

**乐山市五通桥区化工园区
区域性地震安全性评价报告
(送审稿)**



地震安全性评价报告 签章页

项目名称：乐山市五通桥区化工园区区域性地震安全性评价

建设单位：乐山市五通桥区应急管理局

委托单位：乐山市五通桥区应急管理局

评价单位：中震科技有限公司

评价单位法人(签字或盖章)：唐欣

项目技术负责人(签字)：王杨双

主要编写人员(每项不超过两人)：

地震活动性评价(签字)：王杨双 史青云

地震构造评价(签字)：杨凌巍 刑合

工程场地地震影响评价(签字)：刘光云 郭进才

项目其他参加人员：谢枫 王杨双

目 录

前 言	- 1 -
一、项目概况与工作要求	- 1 -
0.1 项目概况	- 1 -
0.2 工作依据	- 3 -
0.3 工作内容	- 3 -
0.4 工作范围	- 5 -
0.5 技术路线	- 9 -
0.6 实物工作量及提交成果	- 10 -
0.7 项目组成员	- 12 -
0.8、致谢	- 12 -
第一章 区域地震活动性	- 13 -
1.1 区域地震目录的建立与资料概况	- 13 -
1.1.1 区域地震目录的编制	- 13 -
1.1.2 地震资料完整性分析	- 20 -
1.2 区域地震活动的空间分布特征与地震区（带）划分	- 22 -
1.2.1 区域地震区、带的划分	- 22 -
1.2.2 区域地震震中空间分布特征	- 25 -
1.2.3 区域地震震源深度分布	- 27 -
1.3 地震活动的时间分布特征与未来地震趋势估计	- 29 -
1.3.1 长江中游地震带地震活动的时间分布特征	- 29 -
1.3.2 龙门山地震带地震活动的时间分布特征	- 30 -
1.3.3 鲜水河-滇东地震带地震活动的时间分布特征	- 31 -
1.3.4 右江地震带地震活动的时间分布特征	- 32 -
1.4 区域震源机制和应力场特征	- 33 -
1.5 历史地震及其对目标区的影响	- 39 -
1.5.1 等震线及文字记载资料	- 39 -
1.5.2 利用衰减关系计算历史地震影响烈度	- 52 -
1.6 区域地震活动环境评价	- 53 -
第二章 区域地震地质背景	- 55 -
2.1 区域大地构造背景	- 55 -
2.1.1 区域大地构造演化	- 56 -
2.1.2 大地构造分区	- 57 -
2.2 区域地球物理场与深部构造	- 59 -
2.2.1 重力场特征	- 59 -
2.2.2 航磁异常特征	- 60 -
2.2.3 地壳结构特征	- 62 -
2.2.4 区域地球物理场和地壳结构与地震活动的关系	- 64 -
2.3 区域新构造运动特征	- 65 -
2.3.1 区域地貌特征及新生代地层发育概况	- 65 -
2.3.2 新构造运动的基本特征	- 68 -

2.3.3 区域新构造运动分区	70 -
2.3.4 新构造运动与地震活动的关系	72 -
2.4 区域主要断裂及其活动性	73 -
2.4.1 金汤弧形断裂带 (F1)	76 -
2.4.2 龙门山构造带 (F2)	78 -
2.4.3 大塘断裂 (F3)	91 -
2.4.4 蒲江-新津断裂 (F4)	91 -
2.4.5 苏码头断裂 (F5)	93 -
2.4.6 德阳东断裂 (F6)	93 -
2.4.7 龙泉山断裂带 (F7)	94 -
2.4.8 鲜水河断裂 (F8)	95 -
2.4.9 锦屏山断裂 (F9)	97 -
2.4.10 南河断裂 (F10)	99 -
2.4.11 安宁河断裂 (F11)	101 -
2.4.12 则木河断裂 (F12)	104 -
2.4.13 黑水河-越西河断裂 (F13)	106 -
2.4.14 大凉山断裂 (F14)	108 -
2.4.15 保新厂-凰仪断裂 (F15)	110 -
2.4.16 甘洛-竹核断裂 (F16)	110 -
2.4.17 峨边-金阳断裂 (F17)	111 -
2.4.18 荣经-马边-盐津断裂带 (F18)	111 -
2.4.19 雷波断裂 (F19)	112 -
2.4.20 莲峰断裂 (F20)	114 -
2.4.21 长山镇断裂 (F21)	116 -
2.4.22 华蓥山断裂带 (F22)	116 -
2.4.23 昭通-鲁甸断裂 (F23)	119 -
2.4.24 威信断裂 (F24)	121 -
2.5 区域地震构造分析	122 -
2.5.1 区域地震构造环境评价	122 -
2.5.2 强震发生的构造环境及其实例分析	123 -
2.5.3 区域强震发生的构造条件	124 -
2.5.4 四川盆地中强震发生的构造条件	125 -
2.5.5 区域主要发震构造评价	128 -
第三章 近场区地震构造分析	131 -
3.1 近场区地震活动性	131 -
3.1.1 近场地震资料概况	131 -
3.1.2 近场地震活动特征	133 -
3.2 近场区地质地貌特征	133 -
3.2.1 近场区地貌概述	133 -
3.2.2 近场区地质特征概述	134 -
3.3 近场区新构造运动特征	136 -
3.4 近场区遥感解译	139 -
(1) 数学基础	139 -

(2) 数据处理与影像制作	139 -
(3) 遥感图像增强处理	140 -
(4) 构造解释	140 -
3.4 近场区地震构造特征	146 -
3.4.1 龙泉山断裂 (f1)	149 -
3.4.2 沙湾断裂 (f2)	152 -
3.4.3 踏水镇断裂 (f3)	155 -
3.4.4 铜茨断裂 (f4)	157 -
3.4.5 利店断裂 (f5)	159 -
3.4.6 长山镇断裂 (f6)	162 -
3.5 近场区地震构造综合评价	164 -
第四章 目标区断层探测与活动性鉴定	166 -
4.1 目标区地质构造及地貌	166 -
4.1.1 目标区地形地貌	166 -
4.1.2 目标区地质构造	166 -
4.1.3 目标区地层与岩性	167 -
4.2 目标区附近地质剖面	167 -
4.3 目标区工程地质剖面结果	171 -
4.4 结论	175 -
第五章 地震危险性概率分析	176 -
5.1 地震危险性概率分析方法概述	176 -
5.2 地震构造区和潜在震源区的划分	178 -
5.2.1 地震构造区的定义与划分原则	178 -
5.2.2 地震构造区的划分结果	179 -
5.2.3 潜在震源区的划分原则	180 -
5.2.4 潜在震源区的方向和范围	181 -
5.2.5 潜在震源区的震级上限	182 -
5.2.6 潜在震源区的划分方案	184 -
5.3 地震活动性参数的确定	188 -
5.3.1 地震带地震活动性参数的确定	189 -
5.3.2 地震构造区背景潜源和潜在震源区地震活动性参数的确定	194 -
5.4 地震动预测方程	198 -
5.5 目标区地震危险性分析结果	205 -
第六章 场地地震工程地质条件勘测	244 -
6.1 目标区工程地质条件	244 -
6.1.1 目标区概述	244 -
6.1.2 地形地貌、水文地质、地质构造	245 -
6.2 目标区钻孔成果	247 -
6.2.1 目标区场地勘探工作布置及实施	247 -
6.2.2 场地地层及岩性特征	249 -
6.3 剪切波速测试成果及场地类别划分	271 -

6.3.1 测试目的和意义	271 -
6.3.2 测试仪器	271 -
6.3.3 测试方法	271 -
6.3.4 测试成果	271 -
6.3.5 等效剪切波速计算和场地类别划分	278 -
6.4 目标区地震工程地质条件综合评价	280 -
第七章 目标区地震动参数的确定	281 -
7.1 目标区地震动参数的确定	281 -
7.2 地面地震动时程的合成	325 -
7.3 目标区地震动参数分区	341 -
7.3.1 目标区峰值加速度分区	341 -
7.3.2 目标区特征周期分区	345 -
7.3.3 使用说明	349 -
第八章 场地地震地质灾害评价	350 -
8.1 断层错动评价	350 -
8.2 地震砂土液化评价	350 -
8.2.1 砂土液化的危害	350 -
8.2.2 历史砂土液化灾害调查	351 -
8.2.3 砂土液化评价	351 -
8.3 软土震陷评价	351 -
8.4 地震崩塌、滑坡灾害评价	352 -
8.4.1 崩塌、滑坡形成条件	352 -
8.4.2 场地崩塌、滑坡评价	353 -
8.5 场地地震地质灾害综合评价	356 -
第九章 区域性地震安全性评价查询系统	358 -
9.1 区评查询系统架构设计	358 -
9.1.1 设计思路	358 -
9.1.2 设计原则	358 -
9.1.3 结构设计	358 -
9.2 功能模块展示	359 -
9.2.1 主界面	359 -
9.2.2 地震构造条件	359 -
9.2.3 地震工程地质条件	360 -
9.2.4 基岩地震动	360 -
9.2.5 地表地震动	361 -
9.2.6 地震地质灾害评价	362 -
9.2.7 定位结果查询系统	363 -
第十章 主要结论	364 -
一、地震活动环境评价	364 -
二、地震构造环境评价	365 -

三、地震危险性概率计算结果	- 368 -
四、场地工程地震条件及场地地震地质灾害评价	- 369 -
五、地震动参数确定	- 370 -
六、使用说明	- 376 -
主要参考文献	- 379 -

附件一 钻探和波速测试报告

附件二 地震动时程文件

前 言

一、项目概况与工作要求

0.1 项目概况

乐山五通桥区化工园区位于四川省乐山市五通桥区，于 2019 年 9 月 18 日经乐山市人民政府以《乐山市人民政府关于设立五通桥化工园区的批复》（乐府函复[2019]25 号）批准成立。乐山五通桥化工园区重点发展化工新材料(含精细化工)产业链、稀土及功能性新材料产业链、新能源(含晶硅光伏)产业链。该园区拟认定面积为 1129.1771 公顷，即 11.29 平方公里。四至情况为:东至五通桥区金粟镇五一村，南至五通桥区金粟镇会云村，西至五通桥区竹根镇红军村，北至五通桥区金山镇民安村，为一个区块。乐山市自然资源和规划局出具了《关于乐山五通桥化工园区认定用地情况的初审报告》（乐市自然资规[2022]21 号），化工园区四至范围内未占用自然保护区，未突破生态保护红线，乐山市自然资源和规划局同意将化工园区用地布局及规划纳入正在编制的规划期至 2035 年国土空间总体规划。

目标区位置示意图见图 0.1。

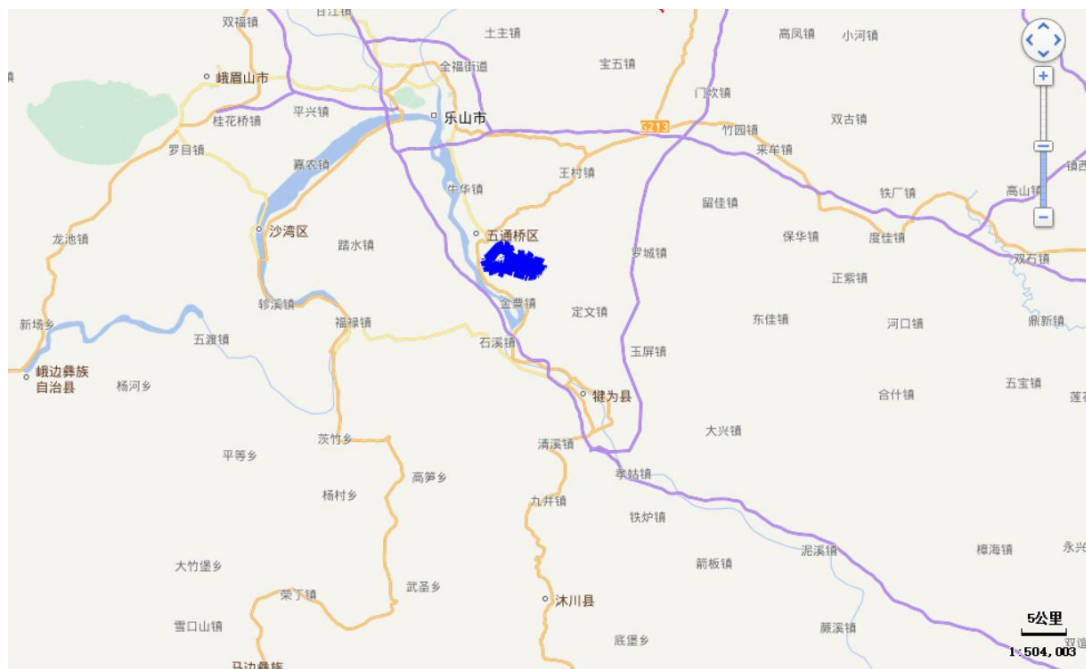
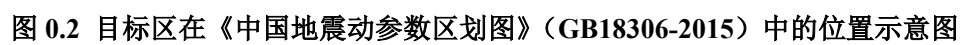


图 0.1 目标区位置示意图（蓝色线框为目标区范围）

目标区位于《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）地震动峰值加速度在

受乐山市五通桥区应急管理局的委托，中震科技有限公司承担了五通桥区化工园区区域性地震安全性评价工作。



受乐山市五通桥区应急管理局的委托，中震科技有限公司承担了五通桥区化工园区区域性地震安全性评价工作。

0.2 工作依据

(1) 主要执行的法律、法规：

- ① 《地震安全性评价管理条例》（国务院令 323 号，2019）；
- ② 《中华人民共和国防震减灾法》（中华人民共和国主席令第 94 号，2009）；
- ③ 《四川省工程建设场地地震安全性评价管理规定》（四川省人民政府令第 325 号，2017）；
- ④ 《四川省人民政府关于修改〈四川省工程建设场地地震安全性评价管理规定〉的决定》（2017 年）。

(2) 本次工作主要依据下列相关技术规范执行：

- ① 《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005）；
- ② 《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》中国地震局，2019
- ③ 《四川省区域性地震安全性评价规范》（DB51/T 2946-2022）；
- ④ 《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）；
- ⑤ 《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010 2016 年版）
- ⑥ 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009 年版）
- ⑦ 《构筑物抗震设计规范》（GB50191-2012）
- ⑧ 《建筑工程抗震设防分类标准》（GB50223-2008）

0.3 工作内容

根据中国地震局《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》、《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005）和《四川省区域性地震安全性评价规范》（DB51/T 2946-2022）的技术规范，结合项目合同要求，确定本项目的总体工作内容涵盖以下方面：

(1) 区域地震活动性和地震构造评价

在对区域范围内资料收集和整理的基础上，分析区域地震活动特征和未来地震活动趋势，评价区域范围内地震发生的条件，判识区域范围内对场地地震危险性有影响的发展构造，综合评价区域地震构造环境和地震活动水平，为地震区、带划分、地震构造区划分和潜在震源区划分及边界厘定、地震活动性参

数确定等提供依据。

(2) 近场区地震活动性和地震构造调查与评价

在收集已有研究资料的基础上，利用地球物理探测和地震地质考察等方法，确定近场区范围内的主要断裂的特性及其展布位置，通过地质学、地层学和年代学等方法评价断裂的最新活动时代。研究近场区范围内的地震活动情况，分析近场区范围内的小震空间和时间分布特征及其与活动构造之间的关系。

(3) 目标区断层勘查和活动性鉴定

采用地质地貌法开展断层控制性调查与探测，查明目标区是否存在断层。对发现的第四纪以来有活动的主要断层，开展断层的活动性鉴定；对于隐伏断层可采用跨断层钻孔联合地质剖面探测法，对近地表断层及裸露断层可采用地表地质调查或探槽，结合地层、地貌年代测定等，确定断层的位置、规模、产状、最新活动时代以及断层活动性特征。

(4) 目标区地震工程地质条件勘测

收集、整理、分析工程场区及附近地区已有的工程地质勘查资料，合理布置场地勘测的钻孔布设确定、开展必要的原位测试工作，通过岩土动力特性试验，测定剪变模量比与剪应变关系、阻尼比与剪应变关系，为场地类型判定和土层模型建立提供依据。

(5) 目标区概率性地震危险性评价

在地震区、带划分的基础上，吸收本地区最新的研究成果，划分潜在震源区，根据地震活动空间分布图象和地震构造特征确定潜在震源区边界，确定地震区带和潜在震源区的地震活动性参数。根据区域及邻区的地震等震线图或地震烈度资料以及强震观测资料等，确定适合本地区的基岩地震动衰减关系。进行地震危险性概率分析，确定场地不同超越概率水平下的基岩地震动参数。

(6) 目标区场地地震动参数确定

依据相关规范要求，计算分析场地条件，按照场地类别，在地震危险性分析结果与场地工程地震条件的基础上，最终给出目标区 50 年超越概率分别为 63%、10%、2%，100 年超越概率分别为 63%、10%、2%、1%水平下的场地设计水平峰值加速度、水平加速度反应谱（阻尼比 5%）和时程，供业主选择使用。

(7) 目标区地震地质灾害评价

根据目标区地震工程地质条件勘测结果和地震地质灾害野外考察，在地震动参数确定的基础上，对目标区场地开展活动断层错动、滑坡与崩塌、砂土液化、软土震陷等地震地质灾害评价。

0.4 工作范围

根据《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》和《四川省区域性地震安全性评价规范》（DB51/T 2946-2022）的技术规范，本次工作的区域、近场区和目标区范围如下：

（1）区域范围

根据相关技术标准，区域范围为场地周围 $\geq 150\text{km}$ 的区域。考虑目标区附近地震地质环境复杂。综合断裂发育、地震活动等特征，将本项目区域范围确定为：北纬 $27.6-31.2^\circ$ 、东经 $101.8-105.8^\circ$ ，即以目标区范围边界向北扩 202km ，南扩 196km ，西扩 200km ，东扩 190km 的范围。

（2）近场区范围

根据相关技术标准，近场区范围为目标区周围 $\geq 25\text{km}$ 的区域。考虑到目标区断裂发育、地震活动等情况，将本项目近场区范围确定为：北纬 $29.1-29.66^\circ$ 、东经 $103.53-104.19^\circ$ 。

（3）目标区范围

目标区范围：东经 $103.826618^\circ - 103.895451^\circ$ ，北纬 $29.359434^\circ - 29.396507^\circ$ ；目标区的中心点坐标为北纬 29.376133° ，东经 103.864274° ，控制点示意图见图 0-3，控制点坐标见表 0-1。

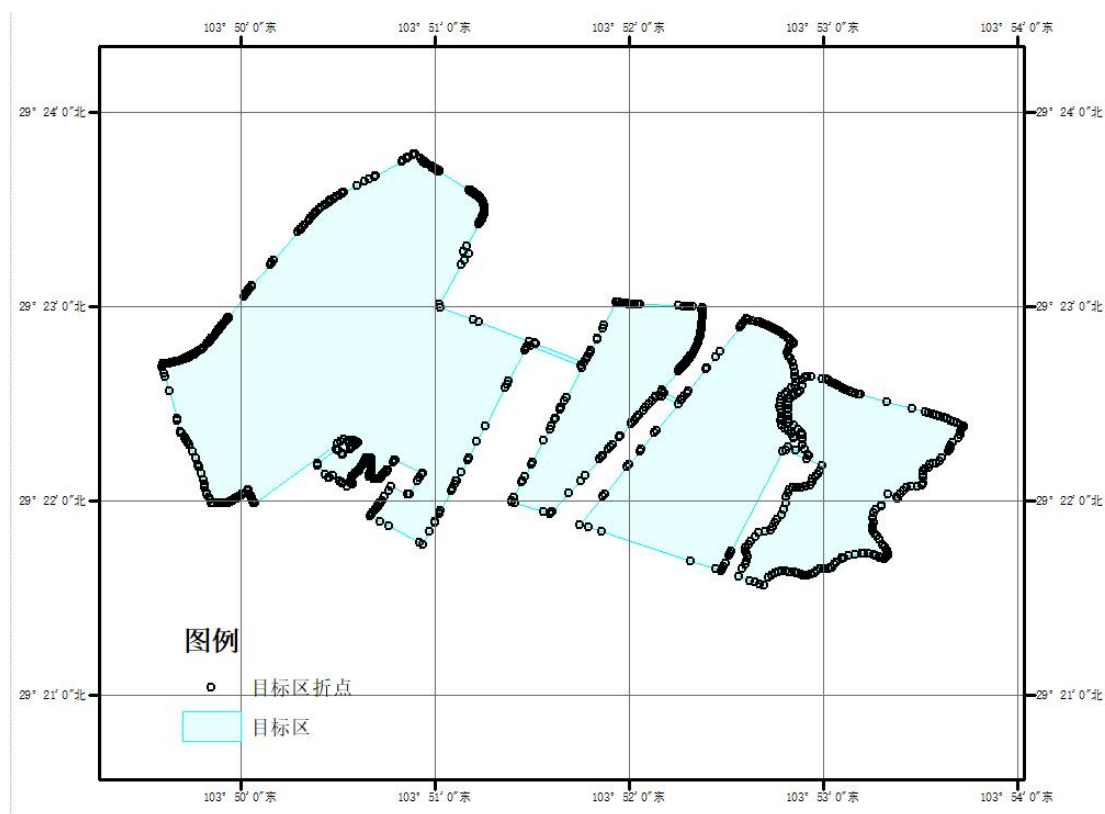


图 0-3 目标区控制拐点示意图

表 0-1 目标区控制点坐标

ID	经度	纬度	ID	经度	纬度	ID	经度	纬度
1	103.8761	29.3602	98	103.8307	29.3804	195	103.8539	29.3905
2	103.8764	29.3609	99	103.8307	29.3804	196	103.8539	29.3905
3	103.8764	29.3609	100	103.8307	29.3804	197	103.8539	29.3905
4	103.8767	29.3612	101	103.8307	29.3804	198	103.8539	29.3905
5	103.8768	29.3615	102	103.8307	29.3805	199	103.8539	29.3905
6	103.8769	29.3619	103	103.8307	29.3805	200	103.8539	29.3905
7	103.8827	29.3688	104	103.8309	29.3807	201	103.8640	29.3807
8	103.8829	29.3690	105	103.8311	29.3809	202	103.8645	29.3815
9	103.8829	29.3690	106	103.8312	29.3810	203	103.8646	29.3818
10	103.8831	29.3693	107	103.8314	29.3812	204	103.8656	29.3838
11	103.8833	29.3697	108	103.8314	29.3813	205	103.8656	29.3838
12	103.8820	29.3703	109	103.8315	29.3814	206	103.8657	29.3838
13	103.8802	29.3711	110	103.8315	29.3814	207	103.8659	29.3837
14	103.8802	29.3711	111	103.8316	29.3815	208	103.8661	29.3837
15	103.8799	29.3710	112	103.8317	29.3816	209	103.8662	29.3837
16	103.8677	29.3711	113	103.8336	29.3842	210	103.8730	29.3831

17	103.8689	29.3725	114	103.8338	29.3845	211	103.8730	29.3831
18	103.8691	29.3728	115	103.8338	29.3845	212	103.8730	29.3831
19	103.8709	29.3750	116	103.8339	29.3846	213	103.8730	29.3830
20	103.8695	29.3756	117	103.8340	29.3847	214	103.8730	29.3830
21	103.8693	29.3757	118	103.8341	29.3848	215	103.8730	29.3830
22	103.8690	29.3757	119	103.8341	29.3849	216	103.8730	29.3830
23	103.8690	29.3756	120	103.8342	29.3849	217	103.8730	29.3830
24	103.8687	29.3753	121	103.8343	29.3851	218	103.8730	29.3830
25	103.8684	29.3750	122	103.8343	29.3851	219	103.8730	29.3830
26	103.8681	29.3747	123	103.8343	29.3851	220	103.8730	29.3830
27	103.8679	29.3744	124	103.8344	29.3851	221	103.8730	29.3830
28	103.8679	29.3744	125	103.8344	29.3852	222	103.8730	29.3830
29	103.8676	29.3741	126	103.8359	29.3869	223	103.8730	29.3830
30	103.8675	29.3740	127	103.8360	29.3871	224	103.8730	29.3829
31	103.8674	29.3739	128	103.8361	29.3871	225	103.8730	29.3829
32	103.8672	29.3736	129	103.8362	29.3873	226	103.8730	29.3829
33	103.8670	29.3734	130	103.8383	29.3898	227	103.8730	29.3829
34	103.8670	29.3734	131	103.8385	29.3900	228	103.8730	29.3829
35	103.8670	29.3734	132	103.8385	29.3900	229	103.8730	29.3829
36	103.8670	29.3734	133	103.8387	29.3902	230	103.8730	29.3829
37	103.8670	29.3734	134	103.8388	29.3903	231	103.8730	29.3829
38	103.8670	29.3734	135	103.8392	29.3908	232	103.8730	29.3829
39	103.8670	29.3734	136	103.8394	29.3909	233	103.8730	29.3829
40	103.8669	29.3734	137	103.8395	29.3911	234	103.8730	29.3827
41	103.8669	29.3734	138	103.8397	29.3913	235	103.8730	29.3825
42	103.8669	29.3734	139	103.8397	29.3913	236	103.8730	29.3820
43	103.8669	29.3734	140	103.8398	29.3914	237	103.8730	29.3818
44	103.8669	29.3734	141	103.8398	29.3914	238	103.8729	29.3816
45	103.8669	29.3733	142	103.8399	29.3915	239	103.8729	29.3814
46	103.8660	29.3723	143	103.8401	29.3917	240	103.8729	29.3812
47	103.8659	29.3722	144	103.8403	29.3919	241	103.8728	29.3810
48	103.8653	29.3715	145	103.8405	29.3920	242	103.8728	29.3808
49	103.8651	29.3713	146	103.8407	29.3922	243	103.8727	29.3806
50	103.8649	29.3711	147	103.8409	29.3923	244	103.8727	29.3804
51	103.8644	29.3706	148	103.8410	29.3924	245	103.8726	29.3803

52	103.8644	29.3705	149	103.8410	29.3924	246	103.8725	29.3801
53	103.8642	29.3703	150	103.8410	29.3924	247	103.8724	29.3799
54	103.8629	29.3689	151	103.8412	29.3925	248	103.8724	29.3797
55	103.8625	29.3685	152	103.8414	29.3926	249	103.8723	29.3795
56	103.8616	29.3674	153	103.8414	29.3926	250	103.8722	29.3793
57	103.8616	29.3674	154	103.8414	29.3926	251	103.8720	29.3792
58	103.8616	29.3673	155	103.8416	29.3928	252	103.8720	29.3792
59	103.8601	29.3658	156	103.8418	29.3929	253	103.8720	29.3792
60	103.8453	29.3686	157	103.8501	29.3952	254	103.8714	29.3784
61	103.8452	29.3686	158	103.8501	29.3952	255	103.8714	29.3784
62	103.8451	29.3686	159	103.8501	29.3952	256	103.8714	29.3783
63	103.8450	29.3686	160	103.8501	29.3952	257	103.8714	29.3783
64	103.8448	29.3686	161	103.8501	29.3952	258	103.8714	29.3783
65	103.8448	29.3686	162	103.8501	29.3952	259	103.8714	29.3783
66	103.8448	29.3686	163	103.8501	29.3952	260	103.8714	29.3783
67	103.8448	29.3687	164	103.8501	29.3952	261	103.8714	29.3783
68	103.8448	29.3687	165	103.8501	29.3952	262	103.8714	29.3783
69	103.8448	29.3687	166	103.8501	29.3952	263	103.8714	29.3783
70	103.8447	29.3687	167	103.8501	29.3952	264	103.8714	29.3783
71	103.8445	29.3688	168	103.8502	29.3952	265	103.8714	29.3783
72	103.8444	29.3688	169	103.8502	29.3952	266	103.8713	29.3783
73	103.8444	29.3689	170	103.8502	29.3952	267	103.8713	29.3783
74	103.8444	29.3690	171	103.8502	29.3952	268	103.8713	29.3783
75	103.8444	29.3690	172	103.8502	29.3952	269	103.8713	29.3783
76	103.8445	29.3690	173	103.8502	29.3951	270	103.8713	29.3782
77	103.8445	29.3691	174	103.8502	29.3951	271	103.8713	29.3782
78	103.8445	29.3691	175	103.8502	29.3951	272	103.8713	29.3782
79	103.8445	29.3692	176	103.8502	29.3951	273	103.8713	29.3782
80	103.8446	29.3693	177	103.8502	29.3951	274	103.8713	29.3782
81	103.8446	29.3693	178	103.8502	29.3951	275	103.8713	29.3782
82	103.8446	29.3693	179	103.8502	29.3951	276	103.8713	29.3782
83	103.8446	29.3694	180	103.8503	29.3951	277	103.8713	29.3782
84	103.8446	29.3694	181	103.8503	29.3951	278	103.8713	29.3782
85	103.8446	29.3695	182	103.8503	29.3951	279	103.8713	29.3782
86	103.8446	29.3695	183	103.8503	29.3951	280	103.8713	29.3782

87	103.8446	29.3696	184	103.8503	29.3951	281	103.8713	29.3782
88	103.8446	29.3697	185	103.8503	29.3951	282	103.8712	29.3782
89	103.8445	29.3699	186	103.8503	29.3951	283	103.8712	29.3782
90	103.8446	29.3700	187	103.8503	29.3951	284	103.8712	29.3781
91	103.8445	29.3704	188	103.8503	29.3951	285	103.8712	29.3781
92	103.8445	29.3704	189	103.8504	29.3950	286	103.8712	29.3781
93	103.8445	29.3704	190	103.8504	29.3950	287	103.8712	29.3781
94	103.8443	29.3704	191	103.8504	29.3950	288	103.8712	29.3781
95	103.8442	29.3704	192	103.8504	29.3950	289	103.8712	29.3781
96	103.8282	29.3726	193	103.8542	29.3913	290	103.8945	29.3717
97	103.8282	29.3726	194	103.8542	29.3913	291	103.8943	29.3714

0.5 技术路线

按照“《区域性地震安全性评价大纲（试行）》中国地震局（2019）、《工程场地地震安全性评价》（GB 17741-2005）》和《四川省区域性地震安全性评价规范》（DB51/T 2946-2022）和项目要求执行，全面系统收集区域范围内的最新不同精度的地质、地球物理、遥感和地震等资料。查明目标区地貌、地层、岩性、地质构造、水文地质条件、场地土类型和场地类别，对区域范围内进行了地震区带划分，利用地震危险性概率分析方法，对目标区内的控制点进行危险性计算，获得各控制点 50 年 63%、10%、2%和 100 年超越概率 63%、10%、2%、1%不同超越概率的基岩加速度峰值。

根据目标区内的钻孔资料、波速测试分析及地貌单元分区，对目标区进行场地类别判别，根据目标区各钻孔剪切波速、土类建立钻孔模型，根据所测典型土类土动力学参数、推荐经验值，建立土动学模型，建立土层计算模型，并进行土层反应计算，获得目标区不同控制点、不同风险水准下的地震动参数。根据地震动的特点，绘制地震动等值线图，较好的反应当地的地震动特点。可以为目标区内的不同建筑类型提供抗震设防参数和抗震验算参数。

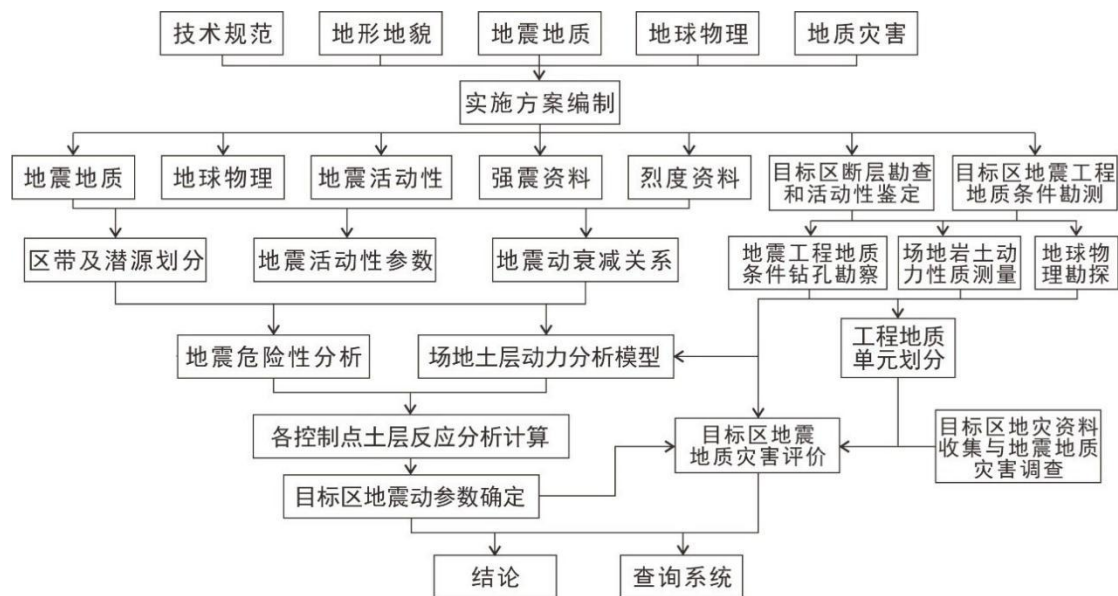


图 0.5-1 项目技术路线图

本次地震安全性评价需提供的设计地震动参数见表 0.4-1：

表 0.4-1 提供的设计地震动参数

地震动参数	水平向峰值加速度、加速度反应谱，设计地表时程
超越概率水平	50 年 63%、10%、2%，100 年 63%、10%、2%、1%
层位	地表
阻尼比	5%

0.6 实物工作量及提交成果

0.6.1 实物工作量

针对工作内容及目标任务，本项目完成以下主要工作量（表 0.6-1）。

表 0.6-1 完成主要工作量

序号	工作内容	工作量	备注
1	钻探	42 孔	
2	波速测试	42 孔	
3	土样动三轴试验	0 件	基岩场地
4	目标区地质剖面	3 条	
5	目标区地质地貌调查点	25 个	
6	近场区断层调查点	6 个	

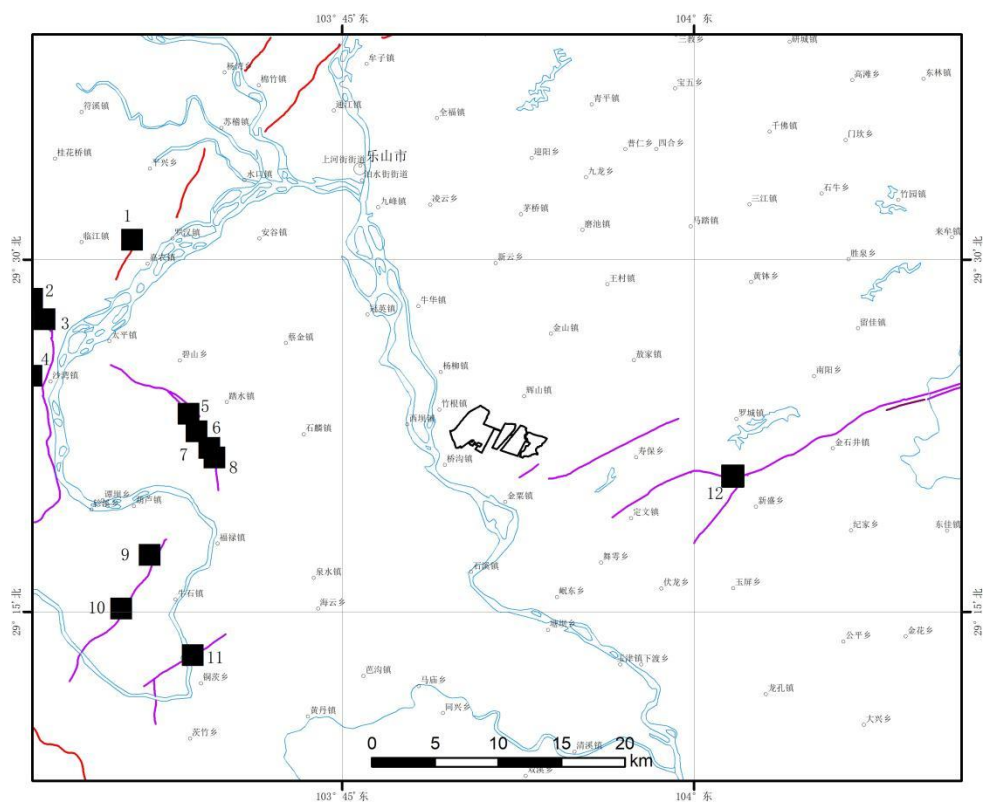


图 0.6-2a 近场区实际材料图

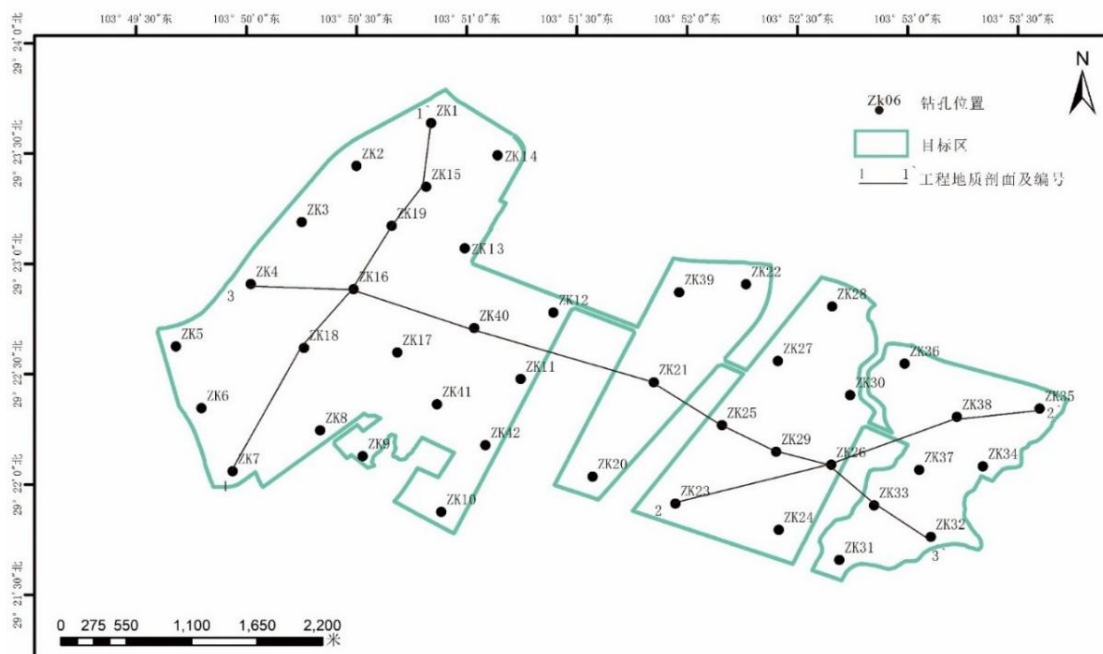


图 0.6-2b 目标区实际材料图

0.6.2 提交成果

(1) 《五通桥区化工园区区域性地震安全性评价》报告及相关附图、附件。

(2) 资料数据体 (42 个控制点 50 年 63%、10%、2%，100 年 63%、10%、2%、1%等七个概率水平基岩峰值和反应谱、42 个控制点的 50 年 63%、10%、2%，100 年 63%、10%、2%、1%等七个概率水平人工合成时程)。

0.7 项目组成员

本项目由中震科技有限公司承担，主要完成区域地震活动性和地震构造评价、近场区地震活动性和地震构造评价、目标区活断层探测与鉴定、场地地震工程地质条件勘测、概率地震危险性评价、目标区地震动参数确定、目标区地震地质灾害评价与区域性地震安全性评价技术服务系统等工作。

本项目组成人员与分工如下：

项目负责人：杨凌崴

项目技术负责人：王杨双

地震学组：王杨双、史青云

地震地质组：杨凌崴、邢令

地震工程学组：刘光云，邹进才

查询系统组：谢枫、王聪颖

0.8、致谢

在项目实施过程中得到了项目委托五通桥区应急管理局等单位的积极协助，本次工作也参考了前人在该地区的一些研究成果，在此一并表示感谢。

第一章 区域地震活动性

在目标区的地震危险性分析中，一项基本的内容是了解目标区所在区域范围内的地震活动规律，预测在工程使用年限内，目标区周围可能发生地震的地点、强度和对目标区产生的影响。区域地震活动的时空非均匀性是地震危险性评价中必须考虑的重要内容之一。本章之目的就在于通过对区域地震活动时空分布特征、历史地震对目标区的影响以及现代构造应力场和震源错动类型的分析，为后叙章节中地震构造环境评价、划分潜在震源区和确定地震活动性参数提供地震学依据。按照中华人民共和国国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741—2005）（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化委员会，2005）中对区域范围的要求，研究地震活动性的区域范围半径应不小于目标区外围 150km。针对具体的目标区而言，区域范围的大小取决于目标区与强震构造环境的关系。当 150km 范围不足以包含对目标区地震安全性评价结果有影响的远源历史大地震或高震级潜在发震构造时，应当扩大区域工作范围。本工程区域确定为北纬 $27^{\circ} 36' - 31^{\circ} 12'$ 、东经 $101^{\circ} 48' - 105^{\circ} 48'$ 。

1.1 区域地震目录的建立与资料概况

1.1.1 区域地震目录的编制

本报告在研究区域地震活动性时，利用了我国丰富的历史地震资料和地震台网观测资料，将地震资料时段取至 2023 年 9 月 30 日。

区域地震资料的主要来源有：《中国历史强震目录（公元前 23 世纪—公元 1911 年）》（国家地震局震害防御司编，1995），《中国近代地震目录（公元 1912 年—1990 年 $M_s \geq 4.7$ ）》（中国地震局震害防御司编，1999），1990 年以后的地震目录主要取自全国第五代地震动参数区划图地震目录（截至 2010 年 12 月底）和中国地震台网中心地震目录（2011 年 1 月—2023 年 9 月 30 日）。

历史地震震级采用的是 M_s ，这部分地震为 $M_s \geq 4.7$ 级地震。无仪器记录的地震，其震级的确定均由史料记载评定其震中烈度，再按震级（ M_s ）与震中烈度的经验关系换算出；凡有仪器记录的地震，其震级以仪器测定的为准。

而现代小地震通常用近震震级 M_L 。为与历史地震震级统一，以往将其转换为 M_s

震级，采用的转换公式（1-1）：

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

该公式是郭履灿等（1971）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 1.1-1 中绘出了公式（1-2）和公式（1-1）的拟合直线，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：

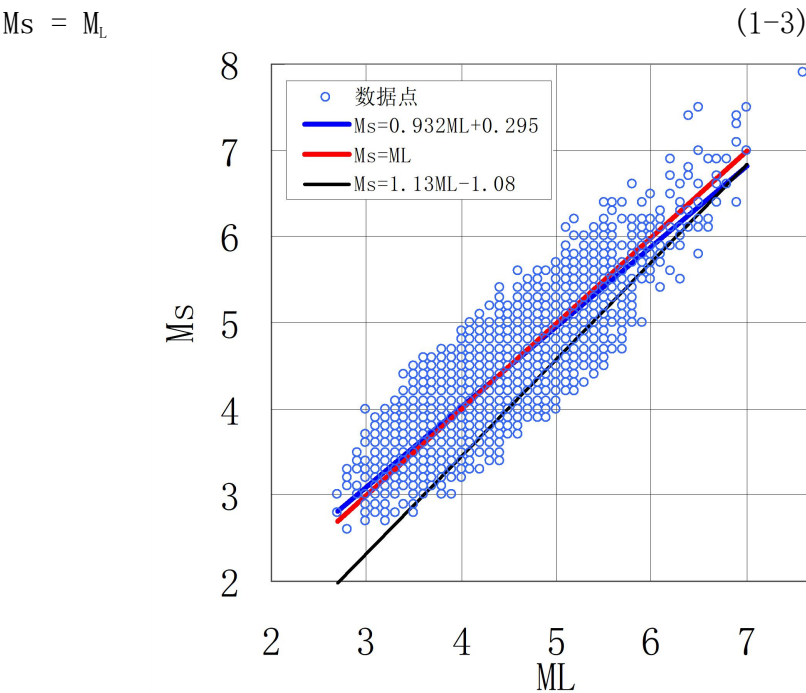


图 1.1-1 震级数据组及拟合直线

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。

本项目在地震目录编制时，对于有 M_s 震级记录的地震，一律采用 M_s 震级；对于无 M_s 震级记录的地震，采用 M_L 震级，根据式（1-3）直接取 $M_L = M_s$ ，不再进行转换（汪素云等，2009）。并且用国家标准《地震震级的规定》（GB 17740-2017）规定的

“M”代替“Ms”和“M_L”。

表 1.1-1 给出了区域范围内历史地震目录一览表，表 1.1-2 是各震级档次的历史地震频次分布表。可看出区域内共记录到 M≥4.7 级的地震 197 次，其中 M4.7~4.9 级地震 64 次，M5.0~5.9 级地震 101 次，M6.0~6.9 级地震 22 次，M7.0~7.9 级地震 9 次，M8.0 级地震 1 次，为 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震；最早一次地震是公元前 26 年 3 月 28 日四川宜宾 5½级地震；最近一次地震为 2023 年 5 月 4 日四川兴文 4.9 级地震。

表 1.1-1 区域破坏性地震目录（M≥4.7，-26 年~2023 年 9 月 30 日）

序号	发震时间			震中位置				精度	震级 (M)	震中烈度
	年	月	日	纬度 (°)	经度 (°)	参考地名	震源深度 (km)			
1	-26	3	26	28.8	104.6	四川宜宾	*	5	5½	VII
2	624	8	18	27.9	102.2	四川西昌一带	*	4	≥6	≥VIII
3	814	4	6	27.9	102.2	四川西昌一带	*	4	7	IX
4	1216	3	17	28.4	103.8	四川雷波马湖	*	5	7	IX
5	1216	6	25	29.6	102.6	四川汉源北	*	4	5	VI
6	1327	8	0	30.0	102.8	四川天全	*	4	≥6	≥VIII
7	1480	9	0	28.6	102.5	四川越西一带	*	3	5½	VII
8	1488	6	21	29.6	103.8	四川乐山	*	3	4¾	*
9	1489	1	0	27.8	102.3	四川西昌、越西一带	*	3	6¾	IX
10	1512	6	22	30.2	103.6	四川邛崃南	*	3	4¾	*
11	1536	3	29	28.1	102.2	四川西昌北	*	2	7½	X
12	1610	2	3	28.5	104.5	四川高县	*	2	5½	VII
13	1637	6	8	28.5	103.5	四川屏山西南	*	2	5	*
14	1725	8	1	30.0	101.9	四川康定	*	2	7	IX
15	1732	1	29	27.7	102.4	四川西昌东南	*	2	6¾	IX
16	1734	3	0	30.2	103.5	四川蒲江	*	2	5	VI
17	1748	10	12	31.1	102.4	四川小金崇德	*	2	5	≥VI
18	1786	6	1	29.9	102.0	四川康定南	*	2	7¾	≥X
19	1786	6	2	29.9	102.0	四川康定南	*	3	6	*
20	1786	6	10	29.6	102.2	四川泸定得妥	*	3	5	*
21	1787	12	13	31.0	103.6	四川灌县	*	2	4¾	VI
22	1805	9	27	29.9	102.2	四川泸定	*	2	4¾	VI
23	1844	8	0	28.1	103.9	云南大关北	*	3	5	*
24	1850	9	12	27.7	102.4	四川西昌、普格间	*	2	7½	X
25	1881	5	0	28.6	102.5	四川越西一带	*	2	5	VI
26	1892	2	10	28.9	105.0	四川南溪	*	2	5	VI
27	1896	2	14	29.3	104.9	四川富顺	*	2	5¾	VII
28	1900	8	0	30.5	103.5	四川邛崃一带	*	2	5	VI

29	1905	11	8	29.4	104.7	四川自贡	*	2	5	VI
30	1913	7	16	29.6	103.7	四川乐山	*	*	5	VI
31	1913	8	0	28.7	102.2	四川冕宁小盐井	*	*	6	VIII
32	1917	1	28	30.0	103.0	四川雅安南	*	*	4¾	VI
33	1917	7	31	28.0	104.0	云南大关北	*	*	6¾	IX
34	1923	8	0	28.7	102.2	四川冕宁大桥	*	*	5½	VII
35	1926	8	11	29.5	102.5	四川康定西南	*	*	5½	*
36	1927	5	22	29.4	104.7	四川自贡	*	*	4¾	VI
37	1928	4	0	28.5	105.5	四川泸县南	*	*	4¾	VI
38	1932	3	7	30.1	101.8	四川康定一带	*	*	6	VIII
39	1935	12	18	28.7	103.6	四川马边	*	2	6	VIII
40	1935	12	18	28.7	103.2	四川马边	*	*	5¾	*
41	1935	12	19	29.1	103.3	四川马边	*	3	6	*
42	1935	12	19	28.7	103.2	四川马边	*	*	5¾	*
43	1936	4	27	28.9	103.6	四川马边	*	2	6¾	IX
44	1936	4	27	28.9	103.5	四川马边	*	3	5¾	*
45	1936	4	27	28.7	103.2	四川马边	*	*	5½	*
46	1936	4	27	28.7	103.2	四川马边	*	*	6	*
47	1936	4	29	28.8	103.6	四川马边	*	3	5½	*
48	1936	5	8	28.9	103.6	四川马边	*	3	5¾	*
49	1936	5	16	29.1	103.9	四川马边	*	3	5½	*
50	1936	5	16	28.5	103.6	四川马边	*	2	6¾	IX
51	1936	9	25	28.7	105.1	四川江安	*	2	5	*
52	1940	11	7	28.7	103.6	四川马边附近	*	2	5½	*
53	1941	6	12	30.4	102.2	四川泸定、天全一带	*	3	6	*
54	1944	6	20	28.0	103.0	四川昭觉	*	3	5¾	*
55	1947	10	18	29.4	104.8	四川自贡南	*	*	4¾	VI
56	1948	5	1	28.5	103.6	四川马边	*	*	5½	*
57	1948	10	10	27.6	103.8	云南昭通	*	3	5¾	*
58	1948	10	23	28.5	103.6	四川马边	*	*	5½	VII
59	1948	12	14	28.0	103.5	云南永善	*	*	5¾	*
60	1949	11	13	30.0	102.5	四川康定、石棉一带	*	*	5½	VII
61	1951	3	16	29.3	102.6	四川石棉	*	*	5	VI
62	1952	2	6	27.9	102.3	四川西昌附近	*	3	5	VI+
63	1952	6	26	30.1	102.2	四川康定、泸定间	*	3	5¾	*
64	1952	8	31	31.2	103.0	四川理县附近	*	3	5	*
65	1952	9	30	28.3	102.2	四川冕宁、石龙间	*	2	6¾	IX
66	1954	10	24	29.4	104.8	四川自贡	*	*	5	VII
67	1955	4	14	30.0	101.8	四川康定折多塘	*	2	7½	X
68	1955	8	4	29.8	102.0	四川康定南	*	*	5½	*
69	1957	8	9	29.6	103.0	四川汉源东南	*	3	5	*
70	1959	3	11	28.2	104.0	云南盐津附近	*	2	5	*
71	1959	8	13	27.7	103.7	云南永善	*	4	5	*
72	1959	11	13	29.0	105.0	四川富顺附近	*	4	5	*
73	1962	2	27	27.6	101.9	四川米易、德昌一带	*	3	5½	VI

74	1962	7	1	29.9	103.2	四川洪雅附近	*	3	5	*
75	1966	10	11	27.9	103.8	云南大关	*	2	5	VI
76	1967	1	24	30.2	104.1	四川仁寿附近	*	2	5½	VII
77	1967	5	5	29.3	103.7	四川乐山峨边	*	2	4¾	*
78	1970	2	24	30.60	103.30	四川大邑西	*	1	6.2	VII
79	1970	3	5	30.60	103.40	四川芦山	*	3	4.7	*
80	1970	3	15	30.60	103.00	四川大邑西	*	3	4.8	*
81	1970	7	31	28.63	103.73	四川雷波东北	*	1	5.4	VII-
82	1971	8	16	28.90	103.80	四川马边	*	1	5.9	VII+
83	1971	8	17	28.90	103.80	四川马边	*	1	5.7	*
84	1971	8	17	28.80	103.80	四川马边	*	*	4.9	*
85	1971	8	17	28.80	103.67	四川马边	*	*	4.7	*
86	1971	8	17	28.82	103.60	四川马边	*	*	4.8	*
87	1971	8	17	28.83	103.62	四川马边	*	*	5.4	*
88	1971	8	17	28.82	103.60	四川马边	*	*	4.8	*
89	1971	8	17	28.77	103.73	四川沐川	*	*	5.2	*
90	1971	8	18	28.80	103.62	四川马边东	*	*	5.0	*
91	1971	8	23	28.73	103.73	四川马边东	*	*	5.4	*
92	1971	8	23	28.80	103.70	四川马边	*	2	4.8	*
93	1971	11	5	28.82	103.58	四川马边南	*	2	4.9	*
94	1972	4	8	29.60	101.80	四川康定西南	*	1	5.2	VI
95	1972	5	7	27.90	102.40	四川西昌东	*	1	4.8	VI
96	1972	9	30	30.40	101.90	四川康定北	*	1	5.7	*
97	1973	4	22	27.70	104.20	云南大关	*	1	5.0	VI
98	1973	6	29	28.90	103.90	四川马边东	*	1	4.8	*
99	1973	6	29	28.90	103.70	四川马边东	*	1	5.4	VI
100	1973	6	29	28.90	103.70	四川马边东	*	1	4.9	*
101	1973	6	30	28.90	103.80	四川马边东	*	1	5.2	*
102	1973	12	30	29.80	103.30	四川洪雅西南	*	1	4.7	*
103	1974	5	11	28.10	104.00	云南大关北	14	1	7.1	IX
104	1974	5	11	28.10	104.00	云南大关北	33	1	4.9	*
105	1974	5	12	28.18	103.92	云南大关北	19	1	4.8	*
106	1974	6	1	28.18	103.93	云南大关北	13	2	4.7	*
107	1974	6	5	28.22	103.95	云南大关北	*	1	5.0	VI-
108	1974	6	15	28.30	104.05	云南大关北	10	1	5.7	*
109	1974	6	15	28.33	104.07	云南大关北	*	1	4.8	*
110	1974	6	15	28.25	104.07	云南大关北	*	1	5.1	*
111	1974	7	10	28.15	103.85	云南大关	*	1	5.0	*
112	1974	7	10	28.13	103.82	云南大关	*	1	4.7	*
113	1974	7	13	28.15	103.85	云南大关	22	1	4.7	*
114	1975	1	15	29.40	101.90	四川九龙东北	25	2	6.2	*
115	1975	3	8	28.25	104.02	云南盐津北	14	1	5.2	VI
116	1975	3	16	29.30	101.90	四川九龙东北	*	1	4.9	*
117	1975	12	4	28.57	105.03	四川长宁	*	1	4.7	*
118	1977	1	13	28.20	102.50	四川冕宁南	*	*	4.8	V+

119	1985	3	29	29.37	104.83	四川自贡	*	1	4.8	VII
120	1989	6	9	29.27	102.25	四川石棉西北	*	1	5.2	VII
121	1990	8	4	29.50	103.17	四川峨边西北	*	1	4.7	VI
122	1993	8	7	29.02	103.60	四川沐川凤村	5	*	5.0	VI
123	1994	12	30	29.02	103.65	四川马边	13	*	5.7	VII
124	1995	4	26	28.98	103.65	四川沐川	10	*	5.1	VI
125	1996	2	28	29.03	104.63	四川宜宾	15	*	5.4	VI
126	1997	8	13	29.50	105.49	重庆荣昌	13	*	5.2	VII
127	2001	6	23	29.45	105.48	重庆荣昌	11	*	4.9	*
128	2003	6	17	27.82	102.30	四川西昌	*	*	4.8	VI
129	2006	7	22	28.00	104.20	云南盐津	*	*	5.1	*
130	2006	8	25	28.00	104.20	云南盐津	*	*	5.1	*
131	2006	8	29	27.98	104.15	云南盐津	*	*	4.7	*
132	2008	5	12	31.00	103.40	四川汶川	14	1	8.0	XI
133	2008	5	12	31.00	103.60	四川都江堰	*	1	4.7	*
134	2008	5	12	31.20	103.40	四川汶川	21	1	4.8	*
135	2008	5	12	30.93	103.28	四川汶川	11	1	5.0	*
136	2008	5	12	31.03	103.38	四川汶川	15	1	5.1	*
137	2008	5	12	31.00	103.50	四川都江堰	14	1	5.0	*
138	2008	5	13	31.20	103.40	四川汶川	11	1	5.3	*
139	2008	5	13	31.20	103.50	四川汶川	10	1	4.7	*
140	2008	5	13	30.90	103.40	四川汶川	8	1	6.1	*
141	2008	5	17	31.20	103.50	四川汶川	9	1	5.1	*
142	2008	5	22	31.20	103.60	四川汶川、都江堰交界处	17	1	4.7	*
143	2008	5	23	31.20	103.60	四川都江堰	14	1	4.7	*
144	2008	6	11	30.90	103.40	四川汶川	9	1	5.0	*
145	2008	6	20	31.18	103.52	四川汶川	18	1	4.7	*
146	2008	8	15	31.00	103.20	四川汶川	7	1	4.9	*
147	2008	11	23	31.20	103.50	四川汶川	15	1	4.7	*
148	2009	11	23	31.02	103.23	四川汶川	21	1	4.8	*
149	2010	1	31	30.28	105.72	四川遂宁、重庆潼南	10	1	5.0	VII
150	2010	5	25	31.10	103.70	四川都江堰、彭州交界	16	1	5.0	*
151	2010	9	10	29.40	105.50	重庆荣昌、四川隆昌、泸州交界	7	1	4.7	*
152	2012	9	7	27.60	104.00	云南彝良	10	1	5.6	VIII
153	2013	2	19	31.20	105.20	四川三台、盐亭交界	14	1	4.7	*
154	2013	4	20	30.30	103.00	四川芦山	13	1	7.0	IX
155	2013	4	20	30.20	102.90	四川芦山、宝兴、天全	10	1	4.8	*
156	2013	4	20	30.30	102.90	四川芦山、宝兴	10	1	5.1	*
157	2013	4	20	30.30	102.90	四川芦山	15	1	4.9	*
158	2013	4	20	30.10	102.90	四川天全、芦山	11	1	5.3	*
159	2013	4	21	30.30	103.00	四川芦山、邛崃	16	1	5.0	*
160	2013	4	21	30.20	103.00	四川芦山	17	1	4.9	*
161	2013	4	21	30.30	103.00	四川芦山、邛崃	17	1	5.4	*
162	2013	4	25	28.40	104.90	四川长宁、珙县、兴文	4	1	4.8	*
163	2014	4	5	28.10	103.60	云南永善	13	1	5.3	*

164	2014	8	17	28.10	103.50	云南永善	7	1	5.0	VI
165	2014	10	1	28.40	102.80	四川越西	15	1	5.0	VI
166	2015	1	14	29.30	103.20	四川乐山金口河	14	1	5.0	VI
167	2016	12	27	29.47	105.60	重庆荣昌	10	1	4.8	*
168	2017	1	28	28.09	104.72	四川筠连	11	1	4.9	*
169	2017	5	4	28.19	104.87	四川珙县	10	1	4.9	*
170	2018	10	31	27.62	102.08	四川西昌	11	1	5.1	VI
171	2018	12	16	28.22	104.95	四川兴文	3	1	5.7	VII
172	2019	1	3	28.19	104.86	四川珙县	2	1	5.3	VI
173	2019	2	24	29.48	104.48	四川荣县	5	1	4.7	VI
174	2019	2	25	29.47	104.50	四川荣县	5	1	4.9	VI
175	2019	5	16	28.07	103.53	云南永善	10	1	4.7	VI
176	2019	6	17	28.37	104.88	四川长宁	3	1	6.0	VIII
177	2019	6	17	28.42	104.80	四川珙县	2	1	5.1	*
178	2019	6	18	28.38	104.88	四川长宁	3	1	5.3	*
179	2019	6	22	28.43	104.78	四川珙县	4	1	5.4	*
180	2019	7	3	28.40	104.85	四川长宁	3	1	4.8	*
181	2019	7	4	28.43	104.73	四川珙县	7	1	5.6	*
182	2019	9	8	29.58	104.81	四川威远	4.5	1	5.4	VI
183	2019	12	18	29.62	104.83	四川资中	4	1	5.2	VI
184	2020	2	3	30.73	104.43	四川青白江	5	1	5.1	VI
185	2021	1	23	28.18	104.18	云南盐津	10	1	4.7	*
186	2021	7	14	30.97	103.37	四川汶川	15	1	4.8	*
187	2021	9	3	28.10	104.93	四川珙县	6	1	4.8	*
188	2021	9	16	29.20	105.33	四川泸县	3.5	1	6.0	VIII
189	2021	11	17	28.17	104.77	四川珙县	5.5	1	4.7	*
190	2022	4	6	28.22	104.98	四川兴文	3	1	5.1	VI
191	2022	5	20	29.67	102.48	四川汉源	16	1	4.8	*
192	2022	6	1	30.38	102.93	四川芦山	12	1	6.1	VIII
193	2022	9	5	29.59	102.08	四川泸定	3.5	1	6.8	IX
194	2022	10	22	29.60	102.02	四川泸定	5	1	5.0	*
195	2023	1	26	29.63	102.01	四川泸定	11	1	5.6	*
196	2023	2	28	29.63	102.01	四川泸定	8	1	4.8	*
197	2023	5	4	28.14	105.12	四川兴文	10	1	4.9	*

注：破坏性地震震中定位精度（1970年前）：1类，误差≤10km；2类，误差≤25km；3类，误差≤50km；4类，误差≤100km；5类，误差>100km。地震台网震中精度（1970年后）：震中误差≤5km为1类，5km<震中误差≤15km为2类，15km<震中误差≤30km为3类，震中误差>30km为4类。表中“*”号表示缺乏资料。

表 1.1-2 区域各震级档次的历史地震频次分布一览表

资 料 时 段	-26 年~2023 年 9 月 30 日				
震 级 分 档	8.0~8.9	7.0~7.9	6.0~6.9	5.0~5.9	4.7~4.9
地 震 频 次	1	9	22	101	64

1970 年 1 月~2023 年 9 月 30 日的现代地震目录主要取自全国第五代地震动参数

区划图地震目录（截至 2010 年 12 月底）和中国地震台网中心地震目录（2011 年 1 月～2023 年 9 月 30 日），目录中的地震参数是根据仪器记录得到的。自 1970 年至 2023 年 9 月 30 日，记录到 M2.0～4.6 的小震 38046 次，其中 M2.0～2.9 级地震 33490 次、M3.0～3.9 级地震 4117 次、M4.0～4.6 级地震 439 次。表 1.1-3 给出了各震级档次的现代地震频次分布一览表；从表中可见， $M \geq 3.0$ 级的地震仅占近代弱震总数的 11.97%，区域内的弱震活动绝大多数为 2.0～2.9 级的微震。

表 1.1-3 区域各震级档次现代地震频次分布一览表

资 料 时 段	1970～2023 年 9 月 30 日		
震 级 分 档	2.0～2.9	3.0～3.9	4.0～4.6
地 震 频 次	33490	4117	439
占总数的百分比 (%)	88.03	10.82	1.15

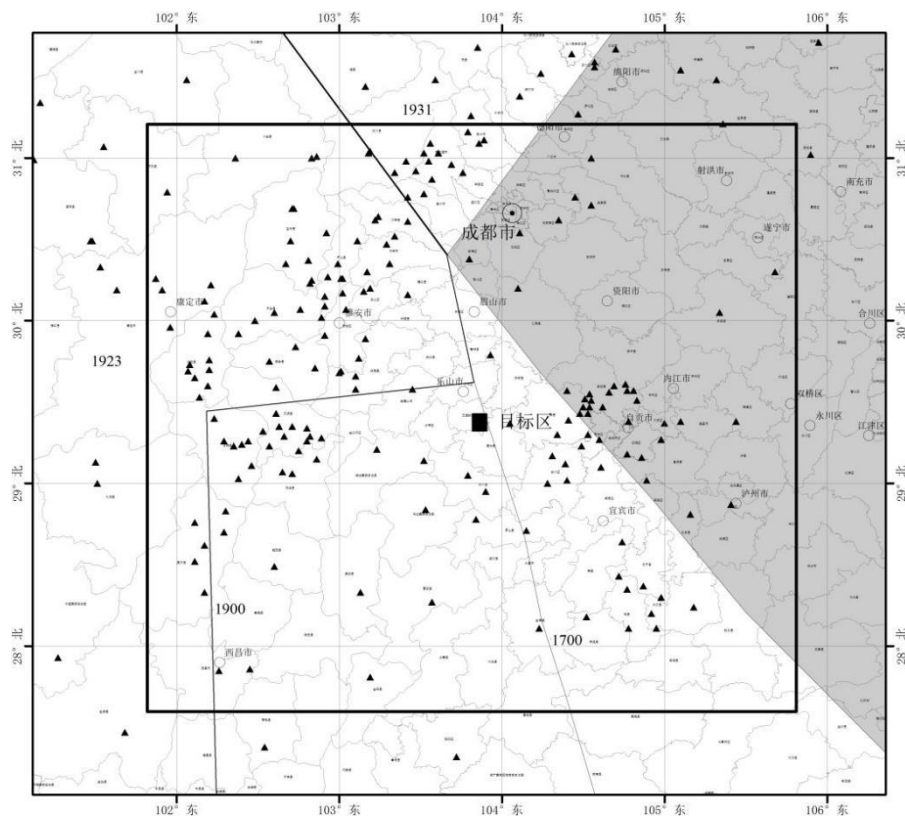
1.1.2 地震资料完整性分析

由于破坏性地震目录受各种因素的限制，不同地区、不同时段所记载的破坏性地震资料的完整性是有差异的。根据黄玮琼等人(1994)的研究成果(图 1.1-1a)，区域北侧自 1931 年来 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 地震资料基本完整，区域西侧自 1923 年来 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 地震资料基本完整，区域南侧自 1900 年来 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 地震资料基本完整，区域东南侧自 1700 年来 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 地震资料基本完整，其余部分区域由于历史地震记载的资料较少，目前还未准确确定出历史资料完整性的起始年代。

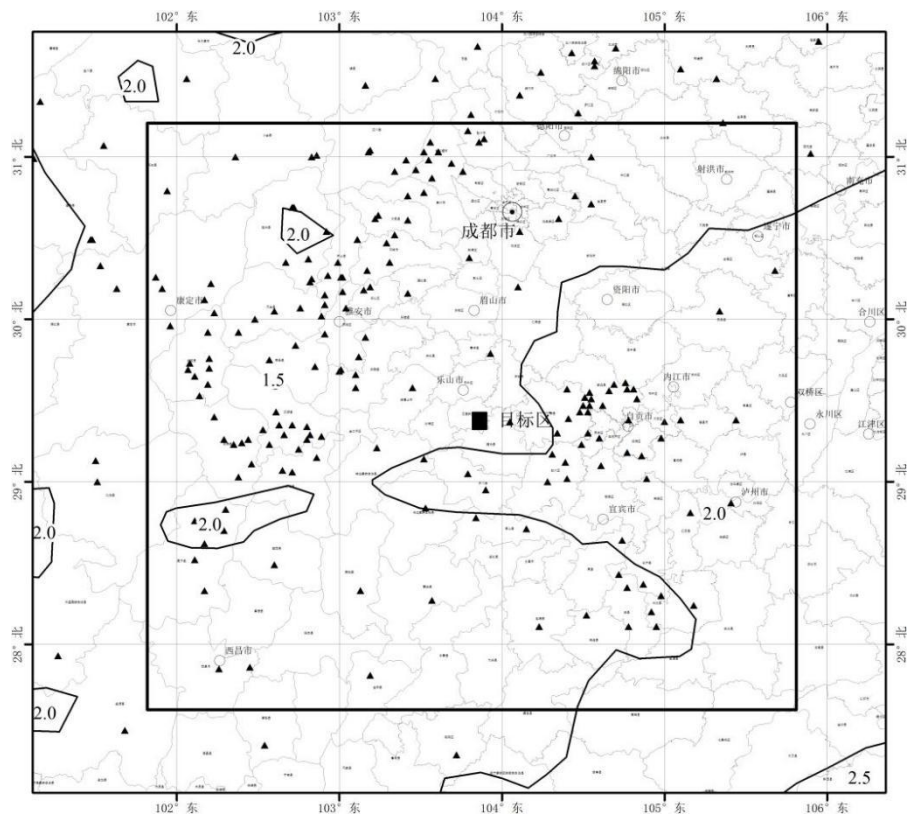
自二十世纪七十年代开始，开启了成都遥测地震台网模拟记录时期。1985 年成都遥测地震台网全部正式投入运行观测。从九十年代开始，成都遥测地震台网逐步进入数字化记录发展阶段。于 2000 年 11 月成都数字遥测地震台网正式投入运行。此后四川测震台网经历“十五”期间、5.12 汶川地震恢复重建一测震分项的建设四川省地震监测能力得到了极大的进步。于 2008 年，四川仅有 52 个数字地震观测台，全省地震监测能力为 3.5 级；随着台站数字化的改造和多个项目的实施，四川台网的台站数量不断增加。2013 年芦山地震发生时四川测震台站 234 个，全省地震监测能力为 2.8 级，2017 年九寨沟地震时增至 402 个，全省地震监测能力为 2.4 级，目前已达到 2246 个，全省地震监测能力为 1.6 级，大部分重点监视防御区和人口密集地区监测能

力达到 1.0 级。

根据中国地震台网中心梁姗姗(2021)，本项目区域所在地的地震台网的监测能力较高，区域范围内能达到 M2.0，部分地区达到 M1.5，工程场地及道路位于地震的有效监测能力 M1.5 级范围内(图 1.1-1b)。



a) 区域历史强震资料完整性起始年分布图



b) 区域现代小震监测能力分布图

图 1.1-1 区域地震资料完整性分布图

1.2 区域地震活动的空间分布特征与地震区（带）划分

1.2.1 区域地震区、带的划分

地震带划分是地震危险性概率分析的主要基础工作之一，是根据构造活动性和地震活动性的区域性差异进行的。地震带是地震危险性分析中地震活动性参数估计的基本统计单元。

在我国的地震区划研究中，已对地震区、带的划分进行过系统研究。本报告采用第五代区划图地震带划分方案。区域跨越长江中游地震带、龙门山地震带、鲜水河—滇东地震带和右江地震带，目标区位于长江中游地震带内（图 1.2-1）。

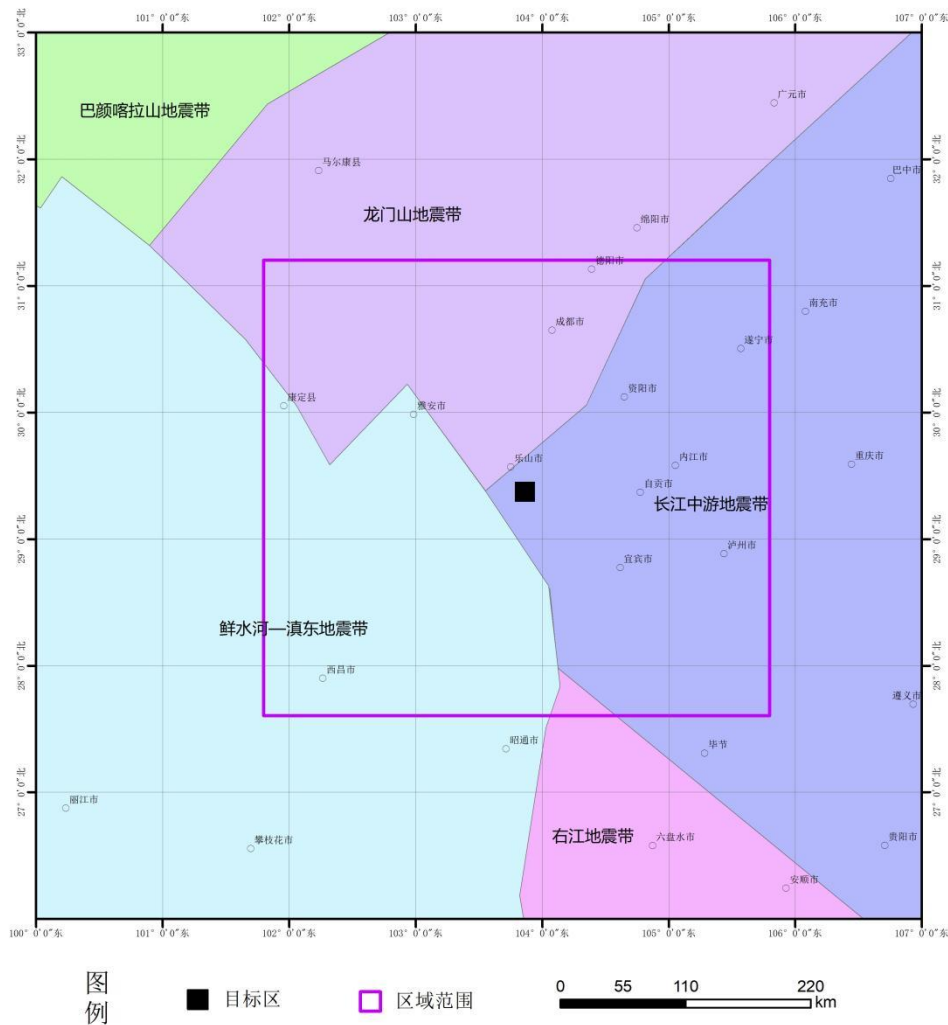


图 1.2-1 区域地震带分区图

(1) 长江中游地震带

长江中游地震带处于华北强震活动区与华南沿海强震带的过渡地区。区内新构造运动以大面积抬升为主，沿北东—北北东向断裂带产生规模大小不一的断陷盆地。早第三纪末的区域性地壳抬升运动，许多中新世盆地结束了拗陷的历史，只在江汉盆地和鄱阳湖盆地沉积了厚度不大的上第三系和第四系。山区地壳抬升形成了 1500～2000m 的高原，断裂活动逐渐减弱，本带地震活动水平较低。

自公元前 143 年以来至今共记录到 132 次 $M_s \geq 4.7$ 级的地震，其中，5.0～5.9 级地震 73 次，6.0～6.9 级地震 5 次，最大为 1631 年湖南常德 6 $\frac{3}{4}$ 级地震。

(2) 龙门山地震带

龙门山地震带主要包括龙门山山脉及秦岭的西段，大地构造上为龙门山褶皱带与秦岭褶皱系的一部分。带内北部以北西西向的西秦岭北缘断裂带及甘南—川西北弧形

构造系为主，南部则以北东向的龙门山断裂带为主体构造格架，并发育有近南北向的岷江断裂、虎牙断裂等，是青藏高原东缘的重要组成部分。深部构造资料亦表明，本带是柴达木—阿尔金地震带、六盘山—祁连山地震带所对应的地壳厚度陡变带、重力梯级带和航磁异常带向南的延续，也是中国大陆东西部地区地壳结构和特征具明显差异的分界线。龙门山地震带位于我国著名的南北地震带中部，强烈地震主要丛集在天水、武都、松潘地区及龙门山断裂带，如 1654 年甘肃天水南 8 级大震、1879 年甘肃武都南 8 级大震、1713 年和 1933 年茂县较场 7 级和 7.5 级地震及 1976 年松潘—平武 7.2 级强震群、2008 年汶川 8.0 级地震等，是青藏高原北部地震亚区主要强震活动带之一。

自有地震记录以来，共记录到 $M_s \geq 4.7$ 级的地震 311 次，其中，5.0~5.9 级地震 148 次，6.0~6.9 级地震 39 次，7.0~7.9 级地震 14 次，8.0~8.9 级地震 3 次，分别为 1654 年 7 月 21 日甘肃天水南 8 级地震、1879 年 7 月 1 日甘肃文县 8 级地震和 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震。

（3）鲜水河—滇东地震带

鲜水河—滇东地震带西起青藏高原中北部的昆仑山南缘，东到云南昭通、文山，包括了青海南部、四川西部、云南中东部以及西藏、新疆部分地区，区内地质构造复杂，边界断裂和块体内部断裂活动强烈，地震活动强度大、频度高。自有地震记录至今，该地震带共记录到 $M \geq 4.7$ 级以上地震 746 次，其中 8.0~8.9 级地震 1 次，为 1833 年 9 月 6 日嵩明 8 级地震，7.0~7.9 级地震 30 次，6.0~6.9 级地震 115 次，5.0~5.9 级地震 446 次，为强地震活动区。鲜水河—滇东地震带地震活动与大型活动断裂表现出明显的相关性，还表现出显著的分区特征，与不同的地震构造背景相关，大致分为羌塘北、川西和攀西—滇中三个次级地震活动区，其中，攀西—滇中地区地震活动水平最高，川西地区次之，羌塘地区弱于上述两个区。

（4）右江地震带

主要包括广西西部、越南北部、贵州西南、云南一小部分，大地构造主体属华南加里东褶皱带。新生代以来，该区大部分处于相对隆起状态，以断裂和断块活动为主，断裂构造以北西向为主，次为北东向，少数断裂在第四纪晚期仍有活动。该带较长江中游地震带地震活动水平略强，与周边的华南沿海地震带、鲜水河—滇东地震带相比，该地震带活动较弱，为中强地震活动区。以 5 级左右中强地震为主，频度较低。自

1526 年至今，区内共记录到 M4.7 级以上地震 47 次，均为浅源地震，其中 6.0–6.9 级地震 1 次，即 1875 年 6 月 8 日贵州罗甸 6½ 级地震，5.0–5.9 级地震 26 次。

1.2.2 区域地震震中空间分布特征

(1) 区域破坏性地震分布特征

图 1.2-2 是区域破坏性地震震中分布图，可以看出，区域内地震活动强度大，且频度高，区域内共记录到 1 次 8.0 级强震，为 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震。

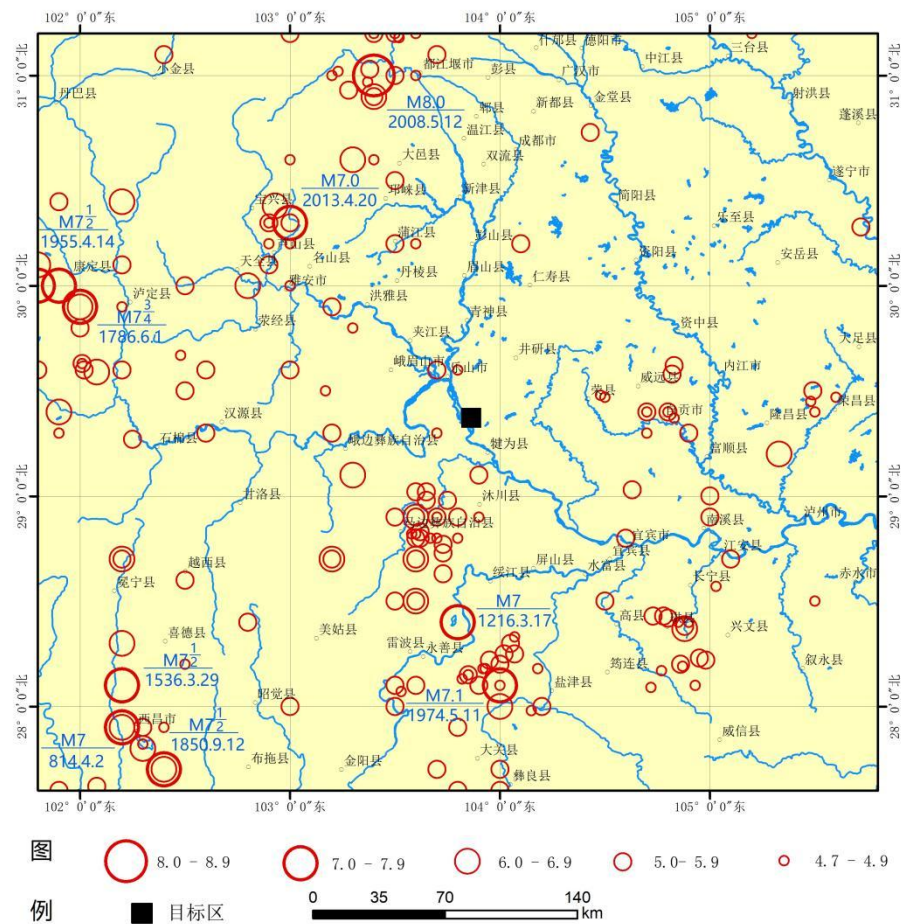


图 1.2-2 区域破坏性地震震中分布图（-26 年~2023 年 9 月 30 日）

区域内地震活动的空间分布极不均匀，条带特征明显，这些强震活动与断裂分布关系密切。在区域西北部发生的 2008 年四川汶川 8.0 级地震和 2013 年四川芦山 7.0 级地震发生在龙门山断裂带上，其呈 NE 向展布。区域西部康定附近的破坏性地震主要与 NW 向鲜水河断裂带相关。区域西南部破坏性地震分布密集，主要与安宁河断裂和则木河断裂关系密切。区域南部破坏性地震密集分布，与峨边-金阳断裂、马边断

裂、雷波断裂等关系密切。区域东南部 NE 向展布的破坏性地震条带与华蓥山断裂带的展布基本一致。区域东北部四川盆地地震活动相对较弱，破坏性地震发生相对较少。

汶川地震震源深度约为 14km，到目前为止已发生余震几次，并且还会持续相当长的一段时间，这些余震主要分布在从映秀镇到青川县的龙门山断裂带的中北段，形成长达 300km 的余震带。该地震的特点表现为：能量积累慢、复发周期长、影响范围大、破坏强度高、次生灾害重。

汶川地震是龙门山断裂带内映秀—北川断裂活动的结果。在地震发生的短短一分多钟时间内，地壳深部的岩石中形成了一条长约 300km、深达 30km 的大断裂，其中的 200 余公里出露地表，形成沿映秀—北川断裂分布的地表破裂带。该带从映秀镇以南开始向东北方向延伸，经北川县，过平通镇和南坝镇，终止在青川县的石坎乡附近。另外，龙门山与成都平原交界的灌县—江油断裂也发生了 60 多公里的破裂。地震地表破裂带延伸方向是从西南到东北，断裂面向西北方向倾斜，相对于四川盆地，龙门山沿这条地表破裂带既有向上的运动，又有向东北方向的运动，其最大垂直错距和水平错距分别达到 5.0m 和 4.8m，沿整个破裂带的平均错距可达 2m 左右。

（2）区域现代中小地震空间分布特征

图 1.2-3 是区域现代中小地震震中分布图。自 1970 年至 2023 年 9 月 30 日，记录到 M2.0~4.6 的小震 38046 次，其中 M2.0~2.9 级地震 33490 次、M3.0~3.9 级地震 4117 次、M4.0~4.6 级地震 439 次。

区域小震活动的集群特征更明显，表现为团簇状、条带状，在历史强震震中附近小震密集成丛、成带，活动断裂展布区小震活跃。如在龙门山断裂带、鲜水河断裂带、安宁河断裂、则木河断裂、峨边—金阳断裂、马边断裂、雷波断裂和华蓥山断裂带，小震密集成带；在珙县和荣昌附近，也形成了明显的小震集群区。区域东北部的小震活动相对较少，中小地震活动频度相对较低。

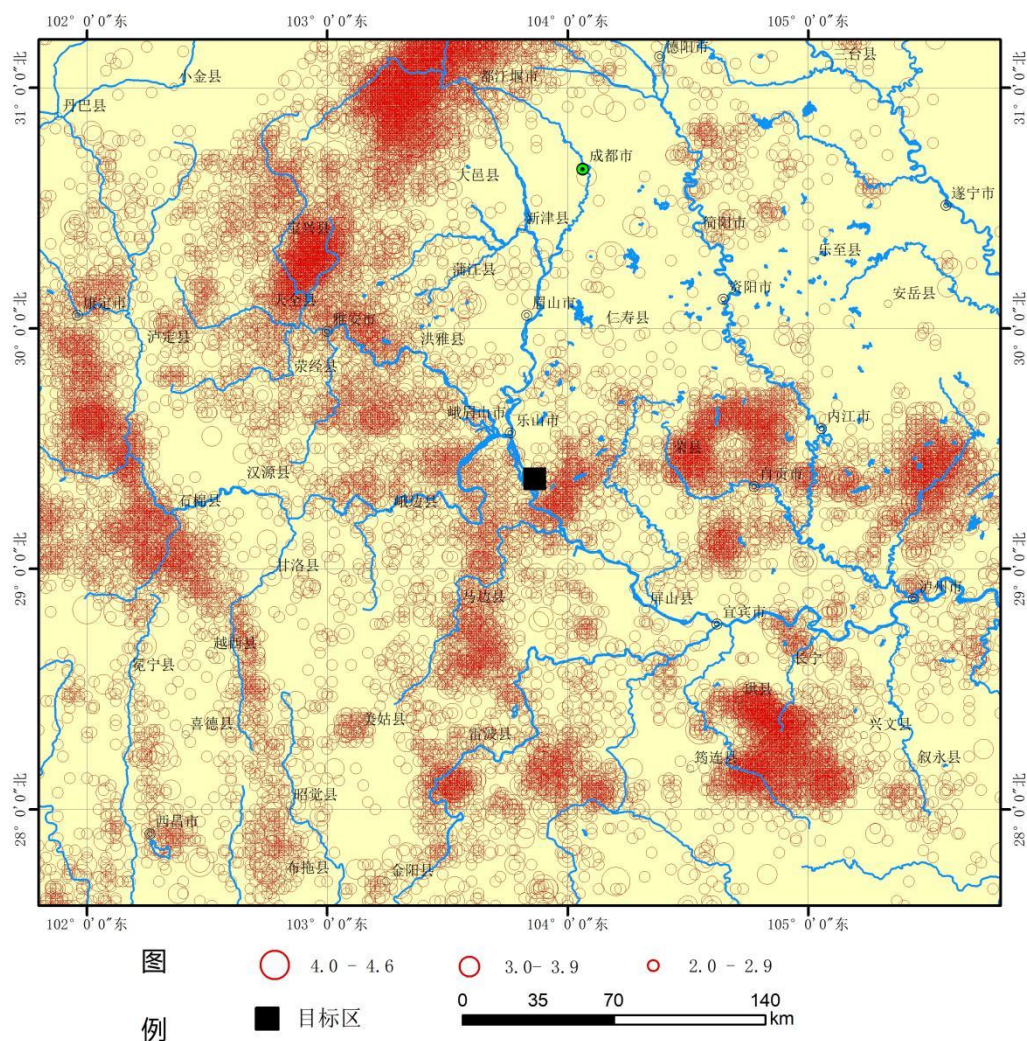


图 1.2-3 区域现代中小震震中分布图（1970 年～2023 年 9 月 30 日）

1.2.3 区域地震震源深度分布

历史地震记载很少给出震源深度参数，区域中记录到 $M \geq 4.7$ 地震 197 次，其中只有 79 次地震有震源深度数据。为了对区域中地震的震源深度分布特征进行详细的分析，本报告选取了 1970 年截至 2023 年 9 月 30 日 $M \geq 2.0$ 级的地震数据作统计分析。区域内 $M \geq 2.0$ 地震共有 38046 个，其中有震源深度参数的地震有 28599 个，区域地震震源深度分布统计结果列于表 1.2-1，深度分档区间取 5km。图 1.2-4 是区域中强震（ $M \geq 4.7$ ）震源深度沿经度、纬度分布剖面图；图 1.2-5 区域现代中小震震源深度沿经度、纬度分布剖面图。

大部分破坏性地震（ $M \geq 4.7$ 级）震源深度分布在地下 1~25km 范围内，约有 97.47% 的 $M \geq 4.7$ 级地震震源深度集中分布在地下 1~25km 层位内，而剩余有 2.53% 的

破坏性地震地震则分布在 25km 以下的层位中。

表 1.2-1 区域地震次数随深度分布统计

次数 震级档	深度(km)						
	1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	>30
M≥4.7	12	16	32	14	3	1	1
2.0≤M≤4.6	7194	10837	5574	3287	1305	293	109
百分比%（小震）	25.15	37.89	19.49	11.49	4.56	1.02	0.38

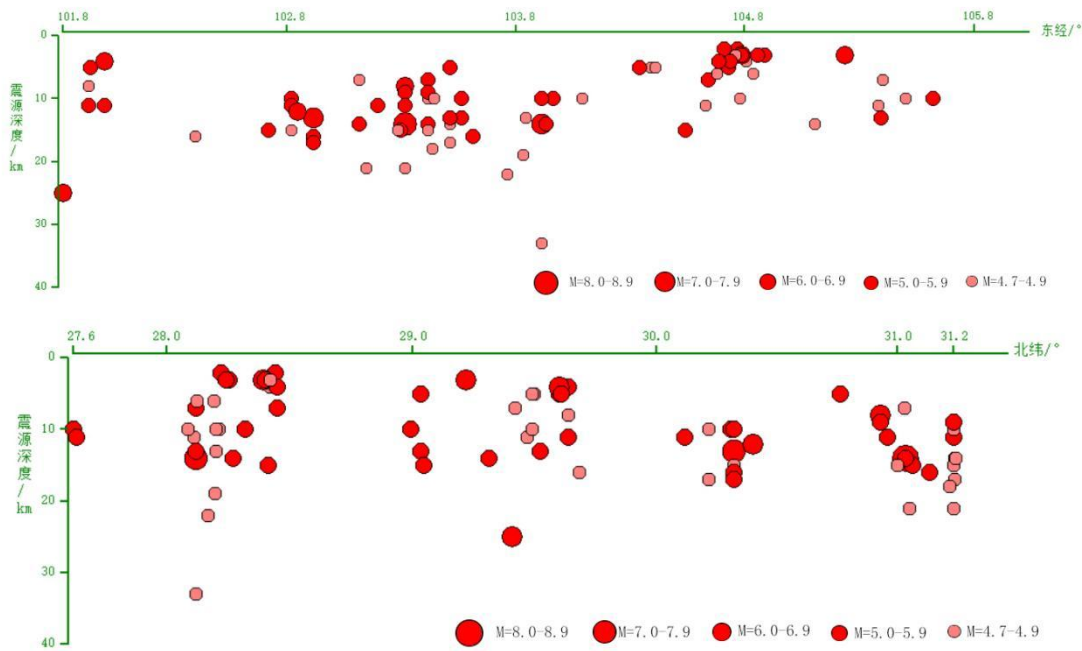
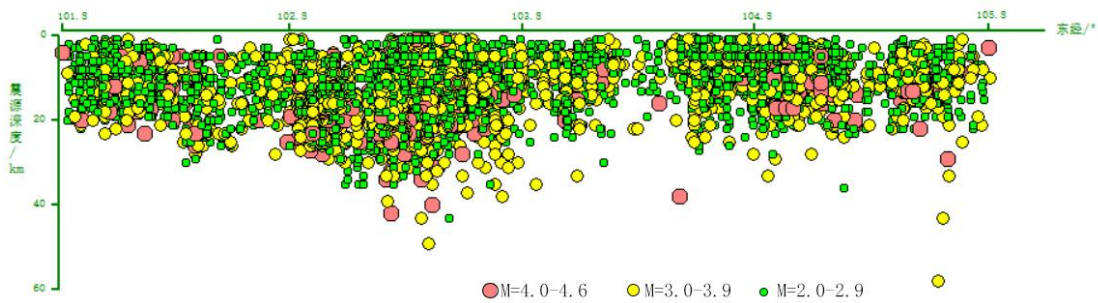


图 1.2-4 区域破坏性地震（ $M \geq 4.7$ ）震源深度沿经度、纬度分布剖面图

从图 1.2-4 不难看出，区域中强震（ $M \geq 4.7$ ）在东经 104.0° 附近、北纬 28.1° 附近，个别地震震源深度分布较深，可达到地下 33km 左右；其余地区地震震源深度多在 25km 深度范围内。



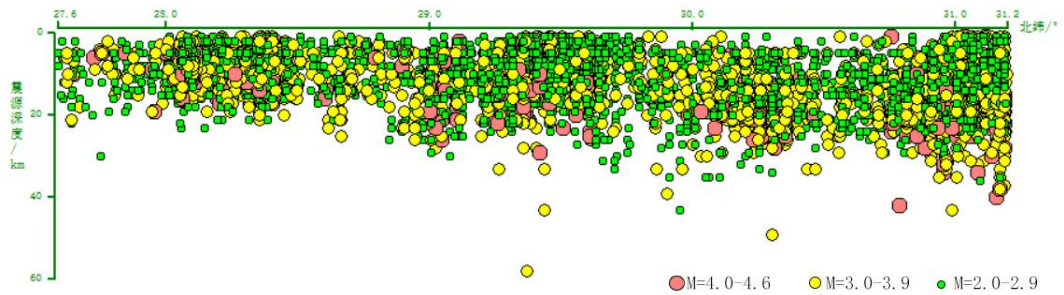


图 1.2-5 区域现代中小震震源深度沿经度、纬度分布剖面图

从表 1.2-1 的统计结果看，区域现代小震有 98.59% 的地震震源深度在 1~25km 深度范围内，现代小震震源深度的优势分布层位处于地下 1~25km 范围内，25km 以下分布锐减。从图 1.2-5 不难看出，在东经 103.3°~103.8° 之间和 105.7° 附近，北纬 29.3°~31.2° 之间，部分地震震源深度分布较深，可达到地下 40km 以下；其余地区地震震源深度多在 1~25km 之间。

综上所述，区域强、小震震源深度的优势分布层位是有明显差异的，但区域地震属于地壳中上层的浅源构造地震。

1.3 地震活动的时间分布特征与未来地震趋势估计

分析地震活动的时间分布特征，判断目前和未来几十年所处的活动阶段，可以对目标区未来地震危险性作出客观合理的评价。

本节拟对区域及其所涉及的地震带地震活动的时间分布特征进行分析。

1.3.1 长江中游地震带地震活动的时间分布特征

图 1.3-1 为该地震带 1400 年以来的 M-T 图和应变释放曲线。该地震带地震活动水平较低，周期性比较明显。自 1400 年以来经历有两个地震活动期，即 1467 年~1640 年、1819 年~？。从应变释放曲线上看，第一活跃期中的主要能量是在短短的几年时间内集中释放的，在第二活跃期内，主要能量的释放是在较长时间内以多次 6~7 级地震实现。第二活跃期释放的应变能大于第一活跃期，且活动年限也大于第一活跃期。

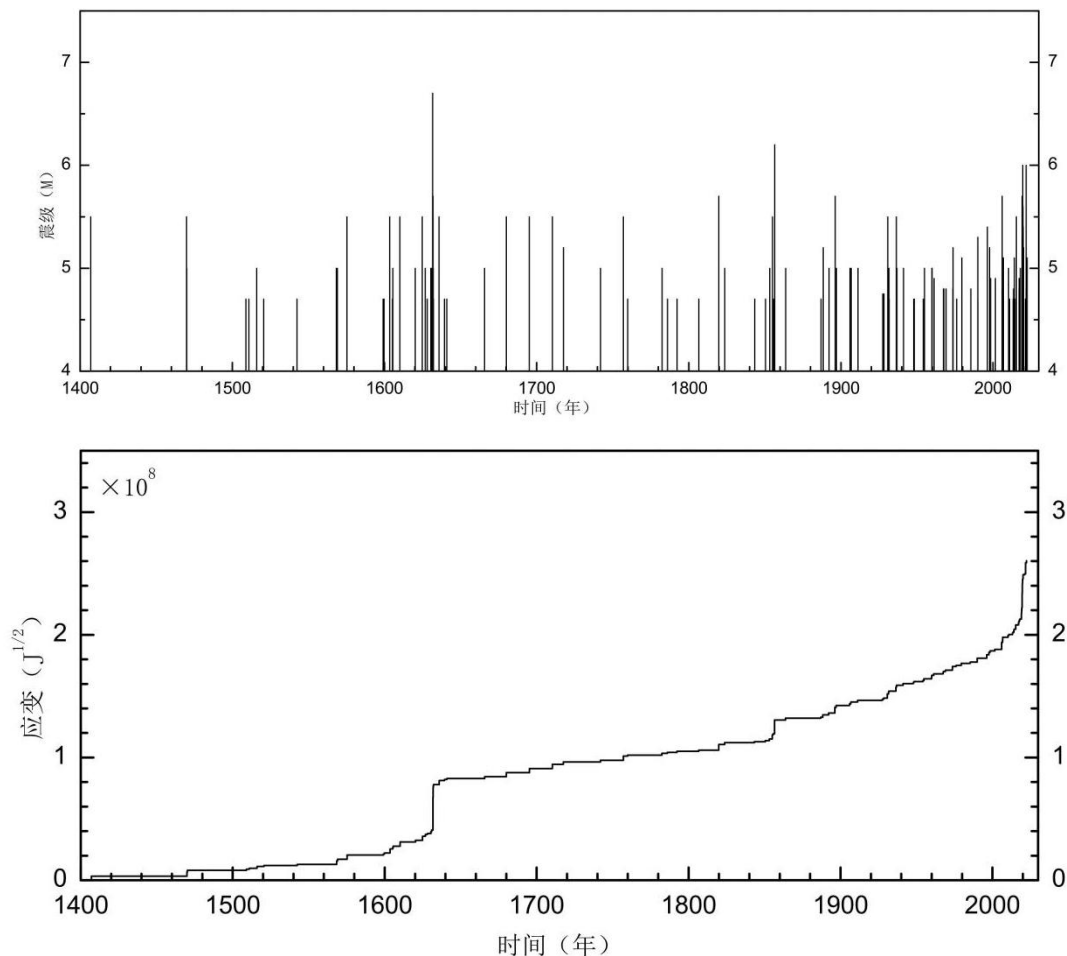


图 1.3-1 1400 年以来长江中游地震带 M—T 图和应变释放图

1.3.2 龙门山地震带地震活动的时间分布特征

虽然最早的记录可追溯到公元前 193 年甘肃临洮 6 $\frac{1}{2}$ 级地震，但在 1604 年之前近 1800 年间只记录到 31 次 $M_s \geq 4\frac{1}{4}$ 级地震。图 1.3-2 给出了龙门地震带 1500 年以来 4 $\frac{1}{4}$ 级以上地震的 M—T 图和应变释放曲线。据完整性分析，龙门山地震带自 1573 年以来 7 级以上地震基本完整，自 1604 年甘肃礼县 6 级地震发生以来 6 级以上地震基本完整，该地震带从 1573 年甘肃岷县 6 $\frac{3}{4}$ 级地震至 1718 年甘肃通渭南 7 $\frac{1}{2}$ 级地震发生的 145 年之间，该地震带共记载 6.0~6.9 级地震 5 次，7 级以上地震 3 次，其中包括 1654 年甘肃天水南 8 级地震；而从 1719 年~1878 年的 159 年间，该地震带未发生 7 级以上地震，6 级地震也只记载到 3 次，处于相对平静的时期。以 1879 年文县武都 8 级地震开始进入了又一次相对活跃期，2008 年 5 月汶川 8.0 级地震即处于本活动期内，至今该带已发生 7 级以上地震 8 次。综合考虑 1500 年以来整个地震带的地震活动活跃期和平静期大致平衡的情况，该地震带存在大约 300 年左右的重复周期。

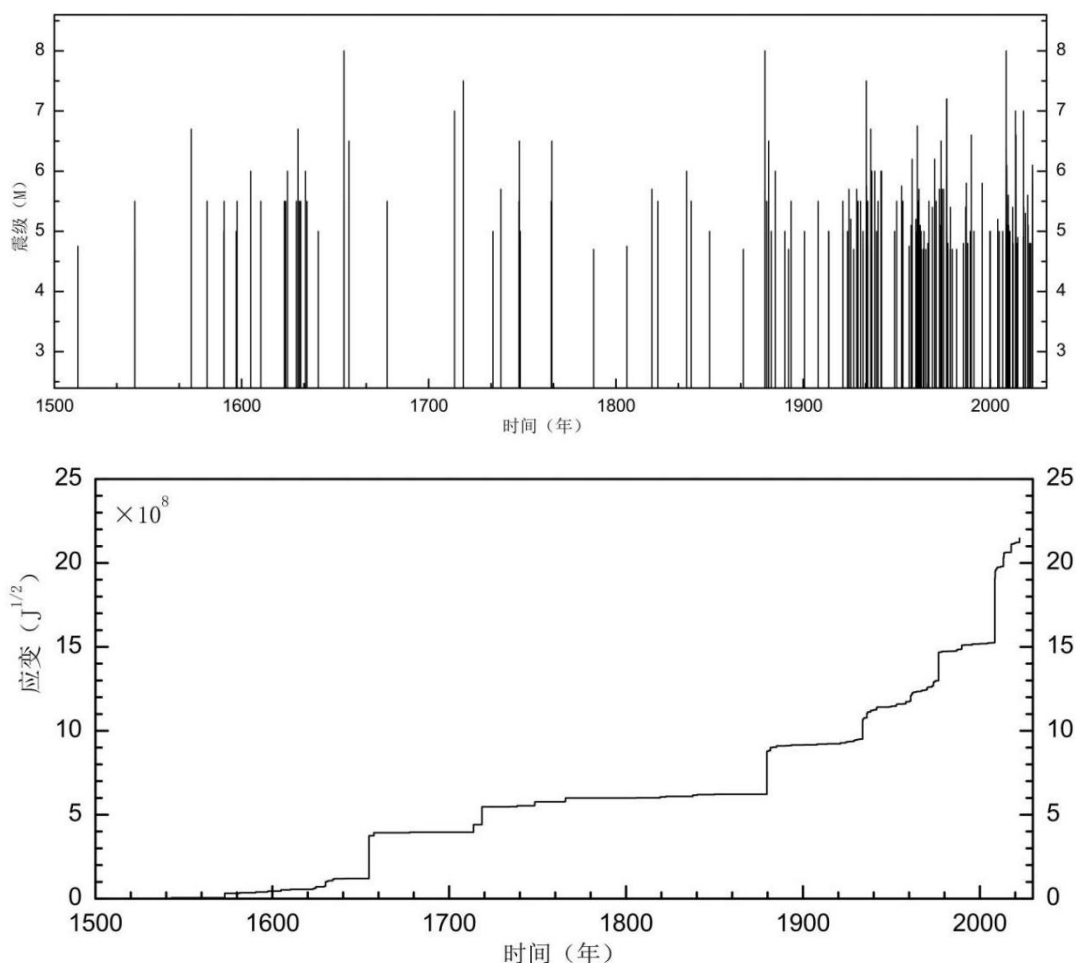


图 1.3-2 龙门山地震带 M—T 图和应变释放曲线

龙门山地震带的地震活动自 1570 年以来存在大约 150 年左右的活跃期与平静期。1879 年以来进入了又一活跃期，该活跃期内已经发生了 8 次 7 级以上地震，已历时 144 年，该地震带未来百年的地震活动水平的估计应高于平均地震活动水平为宜。

1.3.3 鲜水河-滇东地震带地震活动的时间分布特征

鲜水河-滇东地震统计区各地区地震记载历史差异很大，攀西-滇中地区记载历史较长，最早的地震为-26 年 8 月 18 日西昌 ≥ 6 级地震；而川西和羌塘北记载时间较晚，最早的地震分别为 1722 年巴塘 6 级地震和 1738 年 12 月 23 日玉树 $6\frac{1}{2}$ 级地震。该地震统计区 1440 年以前地震资料严重缺失，1440 年之前仅有 6 次地震记录。自 1440 年以后地震逐渐增多，但地震记载多集中在鲜水河—滇东地震带南东部川滇块体的中南部地区。图 1.3-3 给出了该地震统计区公元 1400 年以来 M4.7 级以上地震的 M—T 图和应变释放曲线，图中显示，1900 年前后该区地震记录基本完整，鲜水河—滇东地震统计区自 1900 年以来地震活动一直处于活跃状态，地震应变几乎以一个斜率在线性释放，

故该地震统计区未来百年地震活动将维持在活跃水平上。

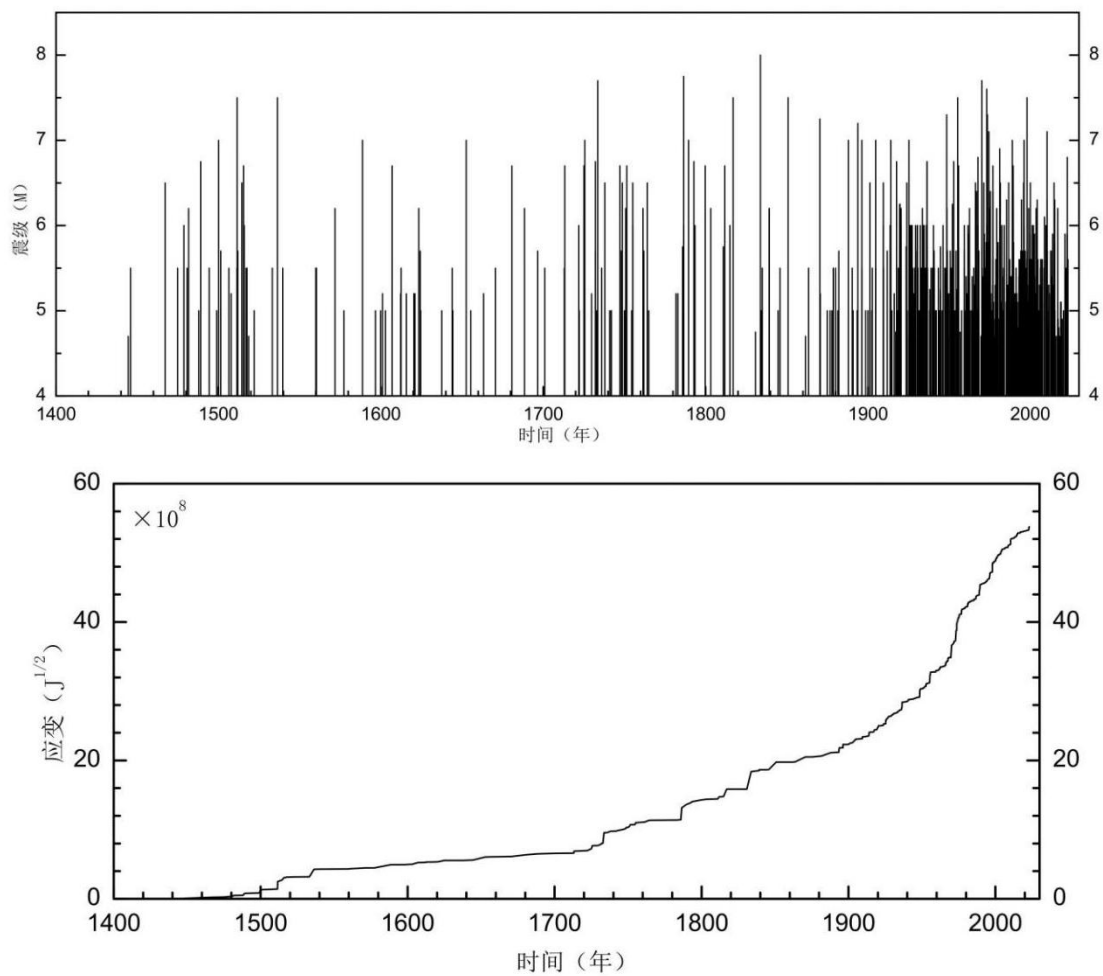


图 1.3-3 鲜水河—滇东地震带 $M \geq 4.7$ 级 M-T 图和应变释放曲线

1.3.4 右江地震带地震活动的时间分布特征

右江地震带自公元 1526 年贵州晴隆 5 级地震记载以来，已积累了近 500 年的地震史料。该地震带地震活动较弱，仅零星发生了少数中等强度的地震。图 1.3-4 绘制了右江地震带 1500 年以来地震震级和累积应变能释放量随时间分布图。

由图可见，本带地震活动的总体水平较低，在 200 多年的研究时段内，仅发生过 1 次 $M \geq 6$ 级地震，本带的地震活动多以 5 级左右的地震为主。根据本带地震活动的实际水平，若按相对平静期内地震活动强度不大于 5 级进行划分，在研究时段内可分出 3 个地震相对活跃期。分析得知，自 1875 年广西凌云北 6 级地震后，本带出现了 3 个地震活动相对活跃期，其持续时间约为 30 年，它们分别出现在 1875~1906 年，最大地震震级为 6 级；1935~1962 年，最大地震震级为 5 级；1982 年来，记录到的最

大地震震级为 5.7 级。上述几个相对活跃期间的地震相对平静期持续时间为 18~30 年。右江地震带地震活动将维持在活跃水平上。

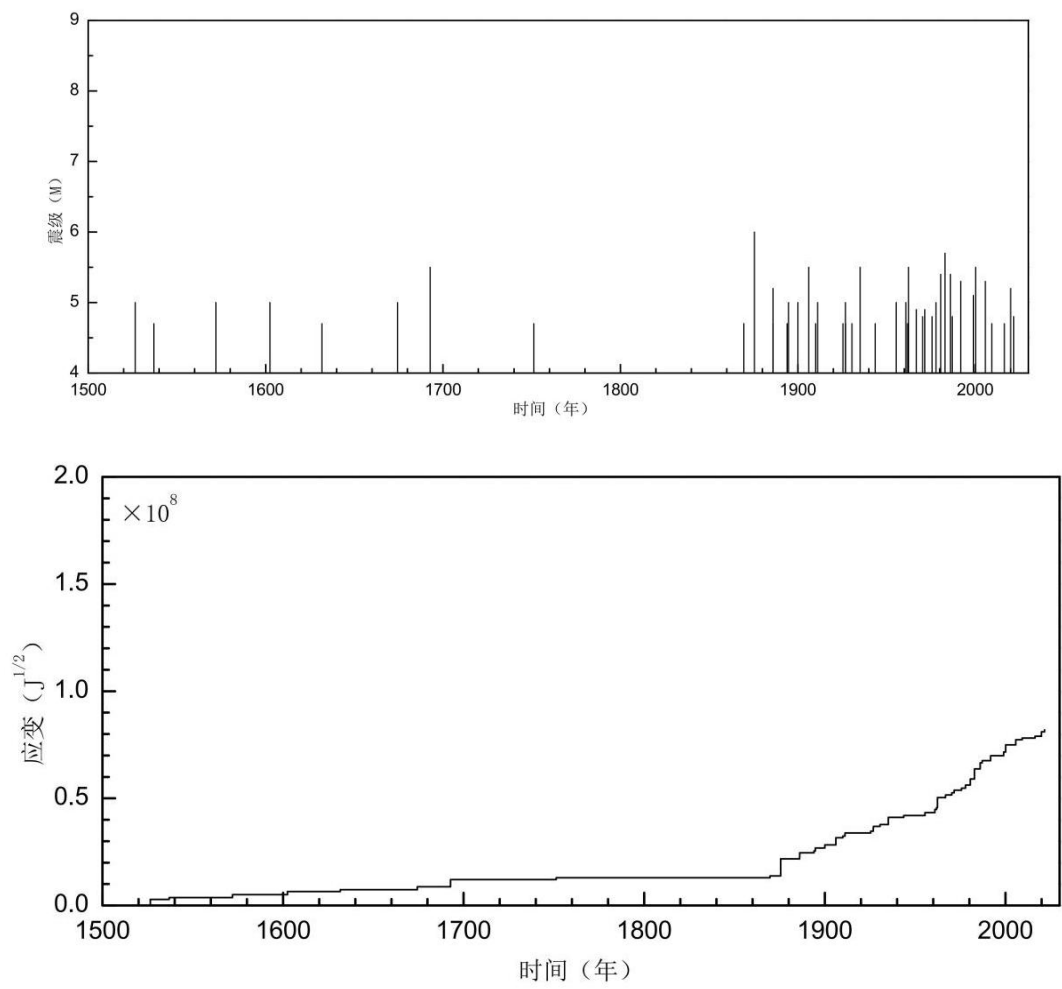


图 1.3-4 右江地震带 $M \geq 4.7$ 级 M-T 图和应变释放曲线

1.4 区域震源机制和应力场特征

现代构造应力场是驱动区域断裂构造活动和地震活动的基本原因，不同的现代构造应力场会引起不同类型断层的变形特征，不同的断层变形性质，产生的地震强度也不同，从而对目标区地震安全性的评定结果产生影响。根据单个地震震源机制解反推地震发生地区的现代构造应力场，是目前常用的有效方法。

根据相关文献资料，选出位于区域范围内的 75 个地震震源机制解，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 1.4-1 中。表中 AZ 代表节面走向或力轴方位角，Dip 为节面倾角，Slip 为滑动角，PL 代表力轴倾角，

备注列出了资料来源。

表 1.4-1 研究区单个地震震源机制解表

序号	发震时间 年 月 日 时 分	震中位置		深度	震级	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		备注
		经度	纬度			Az	Dip	Slip	Az	Dip	Slip	Az	Pl	Az	Pl	
1	196701242245	104.10	30.29	4	5.5	311	71	-35	54	57	-157	268	38	5	9	许忠淮等, 1994
2	197405110325	104.10	28.20	14	7.1	30	70	0	300	90	160	347	14	253	14	许忠淮等, 1994
3	197406151503	104.05	28.30	10	5.7	321	50	58	185	50	122	73	0	163	65	许忠淮等, 1994
4	199412291858	103.59	28.80	33	5.1	38	55	146	149	63	40	272	5	7	47	GCMT
5	200311141849	103.21	27.68	15	5.6	152	84	-55	250	36	-170	94	40	214	30	GCMT
6	200607220110	104.31	28.01	15	5.1	242	67	146	347	59	27	296	5	201	40	GCMT
7	200607220910	104.31	28.01	14	4.9	347	59	27	242	67	146	296	5	201	40	郭祥云等, 2022
8	200608250551	104.31	28.00	17	5.1	232	57	130	355	50	45	295	4	198	57	GCMT
9	200608251351	104.31	28.00	17	4.7	355	50	45	232	57	130	295	4	198	57	郭祥云等, 2022
10	200707310735	102.73	29.53	16	3.7	174	66	14	78	77	155	128	8	34	26	罗钧, 2013
11	200802010506	104.80	28.30	4	4.5	311	60	56	184	44	134	65	9	170	59	罗钧, 2013
12	200804040225	102.42	28.22	13	3.8	331	67	-11	65	80	-157	290	24	196	9	罗钧, 2013
13	200805121428	103.40	31.00	12	8.0	231	35	138	357	68	63	107	18	229	58	郭祥云等, 2022
14	200805131507	103.18	30.98	8	6.1	215	41	99	23	49	82	118	4	244	82	易桂喜等, 2012
15	200806110623	103.28	30.88	9	5.0	186	24	69	28	67	99	111	22	314	66	易桂喜等, 2012
16	200806182059	102.28	29.15	11	4.3	3	85	2	273	88	175	318	2	228	5	罗钧, 2013
17	200810100029	104.96	29.35	26	3.9	59	48	-94	245	42	-86	286	86	152	3	罗钧, 2013
18	200901181619	102.10	28.80	15	4.0	70	81	-158	336	68	-10	295	22	202	9	罗钧, 2013
19	200902160513	105.00	29.40	10	3.7	130	32	62	342	62	106	60	16	285	69	罗钧, 2013
20	200908082126	105.50	29.40	22	4.0	73	69	-99	277	23	-68	328	65	170	23	罗钧, 2013
21	200908111643	103.75	29.09	12	3.7	341	42	98	150	49	83	245	3	7	84	罗钧, 2013
22	200909101743	103.90	27.68	4	4.1	72	80	162	165	72	11	120	5	28	20	罗钧, 2013
23	200911200009	105.62	28.95	4	4.7	61	45	97	231	45	83	146	0	56	85	罗钧, 2013
24	201001310536	105.71	30.28	10	5.0	16	51	87	201	39	94	108	6	267	84	郭祥云等, 2022
25	201004130829	105.60	29.29	19	3.4	63	42	-91	244	48	-89	166	87	334	3	罗钧, 2013
26	201007142348	103.96	29.27	7	3.8	161	38	52	26	61	116	98	12	341	64	罗钧, 2013
27	201009102121	105.43	29.36	6	4.8	152	65	90	332	25	90	62	70	242	20	冯梅等, 2019
28	201110270900	103.20	29.60	23	3.6	181	26	109	340	66	81	77	20	233	68	罗钧, 2013
29	201203050111	101.80	30.10	9	4.3	71	63	-150	326	64	-30	288	40	19	0	罗钧, 2013
30	201204092245	104.93	28.39	4	3.6	272	57	77	115	35	109	11	11	146	74	罗钧, 2013
31	201207140318	103.06	29.35	16	3.5	181	59	52	58	48	136	297	7	37	57	罗钧, 2013
32	201207180418	102.26	29.01	11	4.0	182	81	-12	274	78	-171	138	15	228	2	罗钧, 2013
33	201207281309	104.84	28.41	6	3.7	310	68	97	112	23	73	35	23	232	66	罗钧, 2013
34	201209071216	104.00	27.60	10	5.6	229	44	141	349	64	53	105	12	212	55	罗钧, 2013
35	201302072257	104.00	28.03	10	4.1	360	42	28	248	128	311	311	18	200	48	罗钧, 2013
36	201302191555	104.90	28.30	6	4.7	192	64	33	86	61	150	318	2	50	41	罗钧, 2013
37	201304200802	102.98	30.29	15	7.0	24	48	80	219	43	101	121	3	230	82	易桂喜等, 2016
38	201304200902	102.88	30.28	21	4.7	195	23	76	30	68	96	116	23	311	67	易桂喜等, 2016

39	201304200911	102.87	30.23	17	4.8	240	19	139	9	78	75	111	31	261	55	易桂喜等, 2016
40	201304200937	102.98	30.30	13	4.8	354	65	76	205	28	117	94	19	238	67	易桂喜等, 2016
41	201304201134	102.91	30.19	12	5.2	39	40	95	212	50	85	305	5	93	84	易桂喜等, 2016
42	201304201134	102.90	30.10	12	5.1	48	41	90	48	41	90	318	4	138	86	罗钧, 2013
43	201304211705	103.02	30.34	11	5.1	41	45	80	235	46	100	318	0	225	83	易桂喜等, 2016
44	201304211730	103.00	30.30	18	5.4	42	51	74	247	42	109	143	5	254	77	罗钧, 2013
45	201410010923	102.80	28.40	11	5.0	256	62	167	352	79	29	121	11	217	28	易桂喜, CAP 结果
46	201501141321	103.20	29.30	12	5.0	350	46	107	146	47	73	248	0	339	78	易桂喜, CAP 结果
47	201612270817	105.60	29.47	10	4.8	347	50	29	237	68	136	295	11	194	46	冯梅等, 2019
48	201807230702	104.54	29.55	2	4.2	20	32	90	200	58	90	290	13	110	77	易桂喜等, 2020
49	201810311629	102.08	27.70	11	5.1	94	90	155	184	65	0	142	17	46	17	易桂喜等, 2019a
50	201902240538	104.51	29.49	3	4.7	15	47	90	195	43	90	105	2	285	88	易桂喜等, 2020
51	201902250840	104.50	29.49	3	4.9	25	49	95	197	41	84	111	4	336	85	易桂喜等, 2020
52	201902251315	104.49	29.49	2	4.6	13	29	92	191	61	89	282	16	98	74	易桂喜等, 2020
53	201905160433	103.53	28.07	10	4.7	265	86	-163	174	73	-4	131	15	38	9	易桂喜, CAP 结果
54	201906172255	104.91	28.34	3	6.0	131	51	36	16	63	135	76	7	338	50	易桂喜等, 2019b
55	201906172336	104.80	28.42	2	5.1	311	60	45	194	52	141	71	5	167	52	易桂喜等, 2019b
56	201906180734	104.87	28.37	3	5.3	164	24	111	321	68	81	58	22	215	66	易桂喜等, 2019b
57	201906222229	104.79	28.42	2	5.4	12	61	101	170	31	71	94	15	308	72	易桂喜等, 2019b
58	201907041017	104.74	28.41	7	5.6	165	41	79	359	50	99	83	4	321	81	易桂喜等, 2019b
59	201909080642	104.81	29.58	5	5.4	40	32	94	215	58	87	307	13	117	77	易桂喜等, 2020
60	201909081036	104.51	29.51	2	4.1	24	44	96	195	46	84	289	1	30	86	易桂喜等, 2020
61	201912180814	104.83	29.64	4	5.2	35	29	94	210	61	88	302	16	115	74	易桂喜等, 2020
62	202002030005	104.46	30.74	5	5.1	20	36	91	199	54	89	289	9	105	81	易桂喜, CAP 结果
63	202002160428	104.48	29.48	3	4.4	0	29	99	170	61	85	263	16	68	73	易桂喜等, 2020
64	202107142336	103.37	30.97	15	4.8	4	50	57	120	183	43	52	119	7	14	易桂喜, CAP 结果
65	202109160433	105.34	29.20	4	6.0	286	45	103	88	46	77	187	1	281	81	易桂喜等, 2021
66	202205200836	102.48	29.67	20	4.8	16	60	90	164	150	74	0	106	11	14	易桂喜, CAP 结果
67	202206011700	102.94	30.37	12	6.1	215	32	96	28	58	86	121	13	287	76	易桂喜, CAP 结果
68	202209051252	102.10	29.59	3	6.8	75	90	155	165	65	0	123	17	27	17	易桂喜等, 2023
69	202209070242	102.17	29.43	11	4.5	333	73	6	241	84	163	288	8	196	16	易桂喜等, 2023
70	2022102213170	102.02	29.60	10	5.0	302	41	-130	170	60	-61	129	63	240	10	易桂喜等, 2023
71	2022111821240	102.02	29.62	8	4.3	163	64	-70	303	32	-125	108	65	238	17	易桂喜 CAP
72	2023012603490	102.02	29.63	5	5.6	149	75	-113	28	27	-34	31	54	257	26	易桂喜 CAP
73	2023012604570	101.98	29.65	10	4.0	167	68	-57	287	39	-143	119	55	233	17	易桂喜 CAP
74	2023012607210	102.02	29.63	6	4.4	313	40	-115	164	50	-70	126	72	241	7	易桂喜 CAP
75	2023022822460	102.02	29.63	12	4.8	327	21	-103	161	70	-85	79	65	247	24	易桂喜 CAP

从震源机制解图上可以看出, 区域内震源机制解具有明显的分区特征, 区域西北部沿北东走向的龙门山构造带主要以逆冲或逆冲兼具右旋走滑运动性质。区域西部沿

北北东至近南北的鲜水河断裂带呈现左旋走滑运动性质。区域中部和东部四川盆地中多以逆冲运动性质发育。

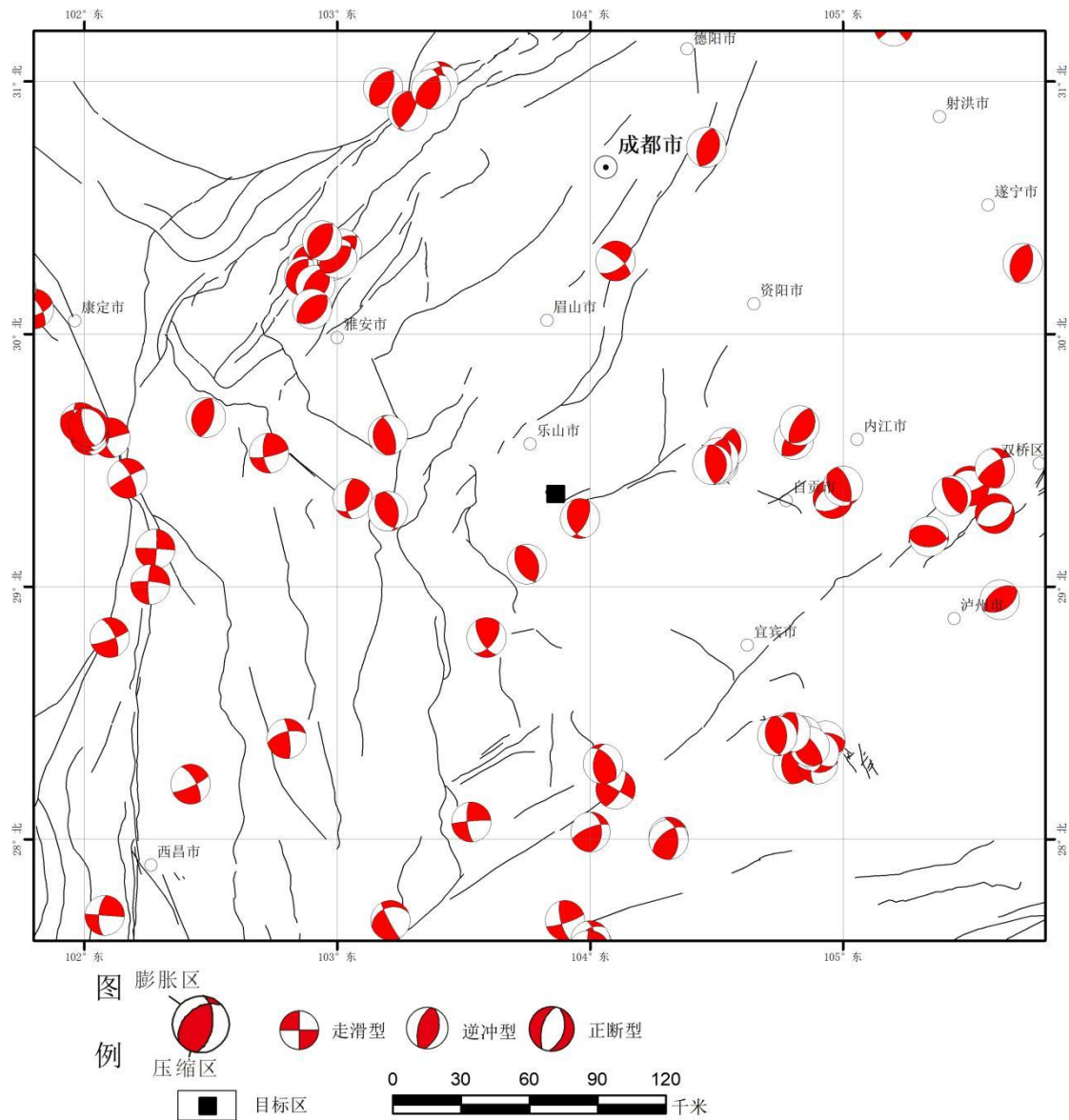
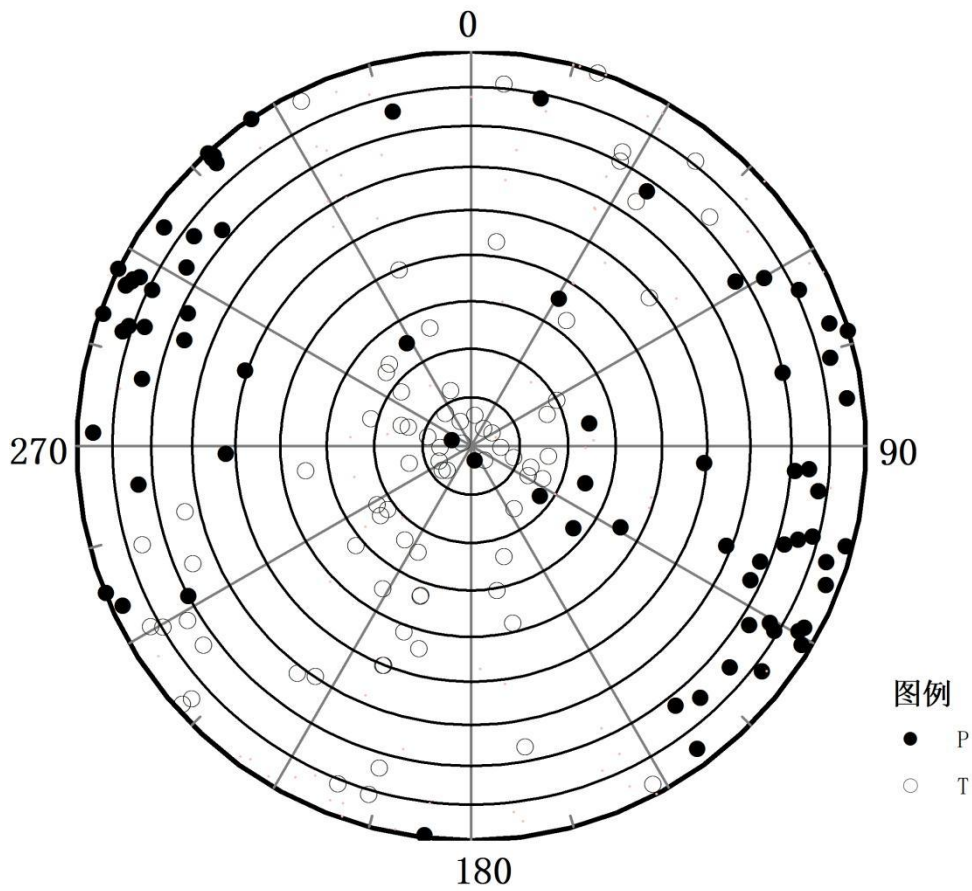


图 1.4-1 区域地震震源机制解的空间分布图

图 1.4-3 给出了地震 P 轴方位空间分布图，结合区域构造应力场图可见，区域地壳水平主压应力方向有一定的分区特点：区域北西部的龙门山断裂带北段，地震主压应力轴以北西～北西西向为主，该断裂南西段地震的主压应力方向则呈北西向的优势分布；据《2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析报告》（陈运泰等，2008 年 5 月），汶川 8.0 级地震主压应力方向为北西西向，在这样的应力作用下，龙门山断裂带主要以逆冲为主、兼少量右旋走滑分量；在川滇块体北东边界断裂的甘孜—炉霍—道孚—乾宁—康定—石棉—冕宁—西昌—普格一线，水平主压应力方向自北向南大致呈

北东东→近东西→北西→北北西向的分布；而在其南部的木里—盐源—宁蒗地区和丽江等地，主压应力轴方向绝大多数则呈北北西向优势分布方位；区域中东部的四川盆地广大地区，中强地震的震源机制解结果较少，现有资料显示，其单个地震主压应力轴的优势分布方位为近南北向。

根据地震震源机制解的结果，图 1.4-2 绘制了 P 轴、T 轴的方位角与倾角分布图。图中径线表示力轴与水平面的夹角，从圆周到圆心，代表力轴从水平至直立；环线大圆刻度表示方位角，从 0° ~360° 。从图中可见，区域范围内 P 轴优势分布方位呈北西-南东至北西西—南东东向，并且倾角多在 0-30° 之间，近水平。



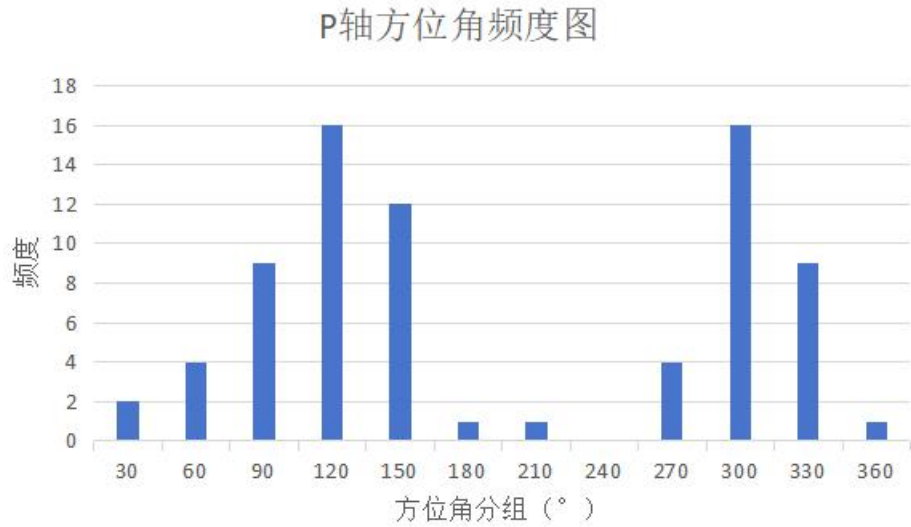


图 1.4-2 区域地震震源机制解 P、T 轴方位及 P 轴倾角分布示意图

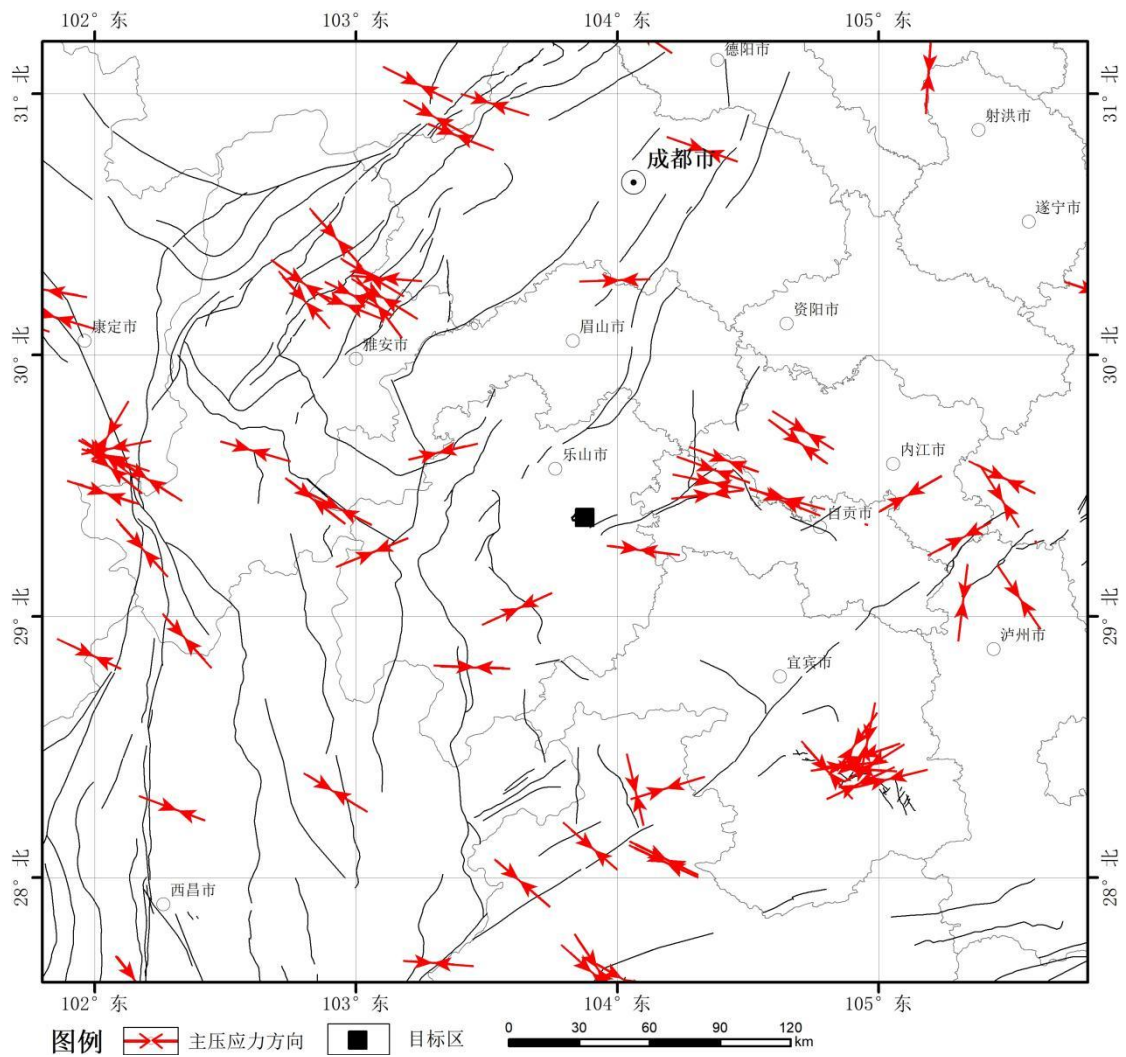


图 1.4-3 地震 P 轴方位空间分布图

综上所述，区域地震震源机制数据主要分布在其西部，现有数据显示，区域基本

处于以北西-南东至北西西-南东东向近水平的主压应力为主的现代构造应力场中；在这样的应力场作用下，易于发生以走滑为主或走滑兼具倾滑型的断层活动，北西及近南北向的断层易产生左旋走滑运动，北东向的断层易产生右旋走滑运动。

1.5 历史地震及其对目标区的影响

历史地震对目标区影响程度分析是安全性评价的重要内容之一。本节从两个方面来考察历史地震对目标区的影响，一是根据有历史地震等震线资料的地震，查明这些地震对目标区的实际影响烈度；另一方面应用地震烈度衰减关系式，计算没有等震线资料的强震对目标区的影响烈度。

1.5.1 等震线及文字记载资料

(1) 814 年 4 月 2 日四川西昌一带 7 级地震

公元 814 年 4 月 2 日西昌一带 7 级地震。据史料《新唐书·五行志》卷 35 页 908 记载道：“〔元和〕九年三月丙辰，嵩州地震，昼夜八十，压死百余人，地陷者三十里。”

该次地震由于年代久远，史料记载的震害情况甚少，又缺乏详细的考证资料。但从上述有限的史料记载仍可看出发生在西昌附近的这次地震震害是相当严重的。据《中国历史强震目录》（公元 23 世纪—公元 1911 年，1995）给出的震中位置为：N27.9°、E102.2°，震级为 7 级，震中烈度为 IX 度。从上述史料的记载情况分析，按地震烈度衰减关系推算，该次地震对目标区的最大影响烈度为 IV 度。

(2) 1216 年 3 月 17 日四川雷波马湖 7 级地震

据《宋史·宁宗纪》载：（南宋宁宗嘉定九年二月）“辛亥，东西两川地大震，三月乙卯又震，壬申又震”。主震当在 3 月 17 日，随后 21、30 日、4 月 2 日、7 日都是较强的余震。南宋宁宗时，东西两川指成都府路和潼川府路，辖境在今四川盆地西部。马湖夷界，指马湖夷部。汉唐以来，均称彝族居地为马湖部，南邻马湖江（今金沙江下游），以今雷波县东北马湖为中心。据考证，马湖在易汉建兴三年（公元 225 年）前就已存在。又据雷波县志第一卷中记载，现今的金沙江中、下游自唐朝以来就称为马湖江。

根据众多史料分析和现场实地考察结果可以断定,《四川地震资料汇编》的记载:“马湖夷界山崩八十里,江水不通”的地点应在雷波县黄琅乡至渡口乡,北至草鞋沟沿金沙江两岸的地带,即马湖区或黄琅地区,故1216年地震震中也应在这一带。《中国历史强震目录》(公元前23世纪—公元1911年)给出的震中位置为: $N28.4^{\circ}$ 、 $E103.8^{\circ}$,震中烈度为IX度。从上述史料的记载情况分析,按地震烈度衰减关系推算,该地震对目标区的最大影响烈度为V度。

(3) 1536年3月29日四川西昌北7½级地震

1536年3月29日(明嘉靖十五年二月二十八日丑时)西昌北发生7½级地震。史料及碑刻对该次地震有较为详细的记载,据史料嘉靖《四川总志》记载:“本年二月二十八日丑时,建昌地震,声吼如雷数阵,本都司并建、前二卫大小衙门、官厅、宅舍、监房、仓库、内外军民房舍、墙垣门壁、城楼垛口、城门,俱各倒塌填塞。……并各家口及内外屯镇乡村军民客商人等,死伤不计其数。自二十八日以后至二十九日时常震动有声,间有地裂涌水,陷下三、四、五尺者。卫城内外,似若浮块,山崩石裂,军民惊惶。……”史料嘉靖《四川总志》卷16(经略下)页40至41记载:“据四川行都司佥事,都指挥佥事曹元呈称:……续据越隲卫、镇西(甘洛)、邛(邛崃)、雅(雅安)、崇庆、嘉(乐山)、眉(眉山)、资阳、大邑、峨眉等卫、所等县各申:地震倒塌城垣不等数目前来,臣又会行各议修理……”据史料《二申野录》卷4,页14至16记载:“[嘉靖丙申]二月二十八日夜子时,全省地震有声,南至建昌、宁番尤甚,山崩地裂,城室尽塌,继以火灾焚压指挥、百户、土官、商旅、居民无算。越隲地方自子历丑、寅稍定,遍卫城屋倾倒者十分之七,城乡内外压死者,不计其数。”据记载震中区官民房屋、寺观俱行倒塌,死亡近万人。山崩石裂,地裂水涌,段氏所施之田,尽皆化为沧海。波及越西、甘洛、邛崃、雅安、崇庆、乐山、眉山、资阳、峨眉等州、县城垣倒塌不等,远达平武、三台、宜宾、富顺、成都、岳池等均震。从记载的震害情况来看,该次地震造成军民房舍及其它建筑物倒塌,地震涌水、山崩石裂、人员伤亡惨重。给当地人民生命财产和社会经济造成十分严重的损失。

根据史料所记载的震害情况分析以及野外实地考察结果,勾绘了该次地震的等烈度线图(图1.5-1),确定其宏观震中在西昌新华一带。据《中国历史强震目录》给出的震中位置为: $N28.1^{\circ}$ 、 $E102.2^{\circ}$,震级为7½级,震中烈度为X度。通过对地震

史料震害情况综合分析，再结合等烈度线的分布情况，目标区处于地震IX度影响区外。
按地震烈度衰减关系推算，该次地震对目标区的最大影响烈度为V度。

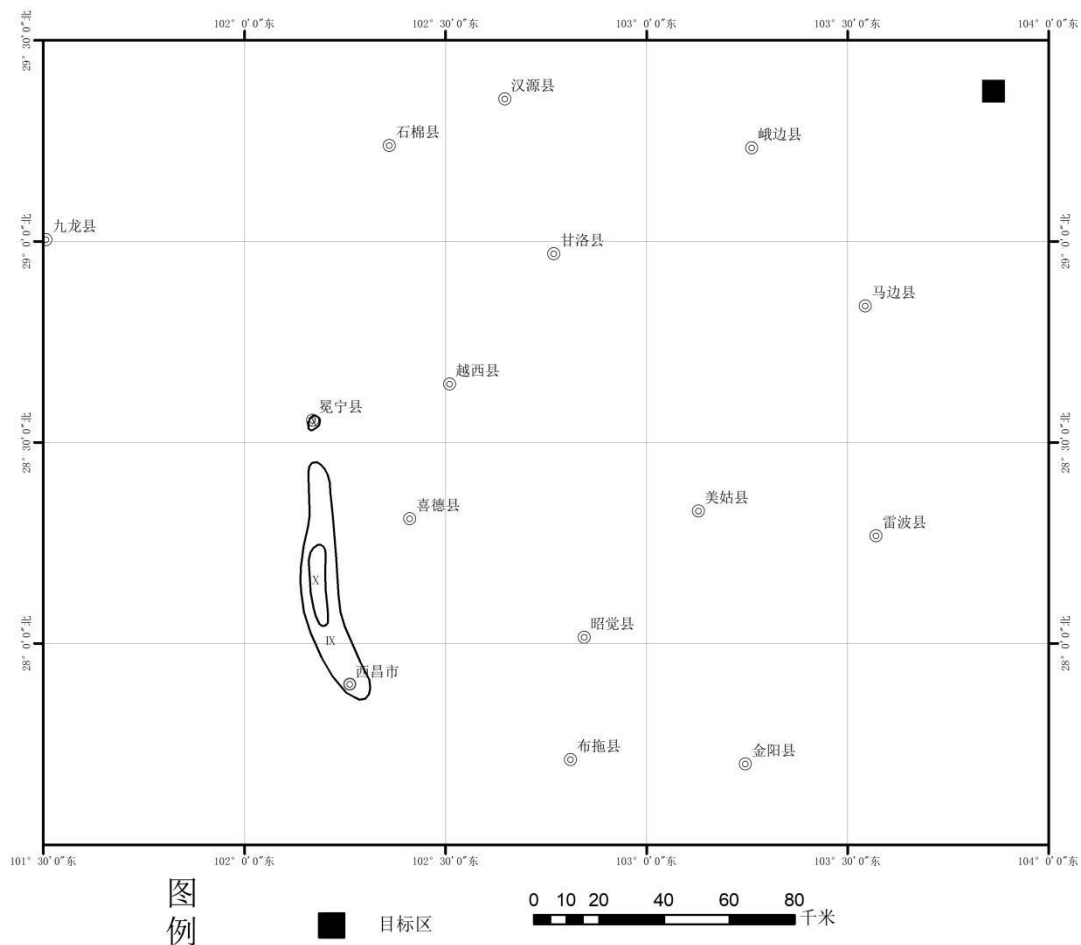


图 1.5-1 1536 年 3 月 29 日四川西昌北 M7½级地震等震线
据《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—1911 年)》改编

