

内乡县牧原智慧物流园 工程场地地震安全性评价报告

河南城安衡测工程技术有限公司
2021 年 7 月



统一社会信用代码
91411302MA4H07C45M

营业执照

(副本) 1-1

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



名称 河南城安衡测工程技术有限公司
类型 有限责任公司（自然人独资）
法定代表人 王树成
注册资本 壹佰万圆整
成立日期 2020年04月21日
营业期限 长期
住所 河南省郑州市中原区嵩山北路126号
院3号楼2单元29层2903号

经营范围 工程勘察服务；地震灾害预防服务；活动断层深
测与危险性评估服务；水库地震监测服务；地震
区划服务；地震安全性评价服务；地震灾害损失
调查评估服务；地球物理勘探；农村土地整理服
务；地质灾害治理服务；信息技术咨询服务；园
林绿化设计及施工；机械设备、电子产品、电
品、五金交电、建筑材料销售；建筑工程机械及
设备租赁*（涉及许可经营项目，应取得相关部
门许可后方可经营）（依法须经批准的项目，经
相关部门批准后方可开展经营活动）

登记机关



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

国家市场监督管理总局监制

项目名称：内乡县牧原智慧物流园

建设方：内乡县应急管理局

承担方：河南城安衡测工程技术有限公司

项目负责人：



总技术负责人：

张金振

专业技术负责人

地震活动性评价：

张振国

地震构造评价：

张金振

工程场地地震影响评价：

刘国华

2021 年 7 月

从事专业 Speciality	地质				
专业技术职务 任职资格 Professional Technical Qualification	高级工程师				
评审组别 Evaluation Group	河南省工程系列高级专业技术职务任职资格评审委员会				
评审通过时间 Time Of Admission	2006.11				
发证单位 Issuing Authority	河南省人民政府	姓名 Full Name	张金涛	性别 Sex	男
文件号	豫政政[2006]116号	出生年月 Birthdate	1958.10	籍贯 Native Place	新 密
		工作单位 Work Unit	省地质地质勘探院		
		证书编号 Certificate No.	B19060900176		
			2007年3月27日		

	证 书		
	经 河南省人民政府 豫政政[2006]116号		
	2006年11月 高级 评审委员会		
	评审确认 张金涛 同志		
	具备 高级 工程师 任职资格。		
姓 名:	张金涛		
出生年月:	1958.10		
工作单位:	河南省地质地质勘探院		
批准时间:	2006.11		
证书编号:	B19060900176	单 位	2007年3月27日



姓名 刘国华
性别 男

出生年月 1953年1月

工作单位 中国地震局地球物理勘探中心

证书编号 补震资字 93203

从事专业 地震工程

专业技术
资格 高级工程师

评定时间：1993年12月 日

评审委员会名称 中国地震局地球物理
勘探中心高级技术职务评审委员会

评审委员会(章)

2019年8月12日

目 录

前 言	1
第一章 区域和近场区地震活动性分析	6
1.1 地震资料	6
1.2 区域地震空间分布特征	9
1.3 地震区、带划分	12
1.5 历史地震对工程场地的影响	21
1.6 区域地震震源机制解及现代构造应力场	26
1.7 近场区地震活动性	29
1.8 地震活动环境评价	31
第二章 区域地震构造环境评价	33
2.1 区域大地构造概述	33
2.2 区域新构造运动特征及其分区	45
2.3 区域主要断裂活动特征及其与地震活动的关系	53
2.4 区域地震地质环境分析	68
第三章 近场区地震构造	70
3.1 近场区地质概况	70
3.2 地形地貌及新构造单元	71
3.3 近场区新构造运动特征	73
3.4 近场区主要断裂活动性	73
3.5 近场地震构造评价	88
第四章 地震危险性分析	90
4.1 地震危险性分析方法概述	90
4.2 潜在震源区的划分	91
4.3 地震活动性参数的确定	95
4.4 地震动衰减关系	100
4.5 地震危险性计算及结果分析	102

第五章 场地地震工程地质条件	110
5.1 场地概述	110
5.2 钻孔波速测试	127
5.3 土体动力非线性参数	158
5.4 场地地震地质灾害评价	164
第六章 场地土层地震反应分析	171
6.1 场地基岩人造地震动时程	171
6.2 场地土层地震反应计算	178
6.3 场地地震反应分析计算结果与场地地震相关反应谱	189
第七章 结论	194
主要参考文献	199
附件 1 土动力实验报告	200
附件 2 高密度电法勘探报告	202
附件 3：浅层人工地震勘探报告	238

前 言

1) 项目简介

拟建项目位于南阳市内乡县湍东镇，紧邻（新）312国道和243省道。项目占地面积2586亩（约1.71km²）。项目建成后，提供公铁联运、公路港、智慧云仓、粮食物流、快递物流、冷链物流、电商物流、石材物流、汽车（农机）商贸、智慧物流平台、公路局服务基地、生猪供应链基地和物流总部基地等服务功能。目前尚没有具体的规划建筑信息。场地位置见图0.1-1，场地中心坐标：E111.88015°，N33.10022°。项目位于中国地震动峰值加速度区划图0.10g区域，位于中国地震动特征周期区划图0.35s区域。

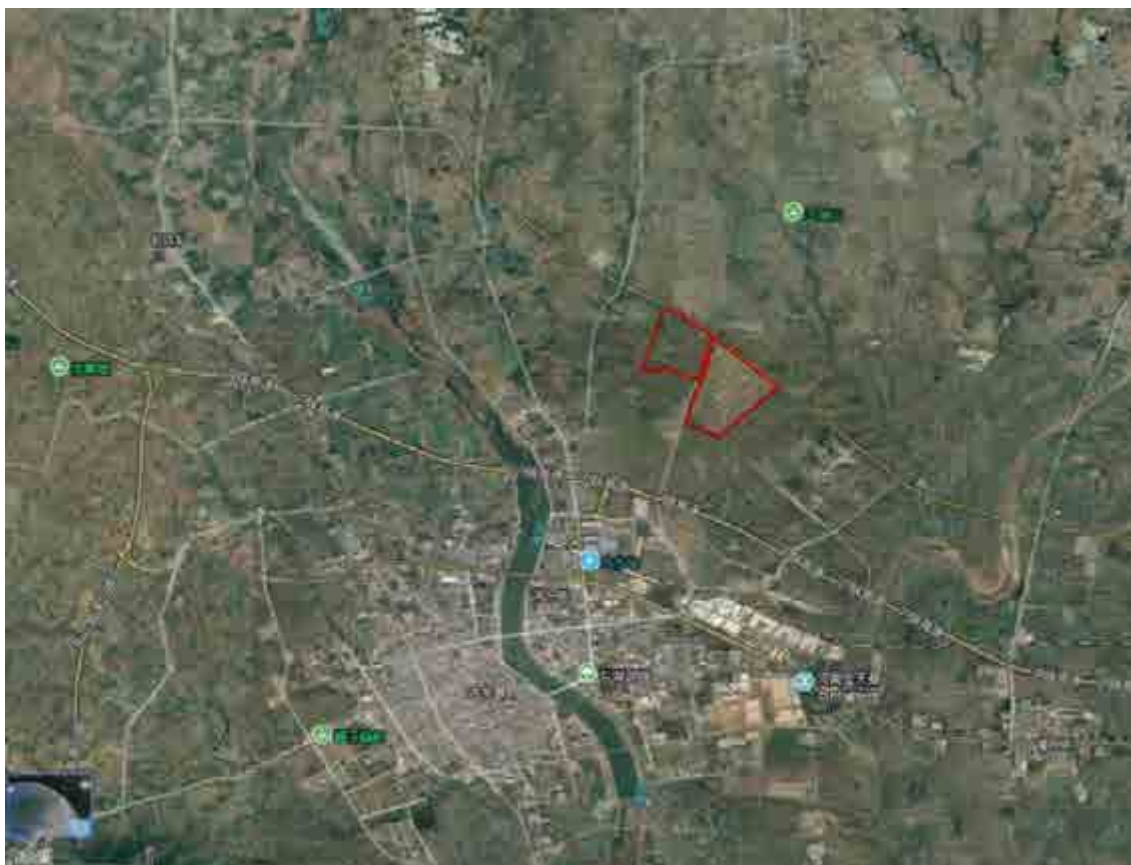


图 0.1-1 工程场地地理位置图 □ 场地范围

依据《工程场地地震安全性评价》(GB 17741-2005)，本工程按Ⅱ级要求开展工程场地地震安全性评价工作。受内乡县应急管理局的委托，河南城安衡测工程技术有限公司承担了内乡县牧原智慧物流园工程场地地震安全性评价工作。

2. 任务要求

1. 按照国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）的规定，按Ⅱ级工作标准完成地震安全性评价工作。

2. 将给出以下工作成果

（1）根据该项目场地工程地质分区状况、场地覆盖和地层分布等情况，选择有代表性的控制点，通过地震危险性分析和土层反应分析等，给出该场地抗震设计地震动参数。

a) 根据工程需要，给出该场地不同年限不同超越概率水平向地震危险性分析结果。

b) 提供50年超越概率为63%、10%、2%（阻尼比为5%）地表处的水平向设计地震动反应谱。

（2）根据该场地50年超越概率10%的地震动峰值加速度值计算结果和《中国地震动参数区划图》使用规定，确定该建设场地地震基本烈度值。

（3）通过现场调查、勘探和资料收集整理计算分析等，给出该场地地震地质灾害（包括场地土液化、断层错动、软土震陷等）评价结果。

3. 主要工作

围绕主要任务要求，本项目主要进行如下工作：

1. 对区域及近场的地震构造和地震活动性进行分析。
2. 对工程场地所处的区域及近场区地震构造环境进行分析。
3. 根据有关资料，对华北平原地震带和汾渭地震带等地震活动性参数进行了统计和分析。
4. 参考第五代中国地震动参数区划图潜在震源区划分方案，确定场址周围潜在震源区的划分方案，并确定其地震活动性参数。
5. 确定适用于本地区的地震动参数的衰减关系。
6. 通过工程场址地震危险性概率计算，给出工程场址基岩地震动参数。
7. 进行近场区构造及其活动性的复核和补充调查工作。

8. 现场钻孔15个，钻孔深达 $v_s > 500$ m/s的土层，完成钻孔波速测试15个钻孔和51个土样土动力参数测试工作。开展了场地物探工作，电阻率层析成像探测测线长为3000m，浅层人工地震勘探测线长度1500m（场地工作量见表0.2-1）。

9. 进行场地土层地震反应分析的计算，确定工程地表设计地震动参数，并给出地震地质灾害方面的评价意见。

10. 进行场地地震安全性的综合评价，为拟建工程的抗震设防提供依据。

0.2-1 野外主要工作量表

项目	内容	规模及数量
野外地质、工程地质条件考察	布设野外观察路线，进行野外定点考察	50km
钻探	结合建筑物分布情况布置钻孔	15个钻孔。
波速测试	每间隔1米1个波速测试点	15个波速测试孔。
动三轴试验	典型土层选取原状土样	51组土样
场地地球物理勘探	高密度电法勘探、浅层人工地震勘探	3000米电法测线，1500米地震测线

4. 工作依据

1. 中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016版），中华人民共和国建设部、国家质量监督检验检疫总局联合发布。

2. 中华人民共和国国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005），中华人民共和国质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会。

3. 中华人民共和国国家标准《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），国家质量监督检验检疫总局。

4. 《中华人民共和国防震减灾法》，第十一届全国人民代表大会常务委员会第六次会议修订，2008年。

5. 《地震安全性评价管理条例(2019年修正本)》，根据2019年3月2日国务院令 第709号公布的《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》修正。

6. 《河南省防震减灾条例》，2011年3月31日河南省第十一届人民代表大会常务委员会第二十次会议通过

5. 范围选取

根据《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005）的要求，工作的区域范围不应小于工程场地外延 150km，近场范围不应小于工程场地外延 25km。本次工作综合考虑到场地周围的地震地质构造和地震活动环境条件，区域和近场区范围分别取为：

区域范围：E110.1° -113.6° ， N31.6° -34.5° 。

近场范围：E111.48° -112.24° ， N32.75° -33.39° 。

6. 工作思路

根据《工程场地地震安全性评价》（GB 17741—2005）的要求，拟建项目工程场地地震安全性评价划定为Ⅱ级地震安全性评价工作。工作总体思路如图 0.6-1 所示。

致 谢

在本项目工作实施过程中，内乡县应急管理局、内乡县自然资源局有关人员给予了本项目组积极的配合，并协调现场工作等。在此，项目组向上述单位和有关人员表示衷心的感谢。前人针对该地区大量的相关工作为我们奠定了良好的工作基础；多位专家、同行在多方面对我们的工作给予了极大的指导和帮助，并提供了非常宝贵的意见；各级领导对我们的工作给予了多方面的关心和支持，在此一并致以衷心感谢。

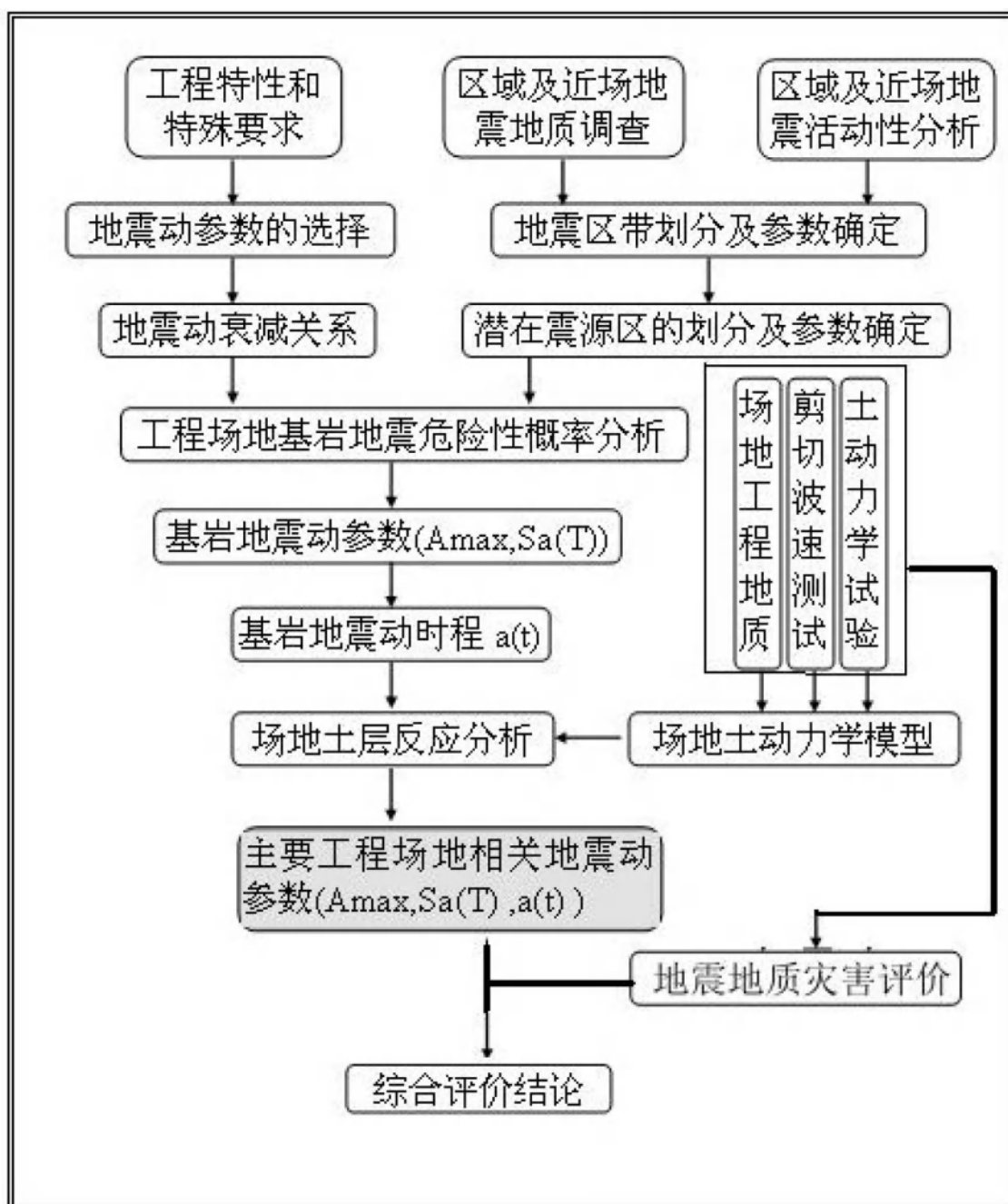


图 0.6-1 工作总体思路框图

第一章 区域和近场区地震活动性分析

研究区域地震活动在空间和时间上的分布特征、历史地震对工程场地影响以及现代构造应力场等,为工程的地震环境评价、合理划分潜在震源区和确定地震活动性参数提供依据。

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》的要求,区域范围不小于工程场地外延 150km,近场区范围不小于工程场地外延 25km,本项目考虑到区域和近场区地震活动性的完整性,确定区域和近场区研究范围如下:

区域范围: 东经 $110.1^{\circ}\sim 113.6^{\circ}$, 北纬 $31.6^{\circ}\sim 34.5^{\circ}$;

近场范围: 东经 $111.48^{\circ}\sim 112.24^{\circ}$, 北纬 $32.75^{\circ}\sim 33.39^{\circ}$ 。

1.1.2 资料来源

(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 $M\geq 4.7$ 级的历史破坏性地震目录。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 $M_s\geq 4.7$), 1970 年以后的资料从中国地震台网中心编录的地震目录中续补。

第二部分为现代地震目录。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 $M_L\geq 3.0$ 级、近场范围内 $M_L\geq 2.0$ 级的地震资料。

(2) 地震震级的确定

历史地震震级采用的是 M_s , 这部分地震为 $M_s\geq 4.7$ 级以上地震。凡有仪器记录的地震,其震级以仪器测定的数据为准;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—震中烈度经验关系换算出近似震级。

现代小震通常采用近震震级 M_L , 以往工作中,将其转换为 M_s 震级,采用的转换公式为:

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (1.1-1)$$

该转换公式是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 $\Delta \leq 1000\text{km}$ （国家地震局震害防御司，1990）。

在本次区划图编制基础地震目录时，对 M_s 、 M_L 的关系利用现代大量记录的地震资料进行了重新的统计分析（汪素云等，2009）。根据1990-2007年间同时测定有 M_s 、 M_L 数据且震源深度 $< 70\text{km}$ 的地震6577个，拟合得到下面的 M_s - M_L 的关系式：

$$M_s = 0.932M_L + 0.295 \quad (1.1-2)$$

图1.1-1给出了数据点分布及其拟合曲线，并同时绘出了1971年郭履灿等拟合公式（1.1-1）的曲线。

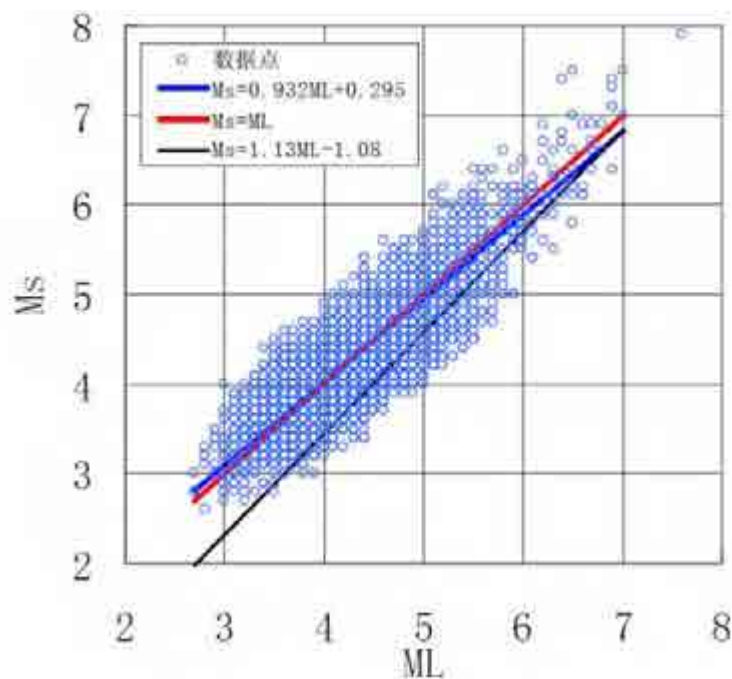


图1.1-1 M_s - M_L 数据及拟合直线

图 1.1-1 表明，公式（1.1-1）的直线明显偏于数据组的下侧，说明该式已不能代表两者的关系；同时图中可直观地看到公式(1.1-2)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（1.1-2）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，1970 年以来的破坏性地震，采用 $M_L = M_S$ 的统计公式，中、小地震，采用 M_L 震级。

1.1.3 地震资料完整性和可靠性评述

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）研究成果，区域自 1484 年以来 M

≥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 $ML \geq 1.0$ 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、吴开统等人的研究结果（1990），区域 1989 年之后处于 $ML \geq 3.0$ 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 $ML 2.5$ 级，局部地区达到 $ML 1.5 \sim 2.0$ 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 $ML \geq 3.0$ 级地震是较为合适的。

根据上述资料，列出了区域范围内 $M \geq 4.7$ 级地震的目录。需要说明的是，震中精度分类所对应的误差的含义在 1970 年前后是不同的。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 $> 100\text{km}$ 。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 $> 30\text{km}$ 。

1.1.4 区域地震资料的基本情况

区域自公元前 1767 年至 2021 年 6 月共记载 $M \geq 4.7$ 级地震 16 次，其中 4.7~4.9 级地震 8 次；5.0~5.9 级地震 6 次；6.0~6.9 级地震 2 次，最大地震为 46 年 10 月 21 日河南南阳 $6\frac{1}{2}$ 级地震。

1970~2021 年 6 月仪器共记录到 $M \geq 3.0$ 级地震 115 次，其中 3.0~3.9 级地震 100 次；4.0~4.9 级地震 13 次；5.0~5.9 级地震 2 次，分别为 1973 年 11 月 29 日、30 日发生在河南淅川的 $M 5.1$ 和 $M 5.0$ 级地震。区域各震级档地震频次见表 1.1-1。

区域历史上记载最早的破坏性地震为公元前 1767 年河南偃师西南 6 级地震，公元前 1767 年至 2021 年 6 月区域破坏性地震目录 ($M \geq 4.7$ 级) 见表 1.1-2。

表 1.1-1 区域地震频次统计表

破坏性地震统计 (-1767~2021.6)	震级档次(M)	4.7~4.9	5.0~5.9	6.0~6.9	7.0~7.9	$M \geq 8.0$
	地震次数	8	6	2	0	0
现代地震统计 (1970~2021.6)	震级档次(M_L)		3.0~3.9	4.0~4.9	5.0~5.9	
	地震次数		100	13	2	

表 1.1-2 区域破坏性地震目录（-1767~2021.6, $M \geq 4.7$ ）

编号	地震时间 (年.月.日)	震中位置		震级 (M)	精度	震中烈度	震中地名
		北纬(°)	东经(°)				
1	-1767.-.-	34.2	112.0	6	5	VIII	河南偃师西南
2	-143.06.07	32.1	110.1	5	3	VI	湖北竹山西南
3	46.10.21	33.0	112.5	$6\frac{1}{2}$	4	VIII	河南南阳
4	788.01.14	34.5	110.5	$5\frac{1}{4}$	5		河南陕县一带
5	1575.06.19	32.7	112.5	$5\frac{1}{4}$	4		河南南阳南
6	1638.12.22	34.5	112.4	$4\frac{3}{4}$	3		河南新安东南
7	1742.-.-	32.1	110.8	5	2	VI	湖北房县
8	1887.-.-	32.4	111.0	$4\frac{3}{4}$	2	VI	湖北武当山
9	1948.02.19	31.9	111.4	$4\frac{3}{4}$		VI	湖北保康
10	1964.09.05	33.2	110.7	4.9	2	VII	湖北郧西
11	1973.11.29	32.88	111.52	5.1	1	VI	河南淅川
12	1973.11.29	32.88	111.52	4.7	1		河南淅川
13	1973.11.30	32.87	111.52	5.0	1		河南淅川
14	1982.03.11	33.2	110.28	4.9	1		陕西山阳县
15	1992.01.14	34.38	113.28	4.7	1		河南登封
16	2000.04.29	33.22	112.06	4.7	1	VI	河南内乡

1.2 区域地震空间分布特征

1.2.1 区域地震震中分布特征

区域范围内地震活动较弱，没有 7 级以上地震记录。区域破坏性地震在空间分布上呈现出不均匀性。区域地震活动不强，以中强地震活动为主，地震震中分布比较零散、随机，没有形成明显的丛集或条带图像。以北纬 33 度为界，北部更接近华北强震区，北部历史地震震级大频次低，区域南部震级小频次高。自有历史破坏性地震记载以来，区域内曾记录 4.7 级以上地震 16 次，其中 9 次发生在区域的南部（图 1.2-1）。

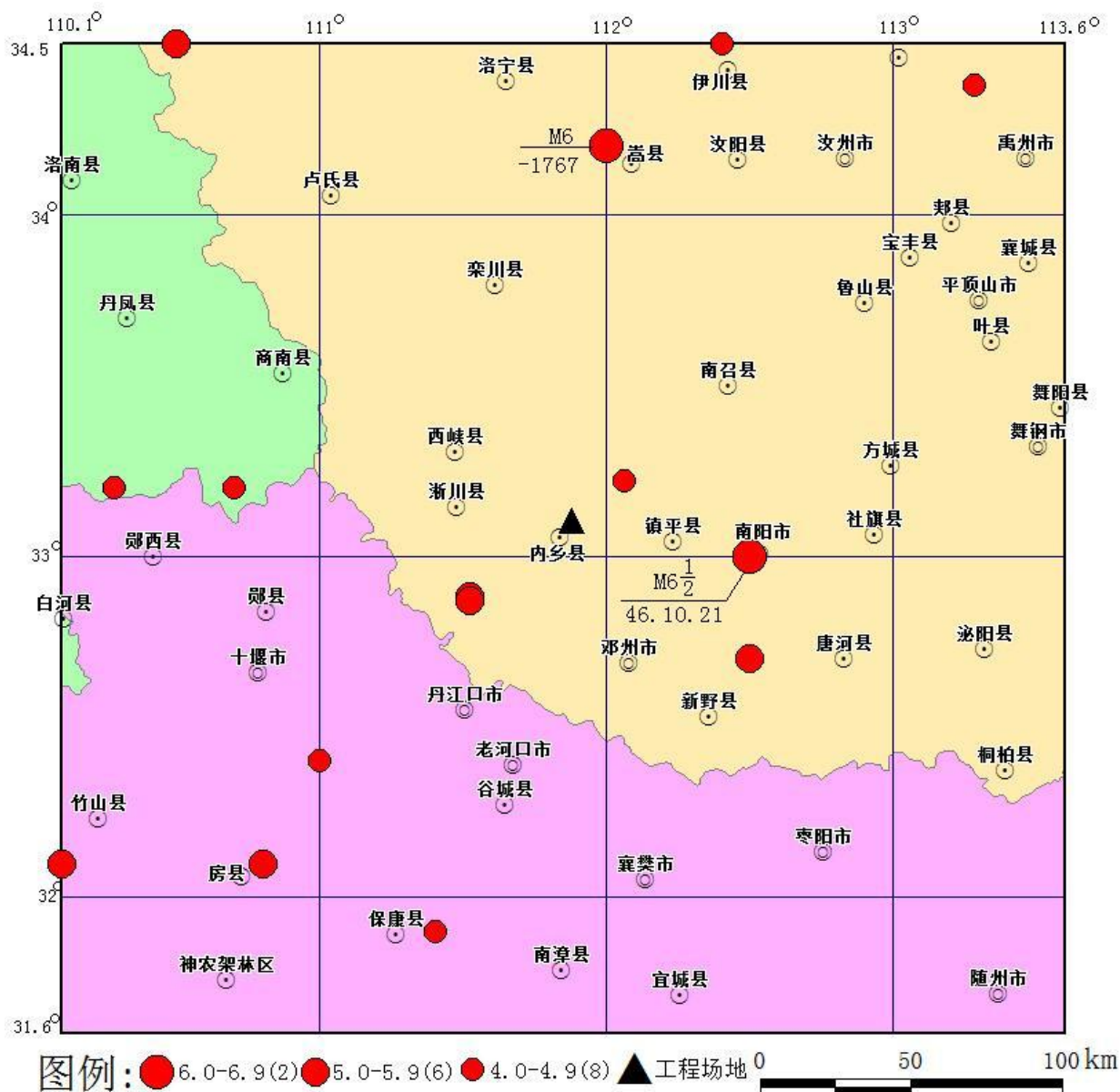


图 1.2-1 区域破坏性地震震中分布图(-1767~2021.6, $M \geq 4.7$)

图 1.2-2 为 1970 年以来区域 $M \geq 3.0$ 现代地震震中分布图。从图中可以看出，区域现代地震活动较为频繁，现代地震在空间分布上呈现出不均匀性。南阳西部的地震活动相对密集，呈团簇状特征，主要为 1976 年内乡震群活动和浙川的水库地震活动。其它地区地震比较分散，呈随机分布。

1973 年 11 月 29 日~12 月 4 日浙川县宋湾丹江水库发生了 5.1 级震群，6 天内共发生大于等于 2.0 级地震 22 次，主震为 5.1 级。震中位于浙川断裂带和荆子关至宋湾断裂带交叉处，具有构造地震和水库地震相互迭加的双重特征。虽震级不高，面积不大，但震源浅、

危害大。1976 年 2 月 5 日~3 月 5 日内乡县马山口发生 4.0 级震群，30 天内不小于 2.0 级的地震共有 61 次，震中位于北纬 $33^{\circ} 15'$ ，东经 $110^{\circ} 57'$ ，主震为 4.0 级，次震为 3.7 级。淅川宋湾和内乡马山口地震活动目前仍处于活跃阶段，仍有发生 4~5 级地震的危险性。

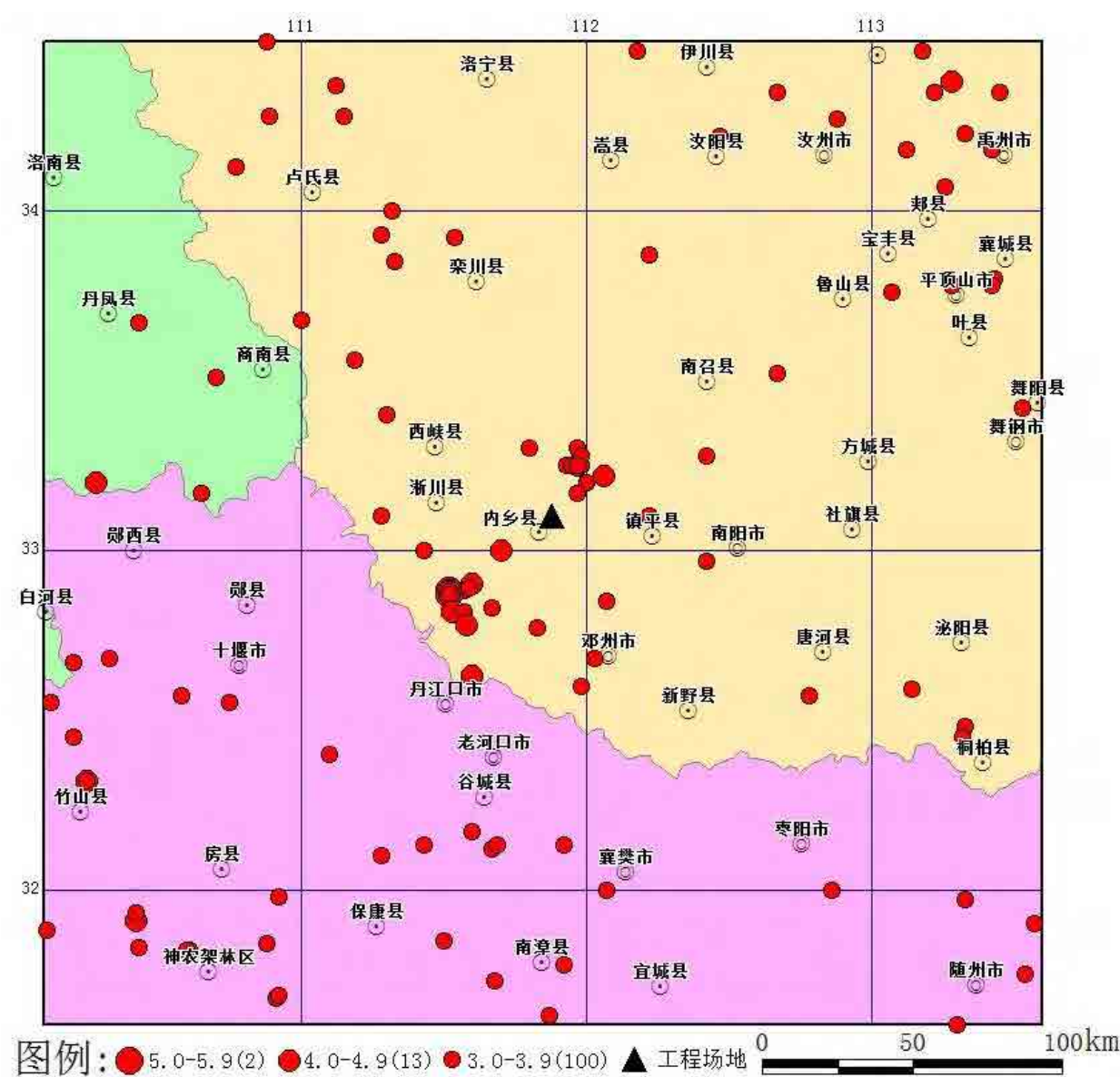


图 1.2-2 区域现代地震震中分布图(1970~2021.6， $ML \geq 3.0$)

1.2.2 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。根据区域 1970 年以来有震源深度参数 $ML \geq 3.0$ 的 52 次地震统计结果（表 1.2-1），区域内地震震源深度优势分布在 1~20km 范围内，约占总数的 92%（图 1.2-3）。总体来看，区域的地震基本上是发生在地壳中上层的浅源地震。

表 1.2-1 区域地震震源分布情况

震源深度 (km)	1~4.9	5~9.9	10~14.9	15~19.9	20~24.5	25~30
地震次数	5	27	11	5	2	2
百分比 (%)	9.6	51.9	21.2	9.6	3.8	3.8

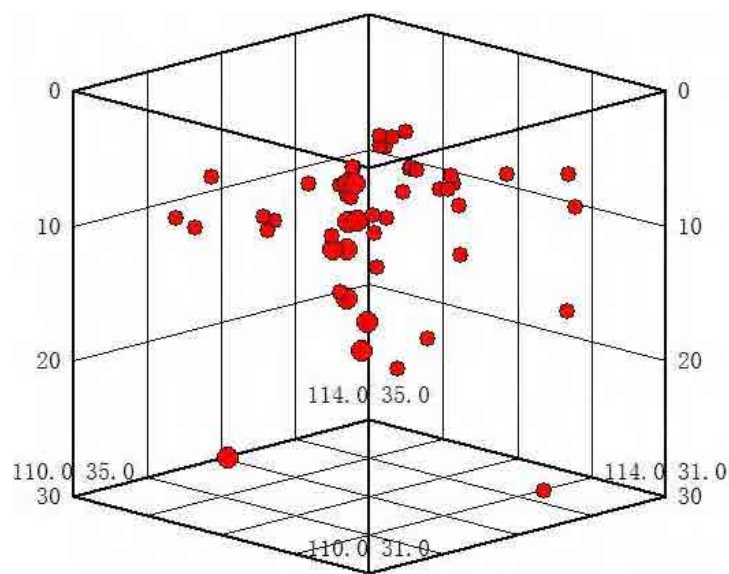


图 1.2-3 区域地震震源深度分布图

1.3 地震区、带划分

1.3.1 概述

地震活动有密集或成带分布的特点，不同地震区、带其地震活动特征不同。在地震区划工作中，根据这种地震活动空间不均一性，并考虑到其与构造活动、地壳结构之间的关系进行了区、带的划分。

1.3.2 地震区、带划分的依据和原则

(1) 划分依据

区域地震活动特征和差异是地震区、带划分的最重要依据。地震活动特征和差异主要表现为时、空、强分布特点上。具体地说，应包括地震强度分布、b 值分布、震源深度分布、应变积累—释放过程等。

由于地震记录时间一般较短（几十年到几百年），不足以反映一个地震区、带地震活

动的固有特征，因此，反映地震孕育、发生的构造环境是地震区、带划分的另一个重要依据。反映地震孕育、发生的构造环境，应包括活动构造和地壳深部结构、地球物理场特征以及构造应力场等。

(2) 划分原则

- 1) 地震区、地震带划分采用区、带两级划分方案。所划分的区、带内必须有充足的地震样本，以满足地震活动性统计的需要。
- 2) 划分地震区、带时应尽量考虑现代地球动力学分区特征，使每个单元内的地质构造、地球物理环境具有相同的特征。
- 3) 每个单元内的地震不但在空间上连接成带，而且在时间上有相同的活动规律。

1.3.3 地震区、带的划分结果

地震带是分析地震时间分布特征、估计未来百年地震活动趋势和地震危险性分析中估计地震活动性参数的基本统计单元。地震带的划分，直接影响着场地的地震危险性评价，在本项工程中，采用了第五代区划图即《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）编制和使用的地震区、带划方案。



图 1.3-1 区域地震区带图

这些地震带是进行地震活动性分析的基本统计单元。本工程场地的地震危险性的主

要影响来自汾渭地震带、华北平原地震带和长江中游地震带（图1.3-1）。工程场地位于华北平原地震带内。

（1）华北平原地震带

华北平原地震带呈北北东向展布。华北平原拗陷内有多组不同方向的断裂存在，其中以主要是北东—北北东和北西—北西西向两组断裂为主，晚第四纪以来部分断裂仍以较强活动，与地震活动关系密切，强震多发生在两组断裂交汇部位。截至2021年6月，该区共记到 $M \geq 4.7$ 的破坏性地震240次，其中8级地震1次（1679年9月2日三河、平谷地震）；7.0~7.9级地震5次；6.0~6.9级地震30次，5.0~5.9级地震117次（图1.3-2）。该区地震活动似乎有北强南弱的特点，尤其华北平原凹陷北部与燕山南麓边界附近，新构造运动强烈，1679年三河、平谷8级地震和1976年唐山7.8级地震均发生在该地区。该区最早的地震记载为公元前1767年河南偃师6级地震。图1.3-3给出公元1400年以来华北平原地震统计区 $M \geq 4.7$ 级地震的M-T图与应变释放曲线。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。从图2-7上看，该区1450年以来经历有两个地震活跃期（1485—1679年，1791—？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；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4.7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。

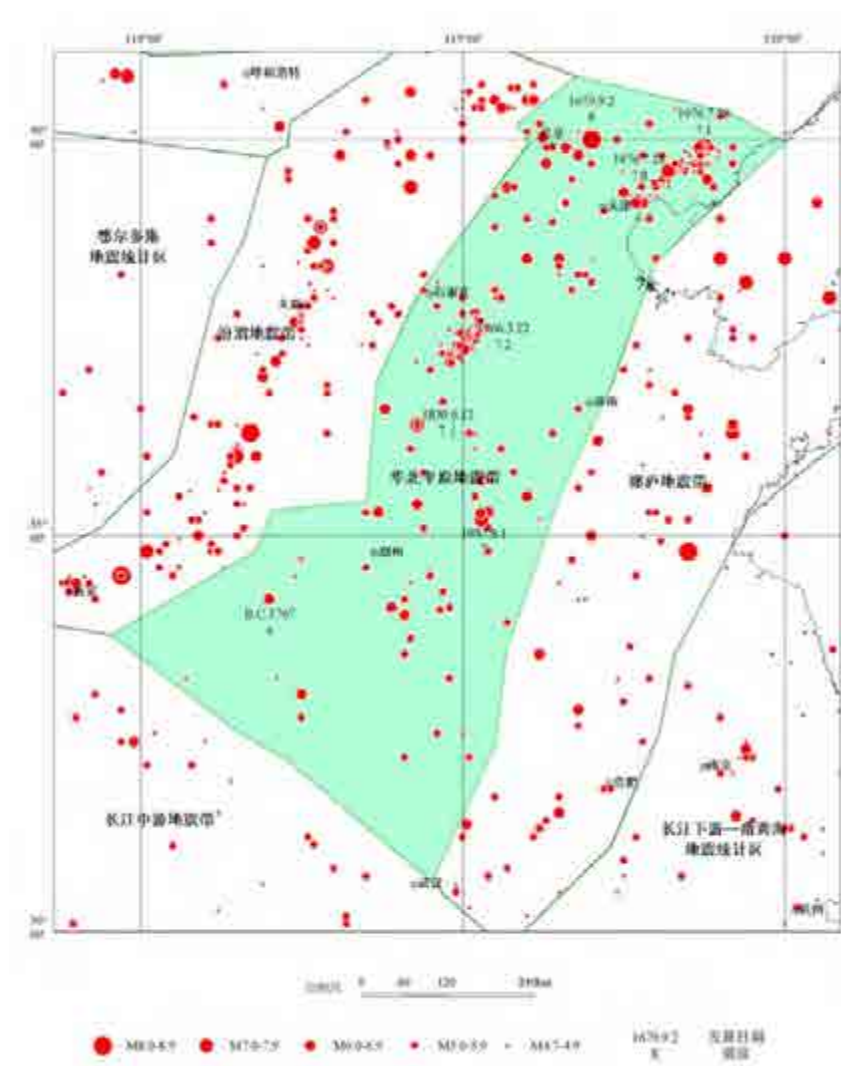
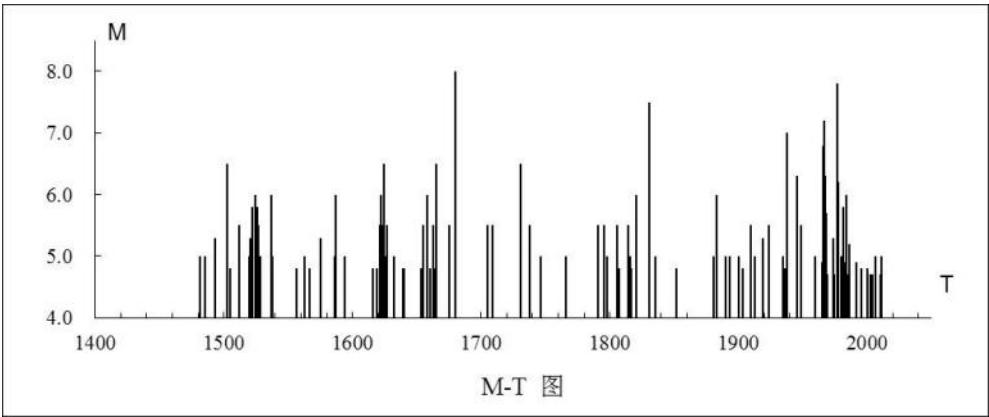


图 1.3-2 华北平原地震统计区震中分布图



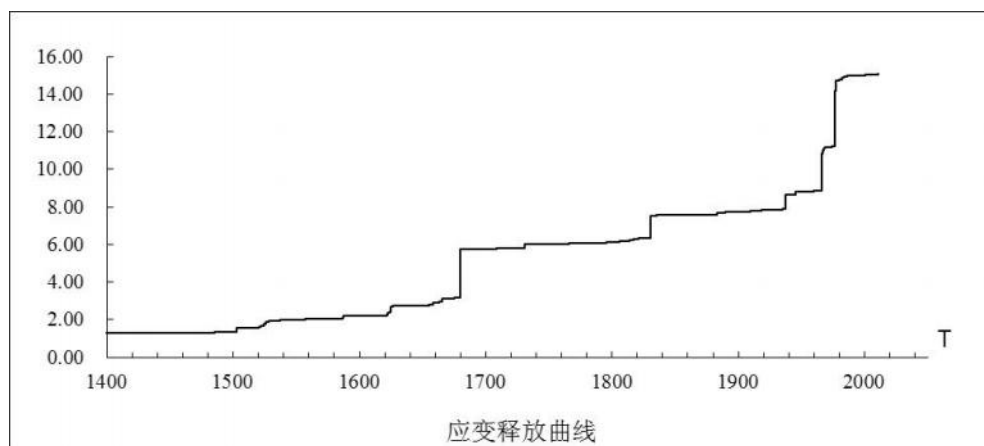


图 1.3-3 1400 年以来华北平原地震统计区 M-T 图及应变释放曲线

(2) 汾渭地震带

汾渭地震带南起渭河盆地，贯穿山西全境，北止于怀来—延庆盆地，是华北地区的一个强震活动区。由延怀、大同、灵丘、忻定、太原、临汾、运城、渭河等一系列活动断裂所控制的断陷盆地组成，强震主要位于山西断陷带的忻定盆地、临汾盆地和渭河断陷带的东部地区。截至2021年6月，该区共记到 $M \geq 4.7$ 的破坏性地震186次，其中8级地震2次（1556年2月2日华县8 $\frac{1}{4}$ 级地震和1303年9月25日洪洞8级地震）；7.0~7.9级地震7次；6.0~6.9级地震22次，5.0~5.9级地震99次（图1.3-4）。该区最早的地震记载为公元前23世纪山西永济蒲州5 $\frac{1}{2}$ 级地震。公元前23世纪至公元1000年间仅有22次地震记载，表明地震资料缺失严重。尽管公元1000年以来不能保证 $M \geq 5$ 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1.3-5给出了汾渭地震统计区公元1000年以来4.7级以上地震的M-T图和应变释放曲线。从图上看，该区1000年以来经历有两个地震活跃期（1209—1368年，1484—1720年），其间相对平静了116年。第一活跃期活动了159年，总共记到1次8级地震，4次6.0~6.9级地震。第二活跃期活动了236年，共记到1次8级地震；5次7.0~7.9级地震；10次6.0~6.9级地震。除了第一活跃期早期地震资料不完整的因素外，第二活跃期在活动时间和活动强度、频度上大大超过第一活跃期。自1815年至今，该区小震和震群活动很活跃，1998年在该区北部发生了引人注目的6.3级地震。显示这个地震统计区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，应以本地震统计区活跃期的地震活动水平来估计。

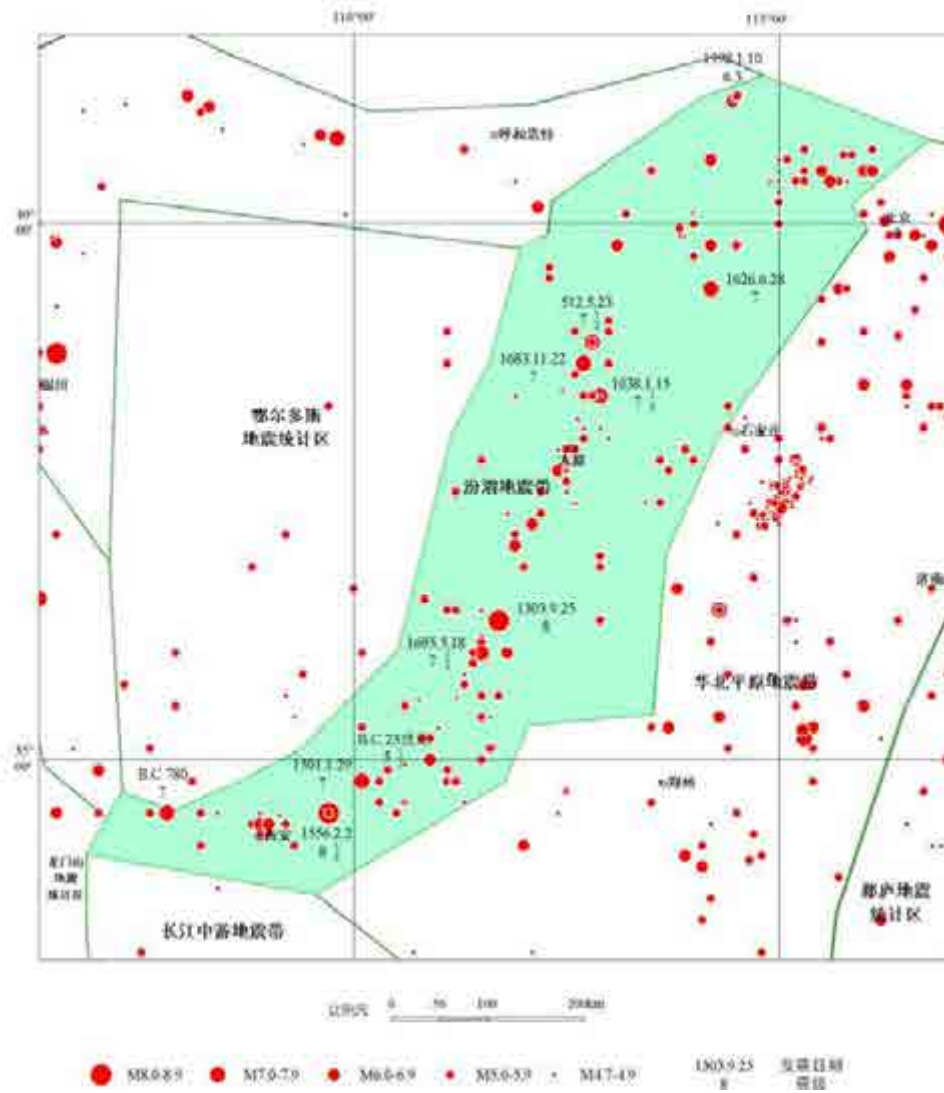
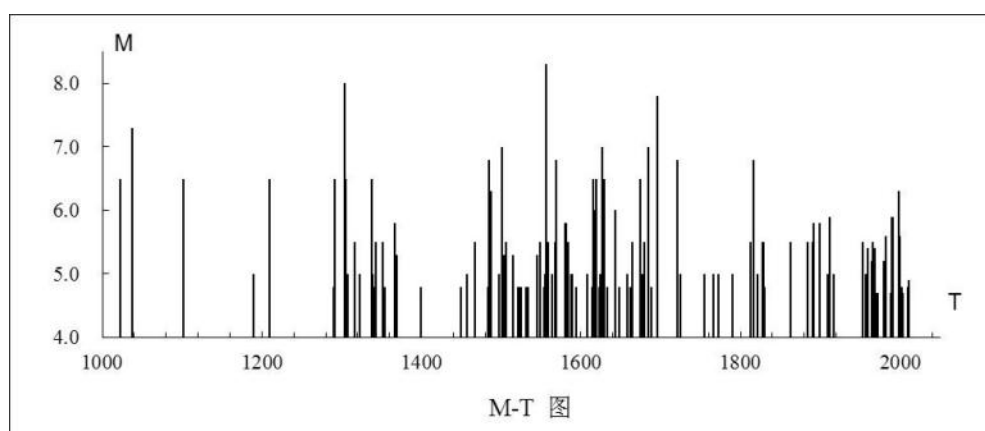


图 1.3-4 汾渭地震统计区震中分布图



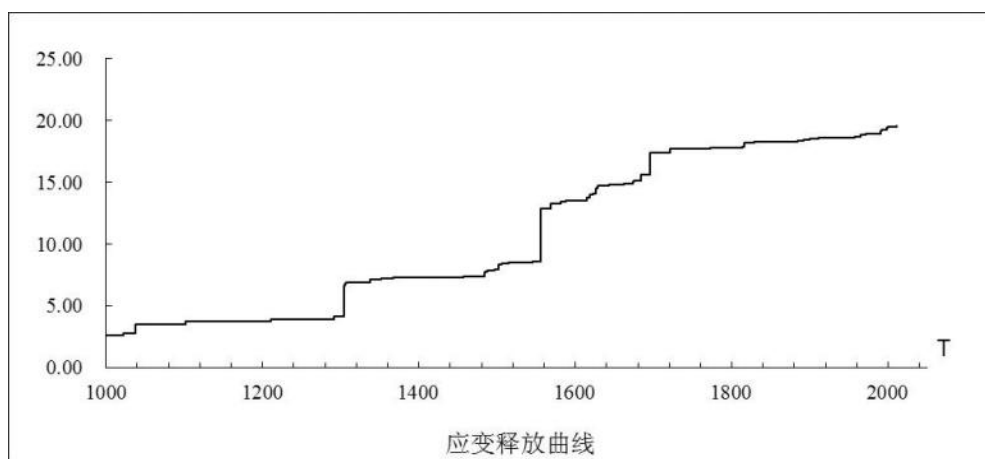


图 1.3-5 公元 1000 年以来汾渭地震统计区 M-T 图及应变释放曲线

(3) 长江中游地震带

长江中游地震带位于长江中游一带，大部为扬子准地台分布的区域。该地震统计区所在区域虽然历史上经历过多次构造运动，但新近纪以来构造活动明显减弱，绝大多数断裂在晚第四纪以来都未见明显活动，地震活动相对较弱。截至 2021 年 6 月，长江中游地震统计区共记录到 M4.7 级以上地震 119 次，均为浅源地震，其中 6.0-6.9 级地震 3 次，5.0-5.9 级地震 67 次，最大地震为 1631 年 8 月 14 日常德 $6\frac{3}{4}$ 级地震。长江中游地震统计区地震总体呈弥散分布，但在该区北界秦岭—大别一线、洞庭湖盆地、鄱阳湖盆地及四川盆地西南部地震活动稍强（图 1.3-6）。

长江中游地震统计区地震记载历史较长，最早一次为公元前 143 年 6 月 7 日竹山 5 级地震。该区 1300 年之前地震资料遗失较多。图 1.3-7 给出长江中游地震统计区公元 1300 年以来 $M \geq 4.7$ 地震的 M-T 图和应变释放曲线。从图上看，该区 1300 年以来经历有两个地震活跃期（1467—1640 年，1813—？年）。从这两个活跃期的地震分布看，现仍处于活跃期后期阶段，为保守起见，未来地震活动性参数宜以活跃期进行估计。

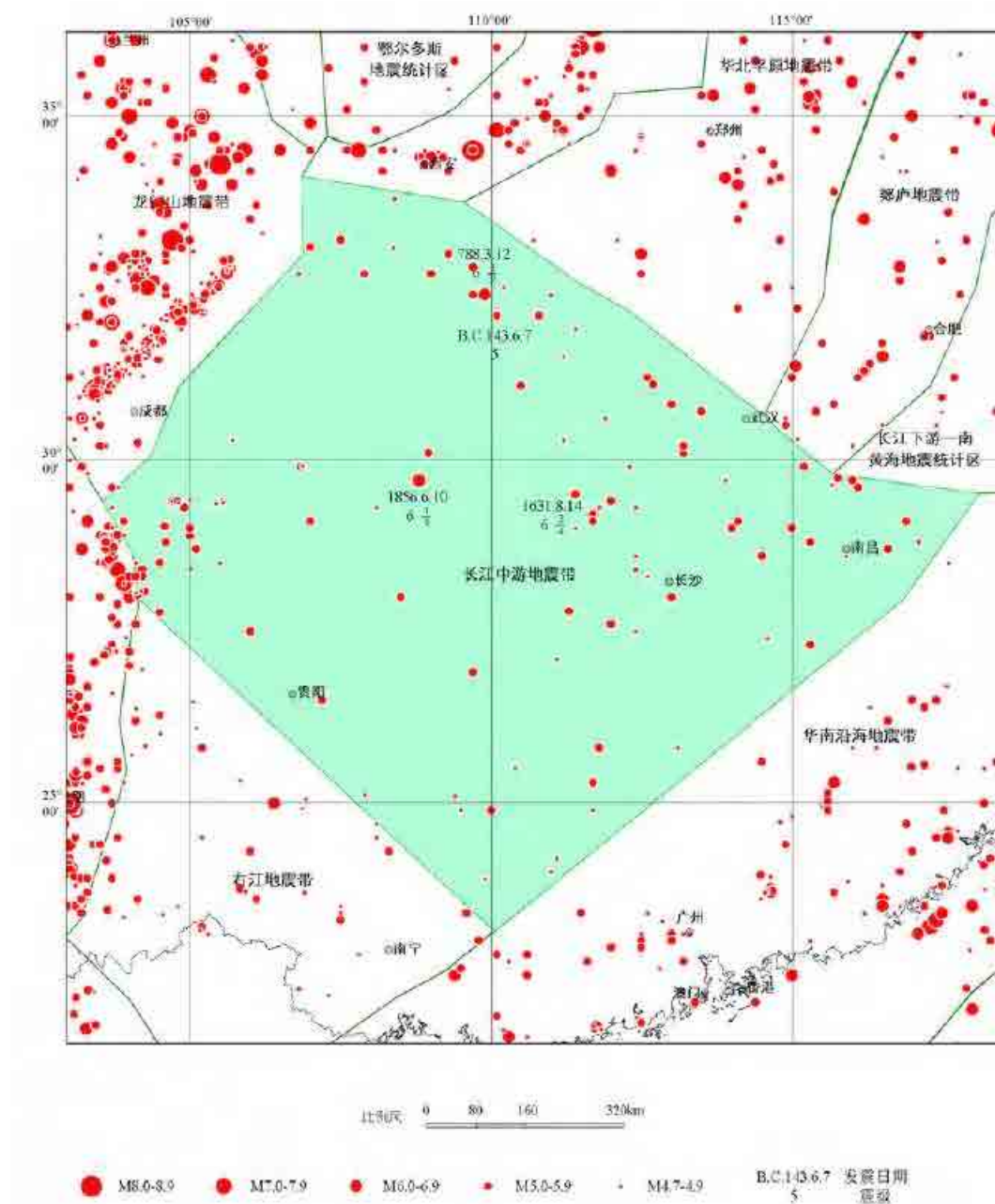
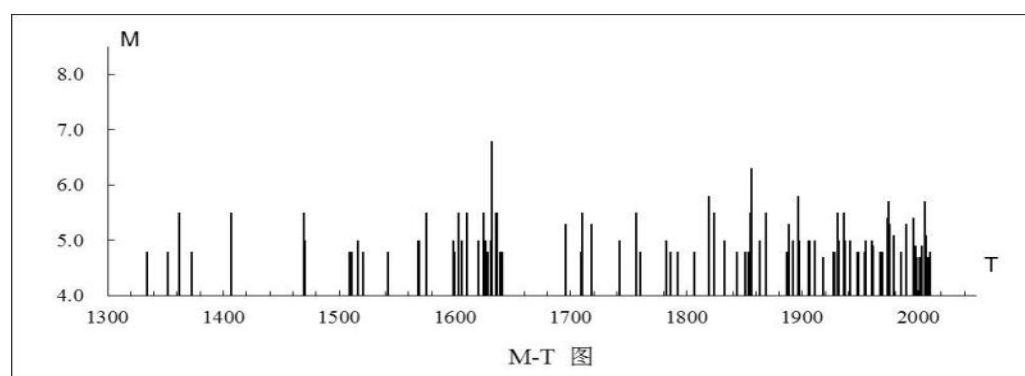


图 1.3-6 长江中游地震统计区震中分布图



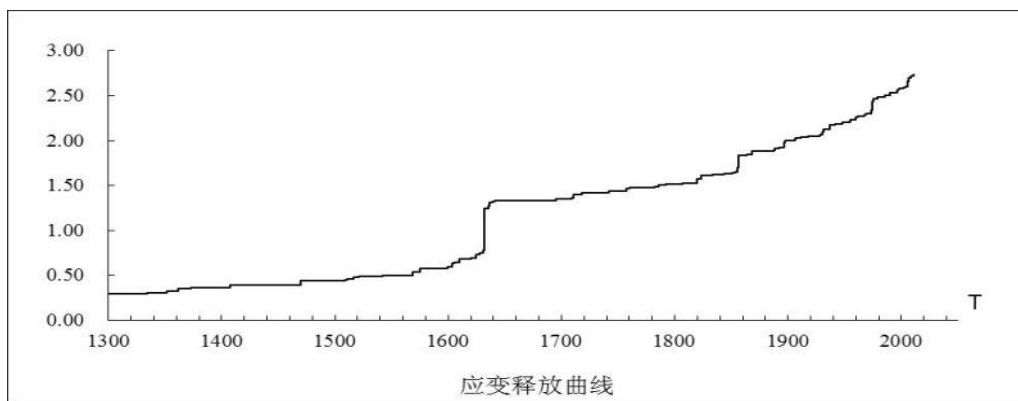


图 1.3-7 公元 1300 年以来长江中游地震统计区 M-T 及应变释放曲线图

1.4 区域地震活动时间分布特征及活动趋势

从表 1.1-2 区域历史破坏性地震目录可知，区域从最早有地震记载的公元前 1767 年至 1555 年，共记载到 4 次 $4\frac{3}{4}$ 级以上地震。早期地震记录缺失严重，1556 年之后地震记录明显增多。图 1.4-1 为区域公元元年至 2021 年 6 月 $M \geq 4.7$ 级地震的 M-t 图。从图中可以看出，1556 年至今共发生 4.7 级以上地震 12 次。

区域现代地震活动周期不明显（图 1.4-2）。

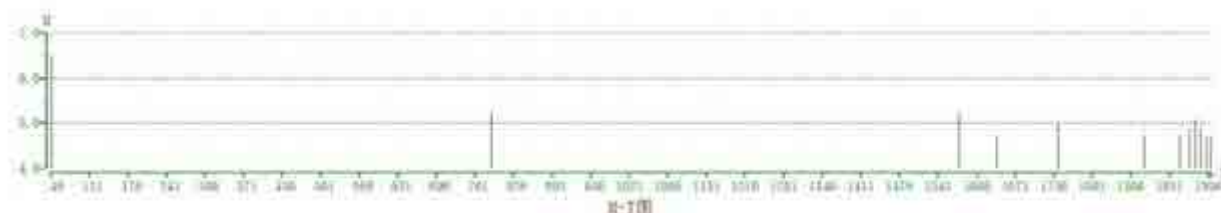


图 1.4-1 区域破坏性地震时序图（1~2021.6, $M \geq 4.7$ ）

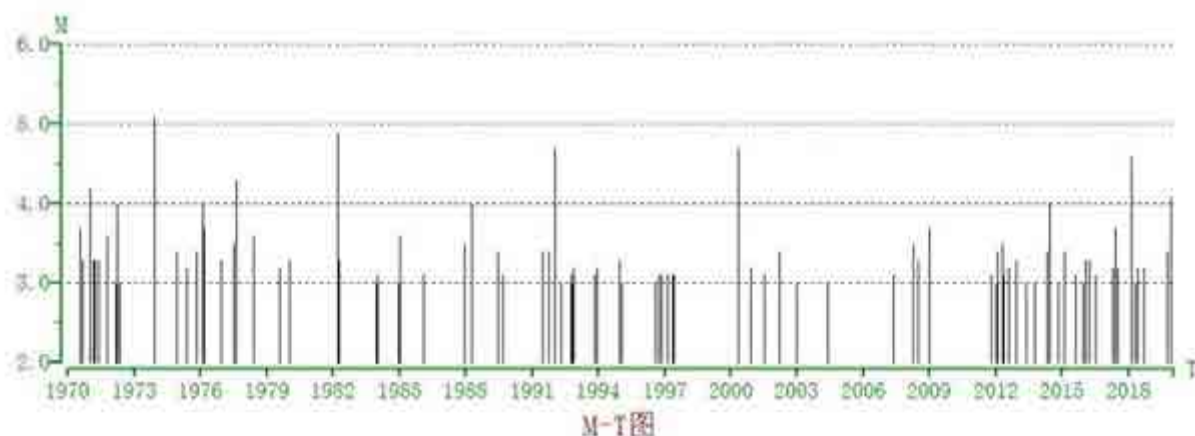


图 1.4-2 区域现代地震时序图（1970~2021.6, $M \geq 3.0$ ）

1.5 历史地震对工程场地的影响

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，计算历史地震对它们的影响烈度值。

1.5.1 历史地震影响

对场地造成Ⅴ度以上的历史地震事件见表 1.5-1，对其中几个较大的历史地震情况简述如下：

1、46 年 10 月 23 日河南南阳 6½级地震

据《后汉书·光武帝记》记载：“郡国四十二地震，南阳尤甚，地裂压杀人”，“诏令南阳勿输当年田租刍藁，赐郡中居人压死者棺钱，人三千。其口赋逋税而庐宅尤破坏者，勿收责。吏人死亡，或在坏垣毁屋之下，而家羸弱不能收拾者，其以见钱谷取佣，为寻求之”。

46 年 10 月 23 日南阳 6½级地震，震中烈度达Ⅷ度，对工程场地的影响烈度达Ⅵ度。

2、1556 年 2 月 2 日陕西华县 8¼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。震中烈度为Ⅺ度，对工程场地影响烈度达Ⅴ度(图 1.5-1)。

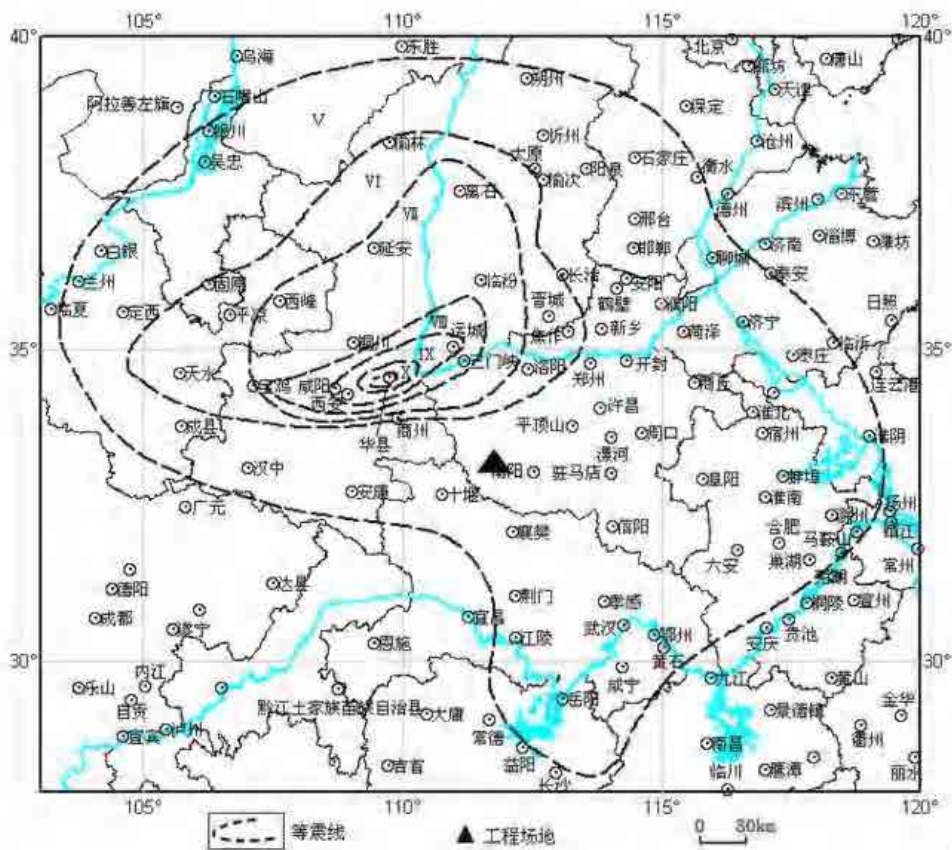


图 1.5-1 1556 年 2 月 2 日陕西华县 8½级地震等震线

3、1668 年 7 月 25 日山东郯城 8½级地震

震中位于山东郯城北，震中烈度 \geq XI。据记载：“鲁、苏、浙、皖、赣、鄂、豫、冀、晋、辽、陕、闽诸省及朝鲜同时地震。山东郯城、沂州、莒州破坏最重。50 多万平方公里范围内的 150 多个州县遭受不同程度的破坏，有感半径 800 多公里。”对工程场地影响烈度达 V 度(图 1.5-2)。

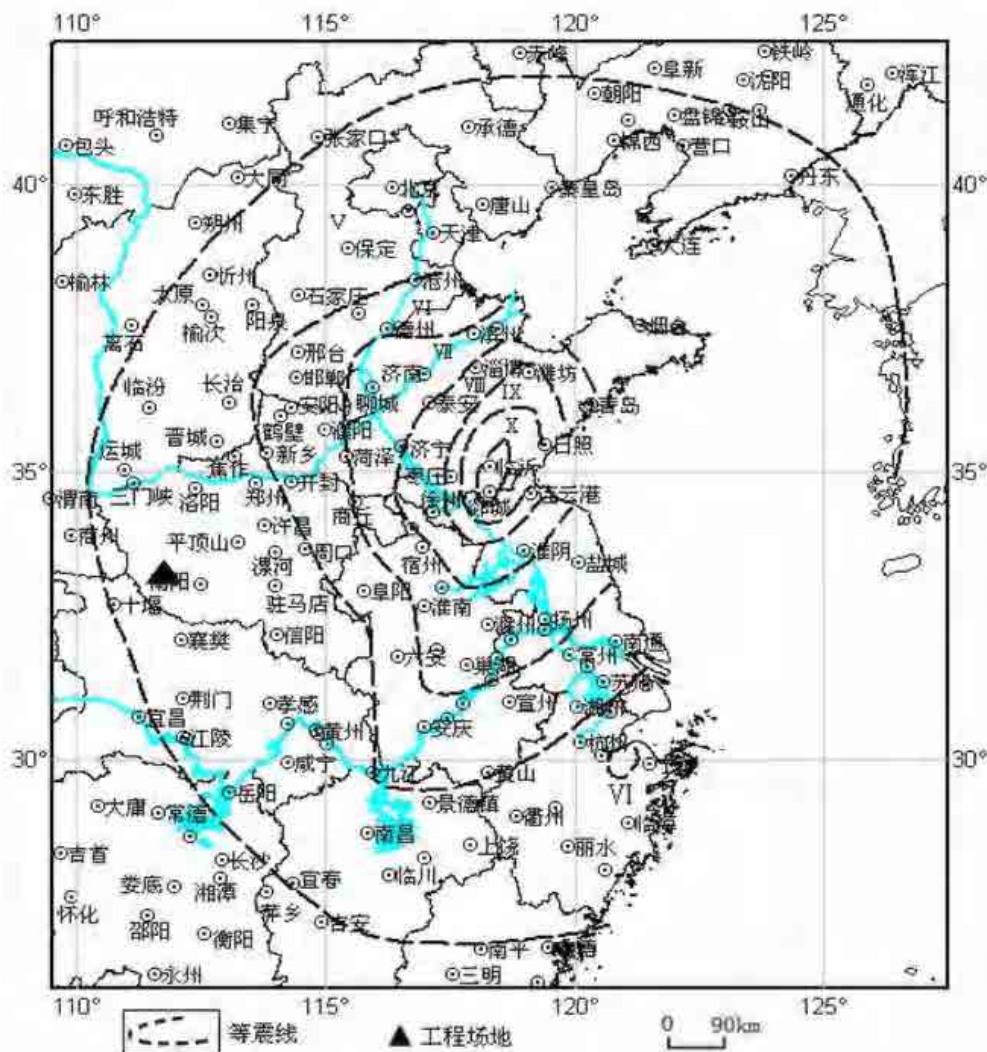


图 1.5-2 1668 年 7 月 25 日山东郯城 8½ 级地震等震线图

4、1695 年 5 月 18 日山西临汾 7¾ 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：“大震，屋壁皆倾。”

此次地震震中烈度为 X 度，对工程场地影响烈度达 V 度，见图 1.5-3。

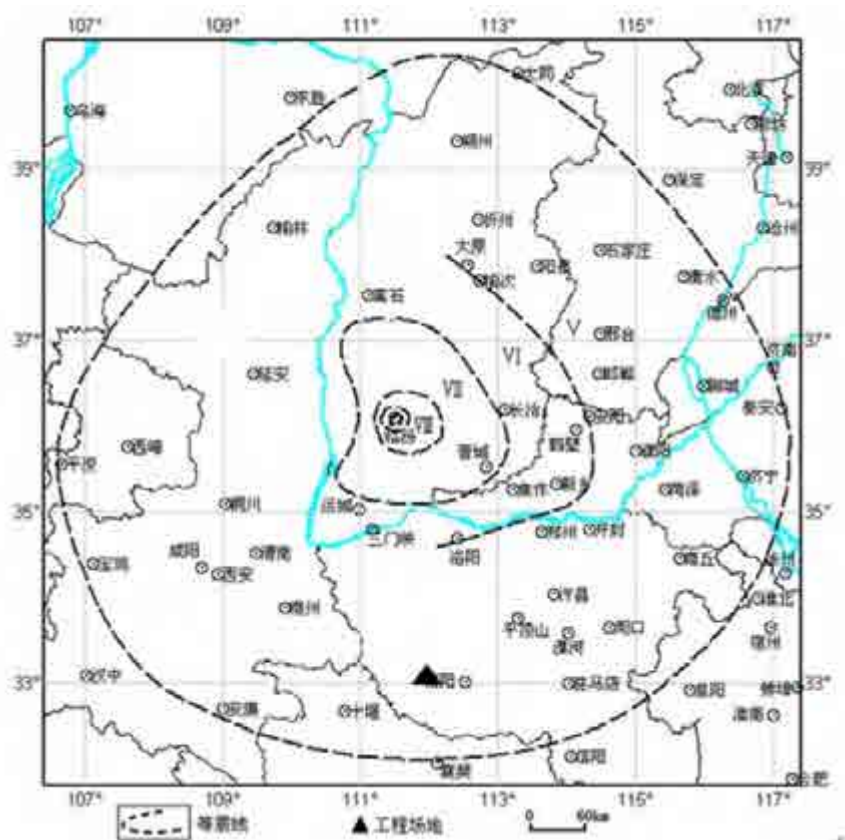


图 1.5-3 1695 年 5 月 18 日山西临汾 7 级地震等震线图

5、1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8½ 级地震

本次地震是近百年来在中国大陆人口密集区发生的最大地震，其影响西至玉门，东至东海之滨的上海。据记载“在震中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 59%。全区因地震而死者不下 20 万人。在地震破坏区，山崩崖塌，山川远移，峰谷互换，城墙倒塌，房屋荡尽，死伤无数。”

震中烈度达 XII 度，工程场地位于 IV-V 度区（图 1.5-4）。

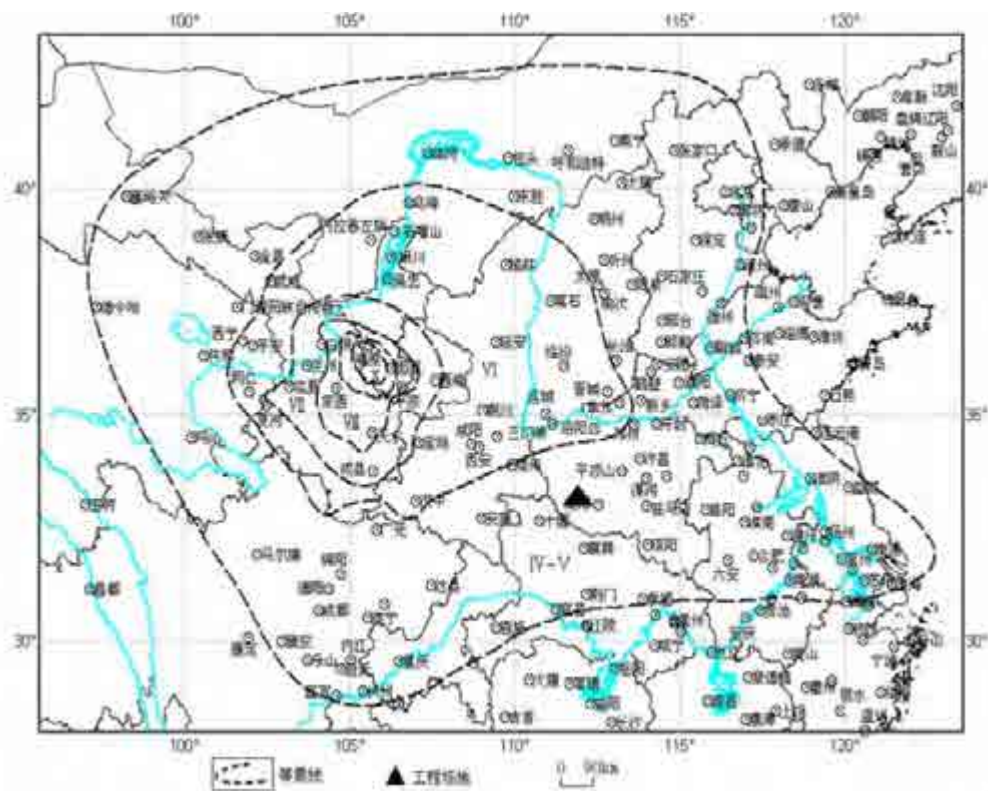


图 1.5-4 1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8¹/₂级地震等震线图

1.5.2 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，当历史资料缺乏时，可以用区域的烈度平均轴衰减关系获得。在本次工作中，场地历史地震的影响烈度大部分来自史料记载。

计算场地的影响烈度时，采用由中国地震烈度区划图（1990）东部衰减关系折合的平均轴衰减关系：

$$I=4.493 + 1.454M - 1.792\ln(R+16.0)$$

式中 R 为震中距，单位为 km，M 为震级。

表 1.5-1 给出了场地所遭受的历史地震影响烈度（≥ V 度）。本表中场地影响烈度有历史记载的宏观烈度为准，无记载的则以计算烈度为准。图 1.5-5 为区域范围内破坏性地震最大烈度综合等震线分布图，场地位于 VI 度区。

表 1.5-1 历史破坏性地震对工程场地影响烈度

编号	地震日期 (年. 月. 日)	震中位置			震级 (M)	震中 烈度	震中距 (km)	影响烈度		
		纬度 (°)	经度 (°)	地名				计算 烈度	宏观 烈度	综合 烈度
1	46. 10. 21	33. 0	112. 5	河南南阳	6½	VIII	59	6. 2		VI
2	1303. 09. 25	36. 3	111. 7	山西洪洞	8		355	5. 5		V
3	1556. 02. 02	34. 5	109. 7	陕西华县	8¼	XI	255		V	V
4	1668. 07. 25	34. 8	118. 5	山东郯城	8½	≥XI	646		V	V
5	1695. 05. 18	36. 0	111. 5	山西临汾	7¾	X	323		V	V
6	1920. 12. 16	35. 5	105. 7	宁夏海原	8½	XII	634		IV-V	V

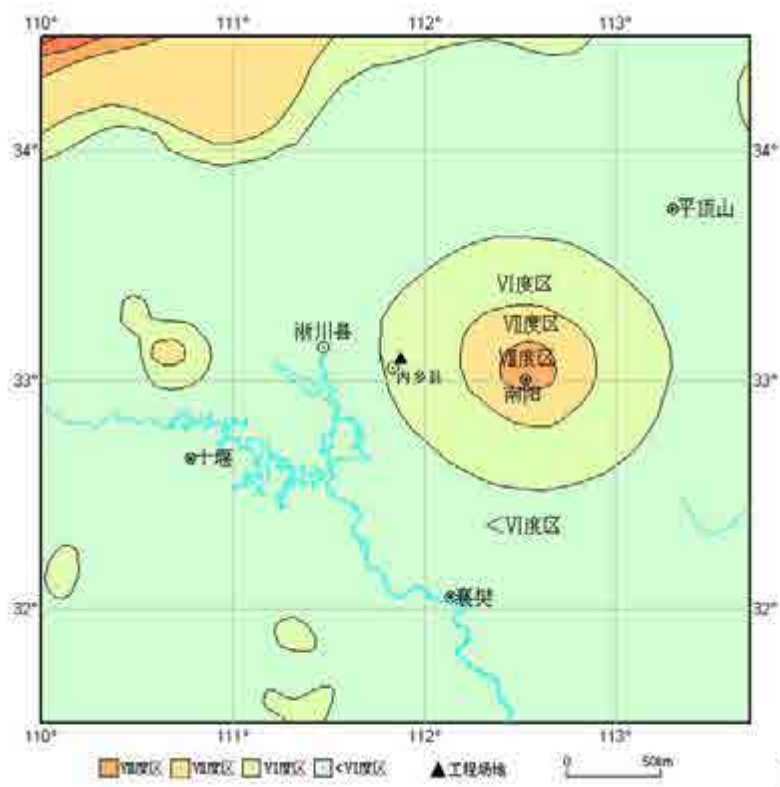


图 1.5-5 历史破坏性地震综合等烈度线分布图

1.6 区域地震震源机制解及现代构造应力场

现代构造应力场是驱动地壳断裂构造活动并孕育发生地震的基本原因,不同方向的断裂活动的性质及其发生地震的震源力学特性,反映了区域构造应力场的特征,因此,根

据地震的震源机制解反推地震发生地区的现代构造应力场，是目前常用的有效方法。

1.6.1 河南省及邻区构造应力场特征

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。

根据河南省及邻区的地震震源机制解资料，主压应力轴（P 轴）走向为北东东向，主张应力轴（T 轴）为北北西向，说明河南省及邻区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° ，鄂豫皖交界平均 P 轴走向为 86° （图 1.6-1）。

一般认为，等震线长轴方向代表了地震错动的方向。通过对河南省及邻区内的部分地震的等震线长轴方向进行统计，出现了比较集中的北东和北西向两组取向，其中北东-北北东向具有明显的优势取向。因此认为，河南省及邻区内北东-北北东向断裂是主要的发震构造，而北西-北西西向断裂也是重要的发震构造。

1.6.2 区域现代构造应力场

区域主要位于陕鄂豫交界区，区域内有震源机制解资料的地震共计 14 个，表 1.6-1 为区域地震震源机制解参数表。从表中可以看出，区域内地震断层多数为走滑型断层，也有逆断层活动。

图 1.6-2 是区域震源应力场 P、T 轴的方位角与倾角分布图。从图中可以看出，P 轴方位大部分为近东西走向，仰角多数小于 30° ，T 轴方位大部分为近南北走向，仰角多数小于 30° 。区域震源应力场 P、轴方位虽然比较离散，但也存在优势方向，主压应力轴主要为近东西向，主张应力轴主要为北东向，说明区域主要处于以近东西走向的水平压应力和近北东走向的水平张应力为特征的构造应力场中。

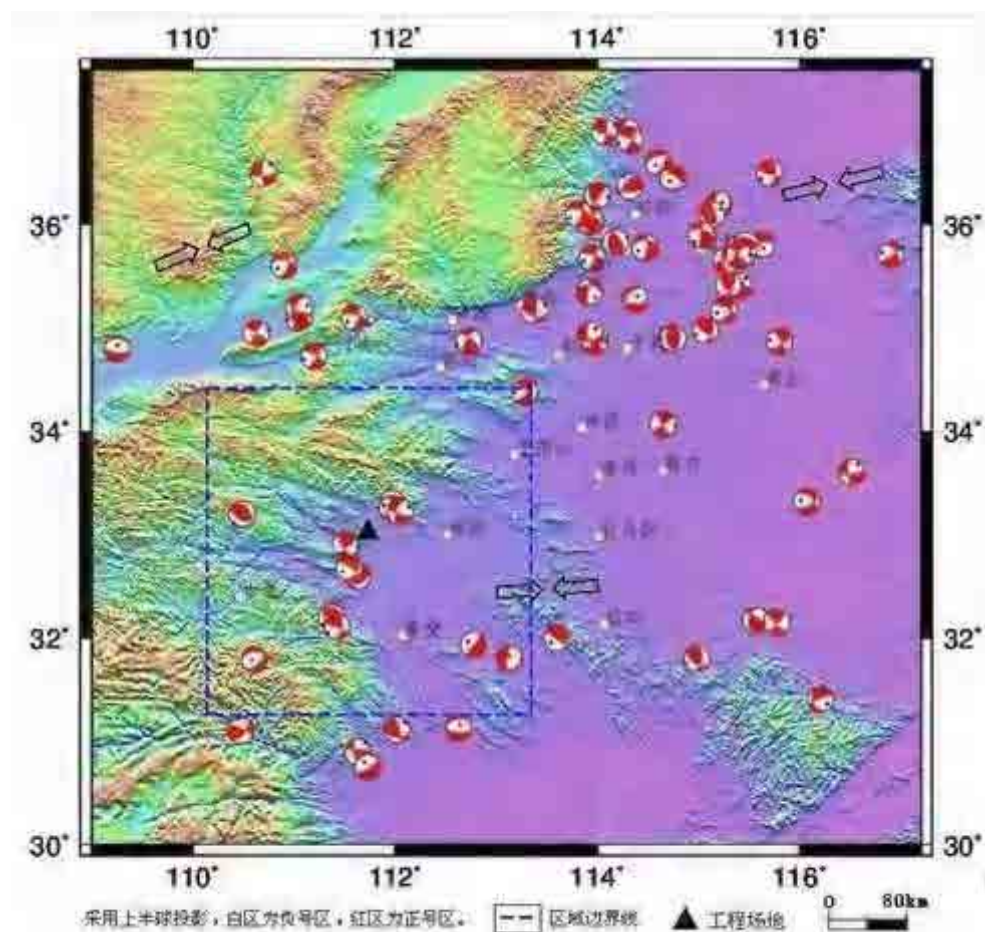


图 1.6-1 区域及邻区地震震源机制解分布图

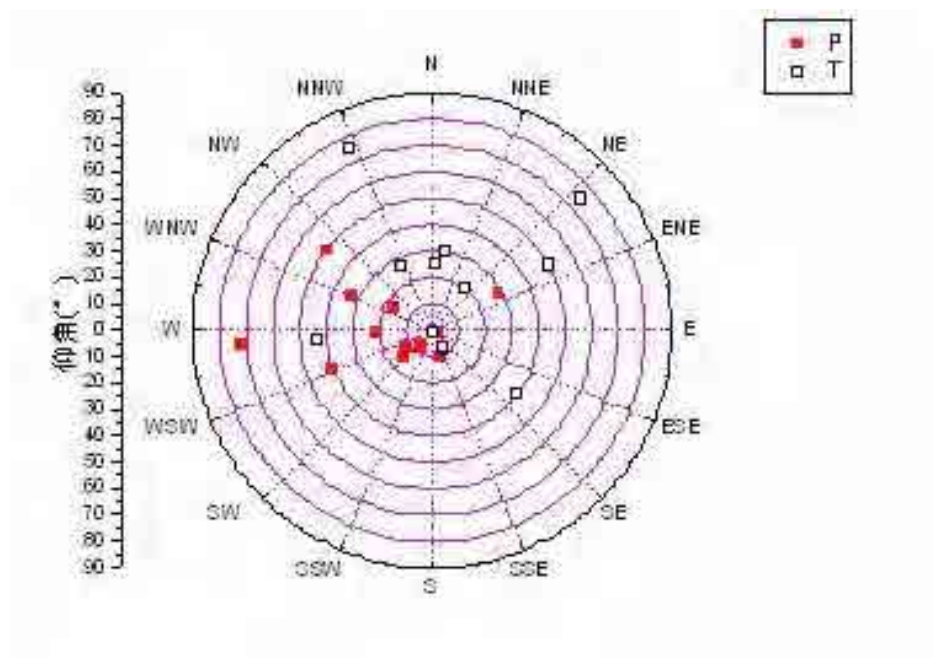


图 1.6-2 区域地震 P 轴、T 轴方位角与倾角分布图

表 1.6-1 区域地震震源机制解参数

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 向	倾 角	走 向	倾 向	倾 角	方 位	仰 角	方 位	仰 角
1972.04.03	湖北河口	32.58	111.63	3.5	9	6	57	70	251	153	42	300	17	60	50
1973.11.29	河南淅川	32.88	111.52	4.2	9	230	158	71	328	22	68	99	2	9	30
1976.02.14	河南内乡	33.25	111.97	3.5	10	223	42	68	115	153	52	165	10	266	44
1977.08.06	河南淅川	32.67	111.55	3.8	11	123	-51	81	224	-165	39	249	41	3	26
1978.05.28	河南内乡	33.25	111.97	3.0	10	162	-40	82	259	-170	51	293	33	37	20
1980.07.15	湖北枣阳	31.93	112.77	2.2	7	218	NW	85	38	SE	5	308	50	127	40
1981.04.20	湖神农架	33.28	110.77	2.1	6	227	NW	55	260	SE	40	266	72	152	8
1982.03.11	湖北郧西	33.20	110.28	4.5	9	299	NE	52	321	SW	40	219	7	335	76
1983.12.30	湖北谷城	32.20	111.37	2.2	6	137	NE	60	137	SW	30	228	15	48	75
1984.01.06	湖北谷城	32.13	111.43	2.4	7	192	NE	65	107	SW	80	237	12	333	27
1992.01.14	河南登封	34.38	113.28	4.2	23	226	-164	75	132	-16	74	269	22	179	1
2000.04.29	河南镇平	33.22	112.05	4.2	16	284	-26	76	21	-165	65	60	28	154	7
2018.02.09	河南淅川	32.82	111.53	4.6	6	121	-33	57	230	-143	63	88	65	355	4
2019.11.30	河南淅川	32.78	111.58	4.2	6	327	-49	78	70	-163	42	275	41	27	22

1.7 近场区地震活动性

近场区 1970 年以前没有破坏性地震历史记录，近场区 1970 年以来记录到 $M_L \geq 2.0$ 级地震 171 次，其中 2.0~2.9 级地震 139 次，3.0~3.9 级地震 22 次，4.0~4.6 级地震 6 次，4.7~4.9 级地震 2 次，5.0~5.9 级地震 2 次，分别为 1973 年 11 月 29 日、30 日发生在河南淅川的 $M_L 5.1$ 和 $M_L 5.0$ 级地震。河南淅川的 $M_L 5.1$ 级地震是近场区历史上记录过的最大破坏性地震，表 1.7-1 给出了 $M \geq 4.0$ 级地震目录。

表 1.7-1 近场区现代地震目录(1970~2021.6, $M_L \geq 4.0$)

编号	地震日期	北纬(°)	东经(°)	震级 (M_L)	震源深度(km)
1	19701221	33	111.7	4.2	15
2	19731129	32.88	111.52	5.1	
3	19731129	32.88	111.52	4.7	
4	19731130	32.87	111.52	5.0	
5	19731204	32.87	111.52	4.1	
6	19760214	33.25	111.97	4.0	10
7	19770806	32.9	111.6	4.3	11
8	20000429	33.22	112.06	4.7	10
9	20180209	32.82	111.53	4.6	6
10	20191130	32.78	111.58	4.1	6

近场区现代小震活动较为频繁，在空间分布上不均匀，地震主要分布在近场区东北部和西南部（图 1.7-1），其它地区地震呈零星分布，东北部地震主要为 1976 年 2 月到 3 月内乡震群活动，西南部主要是淅川水库周边地震活动。近场区现代小震在时间分布上也不均匀，其中 1976 年 2 月至 3 月地震活动频繁，共发生地震 62 次，为内乡震群活动（图 1.7-2），1973 年 11 月 29 日、30 日发生在河南淅川的 ML5.1 和 ML5.0 级地震，2018 年 2 月 9 日的 4.6 级地震都属于淅川水库周边地震活动，淅川宋湾水库周边地震活动目前仍处于活跃阶段，仍有发生 4~5 级地震的危险性。总体来看，近场区西南部的地震活动无论是频次还是强度都大于东北部。

