

重庆市城口县工业园区 区域地震安全性评价报告

重庆混之元工程技术咨询有限公司

2021 年 6 月

目 录

前 言	3
第一章 区域和近场区地震活动性分析	7
1.1 地震资料选取及评价	7
1.1.1 地震资料概况	7
1.1.2 地震资料完整性评价	8
1.2 区域地震活动性特征	9
1.2.1 地震活动的时空分布特征	9
1.2.2 地震区带的地震活动性和未来活动趋势	14
1.3 历史地震对工程场地的影响分析	15
1.3.1 历史地震对场地影响的实际资料	16
1.3.2 场地历史地震影响综合分析	20
1.4 区域地震震源机制及现代构造应力场	21
1.4.1 单个地震的震源机制解	21
1.4.2 小震综合节面解	22
1.4.3 区域现代构造应力场分布特征	23
1.5 近场区范围地震活动性	24
1.6 区域和近场区地震环境评价	25
第二章 区域地震地质环境分析	27
2.1 区域大地构造	27
2.1.1 大地构造分区	27
2.1.2 区域构造演化	30
2.2 区域地球物理场与深部构造	31
2.2.1 重力场特征	31
2.2.2 磁场特征	32
2.2.3 地壳结构特征	33
2.3 区域地貌及新构造	36
2.4 区域主要断裂及其活动性	40
2.5 区域地震构造环境综合评价	60
第三章 近场区地震构造评价	61
3.1 近场区新构造	61
3.1.1 近场区构造地貌特征	61
3.1.2 近场区地层分布特征	62
3.1.3 近场区新构造运动特征	63
3.2 近场区主要构造特征	64
3.3 目标区附近断裂展布	70
3.4 近场区地震构造综合评价	73
第四章 地震危险性分析	74
4.1 分析方法概述	74
4.2 潜在震源区的划分	75
4.2.1 潜在震源区划分的原则	75
4.2.2 各震级段潜在震源区划分的地震地质条件	76

4.2.3 各震级段潜在震源区边界的确定	77
4.2.4 潜在震源区的划分	78
4.3 地震活动性参数的确定	81
4.3.1 地震带活动性参数的确定	81
4.3.2 背景潜源地震活动性参数的确定	82
4.3.3 潜在震源区活动性参数的确定	82
4.4 地震动预测方程	85
4.5 地震危险性计算及结果分析	88
第五章 场地工程地震条件	91
5.1 场地地震工程地质条件分析	91
5.2 场地类别划分	123
第六章 场地地震动参数确定	127
6.1 基岩地震动时程合成	127
6.2 地震反应分析模型及模型参数的选择	131
6.2.1 场地地震反应分析模型及其参数确定	131
6.2.2 地震输入界面确定	133
6.3 场地设计地震动参数的确定	133
6.4 设计地震动时程的合成	141
6.5 使用说明	144
第七章 地震地质灾害初步评价	146
7.1 砂土液化	146
7.2 软土震陷	147
7.3 崩塌、滑坡、泥石流	147
7.4 地震断裂活动影响	149
结 论	157
参 考 文 献	163
附件：剪切波速报告	

前 言

一、项目简介

城口工业园区是位于城口县的新建工业园区。城口县地处重庆市最北端，与川陕鄂交界，背依大巴山主脉，面临三峡库区，是重庆重要生态功能保障区、向北重要门户、红色旅游和生态旅游基地、重要生态经济区。2008年12月，城口正式启动工业园区建设，其规划面积为450公顷。根据城口地理条件、资源储备和工业发展基础，采取“一区多组团”模式予以建设。首批园区建设面积为112公顷，分为“高燕组团”和庙坝组团”，主要分别发展锰矿和农林及特色工业品加工骨干产业。后期，又增加了“巴山组团”，由于城口用地条件较差，三个组团分布在不同乡镇，距离较远，其中巴山组团面积为2.3平方公里（建成0.8平方公里，未建1.5平方公里），高燕组团为1.8平方公里（建成0.84平方公里，未建0.96平方公里），庙坝组团为1.6平方公里（建成0.28平方公里，未建1.32平方公里），此次评估面积共计3.78平方公里。

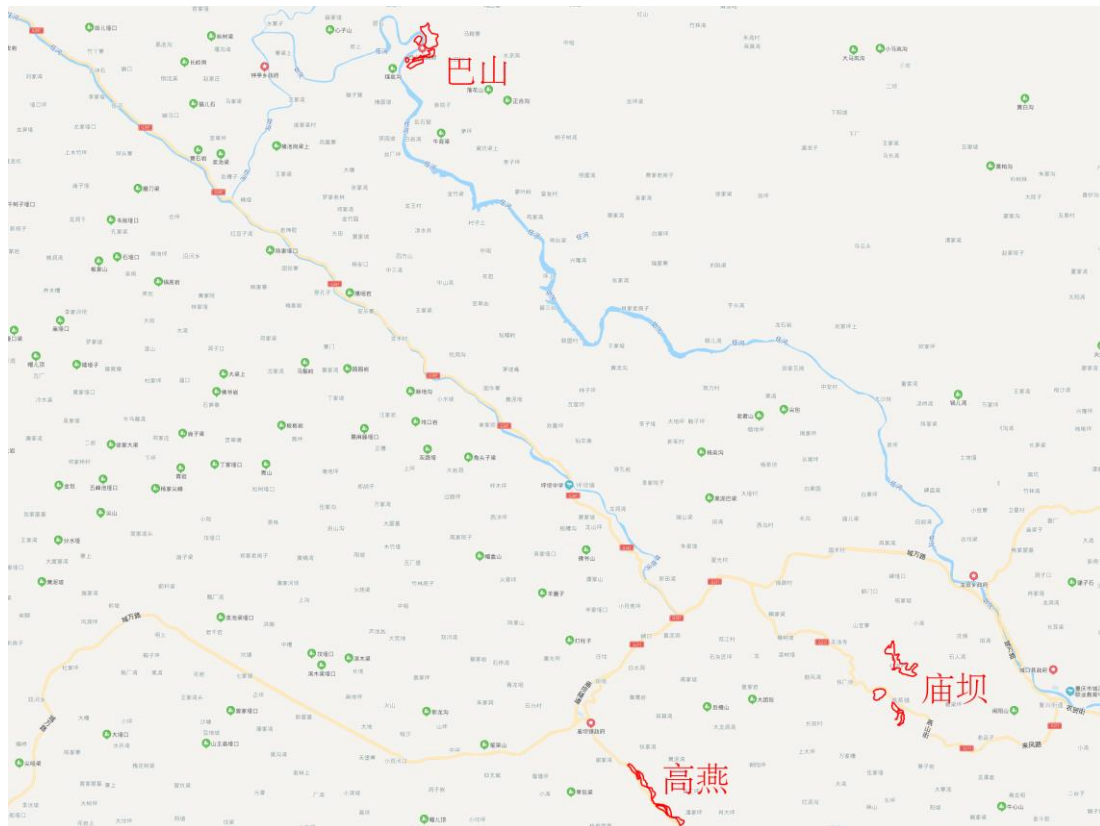


图 0-1 场地位置示意图

二. 任务要求

按照合同书要求，根据《重庆市建设项目区域性地震安全性评价工作技术指南》，本次工作拟对目标区提供如下设计地震动参数：

表 1 拟提供的设计地震动参数

设计地震动参数	地震动峰值加速度
超越概率水平	50 年超越概率 2%、10%、63%

三. 工作依据

- (1) 《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 版）
- (2) 《重庆市建设项目区域地震安全性评价工作技术指南》（渝震发[2021]12 号）
- (3) 《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）
- (4) 《工程场地地震安全性评价（GB17741-2005）》
- (5) 《工程场地地震安全性评价工作报告编写要求》（1995）；
- (6) 《中华人民共和国防震减灾法》（2009 年）；
- (7) 《地震安全性评价管理条例》（2019 年修正本）；
- (8) 《重庆市地震安全性评价管理规定》（2015 年）；
- (9) 《重庆市防震减灾条例》（2010 年）；
- (10) 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001（2009 版））；

四. 工作范围

根据《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005）的要求，区域范围不应小于目标区外围 150km，近场区不应小于目标区外围 25km。鉴于目标区处于地震活动相对较弱的中强地震活动区，考虑到地震构造带和地震带活动性参数的完整性，同时考虑到该项目的特点，区域及近场区范围在满足“标准”规定的不小于场地外围 150km 的要求下适当取大。

区域范围：北纬 30.3°-33.6°，东经 106.7°-110.3°。

近场区范围：北纬 31.5°—32.4°，东经 108.15°—108.95°。

五. 技术思路

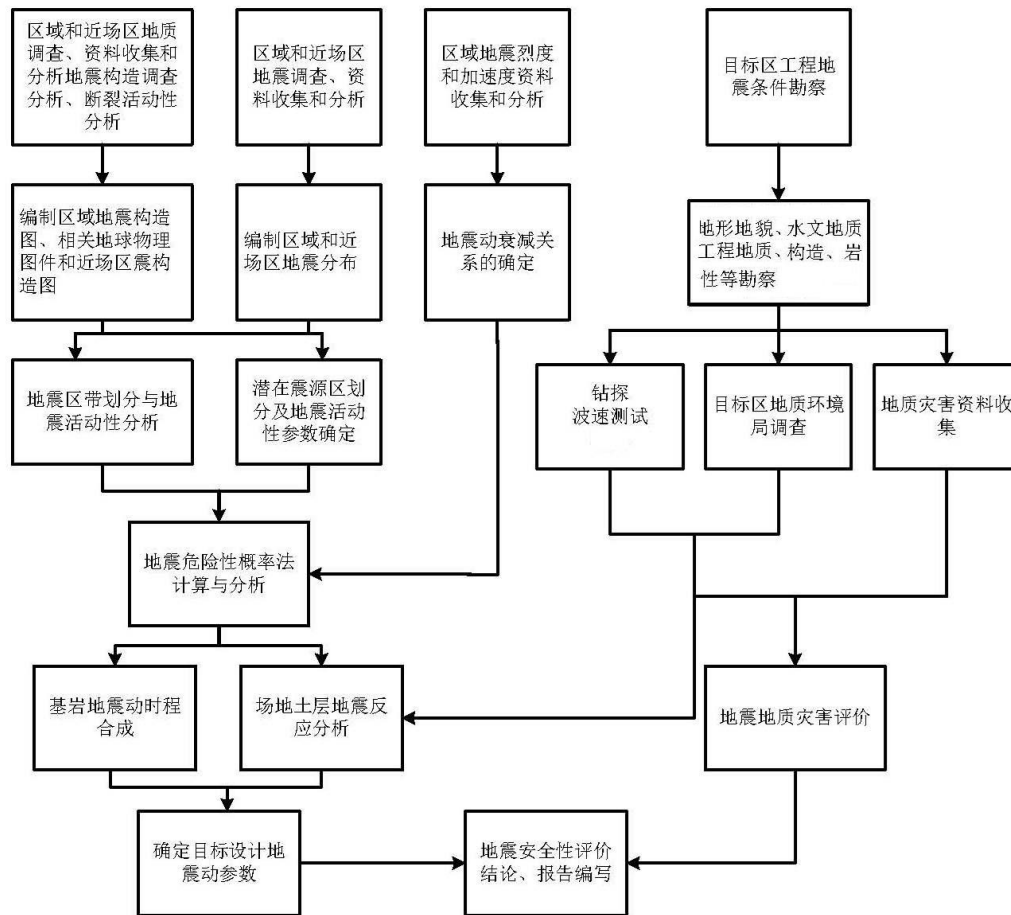


图 0-5 技术路线图

六、主要工作量

序号	工作内容	工作量
1	野外工作	(1) 目标区勘察钻孔10个，收集孔6个； (2) 10组剪切波速试验； (3) 野外地质调查点24 处； (4) 近场区断层调查7条。

2	资料收集	(1) 区域(北纬 30.3° -33.6° , 东经 106.7° -110.3°) 破坏性地震目录 $M \geq 4.7$ 共 13 个, 现代小震目录 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 1843个, 并进行时空地震分布分析。 (2) 整理近场区(北纬 31.5° —32.4° , 东经 108.15° —108.95°) 1970 年以来共发生 $M \geq 1$ 级地震42次, 并进行时空地震分布分析。 (3) 进行了地震带研究, 潜在震源区划分, 活动性参数确定。收集历史地震资料5个, 并判定了对场地的宏观影响烈度。 (4) 区域断层资料收集调查15条。
3	计算	50 年超越概率 63%、10%、2%的设计地震动参数
4	报告编写	编制100 余幅图件(含照片), 总报告一份

七. 组织实施

本项目由重庆混之元工程技术咨询有限公司组织实施。具体分工如下:

项目负责: 王利军(高级工程师)

地震构造专业: 黄朝林(高级工程师)

活动性专业: 曾岩(高级工程师)

场地专业: 王利军(高级工程师)

参加工作人员:

景晨阳、郭壮、陈涛、张林、李磊等。

八. 致谢

本项工作得到了甲方各有关部门以及重庆市地震局等单位的大力支持和热情帮助。

在此, 我们向上述单位表示衷心的感谢。

第一章 区域和近场区地震活动性分析

本章的目的在于通过目标区所在近场区和区域范围内的地震活动在空间与时间上的分布特征、历史地震对目标区的影响、区域现代构造应力场等方面的分析，为目标区所处地震环境进行评价，为潜在震源区的划分和地震活动性参数确定提供依据。

本报告在目标区域地震活动性时，利用了我国丰富的历史地震资料和现今地震观测资料，按照国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741—2005）和区域性地震安全性评价工作大纲（试行）中对区域范围的要求，区域范围不小于目标区外围 150km；近场区不小于外围 25km 的范围。

1.1 地震资料选取及评价

1.1.1 地震资料概况

1. 编目原则

本次工作全面收集了区域内已有的各种地震资料，并确定了以下地震目录编制原则：

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

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

2. 主要资料来源

(1) 震级 $M \geq 4.7$ 地震从以下资料中选取：

国家地震局灾害防御司编《中国历史强震目录》（公元前 23 世纪至公元 1911 年 $M_s \geq 4.7$ ，地震出版社，1995）；

中国地震局震害防御司编《中国近代地震目录》（公元 1912 年至 1990 年 $M_s \geq 4.7$ ，中国科学技术出版社，1999）；

《中国地震历史资料汇编》（谢毓寿、蔡美彪等，1983）1-5 卷；

中国地震局监测预报司预报管理处整编，《中国强地震目录》（公元前 23 世纪至

2005 年 6 月 $M_s \geq 4.7$);

中国地震台网中心《中国地震台网目录》(1970 年至 2021 年 3 月)。

(2) 震级 $4.6 \geq M \geq 2.0$ 地震从以下资料中选取:

中国地震台网中心地震目录数据库(1970 年至 2021 年 3 月);

3. 地震目录编制说明

(1) 编目的时、空、强范围

本次地震目录编制的区域范围、时间段及震级范围如表 1.1-1 所列。

表 1.1-1 地震编目的时、空、强范围

目标区域	北纬 $30.3^\circ \sim 33.60^\circ$, 东经 $106.70^\circ \sim 110.30^\circ$	
时间段	公元前 23 年—公元 2021 年 3 月	1970 年 1 月—2021 年 3 月
震级范围	$M \geq 4.7$	$2.0 \leq M \leq 4.6$

(2) 地震震级的确定

强震一般采用 M_s 震级标度, 其中历史上无仪器记录的地震, 其震级的确定均由史料记载评定其震中烈度, 再按 M_s 震级—震中烈度经验关系换算出近似震级。凡有仪器记录的地震, 其震级以仪器测定的为准。现代小震震级多采用 ML , 根据第五代区划图的最新研究成果, 地震活动性分析和参数统计中, 现代小震的震级 ML 将不再转换为 M_s 而直接使用, 且表示成 M 。

(3) 地震震中位置和震源深度的选取

凡同时具有仪器震中与宏观震中位置的地震, 均取宏观震中位置。为与地震动衰减关系确定及地震活动性参数估计一致, 这里只选用浅源地震 ($h < 70\text{km}$)。

1.1.2 地震资料完整性评价

目标区主要位于长江中游地震带, 从该地震带的地震记载和黄玮琼等(1994)的研究, 长江中游地震带公元 1484 年后 $M \geq 6$ 、公元 1800 年后 $M \geq 5$ 、1900 年后 $M \geq 4.7$ 级地震历史记载较为完整。区域最早的历史地震记载是公元前 143 年湖北竹溪 5 级地震, 788 年竹溪 6 $\frac{1}{2}$ 级地震后直到明朝才有破坏性地震记载, 中间 1000 余年可能存在地震记载缺失。国家西南地震台网始建于 1965 年前后, 主要分布在东经 $99^\circ - 104^\circ$, 北纬 $26-33^\circ$ 的范围内, 1970 年后该台网逐步完善, 区域内 $M3.0$ 级以上地震基本不会漏记。

重庆地区最早的地震台是 1939 年建立的北碚地震台, 但该台存在时间很短, 此后直到 1976 年才有第二个地震台, 1977 年开始观测; 陕西第一个地震台建于 1953 年, 1966-1967 年有 9 个台, 1970 年后台网正式产出地震目录。随着模拟台网数字化改造及“九五”、“十五”数字化地震台网的建设, 区域地震监测能力大大提高。目前区域内可监控能力为 M2.0 级, 局部可监控的地震下限为 M1.5 级。为更好的反映地震活动特点, 区域小震的起始震级统计分析取下限 2.0 级。图 1.1-1 为重庆台网地震监测能力图。

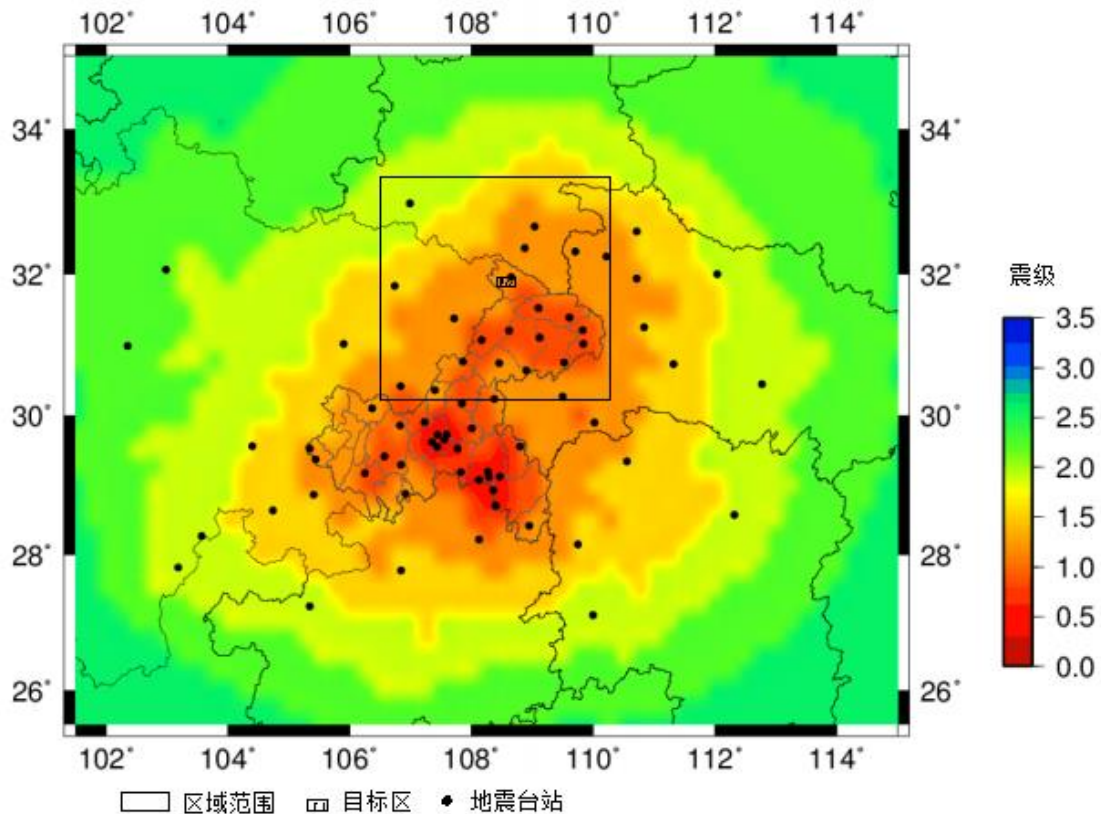


图 1.1-1 重庆地震台网监测能力分布图 (共享邻省部分周边台站)

1.2 区域地震活动性特征

1.2.1 地震活动的时空分布特征

根据上述资料, 编制了区域范围内破坏性地震 ($M \geq 4.7$) (公元前 143 年~2021 年 3 月) 和现代小震 (区域地震台网记录, $2.0 \leq M \leq 4.6$) (公元 1970 年~2021 年 3 月) 的目录。区域内记录到 $M_s \geq 4.7$ 级的破坏性地震 13 次, 其中 6.0-6.9 级地震 1 次, 5.0-5.9 级地震 11 次, 4.7-4.9 级地震 1 次, 未记录到 7.0 级以上地震, 最大地震为 788 年 3 月 12 日湖北竹山宝丰 $6\frac{1}{2}$ 级地震。最早记载到的破坏性地震是公元前 143 年 6 月 7

日湖北竹山西南的 5 级地震。本区域内 $M \geq 4.7$ 级地震目录见表 1.2-1, 地震震中分布图见图 1.2-1。区域内现代小震数目较多, 共记录到 $1.0 \leq M \leq 4.6$ 级地震 1843 次, 故不以表格形式列出, 频次统计见表 1.2-2、表 1.2-3。震中分布见图 1.2-2。

表 1.2-1 区域范围内破坏性地震目录 ($M \geq 4.7$, B.C.143~2021 年 3 月)

序号	发震时间 (年.月.日)	震中位置		精度	震级	深度 (km)	震中 烈度	参考地点
		纬度(°)	经度(°)					
1	BC143.06.7	32.1	110.1	3	5	*	VI	湖北竹山西南
2	788.03.12	32.4	109.9	4	$6\frac{1}{2}$	*	VIII	湖北竹山宝丰
3	1568.04.22	33.1	107.0	2	5.0	*	VI	陕西汉中市汉台区
4	1568.04.23	33.1	107.0	2	5.0	*	VI	陕西汉中市汉台区
5	1569.--.--	32.7	109.0	2	5.0	*	VI	陕西安康
6	1624.10.--.	33.2	107.5	2	$5\frac{1}{2}$	*	VII	陕西汉中市洋县
7	1632.--.--	32.4	109.7	2	5	*	VI	湖北竹溪
8	1635.10.26	33.2	107.5	*	$5\frac{1}{2}$	*	VII	陕西汉中市洋县
9	1679.12.11	33.3	109.0	*	$5\frac{1}{2}$	*	VII	陕西商洛市镇安县
10	1823.08.--	32.7	107.9	1	$5\frac{1}{2}$	*	VII	陕西镇巴
11	1868.07.21	32.8	109.7	3	$5\frac{1}{2}$	*	VII	陕西白河、洵阳间
12	1959.09.28	33.0	109.3	5	5	*	VI	陕西安康洵阳
13	1967.08.20	32.7	106.8	3	4.8	*	VI	四川巴中

注: 破坏性地震震中定位精度 (1970 年前): 1 类, 误差 $\leq 10\text{km}$; 2 类, 误差 $\leq 25\text{km}$; 3 类, 误差 $\leq 50\text{km}$; 4 类, 误差 $\leq 100\text{km}$; 5 类, 误差 $> 100\text{km}$ 。地震台网震中精度 (1970 年后): 1 类, 误差 $\leq 5\text{km}$; 2 类, 误差 $\leq 15\text{km}$; 3 类, 误差 $\leq 30\text{km}$; 4 类, 误差 $> 30\text{km}$ 。

表中“*”号表示缺乏资料。

表 1.2-2 区域历史破坏性地震频次统计表

资料时段	B.C.23~2021 年 3 月				
震级分档	8.0~8.9	7.0~7.9	6.0~6.9	5.0~5.9	4.7~4.9
地震频次	0	0	1	11	1

表 1.2-3 区域近代弱震地震频次统计 ($1.0 \leq M \leq 4.6$, 1970.1-2021.3)

震级分档	1.0—1.9	2.0—2.9	3.0—3.9	4.0—4.6
地震频次	1198	525	93	16

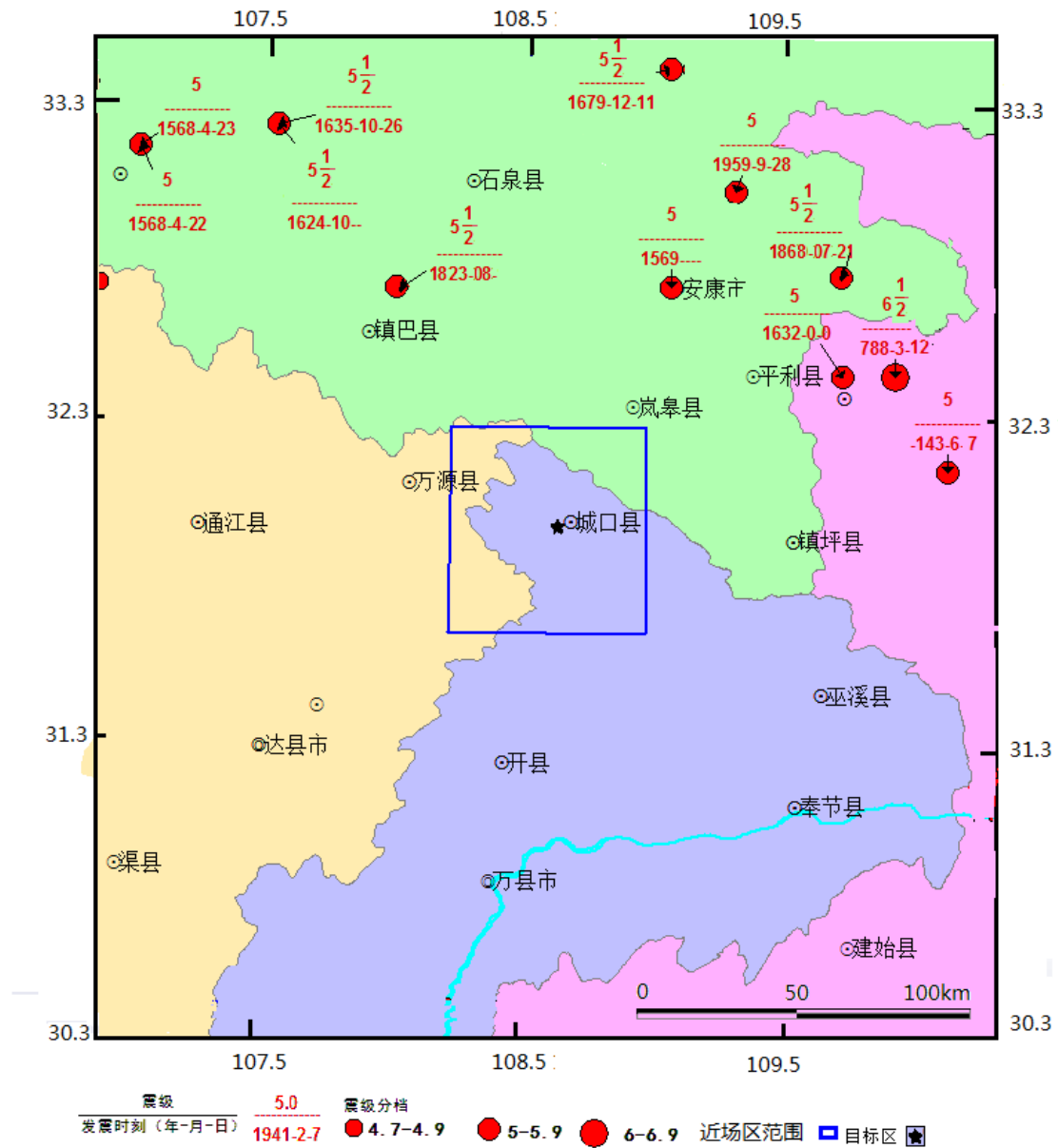


图 1.2-1 区域破坏性地震震中分布图 (M ≥ 4.7, 公元前 143 年—2021 年 3 月)

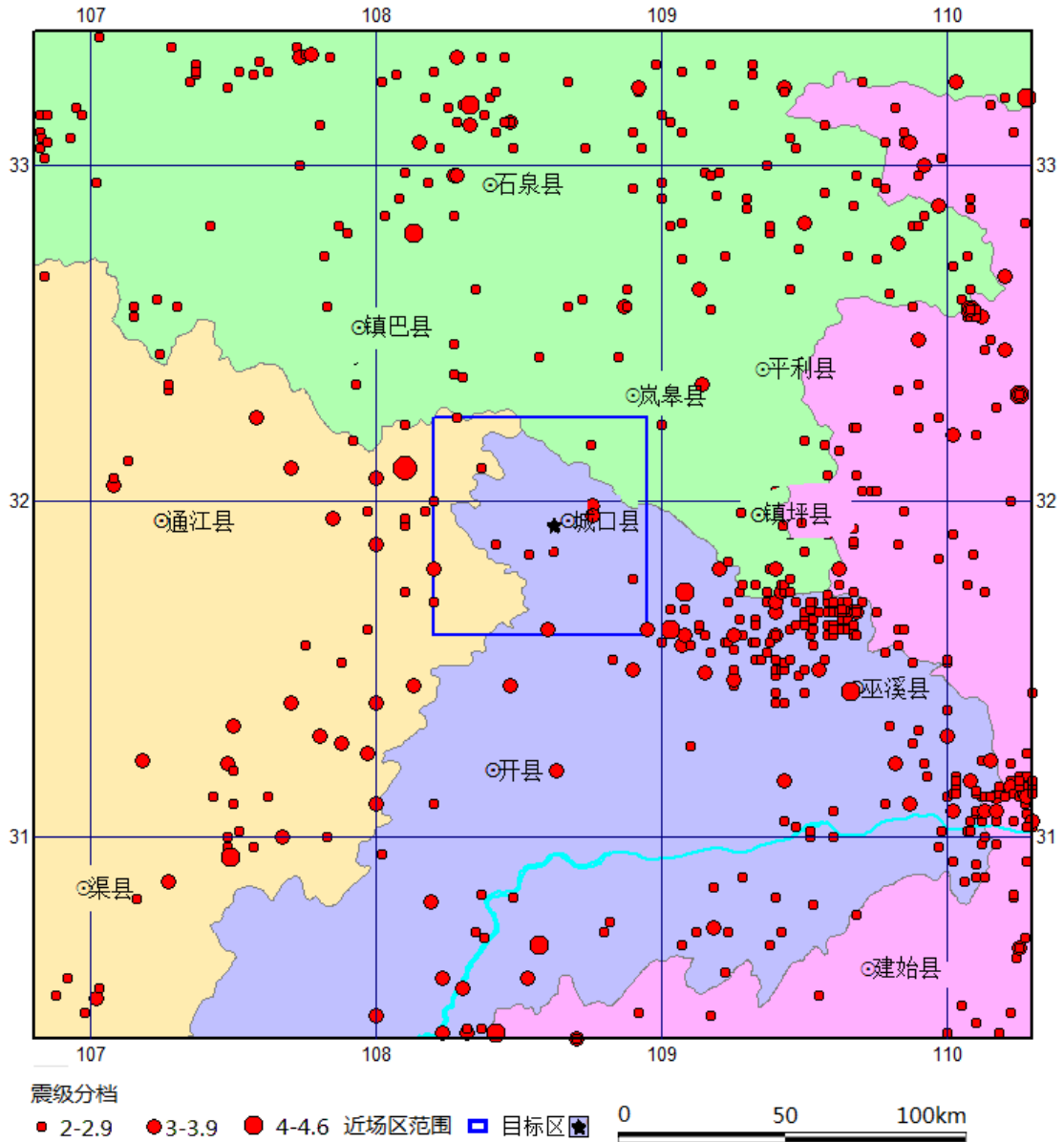


图 1.2-2 区域 1970 年后小震震中分布图 ($M \geq 2.0$)

由区域破坏性地震的震中分布显示，空间分布不均匀， $M \geq 4.7$ 级地震集中分布在目标区的北部，地震活动水平较高，主要分布在陕西安康、汉中附近地区以及湖北竹溪地区，区域所涉及的重庆地区无 $M \geq 4.7$ 级地震分布。1970 年以来仪器记录的中小地震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 集中分布在重庆巫溪以及巫山一带。最早记载到的破坏性地震是公元前 143 年 6 月 7 日湖北竹山西南的 5 级地震，最大地震是 788 年 3 月 12 日湖北竹山宝丰 $6\frac{1}{2}$ 级地震，距目标区最近约 140km。历史上没有发生过大于 7 级的地震，地震活动属中强水平。破坏性地震主要沿大巴山南缘构造带内的一系列断裂分布。

区域破坏性地震在时间轴上也分布不均匀，存在相对集中的时段，近百年来仅有 1 次 5 级地震活动。汉中和安康盆地位于华南块体的西北角，是靠近地块边缘的块内断陷盆地，历史上有中强地震活动 9 次，活动水平仅为 5.5 级左右。秦岭大巴山区相对处于几个构造体系复合部位的关中断陷盆地而言为弱活动区。在时间上，陕南秦岭大巴山地区的 5.5 级左右集中分布在 1568-1679 年前后（即明朝到清初年间），明代陕西地震除了在时间上具有地震频次高、持续时间长、有着明显的周期性特点之外，在空间分布上也有着极大的地域差异性。陕西中部关中平原地震强度和频度都高，嘉靖三十四年(1556 年)曾发生华县 8 级强震，造成 83 万人死亡。秦岭以南的陕西南部地区地震发生的频次和造成的破坏介于关中和陕北之间。

在区域范围内，共检索到有地震震源深度记录的地震 645 个（见图 1.2-3），结果显示 99.3%的 $M \geq 2.0$ 级地震震源深度分布在地下 1—30km 范围内，属于浅源地震，区域地震活动深度总体较浅，

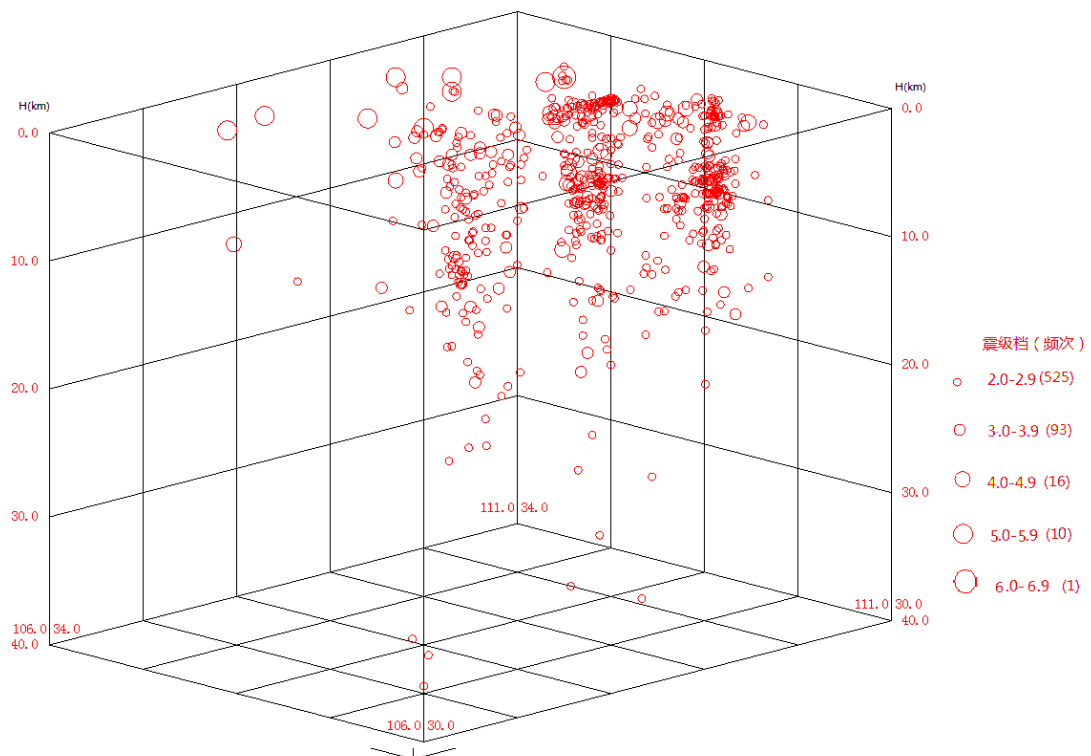


图 1.2-3 区域地震震中三维分布图 ($M \geq 2.0$)

1.2.2 地震区带的地震活动性和未来活动趋势

我国地震活动有密集成带分布的特点，不同地区地震活动特征不同。为了反映地震活动的这种空间不均匀性，在概率地震危险性分析方法中，用划分地震带来体现。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及地震危险性分析中地震活动性参数估算的基本统计单元。

本次工作采取的是《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》使用的地震区、带划分方案。本项目区域主要位于长江中游地震带（图 1.2-4）。

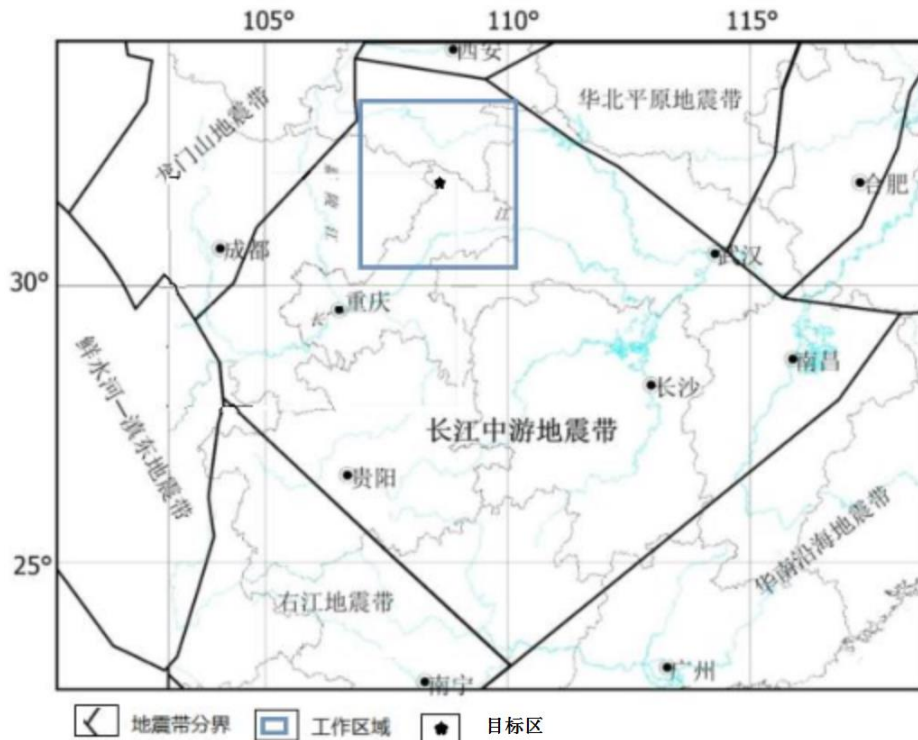


图 1.2-4 区域及邻近地震带划分图

长江中游地震带位于长江中游一带，大部为扬子准地台分布的区域。该地震带所在区域虽然历史上经历过多次构造运动，但晚第三纪以来构造活动明显减弱，绝大多数断裂在晚第四纪以来都未见明显活动，地震活动相对较弱。截至 2021 年 3 月，长江中游地震带共记录到 M4.7 级以上地震 141 次，均为浅源地震，其中 6.0-6.9 级地震 4 次，5.0-5.9 级地震 82 次，4.7-4.9 级地震 55 次，最大地震为 1631 年 8 月 14 日常德 6 $\frac{1}{4}$ 级地震，最近一次 6 级地震是 2019 年长宁 6 级地震。长江中游地震统计区地震总体呈弥散分布，但在该区北界秦岭-大别一线、洞庭湖盆地、鄱阳湖盆地及四川盆地西南部地震活动稍强。

长江中游地震带地震记载历史较长,最早一次为公元前 143 年 6 月 7 日竹山 5 级地震。图 1.2-5 给出长江中游地震带公元 1400 年以来 $M \geq 4.7$ 地震的 M-T 图和应变释放曲线,该区 1400 年以来经历有两个地震活跃期(表 1.2-4)(1467—1640 年,1813—? 年),地震活动丛集和平静相间活动,高潮时段都有 6 级地震发生,分别是 1631 年 8 月 14 日常德 6 $\frac{3}{4}$ 级地震,1856 年黔江 6 $\frac{1}{4}$ 级地震,2019 年长宁 6 级地震。从这两个活跃期的地震分布看,现仍处于活跃期末期,未来该带仍可能有中强地震发生。为保守起见,未来地震活动性参数估计应基于活跃期地震活动水平。

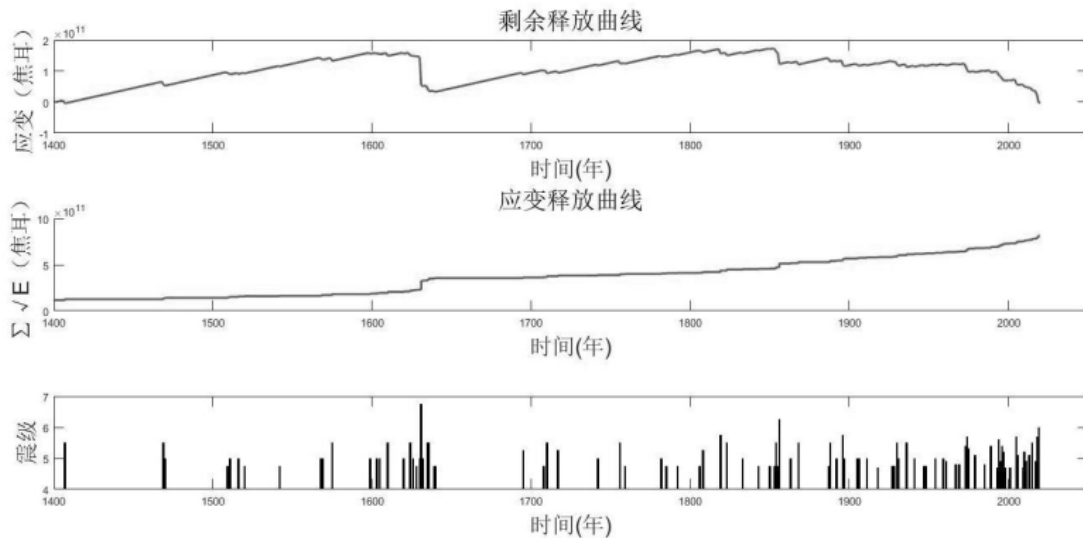


图 1.2-5 长江中游地震带 M-T 及应变释放曲线

1.3 历史地震对工程场地的影响分析

历史地震对场区影响的评价,其目的一是了解目标区处地震影响的历史状况;另一个目的是为场区地震动参数的确定提供参考依据。

历史地震的影响烈度,系指用烈度来衡量历史地震对工程场地的影响程度。场区历史地震影响评价,除需要考虑区域范围内 $M \geq 4.7$ 级的破坏性地震外,还应尽可能考虑区域外围可能对场区产生 V 度以上烈度影响的大地震。

本报告从两个方面来考察影响烈度,一是根据有历史地震等震线资料的地震,确定历史地震在场区的宏观影响烈度;二是估算没有等震线资料的地震对场区的影响烈度值,即由场地到地震震中的距离和地震震级,根据地震烈度衰减关系式计算得到场地的影响烈度。最后根据两方面的资料对场区的历史地震影响进行综合评价。

1.3.1 历史地震对场地影响的实际资料

本次工作收集到对场区有 V 度以上影响的地震共有 6 次，简单对其中 5 次地震进行描述。

1、1556 年 1 月 23 日华县 8¹/₄ 级地震

明世宗嘉靖三十四年十二月十二日(1556 年 1 月 23 日)的华县大地震，震中烈度为 XI 度，震级相当于 8¹/₄ 级。地表破坏强烈、受灾范围之广、人员伤亡和财产损失之严重为古今地震灾害史上所罕见。地震波及大半个中国，源至福建、广东（图 1.3-1）。

《嘉靖实录》卷四记载：“壬寅，是日陕西、山西、河南同时地震，声如雷，鸡犬鸣吠。陕西渭南、华州、朝邑，三原等处，山西蒲州等处尤甚。或地裂泉涌中有鱼物，或城郭房屋陷入地中，或平地突成山阜，或一日连震数次。河、渭泛涨，华岳、终南山鸣，河清数日。压死官吏军民奏报有名者八十三万有奇。其不知名未经奏报者，复不可数。”

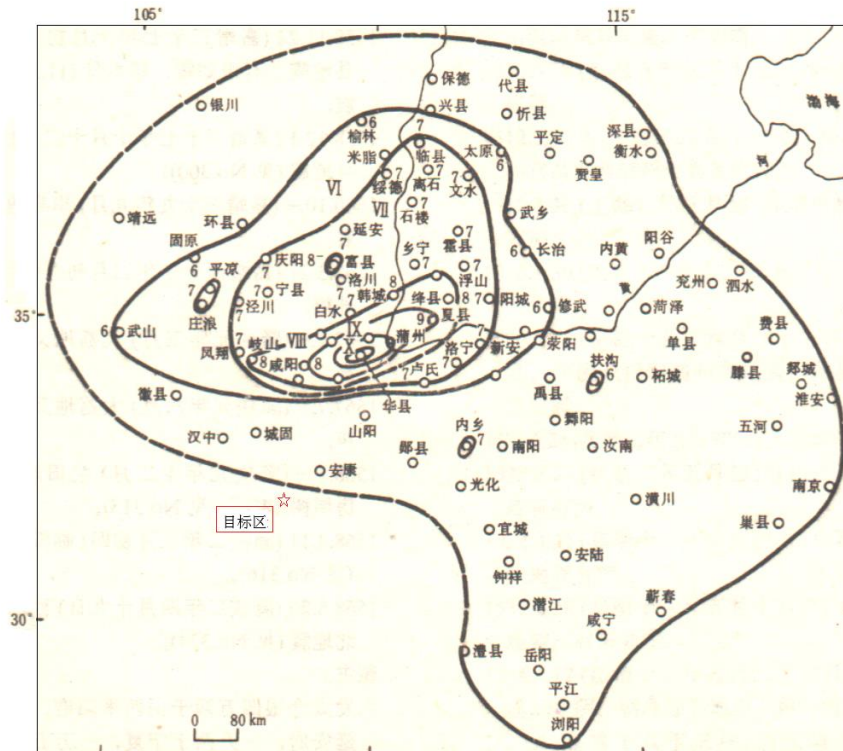


图 1.3-1 华县 8¹/₄ 级地震烈度分布图

(据《中国历史强震目录》公元前 23 世纪-公元 1911 年，1995 版)

由图 1.3-1 可知，目标区位于 V 度区边缘，该地震对目标区的宏观影响烈度小于 V 度。

2、1654 年 7 月 21 日甘肃天水南 8 级地震

清顺治十一年六月（公元 1654 年 7 月 21 日），天水地震 8 级地震，震中烈度:IX

度。史料记载灾情：倾倒城垣、楼堞、堤坝、庐舍，压死兵民 31000 余人。地震使罗家堡七十峪两山拽成一体，木门里一带山崩水塞，桑田沧海，压埋村落近十里，至雍正四年(1726 年)，水涸复变为良田。此次地震除造成大范围的城垣毁坏、房屋倒塌和人员伤亡之外，滑坡、山崩和堰塞湖等地震地质灾害也非常严重。其极震区位于礼县以东的西汉水河谷永兴镇—罗家堡—天水镇一带。1960 年李善邦在编著《中国地震目录》时，较详细地收集了此次地震的历史资料，并据此确定了该地震的基本参数（震级为 8 级，震中烈度 XI 度）。1966 年中国科学院兰州地球物理研究所在承担天水地区地震烈度复核工作时，对此次地震进行了较大范围的实地考察。当时考虑到天水市区有不少明代建筑在此次地震中未遭受破坏，所以认为此次地震震中烈度为 X 度，此结论被上世纪 70 年代编制全国地震烈度区划图和《中国地震目录》时所采用。从下图 1.3-2 可看出，目标区位于 V 度区内，因此该地震对目标区的影响烈度为 V 度。

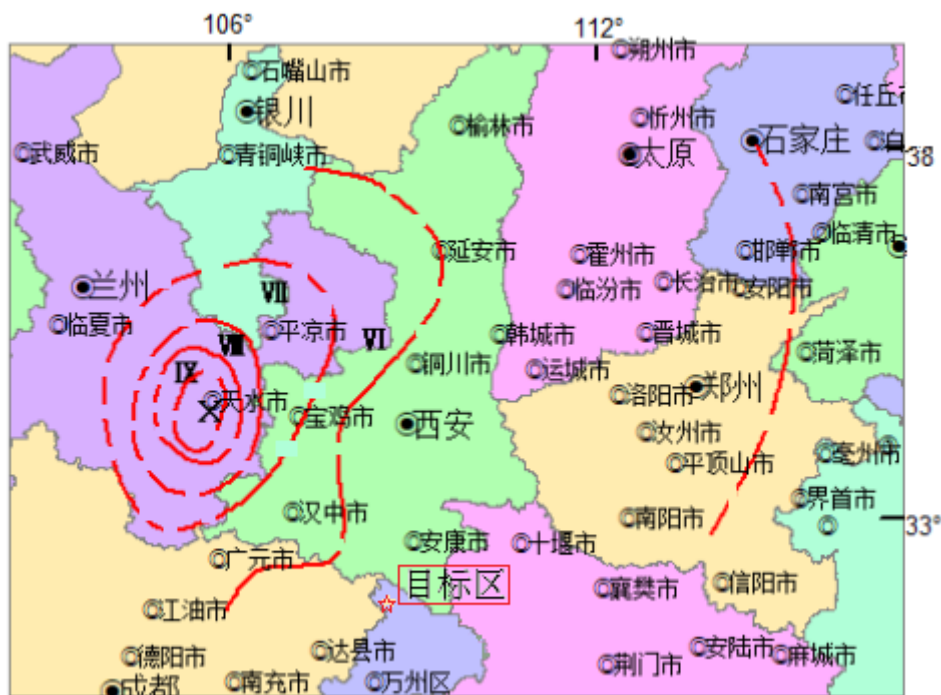


图 1.3-2 天水 8 级地震烈度分布图

(据《中国历史强震目录》公元前 23 世纪-公元 1911 年，1995 版)

3、1879 年 7 月 1 日甘肃武都 8 级地震

清光绪五年五月十二日（公元 1879 年 7 月 1 日），查四川省城，微觉地动，历时仅半刻，惟门环箱扣微作响声，余别无事故，城内外居民尚多有不及觉者。重庆、绥定、潼川、雅州、夔州、绵州及梓潼、剑州、巴州、江油、彰明、石泉、平武、安县、绵竹、

合江、綦江、合州、南川等十九属，情势甚轻，并无坍塌城垣、房屋，伤人情事。惟绵州稟称州城垛口坍塌八个，余俱安定。阆中、罗江、平武、广元、昭化、苍溪、漳腊等七属，阆中城垣安堵，惟东路青龙、花垣两场，间有墙壁破坏之处，平武亦惟距城百二十里之茨湾地方，有石岩滚落七丈余，将岩下住居草屋压坏，压伤两人，余均无倒塌房屋伤人之事，广元、昭化、罗江、漳腊四属微有坍塌鼓裂数丈及数尺之处，广元民房坍塌十余处，昭化城外贾家河墙塌。惟南坪一营地动情形甚重，城署房屋倒塌甚多，又有珠河场河沟被沟上山岩坠塌，将河身壅塞，后复冲开，水势汹涌。致将河北街民房屋尽行淹坏，伤人甚多，而顺河以下哈沙沟、青龙场等处，亦同被灾等情。由图 1.3-3 可知，本项目位于Ⅵ度圈外不远处，该地震对目标区影响的宏观烈度为Ⅴ度。

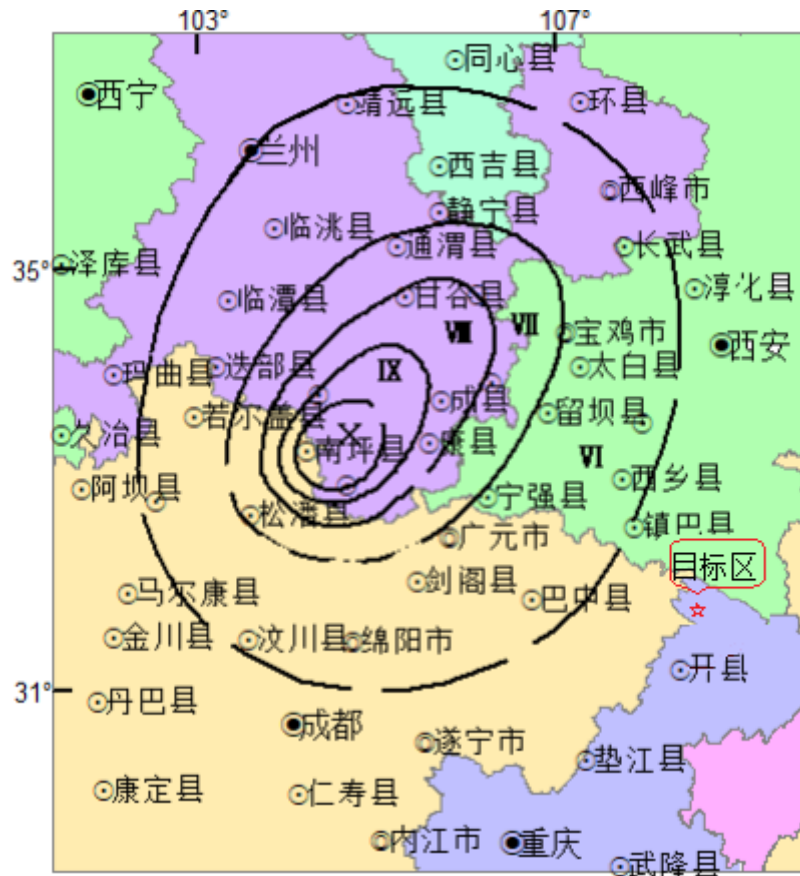


图 1.3-3 1879 年甘肃武都 8 级地震烈度分布图

(据《中国历史地震图集》)

