

石柱土家族自治县工业园区区域地震安全性评价报告



重庆华地资环科技有限公司

二〇二〇年九月

石柱土家族自治县工业园区区域地震安全性评价报告

项目负责人：	彭海游	高级
项目技术负责人：	陈柏林	高级
报告编写人：	郭琪	地震地质条件勘测 高级
	康治勇	地震构造、地震活 动性评价 中级
	彭海游	查询系统编写 高级
	杨文君	设计地震动参数确 定 中级
部门负责人：	陈柏林	高级
法定代表人：	王伟	

重庆华地资环科技有限公司

二〇二〇年九月



照執業營本(副)

统一社会信用代码

9 15001037094724430

卷之三



名 称 重庆华地资源科技有限公司

刑 事 责 任 公 司 (法 人 犯 罪)

法定代表人 王伟

重庆市渝中区太坪长江二路177-9号 所在地

卷之三

11

2020年01月10日

卷之三

重庆市政府采购合同

项目号: 19C0084

合同编号:

甲方(需方): 石柱土家族自治县工业园区管理委员会

计价单位: 元

乙方(供方): 重庆华地资环科技有限公司

计量单位: 项

经双方协商一致, 达成以下购销合同:

商品名称	数量	合同价格	交货时间	交货地点	备注
石柱土家族自治县工业园区区域地震安全性评价	1 项	188160.00	90 日历天	甲方指定地点	本项目为 交钥匙工 程
合计人民币(大写): 壹拾捌万捌仟壹佰陆拾元整 (按政府采购询价通知书第二篇供应商须知第三款第(三)报价要求)					
一、服务内容					
(一) 对重庆市石柱土家族自治县工业园区 B、C 区面积约 4.91 平方公里范围进行区域地震安全性评价工作。具体内容包括但不限于: 地震构造环境、地震活动环境、场地勘测、地震危险性分析、场地地震反应分析与场地设计地震动参数的确定、地震地质灾害初步评价、基本结论、建立资料数据库和成果查询系统等。					
(二) 评价工作需按照《重庆市建设工程项目区域地震安全性评价工作技术指南(试行)》、《重庆市建设工程项目区域地震安全性评价工作实施细则(试行)》等要求执行, 评价报告需通过重庆市地震主管机构技术审查。					
二、随机备品、附件、工具数量及供应方法: 随机备品、附件、工具按厂家相关规定配备, 并由乙方送至甲方指定地点。					
三、服务地点: 石柱土家族自治县工业园区 B、C 区面积约 4.91 平方公里范围。					
四、验收标准、方法: 由乙方按国家有关规定, 提交经市地震主管部门技术审查通过。					
五、付款方式: 乙方向甲方提交经市地震主管部门技术审查通过的报告后, 乙方提供甲方增值税专用发票, 10 个工作日内甲方向乙方一次性支付合同金额。					
六、违约责任: 按《合同法》、《政府采购法》执行, 或按双方约定。					
(一) 因甲方提供的原始资料失实, 造成报告或方案返工或重大修改, 甲方须追加合同费用的 30%作为完善报告的费用。					
(二) 甲方未按合同规定支付乙方工程费用时, 乙方有权不将成果资料交甲方使用, 甲方自行承担由此造成的一切责任。					

合 同

重庆华地资环

合同

重庆华地资环

(三) 乙方未按合同规定日期提交成果资料或因乙方原因未经主管部门认可,由乙方承担其返工误时责任。

七、其他约定事项:

1. 询价通知书及其补遗文件、投标文件和承诺是本合同不可分割的部分。
2. 本合同如发生争议由双方协商解决,协商不成向需方所在人民法院提起诉讼。
3. 本合同一式陆份,需方叁份,供方叁份,具备同等法律效力。
4. 其他:甲方向乙方提供下列资料,并对资料的可靠性和真实性切实负责。
(1) 技术委托书。
(2) 工作区地形图。
(3) 项目概况。
(4) 开展本项目应由业主提供的其它资料。



甲方: 石柱土家族自治县工业园区管理委员会
地址: 石柱土家族自治县工业园区管理委员会

联系电话:

授权代表:

备注: 无

乙方: 重庆华地资环科技有限公司
地址: 重庆市渝中区大坪长江二路 177-9
号 合同专用章
电话: 023-81925782
传真: 023-81925784 9100029726
开户银行: 中国工商银行股份有限公司重庆财富广场支行
账号: 3100038719100029726

授权代表:

签约时间: 2020 年 4 月 1 日 签约地点:

目录

0 前言	1
0.1 项目简介	1
0.2 工作目标	3
0.3 工作依据	3
0.4 工作范围	4
0.5 技术路线	5
0.6 主要工作量	7
1 地震活动性评价	8
1.1 区域地震活动性	8
1.2 近场区地震活动及地震影响	16
1.3 历史地震对场地的影响	20
1.4 区域现代构造应力场	33
1.5 地震活动性综合评价	39
2 区域地震构造环境	41
2.1 区域大地构造环境	41
2.2 新构造运动特征	49
2.3 地球物理场与深部构造特征	53
2.4 区域主要断裂活动性分析	57
2.5 区域地震构造综合评价	73
3 近场区地震构造分析	81
3.1 近场区地形地貌	81
3.2 新构造运动特点	82
3.3 近场区地质构造分析	83
3.4 近场区主要断裂活动性分析	87
3.5 近场区地震构造综合评价	97
4 场地地震危险性概率分析	98
4.1 地震危险性概率分析方法概述	98
4.2 潜在震源区划分	100

4.3 地震活动性参数的确定.....	104
4.4 基岩峰值加速度和加速度反应谱衰减关系.....	107
4.5 地震危险性分析结果.....	111
5 场地地震工程地质条件及地质灾害评价.....	136
5.1. 场地工程地质条件调查.....	136
5.2 场地工程地质条件勘探.....	145
5.2 典型土动力学实验分析.....	164
5.3 剪切波速测试.....	167
5.4 目标区类别划分.....	170
5.5 高密度电阻率法勘察.....	173
5.5 地震地质灾害初步评价.....	180
6 场地设计地震动参数确定.....	185
6.1 基岩人工合成地震动时程.....	185
6.2 场地设计地震动参数的确定.....	191
6.3 目标区场地设计地震动参数划分和确定.....	206
6.4 场地设计地震动人工时程.....	210
6.5 使用说明.....	217
7 主要结论.....	219
8. 查询系统.....	223
8.1 查询系统简介.....	223
8.2 操作说明.....	223
参考文献.....	227

附件 1 现场调查照片集

附件 2 钻孔剪切波速报告

附件 3 土动三轴实验报告

0 前言

0.1 项目简介

重庆市石柱特色工业园区是 2006 年 1 月经市政府批准设立的特色工业园区。立足我县丰富的资源优势，工业园区重点培育绿色康养产品、医药及医疗服务、清洁能源、机械设备、电子信息等产业。石柱工业园规划包含建成园区（6.79 平方公里）、拓展区（2.23 平方公里）和远期规划区（D 区 2.87 平方公里）三部分（约 12 平方公里）。建成园区全包含 A（万安街道城南社区 1.89 平方公里）、B（下路街道金彭社区 1.73 平方公里）、C（下路街道金彭社区 3.17 平方公里）三个区域。A 区已纳入县城城区规划，根据县委政府的总体部署，按“成熟一块、搬迁一块”的原则，将逐步启动搬迁到 B、C 及拓展区等地，进行产业转移，B 区和 C 区总面积 4.91 平方公里，目标区域海拔高度在 460m~610m 之间，场地地形主要以丘陵为主，交通便利，区内修建有工业厂房，其场地概况见图 0-1。

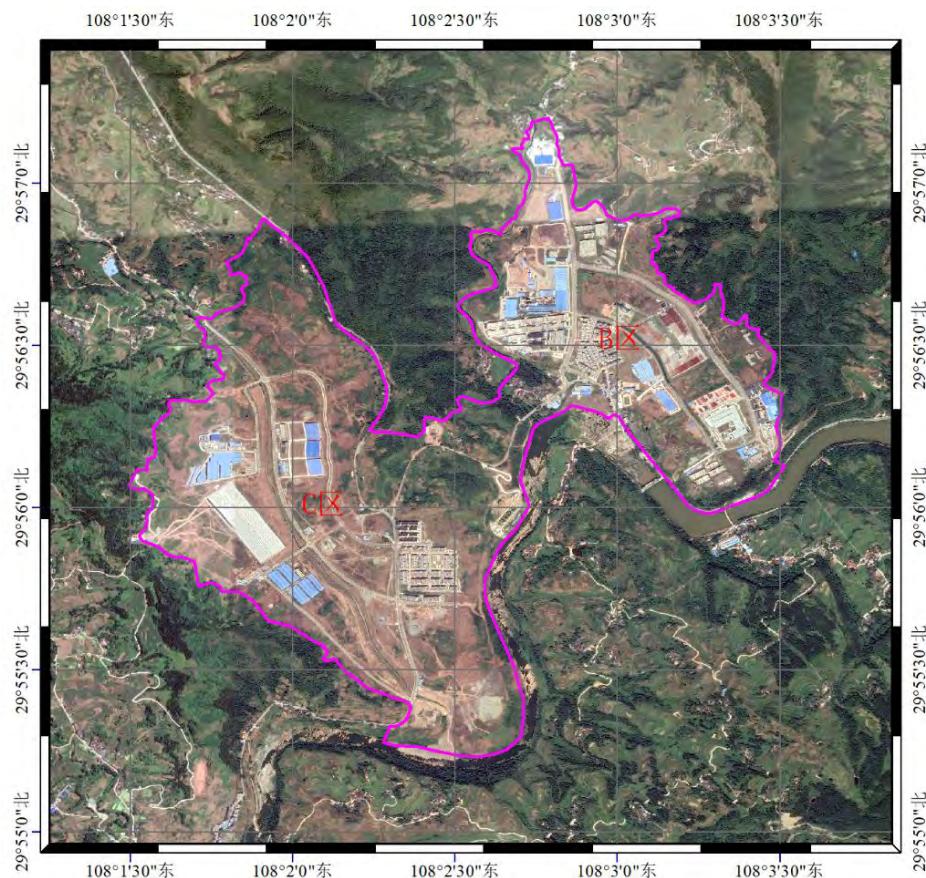


图 0-1 场地概况

本次区域地震安全性评价包含 B 区和 C 区，其中心点坐标为东经 108.047919°，北纬 29.934073°，目标区经纬度范围：东经 108.03727°~108.06366°，北纬 29.95099°~29.91774°，目标区位置示意图见图 0-2。



图 0-2 目标区位置图

受重庆市石柱土家族自治县工业园区管理委员会（甲方）委托，重庆华地资环科技有限公司（乙方）承担了重庆市石柱土家族自治县工业园 B、C 区区域地震安全性评价工作。根据《中华人民共和国防震减灾法》、中华人民共和国国家标准《目标区地震安全性评价（GB17741-2005）》和《重庆市建设项目区域性地震安全性评价工作指南（试行）》的相关要求，对重庆市石柱土家族自治县工业园 B、C 区进行区域地震安全性评价工作。

0.2 工作目标

本次地震安全性评价的目的是根据本工程所处的地震环境和场地土的工程地质特征，估计本目标区地表未来可能遭遇的地震动强度，以确定工程所需合理的设计地震动参数，并评价目标区在地震影响下可能出现的地震地质灾害。基本工作内容应包括区域和近场地震活动性评价、区域和近场地震构造评价、地震危险性的概率分析、场地设计地震动参数的确定、地震地质灾害评价等。

按照合同书要求，根据《重庆市区域性地震安全性评价工作指南（试行）》规定，综合归并重现期相同的超越概率水准，本次工作拟提供的设计地震动参数要求列于下表：

表 0-1 提供设计地震动参数表

设计地震动参数	地震动加速度峰值、地震动反应谱、人工时程
超越概率水平	50 年超越概率 63%、10%、2% 以及 100 年超越概率 63%、40%、10%、5%、3%、2%、1% 的参数

0.3 工作依据

- ① 《中华人民共和国防震减灾法》（主席令（十一届第七号））；
- ② 《地震安全性评价管理条例》（国务院令第 323 号）；
- ③ 《重庆市地震安全性评价管理规定》（重庆人民政府令第 283 号）；
- ④ 《重庆市防震减灾条例》（重庆市人民代表大会常务委员会公告第 193 号）；
- ⑤ 《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）；
- ⑥ 《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）；
- ⑦ 《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010（2016 年版））；
- ⑧ 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001（2009 版））；
- ⑨ 《工程场地地震安全性评价工作报告编写要求》（1995）；
- ⑩ 《重庆市建设项目区域性地震安全性评价工作指南（试行）》（渝震发（2019）4 号）；
- ⑪ 《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函（2019）21 号）

0.4 工作范围

根据《目标区地震安全性评价》(GB17741-2005)及《重庆市区域性地震安全性评价工作指南》(试行)(2019)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: $28.59^{\circ} \sim 31.28^{\circ}$ N, $106.47^{\circ} \sim 109.61^{\circ}$ E。

近场区范围: $29.66^{\circ} \sim 30.22^{\circ}$ N, $107.74^{\circ} \sim 108.37^{\circ}$ E。

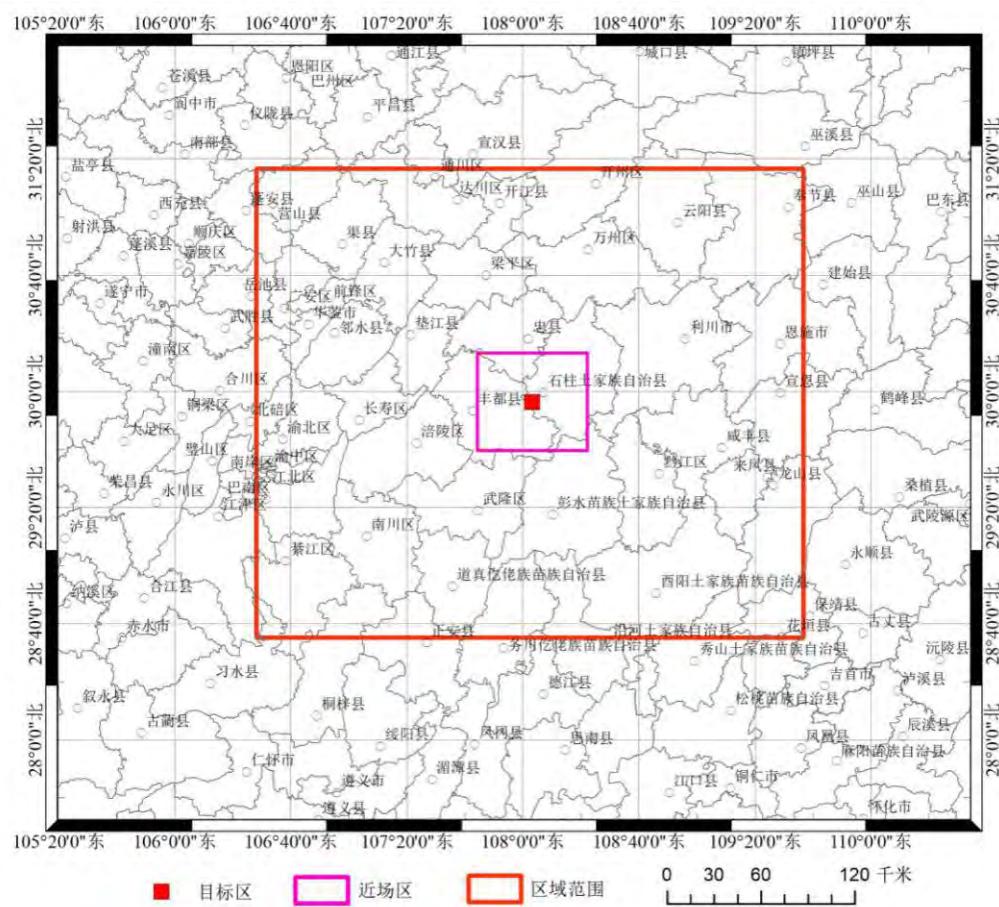


图 0-2 区域及近场区范围

0.5 技术路线

主要技术思路为:①吸收国内外地震科学的研究的最新成果和方法,在详细全面的野外考察基础上,研究区域和近场区范围地震活动性、地震构造和断裂活动性;②采用地震危险性分析概率方法,进行场地地震危险性分析;③根据地震危险性分析结果,给出目标区基岩地震动参数;④根据目标区地震工程地质条件和场地地震动参数,初步评价场地地震地质灾害。(见图 0-3, 技术路线图)。

具体来说,主要包括地震危险性概率分析、场地地震动参数确定、目标区地震工程地质条件勘测、场地地震地质灾害评价及成果查询系统五个部分。

1) 地震危险性概率分析

在区域地震活动性与地震地质背景研究的基础上,划分潜在震源区,确定地震活动性参数,结合地震动衰减关系,采用地震危险性分析专用程序包,计算目标区场地 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 63%、40%、10%、5%、3%、2%、1% 的基岩地震动参数。

2) 场地地震动参数确定

根据地震危险性分析计算结果,结合工程地质勘察资料及现场调查,依据目标区的地震工程地质条件,进行场地土层地震反应计算,确定 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 63%、40%、10%、5%、3%、2%、1% 的地震动反应谱参数和 50 年超越概率 63%、10%、2% 的人工时程。

3) 目标区地震工程地质条件勘测

应充分利用已有的工程地质勘查资料。通过收集、整理、分析这些资料,进行场地钻探及场地土体物理与力学特性测试,编制相关的工程地质图、表,综合评价场地特性。

4) 目标区地震地质灾害评价,

通过对目标区及其附近的地形地貌、地质构造实地调查,依据场地及其附近的工程地质条件、水文地质条件,并结合重庆地区历史强震的震害经验,评价给定地震影响下目标区可能发生的地震地质灾害。,

5) 成果查询系统

依据场地工程地质条件,建立成果数据库、成果查询系统及其使用说明书等

服务要求。由技术服务系统给出建设工程所在场地的地震动参数，并给出地震地质灾害初步评价结果，方便使用单位查询。

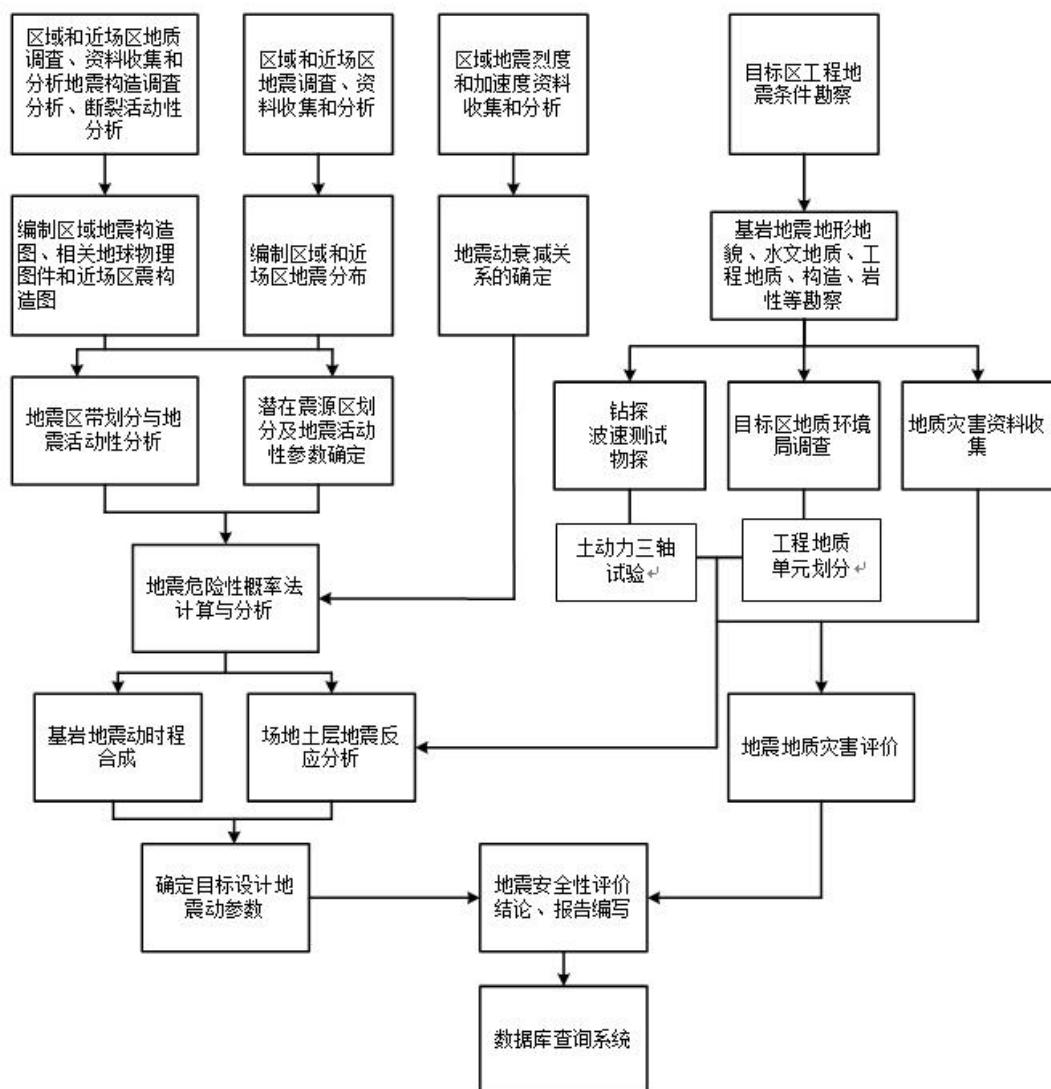


图 0.3 技术路线图

0.6 主要工作量

本项目完成的主要工作量如下表所示。

表 0.2 主要工作量一览表

序号	工作内容	工作量
1	野外工作	(1) 目标区野外调查面积 2500km ² 。 (2) 目标区勘察钻孔 12 个。 (3) 物探剖面 2 条。
2	资料收集	(1) 区域 (28.59° ~31.28° N, 106.47° ~109.61° E) 破坏性地震目录 $M \geq 4.7$ 共 7 个, 现代小震目录 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 987 个, 进行时空强的分析。 (2) 整理近场区 (29.66° ~30.22° N, 107.74° ~108.37° E), 1970 年以来共发生 $M \geq 2.0$ 级地震 70 次。 (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 12 个, 并判定对场地的影响烈度。 (4) 区域断层资料收集调查 6 条, 近场区断层资料调查 3 条。 (5) 利用目标区地形图进行目标区 DEM 坡度分析, 并得出地震地质灾害相关结论。
3	计算	提供了 50 年超越概率 63%、10%、2%, 100 年超越概率 63%、40%、10%、5%、3%、2%、1% 的设计地震动参数。
4	报告编写	编制 200 余幅图件, 总报告一份。

1 地震活动性评价

本章通过对工程场区附近及区域地震活动在空间和时间上的分布特征、历史地震对场地影响的分析研究，为目标区的地震环境评价、合理地划分潜在震源区和确定地震活动性参数提供依据。

1.1 区域地震活动性

1.1.1 区域地震资料

(1) 资料来源

区域地震目录是研究地震活动性最重要的资料来源。这部分资料主要来源于以下几个方面：

- 1) 国家地震局震害防御司编，《中国历史强震目录》(公元前 23 世纪-公元 1911 年)，地震出版社，1995。
- 2) 中国地震局震害防御司编，《中国近代地震目录(公元 1912 年-1990 年 $M_s \geq 4.7$)》，中国科学技术出版社，1999。
- 3) 中国地震局分析预报中心，《中国台网地震目录》。
- 4) 1970-2008 年原国家地震局分析预报中心数据库目录。
- 5) 中国地震局地震数据信息中心发布的有关地震的文献（2009-2020.9）。

并确定了以下主要地震目录编制原则：

- 1) 对以往工作中已经进行过详细调查并获得评审通过的历史地震，直接引用其地震参数的调查结论；
- 2) 以正式出版地震目录为准，对具有不同认识的一些地震条目，根据不同版本资料的可靠性和工作深度，确定其取舍，综合编制使用的地震目录。

(3) 地震资料完整性分析及可靠性分析

本区域主要跨长江中游地震带，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。整个重庆地区建立最早的地震台是 1939 年建立的重庆北碚地震台，但该台存在时间很短。新中国成立后，重庆地区第一个

地震台是重庆南泉地震台，该台建于 1976 年，1977 年开始观测，当时区域 $M_{3.0}$ 级以上地震基本不会漏记。重庆测震台网于 1993 年建立，2002 年启动了“重庆十五数字地震观测网络”项目，2006 年底，又启动了“三峡库区重庆段地震监测系统”项目。随着“十五”项目和“三峡”项目的建设，区域地震监测能力大大提高。图 1-1 为地震台网的地震监控能力图。从图上可以看到，区域基本上可监测到 $M \geq 1.8$ 级的地震，近场区范围内可监测到 $M \geq 1.4$ 级的地震。

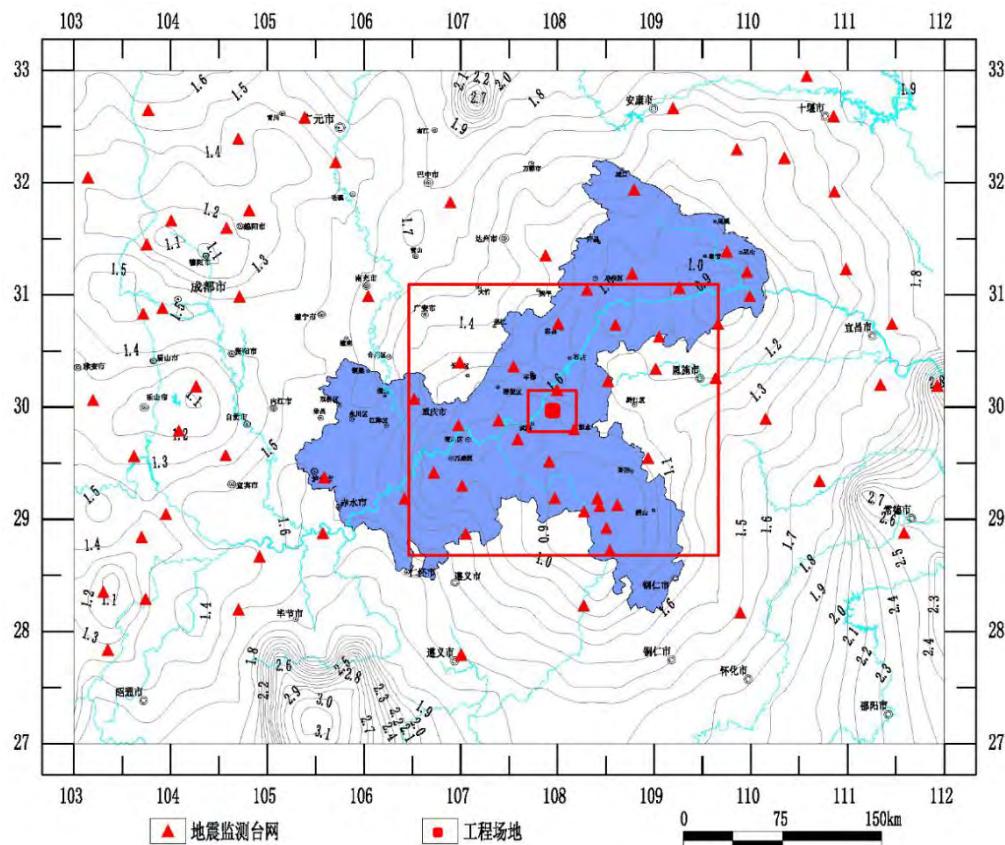


图 1-1 重庆市及周边地震台网监测能力图

(4) 地震编目

本次编制的地震目录分为两个部分：①历史地震目录，包括区域内所有迄今为止所有能记录得到的、由历史文献记载确定的或者由地震台网记录到的 $M_s \geq 4.7$ 级破坏性地震。②现代小震目录，包括区域台网记录到的小地震，起始时间为 1970 年， $2.0 \leq ML \leq 4.6$ 。

历史地震震级采用的 M_s ，这部分地震为 $M_s \geq 4.7$ 级以上地震。其中，无仪器记录的地震，其震级的确定均由史料记录来评定其震中烈度，再按震级 (M_s)

与震中关系计算得出；凡有仪器记录的地震，其地震震级以仪器测定为准。

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。而现代地震通常用近震震级 M_L 。为与历史地震震级统一，将其转换为 M_s 震级，在《中国地震详目》中采用的转换公式（1-1）：

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

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

在编辑第五代区划图用的地震目录时，对 1990-2007 年间同时测定有 M_s 、 M_L 数据且震源深度 $< 70\text{km}$ 的地震（6577 个）进行了拟合，结果如（1-2）式：

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

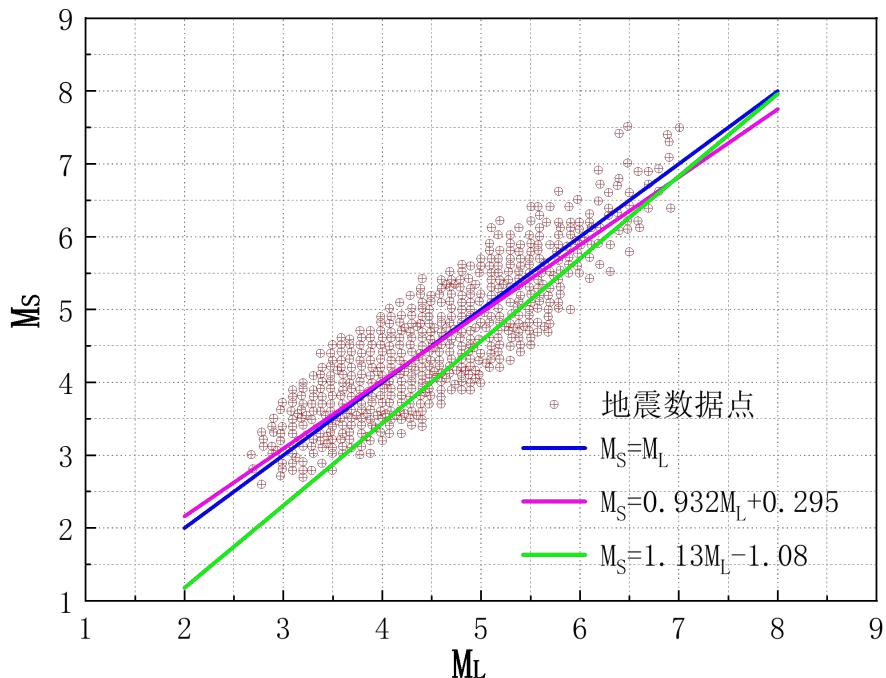


图 1-2 震级数据组及拟合直线（汪素云等，2009）

图 1-2 绘出公式（1-1）和公式（1-2）与实测数据的拟合关系，从图中可见，公式（1-1）的直线明显偏于数据组的下侧，说明公式（1-1）已不适用。为了比较，在图中还给出公式（1-3）的拟合直线：

$$M_s = M_L \quad (1-3)$$

公式（1-3）相当于 M_s 与 M_L 之间不用转换。从图中可直观地看到公式（1-3）与公式（1-2）的直线很接近，只在直线两端有些分开。考虑到数据点的分散，拟合关系的不确定性较大等因数，粗略地认为公式（1-2）与公式（1-3）基本一致。本项目中将以公式（1-3）代替用了三十多年的公式（1-1），并且用国标规定的“M”代替“ M_s ”和“ M_L ”。

1.1.2 区域地震活动的空间分布特征

（1）区域地震震中分布特征

根据上述资料，编制了区域内破坏性地震（ $M \geq 4.7$ ，公元前 26 年-2020 年 9 月）和现代小震（ $2.0 \leq M \leq 4.6$ ，公元 1970 年 1 月-2020 年 9 月）的目录。区域内记录到 $M \geq 4.7$ 级的破坏性地震 7 次，其中 6.0-6.9 级地震 1 次，5.0-5.9 级地震 5 次，4.7-4.9 级地震 1 次，未记录到 7.0 级以上的地震。最大地震为 1856 年 6 月 10 日重庆黔江 6 级地震。最早记载到的破坏性地震是公元前 1854 年 12 月 24 日，重庆市南川区的 5 级地震。最近记录到的破坏性地震是 2017 年 11 月 23 日的重庆武隆 5.0 级地震。本区域内 $M \geq 4.7$ 级地震目录见下表 1-1 所示，根据此表绘制出区域历史地震震中分布图（图 1-3）。

表 1-1 区域破坏性地震目录（ $M \geq 4.7$ ）

编 号	发震时间 (年.月.日)	震中位置		震级	震源 深度 (km)	精 度	参考地 名
		经度	纬度				
1	1854.12.24	107.00	29.10	5½	*	1	重庆市 南川区
2	1855.秋	108.10	29.30	4¾	*	2	重庆市 彭水县
3	1856.06.10	108.80	29.70	6¼	*	*	重庆黔 江
4	1931.07.01	109.00	30.10	5.0	13	*	湖北恩 施州利 川市
5	1989.11.20	106.88	29.84	5.2	31	4	重庆市 渝北区
6	1989.11.20	106.85	29.91	5.4	23	1	重庆市 渝北区
7	2017.11.23	107.94	29.40	5.0	10	*	重庆市 武隆区

注：表中“*”号表示缺乏资料。凡有宏观震中的地震，一律用宏观震中的经纬度。关于精度：1970年以前的地震精度分类含义是：1类精度震中误差 $\leq 10\text{km}$ ，2类精度震中误差 $\leq 25\text{km}$ ，3类精度震中误差 $\leq 50\text{km}$ ，4类精度震中误差 $< 100\text{km}$ ，5类精度震中误差 $> 100\text{km}$ ；1970年以后的地震精度分类含义是：1类精度震中误差 $\leq 5\text{km}$ ，2类精度震中误差 $\leq 10\text{km}$ ，3类精度震中误差 $\leq 30\text{km}$ ，4类精度震中误差 $> 30\text{km}$ 。

区域地震活动具有明显的分区特点，并与活动断裂分布有着密切关系。从图1-3中可以看出，区域破坏性地震的空间分布不均匀，在目标区的四周均有分布，主要分布在重庆渝北、南川、武隆、彭水、綦江、恩施等地，距离最近的破坏性地震为武隆5.0级地震。近百年，目标区区域地震活动水平较弱。在构造上主要与华蓥山断裂带、七曜山-金佛山断裂带、方斗山断裂、彭水断裂带和黔江断裂带相关。

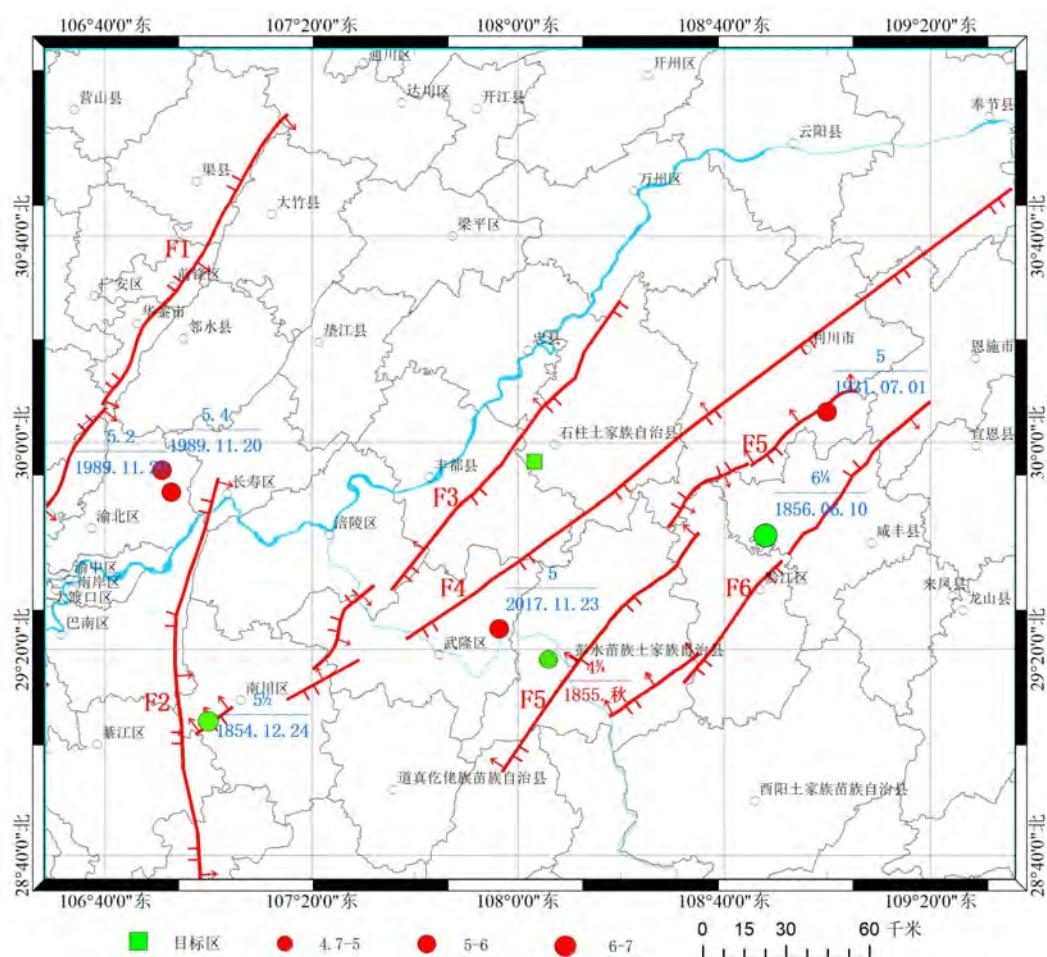


图 1-3 区域破坏性地震震中分布图（公元前 26 年-2020 年 9 月）

公元 1970 年 1 月-2020 年 9 月区域内共记录到震级 $M \geq 2.0$ 级地震 987 次，其中，2.0-2.9 级地震 874 次（数据来源于“中国地震台网中心”、“国家地震科

学数据中心”及重庆市地震局官网中“重庆市及周边地震目录”）， $3.0 \leq M \leq 3.9$ 级地震 101 次、 $4.0 \leq M \leq 4.6$ 级地震 12 次，区域内的中小地震活动绝大多数为 $2.0 \leq M \leq 2.9$ 级。图 1-4 是现代小震震中分布图。区内近代中小地震活动的空间分布呈明显的带状、团簇状特征，在历史强震震中附近小震密集集成丛。在目标区的东北侧地震分布较为密集，其他方向地震零星分布。

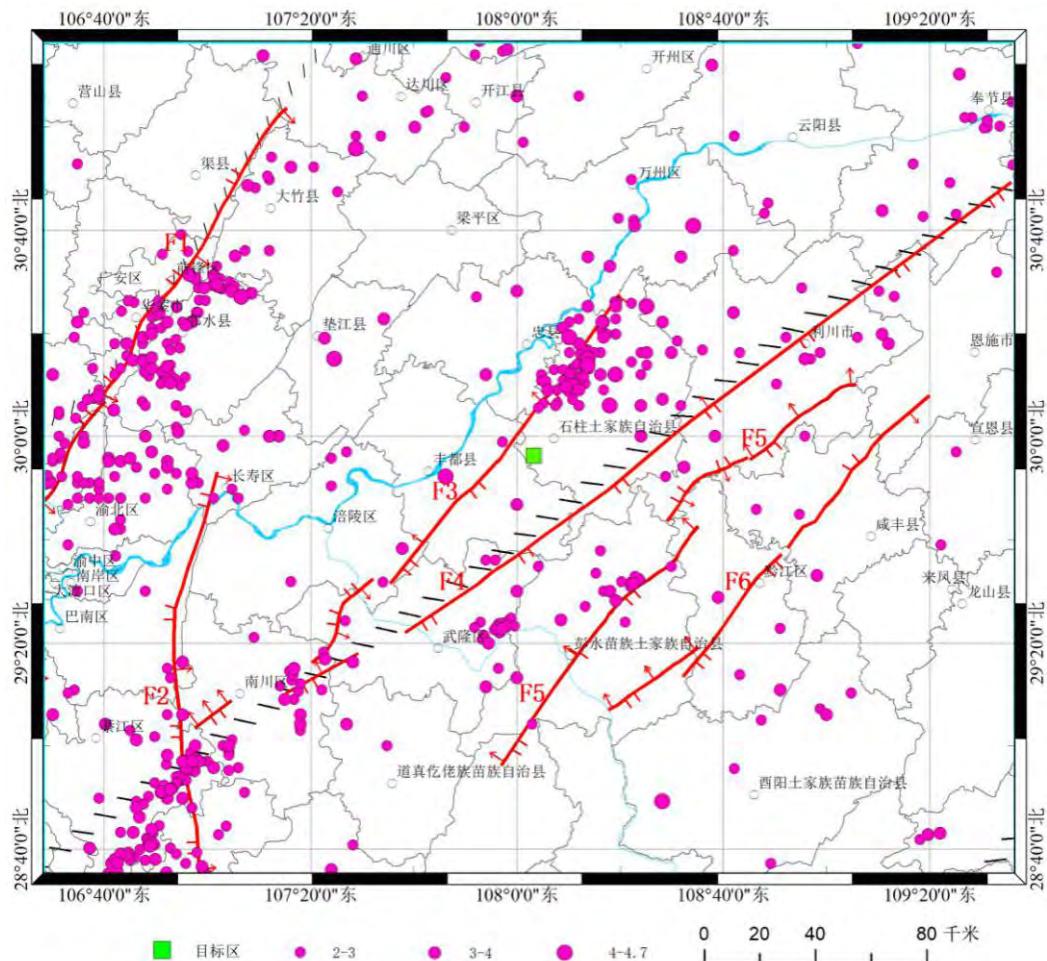


图 1-4 现代小震震中分布图(公元 1970 年~2020 年 9 月)

综上，现代小震主要发生在基底断裂控制的背斜轴部以及断裂带交汇部位，呈带状、团簇状特征。

(2) 区域地震震源深度分布特征

本区域 $M \geq 4.7$ 级的历史地震有 6 次地震有深度参数，震源深度均小于 60km，属浅源构造地震。在区域范围内，共检索到 $M=2.0 \sim 4.6$ 级现代小震震源深度 588 个，表 1-2 给出了现代小震震源深度位于不同层位分布数据的统计结果。从表中

可见，有 99.15% 的现代小震震源深度分布在地下 1-30km 范围内，30km 以上的地震相对较少。综上，区域地震活动深度总体较浅。

表 1-2 区域部分现代小震地震震源深度统计表

深度(km)	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-
频次(次)	151	277	98	35	12	10	5
占总数的百分比	25.68%	47.11%	16.67%	5.95%	2.04%	1.70%	0.85%

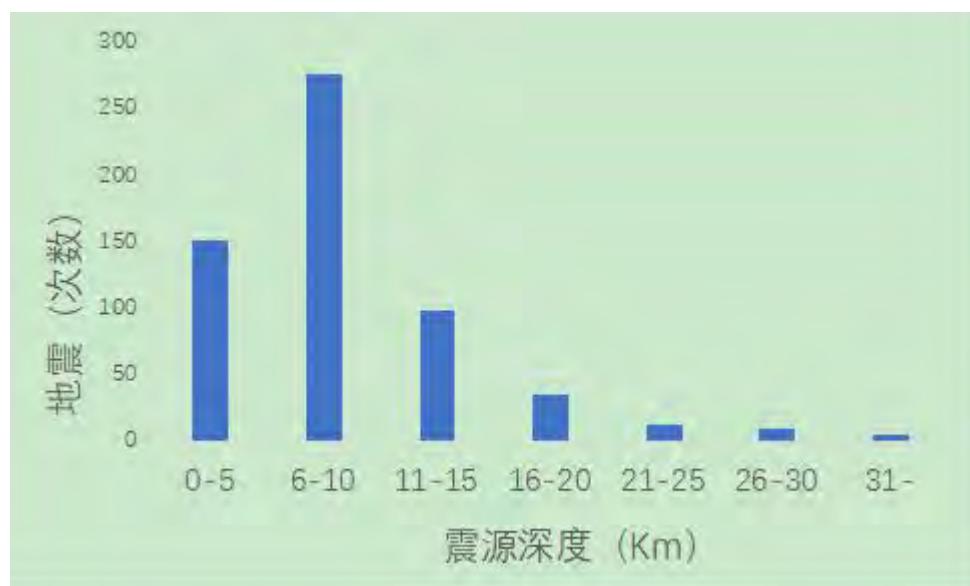


图 1-5 震源深度图

1.1.3 区域地震活动的时间分布特征

(1) 地震带划分

地震区（带）的划分是目标区地震安全性评价工作中的重要内容，它反映地震活动在空间分布上的不均一性。同一地震区（带）地震活动特点和地震构造条件都密切相关，可作为地震活动性参数的统计单元，也是地震发震构造条件和震级上限确定的构造类比单元。上几节区域地震活动分布的时空讨论为本节地震活动性参数统计单元的划分提供了客观依据。在进行地震区（带）划分时既要考虑一致性因素，又要强调它们作为地震活动性参数确定的统计单元特点。按照新一代全国地震动参数区划图的地震区、带划分方案，本工作区域研究范围 28.59°

$\sim 31.28^\circ$ N, $106.47^\circ \sim 109.61^\circ$ E, 位于长江中游地震带, 如图 1-6 所示。



图 1-6 区域及相邻地震区带划分

(2) 地震活动的时间进程分析与未来地震趋势估计

长江中游地震带位于华南地震区, 地震活动相对较弱。至今已记到 $M \geq 4.7$ 级地震 112 次, 其中 6.0~6.9 级地震 3 次, 5.0~5.9 级地震 66 次。带内目前的最大地震是 1631 年发生在湖南常德的 6 $\frac{3}{4}$ 级地震。

该带记载最早的一次地震是公元前 143 年湖北竹山西南的 5 级地震, 此后直至公元 1400 年之前的 1500 余年间, 该带仅发生了 7 次 $M \geq 4.7$, 表明长江中游地震带早期地震记录缺失且地震活动频度较低。尽管 1400 年以来不能保证该带内 $M \geq 4.7$ 级地震资料的完整, 但为了定性地分析地震活动在时间上的变化过程, 图 1-7 给出了长江中游地震带 1400 年以来地震震级和累积释放应变能量随时间分布图。1400 年以来的地震活动可分为两个活动期, 即 1467-1640 年和 1819-至今, 地震活动从集和平静相间活动。第二活跃期目前尚未结束, 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。

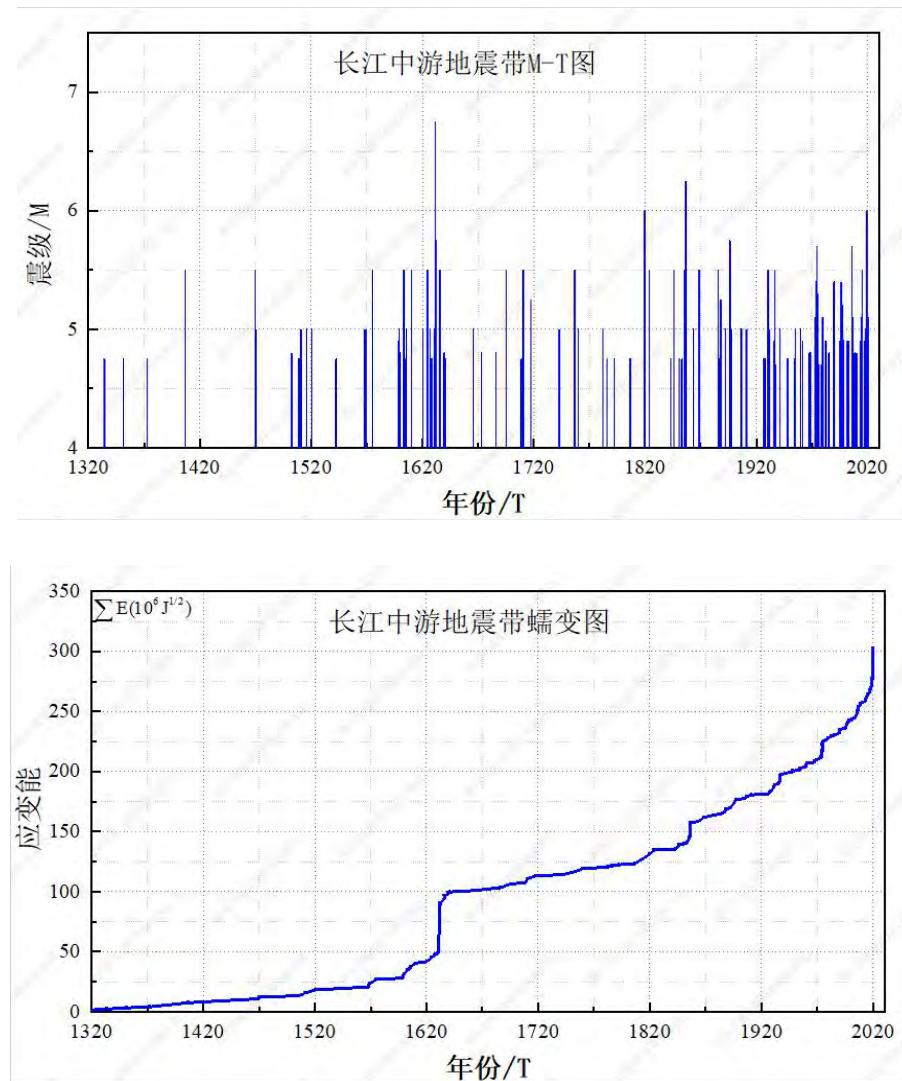


图 1-7 长江中游地震带中强震 M-T 图及应变释放曲线

1.2 近场区地震活动及地震影响

据历史资料记载和 1970 年建立起来的区域地震台网记录, 近场区共发生 $M \geq 2.0$ 级地震 70 次, 其中 $2.0 \sim 2.9$ 级地震 57 次, $3.0 \sim 3.9$ 级地震 6 次, $4.0 \sim 4.9$ 级地震 7 次, 未记录到 5.0 级以上地震 (表 1-5, 图 1-8)。

表 1-5 近场近代地震目录

编号	发震时间	震中位置		震级	震源深度(km)	参考地名
		年.月.日	经度			
1	1979.08.22	108.27	30.2	3.2	*	重庆市石柱县
2	1982.07.18	108.08	30.2	2	*	重庆市忠县
3	1982.07.18	108.05	30.17	2.4	*	重庆市忠县
4	1982.07.19	108.05	30.15	2.3	*	重庆市忠县
5	1987.07.02	108.32	30.2	4.3	*	重庆市石柱县
6	1987.07.02	107.77	29.87	4.4	*	重庆市丰都县
7	1988.12.09	107.88	30.18	2.3	*	重庆市忠县
8	1988.12.24	107.90	30.2	3.5	*	重庆市忠县
9	1993.11.03	108.30	30.1	3.5	1	重庆市石柱县
10	1993.11.08	108.08	30.18	2.1	*	重庆市石柱县
11	1993.12.06	108.30	30.1	4.2	*	重庆市石柱县
12	1993.12.15	108.08	30.03	2.6	10	重庆市石柱县
13	1996.10.13	108.19	30.19	2.8	*	重庆市石柱县
14	1997.7.15	108.24	30.25	4.1	*	重庆市石柱县
15	2003.05.21	108.12	30.19	2.6	12	重庆市石柱县
16	2003.11.17	108.2	30.15	3.8	3	重庆市石柱县
17	2004.05.02	108.00	29.78	3.4	13	重庆市丰都县
18	2004.05.18	108.18	30.22	2.9	1	重庆市石柱县
19	2004.06.17	108.17	30.18	2.4	1	重庆市石柱县
20	2004.11.21	108.22	30.17	4.6	8	重庆市石柱县
21	2005.2.11	108.16	30.13	4.0	5	重庆市石柱县
22	2005.05.24	108.18	30.15	2.3	*	重庆市石柱县
23	2006.04.19	108.17	30.18	2	5	重庆市石柱县
24	2006.12.02	108.2	30.18	2	16	重庆市石柱县

25	2007.05.09	108.18	30.15	2.4	16	重庆市石柱县
26	2008.03.12	108.28	30.15	2	16	重庆市石柱县
27	2008.04.18	108.35	30.2	2.6	1	重庆市石柱县
28	2008.06.12	108.2	30.1	2.1	10	重庆市石柱县
29	2008.08.31	108.2	30.1	2.1	15	重庆市石柱县
30	2008.10.31	108.1	30.15	2.5	7	重庆市石柱县
31	2008.11.03	108.18	30.17	2.2	13	重庆市石柱县
32	2008.11.10	108.18	30.12	2.2	9	重庆市石柱县
33	2008.12.27	108.13	30.15	2.8	14	重庆市石柱县
34	2009.04.13	108.22	30.212	2.3	7	重庆市石柱县
35	2009.05.22	108.12	30.215	2	7	重庆市石柱县
36	2009.6.24	108.21	30.22	2.1	6	重庆石柱县
37	2009.08.13	107.95	29.982	2	7	重庆市丰都县
38	2009.10.31	108.19	30.18	2.1	6	重庆石柱县
39	2009.11.14	108.187	30.187	2.8	*	重庆市石柱县
40	2010.2.18	108.23	30.16	2.4	7	重庆石柱县
41	2010.03.13	108.17	30.146	2	5	重庆市石柱县
42	2010.05.05	108.15	30.18	2.8	6	重庆市石柱县
43	2011.07.25	108.12	30.148	2.3	5	重庆市石柱县
44	2011.07.25	108.09	30.177	3	6	重庆市石柱县
45	2011.07.27	108.20	30.213	2.2	5	重庆市石柱县
46	2011.08.03	108.23	30.218	2	6	重庆市石柱县
47	2011.09.16	108.18	30.211	2	5	重庆市石柱县
48	2011.10.02	108.14	30.168	2.2	6	重庆市石柱县
49	2011.10.04	108.17	30.185	2.2	7	重庆市石柱县
50	2011.10.08	108.21	30.196	2.1	7	重庆市石柱县
51	2011.11.29	108.22	30.194	2.1	6	重庆市石柱县

52	2012.01.15	108.13	30.159	2.4	6	重庆市石柱县
53	2012.02.24	108.15	30.216	2	6	重庆市石柱县
54	2013.2.20	108.2	30.14	2.4	7	重庆石柱县
55	2012.05.31	108.16	30.16	3.6	5	重庆市石柱县
56	2012.12.22	108.12	30.17	2	7	重庆石柱县
57	2013.05.27	108.19	30.148	2.1	6	重庆市石柱县
58	2013.07.18	108.18	30.157	4.5	5	重庆市石柱县
59	2013.11.13	108.17	30.21	2.2	5	重庆市石柱县
60	2014.09.21	108.17	30.202	2.1	5	重庆市石柱县
61	2014.11.16	108.17	30.174	2.2	7	重庆市石柱县
62	2015.04.11	108.09	30.106	2.9	4	重庆市石柱县
63	2015.5.27	108.06	30.12	2.2	6	重庆忠县
64	2015.6.1	108.14	30.2	2.2	9	重庆石柱县
65	2015.09.07	108.12	30.1	2.1	6	重庆市石柱县
66	2015.11.17	108.2	30.19	2	5	重庆石柱县
67	2016.03.14	108.07	30.092	2	11	重庆市石柱县
68	2016.10.17	108.21	30.217	2.8	10	重庆市石柱县
69	2016.10.18	108.13	30.108	2	4	重庆市石柱县
70	2017.3.12	108.21	30.15	2.3	13	重庆石柱县

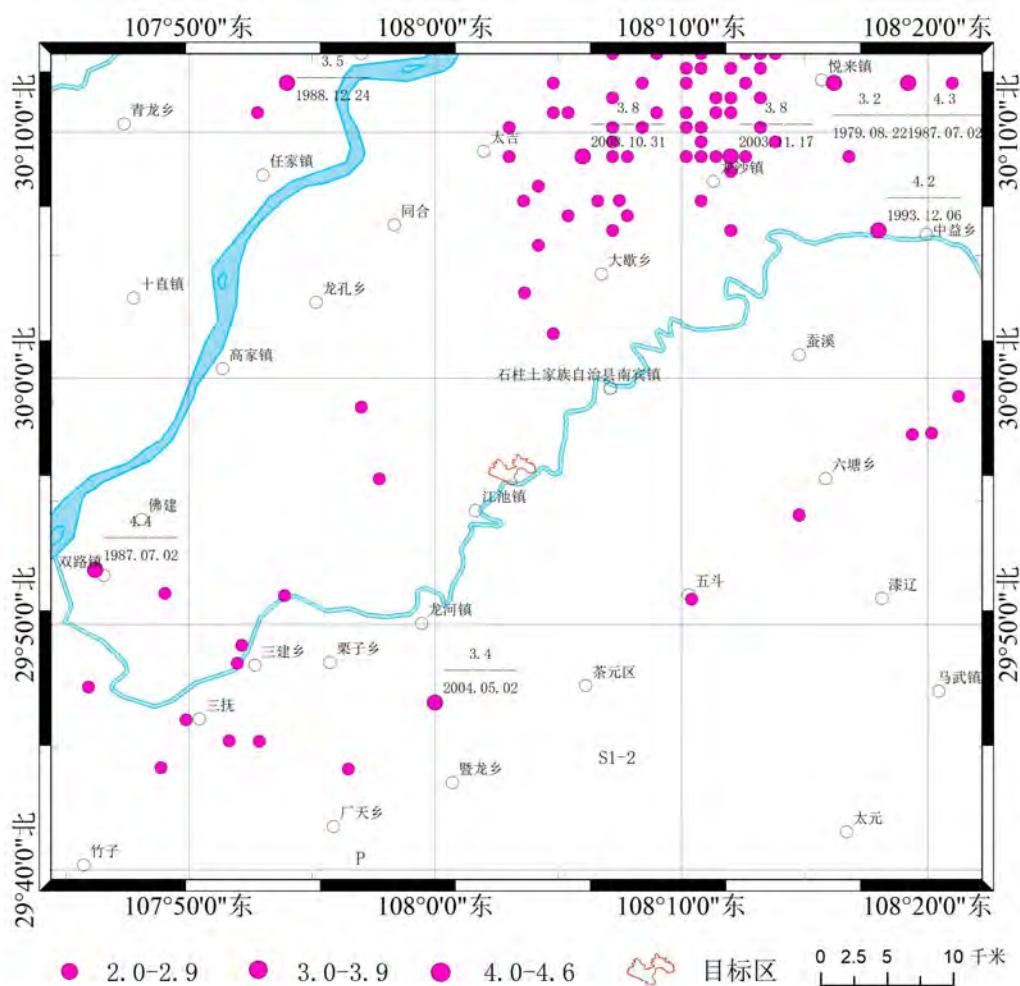


图 1-8 近场区震中分布图（1970 年 1 月-2020 年 9 月）

从图 1-8 可以看出近代地震活动均为中小地震为主，地震空间分布不均匀，震源深度较浅，主要集中在目标区北部的方斗山断裂带附近。分布范围呈带状，与方斗山背斜平行。目标区周围自 1970 年来无地震记录，显示目标区及其附近地区地震活动水平较低。

1.3 历史地震对场地的影响

分析历史地震对目标区的影响，是地震安全性评价的重要组成部分之一。它一方面是了解历史地震对目标区的影响情况，另一方面是为场地地震安全性评价提供参考依据。

历史上区域内和区域外围的数次强震对场地均有一定程度的震感影响，甚至轻微破坏（《重庆市及其邻近地区历史地震资料汇编》，1981）。历史地震的影响烈度，系指用烈度来衡量历史地震对目标区的影响程度。本报告主要参考的是

历史等震线资料，根据历史地震的实际资料，查明场地当时的宏观影响烈度。历史地震没有实际资料的或者实际资料不够明确的，利用中国西部地区地震烈度长短轴衰减关系计算历史地震在场地的影响烈度值，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地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

历史上区域内和区域外围的数次地震对场地均有一定程度的震感影响，甚至轻微破坏（《重庆市及其邻近地区历史地震资料汇编》，1981）。下面给出了对目标区有影响的实际地震资料。

（1）1786年6月1日四川康定南7^级地震

史料记载，1786年康定南7^级地震（图1-9），震中烈度X度。康定城垣全行倒塌，不存一雉。雅家埂等一带出现规模不等地裂缝。打箭炉（康定）至泰宁营（泸定化林坪）一带山石坍坠，径途阻塞，遍桥打断之处甚多，文报不能驰递。

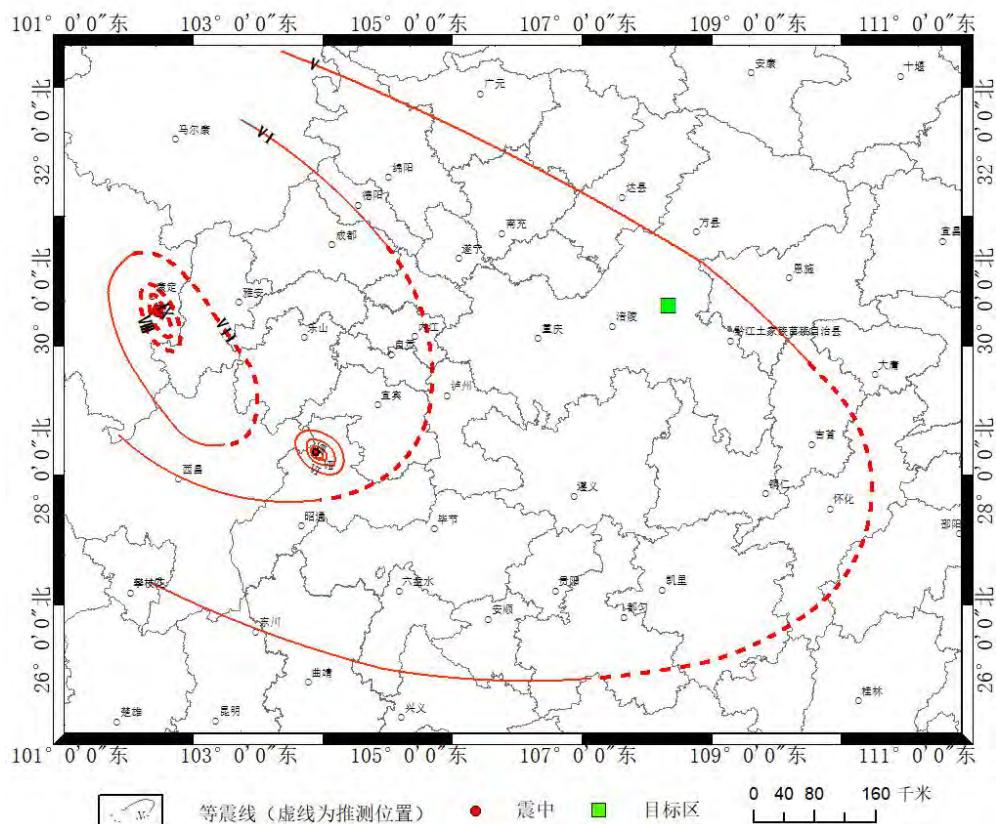


图 1-9 1786 年康定南 7^级地震等震线图(据《中国历史强震目录》)

康定以西通藏大路，山势陂陀，道路塘汛损坏无几。泸定沈边、冷边、咱里三上司管辖 200 里内，共倒塌贫民瓦、土房 127 间，碉房、平产房倒塌 671 间，压毙藏、汉民 185 人。

内江：房屋有倾圮。资中、资阳：房舍多倾圮。成都、江津、平武、富顺、广安、岳池、遂宁、重庆、合川、峨边、仪陇(以二县记五日)、叙水(记四十九年五月六日)、西昌、彭山、纳溪、合江、秀山、荣昌、遵义和湖南芷江、黔阳等都有地震记载。震后，午刻地忽大动，至四刻势方少定，日震数十次。6月2日(初七)复动数次。以后连日小动，至 13 日(十八日)震尤不止，微微作颤移时复震，如是数月。从图 1-9 上可以看出，场地位于 V 度区，所以该地震对场地的宏观烈度为 V 度。

(2) 1854 年 12 月 24 日重庆南川 5½ 级地震

1854 年 12 月 24 日(清咸丰四年十一月初五)在南川县陈家场(南坪镇)附近发生了一次 5½ 级地震。

这次地震史料的记载十分丰富。“咸丰四年甲寅十一月初五未刻(綦江)地震。南川县陈家场尤甚。”(同治二年增刊道光六年《綦江县志》10 卷 15 页)，“咸丰四年甲寅冬月初五日，(南川)地震，从南路陈家场起，毁庙宇、民房、坟墓，压毙人畜无算，自是或日一震，或日数震，或数日一震，数十日一震。震时有如物由地中行，至次冬始歇。”(光绪二年《南川县志》12 卷 47 页)，“清咸丰四年冬十一月起至次年冬止，南路陈家场地震不已，或数日或数十日一次，毁庙宇、民房、坟墓，压毙人无算。”(民国二十八年《重修南川县志》14 卷 4 页)。各地方志以《南川县志》所载情况最详。另从南川县先锋公社咸丰九年长安桥“补修”碑记中看出，该桥曾遭受 1854 年(咸丰四年)地震破坏，1855 年(咸丰乙卯)秋又涨洪水，两灾相叠，致使“桥于是不堪为桥矣”。这次地震，在震前有地声，长安桥“补修”碑上就有“天鸣地震”的记载；震后田里冒黑水；余震持续时间长达一年；波及范围广，巴县、綦江、涪陵、重庆等地均有感。地震对南川县先锋公社长安桥和丁家嘴公社清缘桥这种在分类上为 II 类建筑的石拱桥以及部分古坟墓有一定程度的破坏。所以根据史料勾画的等烈度线，其震中位于南川县陈家场附近，震中烈度为 VII，等震线长轴呈北北东向(图 1-10)。

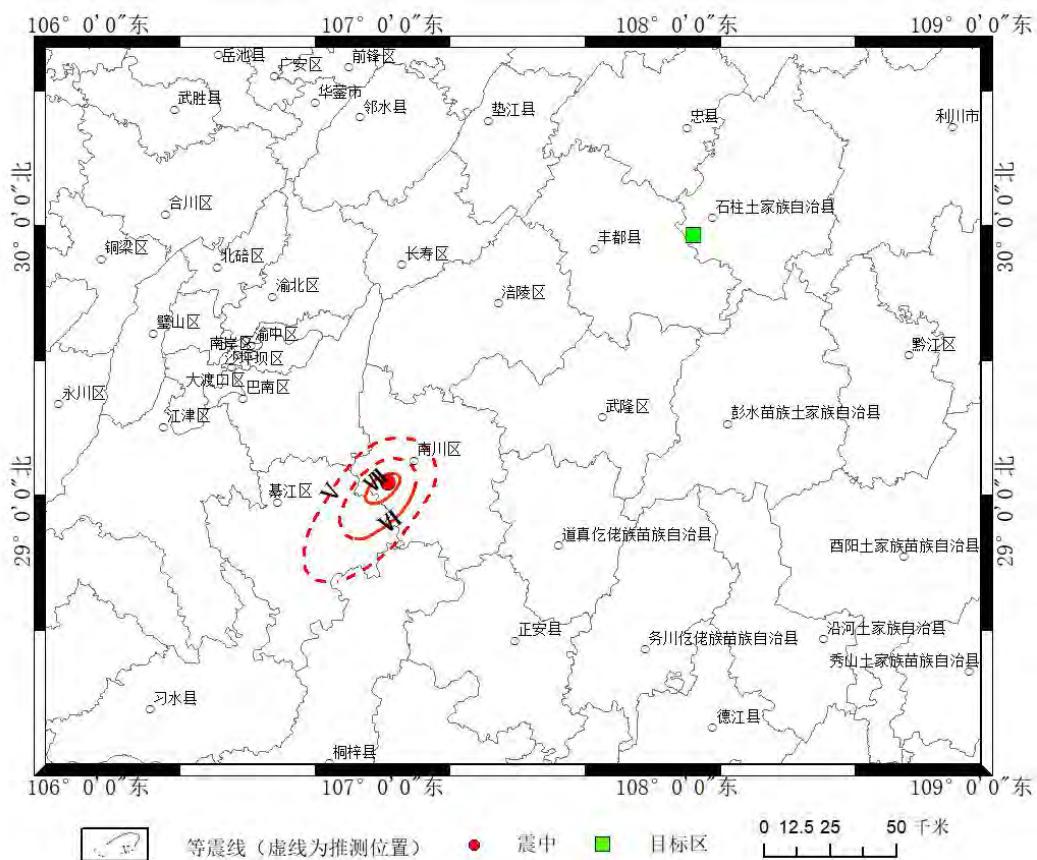


图 1-10 南川 5% 级地震等烈度线(重庆地震研究)

鉴于目前搜集的资料,根据四川盆地内地震影响场研究资料和现今地震发生后的情况,我们认为,《中国地震目录》和《四川地震目录》将 1854 年 12 月 24 日(清咸丰四年十一月五日)南川县陈家场地震定为 5% 级,震中烈度 VII 度是恰当的。根据近期对南川地震的考察, VII 度区存在一北东向逆断层,可能是该次地震的发震断层。从图 1-10 上可以看出,本项目场地位于宏观烈度 V 度区外,所以该地震对场地的宏观烈度为小于 V 度。

(3) 1856 年重庆黔江 61/4 级地震

1856 年 6 月 10 日(清咸丰六年五月初八日),在重庆黔江小南海与湖北咸丰大路坝之间,发生了一次震级为 61/4 级的地震,这次地震震撼了川鄂交界的广大地区,北至重庆市奉节、巫山县,西及重庆市南川、綦江县,东南达湖南省大庸、保靖、花垣县和吉首市,整个川渝湘鄂黔五省市毗邻地区均有震感(见图 1-11),许多县志上均有较详细的记载,并留有碑记。20 世纪 60 年代原昆明地球物理研究所曾对黔江地震进行过考察。1978 年四川省地震局张文甫、刘盛利等

人对该次地震做了较详细考察，并根据山崩、堵塞成湖的情况，勾绘出极震区（Ⅷ度区）。范围：北到掌上盖、蛇盘溪一线；南面包括小南海；东以大路坝镇为界；西到孝径沟以西附近一带。形状为一长椭圆形，长轴呈北北东方向展布，长轴直径37千米、短轴直径20千米。

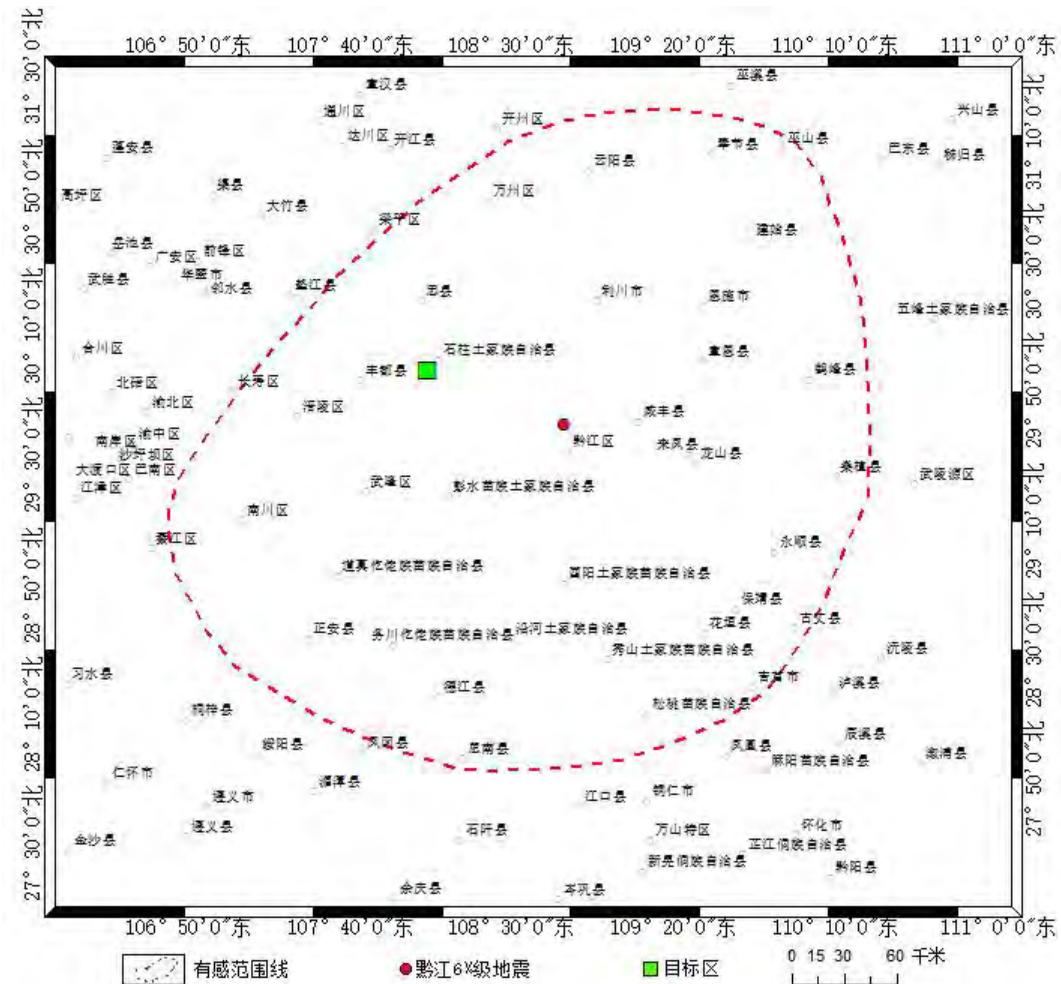


图 1-11 黔江地震有感范围（据黄伟）

（4）1879年7月1日甘肃武都8.0级地震

清光绪五年五月十二日，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、彭明、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。从图 1-12 上可以看出，本项目场地位于宏观烈度度区VI外，所以该地震对场地的宏观烈度为小于VI度。

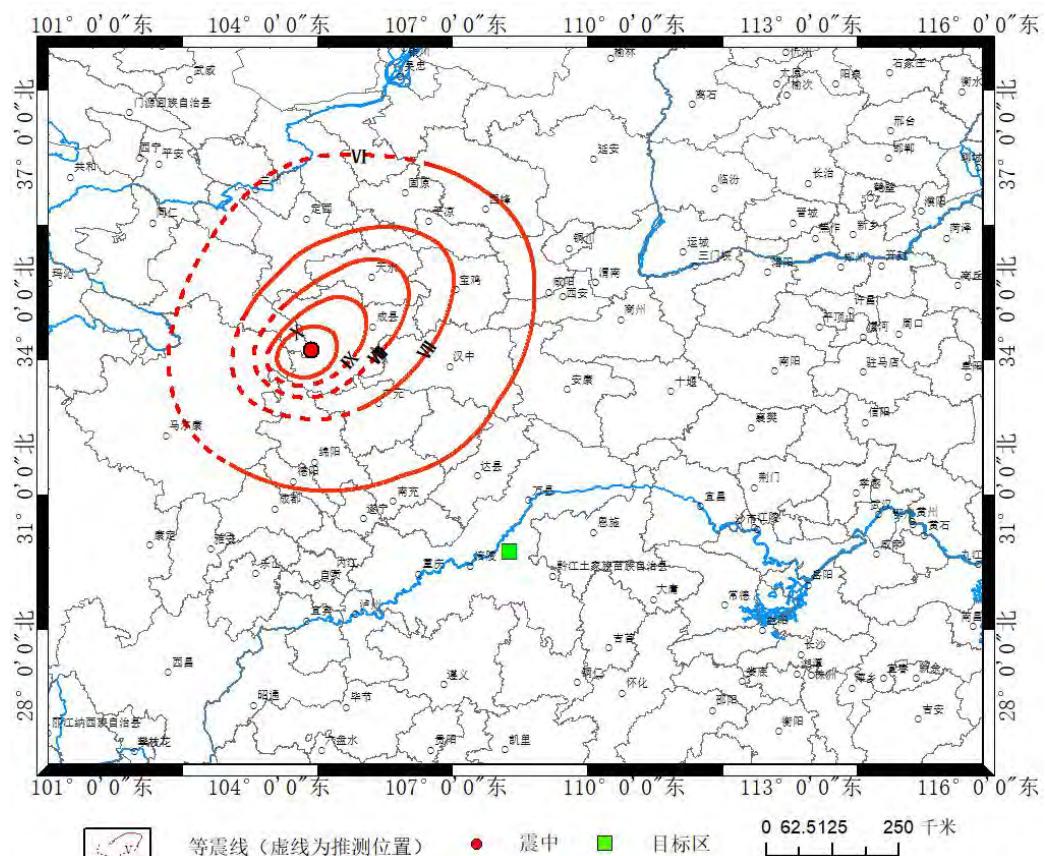


图 1-12 1879 年甘肃武都 8 级地震烈度分布图(据《中国历史强震目录》)

(5) 1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8.5 级地震

1920 年 12 月 16 日，发生在宁夏南部海原县和固原县的这次 8.5 级地震是近百年来在中国人口密集区发生的最大地震，其影响西至玉门，东至东海之滨的上海。震中烈度为 12 度，极震区包括固原、隆德、西吉、靖远、景泰等县，呈条带状，北西向展开。面积 2 万平方公里，这次地震波及宁夏、甘肃、陕西、青海、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 个省、市、自治区，有感面积达 251 万平方公里，约占中国面积

的 1.4，是中国历史上波及范围最广的一次大地震。据记载“在震中东六盘山地区村镇埋没、地面或成高陵或陷深谷，山崩地裂，黑水横流，海原、固原等四城全毁。只海原一县死了 73604 人，死亡 59%。全区因地震而死亡者不下 20 万人。在地震破坏区，山崩崖塌，山川远移，峰谷互换，城墙倒塌，房屋荡尽，死伤无数”。从图 1-13 上可以看出，场地位于 V 度区，所以该地震对场地的宏观烈度为 V 度。

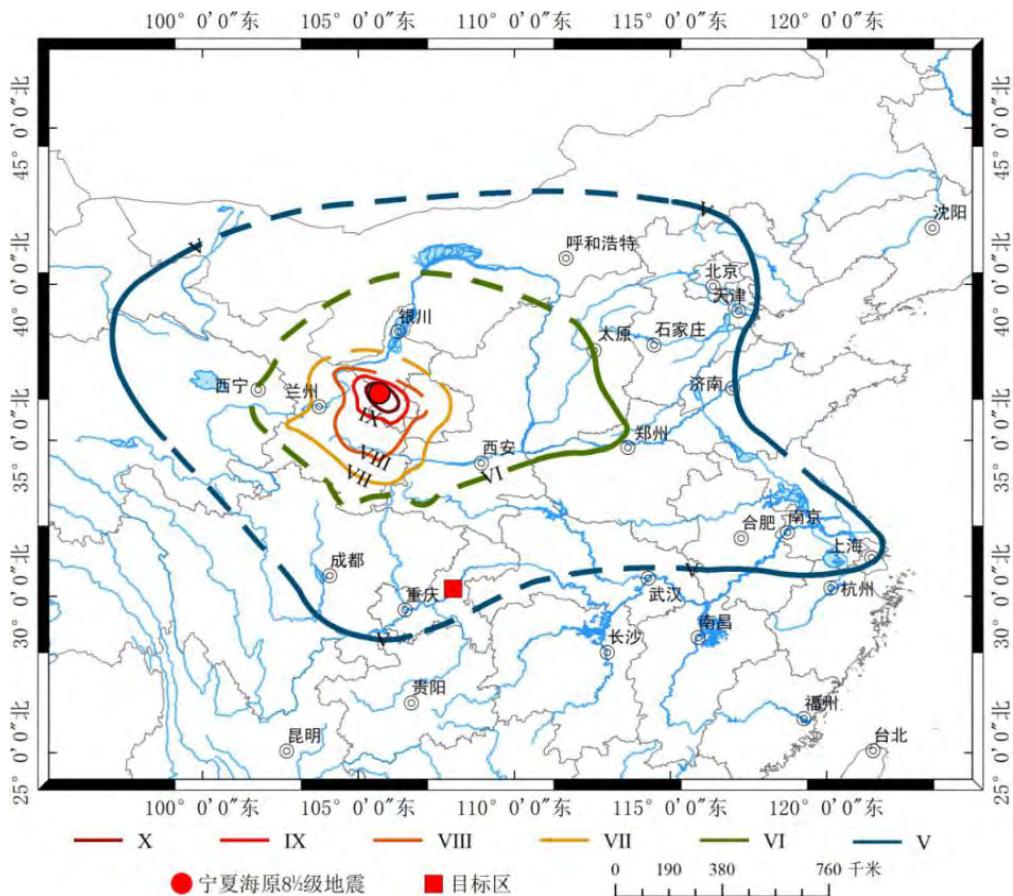


图 1-13 1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8 级地震等烈度线图(据《中国历史强震目录》)

