	2.0	2.0	1.65	214	输出层位
2	粉土	14	5.5	3.5	1.96	257	
3	粉土	14	10.4	4.9	2.01	236	
4	粉质黏土	17	14.2	3.8	1.95	283	
5	粉质黏土	17	16.5	2.3	1.96	298	
6	粉土	16	18.1	1.6	1.78	348	
7	粉质黏土	17	20.4	2.3	1.96	410	
8	粉质黏土	18	22.0	1.6	1.98	464	

9	粉质黏土	18	26.8	4.8	2.04	437	
10	粉质黏土	18	29.8	3.0	1.93	418	
11	粉质黏土	19	32.0	2.2	2.05	461	
12	粉质黏土	19	34.0	2.0	2.06	484	
13	粉质黏土				2.06	517	输入层位

表 7.1.3 k3 孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类编号	层底深度 (m)	层厚 (m)	密度 (kg/m ³)	剪切波速度 (m/s)	备注
1	杂填土	1	4.5	4.5	1.65	198	输出层位
2	粉土	23	9.2	4.7	1.97	246	
3	粉土	23	14.0	4.8	1.99	254	
4	粉质黏土	25	17.8	3.8	1.91	403	
5	粉土	23	19.2	1.4	1.95	424	
6	粉质黏土	26	22.6	3.4	1.87	431	
7	粉质黏土	26	24.6	2.0	1.93	417	
8	粉质黏土	27	28.8	4.2	1.90	433	
9	粉质黏土	27	32.5	3.7	1.95	456	
10	粉质黏土	27	34.0	1.5	1.98	474	
11	粉质黏土				1.99	556	输入层位

表 7.1.4 k4 孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类编号	层底深度 (m)	层厚 (m)	密度 (kg/m ³)	剪切波速度 (m/s)	备注
1	杂填土	1	1.1	1.1	1.65	196	输出层位
2	粉土	14	5.6	4.5	1.96	235	
3	粉土	14	9.5	3.9	1.98	228	
4	粉土	15	13.8	4.3	2.00	281	
5	粉土	16	18.6	4.8	1.92	374	
6	粉质黏土	17	23.5	4.9	2.05	431	
7	粉质黏土	18	27.5	4.0	1.99	465	
8	粉质黏土	19	32.4	4.9	2.00	475	
9	粉质黏土	19	35.0	2.6	2.01	467	
10	粉质黏土				2.02	517	输入层位

表 7.1.5 k5 孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类编号	层底深度 (m)	层厚 (m)	密度 (kg/m ³)	剪切波速度 (m/s)	备注
1	粉土	14	4.7	4.7	1.96	193	输出层位

2	粉土	14	9.4	4.7	2.01	222	
3	粉土	15	12.4	3.0	1.96	280	
4	粉质黏土	17	14.6	2.2	1.97	342	
5	粉土	16	17.9	3.3	1.85	401	
6	粉质黏土	17	22.4	4.5	1.95	452	
7	粉质黏土	17	23.4	1.0	1.98	428	
8	粉质黏土	18	28.4	5.0	1.93	462	
9	粉质黏土	19	32.0	3.6	1.97	451	
10	粉质黏土	19	34.0	2.0	1.98	476	
11	粉质黏土				1.99	556	输入层位

表 7.1.6 k6孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类 编号	层底深度 (m)	层厚 (m)	密度 (kg/m ³)	剪切波速度 (m/s)	备注
1	杂填土	1	4.5	4.5	1.65	233	输出层位
2	粉土	22	6.1	1.6	1.86	284	
3	粉土	23	10.6	4.5	1.98	238	
4	粉土	23	12.5	1.9	1.99	257	
5	粉质黏土	24	14.5	2.0	1.89	266	
6	粉土	23	18.7	4.2	2.00	309	
7	粉质黏土	26	23.5	4.8	1.87	385	
8	粉质黏土	26	26.6	3.1	1.90	436	
9	粉质黏土	27	30.3	3.7	1.95	449	
10	黏土	28	34.0	3.7	1.99	439	
11	黏土				2.01	500	输入层位

表 7.1.7 k7孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类 编号	层底深度 (m)	层厚 (m)	密度 (kg/m ³)	剪切波速度 (m/s)	备注
1	粉土	14	4.7	4.7	1.97	193	输出层位
2	粉土	14	7.6	2.9	1.98	241	
3	粉土	15	12.3	4.7	1.99	286	
4	粉土	15	15.5	3.2	2.00	311	
5	粉土	16	18.7	3.2	1.95	375	
6	粉质黏土	17	23.6	4.9	2.05	430	
7	粉质黏土	18	27.2	3.6	1.99	462	
8	粉质黏土	19	30.7	3.5	2.00	451	
9	粉质黏土	19	34.0	3.3	2.02	469	

10	粉质黏土				2.03	517	输入层位
----	------	--	--	--	------	-----	------

表 7.1.8 k8 孔土层地震反应分析力学模型

层序号	地层岩性	土类 编号	层底深度 (m)	层厚 (m)	密度 (kg/m ³)	剪切波速度 (m/s)	备注
1	杂填土	1	1.0	1.0	1.65	181	输出层位
2	粉土	22	2.7	1.7	1.86	247	
3	粉土	23	7.5	4.8	1.99	244	
4	粉土	23	9.5	2.0	2.01	246	
5	粉质黏土	24	13.9	4.4	1.89	335	
6	粉土	23	18.8	4.9	1.99	385	
7	粉质黏土	26	23.6	4.8	1.87	424	
8	粉质黏土	26	26.5	2.9	1.90	409	
9	粉质黏土	27	31.3	4.8	1.92	465	
10	粉质黏土	27	36.0	4.7	1.93	460	
11	粉质黏土				1.95	517	输入层位

7.2 输入地震动参数的确定

7.2.1 基岩地震动加速度反应谱

采用地震危险性概率分析方法，计算得出目标区内各控制点 50 年超越概率 63%、10%、2%和 100 年超越概率 63%、10%、2%六种概率水准的基岩水平地震动加速度反应谱，各概率水平向峰值加速度列于第六章表 6.5.1。

7.2.2 场地基岩地震动时程

7.2.2.1 概述

为了对结构物在地震作用下的整个过程进行动力分析，单纯依靠地震动峰值和反应谱已不能满足需要，必须利用地震动时程进行结构动态抗震分析。

基岩地震动时程的合成就是根据地震危险性分析所得到的基岩地震加速度峰值及其反应谱，将地震动时程假定为随机过程，进行人造地震动时程的合成。它是土层反应分析的基础。

本工程以基岩地震加速度反应谱作为目标谱，采用三角级数迭代法拟合地震动时程，具体方法概述如下：

第一、确定地震动包络函数 $f(t)$ ；

第二、根据规范要求，确定需要控制的反应谱 $S_a(T)$ (T_1, T_2, \dots, T_M) 坐标点数和反应谱控制允许误差，本报告分别取 80 和 0.05。

第三、选择初始 $a_o(T)$ 函数：

$$a_o(t) = f(t) \cdot \sum_{k=N_1}^{N_2} A_k e^{i(\omega_k t + \varphi_k)}$$
$$A_k = A(\omega_k) = \sqrt{4S(\omega_k)\Delta\omega}$$
$$\omega_k = k\Delta\omega \quad (\text{公式 7.2.1})$$

$$S(\omega_k) = \frac{2\zeta}{\pi\omega_k} S_a^2(\omega_k) / \left\{ -2\text{Ln} \left[-\frac{\pi}{\omega_k T_d} \right] \text{Ln}(p) \right\}$$

$$N_1\Delta\omega < \frac{2\pi}{T_M}, N_2\Delta\omega > \frac{2\pi}{T_1}$$

式中： ω_k 为第 k 个傅里叶分量的频率； A_k 是第 k 个傅里叶分量的振幅； $S(\omega)$ 是功率谱； $S_a(\omega)$ 是加速度反应谱； ζ 是阻尼比； T_d 是持时； p 是反应不超过反应谱值的概率，一般取 $p \geq 0.85$ 。

第四、计算 $a_0(t)$ 的反应谱 $S_{a_0}(\omega)$ 与目标谱相比较，修改 $A(\omega)=A_k$ ，同时考虑调整少量频率分量的相位。

第五、重复上述步骤，直至反应谱在所有控制点处的误差均不大于 5% 为止。

7.2.2.2 地震动持时及包络函数的确定

由于实际地震时程为非平稳过程，所以在拟合地震动时程时，必须研究强度包络函数。根据《工程场地地震安全性评价(GB17741-2005)》，强度包络函数应包括上升(0- t_1)、平稳(t_1-t_2)和下降(t_2-t_d)三个阶段，其形式为：

$$f(t)=\begin{cases} (t/t_1)^2 & (t < t_1) \\ 1 & (t_1 \leq t \leq t_2) \\ \exp(-c(t-t_2)) & (t \geq t_2) \end{cases} \quad (\text{公式 7.2.2})$$

因此，确定强度包络函数的关键在于 t_1 、 t_2 和衰减系数 C 的确定。根据霍俊荣(1989)的研究成果， t_1 、 t_s 和 C 可通过下式求得：

$$\text{Lg}Y=C_0+C_1M+C_2\text{Lg}(R+R_0)+\varepsilon \quad (\text{公式 7.2.3})$$

式中， Y 可以是 t_1 、 t_s ($t_s=t_2-t_1$) 和 C 三者之一。式中系数，根据物理量的不同可分别取值，见表 7.2.1。

表 7.2-1 地震动强度包络函数系数的取值

物理量	C_0	C_1	C_2	R_0	ε
T_1	-1.074	0	1.005	10	0.31
T_s	-2.268	0.3262	0.5815	10	0.16
C	1.941	-0.2817	-0.5670	10	0.10

考虑到对目标区地震危险性分析影响较大的潜在震源的震级上限和离开场址的距离，综合研究确定本项目基岩水平向地震动加速度时程的形状函数。目标区内代表性控制点基岩地震动加速度时程包络函数（公式 7.2.2）式中的参数确定列于表 7.2.2。

表 7.2.2 代表性控制点 K2 的强度包络函数特征参数

概率水准	等效距离(km)	等效震级	T_1	T_2	C
50 年超越概率 63%	46.60	5.74	9.94	16.02	0.269
50 年超越概率 10%	37.02	5.98	8.25	14.79	0.256
50 年超越概率 2%	33.22	6.22	7.58	15.03	0.230
100 年超越概率 63%	37.09	5.89	8.27	14.38	0.271
100 年超越概率 10%	35.43	6.09	7.97	14.93	0.243
100 年超越概率 2%	31.16	6.32	7.22	15.03	0.221

7.2.2.3 基岩地震动时程的合成

有了地震动强度包络函数，采用地震动时程的合成方法，可得到目标区各计算点不同超越概率水准的基岩地震加速度时程，考虑到地震动时程拟合过程的随机性，每个超越概率水准提供 5 条时程，共合成 35 条基岩地震动时程。代表性控制点 K2 的基岩地震动时程曲线如图 7.2.1~7.2.6 所示，其它控制点的基岩地震动时程曲线详见附件。

各条时程的反应谱拟合误差均小于 5%，各超越概率时程曲线的相关系数如表 7.2.3 所示，同一超越概率两时程之间的相关系数最大为 13%，未超过工作大纲中规定的 16%，满足规范要求。

表 7.2.3 代表性控制点 K2 的各超越概率时程曲线相关系数

概率水准		时程 1	时程 2	时程 3	时程 4	时程 5
50 年 63%	时程 1	1.0	-0.09	-0.04	0.07	0.04
	时程 2			-0.04	0.03	-0.02
	时程 3				-0.04	-0.04
	时程 4					0.04
	时程 5					1.0
50 年 10%	时程 1	1.0	-0.03	0.02	0.08	-0.04
	时程 2			-0.00	0.05	-0.04
	时程 3				-0.06	0.06
	时程 4					0.02
	时程 5					1.0
50 年 2%	时程 1	1.0	0.05	0.06	-0.02	-0.02
	时程 2			0.13	-0.01	-0.07
	时程 3				-0.01	0.01
	时程 4					-0.03
	时程 5					1.0
100 年 63%	时程 1	1.0	0.02	0.06	-0.01	-0.07
	时程 2			0.00	0.06	-0.04
	时程 3				-0.07	-0.04
	时程 4					-0.02
	时程 5					1.0
100 年 10%	时程 1	1.0	0.12	0.06	0.03	0.04
	时程 2			-0.01	0.03	0.05
	时程 3				0.03	0.06
	时程 4					-0.06
	时程 5					1.0
100 年 2%	时程 1	1.0	-0.01	0.07	-0.06	-0.12
	时程 2			0.02	0.02	0.01