4、1920 年 12 月 16 日宁夏海原 $8\frac{1}{2}$ 级地震

1920 年 12 月 16 日 20 时 5 分 53 秒，中国宁夏海原县（北纬 36.5 度，东经 105.7 度）发生震级为 $8\frac{1}{2}$ 级的强烈地震。这次地震，震中烈度Ⅻ度，震源深度 17 千米，死亡 24 万人，毁城四座，数十座县城遭受破坏。它是中国历史上一次波及范围最广的地

震，宁夏、青海、甘肃、陕西、山西、内蒙古、河南、河北、北京、天津、山东、四川、湖北、安徽、江苏、上海、福建等 17 地有感，有感面积达 251 万平方千米。据有关资料记载，这次地震将距震中 200 公里的兰州“倒塌房屋十分之三”；使距震中 400 公里的西安“门窗暴响，房摇墙踏，被毁房屋约有百户”；距震中 700 公里的太原“房屋间有倒塌，人民微伤”；距震中 1000 公里的北京“电灯摇动，令人头晕目眩”；更远的上海“时钟停摆，悬灯摇晃”；广州“掉绘泥片”；汕头“客轮荡动”；香港“大多数人感觉地震”。其有感范围超过了大半个中国，甚至在越南海防附近的观象台上也有“时钟停摆”的现象。从图 1-3-4 可看出，目标区位于 IV-V 度区，因此该地震对目标区场地的影响烈度为 IV-V 度。

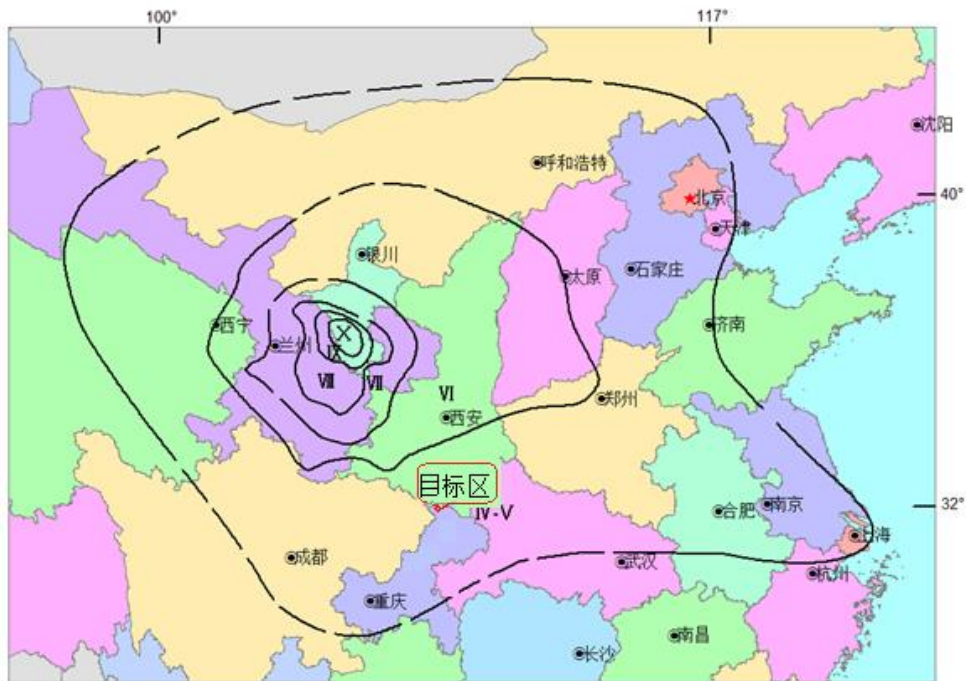


图 1.3-4 1920 年宁夏海原 8¹/₂ 级地震等烈度线图（据顾功叙）

5、2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级强震

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分在四川汶川发生 8.0 级特大地震。震后中国地震局汶川 8.0 级地震现场指挥部组织专家通过现场调查，确定了此次地震的破坏范围，根据反映地震破坏程度差异的烈度分布图（图 1.3-5），将灾区划分为 $\geq$ IX 度区、VIII 度区、VII 度区和 VI 度区 4 个区域。宏观震中位于四川省汶川县映秀—北川—陈家坝一带，极震区烈度 XI 度。灾区形状呈椭圆形，长轴走向为北东方向，总面积 44.04 万平方千米，包括四川、甘肃、陕西、重庆、云南、宁夏 6 个省（自治区、直辖市）。汶川地震对工程所

在地区的影响主要表现地震时门窗、屋顶、屋架颤动作响或轻微变形，灰土掉落，砖混结构个别墙体抹灰出现细微裂缝，少量房屋有零星檐瓦掉落，这些现象均为地震烈度Ⅴ度的表现。该地震离目标区约 500km，汶川地震对目标区场地影响的宏观烈度为Ⅴ度。

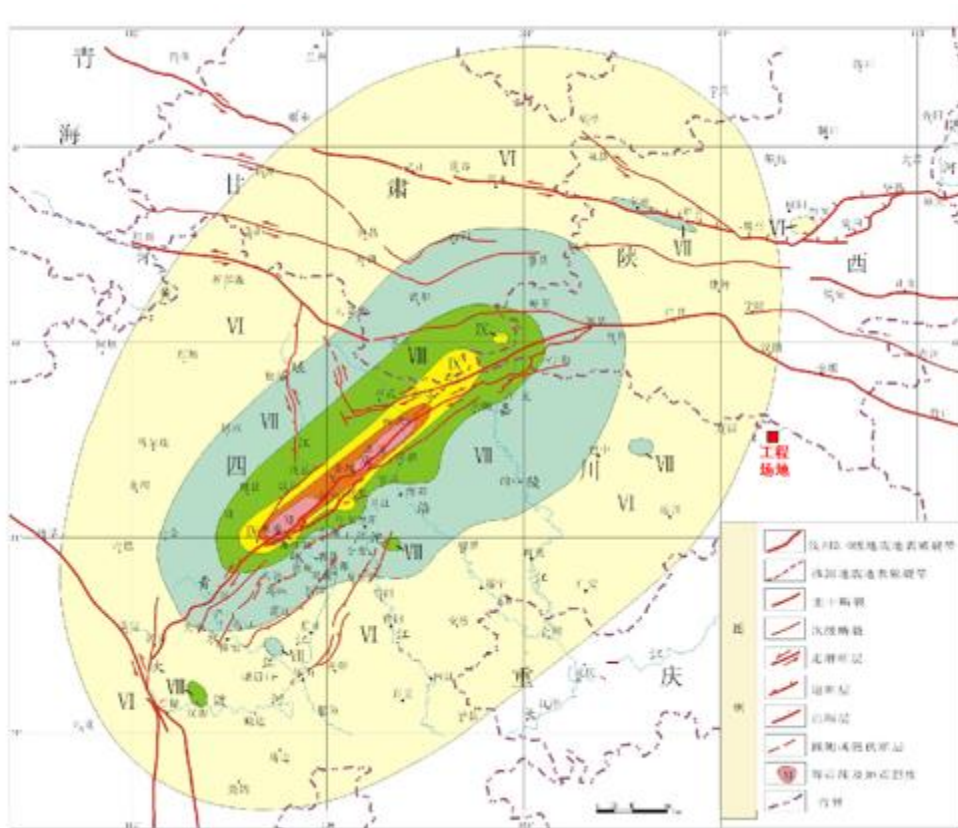


图 1.3-5 汶川 8.0 级地震烈度分布图（据中国地震局，2008 年）

1.3.2 场地历史地震影响综合分析

为了弥补历史地震等震线资料不全的影响，本次工作利用第五代全国地震动参数区划图（2015）编制所使用的地震烈度衰减关系，估算了部分可能对场地产生Ⅴ度以上烈度的地震的影响烈度值，并参考衰减的标准差，进行评定，从而得到地震对场地的影响烈度参考值

根据宏观地震资料和衰减关系估算两方面对场地影响烈度进行综合判定，将结果列于表 1-3-1 中，可以看出，目标区历史地震影响较弱，且大多数来自远处大地震的影响，距离目标区较近的中强地震的影响较小，历史地震对场地的最大影响烈度为Ⅴ度。

表 1.3-1 主要历史地震对目标区的最大影响烈度

编号	发震时间 (年.月.日)	震级	震中参考地名	距目标区最 短距离(km)	震中 烈度	影响 烈度
1	788.03.12	6 ¹ / ₂	湖北竹山宝丰	140	VIII	V [*]
2	1556.01.23	8 ¹ / ₄	陕西华县	310	XI	V
3	1654.07.21	8	甘肃天水南	390	XI	V [*]
4	1879.07.01	8	甘肃武都南	380	X	V
5	1920.12.16	8 ¹ / ₂	宁夏海原	630	XII	V [*]
6	2008.05.12	8	四川汶川	500	XI	V

1.4 区域地震震源机制及现代构造应力场

现代构造应力场是区域断裂构造活动和地震活动的基本原因,不同的现代构造应力场会引起不同类型的断层的变形特征,不同的断层变形性质,所引发的地震的震源特性也不同。根据地震的震源机制解反推地震发生地区的现代构造应力场,是目前常用的有效方法。

1.4.1 单个地震的震源机制解

本目标区域范围内仅有 3 个 5 级地震有震源机制解,为更好地反应区域应力场的特征,适当扩大研究范围一增加样本量。依据《重庆涪陵核电项目可行性研究阶段地震安全性评价报告》(中国地震局地球物理研究所,2008)确定的渝北统景 5.2 级地震,荣昌 5.2 级地震的震源机制解,以及许忠准确定的地震震源机制解和中国地震局地球物理研究所提供的地震震源机制解(2010),从中选出位于区域及周边地震的震源机制解共 18 个,给出下半球投影的标准格式。将上述结果均列于表 1.4-1 中,并绘制图 1.4-1。

从 1.4-1 所列数据可见,这些地震以逆断层活动和逆兼走滑断层活动为主。

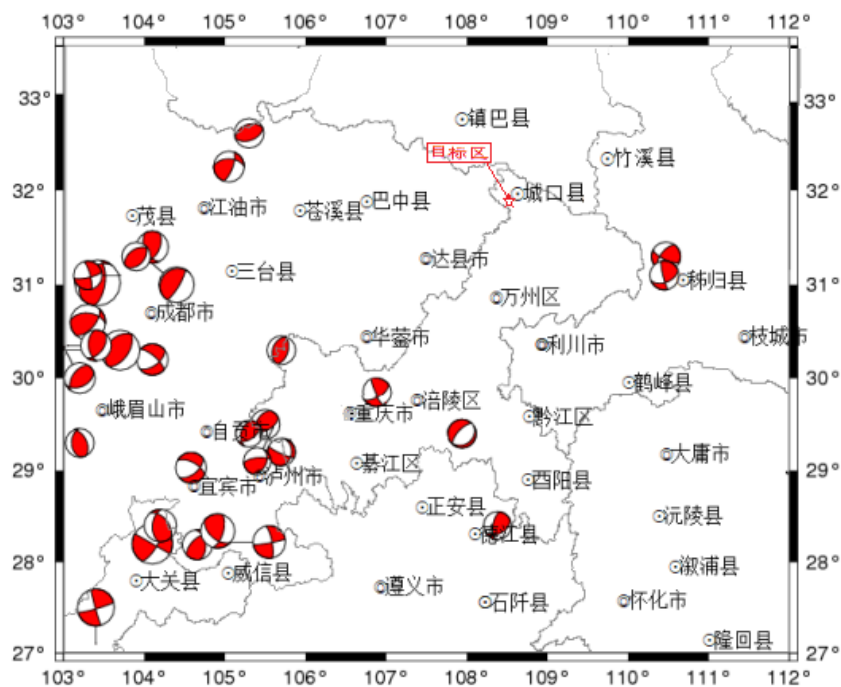


图 1.4-1 单个地震震源机制解分布图

表 1.4-1 区域震源机制解

编号	地震时间 (年月日)	震中位置		震级 M_s	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		B 轴		来源
		北纬	东经		走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位角	倾角	方位角	倾角	方位角	倾角	
01	1958.02.08	31.3	104.0	6.2	31	78	6	230	3	108	125	33	296	57	32	4	①
02	1967.01.24	30.2	104.1	5.5	311	71	35	54	7	-15 7	268	8	5	9	106	51	①
03	1970.02.24	30.6	103.3	6.2	41	58	3	276	47	134	156	6	256	59	63	31	①
04	1974.05.11	28.2	104.1	7.1	30	70	0	300	90	160	347	14	253	14	120	70	①
05	1974.06.15	28.4	104.2	5.7	321	50	8	185	50	122	73	0	163	65	343	24	①
06	1989.11.20	29.84	106.8 8	5.2	57	63	66	153	78	28	282	10	18	28	175	60	②
07	1997.08.13	29.5	105.5	5.2	63	57	14	204	40	58	137	9	23	68	230	20	②
08	2008.05.12	31.0	103.4	8.0	8	63	74	220	32	118	110	6	246	68	16	14	③
09	2009.06.30	31.4	104.1	5.6	153	51	1	25	53	128	89	1	358	61	180	29	③
10	2009.11.28	31.3	103.9	5.0	235	49	9	41	42	80	319	4	201	82	49	7	③
11	2010.01.31	30.3	105.7	5.0	16	51	7	201	39	94	108	6	267	84	18	2	③
12	2010.05.25	31.1	103.7	5.0	78	77	166	345	6	-13	302	19	211	1	119	71	③
13	2010.04.20	30.3	103.0	7.0	34	55	7	220	5	95	126	10	292	79	36	3	③
14	2014.08.03	27.1	103.4	6.5	74	84	77	165	7	6	299	2	56	6	142	34	③
15	2014.03.30	30.9	110.8	4.7	331	71	40	226	53	156	96	26	13	39	-	-	⑤
16	2016.12.27	29.47	105.6	4.8	29	34	41	263	68	117	333	18	210	58	173	22	③
17	2017.11.23	29.39	107.9 9	5.0	55	24	-79	223	66	-95	315	17	35	60	56	30	④
18	2019.6.17	28.34	104.9	6.0	131	51	36	16	63	135	76	7	338	50	172	39	③

① 许忠淮等，1994；②重庆涪陵核电项目；③中国地震局；④重庆市地震局；⑤湖北地震局

1.4.2 小震综合节面解

许忠淮等（1989）由大量的地震资料推断出我国大陆 76 个分区的构造应力场，其中，位于本区域周围地区的有 6 个分区。张诚等（1990）的中国小地震综合震源机制数

数据库中,给出了湖北西的小震综合节面解。在目标区范围内,利用重庆地震台观测报告中给出了小震初动符号,从重庆地震台、重庆地震台网的地震编目报告中选出有清晰初动符号的地震 182 个(1970~2020 年),计算了重庆地震台周围地震的综合节面解,得到结果与四川局李桂芳等用自贡、筠连、泸州等单台和多台综合解的结果基本一致,与重庆地区两次 4 级多地震(1989 年统景 4.7 级、1997 年荣昌 4.9 级)的震源机制解也基本一致。将以上资料汇总在表 1.4-2 中。

表 1.4-2 周边地区小震综合节面解

分区号	分区中心位置		P 轴		T 轴		矛盾比
	(° E)	(° N)	AZ	PL	AZ	PL	
重庆地区	106.6	29.5	95	5	190	10	0.31
湖北西	110.1	30.5	273	1	187	5	0.30
陕南地区	110.0	33.0	98	27	177	41	
36	111.2	31.5	93	1	7	5	0.35
55	104.0	33.0	270	16	180	20	0.30
58	104.0	31.3	276	2	182	55	0.30
59	102.5	30.3	107	1	197	19	0.29
61	102.3	28.7	302	3	212	23	0.32
64	103.8	27.0	134	17	224	1	0.26

表中 AZ 为主应力轴方位角, PL 为主应力轴倾角。从表中可见, P 轴均近于水平, T 轴多数分区的近于水平(除 58 分区近于直立)。

1.4.3 区域现代构造应力场分布特征

综合前面的结果,绘制了主压应力轴和主张应力轴的方位角和倾角分布图。图 1.4-1 中,径线 0-90° 环表示力轴与水平面的夹角由水平至直立,即前述的倾角度数,大圆的外环度数为方位角度数。由图可见,主压应力轴 P 的优势方位为北西西-近东西向,倾角小于 45°;主张应力轴 T 轴的优势方位为北北东-南南西向,倾角分布从水平至直立均有。分析得出,本区处于北西西-近东西向水平主压应力与北北东-南南西向具有一定倾角的主张应力为主的现代构造应力场中,在这样的应力场中易发生逆断层或逆兼走滑型断层活动,其中北东—北东东向破裂面具有以右旋水平剪切为主的错动性质;北西—北北西向或北北东向的破裂面具有以左旋水平剪切为主的错动性质。

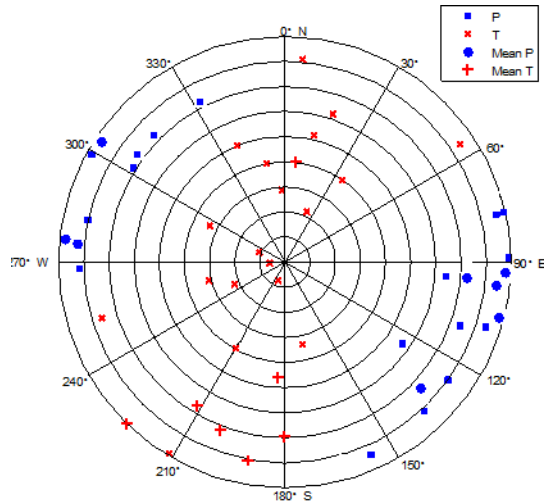


图 1.4-1 P、T 轴的方位角与倾角分布图

1.5 近场区范围地震活动性

图 1.5-1 给出了有记载以来 $M \geq 1.0$ 地震震中分布图。近场区范围内以小地震活动为主；空间上主要分布在目标区的东侧；1970 年以来共发生 $M \geq 1.0$ 级地震 42 次，其中 1.0~1.9 级地震 14 次，2.0~2.9 级地震 21 次，3.0~3.9 级地震 7 次。近场区内最大地震和距离场地最近的地震为 2016 年 7 月 31 日发生在修齐区的 3.6 级地震，距离场地最近距离约 7.5 公里，对目标区的地震影响烈度为 III 度。

综上，近场区以小地震活动为主，已发生地震对目标区的最大影响烈度为 V 度（即区域 700km 范围几次 8 级强地震的影响烈度）。

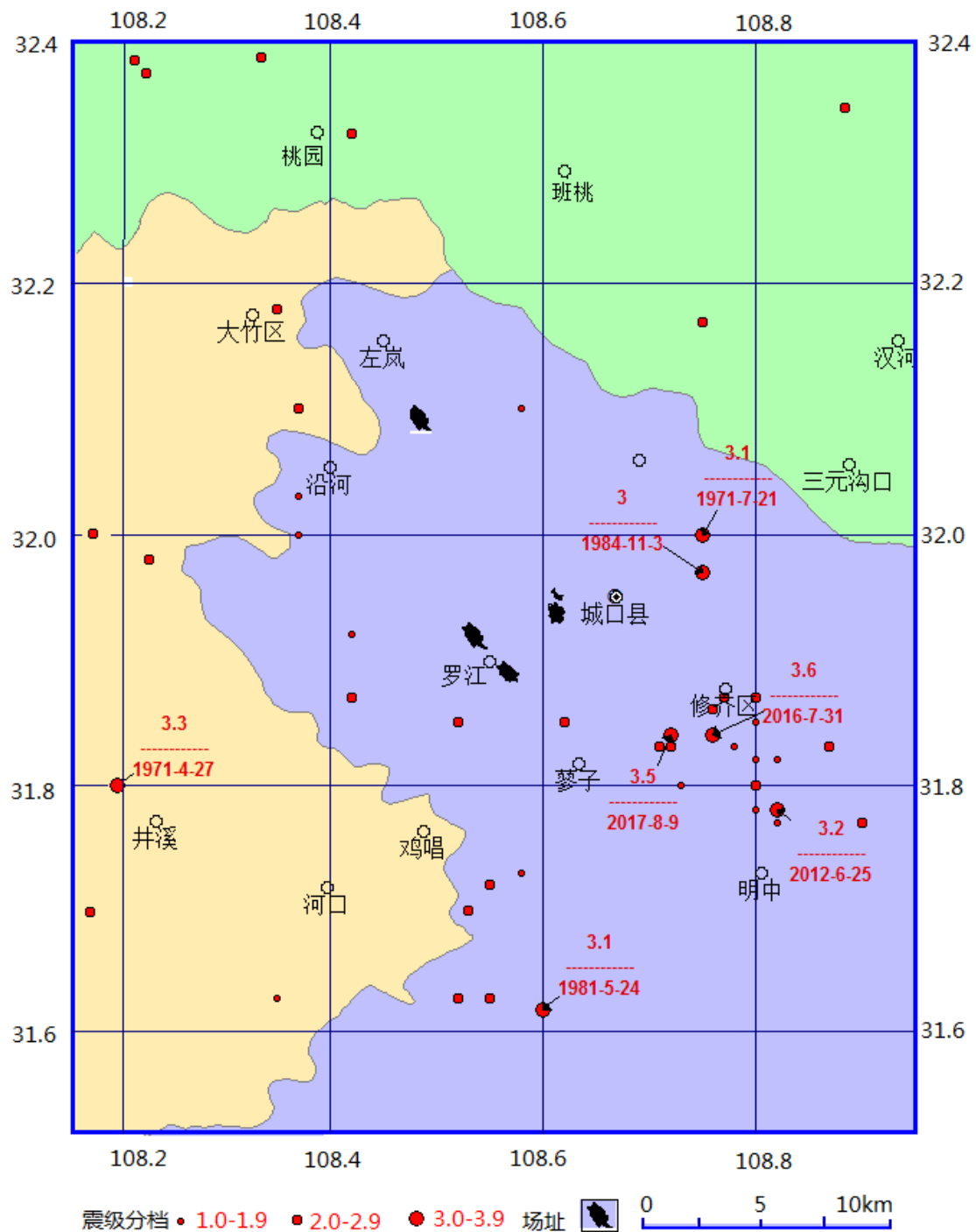


图 1.5-1 近场区地震震中分布图(M $\geq$ 1.0 级 1970 年 1 月-2021 年 3 月)

1.6 区域和近场区地震环境评价

(1) 区域主要位于长江中游地震带内，目标区内自有地震史料记载以来，目标区所在区域内记录到 M $\geq$ 4.7 级的破坏性地震 13 次，其中 6.0-6.9 级地震 1 次，5.0-5.9 级

地震 11 次, 4.7-4.9 级地震 1 次。记录到现代小震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$, 1970 年~2021 年 3 月) 645 次。区域有记载的最大地震是 788 年 3 月 12 日湖北竹溪 $6\frac{1}{2}$ 级地震。区域破坏性地震空间分布不均匀, $M \geq 4.7$ 级地震集中分布在目标区北部的陕西安康、汉中附近地区以及湖北竹溪地区, 区域所涉及的重庆地区无 $M \geq 4.7$ 级地震分布。1970 年以来仪器记录的中小地震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 集中分布在重庆巫溪以及巫山一带。没有发生过大于 7 级的地震, 地震活动属中强水平。在时间轴上存在相对集中的活动时段, 近百年来仅有 1 次 5 级地震活动。陕南秦岭大巴山地区的 5.5 级左右集中分布在 1568-1679 年前后。

(2) 目标区范围内强震震源深度的优势分布层位是有明显差异的, 99.9% 具有震源深度资料的 $M \geq 4.7$ 级地震都分布在地下 30km 范围内, 属于浅源地震。

(3) 目标区域位于长江中游地震带内, 地震活动处于活跃期后期, 未来活动水平将保持近百年来活跃水平, 仍可能有中强地震发生。

(4) 近场区范围内 1970 年以来共记录 $M \geq 1.0$ 级地震 42 次, 其中 1.0~1.9 级地震 14 次, 2.0~2.9 级地震 21 次, 3.0~3.9 级地震 7 次。近场区内最大地震和距离场地最近的地震为 2016 年 7 月 31 日发生在修齐区的 3.6 级地震。近场区以小地震活动为主, 空间上主要分布在目标区的东侧。

(5) 历史地震对场区的最大影响烈度为 V 度, 共有 6 次, 最近 1 次是 2008 年汶川 8.0 级地震的影响。

(6) 本区域基本处于以北西西-近东西向水平主压应力与北北东-南南西向有一定倾角的主张应力为主的现代构造应力场中。在这样的应力场中, 易于发生逆断层或逆兼走滑型断层活动。本区 NE 向的断层易发生逆兼右旋走滑运动, NNE 向隔挡式背斜断裂带易发生逆冲断裂活动, 近南北向的隔挡式背斜断裂易发生逆兼左旋走滑运动。

第二章 区域地震地质环境分析

本章将重点讨论区域大地构造环境的滋生及其演化简史、新构造运动基本特征、地球物理场与地壳结构、主要断裂带的基本特征与活动性，最后对区域地震构造环境的总貌作出评价。其目的在于为潜在震源区的划分提供地质学依据和深部构造背景。为更清楚地显示区域地震构造轮廓，实际区域地震构造图的编图范围大于 150km。

2.1 区域大地构造

2.1.1 大地构造分区

区域主体跨扬子地台和秦岭造山带，区域的大地构造位置及相邻的大地构造单元如图 2.1-1 所示。

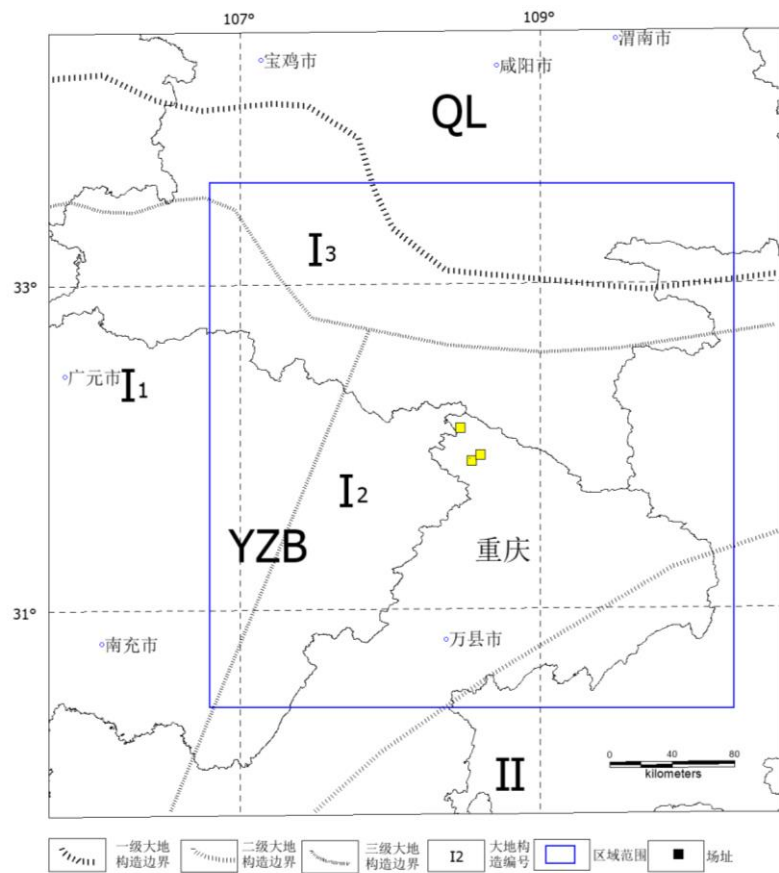


图 2.1-1 区域大地构造分区图

(据许志琴等, 1992; 王二朋等, 1993; 程裕淇, 1994 资料合编)

YZB-扬子陆块; QL-秦岭造山带; I₁-川中台拱; I₂-川东陷褶束; I₃-大巴山褶皱束; II-上扬子台褶带

根据沉积建造及变形的强弱可将扬子陆块以齐曜山—金佛山断裂为界进一步划分为上扬子台褶带和四川台拗两个二级大地构造单元，四川台拗以华蓥山断裂带为界又可进一步划分为川中台拱和川东陷褶束两个三级大地构造单元。川中台拱地层近水平，变形微弱，以鼻状或短穹隆状背斜构造为特点，地表几乎未见断裂构造；川东陷褶束变形稍强，以狭长的背斜和宽缓的向斜大致等距平行展布为特点，地表断裂与背斜构造具有伴生现象，且大多断于背斜的轴部或陡翼。四川盆地北东缘由于受大巴山南缘推覆构造带的影响，构造线方向偏转为北东东-东西向，或北西西向，地表断裂仍然具有与背斜构造共生的现象。本目标区位于川东陷褶束内。

1. 扬子陆块（YZB）

扬子陆块为晋宁旋回固化的稳定克拉通，以晚元古界变质基底之上的典型地台沉积为特征。其北缘大致沿青海玛沁、甘肃迭部和四川平武、青川一线以北，早古生代时为扬子地台被动大陆边缘与昆仑-秦岭洋过渡区，志留纪末的加里东运动使昆仑--秦岭洋由南向北俯冲、闭合（许志琴，1986），从而使扬子陆块与华北地台拼合为一个完整陆块。后受古特提斯洋扩张影响，在秦岭-北祁连山加里东造山带前缘形成了一系列的迁移裂陷槽。扬子陆块西缘的广大地域由于与北部劳亚大陆及西部羌塘-昌都陆块的相互作用而卷入强大的造山事件中，构成了松潘-甘孜印支期造山带的主体。

（1）四川台拗（I）

呈北东向的菱形盆地，台拗主体是一个北东向陆核，位于华蓥山断裂以西的川中台拱，由太古代—早元古代花岗岩类为主组成结晶基底；两侧（区内为华蓥山断裂以东的川东陷褶束）则是陆核的增生部分，褶皱基底主要为板溪群，属中、晚元古代的沉积变质岩。四川台拗在早古生代是一个相对隆起区，大部分地区为古陆；晚古生代后期全面遭受海侵，沉积厚度比周边薄；印支旋迴中期发育成为一个半封闭的巨大内陆湖盆，红色陆屑建造西厚东薄。燕山运动表现为微弱活动，广泛沉积侏罗纪地层，白垩纪以后呈现缓慢隆起。喜马拉雅运动使整个台拗盖层褶皱上升，目标区所在的川东陷褶束形成了一系列大致平行的、北北东向的、弧形的阻挡式褶皱构造带，川中台拱则形成极为宽缓的盖层褶皱。

川中台拱（I1）：位于华蓥山断裂以西的区域西北部，基底为太古代—早元

古代片麻岩和岩浆杂岩，顶面埋深 5~9km，上覆古生代和中生代地台盖层，地表广泛分布侏罗纪红层，盖层之间为平行不整合或连续沉积，新生代期间发生大面积隆起，喜马拉雅运动使盖层遭受褶皱，多形成穹隆、短轴背斜或鼻状构造，具有覆于结晶基底之上的表皮滑脱构造特征。

川东陷褶束（I2）：夹持于华蓥山断裂与齐曜山—金佛山断裂之间，为北东向的拗陷褶皱带，是区域的主体构造单元，褶皱基底由中、晚元古代的板溪群变质砂岩、板岩组成，顶面埋深 7~11km。古生代，川东陷褶束相对川中台拱是沉降的，除部分地层缺失外，其余地层发育齐全。中生代主要堆积有三叠系和侏罗系，白垩纪拗陷中心向西南迁移，川东陷褶束大部分隆起成陆。陷褶束的褶皱以狭长背斜和宽缓向斜隔挡式排列为特征：背斜主要由三叠系组成，形成狭窄山地；向斜基本为侏罗系构成，形成开阔谷地；两者宽度比例为 1:3~1:4。褶皱构造以北东—北北东向为主，受华蓥山断裂和四川盆地东南边缘构造控制，形成复合的弧形或帚状构造。褶皱时代被认为是喜马拉雅期（四川省地质矿产局，1991）。

大巴山陷褶束（I3）：是早古生代的台缘拗陷带。印支运动抬升，燕山运动隆褶定型，形成 4 个构造层。震旦系构造层下部为陆相-滨海相碎屑岩，上部为滨海-浅海相碎屑岩、镁质碳酸盐岩，厚 500~3000m；寒武-志留系构造层，为滨海-浅海相，为碎屑岩、碳酸盐岩、泥质岩，厚 800~2000m；二叠系-中三叠统构造层，滨海相-浅海相沉积，下部为含煤泥、碎屑岩，上部为碳酸盐岩，厚 1000~1500m；新生界构造层仅见于汉中和西乡两盆地，为内陆湖盆和河流相堆积，为泥岩、砂岩、砾岩及粘土、砂砾石层，厚 100~1000m（陕西省地质矿产局，1989）。

（2）上扬子台褶带（II）

位于区域东南部、齐曜山—金佛山断裂东南侧，西北与四川台拗川东陷褶束相接，褶皱基底由环绕川中结晶地块增生的中上元古界组成，震旦系—中三叠统盖层发育齐全，在近南北向构造基础上叠加北东向构造而形成城垛状褶皱。区域内主要包括上扬子台褶带的川东南陷褶束，它是一个古生代拗陷中心，下古生界厚达 3500~5500m，以碳酸盐建造为主。中生代时期，下、中三叠统发育，晚三叠世—侏罗纪期间受印支运动雪峰隆起的影响也有厚度不大的沉积。侏罗纪末期的燕山运动使川东南陷褶束褶皱回返上升，在山间盆地堆积上白垩统磨拉石建造，不整合于侏罗系之上。喜马拉雅运动再次发生褶皱，使先期形成的褶皱构造得到进一步加强，扩展成为城垛状褶皱，古生界组成背斜，二叠系、三叠系构成向斜。

与褶皱伴生的大型地表断裂多走向北东、倾向南东，可能与发育于地台盖层之中的逆冲推覆构造密切相关。

另外，位于区域南部的黔南台陷从泥盆纪到晚三叠世中期发育半深水至深水次生海盆，同时有海底玄武岩喷发，处于活动性较大的引张构造环境。燕山运动发生褶皱。

2. 秦岭造山带（QL）

秦岭造山带是扬子陆块与华北陆块分界的结合带，历经了漫长而复杂的构造变形过程，古、新特提洋的演化和太平洋板块对中国大陆的俯冲作用均在其地质记录和构造变形上打上了深刻的烙印（王二朋等，1993；程裕淇等，1994）。印支晚期以来，秦岭造山带发生了由北向南的大规模滑脱逆冲运动，在大巴山地区形成了一系列弧顶向南的推覆构造带，亦具有前陆薄皮逆冲楔的典型特征，并对四川盆地北东缘施加了重要的影响。

2.1.2 区域构造演化

大致始于 50Ma 的印-亚板块会聚导致新特提斯洋闭合及青藏高原快速隆升，对青藏高原东缘地区的地质地貌变革具有深刻影响。一方面由于东喜马拉雅构造结在向北的推进过程中，产生了强大的向东方向推挤力，形成了由西向东的推覆（马杏垣，1989；许志琴等，1992）；另一方面由于高原的迅速崛起，高原地壳物质在重力势的作用下产生水平推挤力（周玖等，1980）。在这两者的共同作用下，龙门山-盐源推覆构造带最终形成并定位，在两侧形成显著的地形高差。同时在高原东缘地区形成大型的弧形走滑断裂系，即川青块体向南东东方向的逸出和川滇块体向南南东方向的侧向滑移，如作为川青块体和川滇块体分界的鲜水河断裂的左旋走滑运动发生在 15-20Ma（许志琴等，1992）。这一重要的运动转型期，不仅对区域地质、地貌的表现，而且对地震活动均具有重要的制约作用。

第四纪基本上继承了上述运动转型期以来的构造变形表现形式，区域内的差异运动主要发生在岷山、龙门山、秦岭地区和大凉山，差异运动幅度达 1000-4000m 左右不等。目标区所处的川东陷褶束第四纪抬升幅度明显降低，差异运动不明显，是相对稳定的地区。

大地构造的发展与演化是一个极其缓慢的地质过程。大地构造格局对现今各

种构造及地震活动性的程度有一定的影响。区域主体属于华南地震区的西侧部分，以频度不高的中等强度地震活动为主，6级和6级以上地震极少。从历史上中强地震的空间分布来看，地震多发生在二、三级构造单元的边界断裂带附近及其北东向背斜褶皱的轴部附近。

2.2 区域地球物理场与深部构造

2.2.1 重力场特征

地球布格重力场主要反映地壳内部乃至上地幔的地质构造及物质分布状态。区域内的布格重力异常值均为负值（图 2.2-1），由南东向北西变化的幅度在-70至-135mgal 之间，且分区特点显著。据等值线的展布方向和疏密程度可以划分出几个不同的重力异常区。

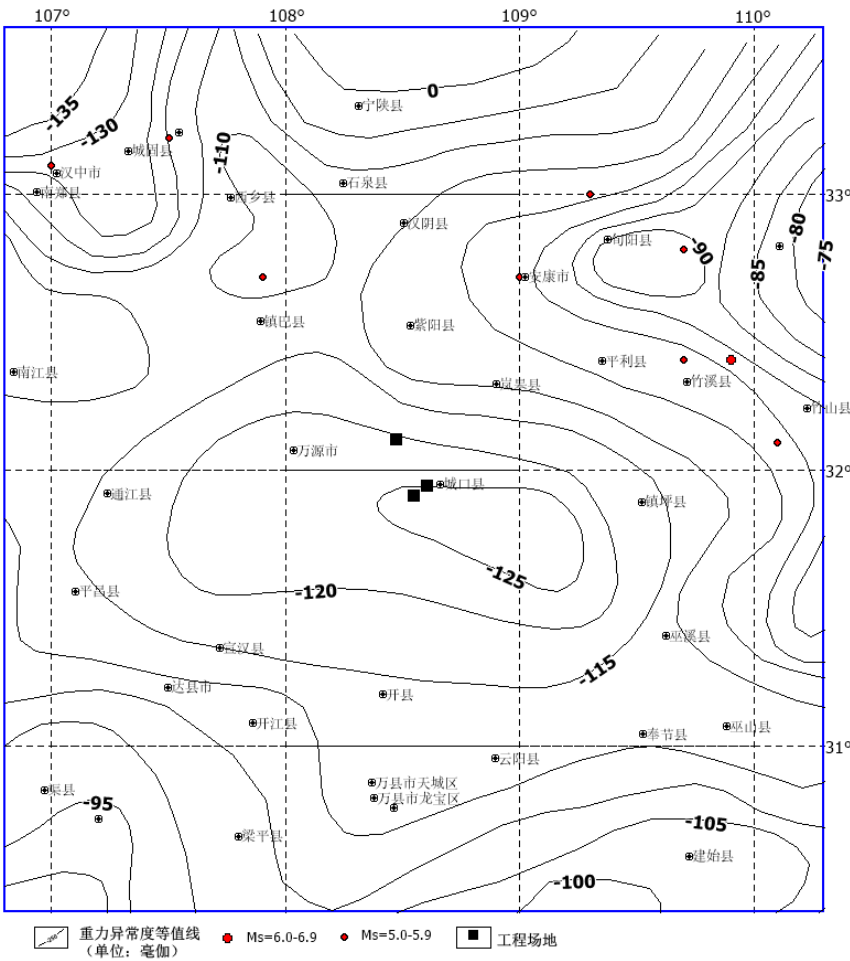


图 2.2-1 区域布格重力异常等值线图

四川盆地布格重力异常相对高值区：位于绵阳-乐山-宜宾以东区域，形成了以

秦岭重力低值异常区：位于区域中部，为重力异常低值区，除西北角外异常值一般为 $(-105 \sim -130) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，异常等值线呈圈闭状，变化平缓，与该区构造形态一致。

2.2.2 磁场特征

图 2.2-2 区域航磁 ΔT 化极上延 20km 异常图

不同的磁异常特征可反映出基底结构和构造的差异, 基底的固结程度又会影响到盖层构造变形及断裂的表现, 因此航磁异常是地壳磁性物质分布和构造特征的反映。通过向上延拓处理, 可以压制地表和浅部磁性体的影响, 突出深部磁性场源特征。

由图 2.2-2 可见，区域航磁 ΔT 化极上延 20km 异常图具有明显的分区特征。华蓥山断裂以西的川中盆地为正磁异常区，异常等值线呈北东向，在仪陇-蓬安一带异常值可达+360 纳特，这一强磁异常是扬子地台基低为中-基性岩浆杂岩体的磁异常特征的综合反映。华蓥山断裂以东，除忠县-石柱附近有近圆形状的强磁异常外，其余较大范围以及旺苍、南江以北主要都为负磁场背景，这一异常特征反映了川东地区的基底主要是由弱磁性的上板溪群浅变质岩组成。区内的基底断裂主要位于航磁异常的变异带上，如华蓥山断裂处于川中南部正高异常区与川东负异常区的分界线上，表明了基底断裂对断裂两侧的沉积岩相具有一定的控制作用。

区域中部以北，航磁条带呈北西南东展布，与区域近北西-南东向构造方向相吻合。

2.2.3 地壳结构特征

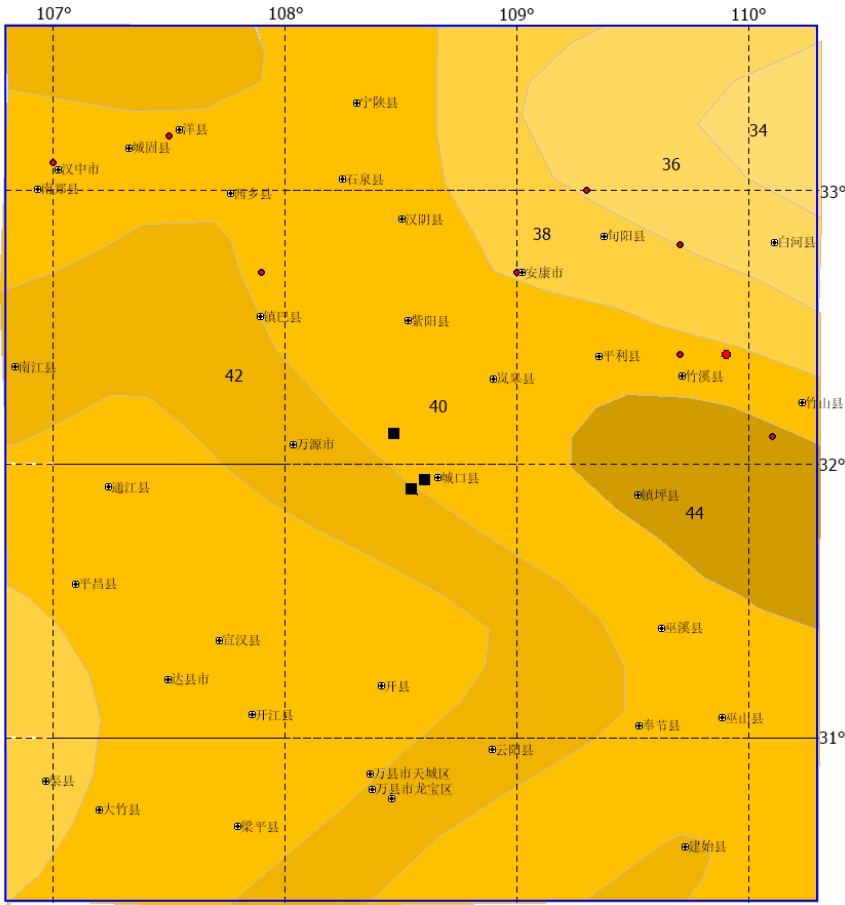


图 2.2-3 区域地壳厚度图

图 2.2-3 是由布格重力异常反演而得的区域地壳厚度等值线，由该图可见，区域以秦岭为轴，具有向南北两侧减薄的特征，由西北向东南呈不均匀地逐渐增厚，

地壳厚度变化平缓。莫氏面深度为 38-44km，坡度极缓，扬子准地台古陆核正好位于该区，幔台顶部呈北东向延展，显示了该区深部具有稳定和较强刚性的特征。

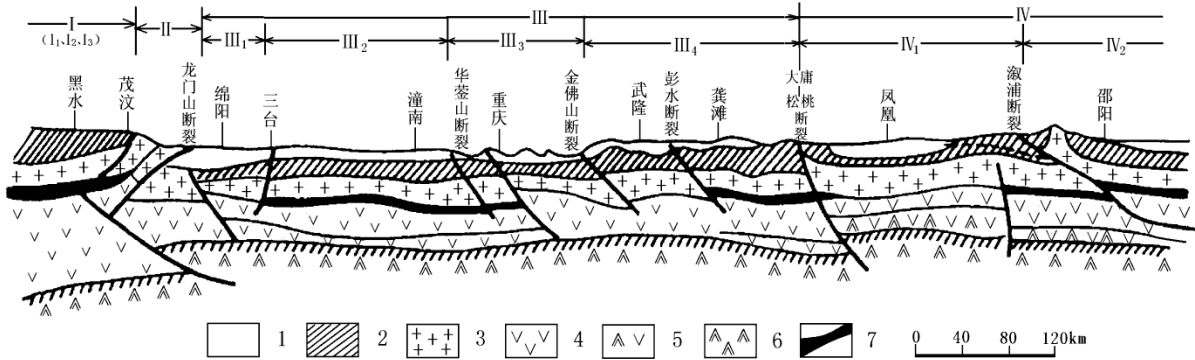


图 2.2-4 黑水-邵阳剖面地质构造单元划分示意图（据崔作舟等，2001）

1. 沉积盖层；2. 浅变质结晶基底岩层；3. 深变质结晶基底或花岗岩层；
4. 下地壳基性岩层；5. 下地壳高速层；6. 上地幔；7. 壳内低速层
I. 甘孜-松潘褶皱系；II. 龙门山断裂构造带；III. 扬子准地台区；IV. 华南褶皱带

根据黑水-邵阳剖面地质构造单元划分图（图 2.2-4）和人工地震测深资料竹巴笼-资中解释剖面图（图 2.2-5）可见，区域地壳为层状结构，尤其是华蓥山断裂东西两侧的地壳速度结构存在较大的差异，川东地区断裂构造比较发育，基底断裂切割深度比较大，但向上并未与地表或地腹断裂相连，而在四川地块的川中地区不存在基底断裂。在地表下 10-20km 的深度范围内，亦即沉积岩盖层与结晶基底之间（向东深度逐渐变大）存在一相对的低速层，这可能是由盖层构造滑脱的深部拆离带，表明了川东隔挡式背斜的形成具有深部构造背景。

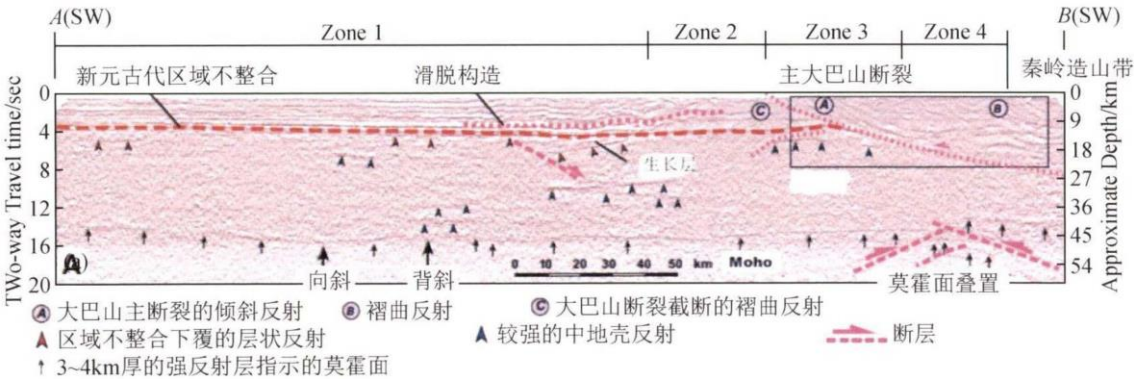


图 2.2-5 大巴山及四川盆地北部深反射剖面（据 Dong et al., 2013）

根据 Dong 等（2013）发表的文章，选出的大巴山及邻区深地震反射剖面作为

研究对象。如图 2.2-5 所示研究区横向分为 4 个区域，区域 1 和 2 主要包括四川盆地北部及大巴山前陆褶皱带，其浅部为三叠纪-二叠纪的沉积地层，而靠近大巴山主断裂的地区发育滑脱构造，且下部存在透明反射特征的区域不整合面-即结晶基底顶面。上地壳的界面深度在 12km 左右，下地壳表现为强烈的反射特征。区域 3 和 4 包括大巴山主断裂，延伸到 27km 左右，以倾斜反射为特征，靠近秦岭造山带的地区发育褶曲层，深部 45km 左右存在莫霍面叠置现象。

贯通整个四川盆地的竹巴笼-资中人工地震测深剖面（图 2.2-6）呈东西向横切区域，从此图中可以看出上部地壳低速层为 5.80-5.85km/s，埋深约 15km 左右，波速在横向上变化不大。下地壳的波速约 6.80-6.90km/s，但在龙门山断裂东西两侧地壳厚度出现显著差异，东侧莫霍面埋深约 40km，西侧约 60km，表明龙门山断裂为一套切割深度已达岩石圈的深大断裂。

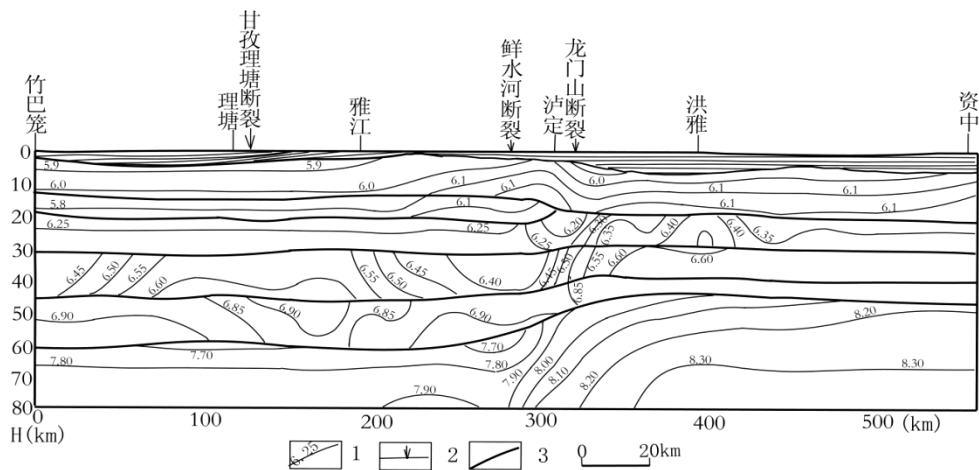


图 2.2-6 竹巴笼-资中人工地震测深剖面图（据王椿镛等，2002）

1. 层速度 (km/s)； 2. 断裂带； 3. 推测界面

综上所述，从区域地球物理场及深部构造背景与强震的空间分布关系可见，工作区的 6 级以上强震主要发生在布格重力异常梯度带和地壳厚度陡变带的斜坡带上，深部则存在相应的断裂或基底断裂。

2.3 区域地貌及新构造运动

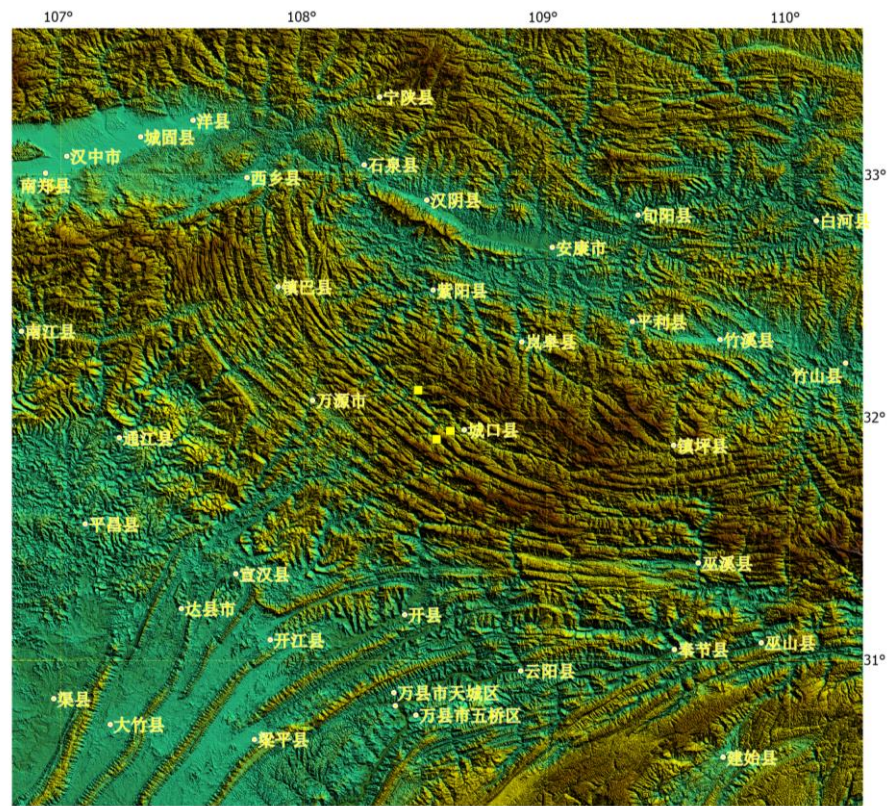


图 2.3-1 研究区 DEM 晕染图

尽管秦岭造山带在印支期后已经褶皱隆起，但它并未从此稳定、平静。早白垩纪以前的燕山运动使秦岭褶皱带内一些早就产生的深大断裂发生了继承性活动，由于强烈的南北向挤压，产生了大规模的逆冲推覆以及中酸性为主的岩浆活动。其后，随着太平洋板块俯冲作用的加强，东秦岭地区普遍遭受到北西西向构造应力场的影响，沿着早期一些主要的深大断裂产生了一系列北西西向的张性和走滑构造，形成了一系列大大小小的以断陷为主的山间盆地（表 1-2）。这些盆地几乎都受断裂构造的影响，呈 NWW-SEE 或近 E-W 向窄长条形延展，往往是盆地一侧的高山不断抬升，而另一侧的盆地相对下沉，形成了明显的箕形或地堑形断陷盆地，从今天各盆地保存的规模看，当时的这些盆地都属于中—小型及小型盆地。根据对这些山间盆地中的红层时代、厚度及其后期变形程度的综合分析，可以看出这些山间盆地普遍经历了早白垩纪世部分盆地的形成、晚白垩世盆地的广泛形成和发展、始新世盆地的稳定沉积、渐新世盆地的逐步抬升、中新世的块体抬升及盆地消亡这一地质演化过程。到第四纪，这些盆地已基本停止了活动，表现