(6) 1989 年 11 月 20 日重庆渝北统景 5.2、5.4 级地震

1989 年 11 月 20 日 11 时 18 分和 11 时 21 分，在渝北统景相继发生了 5.2、5.4 级双震。根据现场考察结果，这次地震的宏观震中在统景镇杉林、同心村一带（图 1-14），等震线形态总体呈轴向为北 30° 东的椭圆形，震中烈度为 VII 度，并在洛碛、木洞、平桥—两岔等三处出现高烈度异常区。

据《重庆地震研究》：“这次地震重庆市所属的 21 个区县以及邻水、垫江县均强烈有震感。自贡、乐山、宜宾部分有震感，甚至远离震中的成都市部分高

层建筑上静止的人也感到了这次地震。石柱县城大部分人感到突然震动，万县市(今天城区)南门口、万县(今天城区)种子公司宿舍看到凉台电灯晃动”。从图 1-14 上可以看出，场地位于 V 度区外，所以该地震对场地的宏观烈度为小于 V 度。

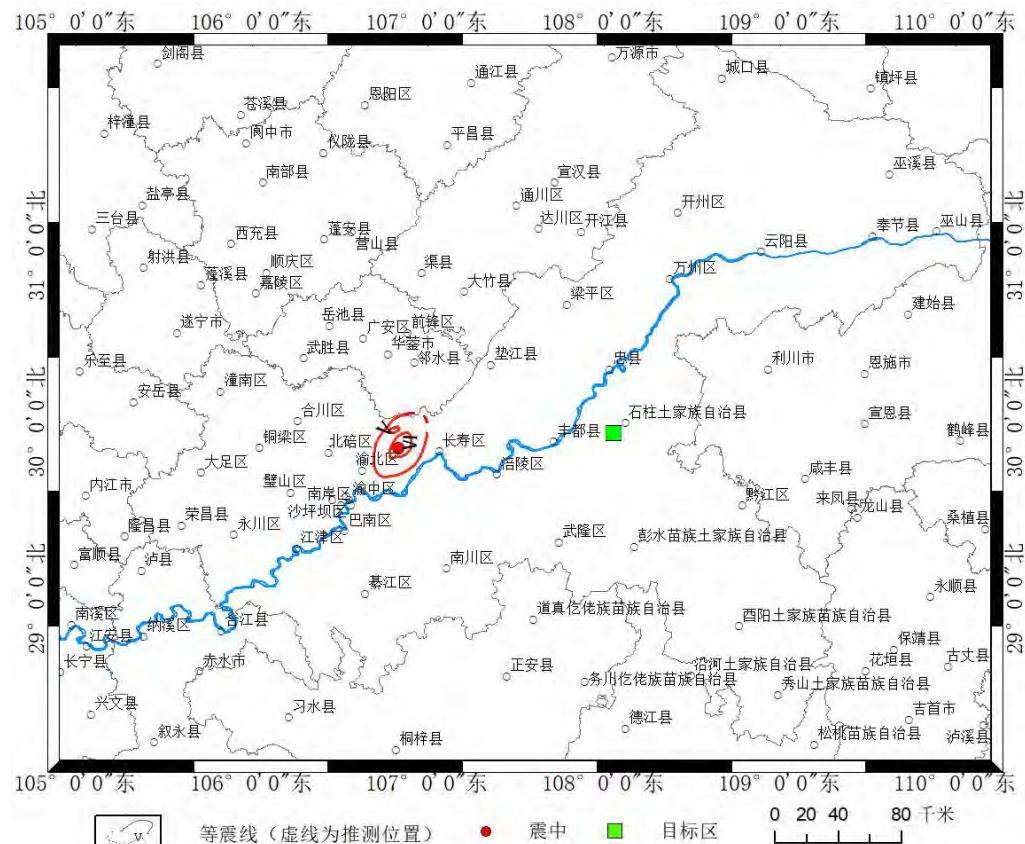


图 1-14 渝北统景 5.2、5.4 级地震等烈度线图(引自《重庆地震研究》)

(7) 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级强震

2008 年 5 月 12 日汶川发生 8.0 级地震，震中烈度达 XI 度（图 1-5），以汶川县映秀镇和北川县县城为两个中心。IX 度以上分布区域紧靠发震断层，沿断层走向成长条形状；X 度和 IX 度边界受龙门山前山断裂错动的影响，在绵竹市和什邡市山区向盆地方向突出，都江堰市区也略有突出。在山前盆地边缘的过渡带，烈度向东衰减很快，而西侧则衰减相对较缓。烈度分布南北也不对称，VIII 度区和 VII 度区范围向四周扩大，且相同烈度的区域在北部比南部大，进入甘肃省和陕西省境内，显示出断层破裂向北东方向传播，最大余震发生在断层北部。VI 度区在四川盆地和丘陵地区分布范围很广，一直延续到重庆市西部和云南省昭通市北端，

在四川省西部面积相对要小。图 1-15 上可看出，目标区处于VI度区范围外，所以该地震对场地的宏观烈度小于VI度。

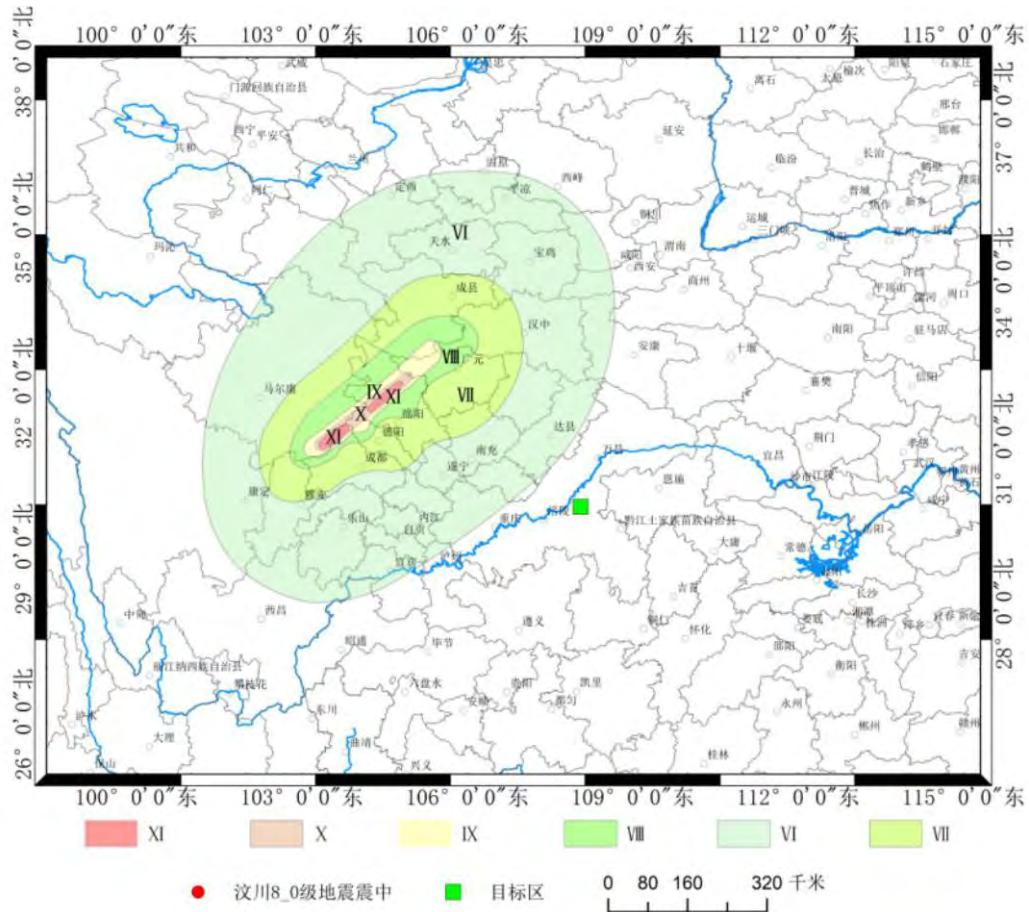


图 1-15 汶川 8.0 级地震烈度分布图(据袁一凡)

(8) 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震

2013 年 4 月 20 日，四川省雅安市芦山县发生 7.0 级强烈地震。综合现场调查、遥感震害解译、强震观测记录等资料，编制完成地震烈度图（图 1-16）。此次地震的最大烈度为 IX 度，等震线长轴呈北东走向分布，VI 度区及以上总面积为 18682km²。

四川及周边的重庆、甘肃、陕西、贵州、云南等省市都有明显震感。此次地震对工程所在地区的影响主要表现室内多数人、室外少数人有感觉，少数人梦中惊醒。门、窗作响，悬挂物明显摆动。这些现象为地震烈度为 VI 度的表现，所以芦山地震对场地的宏观烈度为 VI 度。

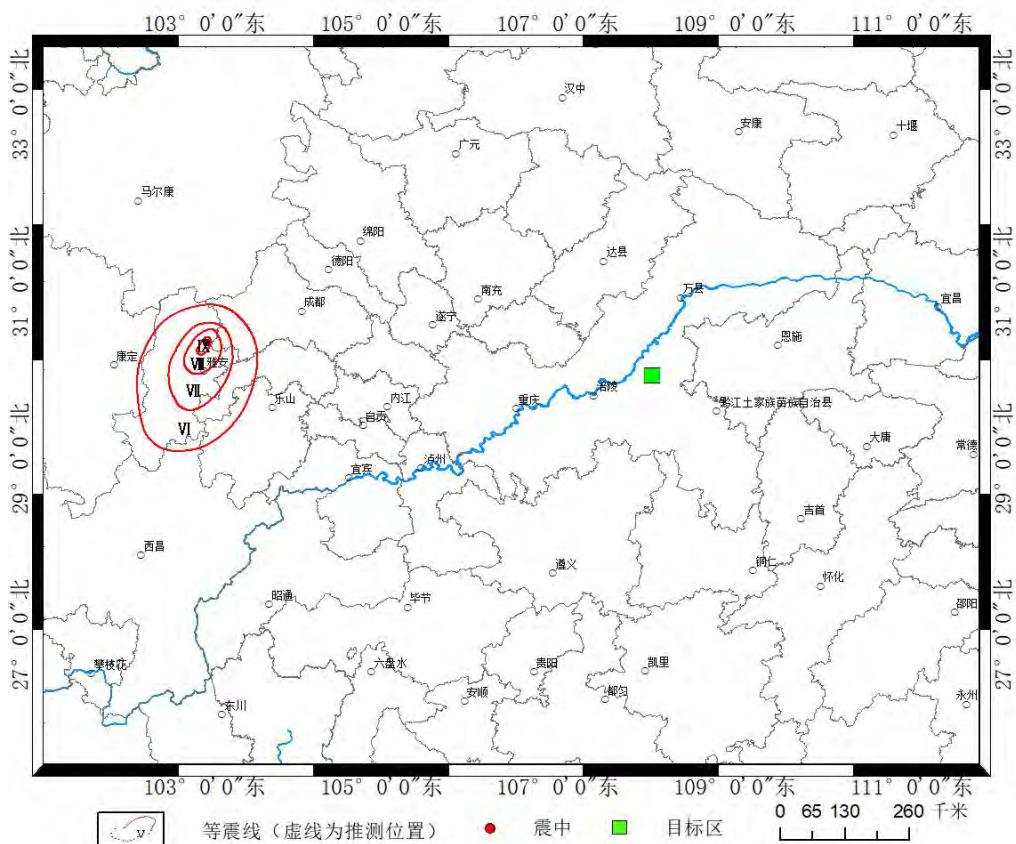


图 1-16 芦山 7.0 级地震烈度分布图（中国地震局）

（9）2017 年 11 月 23 日武隆 5.0 级地震

此次地震灾区最高烈度VI度，VI度区主要涉及重庆市武隆区火炉镇、江口镇、沧沟乡、文复苗族土家族乡，彭水苗族土家族自治县高谷镇、鹿鸣乡，总面积 194 平方千米，宏观震中位于重庆市武隆区火炉镇车坝村。

VI度区：土木、砖木房屋少数中等破坏，砖混房屋少数轻微破坏，框架房屋基本完好。从图 1-17 烈度图上看到，目标区处于VI度区范围外，所以该地震对场地的宏观烈度小于VI度。



图 1-17 武隆 5.0 级地震烈度分布图 (重庆市地震局)

(10) 2019 年 6 月 17 日四川长宁地震

2019 年 6 月 17 日，在四川省东南部宜宾市长宁县发生 6.0 地震，距离震中约 260km 的成都市区震感明显。中国地震台网中心给出的该地震震源参数为：震中 104.9° E、 28.34° N，震源深度 19km。

此次地震最高烈度为 VIII 度（8 度）。VI 度（6 度）区及以上总面积为 3058 平方千米，等震线长轴呈北西走向，长轴 72 千米，短轴 54 千米，主要涉及宜宾市长宁县、高县、珙县、兴文县、江安县、翠屏区 6 个县区。VIII 度（8 度）区面积 84 平方千米，主要涉及长宁县双河镇、富兴乡，兴文县周家镇，共 3 个乡镇。VII 度（7 度）区面积为 436 平方千米，主要涉及长宁县双河镇、梅硐镇、硐底镇、花滩镇、竹海镇、龙头镇、铜锣乡、井江镇、富兴乡，珙县巡场镇、珙泉镇、底洞镇，兴文县周家镇，江安县红桥镇，共 14 个乡镇。VI 度（6 度）区面积为 2538 平方千米，主要涉及高县、兴文县、珙县、长宁县、江安县、翠屏区的 58 个乡镇。此外，位于 VI 度（6 度）区之外的部分地区也受到波及，个别老旧房屋出现

破坏受损现象。从图 1-18 烈度图上看到, 目标区处于 VI 度区范围外, 所以该地震对场地的宏观烈度小于 VI 度。

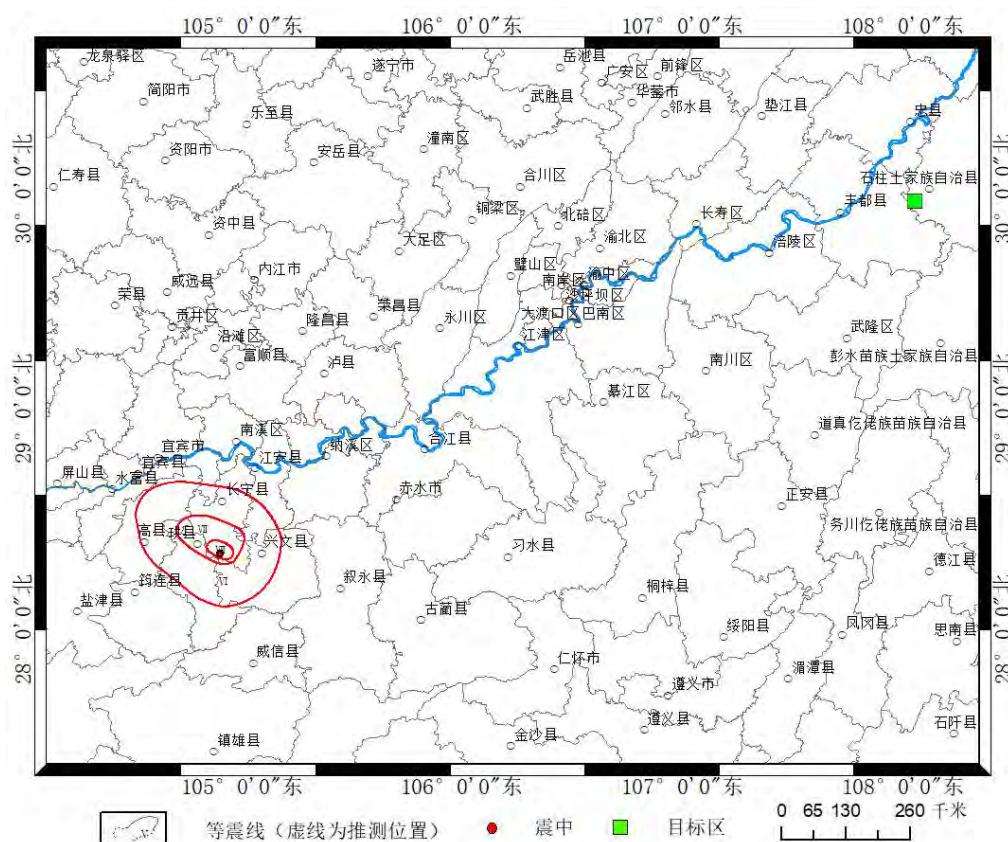


图 1-18 长宁地震烈度分布图 (四川省地震局)

(11) 2013 年 7 月 18 日重庆石柱 M.4.5 级地震

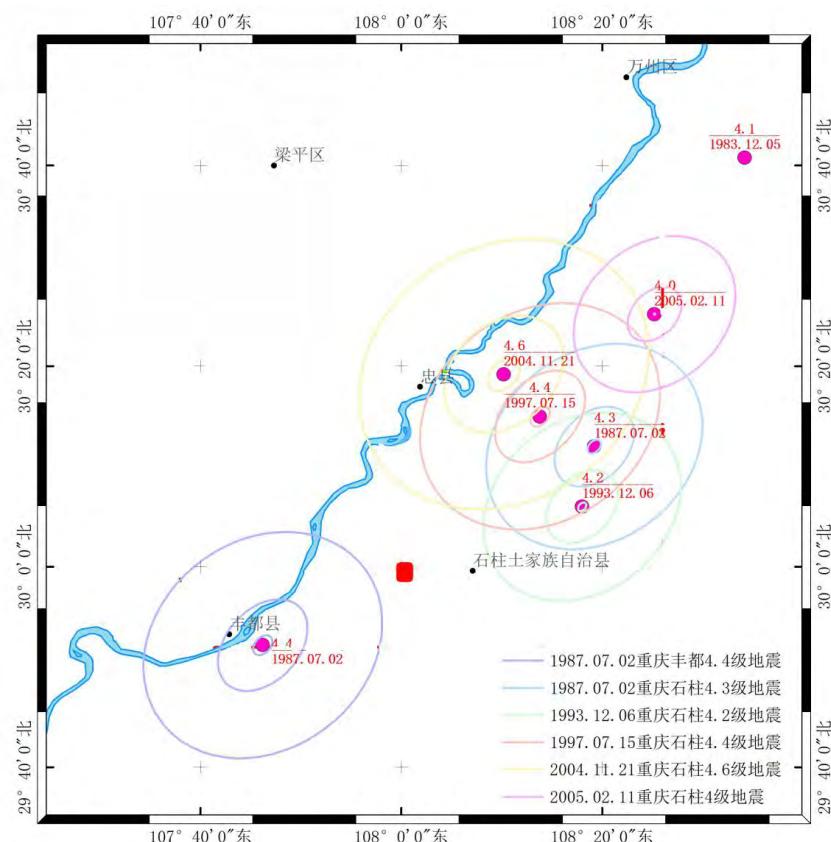
2013 年 7 月 18 日 22 时 07 分重庆市石柱土家族自治县发生了 M4.5 地震(据中国地震台网)。据现场调查, 石柱县城及万朝镇有明显震感, 初步判定宏观震中位于石柱土家族自治县万朝镇万康村附近(30.17° N, 108.12° E), 震中烈度为 V 度。震动现象表现为:个别房屋原有裂缝出现扩张和梭瓦现象、个别窗玻璃震裂、震中区老百姓普遍听到地声, 存在先上下震动、后左右震动等现象, 有 2 户共 3 间老旧土木结构房屋局部倒塌, 个别砖混结构房屋的薄弱部位轻微裂缝。

M4.5 地震微观震中(30.18° N, 108.15° E)位于石柱县万朝镇, 地处方斗山断裂带, 距离长江约 17km。在空间及时间上, 2004 年 11 月 21 日石柱 M4.6 地震为距此次地震最近的一次 4 级以上地震。此次 M4.5 地震打破了石柱地区 4 级地震 9.67 年的平静, 且震级为有记录(包括历史记载及仪器记录)以来最大。该地震共记录到震区余震 2 次, 最大震级 M2.6。此次地震距离场地 35km, 对场地的影

响烈度根据计算确定为IV级。

(12) 近场区及外围 4 级以上地震对目标区的计算烈度影响

本次选择了 1970 年以后 6 次具有精确定位的地震，采用《重庆及邻区地震烈度衰减关系的进一步研究》（秦娟，2014）^[33]地震烈度衰减关系计算了地震对目标区的影响烈度，如图 1-25 所示。可以发现，对目标区影响烈度在IV度以上的地震共有 2 次，分别是 2004 年 11 月 21 日重庆石柱 4.6 级地震和 1997 年 7 月 15 日重庆石柱 4.4 级地震，该 2 次地震对目标区的计算影响烈度均为IV度。



注：地震等烈度线由内圈到外圈烈度分别为VI、V、IV

图 1-19 近场区及外围 4 级以上地震对目标区的计算烈度

1.3.2 场地历史地震影响综合分析

本次工作利用中国西部地区地震烈度长短轴衰减关系计算没有等震线资料的强震对场地的影响烈度。表 1-6 给出了场地影响烈度目录。表中地震凡是能用宏观资料确定影响烈度的，则用宏观资料确定的影响烈度值。不能由烈度分布图确定烈度的则利用烈度衰减关系进行估算。估算了部分可能对场地产生IV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。

表 1-6 历史地震对目标区影响烈度的综合判定

编号	发震时间 (年.月.日)	震级	震中参考地名	距离目标区 直线距离 (km)	目标区 影响烈度
1	1786.06.01	7 ^{3/4}	四川康定南	550	V *
2	1856.06.10	6 ^{1/4}	重庆重庆黔江	95	V
3	1879.07.01	8.0	甘肃武都南	485	V
4	1920.12.16	8 ^{1/2}	宁夏海原	771	V *
5	1993.12.06	4.3	石柱	32	IV
6	1989.11.20	5.4	重庆渝北统景	116	IV
	1989.11.20	5.2	重庆渝北统景	116	IV
7	1997.07.15	4.3	石柱	35	IV
8	2004.11.21	4.6	重庆石柱	40	IV
9	2008.05.12	8	四川汶川	452	V
10	2013.04.20	7	四川芦山	484	IV *
11	2013.7.18	4.5	重庆石柱	35	IV
12	2017.11.23	5	重庆武隆	94	IV

*表中宏观资料取自《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)》、《中国近代地震目录(公元 1912 年—1990 年)》

综上所述，历史地震对目标区的影响烈度达到IV度以上的地震有 13 次，有史以来遭受的最大影响烈度为V度。

1.4 区域现代构造应力场

现代构造应力场的研究有助于探讨地震成因、分析断层活动方式和活动性质。目前研究地壳应力状态较为可行并被普遍采用的途径是通过测定地震的震源机制解来推断应力主轴的方向。近年来国内学者一方面根据单个大地震求解震源

机制解，以此研究区域构造应力场特征。另外一方面是用单台或多台小地震求小震综合断层面解用以对地区应力场特征的研究。

(1) 大震震源机制解

由于台网分布稀疏及地区差异，震源机制解数据在区域范围内分布不均。在工作区西段地震震源机制解资料较少。判断区域现代构造应力场需要从更大的范围进行分析。根据前人测定的震源机制解（①许忠淮等、②重庆地震安全性评价项目、③中国地震局地球物理研究所、④重庆市地震局；⑤常祖峰等）从中选出位于工作区区域内及其周边地区地震的震源机制解共 20 个，并按目前国际通用的 Aki 定义的震源参数表达方式给出下半球投影参数，列于表 1-7。并绘制这 20 个地震的震源机制解分布图（图 1-20）。

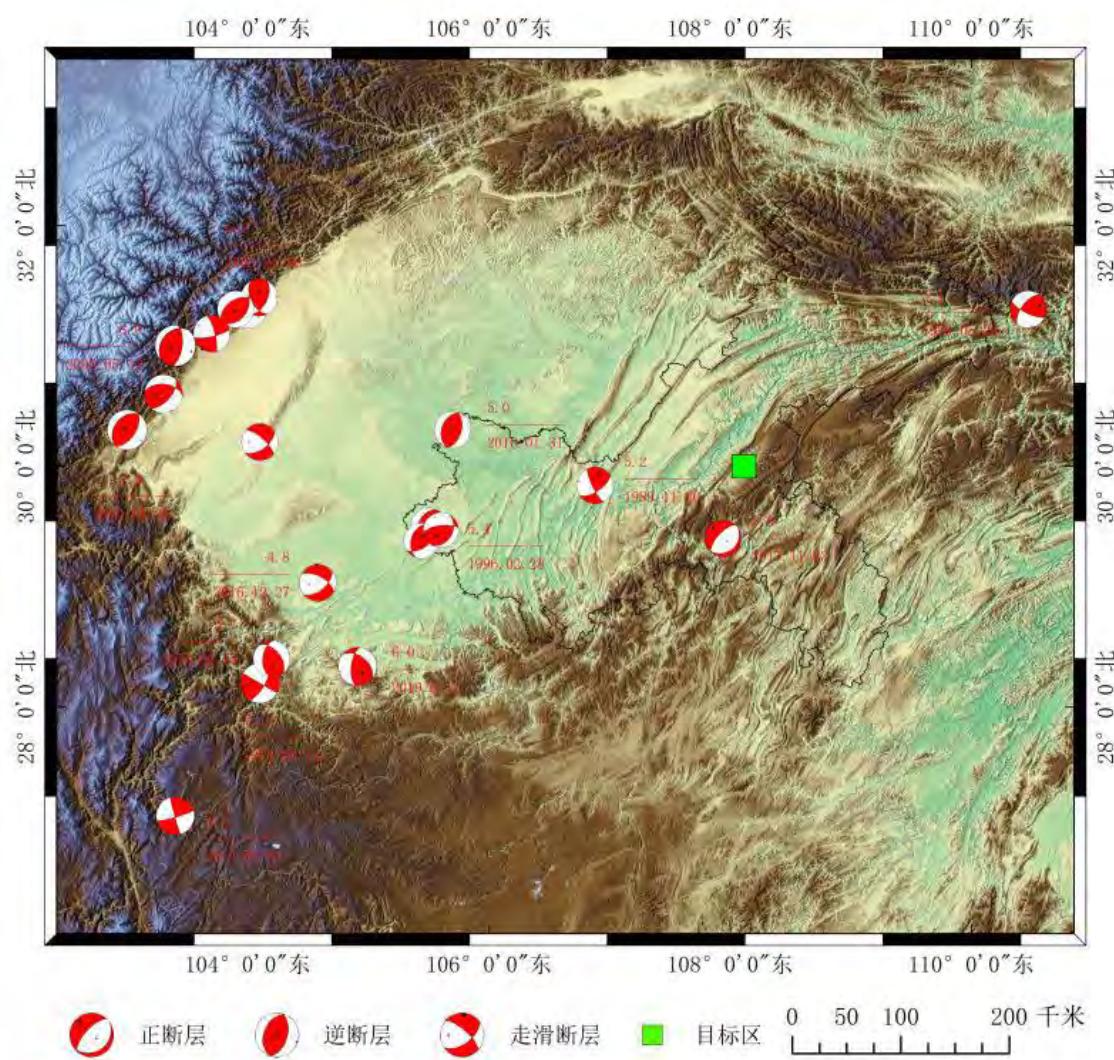


图 1-20 震源机制解分布图

表 1-7 区域及周边震源机制解

	地震时间	震中位置		震级	节面 I		节面 II		P 轴			T 轴			B		来源
		北纬	东经		M _s	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	
1	1958.02.06	31.3	104	6.2	31	78	86	230	13	108	125	33	296	57	32	4	①
2	1967.01.24	30.2	104.1	5.5	311	71	-35	54	57	-157	268	38	5	9	106	51	①
3	1970.02.24	30.6	103.3	6.2	41	58	53	276	47	134	156	6	256	59	63	31	①
4	1974.05.11	28.2	104.1	7.1	30	70	0	300	90	160	347	14	253	14	120	70	①
5	1974.06.15	28.4	104.2	5.7	321	50	58	185	50	122	73	0	163	65	343	24	①
6	1979.05.20	31.3	110.47	5.1	116	72	148	217	60	20	169	8	73	35	270	54	①
7	1989.11.20	29.84	106.88	5.2	57	63	166	153	78	28	282	10	18	28	175	60	②
8	1996.02.28	29.03	104.58	5.4	298	60	-41	53	55	-141	265	50	356	3	89	40	①

9	1997.08.13	29.5	105.5	5.2	63	57	114	204	40	58	137	9	23	68	230	20	②
10	2008.05.12	31	103.4	8	8	63	74	220	32	118	110	16	246	68	16	14	③
11	2009.06.30	31.4	104.1	5.6	153	51	51	25	53	128	89	1	358	61	180	29	③
12	2009.11.28	31.3	103.9	5	235	49	99	41	42	80	319	4	201	82	49	7	③
13	2010.01.31	30.3	105.7	5	16	51	87	201	39	94	108	6	267	84	18	2	③
14	2010.05.25	31.1	103.7	5	78	77	-166	345	76	-13	302	19	211	1	119	71	③
15	2010.04.20	30.3	103.00	7	34	55	87	220	35	95	126	10	292	79	36	3	③
16	2010.09.10	29.38	105.44	4.7	197	40	58	85	78	58	328	3	21	52	255	22	①
17	2014.08.03	27.1	103.4	6.5	74	84	177	165	87	6	299	2	56	6	142	34	③
18	2016.12.27	29.47	105.6	4.8	29	34	41	263	68	117	333	18	210	58	173	22	④
19	2017.11.23	29.4	107.94	5	55	24	-79	223	66	-95	124	68	317	21	225	4	③
20	2019.6.17	28.34	104.91	6	308	45	40	187	63	127	71	10	146	50	172	39	⑤

①黄忠淮等, 1994; ②重庆涪陵核电项目; ③中国地震局地球物理研究所; ④重庆市地震局; ⑤常祖峰等.2019年四川长宁 M_S6.地震的地质构造成因 (2020)。

由研究区内震源机制解分布图可以看出,研究区内已有的震源机制解基本都分布在东经 107° 线以西的地区,而东经 107° 以东的地区基本没有历史震源机制资料的分布。这表明研究区内西侧地区具有较强的地震活动性,而东侧地区地震活动性则较弱;可以看出,已有的震源机制解中,逆冲走滑型比例最高,反映了研究区西侧现代构造应力场主要呈现为逆冲走滑型应力状态。

(2) 区域小震综合断层面解

震源机制是描述震源物理性质,分辨地震结构,了解地震活动性的基础常用的方法(万永革,2015),主要有体波反演、面波反演和全波形反演等,但这些方法在一些中强地震较少的区域则很难获得。本次报告的工作区在重庆中东部,相比于重庆西南及东北部地区,该地区强震活动较弱。对此,利用 P 波初动求解小震综合断层面解研究工作区的构造应力场特征。地震台记录的具有清晰可辩的 P 波震相,震源位置已知,将离源或向源的符号标在震源参考球上,通过坐标平移,由大量的 P 波初动符号可得到代表该区域基本应力场的节面解(Aki, 1966)。许多学者利用这一方法对全国多个地区构造应力场进行深入研究(李钦祖, 1973; 许忠淮, 1983; 汪素云, 1985; 胡幸平, 2008, 袁乃荣, 2018)。重庆局、四川局利用重庆地震台记录到的中小地震波形资料,求解单台和多台、多时段小震综合节面解,从重庆地震台 1970-2020 年报告中选出具有清晰 P 波初动符号的地震,测定了重庆台的小震综合机制解,其结果列于表 1-8。

表 1-8 小震综合断层面解

资料 起止时 间	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		B 轴		矛 盾 比	资 料 来 源
	走向	倾 角	滑 动 角	走 向	倾 角	滑 动 角	方 位	倾 角	方 位	倾 角	方 位	倾 角		
1977.3- 1978.3	92.5	60	-	343	60	-	128	45	218	0	308	45	27%	四川局
1987.3- 1989.11	45	65	-	291	49	-	267	50	163	₁ ₁	57	38	20%	四川局
1970.1- 2003.12	50	70	-	320	57	-	275	7	185	3	70	82	31%	重庆局

2003.1- 2004.12	230	60	-	140	90	-	91	21	189	$\frac{2}{1}$	320	60	29%	重庆局
2005.1- 2005.12	202	68	-	311	51	-	260	10	160	$\frac{4}{5}$	360	40	23%	重庆局

本次研究采用区域 2010 年 1 月至 2020 年 6 月 325 次地震事件的波形文件，为保证结果的严谨性，对深度为零的地震予以去除，读取 P 波初动极性以及 P、S 波震相到时，初步读取 P 波及 S 波到时数据共计 21134 条。采用双差定位法，对研究区内小震进行精确重定位，重定位所采用的一维速度模型是王小龙等 (2010) 综合前人的研究成果给出的，获得了 192 个地震的精确重定位结果。在人工读取震相到时的同时，还逐一判读了 P 波初动极性，依据双差定位定位的结果，剔除到时残差较大的 P 波数据，最终筛选出射线参数较好、走时残差较小的高质量 P 波初动极性数据 216 条。利用 P 波初动极性，采用格点尝试法，计算了研究区内小震综合断层面解。在具体计算过程中，均对所有可能解的三维参数空间以步长 $5^\circ \times 5^\circ \times 5^\circ$ 进行空间搜索，每次搜索都会给出与模型不一致的 P 波与 P 波总个数的比值，称为矛盾比，选取加权矛盾比 ψ 介于极小值 ψ_{\min} 和 $\psi_{\min} + 5\%$ 之间的解作为可选解（解的离散区），然后通过聚类分析和解的稳定性检验，确定最终综合断层面解如图 1-21 和表 1-9 所示。

表 1-9 本文计算小震综合节面解

节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比
走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角	
72	73	-152	338	62	-8	303	23	198	12	85	62	35%

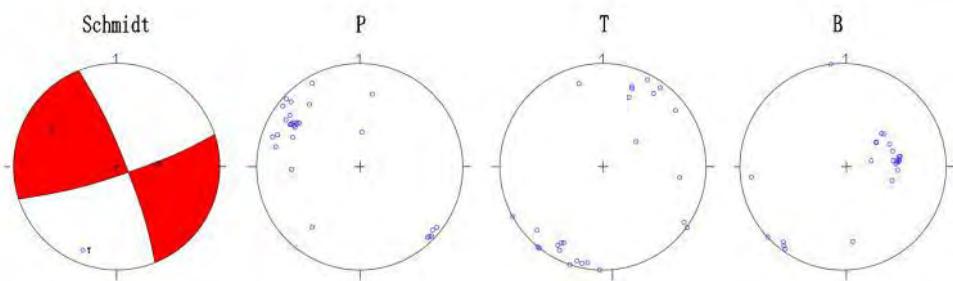


图 1-21 研究区构造应力场方向计算结果图 (下半震源球面投影)

左 1：综合断层面解；右三：综合断层面解反映的三个应力主轴

(3) 区域 P、T 轴的方位角与倾角分布特征

综合上面的结果,我们将得到的震源机制解中主压应力轴和主张应力轴的方位和倾角汇总在图 1-22 中,图中径线 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 NWW-SEE 向,倾角均小于等于 50°,大多数都小于等于 25°;主张应力轴 T 轴的优势方位为 NNE-SSW 向,倾角均小于等于 55°,大多数都小于等于 35°。从图可直观地看到区域应力方向的分布情况,综合以上小震综合断层面解得到的结果可看出,本区处于 NWW-SEE 向近水平主压应力与 NNE-SSW 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发生逆断层或兼走滑型断层活动,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。

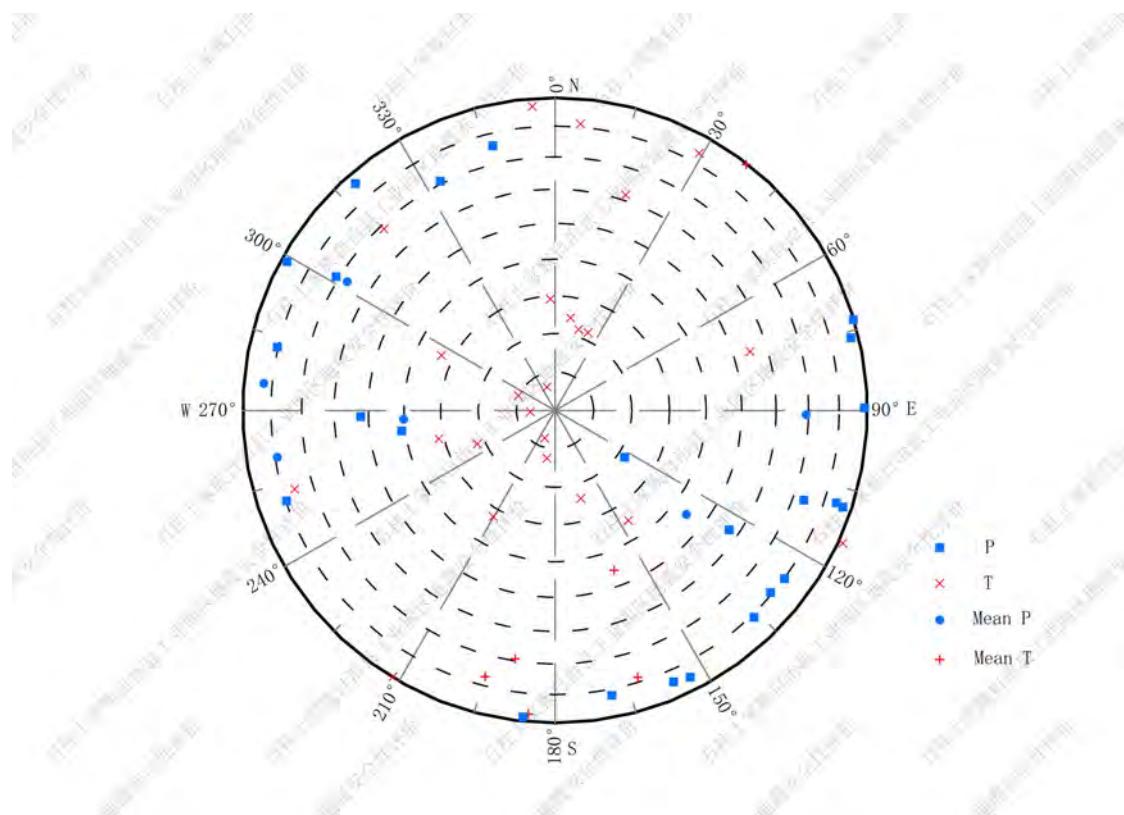


图 1-22 P、T 的方位角与倾角分布图

1.5 地震活动性综合评价

通过本章的分析论证,可以对场地的地震活动环境做出如下评价:

1、区域位于长江中游地震带，带内未来百年内的地震活动时间进程仍将主要持续现在的地震相对活跃期，地震活动水平将保持最近百年的平均地震活动水平。

2、公元 1970 年 1 月-2020 年 9 月区域内共记录到震级 $M \geq 2.0$ 级地震 987 次，其中， $2.0-2.9$ 级地震 874 次， $3.0 \leq M \leq 3.9$ 级地震 101 次、 $4.0 \leq M \leq 4.6$ 级地震 12 次，区域内的中小地震活动绝大多数为 $2.0 \leq M \leq 2.9$ 级。 $M \geq 4.7$ 级地震在目标区的四周零星分布，地震活动水平较弱。

3、近代地震活动均为中小地震为主。据历史资料记载和 1970 年建立起来的区域地震台网记录，近场区共发生 $M \geq 2.0$ 级地震 70 次，其中 $2.0 \sim 2.9$ 级地震 60 次， $3.0 \sim 3.9$ 级地震 6 次， $4.0 \sim 4.9$ 级地震 4 次，未记录到 5.0 级以上地震。

4、场地遭受Ⅳ度及以上历史地震影响共 13 次，对场地影响的最大烈度为 V 度。

5、本区处于 NWW-SEE 向水平主压应力与 NNE-SSW 向具有一定倾角的主张应力为主的现代构造应力场中，因此易发生逆断层、走滑断层或兼走滑型断层。本区 NE 向的断层易发生逆兼右旋走滑运动，NNE 向隔挡式断裂带易发生逆冲断裂活动。

2 区域地震构造环境

根据中华人民共和国国家标准《目标区地震安全性评价》（GB17741-2005）的要求，研究地震活动性的区域范围半径应不小于目标区外围 150km。因此，本章将以收集、分析现有资料为主，辅以必要的现场地震与地质调查工作。从区域内的地质构造背景、地球物理场特征、区域新构造运动与构造地貌特征、区域主要活动断裂带与地震构造评价等方面进行分析论述。为地震危险性概率分析方法中地震统计区及潜在震源区划分提供基本的背景资料。

2.1 区域大地构造环境

2.1.1 区域大地构造单元划分

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。扬子准地台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。

根据区域地质发育历史、沉积建造及其演化特点等，区域及邻区大地构造单元划分如图 2-1 和表 2-1，从图 2-1 可以看出工作区主要位于一级构造单元扬子准地台上，区内主要可划分为四川台坳（ I_1^1 ）、上扬子台褶带（ I_1^3 ）两个二级构造单元。四川台坳又可进一步划分为川中台拱（ I_{1-2}^2 ）和川东陷褶束（ I_{1-1}^2 ）两个三级构造单元。

表 2-1 区域及邻区大地构造单元划分表

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元
扬子准地台（ I_1 ）	龙门山-大巴山台缘坳陷（ I_1^1 ）	大巴山陷褶束（ I_{1-1}^1 ）
		汉南台拱（ I_{1-2}^1 ）

		龙门山陷褶束 (I_{1-3}^1)
		川东陷褶束 (I_{1-1}^2)
		川中台拱 (I_{1-2}^2)
	四川台坳 (I_1^2)	川北台陷 (I_{1-3}^2)
		川西台陷 (I_{1-4}^2)
		川东南陷褶束 (I_{1-1}^3)
	上扬子台褶带 (I_1^3)	印江陷褶束 (I_{1-2}^3)
		江南隆起 (I_1^4)

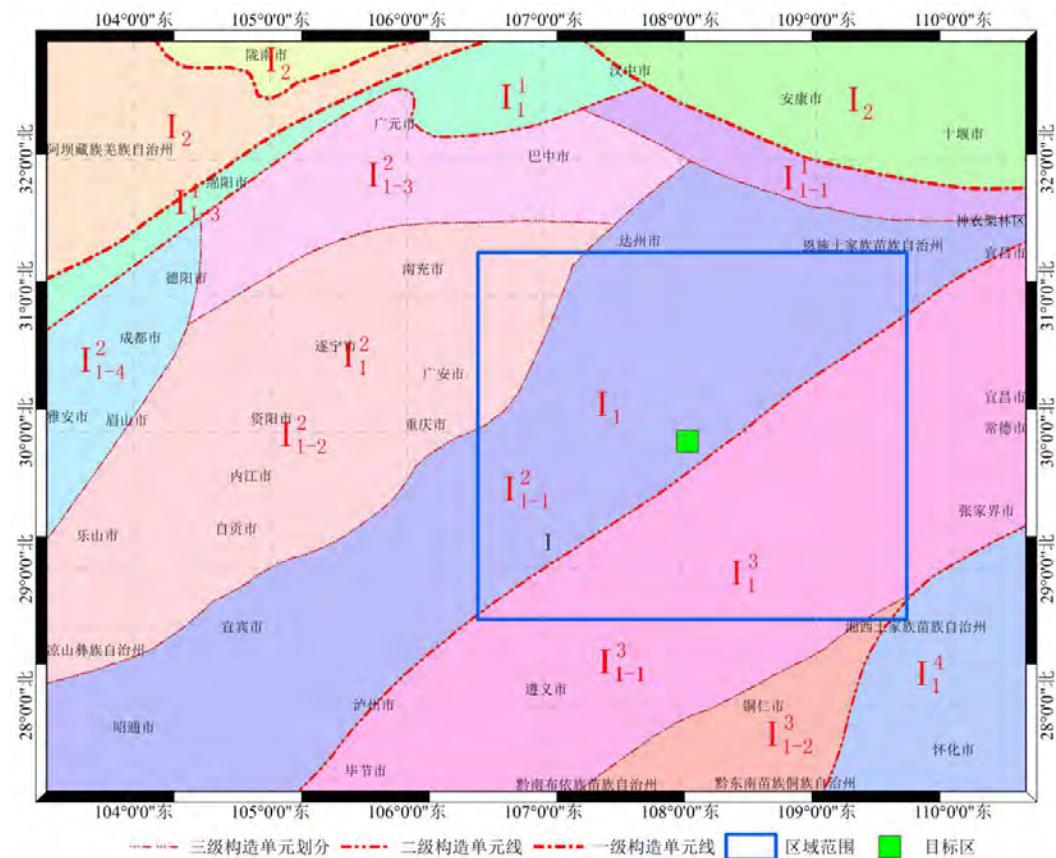


图 2-1 区域大地构造单元划分简图

2.1.2 大地构造单元基本特征

1、扬子准地台(I_1)

扬子准地台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。扬子准地台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。

重庆地域扬子准地台的基底仅出露褶皱基底地层（板溪群），大部地区为双层结构。仅石柱-涪陵-垫江地区为隐伏结晶基底单层结构。盖层为一套较完整的海相-陆盆相沉积构成，比较完整。由于基底、深断裂长期活动，以及受大区域东南西北水平方向的推挤过程，盖层和基底之间不同介质的形变差异较大，形成了较复杂的构造模式和构造组合。据台内地史发育过程沉积，构造组合差异，可再分为三级构造单元：

1.1、龙门山-大巴山台缘坳陷 (I₁)

龙门山-大巴山台缘坳陷是扬子准地台西北部的坳陷，西邻松潘-甘孜地槽褶皱系，北接秦岭地槽褶皱系。在平面上看，台缘坳陷内出现雁行排列的两回两凸，由南至北为宝兴和九顶山凸起、雁门凹陷、汉南凸起、大巴山凹陷。在凸起上广泛出露前震旦纪基底，岩浆活动发育，盖层不发育，各种特征与康滇地轴相近。凹陷中则未出露基底，盖层相当发育，性质近似盐源坳陷。在凸起上结晶基底为晚太古代-早元古代花岗岩-绿岩地体，可与康定群对比。距今约 1700Ma 的中条运动使上述地体普遍遭受区域热流动力变质，形成各种变质岩及混合岩。中元古代，在结晶基底上发育裂陷槽，沉积砂泥所复理石建造及碳酸盐建造。距今约 850Ma 左右的晋宁运动使地槽褶皱回返，岩石普遍遭受区域动力变质，且有同造山期的钾质花岗岩形成。典型的地台沉积从晚震旦世陡山沱期和灯影期开始，上震旦统-中三叠统以隐定型建造为主。中与晚三叠世及晚三叠世与早侏罗世间的印支运动，使盖层褶皱因坳陷上升普遍趋势侏罗纪以后地层。总体说来，龙门山-大巴山台缘坳陷北与秦岭地槽褶皱系一级构造单元交界，是城口深断裂带以南的一个极窄的下古生代坳陷，出露南华系构造层。盖层受深断裂推覆影响，断褶

构造发育，从中生代开始隆起至今。

①大巴山陷褶束 (I_{1-1}^1)

大巴山陷褶束为一北西向略向南凸出的弧形断褶带，与大巴山台缘坳陷 (I_1^1) 构造特征一致。位于巫溪、城口一带，为一北西向构造带，北以城巴断裂带与北大巴山冒地槽褶皱带分界，陷褶带内缺失泥盆系和石炭系，南华系-志留系、二叠系-三叠系发育，为滨海、浅海碎屑岩和碳酸盐台地沉积。晚三叠世时该区隆起，缺失侏罗系以上地层。

②汉南台拱 (I_{1-2}^1)

汉南台拱在光雾山断裂以西，由汉南杂岩及康定群组成结晶基底，花岗岩与绿岩共存，混合岩化发育。以东由火地层群的复理石建造和碳酸盐建造组成褶皱基底，岩性多为绿片岩和大理岩，并有大量花岗岩。下震旦统铁船山组、母猪塘组为块断造山张裂中酸性火山岩建造及磨拉石建造。印支晚幕运动使本单元上升成陆，山前有上三叠统灰色复陆屑建造和侏罗、白垩系红色复陆屑建造。这些陆相建造的砾石，大部分为沉积岩，极少岩浆杂岩和变质岩。可见，台弯大规模的隆升可能是喜马拉雅期，且隆升是以背斜两翼反冲的方式拱起进的。

台拱总的是一个东西走向的复背斜，两翼次级褶皱发育。基底断裂及片理走向多为北 $60\text{--}70^\circ$ 东，仅少量叠加其上的断裂和片理才作东西走向。显然，北东向代表古老基底构造线方向，与川中台拱基底构造线方向一致，东西向仅代表盖层构造线方向。

③龙门山陷褶束 (I_{1-3}^1)

龙门山陷褶束南起宝兴，北止广元青林，呈北东向延伸，西与丹巴-茂汶地背斜毗邻，东与四川台坳相接。该区自震旦纪开始进入地台发展阶段。下震旦统仅局部发育，为流纹岩。上震旦统-中三叠统为地台稳定型砂泥质建造及酸盐建造，多分布于凹陷中或凸起边部。各地常缺失地层且常见超覆现象，表明震荡运动频繁。总的说来，晚震旦世、泥盆纪、石炭纪和早二叠世海侵较广，上震旦统-奥陶系、石炭系和二叠系共性较多，变化不明显。变化大的是志留系和泥盆系，厚度多是西厚东薄，岩相具有地槽与地台的过渡特征。晚三叠世后，由于龙门山处于陆内汇聚部位，后期构造运动颇为活跃。印支运动使该区隆起。早、晚第三纪间

的喜马拉雅运动使龙门山再度褶皱。龙门山实际是由一系列大小不等的推体叠置而成，其发展时限长。从山前磨拉石分布可以看出，中侏罗世山麓砾岩（灌县砾岩）主要发在中段偏南，晚侏罗世山麓砾岩（莲花口砾岩）主要见于北段和中段。到白垩纪，推覆活动再度增强，在整个龙门山前都发育冲积扇群（剑门关组、天马山组、夹关组），直到始新世中、晚期四川运动后，推覆体才最终定位。

1.2、四川台坳（ I_1^2 ）

重庆地域属四川台坳的东缘部分，西以四川江油-灌县断裂，东南以七曜山—金佛山基底断裂为界，东北止于巫溪、尖山一线。基底除石柱-涪陵-垫江地区为单层结构外，其他均为双层基底结构。盖层发育较好。以中生代“红层”为显著特征，褶皱构造为主要构造形式，但褶皱轴部发育的断层具较强的活动性，是喜马拉雅山运动期主要活动构造之一。

①川东陷褶束（ I_{1-1}^2 ）

川东陷褶束是位于华蓥山断裂与七曜山断裂之间的北东向褶皱带，呈北东向长方形块状形态。基底为单层、双层两种结构，盖层发育较完全。陷褶束内出露的中生代地层主要为三叠系和侏罗系，南部边缘有白垩系。据航磁资料，其褶皱基底由板溪群变质砂岩、板岩组成。在古生代，该区相对于川中台拱是沉降区，除缺失部分古生界外，其余地层发育齐全。坳陷中，从早至晚逐渐由南东向北西迁移。到中生代，本区则逐渐隆升成陆。该区褶皱为狭长的背斜与宽缓的向斜，背、向斜宽度比为1:3~1:4，组成隔挡式褶皱。构造线以北北东为主，但受基底断裂以及盆地边缘构造的制约，常产生联合或复合，形成弧形或似帚状构造。褶皱构造十分发育，“帚状”、“梳状”以及狭长背斜构造，与宽缓向斜构造相间而生，组成隔挡式褶皱构造形式。背斜构造轴部发育地表断层，隐伏断层具现代活动性。

②川中台拱（ I_{1-2}^2 ）

分布于华蓥山基底断裂以西北。基底以双层结构为主，仅在荣昌局部地区为单层结晶基底。构造单一，以短轴斜式穹隆状背斜为主要构造形式。具有浅层简单，深部复杂的特点，与隐伏滑脱构造相关。其内侏罗系红层广泛分布。据深钻资料，其基底由各种片麻岩及岩浆杂岩组成，盖层之下为花岗岩和变质霏细岩；

盖层中二叠系平行不整合于下奥陶系之上，早中三叠世发育蒸发式建造，晚三叠世发育灰色复陆屑建造，侏罗系为红色复陆屑建造。盖层褶皱多为北东—北北东的短轴背斜或鼻状构造及半环状构造。

③川北台陷 (I_{1-3}^2)

据航磁资料，川北台陷与川西台陷的基底同属浅变质岩。它是大巴山、米仓山和龙门山北段山前的中生代陆相拗陷，东以巴中基底断裂与川中台拱相邻。二叠纪以前，沉陷中心在巴中及通江以北地区。苍溪、梓潼一带是中生代以前汉南台拱的西南延伸部分，在晚三叠世以后才卷入川西北拗陷。梓潼台凹北部，地表构造主为北东东-北东向，但广旺地区雷口坡组以下的构造变得复杂。东西向与北东向古构造交汇复合的部位呈串珠状展布。盐亭台穹是印支期川西台陷与川北台陷之间的鞍状突起。通江台凹是拗陷最深的部位，基底埋藏深度大于 10000m。东部的褶皱群受大巴山台缘褶带影响，组成大巴山外弧褶带，向北东的大巴山靠近，岩层倾角逐渐增大，褶皱渐趋紧密，卷入地层渐老。断裂的压扭性特征明显，北东盆地层向南东错移。断层挤压带中的破劈理、斜冲擦痕、分枝构造，均指示了北东盘向南东的移动，显示顺时针扭动的特点。

④川西台陷 (I_{1-4}^2)

川西台陷是龙门山山前的多旋回凹陷，地表主要出露新生代地层。台陷中厚达数百米的第四系，表明龙门山在近代的强烈抬升。本台陷是四川台拗拗陷最深的部位。据地震剖面资料，拗陷中心位于新繁-德阳一带。雅安凹褶束是龙门山南段与峨眉山断拱前的中生代的斜坡，侏罗系和白垩系山麓扇砾岩发育。成都断凹是一个巨大的断陷盆地，广布全新世地层。其西缘有邛崃-彭县断裂，东缘有成都-蒲江断裂。断凹西陡东缓，两侧断层多向中心对冲，且控制第四纪沉积，沉积中心在郫县安德补，第四系厚约 300m。断凹迄今仍显示沉降的特点，新构造运动较为活跃。龙泉山穹褶束位于川中台拱与川西台陷的过渡带上，广泛分布有白垩系及更新统地层。龙泉山断裂在地表断续出露，全长约 120km，倾角由地表到深部越来越缓，最后消失于中三叠统雷口坡组。

1.3、上扬子台褶带 (I_1^3)

上扬子台褶带是渝东南的一个拗陷，东至七曜山断裂，毗邻四川台拗。台拗

内震旦系-侏罗系发育，线形褶皱发育。

褶皱基底板溪群与南华系冰砾层为角度或平行不整合，震旦系为远硅质建造，寒武系为远硅质及内源碳酸盐建造，奥陶系为异地碳酸盐建造及笔石页岩建造，志留系为海退序列的笔石页岩建造—砂泥质建造。加里东运动使该区隆升，台坳大部分地区缺失泥盆系、石炭系，局部有零星出露；下、中二叠统为铝土质建造—碳酸盐建造，上二叠统为海陆交互相的含煤建造；早三叠世为滨海环境，沉积物为内源碳酸盐建造；中三叠统为红色砂泥质建造、蒸发式建造。受印支运动影响，晚三叠世本区抬升，上三叠统为灰色复陆屑建造，侏罗系为红色复陆屑建造。在重庆黔江一带，上白垩统与下伏侏罗系角度不整合，表征了盖层褶皱时期为燕山期。台坳内由西至东，构造线从南北向过渡为北东向。

①川东南陷褶束 (I_{1-1}^3)

川东南陷褶束以七曜山断裂为界。该区近上扬子台坳古生代的坳陷中心，下古生界发育齐全，化石丰富。板溪群仅于秀山一带出露，为一套冒地槽砂泥质建造夹少量凝灰岩及结晶灰岩，南华系多平行不整合于板溪群之上。酉阳、秀山一带，一套厚210~322米的冰期——间冰期砂泥质建造平行不整合于板溪群之上。这一不整合面反映了澄江期该区急剧上升。

陷褶束内，震旦系为礁型碳酸盐建造；寒武系—志留系为碳酸盐建造、砂泥质页岩建造；石炭纪—泥盆纪海侵曾波及本区，少数区残留上泥盆统和中石炭统；二叠系为铝土质铁质建造、内源碳酸盐建造和单陆屑含煤建造；下、中三叠统为蒸发式建造；晚三叠世—侏罗纪，该区受雪峰隆起影响，有上三叠统和侏罗系沉积；上白垩统为山间盆地磨拉石建造，不整合于侏罗系及更老地层之上。其褶皱为燕山期所形成，并与重庆陷褶束的一系列北北东向褶皱群呈有规律的带状分布。

2、松潘-甘孜地槽褶皱系

松潘-甘孜地槽褶皱系是古特提斯洋开启和闭合的产物，归因于扬子陆块向北俯冲于昆仑地块之下，同时又向西俯冲于羌塘-昌都陆块之下的双向俯冲结果，致使造山带的平面形态表现为独特的倒三角形，同时又记录了新特提斯运动的构造变形过程。研究结果表明，松潘-甘孜地槽褶皱系形成的主要时段 P12-T32，持续时间约 50Ma，历经了收缩变形与伸展变形等过程，形成有深层高温韧性剪切带，

并伴随有高温面理、线理、“A”型褶皱等构造变形现象。在T3晚期以来，随着新特提斯洋的开启与闭合以及热流作用，致使造山带地壳上部的体积膨胀，在强大的近东西向挤压作用下，造山带整体上升，地壳上部物质的塑性流动导致沿龙门山-锦屏山构造带发生大规模冲断作用，形成龙门山和盐源前陆薄皮逆冲楔，四川盆地则进入前陆盆地的发育时期。

3、秦岭地槽褶皱系

秦岭地槽褶皱系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、新特提斯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，秦岭地槽褶皱系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。

2.1.3 地质构造发展演化特征

扬子准地台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。扬子准地台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。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带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，现已确认的中咱、兰坪和泰国清迈等推覆构造带，皆是由西向东逆冲，推覆距离达80-100Km左右（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所产生的水平推挤力（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。再者，就是在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。据研究,作为印支块体和川滇块体分界的红河断裂的右旋走滑运动大致发生在 13-15Ma(Tapponnie 等, 1990), 而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,不仅对东缘地区地质、地貌的表现,而且对地震活动均具有重要的制约作用。

2.2 新构造运动特征

2.2.1 地貌概述

区域属四川盆地东缘,受区域构造格架的控制,地貌总体呈现为北东—南西方向的带状结构,地势东南高、西北低。以华蓥山断裂带和七曜山—金佛山断裂带为界,形成丘陵区、低山丘陵相间排列区和中-低山区,如图 2-2 所示。

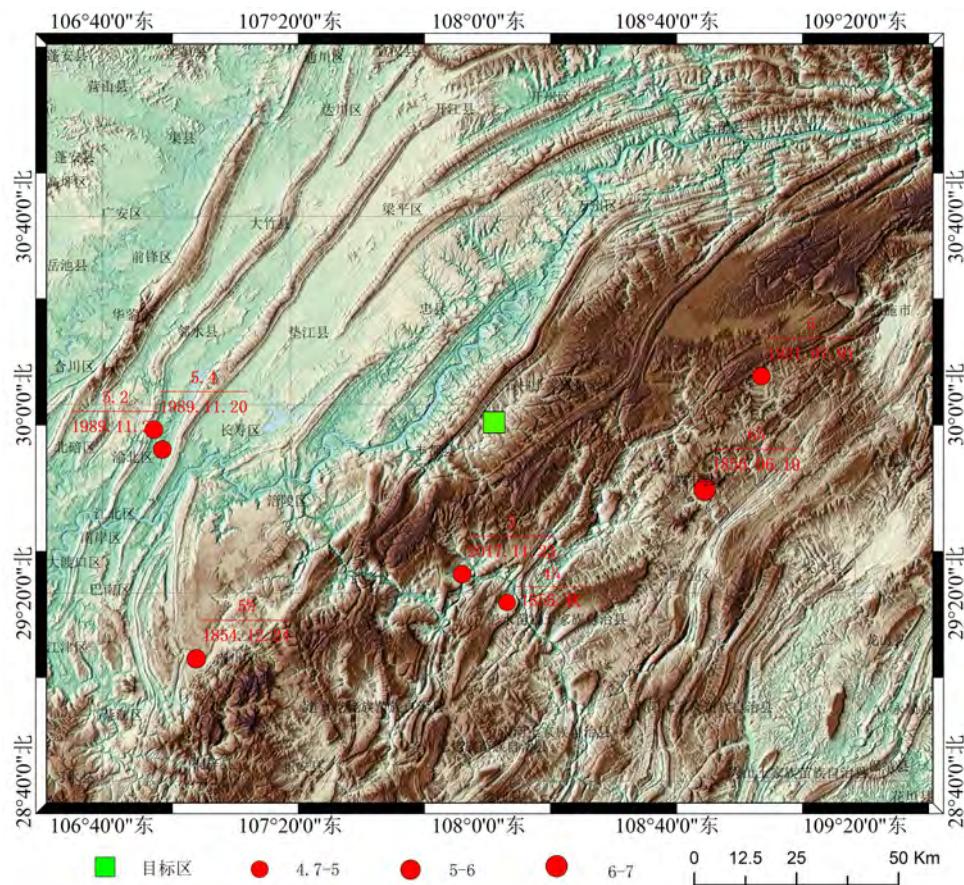


图 2-2 区域地形地貌图

丘陵区位于华蓥山以西,在地貌上以圆形或长圆形丘陵地貌为其特征,丘陵高度多在海拔 500m 以下。这一地貌特征是穹隆构造、短轴背斜构造的反映。低

山丘陵相间排列区位于华蓥山断裂带及其以东至七曜山—金佛山断裂带之间的广大地区，地貌上一系列北东走向的狭窄条状山岭与相对较宽阔的岭间丘陵相间排列。低山海拔多在 600—900m 之间，最高为华蓥山主峰高登山，海拔 1744m，岭间丘陵海拔一般在 500m 以下。中-低山区位于金佛山南东，地貌上以北东走向较宽阔的山地与相对比较狭窄的较低丘陵相间排列，山地海拔多在 1500m 左右，最高为金佛山主峰，海拔 2251m，山间丘陵海拔多在 1000m 左右。这一地貌形态，是该地区“城垛式”褶皱构造和断层活动的反映。

2.2.2 新构造运动基本特征

根据区域地质构造分区的研究结果，区域范围大地构造单元处于扬子准地台区（一级构造单元）中的四川台坳（二级构造单元）中的川东陷褶束区（三级构造单元）。早新世该地区的新构造运动有明显的继承性断陷和上叠运动，而早期的长江故河道河流相沉积高居于分水岭垭口和山顶夷平面上，与现今长江河道相差甚远。中更新世至晚更新世则有强烈的断块运动发生，既有强烈的盖层水平挤压和水平滑动，更有突出的垂直差异运动。强烈的褶皱隆起和断块运动，不仅形成区域性的地貌景观，还使早期夷平面解体，并形成新的夷平面。同时，长江水系开始下切袭夺、调整，逐渐形成现今长江水系的雏型。这一时期构造地质变迁有称为“地形大切割的时期”及“中更新世晚期强烈的构造运动”。至晚更新世，无论是断、褶构造，或者是地貌变迁都逐渐调整、定型，但都保持了明显的继承性活动特点。全新世的新构造运动表现出多阶段水平抬升的振荡运动，但整体块状分布及抬升趋向依然保持着鲜明的继承性特点。该地区的新构造运动具有鲜明的断块构造运动特点和继承性的递次发展过程的特点。新构造运动所留下的各种新构造运动形迹，都表现出其有间歇性断块升、降垂直差异运动的特征。

2.2.3 新构造运动分区

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。

该区域属于东部弱升区，根据新构造运动发育史、类型、幅度的强弱、地貌形态及主控断裂的走向、活动特征以及地震活动，东部弱升区（II）：第四纪以来抬升幅度较西部地区小，可进一步划分出四川盆地弱升区（II₁）、秦岭-大巴中升区（II₂）、滇东-黔西中等掀升区（II₃）、黔中面状隆升区（II₄）和鄂西-黔东中升区（II₅）。四川盆地弱升区（II₁）可细划为成都断陷（II₁₋₁）、川中微升区（II₁₋₂）、川东盆岭区（II₁₋₃）3个三级区。区域属于四川盆地弱升区（II₁）和鄂西-黔东中升区（II₅），大部分属于鄂西-黔东中升区（II₅）和川东盆岭区（II₁₋₃）

（表 2-2，图 2-3）。简述如下：

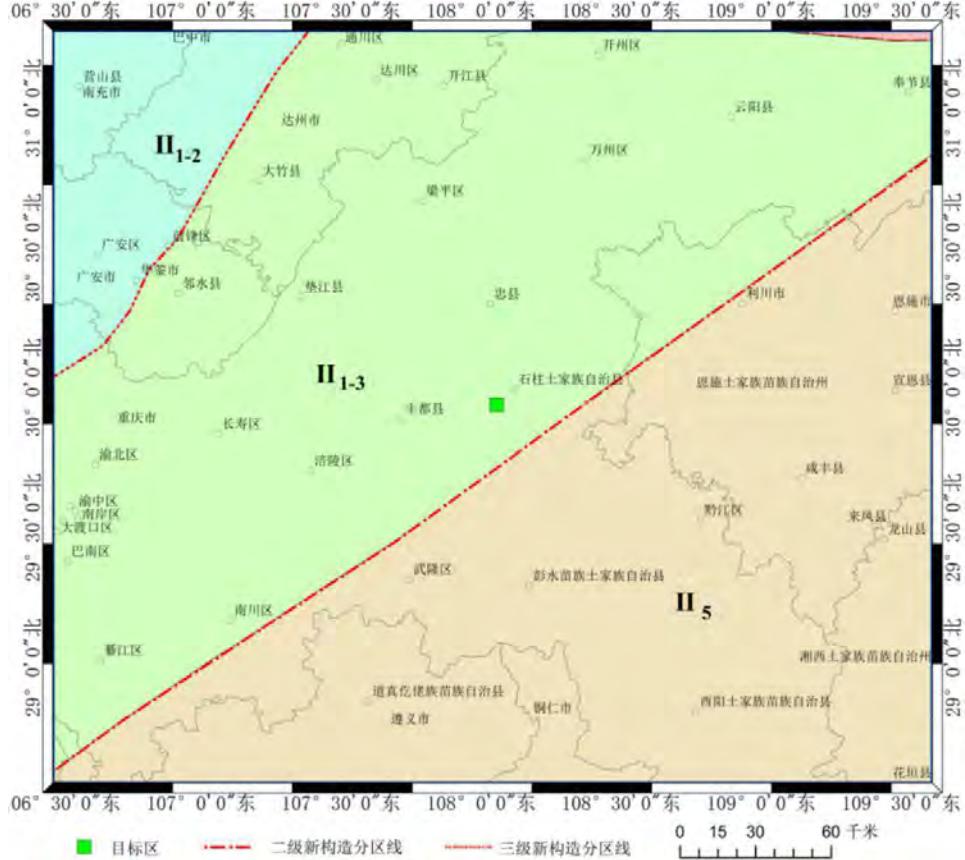


图 2-3 工作区新构造运动分区图

表 2-2 工作区新构造运动分区表

一级区	二级区	三级区
东部弱升区 (II)	四川盆地弱升区 (II ₁)	成都断陷 (II ₁₋₁)
		川中微升区 (II ₁₋₂)
		川东盆岭区 (II ₁₋₃)
	秦岭-大巴中升区 (II ₂)	
	滇东-黔西中等掀升区 (II ₃)	
	黔中面状隆升区 (II ₄)	
	鄂西-黔东中升区 (II ₅)	

川中微升区和川东盆岭区位于区域的东部。川中微升区 (II₁₋₂) 第四纪一直处于剥蚀状态, 抬升幅度小于 500m, 形成大面积的丘陵地貌; 川东盆岭区 (II₁₋₃) 整体性好, 第四纪以来一直处于剥蚀状态, 抬升幅度在 500m 左右, 表现为中低山、丘陵相间分布的地貌类型。工作区的东南侧为鄂西-黔东中升区, 整体性好, 第四纪以来一直处于稳定的隆升状态, 抬升幅度在 1000-1500m 左右。

2.2.4 新构造运动与地震的关系

区域大部分属于川中微升区, 区内差异运动不明显, 整体性较好, 构造较简单, 断裂规模小, 活动性弱。仅有一些零星的 5 级左右中强地震记载。在鄂西-黔东中升区和川东盆岭区二级新构造单元分界线两侧垂直差异性运动较大, 最大可达到 1000m。在垂直差异运动较大的部位也就是二级新构造单元分界线附近容易发生 4.7 级以上地震, 如湖北恩施州利川市 5.0 级地震和彭水 4^{3/4} 级地震。

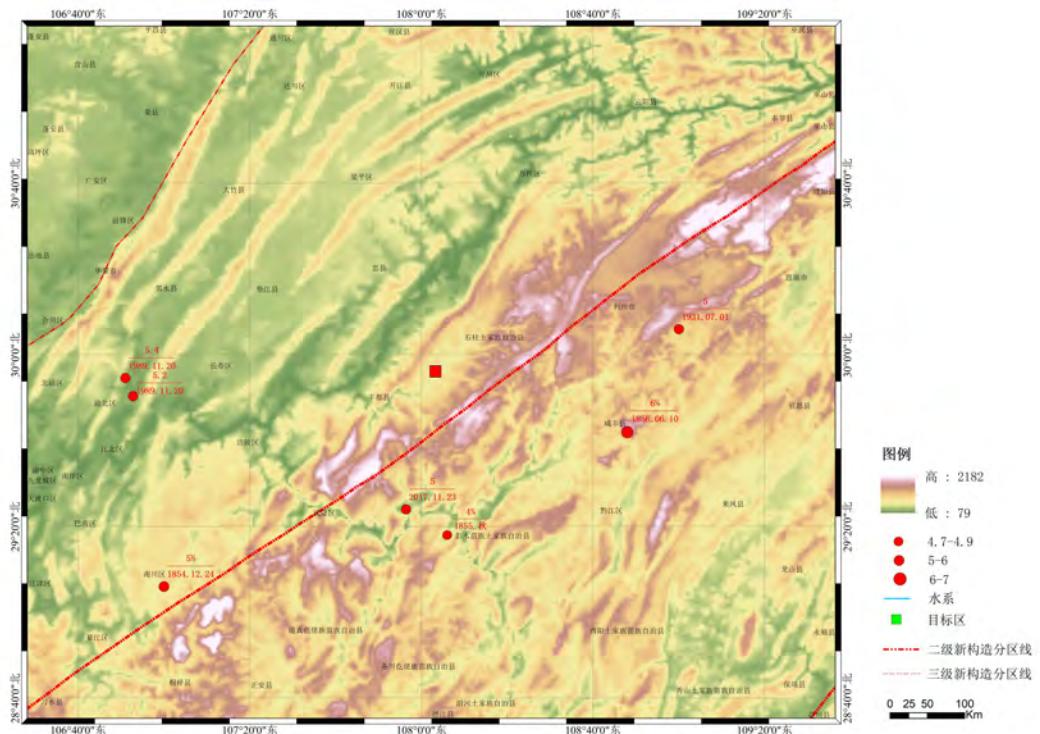


图 2-4 新构造运动与地震的关系

2.3 地球物理场与深部构造特征

2.3.1 区域重力异常特征

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。由图 2-5 可见, 区域内的布格重力异常值均为负值, 异常等值线变化比较平缓, 无大的重力梯级带和异常变化带, 表明区域地壳厚度变化较小。区域重力场的上述特征反映了深部构造比较简单, 是一个构造相对稳定的地区。

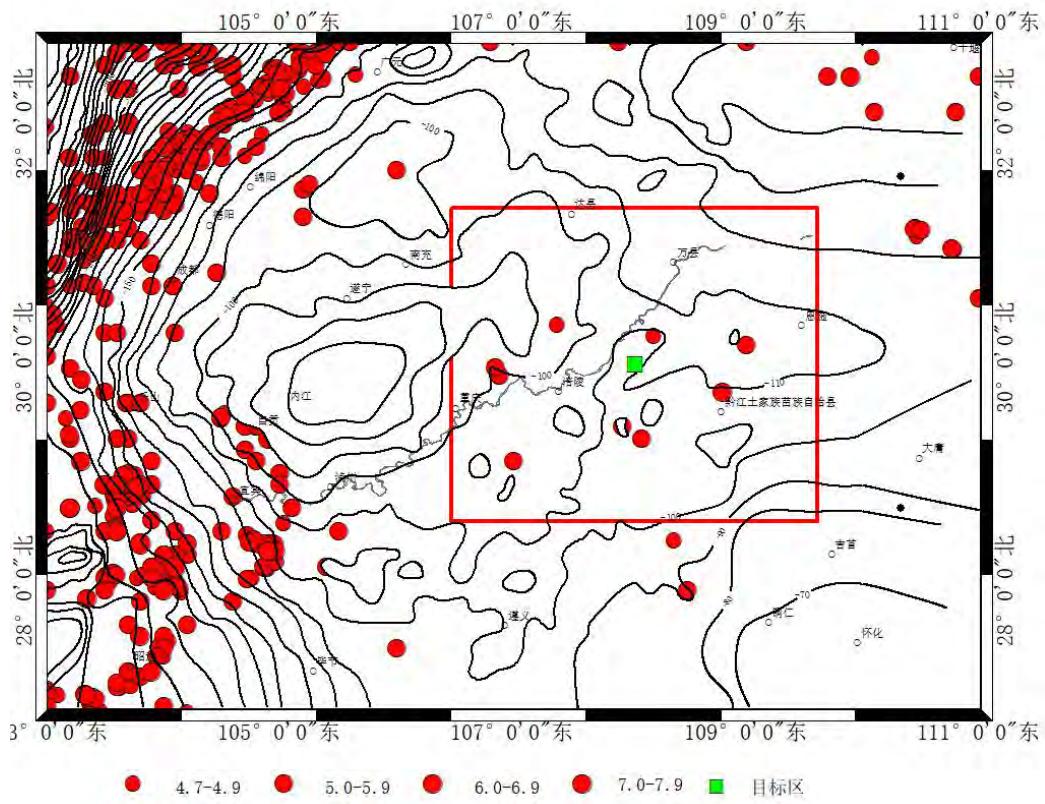


图 2-5 区域布格重力异常图

2.3.2 区域航磁异常特征

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。本区磁场异常变化不大，显示为平缓升高，等值线走向和形态与区域大地构造密切相关，异常带显示的即是主要构造带，高值正、负异常相间出现，反映了结晶基底早期的强烈褶断和岩浆活动特征及基底岩石磁性的差异。由图可见，本区主要由石柱高磁异常区和大面积的低缓负磁异常区组成，这一磁性特征反映了基底构造特点，说明了川东南及重庆地区基底是一套弱磁性浅变质岩系，相当于板溪群，而石柱附近的正磁圈闭异常可能反映“石柱岩块”在浅变质岩系基底下还存在具磁性的中-基性岩浆岩体。石柱基底为凹陷，最深达 17km。本区在石柱凹陷东南侧，基底埋深 4-5km。恩施东南一线的磁力低呈北北东向不规则三角形，与北东的巫溪块体、北南的石柱块体截然分开，进一步说明了石柱块体的存在。

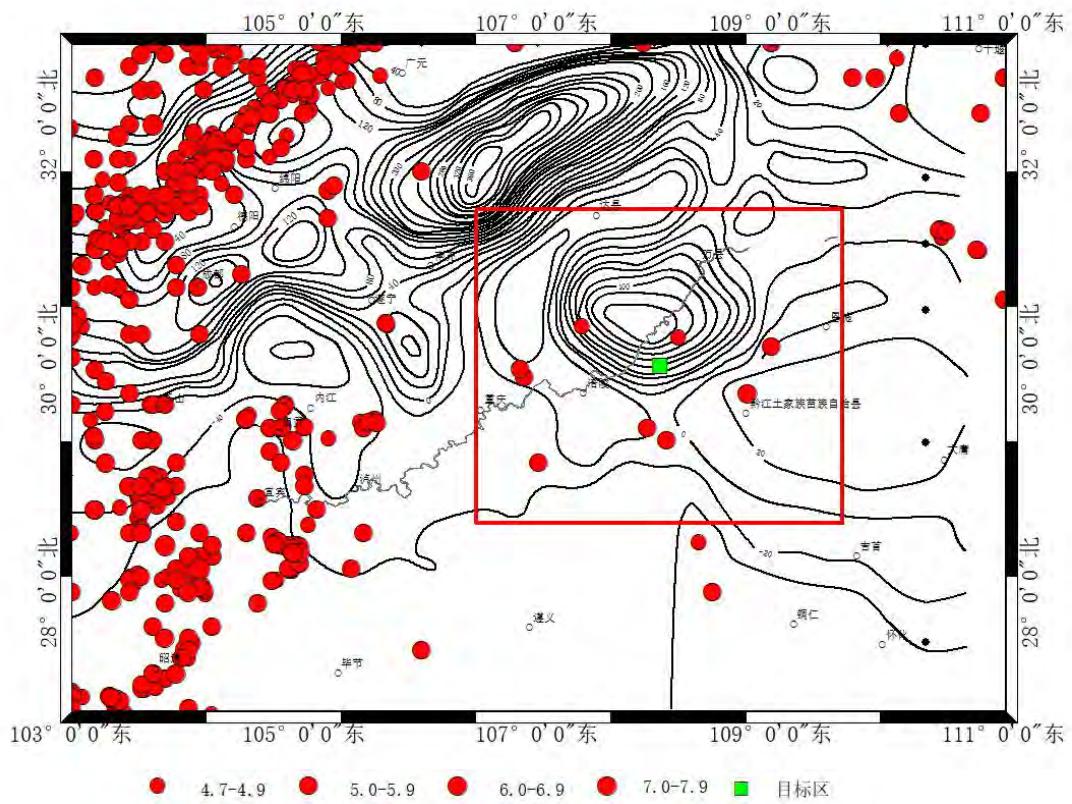


图 2-6 区域航磁 ΔT 化极上延 20km 异常图

2.3.3 区域地壳厚度

图 2-6 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，区域地壳厚度变化平缓，彭水一带形成为局部的地幔凹陷的地壳结构特征，地壳厚度最薄处约 42km。目标区所在的忠县、石柱等地的地壳厚度变化不大，较为均匀。