	时程 3				0.00	0.01
	时程 4					0.05
	时程 5					1.0

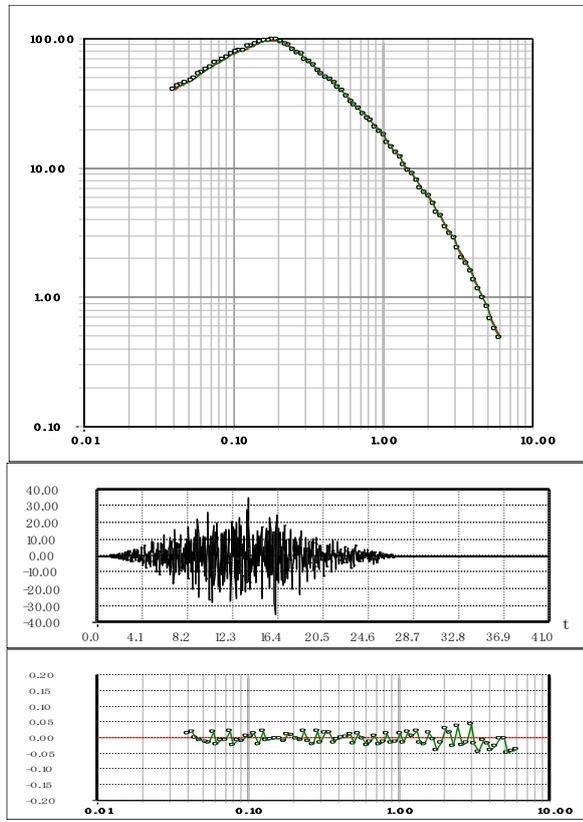


图 7.2.1a 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 63%）

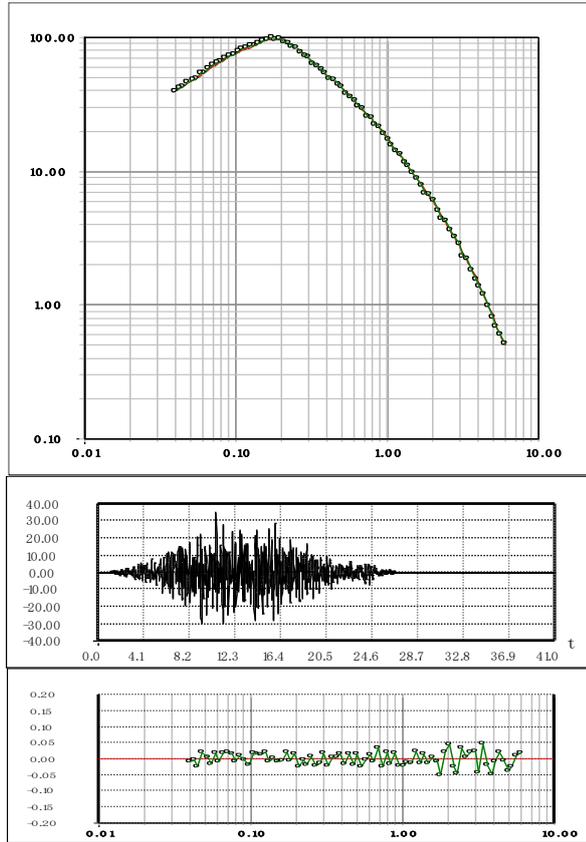


图 7.2.1b 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 63%）

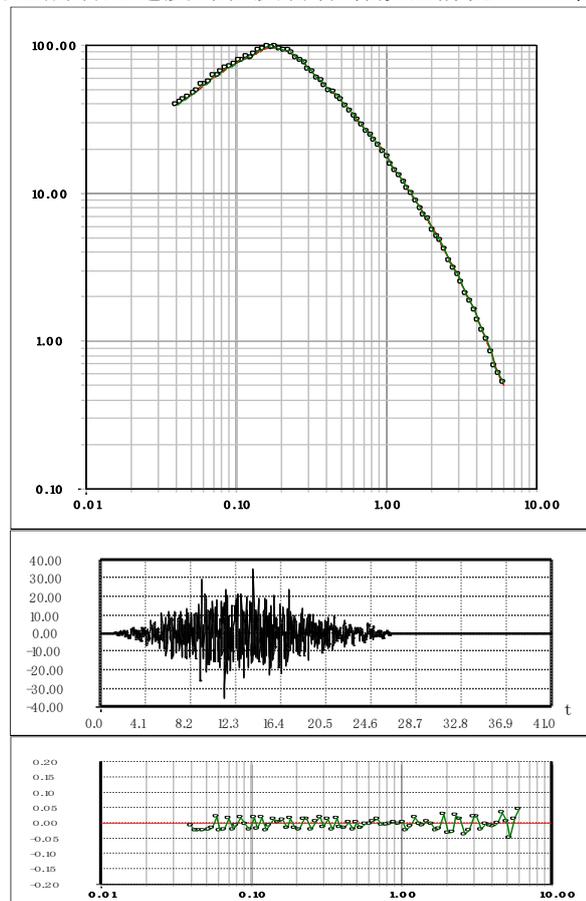


图 7.2.1c 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 63%）

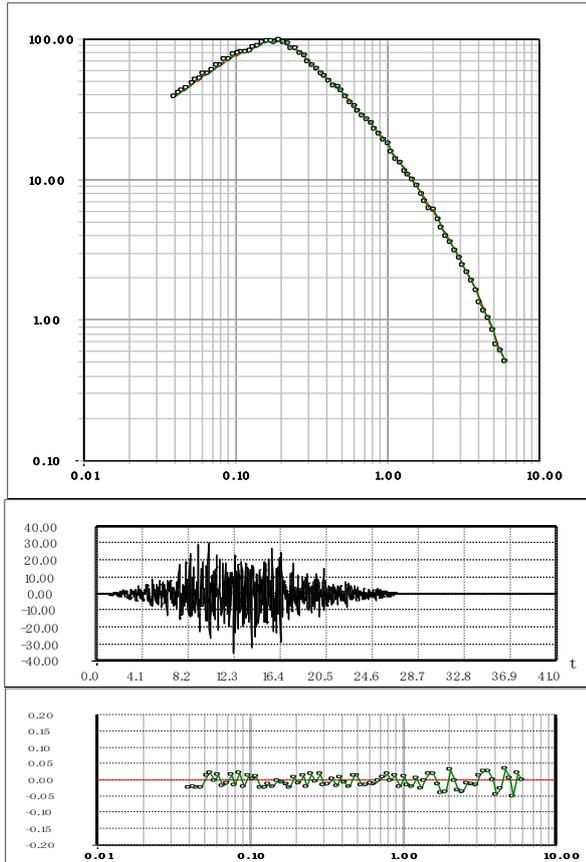


图 7.2.1d 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 63%）

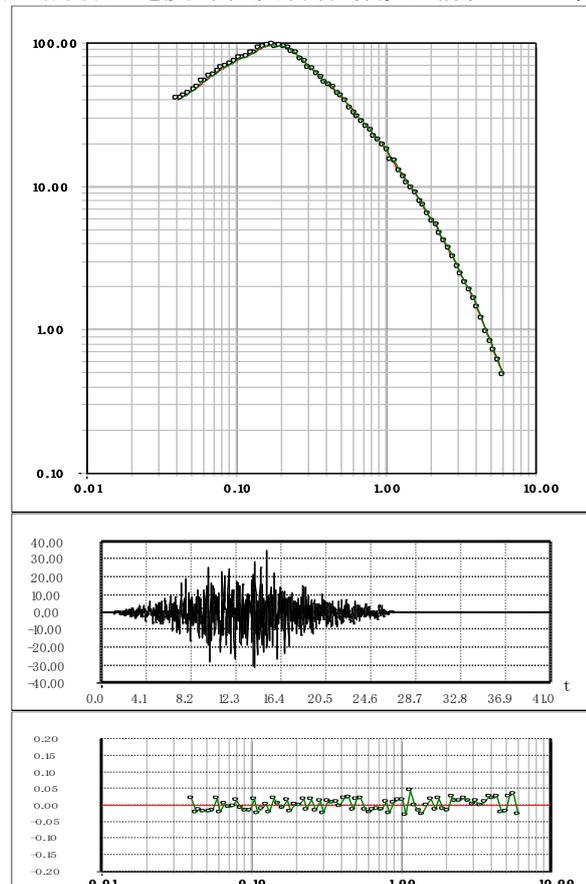


图 7.2.1e 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 63%）

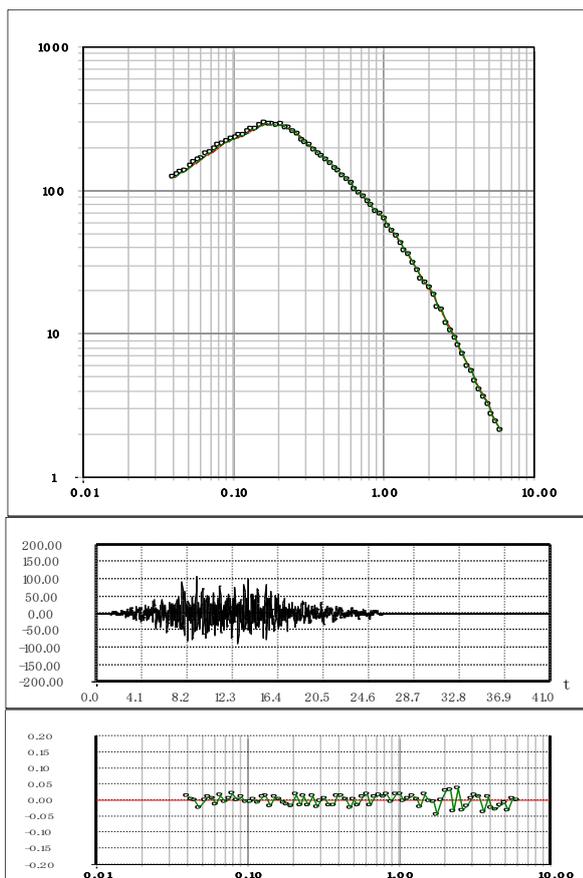


图 7.2.2a 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 10%）

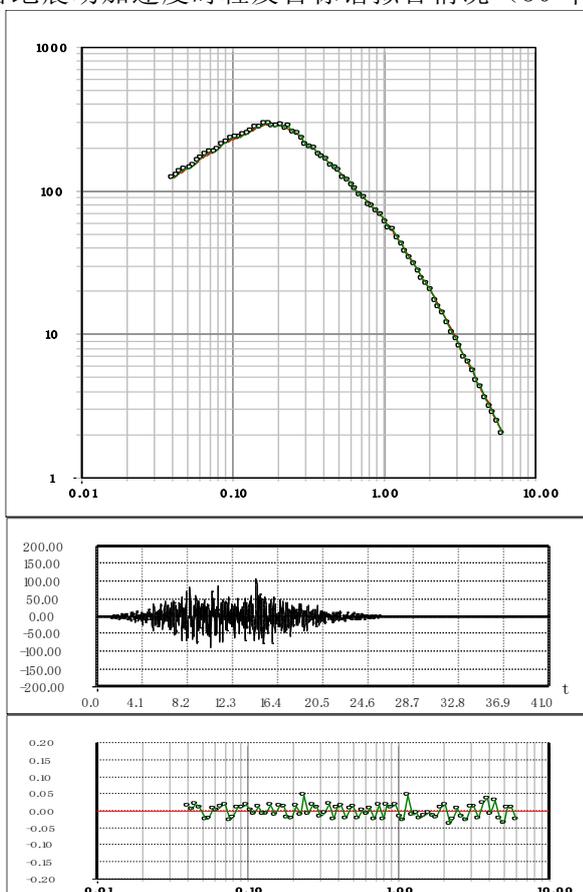


图 7.2.2b 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 10%）

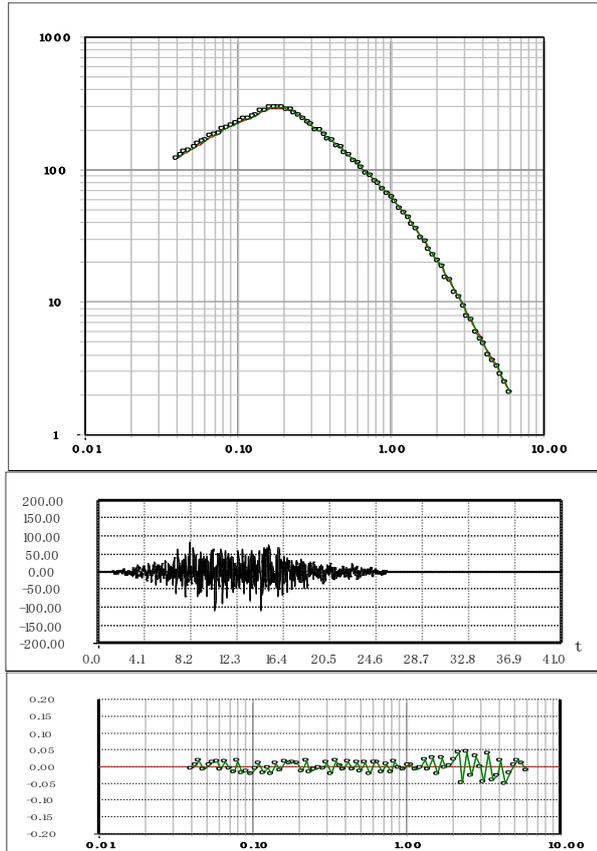


图 7.2.2c 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 10%）

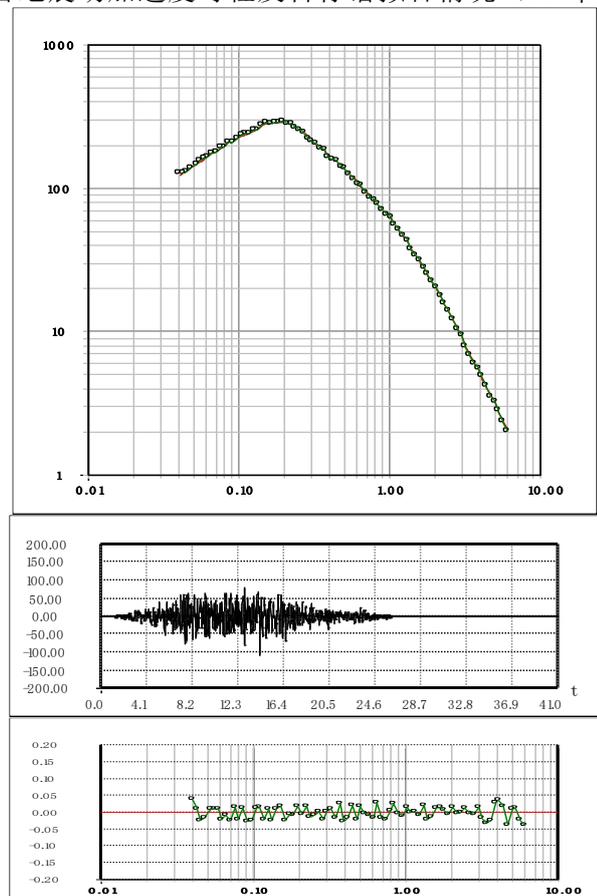


图 7.2.2d 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 10%）

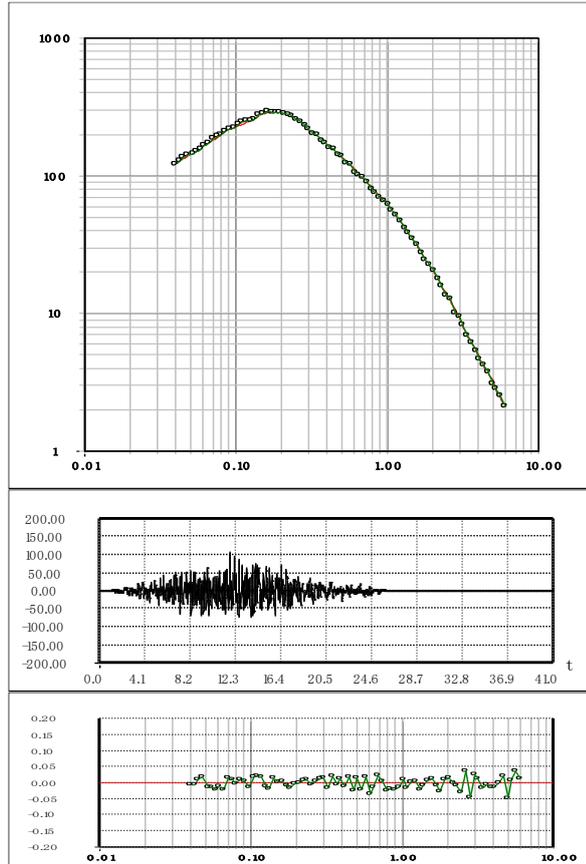


图 7.2.2e 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 10%）

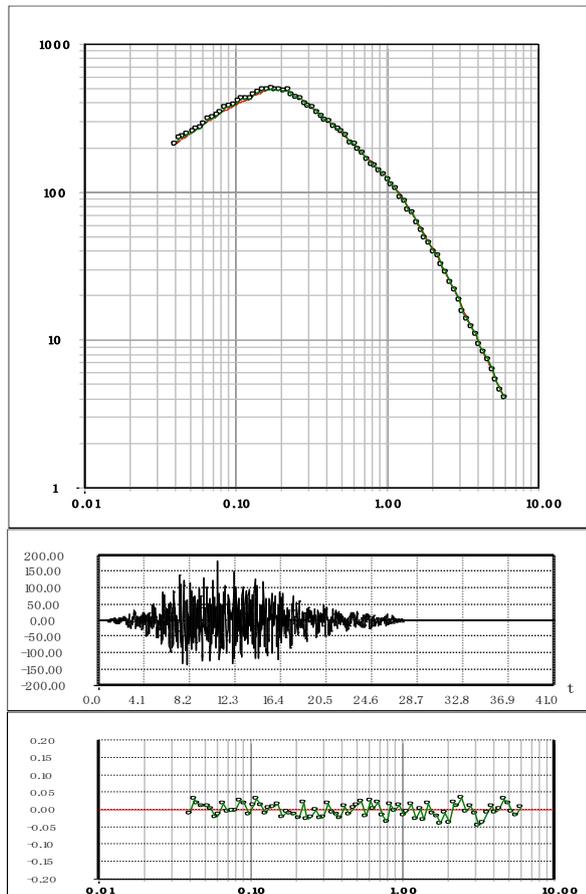


图 7.2.3a 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 2%）

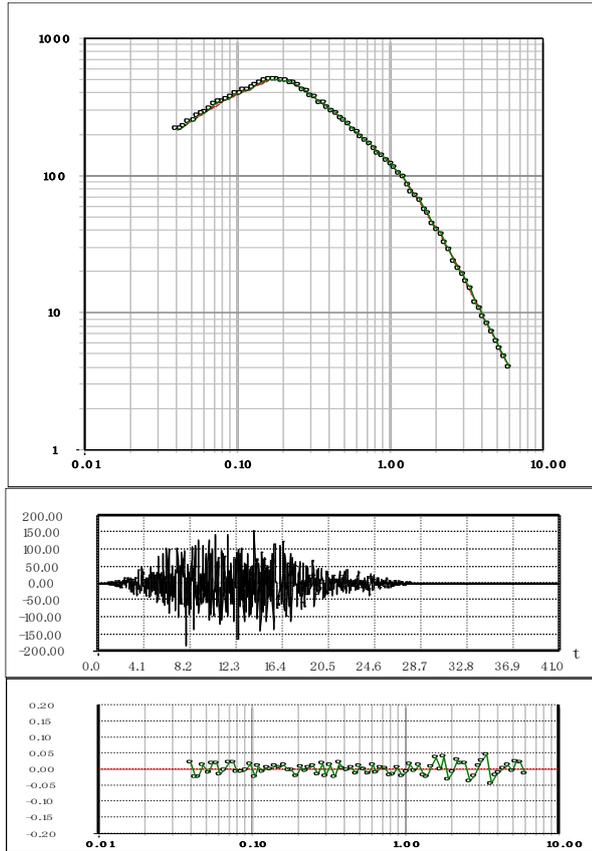


图 7.2.3b 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 2%）

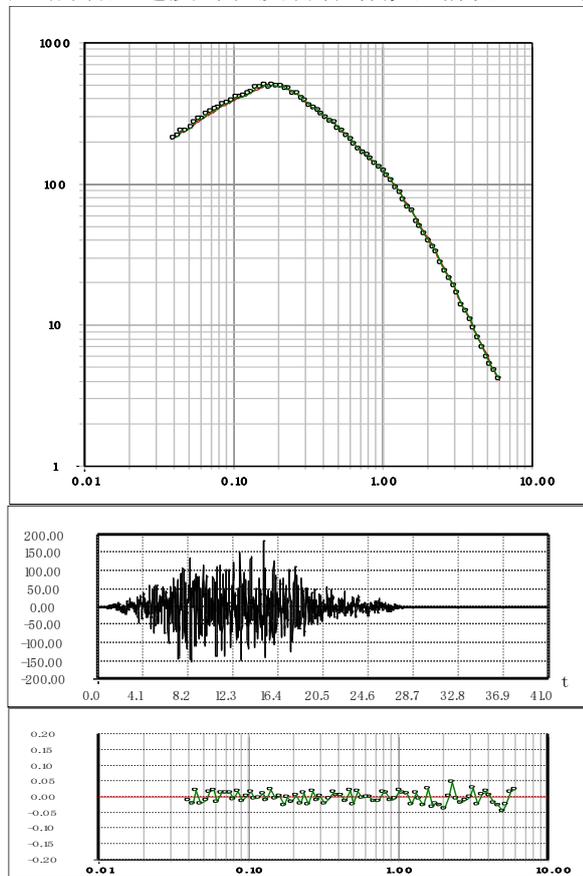


图 7.2.3c 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 2%）

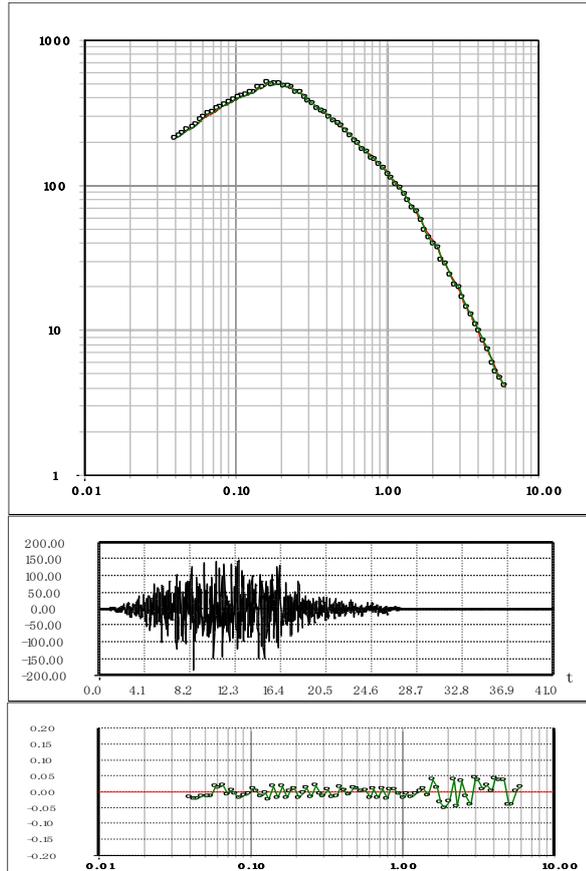


图 7.2.3d 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 2%）

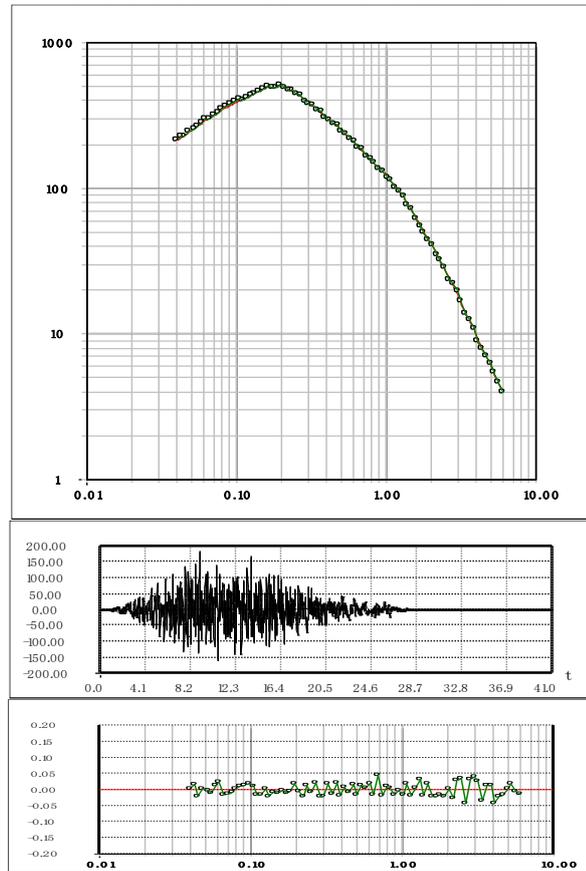


图 7.2.3e 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（50 年超越概率 2%）

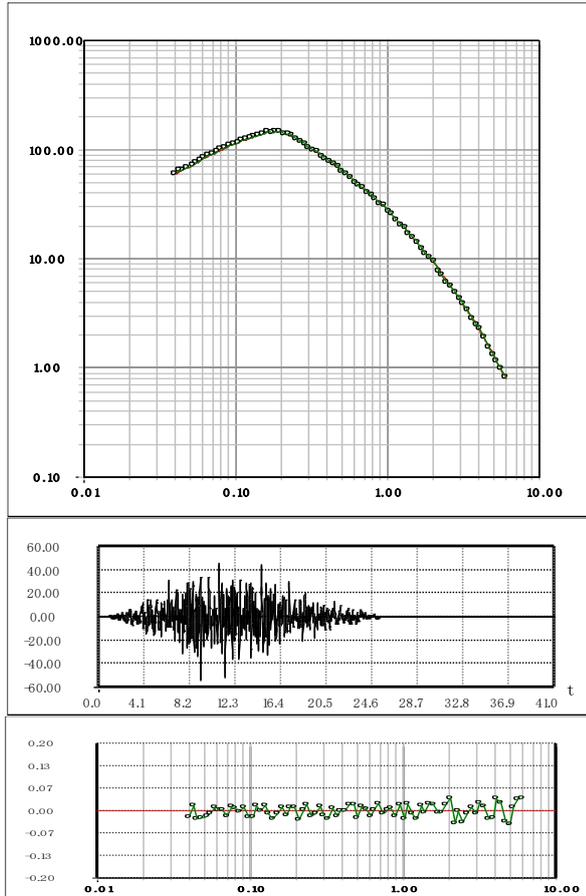


图 7.2.4a 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 63%）

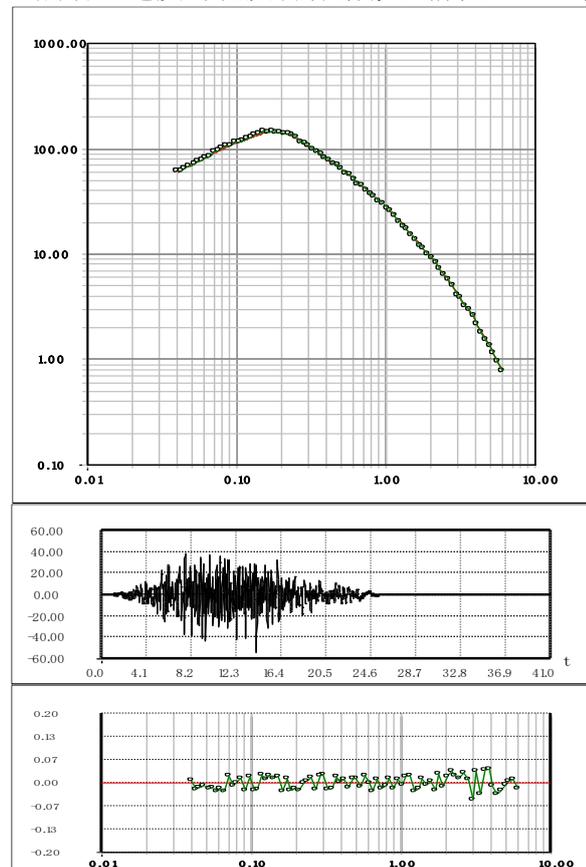


图 7.2.4b 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 63%）

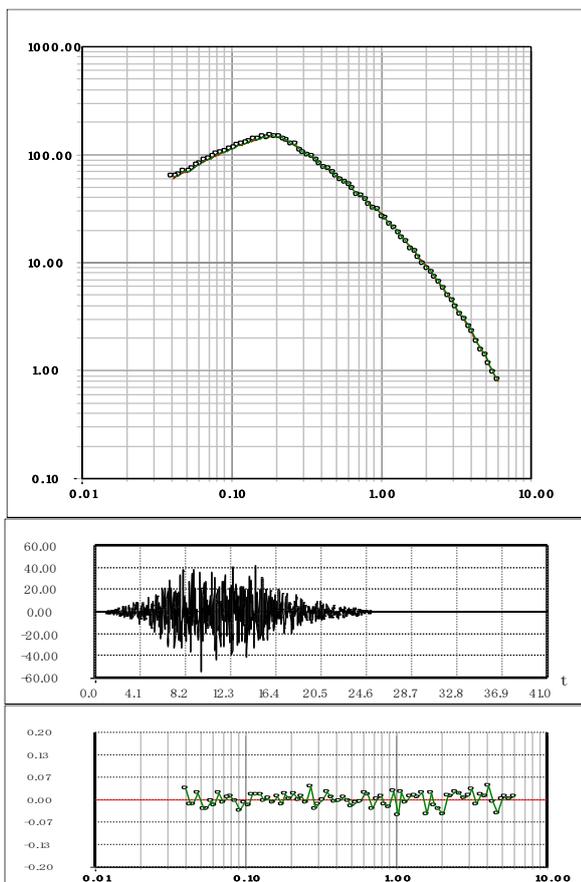


图 7.2.4c 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 63%）

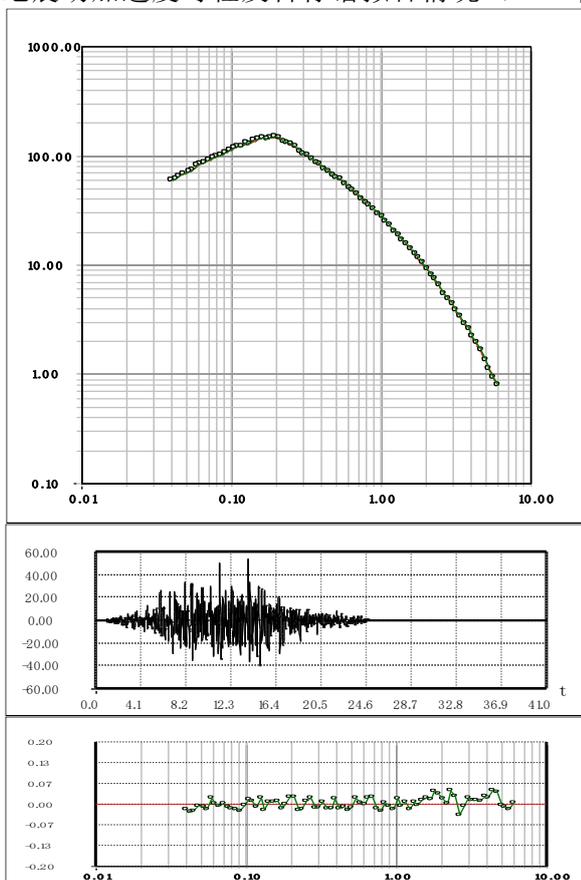


图 7.2.4d 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 63%）

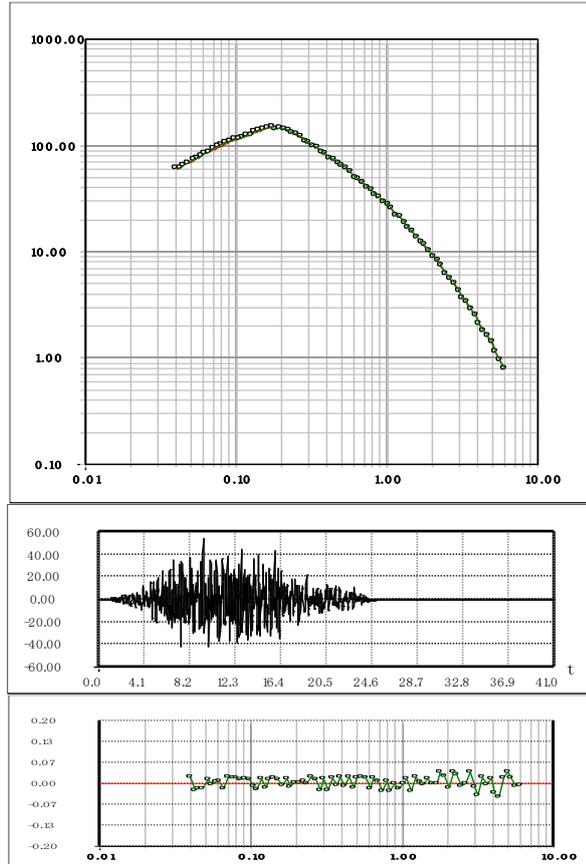


图 7.2.4e 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 63%）

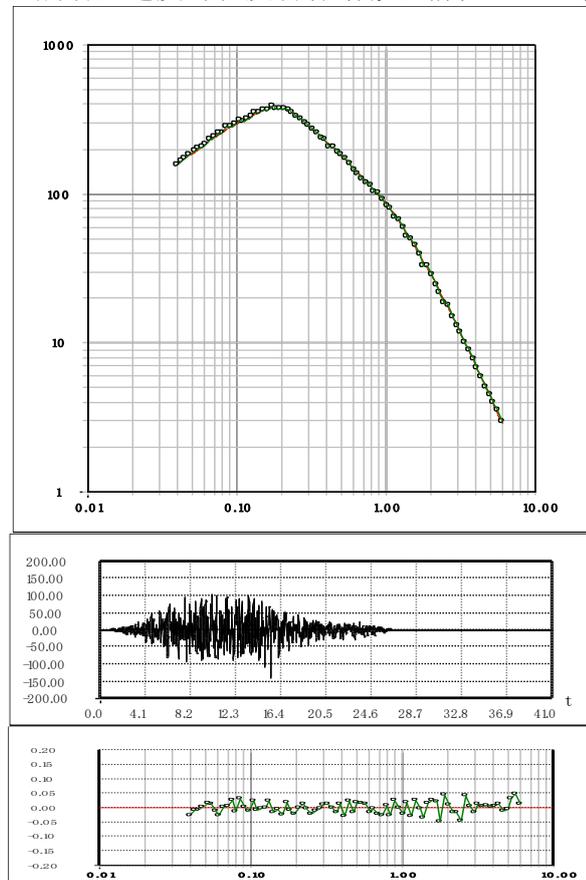


图 7.2.5a 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 10%）

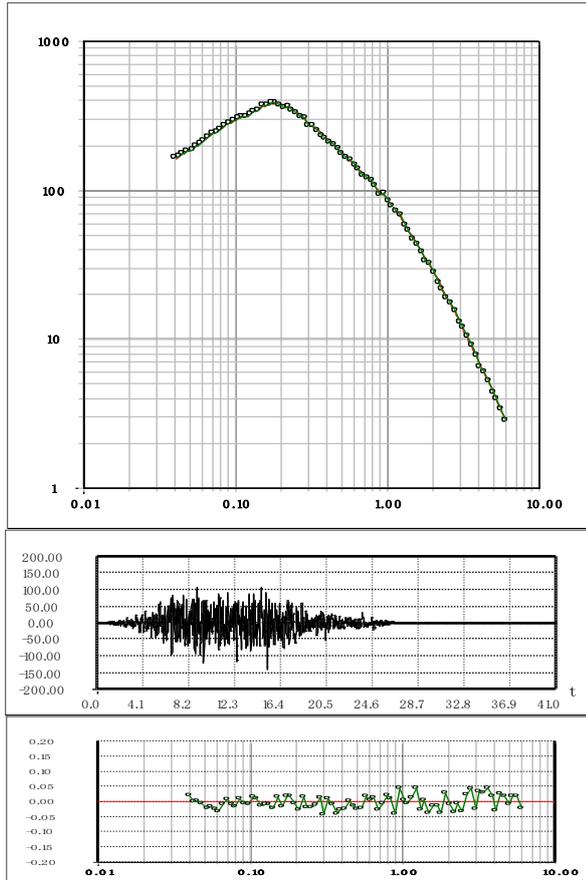


图 7.2.5b 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 10%）

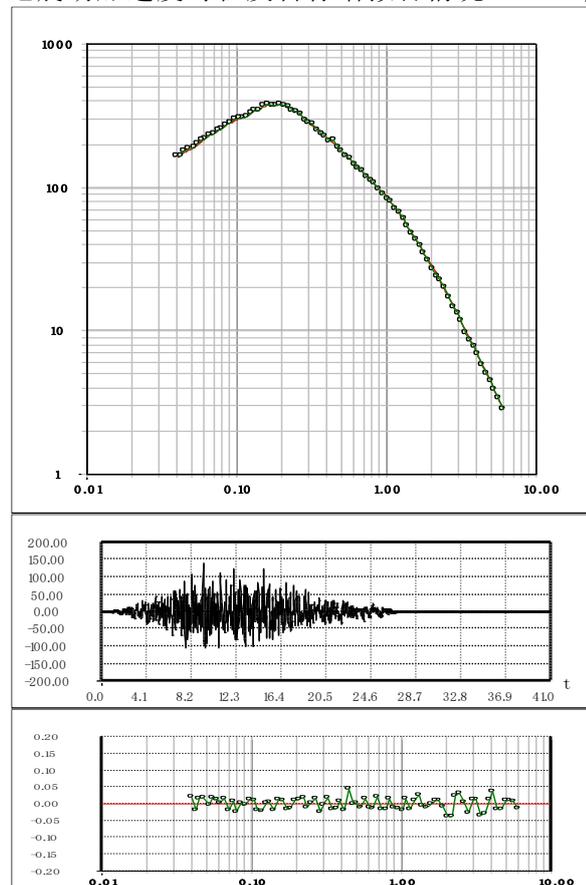


图 7.2.5c 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 10%）

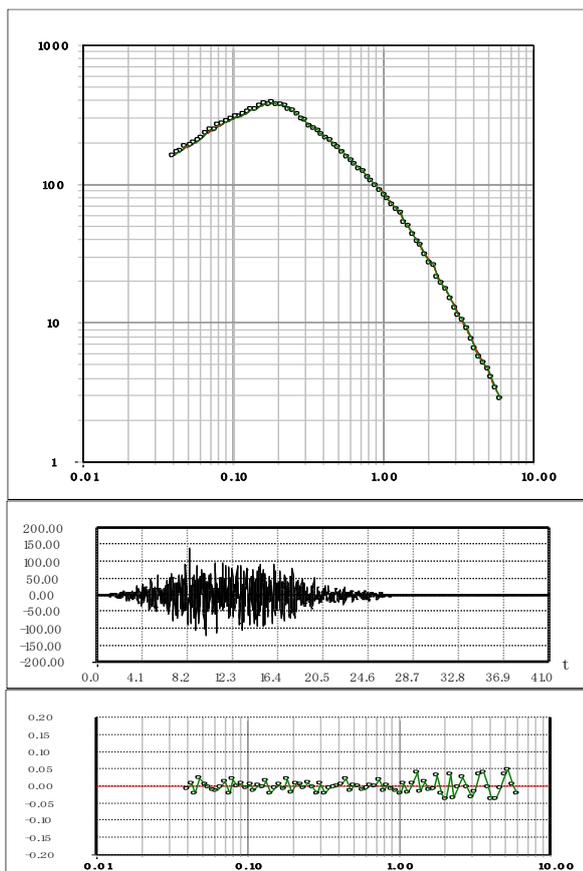


图 7.2.5d 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 10%）

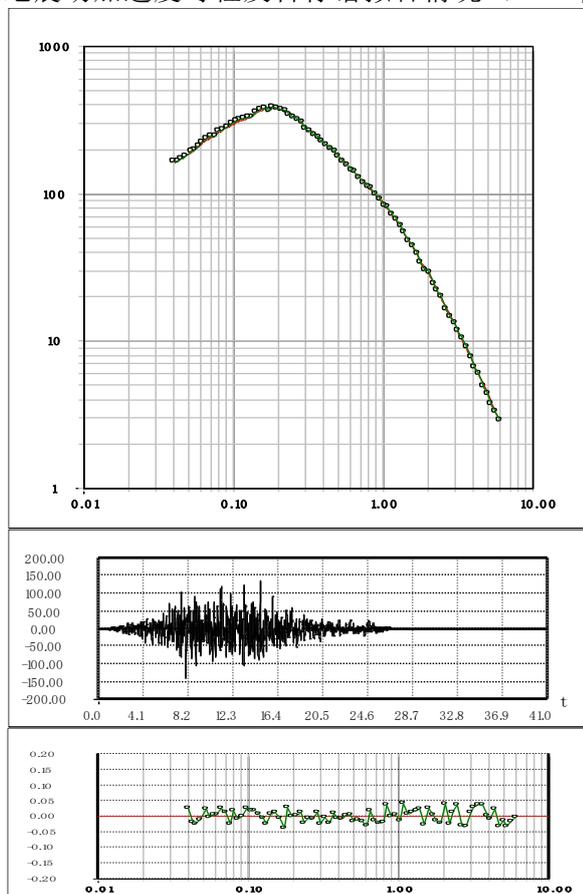


图 7.2.5e 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 10%）

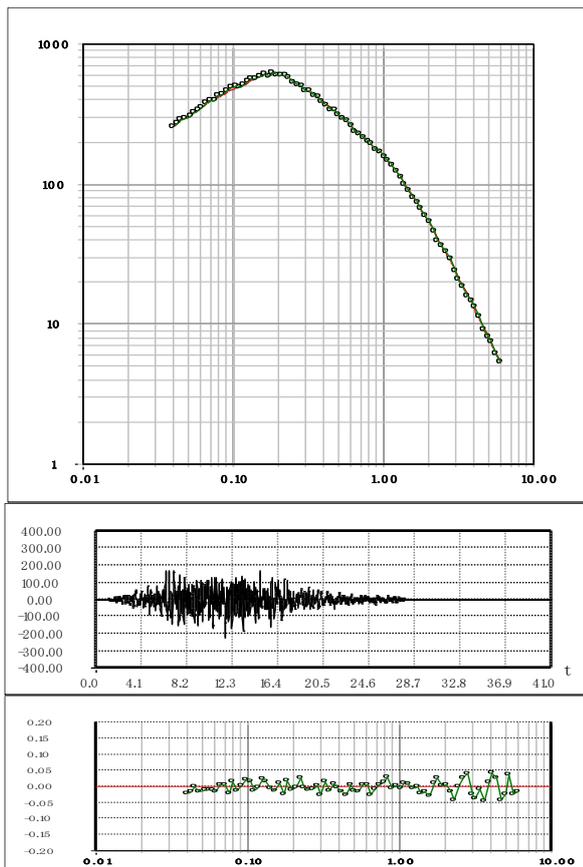


图 7.2.6a 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 2%）

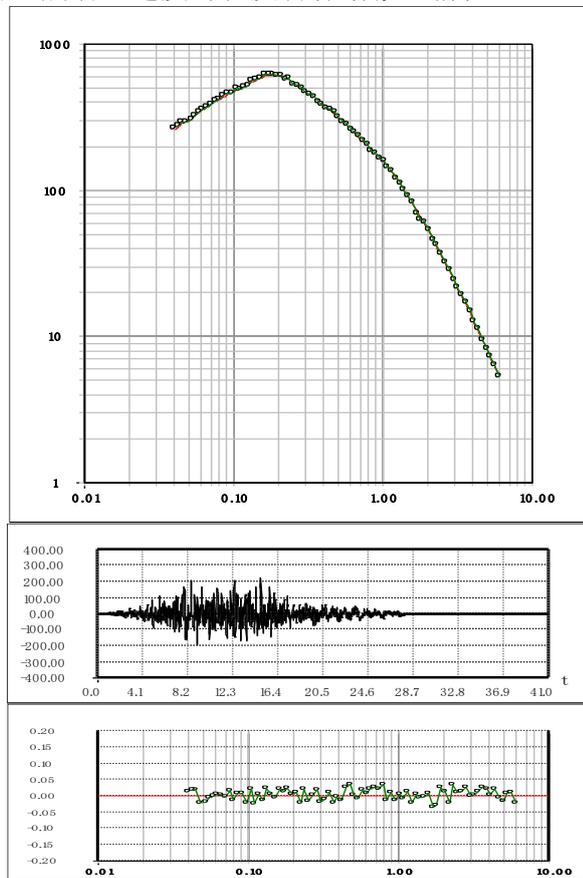


图 7.2.6b 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 2%）

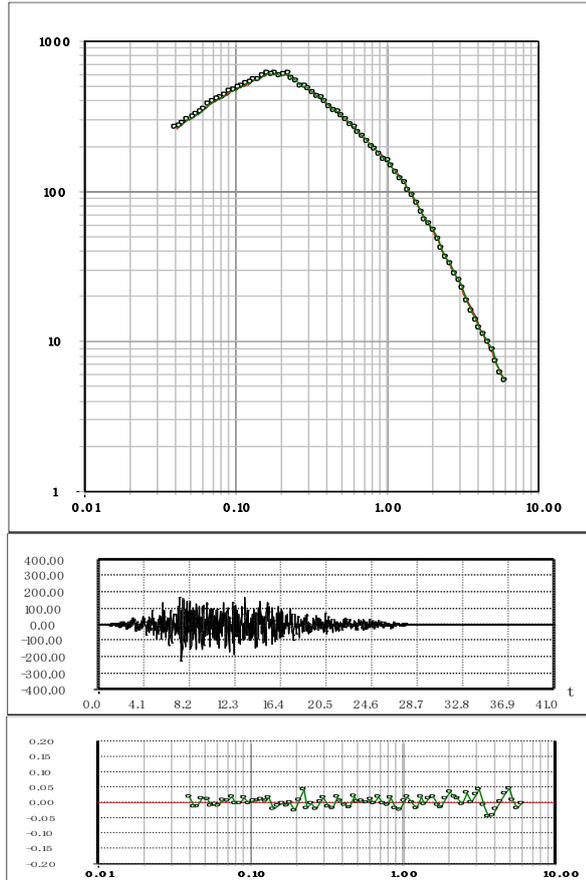


图 7.2.6c 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 2%）

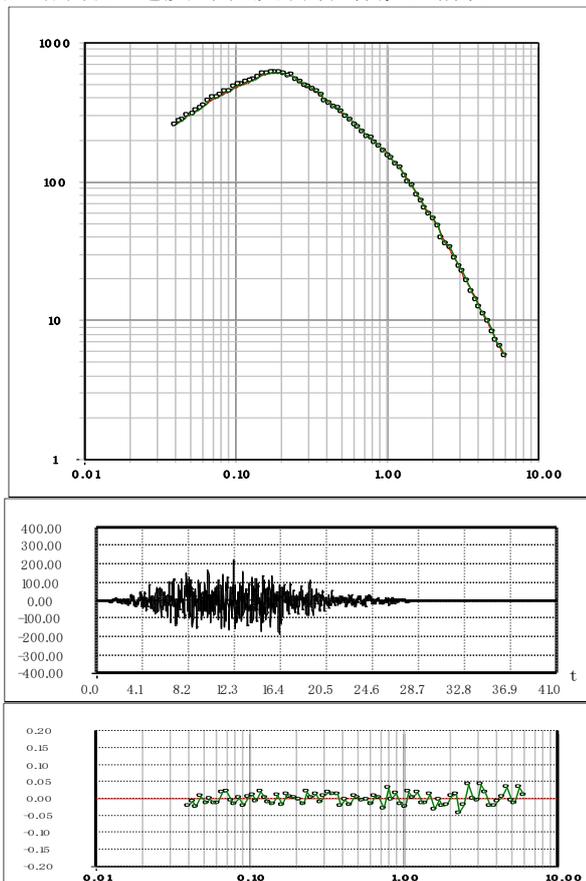


图 7.2.6d 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 2%）

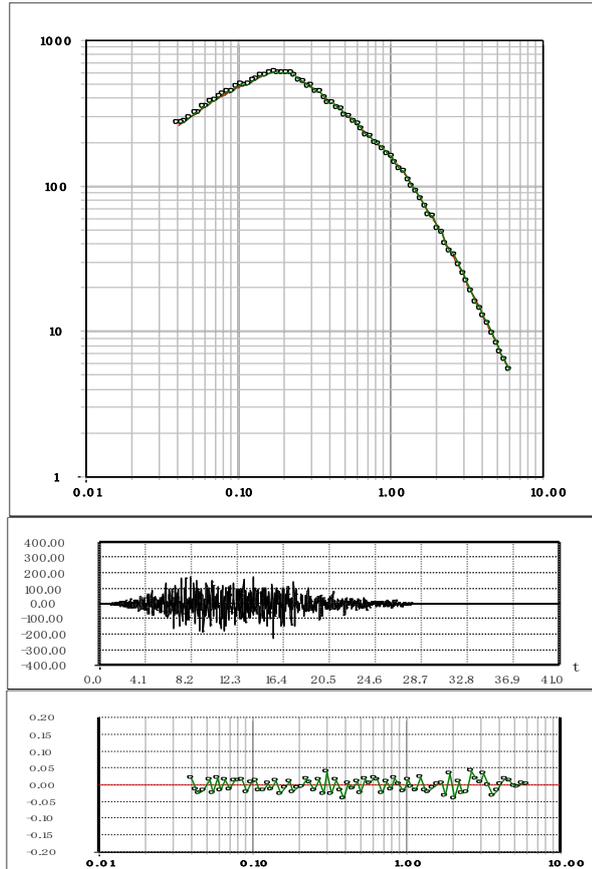


图 7.2.6e 基岩地震动加速度时程及目标谱拟合情况（100 年超越概率 2%）

7.3 场地地震反应计算结果场地地震相关反应谱

根据本工程的特点，为满足本工程抗震设计的需要，本报告提供各计算点自由表面 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 63%、10%、2% 共六个不同概率的水平峰值加速度和水平地震动加速度反应谱。

以上一节得到了目标区各个计算点 6 个概率水平下的基岩加速度时程（每一概率各 5 条时程），将幅值减少一半后作为一维土层反应分析模型的基底入射波的输入量，对每个计算点的六个概率分别进行土层地震反应分析计算，得到了场地自由表面地震动参数，计算结果如下。

合成的基岩地震动加速度时程所对应的速度和位移时程满足无基线漂移，经过计算分析，飘移速度与位移时程曲线。如图 7.3-1~7.3-12 是代表性控制点 K2 的基岩地震动加速度、速度和位移的时程图。