(4) 1725 年 8 月 1 日四川康定 7 级地震

极震区破坏烈度大于IX度。康定：喇嘛及官员仕居、税务衙门、买卖人等井藏民住居房屋、楼房、碉楼俱行摇塌，一问无存。河西碉楼倒塌其多，河东平房所伤轻微。

泸定：猴子被碉楼倒塌。沈村、烹坝亦震。是月，雅安、天全、汉源、清溪和理塘等处均震。

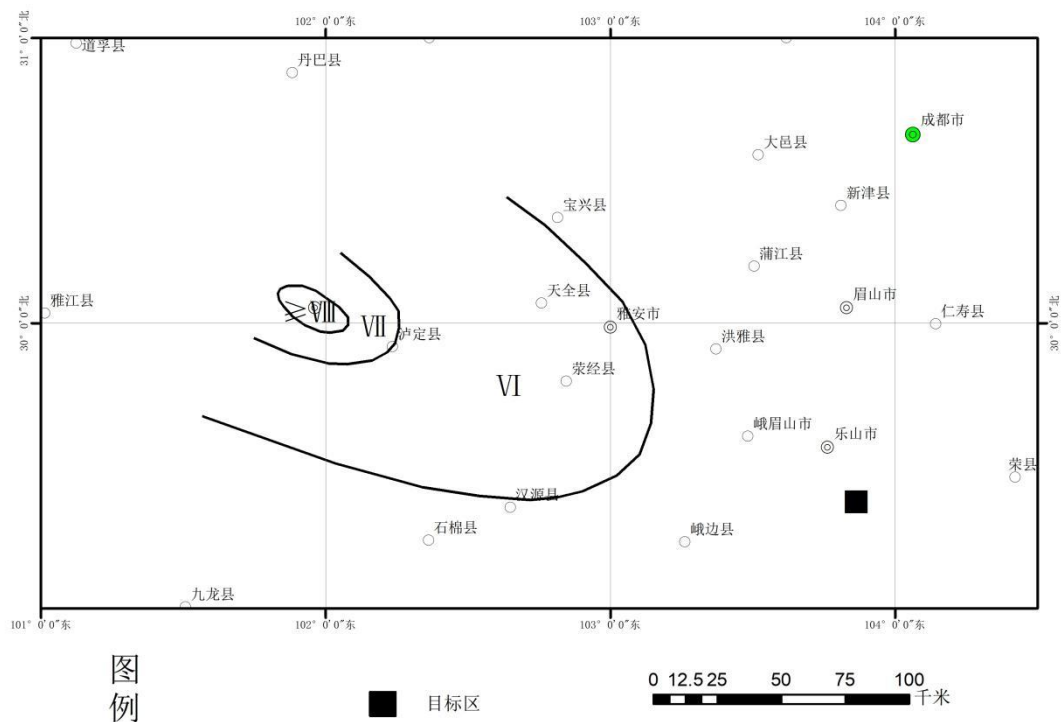


图 1.5-2 1725 年 8 月 1 日四川康定 7 级地震等震线图

据《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—1911 年)》改编

图 1.5-2 为本次地震的等震线分布图，目标区位于地震 VI 度影响区外。按地震烈度衰减关系推算，该次地震对目标区的最大影响烈度为 V 度。

(5) 1786 年 6 月 1 日四川康定南 7¾ 级地震

1786 年 6 月 1 日四川康定南 7¾ 级地震，震中位于 (N29.9°、E102.0°)，极震区破坏烈度为 \geq X 度。

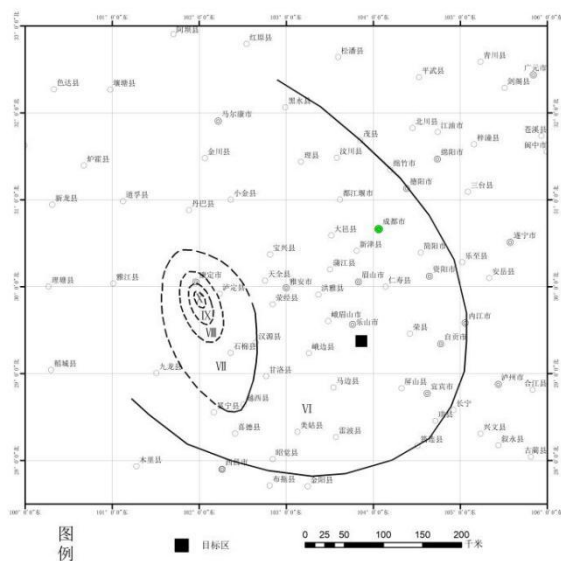


图 1.5-3 1786 年 6 月 1 日四川康定南 7¾ 级地震等震线图

据《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—1911 年)》改编

康定：城垣全行倒塌，文武衙署、仓库、兵房等顶全塌者 169 间、歪斜、脱落 384 间，其完善者十止一二。雅家埂等一带出现规模不等地裂缝。

德阳：民房有倾塌者，邻邑周、县皆然。

成都、江津、平武等地均震。

图 1.5-3 为本次地震的等震线分布图，工程场地位于地震Ⅵ度影响区内。

(6) 1850 年 9 月 12 日四川西昌、普格间 7½级地震

1850 年 9 月 12 日四川西昌、普格间 7½级地震，震中位于（N 27.7°、E102.4°），极震区破坏烈度为Ⅹ度。

西昌：县城垣倒塌 200 余丈，西、南、北门城楼及文武衙署、仓廩、库局、庙宇、概行倒塌。城内城外及之乡场受灾户 27880 余家，灾民 135382 口，倒塌瓦屋、草房 26106 间，压毙 20652 人。

图 1.5-4 为本地震的等震线图。图中显示，目标区位于地震Ⅶ度影响区外。按地震烈度衰减关系推算，该地震对目标区的最大影响烈度为Ⅴ度。

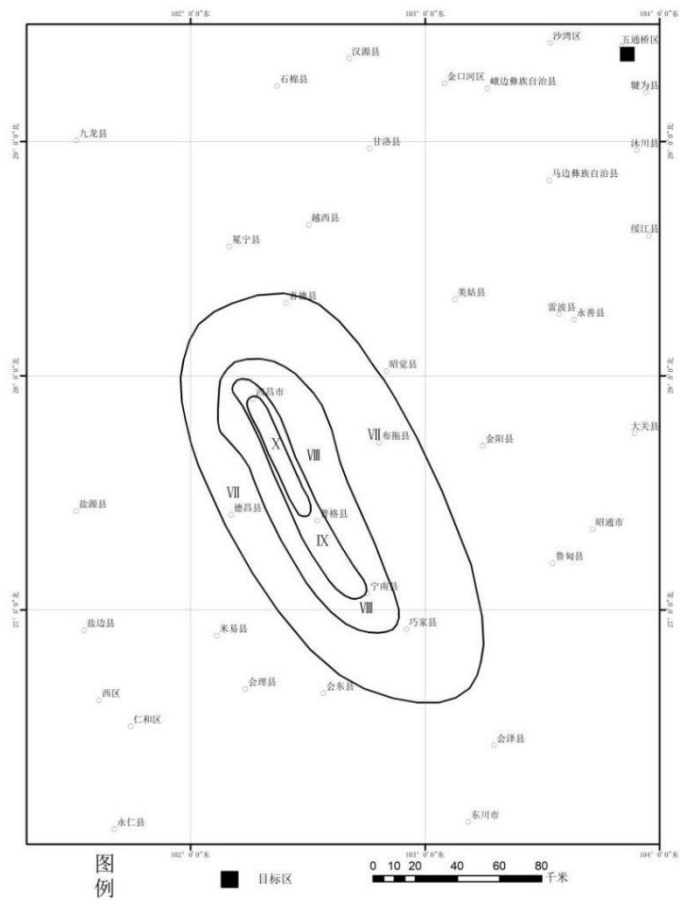


图 1.5-4 1850 年 9 月 12 日四川西昌、普格间 7½级地震等震线图
据《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—1911 年)》改编

(7) 1935 年-1936 年四川马边 6¼级地震群

1935—1936 年马边 6¼级震群，该震群共发生 5.0 级以上地震 12 次，其中 6.0—6.8 级地震 5 次，根据《四川地震目录》，1935 年 12 月 18 日马边 6.0 级地震时，极震区最高烈度为八度，“玛脑、复兴场，司里沱及屏山县夏溪、雷波、西宁一带有冒水者。庙宇倒塌，字库倒半。石碉楼大多数倒塌，民房倒塌 20—50%，竹笆墙倒，木石房倾斜，山岩普遍崩垮，阻塞河流及道路。山坡、河岸、田坝和街道均多裂缝，宽 0.3—1.5 米，有冒水者。伤亡 100 余人。”1936 年 4 月 27 日马边 6¼级地震时，极震区最高烈度为九度，“玛脑、复兴场、夏溪一带，石碉楼全倒，石桥倒塌。庙宇、民房倒塌甚多，木架倒塌 50%，山岩普遍严重崩垮，团鱼北一带还毁地死人，裂缝普遍宽 0.3—1 米，长达数里、数丈不等，有冒水者，大树震倒，死数十人”。

图 1.5-5 为本次地震的等震线图，目标区位于地震Ⅶ度影响区外。利用衰减关系计算，该地震对目标区的最大影响烈度为Ⅵ度。

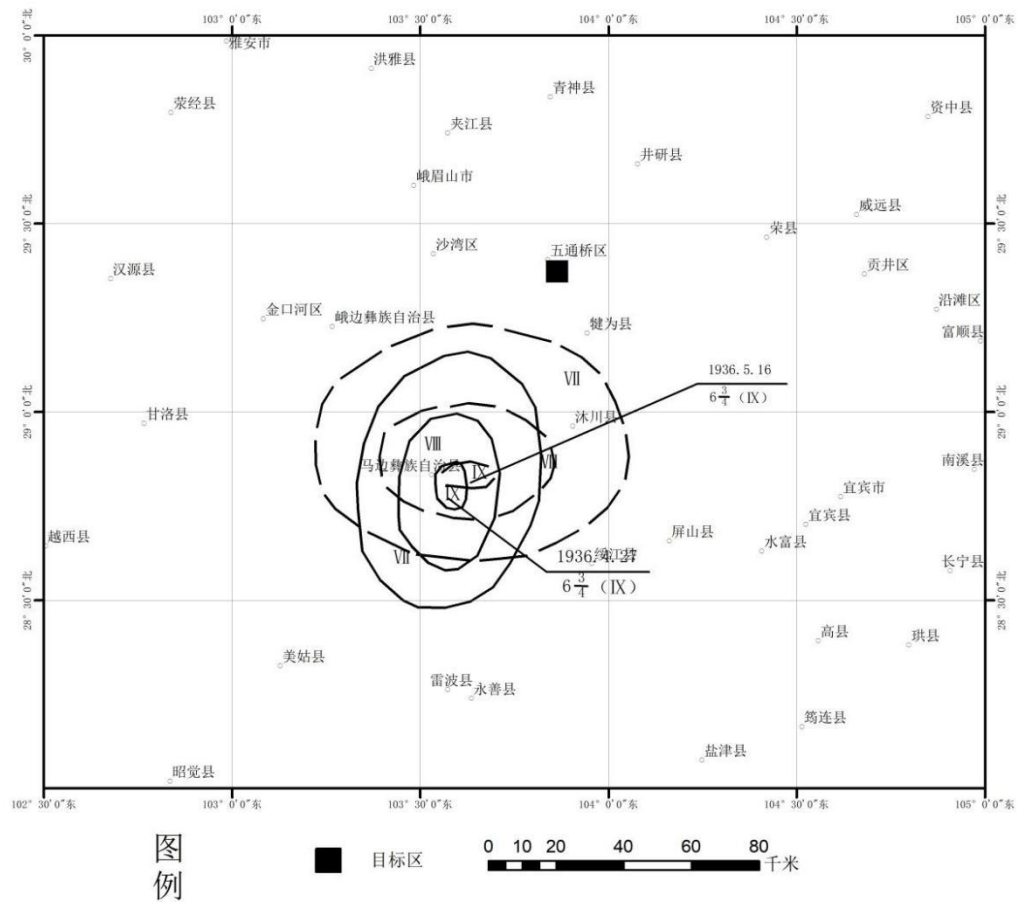


图 1.5-5 1936 年四川马边 6¼级地震群地震等震线图

据《中国历史强震目录(公元 1912 年—1990 年)》改编

(8) 1955 年 4 月 14 日四川康定折多塘 7¼级地震

极震区破坏烈度为X度。

康定：河坝、麦本、柏桑等地墙壁开裂间有倒塌，屋瓦飞落。山岩崩跨，山石滚落。

泸定：墙壁迸裂，间有局部倒塌者。城乡倒塌房屋共9间，倒塌墙壁10余堵。山岩崩跨，堰沟垮塌，桥梁损裂。

图 1.5-6 为本地震的等震线图。图中显示，目标区位于地震Ⅶ度影响区外。按地震烈度衰减关系推算，该地震对目标区的最大影响烈度为Ⅴ度。

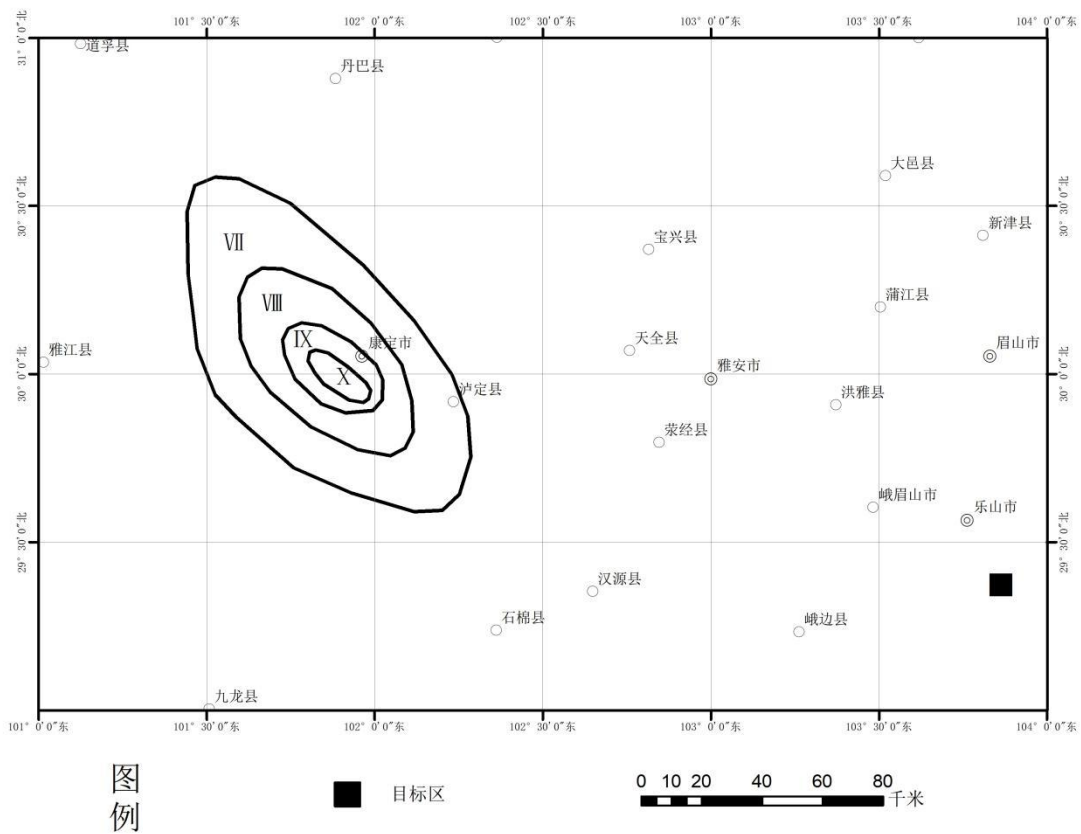


图 1.5-6 1955 年 4 月 14 日四川康定折多塘 7½级地震等震线图

据《中国历史强震目录(公元 1912 年—1990 年)》改编

(9) 1974 年 5 月 11 日云南大关北 7.1 级地震

1974 年 5 月 11 日云南大关北 7.1 级地震，宏观震中位于木杆公社钟家坪，震中烈度可达Ⅸ度。

极震区：南起大关县的木杆公社北，北到永善县团结公社的苏田坝南，西起团结公社鄯家山、向阳坪、田坝，东至木杆公社兴火地、向家崖口一带。土搁梁房倒塌约一半，石墙房多数倒塌。木杆公社海口子村 30 户毛石墙草顶房部分倒平，大多数毛石墙全倒。团结公社田坝村，夯土墙房 60%土墙倒塌，其余严重破坏，区内崩塌、滑坡和地裂缝普遍，几乎所有山头均遭到不同程度破坏。道路、农田和水渠严重毁坏。

大关到绥江公路有 186 公里长的地段遭到破坏，近四万亩耕地受到破坏。海口~马颈子一段大规模滑坡，长 300 米，宽 200 米，厚 50 米，滑坡体逆冲到对岸，高出河床约 30 米，阻塞河流，形成湖泊。手扒崖大规模滑坡，将团结公社顺河二队掩埋大半，建筑物毁坏，农田被掩埋，木杆河阻塞成湖泊。团结公社文家湾和大水船有溶洞塌陷。

大关：房屋遭受破坏，土搁梁房约半数倒塌，因大规模崩滑和塌方，使木杆到丁木的公路交通中断。县北部受灾较重，往南渐轻。县城强烈有感。

永善：团结公社所在地长坪共 17 户，土墙裂缝，局部倒塌；桧溪公社木利共 30 多间房屋，其中 3 间土搁梁房山墙、屋顶塌落，其它开裂。三江口~砂石公路滑坡，崩塌几十处，破坏农田。城关有感。

盐津：西部一些公社个别老朽房倒塌，少数夯土墙裂缝，落瓦。公路个别地段损坏。

绥江：西南部个别老房倒塌，少数夯土墙裂缝、落瓦。公路、水渠个别损坏。

雷波：璜琅公社回龙至下坪一带及渡马湖等公社部分地区受灾较重。土搁梁房屋倒塌 50%以上，未倒者亦严重破坏。其余地区公个别老房倒塌。

昭通、东川、曲靖、四川省宜宾、泸州、自贡、内江、成都、南充、重庆、渡口、西昌、康定、马尔康、万县、贵州省之遵义、贵阳等地有感。

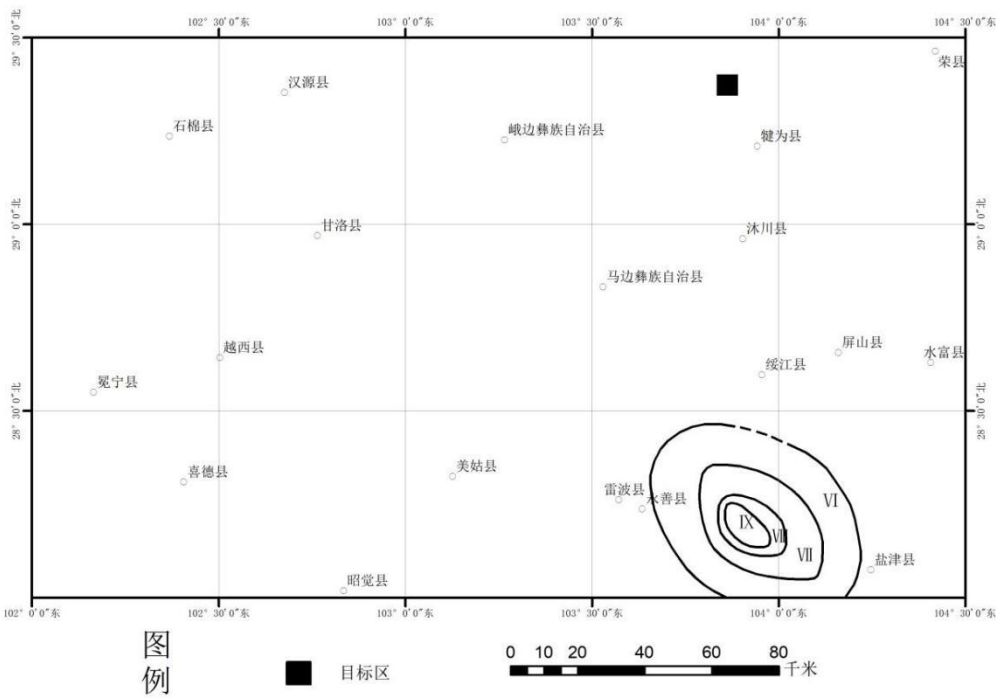


图 1.5-7 1974 年 5 月 11 日云南大关北 7.1 级地震等烈度线图
(据《中国近代地震目录(公元 1912 年~1990 年), Ms≥4.7》改编修订)

《中国近代地震目录》(公元 1912 年—1990 年 $M_s \geq 4.7$) 给出的震中位置为: $N28.2^\circ$ 、 $E103.9^\circ$ ，震中烈度为 IX 度。从上述史料的记载情况分析 & 等烈度线图 (图 1.5-7) 可看出，目标区位于地震 VI 度影响区外。按地震烈度衰减关系推算，该次地震对目标区的最大影响烈度为 V 度。

(10) 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震

汶川 8.0 级地震震级高、破裂尺度大、造成灾害范围也很大。汶川特大地震 VI (6) 度区以上面积合计 440442km^2 ，其中：

XI (11) 度区：面积约 2419km^2 ，以四川省汶川县映秀镇和北川县县城为两个中心呈长条状分布。映秀 XI 度区沿四川省汶川 - 都江堰 - 彭州方向分布，长轴约 66 km，短轴约 20 km；北川 XI 度区沿安县 - 北川 - 平武方向分布，长轴约 82km，短轴约 15km。

X (10) 度区：面积约 3144km^2 ，呈 NE 向狭长展布，长轴约 224km，短轴约 28km，NE 端到四川省青川县，SW 端到汶川县。

IX (9) 度区：面积约为 7738km^2 ，呈 NE 向狭长展布，长轴约 318km，短轴约 45km，NE 端到甘肃省陇南市武都区 & 陕西省宁强县的交界地带，SE 端到四川省汶川县。

VIII (8) 度区：面积约 27786km^2 ，呈 NE 向不规则椭圆形状展布，SE 方向受地形影响呈不规则衰减，长轴约 413km，短轴约 115km，SW 端至四川省宝兴县 & 芦山县，NE 端达到陕西省略阳县 & 宁强县。

VII (7) 度区：面积约 84449km^2 ，呈 NE 向不规则椭圆形状展布，SE 方向受地形影响有不规则衰减，SW 端较 NE 端偏窄，长轴约 566km，短轴约 267km，SW 端至四川省天全县，NE 端到甘肃省两当县 & 陕西省凤县，最东部为陕西省南郑县，最西为四川省小金县，最北为甘肃省天水市麦积区，最南端为四川省雅安市雨城区。

VI (6) 度区：面积约 314906km^2 ，呈 NE 向不均匀椭圆形展布，长轴约 936km，短轴约 596km，SW 端为四川省九龙县、冕宁县 & 喜德县，NE 端为甘肃省镇原县 & 庆阳市，最东部为陕西省镇安市，最西边为四川省道孚县，最北部达到宁夏回族自治区固原市，最南为四川省雷波县。

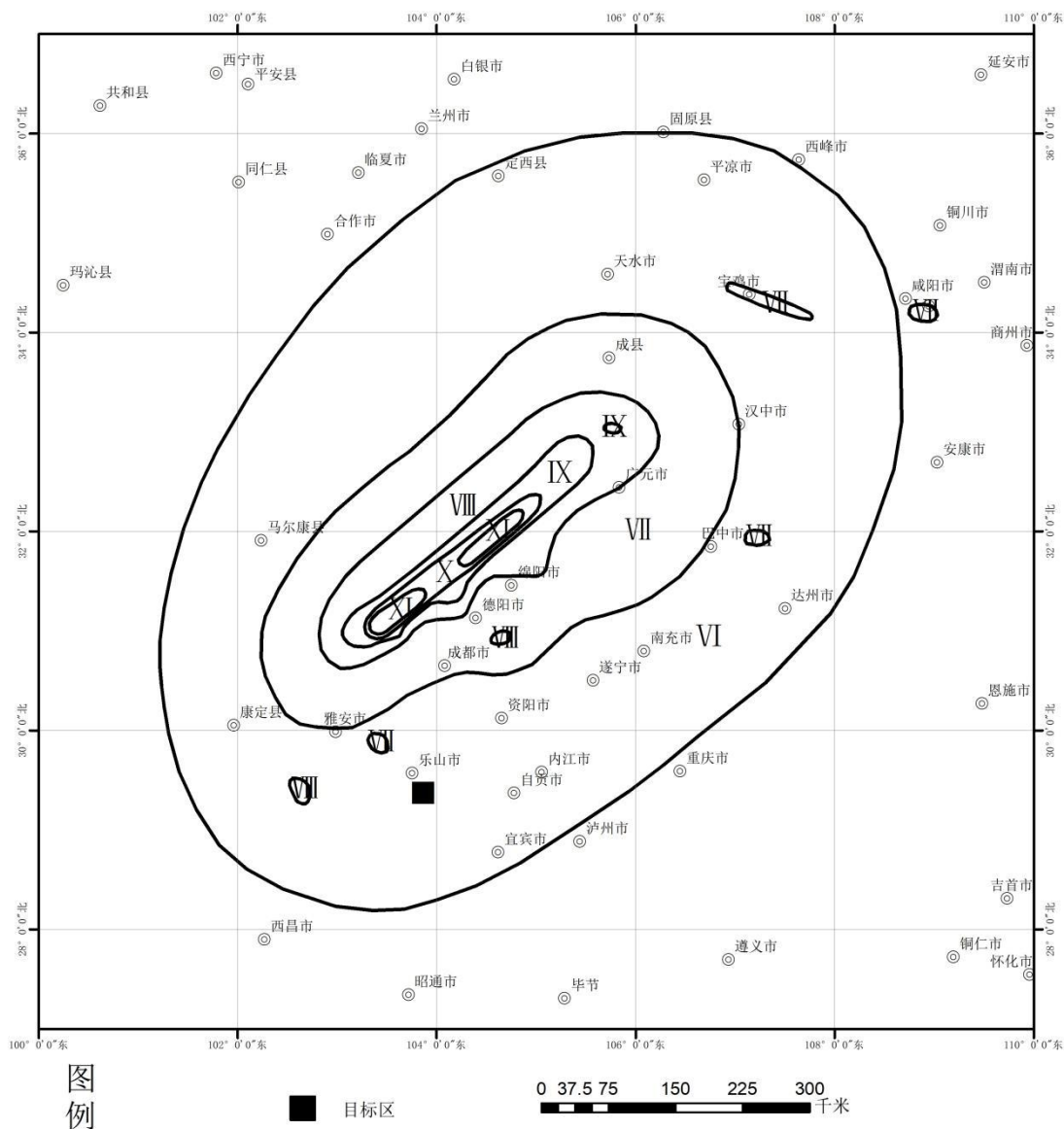


图 1.5-8 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震等震线分布图

据中国地震局

由烈度图可以看出，汶川地震的震中烈度达XI度，以汶川县映秀镇和北川县县城为两个XI度中心。IX度以上地区破坏极其严重，其分布区域紧靠发震断层，沿断层走向呈长条形状；X度和IX度边界受龙门山前山断裂错动的影响，在绵竹和什坊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，进入甘肃和陕西境内，显示出断层破裂向NE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，一直延续到重庆西部和云南昭通市北端，在四川省西部面积相对要小。宏观震中位于

四川省汶川县映秀—北川—陈家坝一带。灾区形状呈椭圆形，长轴走向 NE，总面积 44.04 万 km²，包括四川、甘肃、陕西、重庆、云南、宁夏 6 个省（自治区、直辖市）。地震烈度分布特点主要有以下六点：

地震地质破坏控制高烈度点的分布：地震发震断层龙门山断裂的中央断裂和前山断裂错动，出露地表，形成分别长约 240km 和 70km 的地表破裂带，触发了大规模的滑坡、崩塌、滚石，以及泥石流、堰塞湖、砂土液化、地裂缝，高烈度点都在断层地表破裂带上。

震中烈度高且衰减快：震中烈度达 XI 度，但是沿垂直于发震断层的方向，烈度快速衰减，在江油和安县，不到 15km 的距离上从 XI 度、X 度变化到 IX 度；在绵竹、什邡、彭州，变化距离为 30km，断层西侧（上盘）的变化距离稍大些，在 40km 左右。

地震在远场引起显著的震害：距震中 300~500km 以外的甘肃庆阳、重庆梁平、云南永善都有破坏。

烈度在发震断层北面衰减比南面慢：断层破裂从南向北传播具有方向性效应，在发震断层的南端宝兴县，很难找到 VII 度点。VI 度的分布不对称，在 NE 方向宽，SW 方向大渡河以西的山区震害很轻，也几乎没有滑坡等地震灾害。

震害分布轻重相间：在 VII 度区和 VI 度区，震害不是连续分布地逐渐减弱，而是轻重相间。在多数地区已是震害减弱，甚至房屋几乎看不到震害时，又出现震害较重的村镇，这在东部的四川盆地尤为明显。

烈度异常区分布点较多：在震区虽然有若干村镇受地形和特殊场地影响，烈度高于周围，但区域不够大。形成较大区域异常的主要有汉源老县城，位于 VI 度区的 VIII 度异常区。其他还有高于所在区一度的异常区，如中江（VIII 度）、通江（VII 度）、洪雅（VII 度）、陕西西安（VI 度）等。

图 1.5-8 为本次地震的等震线分布图，由图可知，目标区位于地震 VI 度影响区内。

（11）2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震

2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震。地震震中为：N30.3°、E103.0°，震中烈度为 IX 度，震源深度 13 公里。此次地震震中距成都市区约 100 公里。成都、重庆及陕西的宝鸡、汉中、安康等地均有较强震感；与四川交界的甘肃陇南地区震感明显，成县、武都等县区吊灯、桌子摇晃，持续约一分钟；贵州毕节、遵义等地居民震感强烈；云南省多地有明显震感，紧邻四川省的昭通市等地震感强烈。截至 25 日 12 时，

地震共造成 196 人死亡，11470 人受伤。

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 18682 平方公里。

IX度区：东北自芦山县太平镇、宝盛乡以北，西南至芦阳镇向阳村，长半轴为 11.5 公里，短半轴为 5.5 公里，面积 208 平方公里。区内大多数房屋严重破坏，墙体龟裂，局部坍塌。

VIII度区：东北自芦山县宝盛乡漆树坪村，西南至天全县兴业乡，西北自宝兴县灵关镇，东南至名山区，长半轴为 29 公里，短半轴为 17.5 公里，面积 1418 平方公里。区内大多数房屋中等破坏，结构受损。

VII度区：东北自芦山县大川镇，西南至荥经县严道镇岗山村，西北自天全县紫石乡，东南至洪雅县汉王乡，长半轴为 56 公里，短半轴为 33 公里，面积 4029 平方公里。区内大多数房屋轻度破坏，局部开裂。

VI度区：东北自大邑县新场镇李家山村，西南至甘洛县两河乡，西北自泸定县岚安乡，东南至丹棱县杨场镇，长半轴为 95 公里，短半轴为 64 公里，面积 13027 平方公里。区内大多数房屋个别砖瓦掉落、墙体微细裂缝。

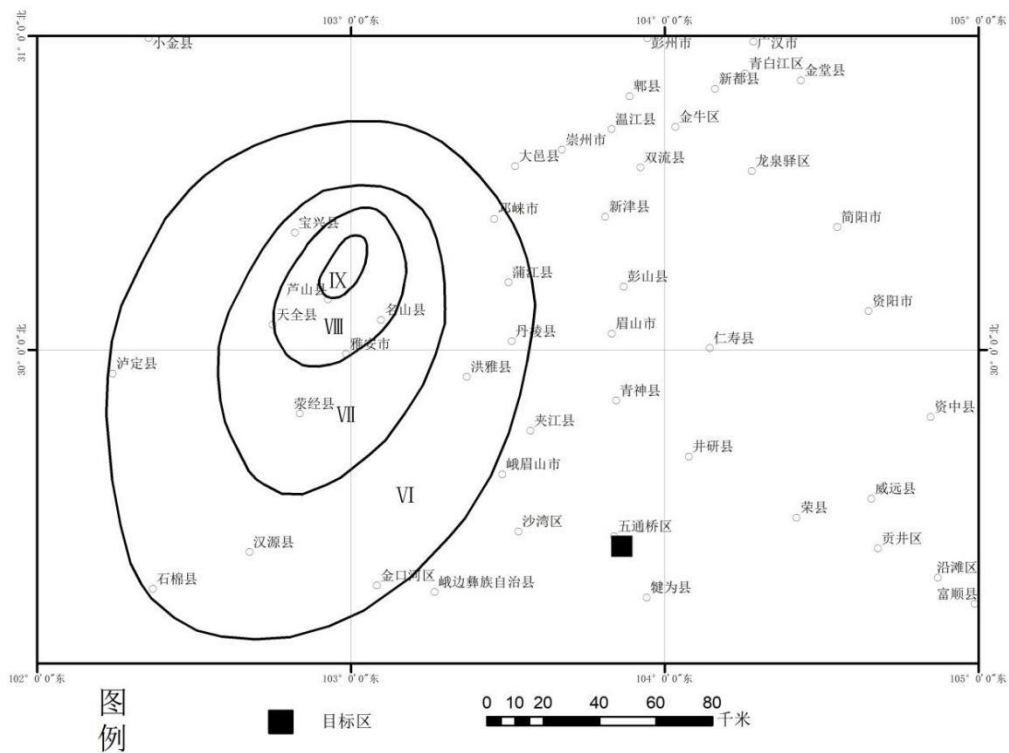


图 1.5-9 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震等烈度线图
据四川省地震局

据实际考察资料，地震的震中位置为：N30.3°、E103.0°，震级为7.0级，震中烈度为IX度。根据上述震害资料，再结合等烈度线的分布情况（图1.5-9），目标区位于地震VI度影响区外。按衰减关系计算，该次地震对目标区的影响烈度为V度。

(12) 2022年9月5日四川泸定6.8级地震

2022年9月5日12点52分在四川省甘孜藏族自治州泸定县（北纬29.59度，东经102.08度）发生6.8级地震。此次地震最高烈度为IX度（9度），等震线长轴呈北西走向，长轴195公里，短轴112公里，VI度（6度）区及以上面积19089平方公里，主要涉及到甘孜藏族自治州泸定县、康定市、九龙县、丹巴县、道孚县、雅江县、雅安市石棉县、汉源县、荣经县、天全县以及凉山彝族自治州冕宁县、甘洛县，共计12个县（市），82个乡镇（街道），其中甘孜藏族自治州35个乡镇（街道），雅安市38个乡镇（街道），凉山彝族自治州9个乡镇。

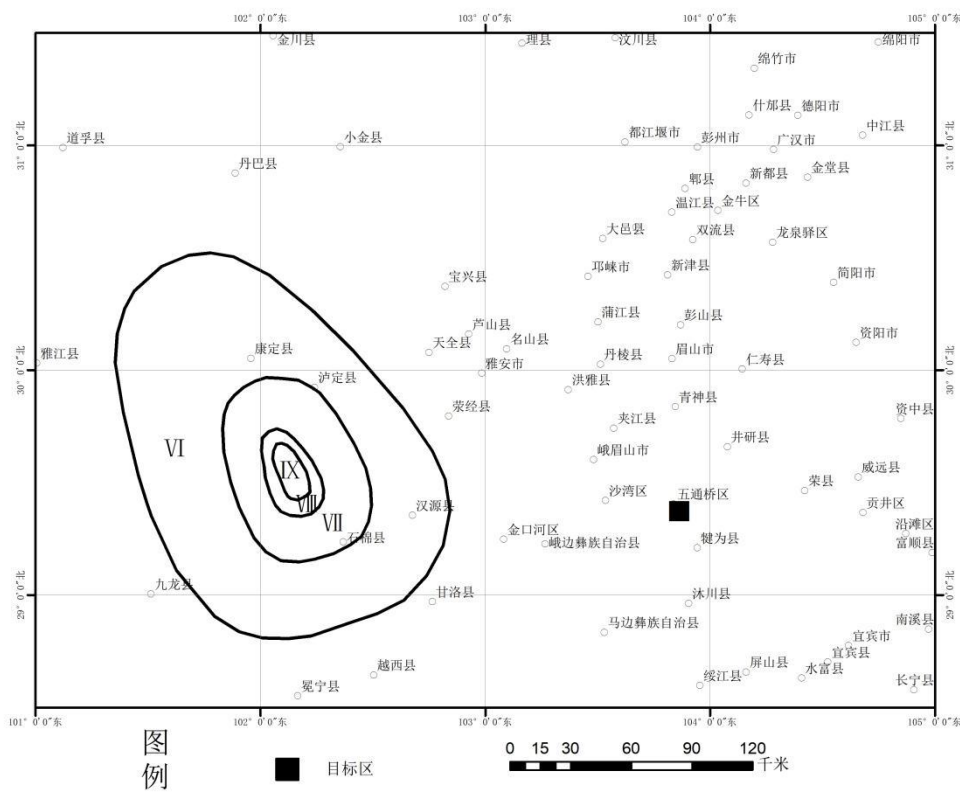


图 1.5-10 2022年9月5日四川泸定6.8级地震烈度图

（据应急管理部中国地震局）

IX度（9度）区面积280平方公里，主要涉及甘孜藏族自治州泸定县磨西镇、得妥镇、燕子沟镇、德威镇；雅安市石棉县王岗坪彝族藏族乡、草科藏族乡、新民藏族彝族乡，共计7个乡镇。

VIII度（8度）区面积 505 平方公里，主要涉及甘孜藏族自治州泸定县磨西镇、燕子沟镇、得妥镇、德威镇；雅安市石棉县王岗坪彝族藏族乡、草科藏族乡、新民藏族彝族乡，共计 7 个乡镇。

VII度（7度）区面积 3608 平方公里，主要涉及甘孜藏族自治州泸定县燕子沟镇、泸桥镇、德威镇、磨西镇、冷碛镇、兴隆镇、得妥镇、烹坝镇，康定市榆林街道、贡嘎山镇, 九龙县洪坝乡、湾坝镇；雅安市石棉县草科藏族乡、蟹螺藏族乡、安顺场镇、王岗坪彝族藏族乡、丰乐乡、新棉街道、迎政乡、美罗镇、新民藏族彝族乡、永和乡，汉源县宜东镇、富乡乡、前域镇，荣经县牛背山镇，天全县喇叭河镇，共计 27 个乡镇（街道）。

VI度（6度）区面积 14696 平方公里，主要涉及甘孜藏族自治州 32 个乡镇（街道），雅安市 35 个乡镇（街道），凉山彝族自治州 9 个乡镇，共计 76 个乡镇（街道）。

此外，位于VI度（6度）区之外个别乡镇及其它部分地区也受到波及，个别老旧房屋出现破坏受损现象。

根据上述震害资料，再结合等烈度线的分布情况（图 1.5-10），目标区位于地震 VI度影响区外。按地震烈度衰减关系推算，该次地震对目标区的最大影响烈度为 V 度。

1.5.2 利用衰减关系计算历史地震影响烈度

本节将根据烈度衰减关系经验公式来考察目标区遭受历史地震影响情况。由于目标区主要受青藏地震的影响，所以按照五代图分区采用中国青藏区烈度沿长轴、短轴的衰减关系为：

$$I_{\text{长}}=6.458+1.2746M-4.4709Lg(R+25)$$

$$I_{\text{短}}=3.3682+1.2746M-3.3119Lg(R+9)$$

长轴

短轴

考虑到地震活动情况，选取200km范围内5级以上的地震、300km范围内6级以上地震、500km范围内7级以上地震，不考虑余震。利用上述衰减关系式估算了各次地震对目标区的影响烈度值（表1.5-1）。考虑到该计算模型的计算结果准确性不是很高，结果一般只做参考，当有等震线资料时还是以等震线资料为准。

表 1.5-1 历史地震对目标区的影响烈度统计

编号	时间			震中位置			震级 M	震中 烈度	距目标 区最近距 离 (km)	影响烈度		
				北纬 (°)	东经 (°)	地点				计算 烈度	等震 线 烈度	最大影响 烈度
1	814	4	6	27.9	102.2	四川西昌一带	7	IX	228	4.6	*	IV

										4.7		
2	1216	3	17	28.4	103.8	四川雷波马湖	7	IX	107	5.7	*	V
										5.6		
3	1536	3	29	28.1	102.2	四川西昌北	7½	X	212	5.3	<IX	V
										5.3		
4	1725	8	1	30.0	101.9	四川康定	7	IX	200	4.8	<VI	V
										4.9		
5	1786	6	1	29.9	102.0	四川康定南	7¼	≥X	186	*	VI	VI
										*		
6	1850	9	12	27.7	102.4	四川西昌、普格间	7½	X	232	5.1	<VII	V
										5.2		
7	1913	7	16	29.6	103.7	四川乐山	5	VI	26	5.3	*	V
										5.0		
8	1936	4	27	28.9	103.6	四川马边	6¼	IX	56	6.3	<VII	VI
										6.1		
9	1936	5	16	28.5	103.6	四川马边	6¼	IX	56	6.3	<VII	VI
										6.1		
10	1955	4	14	30.0	101.8	四川康定折多塘	7½	X	209	5.3	<VII	V
										5.3		
11	1974	5	11	28.10	104.00	云南大关北	7.1	IX	142	5.4	<VI	V
										5.4		
12	2008	5	12	31.00	103.40	四川汶川	8.0	XI	183	*	VI	VI
										*		
13	2013	4	20	30.30	103.00	四川芦山	7.0	IX	129	5.4	<VI	V
										5.4		
14	2022	9	5	29.59	102.08	四川泸定	6.8	IX	171	4.8	<VI	V
										4.8		

注：计算结果列中第一行为长轴，第二行为短轴。

综上所述，目标区遭受过 4 次 VI 度的地震影响，对目标区影响大的破坏性地震是 1786 年四川康定南 7¼ 级地震、1936 年 2 次四川马边 6¼ 级地震和 2008 年四川汶川 8.0 级地震，最大影响烈度为 VI 度。综合判断，历史地震对目标区的最大影响烈度为 VI 度。

1.6 区域地震活动环境评价

通过上述分析，对区域地震活动环境总体评价如下：

1、区域跨越长江中游地震带、龙门山地震带、鲜水河-滇东地震带和右江地震带，目标区位于长江中游地震带内。

2、区域内共记录到 $M \geq 4.7$ 级的地震 197 次，其中 $M_{4.7 \sim 4.9}$ 级地震 64 次， $M_{5.0 \sim 5.9}$ 级地震 101 次， $M_{6.0 \sim 6.9}$ 级地震 22 次， $M_{7.0 \sim 7.9}$ 级地震 9 次， $M_{8.0}$ 级

地震 1 次，为 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震；最早一次地震是公元前 26 年 3 月 28 日四川宜宾 5 $\frac{1}{4}$ 级地震；最近一次地震为 2023 年 5 月 4 日四川兴文 4.9 级地震。

自 1970 年至 2023 年 9 月 30 日，记录到 M2.0~4.6 的小震 38046 次，其中 M2.0~2.9 级地震 33490 次、M3.0~3.9 级地震 4117 次、M4.0~4.6 级地震 439 次。

3、区域内地震活动强度大，且频度高，区域内共记录到 1 次 8.0 级强震，为 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震。

区域内地震活动的空间分布极不均匀，条带特征明显，这些强震活动与断裂分布关系密切。在区域西北部发生的 2008 年四川汶川 8.0 级地震和 2013 年四川芦山 7.0 级地震发生在龙门山断裂带上，其呈 NE 向展布。区域西部康定附近的破坏性地震主要与 NW 向鲜水河断裂带相关。区域西南部破坏性地震分布密集，主要与安宁河断裂和则木河断裂关系密切。区域南部破坏性地震密集分布，与峨边-金阳断裂、马边断裂、雷波断裂等关系密切。区域东南部 NE 向展布的破坏性地震条带与华蓥山断裂带的展布基本一致。区域东北部四川盆地地震活动相对较弱，破坏性地震发生相对较少。

区域小震活动的集群特征更明显，表现为团簇状、条带状，在历史强震震中附近小震密集成丛、成带，活动断裂展布区小震活跃。如在龙门山断裂带、鲜水河断裂带、安宁河断裂、则木河断裂、峨边-金阳断裂、马边断裂、雷波断裂和华蓥山断裂带，小震密集成带；在珙县和荣昌附近，也形成了明显的小震集群区。区域东北部的小震活动相对较少，中小地震活动频度相对较低。

4、目标区遭受过 4 次 VI 度的地震影响，对目标区影响大的破坏性地震是 1786 年四川康定南 7 $\frac{1}{4}$ 级地震、1936 年 2 次四川马边 6 $\frac{3}{4}$ 级地震和 2008 年四川汶川 8.0 级地震，最大影响烈度为 VI 度。综合判断，历史地震对目标区的最大影响烈度为 VI 度。

5、区域基本处于以北西-南东至北西西—南东东向近水平的主压应力为主的现代构造应力场中；在这样的应力场作用下，易于发生以走滑为主或走滑兼具倾滑型的断层活动，北东向的断层易产生右旋走滑运动，北西及近南北向的断层易产生左旋走滑运动。

第二章 区域地震地质背景

本章主要是在收集和整理目标区区域的地质、地球物理等相关资料的基础上，厘清区域的大地构造历史、地震地质特征、深部地壳结构和重磁形态等，重点是讨论区域地震的发生与断层的展布及断层活动性的关系、与深部地壳结构的相关性，最终服务于潜在震源区的划分，为地震危险性概率分析提供背景资料。

2.1 区域大地构造背景

本项目研究区域范围为北纬 27.6° - 31.2° 、东经 101.8° - 105.8° ，位于青藏块体侧向挤出前缘，区域构造演化历史复杂，以多板块碰撞拼合为特点。根据区域大地构造不同演化历史和构造变形特征，可以将研究区划分为松潘-甘孜造山带和扬子陆块两个一级大地单元，本项目目标区位于扬子陆块中（图 2.1-1）。

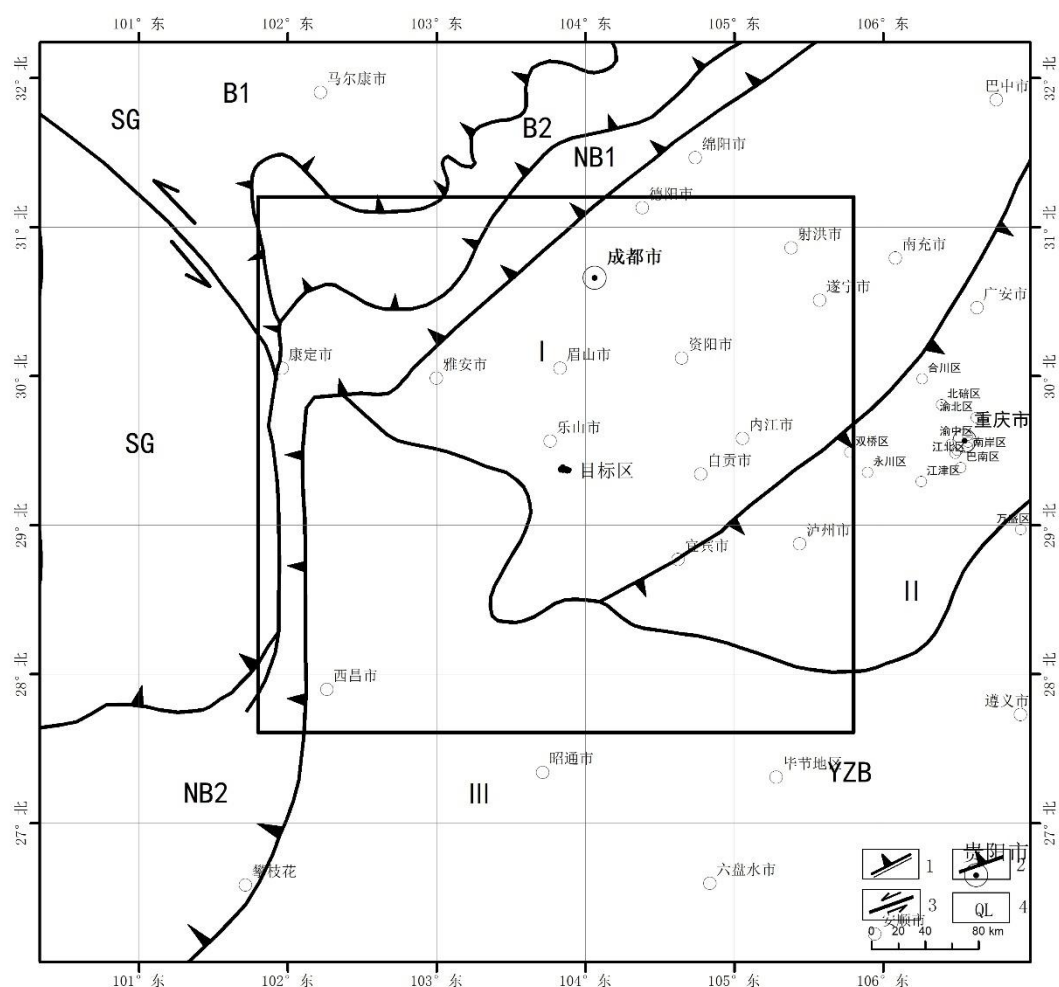


图 2.1-1 区域大地构造单元划分示意图（据许志琴等，1992，略有修改）

1、板块缝合线;2、逆冲断裂;3、平移断裂;4、次级大地构造单元界线;构造单元代号;SG.松潘—甘孜造山带;B₁—巴颜喀拉—马尔康逆冲—滑脱叠置岩片;B₂—丹巴逆冲—滑脱叠置岩片;YZB.扬子陆块;NB1.龙门山前陆逆冲楔;NB2.盐源前陆逆冲楔;I.四川台拗;II.川东陷褶束;III.上扬子台褶带

2.1.1 区域大地构造演化

扬子陆块是在前震旦纪结晶基底之上发育起来,最终定型于新元古代中期晋宁运动。晋宁运动后,地壳活动逐渐趋于稳定,经过长期的外动力夷平作用,形成了扬子陆块的雏形。之后,扬子陆块进入全新的陆内构造发育阶段。

(1) 大陆边缘伸展构造演化阶段(Z-T₂)

扬子陆块形成后,陆块南部主要为陆表海,沉积了以稳定碳酸盐和单陆屑为主的建造,整体表现为大陆边缘伸展构造。具体又可分为不同的演化阶段:

①早震旦世大陆裂谷演化时期

该时期在扬子陆块的西侧出现了强烈的大陆裂谷火山活动。而扬子板块北缘则进入地体离散过程,表现为中秦岭古岛弧系基底地体从大陆边缘基底拉开,同时形成平行于大陆边缘的裂谷构造,即郧西-耀岭河弧后盆地。

②晚震旦世-早二叠世大陆边缘伸展构造时期

该时段扬子陆块西、北缘全面海进,整个扬子板块沉积了一套滨海-浅海相碳酸盐沉积。该时期,在扬子陆块西缘发育呈南北向的龙门山古岛链,持续保持伸展构造环境。而在扬子陆块北缘于中奥陶世至志留世开始进入俯冲收敛期,导致华北陆块和扬子陆块沿商丹-武山构造带自东向西会聚对接,进入板块碰撞-弧后盆地构造反转时期。而起始于志留纪的勉略有限洋盆,由于受古特提斯洋扩张的影响,自西向东逐渐扩张打开,将扬子陆块北缘分割出秦岭微板块,并使该板块向北推进,加速了商丹带的收缩碰撞。

③晚二叠世-中三叠世大陆边缘裂谷发育期

中三叠世之前,扬子陆块大部分区域处于海退和伸展构造环境中。而在扬子陆块北缘二叠纪中晚期勉略洋开始消减俯冲,转为被动陆缘沉积。中三叠世印支运动一幕到二幕,造成了南秦岭推覆构造带向南方的挤压迁移、勉略小洋盆自东向西闭合进入以及龙门山岛链的隆起,结束了扬子陆块的地槽发育历史,四川盆地形成一个半封闭的内陆盆地,进入陆相盆地发展阶段。

造山带与前陆盆地挤压构造演化阶段

晚三叠世末的印支运动三幕,使扬子板块西缘龙门山岛链以西的残余大洋全面

闭合，龙门山岛链大面积隆升经受强烈剥蚀，构造环境由伸展变为挤压。龙门山北段开始隆起形成东西向背向斜构造。进入侏罗纪以来，扬子陆块西缘和北缘表现为持续的挤压隆升。在侏罗纪晚期燕山运动一幕，四川克拉通内部，川中、川东地区隆起成为剥蚀区，四川盆地从此由封闭的内陆盆地转变为开放的外流盆地。

喜山期，区域的构造运动主要受印度板块与欧亚板块碰撞的影响，对区域的地质和地貌表现发挥了重要的作用。大约起始于 50Ma 的碰撞作用，印-亚板块会聚导致新特提斯洋的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的影响，形成了由西向东的推覆，并且在重力势的作用下所产生的水平推挤力（周玖等，1980），龙门山-盐源推覆构造带最终形成、定位，在两侧形成显著的地形高差。区域表现为向北推移和挤压缩短，使雅鲁藏布江一带的新特提斯残留洋最终封闭。大致自 35Ma 新近纪，区域表现为挤压增厚和隆升，在青藏高原的南部边缘和北部边缘发生陆内俯冲，高原向北俯冲和隆升形成了周缘大型走滑断裂，突破了原有构造体系的束缚，形成新的大地构造单元，即川青块体向南东方向的逸出和川滇块体向南南东方向的侧向滑移，作为川滇菱形块体边界的鲜水河断裂和红河断裂分别形成于 15-20Ma 和 13-15Ma，即是该次运动的例证。而这一重要的运动转型期，不仅对东缘地区地质、地貌的表现，而且对地震发生均具有重要的制约作用。

第四纪时，区域继承了上述的运动特征，差异运动主要发生在块体的边界带，以大面积的垂直升降运动以及板块动力导致的水平运动和特殊形式的地震活动为主。

2.1.2 大地构造分区

由图 2.1-1 可知区域内分布着扬子陆块、松潘-甘孜造山带、羌塘-昌都陆块和冈瓦纳大陆。扬子陆块又可进一步细分上扬子台褶带、川中台拱、川东褶皱束。

①扬子陆块（YZB）

扬子陆块为晋宁旋回固化的稳定克拉通，以晚元古界变质基底之上的典型地台盖层沉积为特征。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（许志琴等，1986），从而扬子陆块与华北地台拼合为一个完整陆块。扬子陆块西缘的广大地域由于与北部劳亚大陆及西部羌塘-昌都陆块的相互作用而卷入强大的造山事件中，构成了松潘-甘孜印支期造山带的主体。根据沉积建造及变形的强弱可以将扬子陆块划分为上扬子台褶带和四川台拗两个二级构造单

元，四川台拗以华蓥山断裂带为界可进一步划分为川中台拱和川东陷褶束两个三级大地构造单元。

川东陷褶束夹于华蓥山断裂与七曜山断裂之间的北东向褶皱带，褶皱基底由板溪群变质砂岩、板岩组成。该区变形稍强，以狭长的背斜和宽缓的向斜大致等距平行展布为特点，地表断裂与背斜构造具有伴生现象，且大多断于背斜的轴部或陡翼。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、复合，形成弧形或似帚状构造；

四川台拗呈北东向的菱形盆地状，西以龙门山断裂、东以七曜山断裂为界。结晶基底有两种类型华蓥山断裂以西以花岗岩类为主，以东以板溪群为主。以龙泉山断裂带为界，又可分为成都断陷平原和川中台拱。川中台拱发育于巴中-龙泉山和华蓥山断裂之间，其内侏罗纪红层广泛分布，基底由各种片麻岩及岩浆杂岩组成。台拱中地层近水平，变形微弱，以鼻状或短穹隆状背斜构造为特点，地表几乎未见断裂构造；这些穹隆、短轴背斜和鼻状构造是覆于结晶基底之上的表皮构造，其有浅层简单、深层变复杂的特点。成都断陷平原为龙门山山前的多旋回凹陷盆地，以发育红色复陆屑建造及蒸发式建造为特征。盆地具不对称的楔形结构，沉积基底面整体向西呈阶梯状倾斜，且盆地中发育一系列的北东向延伸的次级凸起和凹陷，凸起和凹陷相间分布，且在空间上呈斜列形式展布与盆地底部，第四系最大深度可达数百米。

②松潘—甘孜造山带（SG）

松潘—甘孜造山带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呈一独特的倒三角形，同时又记录了新特提斯运动的构造变形过程。研究表明，松潘—甘孜造山带形成的主要时段在 P_2^1 — T_3^2 ，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 T_3 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（NB1 和 NB2），四川盆地则进入前陆盆地的发育时期。

综上所述，目标区大地构造位置处于扬子陆块的四川台拗中，更细一步位于四川

台坳中的川中台拱区域，台拱中地层近水平，变形微弱，以鼻状或短穹隆状背斜构造为特点，地表几乎未见断裂构造。

2.2 区域地球物理场与深部构造

地球物理场是深入了解地壳深部结构、了解地表地质结构、构造深部延伸性、了解地下岩石圈物质组成、了解深大断裂或隐伏断裂展布及活动性等的重要手段，分析区域地球物理场特征，可以了解区域地下的物质成分及结构构造等特征，进而探讨它们与区域发生的强震之间的关系。

2.2.1 重力场特征

布格重力异常是地壳、上地幔物质密度变化及构造特征的反映。由图 2.2-1 可以看出，区域内布格重力异常值均为负值，且总体由东向西不均匀递增，变化幅度在 $-70 \sim -380$ mgal 之间。其中尤为引人注目的是，在平武、茂汶及荥经一线形成有一条 NNE 向的布格重力梯级带。根据布格重力异常形态、强度、等值线的疏密程度以及展布方向可划分出以下几个不同的布格重力异常区：

四川盆地布格重力异常相对高值区：位于广元—绵阳—成都以东区域，形成了呈封闭状的相对布格重力异常高值区，异常等值线变化比较平缓，表明四川盆地地壳厚度变化较小。

龙门山布格重力异常梯级带：该梯级带贯穿全区，总体走向呈北北东向，该区域内重力异常值变化剧烈，其中都江堰—理县平均变化梯度可达 2.2mgal/km ，反映了该区域的莫氏面呈一向西倾斜的斜坡。该布格重力梯级带是北东向龙门山断裂带通过的位置，表明了龙门山断裂是一条切割深度已达上地幔的岩石圈深大断裂。该重力梯级带在北纬 30° 附近的康定、泸定、雅安地区分岔呈三支：一支呈北西向由雅安经峨边、马边延伸进云南境内；另一支呈北东向由康定经九龙、木里延伸进滇西北地区；再一支呈南北向由泸定经石棉、西昌、德昌至会理。这三条重力梯度带实质上是荥经—马边—盐津断裂、锦屏山构造带和安宁河断裂带在深部的具体反映。在东经 102° 以西地区，重力异常值存在由南东向北西逐渐降低的趋势，异常值小于 -400mgal ，重力异常等值线展布无明显的优势方向，局部异常较多，反映出该区地壳厚度大且变化较小。

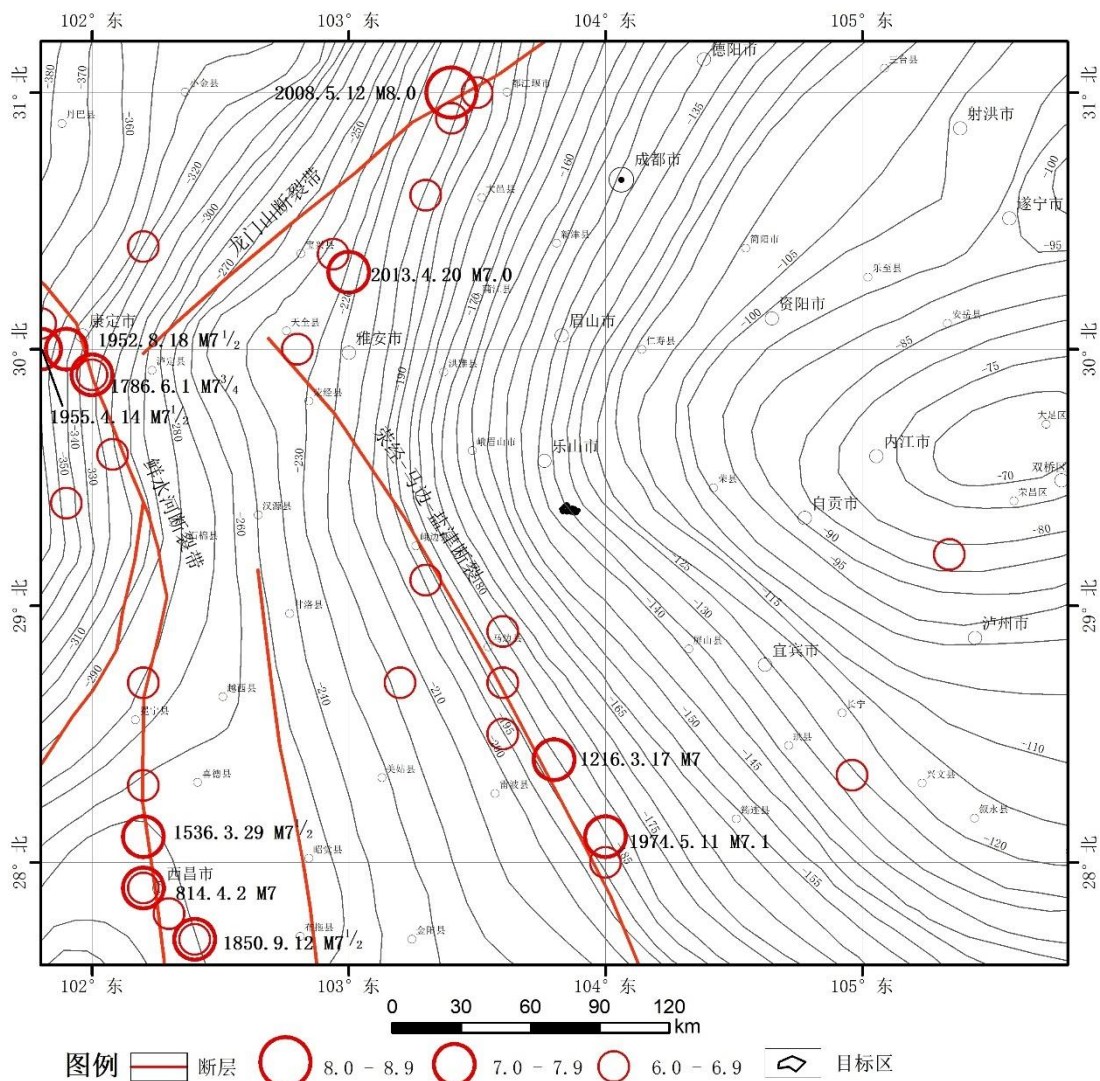


图 2.2-1 区域布格重力异常图 (单位 mgal)

2.2.2 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。由图 2.2-2 可见，区域航磁异常图具有明显的分区特征。

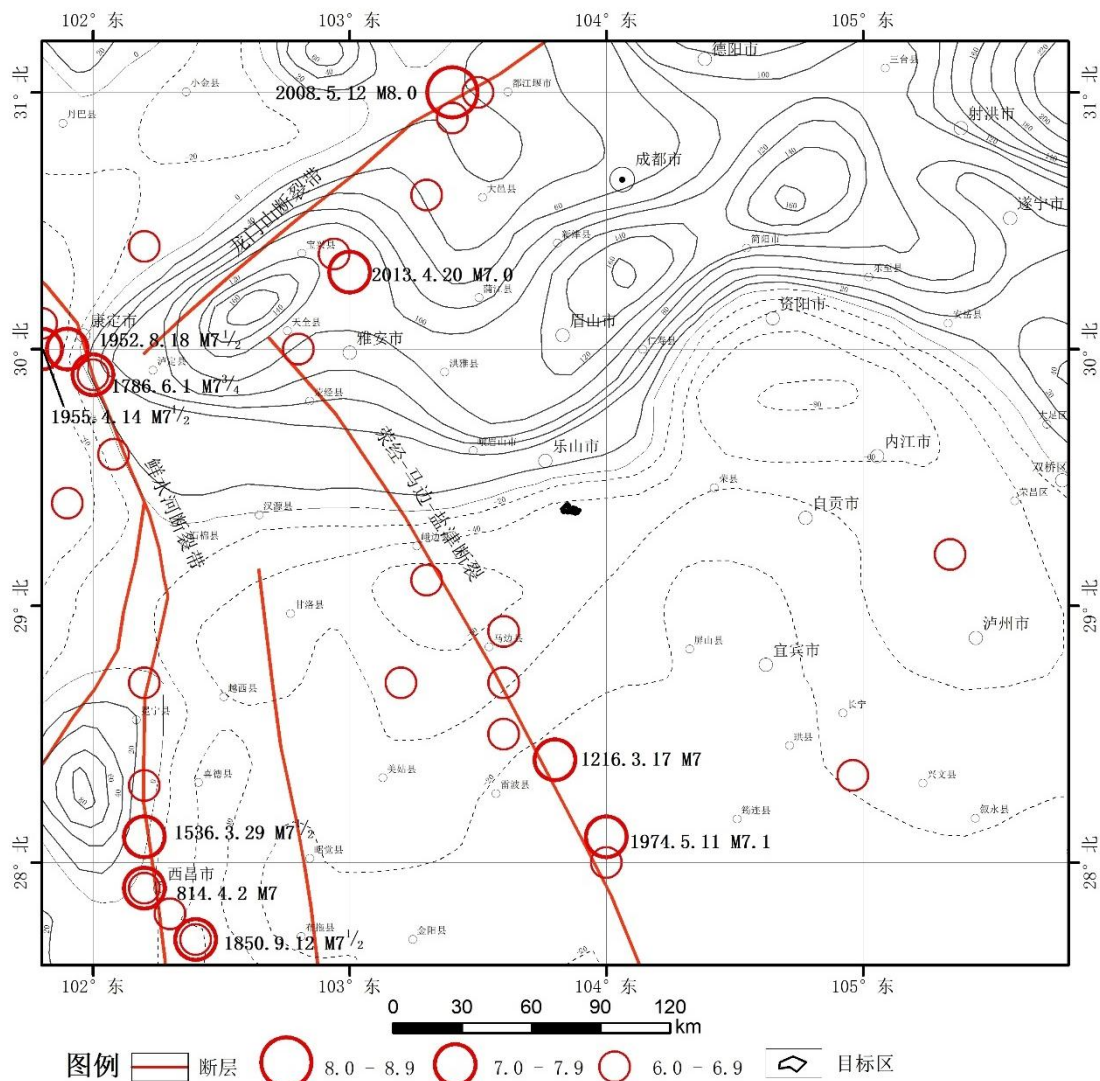


图 2.2-2 区域航磁 ΔT 化极上延 20km 异常平面图 (单位 nT)

(1) 松潘—黑水负磁异常区：该区航磁异常等值线变化平缓，磁异常值在-20 纳特~-40 纳特之间，反映了该地区大面积分布的弱磁性的浅度变质砂板岩系。在负磁异常背景上出现的局部环状磁性正异常，是该区域存在的局部花岗岩侵入体的具体反映。

(2) 绵阳—成都正磁异常区：该区域磁异常的总体形态呈北东向展布，异常值最高可达+260 纳特，与四川盆地的范围大致吻合，反映了四川盆地的基底是由中—基性岩浆杂岩及各种深变质的片麻岩组成，岩石的磁性强，结晶程度好。

在上述两个正、负磁异常的分界位置，正好是龙门山断裂带的通过位置，反映了龙门山断裂两侧绝然不同的基底性质，同时也是龙门山深大断裂性质的航磁场证据。

2.2.3 地壳结构特征

图 3.2-3 是由布格重力异常值反演而得的区域地壳厚度等值线。区域内地壳厚度由东向西逐渐增厚，在南充附近地壳厚度为 38km，到了区域西缘，地壳厚度增至 60km，变化幅度分别达 22km。从整体上看，区域内地壳厚度变化较平缓，形成了南充为中心的幔隆区，区域西北部地壳厚度由东向西急剧增厚，呈明显的慢坡带，尤其是在龙门山地区，莫氏面向西陡倾，显示龙门山断裂带切割到上地幔的深大断裂特征。

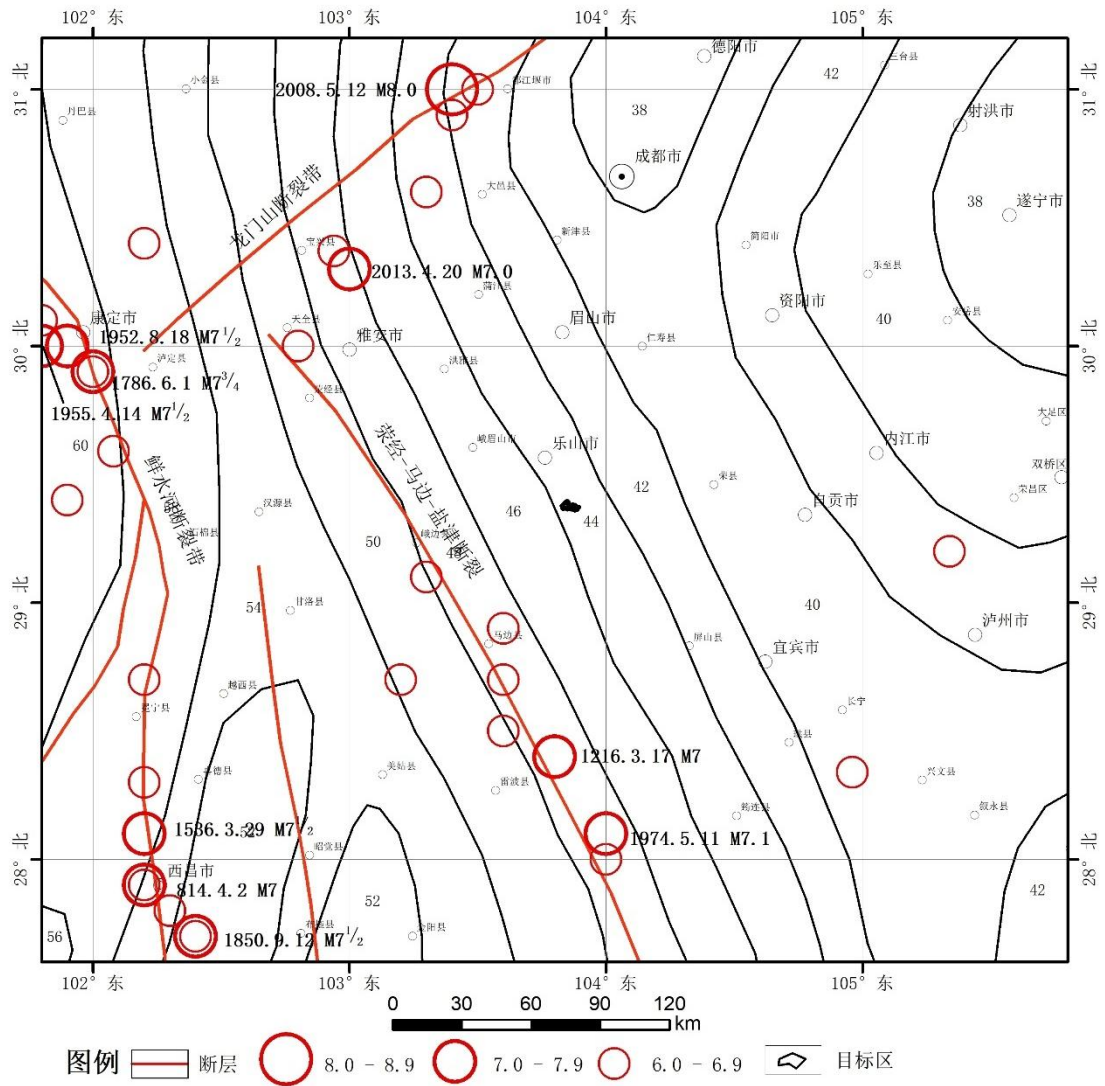


图 2.2-3 区域地壳厚度平面图（单位 km）

地震测深和大地电磁测深等方法了解深部地壳结构的有效手段，可以得到常规地表地质调查手段难以到达的地下深部的地质结构和地球物理场的信息，为分析相关断裂深浅部构造特征，分析深部孕震背景尤为重要。

由丽江-新市镇的人工地震测深解释图（崔作舟等，1988）见图 2.2-4。区域的地

壳为高、低速相间的多层层状结构。上地壳和上地壳底部低速层微向西倾，显塑性的低速层埋于地表下 20~30km。在新市镇低速层埋深 28 km，到美姑、昭觉一带增至 34 km，与该地区的优势震源深度位置大致相等，可能是青藏高原东缘地区上地壳相对下地壳剪切滑脱的深部拆离带。由于四开断裂、安宁河断裂、磨盘山断裂和河程海断裂等深大断裂的切割作用，致使该莫霍面形成不连续面，在不同的断块内，埋深都不一致。层速度在上地幔顶部速度仅 7.8km/S，与贯通整个四川盆地的竹巴笼—资中人工地震测深剖面（见图 2.2-5）的层速度相对应，并且在资中附近仅为 8.2 km/S，表明该地区层速度确实明显比其它地区低，该区域的构造活动相对比较强烈。

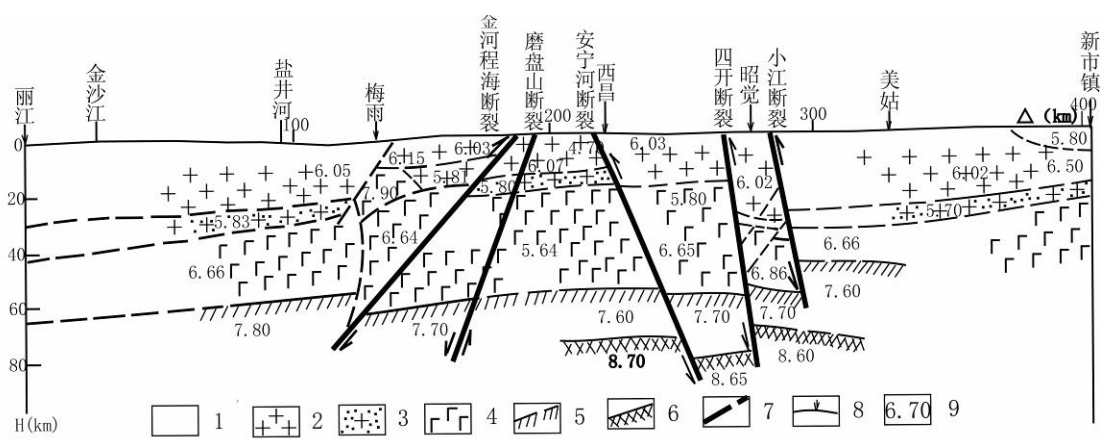


图 2.2-4 丽江-新市镇人工地震测深地壳结构剖面图（崔作舟等. 1988）

1 表层； 2 硅铝质层； 3 低速层； 4 硅镁质层； 5 莫霍界面； 6 地壳—地幔过渡带界面； 7 断裂带； 8. 人工爆破点位置； 9 层速度（km/S）

贯通整个四川盆地的竹巴笼—资中人工地震测深剖面（图 2.2-5）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，波速在横向上变化不大。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。特别是在龙门山断裂以西地区 20km 左右深处，出现了一低速层，该低速层也往往是地震孕育和发生的优势场所。

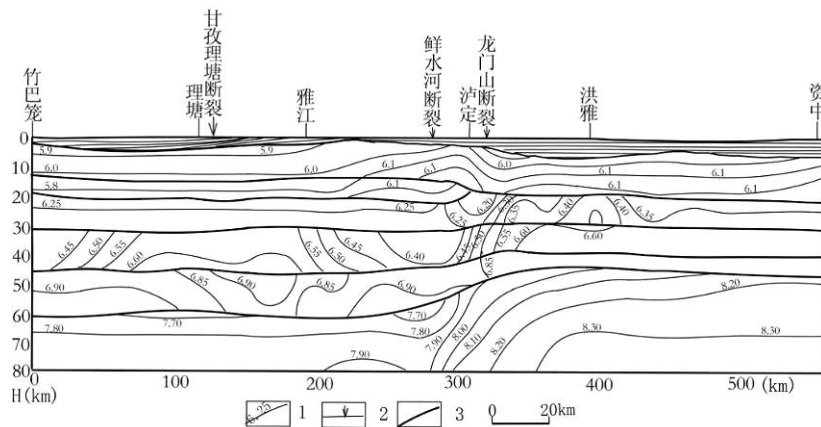


图 2.2-5 竹巴笼—资中人工地震测深剖面图（王椿镛等. 2002 年）

1. 层速度 (km/s) ; 2. 断裂带; 3. 推测界面;

综上所述, 区域内强震主要发生在切割地壳和上地幔的深大断裂及其附近, 6 级以上强震特别是 7 级以上大震与上述地球物理场的畸变带具有比较明显的相关性, 而这些畸变带也往往是活动断裂的展布位置。

2.2.4 区域地球物理场和地壳结构与地震活动的关系

(1) 区域内的地球物理场特征变化比较复杂, 布格重力异常梯度带、航磁异常变异带和地壳厚度陡变带与龙门山断裂带的展布位置具有明显的一致性, 表明该断裂的深大断裂性质。

(2) 区域内的地壳结构具有多层结构, 由于受深大断裂的切割, 不同的构造层的埋深在不同的地段具有较大的差异。特别是在龙门山断裂以西地区 20km 左右深处, 出现了一低速层, 可能是川西高原深部滑脱的拆离带, 与该地区的优势发震层基本吻合。

(3) 区域的地壳厚度具有东南薄西北厚的特点, 四川盆地的地壳最薄, 对应上地幔隆起区; 西部地区地壳最厚, 对应上地幔相对凹陷区。但这种变化是非均匀的, 在龙门山构造带两侧地壳厚度发生突变, 形成地壳厚度陡变带。目标区处于四川盆地西缘, 地壳厚度在 44km 左右。

(4) 区域内的 6 级以上地震特别是 7 级以上大震集于布格重力异常等值线或航磁异常陡变带或弯折区等这些地球物理场畸变带和地壳厚度陡变带上。因此这些地区特别是岷山断块、龙门山构造带具备发生 7 级以上强震的深部构造背景。

2.3 区域新构造运动特征

新生代以来，青藏高原及其周缘广大的地区，深受起始于始新世的喜马拉雅运动的影响，表现为青藏高原的快速隆起以及周缘的侧向运移。喜山期之前，龙门山造山带的运动主要集中在北部，与秦岭接触的地区，受南秦岭向南强烈的推覆作用而开始隆升，形成东西向的背向斜构造。而喜山期则是对四川地区的一次改造。发生于老第三纪晚期的喜山期第一幕，使四川地区发生强烈褶皱和断裂活动。新、老第三系间大角度不整合，而且发生强烈的形变。在西部地区还发育断陷型沉积，显示该期具有挤压推覆和差异活动。有学者提出米仓山东西带、叙永-筠连东西带、四川盆地新华夏系、川滇经向系、川黔经向系都是此期运动形成的。而发生于新第三纪晚期的喜山期第二幕，川西地区和龙门山构造带强烈隆升，川西高原形成。川西北前陆盆地周缘造山带构造定型，前陆盆地也开始褶皱回返，盆地内部局部构造形成，龙门山北段、米仓山、大巴山构造带基本定型。发生于第四纪的喜山期第三幕，表现为大面积的垂直升降运动（以抬升运动为主）以及板块动力导致的水平运动和特殊形式的地震活动。具有间歇性、继承性和新生性。

第四纪以来，区域基本上继承了上述构造变形形式，变形主要集中在龙门山断裂带以西，强烈逆冲推覆沿着龙门山和盐源-丽江一线与稳定的四川盆地形成强烈的对比，差异运动幅度约 1000~3000m。本次研究区域位于四川盆地内，差异运动微弱，基本上处于整体抬升状态，第四纪以来的隆升幅度不超过 500m，是一个新构造运动较微弱的地区。

2.3.1 区域地貌特征及新生代地层发育概况

研究区的地形地貌明显受断裂构造的控制。以龙门山断裂带为界，可以分为西部山地和东部盆地两大类。北部山地可细化为川西高原和秦巴山地；东部盆地可分为成都断陷平原和四川盆地丘陵区。区内主要河流有大渡河、青衣江、嘉陵江、岷江、沱江、涪江等，这些河流均呈由北向南或由西向东流向，最终汇入长江，明显受区内地形地貌的制约。新生代地层主要发育于断陷和拗陷盆地内。

1. 地形地貌特征

（1）川西北高原

由北侧的东昆仑断裂（研究区外）、岷山断块和龙门山构造带及南侧的鲜水河断

裂所围限的似倒三角地区。该区主要表现为中深切割的高山峡谷地貌，山峰顶面海拔高程一般在 4000m 左右，为上新世末夷平面。仅局部存在 5000m 以上的山峰，为强烈剥蚀均夷作用残留的孤峰，现今仍有冰雪作用。河流阶地主要沿主干河流两侧呈零星状分布，一般发育有三至四级阶地，局部地段发育有五至六级河流阶地。

(2) 成都断陷平原

系指北西侧的龙门山构造带、南西侧的荥经-马边-盐津断裂和南东侧的龙泉山断裂所围限的区域，为龙门山构造带由北西向南东的推覆作用所导致的地貌效应。区内以蒲江-新津断裂为界又可细分为两个区：断裂以西为成都平原，为成都第四纪新断陷中心，第四系厚度最大可达 541m，地表上表现为平原地貌，广泛发育一、二级河流阶地，仅平原的南西侧为“名邛台地”；断裂以东为平原与浅丘相间排列地貌，第四系厚度一般未超过 20-30m，且具有愈向东第四系愈薄的现象。一般发育有二至三级河流阶地，局部地段发育有四至五级阶地。

(3) 四川盆地丘陵区

系指龙泉山断裂和荥经-马边-盐津断裂带以东的广大地区，区内以华蓥山断裂带为界可细划为川中丘陵区 and 川东盆岭地貌区。川中丘陵区以桌状浅丘地貌为主，地表微切割，为中更新世末夷平面，海拔高程在 300-500m。河流阶地沿主干河流两侧发育，一般发育二至三级阶地，局部地段发育有四至五级阶地。川东盆岭地貌区以微切割的丘陵区与中浅切割的山岭相间排列为特点，山岭顶面一般在 1000-1500m，为上新世末夷平面，丘陵顶面一般在 300-500m，为中更新世末夷平面，一般发育二至三级河流阶地，局部地段发育四至五级河流阶地。

2. 新生代地层发育概况

工作区及邻区古近系、新近系和第四系均有发育。地层划分见表 2.3-1 和表 2.2-2。

表 2.3-1 工作区古近系和新近系地层划分及对比表*

地 层		甘 肃 (西秦岭)	四 川 (芦山)	陕 西	
系	统			(凤县)	(大巴山)
新近系	上新统	甘肃群	青龙场组	上新统	
	中新统		凉水井组		
古近系	渐新统	固原群			古近系
	始新统		芦山组		

	古新统		名山组		
--	-----	--	-----	--	--

*据四川省地质矿产局 1991、陕西省地质矿产局 1989 和甘肃省地质矿产局 1989 年资料。

(1) 古近系和新近系

区内古近系和新近系受地质构造和古地貌严格控制。在四川盆地中它们主要分布于工作区之外的盆地的西南部，古近系缺失渐新统，为一套红色陆相碎屑岩，含岩盐、芒硝和石膏等；新近系是河流相沉积。在工作区的北部山区，它们为山间盆地或断陷盆地沉积，但研究程度低。

表 2.2-2 工作区第四系地层划分及对比表*

全新	全新		(黄桷树 资 (江北砾石 6550~	全新
	10	晚	兰 (成 (广 37430~	上更
		中		
		早		
	15	晚	黄鳊	中更
中更新		早期	雷家	
			雅安组	
	7300		盐井沟洞	下更
早更			(松林组砾石	
	2480		田家山组 (天鹅抱蛋砾石层)	

*据四川省地质矿产局 1991 和陕西省地质矿产局 1989 年资料。

(2) 第四系

工作区内第四系成因类型复杂多样，但从区域分布看，主要集中于四川盆地的成都断陷和大巴山区的汉中盆地。在这两个盆地中，第四系发育齐全，从下更新统至全新统都有分布，均以河湖相沉积为主。成都断陷第四系最厚 541m 左右，汉中盆地第四系厚 100~1000m (陕西省地质矿产局，1989)。盆地沉积受断裂活动控制明显，成都断陷是龙门山断裂带第四纪逆冲导生的压陷盆地；汉中盆地的基底构造第四纪活动也较明显，内部出现差异沉降。

2.3.2 新构造运动的基本特征

(1) 间歇性抬升

秦巴山区为新生代长期抬升的地区，区内发育 4 级夷平面，据现有资料（陕西省地质矿产局，1989），其中第四级夷平面发育于新近纪。该区河流发育，无论是东西向或是南北向河流，普通可见 3~5 级阶地，这表明间歇性抬升的特点。

四川盆地也具有缓慢间歇性抬升的特点。

(2) 断陷活动

主要发生在成都凹陷。该断陷盆地是龙门山构造带第四纪以来由北西向南东逆冲兼右旋走滑活动于山前地带伴生的盆地，其东界为龙泉山断裂，第四系最厚 541m，具西厚东薄的分布特点。

(3) 断块差异活动

主要发生在岷山和龙门山地区。岷山断块位于阿坝高原的东缘，它高出阿坝高原面 500~1000m，与东边摩天岭地区相对高差在 1000m 以上。龙门山构造带控制了四川盆地的西北边界，第四纪以来的垂直差异活动导致断裂带两侧 3000~4000m 的地形高差。

(4) 断裂与地震活动

工作区内的主要断裂，多为晚更新世—全新世活动的断裂；通常具逆断或走滑逆断性质。区内地震活动比较强烈，6 级以上地震一般都发生在这些主要活动断裂带上。

(5) 块体的侧向滑移

研究区内受青藏高原强烈隆升和向南东方向侧向推挤和物质流展的影响，除大面积整体间歇性快速抬升和断块之间的差异性升降和水平运动外，还有整体向南东、南南东向的侧向滑动和挤出运动（丁国瑜等，1986，1990；张培震等，2003），其滑移和挤出运动边界包括了鲜水河—小江断裂带、红河断裂带等。块体这种运动方式得到了现代地壳运动观测结果的证实，即青藏高原东部矢量场由 NNE 向逐渐指向 NEE 向，再转为 SE 向，呈右旋型运动，速率也渐小。进入高原以东的贵州高原、四川盆地后，矢量明显变小，说明青藏高原东边缘有明显的应变积累或挤压位移。同时也说明，青藏高原东边界不是自由的，可能在深部存在受阻的约束条件。近年来的 GPS 观测结果清楚可见（图 2.3-1、图 2.3-2），印度大陆向北运动在高原内部引起各个地块向北运动，速率逐渐减小，运动方向也逐渐转向东北方向。其中，南部高喜马拉雅地块水平

运动速率最大，一般为 35~42mm/a，方向为北略偏东；拉萨地块向北 30~47° 东方向运动速率平均为 27~30mm/a，东西向拉张速率达 10~18mm/a；羌塘地块有 5 个 GPS 点，运动速率为 (28 ± 5) mm/a，优势方向为北 60° 东。结果表明，喜马拉雅弧还是主要的受力边界。

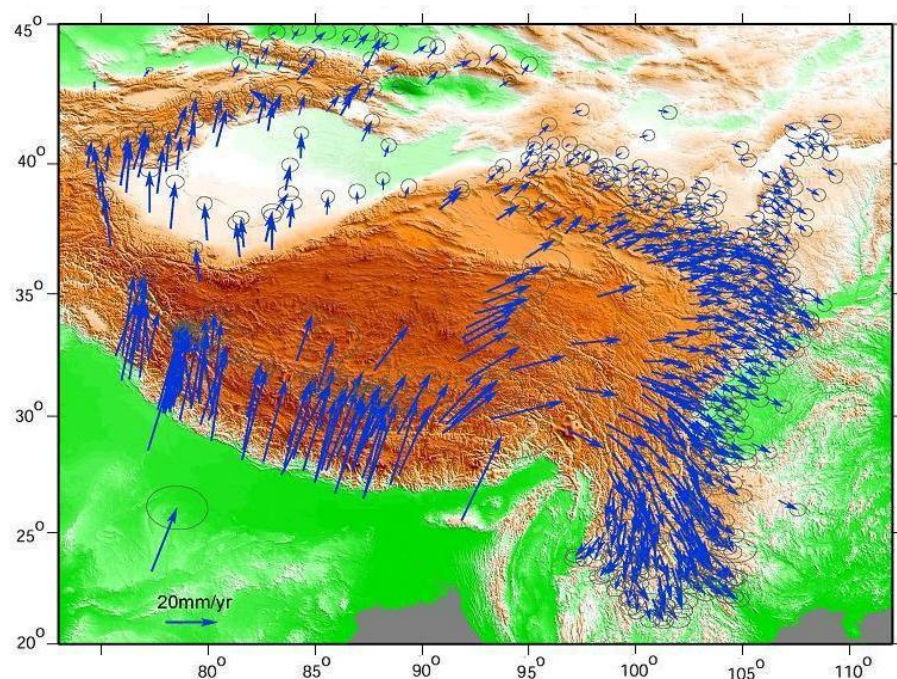


图 2.3-1 青藏高原及周边地区的 GPS 运动方向 (据张培震, 2001)

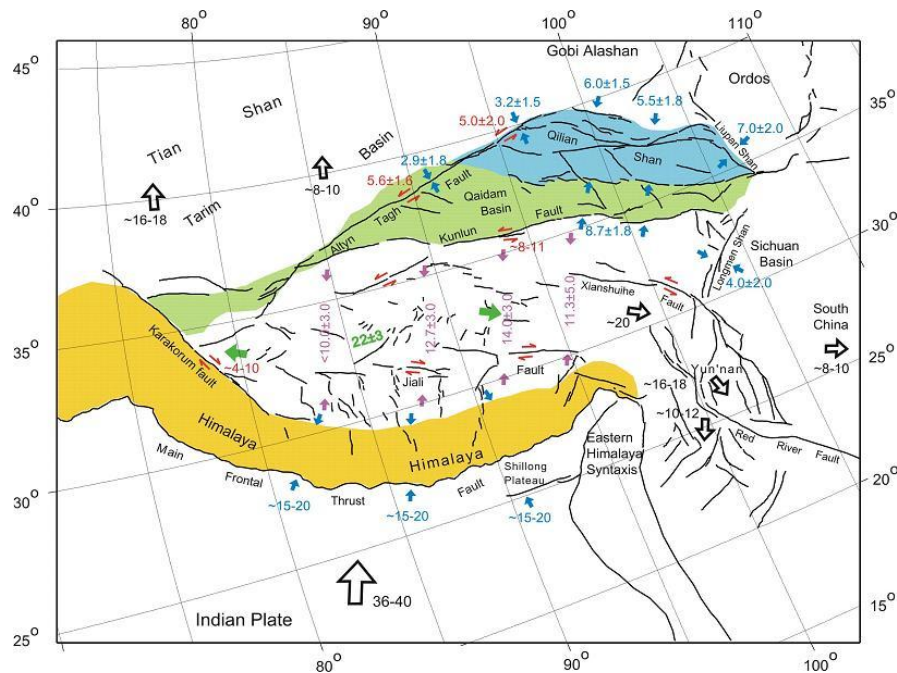


图 2.3-2 GPS 获得的青藏高原及周边地区块体与断裂带的运动方向和速率 (据 zhang et al, 2004)

GPS 观测结果表明高原内向北的挤压力是逐步减小的，力在传递过程中不断被吸收。吸收的原因一是由于高原组成的各条形地块的南部边界或是偏向西南，或是偏向西北，印度大陆向北作用力沿各条形地块边界都出现切向分量，使地块间出现相对右行或左行的走滑运动，而垂直于条块边界的挤压力，则向北逐渐减小；天然地震资料的快波方向与这些走滑边界大体对应，表明深部和浅层物质运动具有一定的相关性。

2.3.3 区域新构造运动分区

研究区地跨中国青藏高原强烈隆升区和华南弱升区两个截然不同的一级新构造运动单元。目标区位于四川盆地川中微升区内。

研究区东部和西部地区的新构造运动特征及地貌塑造过程具有明显的差异（图 2.3-3）。东部地区即四川盆地第四纪以来表现为缓慢抬升，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。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。

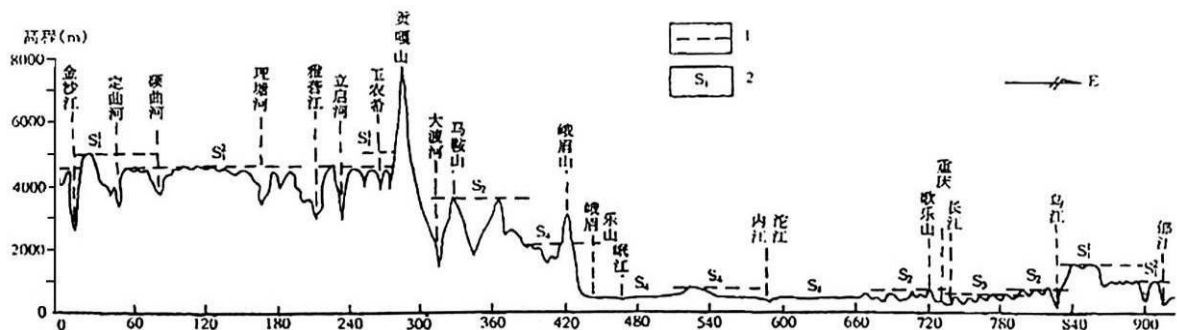


图 2.3-3 四川东、西部地形剖面图（唐荣昌等，1993）

1. 夷平面 2. 夷平面代号

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

在西部地区 and 东部地区之间的过渡地区，主要是指龙门山、大相岭、大凉山及攀西等地区，第四纪以来的抬升幅度大约在 2000m 左右，主要表现为中深切割的高山峡

谷地貌，强震主要集中在不同块体的边界断裂上，而块体内部整体性较好，较少 6 级以上地震发生。

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，即古近系、新近系和第四纪。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，为新构造运动的进一步分区提供了依据。根据第四纪抬升幅度的差异，研究区的新构造运动可划分为如下几个区（表 2.3-3）。简述如下：

表 2.3-3 研究区新构造运动分区表

一级新构造运动单元	二级新构造运动单元	三级新构造运动单元
青藏高原强隆区 (I)	川青面状强隆区 (I ₁)	龙门山断隆 (I ₁₋₁)
	川西面状强隆区 (I ₂)	贡嘎山强隆区 (I ₂₋₁)
		会理-玉溪掀斜差异凸起区 (I ₂₋₂)
	大凉山中升区 (I ₃)	大凉山断隆 (I ₃₋₁)
		凉山中升区 (I ₃₋₂)
华南弱升区 (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)
	滇黔桂稳定隆升区 (II ₂)	滇东北中强隆起区 (II ₂₋₁)
		黔北掀斜弱升区 (II ₂₋₂)

青藏高原强隆区 (I):

包括西部强烈隆起抬升区和强隆区与弱升区之间的过渡地区，第四纪以来的抬升幅度较大，可进一步划分为川青面状强隆区 (I₁)、川西面状强隆区 (I₂) 2 个二级区。

川青面状强隆区 (I₁) 细划出龙门山断隆 (I₁₋₁)。龙门山断隆 (I₁₋₁) 处于高原向四川盆地的过渡地区，表现为中深切割的高山峡谷地貌，第四纪抬升幅度具有由南东向北西逐渐增大的趋势，在1000-3000m之间。

川西面状强隆区 (I_2) 整体性较好, 第四纪以来的隆升幅度在 3000—5000m。川西面状强隆区 (I_2) 又可细划为贡嘎山强隆区 (I_{2-1})、会理-玉溪掀斜差异凸起区 (I_{2-2}) 2 个三级区: 贡嘎山强隆区 (I_{2-1}) 的西边界为玉农希断裂, 北、东边界为鲜水河断裂和锦屏山断裂, 第四纪以来的抬升幅度平均为 3900m, 主峰地区达 5000m 以上 (陈富斌等, 1992), 是一个典型的断块隆起区, 第四纪以来发育有多期冰川, 现代冰川亦很发育, 典型的冰川侵蚀地貌及冰碛物在许多地段现仍清晰可辨。会理-玉溪掀斜差异凸起区 (I_{2-2}) 位于锦屏山构造带的前渊, 第四纪以来的抬升幅度约为 2000~3000m, 该区内存在更次一级的差异断陷活动, 断陷幅度均在 1000m 以上。

华南弱升区 (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 (II_1) 和滇黔桂稳定隆升区 (II_2) 2 个二级区。

四川盆地弱升区 (II_1) 可细划为成都断陷 (II_{1-1}) 和川中微升区 (II_{1-2}) 2 个三级区: 前者第四纪以来一直处于下降状态, 第四系最大厚度可达 541m; 后者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 (II_{1-3}) 位于华蓥山断裂以东, 整体性较好, 第四纪以来一直处于剥蚀状态, 抬升幅度小于 500m, 表现为盆地、丘陵相间分布的地貌类型。

滇黔桂稳定隆升区 (II_2) 北以五莲峰断裂为界、西以小江断裂为界、南以红河断裂为界。该区新生代以来主要处于整体隆升状态, 内部断块差异运动幅度小。又可细分为滇东北中强隆起区 (II_{2-1}) 和黔北掀斜弱升区 (II_{2-2})。滇东北中强隆起区 (II_{2-1}), 新构造运动时期表现大幅度的抬升和掀斜, 差异运动幅度较小, 多为切割的中山和低中山地貌, 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。黔北掀斜弱升区 (II_{2-2}) 包括了广大的贵州高原分布区, 第四纪一直处于稳定的隆升状态, 整体性较好, 隆升幅度在 1000m 左右。

综上所述, 目标区处于四川盆地弱升区的川中微升区内, 第四纪一直处于剥蚀状态, 是相对稳定的地区。

2.3.4 新构造运动与地震活动的关系

(1) 区域上地震活动与新构造运动具有密切关系。已有研究证明有史料记载以来全部的 8 及以上地震和约 86% 的 7 及以上地震分布在活动板块分界内, 即 I、II 活

动地块边界内的活动断裂上（张国民等，2005）。地震活动与断裂活动的关系已得到证明。而断裂活动也深刻影响着新构造运动以及新构造运动分区，多数新构造运动分区的边界即是活动断裂，如区域范围内龙门山断隆，即是以龙门山断裂带构成的新构造运动分区。

（2）地震活动常发生在新构造运动的分区界线处。前已述及，新构造运动分区一般是以活动断裂为边界划分的区域。活动断裂又是地震活动的主要发生地，特别是其中大型的板块边界断裂更是强震发生的主要场所，如 2008 年汶川 8.0 级地震、2013 年芦山 7.0 级地震发生在龙门山断裂带中，该断裂既是新构造运动分区龙门山断隆的组成部分，也是龙门山断裂的边界断裂。总体上，区域 6 级以上强震往往发生在新构造运动分区界线附近，这些分区界线也常常分布有第四纪以来具有明显活动性的断裂构造。

2.4 区域主要断裂及其活动性

活动断裂是强震发生的主要地点，据统计有史料记载以来全部的 8 及以上地震和约 86% 的 7 及以上地震分布在活动板块分界内，即 I、II 活动地块边界内的活动断裂上（张国民等，2005）。活动断裂作为潜在地震发生区，是地震带和潜在震源区划分的重要依据。另外，断裂的几何特征、滑动速率和古地震复发周期等也是评估潜在地震大小的依据。研究区位于青藏高原东缘、青藏高原物质侧向运移前锋，以龙门山断裂带和岷山断块为界，东西两侧差异明显。西侧构造运动强烈，活动断裂规模大、活动强，地震频发。而东侧新构造运动弱，断裂规模小，中强震少。目标区活动断裂见图 2.4-1，表 2.4-1。

表 2.4-1 区域主要断裂活动特征一览表

编号	断裂名称及编号	产 状	长度 (km)	性 质	分段性 (活动时代)	滑动速率 (mm/a)	地震活动
F1	金汤弧形断裂	弧形展布，产状不定	125	逆冲	Q1-2		
F2-1	茂汶-汶川断裂	N30~50 E/ NW∠50~70°	300	逆冲兼右旋走滑	南西段 (Q1-2)		中小地震分布
					茂汶-草坡段 (Q4)	1 (水平) 0.80 (垂直)	1657 年 6.1/2 地震
F2-2	北川-映秀断裂	N30~50° E/ NW∠50~70°	300	逆冲兼右旋走滑	宝兴段 (Q3)		中小地震分布
					北川-映秀段 (Q4)	1 (水平/垂直)	1958 年 6.2 级地震 2008 年 8.0 级地震

编号	断裂名称及编号	产 状	长度 (km)	性 质	分段性 (活动时代)	滑动速率 (mm/a)	地震活动
F2-3	彭县-灌县断裂	N30~50° E/ NW∠50~70°	300	逆冲兼右旋走滑	泸定-天全段(Q1-2)	1 (水平/垂直)	1327 年≥6 级和 1970 年 6.2 级地震
					天全-汉旺段(Q4)		2008 年 8.0 级地震
F2-4	洛水-都江堰断裂	N50° E/NW∠70~85°	70	逆冲	Q4	0.36±0.05	
F2-5	龙门山山前断裂	N50~60° E/ NW∠60~80°	90	逆冲	大邑段 (Q3)	0.13~0.24	2013 年 7.0 级地震
					竹瓦铺-什邡段 (Q3)		中小地震分布
					绵竹段 (Q3)		
F3	大塘断层	SN/E∠50~70°	36	逆走滑	Q3		
F4	蒲江-新津断裂	N30~40° E/ SE∠50~70°	130	逆冲	新津-新都段 (Q3)	0.15~0.33	弱震分布
					蒲江-新津段 (Q3)		1734 年 5 级、 1962 年 5.1 地震
F5	苏码头断裂	N35-45° E/SE∠20-70°	51	逆冲	Q2		
F6	德阳东断裂	N5~10° W/NE∠65°-75°	30	逆冲	Q1-2		
F7	龙泉山断裂带	N20~30° E/ SE∠50~70°	250	逆冲	西支 (Q3)		1967 年 5½级地震、2020 年青白江 5.0 级地震
					东支 (Q1-2)		
F8	鲜水河断裂	北西段走向 N40~50° W, 倾向不定, 近于直立; 南东段走向 N20~30° W, 倾向不定, 近于直立	400	左旋走滑	炉霍段 (Q4)	14±2.2	1816 年 7½级和 1973 年 7.6 级地震及多次古地震地质记录
					恰叫段 (Q4)	14±2.0	1923 年 7¼地震及多次古地震地质记录
					道孚段 (Q4)	13±1.5	1904 年 7 级、1981 年 6.9 级地震及多次古地震地质记录
					乾宁段 (Q4)	12±2.0	1893 年 7¼级地震及多次古地震地质记录
					雅拉河段 (Q4)	2.0±1.0	多次古地震地质记录
					色拉哈段 (Q4)	5.5±1.0	1725 年 7 级地震及多次古地震地质记录
					折多塘段 (Q4)	3.5±1.0	1955 年 7¼级地震及多次古地震地质记录
					磨西段 (Q4)	10.0±2.0	1786 年 7¼级地震及数次古地震地质记录
					擦罗段 (Q4)	3~5	中强地震活动
F9	锦屏山断裂	N20~30° E/NW∠60~80°	200	逆冲	Q3-4		中小地震分布
F10	南河断裂	N45° /NW∠70~80°	50	左旋走滑兼逆冲	Q4	2.6	多次古地震地质记录
F11	安宁河断裂	NS/E∠60° ~80°	350	左旋走滑兼逆冲	冕宁-田湾段 (Q4)	5 (水平)	1913 年 6 级地震及晚全新世以来多次古地震

编号	断裂名称及编号	产 状	长度(km)	性 质	分段性(活动时代)	滑动速率(mm/a)	地震活动
					西昌-冕宁段(Q4)	5.5 (水平)	1536 年 7 1/2 级地震和 1952 年 6.7 级地震
					西昌-会理段(Q1- Q2)		
	安宁河断裂	NS/E \angle 60° ~ 80°	350	左旋走滑兼逆冲	冕宁-田湾段(Q4)	5 (水平)	1913 年 6 级地震及晚全新世以来多次古地震
F12	则木河断裂	330° /SW \angle 60~80°	130	左旋走滑	Q4	2.4 \pm 0.2	地震活动强烈, 最大地震为 1850 年 7 1/2 级地震
F13	黑水河-越西河断裂	近 SN/W \angle 大于 60°	164	逆冲	Q4		1489 年地震西昌至越西 6%、多次古地震地质记录
F14	大凉山断裂	N20~30° W/NE \angle 60°	280	左旋走滑	海棠-越西段(Q4)	2.6~3.3	中小地震分布及古地震地质记录
					普雄河段(Q4)		
					布拖段(Q4)		
					交际河段(Q4)		
F15	保新厂-凤仪断裂	N40° W/ SW \angle 70~80°	100	逆冲	Q1-2		
F16	甘洛-竹核断裂	近 NS/E \angle 60~70°	100	逆冲	Q1-2		
F17	峨边-金阳断裂	N20-50° E/NW (SE) \angle 50-80°	200	逆冲	Q1-2		
F18	荣经-马边-盐津断裂	N25~30° W/ SW \angle 60°	250	左旋走滑兼逆冲	峨边段(Q1-2)		
					马边段(Q3-4)		1216 年 7 级、1974 年 7.1 级地震
F19	雷波断裂带	N60~70° E/NW \angle 60~80°	43	右旋走滑兼正断	Q4		公元前 26 年宜宾地震
F20	莲峰断裂	N30~50° E/SE \angle 50~80°	150	逆冲	Q3		中小地震分布
F21	长山镇断裂	N40~50° E/ NE \angle 60~80°	60	逆冲	Q1-2		中强地震活动
F22	华蓥山断裂	N40~45° E/ SE \angle 30~70°	450	逆冲兼右旋走滑	北段(Q1-2)		中小地震零星分布
					中段(Q2)		
					南段(Q2)		前 26 年 5 1/2 级、1892 年 5 级, 2021 年泸县 6.0 级
F23	昭通-鲁甸断裂	N18° E/NW \angle 65°	130	压扭性质	Q4		2014 年昭通鲁甸 6.5 级地震
F24	威信断裂	NE/S/60° -80°	140	逆冲	Q1-2		

2.4.1 金汤弧形断裂带 (F1)

金汤弧形断裂系是松潘—甘孜造山带汶川—丹巴弧形构造带中一系列弧顶向南凸出的一系列滑脱—逆冲断裂系 (图 2.4-2)，近场区主要弧形断裂有 6 条，即鸡冠坪断层、么堂子断层、金棚山断层、大草塘断层、九奔流断层、青草塘断层。弧形断裂系中还发育了一系列规模不等方向各异的派生次级断层，么堂子断层是规模最大的一条派生断层。

丹巴—汶川弧形构造带分布于松潘—甘孜造山带主体的东缘，其地层岩性由扬子陆块西缘的元古界变质火山岩基底及古生界的变质碎屑岩、含硅质条带的碳酸盐岩和二叠系海相枕状玄武岩组成。弧形构造带的东翼逆冲于龙门山前陆逆冲楔之上，向南凸出的弧顶部位逆冲在康定杂岩之上，北部及西部被三叠系西康群覆盖。根据许志琴等 (1992) 对松潘—甘孜造山带的造山过程的研究，弧形构造带成生于印支期末，经早期 (160~200Ma) 自北向南的滑脱—逆冲作用，形成近东西向的构造带；中期 (160~20Ma) 在南北向挤压作用的强化下，被改造为弧形构造带；最后，在晚期 (<20Ma) 近东西向挤压作用的叠加下才最终定型为现今的构造形态。弧形构造带的东西两翼主要表现尾多层次滑脱构造，中部则主要为叠瓦式逆冲挤压构造。

新生代以来，受印度板块俯冲于欧亚大陆之下所产生的北西—南东向的挤压力的作用下，松潘—甘孜造山带主体内部产生了一系列大型的平移韧性剪切带，其中最为显著的是鲜水河断裂带切断龙门山—盐源前陆逆冲楔，左旋平移距离达 80~100Km，而将造山带主体一分为二形成两个构造块体，即川滇块体和川青块体。川青地块的运动方向为南东方向，主压应力场的优势方向是 100~130° 方位 (程万正等，2003)。据 GPS 观测结果，川青块体龙门山以西的邻近地带 (称岷山块体) 的内部变形很小，可以看作刚性块体 (吕江宁、沈正康等，2003)。金汤弧形断裂系正发育于川青块体南东端 (岷山块体内部)，因而其第四纪活动性远不如边界的龙门山断裂带和鲜水河断裂带。

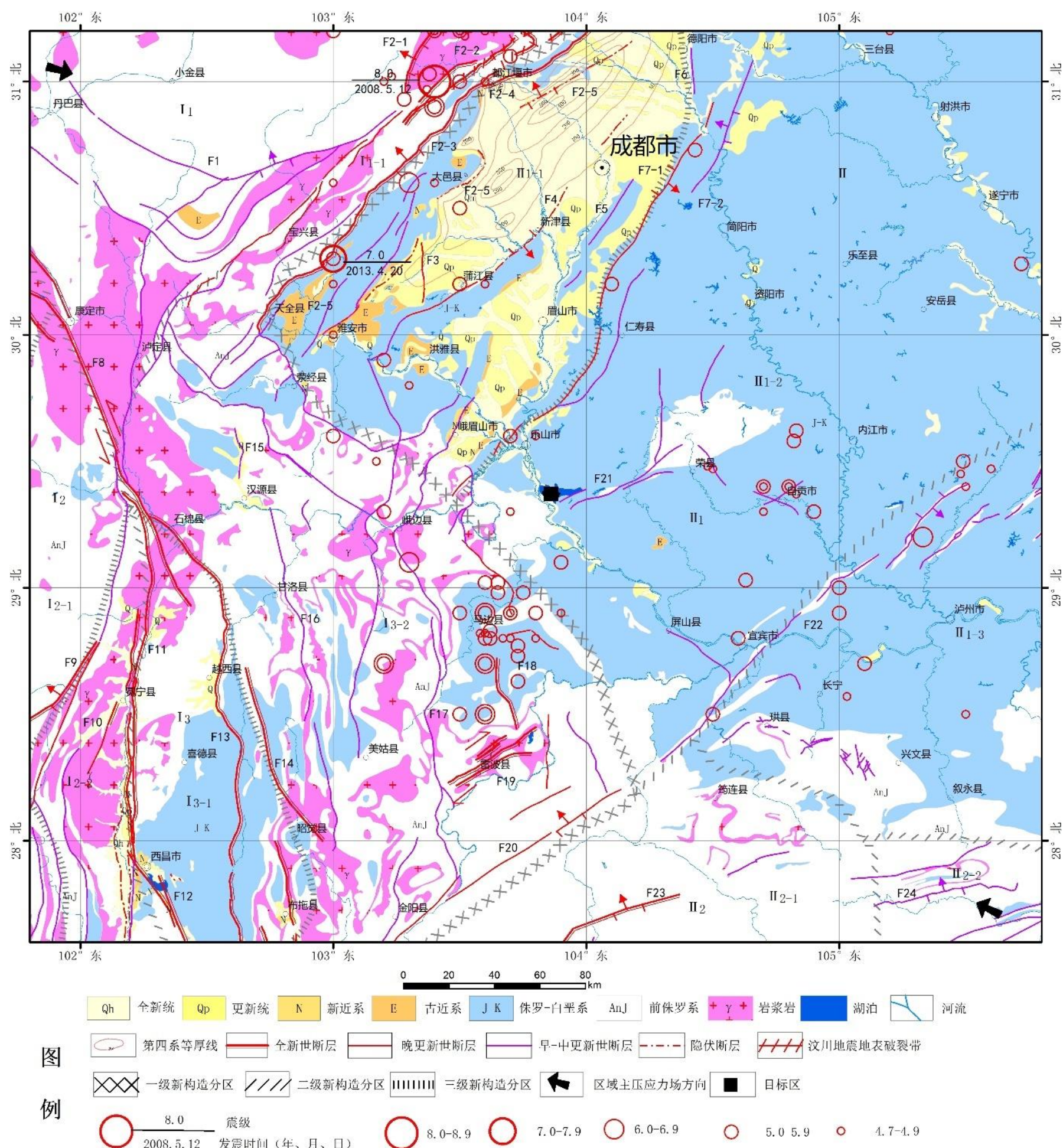


图 2.4-1 区域地震构造及新构造运动分区图

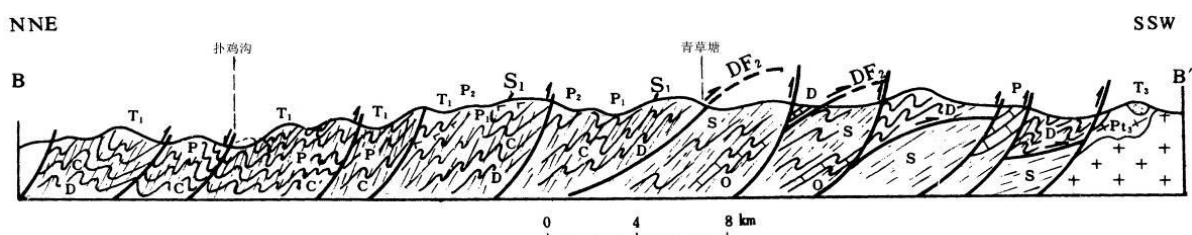


图 2.4-2 金汤弧形构造带的逆冲断裂系剖面图（据许志琴等，1992）

图中自左至右依次为：鸡冠坪断层、穿天坡断层、么堂子断层、大草塘断层、贵强湾断层、九奔流断层、青草塘断层、金棚山断层、贝母山断层、黑悬沟断层、长河坝断层

2.4.2 龙门山构造带（F2）

龙门山断裂带呈 $N40^{\circ}\sim 50^{\circ}E$ 斜贯区域，长约 580km，断面西倾，倾角不定，构成龙门山和四川盆地的边界，是一条重要的活动断裂带。主要由宽约 30~40km 的茂汶-汶川断裂、北川-映秀断裂、彭县-灌县断裂和龙门山山前隐伏断裂等四条断裂组成。断裂带形成于晋宁期，早期是扬子准地台西缘的被动大陆边缘。晚三叠纪诺利克期开始，龙门山构造带才由北向南开始逆冲作用，控制了龙门山构造带前陆盆地的成生与发展（李勇等，1995）。龙门山造山带内部由三个大致平行的叠瓦状冲断带构成，由西至东分别被称为 A 带、B 带和 C 带。其中，A 带形成于晚三叠世瑞替克期，B 带形成于晚侏罗世，C 带形成于第四纪，显示了龙门山造山带具有前展式渐进推覆的特点。可见，龙门山断裂带是多期逆冲推覆体构造叠加的产物，逆冲推覆作用在时间上具有多幕性和周期性，在时空上具有前展式渐进推覆的特点。晚新生代以来，由于区域构造应力场从印支期的由北向南挤压转变为晚新生代以来的北西-南东向挤压，龙门山构造带显示南东向逆冲加右旋滑动，改造了中生代构造变形，在前陆盆地西缘形成了新生代陆源碎屑沉积。

晚第四纪以来龙门山构造带的新活动性具有明显的分段性，中段和南西段主要由茂汶-汶川断裂、北川-映秀断裂、彭县-灌县断裂和山前隐伏断裂组成，显示右旋逆冲运动方式，具有较明显的地质地貌证据。首先是沿龙门山构造带安县以南的中南段发生了强烈的差异活动，形成了成都第四纪断陷盆地（第四系最大厚度可达 541m）。另外，几条主干断裂均有晚第四纪以来活动的显示。北川以北的北东段主要由平武-青川断裂、茶坝-林庵寺断裂和江油-广元断裂组成，第四纪以来也有不同程度的活动性。

(1) 茂汶-汶川断裂 (F2-1)

茂汶-汶川断裂走向 $NE30^{\circ}-50^{\circ}$ ，倾向 NW，倾角 $50^{\circ}-70^{\circ}$ ，全长约 550km，由一系列倾向北西的叠瓦状逆冲断层组成。

由中国地质科学院和美国俄克拉荷马大学布设的横跨松潘-甘孜和四川盆地的共 310km 长的 SinoProbe-02 深地震发射剖面可以看出，茂汶-汶川断裂在深部表现为一个向西陡倾的韧性剪切带，且切穿莫霍面。在浅部表现为一冲起构造。

茂汶-汶川断裂在北侧茂县县城附近现象清晰。在茂县县城附近甘青村，在一公路边 III 级阶地顶部的砂砾石层中出露一断层剖面，断层产状 $300^{\circ}\angle 70^{\circ}$ ，断层面之间为 1 个宽 20cm 左右的砾石定向带，指示了断层垂直运动学性质。砾石粒径最大约 10cm，多数在 1-5cm，堆积紧密。断层错动了剖面上所有地层，直错断到地表。断层两侧的对地地层被垂直位错约 0.5m。在断层下盘地层中取光释光样品结果为 (40.0 ± 7.6) ka，表明断裂在约 40ka BP 以来有过活动。在该处断层剖面上的东北方，断裂在高阶地上发育 1 个宽约 150cm 的断层槽谷（王旭光等，2017）。

在高坎附近，断层将一条山脊位错 30-40m，此山脊面上覆盖有岷江 III 级阶地顶面的年龄值介于 $31200 \pm 2300-42100 \pm 3500$ a 之间，据此估计的该段断裂平均水平滑动速率为 0.7-1.3mm/a，均值为 1mm/a。在石鼓附近，断层将一山脊右旋位错 150m 左右，并形成明显的沟槽地貌。山脊顶面上覆盖有厚约 10 余米的河流相砂砾石层，距现今岷江水面高约 220-280m，应为岷江 IV 级阶地沉积物，在该接地面上距地表约 1m 处取亚砂土经 TL 法测定的年龄为 157600 ± 11800 a，估计平均水平滑动速率为 0.95mm/a。另外该点 II 级阶地前缘在航片上被断裂右旋位错了 15-20m，根据岷江 II 级阶地顶面 26360 ± 1730 a（TL）可估算断裂的平均水平滑动速率为 0.7-1.1mm/a，均值为 0.9mm/a。

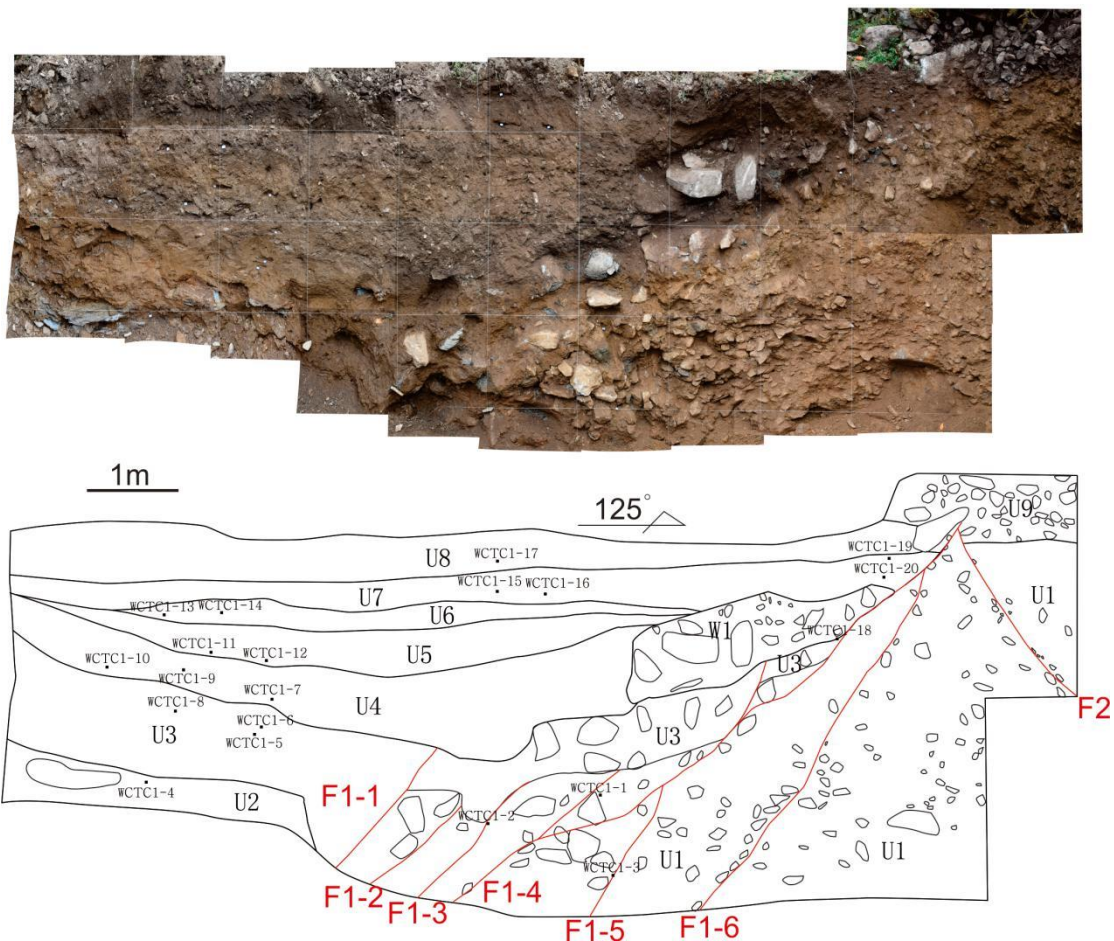


图 2.4-3 金波寺探槽剖面（成都市永利联科技有限公司，2020）

在金波寺村，周荣军等（2006）曾指出金波寺沟和港浪鼓沟发育有许多弃沟现象，断裂将现今冲沟沟缘侧壁右旋位错了 23-25m，此处的港浪鼓沟和废弃古冲沟侧缘壁被茂汶-汶川断裂右旋位错了 80~100m，应是古冲沟废弃后的累积位移。成都市永利联科技有限公司（2020）年在该处开挖的探槽揭露由老到新共可揭示出 2 次古地震事件（图 2.4-3）：E2，E1。E2 为 F1-1、F1-2 和 F1-4 中，断层错动 U1、U2、U3 被错动，上覆 U4。E1 事件为，从地层的叠置关系上可以看出，该次事件发生在 U3 之后，U4 或 U5 之前。E1 见于断层 F1-4、F1-5、F1-6 和 F2，断层切错至近地表，将 U1 垂直错动约 1.5m 附近，并且限制了 U8 的发育，其顶部覆盖了后期堆积的松散的砾石层 U9。另外，在剖面中还发育有一套崩积楔 W1，其可能代表一次古地震事件。根据剖面中地层定年结果，表明断裂具有全新世活动性。

另外，该断裂于汶川附近发生过 1657 年 6 级地震及多次中强地震。因此，综合判定茂汶-汶川断裂为全新世活动断裂。

（2）北川-映秀断裂（F2-2）

该断裂在龙门山构造带几条主干断裂中活动构造地貌保存最为完好，南西端始于泸定附近，向 NE 延伸经盐井、映秀、北川、南坝、茶坝插入陕西境内与勉县-阳平关断裂相交，走向为 $35^{\circ}-45^{\circ}$ ，倾向 NW，倾角 $50^{\circ}-70^{\circ}$ ，全长约 500 余 km，表明是一条活动性较强的断裂。北川县城附近的盖头山新隆起处于该断裂的左阶羽列区，可能是北川-映秀断裂的右旋错动在该羽列区所导致的地貌效应，并发育有两条 NE 向正断层业已错切至近地表，错切了 ^{14}C 年龄值为 $13810 \pm 260\text{a}$ 的地层。在绵竹清平、彭县白水河及映秀附近，断错地貌表现尤为清晰，河流阶地及冲沟均显示出北西盘上冲，同时具有右旋错动分量。白水河附近的胥家沟一带，北川-映秀断裂在航片上呈现出较好的线性影象特征，斜切山体边坡，形成比较典型的坡中槽地貌，断裂北西盘相对下降形成可能的断塞塘，并将数个规模较小的全新世洪积扇严格地限制在断裂的北西侧，南东盘则形成有一些弃沟现象。胥家沟是一条规模较大的冲沟，由北西向南东汇入湔江，冲沟沟床内堆积有晚更新世洪积物，其前缘高程与湔江 III 级面的拔河高程相当，分析应属同期沉积（TL 测龄值为 $23300 \pm 1800-24300 \pm 1900\text{a}$ ）。

北川-映秀断裂将该冲沟侧缘陡壁右旋位错了 20~30m，据此估计该断裂的平均水平滑动速率应在 $0.82 \sim 1.3\text{mm/a}$ 之间。映秀附近也有该断裂右旋断错冲沟及垂直断错岷江河流阶地的现象（中国地震局地壳应力研究所，2001）。在胥家沟附近断塞塘旁的探槽剖面揭示了两次古地震事件，被错动的有年龄的最新地层的年龄为 ^{14}C (92 ± 7.2) ka BP。

在胥家沟更往南的映秀附近，在岷江 II 级阶地上，开挖的探槽共揭示了包括汶川地震在内的 3 次地震事件（图 2.4-4，Ran et al., 2013），3 次事件都发生在层 U2 堆积以后，汶川地震前的一次事件发生在层 U3 堆积之后和层 U4 堆积之前，更老一次事件发生在 U3 和 U2 之间。地层样品的碳十四测年结果显示：汶川前一次事件早于 U4 晚于 U3，年代限定为 5940-3160a BP。更老事件稍晚于 U2，事件发生年代稍晚于 5920-5730a BP。根据探槽剖面与地层的测年结果可知，映秀探槽新世中晚期的平均垂向位移速率约为 $0.88-0.91\text{mm/a}$ 。

因此，北川-映秀段应具有全新世活动性，而南西段仅错切了晚更新世沉积物，为晚更新世活动段。历史上该断裂的中强地震主要丛集在北川一带，最大历史地震为 1958 年北川 6.2 级地震。

2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震导致北川-映秀断裂的北中段全部破裂贯通，以

北的茶坝-林庵寺断裂的南西段也发生了地表破裂，地表破裂起自西南三江口镇东北的麻柳村附近，东至青川县红光乡东河口大型基岩崩塌体附近，整体长度约 240km。

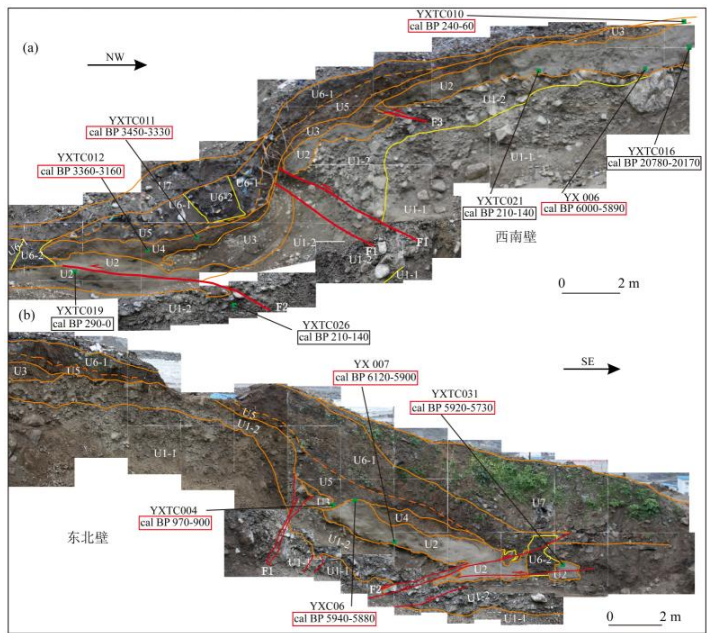


图 2.4-4 映秀探槽剖面图 (Ran et al., 2013) U 表示地层单元，橘色线和黄色线分别示意地层界限和次级地层界限，红线示意断层，绿线示意碳样，红框示意碳屑样品编号及测年结果

沿地震地表破裂带走向同震位移大小是不均匀的，虹口、龙门山镇、茶坪和石坝等次级破裂段上各存在一个峰值（图 2.4-5）。其中，虹口次级破裂段以逆断层相关褶皱陡坎、逆断层上盘垮塌型陡坎、逆断层陡坎为主，最大垂直位移 6.2 ± 0.5 m，附近地带垂直位移介于 4-5 m，平均垂直位移 ~ 3 m，个别地段还发现存在右旋走滑分量，例如在深溪沟 7 组测到的水泥路面右旋走滑位移值最大可达 4.5m 左右，垂直位移达 2.7m，与该段走向偏北有关（徐锡伟等，2008）。龙门山镇次级地表破裂段为典型的挤压推覆陡坎，兼有右旋走滑分量，在龙门山镇银厂沟测量到的最大垂直位移为 5m 左右，右旋位移约 2.2m；平均垂直位移 3.5m 左右，右旋走滑位移约 1m。茶坪次级破裂段数据较少，但在茶坪附近测量到的基岩破裂陡坎高约 5.2m，河岸右旋走滑位移 4.3m，平均垂直位移约为 2.5m。石坝次级破裂段同时兼有右旋走滑位移和逆冲垂直运动分量，最大垂直位移 6.5 ± 0.5 ，位于北川县曲山镇茅坝至沙坝之间，附近地段垂直位移介于 4~6m 之间，右旋走滑位移也达 3m 左右，个别可达 4.35m；平通镇南木耳地南车道最大右旋走滑位移为 4.9 ± 0.2 m，更北地段的右旋位移量达 3 ± 0.5 m，略大

于平均值约为 2.5m 垂直量。可见北川-映秀地表破裂带西段以逆冲作用为主，向东右旋走滑分量逐渐增加，东段以右旋走滑分量为主。

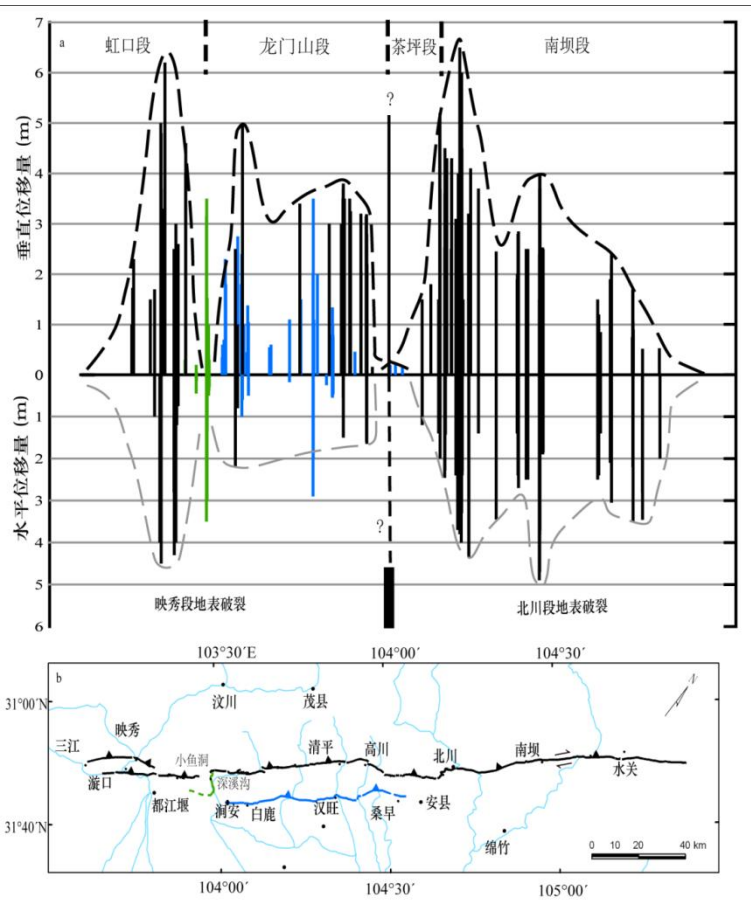


图 2.4-5 汶川 8.0 级地震地表破裂带同震位移量分布与同震破裂分布图（据徐锡伟等，2009）
（黑色线：北川-映秀地表破裂带；蓝色线：汉旺-白鹿地表破裂带；绿色线：小渔洞地表破裂带）

(3) 彭县-灌县断裂 (F2-3)

彭县-灌县断裂南西端始于天全附近，沿北东经庐山大川、大邑双河、灌县、都江堰二王庙、彭县通济场等地，直至江油让水，走向 NE45°，倾向 NW，倾角 50° - 70°。

在彭县老君山附近，一系列山脊被断裂同步右旋位错了 10~20m。彭县菩萨岗-代明寺一带，彭县-灌县断裂将两条冲沟同步右旋位错了 75m 和 120m，并在断层陡坎下方形成有断塞塘，可见到晚更新世早期洪积物（顶面 ESR 年龄值为 96000±7300a）逆冲于晚更新世晚期湖沼相粘土（TL 测龄值为 14300±1100a）之上，断面附近松散物中颗粒有定向现象。根据断错开始的相应时间估计，断裂的平均水平滑动速率为 0.78~1.25mm/a，均值为 1mm/a。大邑双河一带，邓起东等（1995）亦报道了主干断裂新活动所形成的边坡脊与断塞塘，野外工作中还发现有右旋位错冲沟的现象，估计

的断层平均水平滑动速率在 0.9mm/a 左右。在都江堰附近，该断裂将岷江Ⅲ级阶地垂直位错了 12m 左右，Ⅰ、Ⅱ级阶地可能也存在位错现象，估计该断裂的垂滑动速率约为 0.2mm/a （中国地震局地壳应力研究所，2001）。

在青石坪、彭县—灌县断裂从一洪积扇（顶部 TL 年龄值为 $35500\pm2900\text{a}$ ）上切过，形成有高约 $7\text{--}8\text{m}$ 的断层陡坎，陡坎下方有断塞沉积。一条规模不大的冲沟被断裂右旋位错了 23m ，南西侧一条冲沟内充填有较新的洪积物，其侧缘壁亦被右旋位错了 25m 。考虑到冲沟的发育和下切是在较老的洪积扇（距今 $35500\pm2900\text{a}$ ）抬升出水面以后才开始的事实，其间应有一个明显的时间滞后过程，因此估计断裂的平均水平滑动速率应大于 $0.65\text{--}0.70\text{mm/a}$ 。横跨断层陡坎和断塞塘，布满了一个长约 7m 的探槽，其北东壁揭示出的地层层序如下：

从该探槽剖面可以辨认出两次古地震事件：事件Ⅰ是断层陡坎西盘抬升，沉积了一套土黄色粘土层的断塞塘物质，该套地层的上部沉积覆盖过了断层陡坎，发震时间不详；事件Ⅱ是断层西盘再次抬升，地震断层切割了②层，致②层在断层上盘抬升出水面遭受剥蚀，因而呈断续状分布，下盘呈一楔形。地震断层切割①、②、③层而被④层覆盖，因此地震发生的时间应介于距今 $1170\pm100\text{a}$ – $3830\pm220\text{a}$ 之间，且应非常靠近 $3830\pm220\text{a}$ 的 ^{14}C 测龄值。即最晚一次地震的发生时间在距今 $3830\pm220\text{a}$ 后不远的时间。

在白鹿中心学校处，冉永康等（2010）在学校南围墙外的探槽揭示断错变形地层，探槽中揭示出了多个破裂面（图 2.4-6）。其中剖面中侧为汶川地震破裂面，该破裂面位错明显，形成新鲜的断层陡坎。部分破裂面在汶川地震错动面后面，未被错动，是早期的古地震事件，断层错动了层 3，被层 6 坡积相所覆盖（时代 BL-1： $1.8\pm0.2\text{ka BP}$ ）。陡坎两侧地表地层 1 和层 3，高差约 5m ，汶川地震同震位错为 $(1.8\pm0.3\text{m})$ ，老陡坎高度为 $(1.7\pm0.2\text{m})$ ，大致可以推测 7.7ka BP 以来共发生了包括汶川地震在内的 3 次大地震事件。

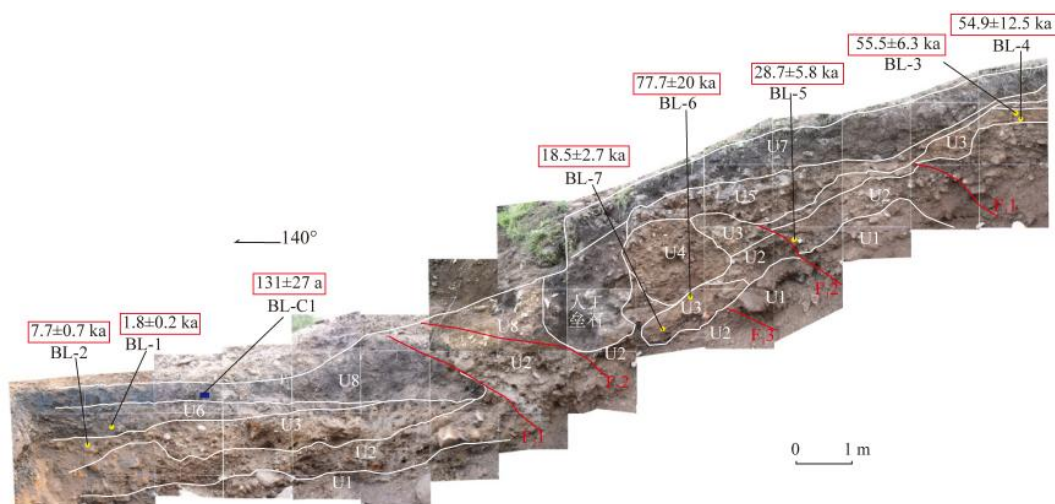


图 2.4-6 白鹿中心学校南墙外探槽南壁（据 Ran et al.,2010）

彭县-灌县断裂南西段（双石-大川断裂）自灌县南沿西南方向延至天全境内，长约 130km，西北侧为中生代地层组成的中高山区，可见断裂切割古生界、三叠系煤系和白垩系沙砾岩，在灵关镇南大溪村附近，经人工开挖揭露一个湖相地层剖面显示，该断裂分别错断了距今 9.20 ± 0.72 万年和 5.74 ± 0.45 万年的冲洪积物和冲积层，表明该断裂晚更新世以来有较强的活动性（杨晓平等，1999）。在大邑双河油茶树-天车坡一带，断裂在地表上主要表现为断层陡坎、边坡脊和垭口地貌（周荣军等，2006），伴生有大小不等的断塞塘，并发育冲沟右旋断错现象，横跨断层陡坎和断塞塘开挖的探槽，可以辨认出两次全新世古地震事件，事件 1 时间不详，事件 2 时间为 $(1170 \pm 100) \sim (3830 \pm 220)$ 年之间。

双河槽谷往南，断裂在地貌上主要表现为一些断续分布的小型槽谷，连续性较差，但总体仍显示出线性地貌特征，Densmore 等（2007）在双河青石坪附近开挖探槽，认为断裂有过 2 次古地震事件，最新一次事件发生在 $930 \pm 40 - 860 \pm 40$ a BP。汶川地震后，科考组董绍鹏等（2009）在该探槽旁侧横跨整个槽谷进行了新的开挖，揭露了 1 次古地震事件，时间限制在 1390–650a BP，垂直位错约 0.3m。

有史料记载以来，该断裂上发生过 1327 年天全 ≥ 6 级地震和 1970 年大邑 6.2 级地震，特别是 1970 年地震在地表形成了地震缝，显示出最新的活动。

2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级大地震时，在该条断裂上也形成了近 70km 的汉旺-白鹿地表破裂带，西起彭县通济镇东涧安村附近，具体表现为玉米地高 ~ 35 cm、走向 $N40^\circ E$ 左右的推覆褶皱陡坎，上盘发育着 6 条 NE 向张剪切裂缝带；向东连续延伸，经彭州市白鹿镇、什邡市八角镇、绵竹市汉旺镇、泉新村、雒水镇，在安县桑枣镇北

川主寺一带垂直位移减少到十几 cm，最后在安县安昌镇以西消失。断裂带运动性质为纯逆断层，最大垂直位移 3.5 ± 0.2 m，一般介于 1.5m 至 2.5m 之间。

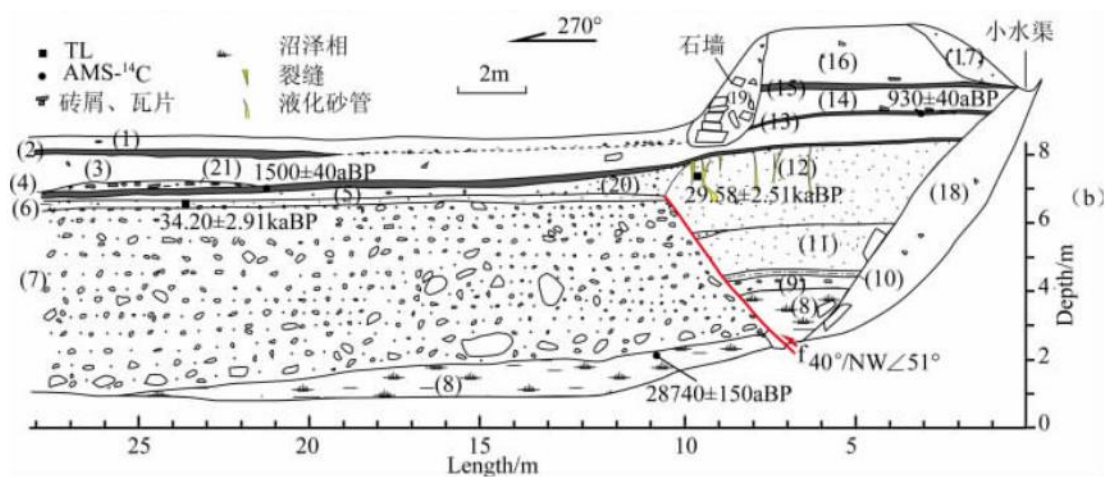
另外，在北川-映秀断裂带虹口与龙门山镇-清平两次级地表断裂段斜列阶区至汉旺-白鹿断裂带西端之间，汶川地震产生了一条走向 $N50 \pm 5^\circ W$ 的次级地表断裂，即小鱼洞地表断裂带，运动性质为左旋走滑兼逆冲分量 (Xu et al., 2009)；地表断裂带北端断续延伸与 NE 向龙门山镇-清平次级地表断裂段过渡，南端在磁丰乡草坡村附近走向从 NW 向逐渐转为近 NS 向后消失，成为连接北川-映秀断裂带与白鹿-汉旺断裂带的侧向断坡，沿走向 $N310^\circ W$ 方向长度约为 7km。

