

重庆市丰都县工业园区 区域性地震安全性评价报告

中冶建筑研究总院有限公司
2020年5月

技术责任表

项目名称：重庆市丰都县工业园区区域性地震安全性评价

委托单位：重庆丰敦投资开发有限公司

承担单位：中冶建筑研究总院有限公司

项目总负责人：

张松引

地震构造评价：

辛鸿博

地震活动性评价：

张松引

工程场地地震影响评价：

李名毅

目录

前 言	- 1 -
第一章 区域及近场区地震活动环境.....	- 6 -
1.1 地震资料概况.....	- 6 -
1.1.1 资料来源.....	- 6 -
1.1.2 地震目录编制说明.....	- 6 -
1.1.3 地震目录编制.....	- 7 -
1.1.4 资料完整性分析.....	- 8 -
1.2 地震活动的空间分布特征.....	- 9 -
1.2.1 区域地震震中分布特征.....	- 9 -
1.2.2 震源深度分布特征.....	- 10 -
1.3 地震活动的时间分布特征和未来活动趋势.....	- 12 -
1.3.1 地震区（带）的划分.....	- 12 -
1.3.2 地震活动的时间进程分析与未来地震趋势估计.....	- 13 -
1.4 历史地震对目标区的影响.....	- 14 -
1.4.1 历史地震对目标区影响的实际资料.....	- 15 -
1.4.2 历史地震对目标区影响的计算分析.....	- 22 -
1.4.3 目标区历史地震影响综合分析.....	- 22 -
1.5 区域地震震源机制解及现代构造应力场.....	- 23 -
1.5.1 中强震震源机制解反映的构造应力场.....	- 23 -
1.5.2 小震综合机制解反映的构造应力场.....	- 25 -
1.5.3 现代构造应力场特征.....	- 25 -
1.6 近场区地震活动特征.....	- 26 -
1.7 区域及近场区地震活动性评价.....	- 28 -
第二章 区域地震地质背景	- 30 -
2.1 区域大地构造特征和新构造运动.....	- 30 -
2.1.1 板块的演化历史及运动影响.....	- 30 -
2.1.2 区域新构造运动的特点.....	- 31 -
2.2 地壳结构特征及区域地球物理场.....	- 35 -
2.2.1 重力场特征.....	- 35 -
2.2.2 航磁异常特征.....	- 35 -
2.2.3 地壳结构特征.....	- 36 -
2.3 区域主要断裂带特征及其活动性.....	- 39 -
2.4 区域地震构造环境综合评价.....	- 46 -
2.4.1 区域地震构造环境.....	- 46 -
2.4.2 区域中强地震发生的构造环境.....	- 46 -
2.4.3 区域范围内主要断裂构造的发震构造评价.....	- 49 -
第三章 近场区活动构造评价	- 50 -
3.1 地形地貌与新构造运动特点.....	- 50 -
3.2 地层发育情况.....	- 51 -
3.3 活动构造调查.....	- 53 -
3.4 近场区地震构造综合评价.....	- 58 -
第四章 地震危险性概率分析	- 59 -
4.1 地震危险性概率分析方法概述.....	- 59 -
4.2 地震构造区和潜在震源区的划分.....	- 60 -

4.2.1 地震构造区的定义与划分原则.....	- 61 -
4.2.2 地震构造区的划分结果.....	- 61 -
4.2.3 潜在震源区的划分原则.....	- 62 -
4.2.4 潜在震源区的方向和范围.....	- 63 -
4.2.5 潜在震源区的震级上限.....	- 63 -
4.2.6 潜在震源区的划分方案.....	- 64 -
4.3 地震活动性参数的确定.....	- 67 -
4.3.1 地震带地震活动性参数的确定.....	- 67 -
4.3.2 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.....	- 69 -
4.4 地震动衰减关系.....	- 72 -
4.5 地震危险性分析结果.....	- 74 -
第五章 场地工程地震条件及地震地质灾害评价.....	- 84 -
5.1 目标区工程地震地质条件概述.....	- 84 -
5.2 场地类别划分.....	- 101 -
5.3 软土震陷评估.....	- 111 -
5.4 砂土液化评估.....	- 111 -
5.5 活动断层错动地表破裂影响分析.....	- 112 -
5.6 滑坡、崩塌.....	- 112 -
第六章 场地设计地震动参数确定.....	- 113 -
6.1 场地基岩地震波的合成.....	- 113 -
6.2 场地土层地震反应计算.....	- 129 -
6.3 场地设计地震动参数确定.....	- 133 -
6.4 场地设计地震动加速度时程.....	- 201 -
6.5 场地不同类别设计地震动参数的确定.....	- 209 -
第七章 结论及说明.....	- 210 -
7.1 主要结论.....	- 210 -
7.2 设计地震动参数使用说明.....	- 211 -
第八章 查询系统.....	- 218 -
8.1 查询系统简介.....	- 218 -
8.2 查询系统操作.....	- 218 -
参考文献及资料.....	- 224 -

限公司委托中冶建筑研究总院有限公司进行重庆市丰都县工业园区区域性地震安全性评价工作。

2. 项目任务要求

根据《重庆市建设项目区域地震安全性评价工作技术指南（试行）》（渝震发〔2019〕4号），本项目所提供的设计地震动要求为：

- ① 场地地表水平向设计地震动，包括设计地震动峰值加速度和 5%阻尼比的加速度反应谱（表 0-1）。
- ② 概率水准：本项目工作提供地震动参数的超越概率水准为 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%的设计地震动参数，能够满足抗震设计要求。

表 0-1 拟提供的设计地震动参数

设计地震动	水平向地震动峰值加速度、加速度反应谱
超越概率水平	50 年 63%，10%，2%；100 年 60%，40%，10%，5%，4%，3%，2%、1%
阻尼比	0.05
所在层位	地表

二、主要工作

（一）地震构造环境

1. 调查与分析丰都工业园区所在的区域（场地边界外围不小于 150km 范围内）的地质、构造、地球物理、物探、地震等资料；并结合野外地质调查工作，阐明：

- ① 区域地震地质构造背景。
- ② 域地球物理场特征。
- ③ 区域地形地貌特点。
- ④ 区域主要断裂带的基本特点及活动特征。
- ⑤ 区域主要地震构造带的特征。
- ⑥ 编制区域地震构造图（1：100 万）。

2. 分析和调查丰都工业园区所在的近场区（场地边界外围不小于 25km 范围内）的地震构造及活动断裂，收集已有的资料，作必要的补充调查，综合分析断裂的活动性，进行第四纪地质、地貌调查，编制第四纪地质构造的剖面图及平面图，研究近场区地震活动与活动构造的关系，判定近场区可能存在的发震构造，阐明：