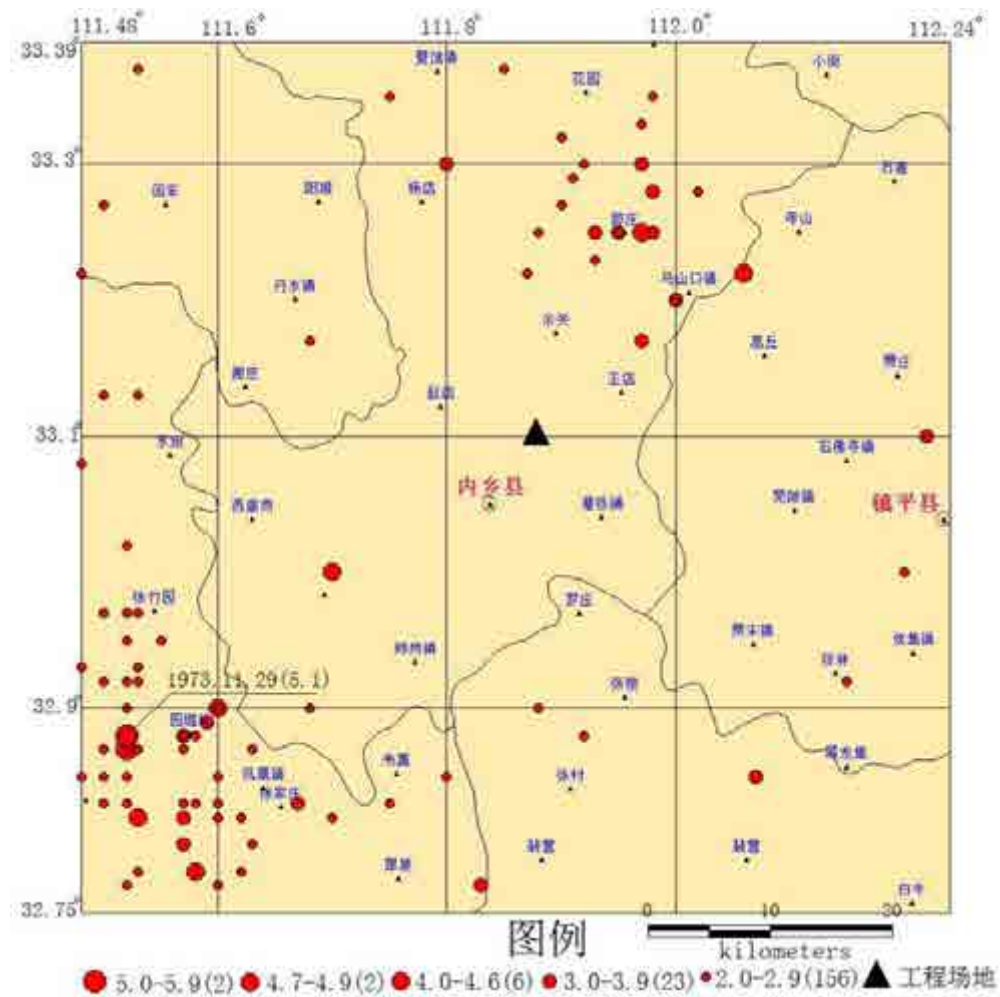


图 1.7-1 近场区地震震中分布图（1970~2021.6， ML≥2.0）

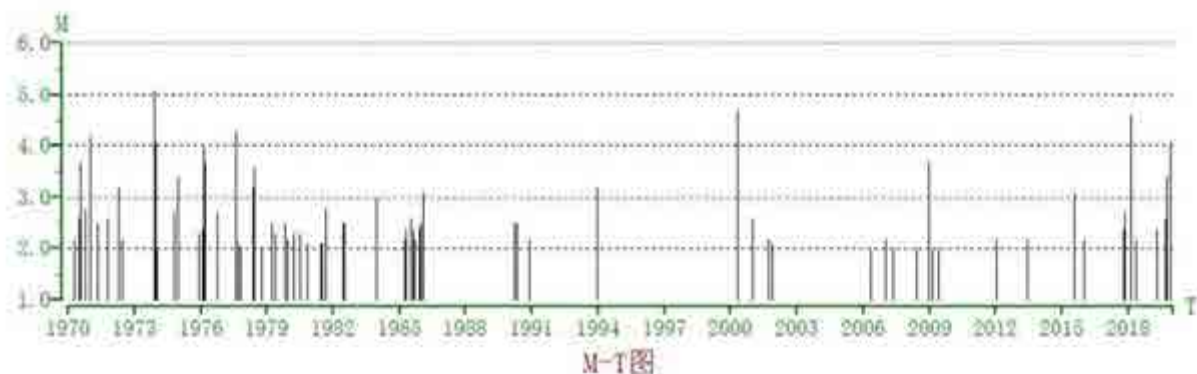


图 1.7-2 近场区现代地震 M-t 图 (1970~2021.6, $M_L \geq 2.0$)

从时间分布上来看, 1970~1985 年地震比较活跃, 1986 年至今地震活动相对较弱。活跃期期间, 地震在时间分布上呈现出丛集现象。

总体上看, 近场区历史上记录到 4 次破坏性地震, 但是近场区现代地震活动频繁, 地震分布不均匀, 主要集中于场地的东北和西南方向, 综合现代及历史地震活动性分析认为, 近场区有发生中强地震的可能性。

1.8 地震活动环境评价

通过本章的论述, 可以对地震环境作出如下评价:

1、区域地震活动性

(1) 从公元前 23 世纪到公元 2021 年 6 月, 区域内记载到 $M \geq 4.7$ 级地震 16 次, 其中 5.0~5.9 级地震 6 次、6.0~6.9 级地震 2 次。

(2) 1970 年以来, 区域内共记载 $M_L \geq 3.0$ 级地震 115 次, 其中 3.0~3.9 级地震 100 次, 4.0~4.9 级地震 13 次, 5.0~5.9 级地震 2 次。

(3) 区域地处华北地震区的西南部, 地震活动较弱, 没有 7 级以上的地震记录。区域破坏性地震在空间分布上表现出不均匀性, 地震震中分布比较零散、随机, 没有形成明显的丛集或条带图像, 以北纬 33 度为界, 北部更接近华北强震区, 北部历史地震震级大频次低, 区域南部震级小频次高。区域现代地震在空间上也表现出不均匀性, 内乡西部的地震活动相对密集。

(4) 据 1970 年之后的仪器记录资料, 区域内地震震源深度主要分布在 20km 范围内, 占总数的 92%。区域内的地震基本是发生在地壳中上层的浅源构造地震。

(5) 区域位于地震活动较为强烈的华北地震区的西南部，具体涉及华北地震区的华北平原地震带、汾渭地震带和华南地震区的长江中游地震带。华北平原地震带未来百年地震活动趋势应以该带平均活动水平来估计，汾渭地震带和长江中游地震带以该带地震较活跃水平来估计。

(6) 区域内在历史上曾多次遭受过中强地震的影响，工程场地历史地震最大影响烈度达Ⅵ度。

(7) 区域位于陕鄂豫交界区，根据区域震源机制解资料，区域主要处于以近东西走向的水平压应力和近南北走向的水平张应力为特征的构造应力场中。

2、近场地震活动性综述

近场区内历史上记录过 4 次 4.7 级以上破坏性地震。1970 年以来记录到 $ML \geq 2.0$ 级地震 171 次，最大地震为 1973 年 11 月 29 日发生在河南淅川的 $ML 5.1$ 级地震。近场区现代地震较活跃，空间上分布表现出不均匀性，地震主要分布于工程场地东北和西南方向，综合现代及历史地震活动性分析认为，近场区存在发生中强地震的背景。

第二章 区域地震构造环境评价

本章在收集前人资料基础上，结合该区地质调查结果，对区域地质构造及演化、地球物理场、新构造单元划分及运动特征和主要断裂带的活动性进行论述，分析区域地震构造环境和强震发生的构造条件，为划分潜在震源区提供构造依据。

2.1 区域大地构造概述

大地构造单元划分是为了了解在不同构造阶段的地质构造特点及同一构造阶段不同单元的构造特征，以及各构造单元空间展布范围及其分布规律，从而全面揭示区域总的构造特点及其发展规律。

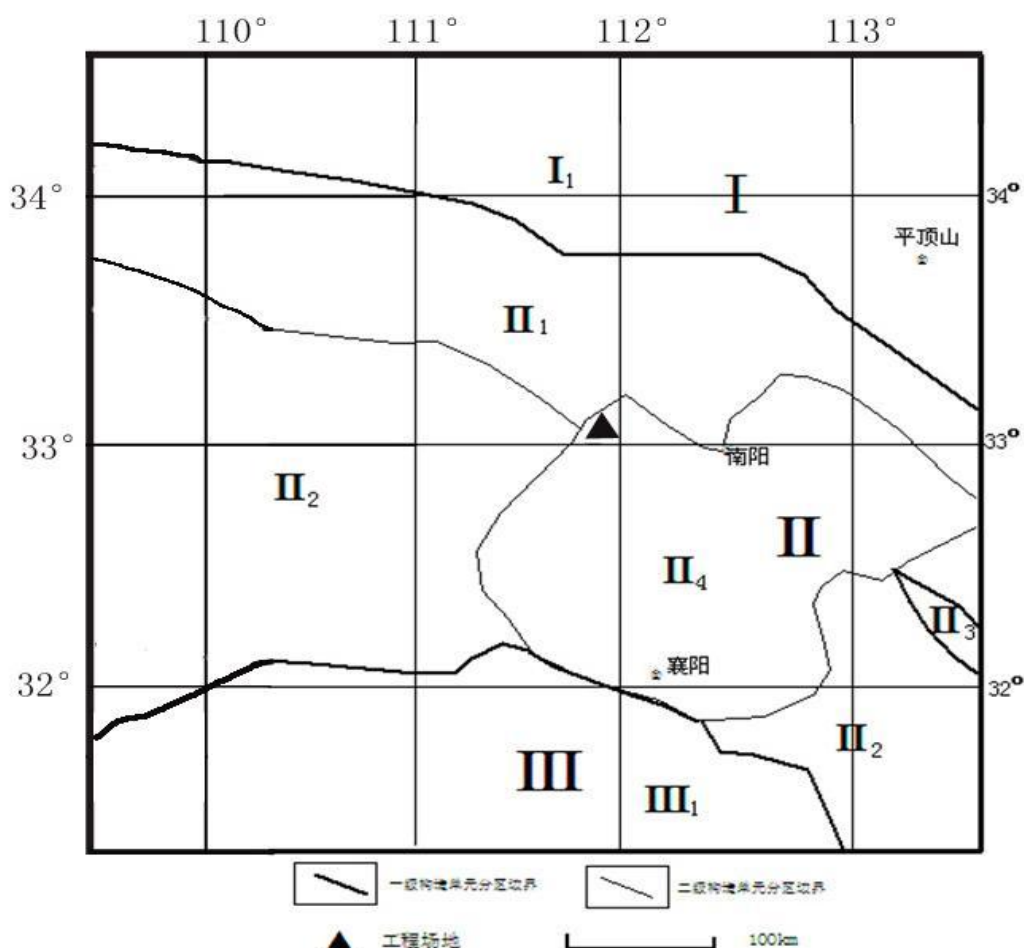


图 2.1-1 区域大地构造分区图

划分大地构造单元主要依据下述原则：将地质构造发展的质变旋回时代作为划分一级

大地构造单元最基本的准则；以地质发展史中的构造特点作为划分二级构造单元的依据。

按照上述原则，在综合分析研究各构造阶段沉积岩相与建造组合、岩浆活动、构造变动、区域变质程度及成矿作用等特征的基础上，将本区划分为 3 个一级、多个二级大地构造单元（表 2.1-1、图 2.1-1）。

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
中朝准地台（I）	太古界、下元古界	中元古代	北西西、近东西	华熊台缘拗陷（I ₁ ）
秦岭褶皱系（II）	古生代、早中生代	晚中生代	北西向为主	北秦岭褶皱带（II ₁ ） 南秦岭褶皱带（II ₂ ） 桐柏-大别褶皱带（II ₃ ） 南阳-襄樊拗陷（II ₄ ）
扬子准地台（III）	太古代、中下元古代	震旦纪、古生代	北东向为主	上扬子台隆（III ₁ ）

2.1.1 中朝准地台（I）

区域淮河流域北部广大地区隶属于中朝准地台南部，南以栾川-确山-固始深断裂为界。

1) 中朝准地台的形成和演化

中朝准地台的发生、发展和演化经历了漫长历程。太古界登封群、太华群优地槽基性、中酸性火山岩-复理石建造、下元古界嵩山群冒地槽陆源碎屑夹镁质碳酸盐建造，经嵩阳运动和中条运动，强烈褶皱与变质，构成该区中朝准地台区结晶基底。中元古代形成的巨厚的熊耳群偏基性中性-酸性火山岩系，经王屋山运动发生褶皱，组成中朝准地台基底与盖层之间的过渡层。熊耳期过渡之后，为中、晚元古界浅海相陆源碎屑岩-镁质碳酸盐岩建造、下古生界寒武系-中奥陶统碳酸盐岩夹泥砂岩建造和中石炭统-三叠系海陆交互相-陆相含煤建造，缺失上奥陶统-下石炭统，总厚度达 8000m 以上。该区在盖层发展阶段所经历的构造运动主要为升降运动，造成震旦系底界、寒武系底界、中石炭统底界三个区域性平行不整合面。燕山运动使盖层产生褶皱和断裂，形成台褶断带，造成准地台活化，支

解为新的活动带和新的稳定区。

2) 中朝准地台的地质和构造特征

燕山旋回-喜马拉雅旋回早期, 表现为强烈的断块差异运动, 在先前构造基础上, 西部断块上升, 东部作不均衡沉降, 形成大小不同、方向各异的断块隆起和断陷盆地。在不同的断陷盆地内, 分别堆积了陆相侏罗系含煤建造、白垩系火山岩-红色复陆屑建造和古近系复陆建造。在此期间伴有广泛的燕山期中酸性岩浆侵入活动和有关金属矿产形成。喜马拉雅旋回晚期, 大型褶皱运动使西部继续隆起, 形成低山丘陵, 仅在断陷盆地内接受沉积; 东部普遍大幅度沉陷, 广泛沉积了新近系、第四系陆相碎屑物, 并有少量新近纪基性岩浆喷发和超基性岩浆侵入活动。据物探资料分析, 整个中新界各种陆相碎屑岩在东部华北坳陷内最大厚度达 8200m 以上。

3) 区域内次级构造单元划分

中朝准地台在研究区内包括一个二级大地构造单元。

华熊台缘坳陷(I₁)

位于中朝准地台南缘, 栾川-确山-固始深断裂以北, 济源-洛阳-确山以西。

本区是中朝准地台侵入岩最发育的地区, 计有嵩阳、王屋山、晋宁、燕山四期, 其中以燕山期酸性侵入岩最发育, 而且与本区内生金属矿产形成关系极为密切。

燕山运动使盖层产生褶皱和断裂, 形成台褶断带。燕山运动及其以后断裂活动强烈, 沿规模较大的断裂形成断陷盆地, 控制中生代沉积。其中北东向断陷盆地如洛河、伊河断陷盆地, 横贯全区, 使本区在北西西向构造基础上形成北东向三隆三坳构造面貌。

本区构造方向为北西西向或近东西向, 但各部分构造形态差别较大。基底褶皱形态复杂, 组成紧闭或倒转褶皱。过渡层熊耳群形成中等倾斜北斜和向斜。岭褶皱系和栾川-确山-固始深断裂带活动影响, 构造形态显得比较复杂。区内发育有近东西向、北西向和北东向三组断裂, 燕山运动以来, 表现为高度正断层, 其中后两组断裂兼具有平推性质。

2.1.2 秦岭褶皱系 (II)

区域中部伏牛山、桐柏山、大别山地区属秦岭地槽褶皱系东延部分, 北以栾川-确山-固始深断裂为界与中朝准地台相邻。工程场地在南阳-襄樊坳陷构造单元西北边界带附近。

1) 秦岭褶皱系的形成和演化

它是一个中生代以前典型的长期多旋回发展的地槽褶皱系。在长期不均衡多旋回演化过程中，大致以中条、晋宁、华力西运动为主要转折，将其划分为原始优地槽、断陷地槽和优地槽、冒地槽、断陷四个发展阶段。

太古代-早元古代原始优地槽发展阶段：太古代洋壳全面活动，形成大别群优地槽型基性火山岩建造、中酸性火山岩建造和复理石建造系列，最大厚度大于 5746m，并有深断裂生成，奠定本区北西西向构造格架，并使岩石发生强烈区域变质和混合岩化作用，形成以角闪岩相为主，局部达麻粒岩相中深变质岩和混合岩系。伏牛山-白云山和灵山地区出现规模较大的混合花岗岩体。

中元古代-晚元古代早期断陷地槽和优地槽发展阶段：中元古代本区大部分隆起，在地壳引张和深断裂作用下，西峡-信阳南湾地区裂陷成断陷地槽，其内沉积了厚 7000m 以上的信阳群复理石夹火山岩建造。

震旦纪-石炭纪冒地槽发展阶段：南秦岭地区经早震旦世隆起之后，自晚震旦世初开始下沉，沉积了上震旦统-中石炭统冒地槽型陆源碎屑岩-碳酸盐岩夹火山岩建造，最大厚度大于 8000m。石炭纪末的华力西运动，使区内秦岭地槽最后回返，随着南秦岭地槽褶皱隆起，区内秦岭地槽全部封闭，结束地槽发展史，转为褶皱系隆起。

中生代断陷发展阶段：由于强烈的断块差异运动，沿断裂形成北西西向断陷盆地，其内堆积了河湖相、山麓相次稳定型复陆屑建造和大陆中酸性火山岩建造，燕山旋回晚期酸性岩浆侵入活动强烈，形成大量的花岗岩体，同时伴有重要的内生金属矿产形成。

2) 秦岭褶皱系的地质和构造特征

(1) 自中条运动之后，本区长期活动的深断裂，对区域地质构造发展起着重要的控制作用。由于区内秦岭褶皱系经历了复杂的演化过程，所以区内岩浆岩、变质岩和混合岩比较发育，构造极为复杂。

(2) 本区侵入岩岩石类型比较齐全，超基性、中基性、酸性侵入岩皆有，但以花岗岩类最发育。侵入岩受构造控制比较明显，超基性-中基性侵入岩和酸性小岩体多沿深断裂带，呈北西西向带状展布，大致以五条深断裂为界，形成五个复杂的构造岩浆岩带。

(3) 本区震旦纪及其以前地层全部发生变质，并具多期变质特征。不同时期的变质岩、混合岩呈北西西向带状分布。

(4) 本区构造极为复杂,褶皱、断裂都很发育,总体呈北西西向。褶皱自北而南作有规律变化,分别为北秦岭、桐柏-大别和南秦岭褶皱带。断裂以北西西向深大断裂为主,具有规模大、长期活动、性质多变的特征。在信阳以东发育有北北东向横向断裂。中生代断陷盆地皆沿深断裂带呈北西西向狭长带状展布。上述不同时期各种类型的构造交织迭置在一起,构成区内秦岭褶皱系现今复杂的构造面貌。

3) 区域内次级构造单元划分

秦岭褶皱系在区内划分为四个二级构造单元。

(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) 南秦岭褶皱带 (II₂)

本区绝大部分位于湖北省。

本区构造线呈北西向。褶皱表现为背斜紧闭,北翼缓,南翼倒转;向斜相对宽缓,总体呈隔档式褶皱。断裂主要为北西西向,区域北部比较发育,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,并控制各期岩浆活动和矿产形成。此外,区内发育一些规模较小的北东向和北西向走滑断层,在北部常与北西西向断裂共同控制燕山期花岗斑岩及喷发角砾岩形成。

(3) 桐柏-大别褶皱带 (II₃)

位于桐柏-大别山地区。北以木家垭-内乡-桐柏-商城深断裂为界,与北秦岭褶皱带相邻,在桐柏县平氏西没入南阳凹陷之下,南与南秦岭褶皱带相接。

本区地层为太古界大别群和下元古界苏家河群,两者之间为角度不整合接触。大别群变质程度较深,以角闪岩相为主,局部出现麻粒岩相,混合岩化普遍而强烈,最大厚度达

5746m 以上。苏家河群分布于大别群北侧，厚 4410m，变质程度为角闪岩相，下部混合岩化普遍。区内侵入岩除印支、喜马拉雅两期外，其余各期均有发育，以燕山期花岗岩最发育，次为中条期混合花岗岩、加里东期基性-超基性岩，构成巨大的桐柏山-大别山构造岩浆岩带。嵩阳运动使大别群强烈褶皱变质，形成大别陆核，成为本区最早的陆壳。经中条旋回优地槽发展阶段，强烈的中条运动使苏家河群褶皱变质，结束地槽发展史，褶皱隆起。此后，长期处于隆起状态，成为横亘于豫、鄂、皖三省交界地带的北西西向古陆，控制着周围地区沉积和发展。

本区整体为一北西西向大型复背斜带，即桐柏-大别复背斜带，南北两侧均被深断裂带限定。褶皱带内部由于侵入体-吞蚀，使其变得残缺不全，大体以草店花岗岩体为界，分为东西两段，西称太白顶复背斜，东叫大别复背斜。

(4) 南阳-襄樊坳陷 (II₄)

位于河南省南阳-湖北省襄樊一带，面积近 1000km²。

坳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。

此坳陷是叠置在秦岭褶皱系之上的近南北向中新生代坳陷。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。

2.1.3 扬子准地台（Ⅲ）

1) 扬子准地台的形成和演化

青峰-襄樊-广济断裂以南属扬子准地台范围，是在晚元古代扬子旋回末形成的。它的演化经历了地台基底形成、地台盖层发育和大陆边缘活动带发展三个阶段。

扬子准地台基底是由前震旦纪不同时期的褶皱带组成的，具三层结构特征。它的形成经历了大别、扬子两大构造旋回和大别、神农、花山三次主要构造运动的演化过程，是多旋回构造作用的结果。

地台沉积盖层发育，厚近 7000m，分为震旦系、志留系和泥盆系至中三叠统两大套。

晚三叠世以来，地台基本结束海相为主的沉积，除几次短暂的海侵外，均为陆相沉积。早期为河湖相含煤碎屑岩沉积，晚期发育受断陷控制的红色建造和生油岩-蒸发岩建造。

2) 扬子准地台的地质和构造特征

在燕山运动以来的大陆边缘活动带发展阶段，全区相继经历了燕山和喜马拉雅运动的强烈改造。构造运动的特点，从性质上讲，是从挤压作用向引张作用转化；从空间上看，呈南、北强，中间弱的趋势。燕山运动影响全区，使前白垩系地层普遍褶皱，形成台褶带。北西-北西西向的褶皱带和北东-北东东向的褶皱带构成两个向西敞开的喇叭口。北部台缘变形强烈，多呈由向南倒转的紧密线状褶皱和一系列北倾的断裂带组成的叠瓦状构造。上扬子地区表层褶皱比较和缓，形成过渡型隔档式-隔槽式褶皱。晚侏罗世开始的局部断陷活动在燕山晚期至喜马拉雅期占居主导地位。受张性断裂控制的断陷盆地，上叠在台褶带上。

燕山旋回中期（J₃-K₁），下扬子准地台地区有强烈的、中酸性为主的岩浆活动。燕山旋回晚期和喜马拉雅旋回由于断块活动的加剧，有多次橄榄玄武岩和玄武岩喷溢。

3) 区域内次级构造单元划分

区域内扬子准地台仅包括上扬子台隆（Ⅲ₁）一个二级构造单元。

该二级构造单元位于江汉盆地西侧的鄂西、鄂西南地区。该区基本上属于沉积岩和变质岩基底多面积出露的比较稳定的构造单元。

该区侵入岩类型较齐全，超基性岩、基性岩、中性岩和酸性岩均有分布。

2.2 区域地球物理场和深部构造及其与地震的关系

区域地球物理场资料是区域地质构造研究重要的基础资料之一。地质历史时期各期构造作用，包括伴随的岩浆活动，在造成大陆岩石圈结构横向非均质性的同时，必然会造成地壳内部、包括上地幔物质分布不均匀及其磁性、密度等物性差异，并随之产生相应的磁异常和重力异常。因此，对重磁异常场的研究可以帮助我们了解区域地质构造格局、作用性质及其深部特征。航磁异常突变反映基底性质存在明显差异，而块体内部或者块体间基底性质的差异，通常与大型的断裂构造带相关。布格重力异常是地壳密度的反映，与地壳厚度具有相关性，可用于分析区域地壳厚度分布特征，同时重力异常突变地带，反映地壳厚度的剧烈变化，通常也是大型断裂构造反映。

2.2.1 区域布格重力异常

区域布格重力异常见图 2.2-1。图中显示，区域范围内重力异常为大面积的负异常区；重力异常总体呈现西部低、东部高的特征，西部负异常较大，最低达 $-115 \times 10^{-5} \text{m.s}^{-2}$ ，东部负异常区相对较小，最低仅 $-10 \times 10^{-5} \text{m.s}^{-2}$ 。区域中部为重力异常变化剧烈区，异常值相对较高，且呈北西向分布，大致为秦岭褶皱系分布范围；而东北和西南则为重力异常变化相对平缓区，对应中朝准地台和扬子准地台区。区域重力异常分布另一个显著的特点是深大断裂两侧等值线形态存在明显的差异，显示断裂对基底或构造起着相当的控制作用。工程场地位于东西向梯度带边缘。

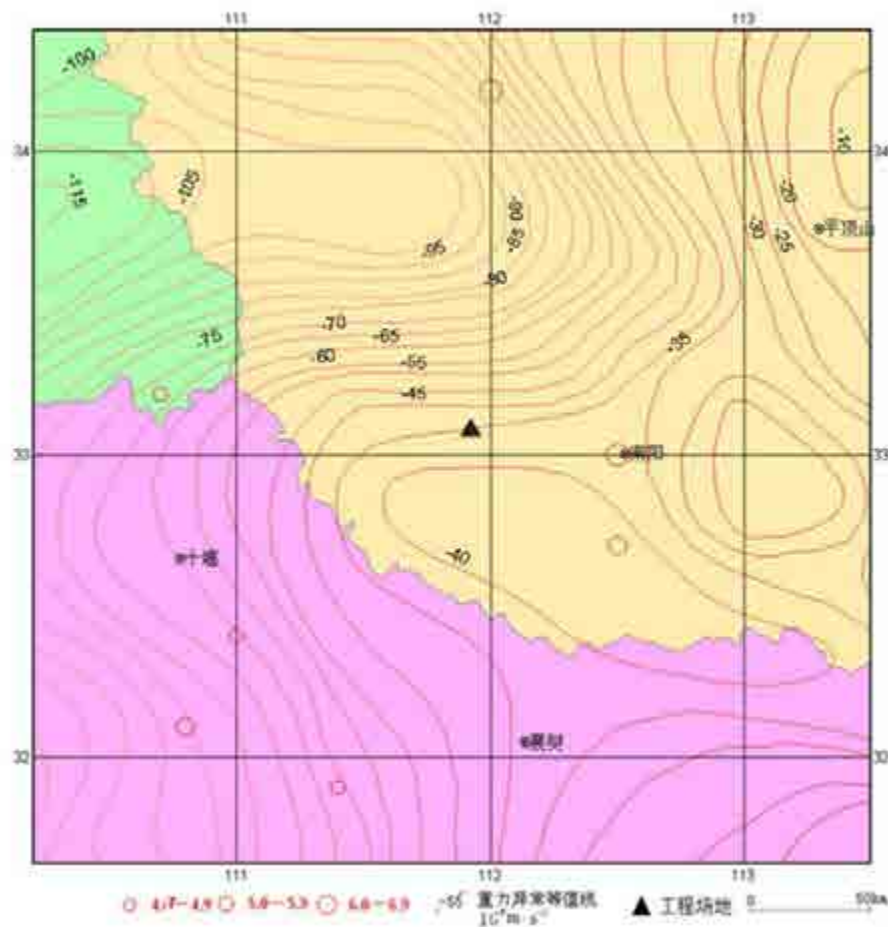


图 2.2-1 区域布格重力异常图

2.2.2 航磁异常

ΔT_a 航磁异常是地质构造磁性变化的综合表示,引起磁异常的磁性体包括各种性质和各个时代的地质体,磁场的差异表现在磁异常的符号、强度、梯度、异常形态和走向等方面。

1) 区域航磁异常分布特征

区域航磁异常显示磁场面貌比较复杂,区域间差异性十分突出,表现在中部磁异常变化强烈,而向南北两侧趋于平缓,磁异常分区与大地构造分区明显一致,反映了本区的大地构造特征。断裂对磁场有较好的控制作用,磁异常总体走向呈北西展布。另外一个显著的特点是栾川-确山-固始深断裂两侧在航磁异常上存在明显的区别,其北侧分布一沿断裂走向的负异常条带,而南侧则为正异常;断裂南北区域磁异常也存在很大的差异,北部磁场变化平缓,而南部变化比较剧烈。断裂带两侧截然不同的磁场分区特征是区域性大型断裂带的反映(图 2.2-2)。

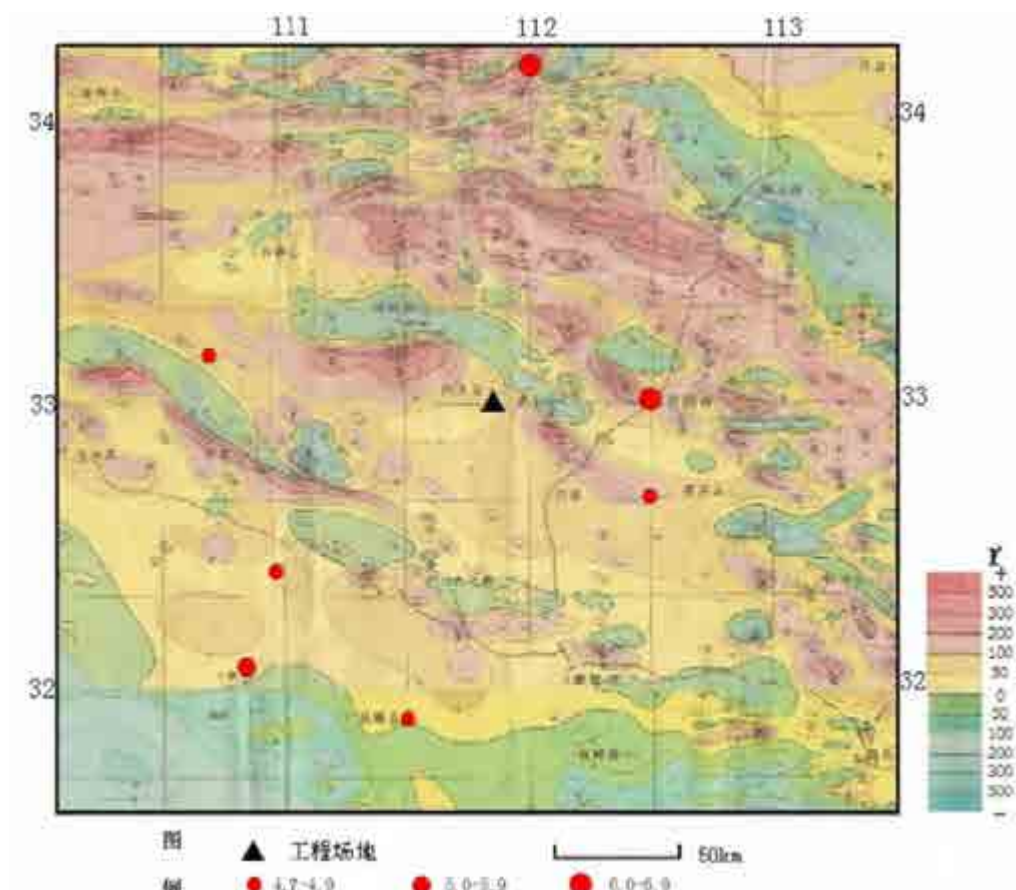


图 2.2-2 区域及邻区航磁异常分布特征（单位：nT）

2) 区域航磁异常分区

根据磁场形态、强度和走向，将区域范围的磁场分成三部分：中朝准地台正负航磁异常区、秦岭-大别山北西西向串珠状正负交替航磁异常区、扬子准地台正负航磁异常区。

(1) 中朝准地台正负航磁异常区

区域北部黄河流域和淮河流域北部广大地区隶属于中朝准地台南部，南以栾川-确山-固始深断裂为界。

该区航磁表现为西部异常强度大且变化剧烈，东部磁异常较小，变化比较平缓。负异常主要集中于南部几条深大断裂附近，而北部以正异常为主。这一方面与中朝准地台断块差异运动有关，另一方面也与断裂附近强烈的褶皱断裂活动和岩浆活动有关。航磁异常等值线走向由西向东分别为北东东、北西和北北东，是受不同走向的断裂控制的结果。

(2) 秦岭-大别山北西西向串珠状正负交替航磁异常区

本区位于栾川-确山-固始深断裂以南，青峰-襄樊-广济断裂以北，属秦岭褶皱带。

该区属于短波长磁力异常区，磁异常强度大，变化剧烈，一个显著的特点是沿几条北

西西向深大断裂形成串珠状正负交替磁异常区，仅局部出现北东向磁异常。本区侵入岩，尤其花岗岩类发育。震旦纪及其以前地层全部发生变质，并具多期变质特征。构造极为复杂，褶皱断裂都很发育，总体呈北西西向，并且深大断裂对不同时期的岩浆岩、变质岩和混合岩都有重要的控制作用，因此本区强烈的岩浆活动以及构造作用是引起该区磁异常剧烈变化的一个重要原因。

(3) 扬子准地台平缓变化航磁异常区

本区位于青峰-襄樊-广济断裂以南。该区为长波长磁力异常区，这与本区最厚达 7000m 的巨厚的盖层沉积有关。

2.2.3 地壳厚度分布

区域地壳厚度的分布表现出明显的分区性，很好的反映了本区大地构造特征。此外，地壳厚度与地形高差也具有明显的对应关系（图 2.2-3）。

中朝准地台区地壳厚度变化普遍较为缓慢，反映出地台区地壳较为稳定的特点。秦岭-大别地区则表现出地壳厚薄相间排列的格局。其中，秦岭褶皱带和桐柏-大别褶皱带地壳厚度较深，变化也较大，分别为 32~38、28~30km，反映了地壳由于褶皱带隆起而加厚的特征；南阳-襄樊盆地地壳厚度较浅，变化也较缓慢（28-31km），与盆地拗陷的地形相一致。

扬子准地台区内的上扬子台隆区地壳厚度较深，变化较为剧烈，范围在 32~40km 之间。工程场地地壳厚度为 29km 左右。

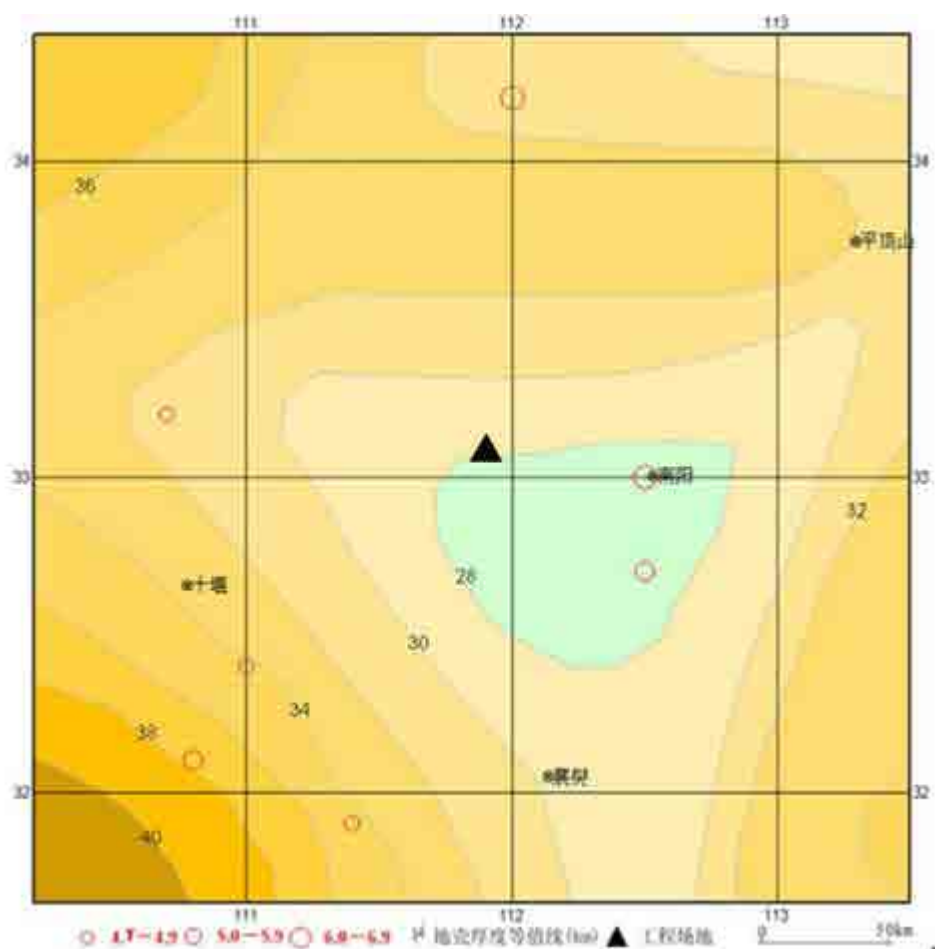


图 2.2-3 区域地壳厚度分布图

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。

重力异常与地震活动的关系表现为：

- 1) 区域内地震分布多与重力异常等值线梯度带、畸变带相关；
- 2) 区域内重力异常变化剧烈区与变化平缓区的交界处，往往也是地震集中分布的地带；
- 3) 地震分布往往与较高的负重力异常相关，较低的负重力异常区，地震稀少。

航磁异常与地震活动的关系表现为：

- 1) 区域内 $M_s \geq 4.7$ 级地震绝大多数分布在航磁正异常区；
- 2) 区域内地震分布多与航磁异常等值线梯度带、畸变带相关；
- 3) 区域内航磁正负异常交界处，往往是地震分布的地带；
- 4) 区域内航磁异常呈小尺度珠状密集分布的地区，地震活动性较弱。

2.3 区域新构造运动特征及其分区

2.3.1 新构造期的地层分布

新近纪-第四纪为新构造活动期，其地层分布特征如下：

1) 新近系 (N)

本区新近系 (N) 地层零星分布在南阳盆地北部边缘及南部唐河西大岗一带和华北平原拗陷带内。在广大盆地之中均被第四系所覆盖，钻孔中普遍可见。

出露岩性，一般底部普遍有灰白色或灰绿色半胶结砾岩，其上为灰绿、棕（橙）红、褐色半胶结砂岩、砂质泥岩及透镜状半胶结砂砾岩；上部为灰绿色半成岩的砂质泥岩及白、灰白色泥灰岩。不整合于古近系之上。上覆第四系疏松沉积物。

2) 第四系 (Q)

区内第四系地层分布广泛，南阳盆地缺失下更新统，其它各统均有沉积。东部华北平原拗陷带的南部出露较全，各统都有分布。与下覆新近系及其以前的老地层均为角度不整合接触关系。根据岩性特征，地貌与第四系的沉积等资料，将区内第四系时代及成因类型划分如下。

(1) 下更新统冲积层(Q_1^{al})

该统出露在东部华北平原拗陷带内，地表只有零星分布，以灰绿色、黄绿色含砂粘土及斑块状砂砾石层，含锰质网纹及棕色锈斑。

(2) 中更新统(Q_2)

按其成因可划分为：冰碛及冰水堆积层、冲洪积层、残积和坡积层三种类型。

冰碛及冰水堆积层(Q_2^{gl})：此层为中更新统底部层，出露于区域西部北秦岭褶皱带的山前岗垅地带，由东至西断续分布。东自方城县城以北的胡岗经吴池庄、张半岗、阎岗，断续经秋树底、白砂咀、史岗，直至高丘、谢沟等地，厚度不等，与下伏新近系呈不整合接触。分布高程在 170~260m 之间，一般东部位置较低。岩性为棕红色粘土杂砾卵石层，砾石成分随地而异。砾石具擦痕、刻沟、压坑，部分呈凹面石、马鞍石、香蕉石及受磨削成架形的砾石。泥砾主要为底碛。

该冰碛及冰水沉积物不整合于新近系之上，为 2~6 层棕红、棕黄色粉土质粘土层，

此粘土层相当黄河中游普遍分布的中更新统离石黄土层,因此认为区域冰碛及冰水沉积物之时代相当于大姑冰期。

冲洪积层(Q_2^{al}): 区内主要分布于南阳盆地的镇平、方城以北山前地带,及方城、社旗、唐河以东、唐河西大岗和唐河以北青台岗垌地区,次为南阳卧龙岗一带,华北平原坳陷带的淮河以南的岗丘以及北秦岭山麓边坡一带。

下部岩性为棕红、褐红色粘土及粉土质重亚粘土。上部为桔红、橙黄色粉土质重亚粘土及桔红、棕红色砾质粉土质重亚砂土。

根据已有的资料,本沉积类型沉积物应以河流形成为主,晚期有湖泊淤积特征。

坡积和残积层(Q_2^{dl+el}): 此类型沉积主要分布基岩山地的山坡、山麓地表以及基岩山区低凹地区。其岩性为黄褐色、棕红色亚粘土,山麓地带中多碎石岩块,含钙质结核及黑色豆状铁锰质结核,斜覆于新近系及其以前这地层上。其坡度随古地形而异,可 8~10 度,倾斜方向基本与现代地形一致。

(3) 上更新统冲积洪积层($Q_3^{al}-Q_3^{pl}$)

该沉积为淮河流域地区出露较广泛的地层。在南阳盆地广大平原区及各大河流两岸的 II 级阶地,与下伏中更新统呈平行不整合接触。

岩性为亚粘土,最上部为砾质亚粘土,最下部为砂砾石层。

(4) 全新统冲积层(Q_4^{al})

广泛分布在淮河以北的大片冲积平原上及淮河以南的沟谷中。在南阳盆地广泛分区内湍河、白河、唐河、潦河等河流两侧和支谷中,组成河流 I 级阶地和河床。根据岩性和地貌特征,可将该沉积分为全新统下部冲积层、上部冲积层及全新统湖积和冲积层,现将本统岩性分别叙述如下:

全新统下部冲积层(Q_4^{lal}): 从地貌形态来看,本统下部组成的近代河流 I 级阶地,高于现代河床及河漫滩,地貌分界清楚。主要分布在白河、湍河、潦河、唐河、赵河和这些河的支流的两岸,构成这些河流的 I 级阶地。

岩性单一,变化不大。岩性为灰黄色、淡黄色及褐黄色亚砂土夹砂层,浅褐色亚粘土层和砂质亚粘土,节理孔隙发育。均水平分布,与下伏上更新统黄土状重亚砂土和亚粘土呈平行不整合接触。

全新统上部冲积层(Q_4^{2al}): 主要分布于淮河、白河、唐河、潦河、湍河、赵河及其各大河流支流的河床、河漫滩, 岩性随地而异, 主要为黄色粗砂、细砂、粉砂, 局部夹有淤泥层及砂砾石层。

全新统湖积和冲积层(Q_4^{1l-al}): 主要分布在华北坳陷(南部)的现代河流的两侧及整个淮河冲积平原。发育沉积厚度不大且均未见底, 组成 I 级阶地。

下部为湖沼相沉积层, 一般呈灰暗的色调, 含有黑褐色锰膜及网纹、腐植泥等, 上部为砂层冲积形式。

2.3.2 区域新构造期的构造演化

经过燕山运动, 特别是燕山晚期至新生代早期的大规模断陷活动以后, 本期的地质构造格局大局已定, 地壳活动的断块运动形式更为显著。其时, 地壳活动发生了新的分异。原先稳定的中朝准地台转为活动较强的构造单元, 其西南及西北部急剧上升, 东部及东北部大幅度坳陷, 大华北坳陷、豫西南阳山间坳陷盆地及江汉盆地坳陷带基本形成, 并且卷入中国东部大陆边缘活动带的范围之内。原来较为活动的秦岭褶皱系却相对稳定下来, 只在局部山区发生断陷盆地。由燕山晚期和新生代早期运动形成的断陷盆地成为新构造期的沉积场所, 但这时断陷活动已逐渐消失, 被更大范围的坳陷活动所代替。

由于喜马拉雅运动的影响, 新近纪时, 本区东部以大范围的坳陷为主陷落, 西部则以断块上升。华北断坳突破了中期准地台与秦岭褶皱系的边界线, 越过新蔡高地, 向南扩展到了大别山北麓; 在西部, 它与豫西南阳山间盆地大面积沟通。此时, 在秦岭区仅有南阳盆地孤立存在, 南部的江汉盆地坳陷带进一步扩大。

新近纪时, 上述坳陷带盆地主要为河湖相粗陆屑沉积与粘土岩互层。在太行山东麓及嵩山西缘常有基性-超基性岩浆沿断裂带喷发, 形成玄武岩层和金伯利岩体。南阳盆地比较稳定, 为河湖相陆源碎屑岩与粘土岩相间沉积。该盆地边缘其沉积厚度为 100~300m, 盆地中心厚度 300~800m。华北断坳内可分三个坳陷, 即濮阳坳陷、开封坳陷和周口坳陷。各坳陷内均为浅湖相砂岩、粘土岩沉积, 局部间有河流相砂砾岩和沼泽相粘土岩夹层。周口坳陷沉积厚度为 1000~1450m, 最厚达 2000m, 开封坳陷沉积厚度为 850~2340m。

新构造运动在本区主要表现为升降运动和断裂走滑运动, 致使各地层之间多为平行不整合接触。沿活动的深断裂带局部有基性火山喷发。

该区继承了新近纪构造格局和地貌景观，但也有一些新的发展。豫西山地及秦岭-大别山地、神农架山地更加抬升；黄河、淮河、卫河三大水系和长江水系的区内主要分支唐河、白河、湍河等水系基本定型；华北断拗经过巨厚的第三纪沉积物充填，总体上已平原化。宏观地貌上，此时本区境内可分属两个地貌台阶：由秦岭、大别山、熊耳山神农架等构成的中山山地属第二级地貌台阶；大体在京广线以东的华北平原区属第三地貌台阶。中山山地前缘边坡的丘陵地带则成为第三级与第二级台阶的过渡地带。第四纪的沉积受断块构造和上述地貌形态控制。

2.3.3 区域新构造运动特征

新近纪至第四纪，本区由于西部受到印度洋板块对青藏高原的碰撞挤压的影响，东部受到太平洋板块运动的影响，使本区的地壳构造运动与前期相比发生了明显的差异。构造运动由前期的强烈张性隆起和断陷转化为块状差异隆起和拗陷。秦岭、大别和武当山地区仍有不同程度的隆起，形成了高达 1000~2000m 的高山；南阳盆地和华北拗陷则由白垩纪-古近纪时期的张性断陷转化为拗陷。南阳盆地沉积了厚达 600~1000m 厚的新近纪-第四纪地层；华北拗陷沉积厚达 1000m 以上的新近纪至第四纪地层，其中周口拗陷最大厚度达 2000m。

2.3.4 区域新构造单元的划分

根据区域及邻区新构造垂直差异运动的不同，区域内划分出 4 个一级新构造单元：豫西差异隆起（Ⅰ）、南华北拗陷（Ⅱ）、秦岭-大别隆起（Ⅲ）和扬子隆陷升降（Ⅳ）。根据其新构造活动的差异又可细分出多个二级构造单元（表 2.3-1、图 2.3-1）。

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
豫西差异隆起（Ⅰ）	嵩山凸起（Ⅰ ₁ ）伏牛山凸起（Ⅰ ₂ ）
南华北拗陷（Ⅱ）	周口拗陷（Ⅱ ₁ ）西平-平舆凸起（Ⅱ ₂ ）驻马店-淮滨凹陷（Ⅱ ₃ ）
秦岭-大别隆起区（Ⅲ）	北秦岭强烈隆起（Ⅲ ₁ ）、两郧中等掀升区（Ⅲ ₂ ）、武当中等隆起区（Ⅲ ₃ ）、南襄拗陷（Ⅲ ₄ ）、桐柏-大别中等隆起区（Ⅲ ₅ ）
扬子隆陷升降区（Ⅳ）	鄂中差异升降区（Ⅳ ₁ ）、鄂西中等隆起区（Ⅳ ₂ ）
山西隆起区（Ⅴ）	

(1) 嵩山凸起 (I₁)

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，很少有第四纪地层分布。凸起西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) 伏牛山凸起 (I₂)

位于伏牛山和外方山地区。山峰海拔多在 1500m 以上。区内发育海拔高 1600m,1000~1200m 和 600~800m 三级夷平面。该区为中生代以来长期隆起区。

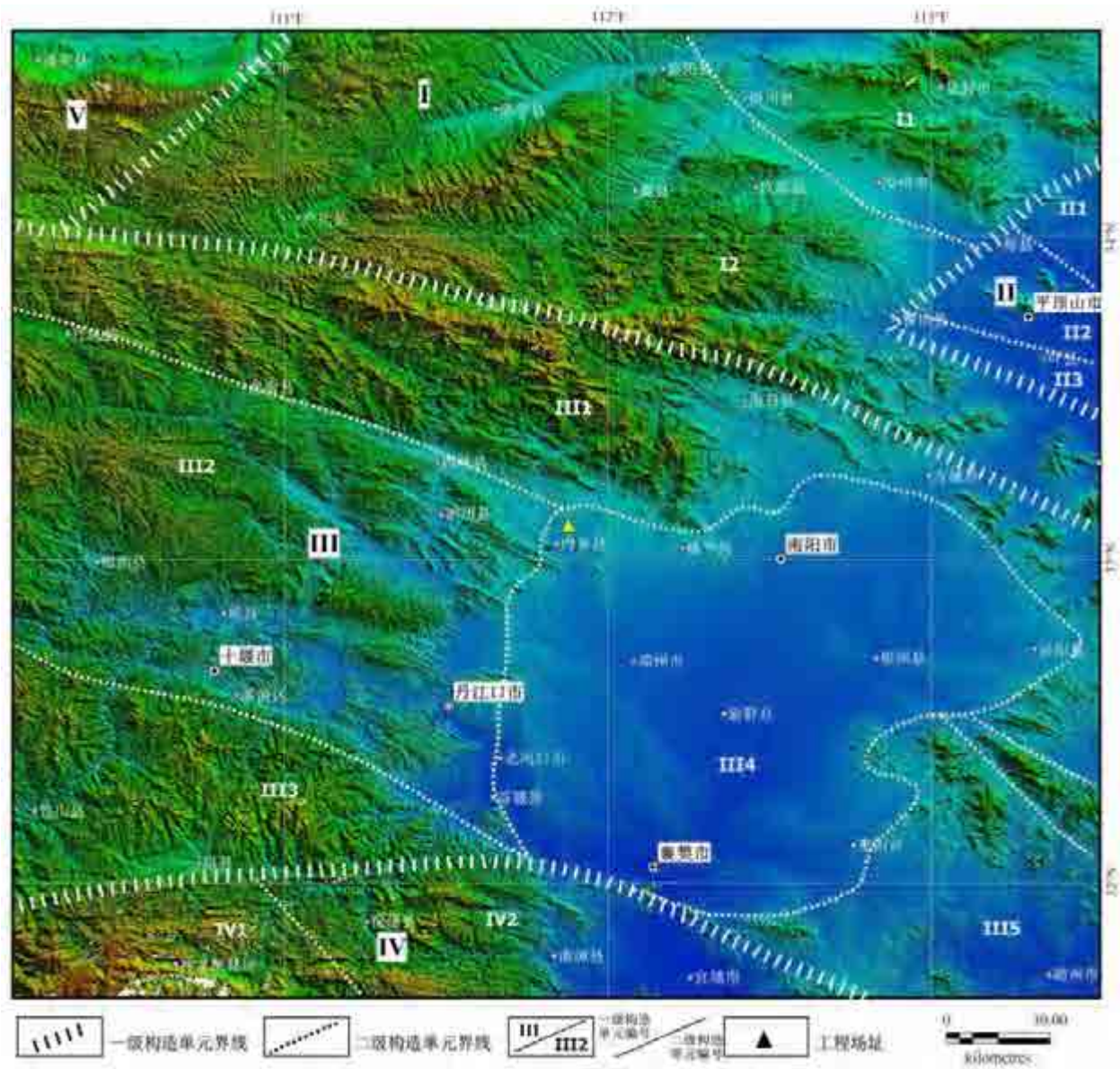


图 2.3-1 区域新构造单元划分简图（单元名称见上表）

2) 南华北坳陷 (II)

该区位于秦岭和大别山隆起区以北，华熊差异隆起区以东，以大面积沉降为特征。侏罗纪-古近纪都为断陷盆地，沉积了数千米厚的沉积。新构造期以来由前期的断陷转化为更大范围的拗陷，构成现今的华北平原拗陷带。华北拗陷(南部)沉积了厚达 1000m 以上的新近纪至第四纪地层，其中周口拗陷最大厚度达 2000m。

该区第四系均为冲积-湖积相沉积，沉积厚度 50~300m，具有华南与华北过渡的性质，而且在沉积特征上也有其独特之处。该区全新世为冲积成因和风积成因沉积类型，局部有湖沼相沉积。

(1) 周口拗陷 (II₁)

位于区域东北部的周口拗陷，其基底为古生界、三叠系、局部为太古界。凹陷内主要沉积古近系河湖相碎屑层。新近纪、第四纪继承性下沉，也为河湖相堆积物。新生代沉积最大厚度达 7000m 以上（河南省地矿局，1989）。凹陷东部第四系厚达 260m，向西逐渐变薄，仅为 40~60m，具掀斜运动性质。凹陷内断裂发育，主要有北西西、北东向两组，对凹陷的形成起重要控制作用。

(2) 西平-平舆隆起 (II₂)

位于周口拗陷以南，隆起之上广泛沉积了新近系湖相杂色粘土岩、砂岩夹煤线组成的次稳定型复陆屑建造，第四系为河湖相粘土、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。

(3) 驻马店-淮滨拗陷 (II₃)

位于西平-平舆隆起以南，华北断块区南缘断裂以北，拗陷内新近系为河湖相杂色砾岩、砂砾岩、砂岩、粘土岩等组成的复陆屑建造，南厚北薄，厚约 300~900m。第四系为河湖相粘土、砂、砂砾石层，厚度一般在 100~200m。断裂以北西或北西西向为主，次为北东或北北东向。

3) 秦岭-大别隆起区(III)

(1) 北秦岭强烈隆起 (III₁)

北秦岭伏牛山区，新构造期主要表现为间歇性强烈隆起。其西侧邻近的现代秦岭主峰高程 3600m，比古近纪夷平面高 1000-1100m 左右，说明喜马拉雅运动 I 幕之后隆起幅度很大。新近纪初该区经过长时间的剥蚀夷平又形成了高程 1100-1200m 的夷平面。第四纪

发育五级阶地，下更新统第五级阶地比高约 200m。中更新世以来，秦岭一直处于急剧隆升状态，其上升幅度西部大于东部，北部大于南部，显示出东西差异和由北向南掀斜的特点。区内发育更新世继承性活动北西向断裂，商丹断裂晚更新世左旋走滑活动尤为典型，公元 46 年南阳（6½级）地震事件与其密切关联。

（2）两郧中等掀升区（Ⅲ₂）

两郧条状断块区的新构造运动主要表现为中等强度的掀升活动，并迭加有次级的拱隆和拗折以及区域北西西向断裂的活动。区内普遍发育 4 级夷平面，汉水河谷发育 4 级阶地，李官桥盆地边缘丘陵、低山出现 5 层溶洞。山势地形和层状地貌都显示出新构造上升是由北西向南东掀斜的。区内自西而东存在三个南北向隆起带，即漫川关与郧西盆地间的黄云铺隆起、郧西与郧县间的白龙洞隆起和老均县与丹江口之间的隆起。与北西西向断裂活动有关的新构造形迹，主要见于郧西火车岭一带山脊上。该处新近纪上新世泥灰岩和早更新世钙泥质砾岩（TL140.3 万年）受两郧断裂左旋压剪性活动影响被抬升到 650m 高程，其抬升速率为 0.3mm/a。1964 年郧西 4.9 级地震，是这组断裂系统的最新活动表现。

（3）武当中等隆起区（Ⅲ₃）

武当山区内向北翘起的地貌形态和偏向北翼的中低山分水岭，显示其新构造运动表现为向南掀斜的非对称断块隆起。在该隆起区内还发育次一级的北东向普陀山一界山隆垆武当山隆起。本区发育鄂西期 1600-1800m、1000-1300m、山原期 800m±、500m±和 250m±等 5 级夷平面，但分布面都不宽广，其中新近纪夷平面（1000-1300m）向南房县盆地附近倾斜。中强地震主要发生在南部边界晚更新世活动房县-安康断裂上，如 788 年竹山（6½级）地震事件和 1742 年房县 5 级地震。

（4）南襄拗陷（Ⅲ₄）

本单元是燕山运动晚期形成的伸展断陷盆地，晚白垩世以来的最大沉积厚度约 5000m。盆地基底由于受北西西、北东等多组裂切割、控制，又进一步划分出南阳凹陷、新野凸起和襄枣凹陷等次级构造。古近纪红层岩相带因此产生北东向分异现象。新近纪河湖相地层沉积过程中，由于新野断裂等活动影响，沉积中心呈近东西向分布，断裂南、北侧沉积厚度差异明显。如邓县、新野附近，新近系厚达 800m，而南侧一般小于 600m。

南襄盆地早更新世以河湖相沉积为主。中更新世晚期，该盆地普遍抬升，现今盆缘所见的冲洪积低丘或垄岗即为此期的产物。晚更新世以来，整个盆地呈现由北向南的掀斜运

动，使前期的水系变成总体同向的近平行水系并形成 2-3 级阶地。总之，第四纪时期南襄断陷沉降幅度不大，沉降中心在新野东北和社旗北侧，沉积厚度最大仅百余米，等厚线呈北东向延伸。公元 46 年在断陷北缘曾发生南阳（6½级）地震事件。

（5）桐柏-大别中等隆起区（Ⅲ₅）

本区东缘被郟城-庐江带分割，北界为洛南-明港-合肥断裂，南界为襄樊-广济断裂，内部还被麻城-团风断裂等切割，具有由南向北翘升的断块差异活动特征。该隆起是在中生代两度抬升、剥蚀的基础上，古近纪中、后期再次强烈隆起的背景下，继承性抬升的。新近纪显著抬升，但据生物化石的性质和分布推断，此期以大面积的夷平作用为主，隆起幅度不大。桐柏-大别山区发育与东秦岭相类似的五级夷平面，即 1100m±、900m±、450m±、300m±和 100m±。早更新世末期，该区再次表现幅度较大的垂直运动。由于受到在边界断裂的分割，这类抬升极不均匀。在地貌上桐柏、商城至岳西一线，抬升量最大，呈低中山地貌。由此线向北至六安-合肥，迅速阶变成低山、丘陵和岗地，甚至河湖冲积平原。郟庐带附近，形成断层陡坎地貌，由西侧的低山突变为河湖低平原。其内部麻城-团风断裂带东西两侧也有类似的地貌显示。

桐柏-大别隆起区是江淮之间中强震最活跃的地区，曾发生 $6 \leq M \leq 6\frac{1}{4}$ 级较大中强震三次和十余次 5 级左右较小中强震。

4）扬子隆陷升降区（Ⅳ）

（1）鄂中差异升降区（Ⅳ₁）

本单元以一系列北北西向断块隆起和断块沉陷为基础，形成相应的低山丘陵、岗地和河谷盆地。西部和西北部和东北部抬升幅度大，中间汉水槽地沉陷。汉水槽地新近系厚 100-300m，第四系最大厚度百余米。荆山、大洪山抬升高程一般在 500-700m，河谷深切成“V”形嶂谷或峡谷，相对高度一般在 200-300m。沉陷区内，地势开阔、阶地发育。总体表现为伸展性断块差异抬升与沉降活动，垂直抬升的速率处于中等或较低水平，然而构成垒、堑边界的主要断裂，在新构造期却显示较明显的水平位移，更新世水系右旋水平扭动在远安断裂带、荆门-南漳断裂和胡集-沙洋断裂较大，这也许就是本单元中等地震和小震活动相对频繁的原因之一。

（2）鄂西中等隆起区（Ⅳ₂）

本工作区仅涉及鄂西隆起区东北部神农架-黄陵地块上升区。具有自北西向南东倾斜

的地貌形态，由中低山逐渐递变为低山、丘陵，显示了自北西向南东掀升的运动特征。该区发育五级夷平面，即 2200m、1700~1800 m、1300~1500m、900~1000m、500~800m；长江发育六级阶地；呈现间歇性整体隆升的新构造运动状态。值得指出：黄陵地块东缘发育北北西向远安地堑断裂带，新构造期地貌特征为箱形槽谷与西高东低的地形陡变带。发育穿过北北西向远安断裂的第四纪右行偏转水系。

2.4 区域主要断裂活动特征及其与地震活动的关系

2.4.1 区域断裂构造概述

本次工作区域跨越了中朝准地台南部、秦岭褶皱系、扬子准地台北部三大构造单元，经历了多旋回复杂的构造变动，断裂构造极为发育。这些断裂主要为北西西向和北北东向两组方向，构成区域的主要断裂格架。在新构造时期，由于受到印度洋板块对青藏高原的碰撞挤压和太平洋板块俯冲推挤的影响，本区地壳构造运动由前期的强烈张性隆起和断陷转化为块状差异隆起和拗陷，断裂活动也由前期的张性断块运动转化为走滑活动，并且出现东西差异。区域西部受到青藏高原盖层挤出物质向东推挤影响，一些老北西西向断裂沿其挤压破碎带再次发生新的左旋走滑运动，但这种运动比青藏高原和西秦岭地区明显减弱，只局限在少数北西西向断裂带上，其他大多数断裂已无明显活动。区域的东部，青藏高原运动的影响已不明显，北西西向断裂已未见新的活动，但受到滨太平洋北北东向构造运动的影响，一些早期形成的北北东向断裂再次发生右旋走滑运动，但这种运动同样比华北地区明显减弱，且越往西，北北东向断裂活动越弱（附图一）。区域内的主要北西西向和北北东向断裂及其主要特征列于表 2.4-1。下面分别就区域内两组方向主要断裂构造进行论述。

1) 华山山前断裂（F1）

断裂西起蓝田流峪口，经石堤峪、杜峪至潼关太峪与北东向的三门峡-灵宝断裂相交，在华县石堤峪转向西南，以多边锯齿状镶接形式与蓝田以西的秦岭北坡大断裂相连。卫星影像清晰，平面上该断裂呈舒缓波状，总长 100 多公里，华县以东主体产状为 $310^{\circ} \sim 320^{\circ} \angle 62^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，华县以西转为 $350^{\circ} \angle 68^{\circ}$ 。据断裂展布方向、对地貌控制作用及活动特点可分为三段：①流峪-石堤峪段：为华山山前断裂的西段，断裂走向和倾向变化比较大，从走向由 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 变为 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，倾向由 W 变为 NW-NNW，倾角为 $62^{\circ} \sim 68^{\circ}$ ，长度大约为 42km，

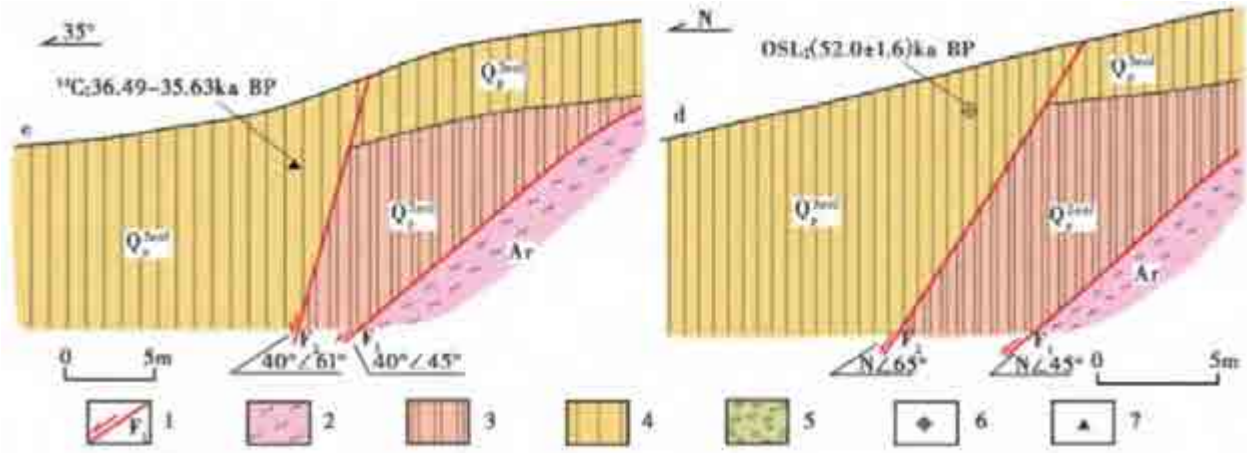
上升盘为基岩山地，下降盘为黄土塬。在该段上断裂的地貌特征明显，断层三角面发育，第四纪地层被错断，最新活动时代为晚更新世；②石堤峪-杜峪段：断裂在该段走向为 55～90°，倾向为 N-NW，倾角为 65～80°，长度为 32 km，下降盘为洪积扇群。在该段上断裂

表 2.4-1 区域主要断裂特征一览表

序号	断层名称	产 状			最新活动时代	最新活动性质
		走向	倾向	倾角		
1	华山山前断裂	NE/NW	NW/NE	70～80°	Qh	正断
2	温塘断裂	NE	NW	>45°	Q ₃	正断
3	洛河断裂	NE	NW	70°	Q ₂	正断
4	伊河断裂	NE	NW	较陡	PreQ	正断
5	新安-郑县断裂	NW	NE/SW	60～70°	Q ₂	正断
6	襄城断裂	310	NE	45	Q ₁₋₂	正断
7	鲁山-漯河断裂	NWW	SW	陡	Q ₁₋₂	正断
8	栾川-固始断裂	NWW	SW	60～70°	Q ₃ 、Q ₁₋₂	左旋走滑
9	朱夏断裂	315°	SW	50～60°	Q ₁₋₂	正走滑
10	商丹断裂	60～70°	SW	70～87°	Q ₂	正走滑
11	西峡-内乡断裂	NWW	NE	35～75°	Q ₁₋₂	正断
12	板岩-浙川断裂	NWW	NE	55°	Q ₁	正断
13	方城断裂	NE	SE	50～60°	PreQ	正断
14	新野断裂	NW/NE	NE/NW	35～50°	PreQ	正断
15	两陨断裂	120°	NE/SW	45～75°	Q ₁₋₂	左旋
16	白河-谷城断裂	120～135°	NE	50～75°	Q ₂	正断
17	安康-房县断裂	NWW	NE	50～60°	Q ₁₋₂	正断
18	青峰断裂	NW-NE-NWW	NW/N	50～80°	西段 Q ₁₋₂ ，房县段 Q ₃ ，东段 Q ₁₋₂	正断
19	新华-水田坝断裂	15～20°	NW	60～85°	Q ₁₋₂	正断
20	南漳-荆门断裂	340～350°	SE/NW	50～80°	Q ₁₋₂	正断
21	襄樊-广济断裂	300～310°	NE	40～75°	Q ₁₋₂	左旋走滑
22	英店-青山口断裂	NW	NE	>45°	Q ₁	逆冲

地貌特征明显，断层三角面发育，山地峡谷深切，第四纪地层、Ⅰ～Ⅲ级阶地被错断，在华阴杀马沟、华县老爷宫、莲花寺等处发现多处地震遗迹，1556 年华县大地震就发生在该段上。该段出露断层剖面揭示断层错断全新统，表明该断裂该段为全新世活动断裂；③杜峪以东为该断裂的东段，走向为 300°，倾向 NE，倾角为 65°，上升盘为基岩山地，下降盘为黄土塬，断裂在该段地貌特征明显，断层三角面发育。断裂沿线多处见黄土断错剖面，以宋家埝及文峪剖面较为典型（图 2.4-1），断面清晰，断层错断了马兰黄土，在宋

家塄剖面及文峪剖面上盘上部采集了年代样，测年结果分别为 36.49–35.63kaBP 及 (52.1±1.6) kaBP，表明断裂在晚更新世中晚期有过活动。



1.断层；2.太古界片麻岩；3.离石黄土；4.马兰黄土；5.冲洪积砾石；6.光释光采样点；7 炭样采样点。

图 2.4-1 华阴-灵宝段典型断层剖面（徐伟等，2017）

2) 温塘断裂 (F2)

断裂南起灵宝县城东南处涧口商，向东北经川口、阳店、五原、温塘至三门峡东北，南段构成基岩山地隆起和盆地边界，北段隐伏于第四系沉积物之下。断裂全长 48km，总体走向 NE49~59°，倾向 NW，倾角 45~70°。沿断层线有深层高温（61~63°）矿泉出现，根据钻探结果及水温计算，估计其断距在 1000 m 以上。温塘断裂在地貌上表现为断层三角面，沿线多处出现露头。在温塘东瑶列村附近的一条东西向冲沟中出现断裂破碎带，冲沟西北侧为基岩，上覆上新界地层，东南侧主要为第四纪晚更新世(Q₃)地层；在棉凹村，该断裂破碎带宽约 10 m，主要由断裂两盘地层的断层角砾组成，断裂上盘为震旦系石英砂岩，上覆 2~5m 厚的上更新统砂土，下盘为第三系棕红色砂砾岩，地层产状平缓，近断层处产状变陡，上覆上更新统地层有变形现象，晚更新世地层断距约 20 m(图 2.4-2)；在温塘一带，铁路东侧出露寒武系灰岩，西侧出露中更新统红色粉质粘土。温塘机井揭示，孔深 68.5 m 穿过中更新统，终孔 97.5 m，未穿过下更新统，据此估计中更新统垂直落差达 60m 以上(图 2.4-3)。在川口铁路桥头西南约 200 m 的冲沟中，见中更新统含碎石的红土地层(TL 年龄为 36.1±7.2 万年)与下第三系褐红、深灰色砂质泥岩、砾岩成断层接触，沿断面发育 5~10 cm 厚的断层角砾岩，具垂直擦痕，断面平直，走向 NE40°，倾向 NW，倾角 45°，其上覆上更新统含碎石的黄土(TL 年龄为 12.1±2.4 万年)

未受影响。另据断层泥 TL 法测定，该断裂距今(22.4±4.7) 万年曾有明显活动。

综上所述，该断裂在晚更新世出现过强烈活动，沿断裂在张家湾一带，于 1982 年发生 ML 4.2 地震。

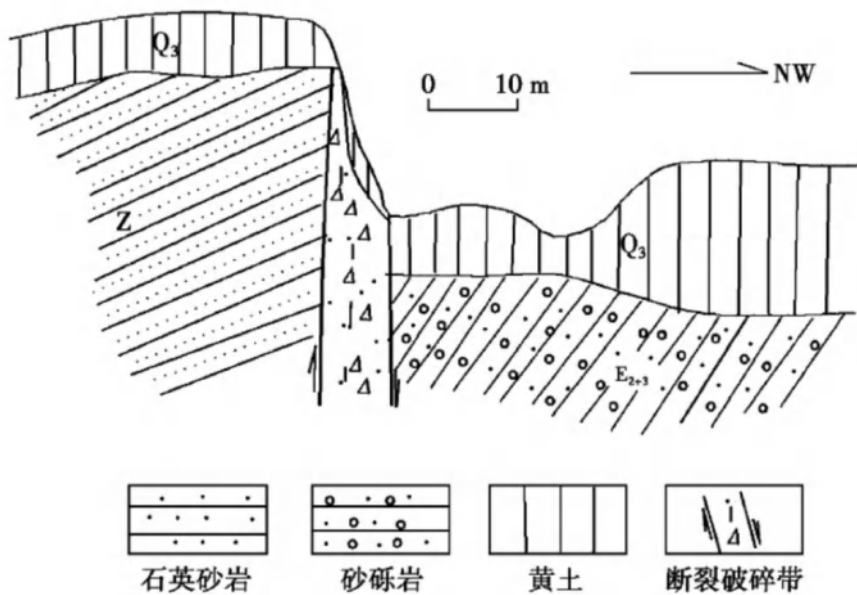


图 2.4-2 温塘断裂错断剖面图（丁学文等，2017）

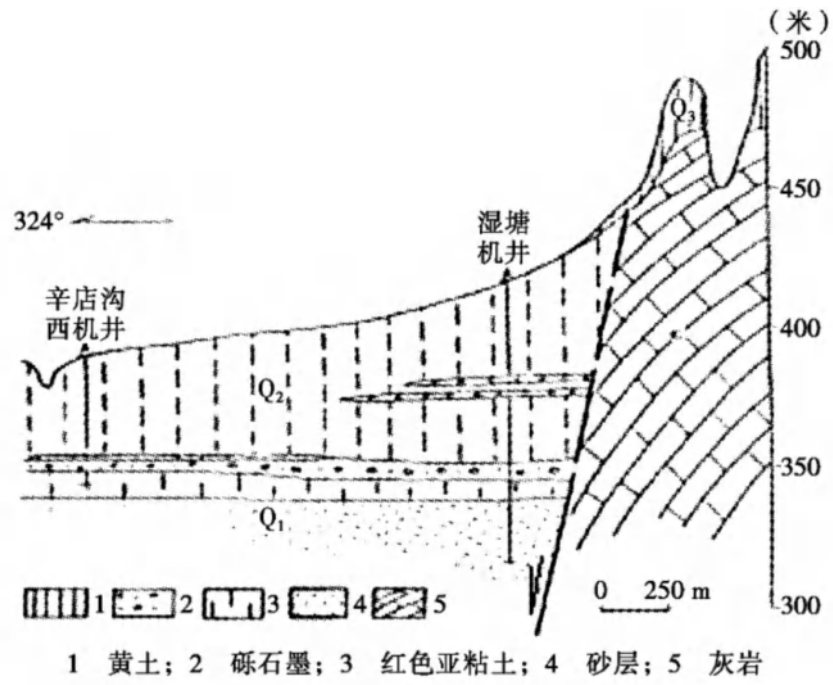


图 2.4-3 温塘断裂李家凹-辛店剖面图（丁学文等，2017）

3) 洛河断裂 (F3)

洛河断裂分布于近场区中部，走向 30~60°，倾向 NW，倾角约 70°，区内长度约 40km。

从卫星影像上看，断裂地貌特征明显，连续性较好，断裂两盘落差明显，断裂南盘为北东东走向的熊耳山，北侧为洛河盆地，表现为古近系与下元古界火山岩和太古界片麻岩正断层接触，大部分被 Qp² 淡黄色、棕黄色-红色黄土覆盖。

兴华镇上高村见一断裂剖面（图 2.4-4），太古界片麻岩与古近纪砂砾岩正断层接触，断层被厚约 5m 的砾石层覆盖，砾石磨园很好，大小混杂，粒径最大者约 30cm，相对洛河高度约 80m，可能为洛河高阶地，区域地貌时代对比分析为中更新世。

在上述剖面西侧约 50m，太古界片麻岩与古近纪砂砾岩正断层接触，断层被厚约 5m 的砾石层覆盖，砾石磨园很好，大小混杂，粒径最大者约 30cm，相对洛河高度约 80m，为洛河高阶地，区域地貌时代对比分析为中更新世。

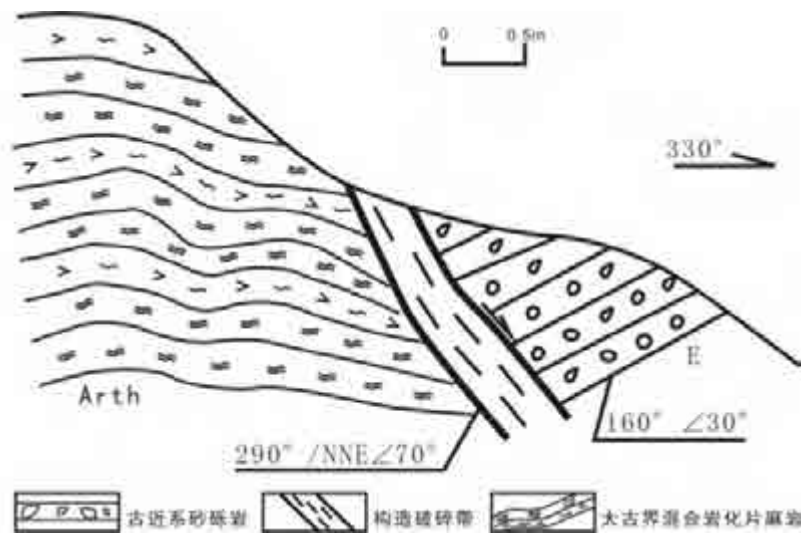


图 2.4-4 上高村断裂剖面

洛河断裂是洛河盆地的南边界断裂，盆地边界地层的展布与断裂迹线展布较为一致，说明断裂较为严格地控制了盆地内第四系地层的沉积。综合遥感影像解译、野外地质调查获得的剖面特征和盆地沉积与断裂的控制关系，可以判断，洛河断裂应为第四纪早期活动断裂，中更新世以来活动较弱。

4) 伊河断裂 (F4)

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。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，具有曲型的挤压构造带特征，只因受渐新世以后大华北地区北西向张性应力场的影响而表现为正断性质。

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，沿线追索未发现晚第四系变形、错断现象。依此推断，该断裂主要活动时期应为新近纪。

中国地震局地球物理勘探中心郑州基础工程勘察研究院针对该断裂所作的浅层地震勘探工作。

在 5 条侧线的勘探中有 2 条侧线伊河断裂有较好的反应（图 2.4-5）。

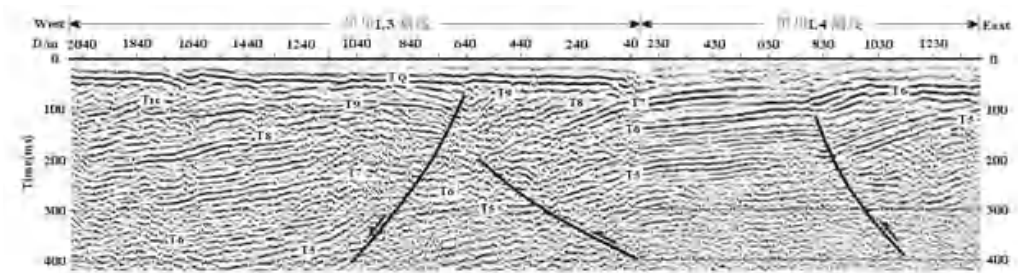


图 2.4-5 L3-L4 测线地震反射时间

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。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。这 3 条断裂均发育在第四系之下的基岩地层内部，均为前第四纪断裂。

5) 新安-郟县断裂 (F5)

断裂呈北西向展布，断裂自新安西北段村起，向东南经新安、伊川、临汝、郟县，全长约 130km。由新安-伊川断裂和汝河断裂组成。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（地质部河南地质局，1965），为正断层。从断裂对盆地和河流的控制作用分析，为早、中更新世断裂。

在新安县陈岭村西北见断层露头点，断裂影响带宽达 60m，下盘中元古界石英砂岩、泥灰岩、页岩产状陡立，上盘寒武系灰岩近断裂处产状倒转，沿断裂面发育宽约 5m 的断

层角砾岩带，据断层泥 TL 年代测定，该断裂在距今 34.0 ± 6.8 万年有过活动。但断裂带之上覆盖的上更新统黄土（TL 年龄为距今 27.86 ± 4.18 万年）。

6) 襄城断裂 (F6)

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。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早-中更新世活动断裂。

7) 鲁山-漯河断裂 (F7)

西起栾川经鲁山西北，向东经叶县、郟城，漯河东南，止于安徽太和。是一条区域性大断裂。总体走向北西西，倾向南南西，倾角 60° 左右，长度约 120km，是鲁叶断陷的北界。区内称鲁山-漯河断裂。

断裂西段有露头。在鲁山坡断裂走向 300° ，南盘为震旦系马山口组石英岩，岩性坚硬，地形陡峭，坡度大于 25° ；北盘则为太古界下太华群片麻岩、角闪岩，岩性软弱，风化强烈，植被发育，地形坡角小于 7° 。在黄沟村附近，断裂通过处表现为一北西向冲沟，沟南为寒武系朱砂硐组灰岩；沟北则为震旦系石英砂岩及寒武系罗圈组紫红色砾岩、页岩。在傅岭村附近，断裂被中更新统地层覆盖，在断裂通过处未见中更新统地层有任何变形迹象。由此推测，该断裂在新构造时期的新近纪有过活动。

在鲁山县三街村以东，整条断裂隐伏于第四系松散沉积物之下。但该断裂在布格重力异常图上反映为密集梯级带 ($4.7\times 10^{-5}\text{m}\cdot\text{s}^{-2}/\text{km}$)，地震及电法剖面反映清楚。据断裂两侧新生界地层等厚线分析，西段叶县-鲁山断距约 1000 多米，而东段叶县-漯河段可达 2000m 以上。另据曹镇-滚子营的钻孔资料分析，断裂下盘普 29 孔于 202.5m 就穿过第四系直达太古界地层，而上盘的普 28 孔于 796.26m 仍未穿过新近系地层。该断裂控制着上新界地层；而从中更新统底板埋深图和上更新统、全新统等厚图看，它不控制中更新世以来的沉积。

综上所述，鲁山-漯河断裂是一条区域性大断裂，新生界最大断距超过 2000m，为一正断裂。该断裂至少在新近纪仍有强烈活动，地震勘探显示该断层错断第四系底截面。因

此，将鲁山-漯河断裂定为早-中更新世活动断裂。

8) 栾川-固始断裂 (F8)

该断裂带是中朝准地台与秦岭褶皱系两个一级大地构造单元的分界断裂带，走向向主要为北西西向，西段为陕西的铁炉子断裂，中段沿栾川-鲁山-确山-固始一线分布，向东与安徽省肥中深断裂相连，是一长期活动的岩石圈断裂。仅方城以西其长度超过 400km，它由四条主要断裂组成，各次级断裂呈斜列状分布，每条次级断裂又由若干条更次一级的断裂斜列组合而成，具有走滑型发震构造的斜列状结构特征。方城以东为隐伏深断裂。

该带断裂构造岩带宽有数百米，由构造角砾岩、碎裂岩、千糜岩、糜棱岩等组成。它可能开始形成于古元古代末期，而且在以后屡次构造运动中皆有强度不同的活动。新构造期亦有明显活动，为新构造分区的界线。

新构造时期活动为左旋走滑运动性质，具有明显的分段活动特征，活动强度由西向东逐渐减弱。

杨晓平等 2005 年的野外地震地质工作表明，陕西的铁炉子段为洛南新生代盆地的南界，地貌特征明显，断裂陡崖直线状延伸，错断晚更新世地层，为晚更新世早期断裂，走滑活动速率约为 1.25mm/a ；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。

2009 年北京中震创业工程科技研究院对卢氏盆地南部进行了野外调查。该段落从洛南盆地东端的东湾到卢氏盆地南端的七村街，长约 48km。它在卫星影像上有一定线性特征，东湾至前坪段断裂陡崖直线状延伸，而前坪至七村街断裂顺沟谷分布，线状特征不明显。

2007 年，中国地震局地球物理研究所对该断裂和的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。

卢氏西至南召的关山段（中国地震局地球物理研究所，2007；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。

9) 朱夏断裂 (F9)

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、夏馆、镇平，向东南隐伏于南阳盆地，盆地内与商丹断裂伴生，两者无法区分，组成堑垒结构。该断裂可确认的总长度在 230km 左右，总体走向北西，倾向时南时北，控制了北西向狭长的条带状白垩纪断陷盆地，如五里川盆地、夏馆盆地、白湾盆地等。

该断裂发育于加里东褶皱带中，断裂北侧为秦岭群，南侧主要为二郎坪群和秦岭群，断裂沿线断续分布有上三叠统、白垩系和下古生界。这些地层的岩石都有不同程度的破碎，形成较宽的动力破碎带，它具有多期活动的特点。该段断裂在卫星影像上线性特征明显，特别是夏馆至马山口段，地貌上表现为深切河谷、断崖和三角面山。

中国地震局地球物理研究所（2007）在马山口一带开展的野外地震地质调查工作，在马山口以西的毛家营和马山口以东的竹园，断裂断错于秦岭群大理岩与上白垩统红色砾岩之间，下盘秦岭群大理岩显示破碎，上盘的上白垩统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，都未见被断裂错动迹象，在金庄河东岸、青山前村的断裂剖面也类似现象。

在赵湾水库以东的地震地质调查表明，断层并没有明显断错中更新世上部地层，南阳城市活断层探测结果证实，朱夏断裂最新活动时代为中更新世（中国地震局地质研究所、河南省地震局、南阳市地震局，2012）。

10) 商丹断裂 (F10)

该断裂西起商洛以东，经丹凤、商南，富水、西坪北、阳城、马山口镇，向东隐伏于南阳盆地。总体走向北西，以走滑为主，倾向多变。

南襄盆地以西倾角 $60\sim 80^\circ$ ，构成秦岭群与信阳群、白垩系分界线；内乡余关以东，该断裂表现为多个分支，而北支沿山前呈近西向延伸，经伏牛山地质公园北、马山口镇地质公园，马山口至高丘水库北的大陈营一线。而南支自报事滩镇向东呈北西向隐伏过湍河后经高丘南过遮山后，进入第四系隐伏区，大致经潦河，桐寨铺、唐河、平氏后进入基岩区，向南过桐柏后转为近东西向。

在杨峪河见断层破碎带（图 2.4-6），构成太古界秦岭群与古近系的分界线。破碎带宽 100 多 m，上覆第四系坡积层（Q3），覆盖层未发现被错动的迹象，说明该断裂活

作，西峡火车站与黄家营村附近获得的断层剖面均显示该断裂没有断错中-上更新统地层（中国地震局地球物理研究所，2009）。基岩区该断裂以正断为主，断面北倾，断裂多被中-上更新统或上更新统覆盖。该断裂西峡至内乡段控制中生代盆地发育，断裂两盘地貌具有一定落差，依据地质、地貌及区域新构造运动特征，综合判断山阳-内乡断裂为早、中更新世断裂。

12) 板岩-淅川断裂 (F12)

该断裂向西延伸至镇安县，向东经板岩镇、西簧乡、毛堂、淅川，延伸至内乡一带。断层面倾向北，向东有所变化，倾角 60° 左右，泥盆纪地层覆于石炭系地层之上，断层现象明显，具体活动证据见近场断裂描述。

13) 方城断裂 (F13)

该断裂为隐伏断裂，南起南阳，向北东延伸经红泥湾、方城至保安以东，倾向南西，地貌上表现比较明显，卫星线性影像清晰，航磁异常非常清楚，断层控制并切割了中生代地层 (M_{Z-N})。

据《河南省干江河燕山水库工程场地地震安全性评价报告》（中国地震局地球物理勘探中心，2004）所进行的工作，地形地貌和地层的年代测定结果，显示该断裂分支至少经历过两期大的活动，即在古近纪前断裂破碎带之主体形成，从构造结构、水文地质实验及角砾岩薄片鉴定结果情况看，其性质属压扭性；进入古近纪后，断裂沿上盘产生断陷活动；从第四纪地貌、地层分析，该断裂自新近纪以来已趋稳定，为前第四纪断裂。

浅层人工地震勘探结果显示南阳-方城断层的上断点埋深在 200-220m 之间，垂直断距 5-9m，根据本区第四纪标准钻孔综合定年结果，该深度范围的地层属于前第四纪地层。

综合以上分析结果，该断裂最新活动时代为前第四纪断裂。

14) 新野断裂 (F14)

该断裂隐伏于南襄盆地内的邓州-新野一带，走向北西西-北东东，向南凸出呈弧形分布，倾向北。是南阳盆地与新野凸起的分界断裂。白垩-古近系在北盘厚 5000m，而南盘仅 500-1000m，据钻孔资料，断裂北侧新近系厚 600-800m 以上，第四系 100m 左右；而南侧新近系厚 400-600m，第四系在 100m 以下。可见该断裂新构造时期有一定的活动性，但第四纪活动不明显。邓州附近有过弱震活动，但断裂与现代中强以上地震关系不明显。

该断裂隐伏于南襄盆地内的邓县、新野一带，走向北西西-北东东，向南凸出呈弧形

分布，为一倾向北的张性正断层，长约 120km。该断裂是南阳凹陷与新野凸起的分界断裂。该断裂呈“之”字型，古近纪伴随南阳凹陷强烈断陷构造环境下追踪基底断层而形成，在石油剖面上陡下缓，呈铲形，交于盆地基底之中。

断裂两侧地层差异明显，白垩-古近系在北盘厚 5000m，南盘仅 500~1000m。据钻孔资料，断裂北侧新近系厚 600~800m 以上，第四系 100m 左右；南侧新近系厚 400~600m，第四系在 100m 以下。可见该断裂新构造期有一定的活动性，但第四纪活动不明显，从石油剖面上看，除西部最新上断点进入新近系外，其余上断点没有进入新近系。邓县附近曾有过弱震活动，不过断裂与现代中强以上地震关系不明显。

综合分析认为，新野断裂为南阳盆地与襄樊盆地的分界断裂，为一前第四纪张性正断层，从整个新生代断裂的活动趋势下看，古近纪为其强烈活动期，新系纪明显已趋于稳定，第四纪断层活动已经不明显，为前第四纪断裂。

15) 两郧断裂 (F15)

西起漫川关盆地西北，东延经郧西、郧县、均县没入南襄盆地内，走向 120°，呈北西西—南东东向延伸约 250km，区内长约 140km，主断面倾向北，倾角 45-75°。断裂带大部分发育在耀岭河群内部，变形带由数条平行断层组成。晚燕山期时具有强烈的逆走滑或推覆特征，形成宽大的韧性剪切带，重磁资料有明显反映。喜马拉雅期断裂上盘新元古界地层逆于古近系、新近系之上。主断层灰白色构造破碎带宽约 60-100m。第四纪以来可能承袭了这种运动体制并在构造—地貌有一定显示：①沿带总体呈负向低山、丘陵或河谷，形成近百公里的山间廊道。廊道之内又依次出现反差分明的斜（横）向地貌隆起和洼地。其中由新近纪晚期泥灰岩（TL 测年为 $270 \times 10^4 \text{a}$ ）上复构成的隆起（火车岭），现已高出郧西河谷近 400m，抬升速率约 $0.2 \text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ；②断裂东延在南襄盆地西缘由汉江、周山和上寺等断层等组成发散状断裂束，据长委会勘测一队在陶岔一带探槽揭示，发现在中、上更新统中有产状 $300^\circ/\text{NE} \angle 70^\circ$ 的断层，工程揭露长 240m、垂向断距 8-10m，并兼有左旋逆走滑分量；③第四纪年代学样品（SEM 法）测定，该断裂在新近纪上新世、早更新世和中更新世也有强烈活动。TL 法测定在 24、25、40 和 $45 \times 10^4 \text{a}$ 也曾强烈活动，丹江水库地区的震群活动可能与此有关。表明该断裂是在中更新世中期强烈活动的断裂带，而东段的活动时代可能更晚。

16) 白河-谷城断裂 (F16)

西起白河，沿武当山北麓东南向延伸，经十堰止于谷城东。走向北西 60~70°，倾向北东，倾角 45~80°。

该断裂由多条平行断裂组成，并被一系列北东向斜滑断裂切割，形成 20 多个几公里到 10 余公里的小构造段。主断裂表现为由北向南的冲断或推覆。新构造活动主要表现为在断裂两盘差异隆升基础上带有一定分量的左旋平移，形成六里坪、郑家湾晚更新世德拉分谷地。断层物质经 TL 法测定，其最晚活动年龄为 150 万年（中国地震局地球物理研究所，2002）。据形变资料分析，断裂垂直形变速率为 0.26mm/年。

西段出露于基岩中，未见第四纪活动。东段控制了襄樊盆地的发育。中段是一条中更新世活动断裂。

17) 安康-房县断裂 (F17)

呈北西向延伸，区内总长约 230km。该带的几何学结构极为复杂，主带由 4-5 条大致平行并向南东撒开的分支断层组成，并被北东、北北西和近东西断层切割，在宝丰盆地形成有阶区形成“Z”型展布的微断块构造带，大致可以分成安康（100km）、陈家河（40km）和竹山（58km）几个显著的构造带，该断裂具有复杂的断裂结构，多期活动，并控制了安康-月河盆地和宝丰盆地的发展演化。

新构造期以来以左旋走（逆）滑位移为主，导致盆地之间产生北西（北北西）向挤压隆起，现代水系循此流逝，例如陈家铺、擂鼓台和前池等。擂鼓台和鼓锣坪一带的更新世隆起，高出现代河床 250-300m。沿主断裂两侧，新近系和第四系中还发育一系列小型破裂或断层。此外，沿带的断层地貌亦十分醒目，788 年竹山宝丰 6 $\frac{3}{4}$ 级地震和公元前 143 年竹山西南 5.0 级地震都发生在该带附近，近年竹山一带也有小震活动。利用 SEM 法测定证明在上新世、早更新世和晚更新世分别发生过快速运动。另据文献（中国地震局研究所，2004），在由秦王寨断裂、溢水断裂、九华山断裂和竹山断裂等 4 条组成的竹山段，经 TL、ESR 测年，活动时代分别为 $(4.5、9.8) \times 10^4\text{a}$ 、 $(2.1、7.8) \times 10^4\text{a}$ 、 $(4.2、2.9、18、20) \times 10^4\text{a}$ 、 $(5.1) \times 10^4\text{a}$ 。表明该断裂竹山段的最新活动时代为晚更新世。

18) 青峰断裂 (F18)

在区域内，该断裂由陕西省城口县西延入，总体由北西向转成近东西向，经丰溪、房县、青峰，在石花街与白河-谷城断裂相汇后，东延出图。它是南秦岭断隆变形带和上扬子褶隆变形带的大地构造分界线，区域内长约 130km。主断裂倾向北，倾角 50~80°，由

一系列平行断片组成 3~5km 的宽带。新构造期以来，该断裂的活动方式和强度各地有明显差异。房县盆地以西，总体表现为左旋逆走滑或继承性挤压变形。强烈抬升形成深切河谷和陡峻的断崖。盆地南缘发育多期次后退性断层三角面，地貌反差千余米；温泉群沿盆地南缘出露，水温 26℃~45℃；灰白色断层碎粉岩宽达百余米，松散的紫红色片理化断层泥间夹岩屑，宽 40cm。受北西向房县-安康断裂带左旋走滑控制，房县盆地以较典型的左旋走滑拉分为特征，跨断层更新世水系左旋扭动。第四纪年代学断层泥 SEM 法测定值分布于晚更新世时段，TL 法测定在 5~7×10⁴a，本段其最新活动时代为晚更新世，其余部段为早、中更新世断裂。1742 年曾在房县盆地西缘发生 5 级地震，小震活动亦集中在此段。