为消亡的盆地中沿现今河流零星分布少量第四纪河流堆积，它们不仅厚度很薄，而且分布范围也非常有限。

第四纪以来，由于秦岭的持续抬升，秦岭山脉标高一般在 1000~2000m。从秦岭山区洞穴的高差和洞穴中动物群的时代推算，区内秦岭山地在中更新世晚期至中更新世的抬升速率约为 1.2~1.6mm/a（薛祥煦等，2002）。秦岭山地发育有两级区域性夷平面，第一级夷平面形成于中新世-上新世，海拔 1600~600m，主要分布于上述中新生代盆地四周的中低山丘陵、垄岗地区。

此外，在上述中新生代盆地内和汉江、旬河等河流的河谷中，还发育有 1~4 级河流阶地。如在安康盆地，第四级阶地的海拔高度为 380~540m，比高 130~300m；三级阶地的海拔高度为 280~440m，比高 40~200m；二级阶地的海拔高度为 208~360m，比高 40~120m；一级阶地的海拔高度为 255~320m，比高 30~50m。从阶地上覆冲积层中古生物和文化层推断，二级阶地形成时代为晚更新世，一级阶地形成时代为全新世。

南部地区即四川西部高原，第四纪以来为强烈快速抬升区。新第三纪末期尚处于准平原状态，高程仅 1000m 左右，第四纪以来与青藏高原同步快速抬升，为青藏高原的组成部分。现存高夷平面海拔 4200-4500m，第四纪以来的抬升幅度达 3000-3500m。断裂带规模大，由于高原的差异抬升以及高原内部断块的水平移动，致主要的边界断裂表现出明显的活动性，是区域内 6 级以上强震的分布区（唐荣昌等，1993）。

四川地区的新构造运动及地貌格局主要受喜马拉雅运动的影响。喜马拉雅运动可分为三期，即老第三纪末、新第三纪末和第四纪。第三纪的运动性质以褶皱造山运动为主，第四纪则表现为大面积的整体抬升。在区域整体快速抬升的同时，沿一些边界断裂发生了明显的差异运动(包括水平与垂直运动)，这种运动的速度差异直接导致了不同的地貌格局，为新构造的进一步分区提供了依据。

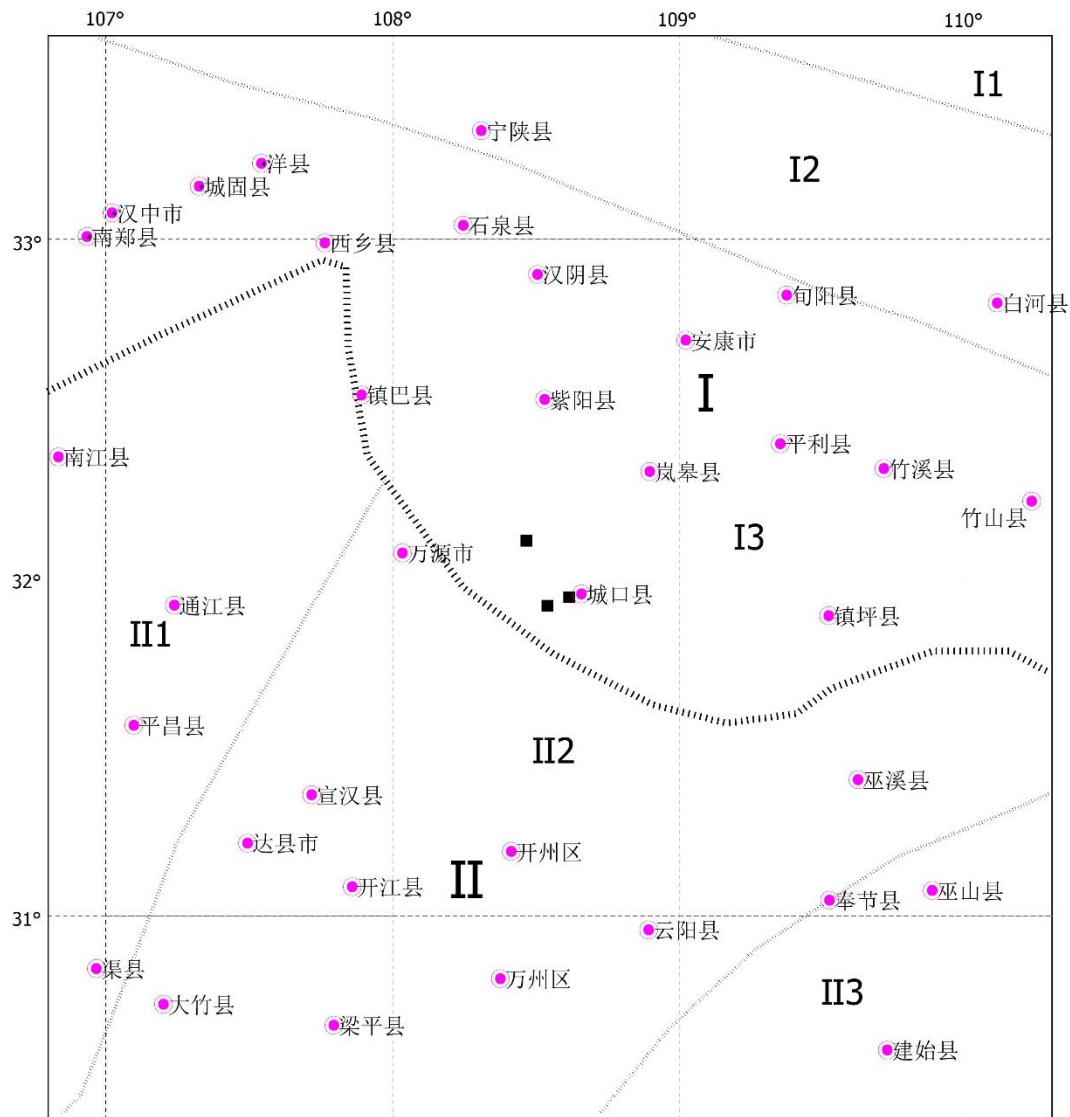


图 2.3-2 区域新构造分区

I 龙门-大巴山系; I 1 北秦岭断块强烈隆起区; I 2 南秦岭断块强烈隆起区; I 3 龙门山-大巴山断块强烈隆起区; II 川西断块隆起区; II 1 川中断块弱隆起区; II 2 川东断块隆起区; II 3 鄂西断块较强隆起区;

区域新构造运动强烈并且具有明显的分区活动特征，根据大地构造性质、地貌特征、新构造运动强度、块体运动方式、断裂和地震活动特点将本区划分为 6 个新构造单元（图 2.3-2）

（1）北秦岭断块强烈隆起区 I₁

该差异隆升区断裂构造发育，以北东和北西西走向为主，大多数断裂的最新活动时代是早、中更新世。新构造期以来，处于长期稳定的剥蚀环境。发育北西西向断裂，沿一些北西西向断裂老的断裂挤压破碎带再次发生新的左旋走滑运动，一系列山脊、水系被左旋水平错移。

（2）南秦岭断块强烈隆起区 I₂

该区北与北秦岭断块隆起区相接，南部以青峰—襄樊—广济断裂为界。全区长期处于隆起状态，具有间隙性上升的特点。新构造期以来，处于长期稳定的剥蚀环境。发育北西西向断裂。

（3）龙门山-大巴山断块强烈隆起区 I₃

该区长期处于隆起状态。新生代以来，发生间歇性抬升，形成 4~5 级夷平面、3~4 级阶地，其各地上升幅度不均一。该断隆主体为弧形龙门—大巴山系，海拔高一般在 2000m 以上。区内 I 级夷平面发育，海拔高 2200~2600m，为分割的山顶面，水流切割深度达 1000m 以上。

（4）川中断块弱隆起区 II₁

位于华莹山断裂以西的区域。构造上为川中台拱，以平缓的短轴状和穹隆状背斜为特征。新构造运动以来抬升幅度小，地貌上表现为低丘和平原，广泛发育 400m 左右 IV 级夷平面。第四纪以来抬升幅度小于 500m。区内断裂不发育，断块内部差异运动小，地震活动微弱。

（5）川东断块隆起区 II₂

位于华莹山断裂和齐曜山断裂之间。该区为冲断褶皱型构造，剖面形态为隔档式褶皱。地貌上表现为三叠—侏罗系组成的北北东或北东向平行岭谷，山岭海拔高多在 600-1000m，方斗山达 1684m。主要发育 II、IV 级夷平面，海拔高分别为 800-1000m 和 400-500m。第四纪以来抬升幅度大于 500m。

（6）鄂西断块较强隆起区 II₃

位于齐曜山断裂—大庸断裂之间的区域。该区主要由古生界和三叠系组成的背向斜褶皱，向斜部分少有中生代红层堆积，燕山运动即已开始褶皱抬升，呈城垛状和隔槽式。地貌上，基本是背斜成山、向斜形成谷地或盆地。新构造时期表现为大面积的间歇性抬升，发育早期形成的 5 级剥夷面、后期形成的 5—10 级阶地和多层岩溶溶洞。海拔 1600—2000m 的山顶面为早第三纪晚期形成的夷平面残余部分，称为“鄂西期”地面；较低一级的山顶面海拔多在 800—1200m，它是晚第三纪形成，的剥夷面，称为“山盆期”地面；最低一级为深切峡谷。

区域及其邻区包括秦岭、龙门山、米仓山、大巴山。这些山地新生代以来长期处于大面积差异性隆起的过程，现今地貌上形成中山或中高山。在大面积隆起

的大背景下，受区域性断裂活动的影响，局部形成规模较小的断陷盆地。例如秦岭和米仓山之间的汉中盆地，秦岭与大巴山之间的月河盆地，秦岭内部的太白盆地、洛南盆地、商丹盆地、山阳盆地。其中月河盆地、商丹盆地、山阳盆地古近纪就开始断陷形成，并一直持续到第四纪，而汉中盆地、太白盆地是第四纪才开始断陷形成。从强震活动与新构造运动的关系来看，区域强震往往发生在新构造运动分区界线附近，这些分区界线也常常分布有第四纪以来具有明显活动性的断裂构造。

2.4 区域主要断裂及其活动性

活动断裂研究是涉及断裂最大可能潜在地震能力估计和潜在震源区划分的重要内容。区域主要包括了西秦岭和四川盆地及其周缘的一部分（图 2.4-1）。

四川盆地基底被巨厚的地台盖层覆盖，盖层构造比较简单，主要受基底物性区域分块和先存的深部边界构造带的影响和控制，为弱活动构造区。盖层构造显著的特点是其区域分异现象，从西北到东南，分别以短轴状或穹隆状、隔挡线状、城垛状褶皱与韧性变形为主体特征，岩浆活动和变质作用不强甚至不存在。本区的构造主体方向为北东—北北东向，局部地区还有近南北向构造。新构造时期，特别是第四纪以来，本区的褶皱与断裂活动都比较微弱。发育在背斜核部的盖层断裂主要分布在川东陷褶束内，如发育在观音峡背斜、明月峡背斜、桃子荡背斜上的地表断层，一般断续延伸十几至几十公里，破碎带宽度一般几米—十几米，切割深度多在 5—6km 以上；地震地质调查表明，这些断层的最后活动多在距今 20 万年之前，晚更新世以来活动减弱；沿这些断层分布的地震一般为本底地震。这些盖层断层就单条的规模而言，构不成区域性断裂带，但它们与褶皱及其底腹断层形成的构造统一体，使得地震活动情况变得有些复杂，在一些特殊的部位尤其靠近基底断裂或与其交汇部位，其震级往往较大，如 1989 年统景 5.4 级地震是有记载以来发生在这一类断层褶皱带上的最大地震。

区域范围内的发震构造主要有方斗山断裂带、华蓥山断裂带等（表 2.4-1），以下分别讨论这些断裂的分段性、潜在地震能力和强震复发间隔等，为区域范围内高震级潜在震源区的地震活动性参数确定提供地质学依据。

表 2.4-1 区域主要断裂活动特征一览表

编号	断裂名称	产 状	长度 (km)	性 质	分段性(活动 时代)
F1	山阳—内乡断裂	NE $\angle$ 40-80°	240	正走滑	Q ₂
F2	略阳—勉县—洋县断裂	N50-80° E /S $\angle$ 50° -80°	170	正断层	Q ₁ -Q ₂
F3	板岩镇—镇安断裂	EW/N $\angle$ 50° -60°	240	逆断层	Q ₁ -Q ₂
F3	达仁河—两河关断裂	NW/NE,	90	正断层	Q ₁ -Q ₂
F4	月河断裂	NW/NE $\angle$ 50-70°	140	正断层	Q ₁ -Q ₃
F5	茶镇—汉王城—水田坝断裂	NW/NE $\angle$ 50	100	左旋走滑断裂	Q ₁ -Q ₂
F6	红椿坝—岚皋断裂	NW/NE $\angle$ 75°	100	压扭性断裂	Q ₁ -Q ₂
F7	饶峰—麻柳坝—钟保断裂	E/SE $\angle$ 30-40°	50	扭逆冲断层	Q ₁ -Q ₂
F8	城口—青峰断裂带	NEE/N $\angle$ 40-70°	300	左旋走滑兼逆冲	Q ₁ -Q ₂
F9	华蓥山断裂	合川北—达州（北段）： N30-35° E/SE $\angle$ 30-70°	150	逆冲	Q ₁ -Q ₂
		合川北—大足南（中段）： N40E/SE $\angle$ 30-80°	80	逆冲	Q ₁ -Q ₂
		大足南—宜宾南（南段）： N40-45° E/SE $\angle$ 50-80°	230	逆冲	Q ₁ -Q ₃
F10	温泉井断裂	N50~60° E/NE $\angle$ 40~ 60°	80	逆冲	Q ₂
F11	七里峡断裂	N30~40° E/NW $\angle$ 40~ 50°	50	逆冲	Q ₁₋₂
F12	铜罗峡断裂	N40~50° W/NE $\angle$ 76~ 80°	100	逆冲	Q ₁₋₂
F13	方斗山断裂	N30-40° E/NW $\angle$ 50°	230	逆冲	Q ₁ -Q ₂
F14	建始断裂	NE/SE50-70°	65	右旋正断	Q ₁ -Q ₂
F15	七曜山—金佛山断裂带	N40~50° E/NW $\angle$ 70°	大于 350	正断	Q ₁₋₂

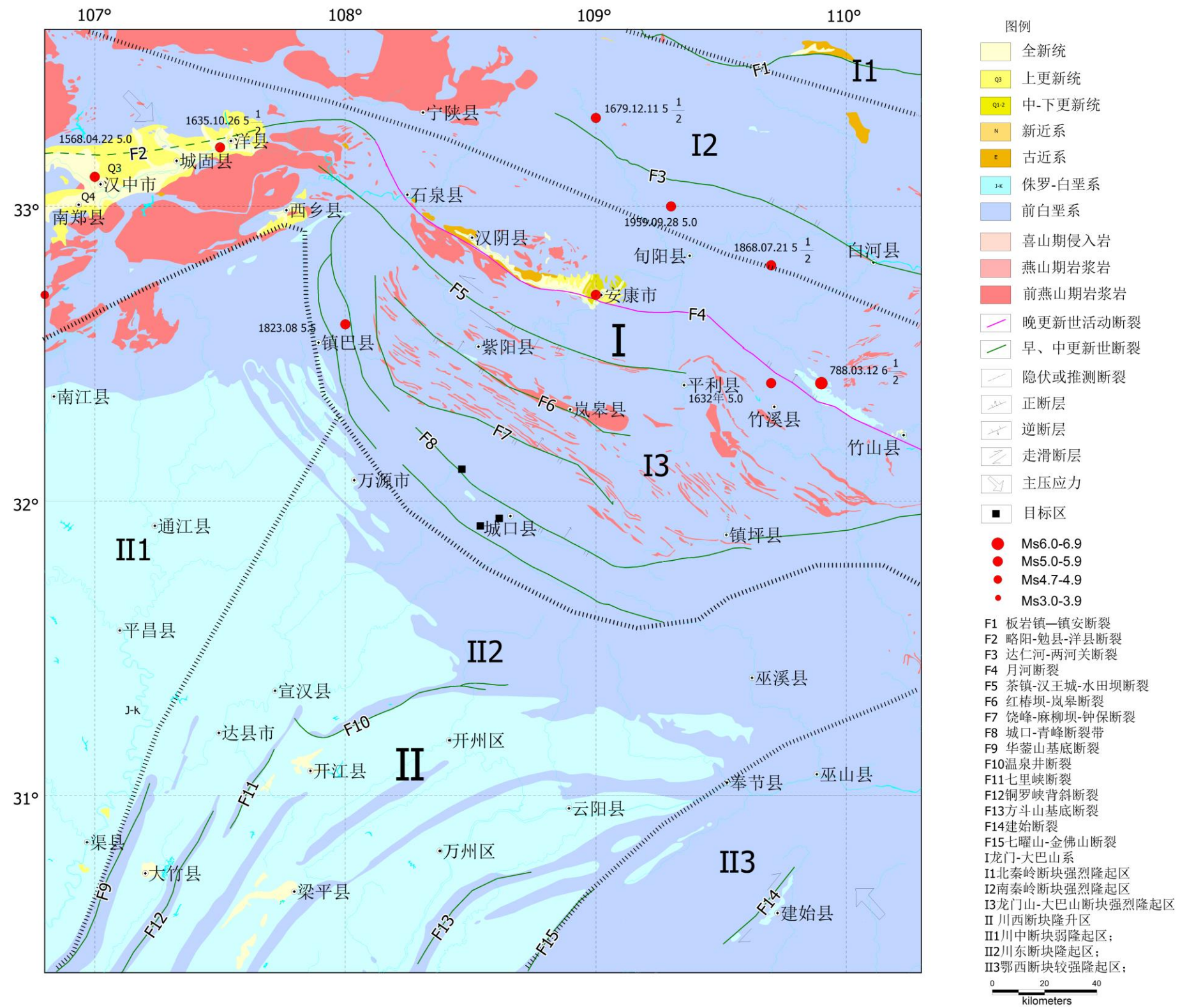


图2.4-1 区域地震构造图

(1) 板岩镇-镇安断裂 (F1)

断裂西起新场附近，向东经柞水南、凤凰镇、山阳南。从山阳盆地东端向东分为南、北 2 支。南支向东南延伸到竹林关以南，北支沿丹江延伸到竹林关以北。两支皆延伸到河南省境内，总长度约 270km，编图区内长度约 240km。断裂走向近东西，倾向北，平面上呈向南或向北弯曲的弧形。山阳盆地东、西两侧，断裂构成古生界不同地层或古生界与元古界、岩浆岩之间的界线，山阳盆地则构成古近纪盆地的南边界。

卫星影像上，山阳盆地南侧线性特征明显。断裂南侧岩性呈黑色调，由石炭系和岩浆岩构成，北侧呈灰色调，为古近系或第四系）。

断裂南盘明显高于北盘，两盘高差大于 500m。在香沟-山阳-潘家沟剖面中，两盘地貌高差可达 600~700m，断裂控制了北盘古近系与南盘古生界之间的界线。古近系总体表现为轴向北东东的宽缓向斜和背斜。在断层附近向北倾斜，倾角可达 40° 以上，远离断层逐渐变缓，在潘家沟一带形成宽缓背斜。大西沟-椿树沟剖面中，断裂从古生界中通过，两盘最大地貌落差 500~600m。

马家沟村南侧 (33° 30′ 43″ , 109° 51′ 31″)，在一条冲沟西壁见到断层破碎带，发育在石炭系片岩、变质砂岩中。在其边缘和内部发育多条断面，走向近东西，倾向北，倾角 60~80°。断层及其破碎带被厚约 1m 的上更新统坡积砂砾土覆盖(图 2.4-2、2.4-3)。在盖层底部取年龄样品 H-F9-OSR-4，测试结果为 (88.30±7.51) ka，表明断层活动时代应在晚更新世中期之前。

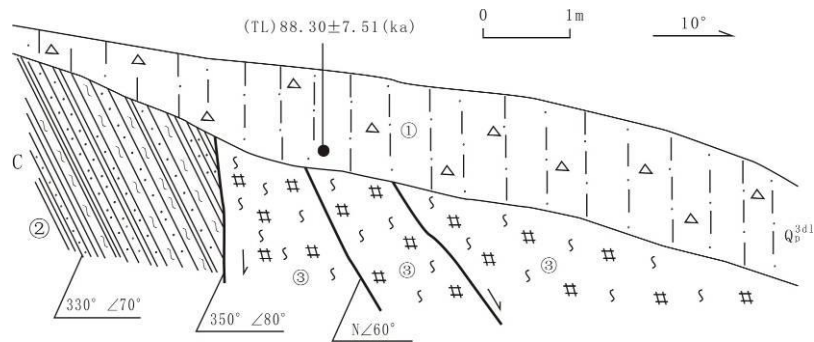


图 2.4-2 马家沟村南侧断层剖面

① 上更新统坡积砂砾土；②石炭纪片岩、变质砂岩；③棕黄色断层破碎带



图 2.4-3 马家沟村南侧断层破碎带照片（镜向 NWW）

该断裂单支断裂带宽 10~100m，断裂总长度 270km，编图内长度约 240km。断裂走向近东西，倾向北，平面上呈向南或向北弯曲的弧形。山阳盆地东、西两侧，断裂构成古生界不同地层或古生界与元古界、岩浆岩之间的界线，山阳盆地则构成古近纪盆地的南边界。

据陕南地区主干断裂活动性调查总报告，断裂切割的最新地层为古近纪砾岩，断层泥 ESR 测年结果为 12.7 万年，断裂上覆盖层测年结果为 8.8~13.4 万年，因此，断裂的最新活动时代是中更新世晚期。第四纪活动主要表现为左旋走滑，兼有正断分量，局部地段显示逆断分量。

根据野外所见断裂剖面和断裂槽地，确认主断裂的影响宽度 50~100m。

沿该断裂历史上无 ≥ 4.7 级地震发生。

1970 年有仪器记录以来，也无 3.0~4.9 级小震发生。是地震活动很弱的断裂。

（2）略阳-勉县-洋县断裂（F2）

断裂西起甘肃省文县，向东经康县、陕西省略阳、勉县、汉中盆地北缘，止于洋县以西，长约 360km，区内长约 160km。断裂带走向不同段落略有差别，文县—康县段走向 70° 左右，康县—略阳段走向近东西，略阳—勉县段走向北西西，勉县以东走向北东东。编图范围仅包括略阳以东的段落，（图 5.1.1、陕附图 4-1）。断裂倾向也不一致，勉县以西段主要倾向北，显示逆断层性质，勉县以东的汉中盆地北缘段主要倾向南，正断层性质。

各断裂段皆由多条或近于平行、或相互斜列的次级断裂构成了宽 5~10km、内部结构复杂的断裂带。主断裂大致控制元古界和古生界之间的界线，其它断裂则构成元古界或古生界不同时代地层和岩浆岩之间的界线，勉县以东则构成汉中盆地的北边界。

前人曾对该断裂进行了较多研究。大地构造学者认为它是中国大陆构造中划分南北、连接东西的重要构造带。构造、沉积、地球化学、地球物理、古生物和同位素定年以及变质变形、岩浆活动等多学科综合研究证明,断裂带先期原是秦岭-大别造山带中除商丹缝合带以外的另一条于中一晚泥盆世扩张打开、晚二叠世开始俯冲、中一晚三叠世陆-陆碰撞造山的古板块缝合带,也是中国大陆印支期完成其主体拼合的主要结合带(张国伟, 2004); 构造带由不同时代、不同构造背景的构造岩片堆叠而成的,岩片之间均为断层接触,属非史密斯地层范畴。断裂带中的蛇绿混杂岩是一个组成和构造演化较复杂的蛇绿构造混杂带,包括超镁铁质岩、辉长岩类、海相火山岩、硅质岩等。蛇绿岩成因既有岛弧型,也有洋中脊型,并有裂谷型碱性玄武岩,代表了板块扩张、俯冲消减及最终闭合过程中不同阶段的物质记录(张国伟等, 1995, Xu J, Zheng B, Hart Y., 1994; 赖绍聪, 2002; 杨宗让等, 1990)。

在卫星影像上,该断裂显示较清晰的线性特征。例如略阳-勉县间,几条近平行的断裂皆显示清晰的线性。

在现今地貌上,沿断裂的大部分段落表现为槽地特征,但在汉中盆地北缘段,多表现为断层崖和断层陡坎。例如沙子沟-老道寺地形地质剖面横跨汉中盆地北缘,断裂两侧盆地和山地构成明显的地形高差,断层以北的古生界构成中低山,以南为汉中盆地,盆地基底为元古界,其上为第四系。大营-马家沟地形地质剖面位于勉县以西约 15km,剖面中断裂构成不同时代地层的界线,沿断裂有冲沟或槽地发育,断裂两侧地形高差无明显差别。

前人曾对该断裂带康县-略阳段的新活动特征进行过实地调查,所观察到的剖面切割的都是前第四系,断层之上被上更新统和全新统覆盖。断层物质年龄样品测试年代为中更新世,因此确定断裂的最新活动时代是早、中更新世,晚更新世以来不活动(中国地震局地质研究所、中国石油天然气管道勘察设计院, 1999)。

2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震后,中国地震局科考队对该断裂带勉县以西的文县-康县段、康县-略阳段、略阳-勉县段进行了野外考察。调查发现,3 段断裂切割的地层皆为前第四系,部分段落地貌上出现断层崖、断层垭口,未见断裂切割第四纪的直接证据。断裂通过处,河流Ⅲ级及其以下阶地未受影响,因此确定断裂的最新活动时代是早、中更新世,晚更新世以来不活动。

勉县接官亭公路边($N33^{\circ} 17' 03.8''$ 、 $E106^{\circ} 13' 33.0''$),在元古界灰色砂质

灰岩中见该断裂的多条断面。其中 3 条倾向北东的显示逆断层性质，3 条倾向南西的显示正断层性质，正断层切割了逆断层，反映正断层活动时代要新于逆断层（图 2.4-4）。

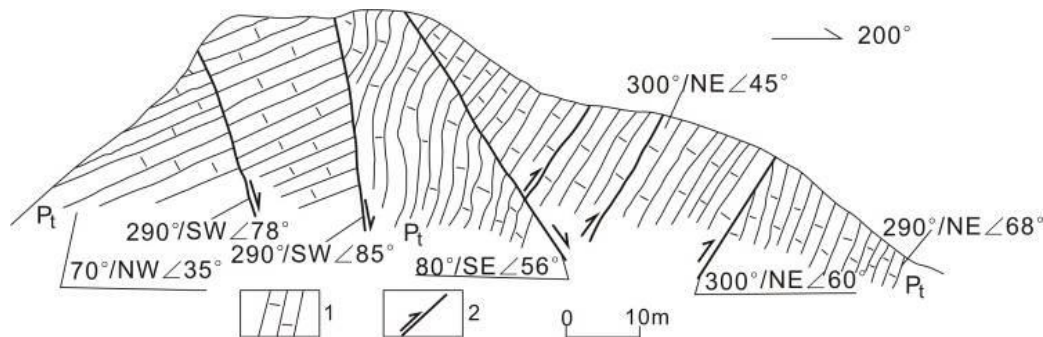


图 2.4-4 勉县接官亭公路边断层剖面

1 灰色砂质灰岩；2 断层

该断裂带是中国大陆构造中划分南北、连接东西的重要构造带。构造、沉积、地球化学、地球物理、古生物和同位素定年以及变质变形、岩浆活动等多学科综合研究证明，断裂带先期原是秦岭一大别造山带中除商丹缝合带以外的另一条于中一晚泥盆世扩张打开、晚二叠世开始俯冲、中一晚三叠世陆-陆碰撞造山的古板块缝合带，也是中国大陆印支期完成其主体拼合的主要结合带。

在卫星影像上，该断裂显示较清晰的线性特征。

在现今地貌上，沿断裂的大部分段落表现为槽地特征，但在汉中盆地北缘段，多表现为断层崖和断层陡坎。这些断层崖和断层陡坎有的是发育在古生界与中更新世坡洪积台地之间，有的是发育在中更新世坡洪积台地内部，向下对应着南倾的正断层。因此该断裂是由地质、地貌证据的早、中更新世活动的断裂。

断裂早期的活动性质是以挤压逆冲为主，晚期以张性正断为主。断裂主要切割前第四系，勉县以东段控制汉中早、中第四纪盆地的发育。

天然剖面和探槽剖面综合反映，断裂切割的最新地层为距今 17~20 万年的中更新统，断裂之上覆盖的最老地层是大于 9 万年的上更新统，因此，断裂的最新活动时代是中更新世。

根据野外所见断裂剖面及断裂槽地，确认主断裂的影响宽度 50~150m。

沿该断裂 1624、1635 年洋县一带发生 2 次 5.1/2 级地震，1822 年文县西北发生 5.1/2 级地震，1927 年略阳发生 4.3/4 级地震。地震活动较弱。

1970 年以来的，编图区范围内沿断裂无 ≥ 3.0 级的小震。

(3) 达仁河-两河关断裂 (F3)

断裂西北起自穆王坪以东，向东南经狮子口、小河口，羊山，羊山以东与公馆一白河断裂靠近。羊山以东走向近东西，向西延伸走向逐渐转变为北西西至北西向，长度约 100km。

断裂发育在古生界中。宏观上，西段主要构成北东侧寒武系-奥陶系和南西侧泥盆系-志留系之间的界线，东段则从泥盆系、志留系中通过，或构成两者之间分界线。

断裂卫星影像不甚清晰，比较清楚的段落在羊山南侧顺东西向河谷发育的一段，切割近南北向的小山脊，形成断层三角面。

由于断裂发育于古生界中，断裂两盘地貌差异不大，落差不明显。图 2.4-5 是横切羊山南坡断裂带的两个地质剖面。碾盘山—羊山地形地质剖面反映断裂在地貌上形成浅缓的槽地，而杨家院子—王家院子地形地质剖面反映不明显。

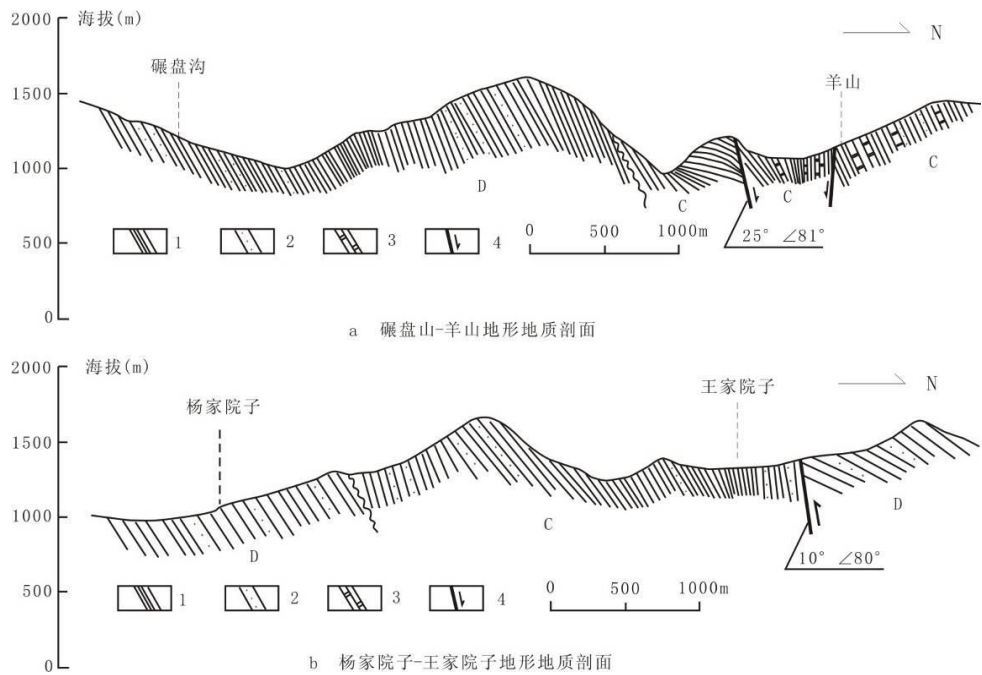


图 2.4-5 阳山南坡断裂 (F₇) 地形地质剖面图

1. 板岩、片岩；2. 变质粉砂岩；3. 结晶灰岩；4. 断层

本次重点调查断裂东段，即线性影像较清楚的羊山一带，沿断裂进行追索和探槽开挖，对西段也进行了穿插调查。以下由西向东对调查结果进行介绍。

乾佑河以西约 25km (33.14595, 109.05816)，泥盆纪灰色板岩、片岩变形强烈，显示逆冲特征，形成的断层挤压带宽 30m 左右。其中两条断面之间的碎裂岩带宽约 1m (图

2.4-6、2.4-7)。该剖面附近，河流发育两级阶地，I级拔河4~5m，II级拔河15m左右，断裂通过时均未遭受变形和断错。

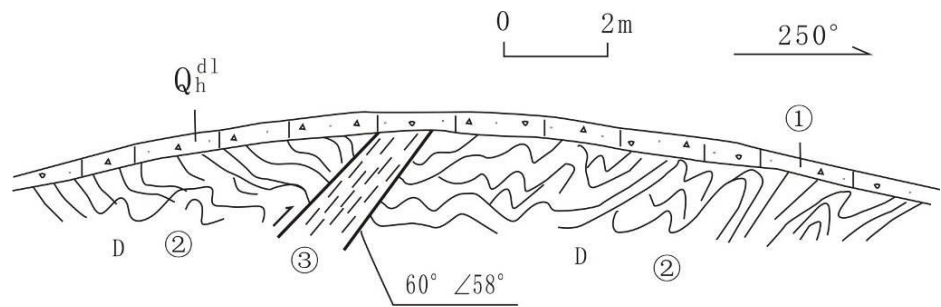


图 2.4-6 乾佑河西侧约 25km 处 F_7 断裂剖面

① 全新统灰黑色坡积物；② 浅灰、棕黄色千枚岩、板岩；③ 棕灰、棕褐色断层破碎带



照片 2.4-7 断裂破碎带局部照片（镜向 SE）

旬河右岸（33.10942, 109.11304），断裂从泥盆纪浅灰、棕黄色千枚岩、板岩中通过，总体向南陡倾，断层带内泥盆系变形强烈。断层面倾向南南西，倾角较陡，顶部覆盖一套坡积砂砾石层，未遭受断层断错和变形。该砂砾层胶结坚硬，厚度 2~3m，上部还堆积有较薄的全新统坡积物，初步判断砂砾层形成时代为晚更新世（图 2.4-8）。

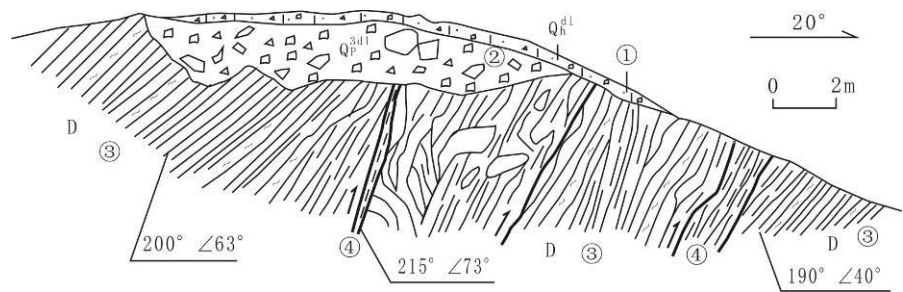


图 2.4-8 旬河右岸 F_7 断裂剖面

① 全新统灰黑色坡积物；② 上更新统棕灰、棕黄色坡积砾石层，坚硬；
③ 泥盆纪浅灰、棕黄色千枚岩、板岩；④ 断层破碎带

乾佑河附近（33.07987, 109.14574），见相距约 20m 的 3 条断层发育在泥盆纪变质岩中。断面均向北北东陡倾，倾角 80° 左右。断层之间泥盆系强烈揉皱变形，断层破碎带中可见斜向擦痕，向东侧伏，侧伏角 30° 左右。整个断层带宽度 50m 左右，结构特征和擦痕反映出，断裂活动主要表现为断层北东盘向南西盘的左旋斜冲（图 2.4-9，2.4-10）。

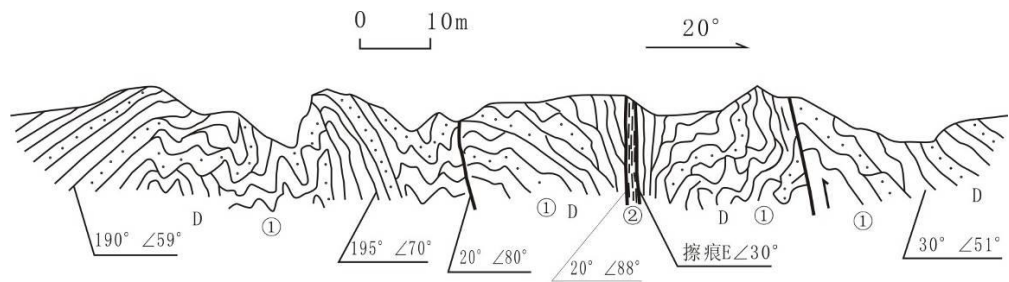


图 2.4-9 乾佑河附近 F₇ 断裂剖面

- ① 泥盆系灰白、灰黑、棕黄色千枚岩、板岩、变质砂岩，变形强烈；
- ② 棕黄色断层破碎带，坚硬



图 2.4-10 乾佑河附近 F₇ 断层面及破碎带局部照片（镜向 NWW）

王家院子北冷水河附近（32.98658, 109.39092），断裂发育在泥盆纪棕黄、灰绿色片岩、变质砂岩中，断面以向北北东倾斜为主，倾角 50~60°，在 3 条北倾断层北侧约 8m 处还有一条向南陡倾的断层，均显示逆断特征。断层上部覆盖一层土红色砂质粘土、亚砂土及浅灰色坡积砂砾堆积(层②)。在其底部取 ESR 样品 H-F7-ESR-4，测试结果为(57 ± 5) ka，为晚更新世中期。表明断裂至少在晚更新世中期以来不再活动。

该断裂长度约 100km, 羊山南及其以东段走向近东西，向西延伸走向逐渐转变为北西至北西向。

断裂发育在古生界不同地层中。西段主要构成北东侧寒武系-奥陶系和南西侧泥盆系-志留系之间的界线，东段则从泥盆系、志留系中通过，或构成两者分界线。

卫星影像线性特征不甚清晰，比较清楚的段落仅在羊山南侧顺东西向河谷发育的一段，其特征是线性影像连续性好，切割近南北向的小山脊和冲沟，形成断层三角面。除局部地段外，断裂两盘地貌差异不大，两盘落差不明显。

天然剖面、探槽剖面显示，断裂及破碎带皆发育在古生代地层中，断裂带宽十多米至几十米，最新活动表现为逆左旋走滑，羊山南坡一带兼有正断性质。断裂破碎带和断面上覆第四系盖层测年结果为 5.7 万年左右，在第四系中未发现断面，仅见中更新世泥砂质砾石层受断裂影响有最大 12° 的倾角。

根据野外所观察到的断裂剖面和断裂槽地，确认主要断裂的影响宽度为 10~30m。

从天然剖面、探槽剖面、测年结果及断裂地貌特征综合分析，认为断裂最新活动时代为早-中更新世，晚更新世以来不活动。

沿断裂 1959 年发生 5 级地震。1970 年以来，沿断裂有 3.0~3.9 级小震零星发生。

(4) 月河断裂 (F4)

断裂西北起自石泉西北，向东南经石泉、汉阴、恒口、安康，继续延伸至湖北境内，属石泉-安康-竹山-房县断裂的一部分，总长 240 km，编图内长度 180km（图 5.1.1、陕附图 4-1、4-2）。走向北西至近东西，倾向北东，正断层。根据区测资料，汉阴-安康段，控制古近纪盆地南西侧边界。从现今地貌分析，对第四纪谷地也有明显的控制作用。石泉西北段主要构成寒武-志留系之间的界线。野外调查曾发现切割古近系、新近系和下、中更新统的剖面（甘家思等，2002）。

石泉-安康段线性特征明显，尤其恒口镇-五里铺近东西向的段落最为清晰，其次是五位村-安康段（图 5.1.2、图 5.2.2.1、陕附图 3-2）。

图 5.2.2.2 是横切月河断裂的两个地形地质剖面。由图可见，断裂南西盘为基岩山地，海拔高度 800~1400m。北东盘为低丘河谷地貌，海拔高度 400~600m，南西盘明显高于北东盘。如莽家梁-唐家扒剖面，两盘地貌高差 500~600m，邝家垭子剖面中，两盘地貌高差可达 700~800m。

该断裂前人开展野外调查较少，也未获得较确切的断裂活动证据。本次野外调查将卫星影像清晰、地貌特征明显的安康盆地南缘段作为调查的重点。以下由西北向东南对主要调查结果予以介绍。

汉阴县城以西，断裂走向由北西西逐渐转为北西向，断面总体向北东倾斜。龙王沟附近，正在修建的高速公路北侧（ 32.94522° 108.35166° ），人工开挖揭露出清楚的断层面。走向 320° ，倾向北东，倾角 68° 左右。断面切割震旦系陕西群浅灰、灰褐色石英片岩、流纹斑岩，向上断错月河Ⅲ级阶地砾石层，并使其发生变形，向南西反倾，倾角 10° 左右。断层之上被一套坡积褐黄色砂土夹砾石层覆盖（图 2.4-11）。被断错的Ⅲ级阶地砾石层厚 3~5m，砾径一般为 3~6cm，大者 10~20cm，次圆状，层理清晰，呈褐黄、桔黄、灰褐色。根据年龄样品测年结果，汉江Ⅲ级阶地的堆积时代为晚更新世，其上的坡积褐黄色砂土夹砾石层的堆积时代初步判断为晚更新世晚期。由此分析，该剖面反映月河断裂的最新活动时代是晚更新世。

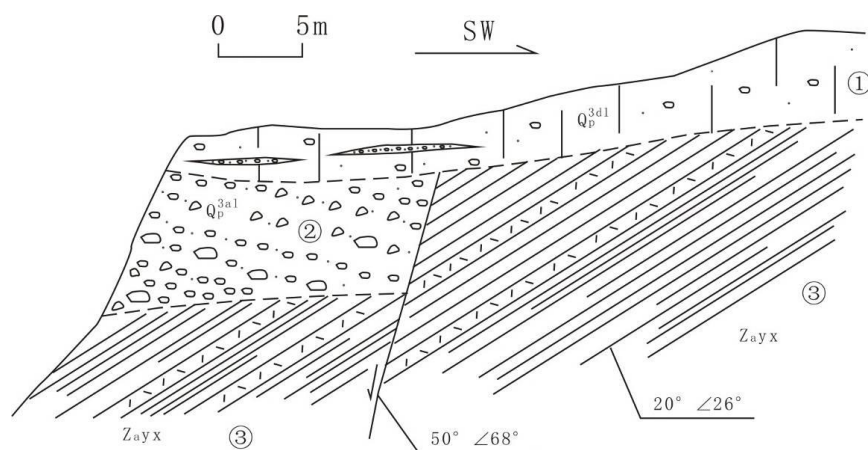


图 2.4-11 汉阴县西南 F_2 断层剖面

①上更新统褐黄色坡积砂土夹砾石透镜体；②上更新统冲积褐黄、桔黄、灰褐色变形卵石层；③震旦系陕西群浅灰、灰褐色石英片岩、流纹斑岩

(5) 茶镇-汉王城-水田坝断裂 (F_5)

该断裂主要由 3 条次级断裂组成（图 5.1.1、图 5.1.2、陕附图 4-1、4-2）。

北边一条西北起自石泉水库，向东南经茶镇、漩涡、蒿坪河，止于洞河以北，长约 120km。走向 290° ~ 300° 倾向北东，倾角 50° 以上。断裂构成寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系之间的界线。

中间一条西北起自漩涡东南，向东南经洞河、佐龙、平利北、止于竹溪西北，长约 130km。走向 280° 倾向北东，倾角 50° 以上。断裂切割寒武系、奥陶系、志留系、二叠系，不同段落还构成不同时代地层之间的界线。沿断裂加里东期岩浆岩发育。

南边一条西起平利以西，向东经平利南、中峰镇、湖北省竹溪南、止于水坪镇。工作区内长约 70km。走向 270° ~ 290° 倾向北东，倾角 60° 以上。断裂切割寒武系、奥陶系、

志留系、二叠系，工作区仅包括一小部分。

断裂在卫星影像上有较清楚的线性特征，最清楚的段落是湖北境内的中锋-水坪镇段。

总体而言，该断裂带切割古生界或构成古生界不同地层之间的界线。除了少数地段不同地貌单元的界线外，一般从基岩山地中通过，因此两盘地貌落差不明显。沙沟-茶院剖面断层两盘地形起伏较大，高差 600~800m，而龙山凹-天店子剖面中，沿断裂南、北两盘地貌面基本没有落差。

本次野外考察重点放在线性影像较为清晰的地段，以下由西向东一一介绍。

紫阳县洞河镇东南，八庙梁南侧的洞河左岸公路边（32.43993°，108.65075°，图 2.4-12），断裂切割洞河Ⅲ级阶地基座，形成宽度大于 20m 的断层破碎带，其中有两组宽 2m 的断层及细碎裂岩带。破碎带及细碎裂岩带原岩为志留纪硅质岩、炭质页岩、粉砂岩。断层破碎带及细碎裂岩上部被一套厚约 6m 的棕褐、土红、土黄色亚砂土夹细砾透镜体覆盖，为洞河Ⅲ级阶地堆积，拔河高度 50~60m。在该层（层①）底部取得 ESR 样品，测年结果为（56±5）ka，属于晚更新世中期堆积。

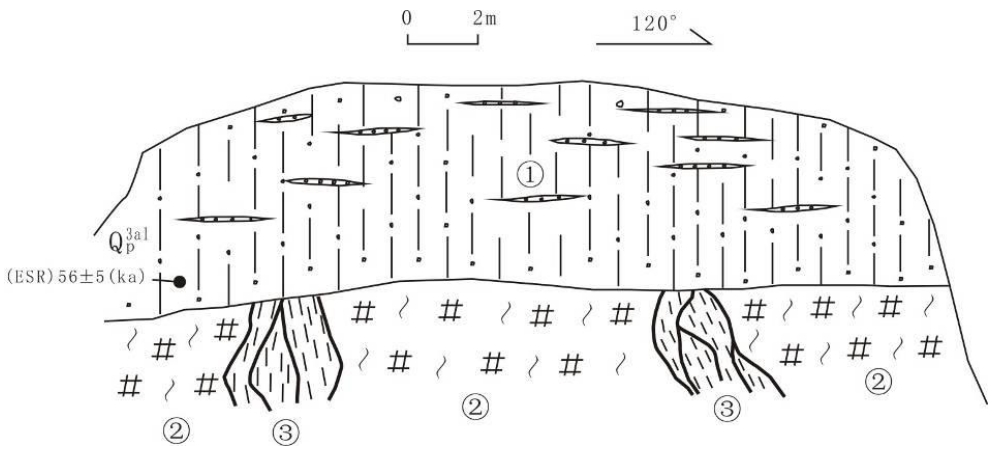


图 2.4-12 八庙梁南侧洞河左岸 F₃ 断裂剖面

① 棕褐、土红色亚砂土夹细砾透镜体；②棕灰、褐灰、灰黑色断层破碎带；③深灰、褐灰色断层碎裂岩

（6）红椿坝-岚皋断裂（F6）

该断裂延伸长达 100 多公里，为南秦岭一条重要的地层小区分界线。该断裂地貌明显，卫片影像现状特征清晰。横贯全区，由糜棱岩、角砾岩及碎屑岩组成一宽度超过 1000m 的破碎带，沿断裂出露的超基性、基性岩体说明断层切割地壳的深度相当大。断层两侧古生代初的沉积建造、岩体及变质作用都受其控制，说明形成时期在古生代以前，同时

沿断裂分布的侏罗系亦被切割，进而说明其活动的长期性。最新活动时代为中更新世。

(7) 饶峰-麻柳坝-钟保断裂 (F7)

该断裂为巴山弧形断裂带的主断裂，在此段出露于喜河、五里坝、大市一带，省内长约 50km。为古生代以来的台、槽分界断裂。该断裂规模较大，挤压现象明显，沿断裂普遍存在着破碎、压碎、糜棱岩化和角砾岩化，断裂带宽 20~500m。最新活动时代为中更新世活动。

(8) 城口-青峰断裂带 (F8)

该断裂是秦岭地槽与扬子准地台的分界线，也是本区的深大断裂带。总体上可分为三段：西段走向近南北，倾向东或北东，由 3-9 条规模不等的走向断裂或冲断片组成巨大的弧型断褶带，弧顶指向西，最宽处达 40km；中段由城口到竹溪县丰溪，走向由北西渐变为近东西，倾向北，倾角 40° - 70° ，内部结构显示为向南的单冲、对冲和反冲组合；丰溪之东为东段，其基本结构与中段相似，逆冲断片多出露于主断面南侧。

城口-青峰断裂经历了复杂的发育演化过程，晚第三纪或第四纪以来，断层带以左旋挤压，逆滑位移占优势，导致房县盆地中的上第三系变形隆起，并被抬升到 800m 以上高程，具有现代水系扭动、北东东向温泉出露、强烈的地貌反差和断层地貌等新活动形迹。

在城口县龙田，断裂基岩破碎带宽达 60—70m，为震旦纪上统 (Zb) 硅质灰岩逆冲在寒武纪下统鲁家坪组硅质板岩之上 (图 2.4-13)。主断面产状为走向 $N60^{\circ} W$ ，倾向 NE，倾角 45° ，显示由北东向南西的逆冲性质。断裂破裂带主要由构造角砾岩、糜棱岩、劈理带及断层泥组成，呈压性特征。在主断面上取断层泥经热释光 (TL) 法测定的年龄值为 $176000 \pm 26200a$ ，表明断裂中更新世有过活动断裂。

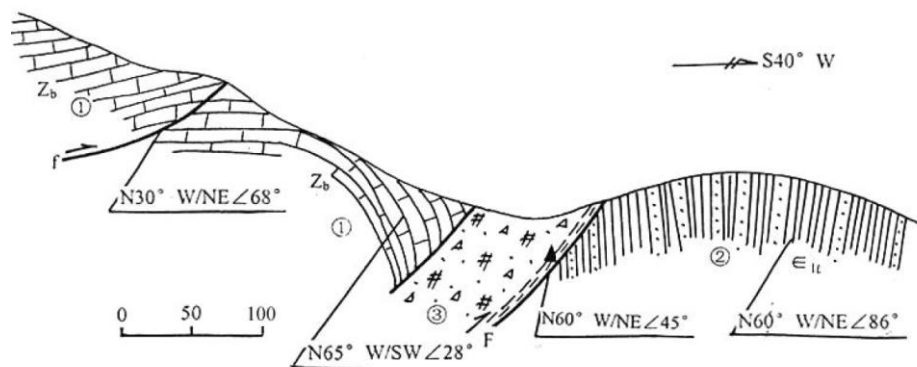


图 2.4-13 城口-青峰断裂带城口县露头

综合判断该断层属第四纪早中期活动断层。

(9) 华蓥山断裂带 (F9)

华蓥山断裂带北起华蓥山以北的万源，向南西经达州、荣昌，延至宜宾以南，是四川盆地内部规模最大的背斜断裂构造带，由相互伴生的华蓥山背斜带及华蓥山断裂带组成，总体走向北东，全长 600km。

华蓥山断裂形成于晋宁期，控制着断裂两侧的基底构造，之后直至燕山期，对川东和川中的沉积建造与构造变形起着明显的控制作用。在宜宾和华蓥山等地，沿断裂有二叠纪玄武岩分布，说明断裂深切地壳玄武岩层；地震与电磁测深资料表明，断裂切割基底、倾向南东（四川省地震局，1991）。震旦纪至印支早期，断裂两侧块体西升东降，沉积厚度东厚西薄、差异明显。中三叠世末印支运动开始，断裂活动发生反向变化，改为东升西降。燕山期，受川鄂湘黔造山运动影响，断裂两侧整体上升，幅度东大西小。喜马拉雅运动期间，基底断裂再次强烈活动，两侧盖层全面褶皱与断裂，形成今日之华蓥山断裂带。东西两侧块体由于受不同基底的控制，构造形态和地貌特征明显差异：东侧川东盆地主要为北东向线状褶皱，背斜紧闭，向斜宽缓，隔档式分布，断裂比较发育，形成平行岭谷相间的山地丘陵；西侧川中盆地为浅丘至深丘地貌，发育平缓的短轴状、穹隆状、鼻状背斜，而断裂不发育。

华蓥山背斜是一个规模很大的线型复式背斜构造，呈向北收敛、向南撒开的鸟足状，背斜轴走向北东，核部出露古生代地层，更多地段由三叠系组成，地层平缓，两翼为三叠系、侏罗系，呈不对称状，东南翼较缓，倾角 $30\sim 40^\circ$ ，西北翼较陡，倾角 $30\sim 80^\circ$ （甚至直立、倒转）。组成背斜、向斜的一套地层为连续堆积，向南可见白垩一下第三系整合覆盖其上，因此，华蓥山背斜构造为喜山期褶皱形成，受倾向南东的华蓥山基底逆断裂带控制，背斜构造之中断裂发育。

盖层之中特别是近地表的华蓥山断裂带，是由发育于背斜轴部或翼部（主要是西翼）的若干条长约数公里至 50km 不等的弧形断裂组成的，它们是华蓥山断裂向上发展和褶皱活动的产物，有别于深部的华蓥山断裂带。

地表断裂走向北 45° 东，总体倾向南东，倾角 $30\sim 70^\circ$ 不等，具右旋逆冲性质。根据断层几何结构和组合特征，大致以合川为界，华蓥山断裂带可分为南西和北东两段。南西段断裂呈羽状排列，北东段除天池至宝顶华蓥山复式背斜上的断裂呈平行带状外，为右阶羽列。