综上所述，彭县-灌县断裂为全新世活动断裂。

(4) 洛水-都江堰断裂 (F2-4)

洛水-都江堰断裂 (又称关口断裂) 是一条龙门山造山带中段的前缘断裂，位于成都盆地西北缘，控制成都盆地与龙门山边界地貌和鸭子河构造带，包括金马鼻状构造、大圆包背斜构造以及白鹿场-鸭子河断背斜。北东端起自绵竹县西北部山前遵道场，向西南延伸经什邡洛水、彭州关口、桂花场、都江堰鑫玉大道，主要表现为隐伏、半隐伏状态，其大致走向 NE，倾向 NW，长度约为 70km。

除在丹景山镇以东断裂发育在基岩山区外，其余大部地段断裂基本上隐伏于第四系之下，尤其在什邡市洛山镇龙门山山前存在一段影像线性非常明显的地貌特征。野外调查发现，该线性影像由基岩山前洪积台地前缘陡坎和现今沟渠等组成，在地貌上构成山前洪积台地前缘陡坎。山前洪积台地保存较好的地点的差分 GPS 测量表明，下院村洪积台地宽 100~120m，洪积台地高 11.8m；公墓寺洪积台地面宽约 20~30m，现多为农田，洪积台地高为 9.2m；公墓寺北的洪积台地面逐渐变窄，一般约 10~15m 左右，现多为墓地，陡坎下为石灰窑，洪积台地高为 9.8m。洪积台地上的小陡坎高 1.2~2.3m，应为断层新活动证据 (任俊杰等, 2012)。该洪积台地测年结果约 28ka，据此得到该断裂晚第四纪垂直活动速率为 0.36 ± 0.05 mm/a。



2.4-7 什邡市洛水镇公墓寺探槽剖面 (据仵俊杰等, 2012)

在什邡市洛水镇以南，在洪积台地上发育线性陡坎，在公墓寺洪积台地上开挖的探槽（图 2.4-7）显示在 1500 至 28ka 之间发生过一次古地震事件，同震垂直位错约 1.3m。并且在隆丰镇西横跨山前布置的浅层地震剖面显示断层上断点埋深约为 20m，切错了第四纪地层。

综上所述,洛水—都江堰断裂为一条全新世活动断裂,断裂垂直滑动速率约 0.36mm/a ,距离现今最近的地震事件发生在 1500a 左右。

(5) 龙门山山前断裂 (F2-5)

龙门山山前隐伏断裂发育在扬子陆块内部,是龙门山前山带逆冲活动向前陆扩展变形的结果。该断裂带为第四系所覆盖,包括了由南向北的大邑断裂、什邡-竹瓦铺断裂和绵竹断裂,这些隐伏断裂对成都断陷盆地第四系沉积有明显控制作用。

绵竹断裂：分布于成都断陷的北东部，断裂南西起于绵竹广济、向北东经土门、绵竹、河清，止于兴塔附近，全长约 45km。断裂总体走向 $N60-70^{\circ} E$ ，倾向北西，倾角不明，为逆断层性质。根据绵竹附近的电测深结果（1977）表明，绵竹断裂断错了白垩系砂泥岩及中更新世早期至晚更新世早期的砂砾石层，垂直错距约 10m，显示其具有晚更新世的活动性，估计平均垂直滑动速率约 0.1mm/a 。

中铁二院在绵竹市附近成兰铁路线路 DK59+900 处布置了两条大地电磁剖面（编号为 DP-1 和 DP-2）和对绵竹断裂进行了验证性勘探，探测剖面见图 2.4-8。

从 DP-1 电阻率断面图上可以看出：整个断面由上、中、下三层结构构成，上部为电阻率大于 $30 \Omega \cdot \text{m}$ 的相对高阻层为上覆卵石层，厚度近 100 米；中部为电阻率小于 $30 \Omega \cdot \text{m}$ 的低阻层。为质软的泥岩；下部电阻率大于 $30 \Omega \cdot \text{m}$ ，为砂岩夹泥岩，相对较完整。在 DP-A 上+880~+1500 段、DP-2 上 0~+180 段和 DP-2 上+300~+620 段电阻率等值

线畸变，低阻向下贯通并延伸，为断层破碎带。DP-1 剖面还揭示了绵竹断裂错动了上伏卵石层，错动距离约 30m。

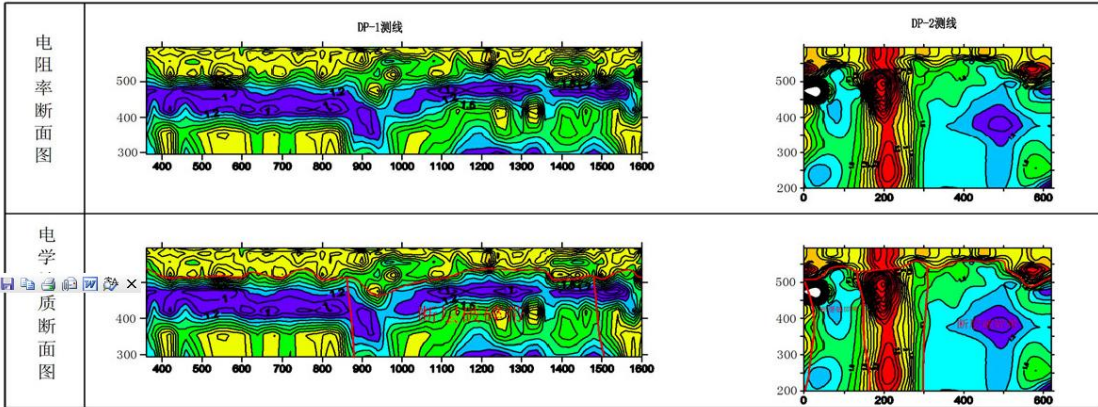


图 2.4-8 跨绵竹断裂大地电磁剖面（据中铁二院资料，2009）

汶川地震后，科考队沿龙门山断裂布置多条地震测线（图 2.4-9），其中测线 8、9 跨过绵竹断裂。

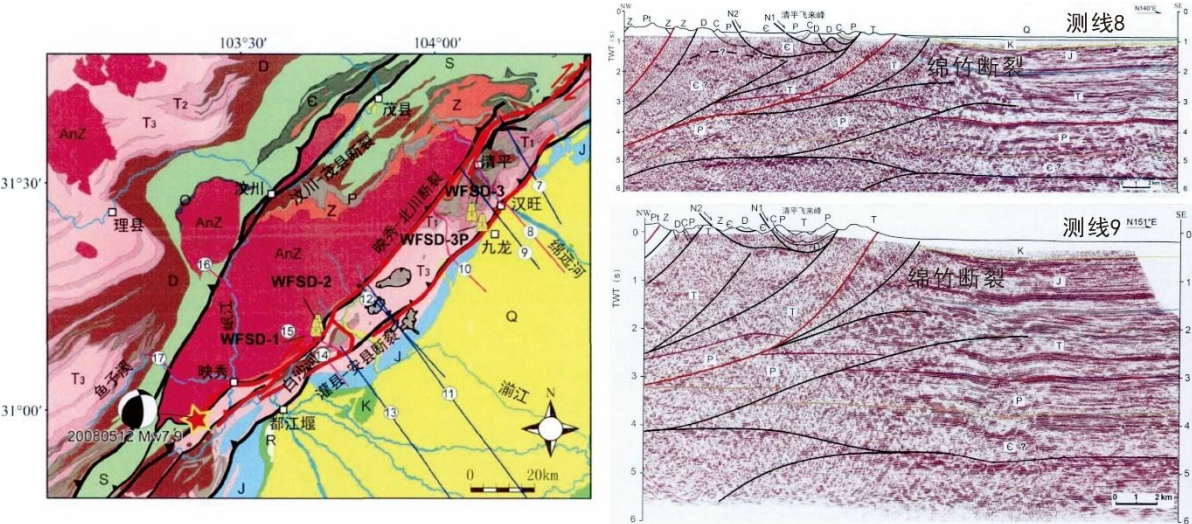


图 2.4-9 绵竹断裂地震测线布置及测线解译图（据吴婵，2014）

测线 8 走向 N140° E，起于彭灌杂岩 NE 端的古元古界，往南东方向经过彭灌杂岩端部，跨过映秀-北川断裂，穿过清平飞来峰中部以及其东侧的三叠系向斜，延伸至四川盆地内部，终止于盆地内的第四系沉积物，道间距 10m，全长 45.2m，记录了双程反射时间 6s 的地质信息（图 2.4-9）。剖面中显示绵竹断裂为龙门山断裂叠瓦状延伸。

而测线 9，方位角 N151°，近平行于测线 8，道间距 20m，全长 31.7km。可以看到绵竹断裂向上延伸到白垩系，其上北第四系覆盖，向下延伸到灌县-安县断裂上（图 2.4-9）。

什邡-竹瓦铺断裂：又名彭州断裂或彭州隐伏断裂，是龙门山山前隐伏断裂的重要成员，控制了成都平原第四纪崇州-温江-郫县凹陷的北部边界。物探方法查明断裂南起石羊场附近，向北东经竹瓦铺、彭县、什邡、孝泉，至文星场北东，全长约 70km，断裂走向北 55-60° 东，倾向北西，倾角在地表及近地表较陡达 60° 以上，向下则逐渐变得平缓，为一逆断层。

丽春镇浅层地震勘探结果显示，断层呈逆冲性质，断层面相对较陡，视倾向 NW，视倾角 69~73°，上断点埋深为 37m，断层依次错动下更新统（TQ1）、中更新统（TQ2）以及上更新统（TQ3），推测为隐伏断裂主断裂。在竹瓦铺布设的浅层地震反射成果显示，断裂破碎带宽度 20-30m，埋深约 45m，向 NW 倾，属逆断层，视倾角约 40°。断层下盘的基岩埋深较上盘厚，显示该隐伏断裂由北西向南东的逆冲运动，将白垩纪灌口组砂泥岩与上覆的第四纪砂砾石层的分界线垂直位错了 15-20m，具有明显的晚第四纪活动性。

另外根据在丽春镇附近布设的钻孔联合剖面（图 2.4-10），综合分析认为什邡-竹瓦铺断裂错断了 Q3 地层中的⑦层，断距约为 7.5m。该层的岩性为灰褐色砾石层，断层发生活动后被⑥层的黄褐色砾石层所覆盖。断裂上断点位于 zk4 和 zk3 之间，埋深约为 33m。断层并没有错断上覆全新世的地层，该断裂为一条晚更新世活动的隐伏断层。

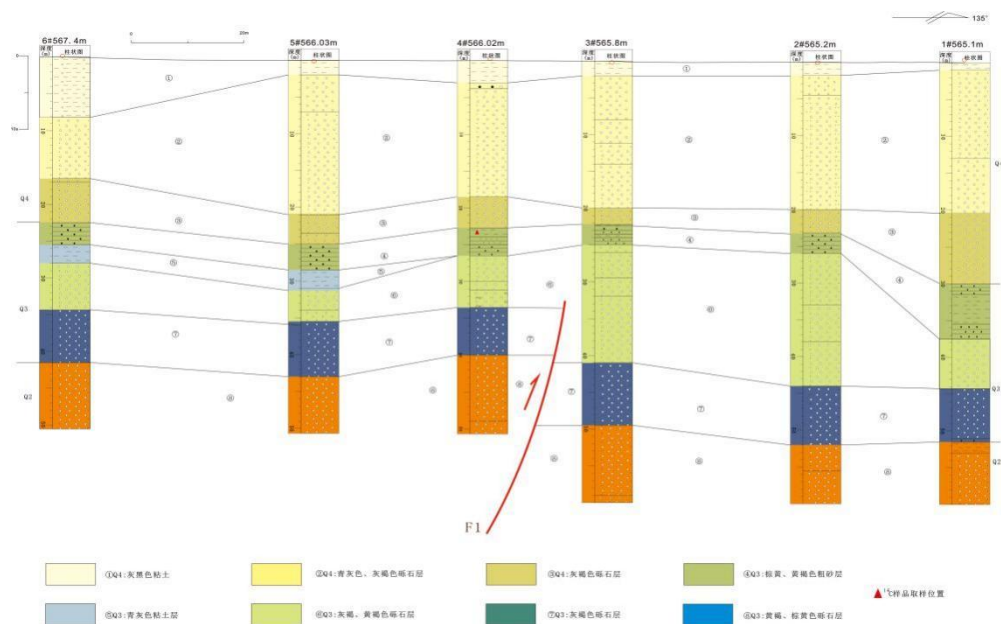


图 2.4-10 彭州丽春镇什邡-竹瓦铺断裂排钻剖面（四川赛思特科技有限责任公司，2017）

大邑断裂：北起大邑，向南西方向延伸经邛崃，沿蒙山东麓延伸至名山南消失，

北段走向 60-70°，南段走向 25-35°，全长约 100km。断裂走向北 65° 东，断面倾向北西，在航卫片上线性特征比较清楚。据四川省地震局物探成果揭示：该断裂上部倾角较陡，向下倾角变缓，错断了结晶基底顶界面，最大垂直位移量为 4km 左右，属深大断裂。

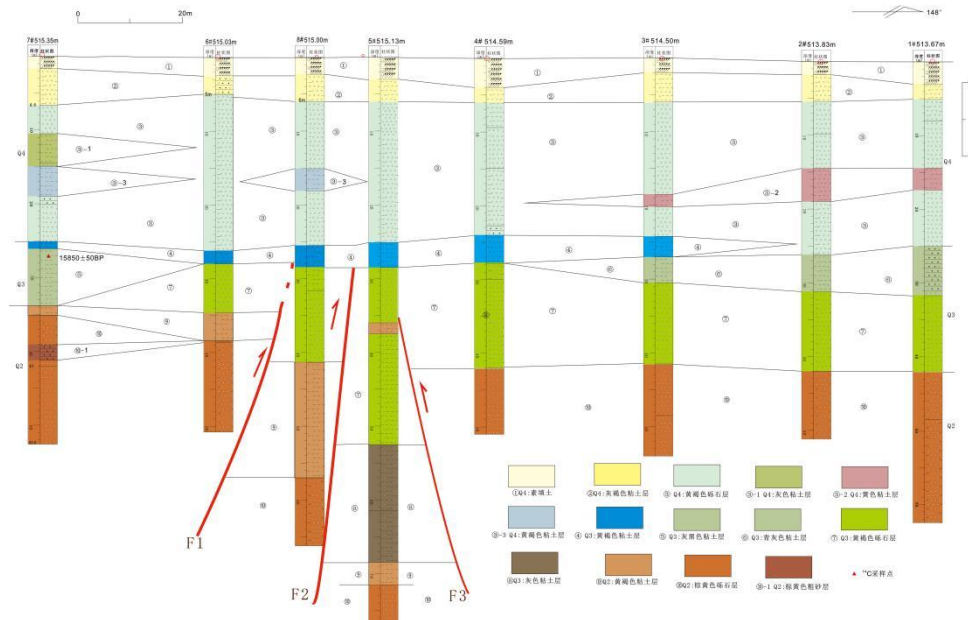


图 2.4-11 崇州王场镇大邑断裂排钻剖面图（四川赛思特科技有限责任公司，2017）

在王场镇附近 I 级阶地上布设的排钻结果可以看出（图 2.4-11），地层剖面有共有 F1、F2 和 F3 三条断层。F1 断层多段了 Q₃ 地层的⑦层，该岩性为黄褐色砾石层，后期被 Q₃ 顶部的④层黄褐色粘土层所覆盖。F1 断层的上断点位于 zk6 和 zk8 之间，埋深约为 28m。F1 断层并没有断错全新世的地层，该断裂为一条晚更新世活动的隐伏断层。F2 断层错断了 Q₂ 地层中的⑨层黄褐色粘土层（断距为 11m）后进入 Q₃ 的⑦层黄褐色砾石层中，随后被④层的黄褐色粘土层所覆盖。上断点位于位于 zk5 和 zk8 之间，埋深约为 28m。在 7#孔⑤层灰黑色粘土层顶部约 27m 处取得 ¹⁴C 样品，经 Beta 实验室测年得到地层年龄为 15850±50 BP。由此证明，F2 断层错断了 Q₃ 地层，并没有错断全新世地层，综合判定该断裂为一条晚更新世活动的隐伏断层且为大邑断裂主断层。F3 断裂错断了 Q₃ 地层中的⑦层，该层的岩性为黄褐色砾石层，断层发生活后后被④层的黄褐色粘土层所覆盖。在 zk4 中没有发现⑧层和⑨层，推测为由于处在断层的上盘被剥蚀。F3 上断点位于位于 zk4 和 zk5 之间，埋深约为 36m。F3 断层并没有错断全新世的地层，该断裂为一条晚更新世活动的隐伏断层。

总之，龙门山山前隐伏断裂属逆断层，倾向 NW，破碎带宽度大于 20m，使上覆第

四纪砂卵石层产生 10-30m 左右的垂直位错。沿断裂分布位置曾发生过多 4-5 级的地震。综合分析，龙门山山前隐伏断裂应具有晚第四纪活动性，如按晚更新世 10 万年估计，什邡-竹瓦铺断裂的平均垂直滑动速率为 0.1-0.14mm/a，绵竹断裂的平均垂直滑动速率为 0.1-0.3mm/a。

2.4.3 大塘断裂（F3）

大塘断裂位于成都盆地南缘地带，展布于邛崃马湖营、平乐镇、甘溪镇、蒲江成佳西、新场镇一线，走向近 SN，地貌上明显切割了盆地南缘巨大的中更新世洪积扇。在大塘和成佳一线以西发育一条明显的南北向槽谷，并沉积了全新世河流堆积。河流系统也在该南北向构造带两侧发生显著的变化：自南西向北东流的水系在大塘南北断裂形成的断坎前汇流并向北折转，跨过邛西背斜后流向折向东。

新民村探槽北东壁揭露（图 2.4-12）断层错动了底部中更新世粘土层，其余上覆地层（上更新统-全新统）完好。从区域地层对比分析，因此，大塘断裂最新活动时代应在中更新世-晚更新世。

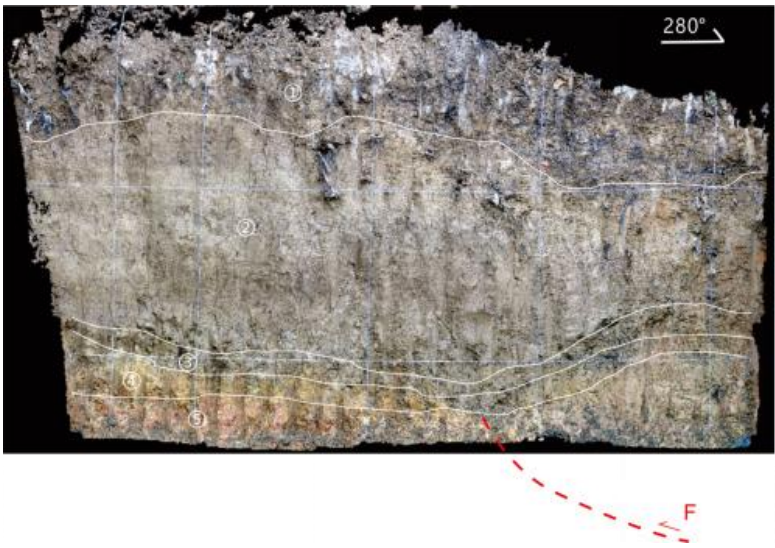


图 2.4-12 新民村探槽南壁剖面（四川赛思特科技有限责任公司，2017）

2.4.4 蒲江-新津断裂（F4）

作为成都断陷的南东边界，该断裂系成都平原内部的一条重要活动断裂。断裂南西端始于蒲江以南，向北东经新津、双流、成都直达新都，全长约 130km。断裂走向 N30~40°E，倾向南东，倾角不定，为逆断层性质。综合研究结果表明，该断裂具有一定的晚第四纪活动性，且表现出明显的不连续性和分段的特点。新津以北，随着熊

坡背斜的向北倾没以及横向断裂的影响，该断裂随之潜入成都平原。

有史料记载以来，蒲江-新津断裂上曾发生过 1734 年蒲江 5 级地震和 1962 年洪雅罗坝 5.1 级地震，这两次中强地震皆发生于该断裂新津以南段。考虑到该断裂以新津为界晚第四纪以来活动地貌表现及深部构造背景上的差异，可以将该断裂以此为界分为南北两段。

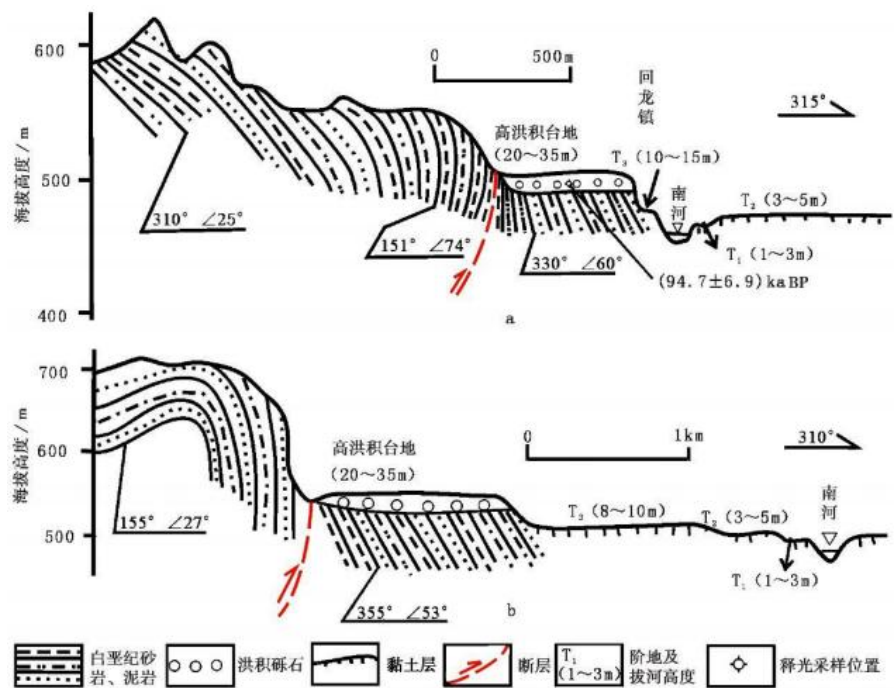


图 2.4-13 受断裂控制的洪积台地与南河阶地的关系（据郑文俊等，2008）

蒲江-邛崃一带的回龙镇南河发育明显不对称的阶地，其向 NE 在新津汇入岷江，该河流北岸发育有较窄的 I 级阶地和宽广的 II 级阶地，而南岸（近断层侧）仅在局部保留有少量不连续的 I、II 级阶地，发育有较窄的 III 级阶地，其再高一个台面就是受断层控制的洪积台地，而在蒲江一带，河流阶地发育于河的南岸（图 2.4-13b），且 III 级阶地较为宽广，由于该河流阶地地面上均为近距离搬运的红色砂质粘土，或是基岩直接出露地表，我们把它与岷江阶地进行对比，根据高玄余等（2008）在成都对岷江不同阶地的测年结果，岷江 T3 阶地的形成年代在 30000-50000a BP。T4 阶地的形成年代为 50000-60000a BP，根据类比，南河作为岷江的一级支流，其阶地的形成与岷江阶地同步或是稍晚。

邛崃迴龙附近，侏罗系蓬莱镇组逆掩于第四纪中更新世砾石层之上。被断错的砾石层底面垂直断距达 10m，如果它们是晚更新世以来断层错动的累积结果，那么据此估计断层的垂直滑动速率为 0.1mm/a。

凤凰山处，蒲江—新津断裂旁侧的次级断裂已经错切了晚更新统沉积物。另外，在该处布设反射波法地震勘探线表明该地区主干断裂的水平间宽度约为 4-12m，垂直位错约 5-10m，断层线向 SE 倾且倾角较缓，属逆断层。断裂下盘在向东俯冲的过程中，其上盘逐渐向上隆起形成了凤凰山台地。主干断裂在向东俯冲的过程中切错了晚更新世沉积物，具有明显的第四纪活动性。同时次级断裂数目较多，但规模小且主要位于台地一侧，在一定程度上也切错了晚更新世沉积地层。

因此，蒲江-新津断裂是一条晚更新世活动断裂。

2.4.5 苏码头断裂 (F5)

苏码头断裂主要发育于苏码头背斜北西翼，北起高店子北东，向南东经倒石桥西、香炉山、苏码头东，至黄龙溪北林家沟、杨家沟一带消失，全长约 37km。断裂走向北 25-40°东，断面倾向南东，倾角在 20-45°之间，显示明显的压性特征，断裂带由数条次级断裂近于平行展布或斜列而成。

沿苏码头断裂未见中强地震记录，小震活动也很微弱，断裂展布区域最大地震为 1967 年仁寿大林场 5.5 级地震，发生在苏码头断裂南缘的龙泉山西坡断裂。总之，苏码头断裂上未见中强地震的记载，小震活动也很微弱。因此，该断裂为中更新世活动断裂。

2.4.6 德阳东断裂 (F6)

德阳东断裂发育于德阳市绵远河以东，总体走向 N5°~10° W，倾向 NE，总体长度约 30km，沿盆地边缘发育。

在八角井镇荣华桥附近，见该断裂露头（图 2.4-14），断裂发育于白垩系下统古店组钙质细砂岩、粉砂岩内部，断层破碎带可见宽度最宽约 2m，由角砾岩、碎裂岩等组成，取破碎带内物质，经 ESR 法测龄，年龄值为 $176000 \pm 15000a$ 。

通过野外实地考察和航卫片判译，该断裂在通过绵远河阶地时未见阶地面的明显

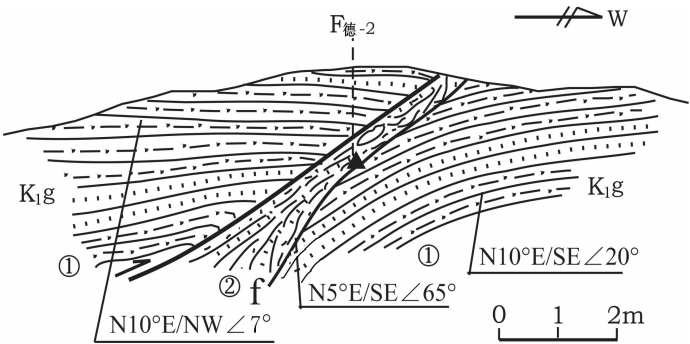


图 2.4-14 荣华桥东德阳东断裂剖面

①白垩系下统古店组钙质细砂岩、粉砂岩；②断层破碎

变形现象，不具备晚第四纪以来的活动性，综合判定该断裂为中更新世活动断裂。

2.4.7 龙泉山断裂带（F7）

龙泉山断裂带位于成都第四纪前陆盆地的前陆隆起，严格地限制了成都平原第四系沉积的东界，其形成历史可追溯到晚侏罗纪一早白垩纪（李勇等，1995），是龙门山冲断作用的弹性响应。由龙泉山西坡断裂和东坡断裂相向对倾组成，与龙泉山背斜的形成过程具有密切的成因联系。

龙泉山西坡断裂是成都平原的东边界，为龙泉山断裂带的主要分支，主要由草山断裂、金鸡寺断裂、龙泉驿断裂、镇阳场断裂、新桥镇断裂组成，北起中江黄家坳、经金堂、龙泉驿、三星场、籍田县，南到乐山市新桥镇附近，长约 200km。

龙泉驿区柏合镇附近布设排钻（图 2.4-15），通过对钻孔揭露地层进行综合对比，可知钻孔 2#、3#、4# 直接揭露断层，底界分别为 9.6-10.6m、8.2-9.0m、5.9-6.4m，发育砖红色、灰红色断层角砾，呈碎裂状或构造透镜体状。通过钻孔揭露，可见断层面缓倾，倾角 20-30°，在钻孔 4# 之后倾角变陡，约 30-45°，钻孔 5# 号未揭露断层，依据钻孔 5# 号和钻孔 4# 号之间的标志层位和地表地形反应，推测断面终止于两个钻孔之间，断层将层⑥断错约 0.4m，层④、层⑤断错约 0.1m，止于层③，且未切穿地表的全新统地层。

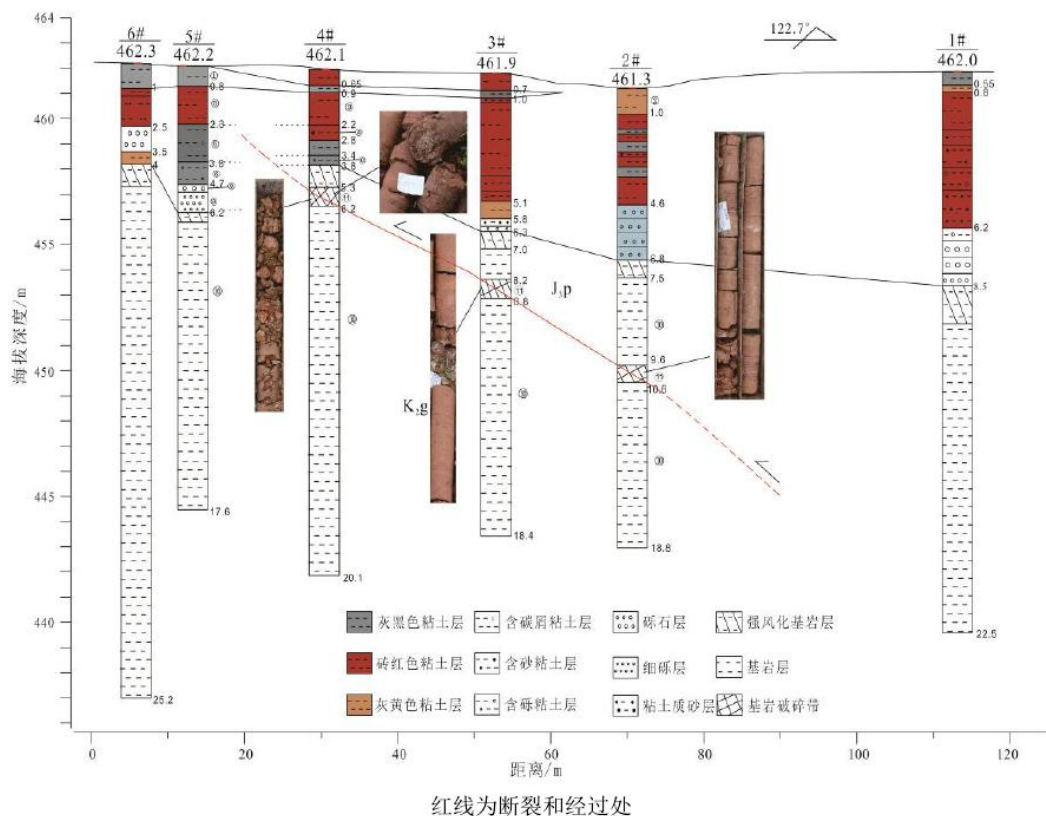


图 2.4-15 龙泉驿区柏合镇联合钻孔剖面 (据四川省地震局, 2017)

龙泉山东坡断裂龙泉山东坡断裂北起中江杰兴场，经金堂淮口、久隆、文公场、仁寿至童家场，全长约 160km 左右。出露于龙泉山大背斜之东翼，由合兴场断层、红花塘断层、久隆场断层、尖尖山断层、马鞍山断层、文公场断层、仁寿断层组成。这些断层的性质相同，规模大致相当，在平面上呈斜列式展布，总体走向呈 $N10^{\circ}-30^{\circ}E$ 方向延伸，倾向与龙泉山西坡断裂相反。根据鸡屎树和丹景乡等地的热释光年龄结果限定主要活动时代为中更新世。

综上所述，龙泉山西坡断裂为晚更新世活动断裂，东坡断裂为中更新世活动断裂。该断裂带上曾发生过的 1967 年仁寿大林场 5.5 级地震和 2020 年青白江 5.1 级地震，与深部背斜核部盲冲断裂有关。

2.4.8 鲜水河断裂 (F8)

北西起于甘孜西北，向南东经炉霍、道孚、乾宁、康定、泸定磨西，至石棉新民以南活动形迹逐渐减弱，最终消失于石棉公益海附近。断裂走向在康定木格措以西为 $N40^{\circ}-50^{\circ}W$ ，过木格措后断裂走向向南逐渐偏转呈 $N20^{\circ}-30^{\circ}W$ ，全长约 400km。晚新生代以来，鲜水河断裂表现出强烈的左旋走滑运动，是松潘—甘孜造山带内部一条大型走滑断裂，横切了松潘—甘孜造山带的主体，系造山运动后期陆内变形的产物。

(许志琴等, 1992), 晚新生代以来的位移总规模在 60km 左右(Wang E.等, 1998)。

综合研究结果表明, 鲜水河断裂全新世以来的活动以惠远寺拉分盆地为界可分为两段: 北西段长约 200km, 由一条单一的主干断裂组成, 由北西向南东由炉霍段、道孚段和乾宁段呈左阶羽列而成。鲜水河断裂北西断与南东段以惠远寺盆地为界, 盆地呈直角三角形, 其南边界被中古断裂所控制, 该断裂为一条全新世活动断裂, 向东止于雅拉河断裂北端。鲜水河断裂南东段几何结构复杂, 惠远寺以南断裂自东向西分叉为三个次级段: 雅拉河断裂、色拉哈断裂和折多塘断裂, 康定以南为鲜水河断裂磨西段, 断裂又呈单一的主干断裂延伸, 至石棉县以南活动行迹逐渐减弱, 止于石棉公益海一带。

沿鲜水河断裂带断错地貌清晰, 形成一系列最新的断错陡坎、坡中槽、地裂缝、断塞塘等构造地貌现象(图 2.4-16)。另外, 北西段强震活动多次历史强震, 如 1816 年 7 $\frac{1}{2}$ 级、1973 年炉霍 7.6 级、1904 年道孚 7 级、1955 年康定 7 $\frac{1}{2}$ 级地震, 沿断裂局部地段可见地震地表破裂遗迹(图 2.4-17)。

南西段断裂发育多条分支: 雅拉河断裂、色拉哈断裂和折多塘断裂。在康定以南又表现为单一断层: 磨西断裂。沿线也发育多种构造地貌现象, 显示全新世活动迹象。

但是总体上, 北西段活动速率高, 平均水平滑动速率在 10~15mm/a 或 17 ± 3 mm/a(钱洪等, 1988; 闻学泽等, 1989; Allen 等, 1991; 陈桂华, 2006; 易桂喜等, 2015)。炉霍段、道孚段和乾宁段 3 各个次级断裂晚第四纪以来滑动速率分别为: 炉霍段左旋走滑速率约 13-17mm/a (钱洪, 1988; 邓天岗等, 1989; 李天昭等, 1977); 道孚段左旋走滑速率约 10-12mm/a (邓天岗等, 1989; Zhao et al., 1990; 李天昭等, 1997); 乾宁段左旋走滑速率约 10-20mm/a (闻学泽等, 1988; Allen et al., 1991; 李天昭等, 1997; 陈桂华, 2006)。南东段, 三个次级断裂晚第四纪以来滑动速率分别为: 雅拉河段左旋走滑速率约 1-2mm/a (闻学泽等, 1989; 周荣军等, 2001; 陈桂华, 2006); 色拉哈段左旋走滑速率约 5-8mm/a (Zhao et al., 1990; 李天昭等, 1997; 陈桂华, 2006); 折多塘左旋走滑速率约 3.6-8.5mm/a (李天昭等, 1997; 周荣军等, 2001; 陈桂华, 2006) 有学者认为三条断层滑动速率之和在 10mm/a 左右(Zhou R.等, 2000; 周荣军等, 2001), 康定以南断层又呈一条单一的主干断层延伸, 滑动速率值亦在 6~10mm/a 左右 (Zhou R.等, 2000; 闻学泽等, 2001; 徐锡伟等, 2003; 陈桂华, 2006)。

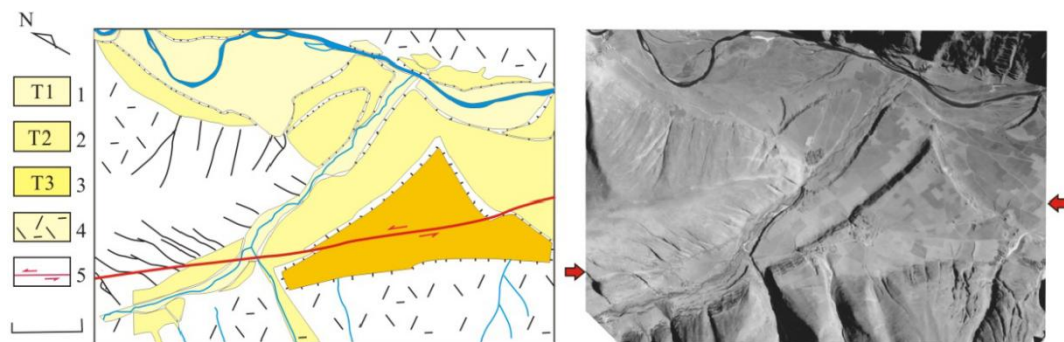


图2.4-16 鲜水河北西段卡苏观察点断错地貌图（据安艳芬，2010）

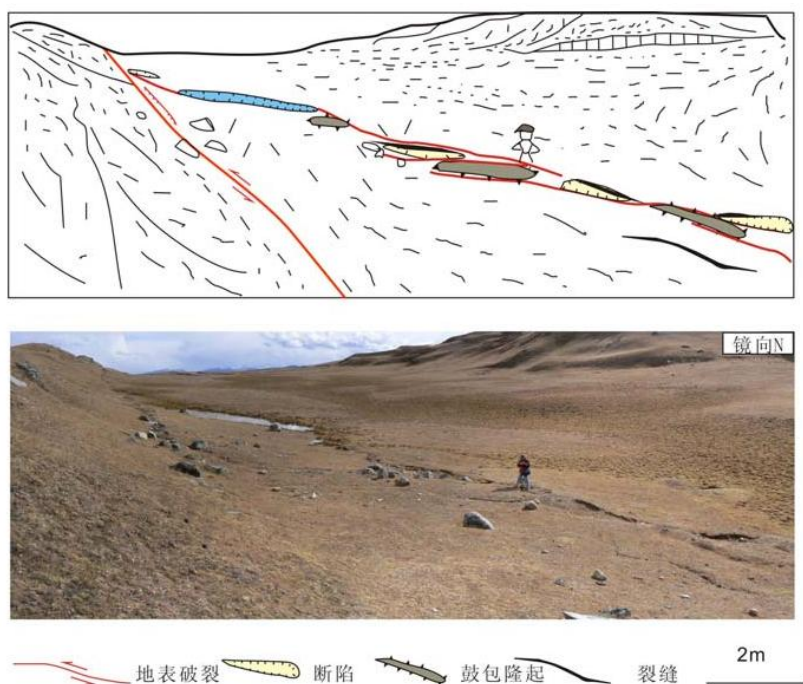


图 2.4-17 1736 年炉霍地震地表破裂尤斯观察点（据安艳芬，2010）

前人沿鲜水河断裂各个断裂开展的古地震工作显示，断裂带大地震活动行为并不遵循周期性或者准周期性，主要遵循丛集行为，甚至出现类似脉冲式的应变加速释放的特征（梁明剑，2019）。

因此，鲜水河断裂带为一条全新世活动断裂。史料记载以来，鲜水河断裂共发生过 8 次 7 级以上地震和多次 6.0~6.9 级地震，显示出强烈的近代活动性。

2.4.9 锦屏山断裂（F9）

该构造带包括了金河-箐河前缘冲断带，小金河主冲断带和玉农希后缘冲断带等，平面上呈向北东聚敛，南西撒开，弧顶向南东的帚状。该构造带主要形成于印支期，显示优势的由北向南推覆逆掩运动。新生代以来，锦屏山构造带仍然由北北西向南南

东方向推覆，箐河冷山等地多处可见古生界逆冲于第三系之上（潘桂棠等，1990），在地貌上形成显著的地形反差。特别是持续的推挤作用致使金河-箐河冲断带前缘翘起，在重力作用下其后缘产生横向张裂下陷，形成盐源盆地，堆积了厚达 2000m 的古近纪冲、洪积相-山麓相磨拉石建造，以及厚约数百米的新近纪河湖-泥炭沼泽相含煤碎屑岩建造。研究表明，锦屏山-玉龙雪山构造带北侧块体大致在中新世发生了顺时针的扭动，导致北东向的断裂具有明显的左旋走滑运动特征，如北东向的丽江断裂在宁蒗天生桥附近左旋错断了冲沟与洪积扇（向宏发等，2000），形成北东向的地震密集条带。不仅如此，该构造带北侧块体的顺时针扭动还可能是安宁河、滇西北地区产生南北向纵向张裂的重要原因，1996 年丽江地震的震源机制解及地震地表破裂均显示出南北向张性破裂的特点（苏有锦等，1997；张建国等，1997）。

在冕宁县大桥镇巴甫村一带，锦屏山断裂从山坡及山前通过，由南向北横穿中江河及其支流，断裂通过处表现为断层陡坎、断错山脊等地貌。其中在中江河北岸断错地貌表现最为显著。采用无人机机载 LiDAR 航测技术获得了沿断裂的高精度 DEM，可见中江河及其支流的 T3/T2 阶地陡坎均发生左旋位错，在中江河右岸，T3/T2 阶地陡坎左旋位错量为 $68.1 \pm 2.3\text{m}$ ，在中江河左岸，T3/T2 阶地陡坎左旋位错量为 $61.5 \pm 3.1\text{m}$ ，在 T1 和 T2 阶地上的纵剖面显示，T1 阶地垂直位错约 0.8m，T2 阶地的垂直位错约 3.3m。

在巴甫村，我们在横跨断层陡坎处开挖探槽，，主要由上更新统至全新统的淤泥层、古土壤层和坡洪积相砂砾石层组成，根据地层的沉积特征、空间关系与构造变形，可识别出 2 次古地震事件（图 2.4-18）。

次新事件 E1 表现为断层 F3 的逆冲活动，F3 断层将层 U1、U2 褶皱，在 F3 断层陡坎前形成崩积楔 U14，之后堆积了 U12、U13，时间发生在 27925-27680 cal BP 至 25564-25066 cal BP 之间。

最新事件 E2 表现为断层 F2 的逆冲活动，将近水平的淤泥层 U6 发生褶皱或变形，只是断层两侧该层倾角陡变，由 $8 \sim 10^\circ$ 转变为 $15 \sim 20^\circ$ ，之后堆积了层 U7~U8，地层倾角接近正常，随后又堆积了 U9~U11，此事件发生在 10150-9736 cal BP 之后。

以青纳老乡政府以西 400m 剖面所获得的 TL 测年结果和陡坎高度约 60m，估算得到断裂晚更新世以来的平均垂直滑动速率约为 $0.83 \sim 1.2\text{mm/a}$ 。坎到底剖面上 T2 阶地底部的位错量约 5.4m。在太平沟 T2 阶地 3 个 ^{14}C 样品 AM 测年结果约 9000yr BP，

以此估算获得里庄断裂晚更新世来的垂直活动速率约 0.6mm/a。

综上所述，锦屏山断裂带具有全新世活动性。

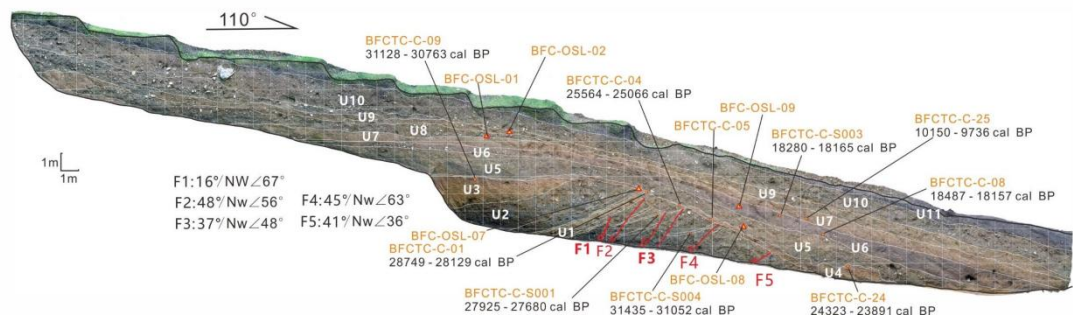


图 2.4-18 巴甫村探槽北壁剖面及测年结果（桂林理工大学，2022）

2.4.10 南河断裂（F10）

南河断裂位于川滇菱形块体东边界断裂中段的安宁河—则木河断裂以西，断裂总体走向 N30° E，断裂东北端斜交于安宁河断裂，与近 SN 走向的安宁河断裂相交形成“入”字型构造。断裂向西南延伸经安家村、河里乡、邓家堡子、核桃坪村，消失于尔马嘎村南西的山谷中，断层总体长度约 50km。断裂切错水系、洪积扇体等地貌，形成断层槽谷、凹槽、堰塞塘等断错地貌，卫星影像上具有较为明显的线性特征，为一条全新世活动断裂。

荒根地南探槽位于南河断裂北段，荒根地北探槽南约 300m。在探槽开挖点附近，南河断裂形成非常好的断层地貌，在洪积扇上形成反向陡坎。陡坎高约 1m（图 2.4-19）。



图 2.4-19 芜根地南探槽（镜向 NNE）（应急管理部国家自然灾害防治研究院，2021）

该探槽长约 15m，宽 3m，深约 2.0-2.5m。因为开挖时有大量的地下水溢出，无法继续深挖。该探槽揭示 10 条断层面。部分断层面显示出南河断裂具有明显的正断的分量。由该探槽揭示了 5 次古地震事件，断层 F1-2 断错到 U3 层下，为一次古地震事件。其上方，断层 F1-2 断错到 U3 层下，为一次古地震事件。断层 F9 断错到 U4 层顶部，为一次古地震事件。断层 F7 断错到 U5 层顶部，为一次古地震事件。

断层 F8 断错到 U6 层下，为一次古地震事件。断层 F4-6、8、10 断错到 U8、U9 层下，为一次古地震事件（图 2.4-20）。该探槽仅获取最新两次古地震的活动时代，最新一次古地震事件为 $140 \pm 30\text{aBP}$ 之前，倒数第二次古地震事件为 $2710 \pm 30\text{aBP}$ 之后。



图 2.4-20 芜根地南探槽南壁及解译图（应急管理部国家自然灾害防治研究院，2021）

根据冕宁 1:1 万城市活动断层探查项目和刘玉法（2008）古地震研究工作，南河断裂 1 万年以来至少四次古地震事件。第 1 次古地震事件位于 $9160 \pm 40 \text{aBP} \sim 8180 \pm 30 \text{aBP}$ 之间，第 2 次古地震事件位于 $5950 \pm 30 \text{aBP} \sim 5690 \pm 30 \text{aBP}$ 之间，第三次古地震事件位于 $2710 \pm 30 \text{aBP} \sim 3065 \pm 180 \text{aBP}$ 之间，第四次事件 $310 \pm 30 \text{aBP} \sim 240 \pm 30 \text{aBP}$ 之间。大地震复发间隔在 2500–3000 年之间。

因此，可见南河断裂具有明显的晚第四纪活动，具有晚更新世至全新世活动性。

2.4.11 安宁河断裂（F11）

安宁河断裂位于青藏高原东缘、横断山脉中段的东部，北接鲜水河活动断裂，南接则木河活动断裂，东邻大凉山断裂，位于康滇地轴的轴部，是川滇南北构造带的主要断裂，具有活动强度大、滑动速率高等特点，在地貌和影像上呈明显线性断层地貌特征。北起于石棉田湾附近，在田湾—新民附近与鲜水河断裂呈十分复杂的空间羽列关系，形成了密集的地表破裂图象，向南经麂子坪、紫马垮、野鸡洞、大桥、冕宁、泸沽沙尔、新华、西昌、会理一带消失，断裂总体走向近南北，全长约 375Km。根据断裂的几何结构特征、活动构造地貌的表现及其历史地震地表破裂等的差异，以西昌和冕宁为界，可将安宁河断裂分为三段：南段（西昌以南）长约 175Km，晚第四纪以来已无明显的活动性，未见明显的断错地貌现象，仅在早更新世昔格达组（ Q_{IX} ）湖相地层中发育有一些规模较小的褶皱和断层，现今地震活动较弱，尚未有 $M \geq 4.7$ 级地震的记载（唐荣昌等，1993）；中段（西昌—冕宁）长约 100Km，断错地貌清晰，常见地质、地貌体的左旋错开，晚第四纪以来的平均水平滑动速率在 5.5mm/a 左右（王新民等，1998；裴锡瑜等，1998），历史上发生过 1536 年西昌新华 7½ 级地震和 1952 年石龙 6.7 级地震。新近的古地震探槽研究结果表明，公元 624 年西昌附近的 ≥ 6 级地震亦可能发生在该断裂段上（周荣军等，2000）；北段（冕宁以北）仍表现出比较明显的全新世活动性，在石棉田湾、麂子坪、紫马垮、野鸡洞、大桥等地均可见到明显的断错地貌现象，平均水平滑动速率在 4.5~5.0mm/a 之间（闻学泽等，2000；周荣军等，2001）。

在石棉县南紫马跨村，在紫马跨村北部约 1 km 处，发育有 3 级地貌面：T3 为晚更新世冰水堆积台地，堆积物直径差异大，无分选性和磨圆度，形成时代为晚更新世，大约与安宁河 II 级阶地形成时代（30—46 ka）相当（程建武，董治平，2009）；T2 台

地为冲沟阶地，堆积物有分选性和磨圆度，形成时代大致与安宁河 II 级阶地相同（16—26 ka）；T1 为全新世冲洪积扇，发育有次级冲沟阶地，断层通过时，同时切割了 3 级台地面，形成了断塞塘、断层陡坎和槽谷地貌，断层的形迹较为清楚，形成时代与安宁河 I 级阶地的形成时代（4.1~10.3ka）相当。闻学泽等（2000）用流动 GPS 测量了 T3 级台面上陡坎（29° 00′ 30.03″ N，102° 16′ 50.8″ E）剖面，结果表明，该断层坎为复合陡坎，是晚更新世以来断层多期次活动的综合结果。陡坎总高度为 8.3m，其中 h1 为新生陡坎，h1=2.4 m，h2 为老陡坎，新陡坎的高度与附近的 T1 阶地面上的陡坎高度 h=2.3m 相近，由此可以推断出台面上的新陡坎 h1 是全新世以来的断层活动形成的，并在 T1 台面亦有相同的记录。

冉勇康等（2008）在冲沟侧面开挖了探槽 Z_{mtcl}（图 2.4-21），取碳测年样品，测年结果分别为：Z_{mtcl} 距今 1349~1634（1492±142）a，Z_{mtcl-2} 距今 1811~1921（1870±60）a，Z_{mtcl-6} 距今 1053~1172（1113±63）a 和 Z_{mtcl-7}（5.3±0.4）ka（由于该值明显比其它 3 个 ¹⁴C 样品的测年值偏老，不确定性较大）。

综上所述，可以得出紫马跨村附近断层活动的定量数据（根据野外流动 GPS 测量结果，精度在 0.2m 左右）。自距今 30~46ka 以来，T3 级台面断层陡坎高度为 8.2m，因此断层垂直滑动平均速率为 0.27~0.18mm/a；距今 16~26ka 以来，T2 台地面水平位错量为 40m，因此水平滑动平均速率为 1.54~2.50mm/a；距今 4.1~10.3ka 以来，T1 级台面断层陡坎高度是 2.4m，因此断层垂直滑动平均速率为：0.59~0.23mm/a；阶地坎被断层水平错断 10.5m，如果 T1 阶地面形成后就被累积断层错断位移量，则断层的最小水平滑动速率为 1.02~2.56mm/a；如按照探槽揭露的 3 次事件的位移量来计算，即 1.7ka 以来位移量为 10.5m，则最大水平滑动速率为 6.17mm/a。

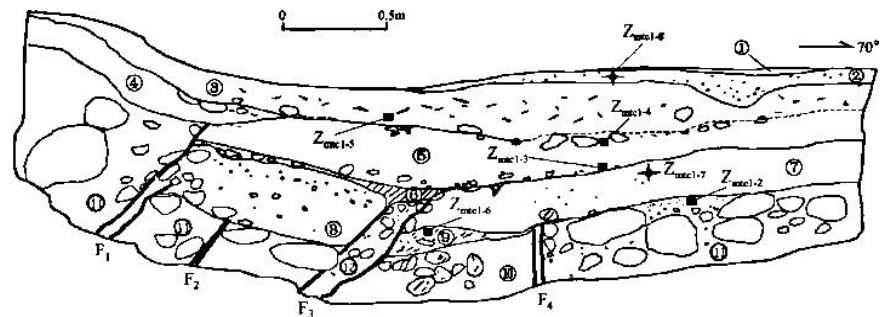


图 2.4-21 紫马跨村跨断层探槽揭露断层剖面（冉永康等，2008）

在安宁河断裂带南段冕宁县南高窑村附近，断层形迹清楚，主要表现为断层陡坎、断塞塘等断层微地貌（图 2.4-22a）。冉勇康等（2008）在断层陡坎附近开挖了探槽

($28^{\circ} 30' 32.5''\text{N}$, $102.11' 51.7''\text{E}$)、剖面中显示断层已经错断了地表，仅上覆表土层未错断，这揭示断层最后一次活动为 1850 年西昌 7.5 级以上的地震。图 a-1 给出了冕宁帽合山一带安宁河断裂典型的地貌特征，主要为断层槽谷、断塞塘等地貌，图中 F 示意断层位置，图 2.4-22a-2 为冕宁帽合山附近安宁河断裂带的断层综合剖面，断层东盘为西格达组湖湘地层，西盘为花岗岩，二者接触带为断层通过位置，断层产状近直立，但该观测点未取得较为理想的定量数据。

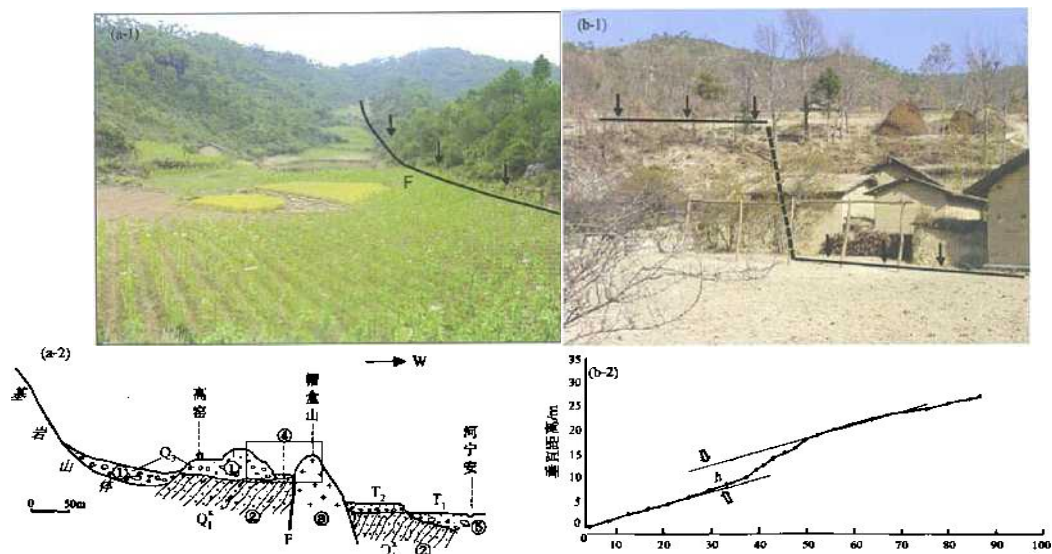


图 2.4-22 安宁河断裂带南段活动断层位错地貌(a)和陡坎测量结果(b) (据冉永康等, 2008)
(a-1)冕宁南帽合山附近地貌; (a-2)冕宁帽合山附近安宁河断裂带综合剖面图; (b-1)泸沽镇沙尔村断层地貌; (b-2)冕宁泸沽镇沙尔村断层陡坎测量剖面

在泸沽镇南的沙尔村发育有全新世洪积扇 ($28^{\circ} 15' 29.6''\text{N}$, $102^{\circ} 11' 42.8''\text{E}$)。断层通过该洪积扇时，洪积扇面被错断形成了断层陡坎 (图 2.4-22b-1)，在野外利用皮尺和罗盘对该陡坎进行了测量，陡坎剖面图 (图 2.4-22b-2) 显示，断层陡坎高度 $A=7.5\text{ m}$ 现有研究表明全新世洪积扇形成时代在 $4.1-10.3\text{ka}$ ，由此推断出全新世以来断裂带的垂直滑动平均速率为 $1.8\sim 0.73\text{ mm/a}$ ，该点附近的水系已被断层左旋错断，由于被错地貌面的时代难以确定，很难得到断层水平滑动速率 (王新民等, 1998)。在泸沽镇附近，裴锡瑜等 (1998) 根据断层水平错距和地貌面年龄得出南段水平滑动速率为 5.4 mm/a 。

该断裂段除 1913 年发生过 1 次小盐井 6.0 级地震外，无更大震级的历史地震记载，但探槽业已揭示出多次古地震事件，其最晚一次古地震事件有可能是公元 1480 年 (闻学泽等, 2000) 地震的地质记录 (周荣军等, 2001)，震级在 7.5 级左右。

安宁河断裂是一条断面近于直立的深大断裂，是古地理分界带、岩浆活动带、地

球物理异常带。从运动性质上，它是一条具有明显差异活动的剪切走滑带；从活动时代上，断裂中段是一条全新世活动的地震构造带，南段则属中更新世活动。

2.4.12 则木河断裂 (F12)

则木河断裂带古生代业已形成，普格以南发育在下古生代地层，普格以北在中生带地层中形成，表明该断裂自巧家向北西向逐渐形成(唐荣昌等，1986)。该断裂自形成以来经历过多期构造运动，中生代时期构造活动影响两侧的岩相和古地理环境，西侧出露震旦系、寒武系和奥陶系地层，而东侧出露志留系、二叠系和峨眉山玄武岩，断裂带为中生代陆相红层厚度变化较大。则木河断裂在西昌北与安宁河断裂相连，共同构成了川滇块体的一部，断裂通过普格、宁南、巧家一带，全长约 120km (图 2.4-23a)。则木河断裂在晚更新世-全新世以来具有强烈的断裂新活动性，控制了邛海盆地的西南缘，是一条全新世逆走滑断层。断裂带上还发育有一系列比较典型的走滑断裂型断错地貌，如冲积扇位错、冲沟位错、断塞塘、挤压鼓包等，大箐梁子段地表变形现象保存较好，最为典型的地貌为七条断头沟 (图 2.4-23b)。He. Etal(2003)通过航片解译、实地测量等手段建立了 7 条断头沟与古地震事件响应的演化模型，认为断头沟是由于则木河断裂多期次的古地震事件导致老的河道被废弃，多次的古地震之后形成了如今的多条断头沟地貌。

王虎等 (2011) 发现该处有 3 个 1850 年地震同震位移变形迹象，其中一处由于断层分为两支，两支分支断层的同震左旋位错量分别为 (1.2 ± 0.1) m 和 (3.3 ± 0.2) m (图 2.4-24a)。往南约 100m，只有单条断层展布，见两个小冲沟被断层分别同震位错 (4.2 ± 0.3) m 和 (3.8 ± 0.2) m (图 2.4-24a)。由此可判断大箐梁子地点公元 1850 年地震同震位移量为 (4.2 ± 0.5) m。

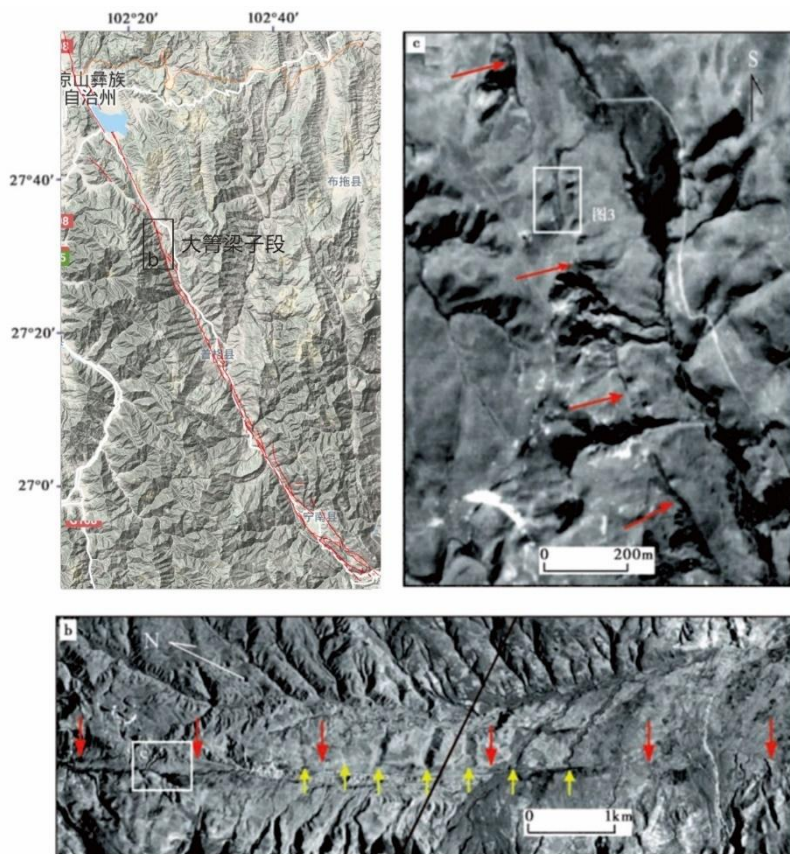


图 2.4-23 则木河断裂带展布与大箐梁子段航片图 (He et al., 2003)

a 则木河断裂分布图，黑框示意大箐梁子段，对应图 b，断层分布引自田勤俭等 (2008)；b 大箐梁子段航片，红色箭头指示断层位置，黄色箭头指示 7 条断头沟位置，白框对应图 c；c 白框为大箐梁子探槽开挖位置，红色箭头指示断层位置

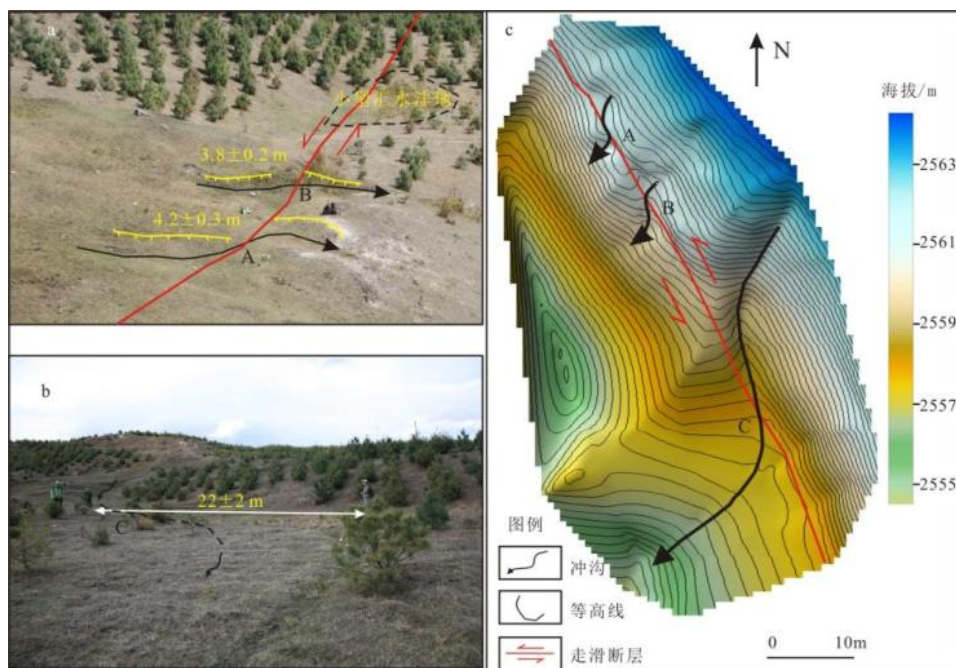


图 2.4-24 则木河断裂带大箐梁子段地震破裂遗迹 (王虎等, 2012)

a 现代两个小冲沟被 1850 年地震分别左旋同震水平位错约 4.2 ± 0.3 m 和 3.8 ± 0.2 m，图内黑色虚线所示区域是由图 b 所示的小冲沟累积位错形成的局部小型汇水洼地，镜向南；b 一条小冲沟被累积水平左旋位错约 22 ± 2 m，镜向东；c 该局部地表变形实测图

则木河断裂历史上曾多次发生强烈地震，分别是：814 年西昌 7 级地震，1489 年西昌 6¼ 级地震，1732 年西昌南东 6¼ 级地震和 1850 年西昌、普格间 7½ 级地震，其中以 1850 年西昌、普格间 7½ 级地震为最大，该次地震形成了长达 80~90km 的地震裂缝。因此，综合分析则木河断裂为全新世活动断裂。

2.4.13 黑水河-越西河断裂（F13）

黑水河-越西河断裂是沿川滇菱形块体东缘展布、近南北走向的逆冲断裂，大致沿越西河、黑水河展布。断裂北端于镇西斜接大凉山断裂北段，向南经越西、巴久、西罗，至宁南斜接于则木河断裂南段，总长约 200km。该断裂位于安宁河断裂与大凉山断裂之间，三条断裂大致平行，北接鲜水河断裂、南连小江断裂，共同构成了川滇菱形块体东缘边界断裂带。

黑水河-越西河断裂在影像上线性特征明显，野外调查表明黑水河-越西河断裂活动以逆冲活动为主，沿断裂保留断层陡坎、线性脊、冲沟位错等新构造活动遗迹。

在于基罗莫-拉溪日木一带，黑水河断裂中段从山坡及山前通过，由西支和东支两支断裂构成，可见断层陡坎、断层槽谷、断错山脊和水系。其中在洒拉地坡乡上游村一带断裂东支地貌表现最为显著。黑水河在该处发育保存很好的 T1 阶地，是现代的主要居住地，在山前则堆积大量冲洪积物质，形成洪积扇覆盖于阶地之上。黑水河支流在上游村附近发育三级阶地，其中 t2 阶地受到侵蚀和人工改造严重，只在东岸有所残留，拔河高度近 7m。t1 阶地拔河高度近 4m，是现代主要耕地。在山前广泛发育两级洪积扇，断裂从第二级洪积扇切过，形成高 0.4-1.2m 的断层陡坎，陡坎延伸长度超过 1 km。采用无人机航测技术获得了线性陡坎沿线的正射影像与高精度 DEM，可见自西向东的两条冲沟，斜穿断裂带发生转弯，在断层逆冲缩短作用下，表现为右旋视位移效应，位错量都在 12m 左右。在扇间洼地处形成的断层陡坎处开挖探槽，揭示了洪积扇上断层逆冲褶皱现象（图 2.4-25，图 2.4-26）。

通过上游村附近探槽开挖揭示出的地层变形证据，认为坎前洼地内断层主要分为东西两支，西支（FW）以逆冲为主，东支断层（FE）左旋走滑为主。基于两支断层的变形作用、地层的沉积特征、空间关系与构造变形，可识别出全新世以来距今 8510±30a 的 4 次古地震事件，地震平均复发间隔约为 2130 年，其中最新事件应为 1489 年西昌-越西地震。依据变形层位从老至新分别命名为 E1、E2、E3、E4。对于这些古地

震事件识别的具体标志主要为：西支断层逆冲断错地层后形成崩积楔和楔形的坎前堆积层以及地层掀斜等，东支断层导致的地层断错及覆盖、形成生长地层等。

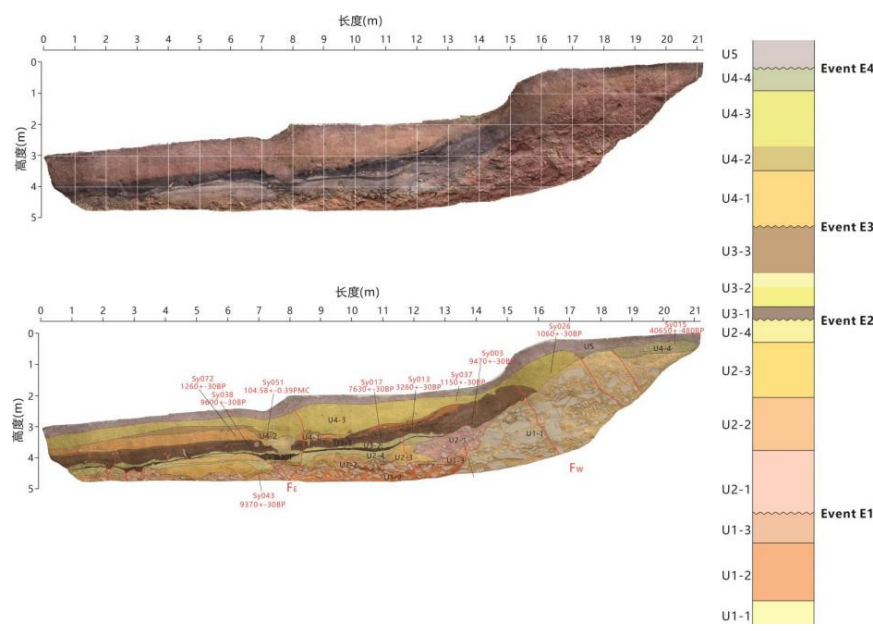


图 2.4-15 上游村南壁探槽剖面及解译图（应急管理部国家自然灾害防治研究院，2021）

事件 E1 表现为西支断层活动形成陡坎，陡坎前形成崩积楔 U2-1，之后堆积了漫洪相 U2-2 至 U2-4。探槽北壁 U2-3 炭屑年龄可作为事件 E1 的上限，发生在距今 $8510 \pm 30a$ 之前；

事件 E2 表现为东支断层活动，断错层 U2-4，该次揭露的事件导致断层地貌堵水形成了黑色的生长地层-淤泥层 U3-1。探槽北壁 U3-1 炭屑年龄可作为事件 E2 的上限，发生在距今 $7630 \pm 30a$ 之前；

事件 E3 表现为地层 U3-3 在西支断层处突然掀斜增厚，层内亚层受到牵引弯曲，U2-4 至 U3-2 发生明显褶皱变形，且在远离断层后，由于震动形成较多裂缝被上覆地层充填，在 U1-1 可见明显砾石定向排列；东支断层活动使 U3-3 发生断错，形成近 10 cm 的小陡坎。探槽北壁 U3-3 炭屑年龄可作为事件 E3 的下限，U4-1 炭屑年龄可作为事件 E3 上限，发生在距今 $3260 \pm 30a$ 之后， $1260 \pm 30a$ 之前；

事件 E4 表现为 U4-3 在近西支断层处发生明显掀斜增厚，在 U1-1 可见明显砾石定向排列，断层逆冲作用形成近 1.5m 的陡坎，东支断层活动形成近 50 cm 的小陡坎。探槽北壁 U4-3 炭屑年龄可作为事件 E4 的上限，发生在距今 $1060 \pm 30a$ 之后。

遥感解译和实地踏勘发现巴久河在该处发育四级地貌面，其中 T1、T2 两级阶地遭受侵蚀和人工改造严重。T1 阶地拔河高度 $\sim 6m$ ，T2 阶地拔河高度 $\sim 14m$ 、T3 阶地拔

河高度~29m。巴久河支流在该处发育三级阶，其中 t1、t2 两级阶地遭受侵蚀和人工改造严重，在河口处形成现代洪积扇。断裂从巴久河阶地面上切过，造成系列阶地左旋位错，T2 阶地后缘、T3 阶地后缘水平位错量依次为~11m、~29m（图 2.4-26）。

因此，黑水河-越西河断裂为全新世活动断裂。断裂沿线地震记录较少，据应急管理部国家自然灾害防治研究院（2021）核实 1489 年西昌越西地震极震区位于黑水河—越西河断裂中段，震级为 7 或 7¼。

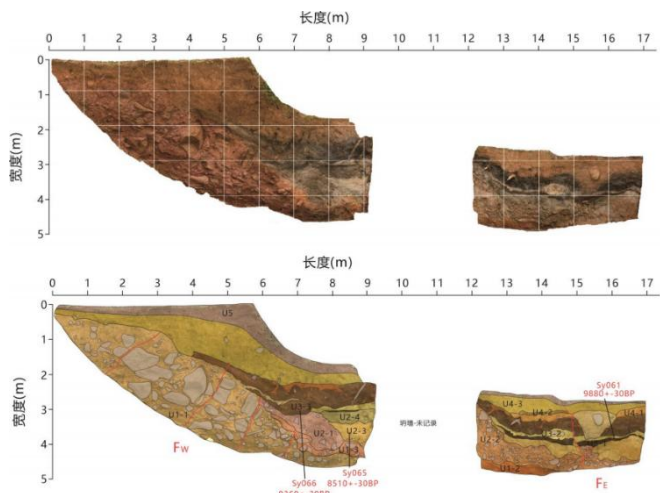


图 2.4-26 上游村北壁探槽剖面及解译图（应急管理部国家自然灾害防治研究院，2021）

2.4.14 大凉山断裂（F14）

大凉山断裂展布于安宁河、则木河断裂东侧的大凉山腹地。北起于石棉，与鲜水河断裂呈左阶羽列，向南经海棠、越西、普雄、昭觉竹核、拖都、布拖、吉夫拉打、交际河至巧家与小江断裂呈右阶羽列，全长约 280km。断裂总体走向为 N30° W 至近 NS，倾向不定，倾角较陡，显示明显的左旋走滑运动特征。

大凉山断裂是在原基岩断裂带的基础上发生和发展起来的一条全新世活动断裂。基岩断裂破碎带宽约数十米~百余米不等，主要由构造角砾岩、糜棱岩等组成，显示明显的压性特征。断裂的新活动形迹在平面上主要由海棠-越西断裂、普雄河断裂、布拖断裂及交际河断裂等四条次级断裂呈左阶或右阶羽列组合而成，控制了断裂带上第四纪盆地的形成与发展。

研究表明，大凉山断裂的四条次级断裂均存在明显断错地貌现象，晚更新世晚期-全新世以来的平均水平滑动速率介于 2.6~3.9mm/a 之间，平均值约为 3mm/a（周荣军等，2003）。需要指出的是，这四条次级断层均间隔以较大尺度的羽列区，

其中海棠-越西断裂和普雄河断裂的左阶羽列距为 4km 左右；普雄河断裂与布拖断裂的右阶羽列距达 20km；布拖断裂与交际河断裂的右阶羽列距为 6km。因此这四条断裂均有可能为独立的破裂单元。

在石龙村-回隆村，断层切入突出的基岩山中，在不同地方发育槽谷、断层垭口和反向坎等断层地貌，形成了一条约 2.5km 长，数百米宽的断层槽谷地形，槽谷宽约 400m，槽谷两侧山坡上的基岩风化物在槽谷内堆积形成了第四系并被开垦为耕地，使断层活动的痕迹被严重改造。在回隆村处还可见断层垭口和发现陡坎现象，陡坎高达 10m 多。在黑林子，南垭河的一条支流发生近于直角的拐弯，并将带来的碎屑物质堆积成台地，断层的活动在台地上留下了一个小型断层槽谷。跨黑林子断层槽谷开挖了一个探槽，探槽揭示出了 4 条断层，其分布形态显示为典型的走滑断层花状构造。根据断层切错地层和各地层断代结果，显示断层在 17.4 ± 1.2 - 50.3 ± 5.7 ka BP 期间发生过 2 次断错事件，分别发生在 17.4 ± 1.2 - >30 ka BP 和 30 - 50.3 ± 5.7 ka BP（图 2.4-27）。

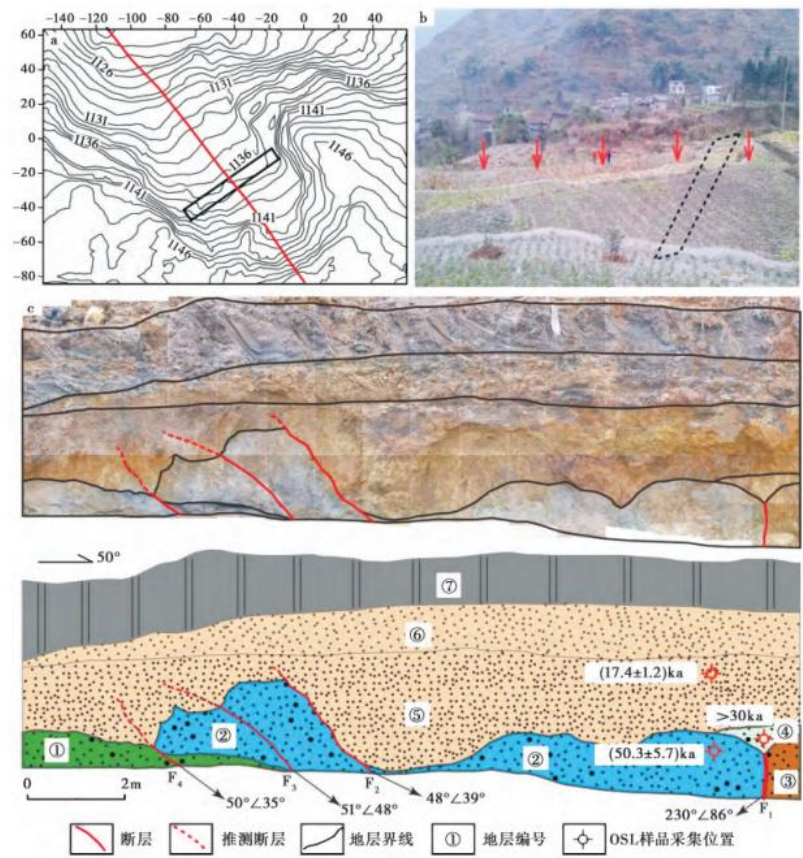


图 2.4-27 黑林子地形地貌及探槽剖面（据孙浩越等，2015）

有史料记载以来，大凉山断裂上迄今尚未有 6 级以上强震发生，但探槽业已证实该断裂发生过史前强震。相对较长的强震复发间隔及历史地震的漏记有可能是该断裂

上无强震记载的主要原因。

因此，综合分析判断大凉山断裂是一条全新世活动的断裂。

2.4.15 保新厂—凰仪断裂 (F15)

该断裂属于区域性断裂构造，位于金坪断裂的东侧，大致平行于金坪断裂展布。断裂北西起于石杠子沟北，向南东经赤竹坪、保新厂、凰仪，止于轿顶山北，断裂总体走向 $N40^{\circ}W$ ，中部于凰仪附近向东突出呈弧形，倾向 SW ，倾角在 70° 以上，属一条高角度的逆冲断层。断裂总长度约 100km ，主要断于古生代地层中、晋宁期钾长花岗岩与古生代、中生代地层之间。

在新庙附近，见断裂发育于晋宁期钾长花岗岩与三叠系上统须家河组(T_3X)煤系地层之间(图 2.4-28)。于断层带附近与主断层平行的次级断层上取方解石测龄样品，经热释光法测定结果为 $463000 \pm$

56000 年。另在断裂北西段陈香岩附近，断层破碎带中取断

层泥物质经 SEM 特征分析，断裂主要活动期在中更新世末期，粘滑运动方式。

上述资料表明，保新厂-凰仪断裂为中更新世活动断裂。沿断裂地震活动微弱，至今尚无破坏性地震发生的记载。

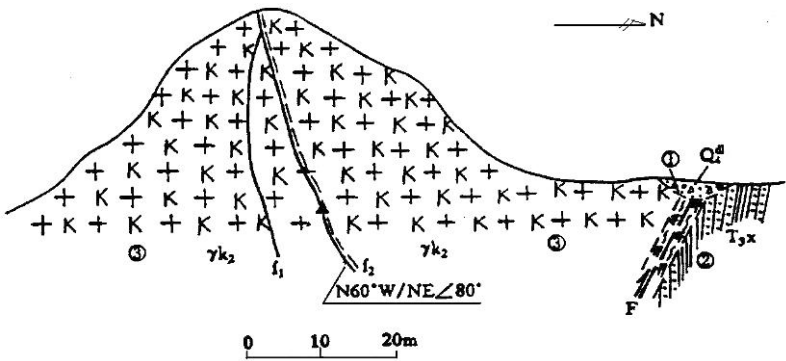


图 2.4-28 新庙保新厂-凰仪断裂剖面图

①全新统坡积层；②三叠系上统须家河组煤系地层；③晋宁期钾长花岗岩；▲：测龄样品采集位置

2.4.16 甘洛-竹核断裂 (F16)

断裂北起于汉源附近，向南延伸经尔合乡、布区洛，于则觉、竹核间、茂竹与莲峰断裂相交，全长约 230km 。断裂总体走向近 NS ，断面倾向东，倾角在 60° 左右，为高角度逆冲断裂性质。在热口北，见二叠纪玄武岩逆冲在中、下侏罗纪紫红色砂、泥岩之上。断裂破碎带宽约 20m ，主要构造角砾岩、碎裂岩及糜棱岩等组成，压性特征。主断面产状为走向 10° ，倾向 NE ，倾角 70° 。在主断面取断层泥经 TL 法测定的年龄值为 $208 \pm 14.0\text{ka}$ ，为中更新世断裂。

2.4.17 峨边-金阳断裂 (F17)

断裂北起峨边北，经马边烟峰西、山棱岗、西苏角、抓抓岩、抵金沙江边，南截于莲峰断裂，总长 190km。断裂总体走向近南北、倾向西，倾角一般为 50° 以上，为逆冲性质，断裂带宽度达数十米。断裂带两盘古剥夷面有西高东低的落差，地形上显示为阶梯，可能是新近纪末、第四纪早期断裂活动的结果。山棱岗一段断裂从山顶处通过，地貌上无第四纪晚期活动表现，断层泥中石英碎砾的显微形貌分析结果，断层最新活动时代为上新世至中更新世。马边河 I 至 III 级阶地跨断裂带没有明显落差，表明断裂在 $141.1 \pm 11.1\text{ka}$ 以来没有强烈活动，属于早-中更新世断裂。

2.4.18 荣经-马边-盐津断裂带 (F18)

该断裂带位于四川盆地西南缘，是凉山活动断块的东边界。北起天全以南，向南经荣经、峨边、马边至云南盐津北，全长 250 余千米。由 9 条规模不等的断裂组成一条宽 25—30km 的北北西向断裂带，

总体走向北 25° — 30° 西。断裂带在活动时代、活动强度上具有明显的北老南新、北弱南强的特点。北段（马边以北）断裂组合形式单一，地质上主要活动期在晚更新世以前，如天全—荣经断裂和峨边—烟峰断裂的热释光年龄值分别为 46 万年和 27 万年左右。北段仅利店断裂活动性稍强，在断面上取断层泥或方解石脉经热释光

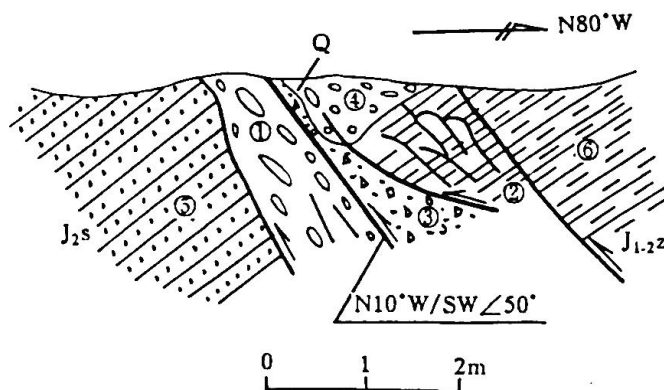


图 2.4-29 太平村南玛瑙断裂剖面图

(成都地震大队地震地质队, 1972)

①碎裂状砂岩；②碎裂状泥岩；③断层角砾岩；④第四系砂砾石；⑤侏罗系砂岩；⑥侏罗系泥岩

(TL) 法测定，其最晚一次活动时间在晚更新世早期。近年在沐川凤村至杨村一带连续发生了三次 5 级地震。本项目研究区域仅包括了荣经-马边-盐津的北西段。

南段（马边以南）断裂组合形式复杂，由北至南由靛兰坝断裂、中都断裂、玛瑙、猊子坝断裂、关村断裂及中村断裂等组成，可见到断错河流阶地及第四纪沉积物中有断层或褶皱等变形现象（图 2.4-29）（成都地震大队地震地质队，1972）。

玛瑙断裂在西宁河河床形成了 1m 高的跌水，西宁河的同一级阶地在断裂带两侧高度不一致。在沙陀与流中塘一带，沿西宁河 2km 的河段由 18 个点绘制的阶地位相

图显示，Ⅰ级阶地垂直位错 2m，Ⅱ级阶地垂直位错 7m，Ⅲ级阶地垂直位错 14m，Ⅳ级阶地垂直位错 30-42m，各级阶地年龄分别为 ($7.95 \pm 0.87\text{ka}$; $28.06 \pm 2.38\text{ka}$; $72.07 \pm 6.13\text{ka}$; $144.93 \pm 12.32\text{ka}$)，据此估计玛瑙断裂晚更新世和全新世以来的逆倾滑活动速率为 0.2-0.3mm/a (刘旭东等，2003)。

在卢家湾东侧可见靛兰坝断裂发育，断裂由南、北两条断层构造 (图 2.4-30)。北支断层发育于白垩系紫红色砂岩中，形成了 23cm 宽的红色断层泥带，平行断层面的构造劈理发育，呈现压性特征，为早期形成的逆冲断层；南支断层的下盘为白垩系紫红色砂岩，上盘为红色含砾砂质粘土，二者断层接触，后者热释光测年为 $69.52 \pm 5.91\text{ka}$ ，断层顶部被崩坡积褐色黄土状土覆盖，后者热释光测年结果为 $38.22 \pm 3.25\text{ka}$ ，据此推断，断裂的最新活动发生于晚更新世晚期。

因此，南段普遍具有较强的晚更新世活动性，且地震活跃，强震频繁，历史上曾发生过 1216 年雷波马湖 7 级地震及 1974 年云南大关北 7.1 级地震及 1935—1936 年马边 6 $\frac{3}{4}$ 级震群。此外，大毛滩等地有古地震砂脉现象 (国家地震局地质研究所、四川省地震局，1990)，表明该断裂段可能还发生过一些古地震事件。

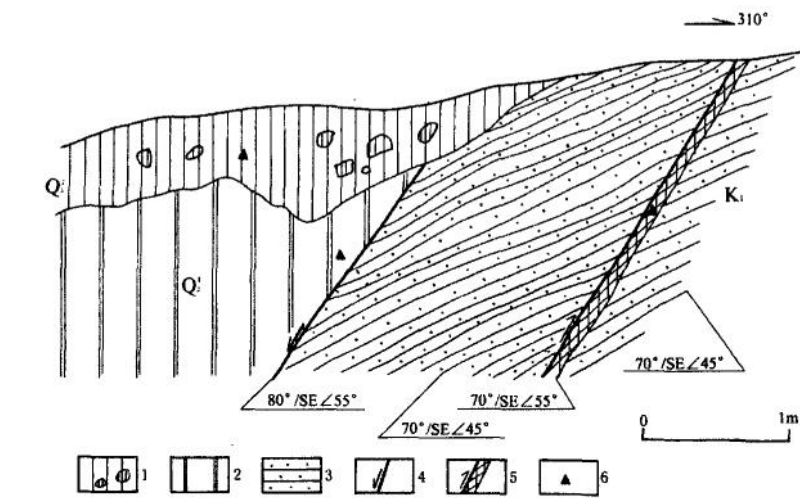


图 2.4-30 卢家湾靛兰坝断裂剖面 (据刘旭东等，2003)

- 1.晚更新世褐色黄土状土；2.晚更新世红色含砾砂质粘土；3.白垩系紫红色砂岩；
- 4.断层；5.断层泥；6.热释光测年取样点

2.4.19 雷波断裂 (F19)

雷波断裂由 4 条近于平行的北东-南西走向次级断裂组成,它们构成一个总长约 43km、宽约 10km 的北东东向断裂构造带。断裂沿线构造地貌表现清楚,水系和山脊

同步右旋走滑,最大错距 300m 左右。

经过汶水镇彭家山村后，发育非常壮观的反向断层陡坎及总长约 5 千米的线性槽谷，并将横跨断裂的冲沟右旋位错数十米（图 2.4-31）。在莲花石村北的断层槽谷中，韩竹军等（2009）在此开挖古地震探槽，揭示距今约 41.3ka 的地层被断错，而上覆的距今约 6.4ka 的地层则未见破坏，指示断裂晚更新世以来曾活动过。

探槽两壁地层基本上可以相互对应，主要由东南侧的基岩和中部、西北侧的含砾石粘土层组成。剖面中灰褐色玄武岩整体上较为破碎，断层在基岩中表现为断层泥条带，松散层中表现为基岩与灰色 -灰黄色含基岩碎块粘土层 U2 和灰黄色粘土层 U3 之间的平直剪切面，探槽两壁均揭示基岩沿断层 F1、F2、F3 逆冲到 U2 和 U3 之上，在断层泥中可见清晰的断层擦痕。断层上覆灰黄色-灰色粘土层 U4 未见变形，灰黑色含砾石粘土层 U5 中发育一冲沟形态的凹槽（图 2.4-32）。

在探槽中采集了碳十四年代学样品，选取 5 个样品送到中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室进行测试。测试结果显示断裂断错层位 U2 中两个样品 LHSS-C4 和 LHSS-C3 的年龄分别为 $3601 \pm 49a$ BP 和 $1461 \pm 40a$ BP，上覆地层 U3 样品 LHSS-C10 的年龄为 $834 \pm 49a$ BP，U5 层中样品 LHSS-C14 的年龄为 $615 \pm 39 a$ BP，近地表 U8 层样品 LHSS-C6 为现代碳。断裂活动发生于 U3 层与 U4 之间，由此可以认为断裂的活动时代为全新世，形成时代分别为 1595 BC-465 AD（图 2.4-38）。

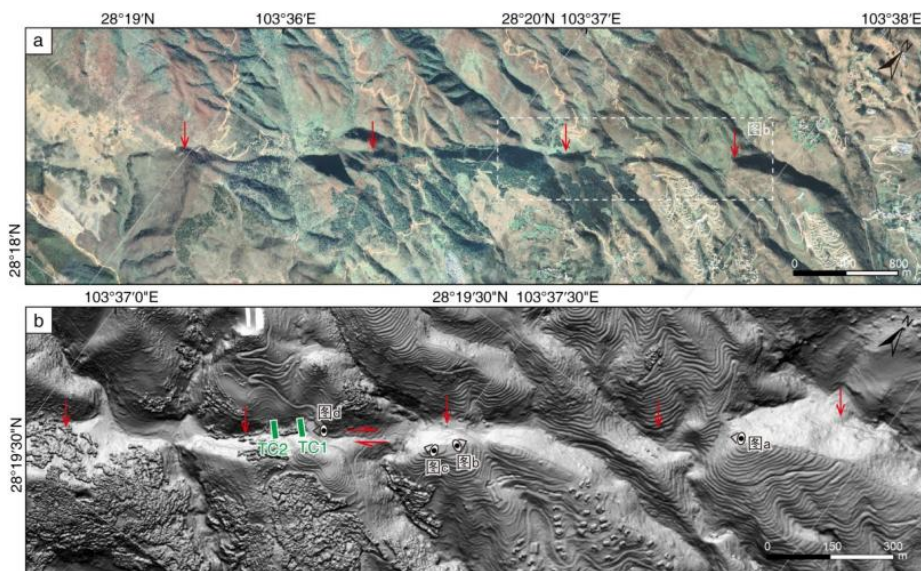


图 2.4-31 莲花石村一带断层地形（四川凉山地质勘察施工公司和中国地震局地质研究所，2021）

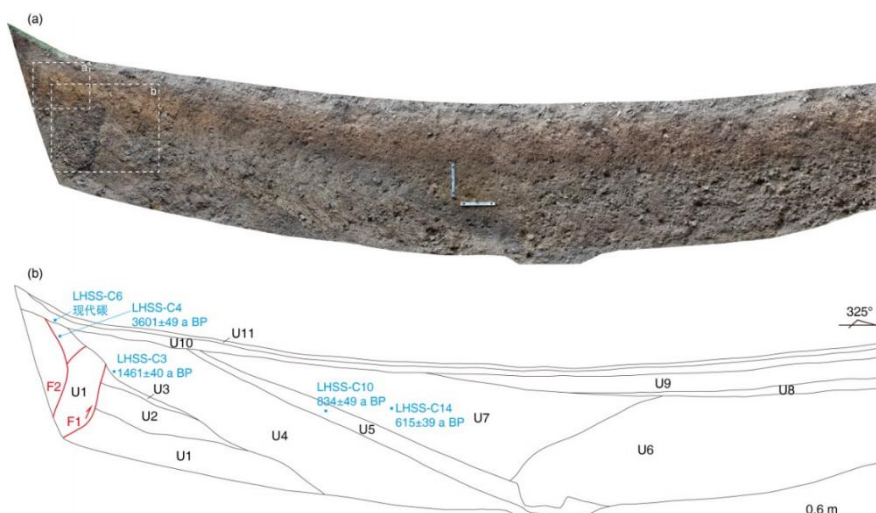


图 2.4-32 莲花石探槽 1 西南壁拼图及解译图（四川凉山地质勘察施工公司和中国地震局地质研究所，2021）

因此，雷波断裂带为全新世活动性，最新活动时代为 1595 BC-465 AD。

2.4.20 莲峰断裂（F20）

东北起自盐津以西，向西南经莲峰，止于巧家以北，全长 150 km，总体走向 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，倾向北西。莲峰断裂带是一条区域性的大断裂，对地层发育与区域构造变形起控制作用。地球物理资料显示，它是一条切割基底的断裂带。断裂与褶皱有紧密的成因联系，在莲峰背斜轴部，切割了从震旦系至中生界的所有地层，总断距可达数百米。断裂带挤压破碎规模较大，西北盘向东南盘逆冲，造成岩层陡立和片理化，破碎带宽达 30~40m。断裂主要沿金沙江一线展布，自莲峰北老店子向西南经铧长沟至巧家大寨，向东北断续延伸至长坪以南。中段包括了相互平行的一组断层，如头坪断层、赵家寨断层、老店子断层和新田断层等。影像上莲峰断裂发育一些列断层槽谷地貌，线性特征较为明显。

在水竹六道班房西公路北侧，见莲峰断裂产状 $NE50^{\circ}/NW\angle 75^{\circ}$ ，两侧地层为峨眉山玄武岩及飞仙关组砂页岩。断裂上盖有 1-2 米坡积层，未见任何变形。

头坪断层在虹口道班房附近出露清楚（图 2.4-33），断层破碎带中夹约 30cm 厚青灰色断层泥，经热释光法测定，年龄为 $(17.47\pm 1.29)\times 10^4$ 年，同时在该处取得的 ESR 年龄为 (14.16 ± 4.24) 万年，说明其最晚活动年代在中更新世末。

新田断层是莲峰断裂东北端的一条长 13 公里的次级断层。在瓦厂坝附近，可见断层发育在寒武纪白云质灰岩中，灰岩破碎呈碎粒岩并夹断层泥，ESR 年龄为 $(10.62$

±3.18) 万年, 反映中-晚更新世之交曾有过较强活动。

在牛栏村见该断裂断错金沙江阶地砾石层, 断面砾石定向排列, 断层视产状为 $274^{\circ}/193^{\circ}\angle 45^{\circ}$ 。在上覆的黄色粉砂层中取得的碳十四样品年代为 18284-18169 cal BP, 表明断裂为晚更新世活动断裂 (图 2.4-34)。

综上所述, 本文认为莲峰断裂早中更新世有过多次活动, 且具有稳定蠕滑运动特征, 最晚活动年代在中更新世末至晚更新世初, 晚更新世以来活动显示很弱。

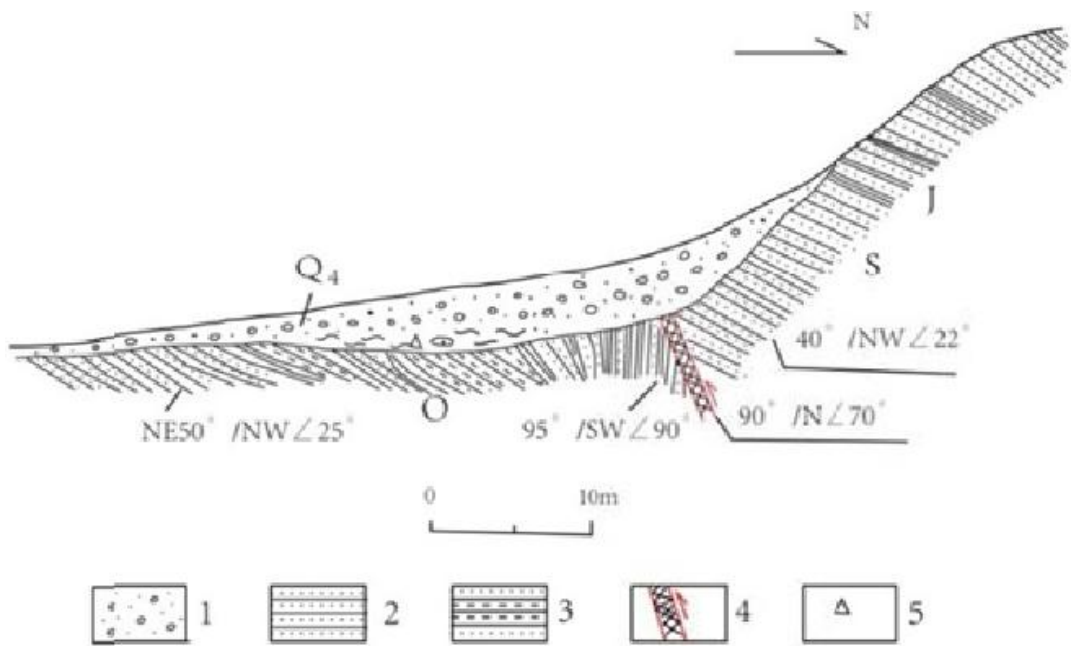


图 2.4-33 虹口道班北头坪断层剖面 (据张伟恒, 2018)

1. 全新世洪积砂、砾、黏土层; 2. 奥陶纪、志留纪砂岩、页岩; 3. 奥陶纪泥岩; 4. 断层泥带; 5. 采样点

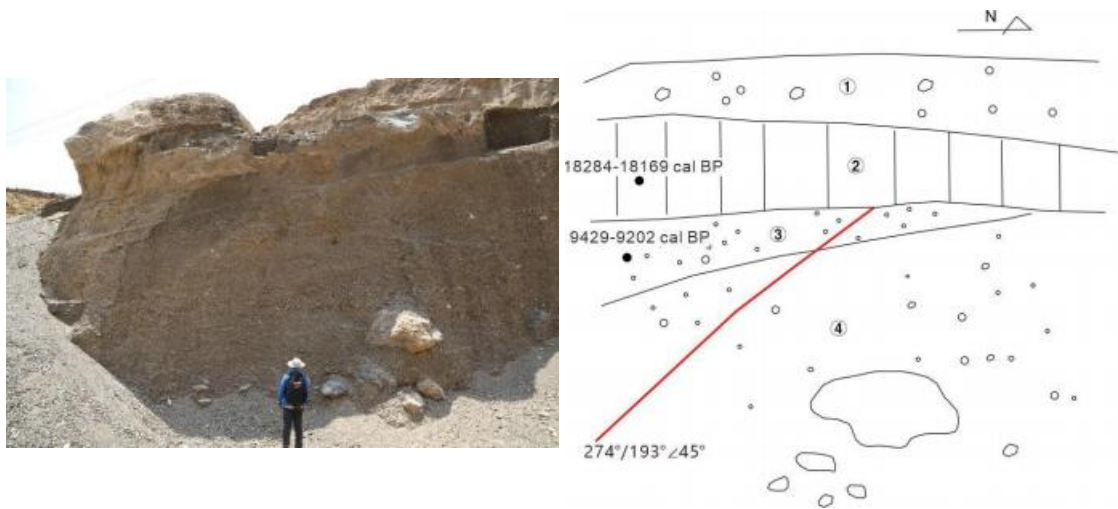


图 2.4-34 牛栏村莲峰断裂剖面 (四川凉山地质勘察施工公司和中国地震局地质研究所, 2021)

2.4.21 长山镇断裂 (F21)

长山镇断裂南西起于金石井以西，向北延伸在帽顶山一带与东兴场断裂相交汇，断裂全长约 20km。断裂总体呈北东东向展布，断倾向北西，倾角一般为 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。该断裂由大致平行的两条断裂组成，北支为主干断裂，南支为次级断裂，两者走向相同，倾向相反，构成一个次级褶皱。

在观音山见长山镇断裂断于上三叠统须家河中细粒砂岩之中，断层走向 $N40^{\circ}E$ ，倾向 NW，倾角 40° ，断层破碎带可见宽度约 3 米左右，破碎带以糜棱岩、碎裂岩为主，断层泥呈透镜状产出。断层上盘地层产状走向 $N20^{\circ}E$ ，倾向 NW，倾角 36° ，下盘地层的倾角较陡，产状为走向 $N30^{\circ}E$ ，倾向 NW，倾角 60° 。在断面上取断层泥经热释光法测得的年龄值为 332000 ± 49800 年，表明断裂的最新活动时代为中更新世。

2.4.22 华蓥山断裂带 (F22)

华蓥山背斜断裂带北起华蓥山以北的万源，向南西经达州、荣昌，延至宜宾以南，是四川盆地内部规模最大的背斜断裂构造带，由相互伴生的华蓥山背斜带及华蓥山断裂带组成，总体走向北东，全长 460km。

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

华蓥山背斜是一个规模很大的线型复式背斜构造，呈向北收敛、向南撒开的鸟足状，背斜轴走向北东，核部出露古生代地层，更多地段由三叠系组成，地层平缓，两翼为三叠系、侏罗系，呈不对称状，东南翼较缓，倾角 $30 \sim 40^{\circ}$ ，西北翼较陡，倾角 $30 \sim 80^{\circ}$ （甚至直立、倒转）。组成背斜、向斜的一套地层为连续堆积，向南可见白

垠-古近系整合覆盖其上。因此，华蓥山背斜构造为喜山期褶皱形成，受倾向南东的华蓥山基底逆断裂带控制，背斜构造之中断裂发育。

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

地表断裂走向北 45° 东，总体倾向南东，倾角 30~70° 不等，具右旋逆冲性质。根据断层几何结构和组合特征，从断裂带的地表特征、地震活动性的强弱特征、断裂活动时代特征等多方面的因素，华蓥山断裂大致以合川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—合川段）

该段南起宜宾南，北止于合川附近，全长约 250 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 10Km 至 60 余 Km，背斜高点高程不等，一般为数百米。断裂规模不等，长数 Km 至 30 余 Km。在平面形态上，背斜端部略呈“S”形弯曲，表明断裂具有一定的右旋分量。该段断裂曾发生过多级 5 级左右的地震，如公元前 26 年宜宾一带 5 级地震，1610 年高县庆符 5 级地震，荣昌附近多次 5 级地震等，小震亦沿断裂密集成带分布，该断裂对小震活动有着控制性作用。总体上具有中更新世早期至晚更新世早期的活动。

位于华蓥山观音溪采石场边部半山坡上，西盘地层为二叠系茅口组灰岩，产状较陡；东盘地层为娄山关群白云岩。东盘可见破碎带，宽度 0.5-0.8m，破碎带内可见构造透镜体及黑色断层泥，断层产状为 126° ∠58°。在该点采集了一个断层泥样品。对该断层泥样品随机挑选了 50 颗石英开展石英形貌分析，结果显示断层泥石英表面风化刻蚀显微形貌特征统计结果为：I b 浅橘皮状结构占 32%，I c 深橘皮结构占 19%，II 鳞片、苔藓状结构占 49%。结合统计直方图综合分析，断层早更新世活动强烈，中更新世以后活动减弱，最新活动时代为中更新世中期，晚更新世以来活动不明显。

古桥社区东侧可以见到华蓥山断裂带破碎带，带中在破碎带内取了一个断层泥样品，编号为 PM01-09ESR1，经北京光释光实验室科技有限公司采用电子自旋共振

(ESR) 方法测试, 结果为 $338 \pm 67\text{ka}$, 显示华蓥山断裂的最新活动时间为中更新世中晚期 (图 2.4-20)。

(2) 中段 (合川—邻水北段)

该段南起合川, 北至邻水北, 全长约 80Km, 走向北 30° 东左右。断裂断于华蓥山复式背斜的西翼, 在平面上由 3-4 条断层近于平行展布。在剖面上构成叠瓦状构造, 并出现有反向冲断层。华蓥山复式背斜轴部高点在 1600-1700m 左右, 高出四川盆地 1300-1400m, 显示出比较强烈的差异活动。在剖面上, 常见下古生代寒武纪地层逆冲在二叠纪地层上, 断距在 2000m 以上 (图 2.4-35)。基底断裂对两侧的沉积建造及古地理环境具有明显的控制作用。重力和航磁 ΔT_a 水平梯度值分别为 $0.5-0.6 \times 10^{-5} \text{M/s}^2 \cdot \text{km}$ 和 6nT/km 。从合川至邻水, 断裂破碎带中 7 个年代学样品的热释光 (TL) 测龄值在 $140900 \pm 11800-262400 \pm 20700$ 年之间。SEM 法鉴定结果亦在中更新世中晚期, 以粘滑活动方式为主。现今地震活动沿断裂带零星分布, 在该段的合川, 曾发生 1936 年的 M4 级、1853 年的 M4.5 级历史地震和 1969 年的 ML4.0 级地震。



图 2.4-35 华蓥山断裂实测构造剖面破碎带照片 (中国地震局地质研究所和四川省地质工程勘察院, 2021)

(3) 北段 (邻水北—达州北段)

该段南起邻水北, 北至达州北, 全长约 120Km, 走向北 30° 东左右。该段华蓥山主干断裂未出露地表, 仅天池-桂兴北间出露有 20-30km 长的次级断裂。背斜构造行迹亦呈减弱的趋势, 轴部高点降低。但基底断裂依然显示清晰。在桂兴乡, 断面上的方解石经热释光法 (TL) 测得的年龄值为 404700 ± 29100 年 (周荣军等, 1997)。

现今地震活动呈零星状分布。

于广安市天池镇凉水井村，该点共发育了 5 组断层。F1 发育在上三叠统须家河组（T₃xj）内，为一套厚层砂岩逆冲于灰黑色碳质泥岩之上，断层面上发育擦痕线理，显示为具右行走滑兼正断，产状为 $302^{\circ} \angle 57^{\circ}$ ，破碎带宽约 20cm，带内可见糜棱岩化、强劈理化、断层泥等物质。在破碎带内取了一个断层泥样品，编号为 D2715-ESR1，经北京光释光实验室科技有限公司采用电子自旋共振（ESR）方法测试，结果为 $309 \pm 62\text{ka}$ ，显示华蓥山断裂的最新活动时间为中更新世中晚期。

综上所述，华蓥山断裂带可以比较明显地分为上述三段。深层地震资料亦表明该断裂可按上述段落进行分段：中段断距大，地表断裂向下延入结晶基底与基底断裂相连；南段和北段向下未切穿寒武系，不与基底断裂相连。从断裂和背斜构造的地表形态上来看，中段差异活动幅度最大，南、北两段次之。现今地震活动则是南段最强，中段次之，北段最弱。特别应当指出为一条与背斜构造相伴生的、与基底断裂密切关联的浅部活动逆断裂带，近地表最新活动时代主要为中更新世，从地震活动性上其南西段活动强度大于北东段。

2.4.23 昭通-鲁甸断裂（F23）

断裂东北起自盐津东南，向西南经彝良、昭通、鲁甸、会泽，止于巧家以南小江断裂带东侧，长 150km，总体走向 $35-45^{\circ}$ ，倾向北西。该断裂带与莲峰断裂带平行，对地层发育与区域构造变形也起明显控制作用。地表多条断层不连续分布，分两支，控制昭通、鲁甸盆地发育，其线性地貌清楚。野外调查发现，断裂断错了晚第四纪地层，具有晚第四纪新活动性。昭通-鲁甸断裂主要由昭通-鲁甸断裂、洒渔河断裂和龙头山-铅厂断裂三条断层组成。

在铅厂与老店之间，沿断层发育近百米宽断层破碎带，表现为碎裂的灰岩体、煤系地层和众多的平行断层。在铅厂附近公路边见断层露头，断层产状 $10^{\circ} / \text{SE} \angle 80^{\circ}$ 。断层断错了晚更新统冰碛物。另据龙树乡龙树村二社横跨该断层陡坎开挖了一探槽表明，探槽至少揭露了 3 次地震事件，断层错断地层的年龄估计为数千年，表明龙树断裂在全新世有活动迹象。

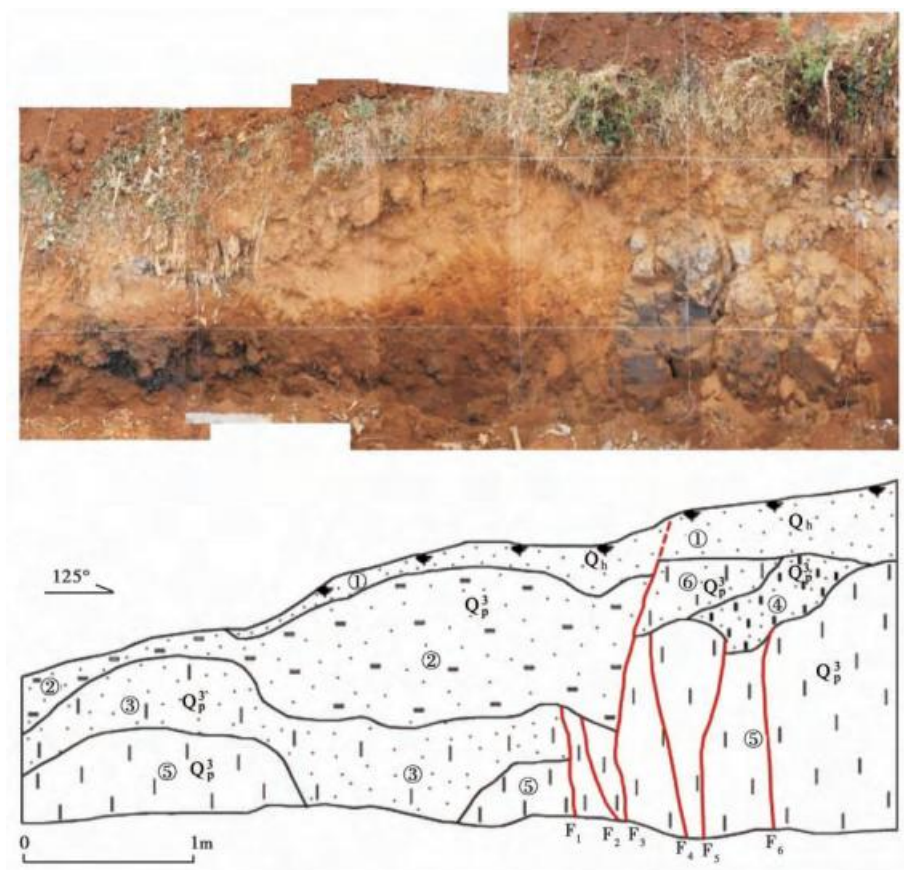


图 2.4-36 龙树村探槽照片及剖面（常祖峰等，2014）

在鲁甸南西七里村东侧 500m 的盆地边，见断层出露于下二叠统梁山组砂岩中，断错了上覆的坡积含碎石、角砾粘土层，该层经光释光年龄测定，结果为 (71.3 ± 6.4) ka，表明该断层晚更新世以来有过活动。

在昭通盆地南西侧的塘房村附近，见断层发育于上第三系和第四系残坡积层中，断错了上第三系（N2）、中更新统砾石层和晚更新统粘土夹砾石、角砾层。断层面显示为逆断层，中更新统砾石层逆推的垂直位错约 1m，断层面发育 0.1~0.3cm 厚的断层泥，质软、断层面擦痕清晰，显示断层为逆断兼具走滑的特征。

于小黑箐村东水库边见一 NW 向次级断层剖面（图 2.4-37），地貌上为小黑箐山前第四系盆地内。该剖面发育多条断面，断裂走向主要呈 NW 向，应为昭通断裂向盆地逆冲推覆过程、盆地内部所衍生的次级断裂。其中，F1 产状为 $N70^{\circ}W/SW \angle 50^{\circ}$ ，F2 产状为 $N56^{\circ}W/SW \angle 35^{\circ}$ ，均表现为正断性质。断面 F1 断错深褐、褐红色冲洪积砂砾石层（层②），形成楔状充填体，该层 14C 年代样品的测试结果为 $22445 \pm 309a$ B.P.，表明断裂晚更新世晚期以来仍存在着新活动。

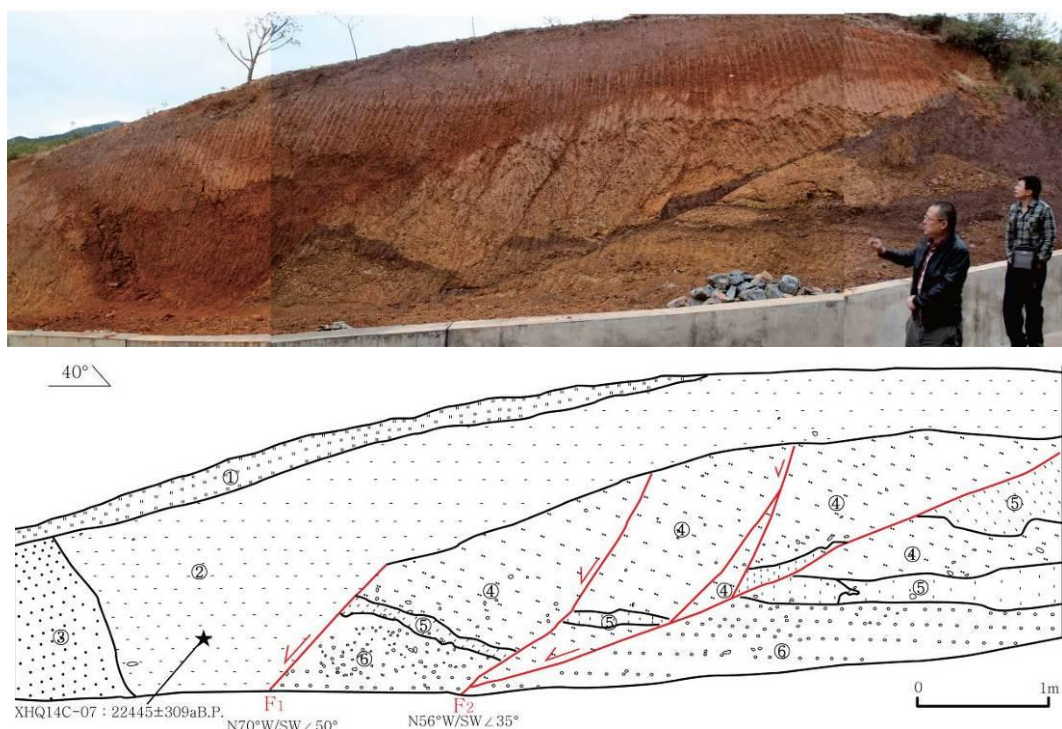


图 2.4-37 小黑箐村东水库边昭通断裂剖面及照片（照片镜向 NW；云南省地震局，2014）

- ①：深褐色砂土层；②：深褐色冲洪积砂砾石土层；③：褐色砾石层，砾石风化较严重；
④：褐色砂层，夹深褐色砂土条带夹；⑤：褐色砂土层

2003 年 11 月 15 日、26 日，在云南鲁甸(北纬 27.2，东经 103.6) 发生 5.1、5.0 级地震；2004 年 8 月 10 日，又在云南省鲁甸县发生 5.6 级地震；2012 年 9 月 7 日，在彝良发生 5.7、5.6 级地震；2014 年 8 月 3 日，在鲁甸县西南的龙头山发生 6.5 级地震。

综合分析认为，昭通断裂晚第四纪活动形迹明显，多处发现晚第四纪新活动的地质地貌证据，该断裂应为全新世活动断裂。

2.4.24 威信断裂（F24）

断裂西南起于滇黔交界的可乐镇北，向北东经五德、雨河、威信，过双河后延入四川境内，止于长秧以西，呈弧形或波状延伸，基本上平行于雨河背斜、黄连坝向斜、瓦石背斜三个弧形褶皱轴向发育，为雨河-威信旋扭构造的组成部分。断裂总体走向北东-北东东，倾向南东，倾角较陡，全长约 140km。

断裂主要发育于寒武系、奥陶系、志留系、二叠系以及三叠系地层中，从断裂波状延伸的形态来看，断裂经历了多次构造运动和多次的改造。地貌上主要表现陡崖、宽缓的谷地地貌等。

根据威信幅区域地质报告和镇雄幅区域地质报告，该断裂自三叠纪以来曾表现出强烈的右旋特征，水平断距 1500m 左右，最大水平错距达 4250m。沿断裂切错的地

层大多为碳酸盐岩地层，沿断裂破碎带侵蚀作用较强，沿断层线表现为冲沟等负地形和断层陡崖的地貌特征。

在马关沟附近，断层带主要由构造角砾岩和断层泥组成。断层两盘均为寒武系灰岩，断面上有斜向擦痕，显示断层西北盘为斜上逆冲在南东盘之上。断层泥为灰白色，有一定程度的胶结，其热释光(TL)年龄值距今(194.17±16.50)ka（云南省地震工程研究院，2006），表明中更新世曾有活动。

在石龙桥断层两侧均为奥陶系厚层灰岩，破碎带宽约 15m，主要由角砾岩、碎裂岩组成，角砾岩、碎裂岩钙质胶结。上覆晚更新统～全新统棕黄色残积层未被切穿。主断面上断层泥的热释光(TL)年龄值距今(267.72±22.76)ka[91]，为中更新世。

上述资料表明，断裂新活动迹象不明显，特别是晚更新世以来无活动迹象，属于早第四纪断裂。

2.5 区域地震构造分析

2.5.1 区域地震构造环境评价

（1）区域地跨松潘-甘孜造山带和扬子准地台两个一级大地构造单元，印支运动奠定了本区的基本构造格局。晚新生代以来，伴随着青藏高原持续抬升和高原物质向东蠕散的影响，高原东部地区表现出地壳抬升、变形与缩短和块体的旋转与侧向挤出等复杂的变形过程，导致区域内的断裂均具有不同程度的第四纪活动性和频繁的地震活动。

（2）区域包括了西部强隆区和东部弱升区各一部，龙门山构造带以西的川西高原和大凉山地区属西部强隆区一部，第四纪以来抬升幅度较大。东部弱升区第四纪以来的抬升幅度小，在 1000m 以下，特别是四川盆地的抬升幅度不足 500m。

（3）区域包括了西部南北向巨型重力梯度带一部，龙门山构造带及其附近，布格重力异常均呈明显的梯度带，地幔呈向西倾斜的斜坡。表明了区域内边界断裂具有切穿地壳或岩石圈的深大断裂性质。航磁异常在龙门山构造带也呈现出不同的分区特征。

（4）区域内主要发育有 NE、NW 和 NS 向三组不同方向的断裂构造，区内呈 NW 和 NS 走向的鲜水河断裂、安宁河断裂、则木河断裂、大凉山断裂等，均具有明显的全新世以来活动的地质地貌证据；而 NE 走向的龙门山构造带、锦屏山断裂带、

雷波断裂带等主要表现为由北西向南东的冲断作用，并具明显的右旋走滑运动特征。这些断裂历史上均发生过 6 级以上强震或存在史前古地震的地质纪录。上述断裂未来强震的复发将对目标区的地震安全性产生不同程度的影响。

2.5.2 强震发生的构造环境及其实例分析

强震的发生对于了解区域地下结构、总结地震孕育环境，进而归纳总结区域地震构造环境特征与归纳强震发生的构造标志，具有重要的意义。本节将选取区内 $M \geq 6$ 级地震中一些具有典型意义的历史强震发生的地质构造环境进行分析。

由前述内容可知，区域破坏性地震的发生与断裂特别是活动断裂具有密切联系，根据统计区域范围断裂展布、地壳变形和强震等的关系，前人提出了活动块体概念（邓起东等，2002；张培震等，2003；徐锡伟等，2014）。本次区域范围处于巴颜喀拉和华南 I 级地块范围内，松潘甘孜和四川 II 级地块内。据统计，区域内强震主要集中在 I、II 级地块边界断裂：东昆仑断裂、甘孜-玉树-鲜水河断裂和龙门山推覆构造带上。区域内， $M \geq 7.0$ 级地震，包括部分 $6.0 \leq M < 7.0$ 级地震，均与 I、II 级地块边界的全新世活动断裂有关；而 $6.0 \leq M < 7.0$ 级地震则发生在块体内部晚更新世活动的北东向断裂及附近。区内所属的其他构造部位，无 $M \geq 6.0$ 级地震活动记录。

（1）2008 年汶川 8.0 级地震

该次地震发生在北东向的龙门山构造带上，该构造带是松潘-甘孜块体和扬子块体的分界线，布格重力异常和航磁异常线性特征明显。近地表构造带由呈叠瓦状多条断层组成，在深部构造带延伸处发育一厚度陡变带，岩石圈厚度由 95km 增至 140km，反映了龙门山构造带是一条切穿岩石圈的深大断裂。该地震震中位于映秀镇西南，呈南西-北东狭长型，烈度达到 XI 度（以汶川县映秀镇和北川县县城为两个中心）。地震时沿龙门山推覆构造带中央断裂和前山断裂形成了 2 条走向 NE、长约 240km 的北川-映秀断裂带和 90km 的汉旺-白鹿断裂带，以及 1 条长约 6km、北向的小鱼洞地表破裂带。北川-映秀地表破裂带测量到的最大垂直位移 6.2m，位于虹口段虹口乡深溪沟，相当于 5.8m 左右的 NW-SE 向地壳缩短量，最大右旋走滑位移 4.9m，位于北川-南坝段平通镇附近。汉旺-白鹿破裂带最大垂直位移 3.5m，相当于 4.9m 左右的 NW-SE 向地壳缩短量；北川-映秀破裂带和汉旺-白鹿破裂带呈叠瓦状在深部交汇合并，整体地壳缩短量最大约 11m，龙门山体相对四川盆地抬升 9-10m。

（2）2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震

该地震震中位于四川省雅安市芦山县龙门乡、宝盛乡、太平镇交界，此次地震的最大烈度为IX度，等震线长轴呈北东走向分布，长半轴为 11.5 公里，短半轴为 5.5 公里。该地震在震中区没有形成具有构造地质意义的地震地表破裂带，仅在各山前陡坡地带出现平行于山麓陡坡的张性地裂缝、山地基岩崩塌、滑坡等边坡震动失稳现象和震动引起的砂土液化现象。重定位的芦山地震余震分布、震源机制解、地表构造地质等分析表明，余震平面上呈 $NE32^{\circ}$ 向密集条带状分布，密集条带 NE 向长约 45km，NW 向宽约 27km，这一余震条带不仅跨越了双石-大川断裂的上下盘，还明显斜切双石-大川断裂地表迹线，说明芦山地震与地表出露的双石-大川断裂关系不大，为一条现今尚未出露地表、其上断点仍埋藏在地下 9km 以下地壳中的一条盲逆断层，走向 212° ，倾向 NW，倾角 $38\pm 2^{\circ}$ ，上断点以上至地表的构造变形符合断层扩展背斜模型。

2.5.3 区域强震发生的构造条件

根据前述区域新构造运动、第四纪活动构造、深部地球物理场及其与强震活动关系的分析，结合研究区的实际情况，我们将本区的强震分为 $M\geq 7$ 级和 $M=6.0\sim 6.9$ 级两档，分别讨论它们的发生条件。

(1) $M\geq 7$ 级地震的发生条件

① **强烈活动的断块边界断裂：**多为走滑型活动断裂。断裂在晚更新世以来特别是全新世活动强烈，断错地貌清晰，有明显的位移证据，断裂带上往往有近代地震或古地震的地表破裂带分布。

② **活动断裂的粘滑、闭锁段：**这些粘滑、闭锁段大多出现在断裂弯曲、转折部位，主干断裂的分叉区及枢纽部位。光弹力学实验结果表明，这些构造部位在相同的受力条件下表现为应力集中。

③ **具有明显的古地震遗迹的活动断裂段：**近代强震往往发生在古地震遗迹明显的活动断裂段上，即“古地震”与“近代地震”具有明显的同源性。

④ **具有全新世活动性的深大断裂：**这些断裂往往表现为重力异常梯度带、航磁异常突变带或地壳厚度陡变带。如发生在龙门山断裂上的 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震等。

⑤ **一、二级新构造运动分区的边界性断裂：**这些断裂也常常是差异活动最为明显

的地带。

(2) M=6.0~6.9 级地震的发生条件

研究区的 6.0~6.9 级地震的发生条件与 7 级以上地震并无严格的区别，只是强度和规模稍弱。在断层活动时代上可下延至晚更新世，在新构造运动分区上，6.0~6.9 级地震可发生在三级新构造运动分区的边界性断裂上。因此，地震发生的空间范围比 7 级以上地震有所扩展。特别应当指出的是，6.0~6.9 级地震还具有以下两个特征标志：

①**大型走滑型断裂带的岩桥区：**出现在走滑型断裂的羽列部位，为主干断裂上的应力调节单元，特别是拉分岩桥区常常是 6 级左右地震活动的有利场所。如 1630 年四川松潘小河 6½ 级地震等。

②**主干断裂上的第四纪盆地：**研究区大量的 6.0~6.9 级地震的震例资料表明，6.0~6.9 级地震与主干断裂上的第四纪盆地密切相关，这可能与主干断裂的差异活动有关。

2.5.4 四川盆地中强震发生的构造条件

目标区所处的四川盆地自 1985 年以来，共发生过数次中强地震，主要分布于龙泉山断裂带、华蓥山断裂带与七曜山-金佛山断裂带。区内最大地震为 1856 年黔江 6¼ 级地震。近期发生的中强地震如 2017 年武隆 5.0 地震、2019 长宁 6.0 级地震、2020 年龙泉山 5.1 级地震等，这几次地震的一些基本参数见表 2.5-1。分析研究区中强地震发生的构造背景，可为区内研究地震发生条件和潜在震源区震级上限的确定提供依据。

表 2.5-1 四川盆地代表性中强震基本参数及所处地质构造简表

编号	发震时间	地点	震级	震源深度 (Km)	沉积盖层厚度 (Km)	背斜规模	地表断裂	基底断裂	背斜核部盲冲断裂	等烈度线形态
1	1985.3.29	自贡	4.8	5~7	7	北东东向的单一背斜，长约 24Km	北东东和北西西向断裂，活动时代 Q1~Q2	北东向与北西向基底断裂交汇	北东东向背斜核部盲冲断裂，存在深度 4~6Km	长轴为北东东向
2	1989.11.20	江北统景	5.2 5.4	5	7~8	北北东向的单一背斜，长约 210Km	南段北北东向断裂，活动时代 1-2 Q2	北东向与南北向基底断裂交汇	北东东向背斜核部盲冲断裂，存在深度 4~6Km	长轴为北北东向

编号	发震时间	地点	震级	震源深度(Km)	沉积盖层厚度(Km)	背斜规模	地表断裂	基底断裂	背斜核部盲冲断裂	等烈度线形态
3	1996.2.28	宜宾永兴	5.4	<15(?)	6	北东向的单一背斜, 长约26Km	无	北东向基底断裂交汇部位附近	核部盲冲断裂存在深度3Km	长轴为北东向
4	1997.8.13	荣昌	5.2	3~5	6~7	北东向的单一背斜, 长约65Km	北东向断裂, 活动 ³ 时代Q ²	北东向基底断裂	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度3~5Km	长轴为北东向
5	2010.1.31	遂宁	5.0	3-4	5~6	北东向的单一背斜, 长约37Km	无	北东向基底断裂	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度4-5Km	长轴为北东向
6	2016.12.27	荣昌	4.9	3-5	6~7	北东向的单一背斜, 长约65Km	无	北东向基底断裂	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度3~5Km	长轴为北东向
7	2017.1.28	宜宾筠连	4.9	3-5	6~7	北东向的单一背斜, 长约26Km	无	北东向基底断裂交汇部位附近	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度3Km	长轴为北东向
8	2017.5.4	宜宾珙县	4.9	3-5	6~7	北东向的单一背斜, 长约26Km	无	北东向基底断裂交汇部位附近	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度3Km	长轴为北东向
9	2018.12.16	宜宾兴文	5.7	3-5	6~7	北东向的单一背斜, 长约26Km	无	北东向基底断裂交汇部位附近	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度3Km	长轴为北东向
10	2019.1.3	宜宾珙县	5.3	3-5	6~7	北东向的单一背斜, 长约26Km	无	北东向基底断裂交汇部位附近	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度3Km	长轴为北东向
11	2019.2.25	自贡荣县	4.9	5	7	北东东向的单一背斜, 长约24Km	北东东和北西西向断裂, 活动时代Q ¹ ~Q ²	北东向与北西向基底断裂交汇	北东东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度4~6Km	长轴为北东东向
12	2019.6.17	宜宾长宁	6.0	5	6~7	北西向的单一背斜, 长约26km	无	北西向基底断裂交汇部位附近	北西向背斜核部盲冲断裂, 存在深度4~6Km	长轴为北西向
13	2020-2-3	青白江	5.1	4.5	9	北东向单一背斜, 长200余km	北东向断裂, 活动时代中晚更新世	北东向滑脱断层	北东向背斜核部盲冲断裂, 存在深度4-5Km	长轴为北东向
14	2021.9.16	泸州泸县	6.0	3-5	6-7	北东向的单一背斜, 长约	北东东和北西西向断裂, 活	北东向基底断裂交汇部位附		长轴为近东西向

编号	发震时间	地点	震级	震源深度 (Km)	沉积盖层厚度 (Km)	背斜规模	地表断裂	基底断裂	背斜核部盲冲断裂	等烈度线形态
						26Km	动时代 Q1~Q2	近		

由表 2.5-1 可见，四川盆地中强地震一般发生在北东、北东东或北北东向背斜核部或其陡翼，且震源位于结晶基底之上的沉积盖层内，与沉积盖层内的背斜核部盲冲断裂有关，而这些中强地震与背斜的规模、地表断裂及其活动时代没有明显的关系（周荣军等，2005）。

地质资料及深部物探资料表明，四川盆地内的盖层构造在地表至三叠系底界地层背斜构造共生，背斜隆起的地方正是断层倾角变陡，断距增大的场所；在地腹深处，随着背斜两翼变得平缓，断层的倾角也相应变小，断距锐减最后消失于水平地层中。这种现象表明，盖层中的背斜构造与断层活动有着密切的成因联系。Suppe（1983）和 Chester（1991）等称这一类的构造为“断层扩展背斜”（fault-propagation folds）或“断层弯曲背斜”（fault-bend folds），通过野外观测资料和室内模拟实验结果认为，这一类的构造是在近水平挤压力的作用下，首先沿某一深度相对塑性的地层产生缩短和滑动，由于盖层的厚度和物性的差异，或当滑动受到障碍体的阻碍时，滑动面上部的盖层积累应力产生褶皱并同时脆性地层中产生低角度逆掩断层。随着滑动和缩短作用的持续，背斜构造也随之生长，逆掩断层不断向上延伸，倾角逐渐变大，并可能出现反向逆冲断层。逆断层有可能出露地表，也有可能隐伏于地下，即形成所谓的“背斜核部盲冲断层”，主要取决于断层扩展背斜的发育程度。在背斜隆起的上方，常形成有正断层或正断层地堑，称之为“弯矩断层”（bending moment faults）

（Yeats,1987），由背斜构造顶部局部的拉张应力环境所导致，且具有断续延伸，规模较小，向下迅速消失的特点。这类特殊的盖层构造往往对地震活动有重要的控制作用，主要表现为 4³/₄—5³/₄级中强地震活动。由于断层切割的深度仅 3—6km，在这样的深度范围内，四川盆地主要分布泥岩、页岩，偶夹砂岩，由于岩石强度低，不可能积累大量的应变能，这可能是这类构造地震强度较低的主要原因。考虑到四川盆地已有两千余年的历史地震记载资料，因此已发生的地震强度有可能代表了这一类盖层构造的实际地震水平。

四川盆地根据演化历史、地形地貌等特征分为成都断陷区、川中微升区和川东盆

岭区，以上总结的资料来源主要位于成都断陷区和川东盆岭区内，而本项目目标区位于川中微升区。

2.5.5 区域主要发震构造评价

区域范围内的发震构造主要有龙门山断裂带、鲜水河断裂、安宁河断等，以下将分别讨论这几条断裂的分段性、潜在地震能力和强震复发间隔等，为区域范围内高震级潜在震源区的地震活动性参数确定提供地质学依据。

(1) 龙门山断裂带

该断裂带主要由茂汶-汶川断裂、北川-映秀断裂和彭县-灌县断裂和龙门山山前隐伏断裂等四条断裂组成。其中茂汶-汶川断裂的茂汶-草坡段、北川-映秀断裂北中段、彭县-灌县断裂的都江堰-天全段和茶坝-林庵寺断裂的石坎子以西段为全新世活动段，平武-青川断裂和茶坝-林庵寺断裂的石坎子-茶坝段为晚更新世活动段，历史上曾发生过数次 6 级左右地震，最大地震为 2008 年汶川 8.0 级地震。根据断裂分段性及活动性差异，划分出汶川 8.0 级、陇东 7.5 级、青川 7.0 级、彭州 6.5 级和竹园 6.5 级五个潜在震源区。龙门山断裂带单条断裂上的滑动速率估值在 1mm/a 左右，估计 8 级大地震的复发间隔在 2000~3000a。

龙门山山前隐伏断裂由数条次级断裂羽列而成。在成都断陷区内，主要由大邑断裂、什邡-竹瓦铺断裂和绵竹断裂呈左阶羽列组成，均为隐伏断裂性质，控制了成都断陷的北西边界。断裂滑动速率为 0.1-0.14mm/a 和 0.1-0.3mm/a，且活动性为晚更新世，未见全新世活动，弱于龙门山前山、中央和后山断裂。综合分析认为山前隐伏断裂具有发生 6.5 级地震的危险性。但是考虑到大邑断裂沿线近年来发生多次中强地震，且物探结果表明断裂切割深度影响到岩石圈，且倾角较陡，属于深大断裂。因此推测该断裂具有发震 7 级地震危险性。

(2) 鲜水河断裂

以惠远寺拉分盆地为界可分为北西和南东两大段。北西段可细划为炉霍段、道孚段和乾宁段三段，其中区域包括了道孚段和乾宁段。炉霍段平均水平滑动速率为 14 ± 2.2 mm/a，发生过 1816 年 7 级地震和 1973 年 7.6 级地震，强震实际复发间隔为 157a，估计该断裂段的最大可能地震震级上限为 8.0 级，强震复发间隔在 150~200a；道孚段滑动速率为 13 ± 1.5 mm/a，发生过 1904 年 7 级地震和 1981 年 6.9 级地震，估计该

断裂段最大可能地震震级上限为 8.0 级，强震复发间隔在 100a 左右；乾宁段滑动为 $12 \pm 2.0 \text{ mm/a}$ ，发生过 1792 年、1793 年 $6\frac{1}{4}$ 级震群和 1893 年 $7\frac{1}{4}$ 级地震，该段最大可能地震震级上限为 8.0 级，强震复发间隔在 100a 左右。南东段可细分为康定段和磨西段两段，断裂康定段结构比较复杂，主要由色拉哈-康定断裂、折多塘断裂和雅拉河断裂等三条断裂近于平行展布而成，这三条断裂均为全新世活动断裂，平均水平滑动速率估值分别为 $5.5 \pm 0.6 \text{ mm/a}$ 、 $3.6 \pm 0.3 \text{ mm/a}$ 和 $2.0 \pm 0.2 \text{ mm/a}$ （周荣军等，2001），滑动速率之和在 10 mm/a 左右。该断裂段发生过 1725 年康定 7 级地震和 1955 年折多塘 7.5 级地震，强震实际复发间隔为 230a，估计强震的复发间隔为 230–350a（周荣军等，2001）。康定以南的磨西断裂呈一条主干断裂延伸，平均水平滑动速率估值为 $8 \pm 2 \text{ mm/a}$ （周荣军等，2001），发生过 1786 年康定、泸定磨西间 $7\frac{3}{4}$ 级地震，其最大可能地震震级上限为 8.0 级，强震复发间隔在 300–500a。

（3）安宁河断裂

安宁河断裂带以冕宁和西昌为界，可分为三段：北段为全新世活动断裂，平均水平滑动速率在 $4.7\text{--}5.3 \text{ mm/a}$ 左右，最大潜在地震能力为 7.5 级，最晚一次强震的发生时间在 A.D. 1480 年，距今时间已达 521–674a。根据古地震研究成果，该断裂段的强震平均复发间隔在 570–660a（闻学泽等，2000；周荣军等，2001）。中段由三条断裂呈羽列组合而成，为全新世活动断裂，平均水平滑动速率在 5.5 mm/a 左右，最大潜在地震能力为 8 级，发生过 A.D. 1536 年 $7\frac{1}{2}$ 级地震和 A.D. 1952 年 6.7 级地震，根据该断裂段古地震研究结果，7.0 级以上的强震复发间隔约在 900a 左右，未来百年内存在强震复发的可能性。区域外的南段活动性相对较弱，为早中更新世活动断裂，迄今未为 6 级以上强震的历史记载。

（4）大凉山断裂带

可以将大凉山断裂带划分成海棠-越西、普雄河、布拖和交际河四个不同的段落，这四条段落均呈左阶或右阶羽列排列，羽列距 4–20km 不等。大凉山断裂的四条次级断裂均存在明显断错地貌现象，晚更新世晚期-全新世以来的平均水平滑动速率介于 $2.6\text{--}3.9 \text{ mm/a}$ 之间，平均值约为 3 mm/a （周荣军等，2003）。这四条断裂均有可能为独立的破裂单元。有史料记载以来，大凉山断裂上迄今尚未有 6 级以上强震发生，但探槽业已证实该断裂发生过史前强震，相对较长的强震复发间隔及历史地震的漏记有可能是该断裂上无强震记载的主要原因。按大凉山断裂带的分段结果，可以将大凉山断

裂带划分为石棉 7.5 级潜在震源区、昭觉 7.5 级潜在震源区、布拖 7 级潜在震源区和交际河 7 级潜在震源区。

(5) 荣经-马边-盐津断裂带

地表由多条次级断裂组成，其深部是一条连续的北西向构造带，它是四川盆地与大凉山断块的分界断裂带。历史上已发生 1216 年雷波马湖 7 级地震，根据历史地震与构造类比估计该断裂的最大潜在地震震级为 7 级。但在该断裂的南端与近东西向断裂带交汇的部位有发生更大地震的可能。如在与东西向盐津断裂带的交汇部位发生 1974 年云南永善、大关间 7.1 级地震。因此交汇部位最大潜在地震可确定为 7.5 级。

(6) 则木河断裂

该断裂段断错地貌清晰，晚第四纪以来的平均水平滑动速率为 4.7mm/a 左右。历史上曾发生过公元 814 年西昌 7 级地震和 1850 年西昌大箐梁子 7½ 级地震，最晚一次地震的地表破裂展布于西宁-松新间，长度约 90m，最大同震位错在大箐梁子一带可达 5.7m。根据大箐梁子和四呷布史两个探槽的研究结果，则木河断裂北西段全新世以来发生过 7 次古地震事件，大震复发间隔介于 1036-1758a

(8) 华蓥山断裂带

华蓥山背斜断裂带可以分为北、中、南三段。现今地震活动表现为南段较强，北段和中段较弱。年代学测试结果表明华蓥山背斜断裂带北段、中段、南段在中更新世有过活动。其不过南段荣昌附近发生过多 5-5.5 级地震，因此南段具有发生 6.5 级地震的背景；由于北段和中段由于地震活动性较弱，年代学测试结果表明断裂带北段和中段在中更新世有过活动，通过和长寿-遵义基底断裂进行构造类比，北段和中段具有发生 6 级地震的背景。

第三章 近场区地震构造分析

根据《目标区地震安全性评价》(GB17741-2005)中对近场范围的要求,将目标区近场区地震活动性和地震构造的研究区域确定为 29.1° - 29.66° N、 105.53° - 104.19° E。本章旨在对近场区和场址区的地震活动性、新构造运动特征、主要断裂特征及其活动性的分析,判断近场区域可能发生地震的地点,综合评价近场及场区地震构造,为确定近场潜在震源区和场地地震动参数提供依据。

3.1 近场区地震活动性

3.1.1 近场地震资料概况

在近场范围内,自有历史地震记载以来,迄今已记录到 $M \geq 4.7$ 级的地震 3 次,其中 $M_{4.7 \sim 4.9}$ 级地震 2 次, M_5 级地震 1 次,为 1913 年 7 月 16 日四川乐山 5 级地震,无 $M_{6.0}$ 级及以上地震。(近场区破坏性地震目录详见表 3.1-1;近场区地震震中分布见图 3.1-1)。

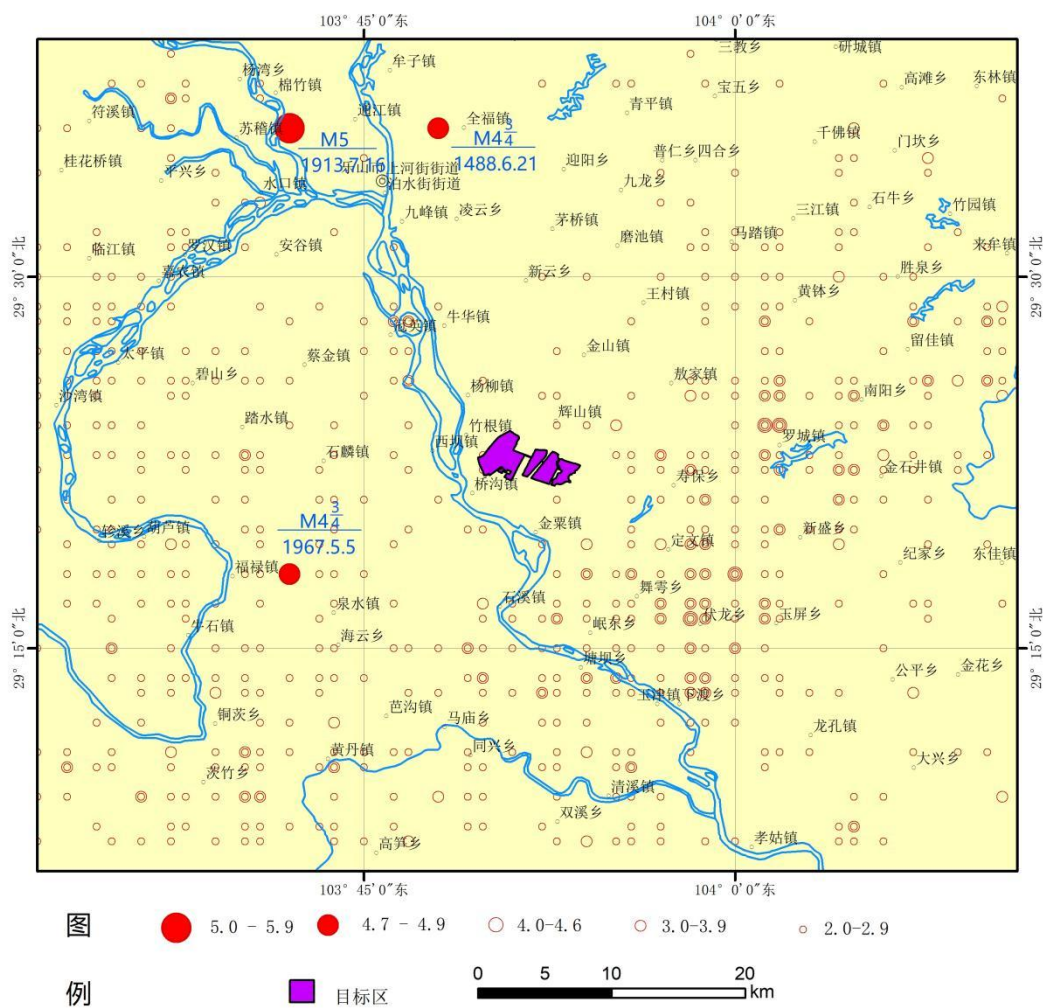


图 3.1-1 近场区地震震中分布图（截至 2023 年 12 月 31 日）

表 4.1-1 近场区破坏性地震目录（截至 2023 年 12 月 31 日）

序号	发震时间			震中位置				精度	震级 (M)	震中烈度
	年	月	日	纬度 (°)	经度 (°)	参考地名	震源深度 (km)			
1	1488	6	21	29.6	103.8	四川乐山	*	3	4½	*
2	1913	7	16	29.6	103.7	四川乐山	*	*	5	VI
3	1967	5	5	29.3	103.7	四川乐山峨边	*	2	4½	*

