

开封市汴东产业集聚区
区域地震安全性评价报告
(初稿)

河南省地球物理空间信息研究院

项目名称：开封市汴东产业集聚区区域地震安全性评价

委托单位：开封市汴东产业集聚区管理委员会

承担单位：河南省地球物理空间信息研究院

项目负责人：孙禹成

地震构造评价：邓国成

地震活动性评价：介伟

工程场地地震影响评价：吴晓瑞

完成单位：河南省地球物理空间信息研究院

主要完成人：吴晓瑞 孙禹成 马兴全 牛洁 李雪玉 李延宾

目 录

0 前 言.....	1
1 地震活动性.....	7
2 区域地震地质环境.....	33
3 近场区地震构造特征.....	66
4 目标区断层勘查及活动性鉴定.....	77
5 目标区地震工程地质条件勘测.....	78
6 地震动预测方程.....	79
7 概率地震危险性分析.....	82

0 前 言

0.1 工程概况

汴东产业集聚区位于开封市顺河回族区，规划面积 18.84 平方公里，实际建成面积 7.75 平方公里，以储能炭新材料、智能制造为主导产业，是市委全会暨经济工作会议提出“西强、北美、东兴、南融、中保”战略规划“东兴”的主要载体，具有广阔的发展前景。

集聚区拥有良好的投资环境和得天独厚的发展优势：一是区内高速公路、铁路、公路密集分布，东临大广高速，西与郑开大道相接，南有陇海铁路、郑民高速，北有连霍高速、郑徐高铁纵贯东西，距离京港澳高速公路 20 余公里，交通畅通快捷；二是汴东产业集聚区是国家增量配电业务河南省七个改革试点之一，结合辖区 2×60 万千瓦的火电厂，大大降低入驻企业用电成本，中石油宝石花地热能资源、中电投公司东区供热管线覆盖，充分满足企业生产、生活需要；三是教育医疗资源丰富，辖区内有市重点求实中学、646 中学、东郊中学、开联小学、电厂小学、宴台河小学和与北大培文教育文化集团合作的的集小学、初中、高中于一体的东信北大培文实验学校等多所学校以及开封市人民医院和 646 医院两所医院，具备非常便捷的就学、就医条件；四是经过土地、规划调整，工业建设用地储备充裕，亟待项目入驻。

本次开展区域性地震安全性评价约为 4.2km²，具体位置见图 0.1.1。

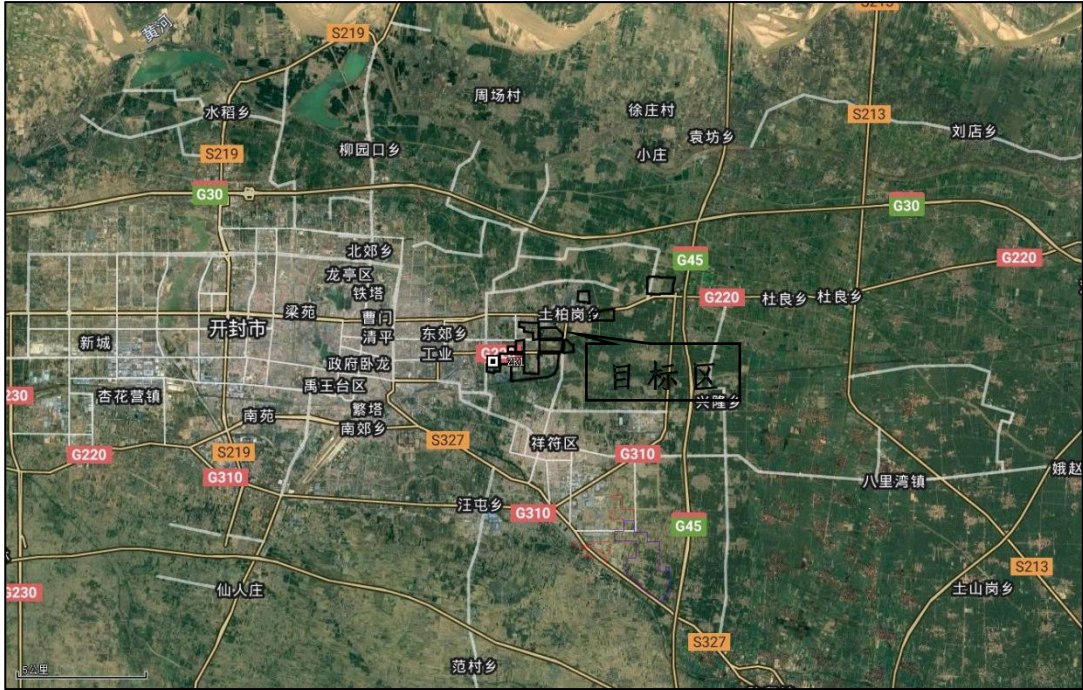


图 0.1.1 目标区位置示意图

0.2 工作依据

- (1) 《中华人民共和国防震减灾法》
- (2) 《地震安全性评价管理条例》
- (3) 《河南省防震减灾条例》
- (4) 国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB 17741—2005）
- (5) 国家标准《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）
- (6) 国家标准《中国地震动参数区划图》（GB 18306—2015）
- (7) 中国地震局关于印发《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》的通知（中震防函〔2019〕21号）
- (8) 《国务院办公厅关于全面开展工程建设项目审批制度改革的实施意见》（国办发〔2019〕11号）
- (9) 《活动断层探测》（GB/T 36072-2018）；
- (12) 《1：50 000 活动断层填图》（DB/T53-2013）；
- (13) 《1：50 000 活动断层填图数据库规范》（DB/T65-2016）；
- (14) 《地震震级的规定》（GB17740-1999）；
- (15) 《工程地质钻探规程》（DZ/T0017-1991）；
- (16) 《浅层地震勘查技术规范》（DZ/T0170-1997）；

- (17) 《区域地质调查中遥感技术规定 (1:50000)》 (DZ/T0151-1995)；
- (18) 《地震勘探爆炸安全规程》 (GB 12950-1991)；
- (19) 《电阻率测深法技术规程》 (DZ/T 0072-1993)；
- (20) 《连续电磁剖面法勘探技术规程》 (SY/T 6289-1997)；
- (21) 《地球物理勘查技术符号》 (GB/T 14499-1993)；
- (22) 《陆上二维地震勘探资料采集技术规范》 (SY/T 5330-2003)；
- (23) 《全球定位系统 (GPS) 测量规范》 (GB/T 18314-2009)；
- (24) 《地基动力特性测试规范》 (GB/T 50269-97)；

0.3 技术思路

根据《区域性地震安全性评价工作大纲 (试行)》 (中震防函 (2019) 21 号)，将拟评价的园区定为目标区，以目标区为中心，外延不少于 150km 的范围为区域范围；以目标区为中心，外延不少于 25km 的范围为近场工作范围。采用地震危险性概率分析方法：根据地震活动性和地震地质分析研究，确定对目标区地震危险性分析有贡献的潜在震源区及其相关参数；同时确定适合本地区的地震动衰减关系；在此基础上通过地震危险性概率分析，计算出 50 年超越概率分别为 63%、10%、2%和 100 年超越概率分别为 63%、10%、2%的基岩水平加速度峰值和反应谱；根据野外地震地质调查、钻探和剪切波速测试结果，评价目标区地震工程地质条件并划分建筑场地类别；给出各控制点地表 50 年超越概率分别为 63%、10%、2%和 100 年超越概率分别为 63%、10%、2%的地表水平向加速度峰值和反应谱；根据各计算控制点分析计算获得的地表地震动参数 (A_{max} 、 β_{max} 、 T_g)，给出区域内的设计地震动参数。利用地层标准贯入试验、土层力学试验和地震危险性分析结果，对目标区进行地震地质灾害评价判定。

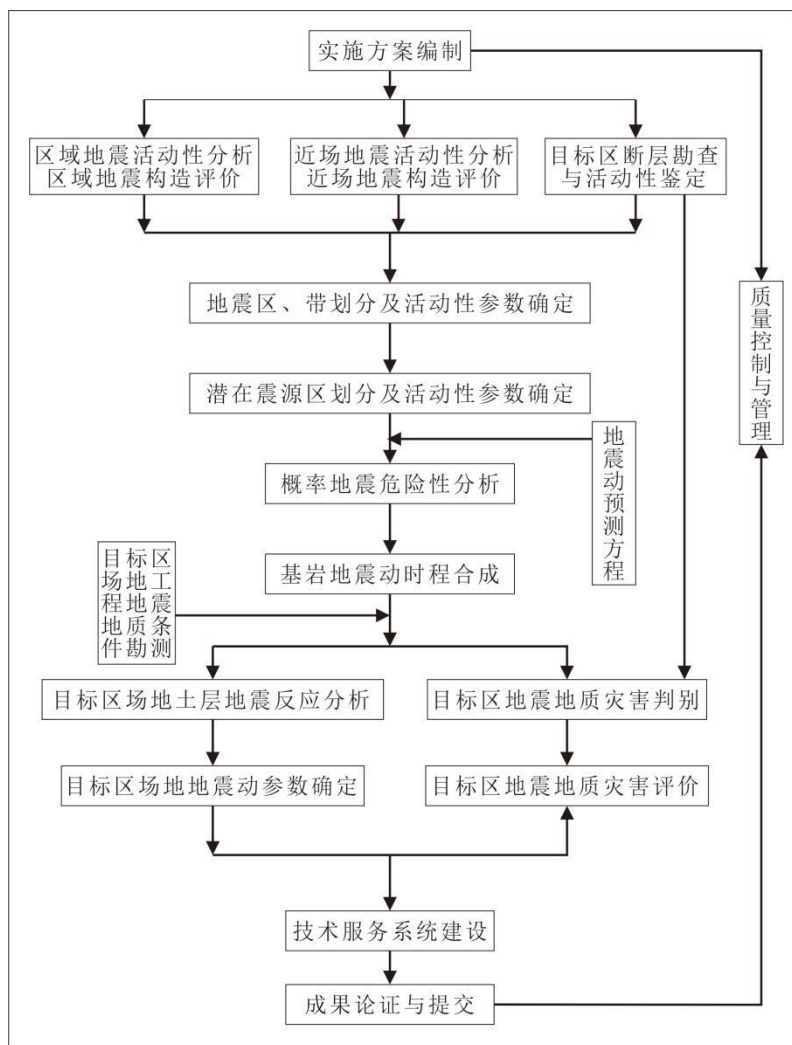


图 0.3.1 工作流程图

通用区域地震安全性评价工作技术流程框图见图 0.3.1

1. 工作范围

根据《工程场地地震安全性评价（GB17741—2005）》要求，区域范围是指以工程场地外延不小于 150km 的范围；近场范围是指工程场地外延不小于 25km 的范围。据此，本次工作范围取值如下：

区域：北纬 33°18′~36°18′，东经 112°36′~116°18′；

近场区：北纬 34°30′~35°06′，东经 114°03′~114°51′。

2. 技术途径

本报告主要依据《工程场地地震安全性评价（GB17741—2005）》开展工作。主要工作流程见图 0.3.1。

0.4 主要任务

根据《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》、《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005）规定，合同要求，本次工作应提供以下主要成果：

（1）区域及近场区地震活动性评价

提供区域范围内历史和近代震中及时序图，并分析其空间及时间分布特征，评价其地震活动性。

（2）区域及近场区地震构造评价

提供区域地震构造图，近场区地震构造图。确定工作区内重点活动断裂的活动性质、最新活动时代等，评价其地震影响。

（3）目标区设计地震动参数

提供目标区 550 年超越概率分别为 63%、10%、2%和 100 年超越概率分别为 63%、10%、2%等六个概率水准的设计地震动参数；并对 50 年 10%和 100 年 10%进行地震动参数分区。

（4）地震地质灾害评价

通过对目标区及邻近区工程地震条件的勘测，确定场地是否存在活动断裂，根据目标区内场地的地震工程地质研究结果及近场区范围的地震构造研究成果，对场地未来在遭受到相当于抗震设防烈度的地震动时可能产生的地震地质灾害类型（如砂土液化、地震震陷、滑坡及断裂影响等）进行评价。

（5）数据库及技术服务系统建设

建设基于 GIS 平台的数据库和地理底图库，并具备相应服务功能的技术系统。

0.5 主要现场工作量统计

本项目在收集整理以往涉及工程场地所在区域及近场区地震地质工作成果和资料的基础上，进行了野外地质考察。工作量如表0.5.1 所示。

表 0.5.1 野外工作量统计表

序号	工作内容	单位	数量
1	野外地震地质考察	人·天	10
2	波速测试孔	个	个，总进尺 m
3	剪切波速测试点	个	
4	动三轴检测	个	17 组

0.6 致谢

在本项目实施过程中，得到了开封市汴东产业集聚区管理委员会等相关单位的支持和帮助。项目组向这些单位和相关人员表示感谢！本项目工作参考和利用了河南省地震局、中国地震局地质研究所、中国地震局地球物理研究所、中国地震局物探中心等有关单位的相关研究和工作成果，项目组向涉及到的单位和个人表示感谢！

1 地震活动性

本章依据历史地震资料 and 现代地震观测资料，开展地震活动性分析。通过分析区域范围内地震活动的时间和空间特征、历史地震破坏性地震对工程场地的影响以及区域现代构造应力场特征等，为合理划分潜在震源区及确定地震活动性参数提供依据。

1.1 地震资料

1.1.1 地震资料的地域范围

根据 GB17741-2005《工程场地地震安全性评价》的要求，并结合本工程场地区域和近场地震活动性分析的要求，地震资料的地域范围确定如下：

区 域：北纬 $33^{\circ}18'$ ~ $36^{\circ}18'$ ，东经 $112^{\circ}36'$ ~ $116^{\circ}18'$ ；

近场区：北纬 $34^{\circ}30'$ ~ $35^{\circ}06'$ ，东经 $114^{\circ}03'$ ~ $114^{\circ}51'$ 。

1.1.2 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，震级由公式 $M = 1.13M_L - 1.08$ 换算得出。

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。

1.1.3 区域地震资料完整性和可靠性分析

区域位于我国历史上经济和文化较发达的地区，有着比较丰富和完整的史料记载，因此相对而言该区历史资料较完整可靠。据黄玮琼（1994）研究成果，区域自 1484 年以来 $M \geq 4.7$ 级的地震基本完整。但为了使采用的地震资料更具有完整性、可靠性，根据具体情况采用了不同的可信时间域和震级域。

尽管 1970 以后已有区域台网记录的 $M_L \geq 1.0$ 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 $M_L \geq 3.0$ 级地震的有效监测范围内。2008 年 1 月河南数字地震台

网正式运行，全省范围内地震监测能力达到 $M_L 2.5$ 级，局部地区达到 $M_L 1.5 \sim 2.0$ 级。因此，结合不同时期监控地震的能力，对于现代地震，本项目中采用 $M_L \geq 3.0$ 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概况

区域自公元前 519 年至 2021 年 12 月共记载 $M \geq 4.7$ 级地震 49 次，其中 4.7~4.9 级地震 12 次；5.0~5.9 级地震 25 次；6.0~6.9 级地震 10 次；7.0~7.9 级地震 2 次，分别为 1830 年 6 月 12 日河北磁县 $7\frac{1}{2}$ 级地震和 1937 年 8 月 1 日山东菏泽 7 级地震。

1970~2021 年 12 月仪器共记录到 $M_L \geq 3.0$ 级地震 245 次，其中 3.0~3.9 级地震 215 次；4.0~4.9 级地震 27 次；5.0~5.9 级地震 2 次；6.0~6.9 级地震 1 次，为 1983 年 11 月 7 日山东菏泽 $M_L 6.3$ 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 519 年河南洛阳 $5\frac{1}{2}$ 级地震，公元前 519 年至 2021 年 12 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 (BC519~2021.12)	震级档次(M)	4.7~4.9	5.0~5.9	6.0~6.9	7.0~7.9
	地震次数	12	25	10	2
现代地震统计 (1970~2021.12)	震级档次(M_L)	3.0~3.9	4.0~4.9	5.0~5.9	6.0~6.9
	地震次数	215	27	2	1

表 1.1.2 区域破坏性地震目录 (BC519~2021.12, M≥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	BC519.08.08	34.7	112.5	3	5½	VII	河南洛阳
2	46.10.21	33.0	112.5	4	6½	VIII	河南南阳
3	294.12.-	33.7	114.2	5	5½		河南襄城东
4	344.12.-	35.4	114.3	3	6	VIII	河南卫辉东
5	927.08.-	34.8	113.6	4	4¾	VI	河南郑州
6	953.11.-	36.3	115.2	4	4¾	VI	河北大名
7	1342.04.23	34.5	114.5	3	4¾	VI	河南通许
8	1481.03.18	33.5	116.2	4	6		安徽亳州南
9	1493.05.04	35.5	115.2	4	5¼		河南濮城西南
10	1497.02.26	36.3	112.9	2	5	VI	山西屯留一带
11	1502.10.27	35.7	115.3	2	6½	VIII	河南濮城
12	1504.08.24	34.4	114.2	4	4¾		河南杞县西南
13	1519.11.23	33.5	114.1	3	5		河南临颖、上蔡间
14	1520.09.01	35.8	115.8	3	5¼		山东郓城西北
15	1522.02.07	34.2	114.1	3	5¾	VII	河南鄆陵、洧川一带
16	1524.02.14	34.0	114.1	3	6	≥VII	河南许昌、张潘店一带
17	1525.09.13	33.8	115.4	4	5¾		河南太康东南
18	1525.10.12	33.9	115.7	4	5½		安徽凤阳西北
19	1527.01.-	35.8	114.9	3	4¾		河南濮阳西北
20	1587.04.10	35.3	113.7	3	6	VII-VIII	河南修武东
21	1587.04.10	35.3	113.5	3	5½		河南修武东
22	1594.03.24	34.3	114.7	4	5		河南通许东南
23	1622.03.18	35.5	116.0	2	6	VIII	山东郓城南
24	1623.12.26	36.1	115.2	2	4¾	VI	河南南乐
25	1638.12.22	34.5	112.4	3	4¾		河南新安东南
26	1640.04.-	34.7	112.5	3	4¾	VI	河南洛阳
27	1654.09.15	36.1	115.6	2	5½	VII	山东朝城
28	1660.09.-	35.2	116.2	4	4¾		山东金乡西北
29	1662.10.11	33.2	114.8	2	5½	VII	河南项城
30	1675.-.-	34.1	114.8	3	5½	VII	河南太康
31	1737.09.30	35.1	114.4	2	5½	VII	河南封丘
32	1814.01.10	34.6	113.5	3	5	VI	河南荥阳贾峪
33	1814.02.04	35.8	114.4	3	5½	VII	河南汤阴、浚县间
34	1820.08.04	34.1	113.9	2	6	VIII	河南许昌东北
35	1830.05.02	35.7	115.0	3	4¾		河南濮阳
36	1830.06.12	36.4	114.3	2	7½	X	河北磁县
37	1830.06.13	36.4	114.3	3	5½		河北磁县
38	1830.06.26	36.4	114.3	2	5¾	VII+	河北磁县
39	1835.06.06	36.3	116.4	2	5	VI	山东平阴
40	1889.10.-	36.3	115.1	2	5	VI	河北大名
41	1900.05	36.1	114.2	3	5	VI	河南安阳西
42	1918.08.09	34.5	114.5		5¼	VI	河南通许
43	1923.09.16	35.7	115.4		5	VI	河南范县濮城
44	1937.08.01	35.2	115.3	2	7	IX	山东菏泽
45	1937.08.01	35.3	115.4	2	6¾		山东菏泽
46	1948.05.29	35.1	115.4	3	5½		山东菏泽附近
47	1980.08.02	35.95	113.87	1	4.7	VI	河南林州东南
48	1983.11.07	35.28	115.28		6.0	IX	山东菏泽
49	2010.10.24	34.07	114.65	1	4.7	VI	河南太康

1.2 区域地震的空间分布特征

1.2.1 震中分布特征

区域破坏性地震在空间分布上呈现出不均匀性，地震活动北强南弱，2次7级以上地震均发生在区域北部。聊兰断裂带地震活动水平较高，发生6级以上地震多次，最大地震震级为7级，范县-菏泽一带地震成条带状分布，这与该地区的地震活动构造相一致；太行山前地区地震活动相对频繁，1830年河北磁县7½级地震为本区域发生的最大破坏性地震；许昌、通许、太康一带属中强地震活动区，地震活动也相对频繁，发生6级地震2次（图1.2.1）

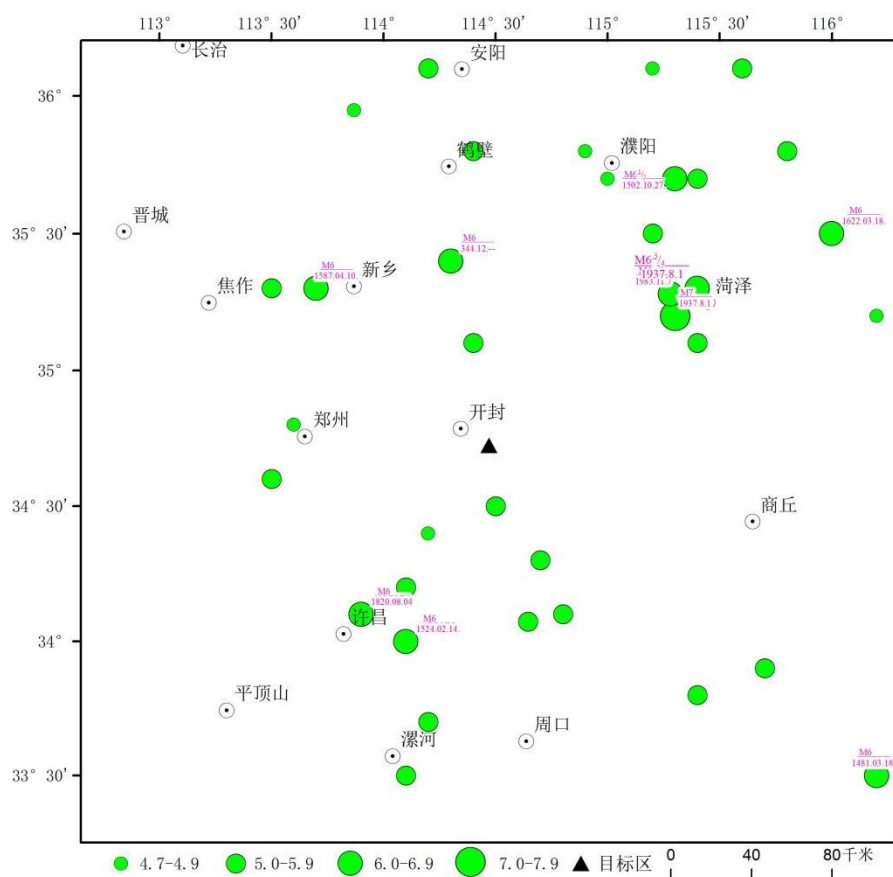


图 1.2.1 区域破坏性地震震中分布图(BC519~2021.12, $M \geq 4.7$)

图 1.2.2 为 1970 年以来区域 $M_L \geq 3.0$ 现代地震震中分布图。从图中可以看出，现代地震空间分布表现出不均匀性，地震活动仍是北强南弱，与 4.7 级以上历史破坏性地震基本一致，说明现代小震活跃区仍可能是未来强震发生的地区。现代地震活动从集、条带状特征明显，范县-鄄城-菏泽一带地震活动密集，呈带状分布，且具有团簇特征；磁县、林州地震活动也相对密集，呈团簇状分布；许昌-济源一带有一北西向的弱地震条带分布。

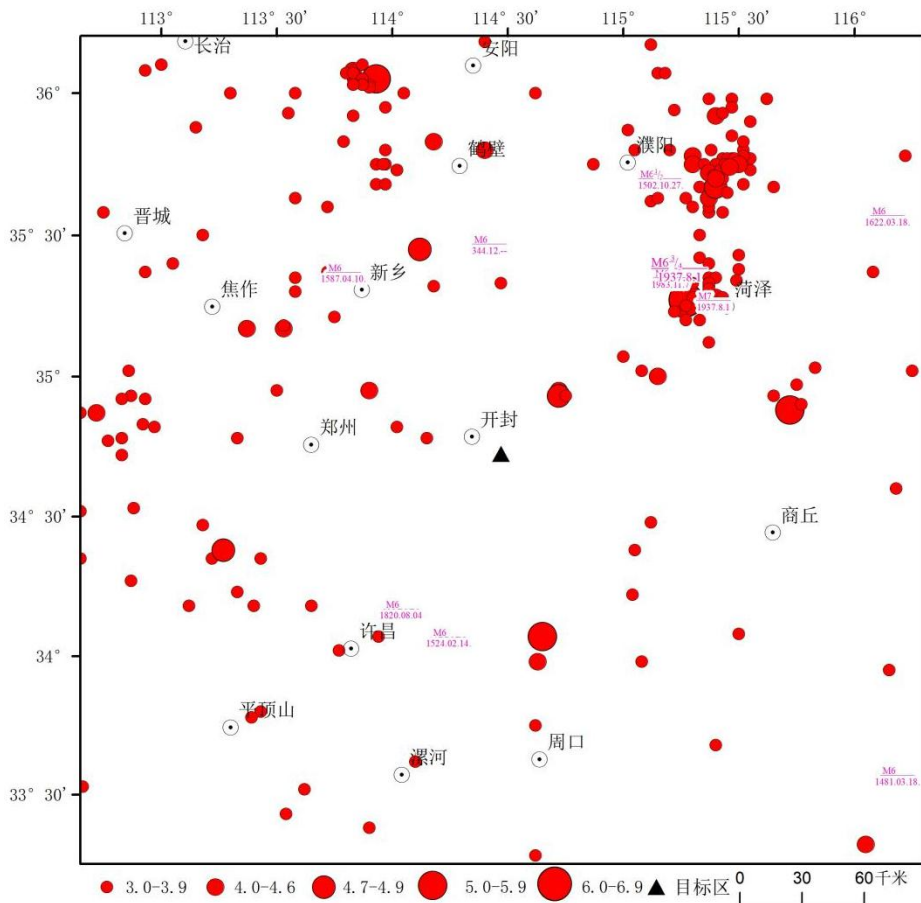


图 1.2.2 区域现代地震震中分布图(1970~2021.12, $M_L \geq 3.0$)

1.2.2 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 $M_L \geq 3.0$ 的 148 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 6~25km 范围内，约占总数的 90%（图 1.2.3）。总体来看，区域的地震基本上是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)	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30
地震次数	11	58	35	24	16	4
百分比 (%)	7	39	24	16	11	3

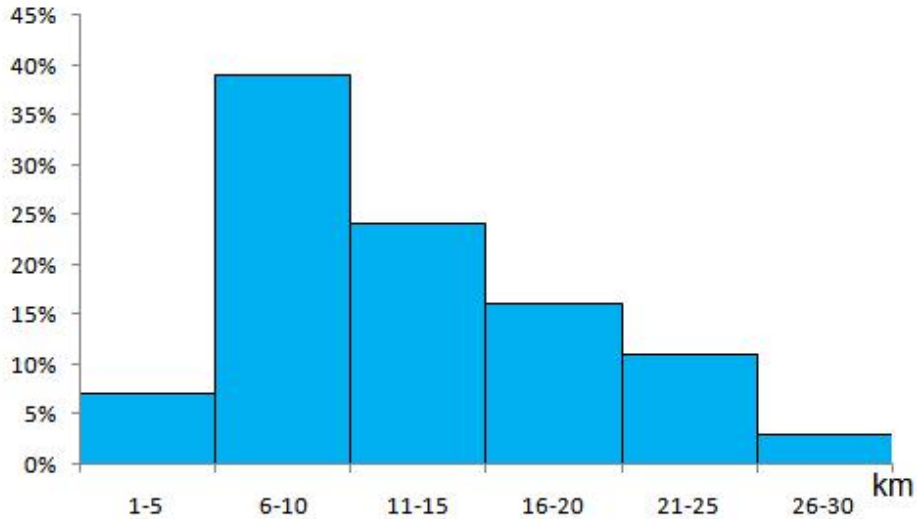


图 1.2.3 区域地震震源深度分布直方图

1.3 地震活动的时间分布特征

1.3.1 地震区、带划分

我国地震活动具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。

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。在本项目中，采用了《中国地震动参数区划图》（GB18306-2001）编制和使用的地震统计区划方案。图 1.3.1 给出了区域所属地震带划分图，本项目的区域涉及到华北地震区的华北平原地震带、汾渭地震带和郟庐地震带，工程场地位于华北平原地震带内。

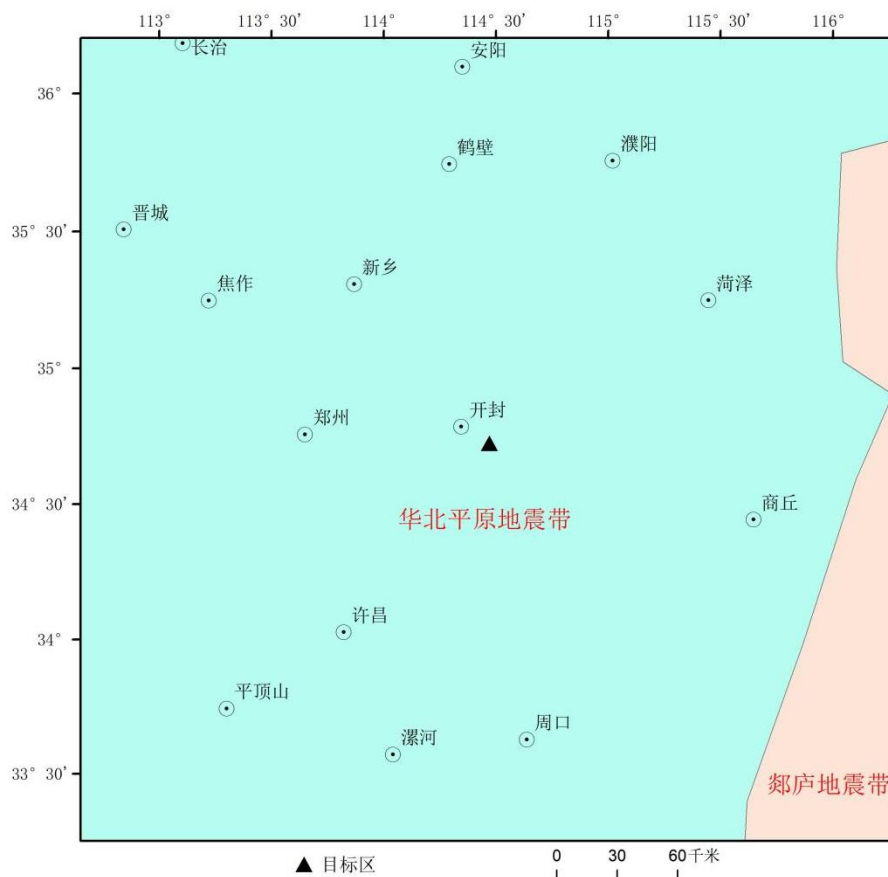


图 1.3.1 区域地震带划分图

1.3.2 地震带区、带地震时间分布特征

同一地震带的地震活动在时间分布上是不均匀的，一般表现出明显的周期性或似周期性。研究表明，一个地震带内的地震活动在时间分布上有的时段地震频度低，震级小，表现为相对平静状态；有的时段地震频度高，震级大，表现为显著活动状态，而且地震活动的相对平静阶段和显著活动阶段周期性地重复着。人们将地震活动的这种周期性称为地震带的地震活动周期。

1、华北地震区地震活动时间特征

据章淮鲁、何淑韵对华北地震时间序列的周期图分析和最大熵谱分析，华北地区的地震活动存在着 300 年左右的周期。在每一个活动周期显示了从平静带到活跃的变化。据分析研究，华北地区地震活动期的划分见表 1.3.1。

表 1.3.1 华北地区地震活动期的划分

第一活动期 (1069~1368 年)		第二活动期 (1369~1730 年)		第三活动期 (1731 年~)	
平静期	活跃期	平静期	活跃期	平静期	活跃期
1069~1208	1209~1368	1369~1483	1484~1730	1731~1814	1815~

2、华北平原地震带地震活动时间特征

该带呈北北东向展布，南界大致位于襄阳-武汉一线，北界位于燕山南侧，西界位于太行山东侧，东界位于下辽河-辽东湾拗陷的西缘，向南延到天津东南，经济南东、亳州达红安、麻城一带。本带记录最早的一次地震是公元前 1767 年偃师西南的 6 级地震，最大地震是 1679 年河北三河平谷 8 级地震。据统计，该带已记录到 6.0~6.9 级地震 29 次，7.0~7.9 级地震 5 次，8.0~8.9 级地震 1 次，为 1679 年河北三河平谷 8 级地震。

图 1.3.2 为华北平原地震带 1400 年以来 $M \geq 5.0$ 地震的序列图和应变释放曲线。由图可以看出，华北平原地震带自 1400 年以来经历了两个活跃期和一个平静期。具体划分为：1480~1679 年为活跃期；1680~1829 年为平静期；1830 年至今为又一活跃期，后一活跃期 5 级以上地震的发震频率较高。1966 年后该带发生了一系列强震，1976 年唐山 7.8 级地震后，华北平原地震带总体已转入能量剩余释放阶段，估计未来百年内该地震带将处于本次活跃期剩余能量释放阶段和下一个活跃期应变积累阶段，地震活动水平不高，但仍存在发生 6 级以上地震的可能。

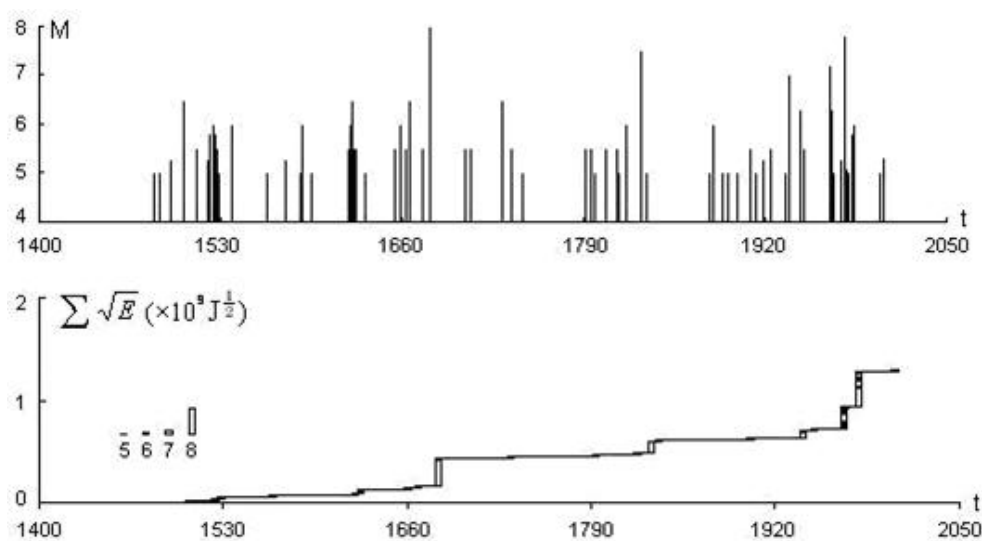


图 1.3.2 华北平原地震带的 M-t 图和应变释放曲线 ($M \geq 5.0$)

3、汾渭地震带地震活动时间特征

该带北起河北宣化-怀安盆地、怀来-延庆盆地，向南经阳原盆地、蔚县盆地、大同盆地、忻定盆地、灵丘盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地至渭河盆地，这一系列盆地构成汾渭地震带。本地震带地震活动强烈，是华北地震区主要强震活动带之一。自公元 1000 年以来，本地震带记录到 6.0~6.9 级地震 16 次，7.0~7.9 级地震 7 次，8.0~8.9 级地震 2 次，1303 年洪洞 8 级地震发生于临汾盆地，1556 年陕西华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震发生在该带南端的渭河盆地。