- ① 近场地震地质构造背景。
- ② 场地形地貌特点。
- ③ 近场主要断裂带的基本特点及活动特征。
- ④ 本部分工作提供下列图表：

编制近场区地震构造图（1：20 万），图中标出构造、ML≥2.0 级地震中分布、活

动断裂及活动时期。

（二）地震活动环境

收集与分析丰都工业园区所在的区域（范围同上）及近场区（范围同上）地震活动的时空特征及古地震、历史地震、仪测地震对工程场地的影响，阐明：

1. 资料概况。
2. 地震活动空间分布特征。
3. 地震活动时间分布特征。
4. 划分地震区、带。
5. 区域现代构造应力场及震源错动类型。
6. 历史地震对场区的影响。
7. 提供的图件及附件：
 - ① 区域 $M_s \geq 4.3/4$ 级地震震中分布图和编制地震目录。
 - ② 域小震震中分布图及近场区地震震中分布图。
 - ③ 地震区带划分图。
 - ④ 震源机制解分布图。

（三）场地勘测

调查分析及测定丰都工业园区范围内的工程地震条件，为建立场地地震反应分析计算模型及进行场地地震地质灾害初步评价提供依据。

1. 场地工程地质环境调查资料的收集。
2. 场地工程钻探及取样。
3. 测定钻孔土层剪切波速。
4. 场地土动力性能测定。
5. 确定场地土类型和进行场地类别划分。
6. 场地工程地震条件评价。

（四）地震危险性分析

在区域及近场地震构造与地震活动特征分析的基础上，基于区域地震构造特征及对地震统计分析的结果，在区域范围内，划分潜在震源区并确定地震活动性参数，利用综合概率分析及地震动参数衰减关系，计算丰都工业园区场地的基岩水平峰值加速度与基岩的场地相关反应谱。

（五）场地地震反应分析与场地设计地震动参数的确定

计算分析场地条件，按照场地类别，分别给出丰都工业园区不同地块上拟规划的建筑物的设计地震动参数（阻尼比 5%），供进驻场区的建设单位选择使用。

（六）地震地质灾害初步评价

分析地震动及断裂活动在丰都工业园区场地引起地震地质灾害的可能性及程度。

1. 调查场地是否存在岩体崩塌、震陷、滑坡等问题；评价对工程场地的影响程度。
2. 评价地震动及断裂活动对边坡稳定性的影响程度。

3. 工程场地地基地震沙土液化、软土震陷的可能性及程度评价。

(七) 成果查询系统

1. 依据场地工程地震条件，由查询系统给出建设工程所在场地的地震动参数，并给出地震地质灾害初步评价结果。

2. 成果查询系统界面友好，操作简便，不依赖于第三方软件或服务，给出使用说明书。

三. 工作依据

- ① 《中华人民共和国防震减灾法》（2009 年）；
- ② 《地震安全性评价管理条例》（2019 年修订版）；
- ③ 《重庆市建设工程场地地震安全性评价管理规定》（2014 年）；
- ④ 《重庆市防震减灾条例》（2010 年修订版）；
- ⑤ 《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）；
- ⑥ 《建筑工程抗震设计规范》（GB50011-2010，2016 版）；
- ⑦ 《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）；
- ⑧ 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009 版）；
- ⑨ 《重庆市建设项目区域地震安全性评价工作技术指南（试行）》（渝震发〔2019〕4 号）；
- ⑩ 《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函〔2019〕21 号）；

四. 工作区范围

根据《工程场地地震安全性评价》（GB17741-2005）的要求，项目的工作区域范围取对工程场地地震安全性评价有影响的范围，并不应小于工程场地及其外围 150km，近场区范围取不小于工程场地及其外围 25km。考虑到地震构造带和地震带活动性参数的完整性，工作区域范围适当取大。

区域范围：106° -109.7° E, 28.3° -31.5° N

近场区范围：107.4° -108.3° E, 29.6° -30.3° N

五. 项目技术途径

本次工作是根据《重庆市建设项目区域地震安全性评价工作技术指南（试行）》（渝震发〔2019〕4 号）、《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函〔2019〕21 号）进行的。本次工作的技术思路流程框图如图 0-2 所示。