19) 新华-水田坝断裂 (F19)

该断裂带为黄陵断块西缘边界构造，走向北北东 20°，倾向北西，倾角 60-85°，总长约 100km；自北而南由左行右接的新华断裂，兴山断裂和水田坝断裂组成。断裂带切割元古界神农架群、震旦系、古生界及中生界一系列地层。

新构造期以来，新华-水田坝断裂带仍具有明显的活动，但以右旋剪张性走滑为主要特征。北段新华断裂主断层最大破碎带宽达 100-150m，中段兴山断裂和南段水田坝主断层破碎带亦宽达百余米；沿带可见碎裂岩、角砾岩、片状构造岩夹微透镜体群和断层泥，其中松散的主构造岩带宽度通常可达 10m。由于沿断裂带仍具有数百米的新构造宽变形带，因此沿带危岩体、活动滑坡体丛生；如新华断裂北段的龙潭垭，即为高白崖发生的巨大山崩堵塞河流形成龙潭和淤积平地，现今的高白崖裂隙发育，仍有摇摇欲坠的山崩之势；古夫东侧的断层陡崖处发育大型活动滑坡和危岩体；兴山城关一带大小断层纵横、活动滑坡众多；水田坝主断裂槽谷沿线地形反差强烈，发育朝向西的顺层断崖滑坡群，而西断裂陡崖处则发育一系列朝向东的切层式滑坡体。

新华-水田坝断裂带呈现线性断层槽谷、峡谷、冲沟和垭口等负向构造地貌形态，其中新华断裂北段深切断层谷长达 20km，水田坝断裂南段的宽阔槽谷长达 14km。第四纪跨断层水系具有优势右旋偏转的特征，其中尤以兴山断裂、水田坝断裂沿线明显。新华断裂沿线多处可见正倾滑擦光面和正断岩层牵引变形、如马桥南侧岩土扁、新华、古夫等地。据水田坝断裂构造岩断层泥采样鉴定（SEM 法和 TL 法）：断裂在更新世均有活动，最新的年代值为 ¹⁴C 22110±870 年。

根据现代地震台网测定,有近 20 次 $M_s1.0-2.9$ 级小震大体沿新华-水田坝断裂带分布,但主要分布于北段,并有少量地震震源深度大于 20km。此外,1988 年兴山榛子 $ML3.9$ 级地震亦可看作是与主断裂带相关的北东向分支断层孕震。

据上述,北北东向新华—水田坝断裂带作为黄陵断块西缘边界具有明显的右旋剪张性新活动,综合判定其为早、中更新世断裂。

20) 南漳-荆门断裂 (F20)

走向北北西,全长 180km,构成白垩-古近纪南漳-荆门地堑西缘边界。其南端段切割新近系,并与潜北断裂截切,中段断裂地貌反差鲜明,跨断层水系大多呈右旋扭动形态,松散未胶结破裂带宽约 10 余米,断层泥片理化,SEM、TL 法断层泥测年值分布于早、中更新世。微震、有感震沿断裂展布地带密集分布。

21) 襄樊-广济断裂 (F21)

襄樊-广济深大断裂西起襄樊庙滩西,经襄樊南、随州三里岗、孝感、黄冈,止于广济,长约 330km,构成扬子地块(板块)与秦岭-大别造山褶皱系之边界。断裂总体走向 NW,倾向 NE,呈陡倾,第四纪以来表现为正断性质。其黄冈以东段历史上曾有较小中强震发生,断层泥(TL、SEM、ESR 法)测年值分布于早、中更新世;武汉段显示为中更新世地貌面差异达 20~35m,次级断层 SEM 法测年值分布于上新世-早更新世;大洪山北缘段切割早更新世坡积层,断层泥 SEM、ESR 法测年值分布于早、中更新世。2006 年随州三里岗发生 $M_L4.7$ 级轻破坏地震。它们均显示早第四纪断层活动特征。

22) 英店-青山口断裂 (F22)

该断裂是分隔桐柏-大别褶皱带和秦岭褶皱带的区域性大断裂。呈北西向经新城、英店、青山口、黄陂、武湖,向南东可能与扬子北缘断裂相交,向北西过南阳盆地可能与南阳-桐柏-商城深断裂带相连。

实际上,它是一个有数条断层组成的断裂带,总体倾向北东。西段桐柏山群与随县群呈断层接触,白垩-古近系呈线状沿断裂分布,东段青山口、黄陂一带,断裂控制了江汉盆地的北部边界。两侧地貌景观明显不同,北为群峰兀立的山地,南是略有起伏的准平原。断裂带内构造角砾岩、碎裂岩、糜棱岩等动力变质岩发育,有时宽达千米。断裂总体显示压剪性。断裂旁侧或断裂带内有燕山期花岗岩侵入,花园、李集、黄陂和武湖等地有晚白垩世橄榄玄武岩呈北西向沿断裂展布。因此,该断裂可能主要形成于印支-燕山期,为长

期活动、性质多变的岩石圈断裂。

晚近时期断裂复活现象明显，表现为变质岩系逆冲在白垩-古近系之上，并因断裂活动断裂附近红层发生显著褶皱。第四纪，断裂两侧表现为不均衡的断块运动，北侧总体显示上升趋势，南侧则表现为轻度的向南掀斜的特点。从西部顺断裂延伸的水系所反映的左旋扭动变形及历史上断裂附近有弱震发生来看，桐柏-青山口断裂在第四纪早期仍有一定的活动性。

2.4.2 断裂活动与地震的关系

工作区跨越了中朝准地台和秦岭褶皱系，经历了多旋回复杂的构造变动，断裂构造极为发育，主要有 22 条区域性断裂，以北西西向为主，其次为北东向和少量近东西向。

秦岭地区大部分断裂活动时代为早中更新世和前第四纪，栾川-确山-固始断裂西段的铁炉子段和安康-房县断裂为晚更新世。秦岭地区地震活动总体较弱，有少量中强地震发生。

区域东部的南华北盆地和区域中部的南阳盆地，以北西向断裂为主，它们主要以早、中更新世断裂，地震以中强活动为主，最大为南阳 6½ 级地震。

2.5 区域地震地质环境分析

2.5.1 区域地震地质环境特点

区域内涉及 3 个一级大地构造单元，即中朝准地台、秦岭褶皱系和扬子准地台。其中中朝准地台是最为活动的构造单元，但其南部活动性又相对较弱；秦岭褶皱系虽属强烈活动的构造单元，但其东段又相对稳定，扬子准地台是其中较稳定的单元，特别是北部地区稳定性更好。可见，从所处的大地构造部位而言，整个区域没有 7 级以上地震发生。

从地球物理场方面看，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。区内存在北西、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。

新构造时期，区域内不同地区构造运动强烈程度，断裂活动的方式、地震活动等方面有着明显的差别。根据这些差异，本区域划分出 4 个一级新构造单元和多二级构造单元。根据两级构造单元活动特征及其与地震的关系分析，二者有密切的联系：一、二级新构造

分区界线是地震发生的主要场所，凹陷内下沉最强烈的部位是地震发生的场所，如南阳发生的 $6\frac{1}{2}$ 级地震与该区的强烈下沉有关；凸起内局部下沉的部位也是地震发生的场所。

2.5.2 中强震发生的构造条件

不同强度地震发生的构造条件有着明显的差异。根据区域范围内的新构造、地球物理场、断裂活动性特征等，归纳出下面区域内地震发生的构造条件。

1) $M=6\sim 6.9$ 级地震发生的构造条件：

- ①具备发生 $M\geq 7$ 级地震的构造条件，同样会发生 $6\sim 6.9$ 级地震；
- ②重、磁异常带和地壳厚度转折带容易发生这一级别的地震，如南阳 $6\frac{1}{2}$ 级地震；
- ③一、二级新构造分区界线是这一级别地震的发生带；
- ④晚更新世断裂是这一级别地震发生的重要条件；
- ⑤少数早、中更新世断裂历史上也曾发生过强震，如许昌-太康断裂上曾发生过许昌 6 级地震；

2) $M=5\sim 5.9$ 级地震发生的构造条件：

- ①发生过 $M\geq 6$ 级地震的地区容易发生这一级别的地震；
- ②地球物理异常带是这一级别地震发生的重要场所，如鄢陵 $5\frac{3}{4}$ 级地震、项城 $5\frac{1}{2}$ 级地震等即发生在这类异常带上；
- ③新构造运动差异带；
- ④早、中更新世活动的隐伏断裂可能与这一级别的地震有关；
- ⑤现代地壳形变的下沉中心也会发生这一级别地震如南阳的 $6\frac{1}{2}$ 级地震和 $5\frac{1}{4}$ 级地震与南阳下沉中心地有关等。

2.5.3 区域地震构造综合分析

区内早、中更新世以来活动的北西-北西西向活动断裂，主要包括有朱阳关-夏馆-南阳断裂、鲁山-漯河断裂、白河-谷城断裂等具有发生 $6.0\sim 6.9$ 级地震的背景。而北北东向或近东西向的断裂主要对孕震部位有影响，即北西-北西西向断裂与北北东向断裂的交汇部位是发生强震的有利部位。许多中强地震的发生与隐伏的早、中更新世断裂有关。

综上所述，区域地震构造背景复杂，第四纪断裂比较发育，是新构造活动较强烈的地区，具有发生中强地震的构造背景。

第三章 近场区地震构造

依据《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005），近场区指不小于工程场地及其外延 25km 的范围，以此作为分析近场区地震构造条件的基础工作。以下分析近场区地貌与第四纪地层、新构造运动特征的基础上，分别对工程场址区内的主要断裂活动性进行鉴定。

3.1 近场区地质概况

近场区的东南部为南阳盆地，其面积约 3600km²，为一断陷盆地。盆地内绝大部分被第四系覆盖。盆地由白垩系上统胡岗组、古近系玉皇顶组、大仓房组、核桃园组、寥庄组和新近系组成。白垩系上统胡岗组沿盆地边缘出露。新、古近系在区内零星分布，地表主要出露新近系，分布于盆地北缘山前地带。地层均向南倾斜，倾角一般在 15°以下。近场区的西北部为秦岭中、低山地，基岩多裸露，出露有太古界的太华群，岩性主要为黑云母片岩、石榴子石片麻岩、混合片麻岩、角闪片岩等。下元古界刘岭组，岩性主要为黑云母角闪石英片岩、二云母石英片岩、石榴子石二云母石英片岩、角岩等。古生代与中生代的侵入岩，岩性主要为黑云母花岗岩、斑状花岗岩。北秦岭地形高于南秦岭，从北向南，地形由高变低。

近区域范围内第四系主要分布于东南平原区、河流阶地及山麓地带，分中更新统（Q_p²）、中-上更新统（Q_p²⁻³）、上更新统（Q_p³）和全新统（Q_h），其中中-上更新统（Q_p²⁻³）分布最广。

中更新统（Q_p²）

零星分布于丘陵、山麓地带，为红色粘土含钙质结核，多属残积类型。

中-上更新统（Q_p²⁻³）

广泛分布于第四纪平原、丘陵、山麓地带。冲-洪积层下部为黄色砂砾石夹粘土和粗砂透镜体，上部为黄色亚粘土。平原区为黄红色亚砂土和亚粘土，含钙质结核；残坡积层局部分布于山麓、丘陵地带顶部，为黄褐色-棕红色砂砾、砂、亚砂土及亚粘土。

上更新统（Q_p³）

分布于山麓、丘陵地带，为棕黄色砂砾层、亚砂土和亚粘土；此外，河流Ⅱ级阶地亦分布有冲积砂砾石层、亚砂土及亚粘土。

全新统（Q_h）

零星分布于现代河床、Ⅰ级阶地及河漫滩，主要为冲积砂、砂砾石层，厚度数米。

3.2 地形地貌及新构造单元

地貌单元大致可分为基岩低山、红岩丘陵、盆地沉降区及河谷地貌等（图 3.2-1）：①基岩低山区分布于近区域西部，呈北西-北西西向带状延伸，出露岩层为前白垩系，海拔高度 300~600m 左右，沟谷发育，相对高差 200~300m；②红岩丘陵区主要分布于近区域西部，镶嵌于相邻的带状基岩低山之间，呈北西-北西西向延伸，多为南东宽而北西窄。为中-新生代盆地演化而形成的红岩丘陵地貌，海拔高度 200~300m 左右，相对高差几十米至百余米。出露岩层主要为白垩系、古近系和新近系，梁茆顶部上覆第四系黄土或砂砾石层。③河谷地貌主要分布于近区域西部和北部，湍河、老灌河、丹江由北（西）而南（东）贯穿近区域的中-西部，流入丹江水库，沿这些河流两岸发育有Ⅰ—Ⅳ级阶地，较小的河流发育有Ⅰ—Ⅲ级阶地。Ⅰ级、Ⅱ级阶地分布广泛，拔河高度 2~3m 和 4~5m，为堆积阶地，形成于全新世~晚更新世。Ⅲ级、Ⅳ级阶地分布分布较少，拔河高度 30~40m 左右，为基座阶地，形成于中更新世；④盆地沉降区位于近区域东部，海拔高度 120~200m 左右。

近场区新构造单元主体为南襄坳陷西北部，与北秦岭强烈隆起区和两郧中等掀升区两个构造单元相邻（图 3.2-1）。

3.2.1 北秦岭强烈隆起区

该区位于区域的西部，北侧以栾川-确山-固始深大断裂为界与华熊差异隆起区相邻，南部以木家垭-内乡-桐柏-商城断裂为界与两郧中等掀升区相邻。该区长期处于隆起状态，具有间隙性上升的特点，发育海拔 2000m、1500m 和 500m 的地貌阶梯带。区内河流一般发育三级阶地，三级阶地的相对高差分别为 2-3m、10 余 m 和 40-50m，河流未见深切现象，地貌反差不大。新构造期以来，处于长期

稳定的剥蚀环境。发育北西西向断裂，沿一些北西西向断裂老的断裂挤压破碎带再次发生新的左旋走滑运动，一系列山脊、水系被左旋水平错移。但这种运动比青藏高原和西秦岭地区已明显减弱，左旋走滑运动也只局限在少数北西西向断裂带上，如黑沟大断裂等，其他大多数断裂已无明显活动。

3.2.2 两郧中等掀升区

两郧中等掀升区的新构造运动主要表现为中等强度的掀升活动，并迭加有次级的拱隆和拗折以及区域北西西向断裂的活动。区内普遍发育 4 级夷平面，汉水河谷发育 4 级阶地，李官桥盆地边缘丘陵、低山出现 5 层溶洞。山势地形和层状地貌都显示出新构造上升是由北西向南东掀斜的。区内自西而东存在三个南北向隆起带，即漫川关与郧西盆地间的黄云铺隆起、郧西与郧县间的白龙洞隆起和老均县与丹江口之间的隆起。与北西西向断裂活动有关的新构造形迹，主要见于郧西火车岭一带山脊上。该处新近纪上新世泥灰岩和早更新世钙泥质砾岩（TL140.3 万年）受两郧断裂左旋压剪性活动影响被抬升到 650m 高程，其抬升速率为 0.3mm/a。1964 年郧西 4.9 级地震，是这组断裂系统的最新活动表现。

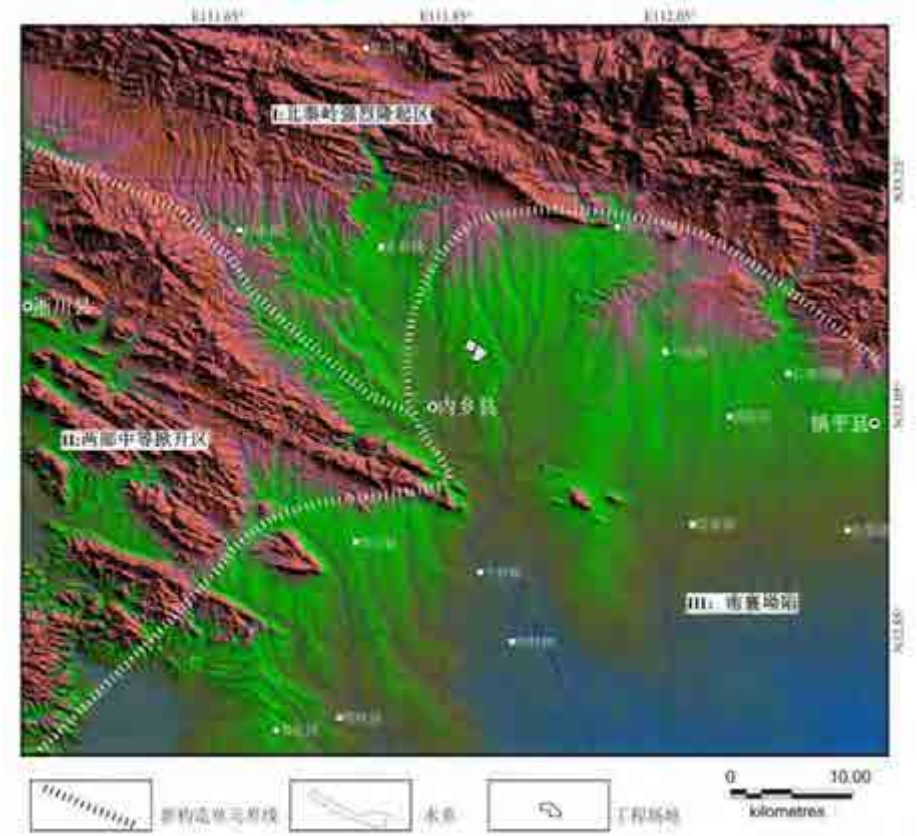


图 3.2-1 近场 DEM 及新构造单元划分简图

3.2.3 南襄拗陷

南襄拗陷是燕山运动晚期形成的伸展断陷盆地，晚白垩世以来的最大沉积厚度约 5000m。盆地基底由于受北西西、北东等多组裂切割、控制，又进一步划分出南阳凹陷、新野凸起和襄枣凹陷等次级构造。古近纪红层岩相带因此产生北东向分异现象。新近纪河湖相地层沉积过程中，由于新野断裂等活动影响，沉积中心呈近东西向分布，断裂南、北侧沉积厚度差异明显。如邓县、新野附近，新近系厚达 800m，而南侧一般小于 600m。

南襄拗陷早更新世以河湖相沉积为主。中更新世晚期，该盆地普遍抬升，现今盆缘所见的冲洪积低丘或垄岗即为此期的产物。晚更新世以来，整个盆地呈现由北向南的掀斜运动，使前期的水系变成总体同向的近平行水系并形成 2-3 级阶地。总之，第四纪时期南襄断陷沉降幅度不大，沉降中心在新野东北和社旗北侧，沉积厚度最大仅百余米，等厚线呈北东向延伸。公元 46 年在断陷北缘曾发生南阳（ $6\frac{1}{2}$ 级）地震。

3.3 近场区新构造运动特征

近场区经历了漫长的近南北向水平应力挤压，并伴随着断裂的产生。因这一东西向的复杂构造带在伏牛山以东被另一构造体系影响，显得向南弯曲，所以构造线大致呈近北西西-南东东向展布。

近场区新构造运动以差异性升降运动为主。近场区在上新世末期大幅度的上升，接受风化剥蚀，使之缺失了下更新统的沉积。中更新世初期地壳相对稳定，山间平原河流发育，河谷宽广，山前形成面积较大的冲洪积扇，奠定了现代地形的基础。晚更新世末期以来，近场区基本上处于抬升状态。

3.4 近场区主要断裂活动性

近场区内活动断裂以北西-北西西向为主，如表 3.4-1 与附图二所示。根据野外实地观察，结合收集到的大量地质、航磁、重力等资料，进行综合分析，确定断裂的活动性，下面对近场区一些主要断裂进行评述。

表 3.4-1 近场区主要断裂活动性

编号	断裂名称	性质	走向	倾向	倾角	最新活动时代	距场地距离 (km)
F1	朱夏断裂	逆走滑	NW	NE	65-80°	Q ₁₋₂	26
F2	商丹断裂	正断层	NW	SW	70-80°	Q ₂	16
F3	西峡-内乡断裂	正断层	NW	NE	35-75°	Q ₁₋₂	2.3
F4	板岩-浙川断裂	逆断层	NW	NE	60°	Q ₁	6.5

1) 朱夏断裂 (F1)

该断裂在本区西起东崂沟，向东经孙家岗、火龙庙至唐家庄没入南阳盆地。在火龙庙一带被一北东向的隐伏断裂所切割，是本区规模最大的一条断裂。本断裂发育于四棵树背斜南翼，白垩系上统胡岗组紫红色砂砾岩与震旦系上统赶脚沟组白云石大理岩、条带状石墨大理岩之间。并具西弱东强之特点。主断裂面呈 310° 方向延伸，局部 280° 左右，断面主要倾向北东，倾角 40~80°。断面沿走向及倾向均呈舒缓状波状弯曲。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（图 3.4-1）。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。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 3.4-2）。

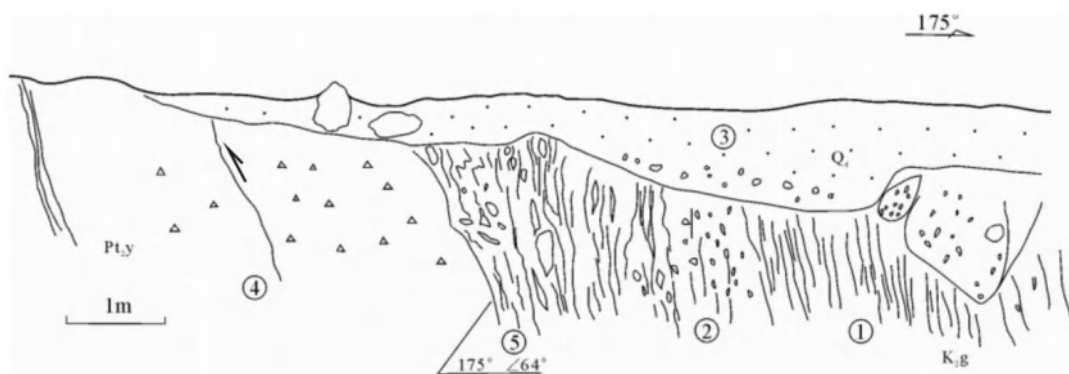


图 3.4-1 马山口西毛家营剖面

- ①上白垩统紫红色片理化泥岩，揉皱发育；②上白垩统片理化砾岩；③砂土、坡积无层理；
④（中元古界）碎裂岩化大理岩；⑤杂色角砾岩

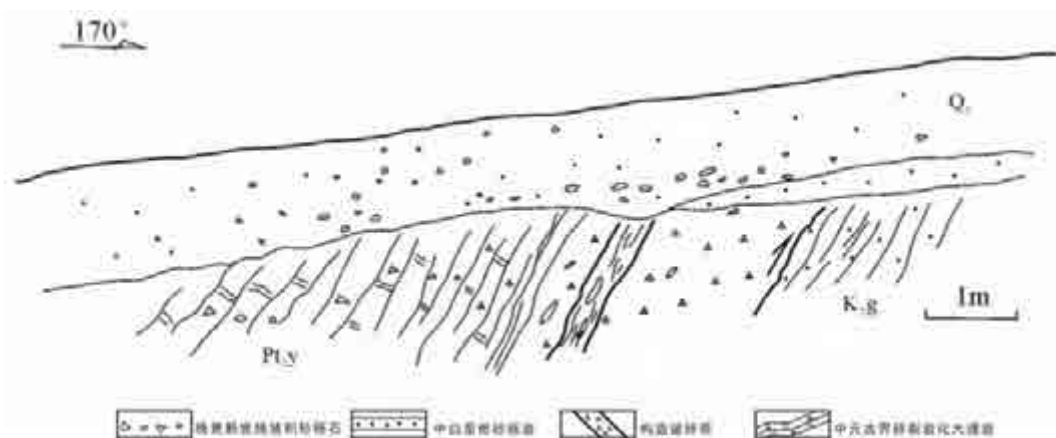


图 3.4-2 金庄河东剖面

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。

庵山水库西路边因开挖修路暴露出断层剖面（图 3.4-3），可见到元古界秦岭群石槽沟组与白垩系上统呈断层接触，断层为波状，宽度约为 50m，断层上盘为灰绿-黄褐色石英片岩，片理产状 $42^{\circ} \angle 24^{\circ}$ ，沿其片理充填有斑状花岗岩脉，靠近断层处，断层下盘为棕红色-肉红色白垩系上统砂砾岩，其中产状为 $38^{\circ} \angle 54^{\circ}$ ，靠近断层处倾向有变陡的趋势，断面走向 325° 倾向 SE，倾角较陡，断面有明显擦沟，倾向 210° ，侧伏角 48° ，断面阶步显示右旋正断性质，断层物质为胶结状态。

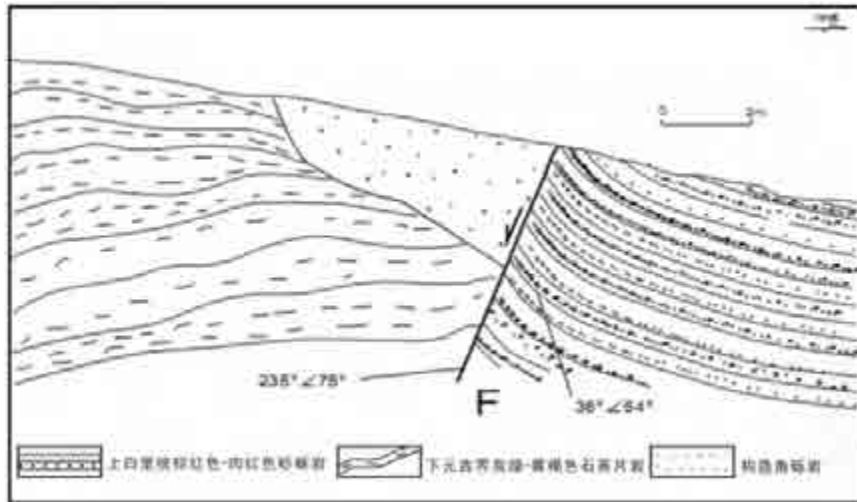


图 3.4-3 庵山水库西断层剖面

综上所述，该断裂在镇平以西的马山口一带断层地貌清晰，卫星上线性特征明显，野外剖面中均未见断错晚更新世以来的覆盖层，也未见断错河流 T2 阶地（时代为晚更新世）。据此综合判定，该断裂带的最新活动时代为早-中更新世。

2) 商丹断裂 (F2)

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。

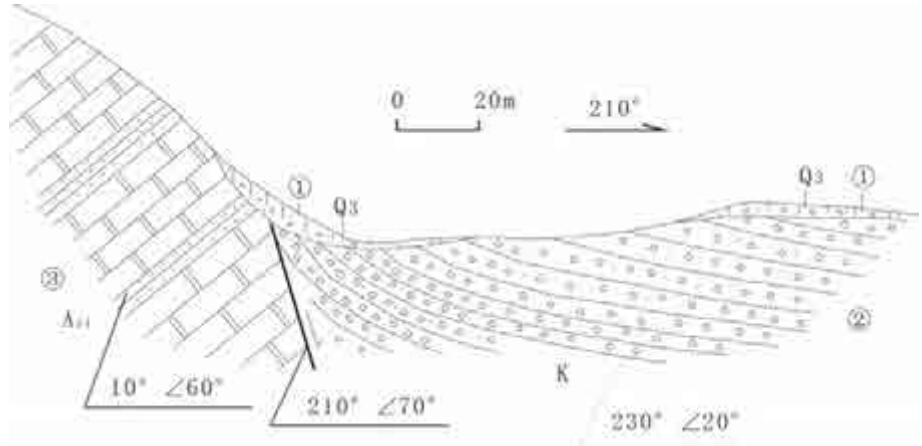
航卫片、航磁异常反映清楚。属伏牛-大别弧形构造带。是山地和盆地的交线，形成明显的沟凹地形。控制西峡红盆的北部边界，唐家湾洋淇沟一带，古近系砾岩中有强烈的挤压面。南阳断陷以西断裂切割了下元古界秦岭群、中元古界信阳群及白垩系。北侧有中元古代和加里东期超基性岩分布，破碎带内有超基性岩脉和伟晶岩脉侵入。

中国地震局分析预报中心（1994）、中国地震局地球物理研究所（2007），北京中震创业工程科技研究院（2009）在基岩出露区对该断裂先后做过较深入的野外地震地质调查，中国地震局地球物理研究所（2007）对南阳盆地隐伏段进行过一定的（纵、横波）浅层地震勘探工作。

（1）基岩露头区

在唐家湾、付家沟一带，断层北东盘为太古界大理岩及变质砂岩构成的基岩

中低山，南西盘为白垩系紫红色砂砾岩构成的红岩丘陵。白垩系岩层总体向南西倾斜，倾角远离断层逐渐变缓。可见断面倾向南南西，倾角 $60\sim 70^\circ$ ，显示正断特征。断面顶部被上更新统残坡积砂砾层覆盖（图 34-4）。沿断裂一线，



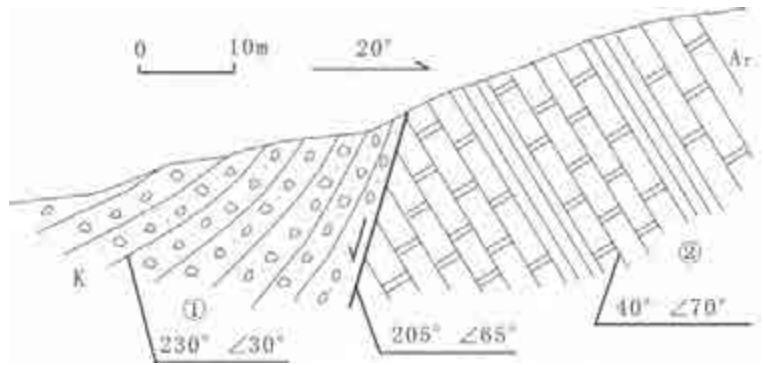
①更新统残坡积砂砾层；②紫红色白垩系砂砾岩；③太古界大理岩及变质砂岩。

图 3.4-4 唐家湾断裂示意剖面

（赵显刚等，2012）

一系列河流由北而南穿过该断裂，较大河流多发于有 I ~ II 级阶地，均未被断裂断错。如魁岭河左岸发育有两级阶地，拔河高度分别为 3m 和 9m 左右，未遭受任何变形或断错。其中 II 级阶地根据区域地层对比，形成时代为中-晚更新世。

西峡县城以北的老灌河一带，断裂地貌特征明显，构成北东盘太古界大理岩、变质砂岩和南西盘白垩系紫红色砂砾岩的分界线，断裂被第四系中-上更新统覆盖。老灌河右岸，山梁上覆第四系残坡积物遭受侵蚀，暴露出清楚的断裂面（图 3.4-5）。

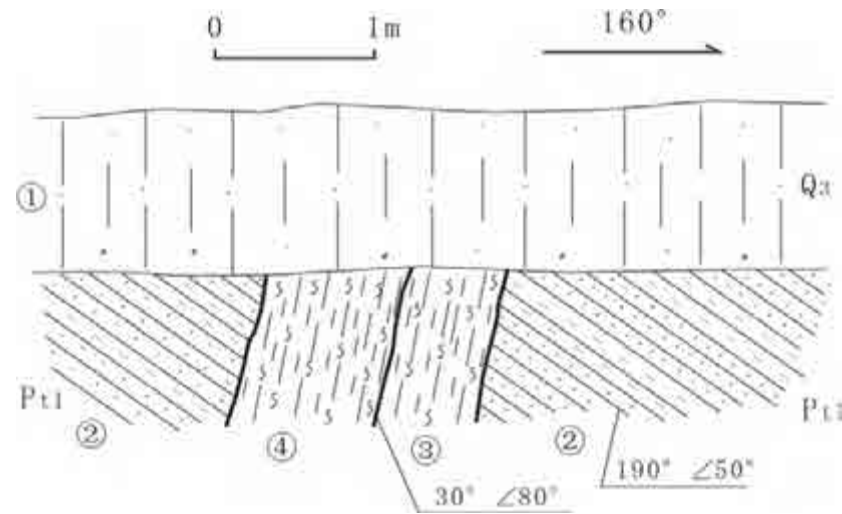


① 红色白垩系砂砾岩；②太古界大理岩、变质砂岩。

图 3.4-5 老灌河右岸断裂示意剖面

（赵显刚等，2012）

此外在大蛇岬村、小寨沟村一带，断裂面向北东陡倾，发育在元古界褐黄、灰绿色变质砂岩、片岩中，被上更新统褐黄、褐灰、淡红色含砾亚砂土覆盖（图 3.4-6）。



①上更新统褐黄、褐灰色含砾亚砂土；②元古界褐黄、灰绿色变质砂岩、片岩；
③紫色断层破碎带，坚硬；④紫褐色断层破碎带，坚硬。

图 3.4-6 大蛇岬村东 F21 断裂剖面

（赵显刚等，2012）

在秦家沟北东，柳岗村一带均未断层发现断错第四系现象。

尽管该段野外调查资料中没有发现断错第四系现象，但它控制西峡中生代盆地，断裂两盘具有较大落差，断裂地貌特征明显，现代小震沿断裂密集分布，推测为早中更新世活动断裂。

（2）盆地隐伏段

南阳市城市活断层项目对该断裂的活动性方面提供了更加可信的证据，该断裂向东隐伏于南阳盆地内：大致以白河为界，白河以西为其北支，白河以南为其南支。

白河北段：石油系统常从控制古近系坳陷边界的角度把它归属于南阳-方城弧形断裂的西段，在编制近场区地震构造图的过程中，则从不同方向，断层性质不同的角度出发，把该段从石油上南阳-方城弧形断裂中分解出来，归为北西向商丹断裂的北段一部分。

该段从镇平县的陈沟至南阳市西南的候屯，走向北西西，断层上陡下缓，正断性质，至少有三条石油物探剖面控制断层的走向与展布位置。南阳核电项目的

浅层物探纵、横波剖面显示上断点进入中更新统，（江苏省工程物理勘察院，中国地震局地球物理研究所，2007）。

白河南段商丹断裂禹桐段，石油系统常称它为禹王店-桐寨铺断层，或直接称其为商丹断裂，它控制南阳盆地内北部浅凹区和南部深凹区的基底性断层。北端点受商丹断裂北段所限，它起于白河西，过白河，经禹王店、桐寨铺、唐河，与唐河-溧河断层相连，总体走向 NWW，成为商丹断裂在南阳盆地内的主要延伸组合。

石油地震测线时间剖面上（图 3.4-7），商丹断裂从前新生界基底延入古近系、新近系而进入第四系，地层断错现象明显，由于断层的长期活动，使得两侧的地层断错特征对比鲜明，这几条剖面断层特征非常相似，成为南阳盆地内一个控制局部地堑的边界断裂，除一条测线显示出逆断性质，其它段显示为正断性质，断层明显错断 N 的底界而进入第四系。

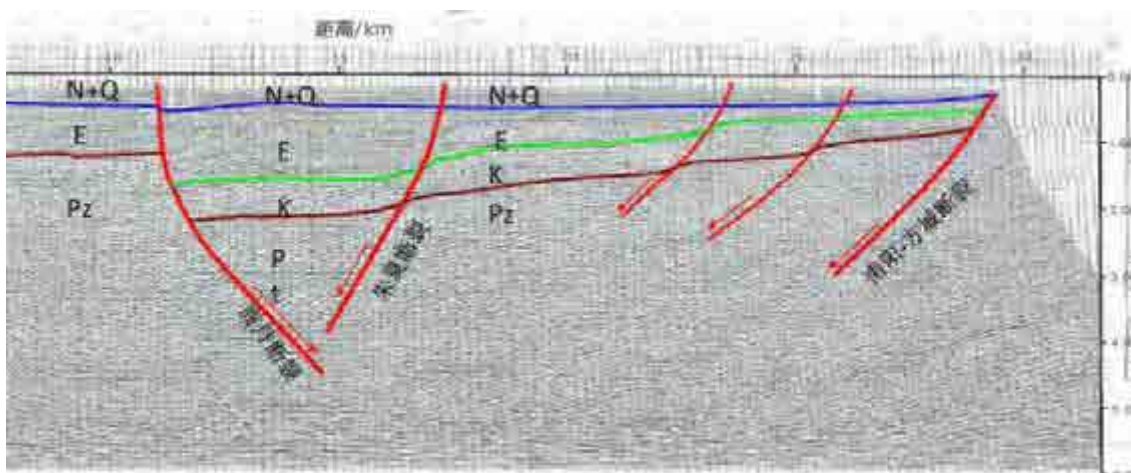


图 3.4-7 NE-6 号石油测线时间剖面

(河南油田勘探开发研究院资料)

市区有多条浅层人工地震勘探测线（南阳活断层项目的 FYC、LHZ、XDC、CZNL-2、ET、HTG、CZL 线及南阳核电项目的三条测线），浅层人工地震探测结果显示正断性质明显。图 3.4-8 为辛店村测线的反射波时间剖面图，根据反射波场特征，在剖面上解释了 7 组反射震相，与方营测线、潦河测线剖面相比，商丹断裂主断点两侧对应地层反射特征一致。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。

FP9 为正断层，在剖面上向东倾，视倾角约 70°，其可分辨的上断点在地面

上的垂直投影点位于测线桩号 229m 附近，埋深约为 100~105m，在该深度上它的垂直断距约为 2~3m。FP10 为正断层，在剖面上向西倾，视倾角约 74°，其可分辨的上断点在地面上的垂直投影点位于测线桩号 583m 附近，埋深约为 38m，在该深度上它的垂直断距约为 2~3m。

根据 FP9、FP10 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，证明它们和方营村剖面上的 FP1、FP2，濠河镇剖面上的 FP5、FP6，同属于商丹断裂在地震剖面上的反映。

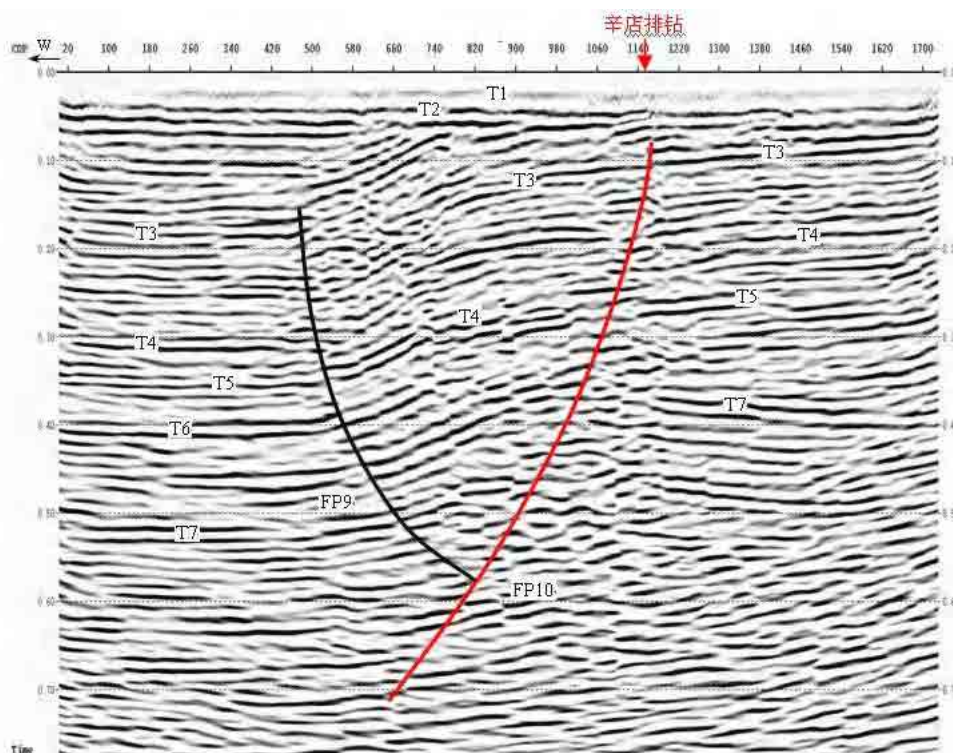


图 3.4-8 辛店村测线反射波时间剖面图(道间距 1m)

图 3.4-9 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。

FP18 为正断层，在剖面上向北倾，倾角约 55°，其可分辨的上断点在地面上的垂直投影点位于测线桩号 357m 附近，埋深约为 90~95m，在该深度上它的垂直断距约为 3~5m。

FP19 为正断层，在剖面上向北倾，倾角约 69° ，其可分辨的上断点在地面上的垂直投影点位于测线桩号 1590m 附近，埋深约为 25m，在该深度上它的垂直断距约为 2~3m。

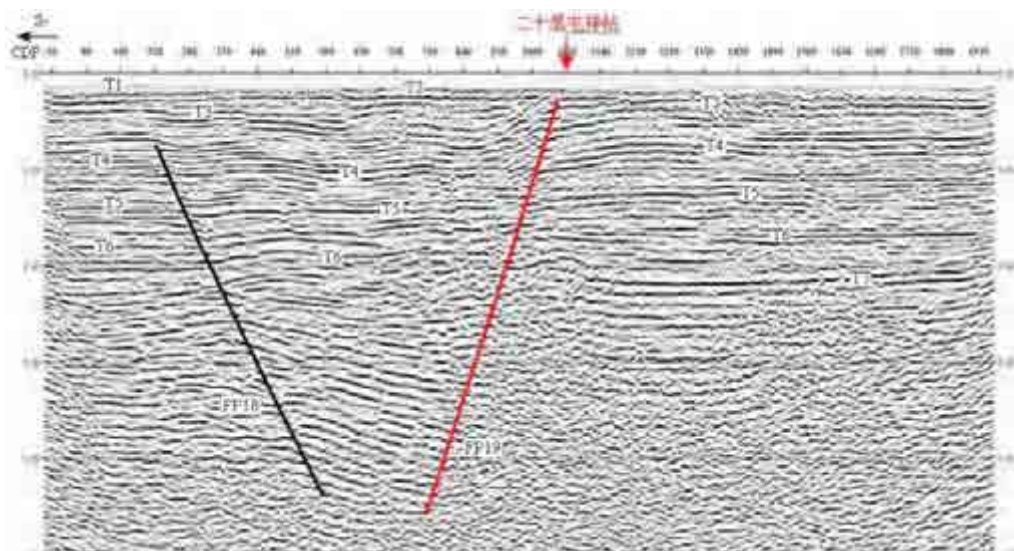


图 3.4-9 二屯测线反射波时间剖面图(道间距 3m)

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 3.4-9)、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)。

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 3.4-11、图 3.4-12)，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。

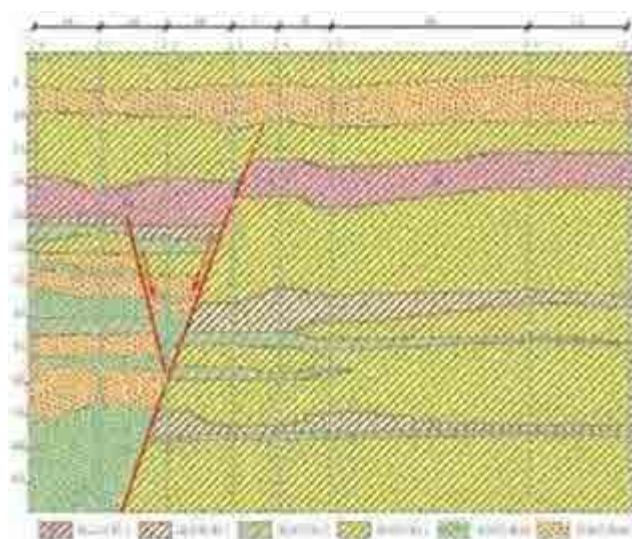


图 3.4-10 李庄钻孔联合探测地质剖面图

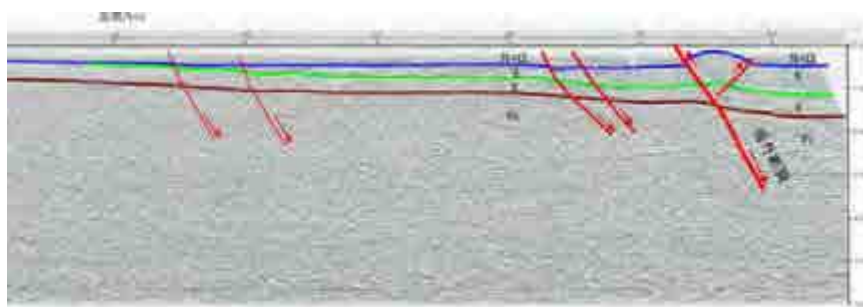


图 3.4-11 NE-9 号石油测线时间剖面

(河南油田勘探开发研究院资料)

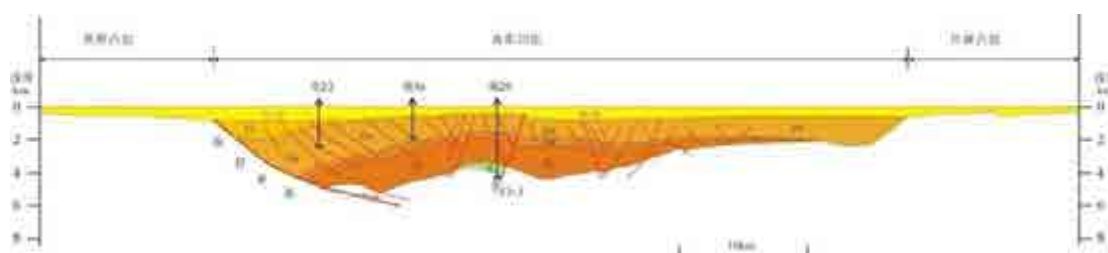


图 3.4-12 南阳坳陷南北向基干剖面 03 线地震反射解释剖面

(图中 F3-3 为商丹断裂)

3) 西峡-内乡断裂 (F3)

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。该断裂形成于中条运动末期，晋宁期-王屋山期表现为张性特征。整个断裂地貌反映明显，航卫片线性异常清晰。南阳断陷以西，为南北秦岭褶皱带的分界断裂。走向 $280\sim 310^{\circ}$ ，倾向北，倾角 $35\sim 70^{\circ}$ 。南盘为下元古界陡岭群，北盘是中元古界信阳群及上白垩统。沿断裂发育有动力变质带、

两侧岩石破碎，片理化强烈。南盘分布着晋宁期石英闪长岩、超基性岩和加里东期-华力西期花岗岩，这些岩体也遭到不同程度的挤压，形成片理化带。南阳断陷以东，为北秦岭褶皱带与桐柏-大别褶皱带的边界。南盘为下元古界苏家河群，北盘仍为信阳群。

该断裂控制西峡红层盆地的南缘，使古近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。

中国地震局地质研究所 2008 年在观渡坪西剖面上(图 3.4-13)，采集了断层破碎物，由中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室对 2 组样品进行了电子自旋共振测年，测年结果均为距今大于 150 万年。

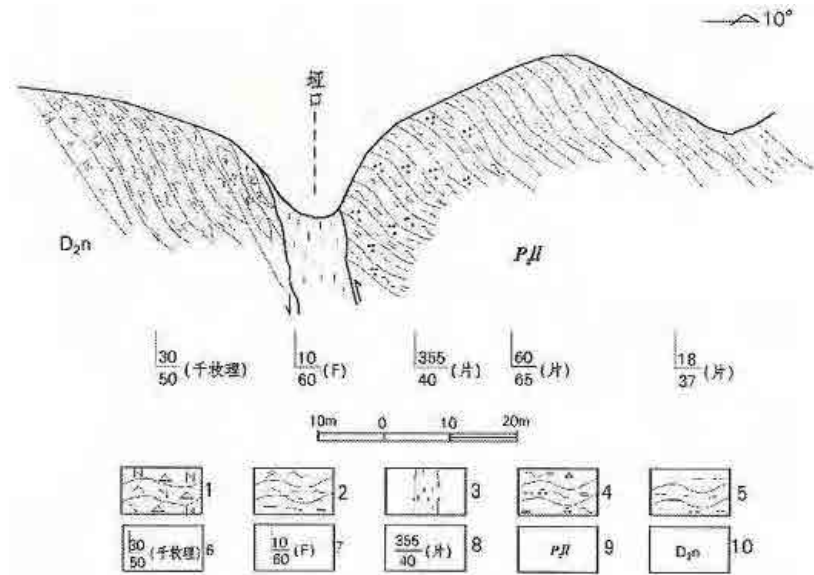


图 3.4-13 观渡平西断层剖面

- 1 角砾状钠长岩；2 绢云绿泥千枚岩；3 强挤压破碎带；4 绿泥石英片岩；
5 黑云微片岩；6 千枚理；7 断层产状；8 片理产状；9 刘岭岩群；10 泥盆系

北京中震创工程技术研究院（2009）曾对该断裂开展了野外地震地质调查：在西峡县城南，见断裂发育于下元古界白云质灰岩中，破碎带宽约 2m，已胶结，坚硬。断面倾向北东，倾角 50° 左右。西峡火车站南东侧，断裂破碎带被上更新统残坡积物覆盖（图 3.4-14）。

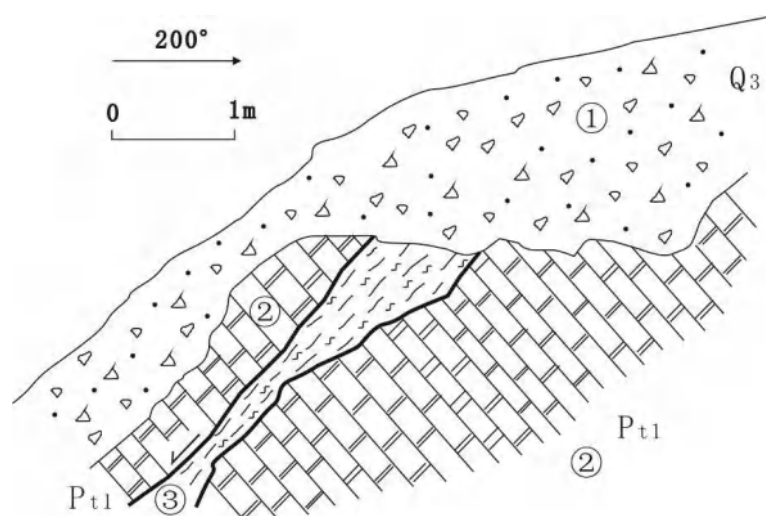


图 3.4-14 西峡火车站南断裂剖面（北京中震创工程技术研究院，2009）

①上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

西峡县红石桥南 1.5 公里河沟西岸（图 3.4-15），下元古界陡岭群绢云母石英片岩与白垩系上统马家村组紫红-棕红色砂砾岩呈断层接触，可见到 30m 左右的断层破碎带，南盘为绢云母石英片，斑状钾长花岗岩侵入其中，靠近断层处片理变陡，近于直立，北盘砂砾产状为 $345^{\circ} \angle 8^{\circ}$ ，在断层破碎带内，可见到一组断层（走向 291° ，倾向近直立），断面可见擦痕，擦痕倾向 245° ，侧伏角 45° 。

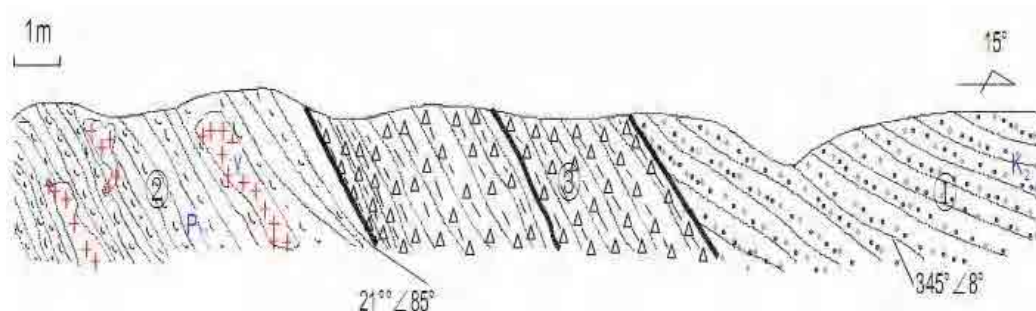


图 3.4-15 西峡县红石桥南 1.5km 河沟西岸断层剖面素描图

①上白垩统马家村组紫红-棕红色砂砾岩；②下元古界陡岭群绢云母石英片岩；③破碎带

中国地震局地球物理研究所（2009）西峡以东对该断裂开展了野外地震地质调查工作，在上河村与黄家营村附近获得的断层剖面（图 3.4-16、图 3.4-17）均显示该断裂没有断错中-上更新统地层。

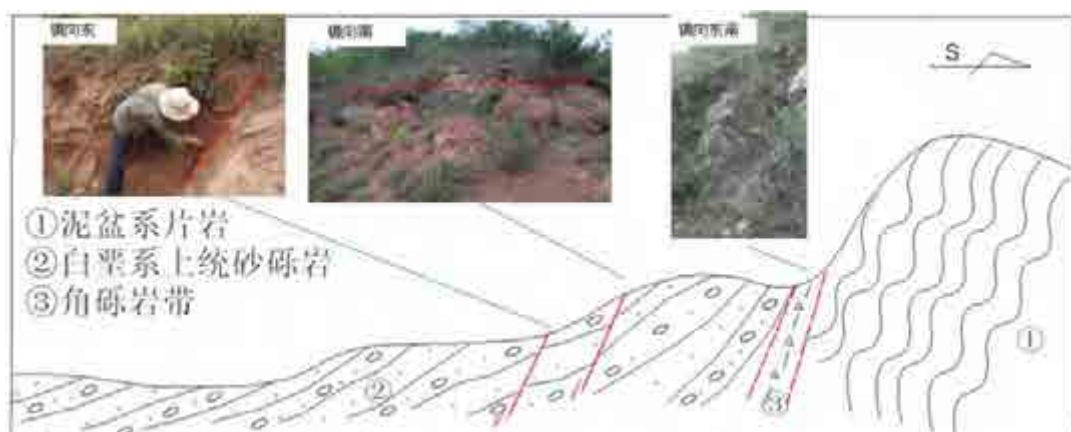


图 3.4-16 上河村断层剖面素描图

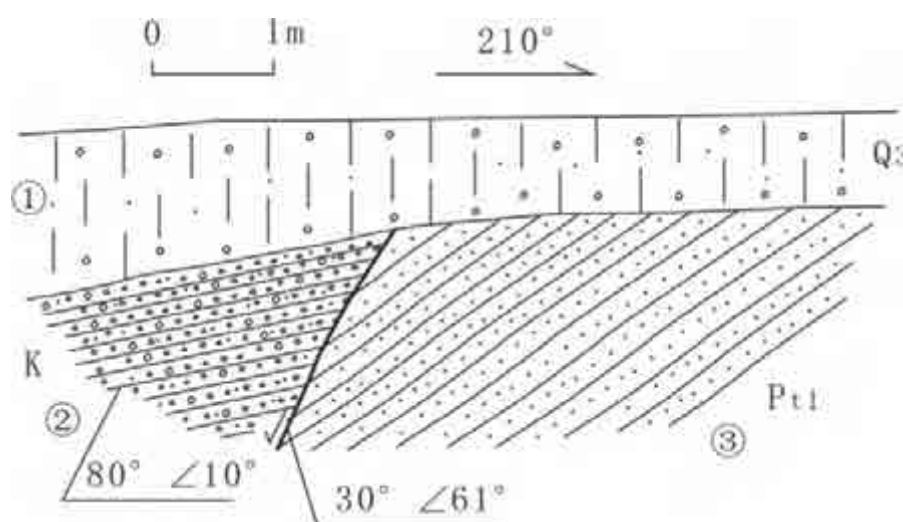


图 3.4-17 黄家营村剖面素描（中国地震局地球物理研究所，2009 年）

①晚更新世紫红色砂砾石夹粘土层；②紫红色白垩系砂砾岩；③下元古界变质砂岩。

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（图 3.4-18 图 3.4-19）有明显的断层显示；在河南油田整个三维工区内（石油系统命名该段为内乡-桐柏断裂），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。

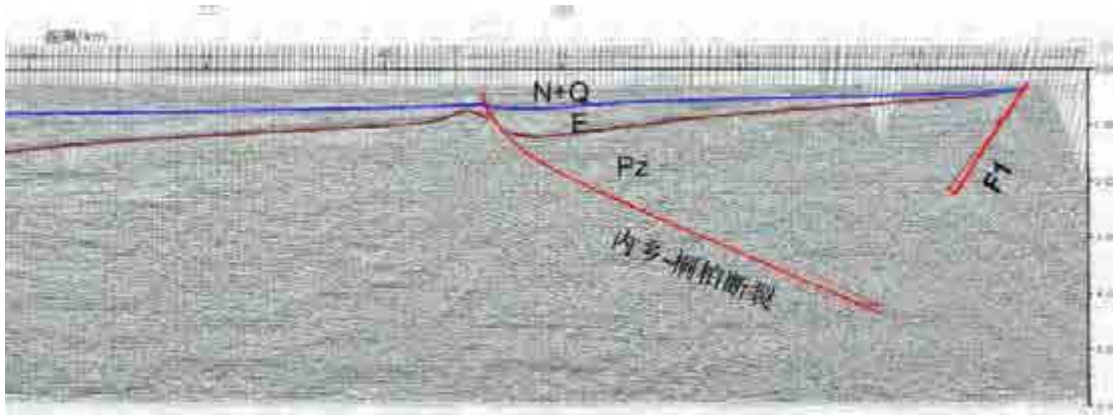


图 3.4-18 NE-1 石油地震测线时间剖面显示的西峡-内乡断裂

(河南油田勘探开发研究院资料)

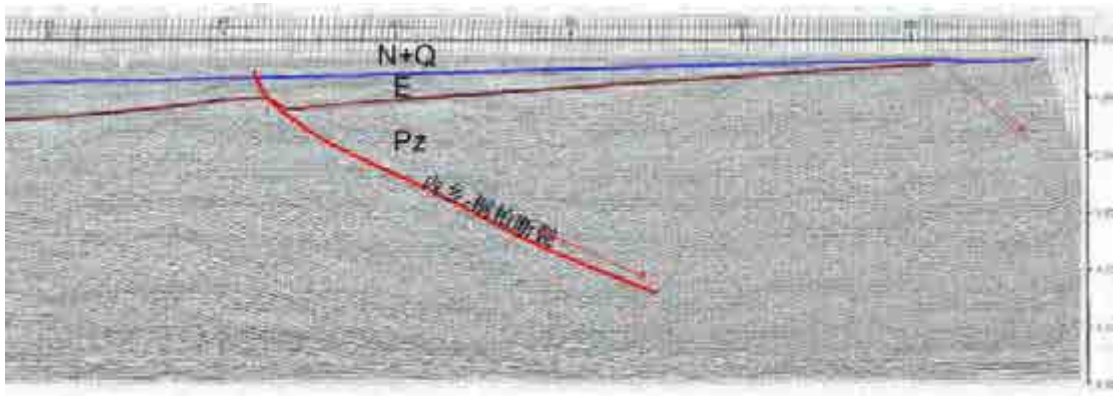


图 3.4-19 NE-2 石油地震测线时间剖面显示的西峡-内乡断裂

(河南油田勘探开发研究院资料)

该断裂西峡至内乡段控制中生代盆地发育，断裂两盘地貌具有一定落差，南阳盆地内该断裂在石油地震剖面上有一定的显示，上断点可能进入第四系底部。依据地质、地貌及区域新构造运动特征，综合判断西峡-内乡断裂为早、中更新世断裂。

4) 板岩-淅川断裂 (F4)

该断裂向西延伸至镇安县，向东经板岩镇、西簧乡、毛堂、淅川，延伸至内乡一带。断层面倾向北，向东有所变化，倾角 60° 左右，泥盆纪地层覆于石炭系地层之上，断层现象明显。

中国地震局地质研究所 2008 年在山阳县法官乡黄柏楼村野外地质调查中，见到露头极好的断层剖面(图 3.4-20)，该断裂剖面上可见破碎带宽达 16m，充填有岩石碎块、透镜体，两侧岩石倾角陡立，北侧泥盆系地层为白云质灰岩，呈刀砍

状风化，近断面处有断层角砾；南侧石炭系地层硬度偏小，主要为绢云石英千枚岩，产状同北盘相比稍微显缓，相差 10 度以上。该断裂为逆断层，形成时代应为印支期。在黄柏楼村断层剖面上取了电子自旋共振测年样品，据中国地震局地质研究所电子自旋共振法测年实验室测年结果为距今大于 100 万年的早更新世时期。

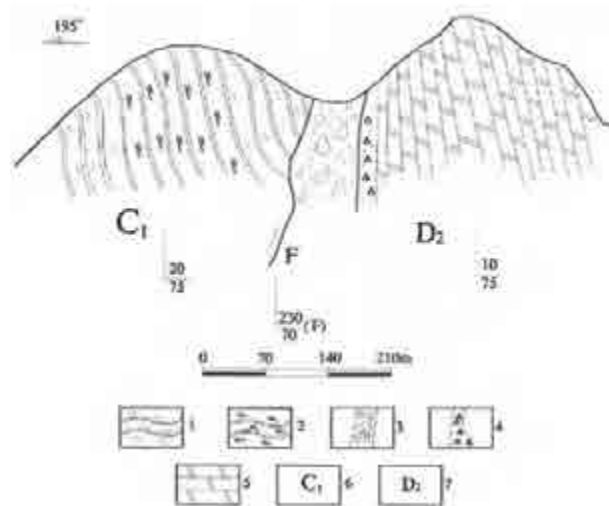


图 3.4-20 板岩镇-浙川断裂黄柏楼村剖面

- 1 粉砂质板岩；2 绢云母千枚岩；3 断层破碎带；
4 碎裂岩化带；5 白云质灰岩；6 下石炭系；7 中泥盆系

在内乡县桃溪镇屈家沟村，该断裂断层谷地貌清晰，总体呈 NWW 向，断裂两侧岩性存在明显差异，断裂北侧主要出露下震旦统马头山组灰绿、灰黑色块状安山岩，总体倾向北东，倾角较陡；断裂南侧主要出露为中震旦统灰黑色石英片岩，岩石受后期挤压和风化，以层间揉皱为主，原始层面少见，总体倾向南西，倾角较缓（图 3.4-21）；沿断裂带向两侧追索，未见断错晚更新世以来的河谷冲洪积层。

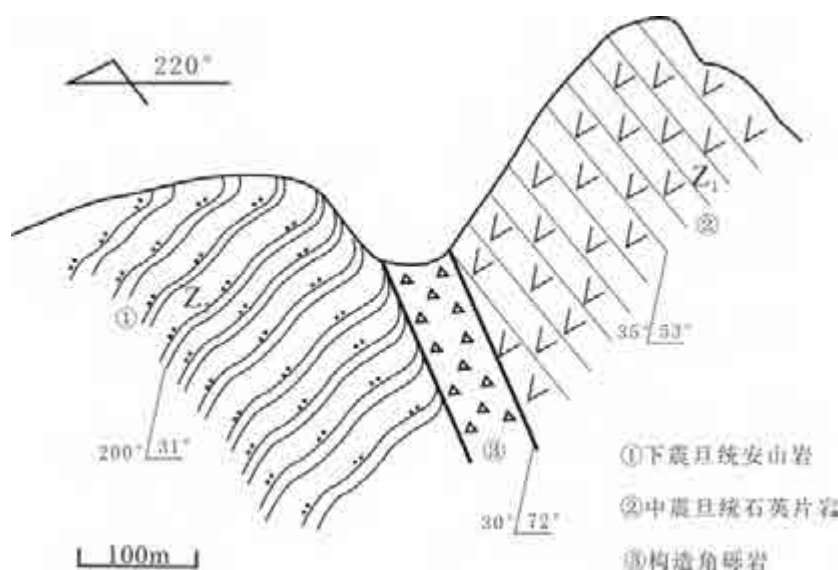


图 3.4-21 板岩镇-浙川断裂屈家沟村剖面

(李进喜等, 2020)

根据该断裂的演化历史、最新活动情况以及测年样品综合分析, 该断裂为早更新世断裂。

3.5 近场地震构造评价

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:

根据近场区的地形地貌、新生代沉积特征和地震构造特征, 可把近场区分为三个新构造运动区: 南阳凹陷、北秦岭断块隆起和南秦岭断块隆起, 工程场地位于南阳凹陷内。

近场区新构造运动以差异性升降运动为主。近场区在上新世末期大幅度的上升, 接受风化剥蚀, 使之缺失了下更新统的沉积。中更新世初期地壳相对稳定, 山间平原河流发育, 河谷宽广, 山前形成面积较大的冲洪积扇, 奠定了现代地形的基础。晚更新世末期以来, 近场区基本上处于抬升状态。

近场区主要分布有 4 条第四纪早期活动断裂, 其最新活动时代为早-中更新世。另外近场区内现代地震活动的分布具有一定的规律, 根据附图二, 多数现代地震分布于 F1-朱夏断裂与 F2-商丹断裂之间, 通过两条断裂的倾向可以判断二者所夹持的地堑区为地震活动密集区, 发生在朱夏断裂东北部的地震活动可能与该

断裂为一条高角度走滑断裂有关，因此，结合区域地震构造条件和现代小震记录综合分析认为，近场区具备发生中强地震的构造背景。

第四章 地震危险性分析

按照《工程场地地震安全性评价》(GB17741—2005)的要求,本章采用综合概率分析方法,对工程场区进行地震危险性分析。其内容是,依据区域及近场区的地震地质和地震活动性的研究成果,划分潜在震源区并确定其地震活动性参数,利用综合概率分析及地震动衰减关系进行工程场地的地震危险性概率计算。

4.1 地震危险性分析方法概述

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。

地震统计区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,则统计区内 t 年内发生 n 次地震的概率:

$$P(n) = \frac{(\nu_0 t)^n}{n!} e^{-\nu_0 t} \quad (4.1-1)$$

同时地震统计区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:

$$f(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m - m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{uz} - m_0)]} \quad (4.1-2)$$

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。则地震统计区内发生 m_j 档地震的概率:

$$P(m_j) = \frac{2}{\beta} \cdot f(m_j) \cdot Sh(\frac{1}{2} \beta \Delta m) \quad (4.1-3)$$

② 在地震统计区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，地震统计区内部发生的地震，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：

$$P_k(A \geq a) = 1 - \exp\left\{-\frac{2\nu_0}{\beta} \cdot \sum_{j=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_s} \iiint P(A \geq a | E) \cdot f(\theta) \cdot \frac{f_{i,m_j}}{A(S_i)} \cdot f(m_j) \cdot Sh(\frac{1}{2} \beta \Delta m) dx dy d\theta\right\} \quad (4.1-4)$$

$A(S_i)$ 为地震统计区内第 i 个潜在震源区的面积， $P(A \geq a | E)$ 为地震统计区内第 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 个地震统计区对场点有影响，则综合所有地震统计区的影响得：

$$P(A \geq a) = 1 - \prod_{k=1}^{N_z} (1 - P_k(A \geq a)) \quad (4.1-5)$$

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。其中地震统计区（地震带）划分在前面有关章节已经论述，这里将仅就研究区域内潜在震源区划分、地震统计区及潜在震源区地震活动性参数的确定进行详细论述。

4.2 潜在震源区的划分

4.2.1 潜在震源区划分原则

潜在震源区是指未来具有发生破坏性地震潜在可能的地区。目前，划分潜在震源区主要依据地震重复和地震构造类比两条原则。

（1）地震重复性原则：认为历史上发生过破坏性地震的地方，将来仍有可能

发生类似的地震。历史地震的地点和强度是估计未来潜在震源区的重要依据之一。一般情况下，各潜在震源区震级上限不应低于区内最大历史地震震级，在历史地震记载比较充分的情况下，可以历史上发生的最大震级作为震级上限，在历史地震资料不完整的地区，可考虑历史地震最大震级加半级作为震级上限。此外，还需要研究近期的地震活动性，通过近期强震活动以及相关的小震活动和图像特征分析，以增加判定潜在震源区的依据。

（2）地震构造类比原则：地震构造条件相同地区，其发生地震的可能性也相似。这些地区历史上虽然没有破坏性地震记载，但与已发生过破坏性地震的地区构造条件类似，也划为潜在震源区。因此，可依据前章所列的本区域强震构造标志来划分潜在震源区。此外，活动断裂的分段性及古地震遗迹均是划分潜在震源区的重要基础资料。

潜在震源区边界和宽度的确定，一般是依据活动断裂的展布范围、几何特征、力学性质、产状、断陷盆地范围等进行圈定。同时还应考虑历史地震、古地震等资料，大震后余震分布范围以及现今小震分布范围。潜在震源区长度和分段边界是以断裂结构、活动强度的差异，地震地表破裂带的展布和中止位置来确定的。

4.2.2 潜在震源区划分及其震级上限的依据

根据前三章中地震地质及地震活动性的研究，我们进行了本项目潜源区划分，本项目的潜源划分见图 4.2.1，主要潜源一览表见表 4.2.1。

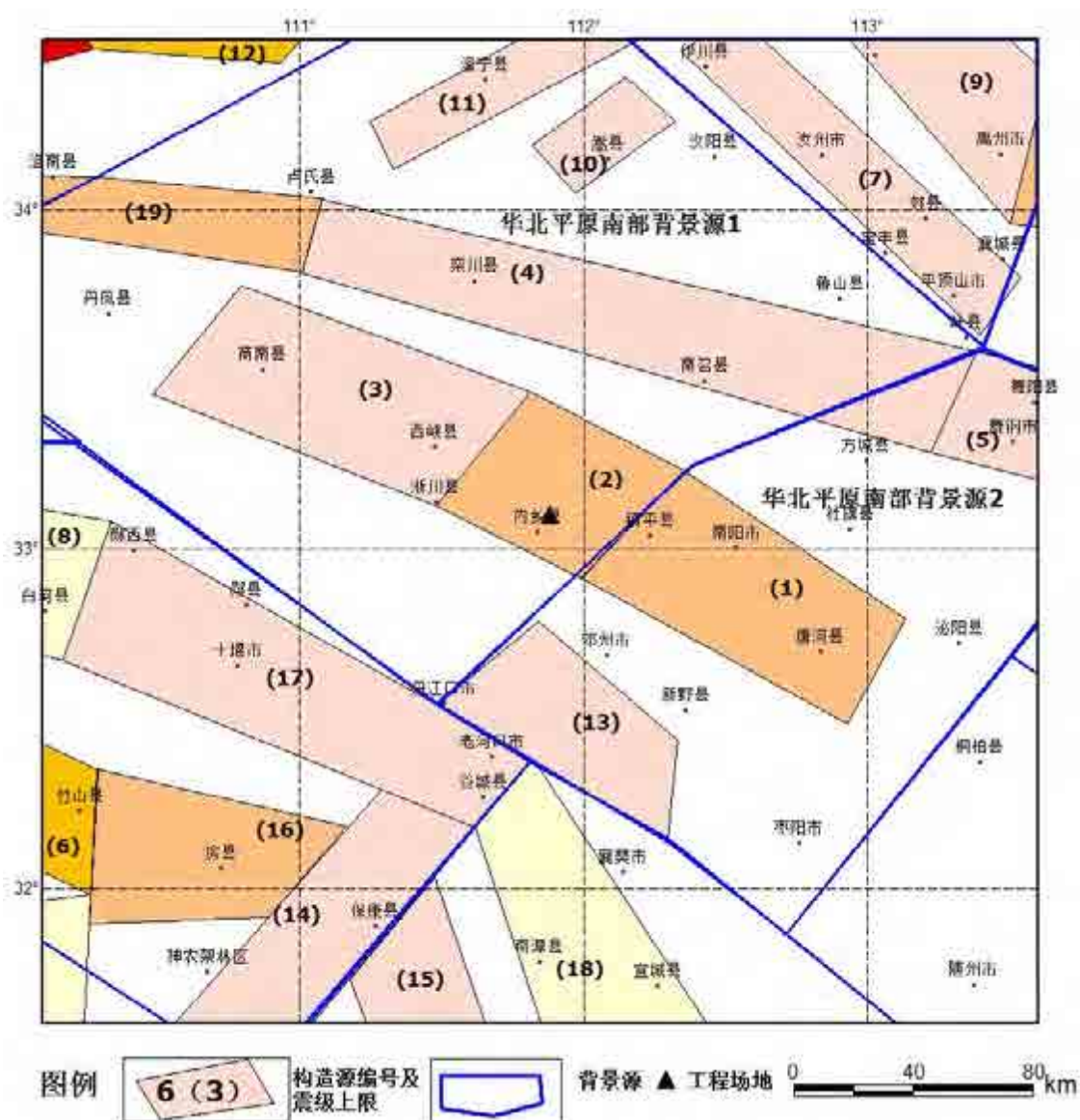


图 4.2.1 区域潜在震源区分布图

表 4.2.1 区域范围内主要潜在震源区划分一览表

潜源编号	潜源名称	震级上限	潜源编号	潜源名称	震级上限
(1)	南阳	6.5	(11)	洛宁	6.0
(2)	内乡	6.5	(13)	老河口	6.0
(3)	商南	6.0	(14)	安康	6.0
(4)	栾川	6.0	(15)	远安	6.0
(5)	舞阳	6.0	(16)	房县	6.5
(7)	平顶山	6.0	(17)	郧县	6.0
(9)	登封	6.0	(18)	南漳	5.5
(10)	嵩县	6.0	(19)	铁炉子	6.5

影响本项目场地的主要潜在震源区为南阳潜在震源区和内乡潜在震源区,下

面给出了影响场地的主要潜在震源区的划分依据。

(1) 南阳潜在震源区和内乡潜在震源区(潜源区编号1、2)

在潜源区内第四纪断裂主要存在北西向的朱阳关-南阳-桐柏断裂、尚南-南阳断裂和西峡-内乡断裂。朱阳关-南阳-桐柏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°。在朱阳关、夏馆附近分别控制了两个北西向狭长的带状盆地。根据浅层地震勘探资料,断裂断至为中更新世地层,为中更新世中晚期活动断裂;商南-南阳断裂由陕西丹凤、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70-80° 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。根据浅层地震勘探资料,断裂断至为中更新世地层,为中更新世中晚期活动断裂;西峡-内乡断裂由陕西入境,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。该断裂形成于中条运动末期,晋宁期-王屋山期表现为张性特征。整个断裂地貌反映明显,航卫片线性异常清晰。南阳断陷以西,为南北秦岭褶皱带的分界断裂。走向280-310°,倾向北,倾角35-70°。根据该断裂的演化历史、最新活动情况以及测年样品综合分析,该断裂为早更新世断裂。

此外,潜源区内曾于公元46年发生一次6½级地震,另外在南阳南于1575年发生一次5¼级地震。根据历史地震活动重复和构造类别的原则,南阳潜在震源区和内乡潜在震源区的震级上限定为6.5级。

(2) 商南潜在震源区(潜源区编号3)

该潜在震源区内存在商丹断裂,该断裂由陕西丹凤、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70~80° 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。该断裂带的最新活动时代为中更新世。根据构造类比的原则，该潜在震源区的震级上限确定为 6.0 级。

4.3 地震活动性参数的确定

地震活动性参数包括地震统计单元和潜在震源区的地震活动性参数两部分。地震统计单元的地震活动性参数起算震级 M_0 、震级上限 M_{uz} 、震级-频度关系式中的 b 值以及 4 级以上地震年平均发生率 ν_4 ；本项目区域范围地震带位于华北平原地震带和长江中游地震带。而潜在震源区的地震活动性参数为各潜在震源区的震级上限、各潜在震源区分震级档的空间分布函数 $f_{i,Mj}$ 。

4.3.1 地震带地震活动性参数的确定

(1) 震级上限 M_{uz}

震级上限是指在地震带震级-频度关系式中，累积频度趋于零的震级极限值。确定震级上限的依据主要有两个：首先是历史地震判断，在历史地震资料足够长的地震带，若确认该带已经过了几个地震活动周期，则可认为该带的最大地震已经显露，可以按该带已发生过的最大地震强度确定；其次是构造类比，在同一大地震活动区内，按已知的大地震发生的构造条件进行类比外推，认为具有相似构造环境的地带，可能发生同样强度地震。根据前几章节中地震活动性和地震地质分析结果，华北平原地震带的震级上限定为 8.0 级，长江中游地震带的震级上限定为 7.0 级，汾渭地震带的震级上限定为 8.5 级。

(2) 起算震级 M_0

起算震级是指对工程场点可能有影响的最小震级。由于我国大陆地区绝大多数是浅源地震，历史上不少 4 级左右的地震也造成轻破坏效应，因此将起算震级 M_0 定为 4.0 级。

(3) b 值及地震年平均发生率

b 值代表着地震带内不同大小地震频数的比例关系，其表达式为 $\lg N = a - bM$ ，它和地震带内应力状态及地壳的破裂强度有关（见表 4.3.1）。地震年平均发生率 ν_4 是指在一定区域内（如地震带）平均每年发生不小于起算震级 M_0 的地震数，它代表了统计区的地震活动水平。地震年平均发生率的大小，对地震危险性分析计

算结果影响很大。影响地震带地震年平均发生率的主要因素是 b 值的大小和选取资料的统计时段。据黄玮琼等(1989)的研究结果,本报告取震级间隔为0.5级;

根据历史地震资料完整性的分析和对未来百年地震活动水平的估计,华北平原地震带1484年之前地震缺失较多,1484年5级地震记录基本完整,1950年4级以上地震记录较完整,1485年和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。由于地震记录的时段和震级的完整性差异较大,我们采用分时段、分震级的方法统计 b 值。利用1950年-2010年的小地震($M4.0-M4.9$)、1791年-2010年中震($M5.0-M6.9$)和1484年-2010年的大震($M7.0-M8.0$),联合计算震级-年发生率关系式(图4.3.1)。最终确定华北平原地震带的 $b=0.82$, $\nu_4=4.6$ 。

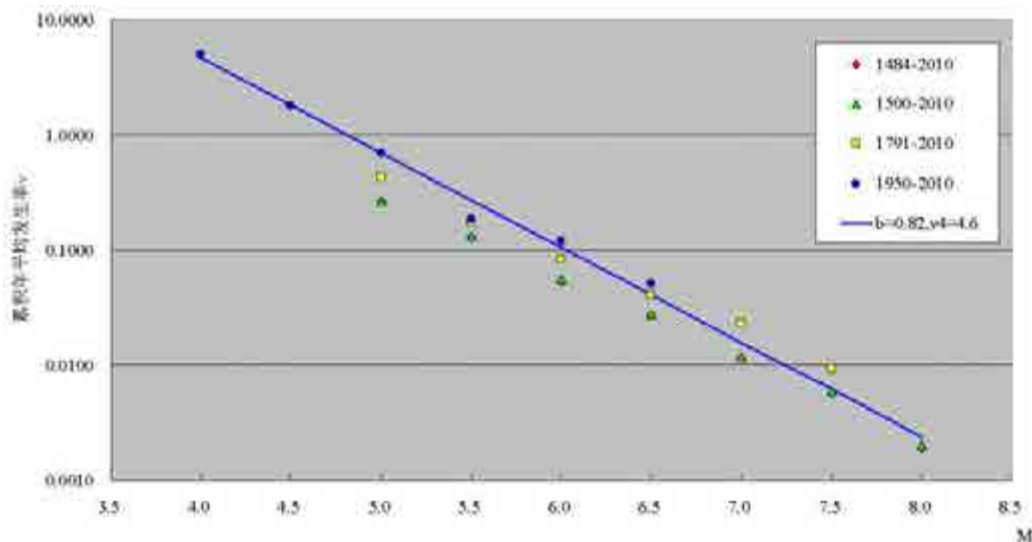


图 4.3.1 华北平原地震带各时段实际统计与理论结果对比

长江中游地震带,地震活动相对较弱,记载到的历史地震以5级左右地震为主,6级以上地震非常稀少。最早历史地震记载始于公元前143年6月7日竹山5级地震。该区1300年之前地震资料遗失较多,1300年以来 $M \geq 5.5$ 发生地震较为平稳,1500年以后 $M \geq 5.0$ 地震较为完整,1900年以后4.7级以上地震相对完整,1970年以来4级以上地震记录较全。在历史阶段,地震活动较密集的时段分别始于公元1467和公元1813年。未来活动水平应不低于长期的平均地震活动水平。

根据最新研究成果资料,长江中游地震统计区地震活动性参数确定为 $b=1.2$, $\nu_4=3.2$ 。图4.3.2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, $M6$ 以上震级段理论值较为保守,这主要是考虑到长江中游地震统计区所覆盖地区面积较大,6级以上地震历史记载很少,而区划图潜在震源区划分方案对该地区6

级左右地震的地震危险性较为重视，划分较多的新区，地震活动性需要对此有所反映。

由历史地震资料完整性分析情况和活动水平估计，汾渭地震带 1000 年之前地震资料缺失严重，1000 年以来 6 级以上地震和 1500 年以来 5 级以上地震较为完整，1950 年以来 4 级以上地震记录开始齐全。1209 年和 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跃期，所以未来地震活动水平不应低估活跃期水平。由于不同时段不同震级的地震记录完整性差异较大，为了合理的利用各时段的资料，我们采用分时段、分震级的方法统计 b 值。图 4.3.3 给出汾渭地震带 b 值及地震带年平均发生率计算结果，得到 $b=0.78$ 、 $\nu_4=2.5$ （图 4.3.3）。

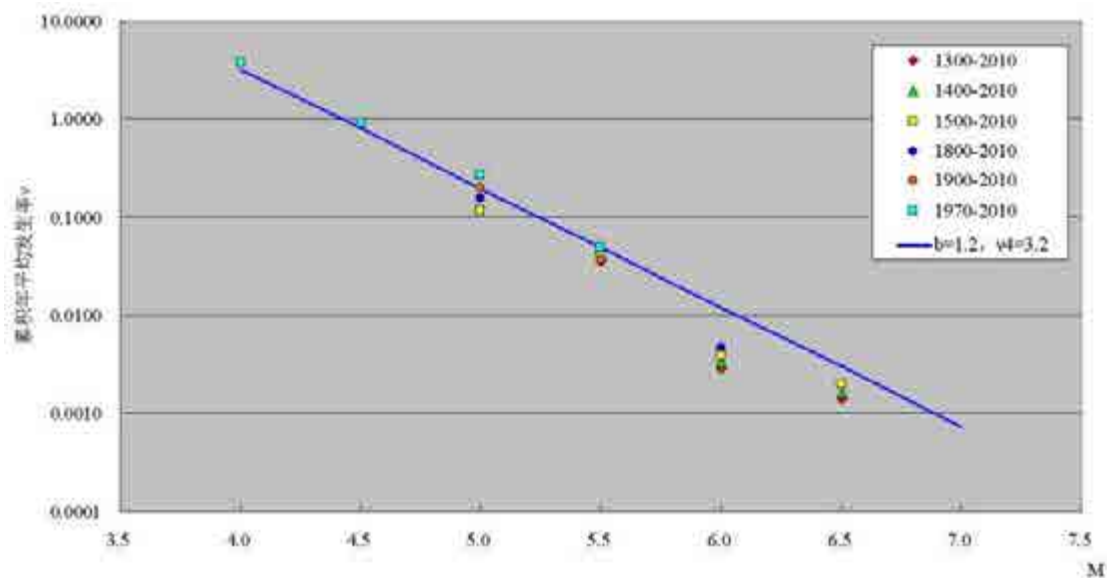


图 4.3.2 长江中游地震带各时段实际统计与理论结果对比

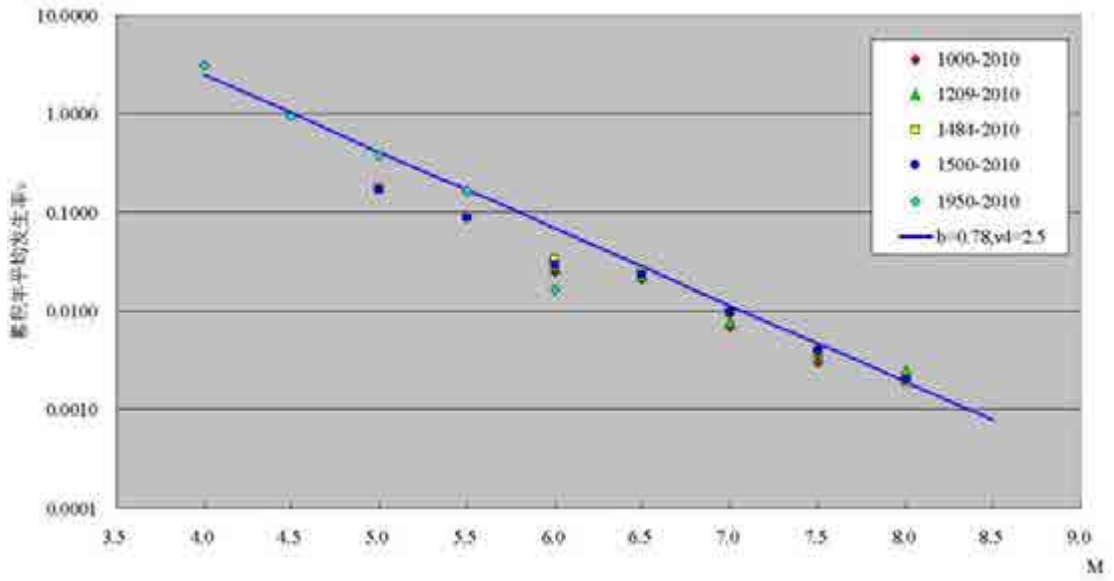


图 4.3.3 汾渭地震带各时段实际统计与理论结果对比

4.3.3 潜在震源区地震活动性参数

1. 空间分布函数 f_{i,M_j}

采用按震级分档来分配年发生率的方法。地震带内第 i 个潜在震源区， M_j 震级档的地震年发生率 v_{i,M_j} 可以表示为：

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

式中 v 为地震带的地震年平均发生率， M_{uz} 为潜在震源区的震及上限， ΔM 为震级分档间隔， M_j 为分档间隔中心对应的震级值， $sh(\beta\Delta M/2)$ 为正弦双曲函数。

由于地震带内地震活动是一个复杂的物理过程，必须从各个可能的方面去考虑，才能避免片面性。所以地震空间分布函数 f_{i,M_j} 的确定要采用多因子的综合判别方法。充分考虑地震预测方面的科研成果，包括潜在震源的可靠程度、中长期地震预报成果、大地震减震作用、小震活动、强震复发间隔和构造空段、地震活动重复性和面积因素。对每一个因素先在地震带内按某一震级档归一化，然后再根据各因素之和在地震带内归一化，即可得到相应地震带内各潜在震源区震级档次的空间分布函数 f_{i,M_j} 。根据以上方法，结合本工作的具体情况，可得到本工程场区主要潜在震源区不同震级档对应的空间分布函数（见表 4.3.1）。

表 4.3.1 区域范围潜在震源区 M_U 、 $f_{i,Mj}$

序号	潜源名称	震级 上限	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
1	南阳	6.5	0.00357	0.01559	0.01926	0.01696	0.00000	0.00000	0.00000
2	内乡	6.5	0.00595	0.00328	0.00888	0.01890	0.00000	0.00000	0.00000
3	商南	6.0	0.00860	0.00437	0.02465	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	栾川	6.0	0.00881	0.01285	0.02565	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	舞阳	6.0	0.00412	0.00599	0.01101	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	平顶山	6.0	0.00691	0.00402	0.01574	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	登封	6.0	0.00628	0.00363	0.01349	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	嵩县	6.0	0.00255	0.00373	0.00625	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	洛宁	6.0	0.00401	0.00583	0.01031	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
13	老河口	6.0	0.00465	0.00679	0.01409	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
14	保康	6.0	0.00734	0.00889	0.02509	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
15	远安	6.0	0.00658	0.00921	0.03206	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	房县	6.5	0.00583	0.00857	0.01956	0.10534	0.00000	0.00000	0.00000
17	郧县	6.0	0.00708	0.01043	0.03299	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	南漳	5.5	0.00857	0.01037	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	铁炉子	6.5	0.00447	0.00654	0.00715	0.01426	0.00000	0.00000	0.00000
	华县-渭南	8.5	0.00712	0.03372	0.02555	0.01742	0.02227	0.05623	0.19703
	华北平原南部 背景源 1（场 地所在）	5.5	0.06446	0.03277	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	华北平原南部 背景源 2	5.5	0.02616	0.03131	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

2. 等震线长轴取向及分布概率

由于地震等震线多呈椭圆形，地震动在长轴和短轴方向衰减特征是不同的，因此在地震危险性分析中，采用椭圆衰减模型。除地震强度和震中距对计算结果起主要作用外，椭圆等震线长轴的取向对场点的危险性也起到一定的作用。特别在近场区，若最内圈等震线比较狭长，则对近场影响较大。等震线长轴的取向与当地发震构造及区域活动构造走向密切相关。在地震危险性分析计算中，等震线长轴走向及分布概率按以下几个类型赋值：

(1) 单一断层性质

存在单一断层走向类型的潜在震源区，其椭圆长轴走向用 θ_1 表示，它与区域构造走向一致，相应的分布概率为 1。

(2) 共轭断层性质

对存在有共轭断层的潜在震源区，地震破裂面沿共轭断层走向产生，两个方向为 θ_1 和 θ_2 ，相应的分布概率各为 0.5。

(3) 一个断层为主，另一个为辅

对存在一个断层方向为主，另一个断层为辅的潜在震源区，在主干断裂方向 θ_1 上的分布概率为 0.7，分支断裂方向的 θ_2 分布概率为 0.3。

4.4 地震动衰减关系

地震动衰减关系是地震危险性分析的基础。由于地震动衰减同地震波传播路径中介质的物理力学性质、震源错动性质以及场地土质条件有关，因此具有明显的地区特征。

根据《工程场地地震震安全性评价》(GB17741-2005)，基岩地震动衰减模型中应考虑加速度峰值和反应谱的高频分量在大震级和近距离的饱和特性，其关系式可为：

$$\lg S_a = C_1 + C_2 M + C_4 \lg(R + C_5 \exp(C_6 M)) + \sigma$$

式中： S_a 为加速度反应谱或峰值加速度（单位g）； M 为面波震级； R 为震中距； C_1 、 C_2 、 C_4 、 C_5 、 C_6 为回归系数； σ 为回归方差。

在我国第五代《中国地震动参数区划图》（GB 18306—2015）研究阶段，俞言祥等及其博士研究生们，对我国地震动衰减关系进行了系统研究，在模型选择上给出了如下所示的新的震级分段的衰减模型：

当 $M < 6.5$ 时：

$$\lg Y(M, R) = A1 + B1 - C * \lg(R + D \exp(E * M)) \quad (4.4-1)$$

当 $M \geq 6.5$ 时：

$$\lg Y(M, R) = A2 + B2 - C * \lg(R + D \exp(E * M)) \quad (4.4-2)$$

新模型采用分段性函数与近场饱和因子相结合的方式对大震近场饱和效应进行了反映，同时在回归时对截尾效应的系统性影响进行了修正。根据中国地震局震害防御司《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函〔2019〕21号），

结合场地在中国地震动衰减关系分区图中的具体位置，本报告采用了中国东

部强震活跃基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数，具体系数见表4.4-1和表4.4-2。

表4.4-1 基岩地震动水平向峰值加速度和反应谱的衰减关系（长轴）

T (s)	A1	B1	A2	B2	C	E	E	σ
0	2.024	0.673	3.565	0.435	2.329	2.088	0.399	0.245
0.04	2.048	0.674	3.617	0.432	2.322	2.088	0.399	0.261
0.05	2.205	0.654	3.706	0.423	2.319	2.088	0.399	0.266
0.07	2.315	0.65	3.774	0.425	2.307	2.088	0.399	0.265
0.1	2.456	0.64	3.903	0.417	2.297	2.088	0.399	0.261
0.12	2.493	0.637	3.855	0.427	2.294	2.088	0.399	0.261
0.16	2.617	0.632	3.798	0.449	2.306	2.088	0.399	0.261
0.2	2.558	0.643	3.68	0.47	2.309	2.088	0.399	0.261
0.24	2.32	0.675	3.632	0.472	2.29	2.088	0.399	0.264
0.26	2.094	0.696	3.541	0.472	2.249	2.088	0.399	0.27
0.3	1.878	0.715	3.426	0.477	2.211	2.088	0.399	0.274
0.34	1.852	0.715	3.304	0.491	2.212	2.088	0.399	0.273
0.4	1.501	0.765	3.262	0.494	2.214	2.088	0.399	0.274
0.5	1.358	0.776	3.026	0.519	2.214	2.088	0.399	0.276
0.6	1.004	0.814	2.885	0.524	2.187	2.088	0.399	0.283
0.8	0.65	0.847	2.608	0.545	2.174	2.088	0.399	0.291
1	0.226	0.895	2.409	0.559	2.157	2.088	0.399	0.3
1.2	0.006	0.917	2.227	0.574	2.159	2.088	0.399	0.315
1.5	-0.095	0.909	1.843	0.61	2.154	2.088	0.399	0.33
1.7	-0.196	0.909	1.621	0.629	2.143	2.088	0.399	0.338
2	-0.666	0.936	1.247	0.641	2.047	2.088	0.399	0.342
2.4	-0.781	0.917	0.709	0.687	2.011	2.088	0.399	0.343
3	-1.014	0.92	0.279	0.72	1.972	2.088	0.399	0.34
4	-1.244	0.909	-0.368	0.773	1.937	2.088	0.399	0.336
5	-1.417	0.9	-0.88	0.817	1.906	2.088	0.399	0.333
6	-1.432	0.859	-1.432	0.859	1.857	2.088	0.399	0.333