四川省地震局（1993）曾在华蓥山断裂带的南段荣昌—高县等处取断层泥样进行 SEM 分析，结果表明，该断裂在上新世—早更新世（ N_2-Q_1 ）有过强烈活动，具蠕滑性质。而热释光（TL）测龄为距今 22~7 万年，表明断裂在中更新世中期到晚更新世早期又有过活动。重庆市地震局在该段取样进行热释光（TL）测龄为距今 25.5 万年；北碚段为距今 36 万年；在荣昌曹子冲煤矿矿洞中揭露的断层露头与华蓥山溪口东水泥厂南侧辣子园断层露头中取断层泥进行 SEM 分析，表明断裂在中更新世有过活动，热释光（TL）测年结果为 22.36 ± 3.16 万年和 29.78 ± 3.3 万年。

从地震活动分布来看，地震活动主要分布在南西段南溪—宜宾一带。该段不仅小震活动频繁，且分布有中强震。如公元前 26 年宜宾 $5\frac{1}{2}$ 级地震、1610 年 2 月 3 日高县贾村 $5\frac{1}{2}$ 级地震、1892 年 2 月 10 日南溪 5 级地震、1959 年 11 月 13 日富顺 5 级地震和 1987 年 6 月 11 日南溪 4.5 级地震等。北东段小震活动少，至今未发生中强地震。

综上所述，华蓥山断裂带为一条与背斜构造相伴生的、与基底断裂密切关联的浅部逆断裂带，近地表最新活动时代主要为中更新世，且其南西段活动强度大于北东段。

（10）温泉井断裂（F10）

该断裂由多条断层组成，出露于温泉井背斜的轴部及其附近。受地质构造的复合作用的影响，断裂带走向在老君包以西为北西西向，老君包以东则转为北东东向，倾向均为北倾，为逆断层性质，单条长度一般不超过 20km。断裂主要发育在三叠系和侏罗系内部及其两者之间。在开江普安杨柳池，见二叠系—三叠系逆冲在侏罗系地层之上，主断面走向为北 35° 东，倾向北西，倾角 53° 。断层上盘地层发生褶曲，次级断裂较为发育，于其中一条断裂上取断层泥物质经 ESR 测试，其活动时间为 $123000 \pm 18000a$ 。另在开县温泉镇三叠系地层内部的另一条断层上取样作 TL 法测龄结果为 $(45.52 \pm 3.60) \times 10^4$ 年，属中更新世断裂（四川赛思特科技有限责任公司，2008）。

（11）七里峡断裂（F11）

断裂位于七里峡背斜轴部的峨城山—旋顶山之间，全长 50km，呈北东向展布，走向与七里峡背斜轴向一致。断裂断于三叠纪雷口坡组（T2L）灰岩三叠纪须家河组（T3xj）砂、页岩之间，走向北 45° 东，倾向北西，倾角 $45^\circ-50^\circ$ 。北西盘雷口坡组逆冲于南东盘须家河组，甚至侏罗纪珍珠冲组（J1Z）之上。最大地层断距 600 米，显压性特征。

在达县大风场北西，断层露头显示北西盘的三叠纪中统的雷口坡组灰岩逆冲到三叠

纪上统须家河组煤系地层之上，并使后者产生褶皱。断层破碎带最大宽度在 10m 左右，主要有断层碎裂岩和角砾岩组成，结构紧密，主断层产状 $N40^{\circ}E$ ，倾 NW，倾角 45° ，其东侧发育一条次级压性断裂，从两者配套关系分析，断层为逆冲性质。于主断裂上取断层泥物质经 ESR 测试，其活动时间为 $370000 \pm 32000a$ （四川赛思特科技有限责任公司，2008）。沿断层走向追索，未发现活动地貌显示。在七里乡东约 2km 处，于二叠纪雷口坡组灰岩夹页岩地层中见七里峡断裂露头，在地表形成宽度 15m 左右的挤压破碎带，由多条压性断面组成，带内岩层揉皱、破碎并形成质地坚硬的断层构造岩（碎裂岩和角砾岩），沿断层走向调查，未发现断层活动的地质地貌显示。综合判定七里峡断裂最新活动时期为中更新世。

（12）锣峡断裂带（F12）

该断裂发育于铜锣峡背斜轴部偏东翼，沿统景场、天口场、关兴、楼家湾一带分布，且往往有温泉出露。该背斜北段为北北东走向与华蓥山断裂相平行，受华蓥山断裂控制。南段由于长寿—南川断裂的控制，走向转为近南北向分布。

地表断裂大致发育于背斜轴部偏东翼的地层陡立带上。该断裂的天口场地表段，走向北东 30° ，倾向北西，倾角 $70 \sim 80^{\circ}$ ，为一压扭性逆冲断层，表现为断层破碎带和岩层陡立带，地貌上为一岩溶槽谷。四川省地震局曾在天口场附近的断裂剖面上采到断层泥样，扫描电镜（SEM）鉴定结果表明，该断裂曾在早更新世活动过，活动方式以粘滑为主。云南省地震局地震工程研究院（1999）在 1989 年统景地震震中区该断裂带上的小断层上，取其中未变形方解石脉样品作热释光测年，结果为 (11.45 ± 1.15) 万年，表明断裂晚更新世以来不活动。

（13）方斗山断裂带（F13）

方斗山断裂带位于四川盆地东部边缘附近，北起万州东南，向南西经涪陵白涛，延至南川水江附近，终止于齐曜山—金佛山褶皱断裂带，自北向南由龙泉沟、方斗山、莲花洞和白涛镇等 4~5 条断裂呈右阶羽列组成了一条长达 200km 的断裂带。断裂主要发育于二叠系—三叠系中，最大断距达 500m，为压性逆冲断层。该背斜断裂带是喜马拉雅运动时期齐曜山—金佛山构造带向北西方向推覆扩展而新形成的，具有浅层褶皱-逆断裂构造的特征。

方斗山背斜带规模较大，为一个线型背斜构造，轴向北 35° 东，核部出露二叠系和三叠系，两翼由三叠系和侏罗系组成，呈不对称状，东南翼较陡，倾角 $50 \sim 85^{\circ}$ ，西北

翼较缓，倾角 $20\sim 45^{\circ}$ 。南西段与南北向构造复合，两翼产状的陡缓恰好相反，西北翼多倒转，东南翼平缓，倾角 $15\sim 27^{\circ}$ 。

方斗山断裂带发育于方斗山背斜轴部的二叠系—三叠系之中，自北向南，由龙泉沟、方斗山、莲花洞和白涛镇等 4~5 条次级断裂右行斜列组成，最大断距达 700m，为不同形式的逆断层（四川省地震局，1993）。

该断裂第四纪以来的新活动在地貌上有所显示。据四川省地震局（1991）的研究资料，在断裂北段石柱取断层泥，用热释光法（TL）测龄为距今 48.83 ± 3.81 万年和 57.49 ± 4.6 万年。表明该断层在早更新世晚期至中更新世有过较明显的活动。此外，沿断裂带中、小地震活动频繁。1972 年 8 月 12 日晨白涛镇东发生 4.0 级地震、1979 年 8 月石柱县茶园附近先后发生 3.0 级和 3.8 级地震，之后于 1987 年 7 月 2 日在原地又发生 4.4 级地震。近期在方斗山一带弱震活动频繁。

(14)建始断裂（f14）

建始断裂位于茶山和白果坝背斜西翼，沿建始县城西侧的落水洞、猫儿坪至屯堡一带后，地表断续出露继续向南西延伸经白岩坝、红椿沟，止于黄泥塘南，长约 140km。断裂总体走向 $NE35-60^{\circ}$ ，倾向南东，倾角较陡。断裂在屯堡镇与工程管线相交。

该断裂发育在寒武系、奥陶系灰岩、白云岩中，或发育在寒武系灰岩与志留系砂岩、页岩之间，断裂错断了志留系、泥盆系、石炭系和二叠系但在弓箭湾一带可见断裂被全新统冲洪积物覆盖。

在红椿沟南断层出露于二叠系灰岩之中（图 2.4-14），剖面上可见宽 5-6m 的断层破碎带，其内断层角砾岩和近水平断层擦痕发育，显示左旋为主的运动特征。断层角砾岩固结、坚硬，未见断层后期新活动迹象，断层泥不发育。地貌上沿断裂呈沟谷地形，线性特征较好。

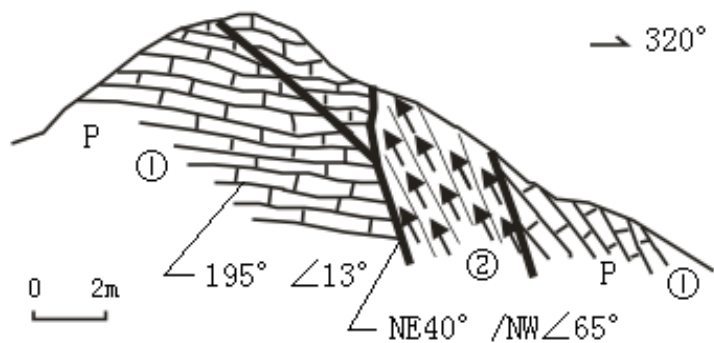


图 2.4-14 红椿沟南建始断裂剖面

①灰黑色中、厚层灰岩；②断层破碎带

在梭步垭、龙马、屯堡一带该断裂发育于寒武系与志留系地层之间（图 3.4-13）。地貌上为高山与低山丘陵的分界线，线性断崖、断层谷地形明显。断层两侧地层柔皱强烈，灰岩、泥岩、砂岩内平卧、倒转、歪斜褶曲常见。断层破碎带宽约 20m，构造角砾岩发育，性状固结，坚硬，新活动迹象不明显。地貌上未见水系、阶地和山脊断错等活动构造地貌现象。

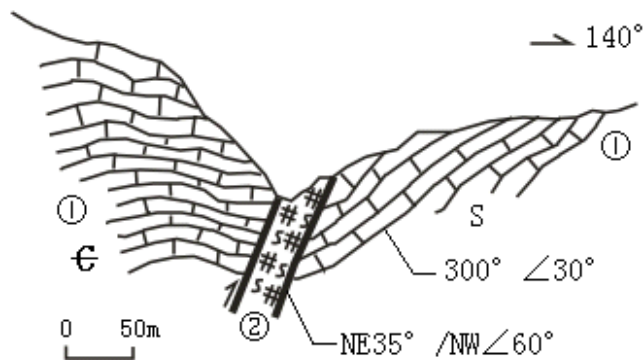


图 2.4-15 梭步垭建始断裂剖面

① 寒武系微晶灰岩；②志留系生物碎屑灰岩

综合该断裂的地质、地貌特点，判定建始断裂为早中更新世断裂。

(15)七曜山-金佛山隆褶带(F15)

齐曜山一金佛山褶皱断裂带位于川东南齐曜山、金佛山一带，向北可达巫山附近，是四川台坳与上扬子台褶带的分界构造，全长 450km。该断裂带同时也是一条规模巨大的复式背斜构造带，褶皱轴向北东，核部出露震旦系，主要由下古生界组成，两翼和向斜由三叠系和侏罗系组成，单个构造为城垛状，多呈不对称状，一般东南翼较缓，西北翼较陡，受控于倾向南东的齐曜山一金佛山基底逆断裂带。燕山期，该基底断裂较为活

跃，使东南盘褶皱隆起。喜山期，来自北西西方向的推挤作用使齐曜山—金佛山构造带表现出新的活动性，东南盘的褶皱得到进一步加强，形成今日之齐曜山—金佛山褶皱逆断裂隆起中山面貌。大地构造上，齐曜山—金佛山基底断裂为四川台坳与上扬子台皱带两个二级大地构造单元的边界断裂，控制了两侧地层与构造的发育，断裂带北西侧为中生代地层分布区，构造上表现为狭窄背斜与宽缓向斜组成的“隔挡式”褶皱；断裂带南东侧古生代地层广泛发育，构造上为宽缓背斜与向斜组成的“城垛式”褶皱。在地貌上断裂带构成四川盆地的东南边界，从最高一级夷平面的分布高程来看，南东侧比北西侧高出约 600—700 米。

齐曜山—金佛山断裂带主要位于齐曜山和金佛山的西北侧，由多条次级断裂斜列组成，有些地段甚至没有地表断裂存在。这些断裂多与褶皱相伴生，是浅部形成的，性质也多种多样，有背斜扩展断层，更有褶皱活动形成的弯滑或弯矩断层，但都是在基底断裂控制下与褶皱构造一起形成并活动的。

其西南段在南川南西与长寿—遵义基底断裂相交，北东至石柱一带，地表断裂出露，具逆冲性质。沿断裂带有中强地震活动，在与长寿—遵义断裂带的交汇部位南川附近，1854 年发生过 $5\frac{1}{2}$ 级地震，近期微震也很活跃。

2.5 区域地震构造环境综合评价

依据上述区域地震构造特征和地震活动性分析结果，现综合评价如下：

一、工作区主要涉及秦岭褶皱带及扬子地台，目标区则位于扬子地台内。秦岭褶皱隆起地质历史上虽经多期构造活动，第四纪特别是中更新世以来秦岭山地以大范围整体性抬升为主，除过几个断陷盆地外其余地段的第四纪沉积普遍较薄，基本以侵蚀与剥蚀为主。

二、这些山地新生代以来长期处于大面积差异性隆起的过程，现今地貌上形成中山或中高山。在大面积隆起的大背景下，受区域性断裂活动的影响，局部形成规模较小的断陷盆地。

三、区域范围主要涉及的 16 条区域性断裂，由北东向、近东西向和北西向组成，这三组走向断裂相比之下，以北西向断裂的新活动性最强，这组断裂主要分布在区域北侧，控制着北侧的断陷盆地，是现代断块垂直差异运动幅度最大的地方，也是区域内断裂活动性较强和发生中强地震的地方。区域南侧扬子准地台内的断裂以基底断裂为主，活动性较区域北侧断裂弱。

四、根据前述区域新构造、第四纪活动构造、深部地球物理场及其与强震活动关系的分析，结合工作区的实际情况，我们将本区的强震分为 $M=6.0\sim 6.9$ 级和 $M=5.0\sim 5.9$ 级两档，分别讨论它们的发生条件。

(1) $M=6.0\sim 6.9$ 级地震的发生条件

$6.9\geq M\geq 6.0$ 级地震：发生在航磁异常陡变带或具有新活动的断裂带交汇地区；差异运动明显和晚更新世活动断裂活动强的部位；历史上有过中、强地震发生和现今弱震活动密集的地方。公元前 788 年陕西岐山 ≥ 7 级地震位于渭北正磁异常区与渭河盆地负磁异常区的交接部位。

(2) $M=5.0\sim 5.9$ 级地震的发生条件

$5.9\geq M\geq 5.0$ 级地震：多发生新构造运动分界地区。例如沿略阳—勉县—洋县断裂断裂 1624、1635 年洋县一带发生 2 次 5 1/2 级地震，1822 年文县西北发生 5 1/2 级地震，1927 年略阳发生 4 3/4 级地震。地震活动较弱。

第三章 近场区地震构造评价

近场区的范围为以目标区为中心，外延不小于 25KM 的范围。本章通过对近场区地质构造、新构造运动特征、主要断裂特征及其活动性的分析，综合评价近场及场区地震构造，为确定近场潜在震源区和场地地震动参数提供依据。

3.1 近场区新构造

3.1.1 近场区构造地貌特征

目标区位于大巴山褶皱带和川东陷褶束内，北枕跨巴山，南接川东盆岭区，近场北侧大巴山中低山-丘陵区，南侧为川东盆岭区。近场区主要分布在巴山中低山-丘陵区。

1、大巴山中低山-丘陵区

主要分布在石泉县汉江右岸，为大巴山中山区与低山区的过渡地带，以较低的中山和低山谷地交错分布为特点，中山和低山谷地的面积各占一半，总体面积较小。山地的海拔一般不超过 1500m，山坡多在 35° - 60° 以上，多悬崖，切割深度 600-1000m。大部分地区以片岩、千枚岩、板岩、炭质硅质岩、砂岩、泥砂质板岩、片岩及变质火山岩为主，碳酸盐岩零星分布。河谷多具谷中古，比高 30-50m 一下为峡谷，没有阶地，甚至河漫滩也少见，谷坡 35° - 70° ；比高 50-100m 以上，谷形渐宽，横断面似 U 形，谷坡转为 30° - 60° 左右。

近场区巴山北坡低山分布于石泉-安康盆地南侧广大地区（石泉-安康盆地南部的凤凰山除外），面积较大。区内岗峦起伏，丘陵与低山相间交错。该区海拔通常小于 1000m，山势低缓，残坡积层较厚，深切河流发育，切割深度一般不超过 400m，河曲深度长达 30-50m，受构造控制，岭脊多呈北西-南东走向。区内有较多的宽谷坝子，宽谷区谷坡较缓，组成岩石为古生代的片岩、千枚岩、板岩、炭硅质岩、砂岩及石灰岩。

4、川东盆岭区

主要分布在开州附近，山地和丘陵为主，高度一般不超过 1000m，坡度缓，地形平缓，断裂分不少。

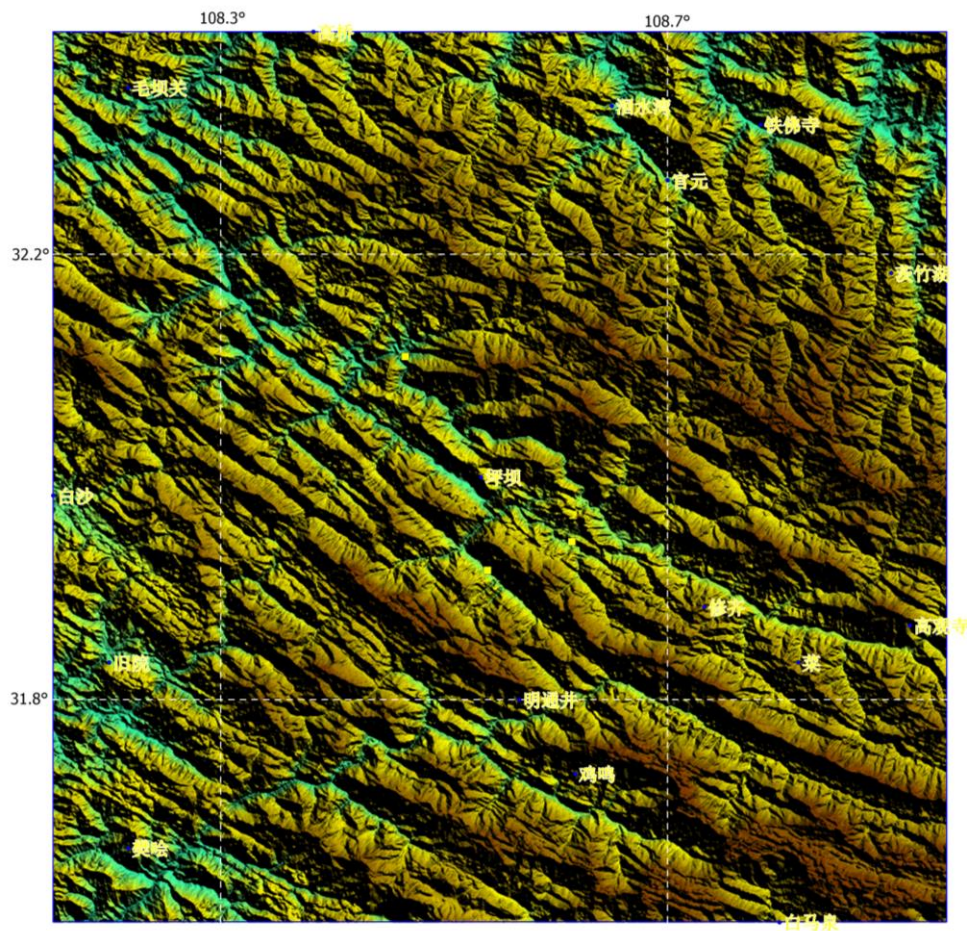


图 3.1-1 近场区 DEM 渲染图

3.1.2 近场区地层分布特征

近场区区内出露地层均为沉积岩。除白垩系、第三系缺失外，自二叠系-第四系均有不同程度的发育，其中古生界仅出露了二叠系，只在北部白庙子和南部中梁山一带才有断续零星分布。中生界广布，除中下三叠统为海相地层外，其余地层均为陆相沉积。新生界只有第四系零星分布于长江、嘉陵江两岸，以及背斜槽谷、山间谷地和坡麓地带。

本区新构造期地层不发育，基本上缺失第三系，区内第四纪松散堆积物以角度不整合于不同时代地层上，零星分布于长江、嘉陵江等河流沿岸的多级阶地及区域的多级夷平面上。受地形、构造和气候的影响，成因类型比较复杂，在不同地区出露的岩性、厚度等均有较大差别，但主要是一些河流堆积和残坡积。

1. 中更新统 (Q_2^2)

有冲积和洞穴堆积 2 种类型，前者分雅安组和雷家院组，多发育于丘陵区，后者主要分布于中低山区。雅安组形成于中更新世早期，分布零星，构成Ⅳ或Ⅴ

级阶地（高台地），以砾石层为主，厚 10-20m，向上出现粘土层，为典型的山间冲积相砂砾石层。雷家院组构成Ⅳ级阶地，下部为砾石层，夹粗砂或粘土透镜体，厚达 10-20m；上部呈红色，网纹红土发育，厚数米至十余米。洞穴堆积分布于海拔 500m 以上，由红、黄色粘土和褐黄色粉砂及砾石层组成，底部常有铁锰结核，厚约 10m。

2. 上更新统 (Q_3)

主要有风积和冲积 2 种类型，包括黄鳊溪组、蓝家坡组和成都粘土。

黄鳊溪组：多构成Ⅲ级阶地，相对高程 30-74m（山区较高），为典型的冲积物，厚 4-42m，时代为晚更新世早期。

蓝家坡组：构成Ⅱ级阶地和山间洼地，相对高程 26-40m（山区较高），具典型的二元结构，下部为砾石层，上部是粘土层和黄土状堆积，厚 10m 左右，时代为晚更新世中晚期。

成都粘土：分布广泛，披盖在Ⅱ级以上的各级阶地上及丘陵内部一些封闭、半封闭洼地里，甚至海拔 560m 的夷平面上，为灰黄色、棕色，含钙质结核，均匀无层理，被证明为晚更新世晚期冰缘风成堆积，各地厚度变化较大（四川省地质矿产局，1991）。

3. 全新统 (Q_h)

资阳组：广泛发育于Ⅰ级阶地、河漫滩等处，为全新世堆积，下部以砂砾石层为主，上部是砂质粘土和粘质砂土，局部有粉细砂和沼土堆积，也有砂砾石与粉砂土的混杂堆积，厚度一般为 7-12m。

3.1.3 近场区新构造运动特征

中生代以来，本区新构造运动受大巴山构造带总体活动格局的制约，以断块升降运动为主导，主要表现为断裂构造的继承性活动和不均匀升降以及地震的多发性。

区域资料表明：

1、大巴山山地发育推覆构造带，有较强的继承性断裂构造活动性质，显示了新构造运动的间断性抬升。

2、川东陷褶束内新构造差异性活动较弱，主要以间断性抬升为主。

综合上述：早期形成的断裂构造继承性活动和振荡性抬升，是本区新构造断块活动的主要表现形式，是区内复杂地貌形成的内在因素。

第三纪四川运动奠定了本区现今地貌形态的基本轮廓。新构造运动在近场及附近地区亦表现为间隙性抬升，形成了多级夷平面和河流阶地。

近场区主要存在的夷平面为歌乐山期。歌乐山期可分为两个亚期，第一亚期夷平面海拔高程约 800–900m；第二亚期夷平面海拔高程约 600–700m，该期夷平面形成于早更新世。

重庆市城口县境内属米仓山、大巴山中山区，山脉受地质构造和岩性的控制，排列较为整齐。诸列山岭均由北西向南东展布。由北而南顺次为大巴山、牛心山、旗杆山、梆梆梁、八台山五座大山。其间是海拔 2000–2500 米的群峰。中部旗杆山为南北水系的分水岭。由于河谷相对高差高达 1000 米以上，谷坡陡峻，全县地貌明显形成四级夷千面，由北而南层层下降。分别有海拔 2200–2400 米、1800–2000 米、1100–1400 米及 600–800 米的河谷地带四个级。海拔 2300–2500 米的顶夷平面分布较广。从南西至北东，形成岭谷相间，相对高差大。层状地貌明显，层状结构为 W 型。旗杆山以南为熔蚀谷地和熔蚀洼地负地貌。仁河谷地 3–4 级阶地普遍发育。境内最高点光头山，海拔 2685.7 米，最低点沿河乡岔溪口海拔 481.5 米，全县地势南东偏高，北西偏低。

此外，新构造运动还表现出继承性的特点。本区新构造活动不同程度上继承了先存构造格局和活动方式。喜山运动基本上奠定了区域内总体褶皱隆起、不同地块存在隆起形式和幅度差异的基本构造格局。新构造运动也大体继承了这一基本格局，隆起区依然处于隆起抬升状态，隆起强烈地区依然抬升幅度大。但在运动强度、幅度和方式上，又有其新生性，四川盆地内的由褶皱隆起转变为大面积缓慢间歇性整体抬升，隆起幅度和断裂构造活动也明显减弱。

3.2 近场区主要构造特征

近场区断裂主要位于大巴山推覆构造带附近，主要包括 7 条断层（图 3.2–1），现分述如下：

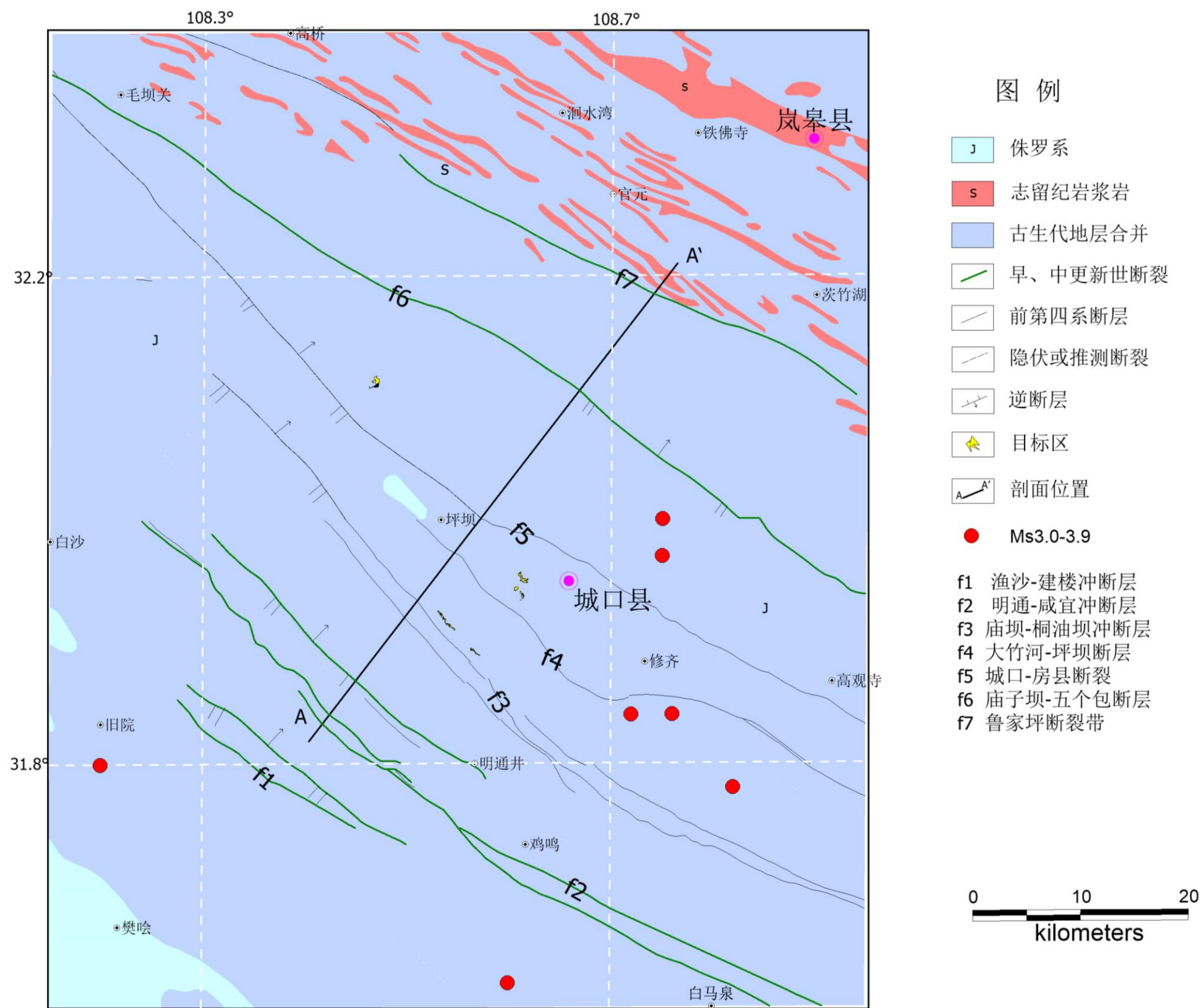


图3.2-1 近场区地震构造图

1、渔沙-建楼冲断层（ f_1 ）

西起九盘石，经马家坳、渔沙至咸瑞。构造线由北西 300 度逐渐偏转为 280 度，成一微向南凸出的弧形，长度约 70km。二叠纪地层逆覆于三叠系之上，断面倾向北东，倾角 50-70 度。渔沙附近，断距达 1800m，向西断距减小，两端次级褶皱发育。渔沙有分支与其呈锐角相交，属压扭性断层（如图 3.2-2）。航卫片解译及现场调查表明，沿近场区断层走向未发现新活动的地貌显示，迄今为止断层上未有 6 级以上强震分布。据现调查断层破碎带呈半胶结状态，**无断层泥等新断层物质产出，地貌上表明至少第四纪晚期没有新活动**，该断层的最后活动时代应与重庆境内其它隔挡式背斜及其发育的断层活动时代接近，故该断层为早、中更新世活动断层。

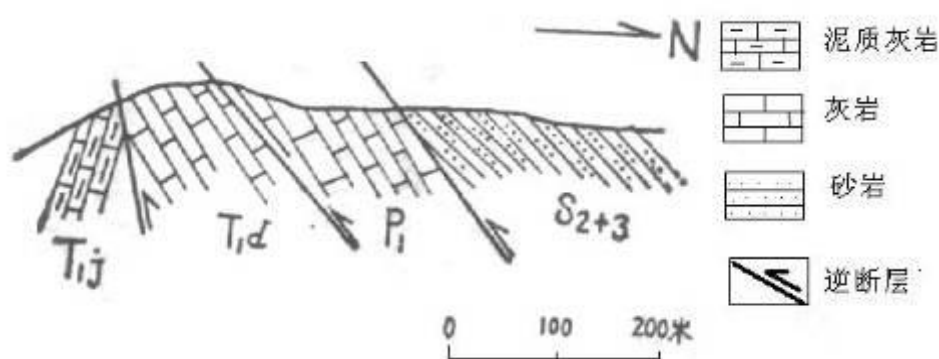


图 3.2-2 宜汉县群峰公社马家坳断层剖面图

2、明通-咸宜冲层（ f_2 ）

自北而南双河-柯家洞冲断破坏明通鼻状背斜，断面倾向南西，倾角 60-70 度，中寒武系逆冲于中晚志留系上。下盘直立倒转，上盘产状也达 60-80 度（如图 3.2-3），长度约 90km。航卫片解译及现场调查表明，沿近场区断层走向未发现新活动的地貌显示，迄今为止断层上未有 6 级以上强震分布。场调查断层破碎带呈半胶结状态，**无断层泥等新断层物质产出**，地貌上表明第四纪晚期没有新活动，该断层的最后活动时代应与重庆境内其它隔挡式背斜及其发育的断层活动时代接近，故该断层为早、中更新世活动断层。

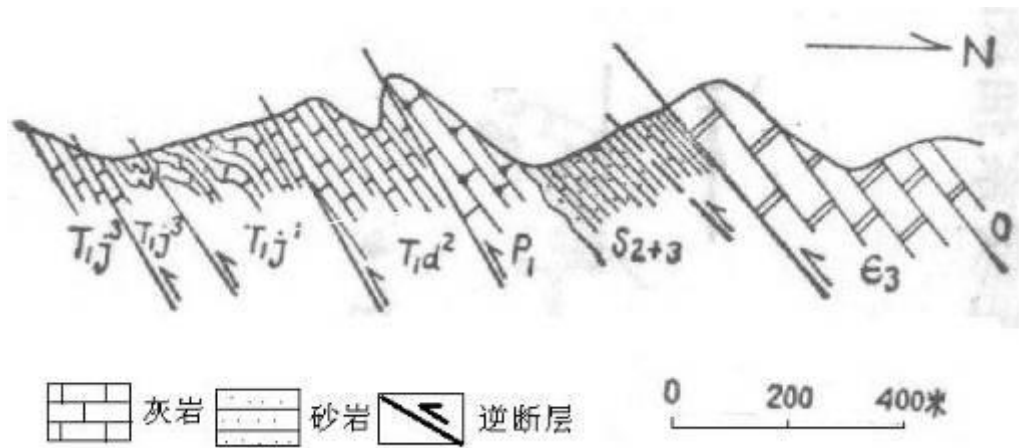


图 3.2-3 城口县明通区大塘口断层剖面图

3、庙坝-桐油坝冲断层（f₃）

该断层紧靠岚溪-东安复式褶皱束之东侧分布，雁背斜轴部发生。除住断层外，总体作北西 300-320 度延伸。油房断层切割震旦系-寒武系毛坝关组地层（如图 3.2-4），北东盘相对向北西方向高角度斜冲，将 Zay1 上段地层明显拉端作北西位移，最大冲断幅度见于大店子东南大燕山一带，沿断线诸如破碎带、糜棱岩、基性脉岩侵入等现象均有不同程度的显示，**无断层泥等新断层物质产出**，本断裂属于压扭性结构面。

航卫片解译及现场调查表明，沿断层走向未发现新活动的地貌显示，迄今为止断层上未有 6 级以上强震分布。因此，从地质、地貌及地震活动性综合判定该断层不具备晚第四纪活动性。

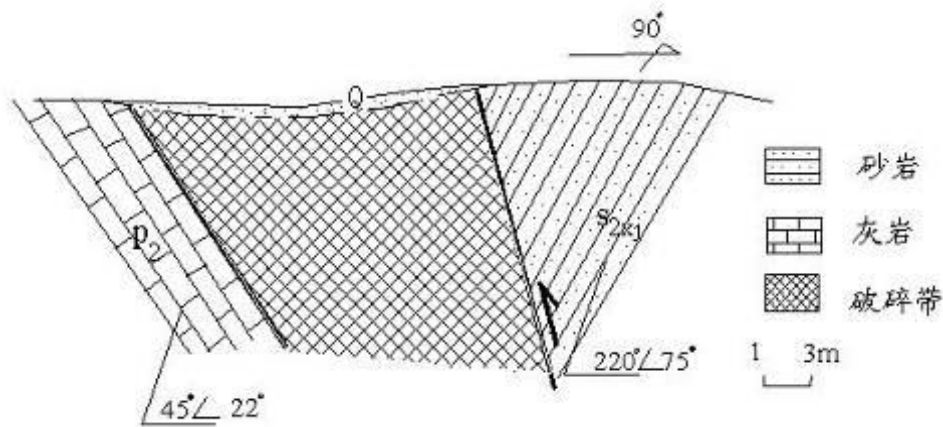


图 3.2-4 城口县庙坝西公路旁断层剖面图

4、大竹河——坪坝断层（f₄）

该断层位于近场区中部，延伸长度大于 100km，断层发育于震旦系与三叠系

相接触部位，断层带主要由角砾岩、糜棱岩、千糜岩和灰白色断层泥及透镜体岩组成，产状为 $N35-45^{\circ}W \ NE \angle 65^{\circ}$ ，宽 5.0-10.0m。

航卫片解译及现场调查表明，沿断层走向未发现新活动的地貌显示，迄今为止断层上未有 6 级以上强震分布。因此，从地质、地貌及地震活动性综合判定该断层不具备晚第四纪活动性。

5、大巴山断裂 (f_5)

呈 NW 走向，为近场区内规模最大的断裂，该断层规模大、延伸长，控制一级构造单元边界，分割了一级构造单元秦岭褶皱系和扬子准地台，。断层走向变化大，在北段（麻柳坝以北）走向 NNW 向，中段（麻柳坝~高观寺）走向为 NW 向，东段（高观以东）则转为 NEE~EW 向，在工程区内产状为 $N40^{\circ} \sim 60^{\circ}W \ NE \angle 70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。断层带主要由角砾岩、糜棱岩、千糜岩和块状碎裂岩及透镜体岩组成，断层中部炭化严重，断层带宽 40~60m，延伸长度大于 500km。该断层在近场区有两条断层出露，如图 3.2-5，两条断层大致平行，形成宽约 1000m 的扭压破碎带，沿断层有辉绿岩脉侵入，并见辉绿岩脉再次挤压破碎现象。

根据中国地震局地质研究所的研究结果，在断裂带内最新断面的断层泥及断层带物质进行 ESR 测年，结果为 $13.3 \pm 4.4 \sim 32.4 \times 10^4 a \cdot B \cdot P$ ，断裂带构造岩挤压紧密，形成时代较老，断裂规模虽较大，但地貌上无特征表现，对微地貌没有控制作用，也没有发现任何断错第四系地层的遗迹，可判定为前第四纪断层。

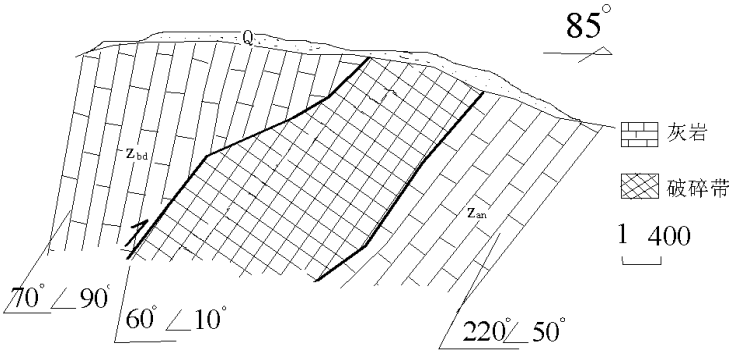


图 3.2-5 大竹河北公路旁断层剖面图

6、庙子坝-五个包断层 (f_6)

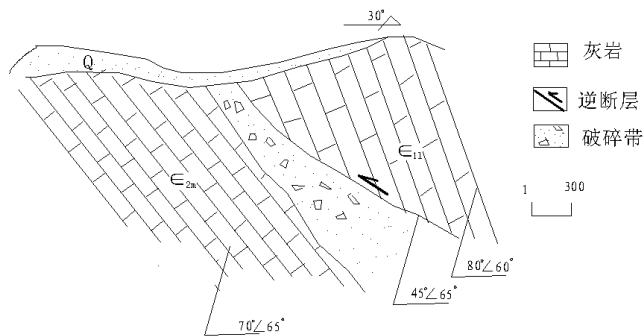


图 3.2-6 庙子坝处断层剖面图

该断层发育于寒武纪地层中，断层带主要由角砾岩、糜棱岩、块状碎裂岩及灰白色断层泥组成(如图 3.2-6)，产状为 $N55^{\circ}\sim 65^{\circ}W$ ，倾向 $NE\angle 60^{\circ}$ ，宽 5.0~6.0m，延伸长度大于 75km。

航卫片解译及现场调查表明，沿断层走向未发现新活动的地貌显示，迄今为止断层上未有 6 级以上强震分布。因此，从地质、地貌及地震活动性综合判定该断层不具备晚第四纪活动性。

7、鲁家坪断裂 (f7)

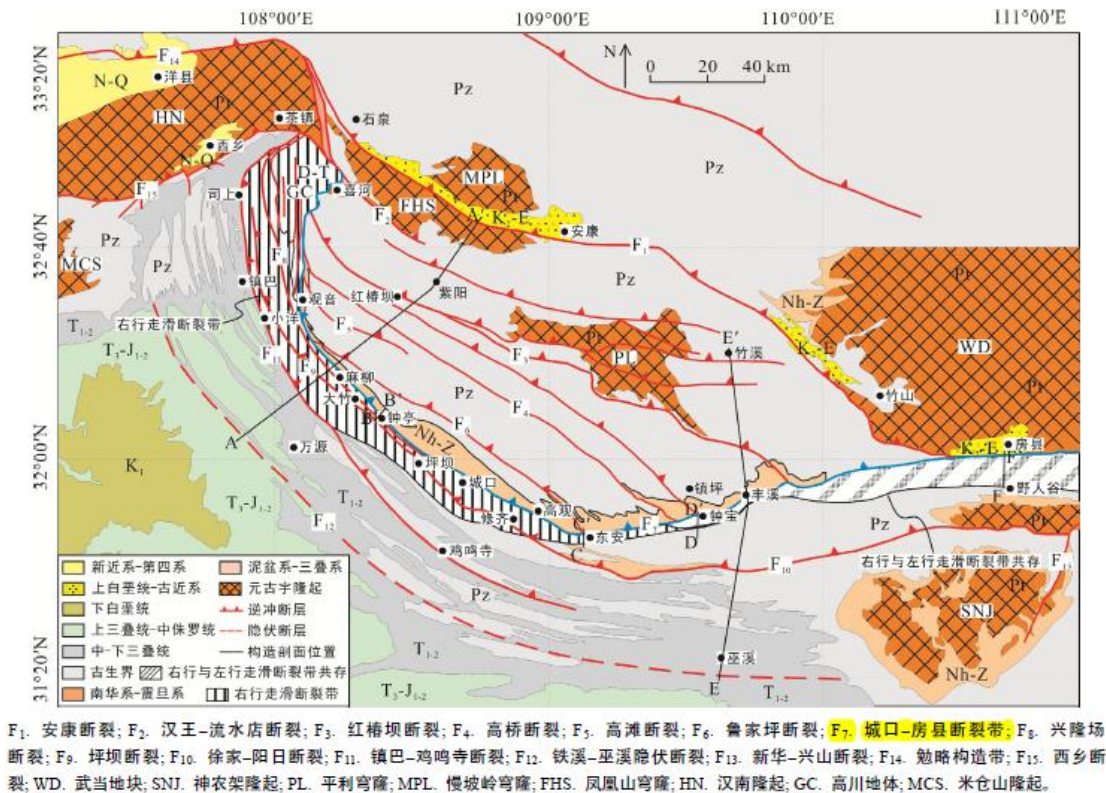


图 3.2-7 鲁家坪断裂位置图

鲁家坪断裂被城口-房县断裂所截，前缘形成鲁家坪推覆体。航卫片解译及现场调查表明，沿断层走向未发现新活动的地貌显示，因此，从地质、地貌及地震

活动性综合判定该断层不具备晚第四纪活动性。

3.3 目标区附近断裂展布

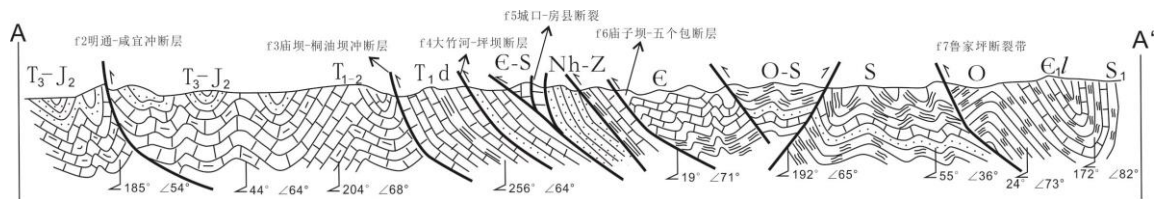
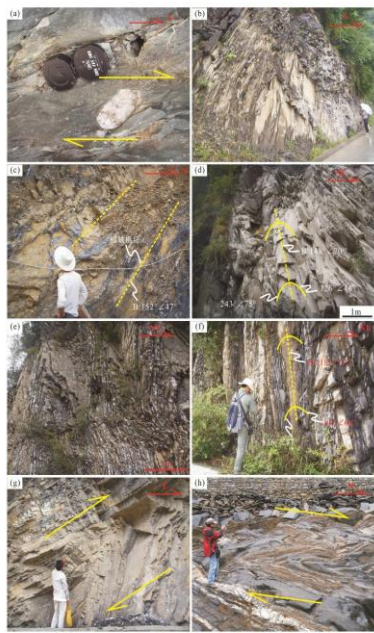


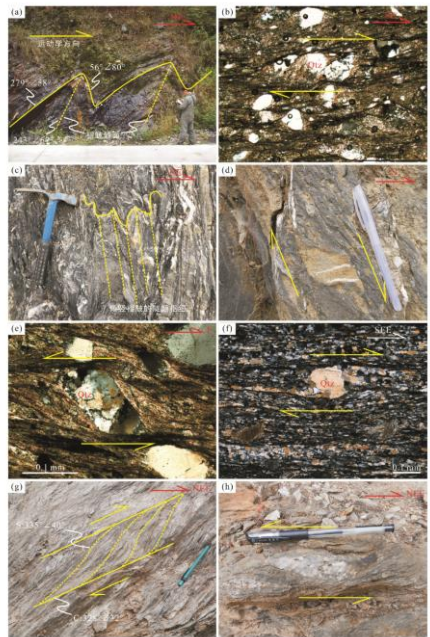
图 3.3-1 近场区地质剖面图

城口-房县断裂带是目标区附近规模最大的一条断裂，在麻柳-大竹一带，城口-房县断裂带出露宽约 3 km 的强变形带。带内发育大量不对称的、紧闭的倾竖褶皱(图 3.3-2g、h)和数条由 SW 向 NE 逆冲的反向逆冲断层。区域内地层及断层面主要向 SW 倾斜，褶皱枢纽总体向 NW-NNW 陡倾，枢纽倾角集中在 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，不对称褶皱的南西翼明显要长且缓于北东翼(图 3.3-3a)。麻柳镇以北的南华系南沱组冰碛砾岩的显微构造中，存在指示右行走滑的书斜构造(图 3.3-3b)。种种地质事实说明该断裂带为总体指向北的右行走滑式逆冲带，该地区由南向北逆冲的断层与由北向南逆冲的断层共同组成了正花状构造(图 3.3-1A-A')。在钟亭一带，城口-房县断裂带表现为主断裂以及数条分支断裂呈 NW-SE 向平行发育于南华系南沱组冰碛砾岩及寒武系鲁家坪组硅质灰岩及炭质板岩中，断裂面 NE 向陡倾，并依次堆叠呈叠瓦式。钟亭乡西北，可观测到南华系南沱组灰绿色冰碛砾岩逆冲于寒武系鲁家坪组硅质岩之上，断层面产状 $51^{\circ} \angle 72^{\circ}$ ，断裂下盘的寒武系薄层硅质岩地层变形强烈，发育顺层拖尾的硅质岩透镜体和枢纽 NEE 向陡倾的倾竖褶皱，显示该断裂带具右旋走滑的运动学特征(图 3.3-3c)。此外，城口县附近的修齐、高观等地的南华系南沱组冰碛砾岩中同样发育大量具有拖尾现象的砾石。露头上观测显示，砾石成分主要为花岗岩和少量的硅质岩及灰岩，呈扁豆状产出，顺片理方向压扁拉长，砾石旋转轴的优势方位为 SE 向陡倾，指示城口-房县断裂带的右行走滑构造性质。



(a) 镇巴县西黄岩以东南华系冰碛砾岩中指示右行走滑的泥质砂岩层理特征。 (b) 镇巴县内穆坪镇以北寒武系灰岩中发育的片麻状断裂带地表变形。 (c) 镇巴县内穆坪镇以南寒武系灰岩中发育的 S-C 向逆冲的断裂。 (d) 镇巴县内穆坪镇以西寒武系灰岩中发育的 S-C 向逆冲的断裂。 (e) 镇巴县内穆坪镇以东寒武系灰岩中发育的 S-C 向逆冲的断裂。 (f) 镇巴县小洋镇东南寒武系灰岩中发育的片麻状断裂带。 (g) 万源市大竹园西北震旦系灰岩中发育的顺层向 NW 展布的不对称断裂。 (h) 镇巴县穆坪镇以南寒武系灰岩中发育大量顺层断裂。图 c、d、f 中的“S”代表 B 型线理(顺层线理)。

图 3.3-2 城口 - 房县断裂带的构造变形特征



(a) 镇巴县穆坪镇以南寒武系灰岩中指示由南向北运动的不对称断裂。 (b) 镇巴县穆坪镇以北寒武系冰碛砾岩中指示右行走滑的泥质砂岩层理特征。 (c) 万源市穆坪镇以西寒武系灰岩中发育的不对称断裂带。 (d) 城口县东安乡以北新元古界穆坪组泥质砂岩中指示右行走滑的砾石层理特征。 (e) 竹溪县竹溪镇附近陡山沱组白云岩中指示左行走滑的石英岩层。 (f) 房县东南志留系砂质页岩中指示右行走滑的“S”型断裂。 (g) 房县以南志留系砂质页岩中指示右行走滑的 S-C 型断裂。 (h) 房县以东志留系砂质页岩中指示左行走滑的方解石层理特征。

图 3.3-3 城口 - 房县断裂带的构造变形特征及显微构造

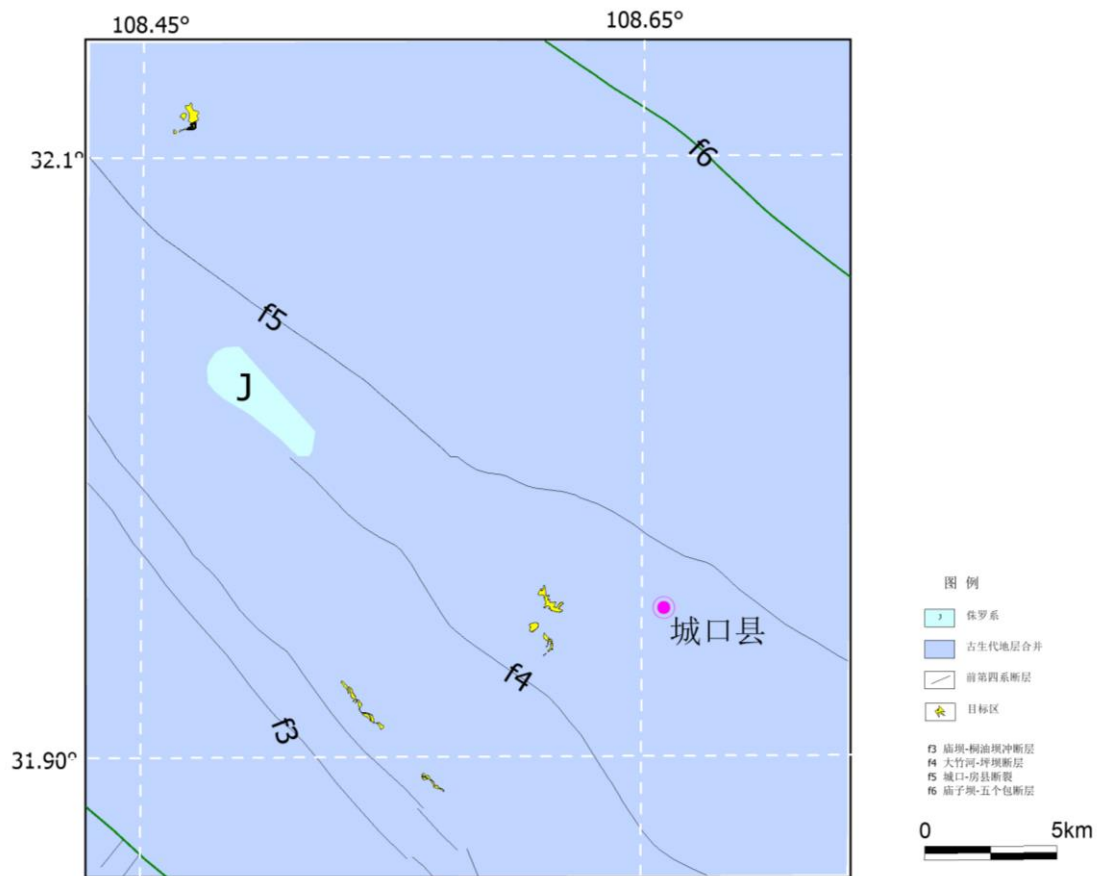


图 3.3-5 目标区与附近断层位置示意图

目标区位于南大巴山弧形构造带内，带内断裂十分发育，图 3.3-5 展示了目标区与附近断层较大规模的位置关系，根据近场区地震地质调查结果和资料收集的结果，目标区附近均为前第四系断裂，研究区没有发生过强烈的构造热事件，没有强烈的岩浆活动和变质作用，构造活动性较弱。

3.4 近场区地震构造综合评价

近场区主要位于大巴山推覆构造带内，新构造运动以间歇性抬升为主，近场区内主要包括 7 条断层，4 条为早中更新世断层，3 条为前第四系断层，未发生过 4.5 级以上地震。综合以上特点可以判断近场区构造活动性弱。