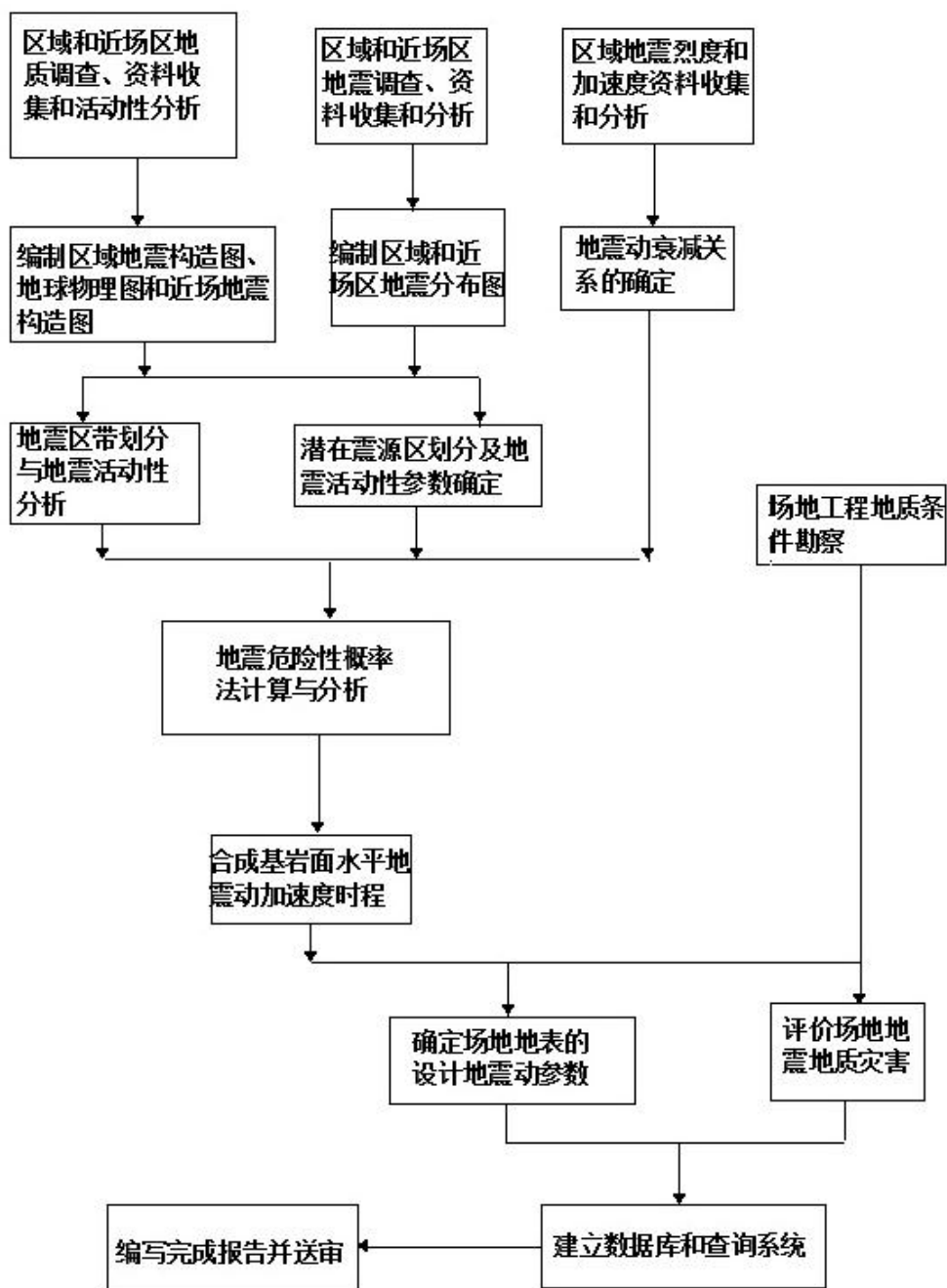


图 0-2 项目技术途径框图

六、致谢

在项目实施过程中得到了重庆丰敦投资开发有限公司等单位的积极协助，在此深表感谢。

第一章 区域及近场区地震活动环境

对目标区所在区域范围内的地震活动规律的认识，是预测在工程使用年限内目标区周围可能发生地震的地点、强度以及可能对目标区的影响程度的重要基础。本章的目的在于通过目标区所在近场区和区域范围内的地震活动在空间与时间上的分布特征、历史地震对目标区的影响、区域现代构造应力场等方面的分析，为目标区所处地震环境进行评价，并为划分潜在震源区及确定地震活动性参数提供依据。

1.1 地震资料概况

1.1.1 资料来源

本报告的研究工作强震主要使用参考以下地震目录和资料：

1. 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，地震出版社，1995。
2. 中国近代地震目录（公元 1912—1990 年 $M_s \geq 4.7$ ），国家地震局震害防御司编，中国科学出版社，1999。
3. 中国地震目录（公元前 1831—公元 1969 年），顾功叙主编，科学出版社，1983。
4. 中国地震目录（公元前 1831—公元 1969 年），顾功叙主编，地震出版社，1984。
5. 世界地震目录，时振梁等，地图出版社，1986。
6. 中国历史强震目录，中国地震局分析预报中心整理，1992。
7. 中国地震局台网中心（1970—2019 年）地震目录。

现代地震目录资料取自现代地震目录资料取自中国地震台网中心。

1.1.2 地震目录编制说明

1. 编目的时、空、强范围

本次编制的地震目录分为两个部分：①破坏性地震目录，包括区域内迄今所有能记载到的、由历史文献记载确定的或由地震台网记录到的 $M \geq 4.7$ 级破坏性地震。②现代小震目录，包括区域台网所记录到的小地震，起始时间自 1970 年，震级为 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级。

本次地震目录编制的区域、时间段及震级范围如表 1.1—1 所列。

表 1.1—1 地震编目的时、空、强范围

工作区域	106° -109.7° E, 28.3° -31.5° N	
时间段	1854 年 12 月-2019 年 12 月	1970 年 1 月-2019 年 12 月
震级范围	$M \geq 4.7$	$2.0 \leq M \leq 4.6$

2. 地震震级的确定

地震震级的确定：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；凡有仪器记录的地震，其震级以仪器测定的为准。

现代小震通常采用近震震级 M_L ，在以往工作中，将其转换为 M_s 震级时，所采用公式为 1971 年郭履灿等根据邢台地震资料进行统计得出的转换公式： $M_s=1.13M_L-1.08$ 。该公式适用于华北地区，其它地区兼用，震中距 $\leq 1000\text{km}$ （《国家地震局震害防御司，1990》）。在编制第五代区划图的工作中，对 M_s 、 M_L 的关系重新进行了统计分析。根据 1990-2007 年间同时测定有 M_s 、 M_L 数据且震源深度 $< 70\text{km}$ 的（6577 个）地震，拟合得到的关系式接近于 $M_s=M_L$ （汪素云等，2009）。因此，对于没有测定 M_s 的地震，本项目在进行震级标度转换时直接使用 $M_s=M_L$ 进行转换，统一表示成 M 。

3. 地震震中位置的选取

凡同时具有仪器震中与宏观震中位置的地震，均取宏观震中位置。

1.1.3 地震目录编制

根据上述资料，编制了区域内破坏性地震（ $M \geq 4.7$ ，1854 年 12 月-2019 年 12 月）和现代小震（ $2.0 \leq M \leq 4.6$ ，1970 年 1 月-2019 年 12 月）的目录。

区域内记录到 $M \geq 4.7$ 级的破坏性地震 8 次，其中 6.0-6.9 级地震 1 次，5.0~5.9 级地震 5 次，4.7-4.9 级地震 2 次（表 1.1-2）。此外，还记录到现代小震（ $2.0 \leq M \leq 4.6$ ）1035 次，因地震数目太多，故不以表格形式列出，区域现代小震地震频次的统计见表 1.1-3。

表 1.1-2 区域破坏性地震目录（ $M \geq 4.7$ ）

编号	发震时间 (年.月.日)	震中位置		震级	参考地名	震源深度 (km)	震中烈度	精度
		纬度	经度					
1	1854.12.24	29.1°	107.0°	5½	重庆南川	*	VII	1
2	1855.秋	29.3°	108.1°	4¾	重庆彭水	*	VI	3
3	1856.06.10	29.7°	108.8°	6¼	重庆黔江	*	VIII	1
4	1931.07.01	30.0°	109.0°	5	湖北利川南	*	VI	*
5	1989.11.20	29°51′	106°51′	5.2	重庆渝北统景	5	VII	1
6	1989.11.20	29°51′	106°51′	5.4	重庆渝北统景	5	VII	1
7	2017.11.23	29.40°	107.94°	5.0	重庆武隆	10	VI	1
8	2019.10.2	28.4°	108.38°	4.9	贵州沿河	10	VI	1

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

表 1.1-3 区域现代 $2.0 \leq M \leq 4.6$ 级小震地震频次统计 (1970.1-2019.12)

震级分档	2.0—2.9	3.0—3.9	4.0—4.6
地震频次	844	183	8

1.1.4 资料完整性和可靠性分析

区域最早的历史记载地震为 1854 年 12 月重庆南川 5 $\frac{1}{2}$ 级地震，发生的最大地震为 1856 年 6 月 10 日重庆黔江 6 $\frac{1}{4}$ 级地震。 $M_s \geq 6$ 级地震 1700 年以来基本完整， $M_s \geq 5$ 级地震 1900 年以来基本完整（黄玮琼，1994）。整个重庆地区建立最早的地震台是 1939 年建立的重庆北碚地震台，但该台存在时间很短。新中国成立后，重庆地区第一个地震台是重庆南泉地震台，该台建于 1976 年，1977 年开始观测，当时工作区 $M_L 3.0$ 级以上地震基本不会漏记。重庆测震台网于 1993 年建立，2002 年启动了“重庆十五数字地震观测网络”项目，2006 年底，又启动了“三峡库区重庆段地震监测系统”项目。随着“十五”项目和“三峡”项目的建设，区域地震监测能力大大提高。目前正在进行地震烈度速报与预警项目。图 2-2 为地震台网的地震监控能力图。其中主城区监测能力约 $M_L 1.5$ 左右水平；渝西地区由于台站较少，监测能力约为 $M_L 2.0$ 左右水平；渝东北地区平均监测能力约为 $M_L 1.5$ ，渝东南地区平均监测能力约为 $M_L 1.5$ ，由于彭水电站企业台网的运行，彭水县及酉阳县部分区域监测能力可达 $M_L 0.5$ 左右水平。为更好的反映区域内地震活动的特点，这里从 $M 2.0$ 级地震开始收集。