该地震带记载历史悠久,记载最早地震为公元前 23 世纪山西永济蒲州 5½级地震。对该带 1000 年以来的 5 级以上地震资料研究表明,目前经历了三个活跃期和两个平静期。具体划分如下:1291 年到 1337 年为活跃期;1338 年到 1483 年为平静期;1484 年到 1720 年为活跃期;1721 年至 1814 年为平静期;1815 年至今为又一活跃期。图 1.3.3 为该地震带 1000 年以来 $M \geq 5.0$ 级地震的 M-t 图和应变释放曲线。由图中可以看出,本地震带地震活动的时间不均匀性和似周期性是很明显的。地震平静期内一般不发生 6 级以上地震,在第二个地震活跃期(1484~1720 年),6 级以上地震年平均发生率为 0.06 个/年,自 1815 年以来至今的这一活跃期,本带仅发生过 2 次 6 级以上地震,分别为 1815 年 10 月山西平陆 6¾级地震和 1998 年 1 月河北尚义 6.2 级地震,考虑到本带近期 5 级地震频繁,预示着未来有可能进入应变加速释放,未来百年本带的地震活动可能处在较为活跃的阶段。

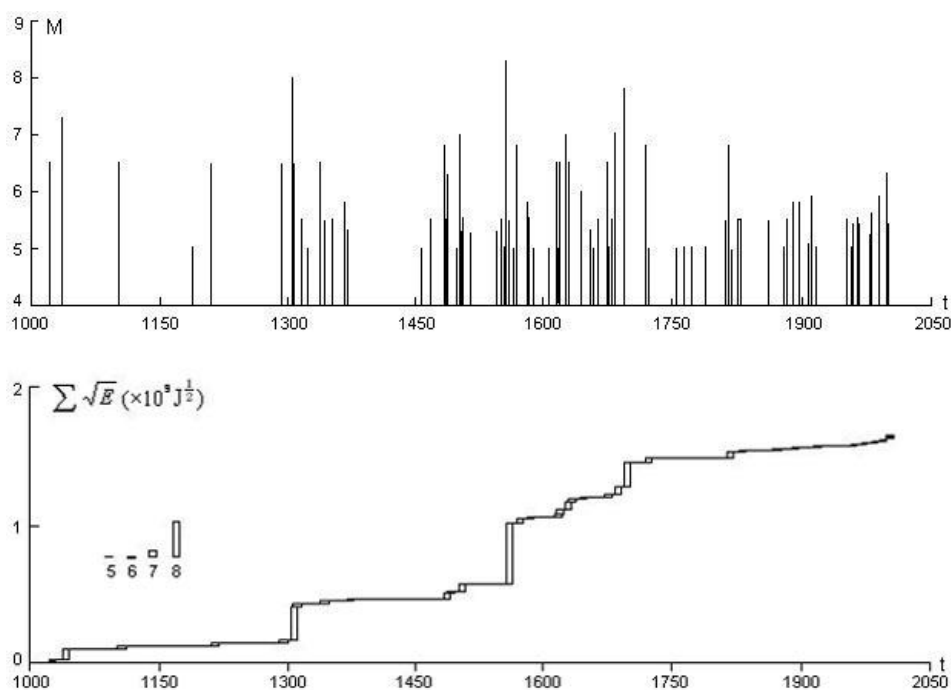


图 1.3.3 汾渭地震带的 M-t 图和应变释放曲线 ($M \geq 5.0$)

4、郯庐地震带地震活动时间特征

郯庐地震带是我国东部规模最大的地震带。该带沿郯庐深大断裂展布并包括郯庐断裂带两侧及其邻近地区与平行或斜交的次级断裂。该带呈北北东走向,贯穿整个中朝断块区和华北地台区的东部。本带记录最早的一次地震是公元前 70 年 6 月 1 日安丘 7 级地震,据统计,本带历史记录到 6.0~6.9 级地震 14 次,7.0~7.9 级地震 6 次,8.0~8.9 级地震 1 次,即 1668 年山东郯城 8½级大地震。这些地震大多发生在北北东向活动断裂与北西向活动断裂的交汇部位。尤其是在郯庐断裂带与燕山渤海断裂带交

汇的渤海区域，历史上发生过4次7级以上强震。

图 1.3.4 为郟庐地震带 1400 年以来 $M \geq 5$ 级地震的序列图和应变释放曲线。1400 年以来的 5 级以上地震资料表明，该带目前经历了两个活跃期和一个平静期。1540 年至 1675 年为第一个活跃期，曾发生 7 级以上地震 3 次，6.0~6.9 级地震 5 次，其中 1668 年 7 月 25 日郟城 8½ 级大震是该带历史上发生的最大地震；1676 年至 1828 年为平静期；1829 年至今又一活跃期，已经发生 7 级以上地震 3 次，6.0~6.9 级地震 7 次。后一活跃期 5 级以上地震的年平均发生率与前一活跃期相等，均为 0.2 次/年。从地震频次来看，前后两个地震活跃期基本相当，但所释放的能量还有相当差距，根据 b 值、极值理论等研究结果，该带还缺一些中、强地震，因此该带未来百年地震活动仍较活跃。

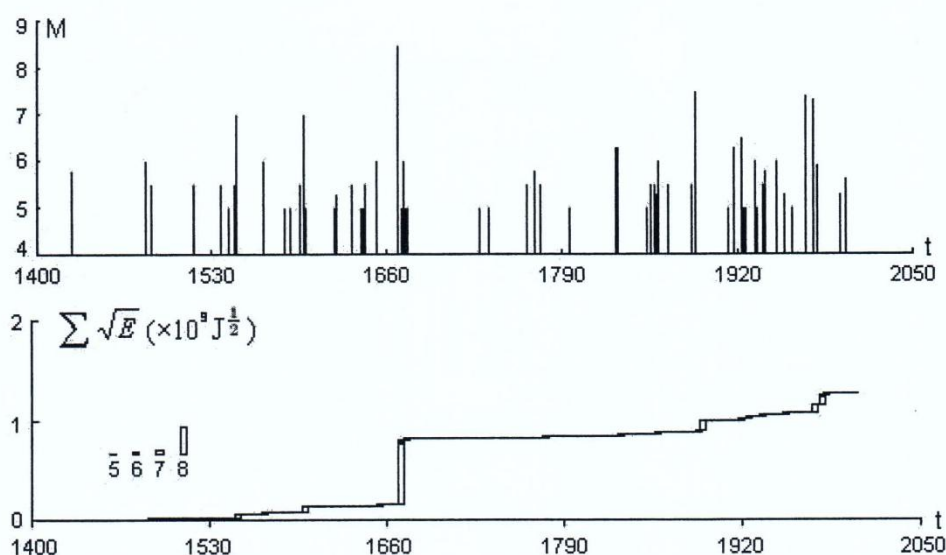


图 1.3.4 郟庐地震带 M-t 图和应变释放曲线 ($M \geq 5.0$)

1.3.3 区域地震的时间分布特征

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 519 年至 1480 年，共记载到 7 次 4¾ 级以上地震。早期地震记录缺失严重，1481 年之后地震记录明显增多。图 1.3.5 为区域公元元年至 2021 年 12 月 $M \geq 4.7$ 级地震的 M-t 图。从图中可以看出，1481 年以来区域内地震活动经历了两个活跃期。具体分期为：1485 年至 1675 年为活跃期，1814 年至今为又一活跃期。与华北地区的地震活跃期基本一致。

区域现代地震活动周期不明显（图 1.3.6）。

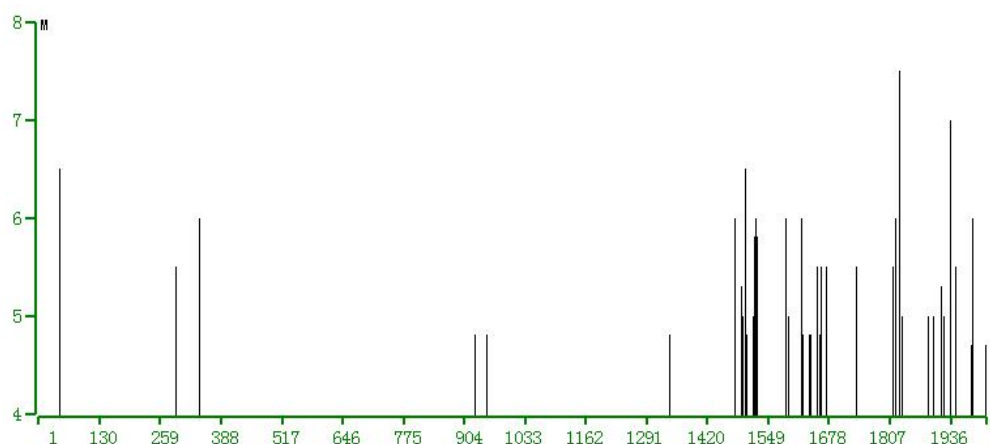


图 1.3.5 区域破坏性地震时序图 (1~2021.12, $M \geq 4.7$)

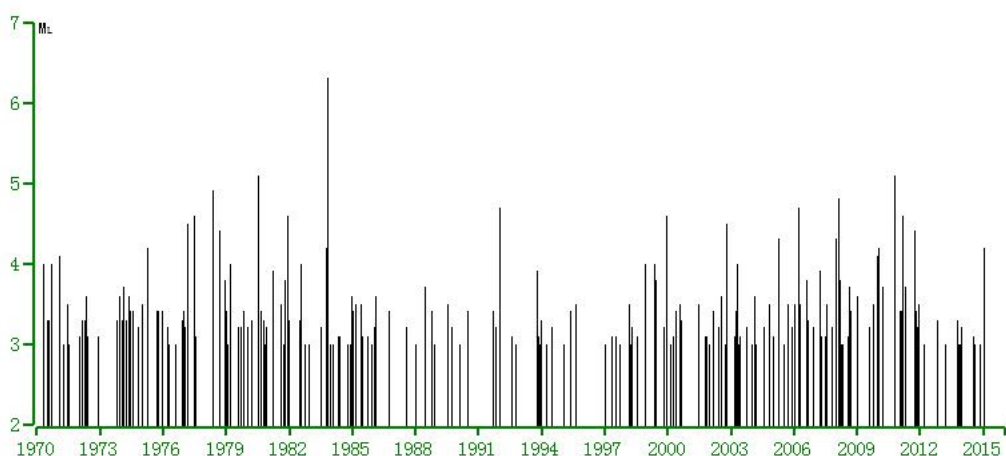


图 1.3.6 区域现代地震时序图 (1970~2021.12, $M_L \geq 3.0$)

1.4 历史破坏性地震对工程场地的影响

分析历史破坏性地震对工程场地的影响，是本项工程地震安全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，给出它们对工程场地的实际影响烈度；另一方面是应用地震烈度衰减关系式，计算历史地震对场地的影响烈度值。

1.4.1 历史破坏性地震影响

对工程场地造成较大影响($\geq V$ 度)的历史破坏性地震事件共计 11 次，见表 1.4.1，对其中几个较大的破坏性地震的影响情况简述如下：

1、1303 年 9 月 25 日山西赵城、洪洞 8 级地震

据记载：“太原、平阳二路尤甚，坏官民庐舍十万计，宫观摧圮者 1400 余区；山摧阜移，村堡移徙，地裂成渠，赵城、洪洞、临汾三县之利泽渠圮坏；压死者 20 余万（或说死十万有余），伤数十万人”。

“赵城：本县尤重，靡有孑遗，庙学圮，娲皇庙(东门外五里许侯村)倾圮，长春

观(县南上纪落村)观洞屋庐摧圮，为之一空。上下渠堰陷坏，水不得通流。营田东北山摧阜移，范宣义郇堡山移徙十余里，所过居民庐舍皆摧压倾圮。”

“洪洞：儒学震陷。广胜寺下寺摧毁殆尽，城隍祀倾，二者震后俱重建。城南渡涧二里附近安乐庙圮，济民渠(在汾州里)尔堤兑塌。甘亭乡北羊村三教庙扫地俱空，瓦砾可伤。淹底乡上张村灵旼殿宇崩坏。古罗乡上寨村三教庙倾圮。”

震中烈度为XI度，工程场地宏观影响烈度达VI度（图 1.4.1）。

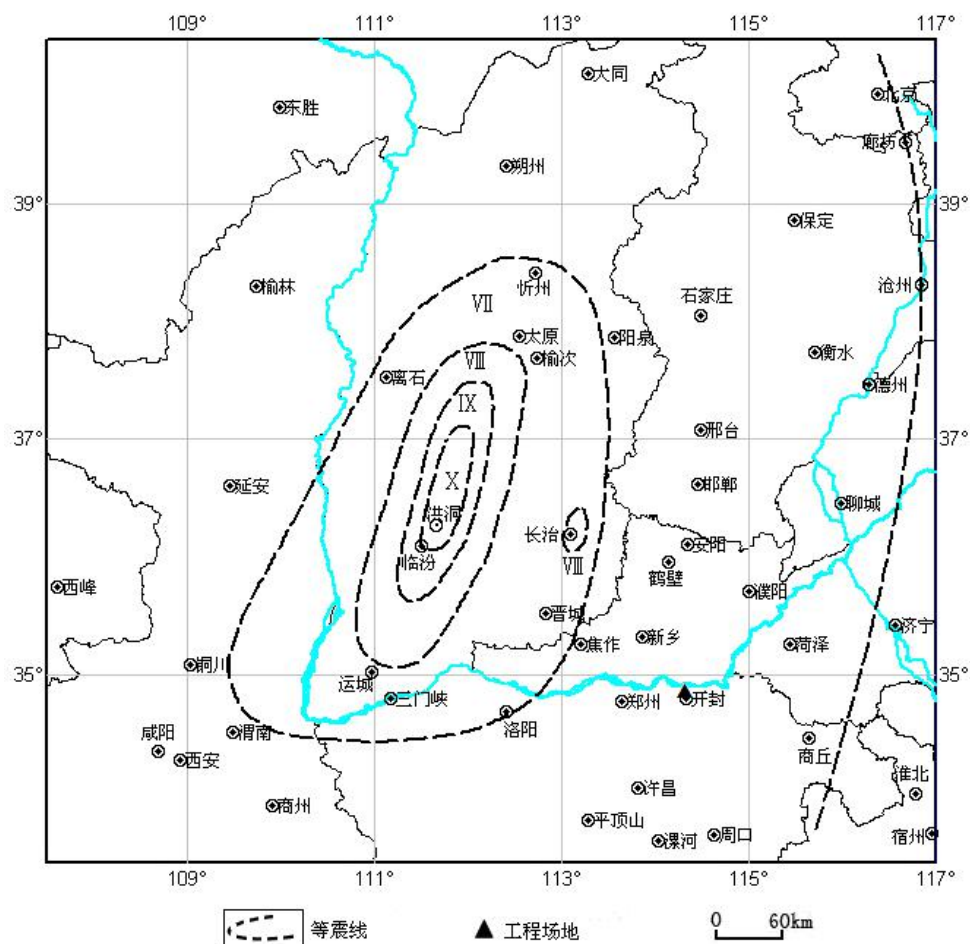


图 1.4.1 1303 年 9 月 25 日山西赵城、洪洞 8 级地震等震线图

2、1556 年 2 月 2 日陕西华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震

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

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

华阴及朝邑、蒲州等处尤甚。郡城邑镇皆陷没，塔崩、桥毁、碑折断，城垣、庙宇、官衙、民庐倾颓摧圮，一望丘墟，人烟几绝两千里；四处起火，数日火烟未灭；民天寒露处，抢掠大起。军民因压、溺、饥、疫、焚而死者不可胜计，其奏报有名者 83 万有奇，不知名者复不可数。”

“陕西、山西、河南三省 97 州县遭受破坏。波及陕西、山西、河南、甘肃、河北、山东、湖北、湖南、江苏、安徽等 11 省 130 余县。”

震中烈度为 XI 度，工程场地宏观影响烈度达 V 度(图 1.4.2)。

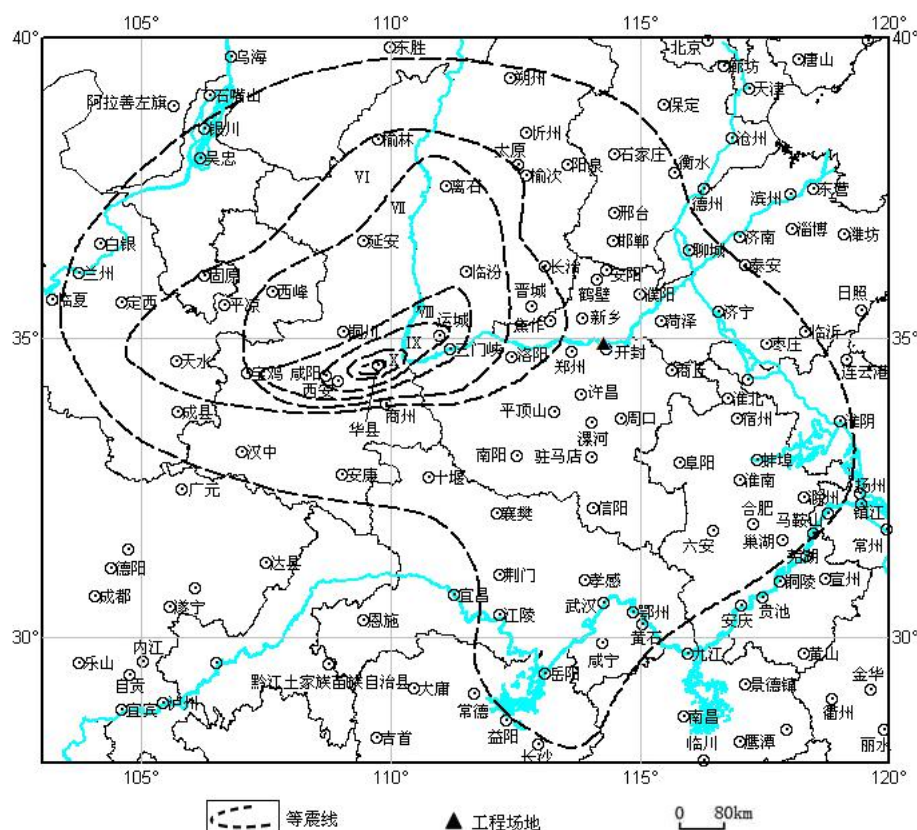


图 1.4.2 1556 年 2 月 2 日陕西华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震等震线

3、1668 年 7 月 25 日山东郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震

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。极震区内城廓、公廨、官民庐舍、庙宇等一时尽毁，郯城倒塌如平地，莒州百里无存屋，并伴有大规模的山崩地裂、地陷、涌水喷沙等现象。震时如舟覆，如桔棒上下，崩为堑，游为渊，沙涌并湮，地侧树偃，百谷陨箨。共压毙 5 万余人，死尸遍野，不能殓葬者甚多，凡值村落之处，腥臭之气达于四处。暴雨烈日，瘟疫随作，人民流散。”

“内黄：圮城堞 60 余所。滑县：兴国寺浮图圮。夏邑：房屋有倾圮者。开州(今

濮阳)：楼房倾颓，人几不能立。”

震中位于山东郯城北，震中烈度 \geq XI。工程场地宏观影响烈度达VI度(图 1.4.3)。

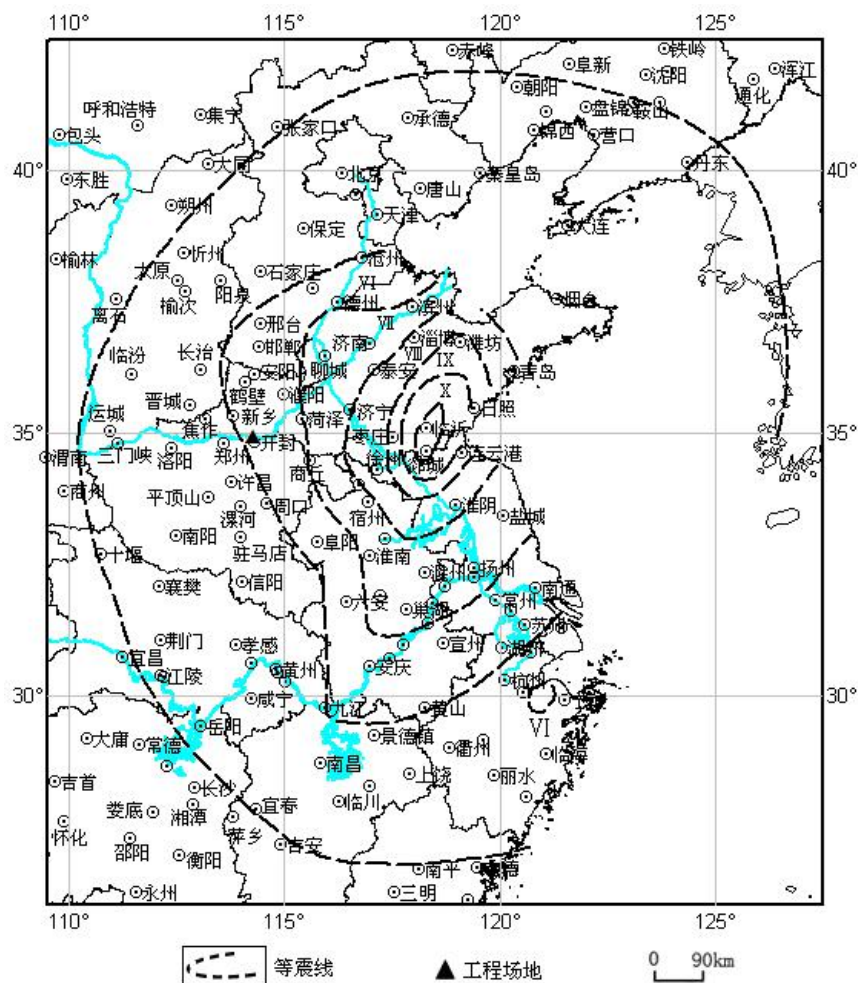


图 1.4.3 1668 年 7 月 25 日山东郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震等震线图

4、1695 年 5 月 18 日山西临汾 7 $\frac{3}{4}$ 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。”

“临汾：府城并东关城垣、楼堞、衙署、神佛、庙宇、民舍、仓库尽行倒塌，压死城乡人民 27846 人。有阖门尽毙不留一人者、城内东关压死尤多。烈火烧天，黑水涌地。”

“延津：城堞崩颓数十丈，坏屋舍数十余间。获嘉：塘水涌出，庐舍倾颓。沁阳：屋瓦摇落，城东南西三面门楼皆损。温县：墙屋间有倾颓者。汤阴：房屋有坏者。洛阳：地大震，屋壁皆倾。”

震中烈度为 X 度，工程场地宏观影响烈度达 V 度，见图 1.4.4。

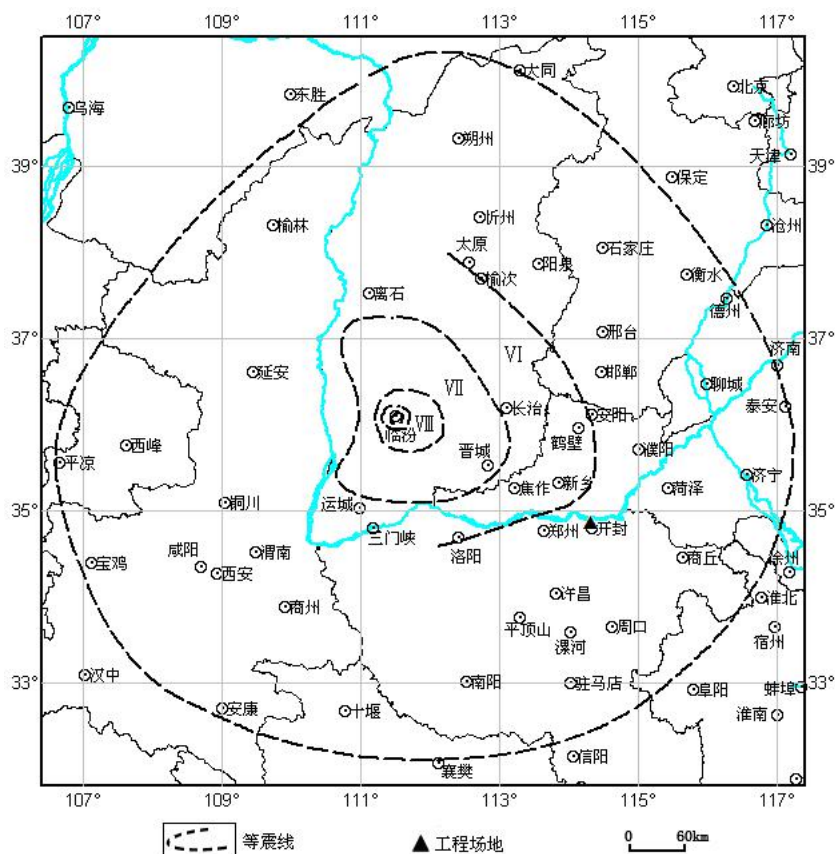


图 1.4.4 1695 年 5 月 18 日山西临汾 7³级地震等震线图

5、1830 年 6 月 12 日河北磁县 7¹/₂级地震

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

“磁县：城垣倾圮过甚，十仅存一二，其存者亦岌岌若将仆。街署、仓监、庙宇、民房倒塌殆尽(或谓倾覆十之七八)。城内及四乡彭城、漳村、路村、南城等 9 村镇之仓廩尽皆坍塌。”

“安阳：衙署、民房坍塌过半，间有压伤人口。城郊有地裂。林县：毁坏民房无数，杨家泊南地裂，涌出黑水。汤阴：城垣、衙署、仓廩、监狱均有坍塌。南乐：河水溢，房台倾圮无数。内黄：平地崩裂 2 尺许，喷出黑水(记四月)。濮阳、清丰：抚恤磁、邯郸、肥乡、清丰、南乐、开州(今淄阳)十一州县地震灾民(光绪《开州志》记地大震)。”

“波及冀、豫、鲁、晋、苏、皖诸省广大地区。”

震中烈度为 X 度，工程场地影响烈度达 VI 度（表 1.4.1，图 1.4.5）。

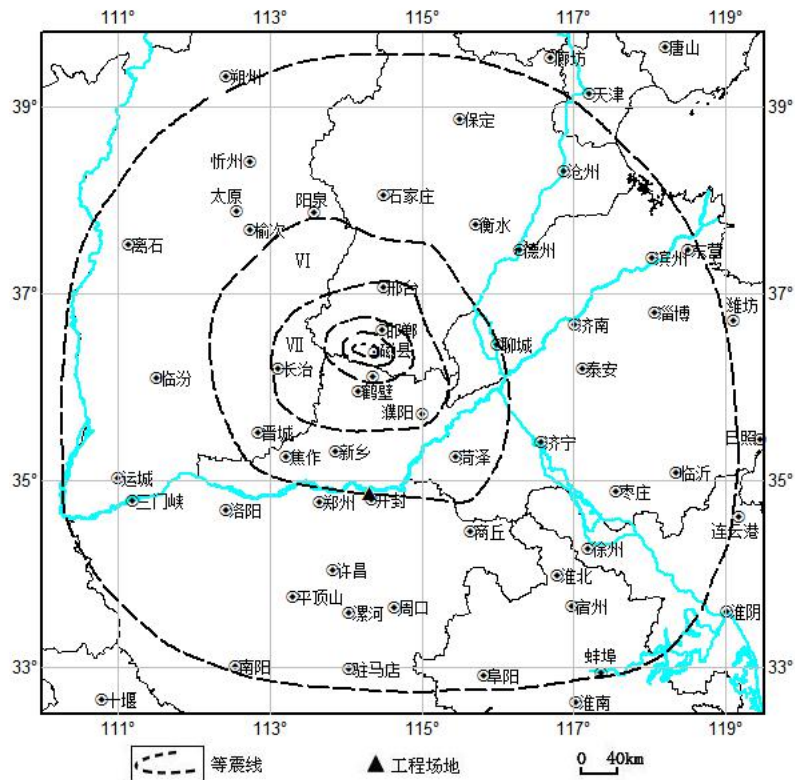


图 1.4.5 1830 年 6 月 12 日河北磁县 7½ 级地震等震线

6、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。”

震中烈度为 XII 度，工程场地宏观影响烈度达 V 度(图 1.4.6)。

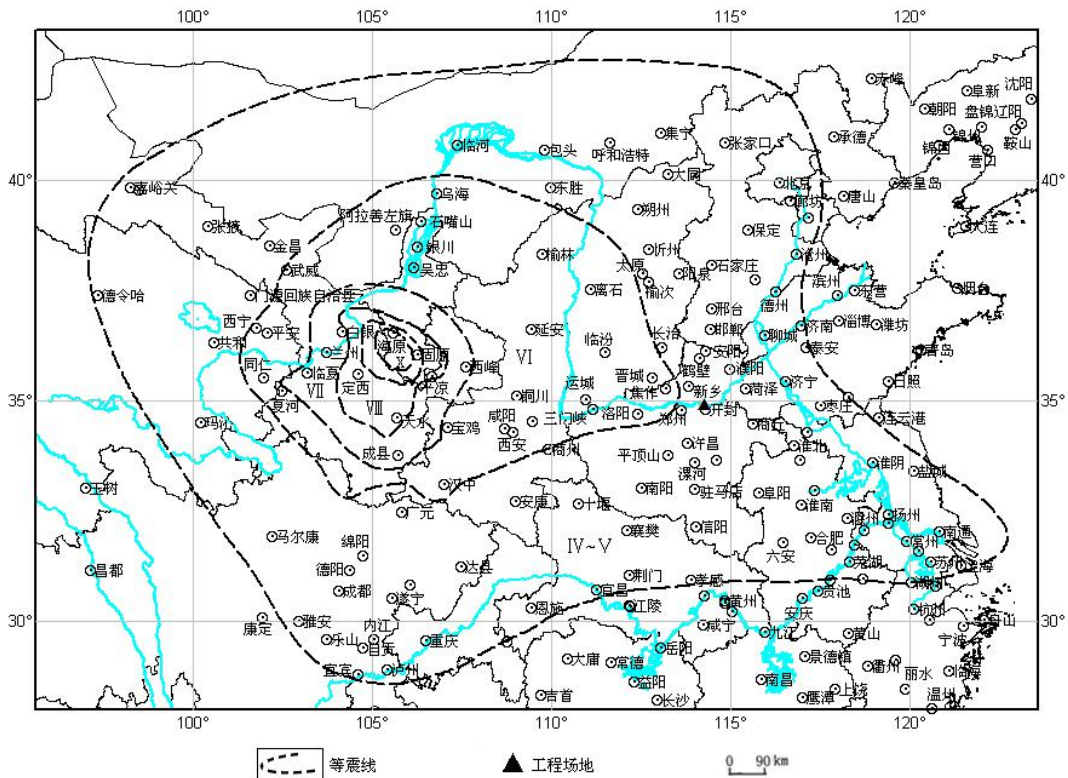


图 1.4.6 1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8 $\frac{1}{2}$ 级地震等震线图

7、1937 年 8 月 1 日山东菏泽 7 级地震

此次地震影响范围大，北起北京，南至江苏南京、安徽霍山、湖北武汉；西自河南灵宝、山西平陆，东达黄海、渤海沿岸及其海域，陆地有感面积约 65 万平方千米。其中山东的菏泽、东明、定陶、成武、单县，以及当时属河北的长桓县黄河东岸的几个乡（现属菏泽市）震害最为严重。据 1937 年 8 月 28 日当时的报纸报道，仅菏泽县 22 个乡中的 16 个乡的不完全统计，该次地震死亡达 3350 人、受伤 12701 人，牲畜死亡 2719 头，房屋倒塌 320061 间。

震中烈度为 IX 度，工程场地的影响烈度达 VI 度（图 1.4.7）。

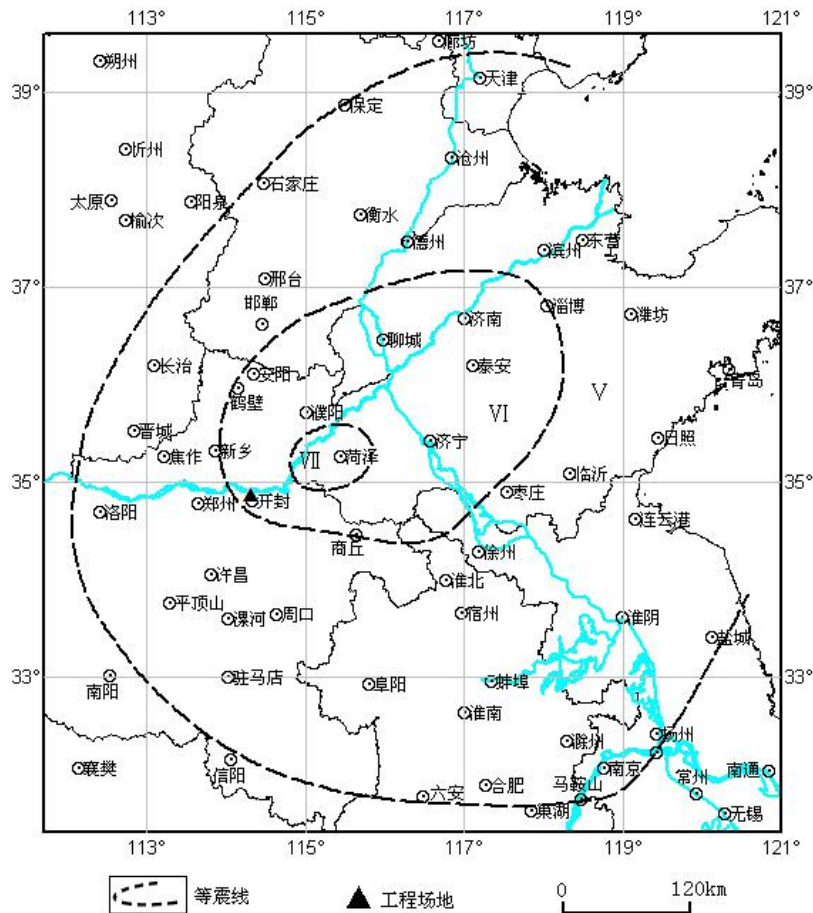


图 1.4.7 1937 年 8 月 1 日山东菏泽 7 级地震等震线

8、1966 年 3 月 22 日河北宁晋东南 7.2 级地震

极震区以宁晋县东汪镇为中心，北到尧台，南到史家嘴，西临大曹庄，东到贾家口，其面积约 137 平方公里，在该区冒水、冒沙规模大而普遍，村内外宽大裂缝纵横交错，地裂缝宽达 0.7 米左右，绵延数十米至数公里不等，很多地方裂缝两侧上下错动几十厘米。宁晋县东部及东南部各公社破坏严重，房屋全部或绝大部分倒塌，地裂、喷沙冒水较普遍。城关镇房屋绝大部分倒塌，街道呈一片瓦砾，交通阻塞，几座石碑坊全部倒塌，破坏范围很大。