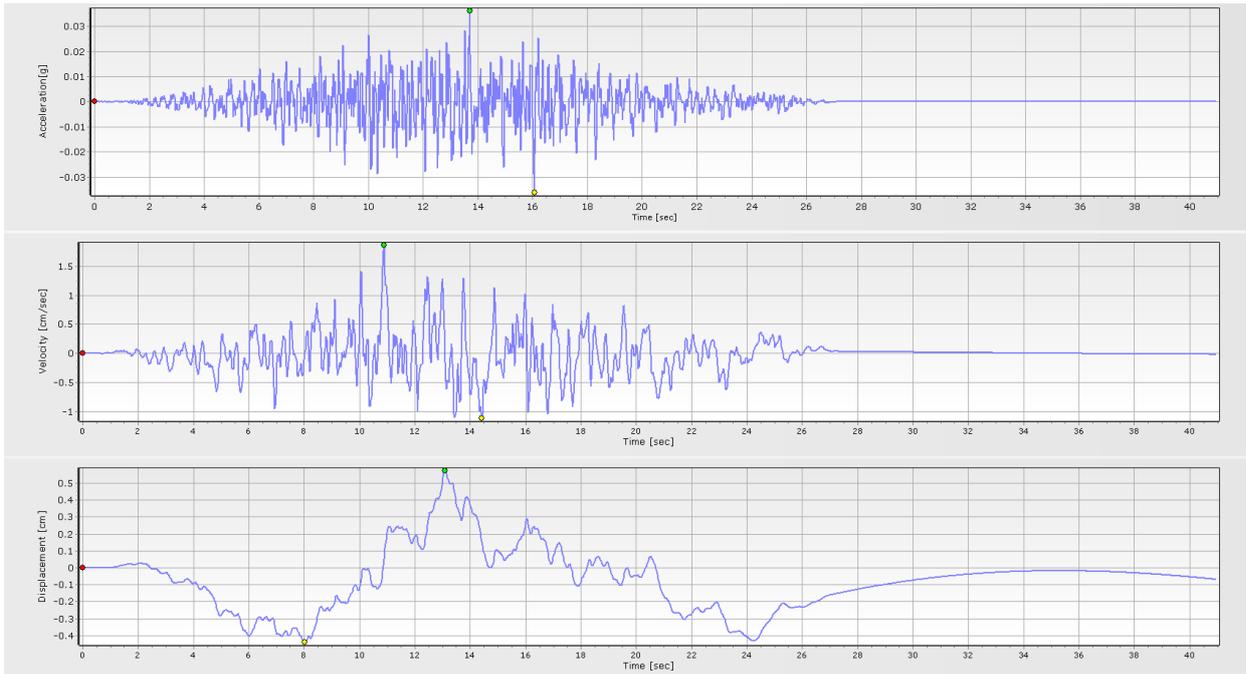


图 7.3-1 代表性控制点 K2 的 50 年超越概率 63%的基岩地震动加速度、位移和速度的时程图

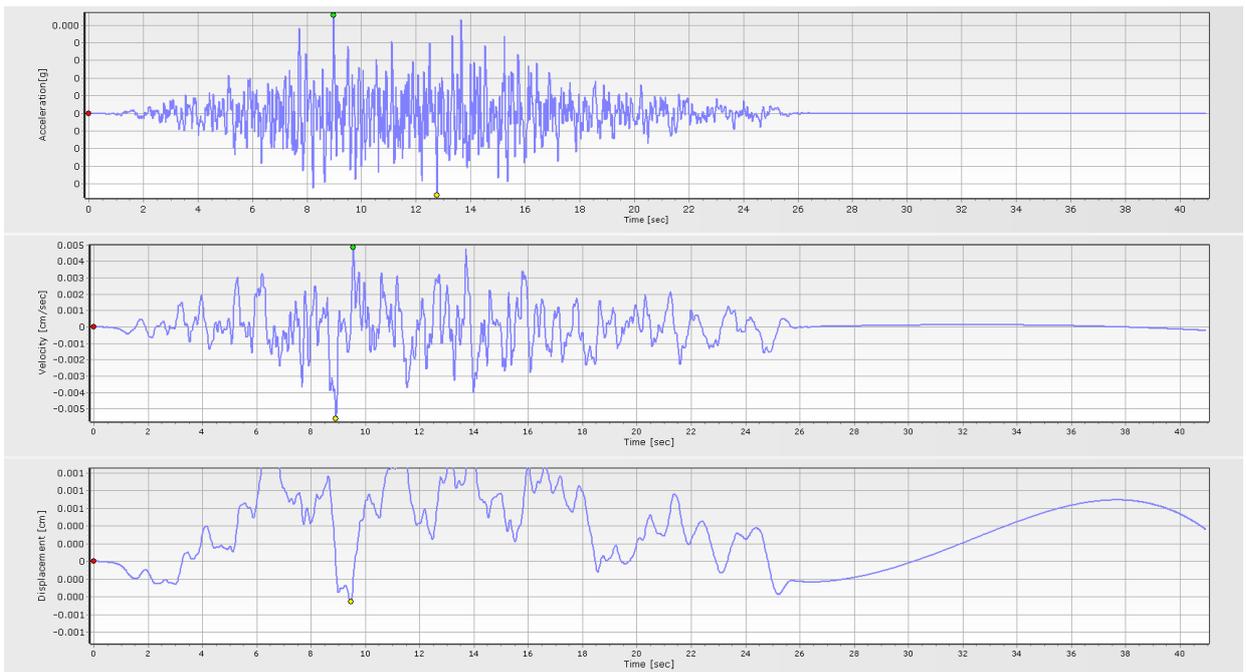


图 7.3-2 代表性控制点 K2 的 50 年超越概率 10%的基岩地震动加速度、速度和位移的时程图

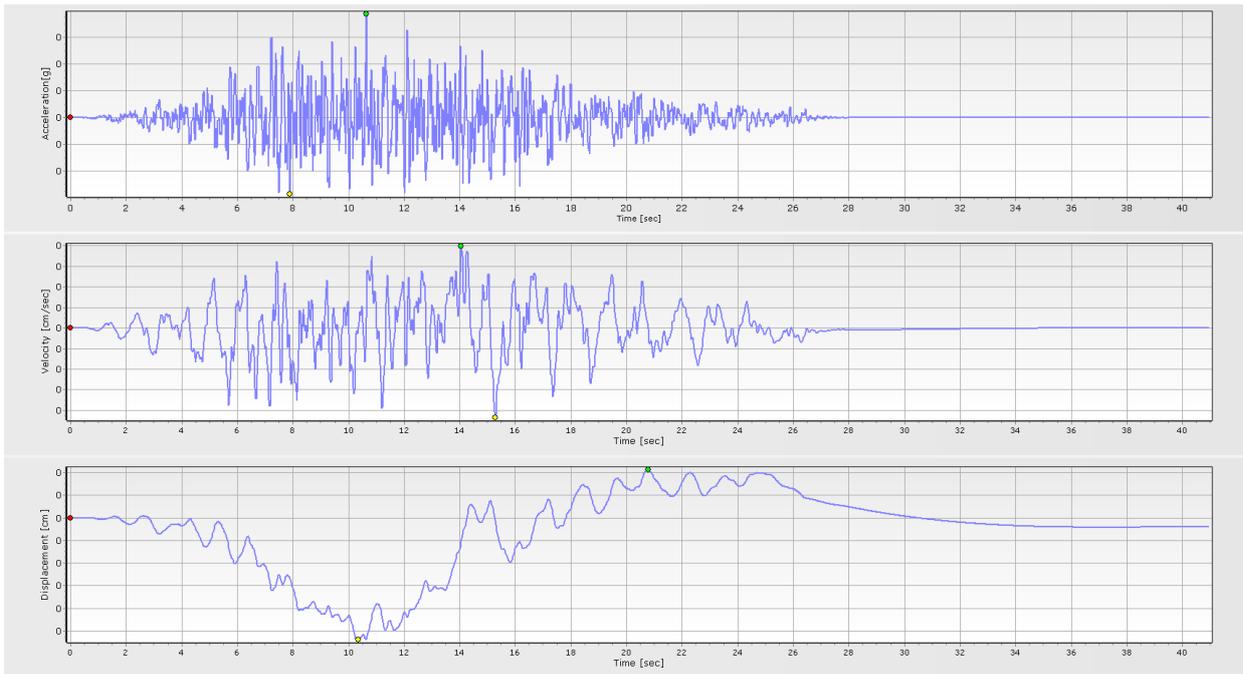


图 7.3-3 代表性控制点 K2 的 50 年超越概率 2% 的基岩地震动加速度、速度和位移的时程图

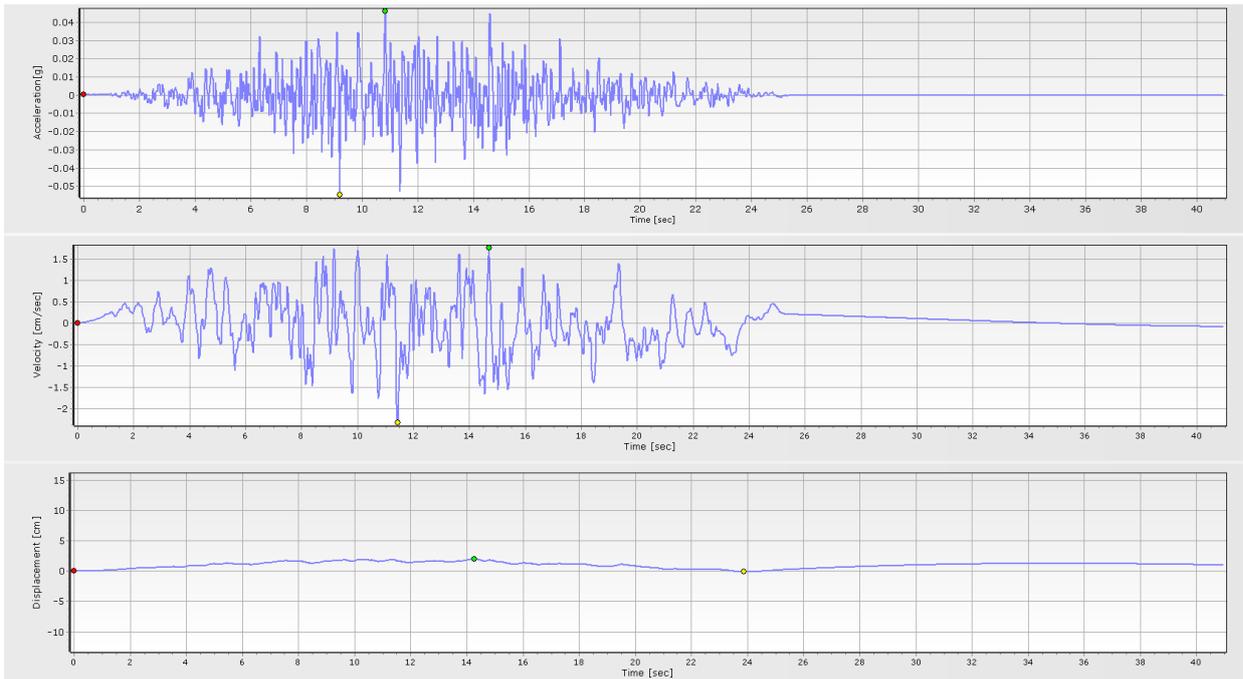


图 7.3-4 代表性控制点 K2 的 100 年超越概率 63% 的基岩地震动加速度、速度和位移的时程图

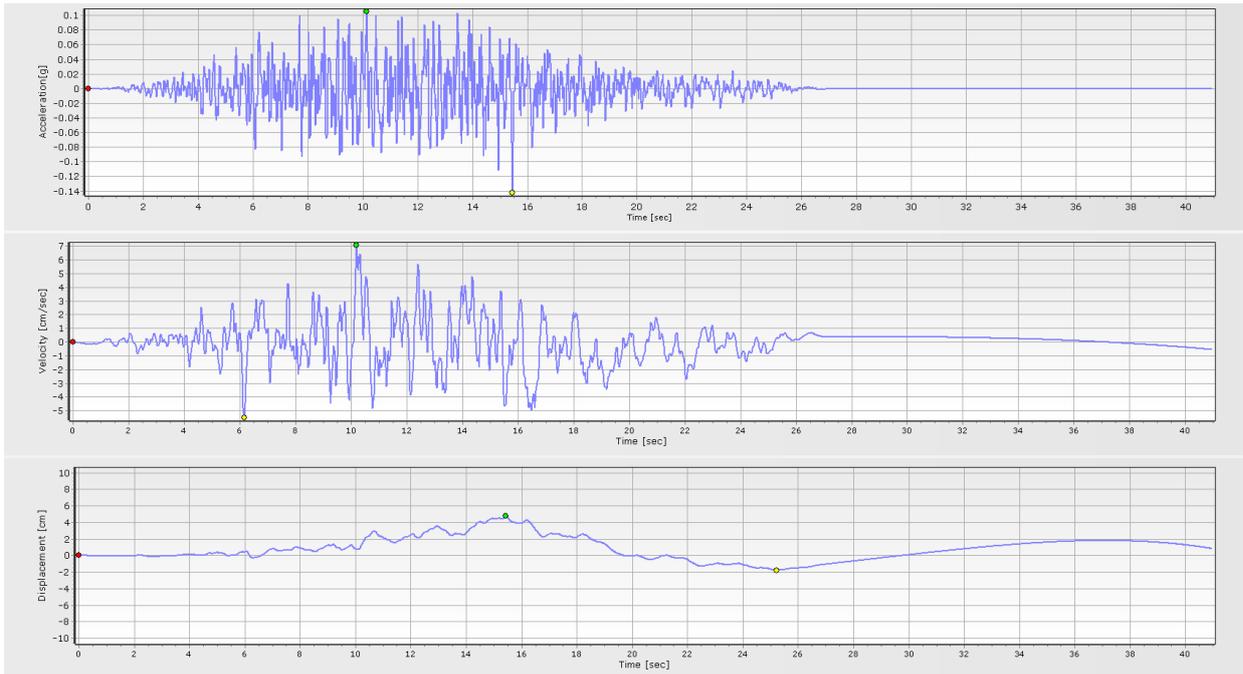


图 7.3-5 代表性控制点 K2 的 100 年超越概率 10%的基岩地震动加速度、速度和位移的时程图

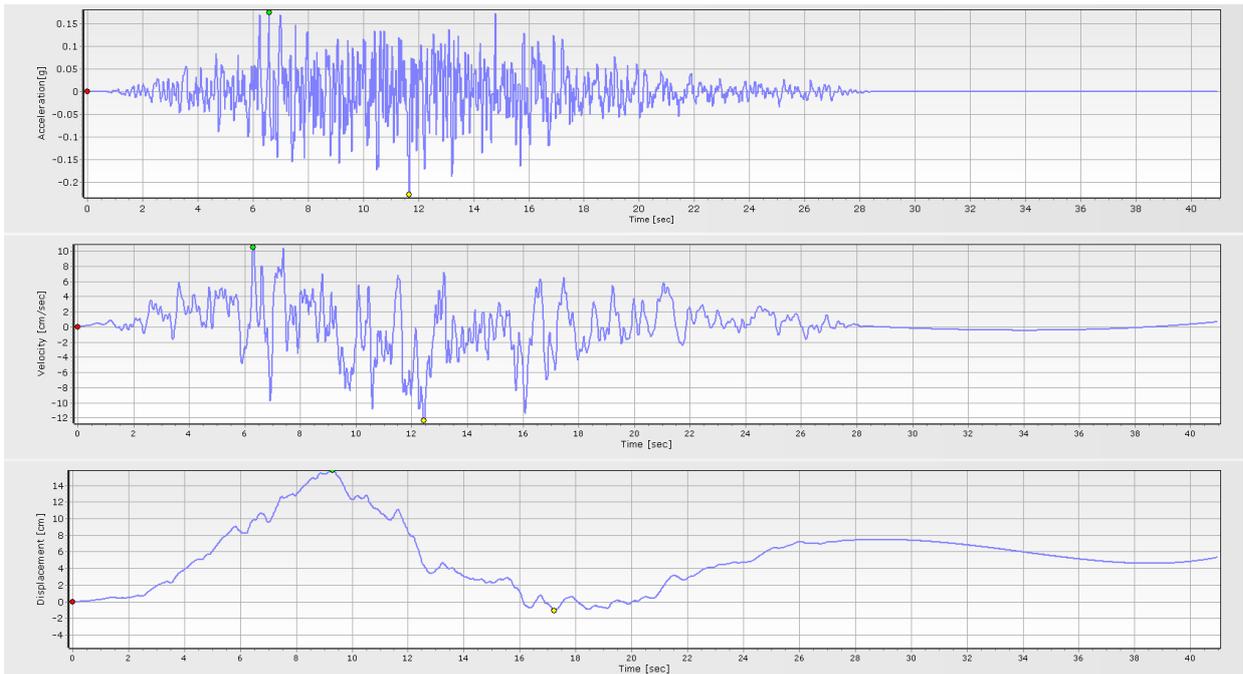


图 7.3-6 代表性控制点 K2 的 100 年超越概率 2%的基岩地震动加速度、速度和位移的时程图

7.3.1 水平向地震峰值加速度

实际的土层地震反应分析计算是每个计算控制点均合成 50 年超越概率 63%、10%、2%和 100 年超越概率 63%、10%、2%六个不同概率各五个相位的基岩地震动加速度时程作为计算输入时程，并采用前面所建立的力学分析模型及土体动力非

线性特性参数值，对目标区各控制点进行土层反应计算，得到六个超越概率下各 5 条入射波作用时每个计算点地表的水平向加速度峰值及其均值（表 7.3.1）。

表 7.3.1 地表水平加速度峰值计算结果(单位: gal)

控制点	概率水准	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	相位 5	均值
k1	50 年 63%	53.3	58	56.4	51.2	52.2	54.2
	50 年 10%	157.3	162.6	156.2	162.5	153.7	158.5
	50 年 2%	259.6	264.3	260.4	250	266.1	260.1
	100 年 63%	81.5	73.3	78.4	84.3	73.1	78.1
	100 年 10%	186.4	196.5	199.6	203.6	193.8	196.0
	100 年 2%	309.1	323.4	315.1	322.5	317.6	317.5
k2	50 年 63%	49.5	58.8	53.3	59.4	52.6	54.7
	50 年 10%	155.3	159.5	160.4	162.9	157.4	159.1
	50 年 2%	267.3	255.1	262.7	269.2	272.3	265.3
	100 年 63%	80.9	72.1	78.2	84.6	81.5	79.5
	100 年 10%	207.5	195.8	214	196.5	193.4	201.4
	100 年 2%	316.4	309.8	315.8	329.4	325.9	319.5
k3	50 年 63%	45.6	58.3	56.9	57.1	48.4	53.3
	50 年 10%	149.3	168.2	150.4	158.0	156.2	156.4
	50 年 2%	274.1	261.8	281.9	270.5	265.2	270.7
	100 年 63%	73.8	75.3	82.8	80.6	79.5	78.4
	100 年 10%	192.4	202.3	194.6	210.5	197.8	199.5
	100 年 2%	312.9	334	330.2	322.6	325.3	325.0
k4	50 年 63%	50.4	52.8	61.6	53.8	58.2	55.4
	50 年 10%	153.2	163.8	162.5	167.4	174.3	164.2
	50 年 2%	274.4	265.5	264.2	277.8	272.9	271.0
	100 年 63%	80.6	86.3	83.7	83.5	88.2	84.5
	100 年 10%	207.5	198.7	214.9	209.6	210.6	208.3
	100 年 2%	306.7	318.2	332.6	318.7	327.4	320.7
k5	50 年 63%	50.4	55.1	59.5	60.8	57.6	56.7

	50年10%	157.4	165.2	160.3	168.1	155.4	161.3
	50年2%	277.2	263.3	265.5	257.4	272.3	267.1
	100年63%	85.6	76.7	83.1	89.3	82.8	83.5
	100年10%	217	201.2	208.8	213.5	196.4	207.4
	100年2%	307.3	315.2	319.5	326.4	314.7	316.6
k6	50年63%	54.2	49.8	57.6	56.4	52	54.0
	50年10%	153.4	158.3	168.3	158.8	162.5	160.3
	50年2%	275.4	285.5	269.2	272.4	282.6	277.0
	100年63%	76.3	88.6	83.8	72.5	85.2	81.3
	100年10%	201.9	206.7	205.5	214.7	197.3	205.2
	100年2%	329.2	346.4	335.8	330.4	328.6	334.1
k7	50年63%	52.7	59.3	55.4	57.5	60.6	57.1
	50年10%	163.4	178.3	166.2	159.3	165.4	166.5
	50年2%	283.3	272.8	286.1	275.6	264.2	276.4
	100年63%	85.7	86.2	79.5	91.4	83.7	85.3
	100年10%	207	206.7	219.8	211.2	208.4	210.6
	100年2%	332.5	341.4	343.6	326.4	331.2	335.0
k8	50年63%	52.8	59.7	51.8	57.6	54.5	55.3
	50年10%	155.4	166.9	168.3	159.7	163.0	162.7
	50年2%	261.6	279	287.2	272.1	266.3	273.2
	100年63%	76.5	84.3	87.5	77.7	88.8	83.0
	100年10%	196.7	198.3	216.8	199.6	205.4	203.4
	100年2%	316.6	307.5	324.1	316.3	312.2	315.3

7.3.2 地震反应分析结果

根据平均 PGA 和反应谱曲线图，参考“《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》，按式（7.3.1）进行标定，计算得到的场地相关绝对反应谱及其规准曲线如图 7.3.1~7.3.46 所示，参考中国地震局推荐的地震危险性分析软件 ESEv2.2 里所给出的公式（如 7.3.2）进行规准后反应谱的参数取值列于表 7.3.2。

$$S_a(T) = A_{\max} \beta(T)$$

$$a_{max} = A_{max} \beta_m \quad (\text{公式 7.3.1})$$

其中, A_{max} 为设计地震动峰值加速度, $\beta(T)$ 为设计地震动加速度放大系数反应谱, 其谱值如式 (7.3.2) 所示;

$$\beta(T) = \begin{cases} 1 & T \leq 0.04 \\ 1 + (\beta_m - 1.0) \frac{T^{-0.04}}{T_1^{-0.04}} & 0.04 < T \leq T_1 \\ \beta_m & T_1 < T \leq T_g \\ \beta_m \left(\frac{T_g}{T}\right)^\gamma & T_g < T \leq 6.0 \end{cases} \quad (\text{公式 7.3.2})$$

式中: T —结构自振周期 (s); T_g —特征周期 (s); β_m —反应谱最大值;
 γ —下降指数, 取值为 1.0; $\beta(T)$ —反应谱值。

采用上面的公式, 结合目标区的钻孔地表面处阻尼比 5% 的 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 63%、10%、2% 的计算地震动加速度反应谱结果, 得到相应的拟合曲线, 拟合参数见表 7.3.2, 拟合图见图 7.3.1~7.3.8 中的红粗实线所示。

表 7.3.2 目标区内各控制性计算反应谱规范参数表

特征值 超越概率		T_1 (秒)	T_g (秒)	β_m	r	A_{max} (gal)	α_{max}	阻尼比
		k1	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	54.2
T=50 年, P=10%	0.1		0.40	2.5	0.9	158.5	0.404	0.05
T=50 年, P=2%	0.1		0.45	2.5	0.9	260.1	0.664	0.05
T=100 年, P=63%	0.1		0.40	2.5	0.9	78.1	0.199	0.05
T=100 年, P=10%	0.1		0.40	2.5	0.9	196	0.500	0.05
T=100 年, P=2%	0.1		0.45	2.5	0.9	317.5	0.810	0.05
k2	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	54.7	0.140	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	159.1	0.406	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	265.3	0.677	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	79.5	0.203	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	201.4	0.514	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	319.5	0.815	0.05
k3	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	53.3	0.136	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	156.4	0.399	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	270.7	0.691	0.05

	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	78.4	0.200	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	199.5	0.509	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	325	0.829	0.05
k4	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	55.4	0.141	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	164.2	0.419	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	271	0.691	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	84.5	0.216	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	208.3	0.531	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	320.7	0.818	0.05
k5	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	56.7	0.145	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	161.3	0.411	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	267.1	0.681	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	83.5	0.213	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	207.4	0.529	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	316.6	0.808	0.05
k6	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	54	0.138	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	160.3	0.409	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	277	0.707	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	81.3	0.207	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	205.2	0.523	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	334.1	0.852	0.05
k7	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	57.1	0.146	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	166.5	0.425	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	276.4	0.705	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	85.3	0.218	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	210.6	0.537	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	335	0.855	0.05
k8	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	55.3	0.141	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	162.7	0.415	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	273.2	0.697	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	83	0.212	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	203.4	0.519	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	315.3	0.804	0.05

7.3.2.1 控制点 k1 水平加速度放大系数反应谱曲线

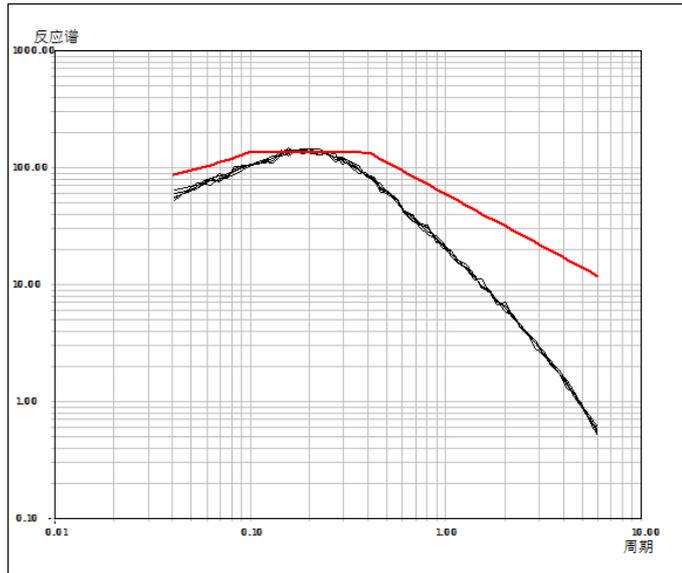


图 7.3.1a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

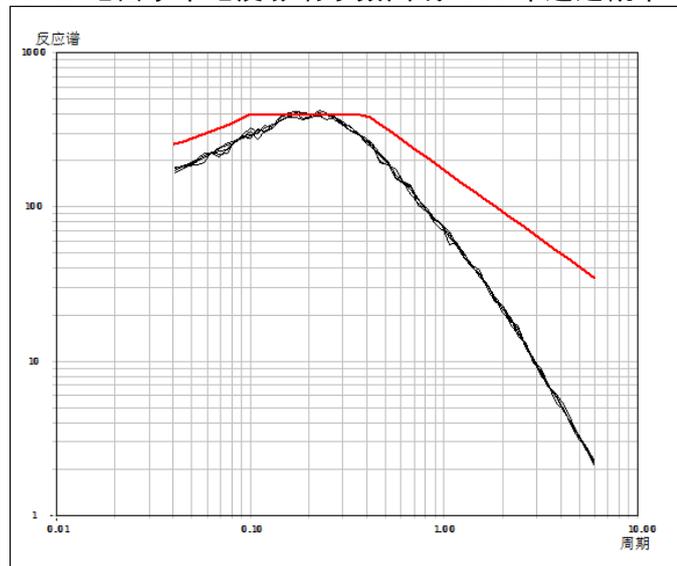


图 7.3.1b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

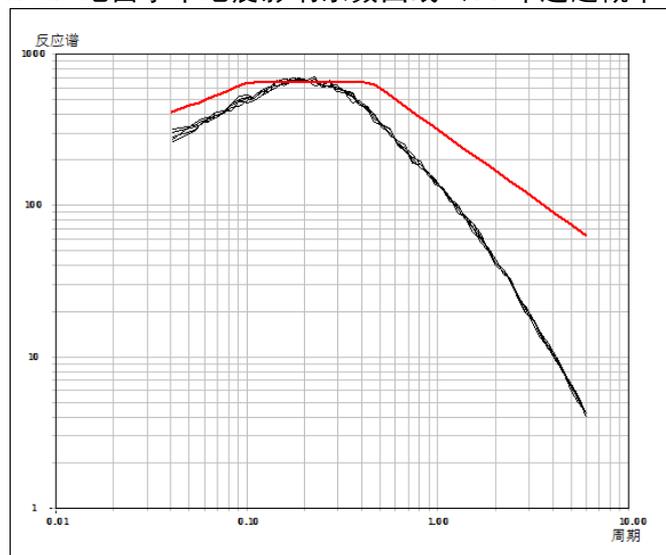


图 7.3.1c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

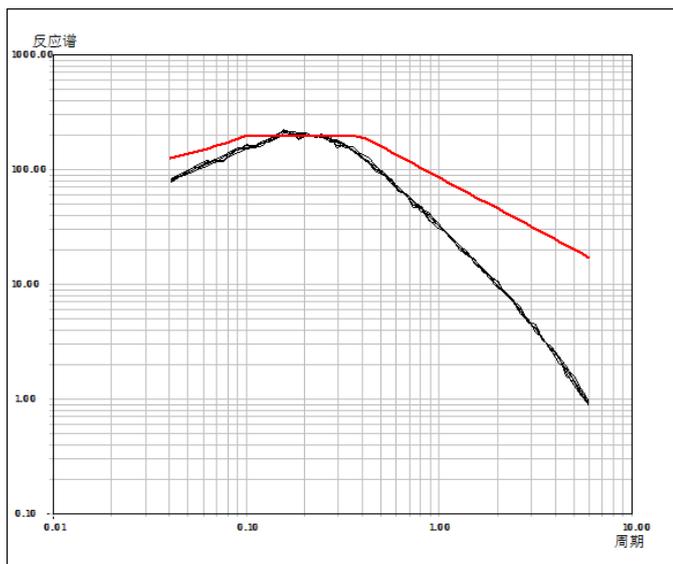


图 7.3.1d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

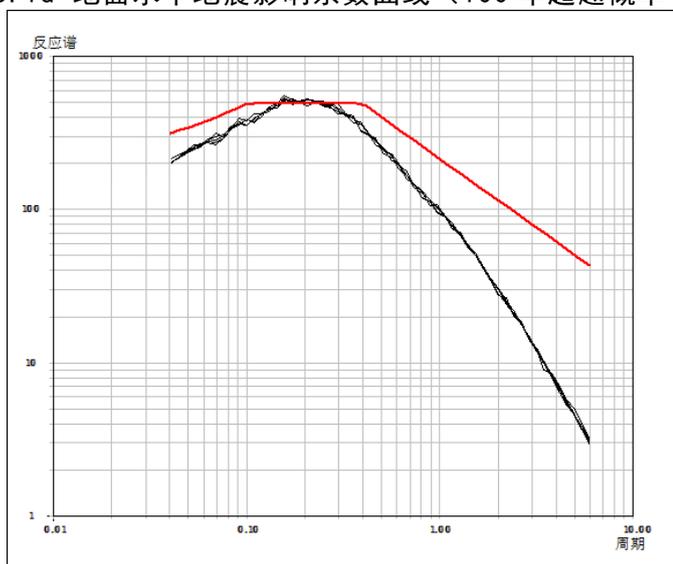


图 7.3.1e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

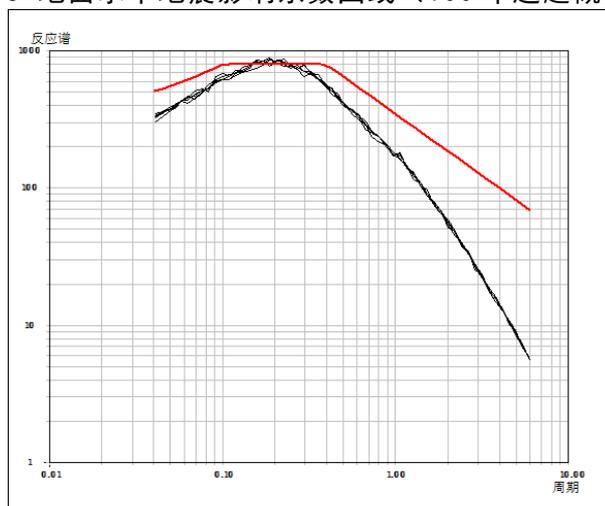


图 7.3.1f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.2.2 控制点 k2 水平加速度放大系数反应谱曲线

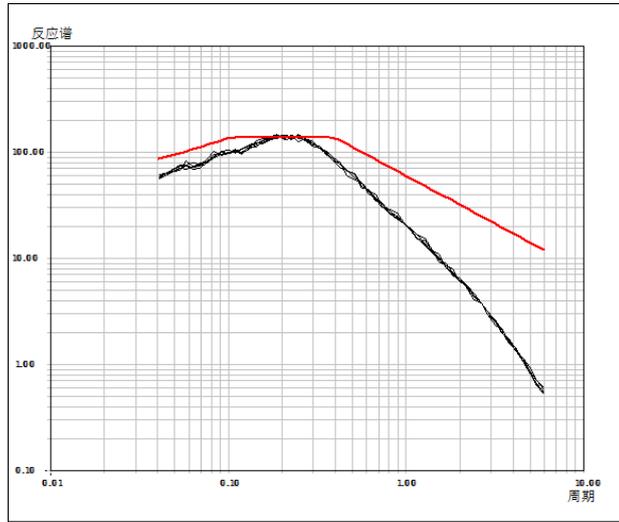


图 7.3.2a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

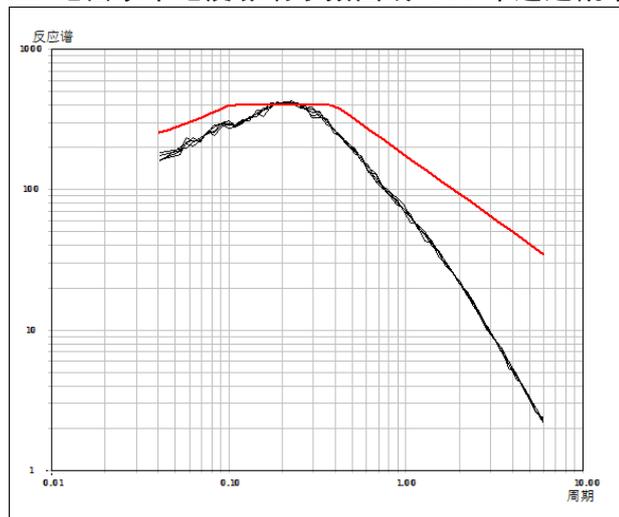


图 7.3.2b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

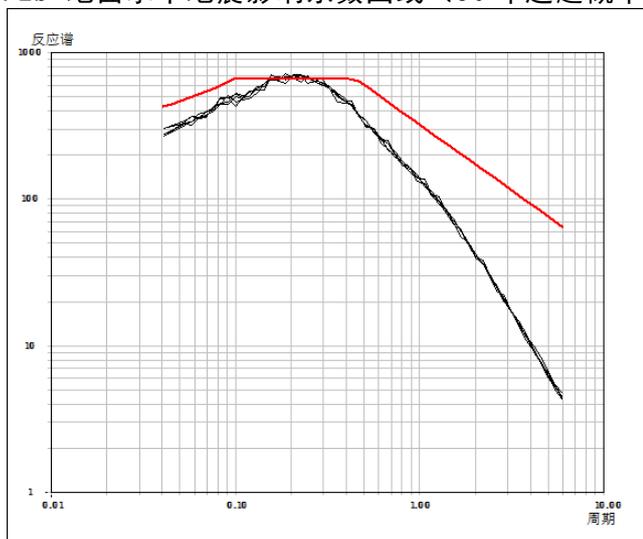


图 7.3.2c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

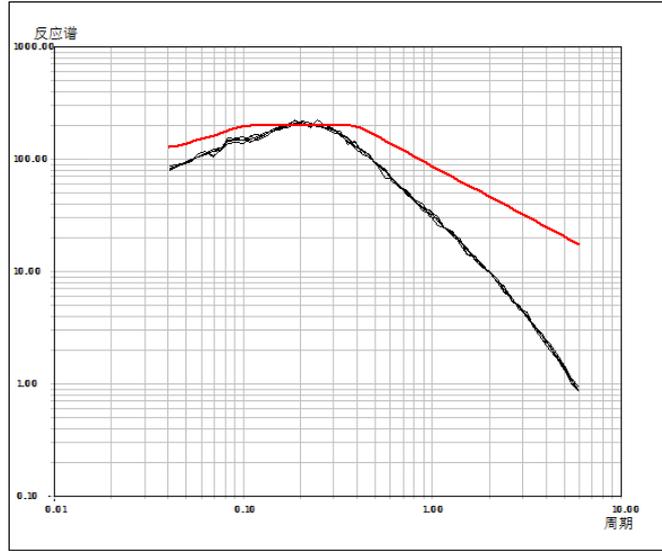


图 7.3.2d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

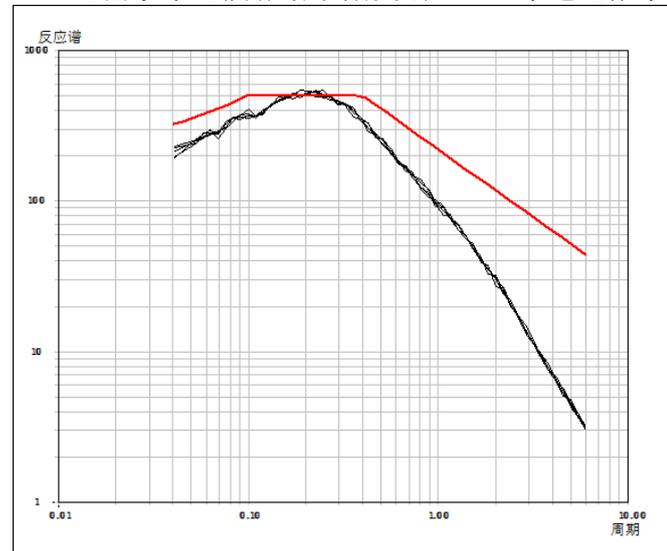


图 7.3.2e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

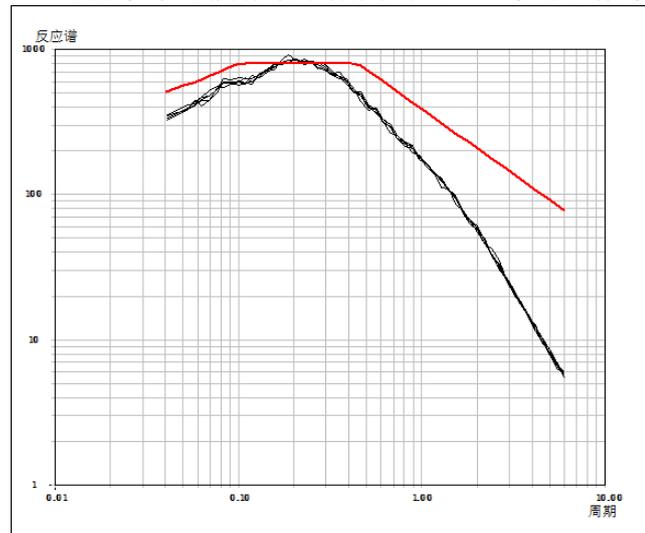


图 7.3.2f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.2.3 控制点 k3 水平加速度放大系数反应谱曲线