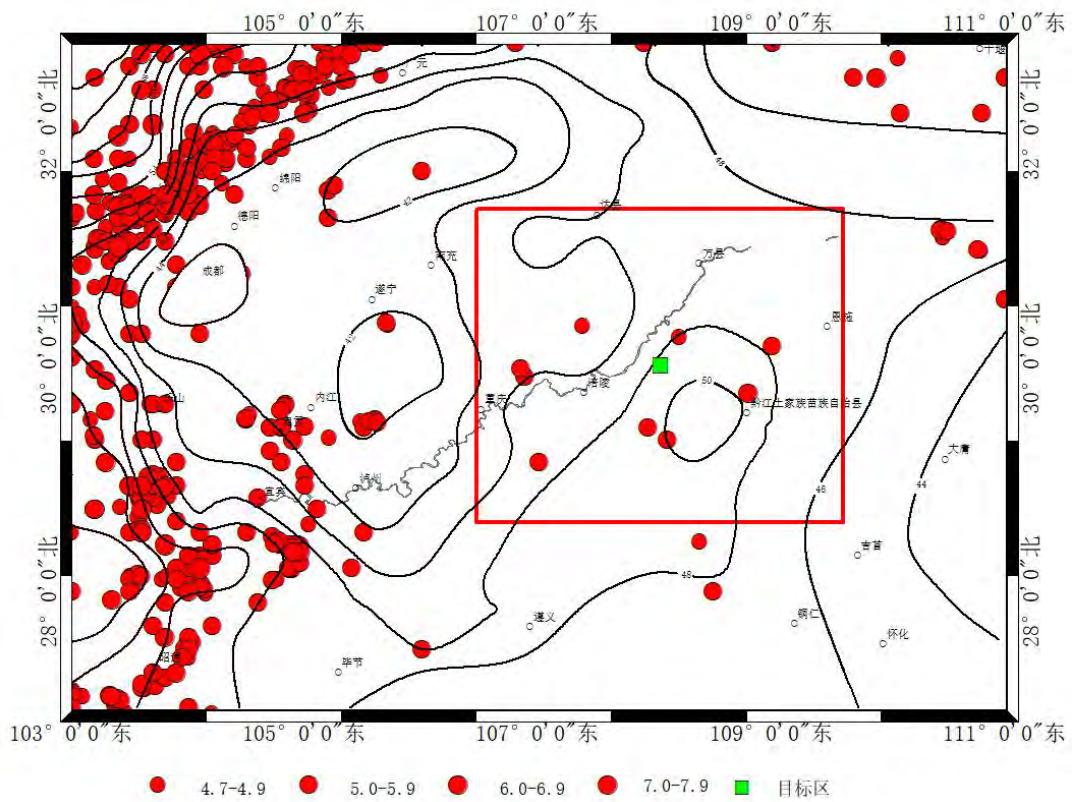
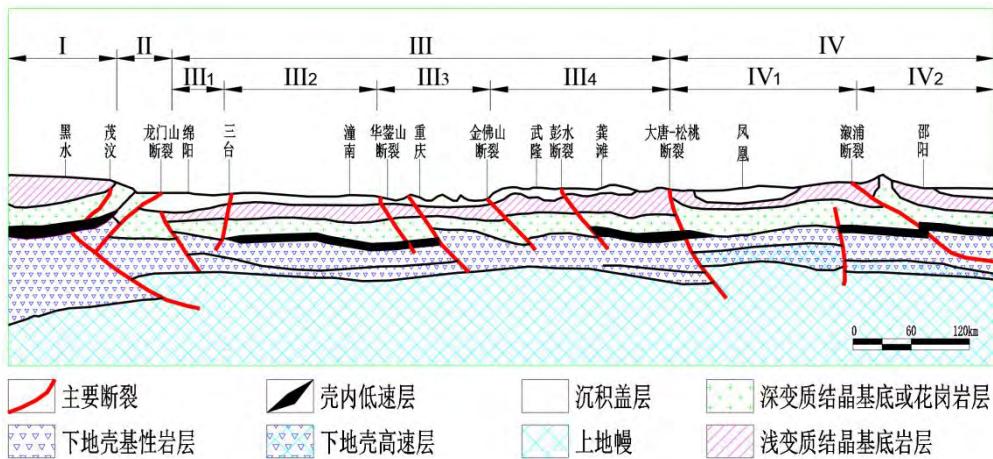


图 2-7 区域综合地壳结构图

根据黑水-邵阳剖面地质构造单元划分图（图 2-8）和人工地震测深资料竹巴笼-资中解释剖面图（图 2-9）（据重庆三峡工程）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。

贯通整个四川盆地的竹巴笼-资中人工地震测深剖面呈东西向横切区域，从此图中可以看出上部地壳低速层为 5.80-5.85km.sec，埋深约 15km 左右，波速在横向变化不大。下地壳的波速约 6.80-6.90 km.sec，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。



I: 甘孜-松潘褶皱系 (含 I₁、I₂、I₃三个次级构造单元); II: 龙门山断裂构造带;
III: 子准地台区 (含III₁、III₂、III₃、III₄四个次级构造单元); IV: 南褶皱带 (含IV₁、IV₂二个构造单元)

图 2-8 黑水-邵阳剖面地质构造单元划分示意图 (据崔作舟等, 2001 年)

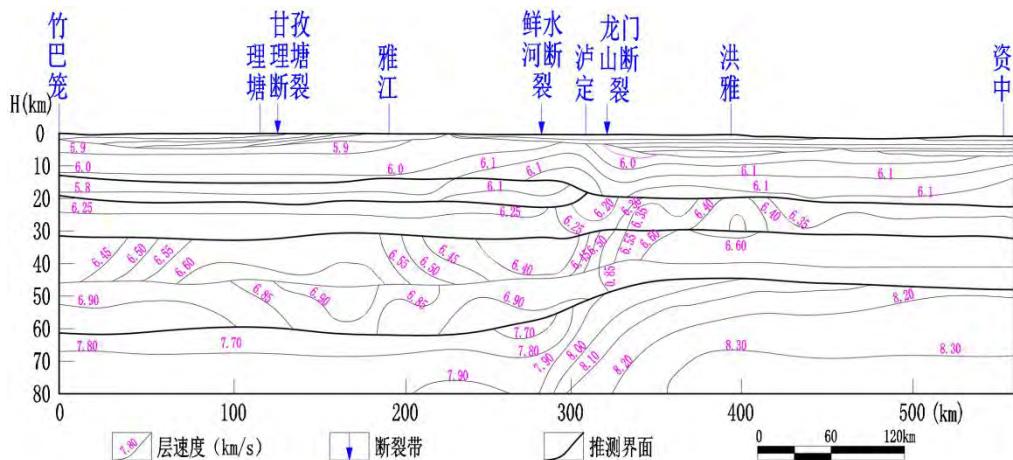


图 2-9 竹巴笼-资中人工地震测深剖面图 (王椿镛等, 2002 年)

综上所述, 目标区所处位置重力异常特征与区域地壳厚度变化均较平缓, 而区域航磁异常图则显示目标区位于石柱正值异常区 II, 当四川盆地磁性块体错断时, 处于外侧的石柱块体被甩开而形成, 形成与大足正值航磁异常的形成原因一致, 推断其为中-基性岩浆杂岩体, 属于古太字-古元古界地层。

2.4 区域主要断裂活动性分析

2.4.1 区域主要断裂特征及活动性

活动断裂研究是对断裂区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。工作区主要为四川盆地的一部分。重庆区域地壳岩层结构大致可以分为基底和盖层两大岩层部分，基底部分由两套岩性、原岩建造和时代不同的前寒武系变质岩群组成，并形成结晶基底，以及结晶基底和褶皱基底构成的双层结构基底；盖层则由一套海相岩层发展为陆相的化学和碎屑岩石建造所构成。基底断裂是指基底与盖层两大地层之间形成滑脱剪切带，以强烈的挤压、褶皱、倒转和逆冲为主而形成的构造形式。基底断裂出露地表较少，但从大地电磁测深剖面中可揭示它们在地壳深部的行踪。工作区以西的断裂构造主要有区域性的块体边界断裂、基底断裂和受基底断裂控制的地表盖层断裂。工作区东、西两侧的构造变形及其地震活动性出现明显的差异。

工作区内四川盆地断裂构造不甚发育，主要为块体内部的基底断裂和与基底断裂相关联的地表断裂以及发育在背斜核部的盖层断裂，其中控制性的、具有较强地震背景的是基底断裂带，与基底断裂相关联的地表断裂在地表呈断续延伸，破碎带较宽，可达十几至几十米，其特点是与基底断裂或平行靠近、或重叠、或斜交，或深部同根，这些断层的最后活动时代多在中更新世时期，个别在晚更新世时期仍有活动，从分布在断层附近的地震震源深度较深的特点推测，它们与靠近的基底断裂存在成因或结构上的联系。这些断裂规模小，活动性弱，仅有一些零星的中强地震活动记载，是相对的稳定区。目标区正处于相对稳定的四川盆地内。工作区内主要断裂（带）如表 2-3 和图 2-10 所示。

表 2-3 区域主要断裂活动特征一览表

编号	断裂 名称	长度 (km)	产状 (°)			活动 性质	最新活动 时代	分段情况 名称	与地震活动的关系	资料来源
			走向	倾向	倾角					
F1	华蓥山断裂带	150	30~35	SE	30-70	逆滑	Q ₂	北段	公元前 26 年宜宾 5 1/2 ;	四川省地 震局， 1991 和 1993；
		80	40	SE	30-80		Q ₂	中段	1610 年 2 月 3 日高县贾村 5 1/2 ; 1892 年 2 月 10 日南	
		230	40~45	SE	50-80		Q ₂₋₃	南段	溪 5; 1959 年 11 月 13 日 富顺 5 和 1987 年 6 月 11 日南溪 4.5。	
F2	长岭一半边山断裂带	200	近 SN	E	50	逆冲	Q ₂		1854 年一次 5 1/2	四川省地 震局；重 庆市地震 局
F3	方斗山断裂带	200	30-40	NW	50	逆冲	Q ₁₋₂		1972 年 8 月 12 白涛镇东 4.0; 1979 年 8 月石柱县 3.0 和 3.8, 1987 年 7 月 2 日在原地 4.4	四川省地 震局， 1991

F4	七曜山—金佛山断裂带	250	30-40	NW	50	逆冲	Q ₁₋₂	金佛山段	1854年5 ¹ . ₂	中国地震局地球物理所, 2004
							Q ₃	老场段		
							Q ₂	马武段		
							Q ₂	七曜山段		
F5	彭水断裂带	200	30-40	NW	40-60	逆冲	Q ₂		1931年7月1日利川毛坝5; 1855年彭水4 ³ ₄	李兴唐, 1987; 四川省地震局, 1988
F6	黔江断裂带	120	30-40	NW	65-80	正断层	Q ₃	龙潭断裂		唐荣昌等, 1993; 四川省地震局, 1988
						逆冲	Q ₃	筲箕滩断裂	1856年61.4	
						正断层	Q ₂	诸佛江断裂		

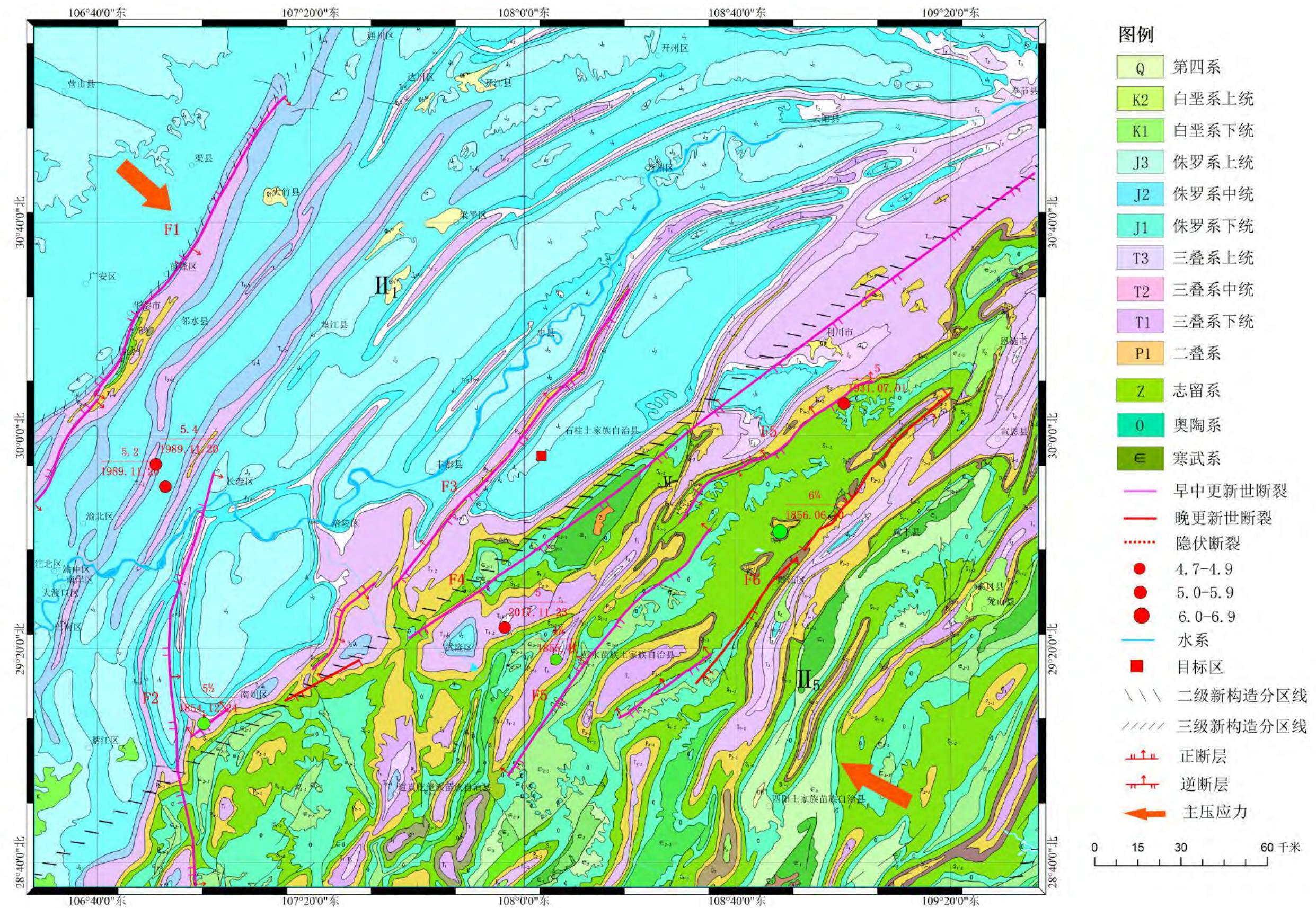


图 2-10 区域地震构造图

断裂: F1 华蓥山断裂带, F2 长岭-半边山断裂带, F3 方斗山断裂带, F4 七曜山-金佛山断裂带, F5 彭水断裂带, F6 黔江断裂带, 新构造分区: 四川盆地弱升区 (II₁) 和鄂西-黔东中升区 (II₅) 二级新构造单元。

1. 华蓥山断裂带

华蓥山断裂带北起达州北、向南西经大竹、邻水、合川、铜梁、荣昌至宜宾南，长约 460km，是四川盆地内规模最大的断裂带（王小龙等，2012）。断裂带总体走向北 $40^{\circ}\text{--}45^{\circ}$ 东，倾向南东，倾角 $30^{\circ}\text{--}70^{\circ}$ ，具挤压逆冲性质。在地表，断裂表现为沿一系列背斜轴部延伸、断续出露而规模不大的压性或压扭性断层，长度多在几千米至几十千米，构成华蓥山断裂带。规模最大的地表断裂在华蓥山天池、宝顶一带，连续出露长度达 50km 以上。在地表背斜轴部或翼部发育约几公里至 50 公里长、规模不等的若干条弧形断裂。断裂走向北 45° 东，断面总体倾向南东，倾角 $30^{\circ}\text{--}70^{\circ}$ 不等，具右旋逆冲性质。

在华蓥山区和宜宾地区沿断裂有二叠纪玄武岩分布，表明该断裂深切地壳玄武质层。地震波速及大地电磁测深电性断面结构资料（四川省地震局，1991）表明，该断裂断面倾向南东，是一条切割基底的断裂带。物探资料表明，华蓥山基底断裂两侧结晶基底的埋深与性质有着迥然的差别，西侧的川中地区基底由一套基性、中性及较强磁性的火成岩所组成，具有密度高、磁性强的特点，表明基底为一硬化程度高的刚性块体，其埋深 5-6km；东侧的川东地区的基底主要由一套巨厚的沉积变质碎屑岩夹碳酸盐岩与火山碎屑岩的复理式构造所组成，属低密度和弱至无磁性的塑性基底结构，埋深一般 7-9km，最深可达 11-12km（赵从俊，1984；赵从俊等，1989）。

华蓥山断裂带于晋宁期形成之后直至燕山期，对川东和川中的沉积建造和构造变形起着明显的控制作用。喜山运动导致东西两侧盖层全面褶皱和断裂，并使断裂带再次强烈活动。至今东西两侧均处于大面积间歇性抬升，但抬升幅度仍是东侧大于西侧。东西两块体由于受不同结晶基底的控制，两侧的构造形态和地貌特征亦有明显差异。东侧川东盆地主要为北东向线状褶皱，背斜紧闭，向斜宽缓，构成标准的隔档式构造，断裂也较发育；而西侧川中盆地为平缓的短轴状、穹隆

状、鼻状和箕状背斜，构成各种旋扭构造，断裂也不发育。东侧为平行岭谷相间的山地，而西侧为浅丘至深丘地貌。

从地表断裂带的平面展布形态、几何组合特征、地表背斜与断裂构造的规模、基底断裂特征、断裂活动性及其地震空间分布图像，华蓥山断裂带大致以合川东北附近为北段与中段界线，以大足南附近为南段和中段的界线，分为北、中、南三段分述如下：

(1) 南段（宜宾南一大足南段）

该段南起宜宾南，北止于大足南，全长约 230 余 km，走向北 45° 东左右。该段由 5~6 条规模不等的背斜构造呈右阶羽列而成，断裂常发育于背斜的轴部或靠近轴部的陡翼一侧，显压性特征。背斜长度不等，长约 10~60km，背斜高点的高程不等，一般为数百米。断裂规模不等，长数千米至 30 余千米。在平面形态上，背斜端部略呈“S”形弯转，表明断裂具有一定的右旋分量。

(2) 中段（合川北一大足南段）

该段南起大足南，北至合川北，全长约 80km，走向北 40° 东左右。该段由 2-3 条规模不等的背斜构造呈右阶羽列而成，断裂常发育于背斜的轴部或靠近轴部的陡翼一侧，显压性特征。背斜长度不等，长约 10km 至 40km，背斜高点高程不等，一般为数百米。断裂规模不等，长短不一。在平面形态上，背斜有些许弯转，表明断裂具有一定的右旋分量。

(3) 北段（合川北—达州北段）

该段南起合川北，北至达州北，全长约 150km，走向北 30° 东左右。其中合川附近地表断裂发育于华蓥山复式背斜的西翼，在平面上由 3-4 条断裂近于平行展布、剖面上构成迭瓦状构造，并出现有反向冲断层，在剖面上，常见下古生界寒武系地层逆冲在二叠系地层之上，断距在 2km 以上，至达州北地表断裂不发育，仅天池-桂兴北之间出露有 20-30km 的次级断裂。在合川北至邻水之间的

华蓥山复式背斜轴部高点达 1.7km 左右，高出四川盆地 1.3~1.4km，显示出较强的差异运动。邻水至达州北华蓥山复式背斜构造形迹亦呈减弱的趋势，轴部高点降低，但深部的基底断裂依然显示清晰。

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（N2—Q1）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。重庆市地震局李克昌等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；统景段为 12.6 万年。中国地震局（2008）在统景段 TL 测龄结果为 23.4 ± 1.99 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 5½ 级地震、1610 年 2 月 3 日高县贾村 5½ 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，根据构造地貌和断层物质测年结果，推断该断裂带为一条中更新世断裂带，南西段地震活动强度大于北东段。

2.长岭-半边山断裂

长岭-半边山断裂带北起长寿北西，向南经南川西、桐梓东至遵义附近，长约 230km，总体近南北走向，桐梓附近与北东向桐梓—正安—郁山断裂带交截。该断裂为长寿—遵义基底断裂控制的一条断裂带，大地电磁测深资料表明长寿—遵义基底断裂深约 30 公里左右，倾向西。据重庆市地勘总公司资料，该断裂形成于印支运动期，断裂两侧有一定的重力和磁场异常。进入喜马拉雅运动期以后，该基底断裂对盖层构造的形成有明显的“干扰”作用，在断裂线西侧形成轴向平行的褶皱构造和地表断层，在东侧则形成极特殊的“菱”形褶皱构造。

断裂带在地表表现为沿长岭山背斜轴部及其附近断续出露的断层，地表断层长度多在 20~30km，倾向东，倾角 30~60°，宽度一般在 25km 左右。研究区域内该断裂多沿长岭山背斜轴部发育，由多条长约 10~20km 的断层组合而成。地表有丰盛场—神童坝断层、龙泉寺—高湾断裂、半边山—南童关断裂、景星台断裂等。沿断裂多处出露温泉。据四川省地震局断层泥 SEM 法的分析结果，该断裂活动时间为早、中更新世至中更新世初，反映该断裂为第四纪早期的活动断裂。中国地震局取丰盛场断层的断层泥 TL 测龄结果为 13.08 ± 1.13 万年，重庆地震局 TL 测龄结果为 11.7 万年，反映该断裂为中更新世晚期的活动断裂。在该断裂与七曜山—金佛山断裂带的交汇处，历史上（1854 年）曾发生过一次 5 级地震。根据断层物质测年结果，推断该断裂为中更新世断裂。

3. 方斗山断裂带

该断裂北起万州龙泉沟，向南经方斗山，在白马附近与七曜山-金佛山断裂带交汇。地表由 5-6 条断裂呈右阶雁行式排列组成的方斗山断裂带。这些断裂主要发育于二叠系~三叠系中，最大断距达 700m，长度大于 130km，为压性逆冲断层。此断裂为四川盆地弱活动断裂构造区的东边界，具有明显的深部地球物理场特征。在重力平均异常图上，该断裂位于以大足为中心的东南侧高重力应力缓下降的重力梯度带的背景上。沿断裂带中、小地震活动频繁，在石柱县茶园附近于 1979 年 8 月先后发生过 3.0 级地震和 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，2004 年 11 月 21 日在石柱发生 ML4.6、2005 年 2 月 11 日再次发生 ML4.2 级地震。

据四川省地震局（1991）的研究资料，方斗山断裂南段石柱鱼池至丰都神仙磴一带，断裂规模宏大，单条断裂长度均可达 50km，断面倾向北西，可见二叠统乐平组砂页岩逆冲至下三叠统大冶组或嘉陵江组之上。在万州长滩井黄崖寺，主断面上的断层泥的热释光测龄值为 485100 ± 36900 年。在石柱县大歇镇茶园西

见下三叠统灰岩地层内发育有冲断层，断层面上的断层泥热释光年龄值为 574900 ± 4600 年。根据地形地貌和断层物质测年结果，推断该断裂为中更新世断裂。

4.七曜山-金佛山断裂带

七曜山-金佛山断裂带，位于金佛山和七曜山西侧，由多条次级断裂斜列组成，大致沿金佛山、七曜山一带展布，走向北东，向北东可达巫山附近，长度大于 350km （四川省地质局，1991）。该断裂带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；断裂带东南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。该断裂带受七曜山—金佛山基底断裂控制，可能形成于晋宁期，燕山期该断裂较为活跃，使其东盘褶皱隆起。喜山期由于来自西部的推挤，该断裂表现出一定的活动性，其东盘的褶皱得到进一步加强，形成今日的七曜山—金佛山中等上升起中山区，所以该断裂带也为七曜山—金佛山隆起区与四川盆地弱上升区的新构造分界线。

该断裂带线性影像明显，表明第四纪以来活动较强烈。根据断裂结构、展布及其活动性，可将该断裂带分为四段：金佛山段、老场段、马武段和齐曜山段。据重庆市地震局李克昌等的资料，金佛山段南川断裂 TL 测龄为距今 11.4 万年，认为该断裂的最新活动时代为中更新世晚期。1854 年南川段发生过 $5\frac{1}{2}$ 级地震，近期微震也很活跃。综合分析，金佛山段为早-中更新世断裂。

马武断裂和七曜山段断裂规模较大，在利川县西的天上坪东约 100m 处，见断裂发育于二叠统灰岩中，上盘为灰黑色灰岩，走向北 40° 东，倾南东，倾角 75° ，下盘为灰黑色灰岩夹页岩，走向北 30° 东，倾北西，倾角 65° 。破碎带宽约 50m ，糜棱岩化明显，其中断层面产状为走向北 30° 东，倾向南东，倾角 65° ，如 2.11

所示。

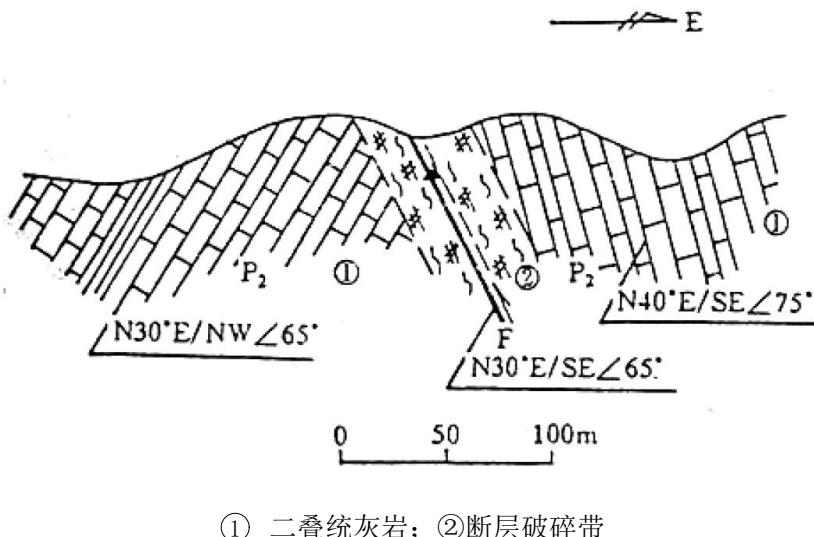
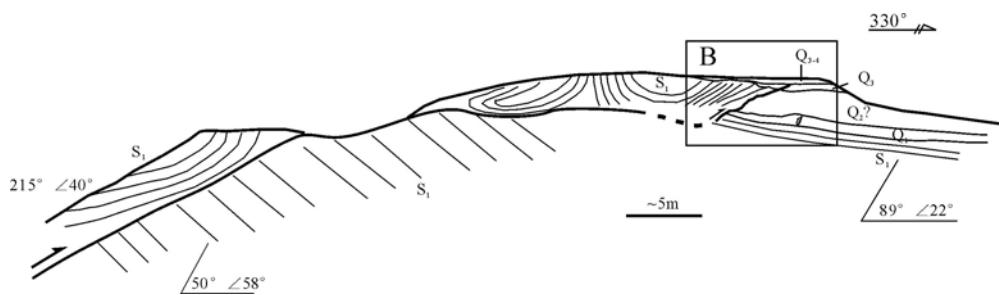
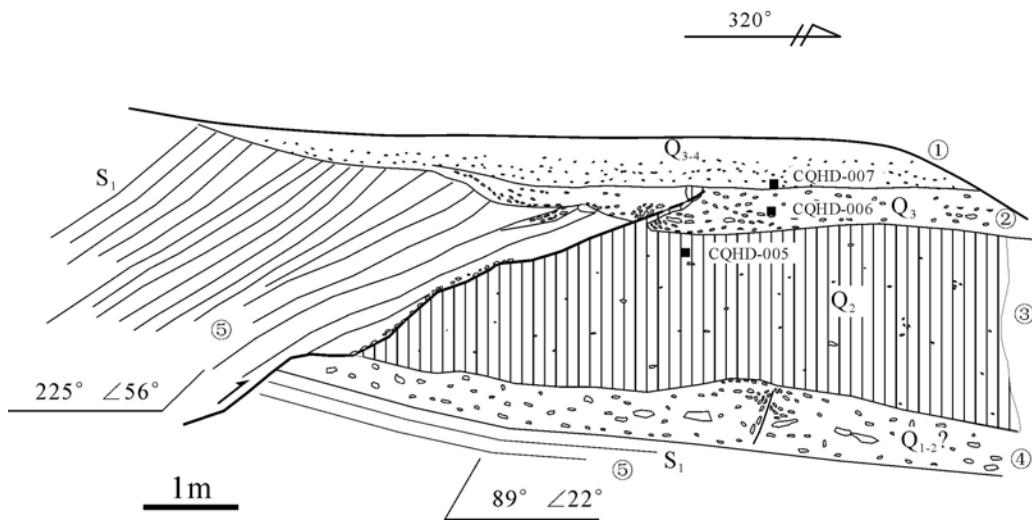


图 2.11 利川天上坪附近七曜山断层剖面图

在破碎带中取断层泥经热释光 (TL) 测得年龄值为 330400 ± 27100 年, 表明该段最近一次活动时间为中更新世 (重庆地震局)。

老场段在乌江左岸见志留纪页岩逆冲到第四纪 (中国地震局地球物理研究所, 2004)。从断层剖面 (图 2-12) 可以看出: 断层呈舒缓波状由南东向北西逆冲推覆。断层前峰以 30° 倾角呈波状逆冲于第四纪地层之上, 沿断层有砾石被磨圆成次棱角状平行断层排列。断层在层②中没有产生明显位错, 但在断层上却产生了走向排列, 并有来自下部的、层③中红粘土成份挤入; 同时断层上盘破碎的页岩岩层也有层②中的砾石挤入, 据此判断, 断层最新活动影响到此层; 层①中未见到任何变动迹象。





2-12 武隆土坎老场断层剖面

根据各层的岩性判断, 层①为晚更新世—全新世沉积, 底部测年结果为 $(4.75 \pm 0.40) \times 10^4$ a (样品编号为 CQHD-007); 层②为晚更新世沉积, 实际测年结果为 $(6.33 \pm 0.54) \times 10^4$ a (样品编号为 CQHD-006); 层③为中更新世沉积, 靠近顶部层位的测年结果为 $(11.56 \pm 0.98) \times 10^4$ a (样品编号为 CQHD-005)。据此可得, 该断层的最新活动时代为晚更新世, 老场段属晚更新世活动断层。

5.彭水断裂带

彭水断裂带沿北东走向延至湖北利川, 沿南东延至贵州东北地区, 全长达200km。断裂主要发育在下古生代地层中, 走向北 $30\sim40^\circ$ 东, 倾向北西, 倾角一般 50° 左右, 宽度约3.5km左右, 是重庆东部地区的断裂带。前人研究认为, 断裂带在电测深上反映极为明显。在电测深资料的解释图中, 彭水断裂深度达70km左右, 断裂面切穿基底和盖层, 呈弯弧形断面, 上部(深约15km)表现为正断层性质, 下部为逆冲断层特征, 整体为高角度逆冲断层的力学特征。断裂带展布于工作区南东的彭水至贵州桐梓、正安、道真一带, 往北东, 在彭水与利川之间, 有明显的地表断裂出露。彭水断裂带主要由郁山断层和龙嘴河等断层组成, 单条断裂长度多在30~80km, 力学性质显压扭性。在桐梓南西与仁怀之间, 断裂带被南北向构造干扰, 呈现断裂谷地貌和多期复杂力学运动特征。四川省地震局

(1988) 的研究表明, 该断裂主要形成于喜山运动早期, 早期显张性, 晚期具右旋逆冲性质。

第四纪以来, 断裂的活动在地貌上有所显示。在卫星影像上北东向的断层线性影像清楚, 特别是彭水以北更加清晰。彭水向北至保家楼段断裂控制了郁江的发育, 沿断裂形成断裂河谷。保家楼至郁山镇沿断裂仍可见断裂控制水系发育的遗迹。沿断裂分布有断续的崩塌体、溶蚀谷、溶蚀槽和洼地。此外, 沿断裂有温泉分布, 出露位置与断裂吻合很好。

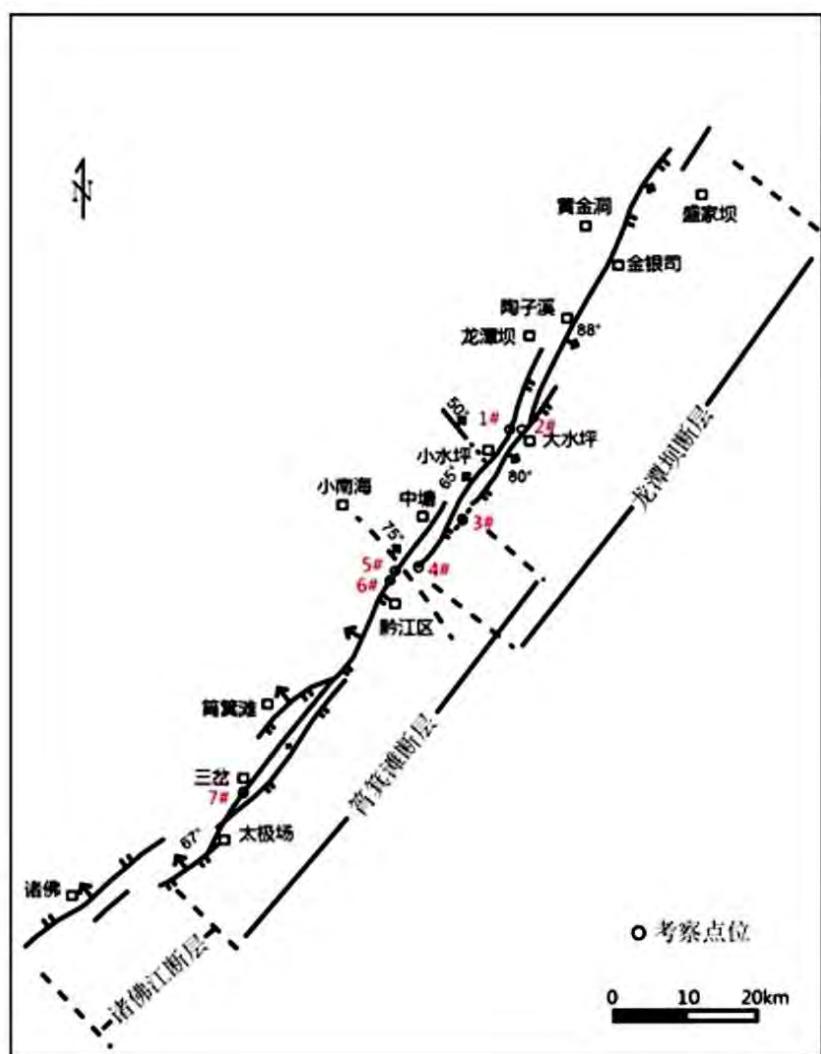
该断裂的北端利川毛坝附近于 1931 年 7 月 1 日发生 5 级地震, 南段彭水附近 1855 年秋发生 4 $\frac{3}{4}$ 级地震。该断裂历史地震活动较强, 南段 1855 年彭水曾发生过 4 $\frac{3}{4}$ 级地震, 北段的大沙溪一带分别发生过 5.0 级左右的中强地震, 而且北段文斗场至大沙溪一带 3.0 级左右的微小地震频度较高, 震源深度达 40km。

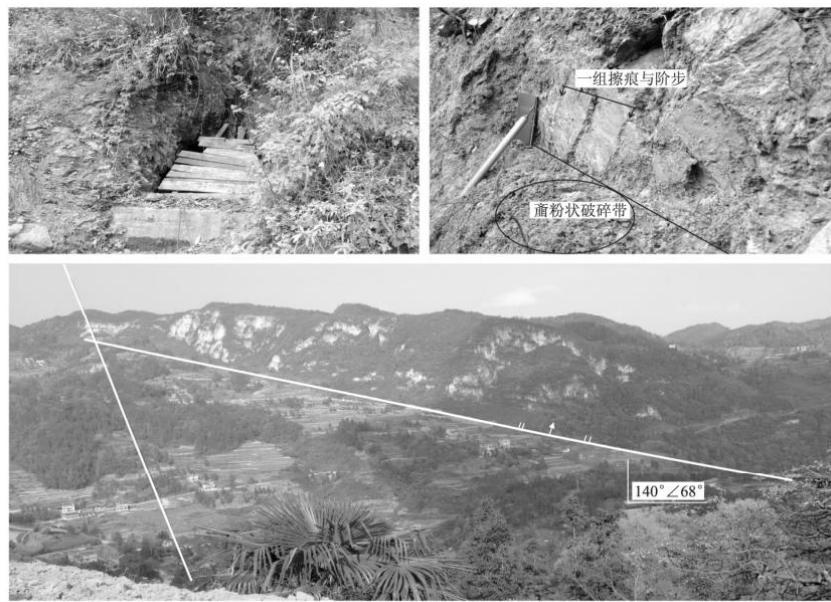
中国科学院地质所李兴唐 (1987) 在彭水的一个该断裂的钻孔中取断层泥和方解石, 用电子自旋共振法 (ESR) 和热释光法 (TL), 测得其活动年龄分别为距今 46.5 ± 9.3 万年和 41.2 ± 2.6 万年。四川省地震局 (1988) 在彭水附近取断层泥作铀系法分析, 得到其活动年龄大于 50 万年, 并在与郁山断裂平行的火石垭断裂、七梁子断裂和瓦铺子断裂取断层泥样, 用电子自旋共振法测得年龄分别为大于 50 万年、 51.07 ± 10.21 万年和 68.98 ± 13.79 万年。上述年代学样品测龄结果表明, 该断裂主要活动期为中更新世。

6. 黔江断裂带

黔江断裂带位于彭水断裂带东南侧, 与其平行, 两者相距 30km 构造走向北东, 向北延入湖北, 向南伸入贵州, 长约 180km。自北而南, 由龙潭断裂、筲箕滩 (重庆黔江) 断裂和诸佛江断裂组成 (如图 2-13), 平面上呈右阶斜列展布, 向北延入湖北, 向南伸入贵州。主要发育于古生代地层中。筲箕滩断裂为逆断层, 具右旋逆冲性质, 其余两条均为正断层。龙潭坝断层在地貌上带呈负地形, 可见

断层三角面、断裂线两侧地貌反差明显，从重庆黔江中坝附近向北东延伸入湖北黄金洞附近，长 60 余千米，走向北 30° — 45° 东，断层倾向南东，倾角 65° — 80° ，主要断于二叠纪和志留系之间。龙潭坝见清楚的角砾带，破碎带宽达 25m，二叠纪灰岩地貌上形成陡崖，这个陡崖是早期形成的，早期为逆冲性质，形成百米以上的高差，如图 2-14 所示。有明确断层露头显示最后活动状态为上盘(高山一侧)下降，形成拖曳形迹，为正断层性质，局部地段由两条近乎平行的断层组成，形成山间宽谷凌乱地貌(小水坪、大水坪段)，因此龙潭坝断层应判断为晚更新世活动断层。





(镜头指向120°, 左上为牵引拖曳, 右上为擦痕与阶步, 下为地貌影像)

图 2-15 黔江断裂带地貌及细节 (王赞军)

筲箕滩右行逆冲断层由中坝延伸至石家河, 长约 48 千米, 走向北 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 东, 倾向北西, 倾角 $70 \sim 76^{\circ}$, 断层北段断于志留系内, 南段断于奥陶系和志留系之间。在筲箕滩一带包括了三条次级断层, 呈迭瓦式构造, 挤压片理及透镜体清楚。断层北端桥坝滩破碎带宽约 10m, 挤压片理带宽 20~30cm。卫星影像显示, 该断层紧贴重庆黔江第四纪盆地西侧穿过, 控制该盆地的形成与发展演化。在重庆黔江桥坝筲箕滩断层的主断面和旁侧次级断层的断面上取方解石作热释光 (TL) 分析, 测得活动年龄分别为 37 ± 1.85 万年和 68.6 ± 3.1 万年。而在徐家咀段溪河 II 级阶地 $14C$ 年龄为 26670 ± 315 年 (四川地震局, 1993), 这套地层应是晚更新世的堆积, 这套物质在重庆黔江坝子内主要沿筲箕滩断层分布, 应是该断层差异活动的结果, 即重庆黔江县城坝子是一个单侧压陷盆地, 其最后活动应为晚更新世时期。

诸佛江正断层在石家河之西的龙台寺向南西延伸至鹿角村东侧, 全长 34km, 走向北 $30 \sim 45^{\circ}$ 东, 倾向北西, 倾角 $56 \sim 70^{\circ}$, 断层北段断于志留系内, 南段断于寒武系和奥陶系之间。诸佛江断层活动显示相对较弱, 卫星影像上线性也较弱。

在诸佛江断裂破碎带中取未经变动的碳酸钙,用铀系法测得活动年龄为距今 11.7 ±2.5 万年。

据地震史料记载,该断裂带筲箕滩断裂的北端重庆黔江小南海于 1856 年 6 月 10 日发生 6 级地震,震中烈度为 VIII 度。经实地调查,该地震极震区长轴方向为北东向,有感范围有向北东、南西减慢的特点。从极震区大垮崖、小垮崖的力学机制看,此次地震的发震构造与重庆黔江断裂关系最为密切(四川省地震局,1988)。

此外,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、铜锣峡背斜、南温泉背斜、明月峡背斜上的地表断层,这些断层一般断续延伸,分段长度多在十几至几十千米,破碎带宽度一般几米,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。这些地表断层就单条的规模而言,构不成区域性断裂带,但它们与褶皱及其之下推测存在的底腹断层形成的构造统一体。

2.4.2 区域断裂活动与地震的关系

通过对上述区域内断裂活动性的分析得出的基本结论是:

1.晚更新以来活动的断裂与现今及历史地震有着密切的关系,如重庆黔江 6 级地震可能是由于七曜山-金佛山断裂晚更新世以来在北西-南东向的区域构造应力场下继续活动,牵动了沉积盖层中的北北东重庆黔江断裂重新活动的结果。

2.多数早、中更新世活动断裂与地震的发生关系不密切。在一些特殊的部位,如断层褶皱带的错节、转折或复合部位,靠近基底断裂或与其交汇部位,其震级往往较大,如统景发生过 5.2 级和 5.4 级地震,统景的 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。

2.5 区域地震构造综合评价

2.5.1 中强震发生的地震构造环境实例分析

自有地震记载以来,记录到的数次中强地震主要分布于区域的华蓥市断裂带附近。近期发生的中强地震为 1989 年 11 月 20 日重庆渝北统景 5.2 和 5.4 级地震、2017 年 11 月 23 日武隆 5.0 级地震 1856 年重庆黔江小南海 6 $\frac{1}{2}$ 级地震和 1854 年南川 5 $\frac{1}{2}$ 级地震。分析区域中强地震发生的构造背景,可为潜在震源区震级上限的确定提供依据。区域中强地震发生有些与断裂本身、或与断裂力学配套的次级断裂、褶皱构造密切相关;有些地震远离断裂,与断裂活动关系不大,地震区褶皱和褶皱轴部发育的地表断层、底腹断裂,应引起足够的关注。要用系统的观点、构造组合的观点来分析其成因。

(1) 1989 年 11 月 20 日重庆渝北统景 5.2、5.4 级地震

1989 年重庆渝北统景 5.2、5.4 级地震有详细的考察资料,研究较多。1989 年渝北统景地震震中位于铜锣峡背斜轴部略偏东翼,存在北东走向的岩层陡立带,带内发育有北北东与北西西两组节理、裂隙面或小断层,且有温泉出露。据四川省石油局地震勘探详查资料,在该陡立带下面 1~6km 深的底腹,存在两条潜伏断裂(图 2-19、图 2-20),其走向为北 20° 东,倾向相反,倾角大于 60°,控制长度约 50km,垂直断距 280~500m,具逆断层性质。其中位于背斜东侧的断裂与人工地震确定的底腹断裂在平面投影上位置吻合,地震等震线长轴方向也与其一致,地震震源深度 5km,因此,分析认为,这次地震的发震断层应为铜锣峡背斜轴部的北东向统景底腹断裂。其控震构造应为地表断层、“隔挡式”褶皱、及褶皱之下潜伏的底腹断层构成的构造断层褶皱带。即底腹断层与盖层活动断裂褶皱构造组合,是一个具有区域代表特征的地震构造组合。渝北统景 5.2、5.4 级地震代表了位于川东陷褶束内相对独立的断层褶皱带上的地震类型和震级上限,在划分潜在震源区时要给予相应的考虑。

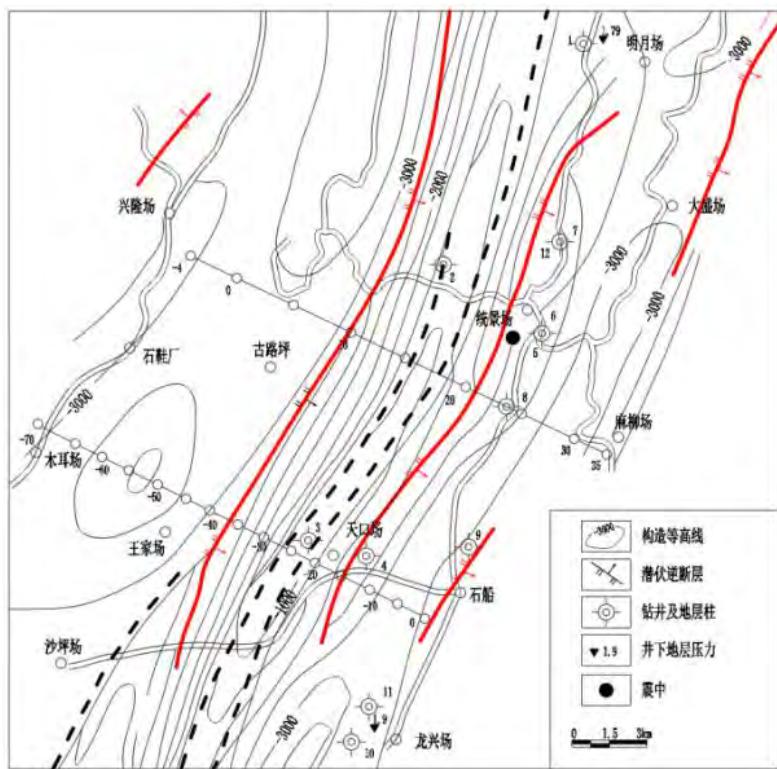


图 2-19 铜锣峡构造地震反射剖面图

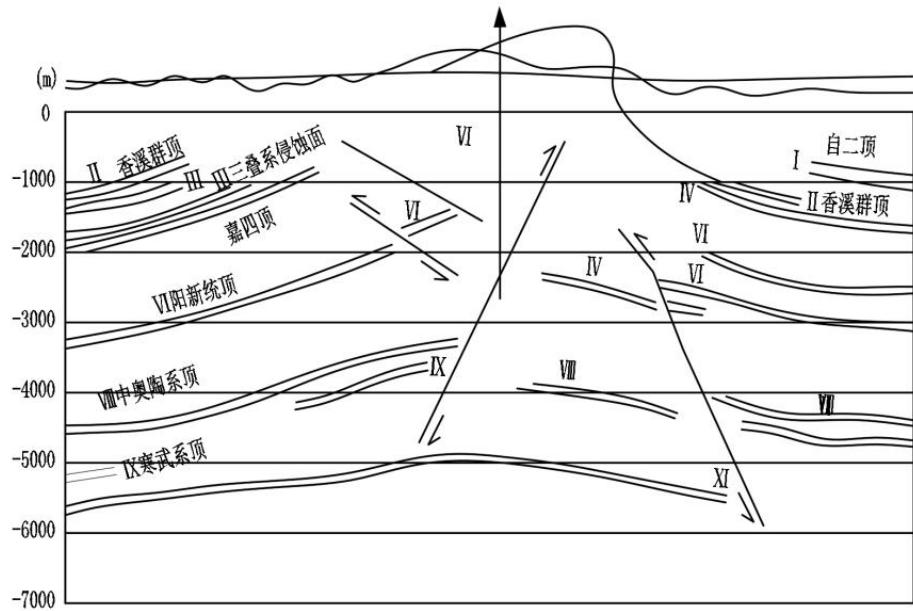


图 2-20 铜锣峡构造地震反射构造图

（2）2017 年 11 月 23 日武隆 5.0 级地震

武隆 5.0 级震区地震地质构造：武隆 5.0 级地震发生在七曜山-金佛山断裂附

近,研究表明该断裂走向50°左右,倾角70~80°,具正断层力学性质,区域地层岩性主要为奥陶系灰岩。

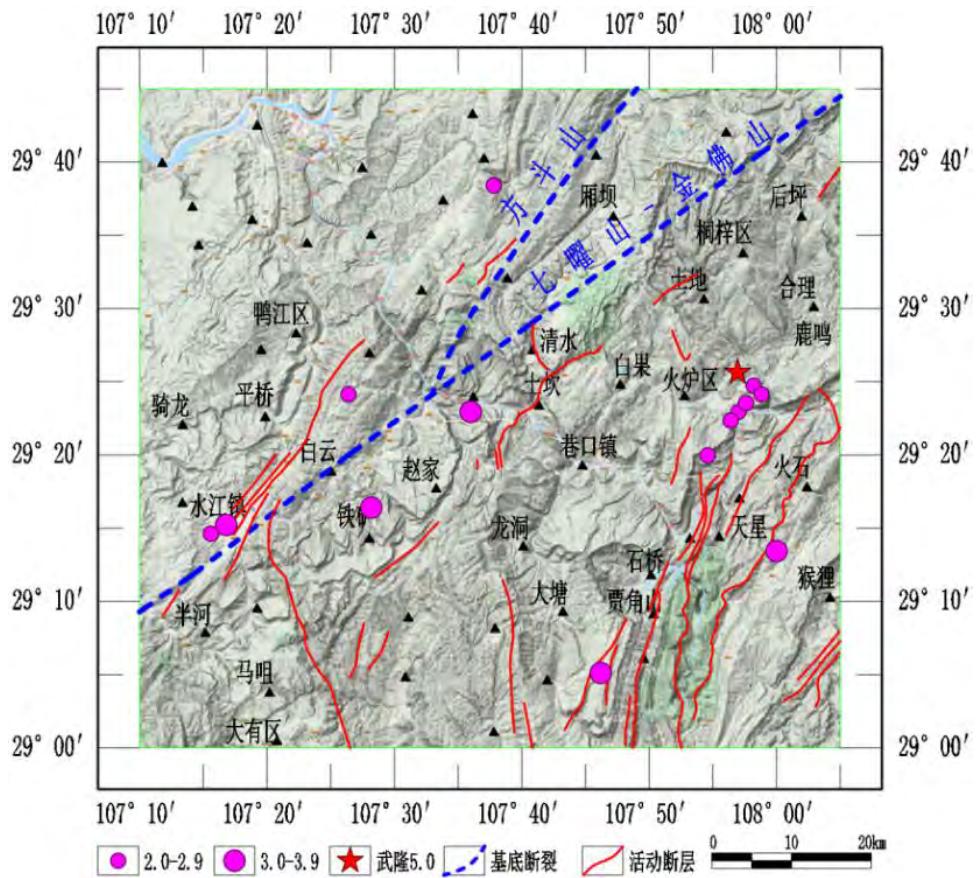


图 2-21 2017 年 11 月 23 日重庆武隆 5.0 级地震区域地震构造图

(3) 1854 年南川 5 级地震

如图 2.23 所示,南走向的长寿一遵义基底断裂,与北东走向的七曜山—金佛山断裂在南川市南坪镇附近交叉,在夹持的盖层中不仅形成特殊形态的“菱”形向斜构造,还发育北东向第四纪断层。这是基底断裂“加载”于盖层发生褶皱和断层形变的典型组合形式。该部位发生的 5 级地震等震线长轴方向为北东向,与南坪断层走向一致;且南坪断层置于 IV 度区和 V 度地震区交界线上, W 度区为南坪断层上盘,符合构造与烈度之间的分布关系。可以认为,南坪断层是这次地震的发震断层,但其孕震的根本构造原因应属两条基底断裂交叉部位的高度应力集中,而导致盖层断层最终破裂的结果。

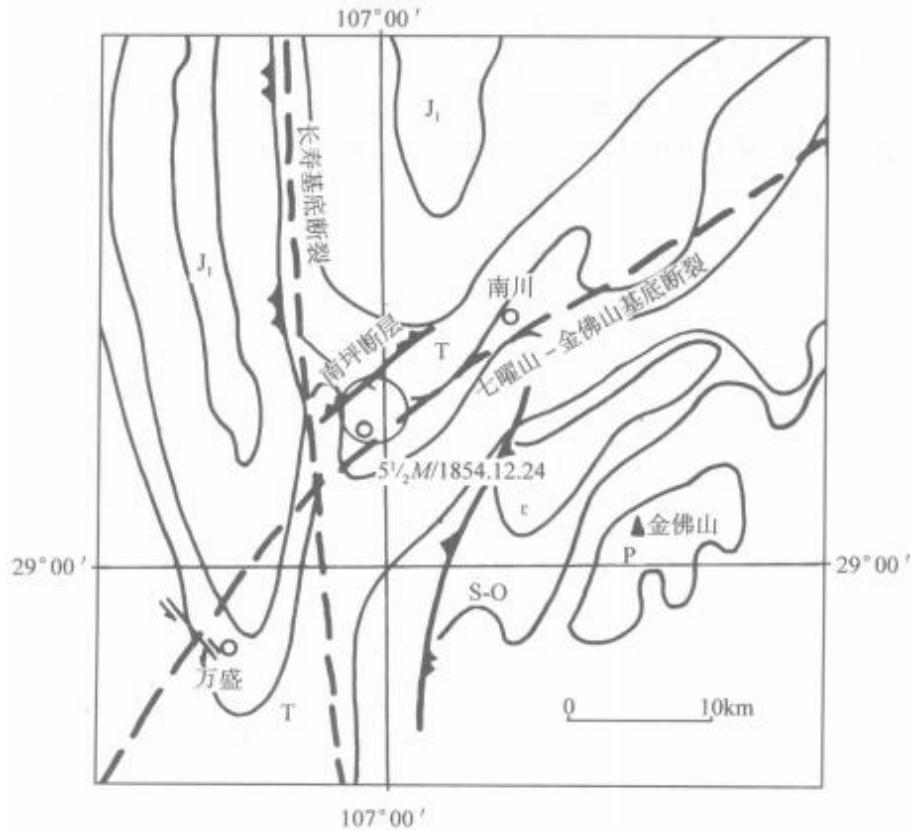


图 2-22 1854 年南川 5 $\frac{1}{2}$ 级地震区域地震构造图 (重庆地震局)

2.5.2 中强震构造环境综合分析

区域的中强地震具有以下构造特征: 中强地震等震线长轴多呈北东向和北西向, 说明北东向和北西向构造是区域内主要构造方向, 对区域中强地震的发生具有明显的控制作用; 中强地震大多发生在更新世以来有活动的规模较大的断裂附近, 或断裂的交汇部位。

区域内新构造活动不强, 以大面积的隆升为主要特点, 因此, 造成区域总体地震活动性不强。区域新构造活动在隆升的背景下, 还表现出不同区域的差异性, 四川盆地中部川中地区为穹状背斜弱升区, 基底为坚硬的结晶基底, 盖层构造变形弱, 地表断裂构造不发育, 第四纪以来缓慢抬升, 抬升幅度小, 因此, 地震活动极弱。四川盆地东部的川东地区为线状背斜弱升区, 基底既有刚性较强的结晶基底也有相对较弱的褶皱基底, 相对川中地区基底稍弱; 盖层变形强烈, 表现为

褶皱隆起幅度较高的隔挡式高陡背斜发育，地表断裂少量发育，且规模小、与背斜构造伴生，第四纪以来缓慢抬升，但抬升幅度相较川中略强，该区地震活动以中小地震活动为主，表现出与褶皱构造的明显相关性。四川盆地东南缘为中升区，广布褶皱基底，且褶皱基底厚度较大；盖层经过多期构造运动变形强烈，发育隔槽式、城垛式褶皱，形成川东南大面积中低山地；该区褶皱与断裂均较为发育，构造走向北北东；该区隆起历史较早，第四纪早期隆起幅度较大，与四川盆地内相比显出明显的差异性，晚更新世以来活动明显减弱，与四川盆地抬升背景趋于一致；本区断裂构造相对规模较大，与褶皱构造基本解耦，因此，地震活动多与断裂构造相关，发生地震的强度可比褶皱地震强度高，但受区域背景的控制，地震活动水平较低。

2.5.3 区域发震构造及最大潜在地震确定

根据以上区域断裂活动性和不同级别地震构造标志分析，区域内存在主要的发震构造如下。

①华蓥山断裂带分为南段、北段和中段三段。现今地震活动是南段较强，北段和中段较弱。综合南段地震活动性较强的特点，该断裂带南段具有发生 6.5 级地震的背景，华蓥山背斜中段包括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，发生过最大 5.4 级地震，震级上限定为 6.0 级；由于北段地震活动性较弱，通过构造分析和地震分布分析，该断裂带北段和中段具有发生 5.5 级地震的背景。

②长岭-半边山断裂带在长寿至南川段在第四纪以来均有一定活动，沿断裂有多处温泉出露。最新活动时期为早更新世至中更新世初期。在构造交切部位有地震活动，1854 年在南川附近与北东向七曜山-金佛山断裂带交汇部位发生过 5 级地震。根据上述分析，通过构造分析，该断裂带具备发生 6 级地震的背景。

③方斗山断裂为四川盆地弱活动断裂构造区的东边界，具有明显的深部地

球物理场特征。沿断裂带中、小地震活动频繁，在石柱县茶园附近于 1979 年 8 月先后发生过 3.0 级地震和 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，1997 年 7 月 15 日在石柱鱼池镇发生 4.4 级地震，2004 年 11 月 21 日在石柱王场镇发生 ML4.6 级地震、2005 年 2 月 11 日再次发生 ML4.2 级地震。该断裂带与七曜山-金佛山断裂临近，从历史地震活动及构造分析，该断裂具有发生 6 级地震的背景。

④七曜山-金佛山断裂带具有中强地震活动，该断裂活动时代为中更新世，在与长岭-半边山断裂带的交汇部位南川附近，1854 年发生过 5 $\frac{1}{2}$ 级地震，从具有深部构造背景看，该断裂（金佛山段、老场段）具有发生上限为 6.5 级地震的背景，七曜山段和马武段具有发生上限为 6.0 级地震的背景。

⑤彭水断裂带地震活动较强，北段 1855 年 9 月彭水曾发生过 4 $\frac{3}{4}$ 级地震，北段的毛坝乡于 1931 年 7 月 1 日发生过 5.0 级地震，中小地震主要集中在北段彭水保家镇、芦塘乡等地，如 1979 年 12 月 31 日芦塘乡 3.8 级地震，和 2004 年 4 月 16 日保家镇 3.3 级地震。整体来说，根据震级上限确定的地震构造和地震活动标志，彭水断裂具有发生 5.5 级左右地震的背景。

⑥黔江断裂带最新活动主要发生在中更新世中晚期，可能延至晚更新世初期（北东段）。该断裂历史地震活动较强，中段小南海附近曾发生 1856 年 6 月 10 日的 6 $\frac{1}{4}$ 级地震。根据震级上限确定的地震构造和地震活动标志，具备发生 6.5 级地震的构造背景。

表 2-4 发震构造及最大潜在地震的判定

地震构造带	华蓥山断裂带	长岭-半边山断裂带	方斗山断裂	七曜山—金佛山断裂	彭水断裂带	黔江断裂带	
现代构造应力场特征	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, SN 向断裂仍具有继承性的压性兼左旋走滑运动	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, NE 向断裂仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层具有继承性的压性逆冲运动的应力条件。	
断裂最新变形特征	最新活动时期	北段: Q2 中段: Q2 南段: Q2~Q3	Q ₂	Q ₁ -Q ₂	Q ₂ -Q ₃	Q ₁ -Q ₂	Q ₁ -Q ₃
	地震的时间, 地点, 震级	前 26, 宜宾, 5.5; 1996, 自贡, 5.4; 1997, 荣昌, 5.2; 2019, 宜宾, 5.7;	1854, 南川, 5½	1979, 茶园, 3.0; 1979, 茶园, 3.8; 1987, 茶园, 4.4; 1997, 鱼池, 4.4; 2004, 王场, 4.6; 2005, 王场, 4.2;	1854, 南川, 5½ 2017, 武隆, 5.0	1855, 彭水, 4¾; 1931, 毛坝乡, 5.0; 1979, 芦塘乡, 3.8; 2004, 保家镇, 3.3;	1856, 重庆黔江, 6¼; 1986, 甲马池, 3.2; 1996, 平溪乡, 3.5;

地表断裂结构和分段特征		具有斜列状结构，东北段断裂规模较大，西南段由多条规模较大的断裂羽状右阶排列	分布在背斜的轴部，由丰盛—神童坝断层、龙泉寺—高湾断层、半边山—南童关断层等次级断裂组成	具有斜列状结构，自南而北有和尚岩、石柱和龙泉沟等次级断层组合而成	具有斜列状结构，自南而北有金佛山、老场、七曜山南段和七曜山断裂等多条次级断层组成	具有斜列状结构，由郁江断裂和次级断裂斜列组合而成	具有斜列状结构，由龙潭坝断裂、箐基滩断裂、诸佛江断裂等3条次级断裂斜列组合而成
断裂规模特征	总长度	460km	230km	130km	350km	200km	130km
	断层分段长度	北段：150km，中段：80km，南段：230km	各次级断裂分段长度10~20km。	和尚岩段：10km，石柱段：35km	金佛山段 30km，老场20km，次级断裂分段长度20~50km	各次级断裂分段长度20~50km	龙潭坝断层 60km，箐箕滩断层 48km，诸佛江断层 34km
最大潜在地震(构造条件)		北段具有发生 5.5 级地震的发震构造条件，中段具有发生 6.0 级地震的发震构造条件，南段具有发生 6.5 级地震的发震构造条件	具有发生 6 级地震发震构造条件	具有发生 6 级地震的发震构造条件	具有发生 6 级地震的发震构造条件，金佛山段和老场段具有 6.5 级的地震背景	具备发生 5.5 级地震的发震构造条件	具备发生 6.5 级地震的背景

3 近场区地震构造分析

近场区地震地质环境评价是在区域地震地质环境评价的基础上,调查展布在工程近场区内的断层的活动性及地震活动规律。本章主要阐述近场区地质构造、新构造演化过程、地形地貌特征、地层分布及工程地质条件、主要活动断裂分布特征及其对工程影响等,并对近场区断裂构造做出综合评价,为潜在震源区划分及地震活动性参数评定提供依据。

3.1 近场区地形地貌

近场区地貌类型主要由丘陵区、低山丘陵相间排列区和中-低山区组成，其低山丘陵区面积较大、中-低山区面积较小。地貌形态明显地受新构造运动控制，山体和盆地总体呈北西—南东走向，和区构造线方向一致。近场区地形地貌见图3-1。

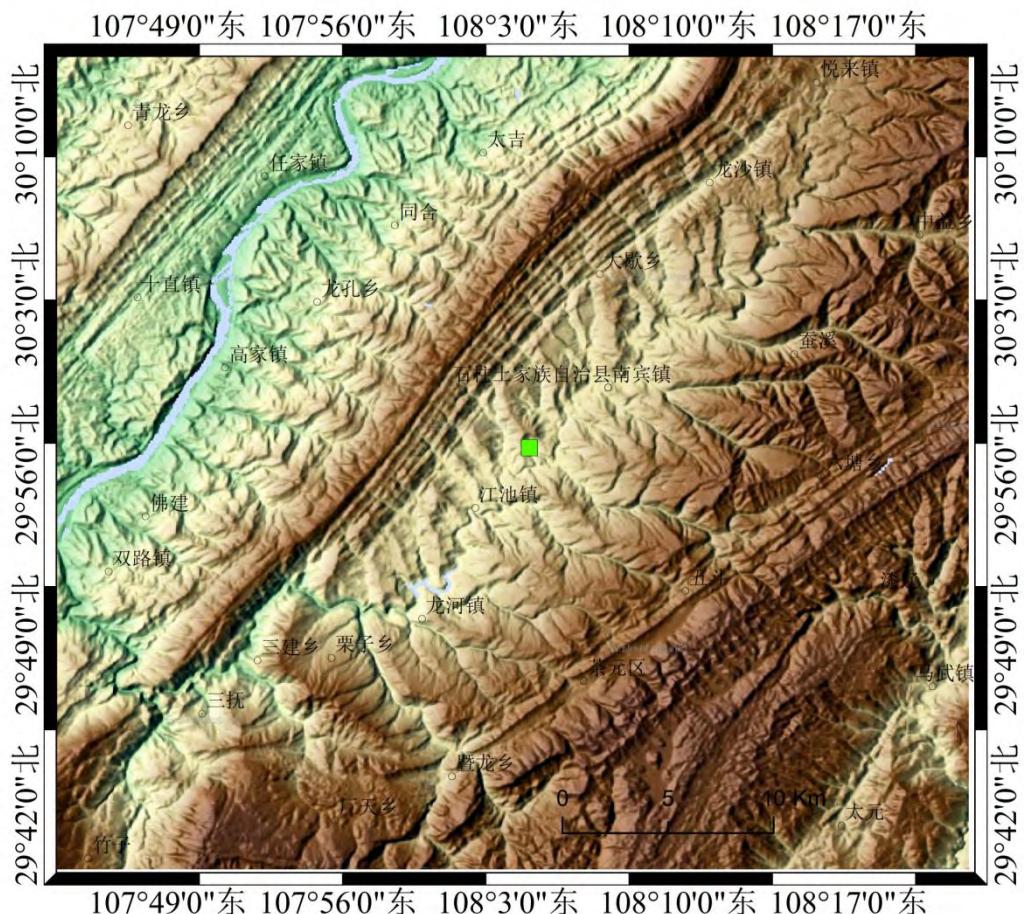


图 3-1 近场区地形地貌图

丘陵区位于华蓥山以西，在地貌上以圆形或长圆形丘陵地貌为其特征，丘陵高度多在海拔 500m 以下。这一地貌特征是穹隆构造、短轴背斜构造的反映。

低山丘陵相间排列区位于华蓥山断裂及其以东至七曜山—金佛山断裂之间的广大地区，地貌上一系列北东走向的狭窄条状山岭与相对较宽阔的岭间丘陵相间排列。低山海拔多在 600—900m 之间，最高为方斗山，海拔 1090m，岭间丘陵海拔一般在 600m 以下。

中-低山区位于金佛山南东，地貌上以北东走向较宽阔的山地与相对比较狭窄的较低丘陵相间排列，山地海拔多在 1500m 左右，最高为金佛山主峰，海拔 2251m，山间丘陵海拔多在 1000m 左右。这一地貌形态，是该地区“城垛式”褶皱构造和断层活动的反映。

3.2 新构造运动特点

近场区存在有多种类型、多级地貌面，如夷平面和河流阶地面等。这些地貌面分布于不同的地貌区，是地貌演化历史的时间标尺，也是研究新构造运动和断裂活动性的时间标志。新构造运动不是直线式，而是有快有慢波动式向前发展的。河流阶地的发育是间歇性运动最典型的记录，每级阶地代表了一个沉积和下切的过程，反映了相应时期地壳稳定和急速上升的活动周期，阶地是代表地壳间歇活动或气候变化的标志。本区的长江发育 5 级阶地，从而表现了新构造间歇运动的普遍性和统一性。在陆区，广泛分布多级夷平面和河流阶地，层状地貌发育，表明该区存在间歇性升降运动。现存三期夷平面，高程分别为 300-500m、600-900m 和 1100-1600m（盆周区），第四纪以来抬升幅度在 500m 至 1500m 的范围内，区内差异运动不明显。

近场区范围内长江流经区内西北侧，河流的两侧存在多级阶地。长江河流阶地是研究近场区地壳震荡运动、间歇性抬升（或下降）和垂直差异运动的重要标志。长江水系自晚更新世基本定形，河道稳定以后，在河道和主要支流所留下的多级阶地沉积，则直接反映出从中更新世至全新世间歇性抬升的“节奏”。长江及主要支流阶地基本特征自中更新世以后，特别是晚更新至全新世期间长江几度下切，形成多级阶地。长江主河道两侧阶地的发育是不对称的，海拔高度差异达 100 余米，共五级阶地。从阶地分布的高度和空间位置，可以反演出间歇性抬升和倾斜的大致过程：第五级阶地（T5）形成时（中更新世晚期），

长江应在王家大山附近，此时的长江河道还没有最后固定，该级阶地很可能属夷平面的堆积物。而第四级阶地（T4）表明长江由东向西迁移 35 公里，相对高度降低（下切）40 余米。第三级阶地（T5）向东移动了约 1200 米，相对高度下降约 70 米。第二级阶地（T2）又东移了约 400 米，相对高度下降约 30 米。第一级阶地属全新世阶地与第二级阶地仅有约 10 米的相对高差，长江主河道至此固定。这是长江主河道由夷平期至间歇抬升期，从北东→南西→北东倾斜下切，最终固定的过程。

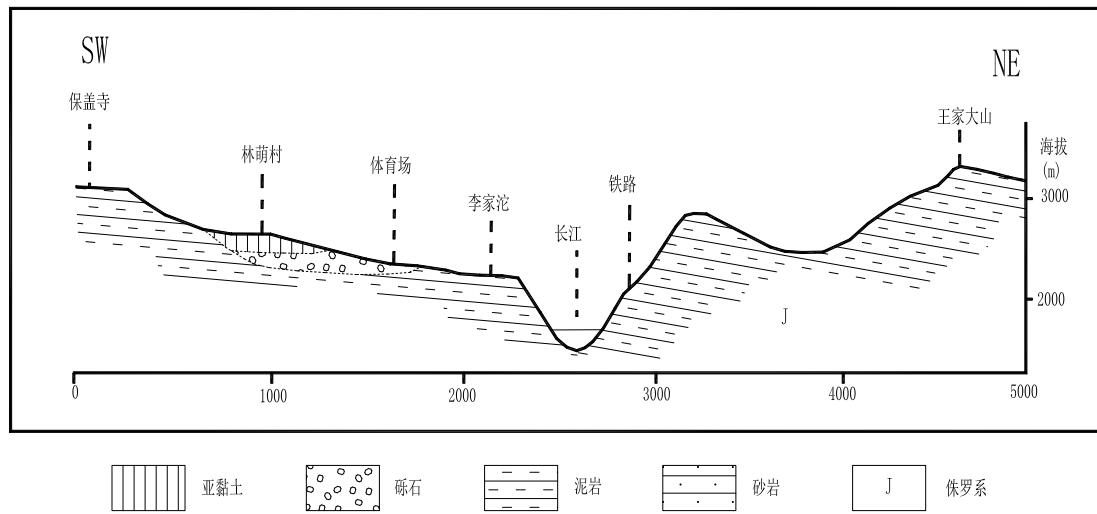


图 3-2 长江河谷阶地分布剖面图（重庆市地震局，2004）

3.3 近场区地质构造分析

3.3.1 地层岩性

近场区地层从二叠系～侏罗系均有出露，其中以二叠系茅口组，三叠系须家河组、嘉陵江组，侏罗系遂宁组、沙溪庙组、新田沟组地层出露最为广泛。岩性则以泥岩、砂岩及石灰岩为主。近场区内出露地层如表 3-3 所示。第四系（Q）广泛分布于洼地、河谷、斜坡等地带。第四系包含人工填土（Q₄^{ml}）和第四系冲积层（Q₄^{el+pl}）。

1) 人工填土（Q₄^{ml}）：主要为人工填土，包括人类工程活动形成的各类建筑填筑材料。包括种植土，成分为粘土、砂土等，厚度 0.3~15m，质松散，植物根系发育，主要分布于坡脚地势较平坦一带。

2) 第四系冲积层（Q₄^{el+pl}）：黄色、棕黄色粘土夹少量碎石及块石，主要分布于冲沟、地势地洼地带厚度一般为 3~5m。

表 3-3 近场区内出露地层统计表

界	系	统	组	地层代号	厚度(m)	岩性	
新生界	第四系			Q	不详	人工填土, 松散堆积物, 粘土、砂、砾。	
中生界	侏罗系	上统	蓬莱镇组下段	J ₃ p ¹	>224	灰白青灰色石英砂岩、紫红色泥质砂岩	
			遂宁组	J ₃ sn	455~509	鲜红色砂纸泥岩、棕褐色泥岩、砖红色砂岩	
		中统	上沙溪庙组	J ₂ s	996~1324	紫红色砂质泥岩, 灰紫色长石砂岩	
			下沙溪庙组	J ₂ xs	204~391	紫红色泥岩, 砂纸泥岩, 黄灰色长石砂岩	
			新田沟组	J ₂ x	109~278	钙质泥岩、介壳灰岩、砂质泥岩、石英砂岩、长石砂岩	
		中下统	自流井群	大安寨组	J ₁₋₂ z ³	31~62	灰色灰岩、泥灰岩
				马鞍山组	J ₁₋₂ z ²	102~175	紫红色泥岩
			东岳庙组	J ₁₋₂ z ¹	20~49	绿色泥岩、黑色页岩、介壳粉砂岩	
		下统	珍珠冲组	J ₁ z	56~269	紫红色泥岩、灰白色石英砂岩	
		三叠系	上统	须家河组	T ₃ xj	118~438	灰白色石英砂岩、黑色页岩、夹薄煤层
			中统	雷口坡组	T ₂ l	0~100	灰、黄灰色白云岩、泥质白云岩、灰岩
			下统	嘉陵江组	T ₁ j	71~282	浅灰色白云岩、灰色灰岩、岩溶角砾岩、生物灰岩

界	系	统	组	地层代号	厚度(m)	岩性
			飞仙关组	T ₁ f	24~241	紫、黄绿色钙质页岩、灰岩、泥质灰岩
古生界	二叠系	上统	长兴组	P ₂ c	99~145	棕灰、深灰色厚层灰岩、白云质灰岩
			龙潭组	P ₂ l	75~159	灰色粉质粘土岩、泥质灰岩、煤层、角砾岩
		下统	茅口组	P ₁ m	>166	浅灰色灰岩、结核灰岩、白云质灰岩、生物灰岩、页岩
	志留系	中统	罗惹坪组	S ₂	138~638	黄绿色、灰绿色粉砂岩、页岩、粉砂质页岩
		下统	龙马溪组	S ₁	235~277	黄绿色、灰绿色粉砂岩、页岩、粉砂质页岩
	奥陶系	下统	大湾组	O ₁ ^d	109-172	灰绿色粉砂岩、页岩
	寒武系	上统	毛田组	Є ₃ ^m	146-255	浅灰色灰岩、灰质白云岩
		中统	高台组	Є ₂ ⁿ	63-74	浅灰色至深灰色灰岩、灰色白云岩
	震旦系		灯影组	Z	>216	浅灰色、灰色白云岩

3.3.2 地质构造

近场区地质构造图如图 3-3 所示，区内构造背斜和向斜相间排列，背斜形成隔档式，向斜较为宽缓，构造总体走向呈北东方向，从北西到南东方向为忠县背斜、丰都向斜、方斗山背斜、石柱向斜和老场坪背斜，在背斜的核部以及两翼多发育地表断层。

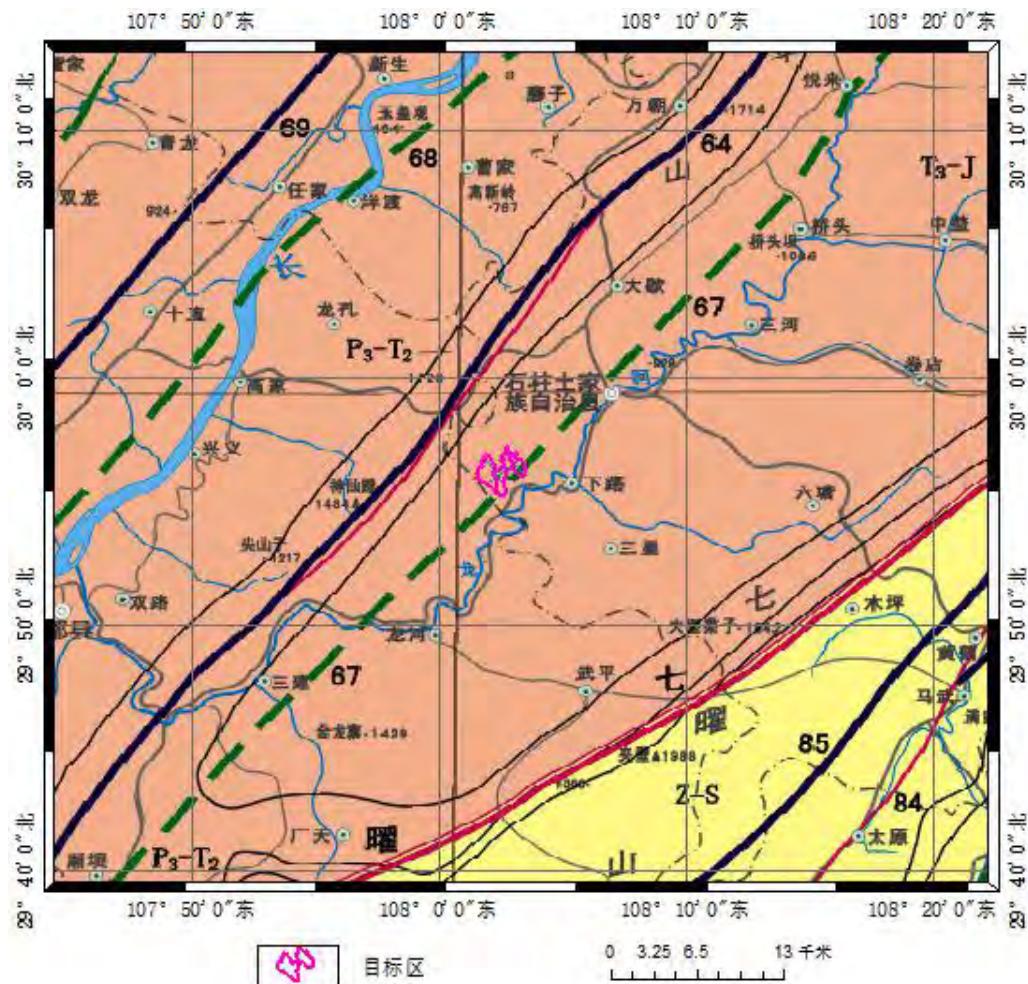


图 3-3 近场区地质构造图

忠县背斜于忠县大堡岭一带延入测区，向南西延伸至丰都县以南的长江边立石镇倾伏，全长约 62 公里。轴向北 45° 东。北东段轴部隆起较高，出露了雷口坡组，向南西逐渐降低，陆续由须家河组至新田沟组构成轴部。两翼地层为须家河组至上沙溪庙组。背斜轴部狭窄，受钟坝断层破坏，两翼不对称，南东翼陡，倾角 $50^{\circ} \sim 84^{\circ}$ ，北西翼缓， $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

丰都向斜位于大池干井背斜及方斗山背斜之间。于忠县新场北东芝麻坪进入测区，向南西延伸至丰都瑶溪坝一带扬起。轴向北 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 东。轴部地层为蓬莱镇组，两翼为遂宁组，上沙溪庙组。轴部平缓开阔，两翼不对称，北西翼倾角在蓬莱镇组中为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，但到遂宁组岩层突然变陡至 70° 以上。南东翼较缓，向外由 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 逐渐变化，轴面倾向北西，为开阔平缓斜歪向斜。整个向斜区内仅记录到 6 次现代小震发生，小震分布极不规律，最大地震为 2004 年 11 月 21 日 4.6 级地震，区内未发现有断层通过。方斗山背斜南西端位于忠县幅西南角