震中烈度为 X 度，工程场地宏观烈度达 V 度（图 1.4.8）。

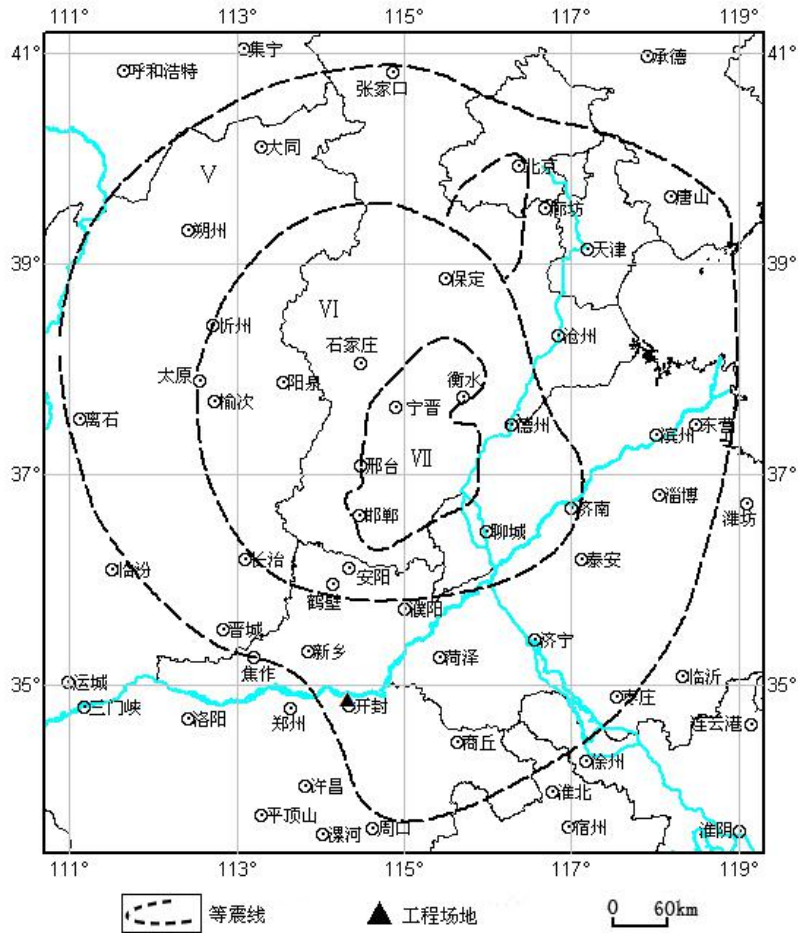


图 1.4.8 1966 年 3 月 22 日河北宁晋东南 7.2 级地震等震线图

1.4.2 影响烈度的统计分析

历史破坏性地震对场地的影响，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，场地历史破坏性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 1.4.1 给出了工程场地所遭受的破坏性地震影响烈度，表中场地影响烈度有等震线资料的以宏观影响烈度为准，无等震线资料的以计算烈度为准。历史破坏性地震对场地的最大影响烈度为 VI 度。1830 年 6 月 12 日河北磁县 7 级地震对场地影响在 VI 度等震线上，计算烈度为 6.0 度，判定其对场地的影响为 VI 度。

图 1.4.9 为区域范围内破坏性地震综合等震线分布图，工程场地位于 VI 度区。

表 1.4.1 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		
		北纬 (°)	东经 (°)	地名				计算 烈度	宏观 烈度	综合影 响烈度
1	1303.09.25	36.3	111.7	山西赵城、洪洞	8	XI	289		VI	VI
2	1556.02.02	34.5	109.7	陕西华县	8 $\frac{1}{4}$	XI	425		V	V
3	1587.04.10.	35.3	113.7	河南修武东	6	VII-VIII	78	5.1		V
4	1668.07.25	34.8	118.5	山东郯城	8 $\frac{1}{2}$	\geq XI	380		VI	VI
5	1695.05.18	36.0	111.5	山西临汾	7 $\frac{3}{4}$	X	288		V	V
6	1737.09.30	35.1	114.4	河南封丘	5 $\frac{1}{2}$	VII	30	5.6		V
7	1830.06.12	36.4	114.3	河北磁县	7 $\frac{1}{2}$	X	174	6.0	VI	VI
8	1918.08.09	34.5	114.5	河南通许	5 $\frac{1}{4}$	VI	40	4.9		V
9	1920.12.16	36.5	105.7	宁夏海原	8 $\frac{1}{2}$	XII	801		V	V
10	1937.08.01	35.2	115.3	山东菏泽	7	IX	97		VI	VI
11	1966.03.22	37.53	115.05	河北宁晋	7.2	X	306		V	V

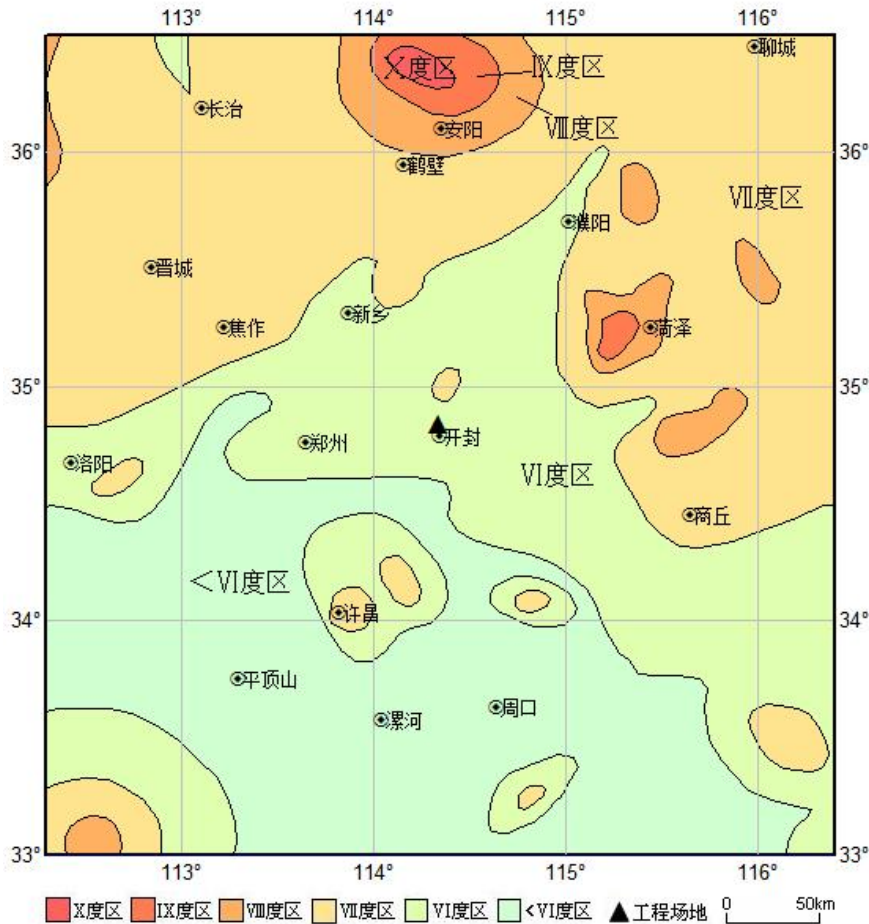


图 1.4.9 区域历史破坏性地震综合等震线分布图

1.5 区域现代构造应力场特征

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。

表 1.5.1 区域地震震源机制解参数

编号	地震日期 年月日	地名	震中位置		震级 M	深度 (km)	节面 A			节面 B			P 轴		T 轴	
			北纬 (°)	东经 (°)			走向	滑动角	倾角	走向	滑动角	倾角	方位	仰角	方位	仰角
1	1968.04.02	河北大名	36.20	115.20	4.2	15	7	-107	65	221	-62	26	62	69	290	20
2	1974.02.19	山东菏泽	35.40	115.40	3.1	21	91	35	85	358	176	56	39	20	140	27
3	1975.04.22	河南林州	36.07	113.87	3.7	4	85	-35	82	181	-171	55	217	30	318	18
4	1977.03.10	河北磁县	36.37	114.32	4.0	17	35	49	55	272	134	53	332	1	67	57
5	1977.07.09	山东成武	34.87	115.80	4.1	25	145	-26	80	240	-168	64	280	26	15	11
6	1978.06.05	河南新乡	35.35	113.92	4.5	22	5	-42	80	104	-168	49	135	36	241	20
7	1978.10.01	河南鹤壁	35.83	114.18	3.9	23	147	69	56	2	119	40	72	8	189	70
8	1979.01.02	河南淇县	35.68	113.95	3.2	20	203	-160	75	108	-17	70	246	25	155	3
9	1979.03.20	河南修武	35.17	113.38	3.5	20	188	143	81	285	11	54	62	18	320	32
10	1980.08.02	河南林州	35.95	113.87	4.7	20	27	139	88	119	5	48	261	26	155	30
11	1981.04.17	河南林州	36.07	113.82	3.2	8	203	-149	77	105	-15	60	248	31	151	11
12	1981.10.23	河南南乐	36.07	115.13	3.2	11	64	152	69	165	23	65	58	17	293	63
13	1981.12.23	山东菏泽	35.42	115.30	4.1	16	211	140	61	320	29	60	88	1	350	44
14	1982.05.29	河北邯郸	36.45	114.75	4.4	20	125	-77	75	265	-128	16	233	59	25	30
15	1982.07.28	山东东明	34.98	115.07	3.5	19	305	50	73	198	165	47	243	16	357	43
16	1983.10.15	河南孟州	34.87	112.73	3.7	19	30	170	74	126	25	70	256	3	171	26
17	1983.11.07	山东菏泽	35.28	115.28	6.0	12	114	-42	70	222	-153	50	251	44	352	12
18	1992.01.14	河南登封	34.38	113.28	4.2	23	226	-164	75	132	-16	74	269	22	179	1
19	1995.08.23	河南清丰	35.90	115.03	2.9	17	7	174	84	102	45	46	226	25	155	34
20	1998.12.09	河南滑县	35.28	114.37	2.6	14	266	-63	60	41	-128	40	44	64	157	11
21	1999.05.20	河南范县	35.78	114.97	3.5	24	191	-132	77	88	-11	47	243	40	131	19
22	1999.06.22	河南中牟	34.87	113.97	3.2	22	138	40	80	40	167	51	83	19	187	35
23	1999.12.30	安徽利辛	33.32	116.07	4.1	13	242	-138	61	128	-38	54	278	50	184	4
24	2000.06.03	河南安阳	36.28	114.00	2.8	6	216	133	74	323	23	45	96	18	348	44
25	2005.04.27	河南范县	35.63	115.38	3.8	13	196	126	46	329	59	54	81	5	181	64
26	2008.03.10	河南封丘	34.93	114.72	4.4	15	41	177	88	132	2	87	86	1	356	4
27	2010.01.15	河南范县	35.72	115.37	3.7	10	260	22	88	351	177	68	308	14	213	17
28	2010.10.24	河南太康	34.07	114.65	4.7	8	46	176	87	137	3	87	91	0	1	5
29	2015.01.18	河南范县	35.69	115.38	3.9	10	251	4	80	341	86	170	115	5	206	10

根据谢智、刘尧兴等对河南及邻区地震的震源机制解资料分区计算结果（2002），晋陕豫交界平均 P 轴走向为 67°，冀鲁豫交界平均 P 轴走向为 76°。

本项目收集到的区域内地震的震源机制解资料见表 1.5.1，图 1.5.1 为区域地震震源机制解分布图，可以看出，区域内地震断层多为走滑型断层类型，也有正断层和逆断层类型。

在一定区域内，用较多地震的主压应力方向求得的平均值，代表了该区的现代构造应力场的方向。图 1.5.2 是区域震源应力场 P、T 轴的方位角与仰角分布图。从图中

可以看出，P 轴优势方位为北东东向，T 轴优势方位为北北西向，说明区域主要处于以北东东走向的水平压应力和北北西走向的水平张应力为特征的构造应力场作用之下；P、T 轴的仰角大多数小于 40° ，说明区域构造应力场的方向主要为近水平向。

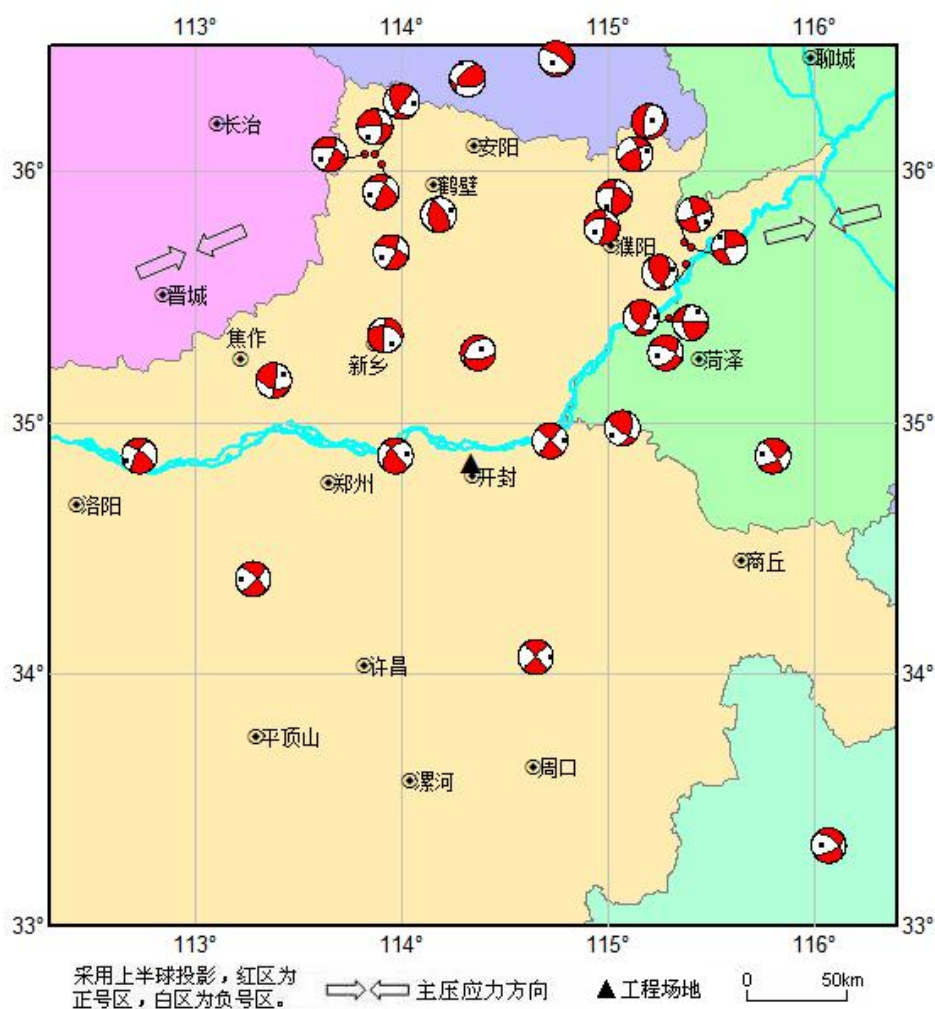


图 1.5.1 区域地震震源机制解分布图

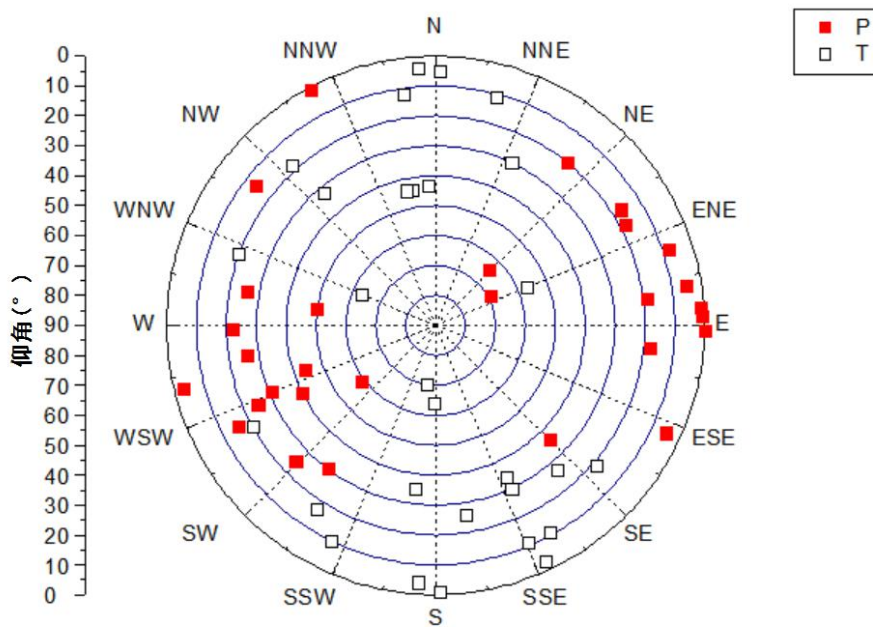


图 1.5.2 P、T 轴方位角与仰角分布图

1.6 近场区地震活动性

近场区历史上记载过 3 次破坏性地震，最大地震为 1737 年 9 月 30 日河南封丘 5½ 级地震，破坏性地震对工程场地的影响烈度见表 1.6.1。此外，近场区 1970 年以来还记录到 $M_L \geq 2.0$ 级地震 9 次，其中 2.0~2.9 级地震 7 次，3.0~3.9 级地震 2 次，最大地震为 1999 年 6 月 22 日中牟 M_L 3.8 级地震（表 1.6.2）。

近场区现代小震活动的频度和强度均较低，在空间分布上不均匀，地震主要分布在近场区西北部（图 1.6.1）。图 1.6.2 为现代地震时序图。

总体上看，近场区历史上曾发生过 3 次破坏性地震；近场区现代地震活动具有频率低、强度小的特点，地震分布不均匀，地震活动水平较低。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。

表 1.6.1 近场区破坏性地震目录（BC519~2015.02， $M \geq 4.7$ ）

编号	地震时间 (年.月.日)	震中位置		震级 (M)	影响烈度	震中位置
		北纬(°)	东经(°)			
1	1342.04.23	34.5	114.5	4¾	IV	河南通许
2	1737.09.30	35.1	114.4	5½	V	河南封丘
3	1918.08.09	34.5	114.5	5¼	V	河南通许

表 1.6.2 近场区现代震目录(1970~2015.02, $M_L \geq 2.0$)

编号	地震日期	北纬(°)	东经(°)	震级(M_L)
1	1986.12.25	34.85	114.05	2.4
2	1987.03.21	34.80	114.22	2.0
3	1993.09.29	35.03	114.07	2.4
4	1995.12.08	34.57	114.03	2.5
5	1996.02.24	34.93	114.17	2.2
6	1999.06.22	34.82	114.02	3.8
7	1999.10.29	34.78	114.17	3.2
8	2006.03.05	34.95	114.07	2.4
9	2007.02.07	34.50	114.23	2.3

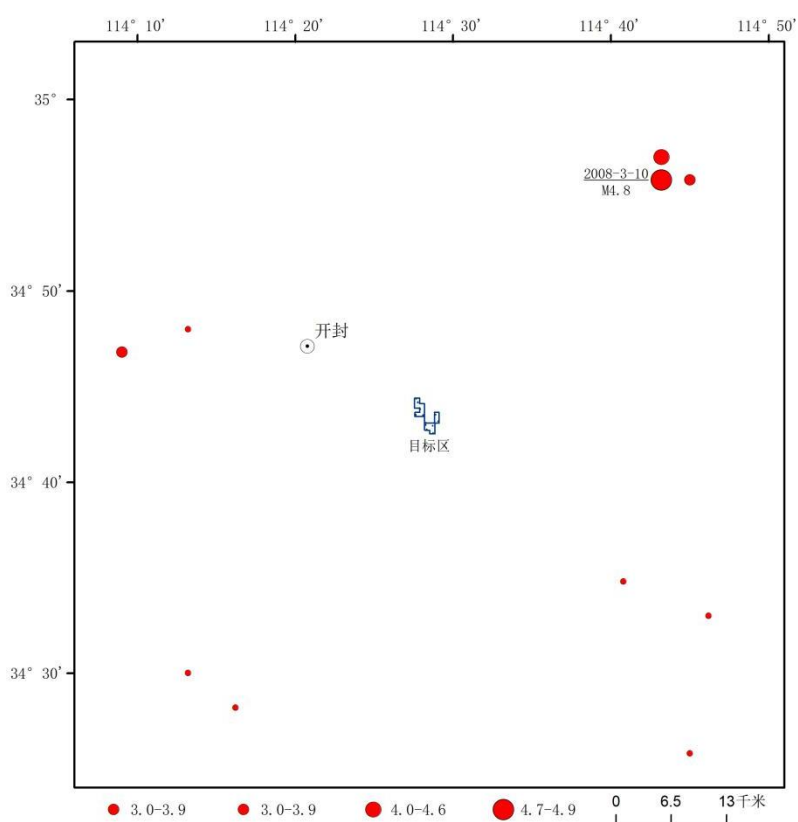


图 1.6.1 近场区地震震中分布图
(1970~2021.12, $M_L \geq 2.0$, BC519~2021.12, $M \geq 4.7$)

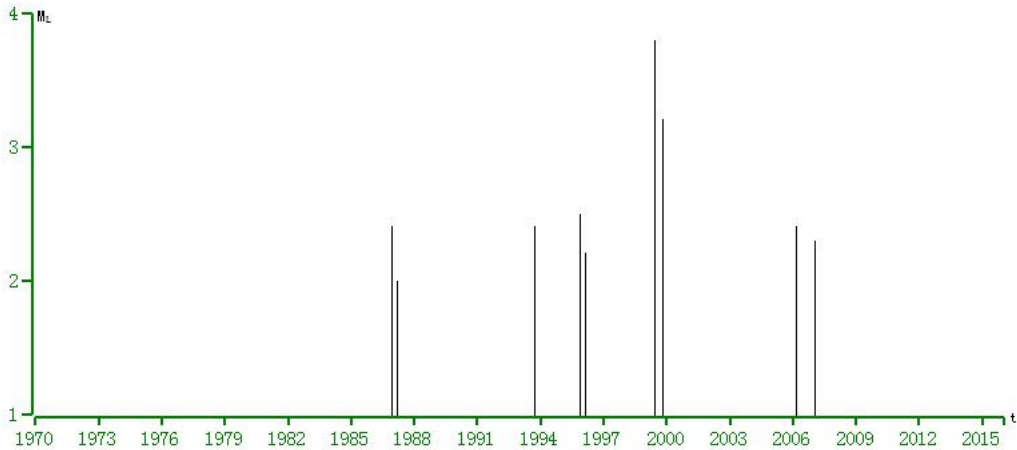


图 1.6.2 近场区现代地震 M-t 图 (1970~2021.12, $M_L \geq 2.0$)

1.7 地震活动环境评价

通过本章的论述，对地震环境作出如下评价：

(1) 区域历史上记载最早的破坏性地震为公元前 519 年河南洛阳 5½ 级地震，从公元前 519 年到 2015 年 2 月，区域记载到 $M \geq 4.7$ 级地震 49 次，最大地震为 7½ 级。1970 年以来，区域共记录 $M_L \geq 3.0$ 级地震 245 次。

(2) 区域破坏性地震在空间分布上呈现出不均匀性，地震活动北强南弱，聊兰断裂带和太行山前地区地震活动水平较高；区域现代地震成带性和丛集特征明显，现代小震密集区与破坏性地震分布基本一致，说明现代小震密集区仍可能是未来强震发生的地区。

据 1970 年以后的仪器记录资料，区域地震的震源深度主要分布在 6~25km 范围内，区域地震基本是发生在地壳中上层的浅源构造地震。

(3) 区域涉及华北平原地震带、汾渭地震带和郟庐地震带。华北平原地震带未来百年地震活动趋势应以平均活动水平来估计；汾渭地震带未来百年地震活动可能处在较为活跃的阶段，会有中、强地震活动；郟庐地震带未来可能进入下一活跃期前的应变加速释放阶段，会有中、强地震活动。

(4) 区域内在历史上曾多次遭受过破坏性地震的影响，工程场地历史地震最大影响烈度达 VI 度。

(5) 根据区域震源机制解资料，区域内地震断层多为走滑型断层类型，区域主要处于以北东东走向的水平压应力和北北西走向的水平张应力为特征的构造应力场作用之下。

(6) 近场区内历史上记载过 3 次破坏性地震，最大震级为 4.8 级。1970 年至 2015

年 2 月共记录到 $M_L \geq 2.0$ 级地震 9 次，最大震级为 $M_L 3.8$ 级。近场区现代地震活动具有频率低、强度小的特点，地震分布不均匀，地震活动水平较低。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。

2 区域地震地质环境

区域指以工程场地为中心，外延不小于 150km 的范围。该区大部分为第四系覆盖，给认识区域地震地质环境带来了一定的困难，在该区域前人在第四系研究和物探钻探方面有较好的工作基础，为此创造了分析地震构造的有利条件。本章以大地构造、地球物理场、新构造运动、断裂活动、现代地壳形变和现代构造应力场等方面的研究为基础，综合讨论区域内地震发生的地质环境。

2.1 区域大地构造概述

以本工程场地为中心的区域，涉及了 2 个一级大地构造单元，即华北准地台（I）、秦祁褶皱系（II）（图 2.1.1）。现将各大地构造单元的基本特征简述如下。

2.1.1 华北准地台（I）

华北准地台西邻天山—兴蒙褶皱带和西北准地台，南接秦祁褶皱系，是我国大陆内形成时代最古老的陆块。准地台的褶皱基底由太古界和早元古界的中深变质岩系组成，早元古代末吕梁运动使上述基底岩系全面褶皱回返、断裂，形成准地台的结晶基底，构造线方向以北东和近东西向为主。自中元古代后，准地台进入了一个比较稳定的构造环境。中生代时期，准地台的活动以断块差异运动为特征，沿准地台边界断裂或次级块体间的边界断裂发生强烈升降差异运动，形成了由中生界组成、规模和活动强度不一的深凹陷或断陷盆地，断裂活动性以正断为主兼有水平扭动。新生代乃至现今，总体上准地台活动依然强烈，是强烈地震多发区。但各区差异较大，工程场地所在地区是活动强度相对较弱的地区。

根据准地台各块体间的活动差异，可进一步划分成 4 个二级构造单元（表 2.1.1）由东往西为：鲁西台背斜、黄淮海凹陷、山西台背斜、豫西台褶带。本工程场地位于其中的黄淮海凹陷（I₂）区的中部。该区地表广为第四系覆盖，仅在西部边缘地带有基岩出露。早期黄淮海凹陷与相邻块体原为统一整体，自燕山运动后西部隆起，本区下沉形成凹陷（李国鹏，1973）。由于基底断裂作用，凹陷呈不平衡下沉，形成一系列次级凹陷和凸起。

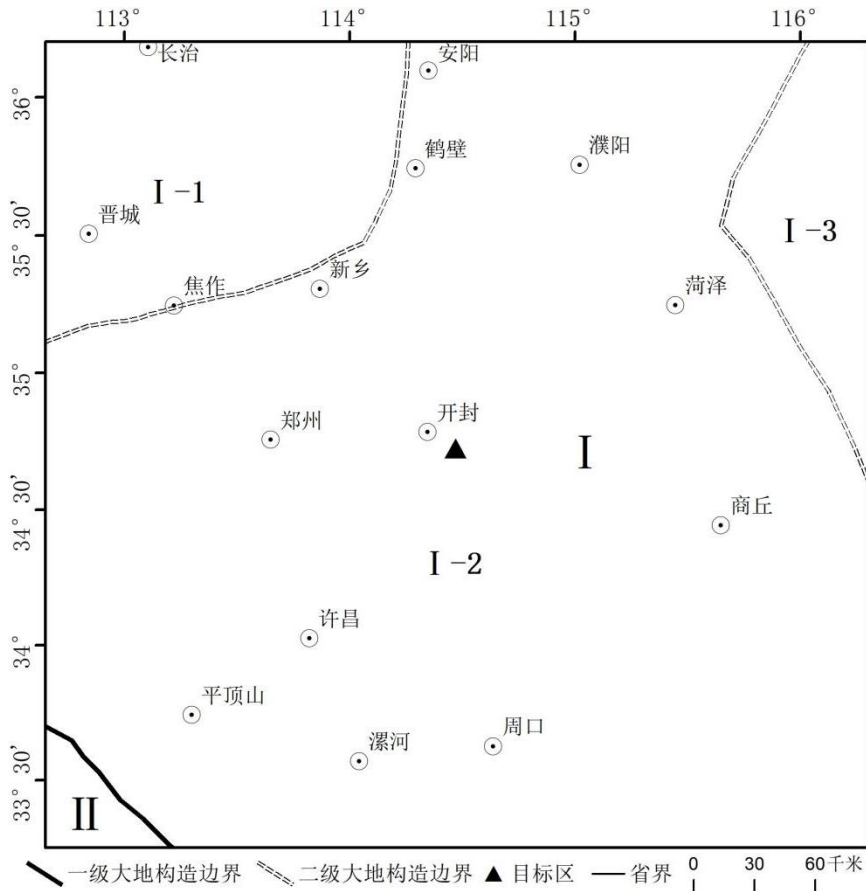


图 2.1.1 区域及邻区大地构造及其分区图

I: 华北准地台 II: 秦祁褶皱系

I1: 鲁西台背斜 I2: 黄淮海凹陷 I3: 山西台背斜 I4: 豫西台褶皱带 III1: 北秦岭槽褶皱带

新乡-商丘断裂以南地区，由于近东西向基底断裂的影响，形成多个呈北西或东西向的凸起和凹陷，凸起缺失上侏罗—古近系，凹陷内堆积中生代—古近纪陆相地层和火山碎屑岩。古近纪陆屑建造厚达 5000m，以后又堆积 500~1000m 的新近系和第四系陆屑建造，形成今日之黄淮海凹陷（河南省地质矿产局，1989）。其次级构造块体有：济源-开封凹陷、通许凸起、周口凹陷、西平-平舆凸起等。新乡-商丘断裂以北地区，在太行山东麓断裂带和聊城-兰考断裂带控制下继续形成北东走向断陷，在北东向断裂控制下，形成两凹一凸的次级块体，由西往东为：汤阴凹陷、内黄凸起，东明凹陷。本工程场地位于济源-开封凹陷的东南部。

表 2.1.1 区域大地构造单元划分一览表

一级构造单元名称	基底形成时代	盖层形成时代	构造线方向	二级构造单元名称
华北准地台 (I)	太古代、早元古代	元古、古、中生代	北东、东西	鲁西台背斜 (I ₁) 黄淮海凹陷 (I ₂) 山西台背斜 (I ₃)

				豫西台褶带 (I ₄)
秦祁褶皱系 (II)	古生代、早中生代	晚中生代	北西向为主	北秦岭槽褶带 (II ₁)

济源-开封凹陷呈东西向展布,盆地基底为古生界、三叠系,局部有太古界变质岩。属中、新生代断陷。上覆地层为中、新生代陆相地层,最大厚度达 9000m 以上。凹陷内构造线方向呈近东西,基底断裂比较发育,最大的有新乡-商丘断裂,其次还有中牟、杨庄等断裂,北西向、北东向断裂规模较小。

2.1.2 秦祁褶皱系 (II)

秦祁褶皱系位于工程场地区域范围西南部,北与华北准地台相连、南临扬子准地台和昆仑-三江褶皱系。褶皱系是古生代以来在中国古地台上裂陷和凹陷再生的地槽褶皱系,经历了加里东、华力西和印支三个构造旋回后,最终于印支运动结束地槽活动阶段。褶皱系沉积巨厚的海相地层,岩浆活动频繁,变质作用复杂、强烈,褶皱和断裂十分发育,其活动具有从边缘向中心对称迁移的特点。构造线方向以北西向为主,东部转为北西西向。沿褶皱系次级构造单元的边界,现今活动比较强烈,地震活动比较频繁。区域包含 1 个二级构造单元:北秦岭槽褶带(表 2.1.1;图 2.1.1)。

上述两个一级大地构造单元具有不同的构造基底和盖层特征,新构造活动差异明显,现代地震活动也各有不同。其中现代构造和地震活动最强烈的地区是华北准地台,历史上多次发生过 $M \geq 8$ 级地震;其次是秦祁褶皱系,历史上多次发生 $M \geq 7$ 级地震;活动最弱的是扬子准地台的东北部,历史上发生过少量 $M \geq 6$ 级地震。

2.2 地球物理场和深部构造及其与地震的关系

2.2.1 布格重力异常

布格重力异常是地下不同密度界面的综合重力效应。图 2.2.1 是以本工程场地为中心的区域布格重力异常图(地质矿产部航空物探遥感中心,1979)。由图可见,区域内异常值变化于 $(10 \sim -95) \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 之间,大部位于负异常区内。由西向东异常值基本上呈逐渐增大的趋势,西部异常值多位于 $(-35 \sim -95) \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 之间,东部异常值多位于 $(10 \sim -30) \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 之间。

太行山大型重力梯级带呈北北东向穿过本区西-中部,重力异常线大致沿林州、焦

作、登封、鲁山分布。它是纵贯中国东部大兴安岭-太行山-武陵山大型重力梯级带的中段。沿重力梯级带由于受近东西向异常影响，出现局部弯曲和局部异常叠加。异常幅值变化于 $(-30 \sim -90) \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 之间，最大梯度的每公里变化 $1 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。重力梯级带是次一级异常区的分界线。梯级带以西为高负异常区，其重力值多在 $(-120 \sim -215) \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 之间（区域外围）。以东地区多在 $(-5 \sim -40) \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 之间，属南华北负异常区的范围，总体上呈北东走向。它由郑州-新乡-开封重力低 $(-40 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ 、平顶山重力高 $(-5 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ 、阜阳重力低 $(-20 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ 和商丘-宁陵重力高 $(0 \sim +5) \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 组成。物探资料证实，重力高和重力低与下古生界到前下古生界的侵蚀面起伏相关，其中重力高反映深部构造隆起，重力低反映深部构造凹陷。太行山大型重力梯级带西部的重力低与该区地壳凹陷相对应、东部的重力高则与该区地壳隆起相对应。局部的北西或东西向重力梯级带则与本区次级块体的隆起与下沉相关。如平顶山重力高、开封重力低即与该区的深部地壳的隆、凹相关，前者为地壳隆起区，后者为地壳下沉区。

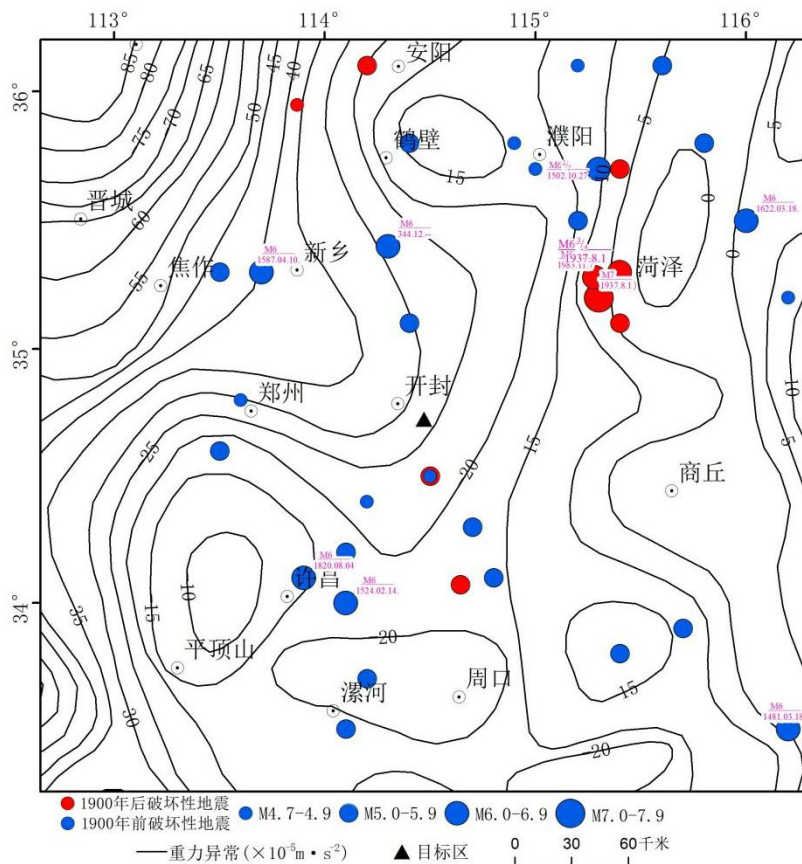


图 2.2.1 区域布格重力异常图

图 2.2.1 还显示，以三门峡、平顶山-漯河一线为界，以北地区重力异常线显示北

北东向的优势方向，由西向东重力值逐渐升高。其中以太行山重力梯级带和聊城-兰考梯级带最为典型。太行山重力梯级带宽约 50km，其间分布多个局部重力高或重力低异常区，其重力值的变化与该带分布的岩浆活动有关。重力梯级带还具次级分带现象，反映沿带深部存在成束的断裂或多条近平行断裂的特点。

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

聊城-兰考重力梯级带，走向北北东，长约 120km，宽 10km，其位置与聊城-兰考断裂相一致，显示了该深断裂的活动迹象。工程场地位于该重力梯级带的西南端，梯度异常值为 $(-30 \sim -35 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ 。