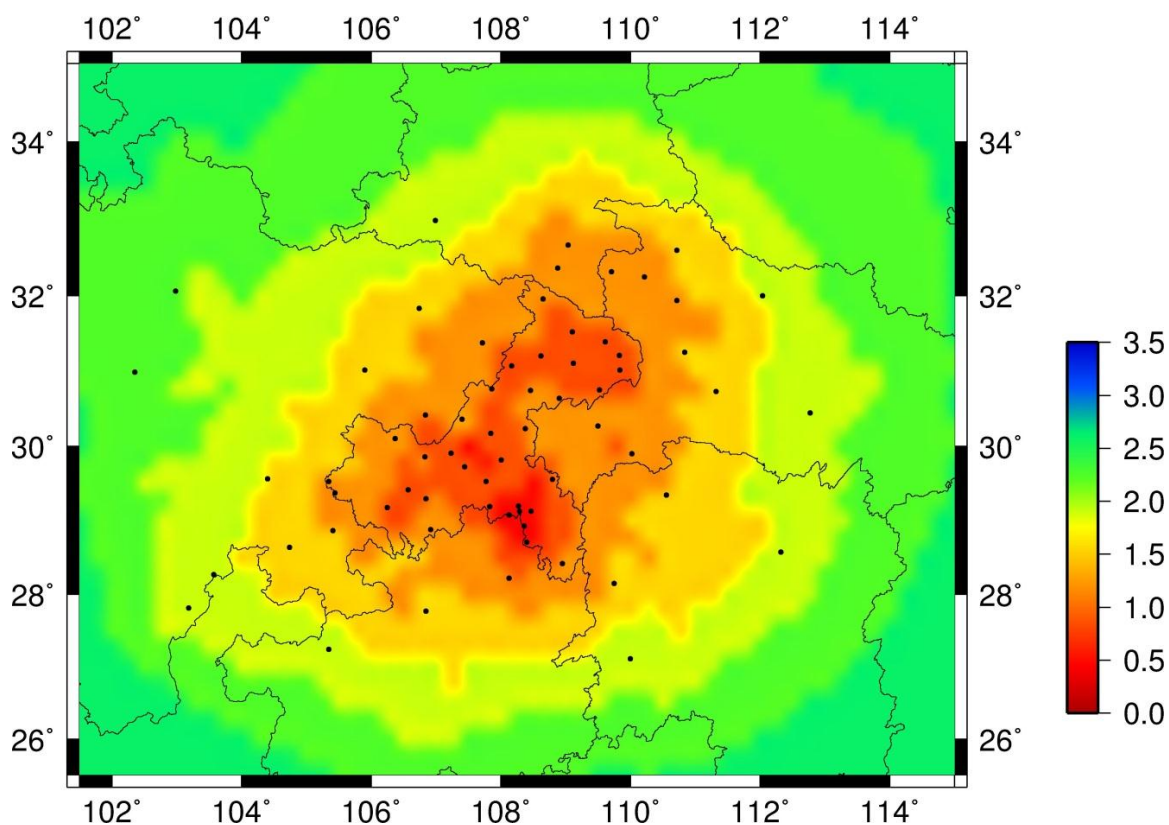


图 1.1-2 区域地震台网监测能力图（据重庆地震监测台网资料）

1.2 地震活动的空间分布特征

1.2.1 区域地震震中分布特征

图 1.2-1 给出了区域破坏性地震的震中分布，显示 $M \geq 4.7$ 级地震主要分布在重庆黔江、彭水、南川、统景地区以及湖北利川、贵州沿河。区域内历史上共发生过 7 次 4.7 级以上地震，最大的是 1856 年黔江 $6\frac{1}{4}$ 级地震。其中，发生在黔江的地震，发震构造主要为沿北东向的黔江断裂带。发生在利川和彭水的地震，发震构造为北东向的彭水断裂。发生在南川的地震，发震构造为七曜山-金佛山基底断裂带。统景地震的发震构造为铜锣峡背斜轴部的北东向统景底腹断裂。工作区历史上没有发生过大于 7 级的地震，地震活动属中强水平。2017 年 11 月 23 日武隆 5 级地震是距目标区最近的破坏性地震，约 58.8km。

图 2-3b 给出了区域现代小震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 的震中分布，从图上可以看出，小震沿华蓥山断裂带分布，另有在石柱和忠县间、重庆綦江与贵州交界等地分布呈丛状。

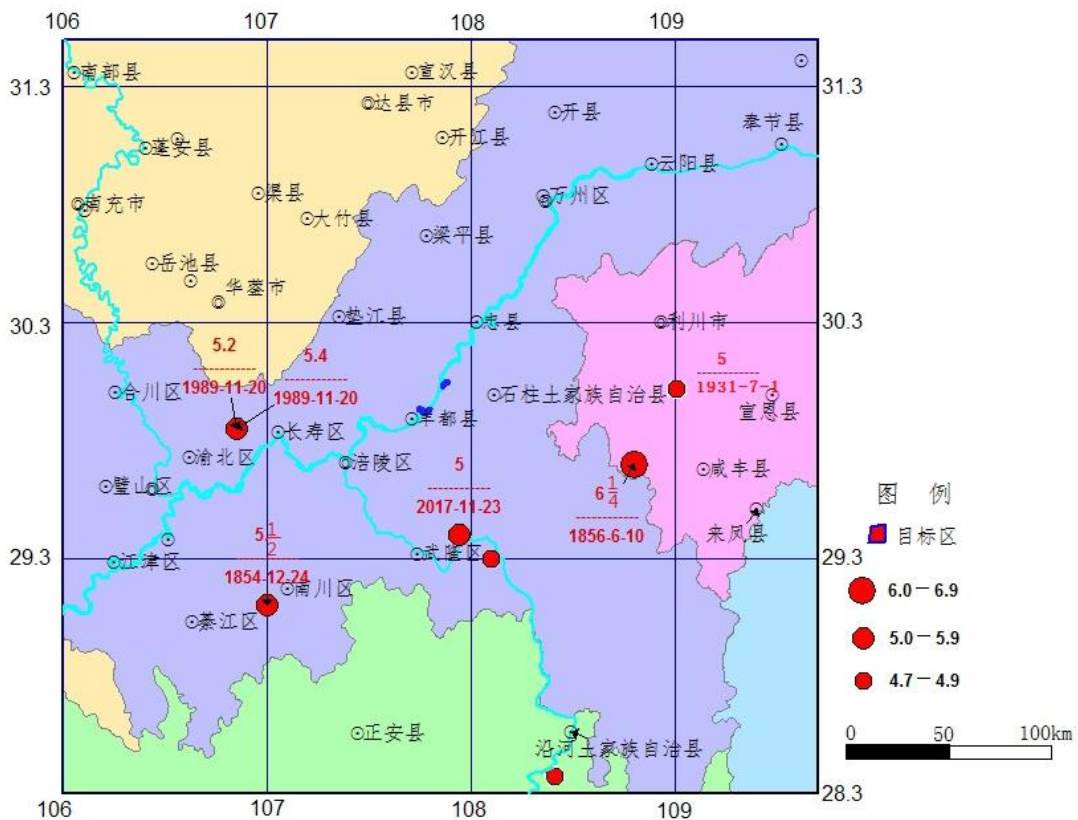


图 1.2-1 区域破坏性地震震中分布图 ($M \geq 4.7$, 1854.12-2019.12)