出图, 轴线以北 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 东, 局部北 60° 东方向伸驰长滩井以南, 自然弯曲为北 $20^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 东, 到羊子嵌东一公里消失在巴东组内, 倾伏角约 19° 。由方斗山、大山坪、庙子湾、何家营等构造高点组成, 全长约 220km。背斜南段, 长冲西至李家坪一带, 轴部地层在方斗山主峰及二蹬岩一带最老为下二叠统, 背斜两翼为三叠系及侏罗系。北段为方斗山背斜构造主体, 挤压强烈, 扭转成拉长的反“S”形。垭口以南, 北西翼缓, 倾角一般 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 局部 62° ; 南东翼陡, 倾角 $50^{\circ} \sim 84^{\circ}$, 甚至直立倒转。垭口以北至李家坪恰相反, 南东翼缓, 倾角一般 $35^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 北西翼陡, 倾角 $20^{\circ} \sim 88^{\circ}$, 局部甚至倒转。总的说来, 靠近背斜核部产状较陡, 邻近向斜则产状突然变缓。背斜中段, 李家坪经文星包至长滩井南东的金子坪, 轴线从北 40° 东弯转成北 70° 东, 为突向北西的弧形。轴部由下三叠系嘉陵江组组成, 在金子坪附近 3 公里内, 中三叠统巴东组形成鞍部。背斜近轴部, 北西翼陡, 倾角 $19^{\circ} \sim 61^{\circ}$ 、翼缓 $14^{\circ} \sim 41^{\circ}$, 但翼部产状相反。北西翼缓, 倾角 $15^{\circ} \sim 61^{\circ}$, 南东翼较陡 $46^{\circ} \sim 84^{\circ}$, 局部地段, 轴部挤压强烈, 岩层挠曲, 以至直立倒转。背斜北东段, 金子坪到羊子嵌, 背斜轴部最老地层为下三叠系嘉陵江组, 背斜翼部由中、三叠系及中、下侏罗系组成, 岩层产状北翼倾角 $18^{\circ} \sim 57^{\circ}$, 南翼倾角 $22^{\circ} \sim 63^{\circ}$ 局部倒转。轴面倾向北北西, 位邻近的黄莲峡斜之间, 多次级呈雁行式排列。

石柱向斜位于方斗山背斜以东, 由丰都县五龙场进入, 向南西延伸至木根铺受羊角背斜限制由西偏转成近南北向和南南东向, 于青杠坪附近扬起消失。木根铺以北, 轴线成北 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 东的舒缓波状。轴部地层, 在三抚公社以北为侏罗系, 以南为巴东组及嘉陵江组。构造复合区以北部分平缓开阔, 但不对称, 北西翼倾角 $5^{\circ} \sim 50^{\circ}$, 南东翼倾角 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。在构造复合区, 轴部逐渐变窄而成尖棱槽沟, 但向两翼确又逐渐变缓。轴部附近岩层倾角 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 北西翼向外变缓为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 南东翼向外变缓为 $3^{\circ} \sim 10^{\circ}$, 为区内特有的一段隔槽式向斜。石柱向斜有零星小震活动, 小震分布极不规律。

3.4 近场区主要断裂活动性分析

近场区断裂主要分布见近场区震构造图(图 3-4), 主要以北西向断裂为主。

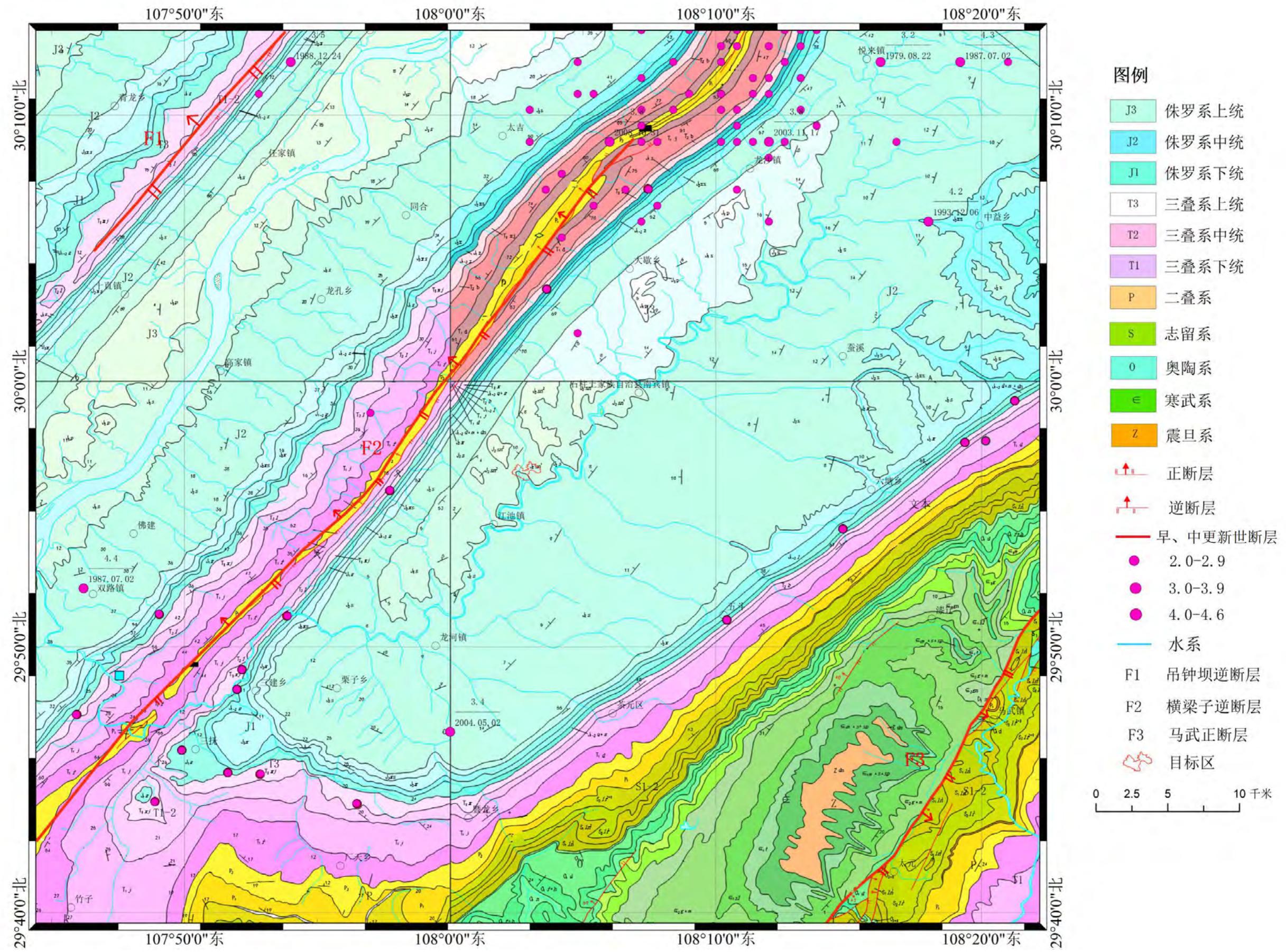


图 3-4 近场区地震构造图

我们沿着断层走向方向进行了地质地貌调查，分析断层与新地层的覆盖或切割关系。为了尽可能多的寻找断层剖面露头，公路与断层走向相交位置是我们的重点调查点，野外调查点分布见图（3-5）区内主要断裂按断裂编号顺序分述如下（表3-4）。

表 3-4 近场主要活动断裂特征一览表

断裂 编号	断裂名称	区内长 度(km)	产状			活动性质	活动 时代	地震活 动	距离场区 距离(km)
			走向	倾向	倾角				
1	吊钟坝逆断层	10km	28°	NW	40~70°	逆断层	Q ₂	2 次	28
2	横梁子逆断层	42km	20°	NW	40-50°	逆断层	Q ₁₋₂	30 次	8
3	马武断层	25km	25~70°	SE	45-60°	正断层	Q ₁₋₂	0 次	33



图 3-5 近场区断层调查点

（1）吊钟坝逆断层

吊钟坝逆断层位于忠县背斜轴部偏南东翼，随背斜进入近场区，延至桐子坝

消失，区内长约 10 公里。断层面倾向北西，倾角 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。在吊钟坝一带，断层北西盘岩层产状平缓，雷口坡组挠曲发育，显示上冲性质；南东盘岩层突然变陡，显示了向下错动，属于逆冲断层，图 3-6。

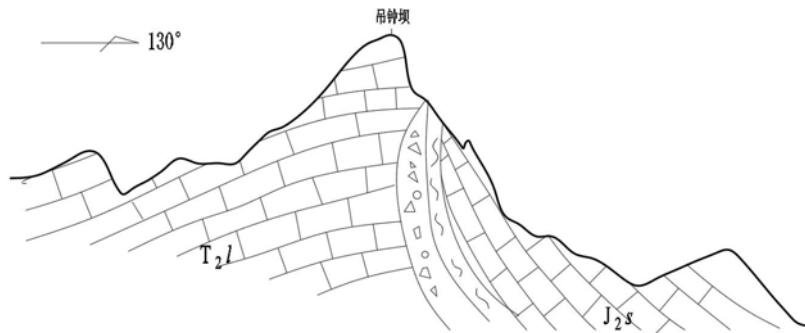


图 3-6 吊钟坝断层剖面示意图

在忠县新立镇普乐村南侧，乡村公路走向与断层走向近乎垂直，在公路内侧可见断层剖面（图 3-7），断层主要发育于三叠系中统雷口坡组中，为紫红色粉砂质水云母页岩夹灰绿、灰黄色含粉砂质水云母页岩及薄层含泥质灰岩。断层面倾向 315° ，倾角 45° ，断层上盘岩层产状 324° ，倾角 25° ，下盘岩层倾向 164° ，倾角 72° ，断层剖面 200 米范围内，岩层产状发生倒转，主要是由于上盘沿着断层面发生逆冲导致下盘岩层发生剧烈变形引起的，远离断层面岩层倾角逐渐变缓，并与上盘岩层产状基本一致，剖面上覆第四系残坡积物未见错断。沿断层走向追踪，未见断层新生断层陡坎，和冲沟扭错（图 3-8），断层附近地震活动性不强，仅记录到 2 次地震，分别为 1988 年 12 月 24 日忠县新生镇 3.5 级地震和 1988 年 12 月 9 日忠县任家镇 2.3 级地震。断层附近未见明显晚更新世活动迹象，因此该断层的最后活动时代应与忠县背斜及其发育的断层活动时代接近，即为中更新世活动断层。



图 3-7 吊钟坝逆断层典型断层剖面



图 3-8 断层走向方向地貌

（2）横梁子逆断层

横梁子逆断层近场区范围内南起大梁村附近，大致呈北东至北东东向经横梁村、马湖村至垭口南附近尖灭，全长约 42km。断层发育于方斗山背斜西北翼，背斜轴向 $NE60^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 。轴部为下三叠统嘉陵江组，北西翼平行主背斜轴的次级褶皱发育。背斜轴南东翼岩层倾角 $21^{\circ} \sim 57^{\circ}$ ，北西翼倾角 $30^{\circ} \sim 78^{\circ}$ ，轴面倾向南东，局部直立。在老林口南，断层走向北 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。倾向北西，倾角 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。断层北西盘上、下二叠分别与南东盘下三叠统大冶组、嘉陵江组接触，使背斜轴部遭受破坏，下盘嘉陵江组灰岩挤压倒转，局部发生褶皱变形，远离断层而消失（图 3-9, 3-10）。剖面上覆第四系残坡积物未见错断和新生陡坎。



图 3-9 老林口南横梁子逆断层剖面

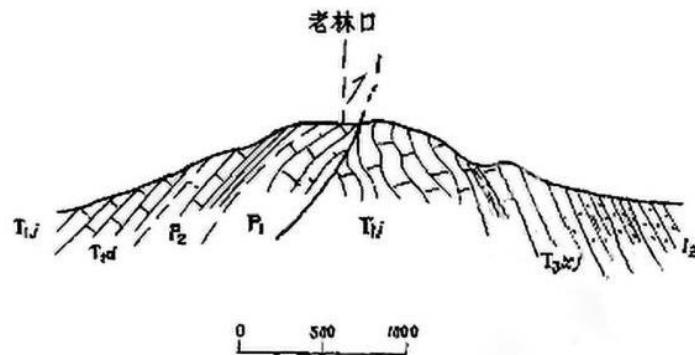


图 3-10 老林口横梁子逆断层剖面示意图

在马湖池以西，横梁子逆断层主要发育于飞仙关组和长兴组地层分界面，断层倾向北西，倾角 $55^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。上盘为浅灰色厚层含生物碎屑灰岩，含少许燧石团块，下盘为飞仙关组灰绿色水云母页岩，夹薄层状泥质灰岩，图 3-11。挤压破碎带厚层状灰岩内发育一系列小破裂面、节理，破裂面主要走向为北 60° 东、北 30° 东及北 80° 东三组，并大都显压性，部分为张性，断层挤压特征显著，为北西盘逆冲断裂，后期具扭性。在挤压破碎带厚层状灰岩方解石化强烈或方解石脉发育，呈条带状或团块状。断层上盘灰绿色页岩受到下盘逆冲挤压，在断层面附近产生牵引挠曲，远离断层面而消失，剖面上覆第四系残坡积物未见错断。



图 3-11 马湖池横梁子逆断层剖面

在横梁子景区东侧边坡揭露该断层（图 3-12），断层错断三叠系飞仙关组黄灰色薄层泥质灰岩，底为约 13 米厚的灰绿色水云母页岩，夹薄层泥质灰岩。断层倾向北西，倾角约 45° 。上盘底部水云母页岩与下盘泥质灰岩不整合接触，断层带内下盘泥质灰岩发生向上扭曲（图 3-13），上盘水云母页岩产生褶皱变形，远离断层面而消失，显示断层具有逆冲性质，剖面上覆第四系残坡积物未见错断。



图 3-12 横梁子景区断层剖面



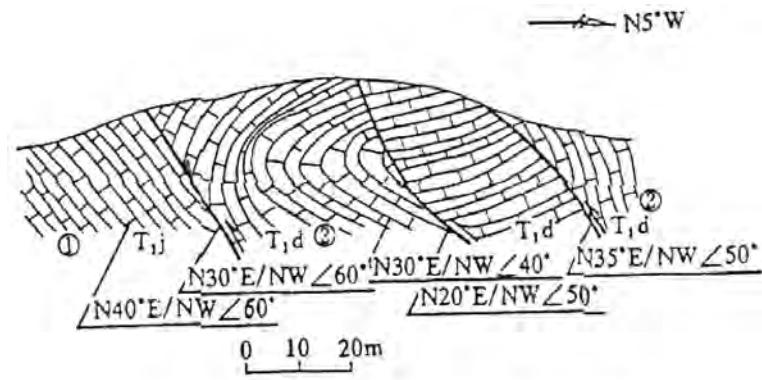
图 3-13 上盘岩层变形

沿断层走向追踪，在煤炭岩垭口附近见断层露头（图 3-14），未见断层新生断层陡坎，和冲沟扭错。



图 3-14 煤炭岩横梁子逆断层露头

据重庆涪陵幅 1:20 万区域地质报告，在石柱县大歇镇茶园西见下三叠统灰岩地层内发育有冲断层，如图 3-15 所示，断层面上的断层泥热释光年龄值分别为 574900 ± 4600 年，表明其活动年代位于中更新世早期。



①下三叠纪嘉陵江组薄层灰岩；②下三叠大冶组灰岩

图 3-15 石柱县大歇镇茶园西横梁子逆断层剖面图

综上所述，沿断层走向追踪，在煤炭岩垭口附近见断层经过，见断层新生断层陡坎，和冲沟扭错。根据野外调查的断层剖面，断层面未见断层泥，因此无法通过采集断层泥进行活动时代测定。但根据区域构造研究，该地区第四纪断裂一般发育断层泥，表明该断裂第四纪晚期没有新活动，该断层的最后活动时代应与川东陷褶束内其它隔挡式背斜及其发育的断层活动时代接近，即早、中更新世活动断层。

（3）马武正断层

马武正断层位于老厂坪背斜东翼，走向北 $40^{\circ} - 25^{\circ}$ 东，倾向南东，倾角 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，断层西盘主要为中、上寒武统及奥陶系，并与东盘志留系接触。

在双龙村西公路内侧边坡见马武正断层出露（图 3-16），断层面倾向南东，倾角约 75° 。断层上盘为志留系罗惹坪群浅灰绿色薄状泥质胶结的粉砂岩，夹浅灰色薄板状生物碎屑灰岩，岩层倾向 164° ，倾角 $20\sim45^{\circ}$ ，靠近断层面附近，岩层发生向上扭曲。断层下盘为寒武系茅坪组浅灰色薄层状含泥质白云岩，岩层倾向 160° ，倾角 $65\sim74^{\circ}$ 。断裂带宽约 30cm，具角砾，角砾大小悬殊，最大者 $30\sim50mm$ ，磨圆度各异，菱角比较分明，无定向排列，胶结物为钙质及泥质。剖面上部第四系残坡积物未见错断。

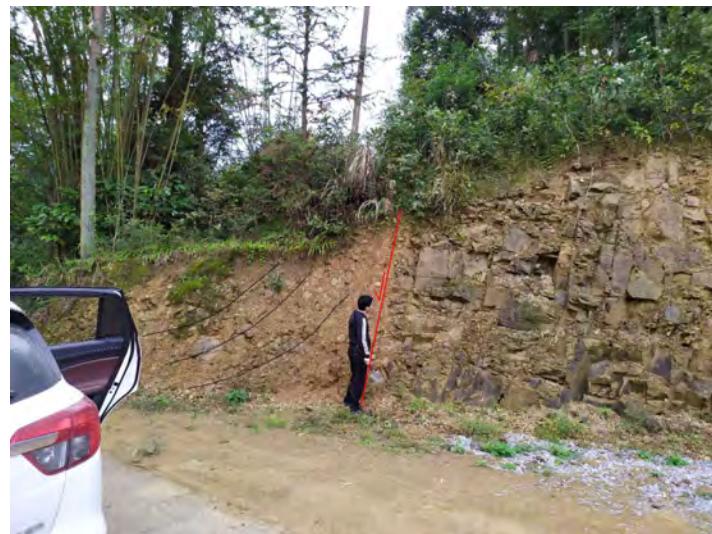


图 3-16 双龙村马武正断层剖面

沿着断层走向追踪，田坝至太原坝段，倾向 60° 南东，倾角 $62^{\circ} \sim 65^{\circ}$ ，西盘主要地层是下寒武统石龙洞组及中寒武统高台组，并与东盘下奥陶统大湾组及下志留统第一岩性段相遇。断层带宽约 20-100 米，局部地段挤压强烈，形成小的褶曲倒转及岩石构造透镜体，其轴向及长轴均平行于主断裂面（图 3-17a、b）。

局部地段，断裂面粗糙，但未发现构造角砾岩（图 3-15c）。于高桥北附近官庄坪，见断层下盘高台组中似层状黄铜矿化（图 3-15d），被该断层切割，而断层带及上盘均无矿化现象。

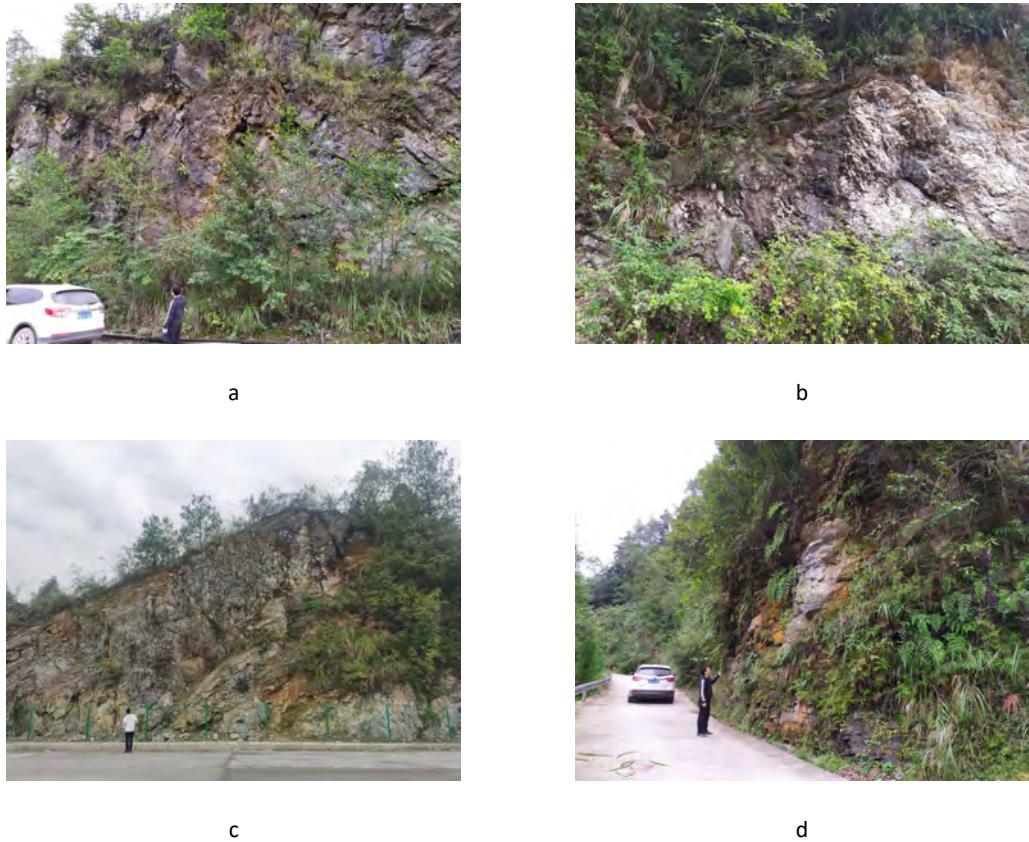


图 3-17 田坝至太原坝段马武断层剖面露头

近场区马武断层从太原坝延伸至马武坝，总长度约 42km。卫星影像上在太原镇至太砂镇一带有较明显的线性槽谷影像，最大地层断距 1700 米，往北断距逐渐减小，断裂消失于老厂坪背斜倾没端。向北东方向延伸，线性槽谷未见错断水系、山脊线等现象（图 3-18）。

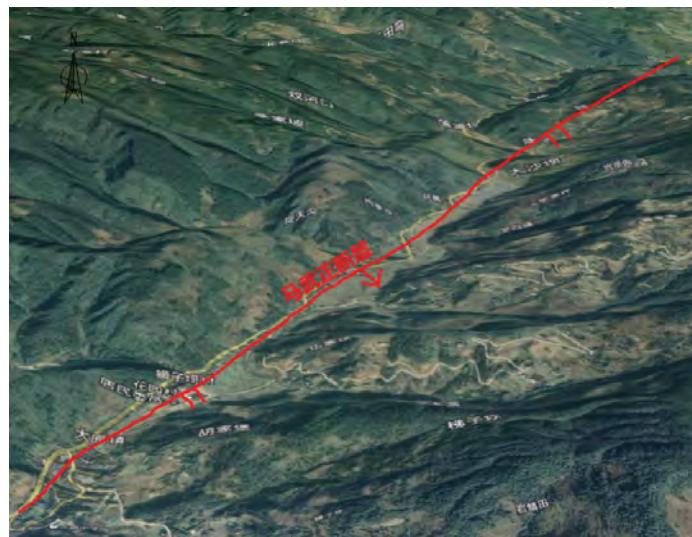


图 3-18 马武正断层卫星影像

沿断裂无 4.7 级以上地震发生，亦未见中小地震呈团或带沿断裂分布；结合该区新构造运动地震地质背景，表明第四纪晚期没有新活动，该断层的最后活动时代应与川东陷褶束内其它隔挡式背斜及其发育的断层活动时代接近，即早、中更新世活动断层。该断裂活动时代为早～中更新世，不属于工程活动断裂。

3.5 近场区地震构造综合评价

(1) 近场区范围主要涉及四川台坳中的川东陷褶束区，这个构造单元的地层发育和构造演化对近场区有直接的影响。

(2) 近场区地层从二叠系～侏罗系均有出露，其中以二叠系茅口组，三叠系须家河组、嘉陵江组，侏罗系遂宁组、沙溪庙组、新田沟组地层出露最为广泛。岩性则以泥岩、砂岩及石灰岩为主。

(3) 近场区地质构造相对简单，条理清楚，地表发育吊钟坝逆断层、横梁子逆断层和马武正断层，均位于背斜核部，为早、中更新世断层。断层构造规模较小，一般长度均在 10~45 公里左右，与背斜平行展布，走向多为 NE 或 NNE。

(4) 通过综合分析，近场区所处的地震地质构造位置、新构造运动强度、历史和现代地震活动水平，认为近场区内具备发生 6 级以下中强地震的构造背景和条件。

4 场地地震危险性概率分析

本章的目的在于，根据地震活动环境、区域和近场地震地质的研究成果，对影响到场地地震安全性的潜在震源区、地震活动性参数和地震动衰减关系进行认真确定，再进行场地的地震危险性分析，通过分析计算为工程的抗震设计提供依据。

4.1 地震危险性概率分析方法概述

场地地震危险性概率分析的目的在于给出场地地震动参数 Z 超过给定值 z 的超越概率 $P(Z > z)$ 。

设有 N 个地震带对场点的地震危险性有贡献。若第 n 个地震带对场点地震动年超越概率为 $P_n(Z > z)$ ，则场点总的地震动年超越概率表示为：

$$P(Z \geq z) = 1 - \prod_n^N (1 - P_n(Z \geq z)) \quad (4-1)$$

在地震危险性分析中，最关键的步骤是确定第 n 个地震带对场点的地震危险性。下面以某一个特定地震带为例，叙述确定地震带对场点的地震危险性。为简单起见，公式中的参数略去关于地震带的角标，所有参数都描述同一地震带。

地震带是地震活动性分析的基本统计单元，它应具有统计上的完整性和地震活动趋势的一致性。地震时间过程符合分段的泊松过程。在 t 年内，年平均发生率为 ν ，则

$$P_{kt} = \frac{(\nu t)^k}{k!} e^{-\nu t} \quad (4-2)$$

式中， P_{kt} 为统计区内未来 t 年内发生 k 次地震的概率。

地震带内大小地震的比例遵从修正的震级-频度，相应的震级概率密度分布函数为

$$f_M(M) = \frac{\beta \exp[-\beta(M - M_0)]}{1 - \exp[-\beta(M_{uz} - M_0)]} \quad (4-3)$$

式中， $\beta = b \times \ln 10$ ； M_{uz} 为地震带的震级上限。

在地震带内，可划分出若干潜在震源区。潜在震源区的地震空间分布函数是

一个与震级有关的常数, 记作 f_{l,M_j} , 其物理含意是一次震级为 $M_j \pm \frac{1}{2}\Delta M$ 的地震落在第 l 个潜在震源区内的概率。它作为震级的条件概率, 可以反映地震带内地震强度空间分布的非均匀性, 对指定震级档的 f_{l,M_j} 在整个地震带内是归一的, 即

$$\sum_{l=1}^{N_s} f_{l,M_j} = 1 \quad (4-4)$$

其中, N_s 为地震带内潜在震源总数; f_{l,M_j} 可以用统计方法综合判断确定。 ΔM 为震级分档步长, M_j 的定义是从起算震级 M_0 ($M_0=4.0$ 级) 到潜在震源区的震级上限 M_u 的若干档中第 j 档的中心震级。

根据分段泊松分布模型和全概率定理, 地震带内所发生的地震, 影响场点的地震动参数 Z 超越给定值 z 的超越概率为

$$P(Z \geq z) = 1 - \exp \left\{ -\nu \sum_{l=1}^{N_s} \iint \sum_{j=1}^{N_M} P(M_j) \frac{f_{l,M_j}}{S_l} \bullet P(Z \geq z | E) f_l(\theta) dx dy d\theta \right\} \quad (4-5)$$

式中 $P(M_j)$ 为地震带内地震落在 j 级档 $M_j \pm \frac{1}{2}\Delta M$ 内的概率; N_M 为震级分档数; S_l 为 l 潜在震源区的面积:

$$P(M_j) = \frac{2}{\beta} f_M(M_j) \operatorname{sh} \left(\frac{1}{2} \beta \Delta M \right) \quad (4-6)$$

由以上两式可得:

$$P_n(Z \geq z) = 1 - \exp \left(-\frac{2\nu}{\beta} \sum_{l=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_M} \iint P(Z \geq z | E) f_M(M_j) \operatorname{sh} \left(\frac{1}{2} \beta \Delta M \right) f_l(\theta) f_{l,M_j} / S_l dx dy d\theta \right) \quad (4-7)$$

式中, $P(Z \geq z | E)$ 是其中第 l 个潜在震源区内发生特定事件 (震级为 $M_j \pm \frac{1}{2}\Delta M$, 特定的椭圆长轴取向) 时场点处地震动参数值超过 z 的概率。

地震动衰减关系的不确定性, 则按地震危险性分析中通常采用的方法进行校正可按前面得出的标准差用下列公式进行校正:

$$P(Z \geq z) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\ln z}} \int_{-3\sigma_{\ln z}}^{3\sigma_{\ln z}} \exp \left(-\frac{\ln Z - \ln z}{2\sigma_{\ln z}} \right) d\ln Z \quad (4-8)$$

式中 $P(Z \geq z)$ 为校正后的超越概率, σ 为衰减关系的标准差。

4.2 潜在震源区划分

4.2.1 潜在震源区划分原则

目前，划分潜在震源区主要依据地震重复和地震构造类比两条原则。

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

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

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

本次潜在震源区划分中，采用了三级划分的潜在震源区模型，由地震统计区（地震带）、背景地震活动潜在震源区（简称背景源）和构造潜在震源区（简称构造源）构成。地震统计区是根据地震分区分带的地震活动特征确定的，它用以反映地震活动的总体统计特征；背景源的划分，重点依据了地震带中的不同部分和段落在地震构造背景上的差异，及其对地震活动性的影响，用以反映不同地震构造环境中中小震级地震活动特征的差异；构造源是依据局部构造条件及其地震活动特征划分，重点考虑了构造条件对中强地震的控制作用，用以反映局部构造相关的中强震级地震活动特征。地震统计区内地震活动性的不均匀性，由构造源上的中强地震活动性和背景源上中小地震活动性共同表现出来。

4.2.2 划分潜在震源区的标志

综合区域地震活动和地震构造诸方面的研究结果,归纳出研究区强震的发震条件,并以此作为划分具有不同震级上限潜在震源区的标志和依据。

1) 震级上限为 7.0 级的潜在震源区

- (1) 曾发生过 7 级左右地震;
- (2) 晚第四纪以来断裂活动明显,地貌上存在着明显的差异运动;
- (3) 发生在区域地球物理场和形变场的梯度带以及上地幔隆起边缘的拐折部位。

2) 震级上限为 6.0、6.5 级的潜在震源区

- (1) 发生过 6 级左右地震;
- (2) 具有 7 级以上发震构造条件的区域,均有可能发生 6 级地震;
- (3) 新近纪至第四纪以来活动的断裂带内,包括断裂带端部,多组断裂的交汇部位以及差异活动明显的地段;
- (4) 新近纪至第四纪以来活动断陷盆地内部,特别是断陷的边缘及其陡深一侧;
- (5) 区域 6 级以上地震的网络条带以及小震网络的结点部位等。

根据上述强震发震构造条件的分析,对于目标区周围区域范围和近场区范围内的断裂构造带和断裂的活动情况,构造部位进行了研究,划分潜在震源区,确定潜在震源区的震级上限,对于目标区的地震安全性评价工作是十分重要。

4.2.3 主要潜在震源区划分

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 8 个,其中震级上限 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 2 个。潜源分布示意图见图 4-1。

现将主要的潜在震源区分述如下:

1、1 号潜源

沿华蓥山背斜断裂带北东段划分,华蓥山背斜断裂带是一条规模较大的基底断裂,但北东段背斜规模小,断裂不很发育,地震活动相对较弱,历史上没有发

生过破坏性地震。根据构造分析，震级上限为 5.5 级。

2、2 号潜源

沿着规模较大的华蓥山段背斜断裂带中段、铜锣山背斜断裂带和明月峡背斜断裂带划分。1989 年 11 月 20 日重庆江北地区发生 5.2 和 5.4 级地震。在最大历史地震震级基础上，确定震级上限为 6.0 级。

3、3 号潜源

沿长岭--半边山背斜断裂带划分，据断层泥 TL 测龄结果反映该断裂为中更新世晚期的活动断裂，该断裂南段与金佛山断裂交汇部位发生过 1854 年 51/2 级地震。根据构造类比原则，确定震级上限为 6.0 级。

4、4 号潜源

方斗山背斜长约 200km，是川东地区规模仅次于华蓥山背斜带的高陡背斜。该背斜隆起幅度在 1000m 以上，最高可达 1680m，核部出露二叠系，表明褶皱变形较为强烈，卷入地层较深，但地球物理场资料显示该背斜无深部基底断裂。该背斜轴部伴生有方斗山褶皱断裂，为第四纪早期断裂沿背斜中部微震活动较为频繁，发生了十余次 3.0 级以上地震，最大震级 4.6 级。根据对这些小震活动的空间、时间特征分析，并结合其他工作开展的方斗山断裂活动性的专门调查结果（中国地震局地球物理研究所，2011），该背斜构造变形核心段为最大潜在地震震级为 5.5 级的发震构造。沿该发震构造划分了一个潜在震源区（6 号源）。考虑到方斗山背斜除了没有基底断裂以外其他构造特征与华蓥山高陡背斜有-定的可比性，且现代小震活动相对来说还是较为显著的，在潜在震源区震级上限确定中，考虑-一定的不确定性，故将该潜源震级上限定为 6.0 级。

5、5 号潜源

沿齐曜山—金佛山褶皱断裂带划分。沿该断裂发生过多次 4~5 级地震，以及 1854 年南川 51/2 级地震。乌江左岸见志留纪页岩逆冲到第四纪（中国地震局地球物理研究所，2004），断错地层的实际测年结果为 $(6.33 \pm 0.54) \times 10^4$ a，说明该断层局部的最新活动时代为晚更新世。考虑到齐曜山—金佛山基底断裂为二级新构造分区边界，本潜源在最大历史地震震级基础上，增加 1.0 级，并结合构造条件分析，确定震级上限为 6.5 级。

6、7 号潜源

该潜源位于川东南，展布于重庆黔江附近，包含黔江断裂带和彭水断裂带北部，黔江断裂带最新活动主要发生在中更新世中晚期，其中龙潭断裂和筲滩断裂可能延至晚更新世初期。1856年重庆黔江61/4级地震的发震构造与黔江断裂带关系最为密切。根据构造类比和地震活动重复的原则，确定震级上限为6.5级。

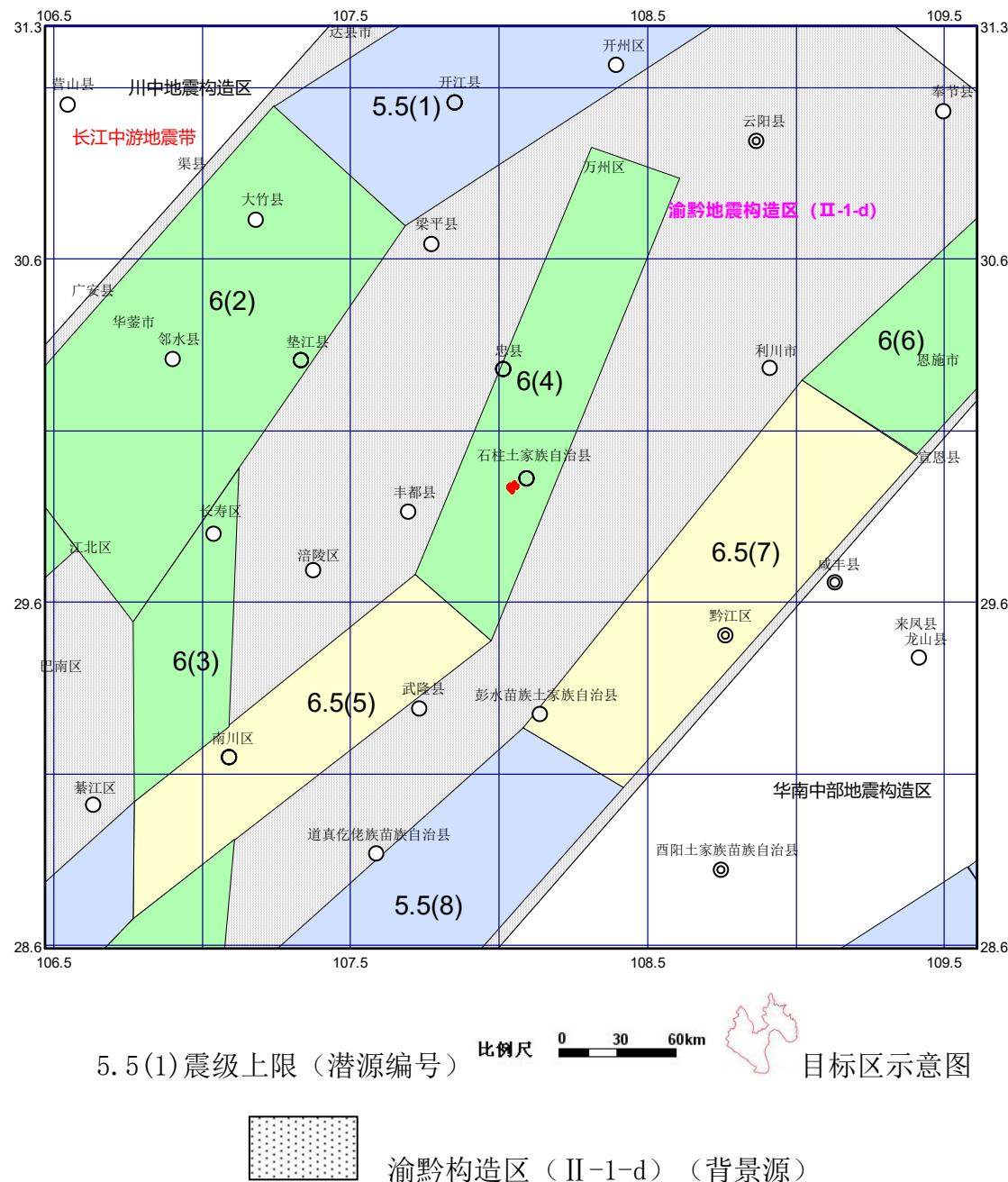


图 4-1 潜在震源区划分示意图

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， $M \geq 4$ 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} 应等于地震带内各潜在震源区震级上限 (M_u) 的最大值：

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。

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

段分别始于公元 1467 年和公元 1813 年。未来活动水平应不低于长期的平均地震活动水平。对值进行调整，重点考虑以下控制：

M4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；M5 级以上地震年发生率应大致相当 1900 年以来地震活动水平；较大震级发生率应重点考虑 1300 年以来地震活动情况；

经调整，确定长江中游地震带地震活动性参数为 $b=1.2$, $v_4=3.2$ 。图 4-2 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较。结果可以看出，4~5 级震级段理论值与 1970 年以来的记录吻合较好，6 级以上震级段理论值较为保守，这主要是考虑到长江中游地震带所覆盖地区面积较大，6 级以上地震历史记载很少，而区划图潜在震源区划分方案对该地区 6 级左右地震的地震危险性较为重视，划分较多的新区，地震活动性需要对此有所反映。

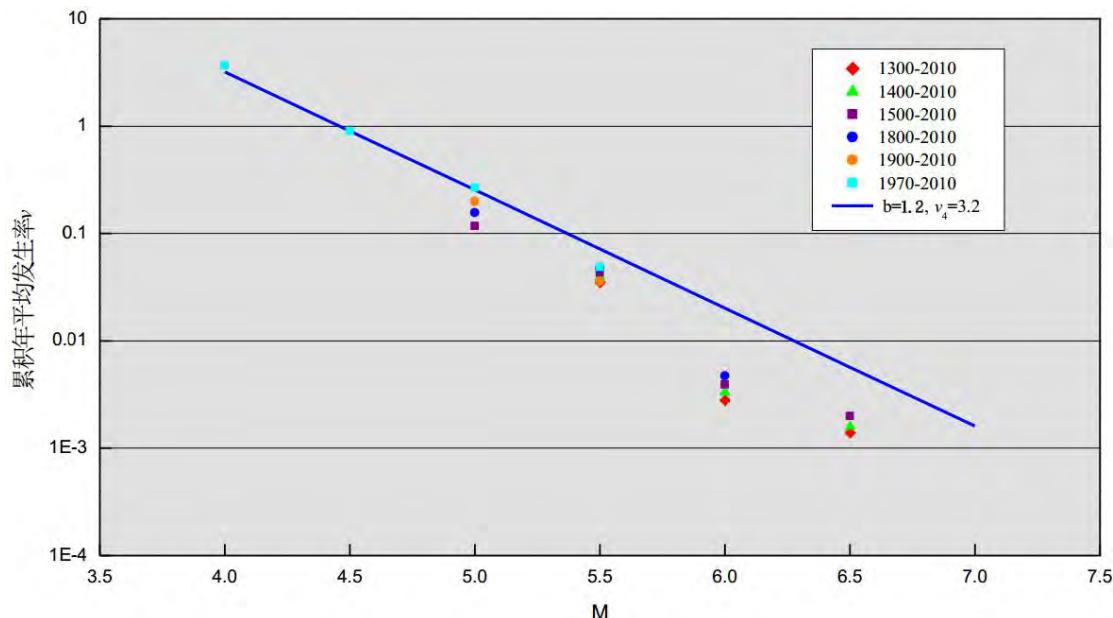


图 4.2 长江中游地震带各时段实际统计与理论结果对比

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 4-1。

表 4-1 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 背景地震

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：长江中游地震带划分出秦岭一大巴、川中、渝黔、华南北部和华南中部 5 个地震构造区，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，长江中游地震带的五个地震构造区对应的背景潜源震级上限均为 5.0 级。目标区位于渝黔地震构造区。

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已经确定。

1) 空间分布函数 f_{i,m_j}

空间分布函数 f_{i,m_j} 是一个地震带内发生的 m_j 档震级的一个地震落在第 i 个潜在震源区内概率。在同一地震带内 f_{i,m_j} 满足归一条件：

$$\sum_{i=1}^n f_{i,m_j} = 1 \quad (\text{对不同震级档 } m_j)$$

这里 n 为地震带内第 m_j 档潜在震源区的总数。

确定影响空间分布函数时，主要考虑了以下因素：

对 6 级以下的低震级潜在震源区，主要是小地震空间分布密度。对 6.5 级以上的潜在震源区，主要是①长期地震活动背景；②具备发生 7 级以上地震的构造上的空段；③潜在震源可靠程度。

本次工作分不同地震带计算出带内潜在震源区各自的空间分布函数。贡献较大的几个潜在震源区的空间分布函数列于表 4-2。

2) 等震线长轴取向及分布概率

我国大陆地震等震线多呈椭圆形，地震烈度在长轴和短轴方向衰减特征不同。在计算各潜在震源区对场地的影响时，必须确定长轴方向。所以对每个潜在震源区都给出方向性因子：即给出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 4-2 中。表中的角度是指断裂构造走向与正东方向间的夹角。

表 4-2 区域几个主要潜在震源区 M_u 、 f_{i,m_j} 和方向性函数

震级档 潜源编号	4.0-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.5	M_u	θ_1 (度)	P_1	θ_2 (度)	P_2
3	0.00332	0.01198	0.01420	0	0	0	6.0	90	1	0	0
4	0.00647	0.00779	0.02366	0	0	0	6.0	70	1	0	0
5	0.00266	0.02846	0.01595	0.08599	0	0	6.5	50	1	0	0
7	0.00736	0.01082	0.01607	0.01917 1	0	0	6.5	40	1	0	0
II-1-d	0.03234	0	0		0	0	5.0	0	0.5	90	0.5

M_u 为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 基岩峰值加速度和加速度反应谱衰减关系

地震动衰减关系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衰减关系是根据《重庆市区域性地震安全性评价技术指南》（试行）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衰减关系的形式为：

当 $M < 6.5$ 时，

$$\lg Y(M, R) = A_1 + B_1 M - C \lg (R + D \exp(E * M)) \quad (4-9)$$

当 $M \geq 6.5$ 时，

$$\lg Y(M, R) = A_2 + B_2 M - C \lg (R + D \exp(E * M)) \quad (4-10)$$

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 10s 的长轴和短轴衰减关系系数如表 4-3 和表 4-4 所示， σ 为衰减关系各周期的标准差。图 4-3 和图 4-4 分别为水平向基岩加速度峰值衰减关系和加速度反应谱衰减关系图。

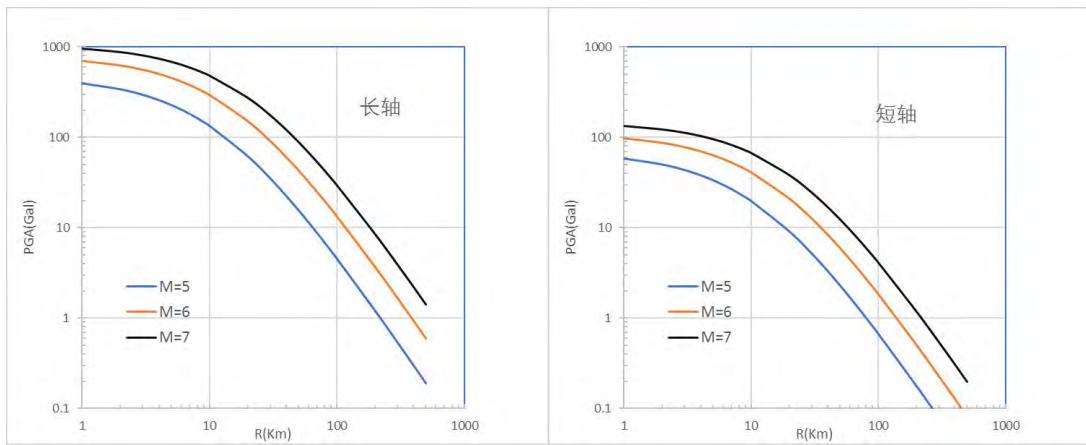
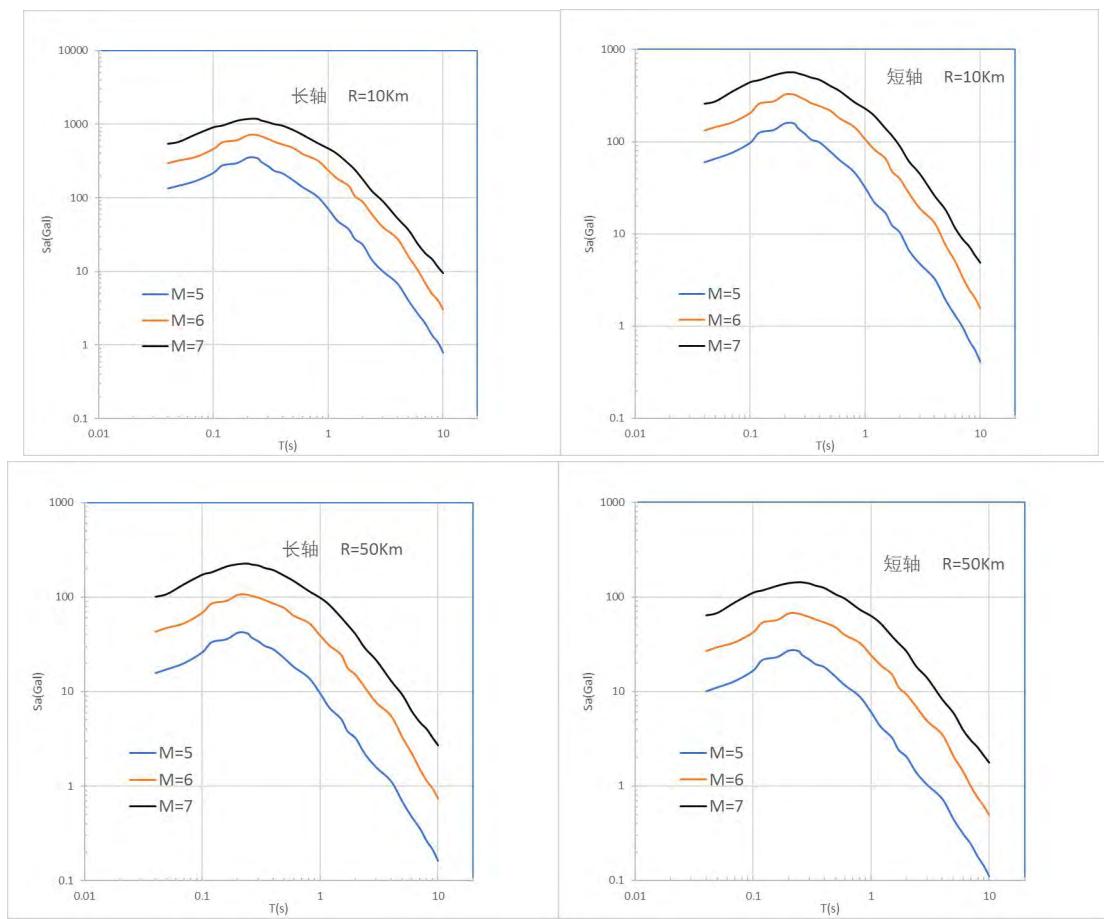


图 4-3 水平向基岩峰值加速度衰减关系图



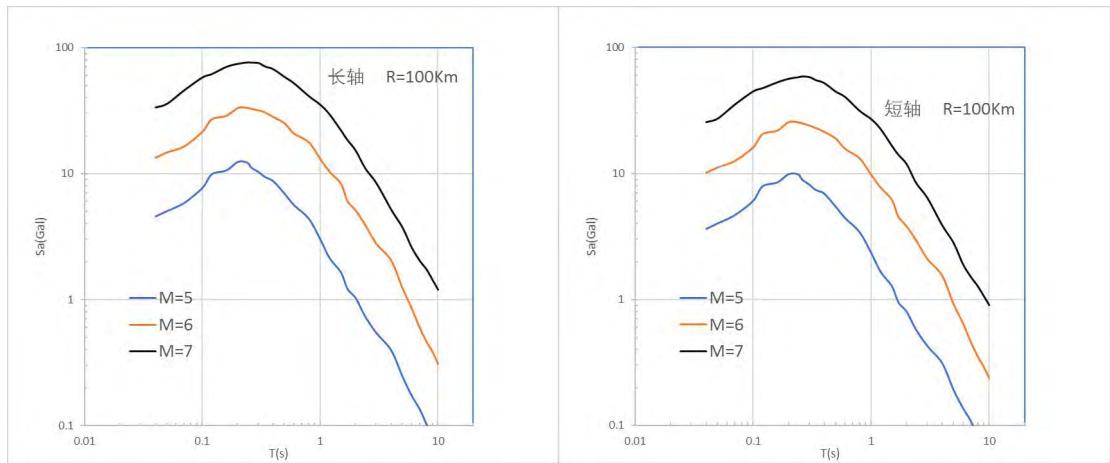


图 4-4 水平向基岩加速度反应谱衰减关系图

(R=10km、50km、100km, M=5, 6, 7)

(左列为长轴, 右列为短轴)

表 4-3 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
7.00	-1.096	0.681	-1.096	0.681	1.611	2.802	0.295	0.336
8.00	-1.263	0.691	-1.263	0.691	1.598	2.802	0.295	0.342
9.00	-1.516	0.703	-1.516	0.703	1.557	2.802	0.295	0.346
10.00	-1.586	0.698	-1.586	0.698	1.543	2.802	0.295	0.352

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

表 4-4 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
7.00	-1.671	0.658	-1.671	0.658	1.320	1.295	0.331	0.336
8.00	-1.839	0.668	-1.839	0.668	1.308	1.295	0.331	0.342
9.00	-2.074	0.680	-2.074	0.680	1.273	1.295	0.331	0.346
10.00	-2.141	0.676	-2.141	0.676	1.262	1.295	0.331	0.352

注: σ 为标准差; 适用范围 $M5.0-7.0$ 、 $R0-200km$

4.5 地震危险性分析结果

根据前面所确定的潜在震源区、地震活动性参数及基岩地震动衰减关系, 按照前述地震危险性概率分析方法, 进行了目标区的地震危险性分析计算。取目标

区布设钻孔的 12 个坐标进行地震危险性分析计算。计算点分布示意图见图 4-5。峰值加速度计算结果见表 4-5，各控制点基岩反应谱结果见表 4-6，相应的反应谱曲线见图 4-6。

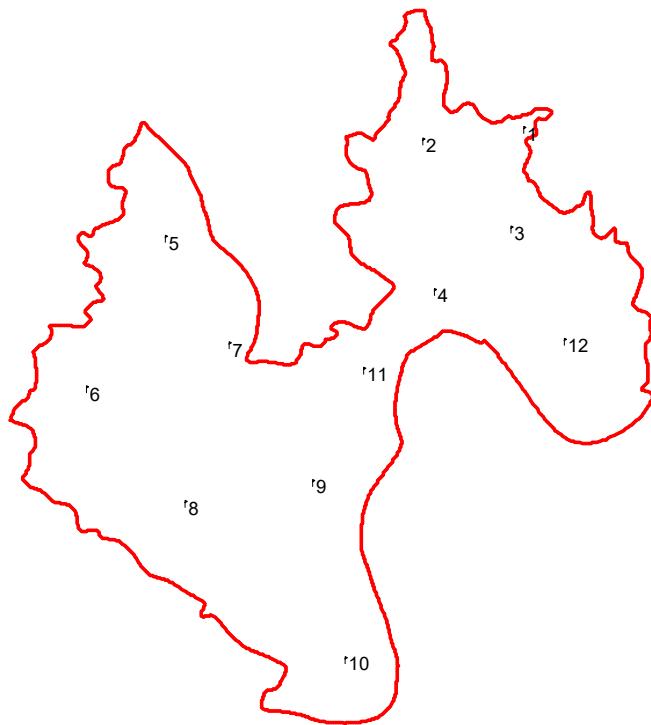


图 4-5 计算点分布示意图

表 4-5 计算点场地基岩水平峰值加速度 (单位: Gal)

计算点	站点坐标		50 年超越概率水平			100 年超越概率						
	经度	纬度	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
1	108.0563	29.9451	14.5	51.6	96.6	23.4	34.1	69.3	89.2	107. 2	121.6	149.9
2	108.051	29.9446	14.5	51.7	96.8	23.5	34.1	69.4	89.4	107. 4	121.8	150.2
3	108.0557	29.9405	14.5	51.6	96.6	23.4	34.1	69.3	89.3	107. 2	121.6	149.9
4	108.0517	29.9377	14.5	51.7	96.8	23.5	34.1	69.4	89.4	107. 4	121.8	150.1
5	108.0375	29.9401	14.5	51.8	97.1	23.5	34.2	69.6	89.7	107. 9	122.5	151.1
6	108.0333	29.9332	14.6	51.9	97.3	23.5	34.3	69.7	89.8	108. 1	122.7	151.4
7	108.0408	29.9352	14.6	51.8	97.1	23.5	34.2	69.6	89.6	107. 8	122.4	150.9
8	108.0385	29.928	14.6	51.9	97.2	23.5	34.3	69.7	89.7	107. 9	122.5	151.1
9	108.0453	29.9289	14.6	51.8	97.0	23.5	34.2	69.6	89.6	107. 7	122.2	150.6

10	108.0469	29.9208	14.6	51.8	97.0	23.5	34.2	69.6	89.5	107. 7	122.1	150.5
11	108.0479	29.9341	14.5	51.8	96.9	23.5	34.2	69.5	89.5	107. 6	122.0	150.4
12	108.0585	29.9354	14.5	51.6	96.6	23.4	34.1	69.3	89.2	107. 1	121.4	149.8

表 4-6 场地控制点基岩地震动加速度反应谱值

ZK1

年	50 年			100 年							
	周期 (s)	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
		63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.3	113.6	26.5	38.9	80.3	104.8	125.4	143.8	177.1	
0.05	19.4	70.2	134.9	31.4	46.0	95.3	123.6	147.3	168.9	207.4	
0.07	25.2	90.6	172.1	40.7	59.5	123.1	159.3	188.7	214.9	267.8	
0.1	32.5	116.1	216.1	52.4	76.4	156.5	199.9	238.5	273.2	334.7	
0.12	34.8	124.7	232.1	56.4	81.9	168.2	214.5	254.9	290.9	356.0	
0.16	40.9	146.6	275.0	66.3	96.5	196.8	252.7	299.3	341.8	420.3	
0.2	40.4	145.5	273.1	65.5	95.5	195.3	250.4	297.8	340.1	418.0	
0.24	35.9	129.5	244.8	57.7	84.2	174.9	226.2	272.4	309.8	384.9	
0.26	32.2	114.3	219.9	50.9	74.3	156.2	202.9	244.3	282.5	349.6	
0.3	29.0	100.8	197.9	45.0	65.7	140.1	182.0	219.5	253.5	320.4	
0.34	27.0	93.8	183.6	42.0	61.0	130.0	170.1	203.8	235.6	295.7	
0.4	21.6	74.4	150.1	33.1	47.8	103.8	139.3	169.1	195.0	248.0	
0.5	17.9	60.8	124.6	27.1	39.2	85.1	114.1	140.1	162.4	205.7	
0.6	14.6	48.1	99.6	21.7	31.0	67.7	90.9	112.7	132.6	169.7	
0.8	10.7	34.5	72.5	15.8	22.3	48.6	66.1	81.5	95.9	124.7	
1	8.7	26.9	56.8	12.6	17.6	38.0	51.5	63.9	75.2	97.7	
1.2	7.2	22.8	47.5	10.6	14.9	32.1	43.2	53.7	63.0	82.1	
1.5	5.6	17.8	37.0	8.4	11.6	24.9	33.7	41.6	48.8	64.0	

1.7	4.9	15.6	32.1	7.2	10.1	21.7	29.2	36.0	42.2	55.2
2	4.4	13.0	25.4	6.2	8.7	17.7	23.4	28.3	32.9	41.6
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.7	23.9	29.8
3	2.6	7.6	14.2	3.8	5.0	10.0	13.2	15.6	18.0	22.2
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	3.9	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.1	3.7	4.8	5.2	6.0	7.1
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK2

年	50 年			100 年						
	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
(s)	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.3	59.0	112.9	26.4	38.7	79.8	104.0	124.3	142.9	176.0
0.05	19.3	69.8	134.0	31.3	45.8	94.8	122.6	146.5	167.9	205.8
0.07	25.1	90.0	171.1	40.5	59.3	122.1	158.2	187.4	213.5	265.7
0.1	32.4	115.5	214.8	52.2	76.0	155.5	198.7	237.0	271.2	332.6
0.12	34.7	123.9	230.5	56.1	81.5	167.3	213.2	252.8	289.2	353.1
0.16	40.8	145.9	273.1	66.0	96.1	195.6	250.6	297.7	339.8	417.4
0.2	40.3	144.8	271.2	65.2	95.0	194.1	248.9	296.2	338.0	415.0
0.24	35.8	128.8	243.3	57.4	83.8	174.0	224.6	270.5	307.4	382.3
0.26	32.1	113.8	218.6	50.6	74.0	155.2	201.5	242.7	280.6	347.5
0.3	28.9	100.3	196.7	44.9	65.5	139.4	180.8	218.2	251.3	317.9
0.34	26.9	93.3	182.4	41.9	60.7	129.3	169.2	202.3	234.0	293.9

0.4	21.5	74.1	149.4	33.0	47.7	103.2	138.5	168.1	193.8	246.3
0.5	17.9	60.6	123.8	27.0	39.0	84.7	113.5	139.3	161.2	204.0
0.6	14.6	47.9	99.2	21.7	30.9	67.4	90.4	112.1	131.7	168.5
0.8	10.7	34.4	72.1	15.7	22.2	48.5	65.9	81.0	95.3	123.6
1	8.7	26.8	56.6	12.5	17.5	37.9	51.3	63.6	74.8	97.1
1.2	7.1	22.7	47.3	10.5	14.8	32.0	43.1	53.5	62.7	81.5
1.5	5.6	17.8	36.9	8.4	11.6	24.8	33.6	41.4	48.6	63.6
1.7	4.9	15.5	32.0	7.2	10.1	21.6	29.1	35.8	42.0	54.9
2	4.4	13.0	25.3	6.1	8.7	17.7	23.3	28.2	32.8	41.4
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.2	17.1	20.6	23.8	29.7
3	2.5	7.5	14.2	4.0	5.0	10.0	13.1	15.6	17.9	22.1
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.0	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK3

年	50 年			100 年							
	周期 (s)	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
年		63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.3	59.0	112.9	26.4	38.7	79.8	104.0	124.3	142.9	176.0	
0.05	19.3	69.8	134.0	31.3	45.8	94.8	122.6	146.5	167.9	205.8	
0.07	25.1	90.0	171.1	40.5	59.3	122.1	158.2	187.4	213.5	265.7	
0.1	32.4	115.5	214.8	52.2	76.0	155.5	198.7	237.0	271.2	332.6	

0.12	34.7	123.9	230.5	56.1	81.5	167.3	213.2	252.8	289.2	353.1
0.16	40.8	145.9	273.1	66.0	96.1	195.6	250.6	297.7	339.8	417.4
0.2	40.3	144.8	271.2	65.2	95.0	194.1	248.9	296.2	338.0	415.0
0.24	35.8	128.8	243.3	57.4	83.8	174.0	224.6	270.5	307.4	382.3
0.26	32.1	113.8	218.6	50.6	74.0	155.2	201.5	242.7	280.6	347.5
0.3	28.9	100.3	196.7	44.9	65.5	139.4	180.8	218.2	251.3	317.9
0.34	26.9	93.3	182.4	41.9	60.7	129.3	169.2	202.3	234.0	293.9
0.4	21.5	74.1	149.4	33.0	47.7	103.2	138.5	168.1	193.8	246.3
0.5	17.9	60.6	123.8	27.0	39.0	84.7	113.5	139.3	161.2	204.0
0.6	14.6	47.9	99.2	21.7	30.9	67.4	90.4	112.1	131.7	168.5
0.8	10.7	34.4	72.1	15.7	22.2	48.5	65.9	81.0	95.3	123.6
1	8.7	26.8	56.6	12.5	17.5	37.9	51.3	63.6	74.8	97.1
1.2	7.1	22.7	47.3	10.5	14.8	32.0	43.1	53.5	62.7	81.5
1.5	5.6	17.8	36.9	8.4	11.6	24.8	33.6	41.4	48.6	63.6
1.7	4.9	15.5	32.0	7.2	10.1	21.6	29.1	35.8	42.0	54.9
2	4.4	13.0	25.3	6.1	8.7	17.7	23.3	28.2	32.8	41.4
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.2	17.1	20.6	23.8	29.7
3	2.5	7.5	14.2	4.0	5.0	10.0	13.1	15.6	17.9	22.1
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.0	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK4

年	50 年			100 年						
	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
(s)	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.2	113.4	26.4	38.8	80.2	104.6	125.1	143.6	176.9
0.05	19.4	70.0	134.7	31.4	45.9	95.2	123.4	147.1	168.7	207.1
0.07	25.1	90.5	171.9	40.6	59.5	122.8	159.1	188.4	214.7	267.4
0.1	32.4	115.9	215.8	52.3	76.3	156.3	199.6	238.2	272.8	334.3
0.12	34.8	124.5	231.8	56.3	81.8	168.0	214.2	254.5	290.6	355.4
0.16	40.9	146.5	274.6	66.2	96.4	196.5	252.2	299.0	341.4	419.8
0.2	40.4	145.3	272.6	65.4	95.4	195.0	249.9	297.4	339.7	417.5
0.24	35.8	129.3	244.4	57.6	84.1	174.7	225.8	271.9	309.3	384.3
0.26	32.2	114.2	219.5	50.8	74.2	155.9	202.5	243.9	282.1	349.1
0.3	29.0	100.6	197.5	45.0	65.6	139.9	181.6	219.1	252.9	319.8
0.34	27.0	93.6	183.2	42.0	60.9	129.8	169.8	203.4	235.1	295.3
0.4	21.6	74.3	149.8	33.1	47.8	103.5	139.0	168.7	194.6	247.6
0.5	17.9	60.7	124.3	27.1	39.1	84.9	113.9	139.8	162.0	205.2
0.6	14.6	48.0	99.4	21.7	31.0	67.5	90.6	112.4	132.2	169.3
0.8	10.7	34.4	72.2	15.8	22.2	48.5	66.0	81.2	95.6	124.3
1	8.7	26.8	56.6	12.5	17.6	37.9	51.3	63.7	74.9	97.4
1.2	7.2	22.8	47.3	10.6	14.8	32.0	43.1	53.6	62.8	81.8
1.5	5.6	17.8	36.9	8.4	11.6	24.8	33.7	41.4	48.7	63.8
1.7	4.9	15.5	32.1	7.2	10.1	21.7	29.1	35.9	42.1	55.0
2	4.4	13.0	25.3	6.2	8.7	17.7	23.3	28.3	32.9	41.5
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.6	23.8	29.7
3	2.6	7.6	14.2	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	17.9	22.1

4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK5

年	50 年			100 年							
	周期 (s)	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
		63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.3	113.6	26.5	38.9	80.3	104.8	125.4	143.8	177.1	
0.05	19.4	70.2	134.9	31.4	46.0	95.3	123.6	147.3	168.9	207.4	
0.07	25.2	90.6	172.1	40.7	59.5	123.1	159.3	188.7	214.9	267.8	
0.1	32.5	116.1	216.1	52.4	76.4	156.5	199.9	238.5	273.2	334.7	
0.12	34.8	124.7	232.1	56.4	81.9	168.2	214.5	254.9	290.9	356.0	
0.16	40.9	146.6	275.0	66.3	96.5	196.8	252.7	299.3	341.8	420.3	
0.2	40.4	145.5	273.1	65.5	95.5	195.3	250.4	297.8	340.1	418.0	
0.24	35.9	129.5	244.8	57.7	84.2	174.9	226.2	272.4	309.8	384.9	
0.26	32.2	114.3	219.9	50.9	74.3	156.2	202.9	244.3	282.5	349.6	
0.3	29.0	100.8	197.9	45.0	65.7	140.1	182.0	219.5	253.5	320.4	
0.34	27.0	93.8	183.6	42.0	61.0	130.0	170.1	203.8	235.6	295.7	
0.4	21.6	74.4	150.1	33.1	47.8	103.8	139.3	169.1	195.0	248.0	
0.5	17.9	60.8	124.6	27.1	39.2	85.1	114.1	140.1	162.4	205.7	
0.6	14.6	48.1	99.6	21.7	31.0	67.7	90.9	112.7	132.6	169.7	
0.8	10.7	34.5	72.5	15.8	22.3	48.6	66.1	81.5	95.9	124.7	

1	8.7	26.9	56.8	12.6	17.6	38.0	51.5	63.9	75.2	97.7
1.2	7.2	22.8	47.5	10.6	14.9	32.1	43.2	53.7	63.0	82.1
1.5	5.6	17.8	37.0	8.4	11.6	24.9	33.7	41.6	48.8	64.0
1.7	4.9	15.6	32.1	7.2	10.1	21.7	29.2	36.0	42.2	55.2
2	4.4	13.0	25.4	6.2	8.7	17.7	23.4	28.3	32.9	41.6
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.7	23.9	29.8
3	2.6	7.6	14.2	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	18.0	22.2
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK6

年	50 年			100 年						
	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
(s)	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.3	113.6	26.5	38.9	80.3	104.8	125.4	143.8	177.1
0.05	19.4	70.2	134.9	31.4	46.0	95.3	123.6	147.3	168.9	207.4
0.07	25.2	90.6	172.1	40.7	59.5	123.1	159.3	188.7	214.9	267.8
0.1	32.5	116.1	216.1	52.4	76.4	156.5	199.9	238.5	273.2	334.7
0.12	34.8	124.7	232.1	56.4	81.9	168.2	214.5	254.9	290.9	356.0
0.16	40.9	146.6	275.0	66.3	96.5	196.8	252.7	299.3	341.8	420.3
0.2	40.4	145.5	273.1	65.5	95.5	195.3	250.4	297.8	340.1	418.0
0.24	35.9	129.5	244.8	57.7	84.2	174.9	226.2	272.4	309.8	384.9

0.26	32.2	114.3	219.9	50.9	74.3	156.2	202.9	244.3	282.5	349.6
0.3	29.0	100.8	197.9	45.0	65.7	140.1	182.0	219.5	253.5	320.4
0.34	27.0	93.8	183.6	42.0	61.0	130.0	170.1	203.8	235.6	295.7
0.4	21.6	74.4	150.1	33.1	47.8	103.8	139.3	169.1	195.0	248.0
0.5	17.9	60.8	124.6	27.1	39.2	85.1	114.1	140.1	162.4	205.7
0.6	14.6	48.1	99.6	21.7	31.0	67.7	90.9	112.7	132.6	169.7
0.8	10.7	34.5	72.5	15.8	22.3	48.6	66.1	81.5	95.9	124.7
1	8.7	26.9	56.8	12.6	17.6	38.0	51.5	63.9	75.2	97.7
1.2	7.2	22.8	47.5	10.6	14.9	32.1	43.2	53.7	63.0	82.1
1.5	5.6	17.8	37.0	8.4	11.6	24.9	33.7	41.6	48.8	64.0
1.7	4.9	15.6	32.1	7.2	10.1	21.7	29.2	36.0	42.2	55.2
2	4.4	13.0	25.4	6.2	8.7	17.7	23.4	28.3	32.9	41.6
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.7	23.9	29.8
3	2.6	7.6	14.2	3.8	5.0	10.0	13.2	15.6	18.0	22.2
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.6	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.1	3.7	4.8	5.2	6.0	7.1
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.8	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.6	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK7

年	50 年			100 年						
	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
(s)	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.2	113.4	26.4	38.8	80.2	104.5	125.1	143.5	176.8
0.05	19.4	70.0	134.6	31.4	45.9	95.2	123.3	147.0	168.6	206.9
0.07	25.1	90.4	171.8	40.6	59.5	122.8	159.0	188.3	214.5	267.1
0.1	32.5	115.9	215.7	52.3	76.3	156.2	199.5	238.0	272.6	334.1
0.12	34.8	124.5	231.6	56.3	81.8	168.0	214.1	254.2	290.4	355.2
0.16	40.9	146.4	274.4	66.2	96.4	196.4	252.0	298.8	341.2	419.4
0.2	40.4	145.3	272.5	65.4	95.4	194.9	249.8	297.3	339.4	417.1
0.24	35.8	129.3	244.4	57.6	84.1	174.7	225.8	271.8	309.1	384.1
0.26	32.2	114.2	219.5	50.8	74.2	155.9	202.5	243.8	282.0	348.9
0.3	29.0	100.7	197.5	45.0	65.7	139.9	181.6	219.1	252.9	319.6
0.34	27.0	93.7	183.3	42.0	60.9	129.8	169.9	203.4	235.1	295.2
0.4	21.6	74.3	149.9	33.1	47.8	103.6	139.1	168.8	194.6	247.6
0.5	17.9	60.8	124.4	27.1	39.1	85.0	113.9	139.9	162.1	205.2
0.6	14.6	48.0	99.5	21.7	31.0	67.6	90.8	112.6	132.3	169.4
0.8	10.7	34.5	72.4	15.8	22.2	48.6	66.1	81.4	95.7	124.4
1	8.7	26.9	56.7	12.5	17.6	38.0	51.4	63.8	75.1	97.5
1.2	7.1	22.8	47.4	10.6	14.8	32.0	43.2	53.7	63.0	81.9
1.5	5.6	17.8	37.0	8.4	11.6	24.9	33.7	41.5	48.7	63.9
1.7	4.9	15.5	32.1	7.2	10.1	21.7	29.2	35.9	42.2	55.1
2	4.4	13.0	25.3	6.2	8.7	17.7	23.3	28.3	32.9	41.5
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.6	23.8	29.8
3	2.6	7.6	14.2	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	18.0	22.1

4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK8

年	50 年			100 年							
	周期 (s)	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
		63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.3	113.5	26.5	38.9	80.3	104.7	125.2	143.6	176.9	
0.05	19.4	70.1	134.8	31.4	46.0	95.3	123.5	147.1	168.8	207.0	
0.07	25.2	90.5	171.9	40.7	59.5	123.0	159.2	188.5	214.7	267.3	
0.1	32.5	116.0	215.9	52.4	76.4	156.4	199.7	238.3	272.8	334.3	
0.12	34.8	124.6	231.8	56.3	81.9	168.1	214.3	254.5	290.6	355.4	
0.16	40.9	146.6	274.7	66.3	96.5	196.6	252.3	299.0	341.4	419.6	
0.2	40.5	145.4	272.8	65.5	95.5	195.1	250.1	297.5	339.7	417.4	
0.24	35.9	129.5	244.6	57.7	84.2	174.9	226.1	272.1	309.5	384.4	
0.26	32.2	114.3	219.7	50.9	74.3	156.1	202.8	244.1	282.3	349.2	
0.3	29.0	100.9	197.8	45.0	65.7	140.1	182.0	219.4	253.4	320.0	
0.34	27.0	93.8	183.6	42.0	61.0	130.1	170.1	203.7	235.5	295.5	
0.4	21.6	74.5	150.2	33.1	47.8	103.9	139.3	169.1	195.0	247.9	
0.5	17.9	60.9	124.7	27.1	39.2	85.2	114.2	140.1	162.4	205.7	
0.6	14.6	48.1	99.7	21.7	31.0	67.8	91.0	112.8	132.7	169.8	
0.8	10.7	34.5	72.6	15.8	22.3	48.7	66.2	81.6	96.0	124.8	

1	8.7	26.9	56.9	12.5	17.6	38.1	51.6	64.0	75.3	97.8
1.2	7.2	22.8	47.6	10.6	14.9	32.1	43.3	53.9	63.2	82.2
1.5	5.6	17.8	37.1	8.4	11.6	24.9	33.8	41.6	48.9	64.1
1.7	4.9	15.6	32.2	7.2	10.1	21.7	29.2	36.0	42.3	55.3
2	4.4	13.0	25.4	6.2	8.7	17.7	23.4	28.4	33.0	41.7
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.7	23.9	29.8
3	2.6	7.6	14.3	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	18.0	22.2
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK9

年	50 年			100 年						
	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
(s)	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.2	113.3	26.4	38.8	80.1	104.4	124.9	143.4	176.6
0.05	19.4	70.0	134.5	31.4	45.9	95.1	123.2	146.9	168.5	206.6
0.07	25.1	90.4	171.6	40.6	59.4	122.7	158.8	188.1	214.3	266.7
0.1	32.5	115.8	215.5	52.3	76.3	156.1	199.4	237.8	272.2	333.7
0.12	34.8	124.4	231.4	56.3	81.8	167.8	213.9	253.9	290.1	354.5
0.16	40.9	146.4	274.1	66.2	96.4	196.3	251.7	298.5	340.8	418.7
0.2	40.4	145.2	272.2	65.4	95.3	194.8	249.6	297.0	339.1	416.6
0.24	35.8	129.3	244.2	57.6	84.1	174.6	225.6	271.5	308.7	383.6

0.26	32.2	114.2	219.4	50.8	74.2	155.9	202.4	243.6	281.7	348.6
0.3	28.9	100.7	197.5	45.0	65.7	139.9	181.7	219.0	252.7	319.3
0.34	27.0	93.7	183.2	42.0	60.9	129.9	169.9	203.3	235.0	295.0
0.4	21.6	74.4	149.9	33.1	47.8	103.7	139.2	168.8	194.7	247.5
0.5	17.9	60.8	124.5	27.1	39.2	85.1	114.0	139.9	162.1	205.2
0.6	14.6	48.1	99.6	21.7	31.0	67.7	90.9	112.7	132.5	169.5
0.8	10.7	34.5	72.5	15.8	22.2	48.7	66.2	81.5	95.9	124.6
1	8.7	26.9	56.9	12.5	17.6	38.0	51.6	64.0	75.2	97.7
1.2	7.1	22.8	47.5	10.6	14.8	32.1	43.3	53.8	63.1	82.1
1.5	5.6	17.8	37.0	8.4	11.6	24.9	33.8	41.6	48.8	64.1
1.7	4.9	15.6	32.2	7.2	10.1	21.7	29.2	36.0	42.2	55.3
2	4.4	13.0	25.4	6.1	8.7	17.7	23.4	28.3	33.0	41.6
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.7	23.9	29.8
3	2.6	7.6	14.2	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	18.0	22.2
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK10

年	50 年			100 年						
	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
(s)	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.2	113.3	26.5	38.8	80.1	104.4	124.9	143.3	176.4
0.05	19.4	70.0	134.5	31.4	45.9	95.1	123.1	146.8	168.3	206.5
0.07	25.2	90.4	171.6	40.6	59.5	122.7	158.8	188.0	214.2	266.5
0.1	32.5	115.8	215.4	52.3	76.3	156.1	199.3	237.7	272.1	333.4
0.12	34.8	124.4	231.3	56.3	81.8	167.8	213.9	253.8	289.9	354.2
0.16	40.9	146.4	274.0	66.2	96.4	196.2	251.6	298.4	340.6	418.4
0.2	40.4	145.2	272.1	65.4	95.3	194.8	249.6	296.9	338.9	416.2
0.24	35.9	129.3	244.2	57.6	84.1	174.6	225.6	271.5	308.6	383.4
0.26	32.2	114.3	219.4	50.8	74.2	156.0	202.5	243.7	281.8	348.5
0.3	28.9	100.8	197.6	45.0	65.7	140.1	181.8	219.1	252.8	319.3
0.34	27.0	93.8	183.4	42.0	60.9	130.0	170.0	203.4	235.1	295.0
0.4	21.6	74.5	150.2	33.1	47.8	103.9	139.4	169.1	194.9	247.6
0.5	17.9	60.9	124.7	27.1	39.2	85.2	114.2	140.1	162.3	205.4
0.6	14.6	48.2	99.8	21.7	31.0	67.8	91.2	112.9	132.7	169.7
0.8	10.7	34.5	72.7	15.8	22.3	48.8	66.4	81.8	96.1	124.9
1	8.7	26.9	57.0	12.5	17.6	38.1	51.8	64.2	75.5	98.0
1.2	7.1	22.8	47.7	10.6	14.8	32.2	43.4	54.0	63.4	82.4
1.5	5.6	17.8	37.1	8.4	11.6	24.9	33.8	41.7	49.0	64.3
1.7	4.9	15.6	32.3	7.2	10.1	21.7	29.3	36.1	42.4	55.4
2	4.4	13.0	25.4	6.1	8.7	17.7	23.4	28.4	33.0	41.7
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.3	17.1	20.7	23.9	29.9
3	2.5	7.6	14.3	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	18.0	22.2