注：破坏性地震震中定位精度（1970 年前）：1 类，误差≤10km；2 类，误差≤25km；3 类，误差≤50km；4 类，误差≤100km；5 类，误差>100km。地震台网震中精度（1970 年后）：震中误差≤5km 为 1 类，5km<震中误差≤15km 为 2 类，15km<震中误差≤30km 为 3 类，震中误差>30km 为 4 类。表中“*”号表示缺乏资料。

自 1970 年至 2023 年 12 月 31 日，近场区共记录到 M2.0~M4.6 地震 1180 次，其

中 M4.0~M4.6 级 5 次, M3.0~M3.9 级 119 次, M2.0~M2.9 级 1056 次。

近场区内发生的最大一次地震为 1913 年 7 月 16 日四川乐山 5 级地震, 距离目标区 26km, 该地震对目标区的最大影响烈度为 V 度 (详见 1.5 节)。

3.1.2 近场地震活动特征

图 4.1-1 给出了近场区地震震中分布图。从中可以看出, 近场区内的地震活动强烈, 共记录到 3 次破坏性地震, 最大一次地震为 1913 年 7 月 16 日四川乐山 5 级地震。近场区破坏性地震主要位于近场区的北部和西部。

近场区内的现代地震空间分布较不均匀, 现代中小地震活动的集群特征表现为条带状、团簇状。现代中小地震主要分布在近场区的东部、南部和西部, 近场北部及目标区附近小震分布相对较少。

综上所述, 近场地震活动的空间分布有一定的不均匀性。

3.2 近场区地质地貌特征

3.2.1 近场区地貌概述

近场区包括了大凉山中低山地貌和川中丘陵地貌中, 水系沟谷发育。地貌上总的特点是以山地和丘陵为主, 间夹河谷平原。整体上, 以大凉山为界, 具有南西高北东低的特点。近场区海拔高度位于 303-1653m 之间。按其成因类型可分为构造剥蚀和侵蚀堆积两大地貌类型。

(1) 构造剥蚀地貌

中等规模切割的中低山地貌: 主要分布于近场区的西南侧大凉山地区。海拔高程在 1000-1630m 左右, 切割深度在 400-1000m 不等。山脊基本上呈近南北向或北东向, 脊线较平缓, 山峰呈浑圆缓平状。山坡较陡, 部分因岩性差异呈陡坎。沟谷发育, 多呈箱型或“V”型。谷地中等倾斜, 局部呈阶梯状, 谷坡陡峻, 可达 50-70°。

浅切割的丘陵地貌: 主要分布于近场区的西南侧和东侧一带, 海拔高程在 1000m 以下, 切割深度在 100-400m 以下。山峰呈孤立、浑圆状, 无定向。山坡平缓, 坡角多在 20-25° 左右, 局部呈陡坎。沟谷发育呈平缓的箱型, 谷底微倾斜, 谷坡在 30-40° 左右。

(2) 侵蚀堆积地貌

侵蚀堆积地貌主要由河流的侵蚀堆积作用形成。近场区附近河流堆积地貌主要分

布于大渡河和岷江两岸，表现为河流阶地、河漫滩、心滩堆积。河床相对较宽，河床冲洪积物较多，厚度薄厚不均，由于地壳间歇性抬升，发育有多级阶地（图 2.2-1）。

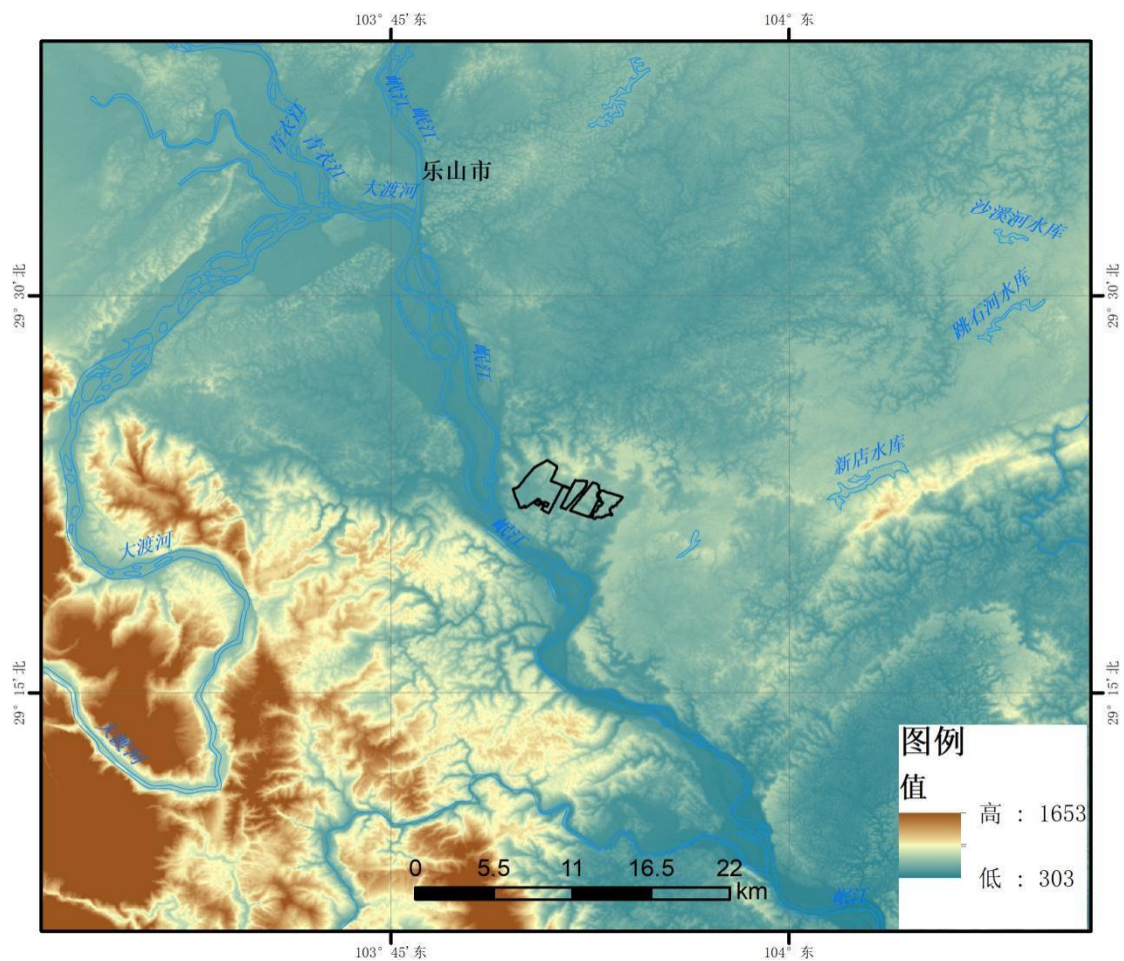


图 3.2-1 近场区地势图

3. 2. 2 近场区地质特征概述

近场区主体位于川中微升区。喜马拉雅运动第一幕（第三纪早期）形成的川东隔挡式褶皱奠定了区内现今地貌的基本格局。第四纪以来。近场区的新构造运动表现为大面积的间歇性整体抬升，基本上不存在明显的差异性运动，现代地壳运动仍处于稳定的缓慢隆升状态。

该地区在三叠世之前并无盆地格架，而是处于碳酸盐岩台地发展阶段。受印支运动的而影响，沿着上扬子区发生了强烈的地质事件，使甘孜-阿坝、秦岭、广西、雪峰山以东的湘、赣等地产生了褶皱或冲断推覆，上升降起，在中三叠世碳酸盐岩沉积结束之后，海水从四川盆地西部退出。并且随着龙门山的隆升以及伴生的风化剥蚀，大量的陆源碎屑，经河流搬运堆积于山前。在早、中侏罗纪达到中、新生代沉积盆地

范围最大时期。晚侏罗纪后盆地相继分割，发展为互不联系的独立的沉积盆地，早白垩世沉积范围进一步变小，盆地东、南抬升，沉积区向盆地北、西龟缩。在中白垩世至始新世，龙门山南段强烈上升，在其前缘生成一新拗陷、其中沉积厚度大，且粗碎屑发育。常夹冲积扇相砾石层。始新世以后，四川盆地结束了大面积分布的陆相沉积，进入以盆地内广泛遭受风化剥蚀为主的时期。但是第四系分布相对较广，除成都平原，多属零散分布于丘陵地区的河谷阶地堆积。

综上所述，近场区的地质地貌格局主要奠定于印支期，喜马拉雅运动对此有所改造和加强。

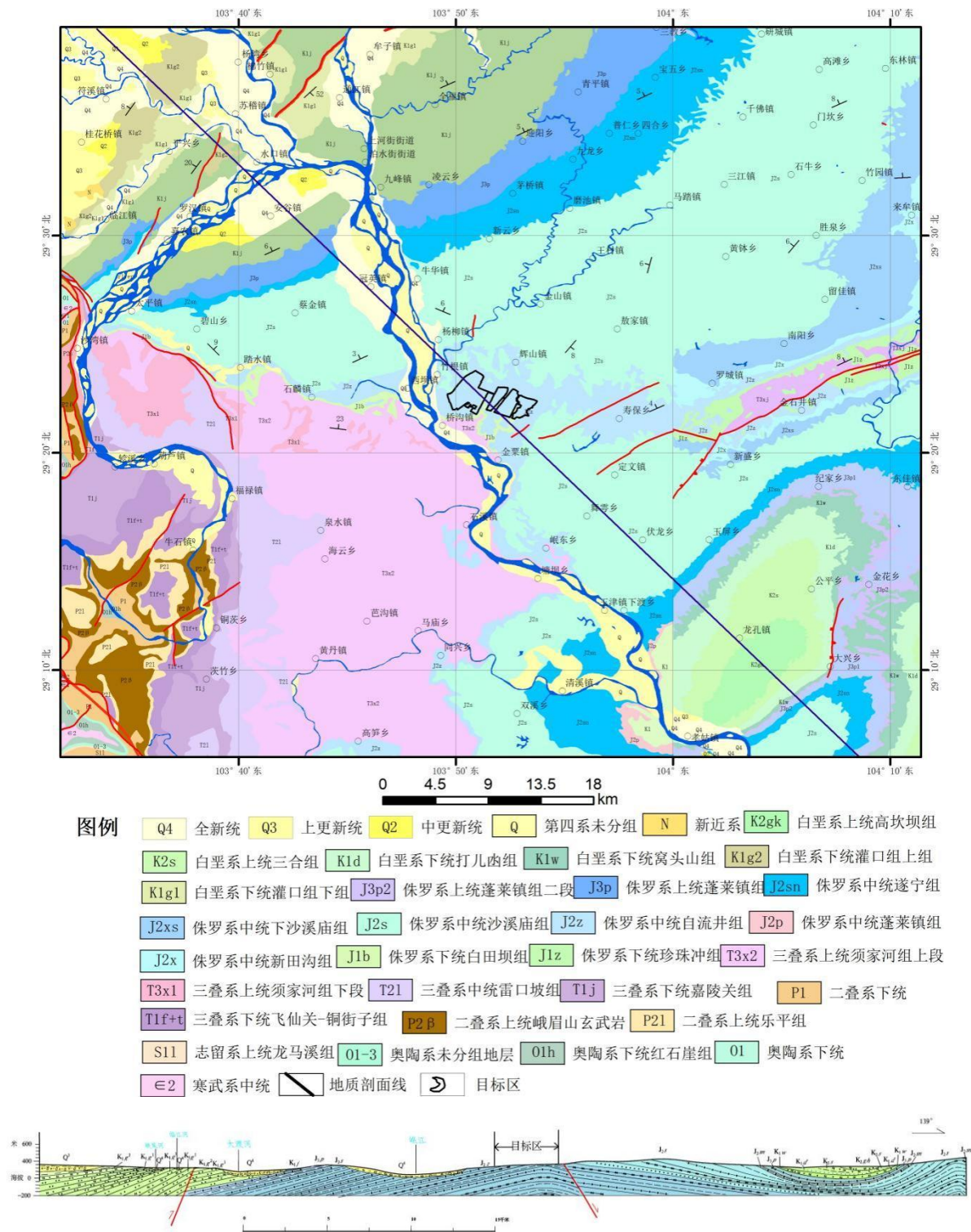


图 3.2-2 近场区地质图

3.3 近场区新构造运动特征

近场区处于大渡河、青衣江、岷江的交汇部位，河流一般发育有IV-VI级河流阶

地，出露高度 10-104m，除 I 级阶地外，均为基座阶地，其上有厚度不等的砂、砾石层堆积。在本次近场区范围内主要发育IV级河流阶地，

姜大卫等通过前陆背斜区域的河流阶地位相图（图 3.3-1A），可以看出 T1~T4 为流域性阶地，在靠近背斜区域体现出了不同的形态。而 T5、T6 为局部阶地，只发育在雅安河谷区域，无法说明背斜的活动特征。值得注意的是，在熊坡背斜与龙泉山背斜核部，发育了最新的 T1b 阶地（图 3.3-1A）此外，T5 阶地与三苏场背斜东部废弃的古冲积扇有关，反应了青衣江的古流向（Jiang et al.,2016），不适合作为构造变形的研究依据，因此我们采用 T1~T4 阶地作为前陆背斜区构造变形研究的依据（图 3.3-1B）。可以看出，T1~T4 在熊坡背斜处呈现出了依次递增的变形量，并且阶地面连续，说明熊坡背斜自中更新世晚期以来一直持续活动（图 3.3-1A）；而三苏场背斜附近，T4 阶地未保存完全，只有 T3 反映除了拱曲变形，而 T1 与 T2 均未发生明显变形，说明三苏场背斜晚更新世中晚期以来未发生明显活动，且 T3 的变形量也不是很大（图 3.3-1A）；

从阶地发育可以看出，近场区附近表现为间歇性抬升作用，其中 T2 阶地缩短速率 0.65-0.99mm/a，T1 阶地缩短速率 1.74-2.25mm/a。

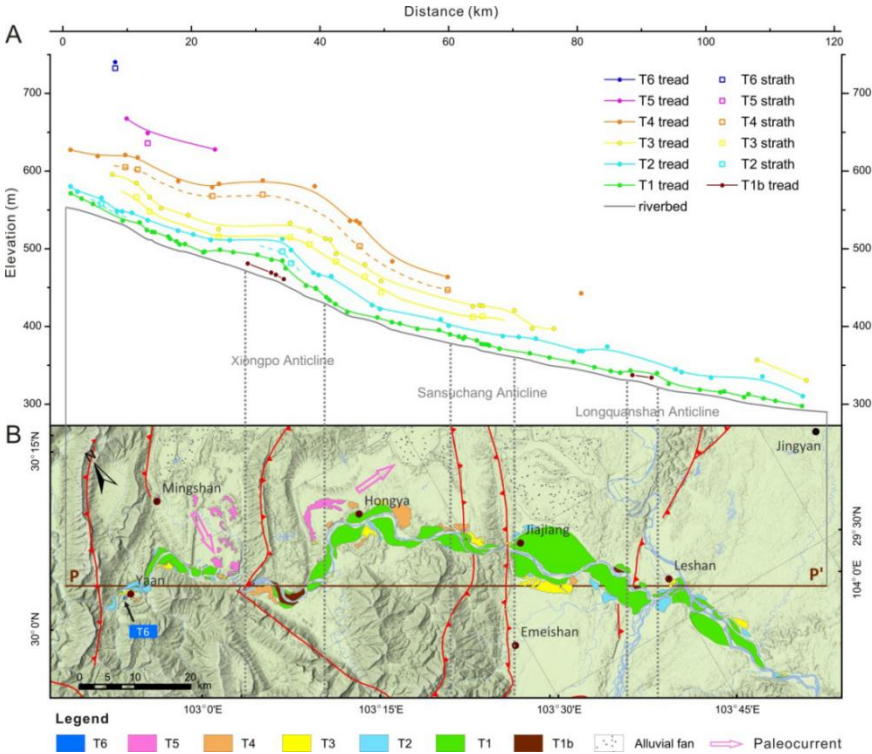


图 3.3-1 青衣江前陆背斜区阶地海拔位相图（姜大伟，2017）

其中，A 为阶地海拔位相图，T1~T4 阶地为流域性阶地，T5 与 T6 只集中分布于雅安河谷；B 为阶地平面分布图，紫色箭头表明古青衣江在 T5 时期的流向

近场区大渡河断裂多发育两级，I 级阶地拔河高度为 4~6m，不同地段的拔河高度的基本一致，青衣江 I 级阶地拔河高度亦为 3~7m，表明了近场区整体间歇性隆升性质，差异运动微弱，I 级阶地顶面的 ESR 测龄值为 $12700 \pm 1500a$ ，据此可以估计近场区全新世以来的地壳平均抬升速率为 $0.3 \sim 0.5mm/a$ 。

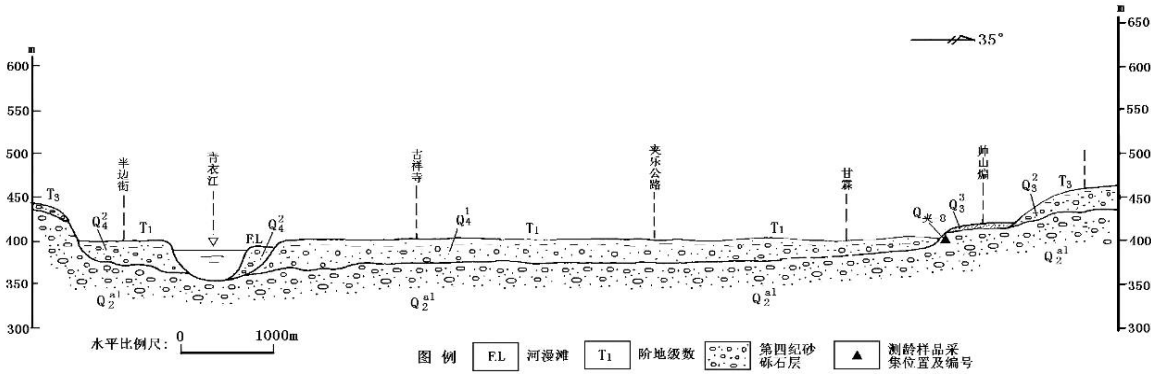


图 3.3-2 夹江甘霖东青衣江河谷阶地剖面（四川赛思特科技有限责任公司，2017）

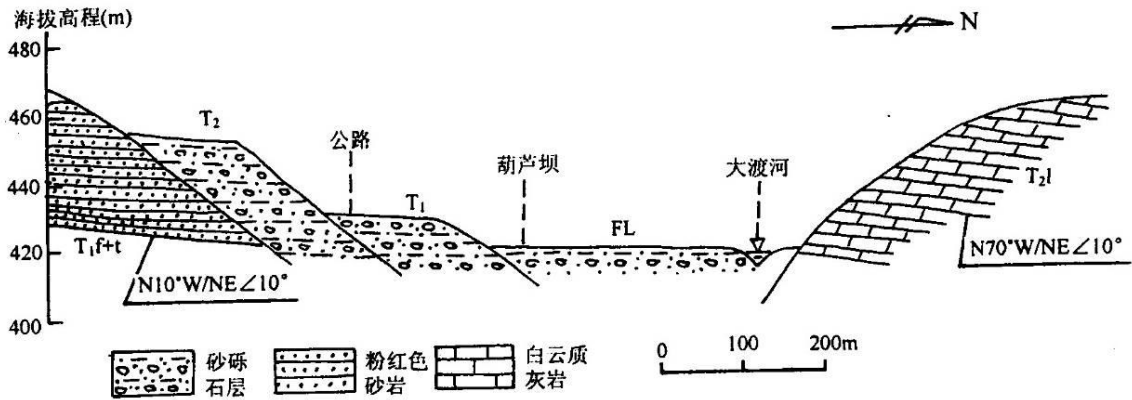


图 3.3-3 沙湾葫芦坝附近大渡河河谷阶地剖面（四川赛思特科技有限责任公司，2017）

表 3.3-1 大渡河阶地一览表

阶地位置	阶地级数 阶地特征	T1	T2
祝村坝	拔河高度 (m)	4—7	20—33
	阶地类型	堆积阶地	基座阶地
	相对时代	Q4	Q3
葫芦坝	拔河高度 (m)	4—7	35—40
	阶地类型	堆积阶地	堆积阶地
	相对时代	Q4	Q3
福禄坝	拔河高度 (m)	5—7	
	阶地类型	堆积阶地	
	相对时代	Q4	

3.4 近场区遥感解译

(1) 数学基础

采用 WGS1984 Pseudo-Mercator 坐标系。

(2) 数据处理与影像制作

1) 彩色合成处理

遥感影像信息的识别很大程度上依赖于人工目视解译的方法，因此，所选用的遥感图像应为易于人眼识别，且信息量丰富的彩色影像。由于不同波段所反映的波谱特征是不一样的，对地面信息的反映也有所差别，因而针对不同研究目的选择影像的最佳组合波段便成为研究结果好坏的关键所在。

本最佳指数法(OIF)综合考虑单波段图像的信息量及各波段间的相关性，更接近于波段选择的原则，且计算简单，易于实现，因此得到广泛的应用。OIF 指数计算公式如下：

$$OIF = \sum_{i=1}^3 S_i / \sum_{i=1}^3 |R_{ij}|$$

式中 S_i 为第 i 个波段的标准差， R_{ij} 为 I_j 两个波段的相关系数。该方法的原理是，波段的标准差越大，所包含的信息量也越大；而波段间相关系数越小，表明各波段间的独立性越高，信息冗余度越小，则 OIF 指数越大。即波段组合的信息量与单波段的标准差成正比，与波段间的相关系数成反比。

2) 卫星数据纠正和配准

由于原始的卫星地面站接收遥感图像仅进行了系统误差的校正，而没有进行几何畸变和投影差的校正，这种图像很难应用在实际工作中。遥感图像的几何性能受多种因素控制，如传感器、承载传感器的各种平台运动状态，地球表面特征等，这些因素构成了遥感图像的各种几何畸变。消除的方法是通过遥感图像进行正射校正，制作高精度的正射遥感影像及影像地图。

3) 遥感影像融合

图像融合是对不同空间分辨率的影像进行复合处理，使处理后的影像既具有丰富的光谱信息，同时又具有较高的分辨率，从而达到图像增强的目的，一般将低分辨率的多光谱数据与高分辨率的全色数据进行融合处理。HSV 在效果最好，其融合后的影像与多光谱影像相比较，影像的分辨率有了很大的提高，色彩的亮度、色调、饱和度

都有较明显的改变，颜色分布与地物信息的吻合度比较高，使得地物信息得到极大的丰富，便于辨别和分析。融合过程中选择三次卷积法进行重采样，重采样后的图像平滑，视觉效果好，优于最邻近法和双线性内插法。融合后的影像分辨率高，纹理信息丰富，层次感强，提高了活动构造解译的可靠性，降低了不确定性。

4) 图像镶嵌

对于获取的遥感影像和 DEM 往往一景影像不能覆盖整个研究区，因此需要将多景带有地理参考的影像进行镶嵌。本次工作将主要采用基于地理坐标的无缝镶嵌方法对各景图像进行镶嵌。

5) 整饰与注记

将地图的数学基础（比例尺、坐标注记、公里格网、经纬网等）、图廓线整饰、地理要素（道路、居民地、河流、湖泊、山脉等）、人文要素（行政区划等），按照相关制图式要求叠加到图像上。同时进行必要的整饰，如标注路线、添加图例等。

（3）遥感图像增强处理

空间增强方法有两种：

平滑：可采用中值滤波、均值滤波和低通滤波进行平滑，去除影像噪声，抑制影像细节，能突出宏观结构特征；

锐化：可采用定向检测和高通滤波等算法进行锐化，能突出影像边缘、线性目标或某些亮度变化率大的部分，突出断层陡坎、沟谷等线性构造特征。

（4）构造解释

本项目采用 google earth 公开版影像地图数据，该数据配准、融合和镶嵌等工作已由数据供应商处理完成，考虑项目数据的大小，项目组选取近场区 17 级数据开展解译工作，图件的水平分辨率为 2.39m，满足近场区影像精度的要求，数据量大小 2.61G。

结合近场区地质资料和已有研究成果，近场区内西南角表现为大凉山中低山台地，整体海拔位于 600-1600m。其余地区位于四川盆地中，主要以褶皱和局部的盆地组成，海拔高度位于 320-480m。

① 龙泉山断裂

龙泉山断裂带系成都断陷与川中台拱的分区界线，由龙泉山东坡断裂和龙泉山西坡断裂组成，分别展布于龙泉山箱状复式背斜的东西两翼。断裂带北起中江，南经金

堂、龙泉释久隆场、仁寿，直达东山新桥镇附近，全长 230 公里。总体走向 N20 - 30° E，由一系列压扭性断层斜列组成（图 3.4-1）。本次近场区处于龙泉山断裂南段，大致从乐山新桥镇经井研县至仁寿县虞家场。整体上近场区内龙泉山断裂带分布于西北角，呈多条断裂斜列展布。

影像上，近场区内断裂沿线可见断层线性坎，不过断层迹象不太清晰，地貌上表现一般，不过在北侧岷江通过处可见岷江沿断裂直线状分布，受断层控制，表明断裂具有一定晚第四纪活动性。



图 3.4-1 龙泉山断裂影像图

②沙湾断裂

沙湾断裂北端起于乐山市沙湾区乐都镇附近，向南东主要沿二峨山基岩山体与第四纪沉积物交接部位发育；在经过坳口村后，断裂走向逐渐变为近南北向，在切过二峨山基岩山体后进入大渡河河谷，断层形迹再难以追索，全长约 17 千米（图 3.4-2）。

该断裂在近场区西部局部出露，整体影像上断裂发育特征明显，在断层通过处可见断层槽谷、冲沟错动等地貌现象。表明断裂具有第四纪运动表现。

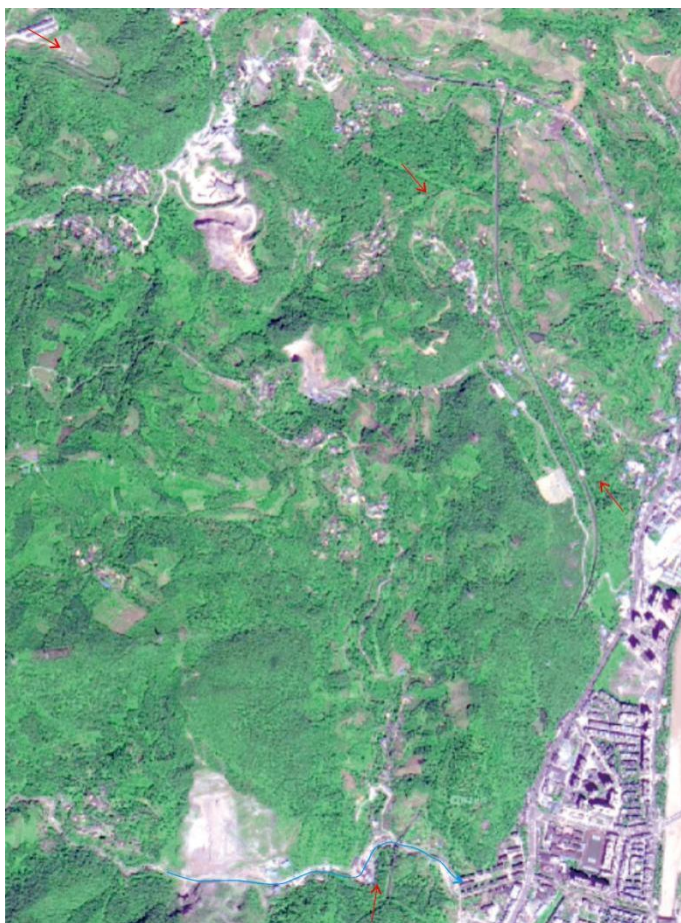


图 3. 4-2 沙湾断裂影像特征

③踏水镇断裂

踏水镇断裂发育于踏水镇附近，总体呈北西走向，并向北东凸出的弧形。断裂大致发育于三叠系地层合下侏罗统地层间。

断层沿线，主要表现为断层槽谷地貌，影像上较连续。不过断层通过冲沟处未见冲沟明显错动迹象，表明断裂晚第四纪活动性不强。



图 3.4-3 踏水镇断裂影像特征

④铜茨断裂

铜茨断裂呈北东向，主要发育于二叠系、三叠系地层中。

影像上，断层迹象明显，可见槽谷地貌，并且断层过大渡河处可见断裂左旋错动现象，现场将对该现象进行核实。



图 3.4-5 铜茨断裂影像特征

⑤利店断裂

该断裂北起峨边的五渡，向南经沐川的凤村、利店，至老鹰岩以南消失，五渡至凤村段走向北西，凤村以南利店段平面呈舒展的反“S”形、走向近南北，从北至南断裂走向北北西，长度在 45-50km。

断裂发育于近场区西南角，发育于寒武系至二叠系地层中。影像上，断层较清晰，表现为槽谷和断层陡崖形式。

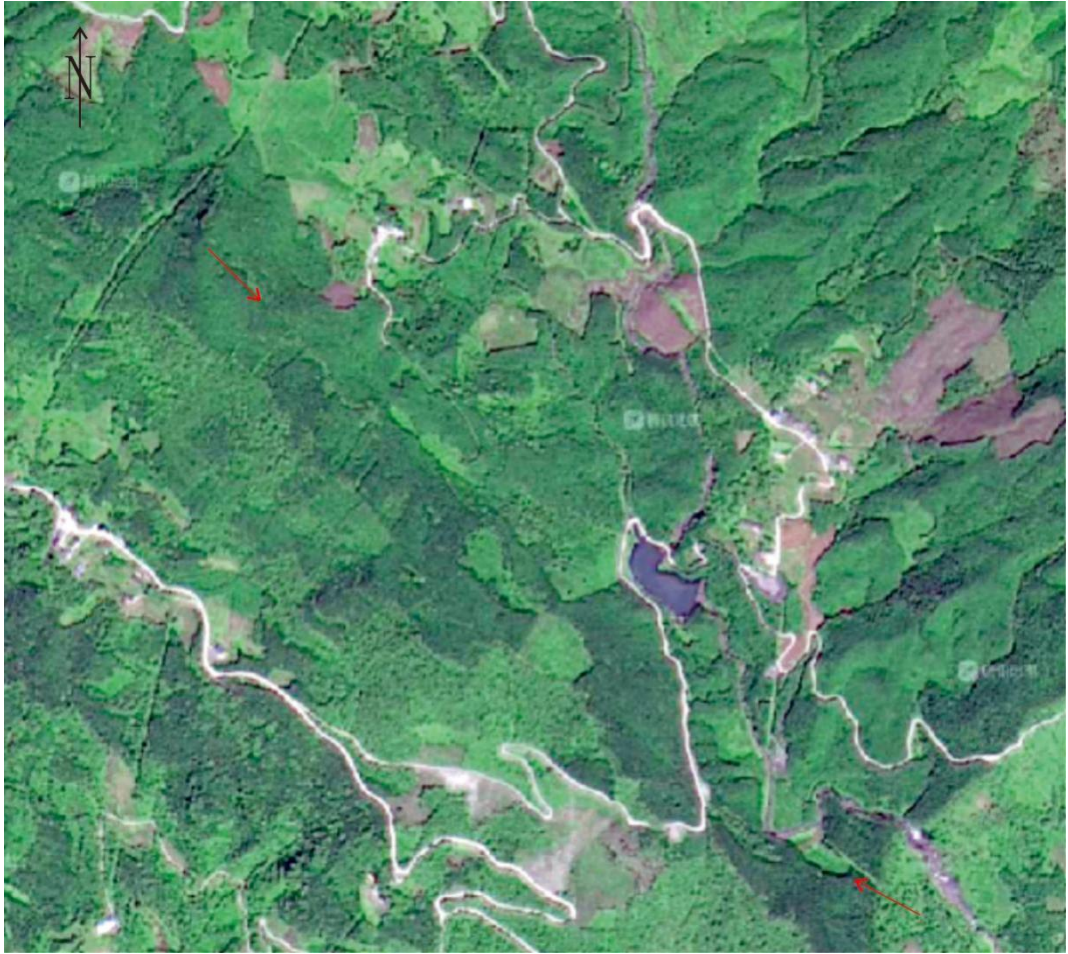


图 3.4-6 利店断裂影像特征

⑥长山镇断裂

长山镇断裂南西起于金石井以西，向北延伸在帽顶山一带与东兴场断裂相交汇，断裂全长约 20km。断裂总体呈北东东向展布，断倾向北西，倾角一般为 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

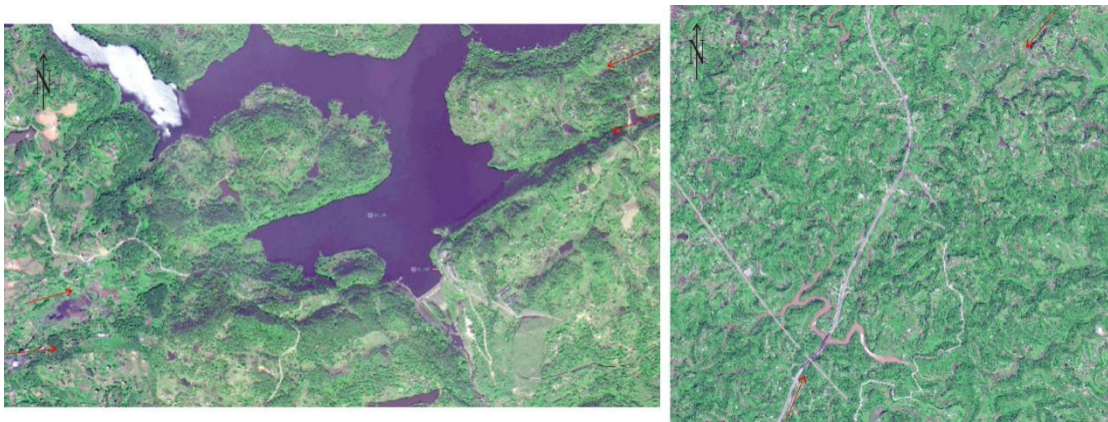


图 3.4-7 长山镇断裂影像特征

断裂沿线影像特征明显，在近场区东侧新店水库处，断层呈槽谷展出，并可见水

库沿断裂呈明显的线性延伸特征。

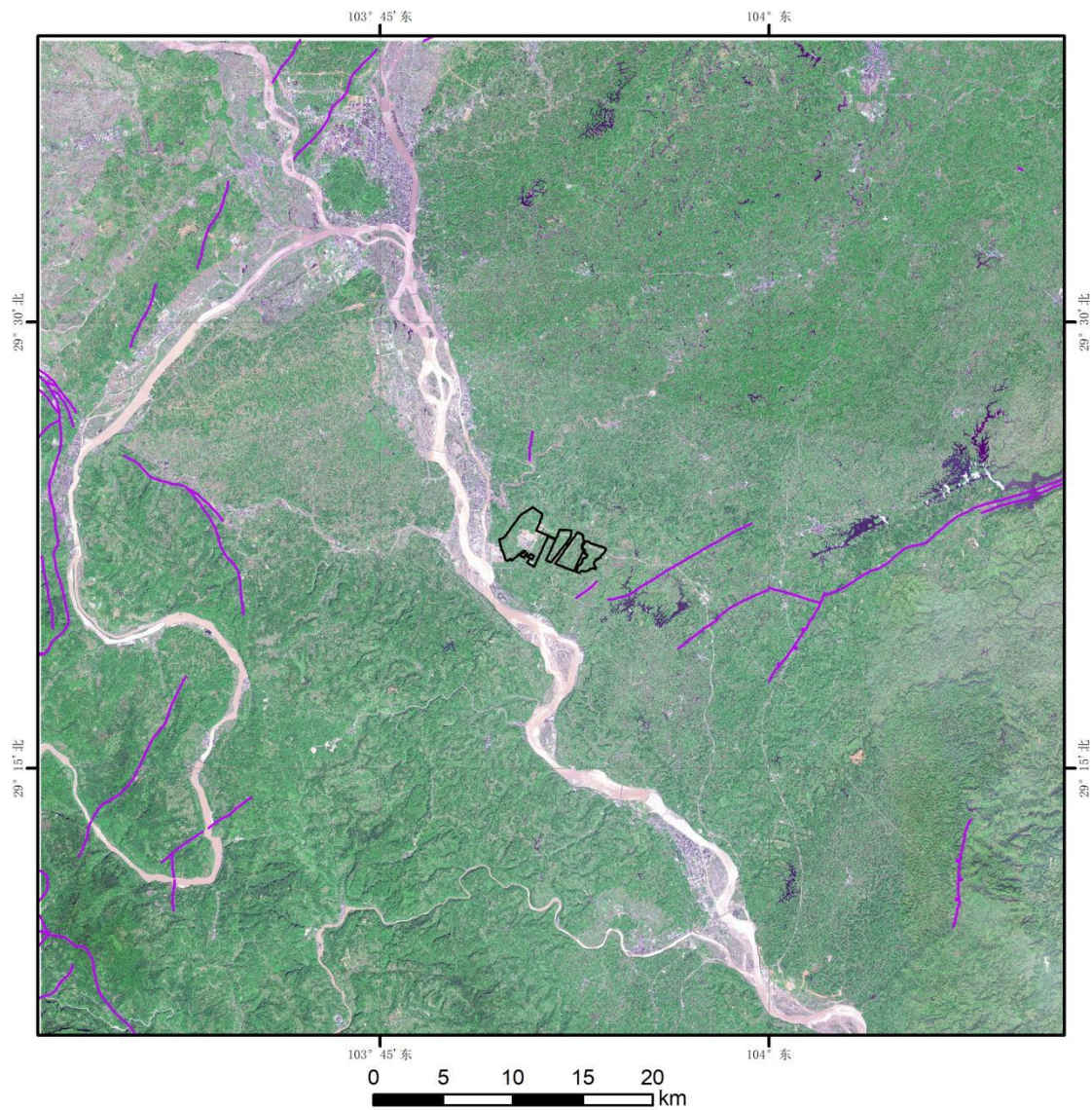


图 3.4-8 近场区遥感解译图

3.4 近场区地震构造特征

近场区内包括了大凉山和四川盆地，其中大凉山地区以北西向和近南北向断裂发育为主。而四川盆地内以北东向断层发育为主。总体上，近场区内共发育断层 7 条，其中晚更新世断层两条，为龙泉山断裂河利店断裂，其余断裂均为早中更新世活动性。近场区内断裂一览表见表 3.4-1。

表 3.4-1 近场区断层特征一览表

断层编号	断层名称	近场内长度(km)	断层产状	运动性质	活动时代	距目标区最近距离(km)
f1	龙泉山断裂	27.5	N20~30° E/	逆断层	Q3	26.3

			NW \angle 50 \sim 70 $^{\circ}$			
f2	沙湾断裂	19.1	63 $^{\circ}$ /NW/57 $^{\circ}$	逆断层	Q1-2	28.1
f3	踏水镇断裂	13.5	NW/SW/35 \sim 40 $^{\circ}$	逆断层	Q1-2	16.0
f4	铜茨断裂	13.9	NE/NW/50 \sim 70 $^{\circ}$	逆断层	Q2	21.0
f5	利店断裂	10.6	310 $^{\circ}$ /SW/70 $^{\circ}$	逆断层	Q3	35.6
f6	长山镇断裂	33.1	N40 \sim 50 $^{\circ}$ E/ NE \angle 60 \sim 80 $^{\circ}$	逆断层	Q1-2	1.1

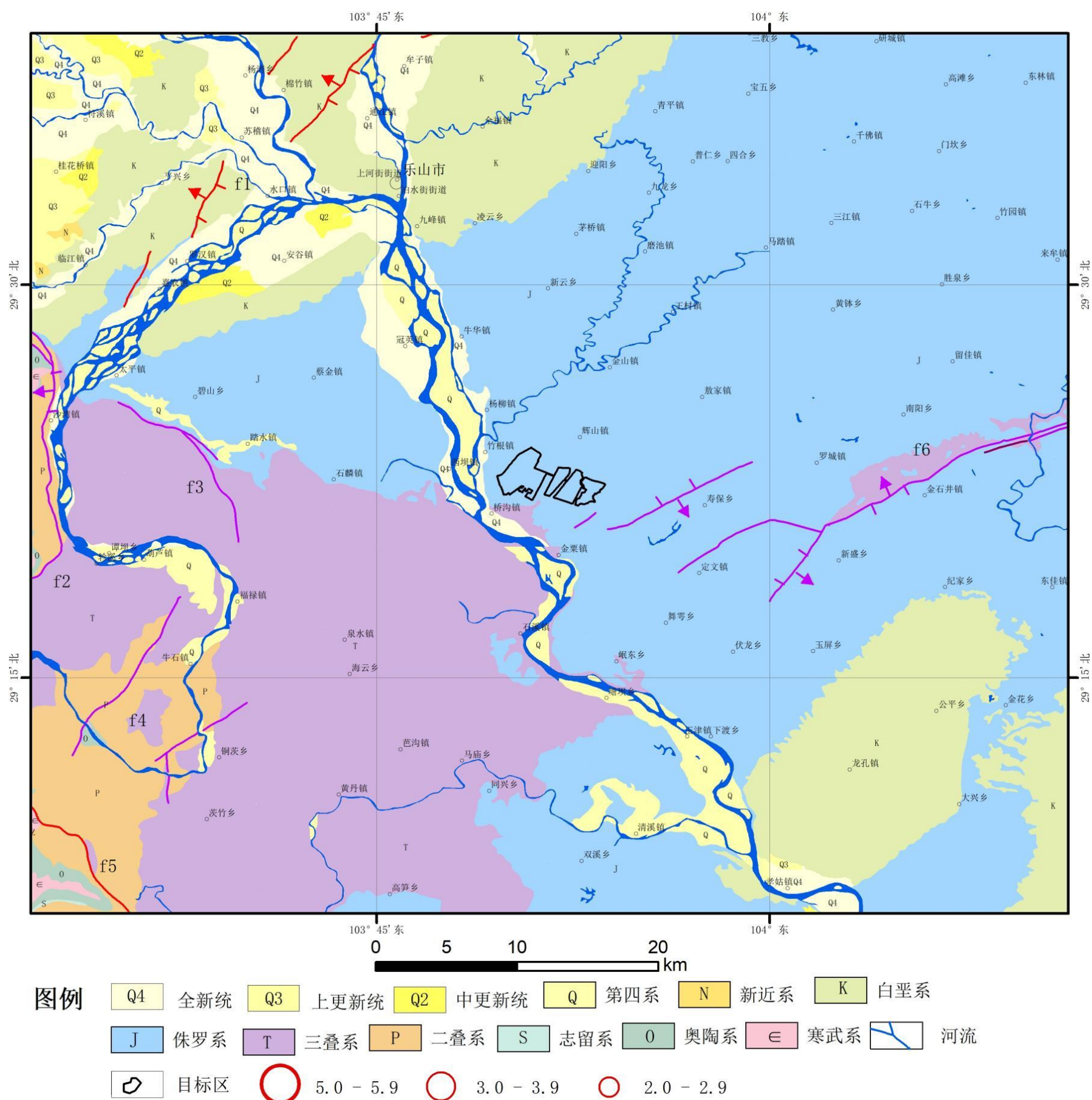


图 3.4-1 近场区地震构造图

3.4.1 龙泉山断裂 (f1)

龙泉山断裂带系成都断陷与川中台拱的分区界线，由龙泉山东坡断裂和龙泉山西坡断裂组成，分别展布于龙泉山箱状复式背斜的东西两翼。断裂带北起中江，南经金堂、龙泉释久隆场、仁寿，直达东山新桥镇附近，全长 230 公里。总体走向 N20 - 30° E，由一系列压扭性断层斜列组成，从总体上看，东西两条断裂彼此相对倾斜，向背斜核部延伸，并消失于三叠系之中。

龙泉山断裂带由东、西两条断裂组成，它们相向倾斜，分布在龙泉山背斜的东西两翼，呈北东向延伸，全长 200 多公里。由于龙泉山断裂带的挤压逆冲性质，使龙泉山崛起成为成都平原的东部屏障。近场区主要处于龙泉山西坡断裂南段。

乐山白马埂出露西坡断裂露头，断裂有一条主断裂和多条次级断裂组成。其中主断裂发育在侏罗纪蓬莱镇组 (J_{3p}) 粉砂质页岩夹细砂岩地层中，断层向北西倾斜，倾角 80°。破碎带主要由构造角砾岩和断层泥组成，总宽度约 10m，结构较疏松，显压性特征。断层下盘地层可见明显的牵引折曲现象 (图 3.4-2)。在次级断裂的断面上取断层泥物质经 SEM 测龄法测定，其结果表明断裂在中更新世晚期有过活动，且具蠕滑性质，ESR 年龄值为 267000±27000a。

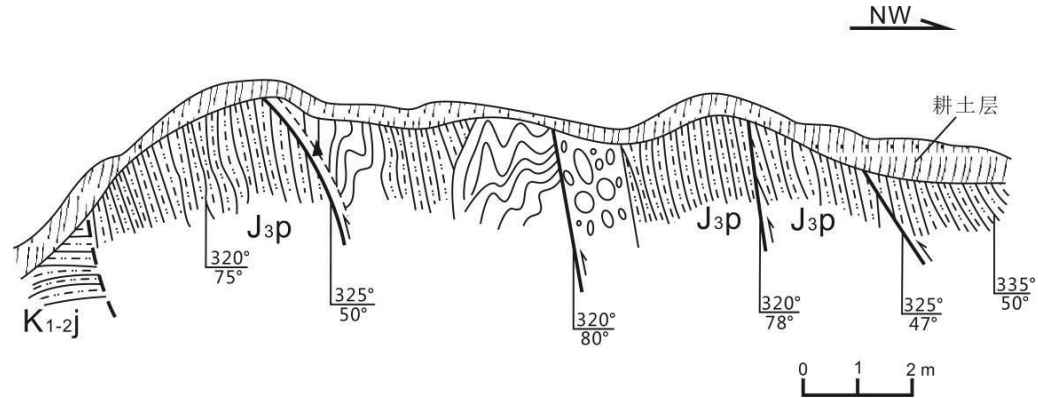


图 3.4-2 乐山白马埂砖厂西龙泉山西坡断裂剖面图 (刘雅丽, 2015) (近场区外)

在乐山嘉农人工采石场内，龙泉山断裂断于晚侏罗纪蓬莱镇组 (J_{3p}) 砂泥岩内 (图 3.4-3)，由四条断裂组成一宽约 5m 的冲断带，冲断带内岩石破碎，并发育有大量劈理，显压性特征。主断面产状 320°/36°。在主断面上取断层泥经 TL 测定的年龄值为 175000±13000a，断层活动时间为中更新世。

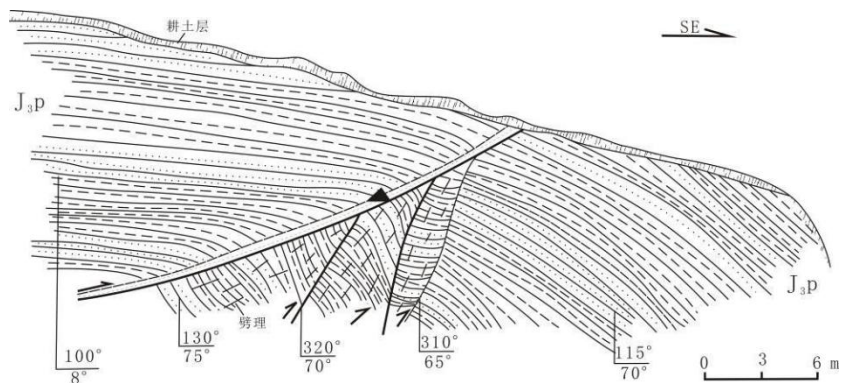


图 3.4-3 乐山嘉农机砖厂附近龙泉山断裂剖面 (刘雅丽, 2015; 1)

在新桥镇, 发现断层出露点:
断层上盘为白垩系上统夹关组 (K_{1j}), 下盘为白垩系中统灌口组 (K_{2g}), 断层走向北东 45° 左右, 断面倾向北西 30° 左右, 倾角 $35\sim 60^\circ$, 断层破碎带结构致密 (图 3.4-4)。

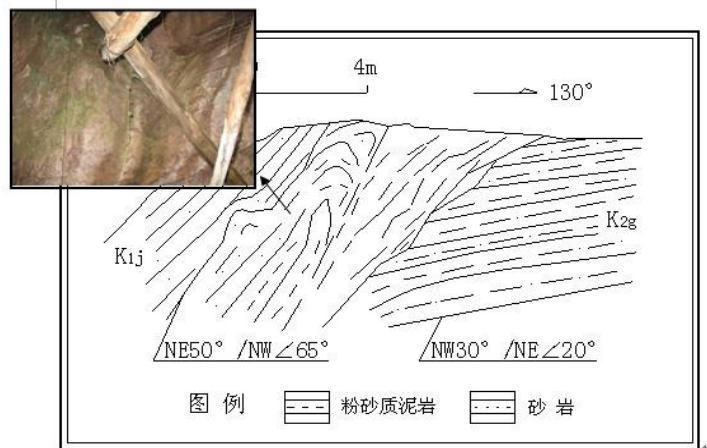


图 3.4-4 龙泉山断裂高坝村剖面 (近场区外)

在龙泉山背斜南段西翼岷江东岸 T2 阶地发现活动断层剖面 (图 3.4-5a), 缓倾角逆冲断层断

错了岷江阶地的砾石堆积底部, 红褐色层逆冲到阶地砾石堆积之上, 断层产状 $299^\circ \angle 14^\circ$ 上盘地层发生褶皱变形, 变形之后的地层遭受到河流的侵蚀, 地层局部残留 (图 3.4-5b, c)。根据前人的研究, 岷江 T2 阶地的年龄 $\sim 40\text{-}60\text{ ka}$ (姜大伟, 2017), 判断该点断层在晚更新世中期以来有过活动, 最晚活动时间为晚更新世中期。

在镇阳镇石龙村北东公路边一砖厂处见该断层发育 (图 3.4-12), 断层发育于蓬莱镇组紫红色砂泥岩中, 呈低角度单一断层面形式展布, 延伸至地表。断层两侧地层较稳定, 下盘地层近水平, 上盘略向断面倾, 根据剖面顶部浅紫色透镜状泥岩变化可以看出断层呈逆冲运动, 错距约 1.2m 。沿断层面, 发育约 5cm 左右的断层带, 带中主要为碎粉以及局部堆积的方解石脉组成, 整体具一定胶结。而且地表水平, 未见明显错动。

因此, 综合分析, 龙泉山断裂为晚更新世活动性。

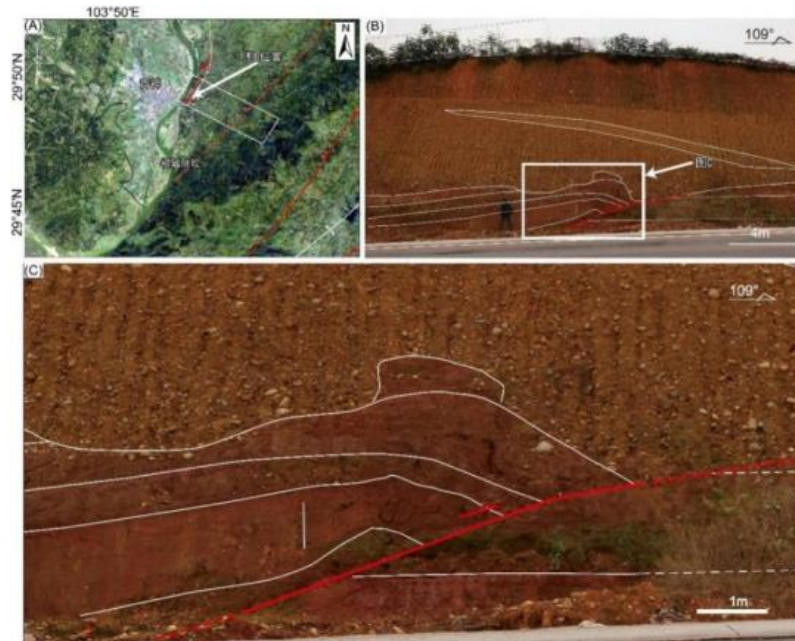


图 3.4-5 青神县东活动断层剖面（中国地震局地质研究所和四川省地质工程勘察院，2021）
（近场区外）

（a）剖面位置卫星影像图 （b）断层剖面及解译 （c）断层剖面局部放大图
（103.869042 E，29.838279 N）

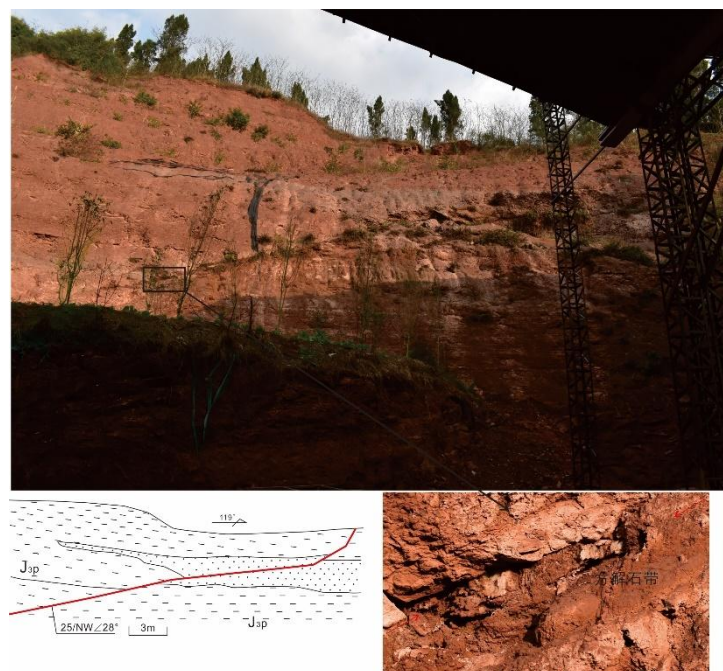


图 3.4-6 石龙村断层剖面图（近场区外）

3.4.2 沙湾断裂 (f2)

沙湾断裂北端起于乐山市沙湾区乐都镇附近，向南东主要沿二峨山基岩山体与第四纪沉积物交接部位发育；在经过坳口村后，断裂走向逐渐变为近南北向，在切过二峨山基岩山体后进入大渡河河谷，断层形迹再难以追索，全长约 17 千米。断裂带沿线槽谷、垭口等地貌发育，也可见山脊、水系等左旋位错主要在第四系中发育宽缓的断层槽谷。

在丰都镇北西方向，前人在杨沟附近的采石场发现一断层剖面，断裂发育在古生代厚层灰岩中，破碎带宽度达 80 米，两侧基岩产状差异较大，显示断裂的压性特征（图 3.4-7）；取断层泥样品进行热释光实验，得到测试年龄为 $(16.5 \pm 11) \times 10^4 \text{aBP}$ ，反映断裂的活动时间为中更新世晚期。在峨眉水泥厂附近，断裂带上覆盖的上更新统和全新统地层未发现构造活动形迹。综上所述，该断裂可能在晚更新世以来未发生过较强的构造活动。

在乐都镇西侧，沙湾断裂可分为两支，其中南支切过突出的基岩山脊，在山脊上发育断层垭口地形；北支则控制着基岩山与第四系的界线。在此处，二峨山的一条溪流在出山口发育一冲洪积扇。为确定该冲洪积扇是否被断裂断错，利用无人机进行了高分辨率的地形测绘。在获得的地形数据上截取横跨断裂的地形剖面可以发现，该冲洪积扇从扇顶至扇尾，皆未被沙湾断裂明显断错（图 3.4-8），说明沙湾断裂在该冲洪积扇形成后再未发生过活动。与此相呼应的是，该条溪流也未在断层经过位置发生明显的位错现象，因此，沙湾断裂在晚第四纪以来可能不活动。

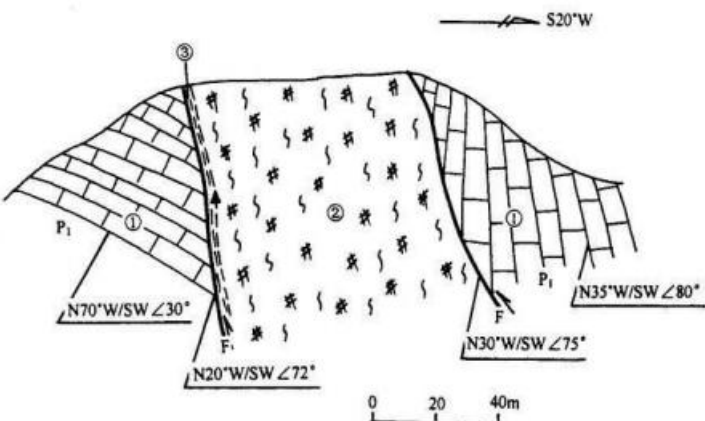


图 3.4-7 丰都庙北西采石场沙湾断裂剖面图（丁晓庆，2020；3）
①灰岩 ②断层破碎带 ③断层泥 ▲测龄样品位置

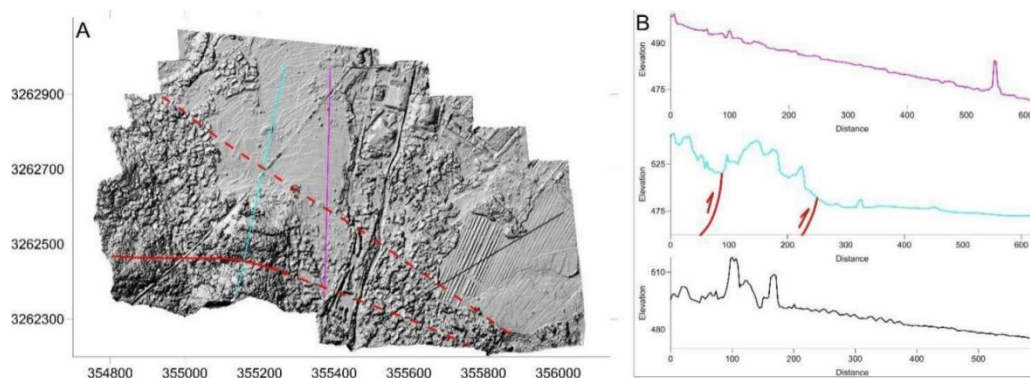


图 3.4-8 乐都镇西侧地形地貌（近场区外）

红色实线代表断层的位置，红色虚线代表疑似断层的位置，兰色、紫色黑色实线代表实测剖面位置

虽然冲洪积扇未被断错，但在该点以南数百米处，断裂在切割突出的山脊后，发育了显著的断层陡坎和垭口地貌（图 3.4-9）。在乐都镇以南，断裂沿线则主要发育宽缓的断层槽谷（图 3.4-10），指示了断层的展布位置。

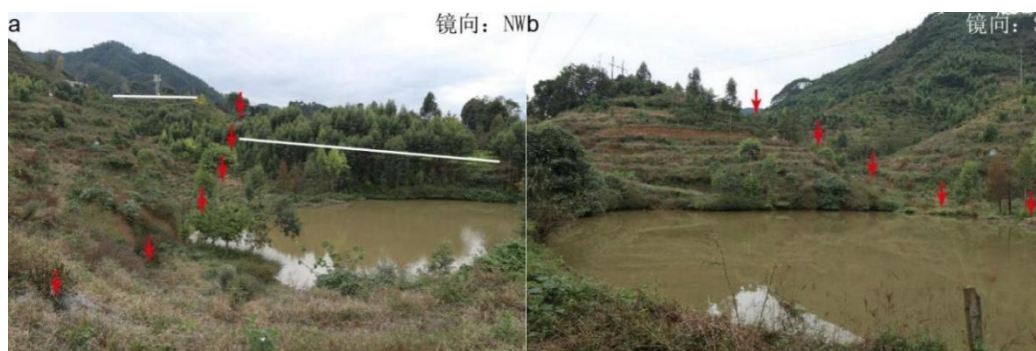


图 3.4-9 乐都镇南西赵河村附近断层坎和断层垭口（2）



图 3.4-10 乐都镇以南断层槽谷地貌 (3)

沙湾断裂在经过乐都镇坳口村后，主要展布于二峨山基岩山体中，沿横切的基岩山脊发育连续的断层垭口等地貌（图 3.4-11），指示断裂的展布位置。

以上野外调查结果表明，该断裂活动形成的构造地貌较弱，结合前人在该条断裂上取得的成果，沙湾断裂为早中更新世断裂，在晚更新世以来不活动。



图 3.4-11 坳口村以南断层垭口地貌 (4)

3.4.3 踏水镇断裂 (f3)

踏水镇断裂发育于乐西高速大桥地隧道西侧，南端起于乐西高速石油厂大桥附近，穿过大桥地隧道向北西延伸至古井坝附近转为北西西向，在老鹰岩附近消失，总长20km。断裂总体倾向南西，倾角 $35\sim 40^\circ$ ，为压性逆断层。在槽子湾见雷口坡组白云岩、灰岩逆冲于须家河组煤系地层之上，断面呈波状，断层破碎带宽约6m。破碎带由构造透镜体和挤压劈理组成（图3.4-12）。断裂活动时代为中更新世晚期，属第四纪早—中期活动断裂。

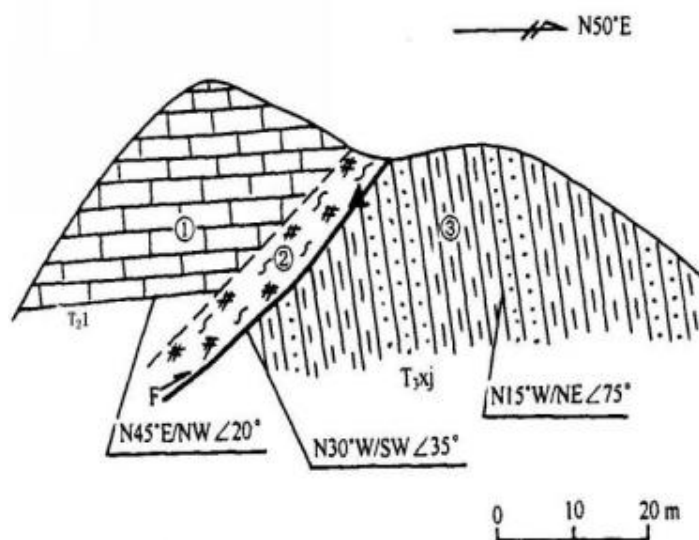


图 3.4-12 槽子湾踏水镇断裂剖面图 (5)

① 灰岩；②断层破碎带；③砂页岩；▲. 测龄样品位置

踏水镇断裂在乐西大桥地隧道处，断层产状 $222^\circ \angle 76^\circ$ 。该断层为逆断层，断层上盘为三叠系雷口坡组灰岩、岩溶角砾岩，下盘为三叠系须家河组页岩、钙质砂岩；上盘优势产状为 $214^\circ \angle 42^\circ$ ，下盘优势产状为 $220^\circ \angle 63^\circ$ 。破碎带宽约10.0m，断层破碎带主要由断层角砾和岩溶角砾岩组成（图3.4-13），覆盖于断层之上残坡积物未见错动。

踏水镇断裂在乐西高速大桥地隧道处，断层产状为 $82^\circ \angle 83^\circ$ ，断层上下盘多为灰岩、泥灰岩、岩溶角砾岩，上盘岩层优势产状为 $75^\circ \angle 32^\circ$ ，下盘岩层优势产状为 $256^\circ \angle 43^\circ$ 。破碎带宽约10.0m，断层破碎带主要由断层角砾组成（图3.4-14），覆盖于断层之上残坡积物未见错动。

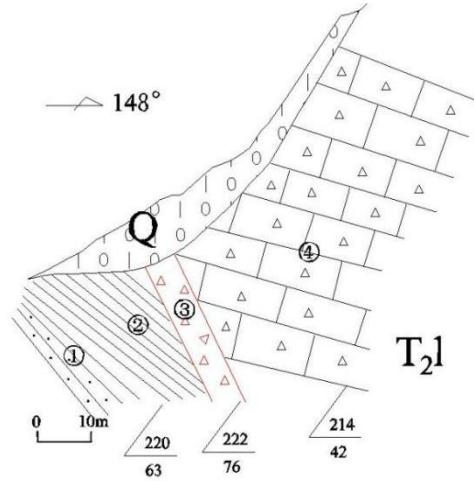


图 3.4-13 大桥地隧道进口踏水镇断裂剖面图 (6)

① 砂岩；②灰岩；③砂岩；④粉砂质泥岩；⑤断层破碎带

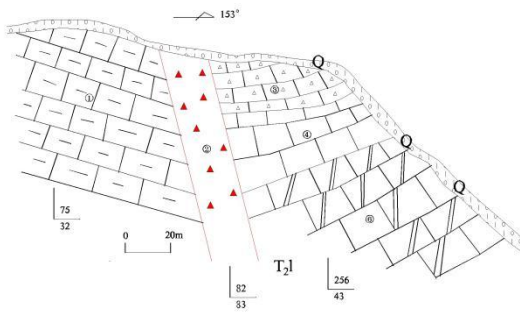


图 3.4-14 大桥地隧道出口踏水镇断裂剖面图及照片 (7)

① 泥灰岩；②断层破碎带；③岩溶角砾岩；④灰岩；⑤白云质

踏水镇断裂在乐西高速石油厂大桥，错断三叠系雷口坡组灰岩和三叠系须家河组砂泥岩，破碎带宽约 4m，主要由构造角砾岩、碎裂岩组成，压性特征，断面发育薄层断层泥（图 3.4-15），覆盖于断层之上残坡积含块石粉质黏土未见错动。

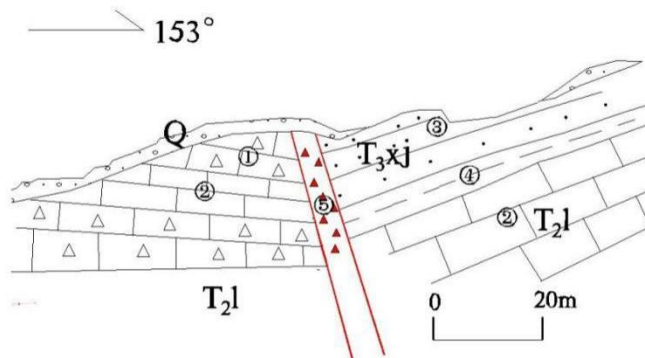


图 3.4-15 石油厂踏水镇断裂剖面图 (8)

① 岩溶角砾岩；②灰岩；③砂岩；④粉砂质泥岩；⑤断层破碎带

综上所述，踏水镇断裂为第四纪早—中期活动断裂，未见晚更新世活动的地质地

貌证据。

3.4.4 铜茨断裂 (f4)

分布于近场区西南侧，断裂北端起于鸭子池附近，向南西经天台池、中心包，在船湾、大沙坝间跨大渡河至黄家坪附近消失，总长度约 14km。铜茨断裂为一条压扭性断层，发育于四峨山背斜的南端，走向北东，倾北西，倾角 50~70°，与四峨山背斜有一定的成因联系。四峨山背斜由 3 个轴向 N15~25° 的背斜呈右列组成，向北东逐渐倾伏，背斜南西端受铜茨断裂限制，形成入字型。这种构造组合形式是在右旋剪切应力场作用下形成的（安欧，1992）。在周沟见上二叠统乐平组杂色含煤岩系逆冲于下三叠统紫红色砂泥岩之上（图 3.4-16），破碎带宽约 2~3m，主要由挤压辟理带和构造透镜体组成，沿断面有薄层断层泥，显压性特征。断层泥的 TL 法测年结果为 143000±9500 年，为第四纪早-中期活动断裂。

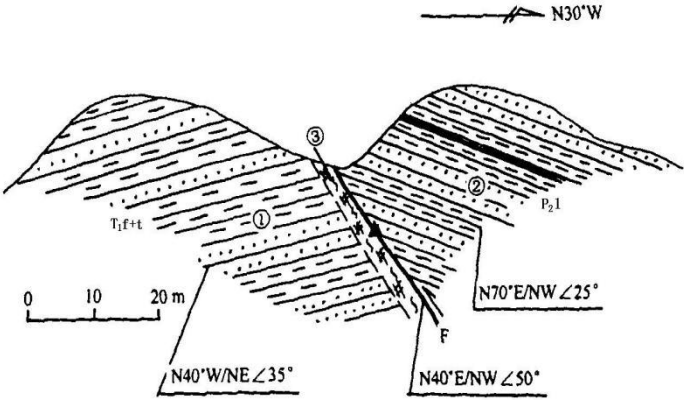


图 3.4-16 周沟铜茨断裂剖面图 (9)

①砂泥岩；②砂页岩夹煤线；③断层破碎带；▲. 测龄样

在桢楠湾，断裂位于峨眉山玄武岩组内部，上下盘出露灰黑色致密块状玄武岩，岩石致密坚硬，节理发育，产状凌乱，岩石呈碎块状，未见流面。见宽约 3m 透镜化玄武岩带，两侧断面清晰，产状 137° ∠57°，断面较平直，无断层泥等，根据透镜化玄武岩带中透镜体叠置关系判断该断层为逆冲断层（图 3.4-17）。



断面及透镜化玄武岩

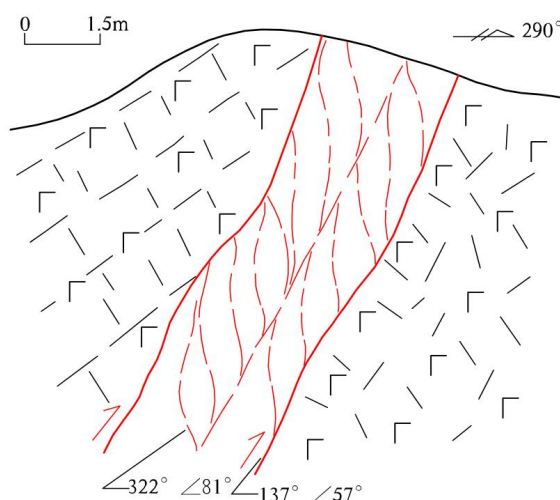


图 3.4-17 桢楠湾断层剖面 (10)

在 G348 国道边，断层及上下盘从东向西可分为 (图 3.4-18)：

- ①上盘灰黄色中厚层状细粒杂砂岩与紫红色泥岩互层，比例约 1:3，砂岩层厚 20-40cm 不等，成分多为玄武质碎屑，岩层产状稳定，为 $113^{\circ} \angle 30^{\circ}$ 。
- ②劈理化砂泥岩，宽约 2m，露头破碎。
- ③牵引褶皱带，宽约 5m，位于劈理化砂泥岩带下盘，向下运动，显示劈理化砂泥岩带为逆冲性质。
- ④劈理化细砂岩带，宽约 5m，劈理产状 $140^{\circ} \angle 66^{\circ}$ ，间隔 10-40cm 每条，局部较密集，内部可见 SC 结构，显示逆冲性质。
- ⑤下盘紫红色厚层状细砂岩与泥岩互层，比例 1:4-6，产状平缓，为 $126^{\circ} \angle 21^{\circ}$ 。



图 3.4-18 江山村断层剖面（11）

综上所述，铜茨断裂为早-中更新世断裂，未见晚更新世活动的地质地貌证据。

3.4.5 利店断裂（f5）

该断裂展布于近场区西南侧。该断裂北起峨边的五渡，向南经沐川的凤村、利店，至老鹰岩以南消失，五渡至凤村段走向北西，凤村以南利店段平面呈舒展的反“S”形、走向近南北，从北至南断裂走向北北西，长度在 45~50km。断裂主要断于古生界至中生界地层中，压性破碎带宽度在几米至十几米不等，断面倾向西、南西，倾角 30~70°，属于压

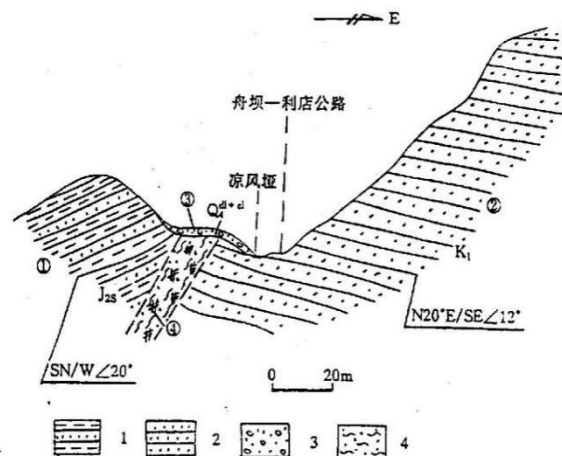


图 3.4-19 利店北断裂剖面示意图
(近场区外)

1. 紫红色泥岩、砂岩；2. 砖红色长石石英砂岩；
3. 残坡积；4. 断层破碎带

性逆断层。在利店北断层西盘侏罗纪沙溪庙组紫红色泥岩、砂岩与东盘白垩纪砖红色长石石英砂岩接触，在地表所形成的破碎带宽度在 5m 左右（图 3.4-19），显压性特征，断面西倾、倾角 50~60°。在利店老鹰岩见断层西盘的晚三叠纪-早侏罗纪香溪群煤系地层逆冲到中侏罗纪自流井组砂泥岩之上，断面走向 N40°W，倾向南西，倾角 70°，

断层破碎带宽度亦在 5m 左右，带内挤压劈理、角砾岩和断层泥发育，呈现出明显的压性特征（图 3.4-20）。取断层面上出现擦痕的方解石薄膜经热释光法测定，其结果为 $162000 \pm 12500a$ 。另在利店南附近两处断裂出露点处分别取断层泥和方解石脉经热释光法测定，其结果分别为 $119800 \pm 24000a$ 和 $168700 \pm 13000a$ ，表明利店断裂在中更新世末期曾有过明显的活动。

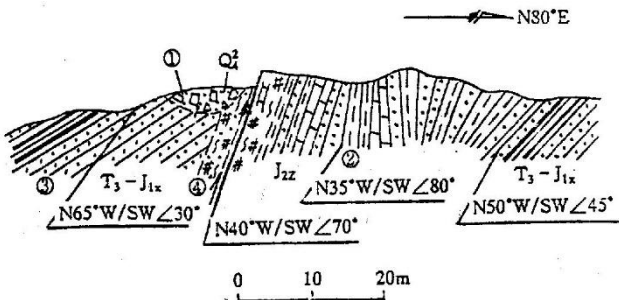


图 3.4-20 利店老鹰岩利店断裂剖面图（近场区外）
1. 全新世残坡积；2. 自流井组砂岩；3. 香溪群煤系地层；4. 断层破碎带；▲：测龄样品采集位置

利店断裂在航卫片上线性影像较清晰，沿断裂可见断层陡坎、断层三角面和冲沟扭曲现象。在老鹰岩附近，沿断裂分布的第四纪冲积层发生过向北东倾斜，靠断层其倾角达 30°，远离断层则趋于水平。在敏家岩附近，马边河支流河谷中堆积了一套晚更新世的湖沼相粉砂质粘土夹泥炭层，厚约 5m，且构成 I 级阶地的基座。在距离断层不足 200m 的地方见该湖沼相堆积层发生变形，构成平缓的向斜，地层倾角最大达 10°并伴随发育小的正断层，垂直断距 2~3cm（图 3.4-21）。

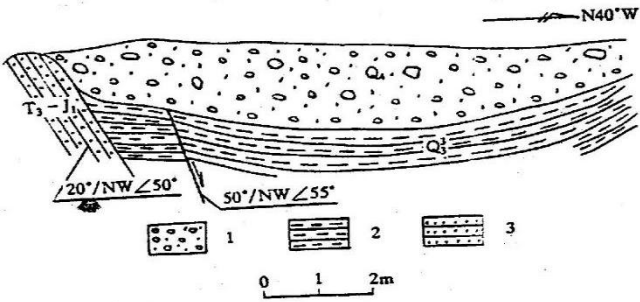


图 3.4-21 敏家岩粉砂质粘土夹泥炭层轻微变形剖面图（近场区外）
1. 阶地砂砾石层；2. 湖沼相泥炭层；3. 香溪群紫红色砂岩

该处的 T1 阶地表面非常平整，没有断层活动的迹象（图 3.4-22 和图 3.4-23）；T2 阶地上虽然发育了以宽缓槽谷，但槽谷边缘弯曲不平整，且槽谷走向与断层走向也有较大偏差，因此认为是该槽谷更可能为侵蚀作用形成（图 3.4-23 和图 3.4-24）。此外，无论是 T1 阶地还是 T2 阶地，阶地坎都无明显的水平位错现象。



图 3.4-22 利店南河流一级阶地照片（中国地震局地质研究所，2022；近场区外）

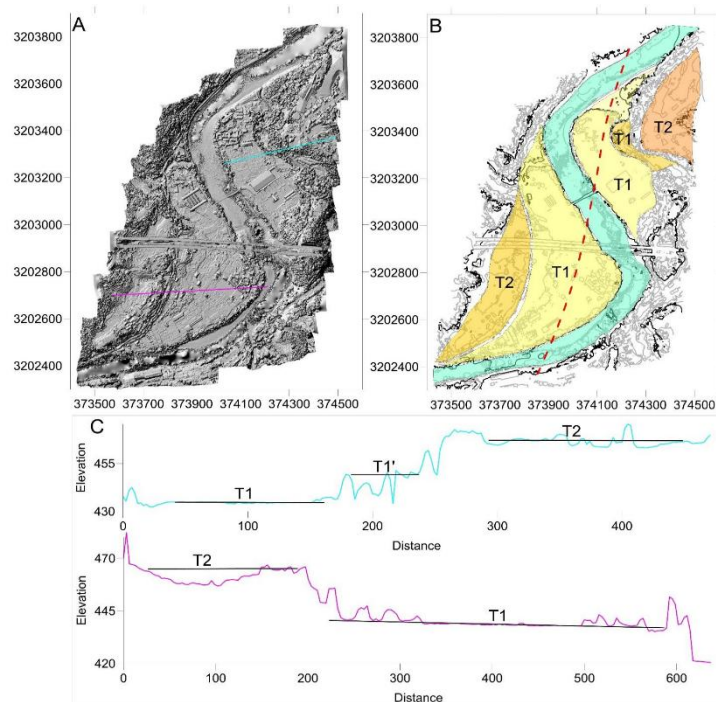


图 3.4-23 利店南河流阶地地形（中国地震局地质研究所，2022；近场区外）

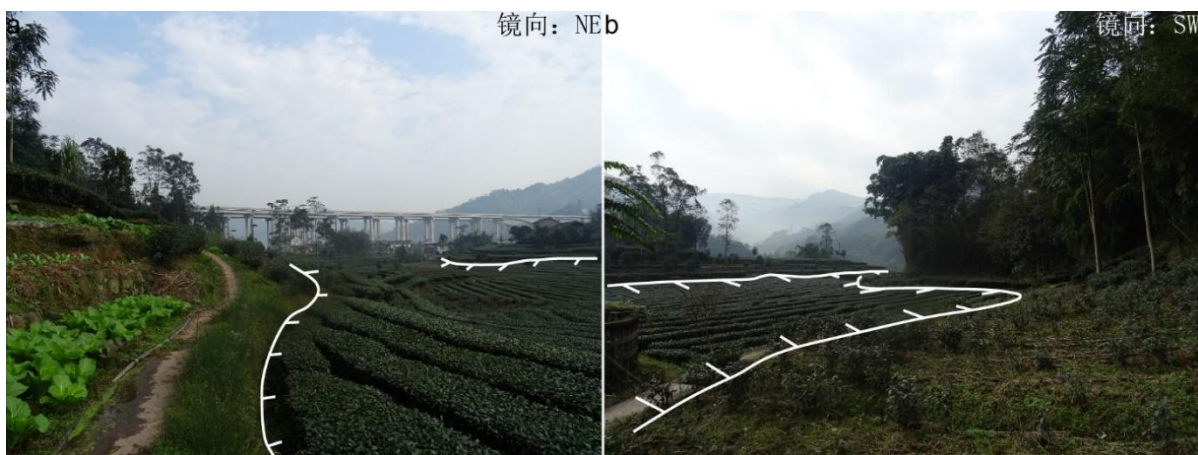


图 3.4-24 利店南二级阶地内槽谷地貌（中国地震局地质研究所，2022；近场区外）

该断裂南端 1973 年发生过 5.4 级地震，断裂中段分别于 1993、1995 年分别发生了 4.8 级和 5.5 级地震。

综上，从以上断层地貌、晚更新世晚期堆积层变形及近代若干中强地震的发生等证据分析认为，利店断裂是一条晚更新世活动断裂。

3.4.6 长山镇断裂 (f6)

长山镇断裂断裂位于近场东部，近场范围仅包括了断裂带的南西段。从构造位置上分析，长山镇断裂位于威远背斜的西南端部。该背斜系区内隆起最高、闭合面积最大的穹状背斜，背斜西起北东经金石井、小井沟，五通坝、东兴场、山王场东，全长60km。背斜总体呈北东东向展布，但在东兴场一带以东为北70°东走向，以西呈北东向，背斜轴线向北微凸成弓形。背斜核部为三叠系中、下统，三叠系上统及侏罗系组成两翼，南翼陡，倾角一般为8—10°，最大为30°，北翼缓，倾角1—5°。背斜上次级褶皱发育，多达数百个，它们大小不等，长短不一，形态多样，最长达4km，短者仅几十米，其轴向多与主背斜轴向一致。在威远背斜构造核部发育有北东向的断裂如东兴场断裂和近场内的长山镇断裂，此外，还发育有规模很小的北西向或近南北向的断裂，如荣县附近的NW向断裂和大兴场附近的NS向断裂，这些断裂在成因上均与背斜构造的发育、发展相关联。

长山镇断裂是其中规模最大的断裂，在观音山见长山镇断裂断于上三叠统须家河中细粒砂岩之中（图4.3-13），断层走向N40°E，倾向NW，倾角40°，断层破碎带可见宽度约3米左右，破碎带以糜棱岩、碎

裂岩为主，断层泥呈透镜状产出。断层上盘地层产状走向N20°E，倾向NW，倾角36°，下盘地层的倾角较陡，产状为走向N30°E，倾向NW，倾角60°。在断面上取断层泥经热释光法测得的年龄值为 332000 ± 49800 年，表明断裂的最新活动时代为中更新世。历史上沿背斜构造的小震活动比较频繁，其中最大一次地震为1979年铁山4.2级地震，震中烈度为Ⅵ度。

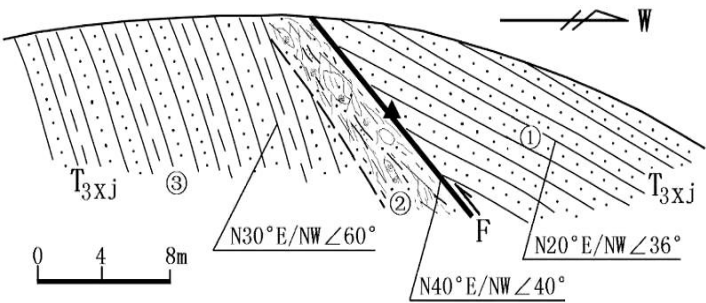


图 3.4-25 观音山长山镇断裂剖面图 (近场区外)

①中细粒砂岩；②断层破碎带；③中细粒砂岩夹砾岩；

▲：年代学测龄样品取样位置

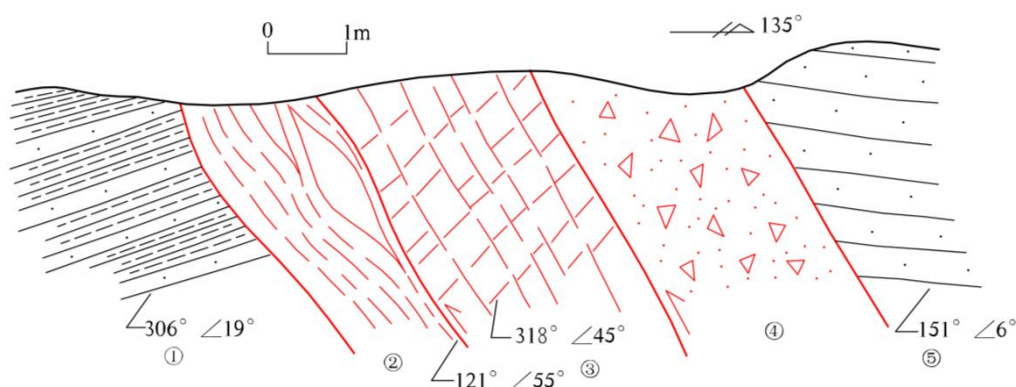


图 3.4-27 青狮村断层剖面（12）

从以上剖面特征分析，长山镇断裂具有典型的挤压特征，断面倾向上的变化，反映出断面呈枢纽状特点，该断裂最新活动时期应在中更新世。

3.5 近场区地震构造综合评价

自 1970 年至 2023 年 12 月 31 日，近场区共记录到 M2.0~M4.6 地震 1180 次，其中 M4.0~M4.6 级 5 次，M3.0~M3.9 级 119 次，M2.0~M2.9 级 1056 次。

近场区内发生的最大一次地震为 1913 年 7 月 16 日四川乐山 5 级地震，距离目标区 26km，该地震对目标区的最大影响烈度为 V 度。

近场区内的现代地震空间分布不均匀，小震活动的集群特征表现为团簇状。现代中小地震主要分布在近场区的东部、南部和西部

近场区主要位于四川盆地丘陵地貌区，近场区整体地形平坦。第四纪以来以震荡式整体升降为特征，近场区附近表现为间歇性抬升作用，其中 T2 阶地缩短速率 0.65-0.99mm/a，T1 阶地缩短速率 1.74-2.25mm/a。近场区全新世以来的地壳平均抬升速率为 0.3~0.5mm/a。

近场区包括了大凉山中低山地貌和川中丘陵地貌中，水系沟谷发育。地貌上总的特点是以山地和丘陵为主，间夹河谷平原。整体上，以大凉山为界，具有南西高北东低的特点。近场区海拔高度位于 303-1653m 之间。按其成因类型可分为构造剥蚀和侵蚀堆积两大地貌类型。

场区大部分及目标区处于四川盆地中，四川盆地形成于印支期，受燕山和喜山期的进一步改造而成。喜山运动席卷了整个四川盆地结束了湖盆沉积历史，区内沉积地层全部褶皱隆升。整体上近场区内发育断裂 6 条，其中龙泉山断裂、利店断裂为晚更新世活动断裂，其余断裂为早中更新世断裂。

龙泉山断裂是一区域性断裂，也是新构造单元划分的边界之一，沿断裂曾发生 1967 年仁寿 5½ 级地震和 2020 年青白江 5.1 级地震。具备发生中强地震的构造条件，最大发震能力应考虑为 6.5 级为宜。

利店断裂作为荣经-马边-盐津断裂的组成部分之一，为晚更新世活动断裂，并有错断晚更新世地层的地质证据，历史上都曾发生过 5 级左右的中强地震，如沿利店断裂南端 1973 年发生过 5.4 级地震，沿断裂中段 1993、1995 年分别发生了 4.8、5.5 级地震表明断裂具备发生 6.0-6.5 级地震的危险性。

近场区内其余断裂为早中更新世活动断层，沿断裂均无发生过破坏性地震的记载，现今地震活动微弱，因此皆不具备发生中强地震的构造条件。

第四章 目标区断层探测与活动性鉴定

根据《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函（2019）21号）和《四川省区域性地震安全性评价规范》（送审稿）区域地震安全性评价大纲的要求：“应开展断层控制性调查与探测，查明目标区是否存在断层。对隐伏断层应采用浅层地震勘探方法进行探测，必要时，可采用多种方法联合探测；对裸露区发育的主要断层，应采用高分辨率遥感、地质地貌、槽探等方法进行勘查。”

分析目标区地震构造特征，评价目标区主要断层的性质、活动时代、位移和运动特征，分析目标区主要断层与近场区活动断层的构造联系，评价目标区范围内发震构造潜在地震活动产生地表断错的可能性。

4.1 目标区地质构造及地貌

4.1.1 目标区地形地貌

目标区位于四川盆地西南，乐山市五通桥化工园区东南，区域上属于三级盆地中切丘陵区，处于岷江左岸，沿岸为平坝，往东为丘陵区（图 4.1-1），总体地势呈现北高南低，北东高南西低。



图 4.1-1 目标区地形地貌照片

4.1.2 目标区地质构造

目标区在大地构造上属扬子准地台、四川台坳之川西台陷构造单元，在漫长的地质发展中经历了多次构造运动，大约 2 亿年前的印支构造运动，使地壳

抬升，结束了海侵历史，进入陆相河流湖盆相沉积，形成了广布于五通桥区的中生界三叠系、侏罗系和新生界第四系地层。

4.1.3 目标区地层与岩性

根据地质剖面调查，目标区及附近主要出露侏罗系中下统自流井组（J₁₋₂Z）地层，上部为紫、暗紫色中厚层状泥岩、砂质泥岩，夹灰绿色薄～中厚层状泥质粉砂岩。中部为紫红色薄～中厚层状泥岩、砂质泥岩，夹泥质粉砂岩、细粒砂岩。底部为深灰色砂质泥岩、泥质灰岩。下部为紫红色薄层状砂质泥岩，含灰绿、褐色斑块，夹灰、浅灰色中厚层状细～中粒砂岩，底部一般为灰绿色泥质粉砂岩；在河流沟谷等低矮宽缓地带出露有第四系全新统（Q₄）地层，主要分布于山麓、沟谷、山湾、缓斜坡及地势低洼地带，由残积、坡积、崩积、冲洪积的黄灰色、褐黄色、紫灰色、灰色、深灰色块碎石土、角砾土、粉质粘土、粘土、卵砾石土、砂土等组成。

4.2 目标区附近地质剖面

根据野外探勘和实地调查，目标区附近基岩出露较好，除河边阶地，其余大部分地区均可见基岩出露，因此本项目拟采用地质剖面手段对目标区的地层结构和构造发育情况进行调查。为了有效控制目标区的地质情况，本项目拟布置3条斜向交会的地质剖面。

根据地质剖面调查结果，目标区内以白垩系苍溪组紫红色黏土岩、粉砂岩发育为主，河谷中发育有河流相卵石层。整体上目标区内基岩产状平坦多数小于15°，且均向北西倾斜，为苍溪向斜的南东翼。目标区内基岩出露较好，经地质剖面调查未发现断层发育。

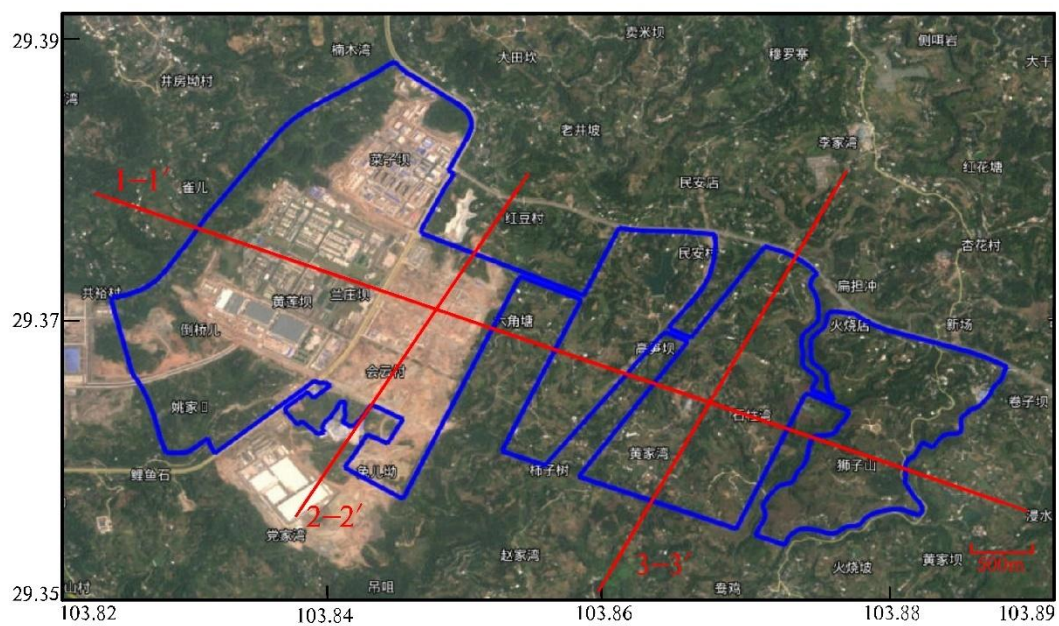


图 4.2-1 目标区地质剖面线布设图

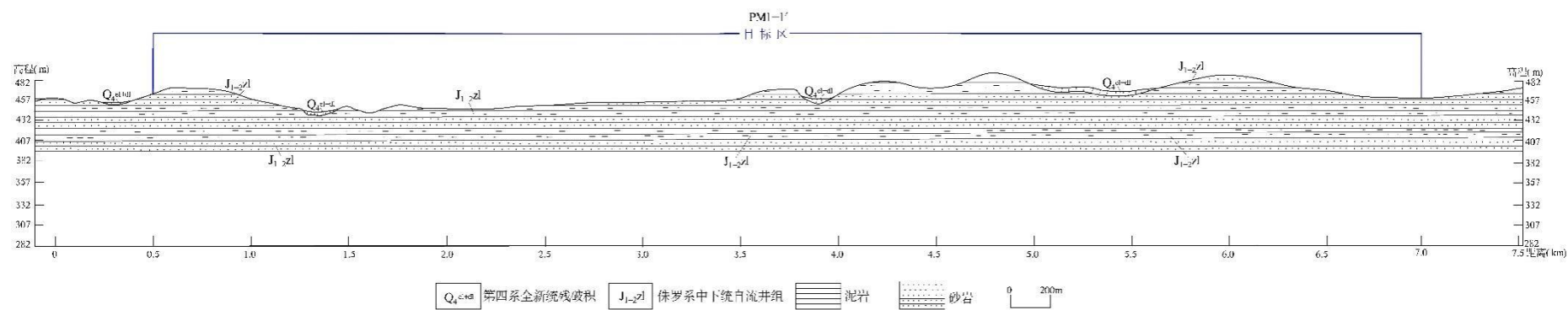


图 4.2-2a 目标区实测地质剖面 1-1'

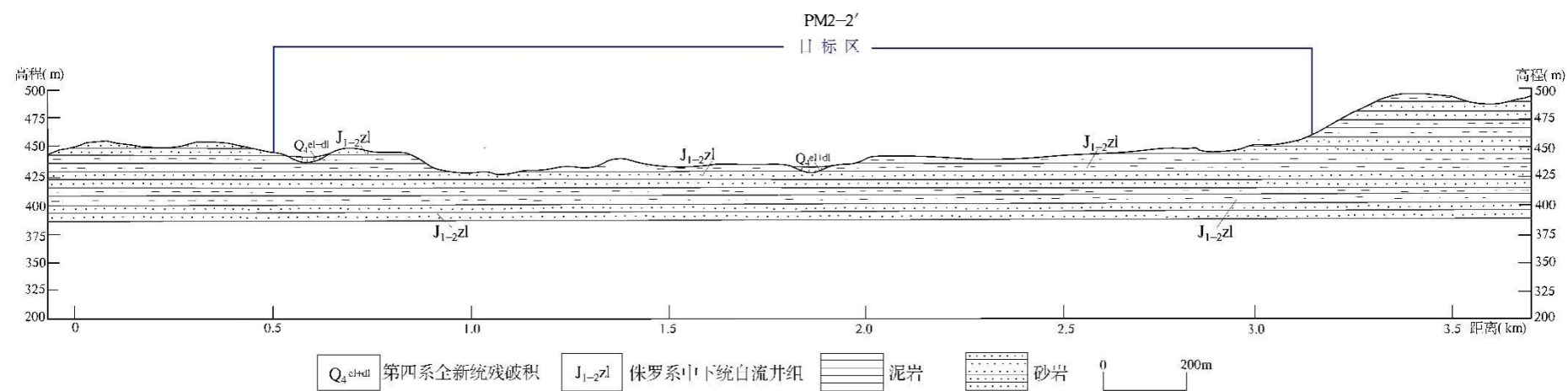


图 4.2-2b 目标区实测地质剖面 2-2'

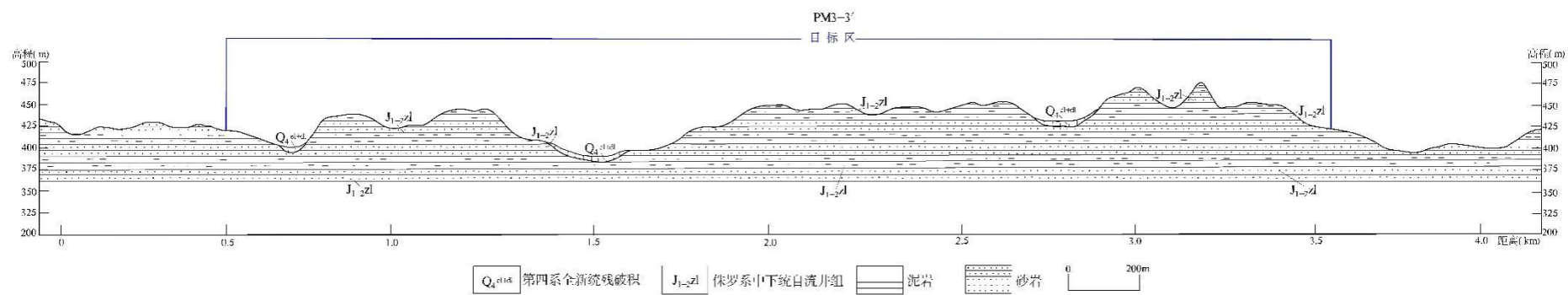


图 4.2-2c 目标区实测地质剖面 3-3'



图 4.2-3 现场调查图片

4.3 目标区工程地质剖面结果

根据目标区内钻探结果，项目组充分利用钻探结果，绘制了两条工程地质平面图，平面图的平面布置见图 4.3-1。

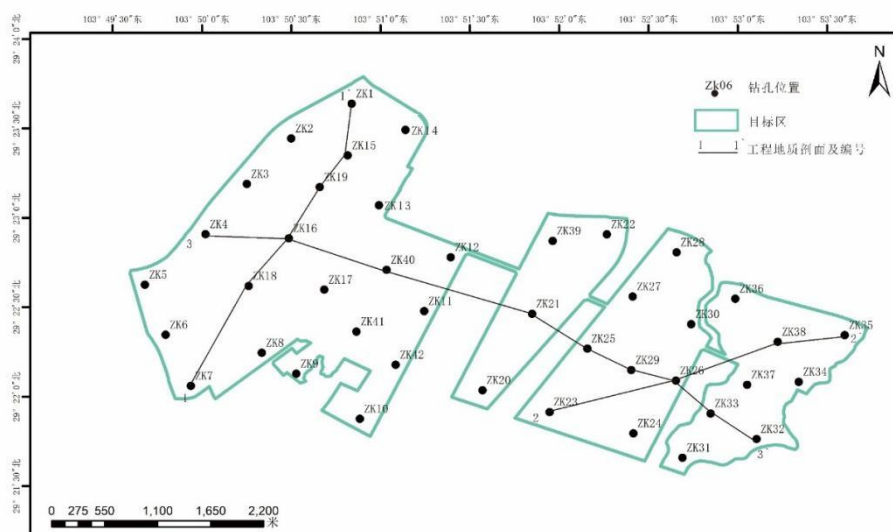
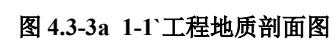


图 4.3-1 目标区工程地质剖面布置图

比例尺 水平 1:5000 垂直 1:300



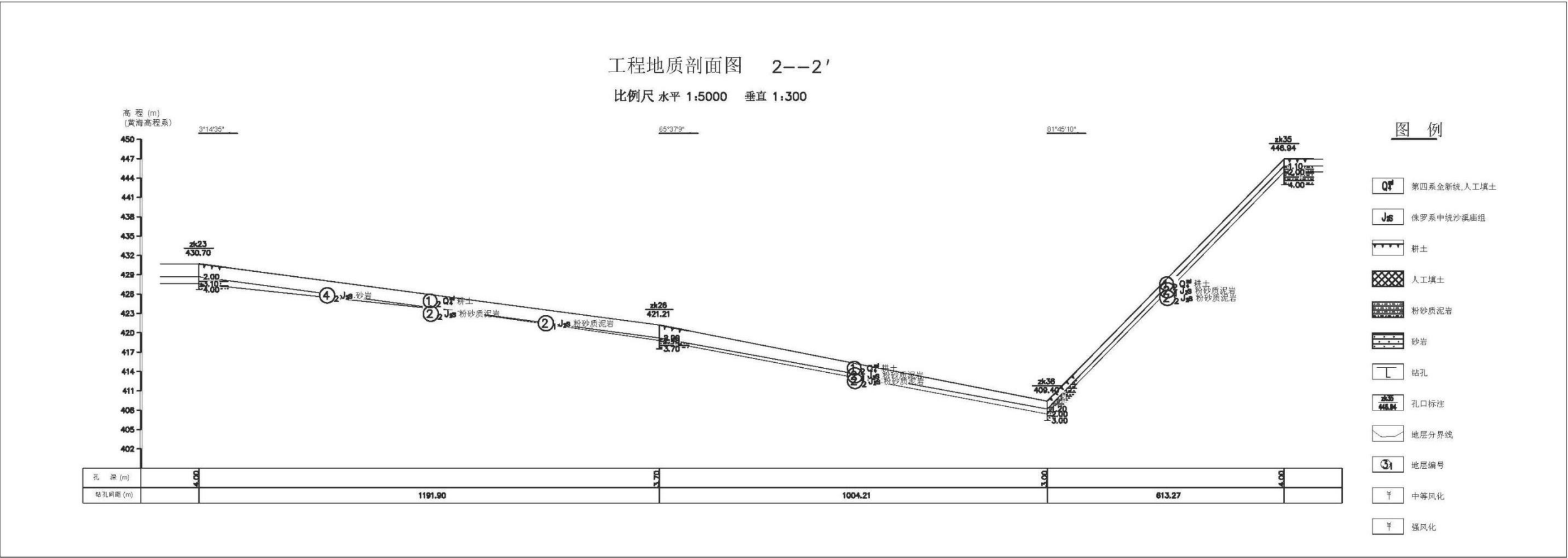


图 4.3-3b 2-2' 工程地质剖面图

工程地质剖面图 3—3'

比例尺 水平 1:15000 垂直 1:400

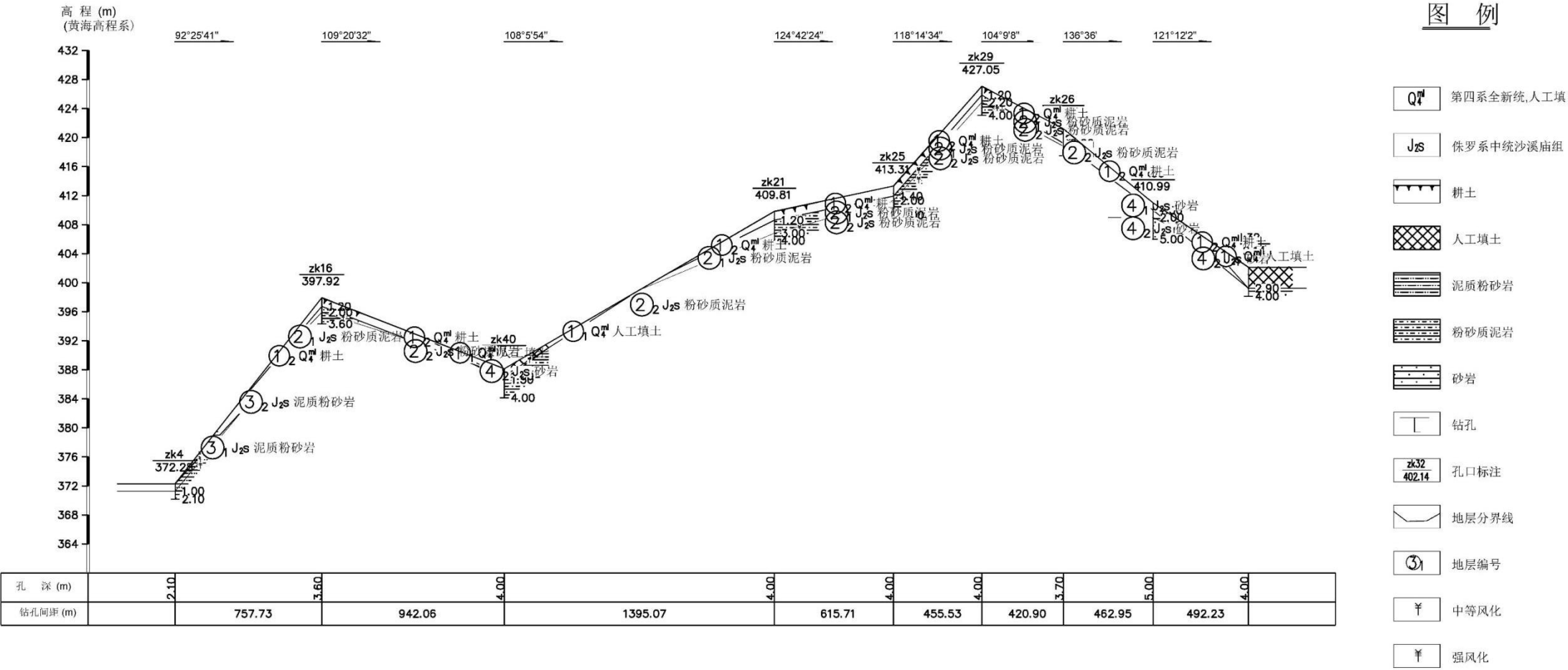


图 4.3-3c 3-3' 工程地质剖面图

4.4 结论

目标区位于四川盆地西南，乐山市五通桥化工园区东南，区域上属于三级盆地中切丘陵区，处于岷江左岸，沿岸为平坝，往东为丘陵区，总体地势呈现北高南低，北东高南西低。

目标区在大地构造上属扬子准地台、四川台坳之川西台陷构造单元，在漫长的地质发展中经历了多次构造运动，大约 2 亿年前的印支构造运动，使地壳抬升，结束了海侵历史，进入陆相河流湖盆相沉积，形成了广布于五通桥区的中生界三叠系、侏罗系和新生界第四系地层。

目标区内发育白垩系苍溪组，岩性为紫红色粘土岩、粉砂岩。根据场地地质剖面测试和钻孔工程地质剖面结果，场地内苍溪组粘土岩、粉砂岩地层产状平坦，地层倾斜角度小于 15° ，整体倾向北西，为苍溪向斜的南东翼。目标区基岩出露较好，经调查目标区内不发育断层。

第五章 地震危险性概率分析

按照《工程场地地震安全性评价》(GB 17741-2005)和《区域性地震安全性评价大纲(试行)》(中震防函[2019]21号)的规定,本章依据前述章节关于区域及近场区域地震活动性、区域及近场区域地震构造背景的研究,确定对目标区地震安全性有影响的地震带、地震构造区及潜在震源区划分,地震带、地震构造区及潜在震源区地震活动参数,并利用所确定的适合本区的地震动预测方程,以地震危险性的概率分析方法,进行目标区的地震危险性分析计算。

5.1 地震危险性概率分析方法概述

地震危险性分析的目的,是预测某场地未来一段时间内出现某种级别的地震动的可能性,它是工程抗震设计和决策的重要依据。本工作采用《工程场地地震安全性评价》(GB 17741-2005)规定的概率地震危险性分析方法,其主要特点在于考虑了地震活动的时空不均匀性。该方法有以下几个主要步骤:

第一,在地震活动性研究和构造分析基础上划分地震带,并确定地震带的地震活动性参数。以此作为考虑地震活动时间非均匀性、确定未来百年地震活动水平和地震危险性空间相对分布概率的基本单元。地震带内部地震活动在空间和时间上都是不均匀的。

第二,在地震带内划分出地震构造区,进一步在地震构造区内划分出潜在震源区,并确定地震构造区背景潜源和潜在震源区的地震活动性参数。

第三,确定合理的地震动预测方程。

第四,根据分段泊松模型计算每个地震带对场点的地震危险性贡献,综合各地震带的地震危险性贡献,求出场点的地震危险性。

对于一个场点进行地震危险性分析,通常通过以下几个步骤得到:

设有 N_z 个地震带对场点的地震危险性有贡献,相应于第 i_z 个地震带对场点地震动的年超越概率为 P_{i_z} , 则场点总的地震动年超越概率表示为:

$$P = 1 - \prod_{i_z=1}^{N_z} (1 - P_{i_z}) \quad i_z=1, 2, \dots, N_z$$

地震带是地震活动性分析的统计单元,它应具有统计上的完整性和地震活

动趋势的一致性。假定地震发生的时间过程符合分段泊松过程， t 年内地震年平均发生率为 ν_t ，则：

$$P_{kt} = \frac{(\nu_t \cdot t)^k}{k!} \exp(-\nu_t \cdot t)$$

式中 P_{kt} 是地震带未来 t 年内发生 k 次地震的概率。

地震带内大小地震的比例关系符合修定的古登堡—里克特震级—频度关系，相应的震级概率函数为：

$$f_m(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m - M_0)]}{1 - \exp[-\beta(M_{uz} - M_0)]}$$

其中 $\beta = b \ln 10$ ， M_0 ， M_{uz} 分别是起算震级和震级上限。

在地震带中划分出若干不同震级上限的地震构造区和潜在震源区。从分段泊松模型和全概率定理可知，区内所发生的地震在场点所产生的地震动值（A）超过给定值（a）的概率为：

$$P(A \geq a) = 1 - \exp\left\{-\nu \sum_{j=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_s} \iiint \frac{1}{S_i} P(A \geq a | E_i) P(m_j) f_{i,m_j} f(\theta) dx dy d\theta\right\}$$

式中 $P(m_j)$ 为地震带发生的地震落在震级档 $m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m$ 内的概率，它可表示为：

$$P(m_j) = \frac{2}{\beta} f_m(m_j) sh\left(\frac{1}{2} \beta \Delta m\right)$$

由以上两式可得知：

$$P(A \geq a) = 1 - \exp\left\{-\frac{2\nu}{\beta} \sum_{j=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_s} \iiint \frac{1}{S_i} P(A \geq a | E_i) f_m(m_j) f_{i,m_j} f(\theta) sh\left(\frac{1}{2} \beta \Delta m\right) dx dy d\theta\right\}$$

式中 $f(\theta)$ 为破裂方向的概率密度函数， f_{i,m_j} 为地震空间分布函数， ν 为 4.0 级以上地震的年平均发生率， $P(A \geq a | E_i)$ 为地震带内第 i 个地震构造区背景潜源或潜在震源区内发生某一特定地震事件（震中（x,y），震级 $m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m$ ，破裂方向确定）时场点地震动超越 a 的概率， S_i 为地震带内第 i 个潜在震源区的面积。这就是某一地震带发生地震在场点产生地震动的年超越概率公式。

本报告采用的危险性分析计算程序中，采用国内外普遍使用的校正方法进行地震动衰减的不确定性校正，即认为地震动衰减离散性符合正态分布或对数正态分布，对地震动预测方程的不确定性校正公式为：

$$P(A \geq a) = \int_{-3\sigma}^{3\sigma} P(A \geq a - \varepsilon) f(\varepsilon) d\varepsilon$$

式中， $P(A \geq a)$ 是经校正的地震危险性， $P(A \geq a - \varepsilon)$ 是未经校正的地震危险性， ε 为随机误差项， $f(\varepsilon)$ 为其概率密度函数。

5.2 地震构造区和潜在震源区的划分

新一代地震区划图采用了潜在震源区三级划分的思想，分别为地震区带的划分、地震构造区的划分和潜在震源区的划分。其中地震区带是指地震活动和地震地质条件密切相关的地区，是地震活动性参数的基本统计单元；地震构造区是指地震构造环境和发震构造模型一致的地区，是潜在震源区三级划分原则中重要的中间环节，其目的是在地震区带中细划出的地震构造区内，建立统一的发震构造模型，确定地震构造类比标志，并更加合理地确定本底地震震级；潜在震源区主要依据具体的断裂构造进行划分，反映活动较强烈的地震构造对局部地区地震危险性的控制作用。本次工作根据新一代区划图工作成果，划分时采用了三级划分方法。由于区域所在地震区带的划分方案在前述章节已经论述，下面将对相关地震带内地震构造区、潜在震源区的划分进行论述。

5.2.1 地震构造区的定义与划分原则

地震构造区是指在现今地球动力学环境下，地震构造环境和发震构造模型一致的地区。地震构造环境一致系指在统一的现今地球动力学环境、构造应力场及深部地球物理场等条件下，发震构造性质具有一致或相似性的特点，同一地震构造区内的地震活动的强度和频度相近。发震构造模型一致系指同一地震构造区内的发震构造和主要地震事件可以归纳为统一的发震构造模型来解释，而与发震构造模型不相关、随机发生的地震则确定为背景性地震，即本底地震。因此，地震构造区的划分应遵循以下几条原则：

动力学环境的一致性。即在现今区域地球动力学环境和块体运动作用下，同一地震构造区具有相同或相似的构造变形样式。

现今构造应力场的一致性。包括主压应力场的方向、仰角等。

地震构造环境的一致性。主要是指发震断层具有相同或相近的活动性质。

深部地球物理场特征的一致性。即同一地震构造区内具有相同或相似的深部构造背景，意味着发震构造的深部孕震构造背景相同或相似。

发震构造模型的一致性。即同一地震构造区内的发震构造和主要地震事件可以归纳为统一的发震构造模型。

背景地震强度（本底地震）的一致性。即同一地震构造区内与发震构造无关的随机地震具有相同的震级上限，通常是在排除了在同一发震构造模型下的可能性后确定的。

在综合应用以上几条原则的基础上，还应参考新构造运动特征和地震活动的强度与频度相同或相近的两条原则。

5.2.2 地震构造区的划分结果

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，对各地震带内地震构造区划分结果如下：龙门山地震带划分出成都和龙门山 2 个地震构造区，背景地震分别为 6.0 级和 6.5 级；长江中游地震带划分出川中和渝黔 2 个地震构造区，背景地震都为 5.0 级；鲜水河-滇东地震带划分出攀西-滇中和川西 2 个地震构造区，背景地震为 6.0 级和 6.5 级；右江地震带划分出右江 1 个地震构造区，背景地震为 5.0 级。图 5.1-1 给出了地震构造区划分示意图。目标区位于渝黔地震构造区。

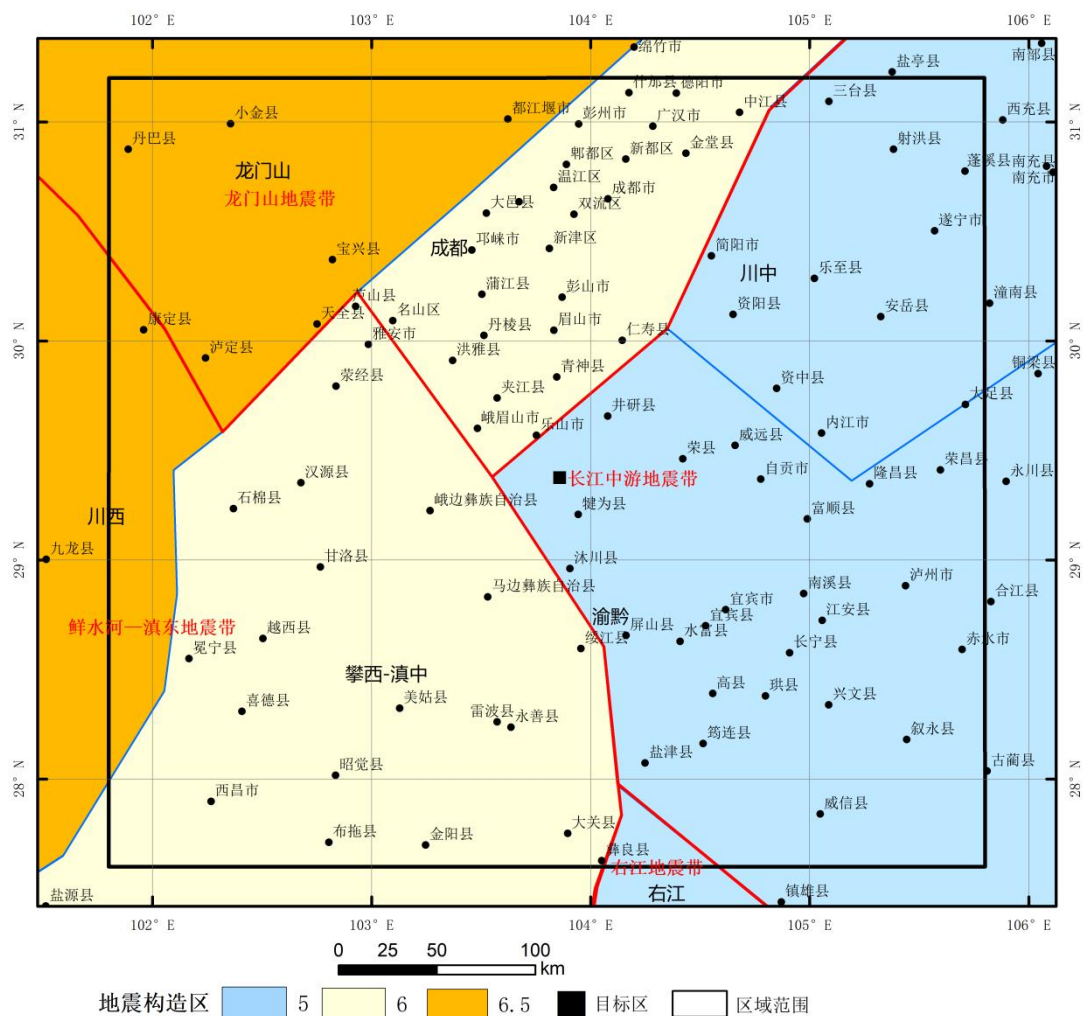


图 5.2-1 地震构造区划分示意图

5.2.3 潜在震源区的划分原则

潜在震源区是指未来可能发生破坏性地震的地区，在上述地震构造区的基础上进行进一步划分。这里的“未来”没有明确的时间尺度含义，泛指几年～几千年或者更长的时间。“可能”具有概率的含义，一般地，离逝时间愈短发生地震的可能性愈小，相反则愈大；另一方面，震级愈大的地震复发的时间尺度愈长。“破坏性地震”是指 $M \geq 5$ 级地震。“地区”是未来可能发生地震的范围。潜在震源区的危险程度是通过震级上限 M_u 、 b 值和年平均发生率 ν 来描述的。在同一个潜在震源区内，未来所发生的地震强度和频度的可能性处处相同。

潜在震源区的划分结果实际上是具体体现了地震活动在空间和强度上的差异，划分的方案的精度与合理性取决于该地区地震构造、地震活动性的研究水

平。基于潜在震源区的含义，当某个区域内地震的强度或频度存在差异时，就应划为两个或多个潜在震源区，即应与该地区的地震构造研究的实际程度一致。

潜在震源区的划分原则（叶洪，1996）可以概述为以下两条：

（1）历史地震重复原则

是认为历史上发生过强震的地区或断裂段未来仍有可能发生类似震级的地震。历史地震资料表明，西南地区 6 级以上强震原地复发行为的比例是相当高的。因此，研究历史地震的地点和强度，结合现代强震活动及中小地震活动特点和规律，是划分潜在震源区的基础。

（2）地震构造类比原则

是指某地区或断裂（段）历史上虽未发生过历史强震或已发生的地震震级不能代表其最大潜在地震能力时，应与已发生过强震的地区或断裂（段）进行类比，如果具有相似的发震构造背景，则认为其具备发生类似强度地震的潜在能力。发震构造背景类似具体指新构造、活动构造等的相似性，并以地球物理场地与地壳结构、地震活动水平作为参考。在考虑地震构造类比原则时，应充分注意古地震资料、地震破裂长度及同震位错量等基础资料。

5.2.4 潜在震源区的方向和范围

潜在震源区的方向和范围（即边界）直接影响着周围的地震危险性分析结果，因而具有十分重要的意义。潜在震源区的方向是指发震构造或地震断层的破裂方向，关系到地震危险性分析中的方向性函数的取值。研究区内绝大多数地震的等震线长轴走向是与活动构造的走向是一致的，因此潜在震源区的长轴方向一般代表了发震构造的走向。一些等边形式或近似等边形的潜在震源区则代表有两组发震构造或发震构造不清楚。

在本次工作中，主要遵循以下几条依据来确定潜在震源区的边界：

（1）充分考虑断裂带结构的差异及几何上的不连续性。断裂带结构的差异包括断裂的分叉、次级断裂及横向断裂交叉等；几何不连续是指断裂的弯曲、羽列等。以此为基础进行断裂分段，分段边界即为潜在震源区的边界。

（2）考虑历史地震地表破裂带的空间展布及中止位置来勾划潜在震源区，

地表破裂的中止位置即为潜在震源区的边界。若地震地表破裂带在某处存在重叠时，则应进一步结合断裂带的结构差异及几何上的不连续性进行判别。

(3) 对于历史上没有强震记载的地区或断裂段，可以根据古地震资料勾划潜在震源区。若无古地震资料，可以通过地震构造类比方法确定潜在震源区。

(4) 通过大地震后余震分布的范围来确定潜在震源区。

(5) 通过小地震密集分布的范围来确定潜在震源区。

(6) 若发震构造出现分叉或一条断裂带内存在多条次级断裂，但目前尚难判定具体的发震构造时，那么潜在震源区应包括这些所有的分支断裂展布的范围。

(7) 对于不同类型的断裂，潜在震源区边界确定的方法是：走滑断裂向两侧各扩展 5~10km；逆掩断裂下盘扩展 5km，上盘扩展 20~30km；逆走滑断裂下盘扩展 5~10km，上盘扩展 10~20km；正倾滑或正走滑断裂下盘扩展 5~10km，上盘扩展 10~20km。

(8) 对于一些中强地震发生区，由于没有明确的发震构造标志，划分的潜在震源区往往较大，包括所有的中强地震分布范围。

5.2.5 潜在震源区的震级上限

潜在震源区的震级上限 (M_u) 是指该潜在震源区内可能发生的最大地震震级，未来发生超过这一震级地震的概率接近于 0。震级上限是地震危险性概率分析的重要参数之一。

潜在震源区的震级上限主要是通过该潜在震源区的地震活动性和地震构造的活动程度来确定的。具体方法如下：

(1) 对于已经发生过强震的潜在震源区，应对历史地震资料或仪器记录资料进行评价。通常有以下几种情况：①如一个地区的地震资料比较丰富，记载的时间超过两个或两个以上的地震活动期，则可以认为有史以来发生的最大地震震级可以代表该潜在震源区的震级上限；②如一个潜在震源区仅有一次地震（研究区内这种情况很多），通过地震构造类比，若已发生的地震震级可以代表该潜在震源区的最大地震，则以历史地震作为震级上限；如不能，则适应寻加一些，增加的量级从 $\frac{1}{4}$ ~1 级不等。

(2) 若某地区或断裂段有确切的古地震遗迹, 可以通过古地震资料 (如地震地表破裂长度, 同震位错及探槽揭示的古地震事件大小等) 及经验统计关系对古地震事件的大小进行评估, 并以此为参考作为潜在震源区的震级上限。

(3) 应用地震构造类比法确定潜在震源区的震级上限时, 可以分为几种情况:

①若某地区或断裂段没有详细的活动断裂资料, 可以考虑该潜在震源区内的新构造运动的强度与方式、活动构造地貌的地表表现形式、深部构造条件等, 与同一地震区、带内发生过的地区或断裂段类比, 若地震构造环境相似, 则以已发生过的强震震级作为该潜在震源区的震级上限;

②若该地区有详细的活动断裂资料, 则可以通过地震地表破裂带的长度及最大同震位错量等与地震震级的经验统计关系估计该潜在震源区的震级上限。

各震级档潜在震源区确定的依据如下:

8.0 级潜在震源区: 为全新世强烈活动断裂, 有极为醒目的位错标志, 近代地震或古地震的地震地表破裂长度在 80km 以上, 最大同震位错量在 5m 以上;

7.5 级潜在震源区: 为全新世强烈活动断裂, 有明显的位错标志, 近代地震或古地震的地震地表破裂长度在 40~80km, 最大同震位错量在 2~5m;

7.0 级潜在震源区: 为全新世活动断裂或晚更新世强活动断裂, 有不甚清楚的位错标志, 近代地震或古地震地表破裂长度在 30km 以内, 最大同震位错量不超过 2m;

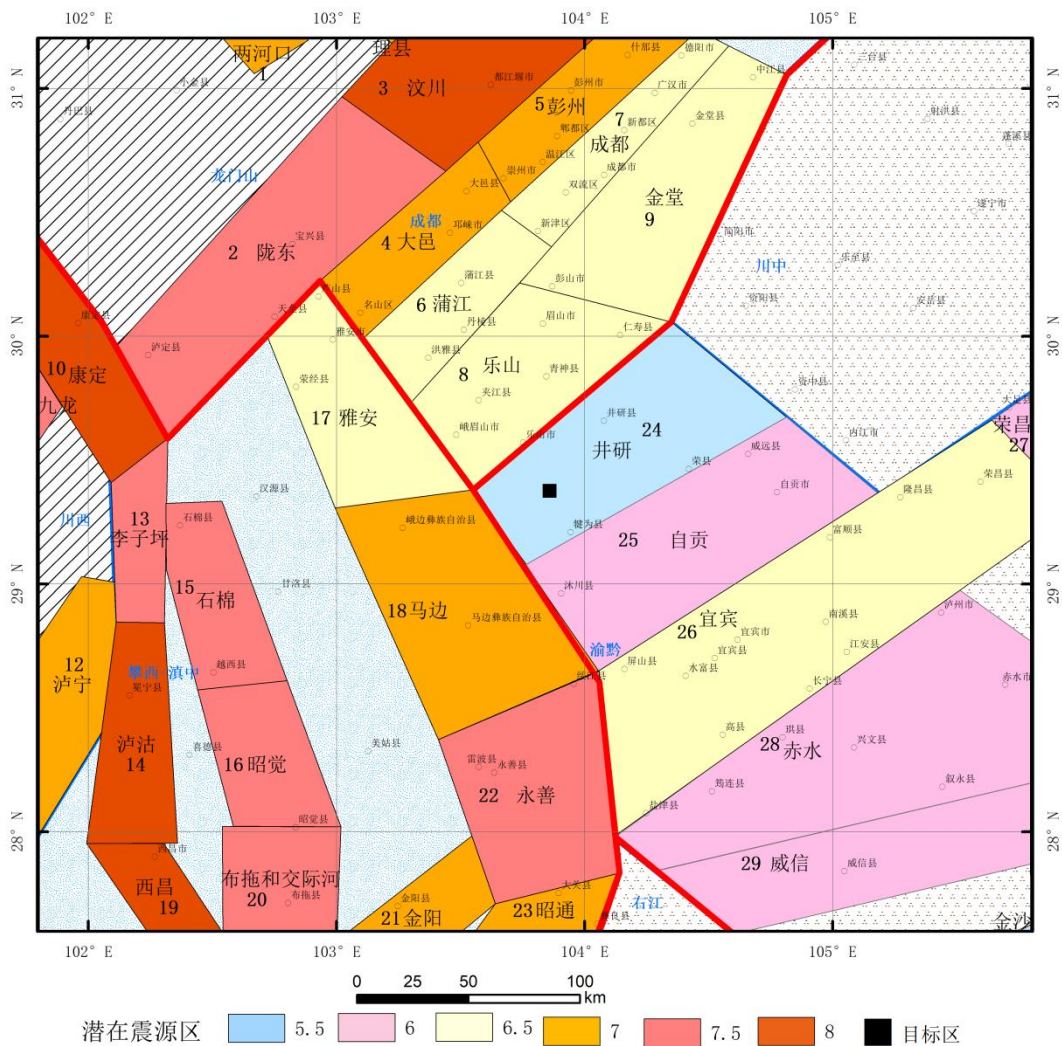
6.5 级潜在震源区: 为晚更新世活动断裂, 基本上没有位错标志, 通常是通过上述的构造类比原则来确定的。

6.0 级及其以下潜在震源区: 与活动断裂的关系不甚明确, 亦是通过构造类比原则来确定震级上限。对于四川盆地而言, 这类震级的潜在震源区往往与背斜构造的关系密切。

(4) 综合判别方法: 在潜在震源区震级上限的确定过程中, 一些潜在震源区符合上述一种以上依据, 此时采用各种评判方法进行综合判别, 最后确定该潜在震源区的震级上限。

5.2.6 潜在震源区的划分方案

按照中华人民共和国国家标准《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）、《区域性地震安全性评价工作大纲》和《四川省区域性地震安全性评价规范》（DB51/T 2946-2022）中对研究区范围的要求，以目标区为中心、大于150km的范围作为研究区域。根据潜在震源区三级划分的原则，方法及其划分标志，结合地震地质条件、地震活动性特征、深部构造背景等，采用了新一代《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）的区带方案，并根据新近完成的《四川活动断层普查》、《全国地震灾害风险普查》项目对潜在震源区划最新调整方案，在区域所在的长江中游地震带、龙门山地震带、鲜水河-滇东地震带和右江地震带，共划分了29个潜在震源区和21个背景构造源，区域内主要潜在震源区划分图如图5.1-2所示。



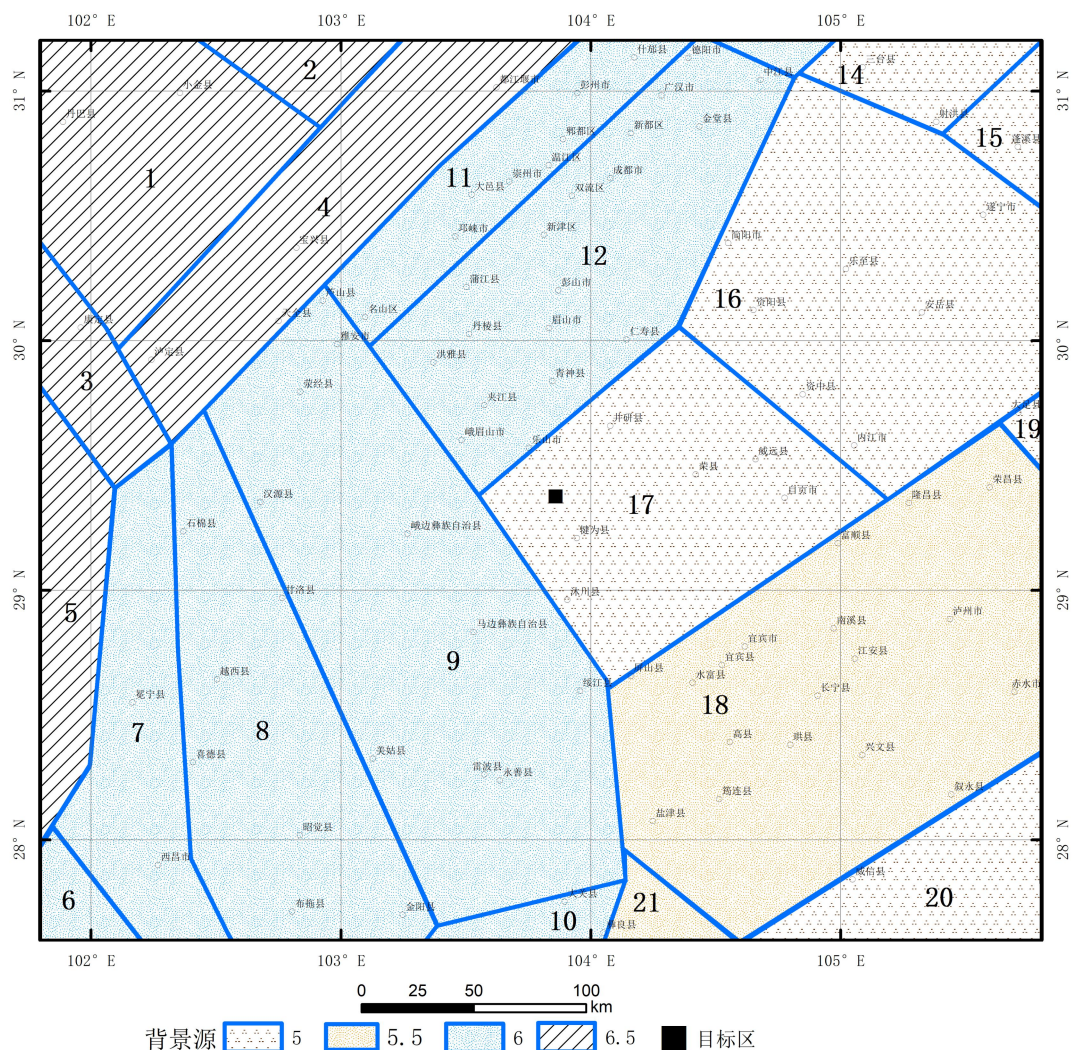


图 5.2-2 区域内主要潜在震源区和背景源划分图

现将对目标区影响较大的主要潜在震源区划分分述如下：

(1) 自贡 6.0 级潜在震源区 (25)

该潜在震源区包括了自贡地区一组北东向的长岩断裂和另一组北西向断裂，其中规模较大者为墨林场断裂、黄桷坡断裂。该区中小地震主要发生在北东—北东东的断裂组上，沿北西向断层主要是一些弱震活动。该区历史上曾发生过多中强地震，如 1896 年富顺 5 $\frac{1}{4}$ 级地震，1954 年自贡 5 级地震，1985 年自贡 4.8 级地震，1996 年宜宾永兴 5.4 级地震等。现代小震活动亦较频繁，多沿上述断裂带呈密集的团块状分布。

综上所述，该潜在震源区震级上限确定为 6.0 级。

(2) 宜宾 6.5 级潜在震源区 (26)

该潜在震源区包括北东向华蓥山断裂带南段一部，亦包括了呈北西走向的

柏树溪断裂。华蓥山断裂带南段是由多条规模不等的断裂和与其相伴的多个褶皱呈右阶羽列组成。断裂长度多在数 km 至 30km，多分布在背斜轴部及其陡翼一侧，显压性特征，背斜端部多呈“S”弯曲。在宜宾、荣昌、高县及富顺等地沿断裂带取断层泥作热释光测龄，结果在 $102200 \pm 6000 - 768700 \pm 61500a$ 之间，属中、晚更新世活动断裂。该潜在震源区在深部构造背景上正处在北东向华蓥山基底断裂与北西向峨眉—宜宾基底断裂的交汇部位。区内沿断裂带曾发生过多次中强地震，如公元前 26 年宜宾一带 5½ 级地震、1610 年高县 5½ 级地震。

综上所述，该潜在震源区具备发生中强地震的构造背景，震级上限为 6.5 级。

(3) 马边 7.0 级潜在震源区 (18)

该潜在震源区包括走向呈北北西向的利店断裂、玛瑙断裂、中都断裂和近东西向的靛兰坝断裂的展布范围，沿上述断裂历史上曾发生过多中、强震，如 1935 年 12 月马边 6 级地震，1936 年马边 6¼ 级群震、1971 年马边 5.9 级地震、1994 年沐川 5.7 级地震等。沿断裂带小震活动亦较频繁，形成了一条北北西向的地震密集条带。在深部构造背景上为布格重力异常由北北东向南东的转折部位及大足莫霍面隆起的西南边缘。

综上所述，该潜在震源区具备有发生强震的构造背景，其震级上限为 7.0 级。

(4) 永善 7.5 级潜在震源区 (22)

该潜在震源区地质构造复杂，有多组断裂在该区内交汇，主要有北北西、北东、南北向三组断裂构造。北北西向的断裂有中村—铜厂沟断裂、关村断裂，两条断裂近于平行展布，均属压性断层，断层长度分别为 38km 和 25km。根据测龄样品鉴定结果，中村—铜厂沟断裂和关村断裂最新一次活动时间分别为 $75200 \pm 5900a$ 和 $29800 \pm 2200a$ ，均属晚更新世活动断裂。南北向断裂为楔子坝断裂，属逆走滑运动性质，长 36km，属全新世活动断裂。北东向断裂有莲峰断裂、赵家坪断裂、新田断裂等。上述三组断裂在永善以东长坪一带汇而不交，构成复杂的地质结构。

该潜在震源区除在楔子坝断裂上发生过 1216 年雷波马湖 7 级及 1974 年大关北 7.1 级两次大震外，历史上还多次发生过多中 5.0—6.9 级地震，其中 6.0—6.9 级地震 1 次，5.0—5.9 级地震 8 次。近年来，该区弱震活动亦十分频繁，形

成弱震密集带。

该潜在震源区位于大足重力高西部的北西向重力梯级带上，在深部有北东向的华蓥山基底断裂及东西向的筠连—叙永深断裂在永善附近交汇。

综上所述，该潜在震源区具备有发生强震的构造背景，其震级上限为 7.5 级。

(5) 井研 5.5 级潜在震源区 (24)

潜在震源区包括了威远背斜的展布范围，在背斜的轴部或陡翼，发育有 2-3 条近于平行展布的逆断层，统称长山镇断裂。深部物探资料表明，该背斜是受深部滑脱构造控制的脱顶构造，具有断层扩展背斜的典型特征。该潜在震源区内虽未有 4.7 级以上破坏性地震的历史记载，但小地震活动比较频繁，丛集于威远背斜轴一带，最大地震为 1979 年 4.2 级地震。与经常发生 5 级左右地震的自贡地区相比较，该背斜构造规模更大，且深部亦存在背斜核部盲冲断裂。因此根据构造类比原则，将该潜在震源区的震级上限定为 5.5 级。

(6) 乐山 6.5 级潜在震源区 (8)

该潜在震源区位于成都断陷区的东部边缘，系龙泉山断裂带的南段展布范围，其断裂特征和新活动性以及深部构造位置及地壳形变特征均与断裂中北段相同。该区内 1913 年 7 月 16 日于乐山附近曾发生过 1 次 5 级地震，近代小震活动亦十分频繁，形成一小震密集区。

该潜在震源区与金堂潜在震源区构造上的主要差别在于西坡断裂已进入基岩山坡，未控制成都第四纪盆地边界，因而活动相对北段要弱，但考虑到与北段具有类似的发震构造背景，因此综合判定该潜在震源区的震级上限为 6.5 级。

(7) 汶川 8.0 级潜在震源区 (3)

该潜在震源区包括了茂汶—汶川断裂、北川—映秀断裂和彭县—灌县断裂北中段以及茶坝—林庵寺断裂南西段的展布范围。这些断裂落在航卫片上线形影像清晰，多处可见断裂新活动形成断错冲沟、山脊、河流阶地及断塞塘等断错地貌现象，具有明显的全新世活动性，其中尤以北川—映秀断裂的新活动现象更为显著。2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级大地震的主要发震断裂即为北川—映秀断裂，地震地表破裂从映秀南西始，向北东方向扩展至南坝东的石坎子，全长约 240km，最大同震垂直和水平位错分别达 6.5m、4.9m 左右。此外，彭县—

灌县断裂的向峨—桑枣段也同时发生了长约 90km 的同震破裂，最大垂直位错量在 3m 左右。同时，洛水-都江堰断裂是五代图发布后在汶川潜源附近新发现的全新世断裂，所以把汶川 8.0 级潜在震源区向南东界扩大，将洛水-都江堰断裂包络住。因此，根据历史地震复演原则，将该潜在震源区的震级上限定为 8.0 级。

(8) 金堂 6.5 级潜在震源区 (9)

该潜在震源区位于成都断陷区的东部边缘，系龙泉山断裂带的中北段展布范围。龙泉山断裂带由东坡断裂和西坡断裂组成，为中更新世活动断裂，平面上此段呈北北东向斜列式展布。东坡断裂倾向北西，西坡断裂主要倾向南东，均具压扭性特征。

深部地球物理特征表明，本区处在莫霍面彭山隆起的东部边缘；同时位于重力梯级带的转向部位以及航磁高异常值和梯级带上。

该潜在震源区内历史上曾发生过中强地震，如 1967 年 1 月 24 日仁寿大林场 5.5 级地震，近期小震活动亦较频繁。做为区域性断裂和新构造单元划分的边界，龙泉山断裂应具备发生中强地震的构造条件。

综上所述，本区具备发生中、强地震的地质构造背景，其震级上限确定为 6.5 级。

5.3 地震活动性参数的确定

近年来，我国学者在地震区划、重大工程场地地震危险性分析研究中，已总结出了一系列充分考虑地震活动时空不均匀性的地震活动性参数的确定原则和方法，其要点为：

第一，以地震带为基本统计单元，先确定地震带的地震活动性参数，再确定地震构造区背景潜源和潜在震源区的地震活动性参数。

第二，消除大震序列中的前震、余震活动的影响，以保持事件的独立性和随机性。

第三，确定地震活动性参数要考虑地震活动趋势和预报意见。

第四，采用震级分档分配地震年平均发生率，以保证高震级地震的影响不被低估。

第五，根据实际地震记录样本确定背景潜源的空间分布函数；采用多因子综合评定潜在震源区的地震空间分布函数。

5.3.1 地震带地震活动性参数的确定

根据地震危险性分析的技术思路，需要确定地震带的地震活动性参数，包括地震带的震级上限、起算震级、震级～频度关系中的 b 值、地震年平均发生率等。

(1) 震级上限 M_{uz} 和起算震级 M_0 的确定

地震带震级上限 M_{uz} 为发生概率趋于零的震级上限值。一般情况下，可用历史地震的最大震级，或者最大震级提高 0.5 级左右作为地震带的震级上限；也可以用构造规模类比确定震级上限。

长江中游地震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，自公元前 143 年以来至今共记录到 132 次 $M_s \geq 4.7$ 的地震，其中，5.0～5.9 级地震 73 次，6.0～6.9 级地震 5 次，最大为 1631 年湖南常德 $6\frac{1}{4}$ 级地震。该带地震活动相对较弱，确定其震级上限为 7.0 级。