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。

本区位于晋、陕、豫、皖磁异常区范围内，这一大区域的磁场特征是以面积宽阔的正磁异常为背景，在此背景上叠加了走向各异的局部强磁正异常和平缓的负异常。根据磁异常的差别，研究区又可划分为多个正、负磁异常区，如韩城-沁源-晋城正磁异常区、焦作-商丘-漯河正磁异常区、徐州-阜阳-合肥正负交替异常区和鲁山-伏牛山正磁异常区等。

根据地质矿产部航空物探遥感中心（1979）编制的航磁异常图，区域内深部构造与焦作-商丘-漯河正磁异常区关系最密切，磁异常以面积宽阔的正磁异常为背景，在此背景上展布着若干正、负局部异常，正磁异常强度为 50~350nT，负磁异常强度为 -50~-200nT（图 2.2.2）。地质上位于黄淮海凹陷的南部。异常走向以近东西向为主，兼有北西和北东方向。该磁场特征反映了前震旦系结晶基底具有起伏分布的特点，其面积宽阔的正磁异常区对应基底凹陷，如原阳-开封磁力高区磁性基底埋藏较深，为 6~8km；济源-沁阳磁力高区，磁性基底埋深为 4~6km。而平缓的负磁异常区反映了在磁性基底之上发育有断陷盆地，如郑州负异常区（-50nT）和兰考负异常区（-100nT）等。在本区南部汝阳-平顶山一线的西南侧为伏牛山磁异常变化区，区内磁异常呈线型

分布，正负线性异常带呈北西西向展布，带内局部异常峰尖翼部陡，这是褶皱带典型的磁场特征，它反映了前震旦纪古老基底强烈褶皱、中酸性岩浆岩沿断裂侵入的结果（地质部航空物探大队 904 队，1957）。

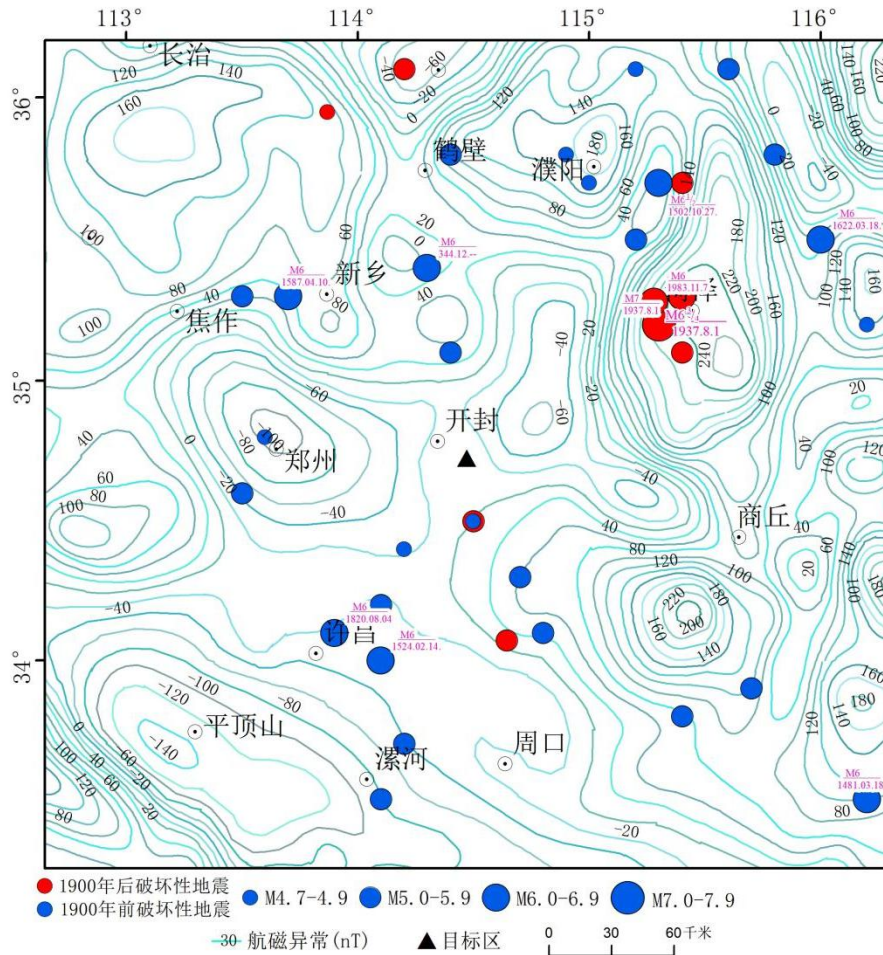


图 2.2.2 区域航磁 ΔT_a 异常图

从图 2.2.2 中还可看出，区域处于平静的正常场背景区，磁场强度在-50nT 左右，无明显磁性差异的地质构造体或磁性地质体，应属于深部构造活动较弱的地区（河南省地震局，1989）。沿新乡-焦作一线存在一东西向的磁力高异常带，强度 200nT 左右，它反映了结晶基底埋藏浅或基底隆起的特征。沿黄河一线的地震位于这一异常带的南缘，如 1587 年修武 6 级地震即发生在这一带上，根据磁场资料反演是一条东西向的深大断裂带。区域东部出现一些中等强度的异常群体，这些异常反映了鲁西隆起及一些岩浆岩体分布的情况。沿聊城-兰考一线出现的磁异常带，与重力异常带十分吻合，反演结果为一条切壳的深断裂，控制了沿该带的地震活动。工程场地位于 ΔT_a 航磁负异常区，异常值为-20nT 左右。

2.2.3 地壳结构特征

研究区前人（国家地震局地学断面编委会，1991）做过地震折射剖面 and 人工测深剖面（河南省地震局，1989）。对区域深部地壳结构作了较好的研究。

在郑州-靖边折射剖面中，穿经区域内的地段位于临汾-郑州-通许之间，它穿过黄淮海凹陷南部和太行山隆起南部地带。从剖面探测发现大致以太行山东麓断裂为界，太行山隆起与开封凹陷之间的地壳结构存在明显的差异。太行山隆起上的上地壳深度在 8~10km 之间变化，临汾以东为 10km。具三层结构，上层对应第四系和新近系，速度为 1.9~2.6km/s。厚度为 1.7~3.5km，仅在断陷盆地内存在；中层为一强速度梯度层，主要反映中、古生代地层，速度为 4.2~5.4km/s，厚约 3km；下层相当于结晶基底，速度为 5.8~6.3km/s，厚 3~6km。中地壳厚 8~22km，临汾以东中地壳下部 15~22km 深处存在一低速层，速度为 5.8km/s。下地壳由两层组成，上层厚 9~10km，为弱速度梯度层，速度为 6.45km/s；下层厚 7~8km，为强速度梯度层，速度为 6.65~7.2km/s。开封凹陷上地壳具有三层结构：表层厚 2~5km，速度为 2~3.9km/s，中层厚 2km，速度为 4.4~5.4km/s；下层厚 6~7km，速度为 5.7~6.2km/s；中地壳为低速层厚 7km，最低速度为 6.1km/s，其深度在郑州附近为 20km，向太行山山前地带加深到 22.5km。下地壳由高速（6.5km/s）~低速（6.4km/s）层结构组成：厚度由郑州东侧的 10.5km 向太行山方向加厚到 14.0km。莫霍面由郑州东侧 32km 向太行山地带加深至 36km。在太行山山前地带莫霍面有约 2km 的落差。

随州-安阳人工地震测深剖面表明：由南往北穿过了秦岭褶皱带、周口凹陷、太康隆起、开封凹陷及太行山隆起五个不同的构造单元，其地壳厚度 35.5km 左右，其中开封地区的地壳厚度在 36km 左右。总体特点是隆起区内地壳厚度较厚，凹陷区地壳厚度较薄。对剖面进行的磁测资料反演表明，磁性体顶界面深度在 1.5~7.5km 之间，底界面埋深则为 12~17km，反映隆起区埋深较浅，而凹陷区则较深。对比地震之间震源深度，地震多位于磁体底界面附近。

2.2.4 地壳厚度基本特征

由区域及邻区地壳厚度（莫霍界面深度）图，可以看出地壳厚度具有由东向西逐渐加厚的趋势（图 2.2.3）。东部厚度为 32~34km 左右，西部厚度为 34~40km 左右。

郑州市附近地壳厚度在 32km 左右，人工地震测深资料（安阳-随州剖面）郑州一带地壳厚度也有 32km 左右。鹤壁、焦作、洛阳、平顶山、菏泽地壳厚度有着明显的阶梯状变化，这些梯度带中的某些地段是强震的发生带，如菏泽 7 级地震即发生在聊城-兰考地壳厚度梯度带上，洛阳 4³/₄ 级地震、修武 6 级地震等发生在焦作、洛阳地壳厚度梯度带上。

区域内最为典型的是在太行山东麓存在一大规模的地壳陡变带。它是中国东部大兴安岭-太行山-武陵山北东向地壳陡变带的中段。沿陡变带由于受近东西向深部构造的影响，出现局部弯曲，莫霍界面深度由 40km 变化到 34km。它又是黄淮海凹陷内次一级构造块体的分界线。在各次级块体内还分布有局部的上地幔凸起和凹陷，在郑州-开封-菏泽一线上地幔凸起，其地壳厚度最薄减少到 30km。工程场地地壳厚度约 30km。

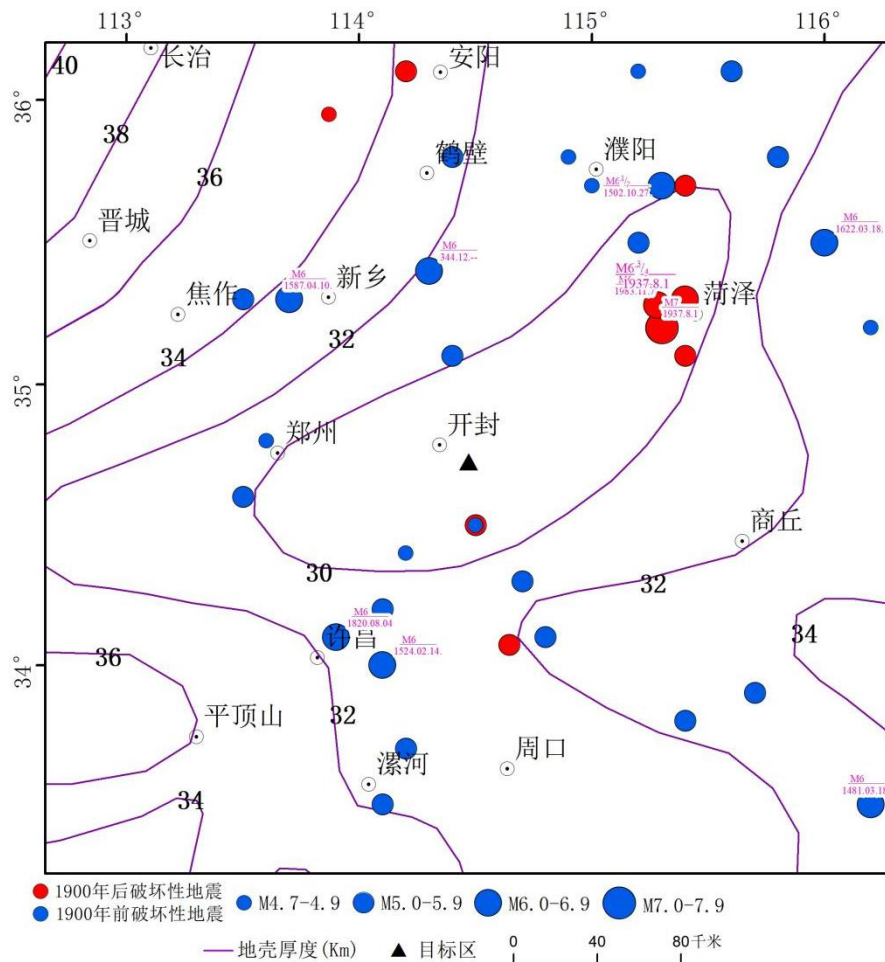


图 2.2.3 区域莫霍面深度图

2.2.5 地球物理场与地震活动的关系

区域地震的发生与重力梯度带、航磁异常带，地壳结构速度梯度带和上地幔变异带等有密切的关系。如菏泽 7 级地震与聊城-兰考重力梯度带和航磁异常带分布相关；磁县 7½ 级地震与太行山重力梯度带相关；修武 6 级地震与新乡-焦作磁场异常带相关；同时，修武 6 级、荥阳 5 级地震与地壳结构速度梯度带相关，汤阴 5½ 级、洛阳 4¾ 级等地震与太行山地壳厚度陡变带相关等。

2.3 区域新构造特征及其与地震活动的关系

2.3.1 新构造运动概述

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

大面积抬升作用表现为西部山区的隆起和东部平原的下沉。西部山区地貌形态上表现为多级夷平面与河流阶地的形成，东部平原地带的下沉表现为巨厚的新生代堆积物的形成。东部下沉区在总体下沉基础上由于断裂作用又形成不同沉降幅度的凸起与凹陷。伴随断裂活动还有玄武岩浆的喷发，如沿太行山东麓，北起鹤壁的鹿楼南至前营、黑山、杨小屯到浮山、大赆店、庙沟、北四井等地，均有玄武岩分布，构成一北东向的橄榄玄武岩带（赵景珍等，1991）。

本区除垂直差异运动外，水平运动形迹也有显示，如汤西断裂具右旋走滑运动分量，南阳盆地北西向断裂具左旋运动分量，第四纪左旋量可达 20m，说明水平运动的存在是无疑的。

2.3.2 新构造单元的划分

根据区域及邻区新构造垂直差异运动的不同，区域内划分出 5 个一级新构造单元：山西隆起（I）、北华北凹陷（II）、豫西差异隆起（III）、南华北凹陷（IV）和秦岭-大别隆起（V）。根据其间新构造活动的差异又可细分出 17 个二级构造单元。新构造单元的划分见表 2.3.1、附图一。

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
山西隆起 (I)	太行山凸起 (I ₁)
北华北凹陷 (II)	汤阴地堑 (II ₁) 内黄凸起 (II ₂) 东濮凹陷 (II ₃) 临清凹陷 (II ₄) 鲁中南强烈断隆区 (II ₅) 鲁西南过渡区 (II ₆)
豫西差异隆起 (III)	嵩山凸起 (III ₁) 伏牛山凸起 (III ₂)
南华北凹陷 (IV)	济源凹陷 (IV ₁) 开封凹陷 (IV ₂) 太康凸起 (IV ₃) 周口凹陷 (IV ₄) 西平-平舆凸起 (IV ₅) 驻马店-淮滨凹陷 (IV ₆)
秦岭-大别隆起 (V)	北秦岭强烈隆起 (V ₁) 南襄凹陷 (V ₂)

2.3.3 新构造单元特征

2.3.3.1 山西隆起 (I)

山西隆起分布于太行山东麓断裂以西,由太古界基底和元古界以后的盖层组成。在山间凹陷和山前边缘地带堆积了新近系—第四系陆屑层。构造线以北东向为主,辅以北西、南北等断裂。各组断裂互相交错,将山西隆起切割成大小不等、形态各异的小断块,并使小断块形成自西向东、自北向南依次阶梯状下降的地貌。

区域内分布的二级新构造单元是太行山凸起 (I₁),新生代表现为大面积抬升,形成多级夷平面和河流阶地。太行山南段发育的三级夷平面,其高度分别为 800~1000m、500~650m、270~350m,可见,新生代以来区内曾发生三次明显的隆起作用。其中 270~350m 高的夷平面最发育,其上保留上新世鹤壁组的沉积物,形成时代为上新世,相当于华北地区普遍分布的唐县面 (赵景珍等, 1991)。

2.3.3.2 北华北凹陷 (II)

位于区域东北部,分布在新乡-商丘断裂带以北地区,全区被第四系覆盖。自燕山晚期以来凹陷开始下沉,其中堆积 500~2500m 厚的新近系和第四系。由于基底断裂活动影响的差异,下沉呈不均衡状,使其形成次一级凹陷和凸起。构造线以北东向为主,伴有北西西向断裂活动。根据构造差异运动,又可细分出 6 个二级新构造单元。

1) 汤阴地堑 (II₁)

地堑基底为二叠系,上覆古近系、新近系和第四系,最大厚度 3000m 以上,四周被第四纪断裂围限,形成长条形北东向地堑,地堑南深北浅,向东微倾,表现为强烈的掀斜运动。

2) 内黄凸起 (II₂)

凸起基底为太古界、古生界。隆起时期为中生代。新近系、第四系不整合于其上,

沉积厚度较小约 500~2500m，西北薄、东南厚，凸起向东南倾斜。第四纪块体西升东降，具掀斜运动性质。四周被断裂围限，形成北东走向的条形块体。

3) 东濮凹陷 (II₃)

凹陷基底为古生界，其上有中生界覆盖。上覆新生代地层厚达 7000~9000m (河南省地矿局, 1989)，为新生代强烈下沉的断陷盆地。第四纪强烈下沉，南、北两头幅度最大，长垣以南深达 400m。凹陷走向北北东，四周断裂发育，主要为高角度正断层，其次为北西西向的平移断层。其活动主要受聊城-兰考断裂控制。

4) 临清凹陷 (II₄)

西界为太行山山前断裂带，受北北东-北东向断裂控制，新构造时期形成北东向隆起和凹陷相间格局。临清凹陷区的构造活动以靠近太行山山前断裂、聊城-兰考断裂和沧东断裂的南端附近较强，特别是这些断裂与北西向的磁县-大名断裂、永年断裂的交汇部位。但本区的地震活动较弱，仅在临清凹陷和太行山凸起两个新构造单元交汇处发生过 1830 年磁县 7½ 级地震，1708 年在永年断裂山发生永年 5½ 级地震。

5) 鲁中南强烈断隆区 (II₅)

本区为基岩隆起区，个别地方分布新生代以来的沉积，而且非常薄。新构造期以来，泰山、沂山及蒙山呈继承性抬升，区内发育有唐县期剥夷面，标高在海拔 400m 左右；临城期剥夷面，标高为海拔 150m 左右。由弧形断裂控制的单断盆地自东向西收缩，如莱芜北盆地、楼德-新泰盆地等，莱芜蒙山断裂东段第四纪张性断距只有 1~2m，而由这些断裂控制的盆地西段则有上百米的沉积，表明断裂活动西强东弱。区内的北西向断裂，中生代为正断层性质，控制一些山间盆地分布。在新构造期以来，处于总体上升状态，断裂活动明显减弱。断裂性质也由正断层转为逆冲断层。区内最大一次地震为 6.0 级，总体地震活动水平较低。

6) 鲁西南过渡区 (II₆)

华北平原沉降区新生代裂陷范围不断扩展，新近纪初期继续有充填式沉积，本区呈徐缓隆起状态，其后则普遍发生超覆。第四纪以来，本区与华北平原已浑然一体，呈总体沉降的趋势，形成了新的拗陷区。沉降幅度东小西大呈阶梯式，由于东西向断裂第四纪活动的强弱不同，又有南大北小的沉降差异。本区发育有近东西向或北西西向断裂，如汶泗、郟城、菏泽、单县等断裂；近南北-北北东向的曹县、巨野、嘉祥、峰山等断裂。这些断裂将本区切成菏泽凸起、郟城-成武凹陷、嘉祥凸起、济宁凹陷、

泗水凹陷等更小的次级新构造单元。菏泽凸起是一个继承性的隆起区，而区域性北东向聊考断裂的沉陷中心即前梨园，恰恰与此凸起相紧邻，成为该区反差最强的地段。该处北西向菏泽断裂上发生了1937年菏泽7.0级地震，成为地震活动最强的地区之一。郟城-成武凹陷是一个地堑式槽地，成为近代沉降区。沿此带分布着残留的湖泊洼地，埋藏着泥炭层，第四系地层最厚可达400m以上，而在郟城一带全新统沉积竟厚达140m，发生了1622年郟城6级地震。本区其它同级新构造单元的新构造运动幅度要比这两个单元弱许多，地震活动水平也小得多，为4~5级地震。

2.3.3.3 豫西差异隆起(III)

位于区域西南部，为大面积抬升隆起区，该区广泛出露震旦系及燕山期花岗岩，仅在隆起边缘有第四纪地层分布，主要受北西和北东向两组断裂控制。由于新生代断裂活动，使隆起区切割成隆升程度不同的次级块体，根据活动差异可细分出2个二级新构造单元。

1) 嵩山凸起(III₁)

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(III₂)

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

2.3.3.4 南华北凹陷(IV)

分布于新乡-商丘断裂带以南广大地区，是中新生代强烈下陷的地区。由于凹陷内部北西向、近东西向断裂的活动，形成多个次级凸起和凹陷，其构造走向也为东西或北西西向。其间堆积中生代中晚期陆相碎屑岩和火山碎屑岩，古近纪陆相地层厚达5000m以上。其后继承性下沉，堆积了厚约500~1000m的新近系和第四系，并形成今日之南华北平原。根据构造差异活动，可分为6个二级新构造单元。

1) 济源凹陷(IV₁)

分布于李万-武陟和老鸦陈断裂西北侧的济源凹陷,是中、新生代继承性下沉盆地。其沉降幅度达 6000~9000m。由北西和近东西向两组断裂控制,形成轴向为北西西的菱形块体。新近纪以后下沉速度减弱,并形成北升南降的掀斜式盆地,其相应的堆积物厚度达 200~400m。

2) 开封凹陷 (IV₂)

四周被第四纪断裂围限,北为新乡-商丘断裂,西为李迈-武陟断裂和老鸦陈断裂,南为上街-中牟断裂。凹陷总体走向北西西,是新生代强烈下陷的断陷盆地。新近系和第四系沉积厚度达 2400~3000m。沉降中心在原阳附近。凹陷西北深东南浅,具掀斜运动性质。第四纪继承性下沉、沉降中心在开封地区,最大厚度达 400m 左右。向西北厚度逐渐减薄,形成东南厚西北薄的掀斜块体。

工程场地即位于开封凹陷的东南部。

3) 太康凸起 (IV₃)

其总体走向呈近东西。基底主要为太古界和古生界,其上有新近系河湖相陆屑堆积,南、北两侧厚度大,达 1300m 左右,中间仅为 400m 左右。第四系厚达 100~200m。南北两侧受断裂控制,凸起内发育北西和北东向两组断裂。

4) 周口凹陷 (IV₄)

位于区域东北部的周口凹陷,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。

5) 西平-平舆凸起 (IV₅)

位于周口凹陷以南,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。

6) 驻马店-淮滨凹陷 (IV₆)

位于西平-平舆隆起以南,华北断块南缘断裂以北。凹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，北薄南厚，厚度约 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。

2.3.3.5 秦岭-大别隆起区 (V)

1) 北秦岭强烈隆起 (V₁)

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（太白山）高程 3600m，比古近纪夷平面（2500-2600m）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（6 $\frac{1}{2}$ 级）地震事件与其密切相关。

2) 南襄凹陷 (V₂)

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（6 $\frac{1}{2}$ 级）地震事件。

2.3.4 新构造运动与地震的关系

区域新构造运动与地震活动的关系主要表现在如下几点：

1) 一级新构造分区界线是地震发生的主要场所。如一级构造单元界线太行山东麓边界带和新乡-商丘边界带是历史上多次地震的发生带。磁县 7½级地震、修武 6 级地震和封丘 5½级地震等即发生在这些边界带上。

2) 二级新构造分区界线也是地震发生的重要地带，如菏泽 7 级地震即发生于东明凹陷与鲁西斜坡带的边界带上。又如汤阴 5½级地震即发生在汤阴地堑与内黄凸起的边界带上。

3) 垂直差异运动强烈的地带是地震发生的地带。如开封凹陷与内黄凸起之间是垂直差异运动十分强烈的地带，其新近纪以来的差异幅度达 1000 余米，在该带上曾发生过卫辉 6 级地震和封丘 5½级地震。

4) 凹陷内下沉最强烈的部位是地震发生的位置。如洛阳凹陷是新近纪以来下沉最强烈的位置，历史上发生过 5 级地震。

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

2.4 区域主要断裂活动特征及其与地震活动的关系

区域内第四纪断裂的分布见区域地震构造图（附图一）。该图以工程场地外延大于等于 150km 所覆盖的地区。该范围内涉及的断裂很多，晚更新世及其以后活动的断裂为本区的主要发震断裂，为此我们如数地将这类断裂编入图中，并在报告中作重点论述。另外，本区还分布一些中强地震，它们的活动在空间上与很多早、中更新世断裂相关，对这类断裂也编入了图中。

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

2.4.1 区域断裂活动性分述

区域内主要活动断裂基本特征列于表 2.4.1 中。本节将按表 2.4.1 给出的 16 条主要活动断裂进行论述。

表 2.4.1 区域主要断裂活动特征一览表

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	长治断裂	25°	SE 或 NW	60°	北段晚更新世, 南 段早-中更新世	正断
2	磁县-大名断裂	NWW	N	陡倾角	晚更新世末或全 新世早期	正断
3	汤西断裂	30°	SE		晚更新世	走滑正断
4	汤东断裂	30°	NW	陡倾角	晚更新世	走滑正断
5	长垣断裂	NNE	SE	50°	早、中更新世	正断
6	黄河断裂	NNE	NW	40° - 70°	早更新世	正断
7	聊兰断裂	20° ~ 30°	NW	50° ~ 70°	晚更新世—全 新世早期	走滑正 断
8	盘谷寺-新乡断裂	NEE	N/S	约 60°	早、中更新世	正断
9	封门口-五指岭断裂	310°	NE 或 SW	40° ~ 90°	中更新世	走滑正 断
10	新乡-商丘断裂	300°	NE 或 SW		早、中更新世	正断
11	新安-郟县断裂	NW	NE		早、中更新世	正断
12	郑州-开封断裂	EW	N	60~70°	前第四纪-早、 中更新世	正断
13	许昌-太康断裂	EW	S		早、中更新世	正断
14	曹县断裂	NNE	NW		早更新世	正断
15	鲁山-漯河断裂	NWW	N		早、中更新世	正断
16	栾川-确山-固始断裂	NWW	SW	60~70°	前第四纪-早、中更 新世	左旋走滑

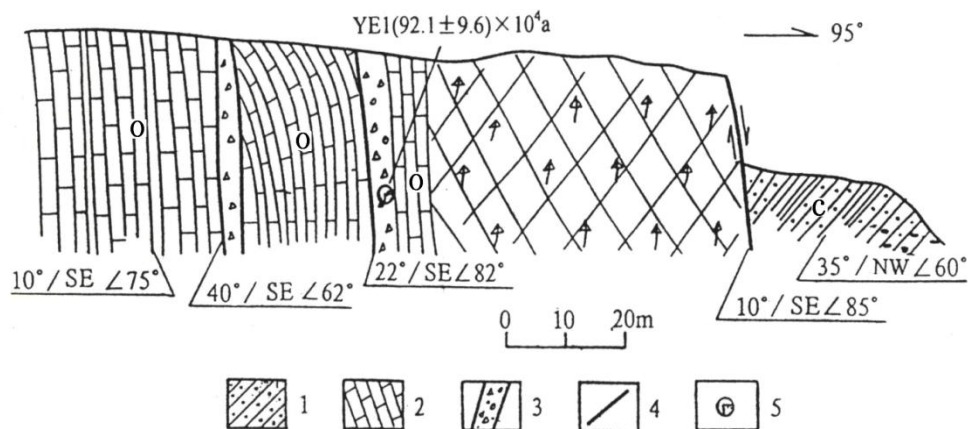
1) 长治断裂

断裂带南起济源北, 向北经晋城、高平、长治、获鹿, 总长 350km。区域内长 125km。总体走向 25°。倾向南东或北西, 倾角 60°左右, 正断为主。断裂控制长治盆地的发育。盆地内新生代沉积厚度达 248m, 反映了断裂带上盘的下降幅度。盆地东侧老顶山组成断裂带上升盘, 高出现代盆地 425m。根据下降盘上覆第四纪晚期堆积物分析, 断裂活动时代为晚更新世。

高平以南断裂活动性减弱, 据中国地震局地质研究所等 (2000) 研究, 断裂沿石炭系砂页岩与奥陶系灰岩的平行不整合面活动。在北岭村, 砂页岩与灰岩之间呈断层

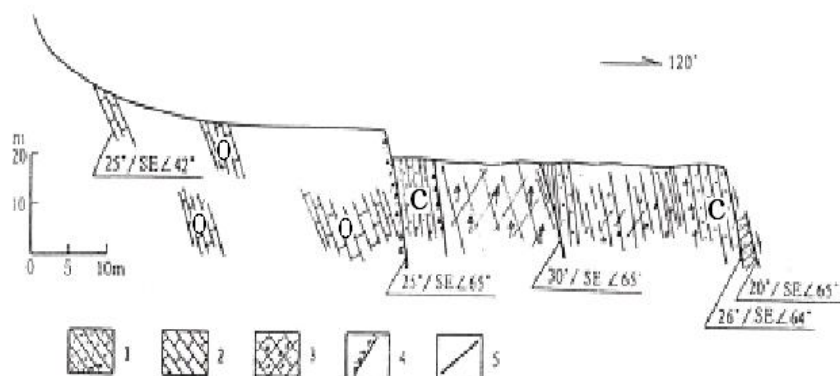
接触，构造带因两盘岩性差异强烈，地貌上表现为堙口，总体走向 30°。构造带宽约 60m，具多期活动特点，带内岩石破碎，发育构造角砾岩和断层泥，同时发育不同方向的节理。构造角砾岩由不同程度的硅质、钙质胶结，断层泥具较强的高岭土化，剖面上没有发现新构造活动的迹象。往北，在晋城南村镇北西村采石场，断裂构造带揭露比较完整（图 2.4.1）。断裂带宽 100m，东侧一直延续到盆地边缘，由构造破劈理带、构造角砾岩和灰岩透镜体组成。构造角砾成分为灰岩，具钙质胶结，取其旁侧断层泥用电子自旋共振测年，结果为 $(92.1 \pm 9.6) \times 10^4 \text{a}$ 。盆地边缘，没有断层陡坎等构造地貌，说明构造带没有新活动。再往北，在寺河村西南采石场，构造带特征与上述剖面基本相同（图 2.4.2），而构造角砾岩胶结更为致密，早期断层泥也已胶结固化。断裂带具有多期次活动特点。

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



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

图 2.4.1 南村镇北西村断裂剖面图



1. 石炭系砂页岩；2. 奥陶系灰岩；3. 断层破碎带；4. 断层角砾岩；5. 断裂

图 2.4.2 寺河村断裂剖面图

2) 磁县-大名断裂

该断裂为内黄隆起和临清凹陷的分界断裂，东起朝城，西经大名、临漳、磁县北，进入太行山区，到峰峰、陶泉以西，走向北西西。该断裂是中生代以来长期发育的一大断裂，控制了古生界地层的构造形态和中生代岩浆活动以及地震活动，断裂南侧内黄隆起上除元村凹陷外，普遍缺失中生界和古近系地层，新近系直接覆盖于太古界和古生界地层上。

断裂北侧临清凹陷内中生界地层发育，古近纪时期断层活动不强烈，下降盘一侧未形成明显的沉降中心。新近纪以来断裂活动较为强烈，下降盘一侧在大名以西新近系-第四系厚达 1800~1900m，较上升盘厚 200~300m，新近系底面西段落差为 200m，东段落差为 300m。

该断裂是一条活动较强的断裂，据记载发生较大的地震有：1654 年朝城 5½级地震、1830 年磁县 7½级地震、1889 年大名 5 级地震、1314 年涉县 6 级地震。1970 年以来在峰峰-磁县一带发生多次 $M_{1.0}$ 级以上地震。

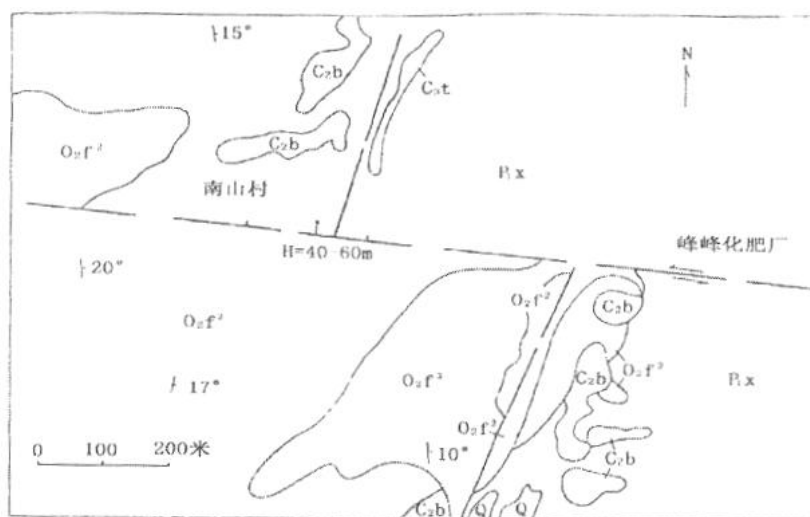


图 2.4.3 磁县南山村西坡地震断层分布图

该断裂在磁县西峰峰南山村，断错基岩山体，形成一个东西向延伸，南高北低高差 100m 的断层抖崖，并切割了该处的北北东向断裂，水平位移 300~400m，垂直位移 40~60m（图 2.4.3）。该断裂显示了左旋走滑正断层活动性。

在磁县西南山村通过开挖探槽揭示了该断裂。（图 2.4.4 和图 2.4.5）剖面显示北

盘为砂岩(C-P)，其上覆盖全新世坡积物，南盘为含燧石灰岩，断裂破碎带宽约2~3m。断层破碎面有2~3条，其中有两条主滑面，断面平直光滑，擦痕明显，倾伏角35°，明显左旋正断性质。断层泥较厚，热释光测年值为8.6万年。地形上显示了基岩地貌陡坎。

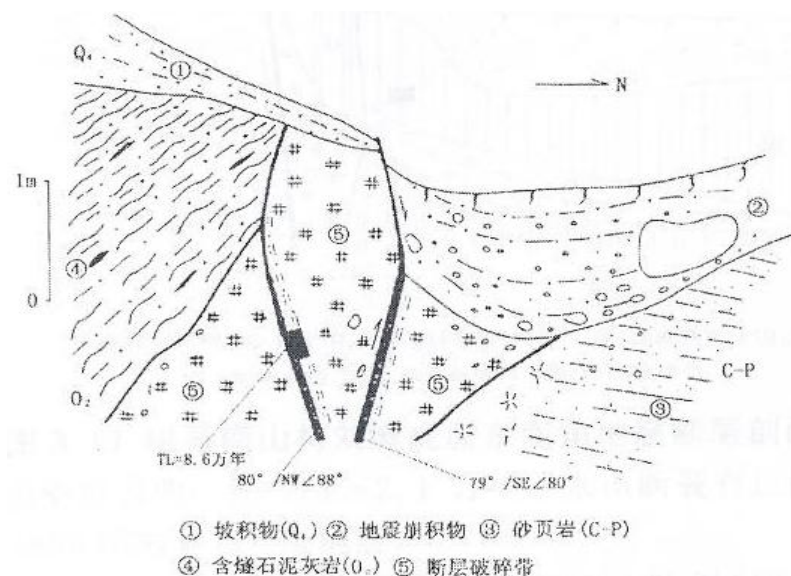


图 2.4.4 南山村断层断层剖面 1

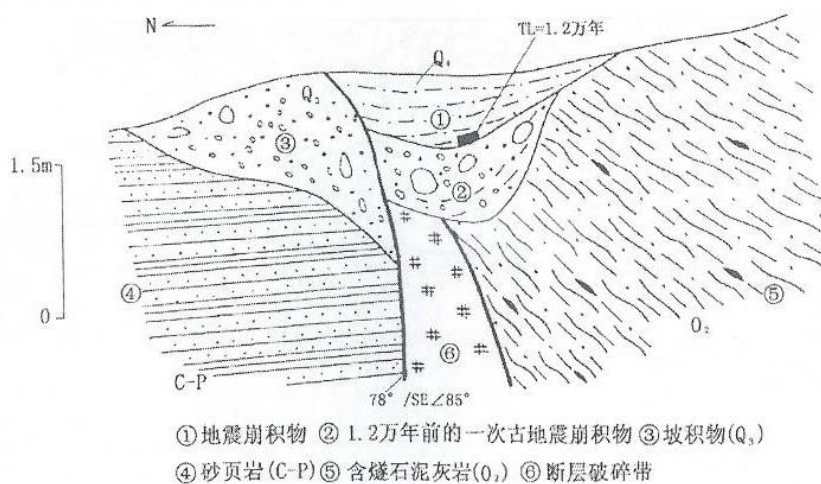


图 2.4.5 南山村断层断层剖面 2

在南山村刘马虎屋东南角开挖了一断层剖面(图2.4.6)从该剖面可看出，崩积碎石层③显示了2.4万年地震事件；②层为沉积后的地震事件；①层崩积物代表了最新一次地震事件。两次地震事件的垂直位错最大为1.4m。以上剖面的资料表明，在2.1~2.4万年以来该断裂发生过两次地震事件，最新的一次为1830年磁县7½级地震。