表4.4-2 基岩地震动水平向峰值加速度和反应谱的衰减关系（短轴）

T (s)	A1	B1	A2	B2	C	E	E	σ
0	1.204	0.664	2.789	0.42	2.016	0.944	0.447	0.245
0.04	1.241	0.663	2.837	0.418	2.01	0.944	0.447	0.261
0.05	1.393	0.645	2.933	0.408	2.007	0.944	0.447	0.266
0.07	1.517	0.639	3.005	0.411	1.997	0.944	0.447	0.265
0.1	1.665	0.629	3.14	0.402	1.988	0.944	0.447	0.261
0.12	1.707	0.625	3.091	0.412	1.985	0.944	0.447	0.261
0.16	1.814	0.622	3.053	0.431	1.997	0.944	0.447	0.261
0.2	1.779	0.628	2.918	0.454	1.999	0.944	0.447	0.261

0.24	1.533	0.662	2.868	0.457	1.983	0.944	0.447	0.264
0.26	1.309	0.685	2.786	0.458	1.948	0.944	0.447	0.27
0.3	1.095	0.707	2.677	0.464	1.915	0.944	0.447	0.274
0.34	1.068	0.706	2.558	0.477	1.916	0.944	0.447	0.273
0.4	0.698	0.759	2.501	0.482	1.919	0.944	0.447	0.274
0.5	0.557	0.769	2.265	0.507	1.919	0.944	0.447	0.276
0.6	0.196	0.81	2.122	0.514	1.897	0.944	0.447	0.283
0.8	-0.162	0.844	1.851	0.535	1.887	0.944	0.447	0.291
1	-0.599	0.895	1.644	0.55	1.873	0.944	0.447	0.3
1.2	-0.815	0.915	1.455	0.567	1.875	0.944	0.447	0.315
1.5	-0.91	0.907	1.087	0.6	1.871	0.944	0.447	0.33
1.7	-1	0.906	0.869	0.619	1.861	0.944	0.447	0.338
2	-1.449	0.934	0.516	0.632	1.779	0.944	0.447	0.342
2.4	-1.524	0.911	-0.002	0.677	1.748	0.944	0.447	0.343
3	-1.733	0.912	-0.414	0.71	1.716	0.944	0.447	0.34
4	-1.932	0.898	-1.038	0.761	1.686	0.944	0.447	0.336
5	-2.075	0.887	-1.532	0.804	1.659	0.944	0.447	0.333
6	-2.041	0.841	-2.041	0.841	1.617	0.944	0.447	0.333

4.5 地震危险性计算及结果分析

根据前面所确定的潜在震源区、地震活动性参数及基岩地震动衰减关系，按照前述地震危险性概率分析方法，进行了本项目的工程场地地震危险性分析计算。对场址的基岩水平加速度峰值和基岩水平加速度反应谱进行分析计算。图 4.5-1 为工程场地范围内选择的 11 个基岩计算点位置图。

表 4.5-1 工程场地 50 年超越概率 63%、10%和 2%的基岩水平峰加速度值。表 4.5-2 为主要潜在震源区对场址基岩水平加速度地震动反应谱的贡献。表 4.5-3 至表 4.5-5 为不同概率水准基岩水平加速度地震动反应谱。

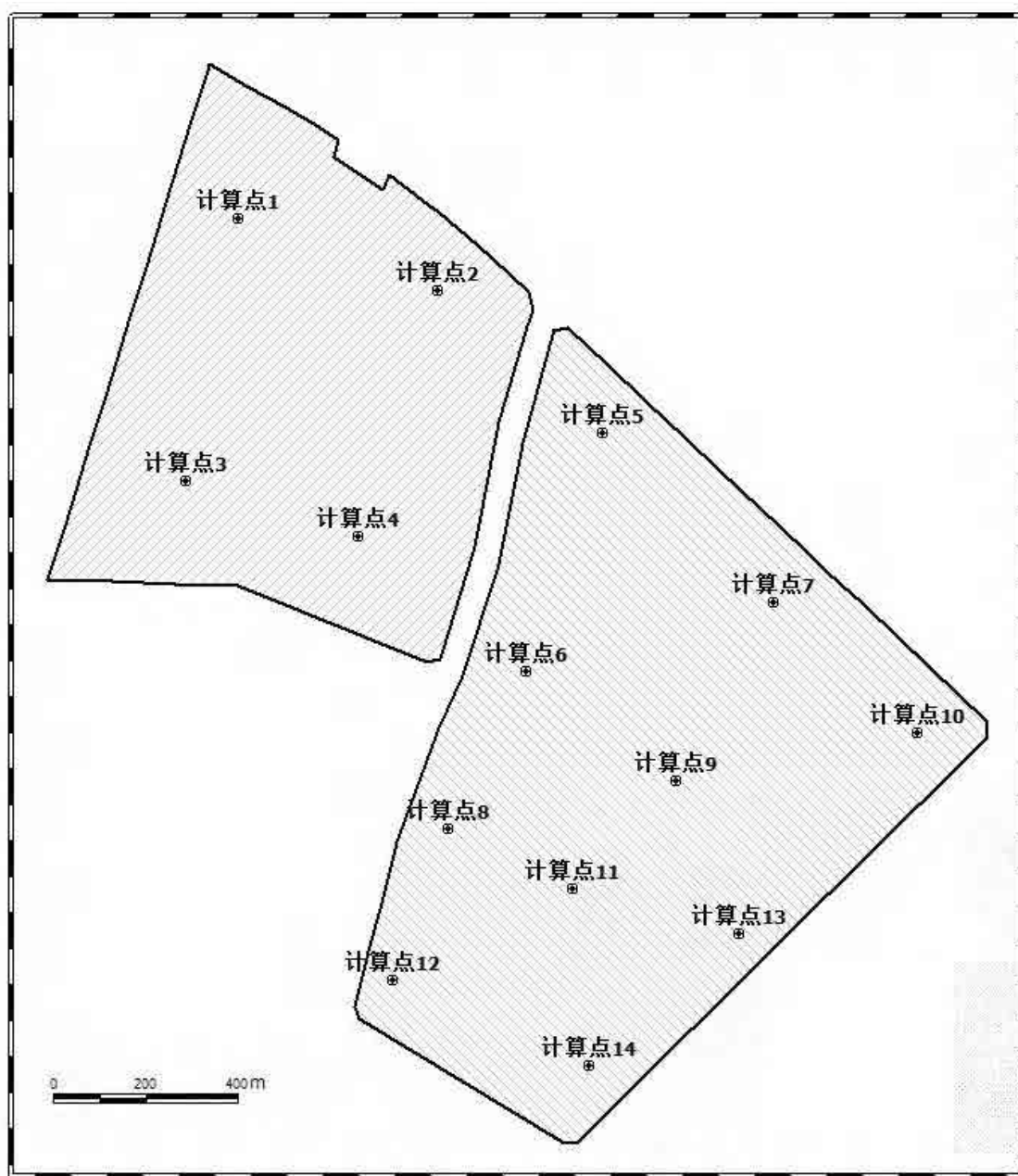


图 4.5-1 计算点位置图

表 4.5-1 各计算点不同超越概率水准基岩水平峰加速度表

计算点 序号	计算点位置		50 年超越概率 63% (gal)	50 年超越概率 10% (gal)	50 年超越概率 2% (gal)
	经度 (°)	纬度 (°)			
1	111.873293	33.108051	25.5	93.8	212.3
2	111.877944	33.106645	25.5	93.9	212.5
3	111.872069	33.102925	25.4	93.5	211.6
4	111.876090	33.101841	25.5	93.6	211.8

5	111.881790	33.103862	25.5	93.9	212.5
6	111.880007	33.099204	25.5	93.6	211.8
7	111.885777	33.100552	25.5	93.9	212.4
8	111.878189	33.096128	25.4	93.4	211.2
9	111.883504	33.097066	25.4	93.7	211.8
10	111.889134	33.098003	25.5	94.0	212.3
11	111.881091	33.094957	25.4	93.4	211.3
12	111.876895	33.093170	25.4	93.1	210.7
13	111.884973	33.094078	25.4	93.6	211.5
14	111.881476	33.091500	25.4	93.3	210.8
平均值			25.4	93.6	211.7

表 4.5-2 各主要潜在震源区对场址基岩地震动反应谱的贡献 (%)

概率水准	周期(s)	潜源名称	潜源震级 上限	贡献百分比
50 年 63%	0.0	华北平原南部背景源 2	5.5	7.5%
		华北平原南部背景源 1(场地所在)	5.5	24.6%
		栾川	6.0	1.3%
		商南	6.0	6.3%
		老河口	6.0	5.3%
		内乡	6.5	38.3%
		南阳	6.5	15.1%
50 年 10%	0.0	华北平原南部背景源 2	5.5	1.9%
		华北平原南部背景源 1(场地所在)	5.5	10.0%
		商南	6.0	2.4%
		老河口	6.0	1.5%
		内乡	6.5	67.7%
		南阳	6.5	16.5%
50 年 2%	0.0	华北平原南部背景源 1(场地所在)	5.5	2.3%
		内乡	6.5	86.1%
		南阳	6.5	10.8%
50 年 63%	1.0	华北平原南部背景源 1(场地所在)	5.5	12.2%
		商南	6.0	7.7%
		老河口	6.0	6.2%

50 年 10%	1.0	内乡	6.5	23.5%
		南阳	6.5	15.7%
		商南	6.0	4.3%
		内乡	6.5	59.1%
		南阳	6.5	20.4%
		华县-渭南	8.5	5.3%
50 年 2%	1.0	内乡	6.5	82.1%
		南阳	6.5	14.3%

表 4.5-2 数据显示，50 年超越概率 63%峰值加速度及 1.0 秒加速度反应谱主要贡献潜源有：背景源、内乡潜源、南阳潜源；50 年超越概率 10%峰值加速度主要贡献潜源有：背景源、内乡潜源、南阳潜源；50 年超越概率 10% 1.0 秒加速度反应谱主要贡献潜源有：内乡潜源、南阳潜源；50 年超越概率 2%峰值加速及 1.0 秒加速度反应谱主要贡献潜源有：内乡潜源、南阳潜源。总体来看，本场地基岩地震动反应谱主要受近场源控制。

表 4.5-3 至表 4.5-5 为场地 50 年不同超越概率各计算点基岩反应谱值。将表 4.5-3 至表 4.5-5 中的 50 年不同超越概率各计算点基岩反应谱值绘制到同一图像中的结果见图 4.5-2。由图及表可见，各计算点的基岩反应谱值变化很小，因此，平均基岩反应谱可以代表该场地的基岩反应谱。本项目将各计算点的基岩地震动反应谱值进行了平均（见表 4.5-3 至表 4.5-5），平均后的基岩反应谱值绘制于图 4.5-3。土层反应计算分析时，以该平均基岩反应谱为目标谱，合成人工地震动时程。图 4.5-4 为场地基岩地震动水平向峰值加速度超越概率曲线。

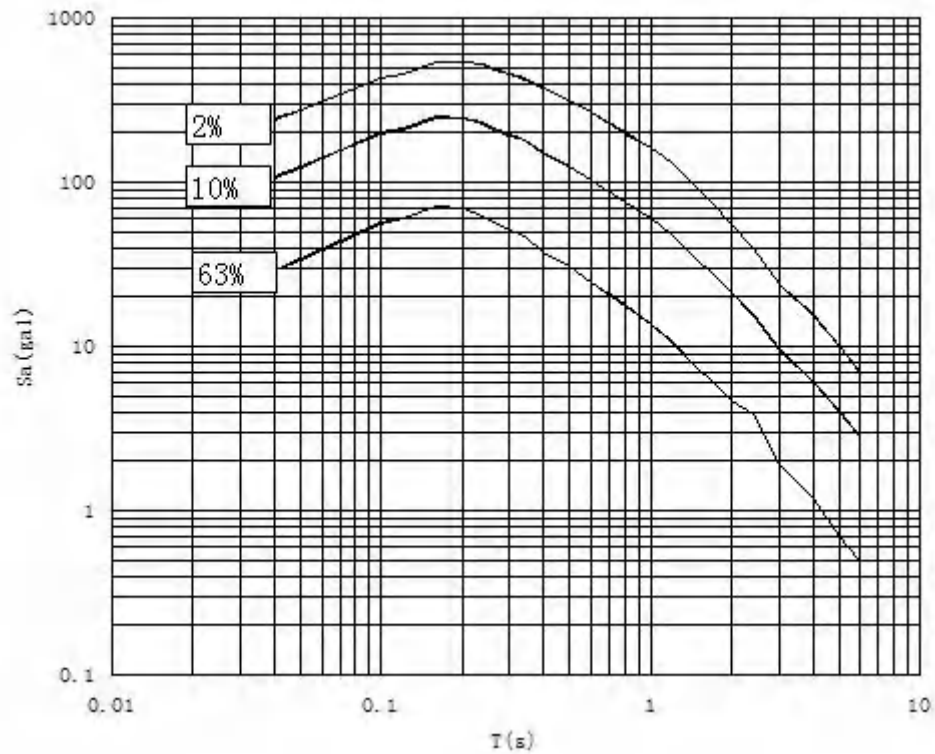


图 4.5-2 场地不同超越概率 14 个计算点基岩水平加速度反应谱曲线

表 4.5-3 50 年超越概率 63%基岩反应谱（单位：gal）

周期 (s)	计算点														平均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
0.04	28.9	28.9	28.8	28.8	28.9	28.9	28.8	28.8	28.8	28.9	28.8	28.7	28.8	28.7	28.8
0.05	34.0	34.0	33.9	33.9	34.0	33.9	33.9	33.8	33.9	33.9	33.8	33.8	33.9	33.8	33.9
0.07	43.8	43.8	43.7	43.7	43.8	43.8	43.7	43.6	43.7	43.7	43.6	43.6	43.6	43.6	43.7
0.1	56.4	56.4	56.3	56.3	56.4	56.4	56.3	56.2	56.3	56.4	56.2	56.1	56.2	56.1	56.3
0.12	59.8	59.9	59.7	59.7	59.8	59.8	59.7	59.6	59.7	59.8	59.7	59.6	59.7	59.6	59.7
0.16	71.3	71.3	71.1	71.2	71.3	71.3	71.2	71.0	71.1	71.3	71.0	70.9	71.1	70.9	71.2
0.2	69.8	69.9	69.7	69.7	69.9	69.8	69.7	69.6	69.7	69.8	69.6	69.5	69.7	69.5	69.7
0.24	62.7	62.7	62.5	62.5	62.7	62.6	62.5	62.4	62.5	62.6	62.4	62.3	62.5	62.4	62.5
0.26	56.5	56.6	56.4	56.4	56.5	56.5	56.4	56.4	56.4	56.5	56.4	56.3	56.4	56.3	56.4
0.3	50.8	50.8	50.7	50.7	50.8	50.8	50.7	50.6	50.7	50.8	50.6	50.6	50.6	50.6	50.7
0.34	47.3	47.3	47.2	47.2	47.3	47.2	47.2	47.1	47.2	47.2	47.1	47.1	47.1	47.1	47.2
0.4	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.5	37.6	37.6	37.5	37.5	37.5	37.5	37.6
0.5	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.9	31.0	31.0	30.9	30.9	30.9	30.9	31.0
0.6	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7
0.8	17.8	17.8	17.7	17.7	17.8	17.8	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7
1	13.6	13.6	13.5	13.5	13.6	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5

1.2	10.8	10.8	10.7	10.7	10.8	10.8	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
1.5	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
1.7	6.1	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
2	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
2.4	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
3	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

表 4.5-4 50 年超越概率 10%基岩反应谱（单位：gal）

周 期 (s)	计算点														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	平均 值
0.04	107.3	107.5	107.0	107.1	107.5	107.2	107.5	106.9	107.2	107.6	107.0	106.6	107.1	106.8	107.2
0.05	123.5	123.7	123.0	123.2	123.7	123.3	123.7	122.9	123.3	123.7	123.0	122.6	123.2	122.8	123.3
0.07	158.0	158.3	157.5	157.7	158.3	157.8	158.3	157.4	157.9	158.3	157.5	157.0	157.7	157.2	157.8
0.1	198.9	199.1	198.3	198.5	199.1	198.6	199.1	198.1	198.6	199.2	198.3	197.7	198.5	197.9	198.6
0.12	211.1	211.4	210.5	210.8	211.4	210.8	211.5	210.3	210.9	211.5	210.5	209.9	210.7	210.1	210.8
0.16	249.9	250.2	249.2	249.5	250.3	249.5	250.3	249.0	249.6	250.3	249.2	248.5	249.4	248.8	249.5
0.2	247.3	247.6	246.6	246.9	247.7	247.0	247.7	246.4	247.1	247.7	246.6	245.9	246.9	246.2	247.0
0.24	230.4	230.7	229.6	229.9	230.7	230.0	230.8	229.4	230.1	230.8	229.6	228.9	229.9	229.1	230.0
0.26	211.6	211.9	211.0	211.3	212.0	211.3	212.0	210.8	211.5	212.1	211.0	210.3	211.3	210.6	211.3
0.3	193.8	194.1	193.3	193.5	194.1	193.6	194.2	193.1	193.6	194.2	193.2	192.7	193.5	192.9	193.5
0.34	179.7	179.9	179.2	179.4	179.9	179.4	179.9	179.1	179.5	180.0	179.2	178.7	179.4	178.9	179.4
0.4	150.9	151.2	150.4	150.6	151.3	150.7	151.3	150.3	150.8	151.3	150.4	149.9	150.6	150.1	150.7
0.5	126.3	126.5	125.9	126.1	126.6	126.1	126.6	125.7	126.2	126.6	125.9	125.4	126.1	125.6	126.1
0.6	103.9	104.0	103.5	103.6	104.1	103.7	104.1	103.4	103.7	104.1	103.5	103.1	103.6	103.3	103.7
0.8	76.3	76.4	76.1	76.1	76.4	76.2	76.4	76.0	76.2	76.4	76.0	75.8	76.1	75.9	76.2
1	59.8	59.9	59.7	59.7	59.9	59.7	59.9	59.6	59.8	59.9	59.6	59.5	59.7	59.6	59.7
1.2	48.6	48.6	48.4	48.5	48.6	48.5	48.6	48.4	48.5	48.6	48.4	48.3	48.5	48.3	48.5
1.5	33.8	33.9	33.7	33.8	33.9	33.8	33.8	33.7	33.8	33.8	33.7	33.6	33.7	33.6	33.8
1.7	27.5	27.6	27.5	27.5	27.6	27.5	27.6	27.4	27.5	27.5	27.4	27.3	27.4	27.4	27.5
2	21.3	21.3	21.2	21.2	21.3	21.2	21.3	21.2	21.2	21.3	21.2	21.1	21.2	21.2	21.2
2.4	15.5	15.5	15.4	15.4	15.5	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.3	15.4	15.3	15.4
3	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.5	9.6	9.5	9.5	9.6	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
4	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
5	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1
6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8

表 4.5-5 50 年超越概率 2%基岩反应谱（单位：gal）

周期 (s)	计算点														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	平均值
0.04	242.7	242.9	241.9	242.1	242.9	242.1	242.8	241.5	242.1	242.7	241.6	240.9	241.8	241.1	242.1
0.05	275.7	275.9	274.8	275.0	275.9	275.0	275.8	274.3	275.0	275.7	274.4	273.6	274.6	273.8	275.0
0.07	347.6	347.9	346.6	346.9	347.8	346.9	347.7	346.1	346.8	347.6	346.2	345.3	346.4	345.6	346.8
0.1	435.1	435.5	433.8	434.1	435.4	434.1	435.2	433.0	434.1	435.1	433.2	432.1	433.5	432.3	434.0
0.12	458.7	459.1	457.1	457.5	459.0	457.4	458.8	456.2	457.4	458.6	456.4	455.1	456.8	455.4	457.4
0.16	541.0	541.5	539.4	539.8	541.4	539.7	541.2	538.5	539.8	541.0	538.6	537.3	539.1	537.7	539.7
0.2	539.4	539.8	537.8	538.2	539.8	538.1	539.6	536.8	538.1	539.4	537.0	535.6	537.5	536.0	538.1
0.24	521.6	522.2	519.8	520.3	522.0	520.3	521.9	518.9	520.3	521.7	519.1	517.6	519.7	518.0	520.2
0.26	491.6	492.1	490.0	490.5	492.0	490.5	491.9	489.2	490.5	491.7	489.4	488.1	489.9	488.4	490.4
0.3	460.2	460.7	458.6	459.0	460.7	459.0	460.5	457.7	459.1	460.4	457.9	456.4	458.4	456.9	459.0
0.34	426.9	427.3	425.4	425.8	427.3	425.8	427.1	424.6	425.8	427.0	424.8	423.6	425.3	423.9	425.8
0.4	377.2	377.7	375.9	376.3	377.6	376.3	377.5	375.2	376.3	377.4	375.4	374.2	375.8	374.6	376.2
0.5	316.1	316.5	314.9	315.3	316.5	315.3	316.4	314.4	315.3	316.3	314.5	313.5	314.9	313.8	315.3
0.6	269.1	269.4	268.1	268.4	269.4	268.4	269.4	267.6	268.5	269.3	267.7	266.8	268.1	267.1	268.4
0.8	200.3	200.5	199.5	199.8	200.5	199.8	200.5	199.2	199.8	200.4	199.3	198.7	199.6	198.9	199.8
1	162.4	162.7	161.8	162.0	162.7	162.0	162.6	161.5	162.1	162.6	161.6	161.1	161.8	161.3	162.0
1.2	133.0	133.2	132.5	132.6	133.2	132.6	133.1	132.2	132.7	133.1	132.3	131.9	132.5	132.0	132.6
1.5	91.4	91.6	91.1	91.2	91.6	91.2	91.5	90.9	91.2	91.5	91.0	90.7	91.1	90.7	91.2
1.7	73.5	73.6	73.2	73.3	73.6	73.3	73.5	73.1	73.3	73.5	73.1	72.9	73.2	72.9	73.3
2	56.1	56.2	55.9	56.0	56.2	56.0	56.1	55.8	56.0	56.1	55.8	55.7	55.9	55.7	56.0
2.4	39.4	39.5	39.3	39.3	39.4	39.3	39.4	39.2	39.3	39.4	39.2	39.1	39.3	39.2	39.3
3	24.2	24.2	24.1	24.1	24.2	24.1	24.2	24.1	24.1	24.2	24.1	24.0	24.1	24.0	24.1
4	15.5	15.5	15.4	15.4	15.5	15.4	15.5	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
5	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
6	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0	7.1

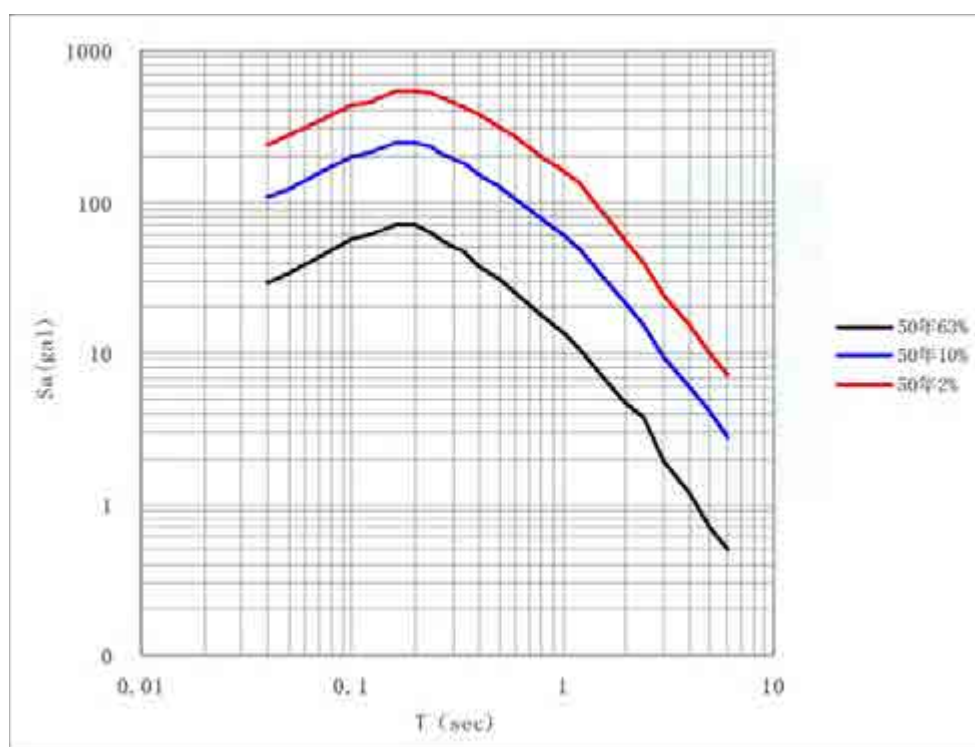


图 4.5-3 场地不同超越概率基岩水平加速度（平均值）反应谱曲线

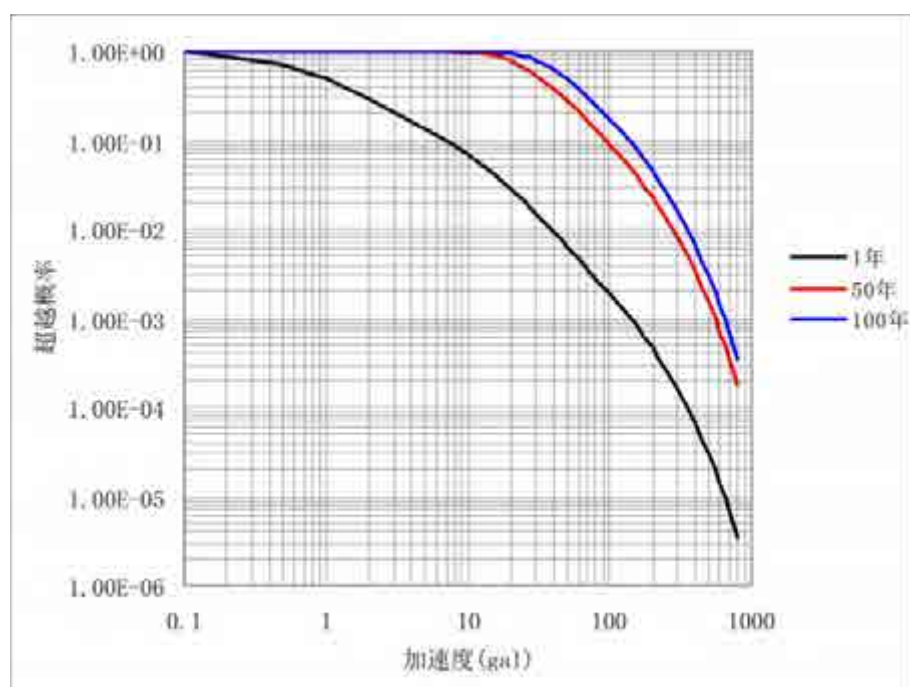


图 4.5-4 场地基岩地震动水平向峰值加速度超越概率曲线

第五章 场地地震工程地质条件

为了查明场地工程地震条件，在工程场区布设钻孔进行勘测，勘测的主要内容：查明该勘察区域内的地基土层的组成、分布规律及其物理、力学性质指标等。对工程场地地形、地貌、工程地质及水文地质条件进行现场调查，收集周边已有工程地质工作资料，分析确定所属地貌及工程地质单元；对控制性钻孔进行分层和加密剪切波速测试；对有代表性地层取常规土工试验样品和动三轴试验样品；对场地各地层进行岩性、物理状态描述；室内进行剪切模量与剪切应变关系，阻尼比与剪切应变关系试验、土工常规试验、剪切波速数据处理等；对场地地震地质灾害进行评价。

5.1 场地概述

工程场址地貌上属于构造剥蚀低山丘陵地貌单元，地势起伏，形成一定高差。依据《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)，结合工程情况，在工程场地布设了 15 个钻孔，用于控制场地地震工程地质条件。图 5.1-1 为钻孔位置示意图。

根据现场各钻孔的编录，结合场地的岩土工程勘察报告，按地层岩性及其物理力学性质指标的特征，将地层共划分为 14 个地质单元层。现自上而下分别叙述如下：

第 1 层杂填土：褐黄色、松散、稍湿，以粘性土为主，含少量植物根系、砖块、石子等。

第 2 层粉质粘土：褐黄色，湿，可塑，切面光滑，无摇震反应，有光泽，干强度及韧性中等，含少量灰白泥质条纹及钙质结核。

第 3 层含泥含砾粗砂：浅黄色-灰白色、稍密、饱和，上部颗粒较细，局部泥质含量较大，含少量砾石，砂粒成分主要以长石、石英为主。

第 4 层粉质粘土：灰白-黄褐色，湿，硬塑，切面光滑，无摇震反应，有光泽，干强度及韧性中等，含少量黑色铁锰质结核及钙质结核。

第 5 层泥含粗砂：浅黄色-灰白色、中密、饱和，上部颗粒较细，含少量泥质成分，局部含少量砾石成分，泥质成分含量在 30%左右，砂粒成分主要以长石、石英为主。

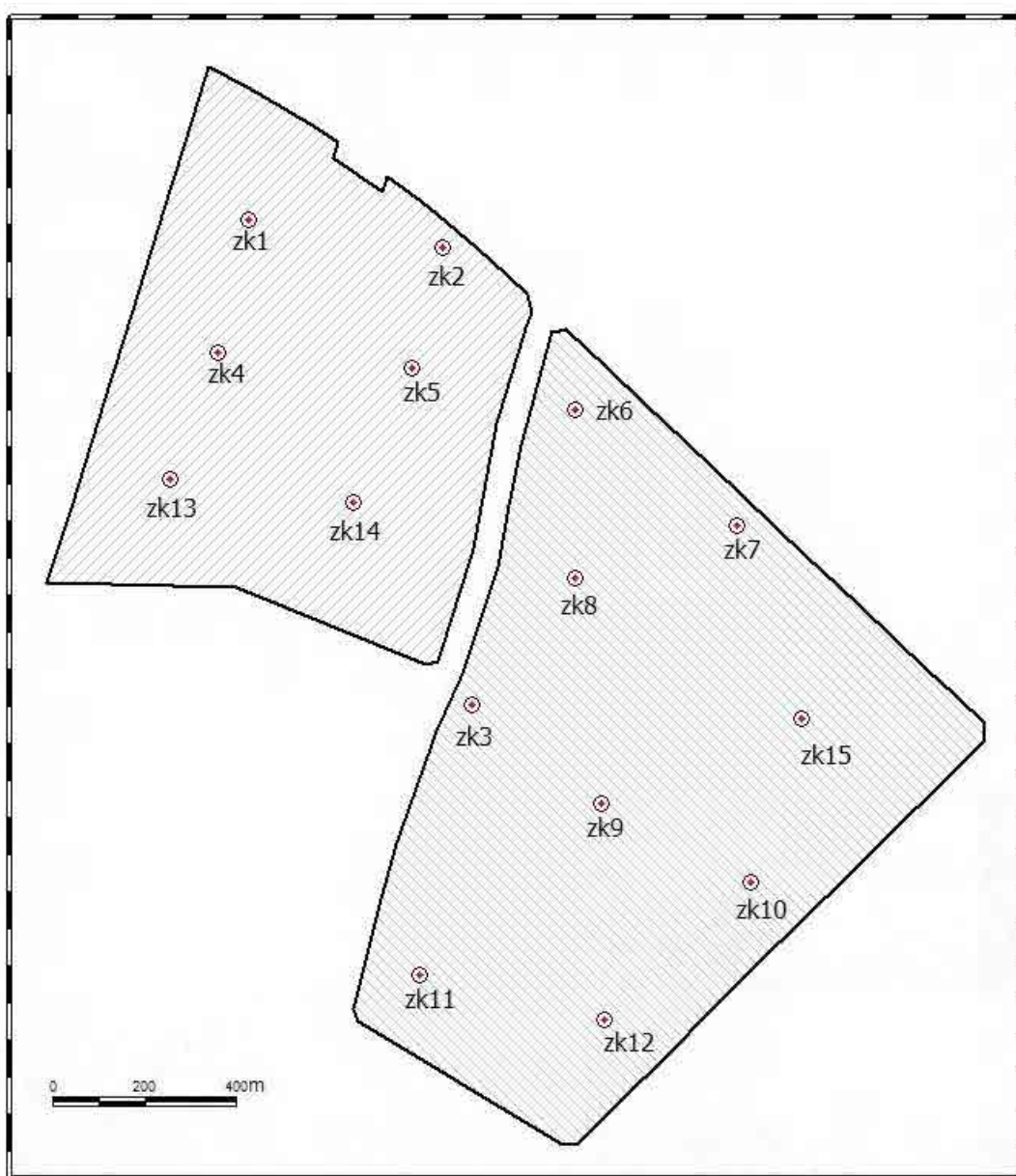


图 5.1-1 工程场地钻孔位置图

第 6 层粘土:灰白-黄褐色,湿,坚硬,切面光滑,含少量黑色铁锰质结核及钙质结核。钙质结核部分地段富集,局部含泥质粗砂透镜体。

第 7 层泥质粗砂:浅黄色-灰白色、中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在 30%左右,砂粒成分主要以长石、石英为主。

第 8 层含泥含卵砾粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部卵砾石成分富集,砂粒成分主要以长石、石英为主。

第 9 层粘土:灰白,湿,坚硬,含少量黑色铁猛质结核及钙质结核,局部含少量泥质粗砂透镜体。

第 10 层泥质粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在 40%左右,砂粒成分主要以长石、石英为主。

第 11 层含泥粗砂:浅黄色,密实、饱和,上部颗粒较细,含大量泥质成分,夹少量砾石成分。

第 12 层泥质粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在 40%左右,砂粒成分主要以长石、石英为主。

第 13 层含泥含卵砾粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部卵砾石成分富集,砂粒成分主要以长石、石英为主。

第 14 层强风化泥砂岩:棕黄-黄褐-灰白色、泥砂质结构,组织结构大部分破坏,部分风化呈块状,矿物成分显著变化。

15 个钻孔柱状图见图 5.1-2~5.1-16。

钻 孔 柱 状 图

工程名称		内务管理局		33.108063		钻孔直径	110mm	稳定水位深度			
孔 号		1		111.873592		初见水位深度		测量日期		2020.11.28	
地质时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩 性 描 述			标高 (m)	实际深度 (m)	备注	
	1	0.5	0.5		余填土: 黄褐色, 松散, 稍湿, 以粘性土为主, 含少量植物根系、碎块等。						
	2	5.0	4.5		粉质粘土: 黄褐-褐黄色, 湿-硬塑, 切面光滑, 无收缩反应, 有光泽, 干强度及韧性中等, 含铁锰质结核和少量泥质粗砂透镜体。						
	3	14.0	9.0		粘土: 棕红色, 硬-硬塑, 含少量黑色铁锰质结核及钙质结核, 钙质结核部分地段富集, 局部含泥质粗砂透镜体。						
	4	32.4	18.4		粘土: 黄褐-褐黄色, 湿-硬塑, 含少量黑色铁锰质结核及钙质结核, 钙质结核部分地段富集, 局部含泥质粗砂透镜体, 干强度及韧性高。						
	5	34.7	2.3		LC	含泥质粗砂: 灰白-浅黄色, 中密, 饱和, 上部颗粒较细, 局部泥质含量较大, 局部砾石成分富集, 砂粒成分主要以长石、石英为主。					
	6	36.2	1.5		粉质粘土: 灰白色, 湿-硬塑, 切面光滑, 有光泽。						
	7	43.0	6.8		C	泥质粗砂: 浅黄色-灰白色, 密实, 饱和, 上部颗粒较细, 含少量泥质成分, 局部含少量砾石成分, 泥质成分含量在30%左右, 砂粉成份主要以长石、石英为主。					
	8	52.5	9.5			粉质粘土: 灰绿-灰白色, 湿-硬塑, 切面光滑, 无收缩反应, 有光泽, 干强度及韧性高, 含铁锰质结核及少量灰绿色泥质团块。					
	9	65.0	12.5	LC		含泥质粗砂: 灰白色-浅黄色, 密实, 饱和, 上部颗粒较细, 局部泥质含量较大, 局部砾石成分富集, 砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	10	67.5	2.5			粘土: 灰绿色, 湿-硬塑, 切面光滑, 无收缩反应, 有光泽, 干强度及韧性高。					
	11	72.0	4.5		C	泥质粗砂: 浅黄色-灰白色, 密实, 饱和, 上部颗粒较细, 含少量泥质成分, 局部含少量砾石成分, 泥质成分含量在40%左右, 砂粉成份主要以长石、石英为主。					

制图: 陈玉佩 审核: 王立

报告日期: 2020.11.27-28

制图: 陈玉佩

审核: 王云

测量日期: 2020.11.27-28

图 5.1-2 1 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图




工程名称		内乡晋基物流园		33.107520°		钻孔直径	110mm	稳定水位深度		
孔号		2	经纬度	111.878117°		初见水位深度		测量日期	2020.11.29	
地质时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩性描述			标高 中点深度 (m)	标高 测点	附注
	1	0.5	0.5		杂填土:褐黄色、松散、稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、碎块等。					
	2	16.0	15.5		粉质粘土:黄褐-棕红色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量灰白、灰绿色泥质团块,下部含砂量较大。					
	3	20.0	4.0	LC	含泥含砾粗砂:黄褐-浅黄色、中密、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	4	44.0	24.0	C	泥质粗砂:浅黄色-黄褐色、中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	5	50.0	6.0	LC	含泥含砾粗砂:灰白-浅黄色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	6	54.0	4.0		粉质粘土:灰绿-灰白色、湿、坚硬,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高,含铁锰质结核及少量灰绿色泥质团块。					
	7	63.0	9.0	C	含砾泥质粗砂:灰白色-浅黄色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
制图:陈玉朝 审核:王云										
外业日期: 2020.11.28-29										

图 5.1-3 2 号孔钻孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

工程名称		内乡智慧物流园							
孔 号	3	坐标	33.098595° 111.878801°	钻孔直径	110mm	检定水位深度	测量日期	2020.11.30	
地质时代	层 号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩 性 描 述	标高 中点 深度 (m)	标高 测数	附 注	
	1	0.3	0.3		素填土:褐黄色、松散、稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、碎块等。				
	2	15.3	15.0		粉质粘土:黄褐-褐黄色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量灰白、灰绿色泥质团块。				
	3	16.7	1.4	Z	泥质中砂:灰白色、稍密、饱和,上部颗粒较细,含泥质。				
	4	21.0	4.3	LC	含泥含卵砾粗砂:灰白-浅黄色、中密、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。				
	5	34.0	13.0		粘土:灰白-灰绿色、湿、坚硬,切面光滑,无摇震反应,含少量钙质结核,局部含泥质粗砂,含灰绿色泥质团块。				
	6	35.3	1.3	Z	泥质中砂:灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含泥质。				
	7	41.0	5.7	LC	含泥含卵砾粗砂:灰白-浅黄色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。				
	8	42.5	1.5	C	泥质粗砂:灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含泥质。				
	9	44.7	2.2	LC	含泥含卵砾粗砂:灰白-浅黄色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集。				
	10	46.0	1.3		粘土:灰绿色、湿、坚硬,切面光滑,无摇震反应。				
	11	51.0	5.0	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。				
	12	56.5	5.5		粘土:灰白-灰绿色、湿、坚硬,切面光滑,无摇震反应,含少量钙质结核,局部含泥质粗砂,含灰绿色泥质团块。				
	13	65.0	8.5	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在40%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。				




制图: 陈玉朝

审核: 王云

外业日期: 2020.11.29-30

图 5.1-4 3 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图

工程名称		内乡智慧物流园							
孔号		4	33.105470°	111.872862°	钻孔直径	110mm	稳定水位深度	测量日期	2020.12.03
地质时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩性描述		标高中点深度 (m)	标高测点	附注
	1	1.5	1.5		杂填土:褐黄色、松散、稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、砖块等。				
	2	16.0	14.5		粉质粘土:黄褐-棕红色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量灰白、灰绿色泥质团块,下部含砂量较大。				
	3	17.5	1.5	C	泥质粗砂:黄褐色、稍密、湿,上部颗粒夹细,含泥质。				
	4	20.0	2.5	LC	含泥含砾粗砂:黄褐-浅黄色、中密、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。				
	5	41.0	21.0	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色、中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。				
	6	43.0	2.0	LC	含泥含砾粗砂:灰白-浅黄色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集。				
	7	45.0	2.0	C	泥质粗砂:浅黄色、密实、饱和,上部颗粒夹细,含泥质。				
	8	46.0	1.0	LC	含泥含砾粗砂:灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。				
	9	54.0	8.0		强风化砂岩:棕红-灰白色,砂质结构,组织结构大部分已破坏,部分风化成砂土状、块状,矿物成分显著变化。				

制图: 邵玉朝

审核: 王云

外业日期: 2020.12.01-03






制图: 邵玉朝

审核: 王云

外业日期: 2020.12.01-03

图 5.1-5 4 号孔钻孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

工程名称		内乡智慧物流园		33.105168°		钻孔直径	110mm	稳定水位深度		
孔 号		6	孔 号	111.877397°	初见水位深度		测量日期	2020.11.30		
地质时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩 性 描 述		标高 (m)	标高 (m)	附 注	
	1	0.3	0.3		杂填土:褐黄色,松散,稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、碎砖等。					
	2	16.0	15.7		粉质粘土:黄褐-褐黄色,湿,硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量灰白、灰绿色泥质团块。					
	3	23.0	7.0		粉质粘土:黄褐-褐黄色,湿,硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量灰白、灰绿色泥质团块,下部含砂量较大。					
	4	27.0	4.0	LC	含泥含砾粗砂:黄褐-浅黄色,中密,饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	5	34.0	7.0	C	细砂:浅黄色-黄褐色,中密,饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	6	39.0	5.0		粉质粘土:灰绿-灰白色,湿,坚硬,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高,含铁、锰质结核及少量灰绿色泥质团块。					
	7	44.0	5.0	C	细砂:浅黄色-灰白色,密实,饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在40%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	8	53.0	9.0	LC	含泥含砾粗砂:灰白-浅黄色,密实,饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	9	63.0	10.0		强风化砂岩:棕红-灰白色,泥砂质结构,组织结构大部分已破坏,部分风化成砂土状,块状,矿物成分显著变化。					

制图: 陈玉新

审核: 王云

外业日期: 2020.11.29-30

制图: 陈玉朝

审核: 王云

外业日期: 2020.11.29-30











图 5.1-6 5 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图

工程名称		内多智慧物流园		33.104354°		钻孔直径	110mm	稳定水位深度		
孔号		4	终孔深度	111.881212°		初见水位深度		测量日期	2020.11.17	
地质时代	层号	层底深度 (m)	层厚度 (m)	柱状图	岩性描述			标准中点深度 (m)	标准实测次数	附注
	1	1.2	1.2		杂填土:褐黄色,松散,稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、砖块等。					
	2	14.8	13.6		粉质粘土:黄褐-棕红色,湿,硬塑,切面光滑,无收缩反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁质结核及钙质结核,土中含少量灰白、灰绿色泥质团块,下部含砂量较大。					
	3	22.2	7.4	LC	含泥含砂粗砂:黄褐-浅黄色,中密、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	4	23.2	1.0	Z	中砂:黄褐色,中密、饱和,上部颗粒较细,含泥质。					
	5	33.0	9.8	Z	泥质中砂:浅黄色-灰白色,中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	6	46.5	13.5	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色,中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	7	55.0	8.5	LC	含泥含砂粗砂:灰白-浅黄色,中密、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	8	59.0	4.0	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色,中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在40%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	9	71.0	12.0	LC	含泥泥质粗砂:灰白色-浅黄色,密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	10	75.0	4.0		强风化砂岩:灰白色,泥砂质结构,泥质结构大部分已破坏,部分风化成砂土状及块状,矿物成分显著变化。					
制图:陈玉刚 审核:王云										
外业日期: 2020.11.16-17										

图 5.1-7 6 号孔钻孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

工程名称		内乡智慧物流园		33.102093°		钻孔直径	φ100mm	稳定水位深度		
孔 号		7		111.884992°		初见水位深度		测量日期	2020.11.21	
地质时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩 性 描 述		标贯中点深度 (m)	标准贯入击数	备注	
	1	0.3	0.3		杂填土:褐黄色、松散、稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、砖块等。					
	2	10.7	10.4		粉质粘土:黄褐-棕红色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量灰白、灰绿色泥质团块,下部含砂量较大。					
	3	18.3	5.6		泥质粉砂:浅黄色-灰白色、稍密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成分主要以长石、石英为主。					
	4	22.4	6.1		含泥含砂砾粗砂:灰白-浅黄色、中密、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成分主要以长石、石英为主。					
	5	29.3	6.9		泥质粗砂:浅黄色-灰白色、中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成分主要以长石、石英为主。					
	6	40.0	10.7		粉质粘土:灰绿-灰白色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性尚,含铁锰质结核及少量灰绿色泥质团块。					
	7	44.6	4.6		含泥含砂砾粗砂:灰白-浅黄色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成分主要以长石、石英为主。					
	8	50.8	6.2		泥质粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在40%左右,砂粒成分主要以长石、石英为主。					
	9	55.0	4.2		粉质粘土:灰绿-灰白色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性尚,含铁锰质结核及少量灰绿色泥质团块。					
	10	70.0	15.0		强风化泥岩:棕红-灰白色,泥砂质结构,层状结构大部分已破坏,部分风化呈砂土状和块状,矿物成分已显著变化。					

制图: 陈玉朝

审核: 王宏

外业日期: 2020.11.20-21





图 5.1-8 7 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图

工程名称		内乡智慧物流园									
孔 号		8	孔 深	33.101068° 111.881212°		钻孔直径	110mm	稳定水位深度			
						初见水位深度		测量日期	2020.12.3		
地质时代	层 号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩 性 描 述			标高 中点深度 (m)	标准 实测数	附 注	
	1	5.4	5.4		杂填土:褐黄色、松散、稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、砖块等。						
	2	18.7	13.3		粉质粘土:黄褐-灰白色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,局部含泥质粗砂。						
	3	23.7	5.0		泥质粗砂:浅黄色-灰白色、中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。						
	4	26.5	2.8		粉质粘土:灰绿-灰白色、湿、坚硬,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高。						
	5	33.0	6.5		泥质粗砂:浅黄色-灰白色、中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分,泥质成分含量在30%左右,砂粒成份主要以长石、石英为主。						
	6	48.3	13.3		粉质粘土:黄褐-灰白色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量泥质团块。						
	7	47.8	1.5		含泥含砾粗砂:灰白、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,砂粒成份以长石、石英为主。						
	8	50.0	2.2		粉质粘土:灰白色、湿、坚硬,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高。						
	9	52.2	2.2		泥质粗砂:浅黄色-灰白色、密实、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,砂粒成份主要以长石、石英为主。						
	10	60.0	7.8		含泥含砾粗砂:灰白色-浅黄色、密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。						
制图:陈玉朝 审核:王云											
外业日期: 2020.11.30-12.3											

图 5.1-9 8 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图

工程名称		内乡晋豫物流园					
孔号	9	经纬度	33.096666°		钻孔直径	110mm	稳定水位深度
			111.881824°		初见水位深度		测量日期 2020.11.22
地质时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩性描述		备注
	1	0.3	0.3		粉质土: 褐黄色, 松散, 稍湿, 以粘性土为主, 含少量植物根系、碎块等。		
	2	4.0	3.7		粉质粘土: 黄褐-褐黄色, 湿, 硬塑, 切面光滑, 无显著反应, 有光泽, 含铁锰质结核及钙质结核。		
	3	6.0	2.0	Z	泥质中砂: 黄褐-浅黄色, 稍密, 湿, 上部颗粒较细, 泥质含量较大, 含少量砾石。		
	4	7.8	1.8	LC	含泥含砾粗砂: 黄褐-浅黄色, 中密, 饱和, 上部颗粒较细, 泥质含量较少, 局部砾石成分富集。		
	5	10.0	2.2		粘土: 黄褐-褐黄色, 湿, 硬塑, 切面光滑, 无显著反应, 有光泽, 干强度及韧性中等。		
	6	34.0	24.0	C	泥质粗砂: 浅黄色-灰白色, 密实, 饱和, 上部颗粒较细, 含少量泥质成分, 局部含少量砾石成分, 泥质成分含量在30%左右, 砂粒成份主要以长石、石英为主。		
	7	40.0	6.0	LC	含泥含砾粗砂: 灰白-浅黄色, 密实, 饱和, 上部颗粒较细, 局部泥质含量较大, 局部砾石成分富集, 砂粒成份主要以长石、石英为主。		
	8	55.0	15.0		强风化砂岩: 棕红-灰白色, 泥砂质结构, 组织结构大部分已破坏, 部分风化成砂土状, 块状, 矿物成分显著变化。		

制图: 陈玉朝

审核: 王云

外业日期: 2020.11.20-22

图 5.1-10 9 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图





工程名称		内乡智慧物流园									
孔号	10	孔口高程	33.095128°		钻孔直径	110mm		稳定水位深度	测量日期	2020.11.19	
			111.885316°			初见水位深度					
地层时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩性描述				标高 中点深度 (m)	标高 测点	附注
	1	1.0	1.0		粉质土：褐黄色，松散、稍湿，以粘性土为主，含少量植物根系，碎块等。						
	2	12.0	11.0		粉质粘土：褐黄-棕红色，湿、硬塑，切面光滑，无摇震反应，有光泽，含铁锰质结核及钙质结核，局部含泥质粗砂透镜体。						
	3	16.0	4.0	C	泥质粗砂：浅黄色-黄褐色，密实、饱和，上部颗粒较细，含少量泥质成分，局部含少量砾石成分，泥质成分含量在30%左右，砂粒成份主要以长石、石英为主。						
	4	17.5	1.5	LC	含泥含砂砾粗砂：浅黄色，中密、饱和，上部颗粒较细，局部泥质含量较大，局部砾石成分富集。						
	5	36.0	18.5	C	泥质粗砂：浅黄色-黄褐色，中密、饱和，上部颗粒较细，含少量泥质成分，局部含少量砾石成分，泥质成分含量在30%左右，砂粒成份主要以长石、石英为主。						
	6	40.0	4.0		粉质粘土：灰白-灰绿色，湿、坚硬，切面光滑，无摇震反应，有光泽，含铁锰质结核及钙质结核，局部含泥质粗砂透镜体；干强度及韧性高。						
	7	48.0	8.0	LC	含泥含砂砾粗砂：灰白-浅黄色，密实、饱和，上部颗粒较细，局部泥质含量较大，局部砾石成分富集，砂粒成份主要以长石、石英为主。						
	8	54.0	6.0		强风化泥岩：棕红-灰白色，泥砂质结构，组织疏松，大部分已破碎，部分风化成砂土状，块状，矿物成分显著变化。						
制图：陈玉朝 审核：王云											
外业日期：2020.11.18-19											

图 5.1-11 10 号孔钻孔柱状图

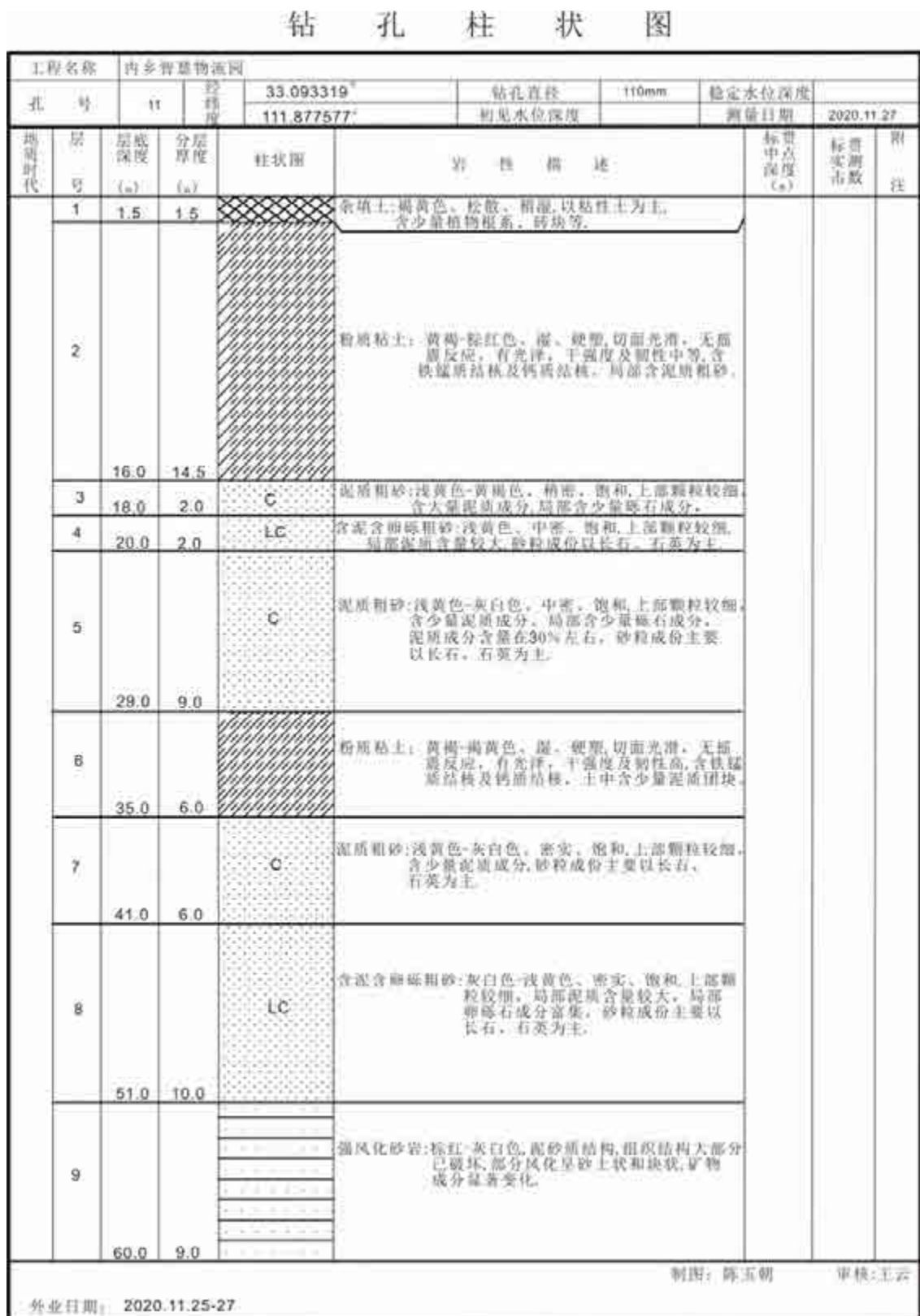


图 5.1-12 11 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图

工程名称		内乡青墓物流园		33.092444°		钻孔直径	110mm	稳定水位深度		
孔号	12	12	12	111.881896°	111.881896°	初见水位深度		测量日期	2020.11.26	
地层时代	层号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩性描述:			标高 中点深度 (m)	标高 测点	附注
	1	0.4	0.4		杂填土:褐黄色、松散、潮湿,以粘性土为主,含少量植物根系、砖块等。					
	2				粉质粘土:黄褐-灰白色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,局部含泥质粗砂。					
	3	8.7	8.3							
	4	9.5	0.8		细砂:黄褐色、松散、湿,上部含少量泥质成分。					
	5	14.5	5.0	LC	含泥含砾粗砂:灰白-浅黄色,稍密、饱和,上部颗粒较粗,局部泥质含量较大,砂粒成份以长石、石英为主。					
	6	17.5	3.0	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色,中密、饱和,上部颗粒较细,含大量泥质成分,局部含少量砾石成分。					
	7	25.5	8.0		粉质粘土:灰白-灰绿色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量泥质团块。					
	8	27.5	2.0	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色,中密、饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部含少量砾石成分。					
	9	34.4	6.9		粉质粘土:黄褐-灰白色、湿、硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高,含铁锰质结核及钙质结核,土中含少量泥质团块。					
	10	43.2	8.8	LC	含泥含砾粗砂:灰白色-浅黄色,密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集,砂粒成份主要以长石、石英为主。					
	11	44.6	1.4	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色,密实、饱和,泥质成分40%。					
	12	46.2	1.6	LC	含泥含砾粗砂:灰白色,密实、饱和,上部颗粒较细,局部泥质含量较大,局部砾石成分富集。					
	13	53.0	6.8		全风化砂岩:黄褐-灰白色,组织结构已破坏,风化裂隙发育,岩石极破碎,岩芯呈砂状,矿物成分已显著变化。					
		60.0	7.0		强风化砂岩:棕红-灰白色,泥砂质结构,组织结构大部分已破坏,部分风化呈砂土状和块状,矿物成分显著变化。					

制图:陈玉朝

审核:王云

外业日期: 2020.11.25-26

图 5.1-13 12 号孔钻孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

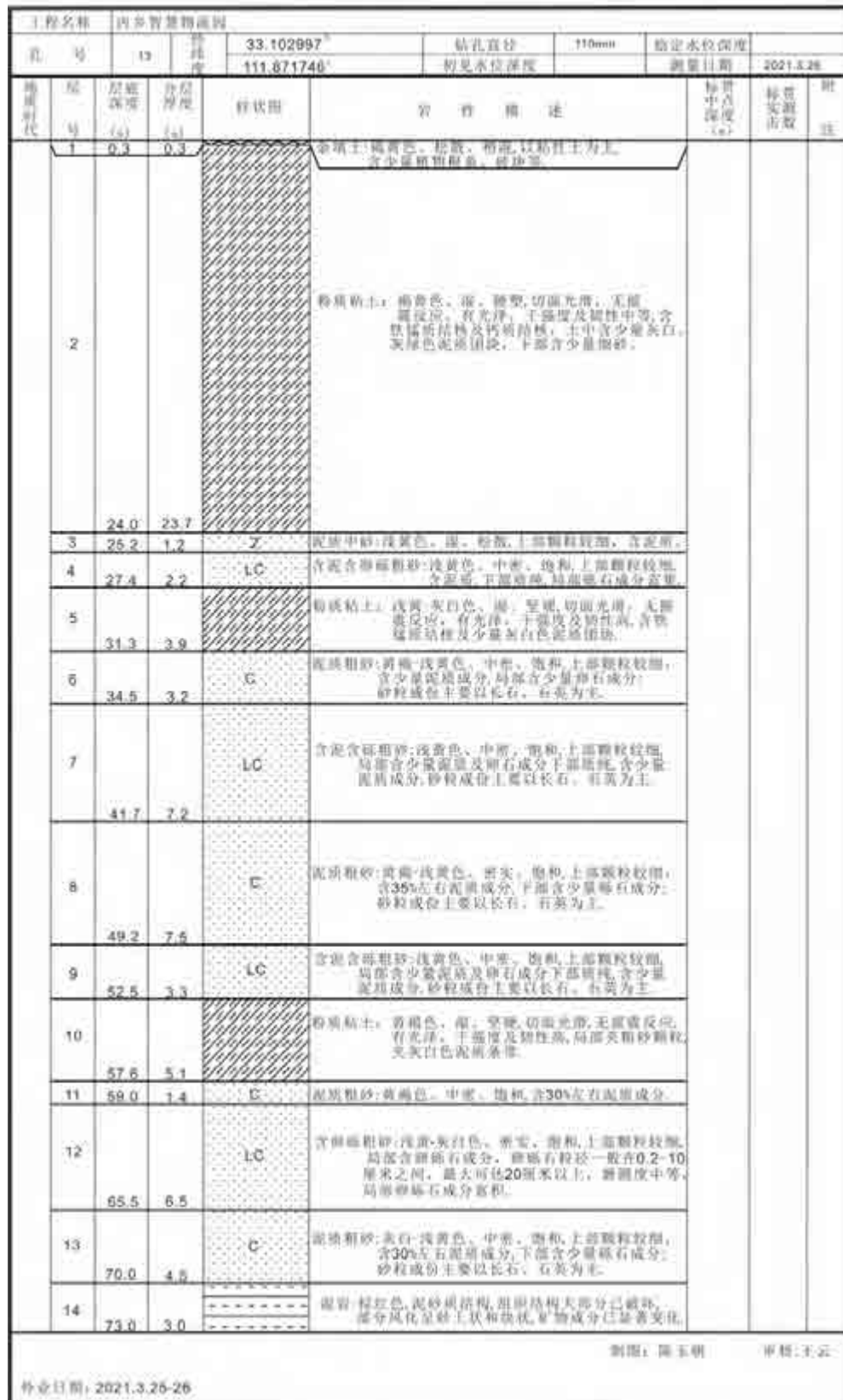


图 5.1-14 13 号孔钻孔柱状图

钻孔柱状图

工程名称 内乡智慧物流园									
孔 号	14	孔 深	33.102545°		钻孔直径	110mm	稳定水位深度		
			111.876029°		初见水位深度		测量日期	2021.3.24	
地质时代	层 号	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩 性 描 述		标高 中点 深度 (m)	标高 测 点 数	附 注
	1	0.3	0.3		杂填土:褐黄色,松散,稍湿,以粘性土为主,含少量植物根系、碎砖等。				
	2	14.7	14.4		粉质粘土:黄褐-褐黄色,湿,硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性中等,含铁锰质斑点及灰白色泥质条纹,下部含少量细砂。				
	3	17.0	2.3	LC	含砾含砾粗砂:浅黄色,中密,饱和,上部颗粒较细,含少量泥质成分,局部砾石成分聚集。				
	4	26.6	9.8		粉质粘土:黄褐-棕红色,湿,硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高,含铁锰质结核及灰白色泥质团块。				
	5	35.0	8.4	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色,中密,饱和,上部颗粒较细,含30%泥质成分,局部含少量砾石成分,砂粒成份主要以长石、石英为主,局部夹粉质粘土薄层。				
	6	37.8	2.8		粉质粘土:灰白色,湿,硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高,含铁锰质结核。				
	7	40.2	2.4	C	泥质粗砂:浅黄色-灰白色,密实,饱和,上部颗粒较细,含25%泥质成分,下部含少量砾石成分。				
	8	52.0	11.8		粉质粘土:黄褐-棕红色,湿,硬塑,切面光滑,无摇震反应,有光泽,干强度及韧性高,含铁锰质结核及灰白色泥质团块,下部含风化泥岩成分较多。				

制图:陈玉朝

审核:王云

外业日期: 2021.3.24

图 5.1-15 14 号孔钻孔柱状图

钻 孔 柱 状 图

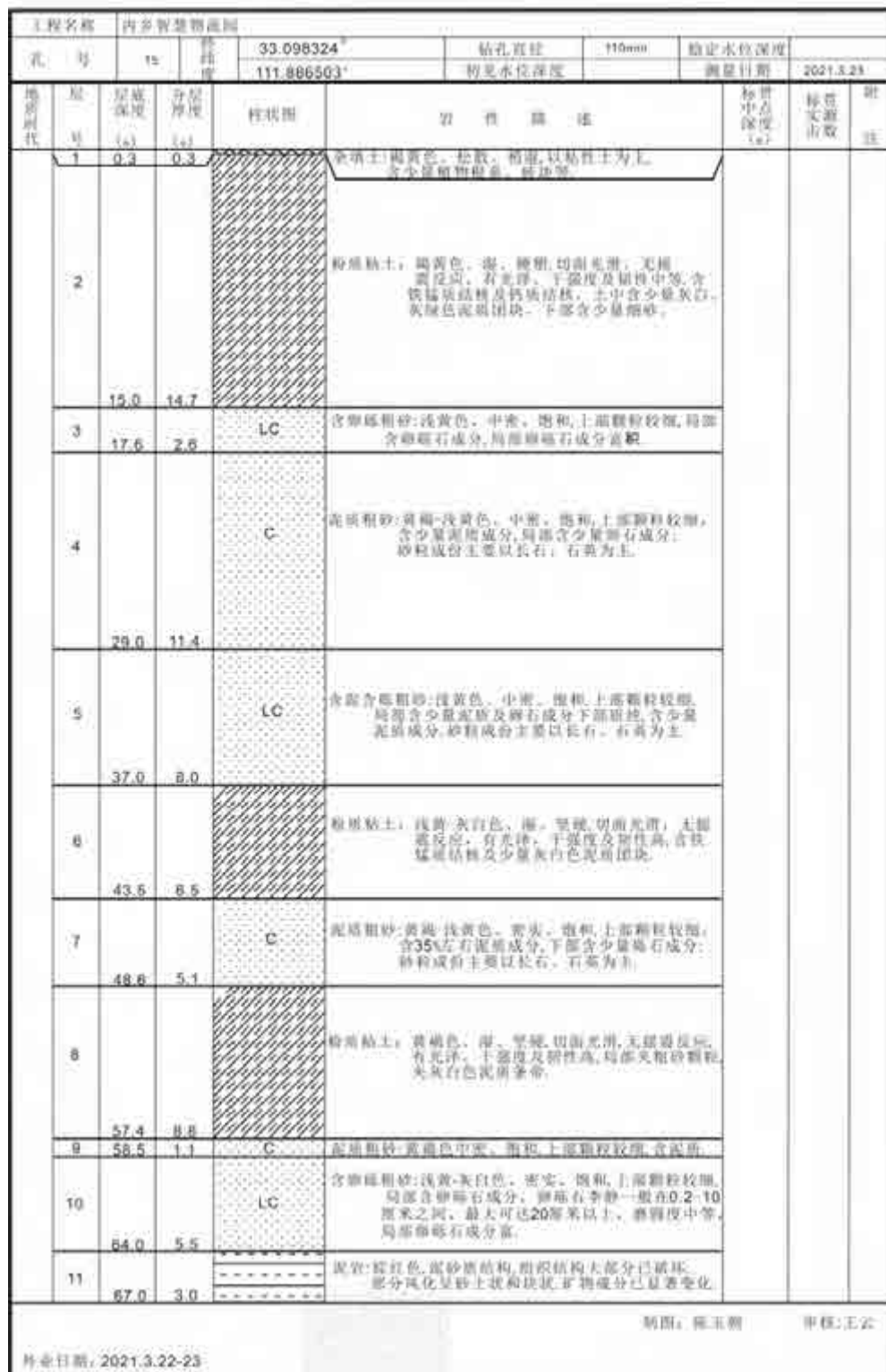


图 5.1-16 15 号孔钻孔柱状图

5.2 钻孔波速测试

本项目钻孔剪切波速测试所采用的仪器为 XG-I 型悬挂式波速测井仪, 仪器

主要技术指标如下：

动态范围：96dB；前放增益：18~60dB；道一致性： $\leq 0.1\text{ms}$ ；通道数：1~3道；采样间隔：0.02 ms ~4ms；采样点数：512-4096(可选 512、1024、2048、4096)；仪器接收信号的探头：采用三分量井中检波器。

测试方法：把井中悬挂式探头及连接电缆、信号电缆、触发电缆放入探井中，按动激振源，井中激发，自动接受记录三分量检波器固定在井中某一深度的剪切波。11个孔的波速测试成果见图 5.2-1~图 5.2-15。

根据波速测试成果，15个钻孔 20 米内的等效波速分别为 194.2m/s, 208.0m/s, 211.3m/s, 199.0m/s, 206.6m/s, 196.4m/s, 210.3m/s, 199.0m/s, 211.9m/s, 207.6m/s, 194.6m/s, 213.1m/s, 201.9m/s, 205.9m/s, 203.8m/s；覆盖层厚度属于 3-50m 范围。根据建筑抗震设计规范 4.1.6 条，本工程场地的场地类别为 II 类。