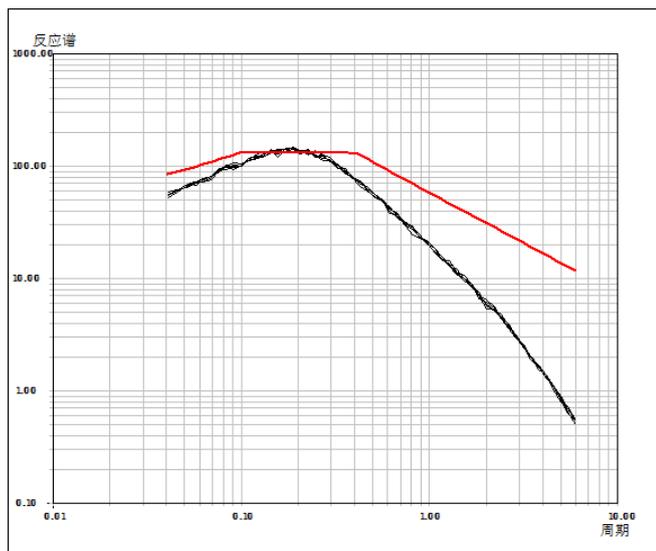


图 7.3.3a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

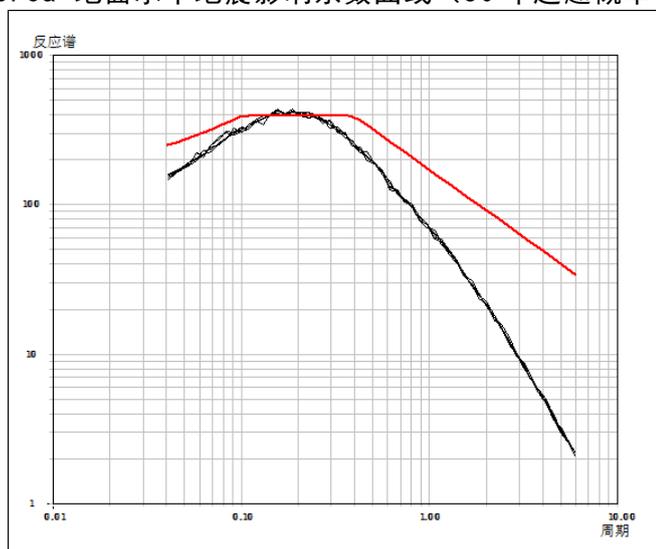


图 7.3.3b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

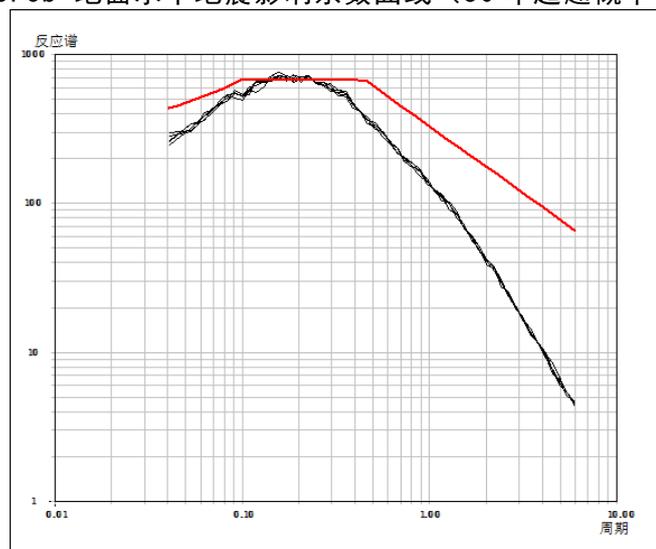


图 7.3.3c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

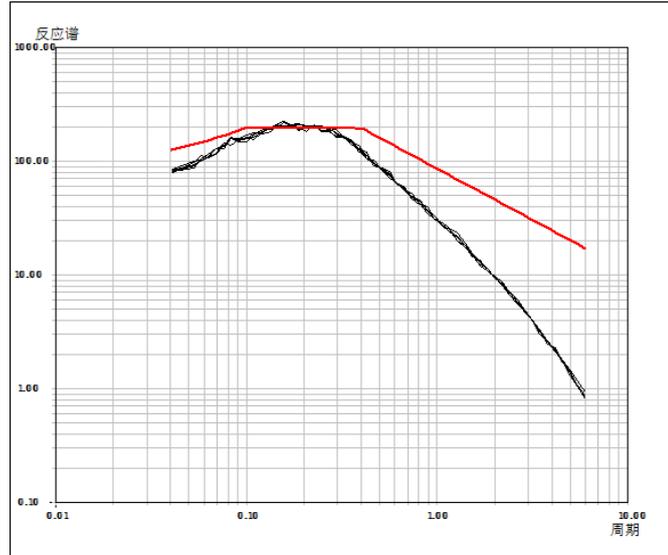


图 7.3.3d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

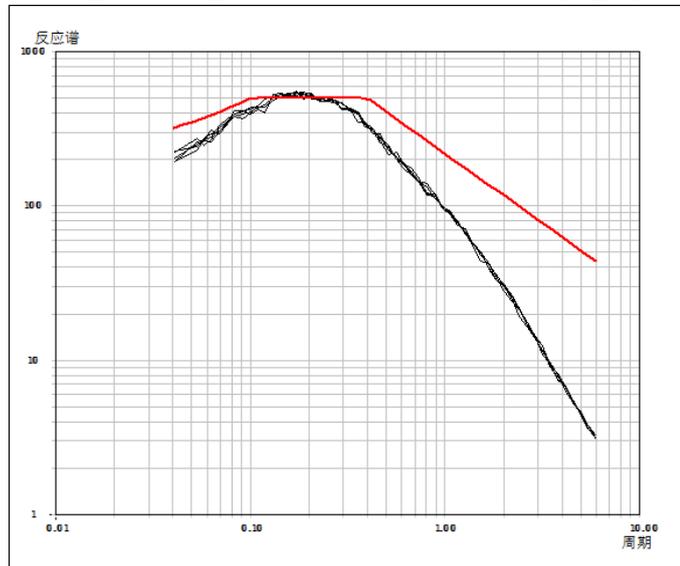


图 7.3.3e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

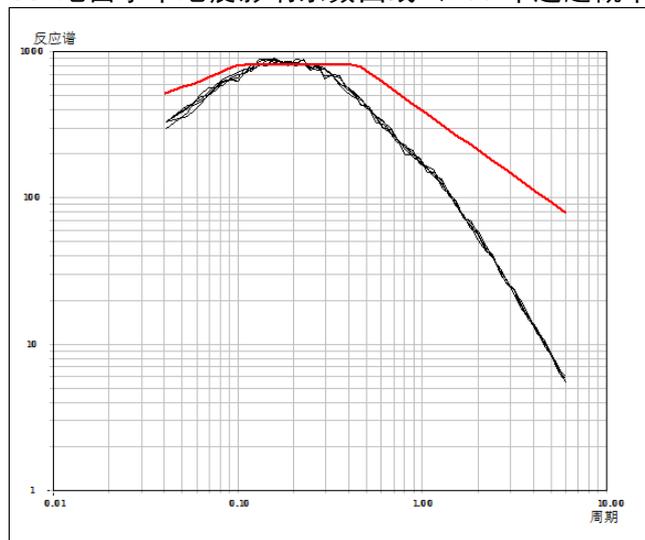


图 7.3.3f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.2.4 控制点 k4 水平加速度放大系数反应谱曲线

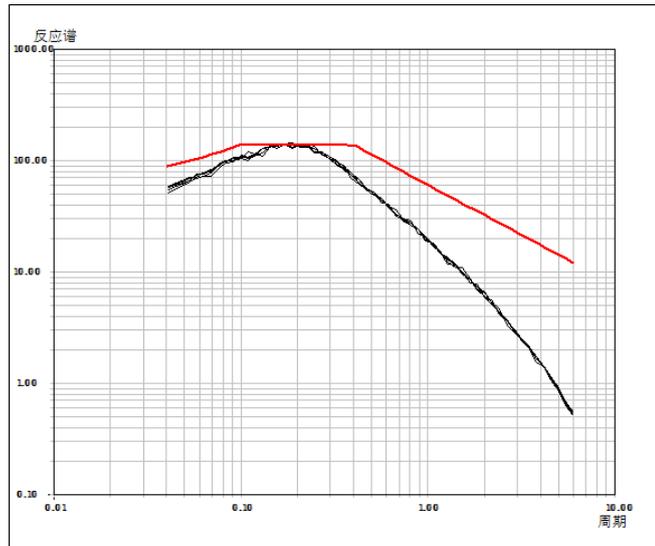


图 7.3.4a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

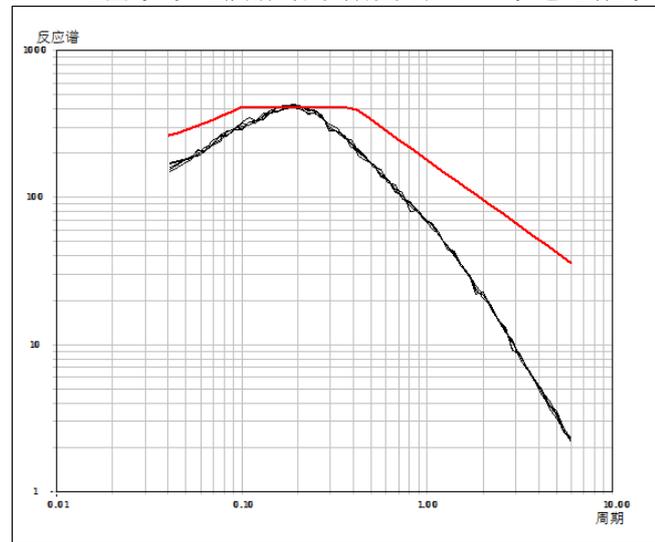


图 7.3.4b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

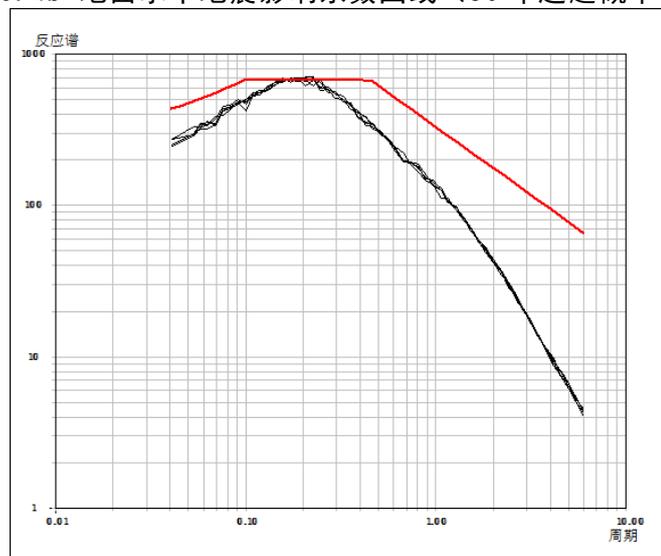


图 7.3.4c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

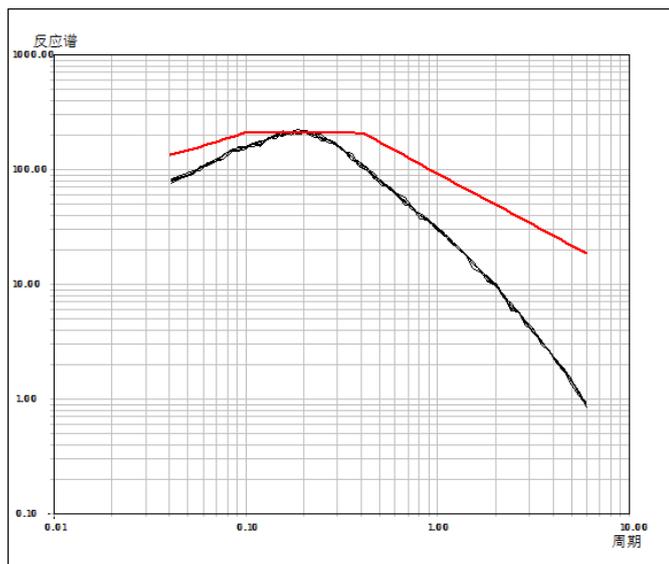


图 7.3.4d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

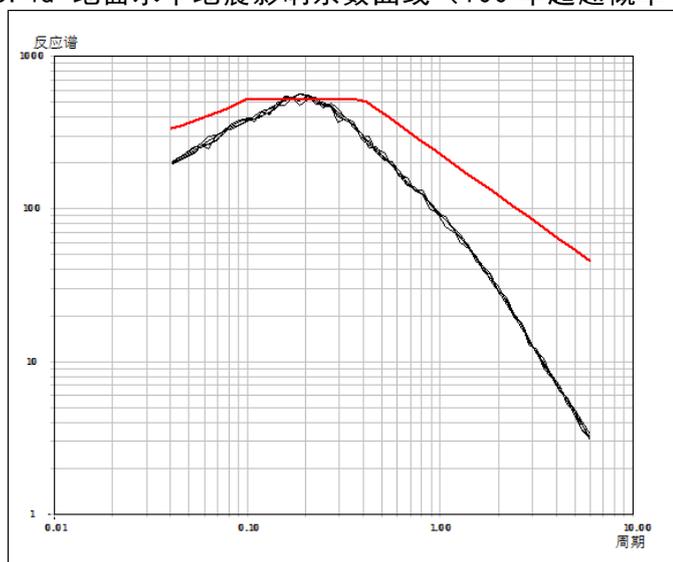


图 7.3.4e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

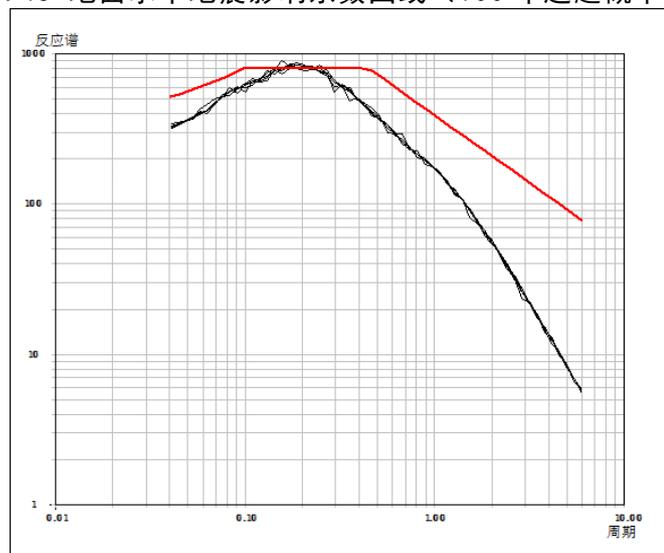


图 7.3.4f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.2.5 控制点 k5 水平加速度放大系数反应谱曲线

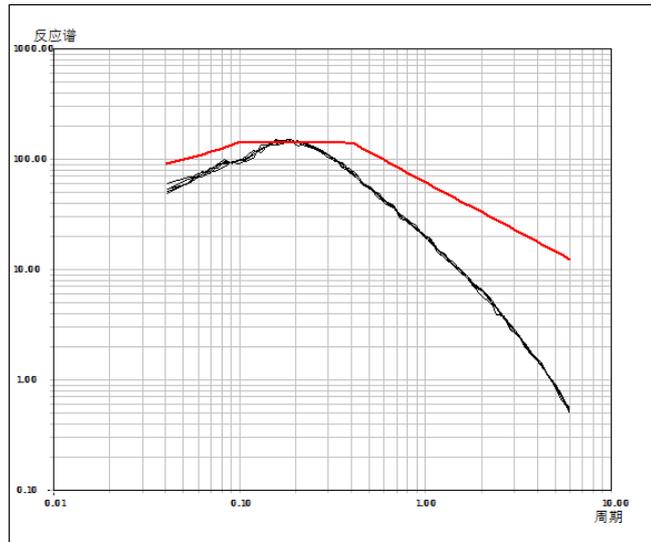


图 7.3.5a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

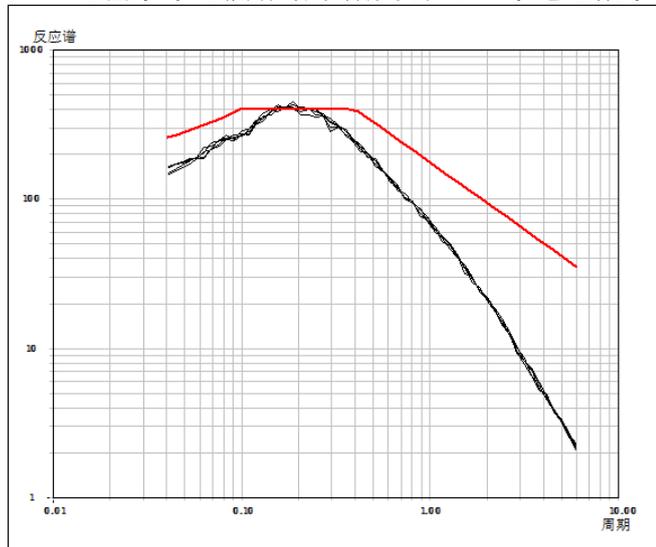


图 7.3.5b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

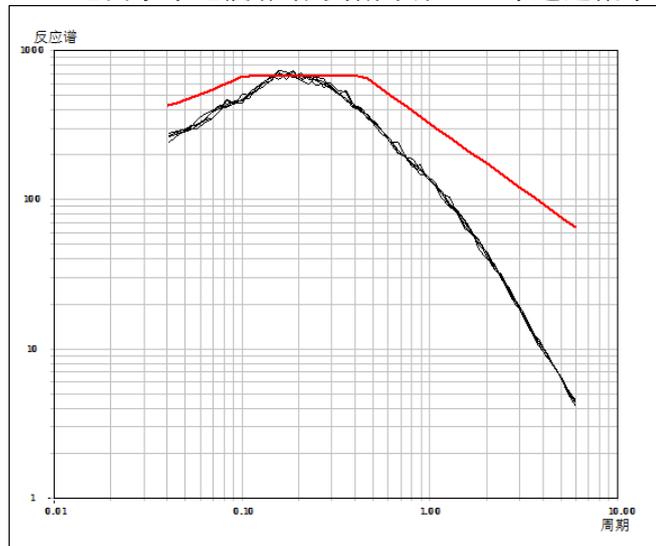


图 7.3.5c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

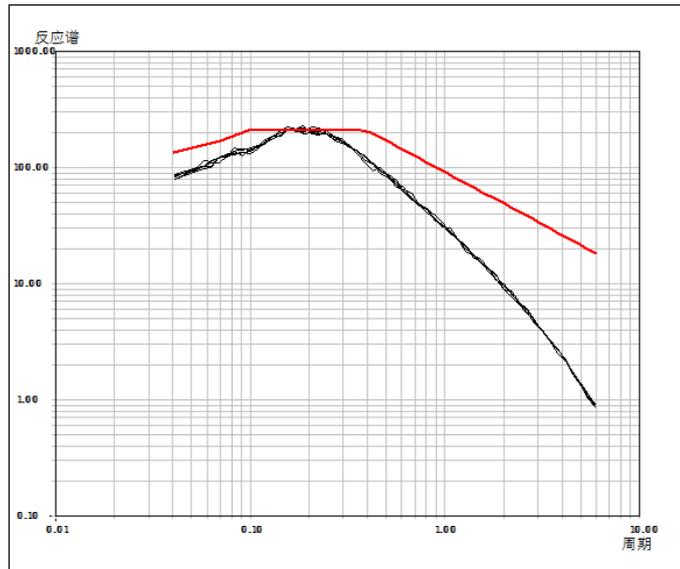


图 7.3.5d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

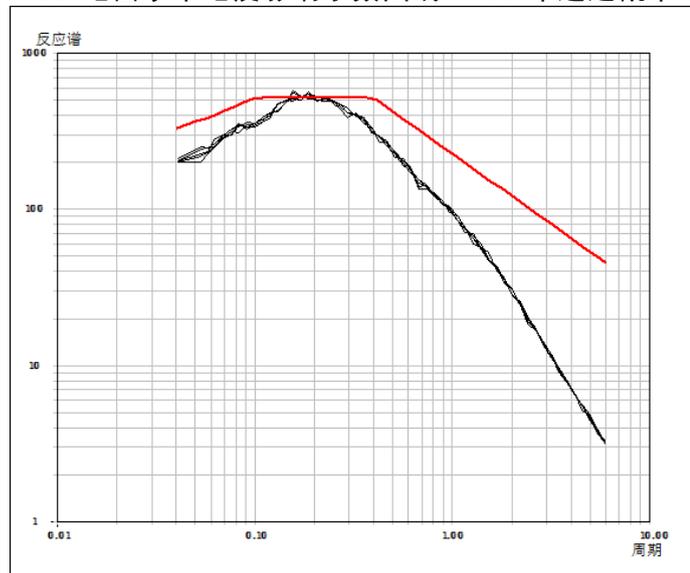


图 7.3.5e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

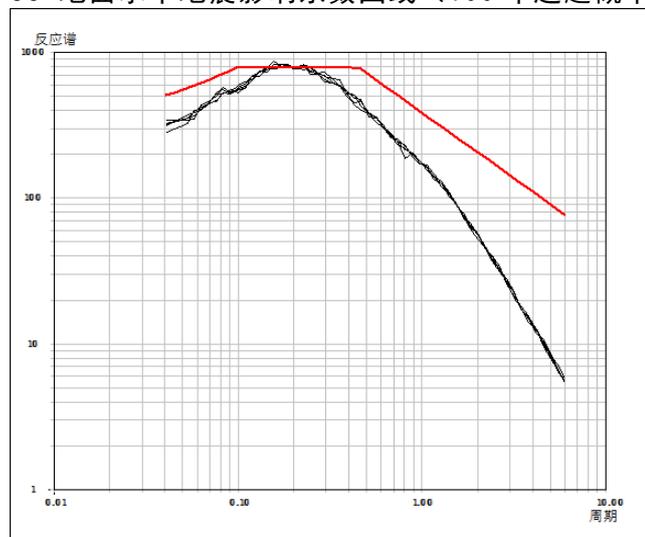


图 7.3.5f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.2.6 控制点 k6 水平加速度放大系数反应谱曲线

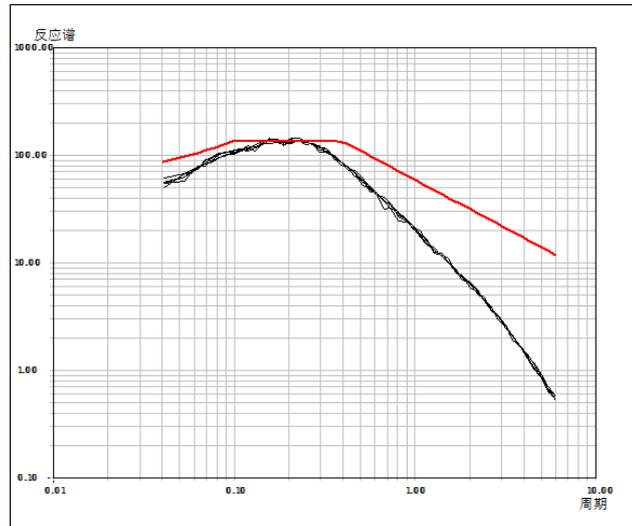


图 7.3.6a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

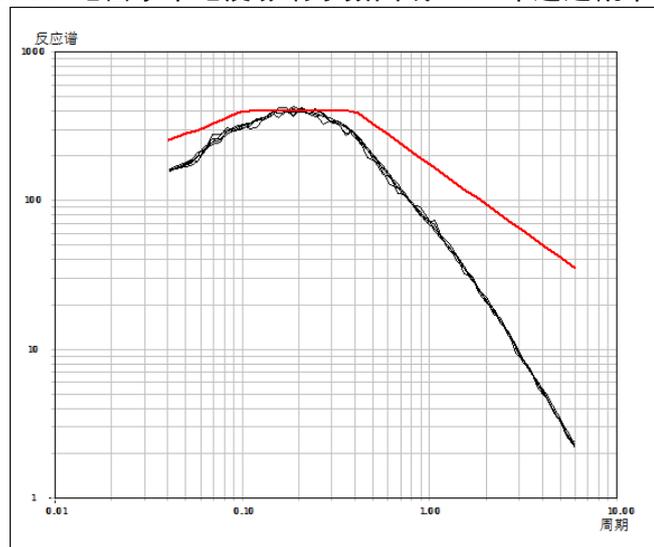


图 7.3.6b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

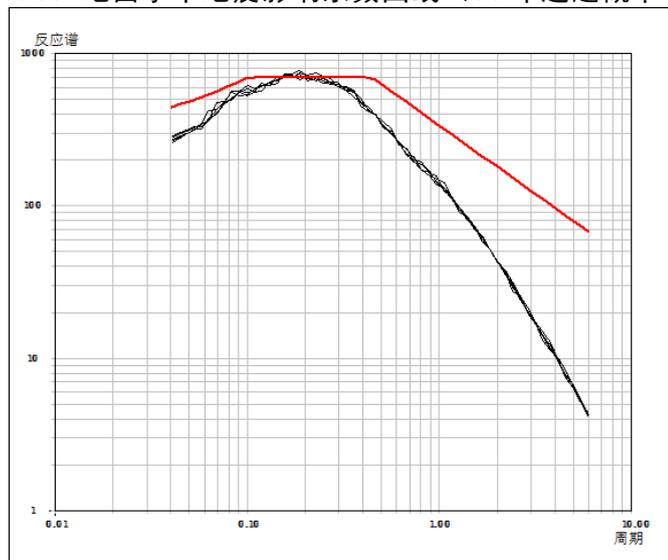


图 7.3.6c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

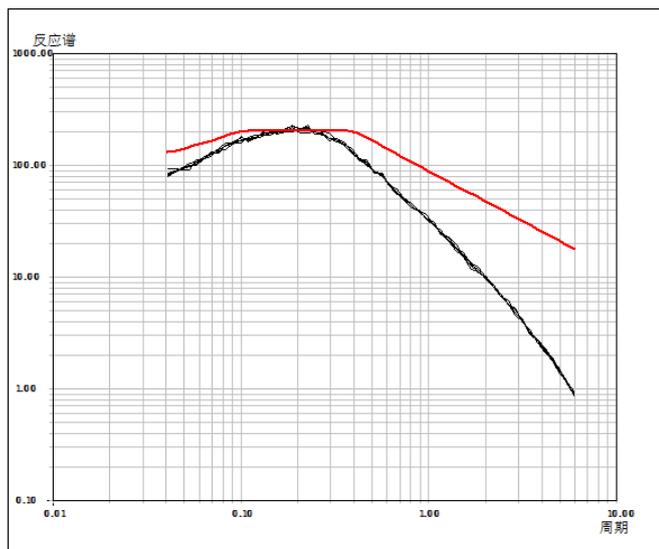


图 7.3.6d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

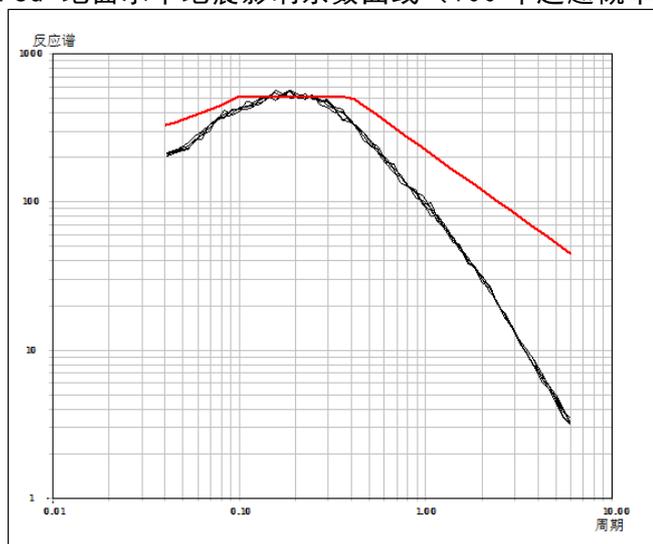


图 7.3.6e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

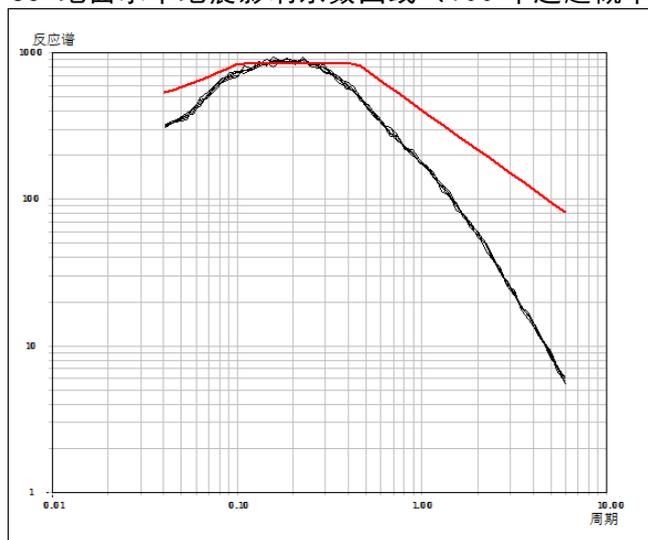


图 7.3.6f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.2.7 控制点 k7 水平加速度放大系数反应谱曲线