4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

ZK11

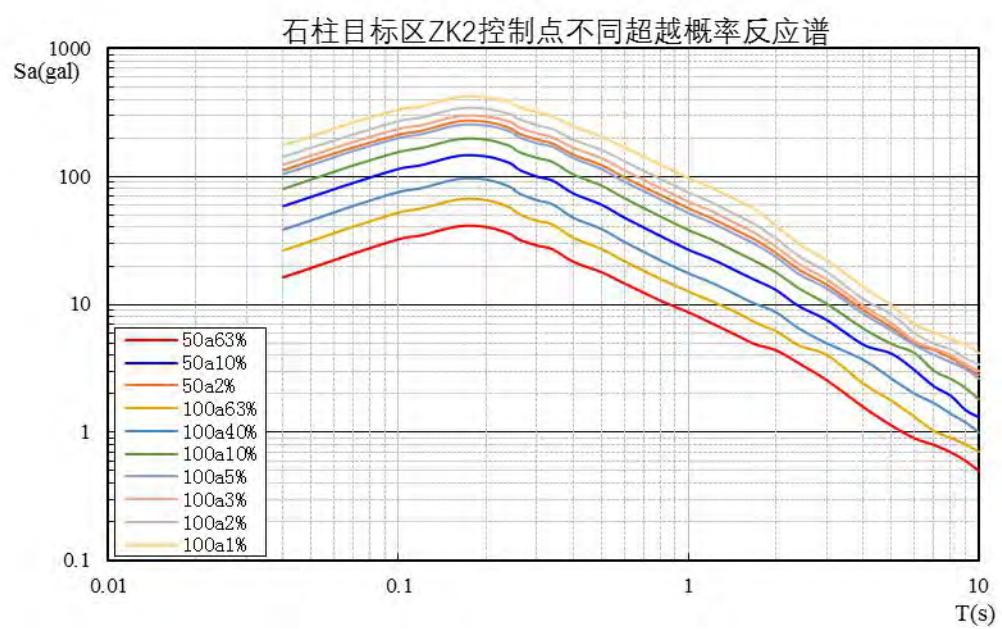
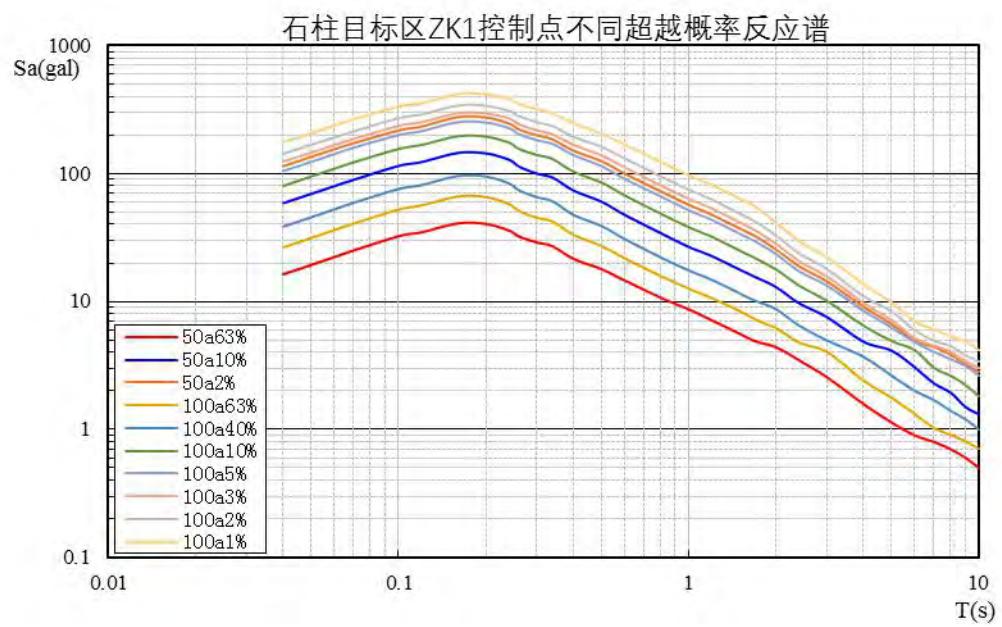
年	50 年			100 年							
	周期 (s)	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
		63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.4	59.2	113.2	26.4	38.8	80.0	104.3	124.8	143.2	176.4	
0.05	19.3	69.9	134.4	31.3	45.9	95.0	123.0	146.8	168.3	206.5	
0.07	25.1	90.3	171.5	40.6	59.4	122.5	158.6	187.9	214.0	266.5	
0.1	32.4	115.7	215.3	52.3	76.2	155.9	199.2	237.6	272.0	333.4	
0.12	34.8	124.2	231.1	56.2	81.7	167.7	213.7	253.6	289.8	354.2	
0.16	40.9	146.2	273.9	66.1	96.3	196.1	251.4	298.3	340.5	418.4	
0.2	40.4	145.1	271.9	65.3	95.2	194.6	249.4	296.8	338.7	416.2	
0.24	35.8	129.1	243.9	57.5	84.0	174.4	225.3	271.2	308.3	383.3	
0.26	32.2	114.1	219.1	50.7	74.1	155.6	202.1	243.4	281.4	348.3	
0.3	28.9	100.6	197.3	44.9	65.6	139.8	181.4	218.7	252.3	318.9	
0.34	27.0	93.6	183.0	41.9	60.8	129.7	169.6	203.0	234.7	294.7	
0.4	21.6	74.3	149.8	33.0	47.8	103.6	138.9	168.6	194.3	247.1	
0.5	17.9	60.7	124.2	27.1	39.1	84.9	113.8	139.7	161.8	204.8	
0.6	14.6	48.0	99.4	21.7	31.0	67.6	90.7	112.5	132.2	169.1	
0.8	10.7	34.4	72.4	15.7	22.2	48.6	66.1	81.3	95.7	124.2	

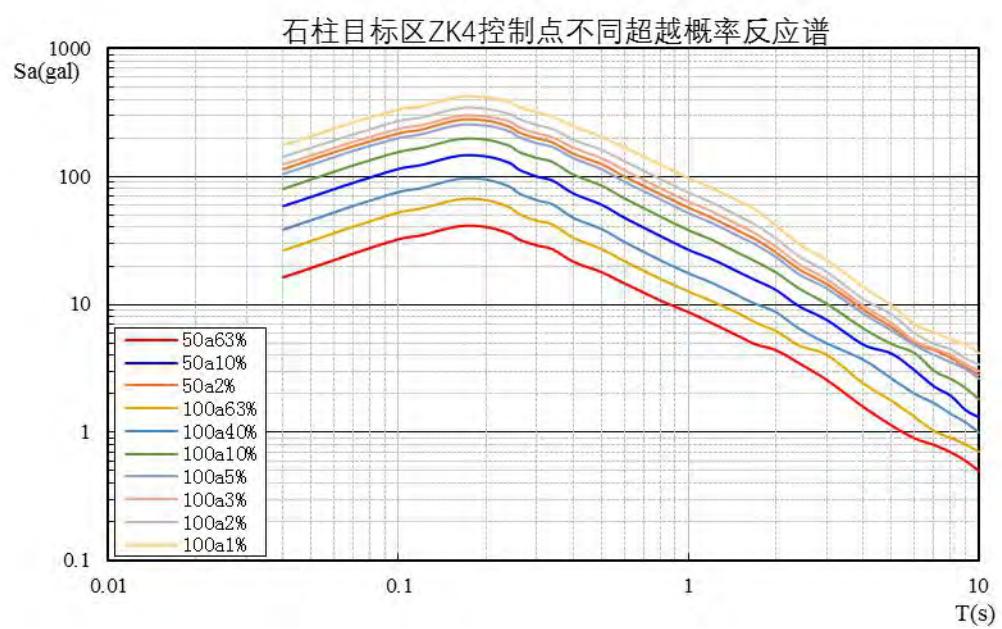
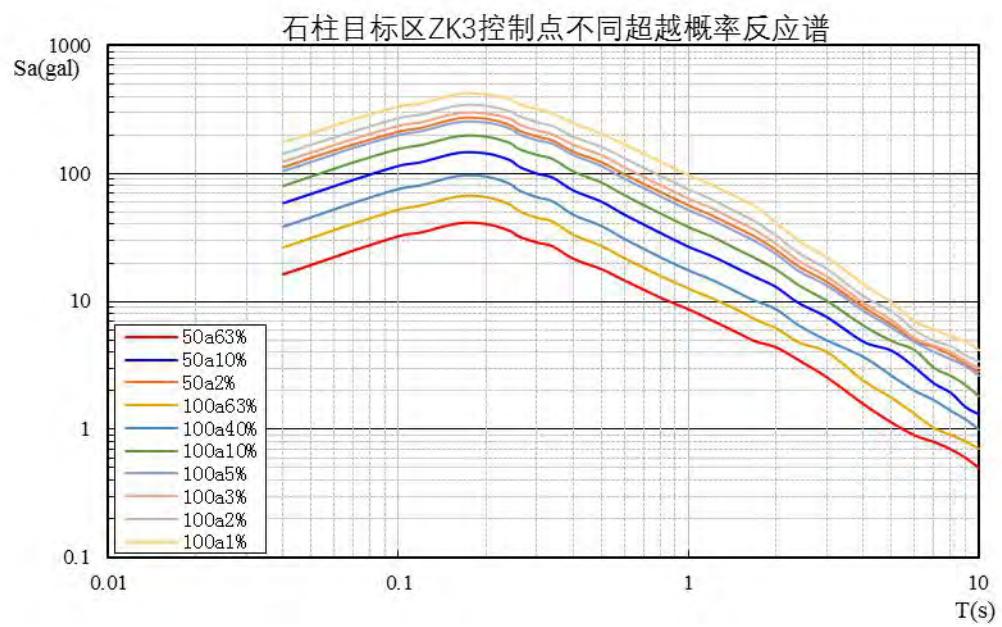
1	8.7	26.9	56.7	12.5	17.6	38.0	51.5	63.8	75.1	97.5
1.2	7.1	22.8	47.4	10.6	14.8	32.1	43.2	53.7	63.0	81.9
1.5	5.6	17.8	37.0	8.4	11.6	24.9	33.7	41.5	48.7	63.9
1.7	4.9	15.5	32.1	7.2	10.1	21.7	29.2	35.9	42.1	55.1
2	4.4	13.0	25.3	6.1	8.7	17.7	23.3	28.3	32.9	41.5
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.2	17.1	20.6	23.8	29.8
3	2.6	7.5	14.2	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	17.9	22.1
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.1	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2

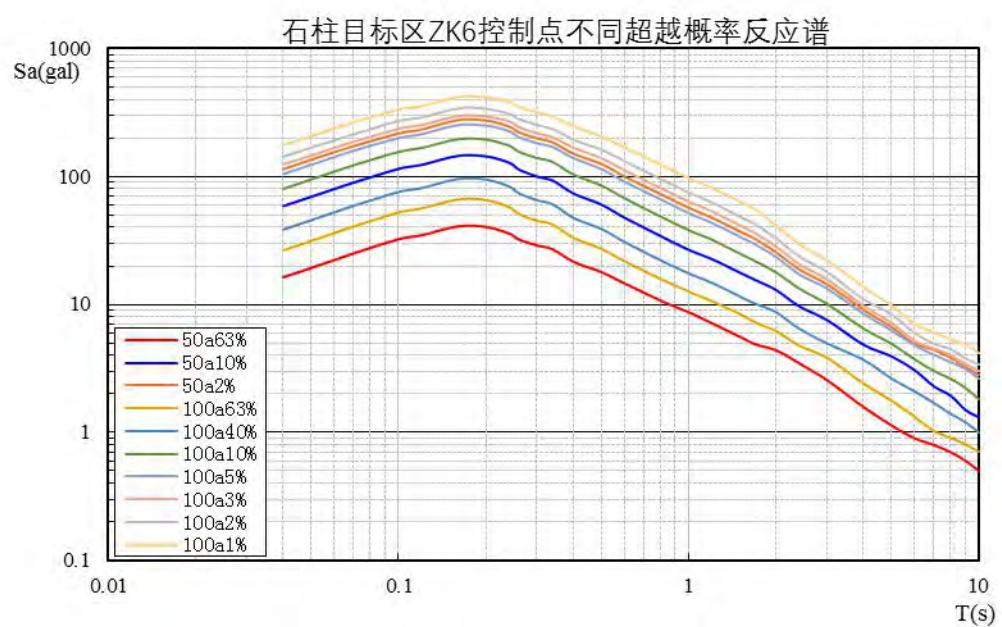
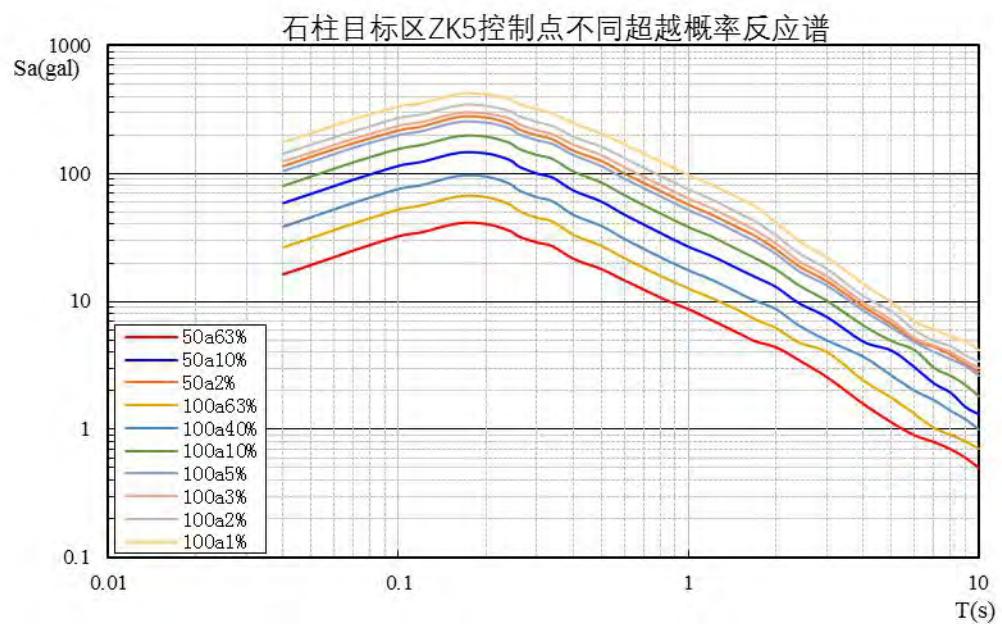
ZK12

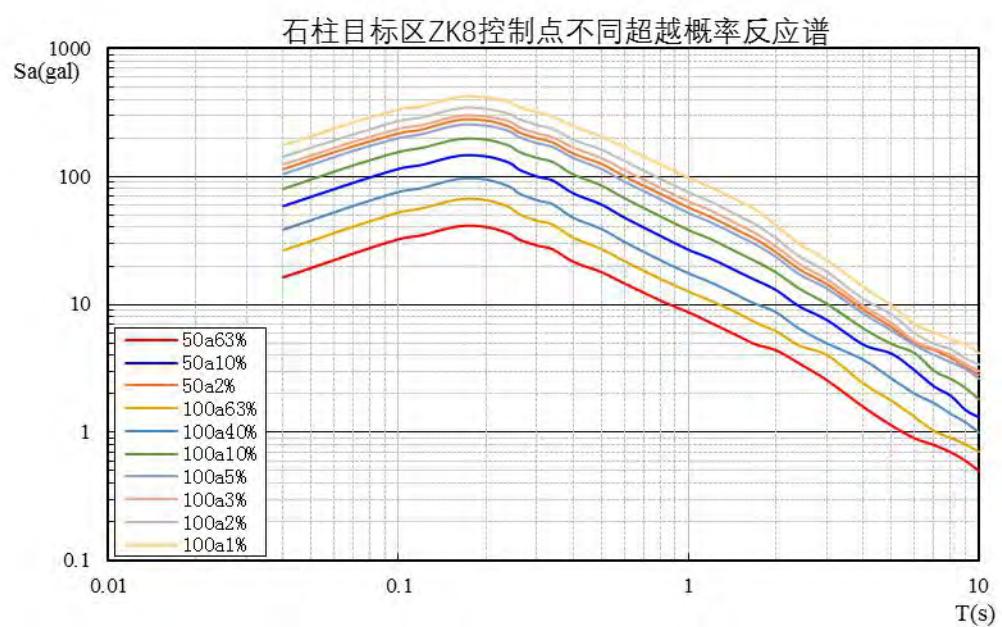
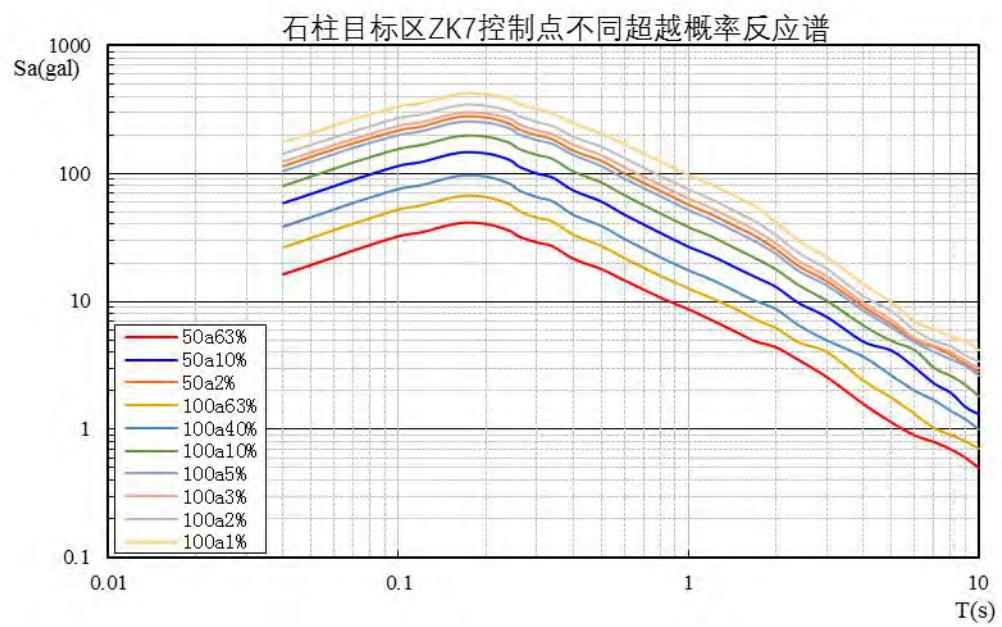
年	50 年			100 年						
	反应谱 (gal)			反应谱 (gal)						
(s)	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
0.04	16.3	59.0	112.8	26.4	38.7	79.8	103.9	124.2	142.8	175.9
0.05	19.3	69.8	133.9	31.3	45.7	94.7	122.5	146.3	167.7	205.6
0.07	25.1	90.0	170.9	40.5	59.2	122.0	158.0	187.2	213.3	265.3
0.1	32.4	115.4	214.5	52.2	76.0	155.3	198.5	236.7	270.9	332.2
0.12	34.7	123.8	230.3	56.1	81.5	167.1	213.0	252.5	289.0	352.6
0.16	40.8	145.8	272.9	66.0	96.0	195.5	250.3	297.5	339.5	416.7
0.2	40.3	144.7	270.9	65.2	95.0	194.0	248.7	295.9	337.7	414.4
0.24	35.8	128.7	243.1	57.4	83.8	174.0	224.4	270.2	307.0	381.8

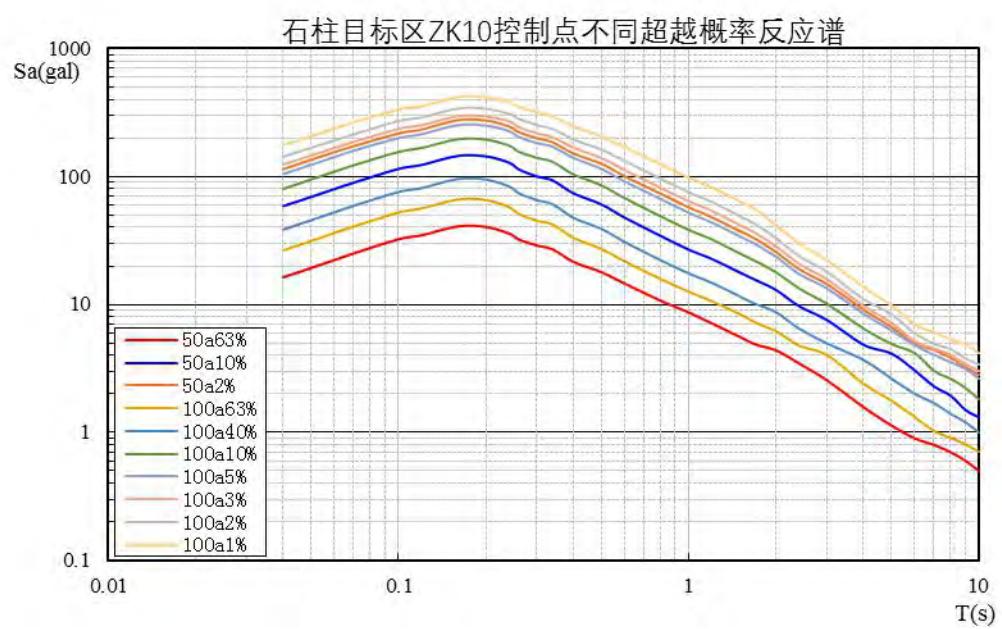
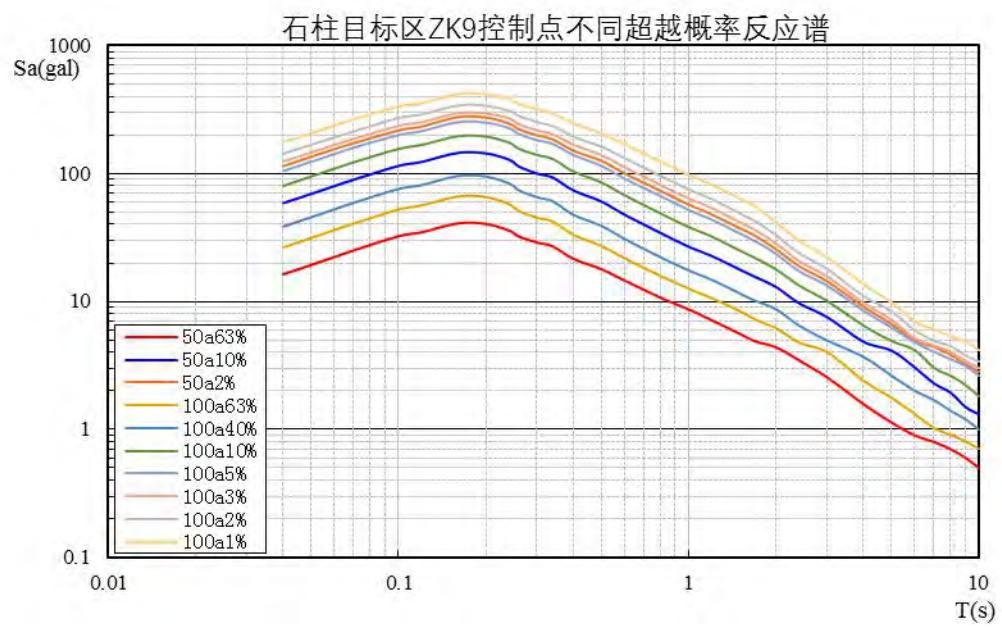
0.26	32.1	113.8	218.5	50.6	74.0	155.1	201.4	242.6	280.4	347.1
0.3	28.9	100.3	196.7	44.9	65.5	139.4	180.8	218.1	251.2	317.5
0.34	26.9	93.4	182.4	41.9	60.7	129.3	169.2	202.3	233.8	293.7
0.4	21.5	74.2	149.4	33.0	47.7	103.3	138.6	168.1	193.7	246.3
0.5	17.9	60.6	123.8	27.0	39.0	84.8	113.6	139.3	161.3	204.0
0.6	14.6	48.0	99.2	21.6	30.9	67.5	90.5	112.2	131.8	168.6
0.8	10.7	34.4	72.2	15.7	22.2	48.5	65.9	81.1	95.4	123.7
1	8.7	26.8	56.7	12.5	17.5	38.0	51.4	63.7	74.9	97.2
1.2	7.1	22.7	47.4	10.5	14.8	32.0	43.2	53.6	62.9	81.7
1.5	5.6	17.8	36.9	8.3	11.6	24.8	33.7	41.5	48.7	63.7
1.7	4.9	15.5	32.1	7.2	10.1	21.6	29.2	35.9	42.1	55.0
2	4.4	13.0	25.3	6.1	8.7	17.7	23.3	28.3	32.9	41.5
2.4	3.5	9.7	18.7	4.7	6.5	13.2	17.1	20.6	23.8	29.7
3	2.5	7.5	14.2	4.0	5.0	10.0	13.2	15.6	17.9	22.1
4	1.6	4.9	9.0	2.4	3.7	6.4	8.4	9.7	11.0	13.7
5	1.1	4.1	6.6	1.8	2.6	4.9	6.2	7.1	8.4	9.9
6	0.9	3.1	4.9	1.3	2.0	4.1	4.8	5.1	6.0	7.0
7	0.8	2.3	4.4	1.0	1.7	3.0	4.0	4.5	5.0	6.1
8	0.7	1.9	3.8	0.9	1.4	2.6	3.5	4.0	4.5	5.3
9	0.6	1.5	3.2	0.8	1.2	2.2	3.1	3.4	3.8	4.9
10	0.5	1.3	2.8	0.7	1.0	1.8	2.6	3.0	3.4	4.2











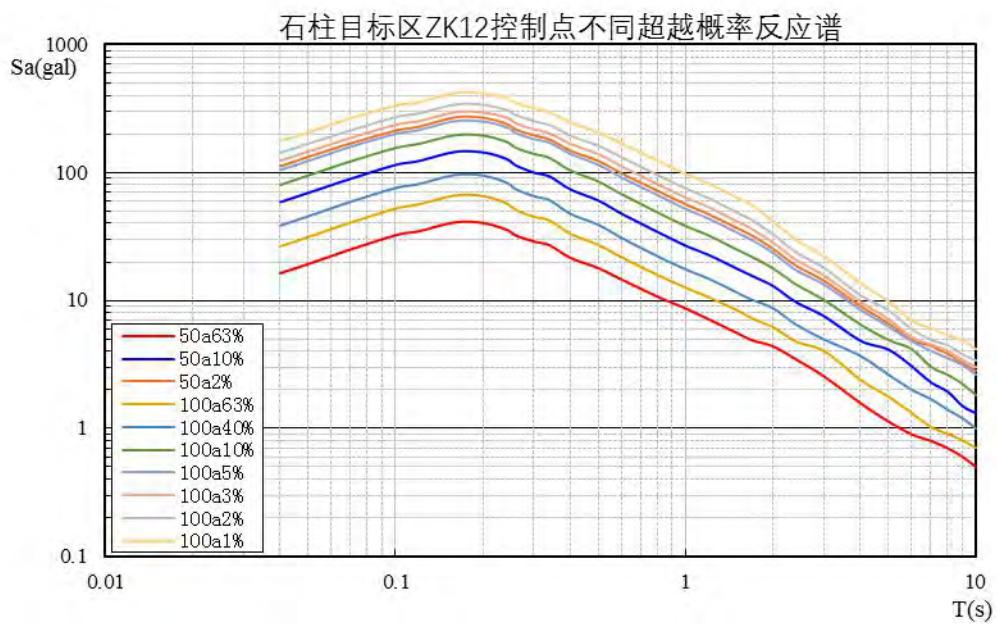
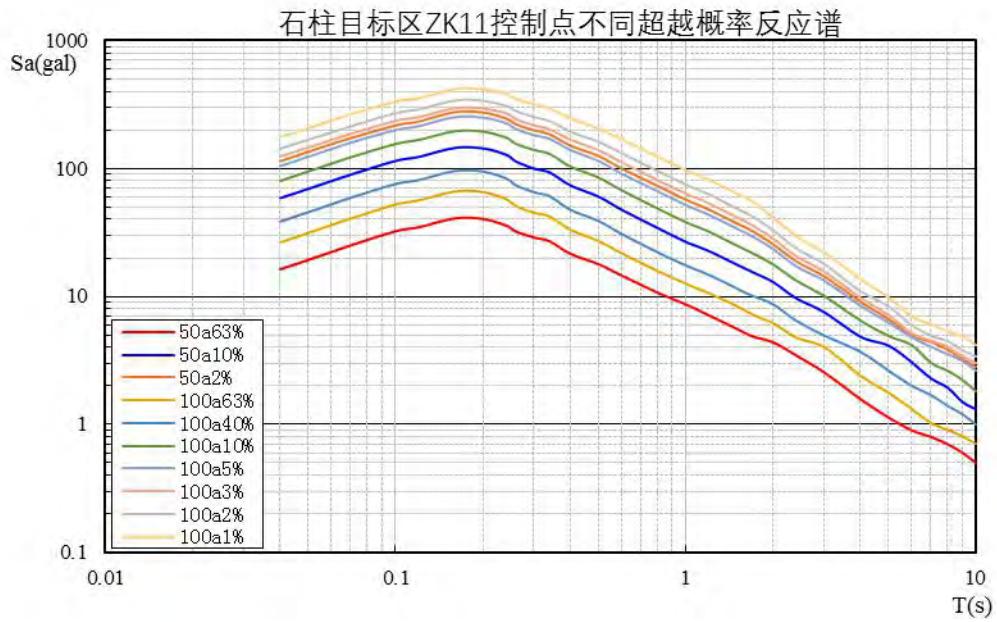


图 4-6 目标区各控制点 50、100 年不同超越概率水平的基岩加速度反应谱曲线图

由于所有控制点均在石柱潜源内，各潜源对控制点峰值加速度的贡献均一致，因此选取结果最大的 Zk6 作为典型控制点，分析各潜源对其峰值加速度的贡献来说明各潜源对目标区的影响。表 4-7 是主要潜在震源区对目标区 ZK6 控制点基岩水平峰值加速度的贡献。表 4-8 是主要潜在震源区对目标区 ZK6 控制点 0.2 秒处反应谱值的贡献。从表 4-7、4-8 综合判定，场地地震危险性影响最大的是 4 号 6.0 级潜在震源区，其次为 7 号 6.5 级潜在震源区、5 号 6.5 级潜在震源区，场地主要受近场中强地震的影响，符合周边潜源分布及对结果贡献的情况。

表 4-7 部分潜在震源区对 ZK6 控制点场地水平峰值加速度的贡献

给定加速度值(gal)	1	10	50	70	100	150
潜在震源区编号	各潜在震源区贡献					
4	0.02111	0.01114	0.00162	0.00082	0.00036	0.00012
7	0.06419	0.00776	0.00040	0.00015	0.00004	0.00001
5	0.01297	0.00291	0.00018	0.00007	0.00002	0.00000
II -1-d	0.06076	0.00621	0.00023	0.00008	0.00002	0.00000

表 4-8 部分潜在震源区对 ZK6 控制点 0.2s 反应谱值的贡献

给定加速度值(gal)	1	10	50	70	100	150
潜在震源区编号	各潜在震源区贡献					
4	0.02153	0.01719	0.00694	0.00474	0.00284	0.00137
7	0.08674	0.02462	0.00347	0.00196	0.00096	0.00035
5	0.08408	0.02285	0.00256	0.00135	0.00061	0.00021
2	0.02726	0.01234	0.00165	0.00089	0.00039	0.00012

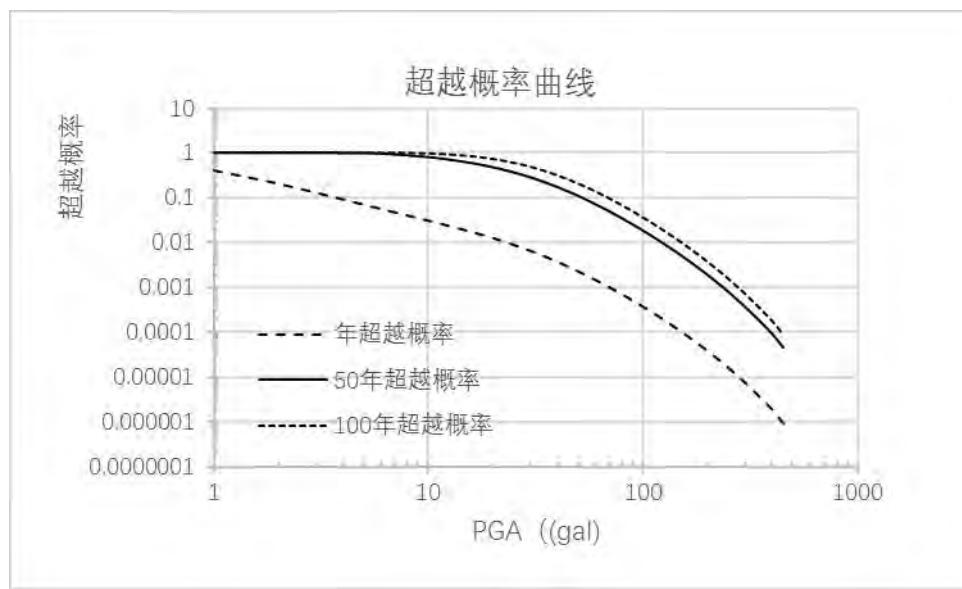


图 4-7 目标区基岩水平向加速度超越概率曲线图

图 4-7 为目标区 ZK6 控制点场地不同年限不同超越概率条件下基岩水平向加速度超越概率曲线图。

5 场地地震工程地质条件及地质灾害评价

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. 场地工程地质条件调查

5.1.1 地形地貌

目标区为构造剥蚀低山地貌，整体地势为北东高南西低，地形呈丘包、沟谷或平台状，丘包斜坡坡角一般 $20\sim35^\circ$ 。区内由于目标区整平，在山间低洼处进行了回填，在山包处开挖形成边坡，边坡高度 $3\sim25m$ ，回填土最大厚度达到 16 米，典型地形地貌如图 5-1 所示。根据场地内勘察资料，对场地内的工程地质条件进行了现场调查，调查点分布图如图 5-2 所示，调查点平面位置坐标见表 5-1，调查范围涵盖整个场地。



5-1 典型地形地貌



图 5-2 调查点分布图

表 5.1 调查点位置

钻孔编号	经度	纬度	钻孔编号	经度	纬度
DZ1	108.055859	29.944913	DZ23	108.050399	29.937573
DZ2	108.058476	29.935412	DZ24	108.053489	29.948513
DZ3	108.055687	29.940544	DZ25	108.058006	29.939012
DZ4	108.051653	29.93768	DZ26	108.060623	29.944144
DZ5	108.037491	29.940098	DZ27	108.057834	29.94128

DZ6	108.033328	29.933218	DZ28	108.0538	29.943698
DZ7	108.040838	29.935226	DZ29	108.039638	29.936818
DZ8	108.045259	29.92894	DZ30	108.035475	29.938826
DZ9	108.038521	29.927973	DZ31	108.042985	29.93254
DZ10	108.046932	29.920832	DZ32	108.047406	29.931573
DZ11	108.047919	29.934073	DZ33	108.040668	29.924432
DZ12	108.051009	29.94456	DZ34	108.049079	29.937673
DZ13	108.058339	29.948413	DZ35	108.050066	29.947813
DZ14	108.060956	29.938912	DZ36	108.053156	29.938312
DZ15	108.058167	29.944044	DZ37	108.058106	29.943444
DZ16	108.054133	29.94118	DZ38	108.060723	29.94058
DZ17	108.039971	29.943598	DZ39	108.057934	29.942998
DZ18	108.035808	29.936718	DZ40	108.0539	29.936118
DZ19	108.043318	29.938726			
DZ20	108.047739	29.93244			
DZ21	108.041001	29.931473			
DZ22	108.049412	29.924332			

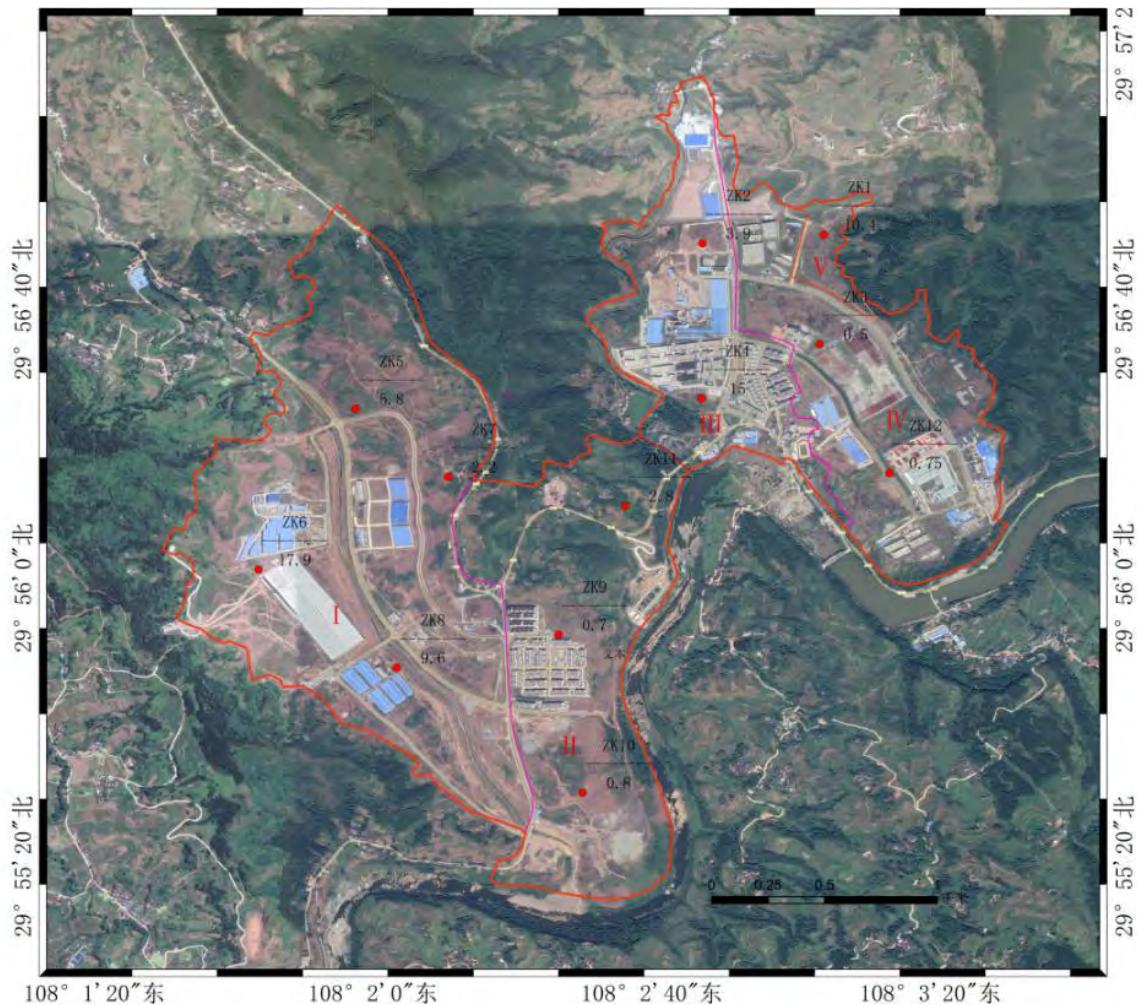


图 5-3 场地工程地质单元分区图

根据原目标区勘察资料结合现场调查将场地分为 5 个工程地质单元, 见图 5-3, 其中 II 和 IV 两个工程地质单元基岩广泛出露, 表层土层较薄, 最大厚度不超过 3 米, 人类工程活动主要以挖方为主; I 、 III 和 V 工程地质单元地势较为平坦, 人类工程活动主要以填方为主, 局部范围填土较厚, 可达到十余米。

5.1.2 地质构造特征

目标区位于石柱向斜的南西翼近轴部, 岩层倾角平缓, 产状 $330^{\circ} \angle 7^{\circ} \sim 13^{\circ}$, 地层连续稳定, 岩体较完整, 呈大块状或层状结构, 无断层通过。根据场地周围出露基岩进行调查表明: 场地内含三组构造裂隙 LX1、LX2 和 LX3。

LX1: 倾向 $58^{\circ} \sim 64^{\circ}$, 倾角 $76^{\circ} \sim 84^{\circ}$, 密度 2 条/ $1.5m$, 裂缝宽 $3 \sim 8mm$, 延伸长 $1.5 \sim 3m$, 可见深度 $1 \sim 5cm$, 为张开裂隙, 裂隙表面较平整;结合程度差。

LX2: 倾向 $132^{\circ} \sim 147^{\circ}$, 倾角 $78^{\circ} \sim 85^{\circ}$, 密度 2 条/ $3m$, 裂缝宽 $1 \sim 11mm$, 延伸长 $1.0 \sim 6.5m$,

可见深度 2~9cm，为张开裂隙，裂缝充填物为粘土夹碎石，裂面波状起伏；结合程度差。

LX3：倾向 305~315°，倾角 77~82°，密度 2 条/1m，裂缝宽 5~13m，延伸长 1.0~~4.5m，可见深度 3~7cm，为张开裂隙，裂缝充填物为粘土夹碎石，裂面波状起伏；结合程度差。区内未见断层构造；岩土层界面倾角一般为 4~15°，局部可达 20°

5.1.3 地层岩性

根据现场工程地质勘查，拟建目标区位于石柱向斜轴部，覆盖层厚度不一，覆盖层起伏较大，部分场地可见基岩出露，主要地层为第四系全新统人工填土层（Q₄^{ml}）、第四系全新统冲洪积层（Q₄^{el+pl}）、侏罗系中统沙溪庙组泥岩（J₂s）。现分别描述如下：

（1）土层

①第四系全新统碎石填土层（Q₄^{ml}）：杂色，以褐黄色为主，主要由泥岩块碎石及粘性土组成，系筑路、工民建基坑开挖弃土。块碎石含量约占 10~60%，粒径一般 30~100mm，局部最大可达 200m 以上，在厚度较大的地段中下部块(碎)石含量显著增高，局部可达到 60~70%，粒径也有所增大，块石、碎石含量极不均匀，其间充填粘性土。松散~稍密，稍湿。机械抛填，回填 5 年以上。该层素填土全线分布范围比较广，除个别地势较高的坡顶外其它地段均有分布，堆积厚度起伏较大，其下为粉质粘土或基岩。

②第四系全新统冲洪积层（Q₄^{el+pl}）：粉质黏土，黄褐色，可塑状，局部表现为软塑状，无摇震反应，干强度中等，韧性中等，断面稍有光泽，土质较均一，表层含有植物根系。沉积不连续，主要分布在地势较低冲沟部位；

（2）岩层（侏罗系中统沙溪庙组（J₂s））

①强风化泥岩：紫褐色~紫红褐色，主要矿物成分为粘土矿物，局部含砂质团块或条带，粉砂泥状结构，中厚层~块状构造。节理裂隙发育，岩芯比较破碎，呈碎块状，局部有短柱状，质软，碎块大多手可折断。

②中风化泥岩：紫褐色~紫红褐色，主要矿物成分为粘土矿物，局部含砂质团块或条带，粉砂泥状结构，厚层~块状构造。

5.1.4 水文地质条件

地表水：工业园区南侧边界外的龙河为常年性河流，河面宽 30~110m，流向为由东向西，属长江一级支流。该河发源于石柱县黄水镇、冷水镇，流经石柱县城，经下路、丰都等地最后汇入长江。区内主要还发育自西向东方向冲沟 2 条，冲沟长约

0.5~2.0km, 沟底纵坡度约 5~25%, 切割深度一般 1~3m, 局部可达到 5m, 沟宽约 0.6~9m, 据调查访问冲沟内来水主要为大气降雨及人为生产、生活排水, 平时水量小, 常干枯, 暴雨期间各冲沟水量变化快, 可达到 $0.3\sim6\text{m}^3/\text{s}$, 为季节性流水, 最终汇入龙河。

地下水: 根据地下水的赋存条件、水理性质和水动力特征等, 区内地下水主要有地下水类型主要为: 第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。

松散岩类孔隙水: 主要赋存于第四系全新统堆积层中, 主要接受大气降雨和局部地表水体的侧向补给, 因斜坡储水条件差, 仅在局部低洼的沟谷地段存在上层滞水, 水量大小不一, 动态幅度大。

基岩风化裂隙水: 包括风化裂隙水和构造裂隙水, 风化裂隙水分布在浅表基岩强风化带中, 为局部性上层滞水或小区域潜水, 水量小, 受季节性影响大, 各含水层自成补给、径流、排泄系统。构造裂隙水分布于主要赋存于砂、泥岩地层的强风化带及砂、泥岩裂隙中, 主要接受大气降雨及地表水补给, 由于泥岩为粘土岩属隔水层, 砂岩为相对含水层。但规划区砂、泥岩的裂隙较发育, 区内风化带厚度 1~3m, 高差较大, 地形坡角总体较陡, 地下水排泄条件较好。因此, 该区地下水虽然主要为基岩裂隙水, 但含水量较低, 具就近补给, 就近排泄的特点, 故调查区地下水较贫乏。总体上看, 区内水文地质条件简单。

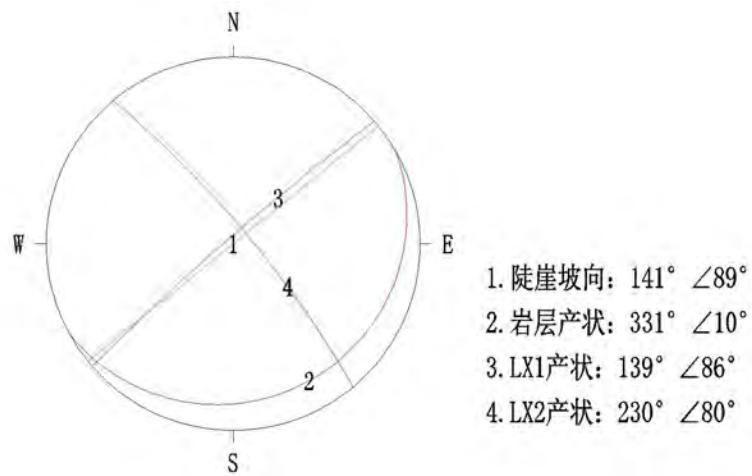
5.1.4 不良地质现象

在目标区东南侧有一处陡崖带, 该陡崖带顶部植被茂盛, 人为工程活动强烈, 陡崖底部为修建的丰石公路, 主要由侏罗系中统沙溪庙组中~厚层状砂岩组成, 局部崖底可见崩塌堆积层, 该段陡崖带沿 51° 方向, 平面形态略呈弧线状展布, 在规划区内长约 335m 左右, 分布高程为 575m~525m, 高约 10~35m, 图 5-4。



图 5-4 陡崖带

该陡崖带据现场调查,也未发现完整连惯的卸荷裂隙带,只是在陡崖带的上方局部危岩体后缘见不连续沿陡崖带走向方向分布的裂隙线,根据调查发现该陡崖共发育两组优势裂隙: LX1: $132\text{--}147^\circ \angle 78\text{--}85^\circ$, LX2: $226\text{--}238^\circ \angle 76\text{--}84^\circ$; 其赤平投影分析如图所示:



5-5 赤平投影图

结合赤平投影图分析,该陡崖为反向坡, LX1 倾向与坡向基本一致,倾角略小于坡角,可能出现小范围的掉块, LX2 与坡面垂直相交,对陡崖的整体稳定性影响较小。综上,陡崖带整体稳定,在现状条件下不会产生大的整体垮塌。

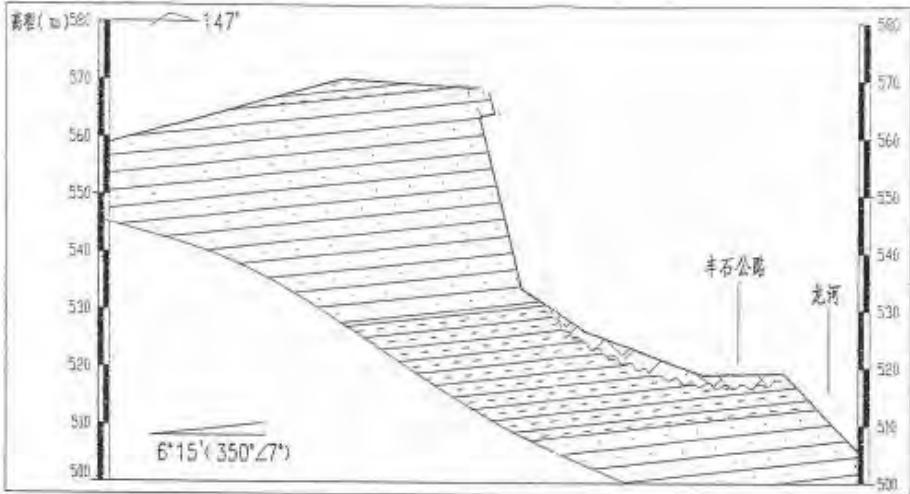
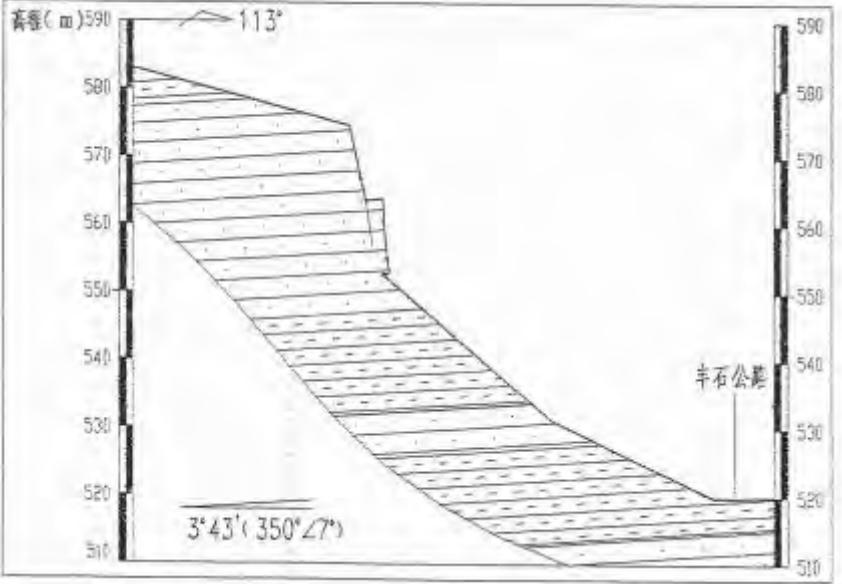
陡崖带内由于裂隙切割和差异性风化形成危岩单体,陡崖带内存在典型危岩单体 4 块,总方量约 340m^3 左右,危岩体形态主要以壳状和不规则状为主,其特征如表 5.8 所

示。经现场调查危岩单体的稳定性直接受控于岩体结构面的发育状况,危岩体前缘影响范围根据地形及对以往崩塌体调查推断可达龙河河床,陡崖底部丰石公路在其影响范围内。

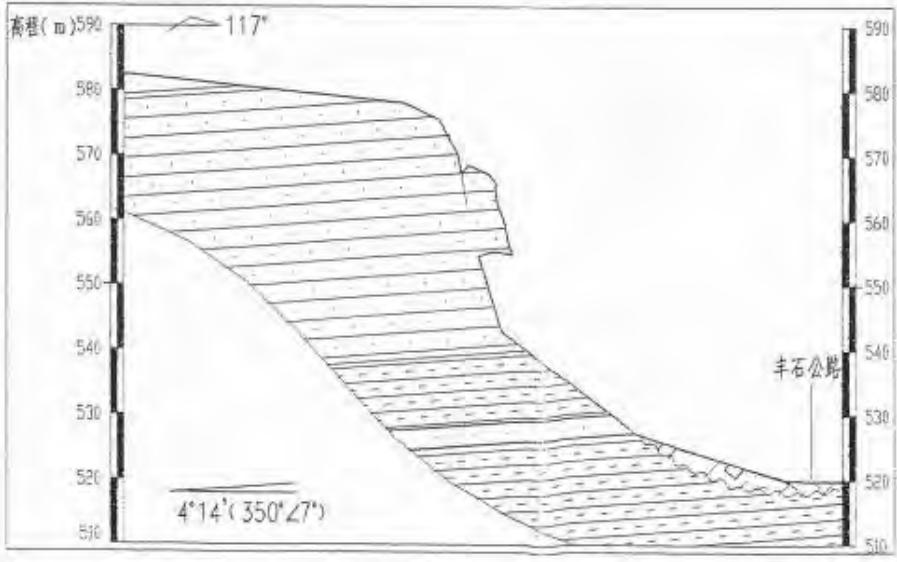
根据危岩体形态、发育规模、底界特征、空间分布特征、节理裂隙发育特征、水文地质条件、崩塌堆积。坡地表块度分布规律等进行了初步调查和研究认为,该危岩带危岩体破坏模式主要为坠落式和倾倒式。

表 5.8 危岩单体特征表

编 号	分布高层	近似 形态	规模				主要 影响 裂隙	变形破坏特 征	失 稳 方 式	稳定 性评 价	危 害 程 度	发展 趋 势
			长 (m)	宽 (m)	高 (m)	体 积 (m ³)						
W1	555~551m	壳 状	5.8	1.1	4.0	25.5	LX1	危岩体与母岩受裂隙的切割,中上部与母岩脱离并略微向外倾,下部局部与母岩相连。	坠 落	欠 稳 定	较 严 重	欠 稳 定
剖面图												
W2	565~570m	不 规 则 状	3.9	3.6	4.2	58.9	LX1	危岩体与母岩受裂隙的切割,下部由母岩支撑	坠 落	基 本 稳 定	较 严 重	欠 稳 定

剖面图												
W3	563~551m	不规则状	7.8	2.4	8.2	226	LX1	危岩体与母岩之间发育一条裂隙，在植物、降雨的影响下裂隙结合程度逐渐降低并张开，基底泥岩逐渐风化剥落	倾倒	基本稳定	较严重	欠稳定
剖面图												
W4	567~562m	不规则	3.1	3.8	4.8	32.2	LX1	危岩体与母岩之间发育一条裂隙，在植物、降雨的影响下	坠落	欠稳定	较严重	欠稳定

		状						裂隙结合程度逐渐降低，危岩体底部由于以往崩塌已临空。			
剖面图											



5.2 场地工程地质条件勘探

本次现场工作中共布置了 12 个钻孔，钻孔分布表如表 5.1 所示，钻孔分布图如图 5-3 所示，岩性照片如图 5-6，钻孔柱状图如图 5-7 所示。

表 5.1 钻孔分布表

钻孔编号	经度	纬度	孔口高程
ZK1	108.055859	29.944913	541
ZK2	108.058476	29.935412	563
ZK3	108.055687	29.940544	538
ZK4	108.051653	29.937680	519
ZK5	108.037491	29.940098	605
ZK6	108.033328	29.933218	568

ZK7	108.040838	29.935226	578
ZK8	108.045259	29.928940	561
ZK9	108.038521	29.927973	543
ZK10	108.046932	29.920832	566
ZK11	108.047919	29.934073	563
ZK12	108.051009	29.944560	521



ZK1



ZK2



ZK3



ZK4



ZK5



ZK6



ZK7



ZK8



ZK9



ZK10



ZK11



ZK12

图 5-7 岩性照片

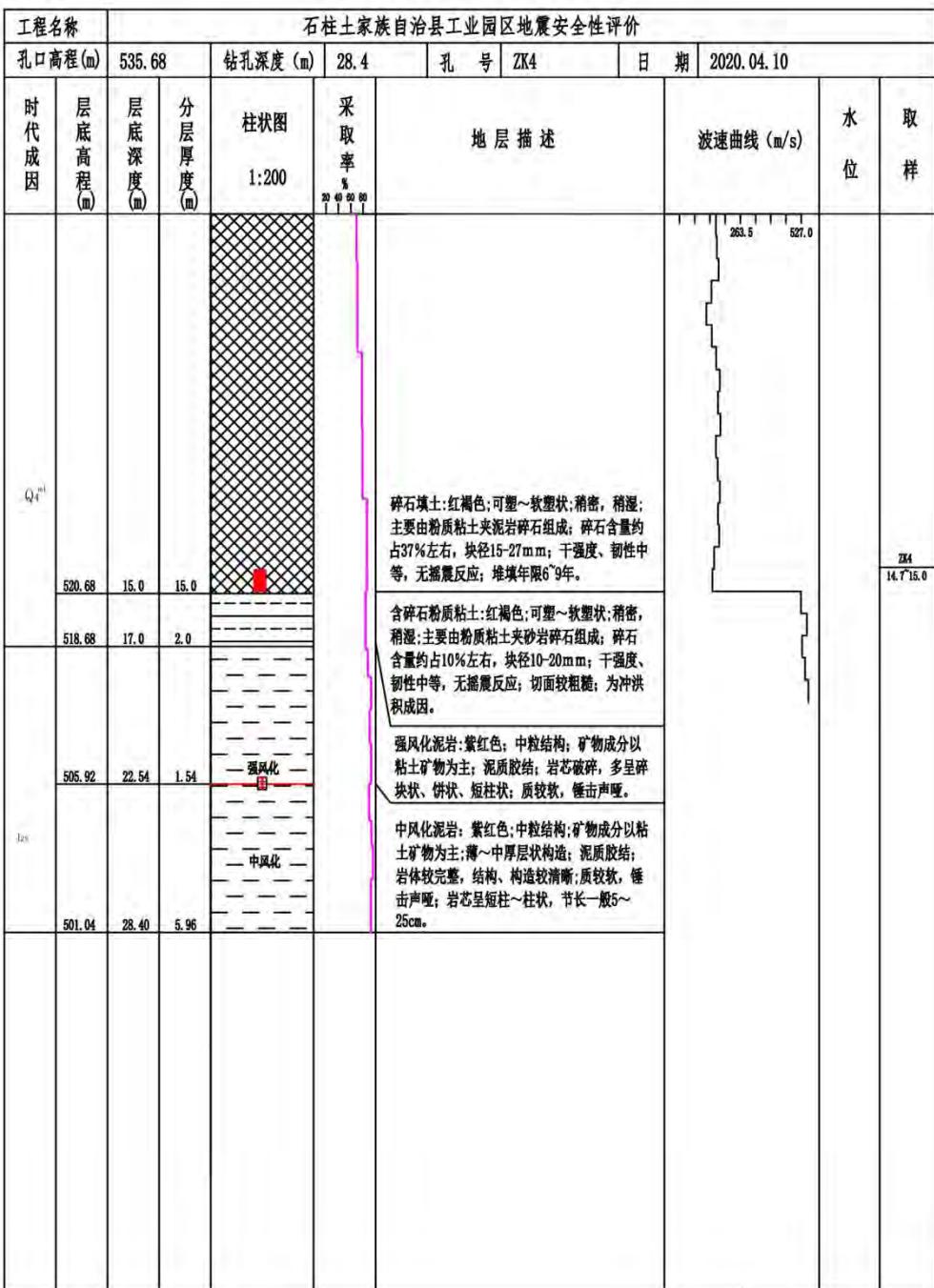
钻孔柱状图

钻孔柱状图

钻孔柱状图

工程名称		石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价							
孔口高程(m)		543.70	钻孔深度(m)	26.7	孔号	ZK3	日期	2020.04.10	
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	采取率%	地层描述	波速曲线(m/s)	水位	取样
	543.20	0.50	0.50	XXXXXX					
	540.70	3.00	2.50	强风化		碎石填土:红褐色;可塑~软塑状;稍密,稍湿;主要由粉质粘土夹砂岩碎石组成;碎石含量约占57%左右,块径20-40mm;干强度、韧性中等,无摇震反应;切面较光滑;堆填年限6~9年。	266.0	532.0	
				中风化		强风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;泥质胶结;岩芯破碎,多呈碎块状、饼状、短柱状;质较软,锤击声哑。			
	520.0	26.7	23.7	中风化		中风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;薄~中厚层状构造;泥质胶结;岩体较完整,结构、构造较清晰;质较软,锤击声哑;岩芯呈短柱~柱状,节长一般5~25cm。			

钻孔柱状图



钻孔柱状图

工程名称		石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价												
孔口高程(m)		576.35		钻孔深度(m)		24.0		孔号	ZK5	日期	2020.04.09			
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图		1:200	采取率%	地层描述			波速曲线(m/s)		水位	取样
Q4 ^{al}	570.55	5.80	5.80					碎石填土:红褐色;可塑~软塑状;稍密,稍湿;主要由粉质粘土夹泥岩碎石组成;碎石含量约占37%左右,块径15~27mm;干强度、韧性中等,无摇震反应;堆填年限6~9年。					269.5	539.0
Q3 ^l	568.44	7.91	2.11			— 强风化 —		强风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;泥质胶结;岩芯破碎,多呈碎块状、饼状、短柱状;质较软,锤击声哑。						
						— 中风化 —		中风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;薄~中厚层状构造;泥质胶结;岩体较完整,结构、构造较清晰;质较软,锤击声哑;岩芯呈短柱~柱状,节长一般5~25cm。						
	573.35	24.0	16.09			— — — — —								

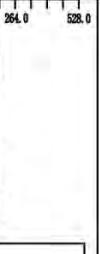
钻孔柱状图

工程名称		石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价													
孔口高程(m)		558.80		钻孔深度(m)		25.4		孔号		ZK6		日期			
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图		采取率%	地层描述				波速曲线(m/s)	水位	取样		
				1:200											
Q4 ^{al}											271.0	542.0			
	530.90	17.90	17.90				碎石填土:红褐色;可塑~软塑状;稍密,稍湿;主要由粉质粘土夹泥岩碎石组成;碎石含量约占37%左右,块径15~27mm;干强度、韧性中等,无摇震反应,堆填年限6~9年。								
	528.80	20.00	2.10				强风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;泥质胶结;岩芯破碎,多呈碎块状、饼状、短柱状;质较软,锤击声哑。								
							中风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;薄~中厚层状构造;泥质胶结;岩体较完整,结构、构造较清晰,质较软,锤击声哑;岩芯呈短柱~柱状,节长一般5~25cm。								
	523.40	25.40	5.40												

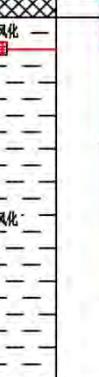
钻孔柱状图

工程名称		石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价										
孔口高程(m)		485.39		钻孔深度(m)	22.3		孔号	ZK7	日期	2020.04.09		
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	采 取 率 %	地层描述			波速曲线(m/s)	水位	取 样	
				1:200	20 40 60 80							
	Q4 ^(a)	483.19	2.20	2.20		<p>碎石填土: 红褐色; 可塑~软塑状; 稍密, 稍湿; 主要由粉质粘土夹泥岩碎石组成; 碎石含量约占37%左右, 块径15~27mm; 干强度、韧性中等, 无摇震反应; 堆填年限6~9年。</p> <p>强风化</p> <p>中风化</p>			261.6 522.0			
		481.19	4.20	2.00		<p>强风化泥岩: 紫红色; 中粒结构; 矿物成分以粘土矿物为主; 泥质胶结; 岩芯破碎, 多呈碎块状、饼状、短柱状; 质较软, 锤击声哑。</p>						
						<p>中风化泥岩: 紫红色; 中粒结构; 矿物成分以粘土矿物为主; 薄~中厚层状构造; 泥质胶结; 岩体较完整, 结构、构造较清晰; 质较软, 锤击声哑; 岩芯呈短柱~柱状, 节长一般5~25cm。</p>						
		463.09	22.3	18.1								

钻孔柱状图

工程名称		石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价										
孔口高程(m)		557.50		钻孔深度(m)		24.0		孔号	ZK8	日期	2020.04.12	
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	采 取 率 %	地层描述				波速曲线(m/s)	水位	取样
				1:200	20 40 60 80							
	548.90	9.60	9.60			碎石填土:红褐色;可塑~软塑状;稍密,稍湿;主要由粉质粘土夹泥岩碎石组成;碎石含量约占45%左右,块径15~30mm;干强度、韧性中等,无摇震反应,堆填年限6~9年。					264.0	528.0
	546.60	11.90	2.30		强风化	强风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;泥质胶结;岩芯破碎,多呈碎块状、饼状、短柱状;质较软,锤击声哑。						
	533.50	24.0	13.1		中风化	中风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;薄~中厚层状构造;泥质胶结;岩体较完整,结构、构造较清晰;质较软,锤击声哑;岩芯呈短柱~柱状,节长一般5~25cm。						

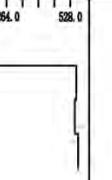
钻孔柱状图

工程名称		石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价															
孔口高程(m)		547.12		钻孔深度(m)		17.20		孔号		ZK9		日期		2020.04.11			
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图		采取率%	地层描述						波速曲线(m/s)	水位	取样		
				1:200			20	40	60	80	100	120					
Q4	546.42	0.70	0.70										262.0	524.0			
Iz3	545.32	2.90	2.20				<p>碎石填土:红褐色;可塑~软塑状,稍密,稍湿;主要由粉质粘土夹砂岩碎石组成;碎石含量约占57%左右,块径20~40mm;干强度、韧性中等,无摇震反应;切面较光滑;堆填年限6~9年。</p> <p>强风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;泥质胶结;岩芯破碎,多呈碎块状、饼状、短柱状;质较软,锤击声哑。</p> <p>中风化泥岩:紫红色;中粒结构;矿物成分以粘土矿物为主;薄~中厚层状构造;泥质胶结;岩体较完整,结构、构造较清晰;质较软,锤击声哑;岩芯呈短柱~柱状,节长一般5~25cm。</p>										
	529.92	17.20	14.30														

钻孔柱状图

工程名称		石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价									
孔口高程(m)		559.50		钻孔深度(m)	14.20		孔号	ZK10	日期	2020.04.08	
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	1:200	采取率	地层描述		波速曲线(m/s)	水位	取样
Q1	558.70	0.80	0.80				碎石填土: 红褐色; 可塑~软塑状; 稍密, 稍湿; 主要由砾质粘土夹砂岩碎石组成; 碎石含量约占68%左右, 块径27-45mm; 干强度、韧性中等, 无遇水反应; 切面较光滑; 堆填年限6~9年。		260.0	558.1	
b)	556.90	2.60	1.80				强风化泥岩: 紫红色; 中粒结构; 矿物成分以粘土矿物为主; 泥质胶结; 岩芯破碎, 多呈碎块状、饼状、短柱状; 质较软, 锤击声哑。				
	542.70	14.20	12.40				中风化泥岩: 紫红色; 中粒结构; 矿物成分以粘土矿物为主; 薄~中厚层状构造; 泥质胶结; 岩体较完整, 结构、构造较清晰; 质较软, 锤击声哑; 岩芯呈短柱~柱状, 节长一般5~25cm。				

钻孔柱状图

工程名称		石柱土族自治县工业园区地震安全性评价								
孔口高程(m)		533.80	钻孔深度(m)	16.80	孔号	ZK11	日期	2020.04.10		
时代成因	层底高程(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	柱状图	采取率%	地层描述		波速曲线(m/s)	水位	取样
Q4 ^{al}	531.00	2.80	2.80		20%	<p>碎石填土: 红褐色; 可塑~软塑状; 稍密, 稍湿; 主要由粉质粘土夹泥岩碎石组成; 碎石含量约占35%左右, 块径25~40mm; 干强度、韧性中等, 无摇震反应; 堆填年限6~9年。</p> <p>强风化泥岩: 紫红色, 中粒结构; 矿物成分以粘土矿物为主; 泥质胶结; 岩芯破碎, 多呈碎块状、饼状、短柱状; 质较软, 锤击声哑。</p>				
Q3	528.50	5.30	2.50		20%	<p>中风化泥岩: 紫红色, 中粒结构; 矿物成分以粘土矿物为主; 薄~中厚层状构造; 泥质胶结; 岩体较完整, 结构、构造较清晰; 质较软, 锤击声哑; 岩芯呈短柱~柱状, 节长一般5~25cm。</p>				
	514.20	16.80	14.30		20%					

钻孔柱状图

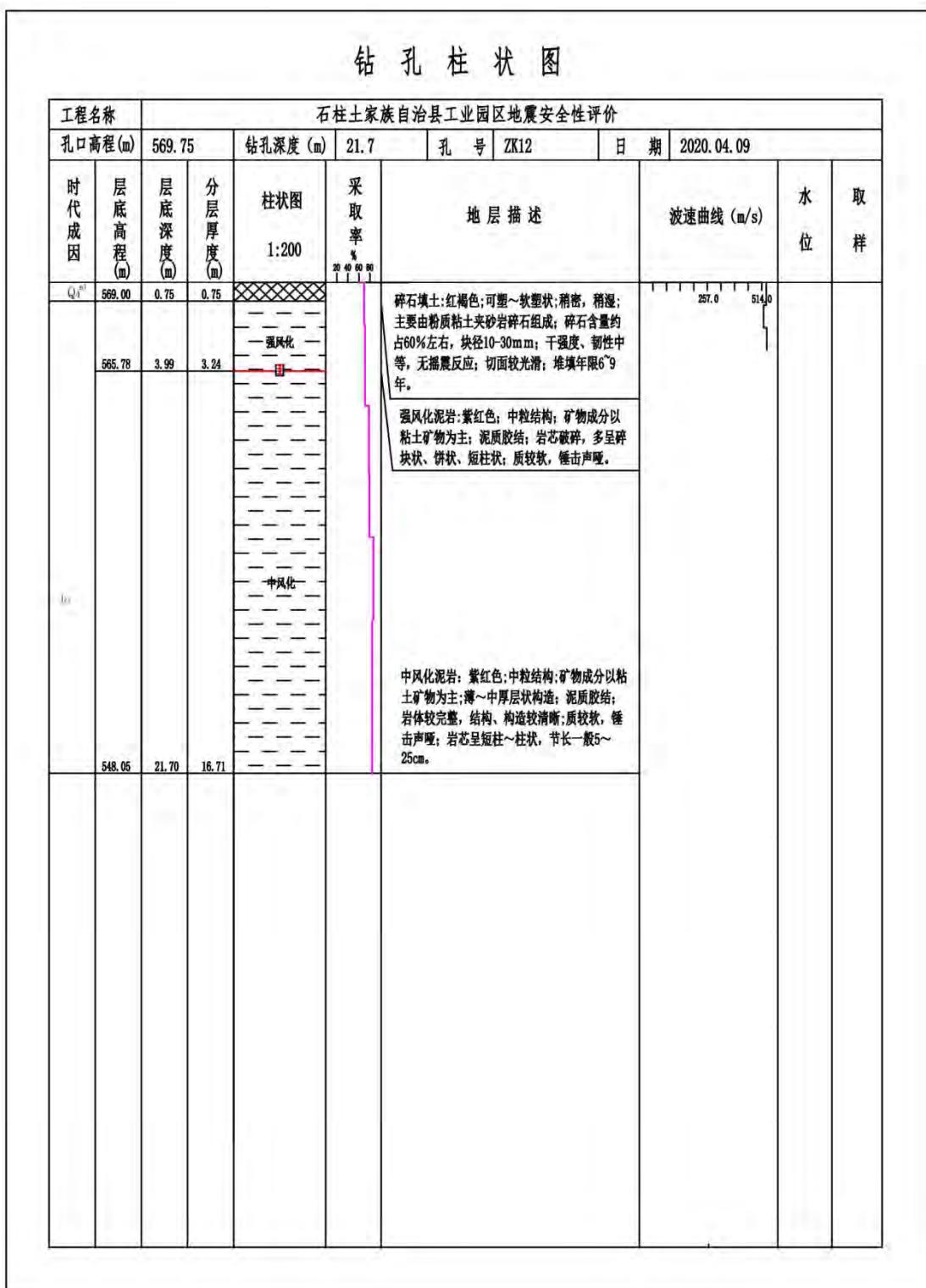
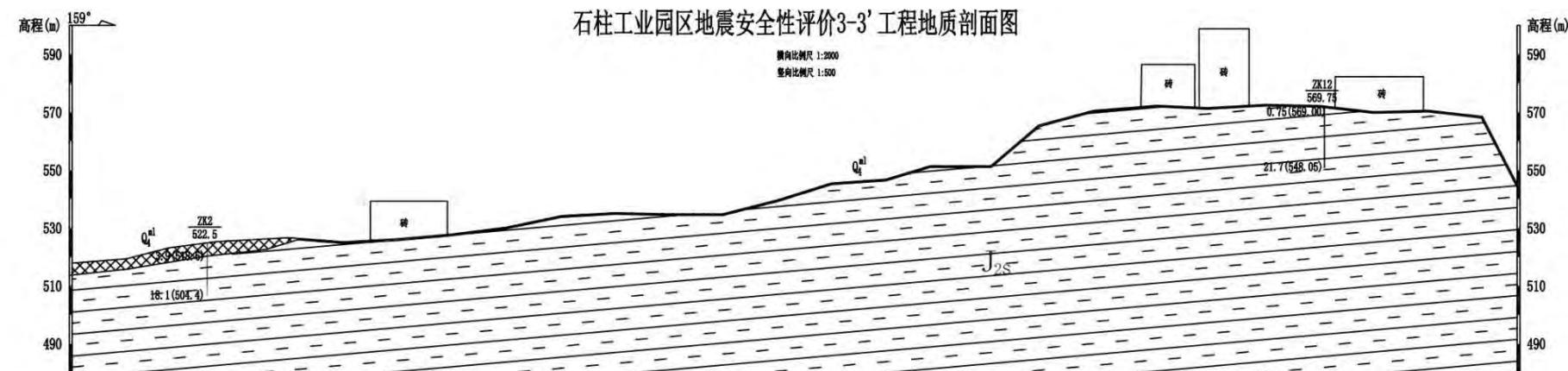
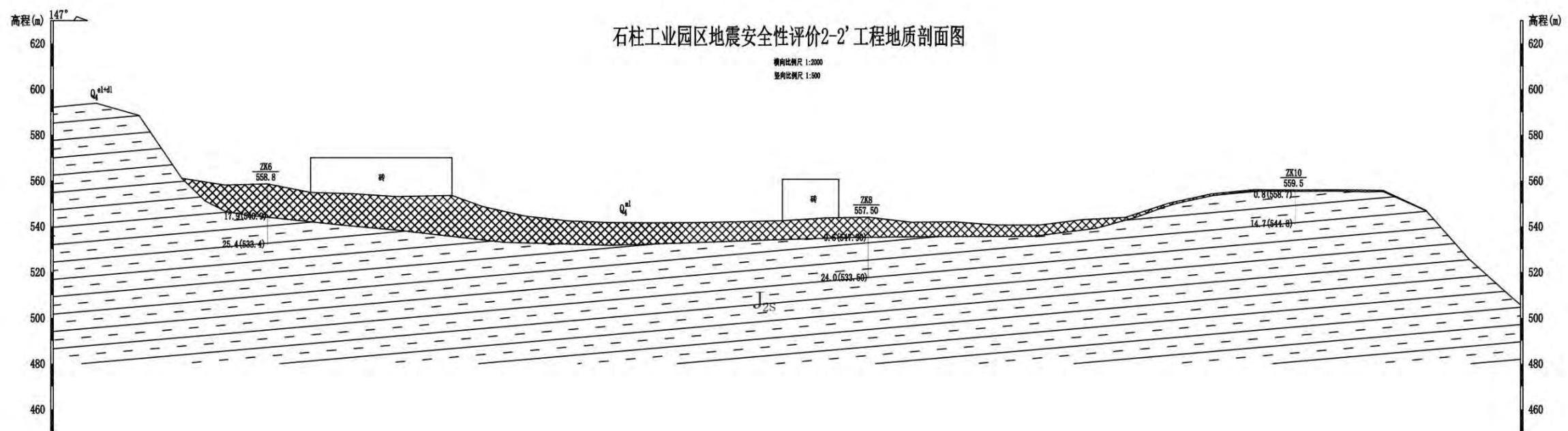
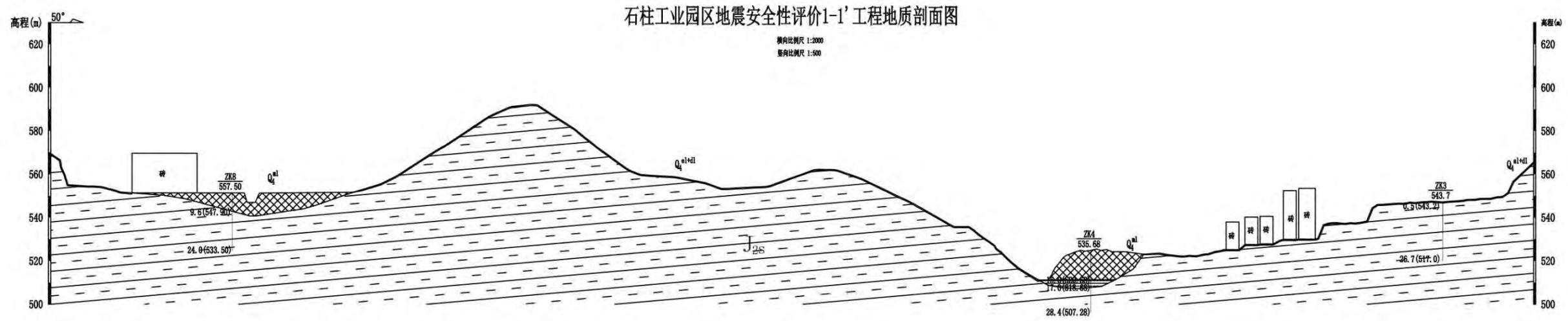


图 5-7 钻孔柱状图



5-8 场地工程地质剖面图

5.2 典型土动力学实验分析

5.2.1 试验原理

大量的试验研究结果表明, 土体的动力本构关系可以采用如下的双曲线的形 式进行表示:

$$\tau = \frac{\gamma}{a + b\gamma}$$

由此可以得到动剪切模量的表达式为:

$$G_d = \frac{1}{a + b\gamma}$$

式中: τ 为剪应力, γ 为剪应变; a 和 b 为试验参数, 与土性有关, 其中 $a=1/G_{d\max}$, $G_{d\max}$ 为最大动剪切模量, 可以认为是剪应变为 10^{-6} 时所对应的剪切 模量, $b=1/\tau_{\max}$, τ_{\max} 为剪应变趋于无穷大时的最大剪应力。归一化的无量纲动 模量比的表达式为:

$$\frac{G_d}{G_{d\max}} = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_r}$$

其中 γ_r 为参考应变, 其表达式为: $\gamma_r = a/b$ 。

滞回阻尼比与动剪切模量之间存在着下述关系:

$$\lambda = \lambda_{\max} \left(1 - \frac{G_d}{G_{d\max}} \right)^\alpha$$

式中: λ_{\max} 为动剪切模量趋于零时的最大滞回阻尼比, α 为经验系数, 常取 值为 1。

5.2.2 试验仪器

采用北京工业大学建筑工程学院土力学实验室的 DDS-70 型动三轴仪进行土 样的动剪切模量比和动阻尼比的试验研究。

5.2.3 试验过程

1) 试样制备

本次试验所采用的土样全部为原状土样，试样为圆柱形，直径为 39.1 毫米，高度为 80 毫米，采用削土器进行制备。

2) 试样固结

根据土样的埋深计算其固结压力，在相应的固结压力下对试样进行固结排水，以模拟其现场的应力状态。

3) 循环加载

试样固结完成以后，对其逐级施加循环动力荷载，并采集相应的试验数据。试验采用的荷载形式为正弦荷载，荷载频率为 1Hz。

5.2.4 土样参数及试验结果

本次试验共完成 1 组土样的参数测试工作。详细土质分类及编号抄自土样标签，见表 5.2。试样在八个典型剪应变时的剪切模量比与阻尼比列于表 5.3：各试样的 $G_d, G_{d\max} \sim \psi_d$ 和 $\lambda \sim \psi_d$ 的关系曲线见图 5-10 至图 5.12。

表 5.2 试样土类与试验条件汇总表

序号	试样编号	试样土类	埋深 (m)	固结压力 (kPa)
1	ZK4	粉质粘土	14.7-15.0	340

表 5.3 试样动模量比与动阻尼比试验结果汇总表

试样 编号	参数	剪应变 (%)							
		5.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	0.1	0.5	1.0
ZK4	模量比 G, G_{\max}	0.9958	0.9916	0.9592	0.9217	0.7018	0.5405	0.1905	0.1053
	阻尼比 λ	0.0354	0.0413	0.0592	0.0691	0.0989	0.1155	0.1655	0.1932