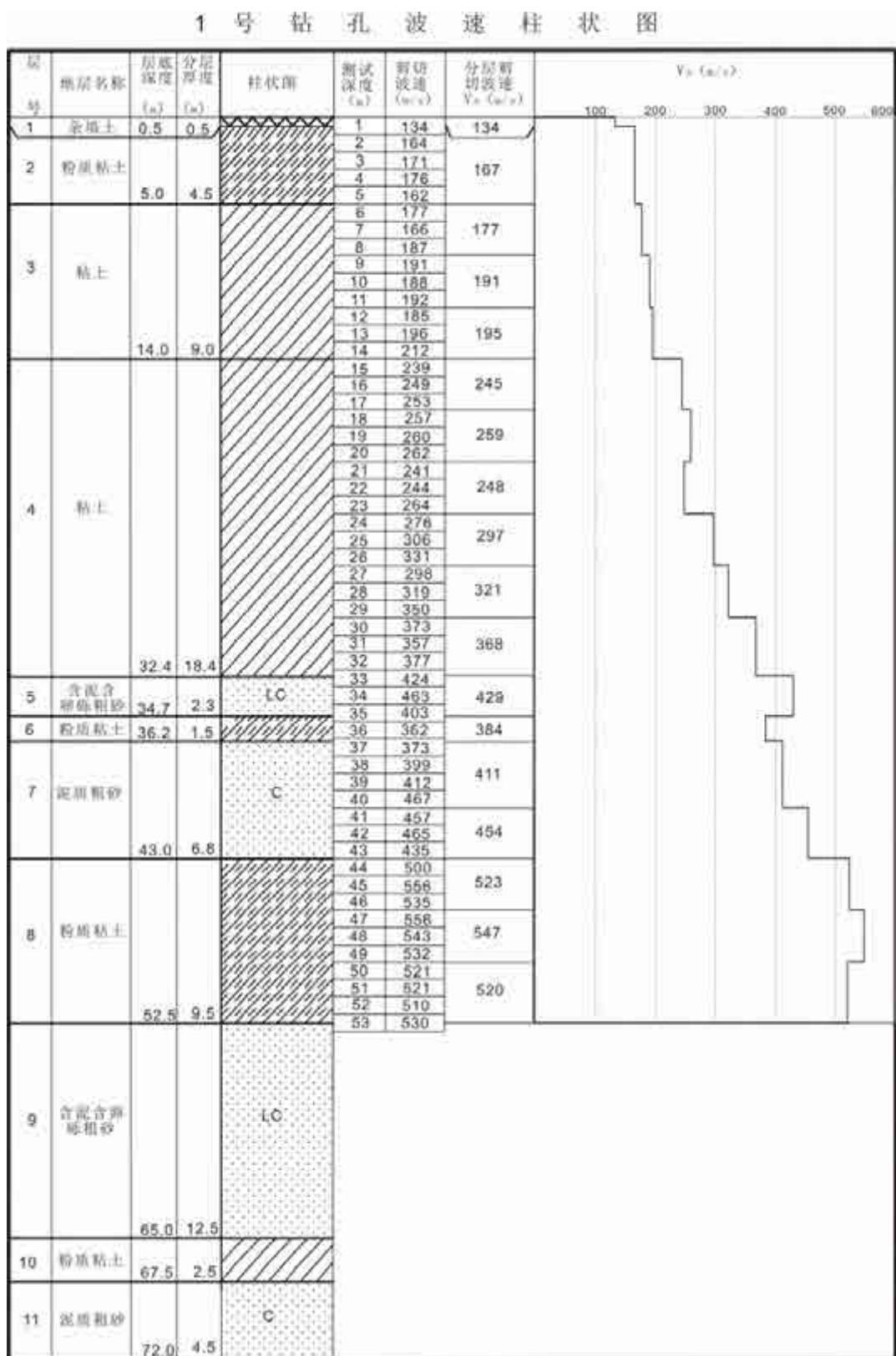


图 5.2-1 工程场地 1 号波速测试孔剪切波速测试结果

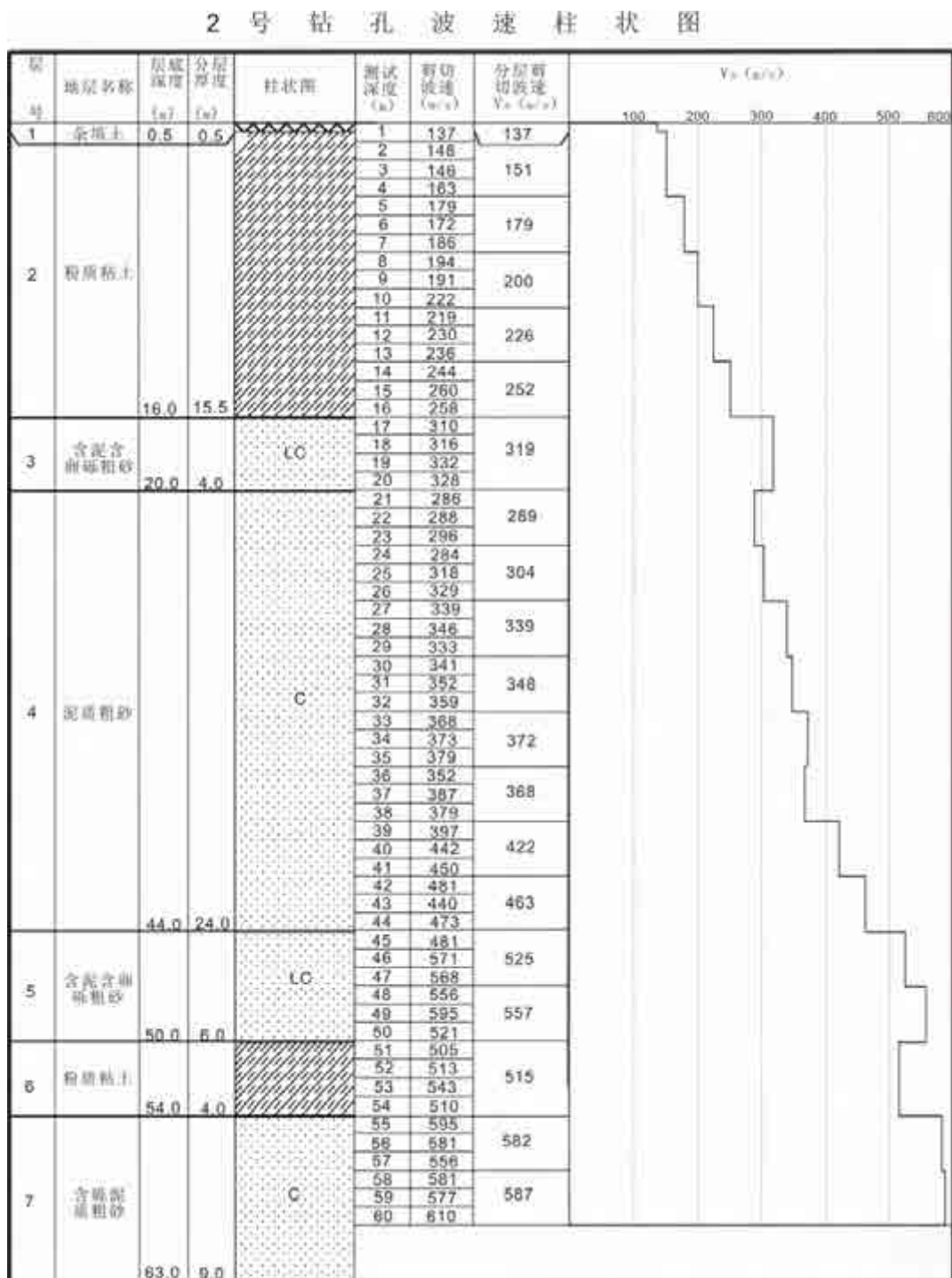


图 5.2-2 工程场地 2 号波速测试孔剪切波速测试结果

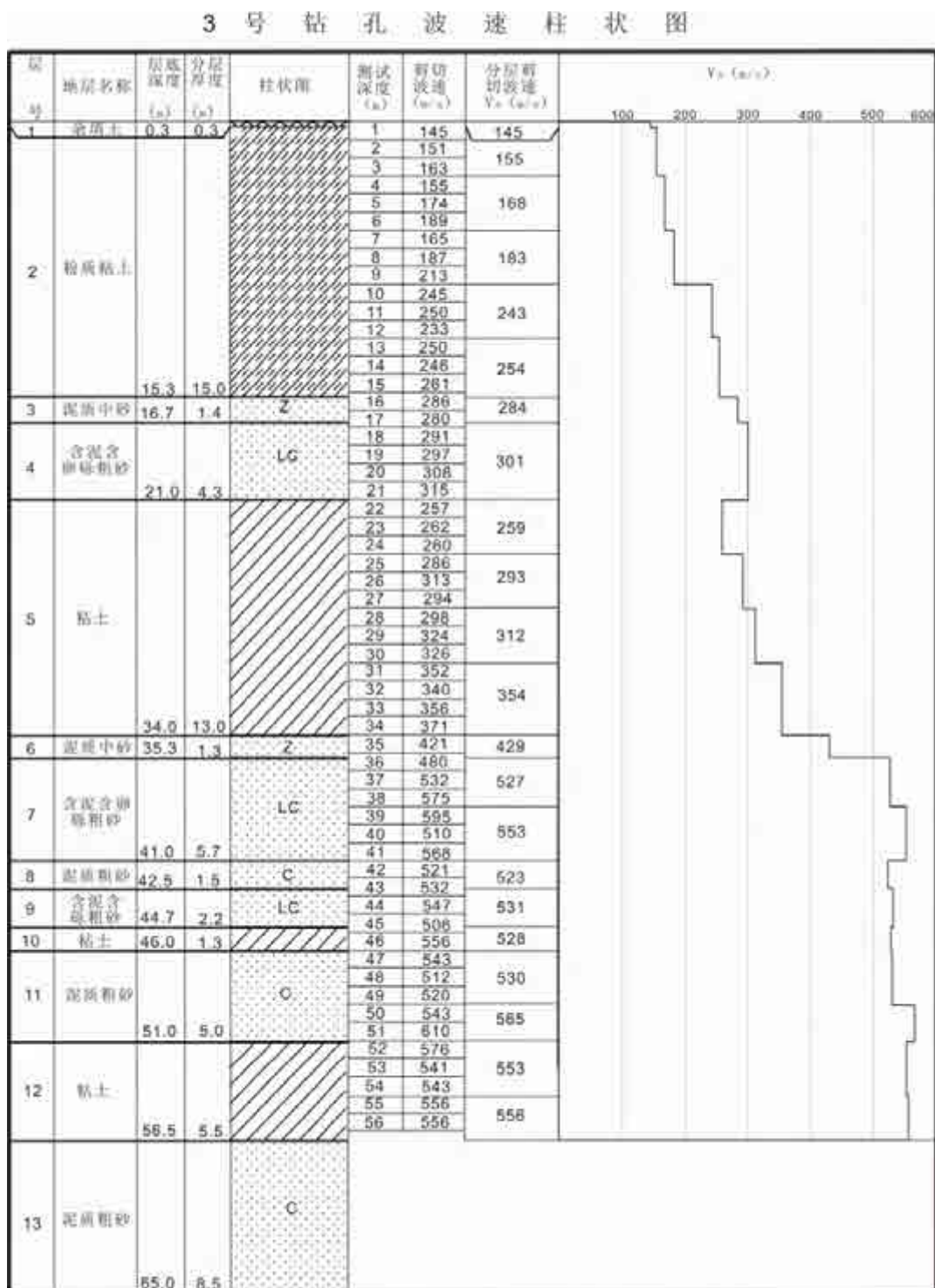


图 5.2-3 工程场地 3 号波速测试孔剪切波速测试结果

4 号 钻 孔 波 速 柱 状 图

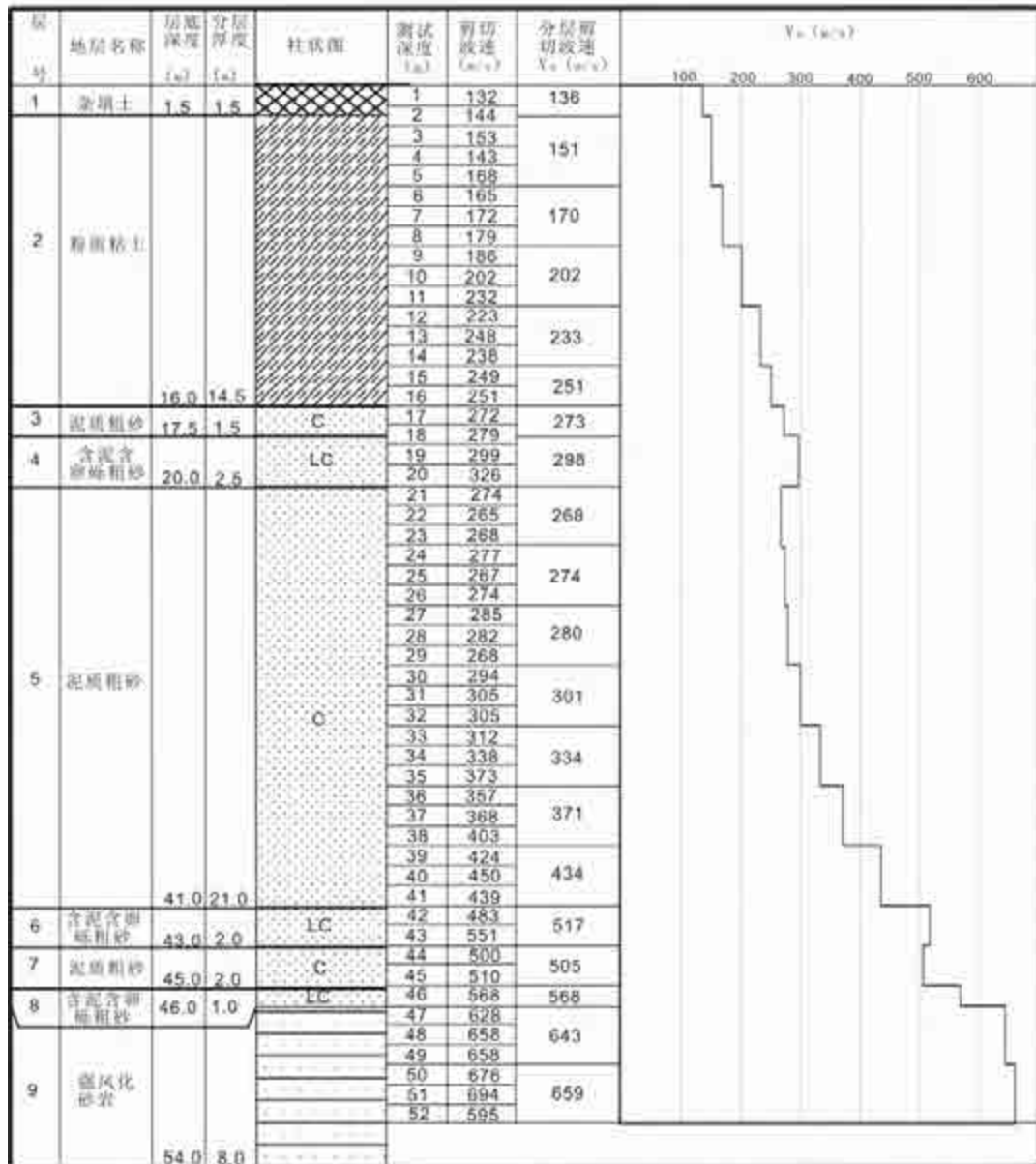


图 5.2-4 工程场地 4 号波速测试孔剪切波速测试结果

5 号 钻 孔 波 速 柱 状 图

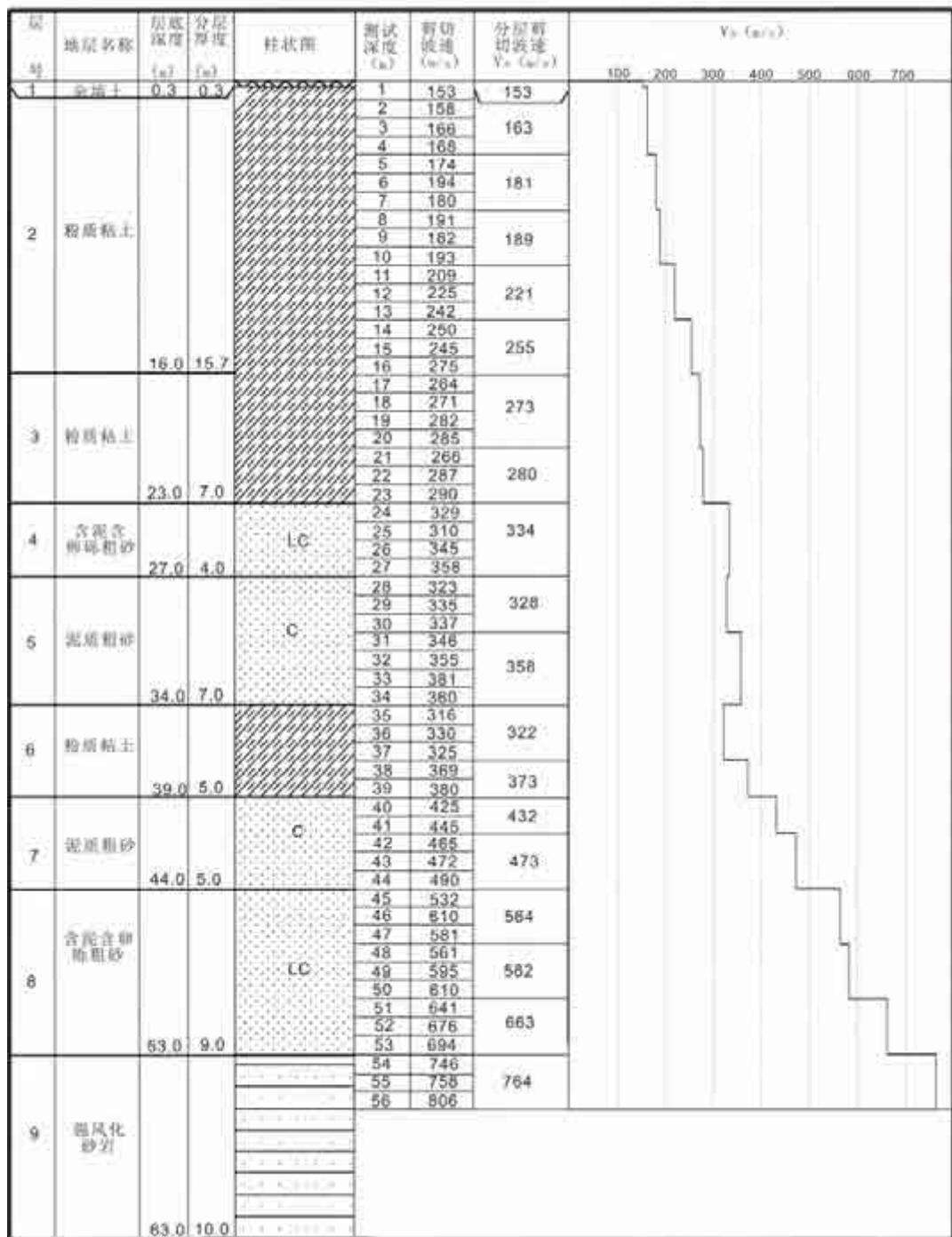


图 5.2-5 工程场地 5 号波速测试孔剪切波速测试结果

6 号 钻 孔 波 速 柱 状 图

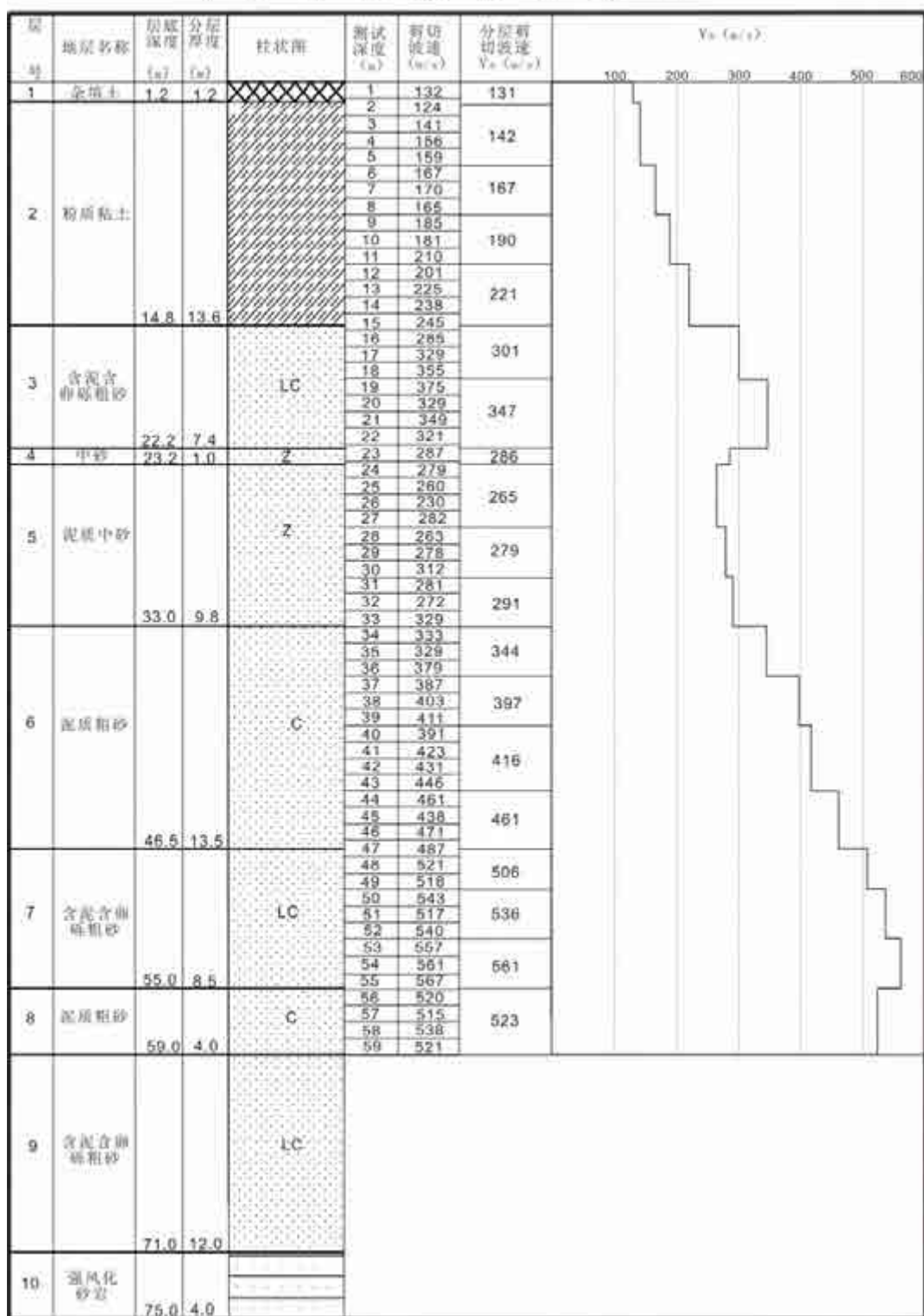


图 5.2-6 工程场地 6 号波速测试孔剪切波速测试结果

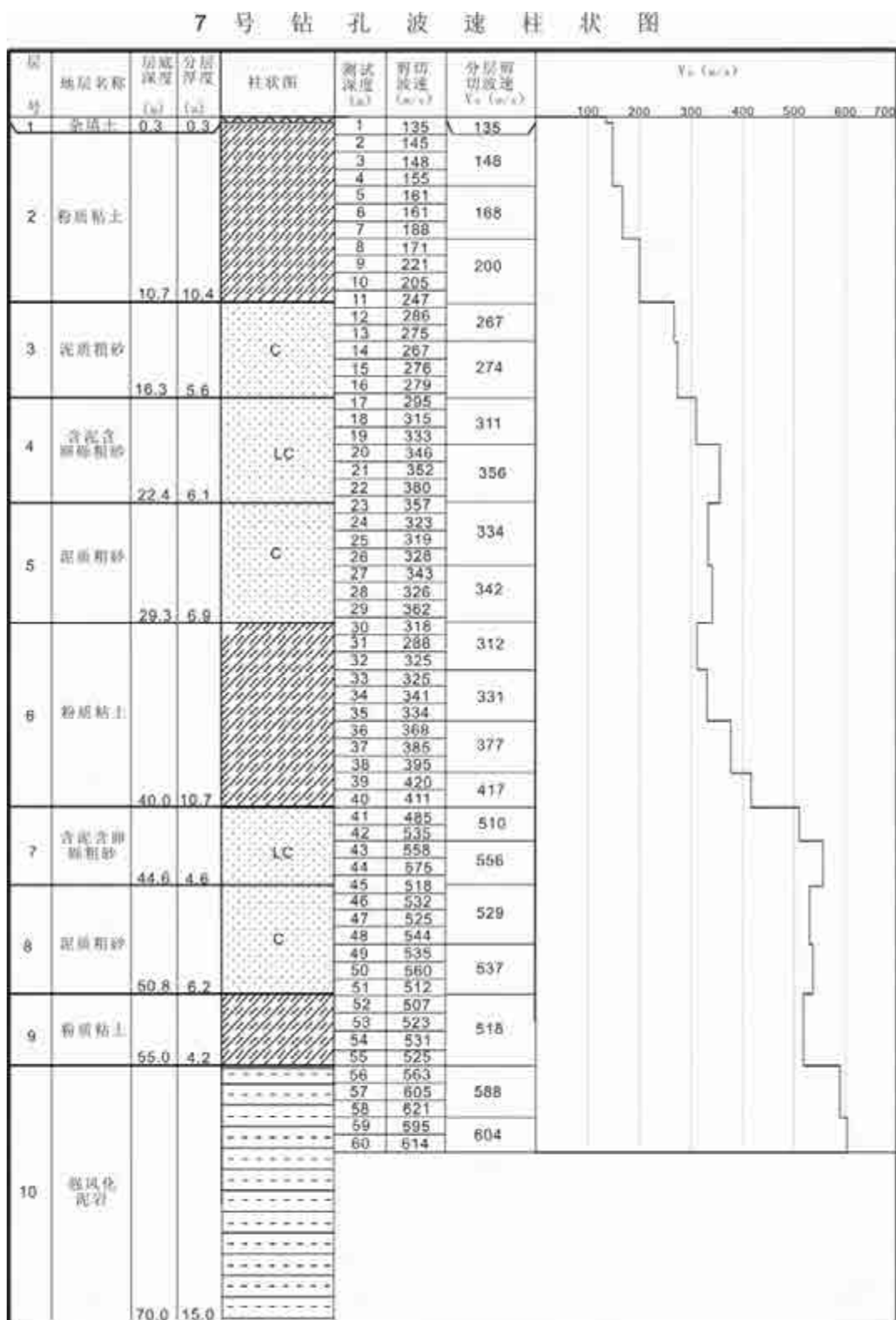


图 5.2-7 工程场地 7 号波速测试孔剪切波速测试结果

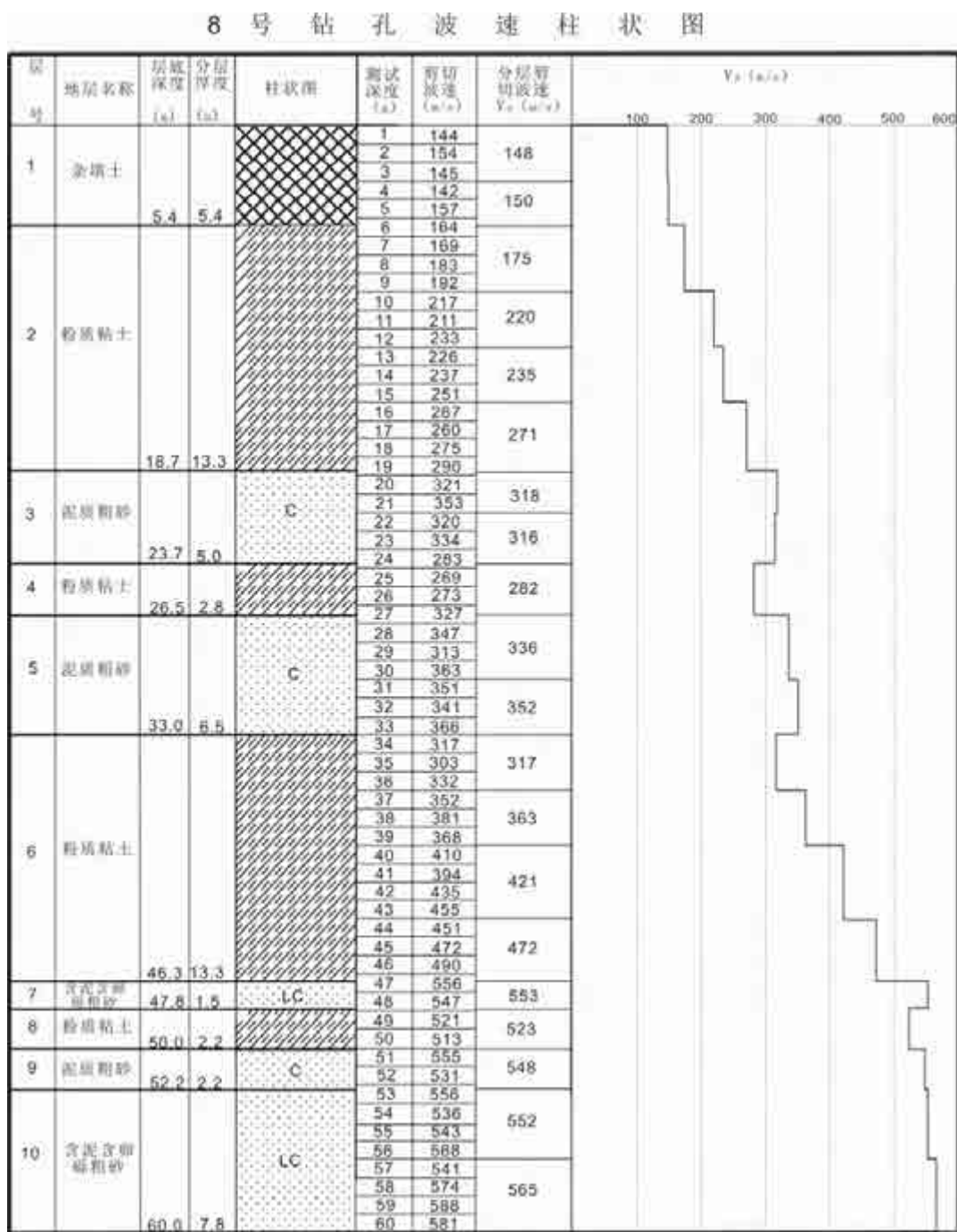


图 5.2-8 工程场地 8 号波速测试孔剪切波速测试结果

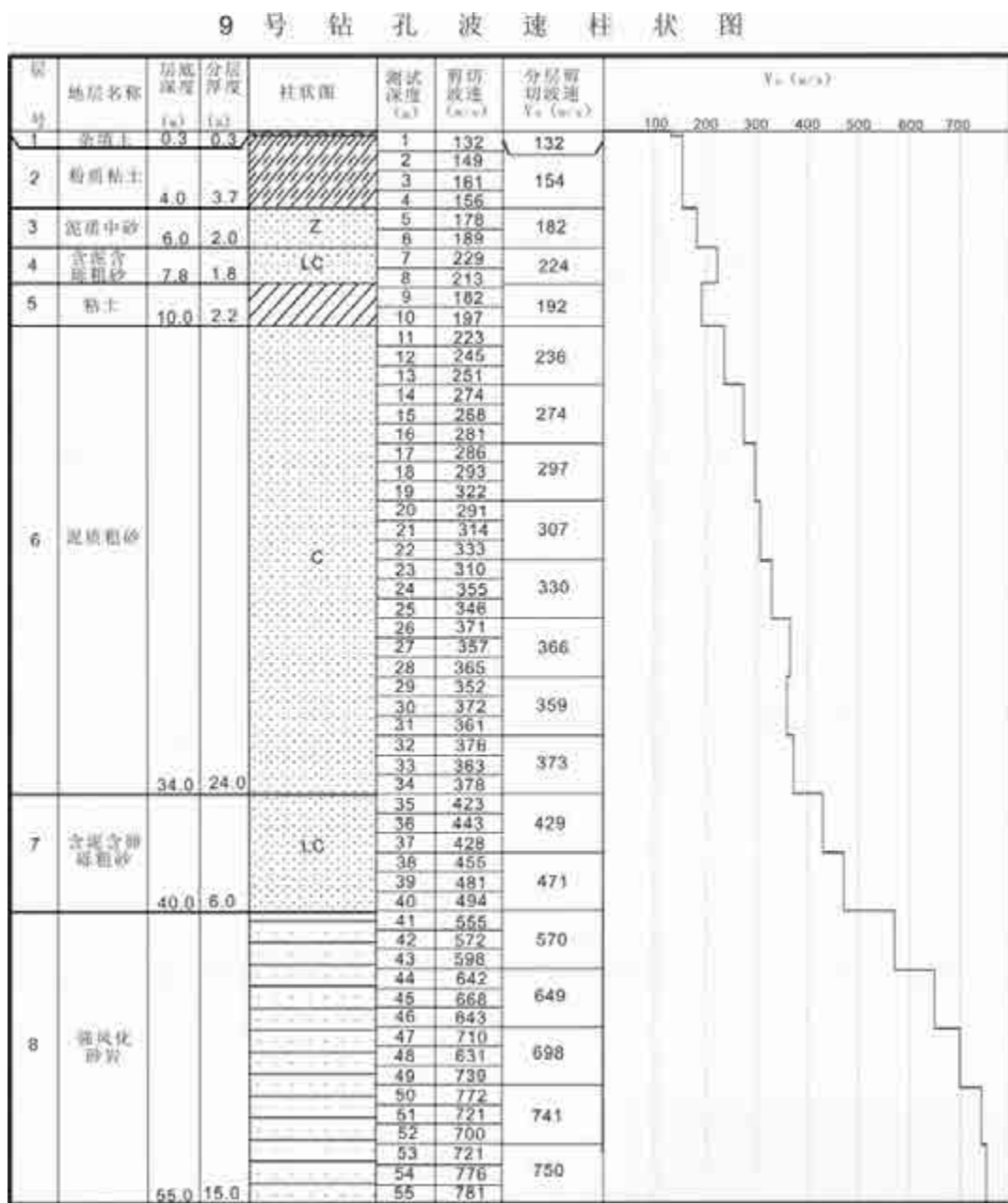


图 5.2-9 工程场地 9 号波速测试孔剪切波速测试结果

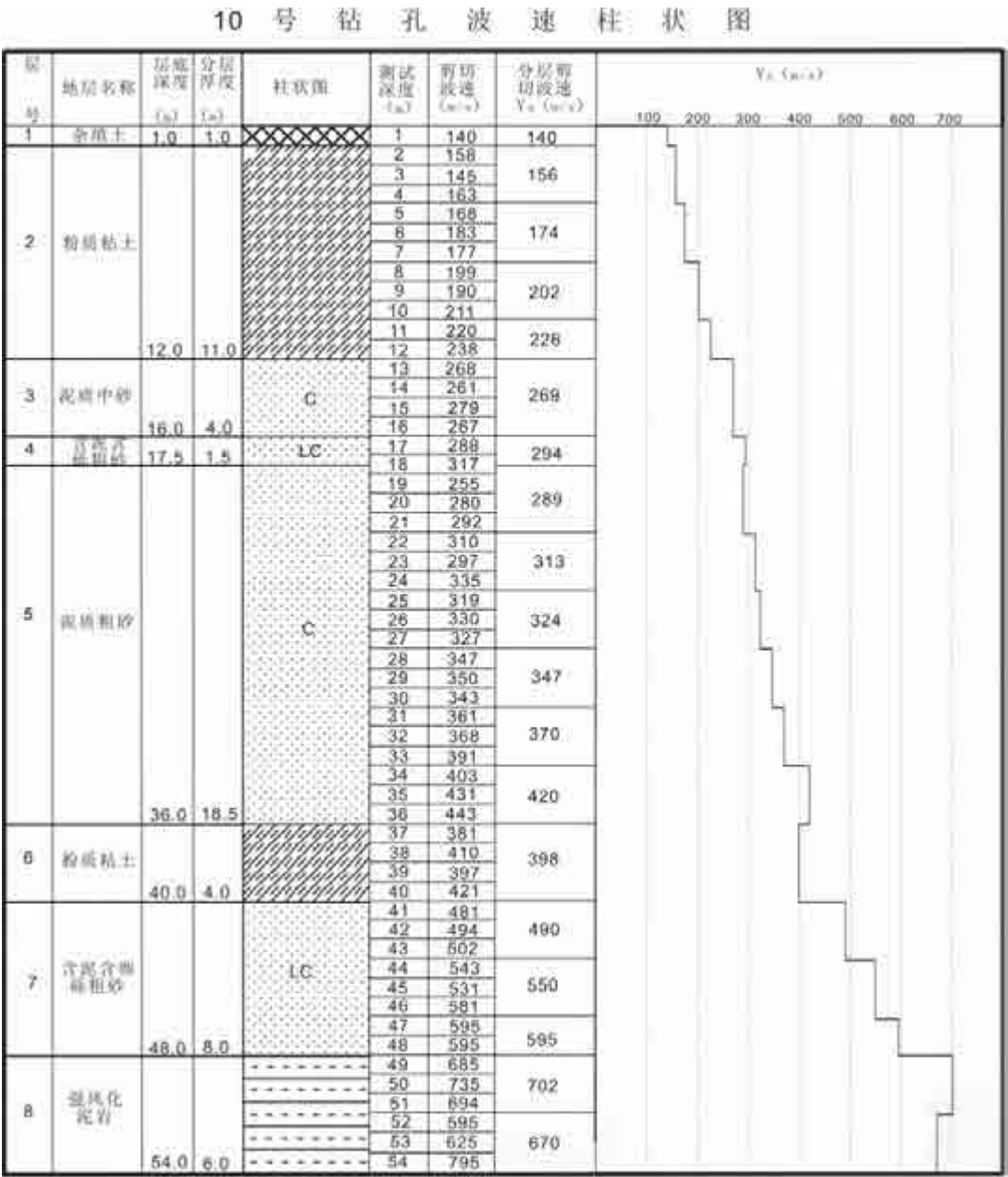


图 5.2-10 工程场地 10 号波速测试孔剪切波速测试结果

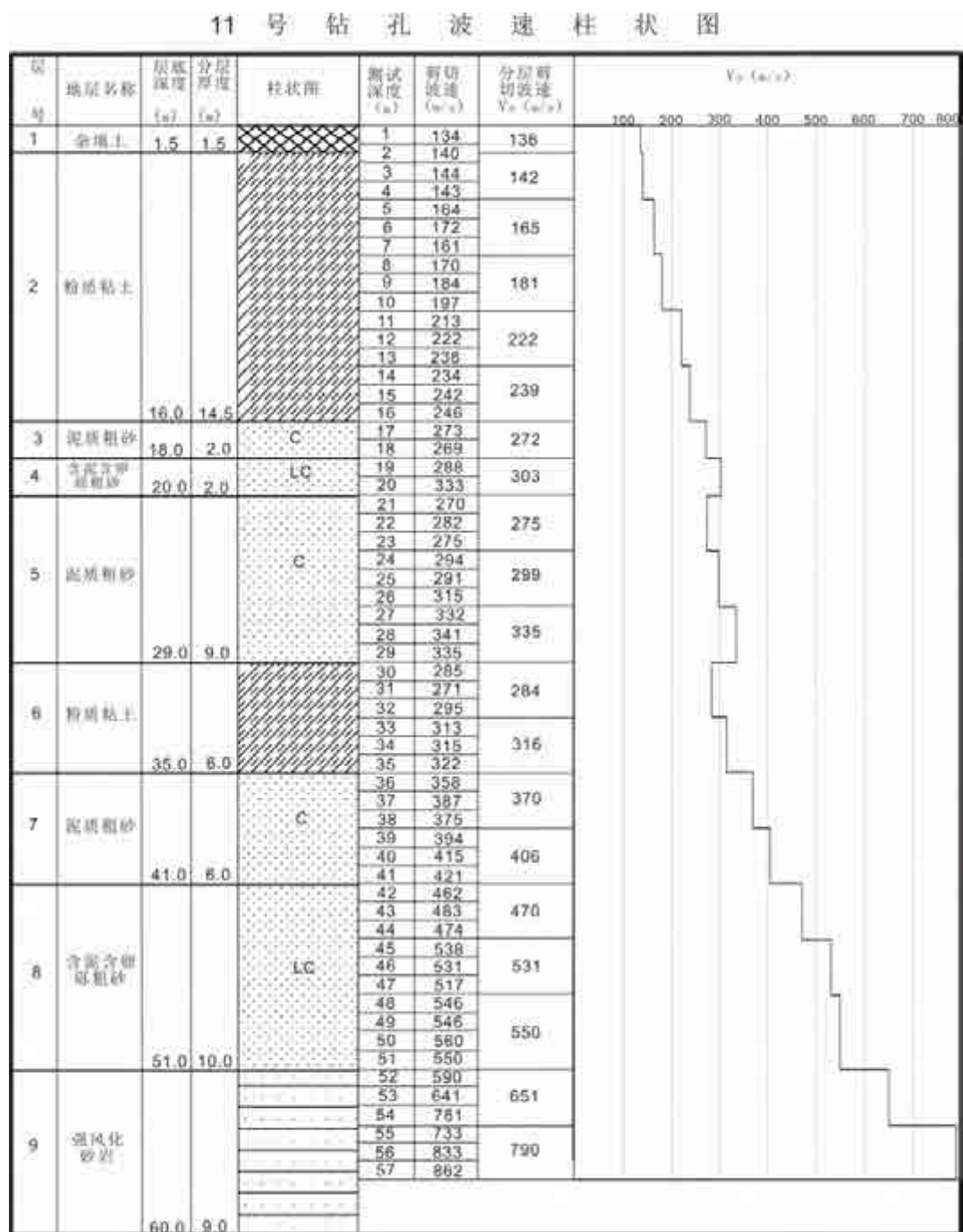


图 5.2-11 工程场地 11 号波速测试孔剪切波速测试结果

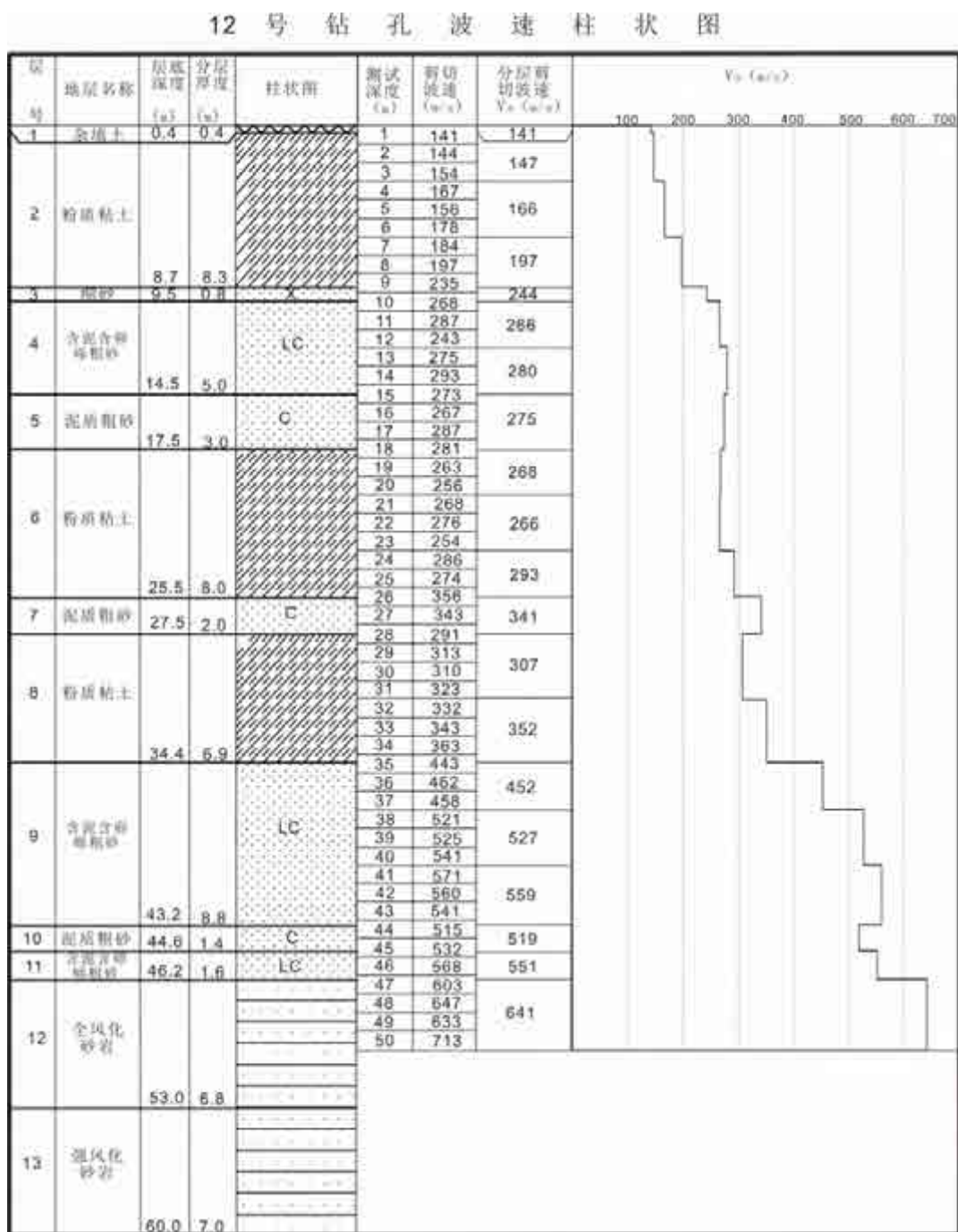


图 5.2-12 工程场地 12 号波速测试孔剪切波速测试结果

13 号 钻 孔 波 速 柱 状 图

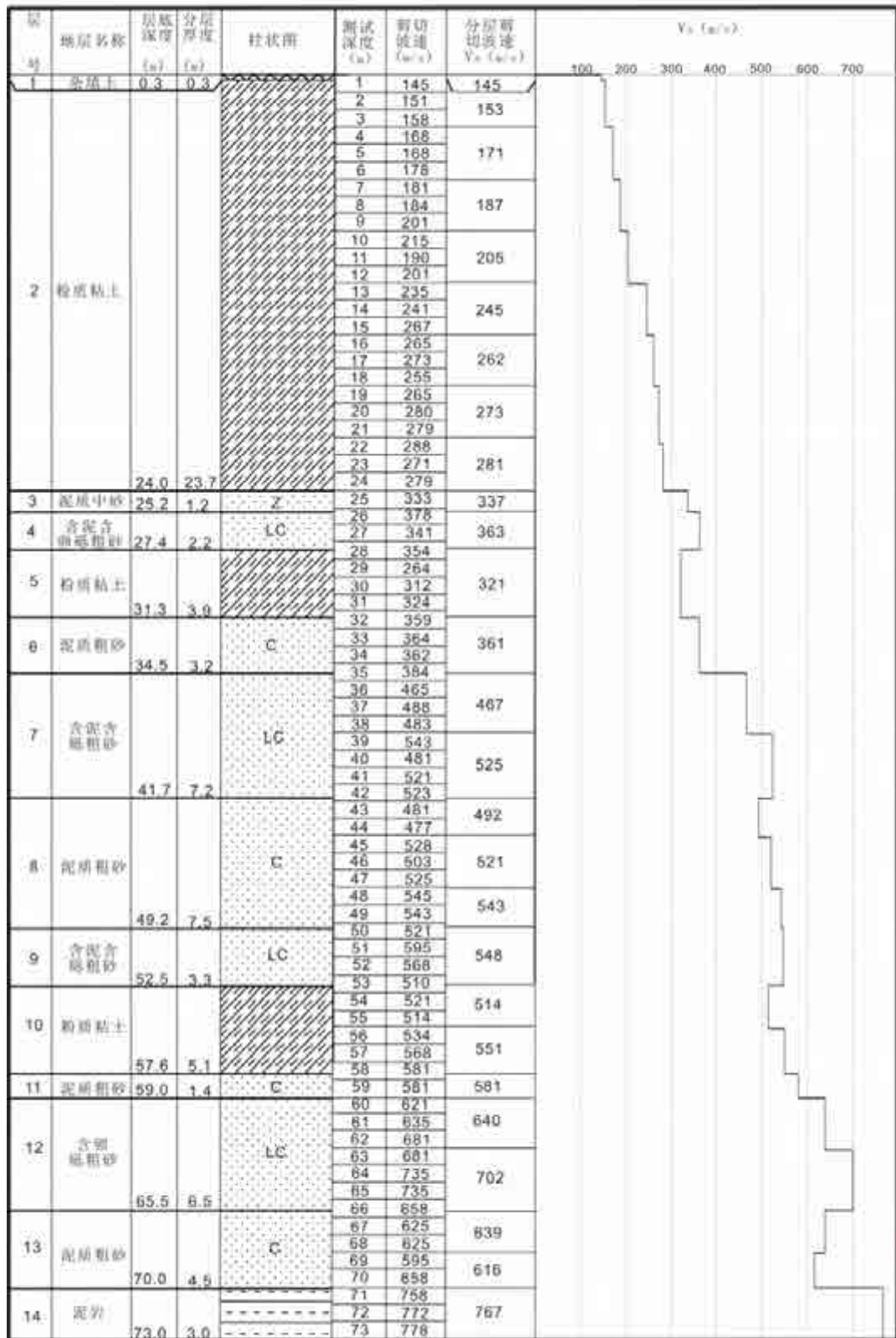


图 5.2-13 工程场地 13 号波速测试孔剪切波速测试结果

14 号 钻 孔 波 速 柱 状 图

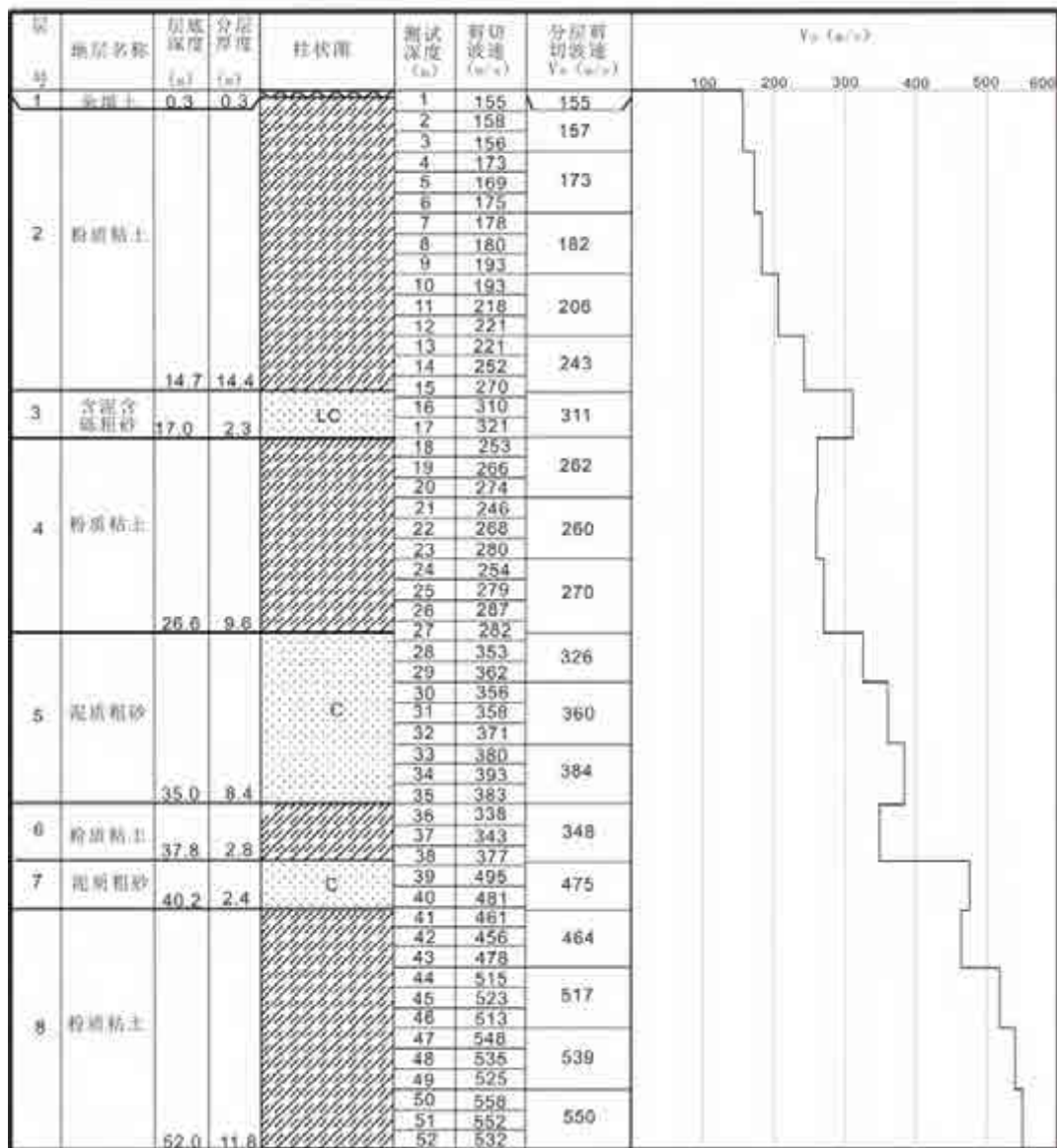


图 5.2-14 工程场地 14 号波速测试孔剪切波速测试结果

15 号 钻 孔 波 速 柱 状 图

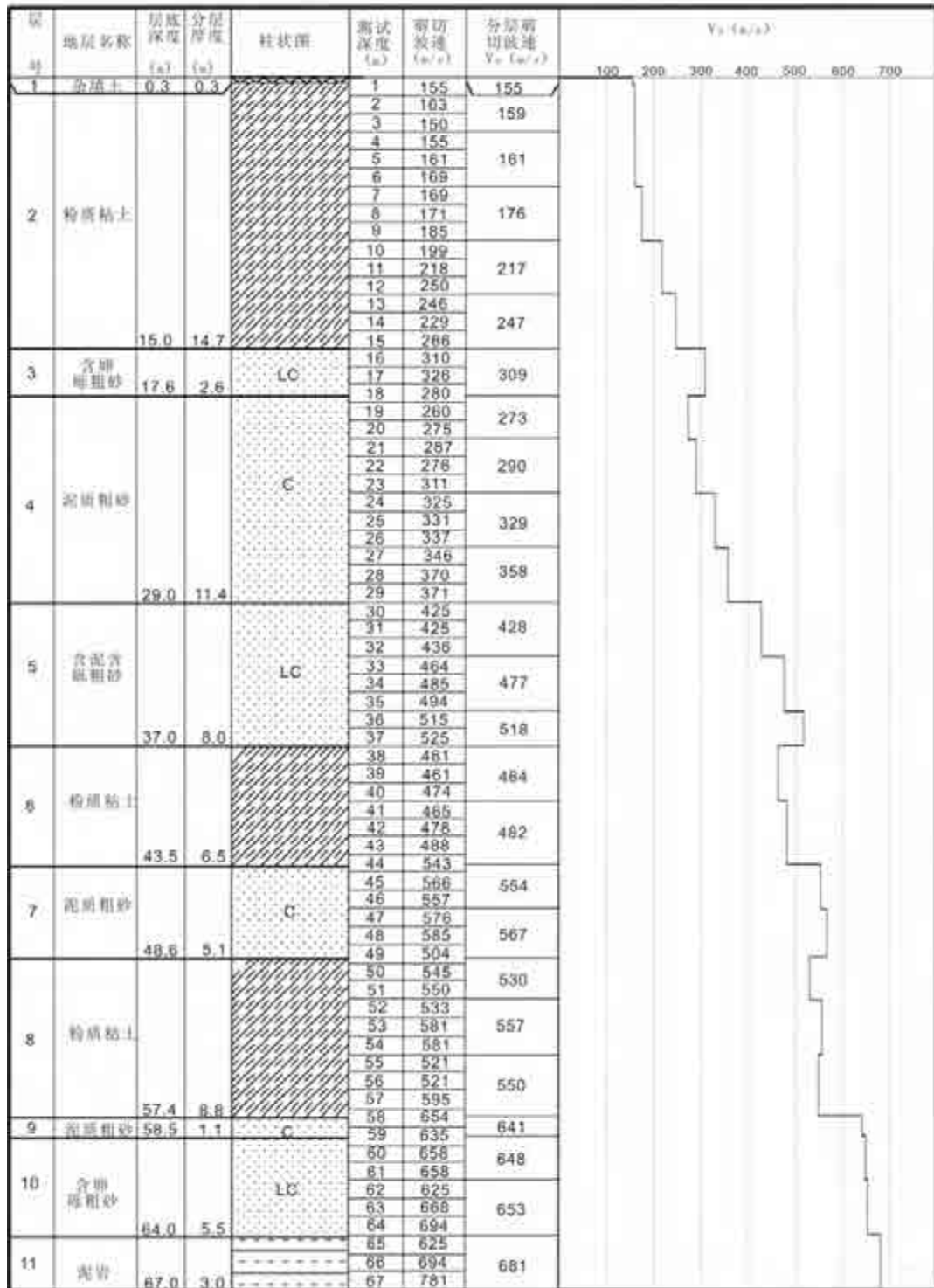


图 5.2-15 工程场地 15 号波速测试孔剪切波速测试结果

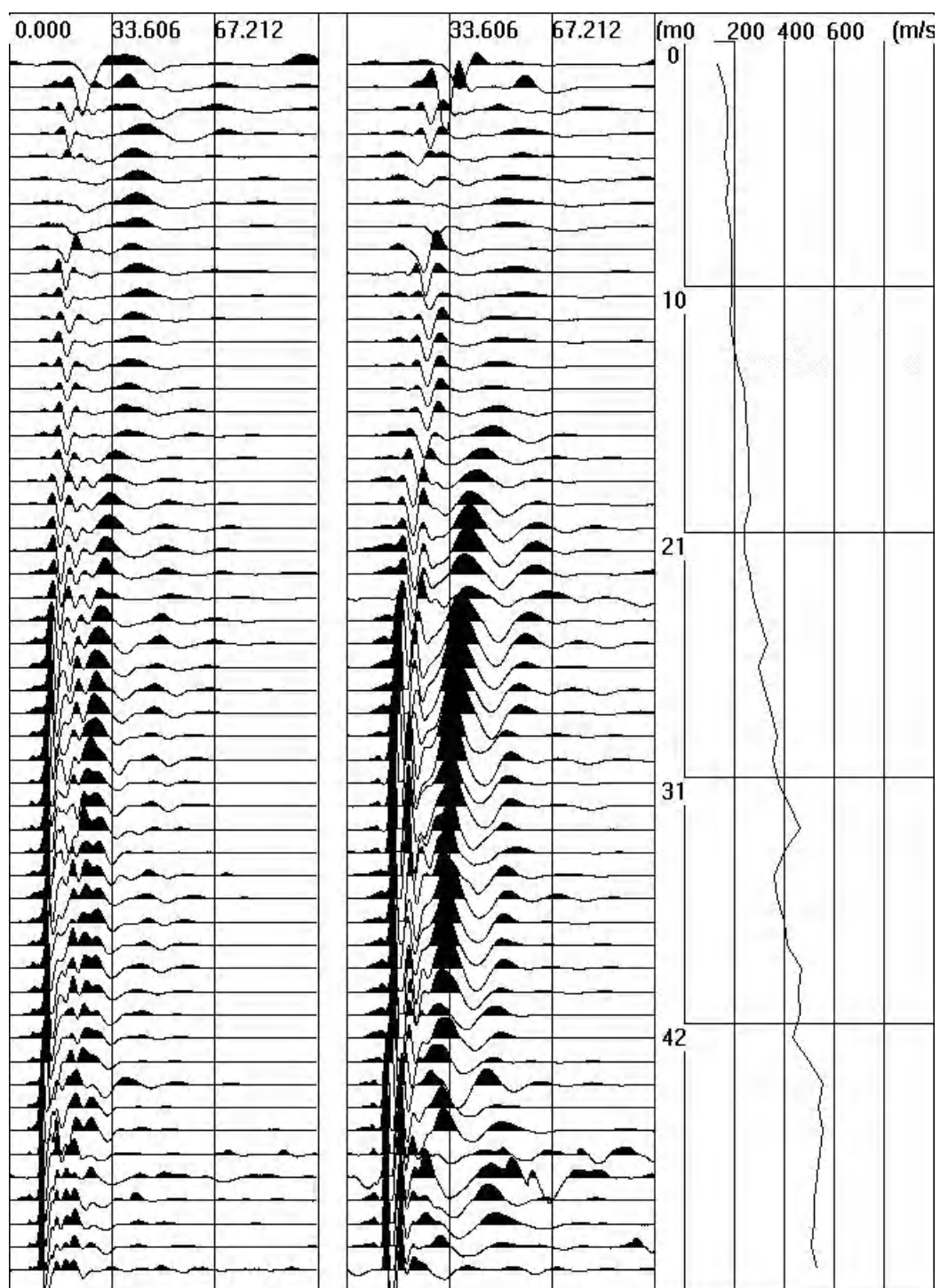


图 5.2-16 工程场地 1 号孔波速测试波列图

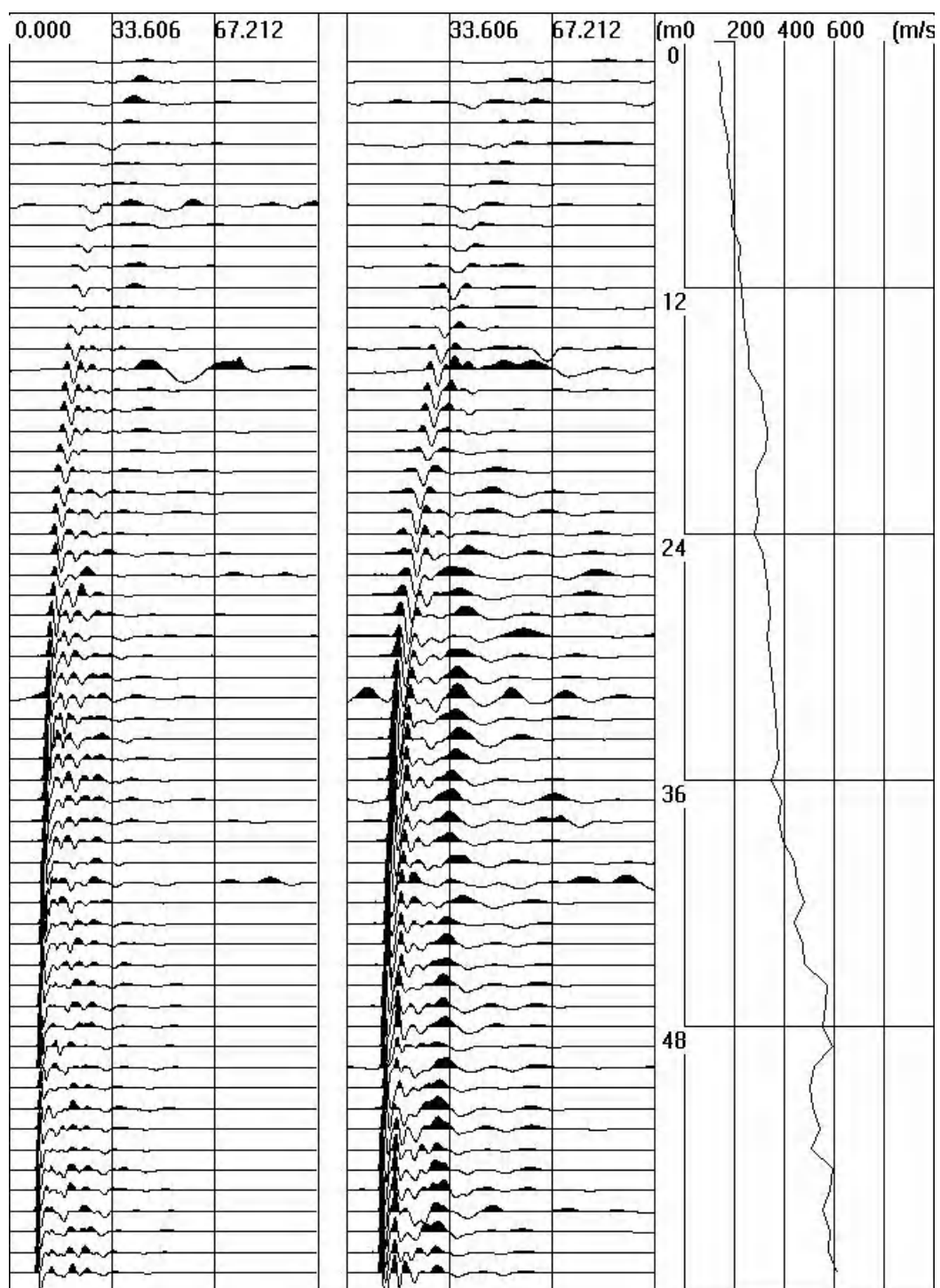


图 5.2-17 工程场地 2 号孔波速测试波列图

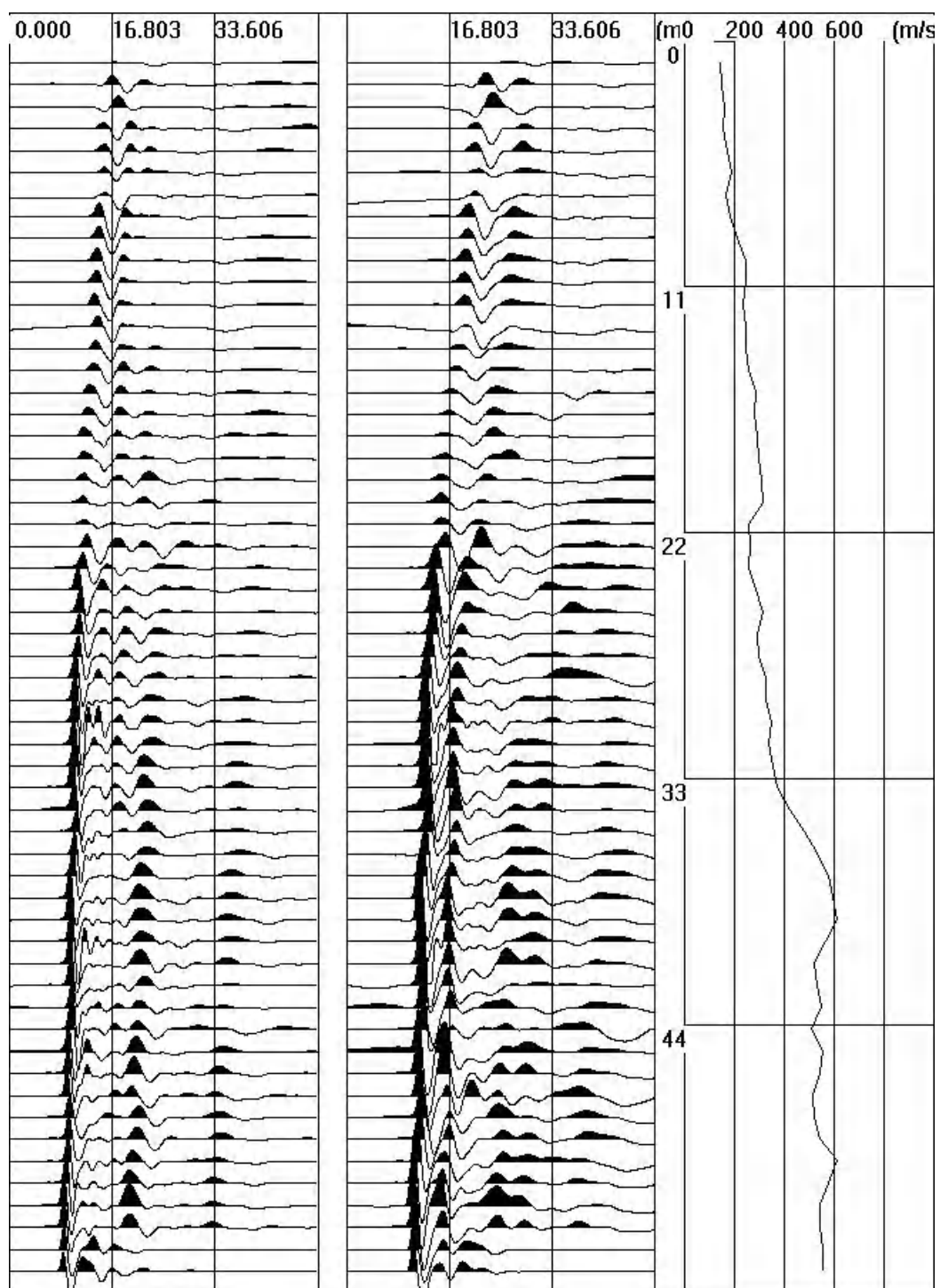


图 5.2-18 工程场地 3 号孔波速测试波列图

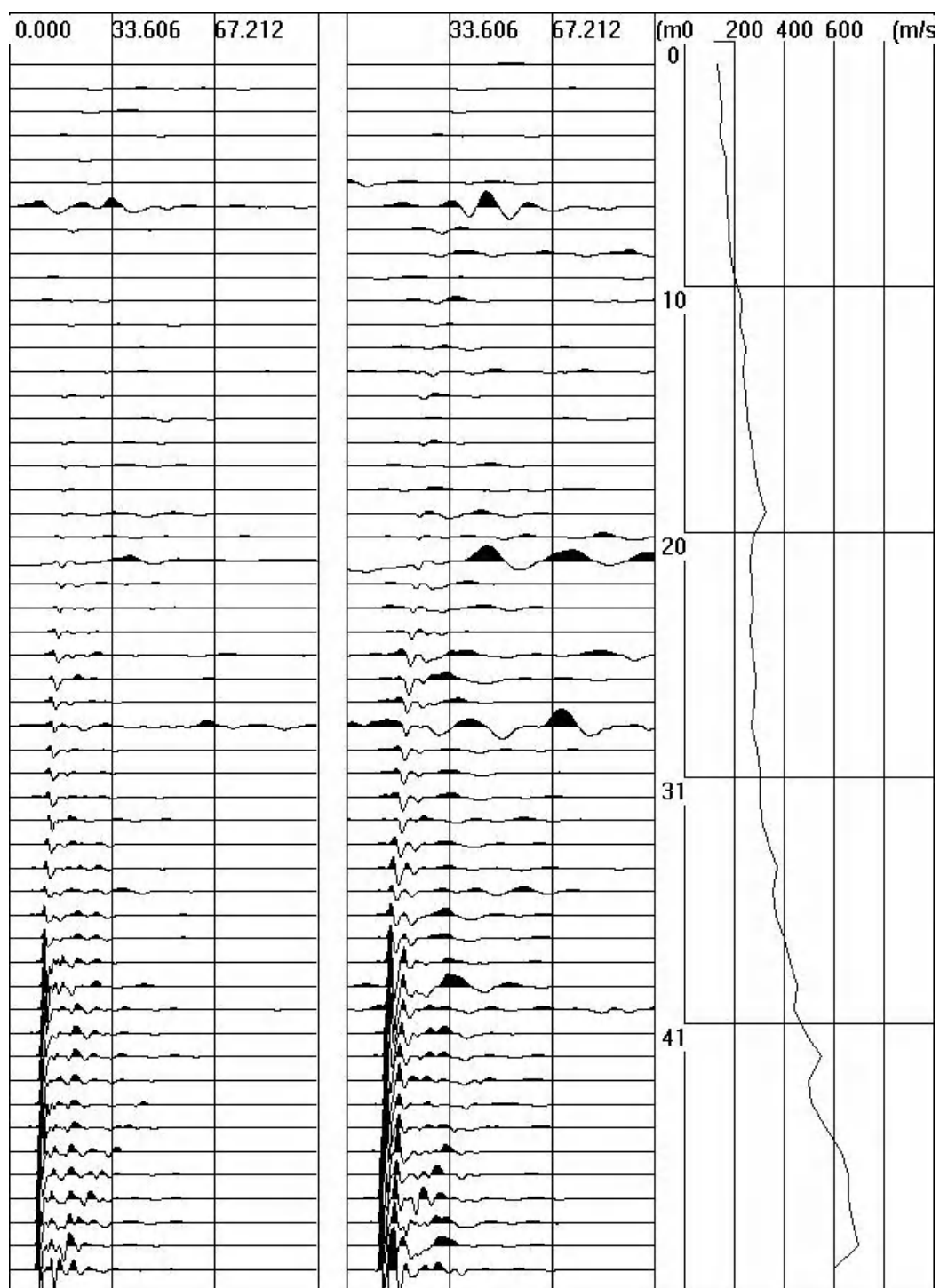


图 5.2-19 工程场地 4 号孔波速测试波列图

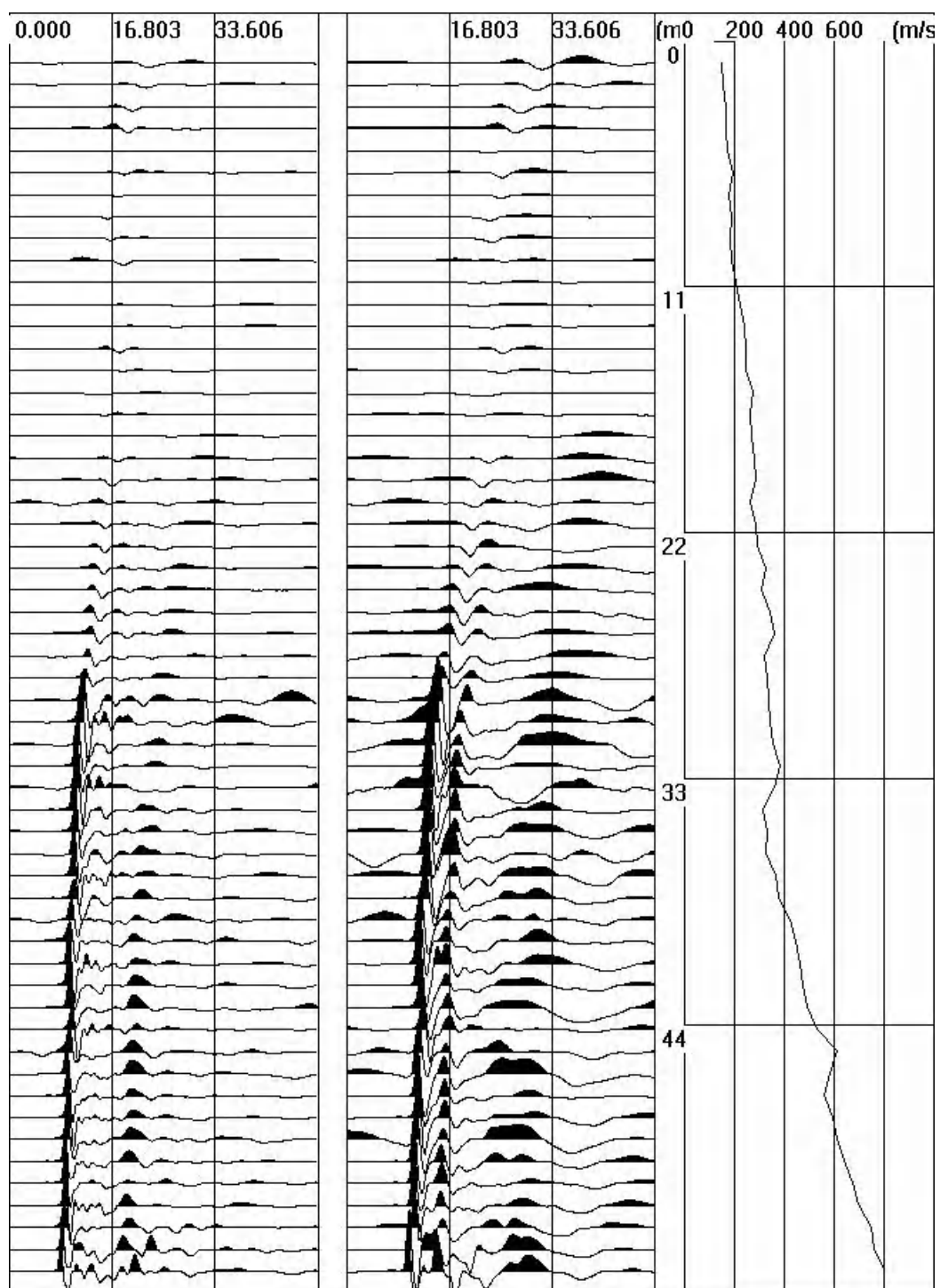


图 5.2-20 工程场地 5 号孔波速测试波列图

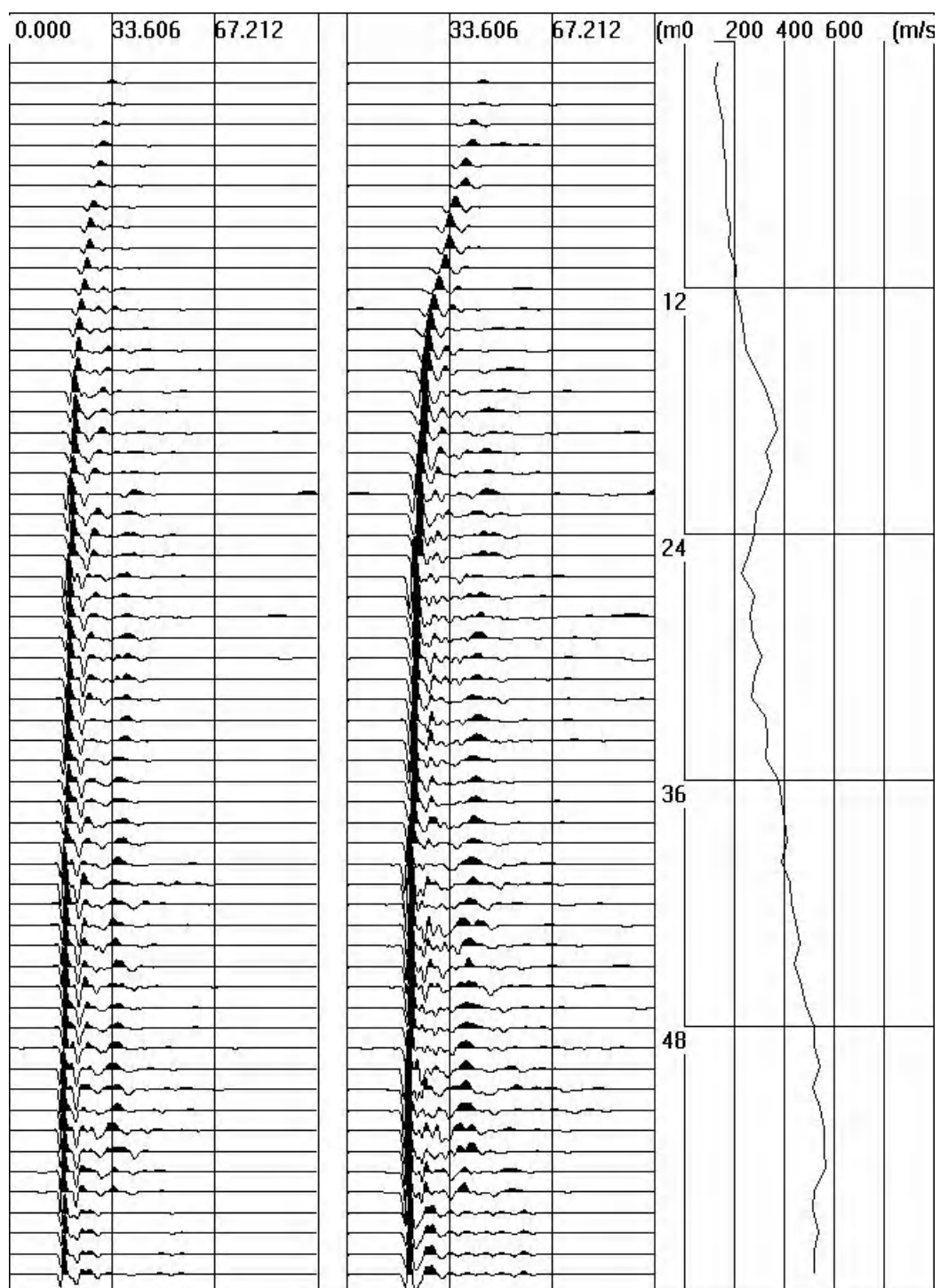


图 5.2-21 工程场地 6 号孔波速测试波列图

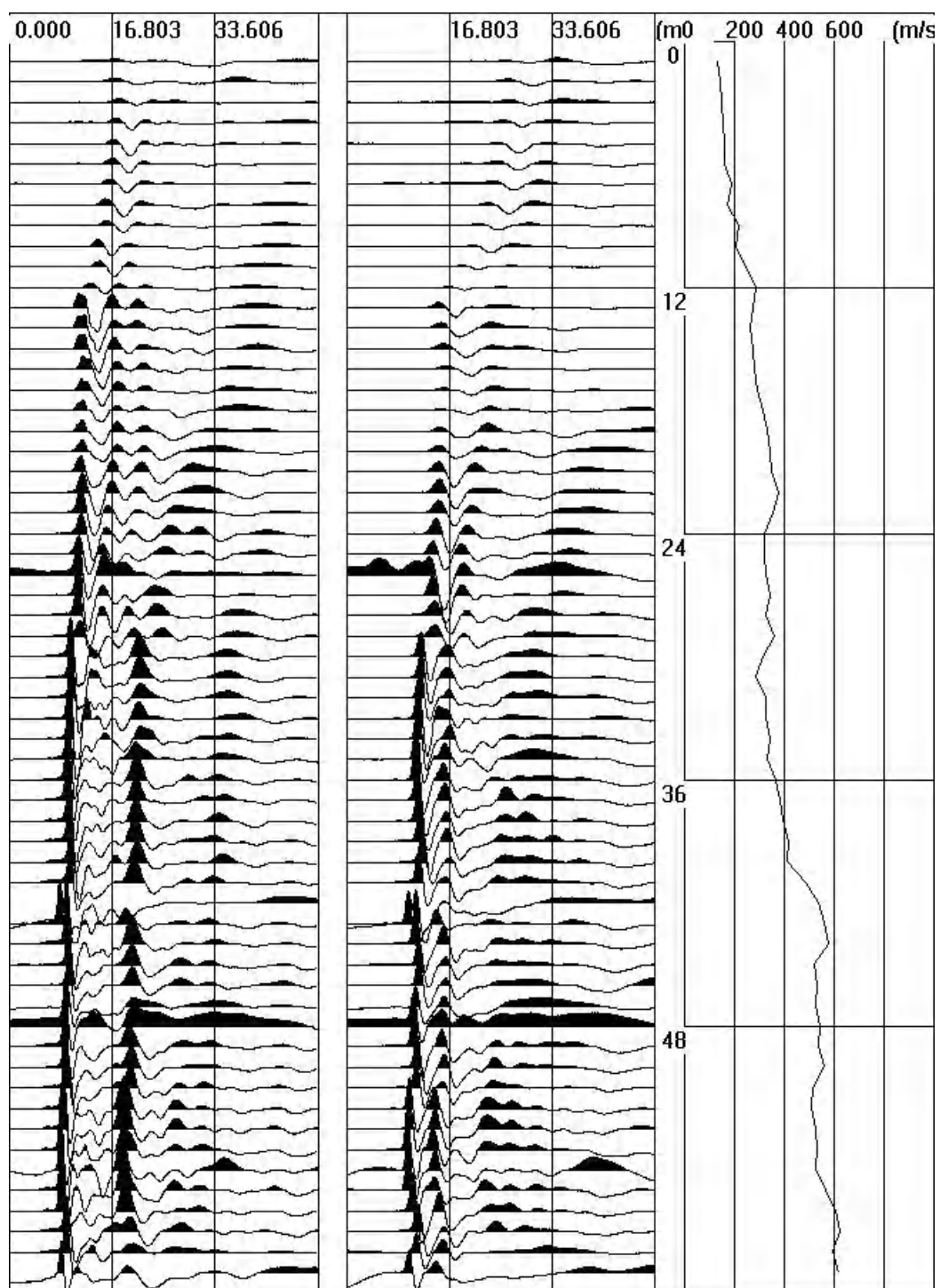


图 5.2-22 工程场地 7 号孔波速测试波列图

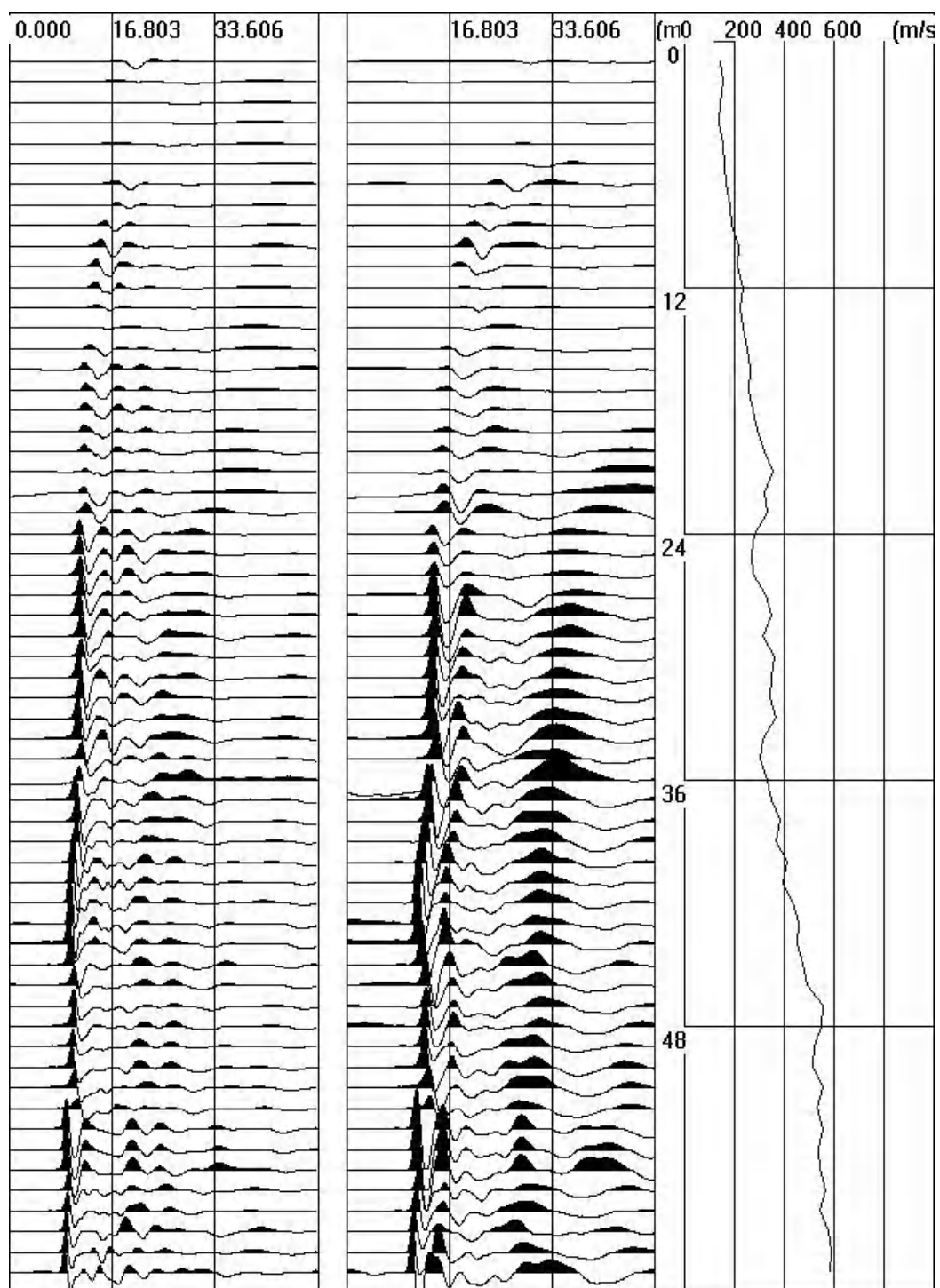


图 5.2-23 工程场地 8 号孔波速测试波列图

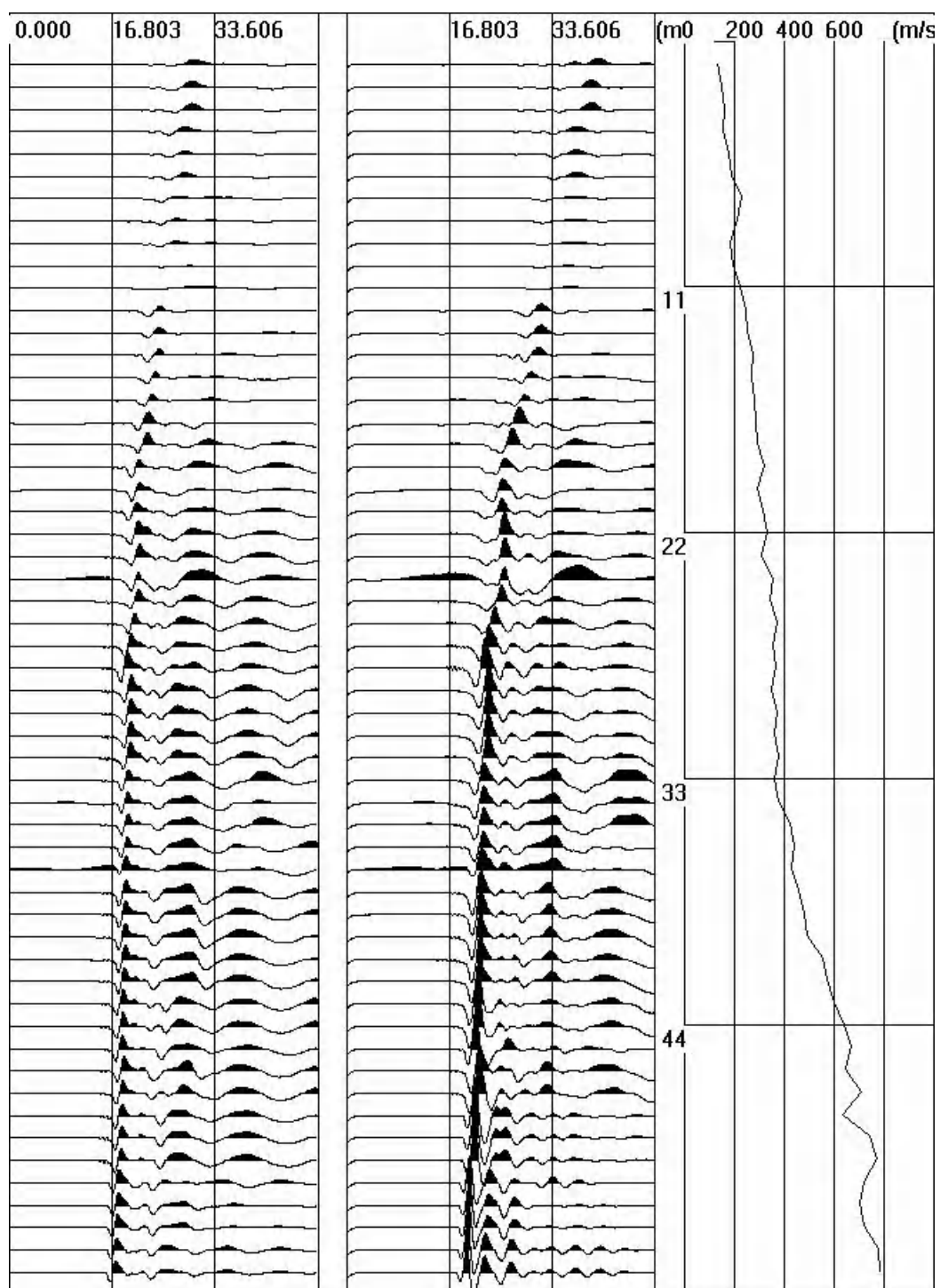


图 5.2-24 工程场地 9 号孔波速测试波列图

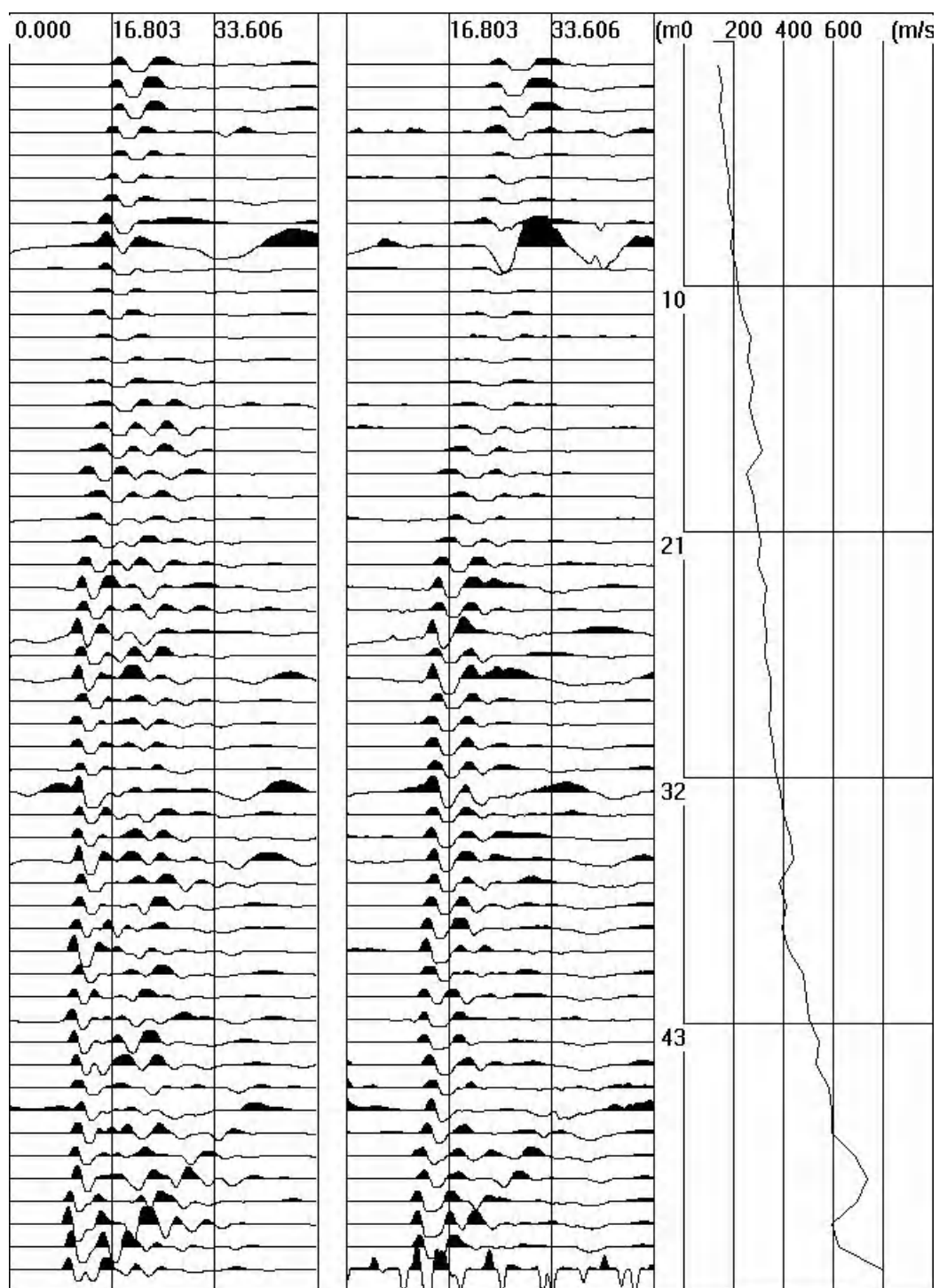


图 5.2-25 工程场地 10 号孔波速测试波列图

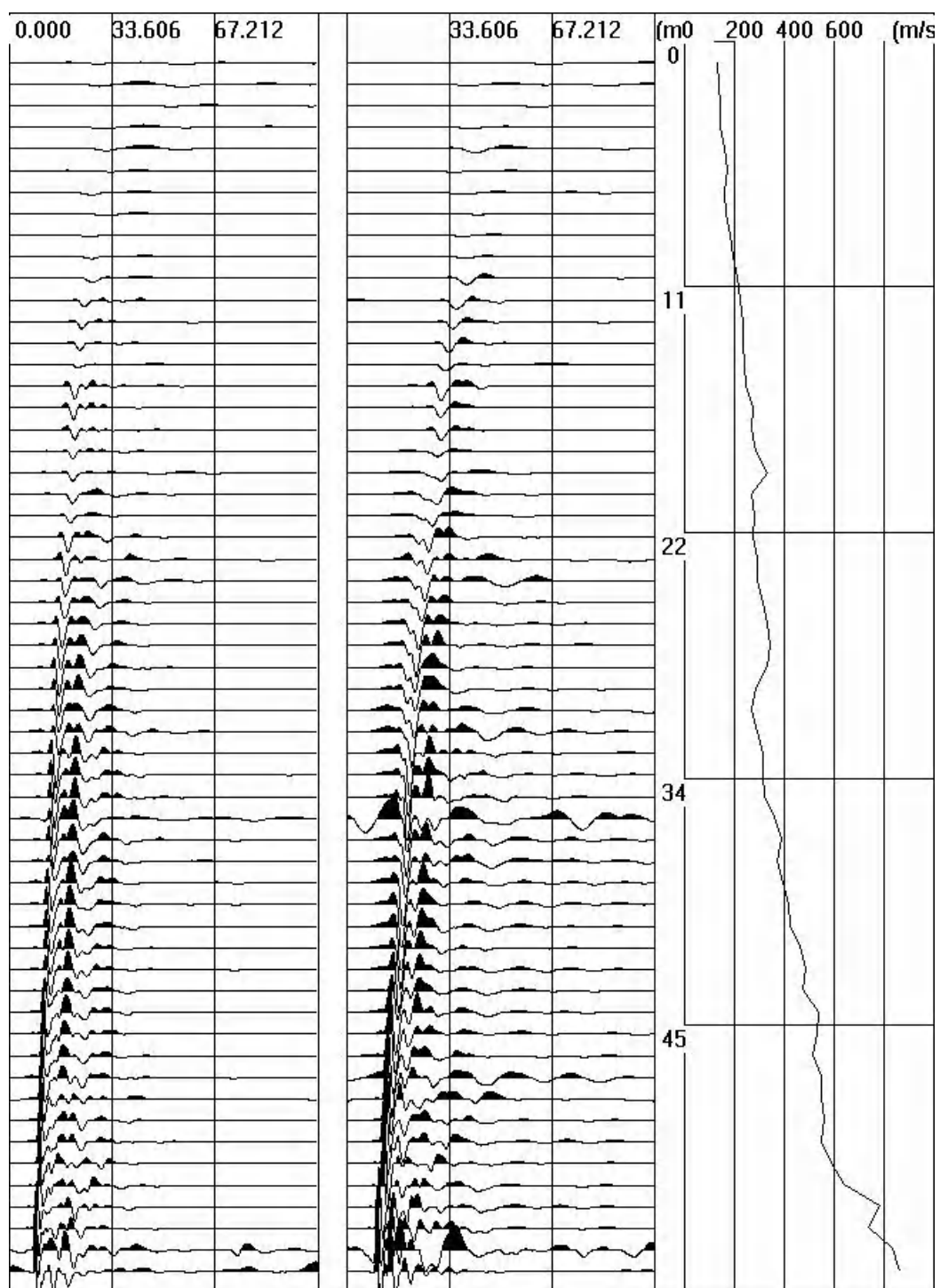


图 5.2-26 工程场地 11 号孔波速测试波列图

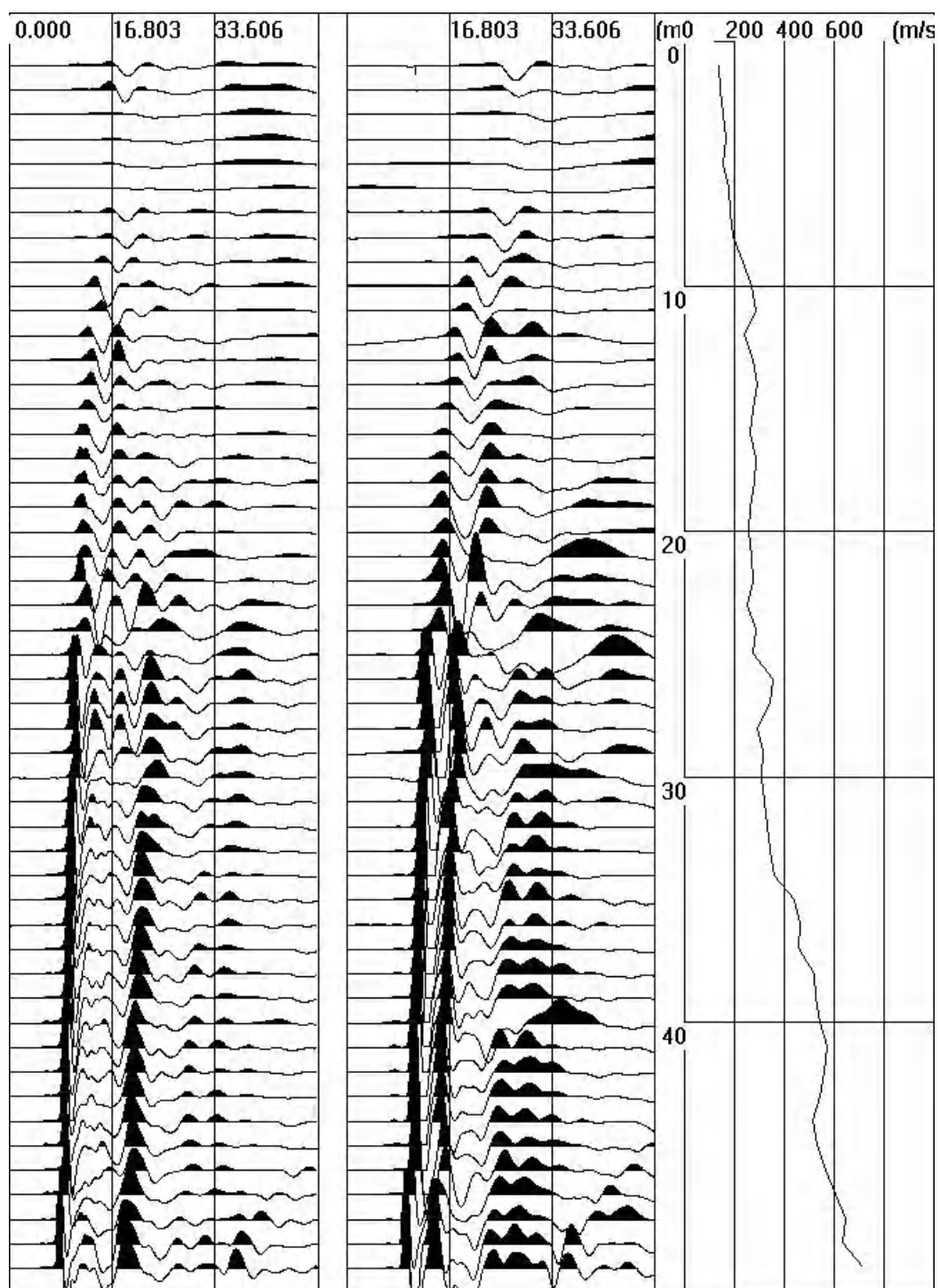


图 5.2-27 工程场地 12 号孔波速测试波列图

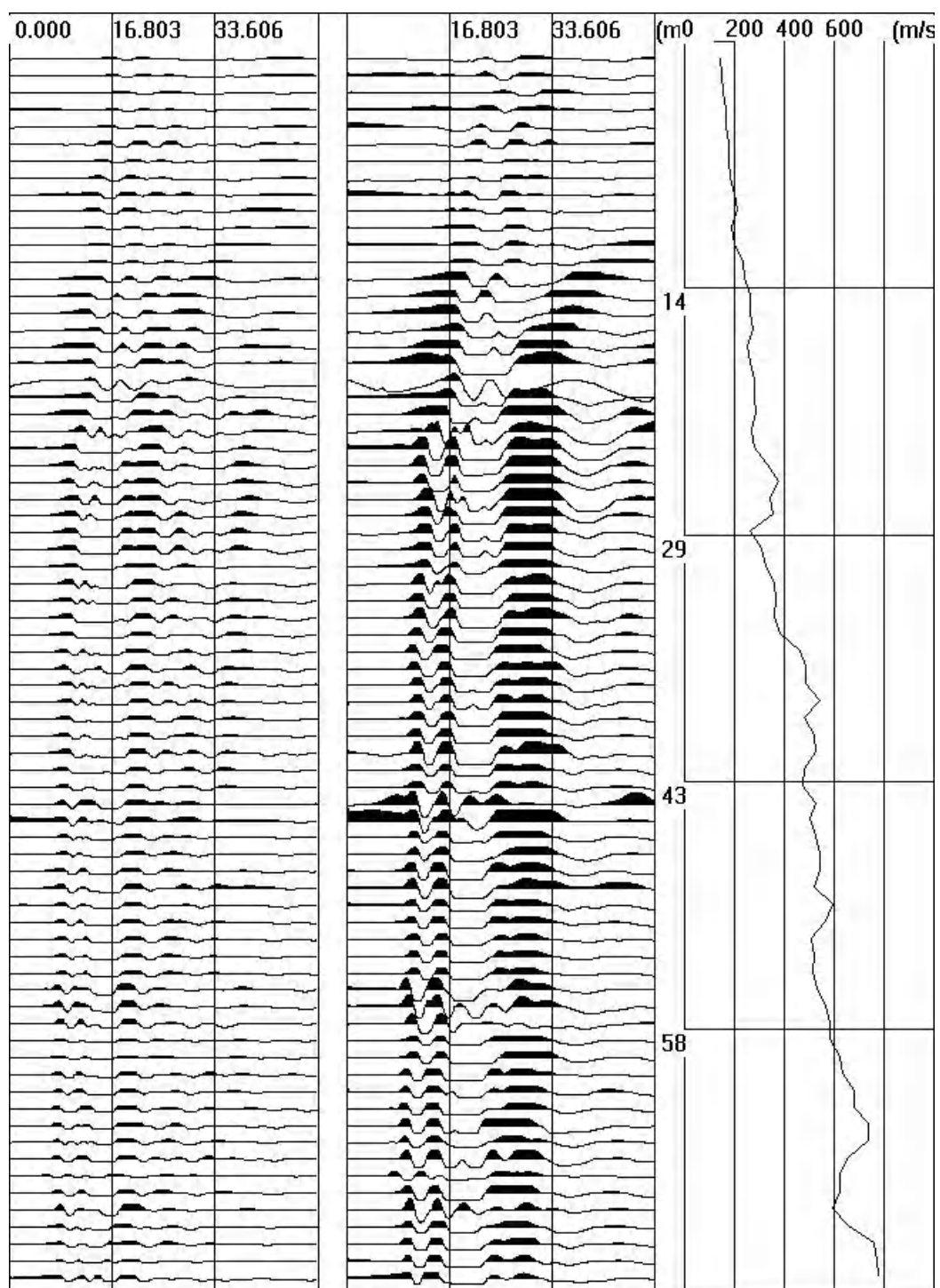


图 5.2-28 工程场地 13 号孔波速测试波列图

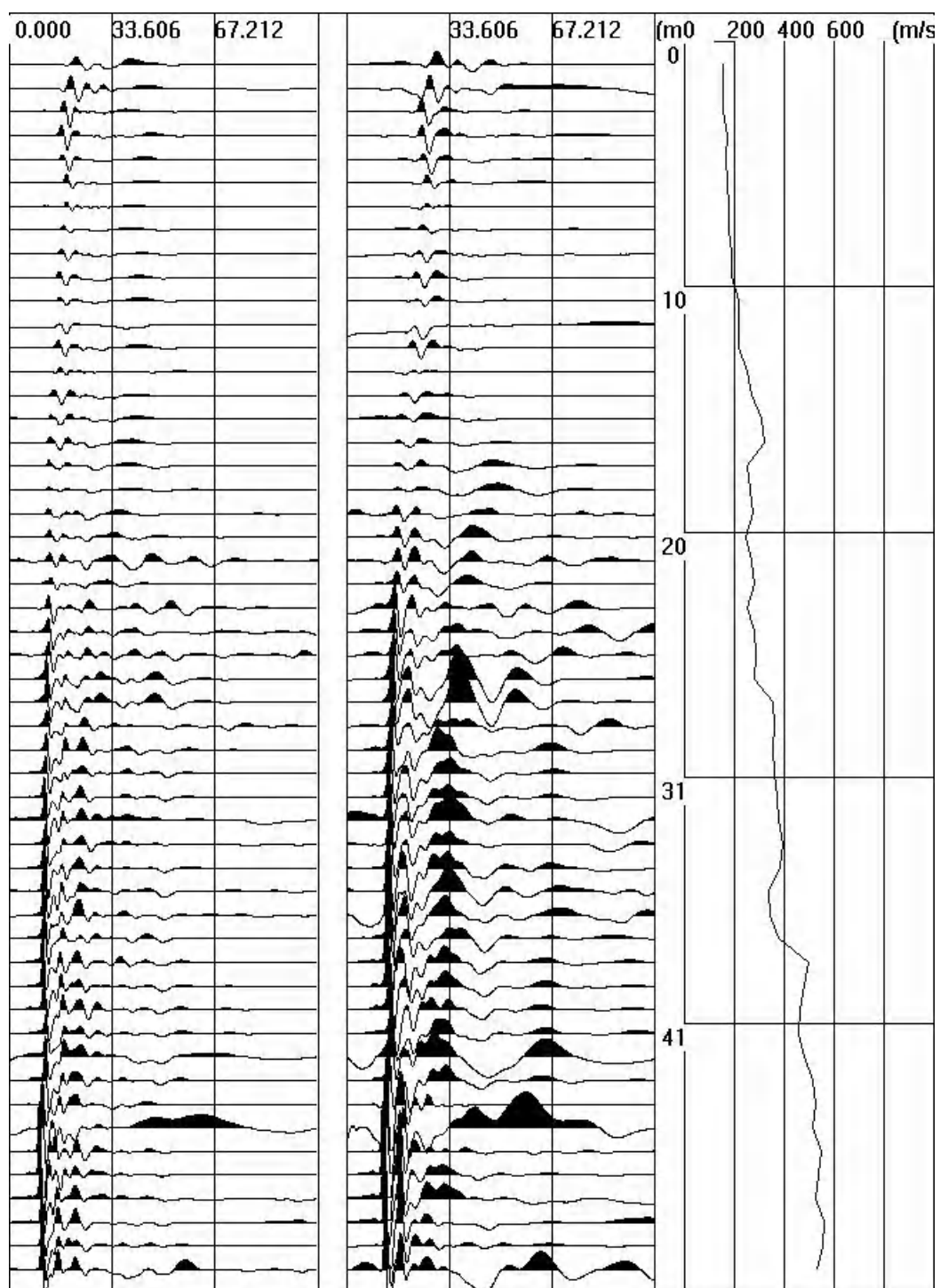


图 5.2-29 工程场地 14 号孔波速测试波列图

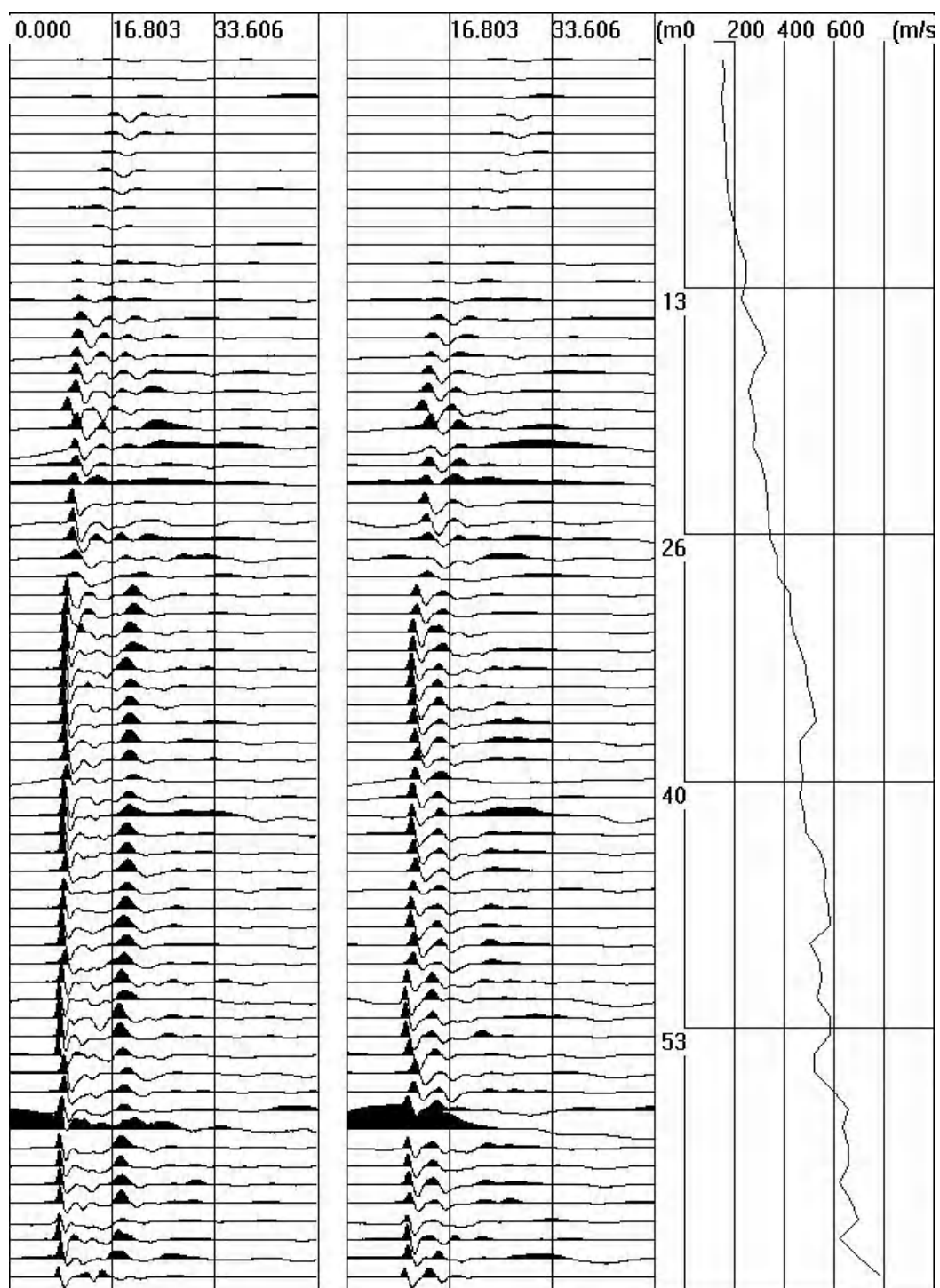


图 5.2-30 工程场地 15 号孔波速测试波列图

5.3 土体动力非线性参数

根据工程要求及场地勘测结果，委托山东省地震工程研究院对本工程所取土样进行了基本物理性质试验及动力学特性试验，所有试验操作按《土工试验规范 (GB / T50123-2019)》标准执行。工程场地提供的土样有 51 个，试验室对其进行

编号，见表 5.3-1 所示。

表 5.3-1 试样编号、物理性质指标以及试验施加围压

土样编号			取土深度 (m)	土样定名	容重 (kN/m ³)	含水率 (%)	施加围压 (kPa)
序号	钻孔编号	取样编号					
1	Zk1	Zk1-1	11.8	粘土	18.2	28.6	150
2		Zk1-2	30.0	粘土	18.7	25.6	300
3		Zk1-3	49.8	粉质粘土	19.1	25.1	500
4		Zk1-4	71.5	粉质粘土	19.7	28.4	550
5	Zk4	Zk4-1	4.8	粉质粘土	18.4	25.2	100
6		Zk4-2	9.8	粉质粘土	19.0	26.6	100
7		Zk4-3	19.8	泥质粗砂	19.1	22.9	200
8		Zk4-4	36.8	泥质粗砂	19.5	27	400
9		Zk4-5	42.8	泥质粗砂	19.7	24.6	450
10	Zk6	Zk6-1	4.8	粉质粘土	18.7	35.2	100
11		Zk6-2	9.8	粉质粘土	19.4	20.1	100
12		Zk6-3	24.8	泥质粗砂	19.6	28.3	250
13		Zk6-4	44.8	泥质粗砂	19.9	26.2	450
14	Zk7	Zk7-1	7.8	粉质粘土	18.5	30.3	100
15		Zk7-2	25.8	泥质砂土	18.3	26.9	250
16		Zk7-3	37.2	粉质粘土	18.5	27.3	400
17		Zk7-4	51.8	粉质粘土	19.4	29.7	550
18		Zk7-5	68.8	全风化泥岩	19.8	28.9	550
19	Zk9	Zk9-1	1.8	粉质粘土	19.1	26.4	100
20		Zk9-2	4.8	泥质中砂	18.9	34.9	100
21		Zk9-3	8.8	粘土	19.2	26.5	100
22		Zk9-4	18.8	泥质中砂	20.2	27.2	200
23		Zk9-5	29.8	泥质中砂	20.2	23.7	300
24	Zk10	Zk10-1	4.8	粉质粘土	18.0	23.9	100
25		Zk10-2	9.8	粉质粘土	18.4	22.9	100
26		Zk10-3	13.8	泥质粗砂	19.6	32.5	150
27		Zk10-4	19.8	泥质粗砂	19.4	26.9	200
28		Zk10-5	39.8	粉质粘土	19.7	27.3	400
29	Zk12	Zk12-1	8.7	粉质粘土	18.8	29.7	100
30		Zk12-2	19.8	粉质粘土	18.6	28.9	200
31		Zk12-3	30.8	粉质粘土	18.8	26.4	300
32		Zk12-4	49.8	全风化泥岩	19.5	23.4	500
33		Zk12-5	64.8	全风化泥岩	20.5	22.5	550