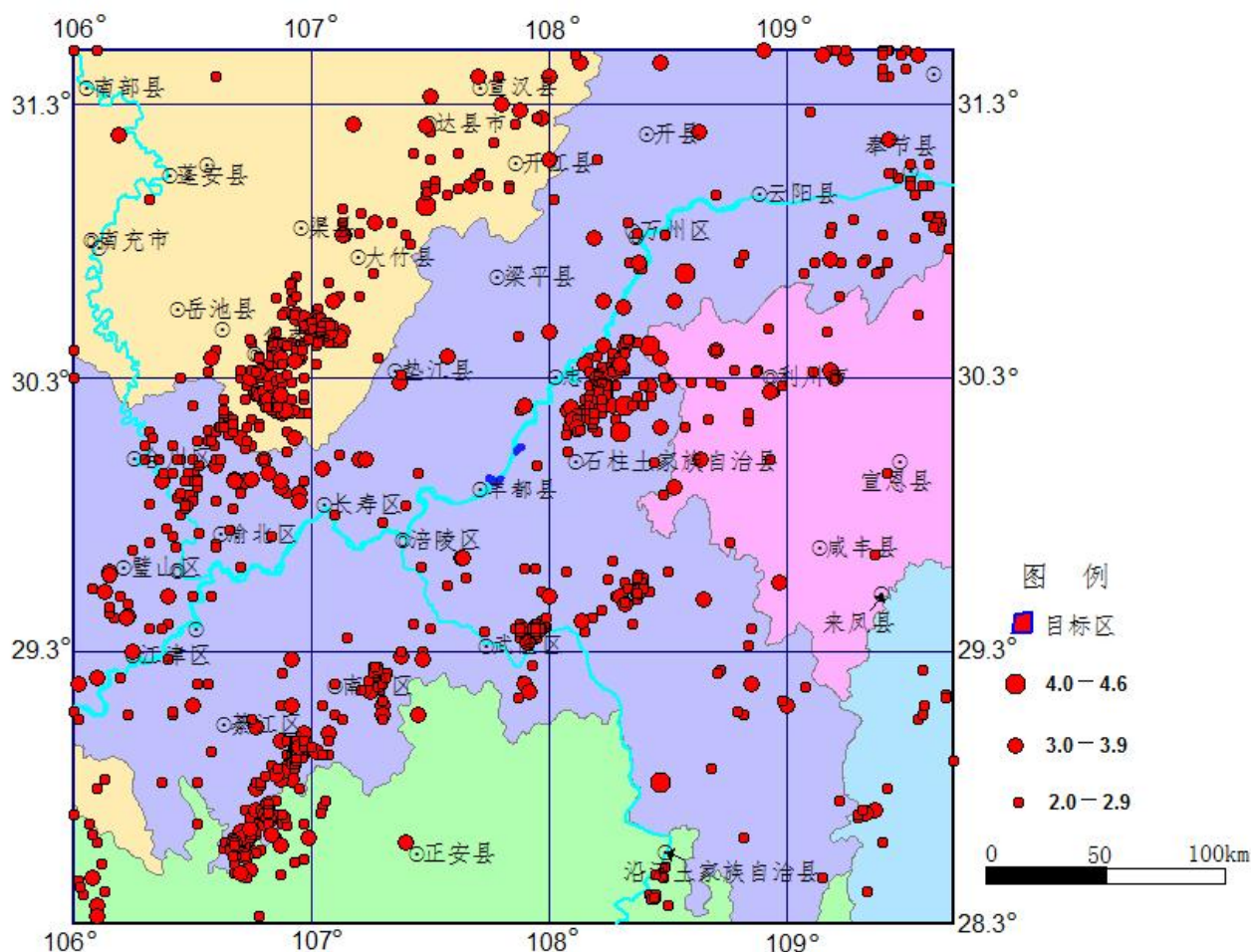


图 1.2-2 区域现代小震震中分布图 (2.0 ≤ M ≤ 4.6, 1970.1-2019.12)

1.2.2 震源深度分布特征

在区域范围内，共检索到 $M \geq 4.7$ 级地震震源深度 4 个，震源深度为 5km 和 10km。

在区域范围内，共检索到 $M = 2.0 \sim 4.6$ 级现代小震震源深度 803 个，表 1.2-1 给出了现代小震震源深度位于不同层位分布数据的统计结果。

表 1.2-1 区域部分现代小震 ($M = 2.0 \sim 4.6$ 级) 地震震源深度统计表

深度(km)	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	>30
频次	209	375	138	51	15	11	4
占总数的百分比	26.50%	25.59%	23.33%	16.75%	6.03%	1.14%	0.65%