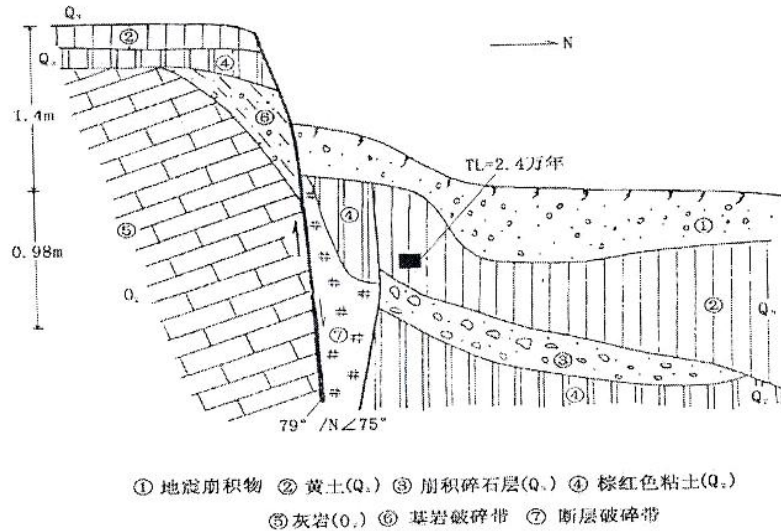


图 2.4.6 磁县南山村刘马虎屋东南断层剖面

上述资料表明，磁县-大名断裂为 1830 年磁县 7½ 级地震的发震断层，地表破裂由数条北东东向次级断裂右旋斜列而成，该断裂晚更新世晚期以来有过两次错断地表的活动，因此该断裂为晚更新世以来活动的断裂。

3) 汤西断裂

汤西断裂南起新乡市西侧，向北延伸经青羊口，北至汤阴宜沟附近，全长 90km。走向 30°，倾向南东。该断裂南段古近纪时期活动强烈，汲县次凹靠下降盘一侧古近系厚度 3600m，上升盘一侧仅有零星分布。新近纪时期也有过强烈活动，断裂西侧（上升盘）出露太古界及古生界以及少量的新近系，东侧（下降盘）新近系-第四系厚度可达千米以上（其中第四系较薄仅 30 m）。青羊口附近新 33 孔孔深 896.14m，卫辉岱村附近陈 16 孔孔深 991.20m 均未穿透新近系，新近系底板落差可达 1000m，可见该断裂在新近纪有强烈活动。上新统鹤壁组砾岩层顶面落差幅度由北向南加大，在淇县沧河出口处为 25m，到新乡市北潞王坟组泥灰岩落差 70m。该断裂也明显地显示出水平运动迹象，汲县西岱村十里桥南可直接见到鹤壁组砾岩被错断的现象，该处据探槽揭露（2.4.7），中更新世晚期或晚更新世早期的棕黄色粘土与鹤壁组砾岩呈断层接触，断面平滑，可见到向南西方向的斜向擦痕，反映出该断裂东盘沿断层面作斜向滑动的右旋正断层（河南省地震局，1989），据被断错地层分析为晚更新世活动断裂。据刘尧兴等（2001）研究，最新一期活动可能发生在晚更新世末。

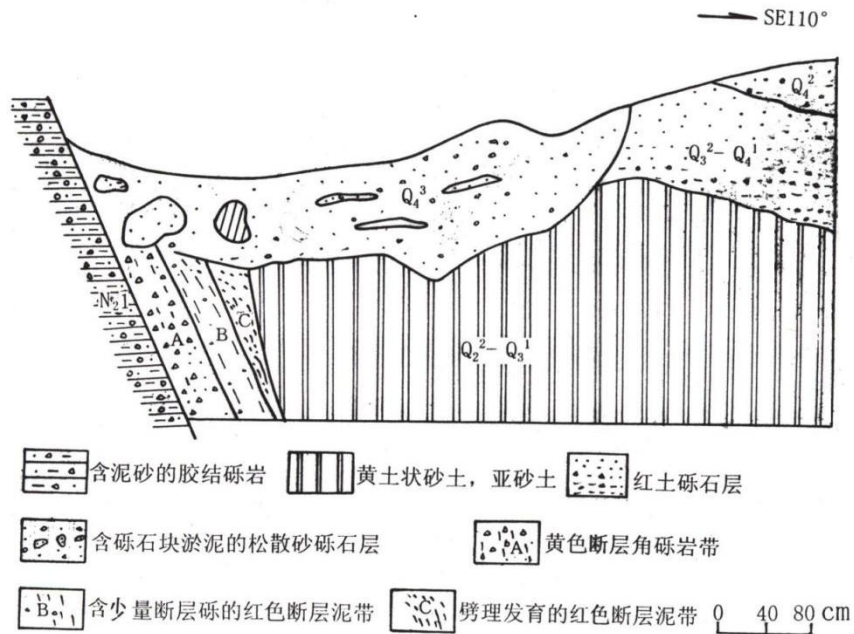


图 2.4.7 大谷驼探槽 (河南省地震局, 1989)

4) 汤东断裂

该断裂长约 100km。走向 30°，倾向北西，陡倾角，正断为主。它位于汤阴地堑东侧，隐伏于第四纪冲洪积物之下。断层上盘浚县隆起为太古界，隆起西陡东缓，向东倾伏，地表零星出露下古生界，呈残山分布于平原上。下盘汤阴凹陷沉积了巨厚的新近系。从地貌上看，沿断裂东侧浚县隆起出露新近系湖相沉积物，形成垅岗地形，西侧形成一条狭长的洼地，新近系湖相沉积物被第四系冲洪积物埋于地下 10~48m。河流坡降比较明显，在淇河西板桥坡降突然变陡，在卫河一段坡降值为零。这反映了汤东断裂西盘沿此段有明显的下沉。沿断裂为布格重力异常梯度带通过处，地壳厚度在 34~36km 之间，其深部断差达 1~2km。断裂南段对第四系等值线有明显的控制作用。沿断裂发生过 1814 年汤阴 5½ 级地震和 344 年卫辉 6 级地震，为晚更新世活动断裂。

5) 长垣断裂

详见近场描述。

6) 黄河断裂

详见近场描述。

7) 聊城-兰考断裂

该断裂南起兰考县，向北经范县、聊城至韩屯转向北东，全长约 360km，区域内仅是该断裂的南段。断裂走向 20~30°，倾向北西，倾角 50~70°，为一上陡下缓的

铲形滑脱正断层。该断裂是华北盆地与鲁西隆起的分界断裂，在中、北段控制西侧的莘县凹陷和东濮凹陷的发育。断裂下盘的鄆1孔孔深826m穿过新生界见石炭系，而上盘东参1孔深达3335m尚未穿过新生界。从断裂两盘第四系厚度对比表明该断裂仍在持续活动，下降盘的东参1孔第四系厚度可达329m，而断层东侧的上升盘，第四系仅170~200m。人工地震结果表明（石油部门），该断裂为一断面倾向北西的正断层，并且断距愈往深处愈大。从新近系至奥陶系顶面断距由100~200m加大到7500m，而第四系底面落差达40m左右。布格重力异常沿断裂形成窄且密集的陡变带，陡变带宽约5~10km，最大变化梯度达 $4.2 \times 10^{-5} \text{ms}^{-2} / \text{km}$ 。航磁异常沿断裂也有明显的显示。地壳厚度和上地幔高导层埋深也形成较明显的梯度带。水准测量（1980~1988）表明上盘仍在下沉，速度为 $0.73 \text{mm} / \text{a}$ 。沿断裂及其两侧发生过多中强地震。

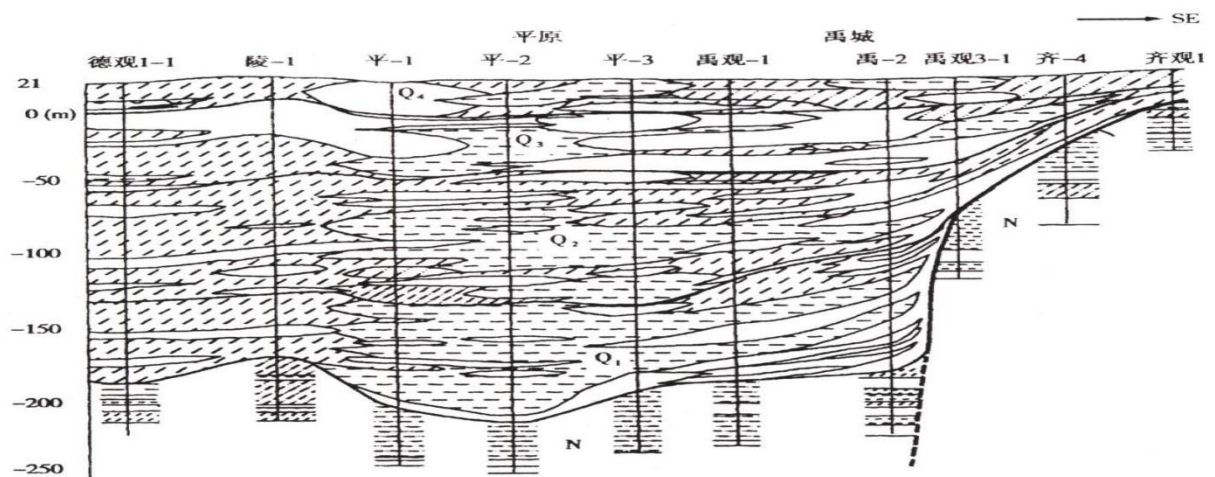


图 2.4.8 平原—禹城钻孔地质剖面 (VI)

根据山东地矿局第二水文地质工程地质大队（1988）编的第四系地质剖面（图 2.4.8 和 2.4.9），早、中更新世断裂两侧垂直差异运动明显。剖面通过禹城和聊城东南侧，新近系断差达100~200m，早、中更新世断差达50~100m左右（魏顺民等，2001）。

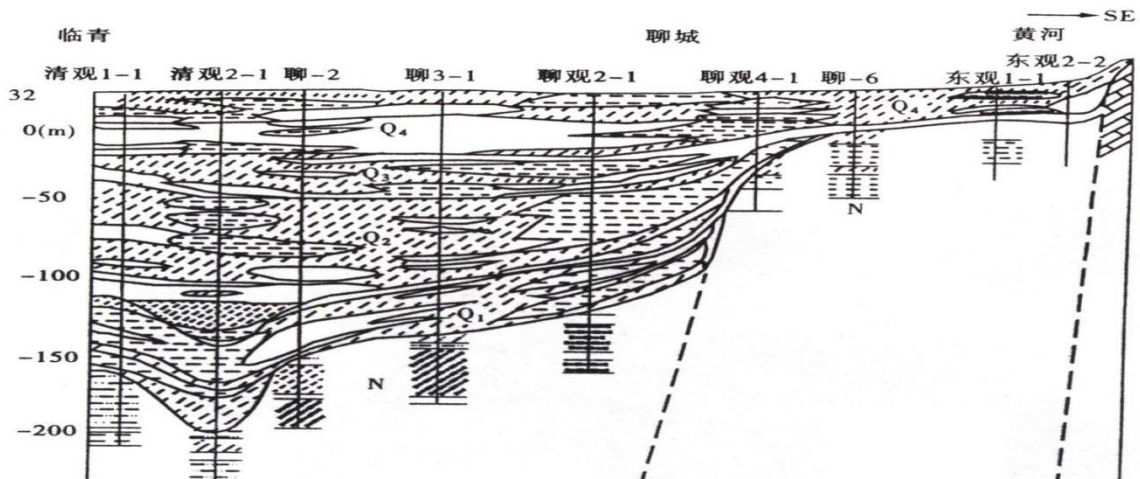


图 2.4.9 临清—聊城钻孔地质剖面 (VIII)

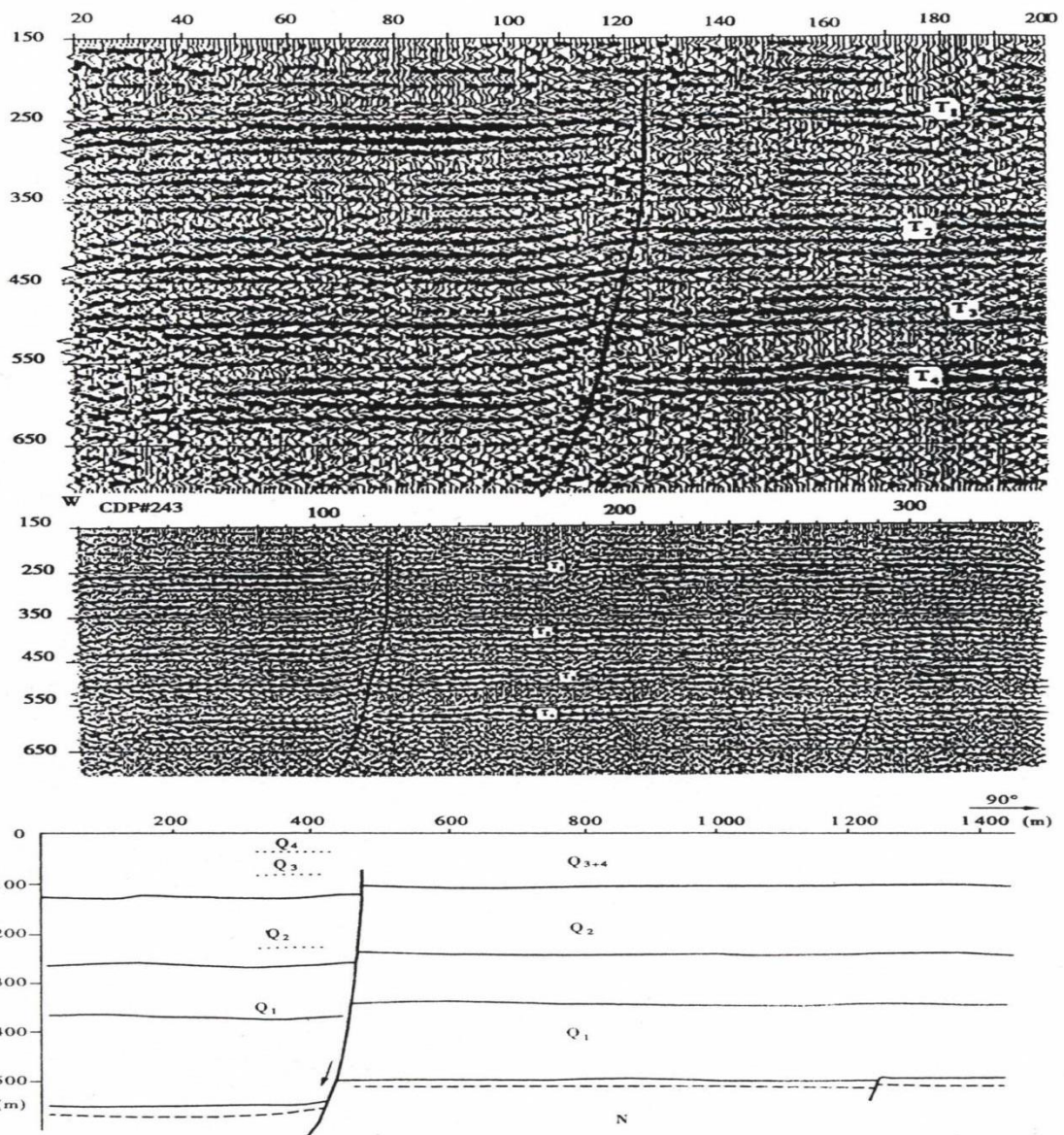
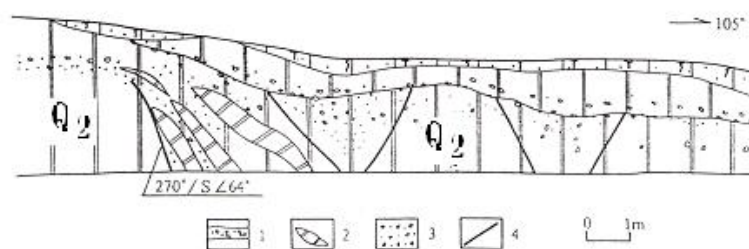


图 2.4.10 兰考慈庙浅层地震剖面 (上、中) 及地质解释 (下) 图 (王基华等, 2001)

据王基华等（2001）对断裂进行浅层地震勘探研究，发现穿过兰考憨庙的浅层地震剖面，断层活动影响到晚更新世地层（图 2.4.10）。可见，聊城-兰考断裂是一条晚更新世-全新世早期活动的断裂，1937 年断裂附近还发生过菏泽 7 级地震。

8) 盘谷寺-新乡断裂

盘谷寺-新乡断裂带位于太行山东南麓，西起克井盆地以西的山区，向东经交地、盘谷寺、河口、仙神口、柏山，再向东成为隐伏断裂，直到新乡南的郎公庙，全长约 200km。总体走向北东东（NE85°左右）。据研究，西段（即焦作断裂带）断裂带宽约 20~70m，两盘基岩北升南降，落差大于 700m。在八一水库中更新世红土层被错断。在八一水库、交地、成家庄采取的断层泥样品，经石英颗粒表面结构分析表明：该断裂活动时代为上新世-中更新世。沿断裂追索，从东鹿寨至行口村，新活动地貌不明显，断裂主要发育在基岩中。在西行口紧靠山前，见有宽 20~50cm 的正断层切断了上新世砂岩层。从行口村往东，断裂上盘中更新统分布位置相对较高，至西模石坡，山前开始分布有上更新统黄土，但二者之间未见断裂活动。在龙门河东岸数个开挖剖面上可见一系列断错现象（图 2.4.11），断层产状 $270^\circ / S \angle 64^\circ$ ，表现为中更新统古土壤和钙结核层产状的不连续，还存在地堑式断错结构。在被断错地层的上部为次生红色富钙结核黄土，堆积时代应在中更新世晚期或晚更新世早期，说明此处断裂晚更新世以来已不再活动。略往东，在西万村北山麓，焦作至晋城公路边，见第四系与奥陶系灰岩接触。开挖发现下部发育有砖红色古土壤的含砾砂土被断错，错动面宽约 10cm，为青灰色砂土，沿断面发育定向排列的石块；而剖面上部，上更新统灰黄色砂土与灰岩的接触面凹凸不平，不见定向排列的石块，显然不存在位错痕迹。由此可认为，断裂错断了中更新世地层，而被晚更新世坡积物覆盖，坡积物底部的热释光样品年龄测定为 $(2.37 \pm 0.19) \times 10^4 a$ ，表明断裂自晚更新世晚期以来不再活动（中国地震局地质研究所等，2000）。



1. 水平状分布钙结核、钙板；2. 红色古土壤；3. 钙结核；4. 断层

图 2.4.11 龙门河断裂剖面图

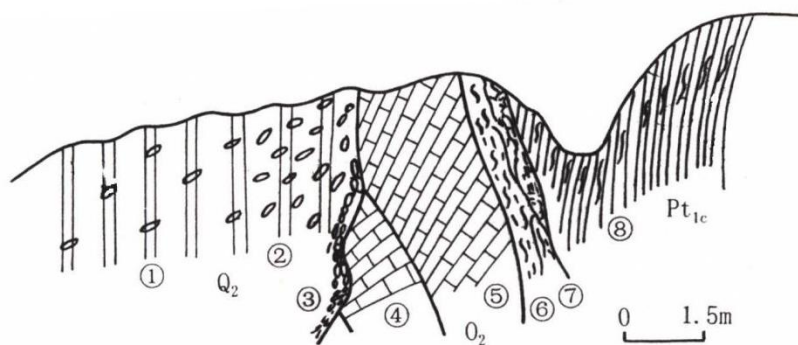
中段断裂据煤田钻探及人工地震勘探资料，基岩最大断距可达 1500m，而且中间断距大，向两端逐渐变小。东段倾向北，倾角约 60°，新生代最大断距可达 800 多米，正断层性质。沿断裂有一些小震发生。

综上所述，断裂带具有多期活动特点，表现为早期倾角平缓的逆冲推覆构造和晚期靠近盆地一侧发育的高角度正断层。为早、中更新世活动断裂。

9) 封门口-五指岭断裂

总体走向北西，由数条断层组成。据河南省地震局（1989）研究，该断裂基本上以黄河为界分为两段，北西段为封门口断裂，南东段为五指岭断裂，全长约 100km。

封门口断裂：北起封门口以北，向南东方向延伸，经清虚宫，阳台宫，济源，西承留，孟州南，出露长度 32km。走向 310°，倾向南西，倾角 40°~70°。断层下盘出露下元古界，上盘为二叠系和三叠系。从地层对比分析，垂直断距可达 2000m。沿断裂带有 500~800m 宽的动力变质带。卫星影像线性构造特征明显，界线清楚。断裂早期具张性，晚期具压扭（左旋运动）性质。断裂带地貌界线十分清楚，断层崖及断层三角面发育。在阳台宫中更新统被错断（图 2.4.12）。向南东方向延伸隐伏于第四纪冲、洪积物之下，成为济源盆地的西南边界，继续向南东方向延伸与五指岭断裂相接。



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

图 2.4.12 封门口断裂破碎带素描（阳台宫）

五指岭断裂：由北西向南东方向延伸，经偃师县境内、巩义涉村、登封卢京、新密，隐伏于第四纪松散沉积物之下，延伸至长葛一带，出露长度 20 余千米。断裂走向 315°，倾向南西（局部倾向北东），倾角 75°~90°。航磁 ΔT 向上延拓 10km 和 20km 后，有一北西向磁异常梯级带与五指岭断裂相吻合。

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

在断裂附近历史上曾发生过中等强度的地震。如 1814 年荥阳贾峪 5 级地震以及现今的小震活动。

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

10) 新乡-商丘断裂

西起新乡市北，向南东方向延伸，经延津塔铺、封丘、兰考、民权、商丘、夏邑延入安徽省境内，长达 250km，区内长 220km。根据重力、航磁资料，尤其航磁异常延拓 10km 和 20km 后，具有明显反映，至少有两条近于平行的断裂组成。走向 300°，被北北东或北东向断裂切割成若干段，倾向多变（北东或南西）。据钻孔资料，封丘—兰考一带有喜山期玄武岩、安山岩及酸性火山岩等分布。该断裂控制了开封凹陷及新生界的沉积，构成了开封凹陷的北缘断裂。该断裂以北，以北东向和北北东向构造块体和断裂为主，河流的流向自南西向北东二者走向一致。该断裂以南，以近东西向和北西向构造盆地和断裂为主，河流的流向自北西而南东流去，河流与构造线的方向趋于一致。说明该断裂是一条控制构造和地貌差异的分界断裂，属早、中更新世断裂。

沿此断裂带地震活动亦较频繁，公元 344 年卫辉 6 级地震，1737 年封丘 5½ 级地震和 1978 年新乡 4.5 级地震等。这些地震的震中基本上落在北西向断裂与北北东向断裂的交汇部位。详见近场描述。

11) 新安-郟县断裂

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

质局，1965）。正断层运动性质。从断裂对盆地的控制作用分析，为早、中更新世断裂。

12) 郑州-开封断裂带

据河南省地震局研究（1989）和郑州活断层探测（2008）结果显示，该断裂由多条近东西向断裂组成。由北往南有：上街断裂、须水断裂、中牟断裂、中牟北断裂和开封断裂等，全长约 120km。

（1）上街断裂：在荥阳附近已有四条地震剖面控制了断裂的位置，为查明其向东延伸情况又做了两条人工地震剖面，从第 3 测线反射波图形看， T_p 、 T_g 波有明显错断，断距在 200m 左右。其东延部分有数条测线控制，确定断裂的可靠断点有 10 个之多，所以断裂的存在及位置是准确无疑的（河南省地震局，1989）。

断裂走向东西，倾向北，倾角 70° 。北盘下降，南盘上升，为一正断层。西起上街，经郑州市区，一直延到中牟县境内，被北西向断裂切割为数段。为前第四纪断裂。

郑州活断层探测在上街断裂共布设了 4 条浅层地震反射测线，在 CQZ3 测线地震反射勘探线剖面上有地层存在尖灭现象，它反映了上、下第三系为角度不整合接触。分别在测线桩号 1785m、1425m 和 885m 三处出现同相轴错动和中断现象，表明在这些地方存在断层，这三个地层断点向上都没有错断 T11 地层界面，即都没有错断上第三系。

（2）须水断裂：断层西起南新庄，向东经十二里铺、须水、郑州市至圃田，全长 40 余千米。

根据郑州活动探测使用的人工地震勘探、高密度电法勘测及地球化学勘探综合分析认为：须水断层是一条视倾向北的正断层，倾角 $60^\circ \sim 70^\circ$ ，断层带浅部和深部的断层组合形态复杂。须水断层西段将 Q_2 错断， Q_3 地层连续，未被须水断层错断，东段未错断 Q_2 、 Q_3 地层，属早、中更新世断层。

（3）中牟断裂：有 6 条地震测线控制， T_g 反射界面明显错断，断距 500~1000m。断裂发生在新近纪以前，新近系沉积连续，产状平缓，没有被错断的迹象，为前第四纪断裂。该断裂走向东西，倾向北，倾角 $65^\circ \sim 70^\circ$ ，为正断层。

郑州活断层探测布设的测线 XQZ1 浅层地震探测剖面显示，中牟断层在该测线上没有错断第四纪地层。

(4) 中牟北断裂：有 15 条地震勘测线控制，地震剖面上 Tg 反射波错动在 400m 以上，控制了古近纪地层的沉积，而且还控制了侏罗-白垩系沉积，未波及新近系地层，为第四纪早期断裂。断裂走向近东西，呈舒缓波状，倾向北，倾角 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，为正断层。

(5) 开封断裂：为一隐伏断裂，走向近东西，倾向北，西起郑州，向东延伸经中牟县城北，过杏花营、开封县城，继续向东与新乡-商丘断裂相交，全长 130km，倾向北，倾角上陡下缓，为正断层。据水文地质资料，该断裂带中段在第四纪地层中也有错断显示，是一条早、中更新世活动断裂。

13) 许昌-太康断裂

断裂西起许昌北、经鄢陵向东延到太康，止于北东向曹县-太康断裂西侧。呈近东西向分布，全长 135km。西段分布于太康凸起上，东段成为太康凸起与周口凹陷之间的分界。为倾向向南的正断层。断裂控制基底的升降差异，北侧隆起，南侧下沉，落差达 2~3km。新近纪和第四纪断裂继承性运动，北部沉积厚度 800~1000m，南部厚度 1400~1600m，落差达约 600m。据此推测为早、中更新世活动断裂。沿断裂有多次中强震发生，如 1820 年许昌 6 级、1675 太康 $5\frac{1}{2}$ 级地震和 2010 年 10 月太康 4.7 级地震等。

14) 曹县断裂

断裂西南自太康起，向东北经睢县，到达曹县东北止。分布于区域东南侧，呈北北东向展布，全长大于 140km。构造上断裂分布于太康凸起东部。为倾向北西的正断层。基底落差达 1000m 左右，新近纪继承性运动，西北盘下降，东南盘上升，断差达 200m 左右。对第四纪地层的沉积有控制作用，第四纪 240~260m 等厚线沿断裂分布。推测为早更新世断裂。

15) 鲁山-漯河断裂

断裂西自车村西，经鲁山、叶县北、漯河南，再向东南经老城进入安徽境内，全长大于 280km。呈北西西向展布。断裂西段（鲁山以西）分布于震旦系基岩内，对大地貌有一定的控制作用，断裂走向与山脉延伸方向一致。东段（鲁山以东）全部隐伏于新生代盆地组成的周口凹陷内（地质部西北地质局，1965），断裂使基底产生南盘升、北盘降的垂直差异运动，断差达 1000~2000m。新近纪以后断裂为正断层运动性

质，鲁山-漯河段南降北升，断差达 300m 左右漯河-老城段南升北降，落差达 500m 左右。对第四纪地层的沉积有明显控制作用，其厚度北厚南薄，其断差达 40~60m。推测为早、中更新世断裂。沿断裂于 1662 年发生过项城 $5\frac{1}{2}$ 级地震。

16) 栾川-确山-固始断裂

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 2007，2009；北京中震创工程技术研究院，2009）为走滑性质，其活动时代为早中更新世。关山以东，野外地震地质调查结果显示其为前第四纪断裂。

2.4.2 断裂活动与地震的关系

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

1) 作为第四纪活动块体的边界断裂是强震和中强震的发震断裂，如山西隆起与华北凹陷之间的边界断裂：汤西、汤东断裂和新乡-盘谷寺断裂历史上多次发生过 5~6 级地震。

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

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

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

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

2.4.3 区域地震地质环境特点

区域内涉及 2 个一级大地构造单元，即华北准地台和秦祁褶皱系。其中华北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；秦祁褶皱系虽属强烈活动的构造单元，但其东段又相对稳定。可见，从所处的大地构造部位而言，区域北部稳定性较差，历史上发生过 6~7 级强震，南部稳定性较好，仅有 5 级左右地震发生。

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。区内存在北东、北西西、近东西向的重、磁异常梯度带和地壳厚度转折带，发生的地震多与这些异常带有关。如菏泽 7 级地震与聊—兰考重力梯度带和航磁异常带分布一致；磁县 7½ 级地震与太行山东侧重力梯级带和地壳厚度转折带相关；修武 6 级地震与新乡—焦作磁场异常带相关；汤阴 5½ 级地震、洛阳 5 级地震与太行山地壳厚度陡变带相关等。

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 6 个一级新构造单元和 17 个二级构造单元。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，如修武 6 级和封丘 5½ 级地震以及菏泽 7 级等地震即发生在太行山东麓、新乡—商丘、聊城—兰考新构造运动的边界带上；有的地震发生在垂直差异运动强烈的地带上，如卫辉 6 级、封丘 5½ 级地震即发生在开封凹陷与内黄凸起之间差异运动强烈的地带；凹陷内下沉最强烈的部位是地震发生的场所，如洛阳发生的 4¾ 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，如太康凸起上的两个局部下沉区历史上发生了许昌 6 级和荥阳 5 级地震。

区域内断裂构造发育，虽然晚更新世活动断裂，特别是全新世活动的断裂分布较少，但它们是强震和中强震的发震断裂；区内较多的某些隐伏的早、中更新世断裂可能与中强地震发生有关。全新世有过活动的聊城—兰考断裂发生过菏泽 7 级地震；几条晚更新世活动断裂历史上都有发生过地震的记载，如汤东断裂历史上发生过一次 6 级和一次 5½ 级地震；某些地震的发生其空间位置与隐伏的早、中更新世断裂有关，如新乡—商丘断裂发生过 6 级和 5½ 级地震，鲁山—漯河断裂上发生过 5½ 级地震，许昌—太康断裂上发生过 6 级地震，曹县断裂上发生过 5½ 级地震。

2.4.4 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) $M \geq 7$ 级地震发生的构造条件:

①新构造时期存在强烈差异活动的次级块体边界;

②晚更新世至全新世具有明显活动的断裂,如聊城-兰考断裂;

③新近纪至第四纪具有强烈活动的断陷盆地,如东明凹陷及其主断边界(东边界);

④布格重力异常梯度带、航磁异常带、地壳厚度转折带等均是这一级别地震发生的地带,如聊城-兰考一带即属这样的地球物理异常带;

⑤现代形变的高梯度带;

区域内发生的一次 7 级菏泽地震即与上述构造条件有关。

2) $M=6 \sim 6.9$ 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,如修武 6 级地震与新乡-焦作磁异常带有关等;

③一、二级新构造分区界线是这一级别地震的发生带,如修武 6 级即发生在太行山东麓、新乡-商丘新构造运动分区的边界带上;

④晚更新世断裂是这一级别地震发生的重要条件,如汤西、汤东断裂历史上即发生过一次 6 级地震;

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;

⑥地震形变梯度带,如许昌 6 级地震发生在这种形变梯度带上;

3) $M=5 \sim 5.9$ 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,如汤阴 $5\frac{1}{2}$ 级地震、鄆陵 $5\frac{3}{4}$ 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,如封丘 $5\frac{1}{2}$ 级地震发生在开封凹陷与内黄凸起之间的差异带上;

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,如太康 $5\frac{1}{2}$ 级地震、项城 $5\frac{1}{2}$ 级地震的发生与曹县断裂和鲁山-漯河断裂有关;

⑤现代地壳形变的下沉中心也会发生这一级别地震。

2.4.5 区域地震构造综合分析

1) 区域范围涉及二个一级大地构造单元。其中涉及最为活动的华北准地台中相对较弱的南部；涉及强烈活动的秦祁褶皱系中相对稳定的东段；

(2) 区域北部稳定性较差，历史上发生过6~7级地震；南部稳定性较好，仅有5~6级左右地震发生；

(3) 区域重磁异常和地壳厚度变化地带呈北东、北西西、近东西向，有较好的一致性，与地震分布有较好的对应关系；

(4) 工程场地所属的新构造单元是南华北拗陷区中的开封凹陷，其南部和太康凸起相接，西临济源凹陷，再往西南为豫西隆起；

(5) 新构造运动总体比较明显。主要表现为大面积升降运动和伴随断裂控制下的隆起和凹陷运动。一、二级新构造分区界线、垂直差异运动强烈地带和凸起内局部下沉部位都是地震发生的场所；

(6) 区内断裂构造发育，主要有16条，其中5条为晚更新世或全新世活动断裂，历史上发生过中、强地震；其余10条绝大多数为早、中更新世断裂，有些隐伏断裂可能与中、小地震活动有关；

区域北部的太行山前断陷带和聊兰断裂带具有发生7.0~7.9级地震的构造条件，而其他部位则有发生6.0~6.9级地震的构造条件。

3 近场区地震构造特征

本研究中的近场区是指工程场地外延不小于 25km 的范围。该范围内主要断层有黄河断裂、新乡—商丘断裂、开封断裂、中牟北断裂、中牟断裂、杨村断裂、芦医庙断裂和长垣断裂（附图二）。

3.1 近场区地层与地貌特征

3.1.1 第四纪地层

全新统（Q₄）

全新世地层覆盖了近场区，在近场区广大地区，岩相为冲积相和风积相的粉砂质粘土、粉砂、细砂。黄河河漫滩为现今堆积的冲积细砂、粉砂质粘土等。本统厚度 20~50m。全新世地层以冲积成因为主，伴有少量的风成堆积，堆积物为粉砂、细砂和粉砂质粘土。

3.1.2 近场区地貌特征

近场区内地貌为冲积平原区，新近纪以来长期处于沉降状态，形成地势低平、开阔的黄河冲积平原、黄河河漫滩和风成沙丘，海拔高度分别为 85~100m 左右。

近场区内在黄河冲积作用下，以堆积地貌类型为本区的主要成因类型。大致可分为黄河漫滩和黄河泛流平原两种类型。

3.2 近场区新构造活动特征

近场区自始新世开始，地壳发生了强烈的拉张裂隙，使一些大的断块开始解体，形成众多的断陷盆地。在凹陷内沉积了较厚的古近系地层，隆起区未接受沉积。这时期的断裂活动强烈，断裂深度达到上地幔，钙碱性岩浆活动频繁，在兰聊、开封断裂带上发生多次玄武岩浆喷发，后期的基性岩脉也相当发育。