34	zk13	zk13-1	4.8	粉质粘土	18.2	25.1	100
35		zk13-2	9.8	粉质粘土	18.9	24.1	100
36		zk13-3	20.8	粉质粘土	19.1	27.5	200
37		zk13-4	32.3	泥质粗砂	19.8	20.7	350
38		zk13-5	45.8	泥质细沙	19.3	20.8	450
39		zk13-6	54.1	粉质粘土	19.9	23.2	550
40		zk13-7	72.8	泥岩	20.4	19.5	600
41	zk14	zk14-1	4.8	粉质粘土	18.3	31.3	100
42		zk14-2	9.8	粉质粘土	18.9	28.9	100
43		zk14-3	22.8	粉质粘土	19.4	26.7	250
44		zk14-4	36.3	粉质粘土	18.5	35.2	400
45		zk14-5	49.8	粉质粘土	17.6	30.4	500
46	zk15	zk15-1	4.8	粉质粘土	18.6	30.1	100
47		zk15-2	10.5	粉质粘土	18.8	30.2	100
48		zk15-3	14.8	粉质粘土	19.2	26.6	150
49		zk15-4	19.8	泥质细沙	19.8	26.4	200
50		zk15-5	48.8	粉质粘土	20.3	22.3	500
51		zk15-6	66.8	红泥岩	20.6	22.9	600

土工试验试样首先按规定的方法制备，试样高为 80mm，直径为 39.1mm，然后将制备好的试样进行浸水饱和。试验时在一定的固结比应力下固结，待固结完成后，在不排水的条件下施加动应力进行动弹模试验。

试验中，土样在各级荷载下轴向应力 P 和轴向应变 ε 的时间历程将被记录下来，由应力应变时程绘出应力应变滞回曲线，由滞回曲线 B 点的应力应变值可求得试样的轴向模量 E ，由 E 可求得土样在该级荷载下模量：

$$E = \frac{P_B}{\varepsilon_B} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

式中， P_B 、 ε_B 分别为滞回线 B 点所对应的应力应变值， ν 为泊松比，由土类而定。对所求得各级荷载下不同幅值的模量，进行统计分析时，应力应变关系用双曲线函数表示：

$$\tau = \frac{\gamma}{A+B\gamma}$$

式中， τ 和 γ 为剪应力和剪应变幅值， A 和 B 为回归常数，若令 $\tau/\gamma=G$ ，则：

$$\frac{1}{G} = A + B\gamma$$

如果以 $1/G$ 为纵坐标, γ 为横坐标, 将实验结果标在该图中, 近似用一条直线来表示它们的关系, 显然当 $\gamma \rightarrow 0$ 时, 可以得到系数 A 等于最大剪切模量的倒数, 即 $1/G_{\max}$, 因此可得到对应不同应变模量与最大模量的比值和应变的关系:

$$G/G_{\max} = 1/(1 + \gamma B/A)$$

继而, 求出动三轴试样的不同剪应变下的动剪切模量比。

$$D = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W}$$

试样在荷载下的阻尼比 D 可用下式求得:

式中, ΔW 为一个循环消耗的能量, 用应力应变滞回曲线所围的面积表示, W 为施加的最大应变能。根据 Hardin-Drnevich 模型, 阻尼比与剪应变的关系可写为 $D=D_{\max}(1-G/G_{\max})$ 。依此关系式, 可回归阻尼比与剪应变的关系。

从而, 也同样求出动三轴试样的不同剪应变下的阻尼比值。

本项目中土类的剪切模量比(G/G_{\max})和阻尼比(λ/λ_{\max})与剪应变(γ)的关系选土样动三轴试验的结果见表 5.3-2。

表 5.3-2 各试样剪应变标准点的动剪切模量比和阻尼比值

土样编号	剪应变 γ_d 参数	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
1	G/G_{\max}	0.9945	0.9890	0.9475	0.9002	0.6434	0.4742	0.1528	0.0827
	λ_d	0.0017	0.0032	0.0144	0.0268	0.0911	0.1323	0.2093	0.2259
2	G/G_{\max}	0.9978	0.9957	0.9787	0.9582	0.8210	0.6963	0.3144	0.1865
	λ_d	0.0017	0.0030	0.0112	0.0195	0.0652	0.1010	0.1982	0.2284
3	G/G_{\max}	0.9983	0.9967	0.9837	0.9679	0.8579	0.7512	0.3765	0.1999
	λ_d	0.0222	0.0280	0.0474	0.0593	0.0971	0.1168	0.1583	0.1696
4	G/G_{\max}	0.9985	0.9970	0.9853	0.9711	0.8704	0.7705	0.4018	0.2014
	λ_d	0.0062	0.0090	0.0212	0.0306	0.0683	0.0927	0.1549	0.1747
5	G/G_{\max}	0.9952	0.9905	0.9543	0.9126	0.6763	0.5109	0.1728	0.0946
	λ_d	0.0157	0.0222	0.0491	0.0680	0.1316	0.1621	0.2112	0.2210
6	G/G_{\max}	0.9980	0.9960	0.9801	0.9610	0.8314	0.7114	0.3302	0.1978
	λ_d	0.0373	0.0448	0.0683	0.0817	0.1205	0.1389	0.1737	0.1823
7	G/G_{\max}	0.9987	0.9974	0.9872	0.9747	0.8853	0.7942	0.4356	0.2084
	λ_d	0.0075	0.0105	0.0233	0.0328	0.0696	0.0931	0.1539	0.1740
8	G/G_{\max}	0.9979	0.9957	0.9790	0.9589	0.8236	0.7001	0.3183	0.1893

	λd	0.0366	0.0440	0.0672	0.0804	0.1186	0.1367	0.1701	0.1782
9	G/Gmax	0.9985	0.9971	0.9856	0.9717	0.8728	0.7743	0.4069	0.2054
	λd	0.0062	0.0090	0.0218	0.0318	0.0730	0.1002	0.1709	0.1938
10	G/Gmax	0.9944	0.9888	0.9463	0.8981	0.6379	0.4683	0.1498	0.0810
	λd	0.0015	0.0029	0.0130	0.0241	0.0820	0.1189	0.1872	0.2018
11	G/Gmax	0.9978	0.9956	0.9785	0.9578	0.8196	0.6943	0.3124	0.1851
	λd	0.0056	0.0084	0.0216	0.0321	0.0759	0.1037	0.1675	0.1852
12	G/Gmax	0.9980	0.9961	0.9807	0.9620	0.8352	0.7171	0.3364	0.2022
	λd	0.0243	0.0315	0.0575	0.0741	0.1290	0.1582	0.2183	0.2340
13	G/Gmax	0.9976	0.9953	0.9769	0.9548	0.8087	0.6789	0.2972	0.1745
	λd	0.0243	0.0312	0.0558	0.0712	0.1206	0.1457	0.1939	0.2056
14	G/Gmax	0.9965	0.9930	0.9661	0.9344	0.7402	0.5875	0.2217	0.1247
	λd	0.0102	0.0143	0.0312	0.0431	0.0849	0.1066	0.1457	0.1544
15	G/Gmax	0.9974	0.9947	0.9743	0.9498	0.7911	0.6544	0.2746	0.1592
	λd	0.0183	0.0250	0.0517	0.0701	0.1345	0.1692	0.2373	0.2538
16	G/Gmax	0.9986	0.9972	0.9861	0.9725	0.8761	0.7795	0.4142	0.2012
	λd	0.0258	0.0321	0.0532	0.0660	0.1062	0.1274	0.1736	0.1868
17	G/Gmax	0.9985	0.9970	0.9854	0.9712	0.8708	0.7711	0.4025	0.2020
	λd	0.0247	0.0312	0.0538	0.0677	0.1128	0.1371	0.1900	0.2051
18	G/Gmax	0.9988	0.9977	0.9884	0.9772	0.8953	0.8105	0.4610	0.2096
	λd	0.0206	0.0260	0.0444	0.0557	0.0927	0.1130	0.1603	0.1750
19	G/Gmax	0.9920	0.9842	0.9256	0.8614	0.5542	0.3833	0.1106	0.0585
	λd	0.0299	0.0398	0.0758	0.0981	0.1595	0.1826	0.2126	0.2177
20	G/Gmax	0.9955	0.9910	0.9567	0.9170	0.6883	0.5248	0.1809	0.0994
	λd	0.0035	0.0061	0.0209	0.0350	0.0991	0.1382	0.2122	0.2287
21	G/Gmax	0.9970	0.9940	0.9706	0.9429	0.7676	0.6228	0.2483	0.1417
	λd	0.0099	0.0142	0.0325	0.0460	0.0959	0.1235	0.1771	0.1898
22	G/Gmax	0.9977	0.9955	0.9777	0.9564	0.8142	0.6867	0.3048	0.1798
	λd	0.0296	0.0373	0.0636	0.0797	0.1295	0.1543	0.2015	0.2130
23	G/Gmax	0.9985	0.9970	0.9852	0.9709	0.8697	0.7695	0.4003	0.2303
	λd	0.0036	0.0056	0.0155	0.0237	0.0612	0.0878	0.1605	0.1848
24	G/Gmax	0.9962	0.9924	0.9630	0.9285	0.7222	0.5651	0.2063	0.1150
	λd	0.0218	0.0289	0.0553	0.0725	0.1267	0.1523	0.1951	0.2040
25	G/Gmax	0.9968	0.9936	0.9688	0.9395	0.7564	0.6082	0.2369	0.1344
	λd	0.0084	0.0123	0.0295	0.0425	0.0917	0.1192	0.1722	0.1847
26	G/Gmax	0.9977	0.9955	0.9777	0.9564	0.8142	0.6867	0.3048	0.1798
	λd	0.0296	0.0373	0.0636	0.0797	0.1295	0.1543	0.2015	0.2130
27	G/Gmax	0.9988	0.9977	0.9884	0.9771	0.8950	0.8099	0.4601	0.1988
	λd	0.0197	0.0246	0.0411	0.0512	0.0833	0.1008	0.1408	0.1531
28	G/Gmax	0.9987	0.9974	0.9870	0.9743	0.8833	0.7910	0.4309	0.2046
	λd	0.0384	0.0464	0.0720	0.0867	0.1312	0.1539	0.2025	0.2164
29	G/Gmax	0.9930	0.9861	0.9343	0.8767	0.5872	0.4156	0.1245	0.0664

	λd	0.0007	0.0016	0.0090	0.0183	0.0717	0.1062	0.1677	0.1804
30	G/Gmax	0.9977	0.9954	0.9775	0.9560	0.8130	0.6849	0.3030	0.1785
	λd	0.0013	0.0023	0.0085	0.0149	0.0496	0.0765	0.1480	0.1697
31	G/Gmax	0.9983	0.9966	0.9831	0.9668	0.8536	0.7446	0.3684	0.1958
	λd	0.0365	0.0443	0.0692	0.0836	0.1267	0.1481	0.1908	0.2019
32	G/Gmax	0.9984	0.9968	0.9843	0.9691	0.8625	0.7583	0.3855	0.2088
	λd	0.0071	0.0106	0.0264	0.0389	0.0913	0.1260	0.2147	0.2427
33	G/Gmax	0.9983	0.9967	0.9835	0.9675	0.8563	0.7487	0.3734	0.2096
	λd	0.0017	0.0030	0.0104	0.0178	0.0578	0.0900	0.1853	0.2182
34	G/Gmax	0.9920	0.9841	0.9251	0.8606	0.5526	0.3818	0.1099	0.0582
	λd	0.0004	0.0010	0.0079	0.0182	0.0872	0.1346	0.2196	0.2369
35	G/Gmax	0.9954	0.9909	0.9562	0.9161	0.6859	0.5220	0.1792	0.0984
	λd	0.0015	0.0028	0.0118	0.0215	0.0728	0.1073	0.1768	0.1928
36	G/Gmax	0.9965	0.9931	0.9664	0.9350	0.7420	0.5898	0.2233	0.1257
	λd	0.0238	0.0321	0.0635	0.0844	0.1528	0.1866	0.2457	0.2586
37	G/Gmax	0.9972	0.9945	0.9729	0.9473	0.7824	0.6425	0.2644	0.1524
	λd	0.0319	0.0406	0.0706	0.0890	0.1458	0.1733	0.2228	0.2341
38	G/Gmax	0.9977	0.9953	0.9771	0.9552	0.8100	0.6806	0.2989	0.1757
	λd	0.0260	0.0339	0.0627	0.0813	0.1420	0.1736	0.2352	0.2504
39	G/Gmax	0.9976	0.9952	0.9766	0.9543	0.8069	0.6763	0.2947	0.1728
	λd	0.0014	0.0025	0.0097	0.0174	0.0605	0.0946	0.1855	0.2129
40	G/Gmax	0.9975	0.9951	0.9759	0.9529	0.8018	0.6691	0.2880	0.1682
	λd	0.0450	0.0552	0.0886	0.1081	0.1658	0.1931	0.2425	0.2540
41	G/Gmax	0.9962	0.9925	0.9634	0.9293	0.7245	0.5680	0.2082	0.1162
	λd	0.0006	0.0014	0.0077	0.0158	0.0698	0.1141	0.2213	0.2495
42	G/Gmax	0.9969	0.9939	0.9700	0.9418	0.7640	0.6182	0.2446	0.1393
	λd	0.0323	0.0417	0.0749	0.0958	0.1607	0.1920	0.2471	0.2594
43	G/Gmax	0.9975	0.9950	0.9754	0.9520	0.7987	0.6648	0.2840	0.1655
	λd	0.0005	0.0010	0.0052	0.0103	0.0449	0.0757	0.1652	0.1933
44	G/Gmax	0.9976	0.9953	0.9769	0.9548	0.8086	0.6787	0.2970	0.1744
	λd	0.0031	0.0050	0.0159	0.0258	0.0731	0.1062	0.1870	0.2100
45	G/Gmax	0.9979	0.9958	0.9793	0.9594	0.8253	0.7026	0.3209	0.1911
	λd	0.0155	0.0212	0.0435	0.0589	0.1137	0.1446	0.2098	0.2270
46	G/Gmax	0.9952	0.9905	0.9544	0.9127	0.6765	0.5112	0.1730	0.0947
	λd	0.0027	0.0048	0.0172	0.0292	0.0849	0.1188	0.1824	0.1963
47	G/Gmax	0.9961	0.9923	0.9625	0.9277	0.7197	0.5621	0.2043	0.1138
	λd	0.0249	0.0327	0.0610	0.0791	0.1353	0.1614	0.2044	0.2133
48	G/Gmax	0.9972	0.9945	0.9729	0.9472	0.7819	0.6419	0.2639	0.1520
	λd	0.0089	0.0131	0.0320	0.0465	0.1032	0.1364	0.2044	0.2214
49	G/Gmax	0.9981	0.9962	0.9810	0.9628	0.8381	0.7213	0.3410	0.2056
	λd	0.0407	0.0501	0.0813	0.0997	0.1558	0.1837	0.2384	0.2523
50	G/Gmax	0.9975	0.9950	0.9757	0.9525	0.8004	0.6672	0.2862	0.1670

	λ_d	0.0443	0.0542	0.0860	0.1045	0.1586	0.1840	0.2298	0.2403
51	G/G _{max}	0.9979	0.9958	0.9793	0.9594	0.8254	0.7027	0.3210	0.1912
	λ_d	0.0047	0.0073	0.0198	0.0301	0.0750	0.1046	0.1753	0.1955

5.4 场地地震地质灾害评价

5.4.1 地震液化评价

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010），拟建场地内 20m 深度范围内的饱和粉土和砂土均存在液化的可能，因此按《建筑抗震设计规范》第 4.3.4 条采用标贯试验判别法进行判别。

依据 GB50011-2010《建筑抗震设计规范》的规定：当饱和土的标贯击数（未经杆长修正）小于或等于液化判别标准贯入锤击数临界值时，应判为液化。

地面下 20m 范围内，液化判别标准贯入锤击数临界值可按以下公式计算：

$$N_{63.5} < N_{cr} \quad (1)$$

$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{\frac{3}{p_c}} \quad (2)$$

式中： $N_{63.5}$ ——饱和土标准贯入锤击数实测值(未经杆长修正)；

N_{cr} ——液化判别标准贯入锤击数临界值；

d_s ——饱和土标准贯入实际深度(m)；

d_w ——地下水位深度(m)；

p_c ——粘粒含量百分数，当小于 3 或为砂土时，取 $p_c=3$ ；

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；

本项目取 0.80。

N_0 ——液化判别标准贯入锤击数基准值，本项目取 7。

根据本项目钻探及勘察资料，拟建场地地下水位埋深大于 20m。保守起见，液化判断时地下水埋深取该地区最高水位埋深 10m 进行计算，粘粒含量百分比的数值参考了本项目岩土勘查报告中的数据。

基于本项目工程场地的罕遇地震影响烈度为Ⅶ度（0.1g），本项目进行了烈度为Ⅶ度（0.1g）条件下工程场地粉土的砂土液化问题判别，根据钻孔资料标贯数据，液化判别结果见表 5.4-1。

根据液化判别结果，结合本场地可液化土层的分布特征综合考虑判定，当场

地遭受烈度为Ⅶ度的影响时，本项目粉土和砂土地层液化结果为不液化，由于钻孔资料有限，液化判断请参考本项目岩土工程勘察报告。

表 5.4-1 工程场地液化判别结果

孔号	试验深度 (m)	岩土名称	液化判别				
			地下水位 $d_w(\text{m})$	黏粒含量 $p_c(\%)$	实测击数 $N(\text{击})$	临界击数 $N_{cr}(\text{击})$	液化判别
2	18	粗砂	10	3	16	8	不液化
3	17	粗砂	10	3	17	8	不液化
	19	粗砂	10	3	16	9	不液化
4	17	粗砂	10	3	17	8	不液化
	18	粗砂	10	3	17	8	不液化
6	16	粗砂	10	3	16	8	不液化
	18	粗砂	10	3	17	8	不液化
7	14	粗砂	10	3	15	7	不液化
	18	粗砂	10	3	16	8	不液化
8	19	粗砂	10	3	14	9	不液化
9	5	中砂	10	3	11	3	不液化
	7	粗砂	10	3	18	4	不液化
	15	粗砂	10	3	15	8	不液化
	18	粗砂	10	3	17	8	不液化
10	14	粗砂	10	3	14	7	不液化
	17	粗砂	10	3	15	8	不液化
	19	粗砂	10	3	16	9	不液化
11	17	粗砂	10	3	17	8	不液化
	19	粗砂	10	3	18	9	不液化
12	12	粗砂	10	3	14	7	不液化
	16	粗砂	10	3	17	8	不液化
14	16	粗砂	10	3	18	8	不液化
15	16	粗砂	10	3	15	8	不液化
	18	粗砂	10	3	16	8	不液化
	19	粗砂	10	3	18	9	不液化

5.4.2 软土震陷评价

按照 GB50021—2001《岩土工程勘察规范》，软土判定条件为：天然孔隙比大于或等于 1.0，且天然含水量大于液限的细粒土应判定为软土，包括淤泥、淤

泥质土、泥炭、泥炭质土等；

根据本次场地钻孔资料。场地内没有天然孔隙比大于等于 1.0 或天然含水量大于液陷的细粒土。因此，场地内没有软土，可不考虑软土震陷问题。

5.4.3 断裂的工程影响

(1) 场地高密度电法勘探

为了探测场地范围内是否有活动构造存在，结合场地条件，我公司于 2020 年 11 月、2021 年 3 月完成了该工程场地电阻率层析成像探测工作。我们采用 DUK-2A 高密度电法测量系统在工程场地内布设了近南北向测线 1 条、近东西向测线 2 条，测线总长为 3000m，测线位置见图 5.4-1（详见报告附件 2）。

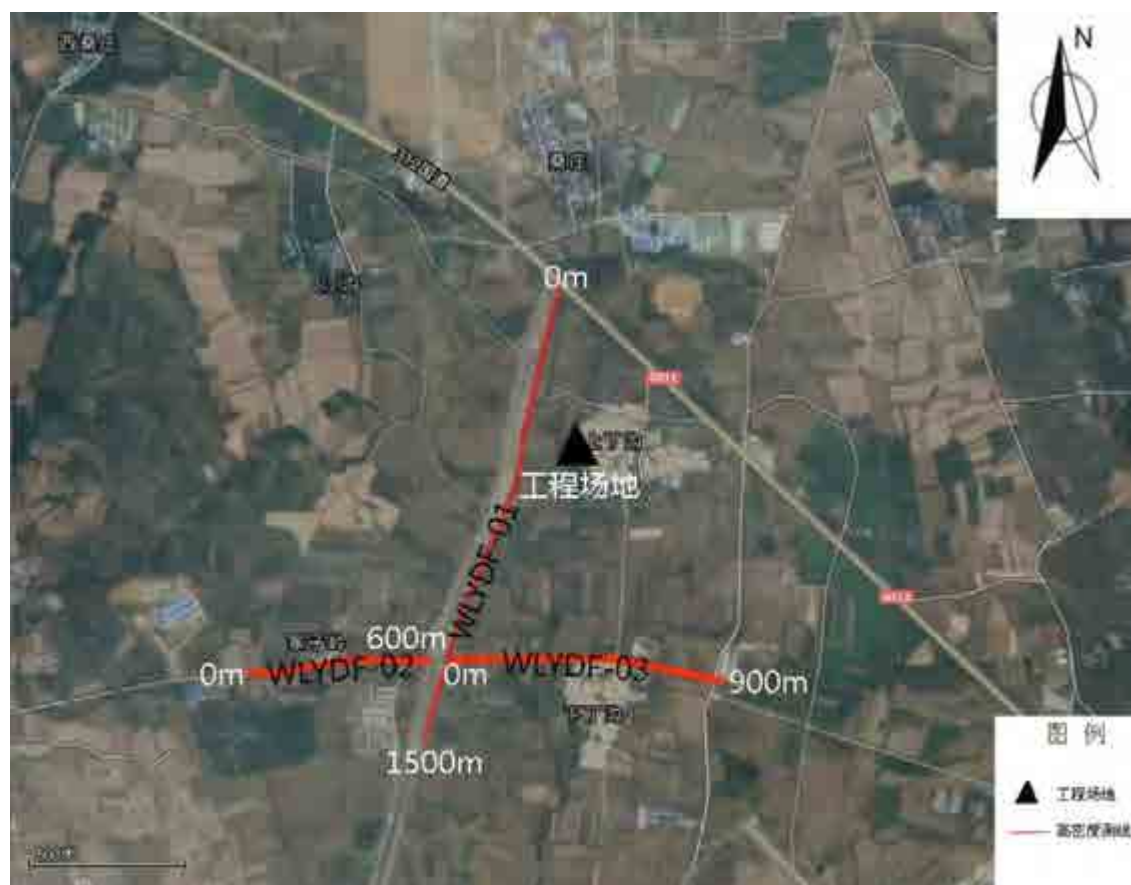


图 5.4-1 电法测线位置示意图

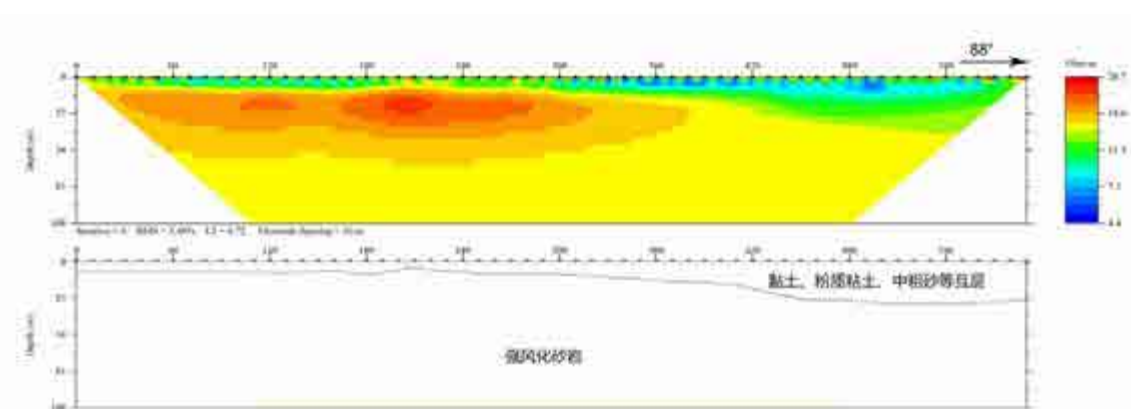
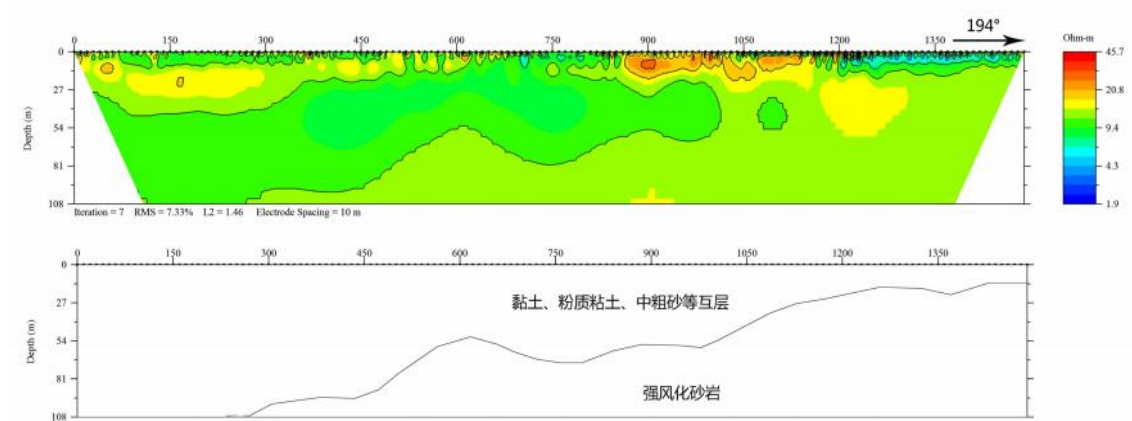
结合区域地质资料，工程场地上的高密度电法勘探线探测有效深度大约 108m 以上，电法勘探线电阻率成像结果显示地层连续性完整，测区无显著电阻率间断面（图 5.4-2）。

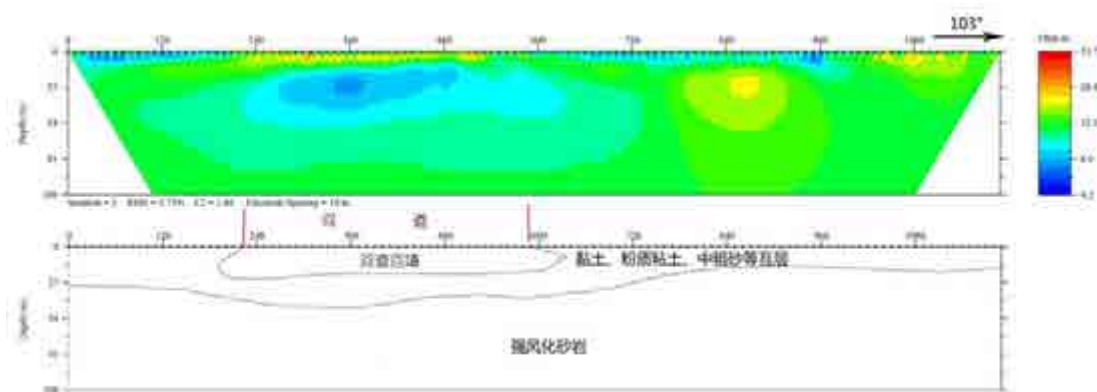
剖面最上部第一套地层为高层，均匀性较差，其厚度从测线起点处的数米逐渐变化到测线终点处的低电阻率区，该层为以粉土为主的杂填土地层，主要为回填土、粗砂、粘土等。第二套地层为相对低阻层，起伏较大，埋藏在第一层之下，该层层底埋深约为 60m 左右，主要分布在桩号 0-100m，该层是以粉土、粉质粘土、含泥粗砂等为主的地层电阻率均值 $10 \Omega \cdot \text{m}$ 。第三套地层为强风化砂岩，厚度逐渐变浅，从 100m 左右埋深逐渐变浅至 10m 左右。

WLYDF-02 和 WLYDF-03 测线位于 WLYDF-01 测线南段，缺失第二套地层。

第二套以下地层电性结构清晰，未见显著电阻率间断面，为相对中低高阻层，电阻率均值 $15 \Omega \cdot \text{m}$ 。

场地内没有发现断裂构造的电性特征。





WLYDF-03 视电阻率反演图

图 5.4-2 视电阻率反演图

(2) 场地浅层人工地震勘探

本次浅震探测工作在场子西侧布置一条由近北向南测线（北偏南 30 度左右），测线长度为 1500 米；测线具体位置见图 5.4-3 所示（详见报告附件 3）。



图 5.4-3 浅层地震勘探测线布置示意图

图 5.4-4 为数据处理后的地震反射时间剖面及地质解释图，在图 5.4-4 地震反射时间剖面中，剖面中来自地下介质波阻抗差异界面的地震反射信息出现在 200ms 的时间范围内，根据各波组特征及波组间的相互关系，根据反射波震相特征对比，解释了第四系内部 3 组界面反射，分别用 T_{Q3} 、 T_{Q2-1} 、 T_{Q2-2} 标识。（备注：工程场地位于南阳盆地西缘，缺失第四系下更新统 Q_1 ）

T_{Q3} 呈近水平状展布，双程走时在 96~100ms 毫秒左右，反射波能量均衡，同相轴能被连续追踪。时深转换后 T_{Q3} 反射界面埋深为 76~78m。根据地层资料、时-深转换剖面对比， T_{Q3} 对应全新统 Q_4 至上更新统 Q_3 地层之间。

T_{Q2-1} 呈近水平状展布，双程走时在 160~165ms 毫秒左右，反射波能量均衡，同相轴能被连续追踪。时深转换后 T_{Q2-1} 反射界面埋深为 160~162m。根据地层资料、时-深转换剖面对比， T_{Q2-1} 对应上更新统 Q_3^{gl} 至中更新统 Q_2^{gl} 地层之间。

T_{Q2-2} 呈近水平状展布，双程走时在 190~192ms 毫秒左右，反射波能量基本均衡，同相轴基本能被连续追踪。时深转换后 T_{Q2-2} 反射界面埋深为 198~202m。根据地层资料、时-深转换剖面对比， T_{Q2-2} 对应中更新统 Q_2^{gl} 至中更新统 Q_2^{al} 地层之间。

从剖面中反射波同相轴的横向连续性来看， T_{Q3} 、 T_{Q2-1} 、 T_{Q2-2} 在整个剖面中可连续追踪，工程场地内没有第四系全新统(Q_4)、上更新统(Q_3)、中更新统(Q_2)断裂存在。（备注：工程场地位于南阳盆地西缘，缺失第四系下更新统 Q_1 。）

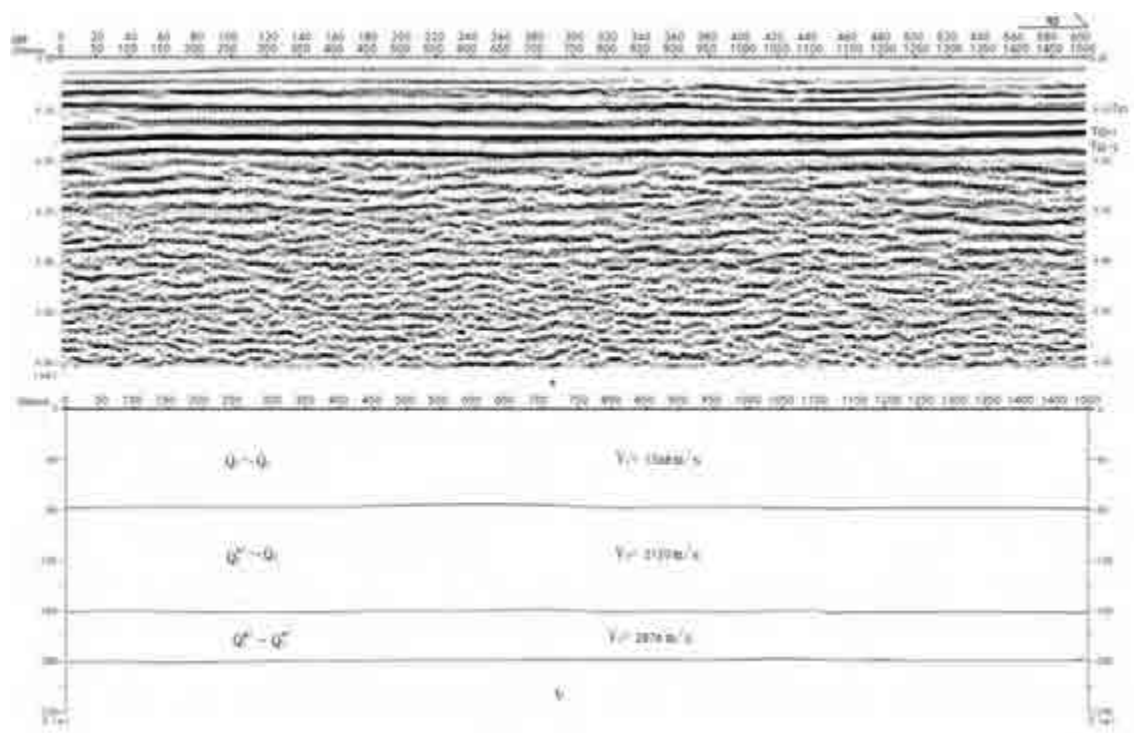


图 5.4-4 地震勘探线纵波地震反射时间和地质解释剖面图

据近场区地震地质图，距离场地最近的断裂为西峡-内乡断裂，场地位于西峡-内乡断裂以北约 5km。西峡-内乡断裂为早、中更新世断裂，结合场地高密度电法勘探成果和人工地震勘探成果，根据建筑抗震设计规范，本项目可不考虑地震时断裂错动对场地的影响。根据 GB50011—2010《建筑抗震设计规范》中第 4.1.7 条规定，可忽略发震断裂错动对工程场地的影响。

5.4.4 其它地震地质灾害评价

本工程场地属山前丘陵区，场地地形有起伏但落差不大，高低起伏较为平缓，发生由地震诱发崩塌、滑坡、泥石流等边坡地质灾害的可能性较小。

第六章 场地土层地震反应分析

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，前一章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，以便为工程建筑物和构筑物提供合理的抗震设计依据。

6.1 场地基岩人造地震动时程

以基岩加速度反应谱和峰值为目标，用数值模拟的方法合成地震动时程，作为场地土层地震动力反应分析的地震动输入值。

6.1.1 方法概述

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：

确定地震动强度包络函数 $f(t)$ ；

2) 根据规范要求，确定控制的反应谱 $S_a(T)$ ($T=T_{R1R}, T_{R2R} \cdots T_{RMR}$) 坐标点数和反应谱控制允许误差；

3) 选择初始 $a_{R0}(t)$ 函数：

$$a_0(t) = f(t) \cdot \sum_{N_1}^{N_2} A_k e^{i(\omega_k t + \varphi_k)}$$

$$A_k = A(\omega_k) = \sqrt{4S(\omega_k)\Delta\omega}$$

$$\omega_k = k\Delta\omega$$

式中： ω_k —第 k 个傅里叶分量的频率； A_k —第 k 个傅里叶分量的振幅；

$$S(\omega_k) = \frac{2\zeta}{\pi\omega_k} S_a^2(\omega_k) / \left\{ -2\text{Ln}\left[-\frac{\pi}{\omega_k T_d} \text{Ln}(p)\right] \right\}$$

$$N_1\Delta\omega < \frac{2\pi}{T_M}, N_2\Delta\omega > \frac{2\pi}{T_1}$$

$S(\omega)$ —功率谱； $S_a(\omega)$ —加速度反应谱； ξ —阻尼比； T_d —持时； p —反应不

超过反应谱值的概率，一般取 $p \geq 0.85$ ；

- 4) 计算 $a_0(t)$ 反应谱 $Sa_0(\omega)$ 与目标谱相比较，修改 $A(\omega) = A_k$ ，同时考虑调整少量的相位；

第四、重复上述步骤直至反应谱值在所有控制点处的误差均不大于 5%为止。

6.1.2 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、平稳和下降三个阶段，其形式为：

$$f(t) = \begin{cases} (t/t_1)^2 & (t < t_1) \\ 1 & (t_1 \leq t < t_2) \\ \exp(-c(t-t_2)) & (t_2 \leq t < T_d) \end{cases}$$

式中 t_1 为上升段截止时间， t_2 为平稳段截止时间， c 为下降段系数， T_d 为总持时。

根据地震危险性概率分析结果，50 年超越概率为 63%、10%和 2%的水平向基岩地震加速度峰值和基岩地震加速度反应谱如第四章所示。基岩地震动时程合成时以此作为目标函数。

对强度包络函数的估计则使用霍俊荣（1989）的结果：

$$\lg Y = c_0 + c_1 M + c_2 \lg(R+10) + \varepsilon$$

式中， Y 可以是上升段长 T_1 、平稳段长 $T_2 - T_1$ 、下降系数 C 三个参数之一，相应的系数与标准差见表 6.1-1。由此回归关系得到了地震动持续时间及衰减系数，结果列入表 6.1-2。根据地震动持续时间的平稳段和总持续时间分析，输入地震动主要来自于中等距离地震影响，这一结果与本工程场地地震环境特征是相符的。

表 6.1.1 强度包络函数回归系数

参数 Y	c_0	c_1	c_2	标准差 σ_ε
T_1	-1.074	0	1.005	0.31
$T_2 - T_1$	-2.268	0.3262	0.5815	0.16
C	1.941	-0.2817	-0.5670	0.10

地震动的持续时间主要受震级和震中距的影响。综合考虑地震环境对场地的影响，应用上述公式计算并结合工程经验确定了工程场地不同概率水平下的基岩地震动强度包络函数参数（见表6.1-2）。

表 6.1-2 地震动持时参数

超越概率水平	等效震级	等效震中距	T_1	T_2	C
50 年 63%	5.2	30.6	3.0	12.0	0.15
50 年 10%	5.8	20.7	3.0	15.0	0.13
50 年 2%	6.2	16.6	3.0	17.0	0.11

6.1.3 目标谱及基岩地震动时程的合成

以地震危险性分析得到的结果作为目标峰值加速度和反应谱，分别合成 3 个概率水平的地震动时程。为了考虑相位随机性的影响，对每一个概率水平情况都合成三个不同随机相位的地震动时程样本。合成的时程均以 0.02 为间隔,离散值点数为 2048，拟合目标反应谱时其拟合误差小于 5%。图 6.1.1 至图 6.1.3 所示分别为工程区工程场地基岩地震动对应于 50 年超越概率 63%、10%、2%的三个时程样本。

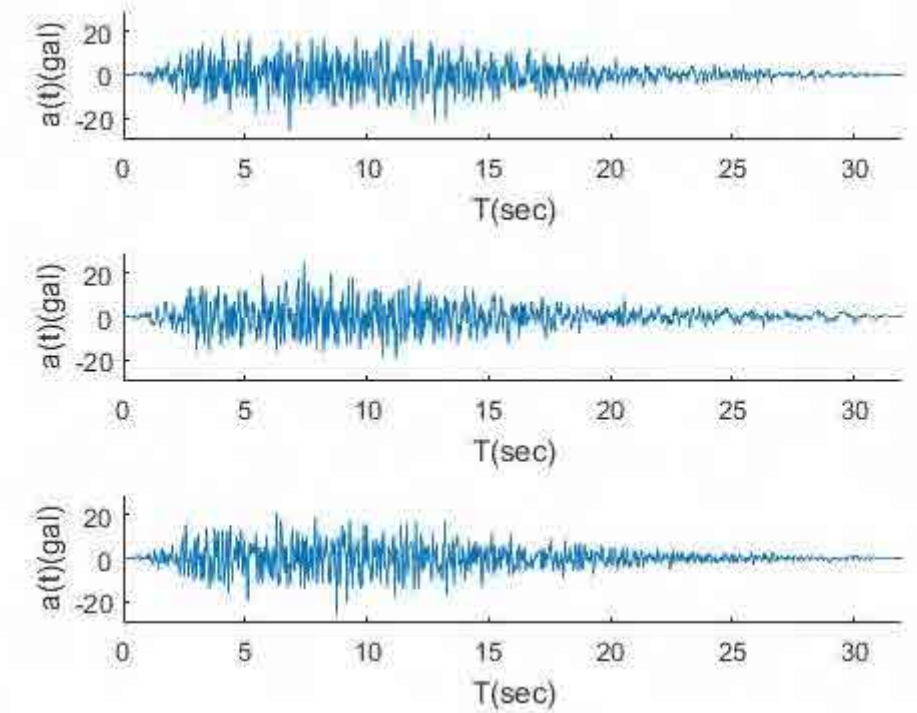


图 6.1.1 50 年超越概率 63%的场地基岩地震动时程

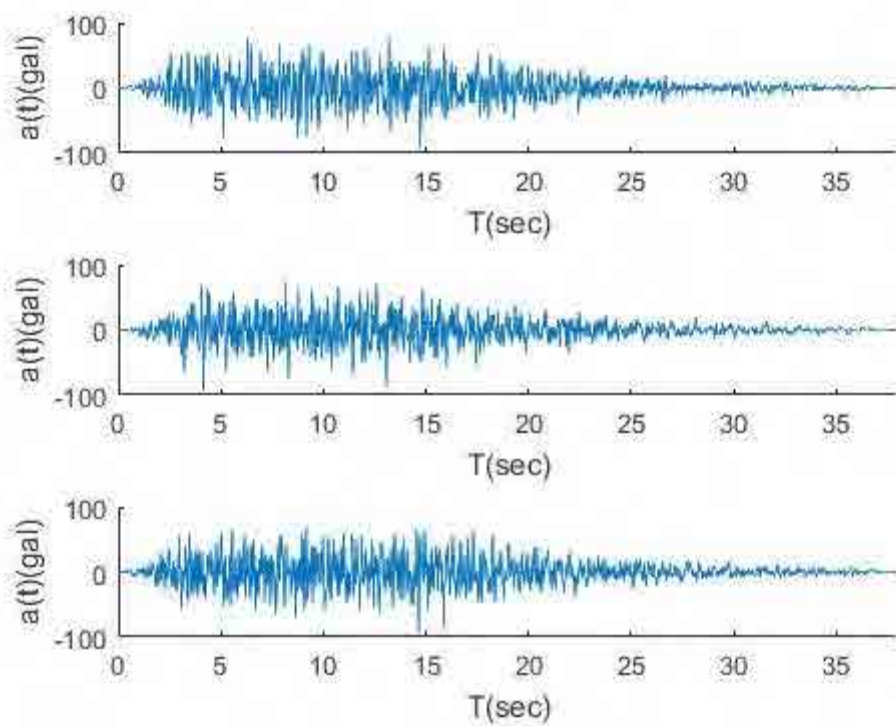


图 6.1.2 50 年超越概率 10%的场地基岩地震动时程

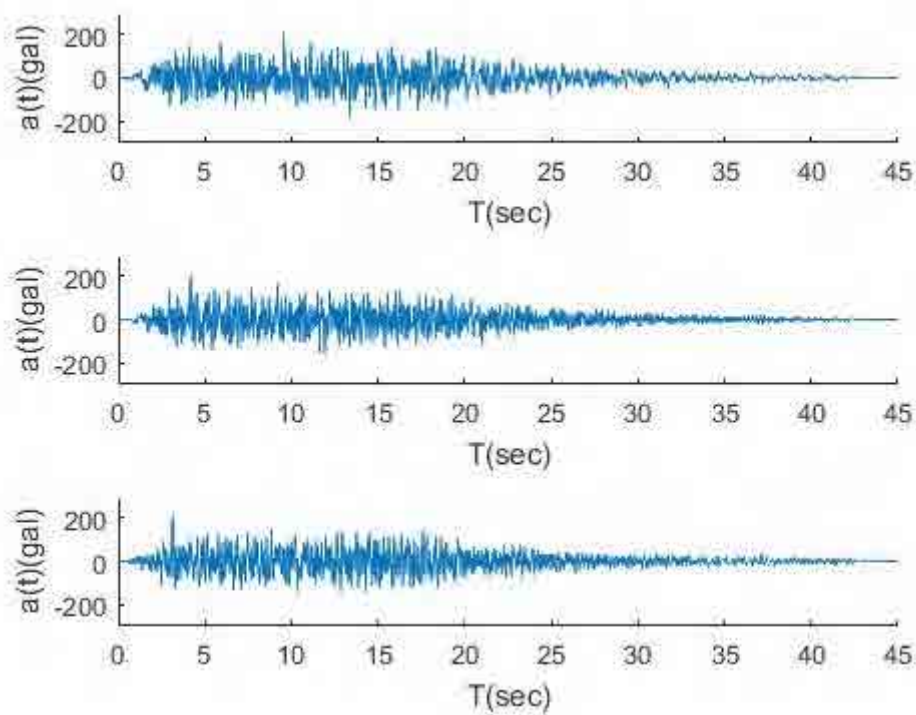


图 6.1.3 50 年超越概率 2%的场地基岩地震动时程

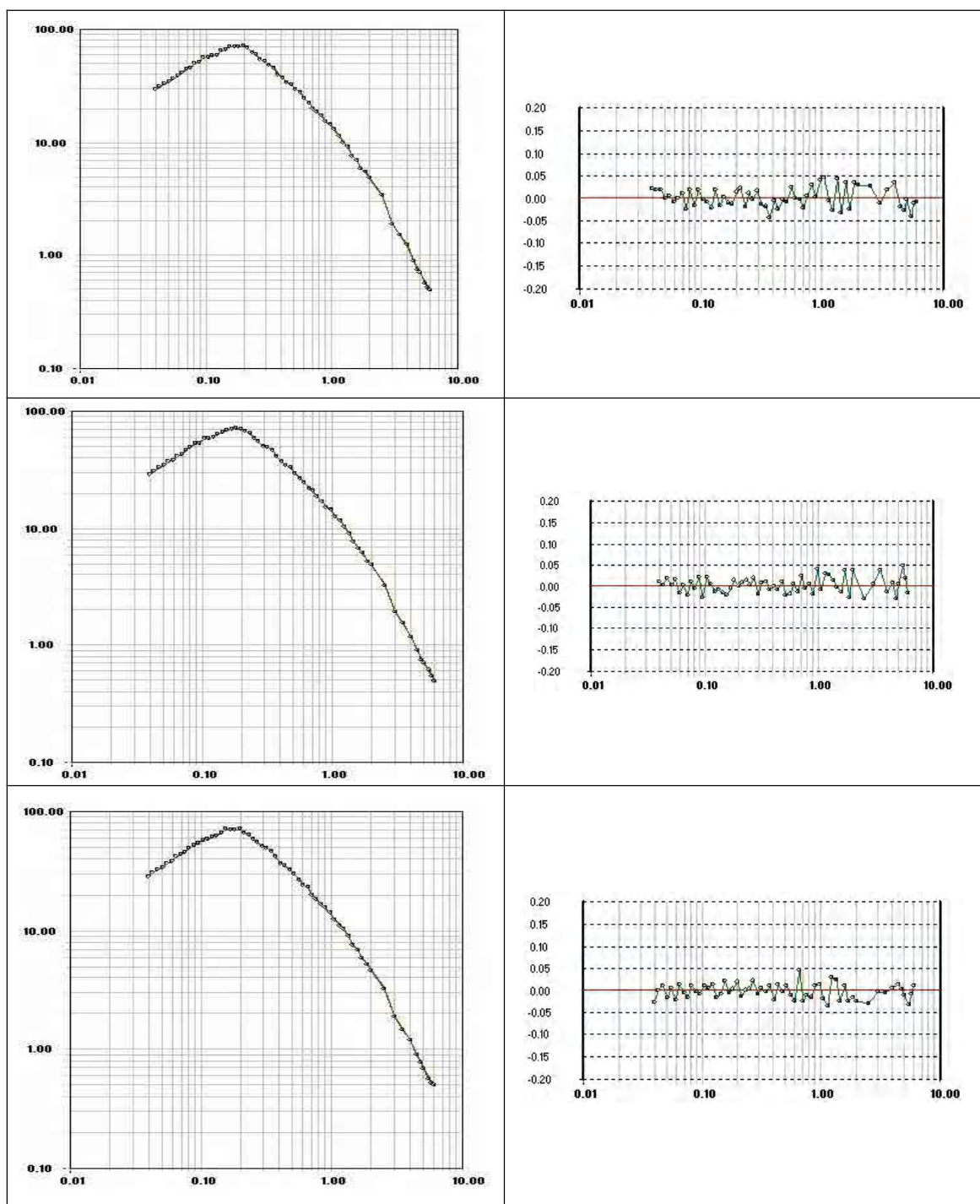


图 6.1-4 5 年超越概率 63%地震动合成拟合情况

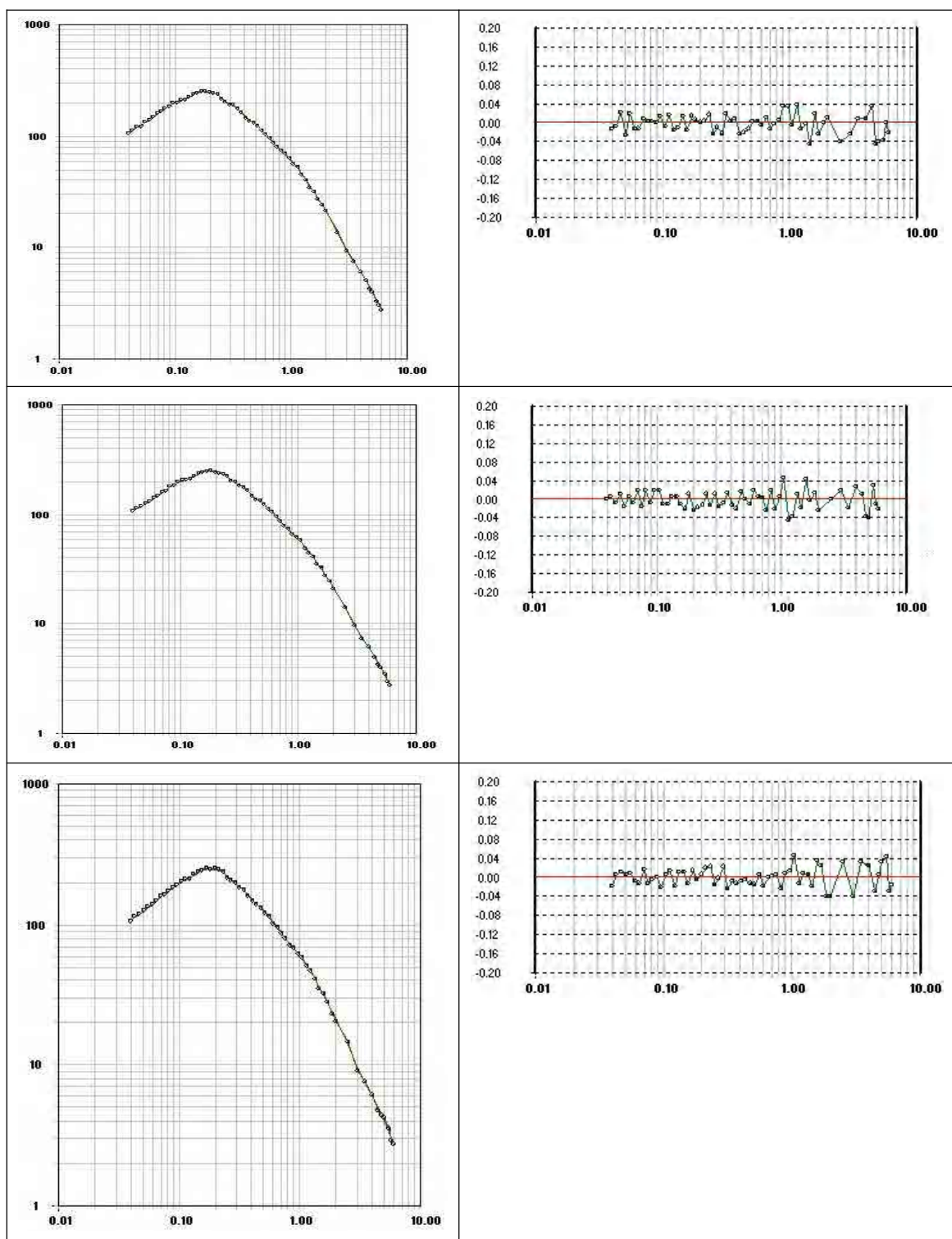


图 6.1-4 5 年超越概率 10%地震动合成拟合情况

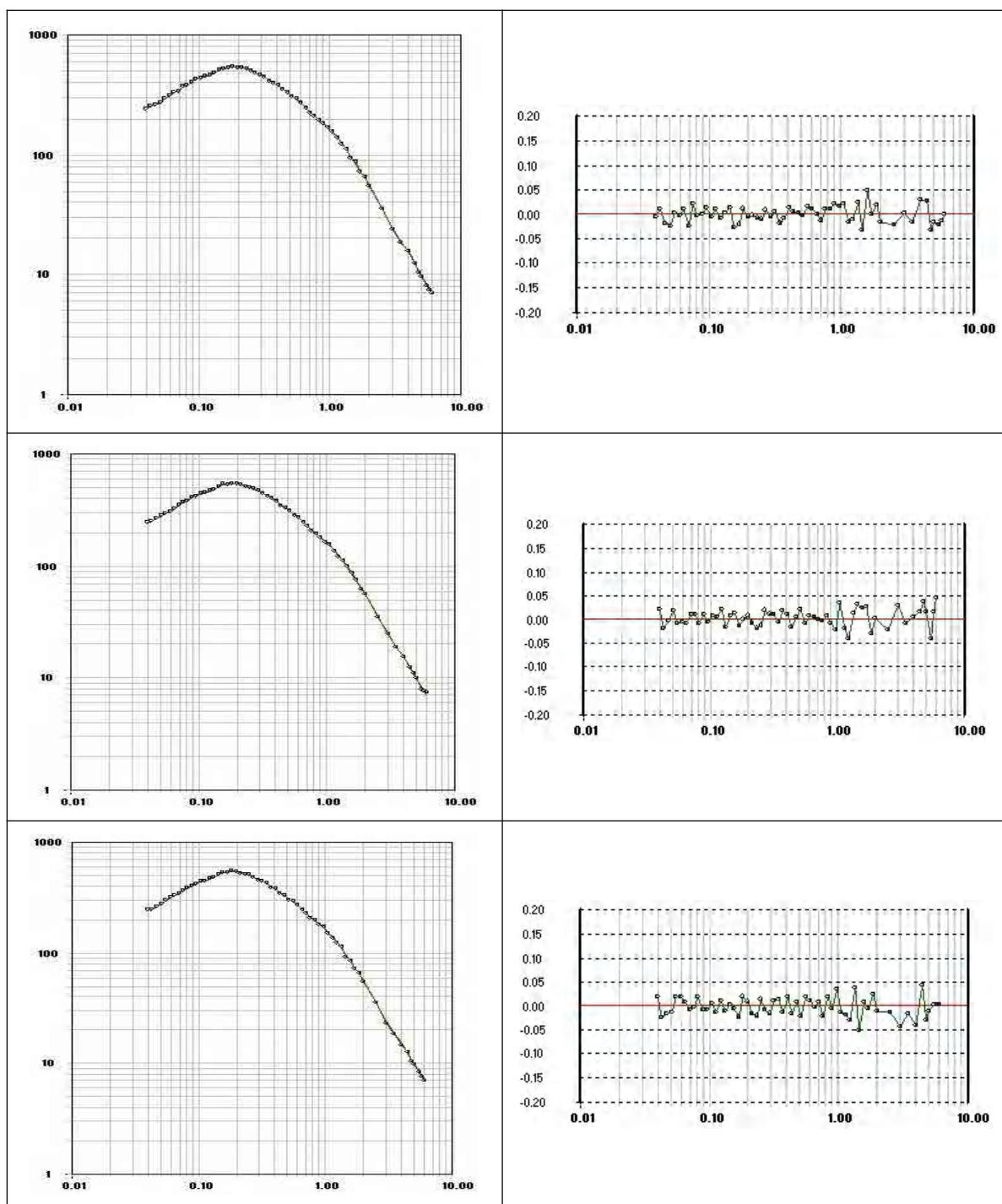


图 6.1-4 5 年超越概率 2%地震动合成拟合情况

6.2 场地土层地震反应计算

6.2.1 方法概述

场地地震反应分析实质是以基岩地震动时程作为地震输入，综合考虑各上覆土层的物理力学性质，求解波动方程的问题。根据本工程场地地质勘探资料，该工程场地土层基本为水平层状分布，故采用一维等效线性化波动方法进行土层地震反应分析计算。

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和土层剪切波速测试资料。
- 2) 确定各层的初始剪切模量 G_j 、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 $\Gamma(i\omega, Z_j)$ ，经傅立叶逆变换得到其时域过程 $\gamma_j(t, Z_j)$ ，计算每一土层的层中点处的等效剪应变值： $\gamma_j = c \gamma_{j, \max}$ ， 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。

6.2.2 场地土层地震反应计算模型

场地土层地震反应分析的计算模型按照《中华人民共和国国家标准：工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)的要求，根据钻孔资料、剪切波速测试资料及室内试验资料综合建立。根据前述 11 个钻孔的钻孔资料，建立了场地具体计算模型，见表 6.2-1 至表 6.2-11 所示。

表 6.2.1 工程场地钻孔 1 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.5	杂填土	1	0.5	134	1.90
2	5.0	粉质粘土	6	4.5	167	2.02

3	8.0	粘土	2	3.0	177	2.02
4	11.0	粘土	2	3.0	191	2.02
5	14.0	粘土	2	3.0	195	2.02
6	17.0	粘土	2	3.0	245	2.02
7	20.0	粘土	2	3.0	259	2.02
8	23.0	粘土	2	3.0	248	2.02
9	26.0	粘土	3	3.0	297	2.02
10	29.0	粘土	3	3.0	321	2.02
11	32.4	粘土	3	3.4	368	2.02
12	34.7	含泥含卵砾粗砂	9	2.3	429	1.98
13	36.2	粉质粘土	4	1.5	384	2.02
14	40.0	泥质粗砂	10	3.8	411	1.98
15	43.0	泥质粗砂	10	3.0	454	1.98
输入面		粉质粘土	53		523	2.05

表 6.2-2 工程场地钻孔 2 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm3)
1	0.5	杂填土	1	0.5	137	1.90
2	4.0	粉质粘土	6	3.5	151	2.02
3	7.0	粉质粘土	7	3.0	179	2.02
4	10.0	粉质粘土	7	3.0	200	2.02
5	13.0	粉质粘土	7	3.0	226	2.02
6	16.0	粉质粘土	7	3.0	252	2.02
7	20.0	含泥含卵砾粗砂	0	4.0	319	1.98
8	23.0	泥质粗砂	13	3.0	289	1.98
9	26.0	泥质粗砂	13	3.0	304	1.98
10	29.0	泥质粗砂	13	3.0	339	1.98
11	32.0	泥质粗砂	13	3.0	348	1.98
12	35.0	泥质粗砂	14	3.0	372	1.98
13	38.0	泥质粗砂	14	3.0	368	1.98
14	41.0	泥质粗砂	14	3.0	422	1.98
15	44.0	泥质粗砂	14	3.0	463	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		525	2.05

表 6.2-3 工程场地钻孔 3 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm3)
1	0.3	杂填土	1	0.3	145	1.90
2	3.0	粉质粘土	6	2.7	155	2.02
3	6.0	粉质粘土	6	3.0	168	2.02

4	9.0	粉质粘土	7	3.0	183	2.02
5	12.0	粉质粘土	7	3.0	243	2.02
6	15.3	粉质粘土	8	3.3	254	2.02
7	16.7	泥质中砂	13	1.4	284	1.98
8	21.0	含泥含卵砾粗砂	13	4.3	301	1.98
9	24.0	粘土	3	3.0	259	2.02
10	27.0	粘土	3	3.0	293	2.02
11	30.0	粘土	3	3.0	312	2.02
12	34.0	粘土	3	4.0	354	2.02
13	35.3	泥质中砂	9	1.3	429	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		527	2.05

表 6.2-4 工程场地钻孔 4 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	1.5	杂填土	1	1.5	136	1.90
2	5.0	粉质粘土	6	3.5	151	2.02
3	8.0	粉质粘土	7	3.0	170	2.02
4	11.0	粉质粘土	7	3.0	202	2.02
5	14.0	粉质粘土	7	3.0	233	2.02
6	16.0	粉质粘土	7	2.0	251	2.02
7	17.5	泥质粗砂	8	1.5	273	1.98
8	20.0	含泥含卵砾粗砂	8	2.5	298	1.98
9	23.0	泥质粗砂	8	3.0	268	1.98
10	26.0	泥质粗砂	8	3.0	274	1.98
11	29.0	泥质粗砂	8	3.0	280	1.98
12	32.0	泥质粗砂	9	3.0	301	1.98
13	35.0	泥质粗砂	9	3.0	334	1.98
14	38.0	泥质粗砂	10	3.0	371	1.98
15	41.0	泥质粗砂	10	3.0	434	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		517	2.05

表 6.2-5 工程场地钻孔 5 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.3	杂填土	1	0.3	153	1.90
2	4.0	粉质粘土	11	3.7	163	2.02
3	7.0	粉质粘土	11	3.0	181	2.02
4	10.0	粉质粘土	12	3.0	189	2.02
5	13.0	粉质粘土	12	3.0	221	2.02
6	16.0	粉质粘土	13	3.0	255	2.02

7	20.0	粉质粘土	13	4.0	273	2.02
8	23.0	粉质粘土	13	3.0	280	2.02
9	27.0	含泥含卵砾粗砂	8	4.0	334	1.98
10	30.0	泥质粗砂	9	3.0	328	1.98
11	34.0	泥质粗砂	9	4.0	358	1.98
12	37.0	粉质粘土	17	3.0	322	2.02
13	39.0	粉质粘土	17	2.0	373	2.02
14	41.0	泥质粗砂	14	2.0	432	1.98
15	44.0	泥质粗砂	14	3.0	473	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		564	2.05

表 6.2-6 工程场地钻孔 6 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	1.2	杂填土	1	1.2	131	1.90
2	5.0	粉质粘土	11	3.8	142	2.02
3	8.0	粉质粘土	12	3.0	167	2.02
4	11.0	粉质粘土	12	3.0	190	2.02
5	14.8	粉质粘土	12	3.8	221	2.02
6	18.0	含泥含卵砾粗砂	13	3.2	301	1.98
7	22.2	含泥含卵砾粗砂	13	4.2	347	1.98
8	23.2	中砂	13	1.0	286	1.98
9	27.0	泥质中砂	13	3.8	265	1.98
10	30.0	泥质中砂	13	3.0	279	1.98
11	33.0	泥质中砂	14	3.0	291	1.98
12	36.0	泥质粗砂	14	3.0	344	1.98
13	39.0	泥质粗砂	14	3.0	397	1.98
14	43.0	泥质粗砂	14	4.0	416	1.98
15	46.5	泥质粗砂	14	3.5	461	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		506	2.05

表 6.2-7 工程场地钻孔 7 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.3	杂填土	1	0.3	135	1.90
2	4.0	粉质粘土	15	3.7	148	2.02
3	7.0	粉质粘土	15	3.0	168	2.02
4	10.7	粉质粘土	15	3.7	200	2.02
5	13.0	泥质粗砂	16	2.3	267	1.98
6	16.3	泥质粗砂	16	3.3	274	1.98
7	19.0	含泥含卵砾粗砂	16	2.7	311	1.98

8	22.4	含泥含卵砾粗砂	16	3.4	356	1.98
9	26.0	泥质粗砂	16	3.6	334	1.98
10	29.3	泥质粗砂	16	3.3	342	1.98
11	32.0	粉质粘土	17	2.7	312	2.02
12	35.0	粉质粘土	17	3.0	331	2.02
13	38.0	粉质粘土	17	3.0	377	2.02
14	40.0	粉质粘土	17	2.0	417	2.02
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		510	2.05

表 6.2-8 工程场地钻孔 8 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	3.0	杂填土	1	3.0	148	1.90
2	5.4	杂填土	1	2.4	150	1.90
3	9.0	粉质粘土	15	3.6	175	2.02
4	12.0	粉质粘土	12	3.0	220	2.02
5	15.0	粉质粘土	12	3.0	235	2.02
6	18.7	粉质粘土	8	3.7	271	2.02
7	21.0	泥质粗砂	16	2.3	318	1.98
8	23.7	泥质粗砂	16	2.7	316	1.98
9	26.5	粉质粘土	8	2.8	282	2.02
10	30.0	泥质粗砂	38	3.5	336	1.98
11	33.0	泥质粗砂	38	3.0	352	1.98
12	36.0	粉质粘土	9	3.0	317	2.02
13	39.0	粉质粘土	9	3.0	363	2.02
14	43.0	粉质粘土	10	4.0	421	2.02
15	46.3	粉质粘土	10	3.3	472	2.02
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		553	2.05

表 6.2-9 工程场地钻孔 9 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.3	杂填土	1	0.3	132	1.90
2	4.0	粉质粘土	20	3.7	154	2.02
3	6.0	泥质中砂	21	2.0	182	2.02
4	7.8	含泥含砾粗砂	23	1.8	224	1.98
5	10.0	粘土	22	2.2	192	2.02
6	13.0	泥质粗砂	23	3.0	236	1.98
7	16.0	泥质粗砂	23	3.0	274	1.98
8	19.0	泥质粗砂	23	3.0	297	1.98
9	22.0	泥质粗砂	23	3.0	307	1.98

10	25.0	泥质粗砂	24	3.0	330	1.98
11	28.0	泥质粗砂	24	3.0	366	1.98
12	31.0	泥质粗砂	24	3.0	359	1.98
13	34.0	泥质粗砂	24	3.0	373	1.98
14	37.0	含泥含卵砾粗砂	24	3.0	429	1.98
15	40.0	含泥含卵砾粗砂	24	3.0	471	1.98
输入面		强风化砂岩	53		570	2.05

表 6.2-10 工程场地钻孔 10 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	1.0	杂填土	1	1.0	140	1.90
2	4.0	粉质粘土	25	3.0	156	2.02
3	7.0	粉质粘土	25	3.0	174	2.02
4	10.0	粉质粘土	26	3.0	202	2.02
5	12.0	粉质粘土	26	2.0	226	2.02
6	16.0	泥质粗砂	27	4.0	269	1.98
7	17.5	含泥含卵砾粗砂	27	1.5	294	1.98
8	21.0	泥质粗砂	28	3.5	289	1.98
9	24.0	泥质粗砂	28	3.0	313	1.98
10	27.0	泥质粗砂	28	3.0	324	1.98
11	30.0	泥质粗砂	28	3.0	347	1.98
12	33.0	泥质粗砂	28	3.0	370	1.98
13	36.0	泥质粗砂	28	3.0	420	1.98
14	40.0	粉质粘土	29	4.0	398	2.02
15	43.0	含泥含卵砾粗砂	29	3.0	490	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		550	2.05

表 6.2-11 工程场地钻孔 11 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	1.5	杂填土	1	1.5	136	1.90
2	4.0	粉质粘土	25	2.5	142	2.02
3	7.0	粉质粘土	25	3.0	165	2.02
4	10.0	粉质粘土	26	3.0	181	2.02
5	13.0	粉质粘土	26	3.0	222	2.02
6	16.0	粉质粘土	26	3.0	239	2.02
7	18.0	泥质粗砂	27	2.0	272	1.98
8	20.0	含泥含卵砾粗砂	27	2.0	303	1.98
9	23.0	泥质粗砂	28	3.0	275	1.98
10	26.0	泥质粗砂	28	3.0	299	1.98

11	29.0	泥质粗砂	28	3.0	335	1.98
12	32.0	粉质粘土	32	3.0	284	2.02
13	35.0	粉质粘土	32	3.0	316	2.02
14	38.0	泥质粗砂	28	3.0	370	1.98
15	41.0	泥质粗砂	28	3.0	406	1.98
16	44.0	含泥含卵砾粗砂	28	3.0	470	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		531	2.05

表 6.2-12 工程场地钻孔 12 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.4	杂填土	1	0.4	141	1.90
2	3.0	粉质粘土	30	2.6	147	2.02
3	6.0	粉质粘土	30	3.0	166	2.02
4	8.7	粉质粘土	30	2.7	197	2.02
5	9.5	细砂	27	0.8	244	1.98
6	12.0	含泥含卵砾粗砂	27	2.5	266	1.98
7	14.5	含泥含卵砾粗砂	27	2.5	280	1.98
8	17.5	泥质粗砂	27	3.0	275	1.98
9	20.0	粉质粘土	31	2.5	268	2.02
10	23.0	粉质粘土	31	3.0	266	2.02
11	25.5	粉质粘土	31	2.5	293	2.02
12	27.5	泥质粗砂	28	2.0	341	1.98
13	31.0	粉质粘土	32	3.5	307	2.02
14	34.4	粉质粘土	32	3.4	352	2.02
15	37.0	含泥含卵砾粗砂	28	2.6	452	1.98
输入面		含泥含卵砾粗砂	53		527	2.05

表 6.2-13 工程场地钻孔 13 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.3	杂填土	1	0.3	145	1.90
2	3.0	粉质粘土	35	2.7	153	2.02
3	6.0	粉质粘土	35	3.0	171	2.02
4	9.0	粉质粘土	36	3.0	187	2.02
5	12.0	粉质粘土	36	3.0	205	2.02
6	15.0	粉质粘土	37	3.0	245	2.02
7	18.0	粉质粘土	37	3.0	262	2.02
8	21.3	粉质粘土	37	3.3	273	2.02
9	24.0	粉质粘土	37	2.7	281	2.02
10	25.2	泥质中砂	28	1.2	337	1.98

11	27.4	含泥含卵砾粗砂	28	2.2	363	1.98
12	31.3	粉质粘土	38	3.9	321	2.02
13	34.5	泥质粗砂	39	3.2	361	1.98
14	38.0	含泥含砾粗砂	39	3.5	467	1.98
15	41.7	含泥含砾粗砂	39	3.7	525	1.98
16	44.0	泥质粗砂	39	2.3	492	1.98
输入面		泥质粗砂	53		521	2.05

表 6.2-14 工程场地钻孔 14 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.3	杂填土	1	0.3	155	1.90
2	3.0	粉质粘土	42	2.7	157	2.02
3	6.0	粉质粘土	42	3.0	173	2.02
4	9.0	粉质粘土	43	3.0	182	2.02
5	12.0	粉质粘土	43	3.0	206	2.02
6	14.7	粉质粘土	43	2.7	243	2.02
7	17.0	含泥含砾粗砂	28	2.3	311	1.98
8	20.0	粉质粘土	44	3.0	262	2.02
9	23.0	粉质粘土	44	3.0	260	2.02
10	26.6	粉质粘土	44	3.6	270	2.02
11	29.0	泥质粗砂	28	2.4	326	1.98
12	32.0	泥质粗砂	28	3.0	360	1.98
13	35.0	泥质粗砂	28	3.0	384	1.98
14	37.8	粉质粘土	45	2.8	348	2.02
15	40.2	泥质粗砂	28	2.4	475	1.98
16	43.0	粉质粘土	46	2.8	464	2.02
输入面		粉质粘土	53		517	2.05

表 6.2-15 工程场地钻孔 15 号孔计算场地模型资料

序号	层底(m)	岩性	土类号	层厚(m)	波速(m/s)	密度(g/cm ³)
1	0.3	杂填土	1	0.3	155	1.90
2	3.0	粉质粘土	47	2.7	159	2.02
3	6.0	粉质粘土	47	3.0	161	2.02
4	9.0	粉质粘土	48	3.0	176	2.02
5	12.0	粉质粘土	48	3.0	217	2.02
6	15.0	粉质粘土	49	3.0	247	2.02
7	17.6	含卵砾粗砂	50	2.6	309	1.98
8	20.0	泥质粗砂	50	2.4	273	1.98
9	23.0	泥质粗砂	50	3.6	290	1.98

10	26.0	泥质粗砂	50	3.0	329	1.98
11	29.0	泥质粗砂	50	3.0	358	1.98
12	32.0	含泥含砾粗砂	50	3.0	428	1.98
13	35.0	含泥含砾粗砂	50	3.0	477	1.98
14	37.0	含泥含砾粗砂	50	2.0	518	1.98
15	40.0	粉质粘土	51	3.0	464	2.02
16	43.5	粉质粘土	51	3.5	482	2.02
输入面		泥质粗砂	53		554	2.05

计算场地模型中各土层土体动力非线性参数中，土层反应分析计算所使用的 2 至 52 号土类的剪切模量比(G/G_{\max})和阻尼比(λ/λ_{\max})与剪应变(γ)的关系是通过钻孔取样，对土样进行土样动三轴试验的结果。1、53 号土类为规范推荐值，计算模型中各类土的动力非线性曲线参数见表 6.2-16。

表 6.2-16 场地土层反应中土体动力非线性等效曲线参数

土类号	土样编号	参数	5.00E-06	1.00E-05	5.00E-05	1.00E-04	5 E-4	1.00E-03	5.00E-03	1.00E-02
1	推荐值	G/G_{\max}	0.960	0.950	0.800	0.700	0.300	0.200	0.150	0.100
		λ/λ_{\max}	0.025	0.028	0.030	0.035	0.080	0.100	0.110	0.120
2	Zk1-1	G/G_{\max}	0.9945	0.9890	0.9475	0.9002	0.6434	0.4742	0.1528	0.0827
		λ/λ_{\max}	0.0017	0.0032	0.0144	0.0268	0.0911	0.1323	0.2093	0.2259
3	Zk1-2	G/G_{\max}	0.9978	0.9957	0.9787	0.9582	0.8210	0.6963	0.3144	0.1865
		λ/λ_{\max}	0.0017	0.0030	0.0112	0.0195	0.0652	0.1010	0.1982	0.2284
4	Zk1-3	G/G_{\max}	0.9983	0.9967	0.9837	0.9679	0.8579	0.7512	0.3765	0.1999
		λ/λ_{\max}	0.0222	0.0280	0.0474	0.0593	0.0971	0.1168	0.1583	0.1696
5	Zk1-4	G/G_{\max}	0.9985	0.9970	0.9853	0.9711	0.8704	0.7705	0.4018	0.2014
		λ/λ_{\max}	0.0062	0.0090	0.0212	0.0306	0.0683	0.0927	0.1549	0.1747
6	Zk4-1	G/G_{\max}	0.9952	0.9905	0.9543	0.9126	0.6763	0.5109	0.1728	0.0946
		λ/λ_{\max}	0.0157	0.0222	0.0491	0.0680	0.1316	0.1621	0.2112	0.2210
7	Zk4-2	G/G_{\max}	0.9980	0.9960	0.9801	0.9610	0.8314	0.7114	0.3302	0.1978
		λ/λ_{\max}	0.0373	0.0448	0.0683	0.0817	0.1205	0.1389	0.1737	0.1823
8	Zk4-3	G/G_{\max}	0.9987	0.9974	0.9872	0.9747	0.8853	0.7942	0.4356	0.2084
		λ/λ_{\max}	0.0075	0.0105	0.0233	0.0328	0.0696	0.0931	0.1539	0.1740
9	Zk4-4	G/G_{\max}	0.9979	0.9957	0.9790	0.9589	0.8236	0.7001	0.3183	0.1893
		λ/λ_{\max}	0.0366	0.0440	0.0672	0.0804	0.1186	0.1367	0.1701	0.1782
10	Zk4-5	G/G_{\max}	0.9985	0.9971	0.9856	0.9717	0.8728	0.7743	0.4069	0.2054
		λ/λ_{\max}	0.0062	0.0090	0.0218	0.0318	0.0730	0.1002	0.1709	0.1938
11	Zk6-1	G/G_{\max}	0.9944	0.9888	0.9463	0.8981	0.6379	0.4683	0.1498	0.0810
		λ/λ_{\max}	0.0015	0.0029	0.0130	0.0241	0.0820	0.1189	0.1872	0.2018

12	Zk6-2	G/G _{max}	0.9978	0.9956	0.9785	0.9578	0.8196	0.6943	0.3124	0.1851
		λ/λ_{\max}	0.0056	0.0084	0.0216	0.0321	0.0759	0.1037	0.1675	0.1852
13	Zk6-3	G/G _{max}	0.9980	0.9961	0.9807	0.9620	0.8352	0.7171	0.3364	0.2022
		λ/λ_{\max}	0.0243	0.0315	0.0575	0.0741	0.1290	0.1582	0.2183	0.2340
14	Zk6-4	G/G _{max}	0.9976	0.9953	0.9769	0.9548	0.8087	0.6789	0.2972	0.1745
		λ/λ_{\max}	0.0243	0.0312	0.0558	0.0712	0.1206	0.1457	0.1939	0.2056
15	zk7-1	G/G _{max}	0.9965	0.9930	0.9661	0.9344	0.7402	0.5875	0.2217	0.1247
		λ/λ_{\max}	0.0102	0.0143	0.0312	0.0431	0.0849	0.1066	0.1457	0.1544
16	zk7-2	G/G _{max}	0.9974	0.9947	0.9743	0.9498	0.7911	0.6544	0.2746	0.1592
		λ/λ_{\max}	0.0183	0.0250	0.0517	0.0701	0.1345	0.1692	0.2373	0.2538
17	Zk7-3	G/G _{max}	0.9986	0.9972	0.9861	0.9725	0.8761	0.7795	0.4142	0.2012
		λ/λ_{\max}	0.0258	0.0321	0.0532	0.0660	0.1062	0.1274	0.1736	0.1868
18	Zk7-4	G/G _{max}	0.9985	0.9970	0.9854	0.9712	0.8708	0.7711	0.4025	0.2020
		λ/λ_{\max}	0.0247	0.0312	0.0538	0.0677	0.1128	0.1371	0.1900	0.2051
19	Zk7-5	G/G _{max}	0.9988	0.9977	0.9884	0.9772	0.8953	0.8105	0.4610	0.2096
		λ/λ_{\max}	0.0206	0.0260	0.0444	0.0557	0.0927	0.1130	0.1603	0.1750
20	Zk9-1	G/G _{max}	0.9920	0.9842	0.9256	0.8614	0.5542	0.3833	0.1106	0.0585
		λ/λ_{\max}	0.0299	0.0398	0.0758	0.0981	0.1595	0.1826	0.2126	0.2177
21	Zk9-2	G/G _{max}	0.9955	0.9910	0.9567	0.9170	0.6883	0.5248	0.1809	0.0994
		λ/λ_{\max}	0.0035	0.0061	0.0209	0.0350	0.0991	0.1382	0.2122	0.2287
22	Zk9-3	G/G _{max}	0.9970	0.9940	0.9706	0.9429	0.7676	0.6228	0.2483	0.1417
		λ/λ_{\max}	0.0099	0.0142	0.0325	0.0460	0.0959	0.1235	0.1771	0.1898
23	Zk9-4	G/G _{max}	0.9977	0.9955	0.9777	0.9564	0.8142	0.6867	0.3048	0.1798
		λ/λ_{\max}	0.0296	0.0373	0.0636	0.0797	0.1295	0.1543	0.2015	0.2130
24	Zk9-5	G/G _{max}	0.9985	0.9970	0.9852	0.9709	0.8697	0.7695	0.4003	0.2303
		λ/λ_{\max}	0.0036	0.0056	0.0155	0.0237	0.0612	0.0878	0.1605	0.1848
25	Zk10-1	G/G _{max}	0.9962	0.9924	0.9630	0.9285	0.7222	0.5651	0.2063	0.1150
		λ/λ_{\max}	0.0218	0.0289	0.0553	0.0725	0.1267	0.1523	0.1951	0.2040
26	Zk10-2	G/G _{max}	0.9968	0.9936	0.9688	0.9395	0.7564	0.6082	0.2369	0.1344
		λ/λ_{\max}	0.0084	0.0123	0.0295	0.0425	0.0917	0.1192	0.1722	0.1847
27	Zk10-3	G/G _{max}	0.9977	0.9955	0.9777	0.9564	0.8142	0.6867	0.3048	0.1798
		λ/λ_{\max}	0.0296	0.0373	0.0636	0.0797	0.1295	0.1543	0.2015	0.2130
28	Zk10-4	G/G _{max}	0.9988	0.9977	0.9884	0.9771	0.8950	0.8099	0.4601	0.1988
		λ/λ_{\max}	0.0197	0.0246	0.0411	0.0512	0.0833	0.1008	0.1408	0.1531
29	Zk10-5	G/G _{max}	0.9987	0.9974	0.9870	0.9743	0.8833	0.7910	0.4309	0.2046
		λ/λ_{\max}	0.0384	0.0464	0.0720	0.0867	0.1312	0.1539	0.2025	0.2164
30	Zk12-1	G/G _{max}	0.9930	0.9861	0.9343	0.8767	0.5872	0.4156	0.1245	0.0664
		λ/λ_{\max}	0.0007	0.0016	0.0090	0.0183	0.0717	0.1062	0.1677	0.1804
31	Zk12-2	G/G _{max}	0.9977	0.9954	0.9775	0.9560	0.8130	0.6849	0.3030	0.1785
		λ/λ_{\max}	0.0013	0.0023	0.0085	0.0149	0.0496	0.0765	0.1480	0.1697
32	Zk12-3	G/G _{max}	0.9983	0.9966	0.9831	0.9668	0.8536	0.7446	0.3684	0.1958

		λ/λ_{\max}	0.0365	0.0443	0.0692	0.0836	0.1267	0.1481	0.1908	0.2019
33	Zk12-4	G/G _{max}	0.9984	0.9968	0.9843	0.9691	0.8625	0.7583	0.3855	0.2088
		λ/λ_{\max}	0.0071	0.0106	0.0264	0.0389	0.0913	0.1260	0.2147	0.2427
34	Zk12-5	G/G _{max}	0.9983	0.9967	0.9835	0.9675	0.8563	0.7487	0.3734	0.2096
		λ/λ_{\max}	0.0017	0.0030	0.0104	0.0178	0.0578	0.0900	0.1853	0.2182
35	Zk13-1	G/G _{max}	0.9920	0.9841	0.9251	0.8606	0.5526	0.3818	0.1099	0.0582
		λ/λ_{\max}	0.0004	0.0010	0.0079	0.0182	0.0872	0.1346	0.2196	0.2369
36	Zk13-2	G/G _{max}	0.9954	0.9909	0.9562	0.9161	0.6859	0.5220	0.1792	0.0984
		λ/λ_{\max}	0.0015	0.0028	0.0118	0.0215	0.0728	0.1073	0.1768	0.1928
37	Zk13-3	G/G _{max}	0.9965	0.9931	0.9664	0.9350	0.7420	0.5898	0.2233	0.1257
		λ/λ_{\max}	0.0238	0.0321	0.0635	0.0844	0.1528	0.1866	0.2457	0.2586
38	Zk13-4	G/G _{max}	0.9972	0.9945	0.9729	0.9473	0.7824	0.6425	0.2644	0.1524
		λ/λ_{\max}	0.0319	0.0406	0.0706	0.0890	0.1458	0.1733	0.2228	0.2341
39	Zk13-5	G/G _{max}	0.9977	0.9953	0.9771	0.9552	0.8100	0.6806	0.2989	0.1757
		λ/λ_{\max}	0.0260	0.0339	0.0627	0.0813	0.1420	0.1736	0.2352	0.2504
40	Zk13-6	G/G _{max}	0.9976	0.9952	0.9766	0.9543	0.8069	0.6763	0.2947	0.1728
		λ/λ_{\max}	0.0014	0.0025	0.0097	0.0174	0.0605	0.0946	0.1855	0.2129
41	Zk13-7	G/G _{max}	0.9975	0.9951	0.9759	0.9529	0.8018	0.6691	0.2880	0.1682
		λ/λ_{\max}	0.0450	0.0552	0.0886	0.1081	0.1658	0.1931	0.2425	0.2540
42	Zk14-1	G/G _{max}	0.9962	0.9925	0.9634	0.9293	0.7245	0.5680	0.2082	0.1162
		λ/λ_{\max}	0.0006	0.0014	0.0077	0.0158	0.0698	0.1141	0.2213	0.2495
43	Zk14-2	G/G _{max}	0.9969	0.9939	0.9700	0.9418	0.7640	0.6182	0.2446	0.1393
		λ/λ_{\max}	0.0323	0.0417	0.0749	0.0958	0.1607	0.1920	0.2471	0.2594
44	Zk14-3	G/G _{max}	0.9975	0.9950	0.9754	0.9520	0.7987	0.6648	0.2840	0.1655
		λ/λ_{\max}	0.0005	0.0010	0.0052	0.0103	0.0449	0.0757	0.1652	0.1933
45	Zk14-4	G/G _{max}	0.9976	0.9953	0.9769	0.9548	0.8086	0.6787	0.2970	0.1744
		λ/λ_{\max}	0.0031	0.0050	0.0159	0.0258	0.0731	0.1062	0.1870	0.2100
46	Zk14-5	G/G _{max}	0.9979	0.9958	0.9793	0.9594	0.8253	0.7026	0.3209	0.1911
		λ/λ_{\max}	0.0155	0.0212	0.0435	0.0589	0.1137	0.1446	0.2098	0.2270
47	Zk15-1	G/G _{max}	0.9952	0.9905	0.9544	0.9127	0.6765	0.5112	0.1730	0.0947
		λ/λ_{\max}	0.0027	0.0048	0.0172	0.0292	0.0849	0.1188	0.1824	0.1963
48	Zk15-2	G/G _{max}	0.9961	0.9923	0.9625	0.9277	0.7197	0.5621	0.2043	0.1138
		λ/λ_{\max}	0.0249	0.0327	0.0610	0.0791	0.1353	0.1614	0.2044	0.2133
49	Zk15-3	G/G _{max}	0.9972	0.9945	0.9729	0.9472	0.7819	0.6419	0.2639	0.1520
		λ/λ_{\max}	0.0089	0.0131	0.0320	0.0465	0.1032	0.1364	0.2044	0.2214
50	Zk15-4	G/G _{max}	0.9981	0.9962	0.9810	0.9628	0.8381	0.7213	0.3410	0.2056
		λ/λ_{\max}	0.0407	0.0501	0.0813	0.0997	0.1558	0.1837	0.2384	0.2523
51	Zk15-5	G/G _{max}	0.9975	0.9950	0.9757	0.9525	0.8004	0.6672	0.2862	0.1670
		λ/λ_{\max}	0.0443	0.0542	0.0860	0.1045	0.1586	0.1840	0.2298	0.2403
52	Zk15-6	G/G _{max}	0.9979	0.9958	0.9793	0.9594	0.8254	0.7027	0.3210	0.1912
		λ/λ_{\max}	0.0047	0.0073	0.0198	0.0301	0.0750	0.1046	0.1753	0.1955

53	推荐值	G/G _{max}	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		λ/λ_{\max}	0.004	0.008	0.010	0.015	0.021	0.030	0.036	0.046

6.3 场地地震反应分析计算结果与场地地震相关反应谱

将 50 年超越概率 63%、10%、2% 三种不同超越概率水平的基岩水平加速度时程作为输入，采用上述土层地震反应分析模型，按照前述方法进行了土层地震反应分析计算，得到工程场地自由地表面处对应于 50 年超越概率 63%、10%、2% 水平地震动加速度反应谱（见图 6.3-1 至图 6.3-3），峰值加速度的计算值见表 6.3-1 和表 6.3-2。

表 6.3-1 50 年超越概率 63%、10%、2% 的地表处地震动峰值加速度（gal）

50 年超越概率	63%	10%	2%
1 号孔	49.0,42.8,44.1	131.0,126.9,126.8	239.0,240.8,261.0
2 号孔	40.2,35.6,36.2	119.8,111.8,103.6	225.5,233.0,238.4
3 号孔	41.5,38.3,39.1	134.5,123.6,114.2	244.9,242.4,269.8
4 号孔	44.7,39.2,38.1	131.5,123.6,113.4	252.6,239.3,262.6
5 号孔	43.9,41.1,38.4	135.1,125.7,119.9	247.7,247.1,270.3
6 号孔	39.1,46.1,46.6	134.5,127.8,114.8	246.0,249.9,264.7
7 号孔	43.2,42.7,41.0	119.7,132.8,123.6	240.8,229.4,253.9
8 号孔	46.4,45.1,48.2	129.3,141.6,128.4	285.5,263.3,270.0
9 号孔	46.1,40.8,41.5	138.1,135.9,128.8	269.3,248.2,276.3
10 号孔	44.4,39.4,41.5	123.9,127.7,119.2	243.9,236.0,253.2
11 号孔	46.3,42.8,41.5	121.0,128.7,119.3	237.5,230.4,254.7
12 号孔	47.6,43.1,40.4	140.6,151.1,141.7	260.1,250.3,286.2
13 号孔	40.8,37.5,39.7	131.2,126.6,116.2	237.1,242.3,257.3
14 号孔	42.3,37.8,38.5	135.0,116.3,113.2	245.9,234.1,262.3
15 号孔	40.8,36.8,39.4	115.6,114.4,104.7	235.5,240.3,243.0
平均值	41.8	125.4	250.3

本报告采用常规地震安全性评价工作中所采取的形式，按照公式（6-3-1）对地震反应谱进行了规准，规准后的反应谱曲线（即设计反应谱）见图 6.3-1 至图 6.3-3，根据规准谱，本报告给出了场地设计地震动峰值加速度及反应谱特征数值（表 6.3-2）。公式 6-3-1 的表达式为：

公式 6-3-1 的表达式为：

$$S_a(T) = \alpha(T) \times 980 \quad (6-3-1)$$

$$\alpha(T) = \begin{cases} [0.40 + \frac{\eta_2 - 0.40}{0.1} T] \alpha_{\max} & 0 \leq T < 0.1 \\ \eta_2 \alpha_{\max} & 0.1 \leq T < T_g \quad (6-3-2) \\ (T_g / T)^\gamma \eta_2 \alpha_{\max} & T_g \leq T < 5T_g \\ (\eta_2 0.2^\gamma - \eta_1 (T - 5T_g)) \alpha_{\max} & 5T_g \leq T \leq 6.0 \end{cases}$$

地震影响系数 $\alpha(T)$ 与峰值加速度 A_{\max} 与反应谱放大系数 $\beta(T)$ 的关系为:

$$\alpha(T) = \frac{A_{\max} \beta(T)}{980} \quad (6-3-3)$$

$$\text{其中, } \gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta}, \quad \eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta}, \quad \eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta}$$

公式中, α 为地震影响系数, α_{\max} 为地震影响系数最大值, T 为结构自振周期, ζ 为结构阻尼比, γ 为衰减系数, η_1 为直线下降段的下降斜率调整系数, 当计算值 $\eta_1 < 0$ 时, η_1 应取为 0, η_2 为阻尼调整系数, 当计算值 $\eta_2 < 0.55$ 时, η_2 应取为 0.55。

根据规准谱, 场地设计地震动峰值加速度及反应谱特征参数值 (表 6.3-2)。

表 6.3-2 工程场地地表水平向设计地震动峰值加速度及反应谱 (5%阻尼比) 参数值

超越概率值	$A_{\max}(\text{gal})$	$\alpha_{\max}(\text{g})$	$T_1(\text{s})$	β_m	$T_g(\text{s})$	γ
50 年 63%	42	0.107	0.1	2.5	0.35	0.9
50 年 10%	125	0.319	0.1	2.5	0.45	0.9
50 年 2%	250	0.638	0.1	2.5	0.50	0.9

综合公式 6-3-1 与公式 6-3-2, 参考《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) 中地震影响系数形状参数 (公式 6-3-3) 的要求, 本报告给出了 5% 阻尼比的地震影响系数曲线 (图 6.3-4)。

上述所得到的地震动参数结果, 综合反映了内乡县牧原智慧物流园场地附近一定范围内的地震活动性、地震地质环境和场地地层条件对地震动的影响, 具有较强的地区性, 因此本结果仅适用于内乡县牧原智慧物流园场地内的建筑物的抗震设计。

本章所提供的 50 年超越概率为 63%、10%及 2%的场地地表处水平向地震动工程参数，分别对应抗震设防的第一、第二及第三水准，即分别对应小震（多遇地震）、中震（偶遇地震）和大震（罕遇地震）。50 年 63%的设计地震动参数可用于建筑结构的强度验算；50 年 2%的设计地震动参数可用于建筑结构的变形验算和防倒塌验算。