龙门山地震带自公元前 193 年起有地震记载以来，共记录到 $M_s \geq 4.7$ 级的地震 309 次，其中，5.0～5.9 级地震 148 次，6.0～6.9 级地震 39 次，7.0～7.9 级地震 14 次，8.0～8.9 级地震 3 次，带内目前的最大地震是 1654 年甘肃天水南 8 级地震、1879 年甘肃武都南 8 级地震和 2008 年四川汶川 8.0 级地震，是一个地震活动较为强烈的地区，确定该区震级上限为 8.0 级。

鲜水河—滇东地震带自公元 624 年起有地震史料记载，至今共记录到 $M_{4.7}$ 级以上地震 742 次，其中 8.0～8.9 级地震 1 次，为 1833 年 9 月 6 日嵩明 8 级地震，7.0～7.9 级地震 30 次，6.0～6.9 级地震 115 次，5.0～5.9 级地震 443 次，带内目前的最大地震是 1833 年 9 月 6 日发生在云南嵩明的 8 级地震。本带地质构造复杂，地震活动强度大、频度高，综合确定本带的震级上限为 8.0 级。

右江地震带活动较弱，为中强地震活动区。以 5 级左右中强地震为主，频度较低。自 1526 年至今，区内共记录到 $M_{4.7}$ 级以上地震 47 次，均为浅源地震，其中 6.0-6.9 级地震 1 次，即 1875 年 6 月 8 日贵州罗甸 $6\frac{1}{4}$ 级地震，5.0-5.9 级地震 26 次。

起算震级 M_0 系指对工程场地有破坏性影响的最小震级。由于区域范围内地震属浅源地震，一些 4.0 级地震也可能产生一定程度的破坏，故本报告将 M_0 取为 4.0 级。

(2) b 值和地震年平均发生率 ν_4 的确定

b 值代表地震带内大小地震频数的比例关系，可由古登堡—里克特震级—频度关系确定：

$$\log_{10} N = a - bM$$

式中， N 是大于等于 M 级地震的累计频次， a 、 b 是统计常数。从统计角度，相关系数、标准离差反映了 $\log_{10} N$ 与 M 的相关性。

在地震危险性概率分析中，需要对地震带未来的地震活动水平进行预测，这种活动水平通常用地震带内 4 级以上地震的年平均发生率 ν_4 来表示。

根据《中国历史强震目录》、《中国近代地震目录》、《中国地震台网目录》，并结合地震带的地震活动特点，考虑到资料的完整程度和可靠性、地震带未来地震的活动水平、地震带内区域地震台网的近代地震实际记录，本报告对不同时段的地震资料进行了统计对比分析，最终确定了各地震带的 b 值和地震的年平均发生率 ν_4 。本次工作沿用《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》 b 值和 V_4 的结果。

龙门山地震带

龙门山地震带属于强烈地震活动区，7 级以上地震频发，发生过 3 次 8 级地震，包括 2008 年汶川 8 级特大地震。该区最早地震记载始于公元前 193 年，但该地震带 1400 年以前地震资料严重缺失，1400 年以来 M_5 级以上地震记录才基本完整，1970 年以后 M_4 级以上地震记录较全。公元 1573 和公元 1879 年是两个地震活动相对密集期的开始，未来地震活动水平不应低估平均地震活动水平。对 V_4 和 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① M_4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；
- ② M_5 级以上地震年发生率应不低估 1400 年、1879 年以来地震活动水平；
- ③ 较大震级发生率应重点考虑 1500 年以来地震活动情况；

经调整，确定龙门山地震带地震活动性参数为 $b=0.71$ ， $V_4=5.2$ 。图 5.3-1

给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出， b 、 V_4 参数计算得到的理论发生率在小震级段，略低于 1970 年以来的实际统计结果，主要是考虑这一时间段内发生过多的大地震，余震影响较大；在中强震级段基本上与最近的活跃期活动水平相当；而在高震级段，考虑到最近活跃期内已发生较多的 7 级以上地震，因此，重点考虑 1500 年以来较长时间段平均的结果，2010 年以来，龙门山地震带内发生了多次中强震和高震级地震，与该带的拟合曲线趋势相近，因此，重点考虑 1500 年以来较长时间段平均的结果。

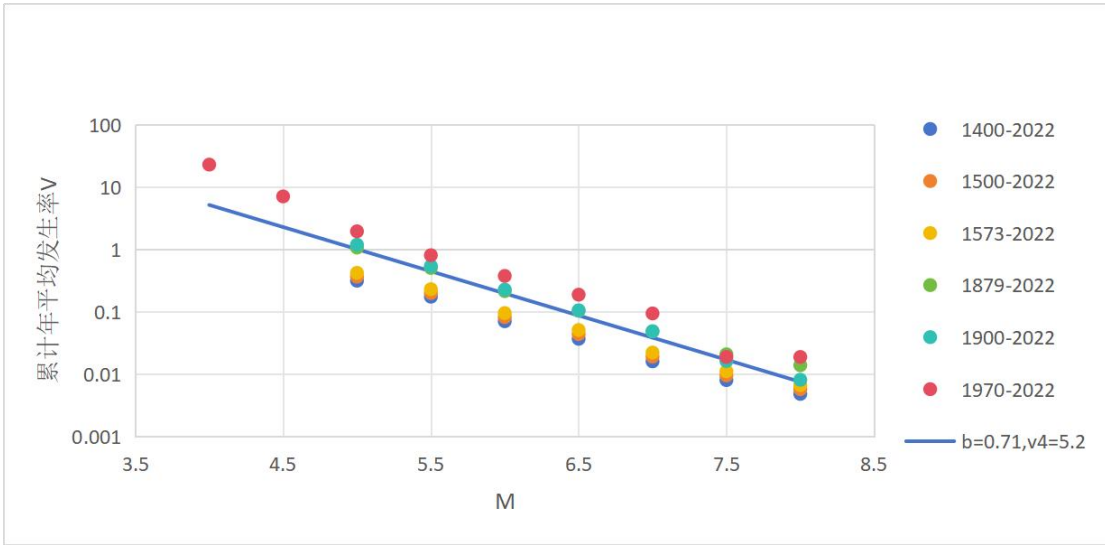


图 5.3-1 龙门山地震带各时段实际统计与理论结果对比

2) 长江中游地震带

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。最早历史地震记载始于公元前 143 年 6 月 7 日竹山 5 级地震。该区 1300 年之前地震资料遗失较多，1300 年以来 $M \geq 5.5$ 发生地震较为平稳，1500 年以后 $M \geq 5.0$ 地震较为完整，1900 年以后 4.7 级以上地震相对完整，1970 年以来 4 级以上地震记录较全。在历史阶段，地震活动较密集的时段分别始于公元 1467 和公元 1813 年。未来活动水平应不低于长期的平均地震活动水平。但鉴于长江中游地震带在自 2015 年后相继发生重庆武隆 1 次 5.0 级地震、四川宜宾 9 次 5.0 级左右地震、2019 年 6 月 18 日四川长宁 6.0 级地震和 2021 年 9 月 16 日四川泸县 6.0 级地震，本次工作将对长江中游地震带第五代区划图地震活动性参数进行论证，其他地震带新近发生的地震符合五代图中对其累计年平均发生率与震级分布的趋势研判，因此仍沿用第五代地震带参数区划图所给地震活动性参数。

由于长江中游地震带 1300 年以前的地震严重缺失，本次参与统计的地震主要为 1300 年以后所记录到的地震。根据统计，长江中游地震带自公元前 143 年以来至今共记录到 132 次 $M_s \geq 4.7$ 的地震，其中，5.0~5.9 级地震 73 次，6.0~6.9 级地震 5 次，有 2 次 6.0 级地震和 10 次 5.0~5.9 级地震在 2015 年以后发生。根据收集到的地震目录，绘制了长江中游地震带分段累计年平均发生率与震级分布图，如图 5.3-2 所示。

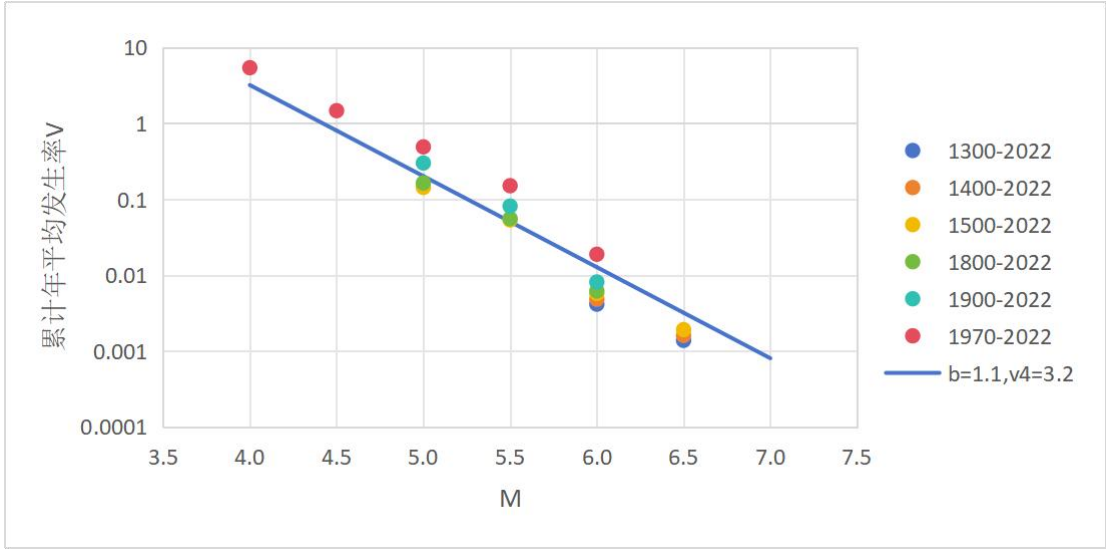


图 5.3-2 长江中游地震带累计年平均发生率与震级分布图

通过上图可以发现，当 b 值和年平均发生率 v_4 取风普最新结果时，即 $b=1.1$ ， $v_4=3.2$ ，整体仍能满足较好的拟合度，拟合可决系数 R^2 可以达到 0.9883。虽然长江中游地震带在近几年地震较活跃，强震发震较多，导致曲线在端尾偏低一点，但考虑到整个历史周期内地震整体协调，从长远来看，取 b 值为 1.1 并未对中强地震的发生进行低估。4 级以上年平均发生率 v_4 与 1970 年以来发生率相当，取值与五代区划图 v_4 取值相吻合，高于 1300 年以来的记录值，也表明 1970 年以前的中小地震记录缺失较严重。综上所述，本次工作仍沿用第五代区划图对长江中游地震带地震活动性参数结果是合理的。

3) 鲜水河-滇东地震带

鲜水河—滇东地震带为强烈地震活动区，地震活动强度大、频度高，7 级以上地震 30 多次，最大地震为 1833 年 9 月 6 日嵩明 8 级地震。攀西-滇中地区记载历史较长，最早的地震为 624 年 8 月 18 日西昌 ≥ 6 级地震，而川西和羌塘北记载时间较晚，最早的地震分别为 1722 年巴塘 6 级地震和 1738 年 12 月 23

日玉树 6.1/2 级地震。总体而言，该地震带 1440 年以前地震资料严重缺失，自 1440 年以后地震逐渐增多，M6 以上地震基本完整，1900 年以后该区 M5 级以上地震记录基本完整，1970 年以后 M4 级以上地震基本完整。鲜水河—滇东地震带自 1900 年以来地震活动一直处于活跃状态，未来百年地震活动应与历史地震活跃水平保持一致。对 V4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ①M4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；
- ②M5 级以上地震年发生率应大致相当 1900 年以来地震活动水平；
- ③较大震级发生率应考虑 1500 年以来地震活动情况；

经调整，确定鲜水河—滇东地震带地震活动性参数为 $b=0.85$ ， $V_4=32$ 。图 5.3-3 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b、V4 参数计算得到的理论发生率,在小震级段大致相当 1970 年以来的实际统计结果；在中强震级段 M5 级左右地震与 1900 年以来实际发生率相当，M6 级以上震级段 1900 年以来发生率较高，与 1440 年、1500 年以来的发生率差别较大，因此，以 1900 年以来实际发生率进行主要控制，同时兼顾 1440 年以来发生率的状况。

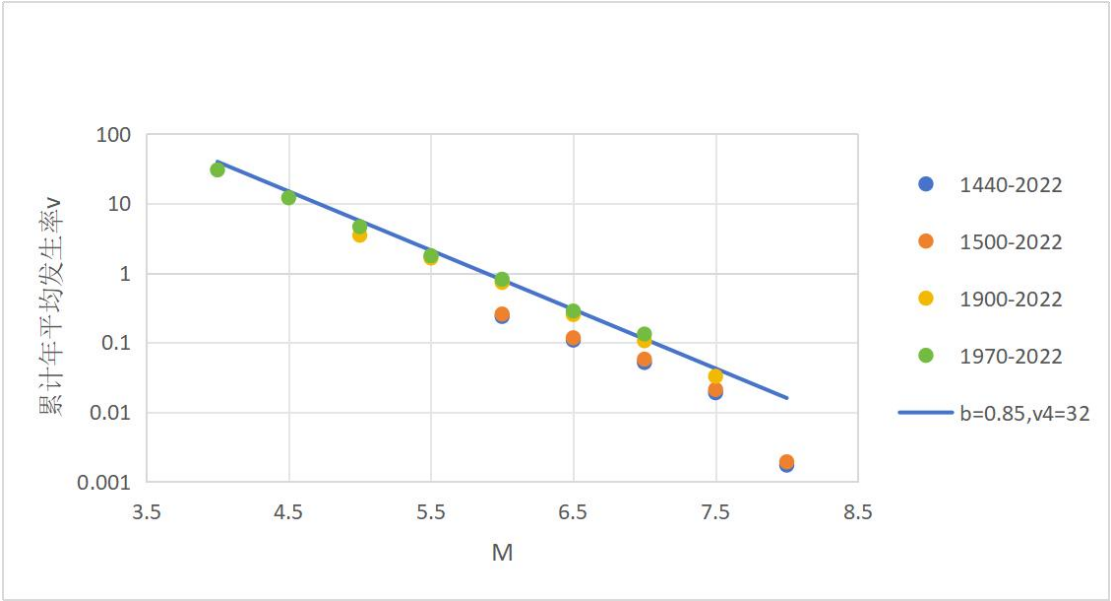


图 5.3-3 鲜水河-滇东地震带各时段实际统计与理论结果对比

4) 右江地震带

右江地震带地震活动较弱，以 5 级左右中强地震为主，且频度较低，截至 2010 年 12 月，仅记载到 1 次 6.0-6.9 级地震。该区最早地震记载始于 1526 年，1860 年之前，地震缺失较多，1860 年后 M5 级以上地震记录才基本完整， $M \geq$

5.0 级地震发生较为平稳，1970 年以来 4 级以上地震记录较全。

对 ν_4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ①M4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；
- ②M5 级以上地震年发生率应大致 相当 1860 年以来地震活动水平；
- ③较大震级发生率应重点考虑 1860 年以来地震活动情况；

经调整，确定右江地震带地震活动性参数为 $b=1.04$ ， $\nu_4=2.5$ 。图 5.3-4 给出了理论计算值与实际统计数据点的比较，结果可以看出，所得 b 、 ν_4 参数与实际资料的符合较好。

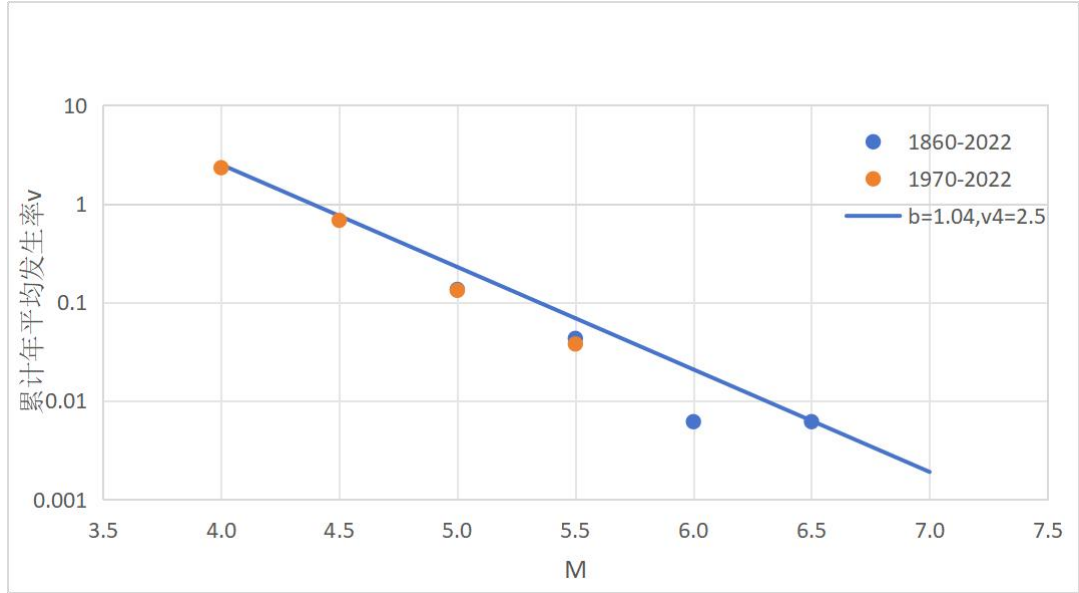


图 5.3-4 右江地震统计区各时段实际统计与理论结果对比

5.3.2 地震构造区背景潜源和潜在震源区地震活动性参数的确定

地震构造区背景潜源或潜在震源区地震活动性参数包括震级上限 M_u 、地震破裂方向概率分布函数、空间分布函数 f_{i,m_j} 。其中震级上限已在划分地震构造区、潜在震源区时依据地震活动性及地震构造特征确定。下面讨论其余参数的确定。

(1) 地震破裂方向概率分布函数

引进该函数的目的，在于描述破裂方向或等震线长短轴取向的不确定性。我国大陆地震的等烈度线多呈椭圆形，地震烈度在长轴和短轴方向衰减特征不同，在不同地区地震主破裂有不同的优势方向。因此计算潜在地震对场地的影响时，必须确定其可能发生的破裂方向，并统计其发生概率。即需确定可能的长轴走向 θ 和相应的概率值 P 。

通过对潜在震源区内等震线长短轴走向分布特征的研究，发现绝大多数等震线长轴走向与区域活动构造的走向一致。因此，潜在震源区的方向性函数主要根据活动构造的走向确定；对于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；对于活动构造走向不明确地区，则采用等权分配的方法确定方向性函数。

地震构造区背景潜源采用等权分配的方法确定方向性函数。

(2) 地震空间分布函数 f_{i,m_j}

在地震危险性分析中，需要将地震带的地震年平均发生率分配给各潜在震源区和背景潜源，也就是确定各潜在震源区和背景潜源各震级档的地震年平均发生率。在一个地震带中，第 i 个潜在震源区发生第 m_j 档震级地震的年平均发生率 v_{i,m_j} 可表示为：

$$v_{i,m_j} = \frac{2v \exp[-\beta(m_j - M_0)] \text{sh}(0.5\beta\Delta m)}{1 - \exp[-\beta(M_{uz} - M_0)]} f_{i,m_j}$$

式中 v 为地震带的地震年平均发生率， $\beta = b \cdot \ln 10$ ， M_0 ， M_{uz} 分别为起算震级和震级上限， Δm 为震级分档间隔，本报告取 $\Delta m = 0.5$ ， m_j 是分档间隔中心所对应的震级， f_{i,m_j} 即为空间分布函数。地震构造区背景潜源和潜在震源区的地震空间分布函数的确定方法如下：

地震构造区背景潜源的空间分布函数

地震构造区背景潜源的地震活动性参数确定是否合理，对危险性分析计算有一定影响。本次工作根据构造区的 $M-T$ 图，并结合其所在地震带的地震活动特点，确定了不同震级档的可信时段，据此确定了地震构造区背景潜源在可信时段内不同震级档的实际发生次数和年频次。结合地震构造区内部潜在震源区之外的实际地震统计样本和整个地震带的实际地震统计样本的比例关系，并

考虑到低震级段的地震发震构造条件目前还认识不清、随机性较大的特点，最终确定了地震构造区背景潜源的地震空间分布函数。

潜在震源区的空间分布函数

潜在震源区地震活动性参数包括震级上限 M_u 、各震级档空间分布函数和方向概率分布函数。各潜在震源区震级上限 M_u 如图 4.2-2，此处不再重复。

在 CPSHA 方法中，地震带内不同潜在震源区各震级档地震发生概率不同，空间分布函数就是表示地震活动空间不均匀性的参数。以下对各震级档空间分布函数确定作简要说明：

(1) 震级分档

不同震级档次的地震在一个地震带内各潜在震源区发生的几率是不一样的，为保证高震级档的地震不被低估，首先区分不同震级档次，各相邻震级档次相差 0.5 级，从 4.0 至 8.5 级分为 7 个震级档次，分别为 4.0-4.9；5.0-5.4；5.5-5.9；6.0-6.4；6.5-6.9；7.0-7.4； ≥ 7.5 。然后充分参考我国地震预测方面的成果，按照不同震级档对各个潜在震源区分别统计地震活动空间分布函数。

(2) 各震级档空间分布函数

潜源区内地震活动空间分布函数的确定是采用多因子综合评判法来进行的。这种因子主要包含：①潜在震源区的可靠程度；②中长期地震预报成果；③大地震减震作用；④小震活动；⑤强震复发间隔与构造空段；⑥地震活动重复性；⑦潜在震源区面积。在综合分析上述各因素基础上，确定各因素的可能状态值，经加权综合，并对地震带归一化，得到各潜源区的空间分布函数。

这样做，尽可能多地利用了各种与地震发生相关的空间因子，体现了它们在每一潜源区内的分布状况，也就体现了不同空间位置上地震危险程度的相对强弱差异。具体分析时，就某一震级档根据上述几个方面的因素在空间分布上的差异予以赋值，然后就各因素赋值进行加权分析，得到该震级档的空间分布函数值。

(3) 归一化

各个潜源区的空间分布函数需要在整个地震带上进行归一化，目的是就整个地震带的空间分布函数作均衡性评估和利用。归一化是就每一震级档在地震带内分别进行的。每一震级档的归一化，就得到地震带内各潜在震源区各震级

档次发生概率差异的累积年均发生率 V 空间分布函数。当然，考虑到大震的复发周期都在百年至千年的量级范围，为了避免过高估计大震的危险性，对于等于大于 7.5 级的震级档次，并不直接简单地对其进行归一化来确定各潜源的空间分布函数，而是需要根据历史地震的复发周期、强震发生的特定空间位置，经综合分析后给出其空间分布函数。另外，对于可能发生晚期强余震的潜在震源区，亦需要根据具体预报结论单独计算给出有关的空间分布函数。因此，对于大震的震级档或考虑了晚期强余震的地震带，其相应的空间分布函数可能并不是归一的。

应用上述原则，并在参考最新一代区划图编图过程研究确定的各潜源参数的现实状况下，以及结合《四川省活动断层普查》、《全国地震灾害风险普查》项目的最新研究成果，分析确定了地震带内各潜在震源区的地震活动空间分布函数。如表 5.3-7，列出了对目标区影响较大的几个潜在震源区的空间分布函数，表中同时也给出了潜在震源区破裂方向及概率。

表 5.3-7 主要潜在震源区 M_0 、 f_{i,m_j} 和方向性函数

震级档 潜源 m_j 名称	4.0-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	≥ 7.5	M_0	θ_1 ($^\circ$)	P1	θ_2 ($^\circ$)	P2
马边	0.00725	0.00851	0.00847	0.00559	0.02345	0	0	7.0	120	1	0	0
井研	0.00617	0.00805	0	0	0	0	0	5.5	30	1	0	0
雅安	0.00794	0.00581	0.00638	0.00833	0	0	0	6.5	110	1	0	0
乐山	0.00816	0.00506	0.00596	0.00709	0	0	0	6.5	50	1	0	0
永善	0.00763	0.00612	0.00641	0.00836	0.01341	0.01886	0	7.5	120	1	0	0
自贡	0.00653	0.01011	0.05014	0	0	0	0	6.0	30	1	0	0
石棉	0.00782	0.00726	0.00651	0.00849	0.00922	0.02513	0	7.5	115	1	0	0
汶川	0.02523	0.01708	0.0163	0.02926	0.05392	0.03097	0.04435	8.0	45	1	0	0
康定	0.00854	0.00745	0.00725	0.01257	0.01952	0.03314	0.13636	8.0	120	1	0	0
9号背景源	0.01986	0.01871	0.03143	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	6.0	0	0.5	90	0.5
17号背景源	0.01924	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	5.0	0	0.5	90	0.5
12号背景源	0.01655	0.01233	0.02303	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	6.0	0	0.5	90	0.5

注： M_0 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。

5.4 地震动预测方程

建立地震动预测方程是地震危险性分析中的重要环节。由于我国绝大部分地区（包括本区）缺乏足够的强震记录，无法直接采用统计回归的方法建立本区地震动预测方程，一般采用胡聿贤等（1984）提出的转换方法，即根据目标区所在地区的地震烈度衰减关系、参考地区的基岩峰值加速度和反应谱衰减关系、参考地区的地震烈度衰减关系，转换得到适用于我国中强地震活动区的基岩水平向加速度反应谱预测方程。

本次工作所使用的基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数模型采用了新的分段线形模型，其数学形式为：

当 $M < 6.5$ 时，

$$\lg Y(M, R) = A_1 + B_1 M - C \lg(R + D \exp(E * M)) \pm \sigma \quad (5.4-1a)$$

当 $M \geq 6.5$ 时，

$$\lg Y(M, R) = A_2 + B_2 M - C \lg(R + D \exp(E * M)) \pm \sigma \quad (5.4-1b)$$

式中， $Y(M, R)$ 为峰值加速度值， M 为面波震级， R 为震中距， A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 、 C 、 D 、 E 为回归得到的地震动预测方程系数， \lg 表示取以 10 为底的对数。转换得到的本区地震动预测方程标准差直接选取参考区的地震动预测方程标准差。图 5.4-1 为水平向基岩峰值地震动加速度预测方程，图 5.4-2-5 给出了震中距=10、20、50 和 100km 时，本区基岩加速度反应谱衰减关系曲线。

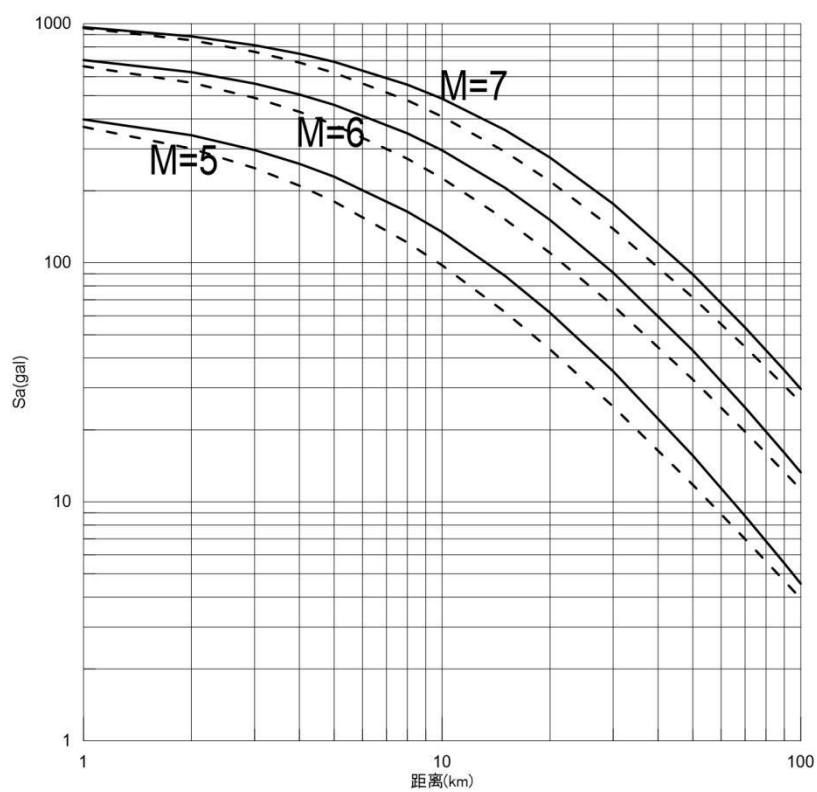
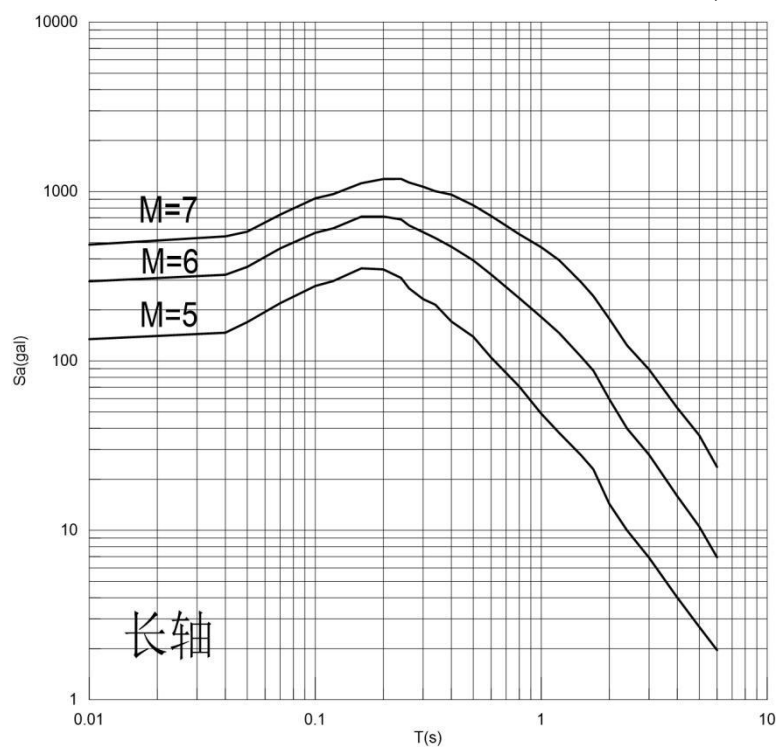


图 5.4-1 中强地震区峰值加速度预测方程（实线为长轴，虚线为短轴）



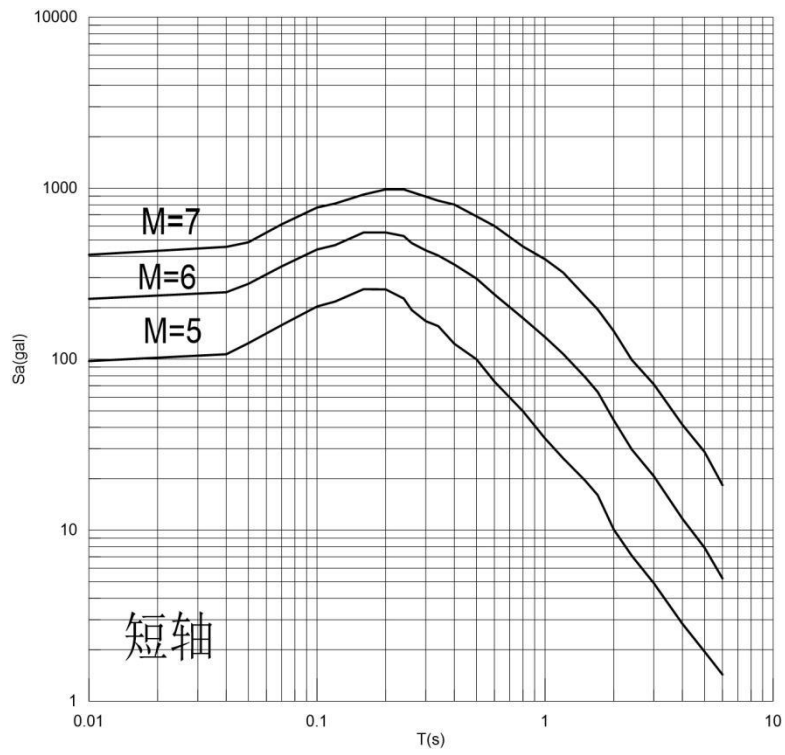
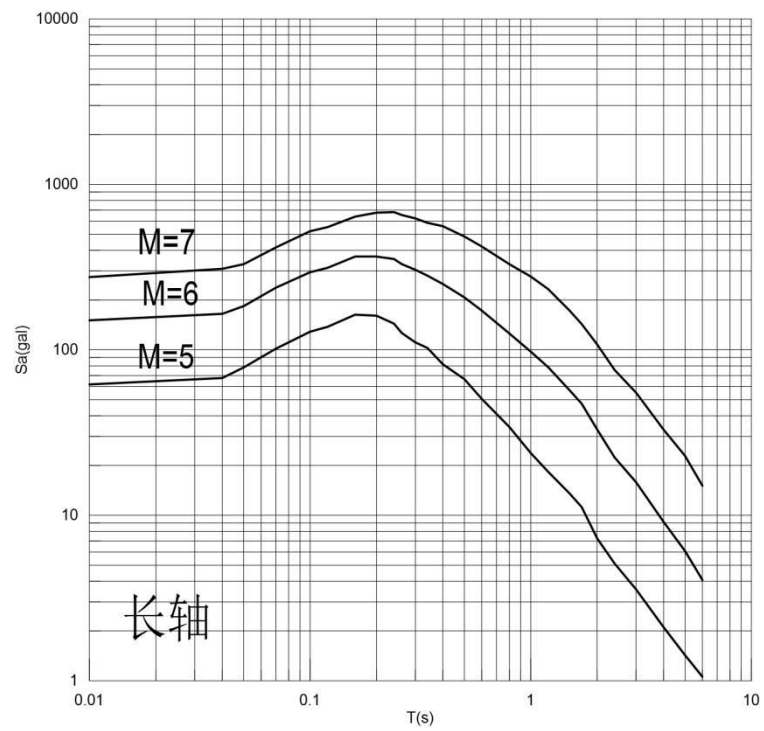


图 5.4-2 本区基岩水平加速度反应谱衰减关系曲线 ($R=10\text{km}$)



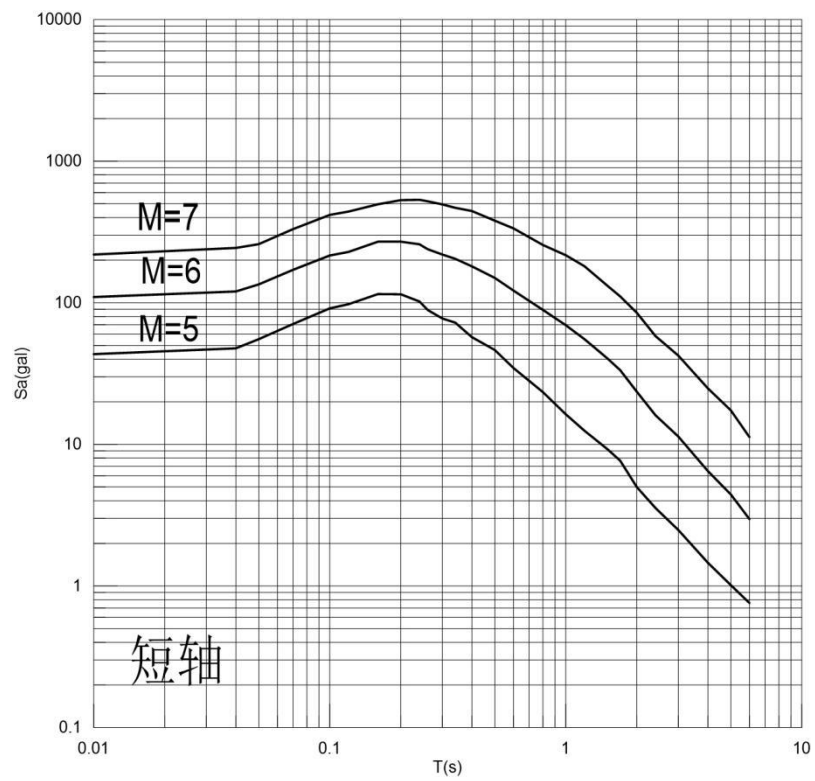
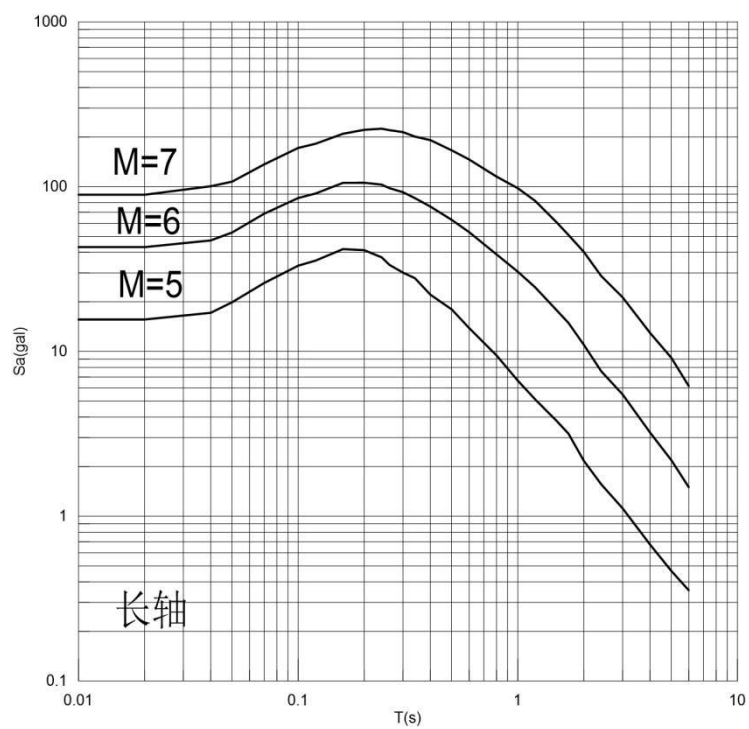


图 5. 4-3 本区基岩水平加速度反应谱衰减关系曲线 ($R=20\text{km}$)



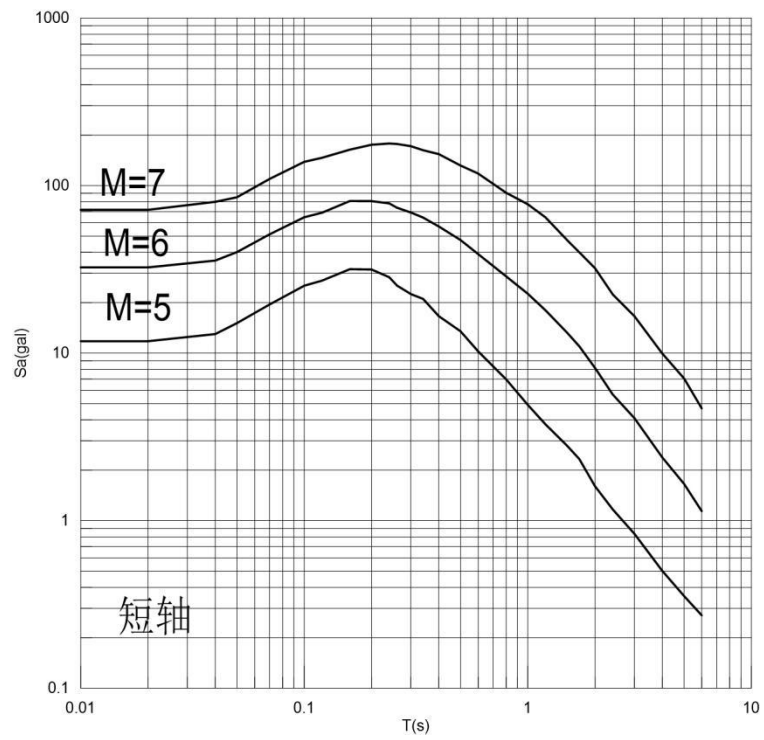
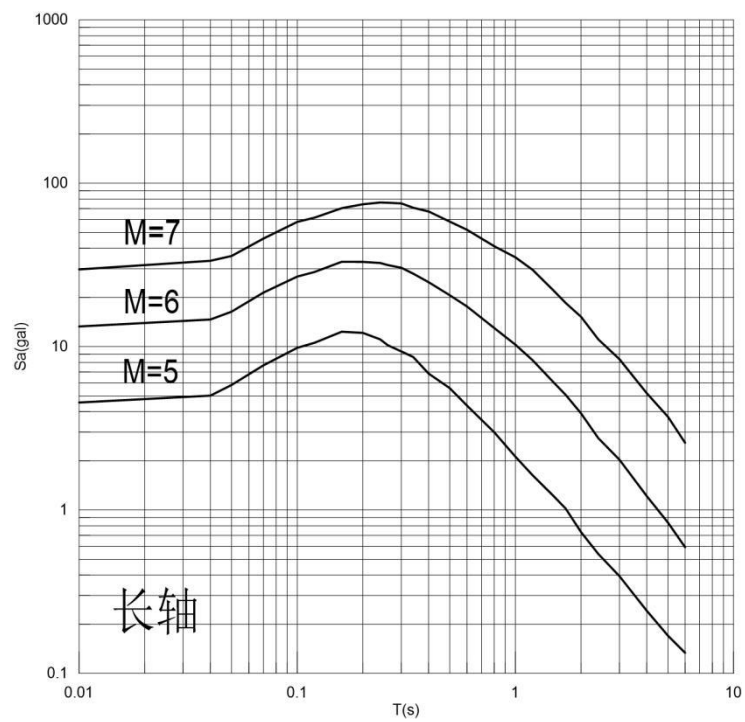


图 5.4-4 本区基岩水平加速度反应谱衰减关系曲线 ($R=50\text{km}$)



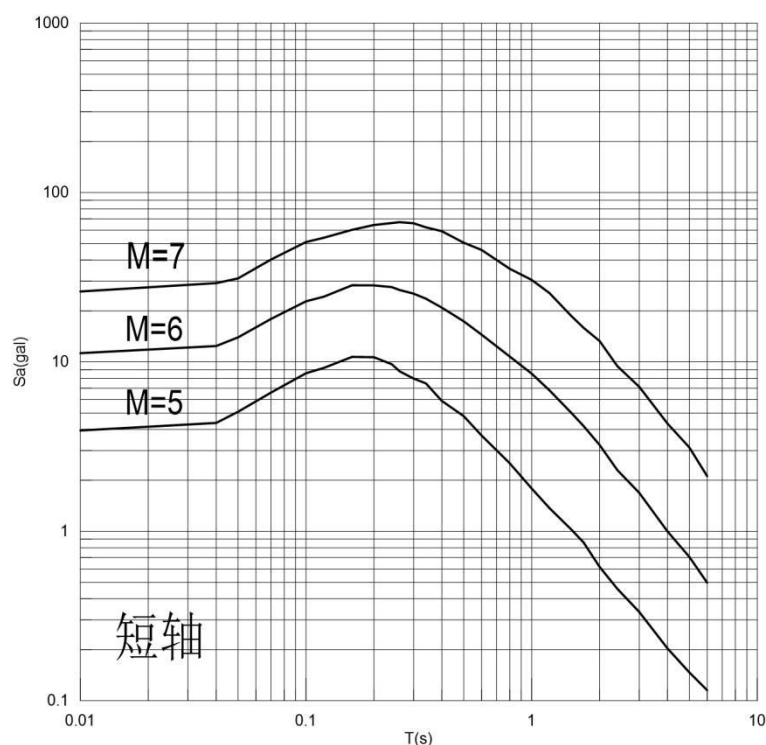


图 5.4-5 本区基岩水平加速度反应谱衰减关系曲线 (R=100km)

本项目使用的是《区域性地震安全性评价工作大纲》中推荐的中强区地震动预测方程系数如表 5.4-1 和表 5.4-2 所示。本工作目标区位于渝黔地震构造区的乐山市，选用中强区的地震动预测方程是合理的，其反应谱地震动预测方程也已在乐山市内多个地区的多项重大工程地震安全性评价工作中应用。综合分析，该地震动预测方程适合本工作区，在本次工作中使用具有合理性。考虑到目标区距龙门山地震带和鲜水河-滇东地震带均不远，因此，以 ZK1 为例采用青藏区地震动预测方程模型系数计算结果与中强区比较，根据抗震最不利原则，采用基岩地震动峰值加速度较大的值作为输入地震动。

表 5.4-1 基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数（长轴）（中强区）

周期/s	A1	B1	A2	B2	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

周期/s	A1	B1	A2	B2	C	D	E	σ
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

表 5.4-2 基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数（短轴）（中强区）

周期/s	A1	B1	A2	B2	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

周期/s	A1	B1	A2	B2	C	D	E	σ
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

5.5 目标区地震危险性分析结果

根据前面所确定的潜在震源区、地震活动性参数及地震动预测方程，利用概率分析方法，进行本项目工程场地控制点的地震危险性计算。本次工作中危险性分析的控制点与布设的钻孔控制点相同，按照“边界不超过 200 米且每 700 米布 1 孔”原则，符合相关规范和标准的技术要求。根据中强区地震动预测方程，计算得到 42 个钻孔控制点，50 年 63%、10%、2%和 100 年 63%、10%、2%、1%的基岩地震动水平向峰值加速度，所得的基岩水平向峰值加速度如表 5.5-1，根据青藏区地震动预测方程，所得的基岩水平向峰值加速度如表 5.5-2，根据抗震最不利原则，采用中强区地震动预测方程所得基岩水平向峰值

加速度作为基岩地震动输入。给出了每个钻孔的不同超越概率水平的基岩地震动加速度反应谱（见表 5.5-4），最后展示了以 ZK1 示例的超越概率曲线和不同超越概率水平的基岩地震动加速度反应谱曲线图。

表 5.5-1 不同超越概率水平下基岩水平向峰值加速度（gal）（中强区）

控制点编号	经度（°）	纬度（°）	50 年			100 年			
			63%	10%	2%	63%	10%	2%	1%
ZK1	103.8473	29.3940	35.4	82.9	138.6	47.3	103.7	166.1	195.0
ZK2	103.8417	29.3907	35.8	83.8	140.1	47.7	105.1	168.2	197.4
ZK3	103.8375	29.3865	36.1	84.6	141.4	48.1	106.2	170.0	199.4
ZK4	103.8337	29.3818	36.4	85.3	142.7	48.5	107.3	171.7	202.0
ZK5	103.8280	29.3771	36.8	86.4	144.4	49.0	108.8	174.0	205.8
ZK6	103.8299	29.3724	36.8	86.4	144.5	49.0	108.9	174.1	206.0
ZK7	103.8323	29.3677	36.8	86.4	144.5	49.0	108.9	174.2	206.2
ZK8	103.8389	29.3708	36.4	85.4	142.8	48.5	107.4	171.9	202.4
ZK9	103.8421	29.3688	36.3	85.1	142.3	48.3	107.0	171.3	201.4
ZK10	103.8481	29.3646	36.0	84.6	141.5	48.1	106.3	170.2	199.8
ZK11	103.8541	29.3746	35.5	83.2	139.1	47.4	104.1	166.9	196.0
ZK12	103.8565	29.3797	35.3	82.5	138.0	47.1	103.2	165.4	194.2
ZK13	103.8499	29.3845	35.5	83.1	138.9	47.4	104.0	166.7	195.6
ZK14	103.8523	29.3915	35.2	82.4	137.7	47.1	103.0	165.0	193.7
ZK15	103.8469	29.3892	35.5	83.2	139.1	47.4	104.2	166.9	195.9
ZK16	103.8415	29.3814	36.0	84.4	141.1	48.0	105.9	169.5	198.9
ZK17	103.8447	29.3767	35.9	84.2	140.9	47.9	105.7	169.3	198.7
ZK18	103.8377	29.3770	36.3	85.1	142.3	48.4	107.0	171.3	201.4
ZK19	103.8443	29.3862	35.7	83.7	139.9	47.7	104.9	168.0	197.2
ZK20	103.8595	29.3673	35.4	82.9	138.8	47.3	103.8	166.5	195.5
ZK21	103.8641	29.3744	35.0	81.9	136.9	46.8	102.3	164.0	192.6
ZK22	103.8711	29.3818	34.6	80.6	134.6	46.2	100.3	160.8	188.9

ZK23	103.8658	29.3652	35.1	82.3	137.7	47.0	102.9	165.0	193.8
ZK24	103.8736	29.3633	34.9	81.4	136.2	46.5	101.6	163.1	191.6
ZK25	103.8693	29.3712	34.9	81.4	136.2	46.6	101.6	163.0	191.5
ZK26	103.8776	29.3682	34.6	80.6	134.8	46.2	100.4	161.0	189.3
ZK27	103.8735	29.3760	34.6	80.6	134.7	46.2	100.4	160.9	189.1
ZK28	103.8776	29.3801	34.4	79.9	133.4	45.8	99.5	159.1	186.9
ZK29	103.8734	29.3692	34.8	81.1	135.5	46.4	101.0	162.1	190.5
ZK30	103.8790	29.3734	34.5	80.1	133.8	45.9	99.7	159.7	187.7
ZK31	103.8782	29.3610	34.7	81.0	135.5	46.3	101.0	162.1	190.5
ZK32	103.8851	29.3627	34.4	80.0	133.8	45.9	99.7	159.7	187.8
ZK33	103.8808	29.3651	34.6	80.4	134.4	46.1	100.1	160.6	188.8
ZK34	103.8890	29.3681	34.2	79.4	132.3	45.5	98.8	157.6	185.3
ZK35	103.8933	29.3725	34.0	78.8	130.8	45.1	98.0	155.6	182.9
ZK36	103.8831	29.3758	34.3	79.6	132.6	45.6	99.1	158.1	185.8
ZK37	103.8842	29.3678	34.4	79.8	133.4	45.8	99.5	159.1	187.0
ZK38	103.8871	29.3718	34.2	79.4	132.3	45.5	98.8	157.6	185.2
ZK39	103.8661	29.3812	34.8	81.2	135.8	46.5	101.3	162.4	190.7
ZK40	103.8506	29.3785	35.6	83.4	139.4	47.5	104.5	167.4	196.5
ZK41	103.8478	29.3727	35.9	84.1	140.7	47.9	105.5	169.0	198.4
ZK42	103.8514	29.3697	35.8	83.8	140.2	47.7	105.1	168.5	197.8

表 5.5-2 不同超越概率水平下基岩水平向峰值加速度（gal）（青藏区）

控制点编号	经度（°）	纬度（°）	50 年			100 年			
			63%	10%	2%	63%	10%	2%	1%
ZK1	103.8473	29.3940	26.8	68.7	119.3	36.9	87.8	147.2	177.0

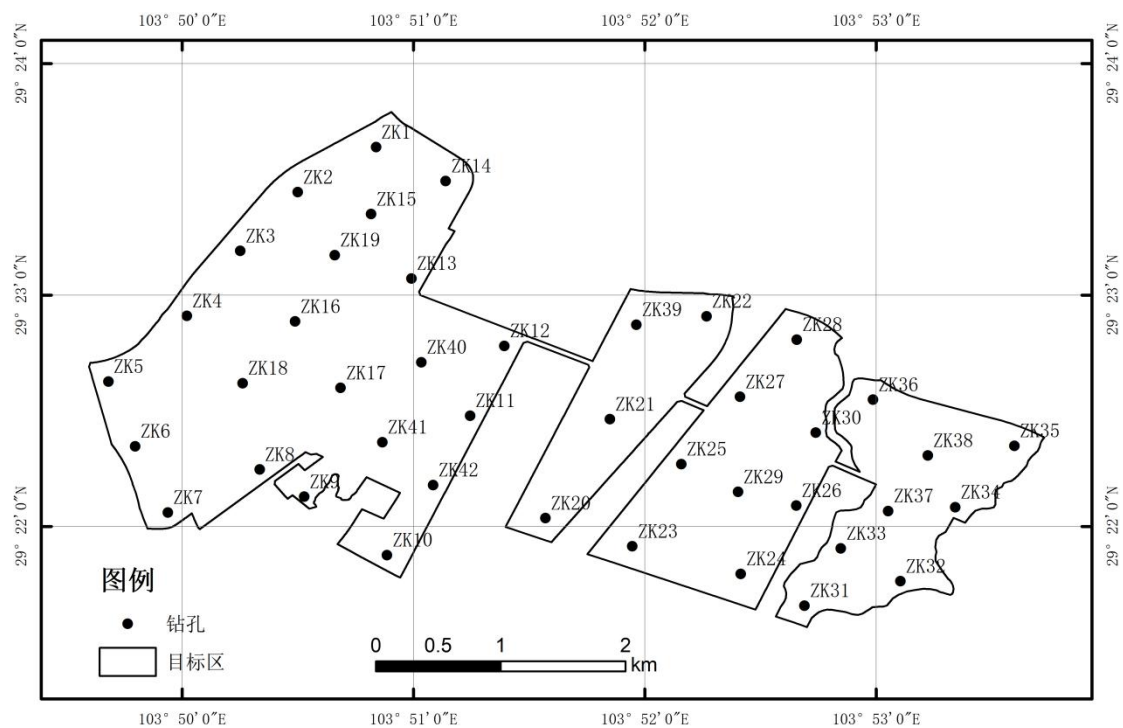
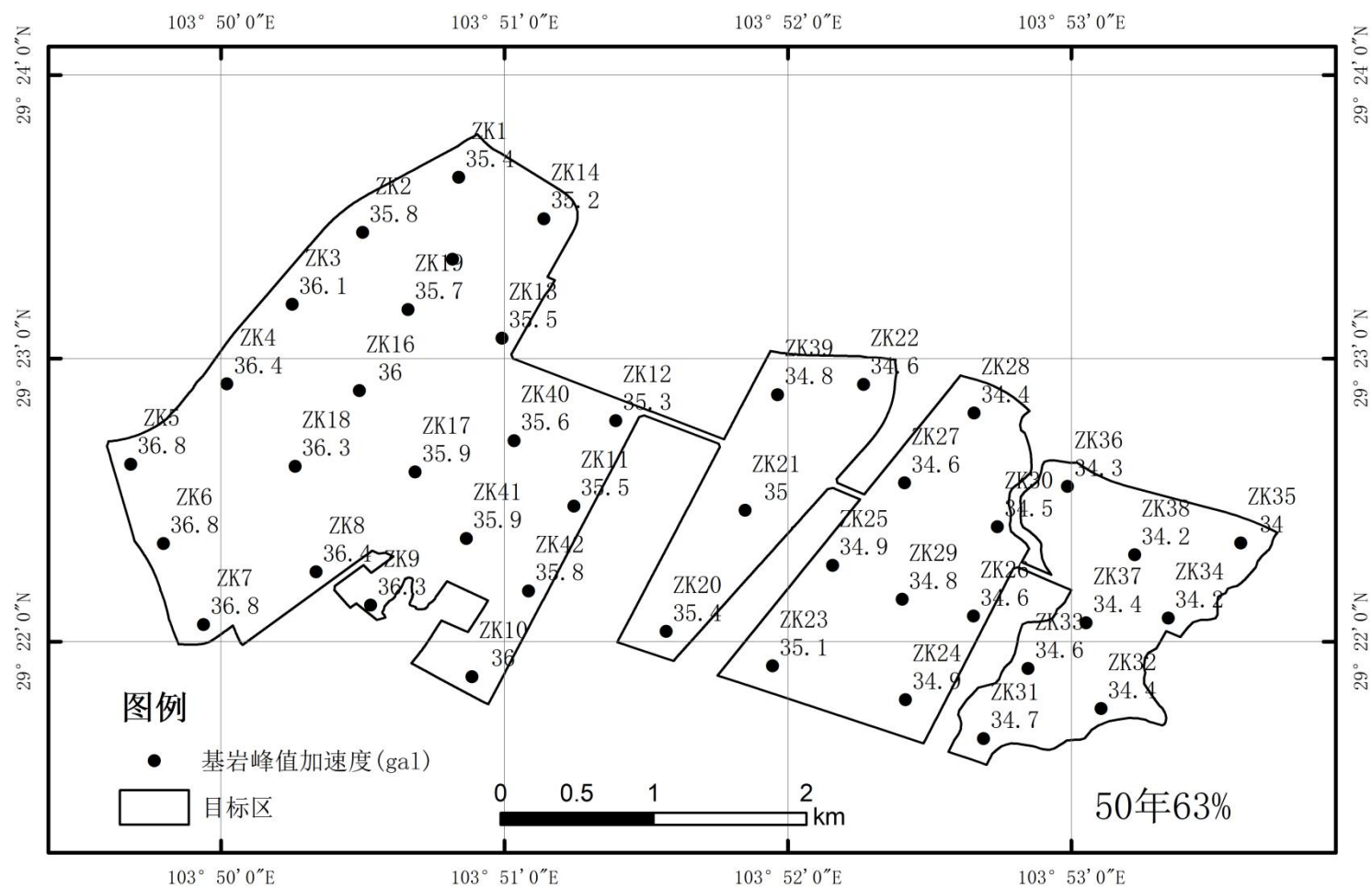
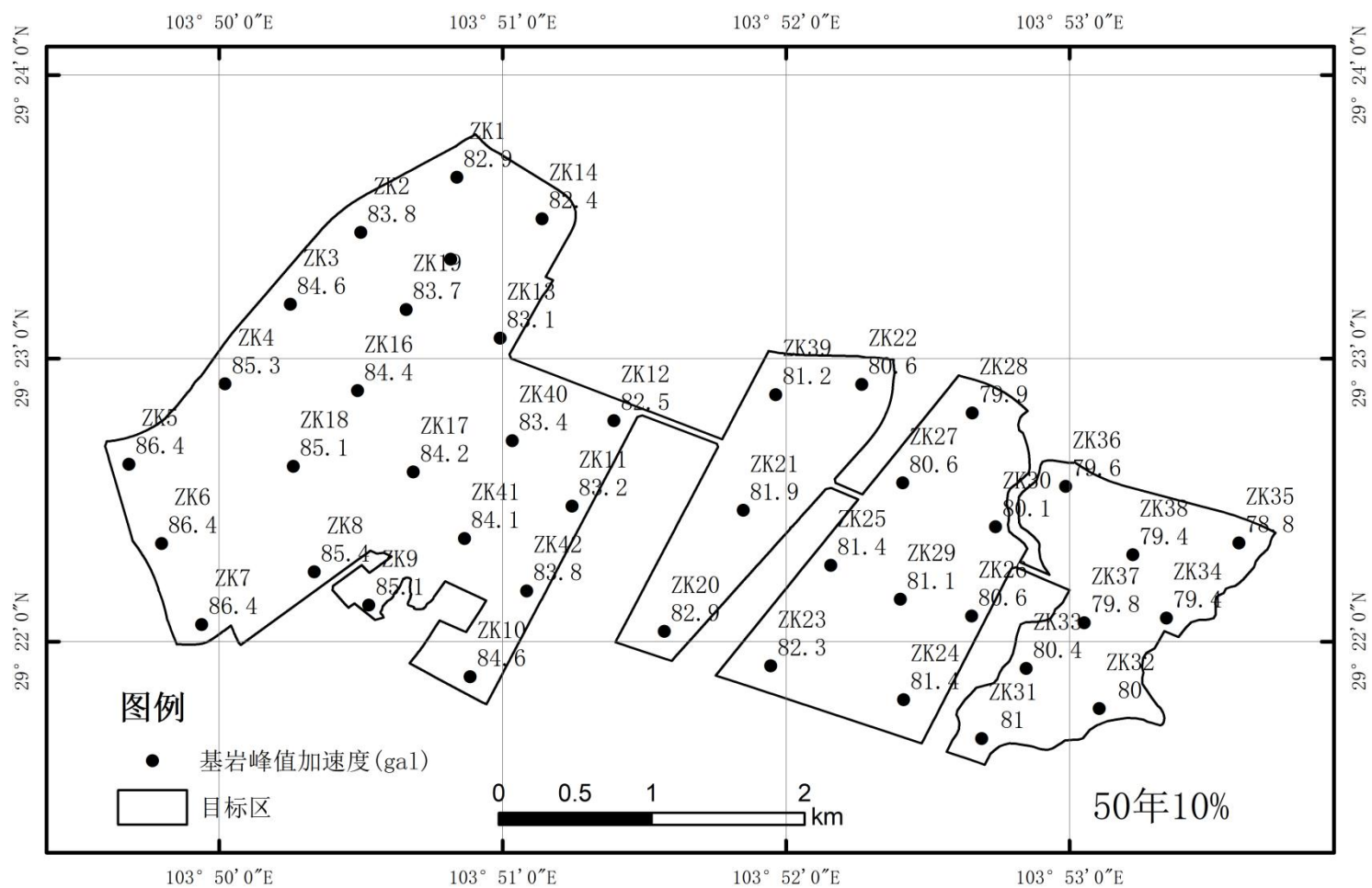
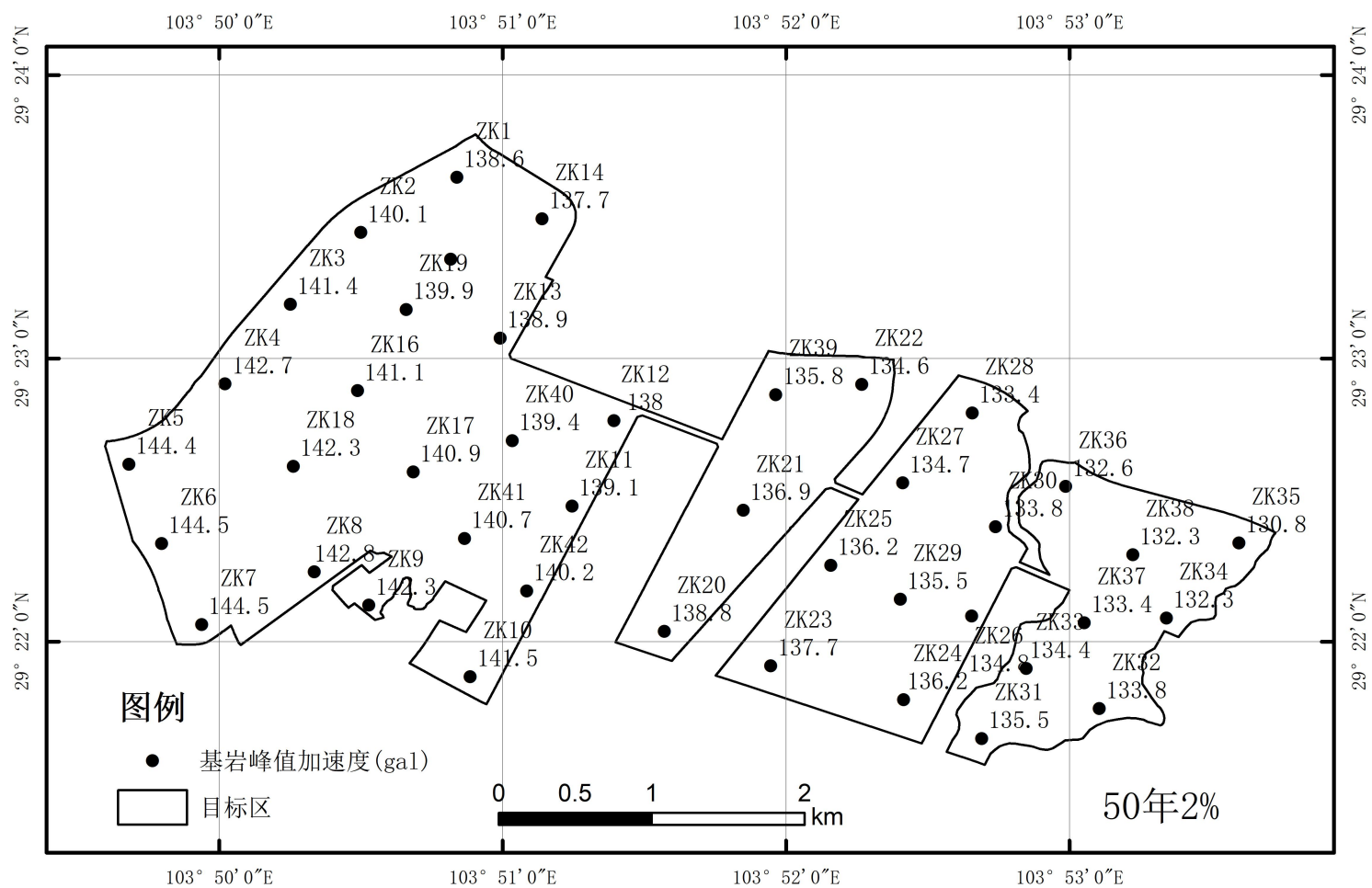
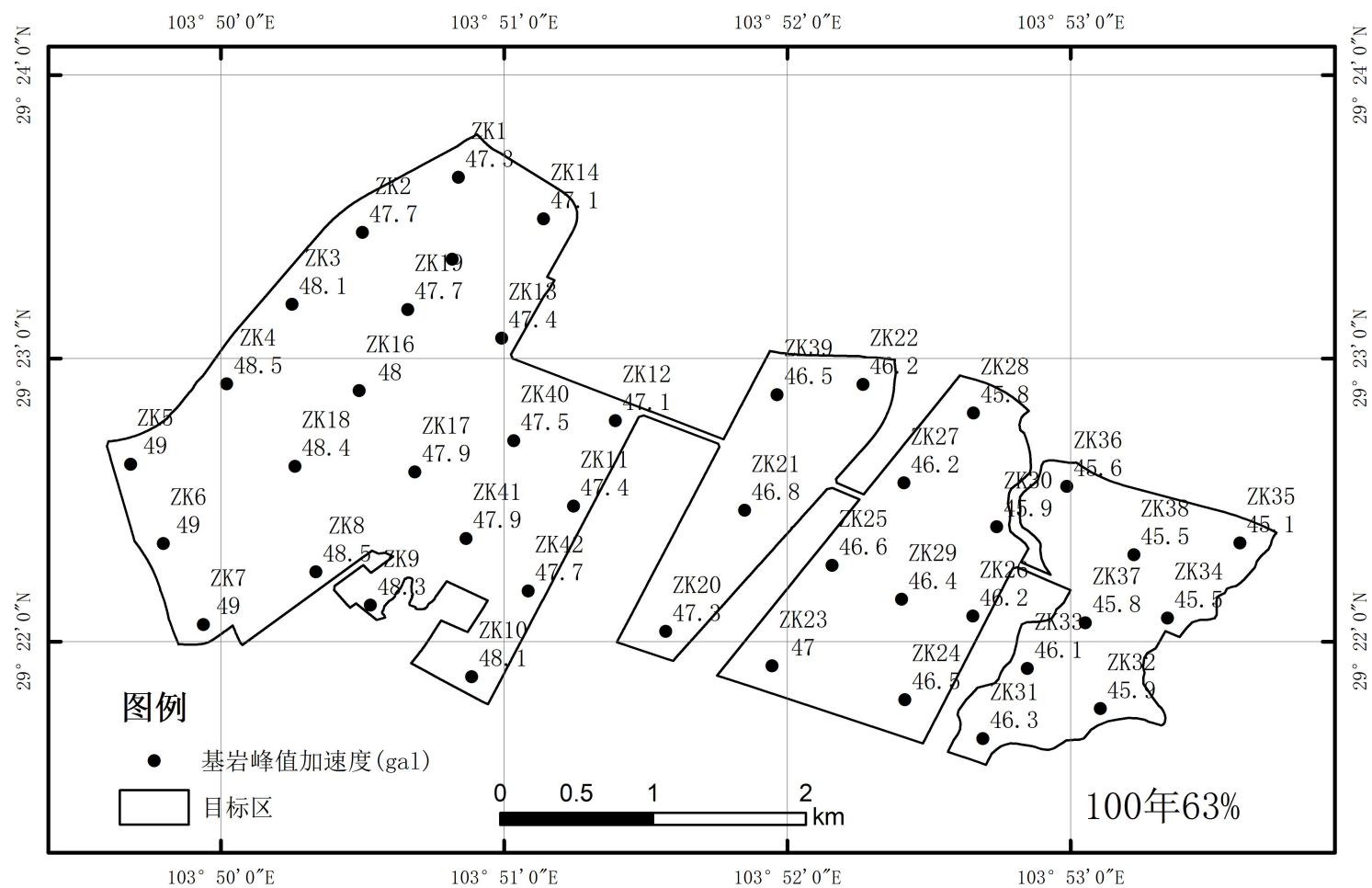


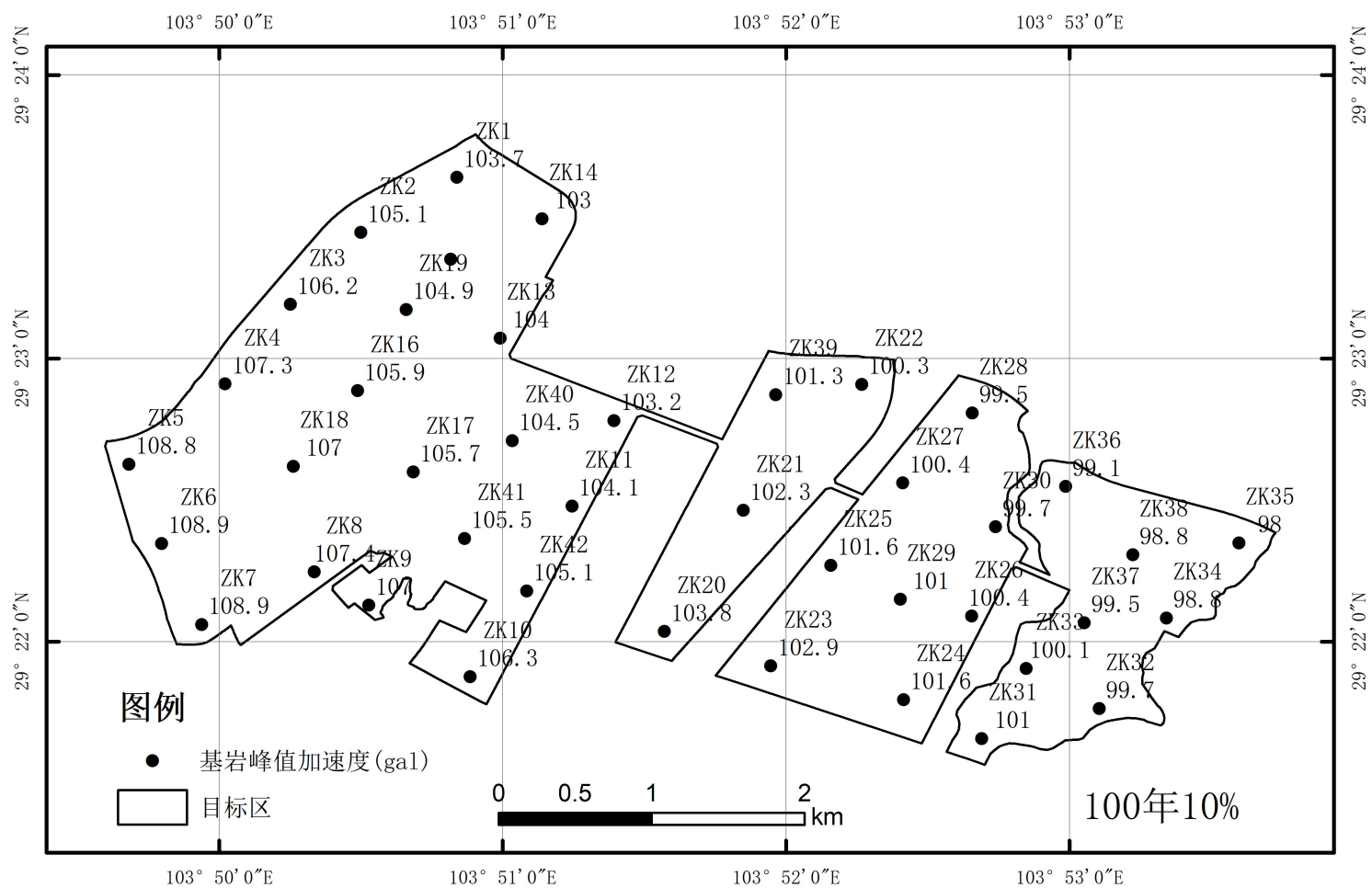
图 5.5-1 地震危险性分析控制点分布图

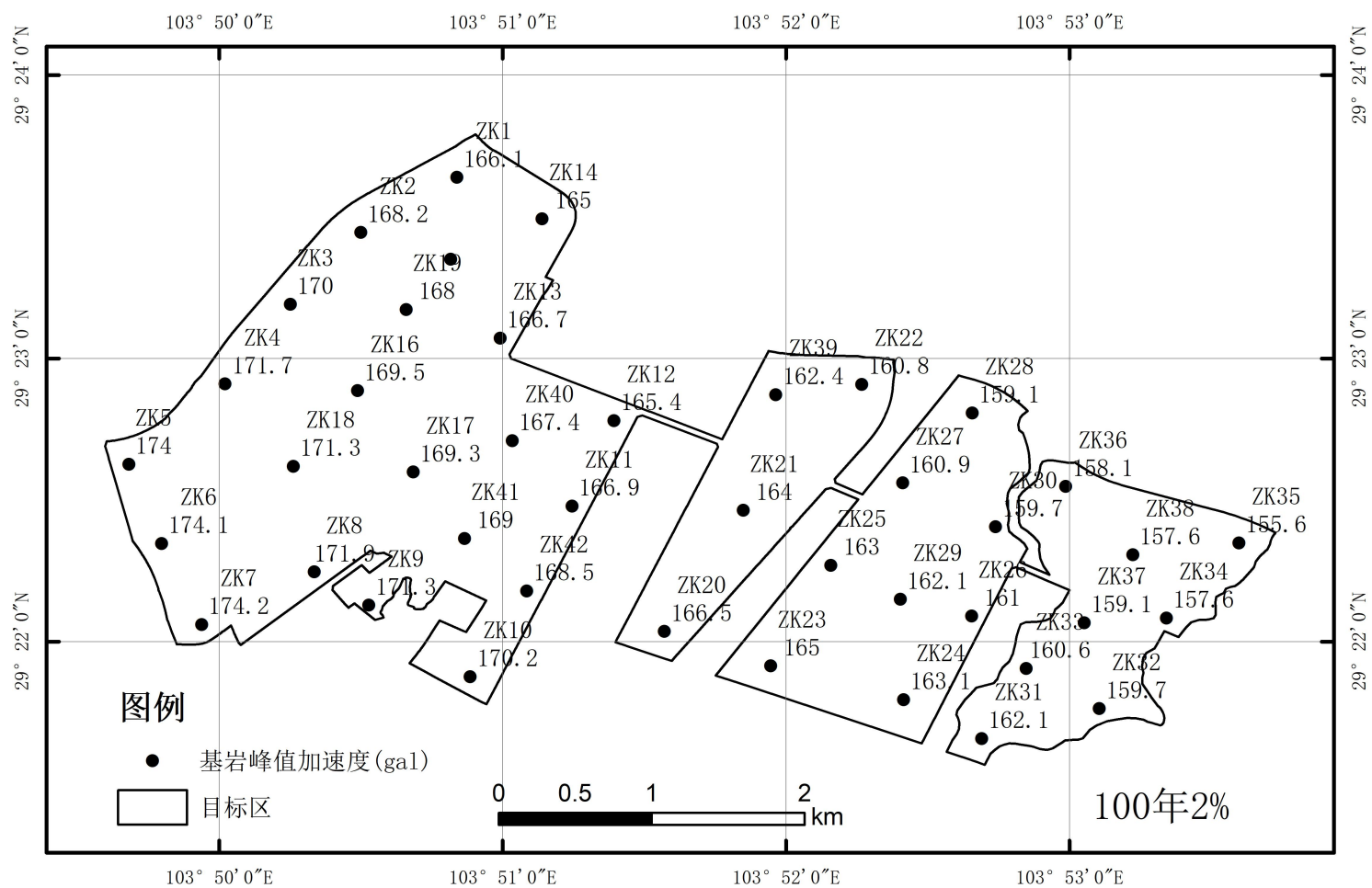












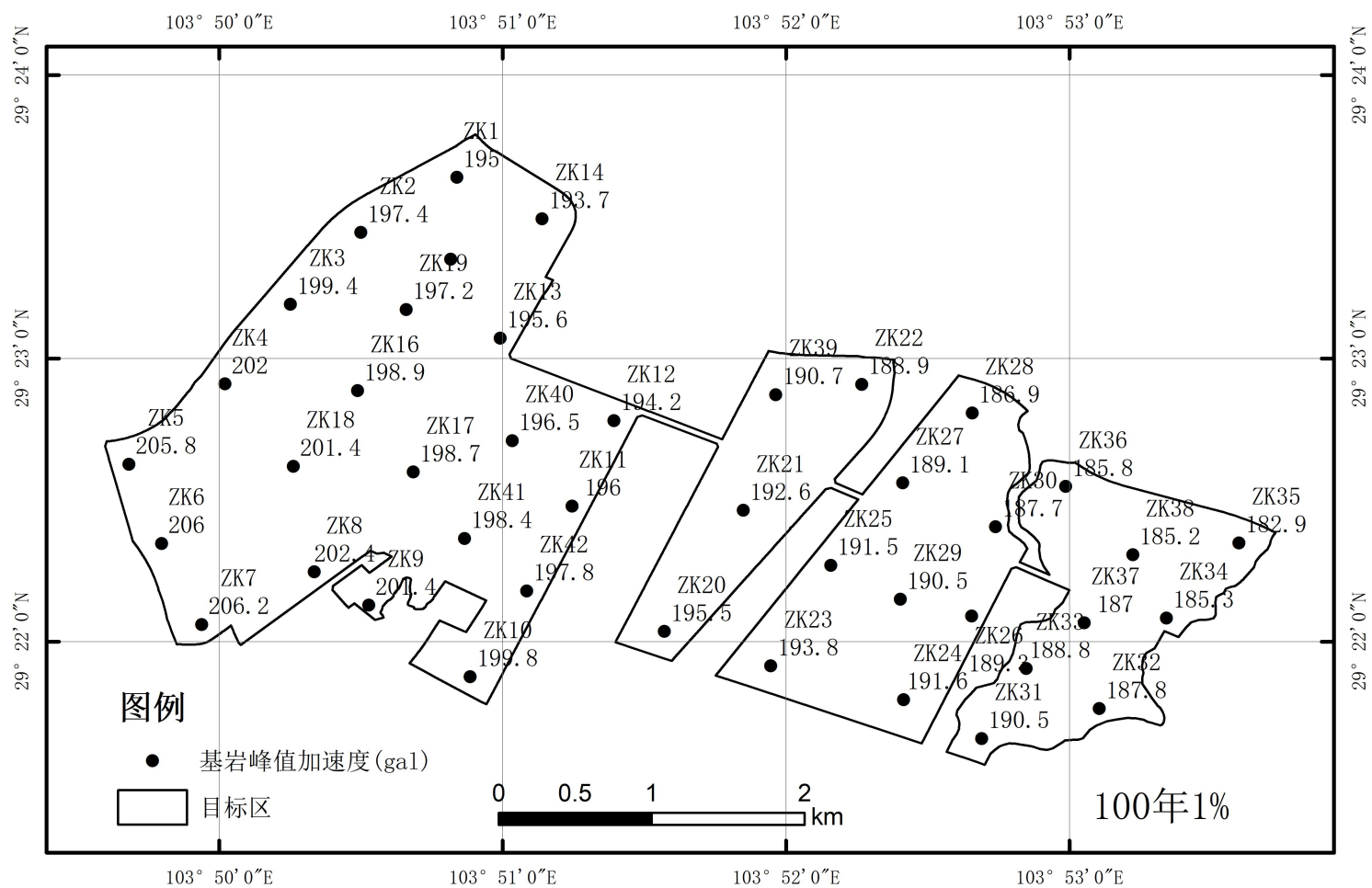


图 5.5-2 各控制点基岩水平向峰值加速度分布图（从上到下依次为 50 年 63%、10%、2%和 100 年 63%、10%、2%、1%）

根据地震危险性分析计算的结果，主要潜在震源区和背景潜源对目标区地震危险性的贡献如表 5.5-2 所示，从中可见，峰值加速度危险性贡献主要来自于 9 号 6.0 级背景构造源和马边 7.0 级潜在震源区；0.45s 处加速度危险性贡献主要来自于马边 7.0 级潜在震源区；3s 处加速度危险性贡献主要来自马边 7.0 级潜在震源区和汶川 8.0 级潜在震源区。

表 5.5-3 主要潜在震源区对基岩峰值加速度贡献近似值（以 ZK1 控制孔为例）

潜源/地震构造区背景源		震级上限	对不同峰值加速度的贡献值						
			50 年 63%	50 年 10%	50 年 2%	100 年 63%	100 年 10%	100 年 2%	100 年 1%
潜在震源区	马边	7.0	27.5%	40.2%	49.2%	30.5%	45.0%	54.7%	62.1%
	井研	5.5	9.8%	11.2%	10.5%	10.6%	10.9%	9.7%	8.4%
	雅安	6.5	9.1%	7.2%	5.8%	8.6%	6.4%	4.9%	3.7%
	乐山	6.5	7.3%	9.4%	10.6%	7.9%	10.1%	11.3%	11.9%
	永善	7.5	2.1%	1.0%	0.4%	1.8%	0.7%	0.2%	0.1%
	自贡	6.0	1.9%	1.5%	1.1%	1.9%	1.3%	0.9%	0.5%
	石棉	7.5	1.2%	0.3%	0.0%	0.9%	0.1%	0.0%	0.0%
	汶川	8.0	1.2%	0.1%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%
背景源	康定	8.0	1.1%	0.2%	0.0%	0.8%	0.1%	0.0%	0.0%
	9 号	6.0	18.4%	13.3%	10.1%	17.1%	11.6%	8.3%	5.8%
	17 号	5.0	11.2%	9.1%	6.4%	11.2%	7.7%	4.6%	2.6%
	12 号	6.0	5.6%	6.0%	5.8%	5.8%	5.9%	5.5%	4.9%

表 5.5-3 主要潜在震源区对 0.45s 处反应谱值贡献近似值（以 ZK1 控制孔为例）

表 5.5-3 主要潜在震源区对 3.0s 处反应谱值贡献近似值（以 ZK1 控制孔为例）

潜源/地震构造区背景源		震级上限	对 0.45s 反应谱的贡献值						
			50 年 63%	50 年 10%	50 年 2%	100 年 63%	100 年 10%	100 年 2%	100 年 1%
潜在震源区	马边	7.0	25.6%	45.8%	66.9%	32.9%	54.4%	71.3%	74.8%
	雅安	6.5	9.0%	8.3%	6.0%	9.0%	7.6%	5.3%	4.6%
	乐山	6.5	5.8%	8.3%	9.9%	6.8%	9.1%	10.0%	10.0%
	井研	5.5	4.9%	4.4%	3.0%	4.9%	3.9%	2.6%	2.2%
	汶川	8.0	4.8%	2.6%	0.4%	4.2%	1.7%	0.1%	0.0%
	康定	8.0	4.1%	2.5%	0.6%	3.7%	1.7%	0.3%	0.1%
	永善	7.5	4.1%	3.3%	1.6%	4.0%	2.6%	1.2%	0.9%
	石棉	7.5	3.1%	1.8%	0.4%	2.7%	1.2%	0.1%	0.0%
	昭觉	7.5	1.9%	0.8%	0.0%	1.4%	0.4%	0.0%	0.0%
背景源	李子坪	7.5	1.7%	0.7%	0.0%	1.3%	0.3%	0.0%	0.0%
	9 号	6.0	15.7%	11.0%	6.1%	13.9%	9.0%	4.9%	4.0%
	17 号	5.0	4.9%	2.6%	0.7%	4.1%	1.7%	0.4%	0.2%
	12 号	6.0	4.3%	4.4%	3.6%	4.4%	4.2%	3.3%	2.9%
潜源/地震构造区背景源		震级上限	对 3.0s 反应谱的贡献值						
			50 年 63%	50 年 10%	50 年 2%	100 年 63%	100 年 10%	100 年 2%	100 年 1%
潜在震源	马边	7.0	16.0%	28.6%	39.2%	19.0%	31.9%	44.5%	49.8%
	汶川	8.0	11.4%	16.5%	16.7%	13.4%	16.8%	16.4%	15.8%

区	康定	8.0	9.6%	14.3%	15.2%	11.3%	14.7%	15.1%	15.0%
	泸沽	8.0	5.1%	4.9%	3.7%	5.4%	4.6%	3.0%	2.1%
	永善	7.5	5.1%	5.9%	5.7%	5.5%	5.9%	5.5%	5.2%
	雅安	6.5	4.9%	3.5%	2.5%	4.6%	3.2%	2.1%	1.7%
	石棉	7.5	4.4%	4.6%	3.9%	4.7%	4.4%	3.4%	2.8%
	昭觉	7.5	3.3%	2.8%	2.0%	3.4%	2.5%	1.5%	1.0%
	李子坪	7.5	3.1%	2.6%	1.8%	3.2%	2.4%	1.3%	0.8%
	乐山	6.5	2.6%	3.0%	3.0%	2.7%	3.0%	3.0%	3.0%
背景源	9号	6.0	6.2%	2.3%	1.0%	4.8%	1.8%	0.6%	0.3%

表 5.5-3 各控制点基岩水平加速度反应谱（单位：gal，5%阻尼比）

控制点	周期（s）	50 年超越概率			100 年超越概率			
		63%	10%	2%	63%	10%	2%	1%
ZK1	0.04	40.8	96.6	162.0	55.0	120.7	194.5	232.6
	0.05	47.3	112.1	183.8	63.4	140.7	221.5	266.3
	0.07	61.0	143.9	235.8	81.3	178.0	285.9	338.0
	0.10	77.4	178.8	293.9	103.1	222.4	351.4	418.3
	0.12	82.8	191.1	312.9	110.7	237.9	376.1	442.7
	0.16	96.5	222.7	364.4	129.5	279.4	436.8	515.1
	0.20	96.7	223.6	367.2	129.8	280.7	440.4	521.6
	0.24	90.3	212.9	353.5	120.6	268.7	430.0	511.6
	0.26	85.0	202.4	342.3	114.4	255.6	417.8	499.5
	0.30	79.4	191.8	327.7	107.5	242.5	398.2	481.9
	0.34	74.3	178.4	303.0	99.4	225.6	373.0	447.4
	0.40	63.9	159.5	277.5	86.7	201.6	340.3	412.5
	0.50	53.7	135.6	233.7	73.0	172.0	289.5	349.1
	0.60	45.6	117.5	206.2	63.0	150.0	256.2	313.2
	0.80	34.6	91.0	163.1	48.1	117.6	200.4	245.7
	1.00	28.7	78.1	141.6	40.3	101.0	175.1	213.6
	1.20	24.3	68.2	124.2	34.6	88.6	155.0	189.8
	1.50	18.8	53.5	97.3	26.8	69.4	122.0	149.5
	1.70	16.2	46.5	85.5	23.3	60.8	107.9	133.7
	2.00	13.5	38.9	71.2	19.4	50.9	89.1	110.3
	2.40	9.8	28.4	51.9	14.2	37.2	64.9	78.8
	3.00	7.5	21.5	39.0	10.7	28.0	48.5	59.2
	4.00	4.8	13.4	23.9	6.7	17.2	29.6	36.0
	5.00	3.8	9.7	17.4	4.9	12.7	21.6	26.1
	6.00	2.6	6.9	12.2	4.0	9.1	15.1	18.4
ZK2	0.04	41.2	97.5	164.0	55.5	122.5	196.7	235.7
	0.05	47.7	113.1	186.1	64.0	142.0	224.7	270.0
	0.07	61.6	145.0	238.4	82.1	179.4	288.8	341.6

	0.10	78.1	180.3	296.4	104.1	225.0	356.4	423.6
	0.12	83.6	192.8	316.7	111.6	240.2	380.3	447.2
	0.16	97.3	225.1	368.7	130.8	282.1	441.2	521.7
	0.20	97.6	226.1	371.5	131.1	283.4	444.8	528.1
	0.24	91.1	214.9	358.4	122.0	271.8	435.1	518.9
	0.26	85.7	204.6	345.7	115.3	259.0	423.4	507.2
	0.30	79.9	193.6	331.5	108.4	244.9	403.4	488.1
	0.34	74.8	179.8	307.3	100.2	228.2	377.8	453.5
	0.40	64.4	161.2	280.8	87.3	204.0	344.2	418.9
	0.50	54.2	137.0	236.6	73.6	173.6	292.7	354.7
	0.60	45.9	118.4	208.8	63.5	152.0	260.2	318.1
	0.80	34.8	91.9	165.0	48.5	118.6	203.2	248.5
	1.00	28.9	78.7	142.9	40.6	102.2	176.8	216.2
	1.20	24.5	68.7	125.8	34.8	89.4	157.1	192.1
	1.50	18.9	53.9	98.2	26.9	69.9	123.8	151.5
	1.70	16.3	46.8	86.3	23.5	61.4	109.1	135.3
	2.00	13.5	39.1	71.9	19.5	51.4	89.8	111.4
	2.40	9.9	28.5	52.4	14.3	37.4	65.5	79.4
	3.00	7.5	21.6	39.3	10.8	28.2	48.9	59.5
	4.00	4.8	13.4	24.1	6.7	17.3	29.8	36.3
	5.00	3.8	9.8	17.6	4.9	12.8	21.7	26.3
	6.00	2.6	6.9	12.3	4.0	9.2	15.2	18.5
ZK3	0.04	41.6	98.3	165.8	55.9	124.0	198.6	238.5
	0.05	48.1	114.0	188.0	64.5	143.2	227.4	273.2
	0.07	62.2	146.0	240.6	82.8	181.0	291.2	344.6
	0.10	78.6	182.0	298.6	105.0	227.3	360.7	428.2
	0.12	84.2	194.4	319.9	112.5	242.1	383.9	451.7
	0.16	98.1	227.2	372.4	131.9	284.4	445.0	527.2
	0.20	98.3	228.1	375.1	132.2	285.7	448.6	533.5
	0.24	91.8	216.7	362.6	123.1	274.4	439.5	525.2
	0.26	86.3	206.5	348.7	116.1	261.8	428.2	514.0
	0.30	80.5	195.2	334.8	109.2	246.9	408.8	493.5
	0.34	75.4	181.5	311.0	101.1	230.5	382.0	459.8
	0.40	64.9	162.7	283.6	87.9	206.1	347.5	424.4
	0.50	54.5	138.1	239.0	74.1	175.0	295.5	360.0
	0.60	46.2	119.2	211.0	63.9	153.7	263.7	322.3
	0.80	35.0	92.7	166.7	48.8	119.5	205.7	251.6
	1.00	29.0	79.2	144.1	40.9	103.2	178.4	218.5
	1.20	24.6	69.1	127.2	35.0	90.0	159.0	194.2
	1.50	19.0	54.3	99.0	27.1	70.6	125.3	153.6
	1.70	16.4	47.2	87.0	23.6	62.0	110.2	136.7

	2.00	13.6	39.4	72.5	19.5	51.8	90.5	112.3
	2.40	9.9	28.7	52.8	14.3	37.7	65.9	80.0
	3.00	7.6	21.7	39.5	10.9	28.4	49.2	59.9
	4.00	4.8	13.5	24.2	6.7	17.5	30.0	36.6
	5.00	3.8	9.8	17.7	4.9	12.8	21.8	26.5
	6.00	2.7	6.9	12.4	4.0	9.2	15.3	18.7
ZK4	0.04	41.9	99.1	167.5	56.4	125.4	200.7	241.1
	0.05	48.5	114.9	189.9	65.1	144.3	230.1	276.5
	0.07	62.7	147.0	242.8	83.5	182.9	293.7	347.8
	0.10	79.2	183.7	301.4	106.0	229.5	364.9	432.8
	0.12	84.9	195.9	323.2	113.3	244.1	387.5	457.6
	0.16	98.8	229.4	376.0	133.0	286.7	448.7	532.8
	0.20	99.0	230.2	378.8	133.3	287.9	453.6	539.1
	0.24	92.6	218.4	366.7	124.3	277.0	443.8	531.4
	0.26	86.9	208.4	352.5	116.8	264.6	432.9	520.6
	0.30	81.1	196.8	338.0	110.0	248.9	414.1	498.7
	0.34	75.9	183.2	314.8	102.0	232.8	386.1	466.0
	0.40	65.3	164.1	286.4	88.5	208.2	351.2	429.8
	0.50	54.9	139.2	241.5	74.6	176.5	298.3	365.2
	0.60	46.5	120.1	213.2	64.4	155.4	267.2	326.5
	0.80	35.2	93.5	168.4	49.1	120.5	208.2	255.7
	1.00	29.2	79.7	145.3	41.2	104.2	179.9	221.1
	1.20	24.7	69.6	128.6	35.2	90.8	160.8	196.3
	1.50	19.1	54.7	99.8	27.2	71.2	126.9	155.7
	1.70	16.5	47.5	87.7	23.7	62.5	111.2	138.0
	2.00	13.7	39.6	73.1	19.6	52.2	91.4	113.3
	2.40	9.9	28.9	53.2	14.4	37.9	66.4	80.8
	3.00	7.6	21.8	39.7	10.9	28.6	49.5	60.4
	4.00	4.8	13.6	24.4	6.7	17.6	30.2	36.9
	5.00	3.8	9.9	17.8	4.9	12.9	21.9	26.6
	6.00	2.7	6.9	12.5	4.0	9.2	15.4	18.8
ZK5	0.04	42.3	100.2	169.7	56.9	127.4	204.2	244.6
	0.05	48.9	116.1	192.4	65.8	145.7	233.6	280.6
	0.07	63.4	148.4	245.7	84.4	185.4	297.0	352.9
	0.10	79.9	186.0	306.3	107.2	232.5	370.5	438.8
	0.12	85.8	198.0	327.5	114.4	246.7	392.3	465.2
	0.16	99.7	232.1	380.8	134.4	289.7	455.5	540.0
	0.20	99.9	233.0	383.6	134.7	291.0	460.9	546.3
	0.24	93.5	221.0	372.1	125.8	280.4	449.4	539.4
	0.26	87.7	210.9	358.4	117.8	268.4	439.1	529.2
	0.30	81.9	198.9	342.2	111.1	252.4	420.9	507.6

	0.34	76.5	185.5	319.7	103.1	235.8	391.4	474.1
	0.40	65.8	166.0	290.0	89.2	210.9	357.8	436.7
	0.50	55.3	140.7	244.7	75.3	178.3	303.0	371.8
	0.60	46.9	121.8	216.0	65.0	157.6	271.6	331.8
	0.80	35.5	94.5	170.5	49.5	122.4	211.3	260.8
	1.00	29.4	80.6	146.8	41.5	105.5	182.8	225.2
	1.20	24.9	70.2	130.4	35.5	91.9	163.1	198.9
	1.50	19.2	55.2	101.2	27.5	72.0	128.8	158.3
	1.70	16.6	47.9	88.6	23.9	63.2	112.6	139.8
	2.00	13.7	39.8	73.9	19.7	52.7	92.5	114.5
	2.40	10.0	29.1	53.7	14.5	38.2	67.1	81.8
	3.00	7.6	21.9	40.0	11.0	28.8	49.9	61.1
	4.00	4.8	13.7	24.5	6.8	17.7	30.5	37.2
	5.00	3.9	9.9	17.9	4.9	13.0	22.1	26.8
	6.00	2.7	7.0	12.6	4.0	9.3	15.5	18.9
ZK6	0.04	42.3	100.3	169.8	56.9	127.5	204.4	244.8
	0.05	49.0	116.2	192.6	65.8	145.8	233.8	280.8
	0.07	63.4	148.4	245.8	84.5	185.5	297.2	353.4
	0.10	79.9	186.1	306.6	107.2	232.6	370.9	439.2
	0.12	85.8	198.1	327.7	114.5	246.8	392.5	465.7
	0.16	99.7	232.3	381.0	134.5	289.9	455.8	540.4
	0.20	99.9	233.2	383.8	134.8	291.1	461.3	546.8
	0.24	93.6	221.1	372.5	125.9	280.6	449.9	540.0
	0.26	87.7	211.0	358.9	117.9	268.6	439.6	530.0
	0.30	82.0	199.0	342.6	111.1	252.7	421.6	508.7
	0.34	76.5	185.7	320.1	103.1	236.0	391.9	474.9
	0.40	65.8	166.2	290.4	89.3	211.1	358.5	437.5
	0.50	55.3	140.8	245.0	75.4	178.5	303.8	372.8
	0.60	46.9	121.9	216.4	65.0	157.8	272.3	332.6
	0.80	35.5	94.6	170.8	49.5	122.6	211.8	261.7
	1.00	29.4	80.7	147.0	41.5	105.7	183.2	225.8
	1.20	24.9	70.3	130.6	35.5	92.0	163.5	199.3
	1.50	19.2	55.3	101.4	27.5	72.1	129.1	158.7
	1.70	16.6	48.0	88.8	23.9	63.3	112.8	140.1
	2.00	13.7	39.9	74.0	19.7	52.8	92.7	114.7
	2.40	10.0	29.1	53.8	14.5	38.2	67.2	81.9
	3.00	7.6	22.0	40.1	11.0	28.8	50.0	61.3
	4.00	4.8	13.7	24.5	6.8	17.7	30.5	37.3
	5.00	3.9	9.9	18.0	4.9	13.0	22.1	26.9
	6.00	2.7	7.0	12.6	4.0	9.3	15.5	18.9
ZK7	0.04	42.3	100.3	169.9	56.9	127.5	204.5	245.0

	0.05	49.0	116.2	192.6	65.8	145.8	233.8	280.9
	0.07	63.4	148.4	245.9	84.5	185.5	297.3	353.6
	0.10	79.9	186.1	306.7	107.2	232.7	371.0	439.4
	0.12	85.8	198.1	327.7	114.5	246.9	392.6	465.8
	0.16	99.7	232.2	381.1	134.5	289.9	455.9	540.6
	0.20	99.9	233.2	383.9	134.8	291.2	461.4	547.0
	0.24	93.6	221.1	372.6	125.8	280.6	450.0	540.3
	0.26	87.7	211.0	359.2	117.9	268.7	440.0	530.6
	0.30	82.0	199.0	342.8	111.1	252.8	421.9	509.4
	0.34	76.5	185.7	320.4	103.1	236.1	392.3	475.6
	0.40	65.8	166.2	290.7	89.3	211.3	359.0	438.1
	0.50	55.3	140.8	245.2	75.3	178.5	304.2	373.3
	0.60	46.9	122.0	216.6	65.0	157.9	272.7	333.2
	0.80	35.5	94.6	171.0	49.5	122.7	212.1	262.2
	1.00	29.4	80.7	147.2	41.5	105.8	183.6	226.4
	1.20	24.9	70.3	130.8	35.5	92.1	163.8	199.7
	1.50	19.2	55.3	101.5	27.5	72.2	129.3	159.0
	1.70	16.6	48.0	88.9	23.9	63.3	112.9	140.3
	2.00	13.7	39.9	74.1	19.7	52.8	92.8	114.9
	2.40	10.0	29.1	53.9	14.5	38.3	67.2	82.1
	3.00	7.6	22.0	40.1	11.0	28.8	50.1	61.4
	4.00	4.8	13.7	24.6	6.8	17.7	30.6	37.3
	5.00	3.9	9.9	18.0	4.9	13.0	22.2	26.9
	6.00	2.7	7.0	12.6	4.0	9.3	15.5	18.9
ZK8	0.04	41.9	99.1	167.6	56.4	125.5	201.0	241.4
	0.05	48.5	114.9	190.0	65.1	144.3	230.2	276.7
	0.07	62.7	147.1	242.9	83.5	182.9	293.9	348.0
	0.10	79.2	183.7	301.5	105.9	229.6	365.2	433.2
	0.12	84.9	196.0	323.3	113.3	244.2	387.8	458.0
	0.16	98.7	229.3	376.0	132.9	286.7	448.9	533.0
	0.20	98.9	230.3	378.9	133.3	288.0	453.9	539.6
	0.24	92.6	218.5	367.1	124.3	277.1	444.3	532.2
	0.26	86.9	208.5	353.1	116.8	264.9	433.7	521.8
	0.30	81.1	196.9	338.5	110.0	249.1	415.1	499.9
	0.34	75.8	183.4	315.5	101.9	233.1	387.0	467.7
	0.40	65.3	164.3	287.0	88.5	208.5	352.4	431.3
	0.50	54.8	139.3	242.0	74.6	176.7	299.0	366.8
	0.60	46.5	120.3	213.8	64.4	155.7	268.3	328.0
	0.80	35.2	93.6	168.9	49.1	120.9	209.0	257.2
	1.00	29.2	79.8	145.7	41.2	104.5	180.7	222.4
	1.20	24.7	69.7	129.0	35.2	91.0	161.5	197.1

	1. 50	19. 1	54. 8	100. 1	27. 2	71. 4	127. 4	156. 5
	1. 70	16. 5	47. 6	87. 9	23. 7	62. 6	111. 6	138. 6
	2. 00	13. 7	39. 6	73. 3	19. 6	52. 3	91. 7	113. 7
	2. 40	9. 9	28. 9	53. 4	14. 4	38. 0	66. 6	81. 1
	3. 00	7. 6	21. 8	39. 8	10. 9	28. 6	49. 6	60. 6
	4. 00	4. 8	13. 6	24. 4	6. 7	17. 6	30. 3	37. 0
	5. 00	3. 8	9. 9	17. 8	4. 9	12. 9	22. 0	26. 7
	6. 00	2. 7	6. 9	12. 5	4. 0	9. 2	15. 4	18. 8
ZK9	0. 04	41. 7	98. 8	167. 0	56. 2	125. 0	200. 1	240. 5
	0. 05	48. 3	114. 6	189. 3	64. 9	143. 9	229. 3	275. 6
	0. 07	62. 5	146. 7	242. 1	83. 2	182. 3	293. 0	346. 9
	0. 10	78. 9	183. 1	300. 2	105. 6	228. 7	363. 7	431. 6
	0. 12	84. 6	195. 4	322. 1	113. 0	243. 4	386. 4	455. 9
	0. 16	98. 5	228. 5	374. 7	132. 5	285. 8	447. 5	531. 0
	0. 20	98. 7	229. 5	377. 6	132. 8	287. 1	452. 0	537. 7
	0. 24	92. 3	217. 8	365. 7	123. 8	276. 2	442. 8	530. 1
	0. 26	86. 7	207. 8	351. 5	116. 5	263. 9	432. 1	519. 7
	0. 30	80. 9	196. 3	337. 4	109. 7	248. 4	413. 5	498. 2
	0. 34	75. 6	182. 7	314. 2	101. 6	232. 3	385. 6	465. 6
	0. 40	65. 1	163. 8	286. 1	88. 3	207. 8	351. 0	429. 8
	0. 50	54. 7	138. 9	241. 3	74. 4	176. 2	298. 2	365. 3
	0. 60	46. 4	119. 9	213. 2	64. 2	155. 2	267. 4	326. 9
	0. 80	35. 1	93. 4	168. 4	49. 0	120. 4	208. 4	256. 2
	1. 00	29. 1	79. 7	145. 3	41. 1	104. 1	180. 1	221. 6
	1. 20	24. 7	69. 5	128. 7	35. 2	90. 8	161. 0	196. 6
	1. 50	19. 1	54. 7	99. 8	27. 2	71. 2	127. 0	155. 9
	1. 70	16. 5	47. 5	87. 7	23. 7	62. 5	111. 3	138. 2
	2. 00	13. 6	39. 5	73. 2	19. 6	52. 2	91. 5	113. 5
	2. 40	9. 9	28. 9	53. 2	14. 4	37. 9	66. 5	80. 9
	3. 00	7. 6	21. 8	39. 7	10. 9	28. 6	49. 6	60. 5
	4. 00	4. 8	13. 6	24. 4	6. 7	17. 6	30. 2	36. 9
	5. 00	3. 8	9. 8	17. 8	4. 9	12. 9	21. 9	26. 6
	6. 00	2. 7	6. 9	12. 5	4. 0	9. 2	15. 4	18. 8
ZK10	0. 04	41. 5	98. 3	166. 0	55. 9	124. 1	199. 0	239. 0
	0. 05	48. 1	114. 0	188. 1	64. 5	143. 2	227. 6	273. 7
	0. 07	62. 1	146. 0	240. 7	82. 8	181. 1	291. 5	345. 1
	0. 10	78. 6	182. 0	298. 8	105. 0	227. 3	361. 1	428. 9
	0. 12	84. 2	194. 4	320. 1	112. 4	242. 2	384. 2	452. 5
	0. 16	98. 0	227. 1	372. 4	131. 8	284. 3	445. 1	527. 7
	0. 20	98. 2	228. 1	375. 4	132. 1	285. 7	449. 1	534. 6
	0. 24	91. 8	216. 7	363. 2	123. 1	274. 6	440. 3	526. 6

	0.26	86.3	206.6	349.3	116.0	262.2	429.5	516.1
	0.30	80.5	195.4	335.6	109.2	247.2	410.7	495.6
	0.34	75.3	181.7	312.2	101.0	231.0	383.4	462.4
	0.40	64.8	162.9	284.7	87.9	206.7	349.0	427.2
	0.50	54.5	138.3	240.0	74.1	175.5	296.9	362.9
	0.60	46.2	119.4	212.1	63.9	154.3	265.8	325.1
	0.80	35.0	92.9	167.6	48.8	119.8	207.3	254.5
	1.00	29.0	79.4	144.8	40.9	103.6	179.4	220.3
	1.20	24.6	69.3	128.0	35.0	90.4	160.3	195.8
	1.50	19.0	54.4	99.5	27.1	70.8	126.4	155.1
	1.70	16.4	47.3	87.4	23.6	62.2	110.9	137.7
	2.00	13.6	39.4	72.9	19.5	52.0	91.2	113.1
	2.40	9.9	28.8	53.1	14.3	37.8	66.3	80.6
	3.00	7.5	21.7	39.6	10.8	28.5	49.4	60.2
	4.00	4.8	13.5	24.3	6.7	17.5	30.1	36.8
	5.00	3.8	9.8	17.7	4.9	12.9	21.9	26.6
	6.00	2.7	6.9	12.4	4.0	9.2	15.3	18.7
ZK11	0.04	40.9	96.9	162.7	55.1	121.3	195.3	233.8
	0.05	47.4	112.4	184.5	63.6	141.1	222.5	267.6
	0.07	61.2	144.2	236.6	81.5	178.4	286.8	339.2
	0.10	77.6	179.2	294.7	103.3	223.1	353.1	420.1
	0.12	83.0	191.5	314.0	110.9	238.5	377.4	444.3
	0.16	96.7	223.3	365.5	129.8	280.1	437.9	516.9
	0.20	96.9	224.3	368.5	130.2	281.5	441.9	523.8
	0.24	90.5	213.5	355.4	121.0	269.8	432.1	514.9
	0.26	85.2	203.2	343.8	114.6	256.9	420.5	503.4
	0.30	79.5	192.5	329.5	107.7	243.5	400.6	485.5
	0.34	74.4	178.9	305.1	99.6	226.7	375.6	450.5
	0.40	64.0	160.2	279.3	86.8	202.8	342.7	416.7
	0.50	53.8	136.2	235.4	73.1	172.8	291.6	352.9
	0.60	45.7	118.0	207.9	63.2	151.2	259.2	317.1
	0.80	34.7	91.5	164.5	48.2	118.2	202.6	248.1
	1.00	28.7	78.4	142.6	40.4	101.8	176.6	215.9
	1.20	24.4	68.5	125.4	34.7	89.1	156.8	191.9
	1.50	18.8	53.7	97.9	26.8	69.7	123.5	151.2
	1.70	16.3	46.7	86.1	23.4	61.2	108.9	135.1
	2.00	13.5	39.0	71.8	19.4	51.2	89.7	111.3
	2.40	9.8	28.5	52.3	14.2	37.3	65.4	79.4
	3.00	7.5	21.5	39.2	10.8	28.2	48.8	59.5
	4.00	4.8	13.4	24.0	6.7	17.3	29.7	36.3
	5.00	3.8	9.8	17.5	4.9	12.7	21.7	26.3

	6.00	2.6	6.9	12.3	4.0	9.1	15.2	18.5
ZK12	0.04	40.7	96.2	161.3	54.8	120.1	193.7	231.6
	0.05	47.1	111.6	182.8	63.2	140.2	220.2	264.8
	0.07	60.8	143.3	234.8	81.0	177.4	284.7	336.6
	0.10	77.2	178.2	292.9	102.6	221.3	349.6	416.2
	0.12	82.5	190.3	311.3	110.2	236.9	374.4	440.9
	0.16	96.2	221.6	362.5	128.9	278.3	434.8	512.2
	0.20	96.4	222.6	365.5	129.3	279.6	438.7	519.1
	0.24	89.9	212.1	351.9	120.1	267.6	428.4	509.4
	0.26	84.7	201.6	341.3	114.0	254.5	416.4	498.3
	0.30	79.1	191.2	326.8	107.1	241.8	397.4	480.9
	0.34	74.0	177.9	301.9	99.1	224.8	372.0	446.6
	0.40	63.7	159.0	276.9	86.4	201.0	339.8	411.9
	0.50	53.6	135.3	233.2	72.7	171.6	289.2	348.9
	0.60	45.4	117.3	206.0	62.8	149.8	256.1	313.4
	0.80	34.5	90.8	163.0	48.0	117.5	200.4	245.9
	1.00	28.6	78.0	141.6	40.2	100.9	175.2	213.9
	1.20	24.3	68.1	124.2	34.5	88.6	155.2	190.1
	1.50	18.8	53.4	97.3	26.7	69.4	122.1	149.7
	1.70	16.2	46.4	85.5	23.3	60.8	108.0	133.9
	2.00	13.4	38.9	71.2	19.3	50.9	89.1	110.5
	2.40	9.8	28.3	51.9	14.2	37.1	65.0	78.9
	3.00	7.5	21.4	39.0	10.7	28.0	48.6	59.2
	4.00	4.7	13.4	23.9	6.7	17.2	29.6	36.1
	5.00	3.8	9.7	17.4	4.9	12.7	21.6	26.2
	6.00	2.6	6.9	12.2	4.0	9.1	15.1	18.4
ZK13	0.04	40.9	96.8	162.6	55.1	121.2	195.1	233.4
	0.05	47.4	112.3	184.3	63.5	141.0	222.2	267.2
	0.07	61.2	144.1	236.4	81.5	178.3	286.5	338.9
	0.10	77.6	179.1	294.5	103.3	223.0	352.5	419.6
	0.12	83.0	191.4	313.7	110.9	238.4	377.1	443.7
	0.16	96.7	223.2	365.3	129.8	280.0	437.6	516.5
	0.20	96.9	224.1	368.2	130.1	281.3	441.4	523.2
	0.24	90.4	213.4	354.8	120.9	269.5	431.4	513.6
	0.26	85.2	202.9	343.3	114.6	256.5	419.5	501.9
	0.30	79.5	192.3	328.9	107.7	243.2	399.6	484.2
	0.34	74.4	178.8	304.4	99.6	226.3	374.7	449.2
	0.40	64.0	160.0	278.6	86.8	202.4	341.8	415.0
	0.50	53.8	136.0	234.7	73.1	172.5	290.8	351.2
	0.60	45.7	117.8	207.3	63.1	150.8	258.0	315.5
	0.80	34.7	91.3	163.9	48.2	118.0	201.7	247.1

	1.00	28.7	78.3	142.2	40.4	101.5	176.0	214.9
	1.20	24.4	68.4	124.9	34.7	88.9	156.1	191.0
	1.50	18.8	53.6	97.7	26.8	69.6	122.9	150.4
	1.70	16.3	46.6	85.8	23.3	61.1	108.5	134.5
	2.00	13.5	39.0	71.5	19.4	51.1	89.4	110.9
	2.40	9.8	28.4	52.1	14.2	37.3	65.2	79.1
	3.00	7.5	21.5	39.1	10.8	28.1	48.7	59.4
	4.00	4.8	13.4	24.0	6.7	17.3	29.7	36.2
	5.00	3.8	9.8	17.5	4.9	12.7	21.6	26.2
	6.00	2.6	6.9	12.3	4.0	9.1	15.1	18.5
ZK14	0.04	40.6	96.1	160.9	54.7	119.9	193.3	230.8
	0.05	47.1	111.5	182.5	63.1	140.0	219.8	264.1
	0.07	60.7	143.2	234.3	80.9	177.2	284.2	336.0
	0.10	77.1	178.0	292.4	102.5	220.9	349.1	415.2
	0.12	82.4	190.0	310.7	110.1	236.6	373.7	440.1
	0.16	96.0	221.3	361.9	128.8	277.9	434.2	511.4
	0.20	96.3	222.2	364.8	129.1	279.2	437.9	518.0
	0.24	89.8	211.8	350.8	119.9	267.1	427.3	507.6
	0.26	84.6	201.2	340.5	113.9	253.8	414.8	496.6
	0.30	79.1	190.8	325.7	107.0	241.2	396.1	478.7
	0.34	73.9	177.6	300.6	99.0	224.1	370.5	444.7
	0.40	63.6	158.6	275.8	86.3	200.4	338.4	409.5
	0.50	53.5	135.0	232.3	72.6	171.1	287.9	347.3
	0.60	45.4	117.0	205.0	62.7	149.5	254.4	311.0
	0.80	34.5	90.6	162.2	48.0	117.2	199.3	244.4
	1.00	28.6	77.8	141.0	40.2	100.4	174.4	212.5
	1.20	24.3	67.9	123.5	34.5	88.3	154.1	188.8
	1.50	18.8	53.2	96.9	26.7	69.2	121.3	149.0
	1.70	16.2	46.3	85.1	23.2	60.5	107.4	133.0
	2.00	13.4	38.8	70.9	19.3	50.7	88.8	109.9
	2.40	9.8	28.3	51.7	14.2	37.0	64.7	78.6
	3.00	7.4	21.4	38.9	10.7	27.9	48.4	59.0
	4.00	4.7	13.3	23.9	6.7	17.2	29.5	35.9
	5.00	3.8	9.7	17.4	4.9	12.6	21.5	26.1
	6.00	2.6	6.8	12.2	4.0	9.1	15.0	18.4
ZK15	0.04	41.0	96.9	162.8	55.2	121.4	195.3	233.8
	0.05	47.5	112.4	184.6	63.6	141.2	222.6	267.6
	0.07	61.2	144.2	236.7	81.6	178.5	286.9	339.3
	0.10	77.7	179.3	294.8	103.4	223.3	353.1	420.1
	0.12	83.1	191.7	314.2	111.0	238.7	377.6	444.3
	0.16	96.8	223.5	365.8	129.9	280.3	438.2	517.4

	0.20	97.0	224.4	368.7	130.3	281.6	441.9	523.9
	0.24	90.6	213.6	355.3	121.1	269.8	431.8	514.3
	0.26	85.3	203.2	343.6	114.7	256.8	419.9	502.3
	0.30	79.6	192.5	329.1	107.8	243.4	399.8	484.4
	0.34	74.5	178.9	304.7	99.7	226.6	375.0	449.4
	0.40	64.1	160.1	278.8	86.9	202.6	341.9	415.2
	0.50	53.9	136.1	234.8	73.2	172.6	290.9	351.2
	0.60	45.7	117.9	207.3	63.2	150.8	258.0	315.4
	0.80	34.7	91.4	163.9	48.3	118.0	201.7	247.0
	1.00	28.7	78.3	142.2	40.5	101.5	175.9	214.8
	1.20	24.4	68.4	124.9	34.7	88.9	156.0	190.9
	1.50	18.9	53.7	97.7	26.8	69.6	122.8	150.2
	1.70	16.3	46.6	85.8	23.4	61.1	108.5	134.5
	2.00	13.5	39.0	71.5	19.4	51.1	89.4	110.8
	2.40	9.8	28.4	52.1	14.2	37.3	65.2	79.1
	3.00	7.5	21.5	39.1	10.8	28.1	48.7	59.3
	4.00	4.8	13.4	24.0	6.7	17.3	29.7	36.2
	5.00	3.8	9.8	17.5	4.9	12.7	21.6	26.2
	6.00	2.6	6.9	12.3	4.0	9.1	15.1	18.5
ZK16	0.04	41.5	98.1	165.3	55.8	123.6	198.2	237.8
	0.05	48.0	113.8	187.5	64.4	142.8	226.7	272.5
	0.07	62.0	145.7	240.0	82.6	180.5	290.6	343.9
	0.10	78.5	181.5	298.0	104.8	226.6	359.5	427.0
	0.12	84.0	194.0	319.1	112.2	241.6	383.0	450.2
	0.16	97.9	226.6	371.3	131.6	283.7	443.9	525.7
	0.20	98.1	227.6	374.1	131.9	285.0	447.6	532.2
	0.24	91.6	216.2	361.6	122.8	273.7	438.5	523.8
	0.26	86.1	206.0	348.0	115.8	261.1	427.2	512.7
	0.30	80.4	194.8	334.2	109.0	246.5	407.9	492.6
	0.34	75.2	181.1	310.3	100.8	230.0	381.3	458.9
	0.40	64.7	162.3	283.1	87.8	205.7	347.0	423.7
	0.50	54.4	137.8	238.6	74.0	174.8	295.1	359.4
	0.60	46.2	119.1	210.7	63.8	153.4	263.4	322.0
	0.80	34.9	92.6	166.5	48.7	119.3	205.5	251.3
	1.00	29.0	79.1	144.0	40.8	103.1	178.3	218.4
	1.20	24.6	69.1	127.0	35.0	89.9	158.8	194.1
	1.50	19.0	54.3	98.9	27.0	70.5	125.2	153.5
	1.70	16.4	47.1	86.9	23.6	61.9	110.1	136.6
	2.00	13.6	39.3	72.5	19.5	51.7	90.5	112.3
	2.40	9.9	28.7	52.8	14.3	37.6	65.9	80.0
	3.00	7.5	21.7	39.5	10.8	28.4	49.2	59.9

	4.00	4.8	13.5	24.2	6.7	17.4	29.9	36.6
	5.00	3.8	9.8	17.7	4.9	12.8	21.8	26.5
	6.00	2.6	6.9	12.4	4.0	9.2	15.3	18.6
ZK17	0.04	41.4	98.0	165.1	55.7	123.3	197.9	237.5
	0.05	47.9	113.6	187.2	64.3	142.7	226.3	272.0
	0.07	61.9	145.6	239.6	82.5	180.2	290.2	343.4
	0.10	78.4	181.2	297.7	104.6	226.3	358.9	426.4
	0.12	83.9	193.7	318.5	112.1	241.3	382.4	449.6
	0.16	97.7	226.2	370.7	131.3	283.4	443.3	524.8
	0.20	97.9	227.2	373.6	131.7	284.7	447.1	531.3
	0.24	91.5	215.9	361.0	122.6	273.3	437.9	523.1
	0.26	86.0	205.7	347.7	115.7	260.7	426.8	512.1
	0.30	80.2	194.6	333.8	108.9	246.2	407.4	492.2
	0.34	75.1	180.8	310.0	100.7	229.8	380.9	458.4
	0.40	64.6	162.2	282.9	87.6	205.5	346.8	423.4
	0.50	54.3	137.7	238.5	73.9	174.6	295.0	359.2
	0.60	46.1	119.0	210.6	63.8	153.3	263.3	322.0
	0.80	34.9	92.5	166.5	48.7	119.3	205.5	251.4
	1.00	28.9	79.1	144.0	40.8	103.0	178.3	218.5
	1.20	24.6	69.0	127.0	34.9	89.9	158.9	194.2
	1.50	19.0	54.2	98.9	27.0	70.4	125.2	153.6
	1.70	16.4	47.1	86.9	23.5	61.9	110.1	136.6
	2.00	13.6	39.3	72.5	19.5	51.7	90.5	112.4
	2.40	9.9	28.7	52.8	14.3	37.6	65.9	80.0
	3.00	7.5	21.7	39.5	10.8	28.4	49.2	59.9
	4.00	4.8	13.5	24.2	6.7	17.4	29.9	36.6
	5.00	3.8	9.8	17.7	4.9	12.8	21.8	26.5
	6.00	2.6	6.9	12.4	4.0	9.2	15.3	18.6
ZK18	0.04	41.8	98.9	167.0	56.2	125.0	200.1	240.5
	0.05	48.4	114.7	189.4	64.9	143.9	229.3	275.6
	0.07	62.5	146.7	242.2	83.3	182.4	293.1	347.0
	0.10	79.0	183.2	300.3	105.7	228.9	363.8	431.6
	0.12	84.7	195.5	322.3	113.1	243.5	386.5	456.0
	0.16	98.6	228.7	374.9	132.6	286.0	447.6	531.3
	0.20	98.8	229.6	377.8	132.9	287.3	452.1	537.7
	0.24	92.3	217.9	365.7	123.9	276.3	442.8	530.0
	0.26	86.7	207.9	351.5	116.6	263.9	432.0	519.4
	0.30	81.0	196.4	337.3	109.8	248.4	413.1	497.8
	0.34	75.7	182.8	314.1	101.7	232.3	385.4	465.2
	0.40	65.1	163.8	285.9	88.3	207.8	350.4	429.0
	0.50	54.8	138.9	241.1	74.5	176.2	297.9	364.5

	0.60	46.4	119.9	212.9	64.3	155.1	266.8	326.2
	0.80	35.1	93.3	168.2	49.0	120.3	207.9	255.3
	1.00	29.1	79.7	145.2	41.1	104.1	179.8	221.0
	1.20	24.7	69.5	128.4	35.2	90.7	160.6	196.1
	1.50	19.1	54.6	99.7	27.2	71.1	126.7	155.5
	1.70	16.5	47.4	87.6	23.7	62.4	111.1	138.0
	2.00	13.6	39.5	73.0	19.6	52.1	91.3	113.3
	2.40	9.9	28.8	53.2	14.4	37.9	66.4	80.7
	3.00	7.6	21.8	39.7	10.9	28.5	49.5	60.4
	4.00	4.8	13.6	24.3	6.7	17.5	30.2	36.9
	5.00	3.8	9.8	17.8	4.9	12.9	21.9	26.6
	6.00	2.7	6.9	12.5	4.0	9.2	15.4	18.7
ZK19	0.04	41.2	97.4	163.9	55.5	122.3	196.6	235.5
	0.05	47.7	113.0	185.8	64.0	141.9	224.3	269.7
	0.07	61.6	144.9	238.1	82.1	179.3	288.5	341.3
	0.10	78.0	180.1	296.2	104.0	224.8	355.9	423.2
	0.12	83.5	192.7	316.3	111.5	239.9	379.9	446.8
	0.16	97.3	224.9	368.2	130.6	281.8	440.7	521.0
	0.20	97.5	225.8	371.1	131.0	283.1	444.4	527.5
	0.24	91.0	214.7	358.0	121.8	271.5	434.7	518.5
	0.26	85.6	204.4	345.5	115.2	258.7	423.1	506.8
	0.30	79.9	193.5	331.4	108.3	244.8	403.3	488.1
	0.34	74.8	179.7	307.1	100.1	228.1	377.7	453.3
	0.40	64.4	161.1	280.7	87.3	203.9	344.1	418.9
	0.50	54.1	136.9	236.5	73.5	173.5	292.7	354.7
	0.60	45.9	118.4	208.8	63.5	152.0	260.3	318.3
	0.80	34.8	91.9	165.1	48.5	118.6	203.3	248.6
	1.00	28.8	78.7	143.0	40.6	102.2	176.9	216.4
	1.20	24.5	68.7	125.8	34.8	89.4	157.2	192.3
	1.50	18.9	53.9	98.2	26.9	69.9	123.9	151.6
	1.70	16.3	46.8	86.3	23.4	61.4	109.2	135.4
	2.00	13.5	39.1	71.9	19.4	51.4	89.8	111.5
	2.40	9.8	28.5	52.4	14.3	37.4	65.5	79.5
	3.00	7.5	21.6	39.3	10.8	28.2	48.9	59.6
	4.00	4.8	13.4	24.1	6.7	17.3	29.8	36.4
	5.00	3.8	9.8	17.6	4.9	12.8	21.7	26.3
	6.00	2.6	6.9	12.3	4.0	9.2	15.2	18.6
ZK20	0.04	40.8	96.6	162.3	55.0	120.9	194.9	233.3
	0.05	47.3	112.1	184.0	63.4	140.8	221.8	266.8
	0.07	61.0	143.9	236.0	81.3	178.1	286.1	338.5
	0.10	77.4	178.9	294.1	103.0	222.5	352.0	419.0

	0.12	82.8	191.1	313.2	110.6	238.0	376.6	443.4
	0.16	96.5	222.6	364.5	129.4	279.4	436.9	515.5
	0.20	96.7	223.7	367.6	129.8	280.8	441.0	522.5
	0.24	90.2	213.0	354.4	120.6	269.1	431.2	513.5
	0.26	85.0	202.7	343.2	114.4	256.2	419.6	502.2
	0.30	79.4	192.1	328.9	107.5	243.0	399.9	484.8
	0.34	74.2	178.6	304.4	99.4	226.2	375.0	449.8
	0.40	63.9	159.9	278.9	86.7	202.4	342.3	416.2
	0.50	53.7	136.0	235.1	73.0	172.6	291.4	352.6
	0.60	45.6	117.8	207.7	63.0	150.9	259.0	316.9
	0.80	34.6	91.3	164.3	48.2	118.1	202.4	248.0
	1.00	28.7	78.3	142.5	40.4	101.6	176.5	215.9
	1.20	24.3	68.4	125.3	34.6	89.0	156.7	191.9
	1.50	18.8	53.6	97.9	26.8	69.7	123.4	151.2
	1.70	16.2	46.6	86.0	23.3	61.1	108.9	135.1
	2.00	13.5	39.0	71.7	19.4	51.2	89.6	111.3
	2.40	9.8	28.4	52.2	14.2	37.3	65.4	79.4
	3.00	7.5	21.5	39.2	10.7	28.1	48.8	59.5
	4.00	4.8	13.4	24.0	6.7	17.3	29.7	36.3
	5.00	3.8	9.8	17.5	4.9	12.7	21.7	26.3
	6.00	2.6	6.9	12.3	4.0	9.1	15.1	18.5
ZK21	0.04	40.4	95.6	159.9	54.4	119.4	192.2	229.4
	0.05	46.8	110.9	181.3	62.7	139.3	218.7	262.2
	0.07	60.3	142.5	232.9	80.4	176.4	282.7	334.1
	0.10	76.7	177.3	291.1	101.8	219.6	347.6	412.4
	0.12	81.9	189.0	308.6	109.5	235.2	371.4	437.8
	0.16	95.5	219.8	359.4	128.0	276.3	431.6	507.5
	0.20	95.8	220.8	362.5	128.4	277.7	435.6	514.7
	0.24	89.4	210.7	349.0	119.4	265.5	425.0	504.6
	0.26	84.2	200.1	339.1	113.4	252.3	412.8	494.8
	0.30	78.7	189.9	324.3	106.4	240.2	394.8	477.1
	0.34	73.6	177.0	299.5	98.6	223.0	369.1	443.6
	0.40	63.3	157.9	274.9	85.9	199.6	337.5	408.3
	0.50	53.2	134.4	231.6	72.3	170.6	287.4	346.9
	0.60	45.2	116.7	204.6	62.4	149.1	254.0	310.9
	0.80	34.4	90.3	162.0	47.8	116.9	199.2	244.4
	1.00	28.5	77.6	140.9	40.0	100.2	174.4	212.6
	1.20	24.2	67.8	123.4	34.4	88.2	154.2	189.0
	1.50	18.7	53.1	96.8	26.6	69.1	121.3	149.1
	1.70	16.1	46.2	85.0	23.1	60.4	107.4	133.1
	2.00	13.4	38.7	70.9	19.2	50.6	88.8	110.0

	2.40	9.8	28.2	51.7	14.1	37.0	64.7	78.6
	3.00	7.4	21.4	38.9	10.7	27.9	48.4	59.0
	4.00	4.7	13.3	23.8	6.6	17.1	29.5	35.9
	5.00	3.8	9.7	17.4	4.9	12.6	21.5	26.1
	6.00	2.6	6.8	12.2	4.0	9.1	15.0	18.4
ZK22	0.04	39.9	94.2	156.9	53.7	117.9	188.8	224.4
	0.05	46.2	109.3	178.6	61.8	137.4	215.3	256.3
	0.07	59.6	140.8	229.0	79.4	174.2	278.2	328.5
	0.10	75.8	175.3	287.2	100.3	216.8	343.0	404.0
	0.12	80.8	186.3	302.9	108.1	231.8	365.0	430.8
	0.16	94.3	217.2	353.0	126.1	272.3	424.9	498.2
	0.20	94.6	217.9	356.0	126.5	273.7	428.8	504.4
	0.24	88.4	207.7	344.4	118.2	260.9	417.1	495.2
	0.26	83.2	197.5	333.8	112.0	248.2	404.0	485.9
	0.30	77.9	187.2	318.5	105.0	236.7	388.4	467.3
	0.34	72.7	174.9	295.4	97.5	219.3	361.4	435.5
	0.40	62.6	155.3	269.8	84.9	196.8	331.5	398.8
	0.50	52.6	132.5	227.1	71.4	168.1	282.3	340.8
	0.60	44.8	115.3	200.6	61.7	147.4	248.5	303.0
	0.80	34.1	89.1	159.0	47.3	115.4	195.9	239.9
	1.00	28.2	76.7	138.8	39.7	98.9	171.7	208.5
	1.20	24.0	67.0	120.9	34.1	87.1	150.9	185.2
	1.50	18.5	52.4	95.4	26.3	68.3	119.2	147.1
	1.70	16.0	45.6	83.8	22.9	59.7	105.5	130.6
	2.00	13.3	38.3	69.9	19.1	50.0	87.7	108.3
	2.40	9.7	27.9	50.9	14.0	36.6	63.8	77.7
	3.00	7.4	21.2	38.5	10.6	27.6	47.8	58.4
	4.00	4.7	13.2	23.6	6.6	17.0	29.2	35.4
	5.00	3.8	9.7	17.2	4.9	12.5	21.3	25.8
	6.00	2.6	6.8	12.0	3.9	9.0	14.9	18.2
ZK23	0.04	40.5	96.0	160.9	54.6	119.8	193.3	231.0
	0.05	47.0	111.3	182.3	62.9	139.9	219.7	264.1
	0.07	60.5	143.0	234.1	80.7	177.0	284.0	335.9
	0.10	76.9	177.8	292.2	102.2	220.6	348.9	415.1
	0.12	82.2	189.7	310.4	109.9	236.2	373.4	440.0
	0.16	95.8	220.8	361.3	128.5	277.4	433.6	510.6
	0.20	96.1	221.8	364.5	128.8	278.8	437.7	518.0
	0.24	89.7	211.6	350.9	119.7	266.9	427.6	508.3
	0.26	84.5	201.1	340.8	113.7	253.8	415.7	497.8
	0.30	78.9	190.8	326.3	106.8	241.4	397.0	480.6
	0.34	73.8	177.6	301.4	98.9	224.3	371.7	446.4

	0.40	63.5	158.7	276.7	86.2	200.7	339.8	412.2
	0.50	53.4	135.1	233.2	72.5	171.4	289.2	349.2
	0.60	45.3	117.2	206.1	62.6	149.8	256.4	314.0
	0.80	34.4	90.7	163.1	47.9	117.5	200.7	246.3
	1.00	28.5	77.9	141.7	40.1	100.9	175.5	214.4
	1.20	24.2	68.1	124.3	34.5	88.6	155.5	190.5
	1.50	18.7	53.3	97.3	26.6	69.4	122.4	149.9
	1.70	16.2	46.3	85.5	23.2	60.7	108.1	134.1
	2.00	13.4	38.8	71.3	19.3	50.9	89.2	110.7
	2.40	9.8	28.3	51.9	14.2	37.1	65.0	79.0
	3.00	7.4	21.4	39.0	10.7	28.0	48.6	59.3
	4.00	4.7	13.3	23.9	6.6	17.2	29.6	36.1
	5.00	3.8	9.7	17.4	4.9	12.7	21.6	26.2
	6.00	2.6	6.8	12.2	4.0	9.1	15.1	18.4
ZK24	0.04	40.2	95.1	159.0	54.1	118.9	191.2	228.0
	0.05	46.6	110.3	180.1	62.4	138.6	217.6	260.5
	0.07	60.0	141.9	231.6	79.9	175.6	281.2	332.4
	0.10	76.3	176.5	289.8	101.2	218.6	346.1	409.9
	0.12	81.4	188.0	306.7	108.9	234.0	369.4	435.7
	0.16	95.0	218.8	357.2	127.2	274.8	429.3	504.1
	0.20	95.3	219.6	360.4	127.6	276.3	433.6	511.7
	0.24	89.0	209.6	347.6	118.9	264.0	422.8	501.5
	0.26	83.8	199.2	337.7	112.8	250.8	410.6	492.7
	0.30	78.4	189.0	322.9	105.9	239.2	393.3	475.1
	0.34	73.2	176.3	298.5	98.1	221.9	367.4	442.0
	0.40	63.0	157.1	273.8	85.5	198.9	336.4	406.6
	0.50	53.0	133.8	230.6	71.9	169.9	286.4	345.9
	0.60	45.0	116.3	203.9	62.2	148.7	253.1	310.0
	0.80	34.2	89.9	161.5	47.6	116.6	198.7	243.9
	1.00	28.4	77.4	140.6	39.9	99.9	174.1	212.3
	1.20	24.1	67.6	123.0	34.3	87.9	153.9	188.7
	1.50	18.6	52.9	96.5	26.5	68.9	120.9	148.9
	1.70	16.1	46.0	84.8	23.1	60.2	107.1	132.8
	2.00	13.3	38.6	70.7	19.2	50.5	88.7	109.8
	2.40	9.7	28.1	51.5	14.1	36.9	64.6	78.5
	3.00	7.4	21.3	38.8	10.6	27.8	48.3	58.9
	4.00	4.7	13.3	23.8	6.6	17.1	29.5	35.8
	5.00	3.8	9.7	17.3	4.9	12.6	21.5	26.0
	6.00	2.6	6.8	12.2	3.9	9.1	15.0	18.3
ZK25	0.04	40.2	95.1	159.0	54.2	118.9	191.2	227.9
	0.05	46.6	110.4	180.1	62.4	138.6	217.6	260.4

	0.07	60.0	141.9	231.7	80.0	175.6	281.2	332.3
	0.10	76.4	176.6	289.8	101.3	218.6	346.1	409.7
	0.12	81.5	188.1	306.7	109.0	234.1	369.3	435.5
	0.16	95.1	218.9	357.3	127.3	274.9	429.4	504.2
	0.20	95.4	219.7	360.4	127.7	276.4	433.5	511.4
	0.24	89.1	209.7	347.6	119.0	264.0	422.6	501.0
	0.26	83.8	199.2	337.5	112.9	250.7	410.2	492.2
	0.30	78.4	189.1	322.6	105.9	239.1	393.0	474.4
	0.34	73.2	176.3	298.3	98.2	221.8	366.9	441.4
	0.40	63.1	157.1	273.5	85.6	198.8	335.9	405.6
	0.50	53.0	133.8	230.4	72.0	169.8	286.0	345.4
	0.60	45.0	116.3	203.6	62.2	148.7	252.4	309.0
	0.80	34.3	89.9	161.2	47.6	116.5	198.4	243.4
	1.00	28.4	77.3	140.4	39.9	99.8	173.8	211.7
	1.20	24.1	67.6	122.8	34.3	87.9	153.4	188.2
	1.50	18.6	52.9	96.4	26.5	68.8	120.6	148.6
	1.70	16.1	46.0	84.7	23.1	60.2	106.9	132.5
	2.00	13.4	38.6	70.6	19.2	50.5	88.5	109.6
	2.40	9.7	28.1	51.5	14.1	36.9	64.5	78.4
	3.00	7.4	21.3	38.8	10.7	27.8	48.2	58.9
	4.00	4.7	13.3	23.8	6.6	17.1	29.4	35.8
	5.00	3.8	9.7	17.3	4.9	12.6	21.4	26.0
	6.00	2.6	6.8	12.1	3.9	9.1	15.0	18.3
ZK26	0.04	39.9	94.2	157.1	53.7	118.0	189.1	224.9
	0.05	46.2	109.4	178.7	61.8	137.4	215.5	256.7
	0.07	59.6	140.8	229.2	79.4	174.2	278.4	328.9
	0.10	75.7	175.3	287.4	100.3	216.9	343.3	404.6
	0.12	80.7	186.4	303.1	108.1	231.9	365.3	431.3
	0.16	94.3	217.2	353.2	126.1	272.4	425.1	498.4
	0.20	94.6	218.0	356.4	126.5	273.8	429.2	505.2
	0.24	88.4	207.8	344.7	118.1	261.1	417.8	496.0
	0.26	83.2	197.7	334.4	112.0	248.5	405.1	487.2
	0.30	77.9	187.3	319.2	105.0	237.0	389.3	468.9
	0.34	72.7	175.0	295.9	97.5	219.5	362.6	436.9
	0.40	62.6	155.5	270.6	84.9	197.1	332.6	400.2
	0.50	52.6	132.6	227.8	71.4	168.4	283.3	342.1
	0.60	44.7	115.5	201.4	61.7	147.7	249.4	305.0
	0.80	34.1	89.3	159.6	47.3	115.7	196.7	241.1
	1.00	28.2	76.8	139.3	39.7	99.1	172.4	209.6
	1.20	24.0	67.1	121.5	34.1	87.2	151.8	186.3
	1.50	18.5	52.5	95.7	26.3	68.4	119.6	147.6

	1. 70	16. 0	45. 7	84. 1	22. 9	59. 8	106. 0	131. 3
	2. 00	13. 3	38. 4	70. 1	19. 1	50. 1	88. 0	108. 8
	2. 40	9. 7	28. 0	51. 1	14. 0	36. 6	64. 0	77. 9
	3. 00	7. 4	21. 2	38. 6	10. 6	27. 7	48. 0	58. 6
	4. 00	4. 7	13. 2	23. 7	6. 6	17. 0	29. 3	35. 6
	5. 00	3. 8	9. 7	17. 2	4. 9	12. 5	21. 3	25. 9
	6. 00	2. 6	6. 8	12. 1	3. 9	9. 0	14. 9	18. 2
ZK27	0. 04	39. 9	94. 2	157. 0	53. 7	118. 0	189. 0	224. 7
	0. 05	46. 2	109. 4	178. 7	61. 8	137. 4	215. 5	256. 6
	0. 07	59. 6	140. 8	229. 2	79. 4	174. 3	278. 4	328. 8
	0. 10	75. 8	175. 3	287. 4	100. 3	216. 9	343. 2	404. 4
	0. 12	80. 8	186. 4	303. 1	108. 1	231. 9	365. 3	431. 2
	0. 16	94. 4	217. 3	353. 2	126. 2	272. 4	425. 1	498. 4
	0. 20	94. 6	218. 0	356. 3	126. 6	273. 8	429. 2	505. 0
	0. 24	88. 4	207. 8	344. 6	118. 2	261. 1	417. 6	495. 7
	0. 26	83. 2	197. 6	334. 2	112. 1	248. 4	404. 7	486. 7
	0. 30	77. 9	187. 3	318. 9	105. 1	236. 9	388. 9	468. 2
	0. 34	72. 7	175. 0	295. 7	97. 5	219. 5	362. 1	436. 3
	0. 40	62. 6	155. 4	270. 2	84. 9	197. 0	332. 1	399. 5
	0. 50	52. 7	132. 6	227. 5	71. 4	168. 3	282. 8	341. 5
	0. 60	44. 8	115. 4	201. 1	61. 7	147. 5	249. 0	304. 1
	0. 80	34. 1	89. 2	159. 3	47. 3	115. 6	196. 3	240. 5
	1. 00	28. 2	76. 8	139. 1	39. 7	99. 0	172. 0	209. 1
	1. 20	24. 0	67. 1	121. 2	34. 1	87. 2	151. 4	185. 8
	1. 50	18. 5	52. 5	95. 5	26. 3	68. 4	119. 4	147. 4
	1. 70	16. 0	45. 6	83. 9	22. 9	59. 7	105. 8	130. 9
	2. 00	13. 3	38. 4	70. 0	19. 1	50. 0	87. 8	108. 5
	2. 40	9. 7	28. 0	51. 0	14. 0	36. 6	63. 9	77. 8
	3. 00	7. 4	21. 2	38. 5	10. 6	27. 6	47. 9	58. 5
	4. 00	4. 7	13. 2	23. 6	6. 6	17. 0	29. 3	35. 5
	5. 00	3. 8	9. 7	17. 2	4. 9	12. 5	21. 3	25. 8
	6. 00	2. 6	6. 8	12. 1	3. 9	9. 0	14. 9	18. 2
ZK28	0. 04	39. 6	93. 4	155. 2	53. 3	117. 1	187. 0	221. 8
	0. 05	45. 9	108. 5	177. 4	61. 3	136. 3	213. 6	253. 2
	0. 07	59. 2	139. 8	226. 9	78. 9	173. 0	275. 8	325. 5
	0. 10	75. 3	174. 2	285. 2	99. 6	215. 3	340. 5	399. 7
	0. 12	80. 2	184. 9	299. 9	107. 3	230. 0	361. 5	427. 0
	0. 16	93. 7	215. 7	349. 7	125. 1	270. 2	421. 2	494. 4
	0. 20	93. 9	216. 5	352. 6	125. 5	271. 6	425. 3	499. 4
	0. 24	87. 9	206. 0	341. 9	117. 5	258. 5	413. 0	491. 0
	0. 26	82. 6	196. 2	331. 1	111. 3	246. 6	399. 7	481. 5

	0.30	77.5	185.7	315.5	104.3	234.8	385.1	462.4
	0.34	72.2	173.8	293.4	96.9	217.7	357.6	431.6
	0.40	62.2	154.0	267.3	84.4	195.4	328.6	395.7
	0.50	52.3	131.4	224.9	70.9	166.8	279.9	338.0
	0.60	44.5	114.6	199.1	61.3	146.5	246.7	299.7
	0.80	33.9	88.6	157.6	47.0	114.7	194.4	237.8
	1.00	28.1	76.2	137.9	39.5	98.3	170.4	206.6
	1.20	23.9	66.7	119.9	33.9	86.5	149.7	183.6
	1.50	18.4	52.1	94.7	26.2	67.9	118.5	146.2
	1.70	15.9	45.3	83.2	22.8	59.4	104.7	129.5
	2.00	13.2	38.2	69.6	19.0	49.7	87.2	107.5
	2.40	9.7	27.8	50.6	14.0	36.4	63.4	77.3
	3.00	7.3	21.1	38.3	10.6	27.5	47.6	58.2
	4.00	4.7	13.1	23.5	6.6	16.9	29.1	35.2
	5.00	3.8	9.6	17.1	4.9	12.4	21.2	25.7
	6.00	2.6	6.8	12.0	3.9	9.0	14.9	18.1
ZK29	0.04	40.0	94.7	158.1	54.0	118.5	190.2	226.5
	0.05	46.4	109.9	179.5	62.1	138.1	216.6	258.7
	0.07	59.8	141.4	230.5	79.7	175.0	279.9	330.7
	0.10	76.1	176.0	288.7	100.8	217.8	344.8	407.5
	0.12	81.2	187.3	305.1	108.6	233.1	367.6	433.7
	0.16	94.7	218.1	355.4	126.8	273.8	427.4	501.2
	0.20	95.0	218.9	358.5	127.1	275.2	431.5	508.6
	0.24	88.8	208.8	346.3	118.6	262.7	420.5	498.6
	0.26	83.5	198.5	336.1	112.5	249.6	407.9	490.0
	0.30	78.2	188.3	321.1	105.5	238.2	391.3	471.9
	0.34	73.0	175.7	297.2	97.9	220.7	365.0	439.4
	0.40	62.9	156.4	272.2	85.3	198.1	334.5	403.3
	0.50	52.8	133.3	229.2	71.7	169.2	284.8	344.0
	0.60	44.9	115.9	202.6	62.0	148.2	250.9	307.3
	0.80	34.2	89.6	160.5	47.4	116.1	197.6	242.4
	1.00	28.3	77.1	139.9	39.8	99.5	173.2	210.8
	1.20	24.0	67.4	122.2	34.2	87.6	152.7	187.4
	1.50	18.6	52.7	96.1	26.4	68.7	120.0	148.2
	1.70	16.0	45.8	84.4	23.0	59.9	106.5	132.0
	2.00	13.3	38.5	70.4	19.2	50.3	88.3	109.2
	2.40	9.7	28.1	51.3	14.1	36.8	64.3	78.2
	3.00	7.4	21.3	38.7	10.6	27.8	48.1	58.7
	4.00	4.7	13.2	23.7	6.6	17.0	29.4	35.7
	5.00	3.8	9.7	17.3	4.9	12.6	21.4	25.9
	6.00	2.6	6.8	12.1	3.9	9.1	15.0	18.3