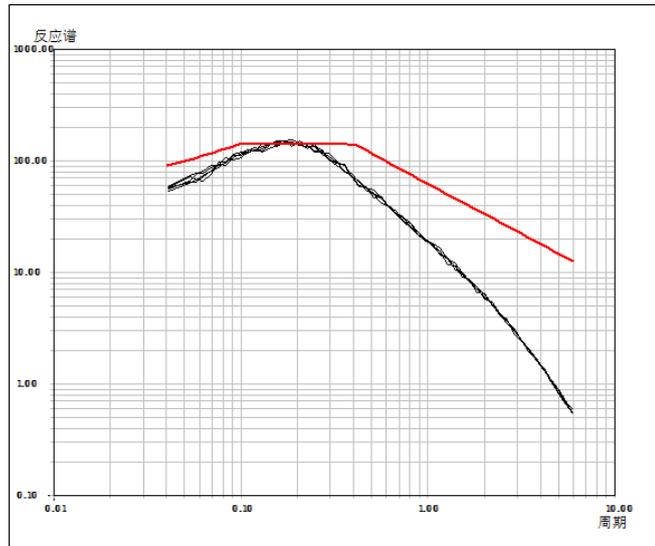


图 7.3.7a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

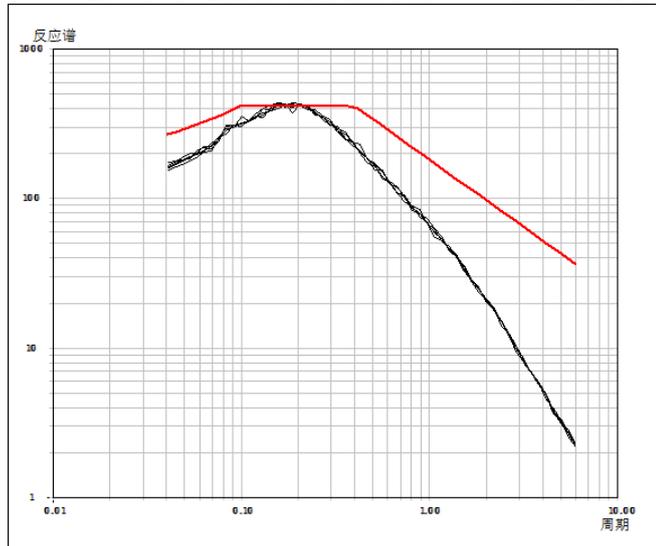


图 7.3.7b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

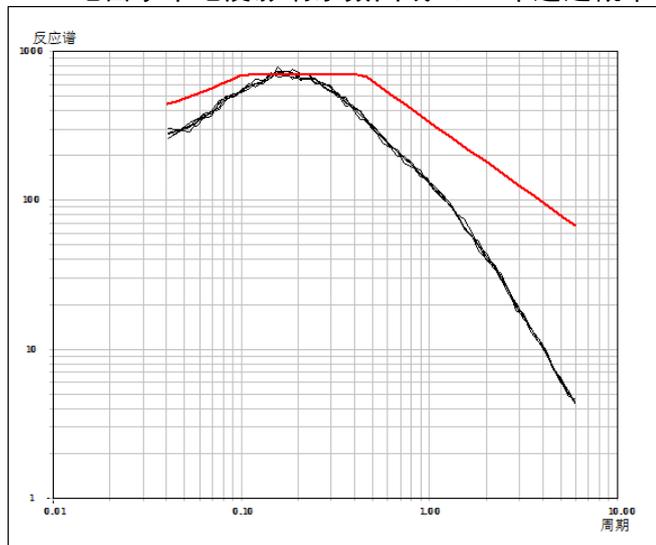


图 7.3.7c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

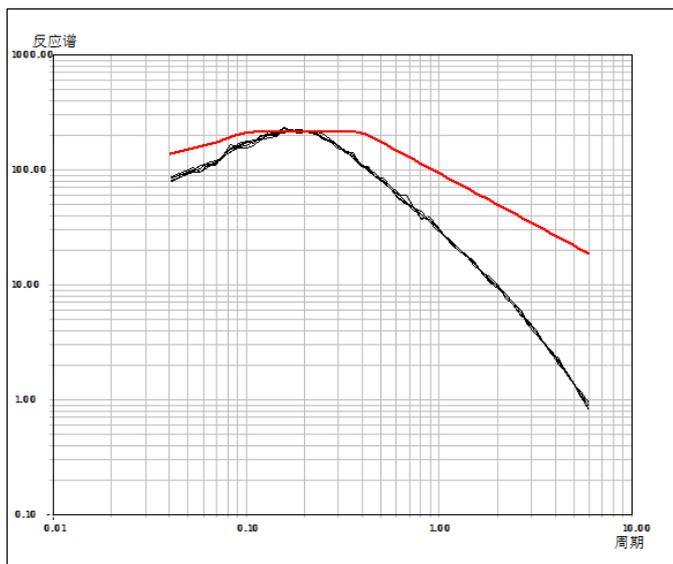


图 7.3.7d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

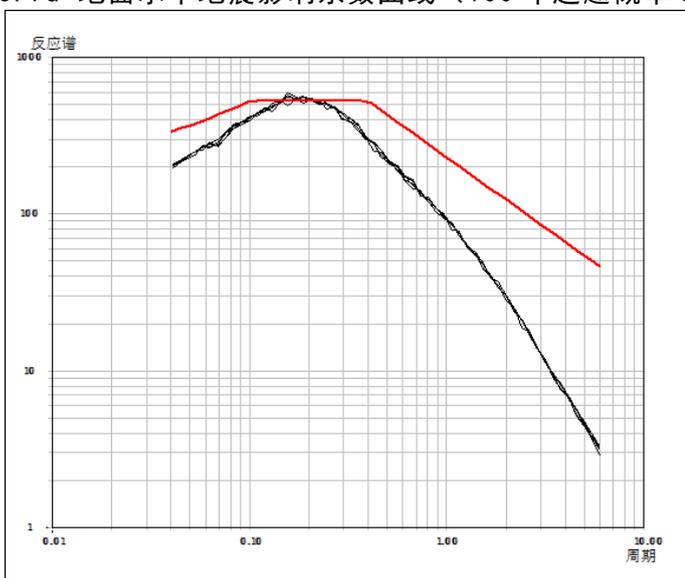


图 7.3.7e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

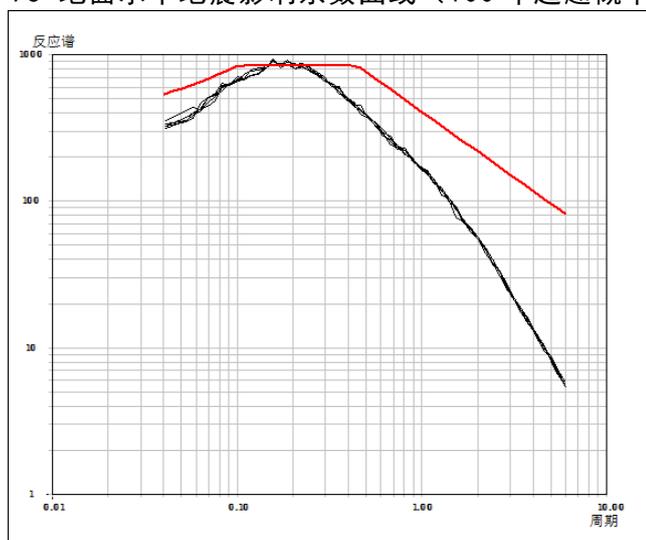


图 7.3.7f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.2.8 控制点 k8 水平加速度放大系数反应谱曲线

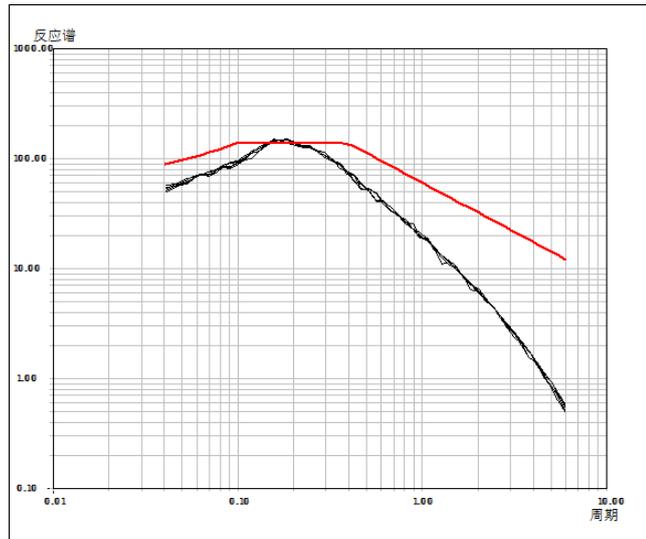


图 7.3.8a 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 63%）

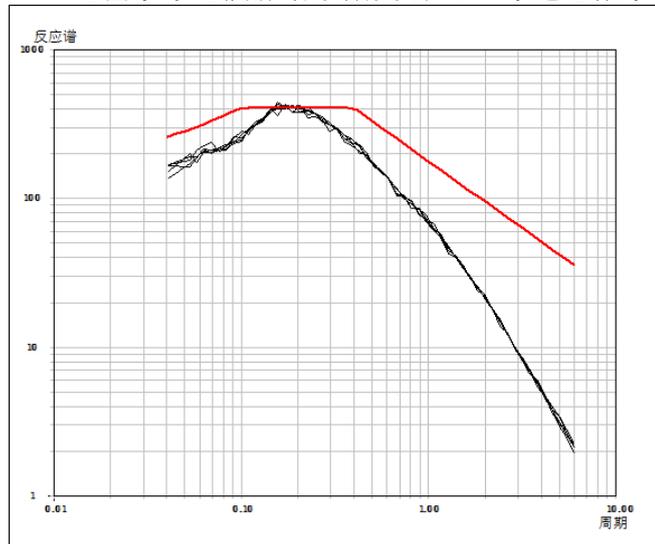


图 7.3.8b 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 10%）

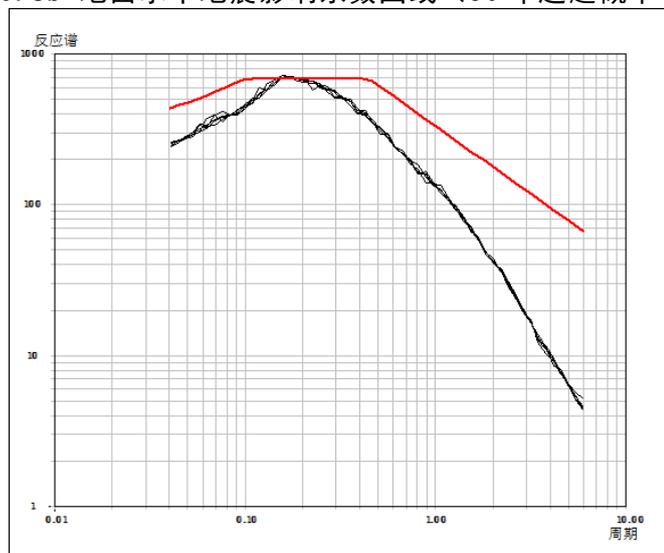


图 7.3.8c 地面水平地震影响系数曲线（50 年超越概率 2%）

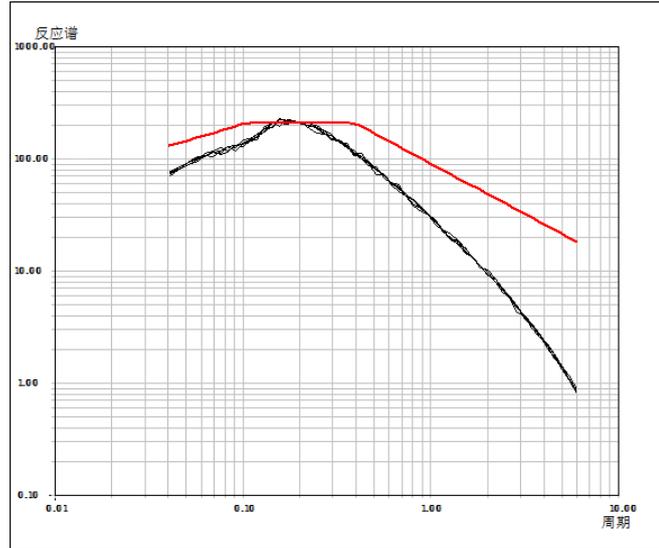


图 7.3.8d 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 63%）

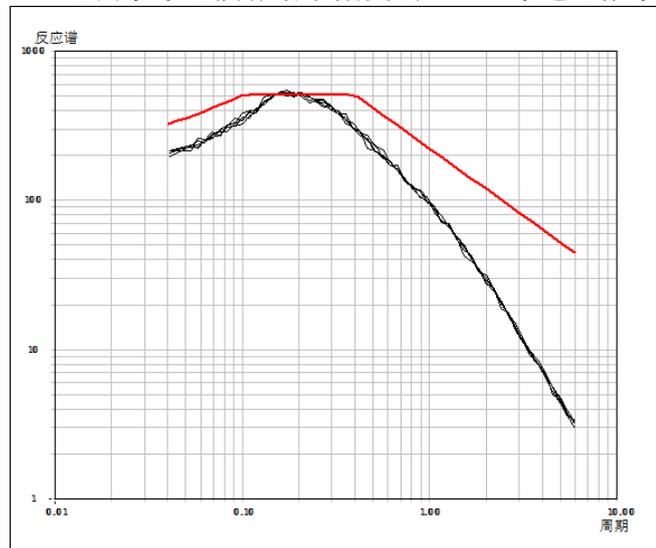


图 7.3.8e 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 10%）

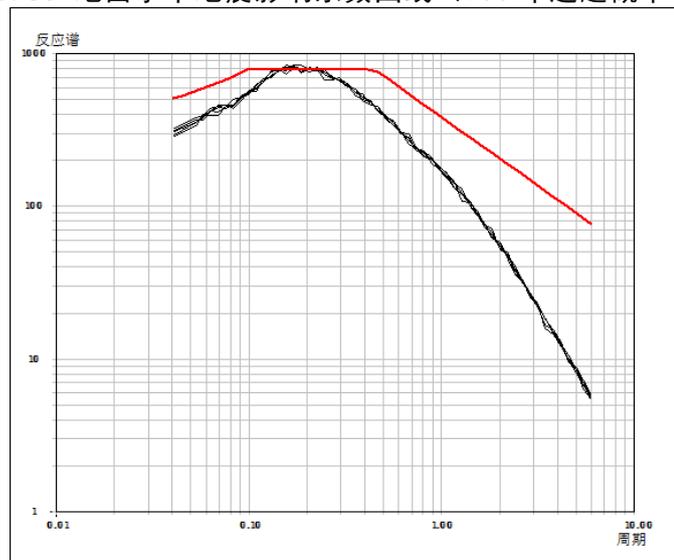


图 7.3.8f 地面水平地震影响系数曲线（100 年超越概率 2%）

7.3.3 地表竖向设计地震动

对需要考虑竖向地震动的建设工程，依据水平向地震动参数结果，采用竖向与水平向地震动比值确定场地竖向地震动，一般建议取比值为 0.65。在场址附近地震活动对场地地震危险性起主要贡献情况下，宜取为 1。

7.3.4 地表加速度时程曲线

以场地地表相关设计加速度反应谱为目标谱拟合人工合成地震动时程，供抗震设计验算时使用，不同超越概率的地表水平向地震加速度时程曲线各提供 5 条。设计地震动时程数据由数据文件形式给出。

7.4 场地地震动参数分区

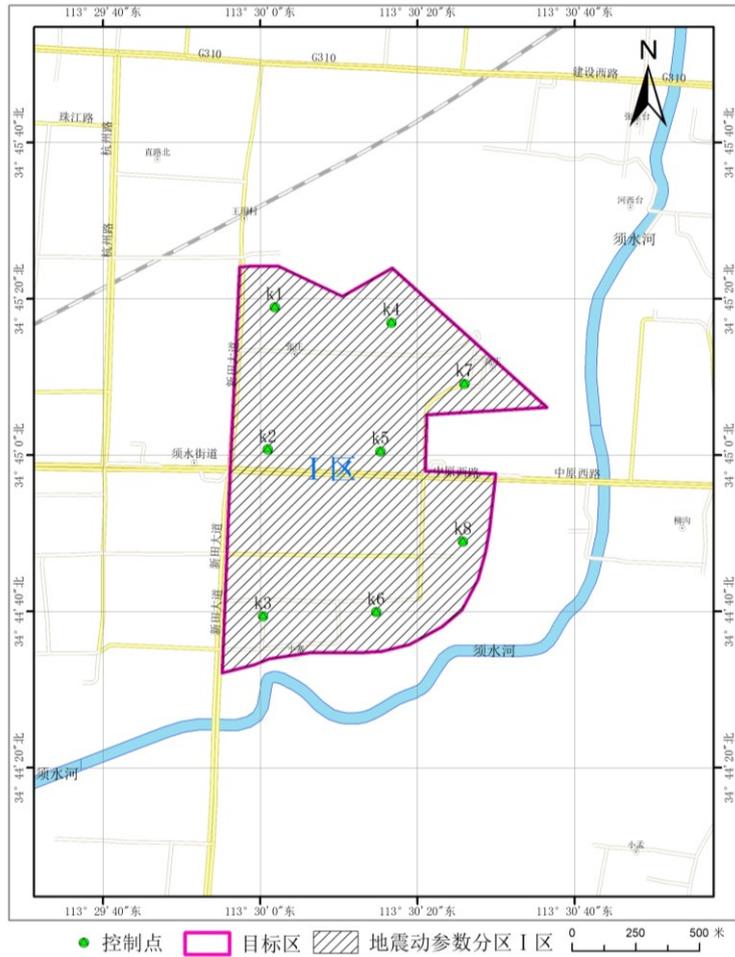
7.4.1 地震动参数区划

以本次工作的 8 个控制点的钻孔一维土层反应的结果为基础，并考虑工程场区地质条件的差异，对场地的地震动参数进行了分区，分区时重点考虑地表 50 年超越概率 10%的加速度峰值和反应谱结果。另外，考虑到本次区划结果须与《中国地震动参数区划图》GB18306-2015 的衔接使用问题，且从安全角度考虑，对分区峰值加速度和反应谱特征周期作了相应的调整。

本次结合工程地质分区和设计地震动参数的分布情况，本目标区全部位于同一个地震动参数分区内，即 I 区，地震动参数分区图如 7.4.1 所示。综合考虑，标定的设计地震动参数如图 7.4.2-1~7.4.2-6。根据各分区地表计算反应谱综合标定的分区地震动参数值如表 7.4.1 所示，便于与区划图结果比较。

表 7.4.1 目标区分区地表水平向峰值加速度和反应谱参数值（5%阻尼比）

分区		超越概率						
		T_1 (秒)	T_g (秒)	β_m	r	A_{max} (gal)	α_{max}	阻尼比
I 区	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	55.1	0.141	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	161.1	0.411	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	270.1	0.689	0.05



7.4.1 地震动参数分区 I 图

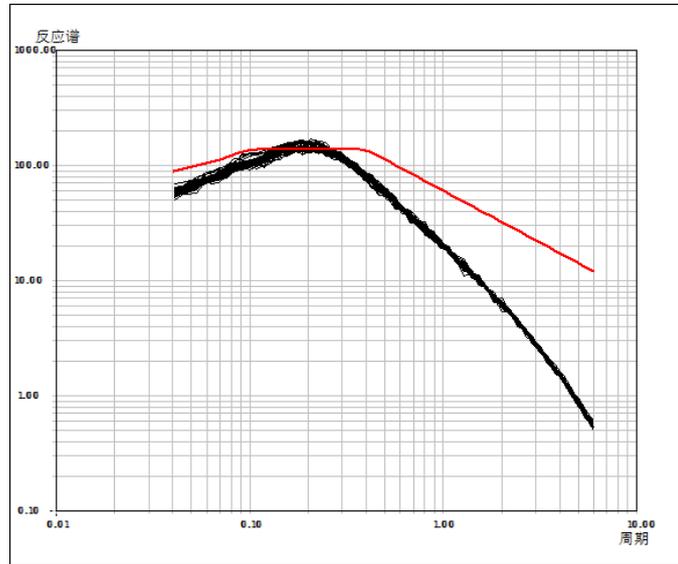


图 7.4.2-1 地面水平地震影响系数曲线 (50 年超越概率 63%)

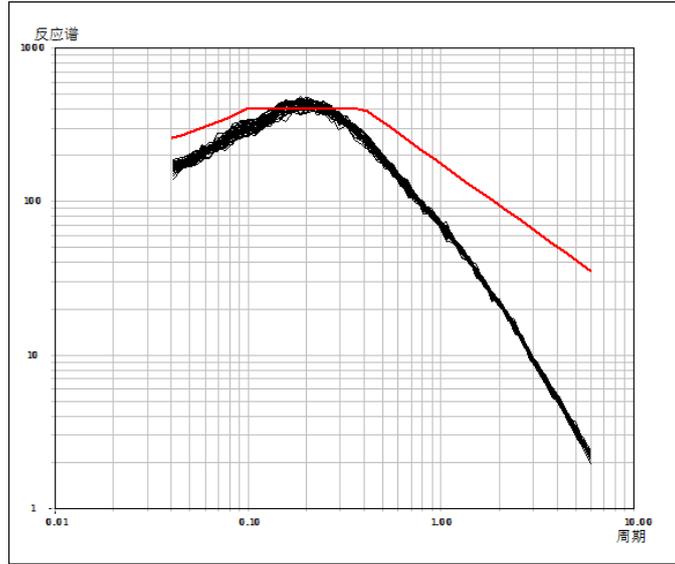


图7.4.2-2 地面水平地震影响系数曲线（50年超越概率10%）

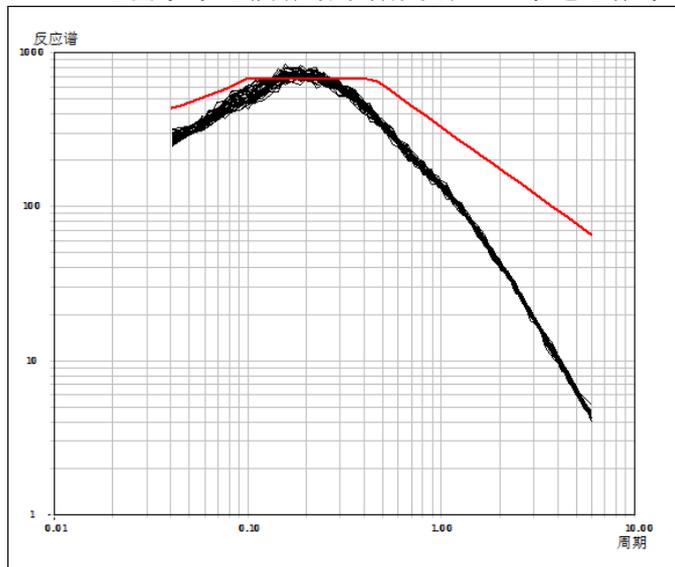


图7.4.2-3 地面水平地震影响系数曲线（50年超越概率2%）

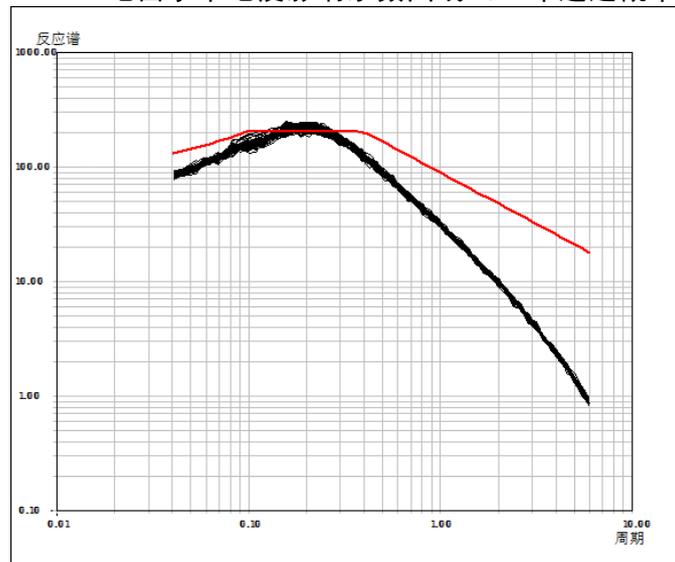


图7.4.2-4 地面水平地震影响系数曲线（100年超越概率63%）

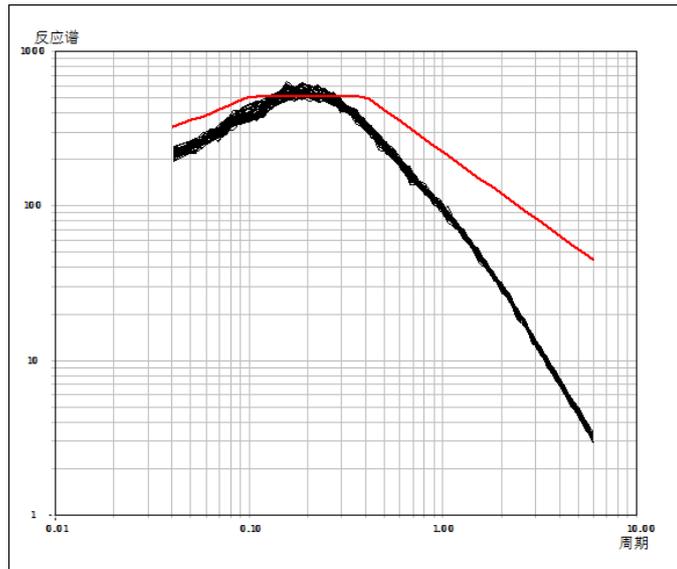


图7.4.2-5 地面水平地震影响系数曲线（100年超越概率10%）

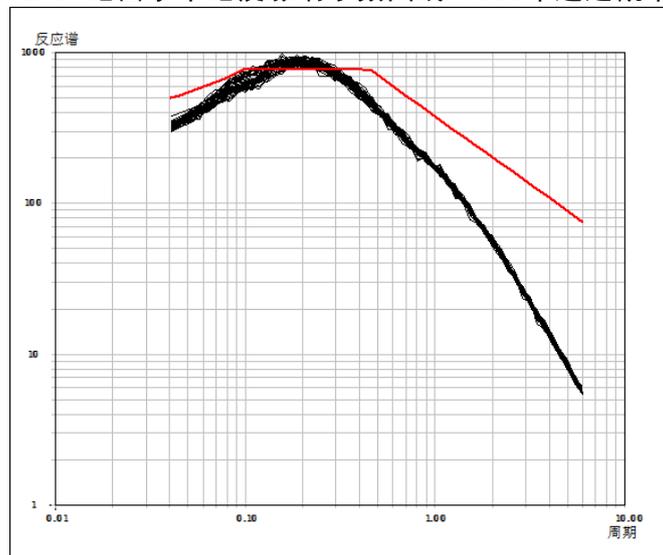


图 7.4.2-6 地面水平地震影响系数曲线（100年超越概率2%）

7.4.2 地震动参数分布

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

按照《区域性地震安全性评价工作大纲》的要求，本章编制目标区多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱区划图，并以等值线形式表示目标区地震动参数分区结果。地震动峰值加速度峰值相邻等值线差异一般为5%且为5gal的倍数，地震动峰值加速度特征周期相邻等值线差异一般为0.05s，图件比例尺不小于1:50000。

7.4.2.1 地表峰值加速度分区

从表 7.3.2 中可以看到，在各个超越概率水准下，各计算点设计地震动参数中的加速度峰值都有一定的差异，并且这种差异随着输入地震动强度的增加增大趋势。这主要来自于目标区范围内工程地质条件和岩土动力学参数的差异。各控制点 50 年超越概率 63%、10%、2%、100 年超越概率 63%、10%、2% 的 PGA 范围见表 7.3.1 所示。在同一超越概率水准下，各控制点地表加速度峰值的差别普遍低于 20%，但通常大于 5% 且为 5gal 的倍数，故本项目目标区范围内需进一步给出加速度峰值分区等值线结果。本次采用克里格插值方法绘制各超越概率地表峰值加速度等值线，各概率水准下的地表加速度峰值分区图如图 7.4.3-1~7.4.3-6 所示。

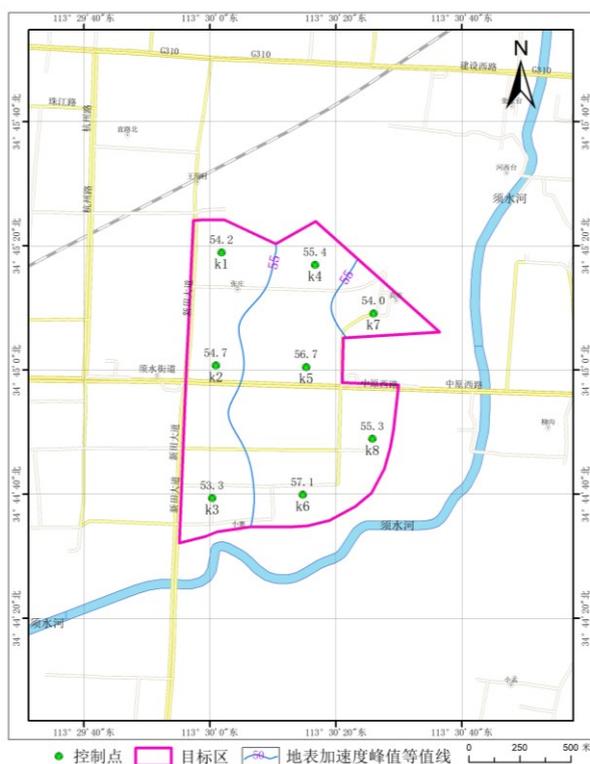


图 7.4.3-1 50 年超越概率 63% 地表加速度峰值分区等值线

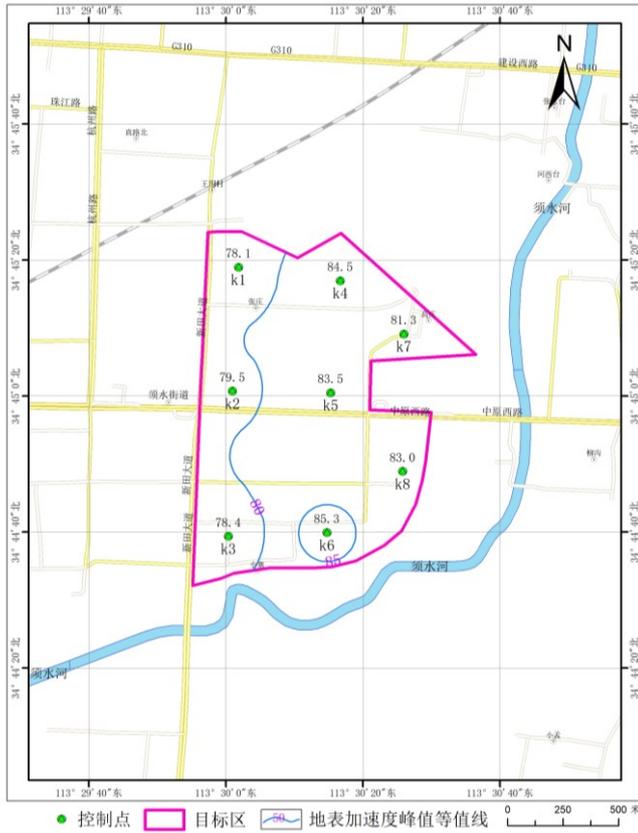


图 7.4.3-2 100 年超越概率 63%地表加速度峰值分区等值线

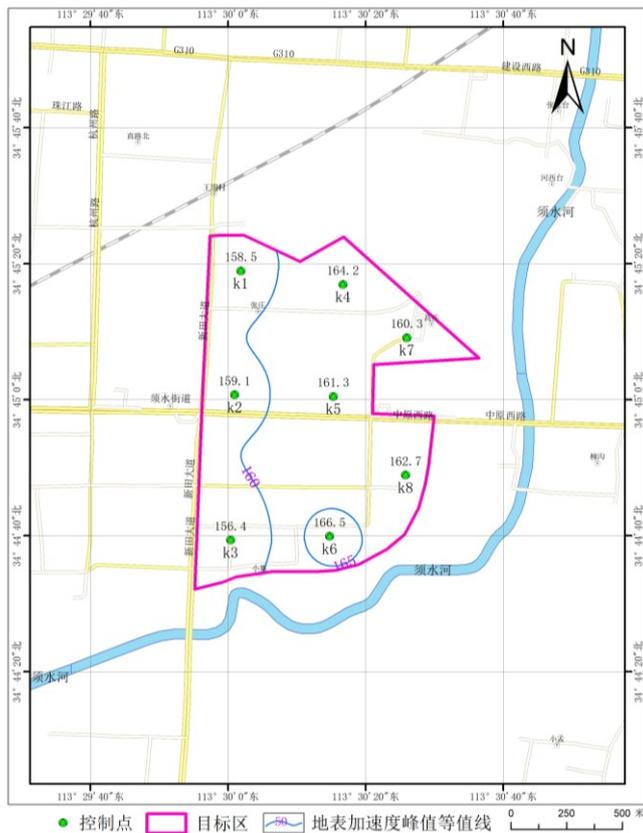


图 7.4.3-3 目标区 50 年超越概率 10%地表加速度峰值分区等值线

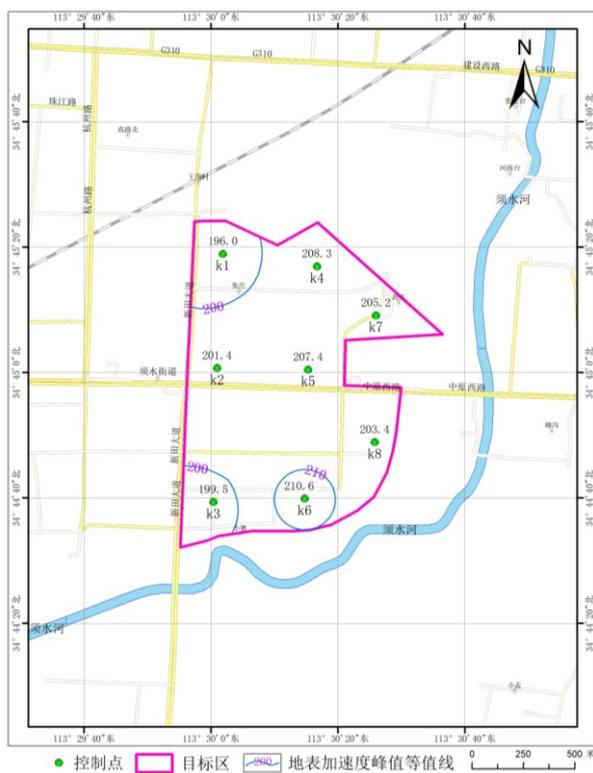


图 7.4.3-4 目标区 100 年超越概率 10%地表加速度峰值分区等值线

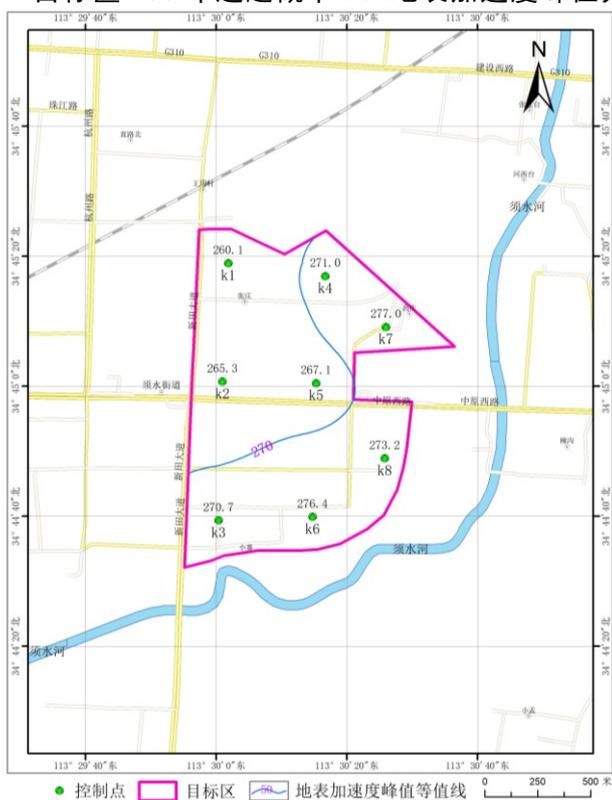


图 7.4.3-5 目标区 50 年超越概率 2%地表加速度峰值分区等值线

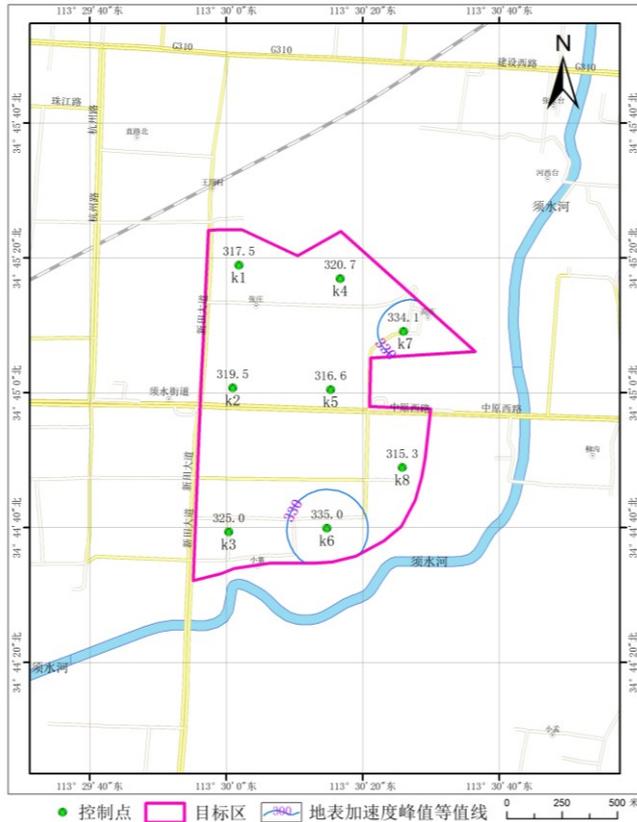


图 7.4.3-6 目标区 100 年超越概率 2% 地表峰值加速度分区等值线

考虑到钻探精度、插值方法、与大区划的协调等多方面的受限和不确定性，峰值加速度等值线图与区划图仅供决策部门参考，不作确定待建工程地震动参数之用。

7.4.2.2 加速度反应谱特征周期分区

目标区各控制钻孔在同一概率水准下地震动加速度反应谱特征周期变化不大（小概率条件下较为明显），故本目标区的反应谱特征周期进行了分区，各控制点的地震动加速度反应谱特征周期分区图如图 7.4.4-1~7.4.4-2 所示。