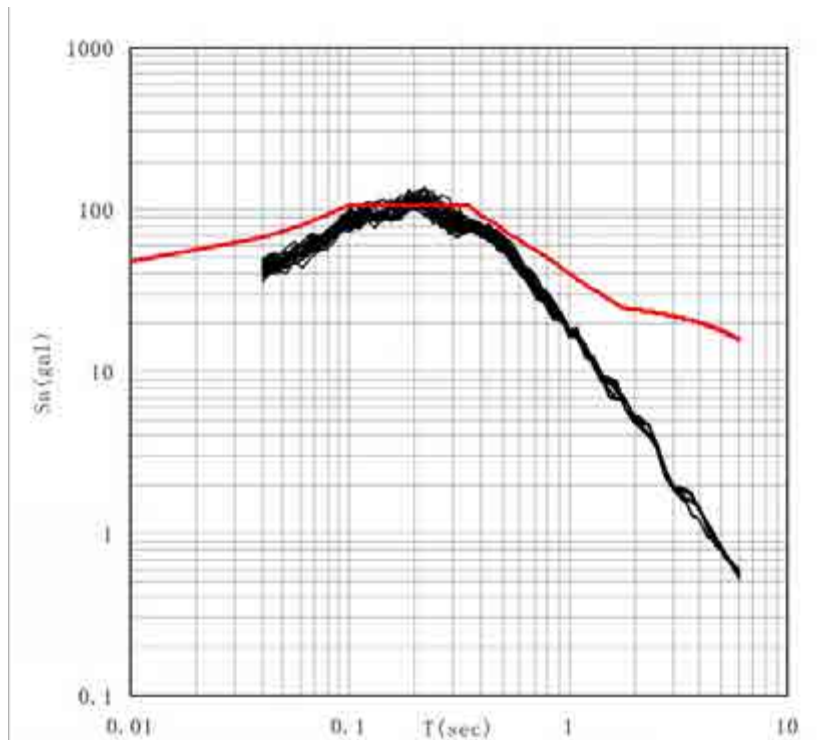


图 6.3-1 地表水平向地震动加速度反应谱及设计地震动反应谱（50 年超越概率 63%）

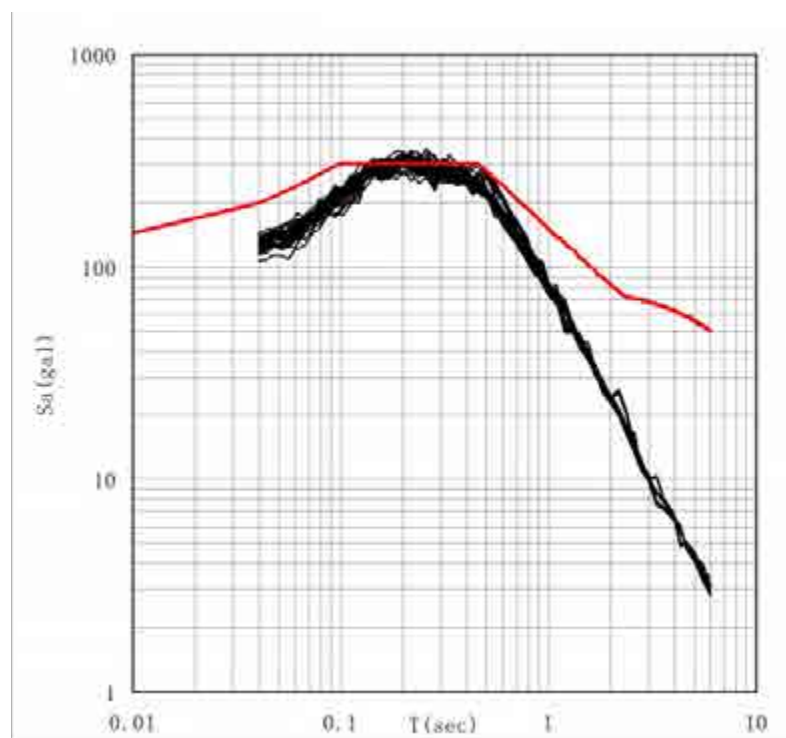


图 6.3-2 地表水平向地震动加速度反应谱及设计地震动反应谱（50 年超越概率 10%）

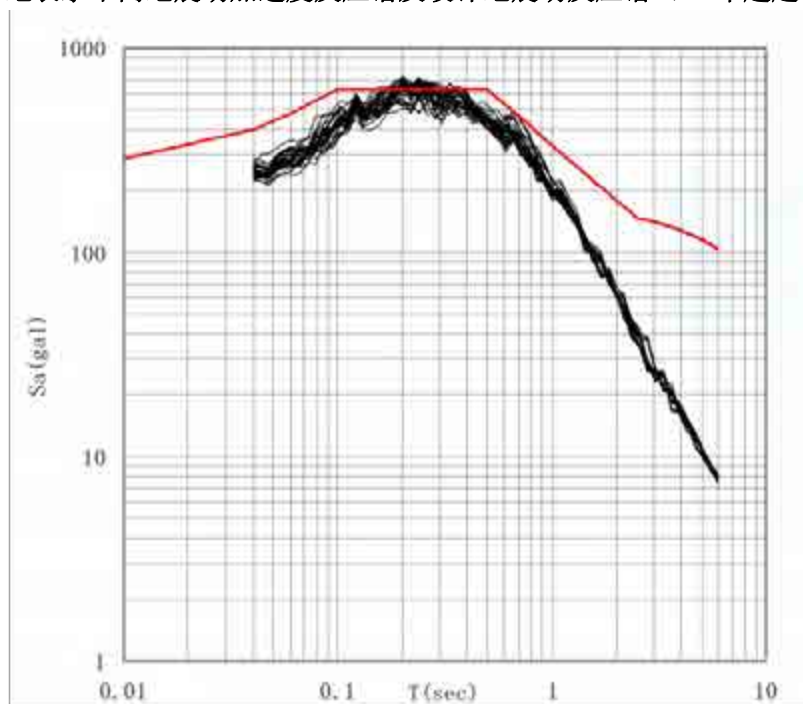


图 6.3-3 地表水平向地震动加速度反应谱及设计地震动反应谱（50 年超越概率 2%）

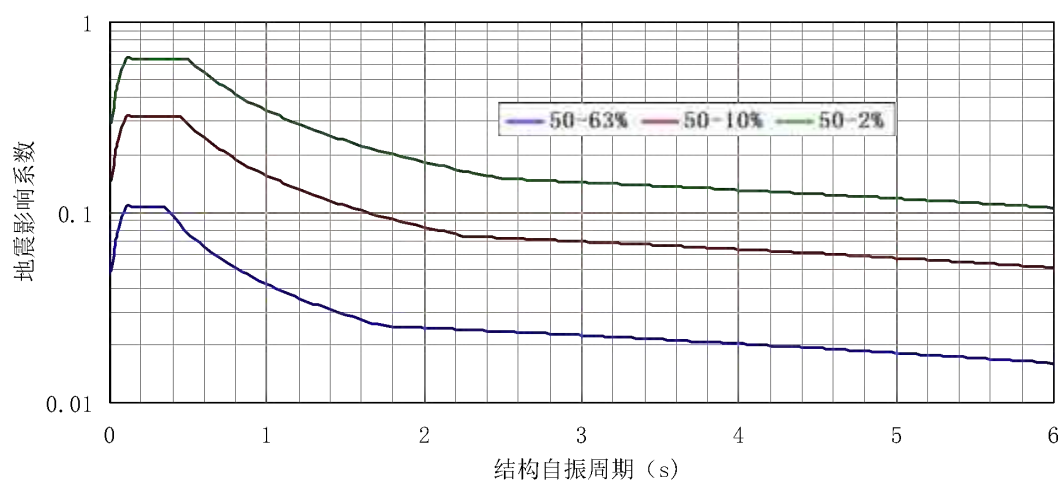


图 6.3-4 工程场地不同概率水准条件下地震影响系数曲线

第七章 结论

7.1 区域及近场地震活动环境评价

1、区域地震活动性

(1) 从公元前 23 世纪到公元 2021 年 1 月, 区域内记载到 $M \geq 4.7$ 级地震 16 次, 其中 5.0~5.9 级地震 6 次、6.0~6.9 级地震 2 次。

(2) 1970 年以来, 区域内共记载 $M_L \geq 3.0$ 级地震 115 次, 其中 3.0~3.9 级地震 100 次, 4.0~4.9 级地震 13 次, 5.0~5.9 级地震 2 次。

(3) 区域地处华北地震区的西南部, 地震活动较弱, 没有 7 级以上的地震记录。区域破坏性地震在空间分布上表现出不均匀性, 地震震中分布比较零散、随机, 没有形成明显的丛集或条带图像。区域现代地震在空间上也表现出不均匀性, 内乡西部的地震活动相对密集。

(4) 据 1970 年之后的仪器记录资料, 区域内地震震源深度主要分布在 20km 范围内, 占总数的 92%。区域内的地震基本是发生在地壳中上层的浅源构造地震。

(5) 区域位于地震活动较为强烈的华北地震区的西南部, 具体涉及华北地震区的华北平原地震带、汾渭地震带和华南地震区的长江中游地震带。华北平原地震带未来百年地震活动趋势应以该带平均活动水平来估计, 汾渭地震带和长江中游地震带以该带地震较活跃水平来估计。

(6) 区域内在历史上曾多次遭受过中强地震的影响, 工程场地历史地震最大影响烈度达 VI 度。

(7) 区域位于陕鄂豫交界区, 根据区域震源机制解资料, 区域主要处于以近东西走向的水平压应力和近南北走向的水平张应力为特征的构造应力场中。

2、近场地震活动性综述

近场区内历史上记录过 4 次 4.7 级破坏性地震。1970 年以来记录到 $M_L \geq 2.0$ 级地震 189 次, 最大地震为 1973 年 11 月 29 日发生在河南淅川的 $M_L 5.1$ 级地震。

近场区现代地震较活跃, 空间上分布表现出不均匀性, 地震主要分布于工程场地东北和西南方向, 综合现代及历史地震活动性分析认为, 近场区存在发生中强地震的背景。

7.2 区域及近场地震构造环境评价

区内早、中更新世以来活动的北西-北西西向活动断裂，主要包括有朱阳关-夏馆-南阳断裂、鲁山-漯河断裂、白河-谷城断裂等具有发生 6.0~6.9 级地震的背景。而北北东向或近东西向的断裂主要对孕震部位有影响，即北西-北西西向断裂与北北东向断裂的交汇部位是发生强震的有利部位。许多中强地震的发生与隐伏的早、中更新世断裂有关。总之，区域地震构造背景复杂，第四纪断裂比较发育，是新构造活动较强烈的地区，具有发生中强地震的构造背景。

根据近场区的地形地貌、新生代沉积特征和地震构造特征，可把近场区分为三个新构造运动区：南阳凹陷、北秦岭断块隆起和南秦岭断块隆起，工程场地位于南阳凹陷内。

近场区新构造运动以差异性升降运动为主。近场区在上新世末期大幅度的上升，接受风化剥蚀，使之缺失了下更新统的沉积。中更新世初期地壳相对稳定，山间平原河流发育，河谷宽广，山前形成面积较大的冲洪积扇，奠定了现代地形的基础。晚更新世末期以来，近场区基本上处于抬升状态。

近场区主要分布有 4 条第四纪早期活动断裂，其最新活动时代为早-中更新世。另外近场区内现代地震活动的分布具有一定的规律，根据附图二，多数现代地震分布于 F1-朱夏断裂与 F2-商丹断裂之间，通过两条断裂的倾向可以判断二者所夹持的地堑区为地震活动密集区，发生在朱夏断裂东北部的地震活动可能与该断裂为一条高角度走滑断裂有关，因此，结合区域地震构造条件和现代小震记录综合分析认为，近场区具备发生中强地震的构造背景。

7.3 工程场地地震工程勘测及地震地质灾害评价结果

(1) 根据波速测试成果，15 个钻孔 20 米内的等效波速分别为 194.2m/s, 208.0m/s, 211.3m/s, 199.0m/s, 206.6m/s, 196.4m/s, 210.3m/s, 199.0m/s, 211.9m/s, 207.6m/s, 194.6m/s, 213.1m/s, 201.9m/s, 205.9m/s, 203.8m/s；覆盖层厚度属于 3-50m 范围。根据建筑抗震设计规范 4.1.6 条，本工程场地的场地类别为 II 类。

(2) 工程地质勘查时在 20 米深度范围内未见饱和粉土和砂，场区地下水位埋深大于 20 米。保守起见，按照地下水埋深 10 米，采用标贯数据，结果显示，本工程场地再 VII 度 (0.10g) 地震影响烈度下的可不考虑地震液化影响。

(3) 按照 GB50021—2001《岩土工程勘察规范》，软土判定条件为：天然孔隙比大于或等于 1.0，且天然含水量大于液限的细粒土应判定为软土，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等；根据本次场地钻孔资料。场地内没有天然孔隙比大于等于 1.0 或天然含水量大于液陷的细粒土。因此，场地内没有软土，可不考虑软土震陷问题。

(3) 据近场区地震地质图，距离场地较近的断裂为西峡-内乡断裂，场地位于西峡-内乡断裂以北约 5km。西峡-内乡断裂为早、中更新世断裂，结合场地高密度电法勘探成果和浅层人工地震勘探成果，根据建筑抗震设计规范，本项目可不考虑地震时断裂错动对场地的影响。根据 GB50011—2010《建筑抗震设计规范》中第 4.1.7 条规定，可忽略发震断裂错动对工程场地的影响。

(4) 本工程场地属山前丘陵区，场地地形有起伏但落差不大，高低起伏较为平缓，，发生由地震诱发崩塌、滑坡、泥石流等边坡地质灾害的可能性较小。

7.4 场地地震危险性概率分析结果

通过地震危险性概率分析计算，场地内各计算点 50 年超越概率 63%、10%和 2%的基岩水平峰加速度值见表 7.4-1。

表 7.4-1 各计算点不同超越概率水准基岩水平峰加速度表

计算点 序号	计算点位置		50 年超越概率 63% (gal)	50 年超越概率 10% (gal)	50 年超越概率 2% (gal)
	经度 (°)	纬度 (°)			
1	111.873293	33.108051	25.5	93.8	212.3
2	111.877944	33.106645	25.5	93.9	212.5
3	111.872069	33.102925	25.4	93.5	211.6
4	111.876090	33.101841	25.5	93.6	211.8
5	111.881790	33.103862	25.5	93.9	212.5
6	111.880007	33.099204	25.5	93.6	211.8
7	111.885777	33.100552	25.5	93.9	212.4
8	111.878189	33.096128	25.4	93.4	211.2
9	111.883504	33.097066	25.4	93.7	211.8
10	111.889134	33.098003	25.5	94.0	212.3
11	111.881091	33.094957	25.4	93.4	211.3

12	111.876895	33.093170	25.4	93.1	210.7
13	111.884973	33.094078	25.4	93.6	211.5
14	111.881476	33.091500	25.4	93.3	210.8
平均值			25.4	93.6	211.7

7.5 场地水平向设计地震动参数确定

参考建筑抗震设计规范，规准后的工程场地水平设计地震反应谱曲线（即设计反应谱）其表达式为：

$$S_a(T) = A_{\max} \beta(T) \quad (6-3-1)$$

$$\beta(T) = \begin{cases} 1 + (\beta_m - 1) \frac{T}{T_1} & 0 < T \leq T_1 \\ \beta_m & 0.1 < T \leq T_g \\ (T_g / T)^\gamma \beta_m & T_g < T \leq 5T_g \\ \beta_m (0.2^\gamma - 0.02(T - 5T_g)) & 5T_g \leq T \leq 6.0 \end{cases}$$

公式中， $S_a(T)$ 为地震动加速度反应谱， A_{\max} 、 β_m 、 T 、 T_1 、 T_g 、 γ 分别为地震动峰值加速度、放大系数反应谱平台值、结构自振周期、反应谱第一拐点周期值、第一拐点周期（即特征周期）值、反应谱下降段衰减系数。

场地设计地震动峰值加速度及反应谱特征参数值（表 7.4-1）

表 7.4-1 工程场地地表水平向设计地震动峰值加速度及反应谱（5%阻尼比）参数值

超越概率值	$A_{\max}(\text{gal})$	$\alpha_{\max}(\text{g})$	$T_1(\text{s})$	β_m	$T_g(\text{s})$	γ
50 年 63%	42	0.107	0.1	2.5	0.35	0.9
50 年 10%	125	0.319	0.1	2.5	0.45	0.9
50 年 2%	250	0.638	0.1	2.5	0.50	0.9

7.5 使用说明

上述所得到的地震动参数结果，综合反映了内乡县牧原智慧物流园场地附近一定范围内的地震活动性、地震地质环境和场地地层条件对地震动的影响，具有较强的地区性，因此本结果仅适用于内乡县牧原智慧物流园场地内的建筑物的抗震设计。

本章所提供的 50 年超越概率为 63%、10%及 2%的场地地表处水平向地震动工程参数，

分别对应抗震设防的第一、第二及第三水准，即分别对应小震（多遇地震）、中震（偶遇地震）和大震（罕遇地震）。50 年 63%的设计地震动参数可用于建筑结构的强度验算；50 年 2%的设计地震动参数可用于建筑结构的变形验算和防倒塌验算。

主要参考文献

1. 国家地震局震害防御司编, 《中国历史强震目录》(公元前 23 世纪~公元 1911 年), 地震出版社, 1995;
3. 中国地震局震害防御司, 《中国近代地震目录》(公元 1912 年~1990 年 $M_s \geq 4.7$), 1999;
4. 胡聿贤主编, 《地震安全性评价技术教程》, 地震出版社, 1999;
5. 河南省地质局, 1981, 《河南省地质图及说明书(1:50 万)》。
6. 河南省地质矿产局, 1989, 《河南省区域地质志》, 地质出版社。
7. 中国地震局地球物理勘探中心, 《南阳市域天然气输气管道工程唐镇标段工程场地地震安全性评价报告》, 2011;
8. 河南省地震局, 南阳市地震局等, 《南阳市活断层探测与地震危险性评价》2012。
9. 北京中震创业工程科技研究院, 2009, 《河南华电洛阳核电厂初步可行性研究阶段地震调查与评价专题报告》。
10. 肖亮, 2011, 《水平向基岩强地面运动参数衰减关系研究》, 博士论文, 中国地震局地球物理研究所。

附件 1 土动力实验报告

编号：DTM2020-155

内乡县牧原智慧物流园 工程场地土动三轴试验报告

山东省地震工程研究院
土力学与年代学试验室
二〇二〇年十二月

报告编号：DTM2020-155

报告名称：内乡县牧原智慧物流园工程场地土动三轴试验报告

试验项目：动弹模与阻尼比

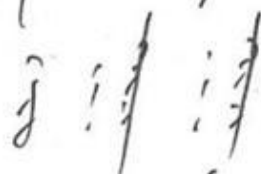
试样名称：土

执行规范：《土工试验规范》(GB/T50123-2019)

项目负责人：



审 核：



报告编写：



试验人员：



完成日期：二〇二〇年十二月

动三轴试验报告

为了获取工程场地各代表性土层的动力学特性，并为土层地震动反应分析提供土层动力学数据，山东省地震工程研究院土力学及年代学试验室对本项目的地基土样进行了动三轴试验工作，试验土样为原状土样，试验的成样、试验方法及试验资料整理均按《土工试验规程》(GB / T50123-2019)中的有关规定进行。

1. 试样的制备

本项目提供的土样有 51 个，试验室对其进行编号，见表 1 所示。

表 1 试样编号及其物理性质

土样编号			取土深度 (m)	土样定名	容重 (kN/m ³)	含水率 (%)	施加围压 (kPa)
序号	钻孔编号	取样编号					
1	Zk1	Zk1-1	11.8	粘土	18.2	28.6	150
2		Zk1-2	30.0	粘土	18.7	25.6	300
3		Zk1-3	49.8	粉质粘土	19.1	25.1	500
4		Zk1-4	71.5	粉质粘土	19.7	28.4	550
5	Zk4	Zk4-1	4.8	粉质粘土	18.4	25.2	100
6		Zk4-2	9.8	粉质粘土	19.0	26.6	100
7		Zk4-3	19.8	泥质粗砂	19.1	22.9	200
8		Zk4-4	36.8	泥质粗砂	19.5	27	400
9		Zk4-5	42.8	泥质粗砂	19.7	24.6	450
10	Zk6	Zk6-1	4.8	粉质粘土	18.7	35.2	100
11		Zk6-2	9.8	粉质粘土	19.4	20.1	100
12		Zk6-3	24.8	泥质粗砂	19.6	28.3	250
13		Zk6-4	44.8	泥质粗砂	19.9	26.2	450
14	Zk7	Zk7-1	7.8	粉质粘土	18.5	30.3	100
15		Zk7-2	25.8	泥质砂土	18.3	26.9	250
16		Zk7-3	37.2	粉质粘土	18.5	27.3	400
17		Zk7-4	51.8	粉质粘土	19.4	29.7	550
18		Zk7-5	68.8	全风化泥岩	19.8	28.9	550
19	Zk9	Zk9-1	1.8	粉质粘土	19.1	26.4	100
20		Zk9-2	4.8	泥质中砂	18.9	34.9	100
21		Zk9-3	8.8	粘土	19.2	26.5	100
22		Zk9-4	18.8	泥质中砂	20.2	27.2	200
23		Zk9-5	29.8	泥质中砂	20.2	23.7	300
24	Zk10	Zk10-1	4.8	粉质粘土	18.0	23.9	100
25		Zk10-2	9.8	粉质粘土	18.4	22.9	100

26		Zk10-3	13.8	泥质粗砂	19.6	32.5	150
27		Zk10-4	19.8	泥质粗砂	19.4	26.9	200
28		Zk10-5	39.8	粉质粘土	19.7	27.3	400
29	Zk12	Zk12-1	8.7	粉质粘土	18.8	29.7	100
30		Zk12-2	19.8	粉质粘土	18.6	28.9	200
31		Zk12-3	30.8	粉质粘土	18.8	26.4	300
32		Zk12-4	49.8	全风化泥岩	19.5	23.4	500
33		Zk12-5	64.8	全风化泥岩	20.5	22.5	550
34	zk13	zk13-1	4.8	粉质粘土	18.2	25.1	100
35		zk13-2	9.8	粉质粘土	18.9	24.1	100
36		zk13-3	20.8	粉质粘土	19.1	27.5	200
37		zk13-4	32.3	泥质粗砂	19.8	20.7	350
38		zk13-5	45.8	泥质细沙	19.3	20.8	450
39		zk13-6	54.1	粉质粘土	19.9	23.2	550
40		zk13-7	72.8	泥岩	20.4	19.5	600
41	zk14	zk14-1	4.8	粉质粘土	18.3	31.3	100
42		zk14-2	9.8	粉质粘土	18.9	28.9	100
43		zk14-3	22.8	粉质粘土	19.4	26.7	250
44		zk14-4	36.3	粉质粘土	18.5	35.2	400
45		zk14-5	49.8	粉质粘土	17.6	30.4	500
46	zk15	zk15-1	4.8	粉质粘土	18.6	30.1	100
47		zk15-2	10.5	粉质粘土	18.8	30.2	100
48		zk15-3	14.8	粉质粘土	19.2	26.6	150
49		zk15-4	19.8	泥质细沙	19.8	26.4	200
50		zk15-5	48.8	粉质粘土	20.3	22.3	500
51		zk15-6	66.8	红泥岩	20.6	22.9	600

试样首先按规定的方法制备，试样高为 80mm，直径为 39.1mm，然后将制备好的试样进行饱和。试验时在一定的固结比应力下固结，待固结完成后，在不排水的条件下施加动应力进行动弹模试验。

2. 试验仪器

本次试验仪器采用了北京市新技术研究所生产的 **DDS-70** 微机控制电磁式多功能静动三轴试验系统。该系统主要由主机、电控系统、静压控制系统和微机系统等组成。其工作原理是将圆柱形土试样置于充气的三轴室内上下活塞之间。通过气体压力对试样施加轴、侧向静压力。激振器和功率放大器将微机系统提供的一定频率、幅值的电讯号转换为轴向激振力，经下活塞施加至土试样上。测量系统将振动过程中的力、位移、孔隙水压力值记录下来。微机系统对试验进行控制和对试验数据进行处理并输出成果报告。

系统主要技术指标：

试样尺寸:	直径 39.1mm, 高 80mm
轴向最大动出力:	1370N (p-p)
侧向压力:	0—0.6 MPa
反压:	0—0.3 Mpa
波形:	正弦波、三角波、方波
频率范围:	1—10 Hz
最大允许轴向位移:	20 mm (p-p)

3. 试验采用的参数

测定的各试样的容重、含水率如表 4.4.1 所示。固结比取值为 1，固结压力按土层实际应力状态进行模拟。振动频率为 1Hz，循环次数为 10 次，振动总次数控制在 200 次以内。

4. 试验过程与方法

将真空饱和好的试样置于三轴室内上下活塞之间，采取一定的固结比，通过气体压力对试样施加轴、侧向静压力，使其固结。待土样固结完成后，在不排水的条件下，对试样施加由小到大的轴向激振力进行动弹模试验。试验期间，测量系统将振动过程中的力、位移、孔隙水压力值记录下来。微机系统对试验进行控制和对试验数据进行处理并输出成果报告。

5. 试验结果

试验中，土样在各级荷载下轴向应力 P 和轴向应变 ε 的时间历程将被记录下来，由应力应变时程绘出应力应变滞回曲线，由滞回曲线 B 点的应力应变值可求得试样的轴向模量 E ，由 E 可求得土样在该级荷载下模量：

$$E = \frac{P_B}{\varepsilon_B} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1)$$

式中， P_B 、 ε_B 分别为滞回线 B 点所对应的应力应变值， ν 为泊松比，由土类而定。对所求得各级荷载下不同幅值的模量，进行统计分析时，应力应变关系用双曲线函数表示：

$$\tau = \frac{\gamma}{A + B\gamma} \quad (2)$$

式中， τ 和 γ 为剪应力和剪应变幅值， A 和 B 为回归常数，若令 $\tau/\gamma = G$ ，则：

$$\frac{1}{G} = A + B\gamma \quad (3)$$

如果以 $1/G$ 为纵坐标， γ 为横坐标，将实验结果标在该图中，近似用一条直线来表示它们的关系，显然当 $\gamma \rightarrow 0$ 时，可以得到系数 A 等于最大剪切模量的倒数，

即 $1/G_{\max}$ ，因此可得到对应不同应变模量与最大模量的比值和应变的关系：

$$G/G_{\max} = 1/(1 + \gamma B/A) \tag{4}$$

继而，求出动三轴试样的不同剪应变下的动剪切模量比。

试样在荷载下的阻尼比 D 可用下式求得：

$$D = \frac{1}{4\pi} \bullet \frac{\Delta W}{W} \tag{5}$$

式中， ΔW 为一个循环消耗的能量，用应力应变滞回曲线所围的面积表示， W 为施加的最大应变能。根据 Hardin-Drnevich 模型，阻尼比与剪应变的关系可写为 $D=D_{\max}(1-G/G_{\max})$ 。依此关系式，可回归阻尼比与剪应变的关系。

从而，也同样求出动三轴试样的不同剪应变下的阻尼比值。

因此，将试验所求得动剪切模量比和阻尼比的结果进行曲线拟合，即可得出各试样的拟合曲线，如图 1-33 所示。从而得到各试样的剪应变标准点的动剪切模量比和阻尼比，见表 2。

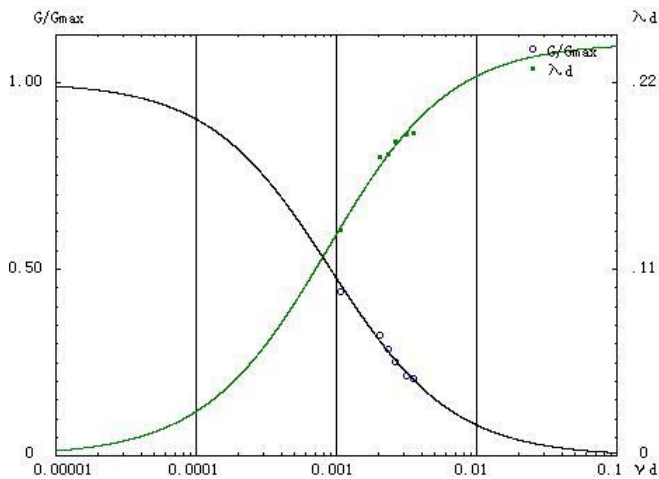


图 1 试样 1 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

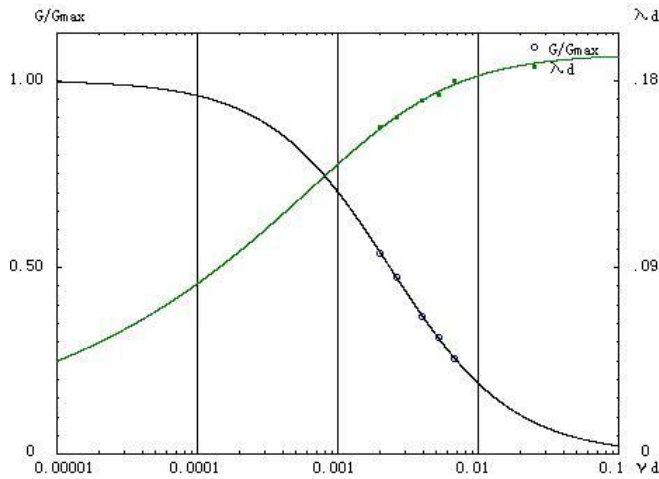


图 2 试样 2 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

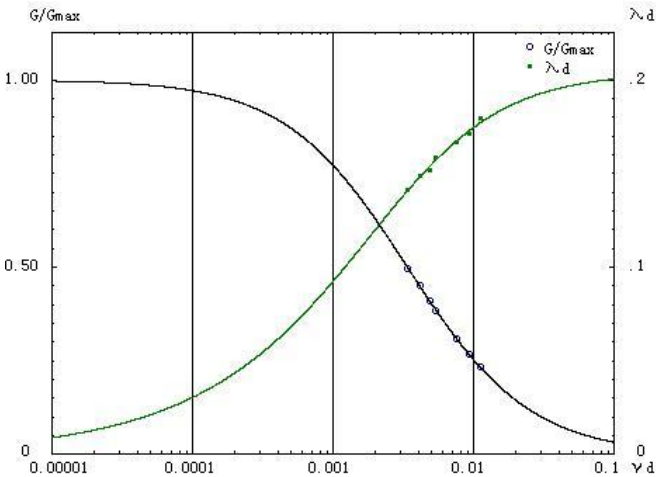


图 3 试样 3 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

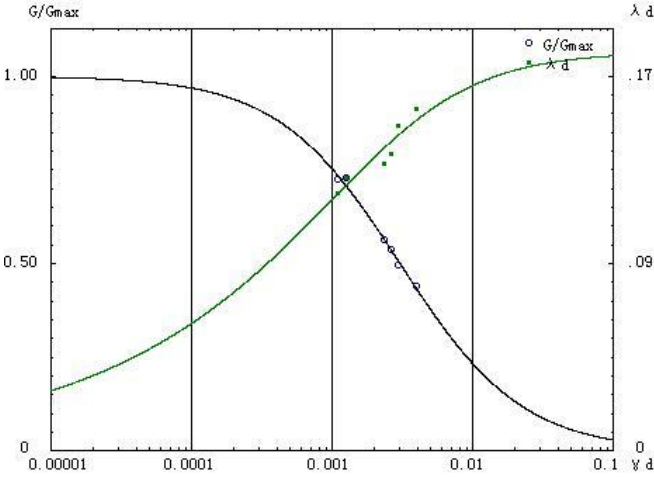


图 4 试样 4 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

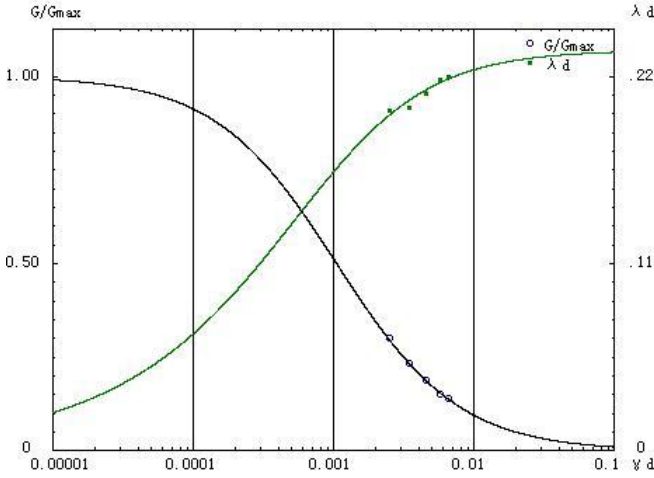


图 5 试样 5 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

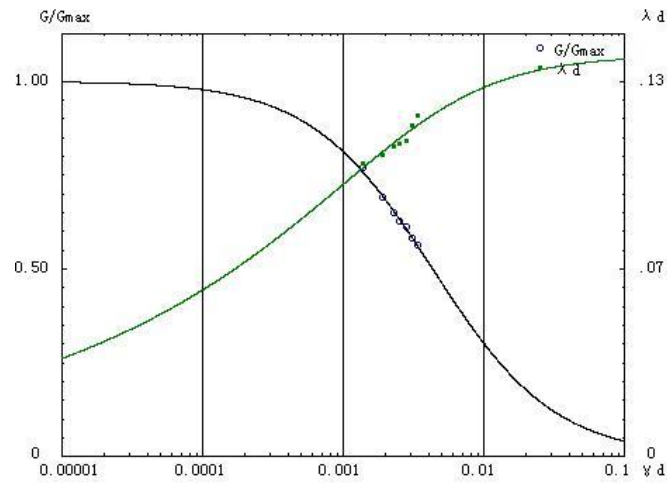


图 6 试样 6 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

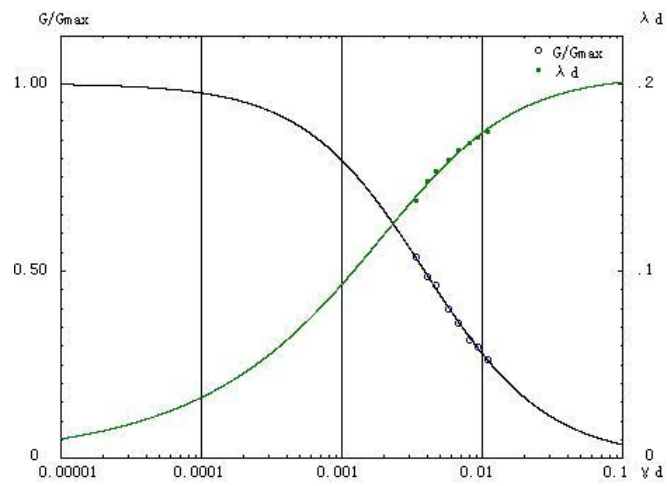


图 7 试样 7 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

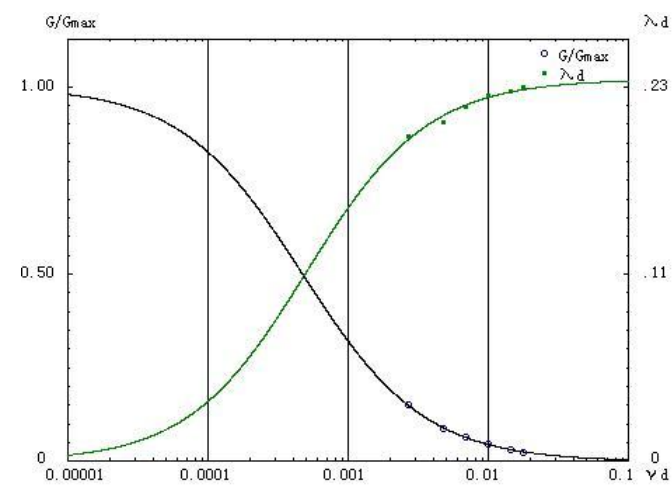


图 8 试样 8 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

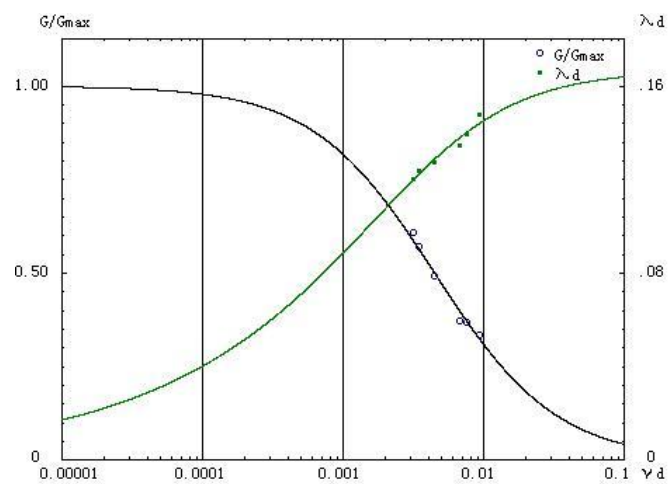


图 9 试样 9 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

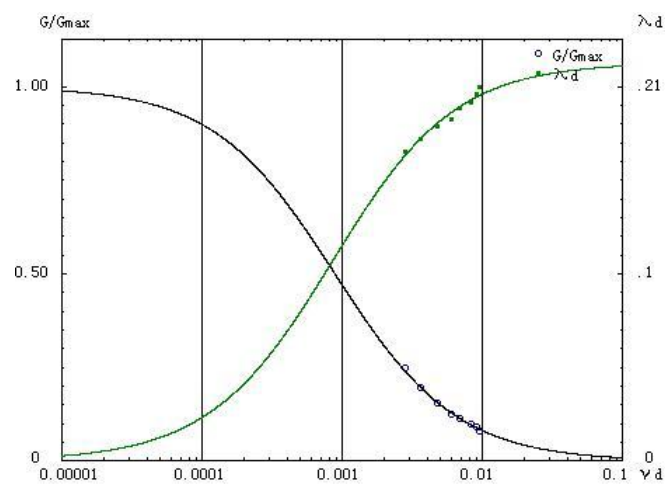


图 10 试样 10 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

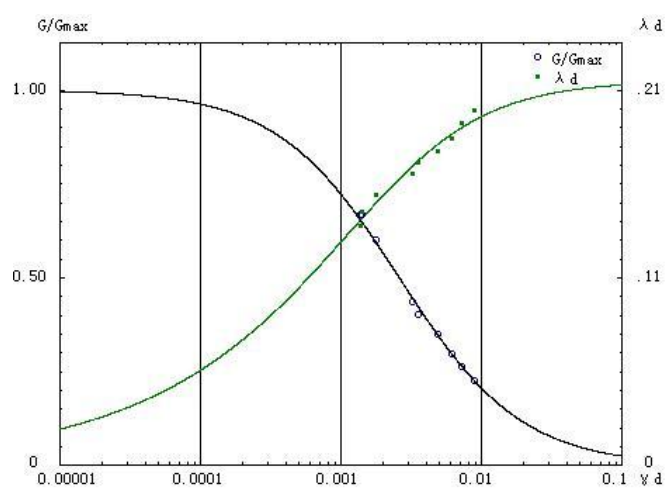


图 11 试样 11 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

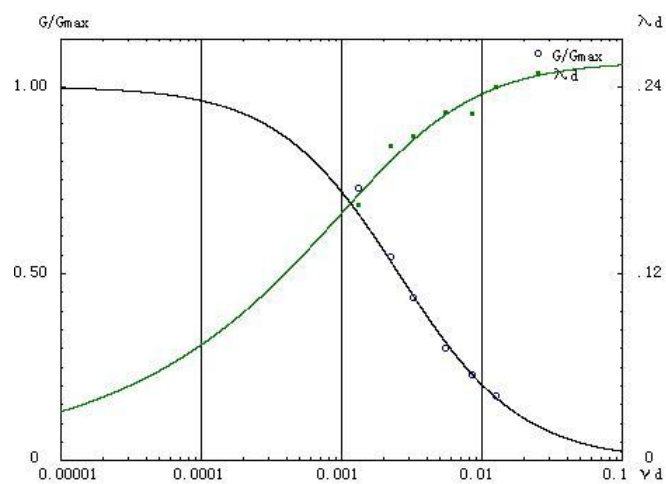


图 12 试样 12 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

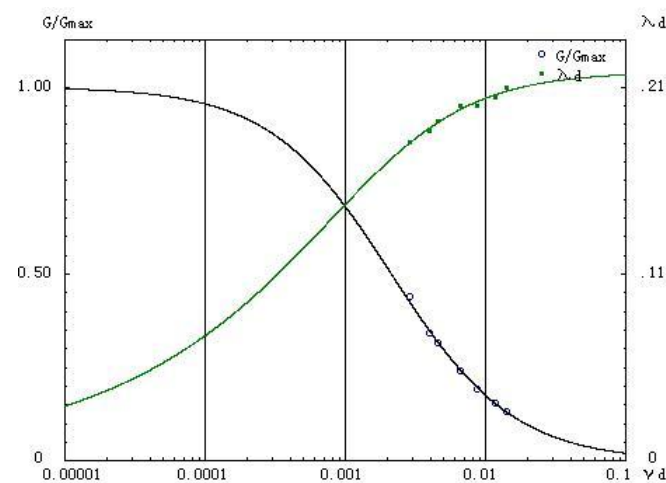


图 13 试样 13 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

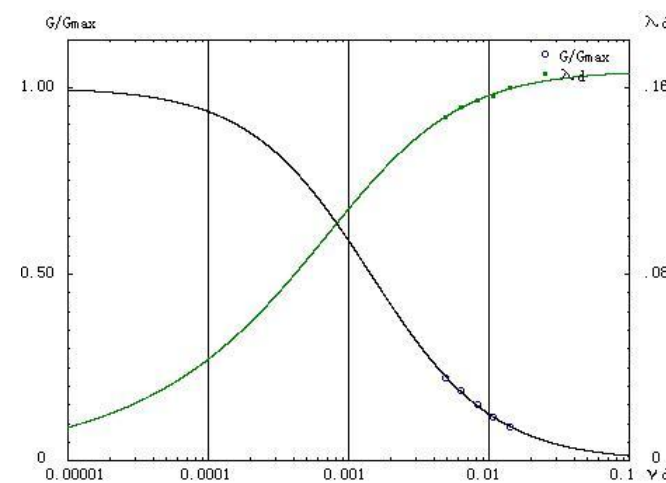


图 14 试样 14 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

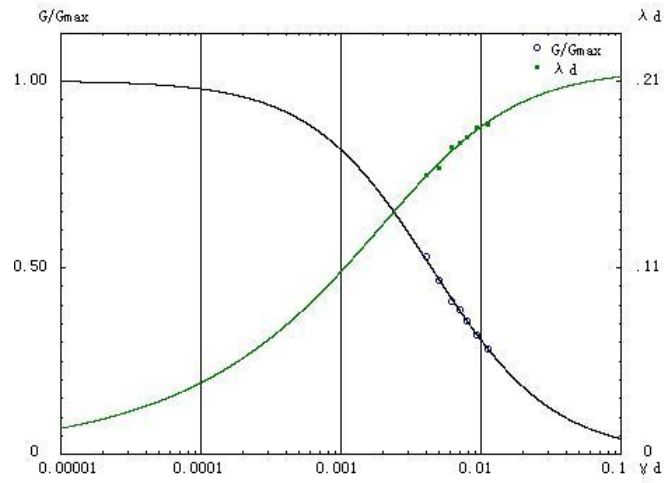


图 15 试样 15 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

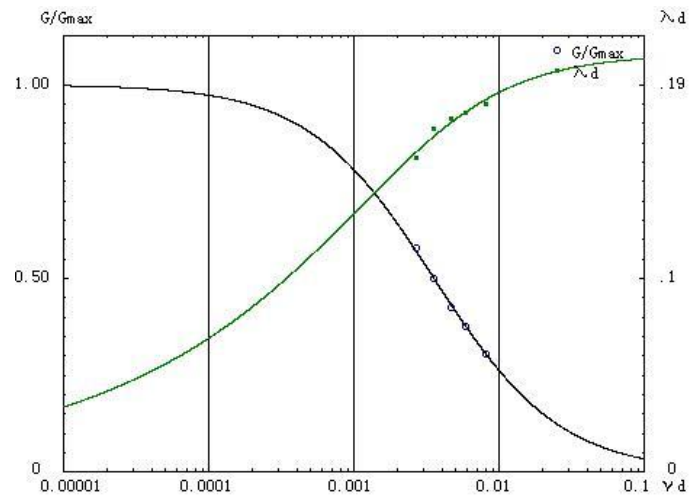


图 16 试样 16 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

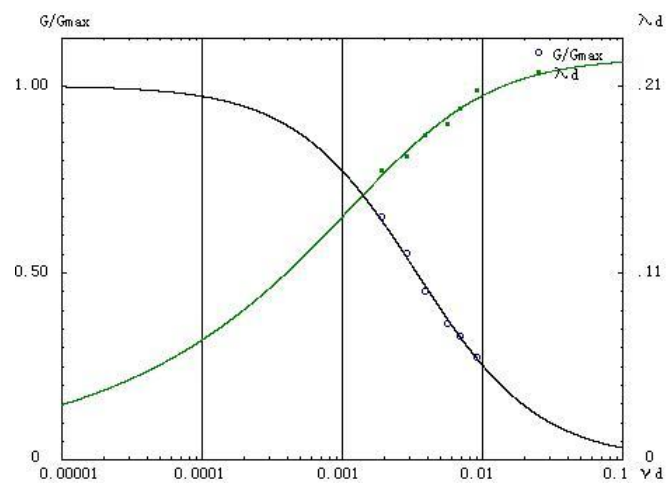


图 17 试样 17 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

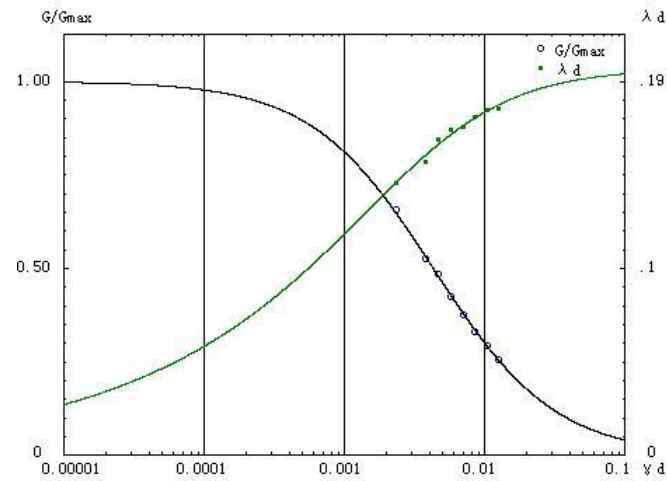


图 18 试样 18 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

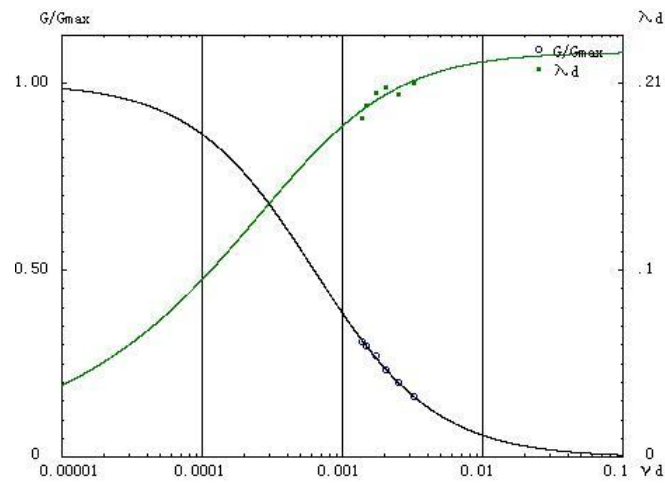


图 19 试样 19 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

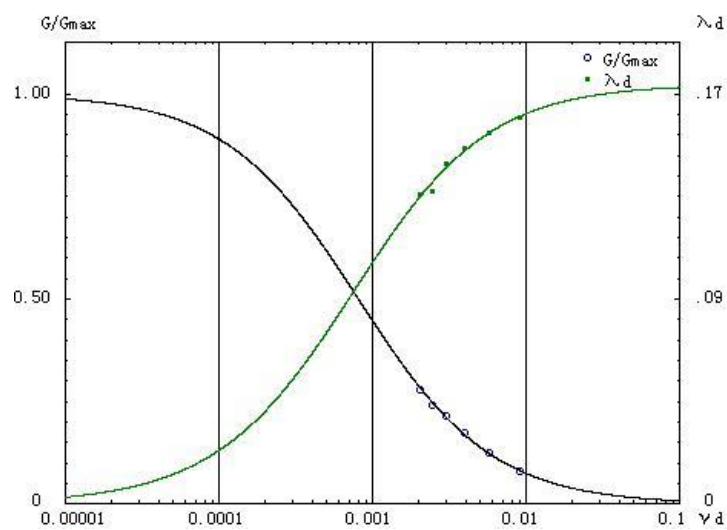


图 20 试样 20 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

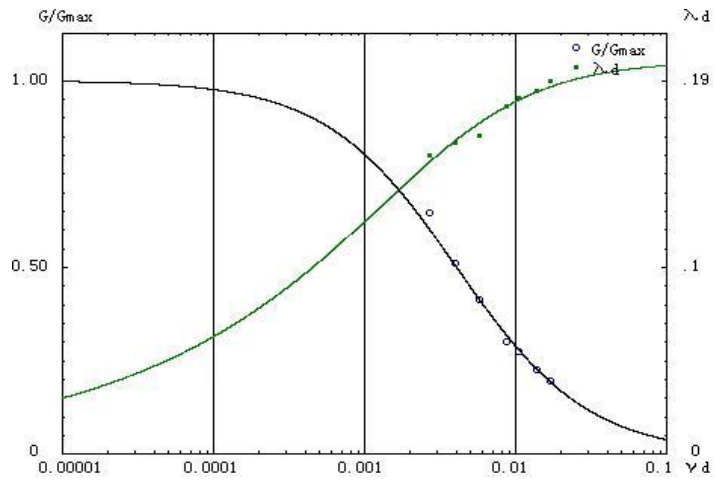


图 21 试样 21 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

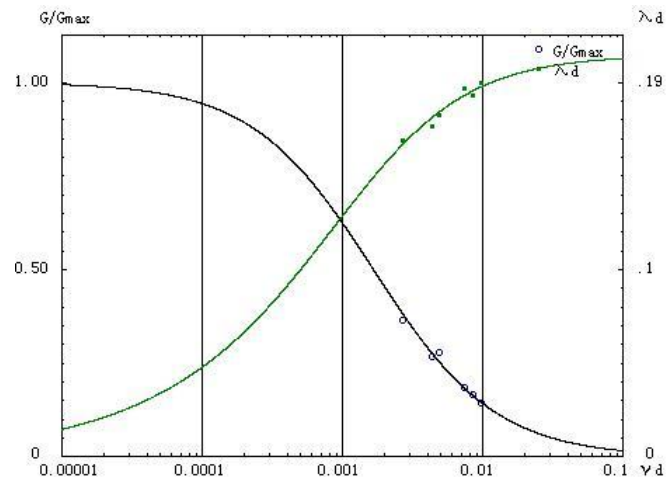


图 22 试样 22 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

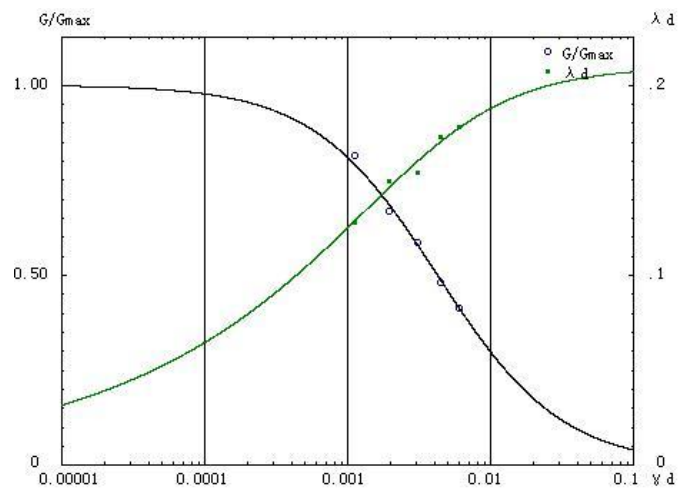


图 23 试样 23 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

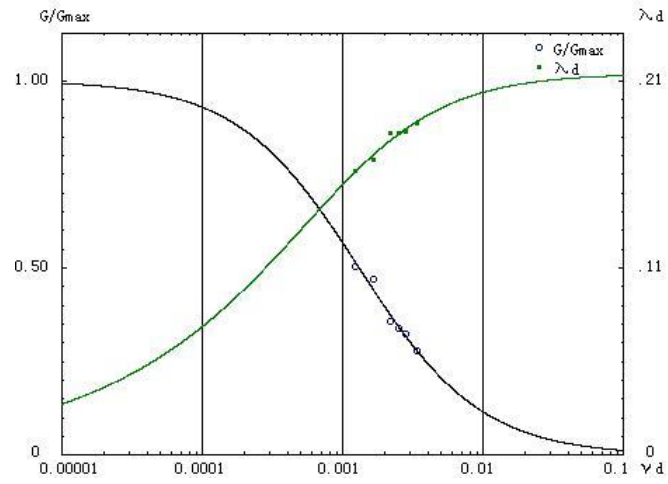


图 24 试样 24 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

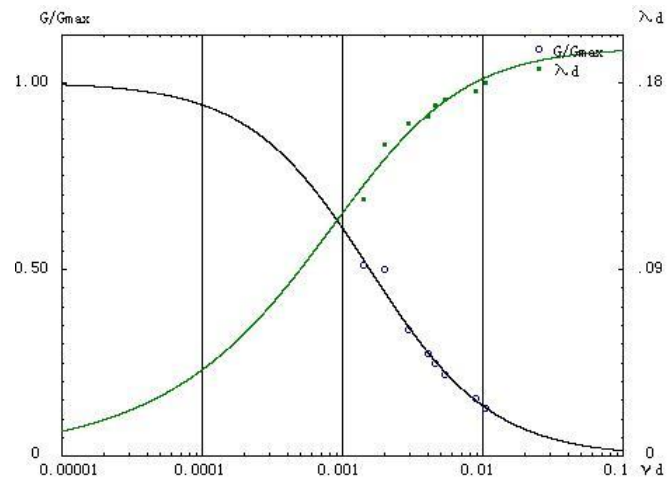


图 25 试样 25 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

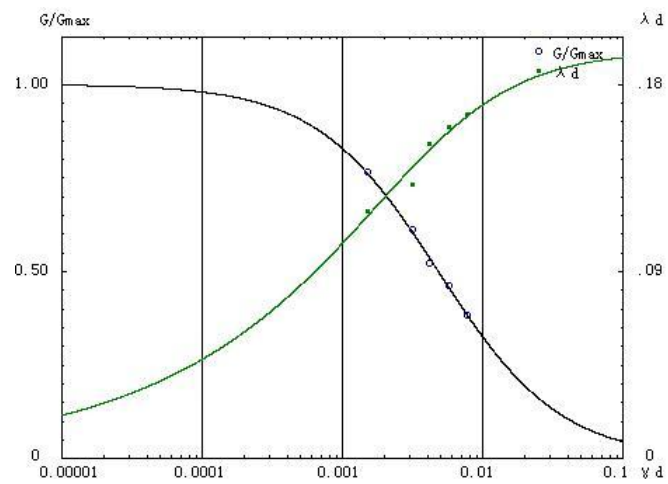


图 26 试样 26 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

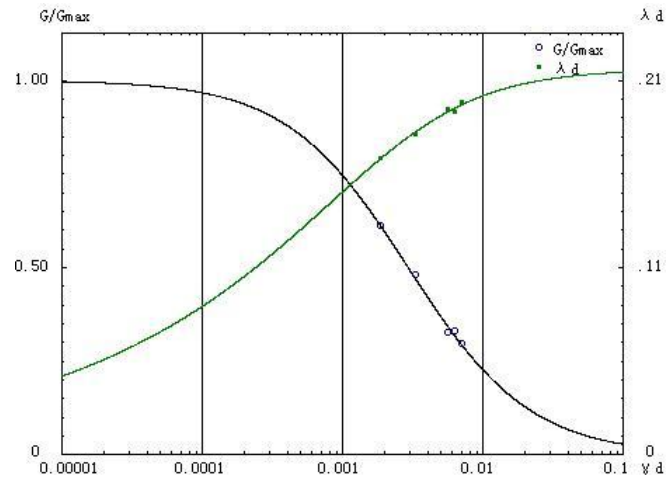


图 27 试样 27 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

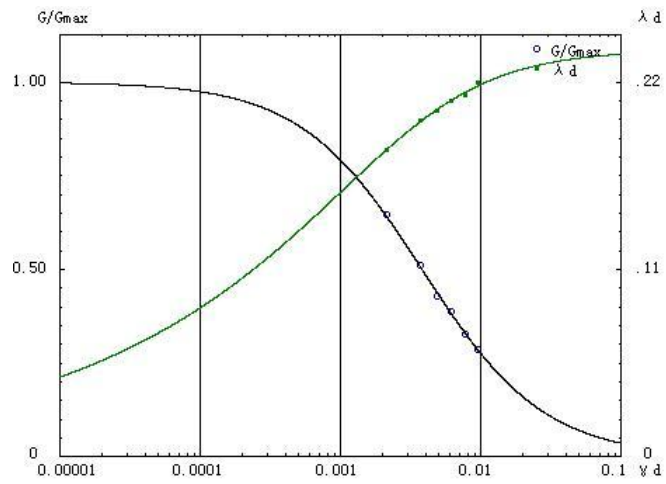


图 28 试样 28 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

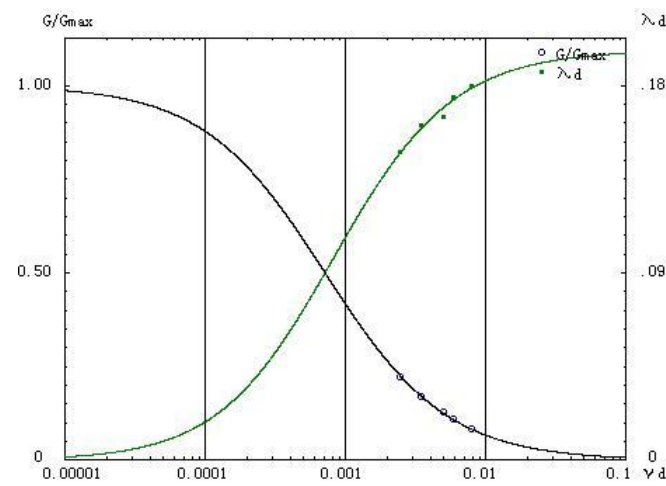


图 29 试样 29 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

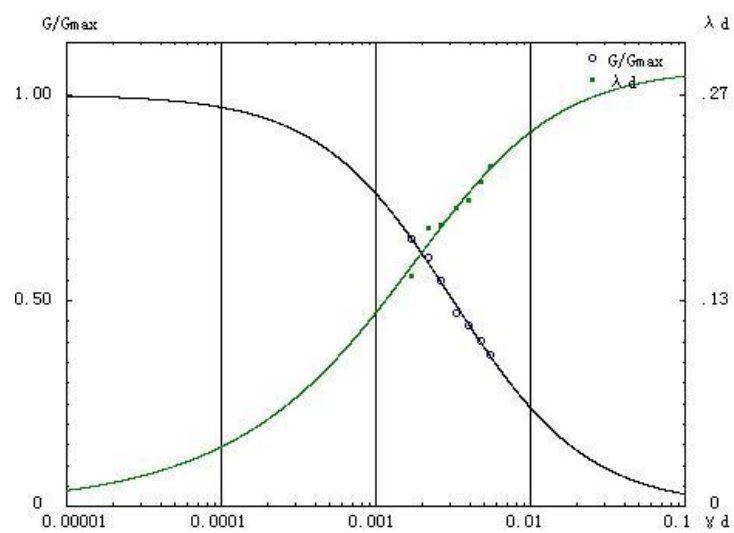


图 30 试样 30 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

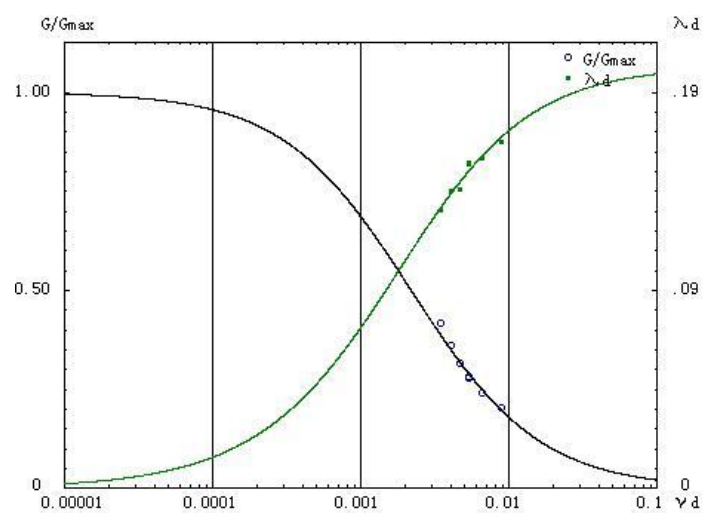


图 31 试样 31 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

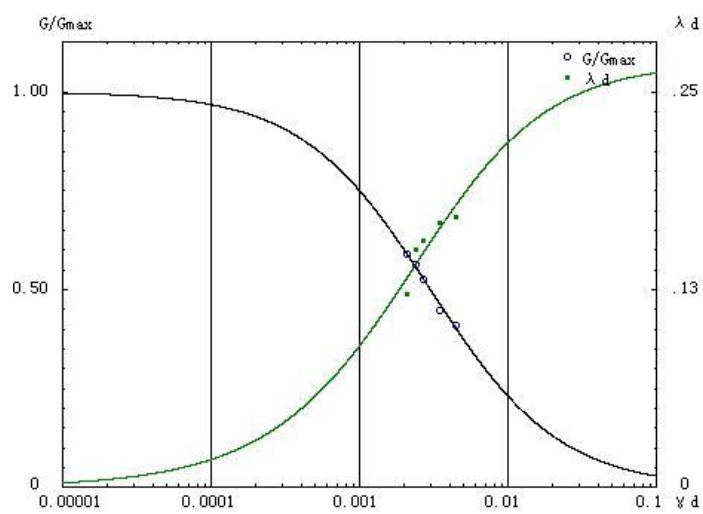


图 32 试样 32 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

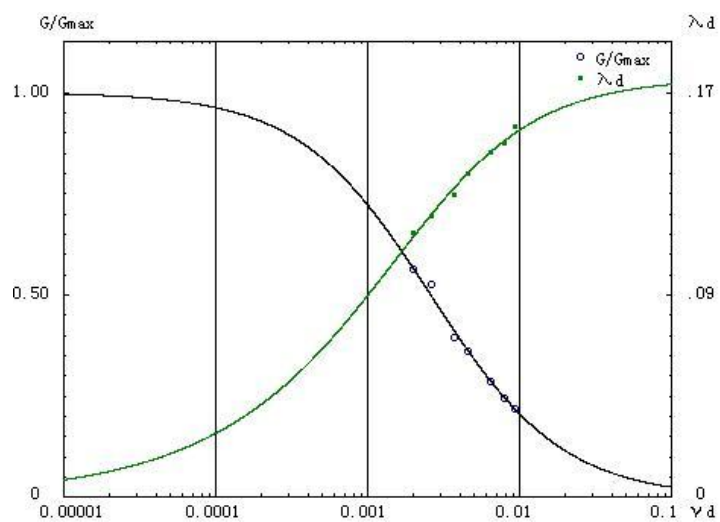


图 33 试样 33 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

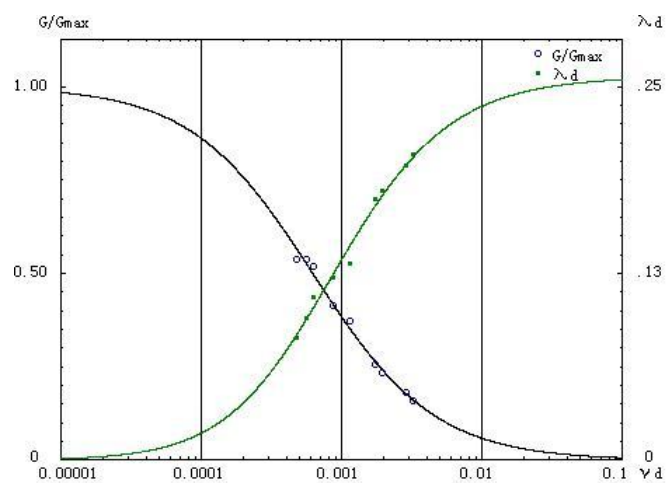


图 34 试样 34 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

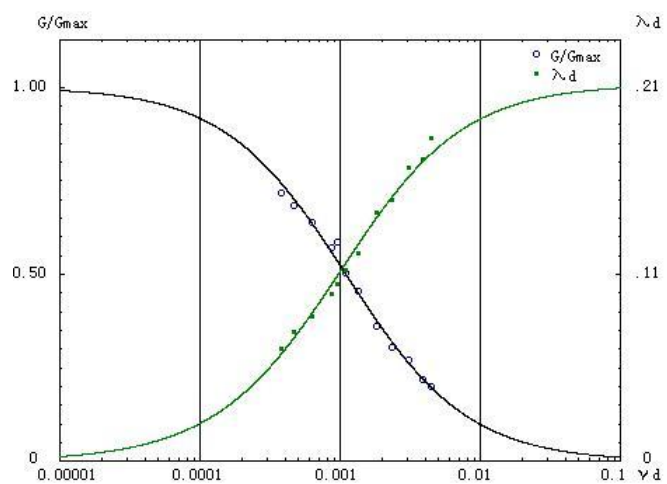


图 35 试样 35 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

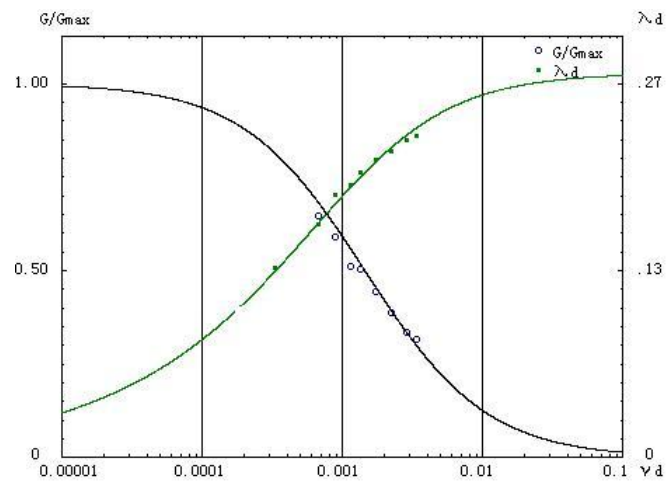


图 36 试样 36 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

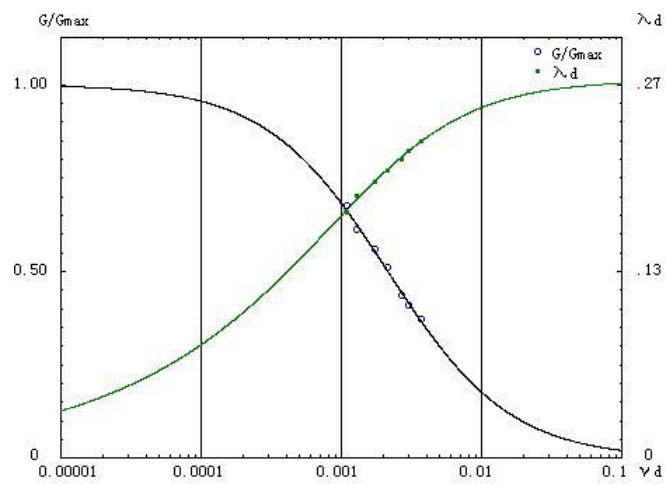


图 37 试样 37 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

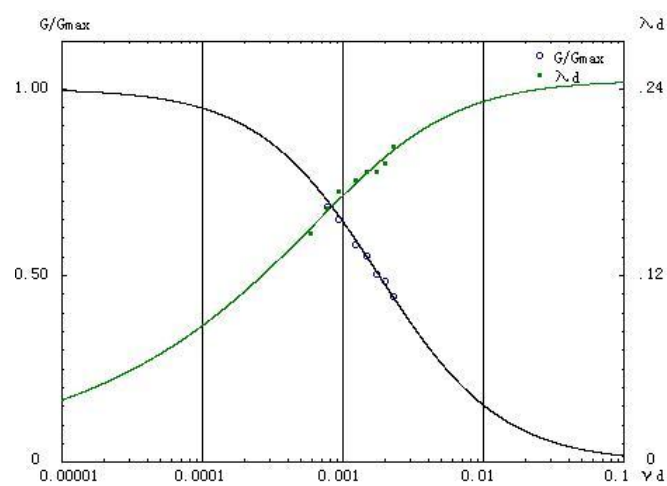


图 38 试样 38 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

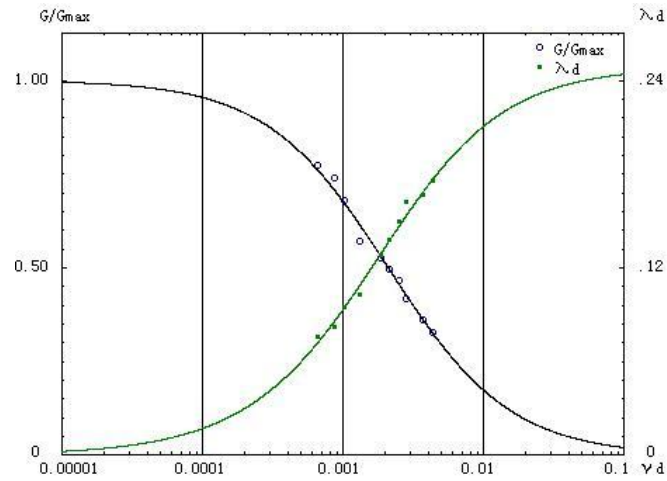


图 40 试样 40 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

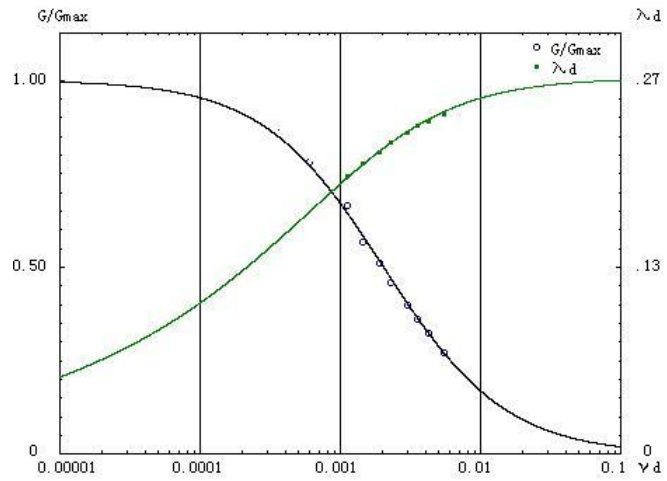


图 41 试样 41 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

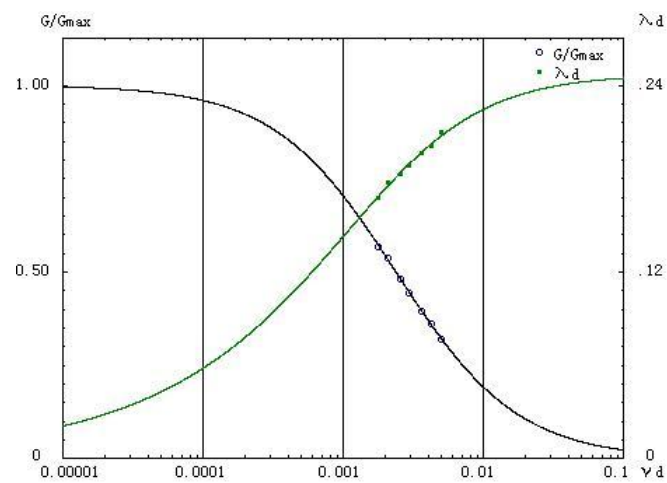


图 42 试样 42 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

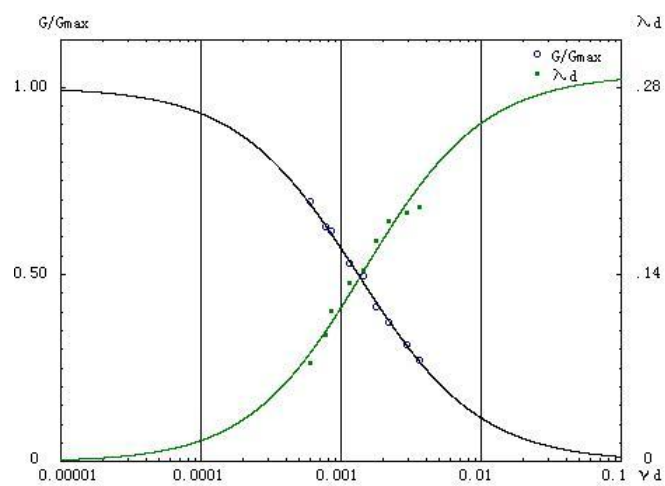


图 43 试样 43 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

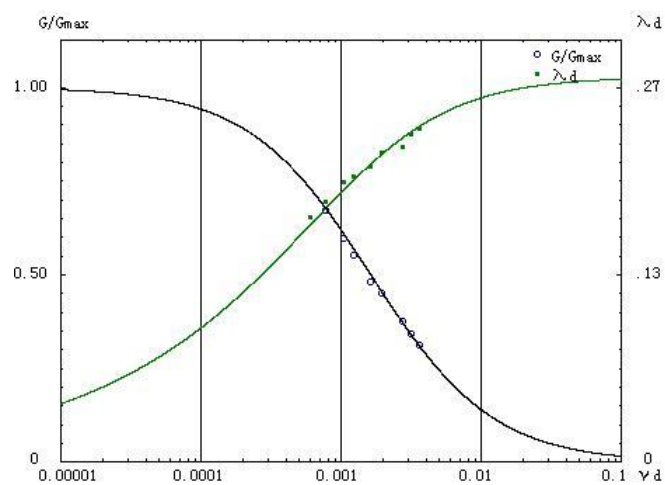


图 44 试样 44 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

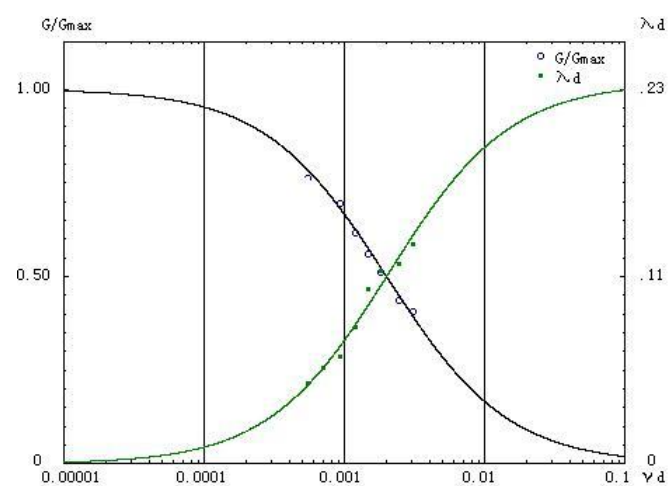


图 45 试样 45 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

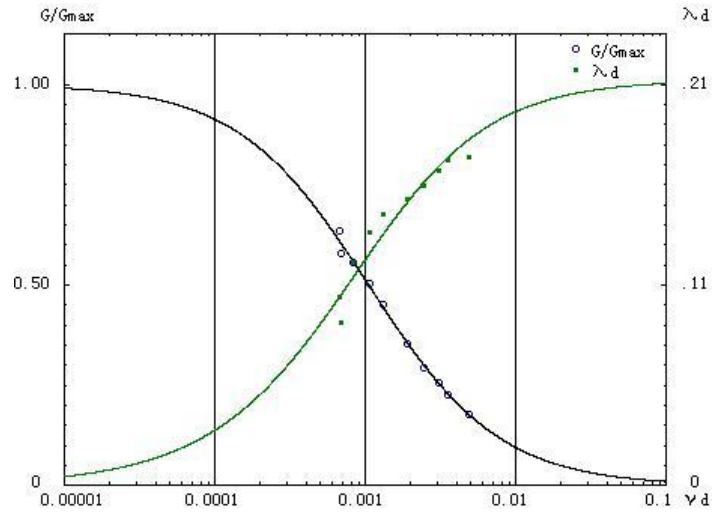


图 46 试样 46 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

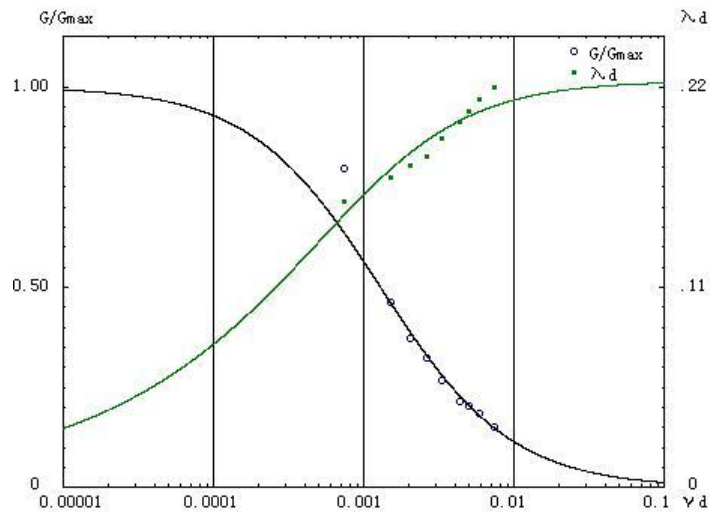


图 47 试样 47 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

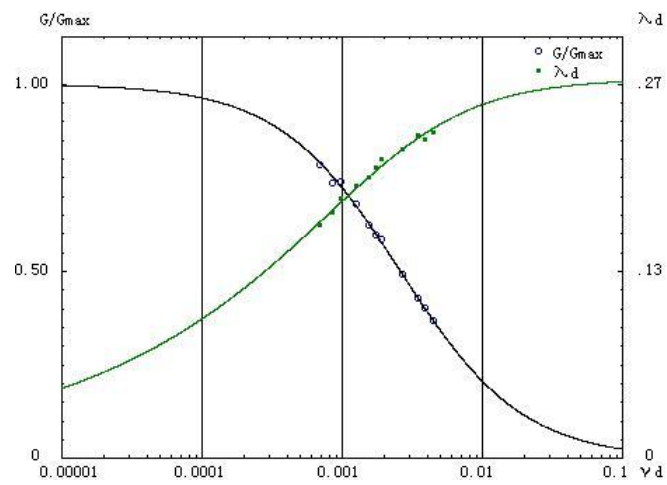


图 48 试样 48 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

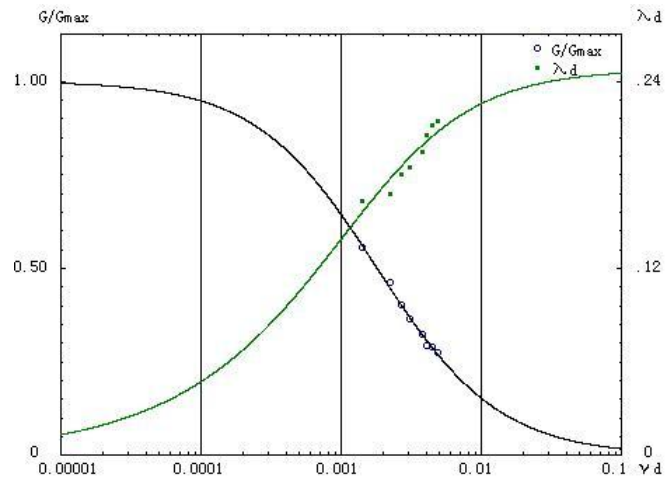


图 49 试样 49 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

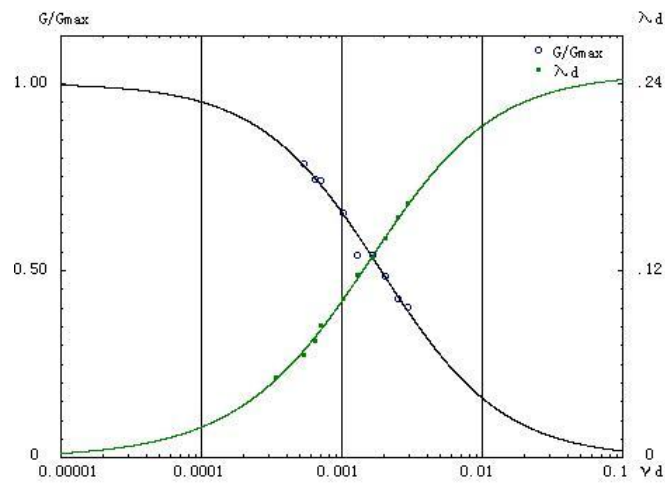


图 50 试样 50 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

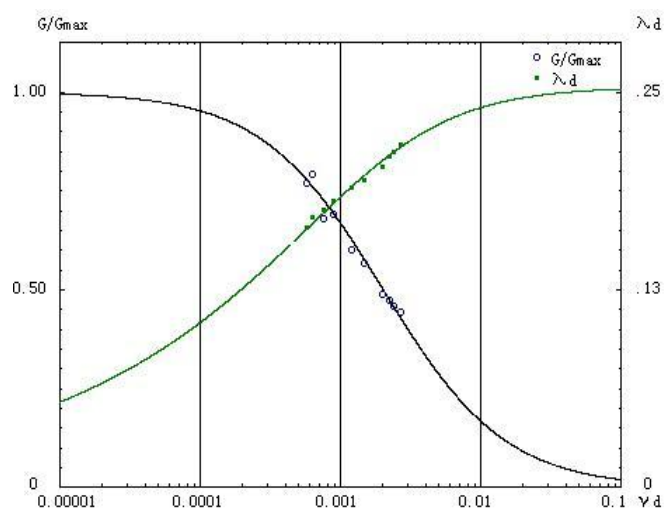


图 51 试样 51 动剪切模量比、阻尼比与剪应变关系曲线

表 2 各试样剪应变标准点的动剪切模量比和阻尼比值

土样编号	剪应变 γ_d 参数	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
1	G/G _{max}	0.9945	0.9890	0.9475	0.9002	0.6434	0.4742	0.1528	0.0827
	λ_d	0.0017	0.0032	0.0144	0.0268	0.0911	0.1323	0.2093	0.2259
2	G/G _{max}	0.9978	0.9957	0.9787	0.9582	0.8210	0.6963	0.3144	0.1865
	λ_d	0.0017	0.0030	0.0112	0.0195	0.0652	0.1010	0.1982	0.2284
3	G/G _{max}	0.9983	0.9967	0.9837	0.9679	0.8579	0.7512	0.3765	0.1999
	λ_d	0.0222	0.0280	0.0474	0.0593	0.0971	0.1168	0.1583	0.1696
4	G/G _{max}	0.9985	0.9970	0.9853	0.9711	0.8704	0.7705	0.4018	0.2014
	λ_d	0.0062	0.0090	0.0212	0.0306	0.0683	0.0927	0.1549	0.1747
5	G/G _{max}	0.9952	0.9905	0.9543	0.9126	0.6763	0.5109	0.1728	0.0946
	λ_d	0.0157	0.0222	0.0491	0.0680	0.1316	0.1621	0.2112	0.2210
6	G/G _{max}	0.9980	0.9960	0.9801	0.9610	0.8314	0.7114	0.3302	0.1978
	λ_d	0.0373	0.0448	0.0683	0.0817	0.1205	0.1389	0.1737	0.1823
7	G/G _{max}	0.9987	0.9974	0.9872	0.9747	0.8853	0.7942	0.4356	0.2084
	λ_d	0.0075	0.0105	0.0233	0.0328	0.0696	0.0931	0.1539	0.1740
8	G/G _{max}	0.9979	0.9957	0.9790	0.9589	0.8236	0.7001	0.3183	0.1893
	λ_d	0.0366	0.0440	0.0672	0.0804	0.1186	0.1367	0.1701	0.1782
9	G/G _{max}	0.9985	0.9971	0.9856	0.9717	0.8728	0.7743	0.4069	0.2054
	λ_d	0.0062	0.0090	0.0218	0.0318	0.0730	0.1002	0.1709	0.1938
10	G/G _{max}	0.9944	0.9888	0.9463	0.8981	0.6379	0.4683	0.1498	0.0810
	λ_d	0.0015	0.0029	0.0130	0.0241	0.0820	0.1189	0.1872	0.2018
11	G/G _{max}	0.9978	0.9956	0.9785	0.9578	0.8196	0.6943	0.3124	0.1851
	λ_d	0.0056	0.0084	0.0216	0.0321	0.0759	0.1037	0.1675	0.1852
12	G/G _{max}	0.9980	0.9961	0.9807	0.9620	0.8352	0.7171	0.3364	0.2022
	λ_d	0.0243	0.0315	0.0575	0.0741	0.1290	0.1582	0.2183	0.2340
13	G/G _{max}	0.9976	0.9953	0.9769	0.9548	0.8087	0.6789	0.2972	0.1745
	λ_d	0.0243	0.0312	0.0558	0.0712	0.1206	0.1457	0.1939	0.2056
14	G/G _{max}	0.9965	0.9930	0.9661	0.9344	0.7402	0.5875	0.2217	0.1247
	λ_d	0.0102	0.0143	0.0312	0.0431	0.0849	0.1066	0.1457	0.1544
15	G/G _{max}	0.9974	0.9947	0.9743	0.9498	0.7911	0.6544	0.2746	0.1592
	λ_d	0.0183	0.0250	0.0517	0.0701	0.1345	0.1692	0.2373	0.2538
16	G/G _{max}	0.9986	0.9972	0.9861	0.9725	0.8761	0.7795	0.4142	0.2012
	λ_d	0.0258	0.0321	0.0532	0.0660	0.1062	0.1274	0.1736	0.1868
17	G/G _{max}	0.9985	0.9970	0.9854	0.9712	0.8708	0.7711	0.4025	0.2020
	λ_d	0.0247	0.0312	0.0538	0.0677	0.1128	0.1371	0.1900	0.2051
18	G/G _{max}	0.9988	0.9977	0.9884	0.9772	0.8953	0.8105	0.4610	0.2096
	λ_d	0.0206	0.0260	0.0444	0.0557	0.0927	0.1130	0.1603	0.1750
19	G/G _{max}	0.9920	0.9842	0.9256	0.8614	0.5542	0.3833	0.1106	0.0585
	λ_d	0.0299	0.0398	0.0758	0.0981	0.1595	0.1826	0.2126	0.2177
20	G/G _{max}	0.9955	0.9910	0.9567	0.9170	0.6883	0.5248	0.1809	0.0994
	λ_d	0.0035	0.0061	0.0209	0.0350	0.0991	0.1382	0.2122	0.2287

21	G/Gmax λd	0.9970 0.0099	0.9940 0.0142	0.9706 0.0325	0.9429 0.0460	0.7676 0.0959	0.6228 0.1235	0.2483 0.1771	0.1417 0.1898
22	G/Gmax λd	0.9977 0.0296	0.9955 0.0373	0.9777 0.0636	0.9564 0.0797	0.8142 0.1295	0.6867 0.1543	0.3048 0.2015	0.1798 0.2130
23	G/Gmax λd	0.9985 0.0036	0.9970 0.0056	0.9852 0.0155	0.9709 0.0237	0.8697 0.0612	0.7695 0.0878	0.4003 0.1605	0.2303 0.1848
24	G/Gmax λd	0.9962 0.0218	0.9924 0.0289	0.9630 0.0553	0.9285 0.0725	0.7222 0.1267	0.5651 0.1523	0.2063 0.1951	0.1150 0.2040
25	G/Gmax λd	0.9968 0.0084	0.9936 0.0123	0.9688 0.0295	0.9395 0.0425	0.7564 0.0917	0.6082 0.1192	0.2369 0.1722	0.1344 0.1847
26	G/Gmax λd	0.9977 0.0296	0.9955 0.0373	0.9777 0.0636	0.9564 0.0797	0.8142 0.1295	0.6867 0.1543	0.3048 0.2015	0.1798 0.2130
27	G/Gmax λd	0.9988 0.0197	0.9977 0.0246	0.9884 0.0411	0.9771 0.0512	0.8950 0.0833	0.8099 0.1008	0.4601 0.1408	0.1988 0.1531
28	G/Gmax λd	0.9987 0.0384	0.9974 0.0464	0.9870 0.0720	0.9743 0.0867	0.8833 0.1312	0.7910 0.1539	0.4309 0.2025	0.2046 0.2164
29	G/Gmax λd	0.9930 0.0007	0.9861 0.0016	0.9343 0.0090	0.8767 0.0183	0.5872 0.0717	0.4156 0.1062	0.1245 0.1677	0.0664 0.1804
30	G/Gmax λd	0.9977 0.0013	0.9954 0.0023	0.9775 0.0085	0.9560 0.0149	0.8130 0.0496	0.6849 0.0765	0.3030 0.1480	0.1785 0.1697
31	G/Gmax λd	0.9983 0.0365	0.9966 0.0443	0.9831 0.0692	0.9668 0.0836	0.8536 0.1267	0.7446 0.1481	0.3684 0.1908	0.1958 0.2019
32	G/Gmax λd	0.9984 0.0071	0.9968 0.0106	0.9843 0.0264	0.9691 0.0389	0.8625 0.0913	0.7583 0.1260	0.3855 0.2147	0.2088 0.2427
33	G/Gmax λd	0.9983 0.0017	0.9967 0.0030	0.9835 0.0104	0.9675 0.0178	0.8563 0.0578	0.7487 0.0900	0.3734 0.1853	0.2096 0.2182
34	G/Gmax λd	0.9920 0.0004	0.9841 0.0010	0.9251 0.0079	0.8606 0.0182	0.5526 0.0872	0.3818 0.1346	0.1099 0.2196	0.0582 0.2369
35	G/Gmax λd	0.9954 0.0015	0.9909 0.0028	0.9562 0.0118	0.9161 0.0215	0.6859 0.0728	0.5220 0.1073	0.1792 0.1768	0.0984 0.1928
36	G/Gmax λd	0.9965 0.0238	0.9931 0.0321	0.9664 0.0635	0.9350 0.0844	0.7420 0.1528	0.5898 0.1866	0.2233 0.2457	0.1257 0.2586
37	G/Gmax λd	0.9972 0.0319	0.9945 0.0406	0.9729 0.0706	0.9473 0.0890	0.7824 0.1458	0.6425 0.1733	0.2644 0.2228	0.1524 0.2341
38	G/Gmax λd	0.9977 0.0260	0.9953 0.0339	0.9771 0.0627	0.9552 0.0813	0.8100 0.1420	0.6806 0.1736	0.2989 0.2352	0.1757 0.2504
39	G/Gmax λd	0.9976 0.0014	0.9952 0.0025	0.9766 0.0097	0.9543 0.0174	0.8069 0.0605	0.6763 0.0946	0.2947 0.1855	0.1728 0.2129
40	G/Gmax λd	0.9975 0.0450	0.9951 0.0552	0.9759 0.0886	0.9529 0.1081	0.8018 0.1658	0.6691 0.1931	0.2880 0.2425	0.1682 0.2540
41	G/Gmax λd	0.9962 0.0006	0.9925 0.0014	0.9634 0.0077	0.9293 0.0158	0.7245 0.0698	0.5680 0.1141	0.2082 0.2213	0.1162 0.2495
42	G/Gmax	0.9969	0.9939	0.9700	0.9418	0.7640	0.6182	0.2446	0.1393