ZK30	0.04	39.7	93.7	155.9	53.4	117.4	187.7	222.8
	0.05	46.0	108.8	177.9	61.5	136.6	214.2	254.4
	0.07	59.3	140.1	227.7	79.1	173.4	276.7	326.6
	0.10	75.4	174.5	285.9	99.8	215.8	341.4	401.1
	0.12	80.3	185.4	300.9	107.5	230.6	362.7	428.5
	0.16	93.9	216.2	350.6	125.4	270.8	422.4	495.7
	0.20	94.1	217.0	353.8	125.8	272.3	426.6	501.1
	0.24	88.0	206.6	342.8	117.7	259.3	414.6	492.7
	0.26	82.8	196.7	332.3	111.5	247.2	401.5	483.5
	0.30	77.6	186.3	316.8	104.5	235.6	386.6	464.7
	0.34	72.4	174.2	294.3	97.1	218.4	359.5	433.6
	0.40	62.3	154.5	268.5	84.6	196.0	330.0	397.3
	0.50	52.4	131.8	226.0	71.0	167.4	281.1	339.5
	0.60	44.6	114.9	199.8	61.4	146.9	247.7	301.7
	0.80	33.9	88.8	158.3	47.1	115.1	195.2	239.1
	1.00	28.1	76.5	138.4	39.5	98.6	171.2	207.9
	1.20	23.9	66.8	120.4	34.0	86.8	150.4	184.7
	1.50	18.5	52.2	95.1	26.2	68.1	118.9	146.8
	1.70	15.9	45.4	83.5	22.8	59.5	105.2	130.2
	2.00	13.3	38.2	69.7	19.0	49.9	87.5	108.0
	2.40	9.7	27.9	50.8	14.0	36.5	63.7	77.5
	3.00	7.3	21.1	38.4	10.6	27.5	47.7	58.3
	4.00	4.7	13.2	23.6	6.6	16.9	29.2	35.3
	5.00	3.8	9.6	17.1	4.9	12.5	21.3	25.7
	6.00	2.6	6.8	12.0	3.9	9.0	14.9	18.1
ZK31	0.04	40.0	94.6	158.1	53.9	118.4	190.2	226.6
	0.05	46.4	109.8	179.4	62.1	138.0	216.6	258.7
	0.07	59.7	141.3	230.4	79.6	174.9	279.9	330.7
	0.10	76.0	175.9	288.6	100.7	217.7	344.7	407.4
	0.12	81.1	187.1	304.9	108.5	233.0	367.4	433.6
	0.16	94.6	218.0	355.1	126.6	273.6	427.2	501.0
	0.20	94.9	218.8	358.4	127.0	275.0	431.5	508.6
	0.24	88.7	208.7	346.3	118.5	262.6	420.5	498.8
	0.26	83.4	198.4	336.1	112.4	249.5	408.2	490.4
	0.30	78.1	188.2	321.2	105.4	238.1	391.6	472.4
	0.34	72.9	175.7	297.3	97.8	220.7	365.3	439.9
	0.40	62.8	156.3	272.4	85.2	198.1	334.8	404.0
	0.50	52.8	133.3	229.4	71.6	169.2	285.1	344.4
	0.60	44.8	115.9	202.9	61.9	148.3	251.4	308.0
	0.80	34.1	89.6	160.7	47.4	116.2	197.9	242.8
	1.00	28.3	77.1	140.1	39.8	99.6	173.4	211.3

	1. 20	24. 0	67. 4	122. 4	34. 2	87. 6	153. 0	187. 8
	1. 50	18. 6	52. 7	96. 2	26. 4	68. 7	120. 3	148. 4
	1. 70	16. 0	45. 8	84. 5	23. 0	60. 0	106. 7	132. 2
	2. 00	13. 3	38. 5	70. 5	19. 1	50. 3	88. 4	109. 4
	2. 40	9. 7	28. 1	51. 4	14. 1	36. 8	64. 4	78. 3
	3. 00	7. 4	21. 3	38. 7	10. 6	27. 8	48. 2	58. 8
	4. 00	4. 7	13. 2	23. 7	6. 6	17. 0	29. 4	35. 7
	5. 00	3. 8	9. 7	17. 3	4. 9	12. 6	21. 4	26. 0
	6. 00	2. 6	6. 8	12. 1	3. 9	9. 1	15. 0	18. 3
ZK32	0. 04	39. 6	93. 6	155. 8	53. 4	117. 4	187. 7	222. 9
	0. 05	45. 9	108. 7	177. 8	61. 4	136. 6	214. 2	254. 4
	0. 07	59. 3	140. 0	227. 5	79. 0	173. 3	276. 6	326. 6
	0. 10	75. 3	174. 4	285. 8	99. 7	215. 6	341. 4	401. 2
	0. 12	80. 2	185. 2	300. 7	107. 4	230. 4	362. 6	428. 5
	0. 16	93. 7	216. 0	350. 4	125. 2	270. 6	422. 2	495. 6
	0. 20	94. 0	216. 8	353. 7	125. 6	272. 1	426. 5	501. 2
	0. 24	87. 9	206. 4	342. 8	117. 6	259. 2	414. 7	492. 8
	0. 26	82. 7	196. 6	332. 3	111. 4	247. 1	401. 8	483. 9
	0. 30	77. 5	186. 2	316. 9	104. 4	235. 5	386. 9	465. 4
	0. 34	72. 3	174. 1	294. 4	97. 0	218. 4	359. 8	434. 1
	0. 40	62. 3	154. 5	268. 8	84. 5	196. 1	330. 5	398. 0
	0. 50	52. 3	131. 8	226. 3	71. 0	167. 4	281. 6	340. 2
	0. 60	44. 5	114. 9	200. 1	61. 4	147. 0	248. 2	302. 7
	0. 80	33. 9	88. 9	158. 7	47. 0	115. 1	195. 7	239. 8
	1. 00	28. 1	76. 5	138. 6	39. 5	98. 7	171. 6	208. 5
	1. 20	23. 9	66. 9	120. 7	34. 0	86. 9	150. 8	185. 3
	1. 50	18. 4	52. 2	95. 2	26. 2	68. 1	119. 1	147. 1
	1. 70	15. 9	45. 4	83. 7	22. 8	59. 5	105. 4	130. 6
	2. 00	13. 2	38. 2	69. 8	19. 0	49. 9	87. 7	108. 3
	2. 40	9. 7	27. 9	50. 9	14. 0	36. 5	63. 8	77. 7
	3. 00	7. 3	21. 1	38. 4	10. 6	27. 6	47. 8	58. 4
	4. 00	4. 7	13. 2	23. 6	6. 6	16. 9	29. 2	35. 4
	5. 00	3. 8	9. 6	17. 1	4. 9	12. 5	21. 3	25. 8
	6. 00	2. 6	6. 8	12. 0	3. 9	9. 0	14. 9	18. 2
ZK33	0. 04	39. 8	94. 0	156. 6	53. 6	117. 8	188. 6	224. 2
	0. 05	46. 1	109. 1	178. 4	61. 7	137. 1	215. 0	256. 0
	0. 07	59. 5	140. 5	228. 6	79. 2	173. 9	277. 8	328. 1
	0. 10	75. 6	175. 0	286. 8	100. 0	216. 4	342. 6	403. 5
	0. 12	80. 6	186. 0	302. 3	107. 8	231. 4	364. 4	430. 4
	0. 16	94. 1	216. 8	352. 2	125. 8	271. 8	424. 1	497. 4
	0. 20	94. 3	217. 6	355. 5	126. 2	273. 2	428. 3	503. 9

	0.24	88.2	207.3	344.1	117.9	260.5	416.8	495.0
	0.26	83.0	197.3	333.7	111.8	248.0	404.0	486.2
	0.30	77.8	186.9	318.4	104.8	236.5	388.5	467.7
	0.34	72.5	174.7	295.5	97.3	219.2	361.7	436.1
	0.40	62.5	155.1	270.0	84.8	196.8	331.9	399.5
	0.50	52.5	132.4	227.4	71.2	168.1	282.8	341.6
	0.60	44.7	115.3	201.0	61.6	147.5	249.1	304.4
	0.80	34.0	89.1	159.3	47.2	115.5	196.4	240.7
	1.00	28.2	76.7	139.1	39.6	99.0	172.2	209.3
	1.20	23.9	67.0	121.2	34.1	87.1	151.5	186.1
	1.50	18.5	52.4	95.5	26.3	68.3	119.4	147.5
	1.70	16.0	45.6	83.9	22.9	59.7	105.8	131.1
	2.00	13.3	38.3	70.0	19.1	50.0	87.9	108.6
	2.40	9.7	27.9	51.0	14.0	36.6	64.0	77.9
	3.00	7.3	21.2	38.5	10.6	27.6	47.9	58.5
	4.00	4.7	13.2	23.6	6.6	17.0	29.3	35.5
	5.00	3.8	9.7	17.2	4.9	12.5	21.3	25.8
	6.00	2.6	6.8	12.1	3.9	9.0	14.9	18.2
ZK34	0.04	39.4	92.7	153.8	52.9	116.4	185.4	219.7
	0.05	45.5	107.7	176.4	60.9	135.3	212.0	250.5
	0.07	58.9	138.9	225.0	78.4	171.9	273.6	322.9
	0.10	74.7	173.1	283.3	99.0	213.8	338.4	397.3
	0.12	79.6	183.5	298.3	106.5	228.3	358.5	423.9
	0.16	93.0	214.3	347.7	124.1	268.1	417.8	491.1
	0.20	93.2	215.1	349.7	124.5	269.6	422.1	496.3
	0.24	87.3	204.5	339.8	116.8	256.3	409.6	487.7
	0.26	82.1	195.0	329.0	110.6	245.1	397.5	478.2
	0.30	77.0	184.4	313.1	103.5	233.2	382.6	458.9
	0.34	71.7	172.8	291.8	96.3	216.5	354.8	428.8
	0.40	61.8	152.8	265.4	83.9	194.3	326.5	393.6
	0.50	52.0	130.6	223.3	70.4	165.8	278.3	336.2
	0.60	44.3	114.0	198.2	60.9	145.9	245.6	298.6
	0.80	33.7	88.2	156.7	46.7	114.2	193.5	236.8
	1.00	27.9	75.9	137.3	39.3	97.9	169.8	205.8
	1.20	23.7	66.4	119.5	33.8	86.2	149.3	182.9
	1.50	18.3	51.8	94.3	26.1	67.6	118.1	145.8
	1.70	15.8	45.1	82.9	22.7	59.1	104.2	129.0
	2.00	13.2	38.0	69.4	18.9	49.6	86.9	107.2
	2.40	9.6	27.7	50.4	13.9	36.2	63.2	77.1
	3.00	7.3	21.0	38.2	10.5	27.4	47.4	58.0
	4.00	4.7	13.1	23.4	6.6	16.8	29.0	35.1

	5.00	3.7	9.6	17.0	4.9	12.4	21.1	25.6
	6.00	2.6	6.8	12.0	3.9	9.0	14.8	18.0
ZK35	0.04	39.1	91.9	151.9	52.5	115.5	183.3	217.6
	0.05	45.2	106.7	175.1	60.3	134.1	210.0	248.2
	0.07	58.5	137.8	222.6	77.9	170.6	270.8	319.2
	0.10	74.2	171.9	280.9	98.3	212.1	335.5	394.0
	0.12	79.1	181.9	296.2	105.7	226.2	354.4	419.4
	0.16	92.2	212.7	345.2	122.9	265.7	413.6	486.8
	0.20	92.5	213.5	347.2	123.4	267.1	417.9	491.9
	0.24	86.7	202.7	336.9	116.0	253.5	404.6	482.6
	0.26	81.5	193.4	325.7	109.8	243.1	393.8	472.5
	0.30	76.5	182.8	309.4	102.7	231.0	378.6	452.5
	0.34	71.2	171.5	289.3	95.6	214.6	350.0	423.7
	0.40	61.4	151.3	262.2	83.3	192.5	322.7	389.3
	0.50	51.6	129.4	220.5	69.9	164.3	275.0	332.2
	0.60	44.0	113.1	196.3	60.4	144.8	243.1	295.7
	0.80	33.5	87.6	154.9	46.4	113.3	191.4	233.9
	1.00	27.8	75.3	136.0	39.1	97.1	168.1	203.1
	1.20	23.6	65.9	118.6	33.6	85.5	148.1	180.4
	1.50	18.2	51.4	93.5	25.9	67.1	117.2	144.6
	1.70	15.8	44.8	82.1	22.5	58.8	103.0	127.4
	2.00	13.1	37.8	68.9	18.9	49.3	86.3	106.1
	2.40	9.6	27.5	50.0	13.9	36.0	62.7	76.5
	3.00	7.3	20.9	38.0	10.5	27.2	47.1	57.6
	4.00	4.7	13.0	23.3	6.5	16.8	28.8	34.9
	5.00	3.7	9.6	16.9	4.8	12.3	21.0	25.4
	6.00	2.5	6.7	11.9	3.9	8.9	14.8	17.9
ZK36	0.04	39.5	93.0	154.3	53.1	116.7	186.0	220.3
	0.05	45.7	108.0	176.8	61.0	135.7	212.6	251.5
	0.07	59.0	139.2	225.7	78.6	172.3	274.4	323.8
	0.10	74.9	173.5	284.0	99.2	214.4	339.1	398.1
	0.12	79.8	184.0	298.8	106.8	228.9	359.5	424.9
	0.16	93.2	214.8	348.4	124.5	268.9	419.0	492.3
	0.20	93.5	215.6	350.6	124.9	270.3	423.1	497.3
	0.24	87.5	205.1	340.5	117.0	257.1	410.7	488.7
	0.26	82.3	195.4	329.7	110.9	245.6	398.1	479.1
	0.30	77.2	184.9	313.9	103.8	233.8	383.4	459.9
	0.34	71.9	173.1	292.3	96.5	216.9	355.6	429.6
	0.40	62.0	153.2	266.0	84.1	194.6	327.0	394.1
	0.50	52.1	130.9	223.8	70.6	166.1	278.7	336.6
	0.60	44.4	114.2	198.4	61.1	146.1	245.8	298.8

	0.80	33.8	88.3	156.9	46.8	114.3	193.7	236.9
	1.00	28.0	76.0	137.4	39.4	98.0	169.9	205.8
	1.20	23.8	66.5	119.6	33.8	86.3	149.3	182.9
	1.50	18.4	51.9	94.4	26.1	67.7	118.2	145.8
	1.70	15.9	45.1	82.9	22.7	59.2	104.3	129.0
	2.00	13.2	38.1	69.4	19.0	49.6	87.0	107.2
	2.40	9.7	27.7	50.4	13.9	36.3	63.3	77.1
	3.00	7.3	21.0	38.2	10.5	27.4	47.5	58.0
	4.00	4.7	13.1	23.4	6.6	16.9	29.0	35.1
	5.00	3.8	9.6	17.0	4.9	12.4	21.2	25.6
	6.00	2.6	6.8	12.0	3.9	9.0	14.8	18.1
ZK37	0.04	39.6	93.4	155.3	53.3	117.1	187.0	222.0
	0.05	45.8	108.4	177.4	61.3	136.2	213.5	253.2
	0.07	59.2	139.7	226.8	78.8	172.9	275.7	325.5
	0.10	75.2	174.1	285.1	99.5	215.1	340.5	399.7
	0.12	80.1	184.7	299.8	107.2	229.8	361.4	427.1
	0.16	93.5	215.5	349.5	124.9	269.9	421.0	494.4
	0.20	93.8	216.4	352.5	125.4	271.4	425.2	499.5
	0.24	87.8	205.9	341.9	117.4	258.4	413.2	491.3
	0.26	82.5	196.1	331.3	111.2	246.6	400.1	482.1
	0.30	77.4	185.7	315.8	104.2	234.9	385.5	463.3
	0.34	72.1	173.8	293.6	96.8	217.8	358.3	432.4
	0.40	62.2	154.0	267.7	84.3	195.5	329.2	396.5
	0.50	52.2	131.5	225.3	70.8	166.9	280.5	338.8
	0.60	44.5	114.6	199.5	61.2	146.7	247.3	300.9
	0.80	33.9	88.7	158.0	47.0	114.8	194.9	238.7
	1.00	28.0	76.3	138.2	39.4	98.4	170.9	207.5
	1.20	23.8	66.7	120.1	33.9	86.6	150.0	184.4
	1.50	18.4	52.1	94.9	26.2	68.0	118.8	146.6
	1.70	15.9	45.3	83.4	22.8	59.4	105.0	130.0
	2.00	13.2	38.2	69.7	19.0	49.8	87.4	107.9
	2.40	9.7	27.8	50.7	14.0	36.4	63.6	77.4
	3.00	7.3	21.1	38.4	10.5	27.5	47.7	58.3
	4.00	4.7	13.1	23.5	6.6	16.9	29.1	35.3
	5.00	3.8	9.6	17.1	4.9	12.4	21.2	25.7
	6.00	2.6	6.8	12.0	3.9	9.0	14.9	18.1
ZK38	0.04	39.4	92.8	153.8	52.9	116.4	185.4	219.7
	0.05	45.5	107.7	176.4	60.9	135.3	212.0	250.4
	0.07	58.9	138.9	225.0	78.5	172.0	273.6	322.8
	0.10	74.7	173.1	283.3	99.0	213.9	338.4	397.2
	0.12	79.7	183.5	298.3	106.6	228.3	358.4	423.8

	0.16	93.0	214.3	347.7	124.1	268.1	417.8	491.1
	0.20	93.3	215.1	349.7	124.5	269.6	422.0	496.2
	0.24	87.3	204.5	339.7	116.8	256.3	409.4	487.5
	0.26	82.1	195.0	328.8	110.6	245.0	397.3	477.8
	0.30	77.0	184.4	313.0	103.6	233.2	382.5	458.5
	0.34	71.8	172.8	291.7	96.3	216.4	354.6	428.5
	0.40	61.8	152.8	265.3	83.9	194.2	326.3	393.2
	0.50	52.0	130.6	223.2	70.4	165.8	278.0	335.8
	0.60	44.3	114.0	198.0	60.9	145.8	245.4	298.3
	0.80	33.7	88.2	156.6	46.7	114.1	193.3	236.5
	1.00	27.9	75.9	137.2	39.3	97.9	169.6	205.5
	1.20	23.8	66.4	119.4	33.8	86.1	149.1	182.6
	1.50	18.3	51.8	94.3	26.1	67.6	118.1	145.7
	1.70	15.8	45.1	82.8	22.7	59.1	104.1	128.8
	2.00	13.2	38.0	69.3	18.9	49.6	86.9	107.1
	2.40	9.6	27.7	50.4	13.9	36.2	63.2	77.0
	3.00	7.3	21.0	38.2	10.5	27.4	47.4	58.0
	4.00	4.7	13.1	23.4	6.6	16.8	29.0	35.1
	5.00	3.7	9.6	17.0	4.9	12.4	21.1	25.6
	6.00	2.6	6.8	12.0	3.9	9.0	14.8	18.0
ZK39	0.04	40.1	94.9	158.4	54.1	118.6	190.5	226.8
	0.05	46.5	110.1	179.7	62.3	138.3	217.0	259.3
	0.07	59.9	141.6	231.0	79.9	175.3	280.4	331.3
	0.10	76.2	176.3	289.2	101.1	218.2	345.3	408.2
	0.12	81.4	187.7	305.7	108.8	233.5	368.2	434.3
	0.16	95.0	218.5	356.2	127.1	274.3	428.3	502.4
	0.20	95.2	219.3	359.2	127.5	275.7	432.2	509.5
	0.24	88.9	209.2	346.7	118.8	263.2	421.0	499.1
	0.26	83.7	198.8	336.4	112.7	249.9	408.2	490.2
	0.30	78.3	188.5	321.3	105.7	238.4	391.5	472.0
	0.34	73.1	175.9	297.4	98.0	221.0	365.1	439.3
	0.40	63.0	156.6	272.2	85.4	198.2	334.4	402.9
	0.50	53.0	133.4	229.2	71.8	169.3	284.7	343.6
	0.60	45.0	116.0	202.5	62.1	148.2	250.6	306.7
	0.80	34.2	89.7	160.4	47.5	116.1	197.4	241.9
	1.00	28.3	77.1	139.8	39.8	99.5	172.9	210.3
	1.20	24.1	67.4	122.0	34.3	87.6	152.4	186.9
	1.50	18.6	52.7	96.0	26.5	68.6	119.9	148.0
	1.70	16.1	45.9	84.4	23.0	59.9	106.4	131.7
	2.00	13.3	38.5	70.3	19.2	50.3	88.2	109.0
	2.40	9.7	28.1	51.3	14.1	36.8	64.2	78.1

	3.00	7.4	21.3	38.7	10.6	27.8	48.1	58.7
	4.00	4.7	13.2	23.7	6.6	17.0	29.4	35.6
	5.00	3.8	9.7	17.3	4.9	12.6	21.4	25.9
	6.00	2.6	6.8	12.1	3.9	9.1	15.0	18.3
ZK40	0.04	41.0	97.1	163.2	55.3	121.7	195.8	234.5
	0.05	47.5	112.6	185.0	63.7	141.4	223.2	268.4
	0.07	61.3	144.4	237.2	81.7	178.7	287.5	340.0
	0.10	77.8	179.5	295.2	103.6	223.8	354.1	421.2
	0.12	83.2	192.0	314.9	111.1	239.0	378.4	445.2
	0.16	96.9	223.9	366.5	130.1	280.8	439.0	518.5
	0.20	97.2	224.9	369.5	130.5	282.1	442.8	525.2
	0.24	90.7	214.0	356.4	121.3	270.4	433.1	516.2
	0.26	85.4	203.6	344.5	114.8	257.6	421.6	504.8
	0.30	79.7	192.9	330.3	108.0	244.0	401.7	486.5
	0.34	74.5	179.2	305.9	99.8	227.2	376.4	451.7
	0.40	64.2	160.6	279.8	87.0	203.2	343.3	417.7
	0.50	53.9	136.5	235.9	73.3	173.1	292.1	353.7
	0.60	45.8	118.1	208.3	63.3	151.5	259.7	317.6
	0.80	34.7	91.6	164.7	48.3	118.4	202.9	248.3
	1.00	28.8	78.5	142.8	40.5	101.9	176.7	216.1
	1.20	24.4	68.6	125.6	34.7	89.2	157.0	192.1
	1.50	18.9	53.8	98.1	26.8	69.8	123.7	151.4
	1.70	16.3	46.7	86.2	23.4	61.3	109.0	135.2
	2.00	13.5	39.1	71.8	19.4	51.3	89.7	111.4
	2.40	9.8	28.5	52.3	14.2	37.4	65.4	79.5
	3.00	7.5	21.6	39.2	10.8	28.2	48.9	59.5
	4.00	4.8	13.4	24.1	6.7	17.3	29.8	36.3
	5.00	3.8	9.8	17.5	4.9	12.8	21.7	26.3
	6.00	2.6	6.9	12.3	4.0	9.2	15.2	18.5
ZK41	0.04	41.3	97.8	164.8	55.7	123.1	197.6	237.2
	0.05	47.9	113.5	186.8	64.2	142.5	225.8	271.5
	0.07	61.8	145.4	239.3	82.4	179.9	289.8	343.0
	0.10	78.3	180.9	297.3	104.4	225.9	358.2	425.7
	0.12	83.8	193.4	318.0	111.9	240.9	381.8	449.0
	0.16	97.6	225.8	370.0	131.1	282.9	442.6	523.8
	0.20	97.8	226.8	373.0	131.5	284.2	446.5	530.6
	0.24	91.4	215.6	360.4	122.4	272.9	437.4	522.3
	0.26	85.9	205.4	347.3	115.6	260.3	426.2	511.4
	0.30	80.1	194.4	333.4	108.7	245.9	406.9	491.7
	0.34	75.0	180.5	309.6	100.5	229.4	380.5	457.9
	0.40	64.6	161.9	282.6	87.5	205.2	346.5	423.1

	0.50	54.3	137.5	238.2	73.8	174.5	294.8	358.9
	0.60	46.0	118.9	210.5	63.7	153.1	263.1	321.8
	0.80	34.9	92.4	166.4	48.6	119.2	205.3	251.3
	1.00	28.9	79.0	143.9	40.8	102.9	178.2	218.4
	1.20	24.5	69.0	127.0	34.9	89.8	158.8	194.1
	1.50	19.0	54.2	98.8	27.0	70.4	125.2	153.5
	1.70	16.4	47.1	86.9	23.5	61.8	110.1	136.6
	2.00	13.6	39.3	72.4	19.5	51.7	90.5	112.4
	2.40	9.9	28.7	52.7	14.3	37.6	65.9	80.0
	3.00	7.5	21.7	39.5	10.8	28.4	49.2	59.9
	4.00	4.8	13.5	24.2	6.7	17.4	29.9	36.6
	5.00	3.8	9.8	17.7	4.9	12.8	21.8	26.5
	6.00	2.6	6.9	12.4	4.0	9.2	15.3	18.6
ZK42	0.04	40.8	96.6	162.0	55.0	120.7	194.5	232.6
	0.05	47.3	112.1	183.8	63.4	140.7	221.5	266.3
	0.07	61.0	143.9	235.8	81.3	178.0	285.9	338.0
	0.10	77.4	178.8	293.9	103.1	222.4	351.4	418.3
	0.12	82.8	191.1	312.9	110.7	237.9	376.1	442.7
	0.16	96.5	222.7	364.4	129.5	279.4	436.8	515.1
	0.20	96.7	223.6	367.2	129.8	280.7	440.4	521.6
	0.24	90.3	212.9	353.5	120.6	268.7	430.0	511.6
	0.26	85.0	202.4	342.3	114.4	255.6	417.8	499.5
	0.30	79.4	191.8	327.7	107.5	242.5	398.2	481.9
	0.34	74.3	178.4	303.0	99.4	225.6	373.0	447.4
	0.40	63.9	159.5	277.5	86.7	201.6	340.3	412.5
	0.50	53.7	135.6	233.7	73.0	172.0	289.5	349.1
	0.60	45.6	117.5	206.2	63.0	150.0	256.2	313.2
	0.80	34.6	91.0	163.1	48.1	117.6	200.4	245.7
	1.00	28.7	78.1	141.6	40.3	101.0	175.1	213.6
	1.20	24.3	68.2	124.2	34.6	88.6	155.0	189.8
	1.50	18.8	53.5	97.3	26.8	69.4	122.0	149.5
	1.70	16.2	46.5	85.5	23.3	60.8	107.9	133.7
	2.00	13.5	38.9	71.2	19.4	50.9	89.1	110.3
	2.40	9.8	28.4	51.9	14.2	37.2	64.9	78.8
	3.00	7.5	21.5	39.0	10.7	28.0	48.5	59.2
	4.00	4.8	13.4	23.9	6.7	17.2	29.6	36.0
	5.00	3.8	9.7	17.4	4.9	12.7	21.6	26.1
	6.00	2.6	6.9	12.2	4.0	9.1	15.1	18.4

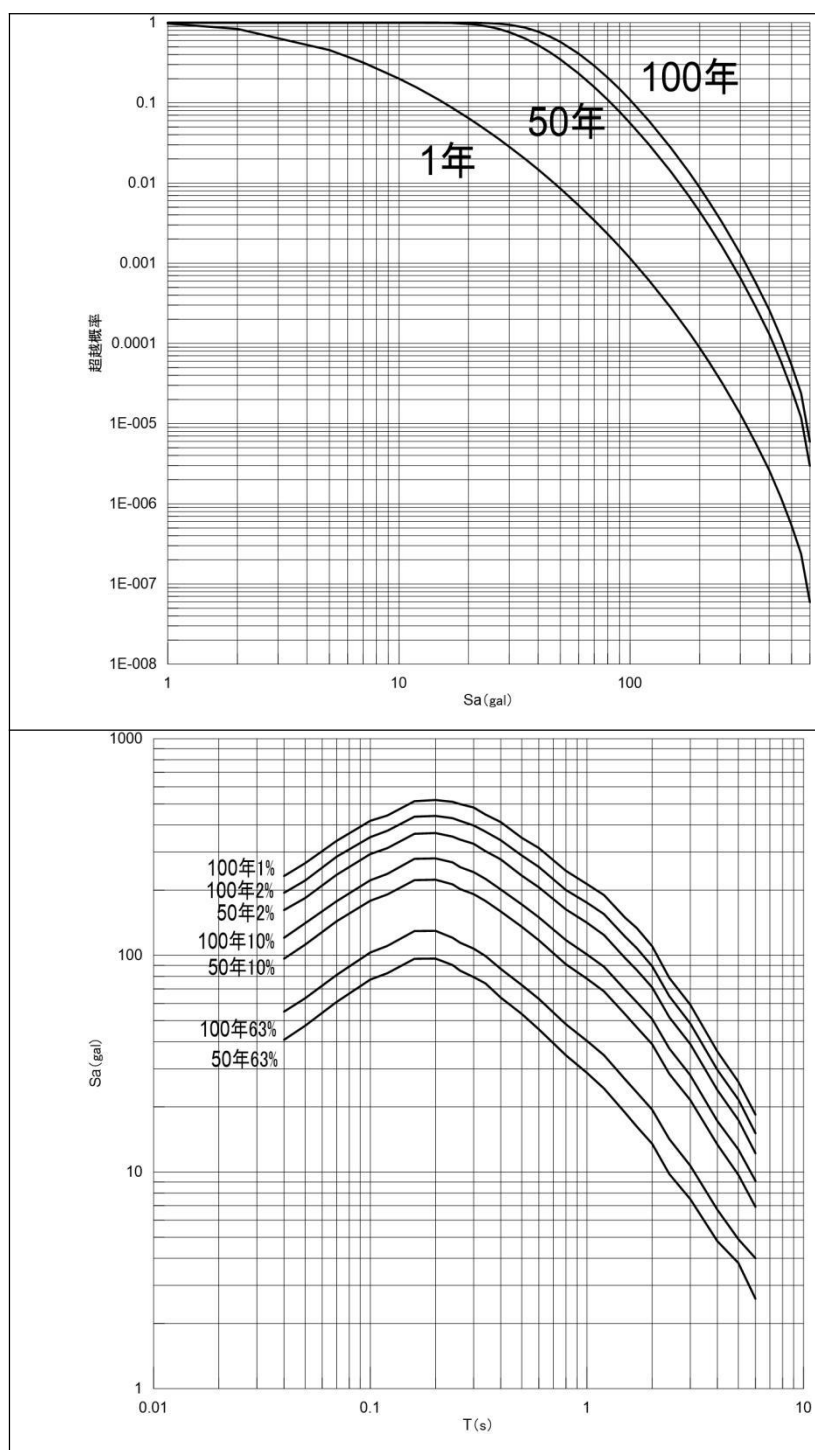


图 5.5-3 场地基岩地震动水平向峰值加速度超越概率曲线和反应谱曲线
(以 ZK1 为例)

第六章 场地地震工程地质条件勘测

场地地震工程地质条件评价是场地地震安全性评价工作的重要内容。本章通过对场地资料收集、野外调查、工程地质钻探、钻孔土层剪切波速测试和土层动三轴试验工作,综合地形地貌、岩土类型及组合、第四系厚度、场地类别等因素对场地地质单元进行了分区,评价了场地工程地质条件。通过地震地质野外考察和地球物理勘探,对场地及其附近存在断裂及其活动性进行了深入细致的研究。

6.1 目标区工程地质条件

6.1.1 目标区概述

目标区位于乐山市五通桥区南东侧,距乐山市区约 20km,距五通桥城区约 3km,交通条件较好。目标区内总体地势较为平坦,区内现状地面标高约 372.2~513.8m,相对高差约 141.6m。目标区总面积约为 11.29 平方公里。目标区位置如图 6.1.1 所示。



图 6.1.1 目标区位置示意图（蓝色线区域为目标区）

6.1.2 地形地貌、水文地质、地质构造

（一）地形地貌

五通桥区地貌有平坝、浅丘陵和低山，以丘陵为主。岷江由北向南纵贯全境，将区境分隔为河东、河西两大片。地势北高南低，东西两部向中部倾斜。中部岷江两岸为平坝，河西片的西北部和河东片为浅丘，河西片的沫溪河以南为深丘（低山区）。

目标区位于乐山市五通桥区南东侧，地处岷江东岸，属于构造侵蚀剥蚀浅丘地貌区（图 6.1-2）。勘察区范围内最高点位于场地双凤桥村附近，高程 516m，最低点位于场地以东北侧，高程 370.6m，勘察区最大高差 146.6m。地形多呈阶梯状。缓坡平台部位地形平缓，坡度一般 $<10^{\circ}$ ，缓坡平台宽一般约 3~5 m，最宽处约 10m；斜坡部位坡度一般 $15\sim45^{\circ}$ ，局部陡坎处坡度较大，最大可达 75° ，陡坎高度最高可达 3~15m。

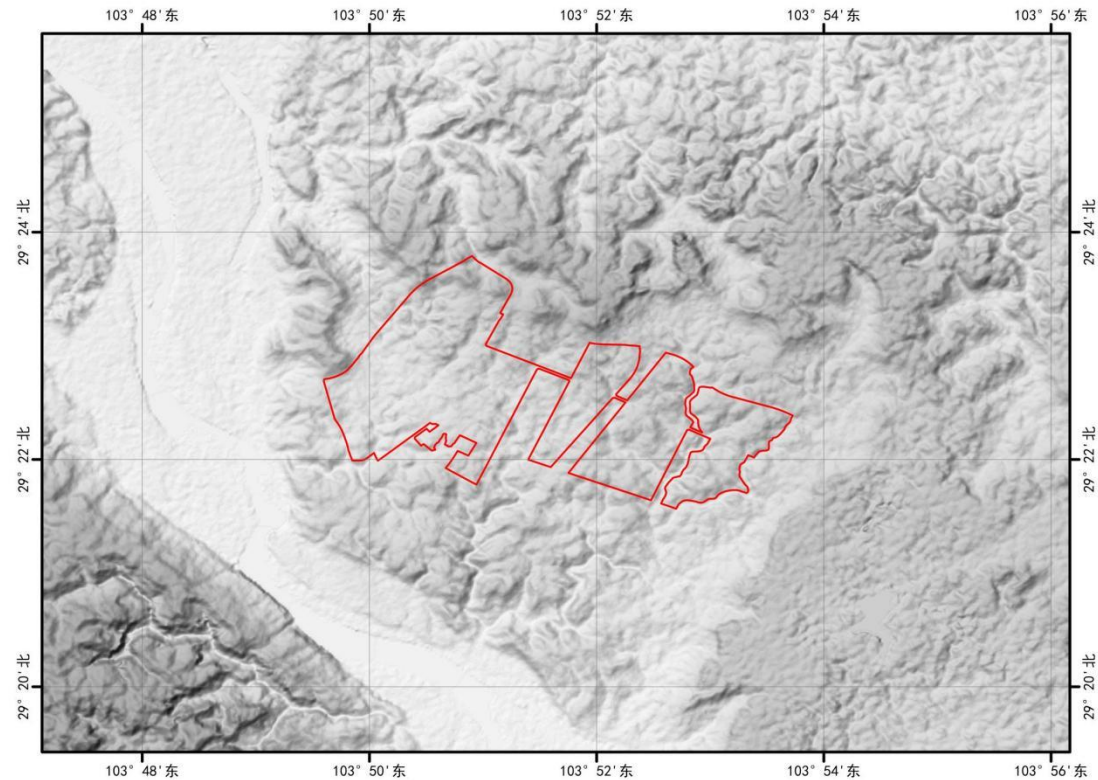


图 6.1-2 目标区周边地貌图

目标区内总体地势较为平坦，区内现状地面标高约 372.2~513.8m，相对高

差约 141.6m。目标区地形地貌照片见图 6.1-3。



图 6.1-3 目标区地形地貌照片

（二）水文地质

场地水文地质类型主要包括地表水、上层滞水和基岩裂隙水。地表水主要由大气降水补给、沿浅丘水沟及农田灌溉水渠排泄。上层滞水和基岩裂隙水主要由大气降水和地表水补给。

1.地表水

目标区内原始地貌大部分为农业区，受地形条件的影响，地表沟壑众多，基本以农田为主，地表水体发育。具体特征如下：

农田：为丘陵地区沟谷汇水区积集区，目标区内分布普遍，数量众多，规模都较大。勘察期间农作物刚收完，因此，大部分为旱田，仅低洼处农田现阶段为水田。农田水深受季节降水影响较大，勘察期间水田内局部的水深约为 0.2~0.5m。

2.地下水

（1）上层滞水（Q4ml）

主赋存于素填土层中，主要是由于地表水下渗中在局部地段遇相对隔水层蓄积而成，含水量较小，补给来源主要为大气降水，无统一、稳定水位。

（2）基岩裂隙水（J2s）：

基岩风化裂隙水赋存于基岩风化带中的裂隙中。该种地下水一般赋存于块状强风化岩下部及中风化岩中，主要受邻区地下水侧向补给，水量受构造、岩性、裂隙发育程度等影响显著，存在水量分布不均的特点，勘察施工时钻孔内

未发现该类地下水。总体上看，该类水水量不大。

（三）地质构造

目标区在大地构造上属扬子准地台、四川台坳之川西台陷构造单元，在漫长的地质发展中经历了多次构造运动，大约 2 亿年前的印支构造运动，使地壳抬升，结束了海侵历史，进入陆相河流湖盆相沉积，形成了广布于五通桥区的中生界三叠系、侏罗系和新生界第四系地层。调查测绘区内无断裂通过，新构造运动轻微，区域构造相对稳定。

目标区场地位于赖家山背斜西北侧，为平缓褶皱区，地层平缓，产状为 301° ∠2-3°。根据地质剖面调查结果，目标区内地层较为单一，产状平缓，绝大部分以白垩系上统灌口组（K_{2g}）、侏罗系中统沙溪庙组（J_{2s}）砂岩、泥岩为主，岩层面近水平，地层未见产状突变等现象，未见断层发育。

6.2 目标区钻孔成果

6.2.1 目标区场地勘探工作布置及实施

首先在调查、收集、整理场地工程地质、水文地质、地形地貌、地质结构资料的基础上，勾绘了各地块地层岩性特征。为了查明场地第四系覆盖区的地层结构，本次在覆盖区实施地震工程地质钻探，依据《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函[2019]21 号）、《四川省区域性地震安全性评价规范》（DB51T 2946-2022），本次勘察共布置钻探孔 42 个，编号为 ZK1-ZK42

（详见表 6.3-1），每个地块内钻孔数量不少于 1 个，钻孔深度钻至剪切波速不小于 500m/s 深处，且其下不存在更低波速岩土层。场地钻孔布置见图 6.2.1，钻孔数量符合大纲要求。

表6.3-1布设钻孔经纬度

钻孔编号	经度	纬度	距邻孔距离（m）		距边界最近距离（m）
ZK1	103.84730	29.39398	KZ15	575	177
ZK2	103.84166	29.39074	ZK15	541	172
ZK3	103.83752	29.38651	ZK4	564	153
ZK4	103.83368	29.38183	ZK18	665	144
ZK5	103.82801	29.37711	ZK6	551	107
ZK6	103.82994	29.37245	ZK5	551	135
ZK7	103.83230	29.36768	ZK6	575	106
ZK8	103.83891	29.37077	ZK9	396	99

ZK9	103.84213	29.36882	ZK8	396	47
ZK10	103.84810	29.36461	ZK42	645	108
ZK11	103.85408	29.37465	ZK40	546	91
ZK12	103.85655	29.37968	ZK40	597	109
ZK13	103.84986	29.38453	ZK19	571	91
ZK14	103.85232	29.39154	ZK1	559	188
ZK15	103.84694	29.38916	ZK19	423	—
ZK16	103.84147	29.38144	ZK19	594	—
ZK17	103.84475	29.37665	ZK41	515	—
ZK18	103.83769	29.37698	ZK16	604	—
ZK19	103.84432	29.38621	ZK15	423	—
ZK20	103.85951	29.36727	ZK20	634	152
ZK21	103.86415	29.37440	ZK25	495	—
ZK22	103.87112	29.38180	ZK39	502	181
ZK23	103.86577	29.36524	ZK20	634	171
ZK24	103.87359	29.36326	ZK29	670	—
ZK25	103.86930	29.37116	ZK29	463	122
ZK26	103.87758	29.36818	ZK29	428	82
ZK27	103.87353	29.37601	ZK30	613	148
ZK28	103.87762	29.38013	ZK27	618	211
ZK29	103.87339	29.36916	ZK26	428	—
ZK30	103.87899	29.37342	ZK26	610	73
ZK31	103.87818	29.36098	ZK33	533	107
ZK32	103.88509	29.36274	ZK33	504	96
ZK33	103.88080	29.36510	ZK37	454	109
ZK34	103.88904	29.36806	ZK38	463	86
ZK35	103.89333	29.37248	ZK38	625	148
ZK36	103.88311	29.37580	ZK38	598	159
ZK37	103.88421	29.36778	ZK33	454	184
ZK38	103.88706	29.37178	ZK34	463	—
ZK39	103.86607	29.38120	ZK22	502	162
ZK40	103.85057	29.37850	ZK11	546	—
ZK41	103.84775	29.37274	ZK42	505	—
ZK42	103.85142	29.36965	ZK41	505	100

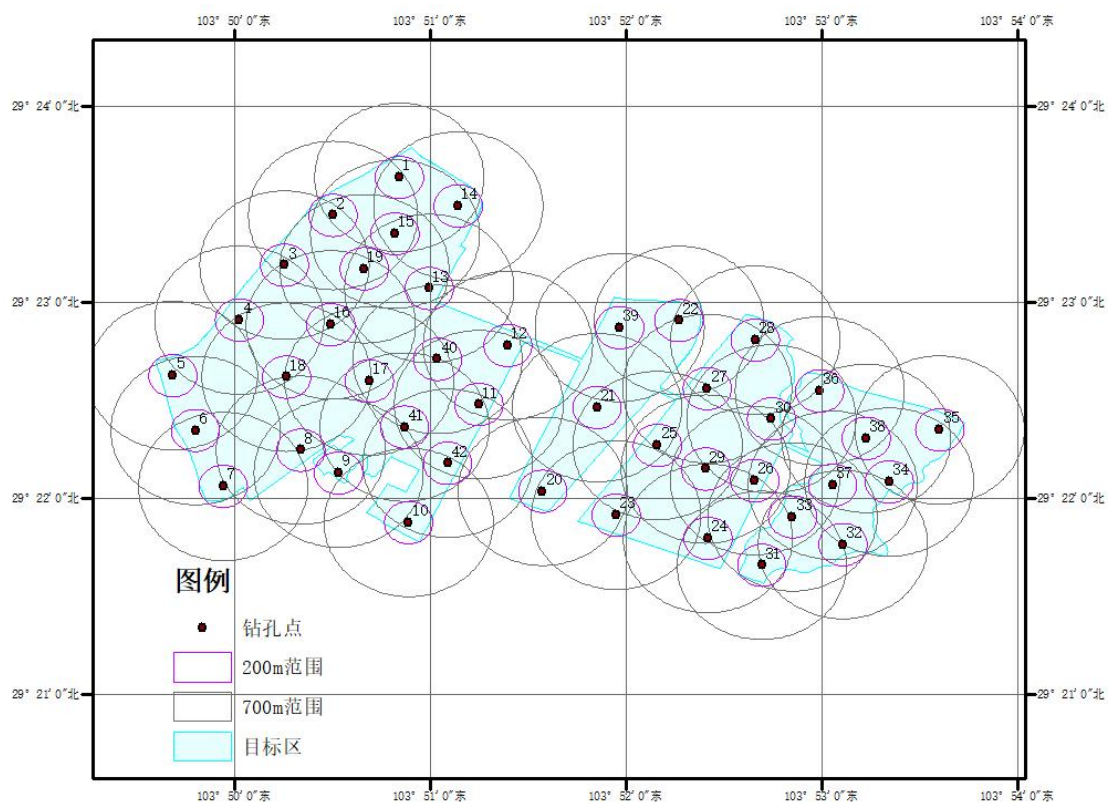


图 6.2.1a 目标区钻孔布置

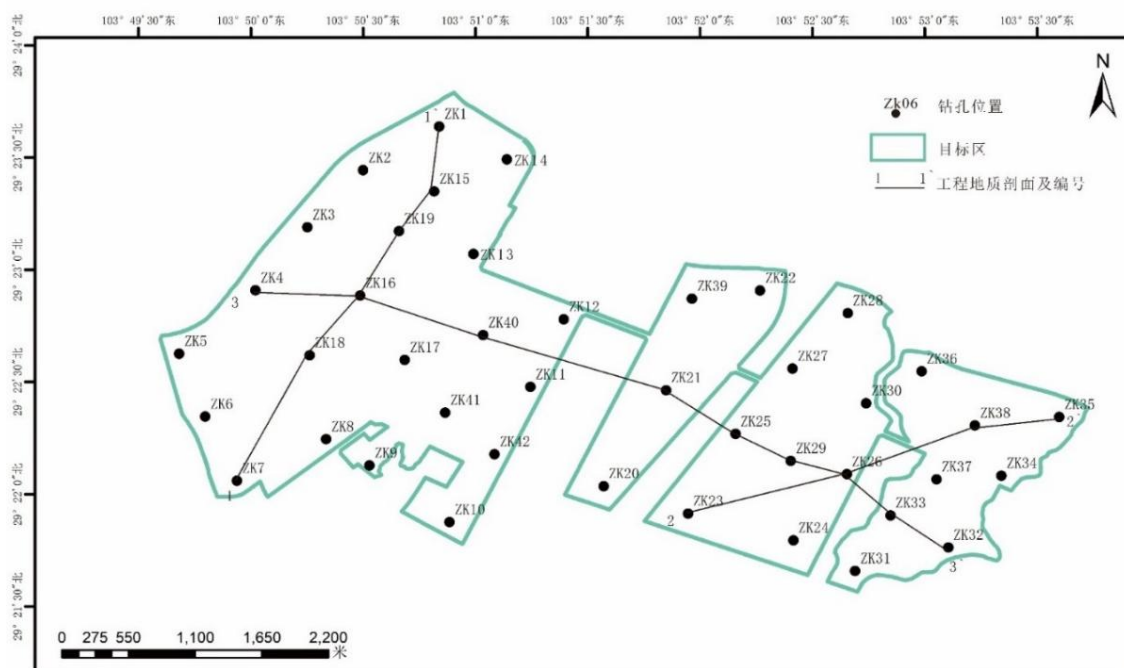


图 6.2-1b 目标区钻孔及工程地质剖面平面位置示意图

6.2.2 场地地层及岩性特征

1.地层结构

经钻探揭露，在勘探深度范围内，工程场地主要由第四系人工填土层（ Q_4^{ml} ）、第四系耕植土（ Q_4^{pd} ）以及侏罗系中统沙溪庙组基岩（ J_2s ）组成。

现将各岩土层岩性特征从上至下分述如下：

（1）第四系人工堆积层

①1 人工填土（ Q_4^{ml} ）：红褐色，松散，为周边场地平整后重新回填所成，干燥～稍湿，主要由粉质粘土和基岩块等组成，局部夹生活及建筑垃圾等。

①2 耕植土（ Q_4^{pd} ）：红褐色、灰褐色，结构松散，含大量植物根系及有机物质，发育有农作物、树木等植物根系。

（3）侏罗系中统沙溪庙组基岩（ J_2s ）

强风化粉砂质泥岩②1（ J_2s ）：灰紫色、灰绿色，主要矿物成分为粉砂、黏土矿物，泥质结构，层状构造，风化裂隙发育，岩体较破碎，可用手捏碎岩块。

中风化粉砂质泥岩②2（ J_2s ）：灰紫色、灰绿色，主要矿物成分为粉砂、黏土矿物，泥质结构，厚层状构造，局部夹薄层泥质砂岩，岩石较完整，裂隙较少。岩芯呈短柱状、柱状，岩质相对较硬。

强风化泥质粉砂岩③1（ J_2s ）：灰紫色、灰绿色，主要矿物成分为粉砂、黏土矿物，泥质结构，层状构造，风化裂隙发育，岩体较破碎，可用手捏碎岩块。

中风化泥质粉砂岩③2（ J_2s ）：灰紫色、灰绿色，主要矿物成分为粉砂、黏土矿物，泥质结构，厚层状构造，局部夹薄层泥质砂岩，岩石较完整，裂隙较少。岩芯呈短柱状、柱状，岩质相对较硬。

强风化岩屑石英砂岩④1（ J_2s ）：浅黄色，主要由碎屑物和胶结物组成。其中碎屑矿物成分主要为石英和岩屑，石英含量约 80%，岩屑含量约 15%，砂状结构，层状构造，风化裂隙发育，锤击易碎。

中风化岩屑石英砂岩④2（ J_2s ）：浅黄色，主要由碎屑物和胶结物组成。其中碎屑矿物成分主要为石英和岩屑，石英含量约80%，岩屑含量约15%，砂状结构，层状构造，风化裂隙发育，岩石较完整，裂隙较少。岩芯呈短柱状、柱状，岩质相对较硬。

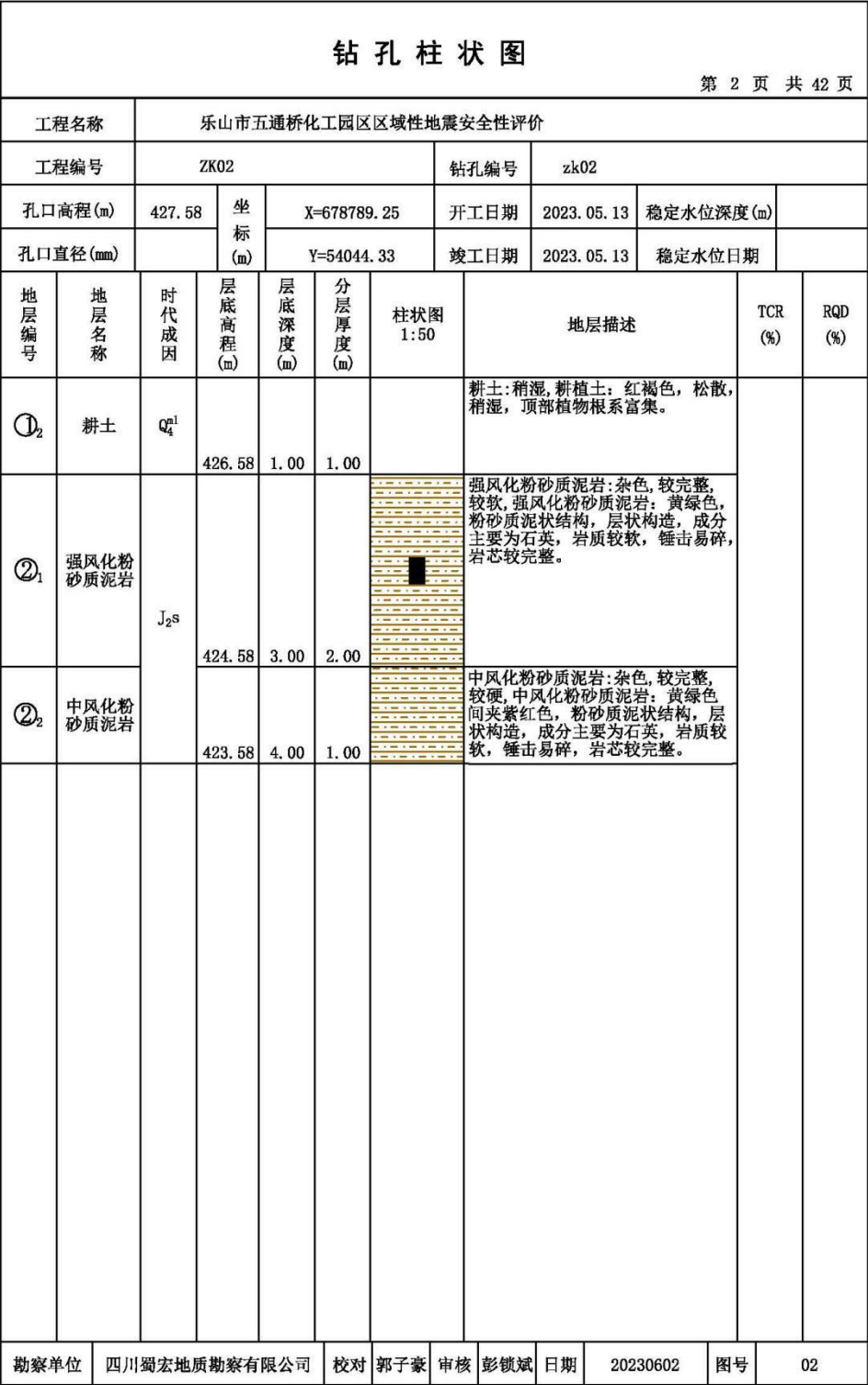


图 6.2-2（2） ZK02 钻孔柱状图

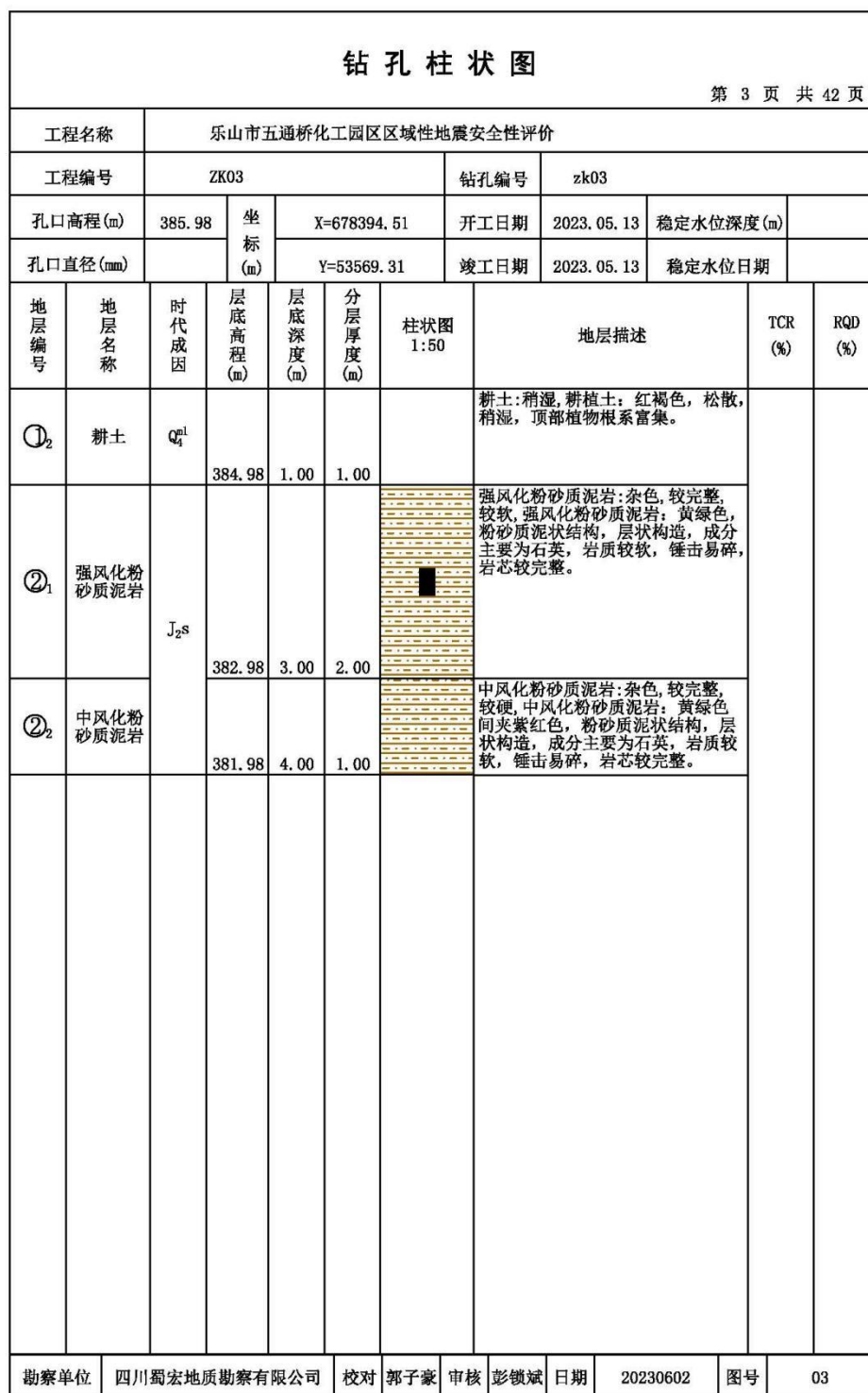


图 6.2-2 (3) ZK03 钻孔柱状图

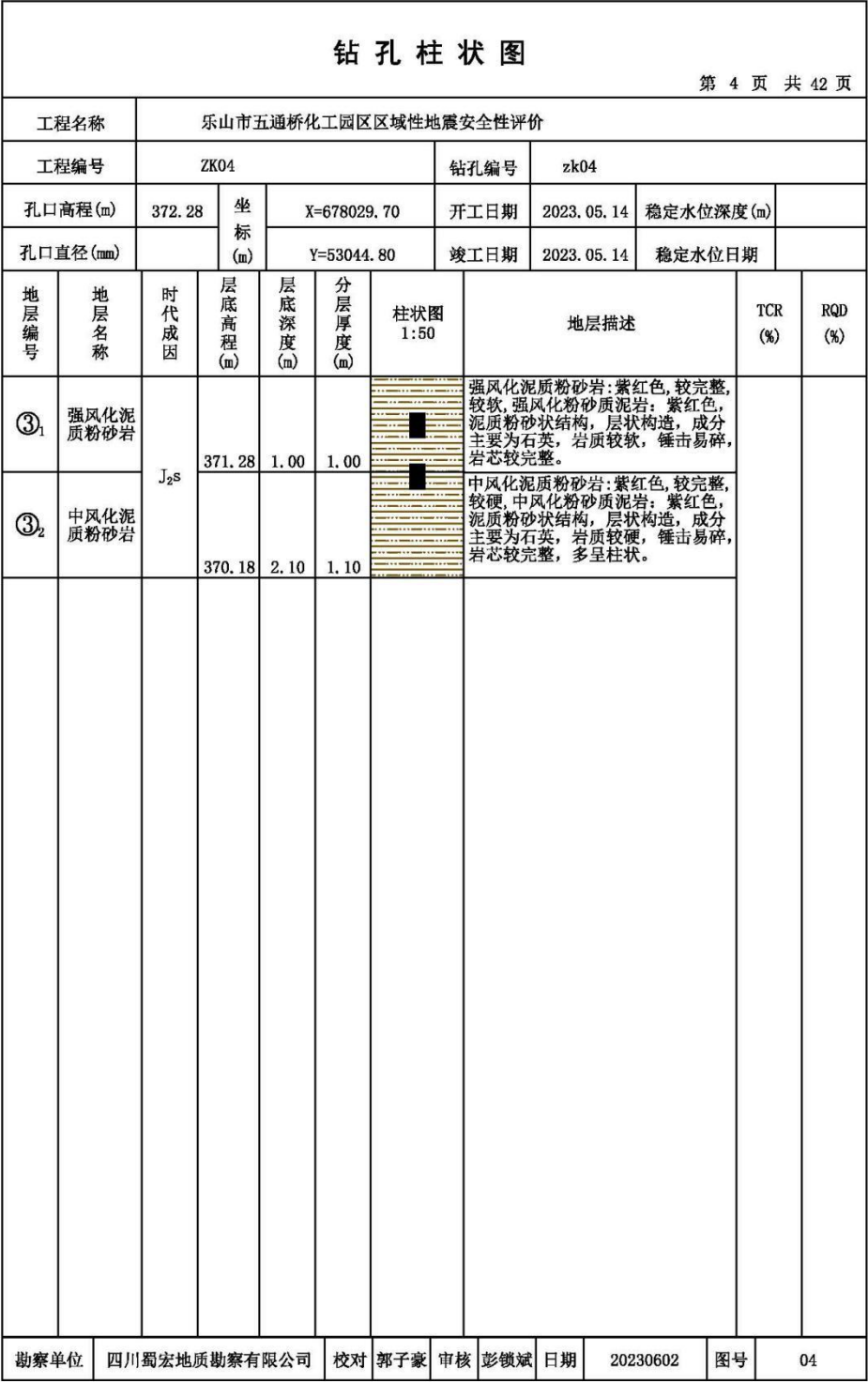


图 6.2-2（4） ZK04 钻孔柱状图

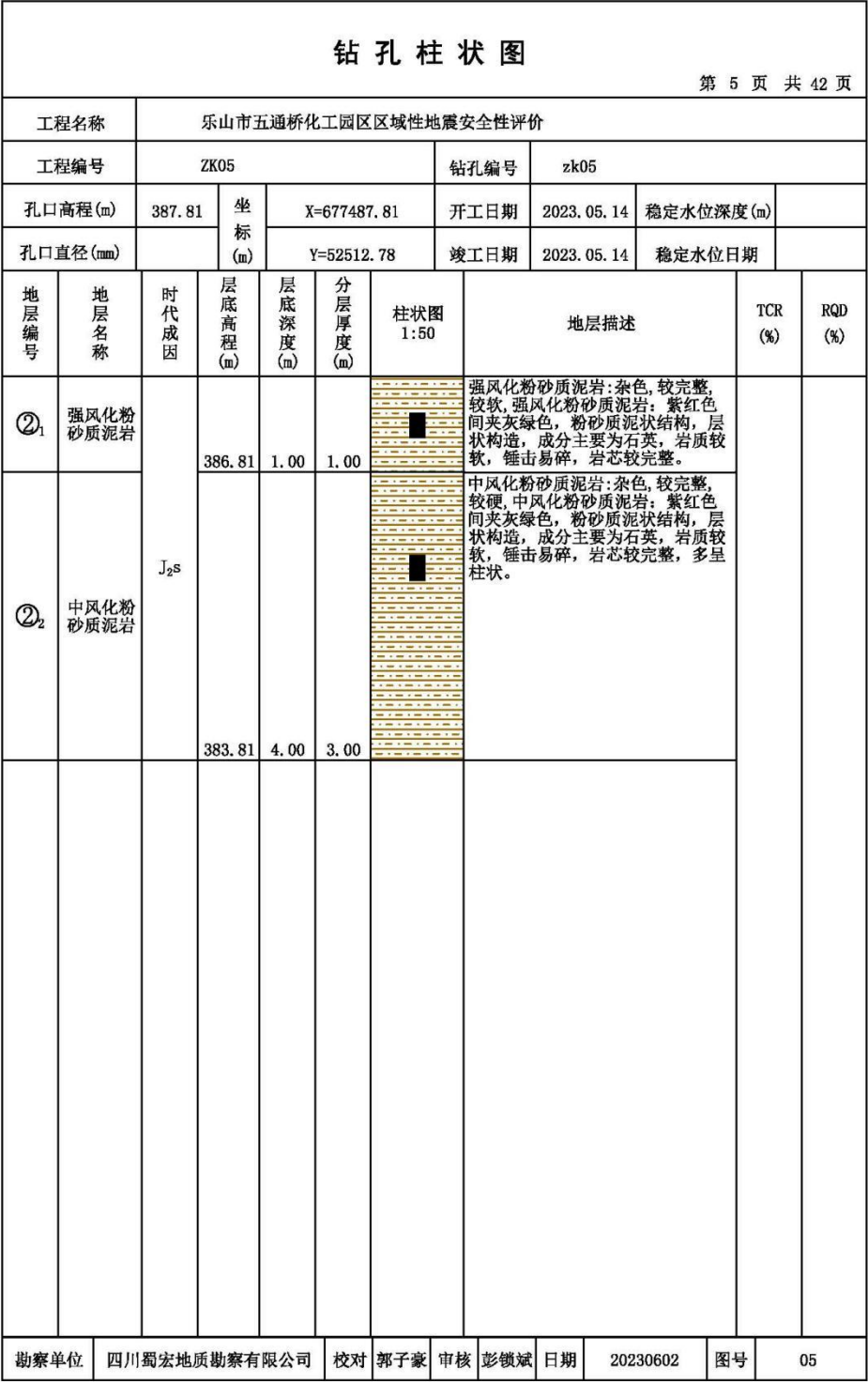


图 6.2-2（5） ZK05 钻孔柱状图

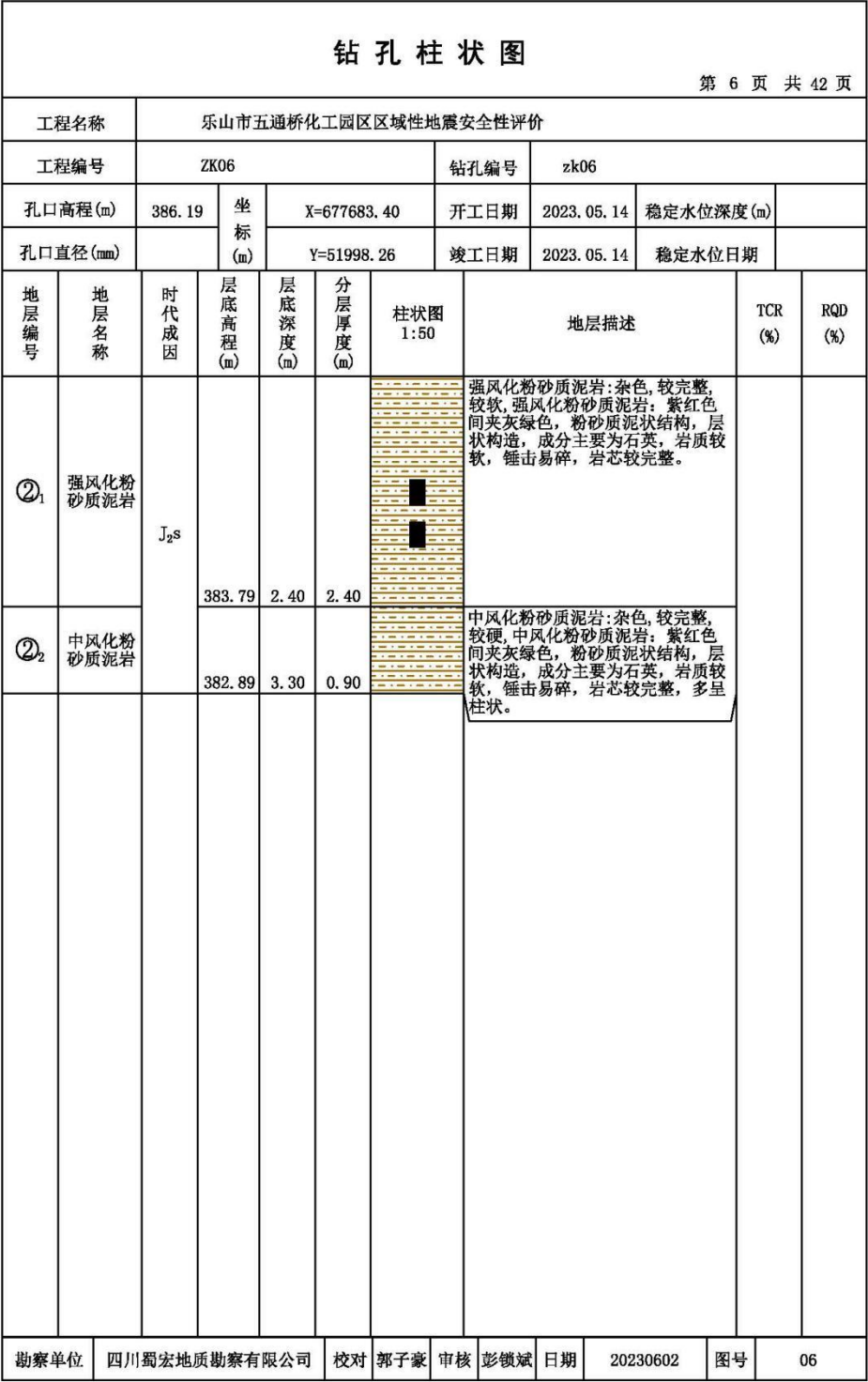


图 6.2-2（6） ZK06 钻孔柱状图



钻 孔 柱 状 图														第 7 页 共 42 页			
工程名称		乐山市五通桥化工园区区域性地震安全性评价															
工程编号		ZK07					钻孔编号		zk07								
孔口高程(m)		389.54	坐标 (m)	X=677920.97			开工日期		2023.05.15	稳定水位深度(m)							
孔口直径(mm)				Y=51473.70			竣工日期		2023.05.15	稳定水位日期							
地层 编号	地层 名称	时代成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:50	地层描述				TCR (%)	RQD (%)					
② ₁	强风化粉砂质泥岩	J ₂ S	387.54	2.00	2.00		强风化粉砂质泥岩:杂色,较完整,较软,强风化粉砂质泥岩:紫红色间夹灰绿色,粉砂质泥状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较软,锤击易碎。										
② ₂	中风化粉砂质泥岩						中风化粉砂质泥岩:杂色,较完整,较软,中风化粉砂质泥岩:2.0-2.8m为灰绿色粉砂质泥岩,2.8-4m为紫红色粉砂质泥岩。具有粉砂质泥状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较软,锤击易碎,岩芯较完整,多呈柱状。										
			385.54	4.00	2.00												
勘察单位		四川蜀宏地质勘察有限公司			校对	郭子豪	审核	彭锁斌	日期	20230602	图号	07					

图 6.2-2 (7) ZK07 钻孔柱状图

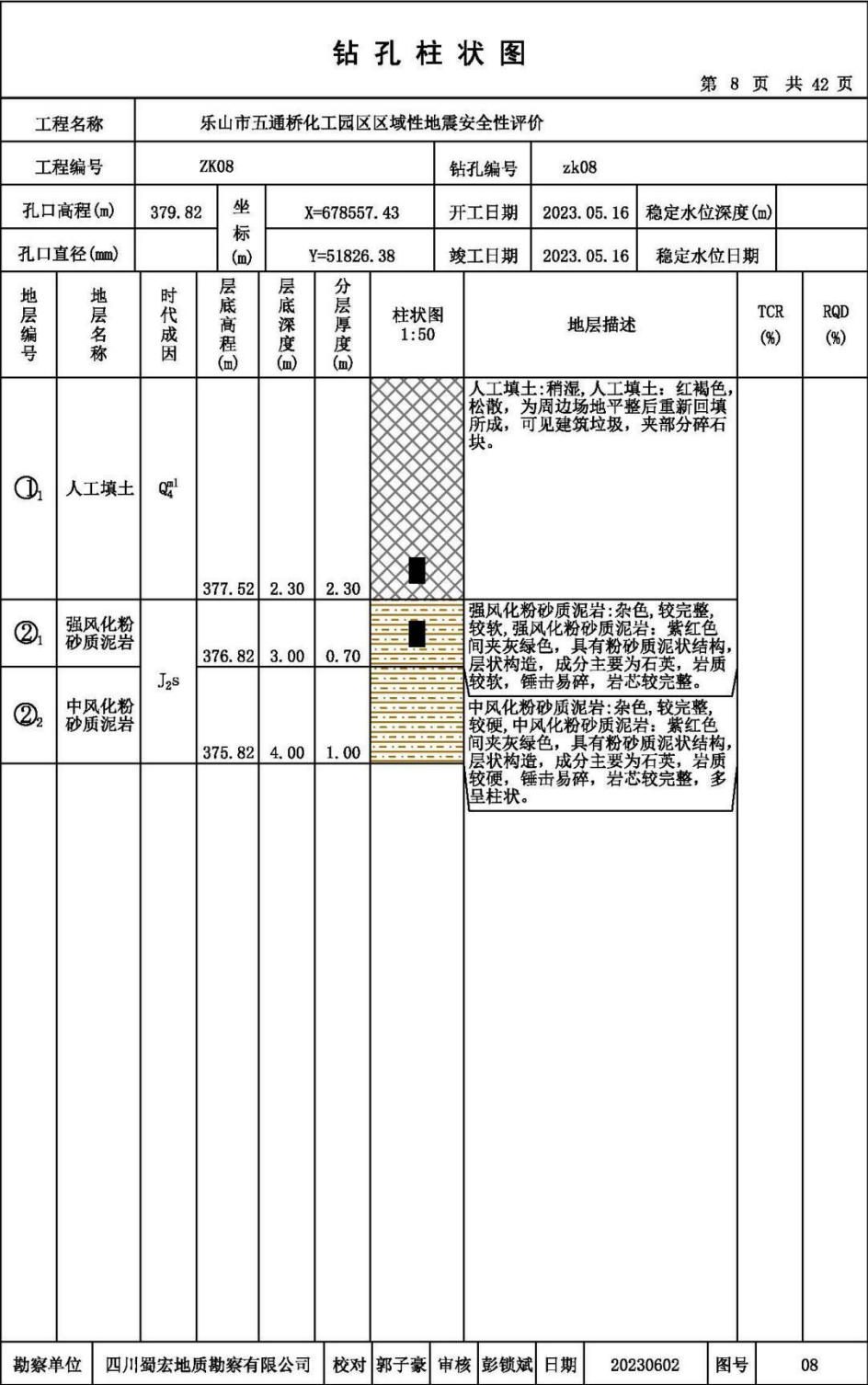


图 6.2-2（8） ZK08 钻孔柱状图




钻孔柱状图													第 9 页 共 42 页		
工程名称		乐山市五通桥化工园区区域性地震安全性评价													
工程编号		ZK09					钻孔编号		zk09						
孔口高程(m)		407.89	坐标 (m)	X=678873.43		开工日期		2023.05.15	稳定水位深度(m)						
孔口直径(mm)				Y=51614.81		竣工日期		2023.05.15	稳定水位日期						
地层 编号	地层 名称	时代成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:50	地层描述				TCR (%)	RQD (%)			
① ₁	人工填土	Q ₄ ^{pl}	406.89	1.00	1.00		人工填土:红褐色,稍湿,人工填土;红褐色,松散,为周边场地平整后重新回填所成,可见建筑垃圾,夹部分碎石块。								
③ ₁	强风化泥质粉砂岩	J ₂ ^s	406.29	1.60	0.60		强风化泥质粉砂岩:杂色,较完整,较软,强风化粉砂质泥岩;灰绿色,间夹紫红色,具有泥质粉砂状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较软,锤击易碎,岩芯较完整。								
③ ₂	中风化泥质粉砂岩			中风化泥质粉砂岩:杂色,较完整,较硬,中风化粉砂质泥岩;灰绿色,间夹紫红色,具有泥质粉砂状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较硬,锤击易碎,岩芯较完整,多呈柱状。											
			403.29	4.60	3.00										
勘察单位		四川蜀宏地质勘察有限公司			校对	郭子豪	审核	彭锁斌	日期	20230602	图号	09			

图 6.2-2 (9) ZK09 钻孔柱状图



钻 孔 柱 状 图												
第 10 页 共 42 页												
工程名称		乐山市五通桥化工园区区域性地震安全性评价										
工程编号		ZK10					钻孔编号		zk10			
孔口高程(m)		432.97	坐标 (m)	X=679460.15			开工日期		2023.05.16	稳定水位深度(m)		
孔口直径(mm)				Y=51157.66			竣工日期		2023.05.16	稳定水位日期		
地层 编号	地层 名称	时代 成因	层 底 高 程 (m)	层 底 深 度 (m)	分 层 厚 度 (m)	柱状图 1:50	地层描述			TCR (%)	RQD (%)	
① ₂	耕土	Q ₄ ^{pl}	430.87	2.10	2.10		耕土:红褐色,稍湿,耕植土:红褐色,松散,稍湿,顶部植物根系富集。					
③ ₁	强风化泥质粉砂岩	J ₂ ^s	430.37	2.60	0.50		强风化泥质粉砂岩:杂色,较完整,较软,强风化粉砂质泥岩:灰绿色,间夹紫红色,具有泥质粉砂状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较软,锤击易碎,岩芯较完整。					
③ ₂	中风化泥质粉砂岩		428.97	4.00	1.40		中风化泥质粉砂岩:杂色,较完整,较软,中风化粉砂质泥岩:灰绿色,间夹紫红色,具有泥质粉砂状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较硬,锤击易碎,岩芯较完整,多呈柱状。					
勘察单位		四川蜀宏地质勘察有限公司			校对	郭子豪	审核	彭锁斌	日期	20230602	图号	10

图 6.2-2 (10) ZK10 钻孔柱状图

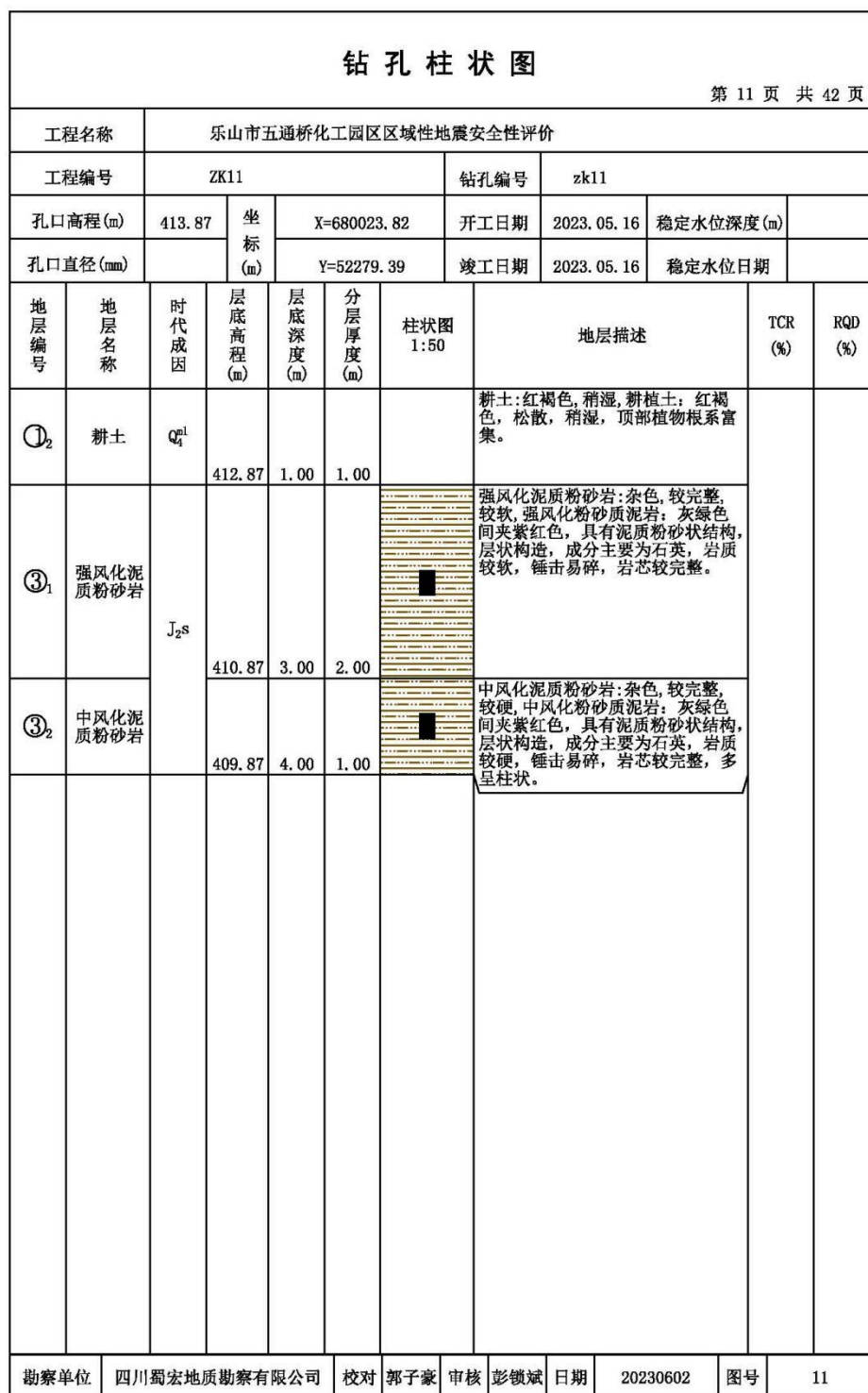


图 6.2-2 (11) ZK11 钻孔柱状图

[illegible]

图 6.2-2 (12) ZK12 钻孔柱状图

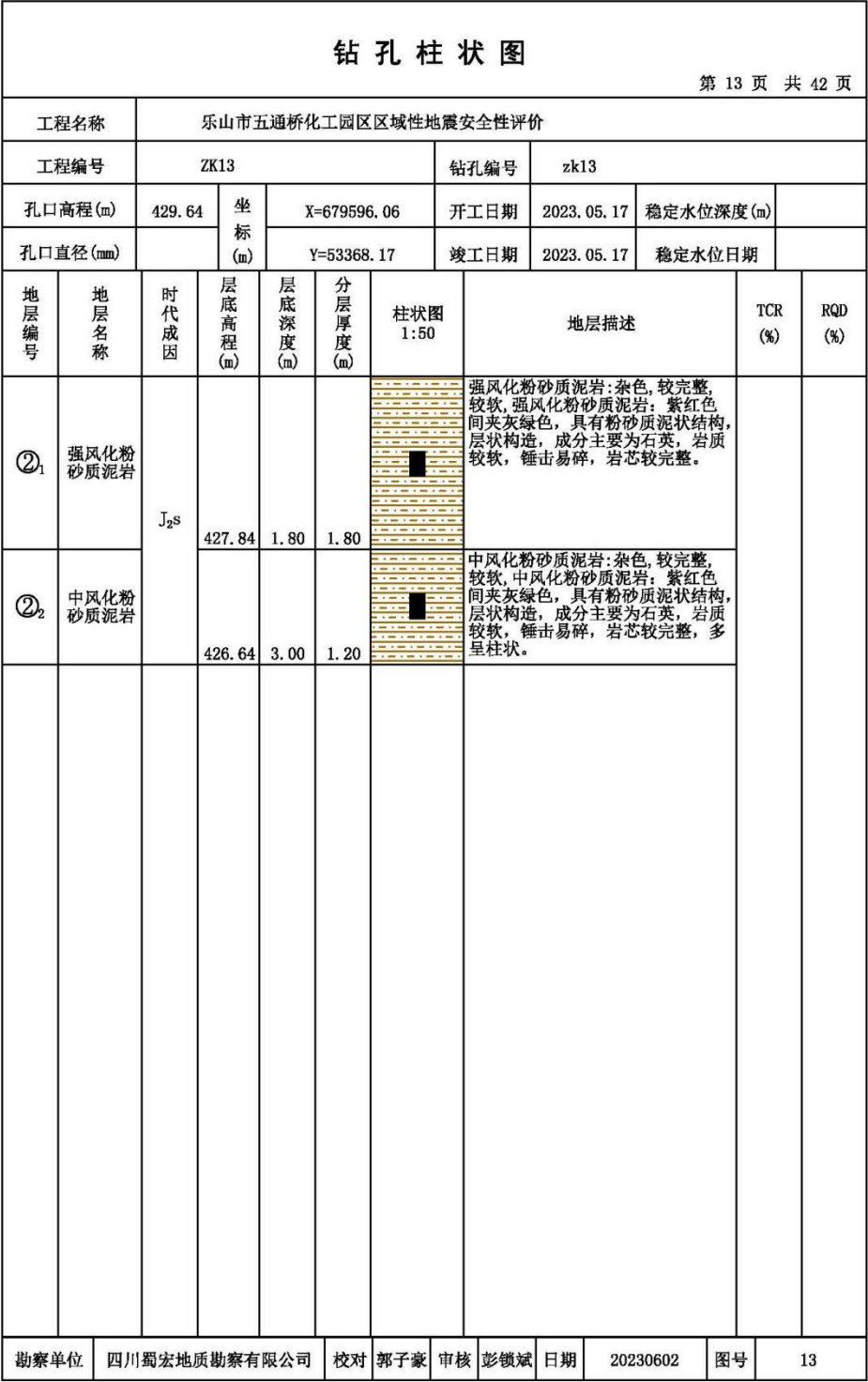


图 6.2-2 （13） ZK13 钻孔柱状图




钻孔柱状图												
第 14 页 共 42 页												
工程名称		乐山市五通桥化工园区区域性地震安全性评价										
工程编号		ZK14					钻孔编号		zk14			
孔口高程(m)		513.82	坐标 (m)	X=679823.32			开工日期		2023.05.17	稳定水位深度(m)		
孔口直径(mm)				Y=54149.93			竣工日期		2023.05.17	稳定水位日期		
地层 编号	地层 名称	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:50	地层描述			TCR (%)	RQD (%)	
② ₁	强风化粉砂质泥岩	J ₂ S	511.82	2.00	2.00		强风化粉砂质泥岩:杂色,较完整,较软,强风化粉砂质泥岩:灰绿色,间夹紫红色,具有粉砂质泥状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较软,锤击易碎,岩芯较完整。					
② ₂	中风化粉砂质泥岩		510.92	2.90	0.90		中风化粉砂质泥岩:杂色,较完整,较软,中风化粉砂质泥岩:灰绿色,间夹紫红色,具有粉砂质泥状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较硬,锤击易碎,岩芯较完整,多呈柱状。					
④ ₂	中风化砂岩		509.82	4.00	1.10		中风化砂岩:黄绿色,较完整,较硬,中风化岩屑石英砂岩:黄绿色,具有中粒砂状结构,块状构造,主要由碎屑物和胶结物组成,其中碎屑物主要为石英和岩屑,石英含量约为80%,岩屑含量约为15%;岩石为颗粒支撑结构,呈孔隙式胶结,岩质较硬,岩芯较完整,多呈柱状。					
勘察单位		四川蜀宏地质勘察有限公司			校对	郭子豪	审核	彭锁斌	日期	20230602	图号	14

图 6.2-2 (14) ZK14 钻孔柱状图




钻 孔 柱 状 图												
第 18 页 共 42 页												
工程名称		乐山市五通桥化工园区区域性地震安全性评价										
工程编号		ZK18					钻孔编号		zk18			
孔口高程(m)		388.31	坐标 (m)	X=678427.81			开工日期		2023.05.19	稳定水位深度(m)		
孔口直径(mm)				Y=52513.25			竣工日期		2023.05.19	稳定水位日期		
地层 编号	地层 名称	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:50	地层描述				TCR (%)	RQD (%)
① ₁	人工填土	Q ₄ ^{nl}					人工填土:稍湿,人工填土:红褐色,松散,为周边场地平整后重新回填所成,可见建筑垃圾,夹部分碎石块。					
② ₁	强风化粉砂质泥岩 中风化粉砂质泥岩	J ₂ ^s	386.31	2.00	2.00		强风化粉砂质泥岩:紫红色,较完整,较软,强风化粉砂质泥岩:紫红色,具有泥质粉砂状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较软,锤击易碎,岩芯较完整。					
② ₂			385.41	2.90	0.70		中风化粉砂质泥岩:紫红色,较完整,较硬,中风化粉砂质泥岩:紫红色,具有泥质粉砂状结构,层状构造,成分主要为石英,岩质较硬,锤击易碎,岩芯较完整,多呈柱状。					
勘察单位		四川蜀宏地质勘察有限公司		校对	郭子豪	审核	彭锁斌	日期	20230602		图号	18

图 6.2-2 (15) ZK18 钻孔柱状图

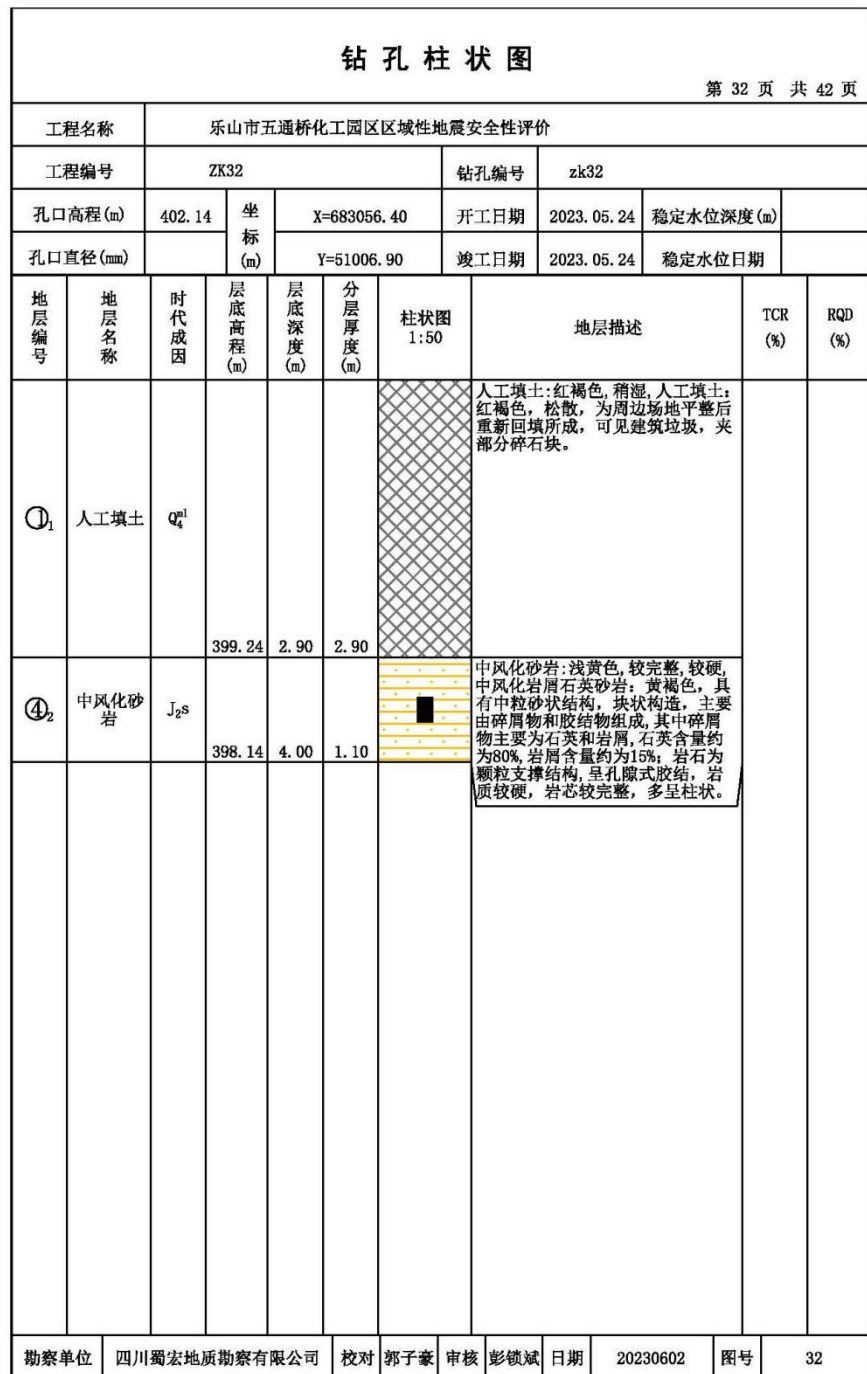


图 6.2-2 (19) ZK32 钻孔柱状图

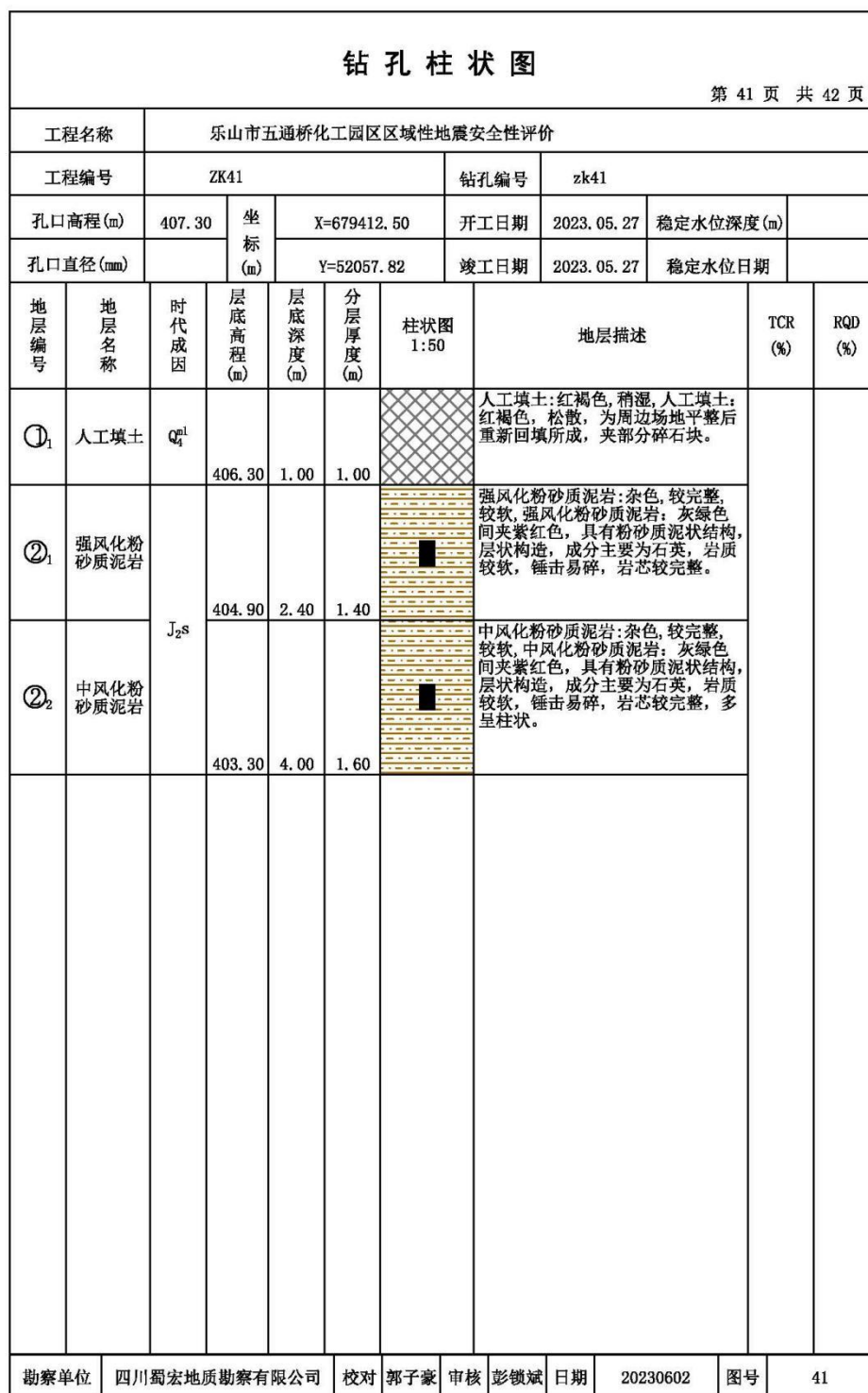


图 6.2-2 (20) ZK41 钻孔柱状图

工程地质剖面图——1'

比例尺 水平 1:5000 垂直 1:300

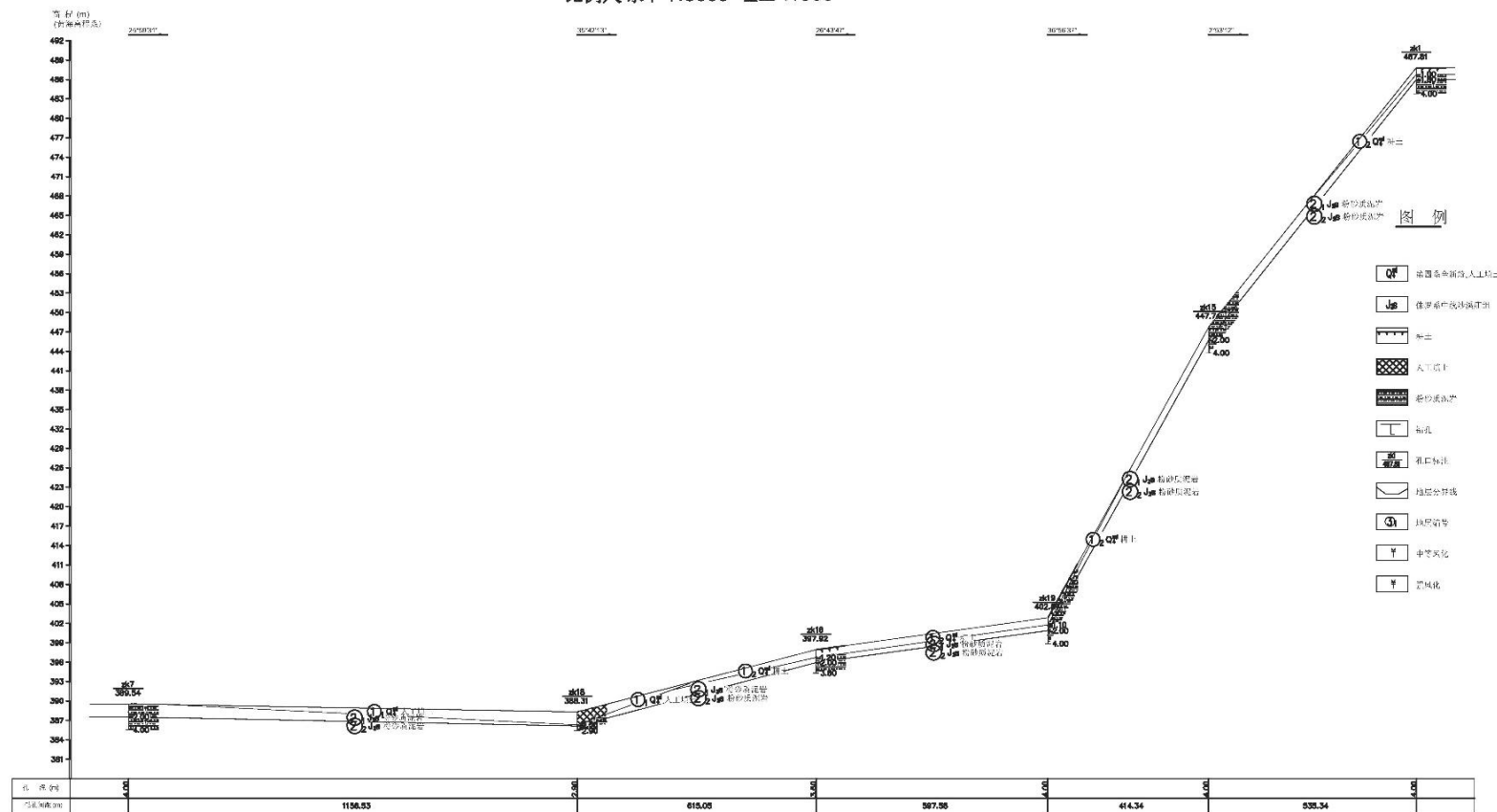


图 6.2-3a 1-1'工程地质剖面图

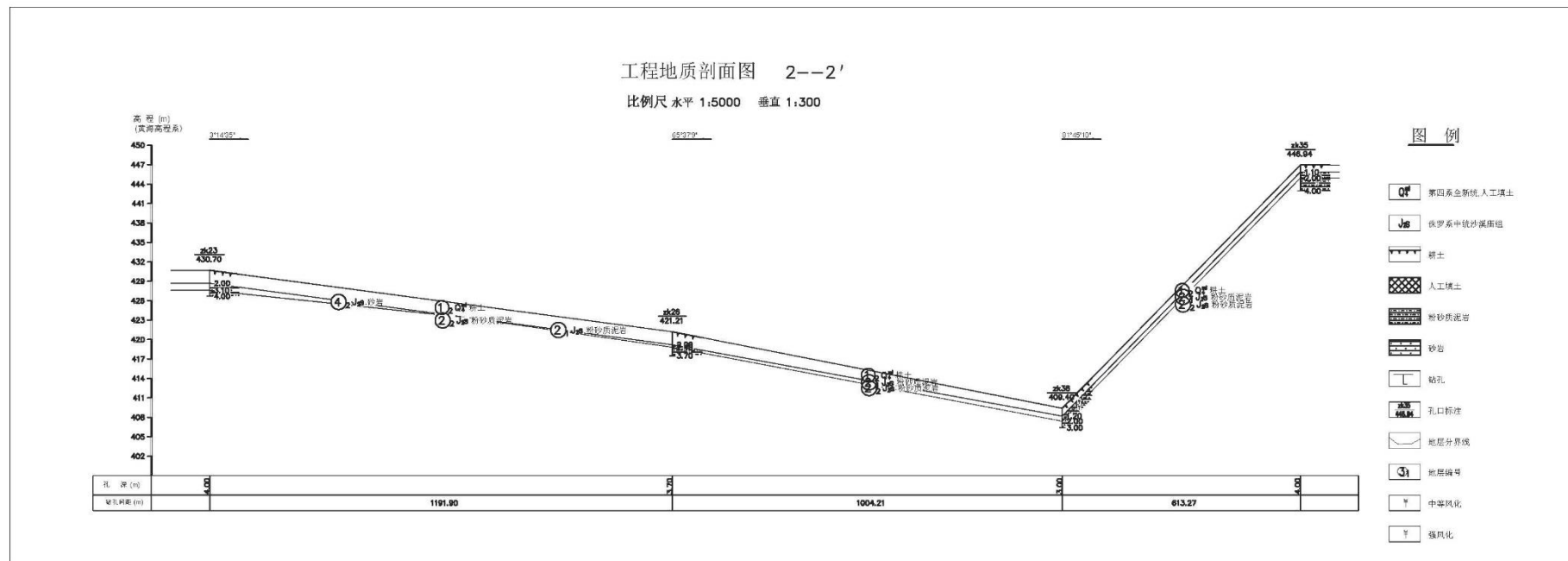


图 6.2-3b 2-2' 工程地质剖面图

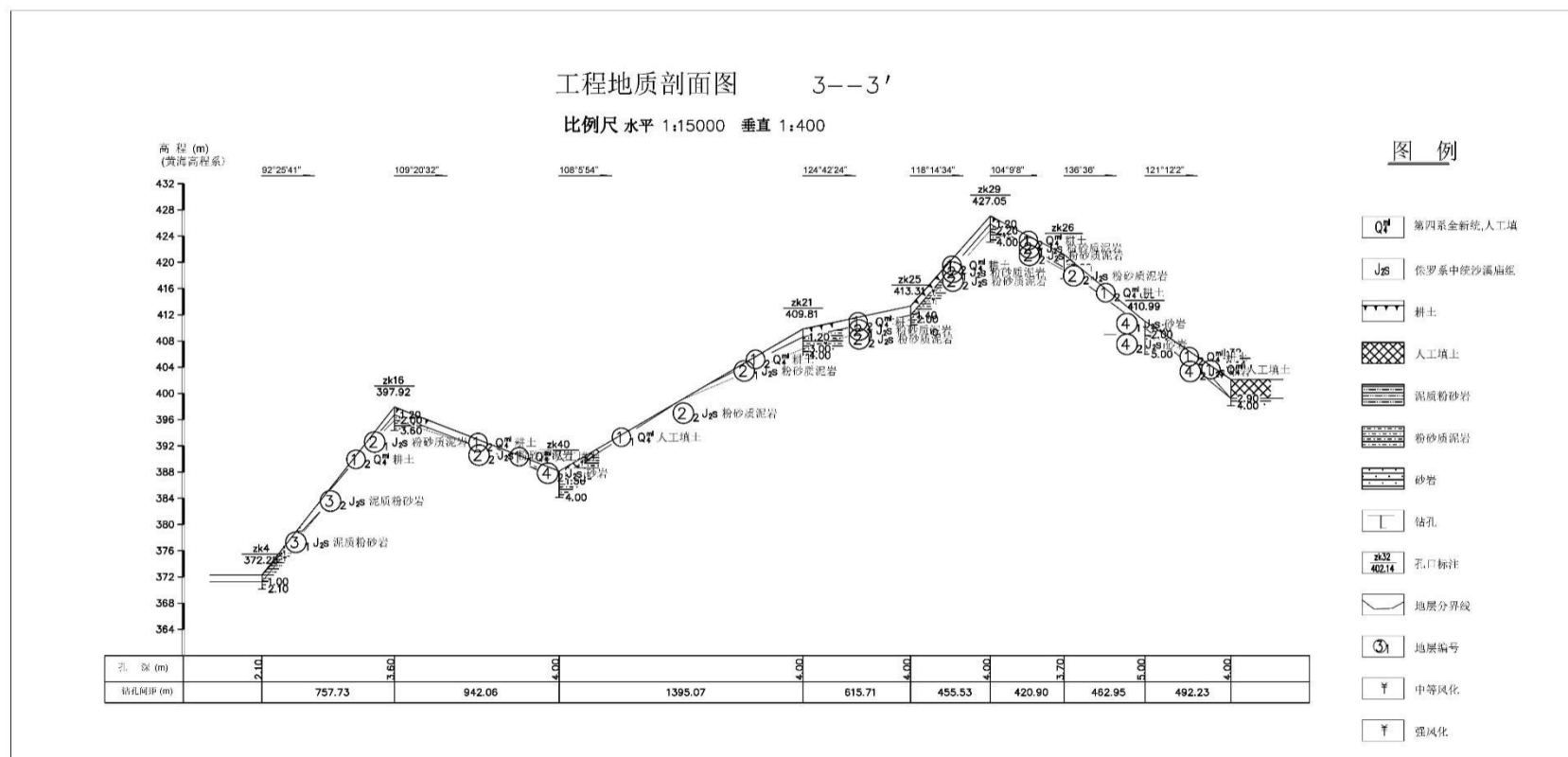


图 6.2-3c 3-3'工程地质剖面图

6.3 剪切波速测试成果及场地类别划分

6.3.1 测试目的和意义

测试土层动力性质的目的在于评价其动力性能及其对地震反应可能产生的影响，为场地地震反应分析提供模型设计的必要参数。

在土层动力性质测定中以波速测试为基础的土层动力参数的测定占有重要的位置。具体来说，波速在场地动力性质评价中的作用主要有以下几个方面：由介质波速直接导出介质主要动力参数弹性模量、剪切模量、泊松比等；介质密度 ρ 和波速 V 及波阻抗直接影响波能在介质中的传播，其效应是显示出地震作用的放大和缩小方面的地震动效应；介质的 S 波速大小作为场地类型划分的主要指标。

6.3.2 测试仪器

本次测试工作采用的仪器设备为重庆地质仪器厂的 DZQ6B 工程地震（面波）仪及井下三分量检波器，数据处理采用 Geogiga Seismic Pro 数据处理系统。仪器设备定期进行检查，性能良好。

6.3.3 测试方法

测试方法采用单孔法，采用三分量检波器拾取信号、锤击重物压板（两侧敲击）及铁板作为激发振源。纵波、横波激发位置距孔口均为 1.0 米。测试点距为 1.0(m)，岩性分界线附件加密测点。

6.3.4 测试成果

本次工作对目标区布置的 42 个钻孔分别进行了剪切波速测试，共完成波速测试总深度 159.3m。各钻孔土层分层波速见表 6.3-1。

表 6.3-1 各钻孔土层分层剪切波速成果表

ZK1 号钻孔			
岩土名称	深度 (m)	层厚 (m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	131
强风化粉砂质泥岩	1.8	0.8	491
中风化粉砂质泥岩	2.0	0.2	1128

	3.0	1.0	1130
	4.0	1.0	1133
ZK2 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	135
强风化粉砂质泥岩	1.5	0.5	482
强风化粉砂质泥岩	2.5	1.0	485
	3.0	0.5	488
中风化粉砂质泥岩	4.0	1.0	1192
ZK3 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	132
强风化粉砂质泥岩	1.5	0.5	471
	2.5	1.0	477
	3.0	0.5	482
中风化粉砂质泥岩	4.0	1.0	1135
ZK4 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	0.5	0.5	478
	1.0	1.0	479
中风化粉砂质泥岩	1.5	0.5	1162
	2.10	0.6	1172
ZK5 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	0.5	0.5	464
	1.0	0.5	469
中风化粉砂质泥岩	1.5	0.5	1163
	2.5	1.0	1169
	3.5	1.0	1179
	4.0	0.5	1185
ZK6 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	1.0	1.0	462
	2.0	1.0	471
	2.4	0.4	476
中风化粉砂质泥岩	3.3	0.9	1149
ZK7 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	1.0	1.0	475
	1.5	0.5	478
	2.0	0.5	482
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1173
	3.5	1.0	1180
	4.0	0.5	1187
ZK8 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
人工填土	1.00	1.0	138
	2.0	1.0	143
	2.3	0.3	148
强风化粉砂质泥岩	3.0	0.7	488
中风化粉砂质泥岩	4.0	1.0	1196
ZK9 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)

人工填土	1.0	1.0	144
强风化泥质粉砂岩	1.6	0.6	482
中风化泥质粉砂岩	2.0	0.4	1172
	3.0	1.0	1178
	4.0	1.0	1182
	4.6	0.6	1186
ZK10 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	130
耕土	2.0	1.0	135
	2.1	0.1	140
强风化泥质粉砂岩	2.6	0.5	473
中风化泥质粉砂岩	3.0	0.4	1126
	4.0	1.0	1138
ZK11 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	138
强风化泥质粉砂岩	1.5	0.5	476
	2.5	1.0	481
	3.0	0.5	485
中风化泥质粉砂岩	4.0	1.0	1117
ZK12 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	132
强风化粉砂质泥岩	2.0	1.0	479
中风化粉砂质泥岩	3.0	1.0	1231
ZK13 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	1.0	1.0	463
	1.8	0.8	470
中风化粉砂质泥岩	2.0	0.2	1134
	3.0	1.0	1138
ZK14 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	1.0	1.0	470
	1.5	0.5	473
	2.0	0.5	475
中风化粉砂质泥岩	2.9	0.9	1089
中风化砂岩	3.5	0.6	1440
	4.0	0.5	1456
ZK15 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	1.0	1.0	463
	1.5	0.5	468
	2.0	0.5	472
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1112
	3.5	1.0	1119
	4.0	0.5	1125
ZK16 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.2	1.2	138
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.8	477
中风化粉砂质泥岩	3.0	1.0	1190

	3.6	0.6	1194
ZK17 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
人工填土	1.0	1.0	146
强风化粉砂质泥岩	2.0	1.0	474
中风化粉砂质泥岩	3.0	1.0	1125
ZK18 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
人工填土	1.0	1.0	135
	2.0	1.0	147
强风化粉砂质泥岩	2.2	0.2	488
中风化粉砂质泥岩	2.9	0.7	1118
ZK19 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
耕土	1.0	1.0	137
	1.1	0.1	139
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.9	470
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1132
	3.5	1.0	1138
	4.0	0.5	1143
ZK20 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
耕土	1.0	1.0	130
	1.6	0.6	133
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.4	477
中风化粉砂质泥岩	3.0	1.0	1175
ZK21 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
耕土	1.0	1.0	141
	1.2	0.2	143
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.8	463
	3.0	1.0	472
中风化粉砂质泥岩	4.0	1.0	1117
ZK22 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
耕土	1.0	1.0	126
	2.0	1.0	132
	2.1	0.1	137
强风化粉砂质泥岩	3.0	0.9	485
中风化粉砂质泥岩	4.0	1.0	1138
ZK23 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
耕土	1.0	1.0	136
	1.5	0.5	140
	2.0	0.5	144
中风化砂岩	2.5	0.5	1326
	3.1	0.6	1346
中风化粉砂质泥岩	4.0	0.9	1176
ZK24 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_S (m/s)
耕土	1.0	1.0	137
强风化粉砂质泥岩	2.0	1.0	468
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1155

	3.5	1.0	1162
	4.0	0.5	1169
ZK25 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	141
	1.4	0.4	142
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.6	474
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1203
	3.5	1.0	1208
	4.0	0.5	1213
ZK26 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	135
	1.5	0.5	139
	2.0	0.5	143
强风化粉砂质泥岩	2.4	0.4	470
中风化粉砂质泥岩	3.0	0.6	1183
	3.7	0.7	1192
\ZK27 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	130
	2.0	1.0	136
	2.4	0.4	141
强风化粉砂质泥岩	3.0	0.6	483
中风化粉砂质泥岩	4.0	1.0	1169
ZK28 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	133
	1.2	0.2	133
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.8	487
	2.4	0.4	493
中风化粉砂质泥岩	3.0	0.6	1225
	3.8	0.8	1235
ZK29 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	135
	1.2	0.2	135
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.8	476
	2.2	0.2	478
中风化粉砂质泥岩	3.0	0.8	1212
	4.0	1.0	1218
ZK30 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	135
	1.5	0.5	139
	2.0	0.5	142
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1102
	3.5	1.0	1107
	4.0	0.5	1106
ZK31 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
强风化粉砂质泥岩	1.0	1.0	475
	1.5	0.5	478

	2.0	0.5	481
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1105
中风化粉砂质泥岩	3.5	1.0	1107
	4.0	0.5	1112
ZK32 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
人工填土	1.0	1.0	144
	2.0	1.0	147
	2.9	0.9	150
中风化砂岩	3.5	0.6	1364
	4.0	0.5	1372
ZK33 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	133
强风化砂岩	2.0	1.0	488
中风化砂岩	2.5	0.5	1405
	3.5	1.0	1421
	4.5	1.0	1410
	5.0	0.5	1415
ZK34 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	135
	1.3	0.3	135
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.7	470
中风化粉砂质泥岩	3.0	1.0	1189
ZK35 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	144
	1.1	0.1	144
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.9	473
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1172
	3.5	1.0	1173
	4.0	0.5	1176
ZK36 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	138
	1.5	0.5	141
	2.0	0.5	144
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1115
	3.5	1.0	1120
	4.0	0.5	1125
ZK37 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
人工填土	1.0	1.0	144
	1.5	0.5	147
	2.0	0.5	150
中风化砂岩	2.5	0.5	1335
	3.5	1.0	1355
	4.3	0.8	1365
ZK38 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	138

	1.2	0.2	139
强风化粉砂质泥岩	2.0	0.8	469
中风化粉砂质泥岩	3.0	1.0	1180
ZK39 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	135
强风化粉砂质泥岩	2.0	1.0	480
中风化粉砂质泥岩	2.5	0.5	1170
	3.5	1.0	1174
	4.0	0.5	1178
ZK40 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
人工填土	1.0	1.0	138
中风化砂岩	1.5	0.5	1277
中风化粉砂质泥岩	2.0	0.5	1166
	3.0	1.0	1169
	4.0	1.0	1172
ZK41 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
人工填土	1.0	1.0	144
强风化粉砂质泥岩	1.6	0.6	489
	2.4	0.8	495
中风化粉砂质泥岩	3.0	0.6	1177
	4.0	1.0	1189
ZK42 号钻孔			
岩土名称	深度(m)	层厚(m)	V_s (m/s)
耕土	1.0	1.0	132
	2.0	1.0	134
	2.1	0.1	136
强风化粉砂质泥岩	3.0	0.9	488
中风化粉砂质泥岩	4.0	1.0	1160

6.3.5 等效剪切波速计算和场地类别划分

根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010, 2016 局部修订版) 第 4.1.5 条, 土层的等效剪切波速应按下式计算:

$$v_{se} = d_0 / t \quad t = \sum_{i=1}^n d_i / v_{si}$$

上式中: v_{se} ——土层等效剪切波速;

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;

v_{si} ——计算深度范围内第 i 土层的剪切波速;

n ——计算深度范围内土层的分层数。

由上式可求得场地各孔的土层等效剪切波速 (V_{se})。

根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010, 2016 局部修订版) 第 4.1.6 条, 有关建筑物场地类别划分标准见表 6.3-2, 目标区为 I_1 类场地。判别结果见表 6.3-3, 场地类别分区图见图 6.3-1。

表 6.3-2 各类建筑场地的覆盖层厚度 (m)

岩石的剪切波速或 土的等效剪切波速 (m/s)	场地类别				
	I 0	I 1	II	III	IV
$V_s > 800$	0				
$800 \geq V_s > 500$		0			
$500 \geq V_{se} > 250$		< 5	≥ 5		
$250 \geq V_{se} > 150$		< 3	3~50	> 50	
$V_{se} \leq 150$		< 3	3~15	15~80	> 80

表 6.3-3 场地建筑类别判别结果

钻孔	等效剪切波 速度 (m/s)	覆盖层厚度 (m)	场地类别
ZK1	194	1.8	I 1
ZK2	260	3.0	I 1
ZK3	254	3.0	I 1
ZK4	478	1.0	I 1
ZK5	465	1.0	I 1

ZK6	471	2.4	I 1
ZK7	478	2.0	I 1
ZK8	171	3.0	I 1
ZK9	195	1.6	I 1
ZK10	156	2.6	I 1
ZK11	263	3.0	I 1
ZK12	207	2.0	I 1
ZK13	466	1.8	I 1
ZK14	473	2.0	I 1
ZK15	468	2.0	I 1
ZK16	192	2.0	I 1
ZK17	223	2.0	I 1
ZK18	151	2.2	I 1
ZK19	202	2.0	I 1
ZK20	155	2.0	I 1
ZK21	244	3.0	I 1
ZK22	167	3.0	I 1
ZK23	140	2.0	I 1
ZK24	212	2.0	I 1
ZK25	180	2.0	I 1
ZK26	157	2.4	I 1
ZK27	159	3.0	I 1
ZK28	209	2.4	I 1
ZK29	200	2.2	I 1
ZK30	139	2.0	I 1
ZK31	479	2.0	I 1
ZK32	147	2.9	I 1
ZK33	209	2.0	I 1
ZK34	186	2.0	I 1
ZK35	210	2.0	I 1
ZK36	141	2.0	I 1
ZK37	147	2.0	I 1
ZK38	193	2.0	I 1
ZK39	211	2.0	I 1
ZK40	138	1.0	I 1
ZK41	245	2.4	I 1
ZK42	171	3.0	I 1

从上表来看，目标区等效剪切波速在 139-479m/s，覆盖层厚度在 1-3m，场地类别为I₁类场地。

根据钻孔覆盖层厚度以及等效剪切波速，并结合目标区地形情况，可将目标区划分为I₁类场地一个区域（图 6.3-2）。

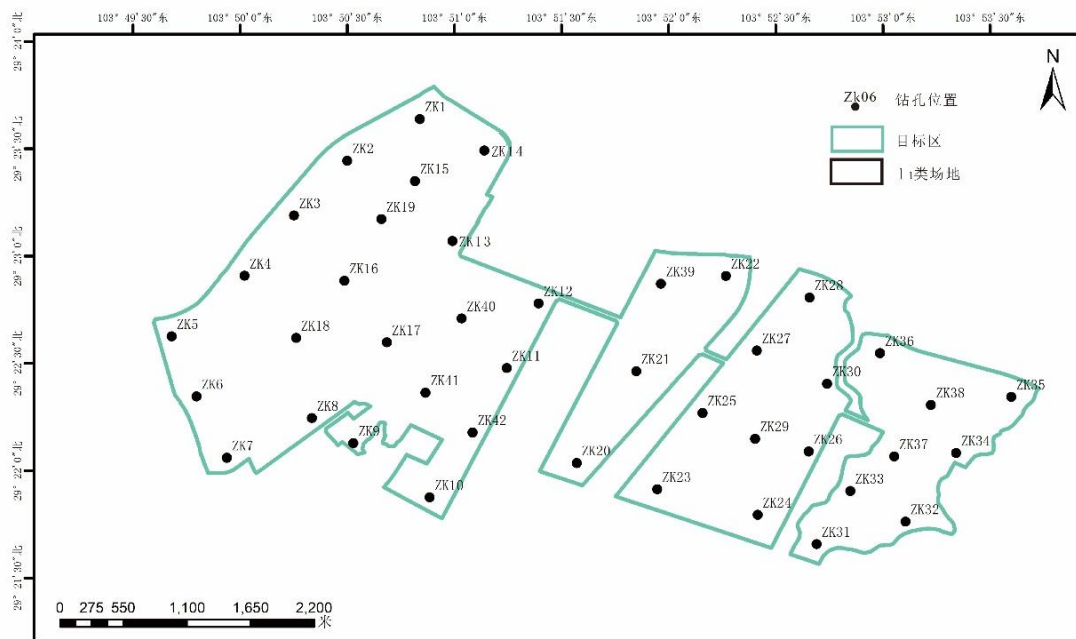


图 6.3-2 场地类别分区图

I₁类场地：

基岩区：为基岩分布区。基岩区为出露基岩区或者强风化带且小于 150m/s~250m/s 的剪切波速的层厚小于 3m，或等效剪切波速大于 250m/s 的厚度小于 5 米的地带。基岩主要由侏罗系沙溪庙组（J_{2s}）组成，基岩之上通常覆盖有厚度不超过 3m 的残坡积物。

综上所述：该目标区场地分类较为简单，为I₁类场地。

6.4 目标区地震工程地质条件综合评价

目标区位于乐山市五通桥区南东侧，距乐山市区约 20km，距五通桥城区约 3km，交通条件较好。目标区属构造剥蚀侵蚀浅丘地貌区，区内现状地面标高约 372.2~513.8m，相对高差约 141.6m。目标区地下水类型主要为上层滞水和基岩裂隙水，水文地质条件较简单。目标区地层主要为程场地主要由第四系人工填土层（Q_{4^{ml}}）、第四系耕植土（Q_{4^{pd}}）以及侏罗系中统沙溪庙组基岩（J_{2s}）。目标区内地层较为单一，岩层产状平缓，地层未见产状突变等现象，未见断层发育，地质构造稳定性良好。

目标区钻孔目标区等效剪切波速在 147-479m/s，覆盖层厚度在 1-3m，场地类别为I₁类场地。

第七章 目标区地震动参数的确定

本章将根据目标区工程地震条件均为基岩场地，直接采用地震危险性概率分析结果，得到目标区的场地地震动参数，包括峰值加速度、反应谱和时程。

7.1 目标区地震动参数的确定

地震影响系数或场地地震反应谱表示为:

$$\alpha(T) = \frac{PGA}{g} \cdot \beta(T) \quad (7.1-1)$$

式中， PGA 为场地地震峰值加速度，单位： cm/sec^2 ， g 为重力加速度，一般取 1000cm/sec^2 ， $\beta(T)$ 为场地地震加速度放大系数反应谱。为了便于抗震场地和验算使用，建议统一使用如下的反应谱形式：

$$\beta(T) = \begin{cases} 1 + (\beta_m - 1.0) \frac{T}{T_0} & 0 < T \leq T_0 \\ \beta_m & T_0 < T \leq T_g \\ \left(\frac{T_g}{T}\right)^c & T_g < T \leq T_m \end{cases} \quad (7.1-2)$$

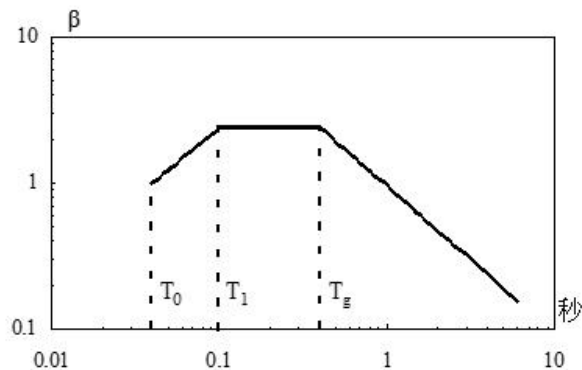


图 7.1-1 场地地震反应谱放大系数 $\beta(T)$

式中，上式中， T 为反应谱周期， β_{\max} 为规范反应谱最大值， T_g 为反应谱特征周期， γ 为衰减系数。 T_m 取值为 6s。场地地震反应谱的形式如图 7.1-1 所示。

Zk1-zk42 等所有钻孔为 I 类基岩场地，均不需要进行土层反应计算，直接按照场地地震动参数公式（7.1-1）对危险性结果进行规范拟合，最终确定了 42 个控制点的 50 年 63%、10%、2% 和 100 年 63%、10%、2%、1% 七个概率水准(阻尼比 5%)地表加速度峰值的计算结果，基于以上分析，综合确定得到各控制性钻孔场地的不同概率水准的地表场地地震动参数(阻尼比 5%)和规范反应谱曲线，分别如表 7.1.2 及图 7.1.2 所示。

表 7.3-2 场地场地地震反应谱参数表（5%阻尼比）

孔 位	概率水平	$A_m(ga1)$	β_m	α_{max}	$T_0(s)$	$T_g(s)$	γ
ZK01	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK02	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK03	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK04	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK05	50 年 63%	37	2.5	0.094	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK06	50 年 63%	37	2.5	0.094	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK07	50 年 63%	37	2.5	0.094	0.1	0.45	0.9

	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK08	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
ZK09	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
ZK10	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
ZK11	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
ZK12	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
ZK13	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9

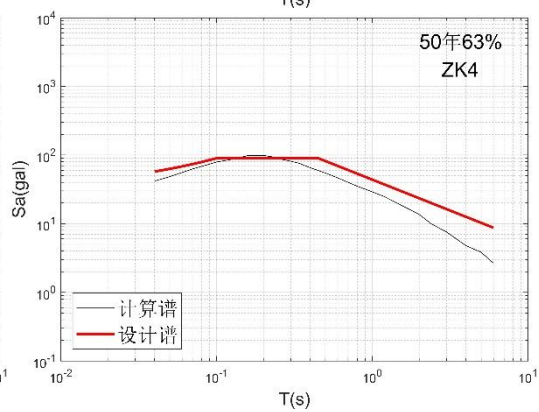
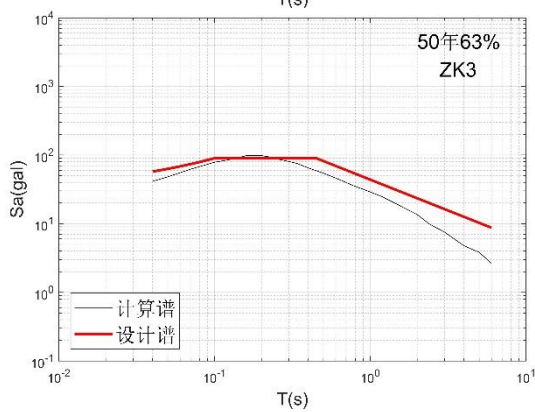
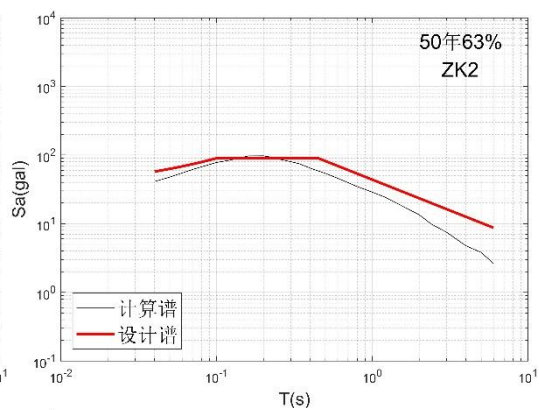
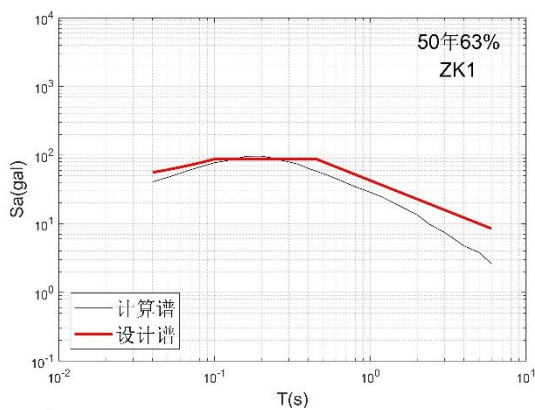
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK14	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK15	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK16	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK17	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK18	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK19	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK20	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9

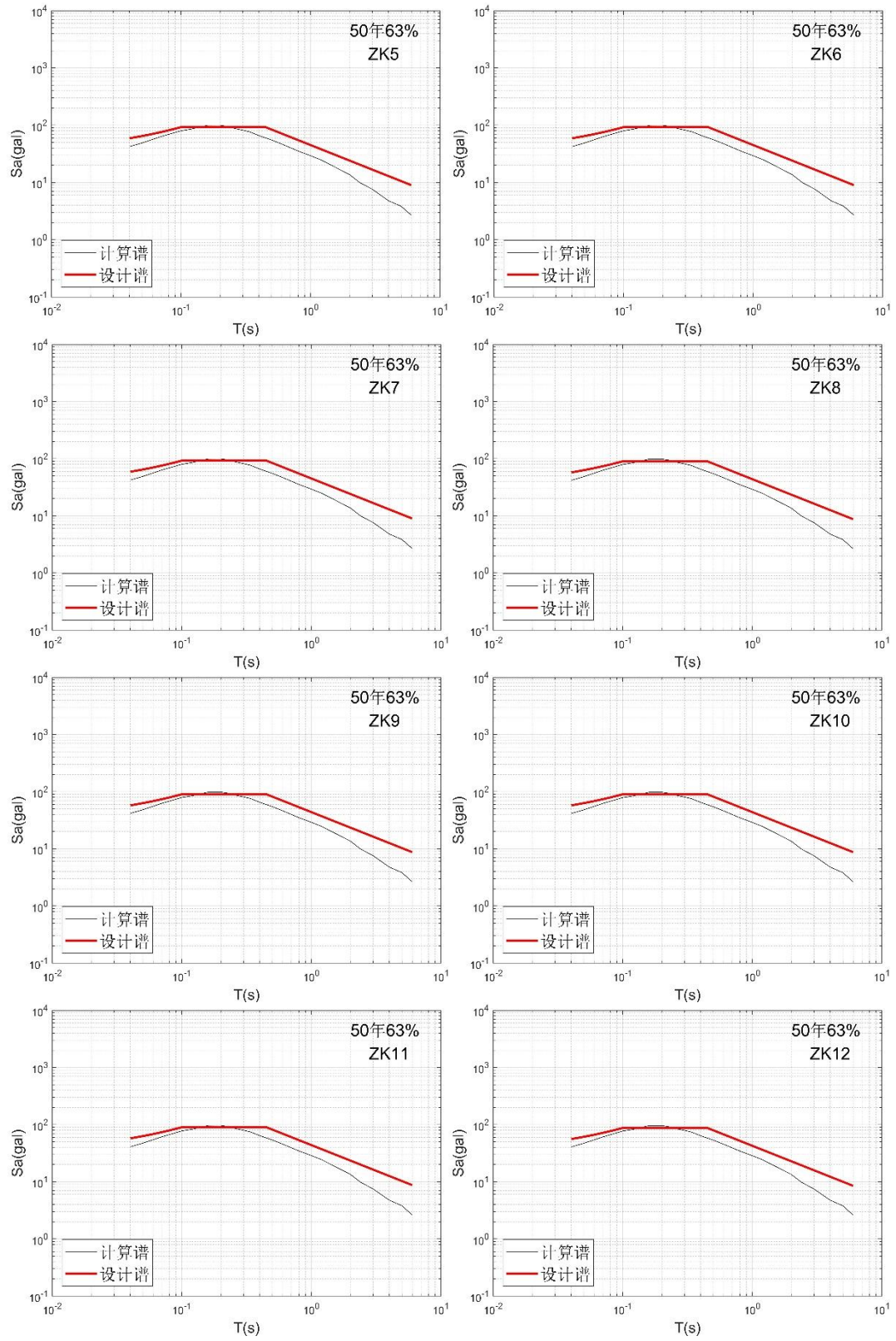
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK21	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK22	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK23	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK24	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK25	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK26	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK27	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9

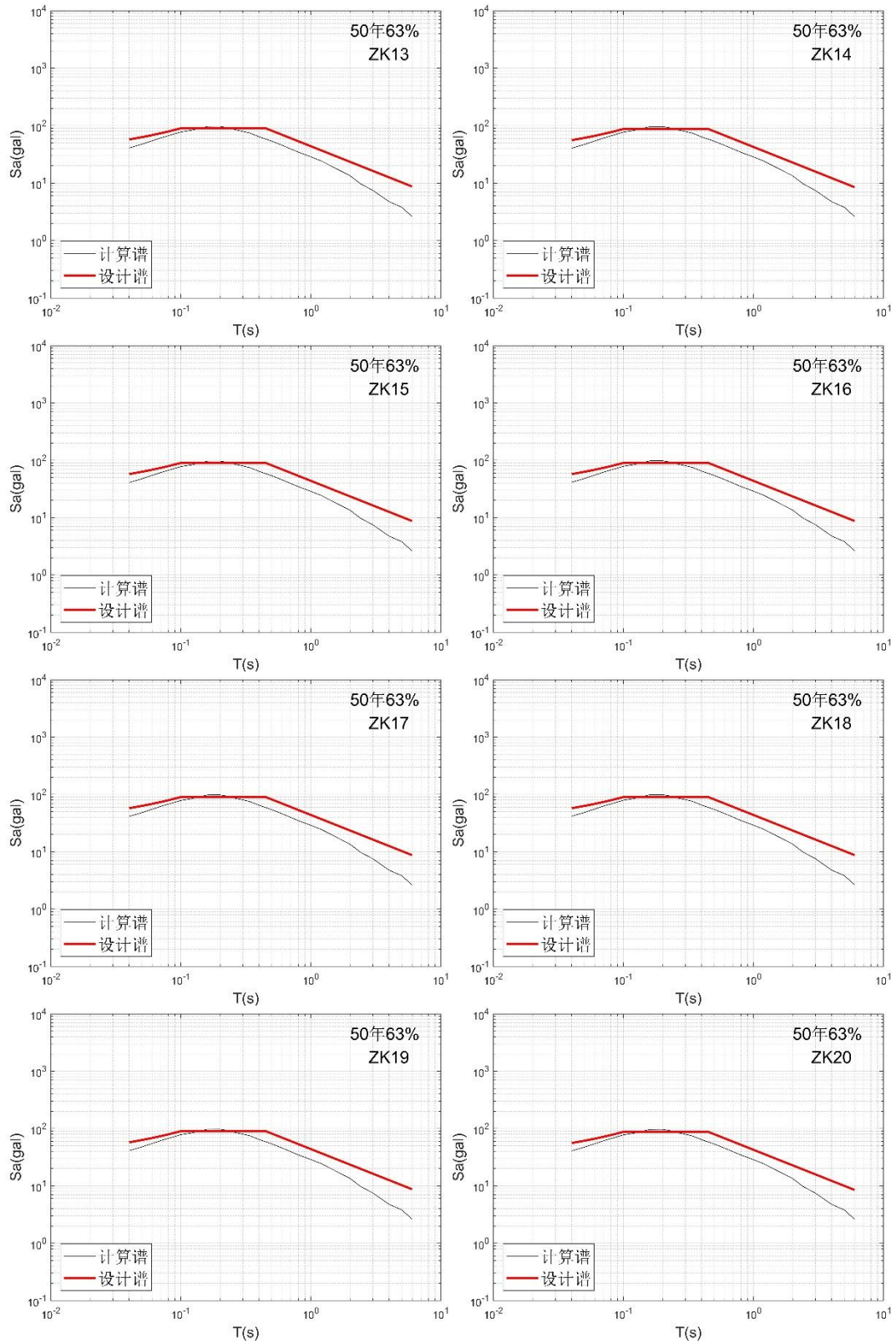
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK28	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK29	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK30	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK31	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK32	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK33	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9

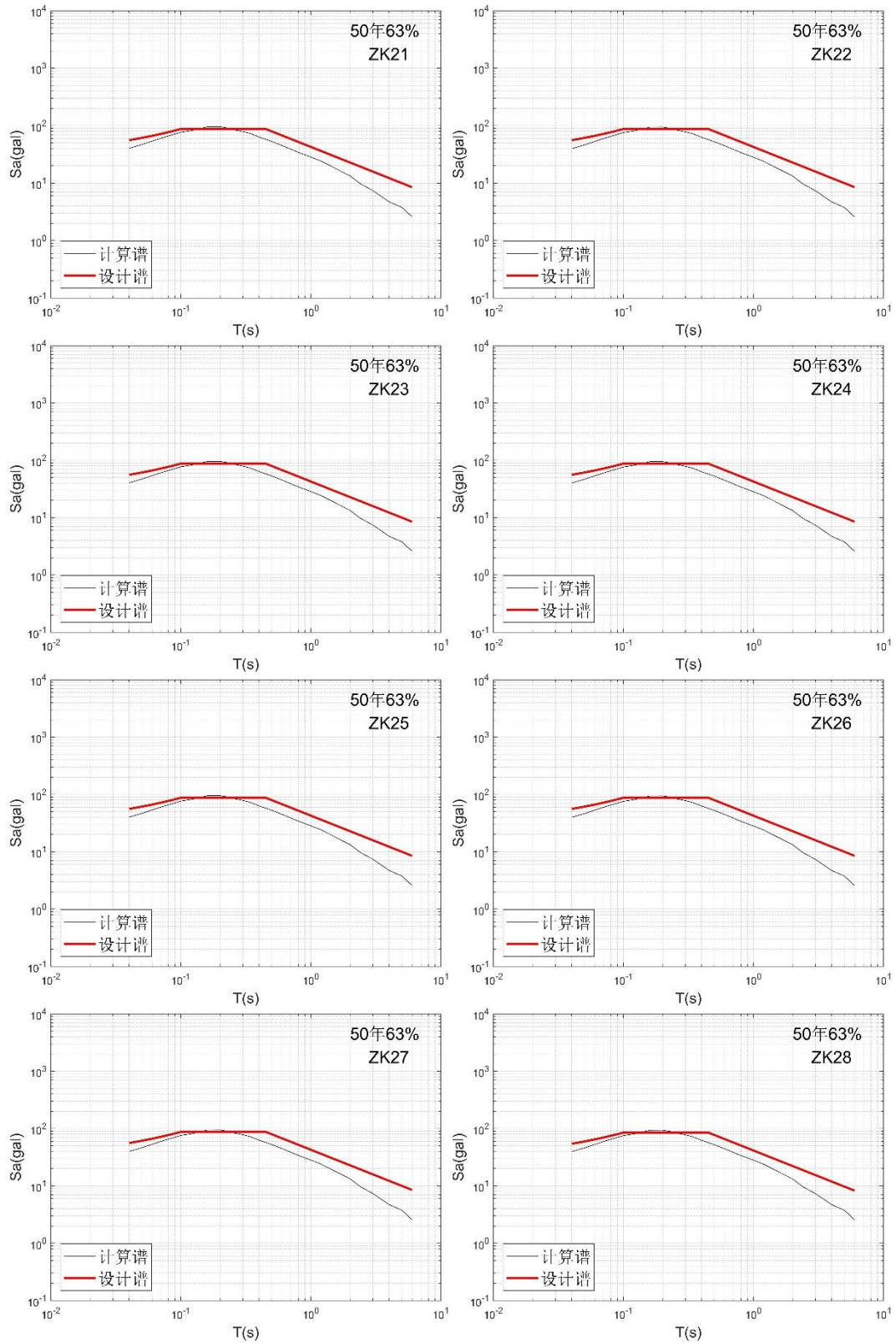
ZK34	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK35	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK36	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK37	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK38	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK39	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK40	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9

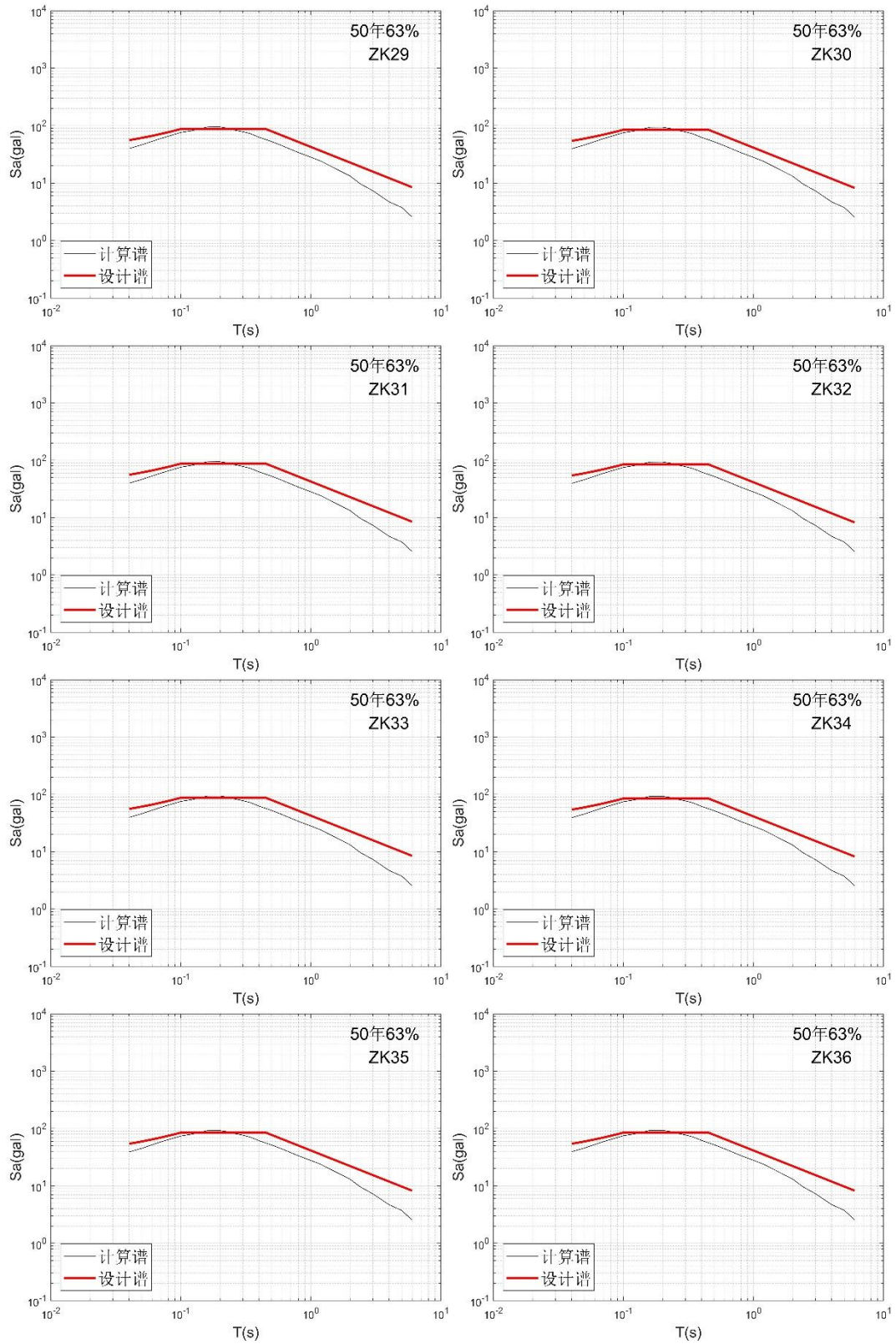
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK41	50年63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50年10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50年2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK42	50年63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50年10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50年2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9