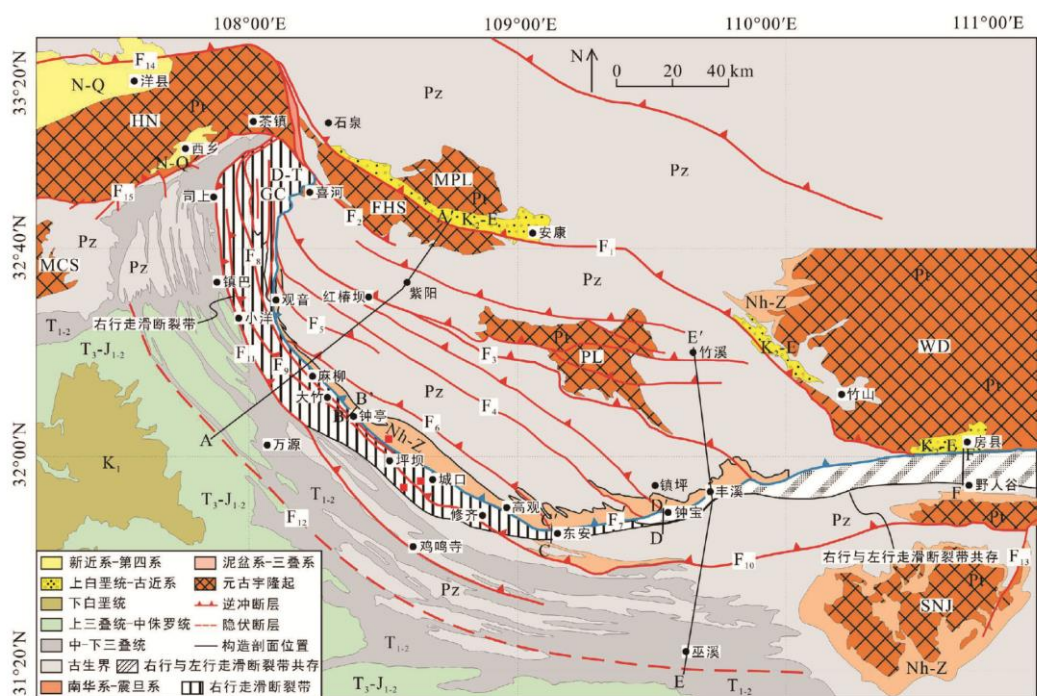


图 3.4-1 大巴山推覆构造带断层展布图

目标区位于城口县城西南，是零星分布的几个小区块，目标区地层单一，出露均为古生代沉积地层。目标区内无断层通过。近场区内 F3 庙坝-桐油坝冲断层、F4 大竹河-坪坝断层、F5 大巴山断裂与目标区距离较近（图 3.4-1）。

第四章 地震危险性分析

按照《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）的规定，本章依据前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的研究，确定对目标区地震安全性有影响的地震带及潜在震源区划分、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，进行目标区的地震危险性分析计算。

4.1 分析方法概述

本项目采用了《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）规定的概率地震危险性分析方法，其主要特点在于考虑了地震活动的时空不均匀性。其基本思路和计算方法概述如下：

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

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

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

同时地震带内地震活动性遵从修正的震级频度关系，相应的震级概率密度函数为：

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

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

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

②在地震带内部划分潜在震源区，并以潜在震源区的空间分布函数 f_{i,m_j} 来反

映各震级档地震在各潜在震源区上分布的空间不均匀性，而潜在震源区内部地震活动性是一致的。假定地震带内共划分出 N_s 个潜在震源区 $\{S_1, S_2, \dots, S_{N_s}\}$ 。

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

$$P_k(A \geq a) = 1 - \exp\left\{-\frac{2V_0}{\beta} \cdot \sum_{j=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_s} \iiint P(A \geq a | E) \cdot f(\theta) \cdot \frac{f_{i,m_j}}{A(S_i)} \cdot f(m_j) \cdot Sh\left(\frac{1}{2}\beta\Delta m\right) dx dy d\theta\right\} \quad (4.1-5)$$

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

④假定共有 N_z 个地震带对目标区有影响，则综合所有地震带的影响得：

$$P(A \geq a) = 1 - \prod_{k=1}^{N_z} (1 - P_k(A \geq a)) \quad (4.1-6)$$

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

4.2 潜在震源区的划分

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

4.2.1 潜在震源区划分的原则

地震统计区是根据地震分区分带的地震活动特征确定的，它用以反映地震活动的总体统计特征；背景源的划分，重点依据了地震区带中的不同部分和段落在地震构造背景上的差异，及其对地震活动性的影响，用以反映不同地震构造环境

中中小震级地震活动特征的差异；构造源是依据局部构造条件及其地震活动特征划分，重点考虑了构造条件对中强地震的控制作用，用以反映局部构造相关的中强震级地震活动特征。潜在震源区划分的原则可概括为历史地震重演和构造类比两条基本原则。

历史地震重演原则，是认为历史上发生过大地震的地方，将来还可能发生类似的地震。根据历史地震的地点和强度，结合现代强震活动及中小地震活动特点和规律的研究，如强震活动空间分布规律的研究、地震活动带划分、现代小震活动图象的研究等，划分潜在震源区。

构造类比原则，是根据已发生强震的地区发震构造条件的研究，外推到具有相同或类似构造条件的区域。需要指出，大地震并不是在深和大的构造带上均匀发生，而只在某些具有特定发震构造条件的部位或地段发生。因此，潜在震源区划分是在研究地震活动性、强震活动与地球物理场及深部构造的相关性、强震活动与现代构造运动的相关性以及现代构造应力场的基础上，结合本区大地震发生的构造环境条件，进而划分潜在震源区。

4.2.2 各震级段潜在震源区划分的地震地质条件

本报告在确定潜在震源区震级上限时，不是以某一个条件作为依据，也不是采用个别震例简单的构造对比，而是综合考虑潜在震源区内地震活动的状况、地震发生的构造环境、现代构造应力场作用下的发震断层的活动性质和活动性、发震断层特殊的结构特征，以及发震构造的规模等因素。

根据区域地震与地质构造关系的研究，按上述潜在震源区划分的原则和方法，以及潜在震源区震级上限确定的依据，提出本区划分各震级段地震潜在震源区的发震构造条件。

1. 震级上限为 7.5 级震级段地震潜在震源区发震构造条件

- ①晚更新世以来，尤其是全新世以来发生过明显活动的各种性质的断裂带。
- ②发生过 $7.0 \leq M < 7.5$ 级地震的断裂带。
- ③不同方向断裂的交汇部位。

④中型新生代隆起和断陷的边界断裂带，地震构造带总长度在 300km 以上的区域性断裂带，发震构造段的长度大于 70km。局部重力、磁力的梯级带、新构造

差异活动带。

具备以上条件的地区，可划分为上限为 7.5 级地震的潜在震源区。

2. 震级上限为 7 级震级段地震潜在震源区发震构造条件

①晚更新世以来发生过明显活动的各种性质的断裂带。

②发生过 $6.0 \leq M < 7.0$ 级地震的断裂带。

③不同方向断裂的交汇部位。

④中型新生代隆起和断陷的边界断裂带，地震构造带总长度在 300km 以上的区域性断裂带，发震断层段的长度大于 30~40km。局部重力、磁力的梯级带、新构造差异活动带。

具备以上条件的地区，可划分为上限为 7 级地震的潜在震源区。

3. 上限为 6.5 级震级段地震潜在震源区发震构造条件

①第四纪早期有过较强活动的断裂带或晚更新世有过弱活动的断裂带。

②发生过 $5.0 \leq M \leq 6.0$ 级地震的断裂带或近期小震活动密集带。

③断层特殊结构的部位，新构造运动显著差异带。

④地震构造带总长度大于 150km 的区域断裂带，发震断层段的长度约 20~30km。

具备以上条件的地区，可划分为上限为 6.5 级地震的潜在震源区。

4. 上限为 6.0 级震级段地震潜在震源区发震构造条件

①第四纪早期活动的断裂带。

②发生过 $4.0 < M \leq 5.5$ 级地震的断裂带或近期小震活动带。

③地震构造带总长度大于 100km，发震断层段的长度约 10~20km。

具备以上条件的地区，可划分为上限为 6.0 级地震的潜在震源区。

4.2.3 各震级段潜在震源区边界的确定

(1)震级上限为 6.5 级及以上的高震级档潜在震源区

在确定潜在震源区范围时，考虑到高震级档的潜在震源区的发震构造条件较为明确，地震多发生在一些特殊构造部位，因此对于构造条件较为明确、发震构造较清楚的高震级档潜在震源区应尽可能划小，勾划出震中可能的分布范围，以突出大地震活动空间不均匀性的特点，减少由于高震级档潜在震源区过大引起的

平均稀释效应。这类潜在震源区宽度一般为 15~20km。对于发震构造由两条以上发震断裂平行分布的高震级档潜源，可适当划大一些，宽度一般 20~30km。

(2) 震级上限小于 6.5 级的低震级档潜在震源区

对于发震构造条件不十分清楚、空间分布不确定性因素较大、发生过 6 级以下地震的较低震级地震的潜在震源区，或高震级档潜源的外围地区、发生过 4 或 5 级左右地震和小震密集区，划为低震级档潜源区。该潜在震源区适当划大或划多一些，以适应当前对这类地震的认识水平和进行不确定性分析。

4.2.4 潜在震源区的划分

根据上述划分潜在震源区的原则和方法，以现行的《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）中潜在震源区划分的综合方案为基础，根据本项目收集的资料，结合区域地震地质的研究结果，区域范围内及附近共划分出潜在震源区 12 个，其中震级上限 7.0 级的潜在震源区 1 个、震级上限 6.5 级的潜在震源区 2 个、震级上限 6 级的潜在震源区 4 个、5.5 级的潜在震源区 5 个（图 4-2-1）。

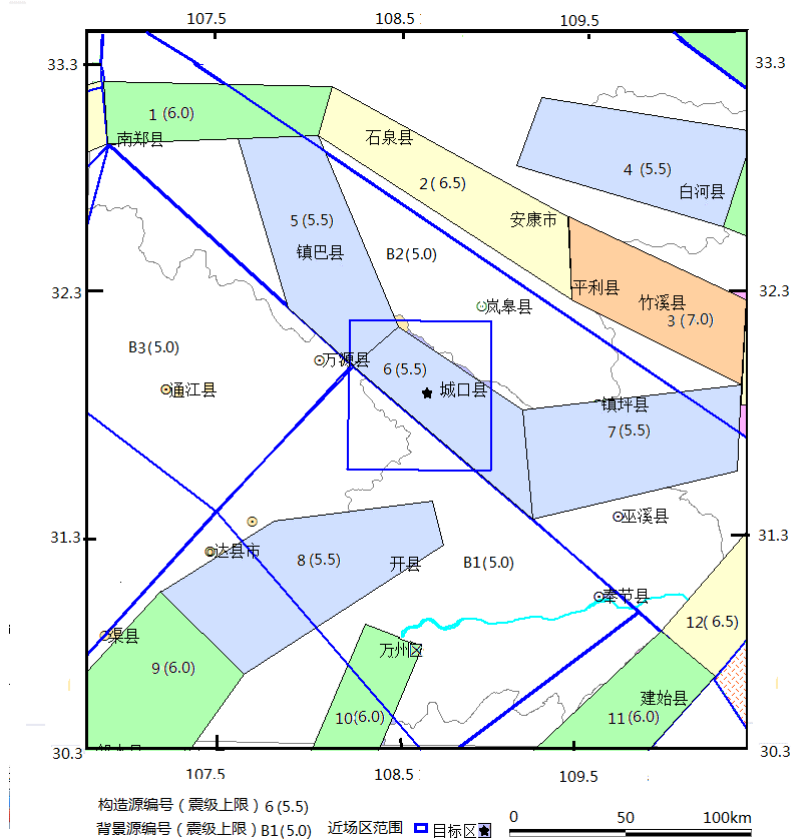


图 4-2-1 潜在震源区分布图

现将主要的潜在震源区分述如下：

1、安康 6.5 级地震构造潜在震源区

①该构造潜在震源区主要涉及安康、汉阴盆地及石泉峡谷盆地。与两侧山地间存在着明显的差异运动，盆地内凹陷与凸起差异运动明显；②与该构造潜在震源区相关的月河断裂为区域上一条主要断裂，又称石泉—安康断裂、安康—竹山断裂等。该断裂由多条平行排列的断层带组成，破碎带宽 300~500m，糜棱岩、压碎岩和断层角砾岩发育。断裂走向北西，倾向北东，倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。该断裂具有长期的活动性。早期（前燕山期）力学性质为压性或压扭性，充当牛山复背斜与凤凰山复背斜之间的分界断裂，晚期（燕山期以来）则以张扭性活动为主，控制汉阴、安康新生代断陷盆地的形成和发展。断裂地貌标志明显，基岩断层三角面典型，遥感影像图上表现为线状特征。在安康汉江左岸的七里沟和老渡口一带，断裂南侧为志留系片岩，而断裂北侧则为巨厚的第四纪早—中更新统砂砾石层，该断裂在长枪岭七里沟一带切割了中更新统以及以前的地层。据中国地震局地壳应力研究所在石泉附近的断裂破碎带上的断层泥进行热释光测年，测试结果为 3 万年左右，说明该断裂为晚更新世活动断裂。公元 788 年以来至少有 7 次地震在该断裂带上发生，说明该断裂具有长期的活动性；③莫氏面梯度带或变异带处；④位于重力、航磁变化的梯度带、变异处；⑤1569 年发生安康 5 级地震、1868 年 $5\frac{1}{2}$ 级地震，相邻的平利地区 788 年曾发生过 $6\frac{1}{2}$ 级地震，近年小震活动频繁，特别是 1978、2003 年石泉先后发生了 4.2、4.5 级地震，存在发生中强地震构造背景。综合分析震级上限定为 6.5 级。

2、平利 7.0 级地震构造潜在震源区

①范围涉及平利河谷平原和竹溪侵蚀剥蚀性台地及相邻地段。与两侧山间存在着明显的差异运动；②与月河断裂平行的汉王城断裂第四纪以来活动明显；③莫氏面梯度带或变异带处；④位于重力、航磁变化的梯度带、变异处；⑤788 年曾发生过 $6\frac{1}{2}$ 级地震，1632 年发生 5 级地震；⑥所在地震带有发生中强地震背景。综合分析震级上限定为 7.0 级。

3、镇巴、城口、巫溪 5.5 级地震构造潜在震源区

多条北西向断裂从区内通过，①扬子北缘主边界断裂，断裂长度 80Km，走向 NW，倾向 NE，倾角 $60^{\circ} - 85^{\circ}$ ，正断层，中更新世断裂；②兴隆断裂，断裂长度 65Km，

走向 NW，倾向 NE，倾角 60° - 70° ，逆断层，中更新世断裂；③司上镇巴断裂，断裂长度 100Km，走向 NE、NW，倾向 NW，倾角 60° - 70° ，逆断层，中更新世断裂；④峡口白勉峡断裂，断裂长度 76Km，走向 NE，倾向 NW，倾角 75° ，正断层，中更新世断裂；这几组断裂均属巴山弧形构造，据历史地震记载公元 1823 年陕西镇巴（拴马铃）发生的 $5\frac{1}{2}$ 级地震与巴山弧形构造活动有关。综合评定震级上限均为 5.5 级。

4、万州潜在震源区

齐曜山-金佛山断裂带线性影像清晰，为重力异常和航磁异常梯度带，存在倾向南东的齐曜山—金佛山基底逆断裂带。地表断裂基本沿一系列背斜带呈北东向断续延伸，构造形态较为复杂，主要由齐曜山段、马武段、老场段和金佛山段等四条次级断裂组成。马武断裂和齐曜山段断裂规模也较大，最新活动时代均为早、中更新世，沿断裂仅有零星小震，老场断裂南段为晚更新世活动断裂，而金佛山段尽管地表断裂不发育，但其地球物理场和地貌有明显显示、地震活动也较为显著，发生过 5 级地震，近期微震活动也很活跃，综合评定将其最大潜在地震震级定为 6.0 级。

5、开县 5.5 级潜在震源区

华蓥山背斜构造带受华蓥山断裂控制，长约 460km，是川东地区规模最大的褶皱构造带。该背斜核部出露寒武纪地层，说明滑脱层位较深，变形程度较强。背斜轴部或陡翼伴生有华蓥山褶皱断裂，最新活动时代为中更新世，大致以合川和邻水北为界，北段主体不出露，中段规模较大，南段活动性较强，破坏性地震多分布南段的南端。该潜源包括了华蓥山断裂北段，其背斜规模小、断裂不发育，地震活动相对较弱，划分为震级上限 5.5 级潜在震源区。

6、邻水 6.0 级潜在震源区

华蓥山背斜构造带受华蓥山断裂控制，长约 460km，是川东地区规模最大的褶皱构造带。该背斜核部出露寒武纪地层，说明滑脱层位较深，变形程度较强。背斜轴部或陡翼伴生有华蓥山褶皱断裂，最新活动时代为中更新世，大致以合川和邻水北为界，北段主体不出露，中段规模较大，南段活动性较强，破坏性地震多分布南段的南端。该潜源包括华蓥山背斜中段、铜锣峡背斜和明月峡背斜的主体部分，褶皱、断裂及地震活动较强，发生过 5.3 级地震，震级上限定为 6.0 级；

7、巴东 6.5 级潜在震源区

该潜在震源区内有三条断裂交汇，分别是新华-水田坝断裂、高桥断裂、周家山断裂。新华-水田坝断裂长约 100m，高桥断裂长约 60m，周家山断裂长约 30m。区内常有微震活动，1979 年曾发生 Ms5.1 级地震。根据震级上限确定的地震构造和地震活动标志，本区地震的震级上限为 6.5 级。

4.3 地震活动性参数的确定

4.3.1 地震带活动性参数的确定

地震带活动性参数包括震级上限 M_{uz} ，起算震级 M_0 ，震级—累计频度关系中的系数 b 值， $M_s \geq 4$ 地震年平均发生率 v_4 和震源深度 h 。

(1) 震级上限 M_{uz} 和起算震级 M_0 的确定

震级上限 M_{uz} 的含义是指震级—频度关系式中，累积频度趋于零的震级极限值。确定 M_{uz} 有两条主要依据：一是历史地震资料足够长的地区，地震带中地震活动已经历几个活动期，可按该统计区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，可发生相似强度的地震。在实际工作中，我们综合考虑两条原则，且地震带的震级上限 M_{uz} 应等于或大于地震带内各潜在震源区震级上限 (M_u) 的最大值：取：

长江中游地震带 $M_{uz} = 7.0$ 。

起算震级 M_0 系指能够产生工程所关心的建筑物损坏的最小震级，它与震源深度、震源类型、震源应力环境等有关。由于区域范围内地震属浅源地震，一些 4 级地震也会产生一定程度的破坏，故在本研究中各地震带 M_0 均取 4 级。

(2) 震级频度关系式中 b 值、年平均发生率 v_4 的确定

b 值反映了地震带内不同大小地震频数之间的比例关系，它和地震带内的应力状态及地壳破裂强度有关。在地震危险性分析中， b 值的作用在于可以确定地震带内有效震级范围内地震震级的分布密度函数和各级地震的年平均发生率。

由于 b 值是由实际地震资料统计得到的，故它与资料的可靠性、完整性、取样的时空范围、样本起始震级、震级间隔等因素有关。

地震年平均发生率是指一定统计区（地震带）范围内，平均每年发生大于和等于起算震级以上的地震次数。地震年平均发生率的大小，对地震危险性分析的

结果影响较大。对年平均发生率主要影响因素是 b 值和选取资料的统计时段。

本次工作直接采用“中国第五代地震动参数区划图”中的结果，长江中游地震带的震级上限 M_{uz} 、 b 值和年均发生率 v_4 见表 4.3-1。

表 4.3-1 地震带地震活动性参数

地震带	M_{uz}	M_0	b 值	v_4	h (km)
长江中游地震带	7	4.0	1.2	3.2	15

4.3.2 背景潜源地震活动性参数的确定

根据地震构造区的定义和划分原则，在地震区带划分结果的基础上，按照基础资料研究详略程度的不同，对地震带内地震构造区划分结果如下：长江中游地震带（II-1）划分出秦岭一大巴（II-1-a）、华南北部（II-1-b）、川中（II-1-c）、渝黔（II-1-d）和华南中部（II-1-e）5 个地震构造区，地震构造区段用以区分地震区带内部与地震构造关联较弱的背景性中小震级地震活动水平和强弱的差异，是未来背景地震活动潜在震源分布的区域，称为背景地震活动潜在震源区(简称背景源)，背景源震级上限小于或者等于其所包含的构造源震级上限的最小值，秦岭一大巴、川中、渝黔、华南北部和华南中部 5 个地震构造区背景潜源震级均为 5.0 级。目标区位于渝黔地震构造区（II-1-d）。

4.3.3 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确定。

1、潜在震源区的震级上限是指可能发生的最大震级。它是潜在震源区的地震活动特征的指标，主要由它所处构造的规模和历史上所发生过的最大地震震级及该区地震活动水平来确定。它的取值只能小于或等于所处地震带的震级上限。一般取该区最大历史地震震级或加 0.2~0.5 级。

2、按震级档次分配地震年平均发生率

为了保证高震级的地震贡献不被低估，采用按震级分档对地震年平均发生率进行分配。也就是把求得的地震年平均发生率按照 $\Delta M=0.5$ 级的分档间隔分配给各

震级档次。本报告按 $\Delta M=0.5$ 级将震级档次分成 4.0~4.9 级、5.0~5.4 级、5.5~5.9 级、6.0~6.4 级、6.5~6.9 级、7.0~7.4 级、7.5 以上 7 个震级档，综合评判确定 $f_{i,mj}$ 。

(1) 4.0~4.9, 5.0~5.4, 5.5~5.9 震级档

6 级以下地震受构造因素的控制不明显，其随机性表现得比较强。因此，在确定 6 级以下地震的空间分布函数时，采用面积等权分配的方法。即：

$$f_{i,mj} = S_i / S_j$$

式中， S_i 为地震带内第 i 个潜在震源区的面积，单位为 km^2 ； $\sum S_j$ 是整个地震带所有潜在震源区面积求和。

(2) 6.0~6.4, 6.5~6.9, 7.0~7.4 震级档

对于 6 至 7.4 级震级档的空间分布函数，有前述五个因子赋值，再用等权求和的方法来确定其值大小。具体分析时，先由所选用的因子 (K) 单独对地震带内能够发生相应震级档 (mj) 地震的潜在震源区 (i) 赋值 ($W_{i,mj}$)；对每一个因子 (K) 在地震带内归一化，得到因子载荷 ($Q_{i,mj,k} = W_{i,mj,k} / \sum W_{i,mj,k}$)；由各因子载荷之和得到总载荷量 ($R_{i,mj} = \sum Q_{i,mj,k}$)；由总载荷量 ($R_{i,mj}$) 在地震带内归一化，即可以得到各潜在震源区各震级档的空间分布函数 ($f_{i,mj} = R_{i,mj} / \sum R_{i,mj}$)。该函数 ($f_{i,mj}$) 可以反映出地震带内各潜在震源区 (i) 发生 mj 档地震的相对危险程度。

(3) ≥ 7.5 震级档由于能够发生 7.5 级以上地震的潜在震源区个数很少，而这种潜在震源区对工程场地的地震危险性贡献较大，无论是历史地震重复还是古地震重复的研究结果表明，在同一个潜在震源区或者同一个断层上，7.5 级以上地震的重复间隔都在百年至千年的量级范围内。为了得到更加符合实际情况的潜在震源区高震级档空间分布函数，必须使用历史地震或古地震复发间隔数据，取其较保守的下限，按照均匀分布模式得到 7.5 级以上地震的年平均发生率 $v_{i,7.5}$ 。再用这个潜在震源区的年平均发生率 $v_{i,7.5}$ 与整个地震带的 $v_{,7.5}$ 相比，即可得到该潜在震源区 7.5 级以上震级档的空间分布函数 $f_{i,mj}$ 。

(4) 地震空间分布函数 $f_{i,mj}$

对各潜在震源区年平均发生率进行再分配的关键是确定空间分布函数 $f_{i,mj}$ ，本研究采用多项因子的综合评定方法。各项因子的选择既反映各潜在震源区可信度，以及地震活动的时空非均匀性，还吸收了地震中长期预报的研究结果。

为了保证高震级地震的影响不被低估，采用按震级档来进行年平均发生率的分配。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 (ν_{i,m_j}) 可以表示为:

$$\nu_{i,M_j} = \nu_{M_j} \cdot f_{i,M_j} = \frac{2 \cdot \nu \cdot \exp(-\beta(M_j - M_0)) \cdot \operatorname{sh}(\frac{1}{2} \beta \Delta M)}{1 - \exp(-\beta(M_{uz} - M_0))} \cdot f_{i,M_j}$$

式中， ν_{M_j} : 地震带内第 j 档的地震 M_j 的年平均发生率;

f_{i,M_j} :地震空间分布函数;

ν : 地震带内地震的年平均发生率;

β : $b \cdot \ln 10$;

M_j :分档间隔中心对应的震级值;

ΔM :震级分档间隔，一般取 0.5;

$\operatorname{sh}(1/2\beta\Delta M)$:为正弦双曲线函数。

主要潜在震源区地震空间分布函数 f_{i,m_j} 见表 4-3-2。

(5)等震线长轴取向及分布概率

我国大陆地震等震线多呈椭圆形，地震烈度在长轴和短轴方向衰减特征不同。在计算各潜在震源区对场地的影响时，必须确定长轴方向。所以对每个潜在震源区都给出方向性因子：即给出两个可能的长轴走向 ϑ_1 和 ϑ_2 和相应的概率值 P_1 和 P_2 。本区域内断裂活动以走滑为主，各潜在震源长轴取向大多与各潜在震源区构造走向一致。对某些具有共轭断层的潜在震源区，依照两个方向作用的大小，给予不同的概率值。各潜在震源区具体的取向角度与分布概率也列于表 4.3-2 中。表中的角度是指断裂构造走向与正东方向间的夹角。

表 4.3-2 区域几个主要潜在震源区 M_u 、 f_{i,m_j} 和方向性函数

潜源 编号	潜源名称	震级档 m_j							震级 上限 M_u	方向性函数			
		4.0-5.0	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	≥ 7.5		θ_1 (度)	P_1	θ_2 (度)	P_2
1	南郑	0.00310	0.01984	0.02630	.				6.0	0	1.0	0	0.0
2	安康	0.00588	0.00863	0.01713	0.09229				6.5	155	1.0	0	0.0
3	平利	0.00609	0.0085	0.01329	0.15842	0.55125			7.0	155	1.0	0	0.0
5	镇巴	0.00247	0.02647						5.5	110	1.0	0	0.0
6	城口	0.00565	0.00683						5.5	150	1.0	0	0.0
7	巫溪	0.00663	0.00799						5.5	10	1.0	0	0.0

8	开江	0.00420	0.01507						5.5	30	1.0	0	0.0
9	华蓥—邻水	0.00747	0.01443	0.04886					6.0	50	1.0	0	0.0
10	忠县—万县	0.00647	0.00779	0.02366					6.0	70	1.0	0	0.0
11	建始	0.00468	0.01647	0.02318					6.0	40	1.0	0	0.0
12	巴东	0.00240	0.02550	0.01391	0.07491				6.5	50	1.0	0	0.0
B1	渝黔背景源	0.03234							5.0	0	0.5	90	0.5
B2	秦岭大巴背 景源	0.03155							5.0	0	0.5	90	0.5

注：Mu 为各潜在震源区的震级上限； 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。

4.4 地震动预测方程

地震动预测方程的确定是地震危险性分析中的重要环节。本项工作所使用的反应谱预测方程是五代区划图推荐使用的中强地震区基岩水平向加速度反应谱预测方程模型。

基岩地震动水平向峰值加速度和反应谱预测方程的形式为：

当 $M < 6.5$ 时，

$$\lg Y(M, R) = A_1 + B_1 M - C \lg(R + D \exp(E * M)) \quad (4-4-1)$$

当 $M \geq 6.5$ 时，

$$\lg Y(M, R) = A_2 + B_2 M - C \lg(R + D \exp(E * M)) \quad (4-4-2)$$

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

式中周期小于 6s 的长轴和短轴预测方程系数如表 3.4-1 和表 3.4-2 所示， σ 为预测方程各周期的标准差。图 4.4-1 和图 4.4-2 分别为水平向基岩加速度峰值预测方程和加速度反应谱预测方程图。

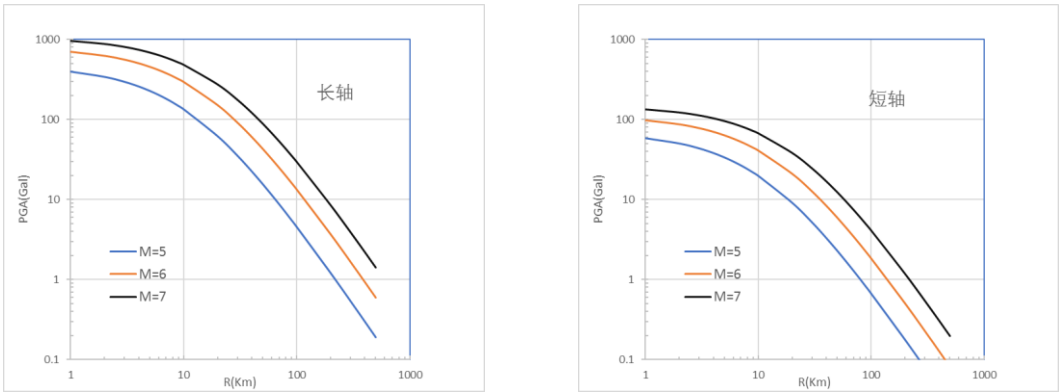


图 4-4-1 水平向基岩峰值加速度预测方程图

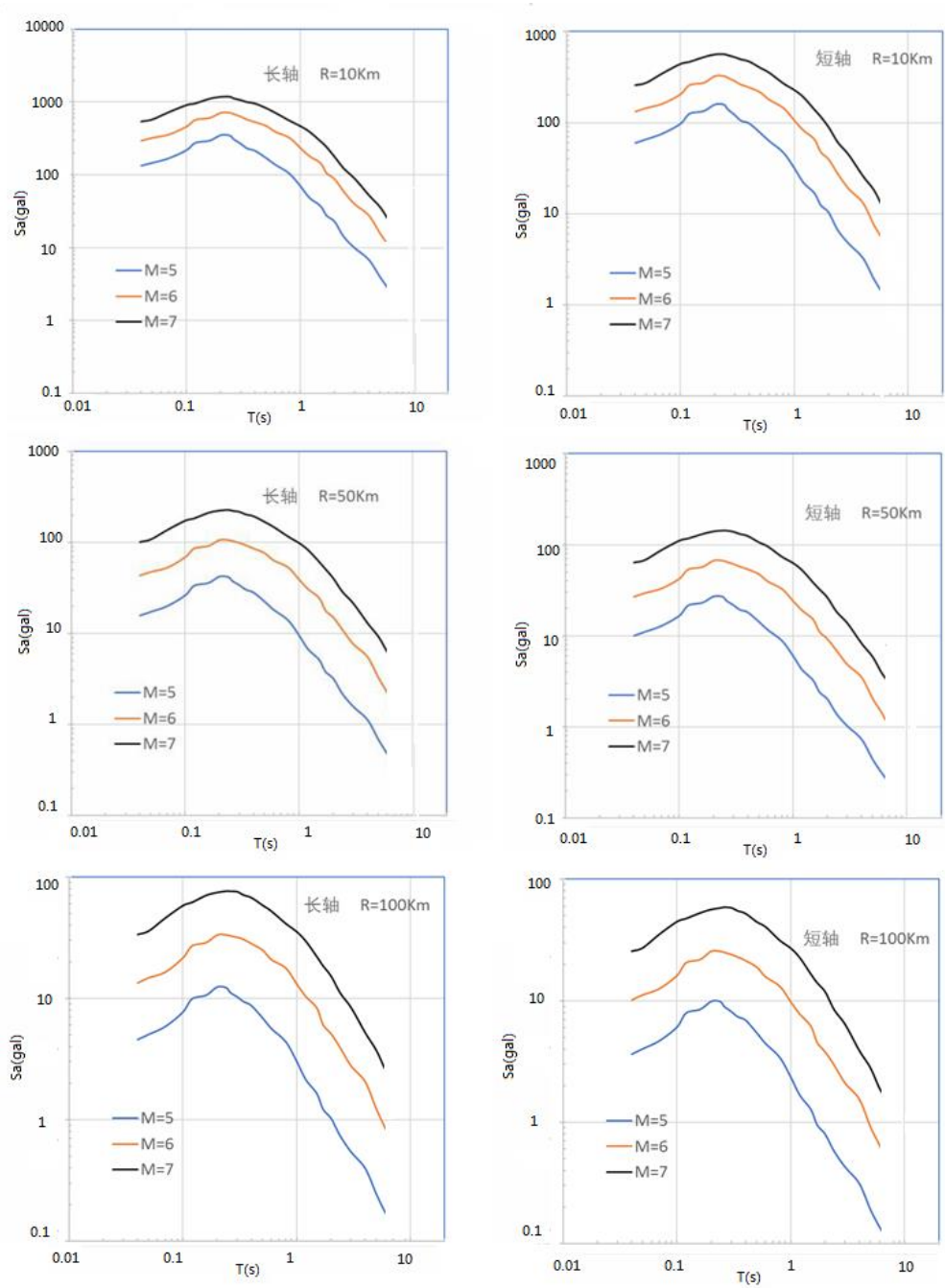


图 4.4-2 水平向基岩加速度反应谱预测方程图(R=10km、50km、100km,M=5,6,7)
(左列为长轴, 右列为短轴)

表 4.4-1 中强地震区基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数(长轴)

T(s)	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	C	D	E	σ
PGA	2.452	0.499	3.808	0.290	2.092	2.802	0.295	0.245
0.04	2.482	0.499	3.792	0.298	2.086	2.802	0.295	0.261
0.05	2.626	0.482	3.948	0.279	2.083	2.802	0.295	0.266

0.07	2.738	0.479	4.004	0.283	2.072	2.802	0.295	0.265
0.10	2.877	0.469	4.087	0.283	2.063	2.802	0.295	0.261
0.12	2.917	0.466	4.058	0.290	2.060	2.802	0.295	0.261
0.16	3.032	0.461	4.244	0.275	2.071	2.802	0.295	0.261
0.20	2.992	0.468	3.969	0.318	2.072	2.802	0.295	0.261
0.24	2.760	0.500	3.883	0.327	2.056	2.802	0.295	0.264
0.26	2.535	0.523	3.772	0.332	2.020	2.802	0.295	0.270
0.30	2.320	0.544	3.632	0.341	1.985	2.802	0.295	0.274
0.34	2.298	0.542	3.523	0.353	1.986	2.802	0.295	0.273
0.40	1.958	0.591	3.430	0.364	1.989	2.802	0.295	0.274
0.50	1.822	0.600	3.240	0.382	1.988	2.802	0.295	0.276
0.60	1.478	0.638	3.009	0.401	1.965	2.802	0.295	0.283
0.80	1.135	0.669	2.771	0.417	1.953	2.802	0.295	0.291
1.00	0.720	0.716	2.525	0.438	1.938	2.802	0.295	0.300
1.20	0.515	0.735	2.305	0.459	1.940	2.802	0.295	0.315
1.50	0.416	0.727	2.055	0.475	1.935	2.802	0.295	0.330
1.70	0.318	0.727	1.838	0.492	1.924	2.802	0.295	0.338
2.00	-0.147	0.756	1.434	0.512	1.838	2.802	0.295	0.342
2.40	-0.255	0.737	0.987	0.546	1.804	2.802	0.295	0.343
3.00	-0.483	0.741	0.611	0.572	1.769	2.802	0.295	0.340
4.00	-0.704	0.729	0.087	0.607	1.735	2.802	0.295	0.336
5.00	-0.871	0.720	-0.349	0.640	1.706	2.802	0.295	0.333
6.00	-0.836	0.673	-0.836	0.673	1.660	2.802	0.295	0.333

注: σ 为标准差; 适用范围 $M=5.0-7.0$ 、 $R=0-200\text{km}$

表 4.4-2 中强地震区基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数(短轴)

T(s)	A_1	B_1	A_2	B_2	C	D	E	σ
PGA	1.738	0.475	2.807	0.310	1.734	1.295	0.331	0.245
0.04	1.782	0.473	2.769	0.321	1.729	1.295	0.331	0.261
0.05	1.919	0.458	2.954	0.298	1.727	1.295	0.331	0.266
0.07	2.039	0.453	3.019	0.302	1.718	1.295	0.331	0.265
0.10	2.189	0.443	3.101	0.303	1.711	1.295	0.331	0.261
0.12	2.234	0.439	3.085	0.308	1.708	1.295	0.331	0.261
0.16	2.308	0.441	3.325	0.283	1.717	1.295	0.331	0.261
0.20	2.303	0.442	3.027	0.330	1.718	1.295	0.331	0.261
0.24	2.071	0.474	2.916	0.343	1.703	1.295	0.331	0.264
0.26	1.846	0.498	2.788	0.353	1.672	1.295	0.331	0.270
0.30	1.640	0.519	2.645	0.364	1.643	1.295	0.331	0.274
0.34	1.616	0.518	2.558	0.373	1.643	1.295	0.331	0.273
0.40	1.263	0.568	2.423	0.389	1.643	1.295	0.331	0.274
0.50	1.126	0.577	2.234	0.406	1.642	1.295	0.331	0.276
0.60	0.791	0.613	1.975	0.431	1.622	1.295	0.331	0.283
0.80	0.433	0.647	1.734	0.446	1.610	1.295	0.331	0.291
1.00	0.016	0.695	1.465	0.471	1.596	1.295	0.331	0.300
1.20	-0.183	0.712	1.221	0.495	1.597	1.295	0.331	0.315

1.50	-0.290	0.706	1.020	0.503	1.592	1.295	0.331	0.330
1.70	-0.375	0.704	0.819	0.519	1.583	1.295	0.331	0.338
2.00	-0.826	0.736	0.445	0.540	1.510	1.295	0.331	0.342
2.40	-0.915	0.716	0.069	0.564	1.481	1.295	0.331	0.343
3.00	-1.128	0.719	-0.276	0.587	1.451	1.295	0.331	0.340
4.00	-1.334	0.706	-0.739	0.614	1.423	1.295	0.331	0.336
5.00	-1.482	0.697	-1.121	0.641	1.398	1.295	0.331	0.333
6.00	-1.422	0.649	-1.422	0.649	1.361	1.295	0.331	0.333

注：σ 为标准差；适用范围 M5.0-7.0、R0-200km

4.5 地震危险性计算及结果分析

利用中国地震局推荐的地震危险性概率分析程序(ESE)，根据各潜在震源区的地震活动性参数和预测方程，利用上述原理和方法，对目标区 16 个控制点进行地震危险性分析计算，各控制点 50 年超越概率 63%、10%、2%的基岩加速度峰值见表 4.5-1。并以其中地震危险性结果最大值的 4 号控制点为例给出目标区概率地震危险性分析结果（图 4.5-1、图 4.5-2、表 4.5-2），相应的潜在震源区的概率贡献见表 4.5-3。其他控制点相应超越概率的场地基岩水平向加速度反应谱图见图 6.1-1 至图 6.1-16。

表 4.5-1 各控制点 50 年超越概率 63%、10%、2%的场地基岩加速度峰值(单位：gal)

所属片区名称	控制点	经度	纬度	50 年超越概率		
				63%	10%	2%
巴山	1(巴山 ZK1)	108.4672	32.1066	13.4	45.2	86.1
	2(巴山 ZK2)	108.4700	32.1058	13.4	45.2	86.1
	3(巴山 ZK3)	108.4745	32.1081	13.4	45.2	86.1
	4(巴山 ZK4)	108.4741	32.1121	13.5	45.3	86.1
	5(巴山 ZK5)	108.4705	32.1119	13.4	45.3	86.1
高燕	6(高燕 ZK1)	108.6204	31.9466	13.2	45.0	85.9
	7(高燕 ZK2)	108.6175	31.9332	13.2	45.1	85.9
	8(高燕 ZK3)	108.6155	31.9509	13.2	45.1	85.9
	9(高燕 ZK4)	108.6122	31.9408	13.2	45.1	85.9
	10(高燕 ZK5)	108.6160	31.9376	13.2	45.1	85.9
庙坝	11(庙坝 ZK1)	108.5361	31.9215	13.1	45.0	85.9
	12(庙坝 ZK2)	108.5445	31.9117	13.2	45.0	85.9
	13(庙坝 ZK3)	108.5728	31.9176	13.3	45.1	85.9
	14(庙坝 ZK4)	108.5410	31.9165	13.2	45.0	85.9
	15(庙坝 ZK5)	108.5502	31.9081	13.2	45.1	85.9
	16(庙坝 ZK6)	108.5673	31.8908	13.3	45.1	85.9

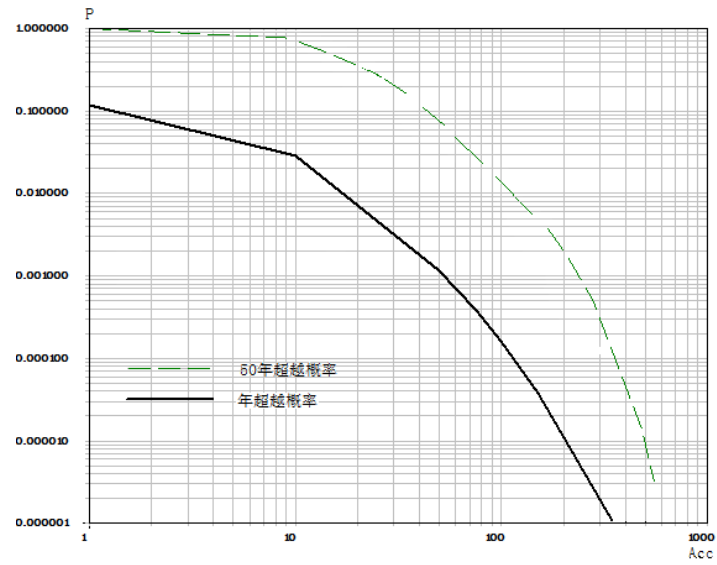


图 4.5-1 4 号控制点水平向基岩地震动加速度峰值超越概率曲线

表 4.5-2 4 号控制点不同超越概率水平的场地基岩水平向加速度反应谱值（gal）

周期 (s)	50 年超越概率		
	63%	10%	2%
0	13.5	45.3	86.1
0.04	14.2	48.4	97.5
0.05	15.0	54.4	106.4
0.07	19.6	76.2	146.3
0.1	26.9	104.4	191.7
0.12	29.4	112.6	206.6
0.16	36.0	134.3	240.7
0.2	35.5	132.6	238.3
0.24	30.9	115.6	213.3
0.26	26.9	100.2	188.0
0.3	23.8	85.3	162.8
0.34	21.7	76.9	148.1
0.4	18.0	61.0	116.7
0.5	15.2	50.4	95.0
0.6	13.0	40.4	77.8
0.8	10.1	28.8	58.4
1	8.4	19.9	40.6
1.2	7.2	17.9	31.5
1.5	6.0	14.2	28.2
1.7	5.1	12.0	25.3
2	4.4	10.0	20.0

2.4	3.4	7.1	16.8
3	2.6	5.8	12.0
4	1.7	3.9	7.0
5	1.2	2.6	5.2
6	0.8	1.8	3.9

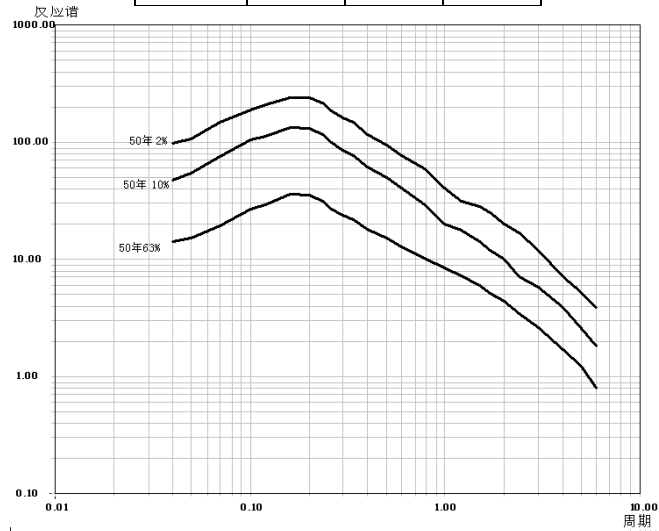


图 4.5-2 4 号控制点 50 年不同超越概率水平基岩反应谱曲线

结果表明，目标区的地震危险性来自多个潜在震源区的综合贡献。从表 4.5-3 综合判定，目标区峰值加速度贡献较大的潜源是安康、竹溪、城口构造潜在震源区，其次是渝黔背景源和秦岭大巴背景源。说明就峰值加速度而言，场点的地震危险性主要来自于目标区所在的及附近的潜在震源区，为近场地震影响，这与目标区所处的地震环境是协调的。

表 4.5-3 主要潜在震源区对目标区基岩峰值加速度的贡献（%）

概率水准 潜源编号名称	50 年 63%	50 年 10%	50 年 2%
2 号安康	11.4	20.3	36.8
3 号竹溪	14.2	23.7	45.9
6 号城口	40.1	28.0	3.5
渝黔背景源 B1	16.0	11.6	0.9
秦岭大巴背景源 B2	18.3	10.1	1.4

第五章 场地工程地震条件

场地工程地震条件评价的目的是在收集或勘察目标区的土层结构、地下水状态，场地类别、剪切波速、典型土动力性能等内容的基础上，分析场地地震效应情况，为场地地震地质灾害初步评价，地震动参数的确定和地震反应分析提供依据。

5.1 场地地震工程地质条件分析

城口工业园中巴山组团面积为 2.3 平方公里（建成 0.8 平方公里，未建 1.5 平方公里），高燕组团为 1.8 平方公里（建成 0.84 平方公里，未建 0.96 平方公里），庙坝组团为 1.6 平方公里（建成 0.28 平方公里，未建 1.32 平方公里），此次评估面积共计 3.78 平方公里。

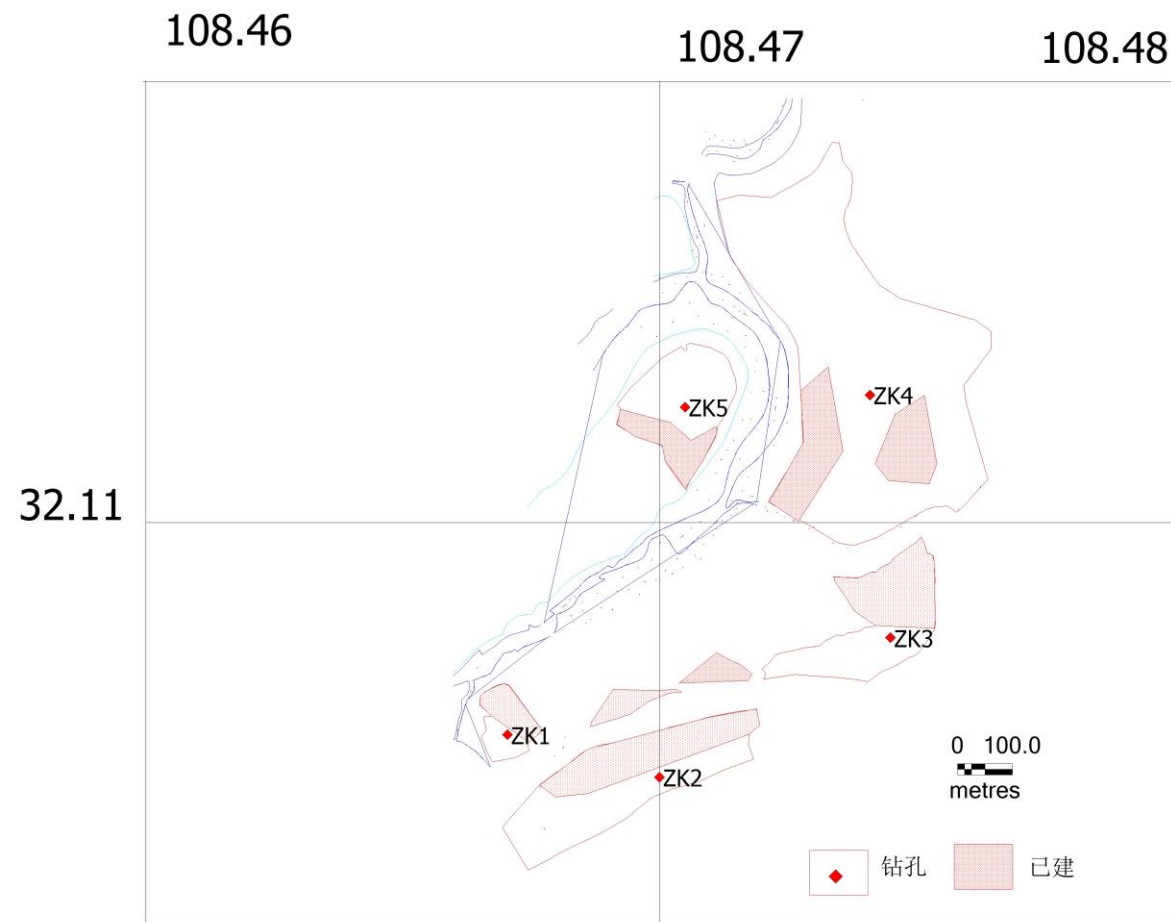


图 5.1-1 巴山组团钻孔布置图

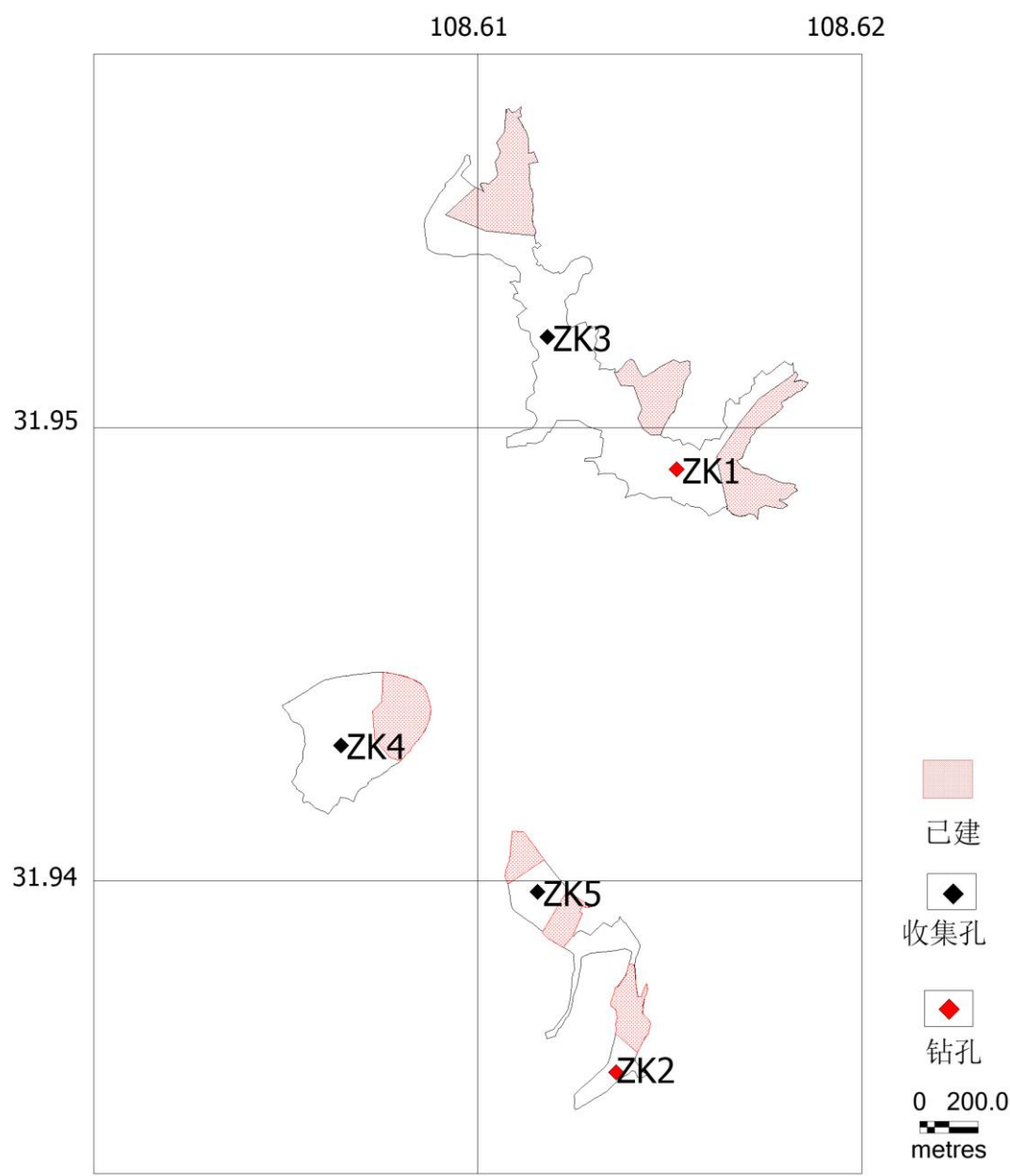


图 5.1-2 高燕组团钻孔布置图

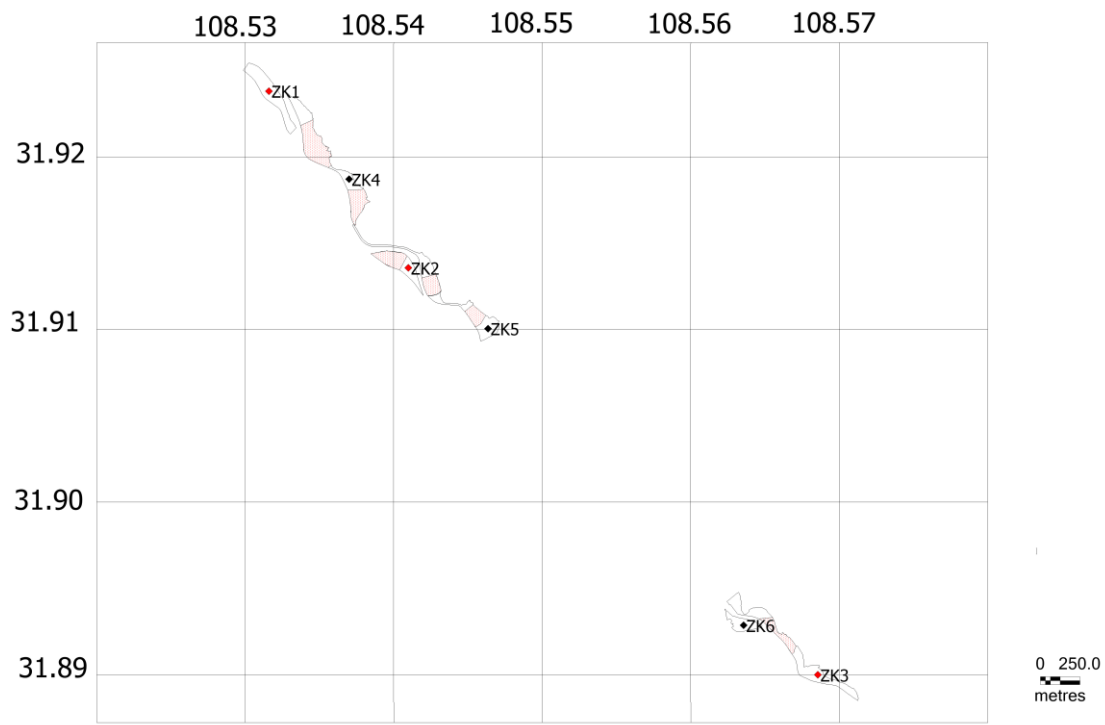


图 5.1-3 庙坝组团钻孔布置图

三个组团均属于浅丘剥蚀地貌，绝大部分均有第四纪覆盖层。由于每个组团面积不大，同时未建成与已建成地块交错，通过钻孔和收集钻孔，满足每平方公里不少于 3 个钻孔的要求。