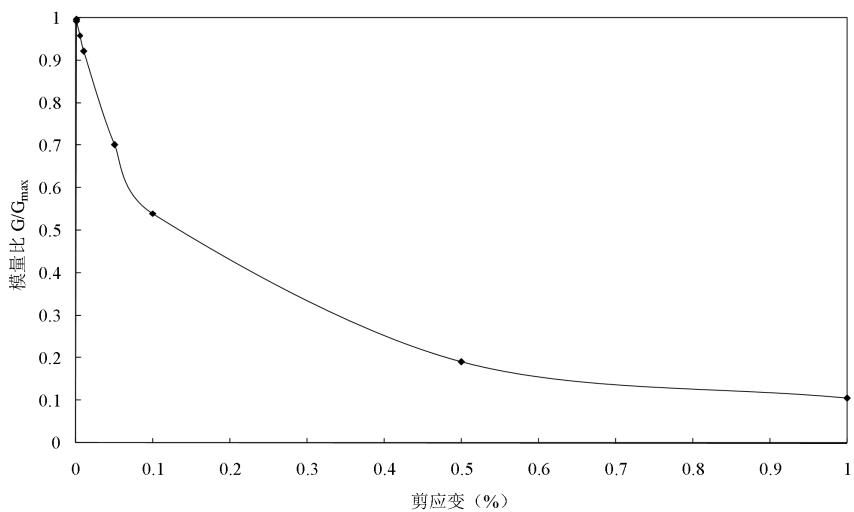


图 5-9 试样 ZK4 动模量比与剪应变关系曲线

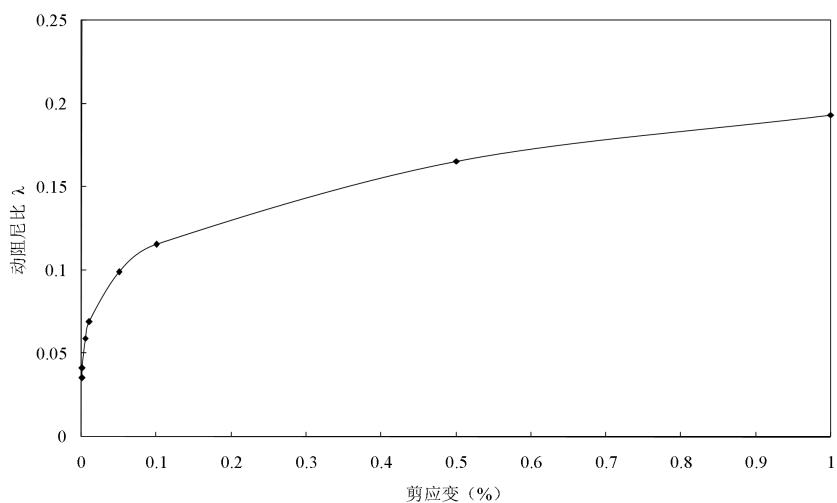


图 5-10 试样 ZK4 动阻尼比与剪应变关系曲线

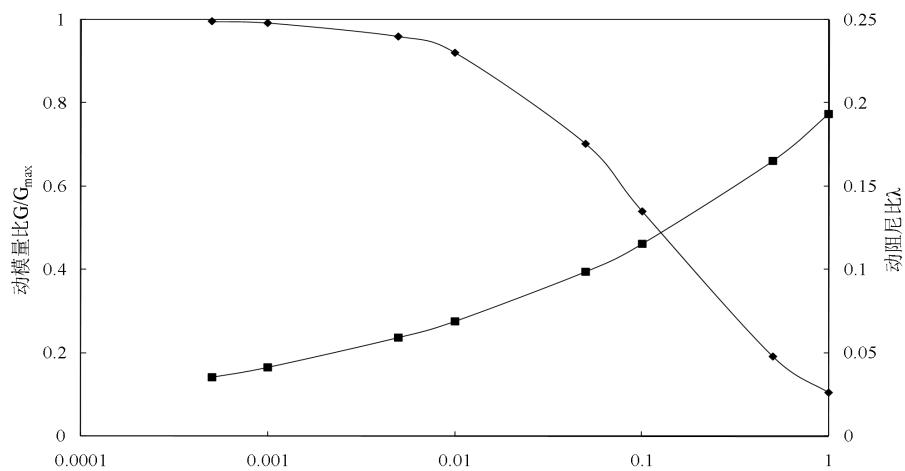


图 5-11 对数坐标中试样 ZK4 动模量比和动阻尼比与剪应变关系曲线

5.3 剪切波速测试

根据地震安全性评价要求，在勘探的基础上对工业园区场地共 12 个勘探孔做了土层剪切波速测试，获取了岩土层的剪切波速。

5.3.1 测试原理

利用直达波原理，通过使用木锤或适宜的铁锤分别水平敲击水平放置孔口的木板两端，地表产生的 S 波和 P 波经地层传播，由孔内三分量检波器的水平向检波器接收 SH 波信号，然后读取正、反两方向的实测波形，找出波形交叉点，读取初至波传播时间，进而计算出各测点(层)剪切波速值及其它相关参数。

5.3.2 测试仪器及工作方法

剪切波波速测试仪器使用武汉岩海公司研制的 RS-1616k (S) 型信号检测分析仪（参见图 5.8），检波器使用武汉岩海公司研制的 RSJ-2000A.B 三分量检波器（参见图 5-13）。测试钻孔时，在距孔口 1.5m 处设置激振板，并在激振板上面压重物 500kg，沿板纵轴从两个相反方向水平敲击板端，使其产生剪切波，将三分量检波器固定在孔内不同深度处接收剪切波（参见图 5-14）。全部实测曲线和测试时使用的仪器参数都记录在磁盘上，可保存和回放处理，数据处理在微机上完成。

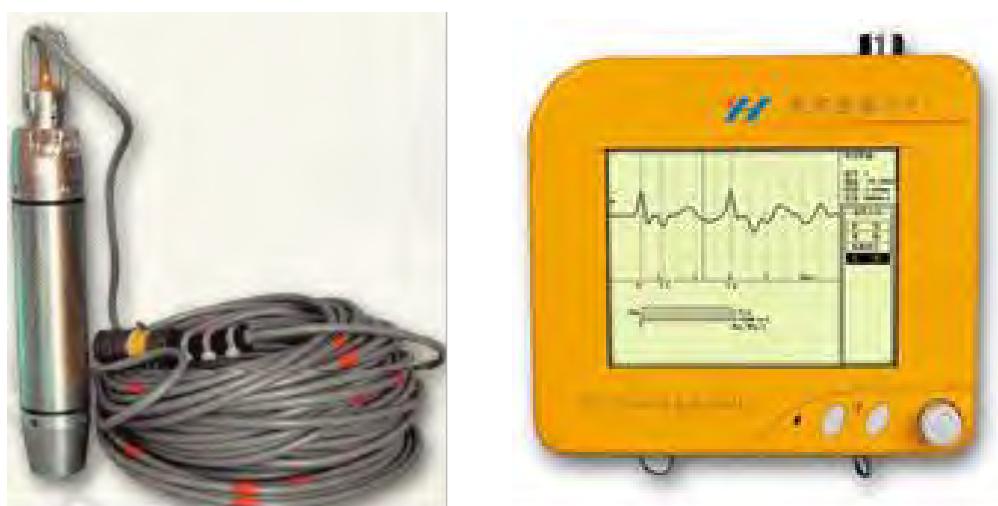


图 5-12 检测仪器

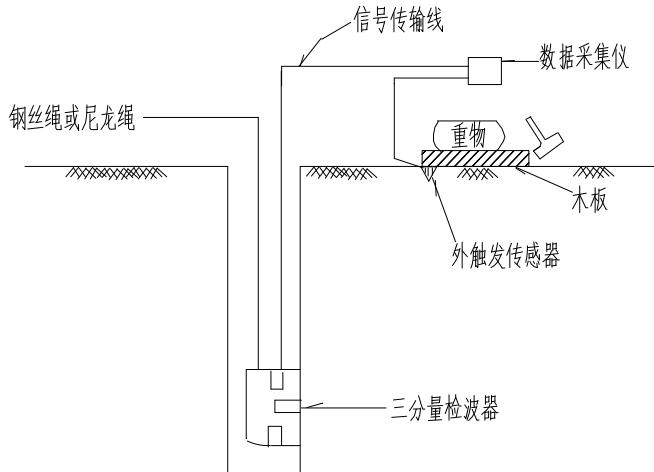


图 5-13 检测设备连接示意图

5.3.3 数据分析

对现场波形进行记录,选择典型的剪切波信号进行频谱分析,确定各自主频,进行带通滤波,以增大信噪比。采用水平拾振器记录的波形确定剪切波的初至时间。

波从振源到达测点的时间,按下列公式进行斜距校正:

$$T = K \times T_L$$

$$K = \frac{H + H_0}{\sqrt{S^2 + (H + H_0)^2}}$$

式中: T —波从振源到达测点经斜距校正后的时间(ms);

T_L —波从振源到达测点的实测时间(ms);

K —斜距校正系数;

H —测点的深度(m);

H_0 —振源与孔口的高差(m),当振源低于孔口时, H_0 为负值;

S —从板中心到测试孔的水平距离(m)。

以深度 H 为纵坐标,时间 T 为横坐标,绘制时距曲线图。结合地质情况,结合地质情况,可以计算各岩土层的平均速度及等效剪切波速。每一波速层的波速度按下式计算:

$$Vs = \Delta H \cdot \Delta T$$

式中: Vs ——波速层的剪切波速度 (km.s) ;

ΔH ——波速层的厚度 (m) ;

ΔT ——波传到波速层顶面和底面的时间差 (ms) 。

土层的等效剪切波速, 按下列公式计算:

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

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

式中: v_{se} ——土层等效剪切波速 (m.s) ;

d_0 ——计算深度 (m), 取覆盖层厚度和 20m 两者的较小值;

t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间;

d_i ——计算深度范围内第 i 土层的厚度 (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。

5.3.4 测试结果

本工程场区共完成 12 个勘探孔的土层剪切波速实测, 对应的剪切波测试成果见表 5-4, 具体见附件 2。

表 5.4 钻孔剪切波测试成果表

孔号	地层名称	测试范围	Vs
		(m)	(m. s)
ZK1	碎石填土	0.0~10.0	148~204
	强风化泥岩	~12.0	516~527
ZK2	碎石填土	0~3.0	173~189
	强风化泥岩	~6.0	517~533
ZK3	强风化泥岩	0.0~10.0	509~532

ZK4	碎石填土	0.0~15.0	153~194
	粉质粘土	~17.0	171~177
	强风化泥岩	~22.0	506~526
ZK5	碎石填土	0.0~5.0	148~189
	强风化泥岩	~7.0	524~539
ZK6	碎石填土	0.0~17.0	144~211
	强风化泥岩	~20.0	515~542
ZK7	碎石填土	0.0~2.0	180~187
	强风化泥岩	~4.0	509~522
ZK8	碎石填土	0.0~9.0	155~186
	强风化泥岩	~11.0	519~528
ZK9	强风化泥岩	0.0~2.0	513~524
ZK10	强风化泥岩	0.0~1.0	519~526
ZK11	碎石填土	0.0~2.0	183~186
	强风化泥岩	~5.0	513~528
ZK12	强风化泥岩	~3.0	508~514

5.4 目标区类别划分

依据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)，建筑场地覆盖层厚度的确定，应符合下列要求：

- 1) 一般情况下，应按地面至剪切波速大于 500m.s 且其下卧各层岩土的剪切波速均不小于 500m.s 的土层顶面的距离确定。
- 2) 当地面 5m 以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速 2.5 倍的土层，且该层及其下卧各层岩土的剪切波速均不小于 400m.s 时，可按地面至该土层顶面的距离确定。
- 3) 剪切波速大于 500m.s 的孤石、透镜体，应视同周围土层。

4) 土层中的火山岩硬夹层, 应视为刚体, 其厚度应从覆盖土层中扣除。

场地土类型划分和剪切波范围应符合表 5.5 规定。

表 5.5 场地土类型划分和剪切波范围表

场地土类型	岩土名称和形状	剪切波 V_s 速度范围 (m.s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$V_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石, 密实的碎石土	$800 \geq V_s > 500$
中硬土	中密、稍密碎石类土, 密实、中密砾、粗、中砂, $f_{ak} > 150 \text{ kPa}$ 的粘性土、粉土和坚硬黄土)	$250 < V_s \leq 500$
中软土	稍密砾、粗、中砂, 除松散的粉细砂, $f_{ak} \leq 150 \text{ kPa}$ 的粘性土和粉土, $f_{ak} > 130 \text{ kPa}$ 的填土	$150 < V_s \leq 250$
软弱土	淤泥和淤泥质土, 松散的砂, 新近沉积的粘性土、粉土和流塑状黄土, $f_{ak} \leq 130 \text{ kPa}$ 的填土, 流塑黄土	$V_s \leq 150$

(注: f_{ak} 为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值, V_s 为岩土剪切波速)

建筑的场地类别应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按下表划分(如表 5.6 所示), 当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度且其值处于表中所列场地类别的分界线附近时应允许按插值方法确定地震作用计算所用的设计特征周期。

表 5.6 场地类别划分表

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速 V_{se} (m.s)	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
$V_{se} > 800$	0				
$800 > V_{se} > 500$		0			
$500 \geq V_{se} > 250$		<5	≥ 5		
$250 \geq V_{se} > 150$		<3	$3 \sim 50$	> 50	

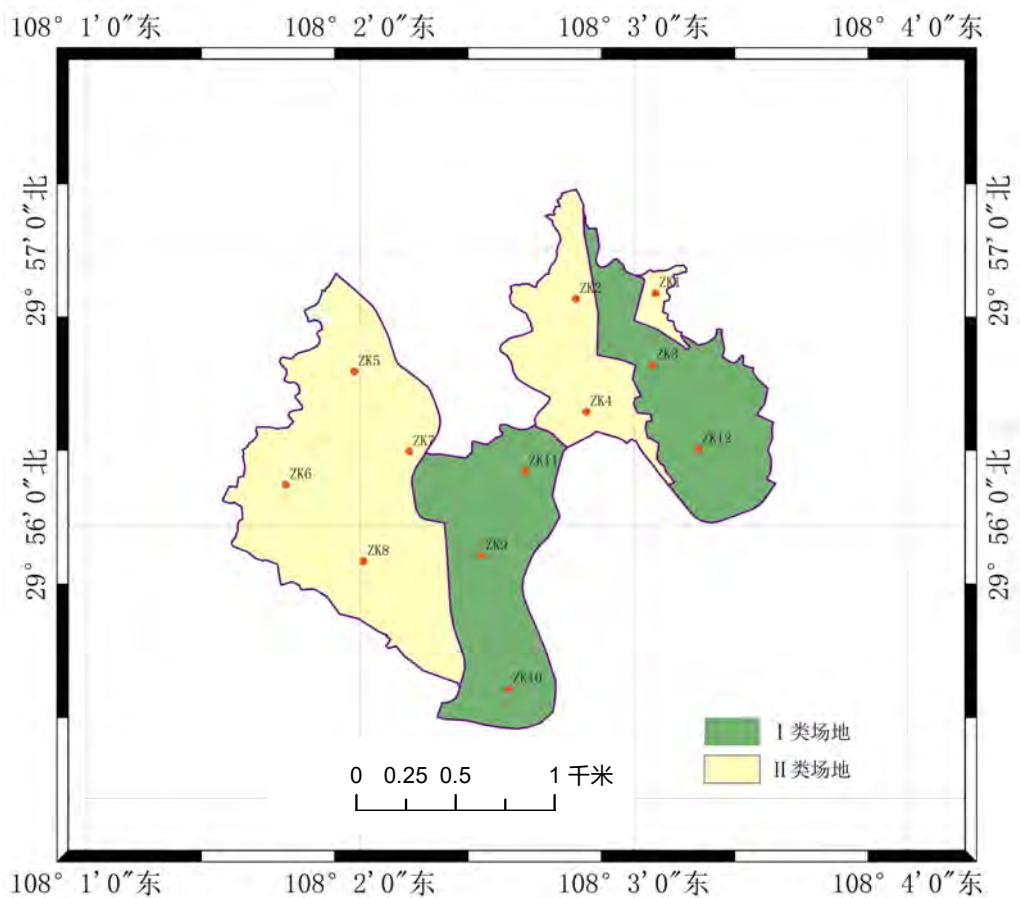
$V_{se} \leq 150$		<3	$3 \sim 15$	$15 \sim 80$	>80
-------------------	--	------	-------------	--------------	-------

本场地地下无火山岩硬夹层、剪切波速大于 500m.s 的孤石、透镜体等，场地覆盖层厚度按地面至剪切波速大于 500m.s 的土层顶面的距离确定。根据钻孔剪切波速测试数据计算，可确定钻孔等效剪切波速、覆盖层厚度，根据以上规范进而确定场地类别。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版）4.1.6 之规定（表 5-1）关于建筑场地类别划分，本目标区控制点 ZK3、ZK7、ZK9、ZK10、ZK11、ZK12 覆盖层厚度小于 3m，属于 I₁ 类场地，控制点 ZK1、ZK2、ZK4、ZK5、ZK6、ZK8 覆盖层厚度 3~17.9m，且等效剪切波速大于 150m.s，属于 II 类场地。场地类别划分如表 5-7 所示。根据调钻探资料结合现场调查结果进行场地类别划分，场地类别划分图如图 5-14 所示，其中黄色为 II 类场地，绿色为 I₁ 类场地。

表 5.7 钻孔场地类别划分表

钻孔编号	V_{se} (m.s)	覆盖层厚度*(m)	场地土类型	场地类别
ZK1	176	10.4	中软土	II
ZK2	188	3.9	中软土	II
ZK3		0.9	基岩	I ₁
ZK4	188	17.0	中软土	II
ZK5	182	5.8	中软土	II
ZK6	187	17.90	中软土	II
ZK7		0.7	基岩	I ₁
ZK8	192	9.60	中软土	II
ZK9		0.7	基岩	I ₁
ZK10	183	0.8	基岩	I ₁
ZK11		2.0	基岩	I ₁
ZK12		0.5	基岩	I ₁



5-14 场地类别划分图

5.5 高密度电阻率法勘察

地震活动断层破坏效应通常是在强震极震区，由穿透至地表的地震断层位错，产生地面垂直与水平的变形现象，在断层位错地段的建筑物因地基失稳而破坏，这是一种破坏力很大而且难以设防的地震灾害。为探测工业园区内是否存在隐伏断层构造，本项目采用了高密度电阻率法对园区进行了野外勘探。

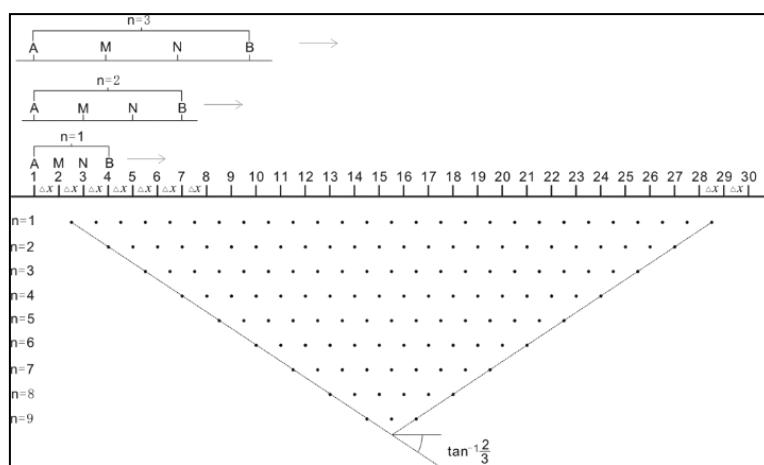
5.5.1 方法原理

高密度电阻率法是以岩、土导电性的差异为基础，研究人工施加稳定电流场的作用下地中传导电流分布规律的一种电探方法。因此，它的理论基础与常规电阻率法相同，所不同的是方法技术。高密度电阻率法野外测量时只需将全部电极（几十至上百根）置于观测剖面的各测点上，然后利用程控电极转换装置和微机工程电测仪便可实现数据的快速和自动采集，当将测量结果送入微机后，还可对数据进行处理并给出关于地电断面分布的各种图示结果。高密度电阻率法是集测深和剖面法于一体的一种多装置、多极距的组合方法，它具有一次布极即

可进行多装置数据采集以及通过求取比值参数而能突出异常信息的特点。由于高密度电阻率法的上述特点，相对于常规电阻率法而言，它具有以下特点：电极布设是一次完成的，这不仅减少了因电极设置而引起的故障和干扰，而且为野外数据的快速和自动测量奠定了基础。能有效地进行多种电极排列方式的扫描测量，因而可以获得较丰富的关于地电断面结构特征的地质信息。野外数据采集实现了自动化或半自动化，不仅采集速度快（大约每一测点需2~5s），而且避免了由于手工操作所出现的错误。可以对资料进行预处理并显示剖面曲线形态，脱机处理后还可自动绘制和打印各种成果图件。与传统的电阻率法相比，成本低，效率高，信息丰富，解释方便。目标区岩层产状较为平缓，主要为砂岩和泥岩，水文地质条件较为简单。根据现场调查以及钻探资料，目标区的基岩广泛出露，土层较薄。当断层穿过目标区时，会使局部岩层产状发生变化，出现局部破碎带，在电法勘探成果反演剖面上会出现明显的异常带。

5.5.2 装置形式和仪器设备

本次勘探选用温纳装置，温纳装置深部浅部均有较大的一次场电压值，在地面干燥，接地电阻较大，供电电流较小时也能有较高的信噪比，地形起伏的造成的干扰也较小。它是一种特殊的对称四极装置，其特点是MN与AB始终保持1:3的关系，即AM=MN=NB，电极排列方式见图5-15。



5-15 温纳装置排列及测点分布示意图

电极的排列长度和电极间距的大小直接影响对地下目标体的反映能力，通常，电极间距越小，对目标体的探测精度会越高，但如果电极数不变，电极间距越小，意味着电极排列长度会变短，从而会减小探测深度，影响对埋深较大目标体的探测能力。因此需依据工作任务合理选择电极间距，本次高密度电阻率法测

量主要为探测隐伏断层构造，结合经验，确定最小电极距 5m，一次布设电极 60 个，最大间隔系数 19。供电模式选择标准模式，即“正供-停供-负供-停供-正供-停供”，供电时间选择 2s。

本次勘察使用重庆顶峰地质勘探仪器有限公司生产的 EDGMD-3 分段集中式高密度测量系统进行数据采集，施工使用的主要仪器设备见图 5-16。



图 5-16 EDGMD-3 分段集中式高密度测量系统

5.5.3 工作方法

1. 工作布置

根据本次勘探工作的目的任务，在工业园区沿岩层倾向和走向分别布置 2 条测线，见图 5-17，其中测线 1-1'，长度 2740m，测线 2-2'，长度 2480m。剖面总长 5220m，物理点 524 个。

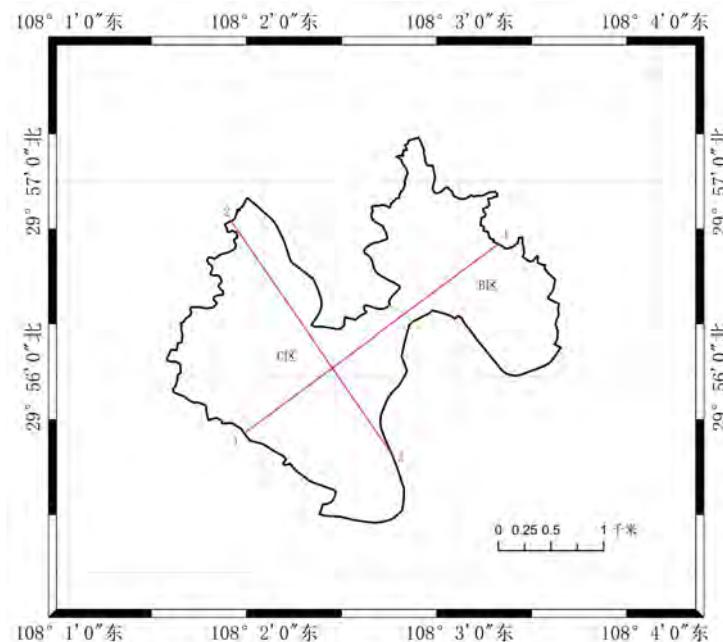


图 5-17 物探剖面线

采用温纳装置形式，电极距 10m，120 道滚动采集，最大隔离系数 19。

表 5-11 物探工作部署

序号	测线号	起点		终点		剖面长度 (m)	物理点 (点)
		X 坐标	Y 坐标	X 坐标	Y 坐标		
1	1-1'	3345499	505949.1	3341911	500292.2	2740	275
2	2-2'	3345497	501280.3	3342260	503964.7	2480	249
合计						5220	524

2. 数据采集

- 1) 工程测量：测线采用 RTK 间隔定位，电极布置按设计点位控制。
- 2) 施工过程中严格按照相关技术规程执行，确保了采集质量。
- 3) 工作区地形切割较大，地表局部基岩出露，接地条件一般，为控制探测深度，采用了较高电压 560V 进行供电。
- 4) 采集前，均进行接地电阻检测，接地电阻不得大于 $2k\Omega$ ，若发现接地电阻过大，则采取浇水等措施降低接地电阻值，改善接地条件。
- 5) 剖面开始测量前进行电缆绝缘及漏电检查。

3. 资料处理

资料处理采用瑞典 RES2DINV 高密度电法反演软件对地质模型进行反演拟合计算，得到二维反演成果。具体流程如下（见图 5-18）：

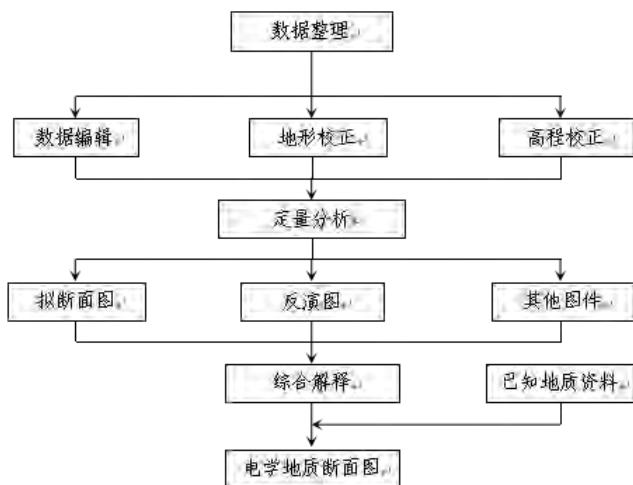


图 5-18 高密度电法资料处理流程图

1) 畸变点剔除

在数据采集过程中，对由仪器、人为错误、外界干扰或电极接地不良等产生

的量值较大的虚假或突变的“尖点”数据，进行剔除和插值替换处理。

2) 数据平滑

在测量过程中存在天然场噪声以及各种人文噪声，会形成各种干扰，对采集的数据进行滤波处理，以消除随机干扰，但需要注意的是要合理选择滤波参数，以兼顾最大程度消除干扰和保留有效信息。

3) 数据拼接与格式转换

在高密度电阻率法测量中，对同一测线上多个数据断面要进行拼接，使之成为一个完整的数据断面。为实现长剖面数据的有效拼接，在采集数据时合理设置滚动电极数以兼顾探测深度与工作效率。本次高密度长剖面测量时，设置每次滚动 30 道电极。采用 WDAFC 格式转换软件对同一测线多个数据断面进行自动拼接，对重叠数据作算术平均处理，且进行数据格式转换以支持后续反演程序。

4) 反演计算

反演计算采用二维反演软件 Res2dinv。反演之前依已掌握的地质资料结合目标体规模等信息，合理设置阻尼参数、网格尺寸、层厚、迭代次数等以使反演迅速收敛，均方误差 RMS 无明显变化为宜。

5.5.5 成果解释

结合相关地质资料，根据电阻率断面图中视电阻率值的大小、异常的形态等特征，对第四系覆盖层、基岩完整性等情况进行判释。

工作区浅部 50m 以内基岩为侏罗系上统沙溪庙组泥岩，第四系覆盖层厚度约 1~17m。地表为人工填土和粉质黏土，电阻率相对较低，在电性断面上表现为条带状低阻特征；砂岩、泥岩和粉质粘土电性差异大，完整的砂岩、泥岩呈高阻反应；断层及破碎带，与完整围岩相比，为相对低阻特征。

因此，物探解释将浅地表电断面呈低阻条带特征的异常推断为第四系覆盖层，深部高阻体推断为基岩，局部低阻异常结合地质情况及地表现象综合解释。

(1) 剖面 1-1'

电性断面分层较明显，里程 250-450m，埋深 0~15m 段，里程 1790-1940m，埋深 0-20m 段，为横向条带状低阻特征，视电阻率约 $<100 \Omega \cdot m$ ，推断为第四系覆盖层。深部总体呈高阻特征，视电阻率 $>700 \Omega \cdot m$ ，推断岩体较完整，未见明显的断层发育迹象。基岩面起伏较大，局部呈中低值，推断岩层风化程度较高，

强风化带岩石完整性程度较破碎，尤其是地形切割较大的区域，砂泥岩层风化形成碎屑岩的现象更明显。见附图 5-19，整个断面无明显断层反映。

（2）剖面 2-2'

460~1980m 段：电性断面分层较明显，浅部 0~20m 段为横向条带状低阻特征，视电阻率约 $<100 \Omega \cdot m$ ，推断为第四系覆盖层，局部呈高阻异常，推断为地表人工构建筑物、人工填土等高阻体。深部总体呈高阻特征，视电阻率 $>700 \Omega \cdot m$ ，推断岩体较完整，未见明显的断层发育迹象。基岩面起伏较大，局部呈中低值，推断岩层风化程度较高，强风化带岩石完整性程度较破碎，尤其是地形切割较大的区域，泥岩层风化形成碎屑岩的现象更明显，见附图 5-20，整个断面无明显断层反映。

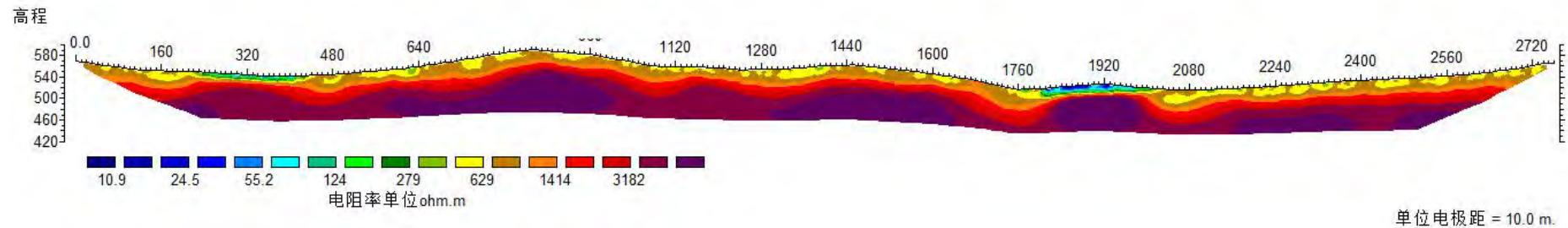


图 5-19 剖面 1-1' 里程 0~2500m 段反演成果图

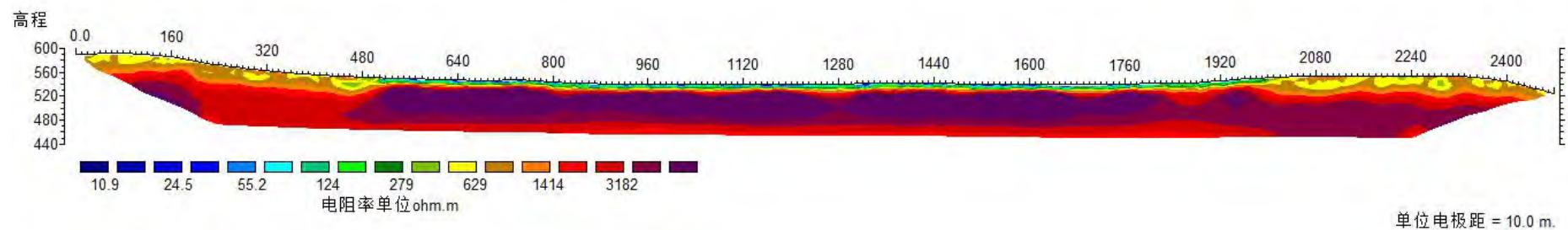


图 5-20 剖面 2-2' 里程 2200~4700m 反演成果

5.5 地震地质灾害初步评价

5.5.1 滑坡、崩塌

目标区处于石柱下路镇，目标区为丘陵地貌，主要为倾向长江、槽谷的斜坡，地形坡度一般为 $10\text{~}20^\circ$ ，局部较陡，为定量描述目标区地震地质灾害的可能性，根据重大目标区地震安全性评价标准，对目标区及其附近区域进行滑坡和崩塌的定量评价。本次报告主要根据斜坡坡度危险度分级因子（表 5-6）、地震峰值加速度危害度分级因子（表 5-7）、 S_r 岩土体危险性分级因子（表 5-8）、地震崩塌滑坡危险性指数 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（表 5-9）。

$$H = S_a \times S_p \times S_r$$

式中：

S_a —斜坡坡度危险度分级因子；

S_p —地震峰值加速度危险度分级因子；

S_r —斜坡坡度危险度分级因子；

表 5-6 斜坡坡度危险因子 S_a

滑坡坡度（ $^\circ$ ）	≤ 20	$21\text{~}40$	>40
崩塌坡度（ $^\circ$ ）	≤ 40	$41\text{~}60$	>60
程度	低	中等	高
S_a	1	2	3

表 5-7 地震峰值加速度危害度分级因子

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

表 5-8 岩土体危险度分级因子

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

5.9 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

利用目标区地形图生成目标区 DEM, 并进行目标区地形坡度分析, 如图 5-21 所示。

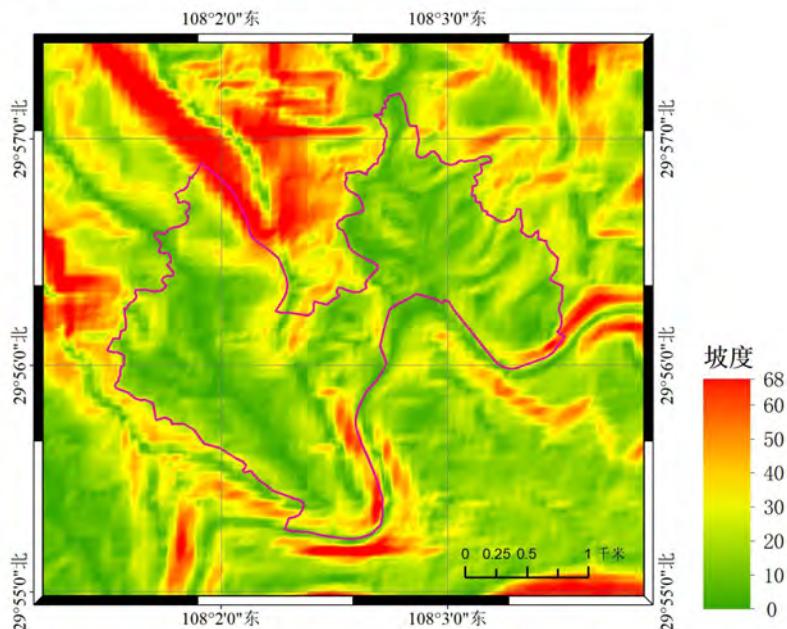


图 5-21 坡度分级图

根据目标区坡度分级图, 可以发现目标区地形根据目标区坡度分级图, 可以发现目标区地形坡度大多位于 $10\text{~}20^\circ$, 部分区域坡度 $30\text{~}40^\circ$, 在场地的边界部分坡度大于 60° 。目标区内斜坡危险性分级因子 (S_a) 1 和 2 均有分布。根据第五代地震区划图《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015) 的规定, 目标区位于重庆市石柱, 目标区地震峰值加速度为 $0.05g$, 地震动反应谱特征周期值

为 0.35s。根据《建筑抗震设计规范》（GB5011-2010）（2016 版），目标区地震抗震设防基本烈度值为 VI，根据表 5-8，当地震烈度为 VI~VII 时，其地震峰值加速度危害度分级因子 S_p 取值为 2。目标区地层岩性为侏罗系上统沙溪庙组砂泥岩，岩体较破碎，节理裂隙发育，主要呈中风化状态，因此岩土体危险度分级因子 S_r 取值为 2。

因此，当坡度 $\leq 20^\circ$ 时：

$$H = S_a \times S_p \times S_r = 1 \times 2 \times 2 = 4 \quad \text{地震地质灾害危险程度低}$$

当 $20^\circ < \text{坡度} \leq 40^\circ$ 时：

$$H = S_a \times S_p \times S_r = 2 \times 2 \times 2 = 8 \quad \text{滑坡地震地质灾害危险程度中等}$$

$$H = S_a \times S_p \times S_r = 1 \times 2 \times 2 = 4 \quad \text{崩塌地震地质灾害危险程度低}$$

当 $40^\circ < \text{坡度} \leq 60^\circ$ 时：

$$H = S_a \times S_p \times S_r = 3 \times 2 \times 2 = 12 \quad \text{滑坡地震地质灾害危险程度中等}$$

$$H = S_a \times S_p \times S_r = 2 \times 2 \times 2 = 8 \quad \text{崩塌地震地质灾害危险程度中等}$$

当坡度 $> 60^\circ$ 时：

$$H = S_a \times S_p \times S_r = 3 \times 2 \times 2 = 12 \quad \text{滑坡地震地质灾害危险程度中等}$$

$$H = S_a \times S_p \times S_r = 3 \times 2 \times 2 = 12 \quad \text{崩塌地震地质灾害危险程度中等}$$

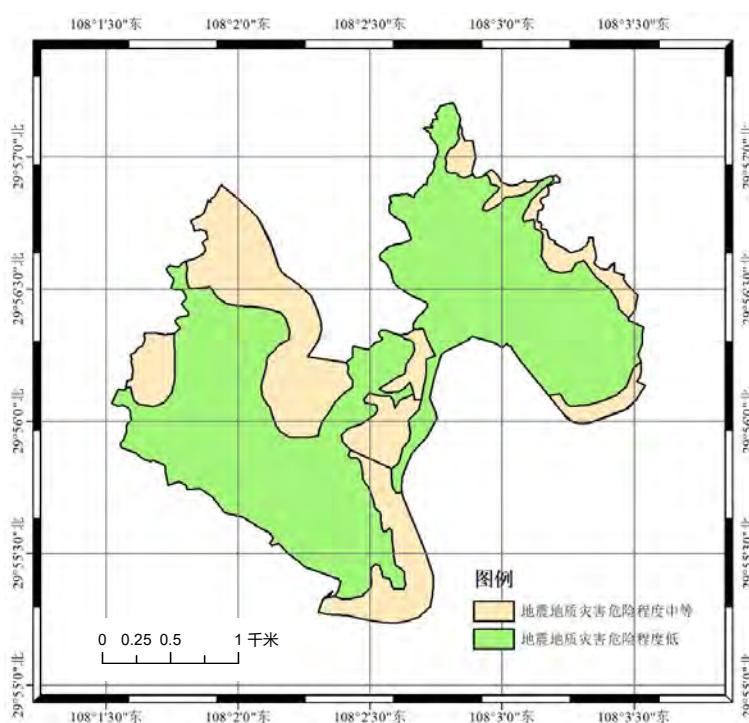


图 5.22 滑坡崩塌地震地质灾害危险程度分区图

在场地的边界附近由于场地平场产生高陡边坡，边坡主要有砂泥岩组成，上覆土层较薄，发生滑坡的可能性较小，在地震作用下可能发生崩塌地质灾害。场地内局部填土较厚，但是坡度较缓，仅在局部坡度较陡处容易发生地震滑坡，危险性中等。根据场地现场调查结合滑坡崩塌地震地质灾害定量分析结果，对场地内发生滑坡和崩塌地质灾害的危险程度进行分区，如图 5.22 所示，从图中可以看出当地震烈度为 VI~VII 度时，场地内大部分区域发生滑坡崩塌地震地质灾害的危险程度较低，危险程度中等的区域多位于场区的边界。当地震烈度超过 VII 度时，场地内大部分区域发生滑坡崩塌地震地质灾害的危险程度中等，场地的外围边坡以及陡崖带发生滑坡以及崩塌的危险程度高。

5.5.2 砂土液化

根据本目标区工程地质条件，结合现场钻探揭露和实地踏勘调查，场地内未见砂土，根据《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 判定，场地不具备发生地震液化的条件，因此不存在砂土液化的可能性。

5.5.3 软土震陷

本工程现状已经进行了部分开挖，加上位于城区建设区，部分地段有进行过挖填方处理，对于填方土层较厚的地区可能产生震陷，建议后期压实处理。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表 5-10 所列数值时，可不考虑软土震陷所造成的影响。

表 5-10 等效剪切波速及承载力特征值

抗震设防烈度	7	8	9
承载力特征值 f_a (kPa)	>80	>100	>120
等效剪切波速 V_{se} (m.s)	>90	>140	>200

根据工程勘探资料，分布于场地内的填土和粉质黏土为中软土，剪切波速大于 140(m.s)，小于 200(m.s)，由表 5-10 可见，场地内分布的粉质黏土，中小震和

中震水准时，发生震陷的可能性不大；但在大震（超越概率为 50 年 2% 和 100 年 3% 及更低）作用下，有产生震陷的可能，需加以注意。

目标区原始地貌属剥蚀丘陵地貌，构造上处于石柱向斜南端西翼，岩层单斜产出，场内及邻近未发现有断层通过，岩层产状平缓，所以场地没有因地震断层作用而导致的地表错动、地面变形等地震地质灾害的可能性；场地不存在砂土和粉土，不存在砂土液化的基础。根据勘察资料和规范，地震烈度Ⅶ度及Ⅶ度以下时，产生有害震陷的可能性较小，可不考虑软土震陷。场地大部分区域发生滑坡、崩塌等地震地质灾害的可能性较小，局部坡度较陡的地方发生滑坡、崩塌等地震地质灾害，目标区地震地质灾害分布图如图 5-23 所示。

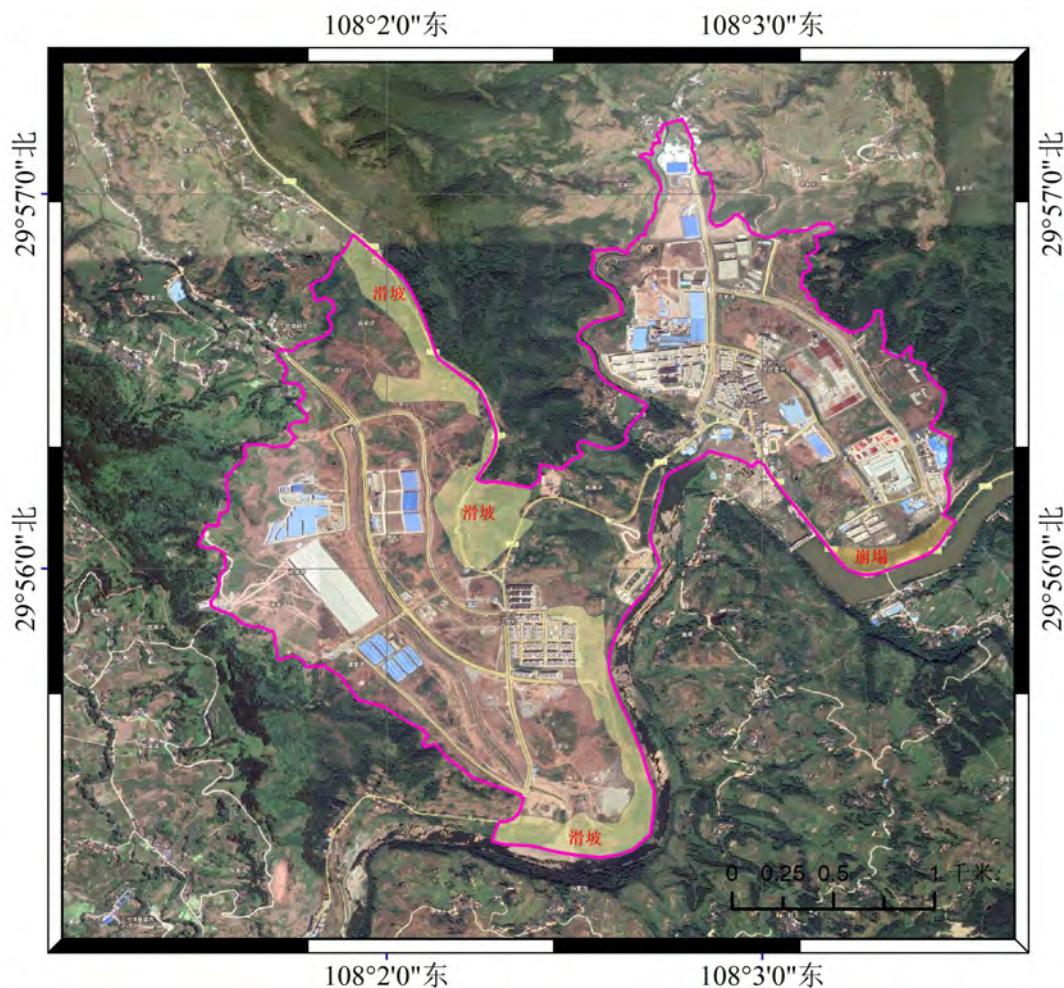


图 5-23 目标区地震地质灾害分布图

6 场地设计地震动参数确定

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，给出与场地相关的地震动加速度时程，供拟建工程建设抗震设计使用。

6.1 基岩人工合成地震动时程

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， $t_2 - t_1$ 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：

$$\begin{aligned} \log T_s &= -2.268 + 0.3262M + 0.5815\log(R+10.0) + \varepsilon \\ \log T_1 &= -1.074 + 1.005\log(R+10.0) + \varepsilon \\ \log C &= 1.941 - 0.2817M - 0.5670\log(R+10.0) + \varepsilon \end{aligned}$$

其中: T_s : 峰值平稳段的持时, 即 $t_2=t_1+T_s$;

M: 等效震级;

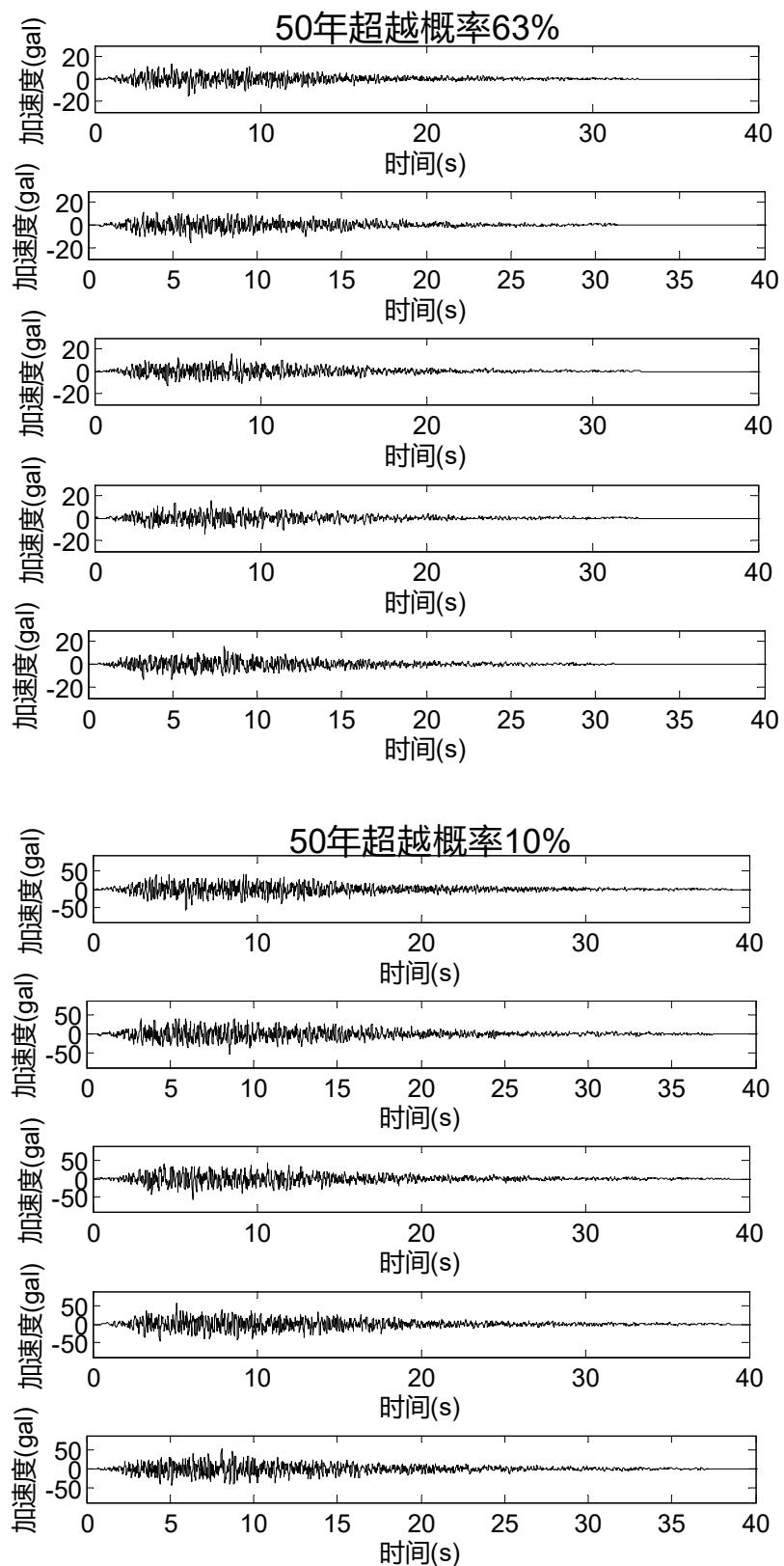
R: 等效震中距。

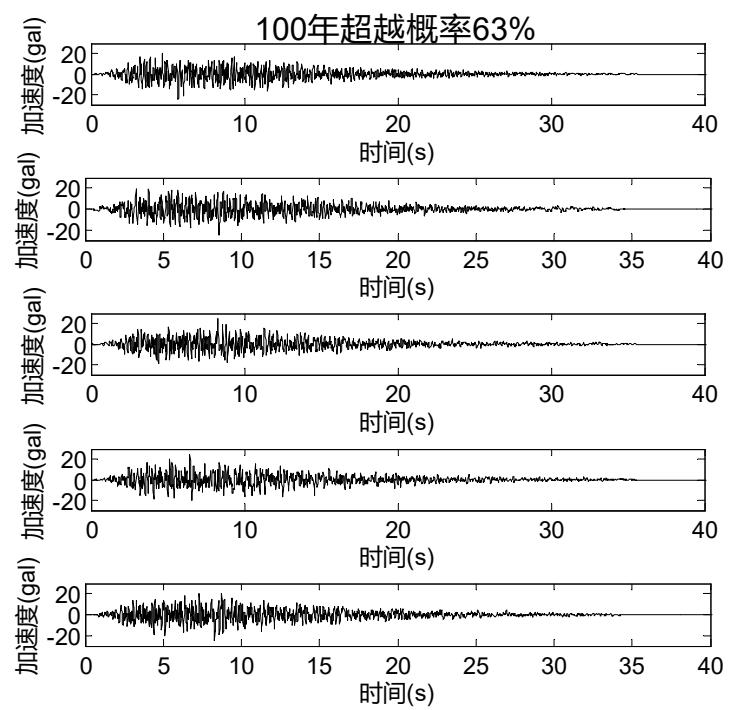
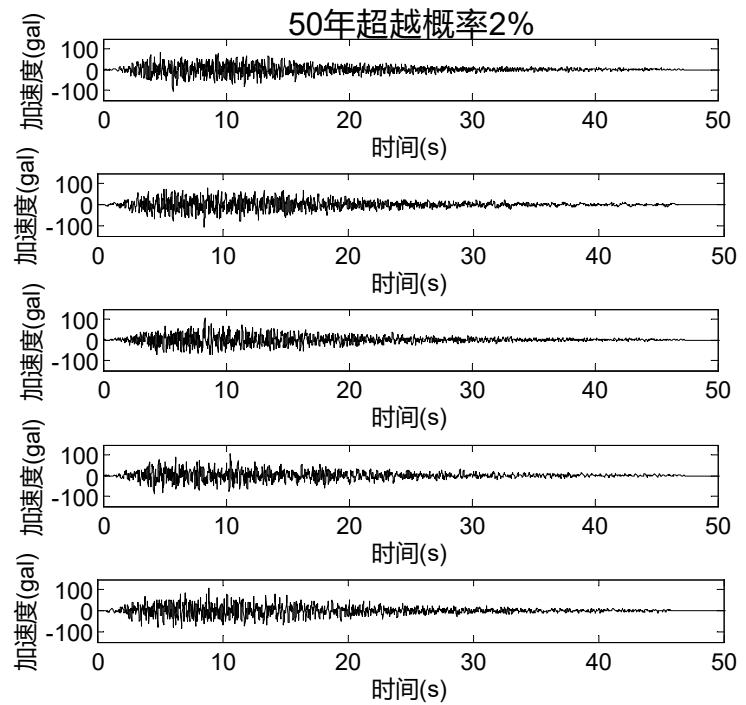
地震动持时参数的确定, 采用地震危险性分析结果与地震动时程合成过程中地震动能量匹配的原则, 即以地震危险性分析所得等效震级与距离, 以及由地震动持时参数统计经验关系所得的地震动持时参数作为参考, 在地震动时程合成过程中, 综合考虑地震动反应谱与强度包线之间的匹配情况, 调整地震动持时参数值, 并加以最终确定。表 6-1 给出了综合评判场地地震动包络函数参数。

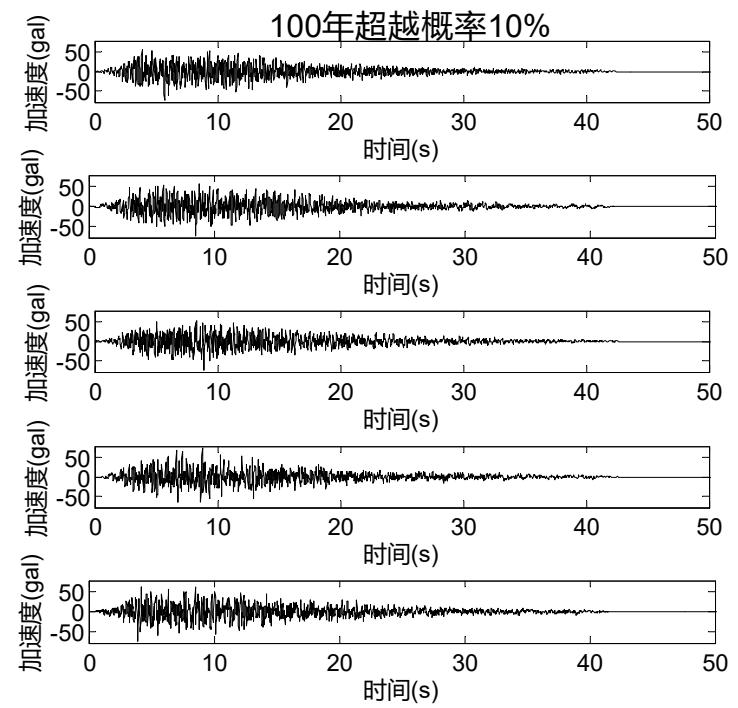
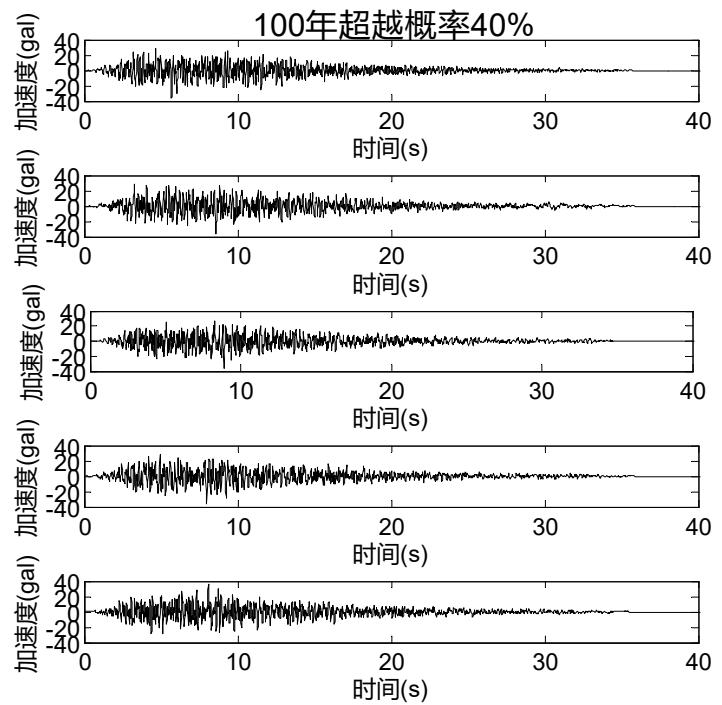
表 6-1 场地地震动包络函数的参数

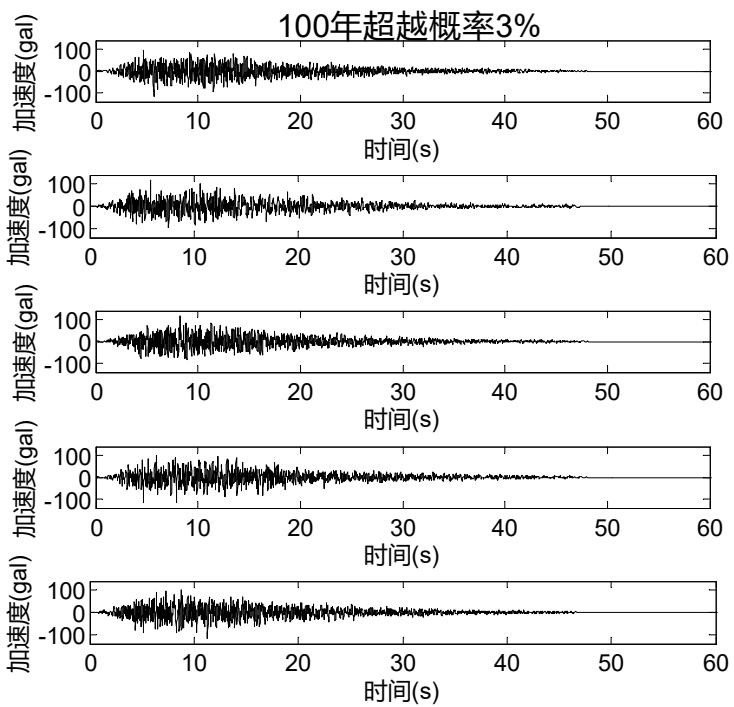
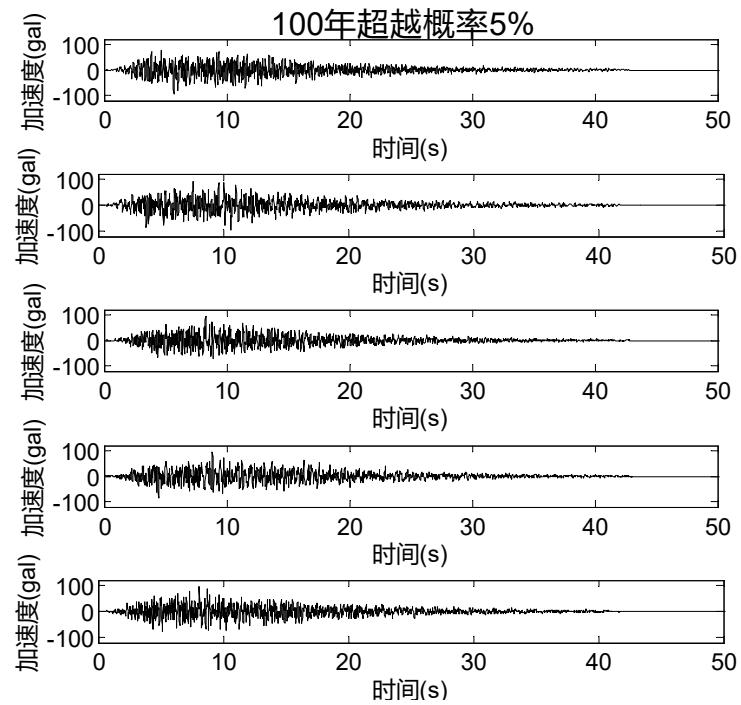
超越概率	地震动包络函数参数		
	t1(s)	t2(s)	c
50 年 63%	3	8	0.12
50 年 10%	3.5	9	0.10
50 年 2%	4	10	0.08
100 年 63%	3.2	8.4	0.11
100 年 40%	3.3	8.7	0.11
100 年 10%	3.7	9.4	0.09
100 年 5%	3.9	9.7	0.09
100 年 3%	4.5	10.8	0.08
100 年 2%	5	11.5	0.08
100 年 1%	5.5	12.5	0.08

按 50 年超越概率 63%、10%、2% 以及 100 年超越概率 63%、40%、10%、5%、3%、2%、1% 各合成 3 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%。10 种不同超越概率的基岩人工合成地震动时程见图 6-1。









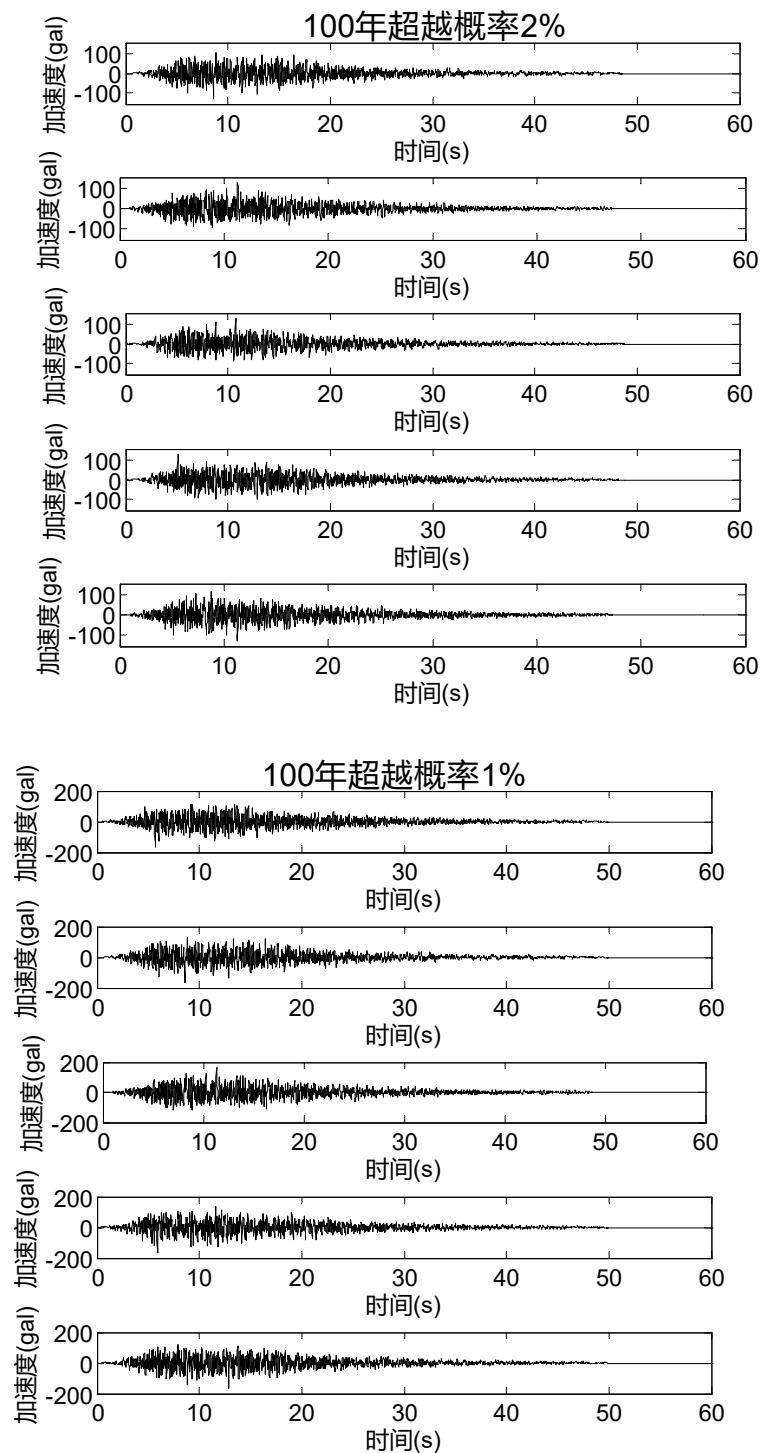


图 6-1 人工合成基岩地震动时程

6.2 场地设计地震动参数的确定

6.2.1 场地地震反应分析模型及其参数确定

根据第 5 章的目标区地震工程地质条件勘测可知，本项目局部土层较厚，根

据《目标区地震安全性评价》(GB17741-2005), 需要进行土层反应分析, 根据地表的结果确定场地设计地震动参数。

据第5章目标区地震工程地质条件可知, 场地包含I₁、II类场地, 对I₁类场地, 直接根据概率地震危险性分析结果作为规准的依据确定场地设计地震动参数, 对于II类场地, 需进行场地地震反应得到地表的结果进行规准确定场地设计地震动参数。

在目标区选取II类场地内的所有钻孔即ZK1、ZK2、ZK4、ZK5、ZK6、ZK8, 建立场地土层模型进行土层反应分析。土层柱状剖面参数见表6-2~6-7, 本场地土层剪切波速采用物探实测结果作为建模的依据, 土层容重采用经验数值。碎石填土采用《目标区地震安全性评价工作规范(DB001—94)》中回填土的土非线性参数, 粉质黏土采用实验结果, 见表6-8。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(1995)推荐“地震安全性评价计算程序包(ESE)”。

表6-2 ZK1钻孔土层柱状剖面参数

孔号	剪切波速 Vs(m.s)	容重(g.cm ³)	厚度(m)	土类序号
ZK1	187	2	1	1
	181	2	1	1
	186	2	1	1
	177	2	1	1
	154	2	1	1
	148	2	1	1
	159	2	1	1
	183	2	1	1
	189	2	1	1
	204	2	1.7	1
	516	2.4		3

表 6-3 ZK2 钻孔土层柱状剖面参数

孔号	剪切波速 Vs(m.s)	容重(g.cm3)	厚度(m)	土类序号
ZK2	173	2	1	1
	189	2	1	1
	182	2	1	1
	182	2	0.9	1
	521	2.4		3

表 6-4 ZK4 钻孔土层柱状剖面参数

孔号	剪切波速 Vs(m.s)	容重(g.cm3)	厚度(m)	土类序号
ZK4	182	2	1	1
	184	2	1	1
	188	2	1	1
	169	2	1	1
	153	2	1	1
	171	2	1	1
	182	2	1	1
	194	2	1	1
	188	2	1	1
	195	2	1	1
	181	2	1	1
	185	2	1	1
	192	2	1	1
	187	2	1	1
	189	2	1	1
	177	1.98	1	2
	171	1.98	1	2
	526	2.4		3

表 6-5 ZK5 钻孔土层柱状剖面参数

孔号	剪切波速 Vs(m.s)	容重(g.cm3)	厚度(m)	土类序号
ZK5	186	2	1	1
	182	2	1	1
	189	2	1	1
	148	2	1	1
	163	2	1	1
	163	2	0.8	1
	539	2.4		3

表 6-6 ZK6 钻孔土层柱状剖面参数

孔号	剪切波速 Vs(m.s)	容重(g.cm3)	厚度(m)	土类序号
ZK6	193	2	1	1
	182	2	1	1
	176	2	1	1
	144	2	1	1
	156	2	1	1
	161	2	1	1
	179	2	1	1
	188	2	1	1
	201	2	1	1
	189	2	1	1
	197	2	1	1
	194	2	1	1
	208	2	1	1
	211	2	1	1
	206	2	1	1
	199	2	1	1
	196	2	1	1

	196	2	0.9	1
	515	2.4		3

表 6-7 ZK8 钻孔土层柱状剖面参数

孔号	剪切波速 Vs(m.s)	容重(g.cm3)	厚度(m)	土类序号
ZK8	174	2	1	1
	179	2	1	1
	182	2	1	1
	163	2	1	1
	155	2	1	1
	171	2	1	1
	169	2	1	1
	186	2	1	1
	183	2	1	1
	183	2	0.6	1
	519	2.4		3

表 6-8 场地土 $G_d.G_{max}$ — γ 和 $\lambda_d - \gamma$ 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	碎石填土	$G_d.G_{max}$	0.960	0.950	0.800	0.700	0.300	0.200	0.150	0.100
		λ_d	0.025	0.028	0.030	0.035	0.080	0.100	0.110	0.120
2	粉质黏土	$G_d.G_{max}$	0.9958	0.9916	0.9592	0.9217	0.7018	0.5405	0.1905	0.1053
		λ_d	0.0354	0.0413	0.0592	0.0691	0.0989	0.1155	0.1655	0.1932
3	基岩	$G_d.G_{max}$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		λ_d	0.004	0.008	0.010	0.015	0.021	0.030	0.036	0.046

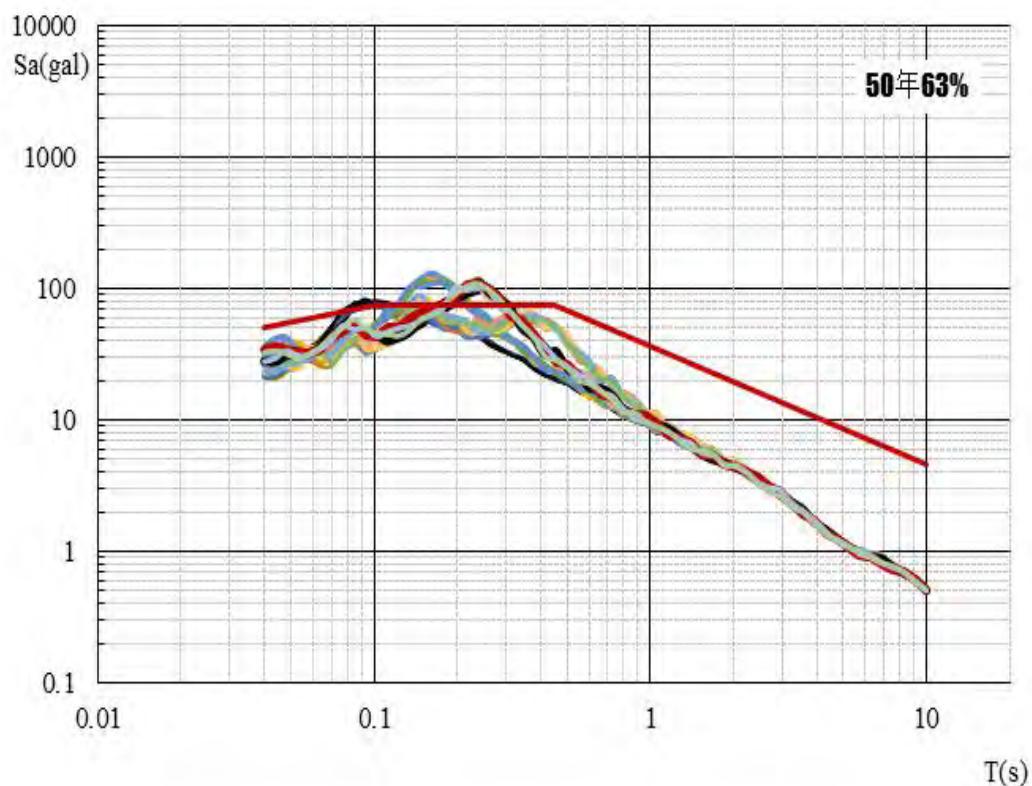
6.2.2 地震输入界面确定

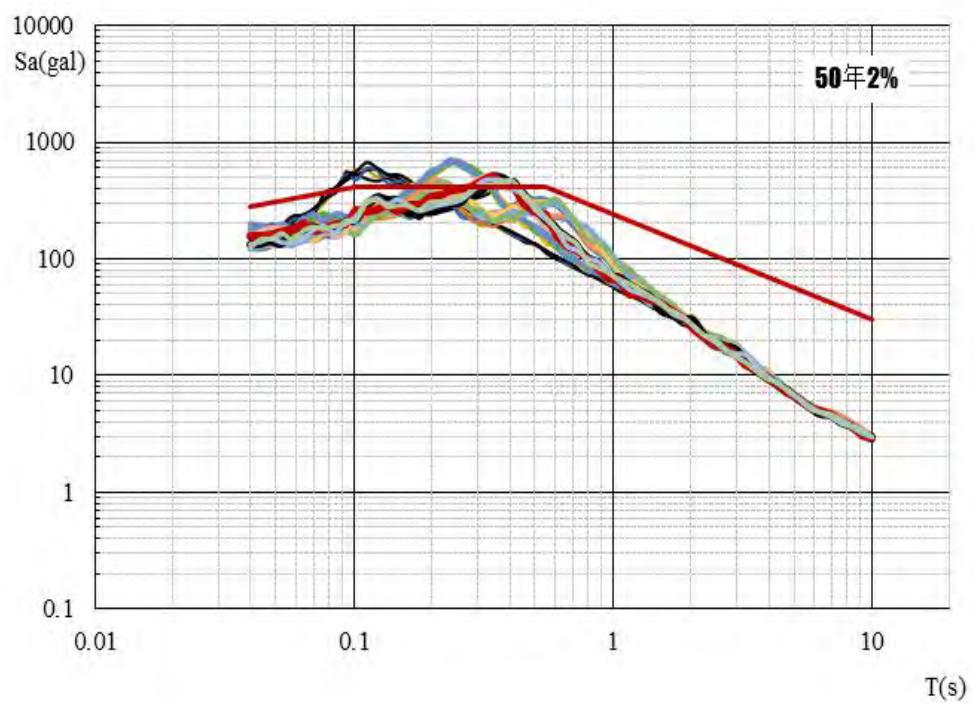
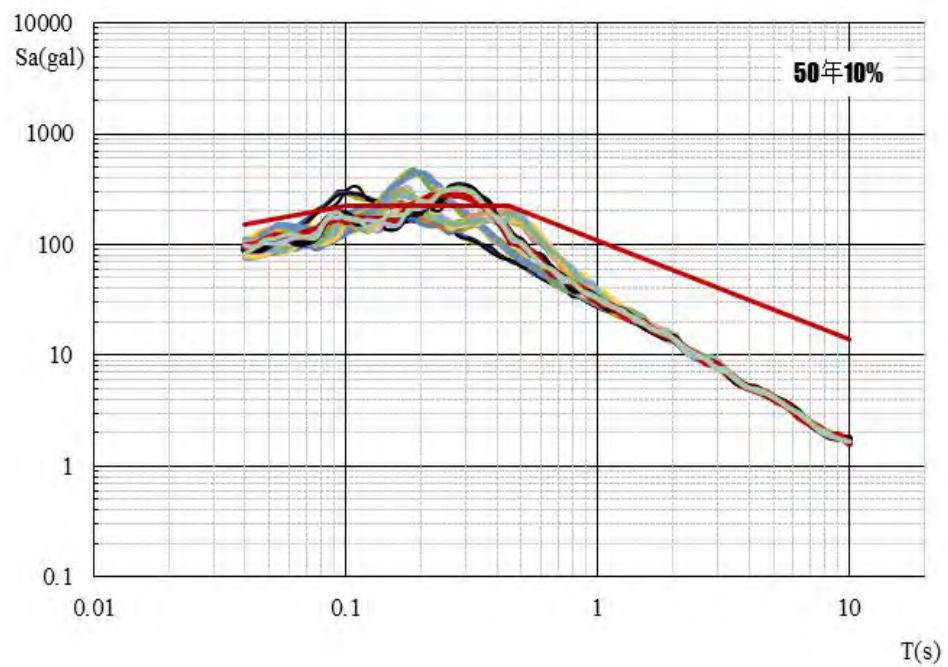
依据钻孔资料和剪切波速测试结果, 确定本目标区地震输入界面。本工程采用剪切波速值大于 500 米/秒的土层顶面作为计算输入界面。

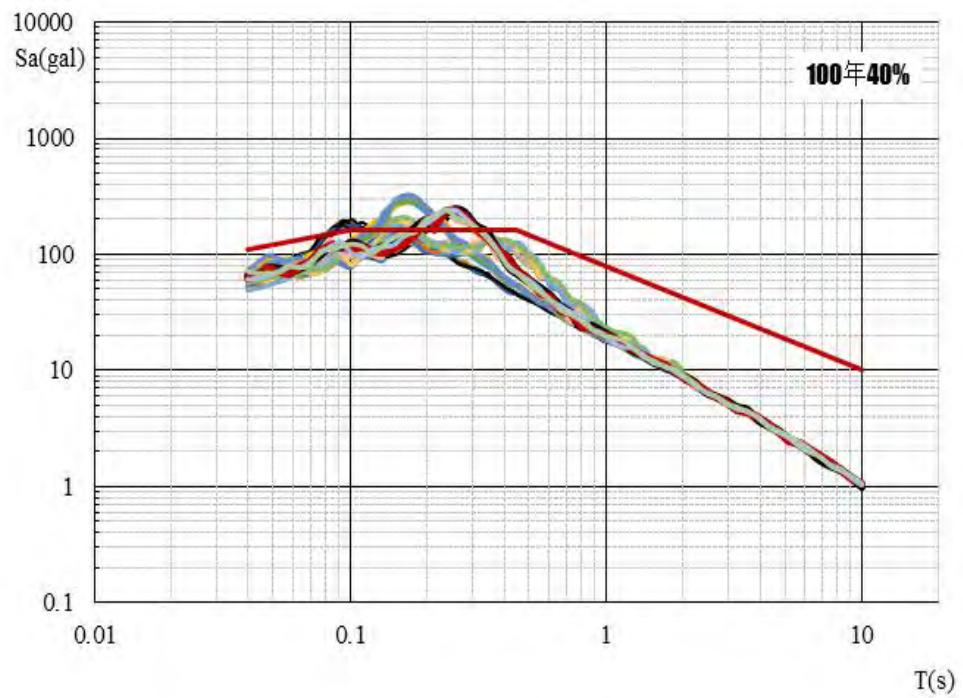
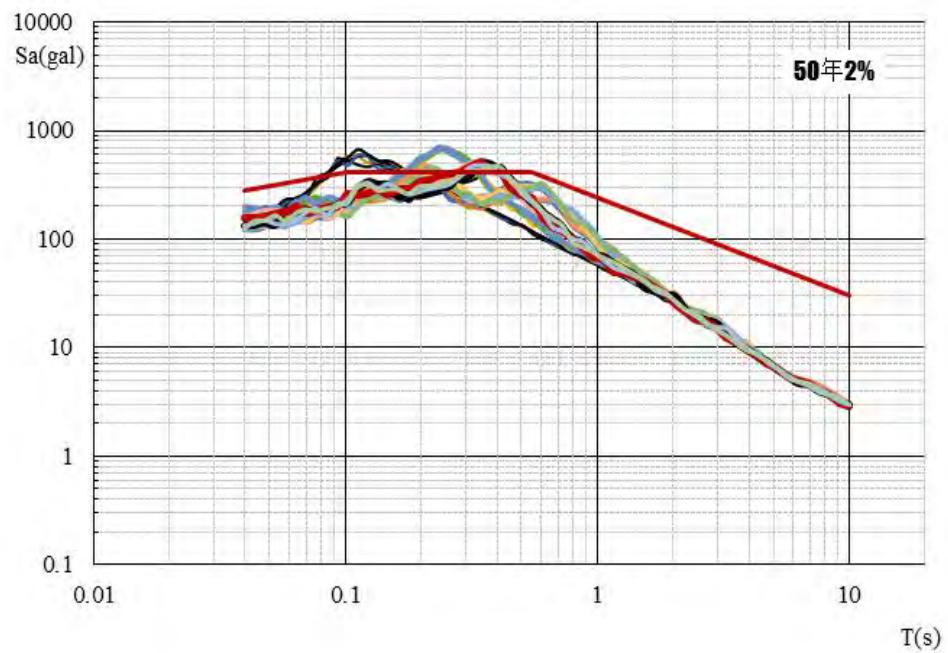
6.2.3 场地地震动计算反应谱