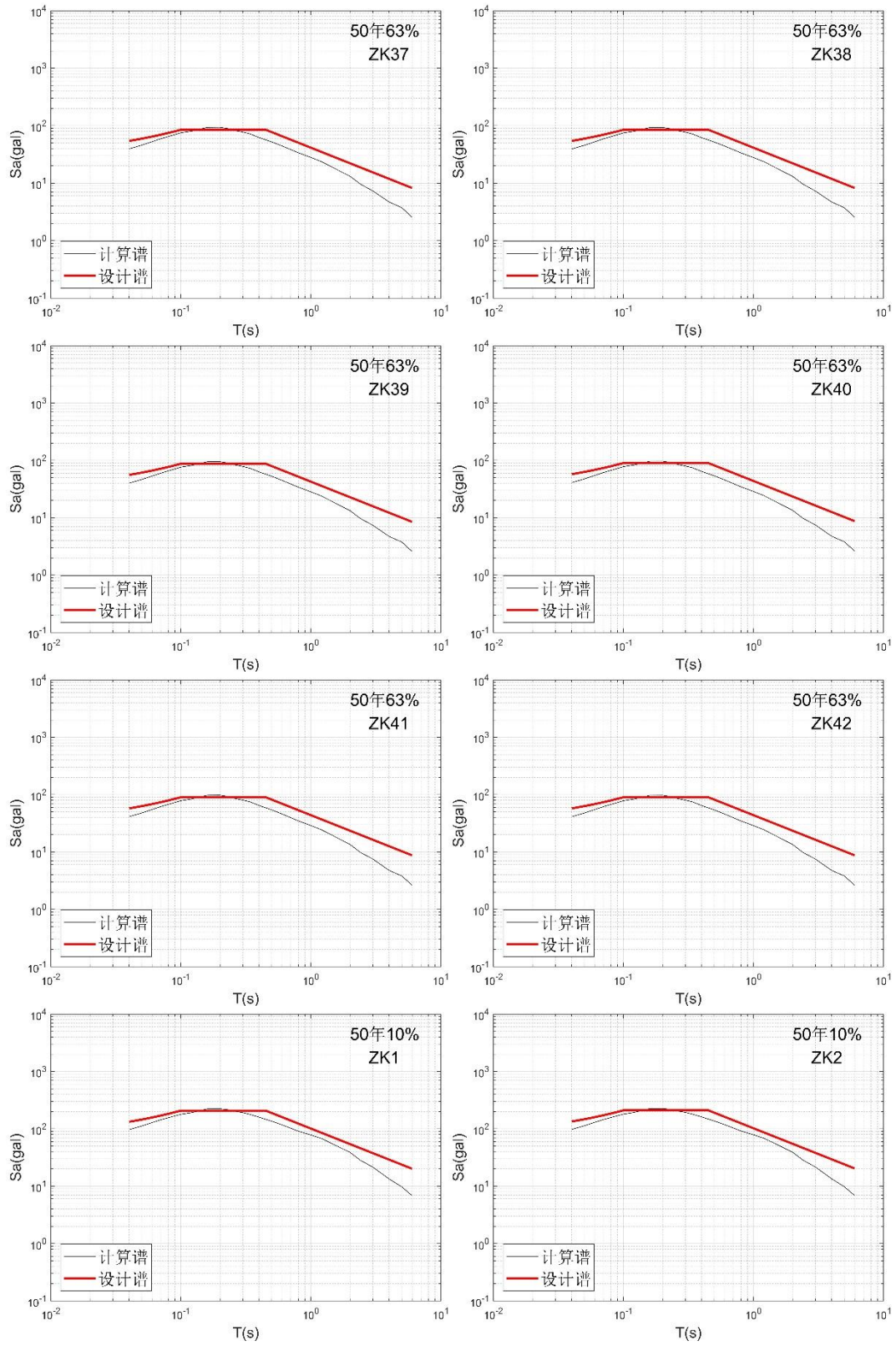


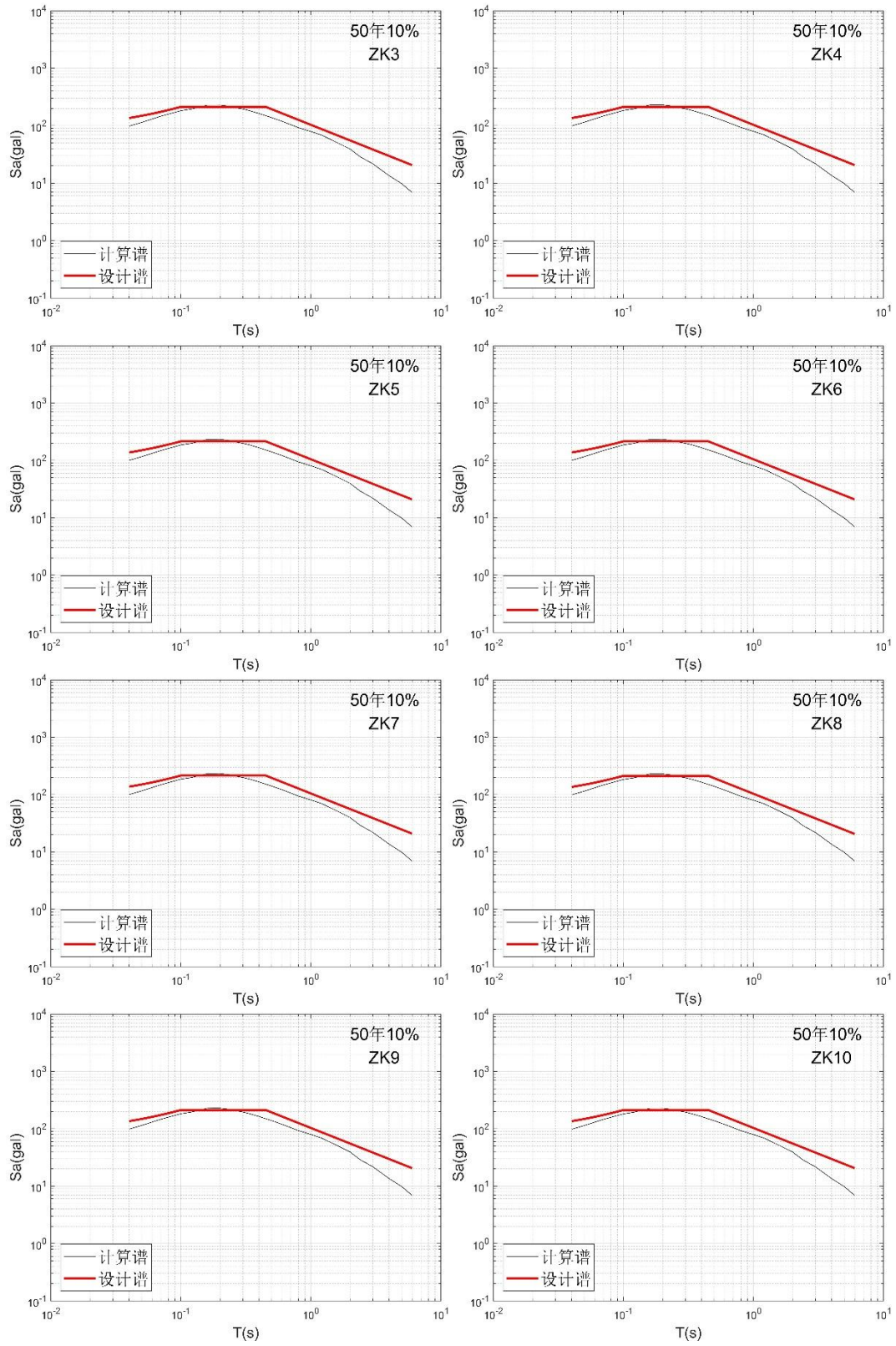


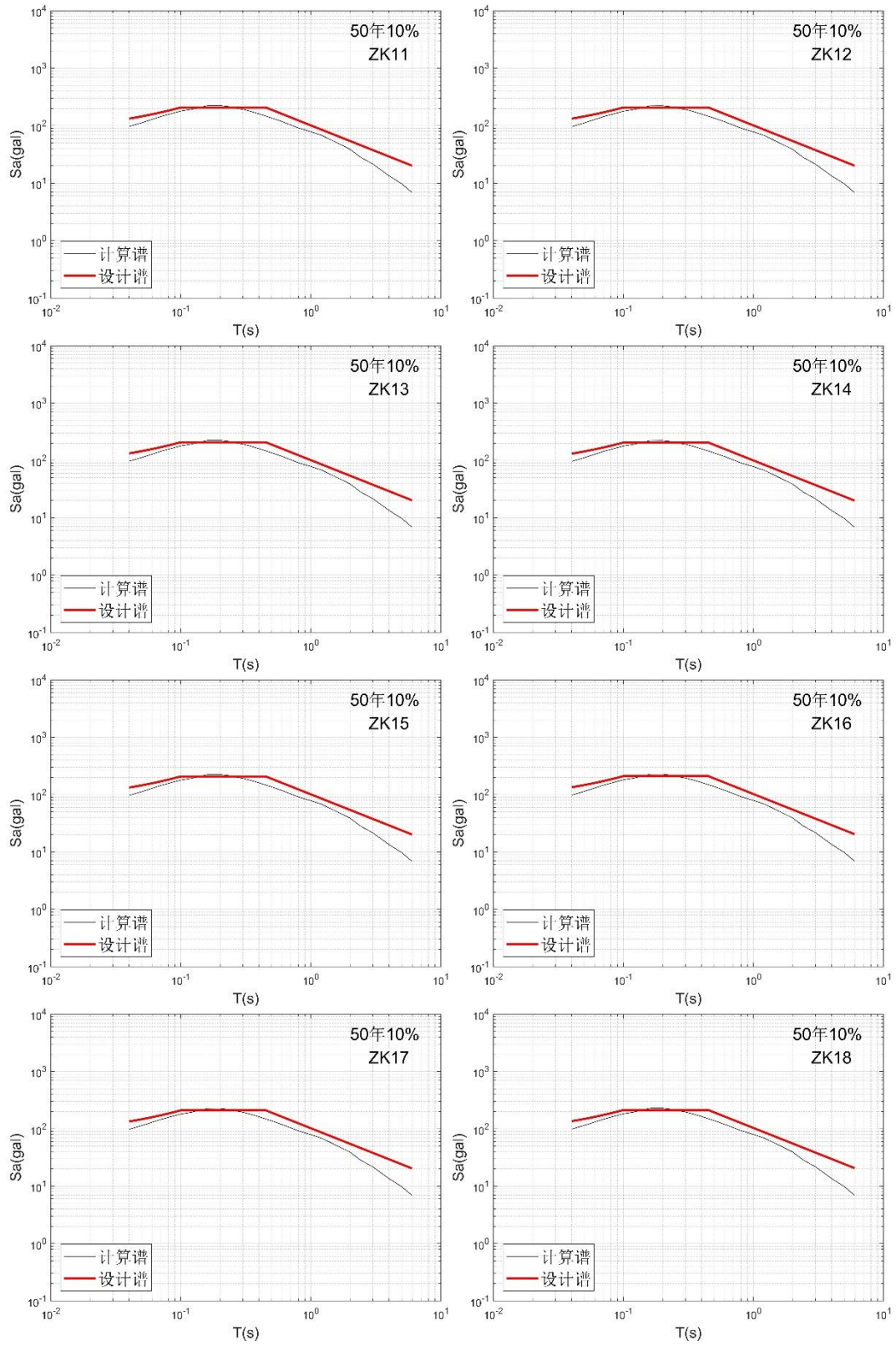


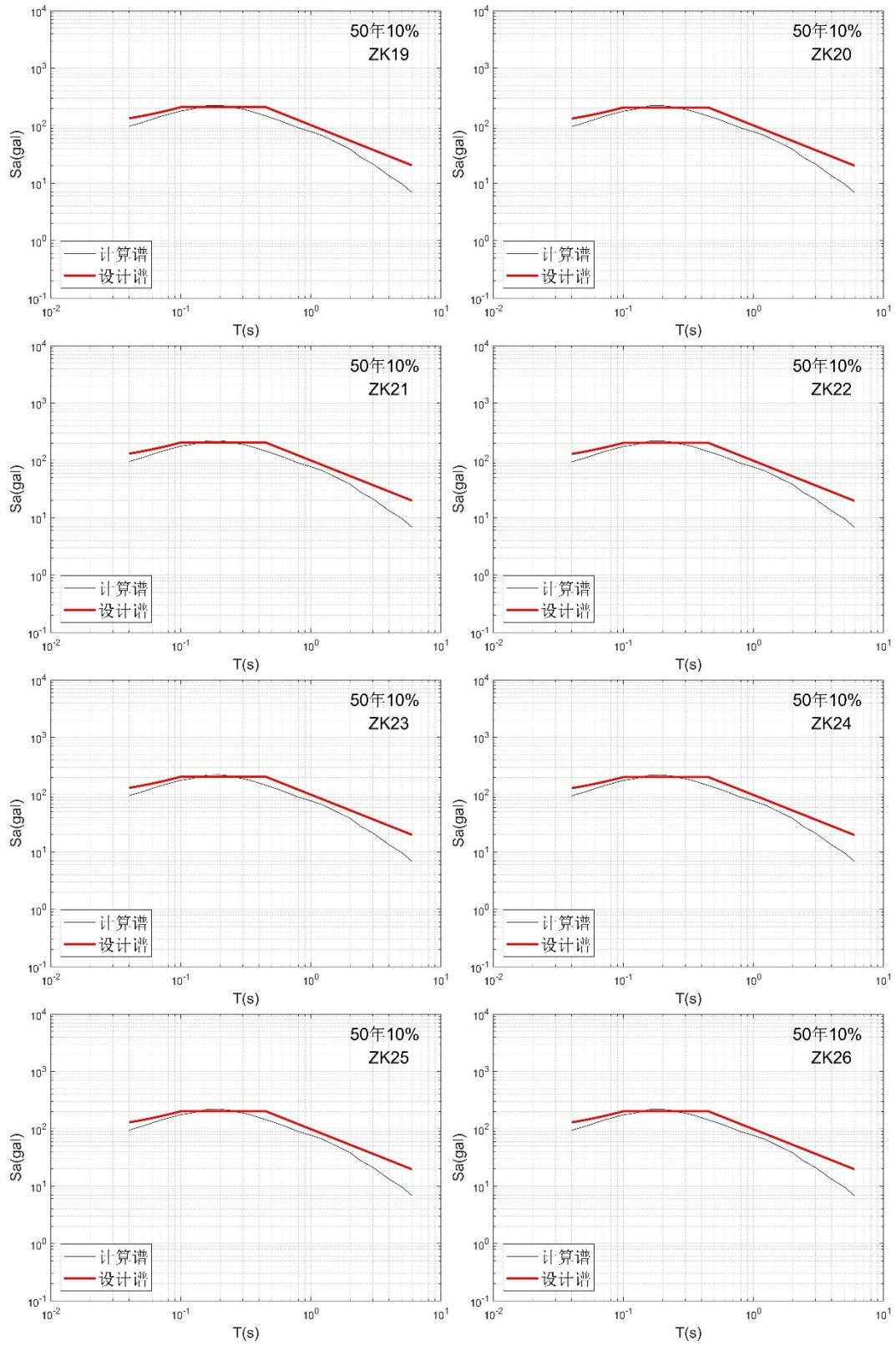


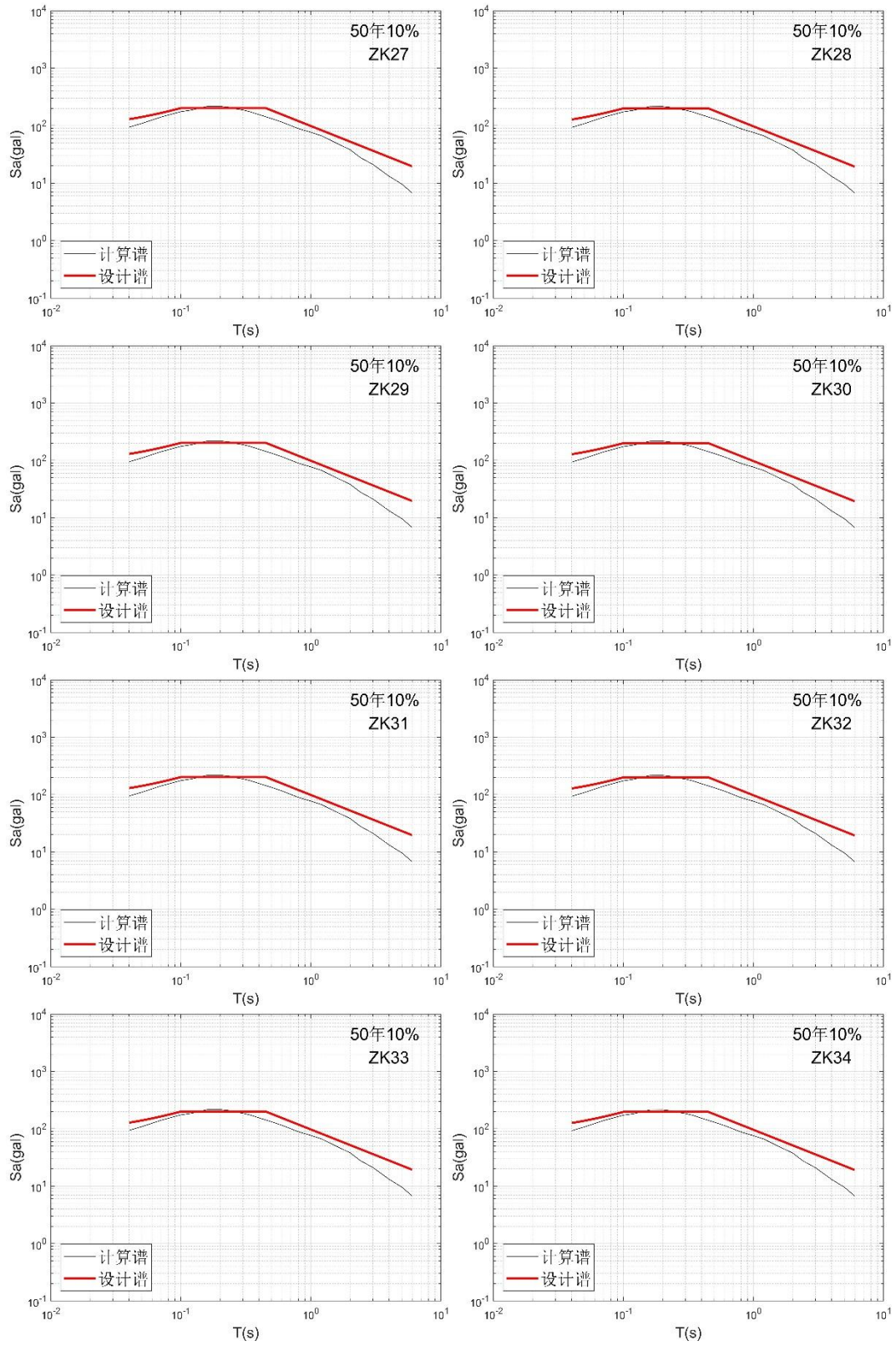


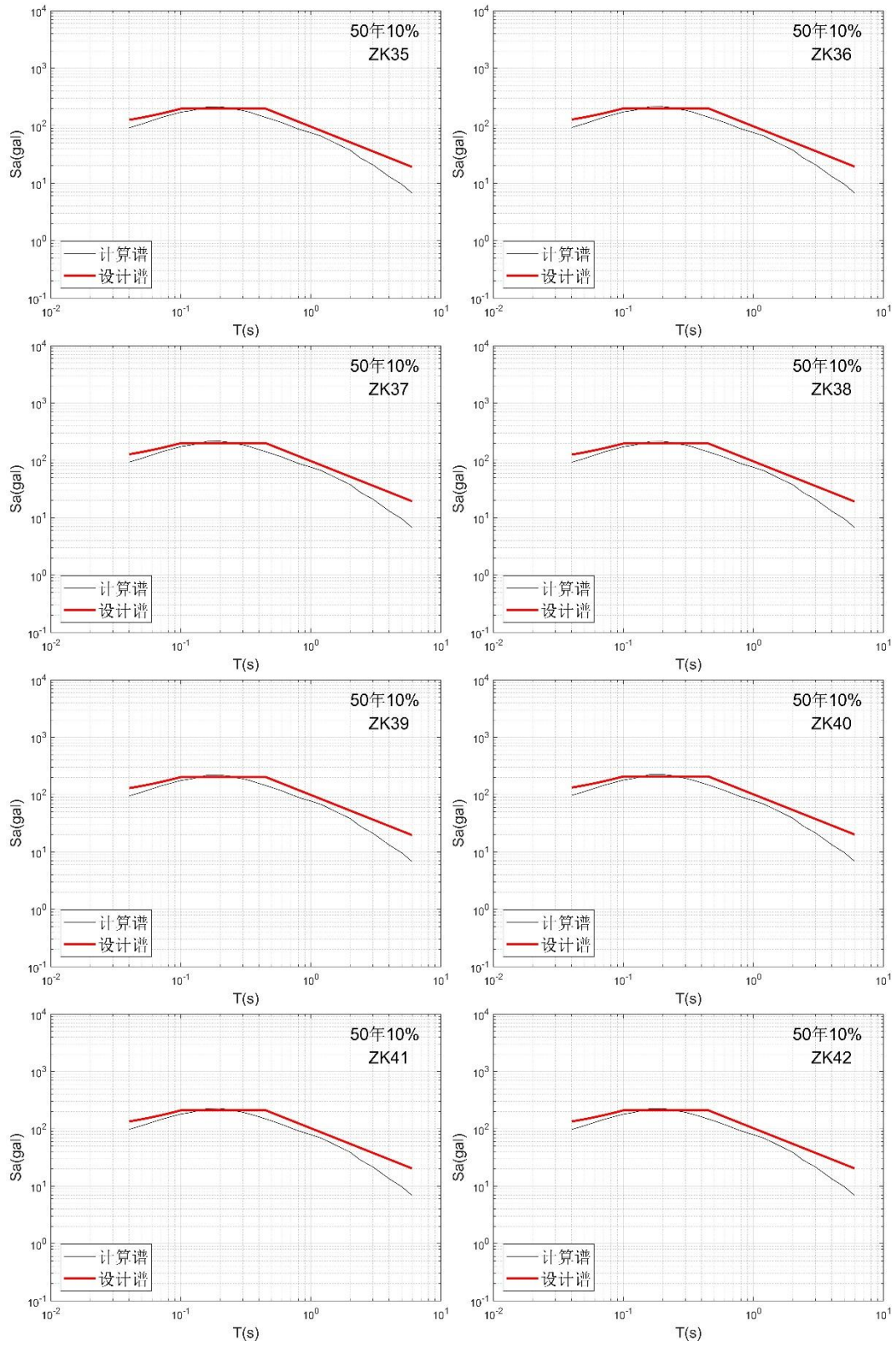


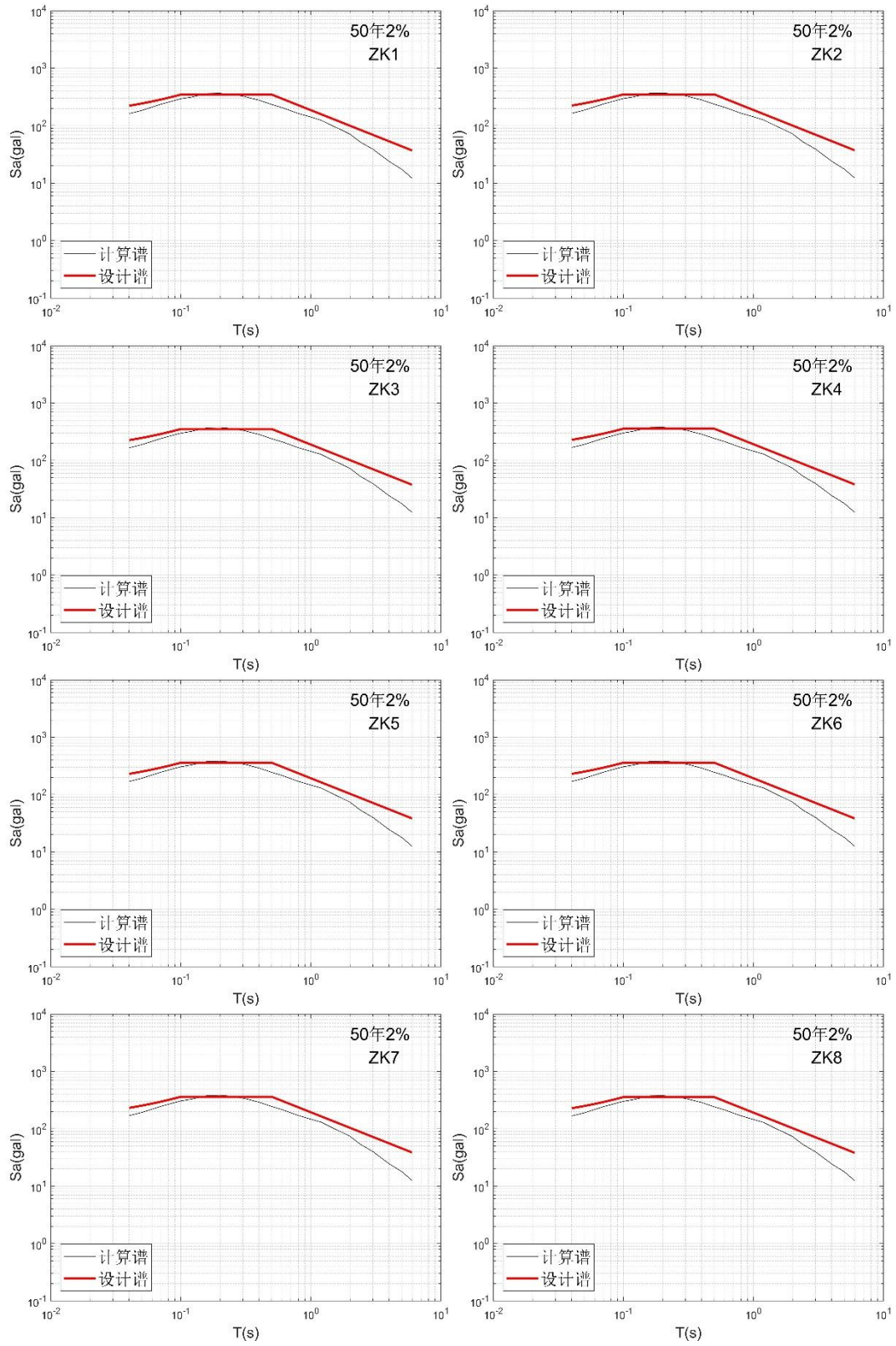


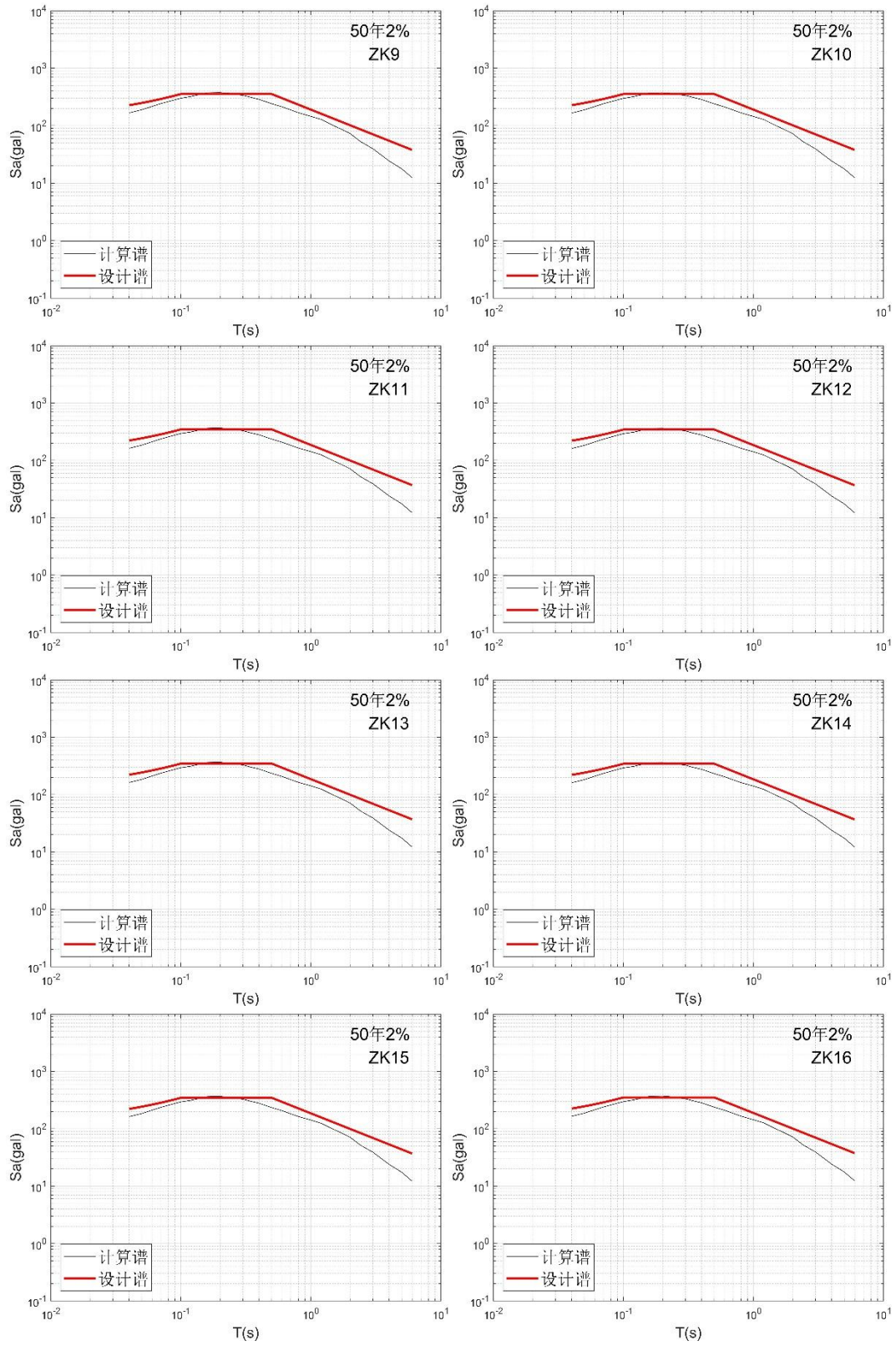


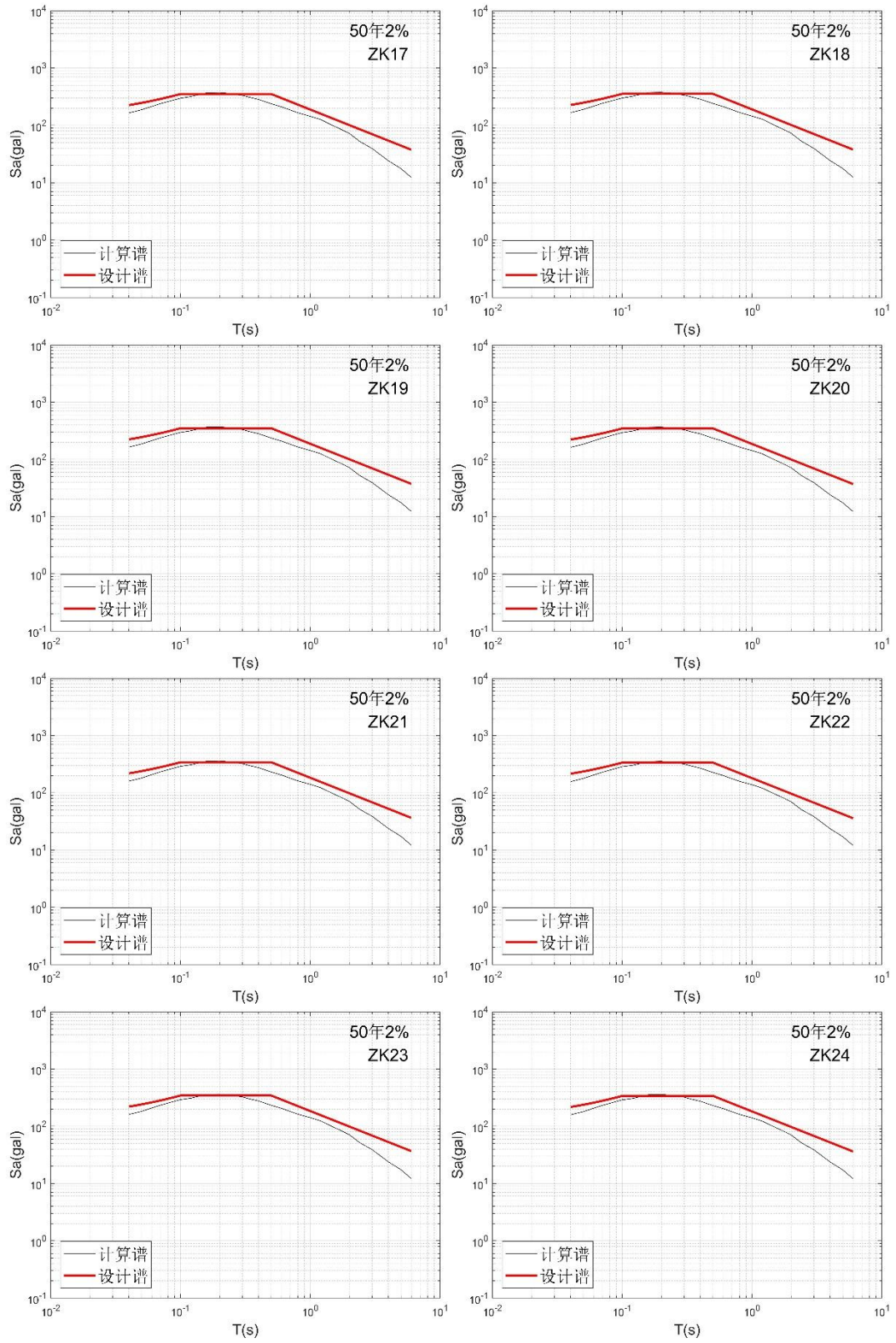


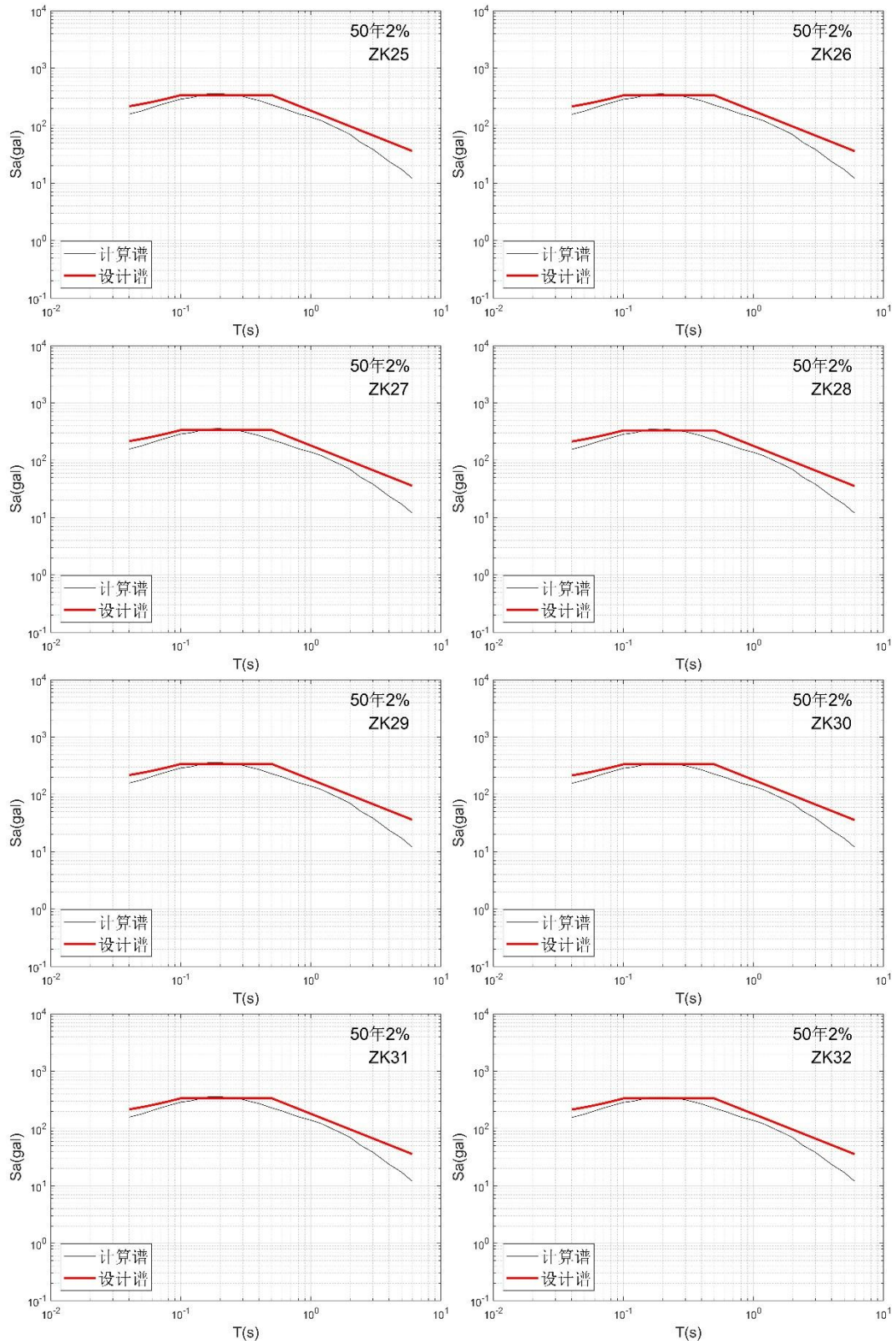


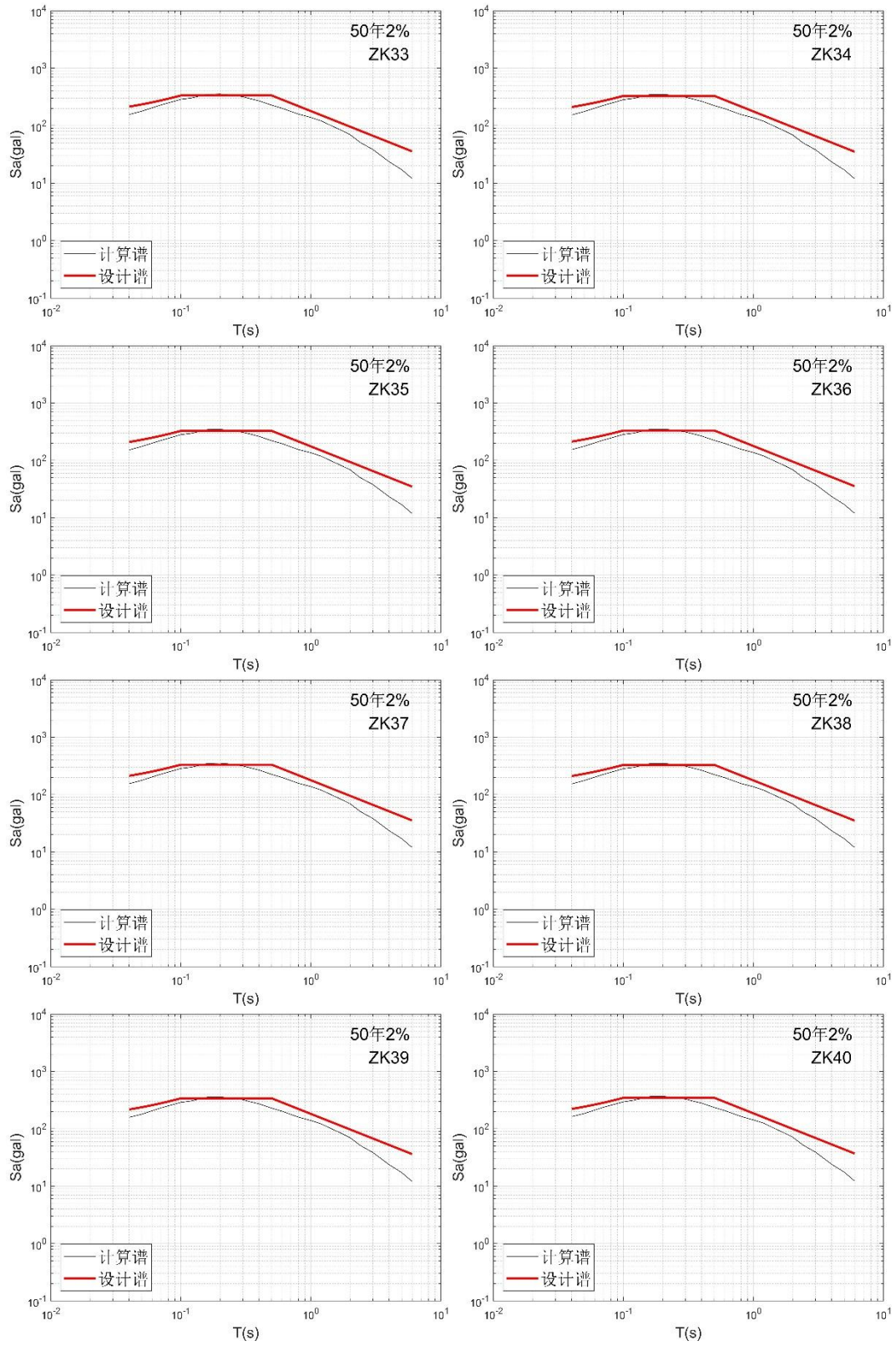


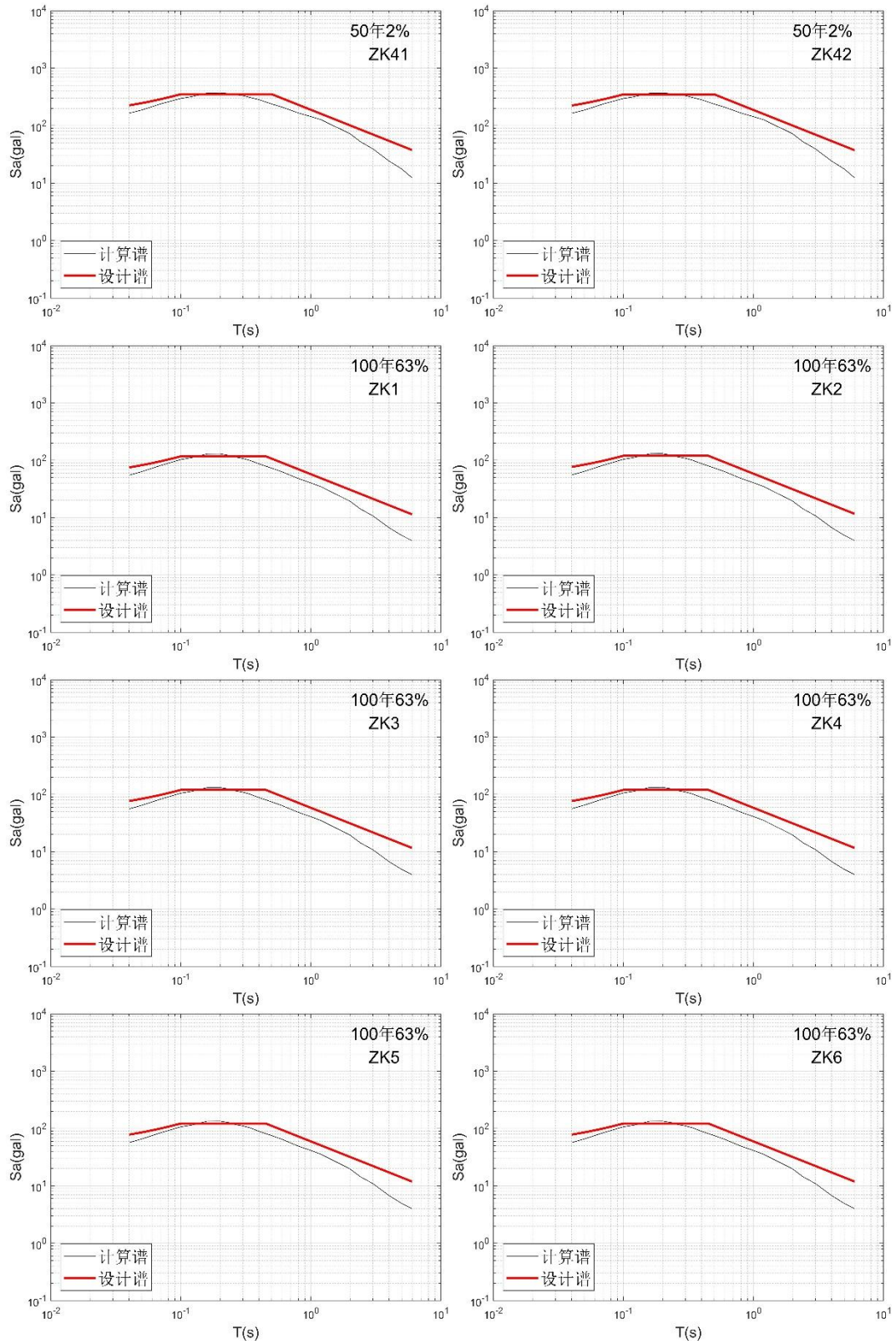


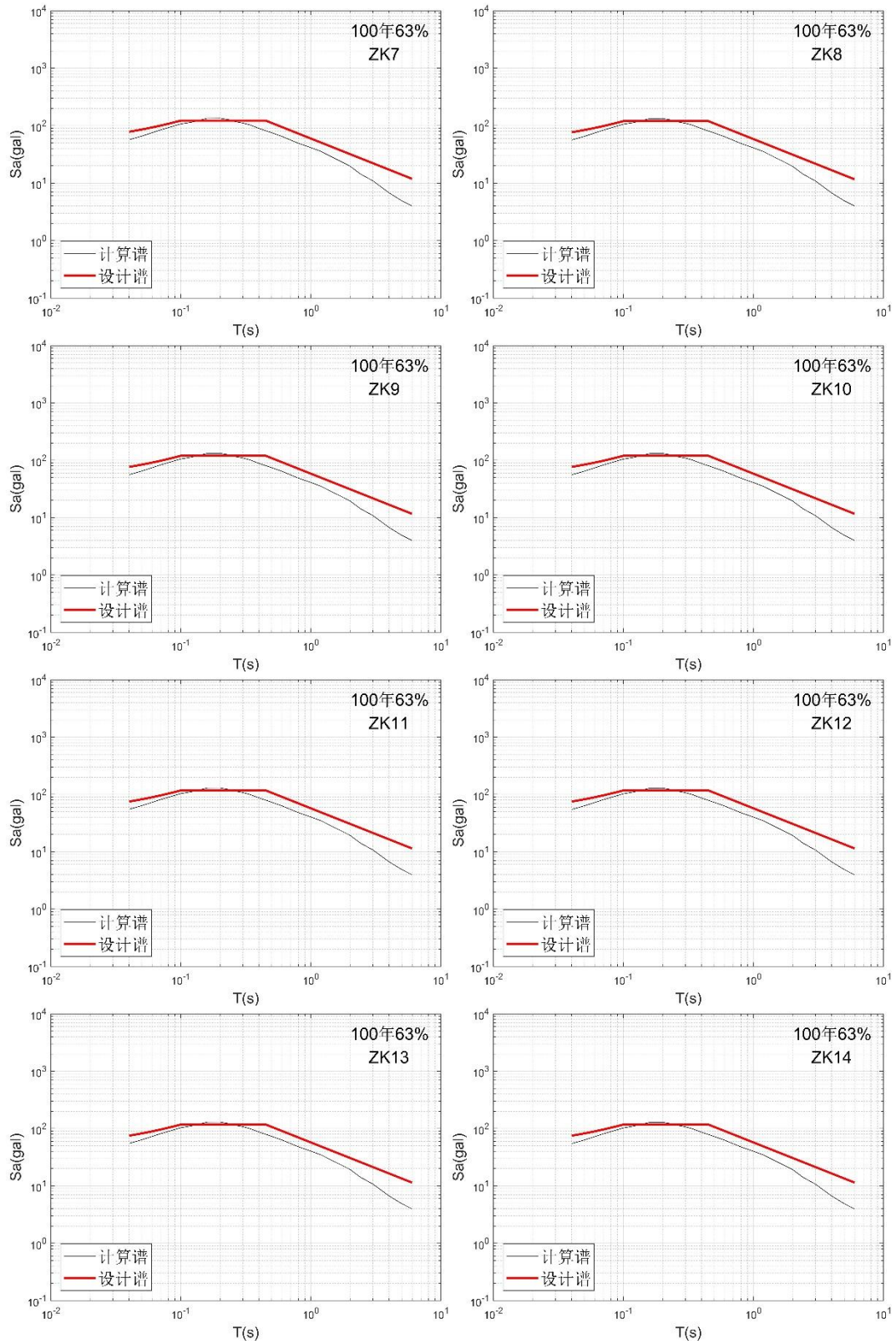


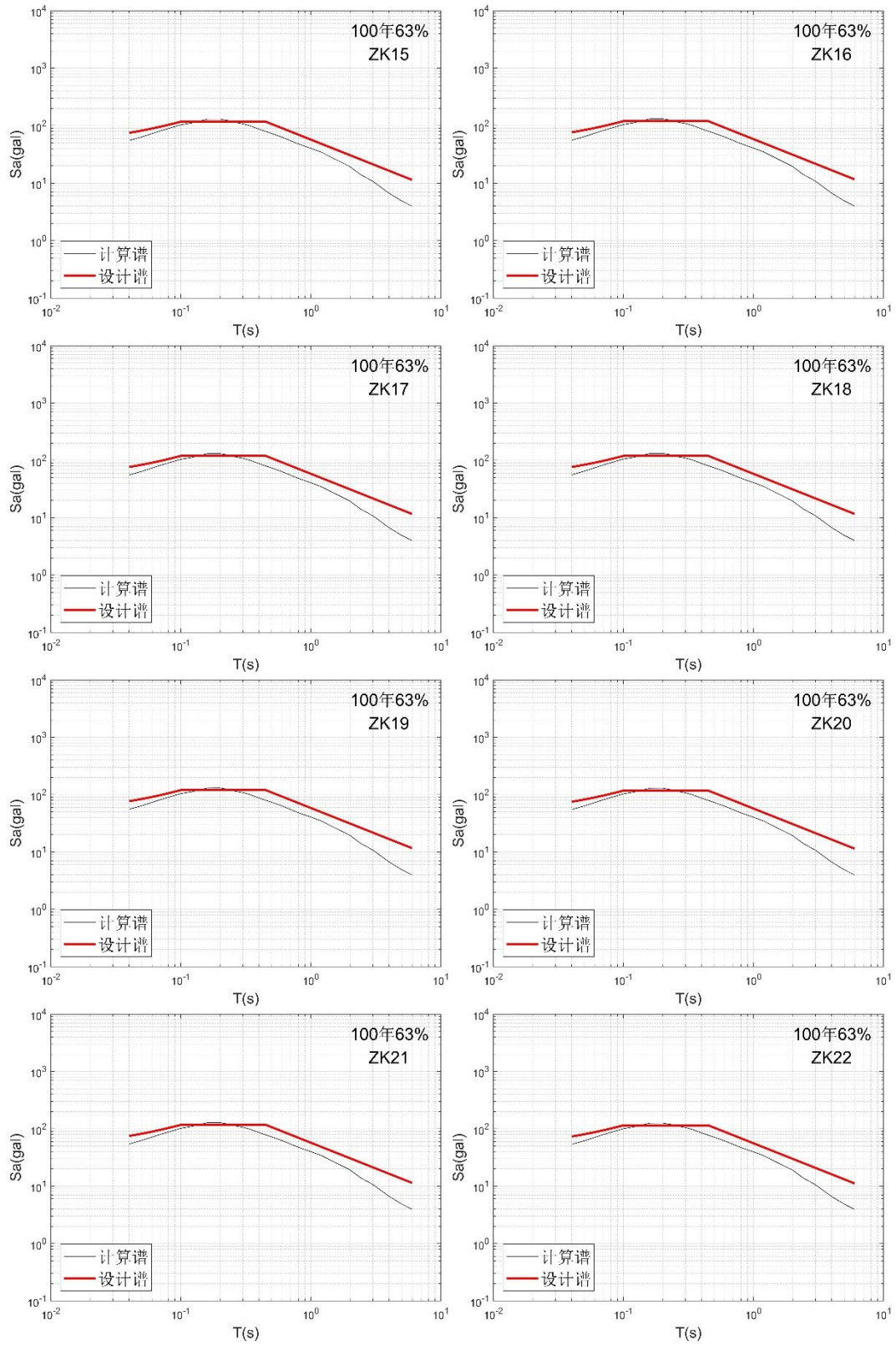


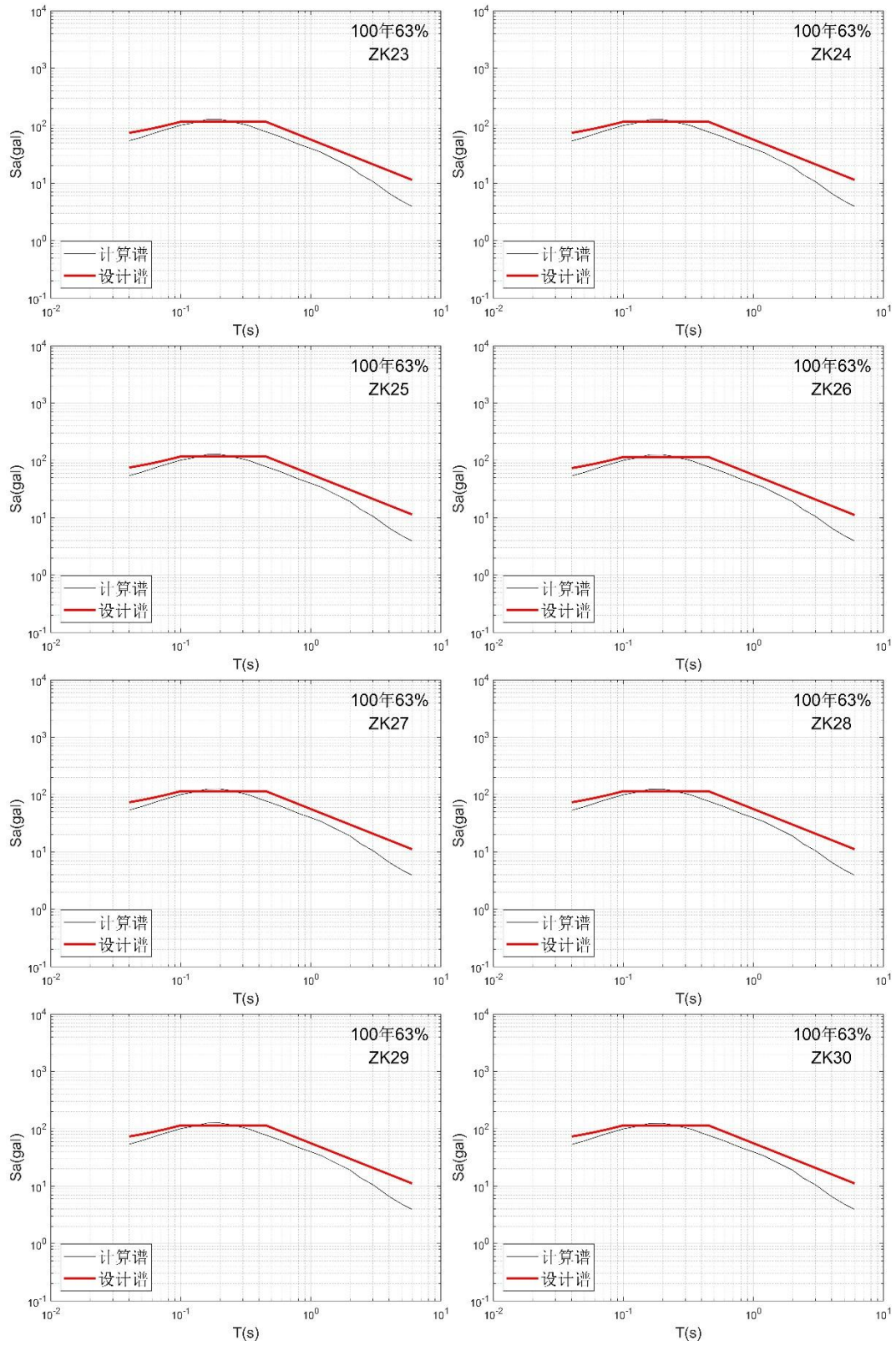


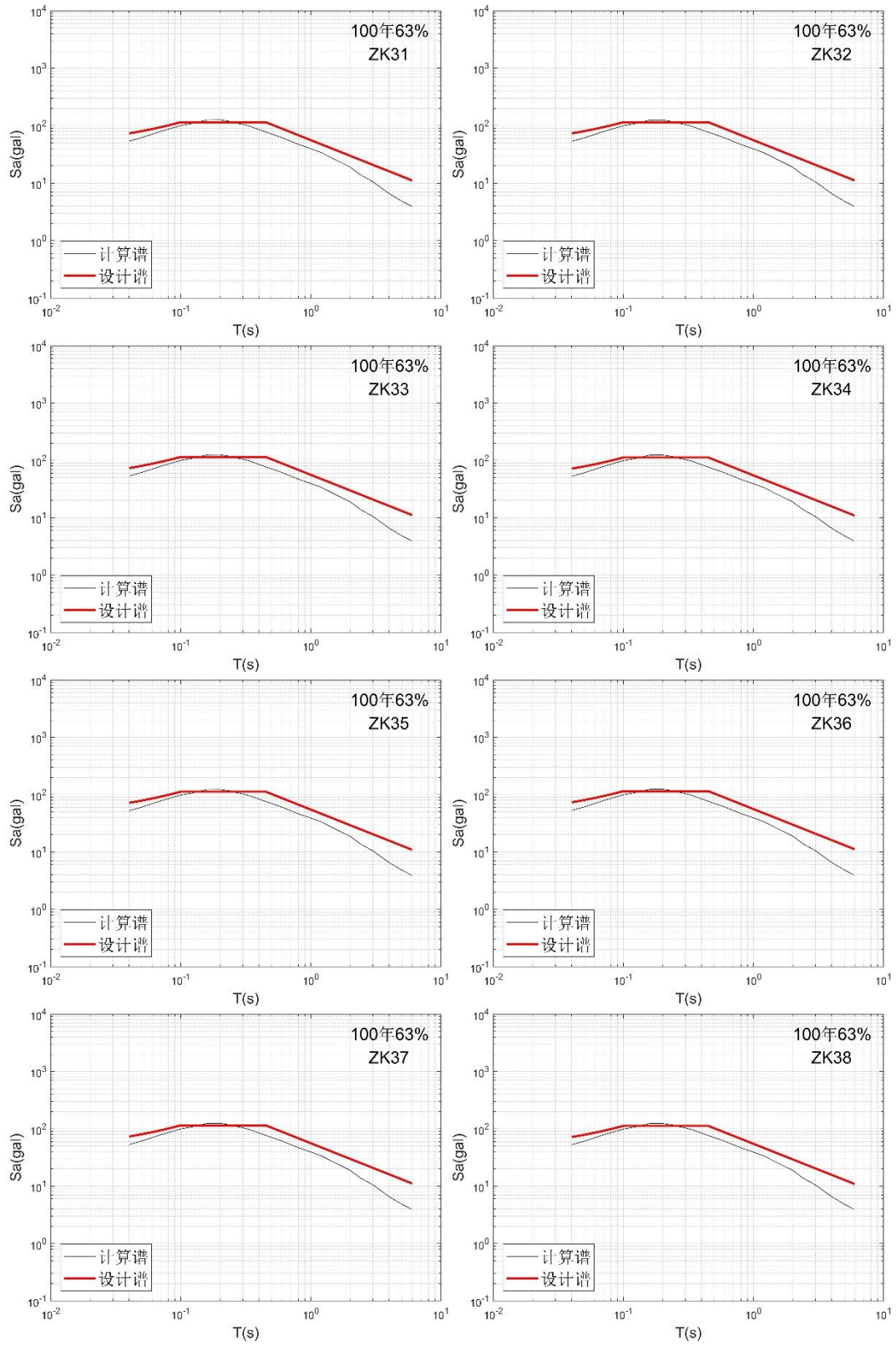


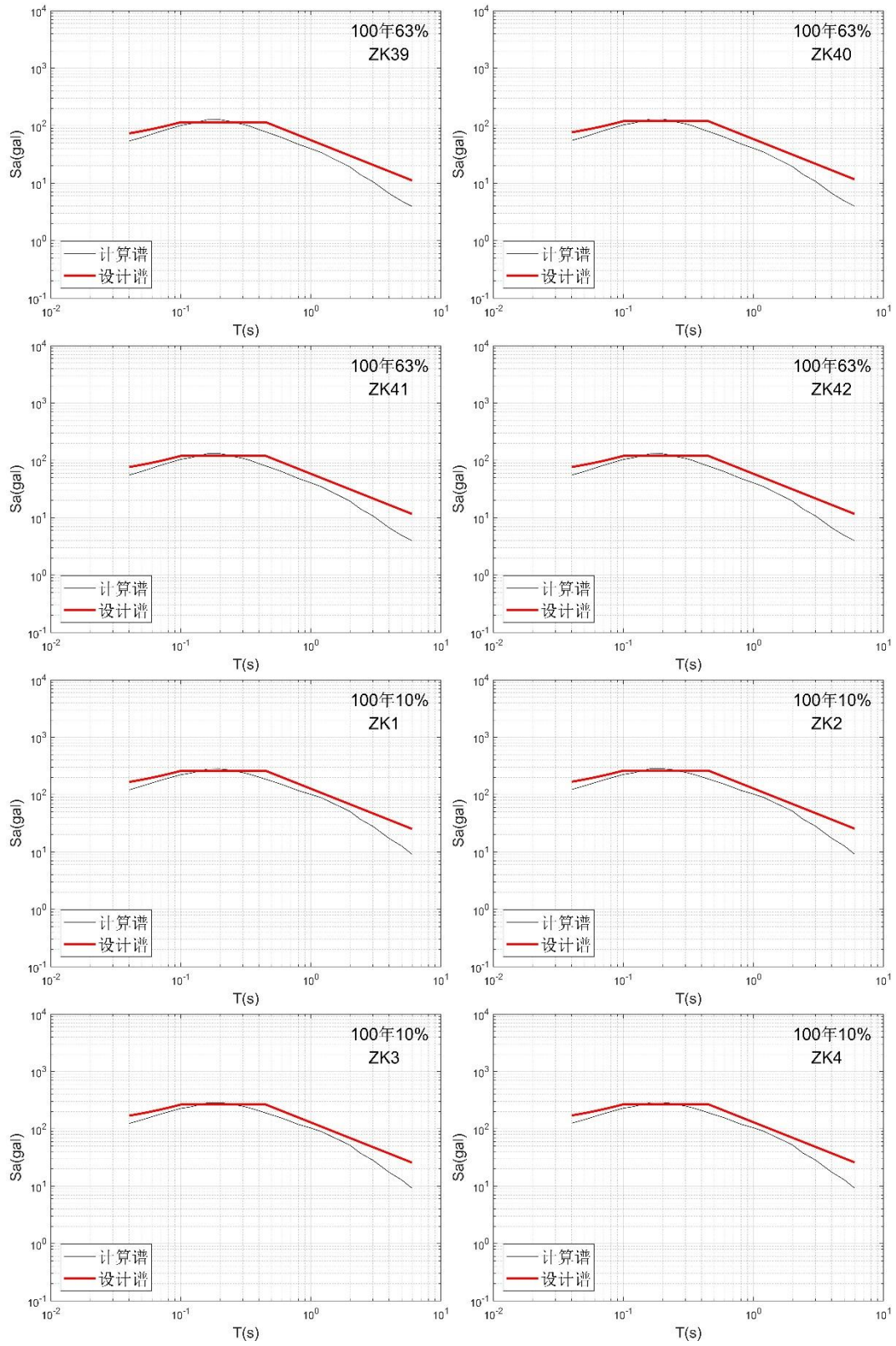


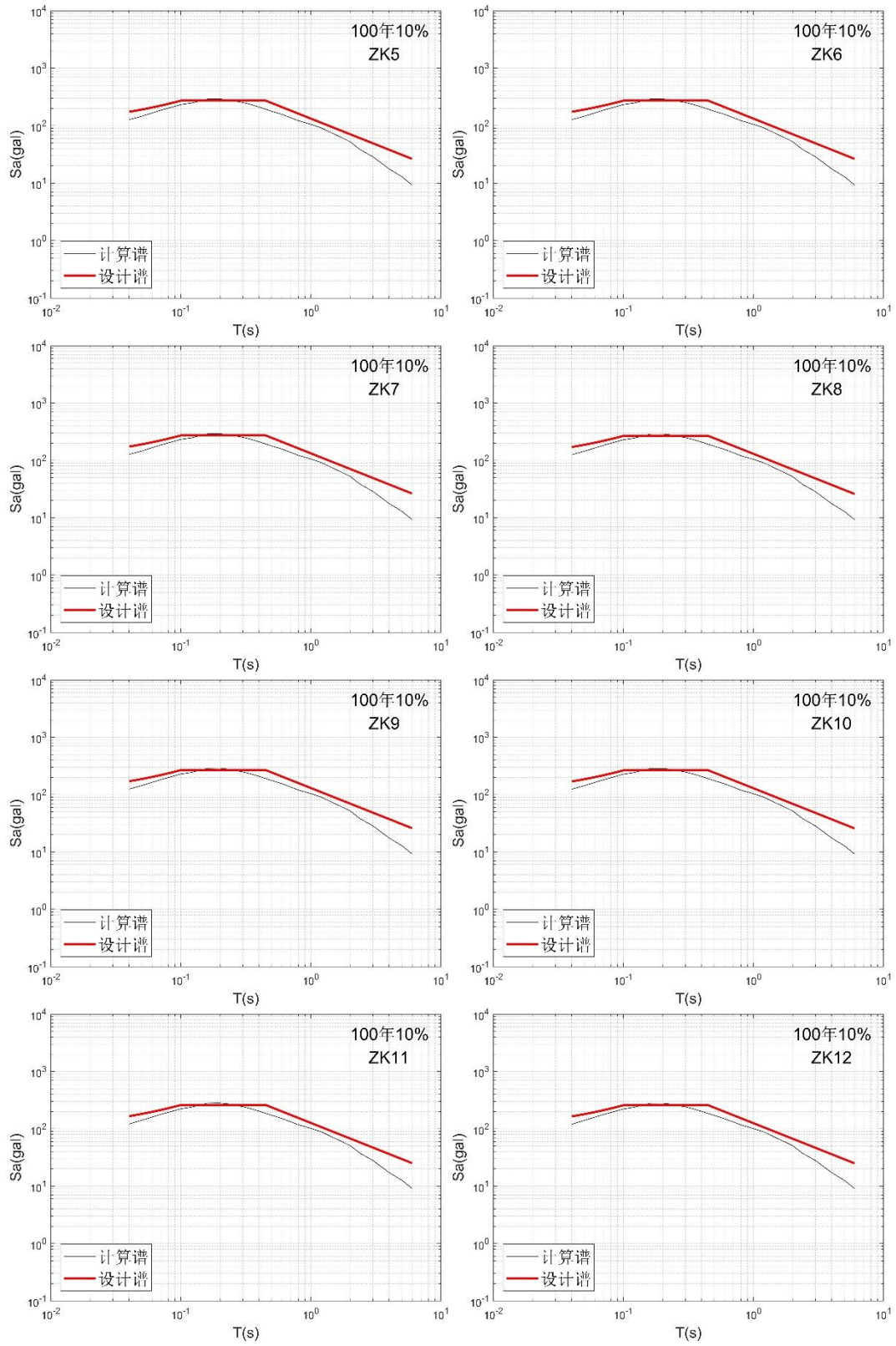


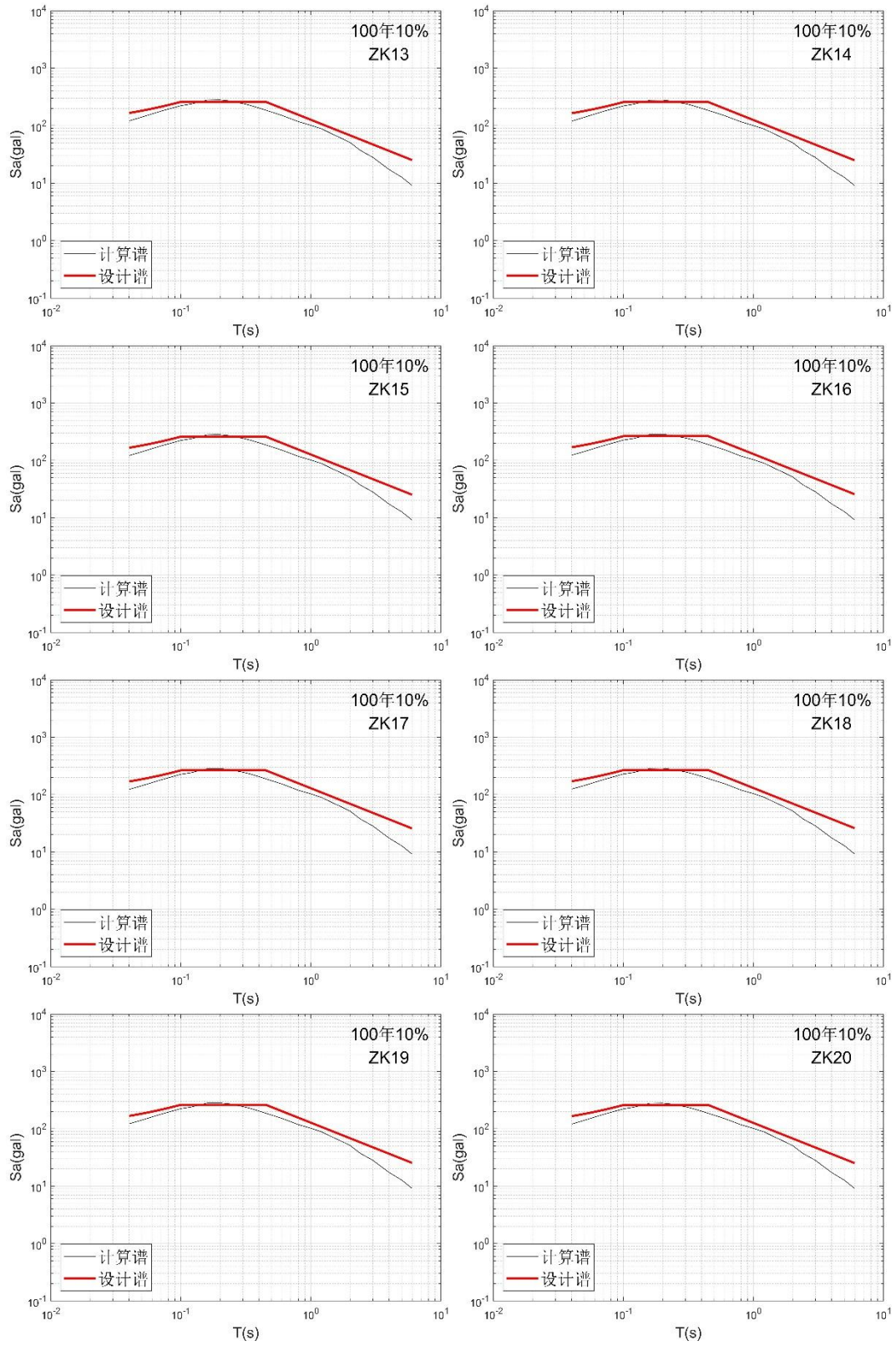


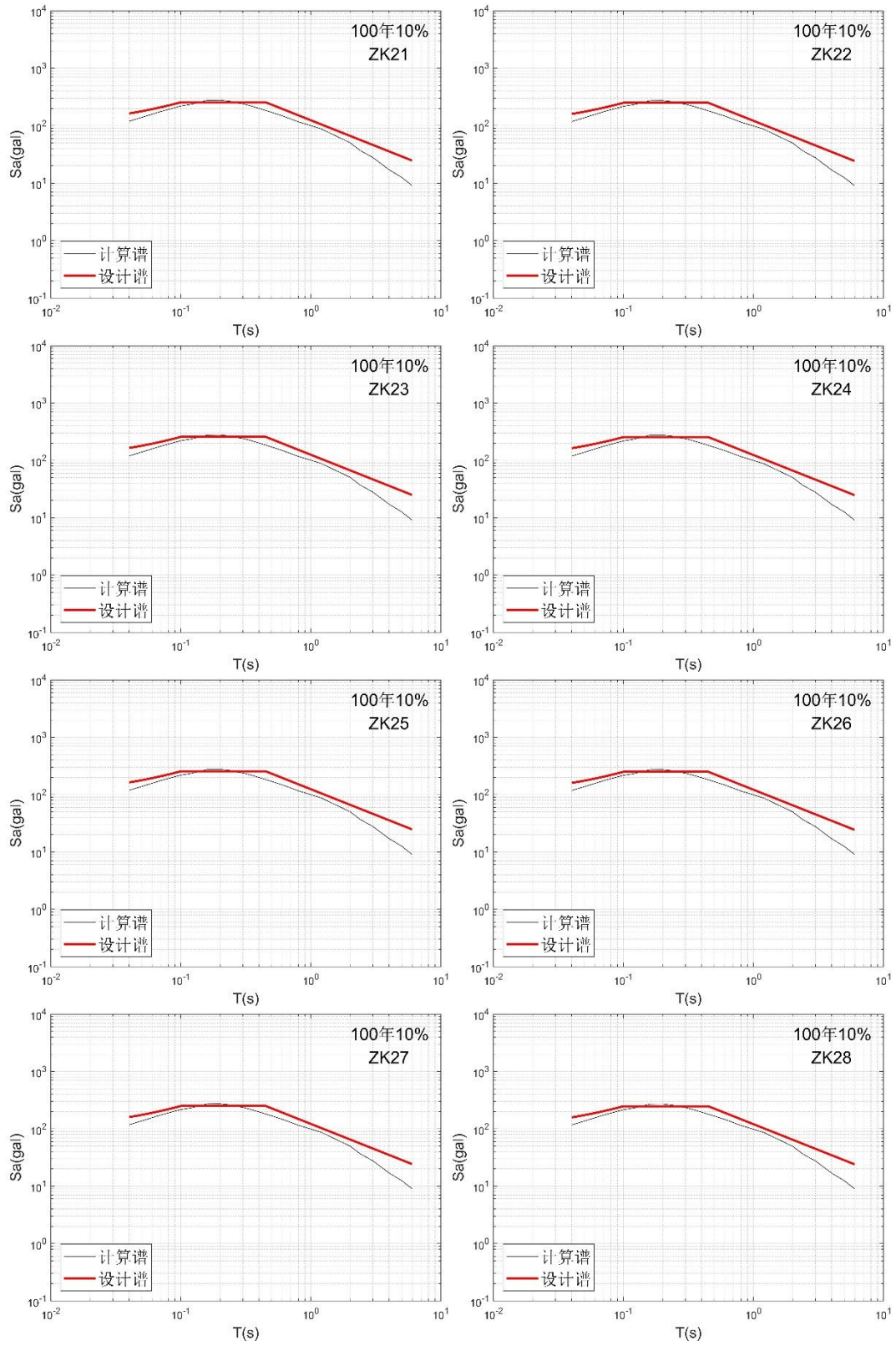


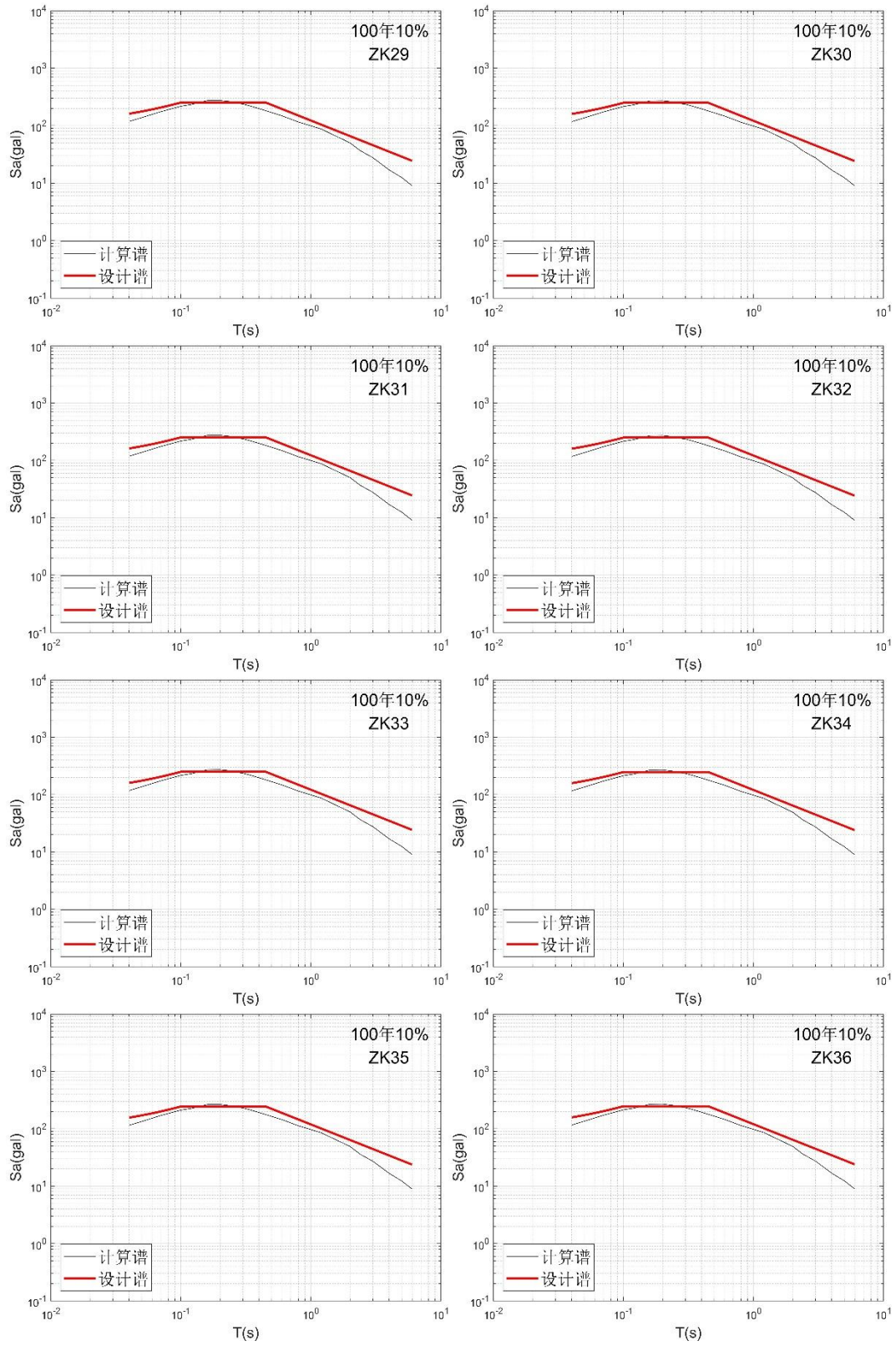


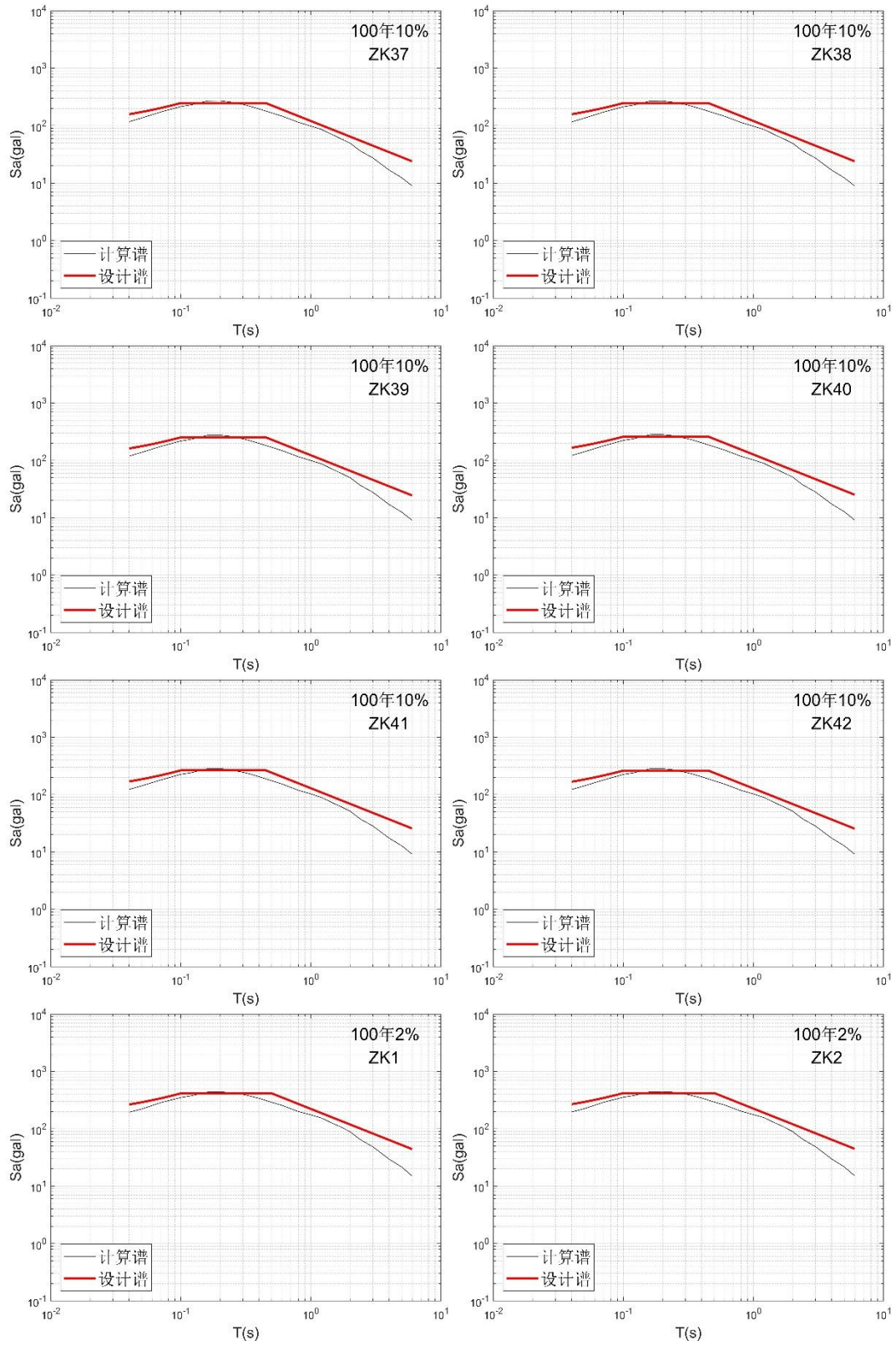


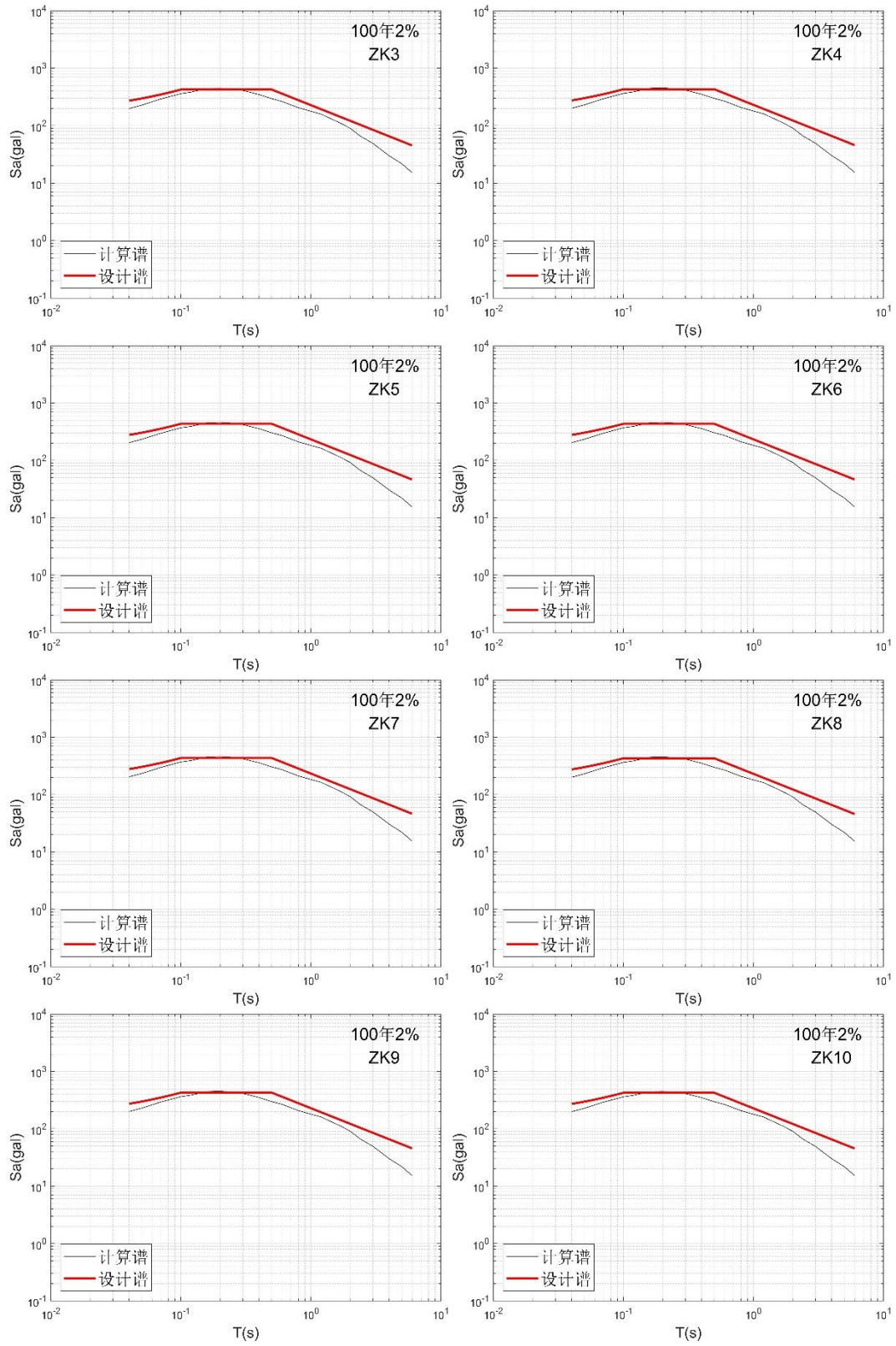


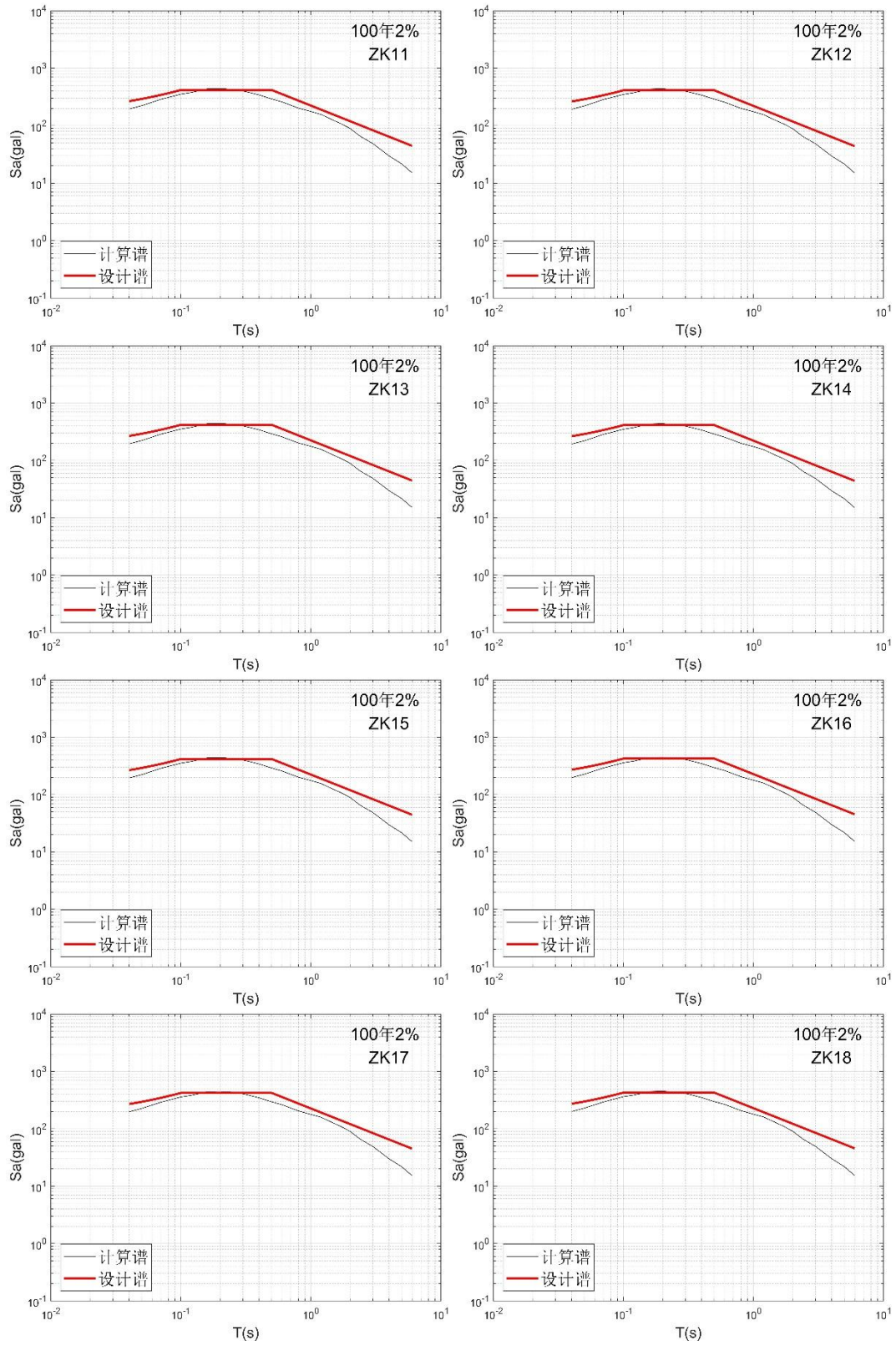


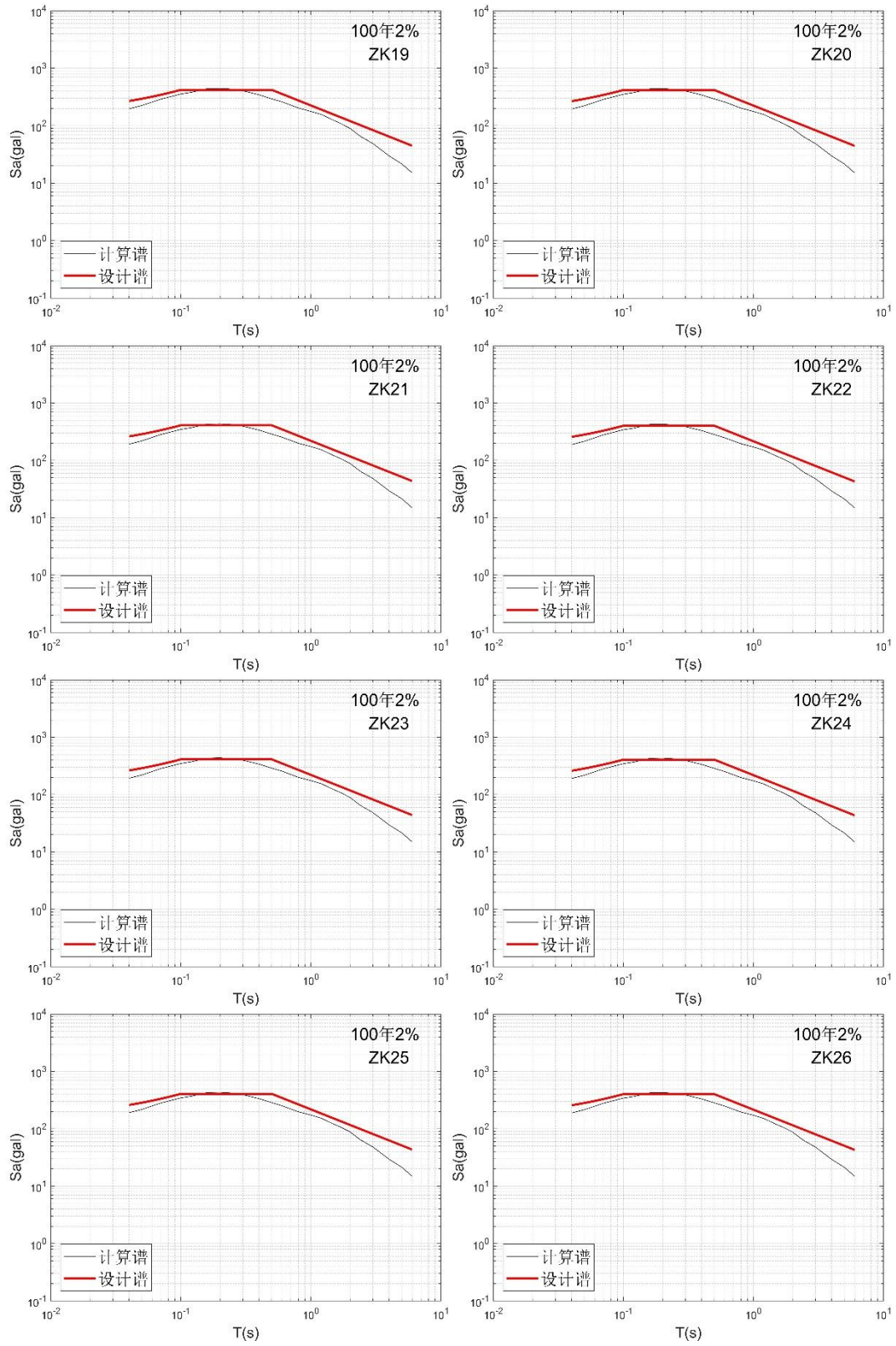


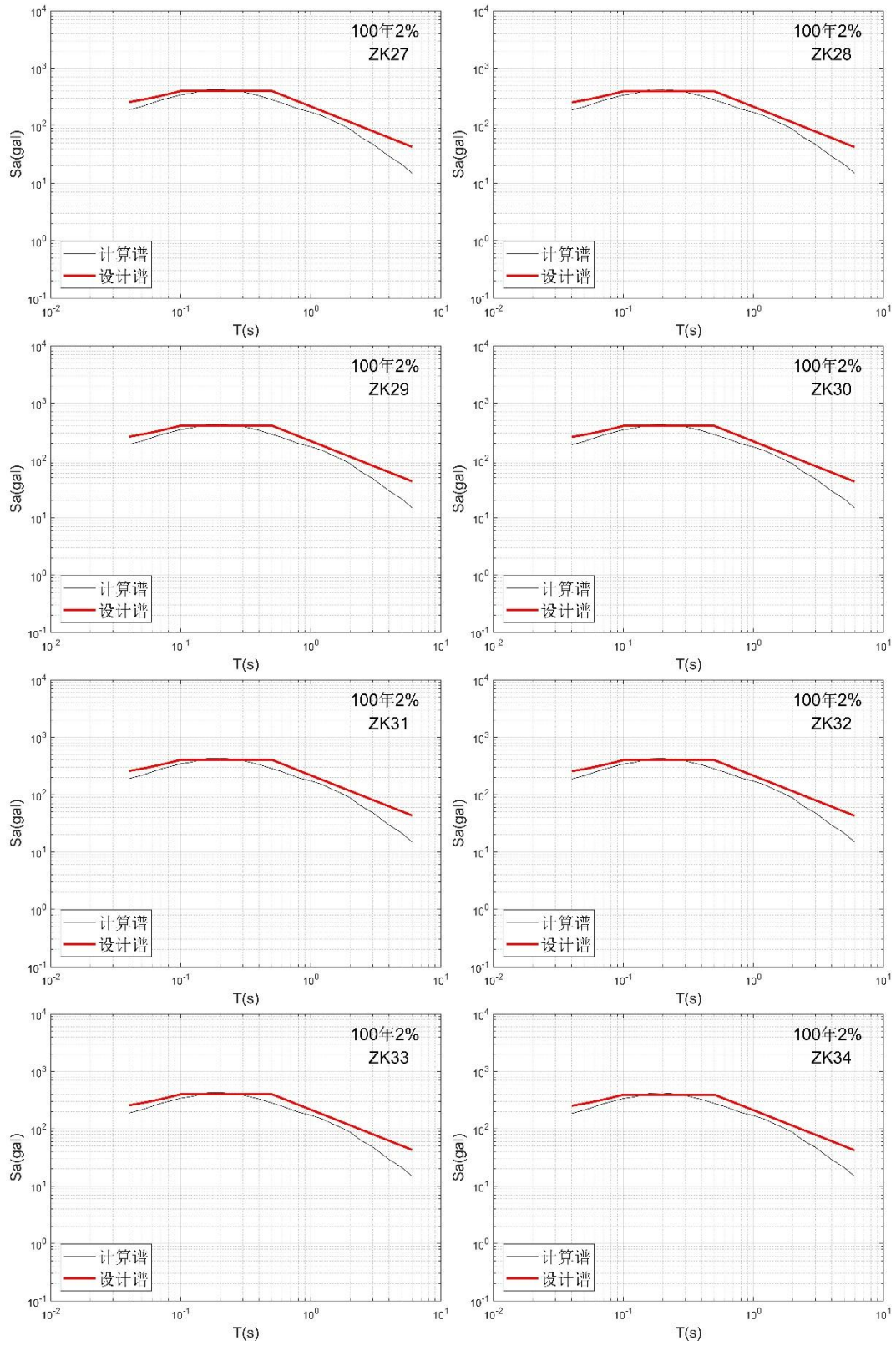


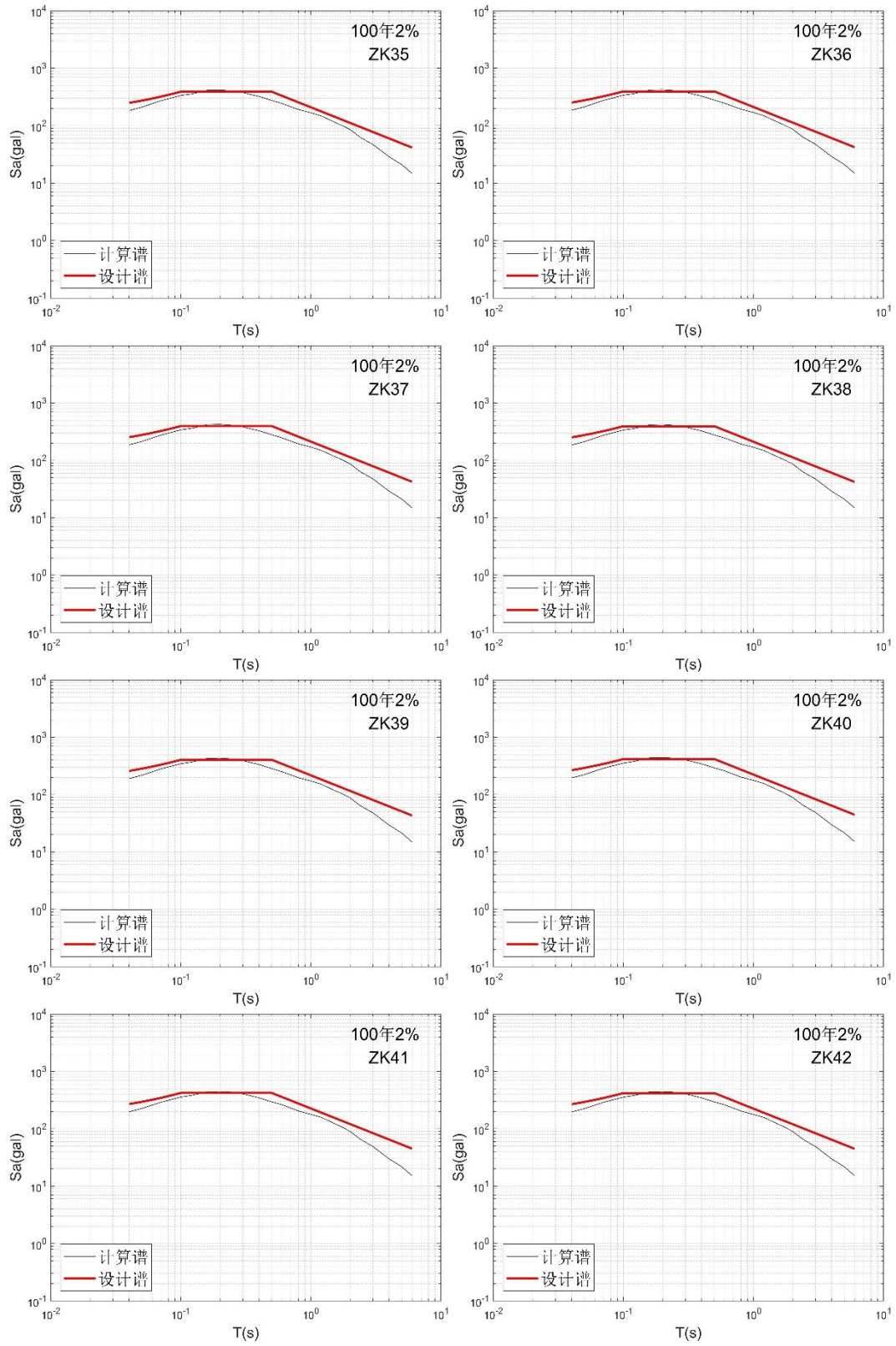


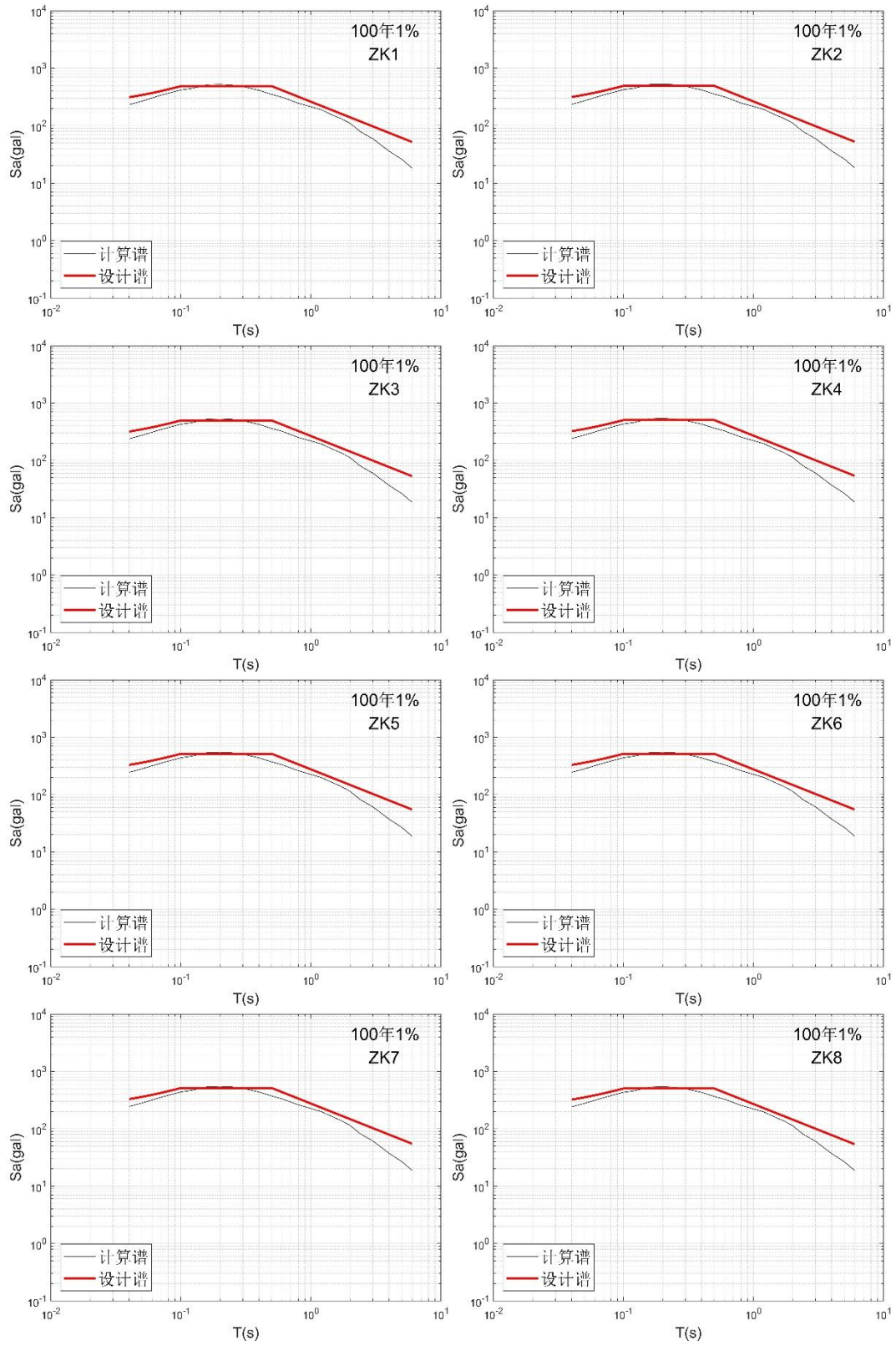


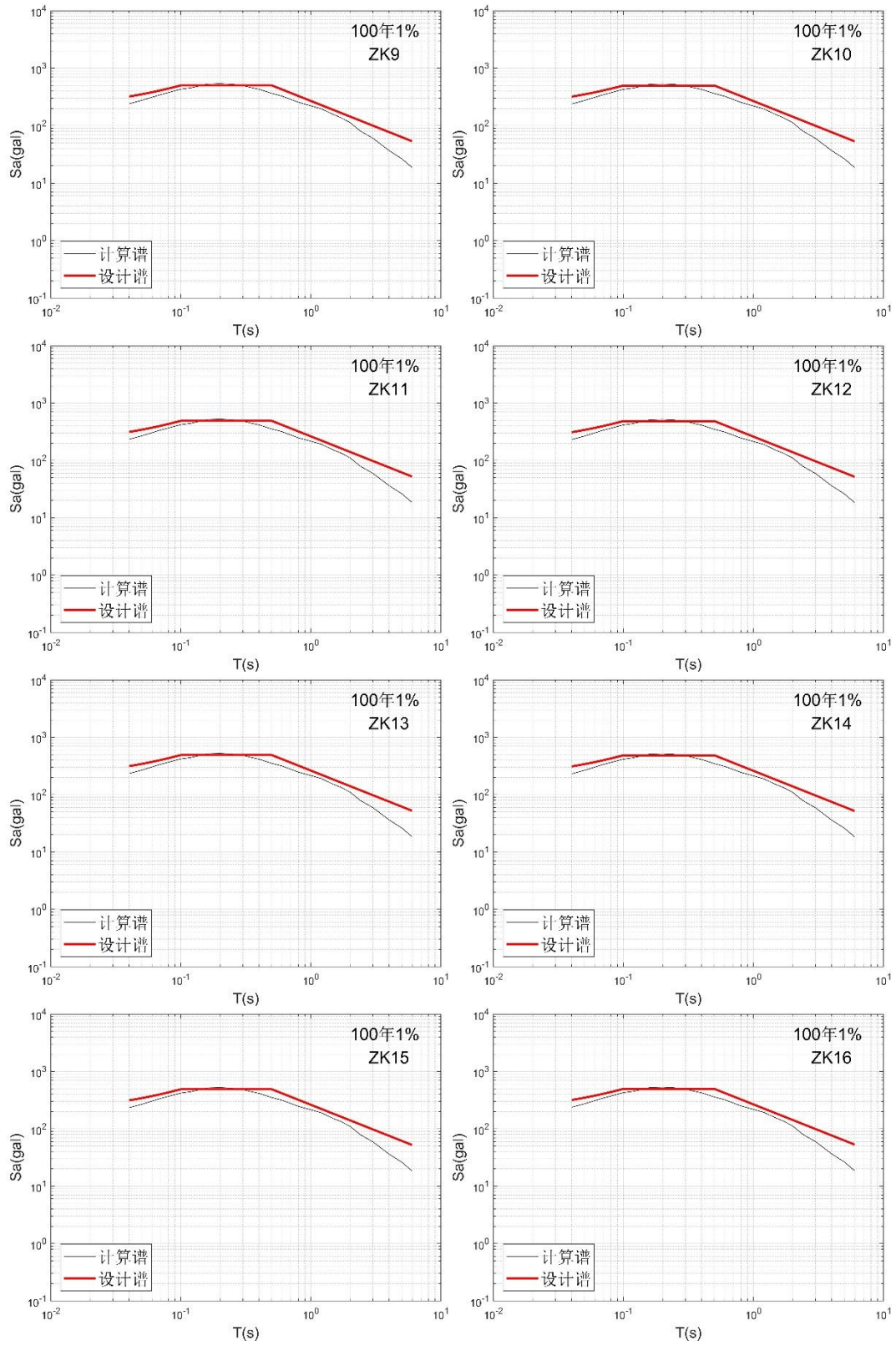


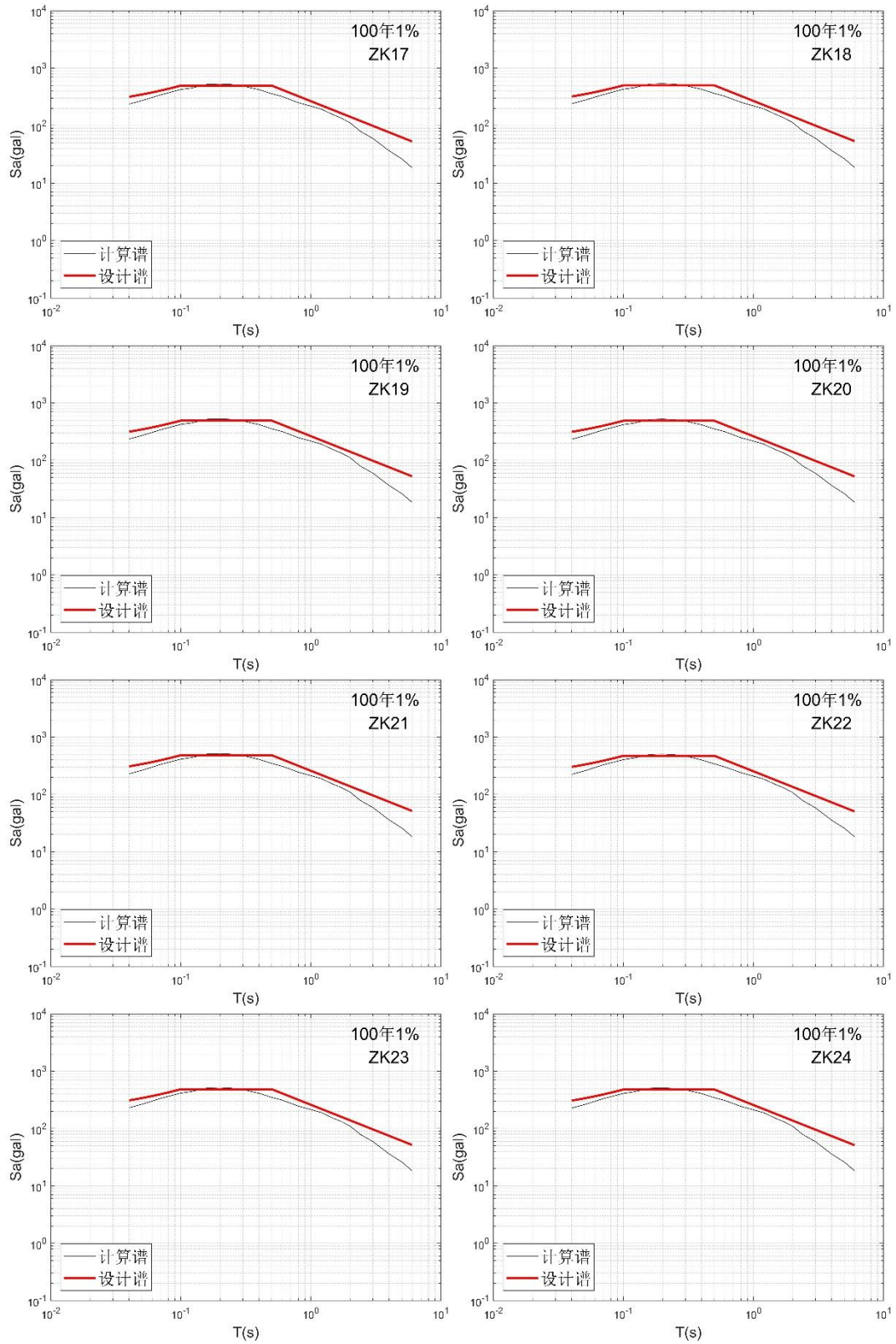


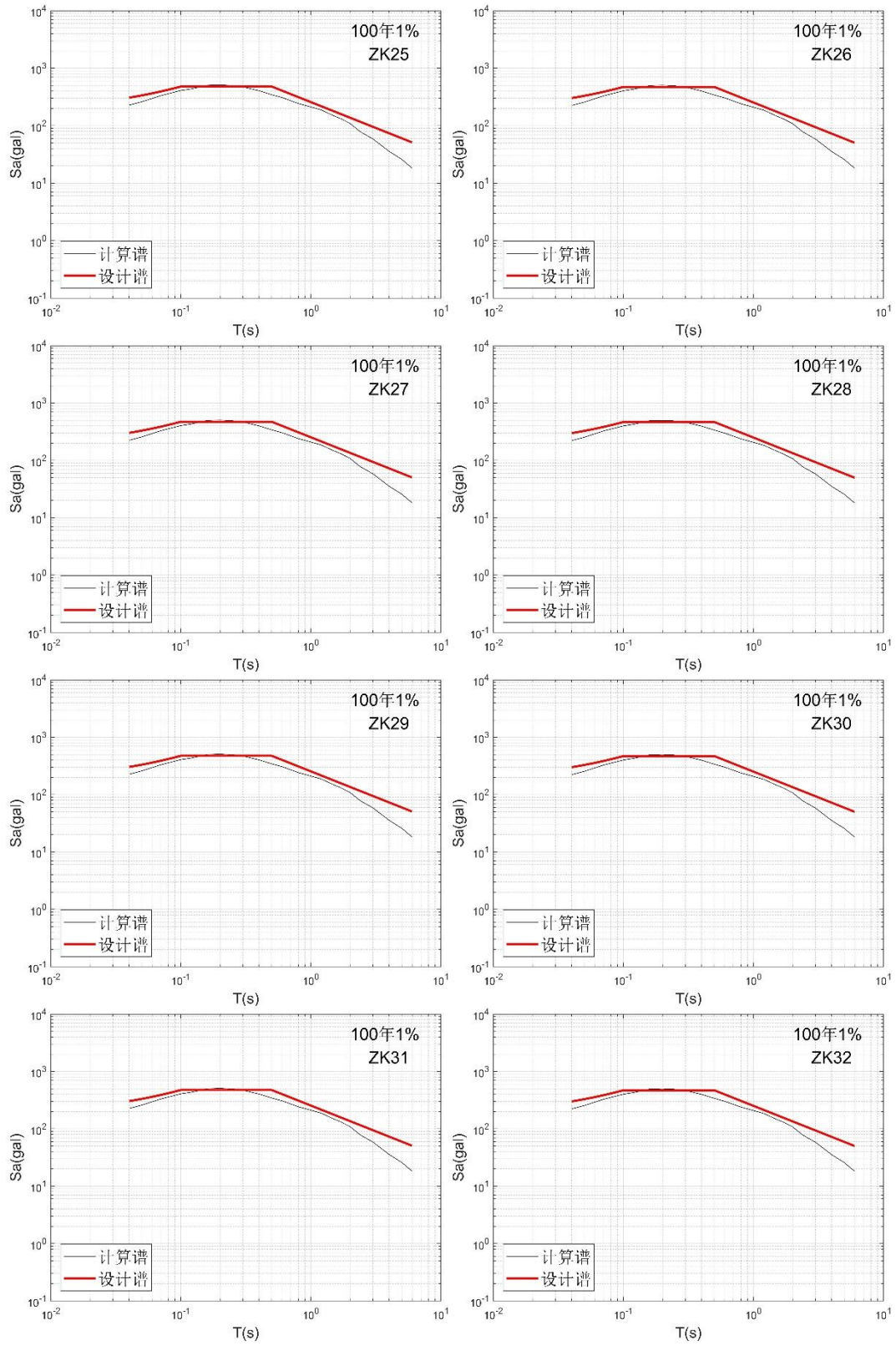


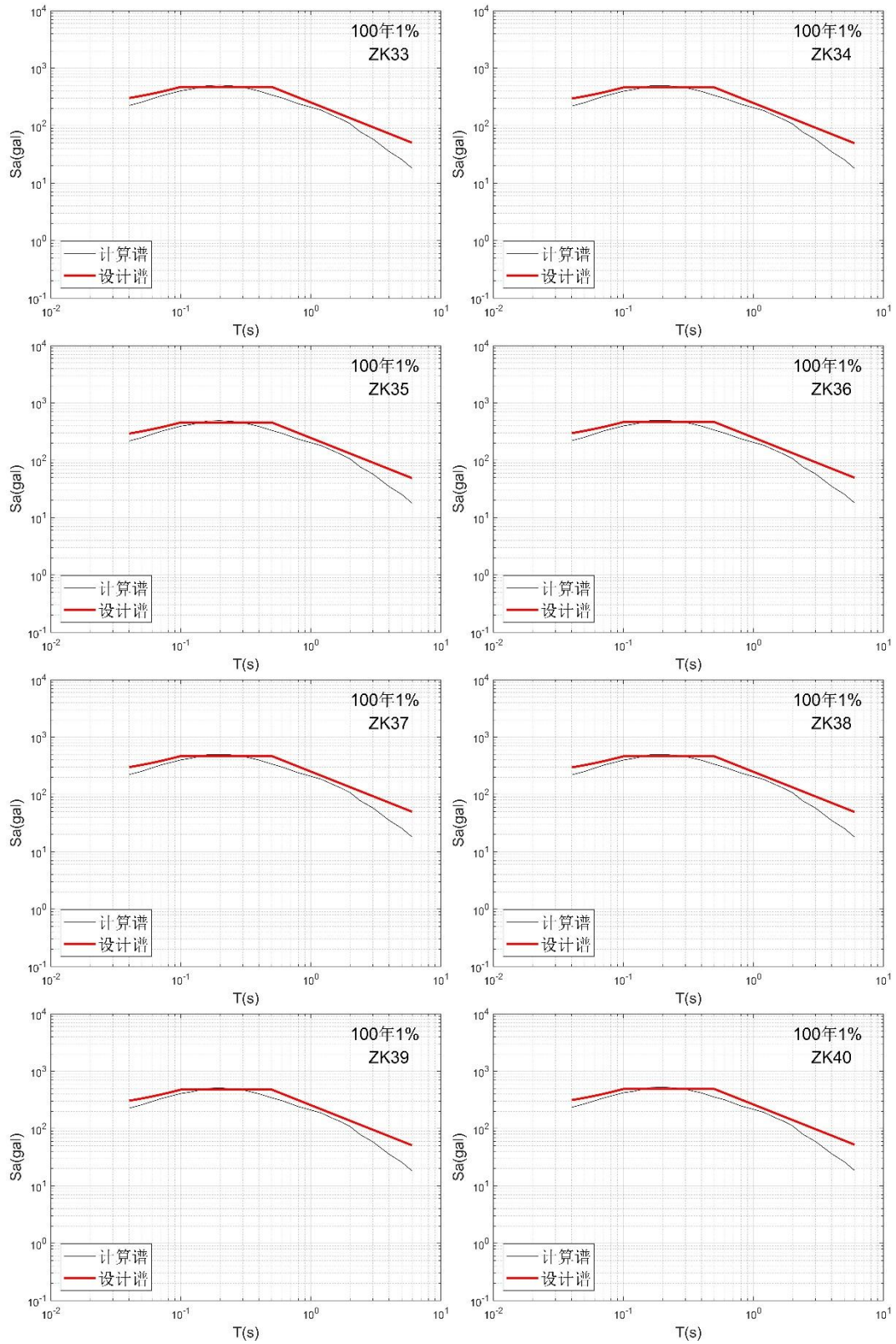












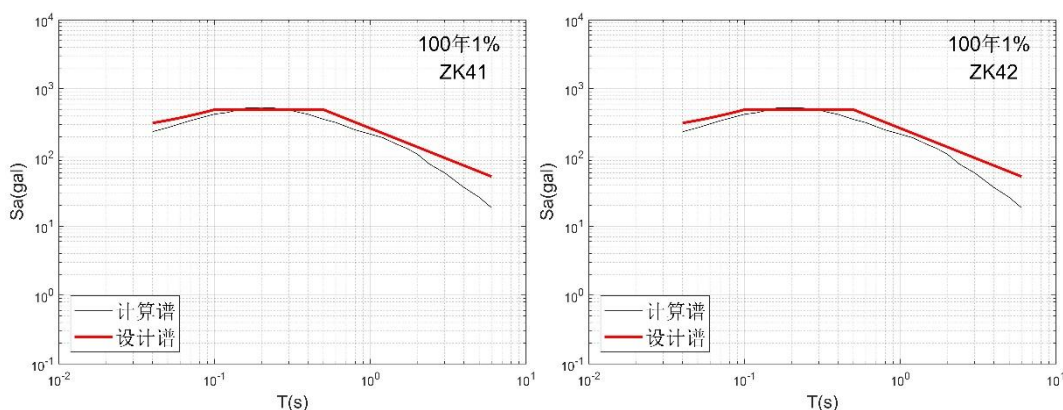


图 7.1-2 场地地震反应谱与计算谱的比较 (5%阻尼比)

7.2 地面地震动时程的合成

结构抗震设计理论由地震动输入、结构模型、结构反应分析和设计原则这四大环节组成，而作为四大环节之基础的地震动输入对设计的最终结果起重要的控制作用。以设计地震动反应谱所给出的具有概率含义的游离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：

$$f(t) = \begin{cases} (t/t_1)^2 & 0 \leq t < t_1 \\ 1 & t_1 \leq t < t_2 \\ e^{-c(t-t_2)} & t_2 \leq t \end{cases} \quad (7.2-1)$$

式中, t_1 为上升段强震峰值起始时刻, $t_2 - t_1$ 为强震峰值平稳段 T_s , c 为强度衰减系数。强震峰值下降段持时 T_c , 总持续时间 T_d 是结构地震反应分析所需的重要参数之一, 它因震源、传播介质和覆盖土层的特征而变化。强度包络函数通常采用如下形式 (图 7.2-1)。

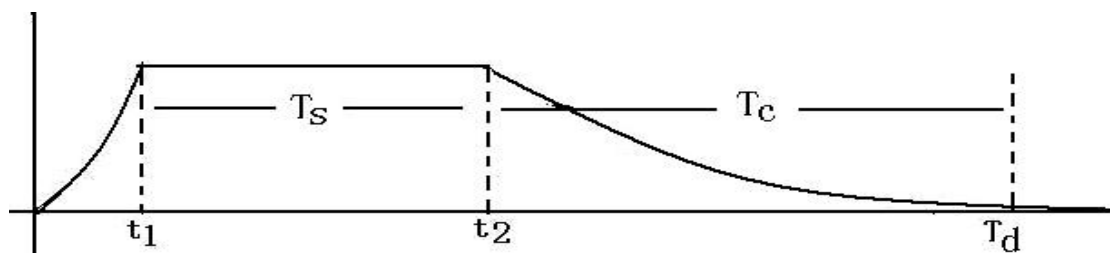


图 7.2-1 强度包络函数曲线示意图

其中振幅上升段持续时间 t_1 , 振幅平稳时间 T_s , 峰值衰减系数 c 的选取参考霍俊荣

公式:

$$\text{Log}_{10}t_1 = -1.074 + 1.005\text{Log}_{10}(R + 10) + \varepsilon \quad (7.2-2)$$

$$\text{Log}_{10}T_s = -2.268 + 0.3262M + 0.5815\text{Log}_{10}(R + 10) + \varepsilon \quad (7.2-3)$$

$$\text{Log}_{10}c = 1.941 - 0.2817M - 0.567\text{Log}_{10}(R + 10) + \varepsilon \quad (7.2-4)$$

至于 t_2 , 则可由

$$t_2 = t_1 + T_s \quad (7.2-5)$$

获得; 假若认为 $f(t_2 + T_c) = k$ 时, 地震动终止, 则

$$T_c = -\ln k / c \quad (7.2-6)$$

k 取 0.05, 那么总持续时间:

$$T_d = t_1 + T_s + T_c \quad (7.2-7)$$

根据地震危险性分析结果, 综合考虑场址周围潜在震源区的分布及对场址的贡献大小, 强度包络函数 $f(t)$ 的参数取值见表 7.2-1。

表 7.2-1 加速度时程强度包络函数

超越概率	t_1 (Sec)	t_2 (Sec)	C
P50=63%	4	16	0.18
P50=10%	5	20	0.18
P50=2%	6	28	0.14
P100=63%	4	16	0.18
P100=10%	5	20	0.18
P100=2%	6	28	0.14
P100=1%	7	34	0.13

为了使寻求的基岩水平加速度时程具有强度包络函数 $f(t)$ 的形状, 我们可以任意指定一个相位差在 $[0, 2\pi]$ 上均匀随机分布的三角级数, 它与强度包络函数 $f(t)$ 的数学模型定义为:

$$a(t) = f(t) \sum_{k=0}^{N-1} A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (7.2-8)$$

式中: $f(t)$ 为强度包络函数, 形如式(7.2-1), A_k, ω_k 分别表示三角级数第 k 个频率分量的幅值和圆频率, φ_k 为 $[0, 2\pi]$ 区间上均匀分布的随机相角。

按式(7.2-8)构造一个平稳高斯过程:

$$X(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (7.2-9)$$

三角级数各个频率分量的幅值可以用不同方法给定, 本报告利用功率谱密度函数求得:

$$A_k = [4 \bullet S(\omega_k) \bullet \Delta\omega]^{\frac{1}{2}} \quad (7.2-10)$$

$$\begin{cases} \Delta\omega = 2\pi / T \\ \omega_k = 2\pi k / T \end{cases}$$

式中, T 为随机过程 $X(t)$ 的总持时。

当以加速度反应谱作为拟合目标时, 可以利用已知的反应谱与功率谱的近似转换关系

$$S(\omega) = \frac{\xi}{\pi\omega} \cdot [S_a^T(\omega)]^2 \cdot \frac{1}{\ln \left[\frac{-\pi}{\omega T} \ln(1-P) \right]^{-1}} \quad (7.2-11)$$

式中, $S_a^T(\omega)$ 为给定的目标加速度反应谱, ξ 为阻尼比, P 为反应谱超越概率。在数值计算中, 通常采用快速富氏变换(FFT)技术进行三角级数求和。将式(7.2-9) 改写成富氏变换形式

$$X(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{i\omega_k t} \quad (7.2-12)$$

式中, A_k 为 $X(t)$ 的富氏谱, 由式(7.2-10) 得

$$A(\omega_k) = FS(\omega_k) e^{i\varphi_k} \quad (7.2-13)$$

式中, $FS(\omega_k)$ 为富氏幅值谱, φ_k 为相位谱。按下式取值:

$$\begin{aligned} FS(\omega_k) &= \begin{cases} [4S(\omega_k)\Delta\omega]^{\frac{1}{2}} & k=0, N/2 \\ [S(\omega_k)\Delta\omega]^{\frac{1}{2}} & k=1, \dots, N/2+1 \end{cases} \\ A(\omega_k) &= A^*(\varphi_{n-k}) \quad k=N/2+1 \dots N-1 \end{aligned} \quad (7.2-14)$$

$A^*(\varphi_{n-k})$ 为 $A(\omega_k)$ 的共轭谱, 对式(7.2-13) 进行富氏逆变换即可得式(7.2-9) 所示的平稳高斯过程, 将式(7.2-1) 与式(7.2-9) 相乘, 即得到式(7.2-8) 所表示的人工模拟地震动 $a(t)$ 的初始时程, 并将其改写成如下形式:

$$X(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (7.2-15)$$

式中: $\varphi_k(k=0, 1, \dots, N-1)$ 是反应了强度包络函数作用的相位谱, 所以式(7.2-15) 是满足强度包络函数的加速度时程。但是, 一般不满足目标反应谱, 因为式(7.2-12) 表示的反应谱与功率谱的关系是近似的, 式(7.2-15) 表示的富氏幅值谱与功率谱的关系是概率平均的。所以按初始过程 $a(t)$ 计算出来的反应谱一般只近似于目标反应谱, 符合的程度也是概率平均的。为了提高拟合精度, 还需要进行迭代调整。为此, 按中华人民共和国国家标准《工程场地地震安全性评价 (GB 17741-2005)》的要求, 我们把给定的基岩上的 31 个周期控制点的基岩地震相关反应谱—目标反应谱用对数等间距插值的方法加密到 70 个周期控制点, 在这 80 个周期控制点上计算的基岩加速度反应谱称为计算谱

$S_a(\omega_j)$, 将其与基岩目标反应谱 $S_a^T(\omega_j)$ 进行比较, 这里定义一个误差函数:

$$E(\omega_j) = \left| \frac{S_a(\omega_j) - S_a^T(\omega_j)}{S_a^T(\omega_j)} \right| \times 100\% \quad (7.2-16)$$

设 ε 为给定的精度要求, 取 $\varepsilon=5\%$, 当 $E(\omega_j) > \varepsilon$ 时, 应对第 j 个控制点附近的频率分量进行调整, 直到在所有的控制点上均满足 $E(\omega_j) \leq \varepsilon$ 为止。这样得到的基岩加速度时程, 即满足强度包络的形状, 又满足目标基岩地震相关谱的要求。当两个时程的相位谱为互相独立的随机过程时, 这两个时程在统计上便是互不相关的。

为检验地震水平加速度时程之间的随机性, 用下式:

$$\rho = \left| \frac{\sum_j a_{1j} \cdot a_{2j}}{\sqrt{\sum_j a_{1j}^2} \cdot \sqrt{\sum_j a_{2j}^2}} \right| \quad (7.2-17)$$

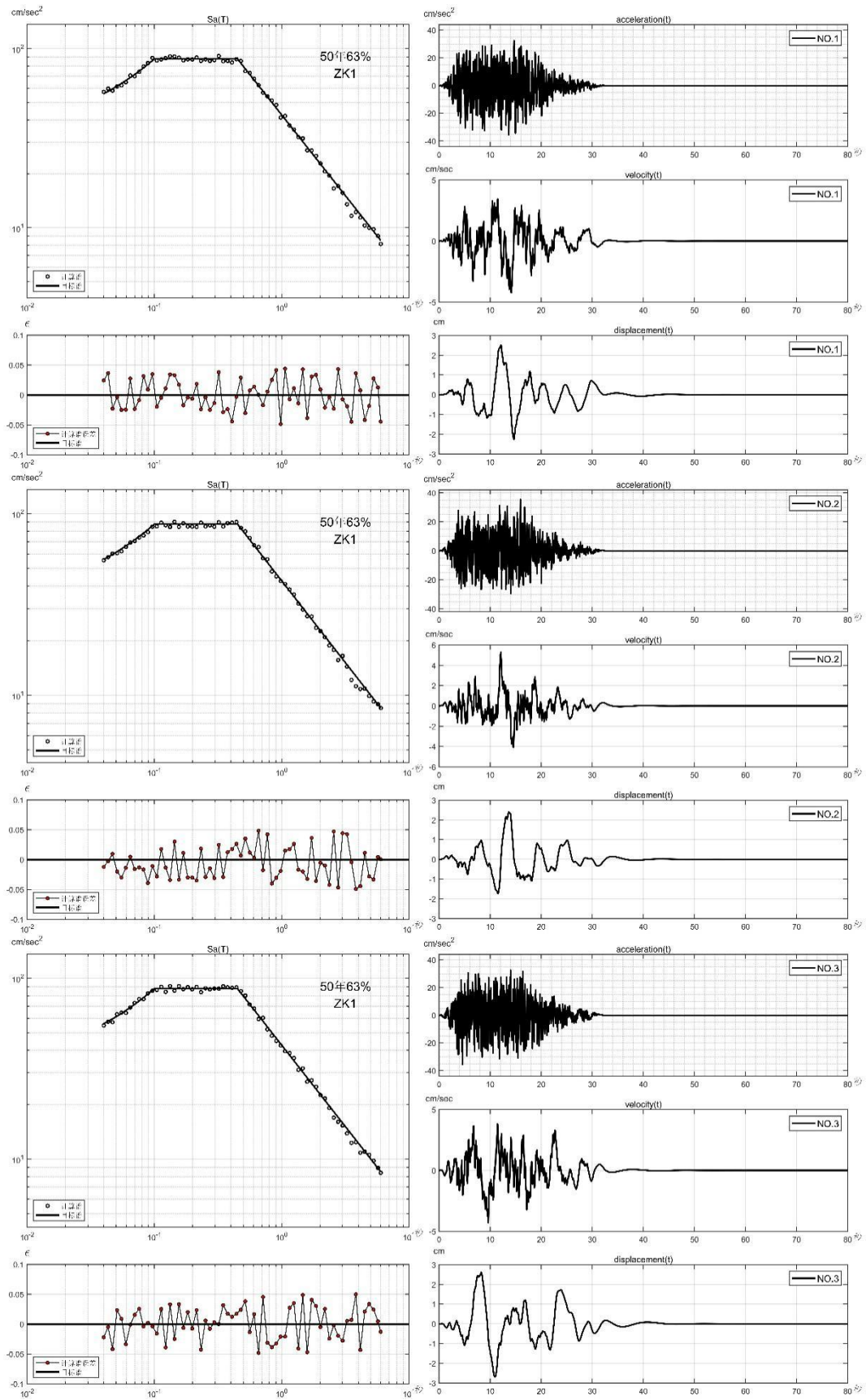
定义的相关系数, 计算各个超越概率水平下 3 条加速度时程两两之间的相关系数, 如果得到的相关系数小于 0.16, 说明各个超越概率水平下的水平加速度时程在统计上是相互不相关的。

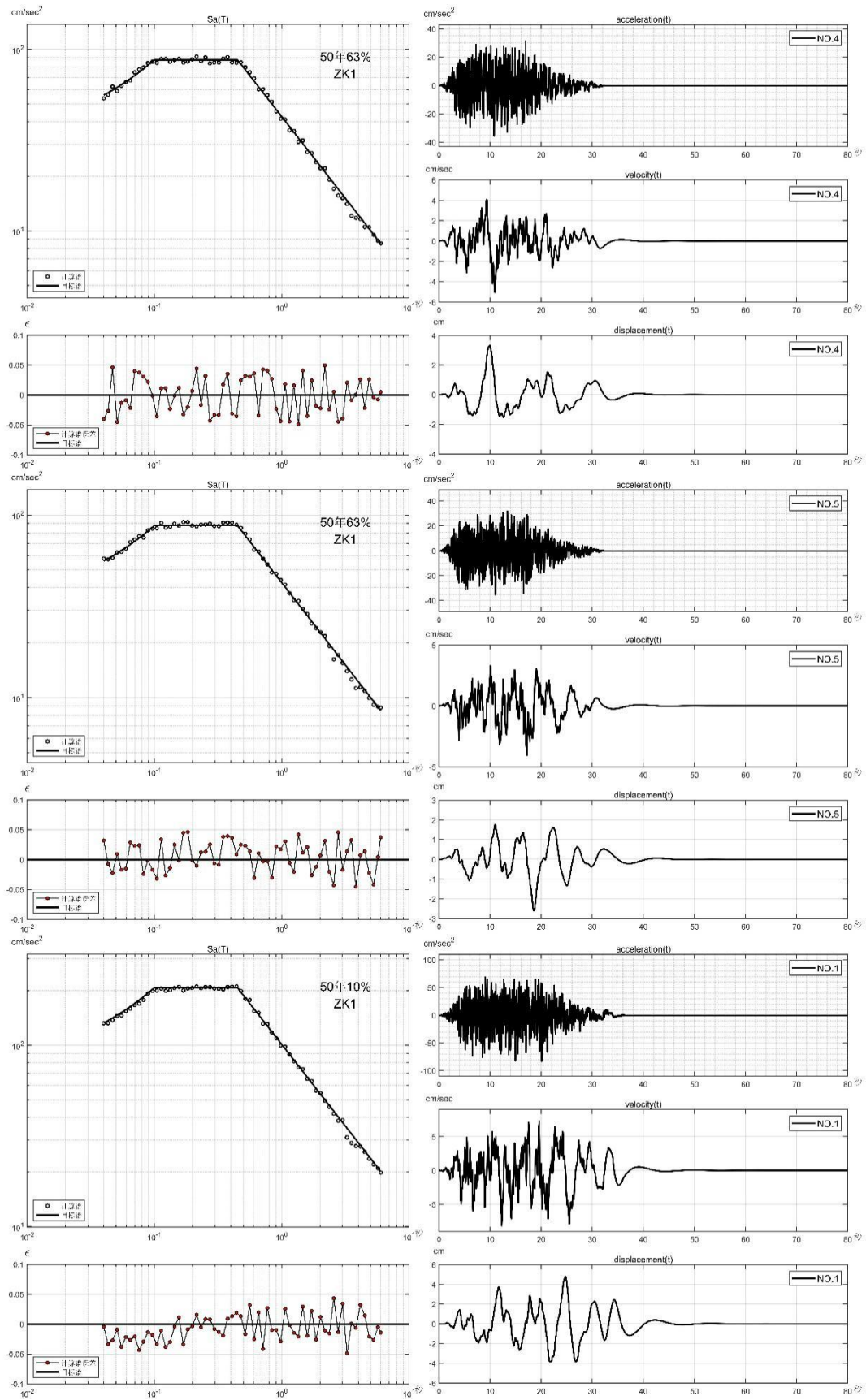
目标谱与合成时程的反应谱(计算谱)之间的相对误差均 $\leq 5\%$ 。计算基岩地震加速度时程的周期控制点如下:

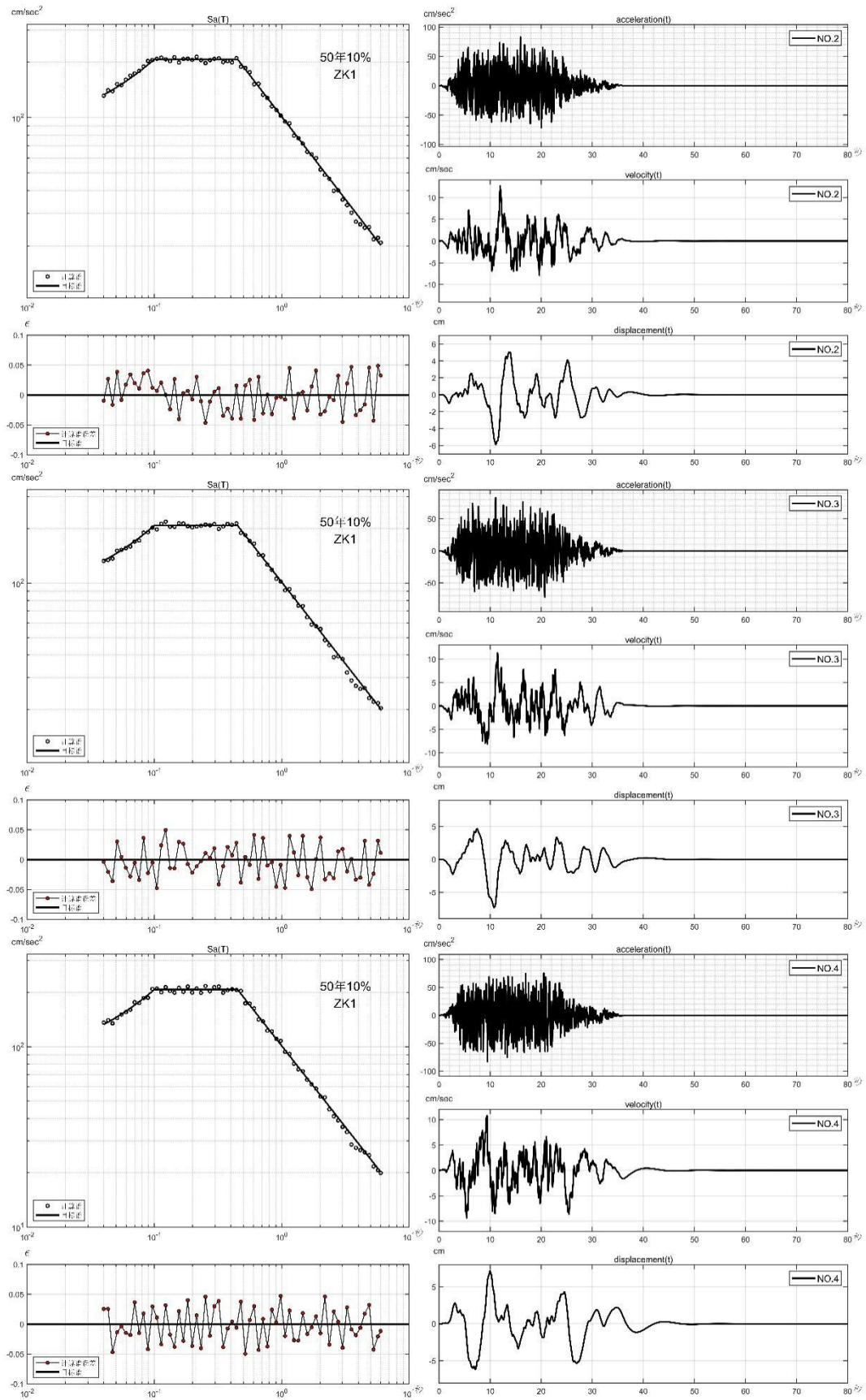
0.0400 0.0433 0.0469 0.0500 0.0508 0.0550 0.0596 0.0646 0.0699 0.0730
0.0758 0.0821 0.0889 0.0963 0.1000 0.1043 0.1129 0.1200 0.1223 0.1325
0.1400 0.1435 0.1554 0.1600 0.1683 0.1800 0.1823 0.1975 0.2000 0.2139
0.2317 0.2400 0.2509 0.2600 0.2718 0.2944 0.3000 0.3188 0.3400 0.3453
0.3600 0.3740 0.4000 0.4051 0.4400 0.4752 0.5000 0.5147 0.5575 0.6000
0.6540 0.7000 0.7084 0.7673 0.8000 0.8311 0.9001 0.9749 1.0000 1.0560
1.1437 1.2000 1.2388 1.3417 1.4532 1.5000 1.5740 1.7000 1.7048 1.8465
2.0000 2.4000 2.5000 3.0000 3.5000 4.0000 5.0000 6.0000