	λd	0.0323	0.0417	0.0749	0.0958	0.1607	0.1920	0.2471	0.2594
43	G/G _{max}	0.9975	0.9950	0.9754	0.9520	0.7987	0.6648	0.2840	0.1655
	λd	0.0005	0.0010	0.0052	0.0103	0.0449	0.0757	0.1652	0.1933
44	G/G _{max}	0.9976	0.9953	0.9769	0.9548	0.8086	0.6787	0.2970	0.1744
	λd	0.0031	0.0050	0.0159	0.0258	0.0731	0.1062	0.1870	0.2100
45	G/G _{max}	0.9979	0.9958	0.9793	0.9594	0.8253	0.7026	0.3209	0.1911
	λd	0.0155	0.0212	0.0435	0.0589	0.1137	0.1446	0.2098	0.2270
46	G/G _{max}	0.9952	0.9905	0.9544	0.9127	0.6765	0.5112	0.1730	0.0947
	λd	0.0027	0.0048	0.0172	0.0292	0.0849	0.1188	0.1824	0.1963
47	G/G _{max}	0.9961	0.9923	0.9625	0.9277	0.7197	0.5621	0.2043	0.1138
	λd	0.0249	0.0327	0.0610	0.0791	0.1353	0.1614	0.2044	0.2133
48	G/G _{max}	0.9972	0.9945	0.9729	0.9472	0.7819	0.6419	0.2639	0.1520
	λd	0.0089	0.0131	0.0320	0.0465	0.1032	0.1364	0.2044	0.2214
49	G/G _{max}	0.9981	0.9962	0.9810	0.9628	0.8381	0.7213	0.3410	0.2056
	λd	0.0407	0.0501	0.0813	0.0997	0.1558	0.1837	0.2384	0.2523
50	G/G _{max}	0.9975	0.9950	0.9757	0.9525	0.8004	0.6672	0.2862	0.1670
	λd	0.0443	0.0542	0.0860	0.1045	0.1586	0.1840	0.2298	0.2403
51	G/G _{max}	0.9979	0.9958	0.9793	0.9594	0.8254	0.7027	0.3210	0.1912
	λd	0.0047	0.0073	0.0198	0.0301	0.0750	0.1046	0.1753	0.1955

附件 2 高密度电法勘探报告

内乡县牧原智慧物流园
工程场地电阻率层析成像勘测报告

河南城安衡测工程技术有限公司

2021 年 4 月

1、工作概括

为了探测场地范围内是否有活动构造存在，结合场地条件，我公司于 2020 年 11 月 26 日、2021 年 3 月 12 日完成了该工程场地电阻率层析成像探测工作。我们采用 DUK-2A 高度密度电法测量系统在工程场地内布设了近南北向测线 1 条、近东西向测线 2 条，测线总长为 3000m，测线位置见图 1。

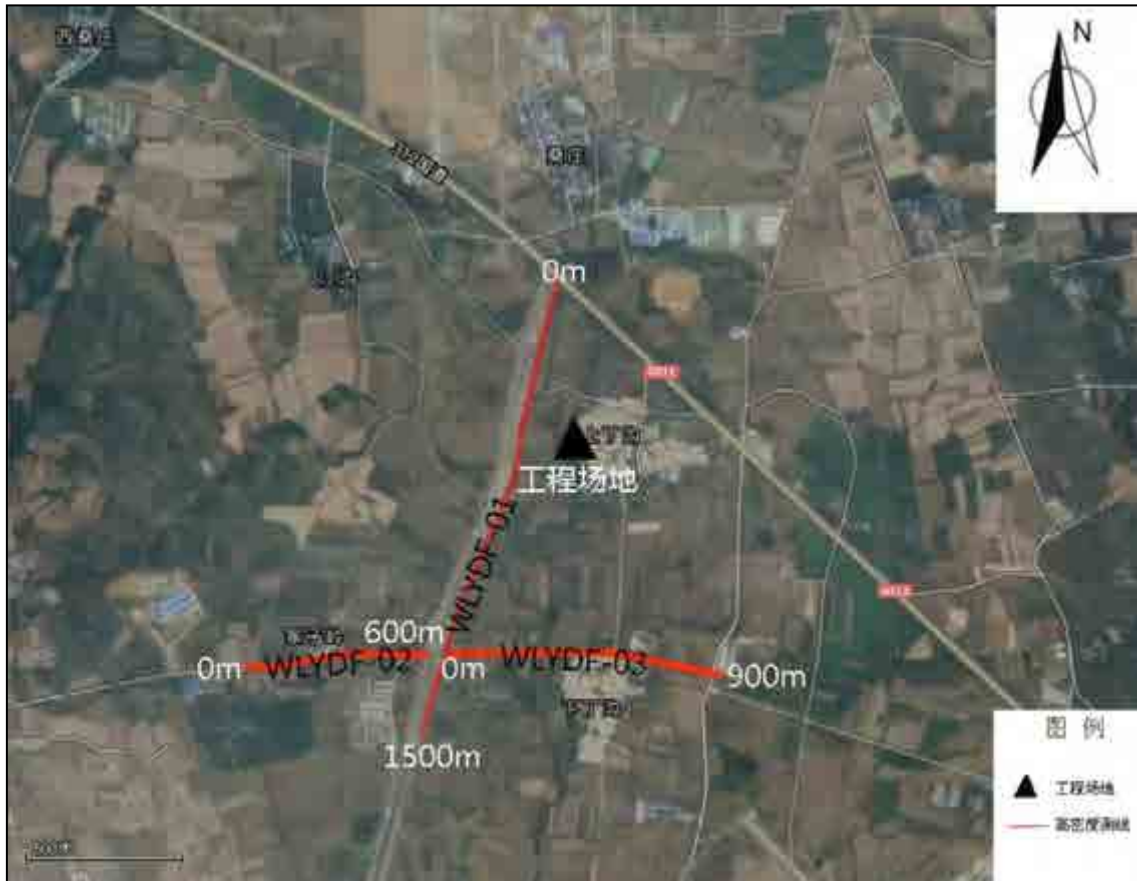


图 1 电法测线位置示意图

2、勘探目的及任务

本次勘察的目的及任务主要是：

- (1) 利用电阻率层析成像技术调查拟建工程场地是否有断层通过；
- (2) 如果有断层存在，反演存在的断裂位置及其产状，并分析断裂对拟建工程场地的影响。

3、勘察方法及工作量

- (1) 勘察方法

根据场地条件,采用高密度电阻率层析成像探测方法。仪器以 DZD—6A 多功能直流电法(激电)仪为测控主机,配以一台多路电极转换器构成 DUK—2A 高密度电法测量系统。常规电阻率法由于其观测方式的限制,不仅测点密度较稀,而且也很难从电极排列的某种组合上研究地电断面的结构与分布。因此,在精细勘探中,为了提高电阻率法的勘探能力,使电阻率法在城市工程与环境地质调查中发挥更大的社会效益,采用电阻率层析成像法。

电阻率层析成像法在现场测量时,只须将全部电极设置在一定间隔的测点上,然后用多芯电缆将其连接到程控式多路电极转换器,使电极布设一次完成。测量时由程序控制而动作,从而实现电极排列方式、极距和测点的快速转换,准确与快速地采集大量数据。利用与该系统配套的系列高级电法处理软件,对采集的数据进行各种处理及结果图示,使解释工作更加方便与直观。

表 DZD—6A 多功能直流电法(激电)仪主要指标

	参数	技术指标
接收机部分	测量电压范围	$\pm 6\text{V}$
	测量电压精度	当 $V_p \geq 5\text{mV}$ 时, $\pm 1\% \pm 1$ 个字; 当 $0.1\text{mV} \leq V_p \leq 5\text{mV}$ 时, $\pm 2\% \pm 1$ 个字
	视极化率测量精度	$\pm 1\% \pm 1$ 个字
	电流测量范围	0~5000mA
	测量电流精度	当 $I_p \geq 5\text{mA}$ 时, $\pm 1\% \pm 1$ 个字
	对 50Hz 工频干扰压制	优于 80dB
	SP 补偿范围	$\pm 1\text{V}$
	输入阻抗	$\geq 50\text{M}\Omega$
发射部分	最大供电电压	900V
	最大供电电流	5A
	最大输出功率	4500W
	供电脉冲宽度	1~59s, 占空比 1: 1
	过流保护	过流保护电路, 5A 熔断保险管
其他	工作温度	$-10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$, 95%RH
	存储温度	$-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$

	电源	DC12V
	连续工作时间	大于 10 小时
	重量	8Kg（包括电源）
	体积	305×200×202mm

（2）工作量

考虑到该区区域构造情况，在测区布置南北向两条电法勘探线，详细位置见表 1、图 1。

表 1 测线 GPS 位置坐标

测线编号	起点	终点	长度（m）
WLYDF-01 （自北向南）	33° 6′ 15.69″ 111° 53′ 11.26″	33° 5′ 28.97″ 111° 52′ 54.65″	1500
WLYDF-02 （自西向东）	33° 5′ 35.76″ 111° 52′ 32.48″	33° 5′ 37.64″ 111° 52′ 55.19″	600
WLYDF-03 （自西向东）	33° 5′ 37.64″ 111° 52′ 57.74″	33° 5′ 35.31″ 111° 53′ 31.88″	900

4、野外工作方法

（1）仪器准备与检定

每次工作前，需在室内检查系统中每个仪器是否能正常工作以及电源是否能正常供电。仪器检验可按照说明书进行。比较重要的一项检验是检查多路电极转换器内每只继电器的好换，以至野外数据采集的准确性。通道检测仪（图 2）就是来检测每道的好坏，检测分为自动和手动两种，由多路开关控制。检测时一次接 A、M、N、B 各通道继电器，逐渐 A、M、N、B 各道对应的发光二极管同时亮，并依次向前移动，如果某个灯不亮或常亮不息，说明该继电器已损坏，必须及时修理。



图 2 通道检测仪

（2）现场测线的选择与测试

根据工程场地附近地震地质资料以及工作场地环境，选择最有利的测线方向。本次工作选择测线方向为由北向南，该场地地形平坦，故不用进行地形校正。

（3）现场测试

在测量之前，一定要先检测现场的环境噪声和电极的接地电阻。这两个因素都大大的影响最终的结果。检测现场环境噪声是通过仪器检测自电，如果自电不稳定，需要换个测线位置或者屏蔽掉干扰。

电极接地电阻不能太大，接地电阻太大说明接地不好。而且各道电极的接地电阻值应尽量一致。图 3 是 32 道电极接地电阻曲线，图中有个别电极接地电阻很大，说明接地不良。通过现场施工人员对不良电极的接地位置更换、浇水、复合电极等，使所有电极接地电阻符合规范要求。

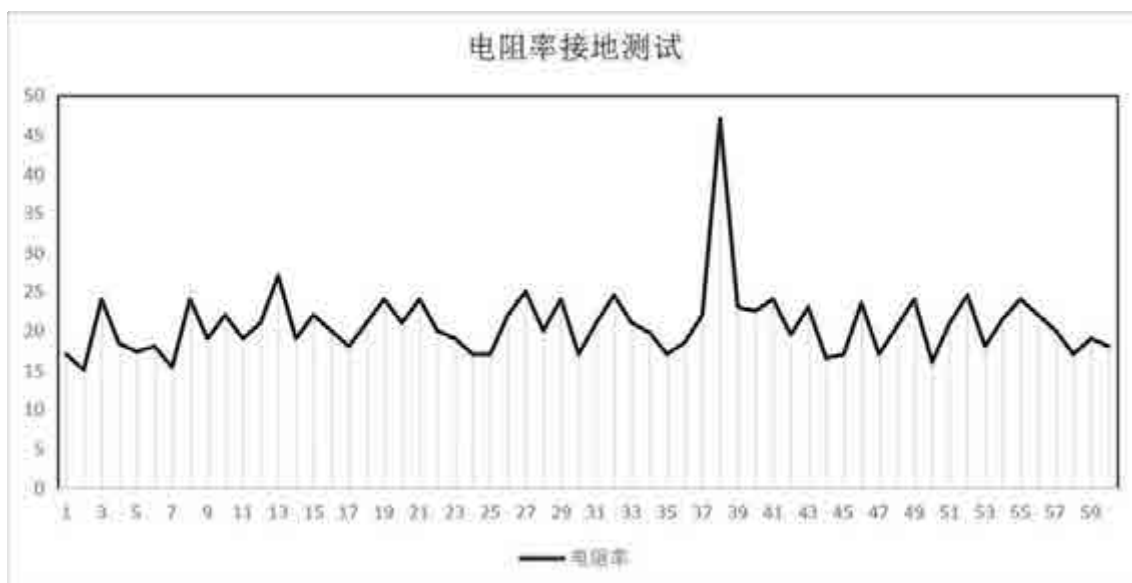


图3 校正前的接地电阻

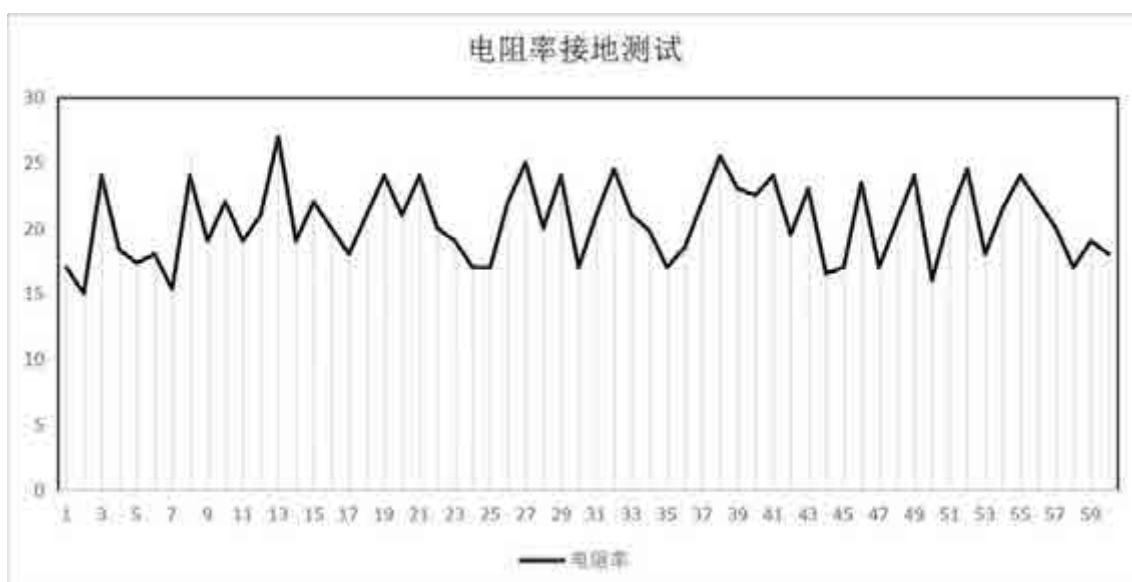


图4 校正后的接地电阻

(4) 测量方法的选择

一般采用固定断面扫描测量,最常用的电极装置为 α 排列(温纳装置 AMNB)、 β 排列(偶极装置 ABMN)、 γ 排列(微分装置 AMBN),也可以采用三极装置等。测量时,一次将即可做供电电极又做测量电极的电极按固定点距布设在测线上,通过多芯电缆与多极电路转换器连接,在主机控制下可实现电极排列方式、极距及测点的扫描测量。

研究认为,装置系统是影响分辨率的重要因素。微分装置的异常幅值最小,振荡出现最早。温纳四极振荡稍好,但异常幅值不大。偶极--偶极装置的异常幅值相对较大,分辨能力较强,但振荡却很剧烈,甚至高阻体上方出现低阻异常,反

之亦然。不同的装置对于不同的探测目标具有不同的分辨率和探测深度。对于电阻率层析成像法，偶极采集系统适应于浅部探测，而温纳采集系统适应于深部探测。对于接地条件差、供电干扰严重的环境，采用温纳采集系统具有一定的优势。

在城市，尤其是在闹市区进行电阻率层析成像测量，我们已解决了一些关键的技术问题，如：尽可能增大供电电流(采用发电机和配套设备供电)；尽可能避开城市工业游散电流(尤其是地下电缆)的干扰；采用冲击钻打孔，用过路器包裹电缆等，以解决道路和各种硬化路面难以布极的困难；和交通管理部门联系，解决城市车辆过多而给电测施工带来困难的问题等。

本次测量工作根据场地等综合因素采用温纳装置进行测量。

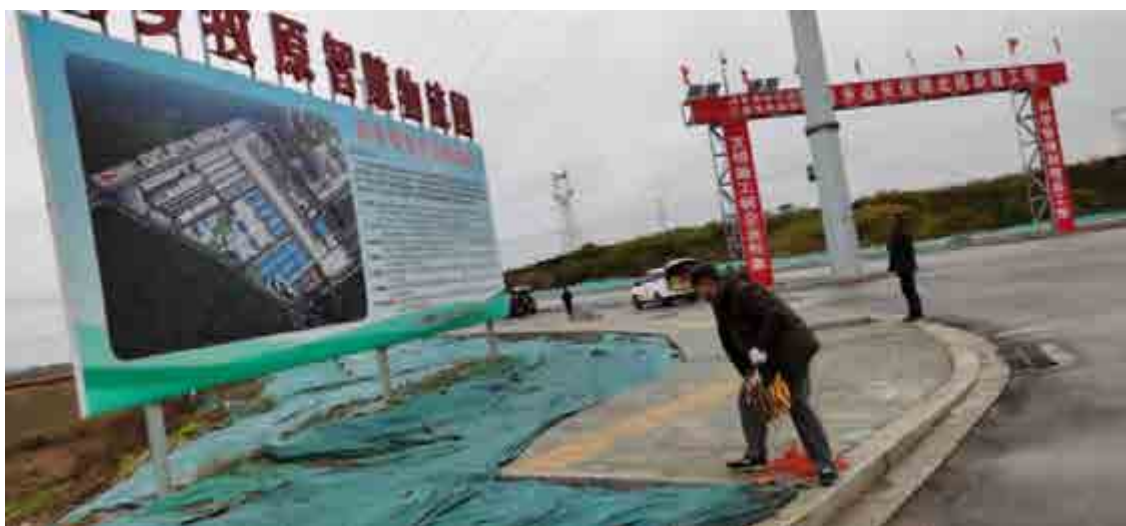




图 5 野外工作照

5、资料解释及结论

本次测量工作根据场地等综合因素测线确定采用温纳装置，为了提高解释精度，我们采用 AGI Earth Imager 2D 的最新高密度电法处理软件进行了正、反演计算。根据地电条件和装置系统，以及正演模拟结果的分析，有针对性地进行高通或低通滤波处理，消除或减小表层干扰和由于极距化而引起的振荡干扰（图 6）。

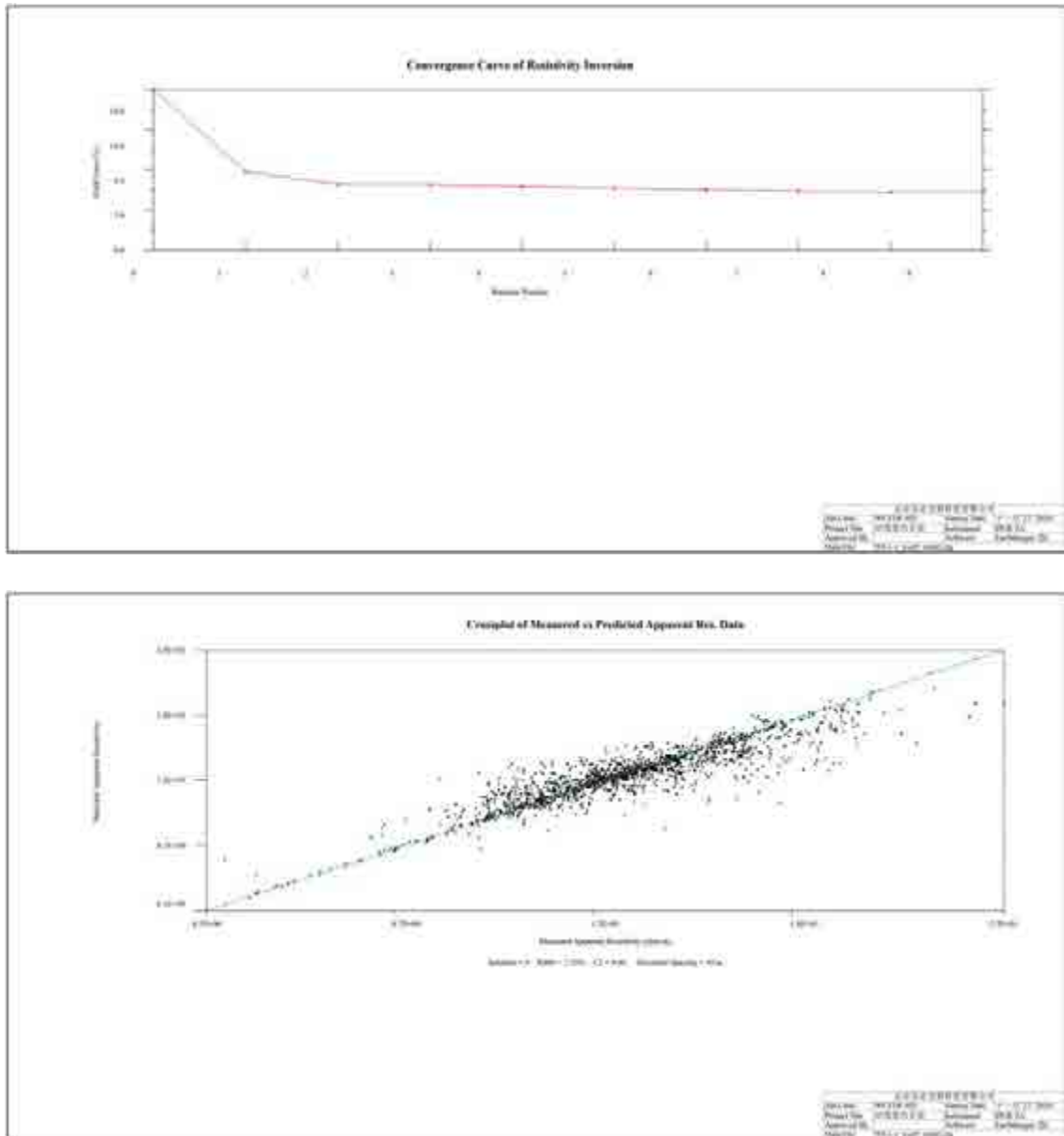


图 6 资料评价

结合场地条件，WLYDF-01 有效测线总长 1500m，测线位置见图 1。实接电极数为 60 路、点距 10m，采用滚动测量方式完成全剖面测量。最终结合该场地工程勘察结果，主要以温纳排列为主进行反演结果分析，该测线反演深度约 108m（图 7）。

结合场地条件，WLYDF-02 有效测线总长 600m，测线位置见图 1。实接电极数为 60 路、点距 10m。最终结合该场地工程勘察结果，主要以温纳排列为主进行反演结果分析，该测线反演深度约 108m（图 8）。

结合场地条件，WLYDF-03 有效测线总长 900m，测线位置见图 1。实接电极

数为 60 路、点距 10m，采用滚动测量方式完成全剖面测量。最终结合该场地工程勘察结果，主要以温纳排列为主要进行反演结果分析，该测线反演深度约 108m（图 9）。

内乡牧原智慧物流园建设项目位于内乡县湍东镇创业路以西、新 G312 以南，地貌上属垄岗地貌，地貌形态单一，场地已基本整平。

结合区域地质资料，工程场地上的高密度电法勘探线探测有效深度大约 108m 以上，电法勘探线电阻率成像结果显示地层连续性完整，测区无显著电阻率间断面。

剖面最上部第一套地层为高阻层，均匀性较差，其厚度从测线起点处的数米逐渐变化到测线终点处的低电阻率区，该层为以粉土为主的杂填土地层，主要为回填土、粗砂、粘土等。第二套地层为相对低阻层，起伏较大，埋藏在第一层之下，该层层底埋深约为 60m 左右，主要分布在桩号 0-100m，该层是以粉土、粉质粘土、含泥粗砂等为主的地层电阻率均值 $10 \Omega \cdot \text{M}$ 。第三套地层为强风化砂岩，厚度逐渐变浅，从 100m 左右埋深逐渐变浅至 10m 左右。

WLYDF-02 和 WLYDF-03 测线位于 WLYDF-01 测线南段，缺失第二套地层。

第二套以下地层电性结构清晰，未见显著电阻率间断面，为相对中低高阻层，电阻率均值 $15 \Omega \cdot \text{M}$ 。

场地内没有发现断裂构造的电性特征。

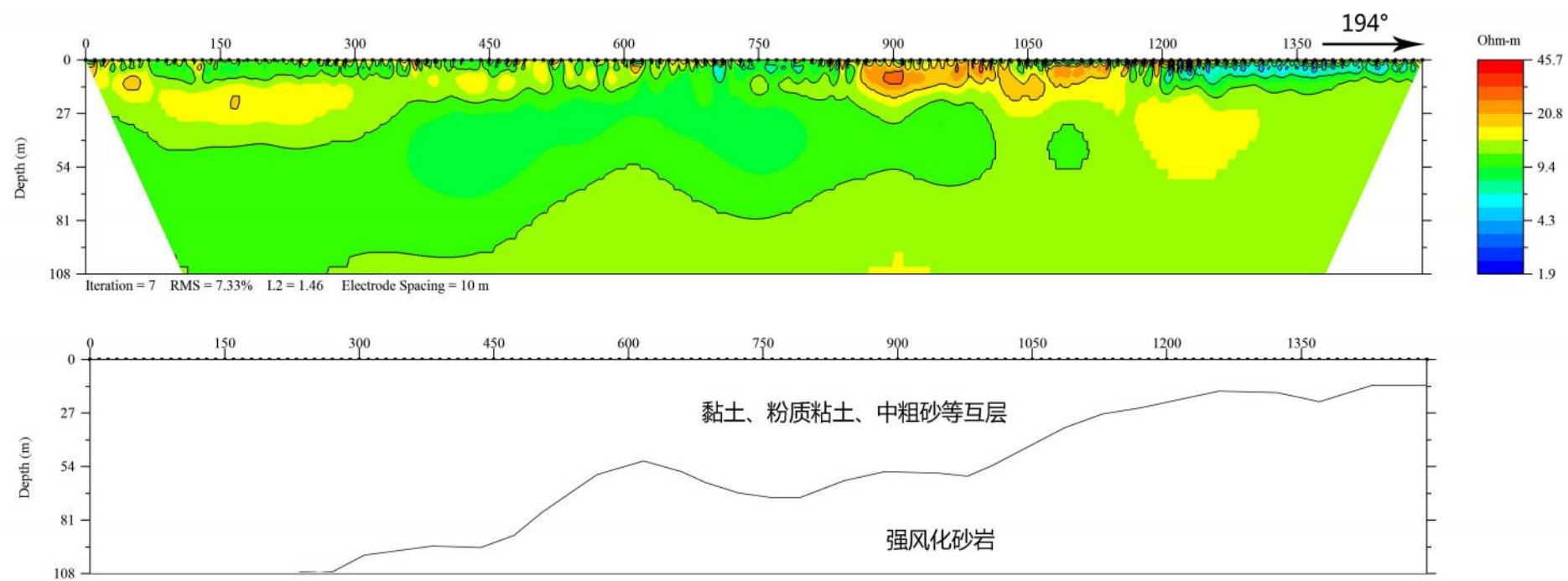


图7 WLYDF-01 视电阻率反演图

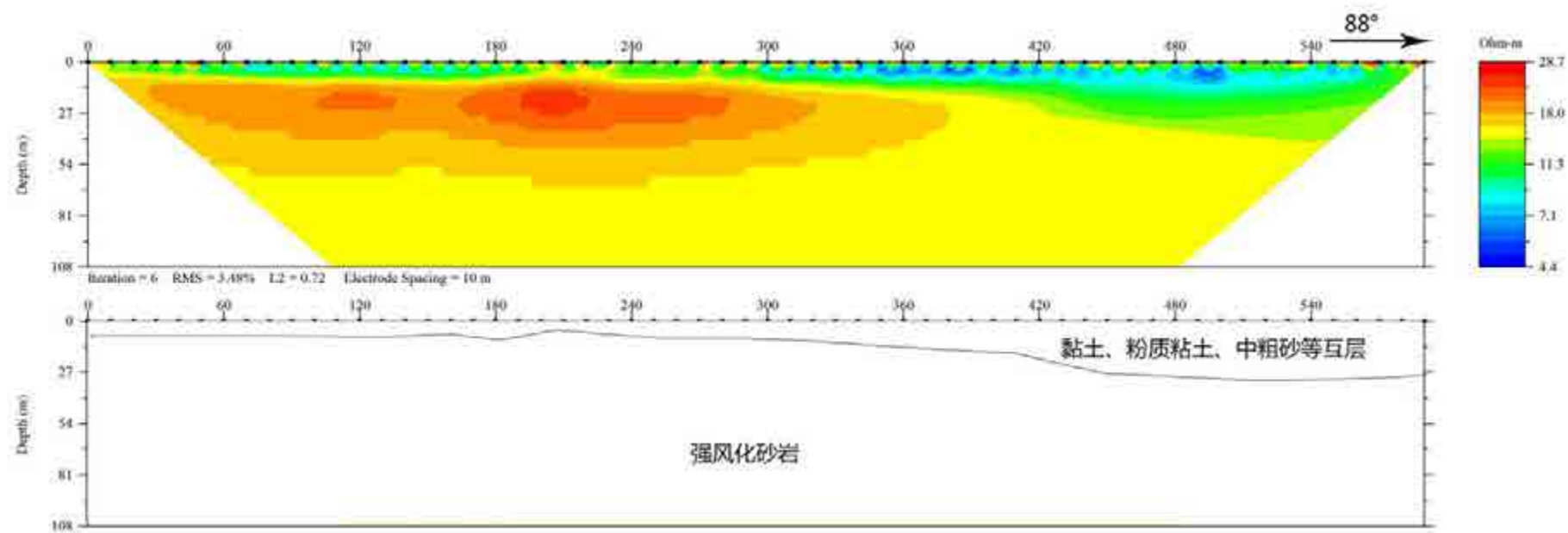


图8 WLYDF-02 视电阻率反演图

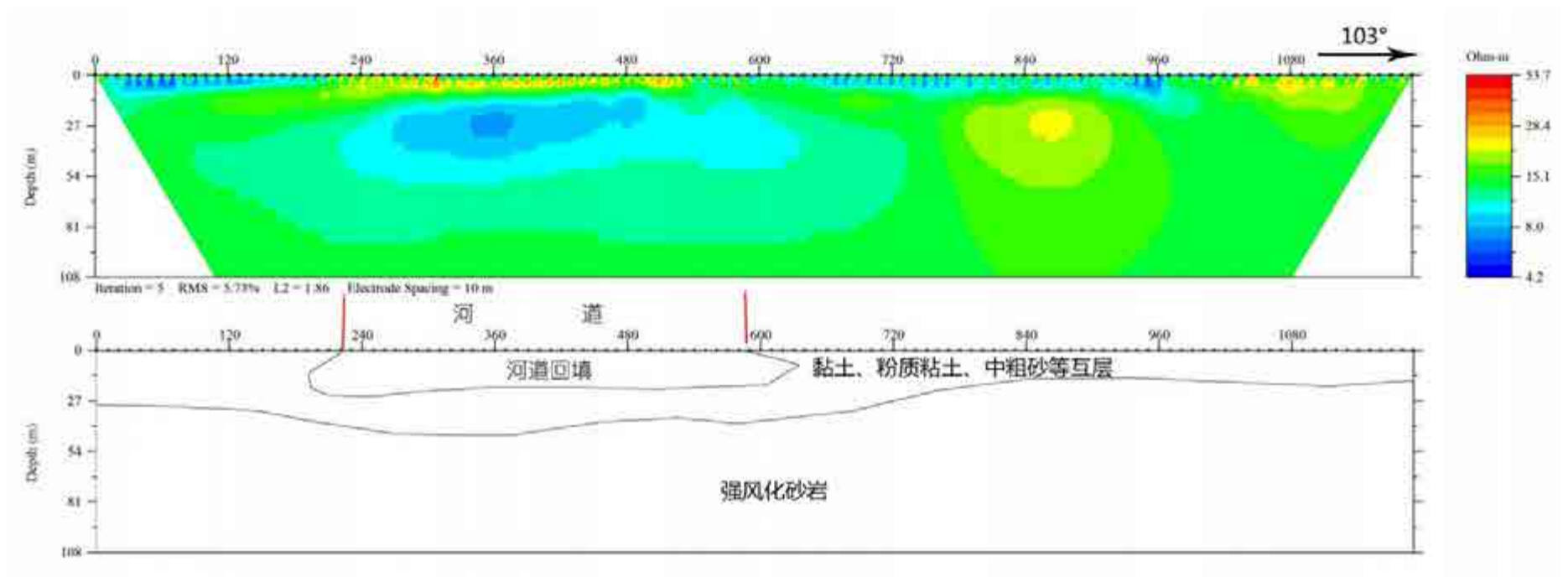


图9 WLYDF-03 视电阻率反演图

附件 3：浅层人工地震勘探报告

内乡县牧原智慧物流园工程场地
地震安全性评价项目浅层地震勘探成果报告

河南城安衡测工程技术有限公司

2021 年 5 月

内乡县牧原智慧物流园工程场地 地震安全性评价项目浅层地震勘探成果报告

承担单位：河南城安衡测工程技术有限公司

法人：王树成

项目负责：张金振

技术负责：张振国

报告编写：刘国华

报告审核：张金振

主要人员：张伟 王崇义 王佳庆 李龙彪

提交单位：河南城安衡测工程技术有限公司

工作时间：2021 年 5 月 24 日-28 日

目 录

1. 前 言.....	1
2. 场区地形地貌及地层构造特征.....	3
3. 地震测线布置与定位.....	6
4. 方法原理与工作难点.....	7
5. 野外数据采集.....	10
6. 地震数据处理.....	20
7. 资料分析与解释方法.....	28
8. 结 论.....	30

附图:测线地震勘探成果图 (1 幅)

附图: 现场工作照 (5 幅)

1. 前言

地震是一种破坏性最大、危害最严重的突发性自然灾害之一。由于城市的人口和建(构)筑物高度集中，一旦发生较强地震，其人员伤亡和经济损失要远远高于农村。因此，在开展小区地震安全性评价项目工作时候，需查清小区近场范围内是否存在隐伏性活动断层，而浅层地震勘探技术是探测地下断层等地质构造的最有效最直接的有效手段之一，而探测隐伏断裂目前所采用的地震方法主要为地震反射波法。

这是因为采用该方法不但有利于在干扰背景较强的条件下利用多次覆盖技术压制干扰、提高资料的信噪比，而且利用地震反射剖面上丰富的反射地震响应也有助于判定断裂的存在与形态。

内乡智慧物流园工程场地位于河南省南阳市内乡县湍东镇创业路以西、新 G312 以南区域，其地理坐标为：北纬 $33^{\circ} 6' 15.69''$ ，东经 $111^{\circ} 53' 11.26''$ ，详细见图 1.1 所示。

本次勘探目的为：采用浅层地震勘探方法探测工程场地是否存在断裂，如果存在断层，则查清断层分布及其属性，具体任务是：

(1) 采用美国 Atlas 智能节点地震仪，Atlas 是一款高精度智能地震勘探监测系统，可通过 Wifi 和 4G/5G 网络进行参数配置和实时监测，无人值守自主采集，内置速度传感器（加速度传感器可选）、无线通讯模块、GPS、电池和大容量存储器。整个系统轻便、耐用，采用紧凑的外观设计，适用于野外苛刻环境。通过野外现场试验，正确选取生产中使用的各项参数，完成浅层地震勘探剖面 1 条：剖面长度 1500m，生产激发点 150 个，共接收点 600 个。

(2) 查明工程场地浅地表是否存在断裂，以及断层的走向、产状、上断点埋深及其在地表的垂直投影位置及其空间展布特征。

(3) 广泛收集有关地质、物探、钻孔资料，深化认识，为地震资料的处理和解释提供参考。

为更好地完成该项任务，承担该项目的技术人员进行了野外踏勘，并根据有关行业技术规范，详细设计了浅层地震勘探方案。于 2021

年 5 月 24 日-28 日对设计的测线进行了浅层人工地震勘探，完成了整个测区的数据采集、数据处理、数据解释工作。在此基础上对地震时间剖面进行了解释和图件绘制工作，编写了“内乡智慧物流园工程场地地震安全性评价项目浅层地震勘探成果报告”。



图 1.1 项目场地位位置示意图

2. 场区地形地貌及地层构造特征

2.1 场区地形、地貌特征

拟建内乡县智慧物流园工程场地位于内乡县湍东镇，地处内乡县中南部，东北西三面环城，地形岗河相间、沟壑纵横、地面起伏，山脉、丘陵、平原皆有，东部、中西部为南北走向的黄土丘陵，海拔 200—300 米之间，坡度延缓，带状分布，中部系带状冲积平原，由湍河中下游冲积而成，海拔在 200 米以上，西部系浅山石质丘陵，海拔

在 400 米左右，有方山、老君山、磨山、跑马岭等，峰峦起伏，连绵不断，是伏牛山的南支余脉，山脉走向自西北向东南倾斜，地势北高南低、西高东低，西部为浅山区，南北中部为平原，东部为丘陵地区。

2.2 场区地层与第四系划分

区内第四系地层分布广泛，南阳盆地缺失下更新统，其它各统均有沉积。东部华北平原拗陷带的南部出露较全，各统都有分布。与下覆新近系及其以前的老地层均为角度不整合接触关系。根据岩性特征，地貌与第四系的沉积等资料，将区内第四系时代及成因类型划分如下。

(1) 下更新统冲积层(Q_1^{al})

该统出露在东部华北平原拗陷带内，地表只有零星分布，以灰绿色、黄绿色含砂粘土及斑块状砂砾石层，含锰质网纹及棕色锈斑。

(2) 中更新统(Q_2)

按其成因可划分为：冰碛及冰水堆积层，冲洪积层，残积和坡积层三种类型。

冰碛及冰水堆积层(Q_2^{gl})：此层为中更新统底部层，出露于区域西部北秦岭褶皱带的山前岗垅地带，由东至西断续分布。东自方城县城以北的胡岗经吴池庄、张半岗、阎岗，断续经秋树底、白砂咀、史岗，直至高丘、谢沟等地，厚度不等，与下伏新近系呈不整合接触。分布高程在 170~260m 之间，一般东部位置较低。岩性为棕红色粘土杂砾卵石层，砾石成分随地而异。砾石具擦痕、刻沟、压坑，部分呈凹面石、马鞍石、香蕉石及受磨削成架形的砾石。泥砾主要为底碛。

该冰碛及冰水沉积物不整合于新近系之上，为 2~6 层棕红、棕黄色粉土质粘土层，此粘土层相当黄河中游普遍分布的中更新统离石黄土层，因此认为区域冰碛及冰水沉积物之时代相当于大姑冰期。

冲洪积层(Q_2^{al})：区内主要分布于南阳盆地的镇平、方城以北山前地带，及方城、社旗、唐河以东、唐河西大岗和唐河以北青台岗垅地区，次为南阳卧龙岗一带，华北平原拗陷带的淮河以南的岗丘以及北秦岭山麓边坡一带。

下部岩性为棕红、褐红色粘土及粉土质重亚粘土。上部为桔红、橙黄色粉土质重亚粘土及桔红、棕红色砾质粉土质重亚砂土。

根据已有的资料，本沉积类型沉积物应以河流形成为主，晚期有湖泊淤积特征。

坡积和残积层(Q_2^{dl+el}): 此类型沉积主要分布基岩山地的山坡、山麓地表以及基岩山区低凹地区。其岩性为黄褐色、棕红色亚粘土，山麓地带中多碎石岩块，含钙质结核及黑色豆状铁锰质结核，斜覆于新近系及其以前这地层上。其坡度随古地形而异，可 8~10 度，倾斜方向基本与现代地形一致。

(3) 上更新统冲积洪积层($Q_3^{al}-Q_3^{pl}$)

该沉积为淮河流域地区出露较广泛的地层。在南阳盆地广大平原区及各大河流两岸的 II 级阶地，与下伏中更新统呈平行不整合接触。

岩性为亚粘土，最上部为砾质亚粘土，最下部为砂砾石层。

(4) 全新统冲积层(Q_4^{al})

广泛分布在淮河以北的大片冲积平原上及淮河以南的沟谷中。在南阳盆地广泛分区内湍河、白河、唐河、潦河等河流两侧和支谷中，组成河流 I 级阶地和河床。根据岩性和地貌特征，可将该沉积分为全新统下部冲积层、上部冲积层及全新统湖积和冲积层，现将本统岩性分别叙述如下：

全新统下部冲积层(Q_4^{lal}): 从地貌形态来看，本统下部组成的近代河流 I 级阶地，高于现代河床及河漫滩，地貌分界清楚。主要分布在白河、湍河、潦河、唐河、赵河和这些河的支流的两岸，构成这些河流

的 I 级阶地。

岩性单一，变化不大。岩性为灰黄色、淡黄色及褐黄色亚砂土夹砂层，浅褐色亚粘土层和砂质亚粘土，节理孔隙发育。均水平分布，与下伏上更新统黄土状重亚砂土和亚粘土呈平行不整合接触。

全新统上部冲积层(Q_4^{2al}): 主要分布于淮河、白河、唐河、潦河、湍河、赵河及其各大河流支流的河床、河漫滩，岩性随地而异，主要为黄色粗砂、细砂、粉砂，局部夹有淤泥层及砂砾石层。

全新统湖积和冲积层(Q_4^{1l-al}): 主要分布在华北坳陷(南部)的现代河流的两侧及整个淮河冲积平原。发育沉积厚度不大且均未见底，组成 I 级阶地。

下部为湖沼相沉积层，一般呈灰暗的色调，含有黑褐色锰膜及网纹、腐植泥等，上部为砂层冲积形式。

3. 地震测线布置与定位

3.1 地震测线布置

测线布置是根据探测任务、测区断裂构造走向，以及测区、地形地貌和人文环境等综合因素确定。测线布置的原则是：长短线结合、尽量增加控制测线、控制测区近东西向主体构造，地震测线便于施工，以及后期处理和解释。本次浅震探测工作在场地中间布置一条由近北向南测线（北偏南 30 度左右），测线长度为 1500 米；测线具体位置见图 3.1 所示。



图 3.1 浅层地震勘探线布置示意图

3.2 测线及测点定位

野外测地工作以该项目规划地形图为基础，采用高精度全球定位系统 GPS 仪与测绳结合的方法完成。在实际测量过程中，用 GPS 定出测线端点，测绳量距，定点检查，每 5m 标出距离桩号，炮点桩号采用西小东大的标注方法。

4. 方法原理与工作难点

4.1 浅层地震勘探方法简介

地震反射波法利用地下介质物性差异界面上的地震反射波的运动学和动力学特征，探测地层或岩体的埋深及其速度结构，在油气、矿产资源及深部结构探测中得到了广泛而有效的应用，尤其是在断裂的

探测方面起着重要作用。

地震反射波法通常采用共反射点多次覆盖观测系统，其工作原理示意图见图 4.1 所示。

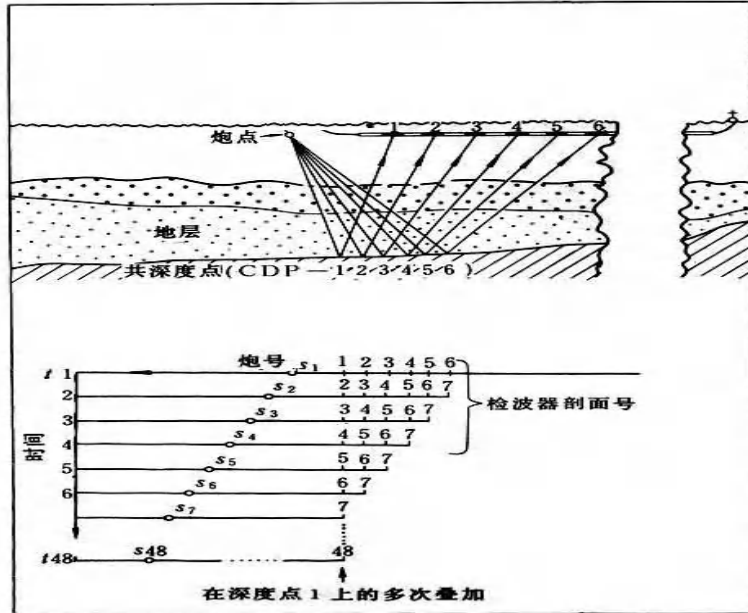


图 4.1 地震反射波法工作原理示意图

如图 4.2 所示，分别在测线上不同位置的 01、02、03，……等处进行激发，在相应的接收点 S1、S2、S3……等处接收来自地下反射界面 R 上同一点 A 的反射波，A 点称为共反射点或共深度点 (CDP)，M 称为共中心点 (CMP)，S1、S2、S3……叫做共反射点 (CDP) 叠加道，相应的旅行时为 t_1 、 t_2 、 t_3 ……。共深度点叠加道的集合叫做共深度点道集。根据附图 1 所示的简单几何关系，可求得共深度点叠加道集内反射波的时距曲线方程为：

$$t_k = \frac{1}{V} \sqrt{4H^2 + X_k^2} \quad (4-1)$$

式中， X_k 为炮检距， H 为界面埋深， V 为层速度。当 $X_k=0$ 时， $t_0=2H/V$ ，是共中心点 M 处的法线旅行时。

在共反射点叠加中，各叠加道中的第一个炮间距 (X_i) 称为最小偏移距，相邻炮点的间距叫做炮点距 (d)，则叠加道间距为 $2d$ 。在水平层状均匀介质条件下，共反射点时距曲线与共炮点反射波时距曲线是类似的，区别在于共炮点反射波时距曲线反映的是来自地下反射界面

上的一段,而共反射点时距曲线仅反映来自地下反射界面上的一个点。由共炮点反射波时距曲线方程可以得到共反射点时距曲线方程的正常时差为:

$$\Delta t_k = t_k - t_0 = \sqrt{\left(\frac{X_k}{V}\right)^2 + t_0^2} - t_0 \quad (4-2)$$

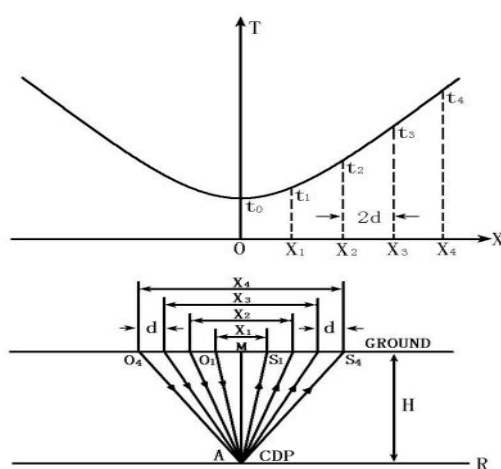


图 4.2 共反射点探测原理图

因此,在数据处理时,经过动校正(即正常时差校正)之后,双曲线型的共反射点时距曲线被校正为一条直线,然后进行多次叠加,便得到了能量增强后的相当于在 M 点处自激自收的反射信号(图 4.3),将测线上多个测点的数据用上述方法处理后就得到一组反映各点自激自收信息的叠加时间剖面。该方法对于压制干扰波、提高信噪比有明显的效果。地震反射波法可以直观地反映出地层界面的起伏变化,对于探测地下隐伏断层、空洞及非均匀异常体十分有效。

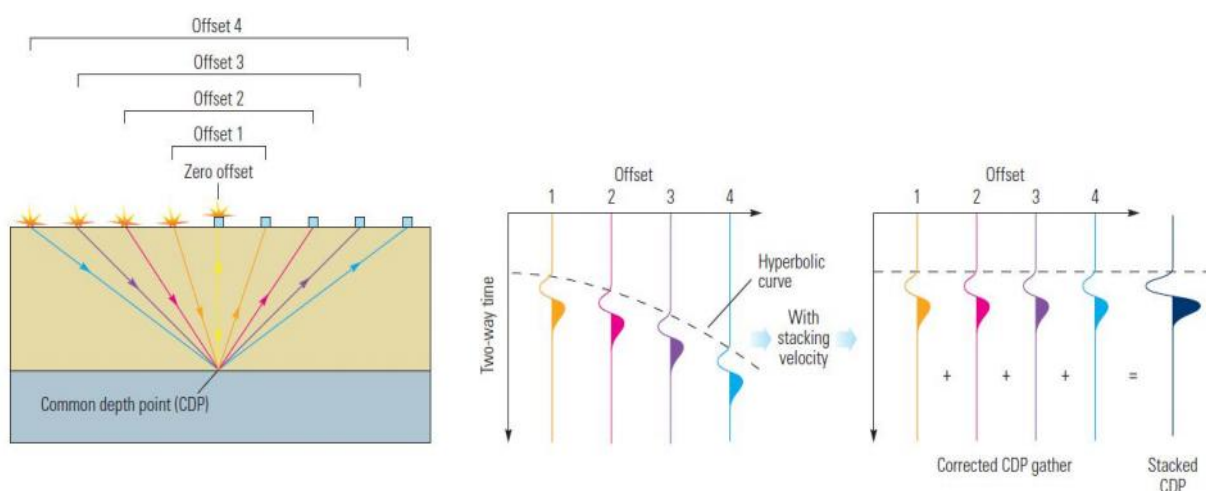


图 4.3 共反射点叠加示意图

4.2 地震勘探工作难点

工程场地测区位于河南省南阳市内乡县湍东镇创业路以西、新G312以南区域，且距离马路距离较近，靠近马路时常常有交通车辆经过，噪音震动大，车辆的震动会给地震数据采集带来一定的困难和影响，进而给地震数据的后期处理带来一定的困难。

针对上述各种不利因素，在本次浅层地震勘探工作中，采取尽量躲开外界各种干扰对地震记录的强影响时间段，离马路较近的采用晚上开展采集工作，并提高数据叠加次数，压制噪声干扰，尽可能避开车辆震动带来的不利影响。

5. 野外数据采集

5.1 仪器设备

5.1.1 地震仪

高分辨率浅层地震勘探是指能分辨地壳浅部地层界面和较薄地层的一种浅层地球物理勘探方法，以便有效地确定地下构造的位置、形态。因此，要求地震勘探数据采集所用的仪器设备应具有高保真度、高采样率、宽频带、大动态范围等性能，另外，为了适应地震勘探的

工作环境，所采用的地震仪器还应具有抗干扰能力强和能实时对环境干扰进行监控。

高分辨率地震勘探必须建立在高信噪比的基础上，影响地震记录信噪比的因素主要有：地震波激发源噪声、现场环境干扰以及仪器本身的噪声等，众多噪声（如环境干扰、激发噪声）可以通过人为因素和数据处理得到改善，然而，仪器本身的噪声必须通过采用先进的技术装备来克服。采用地震数据在地震仪的采集站数字化，数字信号在传输过程中是不会引进噪声的。

根据本项目断层探测的目标和测区环境特点，本次浅层地震勘探工作中，采用 Atlas 智能节点地震仪，（图 5.1）进行地震勘探数据采集。

是在总结相关地震仪经验和吸取世界上地震仪发展趋势的基础上研制出来的、最先进的地震数据采样系统。其主要优点包括：

(1) 低功耗设计

仪器采用低功耗设计，可支持长时间连续监测。

(2) 设备部署灵活

仪器内置传感器、GPS、电池等，设备小巧轻便，方便施工部署。

(3) 采集数据质量控制便捷

仪器内置无线通讯模块，方便控制终端通过无线网连接仪器进行采集参数设置和数据质量控制。

(4) 防护等级高

IP68 防护等级设计，适应野外的工作环境。

(5) GPS 精确授时

各主机 GPS 精确授时，多主机同步精度小于 $3\mu\text{s}$ 。配有专门的充电架，触点式充电设计，简化充电操作。通过充电架可实现仪器与电脑互连，用于数据传输、配置文件导入、仪器状态监测、系统升级等。

(6) 应用场景广泛

自采自存系统，支持速度传感器和加速度传感器输入，可应用于地脉动测量、震动噪声监测

野外部署:到达接收点后,将尾锥旋转接入主机底部,之后将尾锥插入大地或整体埋放在接收点。尾锥插入地下时要平稳、紧实,保证其与大地的耦合良好。调整主机面板上的水平气泡居中,保证传感器方向的精确。当在硬路面上进行施工时,将底座旋转接入主机底部,保证设备能平稳地放置在硬路面上。



主机 (a)



尾锥 (b)



磁开关 (c)



数据回收和充电架 (d)



触发器 (e)

图 5.1 Atlas 节点地震仪

5.1.2 地震检波器

地震检波器是接收地震波的关键设备，在浅层地震勘探中总是希望获得宽频带、高主频的地震信号，因此，在数据采集时应采用既可压制低频干扰，又可拓宽记录高频上限的地震检波器。然而，检波器的灵敏度又与检波器的幅频特性有关，通常，固有频率高的检波器其灵敏度要低于固有频率低的检波器，虽然高频检波器对低频成份的压制效果较好，但输出灵敏度较低。因此，工作中应根据地震勘探的工作方法、不同场地条件、探测深度、地震信号的强弱合理选择适用的检波器类型。

5.1.3 地震波震源方式

为了更好地完成探测任务，结合我单位多年来开展浅层地震勘探工作的经验，采用 80kg 冲击震源（图 5.2）激发地震波，该震源优点是：携带和施工方便，激发能量大，不受施工场地限制，其缺点是：设备较笨重。针对冲击震源的优缺点和场地环境条件，布设测线时，尽量布设在远离主交通道路。



图 5.2 80kg 冲击震源

5.2 试验工作

为了获得适合于测区浅层地震勘探的工作参数，在全面进行地震条件调查的基础上，选择代表性的地段进行现场试验工作，试验内容主要包括：低速带测定，干扰波调查等。

5.2.1 低速带测定及结果

根据工区地表覆盖层的分布特点，在测区选择有代表性的地段进行了低速带测定，目的是为了在数据处理中消除低速带厚度变化对测

量结果的影响，提高剖面资料质量。低速带测定采用小折射相遇时距曲线观测系统。根据测区地表层低、降速带分布特点，为了较好地求准低速层的速度和厚度，选择了 0.5m 偏移距、40 道接收、1 m 道间距，每个小折射有 2 个记录。通过差数时距曲线法在拾取初至波的基础上生成图 5.3 的小折射测线相遇时距曲线图，然后按照差数时距曲线法计算低速带速度及厚度情况，如图 5.4。

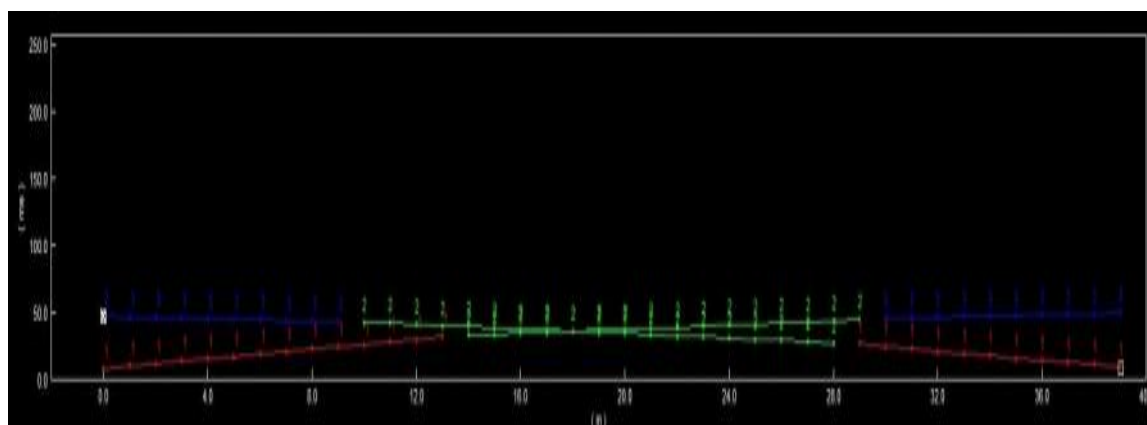


图 5.3 小折射相遇时距曲线图

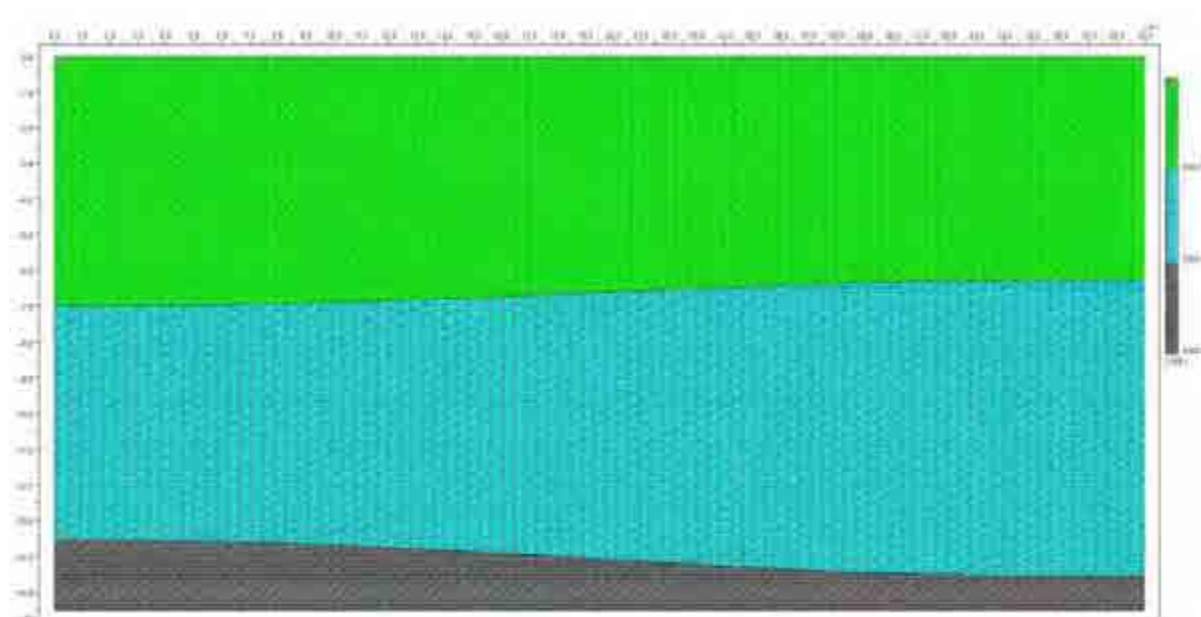


图 5.4 小折射反演结果图

低速带的波速 V_1 一般在 500m/s, V_2 为 1200m/s; 低速层厚度 7.0~7.3m。

5.2.2 干扰波调查

干扰波调查的目的是通过干扰波调查，可以查清工区内主要干扰

波的类型，例如面波、浅层折射波、声波、高频干扰波和环境噪声等。目的是为了采取有效措施压制干扰波，突出有效波，提高信噪比，增强资料品质。

图 5.5 为在 1 线（炮点桩号 0 处）上采用偏移距 0m、道间距 5m 展开接收的扩展排列原始记录图。从图中可以看到干扰波较为发育，主要表现为强的面波、直达波、浅层折射波。在 10 道 150ms 左右已有反射波出现，并与主要干扰波基本分离。为了尽可能增加浅部信息，偏移距不宜过大，本次选用 20m 偏移距。

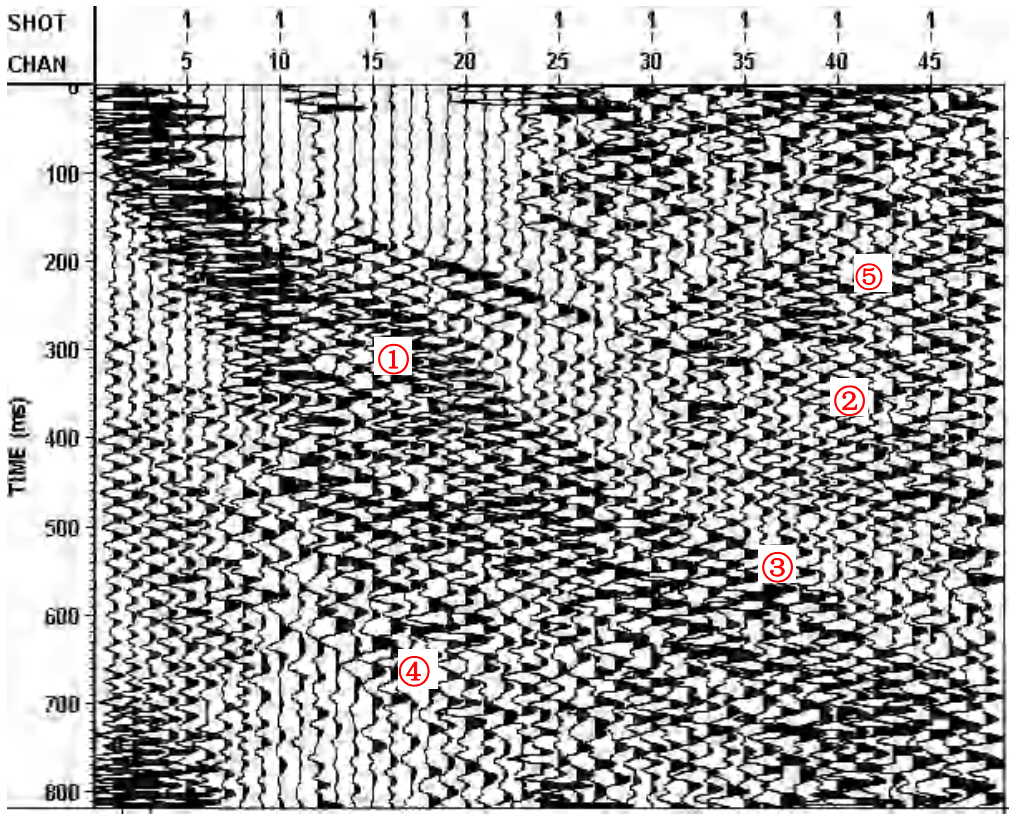


图 5.5 扩展排列原始记录图

①直达波；②浅层折射波；③反射波；④面波 ⑤干扰波

5.2.3 观测系统选择

合理选择地震勘探的观测系统是获得良好的探测结果的关键，本次反射地震勘探在综合考虑目的层埋深和能对近地表地层进行详细分层的情况下，通过试验工作，对测区的野外工作条件以及干扰波的情

况有了清晰的了解，确定了道间距、最小和最大偏移距、覆盖次数以及仪器采集参数。为提高测量精度，使解释工作更准确，野外施工时采用接收排列在前、激发炮点在后、下倾方向激发、上倾方向接收，采用 8 次覆盖，单边放炮，32 道接收，16 道备用，向前连续追踪的反射波法地震观测系统（见图 5.6）。

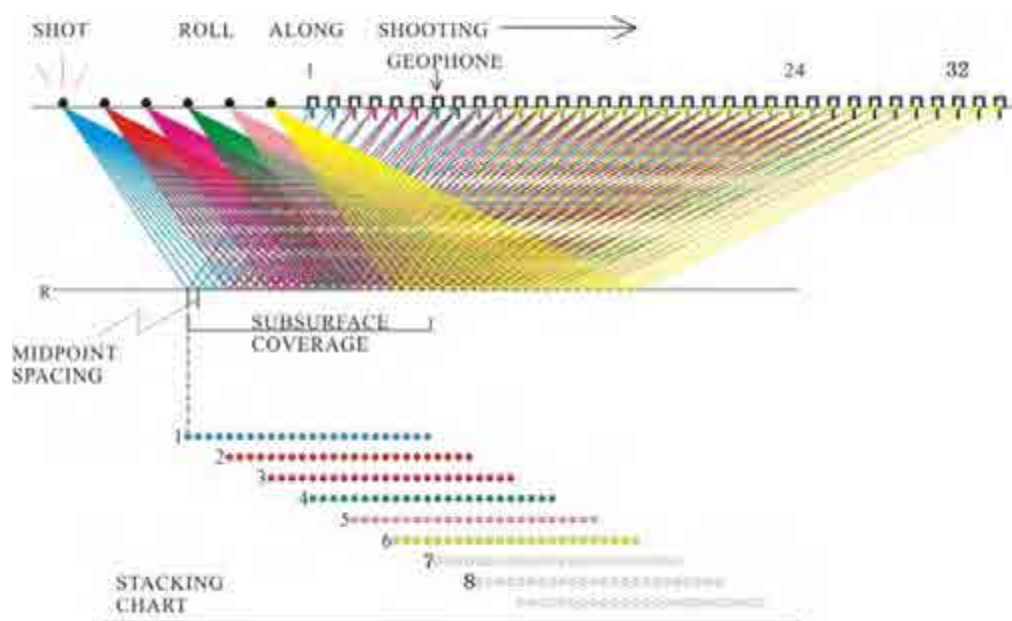


图 5.6 单边激发 8 次覆盖连续观测系统

采用 80Kg 冲击震源激发，道间距 5m、最小偏移距 20m，炮间距 10m，单点叠加 3 次以上。其采集参数为：0.25ms 采样率、记录长度 1024ms，仪器陷波 50 Hz，低截频率 10Hz，高截频率为 500Hz。

5.2.4 技术措施

为提高野外数据采集质量和完成野外生产任务，确保取得好的地质成果，根据有关规范要求，采取了下列技术保证措施。

（1）地震勘探的炮点位置移动沿测线不超过道距的二分之一，垂直测线移动不超过一个道距。如果发现炮点位置超过规定要求的，在测量时必须做观测系统改变，以达到要求。

（2）检波器位置要准确，清除周围杂草，去掉地表疏松层，做到插紧、插直。检波器的输送要轻取、轻放，防止乱撞，以避免检波器的损坏，影响数据的接收。

(3) 经常检查接收机、大线及检波器，发现问题及时处理，保证生产的顺利进行。

(4) 仪器操作员对每炮记录进行现场分析，决定取舍，发现哑炮、坏道及时采取补救措施，并认真填写野外记录。收工后及时对野外观测数据进行初步处理，以便掌握当天的数据质量情况。

5.3 质量评述

5.3.1 原始资料的质量评述

按照《浅层地震勘探技术规范》（DZ/T0170—1997）的要求，作如下质量评述：

- (1) 地震仪器检测合理，仪器工作状态正常。
- (2) 地震试验工作地段选择合理，目的明确，内容翔实。
- (3) 观测系统选择合理，仪器因素选择正确。
- (4) 炮点、检波点位置准确。
- (5) 地震记录现场显示、分析，现场发现问题，并能及时处理。
- (6) 室内能及时提取资料，初步处理并能及时指导野外施工。
- (7) 地震原始记录缺、坏道抽检合理、充分。

抽检统计结果见表 5.1，由表可以看出，抽检工作量为地震总工作量的 70%。原始地震记录一级品率大于 100%。

表 5.1 地震记录抽检统计表

线 号		1
总工作量(道)		4800
抽检工作量(道)		70×32
抽检比例(%)		70
缺、坏道数(道)		64
坏道比例(%)		0.03
空 炮 率(%)		0
单炮坏 2 道炮数		0
单炮坏 3 道炮数		0
质量品级	一级品率(%)	100
	二级品率(%)	0

5.3.2 道一致性评价

根据有关技术规范要求，开工前对仪器进行道一致性检查，其结果见图 5.7，从图中可以看出，各检波器的接收触发时间一致，道一致性好，仪器与所有检波器工作正常，可以用于地震勘探工作。

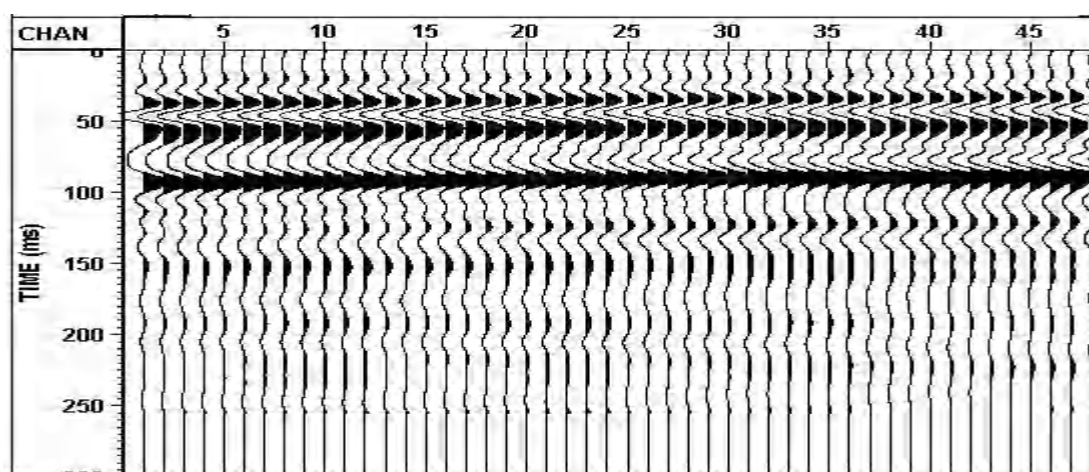


图 5.7 仪器道一致性检查结果

6. 地震数据处理

6.1 地震数据处理流程

6.1.1 浅层地震资料的基本特点

地震反射资料数据处理是地震勘探工作的中心环节，勘探结果受到原始记录质量的影响，不同地区、不同测线获得的原始记录特征可能会有很大的不同。因此，如何利用有效的数据处理方法得到能真实反映地下地质结构特征的探测结果是地震数据处理的主要任务。

浅层地震反射资料与石油系统中深层地震反射资料相比，大致具有以下几个特点：

(1) 浅层地震勘探为了获得更浅层的反射信息，保护有效高频成分，又常需要采用较小的道间距和偏移距，因此，记录中的震源干扰波通常较为严重。

(2) 当在各种干扰噪声较强的地区工作时,记录中的随机干扰波和其它干扰波对有效反射波的影响会更大。

(3) 浅层地震的探测对象大多为中新生代较新地层,在某些地区地层土质、岩石较为疏松、物质成分变化不大,其波阻抗差异较小,界面弱反射极易被干扰噪声掩盖,因此,获得的记录信噪比较低。

(4) 浅层地震勘探的目标层较浅,要探测的地质异常体尺度小。因此,对探测结果的要求精度相对较高。

根据浅层地震反射资料的上述特点,在数据处理中,必须根据原始资料品质情况,采取有针对性的数据处理方法,压制干扰噪声,恢复地震记录中的有效高频成分,提高资料的信噪比和分辨率。

6.1.2 数据处理方法及参数

根据野外原始资料品质分析结果,并通过大量的处理方法和参数试验,最终选用了如下具有针对性的地震数据处理流程(图 6.1)。

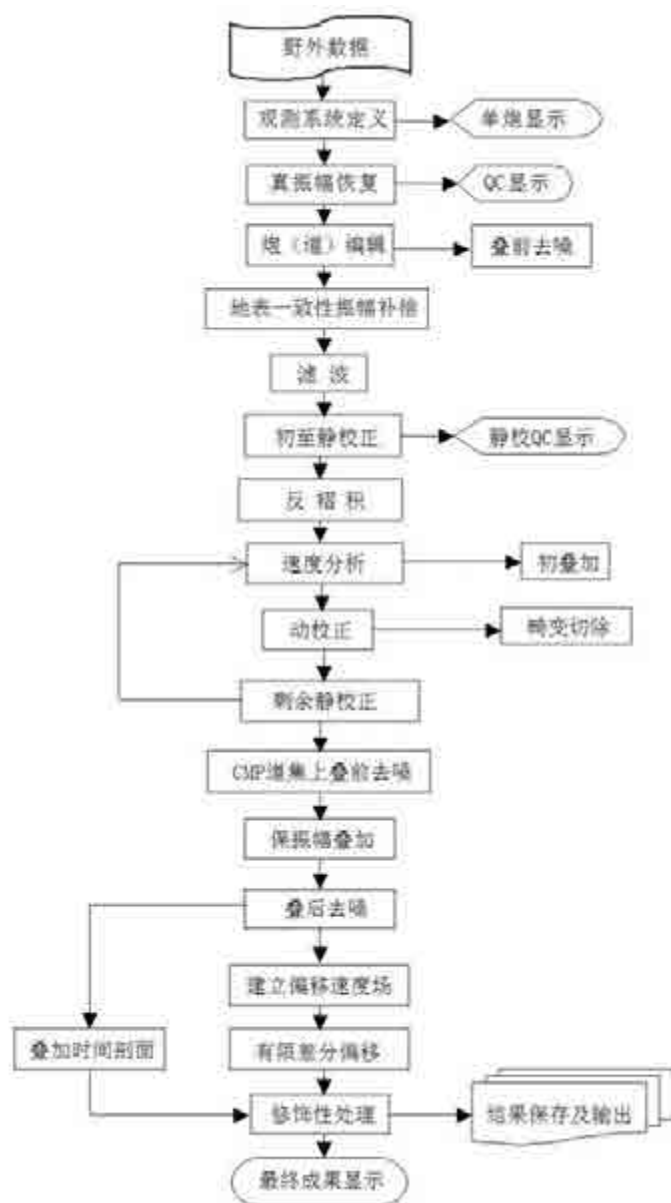


图 6.1 地震数据处理流程图

① 一维滤波

一维滤波也称为频率滤波。一般来说，当有效波与干扰波的频谱不发生重叠时，可采用频率滤波方法滤除记录中的干扰波成分。而当有效波与干扰波的频谱发生重叠时，采用频率滤波只能部分地压制记录中的干扰波。滤波参数选择的基本原则为：

a. 当有效波与干扰波的频谱不发生重叠时，滤波器频率特性的中心频率应该与有效波的中心频率相同，且频带宽度应与有效波的频带

宽度相同。b. 当有效波与干扰波的频谱发生重叠时，滤波器的主频应该与有效波与干扰波的频谱比值最大处的频率相同。

② 二维滤波

对于那些与有效波频率重叠范围较宽，但具有视速度差异的干扰波（如声波、面波或其它的低速线性干扰波），可采用二维滤波方法来压制。

③ 二维倾角滤波

有时有效反射波和干扰波的频带几乎完全重叠。采用二维倾角滤波方法，可有效地压制与有用信号频率相同但具有视速度差异的线性干扰波，有效反射波信号得到明显增强。

（2）静校正处理

因地表起伏不平、近地表速度变化等不规则影响，将使原始地震记录的初至出现不规则的时差变化、反射波同相轴的双曲线形态出现畸变，从而影响叠加效果。对浅层地震反射资料来说，因获得的反射波频率高、周期短，近地表不均匀性对反射波同相轴叠加的影响就会更大。因此，静校正处理在浅层地震反射资料处理中就显得更为重要。

本次在叠加前静校正时，对区内各测线分别进行了低速带和初至折射等各项校正。经静校正后，反射波同相轴连续性得到改善，基本消除了由近地表不规则变化等因素引起的初至波时差。

（3）剩余静校正处理

数据经过静校正处理后，不一定能完全消除表层因素的影响，另外，当动校正速度不准时，也会产生剩余静校正量。因此，在动校正处理后对数据进行剩余静校正是必要的。为了提高叠加剖面质量，本次采用 5 次高斯-塞德尔迭代处理方法来求取剩余静校正量。

（4）提高分辨率处理

高分辨率必须以高信噪比资料为前提，通过前面的各项去噪处理后，地震资料的信噪比得到了明显改善，这为提高地震资料的分辨率处理提供了条件。经试验，本次采用预测子波反褶积和时变谱白化处理后，明显地提高了地震资料的分辨率。

（5）速度分析

速度参数在地震数据处理和解释中是非常重要的参数，动校正准确与否关键在于动校正的速度。为了得到高质量的水平叠加剖面，如处理流程图 6.1 所示，在处理中反复进行了多次速度分析。

准确求取界面反射波的叠加速度是使其达到同相叠加提高信噪比的关键。为了获得精度较高的 NMO 速度参数，本次数据处理的速度分析工作分两步进行，第一步采取每 20 个 CMP 道集做一个速度谱，之后再根据初选的 NMO 速度对 CMP 道集进行动校正和剩余静校正处理，并将其结果应用于原始 CMP 道集。速度分析的第二步是在剩余静校正后的 CMP 道集上进行的，处理中除采用速度谱计算分析外，还采用了常速度扫描的速度分析方法，其速度扫描范围和速度扫描间隔分别为 1000~3000m/s 和 50m/s。另外，对于纵向和横向的速度变化，处理中采用了线性内插法。

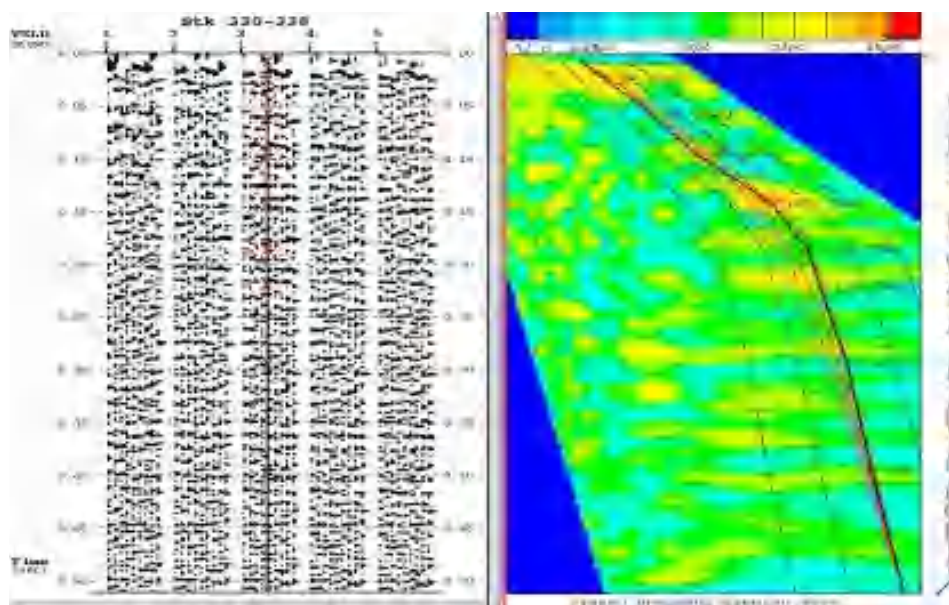


图 6.2 速度谱及速度拾取示意图

（6）动校正

动校正处理是针对共反射点道集的，它把炮点距不同的各道上来自同一界面、同一点的反射波到达时间，经正常时差校正后，使之成

为在共深度点上的自激自收时间。相应地，共反射点时距曲线由校正前的双曲线变为水平直线，这时才能保证在叠加时为同相位叠加。

（7）叠加处理

经过上述一系列方法处理后，将自激自收的 CDP 道集记录进行叠加处理，形成能直观反映工区地下地质构造形态、可供解释的水平叠加时间剖面。

（8）解释性处理

解释性处理主要包括地震资料的偏移处理、时间剖面的时-深转换处理等基本内容。

当地下界面倾斜或地下界面起伏较大时，都需要进行偏移归位处理；反射时间剖面上的反射波组反映的是地下地层介质物性差异，为了得到能用于地质分析和解释的结果，还需要把时间剖面转换成深度剖面；为了增加资料解释的可靠性，需要尽可能地利用地震资料各种信息进行综合分析。为此，瞬时相位、瞬时振幅和瞬时频率的转换计算也是十分必要的。

① 偏移处理

在地震波传播过程中，地层凹陷会产生回转波，背斜会产生发散波，断层棱角点会产生绕射波，这些波严重地影响了地震记录的横向分辨率，为了将各个地震元素归位到产生波形的反射层或绕射点相应位置，必需对叠加时间剖面进行偏移归位处理，将水平叠加时间剖面上的同相轴从最初不正确的共中心点位置校正到正确位置，分解干扰波，收敛绕射波，改善时间剖面的横向分辨率。本次使用有限差分偏移、F-K 偏移和克希霍夫偏移进行了对比试验，结果表明有限差分偏移效果较好。

有限差分偏移方法是求解波动方程的一种近似数值解法，其原理是差分近似微分。具体计算时，首先确定空间和时间差分间隔，空间差分间隔选为道距的一半 (2.5m)，时间差分间隔选为采样间隔 (0.2ms)。偏移速度：300ms 时为 97% 的 NMO 速度，500ms 时为 102% 的 NMO 速度，800ms 时为 105% 的 NMO 速度。

② 时间—深度转换

地震波速度是地震勘探中一个十分重要的参数，只有知道了地震波速度值，才能够确定产生反射波的地层埋深度、倾角好地层的空间位置等参数。进行时深转换最重要的是求取时深转换速度，地震波测井是求取时深转换速度的最佳方法。另外由于速度与正常时差存在一定的关系，因此，也可用地面反射地震资料求取速度。尽管该方法求得的速度精度不如地震波测井，但在没有地震测井资料的工区，采用该方法求取地震波速度仍不失为一种有效手段。

通过反射波资料处理时获得的叠加速度（也称 NMO 速度）资料和时间剖面上不同界面反射波的双程垂直到时 t_0 ，由迪克斯(DIX)公式求不同地层反射界面以上的平均速度（ \bar{V} ）和深度（ H ），由叠加速度（ V_a ）资料求取层速度（ V_i ）和平均速度（ \bar{V} ）的计算公式分别为：

$$V_i = \sqrt{\frac{V_{a,n}^2 t_n - V_{a,n-1}^2 t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}}, \quad \bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{i+1} - t_i) V_i}{\sum_{i=1}^n (t_{i+1} - t_i)} \quad (6-1)$$

将地震反射时间剖面转换成深度剖面的时—深转换公式为：

$$H = \frac{1}{2} \bar{V} t_0 \quad (6-2)$$

式中 H 为深度， \bar{V} 为平均速度， t_0 为反射波双程垂直到时，通过以上速度转换公式，可以得到地下各层的平均速度参数。

6.2 数据处理质量控制

在地震数据处理过程中，为了保证最终获得精确、可靠的处理成果，对数据处理质量分以下几个阶段进行控制。

6.2.1 预处理阶段质量控制

（1）观测系统定义：绘制的炮点、检波点位置图，显示线性动校正后的初至，用这两种手段来检查野外提供或室内定义的观测系统是否正确。

（2）绘制面元的彩色覆盖次数图、最小炮检距图、最大炮检距图，用于分析覆盖次数、炮检距的分布情况，并对观测系统的定义做进一

步的检查。

6.2.2 初步叠加阶段质量控制

在该阶段，绘制了所有的叠加剖面，纵观全区叠加剖面的资料品质，找出资料品质的变化情况，并与本区的地形图、静校正数据平面图和现场处理剖面进行综合分析，判断前面处理是否存在问题，这也是对初叠以前各处理步骤的再次质量控制。

6.2.3 速度分析阶段质量控制

主要用动校正叠加效果来检验叠加速度的精度，采用速度谱拾取、常速扫描、变速扫描相结合的手段，并充分利用系统中先进的速度分析软件包，在速度分析的同时既可监视动校正前后的 CMP 道集，叠加剖面的扫描段和及时叠加段成像效果，在拾取速度的同时还可参照前后、左右的速度谱，最后从纵横两个方向的速度等值线图和速度切片图上来检查速度在空间上变化的合理性。

6.2.4 二维剩余静校正阶段质量控制

用动校正叠加检验其效果，以资料变好为原则，通过分析反射波同相轴特性以及显示剩余静校正量平面图来判断剩余静校正问题是否已解决。同时还要绘制全区的彩色剩余静校正平面图来检查剩余静校正量的分布情况。

6.3 处理效果分析

(1) 本次处理，通过对原始资料情况及野外采集因素进行了认真细致的调查和分析，有针对性地进行大量的试验，在此基础上精心设计了合理的处理流程，确定了正确的处理参数。

(2) 精确的速度分析和二维自动剩余静校正的多次迭代，很好的解决了剩余静校正问题。

(3) 振幅补偿很好的解决了野外数据采集过程中由于采集仪器、激发和接收条件及其它因素的变化而造成的能量差异，补偿后振幅相对关系保持较好，说明处理资料的保真度较高。

(4) 主要目的层的层间信息较丰富、分辨率较高，深层资料的反射特征也很突出，反射波横向连续性较好。

(5) 从整个处理效果看，波组特征清楚，断点、断面合理可靠。

7. 资料分析与解释方法

依据地震勘探剖面的反射波组特征，结合地质资料的对比分析，可以确定地震波组及其与地质层位的关系，对反射波组的分叉、合并、中断、尖灭等现象和上下地层反射波组的相互依赖关系的细致分析，能够判断这些变化与地层变化的关系，从而获得地层的纵、横向变化及构造情况，进而确定可能存在断错反射层的断裂的位置、产状和活动性。反射时间剖面解释包括以下主要内容：①确定主要地质层位与反射层的关系；②判定断层或破碎带等地质构造等。

原始地震记录经数据处理后，得到了反映地下介质结构特征的地震反射时间剖面。剖面的横坐标为地下共反射点序号（CDP 号），反射点（CDP）时距离为道间距的 $1/2$ ，本次工作采用的道间距为 5m，剖面上共反射点之间的距离为 2.5m。剖面的纵坐标为反射波的双程垂直旅行时间，单位为 ms（毫秒）。

对时间剖面上的不同反射波组，自上而下用 T1 在剖面上标出，通过反射波组的震相分析，结合地质资料，确定各个反射层组对应的地质时代，并用符号在剖面上标注，最终获得了地震反射时间与地质解释剖面图。

7.1 震相识别标准

(1) 同相性：同一反射界面的反射波到达相邻接受点的传播路径是相近的，在相邻接受点得到的同一相位的到达时间也十分相近。通常，每个有效反射波都有几个相位，其所有相位的同相轴彼此平行，每个同向轴应有一定的长度，并且是平滑的。

(2) 波形特征：相同激发条件下，由于传播路径和介质性质差别

不大，同一反射界面的波形特征相对稳定，包括视周期、相位数目、包络形状、各极值间的振幅比等均具有相似性。

(3) 标准层的确定和追踪：在资料解释时，主要依据剖面反射波组特征、附近地质或钻孔资料、地层层序和接触关系、以往物探成果等综合确定标准层，然后把所选择的反射标准层对比、追踪到各个剖面上。在多数剖面上，这些反射波一般具有能量均衡、连续性好等震相特点，在测线上基本可以连续追踪。综合分析各测线的时间剖面图和测区地质资料以及初勘成果，在分析解释中把第四系下更新统(Q_{4+3+2})底反射界面 T1 作为本测区的反射标准层。

7.2 断层识别标志

断层的判别与解释是本次浅层地震勘探资料解释的重点。在对测区内的剖面进行反射波组对比、追踪和解释后，根据地震反射时间剖面上的反射波组特征，对断层存在重要标志是反射波同相轴的横行变化，主要的判别依据是：

①反射波同相轴的明显中断与错位；

②反射波同相轴的数目突然增减或消失，波组间隔突然变化，断层的下降盘地层变厚，而上升盘地层明显变薄，甚至缺失；

③反射波同相轴产状和反射波能量的突然变化；

④反射波同相轴发生分叉、合并、扭曲以及相位转换；

⑤绕射波、断层波等特殊波的出现，断层波对确定断层的存在具有重要意义，断层波的主要特征是一组产状很陡的波组出现在时间剖面上，而其周围的反射界面则比较平缓，产状往往相反，断面波两侧的界面不能连续对比。

8. 结论

在野外踏勘、地震勘探设计方案的基础上开展了内乡智慧物流园工程场地地震安全性评价项目浅层地震勘探工作，工作中使用美国 Atlas 智能节点 50 道地震仪，根据不同测线的探测目的，采用道间距

5m 和 8 次覆盖的浅层地震反射技术，共完成 1 条地震剖面测线，测线剖面长度 1.5km，生产激发点 150 个，共接收点 600 个。

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

场地西侧位置布置一条由北向南测线（北偏南 30 度左右），测线长度为 1500 米。图 8 为数据处理后的地震反射时间剖面及地质解释图，在图 8 地震反射时间剖面中，剖面中来自地下介质波阻抗差异界面的地震反射信息出现在 200ms 的时间范围内，根据各波组特征及波组间的相互关系，根据反射波震相特征对比，解释了第四系内部 3 组界面反射，分别用 T_{Q3} 、 T_{Q2-1} 、 T_{Q2-2} 标识。（备注：工程场地位于南阳盆地西缘，缺失第四系下更新统 Q_1 ）

T_{Q3} 呈近水平状展布，双程走时在 96~100ms 毫秒左右，反射波能量均衡，同相轴能被连续追踪。时深转换后 T_{Q3} 反射界面埋深为 76~78m。根据地层资料、时-深转换剖面对比， T_{Q3} 对应全新统 Q_4 至上更新统 Q_3 地层之间。

T_{Q2-1} 呈近水平状展布，双程走时在 160~165ms 毫秒左右，反射波能量均衡，同相轴能被连续追踪。时深转换后 T_{Q2-1} 反射界面埋深为 160~162m。根据地层资料、时-深转换剖面对比， T_{Q2-1} 对应上更新统 Q_3 至中更新统 Q_2^{gl} 地层之间。

T_{Q2-2} 呈近水平状展布，双程走时在 190~192ms 毫秒左右，反射波能量基本均衡，同相轴基本能被连续追踪。时深转换后 T_{Q2-2} 反射界面埋深为 198~202m。根据地层资料、时-深转换剖面对比， T_{Q2-2} 对应中

更新统 Q_2^{gl} 至中更新统 Q_2^{al} 地层之间。

从剖面中反射波同相轴的横向连续性来看， T_{Q3} 、 T_{Q2-1} 、 T_{Q2-2} 在整个剖面中可连续追踪，工程场地内没有第四系全新统 (Q_4)、上更新统 (Q_3)、中更新统 (Q_2) 断裂存在。（备注：工程场地位于南阳盆地西缘，缺失第四系下更新统 Q_1 。）

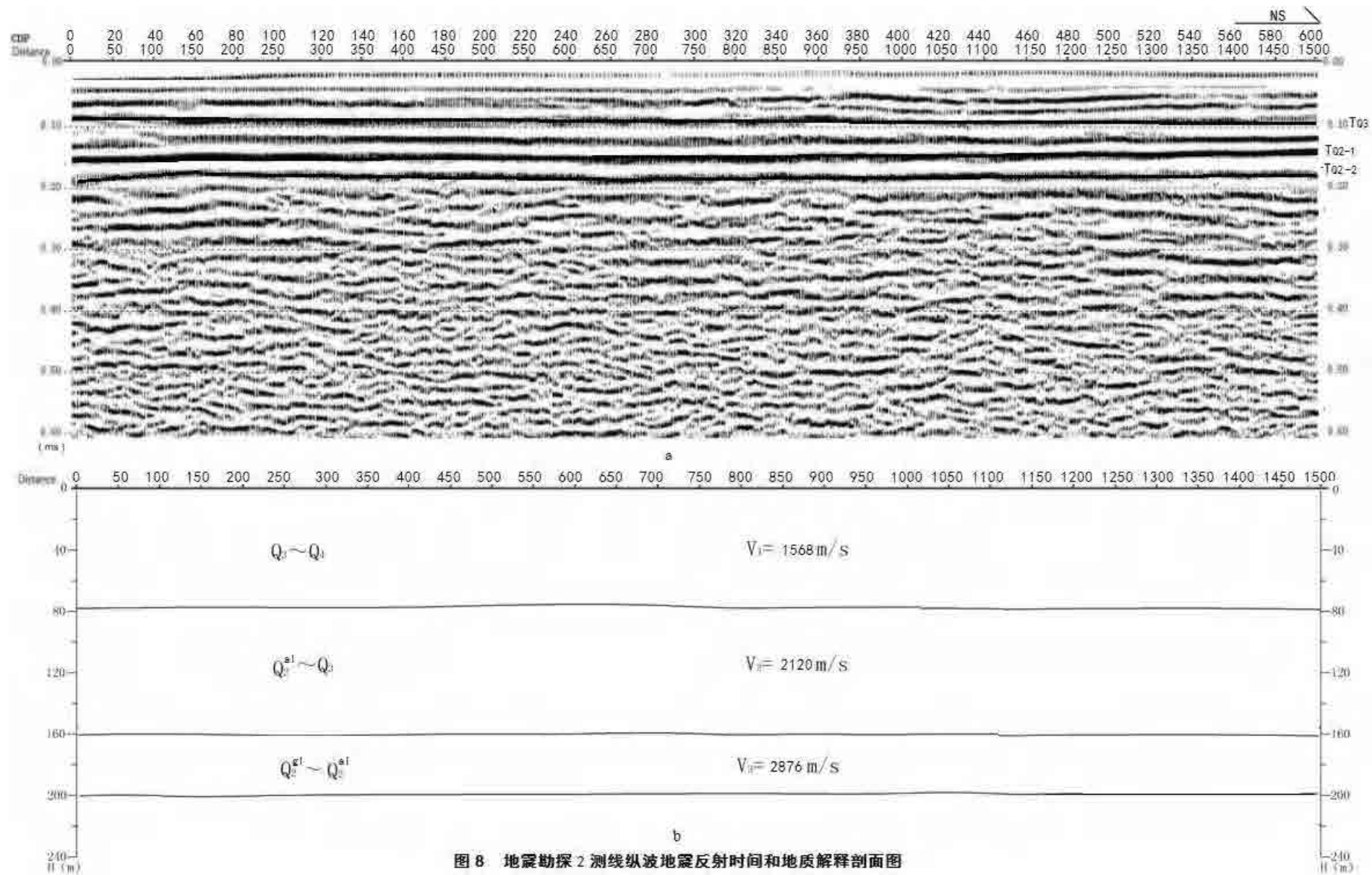


图 8 地震勘探 2 测线纵波地震反射时间和地质解释剖面图