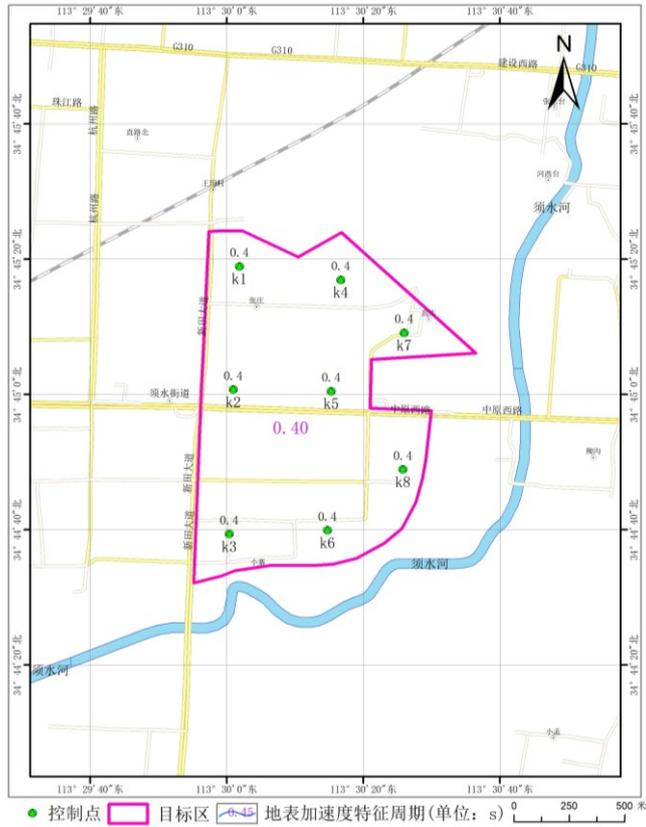


图 7.4.4-1 目标区 50 年超越概率 63%、10%、100 年超越概率 63%、10%地表加速度特征周期图

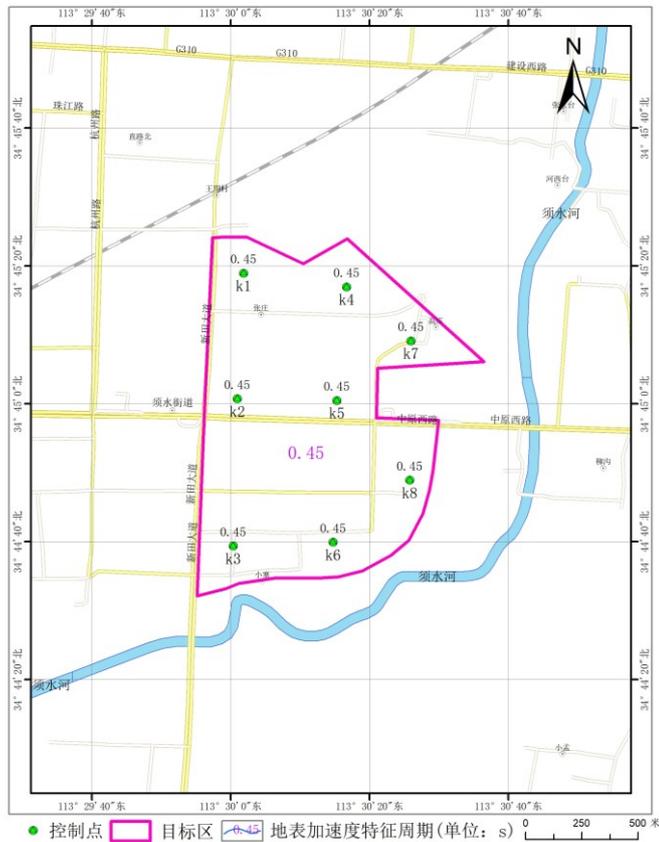
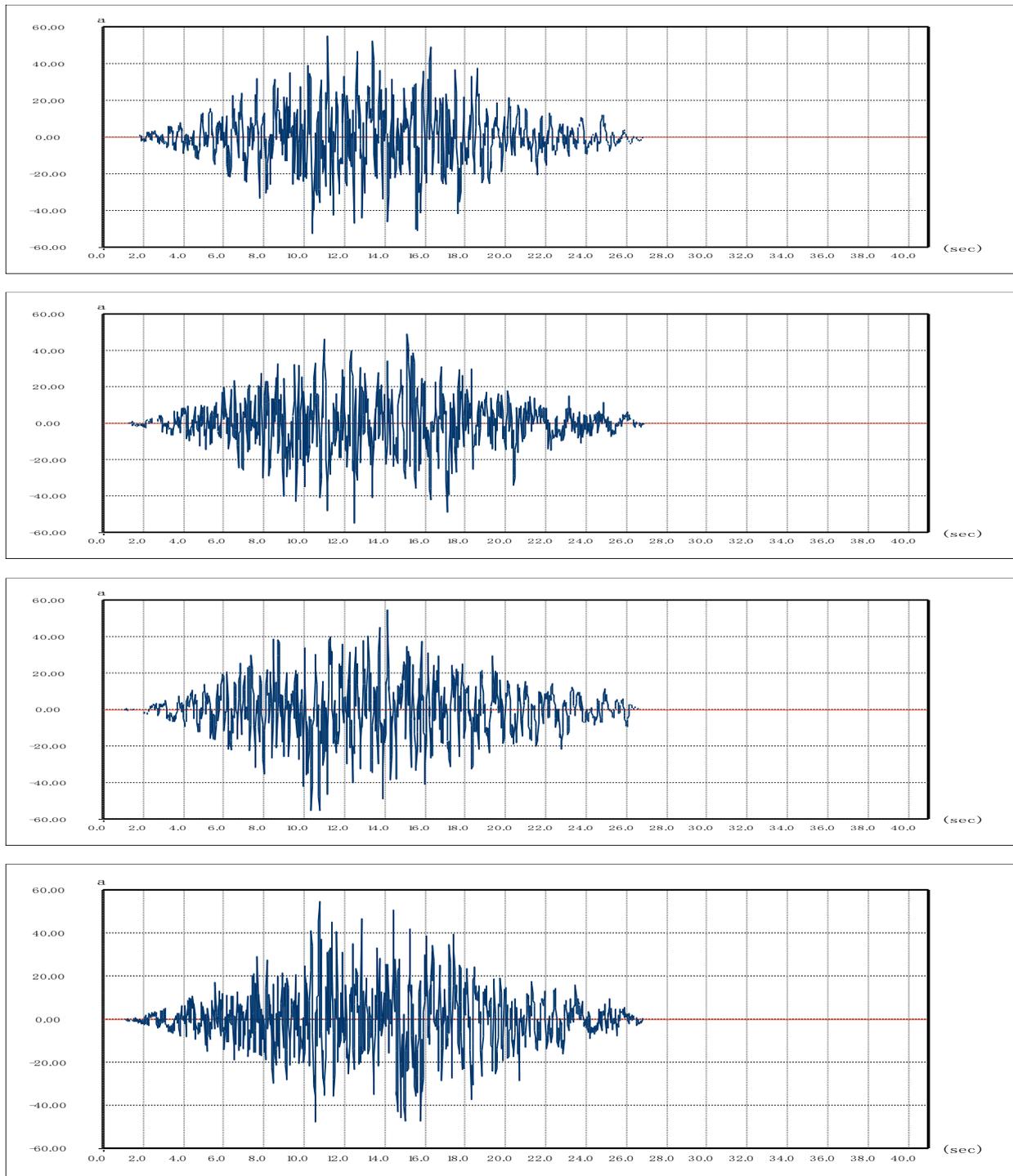


图 7.4.4-2 目标区 50 年超越概率 2%和 100 年超越概率 2%地表加速度特征周期分区图

7.4.3 目标区分区地表加速度时程曲线

以目标区地表相关设计加速度反应谱为谱拟目标合人工合成地震动时程，每个超越概率的地表水平向地震加速度时程曲线各提供 5 条。目标区分区的地表地震动参数分区的各超越概率加速度时程曲线如图 7.4.5 所示。



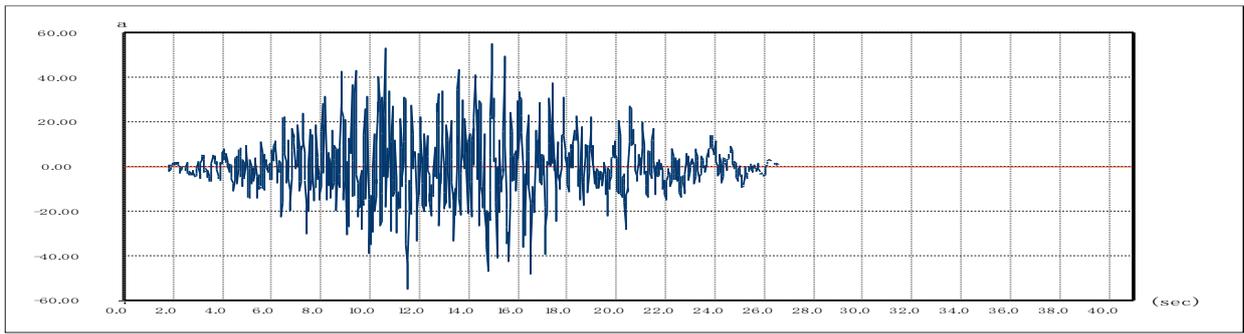
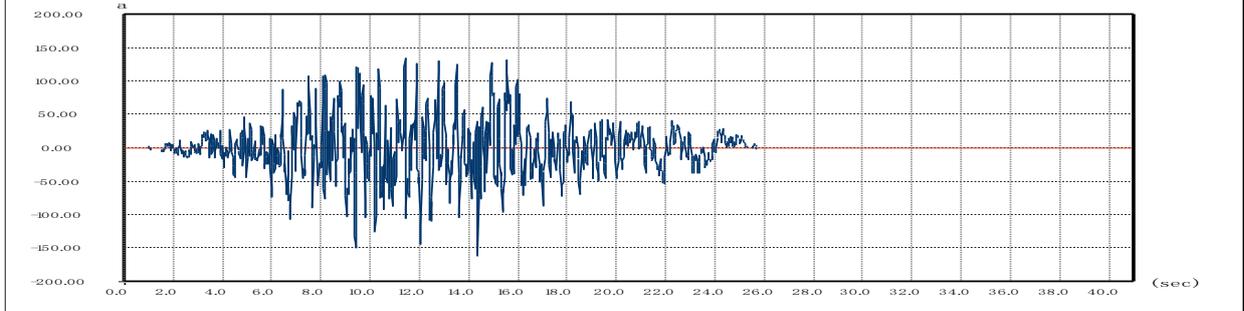
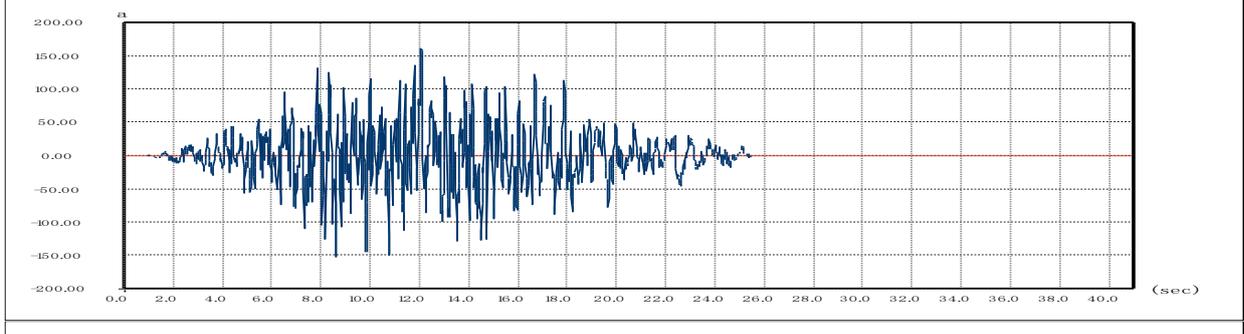
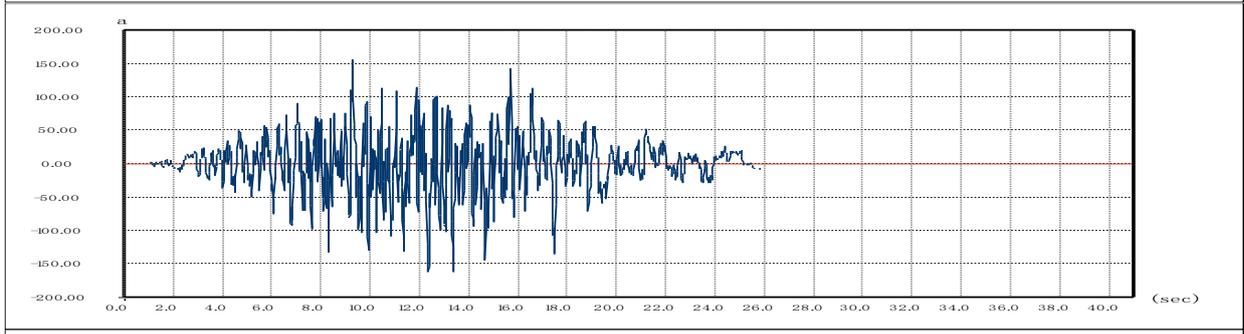
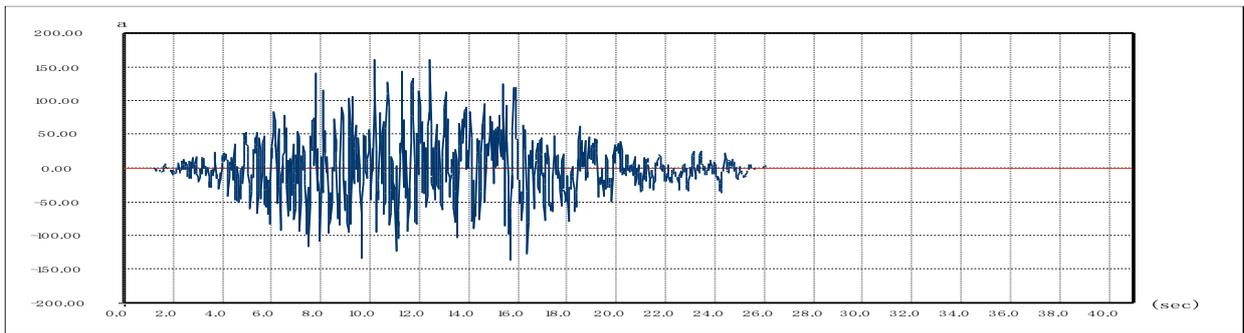


图 7.4.5a 50 年超越概率 63%地表加速度时程



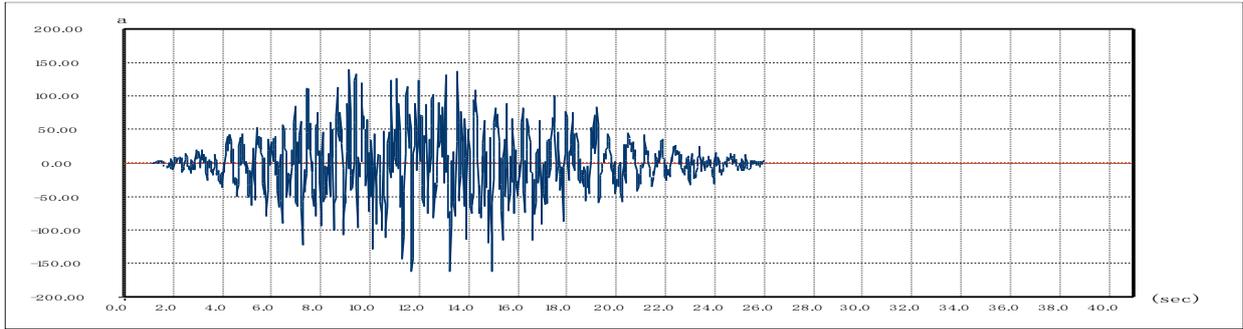
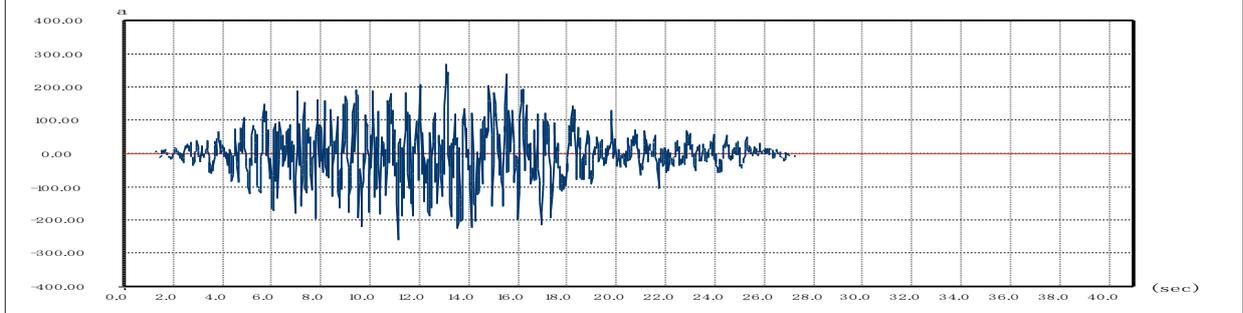
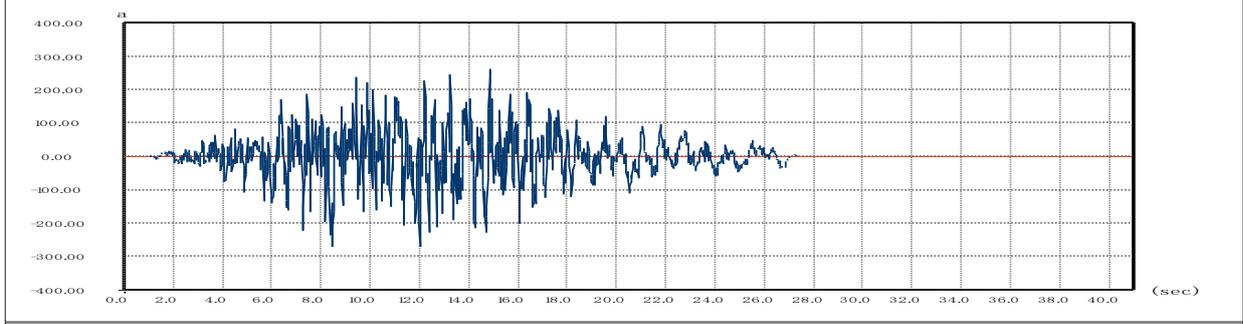
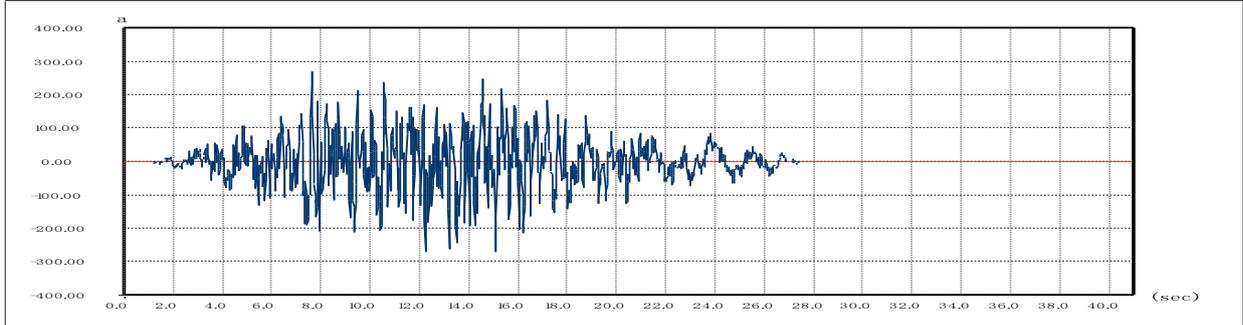
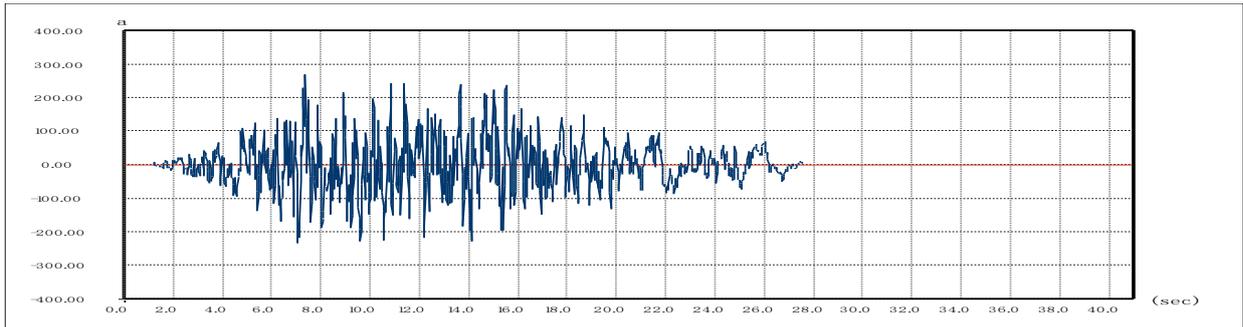


图 7.4.5b 50 年超越概率 10%地表加速度时程



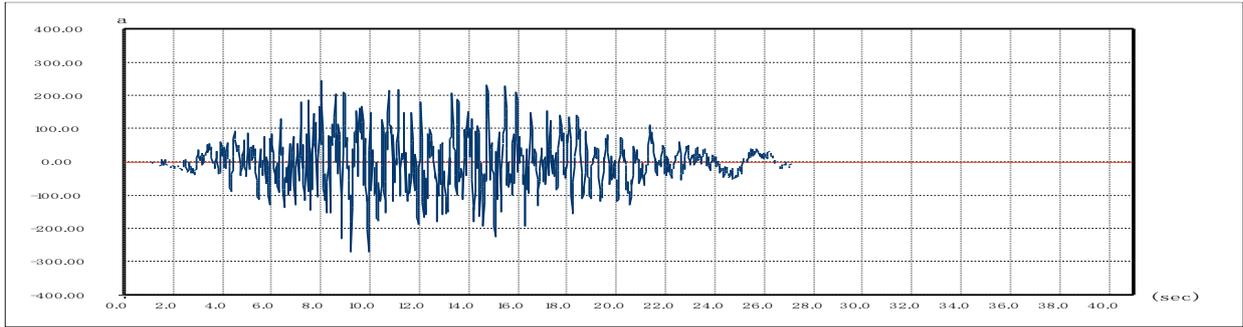
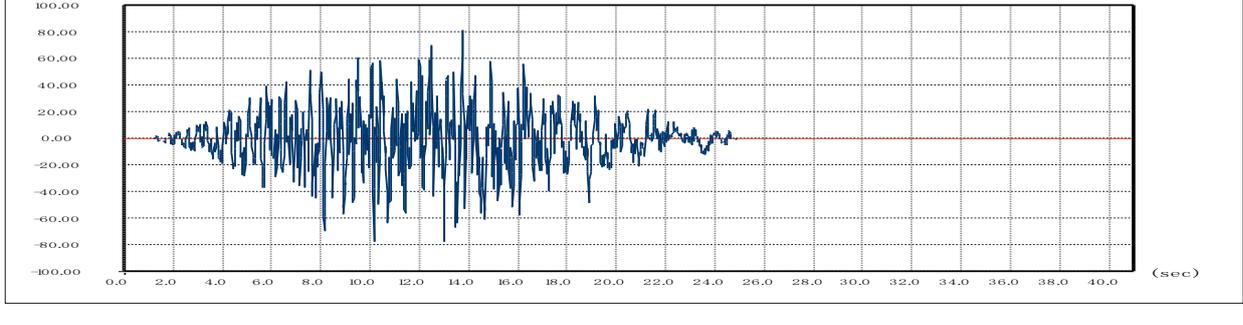
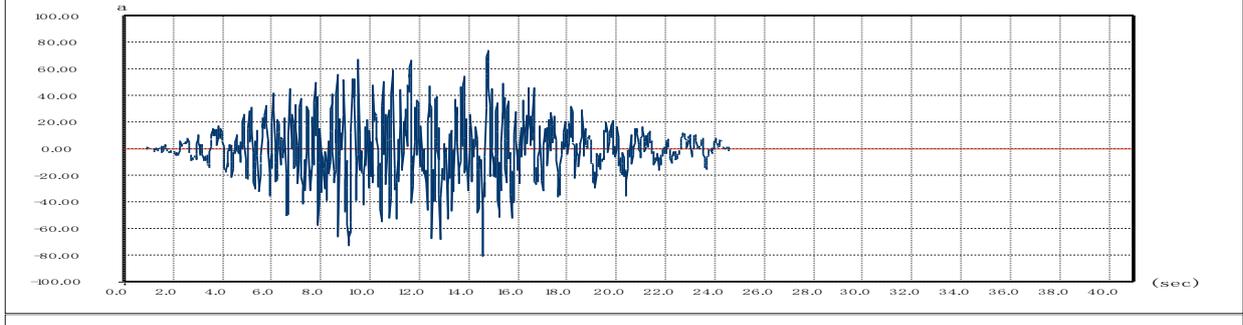
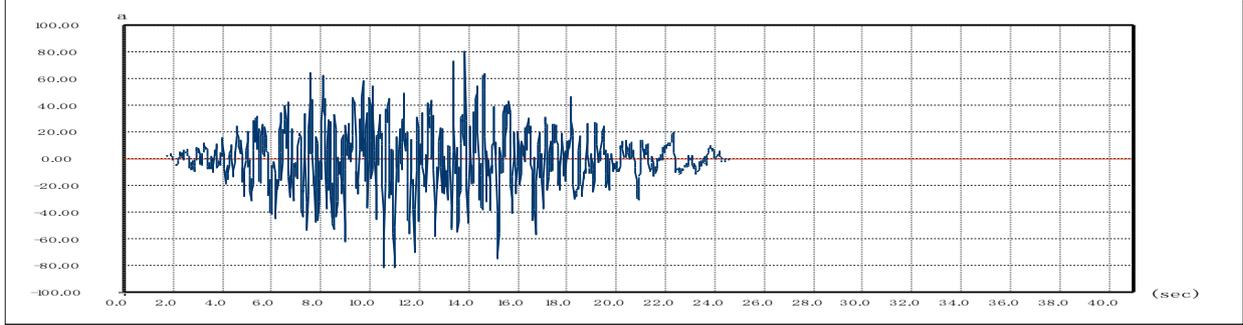
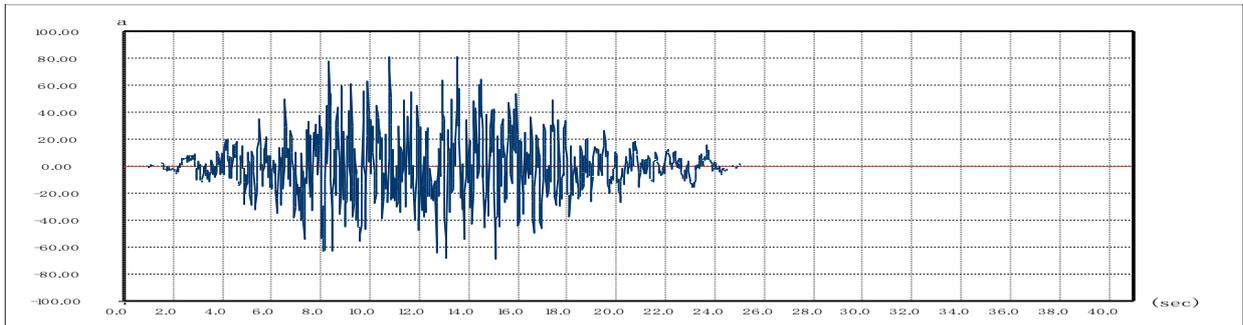