本次工作共布设 10 个钻孔，同时收集 6 个钻孔，对目标区的地层进行了有效控制，钻孔柱状图见 5.1-4——5.1-19。

根据现场钻探工作，地层揭露如下：

素填土：杂色，主要由强-中风化灰岩碎块石组成，粉质粘土充填，碎块石粒径约 10-30mm，硬质物含量约占 30%，结构稍密，稍湿。

灰岩：灰黑色、灰色，矿物成分以方解石为主，微晶结构，薄-中厚层状构造，局部含碳质较重。强风化带岩体破碎，呈碎块状，裂隙发育，裂隙间泥质充填，中等风化岩芯呈长短柱状，节长 4-32cm，岩体较完整，强度较高，锤击不易碎。

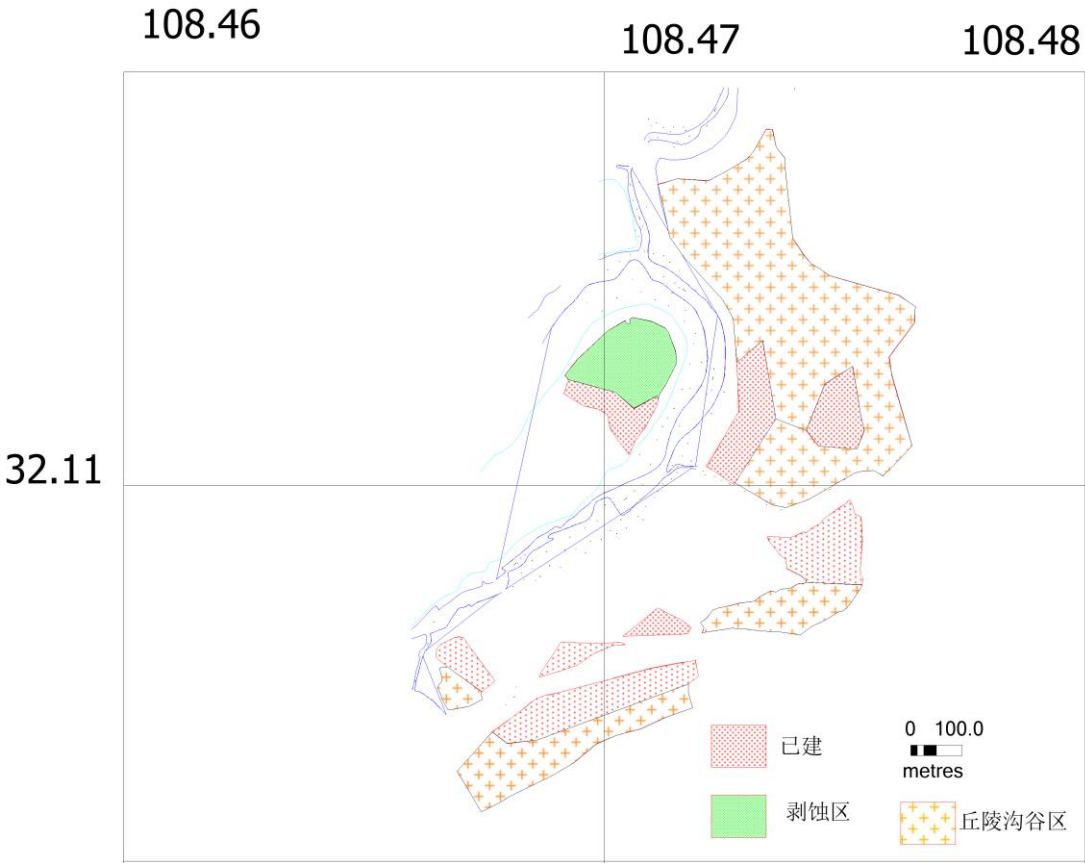


图 5.1-4 巴山地质单元图

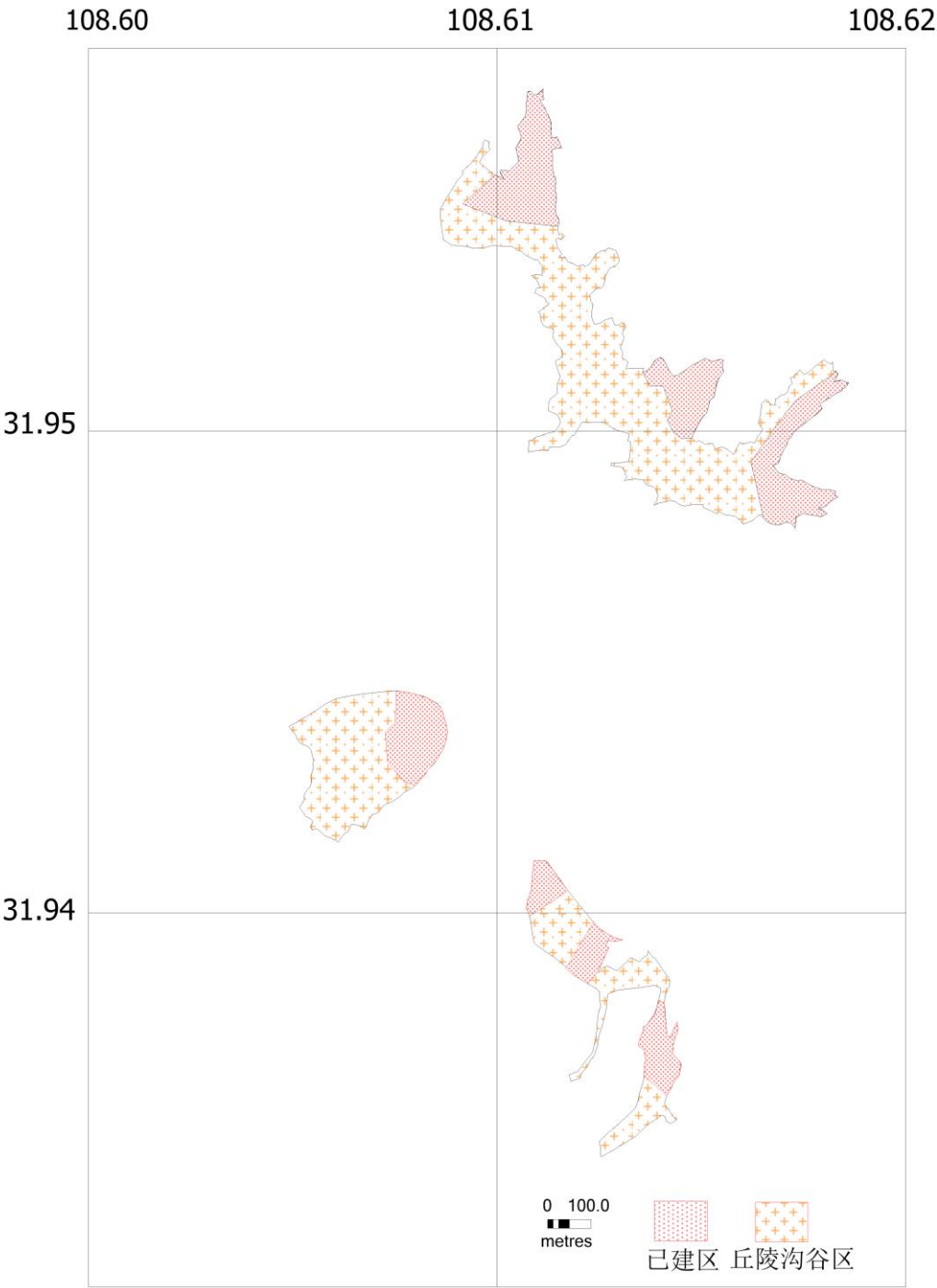


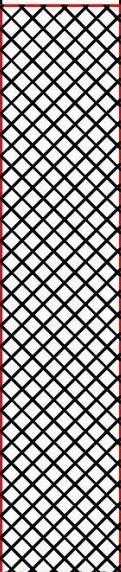
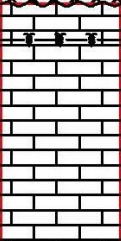
图 5.1-5 高燕地质单元图



图 5.1-6 庙坝地质单元图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县巴山镇规划区地震评价项目					钻孔编号	ZK1		
孔口标高(m)			坐标 (m)	X: 108.4670	施工日期		稳定水位(m)	无		
钻孔深度(m)		13.50		Y: 32.1065	钻孔直径	开孔:110,终孔:(mm)		测量日期		
地层 代号	层底 深度 (m)	地层 厚度 (m)	层底 标高 (m)	采取 率 (%)	风 化 带	柱状图 1:100	地层描述		取 样	水 位
Q ^{al}	9.50	9.50			强 0.60 中		素填土：杂色，主要由强-中风化状灰岩碎块石组成，粉质粘土充填，碎块石粒径约10-50mm，硬质物含量约占40%，结构稍密，稍湿。			无
	T _{2b}	10.10					灰岩：灰黑色、灰色，矿物成分以方解石为主，微晶结构，薄-中厚层状构造，局部含碳质较重。强风化带岩体破碎，呈碎块状，裂隙发育，裂隙间泥质充填，中等风化岩芯呈长短柱状，节长5-35cm，岩体较完整，强度较高，锤击不易碎。			
	13.50	4.00								

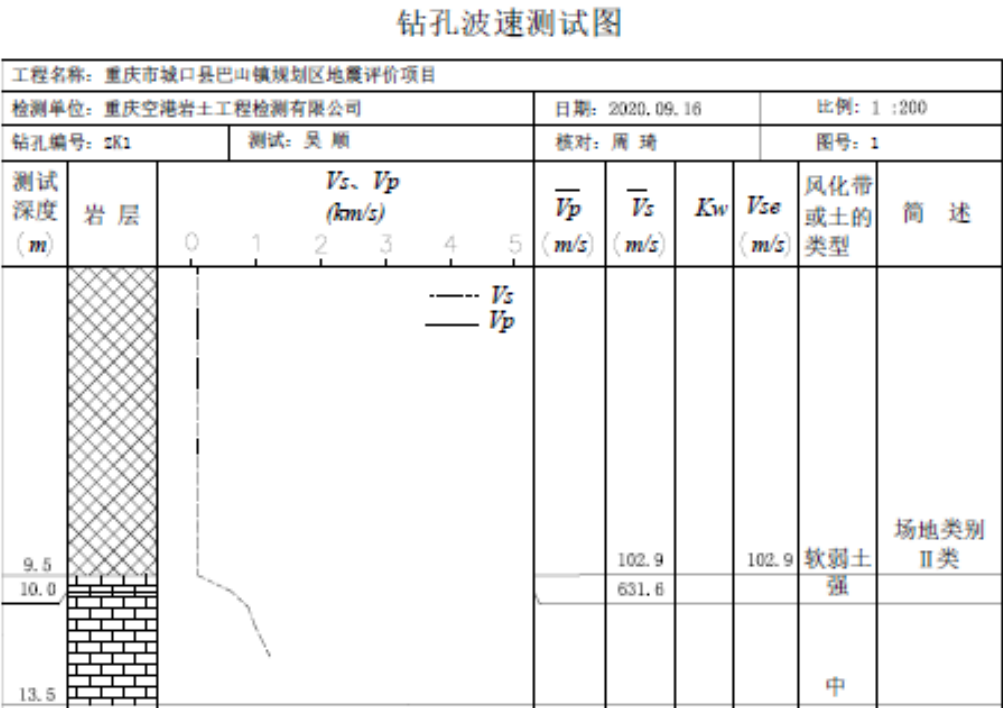
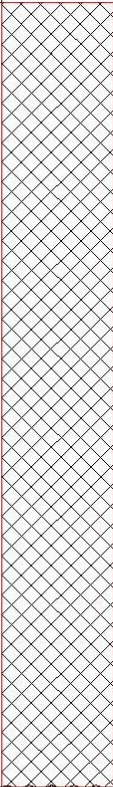
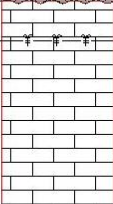


图 5.1-7 巴山 ZK1 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县巴山镇规划区地震评价项目				钻孔编号	ZK2		
孔口标高(m)		坐标 (m)	X: 108.4700		施工日期		稳定水位(m)	无	
钻孔深度(m)	17.80		Y: 32.1058		钻孔直径	开孔:110,终孔:(mm)	测量日期		
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	风化带	柱状图 1:100	地层描述	取样	水位
Q ⁴ _{el}							素填土: 杂色, 主要由强-中风化状灰岩碎块石组成, 粉质粘土充填, 碎块石粒径约10-50mm, 硬质物含量约占40%, 结构稍密, 稍湿。		无
	14.10	14.10							
T ₂ ^b	14.80				强 0.70		灰岩: 灰黑色、灰色, 矿物成分以方解石为主, 微晶结构, 薄-中厚层状构造, 局部含碳质较重。强风化带岩体破碎, 呈碎块状, 裂隙发育, 裂隙间泥质充填, 中等风化岩芯呈长短柱状, 节长4-38cm, 岩体较完整, 强度较高, 锤击不易碎。		
	17.80	3.70			中				

钻孔波速测试图

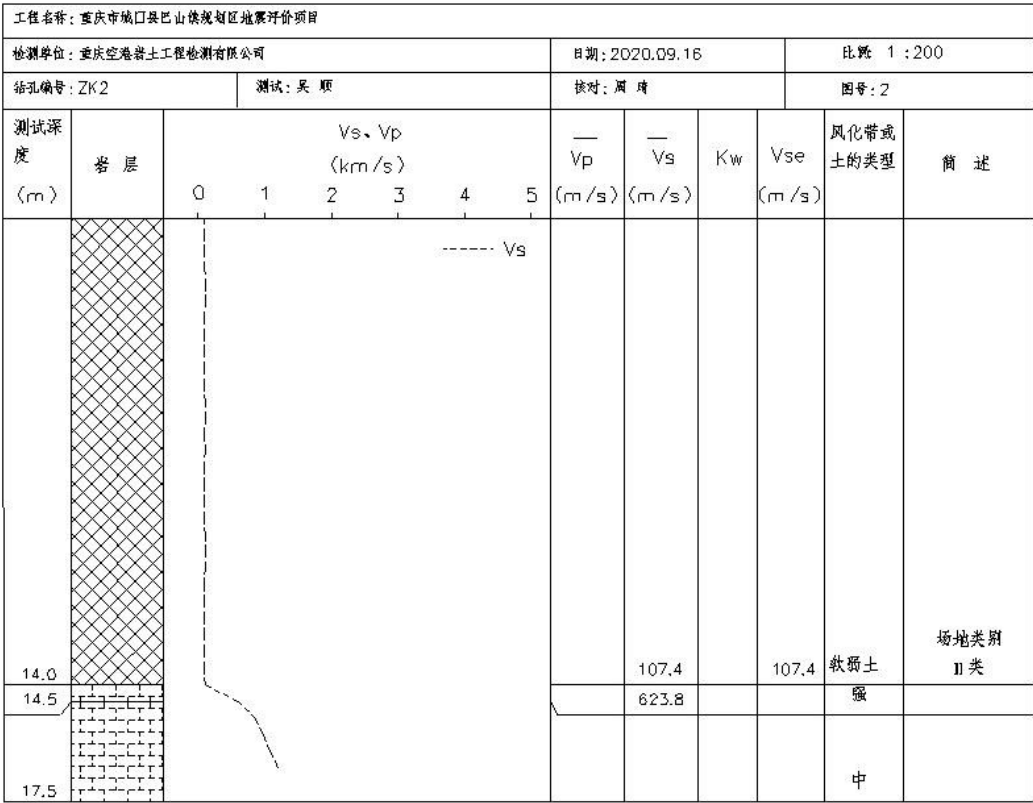
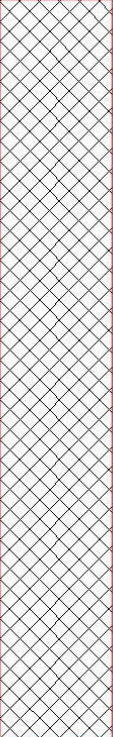
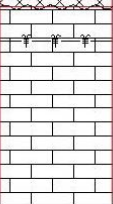


图 5.1-8 巴山 ZK2 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县巴山镇规划区地震评价项目						钻孔编号		ZK3				
孔口标高 (m)				坐标 (m)	X: 108.4745		施工日期				稳定水位 (m)		无	
钻孔深度 (m)		16.70			Y: 32.1081		钻孔直径		开孔:110,终孔: (mm)		测量日期			
地层 代号	层底 深度 (m)	地层 厚度 (m)	层底 标高 (m)	采取 率 (%)	风 化 带	柱状图 1:100	地层描述						取 样	水 位
Q ^{a1}							素填土: 杂色, 主要由强-中风化状灰岩碎块石组成, 粉质粘土充填, 碎块石粒径约10-60mm, 硬质物含量约占30%, 结构稍密, 稍湿。							无
	13.20	13.20												
T ₂ ^b	13.80				强 0.60		灰岩: 灰黑色、灰色, 矿物成分以方解石为主, 微晶结构, 薄-中厚层状构造, 局部含碳质较重。强风化带岩体破碎, 呈碎块状, 裂隙发育, 裂隙间泥质充填, 中等风化岩芯呈长短柱状, 节长4-40cm, 岩体较完整, 强度较高, 锤击不易碎。							
	16.70	3.50			中									

钻孔波速测试图

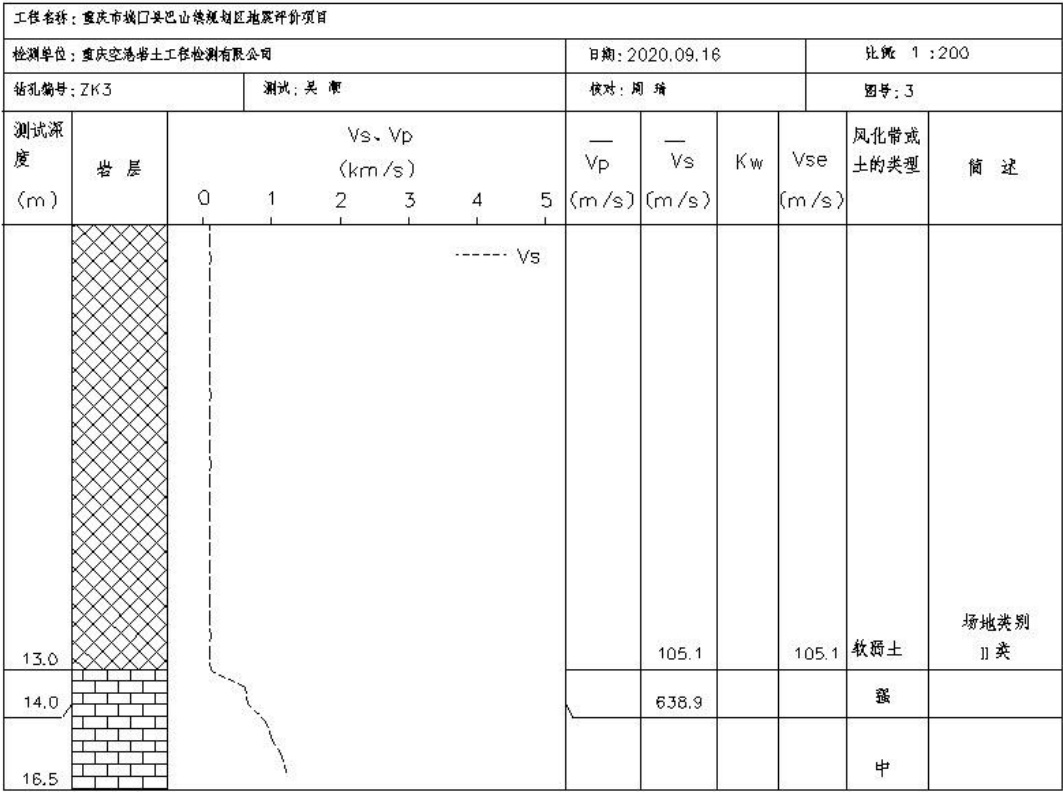
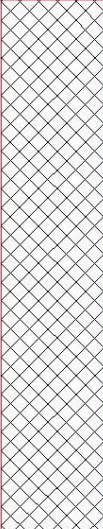
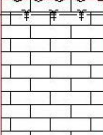


图 5.1-9 巴山 ZK3 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县巴山镇规划区地震评价项目					钻孔编号		ZK4				
孔口标高(m)				坐标(m)	X: 108. 4741		施工日期		稳定水位(m)		无		
钻孔深度(m)		12. 90			Y: 32. 1121		钻孔直径		开孔:110,终孔: (mm)		测量日期		
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	风化带	柱状图 1:100	地层描述					取 样	水 位
Q ^{a1}							素填土: 杂色, 主要由强-中风化状灰岩碎块石组成, 粉质粘土充填, 碎块石粒径约10-40mm, 硬质物含量约占35%, 结构稍密, 稍湿。						无
T _{2b}	10. 20 10. 50	10. 20			强 0. 30		灰岩: 灰黑色、灰色, 矿物成分以方解石为主, 微晶结构, 薄-中厚层状构造, 局部含碳质较重。强风化带岩体破碎, 呈碎块状, 裂隙发育, 裂隙间泥质充填, 中等风化岩芯呈长短柱状, 节长5-31cm, 岩体较完整, 强度较高, 锤击不易碎。						
					中								
	12. 90	2. 70											

钻孔波速测试图

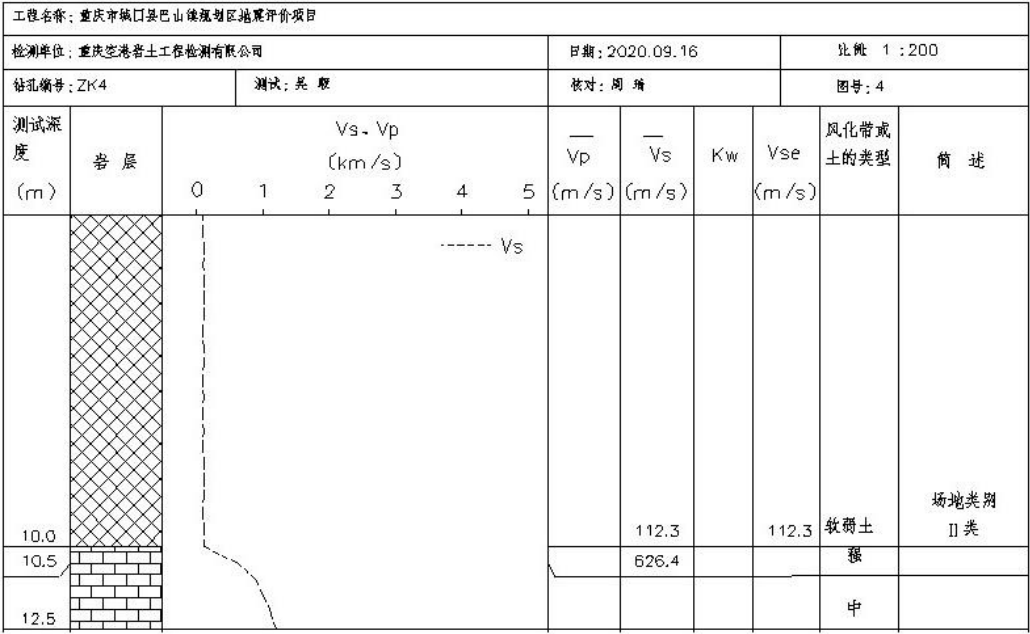
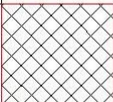
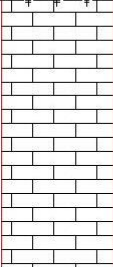


图 5.1-10 巴山 ZK4 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县巴山镇规划区地震评价项目					钻孔编号		ZK5		
孔口标高(m)		坐标(m)		X: 108. 4705		施工日期		稳定水位(m)		无	
钻孔深度(m)				Y: 32. 1119		钻孔直径		开孔:110,终孔:(mm)		测量日期	
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	风化带	柱状图 1:100	地层描述			取样	水位
Q ^{e1}	1.80	1.80					素填土: 杂色, 主要由强-中风化状灰岩碎块石组成, 粉质粘土充填, 碎块石粒径约10-30mm, 硬质物含量约占30%, 结构稍密, 稍湿。 灰岩: 灰黑色、灰色, 矿物成分以方解石为主, 微晶结构, 薄-中厚层状构造, 局部含碳质较重。强风化带岩体破碎, 呈碎块状, 裂隙发育, 裂隙间泥质充填, 中等风化岩芯呈长短柱状, 节长4-32cm, 岩体较完整, 强度较高, 锤击不易碎。				无
T _{2b}	3.00			强 1.20							
	7.80	6.00		中							

钻孔波速测试图

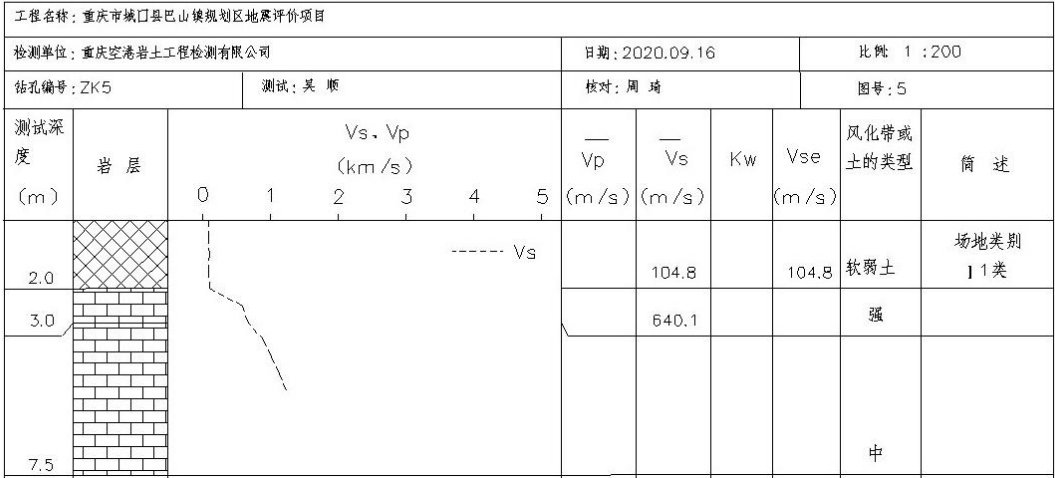
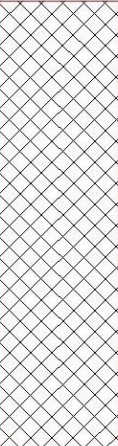
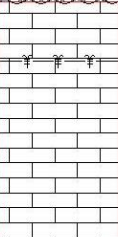


图 5.1-11 巴山 ZK5 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县高燕乡规划区地震评价项目					钻孔编号	ZK1	
孔口标高 (m)			坐标 (m)	X: 108. 6152	施工日期		稳定水位 (m)	无	
钻孔深度 (m)		11. 50		Y: 31. 94 91	钻孔直径	开孔:110,终孔: (mm)	测量日期		
地层 代号	层底 深度 (m)	地层 厚度 (m)	层底 标高 (m)	采取 率 (%)	风 化 带	柱状图 1:100	地层描述	取 样	水 位
Q _e ⁿ¹	7. 50	7. 50					素填土：杂色，主要由强-中风化状灰岩碎块石组成，粉质粘土充填，碎块石粒径约10-30mm，硬质物含量约占30%，结构稍密，稍湿。		无
	8. 50				强 1. 00				
T ₂ ^b	11. 50	4. 00			中		灰岩：灰黑色、灰色，矿物成分以方解石为主，微晶结构，薄-中厚层状构造，局部含碳质较重。强风化带岩体破碎，呈碎块状，裂隙发育，裂隙间泥质充填，中等风化岩芯呈长短柱状，节长5-30cm，岩体较完整，强度较高，锤击不易碎。		

钻孔波速测试图

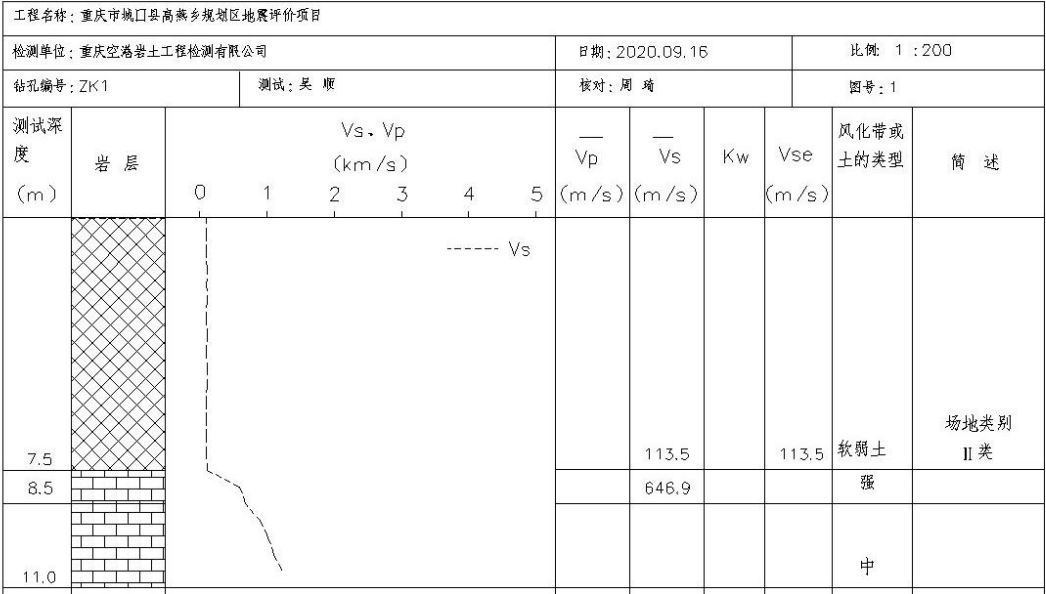
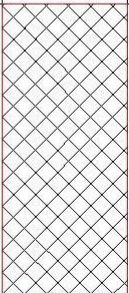
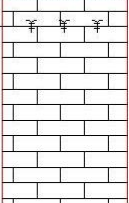


图 5.1-12 高燕 ZK1 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县高燕乡规划区地震评价项目				钻孔编号	ZK2	
孔口标高(m)		坐标 (m)	X: 108.6136	施工日期		稳定水位(m)	无	
钻孔深度(m)	8.10		Y: 31.9358	钻孔直径	开孔:110,终孔:(mm)	测量日期		
地层 代 号	层底 深度 (m)	地层 厚度 (m)	层底 标高 (m)	采 取 率 (%)	风 化 带	柱状图 1:100	地层描述	取 样 水 位
Q ₄ ^{sl}	4.70	4.70			强 0.50		素填土: 杂色, 主要由强-中风化状灰岩碎块石组成, 粉质粘土充填, 碎块石粒径约10-30mm, 硬质物含量约占25%, 结构稍密, 稍湿。	无
T ₂ ^b	5.20				中		灰岩: 灰黑色、灰色, 矿物成分以方解石为主, 微晶结构, 薄-中厚层状构造, 局部含碳质较重。强风化带岩体破碎, 呈碎块状, 裂隙发育, 裂隙间泥质充填, 中等风化岩芯呈长短柱状, 节长5-25cm, 岩体较完整, 强度较高, 锤击不易碎。	
	8.10	3.40						

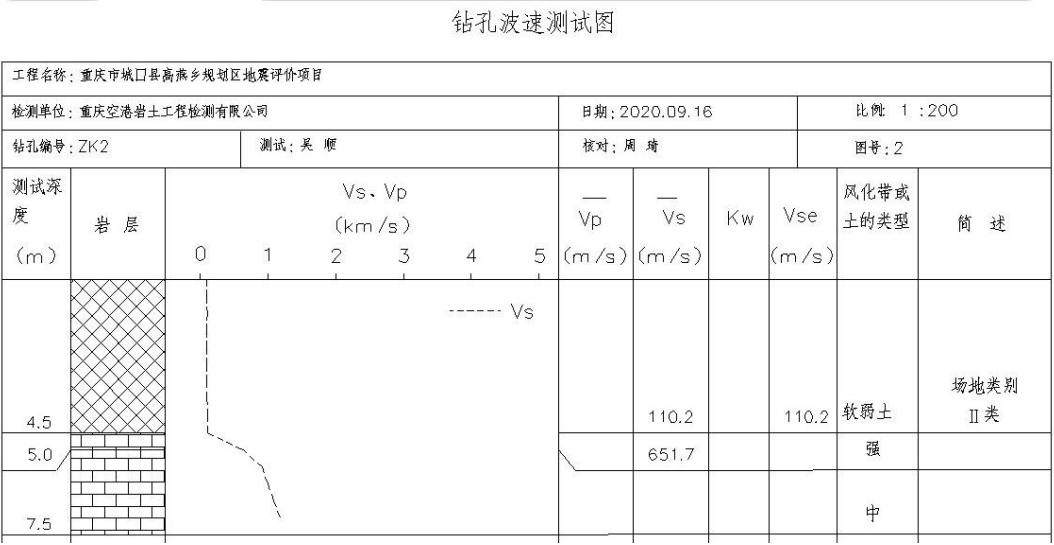


图 5.1-13 高燕 ZK2 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

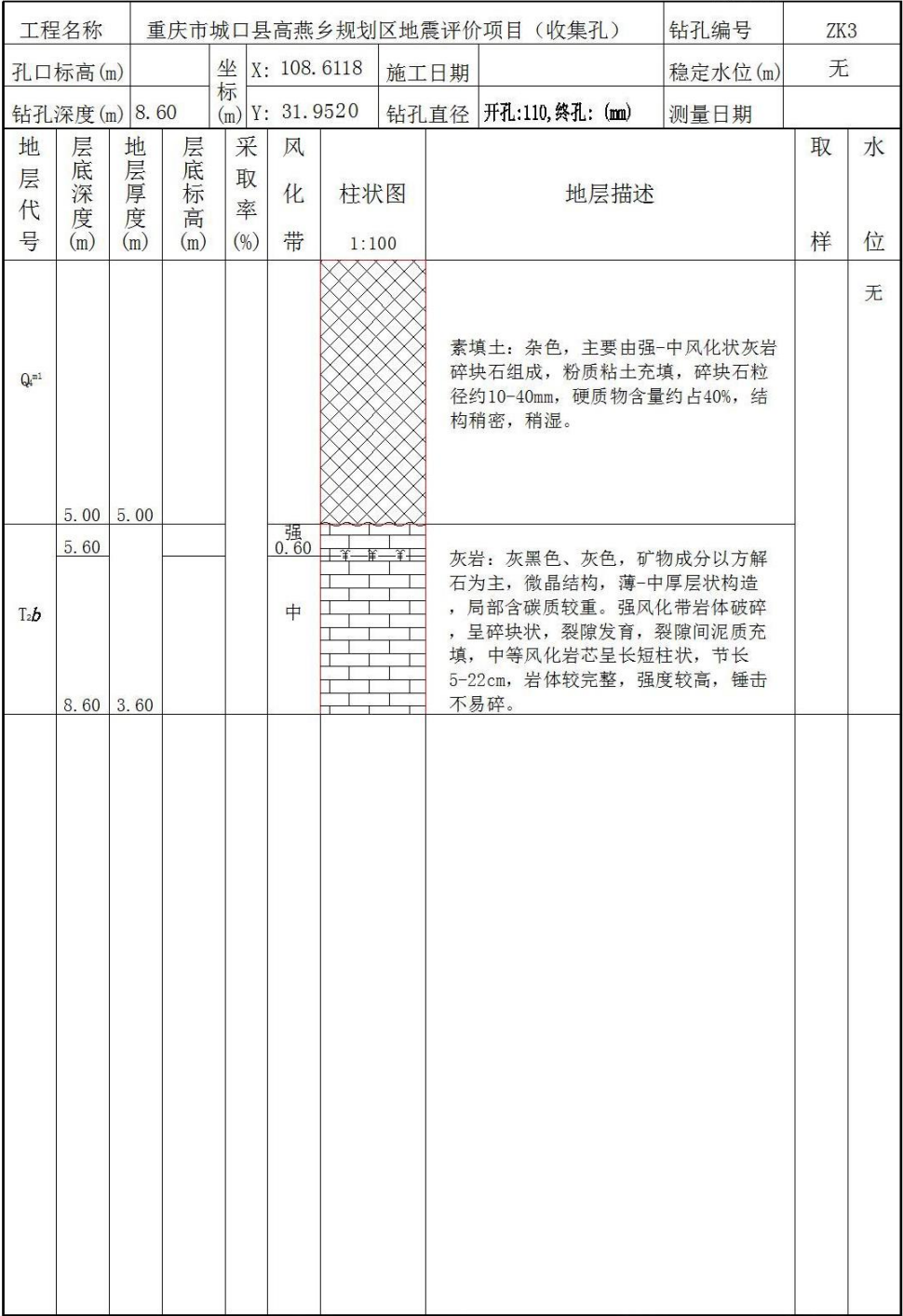


图 5.1-14 高燕 ZK3 钻孔柱状图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

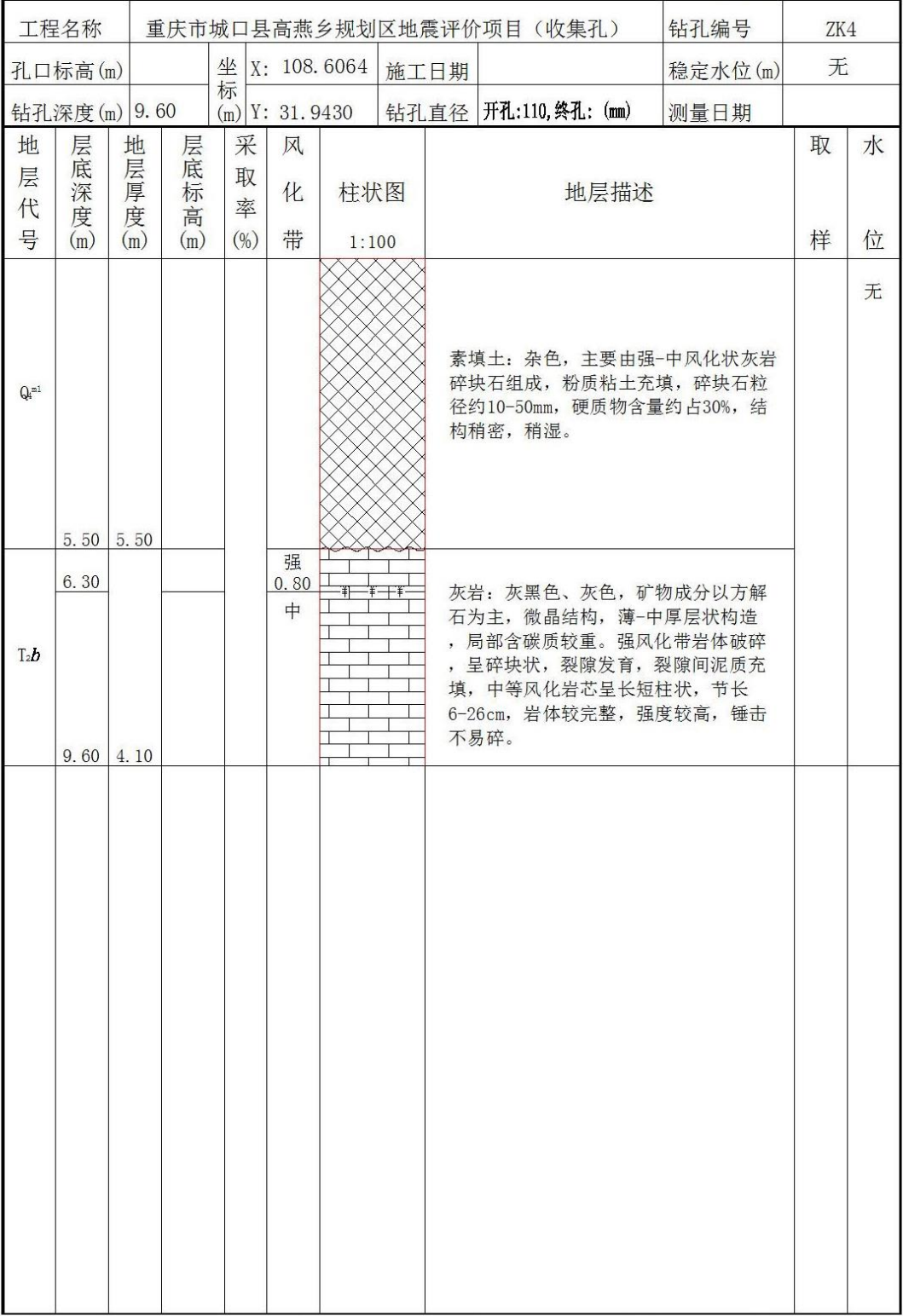


图 5.1-15 高燕 ZK4 钻孔柱状图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

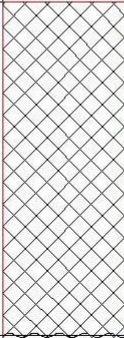
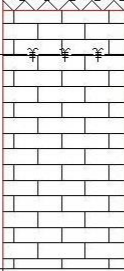
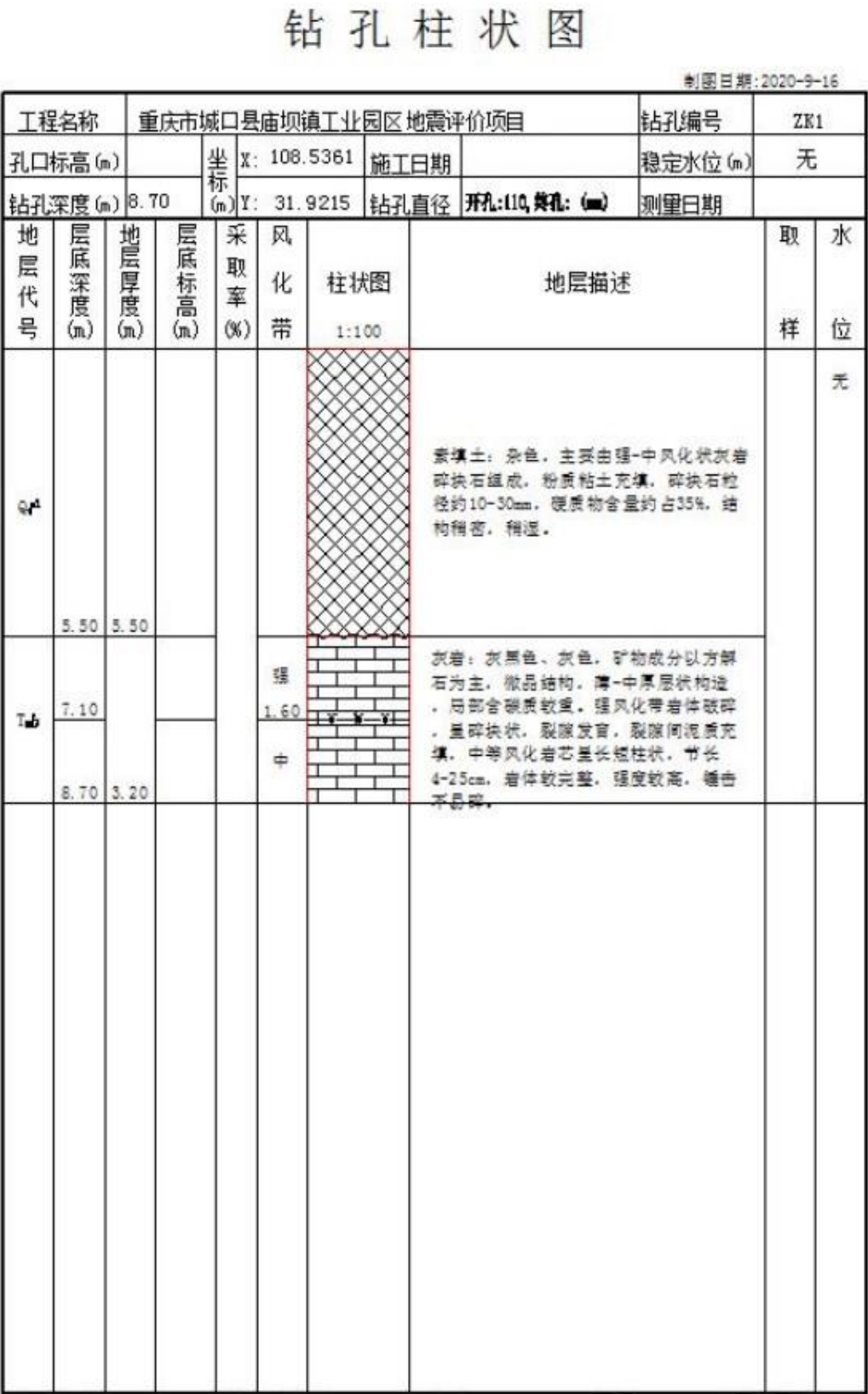
工程名称			重庆市城口县高燕乡规划区地震评价项目（收集孔）				钻孔编号		ZK5				
孔口标高(m)				坐标 (m)	X: 108. 6116		施工日期		稳定水位(m)		无		
钻孔深度(m)			9. 60		Y: 31. 9376		钻孔直径		开孔:110,终孔: (mm)		测量日期		
地 层 代 号		层 底 深 度 (m)	地 层 厚 度 (m)	层 底 标 高 (m)	采 取 率 (%)	风 化 带	柱状图 1:100	地 层 描 述				取 样	水 位
Q ^{a1}		5. 30	5. 30					素填土：杂色，主要由强-中风化状灰岩碎块石组成，粉质粘土充填，碎块石粒径约10-50mm，硬质物含量约占35%，结构稍密，稍湿。					无
T ₂ ^b		6. 20				强 0. 90 中		灰岩：灰黑色、灰色，矿物成分以方解石为主，微晶结构，薄-中厚层状构造，局部含碳质较重。强风化带岩体破碎，呈碎块状，裂隙发育，裂隙间泥质充填，中等风化岩芯呈长短柱状，节长6-23cm，岩体较完整，强度较高，锤击不易碎。					
		9. 60	4. 30										

图 5.1-16 高燕 ZK5 钻孔柱状图



钻孔波速测试图

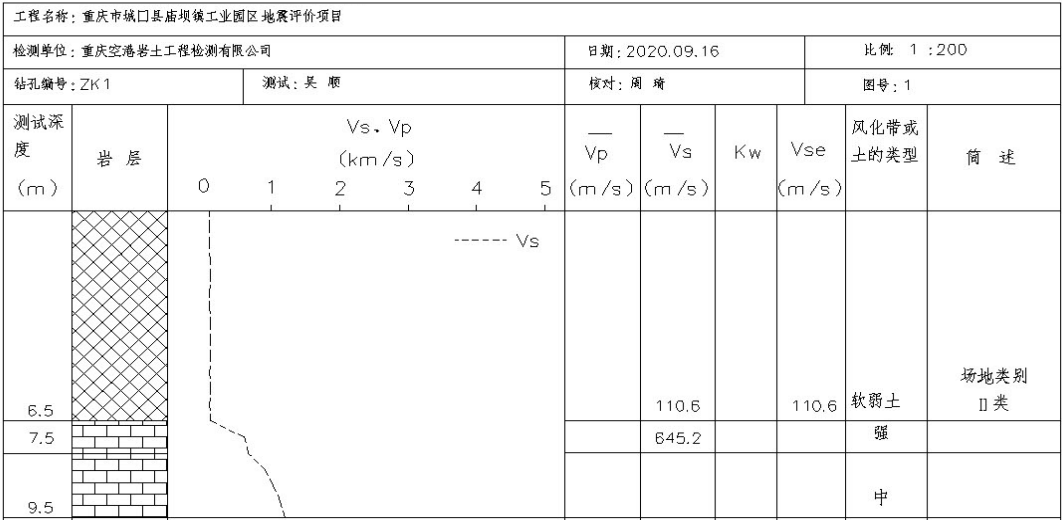
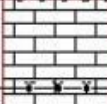
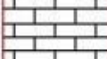


图 5.1-17 庙坝 ZK1 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

工程名称		重庆市城口县庙坝镇工业园区地震评价项目					钻孔编号	ZK2	
孔口标高 (m)		坐标 (m)	X: 108.5445		施工日期		稳定水位 (m)	无	
钻孔深度 (m)			Y: 31.9117		钻孔直径		开孔:110, 终孔: (mm)	测量日期	
地层 代号	层底 深度 (m)	地层 厚度 (m)	层底 标高 (m)	采 取 率 (%)	风 化 带	柱状图 1:100	地层描述	取 样	水 位
Q ₄	5.50	5.50					素填土：杂色，主要由强-中风化状灰岩碎块石组成，粉质粘土充填，碎块石粒径约10-30mm，硬质物含量约占35%，结构稍密，稍湿。		无
T ₂	7.10				强		灰岩：灰黑色、灰色，矿物成分以方解石为主，微晶结构，薄-中厚层状构造，局部含砾质较重，强风化带岩体破碎，呈碎块状，裂隙发育，裂隙间泥质充填，中等风化岩芯呈长柱状，节长4-25cm，岩体较完整，强度较高，锤击不易碎。		
	8.70	3.20			中				

钻孔波速测试图

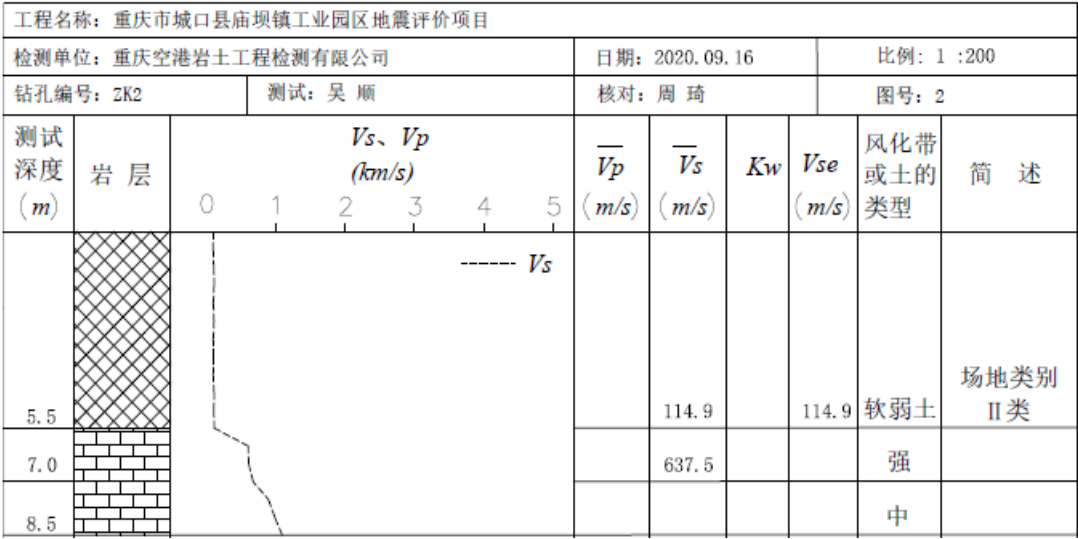
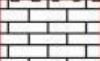
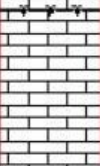


图 5.1-18 庙坝 ZK2 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

工程名称				重庆市城口县庙坝镇工业园区地震评价项目				钻孔编号		ZK3			
孔口标高 (m)				坐标 (m)		X: 108.5728		施工日期		稳定水位 (m)		无	
钻孔深度 (m)		6.30		Y: 31.8176		钻孔直径		开孔:110,终孔: (mm)		测量日期			
地层代号	层底深度 (m)	地层厚度 (m)	层底标高 (m)	采取率 (%)	风化带	柱状图	地层描述					取	水
						1:100						样	位
Q ₄	1.50	1.50					素填土: 杂色, 主要由强-中风化状灰岩碎块石组成, 粉质粘土充填。碎块石粒径约10-30mm, 硬质物含量约占30%, 结构稍密, 稍湿。						无
T ₂	3.00				强		灰岩: 灰色, 灰绿色, 矿物成分以方解石为主, 微晶结构。薄-中厚层状构造。强风化带岩体破碎, 呈碎块状, 裂隙发育, 裂隙间泥质充填。中等风化岩芯呈短柱状, 岩体较完整, 强度较高, 锤击不易碎。						
	6.30	4.80			中								