近场区可划分为三个新构造单元：东北部为东明凹陷，中部为开封凹陷；南部为太康凸起。

东明凹陷：位于豫鲁两省交界，东、西、南三面分别被聊兰断裂、长垣断裂、焦作—商丘断裂所围陷，呈北北东向展布于豫鲁两省交界的范县、濮阳、长垣、

东明、兰考一带，面积约 400km²。据物探及钻孔资料揭示，凹陷基底为上古生界，其上为新生界，局部有中生界，最大厚度可达 7500m 以上。东明凹陷构造线方向为北北东向。断裂比较发育，主要为北北东向高角度正断层，次为北西西向平推正断层。自燕山旋回晚期以来，主要断裂长期活动，控制着东濮凹陷的形成和发展。

开封凹陷：四周被第四纪断裂围限，北为新乡—商丘断裂，西为李迈—武陟断裂和老鸦陈断裂，南为中牟断裂。凹陷总体走向北西西，是新生代强烈下陷的断陷盆地。新近系和第四系沉积厚度达 2400~3000m。沉降中心在原阳附近。凹陷西北深东南浅，具掀斜运动性质。第四纪继承性下沉、沉降中心在开封地区，最大厚度达 400m 左右。向西北厚度逐渐减薄，形成东南厚西北薄的掀斜块体。

太康凸起：其总体走向呈近东西。基底主要为太古界和古生界，其上有新近系河湖相陆屑堆积，南、北两侧厚度大，达 1300m 左右，中间仅为 400m 左右。第四系厚达 100~200m。南北两侧受断裂控制，凸起内发育北西和北东向两组断裂。

3.3 近场区主要断裂的活动性研究

根据郑州市基岩地质图（1：10 万）（河南省地矿局，1988）和开封市水文地质图（1：20 万）、郑州市郑东新区地震小区划报告（中国地震局地质研究所等，2003）和豫北地区新构造活动特征及中长期地震预报研究（刘尧兴等，2001），近场区范围内的主要断层有黄河断裂、新乡—商丘断裂、开封断裂、中牟北断裂、中牟断裂、杨庄断裂、芦医庙断裂和长垣断裂（附图二）。以下利用近场区内钻探、地球化学探测、浅层地震勘探、第四纪地层和年代测定资料，再结合微地貌信息讨论近场区内主要断层的活动性，结果见表 3.3.1。

表 3.3.1 近场区主要断层活动性一览表

断层编号	断层名称	产 状			最新活动时代	最新活动性质	距场地距离 (km)
		走向	倾向	倾角			
1	黄河断裂	NEE	NW	40-70°	早更新世	正断	22.7
2	新乡—商丘断裂	NWW	SW	60-70°	早、中更新世	正断	29.8
3	开封断裂	EW	N	65° ~70°	早、中	正断	8.7

					更新世		
4	中牟北断裂	NWW	NNE	65-70°	前第四纪	正断	31
5	中牟断裂	EW	N	70~80°	前第四纪	正断	19.2
6	杨庄断裂	NE	NW	50-65°	早、中更新世	正断	31.2
7	芦医庙断裂	NW	SW	60~75°	前第四纪	正断	53
8	长垣断裂	NNE	SE	50°	早、中更新世	正断	35.9

3.3.1 黄河断裂

该断裂北起范县，南至封丘，纵贯东濮地堑中央。断裂走向北北东，倾角40°-70°。是控制地堑内部二级构造单元的二级断裂，形成于中生代末或古近纪早期。由于该断裂的存在以及长期活动，使断陷内形成了“两凹夹一隆”的构造形态。

2011年中国地震局地球物理勘探中心在文留镇西北的王明屯村北布设了一条长4.576km浅层地震勘探线。该测线沿穿过王明屯村的乡村公路自西向东布设，西端起于209省道，东端止于后邢屯村南。

图3.3.1为王明屯测线浅层地震勘探线的反射波叠加时间剖面图，由图可以看出，该测线反射同相轴较多。根据该时间剖面的特征，在双程走时80~1000ms之间可识别出10组反射能量较强、在整条剖面上能够连续追踪的反射震相，它们在剖面图中的标识自上而下分别为T1~T10。整条剖面各反射同相轴基本呈水平展布，存在局部起伏，但相对起伏幅度不大。从这些反射震相的横向连续性来看，剖面上部的T1~T5反射同相轴连续性都较好，但在测线桩号2800m左右的下方，T6反射震相存在波形紊乱和同相轴的不连续现象，其下的地层反射在相应位置也略有反射能量的差异，根据断层判别依据推测该处可能存在断层，在剖面图中以FP1标出。

断层FP1在剖面上是一个向西倾的正断层，视倾角较陡。其可分辨的上断点在地面上的垂直投影点位于测线桩号2842m附近，埋深约为390m左右。根据区域地质资料，由该断裂的上断点埋深可知，该断裂至少错断了Q1和R时代的地层分界面（T6），进入了Q1时代沉积的地层。

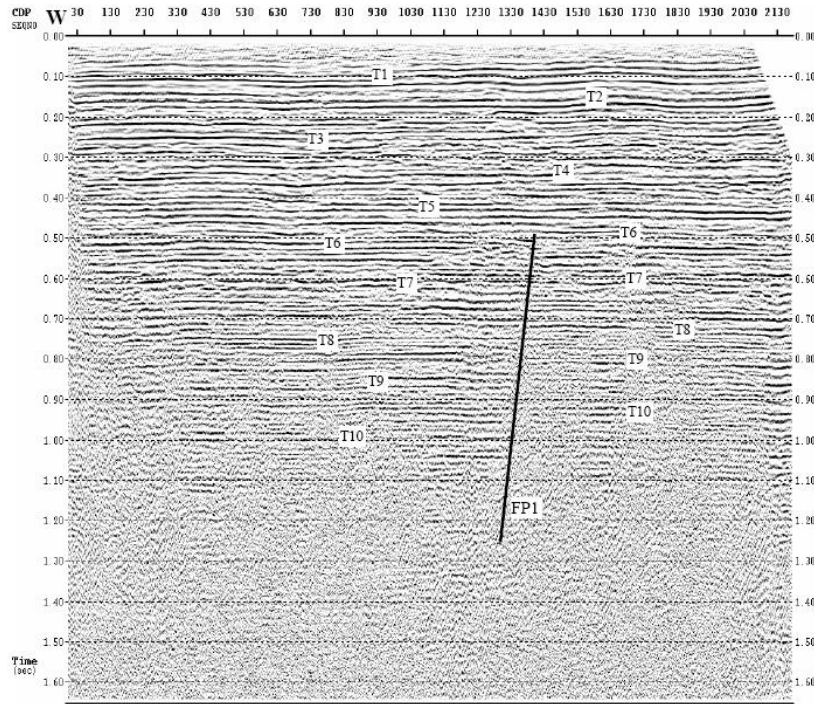


图3.3.1 王明屯测线浅层地震勘探线反射波叠加时间剖面图

综上所述，黄河断裂是一条早更新世活动断裂，中更新世以后断裂即停止活动。

3.3.2 新乡—商丘断裂

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

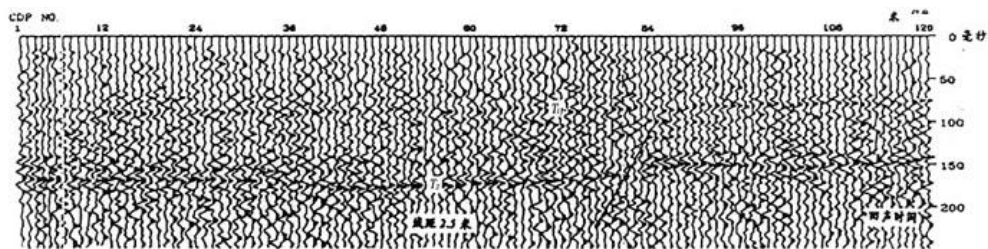


图 3.3.2 峪河毛庄新乡-商丘断裂浅层地震勘探剖面

从人工地震剖面资料来看，该断裂倾向南，倾角 $60\sim 70^\circ$ ，为一正断层，断裂两盘基岩落差为 $200\sim 400\text{m}$ 。新生代断距在毛庄附近最大可达 300m ，向断裂两端断距变小。图 3.3.2 是中国地震局地质研究所完成的浅层人工地震剖面，结合该地区第四纪厚度分布推测 T1 应为第四纪底面，T2 为新、古近纪—基岩界

面，剖面上 T2 明显错动，T1 界面未见明显错动。

2007 年中国地震局地球物理勘探中心在新乡市东的洪门附近由南向北布置了一条长 4km 的浅层人工地震测线 XX1，道间距 5m，覆盖次数 30 次。从该测线的深度解释剖面图（图 3.3.3）可以看出，该测线经过地段内的地下地层具有良好的反射性质，剖面浅部地层在横向上基本呈水平展布，相对起伏变化不大，深度约 75m 以下的地层总体上呈南低北高的展布形态。第四纪覆盖层的底界(TQ)埋深在测线上具有较大的起伏变化，在测线南端其厚度约为 180m，在测线北端厚约 125m，呈现出第四系地层厚度南厚北薄的形态。在测线桩号 2025m 和 2310m 处存在的断层 FP1 和 FP2 在剖面上呈“Y”字形分布，并大约在深部 900m 左右，断层 FP1 归并到 FP2 断层上，剖面上这两条断层均错断了第四纪覆盖层的底界面反射波 TQ，断到了第四系内部，其上断点深度分别为 140~145m 和 150~155m 左右。根据浅层地震勘探资料，结合区域地层资料判断新乡-商丘断裂为早-中更新世活动断裂。

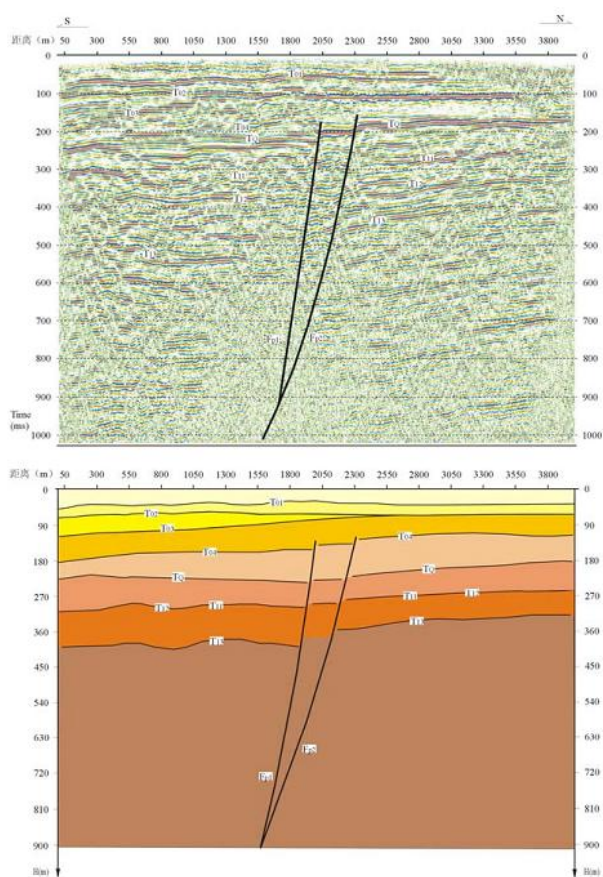


图 3.3.3 XX1 测线反射波叠加时间剖面和深度解释剖面图

3.3.3 开封断裂

开封断裂是开封断裂带的主干断裂，为隐伏断裂，走向近东西，倾向北。呈舒缓波状展布。工程场地位于该断裂的南侧。

该断裂带是开封凹陷与太康隆起的分界断裂。它西起郑州，向东延伸经中牟县城北，过杏花营、开封县城，继续向东与新乡-商丘断裂相交，全长 130km，倾向北，倾角上陡下缓，为正断层。

该断裂带形成于印支运动后期，是一条长期发育，多期活动的断裂带。断裂两侧基底落差大于 7000m，主要控制中生界和古近系地层的沉积边界及沉积厚度。从人工地震剖面分析，该断裂带在新近纪末有一次较强活动，影响面很广，从深部到浅部都能见到明显的构造形迹。在主干断裂下降盘一侧的配套断裂往往断到新近系明化镇组顶部（图 3.3.4）。

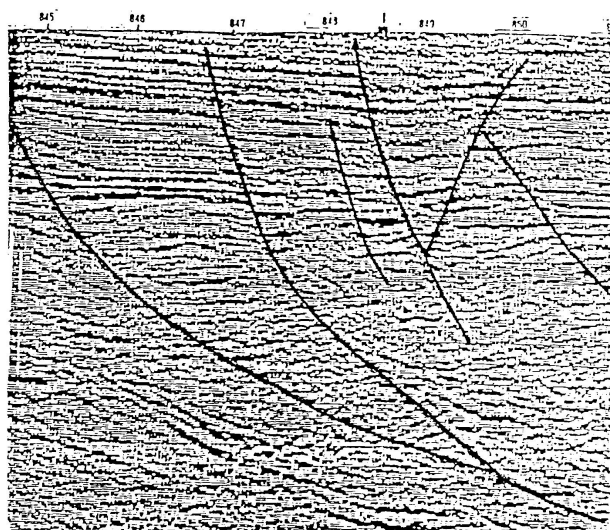


图 3.3.4 开封断裂地震波时间截面图

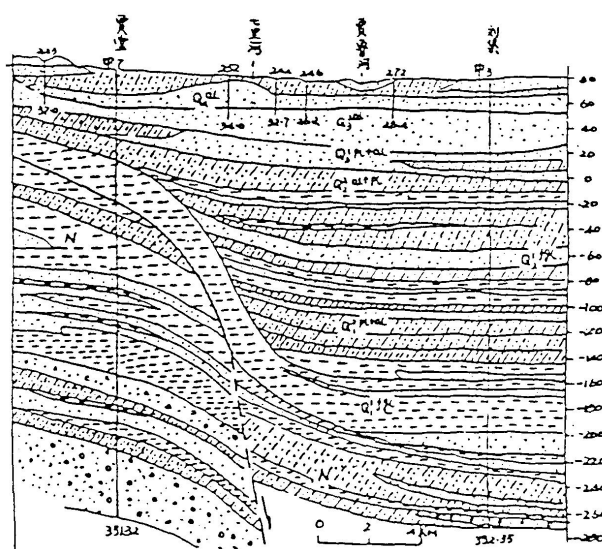


图 3.3.5 贾堂-刘集地质剖面图

另据水文地质资料，该断裂带中段在第四纪地层中也有错断显示。如贾堂-刘集地质剖面(图 3.3.5)在中 7 孔与中 3 孔之间，第四纪地层底板埋深相差 150m。

中更新统 (Q_2^1) 地层产状变化较大, 但没有错断显示。说明它是一条早、中更新世活动断裂。

3.3.4 中牟断裂

中牟断层是开封断裂带的次干断裂, 该断层走向北西西, 倾向北北东, 倾角 $65\sim 70^\circ$ 。在郑州市基岩地质图上 (河南省地矿局地质研究所, 1988), 中牟断层西端 (花园口断层以西) 切割新生界地层等厚线, 东段则没有切割新生界地层等厚线。中牟断层没有错断新近纪以来地层等厚线, 等厚线形态也没有发生突然转折的现象。

为了进一步查明中牟断层的空间位置和最新的活动性, 中国地震局地球物理勘探中心和河南省地球物理工程勘察院 (2003) 在郑东新区横跨中牟断层完成了 6 条 (总长 13.9km) 地球化学探测剖面 and 2 条浅层地震反射 (总长 6465m) 剖面。揭示出中牟断层的位置和断错的地层。

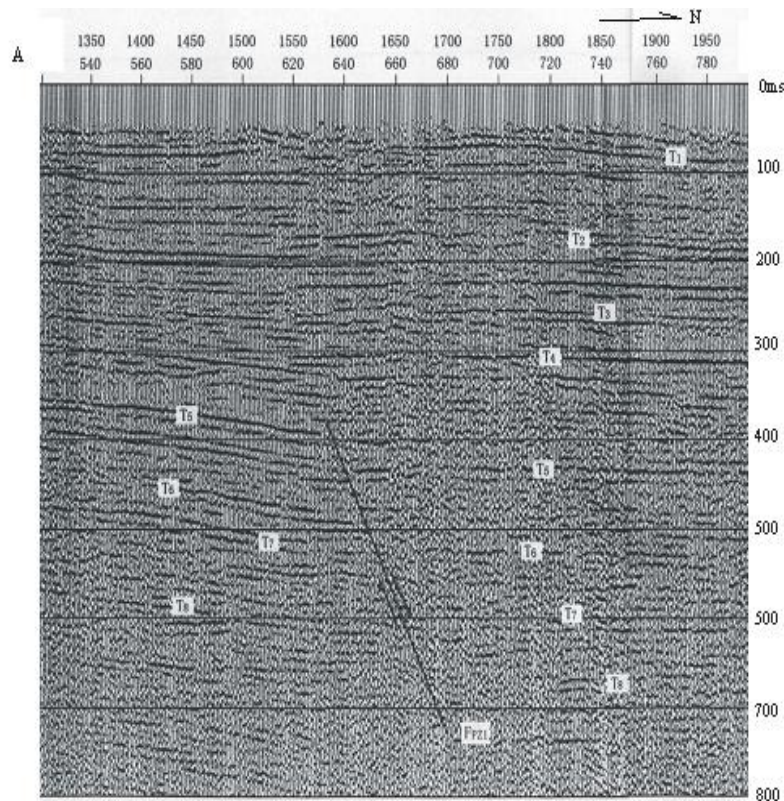


图 3.3.6a 横跨中牟断层 XQZ1 浅层地震剖面 (郑州活断层探测, 2008)

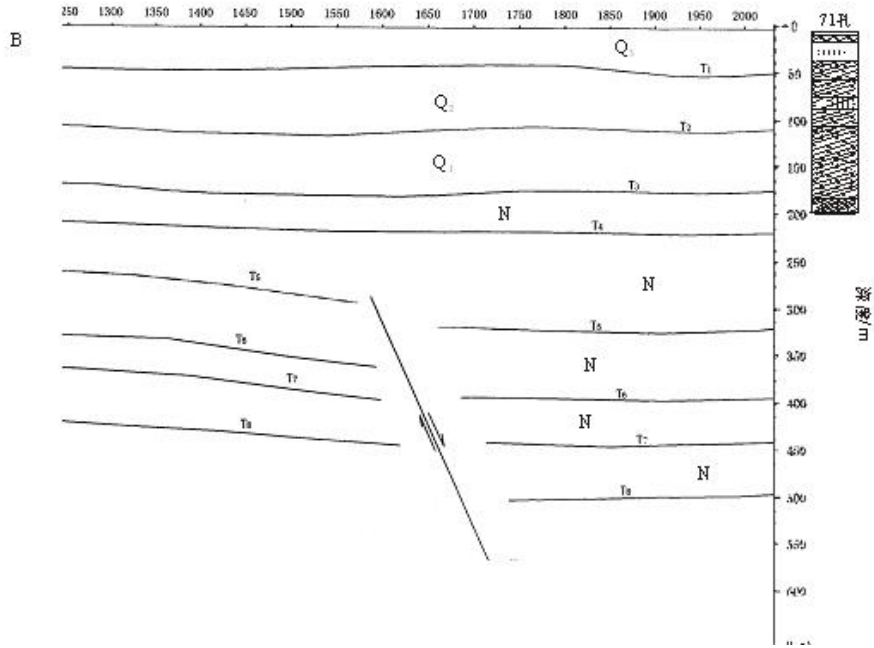


图3.3.6b 横跨中牟断层XQZ1浅层地震解释图（郑州活断层探测, 2008）

根据6条测线上的地球化学探测结果, 探测得到近东西向展布于姚桥乡南—魏庄一线的异常点6个, 地表异常带宽约500m（中国地震局地球物理勘探中心、河南省地球物理工程勘察院, 2003）。

据郑州活断层探测布设的测线XQZ1浅层地震探测剖面显示, 测线上中牟断层错断了T5~T8反射层, 被T1~T4反射层覆盖（图3.3.6a）。结合本区的第四纪地层厚度资料, 给出了XQZ1测线部分段的解释图（图3.3.6b）。从解释图中可以看出, 中牟断层在该测线上没有错断第四纪地层。

3.3.5 杨庄断裂

该断裂是开封凹陷与太康隆起的分界断裂之一。它在基底构造层上呈北东走向, 倾向北西, 倾角 50° — 60° , 长约40km。基底落差北大南小, 断距超过8500m。该断裂古近纪中期活动最为强烈, 边错断边沉积, 沉积最大厚度达5300m。从新近系构造层看, 该断裂呈北东东向展布, 向南西西向延伸至陈留镇附近尖灭。古、近系底板最大落差250m。该断裂系聊兰断裂向南延伸部分, 推测属早—中更新世活动断裂。

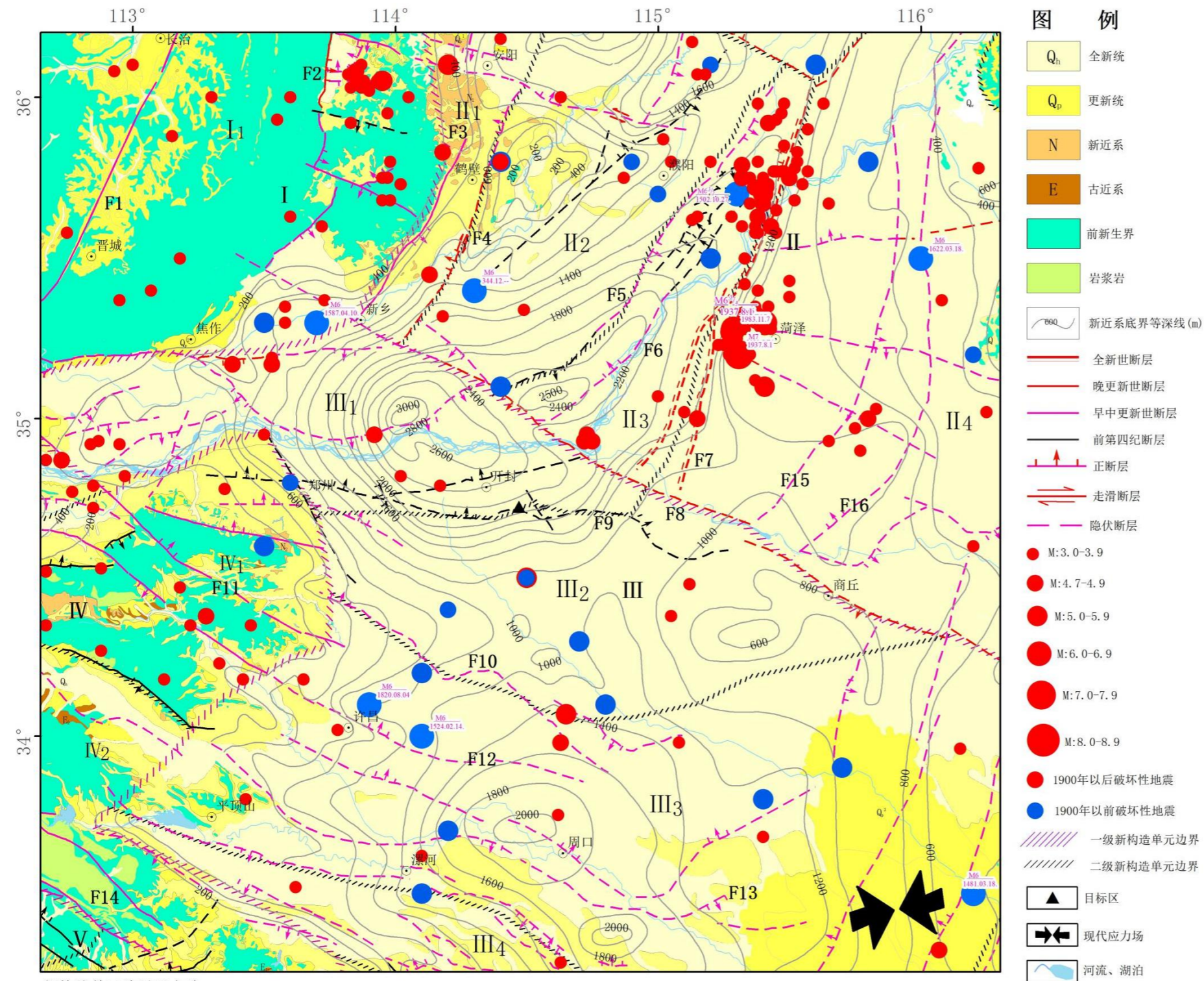
3.4 近场区地震构造评价

开封凹陷是中新生代形成的断陷式盆地。它在印支期形成雏形, 燕山期活动强烈, 喜山期发育完成。在这几次大的地壳运动过程中, 凹陷周边及内部产生了

多组断裂。由于这些断裂的长期活动和相互作用，使凹陷内部构造变得更为复杂。以北东东向陡门断裂为界将凹陷分割成南北两个断块。北断块构造方向呈北北西向展布，它包括三个次凹和一个次凸；南断块构造方向呈近东西向展布，它包括三个次凹和一个斜坡。

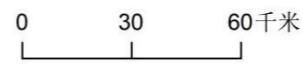
由于受多组断裂控制，且活动时期、活动强弱及相互作用不同，凹陷各时期的发育程度也不相同。中生代晚期，北西和近东西向两组断裂的强裂活动和相互作用，首先在凹陷的西北部形成了个近东西向深凹，在凹内中生界地层沉积厚度2000~3000m，沉降中心位于黄河附近。古近纪受北西、南东向强烈拉张，凹陷再度下沉，尤其是凹陷的东南部杨庄断裂活动最强，上盘大幅度下沉，古近系地层沉积厚度达5500m。古近纪末，区内继续受北西、南东向的拉张作用，凹陷的西北部表现为强烈下沉，在原阳次凹陷内下沉幅度最大，新近系地层沉积厚达3000m左右。第四纪时期沉降中心转移到凹陷中部，即开封-封丘之间，最大沉积厚度450m左右。近场现代构造活动以沉降为主。

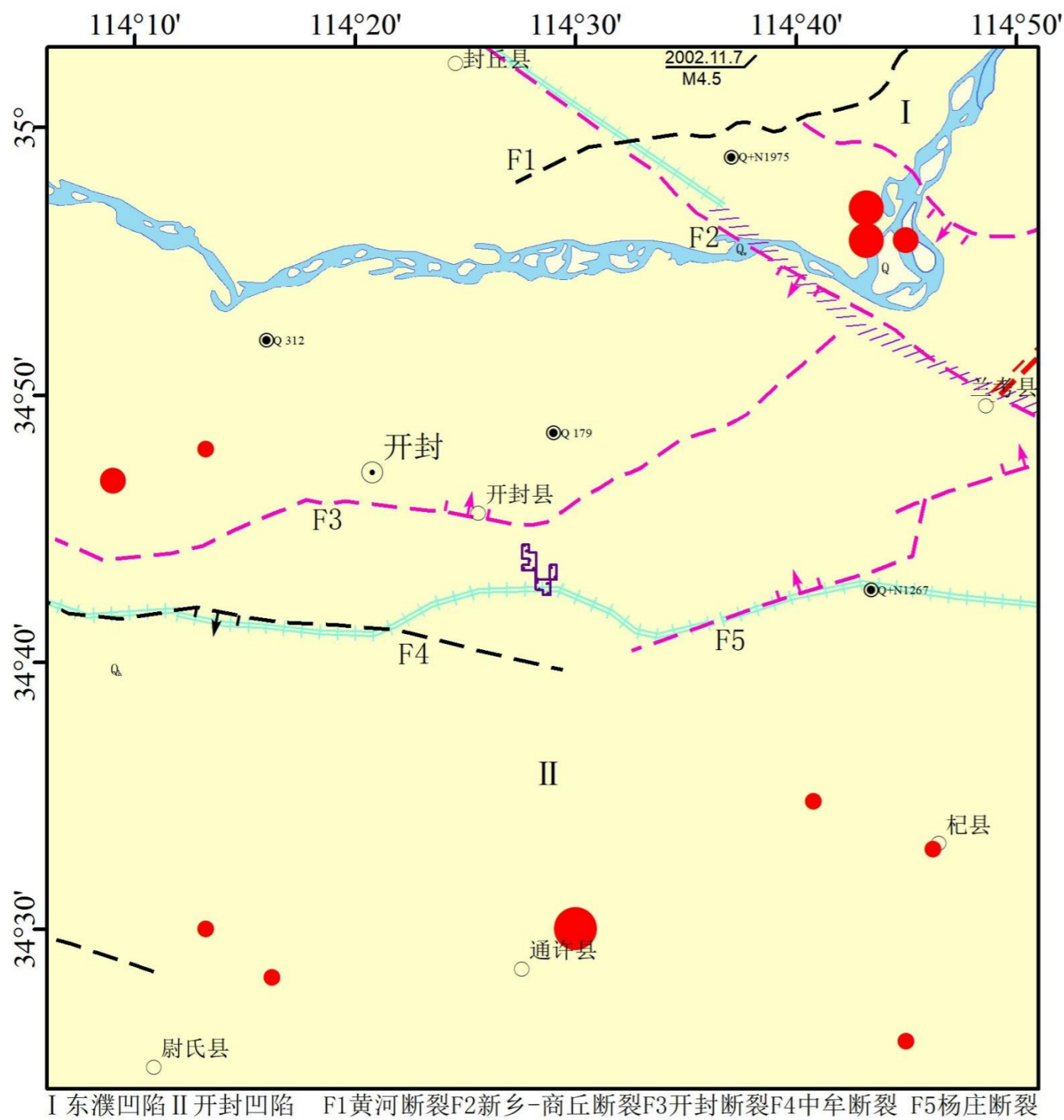
近场区内存在5条第四纪活动断裂，分别为黄河断裂、新乡-商丘断裂、长垣断裂、开封断裂和杨庄断裂，中牟北断裂、中牟断裂和芦医庙断裂为前第四纪断裂。工程场地附近现代以来曾发生2次3.0级以上地震，考虑到近场区内曾发生3次破坏性地震，分别为1737年5½级地震和1342年4¾级地震，具有发生破坏性地震的构造背景，综合分析认为，近场区存在发生中强地震的构造背景。



新构造单元编号及名称
 I山西隆起区 I₁太行断块隆起 II北华北坳陷 II₁汤阴地堑 II₂内黄凸起 II₃东濮凹陷 II₄鲁西隆起 III南华北坳陷 III₁济源-开封凹陷 III₂太康隆起 III₃周口凹陷 III₄西平-平舆隆起 IV豫西差异隆起 IV₁嵩山凸起 IV₂伏牛山凸起 V秦岭-大别隆起区

断层编号及名称 F1长治断裂 F2林州断裂 F3汤西断裂 F4汤东断裂 F5长垣断裂 F6黄河断裂 F7聊兰断裂 F8新乡-商丘断裂 F9郑州-开封断裂 F10新郑-太康断裂 F11封门口-五指岭断裂 F12登封-西华断裂 F13襄城-商水断裂 F14栾川-确山-固始断裂 F15曹县断裂 F16巨野断裂





4 目标区断层勘查及活动性鉴定

5 目标区地震工程地质条件勘测

6 地震动预测方程

合理确定地震动预测方程是地震危险性分析中的重要环节,强地震动的衰减特征存在区域性差异。在《中国地震烈度区划图(1990)》和《中国地震动参数区划图》GB18306—2001中,大致以东经 105° 为界,将全国分为东、西部两个地震动衰减关系分区。

在《中国地震动参数区划图》GB18306—2015中,我国地震动衰减关系分区是以地震区带为基本单元,综合考虑地震烈度衰减的分区特征、地震活动水平的区域性特征确定的,分为青藏区、新疆区、东部强震区和中强地震区。

目标区位于华北地震区的华北平原地震带内。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015),东部强震区包括华北地震区(……华北平原地震带、郟庐地震带……),故本次采用东部强震区的地震动预测方程,亦符合《区域性地震安全性评价工作大纲(试行)》的要求。

虽然近年来我国强震观测数据得到了快速积累,但全国大部分地区(包括项目所在地区)仍不足以用强震数据直接回归得到衰减关系。因此需要采用转换方法(胡聿贤等,1984),即在确定我国地震动衰减关系分区的基础上,建立各分区地震烈度衰减关系,同时,选择美国西部为参考地区,建立该地区的地震动衰减关系,并选择合适的参考地区地震烈度衰减关系采用转换方法得到我国各分区地震动参数衰减关系,并在转换过程中利用我国部分强震数据加以控制。

本工作地震动预测方程采用《中国地震动参数区划图》GB18306-2015和《区域性地震安全性评价工作大纲》(中震防函[2019]21号)中推荐的东部强震活跃区的地震动预测方程。基岩水平向加速度反应谱预测方程模型为:

当震级 $M < 6.5$ 时:

$$LgY(M, R) = A_1 + B_1 M - CLg(R + D \exp(E * M)) \quad (6-1)$$

当震级 $M \geq 6.5$ 时:

$$LgY(M, R) = A_2 + B_2 M - CLg(R + D \exp(E * M)) \quad (6-2)$$

式中: Y 代表加速度峰值或反应谱值, R 为震中距, M 为面波震级, A_1 、 B_1 、 A_2 、 B_2 、 C 、 D 、 E 为模型系数。

东部强震活跃区基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数见表 6.1~6.2。

表 6.1 东部强震活跃区水平向基岩加速度反应谱的衰减关系(长轴)

周期 (s)	M<6.5		M≥6.5		C	D	E	σ
	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂				
0.00	2.024	0.673	3.565	0.435	2.329	2.088	0.399	0.245
0.04	2.048	0.674	3.617	0.432	2.322	2.088	0.399	0.261
0.05	2.205	0.654	3.706	0.423	2.319	2.088	0.399	0.266
0.07	2.315	0.650	3.774	0.425	2.307	2.088	0.399	0.265
0.10	2.456	0.640	3.903	0.417	2.297	2.088	0.399	0.261
0.12	2.493	0.637	3.855	0.427	2.294	2.088	0.399	0.261
0.16	2.617	0.632	3.798	0.449	2.306	2.088	0.399	0.261
0.20	2.558	0.643	3.680	0.470	2.309	2.088	0.399	0.261
0.24	2.320	0.675	3.632	0.472	2.290	2.088	0.399	0.264
0.26	2.094	0.696	3.541	0.472	2.249	2.088	0.399	0.270
0.30	1.878	0.715	3.426	0.477	2.211	2.088	0.399	0.274
0.34	1.852	0.715	3.304	0.491	2.212	2.088	0.399	0.273
0.40	1.501	0.765	3.262	0.494	2.214	2.088	0.399	0.274
0.50	1.358	0.776	3.026	0.519	2.214	2.088	0.399	0.276
0.60	1.004	0.814	2.885	0.524	2.187	2.088	0.399	0.283
0.80	0.650	0.847	2.608	0.545	2.174	2.088	0.399	0.291
1.00	0.226	0.895	2.409	0.559	2.157	2.088	0.399	0.300
1.20	0.006	0.917	2.227	0.574	2.159	2.088	0.399	0.315
1.50	-0.095	0.909	1.843	0.610	2.154	2.088	0.399	0.330
1.70	-0.196	0.909	1.621	0.629	2.143	2.088	0.399	0.338
2.00	-0.666	0.936	1.247	0.641	2.047	2.088	0.399	0.342
2.40	-0.781	0.917	0.709	0.687	2.011	2.088	0.399	0.343
3.00	-1.014	0.920	0.279	0.720	1.972	2.088	0.399	0.340
4.00	-1.244	0.909	-0.368	0.773	1.937	2.088	0.399	0.336
5.00	-1.417	0.900	-0.880	0.817	1.906	2.088	0.399	0.333
6.00	-1.432	0.859	-1.432	0.859	1.857	2.088	0.399	0.333