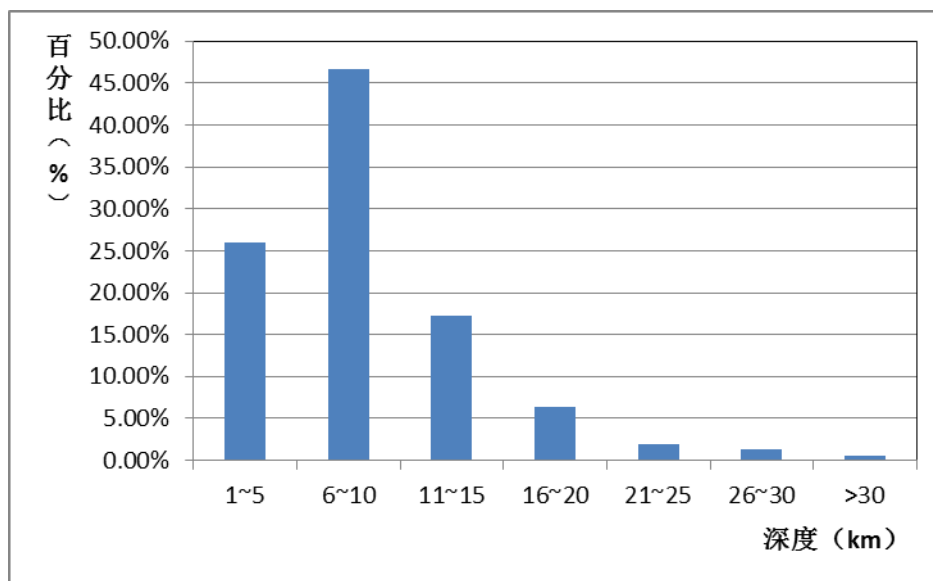


图 1.2-1 区域现代小震震源深度分布直方图

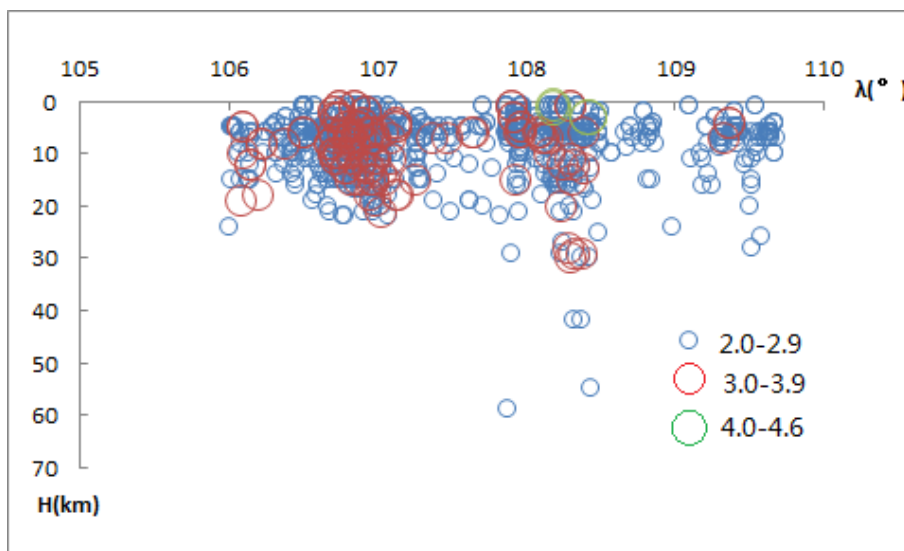


图 1.2-2 区域现代小震震源深度沿经度分布剖面图

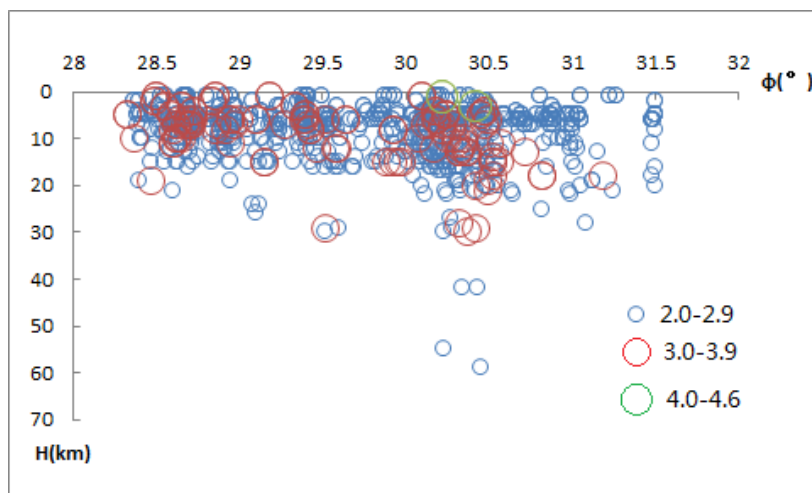


图 1.2-3 区域现代小震震源深度沿纬度分布剖面图

从表 1.2-1 和图 1.2-1 中可见，现代小震震源深度处于地下 1~15km 的层位占约 89.91% 的现代小震活动，地下 1~20km 的层位占约 96.26% 的现代小震活动，20km 以下现代小震分布锐减。图 1.2-2 和图 1.2-3 中可见，在东经 107.8~108.5° 之间以及北纬 30.3~30.5° 之间，地震震源深度分布较深，可达到 59km 左右，其余地区地震震源深度多在 1~15km 之间。

综上所述，区域强震、中小地震震源深度分布较浅。

1.3 地震活动的时间分布特征和未来活动趋势

1.3.1 地震区（带）的划分

我国地震活动有密集成带分布的特点，不同地区地震活动特征不同。在地震区划工作中，我国地震学者对地震区、带的划分已作过相当系统的研究。为了反映地震活动的这种空间不均匀性，在概率地震危险性分析方法中，用划分地震带来体现。地震带是分析地震时间分布特征、估计未来百年地震活动趋势及地震危险性分析中地震活动性参数估算的基本统计单元。

本次工作直接采用了新一代全国地震动参数区划图编制所使用的地震区、带划分方案。本项目区域主要位于长江中游地震带（见图 1.3-1）。研究这个地震带地震活动水平、地震活动时间特征以及未来地震形势，对判断研究区未来地震活动水平和确定地震活动参数具有重要意义。

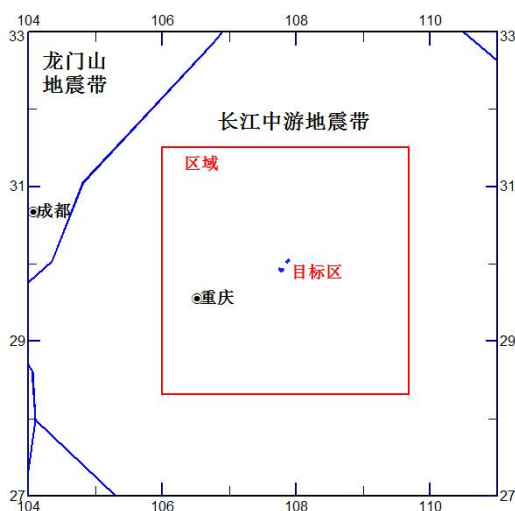


图 1.3-1 地震区、带划分图

1.3.2 地震活动的时间进程分析与未来地震趋势估计

本带历史地震记载悠久，最早记录的一次地震是公元前 143 年 6 月 7 日湖北竹山西南 5 级地震，此后直至公元 1400 年之前的 1500 余年间，该带仅发生了 7 次 $M \geq 4.7$ 级地震，表明长江中游地震带早期地震记录缺失且地震活动频度较低。尽管 1400 年以来不能保证该带内 $M \geq 5$ 级地震资料的完整，但为了定性分析地震活动在时间上的变化过程，选取 1400 年以后的资料论述本带地震活动的时间分布。图 1.3-1 给出了长江中游地震带 1400 年以来地震震级和累积释放应变能量随时间分布图。

表 1.3-1 长江中游地震带地震活动时段划分一览表

分期 编号	地震活动时段划分	持续 时间	各级地震发生次数			M_{\max}
			5.0~5.9	6.0~6.9	≥ 7.0	
1	相对平静期 (? ~1468)					
	相对活跃期 (1469~1640)	172	18	1	0	6 $\frac{3}{4}$
2	相对平静期 (1641~1818)	178	6	0	0	5 $\frac{1}{2}$
	相对活跃期 (1819~)	(197)	(31)	(1)	0	6 $\frac{1}{4}$