图 7.4.5c 50 年超越概率 2%地表加速度时程



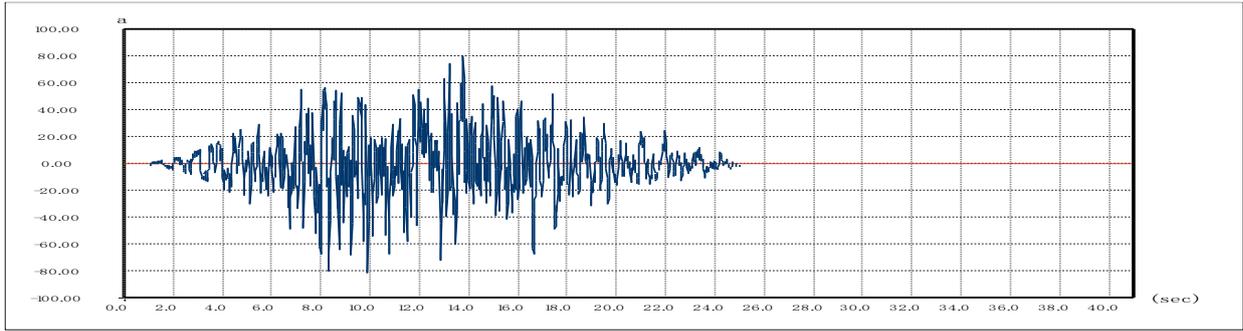
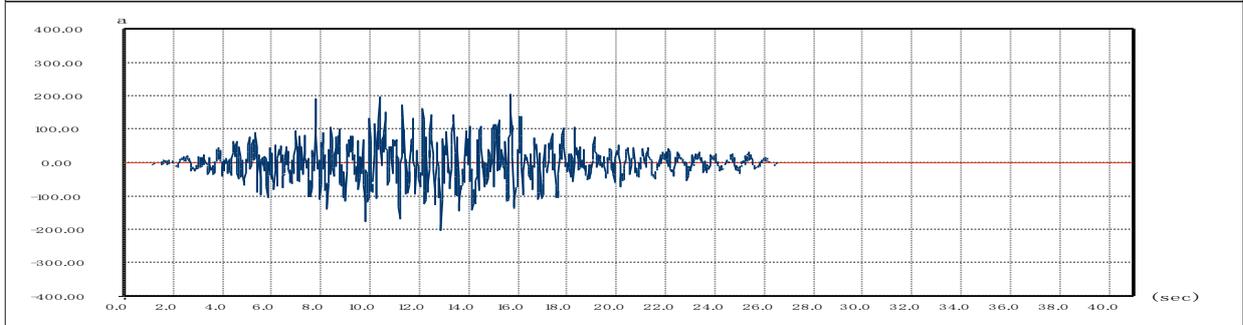
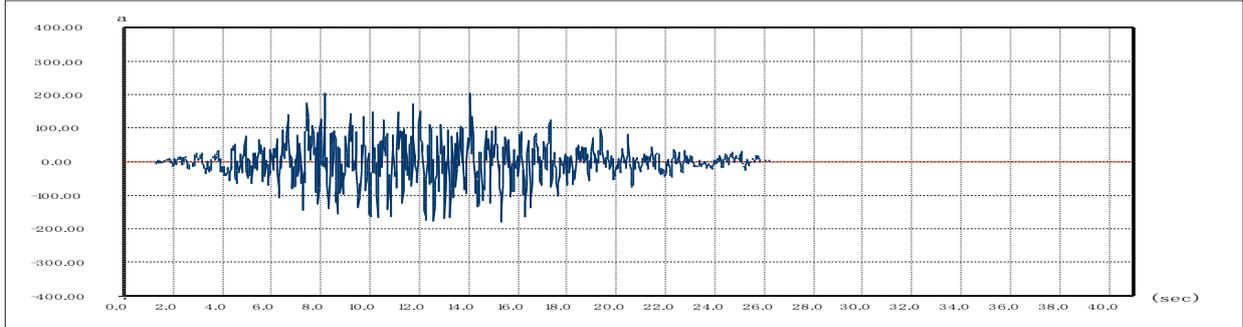
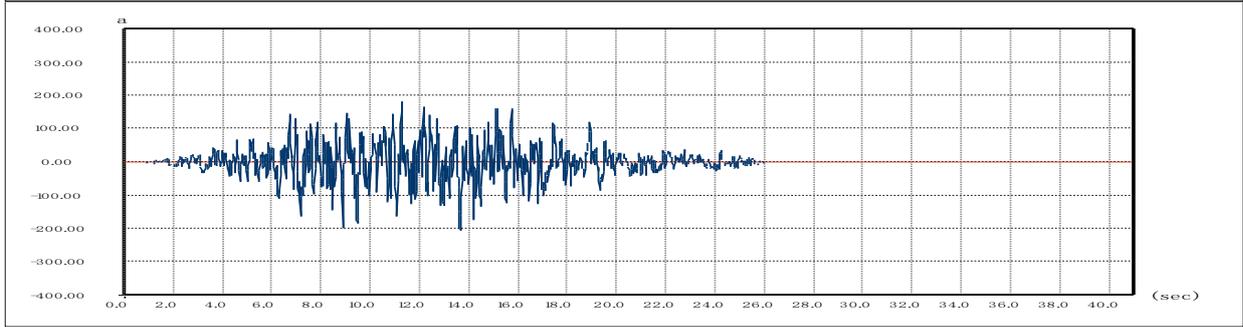
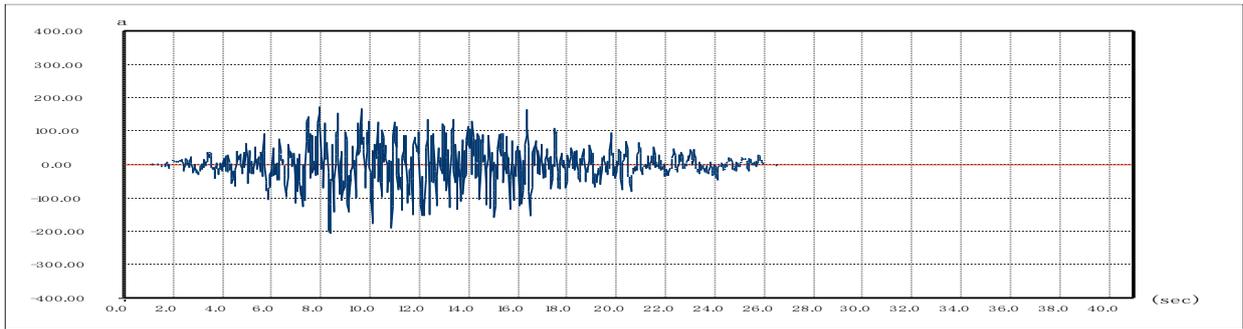


图 7.4.5d 100 年超越概率 63%地表加速度时程



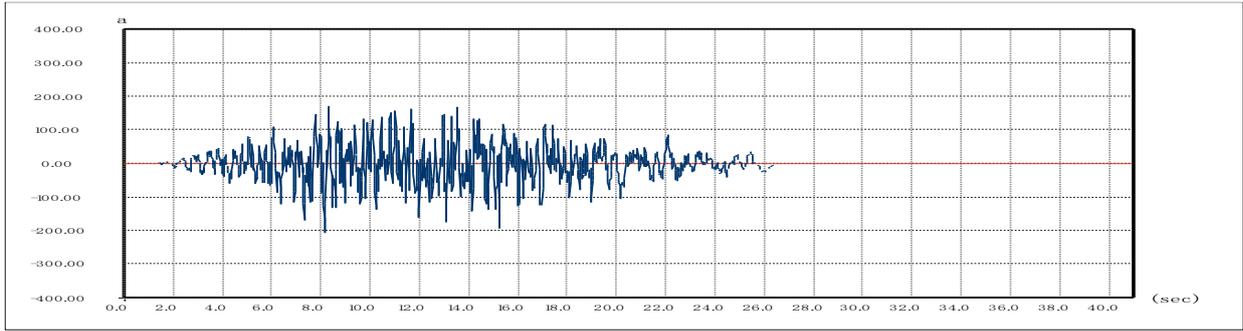
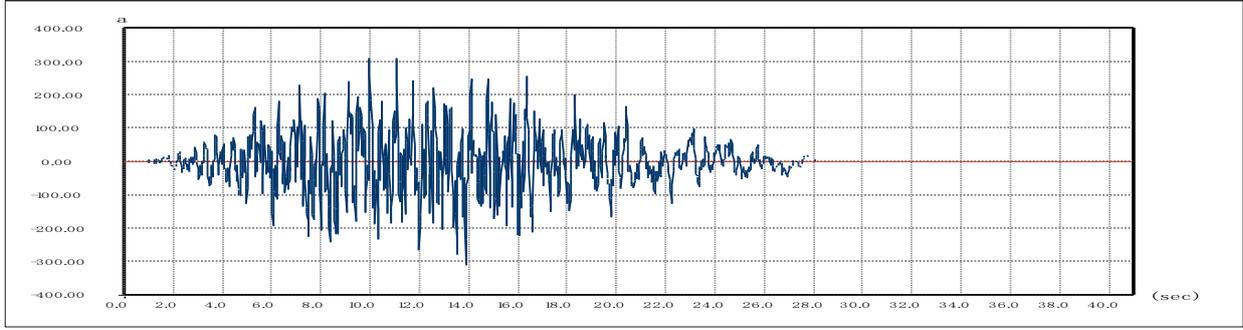
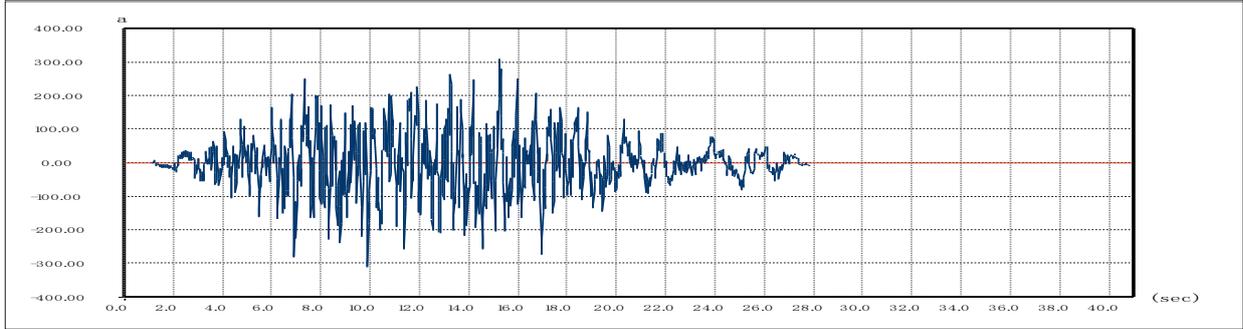
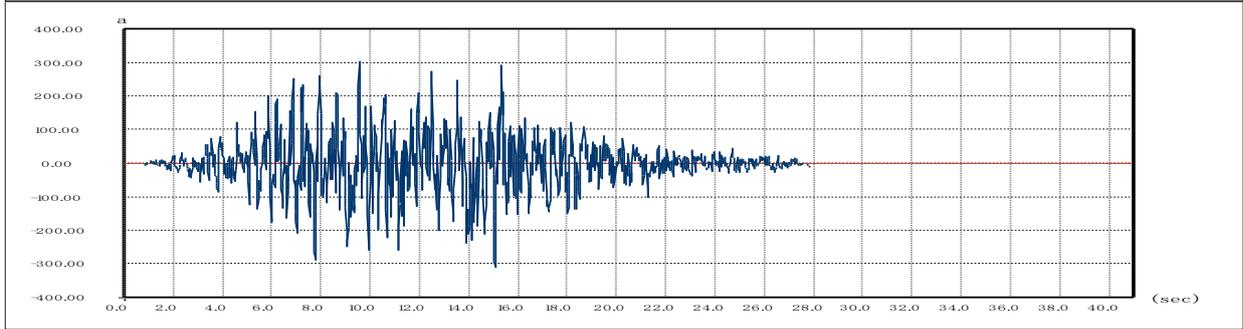
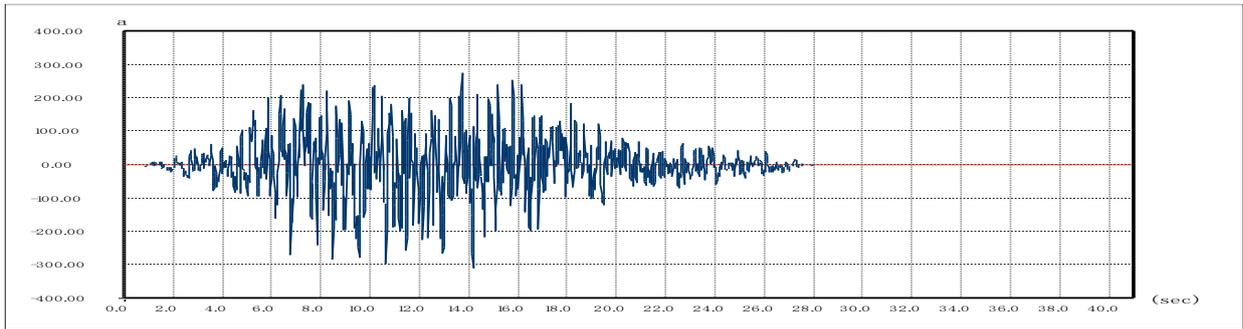


图 7.4.5e 100 年超越概率 10%地表加速度时程



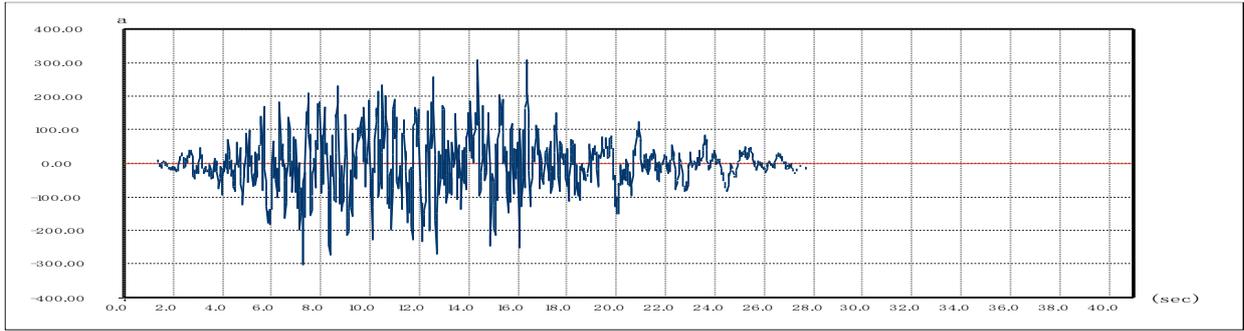


图 7.4.5f 100 年超越概率 2%地表加速度时程

8 地震地质灾害评价

地质灾害是强烈地震动之外造成地震严重灾害损失的第二个重要原因。研究地震地质灾害对于判别地震烈度、判断震中位置等具有重要意义。同时，历次震害表明，对不良地质条件地区，忽略其地震地质灾害的估价，将造成不可低估的损失。

场地地震地质灾害是指由于地震动或断层错动引起的可能影响场地上工程性能的地面破裂（活动断层断错）、场地失效（液化、震陷）、斜坡失稳（崩塌、滑坡）以及海啸、湖涌等灾害。本章节在研究前面各章节资料基础上，综合分析评判该目标区可能遭遇的地震地质灾害，主要包括活动断层断错评价、地基土液化灾害评价、软土震陷评价和坡体崩塌、滑动评价。

8.1 活动断层断错灾害评价

活断层是指目前正在活动着的断层，或曾有过活动而不久的将来可能会重新活动的断层。目前学者普遍认为活动断层是晚更新世（12.5万年）以来活动过并且在将来可能继续活动的断层。其中，全新世活断层（1万年以来）是第一级活断层，晚更新世活断层（1万年之前至12.5万年内）是第二级活断层，不属于第一、二级活断层但是其存在并未受到明确认定的断层是第三级断层。

活动性断裂可以通过地质现象、地球物理勘探等方法进行探查。根据GB50011-2010（2016版）《建筑抗震设计规范》（第四章第一节第七款：场地内存在活动断裂时，应对断裂的工程影响进行评价，并符合下列要求：

1. 对符合下列规定之一的情况，可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响：

1) 抗震设防烈度小于Ⅷ度；

2) 非全新世活动断裂；

3) 抗震设防烈度为Ⅷ度和Ⅸ度时，隐伏断裂的土层覆盖层厚度分别大于60m和90m。

2. 对不符合本条1款规定的情况，应避开主断裂带。其避让距离不宜小于表8-1的规定。在避让距离的范围内确有需要建造分散的、低于三层的丙、丁类建筑时，应提高一度采取抗震措施，并提高基础和上部结构的整体性，且不得跨越断层线。

表8.1.1 防震断裂的最小避让距离 (m)

烈度	建筑抗震设防类别			
	甲	乙	丙	丁
8	专门研究	200m	100m	—
9	专门研究	400m	200m	—

郑州中原新区须水河核心板块位于郑州市中原区须水镇。根据GB18306-2015《中国地震动参数区划图》和本报告第七章研究成果，目标区属于Ⅶ度（0.15g）设防区域。

根据《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）规定地震基本烈度小于Ⅷ时，可不考虑断裂对本目标区的错动影响。通过对目标区及其周围断层分布情况分析，距目标区最近的第四纪活动断裂为须水断层，该断裂穿越本目标区，除此之外没有新近纪以来的断裂通过目标区。根据综合区域资料分析认为此断裂活动性参数为较可靠断层，其最新活动时代为早-中更新世，表现为隐伏断层，上断点埋深为 194~320m 其新近系地层的覆盖厚度 424~678m 之间。根据《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）2016 版第 4.1.7 条之规定，可忽略此断裂在对目标区的地震破坏影响。除此之外未发现其它断层存在的迹象。结合目标区的设防烈度，可不考虑发震断裂错动对地面建筑的影响。

8.2 目标区场地地基土液化灾害评价

松散的砂土、粉土受到震动时有变得更加紧密的趋势。饱和砂土的空隙全部被水填充，这种趋于紧密的作用导致空隙水压力上升，并且在地震过程的短暂时间内水压力来不及消散，致使有效压力减小，当有效压力完全消失时，砂层完全丧失抗剪强度和承载能力，变得像水一样，即是砂土液化现象。这会导致喷砂冒水等地面变形，会是建在完全失去承载能力土体上的建筑发生倾覆等破坏现象。

依据《区域性地震安全性评价大纲（试行）》的要求：场地存在可液化土层且具液化可能性时，对地面以下10m 深度内和10m-30m 深度范围内的可液化土层进行地震液化判别，其中地面以下10m 深度范围内可依照有关行业标准进行地震液化判别，地面以下10m-30m深度范围内，可采用标准贯入试验判别法进行地震液化判别。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）第4.3.4节，采用标准贯入试验判别法判别地面下10m范围内土的液化判别标准贯入锤击数临界值可按下式计算：

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{3/p_c} \quad (\text{公式 8.2.1})$$

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 8.2.1 采用；

d_s ——饱和土标准贯入点深度(m)；

d_w ——地下水位(m)，液化判别时水位取天然地面标高 0m；

p_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，本项目位于第一组内，故取 0.95。

表 8.2.1 液化判别标准贯入锤击数标准值 N_0

设计基本地震加速度 (g)	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
液化判别标准贯入技术基准值	7	10	12	16	19

实测标贯击数 N 不大于标准贯入击数临界值 N_{cr} 时，判为液化。10m-30m 深度范围内，液化判别标准贯入击数临界值 N_{cr} 按中震防函（2019）21 号文中推进公式计算，如下公式 8.2.2：

$$N_{cr} = \gamma \beta_0 \frac{58\alpha_{max}}{\alpha_{max}+0.4} \times (1-0.02d_w) \times \left(0.27 + \frac{d_s}{d_s+6.2}\right) \times \sqrt{\frac{3}{p_c}} \quad (\text{公式 8.2.2})$$

式中：

N_{cr} ——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，位于 GB18306-2015 中基本地震动加速度反应谱特征周期 0.35s、0.40s 和 0.45s 分区内场地，分别取 0.85、1.00 和 1.10；

α_{max} ——场地地震动峰值加速度 (gn)；

d_w ——地下水位深度 (m)

d_s ——可液化土层标准贯入点深度 (m)

p_c ——黏粒含量百分比，小于 3 或为砂土时取 3。

根据本工程的工程地质勘察报告，目标区内土层分布：杂填土，粉土、粉质黏土，黏土、泥岩。依据工作大纲提供的计算公式，计算出钻孔在不同地震动峰值加速度情况下的液化情况。根据GB50021-2001《岩土工程勘察规范》(2009版)，经过8个钻孔对初判后，其中有8个钻孔符合需进一步进行液化判别，并对这8个钻孔进行了标准贯入试验，钻孔进行砂土液化初判的规定，根据初判结果，K1、K2、K3、K4、K5、K6、K7、K8号孔需进一步砂土液化判别。则以上各钻孔30.0m以内饱和粉土在0.10g、0.15g、0.20g、0.30g地震作用下， β_0 取1.1，水位取2.0m， α_{max} 分别取0.10g、0.15g、0.20g、0.30g，液化判别结果如下表8.2.2~8.2.5。

钻孔编号：K1 地下水位：2.0(m) α_{max} ：0.10 g 表 8.2.2-1

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.7	10.0	3.11	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.2	8.0	3.67	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	9.5	9.0	4.20	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.1	11.0	4.63	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.9	10.0	4.49	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.5	11.0	4.39	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	13.6	12.0	4.38	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	11.9	13.0	4.84	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	12.8	14.0	4.80	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.1	11.0	4.86	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.5	12.0	4.89	—	不液化
2-3	13.15-13.35	粉土	11.8	14.0	5.33	—	不液化
2-3	14.15-14.35	粉土	12.7	13.0	5.22	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	13.2	15.0	5.20	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.7	13.0	5.37	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	14.0	5.25	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.3	15.0	5.18	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0				液化等级: 不液化			

钻孔编号：K2 地下水位：2.0(m) α_{max} ：0.10 g 表 8.2.2-2

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.1	10.0	3.20	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.9	12.0	3.55	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	11.2	15.0	3.87	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.8	17.0	4.46	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.4	16.0	4.59	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.6	18.0	4.77	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	11.2	17.0	4.83	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	10.5	16.0	5.16	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	13.0	5.09	—	不液化

2-3	17.15-17.35	粉土	11.4	19.0	5.74	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	12.5	13.0	5.54	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K3 地下水水位: 2.0(m) α max: 0.10 g 表 8.2.2-3

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	(1-Ni/Ncri) \times diWi	液化判别结果
2-1	5.15-5.35	粉土	12.3	9.0	8.53	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	11.2	10.0	9.48	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.4	11.0	10.32	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	10.8	13.0	10.54	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	12.3	15.0	10.21	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	17.0	10.90	—	不液化
2-2	11.15-11.35	粉土	10.8	16.0	11.48	—	不液化
2-2	12.15-12.35	粉土	11.7	15.0	11.26	—	不液化
2-2	13.15-13.35	粉土	13.6	17.0	10.64	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	14.2	16.0	11.14	—	不液化
2-3	19.15-19.35	粉土	12.7	12.0	11.89	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K4 地下水水位: 2.0(m) α max: 0.10 g 表 8.2.2-4

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	(1-Ni/Ncri) \times diWi	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.6	7.0	2.99	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.5	9.0	3.61	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	13.4	8.0	3.54	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	12.3	10.0	3.98	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	10.7	11.0	4.53	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.8	10.0	4.52	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	13.6	12.0	4.38	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	12.7	11.0	4.69	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	10.8	13.0	5.23	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.7	14.0	4.94	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	10.9	14.0	5.45	—	不液化
2-3	13.15-13.35	粉土	14.3	15.0	4.84	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	11.8	13.0	5.42	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	12.7	12.0	5.30	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	11.8	14.0	5.57	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	14.0	5.25	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	12.4	12.0	5.56	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K5 地下水水位: 2.0(m) α max: 0.10 g 表 8.2.2-5

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	(1-Ni/Ncri) \times diWi	液化判别结果
2-1	1.15-2.35	粉土	10.6	7.0	2.53	—	不液化
2-1	2.15-2.35	粉土	14.1	6.0	2.71	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	12.1	9.0	3.37	—	不液化

2-1	4.15-4.35	粉土	11.8	11.0	3.77	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	11.2	13.0	4.17	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.6	11.0	4.02	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.4	14.0	4.60	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	14.5	12.0	4.24	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	13.2	15.0	4.60	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	11.8	17.0	5.00	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.7	16.0	4.94	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.5	14.0	4.89	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	14.3	12.0	5.00	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	11.9	13.0	5.55	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	15.0	5.25	—	不液化
液化指数 (IIE): 0 液化等级: 不液化							

钻孔编号: K6 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.10 g 表 8.2.2-6

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	5.15-5.35	粉土	13.4	10.0	3.81	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	12.5	9.0	4.19	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	14.1	12.0	4.14	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	12.6	13.0	4.55	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	13.4	14.0	4.56	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.8	15.0	5.00	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.6	13.0	4.96	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.4	12.0	4.91	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	10.8	13.0	5.75	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.5	12.0	5.42	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	10.4	14.0	6.01	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.2	15.0	5.20	—	不液化
液化指数 (IIE): 0 液化等级: 不液化							

钻孔编号: K7 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.10 g 表 8.2.2-7

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	1.15-1.35	粉土	10.8	6.0	2.50	—	不液化
2-1	2.15-2.35	粉土	12.3	8.0	2.90	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	11.4	12.0	3.47	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	13.2	15.0	3.56	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	14.1	16.0	3.72	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.6	9.0	4.02	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.3	15.0	4.43	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	11.7	17.0	4.73	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	11.8	16.0	4.86	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	12.6	18.0	4.84	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.4	16.0	4.81	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	11.5	18.0	5.30	—	不液化
2-4	13.15-13.35	粉土	12.8	17.0	5.12	—	不液化

2-4	14.15-14.35	粉土	13.4	19.0	5.09	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	14.7	20.0	4.93	—	不液化
2-5	16.15-16.35	粉土	11.6	21.0	5.62	—	不液化
2-5	17.15-17.35	粉土	13.2	23.0	5.33	—	不液化
2-5	18.15-18.35	粉土	10.9	17.0	5.93	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K8 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.10 g 表 8.2.2-8

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.2	7.0	3.04	—	不液化
2-2	3.15-3.35	粉土	13.5	8.0	3.19	—	不液化
2-2	4.15-4.35	粉土	10.6	9.0	3.98	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	12.8	10.0	3.90	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.1	9.0	4.09	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.5	10.0	4.58	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	13.7	11.0	4.37	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	10.5	14.0	5.16	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	12.6	13.0	5.25	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	11.4	15.0	5.60	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	14.5	11.0	5.03	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.5	15.0	5.27	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	11.4	13.0	5.80	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K1 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15 g 表 8.2.3-1

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.7	10.0	3.96	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.2	8.0	5.00	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	9.5	9.0	5.73	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.1	11.0	6.31	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.9	10.0	6.12	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.5	11.0	5.99	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	13.6	12.0	5.98	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	11.9	13.0	6.60	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	12.8	14.0	6.55	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.1	11.0	6.63	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.5	12.0	6.67	—	不液化
2-3	13.15-13.35	粉土	11.8	14.0	7.27	—	不液化
2-3	14.15-14.35	粉土	12.7	13.0	7.12	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	13.2	15.0	7.09	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.7	13.0	7.33	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	14.0	7.16	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.3	15.0	7.06	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K2 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15 g 表 8.2.3-2

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.1	10.0	5.34	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.9	12.0	5.91	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	11.2	15.0	6.45	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.8	17.0	7.43	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.4	16.0	6.26	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.6	18.0	6.51	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	11.2	17.0	6.59	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	10.5	16.0	8.59	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	13.0	8.48	—	不液化
2-3	17.15-17.35	粉土	11.4	19.0	9.56	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	12.5	13.0	9.23	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K3 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15 g 表 8.2.3-3

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	5.15-5.35	粉土	12.3	9.0	5.43	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	11.2	10.0	6.04	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.4	11.0	6.57	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	10.8	13.0	6.71	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	12.3	15.0	6.50	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	17.0	6.94	—	不液化
2-2	11.15-11.35	粉土	10.8	16.0	7.30	—	不液化
2-2	12.15-12.35	粉土	11.7	15.0	7.17	—	不液化
2-2	13.15-13.35	粉土	13.6	17.0	6.77	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	14.2	16.0	7.09	—	不液化
2-3	19.15-19.35	粉土	12.7	12.0	7.57	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K4 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15 g 表 8.2.3-4

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.6	7.0	4.07	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.5	9.0	4.93	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	13.4	8.0	4.82	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	12.3	10.0	5.43	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	10.7	11.0	6.18	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.8	10.0	6.17	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	13.6	12.0	5.98	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	12.7	11.0	6.39	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	10.8	13.0	7.13	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.7	14.0	6.74	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	10.9	14.0	7.43	—	不液化
2-3	13.15-13.35	粉土	14.3	15.0	6.60	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	11.8	13.0	7.39	—	不液化

2-4	15.15-15.35	粉土	12.7	12.0	7.23	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	11.8	14.0	7.60	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	14.0	7.16	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	12.4	12.0	7.58	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K5 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15 g 表 8.2.3-5

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	1.15-2.35	粉土	10.6	7.0	3.45	—	不液化
2-1	2.15-2.35	粉土	14.1	6.0	3.69	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	12.1	9.0	4.59	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	11.8	11.0	5.14	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	11.2	13.0	5.69	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.6	11.0	5.48	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.4	14.0	6.28	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	14.5	12.0	5.79	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	13.2	15.0	6.27	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	11.8	17.0	6.82	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.7	16.0	6.74	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.5	14.0	6.67	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	14.3	12.0	6.81	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	11.9	13.0	7.57	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	15.0	7.16	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K6 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15 g 表 8.2.3-6

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	5.15-5.35	粉土	13.4	10.0	5.20	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	12.5	9.0	5.71	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	14.1	12.0	5.64	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	12.6	13.0	6.21	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	13.4	14.0	6.22	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.8	15.0	6.82	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.6	13.0	6.76	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.4	12.0	6.70	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	10.8	13.0	7.84	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.5	12.0	7.38	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	10.4	14.0	8.19	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.2	15.0	7.09	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K7 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15g 表 8.2.3-7

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	1.15-1.35	粉土	10.8	6.0	3.41	—	不液化
2-1	2.15-2.35	粉土	12.3	8.0	3.96	—	不液化

2-1	3.15-3.35	粉土	11.4	12.0	4.73	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	13.2	15.0	4.86	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	14.1	16.0	5.07	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.6	9.0	5.48	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.3	15.0	6.04	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	11.7	17.0	6.44	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	11.8	16.0	6.63	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	12.6	18.0	6.60	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.4	16.0	6.56	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	11.5	18.0	7.23	—	不液化
2-4	13.15-13.35	粉土	12.8	17.0	6.98	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	13.4	19.0	6.94	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	14.7	20.0	6.72	—	不液化
2-5	16.15-16.35	粉土	11.6	21.0	7.67	—	不液化
2-5	17.15-17.35	粉土	13.2	23.0	7.27	—	不液化
2-5	18.15-18.35	粉土	10.9	17.0	8.09	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0 液化等级: 不液化							

钻孔编号: K8 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.15 g 表 8.2.3-8

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.2	7.0	4.15	—	不液化
2-2	3.15-3.35	粉土	13.5	8.0	4.34	—	不液化
2-2	4.15-4.35	粉土	10.6	9.0	5.42	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	12.8	10.0	5.32	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.1	9.0	5.58	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.5	10.0	6.25	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	13.7	11.0	5.95	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	10.5	14.0	7.03	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	12.6	13.0	7.15	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	11.4	15.0	7.63	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	14.5	11.0	6.86	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.5	15.0	7.19	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	11.4	13.0	7.91	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0 液化等级: 不液化							

钻孔编号: K1 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.20 g 表 8.2.4-1

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.7	10.0	4.83	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.2	8.0	6.11	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	9.5	9.0	7.00	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.1	11.0	7.71	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.9	10.0	7.48	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.5	11.0	7.32	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	13.6	12.0	7.30	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	11.9	13.0	8.07	—	不液化

2-2	10.15-10.35	粉土	12.8	14.0	8.00	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.1	11.0	8.11	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.5	12.0	8.16	—	不液化
2-3	13.15-13.35	粉土	11.8	14.0	8.89	—	不液化
2-3	14.15-14.35	粉土	12.7	13.0	8.71	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	13.2	15.0	8.67	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.7	13.0	8.95	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	14.0	8.76	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.3	15.0	8.63	—	不液化
液化指数 (I _{1E}): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K2 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.20 g 表 8.2.4-2

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.1	10.0	5.34	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.9	12.0	5.91	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	11.2	15.0	6.45	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.8	17.0	7.43	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.4	16.0	7.66	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.6	18.0	7.95	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	11.2	17.0	8.05	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	10.5	16.0	8.59	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	13.0	8.48	—	不液化
2-3	17.15-17.35	粉土	11.4	19.0	9.56	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	12.5	13.0	9.23	—	不液化
液化指数 (I _{1E}): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K3 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.20 g 表 8.2.4-3

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	5.15-5.35	粉土	12.3	9.0	6.63	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	11.2	10.0	7.38	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.4	11.0	8.03	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	10.8	13.0	8.20	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	12.3	15.0	7.94	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	17.0	8.48	—	不液化
2-2	11.15-11.35	粉土	10.8	16.0	8.93	—	不液化
2-2	12.15-12.35	粉土	11.7	15.0	8.76	—	不液化
2-2	13.15-13.35	粉土	13.6	17.0	8.28	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	14.2	16.0	8.66	—	不液化
2-3	19.15-19.35	粉土	12.7	12.0	9.25	—	不液化
液化指数 (I _{1E}): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K4 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.20 g 表 8.2.4-4

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.6	7.0	4.98	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.5	9.0	6.02	—	不液化

2-3	12.15-12.35	粉土	13.4	12.0	8.19	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	10.8	13.0	9.58	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.5	12.0	9.03	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	10.4	14.0	10.01	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.2	15.0	8.66	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K7 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.20 g 表 8.2.4-7

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	1.15-1.35	粉土	10.8	6.0	4.17	—	不液化
2-1	2.15-2.35	粉土	12.3	8.0	4.83	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	11.4	12.0	5.78	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	13.2	15.0	5.94	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	14.1	16.0	6.20	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.6	9.0	6.69	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.3	15.0	7.38	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	11.7	17.0	7.88	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	11.8	16.0	8.11	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	12.6	18.0	8.07	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.4	16.0	8.01	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	11.5	18.0	8.84	—	不液化
2-4	13.15-13.35	粉土	12.8	17.0	8.53	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	13.4	19.0	8.48	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	14.7	20.0	8.21	—	不液化
2-5	16.15-16.35	粉土	11.6	21.0	9.37	—	不液化
2-5	17.15-17.35	粉土	13.2	23.0	8.89	—	不液化
2-5	18.15-18.35	粉土	10.9	17.0	9.89	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K8 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.20 g 表 8.2.4-8

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.2	7.0	5.07	—	不液化
2-2	3.15-3.35	粉土	13.5	8.0	5.31	—	不液化
2-2	4.15-4.35	粉土	10.6	9.0	6.63	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	12.8	10.0	6.50	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.1	9.0	6.82	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.5	10.0	7.64	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	13.7	11.0	7.28	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	10.5	14.0	8.59	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	12.6	13.0	8.74	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	11.4	15.0	9.33	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	14.5	11.0	8.38	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.5	15.0	8.79	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	11.4	13.0	9.67	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K1 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-1

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.7	10.0	6.22	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.2	8.0	7.85	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	9.5	9.0	9.00	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.1	11.0	9.92	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.9	10.0	9.61	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.5	11.0	9.42	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	13.6	12.0	9.39	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	11.9	13.0	10.38	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	12.8	14.0	10.29	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.1	11.0	10.42	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.5	12.0	10.49	—	不液化
2-3	13.15-13.35	粉土	11.8	14.0	11.43	—	不液化
2-3	14.15-14.35	粉土	12.7	13.0	11.20	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	13.2	15.0	11.14	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.7	13.0	11.51	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	14.0	11.26	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.3	15.0	11.10	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K2 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-2

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	10.1	10.0	6.86	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.9	12.0	7.60	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	11.2	15.0	8.29	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	9.8	17.0	9.56	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	10.4	16.0	9.84	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.6	18.0	10.23	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	11.2	17.0	10.35	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	10.5	16.0	11.05	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	13.0	10.90	—	不液化
2-3	17.15-17.35	粉土	11.4	19.0	12.30	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	12.5	13.0	11.87	—	不液化
液化指数 (IIE): 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K3 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-3