表 6.2 东部强震活跃区水平向基岩加速度反应谱的衰减关系(短轴)

周期 (s)	M<6.5		M≥6.5		C	D	E	σ
	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂				
0.00	1.204	0.664	2.789	0.420	2.016	0.944	0.447	0.245
0.04	1.241	0.663	2.837	0.418	2.010	0.944	0.447	0.261
0.05	1.393	0.645	2.933	0.408	2.007	0.944	0.447	0.266
0.07	1.517	0.639	3.005	0.411	1.997	0.944	0.447	0.265
0.10	1.665	0.629	3.140	0.402	1.988	0.944	0.447	0.261
0.12	1.707	0.625	3.091	0.412	1.985	0.944	0.447	0.261
0.16	1.814	0.622	3.053	0.431	1.997	0.944	0.447	0.261

0.20	1.779	0.628	2.918	0.454	1.999	0.944	0.447	0.261
0.24	1.533	0.662	2.868	0.457	1.983	0.944	0.447	0.264
0.26	1.309	0.685	2.786	0.458	1.948	0.944	0.447	0.270
0.30	1.095	0.707	2.677	0.464	1.915	0.944	0.447	0.274
0.34	1.068	0.706	2.558	0.477	1.916	0.944	0.447	0.273
0.40	0.698	0.759	2.501	0.482	1.919	0.944	0.447	0.274
0.50	0.557	0.769	2.265	0.507	1.919	0.944	0.447	0.276
0.60	0.196	0.810	2.122	0.514	1.897	0.944	0.447	0.283
0.80	-0.162	0.844	1.851	0.535	1.887	0.944	0.447	0.291
1.00	-0.599	0.895	1.644	0.550	1.873	0.944	0.447	0.300
1.20	-0.815	0.915	1.455	0.567	1.875	0.944	0.447	0.315
1.50	-0.910	0.907	1.087	0.600	1.871	0.944	0.447	0.330
1.70	-1.000	0.906	0.869	0.619	1.861	0.944	0.447	0.338
2.00	-1.449	0.934	0.516	0.632	1.779	0.944	0.447	0.342
2.40	-1.524	0.911	0.002	0.677	1.748	0.944	0.447	0.343
3.00	-1.733	0.912	-0.414	0.710	1.716	0.944	0.447	0.340
4.00	-1.932	0.898	-1.038	0.761	1.686	0.944	0.447	0.336
5.00	-2.075	0.887	-1.532	0.804	1.659	0.944	0.447	0.333
6.00	-2.041	0.841	-2.041	0.841	1.617	0.944	0.447	0.333

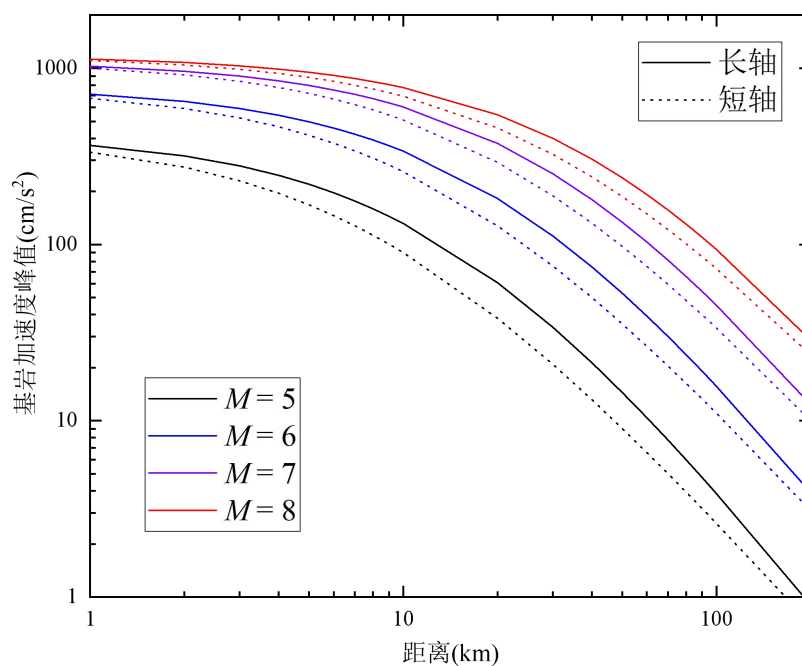


图 6.1 东部强震活跃区峰值加速度衰减关系曲线

7 概率地震危险性分析

按照《中国地震局关于印发〈区域性地震安全性评价工作大纲（试行）的通知〉》（中震防函（2019）21号）和《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005）的规定，本章依据前述章节关于区域及近场区域地震活动性、区域及近场区域地震构造背景研究，对工程场地地震安全性有影响的地震带的确定及其各地震带未来百年地震活动趋势的估计，划分各地震带潜在震源区，确定地震带及潜在震源区地震活动参数，并利用所确定的适合本区的地震动预测方程，以地震危险性的概率分析方法，采用中国地震灾害防御中心研发的 SEC 计算软件进行目标区的地震危险性分析计算。

7.1 地震危险性分析方法概述

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

$$P(N = n) = \frac{(v_4 t)^n}{n!} e^{-v_4 t} \quad (7.1-1)$$

式中： v_4 为 4 级以上地震的年平均发生率，是通过地震带未来百年地震活动趋势预测结果得到，它反映了统计单元地震活动的时间非均匀性。

统计单元内地震震级概率密度函数为截断的指数函数：

$$f_M(M) = \frac{e^{-\beta(M-M_0)}}{1 - e^{-\beta(M_{uz}-M_0)}} \quad (7.1-2)$$

式中： M_{uz} 为该统计单元的震级上限； M_0 为相应单元的震级下限； $\beta = 2.3 \times b$ 。其中 b 是地震活动性统计得到的震级-频度关系中的 b 值。当震级小于震级下限和大于震级上限时，概率密度值为零。

（2）在地震带（统计单元）内部划分潜在震源区。潜在震源区内地震危险

性是均匀分布的。潜在震源区由几何边界、震级上限和分震级档的地震空间分布函数 $f_{i,mj}$ 来描述。

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

$$P(I \geq i) = \iiint P(I \geq i | E) f(x, y | M) f_m(M) f_{|x,y}(\theta) dx dy dM d\theta \quad (7.1-3)$$

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

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

$$P_{ik}(I \geq i) = 1 - e^{-\lambda_k t p(I \geq i)} \quad (7.1-4)$$

(5) 若有 k 个统计单元对场点有影响，则场点总的超越概率为：

$$P_i(I \geq i) = 1 - \prod_{k=1}^k (1 - P_{ik}(I \geq i)) \quad (7.1-5)$$

7.2 潜在震源区的划分

潜在震源区即未来可能发生破坏性地震的地带或地区。它是在未来相当长的时间内具概率意义的可能发生破坏性地震的范围，也是具有统计意义的单元。潜在震源区是地震地质、地球物理和地震活动综和研究评价的结果，它是工作区地震危险性分析的基础。潜在震源区划分包括三个要素的确定，即范围（边界）、破裂方向和震级上限。本项目采用三级潜在震源区划分方案，即地震统计区、背景地震活动潜在震源区（简称背景源）和构造潜在震源区（简称构造源）。

7.2.1 划分潜在震源区的原则

目前，国内划分潜在震源区主要依据历史地震重演和构造类比两条原则。

(1) 历史地震重演原则：认为历史上发生过地震的地方，将来还可能发生类似的地震。在地震危险性分析中，历史地震的地点和强度是估计未来震源区的重要依据之一。此外，还需研究近期的地震活动性，通过近期强震活动以及与其相关的小震活动图象特征分析，以增加判定潜在震源区的依据。

(2) 构造类比原则：根据对已发生过强震地区地震构造条件的研究，外推到具有相同或类似构造条件的地区。如同一大地构造分界带或深大断裂，同一活动断裂，相似的活动断陷盆地等等。依此可以确定潜在震源区边界及最大地震强度。需要指出，大地震并不是在几百公里、千余公里的构造带上均匀发生，而只在某些特定部位或地段发生，这就是强震活动的空间不均匀性。因此，深入研究大地震发生的构造条件，以及各活动断裂（带）的分段性，是划分潜在震源区的重要基础。

在具体划分潜在震源区时，以上两条原则是综合利用的。这两条原则既注意到了强震活动的重复性，也考虑到了强震活动的新生性。

潜在震源区震级上限 M_u 主要是通过对该潜在震源区本身的地震活动情况和地质构造特征分析确定。对以前发生过破坏性地震的潜在震源区主要依据已有的地震震级进行评价；缺少历史地震记载的地区，采用构造类比法确定。

7.2.2 潜在震源区划分结果

根据上述划分潜在震源区的原则和方法以及区域内的强震发震条件，本项目采用《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》潜在震源区划分方案。在区域范围内共划分出构造潜在震源区 27 个，背景潜在震源区 11 个，其中震级上限 7.5 级构造源 3 个，震级上限 7.0 级构造源 2 个，震级上限 6.5 级构造源 10 个，震级上限 6.0 级构造源 12 个。背景源划分见图 7.2.1，潜在震源区划分结果见图 7.2.2。

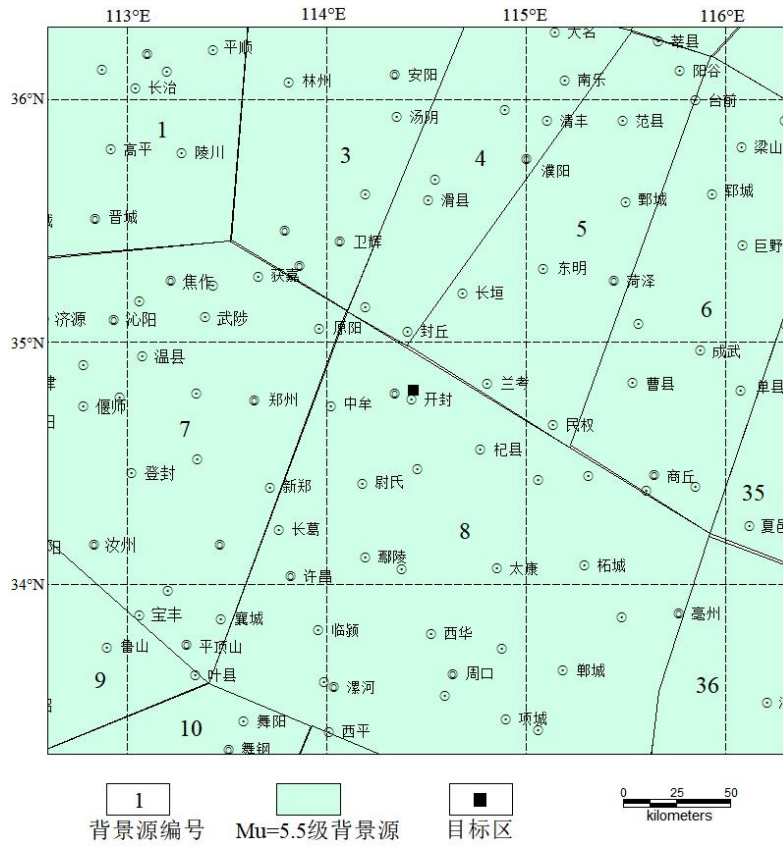


图 7.2.1 背景源划分图

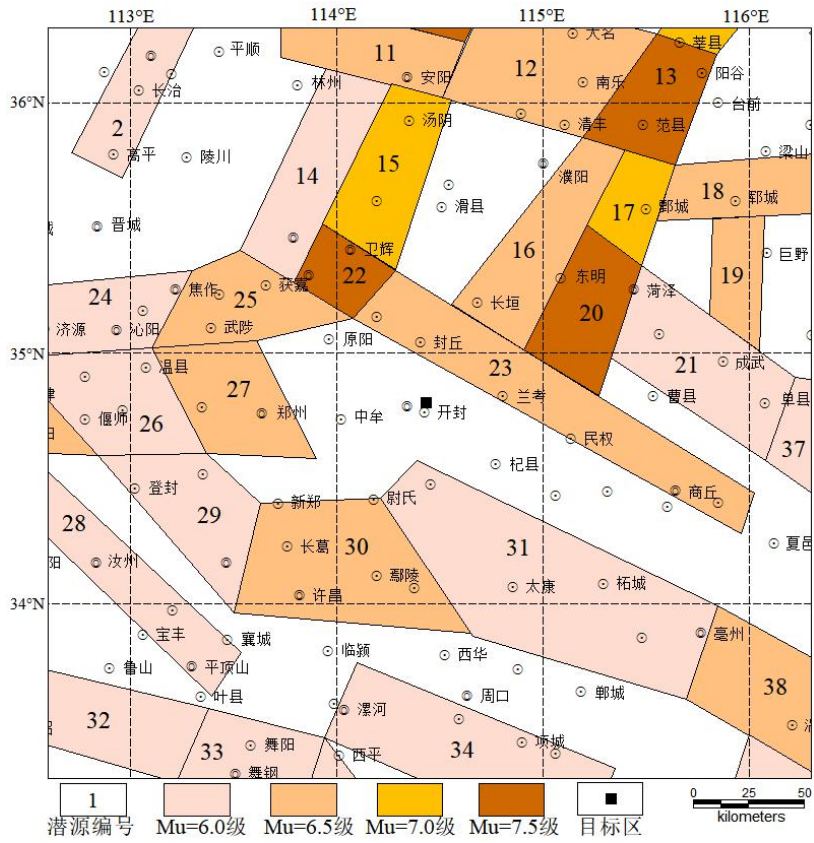


图 7.2.2 潜在震源区划分图

对目标区响较大的潜在震源区的划分依据简述如下：

1、20号菏泽 7.5 级潜在震源区

该潜在震源区包括东明坳陷南段及菏泽隆起，属华北平原地震带。区内主要发育北北东向的聊兰断裂和近东西向的菏泽断裂及崑山断裂，这两组断裂在该区交汇。聊兰断裂和菏泽断裂均为第四纪活动断裂，是强震多发地区。1937年菏泽 7 级和 $6\frac{3}{4}$ 级两次强震以及 1948 年菏泽 $5\frac{1}{2}$ 级地震和 1983 年菏泽 6.0 级地震就发生在区内。该潜在震源区的震级上限定为 7.5 级。

2、22号新乡 7.5 级潜在震源区

该潜在震源区位于汤阴地堑南段，地堑西侧为北北东向的汤西断裂、东为与之平行的汤东断裂，规模较大的东西向盘谷寺-新乡断裂和北北西向新乡-商丘断裂与上述两条断裂在本潜源区内交汇。野外探槽表明，汤东断裂晚更新世有活动，据物探、钻探及地貌分析，汤阴地堑自古近纪-第四纪存在不同程度的垂直或水平运动。该潜在震源区存在 7 级以上大震的构造条件，震级上限定为 7.5 级。

3、23号商丘 6.5 级潜在震源区

新乡-商丘断裂为北华北平原和南华北平原的分界断裂，为第四纪早期活动断裂。重力和磁异常存在北西向梯度带。历史上沿断裂发生过封丘级地震，沿断裂划分出一震级上限为 6.5 级潜在震源区。

4、27号郑州 6.5 级潜在震源区

该潜在震源区沿嵩山隆起与郑汴坳陷接壤处勾画。区内主要有 3 条北西向和北西西向第四纪活动断裂，如须水断裂、郭小寨、李万-武陟断裂；另外存在几条前第四纪断裂，如花园口断裂、上街断裂、中牟北断裂、中牟断裂、古荥断裂；断裂的交汇部位可能是未来强震发生场所。区内 927 年和 1814 年分别发生过 $4\frac{3}{4}$ 级地震和 5 级地震。根据构造类比，将本潜在震源区的震级上限定为 6.5 级。

5、30号许昌 6.5 级潜在震源区

许昌潜在震源区内发育有近东西向隐伏的早、中更新世许昌-太康断裂，断裂不仅控制切错古生代地层，且向上切达新近系和第四系地层，表明新近系和第四系断裂具有继承性运动。历史上区内曾发生多次中强地震，1522 年鄢陵 $5\frac{3}{4}$ 级地震、1524 年许昌张潘 6 级地震和 1820 年许昌 6 级地震。现代小震活动在许昌附近相对较多，该潜源区震级上限定为 6.5。

6、31号太康 6.0 级潜在震源区

沿太康隆起中东部-周口盆地北部凹陷带东部勾划，区内发育北西向与北东

向两组隐伏断裂，其它最新活动时代多为第四纪早中期，北西向断裂有新郑-太康断裂，北东向有鹿邑断裂等，历史上区内曾发生多次中强地震，但震级均不超过 6 级考虑到区内的历史地震活动及断裂的规模，该潜在震源区的震级上限定为 6.0 级。

7.3 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（地震统计区）和潜在震源区的地震活动性参数两部分。地震统计单元的地震活动性参数指震级上限 M_{uz} ，起算震级 M_0 ，震级频度关系式中的 b 值，地震年平均发生率 v 。为了恰当地把地震带的年平均发生率分配到每个潜在震源区去，还要确定各个地震统计区中各潜在震源区的空间分布函数 $f_{i,mj}$ 以及各潜在震源区等震线椭圆长轴走向分布函数 $f_i(\theta)$ 。区域范围涉及华北平原地震统计区、长江中游地震统计区和郟庐地震统计区。

7.3.1 地震统计区地震活动性参数的确定

1. 震级上限 M_{uz}

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

汾渭地震统计区： $M_{uz} = 8.5$ ；华北平原地震统计区： $M_{uz} = 8.0$ ；郟庐地震统计区： $M_{uz} = 8.5$ 。

2. 起算震级 M_0

起算震级 M_0 是指对目标区有影响的最小震级。在我国大陆地区，震级为 4 级的地震在震中附近就能造成一定程度的影响。所以，在大多数情况下，均将起算震级 M_0 定为 4.0 级。在本项研究中，也将起算震级 M_0 定为 4.0 级。

3. 各地震带 b 值和 v_4 的确定

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

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

本次工作中采用了《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）（全国地震区划图编制地震活动性参数工作组，2011；潘华等，2013）中确定 b 值和 ν_4 的方法，在不同方案进行统计分析后确定的 b 值和 ν_4 作为初值的基础上，根据地震带（地震统计区）内实际地震的发生率、地震带（地震统计区）未来地震活动趋势分析结果、1970 年以来近 40 年的仪器记录地震资料所反映的中强地震发生次数的分布特点等因素，并基于对未来地震危险性给予合理保守考虑的原则，进行必要的调整，最终确定地震统计区 ν_4 与 b 值的结果。本项目直接采用《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）确定的 b 值和 ν_4 结果。

（1）汾渭地震统计区

汾渭地震带公元 1000 年以来 $M \geq 6$ 级地震记录较为连续，1500 年以来 $M \geq 5.0$ 级地震资料较完整，1950 年以来 $M \geq 4.0$ 级以上地震记录较全。公元 1209 和公元 1484 年是两个地震活动相对密集期的开始，而 1484 年以来的地震活动水平要高于前一个活动期。未来地震活动水平不应低估活跃期地震活动水平。对 ν_4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① $M \geq 4.0$ 地震年发生率应大致相当 1950 年以来地震活动水平；
- ② $M \geq 5.0$ 级地震年发生率应大致相当 1484 年、1500 年以来地震活动水平；
- ③ 较大震级发生率应重点考虑 1484、1500 年以来地震活动情况；

经调整，确定汾渭地震统计区地震活动性参数为 $b=0.78$ ， $\nu_4=2.5$ 。图 7.3.1 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 ν_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段，与 1950 年以来的水平大致相当；在中强震级段以及高震级段，均与 1484 年、1500 年以来的地震活动水平相当。

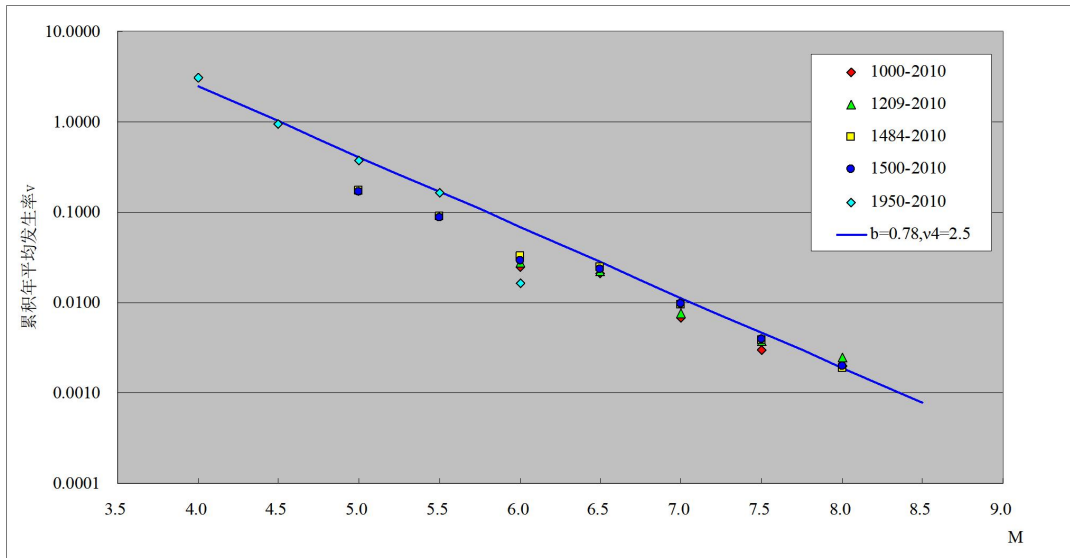


图 7.3.1 汾渭地震统计区各时段实际统计与理论结果对比

(2) 华北平原地震统计区

华北平原地震统计区为强震活动区，最大地震震级达到 8 级。该区最早地震记载始于公元前 1767 年河南偃师 6 级地震。1484 年之前，地震缺失较多，1484 年 M5 级地震记录基本完整，1950 年以来 4 级以上地震记录较全。公元 1485 和公元 1791 年是两个地震活动相对密集期的开始，未来地震活动水平不应低估长期的平均地震活动水平。对 v_4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ①M4 级以上地震年发生率应大致相当 1950 年以来地震活动水平；
- ②M5 级以上地震年发生率应大致相当 1484 年、1791 年以来地震活动水平；
- ③较大震级发生率应重点考虑 1484 年以来地震活动情况；

经调整，确定华北平原地震统计区地震活动性参数为 $b=0.86$ ， $v_4=4.6$ 。图 7.3.2 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 v_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段，与 1950 年以来的水平大致相当；在中强震级段与 1791 年以来的平均地震活动水平相当，该活动期以中强地震活动为主要特征；而在高震级段，以 1484 年以来的发生率控制。

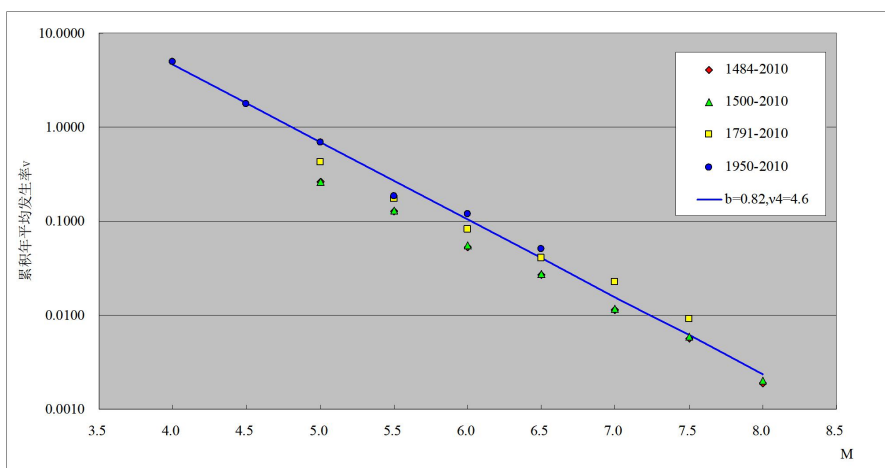


图 7.3.2 华北平原地震统计区各时段实际统计与理论结果对比

(3) 郟庐地震统计区

郟庐地震带发生过著名的 1668 年郟城—莒县 $8\frac{1}{2}$ 级特大地震。该区地震记载最早始于公元前 70 年，但公元 1500 年之前，地震缺失较多，1500 年后 M5 级以上地震记录才基本完整， $M \geq 5.0$ 级地震发生较为平稳，1970 年以来 4 级以上地震记录较全。公元 1477 和公元 1829 年是两个地震活动相对密集期的开始，未来地震活动水平不应低估活跃期水平。对 v_4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① M4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；
- ② M5 级以上地震年发生率应不低估 1477 年、1892 年以来地震活动水平；
- ③ 较大震级发生率应重点考虑 1500 年以来地震活动情况；

经调整，确定郟庐地震带地震活动性参数为 $b=0.85$ ， $v_4=4.0$ 。图 7.3.3 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 v_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段，与 1970 年以来的水平大致相当；在中强震级段与活跃期地震活动水平相当；而在高震级段，基本与 1500 年以来活动水平相当，考虑到这一时期发生过多次 7 级以上地震，因此，发生率应该具有一定的保守性。

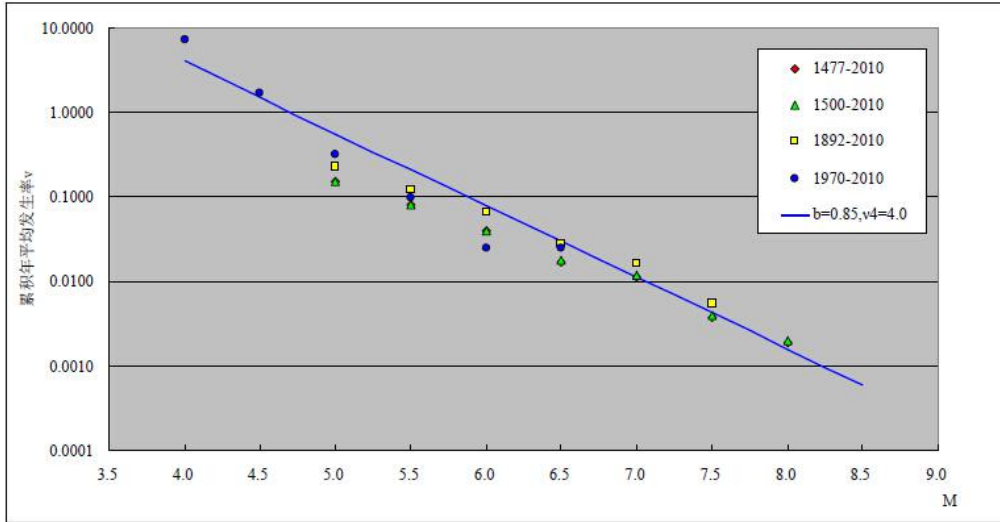


图 7.3.3 郟庐地震统计区各时段实际统计与理论结果对比

7.3.2 潜在震源区活动性参数的确定

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

(1) 潜在震源区的震级上限 M_u

潜在震源区的震级上限 M_u 是指该潜在震源区内可能发生的最大地震。

(2) 空间分布函数 f_{i,m_j}

在地震统计区内，须把地震带各震级档地震的年平均年发生率分配给各相应的潜在震源区。这里采用空间分布函数，根据各潜在震源区发生不同震级档地震可能性的大小，对统计区各震级档的地震年平均发生率进行不等权分配。空间分布函数 f_{i,m_j} 的物理含义是地震带内发生一个 m_j 档震级的地震落在第 i 个潜在震源区内概率的大小。

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

$$v_{imj} = \begin{cases} \frac{2v_4 e^{-\beta(M_j - M_0)sh(\beta\Delta M / 2)}}{1 - e^{-\beta(M_{uz} - M_0)}} \cdot f_{i,mj} & M_0 \leq M_j \leq M_u \\ 0 & \text{其它情况} \end{cases} \quad (7.3-1)$$

式中， v 为地震带 $M \geq 4$ 地震的年平均发生率，即 v_4 ； M_{uz} 为地震带的震级上限； M_u 为潜在震源区的震级上限； ΔM 为震级分当间隔； M_j 为分档间隔中心对

应的震级值； $\beta = b \ln 10$ ； $\sin(\beta \Delta M / 2)$ 为正弦双曲函数。

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

在区域内涉及的潜在震源区中，对目标区影响较大的潜在震源区的空间分布函数列于表 7.3.1。

表 7.3.1 主要潜在震源区的空间分布函数

潜源 震级档 m_j	Mu	空间分布函数 f_{i,m_j}							方向性函数 $f(\theta)$			
		4.0-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	≥ 7.5	θ_1	P_1	θ_2	P_2
5 号背景源	5.5	0.02077	0.01588	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0	0.5	90	0.5
8 号背景源	5.5	0.03071	0.06555	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0	0.5	90	0.5
13 号范县源	7.5	0.00713	0.00889	0.00963	0.02008	0.04854	0.05849	0.00000	60	1	0	0
15 号汤阴源	7.0	0.00809	0.00781	0.01638	0.01975	0.08280	0.00000	0.00000	60	1	0	0
16 号长垣源	6.5	0.00741	0.00925	0.00698	0.03577	0.00000	0.00000	0.00000	60	1	0	0
17 号鄄城源	7.0	0.00853	0.00465	0.00836	0.01807	0.04647	0.00000	0.00000	55	1	0	0
20 号菏泽源	7.5	0.01016	0.00516	0.01167	0.01408	0.05244	0.04451	0.00000	60	1	0	0
22 号新乡源	7.5	0.00640	0.00934	0.00851	0.01811	0.03951	0.04204	0.00000	60	1	0	0
23 号商丘源	6.5	0.00966	0.00931	0.01679	0.03576	0.00000	0.00000	0.00000	150	1	0	0
27 号郑州源	6.5	0.00796	0.00462	0.00979	0.02449	0.00000	0.00000	0.00000	10	0.7	115	0.3
30 号许昌源	6.5	0.00833	0.00485	0.01833	0.02447	0.00000	0.00000	0.00000	160	1	0	0
31 号太康源	6.0	0.00762	0.01951	0.04119	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	150	1	0	0

注：Mu 为各潜在震源区的上限； θ_1 、 θ_2 为等震线长轴取向角度； P_1 、 P_2 为相应分布概率。

(3) 椭圆等震线长轴取向及分布概率

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

$$f(\theta)=P_1 \cdot \delta(\theta_1)+P_2 \cdot \delta(\theta_2) \quad (7.3-2)$$

式中： θ 为潜在震源区内构造走向与正东方向的夹角； P_1 和 P_2 为相应的取向概率。 θ 、 P_1 和 P_2 在同一潜在震源区内相同，不同的潜在震源区可以不同。具体确定时，按以下三种情况分别取值。

1) 单一断层性质

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

2) 共轭断层性质

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

3) 一组断层为主，另一组断层为辅

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

7.4 地震危险性计算结果

根据前面所确定的潜在震源区、地震活动性参数及地震动衰减关系，利用概率分析方法，进行本目标区控制点的地震危险性计算。

计算得到 21 个钻孔控制点 50 年 63%、10%、2%和 100 年超越概率 63%、10%和 2%的基岩地震动水平向峰值加速度如表 7.4.1，ZK1 至 ZK21 钻孔的潜源贡献率，见表 7.4.2A，商丘 6.5 级潜在震源区（图 7.2.2 中 23 号源）对地震危险性结果贡献最大，菏泽 7.5 级潜在震源区（图 7.2.2 中 20 号源）、新乡 7.5 级潜在震源区（图 7.2.2 中 22 号源）和 5.5 级背景源（图 7.2.1 中 8 号源）也有一定的贡献。表 7.4.3 至表 7.4.23 给出了 21 个钻孔的基岩地震动参数。以 50 年超越概率 10%为例，基岩峰值加速度范围 82.2-88.3gal 之间，21 个控制点的计算结果空间分布离散性很小，结果基本一致。

表 7.4.1 控制点基岩地震动水平向峰值加速度（gal）

控制点 \ 超越概率	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
ZK1 钻孔	25.7	82.4	144.3	39.3	106.6	174.7
ZK2 钻孔	25.7	82.7	145.1	39.4	107.1	175.7
ZK3 钻孔	25.8	83.2	146.2	39.6	107.9	177.1
ZK4 钻孔	25.8	82.9	145.6	39.5	107.5	176.3
ZK5 钻孔	25.9	83.5	147.0	39.7	108.3	178.0
ZK6 钻孔	25.7	82.2	144.1	39.3	106.4	174.4
ZK7 钻孔	25.7	82.5	144.7	39.4	106.9	175.2
ZK8 钻孔	25.8	82.9	145.5	39.5	107.4	176.2
ZK9 钻孔	25.9	83.4	146.7	39.6	108.1	177.7
ZK10 钻孔	25.9	83.5	146.9	39.7	108.2	178.2
ZK11 钻孔	26.0	84.1	148.4	39.8	109.1	180.2
ZK12 钻孔	26.0	84.0	148.2	39.8	109.0	179.9
ZK13 钻孔	26.0	84.2	148.5	39.9	109.2	180.2
ZK14 钻孔	26.0	84.1	148.5	39.8	109.2	180.4
ZK15 钻孔	26.3	86.2	153.4	40.4	112.0	186.9
ZK16 钻孔	26.3	86.0	153.1	40.4	111.8	186.4
ZK17 钻孔	26.2	85.6	152.1	40.3	111.2	185.1
ZK18 钻孔	26.3	85.8	152.6	40.3	111.5	185.8
ZK19 钻孔	26.6	87.7	157.5	40.9	114.3	192.4
ZK20 钻孔	26.7	88.3	159.1	41.1	115.3	194.7

ZK21 钻孔	26.7	87.9	158.1	41.0	114.7	193.3
---------	------	------	-------	------	-------	-------

表 7.4.2A 主要潜在震源区对 ZK1 号钻孔基岩峰值加速度贡献近似值 (%)

潜源 \ 超越概率	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
23 号商丘源	16.5	47.3	93.8	21.0	68.0	93.8
20 号菏泽源	11.2	16.0	6.2	15.2	14.5	6.2
8 号背景源	23.8	9.4	0.0	22.2	0.0	0.0
22 号新乡源	11.1	23.3	0.0	15.9	17.5	0.0
16 号长垣源	8.4	4.0	0.0	10.0	0.0	0.0
15 号汤阴源	8.3	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0
其它源	20.7	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0

表 7.4.3 ZK1 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.7	82.4	144.3	39.3	106.6	174.7
0.04	29.0	94.6	169.1	44.6	123.2	206.1
0.05	33.2	107.0	190.3	50.7	139.0	231.7
0.07	42.8	137.0	243.6	65.2	177.8	296.3
0.10	54.5	171.2	301.7	82.5	221.2	365.7
0.12	57.9	181.1	319.5	87.6	234.4	388.0
0.16	68.2	213.4	376.5	103.1	275.9	456.6
0.20	67.6	214.8	381.9	102.8	278.7	464.1
0.24	63.6	209.2	376.1	97.9	272.9	459.2
0.26	59.7	201.9	366.9	92.9	264.8	449.8
0.30	55.8	193.9	357.5	87.8	256.5	440.5
0.34	51.8	180.1	332.1	81.5	238.0	409.2
0.40	43.6	161.6	303.8	70.5	215.3	376.4
0.50	36.2	137.0	260.4	58.9	183.4	323.9
0.60	29.9	119.2	231.6	49.6	161.7	290.2
0.80	21.7	91.8	182.5	37.0	125.6	230.5
1.00	16.9	76.7	156.5	29.6	106.4	199.4
1.20	13.7	65.0	136.3	24.3	91.2	174.9
1.50	10.3	49.6	106.5	18.3	70.4	137.9
1.70	8.7	42.7	92.8	15.5	60.8	121.0
2.00	6.5	33.6	73.9	11.9	48.1	96.7
2.40	4.6	23.5	52.5	8.3	33.9	69.2
3.00	3.3	17.3	39.0	6.0	25.1	51.4
4.00	2.0	10.4	23.6	3.6	15.1	31.3