注：表中括号内的数字是根据现有资料统计的结果。

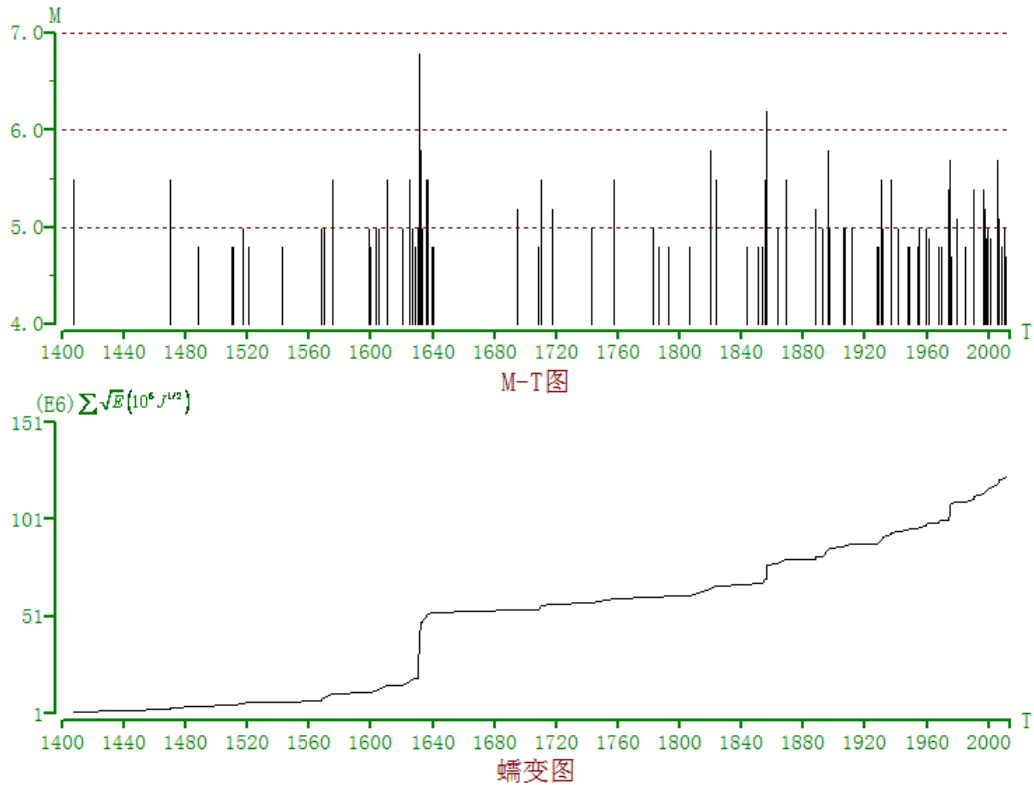


图 1.3-2 长江中游地震带中强震 M-T 图及应变释放曲

从图中可见，本带地震活动的总体水平较低，在 600 余年的研究时段内，仅发生过 2 次 $M \geq 6$ 级地震，本带的地震活动多以 $M \leq 5.9$ 级地震为主。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 $\frac{1}{2}$ 级进行划分，在研究时段内可分出 2 个地震相对活跃期（1469—1640 年，1819—？年），表 1.3-1 给出了地震活动分期结果及有关参数。结合图表分析得知，自 1469 年湖北钟祥 5 $\frac{1}{2}$ 级地震后，本带经历了 172 年的地震相对活跃期，期间发生了 1 次 6 $\frac{3}{4}$ 级地震和多次 5~5.5 级地震；自 1819 年贵州贵定 5 $\frac{3}{4}$ 级以来的地震相对活跃期间，发生了 1 次 6 $\frac{3}{4}$ 级地震和多次 5~5.9 级地震；本带目前大致处于活跃期后期，为保守起见，未来地震活动性参数宜以活跃期进行估计。

1.4 历史地震对目标区的影响

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

历史地震的影响烈度，系指用烈度来衡量历史地震对目标区的影响程度。本报告主要参考的是历史等震线资料，根据历史地震的实际资料，查明目标区当时的宏观影响烈度。历史地震没有实际资料的或者实际资料不够明确的，利用 1990 年中国地震烈度区划图中使用的东部地区平均轴烈度衰减关系式计算历史地震在目标区的影响烈度值，即由目标区到地震震中的距离和地震震级，根据衰减关系式计算得到目标区的影

响烈度。最后根据两方面的资料对目标区的历史地震影响进行综合评价。

1.4.1 历史地震对目标区影响的实际资料

历史上工作区内和区域外围的数次强震对场地均有一定程度的震感影响,下面给出了主要几次强震对目标区影响的实际资料。

1、1786年6月1日四川康定南 $7\frac{3}{4}$ 级地震

史料记载,1786年康定南 $7\frac{3}{4}$ 级地震(图1.4-1),震中烈度X度。康定城垣全行倒塌,不存一雉。雅家埂等一带出现规模不等地裂缝。打箭炉(康定)至泰宁营(泸定化林坪)一带山石坍塌,径途阻塞,遍桥打断之处甚多,文报不能驰递。康定以西通藏大路,山势陂陀,道路塘

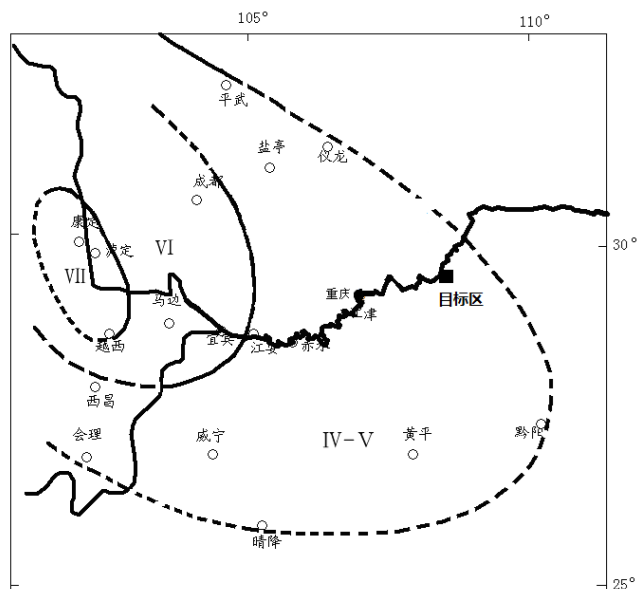


图 1.4-1 1786年康定南 $7\frac{3}{4}$ 级地震等震线图

汛损坏无几。泸定沈边、冷边、咱里三上司管辖 200 里内,共倒塌贫民瓦、土房 127 间,碉房、平产房倒塌 671 间,压毙藏、汉民 185 人。

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

从图1.4-1上可以看出,目标区位于IV-V度区,具体的影响烈度还需通过计算烈度综合判定。

2、1854年12月24日重庆南川 $5\frac{1}{2}$ 级地震

1854年12月24日(清咸丰四年十一月初五)在南川县陈家场(南坪镇)附近发生了一次 $5\frac{1}{2}$ 级地震。

这次地震史料的记载十分丰富。“咸丰四年甲寅十一月初五未刻（綦江）地震。南川县陈家场尤甚。”（同治二年增刊道光六年《綦江县志》10卷15页），“咸丰四年甲寅冬月初五日，（南川）地震，从南路陈家场起，毁庙宇、民房、坟墓，压毙人畜无算，自是或日一震，或日数震，或数日一震，数十日一震。震时有如物由地中行，至次冬始歇。”（光绪二年《南川县志》12卷47页），“清咸丰四年冬十一月起至次年冬止，南路陈家场地震不已，或数日或数十日一次，毁庙宇、民房、坟墓，压毙人无算。”（民国二十八年《重修南川县志》14卷4页）。各地方志以《南川县志》所载情况最详。另从南川县先锋公社咸丰九年长安桥“补修”碑记中看出，该桥曾遭受1854年（咸丰四年）地震破坏，1855年（咸丰乙卯）秋又涨洪水，两灾相叠，致使“桥于是不堪为桥矣”。