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	5.15-5.35	粉土	12.3	9.0	8.53	—	不液化
2-1	6.15-6.35	粉土	11.2	10.0	9.48	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	10.4	11.0	10.32	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	10.8	13.0	10.54	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	12.3	15.0	10.21	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.4	17.0	10.90	—	不液化

2-2	11.15-11.35	粉土	10.8	16.0	11.48	—	不液化
2-2	12.15-12.35	粉土	11.7	15.0	11.26	—	不液化
2-2	13.15-13.35	粉土	13.6	17.0	10.64	—	不液化
2-3	18.15-18.35	粉土	14.2	16.0	11.14	—	不液化
2-3	19.15-19.35	粉土	12.7	12.0	11.89	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K4 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-4

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.6	7.0	6.40	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	10.5	9.0	7.74	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	13.4	8.0	7.58	—	不液化
2-1	5.15-5.35	粉土	12.3	10.0	8.53	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	10.7	11.0	9.70	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.8	10.0	9.69	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	13.6	12.0	9.39	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	12.7	11.0	10.04	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	10.8	13.0	11.20	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.7	14.0	10.58	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	10.9	14.0	11.67	—	不液化
2-3	13.15-13.35	粉土	14.3	15.0	10.38	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	11.8	13.0	11.61	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	12.7	12.0	11.36	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	11.8	14.0	11.94	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	14.0	11.26	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	12.4	12.0	11.92	—	不液化
液化指数 (IIE) : 0			液化等级: 不液化				

钻孔编号: K5 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-5

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	1.15-2.35	粉土	10.6	7.0	5.41	—	不液化
2-1	2.15-2.35	粉土	14.1	6.0	5.81	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	12.1	9.0	7.21	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	11.8	11.0	8.07	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	11.2	13.0	8.94	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.6	11.0	8.61	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.4	14.0	9.86	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	14.5	12.0	9.10	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	13.2	15.0	9.85	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	11.8	17.0	10.72	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.7	16.0	10.58	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.5	14.0	10.49	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	14.3	12.0	10.71	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	11.9	13.0	11.89	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.6	15.0	11.26	—	不液化

液化指数 (IIE) : 0 液化等级: 不液化

钻孔编号: K6 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-6

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	5.15-5.35	粉土	13.4	10.0	8.17	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	12.5	9.0	8.98	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	14.1	12.0	8.87	—	不液化
2-2	8.15-8.35	粉土	12.6	13.0	9.76	—	不液化
2-2	9.15-9.35	粉土	13.4	14.0	9.78	—	不液化
2-2	10.15-10.35	粉土	11.8	15.0	10.72	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	12.6	13.0	10.63	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	13.4	12.0	10.52	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	10.8	13.0	12.32	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	12.5	12.0	11.60	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	10.4	14.0	12.87	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	14.2	15.0	11.14	—	不液化

液化指数 (IIE) : 0 液化等级: 不液化

钻孔编号: K7 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-7

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	1.15-1.35	粉土	10.8	6.0	5.36	—	不液化
2-1	2.15-2.35	粉土	12.3	8.0	6.22	—	不液化
2-1	3.15-3.35	粉土	11.4	12.0	7.43	—	不液化
2-1	4.15-4.35	粉土	13.2	15.0	7.63	—	不液化
2-2	5.15-5.35	粉土	14.1	16.0	7.97	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.6	9.0	8.61	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	12.3	15.0	9.49	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	11.7	17.0	10.13	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	11.8	16.0	10.42	—	不液化
2-3	10.15-10.35	粉土	12.6	18.0	10.37	—	不液化
2-3	11.15-11.35	粉土	13.4	16.0	10.30	—	不液化
2-3	12.15-12.35	粉土	11.5	18.0	11.36	—	不液化
2-4	13.15-13.35	粉土	12.8	17.0	10.97	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	13.4	19.0	10.90	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	14.7	20.0	10.56	—	不液化
2-5	16.15-16.35	粉土	11.6	21.0	12.05	—	不液化
2-5	17.15-17.35	粉土	13.2	23.0	11.43	—	不液化
2-5	18.15-18.35	粉土	10.9	17.0	12.71	—	不液化

液化指数 (IIE) : 0 液化等级: 不液化

钻孔编号: K8 地下水位: 2.0(m) α_{max} : 0.30 g 表 8.2.5-8

层号	ds (m)	岩土名称	ρ_c (%)	Ni (击)	Ncri (击)	$(1-Ni/Ncri) \times diWi$	液化判别结果
2-1	2.15-2.35	粉土	11.2	7.0	6.51	—	不液化
2-2	3.15-3.35	粉土	13.5	8.0	6.83	—	不液化
2-2	4.15-4.35	粉土	10.6	9.0	8.52	—	不液化

2-2	5.15-5.35	粉土	12.8	10.0	8.36	—	不液化
2-2	6.15-6.35	粉土	13.1	9.0	8.77	—	不液化
2-2	7.15-7.35	粉土	11.5	10.0	9.82	—	不液化
2-3	8.15-8.35	粉土	13.7	11.0	9.36	—	不液化
2-3	9.15-9.35	粉土	10.5	14.0	11.05	—	不液化
2-4	14.15-14.35	粉土	12.6	13.0	11.24	—	不液化
2-4	15.15-15.35	粉土	11.4	15.0	11.99	—	不液化
2-4	16.15-16.35	粉土	14.5	11.0	10.77	—	不液化
2-4	17.15-17.35	粉土	13.5	15.0	11.30	—	不液化
2-4	18.15-18.35	粉土	11.4	13.0	12.43	—	不液化
液化指数 (I _{LE}):0			液化等级: 不液化				

综上，目标区范围内的饱和粉土、饱和砂土在各超越概率地震作用下的液化特性及标准贯入试验液化判别成果，在地下水位为 2.0m 时，8 个液化判别孔中，在 0.10、0.15、0.20g 和 0.30g 地震作用各钻孔均不液化。

8.3 目标区场地软土震陷评价

强烈地震时软土发生震陷，不仅被科学实验和理论研究证实，而且在宏观震害调查中，也证明它的存在。根据软土的工程性质特点是高压缩性、低强度、高灵敏度和低透水性。软土层具有良好的层理，在互层中伴随有少数较密实的颗粒较粗的粉土或砂层，在较大的地震力作用下容易出现震陷现象。根据（JGJ83—2011）《软土地区工程地质勘察规范》的规定，软土的判别应符合下列要求：（1）外观以灰色为主的细粒土；（2）天然含水量大于或等于液限；（3）天然孔隙比大于或等于1.0，主要包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。软土震陷的研究成果尚不够充分，较难进行预测和可靠的计算，判别方法主要依据（JGJ83—2011）《软土地区岩土工程勘察规程》，设防烈度等于或大于Ⅶ度时，对厚层软土分布区宜判别软土震陷的可能性，并符合下列规定：

表8.3.1 临界等效剪切波速限值

抗震设防烈度	Ⅶ度	Ⅷ度	Ⅸ度
临界等效剪切波速 V_{se} (m/s)	90	140	200

当临界等效剪切波速值大于表8.3.1的数值时，可不考虑震陷的影响。依据《郑州中原新区须水河核心板块区域地震安全性评价工程地质勘察报告》，目标区主要分布杂填土、粉土、粉质黏土、黏土、泥岩等岩性土层。依据《郑州中原新区

须水河核心板块区域地震安全性评价工程场地波速测试报告》可知，该目标区内各钻孔的等效剪切波速最低值为263.4m/s，参照表8.3.1内容可知，在不同的抗震设防度作用，本目标区内各钻孔均在临界值以内。

综合分析可知，在不同的抗震设防烈度的地震作用下，目标区内不存在软土且钻孔等效剪切波速均大于临界等效剪切波速，故不需要考虑软土震陷的影响。

8.4 目标区场地及周边坡体地震崩塌滑坡危险性评价

(1) 崩塌是指斜坡上被陡倾裂面分割的岩土体在重力或地震力作用下，突然而快速坠落下来的现象。崩塌一般发生在厚层坚硬的岩体中，如灰岩、砂岩、石英岩以及火成岩中的结晶岩类。这些岩石由于坚硬性脆，常形成高陡的斜坡，其前缘（坡肩）常由于卸荷裂隙的发育形成陡而深的张裂缝，当地震力的外力作用影响下，形成崩塌。

(2) 滑坡是指在重力、水压力、地震力或其它某种力的作用下，斜坡或边坡（人工边坡）岩土体向下滑移的现象。地震（以及人工爆破）对斜坡稳定的影响，主要表现为累计效应和触发效应两方面。研究表明，一般情况下地震触发滑坡的下限是在VI度烈度，并且大多数滑坡发生在30-50度的斜坡上，发生部位主要集中在较软弱或软硬相间的岩土体。

(3) 泥石流是山区特有的一种突发性地质灾害现象，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、植被等自然因素和人为因素综合作用的结果。

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。



图 8.4.1 目标区地形地貌图

根据目标区及周边地质地貌条件及目标区场地勘察结果和（GB18306-2015）《中国地震动参数区划图》，以及本报告第七章研究成果，目标区属于Ⅶ度（0.15g）设防区域。地震动峰值加速度危险度分级因子 S_p 取值为 2，地震崩塌滑

坡危险性指数为 4，地震崩塌滑坡危险程度分级为低级。故目标区不存在发生崩塌、滑坡、泥石流的前提条件，不会发生此种地震地质灾害。

8.5 地震地质灾害综合评价

以上对目标区可能发生的活动断层错断、砂土液化、软土震陷以及崩塌滑坡等常见地震地质灾害进行了初步评估，是建立在本次针对目标区开展的浅层人工地震勘探和控制性钻孔探测的基础上的，其评价精度受到探测精度的限制。本次浅层人工地震勘探未在目标区内发现第四纪以来的断裂，故无需考虑活动断层避让相关措施；钻探成果表明目标区发育地层以粉质粘土为主，不存在发生砂土液化的条件；目标区平均等效剪切波速 $>90\text{m/s}$ ，可认为目标区在各概率水准下（Ⅶ度）均不会发生软土震陷；目标区内地形平坦，各概率下不会发生崩塌、滑坡等斜坡类地震地质灾害。综上认为目标区内可无地震地质灾害的发生。

目标区内地震地质灾害区划图见下图 8.5.1。

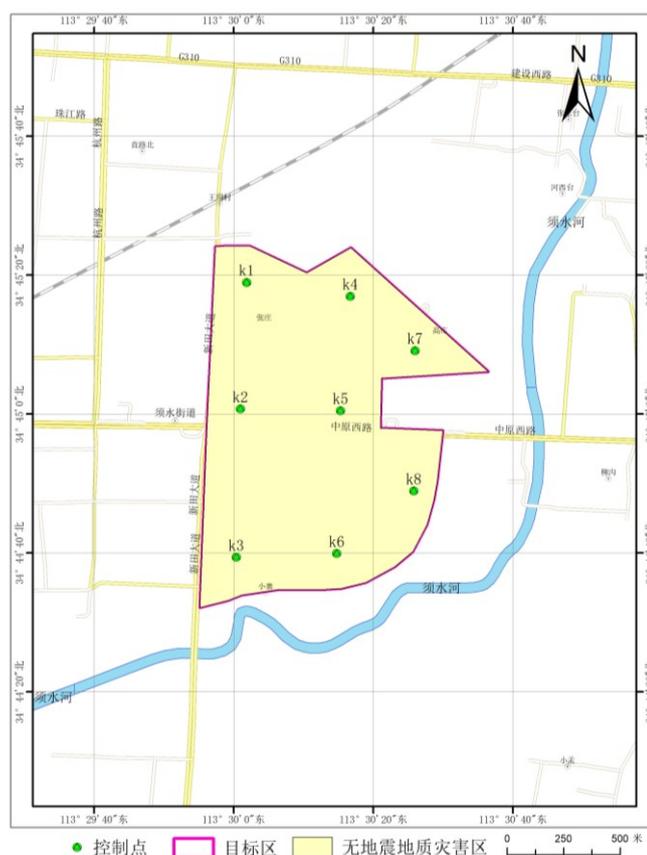


图 8.5.1 目标区地震地质灾害区划图（0.10g、0.15g、0.20g、0.30g）

9 结论与建议

9.1 区域及近场地震活动环境评价

(1) 区域位于地震活动较为强烈的华北地震区，具体涉及华北平原地震带、汾渭地震带；华北平原地震带未来百年地震活动趋势应以平均活动水平来估计，汾渭地震带未来百年可能进入下一活跃期前的应变加速释放阶段，会有中强、强地震活动。

(2) 从公元前 1767 年到公元 2023 年 5 月，区域内共记载 $M \geq 4.7$ 级破坏性地震 68 次，其中 4.7~4.9 级地震 19 次，5.0~5.9 级地震 33 次，6.0~6.9 级地震 12 次，7.0~7.9 级地震 3 次，分别为：1695 年 5 月 18 日山西临汾 $7\frac{3}{4}$ 级地震、1830 年 6 月 12 日河北磁县 $7\frac{3}{4}$ 级地震、1937 年 8 月 1 日山东菏泽 7 级地震，8 级以上地震 1 次，为 1303 年 9 月 25 日山西洪洞 8 级地震。

(3) 1970 年至 2023 年 5 月以来，区域内共记载 $3.0 \leq M \leq 4.6$ 级的小震 372 次，其中 $M_{3.0 \sim 3.9}$ 级地震 331 次， $M_{4.0 \sim 4.9}$ 级地震 37 次， $M_{5.0 \sim 5.9}$ 级地震 3 次， $M_{6.0 \sim 6.9}$ 级地震 1 次。区域范围最大的一次破坏性地震为 1983 年 11 月 7 日山东菏泽 $M_{6.3}$ 级地震。

(4) 区域地震的空间分布显示了明显的不均一性，4.7 级以上历史中强地震呈现北北东向或北西向分布。区域现代小震活动也较为频繁。仪器记录地震与历史中强地震活动的空间分布特征基本一致，在菏泽、林州、范县、内乡以及山西洪洞、黎城等地各有一个小震密集区。

(5) 据 1970 年之后的仪器记录资料，在整个区域内地震震源深度均在 35km 以内，其中 91.8% 在 5~24km 的深度范围内，说明本地区所发生的地震属于地壳中上层的浅源构造地震。

(6) 区域内在历史上曾多次遭受过中强地震的影响，历史地震对目标区的最大影响烈度达 VI 度。

(7) 在近场区范围内历史上记载过 2 次 $4\frac{3}{4}$ 级以上地震，1970 年以来发生过大于 4.7 级的地震 1 次，近场区内最大破坏性地震的震级为 5 级，自公元 1970 年至 2023 年 5 月记录到 $M \geq 2.0$ 级地震 34 次，最大震级为 $M_{4.7}$ 级。因此，综合近场及其外围地震活动性分析认为，近场区存在发生中强地震的背景。

9.2 区域及近场地震构造环境评价

区域地震构造中的汾渭断陷、东濮地堑和汤阴地堑三个大的构造单元控制着区域内北北东向的大型隆起与拗陷的发育规模，并且在这些大型隆起与拗陷的边界断裂带发育着与大型隆起与拗陷轴向一致的大型断裂。汾渭断陷符合 8.0 级地震的发震构造条件，具有发生 8.0 级地震的背景；东濮地堑和汤阴地堑符合 7.0~7.9 级地震的发震构造条件，具有发生 7.0~7.9 级地震的背景。北西向的新乡 - 商丘断裂、封门口 - 五指岭断裂，近东西向的盘谷寺 - 新乡断裂、许昌 - 太康断裂，它们与其它方向活动断裂交汇处，符合 6.0~6.9 级地震的发震构造条件，具有发生 6.0~6.9 级地震的背景。

近场区涉及豫中差异沉降区的开封凹陷、嵩山低凸起和太康凸起三个二级新构造单元，目标区位于开封凹陷内。近场区新构造运动以明显的差异升降为特点，已有资料显示该区的强烈差异升降主要发生在新构造运动的早期，第四纪以来的地壳差异运动较弱。区内现代地壳运动总体上继承了新构造运动的特点并呈减弱趋势，表现为北东东向构造应力场下地壳的缓慢差异升降运动，西南部为隆起的台地，而东北部则是广阔的沉降平原。

近场区断裂构造比较发育，一组是北西 - 北西西向，一组是近东西向。其中有 7 条第四纪活动断裂，最新活动时代为早 - 中更新世，其余均为前第四纪断裂，区内尚未发现断裂晚更新世以来活动的证据。

近场区内第四纪活动断裂的最新活动时代为早 - 中更新世，近场区近代地震活动无论是强度还是频度都较低。综合分析认为近场区具备发生中强地震的构造背景。目标区附近的断裂对目标区无直接破坏影响。

9.3 场地地震危险性分析

采用地震危险性分析的概率方法，选择并确定适合本地区的基岩地震动衰减关系，对本目标区进行了地震危险性分析计算，经不确定性校正后，得到 8 个控制点 50 年超越概率 63%、10%、2%、100 年超越概率 63%、10%、2%、1% 的基岩地震动水平向峰值加速度值，见下表 9.3.1。对场地地震危险性的主要贡献来自郑州、新乡潜在震源区。

表 9.3.1 目标区控制点基岩水平向峰值加速度

控制点	基岩地震动水平向峰值加速度 (gal)					
	超越概率			超越概率		
	50 年 63%	50 年 10%	50 年 2%	100 年 63%	100 年 10%	100 年 2%
K1	35.5	106.8	182.3	53.7	139.5	222.4
K2	35.5	106.8	182.3	53.7	139.5	222.4
K3	35.0	105.8	181.0	53.0	138.5	220.8
K4	35.5	107.0	182.6	53.8	139.7	222.7
K5	35.5	106.8	182.3	53.6	139.4	222.3
K6	35.5	107.0	182.6	53.8	139.7	222.7
K7	35.0	105.8	181.0	53.0	138.5	220.8
K8	35.2	106.3	181.7	53.3	139.0	221.7

9.4 场地地震地质灾害评价

(一) 活断层断错灾害评价

通过对目标区及其周围断层分布情况分析，距目标区最近的第四纪活动断裂为须水断层，该断裂穿越本目标区，除此之外没有新近纪以来的断裂通过目标区。根据综合区域资料分析认为此断裂活动性参数为较可靠断层，其最新活动时代为早-中更新世，表现为隐伏断层，上断点埋深为 194~320m 其新近系地层的覆盖厚度 424~678m 之间。根据《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB55002-2021) 2016 版第 4.1.7 条之规定，可忽略此断裂在对目标区的地震破坏影响。

(二) 砂土液化灾害评价

根据现有资料，本次开展区域性地震安全性评价的目标区域内未发现活动断层错动危险，地震崩塌滑坡危险程度低。在地震工程条件勘察时，目标区范围内的饱和粉土、饱和砂土在各超越概率地震作用下的液化特性及标准贯入试验液化判别成果，在地下水位为 2.0m 时，8 个液化判别孔中，在 0.10、0.15、0.20g 和 0.30g 地震作用各钻孔均不液化。结合邻近场地地震液化资料综合判定目标区内场地地基土在各地震作用下不具有液化可能性。对于砂土液化和软土震陷的判断，基于当前工作中的 8 个地震工程钻孔，仅反应钻孔处的情况。

(三) 软土震陷评价

综合分析可知，在不同的抗震设防烈度的地震作用下，目标区内不存在软土且钻孔等效剪切波速均大于临界等效剪切波速，故不需要考虑软土震陷的影响。

(四) 地震崩塌滑坡危险评价

根据（GB18306-2015）《中国地震动参数区划图》和以上工程地质、水文情况，以及本报告第七章研究成果，目标区属于Ⅶ度（0.15g）设防区域。地震动峰值加速度危险度分级因子 S_p 取值为2，地震崩塌滑坡危险性指数为4，地震崩塌滑坡危险程度分级为低级。

9.5 场地设计地震动参数

(1) 目标区各控制点地震动参数

利用现场钻探、波速测试、场地土的静、动力学参数试验，目标区共建立 8 个计算模型，经土层地震反应及地震动效应分析计算，结合场地工程地质条件，目标区各计算点地表水平向地震动参数见表 9.5.1，地震影响系数可表示为如下形式：

$$\alpha(T) = K\beta(T)$$

式中， K 为地震系数（ $K=A_{max}/g$ ， $g=980gal$ ， A_{max} 为设计地震动加速度峰值）， $\beta(T)$ 为动力放大系数， T 为周期，单位为秒。

表 9.5.1 目标区各控制点地表地震动参数

特征值 超越概率		T_1 (秒)	T_g (秒)	β_m	r	A_{max} (gal)	α_{max}	阻尼比
		k1	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	54.2
T=50 年, P=10%	0.1		0.40	2.5	0.9	158.5	0.404	0.05
T=50 年, P=2%	0.1		0.45	2.5	0.9	260.1	0.664	0.05
T=100 年, P=63%	0.1		0.40	2.5	0.9	78.1	0.199	0.05
T=100 年, P=10%	0.1		0.40	2.5	0.9	196	0.500	0.05
T=100 年, P=2%	0.1		0.45	2.5	0.9	317.5	0.810	0.05
k2	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	54.7	0.140	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	159.1	0.406	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	265.3	0.677	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	79.5	0.203	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	201.4	0.514	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	319.5	0.815	0.05
k3	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	53.3	0.136	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	156.4	0.399	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	270.7	0.691	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	78.4	0.200	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	199.5	0.509	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	325	0.829	0.05
k4	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	55.4	0.141	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	164.2	0.419	0.05

	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	271	0.691	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	84.5	0.216	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	208.3	0.531	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	320.7	0.818	0.05
k5	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	56.7	0.145	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	161.3	0.411	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	267.1	0.681	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	83.5	0.213	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	207.4	0.529	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	316.6	0.808	0.05
k6	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	54	0.138	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	160.3	0.409	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	277	0.707	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	81.3	0.207	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	205.2	0.523	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	334.1	0.852	0.05
k7	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	57.1	0.146	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	166.5	0.425	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	276.4	0.705	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	85.3	0.218	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	210.6	0.537	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	335	0.855	0.05
k8	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	55.3	0.141	0.05
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	162.7	0.415	0.05
	T=50 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	273.2	0.697	0.05
	T=100 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	83	0.212	0.05
	T=100 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	203.4	0.519	0.05
	T=100 年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	315.3	0.804	0.05

(2) 分区地震动参数

本次基于目标区 8 个计算控制点的反应谱形态和地表加速度峰值, 绘制了 50 年不同超越概率条件下场地地表水平向地震动峰值加速度等值线图, 并考虑目标区的工程地质分区情况, 将目标区分为 1 个设计地震动分区, 并结合《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015) 中的相关要求, 最终确定场地范围内 50 年超越概率 63%、10%、2%地表水平向峰值加速度和反应谱参数值如表 9.5.2 所示。

表 9.5.2 目标区分区地表水平向峰值加速度和反应谱参数值 (5%阻尼比)

分区		超越概率		T_1 (秒)	T_g (秒)	β_m	r	A_{max} (gal)	α_{max}	阻尼比
		T=50 年, P=63%	T=50 年, P=10%							
I 区	T=50 年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	55.1	0.141	0.05		
	T=50 年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	161.1	0.411	0.05		

T=50年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	270.1	0.689	0.05
-------------	-----	------	-----	-----	-------	-------	------

9.6 使用建议

(1) 本报告给出的地震动反应谱阻尼比 (ξ) 为 0.05, 当构筑物机构的阻尼比 (ξ) 不等于 0.05 时, 其水平地震影响系数曲线设计反应谱图确定, 形状参数按《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB55002-2021) 有关内容调整。

(2) 本报告给出的是水平向地震动反应谱, 当需要考虑竖向地震作用时, 竖向地震影响系数的最大值可取水平地震影响系数最大值的 65%。

(3) 关于工程场地类别划分和地基土砂土液化评价, 建议进一步参考场地岩土工程勘察结果。

(4) 地震震害事例表明, 地震破坏作用在几百米、甚至几十米以内均有显著差异。根据现行法规, 目标区范围内的一般建设工程, 可以根据国家标准 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》确定地震动参数。但 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》比例尺为 1:400 万, 给出的是大范围内地震危险度的平均估计 (平均值)。

(5) 本次区域性地震安全性评价工作针对目标区做了更加深入细致的工作, 针对性更强、考虑的因素更多、精度要求更高, 从而更能反映目标区的地震环境、局部场地条件、场地地震动特征等, 故目标区范围内的一般建设工程, 应采用场地所在各分区所确定的设计地震动参数 (且不能低于规范值), 即表 9.6.1 确定的设计地震动参数进行抗震设防; 对于属于建筑物抗震设防分类里的特殊设防类的建筑则需要重新委托相关单位进行相关研究, 对于需要单独出具地震安全性评价报告的企业, 我司将免费为其出具所需的基于本区域性地震评价成果的地震安全性评价报告。

表 9.6.1 目标区内各分区一般建设工程地表水平向设计地震动参数推荐值

超越概率	T_1 (秒)	T_g (秒)	β_m	r	A_{max} (gal)	α_{max}	阻尼比
T=50年, P=63%	0.1	0.40	2.5	0.9	55.1	0.141	0.05
T=50年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	161.1	0.411	0.05
T=50年, P=2%	0.1	0.45	2.5	0.9	270.1	0.689	0.05
T=100年, P=10%	0.1	0.40	2.5	0.9	81.7	0.208	0.05

9.7 成果使用说明

本次工作给出的区域性地震安全性评价成果可以直接应用于区内除必须单独开展工程场地地震安全性评价的重大工程以外的、不同于一般工程的较为重要的新建、扩建、改建建设工程选址、抗震设防要求的确定，也适用于该区发展规划、国土利用规划及防震减灾对策制定等工作。目标区内新建的重要建筑，在选取参数进行抗震设计时应根据以下步骤选取：

1. 若其 200m 范围内有控制性钻孔，则直接选取钻孔计算结果与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. 若其 200m 内无控制性钻孔，选择该场点周围 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；

3. 根据建筑结构材料确定对应的阻尼比；如果阻尼比为 5%，可直接采用给出的结果；

4. 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；

5. 如需竖向地震动参数，依据水平向地震动参数结果，采用竖向与水平向地震动比值确定场地竖向地震动，比值宜取 2/3。在场地附近地震活动对地震危险性起主要贡献情况下，比值可取为 1。

6. 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. 在郑州中原新区须水河核心板块区域地震安全性评价等工作基础上，本项目基于 GIS 平台构建了技术服务系统，为地震主管部门依法行政提供技术支持。技术服务系统的技术手册和用户手册另附。

8. 本项目获得的设计地震动参数，综合反映了场地附近一定范围内地震活动性、地震地质环境和局部场地条件对地震动的影响，具有较强的地区相关性，因此，仅适用于郑州中原新区须水河核心板块区域性地震安全性评价项目。

10. 技术服务系统说明

根据《河南省区域性地震安全性评价工作管理办法（试行）》及其它相关标准，郑州中原新区须水河核心板块区域性地震安全性评价除了编制区域性地震安全性评价文本报告之外，还应依据场地工程地质条件，建立成果数据库、技术服务系统及其使用说明书等服务要求。由技术服务系统给出建设工程所在场地的地震构造、地震活动情况、地震动参数和地震地质灾害初步评价结果，方便使用单位查询。成果查询系统界面友好，操作简便，不依赖于第三方软件或服务。

10.1 系统访问方法

本次数据库及技术服务系统可运行在 PC 机、虚拟机、容器、K8s 等多种实体机，支持不同操作系统（Windows/MacOS），打开系统的登录页面，用户登录（账号：admin 密码：000000）后进行需要的系统操作。具体操作见附件：郑州中原新区须水河核心板块区域地震安全性评价技术服务系统操作说明。

11 主要参考资料

- 中华人民共和国国家标准《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)。
- 中华人民共和国国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB55002-2021)。
- 中华人民共和国国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)。
- 中华人民共和国国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223-2008。
- 国家地震局震害防御司, 1995, 中国历史强震目录(公元前 23 世纪~公元 1911 年), 地震出版社。
- 中国地震局震害防御司, 1999, 中国近代地震目录(公元 1912 年~1990 年 $M_s \geq 4.7$)。
- 国家地震分析预报中心, 1980, 中国东部地震目录(1970-1979 年, $M_L \geq 1$)。
- 国家地震局, 1996, 中国地震烈度区划图(1990)概论, 地震出版社。
- 河南省地质局, 1981, 河南省地质图及说明书(1:50 万)。
- 刘尧兴等, 2001, 豫北地区新构造活动特征及中长期地震预报研究, 西安地图出版社。
- 中国地震局地质研究所等, 2002, 西气东输增补压气站工程场地地震安全性评价报告。
- 魏文恭, 1992, 郑州市区及其周围地震地质特征, 见姚文斌主编, 郑州市地震小区划研究文集, 地震出版社, 51-55 页。
- 顾梦林, 1994, 老鸦陈断层的地震勘探, 东北地震研究, 10 卷, 4 期, 27-32 页。
- 李廷栋等, 1992, 郑州市地震小区划地震勘探, 见姚文斌主编, 郑州市地震小区划研究文集, 地震出版社, 56-60。
- 李廷栋等, 1992, 老鸦陈断层地质特征及地震活动性研究, 见姚文斌主编, 郑州市地震小区划研究文集, 地震出版社, 61-65。
- 郑州市地震局, 1993, 郑州市老鸦陈隐伏断裂综合研究报告。
- 河南省地矿局地质研究所, 1998, 郑州市基岩地质图及说明书。
- 李传友等, 1999, 吉林松原地区 1119 年 6.3/4 级地震的发震构造条件, 地震

地质, 25 卷, 3 期, p. 237~246。

河南省地质矿产局, 1989, 河南省区域地质志, 地质出版社。

河南省地震局, 1989, 郑州市地震小区划研究报告。

李国鹏, 1973. 中国东部中、新生代地质构造发展与地震. 地质科学, 第 3 期。

地质部航空物探大队 904 队. 1957. 华北平原南部及周围山区航空磁测结果报告。

国家地震局地学断面编委会, 1991. 郑州—清边折射剖面地学断面图及说明书, 地震出版社。

赵景珍. 刘永泉, 张香荣等, 1991. 岩石圈动力学区域各论 (河南省), 中国岩石圈动力学概论. 地震出版社。

赵景珍, 刘永泉, 张香荣等. 1989. 河南地震构造. 中国岩石圈动力学地图集. 中国地图出版社。

中国地震局地质研究所等. 2000. 西气东输 (轮南—上海) 工程管道沿线主要断裂活动性评价报告。

山东省地矿局第二水文地质工程地质大队. 1998. 山东省第四系。

魏顺民, 李如成. 2001. 第四纪地层变化与聊城—兰考断裂第四纪活动性, 聊城—兰考断裂综合研究及黄河下游河道稳定性分析. 黄河水利出版社。

中国地震局地质研究所等. 2001. 西气东输工程场地地震安全性评价。

地质部河南省地质局, 1965. 临汝幅地质图及说明书 (1/200000)。

地质部西北地质局. 1965. 鲁山幅地质图及说明书 (1/200000)。

王基华, 郝书俭, 张晚霞. 2001. 聊城—兰考隐伏断裂的化探、物探研究, 聊城—兰考断裂综合研究及黄河下游河道稳定性分析. 黄河水利出版社。

张崇立. 2001. 现代地壳形变与地震的关系. 西气东输工程场地地震安全性评价。

应绍奋, 沈永坚, 黄立人等. 1997. 中国大陆形变场及中长期地震危险区划分. 中国大陆 2005 年前强震危险性预测研究. 地震出版社。

马杏垣. 1987. 中国岩石圈动力学纲要 (1:400 万中国及邻近海域岩石圈动力学说明书). 地质出版社。

张祖胜等. 1991. 现代地壳形变. 中国岩石圈动力学概论. 地震出版社。

赵景珍等. 1984. 豫北地区中强地震构造背景的讨论. 地震地质 6(2)。

国家地震局地质研究所. 1995. 河南宝泉抽水蓄能电站场地地震基本烈度复核。

国家地震局, 1996, 中国地震烈度区划图(1990)概论, 地震出版社。

城乡建设环境保护部, 2001, 建筑抗震设计规范 GB50011-2001, 中国建筑工业出版社。

胡聿贤. 1989, 地震工程学. 地震出版社。

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。

蒋溥, 王启鸣等, 1990, 地震小区划概论, 地震出版社。

时振梁、鄢家全、高孟潭, 1991, 地震区划原则和方法的研究——以华北地区为例, 地震学报, 13(2):179-188。

汪素云、俞言祥、高阿甲、阎秀杰, 2000, 中国分区地震动衰减关系的确定, 中国地震, 16(2):99-106。

鄢家全、贾素娟, 我国东北和华北地区中强地震潜在震源区的划分原则和方法, 中国地震, Vol. 12, No. 2, 173-194。

张裕明, 1993, 在确定潜在震源区中地震和地质资料的应用, 地震地质, Vol. 15, No. 2, 275-278。

周本刚、张裕明、董瑞树等, 1997, 划分潜在震源区的地震地质规则研究, 中国地震, Vol. 13, No. 3, 241-252。

中国地震局地质研究所, 郑州市地震工程勘察事务所, 2002, 《郑州市郑东新区(起步区)地震小区划报告》。

中国地震局地质研究所, 郑州市地震工程勘察事务所, 2003, 《郑州市郑东新区(大学园区、龙湖区)地震小区划报告》。

中国地震局地球物理勘探中心, 2004, 《郑州市活断层探测(二期)地震勘探工作报》。

郝凯、刘保金, 2008, 《郑州市老鸦陈断裂的探测与活动性调查研究》, 地震学报。