5.00	1.4	7.2	16.7	2.5	10.6	22.3
6.00	0.9	4.9	11.4	1.7	7.2	15.3

表 7.4.4 ZK2 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.7	82.7	145.1	39.4	107.1	175.7
0.04	29.1	95.1	170.0	44.8	123.9	207.3
0.05	33.3	107.5	191.5	50.9	139.7	233.2
0.07	42.9	137.4	244.8	65.3	178.5	297.9
0.10	54.6	171.8	303.3	82.7	222.2	368.0
0.12	58.0	181.8	321.3	87.8	235.5	390.4
0.16	68.4	214.0	378.3	103.2	276.9	459.0
0.20	67.8	215.7	383.9	103.1	279.9	466.8
0.24	63.7	210.1	378.5	98.1	274.3	462.4
0.26	59.8	202.8	369.1	93.1	266.1	452.8
0.30	55.9	194.8	359.7	88.0	257.8	443.4
0.34	51.9	180.8	334.0	81.7	239.2	411.7
0.40	43.7	162.3	305.6	70.7	216.3	378.8
0.50	36.3	137.6	261.9	59.1	184.3	325.8
0.60	29.9	119.7	232.8	49.7	162.4	291.9
0.80	21.8	92.3	183.7	37.1	126.5	232.0
1.00	16.9	76.9	157.1	29.6	106.8	200.2
1.20	13.7	65.2	136.9	24.3	91.5	175.7
1.50	10.3	49.7	106.9	18.3	70.6	138.4
1.70	8.7	42.9	93.3	15.6	61.1	121.6
2.00	6.6	33.7	74.3	11.9	48.3	97.1
2.40	4.6	23.6	52.6	8.3	34.0	69.5
3.00	3.3	17.4	39.2	6.1	25.2	51.7
4.00	2.0	10.4	23.7	3.6	15.1	31.4
5.00	1.4	7.3	16.8	2.5	10.6	22.4
6.00	1.0	4.9	11.4	1.7	7.2	15.3

表 7.4.5 ZK3 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.8	83.2	146.2	39.6	107.9	177.1
0.04	29.2	95.6	171.3	45.0	124.7	208.9
0.05	33.4	108.1	192.9	51.1	140.5	235.1
0.07	43.0	138.1	246.5	65.6	179.5	300.1
0.10	54.8	172.6	305.3	83.0	223.4	370.7
0.12	58.2	182.7	323.3	88.1	236.8	393.1
0.16	68.6	215.1	380.8	103.7	278.5	462.3

0.20	68.0	216.6	386.3	103.4	281.3	469.9
0.24	63.9	211.1	381.2	98.5	275.8	465.8
0.26	60.0	203.9	372.0	93.3	267.7	456.8
0.30	56.0	195.9	362.3	88.3	259.3	446.8
0.34	52.0	181.7	336.3	81.9	240.7	414.8
0.40	43.7	163.3	308.1	70.9	217.7	382.3
0.50	36.3	138.3	263.7	59.2	185.5	328.2
0.60	30.1	120.8	235.2	50.1	164.1	294.9
0.80	21.8	92.9	185.1	37.2	127.3	233.8
1.00	17.0	77.4	158.5	29.8	107.7	201.9
1.20	13.7	65.7	137.9	24.5	92.2	177.1
1.50	10.3	50.1	107.8	18.4	71.1	139.5
1.70	8.7	43.1	93.8	15.6	61.4	122.3
2.00	6.6	33.9	74.8	12.0	48.7	97.9
2.40	4.6	23.9	53.1	8.4	34.3	70.1
3.00	3.3	17.5	39.3	6.1	25.3	51.9
4.00	2.0	10.5	23.8	3.6	15.2	31.6
5.00	1.4	7.3	16.9	2.5	10.7	22.5
6.00	1.0	4.9	11.4	1.7	7.2	15.3

表 7.4.6 ZK4 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.8	82.9	145.6	39.5	107.5	176.3
0.04	29.1	95.2	170.4	44.8	124.1	207.8
0.05	33.4	107.7	191.9	50.9	139.9	233.8
0.07	43.0	137.7	245.5	65.5	178.9	298.8
0.10	54.7	172.1	304.1	82.8	222.7	368.9
0.12	58.2	182.2	322.0	88.0	236.0	391.5
0.16	68.5	214.6	379.3	103.5	277.6	460.3
0.20	67.9	216.0	384.8	103.2	280.4	467.9
0.24	63.8	210.6	379.6	98.3	274.9	463.7
0.26	59.9	203.2	370.4	93.2	266.7	454.5
0.30	56.0	195.1	360.6	88.1	258.3	444.6
0.34	51.9	181.0	334.7	81.7	239.6	412.7
0.40	43.7	162.6	306.4	70.7	216.7	380.0
0.50	36.3	137.8	262.4	59.1	184.6	326.6
0.60	29.9	120.0	233.6	49.8	163.0	292.9
0.80	21.8	92.5	184.0	37.2	126.7	232.5
1.00	17.0	77.2	157.8	29.7	107.3	201.0
1.20	13.7	65.5	137.4	24.4	91.9	176.3
1.50	10.3	49.9	107.3	18.3	70.8	138.9
1.70	8.7	42.9	93.4	15.6	61.2	121.7

2.00	6.5	33.6	74.2	11.9	48.3	97.1
2.40	4.6	23.8	52.9	8.4	34.2	69.8
3.00	3.3	17.4	39.2	6.1	25.2	51.8
4.00	2.0	10.5	23.8	3.6	15.2	31.5
5.00	1.4	7.3	16.8	2.5	10.7	22.4
6.00	1.0	4.9	11.4	1.7	7.2	15.3

表 7.4.7 ZK5 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.9	83.5	147.0	39.7	108.3	178.0
0.04	29.3	95.9	172.1	45.1	125.2	210.1
0.05	33.5	108.4	193.8	51.2	141.1	236.3
0.07	43.2	138.7	247.9	65.8	180.4	302.0
0.10	54.9	173.1	306.8	83.1	224.2	372.6
0.12	58.3	183.3	324.6	88.3	237.7	394.9
0.16	68.8	216.0	383.0	104.0	279.8	465.1
0.20	68.2	217.5	388.2	103.7	282.7	472.8
0.24	64.0	211.8	383.0	98.7	276.9	468.2
0.26	60.1	204.7	374.4	93.6	269.0	460.0
0.30	56.1	196.7	364.4	88.5	260.5	449.6
0.34	52.1	182.4	338.0	82.1	241.7	417.0
0.40	43.8	163.9	309.8	71.0	218.7	384.6
0.50	36.4	138.8	265.0	59.3	186.3	330.1
0.60	30.1	120.9	235.9	50.0	164.4	296.0
0.80	21.9	93.2	186.0	37.4	127.9	235.1
1.00	17.0	77.8	159.3	29.9	108.2	203.1
1.20	13.8	66.0	138.6	24.5	92.7	178.0
1.50	10.3	50.2	108.2	18.4	71.3	140.1
1.70	8.8	43.3	94.4	15.7	61.8	123.1
2.00	6.6	34.0	75.1	12.0	48.9	98.3
2.40	4.6	23.9	53.3	8.4	34.4	70.4
3.00	3.3	17.5	39.4	6.1	25.3	52.0
4.00	2.0	10.5	24.0	3.6	15.3	31.8
5.00	1.4	7.3	16.9	2.5	10.7	22.6
6.00	1.0	5.0	11.5	1.7	7.3	15.5

表 7.4.8 ZK6 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.7	82.2	144.1	39.3	106.4	174.4
0.04	29.1	94.6	168.9	44.7	123.1	205.8
0.05	33.3	107.0	190.1	50.8	138.9	231.3

0.07	42.8	136.8	243.2	65.2	177.5	295.7
0.10	54.5	171.0	301.2	82.4	221.0	365.2
0.12	57.9	180.9	319.1	87.6	234.1	387.5
0.16	68.2	213.1	375.8	103.0	275.5	455.8
0.20	67.7	214.7	381.3	102.8	278.4	463.2
0.24	63.6	209.1	375.8	97.9	272.7	458.8
0.26	59.7	201.7	366.3	92.8	264.4	449.1
0.30	55.6	193.3	356.6	87.5	255.9	439.4
0.34	51.6	179.4	331.1	81.2	237.2	408.0
0.40	43.4	160.9	302.5	70.2	214.4	374.9
0.50	36.1	136.4	259.4	58.7	182.6	322.6
0.60	29.9	119.0	231.0	49.6	161.4	289.5
0.80	21.8	91.8	182.3	37.1	125.6	230.2
1.00	16.9	76.5	156.0	29.6	106.1	198.7
1.20	13.7	64.8	135.9	24.3	90.9	174.3
1.50	10.3	49.5	106.1	18.2	70.2	137.5
1.70	8.7	42.6	92.6	15.5	60.6	120.7
2.00	6.5	33.4	73.5	11.8	47.8	96.1
2.40	4.6	23.5	52.3	8.3	33.8	69.0
3.00	3.3	17.3	39.0	6.0	25.1	51.4
4.00	2.0	10.4	23.6	3.6	15.0	31.2
5.00	1.4	7.2	16.7	2.5	10.6	22.2
6.00	0.9	4.9	11.3	1.7	7.1	15.2

表 7.4.9 ZK7 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.7	82.5	144.7	39.4	106.9	175.2
0.04	29.1	94.9	169.6	44.8	123.6	206.8
0.05	33.3	107.3	190.9	50.8	139.4	232.5
0.07	42.9	137.3	244.3	65.4	178.2	297.3
0.10	54.6	171.5	302.6	82.7	221.8	367.0
0.12	58.1	181.6	320.5	87.8	235.1	389.4
0.16	68.4	213.9	377.6	103.3	276.6	458.1
0.20	67.8	215.3	382.8	103.0	279.3	465.3
0.24	63.7	209.9	377.7	98.1	273.8	461.2
0.26	59.8	202.5	368.5	93.0	265.6	452.1
0.30	55.7	194.0	358.4	87.7	256.8	441.8
0.34	51.7	180.0	332.7	81.3	238.2	410.1
0.40	43.5	161.5	304.1	70.4	215.3	377.1
0.50	36.1	136.9	260.7	58.8	183.4	324.4
0.60	29.9	119.4	232.1	49.7	162.0	290.9
0.80	21.8	92.1	183.1	37.1	126.1	231.2

1.00	17.0	76.9	156.9	29.7	106.7	199.8
1.20	13.7	65.2	136.7	24.4	91.4	175.3
1.50	10.3	49.8	106.7	18.3	70.5	138.2
1.70	8.8	42.9	93.2	15.6	61.1	121.4
2.00	6.5	33.5	73.9	11.9	48.1	96.6
2.40	4.6	23.7	52.7	8.4	34.1	69.5
3.00	3.3	17.4	39.0	6.0	25.1	51.5
4.00	2.0	10.4	23.7	3.6	15.1	31.4
5.00	1.4	7.2	16.6	2.5	10.5	22.2
6.00	1.0	4.9	11.4	1.7	7.2	15.3

表 7.4.10 ZK8 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.8	82.9	145.5	39.5	107.4	176.2
0.04	29.2	95.2	170.5	44.9	124.1	207.9
0.05	33.4	107.6	191.7	50.9	139.8	233.6
0.07	43.0	137.6	245.3	65.5	178.7	298.5
0.10	54.7	172.0	303.7	82.8	222.4	368.5
0.12	58.2	182.1	321.8	88.0	235.8	391.1
0.16	68.6	214.4	379.1	103.5	277.4	460.0
0.20	67.9	215.9	384.4	103.2	280.2	467.4
0.24	63.8	210.4	379.1	98.3	274.6	463.1
0.26	59.8	203.0	370.2	93.1	266.5	454.5
0.30	55.8	194.6	360.0	87.8	257.8	444.0
0.34	51.8	180.6	334.2	81.5	239.1	412.2
0.40	43.5	162.1	305.9	70.5	216.2	379.6
0.50	36.1	137.3	261.9	58.9	184.1	326.1
0.60	30.0	119.9	233.4	49.8	162.8	292.6
0.80	21.8	92.4	183.8	37.2	126.6	232.2
1.00	17.0	77.1	157.5	29.7	107.1	200.6
1.20	13.7	65.4	137.1	24.4	91.7	175.9
1.50	10.3	49.9	107.1	18.3	70.7	138.7
1.70	8.8	43.0	93.5	15.6	61.2	121.8
2.00	6.5	33.6	74.2	11.9	48.3	97.0
2.40	4.6	23.8	52.9	8.4	34.2	69.7
3.00	3.3	17.4	39.1	6.0	25.1	51.6
4.00	2.0	10.5	23.8	3.6	15.2	31.5
5.00	1.4	7.2	16.7	2.5	10.6	22.3
6.00	1.0	4.9	11.5	1.7	7.2	15.4

表 7.4.11 ZK9 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.9	83.4	146.7	39.6	108.1	177.7
0.04	29.3	95.8	171.8	45.0	125.0	209.6
0.05	33.5	108.3	193.4	51.1	140.8	235.8
0.07	43.2	138.5	247.4	65.7	180.0	301.3
0.10	54.9	172.9	306.1	83.1	223.8	371.7
0.12	58.3	183.0	323.9	88.2	237.2	393.9
0.16	68.8	215.7	382.2	103.9	279.3	464.1
0.20	68.2	217.2	387.5	103.6	282.2	471.7
0.24	64.0	211.4	382.0	98.6	276.3	466.9
0.26	60.0	204.2	373.3	93.4	268.3	458.6
0.30	56.0	195.9	363.1	88.2	259.5	448.1
0.34	51.9	181.6	336.9	81.8	240.8	415.8
0.40	43.6	163.1	308.6	70.7	217.8	383.3
0.50	36.2	138.1	264.0	59.1	185.4	328.9
0.60	30.0	120.7	235.4	49.9	164.1	295.3
0.80	21.9	93.1	185.5	37.3	127.6	234.5
1.00	17.0	77.7	158.9	29.9	108.0	202.5
1.20	13.8	65.9	138.3	24.5	92.4	177.5
1.50	10.4	50.2	107.9	18.4	71.2	139.7
1.70	8.8	43.3	94.1	15.7	61.6	122.7
2.00	6.5	33.8	74.7	11.9	48.5	97.7
2.40	4.6	23.9	53.2	8.4	34.4	70.2
3.00	3.3	17.4	39.3	6.1	25.2	51.9
4.00	2.0	10.5	23.9	3.6	15.2	31.7
5.00	1.4	7.3	16.9	2.5	10.7	22.6
6.00	1.0	4.9	11.5	1.7	7.2	15.5

表 7.4.12 ZK10 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	25.9	83.5	146.9	39.7	108.2	178.2
0.04	29.3	95.9	172.0	45.1	125.2	210.0
0.05	33.5	108.4	193.7	51.2	141.0	236.2
0.07	43.2	138.5	247.6	65.8	180.2	301.6
0.10	55.0	173.1	306.8	83.2	224.2	372.5
0.12	58.4	183.3	324.5	88.3	237.6	394.8
0.16	68.8	215.9	382.7	104.0	279.6	464.7
0.20	68.2	217.4	388.0	103.7	282.5	472.4
0.24	64.0	211.6	382.4	98.6	276.5	467.5
0.26	60.1	204.4	373.6	93.5	268.5	459.0
0.30	56.0	196.1	363.8	88.2	259.9	449.1

0.34	52.0	181.9	337.6	81.8	241.2	416.9
0.40	43.7	163.3	309.3	70.7	218.1	384.2
0.50	36.3	138.3	264.6	59.1	185.7	329.8
0.60	30.0	120.8	235.7	50.0	164.3	295.8
0.80	21.9	93.1	185.8	37.3	127.8	234.8
1.00	17.0	77.7	159.0	29.9	108.0	202.7
1.20	13.8	65.9	138.4	24.5	92.5	177.6
1.50	10.4	50.2	108.1	18.4	71.3	139.9
1.70	8.8	43.3	94.2	15.7	61.7	122.8
2.00	6.6	33.8	74.8	11.9	48.6	97.9
2.40	4.6	24.0	53.3	8.4	34.5	70.3
3.00	3.3	17.5	39.4	6.1	25.4	52.1
4.00	2.0	10.5	23.9	3.6	15.2	31.7
5.00	1.4	7.3	16.8	2.5	10.6	22.5
6.00	1.0	4.9	11.5	1.7	7.2	15.5

表 7.4.13 ZK11 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.0	84.1	148.4	39.8	109.1	180.2
0.04	29.4	96.5	173.6	45.3	126.2	212.0
0.05	33.7	109.1	195.4	51.4	142.0	238.5
0.07	43.3	139.5	250.1	66.0	181.6	304.9
0.10	55.2	174.2	309.6	83.5	225.9	376.4
0.12	58.6	184.4	327.2	88.7	239.5	398.3
0.16	69.1	217.2	386.3	104.4	281.8	469.7
0.20	68.5	218.8	391.3	104.1	284.7	477.3
0.24	64.3	213.1	386.4	99.1	279.0	473.0
0.26	60.3	205.7	377.1	93.9	270.6	463.6
0.30	56.1	197.4	367.4	88.5	261.9	454.2
0.34	52.1	183.1	340.8	82.1	243.2	421.2
0.40	43.7	164.4	312.0	70.9	219.7	387.7
0.50	36.3	139.2	267.1	59.3	187.3	333.2
0.60	30.1	121.6	238.0	50.2	165.6	299.0
0.80	21.9	93.8	187.5	37.4	128.9	237.2
1.00	17.0	78.3	160.5	30.0	108.9	204.6
1.20	13.8	66.4	139.6	24.6	93.2	179.3
1.50	10.4	50.6	109.0	18.5	71.9	141.2
1.70	8.8	43.6	95.1	15.7	62.2	124.0
2.00	6.6	34.1	75.4	11.9	49.0	98.8
2.40	4.6	24.1	53.8	8.5	34.7	70.9
3.00	3.3	17.6	39.7	6.1	25.5	52.5
4.00	2.0	10.5	24.0	3.6	15.3	31.8

5.00	1.4	7.4	17.0	2.5	10.8	22.8
6.00	1.0	5.0	11.6	1.7	7.3	15.6

表 7.4.14 ZK12 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.0	84.0	148.2	39.8	109.0	179.9
0.04	29.4	96.5	173.4	45.2	126.1	211.7
0.05	33.7	109.0	195.1	51.4	141.9	238.1
0.07	43.3	139.4	249.9	66.0	181.5	304.6
0.10	55.1	174.1	309.3	83.5	225.8	376.0
0.12	58.6	184.4	327.0	88.6	239.3	397.9
0.16	69.0	217.1	386.0	104.4	281.6	469.2
0.20	68.4	218.6	390.9	104.0	284.4	476.8
0.24	64.2	213.0	386.2	99.1	278.8	472.5
0.26	60.3	205.7	377.0	93.9	270.6	463.5
0.30	56.3	197.8	367.5	88.7	262.2	453.9
0.34	52.2	183.4	340.8	82.3	243.4	421.0
0.40	43.9	164.8	312.2	71.2	220.0	387.7
0.50	36.5	139.5	267.3	59.5	187.6	333.3
0.60	30.1	121.5	237.7	50.2	165.4	298.5
0.80	22.0	93.7	187.3	37.5	128.8	236.9
1.00	17.0	78.2	160.4	29.9	108.8	204.5
1.20	13.8	66.3	139.5	24.6	93.2	179.2
1.50	10.4	50.6	108.9	18.5	71.8	141.1
1.70	8.8	43.6	95.0	15.7	62.2	124.0
2.00	6.6	34.2	75.6	12.0	49.1	99.0
2.40	4.6	24.1	53.7	8.4	34.7	70.8
3.00	3.3	17.6	39.7	6.1	25.5	52.4
4.00	2.0	10.5	24.0	3.6	15.3	31.9
5.00	1.4	7.4	17.0	2.5	10.8	22.8
6.00	1.0	5.0	11.6	1.7	7.3	15.6

表 7.4.15 ZK13 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.0	84.2	148.5	39.9	109.2	180.2
0.04	29.4	96.6	173.6	45.3	126.2	212.1
0.05	33.7	109.1	195.5	51.4	142.1	238.5
0.07	43.3	139.5	250.3	66.0	181.7	305.1
0.10	55.1	174.3	309.8	83.5	226.1	376.6
0.12	58.6	184.6	327.5	88.7	239.7	398.6
0.16	69.1	217.3	386.5	104.4	281.9	469.9

0.20	68.4	218.9	391.4	104.1	284.8	477.5
0.24	64.2	213.3	386.8	99.1	279.2	473.5
0.26	60.2	205.8	377.5	93.8	270.8	464.2
0.30	56.3	198.1	368.1	88.8	262.6	454.6
0.34	52.2	183.7	341.3	82.4	243.8	421.5
0.40	43.9	165.0	312.7	71.3	220.4	388.2
0.50	36.5	139.8	267.8	59.6	188.0	333.8
0.60	30.2	122.1	238.6	50.4	166.1	299.6
0.80	22.0	94.1	188.1	37.6	129.3	237.8
1.00	17.1	78.3	160.7	30.0	109.0	204.8
1.20	13.8	66.4	139.8	24.6	93.3	179.5
1.50	10.4	50.6	109.1	18.5	71.9	141.4
1.70	8.8	43.7	95.2	15.7	62.3	124.2
2.00	6.6	34.3	75.7	12.0	49.2	99.2
2.40	4.6	24.1	53.8	8.5	34.7	70.9
3.00	3.3	17.5	39.6	6.1	25.4	52.3
4.00	2.0	10.6	24.1	3.6	15.4	32.0
5.00	1.4	7.4	17.1	2.5	10.8	22.8
6.00	1.0	5.0	11.6	1.7	7.3	15.6

表 7.4.16 ZK14 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.0	84.1	148.5	39.8	109.2	180.4
0.04	29.4	96.6	173.8	45.3	126.3	212.3
0.05	33.7	109.1	195.7	51.5	142.1	238.8
0.07	43.4	139.5	250.3	66.1	181.7	305.1
0.10	55.2	174.3	309.8	83.6	226.0	376.7
0.12	58.6	184.5	327.4	88.7	239.6	398.6
0.16	69.2	217.4	386.6	104.5	281.9	470.2
0.20	68.6	218.9	391.6	104.2	284.9	477.9
0.24	64.3	213.2	386.7	99.1	279.1	473.3
0.26	60.3	205.6	377.0	93.8	270.5	463.5
0.30	56.1	197.3	367.2	88.5	261.7	453.9
0.34	52.1	182.9	340.6	82.1	243.0	421.0
0.40	43.8	164.5	312.2	71.0	219.8	387.8
0.50	36.4	139.4	267.3	59.4	187.4	333.4
0.60	30.1	121.7	238.3	50.2	165.7	299.4
0.80	22.0	93.8	187.7	37.5	129.0	237.5
1.00	17.0	78.3	160.6	30.0	108.9	204.8
1.20	13.8	66.4	139.6	24.6	93.3	179.4
1.50	10.4	50.6	109.0	18.5	71.9	141.3
1.70	8.8	43.6	95.1	15.7	62.2	124.1

2.00	6.6	34.1	75.4	12.0	49.0	98.9
2.40	4.6	24.1	53.8	8.4	34.7	70.9
3.00	3.3	17.6	39.7	6.1	25.5	52.5
4.00	2.0	10.6	24.1	3.6	15.4	31.9
5.00	1.4	7.3	16.9	2.5	10.7	22.6
6.00	1.0	5.0	11.6	1.7	7.3	15.6

表 7.4.17 ZK15 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.3	86.2	153.4	40.4	112.0	186.9
0.04	29.8	98.8	179.1	46.0	129.8	219.5
0.05	34.2	111.5	201.9	52.2	145.8	247.2
0.07	44.0	142.5	257.7	67.1	186.4	315.6
0.10	56.0	178.1	319.0	84.9	231.9	389.6
0.12	59.4	188.6	337.2	89.9	245.9	411.7
0.16	70.2	222.0	397.5	106.1	289.1	485.5
0.20	69.5	223.7	402.9	105.8	292.2	492.8
0.24	65.1	217.9	398.4	100.5	286.6	489.5
0.26	60.9	210.1	389.0	95.1	277.6	479.8
0.30	56.9	202.4	379.2	89.9	268.9	469.7
0.34	52.8	187.5	351.3	83.5	250.1	435.0
0.40	44.4	168.4	321.5	72.1	225.9	400.1
0.50	36.8	142.8	275.5	60.3	192.8	344.2
0.60	30.4	124.5	245.6	50.8	169.9	309.1
0.80	22.1	95.9	193.3	37.9	132.4	245.1
1.00	17.1	79.9	165.3	30.3	111.5	210.7
1.20	13.9	67.8	143.4	24.8	95.5	184.6
1.50	10.4	51.6	112.0	18.7	73.6	145.4
1.70	8.9	44.6	97.8	15.9	63.8	127.9
2.00	6.6	35.0	77.6	12.2	50.3	101.7
2.40	4.7	24.6	55.1	8.5	35.5	72.6
3.00	3.4	18.0	40.7	6.2	26.1	53.8
4.00	2.0	10.8	24.6	3.7	15.7	32.6
5.00	1.4	7.5	17.4	2.5	11.0	23.2
6.00	1.0	5.1	11.8	1.7	7.4	15.9

表 7.4.18 ZK16 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.3	86.0	153.1	40.4	111.8	186.4
0.04	29.8	98.7	178.8	46.0	129.5	219.0
0.05	34.1	111.2	201.4	52.2	145.4	246.5

0.07	43.9	142.3	257.2	67.0	186.1	314.9
0.10	55.9	177.8	318.4	84.8	231.5	388.8
0.12	59.4	188.4	336.7	90.0	245.6	411.0
0.16	70.1	221.7	396.8	106.0	288.6	484.5
0.20	69.4	223.3	402.1	105.7	291.8	491.8
0.24	65.0	217.5	397.5	100.4	286.0	488.4
0.26	60.9	209.8	388.4	95.0	277.2	478.9
0.30	56.9	202.0	378.3	89.8	268.3	468.5
0.34	52.8	187.2	350.5	83.4	249.6	434.0
0.40	44.3	168.1	320.8	72.0	225.4	399.2
0.50	36.8	142.5	274.8	60.2	192.4	343.3
0.60	30.4	124.3	245.0	50.8	169.6	308.4
0.80	22.1	95.8	192.9	37.9	132.2	244.5
1.00	17.2	80.0	165.3	30.3	111.5	210.6
1.20	13.9	67.9	143.4	24.9	95.5	184.5
1.50	10.4	51.6	111.7	18.7	73.4	145.1
1.70	8.8	44.5	97.6	15.9	63.6	127.6
2.00	6.6	34.7	77.1	12.1	49.9	101.1
2.40	4.7	24.5	55.0	8.5	35.4	72.5
3.00	3.4	18.0	40.6	6.2	26.1	53.7
4.00	2.0	10.7	24.6	3.7	15.7	32.6
5.00	1.4	7.5	17.4	2.5	11.0	23.2
6.00	1.0	5.1	11.8	1.7	7.4	15.9

表 7.4.19 ZK17 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.2	85.6	152.1	40.3	111.2	185.1
0.04	29.7	98.2	177.8	45.8	128.8	217.7
0.05	34.0	110.8	200.3	52.0	144.8	245.2
0.07	43.9	141.8	256.0	66.9	185.2	313.3
0.10	55.8	177.2	317.0	84.6	230.5	387.0
0.12	59.3	187.7	335.2	89.8	244.6	409.0
0.16	70.0	220.9	395.0	105.8	287.5	482.1
0.20	69.3	222.6	400.3	105.5	290.5	489.4
0.24	65.0	216.9	395.9	100.4	285.0	486.1
0.26	60.8	209.0	386.5	94.8	275.9	476.4
0.30	56.6	200.8	375.9	89.4	266.8	465.4
0.34	52.6	186.1	348.3	83.0	248.1	431.3
0.40	44.1	167.1	319.0	71.6	224.1	397.0
0.50	36.6	141.6	273.0	59.9	191.1	341.1
0.60	30.3	123.7	243.5	50.6	168.7	306.4
0.80	22.1	95.4	191.9	37.8	131.6	243.2

1.00	17.1	79.7	164.5	30.2	111.1	209.6
1.20	13.9	67.6	142.7	24.8	95.1	183.7
1.50	10.4	51.3	111.2	18.6	73.1	144.4
1.70	8.8	44.3	97.1	15.9	63.4	127.0
2.00	6.6	34.6	76.7	12.1	49.8	100.6
2.40	4.7	24.5	54.8	8.5	35.3	72.2
3.00	3.4	18.0	40.5	6.2	26.0	53.6
4.00	2.0	10.7	24.5	3.7	15.6	32.5
5.00	1.4	7.4	17.2	2.5	10.9	23.0
6.00	1.0	5.1	11.8	1.7	7.4	15.9

表 7.4.20 ZK18 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.3	85.8	152.6	40.3	111.5	185.8
0.04	29.8	98.3	178.1	45.8	129.1	218.3
0.05	34.1	111.0	200.8	52.1	145.1	245.8
0.07	43.9	142.0	256.4	66.9	185.5	314.0
0.10	55.9	177.4	317.5	84.7	230.9	387.8
0.12	59.4	188.0	335.8	89.8	244.9	409.9
0.16	70.0	221.2	395.7	105.9	287.9	483.2
0.20	69.4	222.8	401.1	105.6	291.0	490.5
0.24	65.1	217.1	396.6	100.4	285.4	487.1
0.26	60.7	209.0	387.2	94.6	276.1	477.7
0.30	56.7	201.1	376.8	89.4	267.3	466.7
0.34	52.6	186.4	349.2	83.1	248.6	432.5
0.40	44.2	167.4	319.7	71.7	224.5	397.9
0.50	36.7	141.8	273.7	59.9	191.5	342.1
0.60	30.3	123.8	243.9	50.7	168.9	307.0
0.80	22.1	95.5	192.2	37.8	131.7	243.6
1.00	17.2	79.7	164.7	30.3	111.2	209.9
1.20	13.9	67.6	142.9	24.8	95.2	183.9
1.50	10.5	51.5	111.6	18.7	73.3	144.8
1.70	8.9	44.5	97.4	15.9	63.5	127.3
2.00	6.6	34.6	76.9	12.1	49.8	100.8
2.40	4.7	24.6	55.0	8.5	35.4	72.5
3.00	3.4	18.0	40.6	6.2	26.1	53.7
4.00	2.0	10.7	24.5	3.7	15.6	32.5
5.00	1.4	7.4	17.2	2.5	10.9	23.0
6.00	1.0	5.0	11.8	1.7	7.4	15.9

表 7.4.21 ZK19 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.6	87.7	157.5	40.9	114.3	192.4
0.04	30.1	100.5	183.5	46.5	132.4	225.5
0.05	34.5	113.2	206.6	52.8	148.5	253.9
0.07	44.5	144.8	263.4	67.9	189.9	323.3
0.10	56.6	180.8	325.9	85.8	236.3	399.0
0.12	60.1	191.7	344.7	91.0	250.7	421.8
0.16	70.9	225.6	406.3	107.4	294.7	497.3
0.20	70.3	227.3	411.9	107.1	298.0	504.9
0.24	65.8	221.3	407.0	101.7	292.0	501.1
0.26	61.4	213.1	397.4	95.9	282.6	491.5
0.30	57.2	205.2	387.8	90.5	273.5	481.5
0.34	53.1	190.2	359.2	84.1	254.5	446.1
0.40	44.6	170.7	328.6	72.5	230.0	410.1
0.50	37.0	144.7	281.5	60.6	196.2	352.6
0.60	30.6	126.5	251.3	51.2	172.9	316.6
0.80	22.3	97.4	197.5	38.2	134.8	250.9
1.00	17.3	81.3	168.7	30.6	113.6	215.2
1.20	14.0	69.0	146.4	25.1	97.3	188.7
1.50	10.5	52.5	114.1	18.9	74.8	148.3
1.70	8.9	45.2	99.6	16.0	64.8	130.3
2.00	6.7	35.3	78.8	12.2	50.9	103.5
2.40	4.7	25.0	56.2	8.6	36.1	74.0
3.00	3.4	18.3	41.4	6.2	26.5	54.7
4.00	2.0	10.9	24.9	3.7	15.9	33.1
5.00	1.4	7.6	17.6	2.5	11.1	23.5
6.00	1.0	5.1	12.0	1.8	7.6	16.2

表 7.4.22 ZK20 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.7	88.3	159.1	41.1	115.3	194.7
0.04	30.3	101.3	185.5	46.7	133.7	228.2
0.05	34.7	114.1	208.8	53.1	149.9	256.9
0.07	44.7	146.0	266.3	68.3	191.9	327.3
0.10	56.9	182.2	329.2	86.3	238.4	403.5
0.12	60.3	193.2	348.5	91.4	253.0	427.1
0.16	71.3	227.5	410.7	108.0	297.6	503.3
0.20	70.7	229.3	416.5	107.8	301.0	511.2
0.24	66.1	223.0	411.3	102.2	294.7	506.9
0.26	61.7	214.5	401.1	96.4	285.0	496.5
0.30	57.4	206.4	391.0	90.8	275.5	486.0

0.34	53.3	191.4	362.5	84.4	256.3	450.7
0.40	44.7	171.7	331.3	72.7	231.7	413.8
0.50	37.1	145.6	284.0	60.8	197.8	356.0
0.60	30.7	127.5	253.8	51.5	174.5	319.9
0.80	22.3	98.1	199.5	38.3	135.9	253.6
1.00	17.3	81.9	170.2	30.7	114.5	217.4
1.20	14.0	69.5	147.8	25.2	98.1	190.6
1.50	10.6	52.8	115.1	18.9	75.4	149.8
1.70	8.9	45.6	100.4	16.1	65.3	131.6
2.00	6.7	35.6	79.4	12.3	51.3	104.4
2.40	4.7	25.1	56.6	8.7	36.4	74.6
3.00	3.4	18.4	41.7	6.3	26.7	55.2
4.00	2.0	11.0	25.2	3.7	16.0	33.4
5.00	1.4	7.6	17.7	2.6	11.2	23.7
6.00	1.0	5.2	12.1	1.8	7.6	16.3

表 7.4.23 ZK21 钻孔不同超越概率水平的基岩水平向加速度反应谱值 (gal)

周期 (s)	50 年超越概率			100 年超越概率		
	63%	10%	2%	63%	10%	2%
0.00	26.7	87.9	158.1	41.0	114.7	193.3
0.04	30.2	100.8	184.3	46.6	133.0	226.7
0.05	34.6	113.6	207.5	52.9	149.1	255.2
0.07	44.6	145.3	264.7	68.1	190.8	325.1
0.10	56.7	181.3	327.3	86.0	237.1	401.0
0.12	60.2	192.2	346.2	91.1	251.6	424.1
0.16	71.0	226.2	408.1	107.6	295.8	499.9
0.20	70.5	228.2	414.0	107.4	299.4	507.9
0.24	65.9	221.8	408.7	101.8	293.0	503.6
0.26	61.5	213.5	398.7	96.1	283.4	493.3
0.30	57.3	205.5	388.8	90.6	274.1	483.0
0.34	53.2	190.6	360.2	84.2	255.0	447.6
0.40	44.6	171.0	329.4	72.6	230.5	411.3
0.50	37.0	144.9	282.3	60.7	196.7	353.9
0.60	30.7	126.9	252.4	51.4	173.6	318.0
0.80	22.3	97.7	198.4	38.2	135.2	252.2
1.00	17.3	81.5	169.3	30.6	113.9	216.1
1.20	14.0	69.1	147.0	25.1	97.6	189.6
1.50	10.5	52.6	114.5	18.9	75.0	149.0
1.70	8.9	45.3	99.9	16.1	65.0	130.8
2.00	6.7	35.3	78.9	12.2	51.0	103.7
2.40	4.7	25.0	56.4	8.6	36.2	74.2
3.00	3.4	18.3	41.4	6.3	26.6	54.8
4.00	2.0	10.9	25.0	3.7	15.9	33.1

5.00	1.4	7.6	17.6	2.5	11.1	23.6
6.00	1.0	5.2	12.1	1.8	7.6	16.2