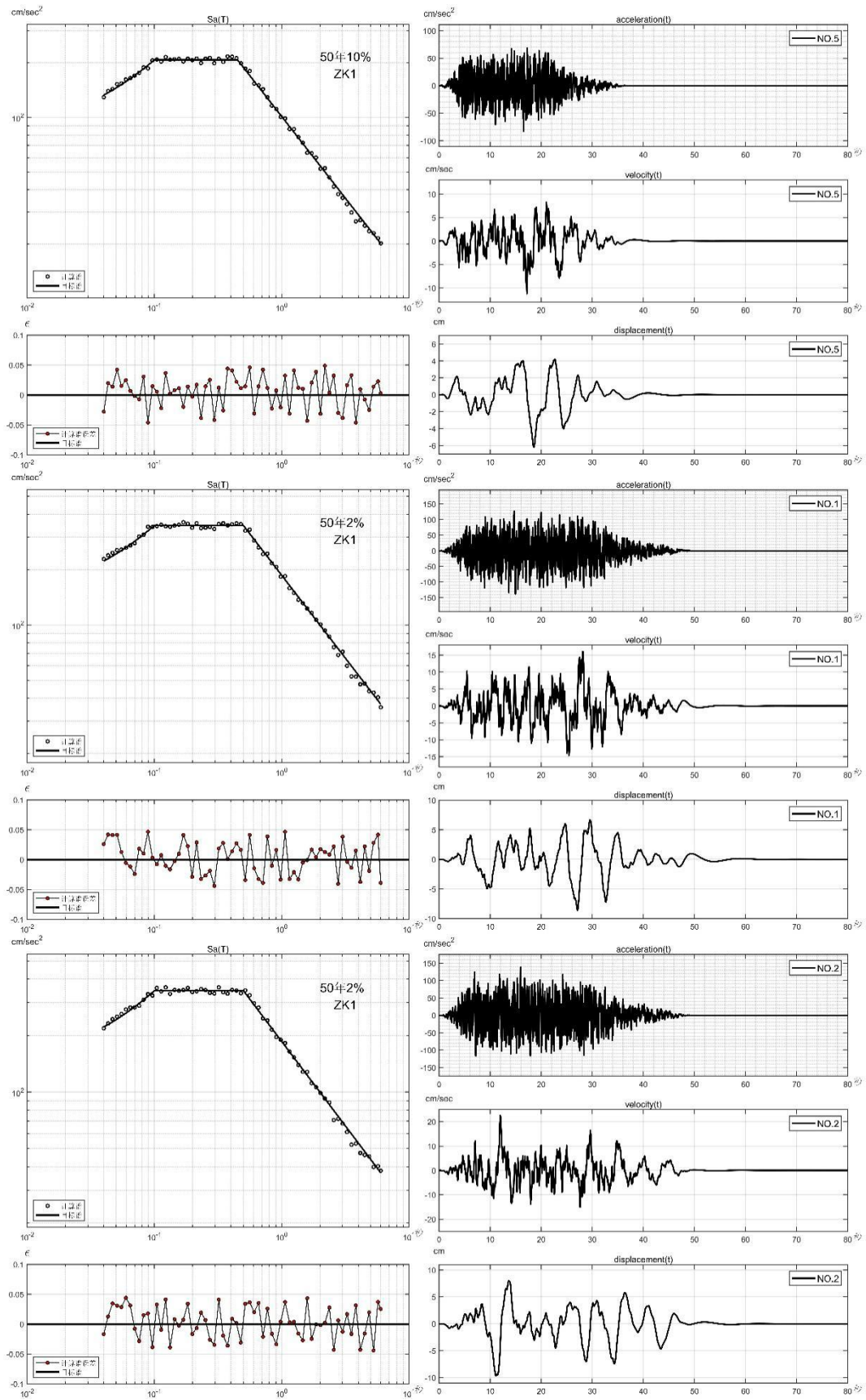
根据上述方法合成基岩地震波, 对本项目工程场地合成 50 年超越概率 63%、10%、2%和 100 年超越概率 63%、10%、2%、1%, 分别对应三组不同的随机相位。时程采样步长为 0.02 秒, 目标加速度反应谱在 0.04~6 秒内按对数等间距分布原则取 70 个控制点, 合成时程的反应谱与目标反应谱之间的相对误差小于 5%。

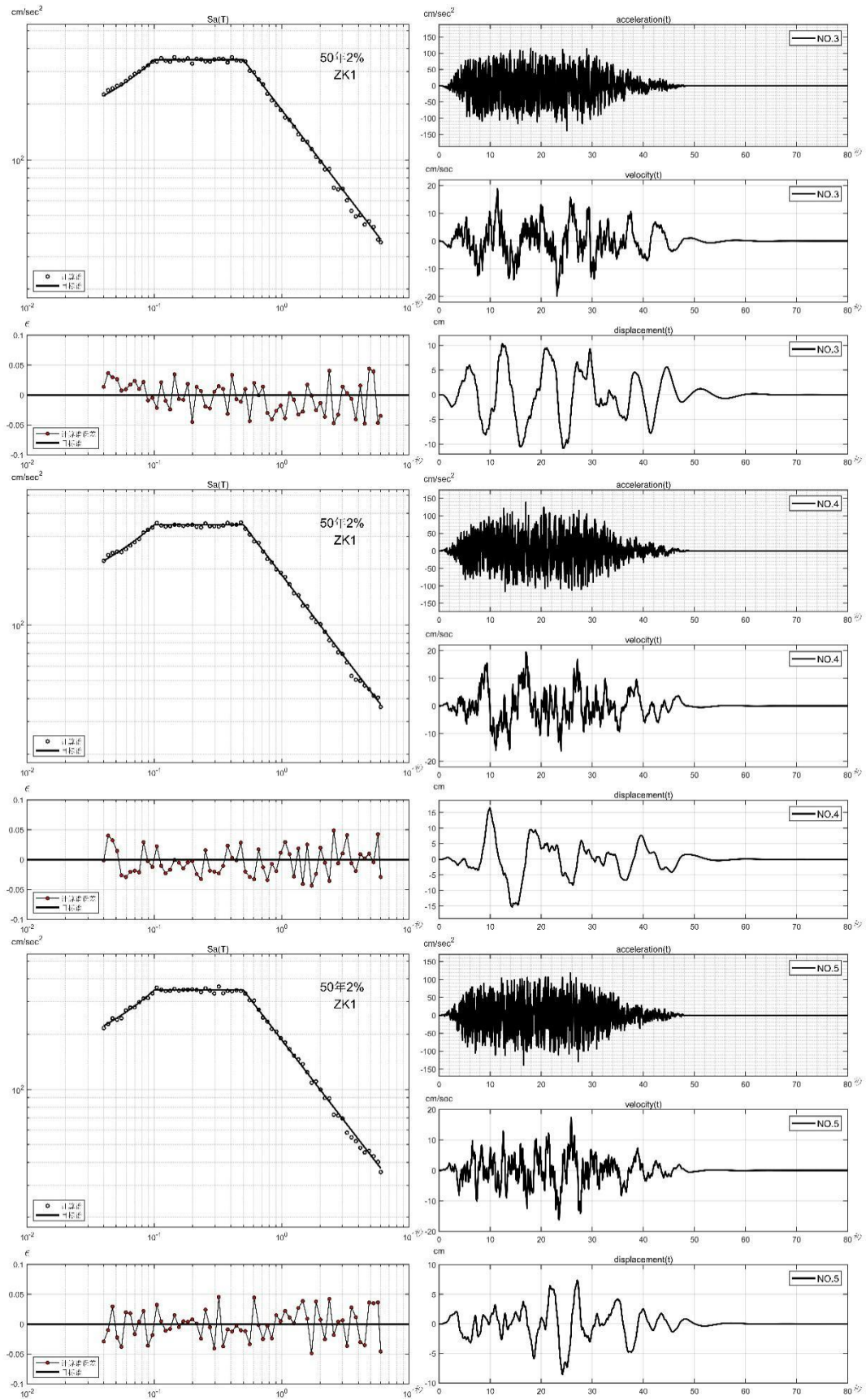
为突出报告重点, 图 7.1-2 以目标区控制点 zk1 为例给出目标谱与计算谱的比较、拟合精度、基岩地震波图, 图中的速度时程和位移时程均无基线漂移。五条波的相关系数见表 7.1.2, 保证相关系数均不大于 0.16。其余控制点的基岩地震时程以附件形式给出。

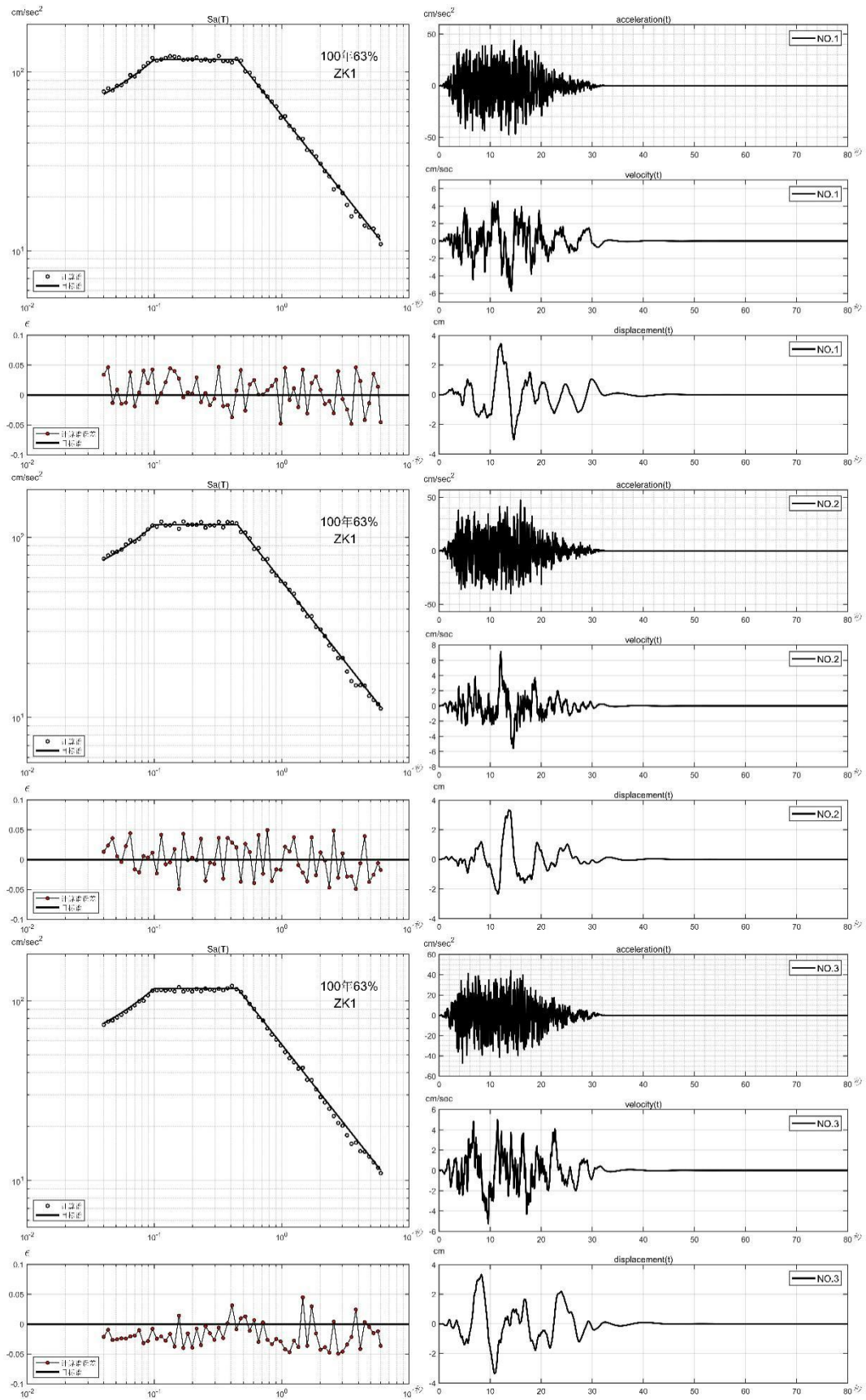


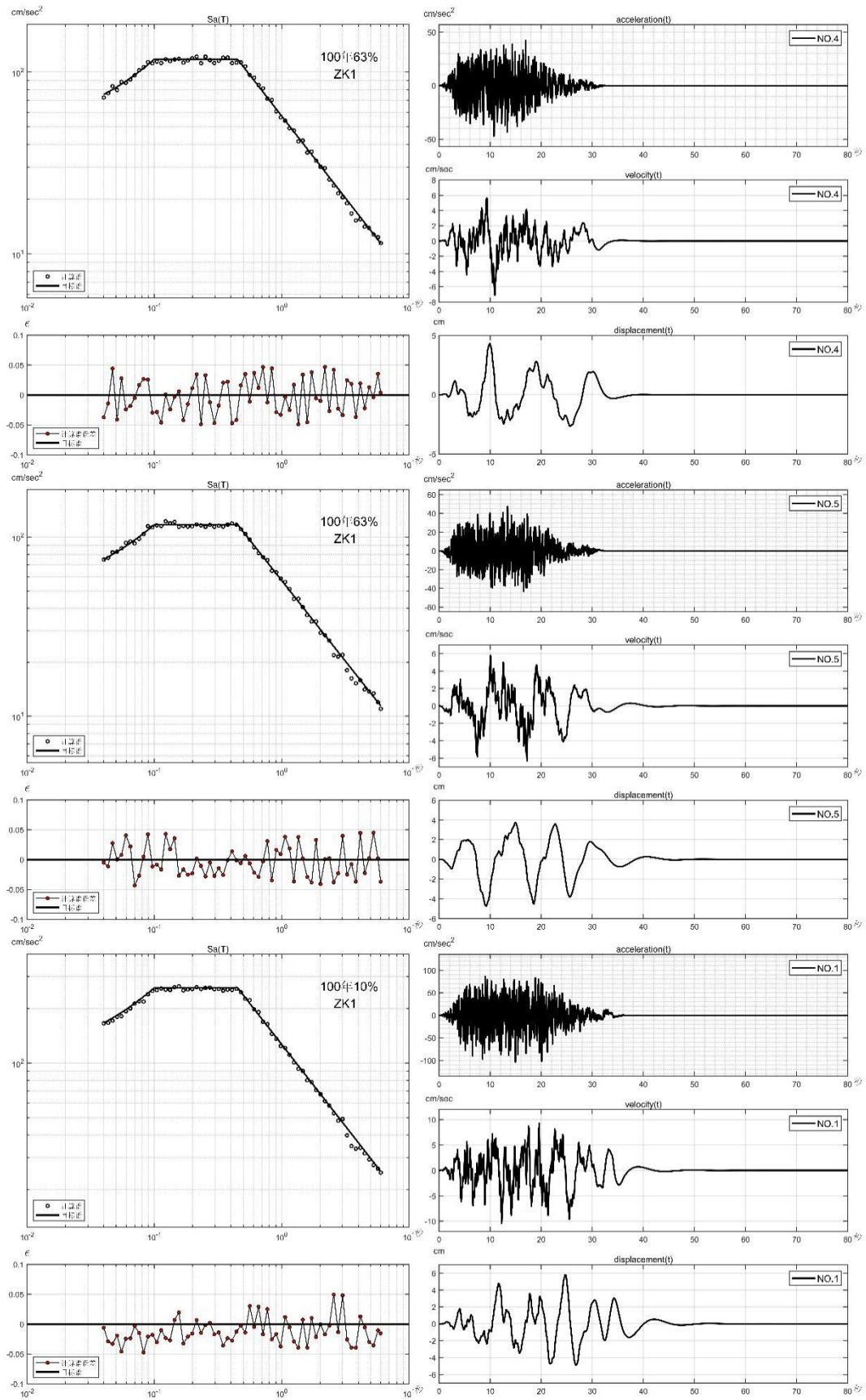


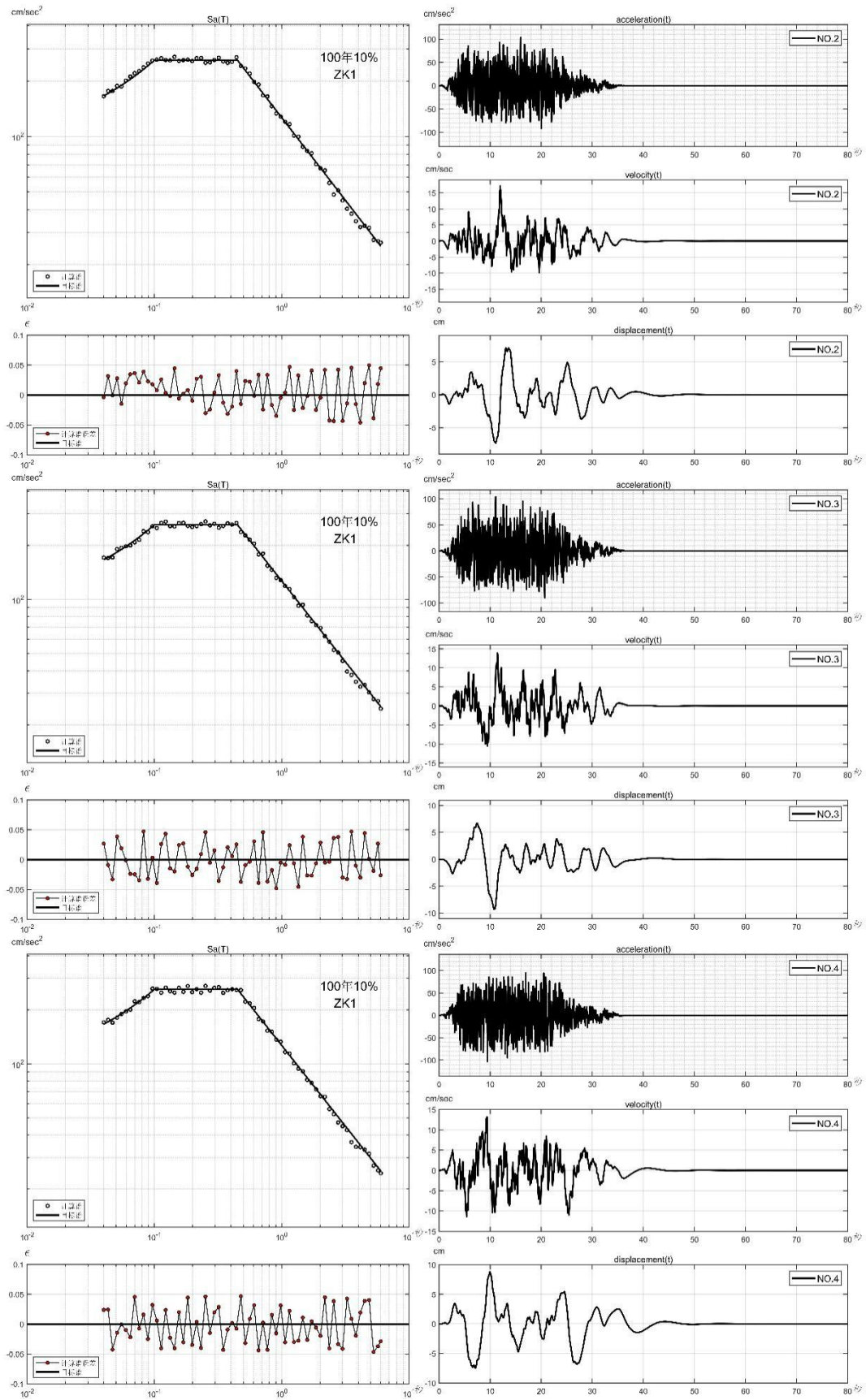


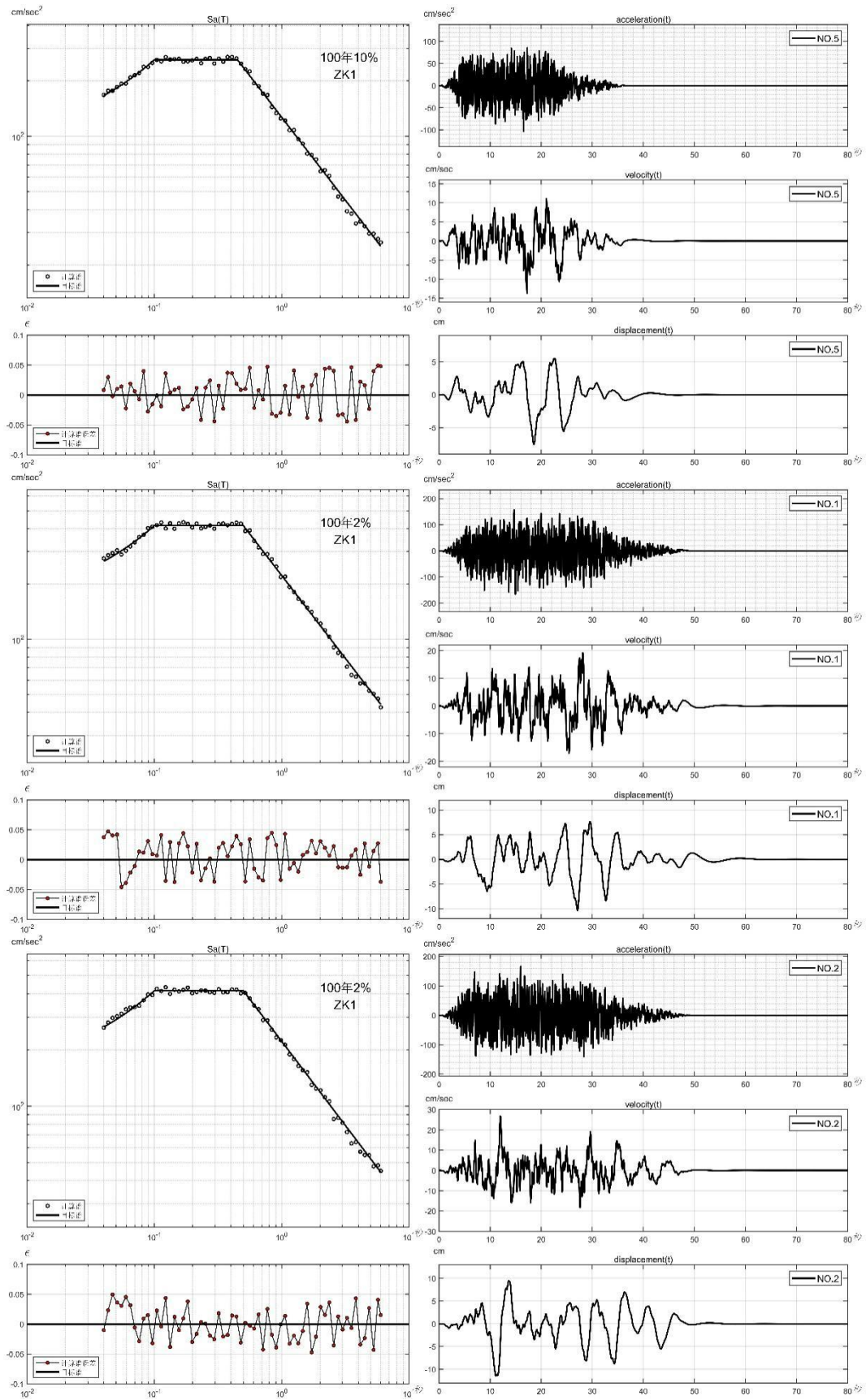


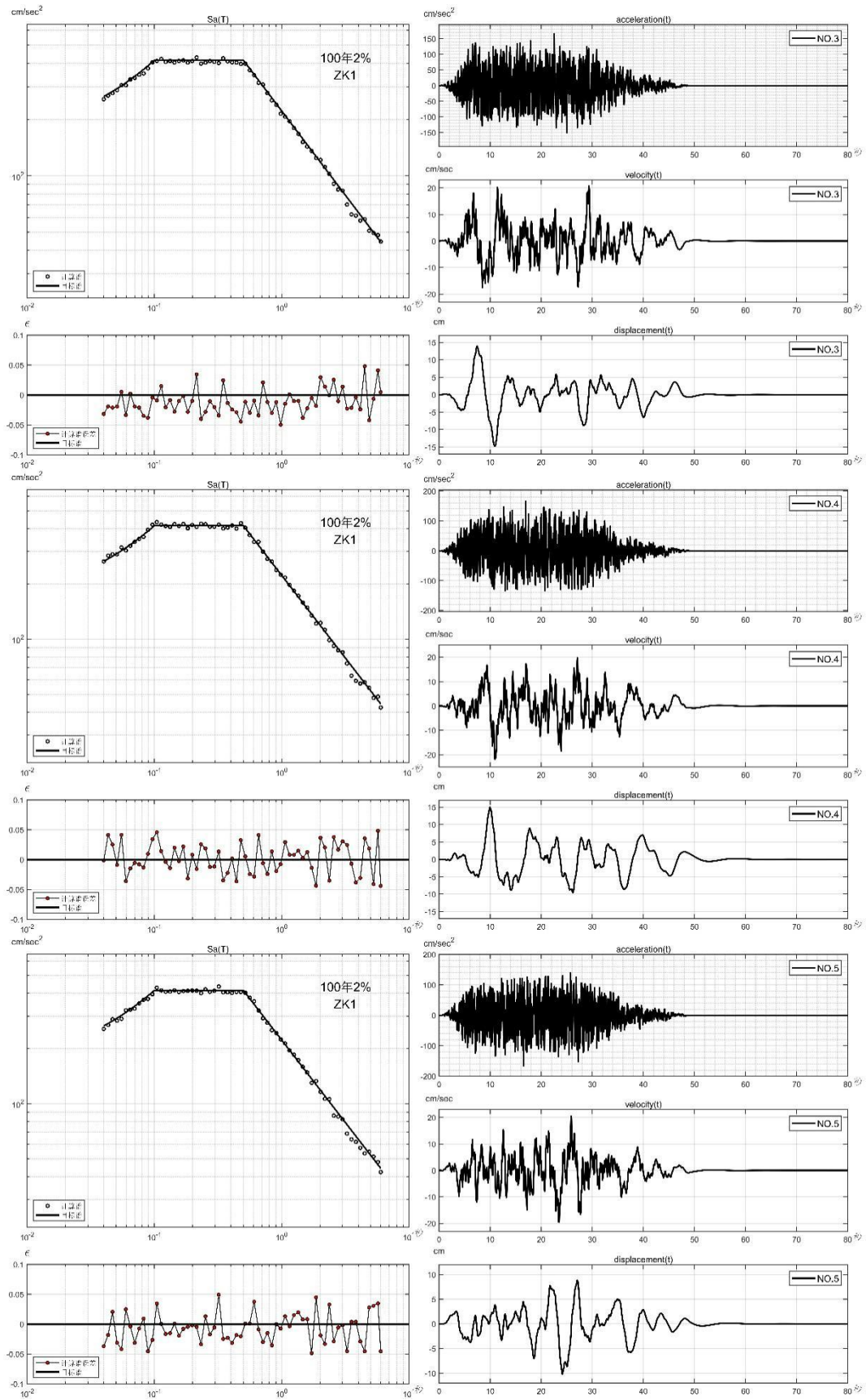


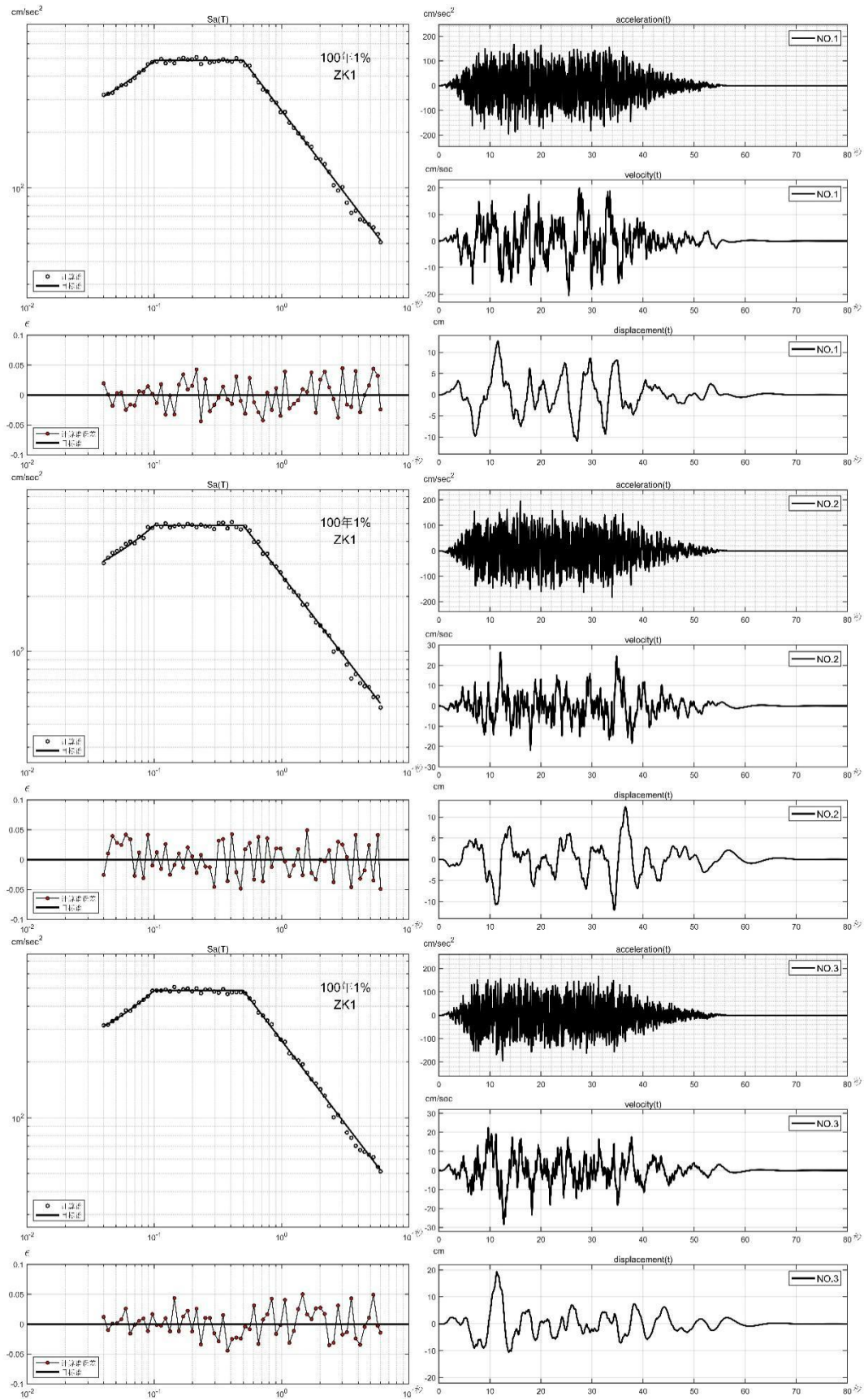












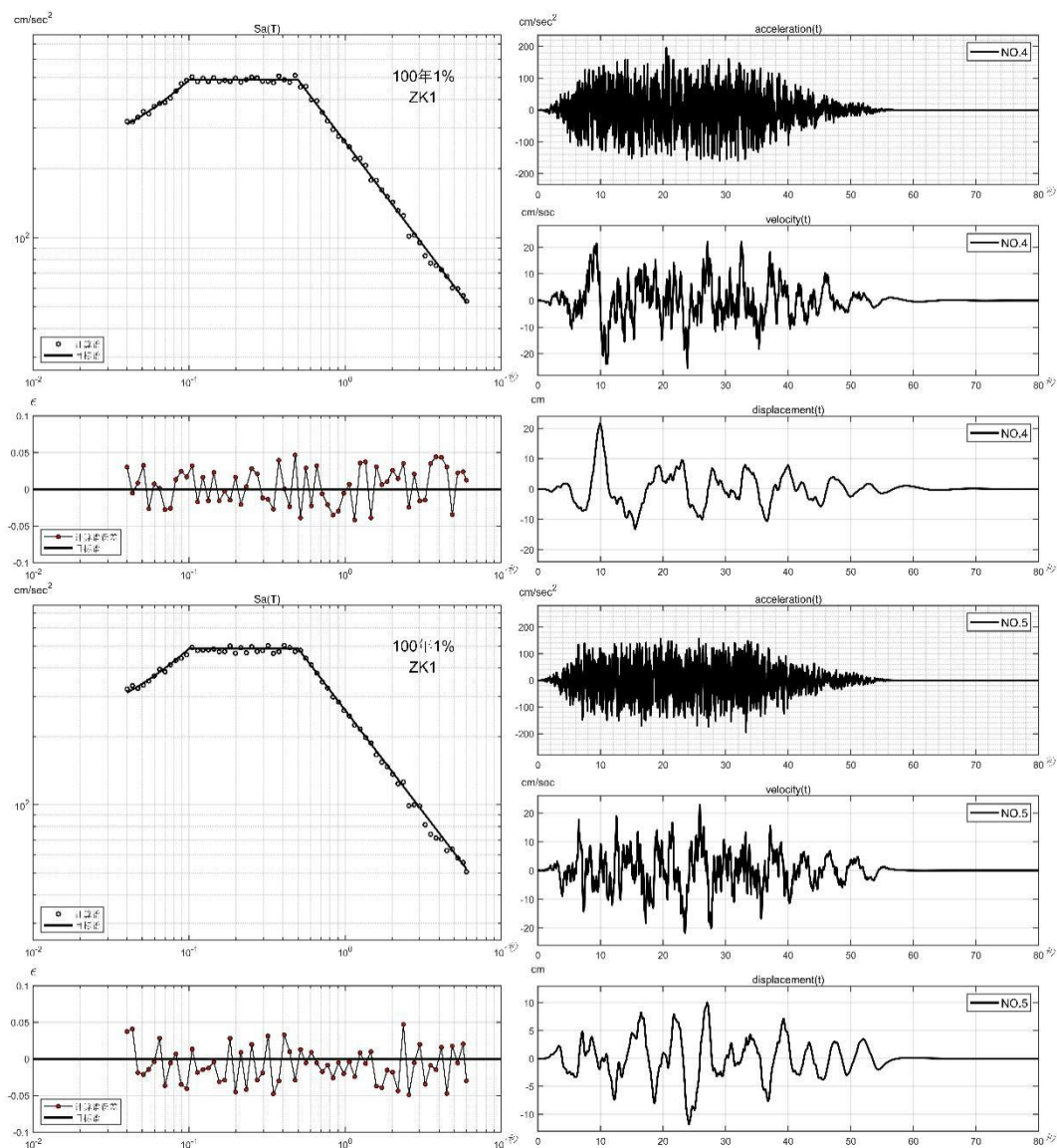


图 7.2-2 目标谱与计算谱的比较、拟合精度、基岩地震波图

概率水平	相关系数	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5
50 年 63%	NO. 1	1.000	0.001	0.084	0.101	0.014
	NO. 2	0.001	1.000	0.031	0.080	0.024
	NO. 3	0.084	0.031	1.000	0.050	0.026
	NO. 4	0.101	0.080	0.050	1.000	0.066
	NO. 5	0.014	0.024	0.026	0.066	1.000
50 年 10%	NO. 1	1.000	0.004	0.057	0.029	0.019
	NO. 2	0.004	1.000	0.028	0.008	0.029
	NO. 3	0.057	0.028	1.000	0.033	0.034
	NO. 4	0.029	0.008	0.033	1.000	0.042
	NO. 5	0.019	0.029	0.034	0.042	1.000
50 年 2%	NO. 1	1.000	0.039	0.002	0.009	0.012
	NO. 2	0.039	1.000	0.001	0.024	0.025

	NO. 3	0.002	0.001	1.000	0.035	0.016
	NO. 4	0.009	0.024	0.035	1.000	0.013
	NO. 5	0.012	0.025	0.016	0.013	1.000
100 年 63%	NO. 1	1.000	0.003	0.085	0.088	0.001
	NO. 2	0.003	1.000	0.024	0.062	0.034
	NO. 3	0.085	0.024	1.000	0.060	0.021
	NO. 4	0.088	0.062	0.060	1.000	0.068
	NO. 5	0.001	0.034	0.021	0.068	1.000
100 年 10%	NO. 1	1.000	0.011	0.059	0.028	0.018
	NO. 2	0.011	1.000	0.034	0.017	0.030
	NO. 3	0.059	0.034	1.000	0.032	0.029
	NO. 4	0.028	0.017	0.032	1.000	0.037
	NO. 5	0.018	0.030	0.029	0.037	1.000
100 年 2%	NO. 1	1.000	0.046	0.011	0.021	0.018
	NO. 2	0.046	1.000	0.007	0.003	0.032
	NO. 3	0.011	0.007	1.000	0.030	0.018
	NO. 4	0.021	0.003	0.030	1.000	0.007
	NO. 5	0.018	0.032	0.018	0.007	1.000
100 年 1%	NO. 1	1.000	0.081	0.003	0.006	0.011
	NO. 2	0.081	1.000	0.010	0.001	0.010
	NO. 3	0.003	0.010	1.000	0.032	0.005
	NO. 4	0.006	0.001	0.032	1.000	0.003
	NO. 5	0.011	0.010	0.005	0.003	1.000

表 7.1-2 目标区 ZK1 不同概率五条时程的相关系数

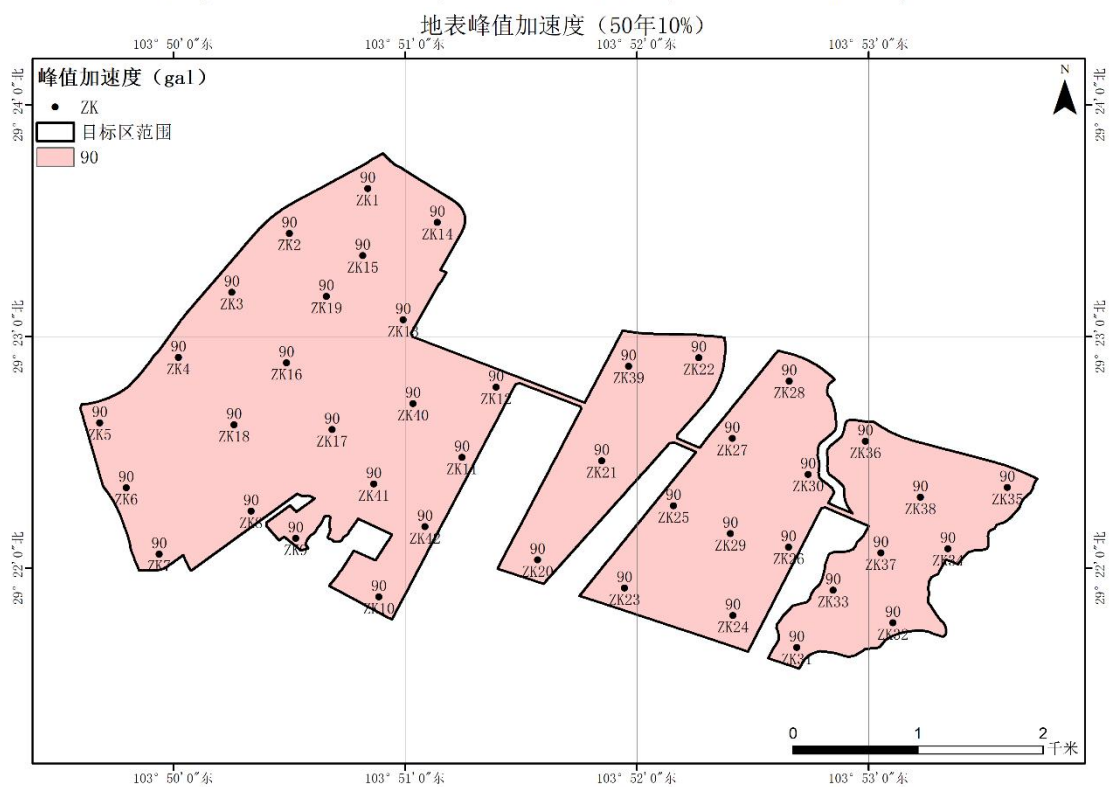
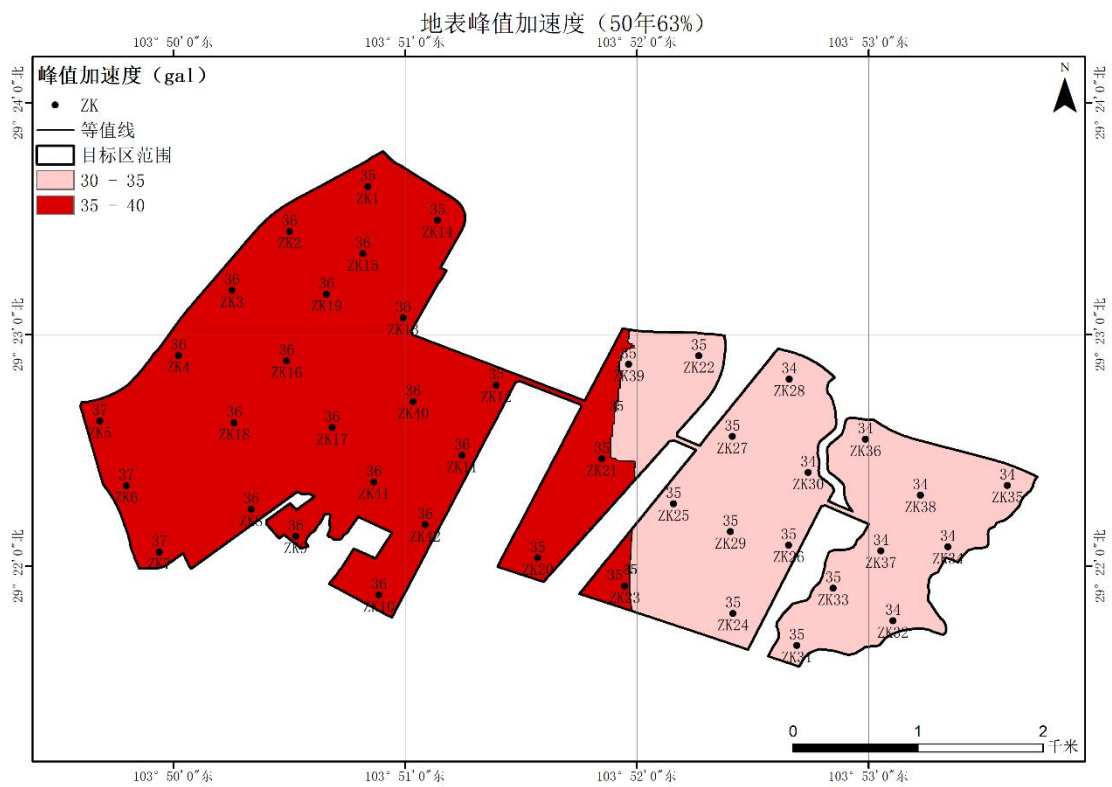
7.3 目标区地震动参数分区

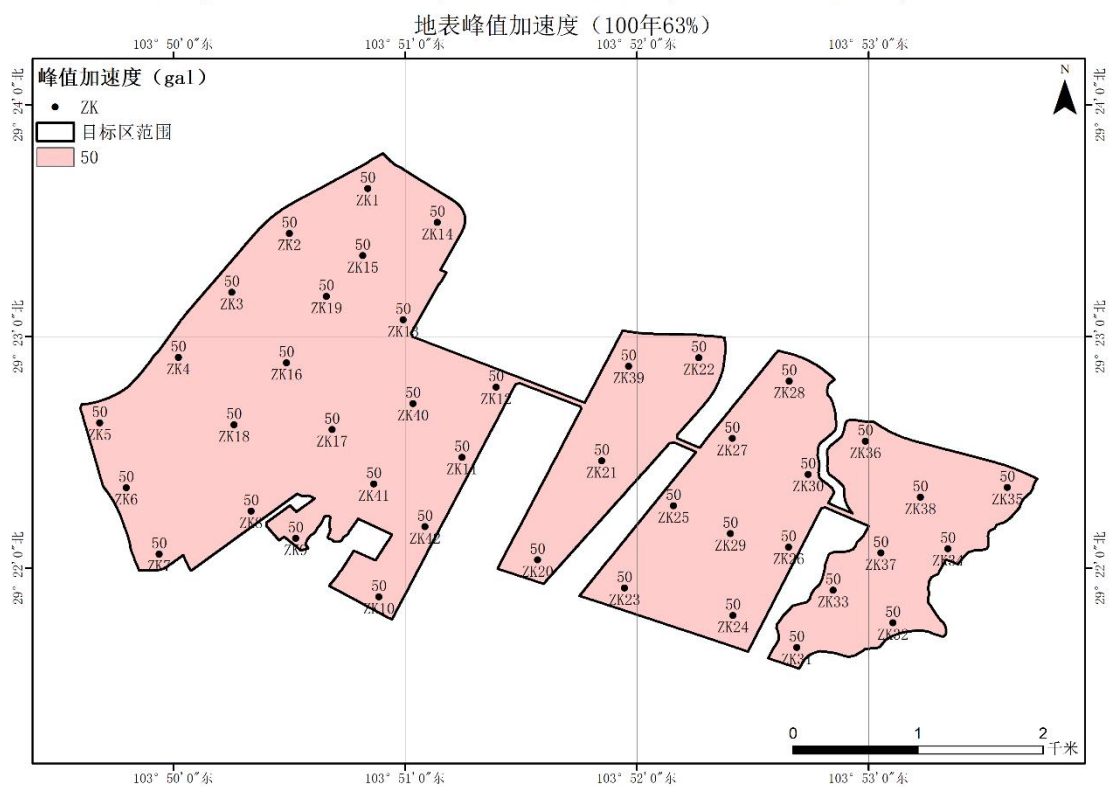
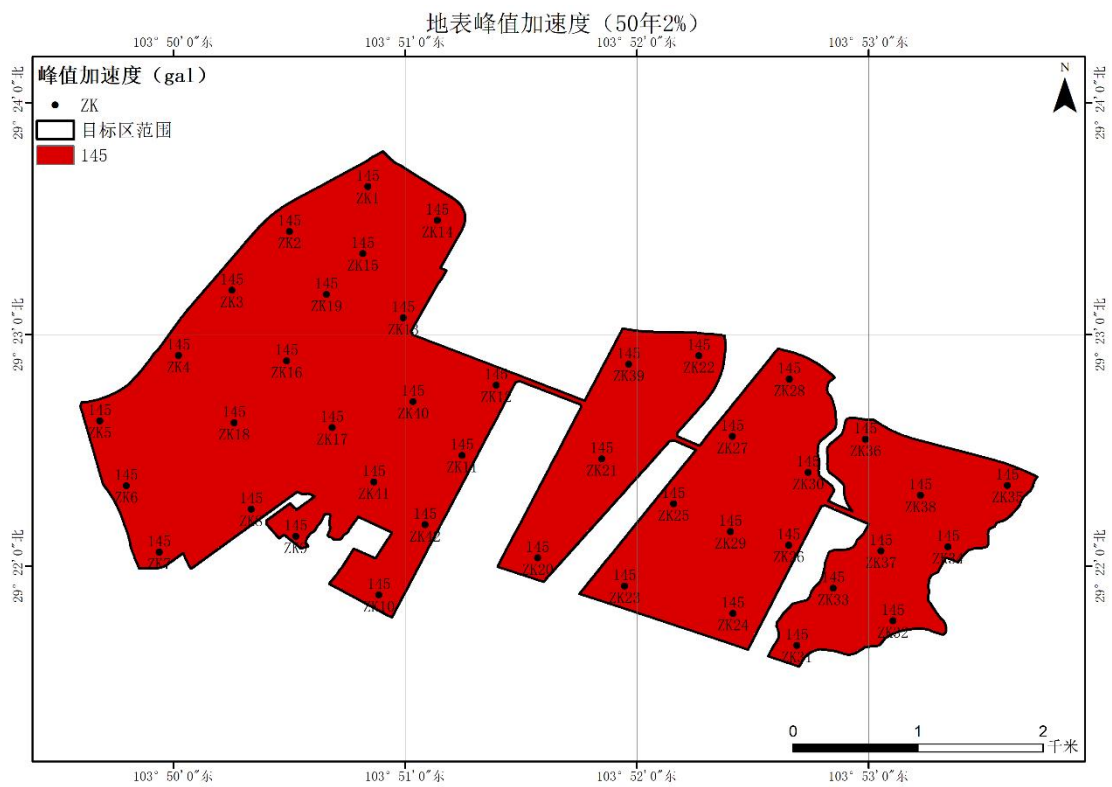
按照《区域性地震安全性评价工作大纲》的要求，本章编制目标区多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱区划图，以等值线形式表示目标区地震动参数分区结果。地震动峰值加速度相邻等值线差异一般为 5%且为 5 的倍数，反应谱特征周期相邻等值线差异一般为 0.05s，图件比例尺不小于 1:50000。

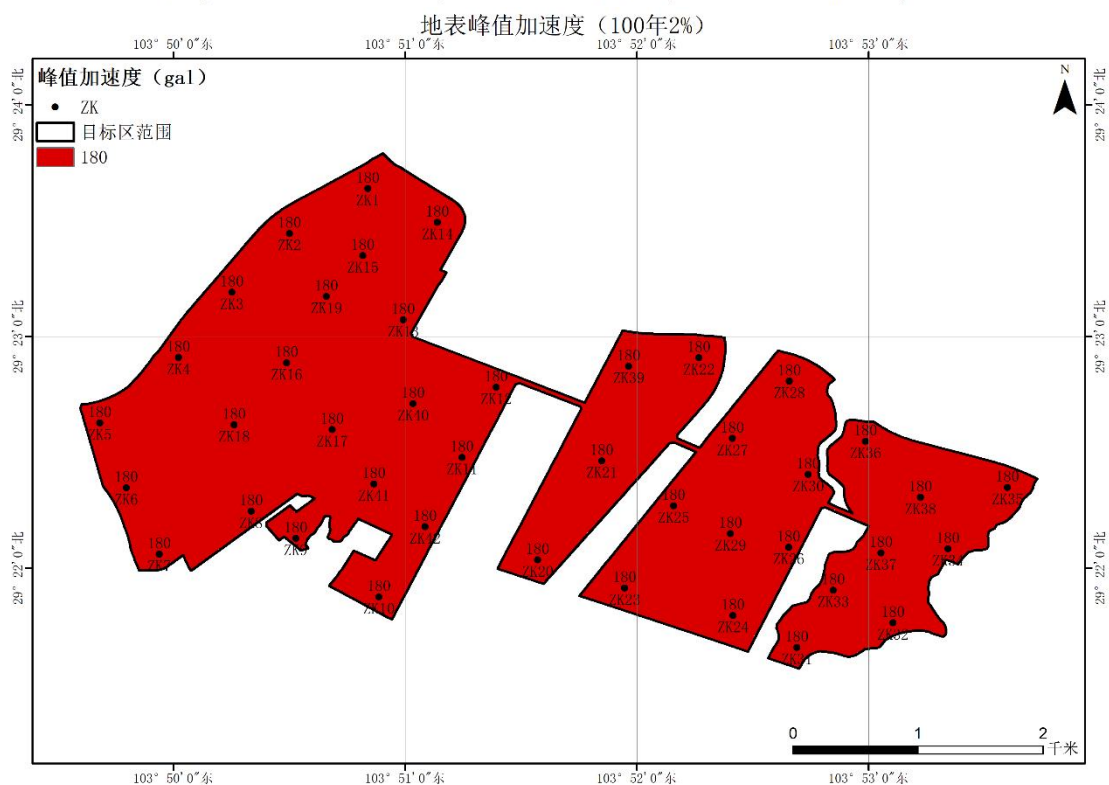
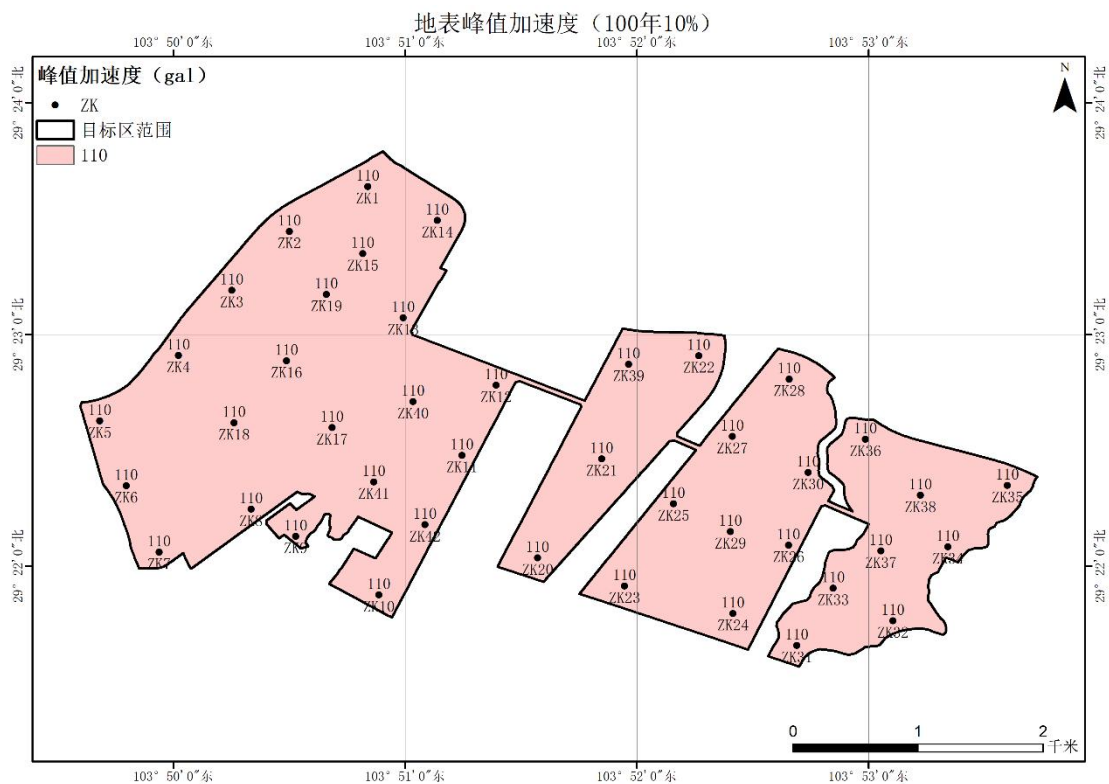
根据勘察资料和计算结果，整个场地划分划分为 I 1 区。

7.3.1 目标区峰值加速度分区

依据第 7.1 节的计算结果，采用克里金插值划分不同超越概率的地表峰值加速度等值线，50 年 63%、50 年 10%、50 年 2%和 100 年 63%、10%、2%、1%的地表峰值加速度等值线图如图 7.3.1 所示。







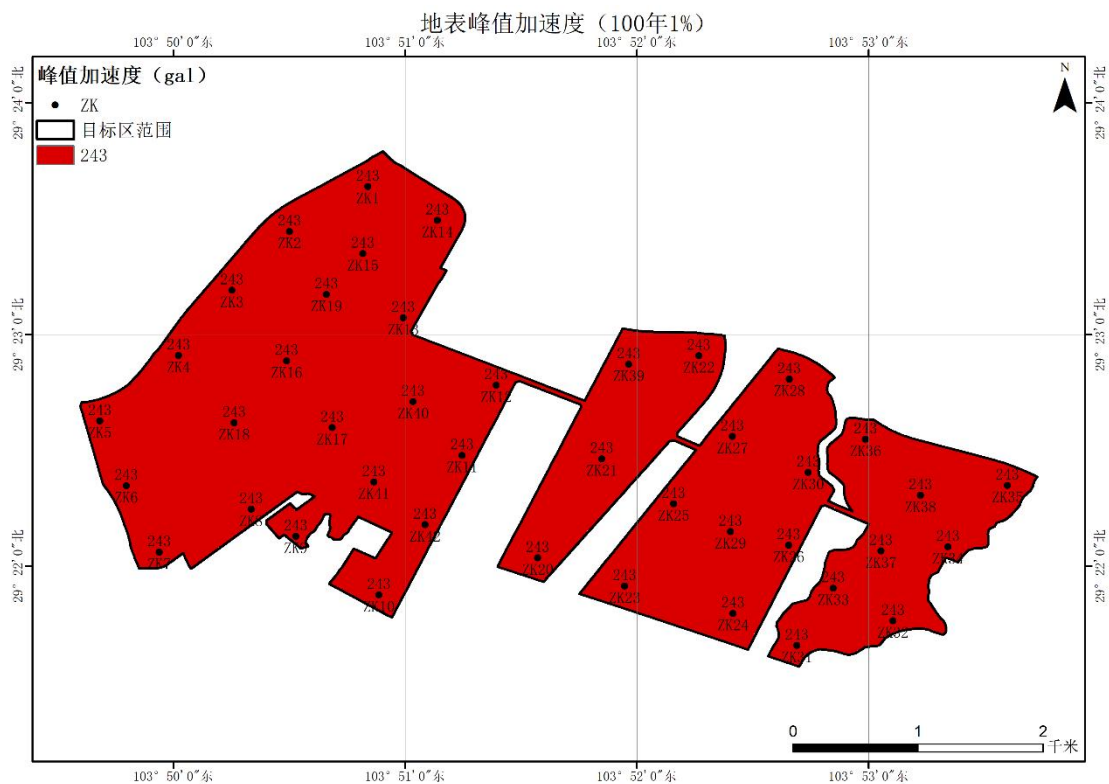
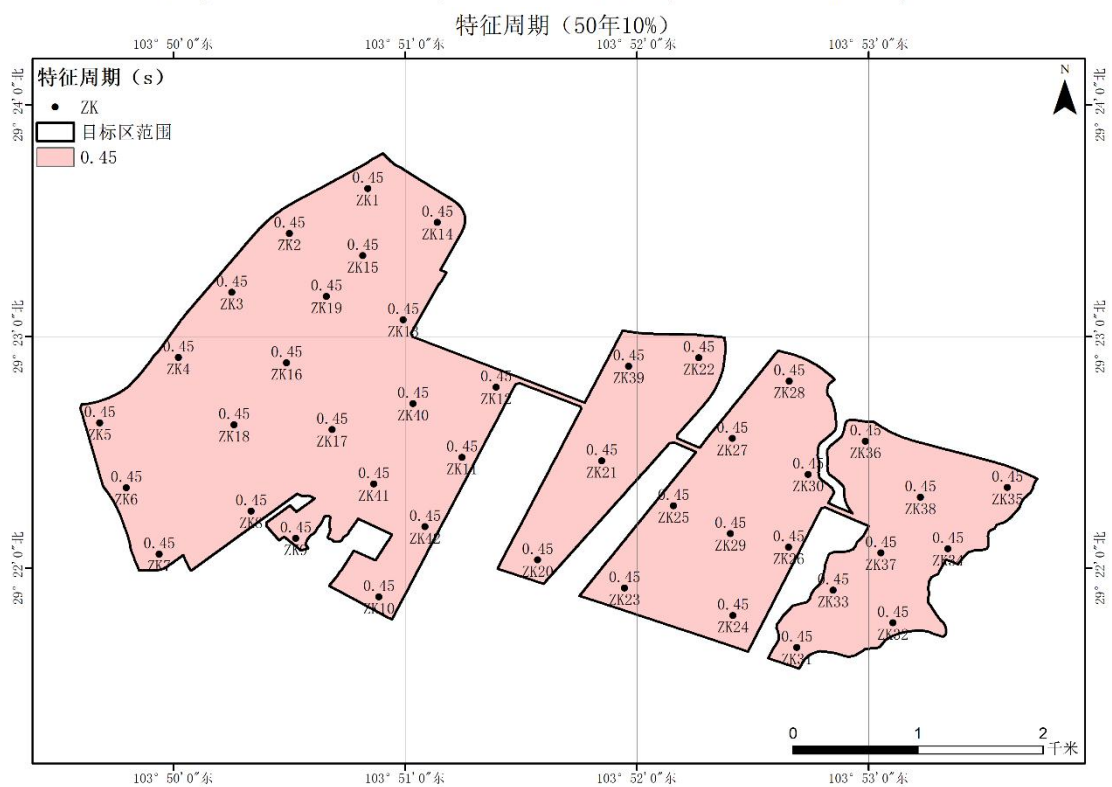
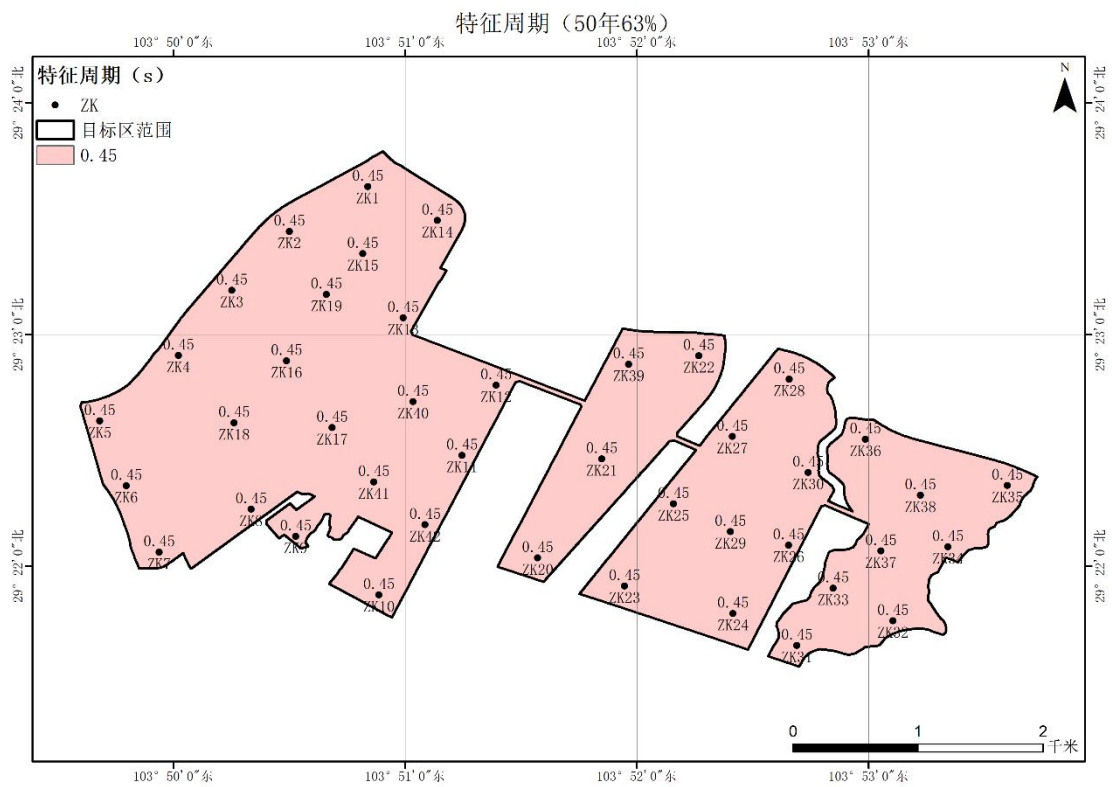
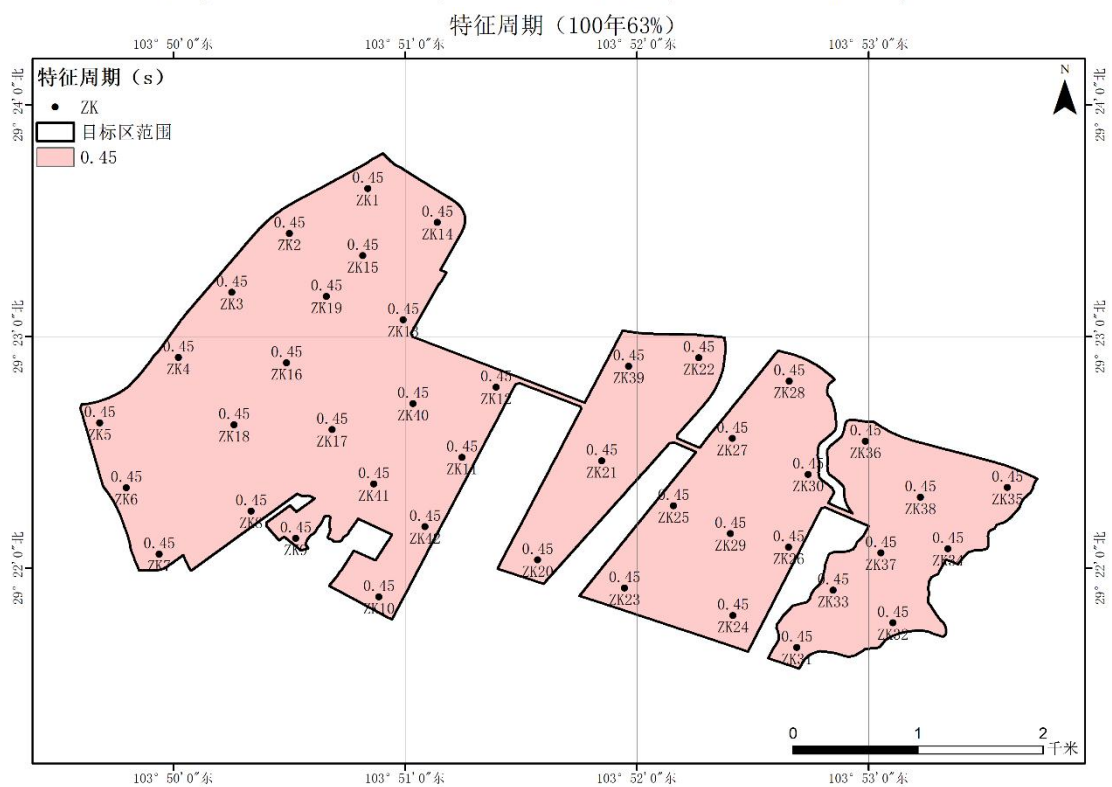
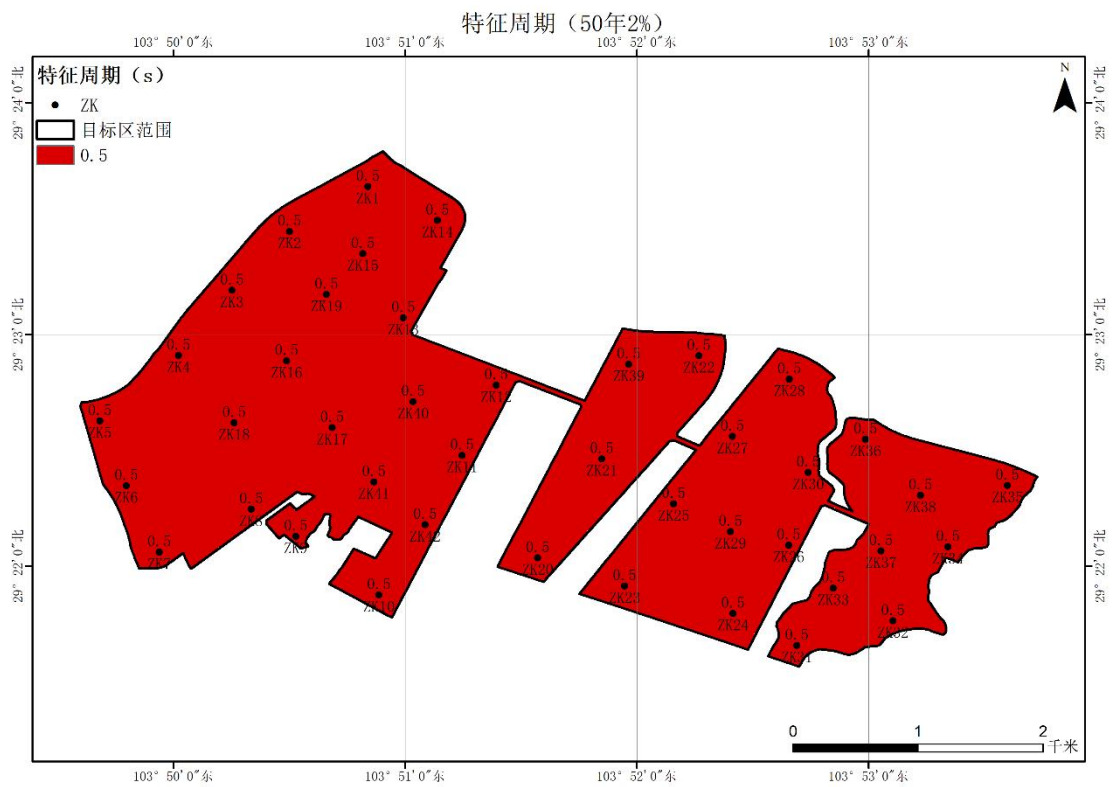


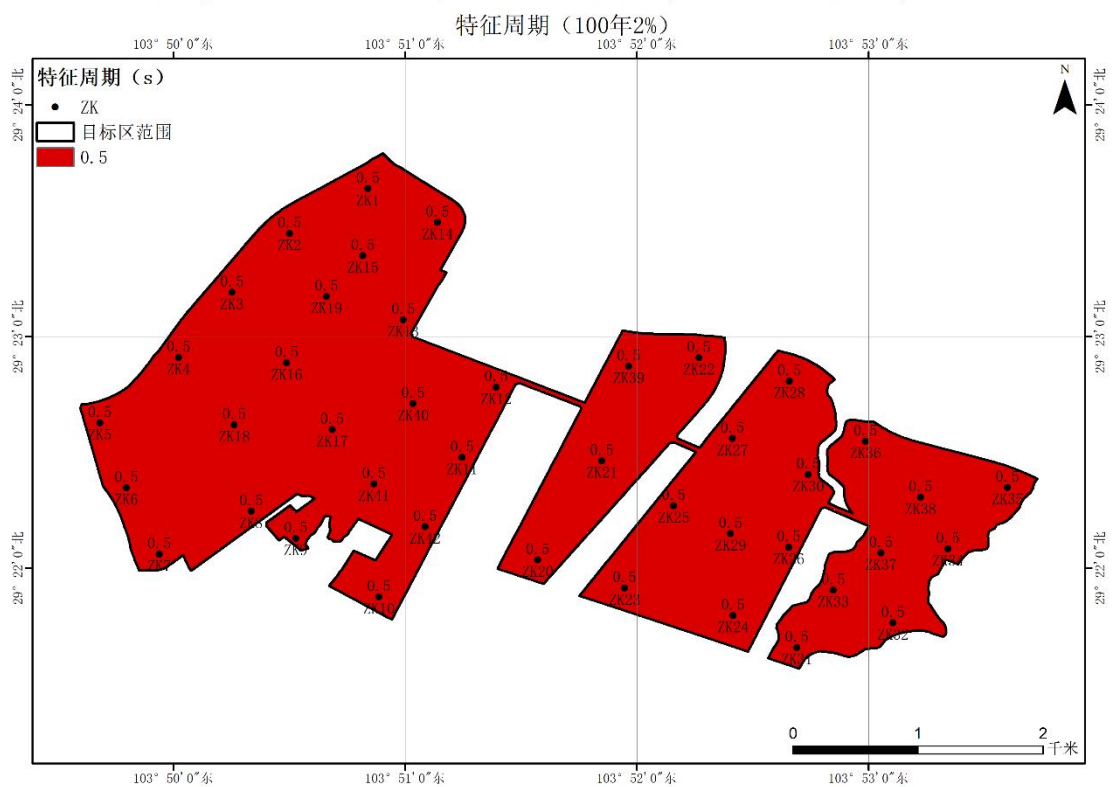
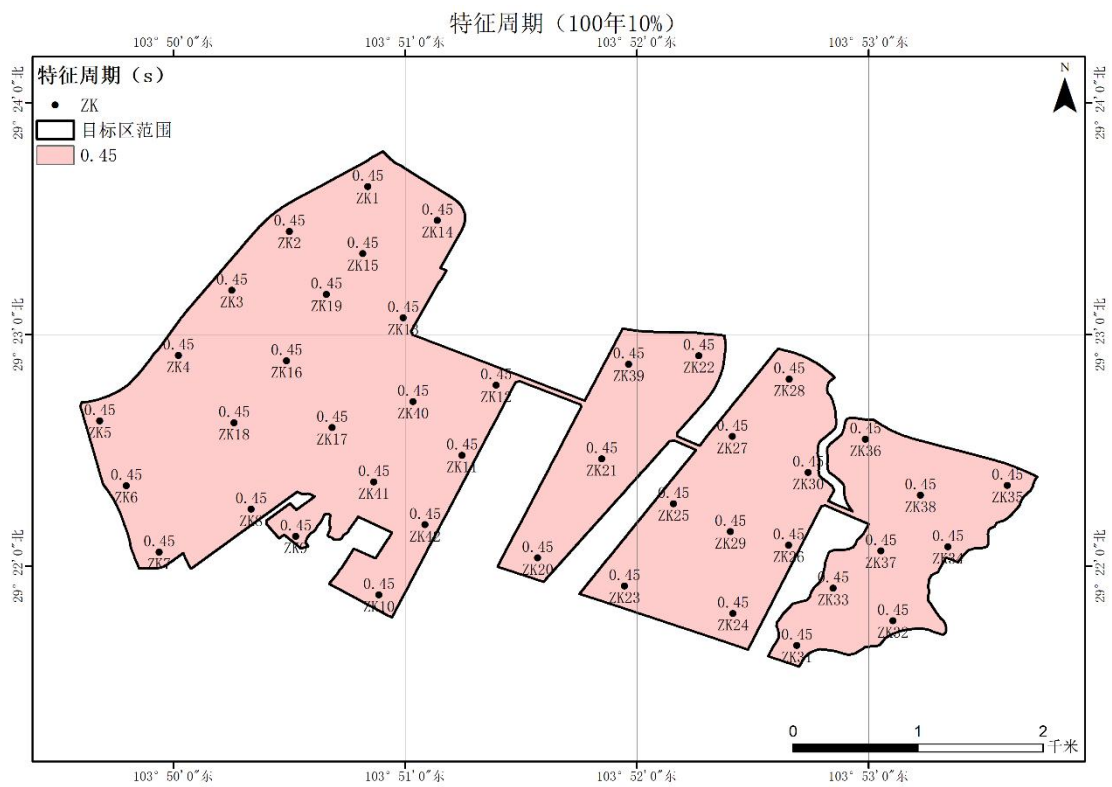
图 7.5.1 目标区不同超越概率水准下的峰值加速度分区图

7.3.2 目标区特征周期分区

依据第 7.1 节的计算结果，采用克里金插值划分不同超越概率下的反应谱特征周期等值线，图 7.3.2 为目标区不同超越概率水准下的场地特征周期分区图。







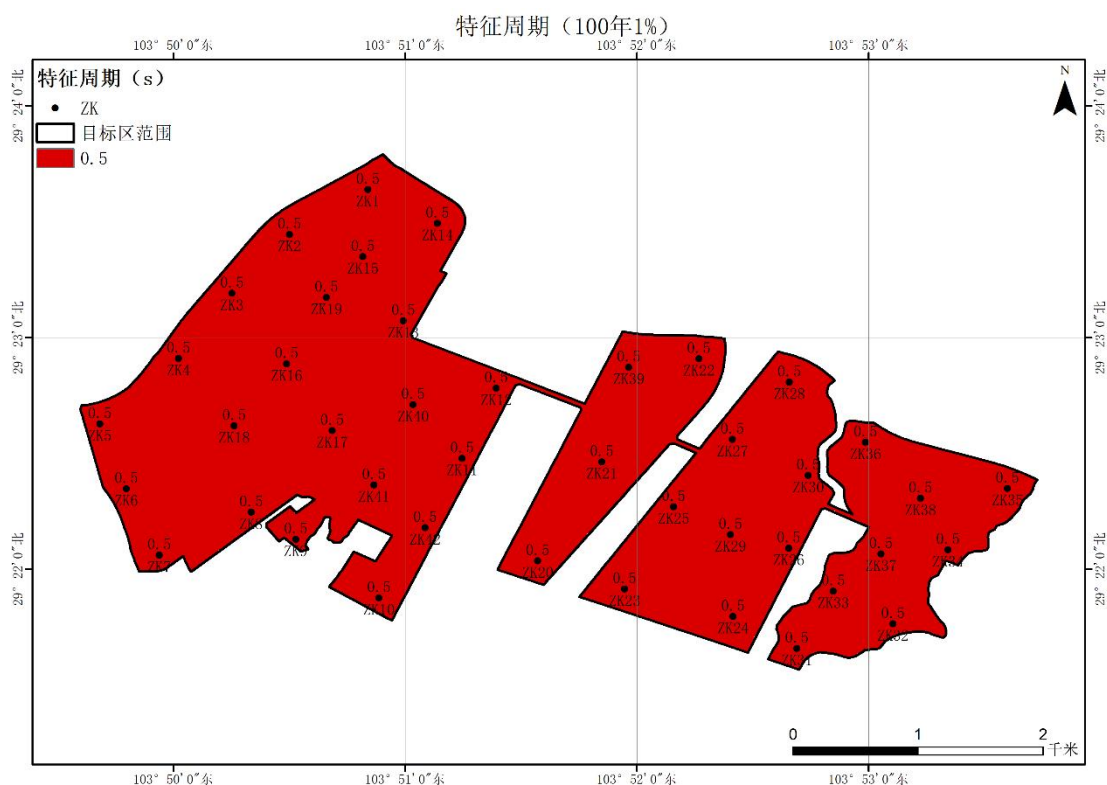


图 7.5.2 目标区不同超越概率水准下的特征周期分区图

7.3.3 使用说明

需要重点说明的是，本章编制目标区多概率水准的地震动峰值加速度、反应谱区划图，目的是以等值线形式表示目标区地震动参数分区结果，不做为设定场点取值的依据。

设定场点的取值应依据《区域性地震安全性评价大纲（试行）》（中震防函[2019]21号）第三十六条“依据工程结构所需的概率水准，选择距离场点 700m 范围内的控制点结果综合确定场地地震动参数。其中，场点距离控制点小于 200m 时，取该控制点地震动参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数。场点距离控制点大于 200m 时，选择该场点周围 700m 范围内的多个控制点,取地震动参数大的控制点参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数”。

第八章 场地地震地质灾害评价

大量的震例表明，在地震力的作用下，地质体的变形或破坏可能引起严重的地震地质灾害。地震地质灾害类型主要有：地基土液化、软土震陷、崩塌、滑坡、地裂缝、地震海啸或湖涌、地表断裂等由地震作用引起或触发的各种地质灾害。一个地区地震地质灾害的种类及破坏程度不仅取决于地震震级的大小，而且与场地的地形、地貌、地质结构、水文条件、地层岩土结构及性质等工程地质条件密切相关。通过对历史地震资料的考证、调查与分析，查明场地及其附近地区地震地质灾害类型和程度，并结合现场地震地质灾害场地勘查，对场地地震地质灾害作出预测与评价。

8.1 断层错动评价

地震活动断层是工程建设和地震安全性评价中最为重视的问题。地震活动断层灾害是指地震时，活动断层发生位移、升降等现象直接破坏地表，使位于断层带上及其附近的建筑物瞬间遭遇严重破坏，地震活动断层的破坏是现有抗御条件下难于抗御的地震地质灾害。

目标区地震勘探结果表明，场地未发现中更新世以来活动断裂，按照《区域地震安全性评价工作大纲（试行）》第三十八条，和《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）（2016年版）的相关规定，可不考虑地震时断裂错动引起的地面变形对工程可能造成的破坏影响。

8.2 地震砂土液化评价

8.2.1 砂土液化的危害

饱和疏松粉、细砂、粉土等土体在在地震力（或其它动力荷载）的作用下，有颗粒移动和变密的趋势，对土体对外部应力的承受由砂土骨架转向粒间孔隙水，由于饱和疏松粉、细砂、粉土等土体的渗透性不良，孔隙水压力急剧上升，有效应力不断减小，当孔隙水压力达到总应力值时，有效应力下降到 0 时，抗剪强度或剪切刚度降低并趋于消失，颗粒悬浮在水中，砂土体即发生振动液化，完全丧失强度和承载能力。

砂土发生液化后，在超孔隙水压力作用下，孔隙水自下向上运动。如果砂土层上部无渗透性更弱的盖层，地下水即大面积地漫溢于地表；如果砂土层上有渗透性更弱的粘

性土覆盖，当超孔隙水压力超过盖层强度，则地下水携带砂粒冲破盖层或沿盖层已有裂缝喷出地表，即产生所谓的“喷水冒砂”现象。

随着一次破坏性地震的发生，由砂土液化而造成的危害是十分严重的。喷水冒砂使地下砂层中的孔隙水及砂颗粒被搬到地表，使地基失效，地面发生沉陷，地面建筑物倾斜、开裂、倾倒、下沉，道路的路基滑移，桥梁落架，毁坏大面积农田等。此外，地震还可以触发滑坡、泥石流等其它地质灾害。

8.2.2 历史砂土液化灾害调查

历史地震对目标区的最大影响烈度为Ⅵ度，目标区遭受过 4 次Ⅵ度的地震影响，对目标区影响大的破坏性地震是 1786 年四川康定南 7 $\frac{1}{4}$ 级地震、1936 年 2 次四川马边 6 $\frac{1}{4}$ 级地震和 2008 年四川汶川 8.0 级地震，最大影响烈度为Ⅵ度。据走访调查，历史上目标区及周边未发生过砂土液化灾害。

8.2.3 砂土液化评价

从国内外大量地震砂土液化灾害的调查分析可知，砂土液化主要出现在地震烈度Ⅶ度及以上区域，发生液化灾害的部位主要为河流冲积平原、河流阶地及滨海平原等地的饱和砂土、粉土层。

目标区位于浅丘地貌区，第四系覆盖层较薄，为基岩场地。根据目标区钻孔勘察成果可知，目标区内覆盖层主要为人工填土、耕植土，无饱和粉土、砂土等可液化土层分布，因此，目标区不会发生地震液化灾害。

8.3 软土震陷评价

软弱土层指孔隙比大于或等于 1.0，且天然含水量大于液限的灰色细粒土，从广义上说，软弱土包括松散砂土和粉土、淤泥、淤泥质土，软弱素填土和杂填土等。习惯上认为一般的软土主要由淤泥、淤泥质土、泥炭质土、有机质土或其它高压缩性土组成，现实中的震陷既有复合的，即包括软粘土和砂土的震陷，也有主要为淤泥质类典型软土的震陷。

软土能否发生震陷，与土层承载力标准值和等效剪切波速有关，按照《软土地区岩土工程勘察规程》（JGJ 83-2011）中相关条款的规定，当地基承载力标准值或等效剪切波速满足下表所规定的数值条件时，可不考虑震陷影响。

表 8.3.1 震陷影响判别标准

抗震设防烈度	VII	VIII	IX
承载力标准值（KPa）	>80	>130	>160
等效剪切波速（m/s）	>90	>140	>200

场地在钻孔揭露深度范围内，第四系土层以人工填土、根植土为主，从场地钻孔波速测试成果可知，目标区等效剪切波速在 147-479 m/s；结合第七章计算分析结果，目标区 50 年超越概率 63%下对应地震烈度≤V度，50 年超越概率 10%和 100 年超越概率 63%下对应地震烈度为Ⅵ度，50 年超越概率 2%和 100 年超越概率 10%、2%下对应地震烈度均Ⅶ度为Ⅷ度，100 年超越概率 1%下对应地震烈度为Ⅷ度。因此，目标区内土层非震陷性软土层，场地不具备发生软土震陷的工程地质条件。

从以上分析来看，场地不具备发生软土震陷、地面塌陷等地震地质灾害的工程地质条件，因此不可能发生上述地震地质灾害。

8.4 地震崩塌、滑坡灾害评价

8.4.1 崩塌、滑坡形成条件

崩塌形成一般受地形地貌、地层岩性、结构构造、新构造运动等因素影响。一般来说崩塌易形成于以下几方面：

- ①从地形地貌条件来看，崩塌多发生于山区坡度大于55°、高度大于30m坡面凹凸不平的陡峻斜坡上；
- ②从地层岩性来看，块状、厚层状的坚硬脆性岩石常形成较陡峻的边坡，软硬地层交叠时，软岩易风化，形成凹坡，坚硬岩石形成陡壁或突出的悬崖易发生崩塌；
- ③从岩体结构来看，若岩体构造节理和卸荷裂隙发育且存在临空面，或当岩层倾向与山坡一致，且倾角大于山坡倾角时，易发生崩塌。
- ④从地质构造来看，断裂发育的陡峭斜坡和岩体破碎节理发育的褶皱核部易于发生崩塌。

滑坡的发生与地质、地貌、岩土类型、气候、水文以及人类活动等许多环境因素密切相关。一般来说滑坡易于形成以下几个方面：

- ①从地层岩性来看，滑坡主要发生在易亲水软化、风化的土层中、软岩中和软硬相间的岩层中；

②从地形地貌条件来看，斜坡愈陡，高度愈大，上部成环状的坡形，以及当斜坡下陡中缓上陡，且坡脚无抗滑地形时，滑坡容易发生，一般滑坡的坡度大于10°，小于45°，尤其以20°~35°的坡度最利于滑坡的发生；

③从地质构造来看，斜坡岩土体内发育软弱结构面（层面、节理、断层、片理等），不仅破坏了岩土整体性，又为降水等侵入斜坡提供了通道，弱化土体强度，利于滑动面的产生，当软弱结构面与斜坡坡面倾向近于一致，且小于斜坡倾角时，此斜坡的岩土体容易失稳成为滑坡；

④从水文地质条件来看，地表水侵蚀冲刷坡脚，地下水位（或江河水位）变动、雨水冲刷或坡内渗流，不仅增加了下滑力，并且软化岩土体，易于造成滑坡现象；

⑤从已有的大量震害资料和地震烈度评定经验来看，一般地震烈度Ⅶ度以上区域才产生地震作用诱发的崩塌、滑坡地质灾害。

8.4.2 场地崩塌、滑坡评价

1.评价依据

依据重大工程场地地震安全性评价标准对地震地质灾害评价的规定，考虑到目标区周边可能对对目标区内建筑有影响的坡体，对目标区及附近地区进行评价。地震地质灾害评价体系依据重大工程场地地震安全性评价标准，利用斜坡坡度危险度分级因子(表8.4.1)、地震峰值加速度危害度分级因子(表8.4.2)、Sr岩土体危险度分级因子(表8.4.3)、地震崩塌滑坡危险性指数H来对目标区区外延500m范围内地震地质灾害进行危险度分级评价（表8.4.4）。

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

式中，Sa代表斜坡坡度危险度分级因子；Sp地震峰值加速度危害度分级因子；Sr岩土体危险度分级因子。

坡体坡度危险程度因子Sa，宜根据坡体斜坡角度大小按表7-2评价确定。

表8.4.1 斜坡坡度危险度分级因子 Sa 赋值

滑坡坡度(°)	≤20	21-40	>40
崩塌坡度(°)	≤40	41-60	>60
危险度	低	中等	高
Sa	1	2	3

地震动危险程度因Sp，宜根据坡体位置处指定超越概率水平下地震动峰值加速度值大小按表8.4.2评价确定。

表8.4.2 地震峰值加速度危害度分级因子 S_p 赋值

地震动峰值加速度 (gn)	<0.04	0.04-0.19	≥ 0.19
地震烈度	$\leq V$	VI-VII	$\geq VIII$
危险度	低	中等	高
S_p	1	2	3

坡体性状危险程度因子 S_r ，宜按表8.4.3确定，并符合以下要求：

a)坡体性状特征由坡体质地、坡体完整性、坡体结构等主要因素综合表征；

b)坡体质地简单划分为土质坡体和岩质坡体；

c)岩体完整程度和岩石风化程度可依据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001，2009年版)判定。

表8.4.3 岩土体危险度分级因子 S_r 赋值

坡体性状	危险度	S_r
岩体完整或较完整，结构基本未变，岩石未风化或微风化；或斜坡内主要结构面倾向与坡向相反。	低	1
岩体较破碎，结构部分破坏，岩石中等风化；或斜坡内主要结构面倾向与坡向斜交。	中等	2
①土质坡体； ②岩体破碎或极破碎，结构大部分破坏或基本破坏，岩石强风化或全风化；或斜坡内主要结构面倾向与坡向大致相同、并存在软弱地层。	高	3

表8.4.4 坡体地震崩塌滑坡危险度分级

危险程度	低	中等	高
危险性指数(H)	1-4	6-12	18-27

2.评价结果

利用DEM数据提取了目标区周边1km范围的高程分布图（图8.4.1）及地形坡度值分布图（图8.4.2），从图8.4.1可知，目标区周边区域整体呈北高南低形势，地面高程在299-506m，最大相对高差达207m。区域内周边为浅丘地貌，整体地形起伏稍大。目标区内地形东高西低，地面高程变化幅度略小，整体起伏不大。

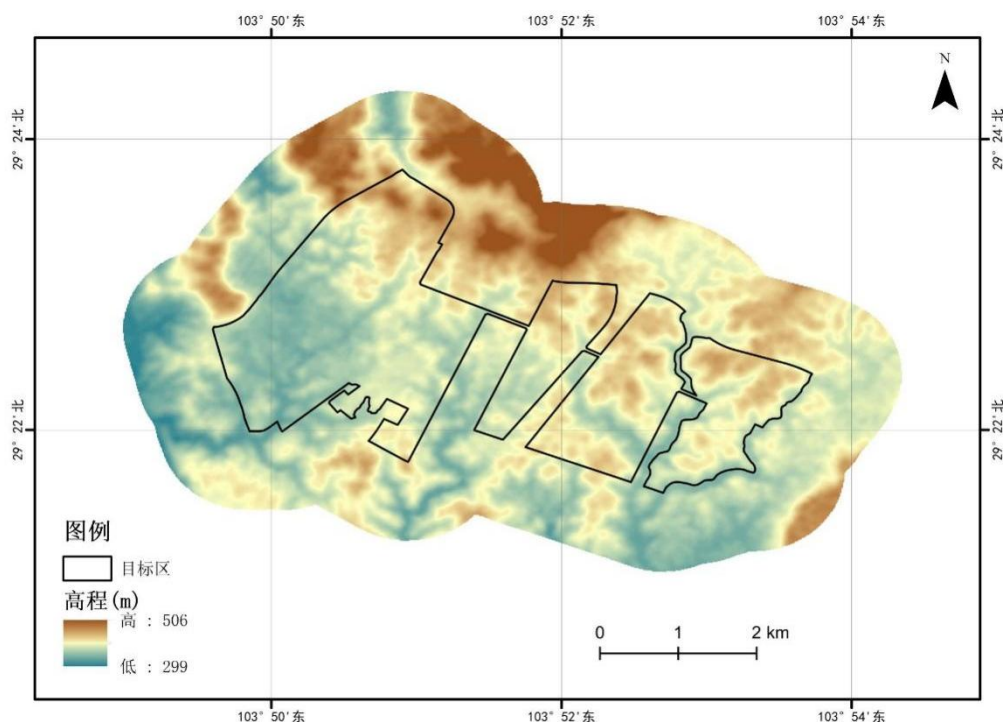


图 8.4.1 目标区周边高程分布图 (1km 范围)

从图8.4.2分析，目标区周边地形较开阔，整体地形坡度较低，多在20°以下；目标区西西部区域地形较平坦、开阔，坡度多不超过10°，目标区东部区域及南北两侧边界外坡度稍陡，多在10~20°，局部陡坎坡度稍大，在20~30°，最大坡度约38°。

综上所述，目标区内地形坡度因子Sa取值1；局部陡坎处Sa取值2。

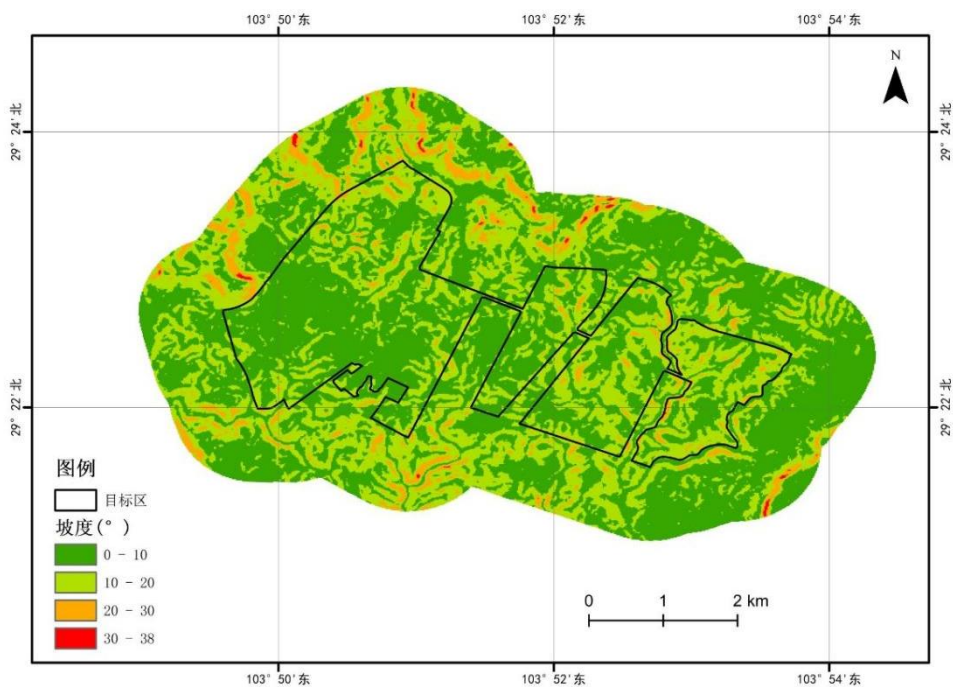


图 8.4.2 目标区周边地形坡度值分布图 (1km 范围)

从第七章计算分析结果来看，在50年超越概率63%下，目标区加速度小于0.04g， S_p 取值1；在50年超越概率10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%下，目标区加速度在0.04g~0.19g， S_p 取值2；100年超越概率1%下，目标区加速度大于0.19g， S_p 取值3；

目标区位于赖家山背斜西北侧，为平缓褶皱区，地层平缓，产状为 $301^\circ \angle 2-3^\circ$ 。主要表现为表层风化裂隙普遍发育，常见两组，一组产状 $224 \sim 228^\circ \angle 68^\circ \sim 79^\circ$ ，另一组产状 $148 \sim 156^\circ \angle 85^\circ \sim 89^\circ$ ，裂隙面平直或稍有弯曲，张开宽度一般3.8~11cm，裂隙率1~3%。局部裂隙发达地段裂隙率5%~10%，裂隙联通较好，多微张，仅少许泥质充填。

从目标区地层结构来看，目标场地地表覆盖层薄，局部基岩出露，下伏基岩为侏罗系砂、泥岩，表层强-中风化，风化裂隙稍发育，岩体完整性较差，根据场地地质调查，未发现较大规模地质灾害，仅局部较高陡的陡坎有局部老的塌滑、崩落现象，方量小于 100m^3 ，未见新鲜垮塌痕迹。综合考虑， S_r 可取值2。

综上所述，在50年超越概率63%下，目标区周内崩塌滑坡危险性指数为 $H=1 \times 1 \times 2=1$ ，为低风险区；局部陡坎崩塌滑坡危险性指数为 $H=2 \times 1 \times 2=4$ ，为低风险区。

在50年超越概率10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%下，目标区周内崩塌滑坡危险性指数为 $H=1 \times 2 \times 2=4$ ，为低风险区；局部陡坎崩塌滑坡危险性指数为 $H=2 \times 2 \times 2=8$ ，为中等风险区。

在100年超越概率1%下，目标区周内崩塌滑坡危险性指数为 $H=1 \times 3 \times 2=6$ ，为中等风险区；局部陡坎崩塌滑坡危险性指数为 $H=2 \times 3 \times 2=12$ ，为中等风险区。

根据上述计算分析结果，在50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%下，目标区大部分区域为崩塌滑坡低风险区，不会发生地震崩塌滑坡灾害；在50年超越概率10%、2%和100年超越概率10%、2%、1%下，局部陡坎为中等风险区，可能出现浅表层滑坡、崩落灾害。

8.5 场地地震地质灾害综合评价

目标区地震勘探结果表明，场地未发现中更新世以来活动断裂，因此，目标区不会发生断层错动危害。

目标区内覆盖层主要为人工填土、耕植土，无饱和粉土、砂土等可液化土层分布，因此，目标区不会发生地震液化灾害。

目标区场地不具备发生软土震陷、地面塌陷等地震地质灾害的工程地质条件，因此不可能发生上述地震地质灾害。

在50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%下，目标区不会发生地震崩塌滑坡灾害；在50年超越概率10%、2%和100年超越概率10%、2%、1%下，局部陡坎可能出现浅表层滑坡、崩落灾害。

第九章 区域性地震安全性评价查询系统

9.1 区评查询系统架构设计

《五通桥区化工园区区域性地震安全性评价查询系统》整合了此次区域性地震安全性评价的成果数据库，实现基于电子地图的各类数据查询和管理功能，方便用户基于已有的区域性地震安全性评价成果进行相关数据与地震动参数的查询。

9.1.1 设计思路

该系统是一个数据查询系统，要想实现查询业务高效的实现，系统的设计是至关重要的问题，无论从硬件还是软件，都需要做好总体设计，我们在分析系统建设的需求基础之上，采用以下设计原则对系统进行设计工作：

首先，坚持以业务为主线、数据为基础、技术为手段的设计总纲，充分分析和理解业务，设计高效的数据存储结构，采用主流的技术来构建系统。

其次，严格按照相关行业标准 and 规范进行设计，主要是技术路线，技术路线的选择，将直接关系到系统的开发效率，以及系统的安全、性能和扩展升级的灵活性。

第三，充分考虑用户的使用感受，尽可能符合用户使用习惯，简化用户操作，提高用户的使用效率。

9.1.2 设计原则

系统必须严格遵守并充分借鉴既有的国家标准和行业规范，同时围绕区域性地震安全性评价相关的数据生产、开发和管理使用等各个环节指定相应的标准和规范。

（1）规范化原则：数据库在库结构设计、数据的分类、数据录入、质量检验和地图制图等方面遵循国家相关规范规程。

（2）实用性原则：针对区域性地震安全性评价的实际开展情况，充分满足用户对当前目标区地震安全性评价相关参数的需求。

（3）先进性原则：考虑到地震安全性评价的成果数据，系统采用 Geodatabase 的数据组织结构，结合软件发展的趋势，为数据库升级预留空间。

（4）可靠性原则：数据入库和数据库维护时应满足数据的准确性、一致性和完备性要求。确保数据库的高度稳定和可靠。

9.1.3 结构设计

为实现对区域性地震安全性评价数据资源管理的信息化，使目标区地震动相关参数

信息能够高速度、高精度的实现收集、整理、输入、存储、分析和展示，根据应用服务子系统运行环境、最终用户的特点及业务需求，本系统采用 python 开发语言，开发环境为 PyCharm 与 QGIS3.22.8，利用 QGIS 自带的 QT designer 与 python 进行应用系统的开发。客户端操作系统为 Windows 10/Windows 11，安装满足 Geodatabase 数据格式的 GIS 系统。系统参照《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函〔2019〕21 号）以及《四川省区域性地震安全性评价规范》等相关规范的要求，设计了以下服务功能：

- 1.浏览、查询目标区基础资料；
- 2.浏览、查询目标区地震动参数成果；
- 3.浏览、查询目标区地震地质灾害评价成果；
- 4.根据目标区内设定场地经纬度给定超越概率水准下的地震动参数，输出地震动参数等。

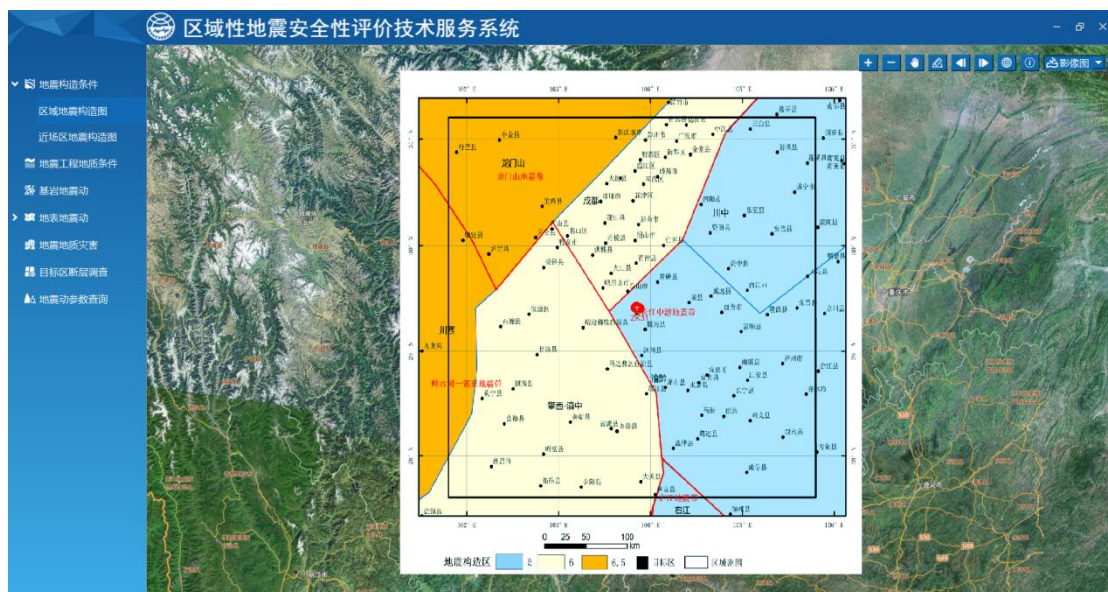
9.2 功能模块展示

9.2.1 主界面



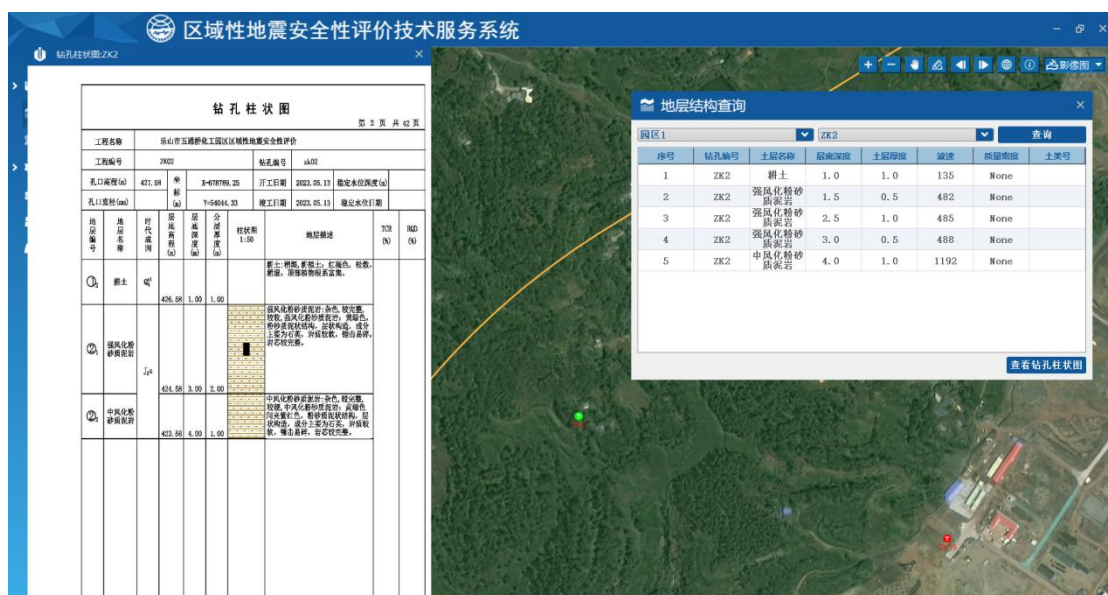
可以清晰的看到目标区范围以及钻孔位置的布设。

9.2.2 地震构造条件



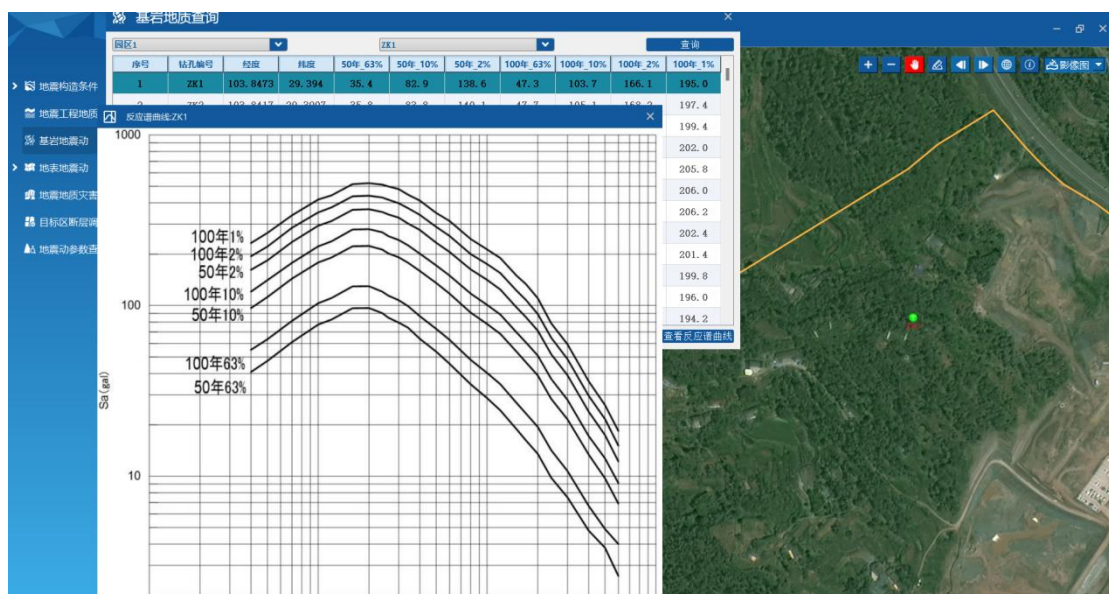
给出目标区所在的地震构造区和潜在震源区。

9.2.3 地震工程地质条件



基于每个钻孔的分层、波速、密度和动三轴样品,给出了场地土层计算模型。

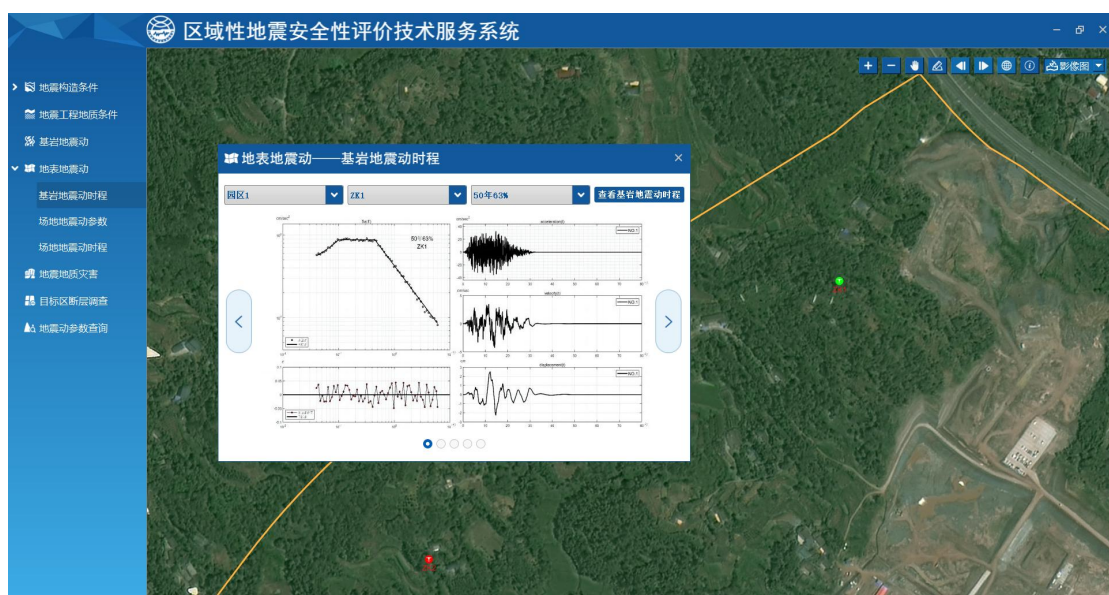
9.2.4 基岩地震动



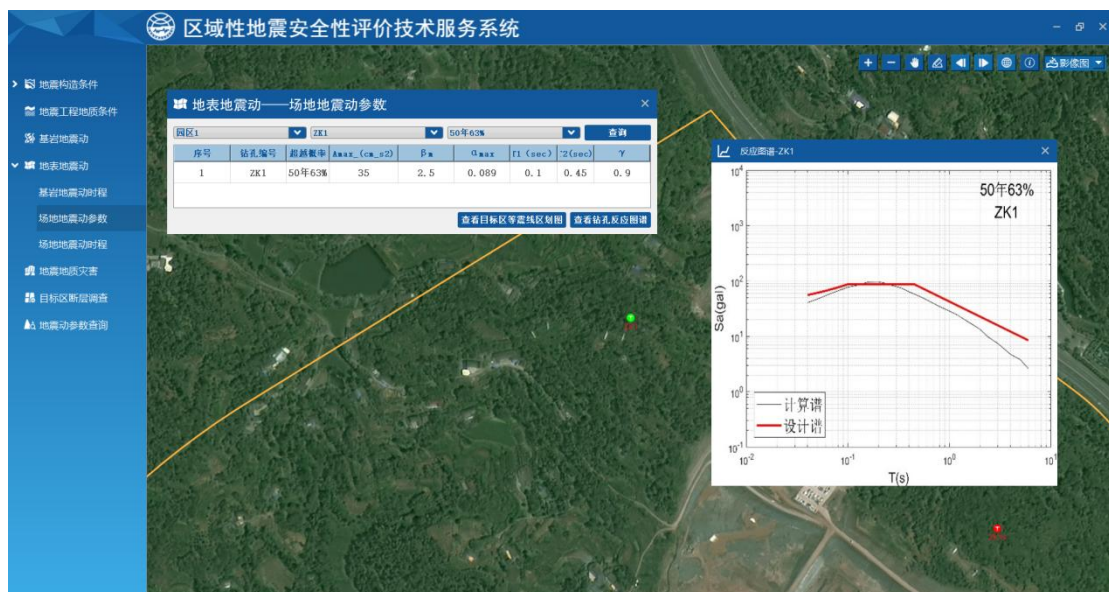
提供以钻孔为计算控制点的基岩地震动数据，包括地震动峰值加速度、基岩反应谱、超越概率曲线以及相关时程。

9.2.5 地表地震动

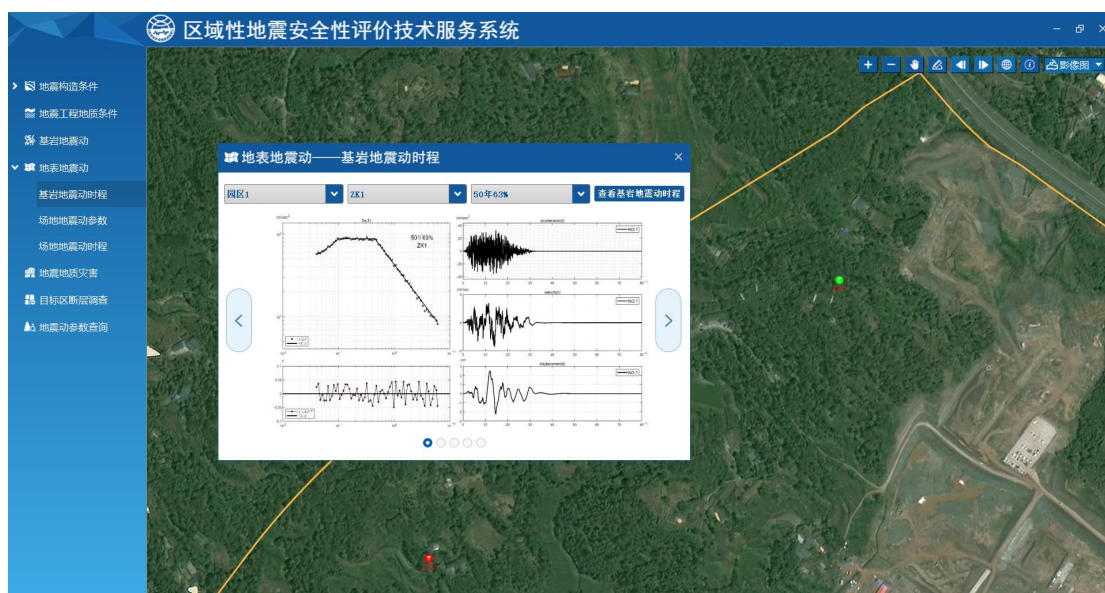
①基岩地震动时程



②设计地震动参数

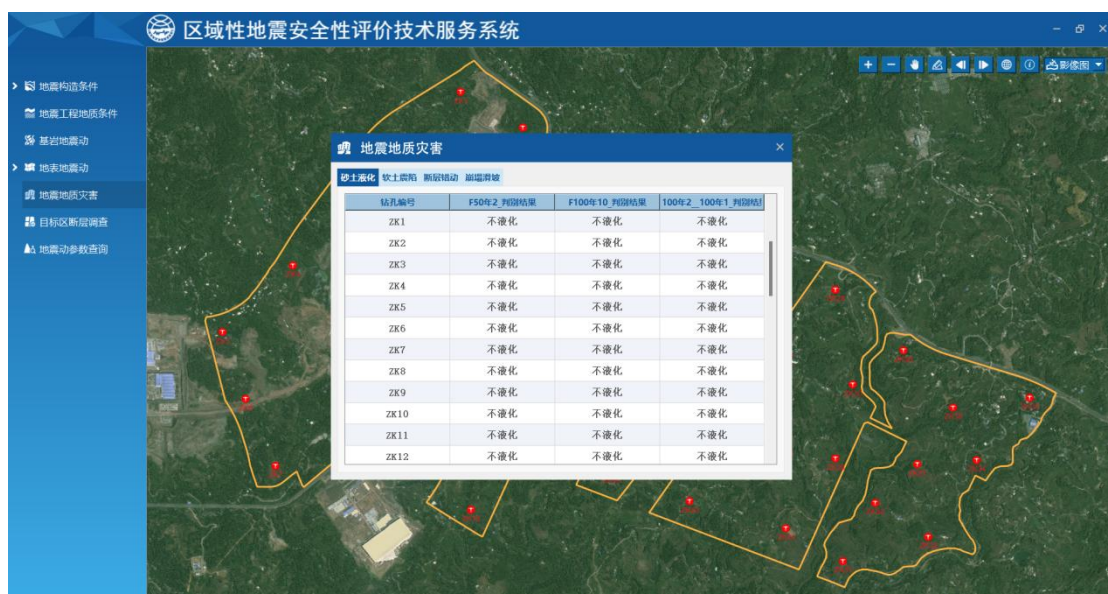


③设计地震动时程



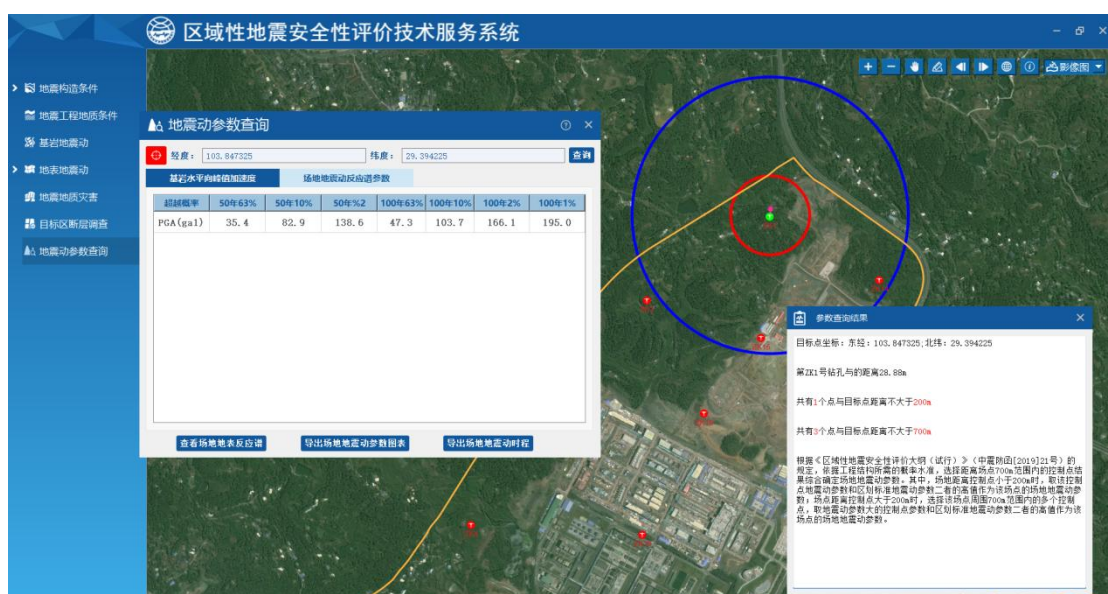
提供以钻孔为计算控制点的地表设计地震动数据，包括设计地震动峰值加速度、特征周期、地表设计地震动反应谱、不同超越概率水准下的时程以及目标区的地震动峰值加速度分区及特征周期分区。

9.2.6 地震地质灾害评价



以可视化的形式给出目标区地震地质灾害评价的相关内容。

9.2.7 定位结果查询系统



提供基于坐标点位的结果查询功能，依据工程结构所需的概率水准，选择距离场点700m 范围内的控制点结果综合确定场地地震动参数。其中，场点距离控制点小于 200m 时，取该控制点地震动参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数；场点距离控制点大于 200m 时，选择该场点周围 700m 范围内的多个控制点，取地震动参数大的控制点参数和区划标准地震动参数二者的高值作为该场点的场地地震动参数。对需要地震动时程的建设工程，依据场点与选定控制点地震动参数结果差异，按比值法对选定的控制点地震动时程进行调整处理，作为该场点的场地地震动时程。

第十章 主要结论

本项目完成了工程场地地震安全性评价工作。项目的主要结论如下：

一、地震活动环境评价

1、区域跨越长江中游地震带、龙门山地震带、鲜水河-滇东地震带和右江地震带，目标区位于长江中游地震带内。

2、区域内共记录到 $M \geq 4.7$ 级的地震 197 次，其中 $M_{4.7 \sim 4.9}$ 级地震 64 次， $M_{5.0 \sim 5.9}$ 级地震 101 次， $M_{6.0 \sim 6.9}$ 级地震 22 次， $M_{7.0 \sim 7.9}$ 级地震 9 次， $M_{8.0}$ 级地震 1 次，为 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震；最早一次地震是公元前 26 年 3 月 28 日四川宜宾 5 级地震；最近一次地震为 2023 年 5 月 4 日四川兴文 4.9 级地震。

自 1970 年至 2023 年 9 月 30 日，记录到 $M_{2.0 \sim 4.6}$ 的小震 38046 次，其中 $M_{2.0 \sim 2.9}$ 级地震 33490 次、 $M_{3.0 \sim 3.9}$ 级地震 4117 次、 $M_{4.0 \sim 4.6}$ 级地震 439 次。

3、区域内地震活动强度大，且频度高，区域内共记录到 1 次 8.0 级强震，为 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震。

区域内地震活动的空间分布极不均匀，条带特征明显，这些强震活动与断裂分布关系密切。在区域西北部发生的 2008 年四川汶川 8.0 级地震和 2013 年四川芦山 7.0 级地震发生在龙门山断裂带上，其呈 NE 向展布。区域西部康定附近的破坏性地震主要与 NW 向鲜水河断裂带相关。区域西南部破坏性地震分布密集，主要与安宁河断裂和则木河断裂关系密切。区域南部破坏性地震密集分布，与峨边-金阳断裂、马边断裂、雷波断裂等关系密切。区域东南部 NE 向展布的破坏性地震条带与华蓥山断裂带的展布基本一致。区域东北部四川盆地地震活动相对较弱，破坏性地震发生相对较少。

区域小震活动的集群特征更明显，表现为团簇状、条带状，在历史强震震中附近小震密集成丛、成带，活动断裂展布区小震活跃。如在龙门山断裂带、鲜水河断裂带、安宁河断裂、则木河断裂、峨边-金阳断裂、马边断裂、雷波断裂和华蓥山断裂带，小震密集成带；在珙县和荣昌附近，也形成了明显的小震集群区。区域东北部的小震活动相对较少，中小地震活动频度相对较低。

4、目标区遭受过 4 次 VI 度的地震影响，对目标区影响大的破坏性地震是 1786 年四川康定南 7 级地震、1936 年 2 次四川马边 6 级地震和 2008 年四川汶川 8.0 级地震，最大影响烈度为 VI 度。综合判断，历史地震对目标区的最大影响烈度为 VI 度。

5、区域基本处于以北西-南东至北西西—南东东向近水平的主压应力为主的现代构造应力场中；在这样的应力场作用下，易于发生以走滑为主或走滑兼具倾滑型的断层活动，北东向的断层易产生右旋走滑运动，北西及近南北向的断层易产生左旋走滑运动。

6、在近场范围内，共记录到 3 次破坏性地震，最大一次地震为 1913 年 7 月 16 日四川乐山 5 级地震。近场区内发生的最大一次地震为 1913 年 7 月 16 日四川乐山 5 级地震，距离目标区 26km，该地震对目标区的最大影响烈度为 V 度。

近场区共记录到 M2.0～M4.6 地震 1180 次，其中 M4.0～M4.6 级 5 次，M3.0～M3.9 级 119 次，M2.0～M2.9 级 1056 次。

近场区内的现代地震空间分布较不均匀，现代中小地震活动的集群特征表现为条带状、团簇状。现代中小地震主要分布在近场区的东部、南部和西部，近场北部及目标区附近小震分布相对较少。

近场地震活动的空间分布有一定的不均匀性。

二、地震构造环境评价

(1) 区域地跨松潘-甘孜造山带和扬子准地台两个一级大地构造单元，印支运动奠定了本区的基本构造格局。晚新生代以来，伴随着青藏高原持续抬升和高原物质向东蠕散的影响，高原东部地区表现出地壳抬升、变形与缩短和块体的旋转与侧向挤出等复杂的变形过程，导致区域内的断裂均具有不同程度的第四纪活动性和频繁的地震活动。

(2) 区域包括了西部强隆区和东部弱升区各一部，龙门山构造带以西的川西高原和大凉山地区属西部强隆区一部，第四纪以来抬升幅度较大。东部弱升区第四纪以来的抬升幅度小，在 1000m 以下，特别是四川盆地的抬升幅度不足 500m。

(3) 区域包括了西部南北向巨型重力梯度带一部，龙门山构造带及其附近，布格重力异常均呈明显的梯度带，地幔呈向西倾斜的斜坡。表明了区域内边界断裂具有切穿地壳或岩石圈的深大断裂性质。航磁异常在龙门山构造带也呈现出不同的分区特征。

(4) 区域内主要发育有 NE、NW 和 NS 向三组不同方向的断裂构造，区内呈 NW 和 NS 走向的鲜水河断裂、安宁河断裂、则木河断裂、大凉山断裂等，均具有明显的全新世以来活动的地质地貌证据；而 NE 走向的龙门山构造带、锦屏山断裂带、雷波断裂带等主要表现为由北西向南东的冲断作用，并具明显的右旋走滑运动特征。这些断裂历史上均发生过 6 级以上强震或存在史前古地震的地质纪录。上述断裂未来强震的复发将对目标区的地震安全性产生不同程度的影响。

4、区域范围内主要断裂构造的发震能力：

区域范围内的发震构造主要有龙门山断裂带、华蓥山断裂带、等

(1) 龙门山断裂带

该断裂带主要由茂汶-汶川断裂、北川-映秀断裂和彭县-灌县断裂和龙门山山前隐伏断裂等四条断裂组成。其中茂汶-汶川断裂的茂汶-草坡段、北川-映秀断裂北中段、彭县-灌县断裂的都江堰-天全段和茶坝-林庵寺断裂的石坎子以西段为全新世活动段，平武-青川断裂和茶坝-林庵寺断裂的石坎子-茶坝段为晚更新世活动段，历史上曾发生过数次 6 级左右地震，最大地震为 2008 年汶川 8.0 级地震。根据断裂分段性及活动性差异，划分出汶川 8.0 级、陇东 7.5 级、青川 7.0 级、彭州 6.5 级和竹园 6.5 级五个潜在震源区。龙门山断裂带单条断裂上的滑动速率估值在 1mm/a 左右，估计 8 级大地震的复发间隔在 2000~3000a。

龙门山山前隐伏断裂由数条次级断裂羽列而成。在成都断陷区内，主要由大邑断裂、什邡-竹瓦铺断裂和绵竹断裂呈左阶羽列组成，均为隐伏断裂性质，控制了成都断陷的北西边界。断裂滑动速率为 0.1-0.14mm/a 和 0.1-0.3mm/a，且活动性为晚更新世，未见全新世活动，弱于龙门山前山、中央和后山断裂。综合分析认为山前隐伏断裂具有发生 6.5 级地震的危险性。但是考虑到大邑断裂沿线近年来发生多次中强地震，且物探结果表明断裂切割深度影响到岩石圈，且倾角较陡，属于深大断裂。因此推测该断裂具有发震 7 级地震危险性。

(2) 华蓥山断裂带

华蓥山背斜断裂带可以分为北、中、南三段。现今地震活动表现为南段较强，北段和中段较弱。年代学测试结果表明华蓥山背斜断裂带北段、中段、南段在中更新世有过活动。其不过南段荣昌附近发生过多 5-5.5 级地震，因此南段具有发生 6.5 级地震的背景；由于北段和中段由于地震活动性较弱，年代学测试结果表明断裂带北段和中段在中更新世有过活动，通过和长寿-遵义基底断裂进行构造类比，北段和中段具有发生 6 级地震的背景。

5、近场区主要位于四川盆地丘陵地貌区，近场区整体地形平坦。第四纪以来以震荡式整体升降为特征，近场区附近表现为间歇性抬升作用，其中 T2 阶地缩短速率 0.65-0.99mm/a，T1 阶地缩短速率 1.74-2.25mm/a。近场区全新世以来的地壳平均抬升速率为 0.3~0.5mm/a。

近场区包括了大凉山中低山地貌和川中丘陵地貌中，水系沟谷发育。地貌上总的特点是以山地和丘陵为主，间夹河谷平原。整体上，以大凉山为界，具有南西高北东低的特点。近场区海拔高度位于 303-1653m 之间。按其成因类型可分为构造剥蚀和侵蚀堆积两大地貌类型。

场区大部分及目标区处于四川盆地中，四川盆地形成于印支期，受燕山和喜山期的进一步改造而成。喜山运动席卷了整个四川盆地结束了湖盆沉积历史，区内沉积地层全部褶皱隆升。整体上近场区内发育断裂 6 条，其中龙泉山断裂、利店断裂为晚更新世活动断裂，其余断裂为早中更新世断裂。

龙泉山断裂是一区域性断裂，也是新构造单元划分的边界之一，沿断裂曾发生 1967 年仁寿 5½ 级地震和 2020 年青白江 5.1 级地震。具备发生中强地震的构造条件，最大发震能力应考虑为 6.5 级为宜。

利店断裂作为荣经-马边-盐津断裂的组成部分之一，为晚更新世活动断裂，并有错断晚更新世地层的地质证据，历史上都曾发生过 5 级左右的中强地震，如沿利店断裂南端 1973 年发生过 5.4 级地震，沿断裂中段 1993、1995 年分别发生了 4.8、5.5 级地震表明断裂具备发生 6.0-6.5 级地震的危险性。

近场区内其余断裂为早中更新世活动断层，沿断裂均无发生过破坏性地震的记载，现今地震活动微弱，因此皆不具备发生中强地震的构造条件。

三、地震危险性概率计算结果

表 8.1 控制点基岩水平峰值加速度（单位：Gal）

控制点编号	经度 (°)	纬度 (°)	50 年			100 年			
			63%	10%	2%	63%	10%	2%	1%
ZK1	103.8473	29.3940	35.4	82.9	138.6	47.3	103.7	166.1	195.0
ZK2	103.8417	29.3907	35.8	83.8	140.1	47.7	105.1	168.2	197.4
ZK3	103.8375	29.3865	36.1	84.6	141.4	48.1	106.2	170.0	199.4
ZK4	103.8337	29.3818	36.4	85.3	142.7	48.5	107.3	171.7	202.0
ZK5	103.8280	29.3771	36.8	86.4	144.4	49.0	108.8	174.0	205.8
ZK6	103.8299	29.3724	36.8	86.4	144.5	49.0	108.9	174.1	206.0
ZK7	103.8323	29.3677	36.8	86.4	144.5	49.0	108.9	174.2	206.2
ZK8	103.8389	29.3708	36.4	85.4	142.8	48.5	107.4	171.9	202.4
ZK9	103.8421	29.3688	36.3	85.1	142.3	48.3	107.0	171.3	201.4
ZK10	103.8481	29.3646	36.0	84.6	141.5	48.1	106.3	170.2	199.8
ZK11	103.8541	29.3746	35.5	83.2	139.1	47.4	104.1	166.9	196.0
ZK12	103.8565	29.3797	35.3	82.5	138.0	47.1	103.2	165.4	194.2
ZK13	103.8499	29.3845	35.5	83.1	138.9	47.4	104.0	166.7	195.6
ZK14	103.8523	29.3915	35.2	82.4	137.7	47.1	103.0	165.0	193.7
ZK15	103.8469	29.3892	35.5	83.2	139.1	47.4	104.2	166.9	195.9
ZK16	103.8415	29.3814	36.0	84.4	141.1	48.0	105.9	169.5	198.9
ZK17	103.8447	29.3767	35.9	84.2	140.9	47.9	105.7	169.3	198.7
ZK18	103.8377	29.3770	36.3	85.1	142.3	48.4	107.0	171.3	201.4
ZK19	103.8443	29.3862	35.7	83.7	139.9	47.7	104.9	168.0	197.2
ZK20	103.8595	29.3673	35.4	82.9	138.8	47.3	103.8	166.5	195.5
ZK21	103.8641	29.3744	35.0	81.9	136.9	46.8	102.3	164.0	192.6
ZK22	103.8711	29.3818	34.6	80.6	134.6	46.2	100.3	160.8	188.9

ZK23	103.8658	29.3652	35.1	82.3	137.7	47.0	102.9	165.0	193.8
ZK24	103.8736	29.3633	34.9	81.4	136.2	46.5	101.6	163.1	191.6
ZK25	103.8693	29.3712	34.9	81.4	136.2	46.6	101.6	163.0	191.5
ZK26	103.8776	29.3682	34.6	80.6	134.8	46.2	100.4	161.0	189.3
ZK27	103.8735	29.3760	34.6	80.6	134.7	46.2	100.4	160.9	189.1
ZK28	103.8776	29.3801	34.4	79.9	133.4	45.8	99.5	159.1	186.9
ZK29	103.8734	29.3692	34.8	81.1	135.5	46.4	101.0	162.1	190.5
ZK30	103.8790	29.3734	34.5	80.1	133.8	45.9	99.7	159.7	187.7
ZK31	103.8782	29.3610	34.7	81.0	135.5	46.3	101.0	162.1	190.5
ZK32	103.8851	29.3627	34.4	80.0	133.8	45.9	99.7	159.7	187.8
ZK33	103.8808	29.3651	34.6	80.4	134.4	46.1	100.1	160.6	188.8
ZK34	103.8890	29.3681	34.2	79.4	132.3	45.5	98.8	157.6	185.3
ZK35	103.8933	29.3725	34.0	78.8	130.8	45.1	98.0	155.6	182.9
ZK36	103.8831	29.3758	34.3	79.6	132.6	45.6	99.1	158.1	185.8
ZK37	103.8842	29.3678	34.4	79.8	133.4	45.8	99.5	159.1	187.0
ZK38	103.8871	29.3718	34.2	79.4	132.3	45.5	98.8	157.6	185.2
ZK39	103.8661	29.3812	34.8	81.2	135.8	46.5	101.3	162.4	190.7
ZK40	103.8506	29.3785	35.6	83.4	139.4	47.5	104.5	167.4	196.5
ZK41	103.8478	29.3727	35.9	84.1	140.7	47.9	105.5	169.0	198.4
ZK42	103.8514	29.3697	35.8	83.8	140.2	47.7	105.1	168.5	197.8

四、场地工程地震条件及场地地震地质灾害评价

目标区位于乐山市五通桥区南东侧，距乐山市区约 20km，距五通桥城区约 3km，交通条件较好。目标区属构造剥蚀侵蚀浅丘地貌区，区内现状地面标高约 372.2~513.8m，相对高差约 141.6m。目标区地下水类型主要为上层滞水和基岩裂隙水，水文地质条件较简单。目标区地层主要为程场地主要由第四系人工填土层（ Q_4^{ml} ）、第四系耕植土（ Q_4^{pd} ）

以及侏罗系中统沙溪庙组基岩（J₂s）。目标区内地层较为单一，岩层产状平缓，地层未见产状突变等现象，未见断层发育，地质构造稳定性良好。

目标区钻孔目标区等效剪切波速在147-479m/s，覆盖层厚度在1-3m，场地类别为 I₁类场地。目标区地震勘探结果表明，场地未发现中更新世以来活动断裂，因此，目标区不会发生断层错动危害。

目标区内覆盖层主要为人工填土、耕植土，无饱和粉土、砂土等可液化土层分布，因此，目标区不会发生地震液化灾害。

目标区场地不具备发生软土震陷、地面塌陷等地震地质灾害的工程地质条件，因此不可能发生上述地震地质灾害。

在50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、10%、2%下，目标区不会发生地震崩塌滑坡灾害；在50年超越概率10%、2%和100年超越概率10%、2%、1%下，局部陡坎可能出现浅表层滑坡、崩落灾害。

五、地震动参数确定

孔 位	概率水平	Am(gal)	β_m	α_{max}	T0(s)	Tg(s)	γ
ZK01	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK02	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK03	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK04	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9

	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK05	50 年 63%	37	2.5	0.094	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
ZK06	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	37	2.5	0.094	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
ZK07	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	37	2.5	0.094	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
ZK08	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
ZK09	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
ZK10	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9

	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK11	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK12	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK13	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK14	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK15	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK16	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK17	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9

	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK18	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK19	50 年 63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK20	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK21	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK22	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK23	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK24	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9

	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK25	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK26	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK27	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK28	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK29	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK30	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9

ZK31	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK32	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK33	50 年 63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK34	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK35	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK36	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK37	50 年 63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50 年 10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50 年 2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9

	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK38	50年63%	34	2.5	0.087	0.1	0.45	0.9
	50年10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50年2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK39	50年63%	35	2.5	0.089	0.1	0.45	0.9
	50年10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50年2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK40	50年63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50年10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50年2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK41	50年63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50年10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50年2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9
ZK42	50年63%	36	2.5	0.092	0.1	0.45	0.9
	50年10%	90	2.5	0.230	0.1	0.45	0.9
	50年2%	145	2.5	0.370	0.1	0.50	0.9
	100a63%	50	2.5	0.128	0.1	0.45	0.9
	100a10%	110	2.5	0.281	0.1	0.45	0.9
	100a2%	180	2.5	0.459	0.1	0.50	0.9
	100a1%	243	2.5	0.620	0.1	0.50	0.9

工程场地为 I 1 基岩场地，场地水平向设计反应谱参数如下表。

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

2. g 为重力加速度 (1000cm/s^2)

六、使用说明

工程建设部门和设计部门应根据本报告给出的不同超越概率水平下的地震烈度值和

场地地震动参数，结合本行业的抗震设计规范，选择安全、合理的参数进行抗震设计和验算。

(1) 本区域性地震安全性评价给出的地震动参数，适用于评价范围内房屋建筑和城市基础设施等较重大工程设防要求的确定、各类建设工程的规划和选址。也适用于社会经济发展规划和国土利用规划、防灾减灾规划、环境保护规划等相关规划的编制。这里所指的较重大工程包括《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2008)中的全部重点设防类(乙类)建筑和除下述十方面重大工程以外的其他较重大工程。

本次工作给出的地震动参数不能用于以下几方面工程：

- ①核设施及相关工程；
- ②坝高超过 100 米的水工建筑物工程；
- ③承担研究、中试和存放剧毒的高危险传染病病毒任务的疾病预防与控制中心的建筑或其区段；
- ④科学实验建筑中，研究、中试生产和存放剧毒的生物制品、天然和人工细菌、病毒（如鼠疫、霍乱、伤寒和新发高危险传染病等）的建筑；
- ⑤国家和区域的电力调度中心；
- ⑥国际海缆登陆站、国际卫星地球站、中央级电信枢纽（含卫星地球站）；
- ⑦中央级、省级电视调频广播发射塔建筑，当混凝土结构塔高大于 250m 或钢结构塔高大于 300m 时；
- ⑧高度大于 200m 的居住或商用建筑；
- ⑨各行业规范中要求进行单体地震安全性评价的工程；
- ⑩国家或当地有单体地震安全性评价专门要求的工程。

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

(3) 对需要地震动时程的建设工程，依据场点与选定控制点地震动参数结果差异，按比值法对选定的控制点地震动时程进行调整处理，作为该场点的场地地震动时程。

(4) 当考虑竖向地震作用时，竖向地震作用可按照水平向地震作用的 1：1 进行确

定。

鉴于目标区场地条件的不一致性和地震地质环境的多样性，本报告所给的结论仅适用于本项目目标区。

主要参考文献

陈学波等, 1988, 龙门山构造带两侧地壳速度结构特征 (中国大陆学部构造的研究与进展), 地质出版社。

成都地震大队, 1970, 1970 年 2 月 24 日四川芦山县长石坝地震宏观调查报告 (内部资料)

邓起东、于贵军、叶文华, 1992, 地震地表破裂参数与震级关系研究, 活动断裂研究理论与应用 (2), 地震出版社

邓起东、陈社发、赵小麟, 1994, 龙门山及其邻区的构造地层活动及动力学, 地震地质 16 (4), 389—403

邓起东、冯先岳等, 2000, 天山活动构造, 地震出版社

胡聿贤等, 1982, 基岩地震动参数与震级和距离的关系, 地震学报, 第 4 卷, 第二期

胡聿贤, 1988, 地震工程学 地震出版社, 北京

胡聿贤、张敏政, 1989, 缺乏强震观测资料地区的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。

谷继成、魏富胜, 论地震活动量化: 地震活动度, 中国地震, 1987 年, 第 3 卷, 增刊。

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会, 2005, 工程场地地震安全性评价 (GB17741—2005), 中国标准出版社, 北京。

国家质量技术监督局, 2015, 中国地震动参数区划图 (GB18306—2015), 中国标准出版社, 北京。

雷建成, 高孟潭, 俞言祥. 2006. 西南地区近代地震的震中烈度与有感地震的统计研究[J]. 震灾防御技术, 1 (2), 137~145

刘瑞丰, 陈云泰, Peter Bormann, 任泉, 侯建民, 邹立晔, 杨辉. 2006. 中国地震台网与美国地震台网测定震级的对比 (II) ——面波震级[J]. 地震学报, 28 (1): 1~7

李勇、曾允孚、伊海生, 1995, 龙门山前陆盆地沉积及构造演化, 成都科技出版社

马杏垣主编, 1989, 中国岩石圈动力学图集, 中国地图出版社

钱洪、周荣军、马声浩、黎小刚, 1999, 岷江断裂南段与 1933 年叠溪地震研究, 中国地震, Vol.15, No.4, 333 — 338

四川省石油管理局地质勘探开发研究院, 1978, 成都地区断裂发展特征与现代地震关系 (内部资料)

四川省地质局、四川省地震局地质编图组, 1980, 四川省构造体系与地震分布规律图说明书 (内部资料)

四川地震资料汇编编辑组, 1980, 四川地震资料汇编第一卷 (一九四九年前), 四川人民出版社。

四川省地震局地震简目编目组, 云南省地震局地震简目编辑组, 西藏自治区地震协会地震简目编目组, 1988, 西南地震简目, 四川科学技术出版社。

四川西藏地震等烈线图资料汇编编辑组, 1994, 四川西藏地震等烈度线图资料汇编 成都地图出版社

四川省石油管理局地质勘探开发研究院, 1998, 官店子测区浅层勘探报告 (内部资料)

《四川地震资料汇编》(第三卷)编辑组,2000,四川地震资料汇编(第三卷),成都地图出版社

时振梁、鄢家全、高孟潭,1991,地震区划原则和方法—以华北地区为例,地震学报,第13卷,第2期。

唐荣昌、韩渭宾主编,1993,四川活动断裂与地震,地震出版社

许志琴等,1986,东秦岭复合山链的形成,中国环境科学出版社

许志琴、侯立玮、王宗秀等,1992,中国松潘—甘孜造山带的造山过程,地质出版社

汪素云,俞言祥,高阿甲,阎秀杰.2000.中国分区地震动衰减关系的确定[J].中国地震.16(2):99~106

闻学泽、徐锡伟等,2001,磨西断裂的晚第四纪活动性与大地震复发间隔,见卢演侔等主编:新构造与环境,地震出版社,255—266

杨晓平、蒋溥、宋方敏、梁小华、陈献强、邓志文,1999,龙门山断裂带南段断错晚更新世以来地层的证据,地震地质,21(4),341—345

赵小麟、邓起东、陈社发,1994,岷江隆起的构造地貌学研究,地震地质,16(4),429—439

叶洪,1996,潜在震源区的确定,《中国地震烈度区划图(1990)概论》,地震出版社

张诚等主编,1990,中国地震震源机制,学术书刊出版社

中国地震烈度区划图编委会,1992,中国地震烈度区划图(1990)及其说明,中国地震,第8卷,第4期。

国家地震局,1996,中国地震烈度区划图(1990)概论,地震出版社

周荣军、李勇、Alexander D. Mickael A.,2000,青藏高原东缘晚第四纪构造变形的新证据,中国地震学会第八次学术大会论文摘要等,地震出版社

周荣军、蒲晓虹、何玉林、黎小刚、戈天勇,2000,四川岷江断裂带北段的新活动、岷山断块的隆起及其与地震活动的关系,地震地质,第3期。

中华人民共和国建设部,国家质量监督检验检疫总局,2001,建筑抗震设计规范(GB50011—2001)中国建筑工业出版社,北京

周荣军、雷建成、唐荣昌,2005,四川盆地潜在震源区的细致划分,四川地震,2005年第三期。

周荣军、黄润秋、雷建成等,2008,四川汶川8.0级地震地表破裂与震害特点,岩土力学与工程学报,第11期。

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中华人民共和国住房和城乡建设部,2010,建筑抗震设计规范(GB50011—2010),中国建筑工业出版社,北京

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会,2015,中华人民共和国国家标准《中国地震动参数区划图》,中国标准出版社,北京

中国地震局震害防御司,1999,《中国近代地震目录(公元1912年—1990年)》,中国科学技术出版社。

中国地震局地质研究所,2011,《成都市活断层初查与鉴定报告》

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 $M_s \geq 4.7$. 北京:中国科学技术出版社,1999.09.

中国地震灾害防御中心.重庆市都市区活断层探测与地震危险性评价,2011.10.

中国西南地质图及说明书(1:1500000),中国地质调查局成都地质调查中心,地质出版社,2014.

重庆市区域地质志,重庆市地质调查院,2016.

周荣军,唐荣昌.地震构造类比法的应用—以川东地区华蓥山断裂带为例[J]. 地震研究, 1997, 020(003):316-322.