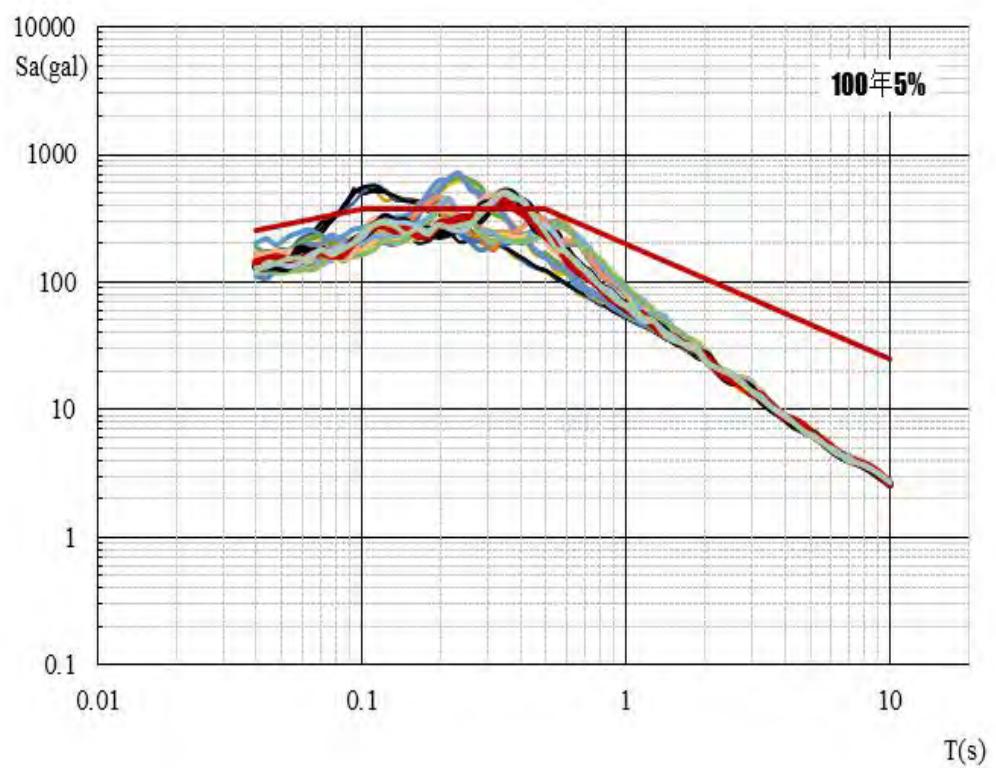
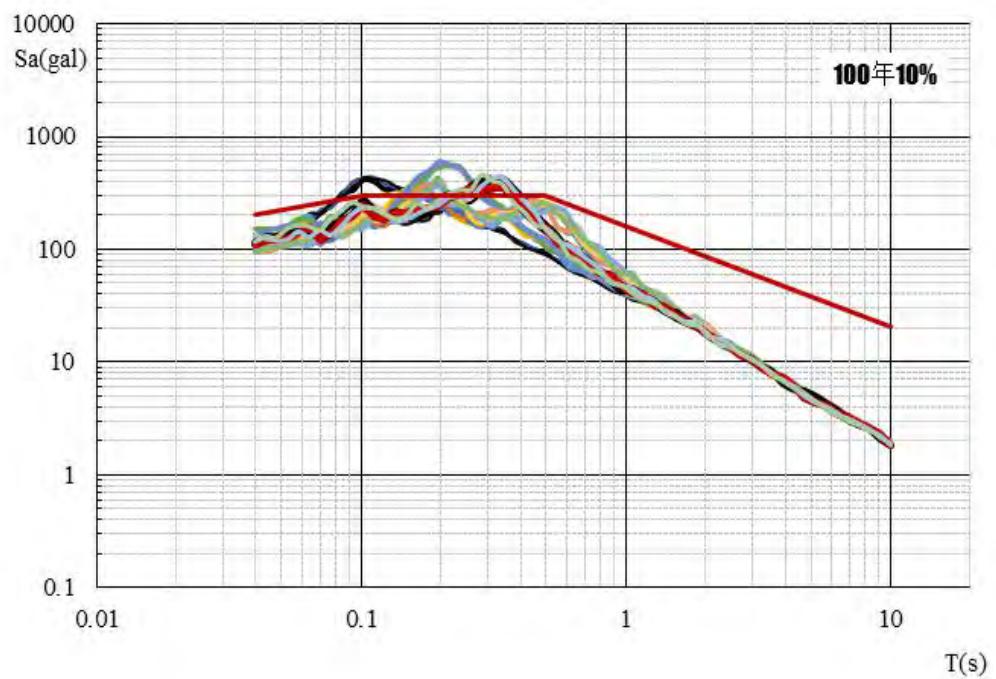
根据工程结构抗震设计的要求,对目标区进行场地地震反应计算时,以目标区目标区 10 种概率水准的基岩地震动加速度时程(各 5 条样本),按幅值缩小一半确定一维土层反应分析模型的计算基底入射波输入量。对每一种情况分别计算出地表面处地震动反应谱值。

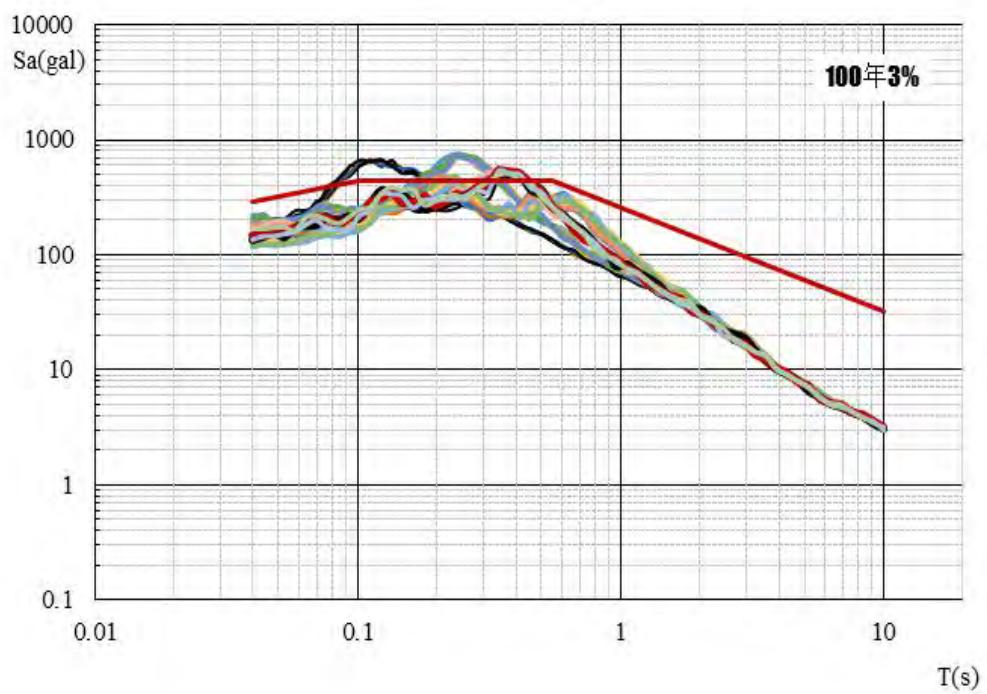
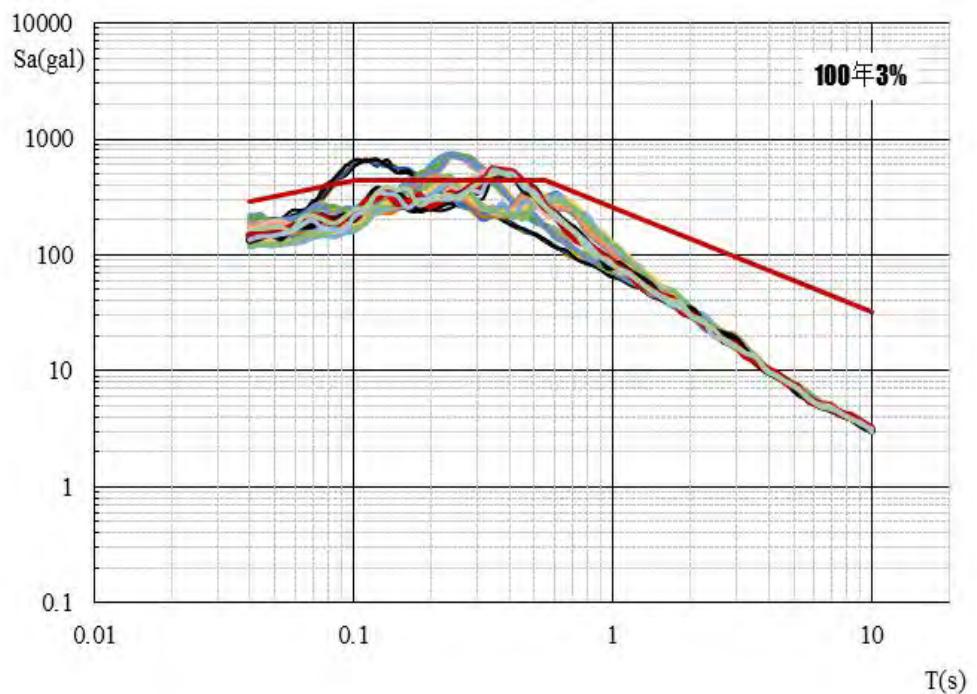
目标区自由地表面处对应于各个概率水准的水平向地震动峰值加速度反应谱曲线(阻尼比 5%)的计算结果如图 6-1 所示(图中的细实线),考虑到地震动随机样本时程的差异对场地相关反应谱的影响,采用平均反应谱拟合的方法给出计算场地相关反应谱的规准结果。图 6-1 为一个钻孔对应 5 条人工输入,6 个钻孔共计 30 条计算反应谱及对应的规准谱曲线(折线)。图 6-2 为 I 1 类场地的计算谱和规准谱。











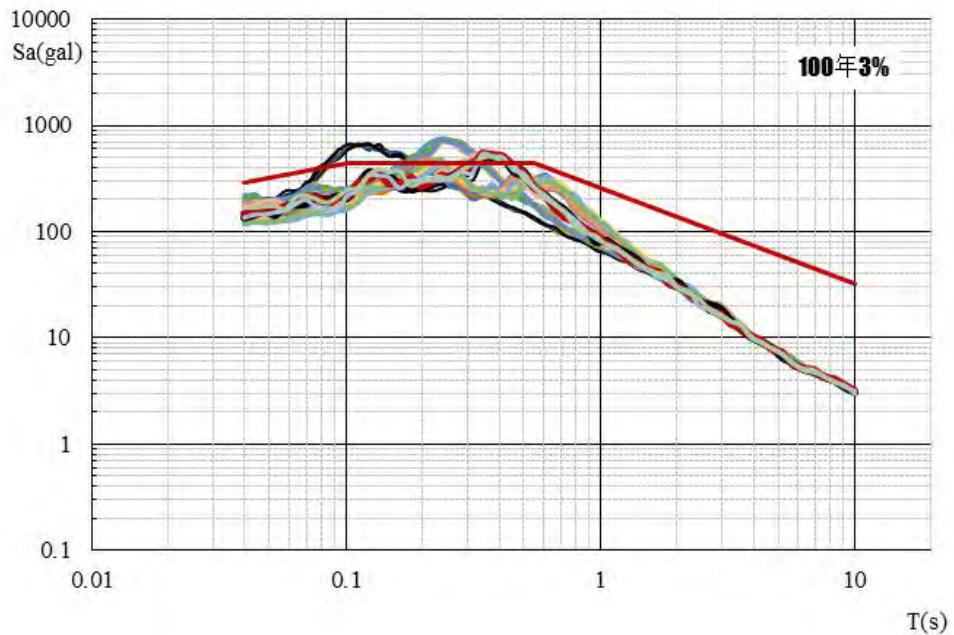
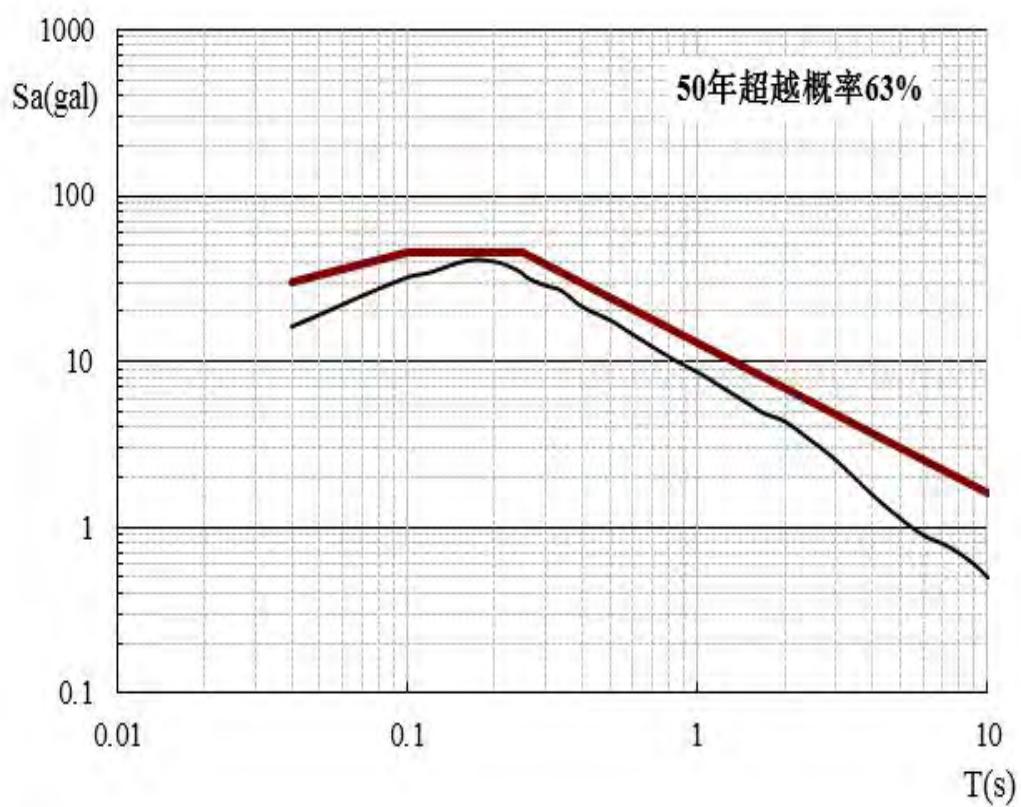
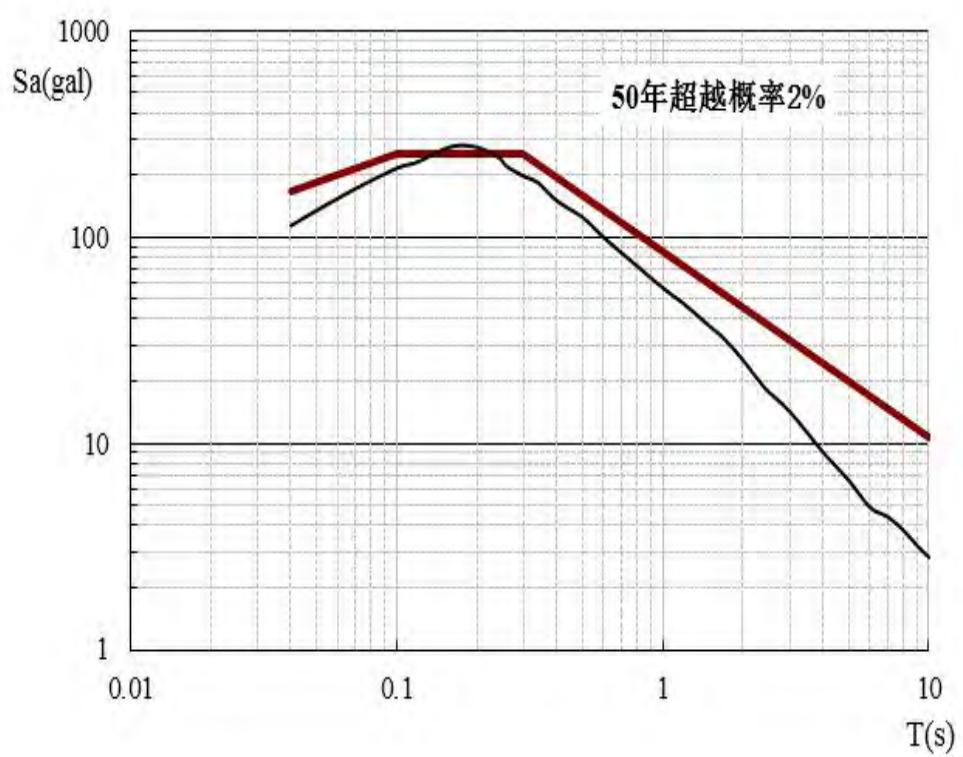
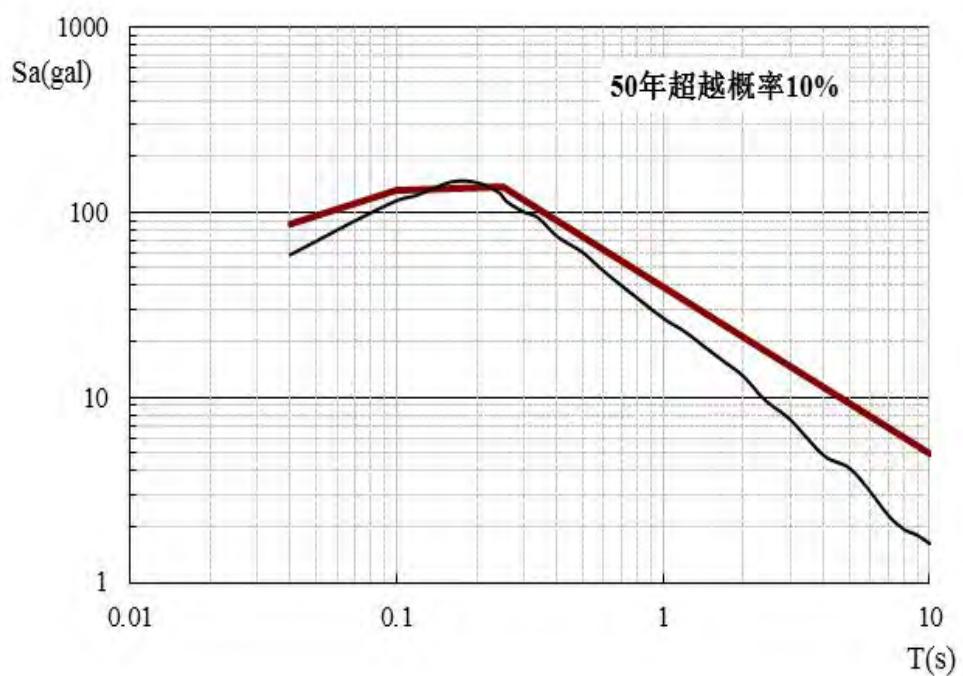
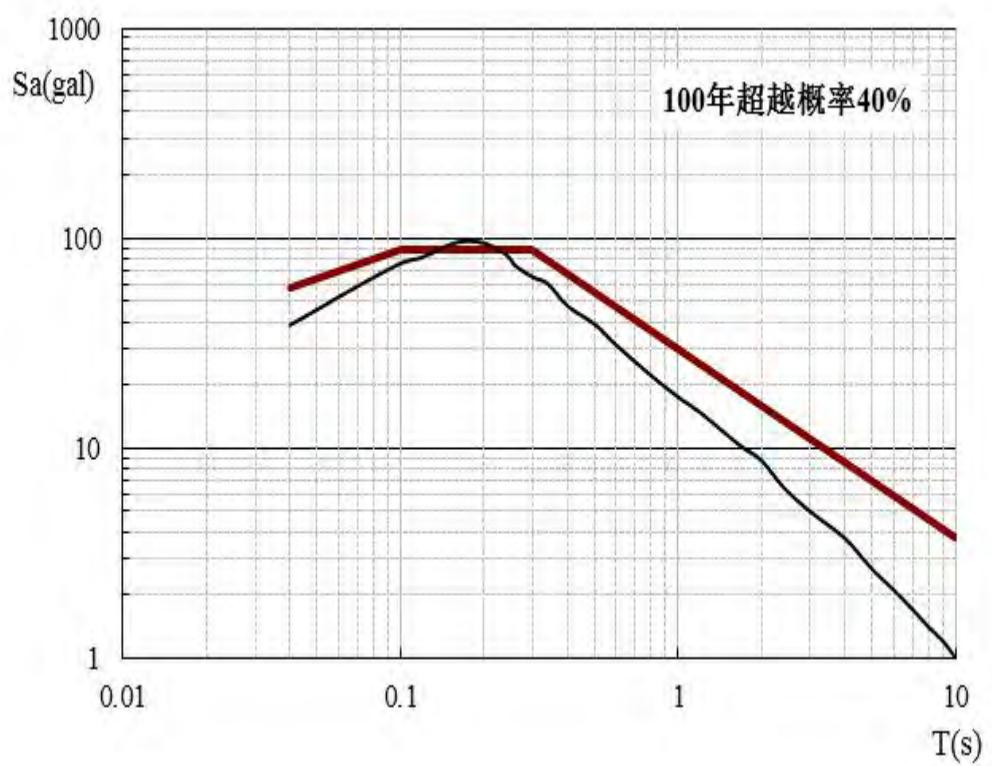
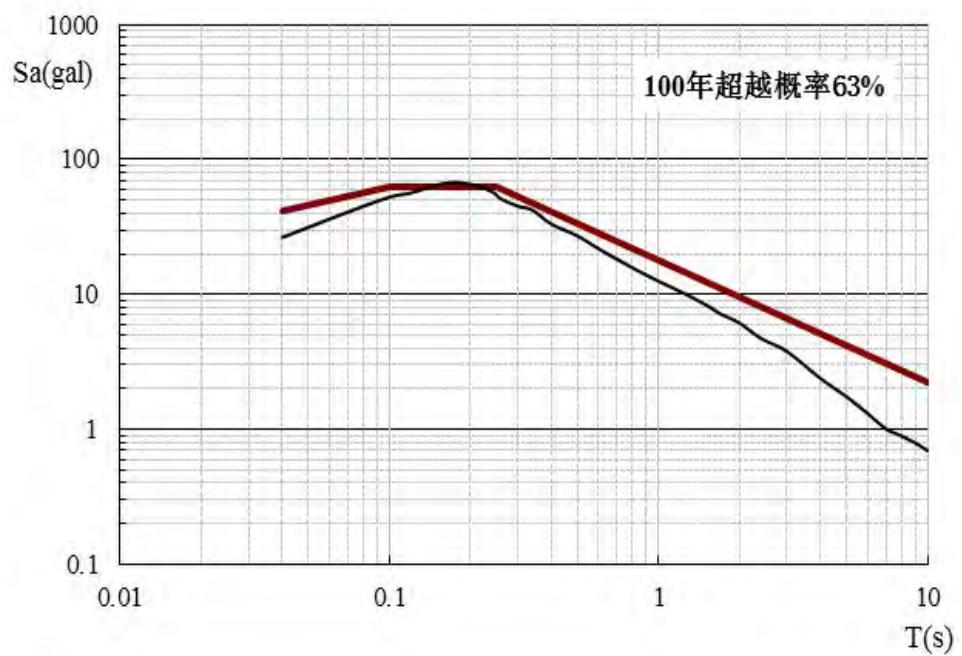
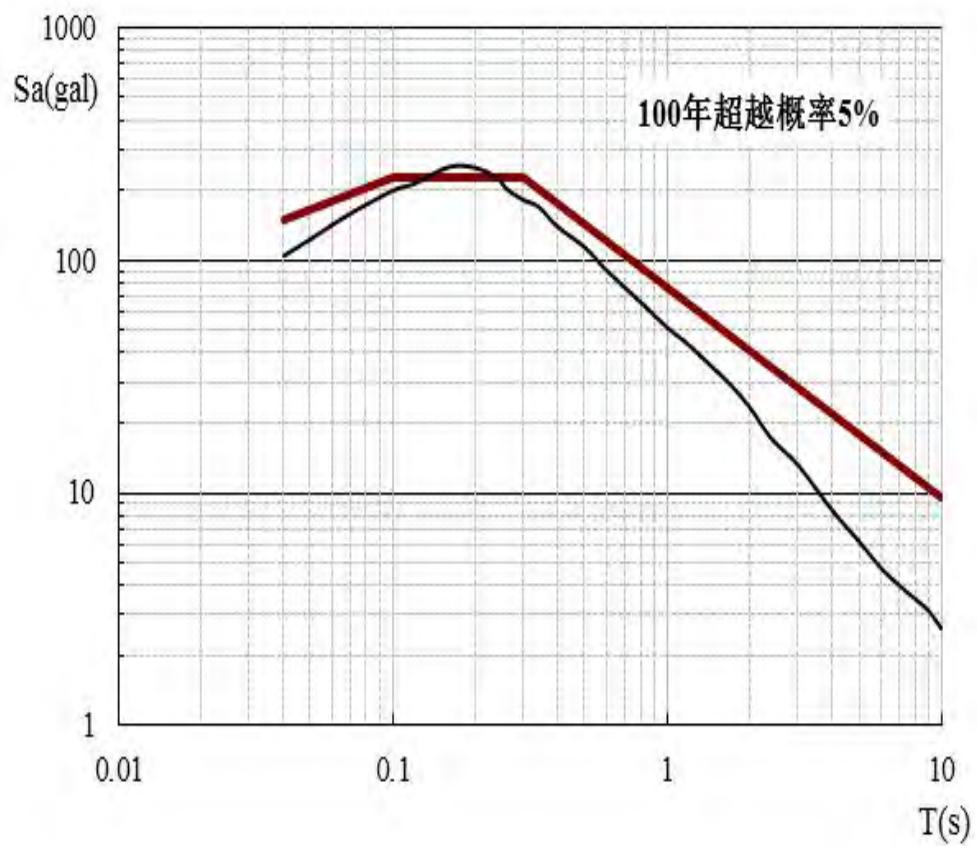
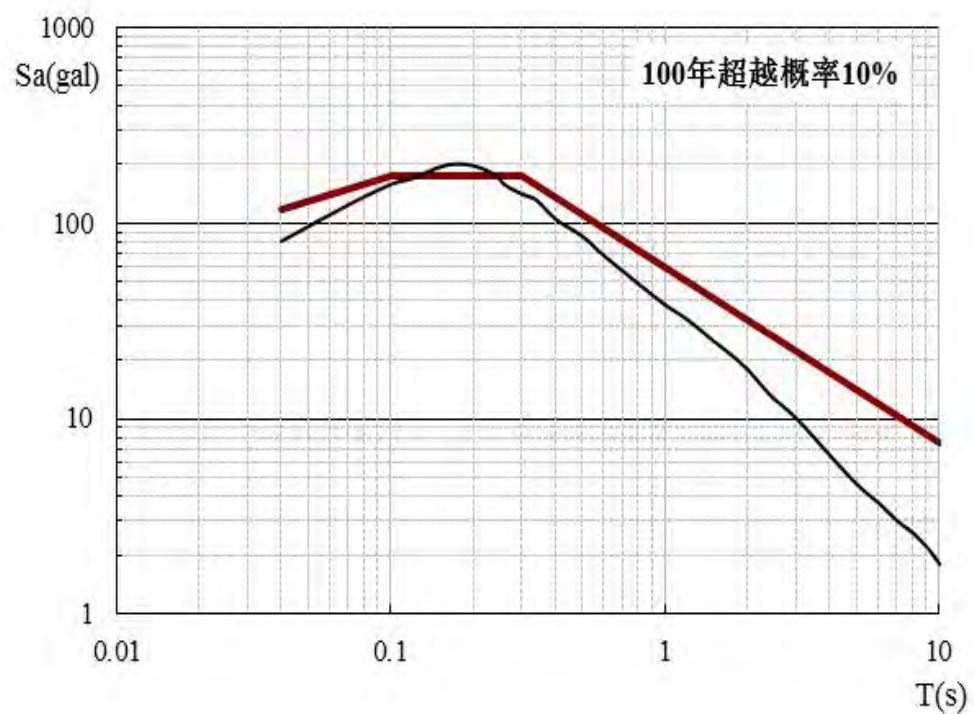


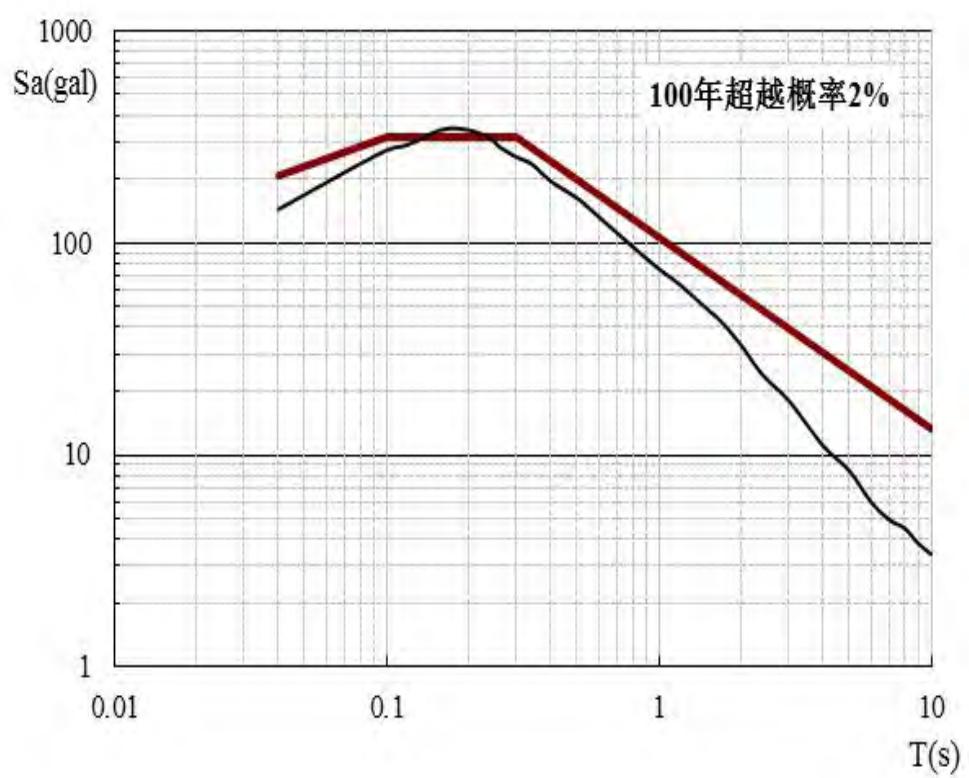
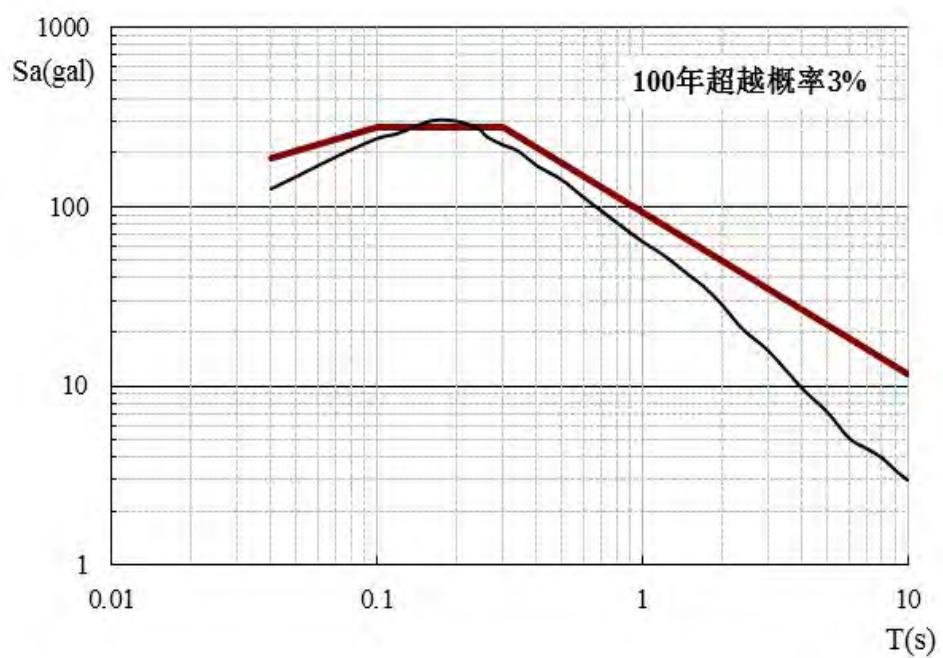
图 6-1 目标区 II 类场地 50、100 年不同超越概率 5% 阻尼比的地表水平向场地计算反应谱及
规定谱











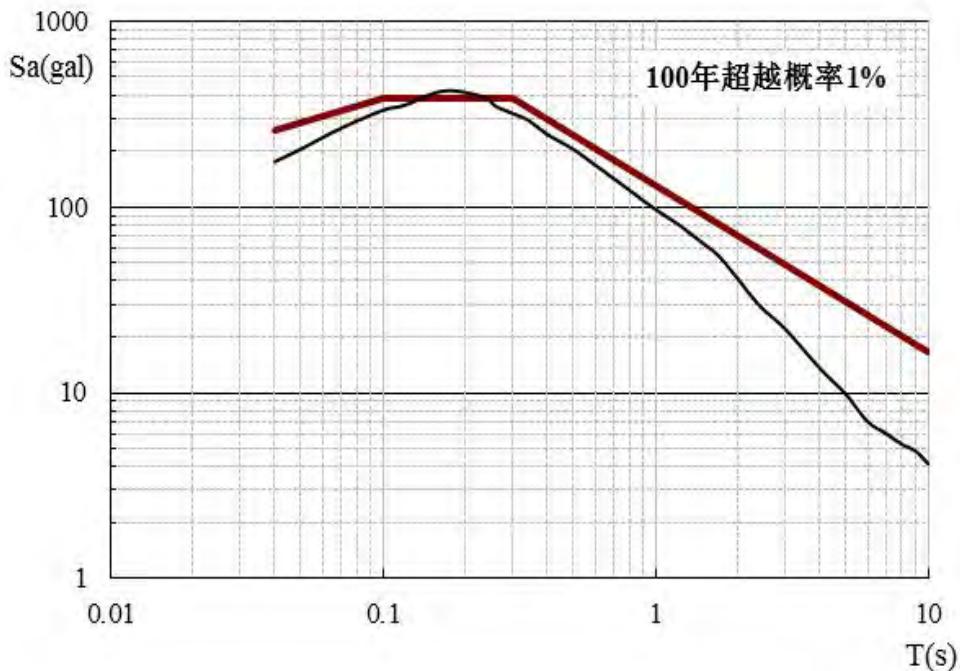


图 6-2 目标区 I 1 类场地 50、100 年不同超越概率 5% 阻尼比的水平向计算反应谱及规准谱

6.3 目标区场地设计地震动参数划分和确定

根据前面分析结果及场地类别分区，综合考虑目标区建筑结构的功能定位（均为一般建筑）及设计的便利性将目标区根据场地类别分为两个设计地震动参数分区，见分区图 6-3。图 6-4 为目标区 II 类场地 10 种超越概率水准下的设计地震动反应谱，图 6-5 为目标区 I₁ 类场地 10 种超越概率水准下的计算谱及设计地震动反应谱（折线），其表达式如下：

$$Sa(T) = \begin{cases} A_{\max} \times \left(1 - \frac{(\beta_m - 1)}{(T_0 - 0.04)}(T - 0.04)\right) & 0.04 \leq T \leq T_0 \\ A_{\max} \times \beta_m & T_0 < T \leq T_g \\ A_{\max} \times \beta_m \left(\frac{T_g}{T}\right)^c & T_g < T \leq 10 \end{cases}$$

式中：T 为反应谱周期；A_{max} 为峰值加速度；T₀、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 6-12, 13。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，可作为该目标

区抗震设计使用。

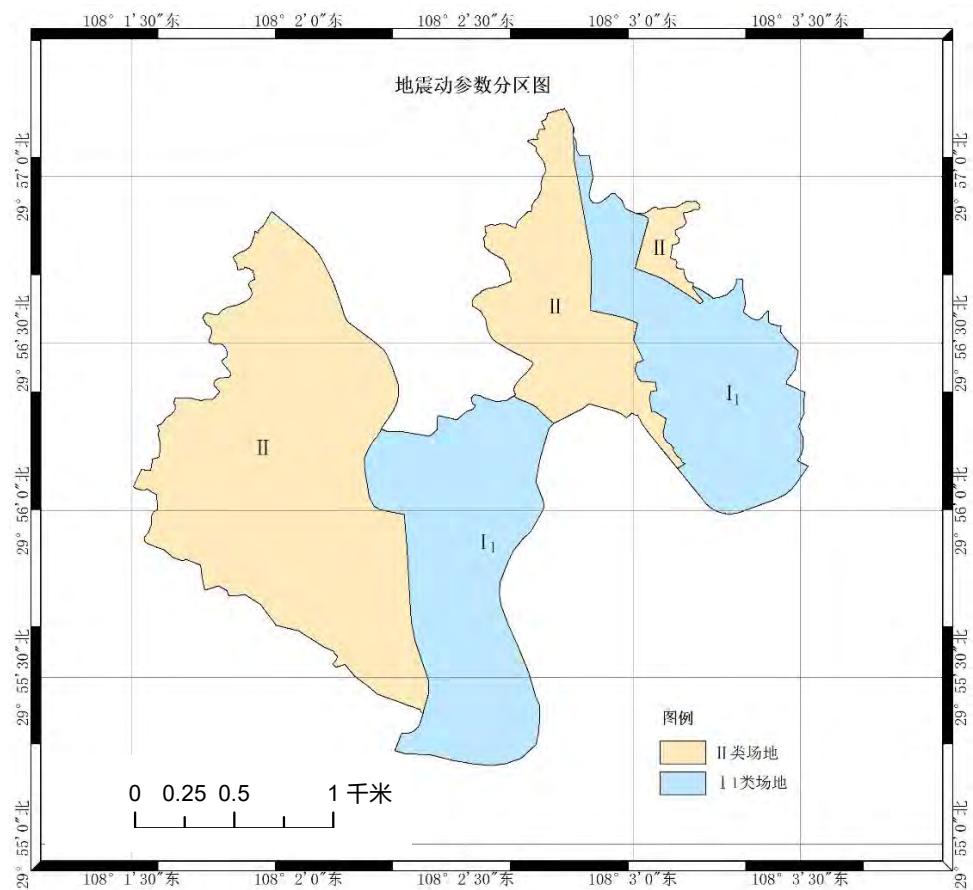
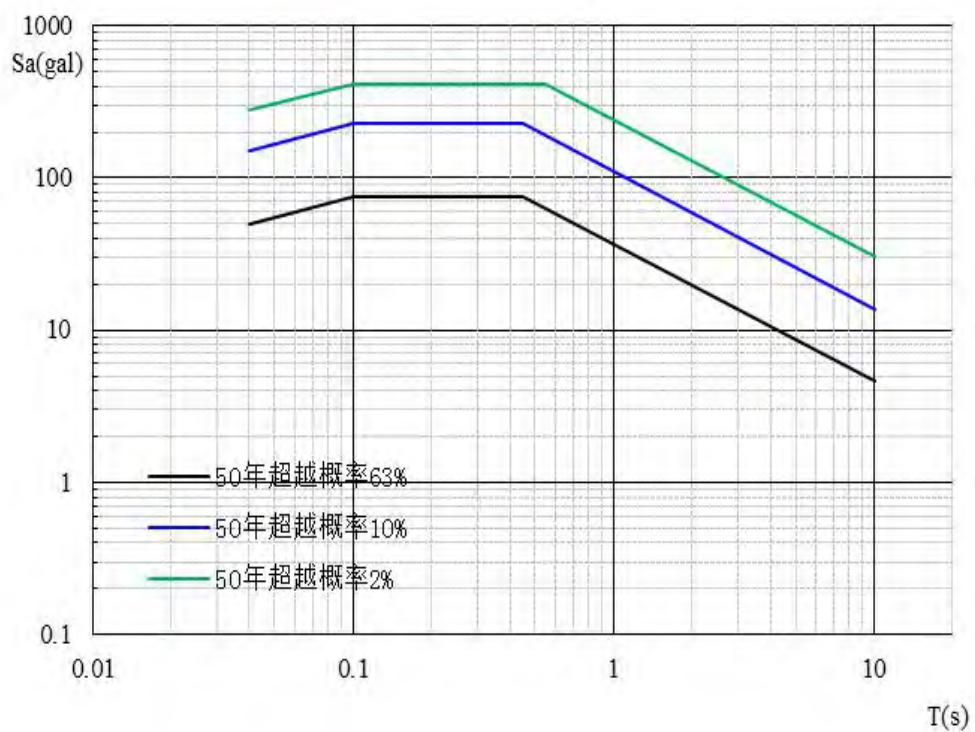


图 6-3 地震动参数分区图



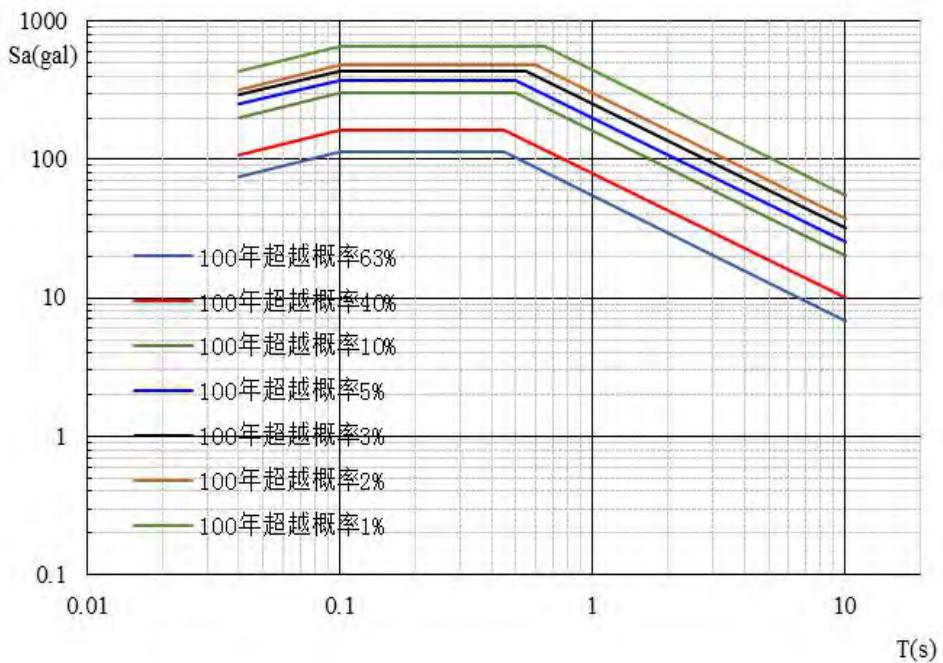


图 6-4 目标区 II 类场地 50、100 年不同超越概率 5% 阻尼比的地表

水平向场地规准反应谱

表 6-12 目标区 II 类场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	t1(s)	tg(s)	A _{max} (gal)	β _{max}	α _{max}	c
50 年 63%	0.1	0.45	30	2.5	0.077	0.9
50 年 10%	0.1	0.45	90	2.5	0.230	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	165	2.5	0.421	0.9
100 年 63%	0.1	0.45	45	2.5	0.115	0.9
100 年 40%	0.1	0.45	65	2.5	0.166	0.9
100 年 10%	0.1	0.5	120	2.5	0.306	0.9
100 年 5%	0.1	0.5	150	2.5	0.383	0.9
100 年 3%	0.1	0.55	175	2.5	0.446	0.9
100 年 2%	0.1	0.6	190	2.5	0.485	0.9
100 年 1%	0.1	0.65	260	2.5	0.663	0.9

注: 1. α_{max} 为最大地震影响系数, $\alpha_{max} = A_{max} \cdot \beta_{max} \cdot g$ 。

2. g 为重力加速度($980 \text{cm} \cdot \text{s}^2$)

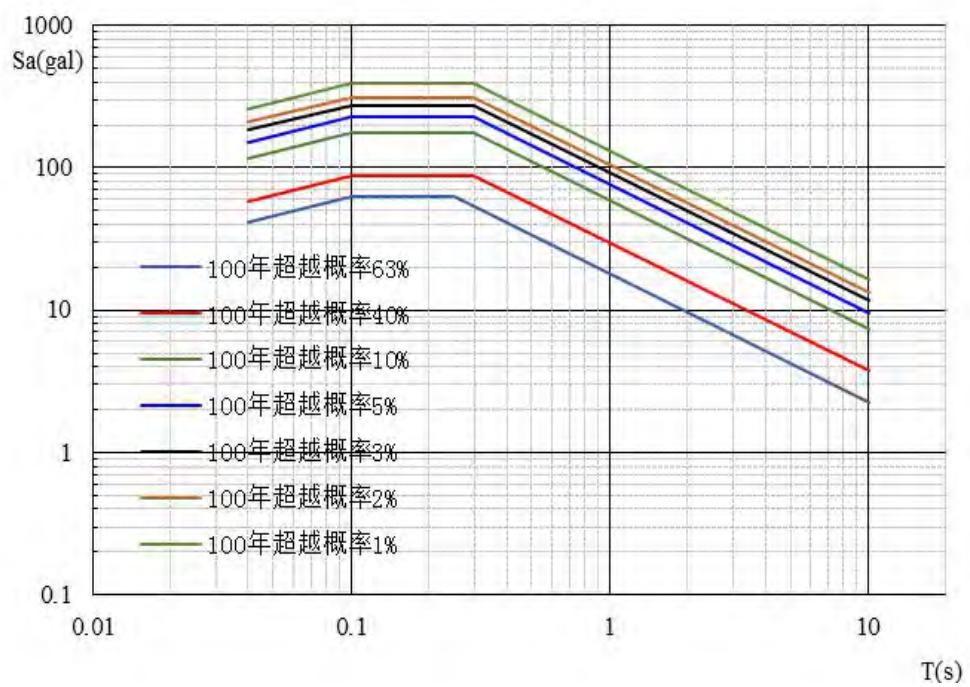
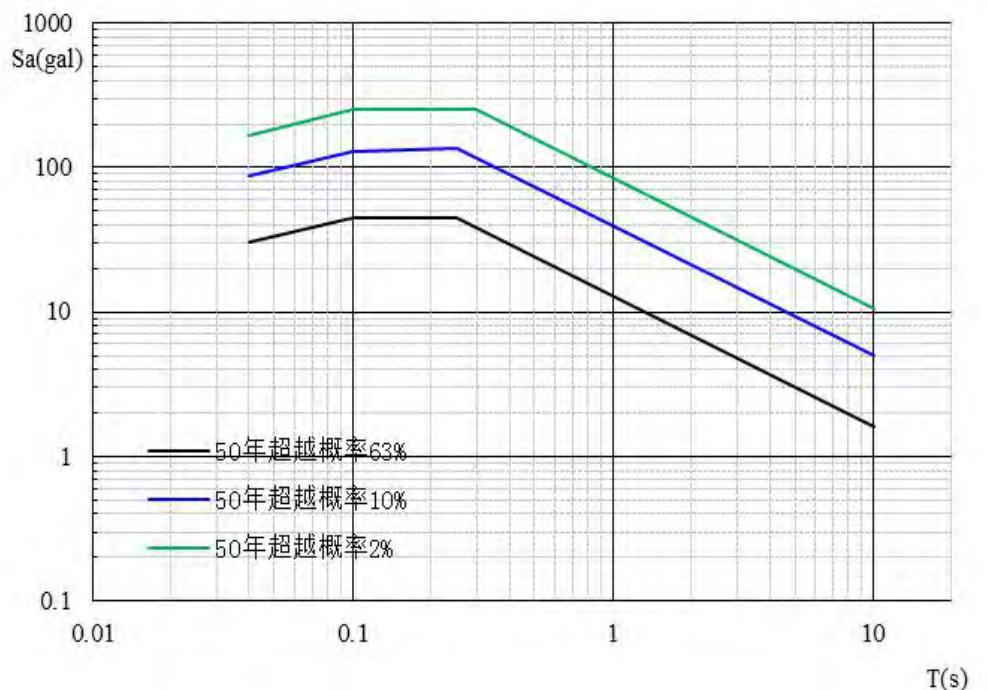


图 6-5 目标区 I₁类场地 50、100 年不同超越概率 5% 阻尼比的水平向场地计算谱及规范反应谱

表 6-13 目标区 I 类场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

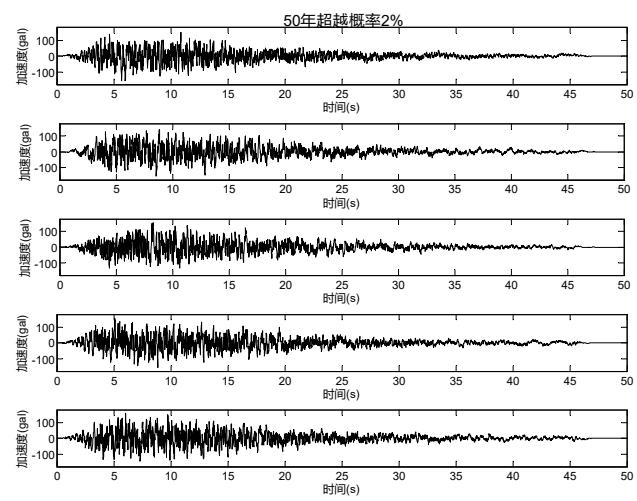
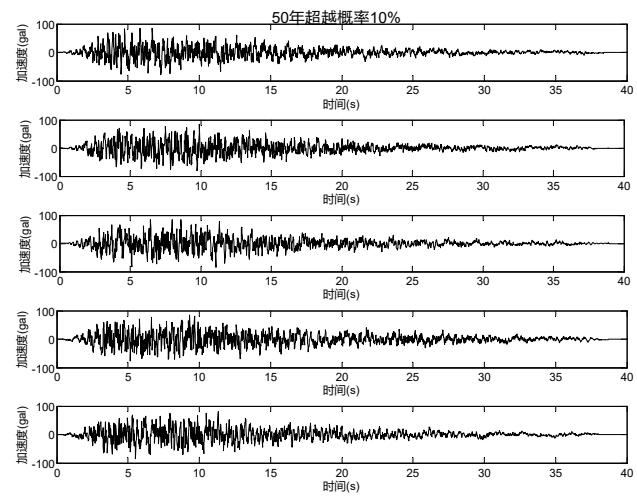
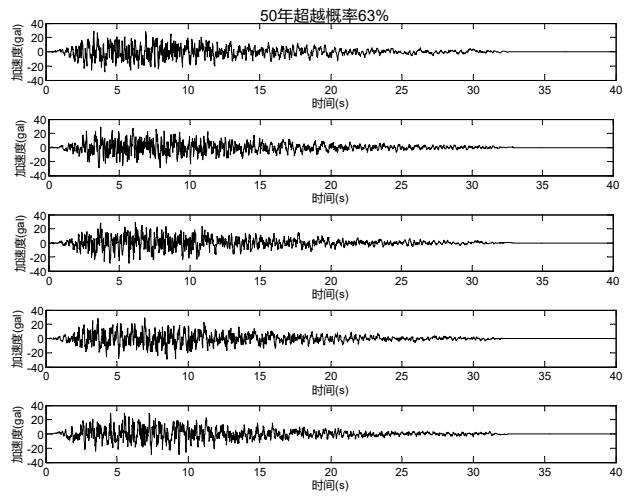
超越概率	t1(s)	tg(s)	A _{max(gal)}	β _{max}	α _{max}	c
50 年 63%	0.1	0.25	18	2.50	0.05	0.9
50 年 10%	0.1	0.25	52	2.50	0.13	0.9
50 年 2%	0.1	0.3	100	2.50	0.25	0.9
100 年 63%	0.1	0.25	25	2.50	0.06	0.9
100 年 40%	0.1	0.3	35	2.50	0.09	0.9
100 年 10%	0.1	0.3	70	2.50	0.18	0.9
100 年 5%	0.1	0.3	90	2.50	0.23	0.9
100 年 3%	0.1	0.3	110	2.50	0.28	0.9
100 年 2%	0.1	0.3	125	2.50	0.31	0.9
100 年 1%	0.1	0.3	155	2.50	0.39	0.9

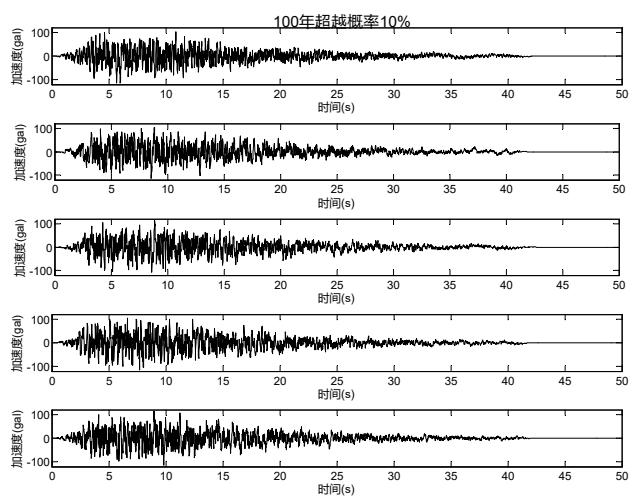
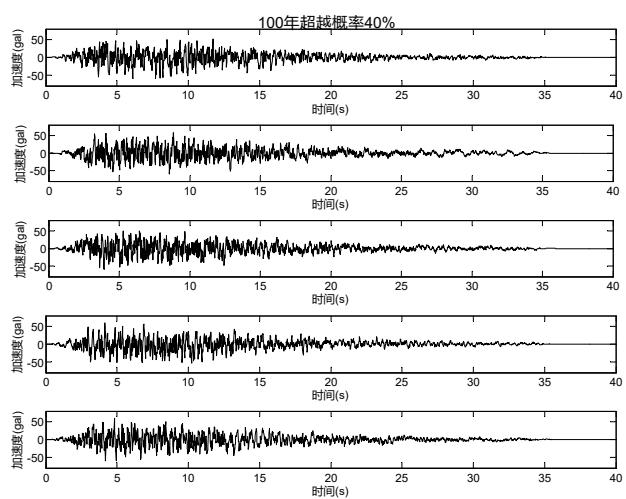
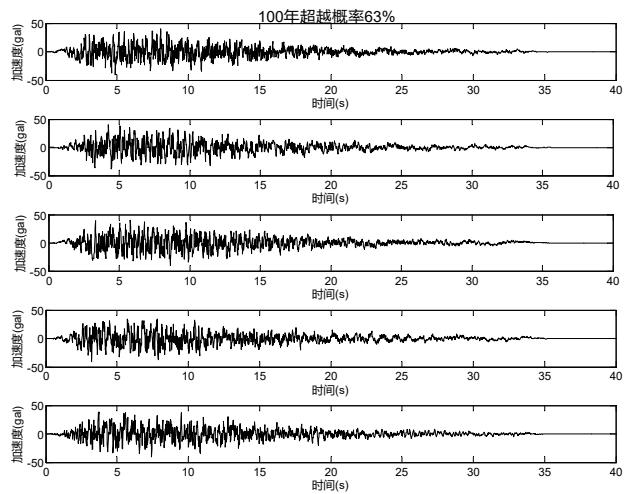
注: 1. α_{max} 为最大地震影响系数, $\alpha_{max}=A_{max}\cdot\beta_{max}\cdot g$ 。

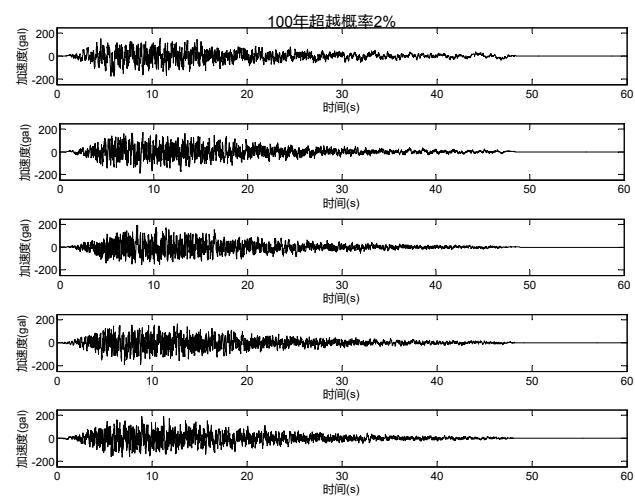
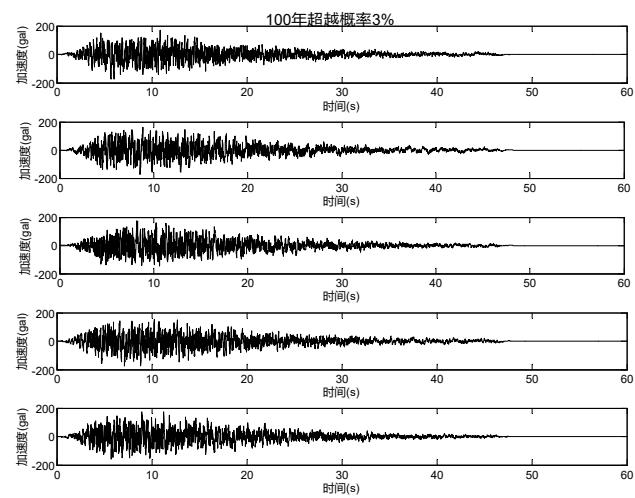
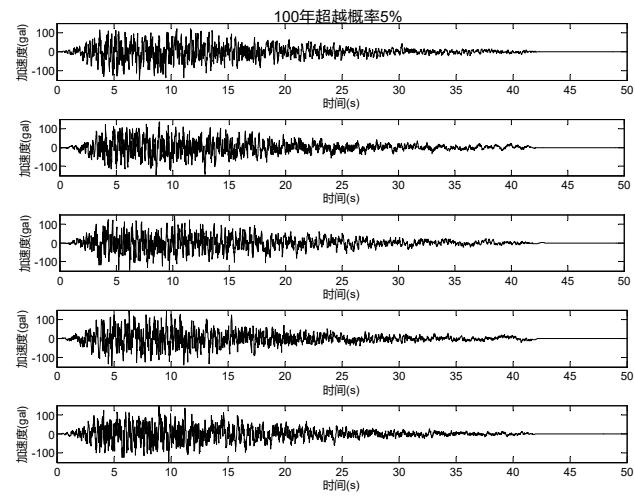
2. g 为重力加速度(980cm.s²)

6.4 场地设计地震动人工时程

为满足目标区抗震设计中采用时程法进行验算的需要, 本报告以表 6-12, 13 所列的水平向场地相关设计反应谱参数作为目标谱参数, 以表 6-1 场地地震动包络函数, 根据《目标区地震安全性评价》(GB17741-2005)的要求, 合成每个场地抗震设计所需的人工合成地震动时程。对于 50 年不同超越概率的工况各合成 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。目标区场地设计地震动时程曲线见图 6-5,6。所合成的人工波时间步长为 0.02 秒, 文件格式: 各点为加速度幅值(cm.s²)。







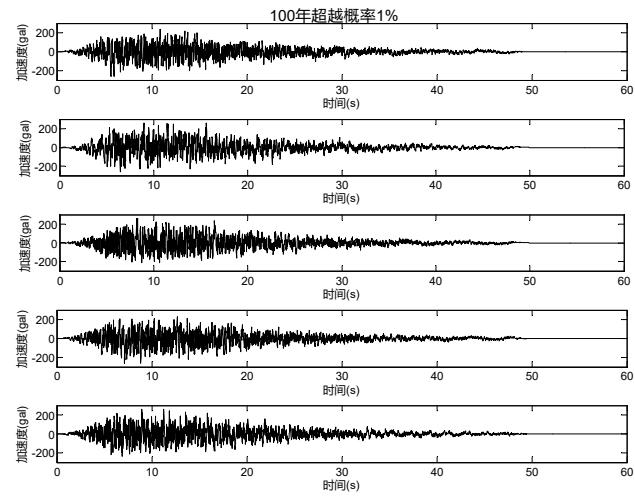
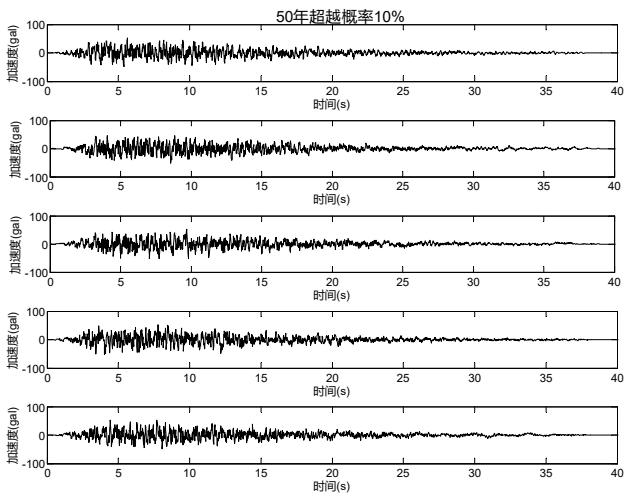
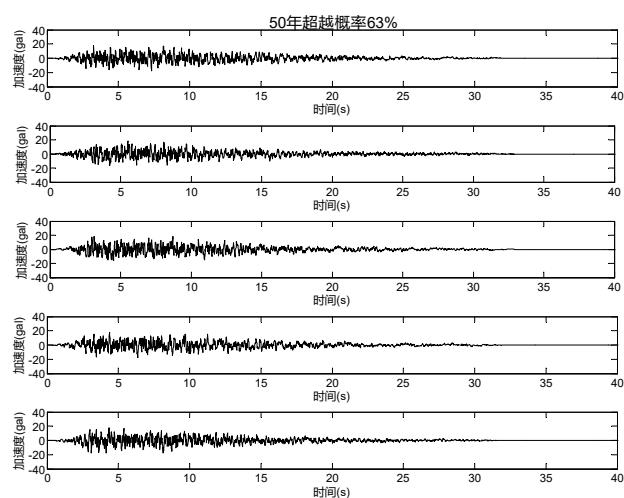
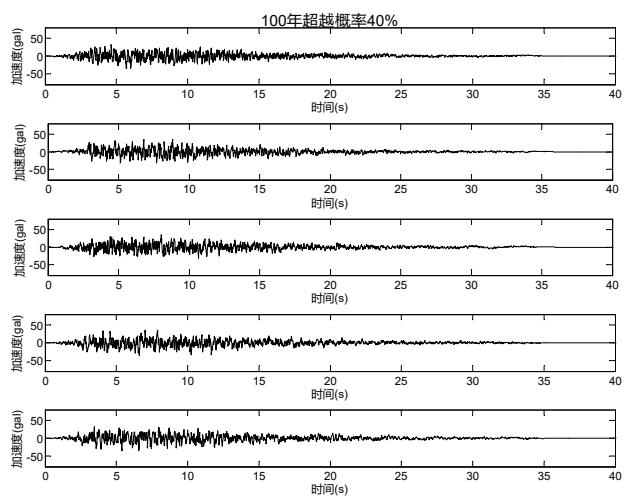
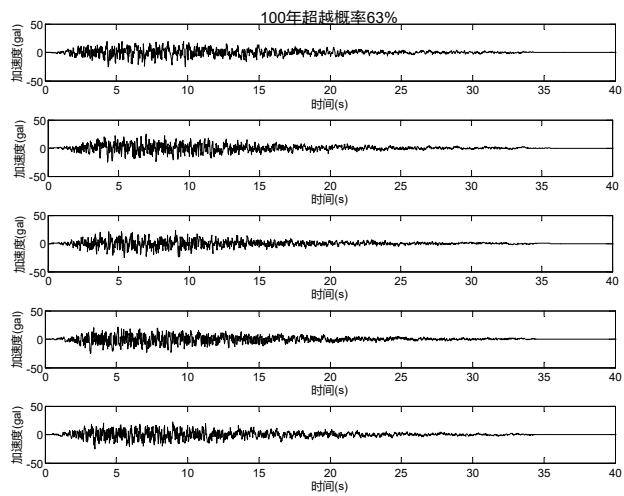
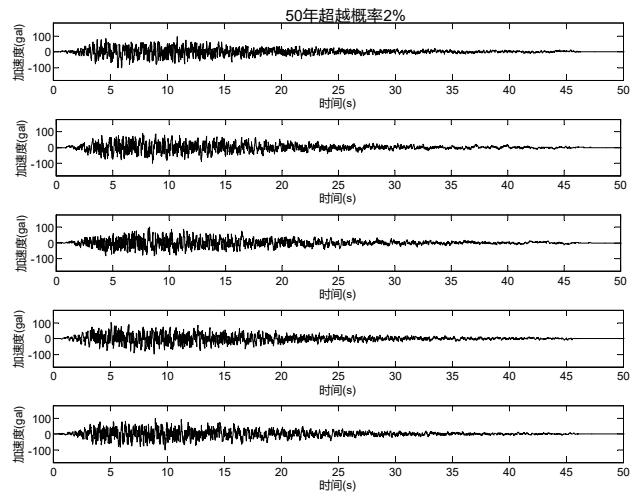
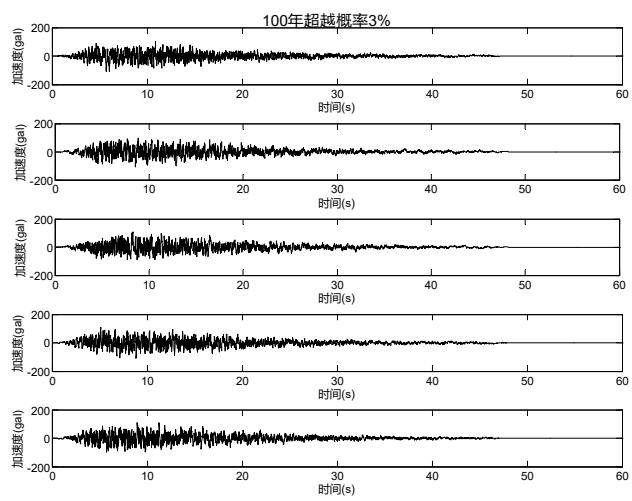
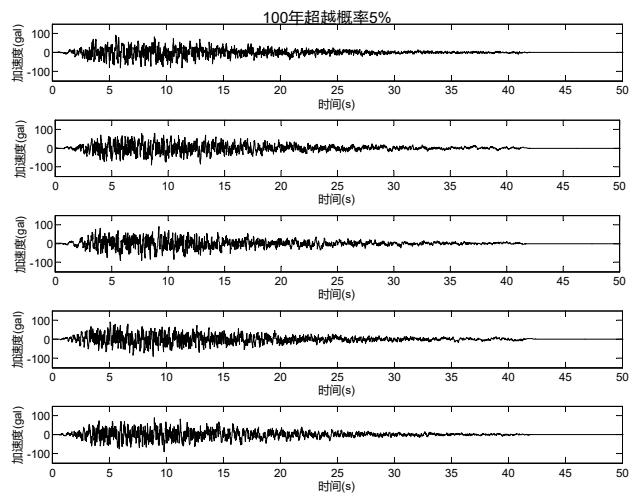
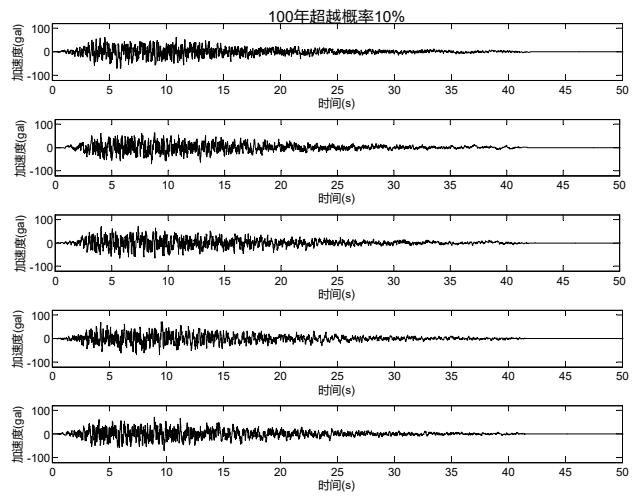


图 6-5 目标区 II 类场地 50、100 年不同超越概率的设计
人工地震动时程曲线







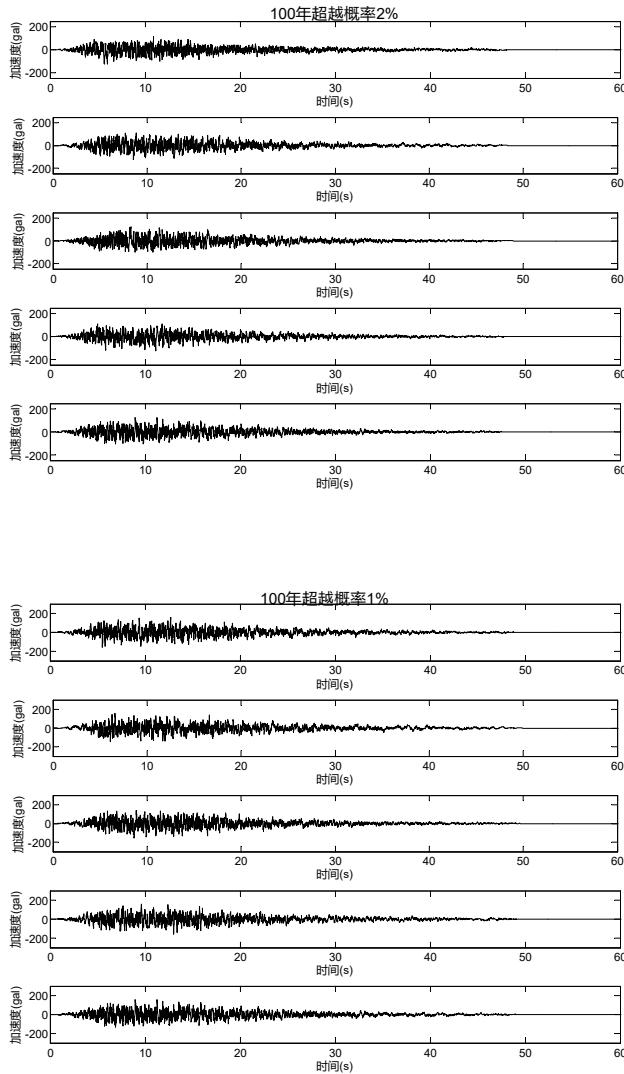


图 6-6 目标区 I₁类场地 50、100 年不同超越概率的设计
人工地震动时程曲线

6.5 使用说明

本文给出的设计地震动参数结果,综合反映了场区附近一定范围内地震活动性、地震地质环境和局部场地条件对地震动的影响,因此,具有较强的地区相关性,仅适用于本目标区。以上内容给出的区域性地震安全性评价结果适用于目标区范围内除必须单独开展地震安全性评价的特殊重大工程以外的、不同于一般工程的较为重要的新建、扩建、改建建设的工程选址、抗震设防确定、地震风险评

价，也适用于该区域发展规划、国土利用规划及防震减灾对策制定等工作，在选取参数进行抗震设计时应根据以下步骤选取：

- (1) 根据建（构）筑物所处位置的经纬度确定其场地位置。
- (2) 确定场地位置所在场地的类别。
- (3) 根据场地类别选取与其最近且相同场地类别上的地震动参数。
- (4) 应根据建（构）筑物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。
- (5) 根据建筑物结构材料确定对应的阻尼比，本报告给出的是阻尼比系数为 5% 的结果，场地其他阻尼比设计地震动参数依据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010（2016 版）中给出的地震影响系数的阻尼比调整原则。
- (6) 场地地表竖向设计地震动峰值加速度取水平向设计地震动峰值加速度的 65%，其谱形参数与水平向的相同。
- (7) 本报告给出的 50 年超越概率 63%、10%、2%，其中超越概率 63% 的设计地震动参数可用于结构的截面验算，超越概率 2% 的设计地震动参数可用于结构的变形验算。其中，100 年水准的抗震设防地震动参数，是根据相关规范的规定而提供的，供抗震设计应用参考。
- (8) 如果目标区详细勘察结果表明该场地土层参数与该分区场地土层参数有明显差异时，应复核确定该场地的地震动参数。
- (9) 区域性地震安全性评价工作的工程地震钻孔密度相对较小，特殊重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程，其抗震设计参数应进行专门研究。
- (10) 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（构）物。

7 主要结论

1. 地震活动环境评价

区域内长江中游地震带未来百年内的地震活动时间进程仍将主要持续现在的地震相对活跃期，地震活动水平将保持最近百年的平均地震活动水平。区域内共记录到 $M \geq 4.7$ 级地震 7 次，其中 6.0~6.9 级地震 1 次，5.0~5.9 级地震 5 次，4.7~4.9 级地震 1 次；未记录到 7.0 级以上的地震。最大地震为 1856 年 6 月 10 日重庆黔江 6.5 级地震。最早记载到的破坏性地震是 1854 年 12 月 24 日，重庆南川的 5.5 级地震，最近记录到的破坏性地震是 2017 年 11 月 23 日的重庆武隆 5.0 级地震。此外，自 1970 年 1 月~2020 年 9 月区域内共记录到近代弱震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 987 次，绝大多数为 2.0~2.9 级。 $M \geq 4.7$ 级地震主要集中分布在目标区的南侧，地震活动水平较弱。近场区范围内未记录到破坏性地震，近场区共发生 $M \geq 2.0$ 级地震 70 次，其中 2.0~2.9 级地震 61 次，3.0~3.9 级地震 6 次，4.0~4.9 级地震 4 次，未记录到 5.0 级以上地震。目标区及其附近地区地震活动水平较低。场地遭受 VI 度及以上地震影响共 13 次，对场地影响的最大烈度为 V 度。

2. 区域地震构造环境

区域主要包括四川台坳和上扬子台褶带两个二级构造单元。目标区处在四川台坳内的川东陷褶束三级构造单元之中。重磁异常分别在重庆黔江东南、达川西北和竹溪以北表现出一定的梯级变化外，其余大部分地区均无明显梯级变化，地壳结构简单。区域新构造运动主要表现为大面积的整体间歇性抬升（或掀斜），局部有差异活动，地壳相对稳定。区域范围内主要有华蓥山背斜断裂、七曜山-金佛山背斜断裂、长岭-半边山背斜断裂、彭水断裂、方斗山背斜断裂带。这些断裂（带）规模相对较大，长度多在 200km 以上，深度多大于 20km，切割较深，对区域的地质构造、沉积建造、地震活动有着重要的控制作用。本区处于 NWW-SEE 向水平主压应力与 NNE-SSW 向具有一定倾角的主压应力为主的现代构造应力场中，因此易发生逆断层、走滑断层或兼走滑型断层。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。

3. 近场区地震构造环境评价

近场区范围主要涉及四川台坳中的川东陷褶束区，这个构造单元的地层发育和构造演化对近场区有直接的影响。近场区地层从二叠系~侏罗系均有出露，其

中以二叠系茅口组，三叠系须家河组、嘉陵江组，侏罗系遂宁组、沙溪庙组、新田沟组地层出露最为广泛。岩性则以泥岩、砂岩及石灰岩为主。近场区地质构造相对简单，条理清楚，地表发育吊钟坝逆断层、横梁子逆断层和马武正断层，均位于背斜核部，为中更新世断层。断层构造规模较小，一般长度均在 10~45 公里左右，与背斜平行展布，走向多为 NE 或 NNE。通过综合分析，近场区所处的地震地质构造位置、新构造运动强度、历史和现代地震活动水平，认为近场区内具备发生 6 级以下中强地震的构造背景和条件。

4. 场地基岩峰值加速度

根据前面所确定的潜在震源区、地震活动性参数及基岩地震动衰减关系，按照前述地震危险性概率分析方法，进行了目标区的地震危险性分析计算。峰值加速度计算结果见表 7-1。

表 7-1 计算点场地基岩水平峰值加速度（单位：Gal）

计算点	站点坐标		50 年超越概率水平			100 年超越概率						
	经度	纬度	63%	10%	2%	63%	40%	10%	5%	3%	2%	1%
1	108.0563	29.9451	14.5	51.6	96.6	23.4	34.1	69.3	89.2	107. 2	121.6	149.9
2	108.051	29.9446	14.5	51.7	96.8	23.5	34.1	69.4	89.4	107. 4	121.8	150.2
3	108.0557	29.9405	14.5	51.6	96.6	23.4	34.1	69.3	89.3	107. 2	121.6	149.9
4	108.0517	29.9377	14.5	51.7	96.8	23.5	34.1	69.4	89.4	107. 4	121.8	150.1
5	108.0375	29.9401	14.5	51.8	97.1	23.5	34.2	69.6	89.7	107. 9	122.5	151.1
6	108.0333	29.9332	14.6	51.9	97.3	23.5	34.3	69.7	89.8	108. 1	122.7	151.4
7	108.0408	29.9352	14.6	51.8	97.1	23.5	34.2	69.6	89.6	107. 8	122.4	150.9
8	108.0385	29.928	14.6	51.9	97.2	23.5	34.3	69.7	89.7	107. 9	122.5	151.1
9	108.0453	29.9289	14.6	51.8	97.0	23.5	34.2	69.6	89.6	107. 7	122.2	150.6
10	108.0469	29.9208	14.6	51.8	97.0	23.5	34.2	69.6	89.5	107. 7	122.1	150.5
11	108.0479	29.9341	14.5	51.8	96.9	23.5	34.2	69.5	89.5	107. 6	122.0	150.4
12	108.0585	29.9354	14.5	51.6	96.6	23.4	34.1	69.3	89.2	107. 1	121.4	149.8

5.工程地震条件

目标区原始地貌属剥蚀丘陵地貌，构造上处于石柱向斜南端西翼，岩层单斜产出，场内及邻近未发现有断层通过，岩层产状平缓，所以场地没有因地震断层作用而导致的地表错动、地面变形等地震地质灾害的可能性；场地不存在砂土和粉土，不存在砂土液化的基础。根据勘察资料和规范，地震烈度Ⅶ度及Ⅶ度以下时，产生有害震陷的可能性较小，可不考虑软土震陷。场地大部分区域在Ⅶ度及Ⅶ度以下地震烈度条件下发生滑坡、崩塌等地震地质灾害的可能性较小，局部坡度较陡的地方发生滑坡、崩塌等地震地质灾害的可能性中等。

6.场地设计地震动参数

依据场地工程地震地质条件及《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)，计算结果见下表 7-2。

表 7-2 目标区Ⅱ类场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	t1(s)	tg(s)	A _{max} (gal)	β _{max}	α _{max}	c
50 年 63%	0.1	0.45	30	2.5	0.077	0.9
50 年 10%	0.1	0.45	90	2.5	0.230	0.9
50 年 2%	0.1	0.55	165	2.5	0.421	0.9
100 年 63%	0.1	0.45	45	2.5	0.115	0.9
100 年 40%	0.1	0.45	65	2.5	0.166	0.9
100 年 10%	0.1	0.5	120	2.5	0.306	0.9
100 年 5%	0.1	0.5	150	2.5	0.383	0.9
100 年 3%	0.1	0.55	175	2.5	0.446	0.9
100 年 2%	0.1	0.6	190	2.5	0.485	0.9
100 年 1%	0.1	0.65	260	2.5	0.663	0.9

注：1. α_{max} 为最大地震影响系数， $\alpha_{max}=A_{max}\cdot\beta_{max}\cdot g$ 。

2. g 为重力加速度(980cm·s²)

表 7-3 目标区 I 类场地水平向设计反应谱参数(阻尼比 5%)

超越概率	t1(s)	tg(s)	A _{max(gal)}	β _{max}	α _{max}	c
50 年 63%	0.1	0.25	18	2.50	0.05	0.9
50 年 10%	0.1	0.25	52	2.50	0.13	0.9
50 年 2%	0.1	0.3	100	2.50	0.25	0.9
100 年 63%	0.1	0.25	25	2.50	0.06	0.9
100 年 40%	0.1	0.3	35	2.50	0.09	0.9
100 年 10%	0.1	0.3	70	2.50	0.18	0.9
100 年 5%	0.1	0.3	90	2.50	0.23	0.9
100 年 3%	0.1	0.3	110	2.50	0.28	0.9
100 年 2%	0.1	0.3	125	2.50	0.31	0.9
100 年 1%	0.1	0.3	155	2.50	0.39	0.9