钻孔波速测试图

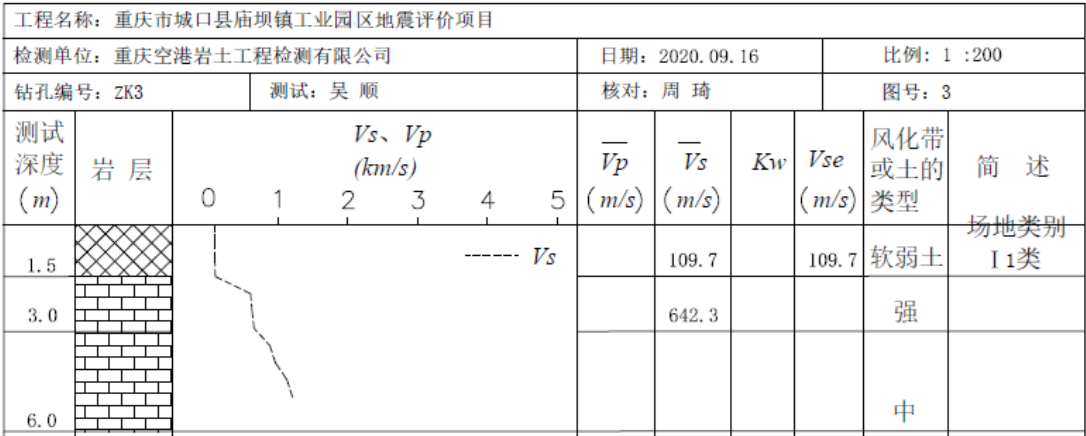


图 5.1-19 庙坝 ZK3 钻孔柱状及波速图

钻孔柱状图

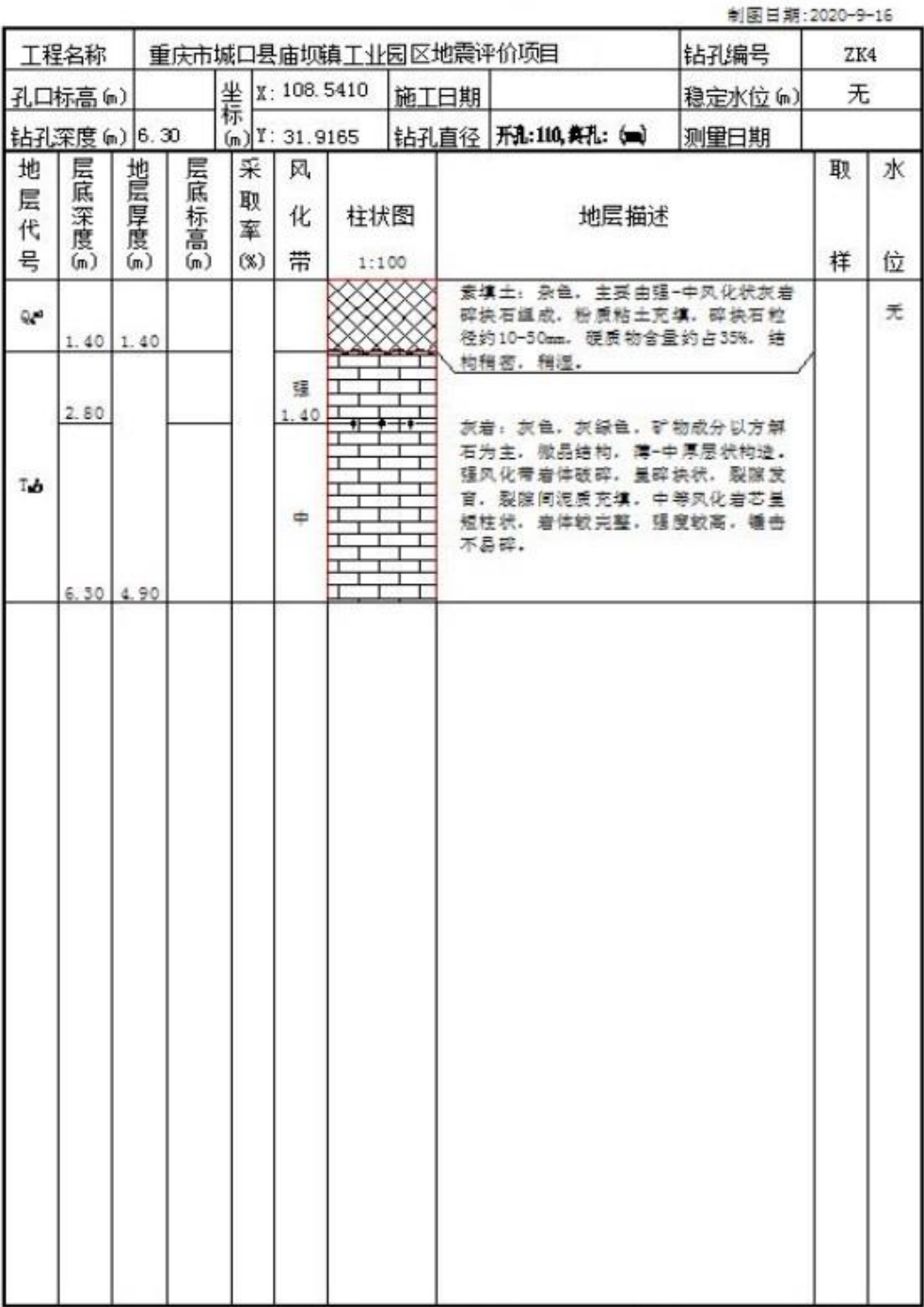


图 5.1-20 庙坝 ZK4 钻孔柱状图 (收集孔)

钻孔柱状图

制圖日期: 2020-9-16

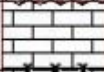
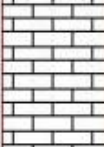
工程名称				重庆市城口县庙坝镇工业园区地震评价项目				钻孔编号		ZK5			
孔口标高 (m)				坐标 (m)	X: 108.5502		施工日期		稳定水位 (m)		无		
钻孔深度 (m)		5.90			Y: 31.9081		钻孔直径		开孔: 110, 终孔: (mm)		测量日期		
地层代号	层底深度 (m)	地层厚度 (m)	层底标高 (m)	采取率 (%)	风化带	柱状图 1:100	地层描述					取	水
Q ₄	1.80	1.80					素填土: 杂色, 主要由强-中风化状灰岩碎块石组成, 粉质粘土充填, 碎块石粒径约 10-60mm, 硬质物含量约占 30%, 结构稍变, 稍湿。					样	位
T ₂	3.00				强		灰岩: 灰色, 灰绿色, 矿物成分以方解石为主, 微晶结构, 薄-中厚层状构造, 强风化带岩体破碎, 呈碎块状, 裂隙发育, 裂隙间泥质充填, 中等风化带芯呈柱状, 岩体较完整, 强度较高, 难击不易碎。						
	5.90	4.10			中								

图 5.1-21 庙坝 ZK5 钻孔柱状图 (收集孔)

钻孔柱状图

制图日期:2020-9-16

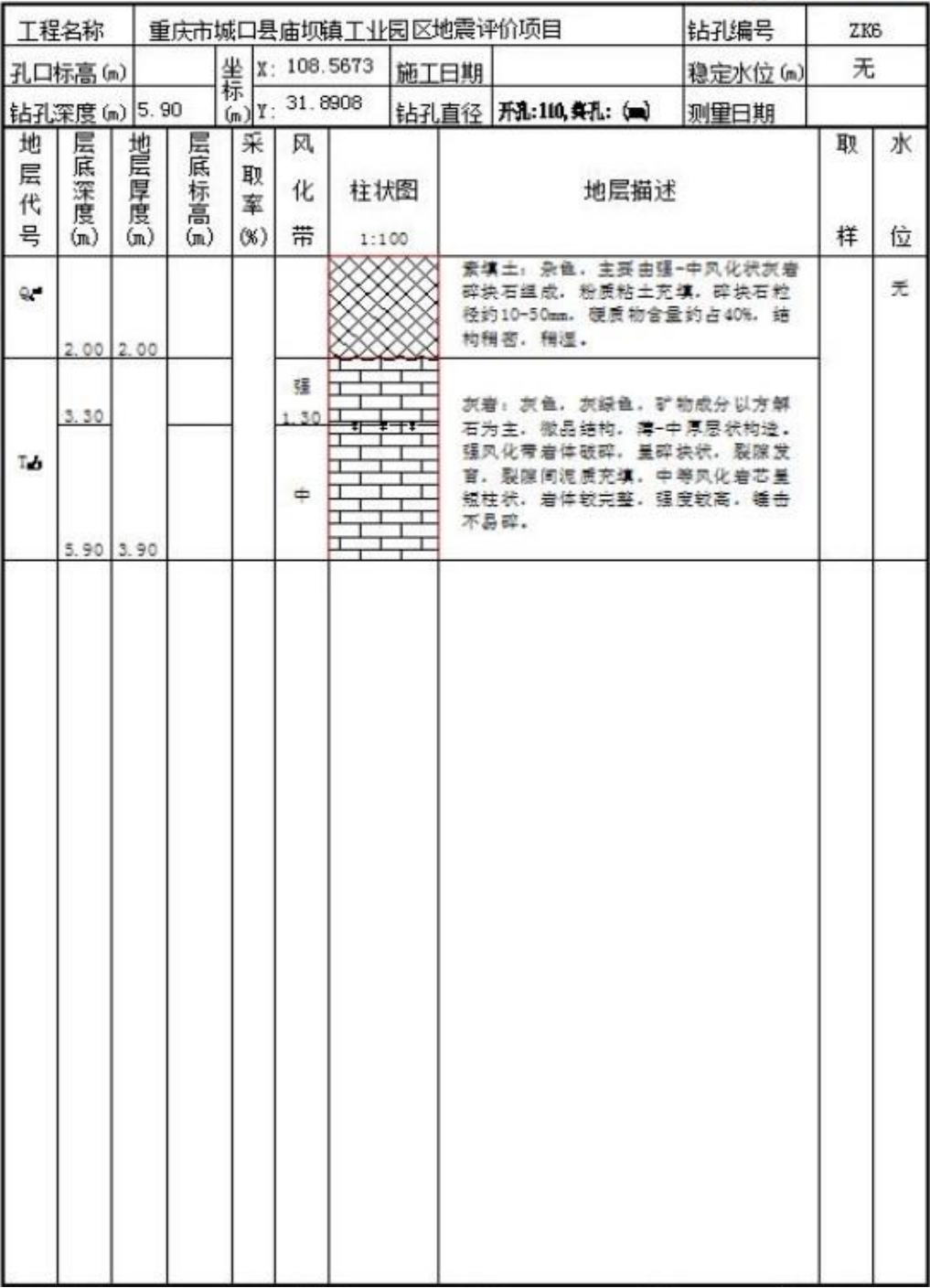


图 5.1-22 庙坝 ZK6 钻孔柱状图 (收集孔)

5.2 场地类别划分

通过现场测试获得实际场地条件与环境下的土层波速资料，以此反映出各种地质体及其组成物质的动力性能，为场地土层地震反应分析提供地基土动力参数。通过计算获取等效剪切波速，为划分场地类别提供依据。确保场地地震反应计算中所建立的场地力学模型的合理性。

根据“GB50011-2010《建筑抗震设计规范》”，土层等效剪切波速按下列公式计算：

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

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

式中，Vse—土层等效剪切波速（m/s）；

d₀—计算深度(m)，取 20m 及覆盖层中小值；

t—剪切波在地面至计算深度之间的传播时间；

d_i—计算深度范围内第 i 土层的厚度(m)；

V_{si}—计算深度范围内第 i 土层的剪切波速（m/s）；

n—计算深度范围内土层的分层数。

根据上述计算公式，得到场地范围内共 10 个实测钻孔的土层等效剪切波速结果。经统计，场地土层等效剪切波速介于 169-331m/s 之间（表 5.2-2），场地剪切波速≥500m/s 的层位处于中风化花岗岩或强风化花岗岩中。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）中有关建筑场地类别划分的规定（表 5.2-1），综合野外地质地貌调查、钻孔剪切波速测试及等效剪切波速的

表 5.2-1 各类建筑场地的覆盖层厚度（m）

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速 (m/s)	场 地 类 别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
V _{se} >800	0				
800≥V _{se} >500		0			
500≥V _{se} >250		<5	≥5		
250≥V _{se} >150		<3	3-50	>50	
V _{se} ≤150		<3	3-15	15-80	>80

注：表中 Vs 系岩石的剪切波速

根据等效剪切波速计算结果，结合场地第四系覆盖层的分布，除巴山组团局部、庙坝组团局部为 I₁类场地外，其余均为 II 类（表 5.2-2）（图 5.2-1）。

表 5.2-2 场地类别一览表

钻孔编号	等效剪切波速 (m/s)	场地土类型	覆盖层厚度 (m)	场地类型
巴山 ZK1	102.9	软弱土	10.1	Ⅱ
巴山 ZK2	107.4	软弱土	14.8	Ⅱ
巴山 ZK3	105.1	软弱土	13.8	Ⅱ
巴山 ZK4	112.3	软弱土	10.5	Ⅱ
巴山 ZK5	104.8	软弱土	1.8	I ₁
高燕 ZK1	113.5	软弱土	7.5	Ⅱ
高燕 ZK2	110.2	软弱土	4.7	Ⅱ
庙坝 ZK1	110.6	软弱土	6.4	Ⅱ
庙坝 ZK2	114.9	软弱土	5.5	Ⅱ
庙坝 ZK3	109.7	软弱土	1.5	I ₁

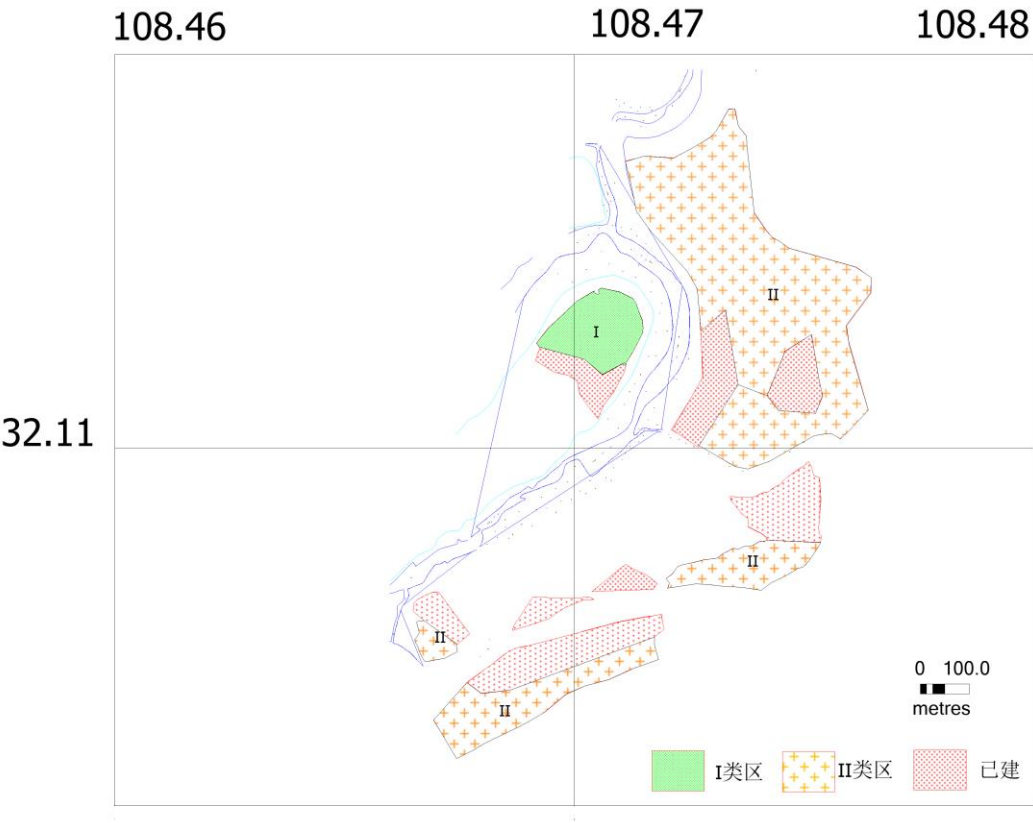


图 5.2-1 巴山场地类别图

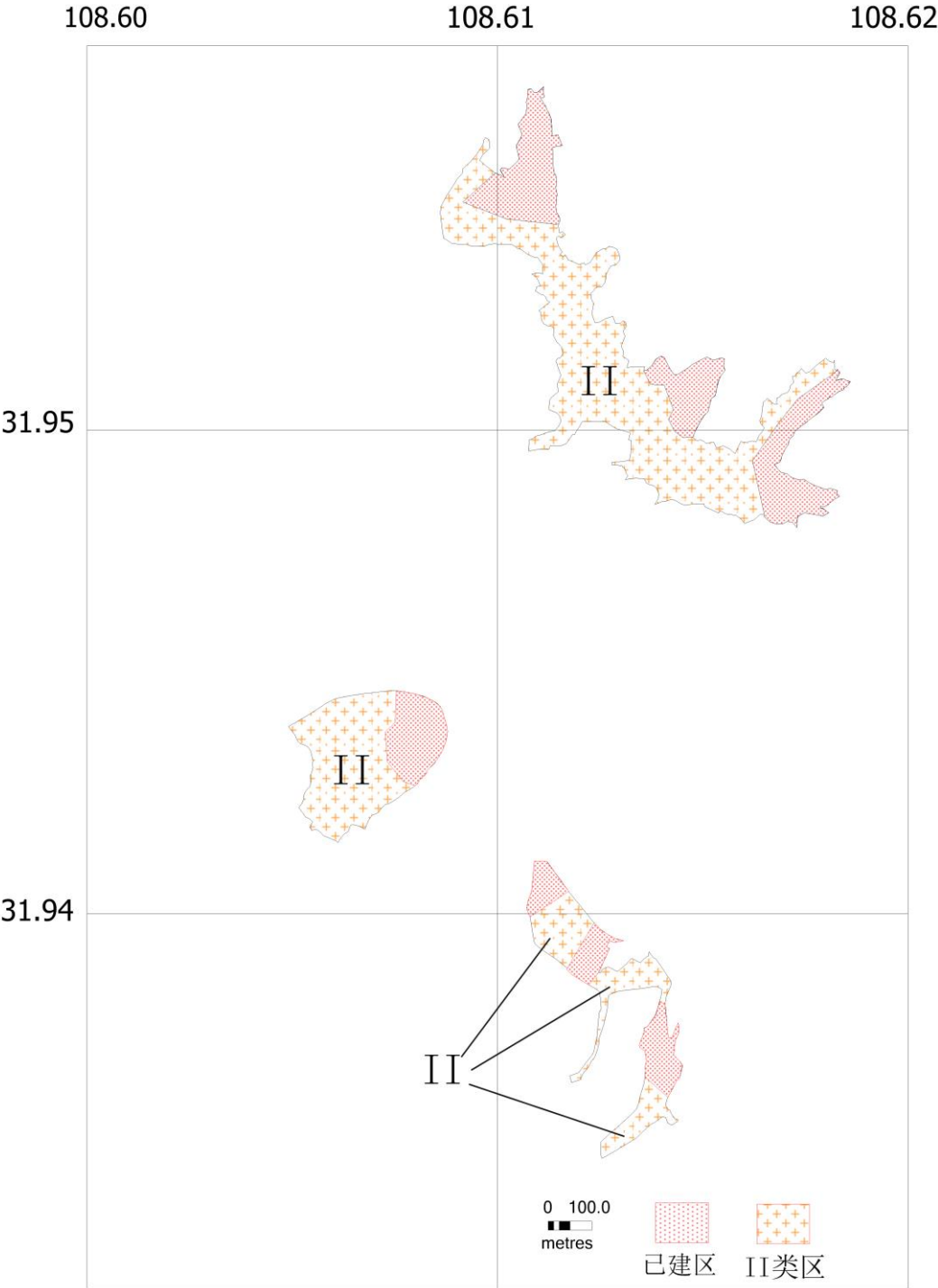


图 5.2-2 高燕场地类别图



图 5.2-3 庙坝场地类别图

第六章 场地地震动参数确定

本章的目的是通过危险性分析得到的基岩地震动参数，作为基底地震动输入，然后根据场地的工程地质勘探、场地土动力参数试验以及场地地震工程地质条件勘测的结果，进行场地土层地震动力反应分析，得到地表面及相关高程地震动的幅值、频谱和持时，给出与场地相关的设计地震动参数，供拟建工程建设抗震设计使用。

6.1 基岩地震动时程合成

结构抗震设计理论由地震动输入、结构模型、结构反应分析和设计原则这四大环节组成，而作为四大环节之基础的地震动输入对设计的最终结果起重要的控制作用。以地震危险性分析所给出的具有概率含义的自由基岩地震动峰值和反应谱作为目标谱，采用三角级数迭加法合成基岩地震动，作为场地地震动力反应分析的输入地震动时程，该时程含有概率含义，并与特定地震环境相关。

在合成基岩地震动时程过程中，非平稳包络函数取如下形式：

$$f(t) = \begin{cases} \left(\frac{t}{t_1}\right)^2 & 0 \leq t < t_1 \\ 1 & t_1 \leq t < t_2 \\ e^{-c(t-t_2)} & t \geq t_2 \end{cases} \quad (6-1)$$

式中， t_1 为振幅上升段终止时间， t_1-t_2 为振幅平稳段长度， c 为振幅下降段衰减指数。

根据地震危险性分析得到的基岩加速度峰值和反应谱，经光滑作为目标谱，结合适应本地区地震活动特征的非平稳强度包络函数，采用拟合基岩反应谱的三角级数迭加法合成基岩地震动，作为场地地震动力反应分析的输入地震动时程。

本项目的强度包络取上述所示形式。根据霍俊荣的研究结果，基岩场地上，方程（6-1）中的强度包络参数的衰减关系如下：

$$\begin{aligned} \log T_s &= -2.268 + 0.3262M + 0.5815 \log(R+10.0) + \varepsilon \\ \log T_1 &= -1.074 + 1.005 \log(R+10.0) + \varepsilon \end{aligned}$$

$$\log C = 1.941 - 0.2817M - 0.5670 \log(R + 10.0) + \varepsilon$$

其中 T_S : 峰值平稳段的持时, 即 $t_2 = t_1 + T_S$;

M : 等效震级;

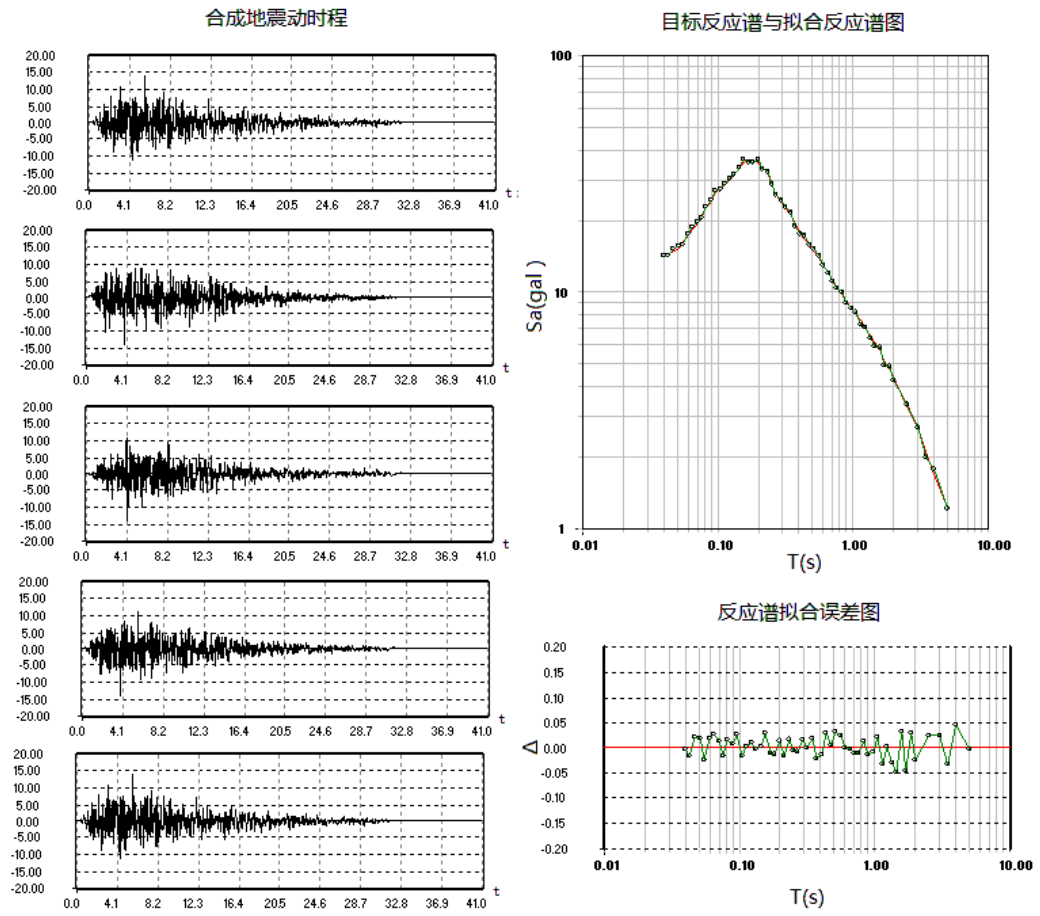
R : 等效震中距。

地震动持时参数的确定, 采用地震危险性分析结果与地震动时程合成过程中地震动能量匹配的原则, 即以地震危险性分析所得等效震级与距离, 以及由地震动持时参数统计经验关系所得的地震动持时参数作为参考, 在地震动时程合成过程中, 综合考虑地震动反应谱与强度包线之间的匹配情况, 调整地震动持时参数值, 并加以最终确定。表 6.1-1 给出了综合评判场地地震动包络函数参数。

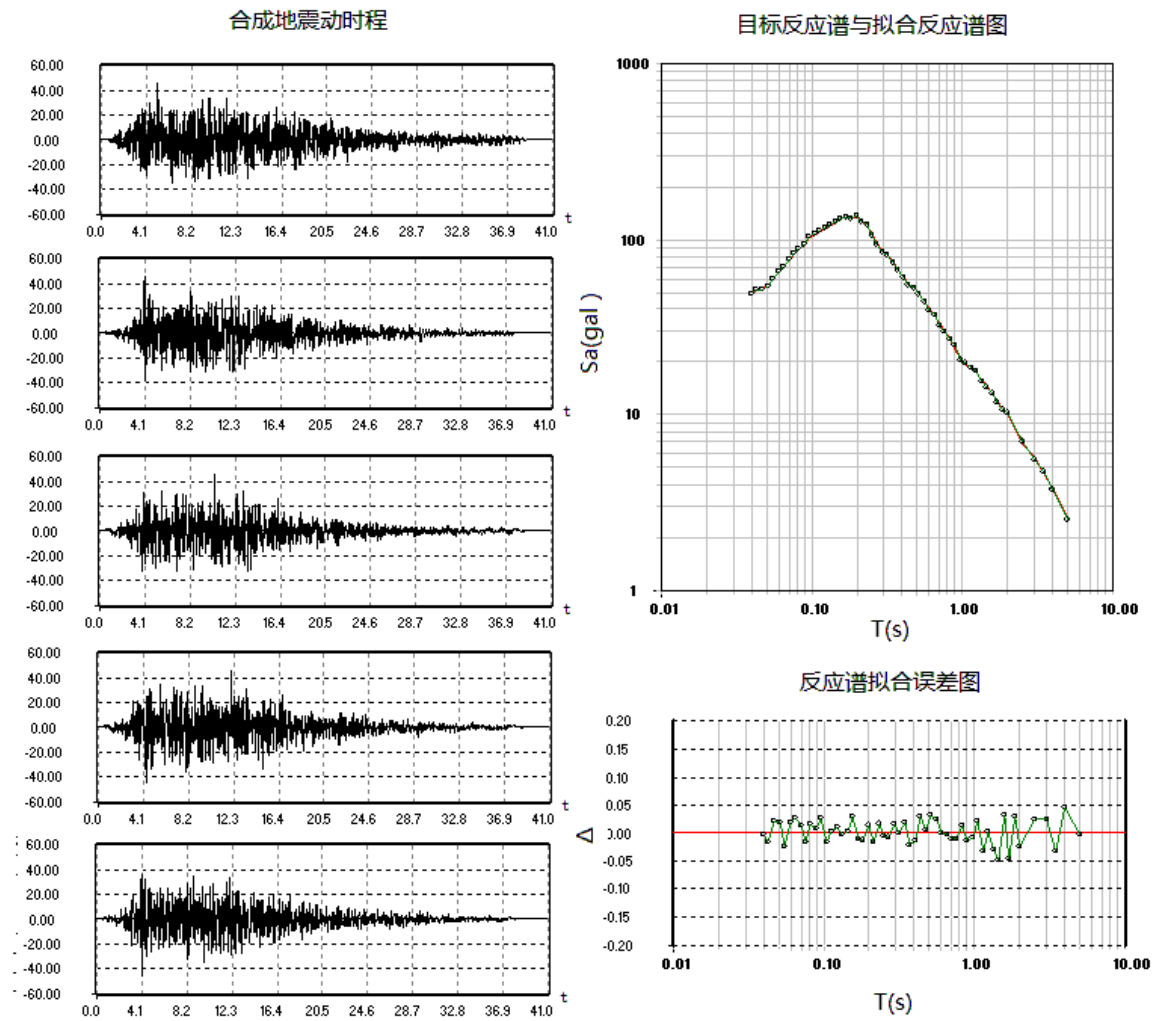
表 6.1-1 场地地震动包络函数的参数

超越概率	地震动包络函数参数		
	$t_1(s)$	$t_2(s)$	c
50 年 63%	3.5	8	0.12
50 年 10%	4.0	9	0.10
50 年 2%	4.5	10	0.08

由上述方法和场地地震动参数, 按 50 年超越概率 63%、10%、2%各合成 5 条基岩地震动时程, 分别对应 5 个不同的随机相位, 时程采样步长 0.02 秒, 选择 60 个周期作为拟合控制点。控制点的周期从 0.04 至 6 秒近似地按对数等间距分布, 目标谱与计算谱之间的相对误差小于 5%。16 个控制点的人工合成曲线见图 6.1-1 至图 6.1-16 共 48 幅 336 条曲线, 由于曲线较多, 受篇幅所限, 正式报告仅插入 3 幅 21 条曲线, 其他以附件形式给出。



a. 50 年超越概率 63%



b. 50 年超越概率 10%

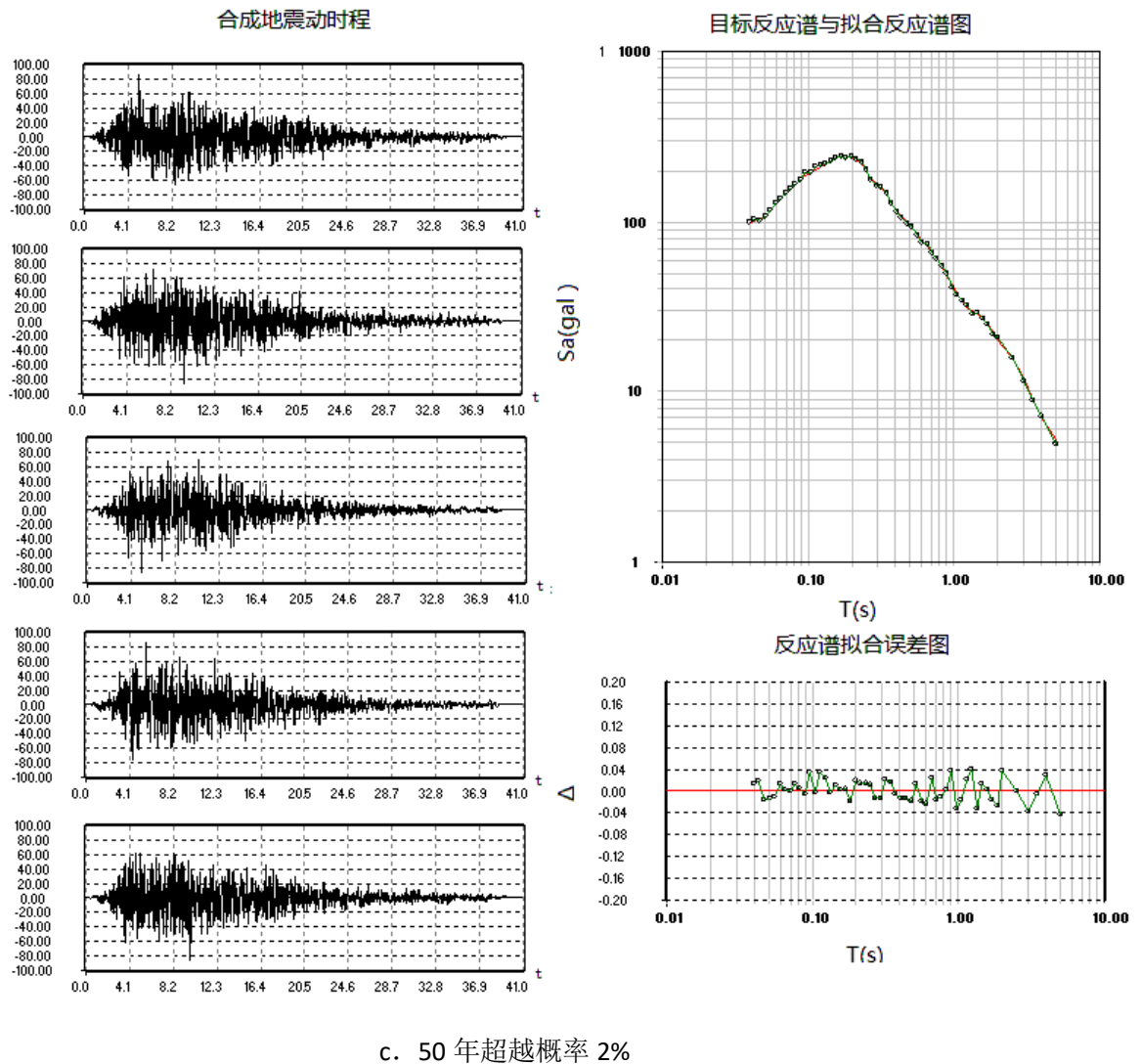


图 6.1-1 50 年不同超越概率水平基岩地震动时程曲线（控制点 1）

图 6.1-2 50 年不同超越概率水平基岩地震动时程曲线（控制点 2）至图 6.1-16 50 年不同超越概率水平基岩地震动时程曲线（控制点 16）见附件。

6.2 地震反应分析模型及模型参数的选择

场地地震反应分析模型即场地力学模型的确定是场地地震反应分析的关键问题，依据《工程场地地震安全性评价》（GB17741—2005）相关规定和工程场地地质条件勘测成果，选择地震反应分析模型、岩土力学参数和地震输入界面。

6.2.1 场地地震反应分析模型及其参数确定

根据第五章节可知，目标区高燕区为 II 类场地，巴山区和庙坝区包含 I 和 II 类场地。I 类场地覆盖层厚度多数在 1~2m 左右，考虑到目前目标区均为原始地貌，后期建设要重新平场，对 I 类场地，直接根据地震危险性分析结果来确定设计地

震动参数，对 II 类场地则需进行土层反应分析，根据地表的结果确定场地设计地震震动参数。

II 类场地选实测钻孔数据建模进行土层反应计算。土层柱状剖面参数见表 6.2-1a 至表 6.2-1c, 本场地土层剪切波速采用委托勘察单位提供的剪切波速资料(见附件)作为建模的依据, 波速测试间隔为 0.5m, 考虑实测素填土层间波速变化较小, 建模时以 2m 取平均值为分层模型。由于场地土主要是素填土, 主要由强、中风化状灰岩碎石土组成, 土层样本扰动较大, 难以采集样本土做土动力学试验, 结合重庆区评指南(渝震发[2021]12 号)针对重庆地区仅要求对粉土、粉质黏土、黏土做动三轴取样, 故综合考虑, 计算模型的素填土、计算基地的场地土 G/G_{max} — γ 和 λ - γ 值采用《工程场地地震安全性评价工作规范 (DB001—94)》相关类似土类的试验推荐值, 见表 6.1-1b。并采用一维场地模型(一维等效线性化波动法)计算土层地震动反应, 分析计算程序采用国家地震局推荐“地震安全性评价计算程序包(ESE)”。

表 6.2-1a 钻孔土层柱状剖面参数 (巴山区)

钻孔编号	层序	土类名称	土类型编号	层厚(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm ³)
ZK1	1	素填土	1	2.00	95.3	1.90
	2	素填土	1	2.00	100.1	1.90
	3	素填土	1	2.00	102.0	1.90
	4	素填土	1	2.00	107.0	1.90
	5	素填土	1	1.50	110.7	1.90
	6	强风化灰岩 (计算基底)	2		631.6	2.10
ZK2	1	素填土	1	2.00	98.9	1.90
	2	素填土	1	2.00	100.2	1.90
	3	素填土	1	2.00	102.5	1.90
	4	素填土	1	2.00	110.0	1.90
	5	素填土	1	2.00	110.4	1.90
	6	素填土	1	2.00	112.0	1.90
	7	素填土	1	2.10	115.4	1.90
	8	强风化灰岩 (计算基底)	2		631.6	2.10
ZK3	1	素填土	1	2.00	97.2	1.90
	2	素填土	1	2.00	100.4	1.90
	3	素填土	1	2.00	102.4	1.90
	4	素填土	1	2.00	103.9	1.90
	5	素填土	1	2.00	110.0	1.90
	6	素填土	1	2.00	110.5	1.90
	7	素填土	1	1.20	112.7	1.90
	8	强风化灰岩 (计算基底)	2		638.9	2.10
ZK4	1	素填土	1	2.00	103.5	1.90
	2	素填土	1	2.00	105.5	1.90
	3	素填土	1	2.00	108.0	1.90
	4	素填土	1	2.00	115.0	1.90
	6	素填土	1	2.20	120.8	1.90

	7	强风化灰岩（计算基底）	2		626.4	2.10
--	---	-------------	---	--	-------	------

表 6.2-1b 钻孔土层柱状剖面参数（庙坝区）

钻孔编号	层序	土类名称	土类型编号	层厚(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm3)
ZK1	1	素填土	1	2.00	103.1	1.90
	2	素填土	1	2.00	105.0	1.90
	3	素填土	1	2.00	110.0	1.90
	4	素填土	1	0.40	117.6	1.90
	5	强风化灰岩（计算基底）	2		645.2	2.10
ZK2	1	素填土	1	2.00	107.3-	1.90
	2	素填土	1	2.00	114.5	1.90
	3	素填土	1	1.50	124.4	1.90
	4	强风化灰岩（计算基底）	2		637.5	2.10

表 6.2-1c 钻孔土层柱状剖面参数（高燕区）

钻孔编号	层序	土类名称	土类型编号	层厚(m)	剪切波速(m/s)	密度(g/cm3)
ZK1	1	素填土	1	2.00	106.9	1.90
	2	素填土	1	2.00	107.0	1.90
	3	素填土	1	2.00	118.0	1.90
	4	素填土	1	1.50	122.1	1.90
	5	强风化灰岩（计算基底）	2		646.9	2.10
ZK2	1	素填土	1	2.00	101.7-	1.90
	2	素填土	1	2.00	110.5	1.90
	3	素填土	1	0.70	118.2	1.90
	4	强风化灰岩（计算基底）	2		641.7	2.10

表 6.2-2 场地土 G/Gmax— γ 和 $\lambda-\gamma$ 的推荐值

土类 序号	岩性	参数	剪切应变 γ_d							
			5.00E-06	1.00E-05	5.00E-05	1.00E-04	5.00E-04	1.00E-03	0.005	0.01
1	素填土	Gd/Gmax	0.96	0.95	0.8	0.7	0.3	0.2	0.15	0.1
		λd	0.025	0.028	0.03	0.035	0.08	0.1	0.11	0.12
2	基岩	Gd/Gmax	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		λd	0.004	0.008	0.01	0.021	0.030	0.036	0.046	0.051

6.2.2 地震输入界面确定

依据钻孔资料和剪切波速测试结果，确定本工程场地地震输入界面。本工程采用剪切波速值大于等于 500 米/秒的土层顶面作为计算输入界面。

6.3 场地设计地震动参数的确定

利用人工合成的工程场地不同概率的各 5 条基岩地震波作为输入地震波，结合场地土层反应模型对场地进行了地震反应计算，得到 50 年超越概率 63%、10%、2%的地面峰值加速度、加速度时程和反应谱。地面峰值加速度取 5 个随机结果的

平均值，计算结果见表 6.3-1。反应谱见图 6.3-1 至图 6.3-16。

表 6.3-1 目标区 II 类场地控制点地表水平向加速度峰值计算值 (gal)

所属片区名称	控制点	50 年超越概率		
		63%	10%	2%
巴山	1(巴山 ZK1)	23.0	74.3	110.9
	2(巴山 ZK2)	22.5	74.1	107.5
	3(巴山 ZK3)	22.0	75.5	108.0
	4(巴山 ZK4)	22.7	76.8	110.7
高燕	6(高燕 ZK1)	24.5	80.2	119.3
	7(高燕 ZK2)	25.7	82.8	122.8
庙坝	11(庙坝 ZK1)	24.2	79.8	122.0
	12(庙坝 ZK2)	24.5	79.0	124.2

考虑到工程抗震设计使用的合理性，对控制点场地的地震动反应谱进行规准作为其相应场地的设计地震动参数。图中折线为规准后的反应谱曲线，其表达式如下：

$$SA(T) = \begin{cases} A_{\max} * (1 + \frac{(\beta_m - 1)}{(T_0 - 0.04)} (T - 0.04)) & 0.04 s < T \leq T_0 \\ A_{\max} * \beta_m & T_0 < T \leq T_g \\ A_{\max} * \beta_m \left(\frac{T_g}{T} \right)^c & T_g < T \leq 6 s \end{cases}$$

式中： T 为反应谱周期； $A_{\max}$ 为峰值加速度； T_0 、 T_g 为反应谱拐点周期； $SA(T)$ 为周期为 T 时的反应谱值； β_m 为相对反应谱最大值； c 为衰减指数。

规准后的反应谱参数，见表 6.3-2 至表 6.3-17，其中 $\alpha_{\max}$ 为最大地震影响系数， $\alpha_{\max} = A_{\max} \cdot \beta_{\max} / g$ ， g 为重力加速度 (980 cm/s^2)；表中数据综合反应了场地附近一定范围内，地震环境和场地条件对地震动的影响，反应局部场地条件的特性，可作为该工程场地抗震设计使用。各控制点场地 3 种超越概率水准下的地表地震动反应谱及其规准谱见图 6.3-1 至图 6.3-16。控制点 8、9、10 是收集勘察单位的钻孔，故没有剪切波速数据，对比钻孔柱状图和场地情况，计算结果参考控制点 7。

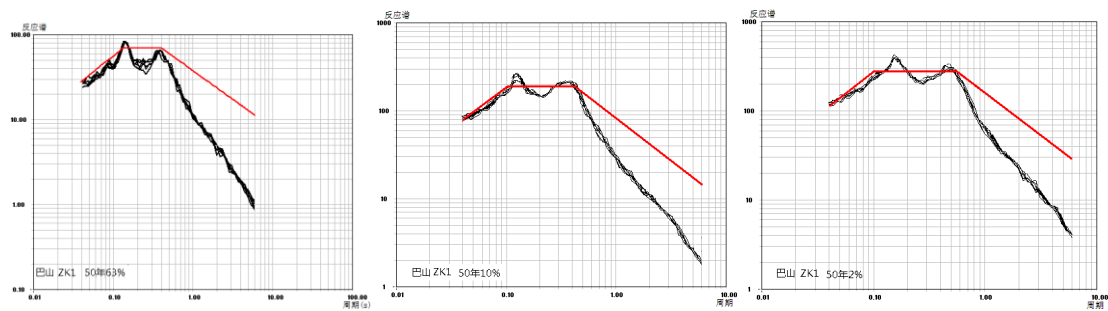


图 6. 3-1 控制点 1 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-2 控制点 1 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.40	79	2.5	0.20	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	118	2.5	0.30	0.9

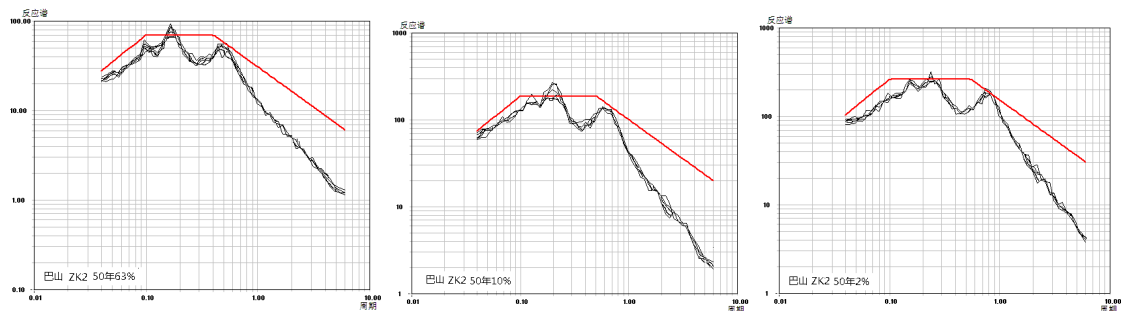


图 6. 3-2 控制点 2 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-3 控制点 2 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.50	78	2.5	0.20	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	110	2.5	0.28	0.9

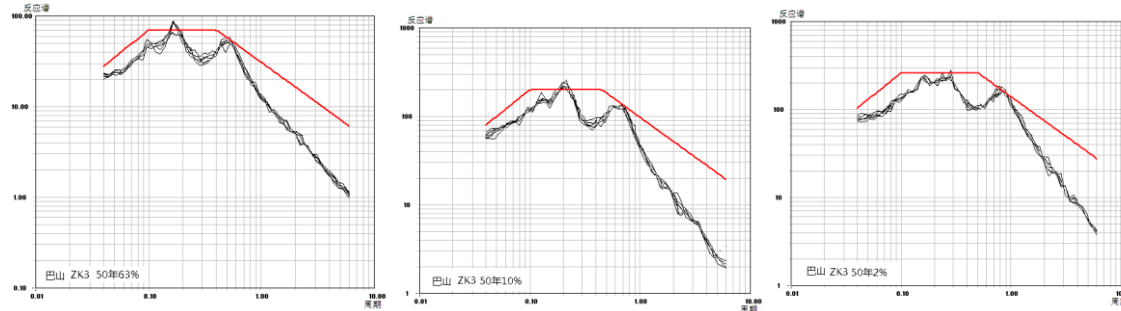


图 6. 3-3 控制点 3 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-4 控制点 3 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.45	80	2.5	0.20	0.9
50 年 2%	0.1	0.50	109	2.5	0.28	0.9

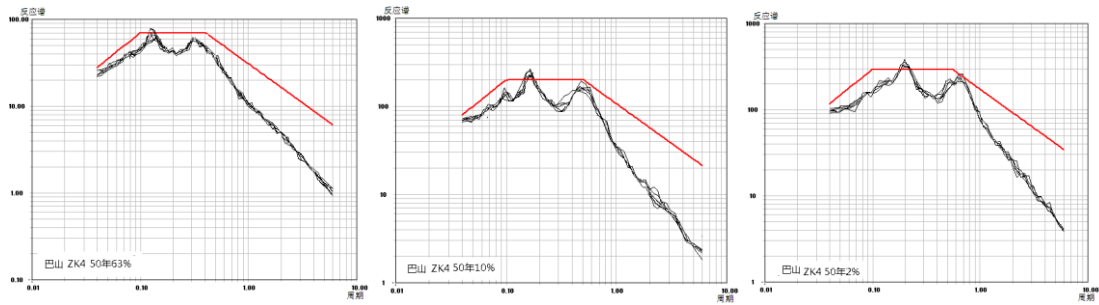


图 6. 3-4 控制点 4 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-5 控制点 4 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.50	80	2.5	0.20	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	118	2.5	0.30	0.9

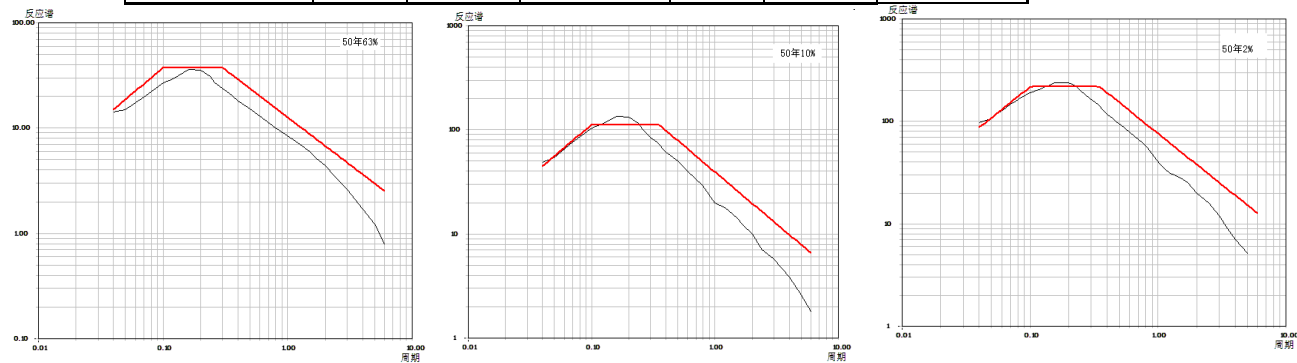


图 6. 3-5 控制点 5 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-6 控制点 5 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9

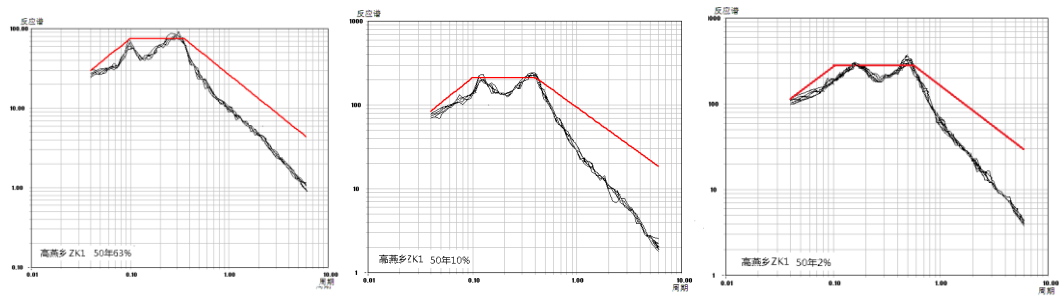


图 6.3-6 控制点 6 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6.3-7 控制点 6 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.40	82	2.5	0.21	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	122	2.5	0.31	0.9

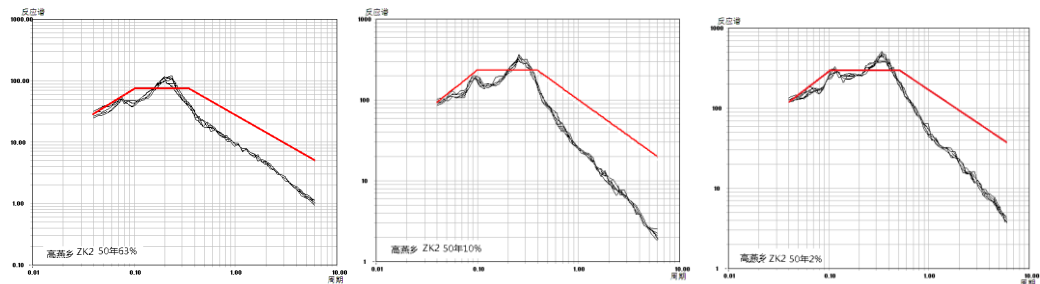


图 6.3-7 控制点 7 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6.3-8 控制点 7 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.40	83	2.5	0.21	0.9
50 年 2%	0.1	0.50	125	2.5	0.32	0.9

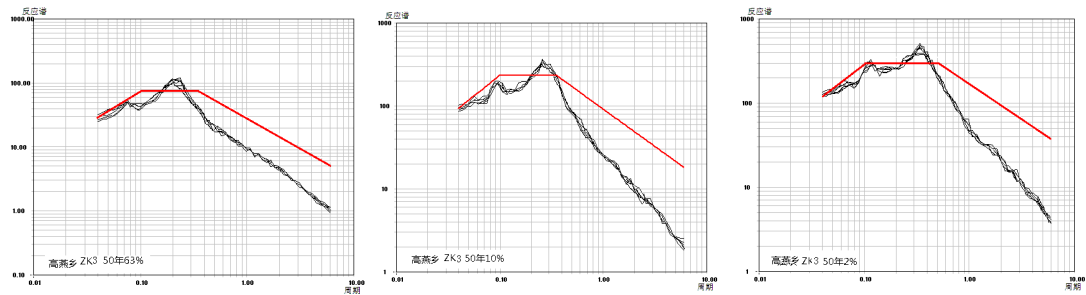


图 6.3-8 控制点 8 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-9 控制点 8 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.35	83	2.5	0.21	0.9
50 年 2%	0.1	0.50	125	2.5	0.32	0.9

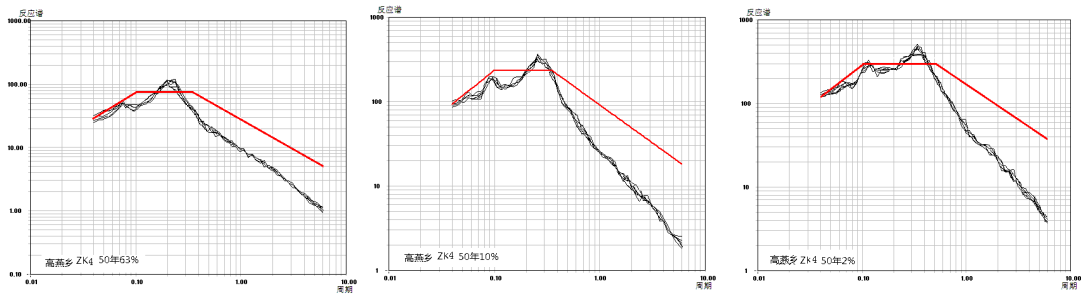


图 6. 3-9 控制点 9 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-10 控制点 9 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.35	83	2.5	0.21	0.9
50 年 2%	0.1	0.50	125	2.5	0.32	0.9

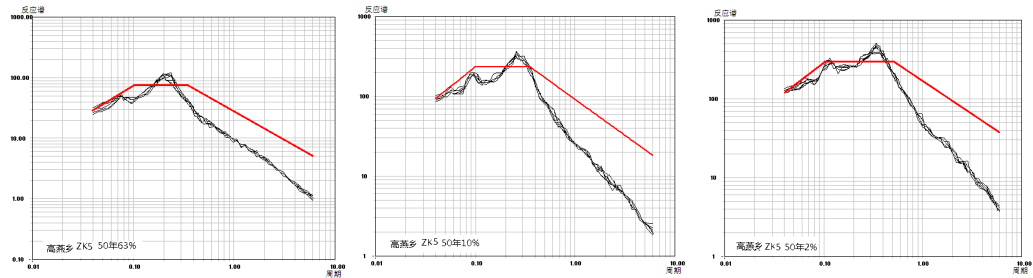


图 6. 3-10 控制点 10 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-11 控制点 10 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.40	83	2.5	0.21	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	125	2.5	0.32	0.9

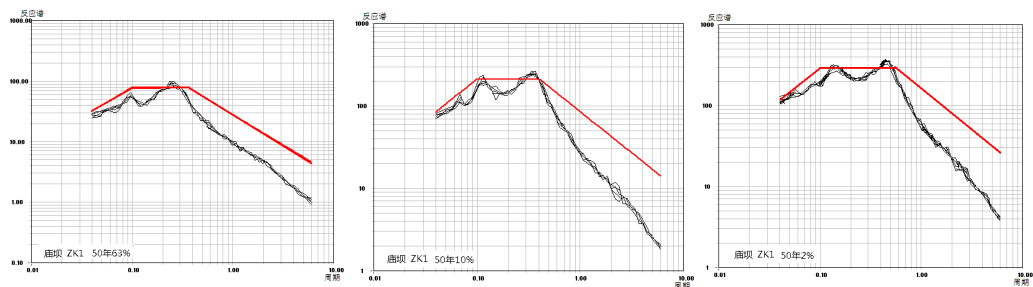


图 6.3-11 控制点 11 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6.3-12 控制点 11 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.35	28	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.40	81	2.5	0.21	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	125	2.5	0.32	0.9

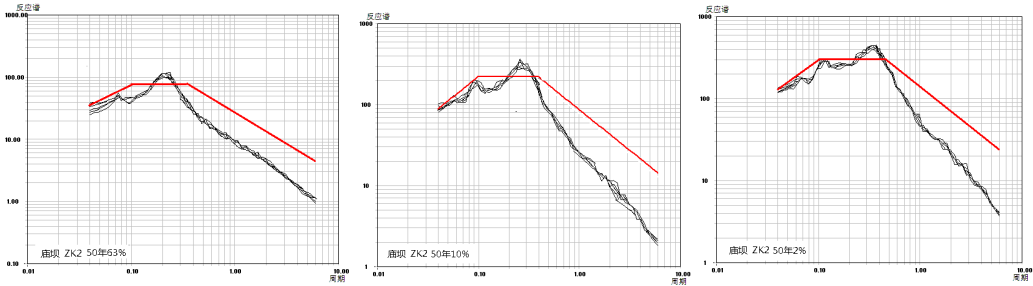


图 6.3-12 控制点 12 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6.3-13 控制点 12 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.35	28	2.5	0.07	0.9
50 年 10%	0.1	0.40	81	2.5	0.21	0.9
50 年 2%	0.1	0.45	125	2.5	0.32	0.9

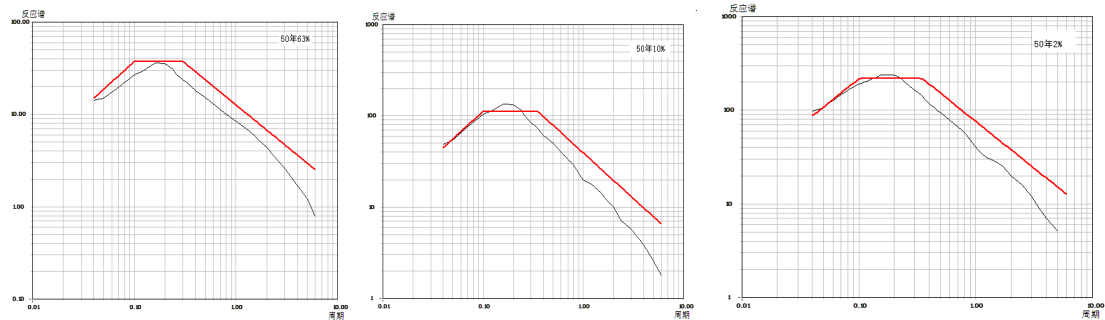


图 6.3-13 控制点 13 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-14 控制点 13 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9

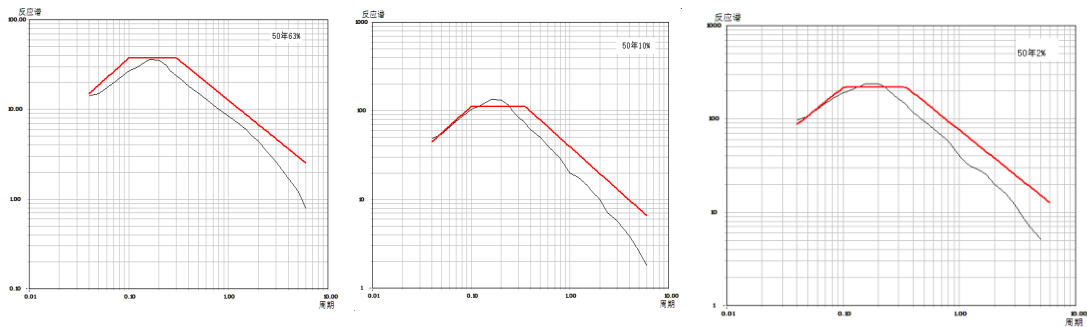


图 6. 3-14 控制点 14 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-15 控制点 14 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9

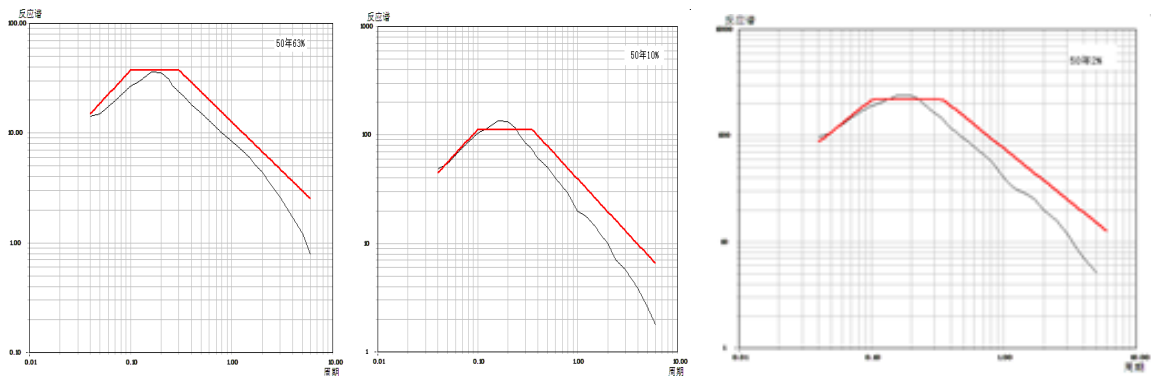
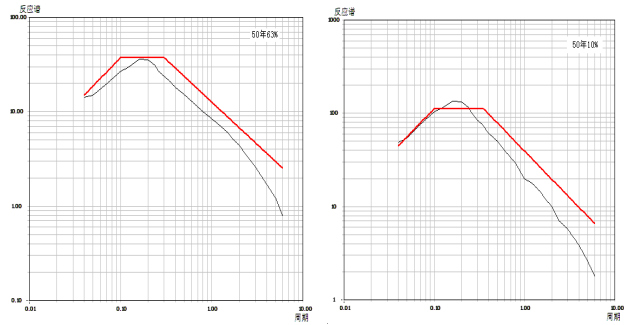


图 6. 3-15 控制点 15 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱

表 6. 3-16 控制点 15 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9



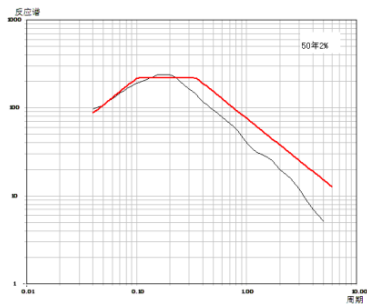


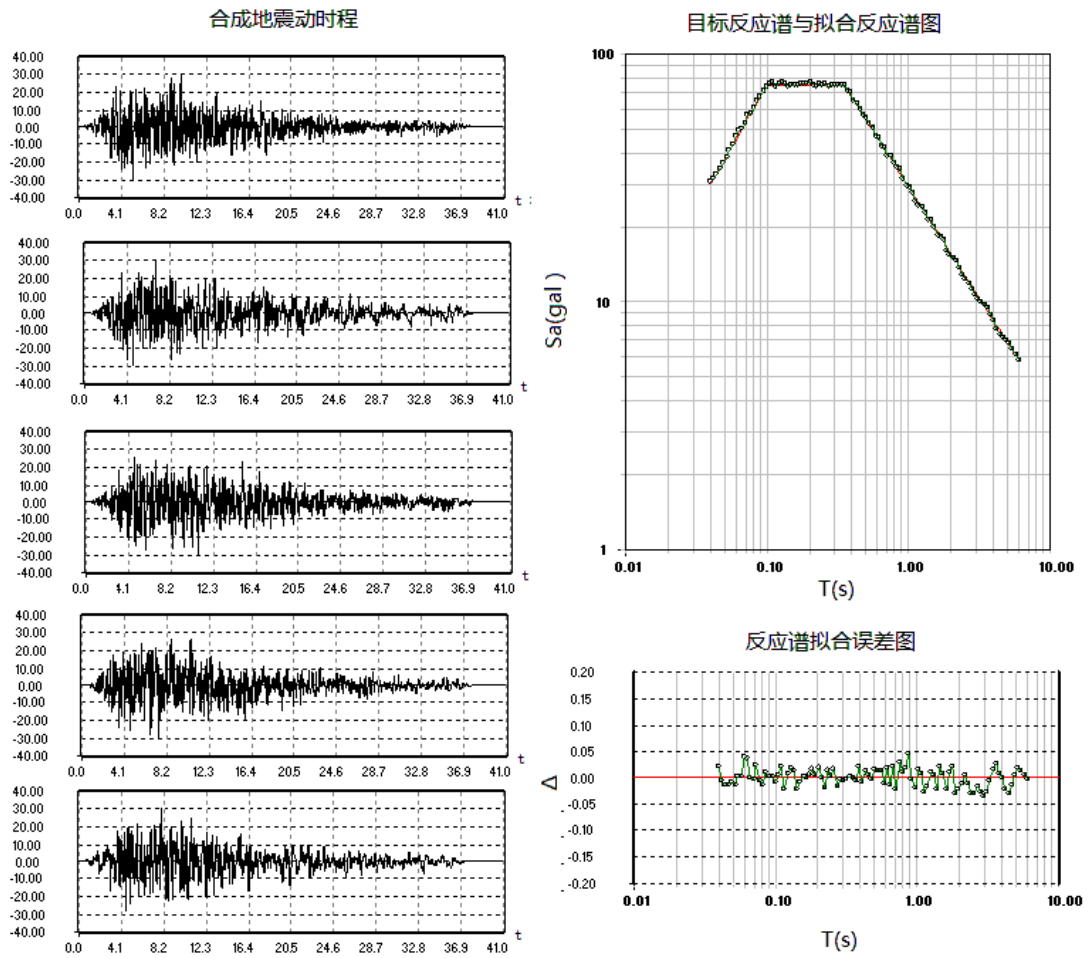
图 6.3-16 控制点 16 场地 50 年不同超越概率下的地表水平向反应谱及规准谱
表 6.3-17 控制点 16 场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9

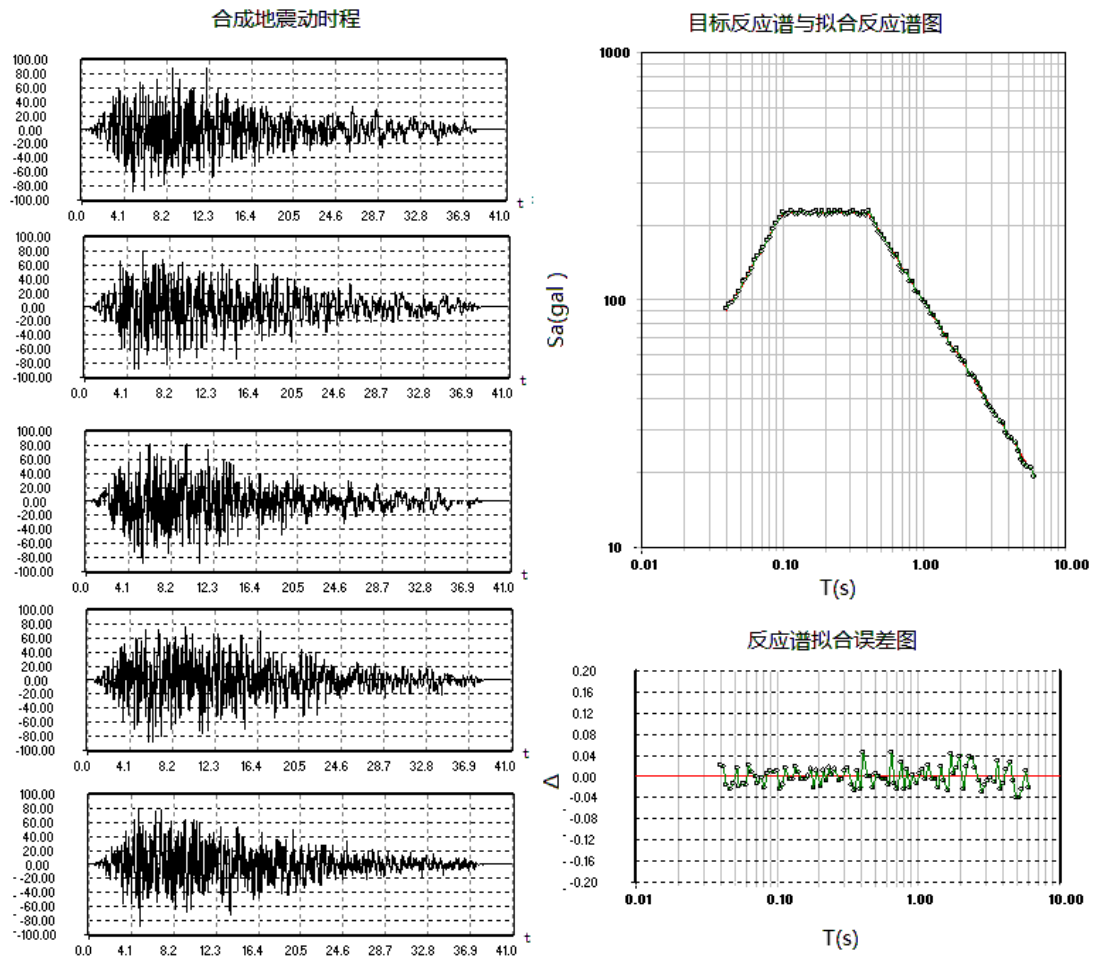
由于目标区面积较小，地块零碎，按行业惯例不再给出场地设计地震动参数等值线图，参数选取见 6.5 节使用说明。

6.4 设计地震动时程的合成

为满足工程场地抗震设计中采用时程法进行验算的需要，以水平向场地相关设计反应谱参数作为目标谱参数，以前述的合成基岩地震动时程的方法和同样的包络函数参数，根据《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)的要求，合成工程场地抗震设计所需的人工合成地震动时程。对于每种工况各合成 5 条不同随机相位的时程，以供设计验算使用，合成地震动的采样间隔为 0.02 秒。合成场地设计加速度时程和拟合精度图共 48 幅 336 条曲线，由于曲线较多，受篇幅所限，正式报告仅插入 3 幅 21 条曲线，其他以附件数据文件形式给出。



50 年超越概率 63%



50 年超越概率 10%

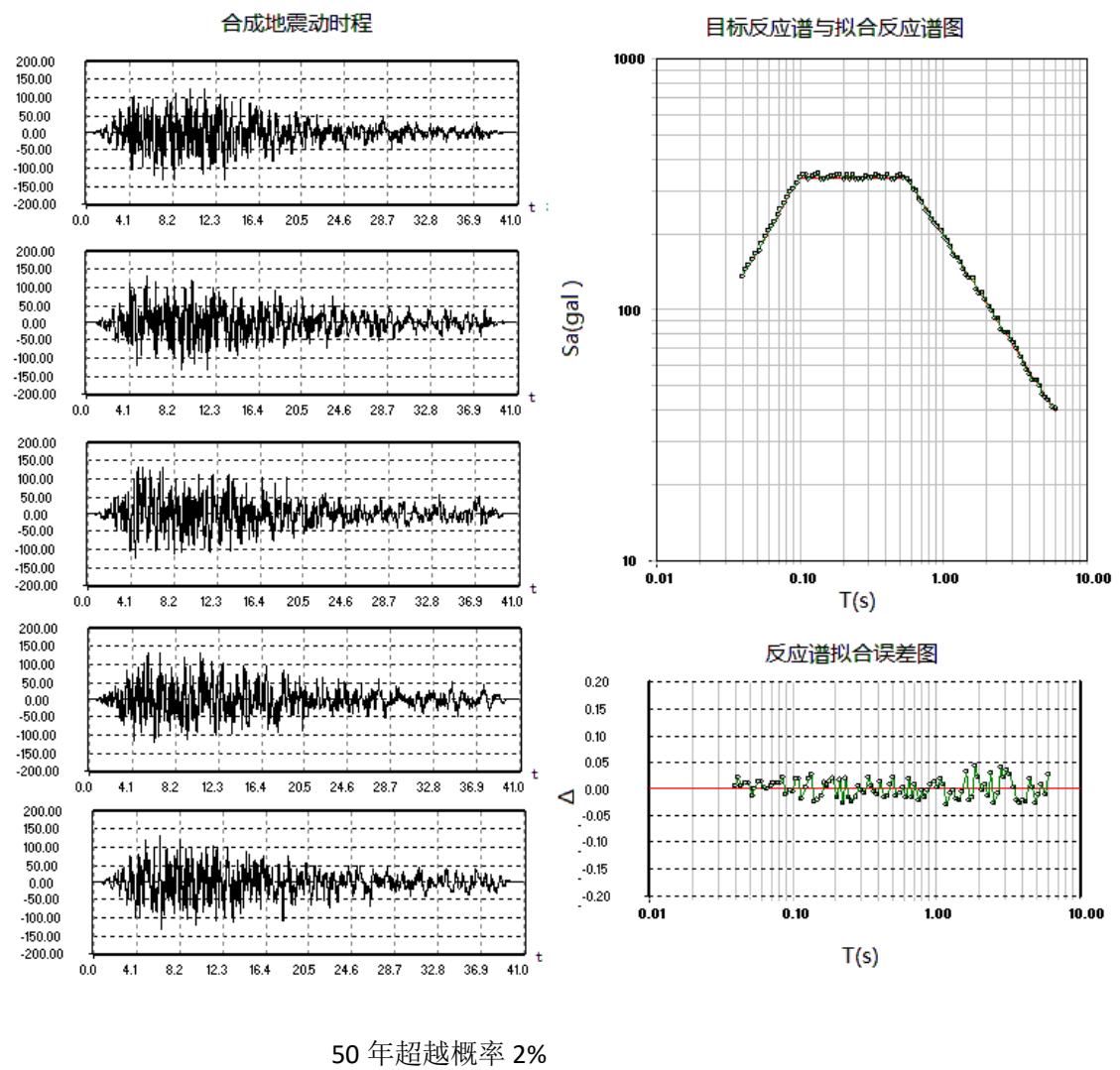


图 6.4-1 控制点 1 的 50 年不同超越概率的设计人工地震动时程曲线

6.5 使用说明

本章提供的地震动参数结果，综合反映了目标区附近一定范围内地震活动、地震地质环境和目标区局部场地条件对地震动的影响，因此，其具有较强的地区相关性，仅适用于目标范围内重大工程（特殊重大工程除外）的抗震设计，在选取参数进行抗震设计时应根据以下规则选取：

- 1、依据工程结构所需的概率水准，选择距离场点 700m 范围内的控制点结果综合确定场地地震动参数。其中场点距离控制点小于 200m 时，取该控制点地震动参数和国标五代区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数；场点距离控制点大于 200m 时，选择该场点周围 700m 范围内的多个控制点，取地震动参数大的控制点参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地

震动参数。

2、根据建筑场地类别选取评价结果；

3、根据建筑结构类型选取不同年限对应的不同超越概率水准的地震动参数；

4、根据建筑结构材料确定对应的阻尼比；如果阻尼比为 5%，可直接采用给出的结果；如果工程结构抗震设计中需要设计地震动的其它阻尼比加速度反应谱，可依据不同建筑结构的抗震规范中所给的地震影响系数的阻尼比调整规定，利用场地地震动 5%阻尼比加速度反应谱计算场地地震动的其它阻尼比加速度反应谱值。

5、如需竖向地震动参数，竖向地震动参数可取为对应概率水准的水平向地震动设计参数值的 $\frac{2}{3}$ 。

6、该结果不适用于核电、试验反应堆结构设施等特殊重大工程和超长自振周期建筑结构。

第七章 地震地质灾害初步评价

7.1 砂土液化

地震液化机理在于：当地震发生时，可液化土层在地震作用下，往复剪应变使孔隙水压力升高，颗粒间有效应力降低。当有效压力等于零的瞬间，土颗粒之间互不接触，处于悬浮状态，土体近似于液体，丧失强度，土体发生大量变形，使建筑物发生沉降并倾斜。

影响地震液化的因素众多且复杂，主要为：①土的颗粒组成、粘粒含量；②砂土、粉土的密实度；③土层埋深、饱和度、地下水水位；④地震动强度及持续时间。

当地基中存在可液化土层时，应按照国家标准《中国地震动参数区划图》反应谱特征周期分区有关规定和规范附录 B 判定地震时是否液化。

砂土地震液化的初步判别

根据《建筑工程抗震设计规范》，可液化土层符合下列条件之一时，可不考虑液化的影响，并不再进行液化判定：

- ① 地质年代属于上更新统及其以前年代时候的饱和砂土、粉土；
- ② 土中采用六偏磷酸钠作为分散剂的测定方法测得的黏粒含量百分比，当设防烈

度为 7 度时大于 10%；为 8 度时大于 13%；为 9 度时大于 16%；

③ $d_u > d_0 + d_b - 2$ 时，可不考虑液化，其中 d_u 为上覆土层， d_b 为基础埋深， d_0 为液化土特征深度，按下表计：

饱和土类别	7 度	8 度	9 度
粉土	6	7	8
砂土	7	8	9

根据目标区工程勘察资料，场地内表层主要为素填土，综合目标区地层岩性与地下水分布条件，本目标区内不具备发生砂土液化的基本前提，可无需考虑地震砂土液化的影响。

7.2 软土震陷

软土震陷是指在地震作用下软土层塑性区的扩大或强度的降低，从而使建筑物产生的附加下沉。软土主要由淤泥、淤泥质土、泥炭质土、有机质土或其它高压缩性土组成，软土能否发生震陷，与土层承载力标准值和平均剪切波速有关。

根据《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）第 5.7.11 款之相关规定：当地基土承载力特征值或剪切波速大于下表所列数值时，可不考虑软土震陷所造成的影响。

设防烈度	7	8	9
承载力特征值	>80	>100	>120
剪切波速	>90	>140	>200

根据本项目场地工程地震勘查及钻孔波速测试结果可知，场地平均剪切波速均大于 90m/s 小于 140m/s，因此，本目标区场地在 50 年 10%的超越概率水准下，地震动峰值对应烈度为 6 度，无需考虑软土震陷问题；在 50 年 2%概率水准条件下，地震动峰值对应烈度为 7 度，由于剪切波速值均大于 90，发生软土震陷的可能性不大。

7.3 崩塌、滑坡、泥石流

目标区内地表多为素填土，钻探揭示土层最大厚度接近 15m。为定量描述目标区发生地震滑坡的可能性，本次报告主要根据斜坡坡度危险度分级因子、地震峰值加速度危害度分级因子、Sr 岩土体危险性分级因子、地震滑坡危险性指数 H 来对目标区及其附近可能受到影响的地震地质灾害进行评价：

$$H=Sa \times Sp \times Sr$$

Sa—斜坡坡度危险度分级因子；

Sp—地震峰值加速度危险度分级因子；

Sr—斜坡坡度危险度分级因子；

斜坡坡度危险因子 S_a

滑坡坡度 (°)	≤ 20	21~40	>40
程度	低	中等	高
S_a	1	2	3

地震峰值加速度危害度分级因子

峰值加速度 (g)	<0.04	0.04~0.18	≥ 0.19
对应烈度	$\leq V$	VI~VII	$\geq VIII$
程度	低	中等	高
S_p	1	2	3

岩土体危险度分级因子 S_r 取值为 2

岩土体性状 (R)	程度	S_r
岩石坚硬, 节理不发育, 结构完整, 弱风化; 或组成斜坡的地层倾向与坡向相反。	低	1
岩石较破碎, 节理发育, 结构不完整, 中风化; 或组成斜坡的地层倾向与坡向斜交。	中等	2
岩石较极破碎, 节理密集发育, 结构不完整, 强风化; 或组成斜坡的地层倾向与坡向大致相同, 并存在软弱地层。	高	3

坡体地震崩塌滑坡危险度分级

危险程度	低	中等	高
危险指数 (H)	1-4	6-12	18-27

由于目标区大多数坡度在 35 度左右, S_a 取 2; 峰值加速度小于 0.04g, S_p 取 1, 0.04g~0.18g 时, S_p 取 2, 大于等于 0.19g 时, S_p 取 3; 岩土体 S_r 取 2。

在 50 年 10%和 2%的情况下, 目标区峰值加速度为 0.04~0.18g, S_p 取 2, $H=2 \times 2 \times 2=8$, 发生滑坡的可能性为中等; 目标区均有发生滑坡的可能性, 需要进行提前防治处理。

同时城口地区由于山高谷深, 用地条件较为恶劣, 为了选择较为平坦的地块, 城口工业园分为三块, 且相距几十公里。在三个区块内, 边坡主要为切向坡, 区内无致灾地质体, 破坏地质环境的人类工程活动不强烈, 地表水对规划项目影响小, 受地形地貌影响, 区内地质环境条件较简单, 但区内地形坡度较大, 对人类工程活动敏感, 易形成开挖边坡, 开挖后易发生边坡失稳, 发生地质灾害的可能

性中等，危险性中等。

在此情况下，建（构）筑物的布局应减轻引发因素对地质灾害发生可能性的影响并兼顾地质灾害防治，一般不宜规划导致高切坡、深填方项目，开挖坡角不得大于岩层倾角，以免发生顺层滑动。同时任河沿岸一带，受河水位影响，该区规划项目时，不宜规划不具防洪功能项目，同时应作好河岸防护工作。

7.4 地震断裂活动影响

基于本报告近场区构造环境评价结果及目标区野外地质调查、钻探等资料，目标区不存在晚更新世以来的活动断裂，因此，本项目工程抗震设防可不考虑断裂错动直接导致的地表地质灾害影响。

7.5 地质灾害初步评价

庙坝组团

属低山地貌，规划区处于“U”形谷谷底，地势总体平缓（见 7.5-2、7.5-3，总体地形坡角 $2\sim 8^\circ$ ），沿河主要为冲积物堆积形成，地势平缓。规划区周边为“U”形谷两侧斜坡地形，斜坡坡角 $25\sim 35^\circ$ ，最大达到 50° ，多为基岩出露。区内地形最高点位于规划区南东角公路旁，高程为 791.98m，区内地形最低点位于规划区北西侧罗江河边，高程为 666.44m，相对高差最大为 125.54m。规划区地形简单，地貌单一。

规划区位于大地构造属扬子准地台与秦岭地槽两大构造单元接合部位的扬子准地台北侧庙坝～桐油坝冲断复背斜南东翼（见 7.5-4 构造纲要图），呈一单斜构造，岩层倾向 $54^\circ\sim 62^\circ$ ，倾角 $61^\circ\sim 67^\circ$ ，受区域构造的影响，主要发育两组裂隙：I 组裂隙 $134^\circ\sim 140^\circ\angle 76^\circ\sim 80^\circ$ ，裂面平直，宽 1mm～2mm，无充填物，间距 1.30m～2.60m，延伸长 0.60m～1.00m；II 组裂隙 $205^\circ\sim 215^\circ\angle 80^\circ\sim 85^\circ$ ，裂面平直，宽 1mm～3mm，间距 1.00m～2.10m，延伸长 0.90m～1.90m。

规划区内未发现断层及次级褶曲，规划区地质构造简单。



图 7.5-1 罗江河



图 7.5-2 规划区局部地貌



图 7.5-3 规划区内局部地貌

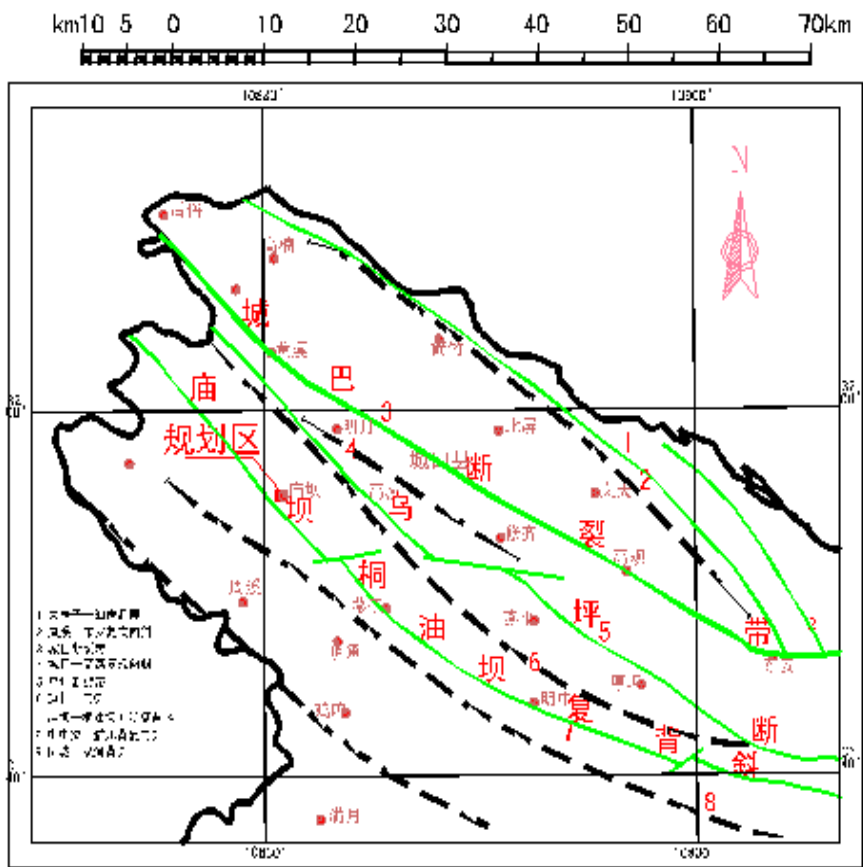


图 7.5-4 构造纲要图

据调查，区内未见滑坡、危岩塌陷、泥石流、地面塌陷等不良地质现象，区内建（构）筑物（房屋、公路、边坡等）无任何变形现象，现状稳定，调查区不良地质现象不发育。

塌岸问题：调查区沟河两侧及河漫滩地带的冲洪积层卵石土，其坡角较平缓（ $2^{\circ}\sim 8^{\circ}$ ），土层厚 1.00~4.00m，较陡处多为基岩出露，且河堤多已采用挡墙进行支护，据现场调查区内未发现塌岸现象，故调查区不存在塌岸问题。

故调查区不良地质现象不发育。

规划区内总体地形坡角 $2^{\circ}\sim 8^{\circ}$ ，区内破坏地质环境的人类工程活动主要为修建公路及以前修建民房时形成的挖填方边坡。根据调查修建公路及民房时形成挖填方边坡一般 1.00~3.00m。根据现场调查均未发现开裂变形迹象，目前都处于稳定状态，因此该规划区破坏地质环境的人类工程活动不强烈。

规划区总体地形坡角 $2^{\circ}\sim 8^{\circ}$ ，土层厚 1.00-4.00m，岩土界面倾角 $1^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，岩体结构为层状，地貌单一，地质构造简单、岩土性差异小、水文地质条件简单，不良地质现象不发育，破坏地质环境的人类工程活动不强烈，故规划区内地质环境条件简单。

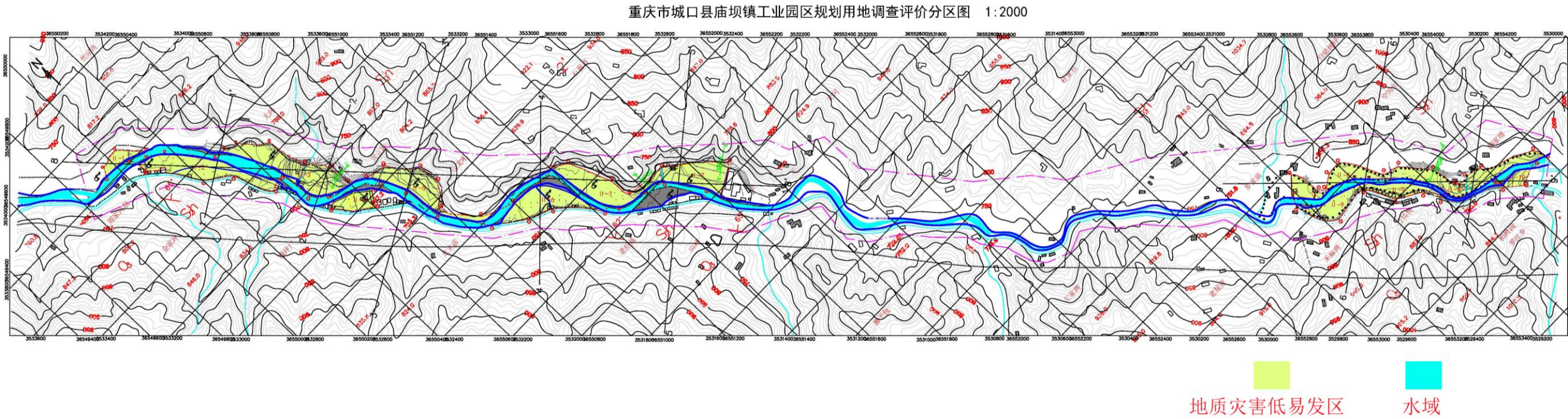


图 7.5-5 庙坝地质灾害分区图

巴山组团:

地处重庆市城口县巴山镇，构造剥蚀低山河谷地貌。评估区整体地形呈北东侧较高，南西侧较低，东侧为斜坡地貌，地势较高，西侧为河谷阶地地貌，位于一级阶地上，地势较低，整体高程一般在 540.11~651.52m 之间。最高点位于评估区东侧山坡顶部，高程为 651.52m, 最低点位于南西侧任河谷地段，高程为 540.11m。整个场地相对高差一般 10~50m，最大相对高差 111.41m，西侧河谷阶地地段及城区一带较平坦，地形坡角多在 5~10° 之间，斜坡地段坡角多在 35~50° 之间，局部斜坡地段较陡，坡角达 70°。评估区主要发育有 5 段岩质陡坡(DP1、DP2、DP3、DP4、DP5)，坡高 15~38m，坡角 60~75°，其中 DP 段陡坡较高，高度为 8~38m，其大于 30m 段陡坡(DP2)影响面约 3500m²，积占规划用的 1.04%<10%。构造剥蚀低山河谷地貌。

同时巴山组团构造上处于城口—高燕复式向斜北东翼，城巴断裂北东侧（见图 2-2），城巴断裂距评估区约 4km，受断裂构造影响，区内岩层倾角较陡，评估区岩层产状 228° ∠65~72°。根据调查表明，岩体主要发育三组裂隙：①315° ∠78°，裂隙面较平整，多呈闭合状，间距 0.5~1.0m，延伸长度 2.0~3.5m；②137° ∠60°，裂面平整，局部略有起伏，贯通较好，间距 0.5~2.2m，延伸长度 1.5~4.0m；③278° ∠58°，裂隙面较平整，多呈闭合状，间距 0.5~1.0m，延伸长度 1.0~2.5m，评估区内未见断层、破碎带通过。综上，地质构造较复杂。

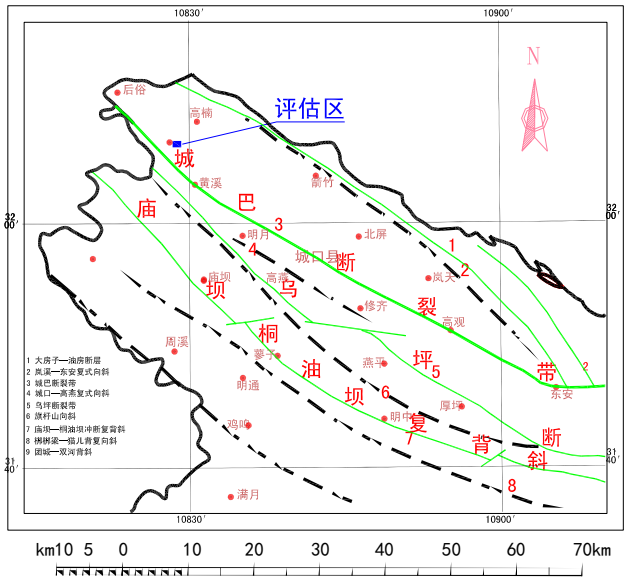


图 7.5-6 巴山构造纲要图

巴山组团内受顺向临空结构面及地形地貌控制，目前破坏地质环境的人类工程活动较强烈，区内地质环境条件较复杂，发生地质灾害的可能性大区域占规划区面积比例为 4.56%，小于 10%；发生地质灾害可能性中等区面积比例为 26.89%，小于 30%。综上，评估区地质灾害危险性小。

在地质灾害危险性小区规划时，建（筑）物的布局应避免引发地质灾害。在地质灾害危险性小区进行规划时，区内主要为人工岩质边坡，建议在规划建设时应避免规划可能导致边坡失稳及受边坡影响的建设项目，并作好边坡稳定性监测工作，建议在规划时应避免高切坡。

在地质灾害危险性中等区规划时，建（构）筑物的布局应减轻引发因素对地质灾害发生可能性的影响并兼顾地质灾害防治，一般不宜规划导致高切坡、深填方项目，开挖坡角不得大于岩层倾角，以免发生顺层滑动。在任河沿岸一带建设时，受河水位影响，不宜规划不具防洪功能项目，同时应作好河岸防护工作。

地质灾害危险性大区一般不宜规划项目，确实需规划时，应同时进行地质灾害防治规划或规划具有地质灾害防治功能的建设项目，并应作好相应的防护措施。

高燕组团：

该组团为低山河谷地貌，为一级阶地分布区，地形平缓，总体地形坡角为 3~5°。阶地整体沿平坝河呈直线分布，沿河流长约 750m，宽约 110~180m，高程为 610~620m，主要物质为第四系残坡积层和冲洪积层。区内以旱地、水田和居住区及厂区为主，评估区最高点位于评估区东侧公路，高程 625.72m；最低点位于评估区西侧，高程 610.48m，相对高差约 15.24m。



图 7.5-7 高燕地貌

评估区位于城口—高燕复式向斜北东翼。经野外调查，评估区未见基岩出露，根据评估区周边出露的基岩调查，评估区岩层产状为 $199^{\circ} \angle 76^{\circ}$ ，主要发育两组构造裂隙：①产状 $274^{\circ} \angle 81^{\circ}$ ，裂隙面较平直，局部微张，宽约 $0.5 \sim 1\text{cm}$ ，泥质填充，延伸长度 $1 \sim 2.5\text{m}$ ，间距 $0.5 \sim 1\text{m}$ 。②产状 $78^{\circ} \angle 37^{\circ}$ ，裂隙面欠粗糙，闭合状，延伸长度 $1 \sim 2\text{m}$ ，间距 $0.3 \sim 0.5\text{m}$ 。

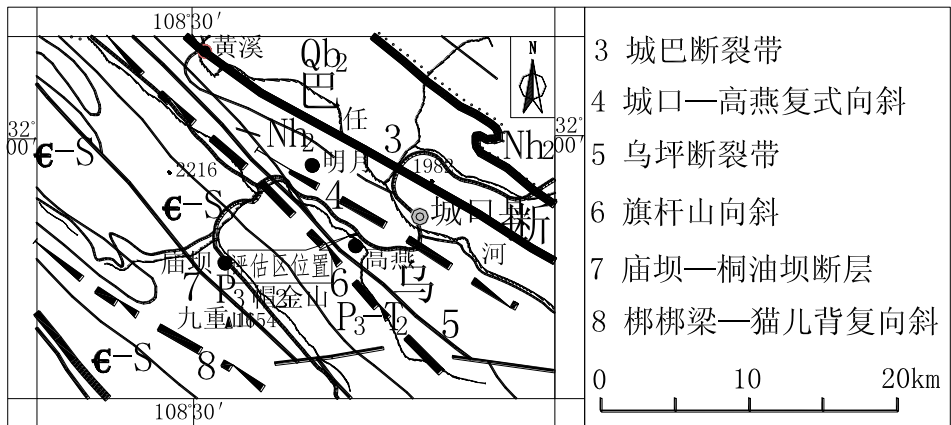


图 7.5-8 高燕构造纲要图

高燕组团位于一级阶地区，地形平坦，地形坡角一般 $3 \sim 5^{\circ}$ ，无自然陡坡。区内土层为人工填土层、残坡积层和冲洪积层组成，厚约 $5 \sim 8\text{m}$ ，下覆基岩为薄层状页岩，岩层发育两组裂隙。由于土层较厚，区内未见基岩出露，岩层对规划区影响较小，故岩层厚度和裂隙发育程度为简单。贯通性结构面主要为土岩界面，倾角约 $1 \sim 5^{\circ}$ 。区内地表水简单，对岩土体的影响小，地下水含量丰富，对岩土体的影响中等。整个评估区无不良地质现象。

高燕组团，地质环境条件简单。依据收集资料及现场调查分析，将规划区划分为地质灾害危险性小区，即地质环境条件简单，发生地质灾害的可能性小，危险性小。建议：

进行规划时，建（构）筑物的布局应避免引发地质灾害，建设项目应具备防洪功能，砂卵石层地下水丰富，易发生基坑涌水和边坡垮塌。

规划时注意对防洪堤进行维护。

结 论

本项目工作所获得的主要结论如下：

一. 地震活动环境

(1) 区域主要位于长江中游地震带内，目标区内自有地震史料记载以来，目标区所在区域内记录到 $M \geq 4.7$ 级的破坏性地震 13 次，其中 6.0-6.9 级地震 1 次，5.0-5.9 级地震 11 次，4.7-4.9 级地震 1 次。记录到现代小震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$, 1970 年~2021 年 3 月) 645 次。区域有记载的最大地震是 788 年 3 月 12 日湖北竹溪 $6\frac{1}{2}$ 级地震。区域破坏性地震空间分布不均匀， $M \geq 4.7$ 级地震集中分布在目标区北部的陕西安康、汉中附近地区以及湖北竹溪地区，区域所涉及的重庆地区无 $M \geq 4.7$ 级地震分布。1970 年以来仪器记录的中小地震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 集中分布在重庆巫溪以及巫山一带。没有发生过大于 7 级的地震，地震活动属中强水平。在时间轴上存在相对集中的活动时段，近百年来仅有 1 次 5 级地震活动。陕南秦岭大巴山地区的 5.5 级左右集中分布在 1568-1679 年前后。

(2) 目标区范围内强震震源深度的优势分布层位是有明显差异的，99.9% 具有震源深度资料的 $M \geq 4.7$ 级地震都分布在地下 30km 范围内，属于浅源地震。

(3) 目标区域位于长江中游地震带内，地震活动处于活跃期后期，未来活动水平将保持近百年来活跃水平，仍可能有中强地震发生。

(4) 近场区范围内 1970 年以来共记录 $M \geq 1.0$ 级地震 42 次，其中 1.0~1.9 级地震 14 次，2.0~2.9 级地震 21 次，3.0~3.9 级地震 7 次。近场区内最大地震和距离场地最近的地震为 2016 年 7 月 31 日发生在修齐区的 3.6 级地震。近场区以小地震活动为主，空间上主要分布在目标区的东侧。

(5) 历史地震对场区的最大影响烈度为 V 度，共有 6 次，最近 1 次是 2008 年汶川 8.0 级地震的影响。

(6) 本区域基本处于以北西西-近东西向水平主压应力与北北东-南南西向有一定倾角的主张应力为主的现代构造应力场中。在这样的应力场中，易于发生逆断层或逆兼走滑型断层活动。本区 NE 向的断层易发生逆兼右旋走滑运动，NNE 向隔挡式背斜断裂带易发生逆冲断裂活动，近南北向的隔挡式背斜断裂易发生逆兼左旋走滑运动。

二. 地震地质构造环境

(1) 区域主要涉及秦岭褶皱带及扬子地台, 目标区则位于扬子地台内。秦岭褶皱隆起地质历史上虽经多期构造活动, 第四纪特别是中更新世以来秦岭山地以大范围整体性抬升为主, 除过几个断陷盆地外其余地段的第四纪沉积普遍较薄, 基本以侵蚀与剥蚀为主。

(2) 目标区在区域范围主要涉及的 15 条区域性断裂, 由北东向、近东西向和北西向组成, 这三组走向断裂相比之下, 以北西向断裂的新活动性最强, 这组断裂主要分布在区域北侧, 控制着北侧的断陷盆地, 是现代断块垂直差异运动幅度最大的地方, 也是区域内断裂活动性较强和发生中强地震的地方。区域南侧扬子准地台内的断裂以基底断裂为主, 活动性较区域北侧断裂弱。

(3) 根据前述区域新构造、第四纪活动构造、深部地球物理场及其与强震活动关系的分析, 结合工作区的实际情况, 我们将本区的强震分为 $M=6.0\sim 6.9$ 级和 $M=5.0\sim 5.9$ 级两档, 分别讨论它们的发生条件。

a. $M=6.0\sim 6.9$ 级地震的发生条件

$6.9\geq M\geq 6.0$ 级地震: 发生在盆地中两组具有新活动的断裂带交汇地区; 差异运动明显和晚更新世活动断裂活动强的部位; 历史上有过中、强地震发生和现今弱震活动密集的地方。

b. $M=5.0\sim 5.9$ 级地震的发生条件

$5.9\geq M\geq 5.0$ 级地震: 多发生南部扬子准地台内的基底断裂附近和区域北侧的断陷盆地与断裂交接的地区。

(4) 近场区主要位于大巴山推覆构造带内, 新构造运动以间歇性抬升为主, 近场区内主要包括 7 条断层, 都是早中更新世断层, 未发生过 4.5 级以上地震。综合以上特点可以判断近场区构造活动性弱。

三. 地震危险性分析结果

所属片区名称	控制点	经度	纬度	50 年超越概率		
				63%	10%	2%
巴山	1(巴山 ZK1)	108.4672	32.1066	13.4	45.2	86.1
	2(巴山 ZK2)	108.4700	32.1058	13.4	45.2	86.1
	3(巴山 ZK3)	108.4745	32.1081	13.4	45.2	86.1
	4(巴山 ZK4)	108.4741	32.1121	13.5	45.3	86.1

	5(巴山 ZK5)	108.4705	32.1119	13.4	45.3	86.1
高燕	6(高燕 ZK1)	108.6204	31.9466	13.2	45.0	85.9
	7(高燕 ZK2)	108.6175	31.9332	13.2	45.1	85.9
	8(高燕 ZK3)	108.6155	31.9509	13.2	45.1	85.9
	9(高燕 ZK4)	108.6122	31.9408	13.2	45.1	85.9
	10(高燕 ZK5)	108.6160	31.9376	13.2	45.1	85.9
庙坝	11(庙坝 ZK1)	108.5361	31.9215	13.1	45.0	85.9
	12(庙坝 ZK2)	108.5445	31.9117	13.2	45.0	85.9
	13(庙坝 ZK3)	108.5728	31.9176	13.3	45.1	85.9
	14(庙坝 ZK4)	108.5410	31.9165	13.2	45.0	85.9
	15(庙坝 ZK5)	108.5502	31.9081	13.2	45.1	85.9
	16(庙坝 ZK6)	108.5673	31.8908	13.3	45.1	85.9

四. 工程地震条件和地震地质灾害

根据等效剪切波速计算结果, 结合场地第四系覆盖层的分布, 除巴山组团局部、庙坝组团局部为 I_1 类工程场地外, 其余均为 II 类。

目标区内不具备发生砂土液化的基本前提, 可无需考虑地震砂土液化的影响。

根据本项目场地工程地震勘查及钻孔波速测试结果可知, 场地平均剪切波速均大于 90m/s 小于 140m/s, 因此, 本目标区场地在 50 年 10% 的超越概率水准下, 地震动峰值对应烈度为 6 度, 无需考虑软土震陷问题; 在 50 年 2% 概率水准条件下, 地震动峰值对应烈度为 7 度, 由于剪切波速值均大于 90, 发生软土震陷的可能性不大。

在 50 年 10% 和 2% 的情况下, 目标区均有发生滑坡的可能性, 需要进行提前防治处理。

同时城口地区由于山高谷深, 用地条件较为恶劣, 为了选择较为平坦的地块, 城口工业园分为三块, 且相距几十公里。在三个区块内, 边坡主要为切向坡, 区内无致灾地质体, 破坏地质环境的人类工程活动不强烈, 地表水对规划项目影响小, 受地形地貌影响, 区内地质环境条件较简单, 但区内地形坡度较大, 对人类工程活动敏感, 易形成开挖边坡, 开挖后易发生边坡失稳, 发生地质灾害的可能性中等, 危险性中等。

在此情况下, 建(构)筑物的布局应减轻引发因素对地质灾害发生可能性的影响并兼顾地质灾害防治, 一般不宜规划导致高切坡、深填方项目, 开挖坡角不得大于岩层倾角, 以免发生顺层滑动。同时任河沿岸一带, 受河水位影响, 该区

规划项目时，不宜规划不具防洪功能项目，同时应作好河岸防护工作。

五. 场地设计地震动参数

巴山：

控制点 1	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.40	79	2.5	0.20	0.9
	50 年 2%	0.1	0.55	118	2.5	0.30	0.9
控制点 2	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.50	78	2.5	0.20	0.9
	50 年 2%	0.1	0.55	110	2.5	0.28	0.9
控制点 3	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.45	80	2.5	0.20	0.9
	50 年 2%	0.1	0.50	109	2.5	0.28	0.9
控制点 4	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.40	28	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.50	80	2.5	0.20	0.9
	50 年 2%	0.1	0.55	118	2.5	0.30	0.9
控制点 5	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
	50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
	50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9

高燕：

控制点 6	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.40	82	2.5	0.21	0.9
	50 年 2%	0.1	0.55	122	2.5	0.31	0.9
控制点 7	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.40	83	2.5	0.21	0.9
	50 年 2%	0.1	0.50	125	2.5	0.32	0.9
控制点 8	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c

	50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.35	83	2.5	0.21	0.9
	50 年 2%	0.1	0.50	125	2.5	0.32	0.9
控制点 9	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.35	83	2.5	0.21	0.9
	50 年 2%	0.1	0.50	125	2.5	0.32	0.9
控制点 10	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.35	29	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.40	83	2.5	0.21	0.9
	50 年 2%	0.1	0.55	125	2.5	0.32	0.9

庙坝:

控制点 11	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.35	28	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.40	81	2.5	0.21	0.9
	50 年 2%	0.1	0.55	125	2.5	0.32	0.9
控制点 12	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.35	28	2.5	0.07	0.9
	50 年 10%	0.1	0.40	81	2.5	0.21	0.9
	50 年 2%	0.1	0.45	125	2.5	0.32	0.9
控制点 13	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
	50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
	50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9
控制点 14	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
	50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
	50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9
控制点 15	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9
	50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
	50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9
控制点 16	超越概率	$t_0(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
	50 年 63%	0.1	0.30	18	2.5	0.05	0.9

	50 年 10%	0.1	0.35	45	2.5	0.11	0.9
	50 年 2%	0.1	0.35	86	2.5	0.22	0.9

（正文完）

参 考 文 献

1. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会发布, 2005, 中华人民共和国国家标准《工程场地地震安全性评价》(GB17741—2005)
2. 国家地震局震害防御司, 1995, 中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年), 地震出版社
3. 国家地震局科技发展司, 1999, 中国近代地震目录($MS \geq 4\frac{3}{4}$, 公元 1912—1990 年), 中国科学技术出版社
4. 马杏垣主编, 1989, 中国岩石圈动力学图集, 中国地图出版社
5. 陈学波等, 1988, 龙门山构造带两侧地壳速度结构特征(中国大陆学部构造的研究与进展), 地质出版社。
6. 郭正吾等, 1982, 上扬子地区深部地质结构及其对盆地演化的控制意义, 四川地质学报, vol. 9, No. 2
7. 余国政, 1993, 川东南拗陷带中强地震活动分期及类型特征, 重庆江北地震学术讨论会文集, 地震出版社
8. 李克昌等, 1999, 重庆市地震活动基本特征, 城市防震减灾, No. 2
9. 李勇、曾允孚、伊海生, 1995, 龙门山前陆盆地沉积及构造演化, 成都科技出版社
10. 潘桂棠、王培生、徐耀荣等, 1990, 青藏高原新生代构造演化, 地质出版社
11. 唐荣昌、韩渭宾主编, 1993, 四川活动断裂与地震, 地震出版社
12. 钱洪等, 1992, 四川盆地地震地质基本特征, 四川地震, No. 3
13. 丁仁杰等, 2004, 重庆地震研究, 地震出版社
14. 刘兴诗, 1983, 四川盆地的第四系, 四川科学技术出版社
15. 陈智梁、沈凤、刘家平等, 1998, 青藏高原东部地壳运动的 GPS 测量, 中国科学, 5: 32-35
16. 中国地震局地球物理研究所, 2004, 重庆核电预可研阶段地震安全性评价报告
17. 中国地震灾害防御中心, 2009, 天府大道一期工程场地地震安全性评价报告
18. 中国地震灾害防御中心, 2008, 中国石油四川石化工程场地地震安全性评价复核报告
19. 中国地震灾害防御中心, 2011, 重庆市都市区活断层探测与地震危险性评价工程技术报告

-
20. 中国地震灾害防御中心, 2012, 重庆天和国际中心工程场地地震安全性评价报告
 21. 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)。
 22. 高孟潭、陈国星等, 2008 年 6 月, 《四川、甘肃、陕西部分地区地震动参数区划图》编制, 国际地震动态
 23. 汪素云, 2001, 国家地震局“九五”重点项目子专题成果报告: 中国分区地震动衰减关系的确定
 28. 胡聿贤等, 1989, 缺乏强震观测资料地区地震动参数的估算方法, 《地震小区划—理论与实践》, 地震出版社