注: 1.α_{max} 为最大地震影响系数, $\alpha_{max} = A_{max} \cdot \beta_{max} \cdot g$ 。

2.g 为重力加速度(980cm.s²)

8.查询系统

8.1 查询系统简介

本重庆区域地震安全性评价查询系统主要是用于查询本项目《石柱土家族自治县工业园区区域地震安全性评价》相关结果。通过已知的经纬度坐标，从便快捷地查询设计 反应谱参数、人工时程、基岩水平向反应谱及规律谱、钻孔柱状图、钻孔岩芯照片、地震工程地质条件及地震构造图。

8.2 操作说明

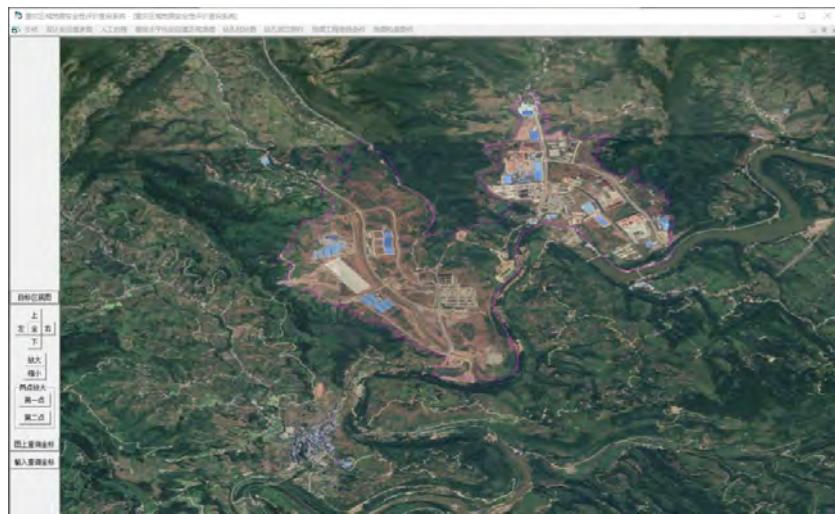
(1) 打开主界面

点击找开“区域地城安全性评价系统.exe”，输入登录名：935942，密目 zxgyy，进入查询系统主界面，如下图所示。



(2) 载入项目数据

点击主界面上菜单-文件-选择项目，然后选择项目数据文件夹，如“石柱工业园区区域地震安全性评价”，点击“确定”，载入工程数据，再点击目标区底图，如下图所示。根据左侧的控制按钮可对图片进行移动，放大和缩小。



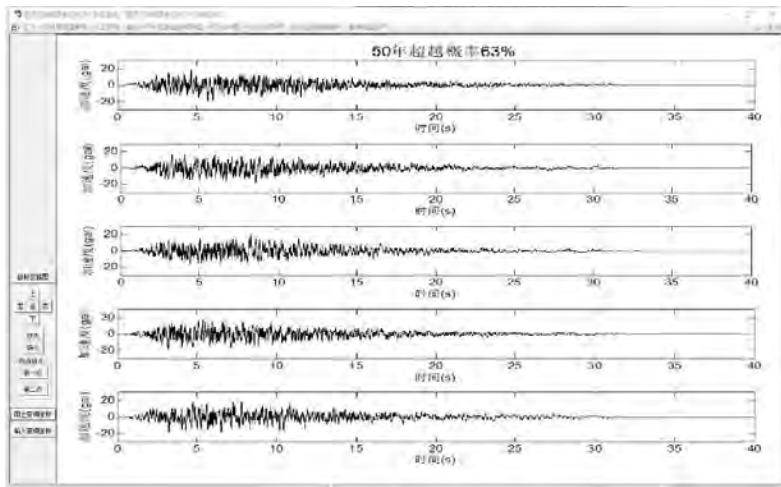
(4) 数据查询

点击图中任意一点,然后点击左侧图中查询坐标,当坐标不在区块范围内时,会弹窗提示坐标点不在区块范围内,当坐标位于区块范围内时,可根据上方菜单栏进行选中点的数据查询。

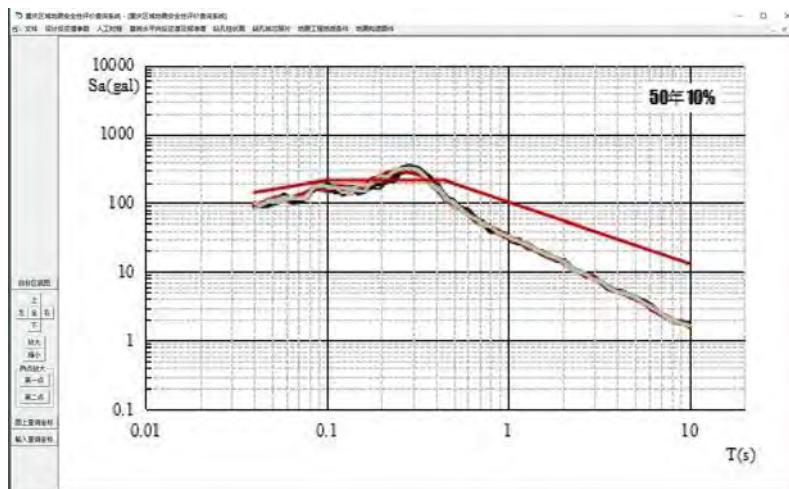
- 1) 设计反应谱参数。点击菜单-设计反应谱参数-导出 excel, 如下图所示,即可输出该点的设计反应谱参数。

	A	B	C	D	E	F	G
1	超越概率	$t_1(s)$	$t_g(s)$	$A_{max}(gal)$	β_{max}	α_{max}	c
2	50年63%	0.1	0.3	19	2.5	0.05	0.9
3	50年10%	0.1	0.35	56	2.5	0.14	0.9
4	50年2%	0.1	0.35	106	2.5	0.27	0.9
5	100年63%	0.1	0.3	25	2.5	0.06	0.9
6	100年40%	0.1	0.3	37	2.5	0.09	0.9
7	100年10%	0.1	0.35	75	2.5	0.19	0.9
8	100年5%	0.1	0.35	97	2.5	0.24	0.9
9	100年3%	0.1	0.35	117	2.5	0.29	0.9
10	100年2%	0.1	0.4	134	2.5	0.34	0.9
11	100年1%	0.1	0.4	166	2.5	0.42	0.9
12							

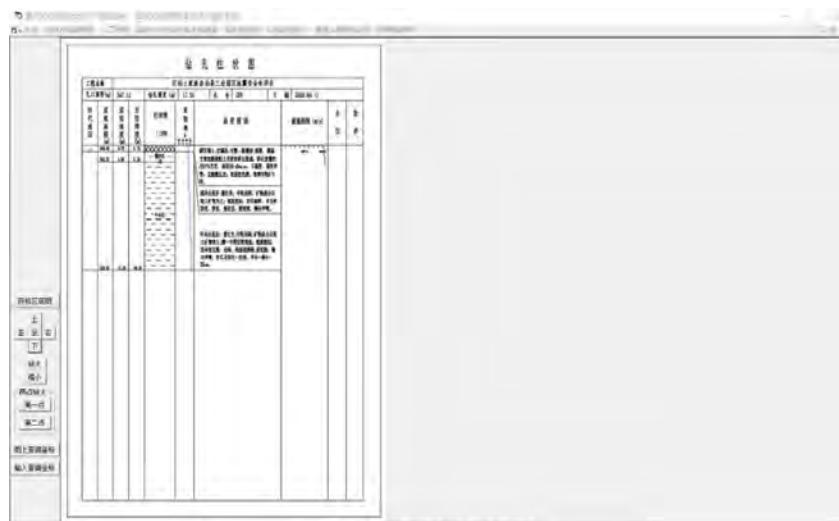
- 2) 基岩水平向反应谱及规律谱。点击菜单-基岩水平向反应谱及规律谱,然后点击所需的查询内容,如下图所示,即可输出该点相关数据。



3) 人工时程。点击菜单-人工时程，然后点击所需的查询内容，如下图所示，即可输出该点相关数据。

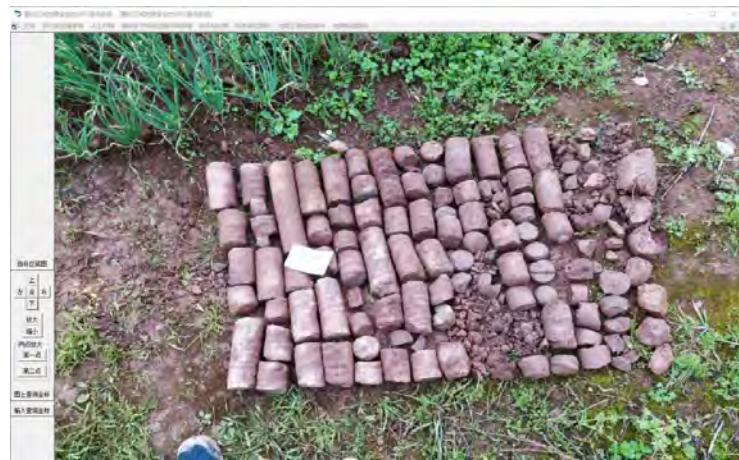


4) 钻孔柱状图。点击菜单-钻孔柱状图，如下图所示，即可输出该点相关的钻孔柱状图。

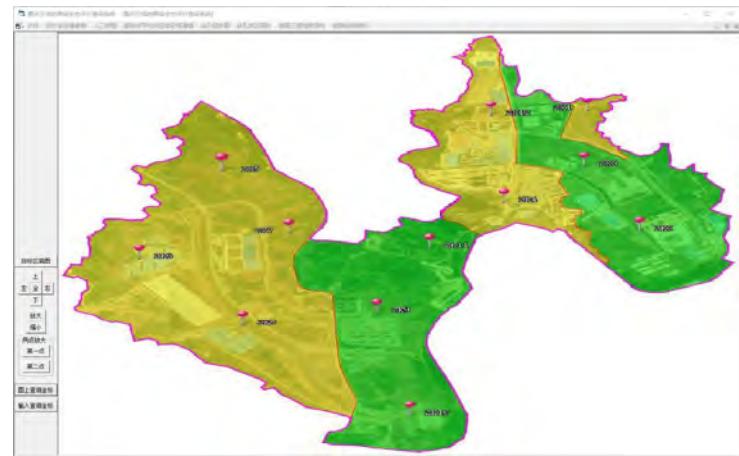


5) 钻孔照片。点击菜单-钻孔岩芯照片，如下图所示，即可输出该点相关的钻孔

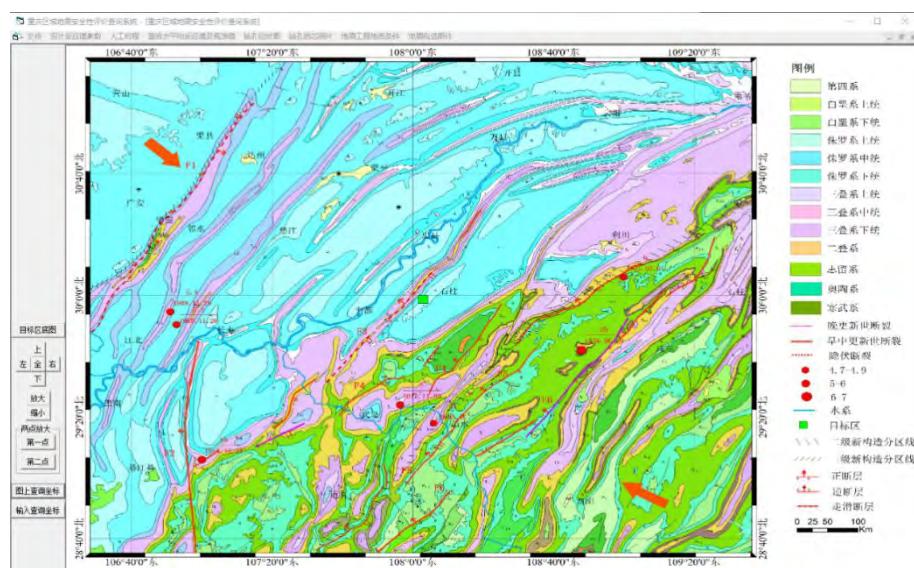
照片。



6) 场地工程地质条件。点击菜单-场地工程地质条件, 如下图所示, 即可查看场地工程地质条件。



7) 地震构造图件。点击菜单-地震构造图件-区域地震构造图（或近场区地震构造图）, 如下图所示, 即可输出地震构造图件。



参考文献

- [1]国家质量技术监督局.中华人民共和国国家标准《目标区地震安全性评价》（GB17741-2005）》.2005
- [2]国家标准化管理委员会.中国地震动参数区划图（GB18306-2001）.贯宣教材.中国标准出版社，2001
- [3]中华人民共和国建设部.中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）》.2010
- [4]钱洪等.四川盆地地震地质基本特征.四川地震，No.3，1992
- [5]刘新诗.四川盆地的第四系.四川科学技术出版社，1983
- [6]唐荣昌等.四川活动断层与地震.地震出版社，1994
- [7]胡聿贤等.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，1989
- [8]霍俊荣、胡聿贤等.地面运动时程强度包络函数的研究.地震工程与工程振动，8(1)，1988
- [9]胡聿贤等.基岩地震动参数震级和距离的关系.地震学报.4(2)，1982
- [10]重庆市地震办公室编.重庆江北地震学术讨论会文集.地震出版社，1993
- [11]云南局等编.云贵川藏历史有感地震简目（公元 110 年—1969 年）.成都科技大学出版社.1993
- [12]重庆候风地震科技开发公司.重庆地区重大工程建设场地地震安全性评价报告 2002—2006 年 6 月间系列报告
- [13]重庆市地震工程研究所.重庆地区重大工程建设场地地震安全性评价报告 2006 年 7 月—2015 年 12 月间系列报告
- [14]丁仁杰、李克昌等.重庆地震研究暨《重庆 1：50 万地震构造图》.地震出版社.2004 年 3 月.
- [15]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
- [16]国家地震局科技发展司，1999，中国近代地震目录（ $MS \geq 4$ ，公元 1912—1990 年），中国科学技术出版社
- [17]谢毓寿、蔡美彪主编.《中国历史地震资料汇编》第三卷和第四卷.科学出版

社.1986

- [18]刁守中等编.《中国历史有感地震目录》.地震出版社.2008
- [19]中国地震局四川汶川地震专家组.川渝甘陕地区潜在震源区划分方案.2008
- [20]中国地震局四川汶川地震专家组.汶川 8.0 级地震烈度分布图(第三稿).2008
- [21]中国地震局四川芦山地震专家组.芦山 7.0 级地震烈度分布图.2013
- [22]常祖峰, 张艳凤, 王光明, 张世民, 毛泽斌, 刘昌伟.2019 年四川长宁 M_S6.0 地震的地质构造成因——区域性构造节理贯通、破裂结果[J].地球学报.2020
- [23]李光科, 巩浩波, 董娣, 郭卫英, 李翠平.重庆荣昌及邻区中强震前后构造应力场变化特征[J].地球物理学进展, 2019, 34(02):428-434.
- [24]赵从俊.四川盆地构造垂向变异特征类型及其机理探讨[J].石油学报, 1984(02):11-21.
- [25]赵从俊, 杨日畅, 田晓燕.川东构造应力场与油气富集规律探讨[J].石油学报, 1989(02):19-30.
- [26]邓新, 杨坤光, 刘彦良.遵义断裂带变形特点及其演化历史探讨[J].贵州地质, 2010, 27(03):161-167.
- [27]王赞军, 王宏超, 何宏林, 冉勇康, 郑文俊, 赵强, 于天航, 王杰, 储海燕.七曜山—金佛山断裂带武隆土坎段最后活动时代研判厘定[J].四川地震, 2016(01):25-29.
- [28]王赞军, 秦娟, 王宏超, 董娣, 唐茂云, 龚丽文, 李翠平.从重庆黔江历史地震认识黔江断裂带活动性[J].四川地震, 2018(02):5-12.
- [29]谷志东, 汪泽成.四川盆地川中地块新元古代伸展构造的发现及其在天然气勘探中的意义[J].中国科学:地球科学, 2014, 44(10):2210-2220.
- [30]熊小松, 高锐, 张季生, 王海燕, 郭良辉.四川盆地东西陆块中下地壳结构存在差异[J].地球物理学报, 2015, 58(07):2413-2423.
- [31]重庆市地质调查院.《重庆市区域地质志》, 2016.

野外调查照片集



DZ1



DZ2



DZ3



DZ4



DZ6



DZ7



DZ8



DZ9



DZ10



DZ11



DZ12



DZ13



DZ14



DZ15



DZ16



DZ17



DZ18



DZ19



DZ20



DZ21



DZ22



DZ23



DZ24



DZ25



DZ26



DZ27



DZ28



DZ29



DZ30



DZ31



DZ32



DZ33



DZ34



DZ35



DZ36



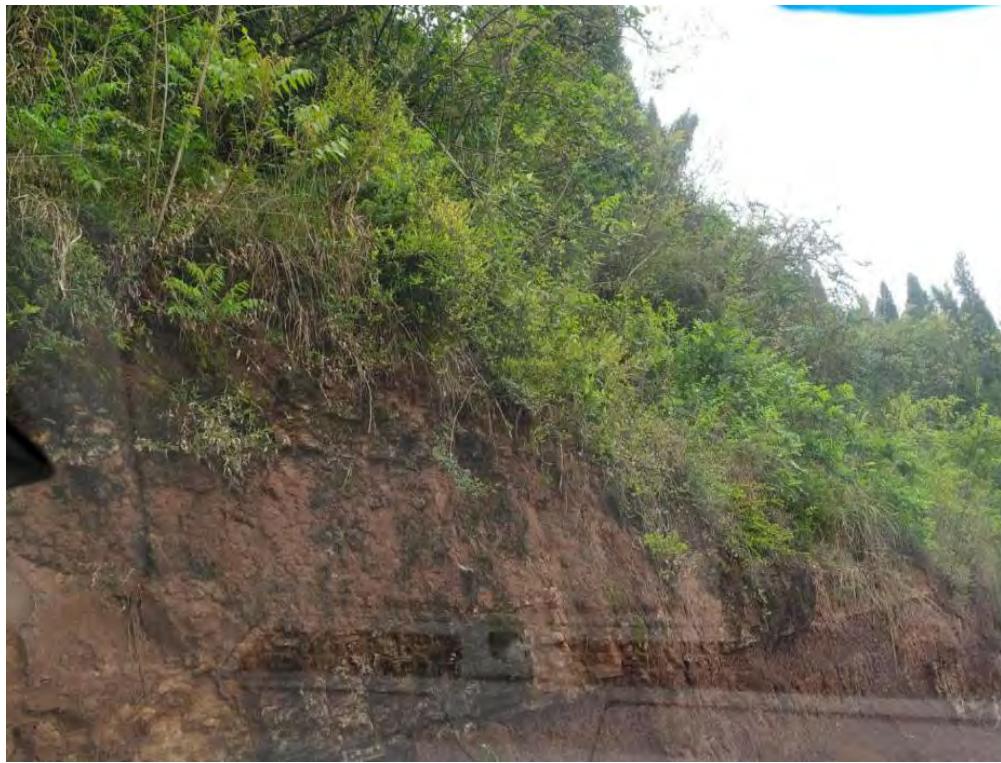
DZ37



DZ38



DZ39



DZ40

DZ41



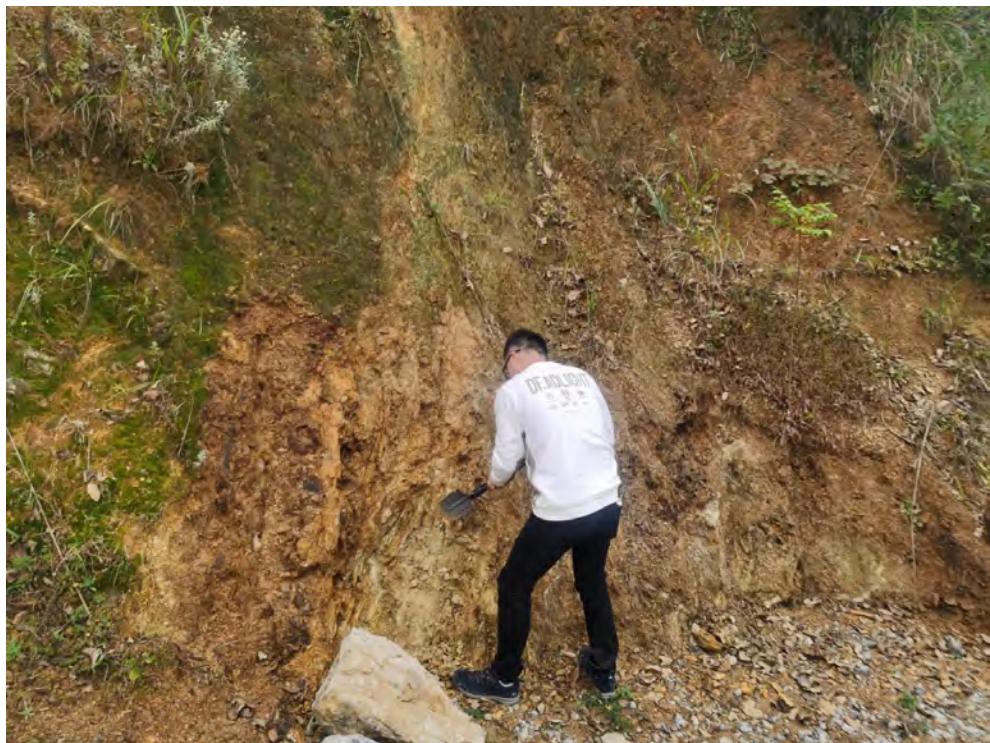
DZ42



DZ43



DZ44



DZ45



DZ46



DZ47



DZ48



DZ49



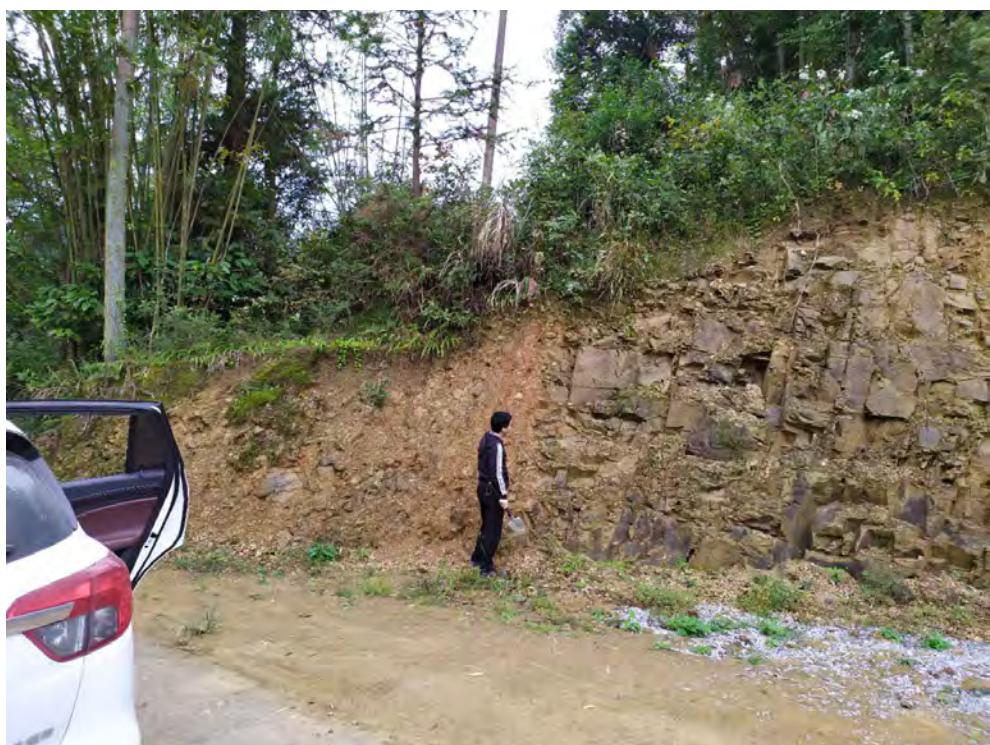
DZ49



DZ50



DZ51



DZ52



DZ53



DZ54



DZ55

附件 1 钻孔剪切波速测试报告



172201060294
2017.04.24-2023.04.23

NFJC-JLJC301-01-2017

重庆市南方建设工程检测有限公司



检测报告

报告编号：井 2020445

委托单位：重庆华地资环科技有限公司

工程名称：石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价

检测项目：单孔法波速测井

报告日期：2020 年 6 月 27 日

检测类别：现场检测





试验内容: 172201060294
2017.04.24-2023.04.23

执行标准: 《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001) 2009 版
《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) 2016 版
《地基动力特性测试规范》(GB/T 50269-2015)

试验时间: 2020 年 4 月 9 日

报告页数: 共 16 页, 其中正文 4 页 附件 12 页

试验: 罗津

审核: 一十金

批准: 罗津

注意事项:

1. 报告无“检测报告专用章”、“骑缝章”无效。
2. 复制报告未加盖上述印章鲜章无效。
3. 报告涂改、自行增删无效。
4. 报告无试验、审核、批准人签字无效。
5. 对该报告若有异议, 应于收到报告之日起十五日内向本公司提出, 逾期恕不受理。

地址: 重庆市渝中区大坪长江二路 177-1 号

邮编: 400042

投诉电话: 023-68714628、12365

电话: 023-68714628、68801461

传真: 023-68801461

目 录

一 前言.....	1
二 地质概况.....	1
三 检测设备.....	1
四 试验方法.....	1
五 工作量.....	2
六 试验成果.....	2
七 附件.....	4

一 前言

我公司于2020年4月9日对“石柱土家族自治县工业园区地震安全性评价”部分钻孔进行了波速测井。目的是通过剪切波(SH波)测井对场地地基土分层并测出等效剪切波速度，计算相关的工程力学参数，为场地土类别划分提供物探依据。

本公司为计量认证合格单位，参加检测人员均持证上岗，试验严格按规范规定进行，试验用仪器仪表均经检定和校准，试验成果准确可靠。

二 地质概况

覆盖土层为碎石填土、粉质粘土，岩层为泥岩。

三 检测设备

表 3.1 使用仪器设备一览表

设备名称	规格	设备状况	数量
高分辨地震仪	DZQ48型	良好	1台
活塞式机械贴壁井中三分量检波器	CDJ-JF型	良好	1个
非金属声波检测仪	FDP204-SW型	良好	1台
一发双收式工程声波探头	ST-1A型	良好	1个

四 试验方法

1 剪切波测井

单孔法，距井口2.0米处安置剪切波震源板，在木板两端水平激震产生剪切波SHX、SHY，在木板中心激震产生P波。经过土层的传播，由在孔中的三分量检波器接收，根据地震波传播的距离和走时计算出场地土的波速，进而评价场地土的工程性质。工作示意图如下：

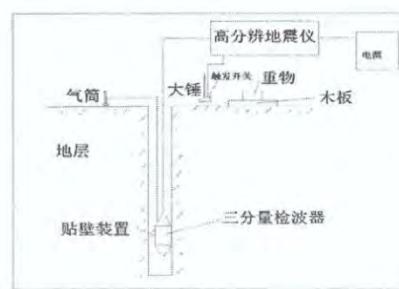


图 4.2 剪切波测井示意图

本次测试由孔底往上，井中检波器每隔1米采集1次，读取相邻两点的地震波初至

时间即可求取时差 t , t 经修正可换算出垂距行走时间 t' , 结合测试点距 d 即可算出本段土的剪切波速度 V_{si} 。由各层土的 V_{si} 及土层厚度即可计算出土层的等效剪切波速 V_{se} 。根据 V_{se} 和场地覆盖层厚度即可对场地土类别进行划分。其计算公式如下:

$$V_{se} = d_0 \left/ \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}} \right.$$

式中: V_{se} ——土层等效剪切波速度; d_0 ——计算深度(米), 取覆盖层厚度和 20m 二者的较小值; t' ——剪切波在地面至计算深度之间传播时间; d_i ——计算深度范围内第 i 层的厚度(米); V_{si} ——计算深度范围内第 i 层土的剪切波速(米/秒);
 n ——计算深度范围内土层的分层数。

五 工作量

本次共测井 12 口

表 5.1 钻孔测井工作量统计表

孔号	井深 (m)	测试参数	测量范围 (m)
ZK1	17.20	剪切波	0.0~12.0
ZK2	10.40	剪切波	0.0~3.0
ZK3	17.20	剪切波	0.0~10.0
ZK4	28.40	剪切波	0.0~22.0
ZK5	24.00	剪切波	0.0~7.0
ZK6	25.40	剪切波	0.0~20.0
ZK7	22.30	剪切波	0.0~4.0
ZK8	24.00	剪切波	0.0~11.0
ZK9	17.20	剪切波	0.0~2.0
ZK10	14.20	剪切波	0.0~1.0
ZK11	16.80	剪切波	0.0~5.0
ZK12	18.10	剪切波	0.0~6.0

六 试验成果

测试成果详见各钻孔波速测井的成果图、表。

表 6.1 钻孔剪切波测试成果表

孔号	地层名称	测试范围	V_s
		(m)	(m/s)
ZK1	碎石填土	0.0~10.0	148~204
	强风化泥岩	~12.0	516~527
ZK2	碎石填土	0~3.0	173~189
	强风化泥岩	~6.0	517~533
ZK3	强风化泥岩	0.0~3.0	509~532
ZK4	碎石填土	0.0~15.0	153~194
	粉质粘土	~17.0	171~177
	强风化泥岩	~22.0	506~526
ZK5	碎石填土	0.0~5.0	148~189
	强风化泥岩	~7.0	524~539
ZK6	碎石填土	0.0~17.0	144~211
	强风化泥岩	~20.0	515~542
ZK7	碎石填土	0.0~2.0	180~187
	强风化泥岩	~4.0	509~522
ZK8	碎石填土	0.0~9.0	155~186
	强风化泥岩	~11.0	519~528
ZK9	强风化泥岩	0.0~2.0	513~524
ZK10	强风化泥岩	0.0~1.0	519~526
ZK11	碎石填土	0.0~2.0	183~186
	强风化泥岩	~5.0	513~528
ZK12	强风化泥岩	~3.0	508~514

(以下无正文)

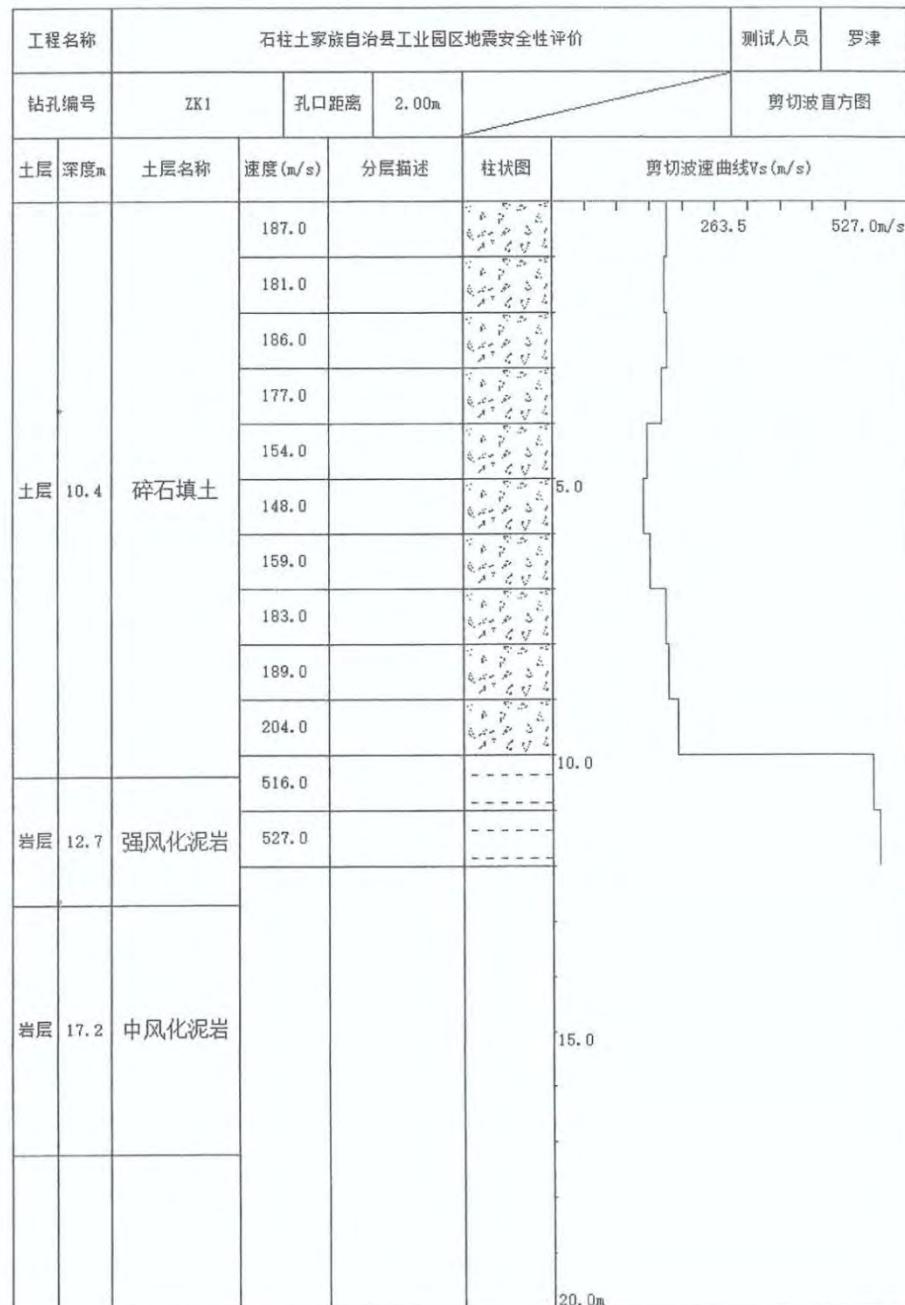
七 附件

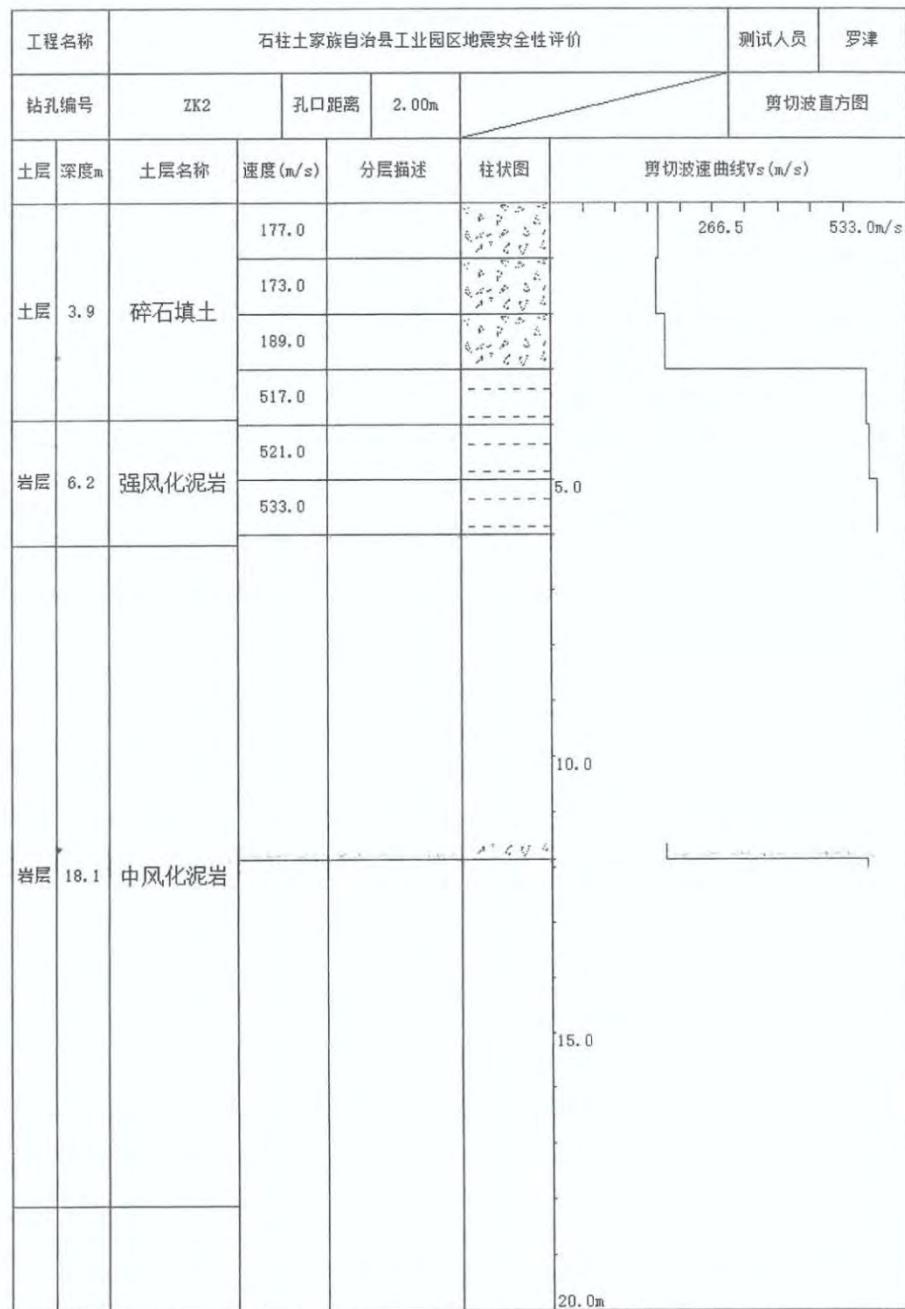
附件 1:

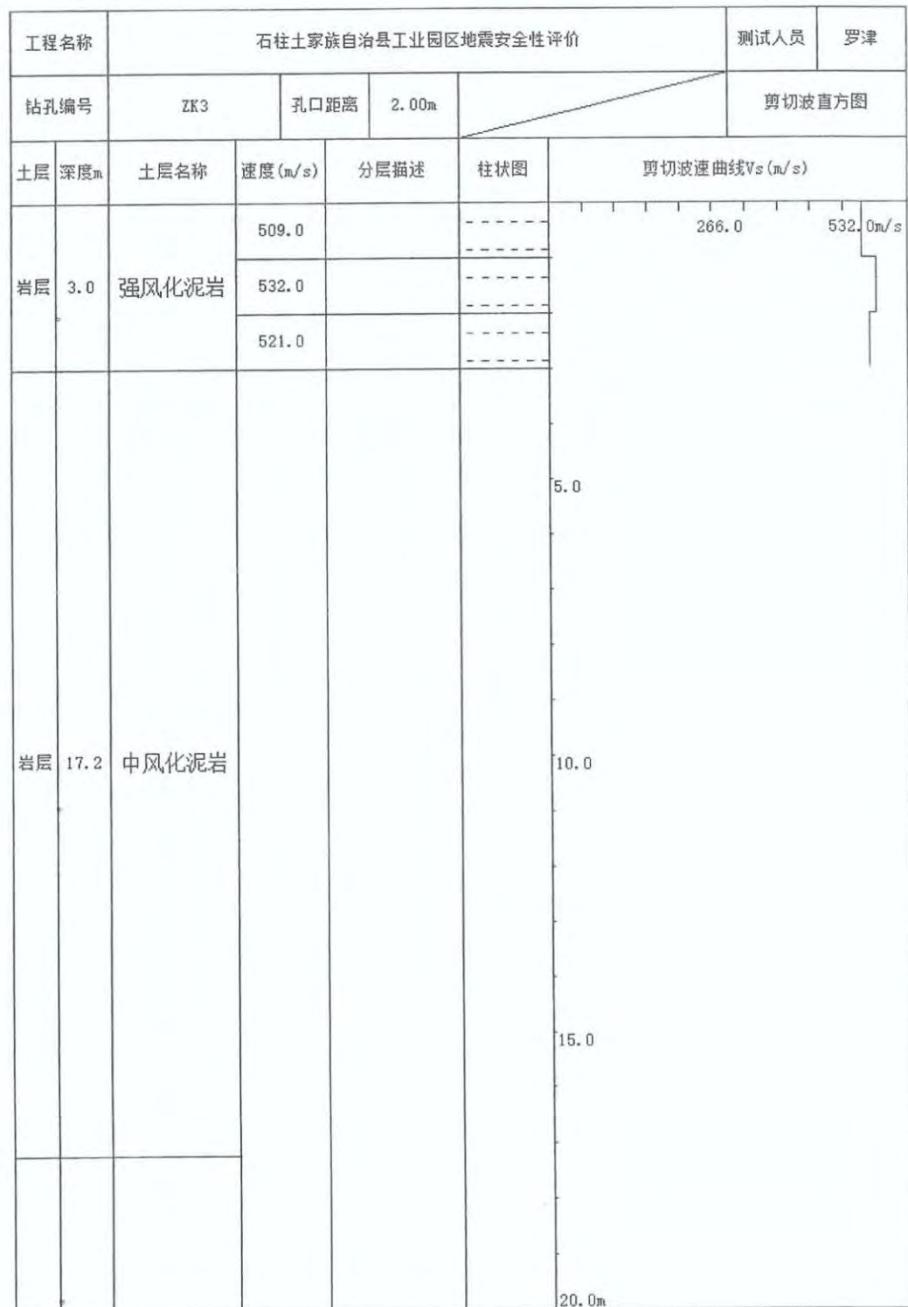
附表 1 土的类型划分和剪切波波速

土的类型	岩石	坚硬土或软质岩石	中硬土	中软土	软弱土
土层剪切波范围(m/s)	$V_s > 800$	$800 \geq V_s > 500$	$500 \geq V_s > 250$	$250 \geq V_s > 150$	$V_s \leq 150$

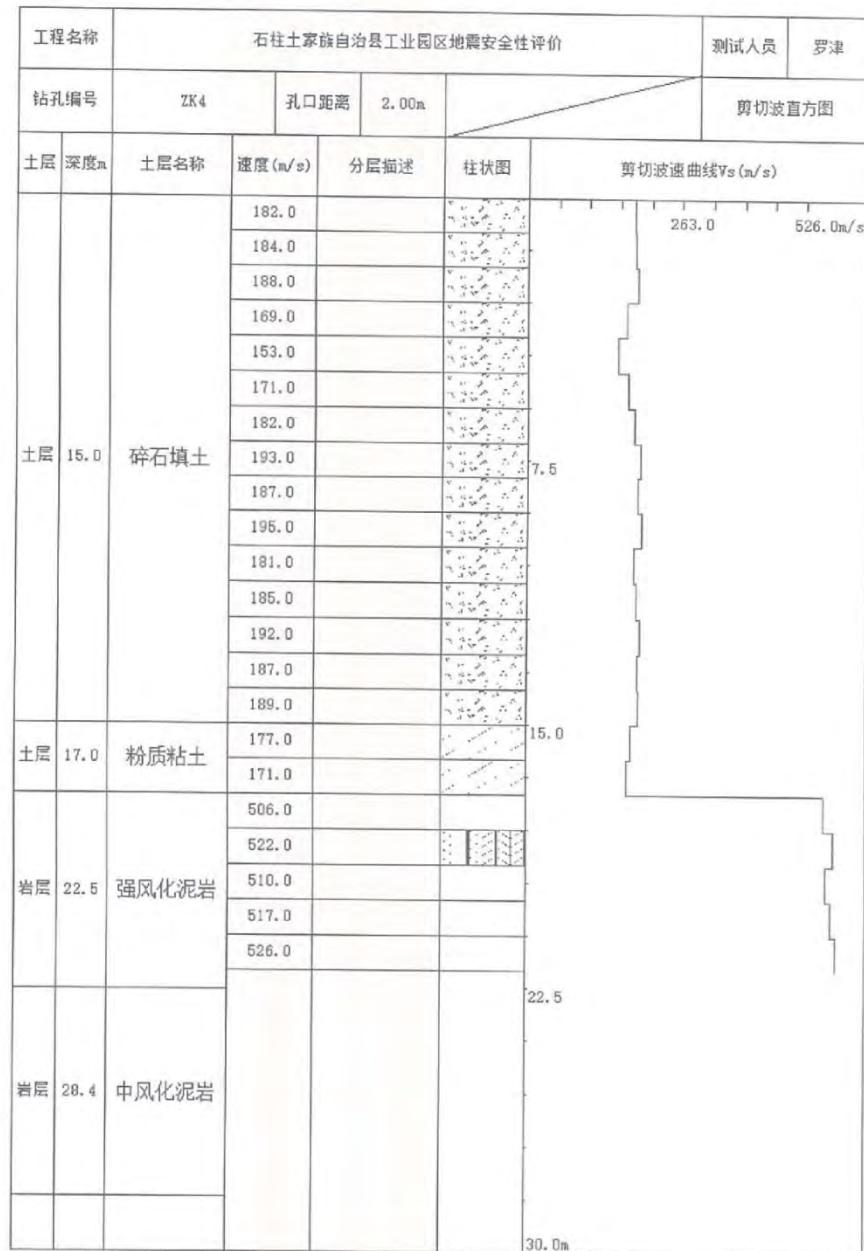
附件 2: 剪切波成果图

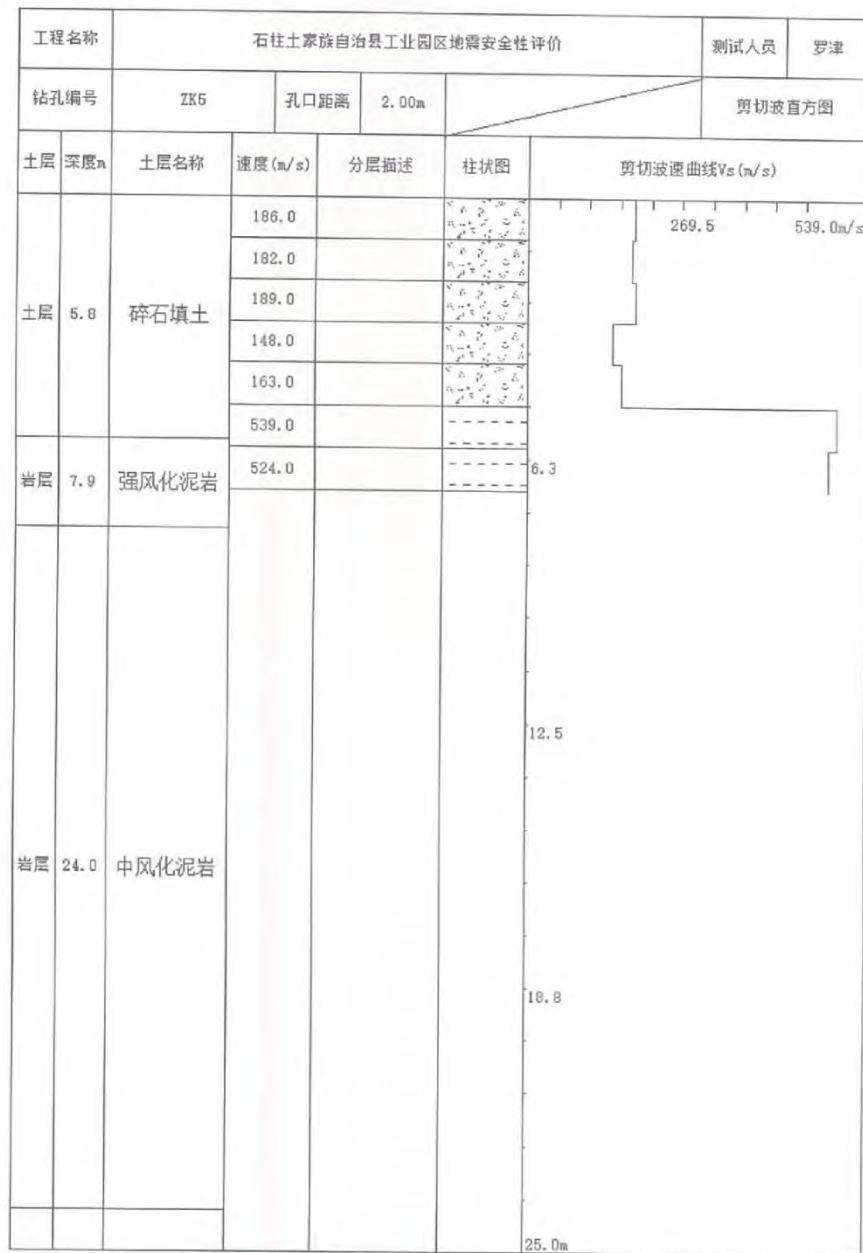


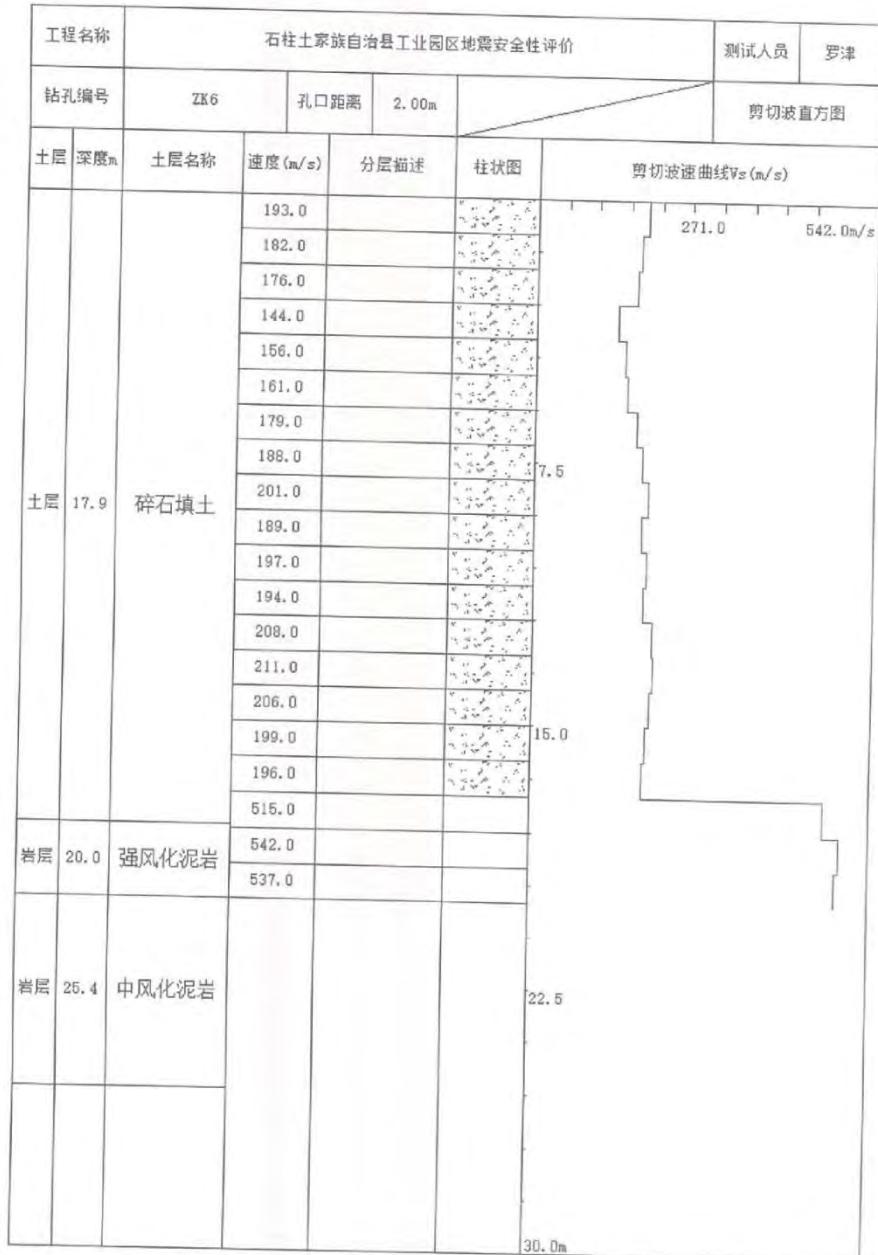


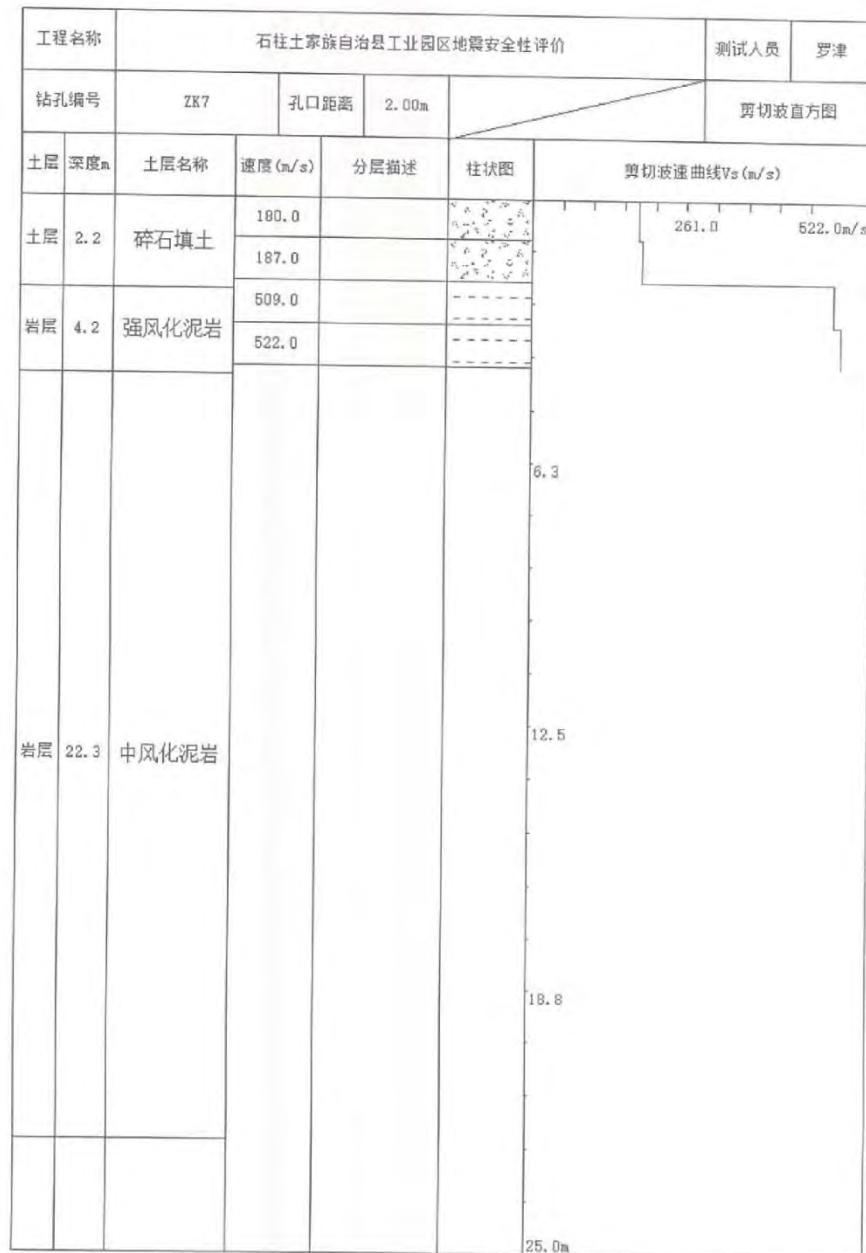


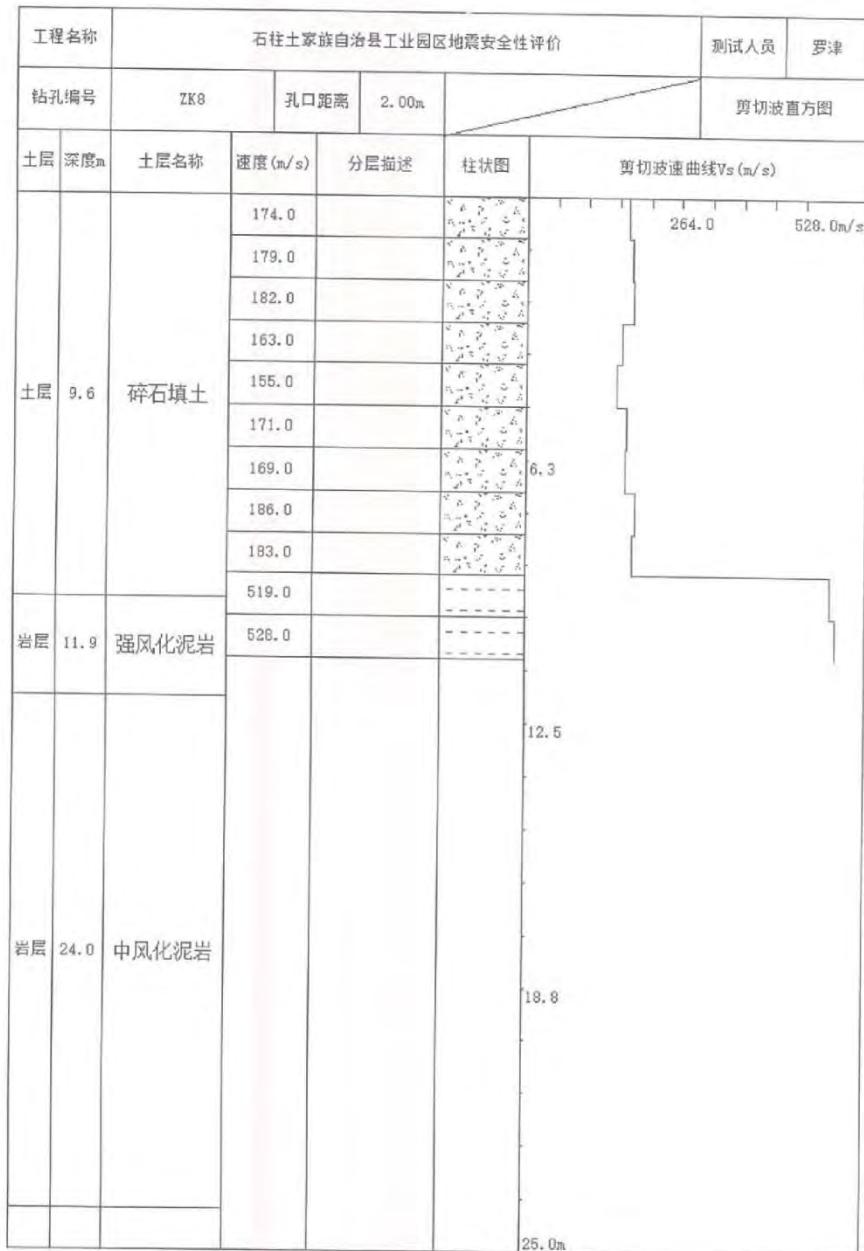
测有
缝

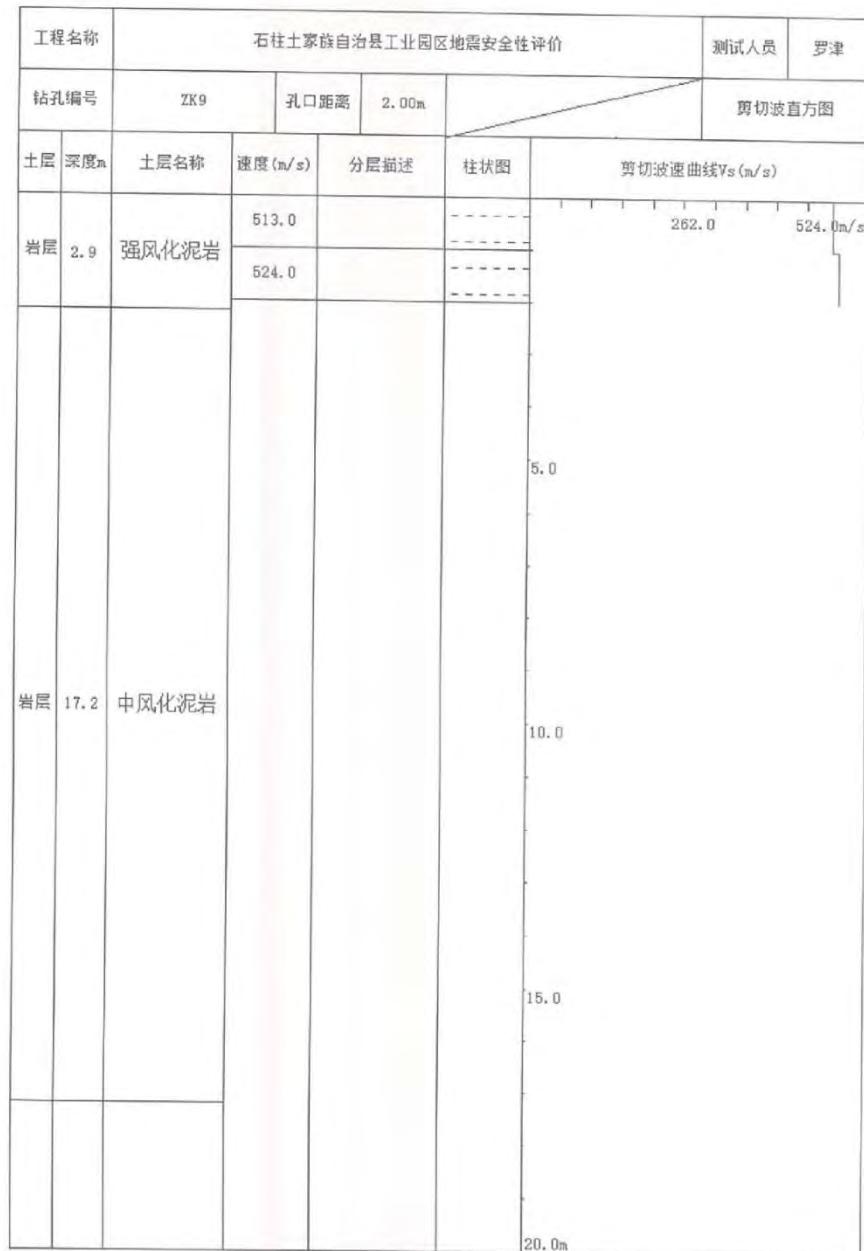


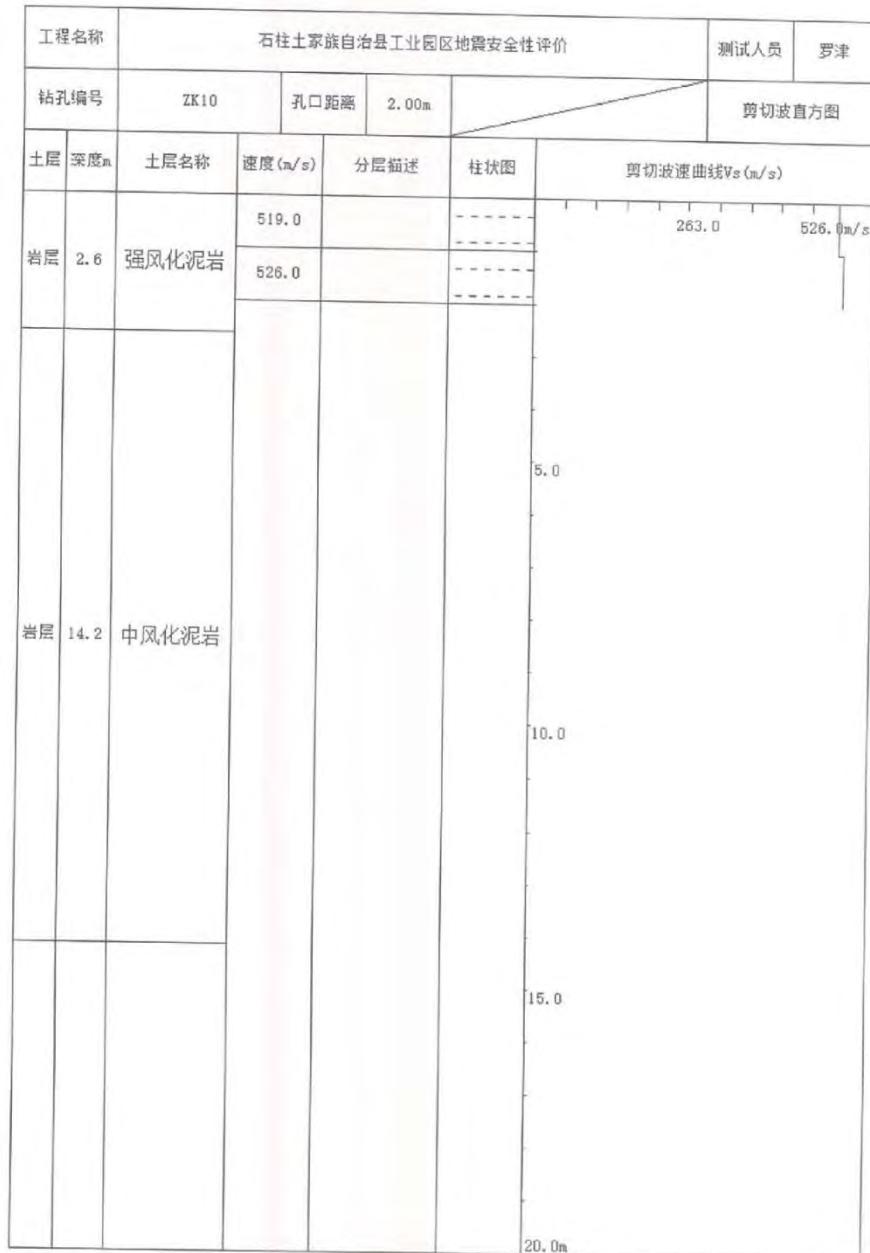


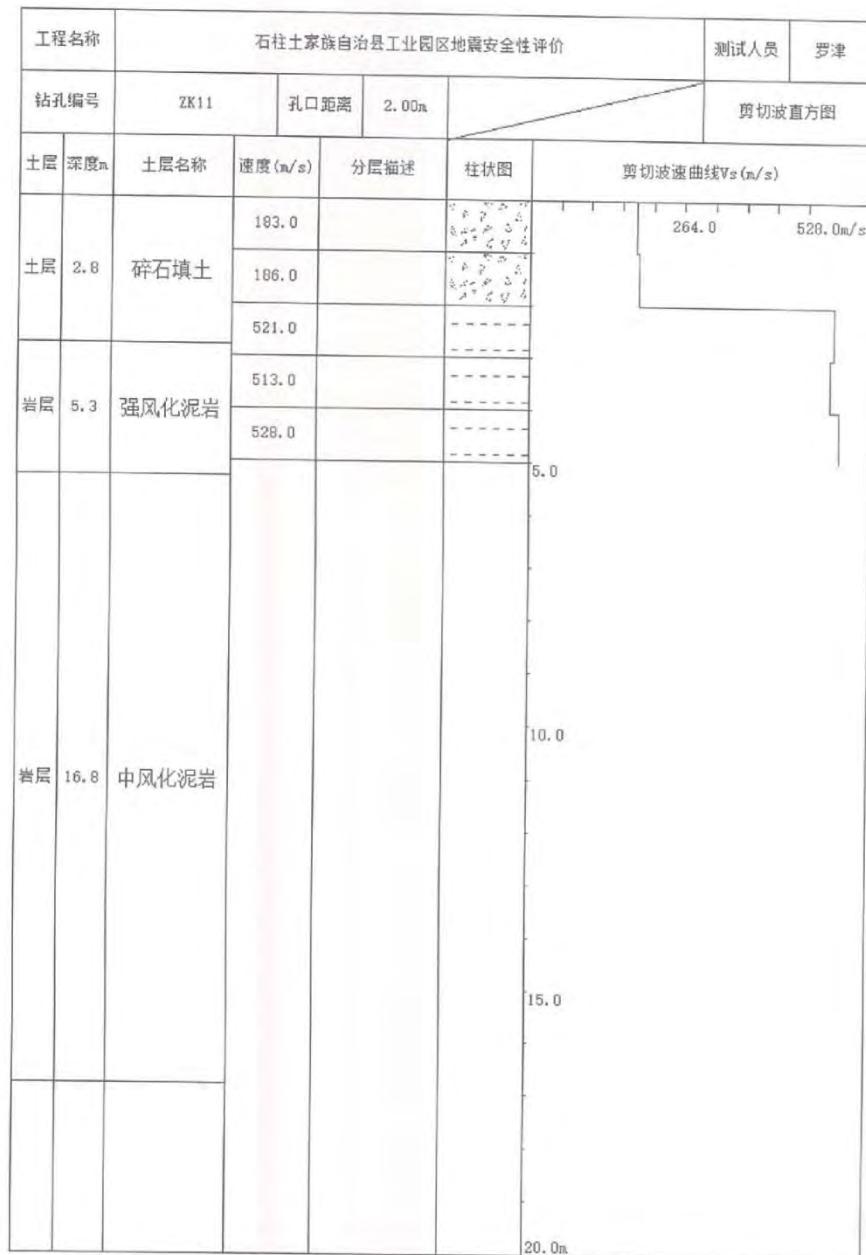


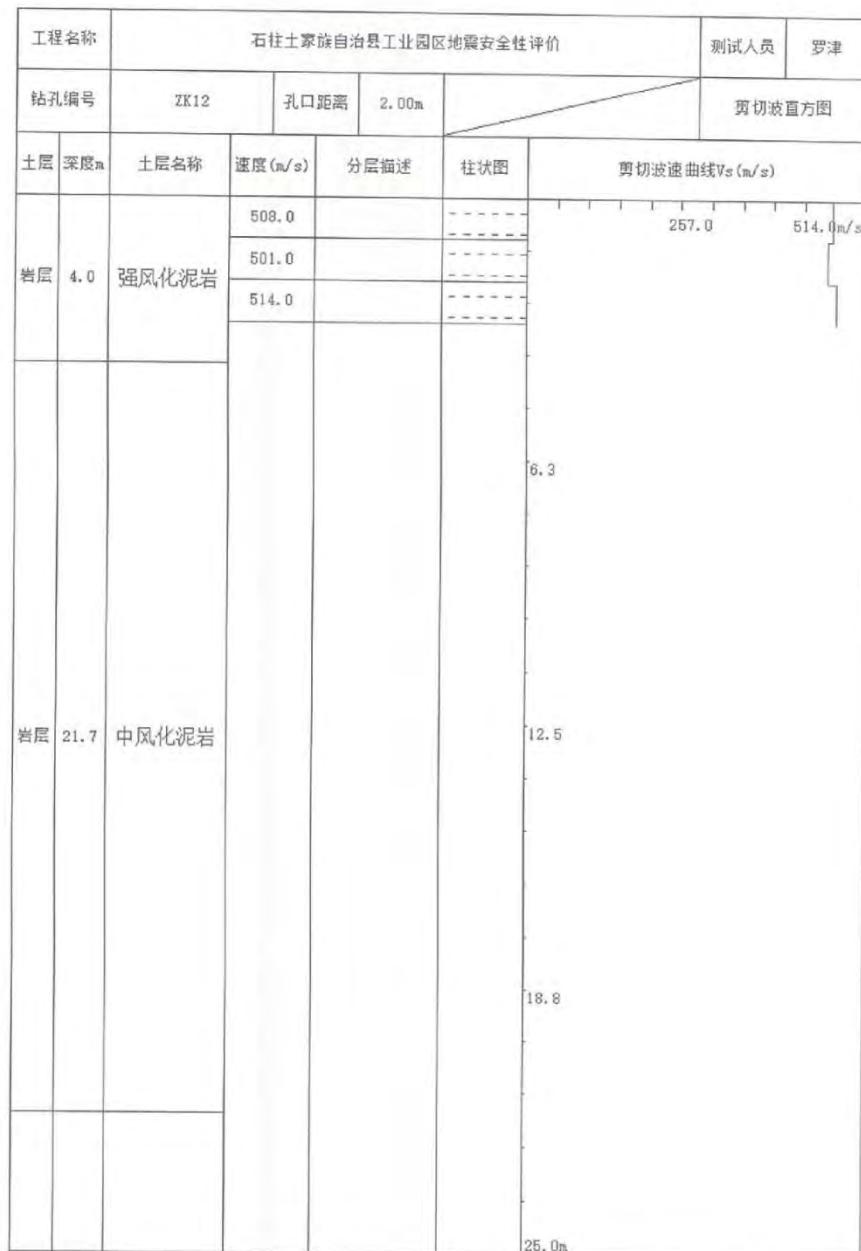












重庆市南方建设工程检测有限公司

现场检测仪器设备登记表

序号	仪器设备名称及型号	编 号	备注
1	高分辨率地阻仪 D8048	XL19018	
2	井中三分量旋转波器 WJ-3T		
3			
4			
5			
6			
7			
8			

千斤顶有线性回归方程的, 需在备注栏里填写

现场检测情况登记表

序号	检测项目	试验编号	主要设备编号	检测开始时间	检测结束时间	记录人
1	测速测开		XL19019	2020.4.9	2020.4.9	罗津
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

附件 2 土动三轴试验报告

石柱土家族自治县工业园区
区域地震安全性评价土样动三轴试验
试验报告

试验完成单位：北京工业大学建筑工程学院土力学实验室



试验完成时间：2020年7月

1. 试验原理

大量的试验研究结果表明, 土体的动力本构关系可以采用如下的双曲线的形式进行表示:

$$\tau = \frac{\gamma}{a + b\gamma}$$

由此可以得到动剪切模量的表达式为:

$$G_d = \frac{1}{a + b\gamma}$$

式中: τ 为剪应力, γ 为剪应变; a 和 b 为试验参数, 与土性有关, 其中 $a = 1/G_{d\max}$, $G_{d\max}$ 为最大动剪切模量, 可以认为是剪应变为 10^{-6} 时所对应的剪切模量, $b = 1/\tau_{\max}$, τ_{\max} 为剪应变趋于无穷大时的最大剪应力。归一化的无量纲动模量比的表达式为:

$$\frac{G_d}{G_{d\max}} = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_r}$$

其中 γ_r 为参考应变, 其表达式为: $\gamma_r = a/b$ 。

滞回阻尼比与动剪切模量之间存在着下述关系:

$$\lambda = \lambda_{\max} \left(1 - \frac{G_d}{G_{d\max}}\right)^\alpha$$

式中: λ_{\max} 为动剪切模量趋于零时的最大滞回阻尼比, α 为经验系数, 常取值为 1。

2. 试验仪器

采用北京工业大学建筑工程学院土力学实验室的 DDS-70 型动三轴仪进行土样的动剪切模量比和动阻尼比的试验研究。

3. 试验过程

试样制备

本次试验所采用的土样全部为原状土样, 试样为圆柱形, 直径为 39.1 毫米, 高度为 80 毫米, 采用削土器进行制备。

试样固结

根据土样的埋深计算其固结压力, 在相应的固结压力下对试样进行固结排水, 以模拟其现场的应力状态。

循环加载

试样固结完成以后, 对其逐级施加循环动力荷载, 并采集相应的试验数据。试验采用的荷载形式为正弦荷载, 荷载频率为 1Hz。

4. 试验结果

表1 试样土类与试验条件汇总表

序号	试样编号	试样土类	埋深 (m)	固结压力 (kPa)
1	ZK4	粉质粘土	16.7-17.0	340

表2 试样动模量比与动阻尼比试验结果汇总表

试样 编号	参 数	剪 应 变 (%)							
		5.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	0.1	0.5	1.0
ZK4	模量比 G/G_{max}	0.9958	0.9916	0.9592	0.9217	0.7018	0.5405	0.1905	0.1053
	阻尼比 λ	0.0354	0.0413	0.0592	0.0691	0.0989	0.1155	0.1655	0.1932

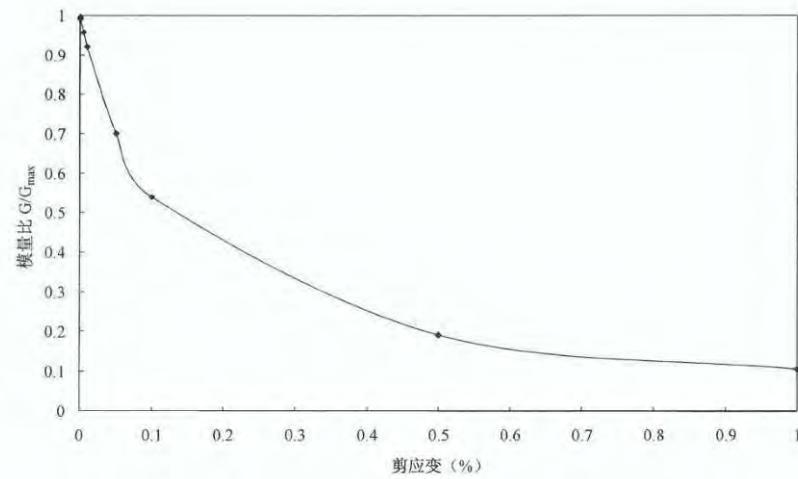


图 1(a) 试样 ZK4 动模量比与剪应变关系曲线

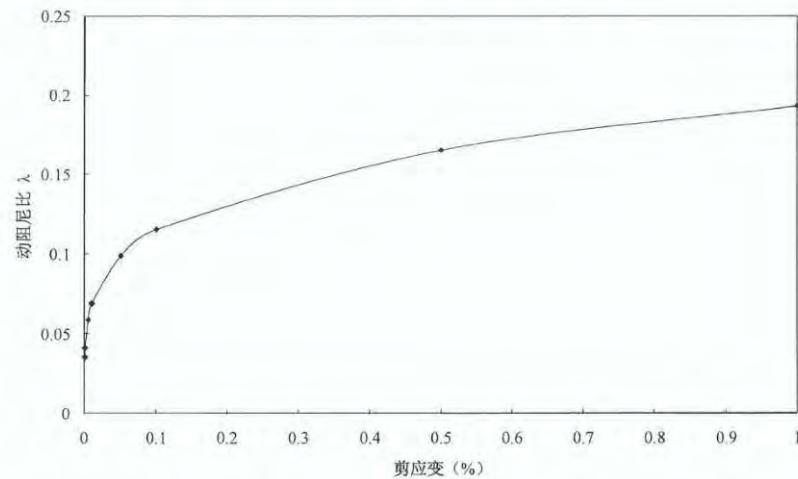


图 1(b) 试样 ZK4 动阻尼比与剪应变关系曲线

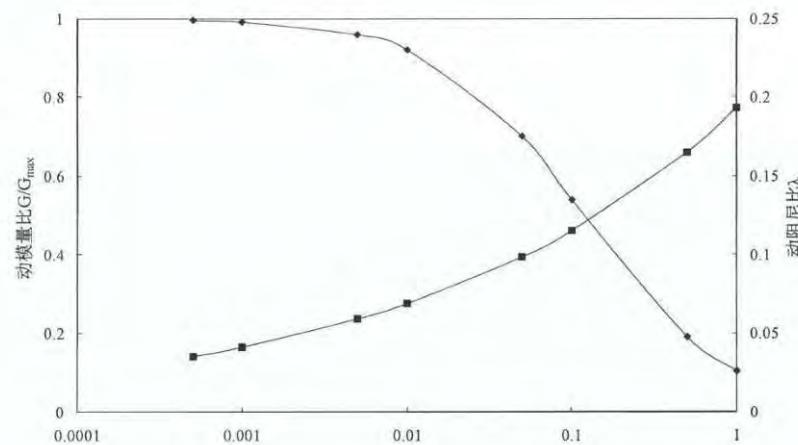


图 1(c) 对数坐标中试样 ZK4 动模量比和动阻尼比与剪应变关系曲线