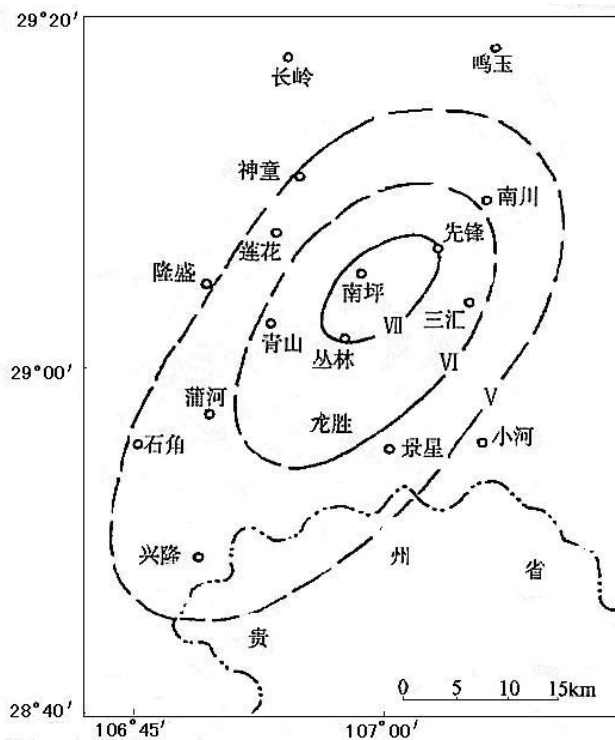


图 1.4-2 南川 $5\frac{1}{2}$ 级地震等烈度线

这次地震，在震前有地声，长安桥“补修”碑上就有“天鸣地震”的记载；震后田里冒黑水；余震持续时间长达一年；波及范围广，巴县、綦江、涪陵、重庆等地均有感。地震对南川县先锋公社长安桥和丁家嘴公社清缘桥这种在分类上为II类建筑的石拱桥以及部分古坟墓有一定程度的破坏。所以根据史料勾画的等烈度线，其震中位于南川县陈家场附近，震中烈度为VII，等震线长轴呈北东北向（图1.4-2）。鉴于目前搜集的资料，根据四川盆地内地震影响场研究资料和现今地震发生后的情况，我们认为，《中国地震目录》和《四川地震目录》将1854年12月24日（清咸丰四年十一月五日）南川县陈家场地震定为 $5\frac{1}{2}$ 级，震中烈度VII度是恰当的。根据近期对南川地震的考察，VII度区存在一北东向逆断层，可能是该次地震的发震断层⁽¹⁶⁾。

根据近期对南川地震的考察，VII度区存在一北东向逆断层，可能是该次地震的发震断层⁽¹²⁾。此次地震对本目标区影响的宏观烈度不明确，因此该地震对目标区的影响烈度还需通过计算烈度综合判定。

3、1856年6月10日重庆黔

江6¹/₄级地震

1856年6月10日（清咸丰六年五月初八日），在重庆黔江小南海与湖北咸丰大路坝之间，发生了一次震级为6¹/₄级的地震，这次地震震撼了川鄂交界的广大地区，北至重庆市奉节、巫山县，西及重庆市南川、綦江县，东南达湖南省大庸、保靖、花垣县和吉首市，整个川渝湘鄂黔五省市毗邻地区均有震感，许多县志上均有较详细的记载，并留有碑记（见图 1.4-3）。

小南海、大路坝位于黔江县城北北西方向，直线距离约 12 公里，位置为东经 108° 45'、北纬 29° 40'。

据光绪二十年刻本《黔江县专·详异》卷五载：“咸丰六年夏五月壬子地震，后坝乡山崩。先数日，日光黯淡，地气蒸郁异常，是日弥甚、辰、巳间忽大声如雷震、室宇晃摇，势欲倾倒，屋瓦皆飞，池波涌立，民惊号走出，仆地不能起立。后坝许家湾溪口有矗起，倏中断如截，响若雷霆。地中石亦进出，横飞旁击，压毙居民数十家，溪口遂被堙塞。该次地震震中烈度可达Ⅷ度，而地震的最大特点是地面破坏相当严重，山崩堵河成湖。根据山崩、堵塞成湖等地面破坏情况，勾绘出极震区（Ⅷ度区）。范围：北到掌上盖、蛇盘溪一线；南面包括小南海；东以大路坝乡为界；西到孝径沟以西附近一带。形状为一长椭圆形，长轴呈北北东方向展布，长轴直径 37 公里、短轴直径 20 公里，在活龙坪一带，也见有山崩、滑坡。在楼子岩口上，面积约 30—40 亩的覆盖层，地震时产生急剧滑动，剥落殆尽，俨长达百余米的裂缝，但我们认为可能是在节理基础上发育起来的岩溶裂缝。茅坝、清水塘一带，地震时曾造成较大规模的崩塌型滑坡。在黔江县茅坝子，有 40 亩田震后大量漏水。台子上也有滑坡。

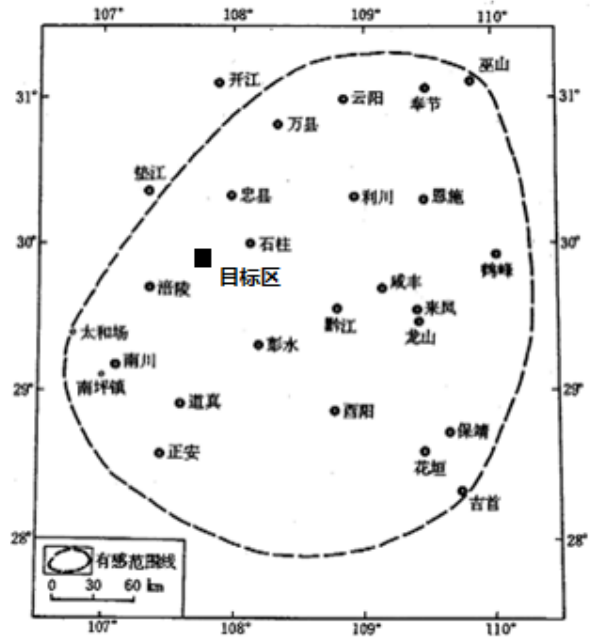
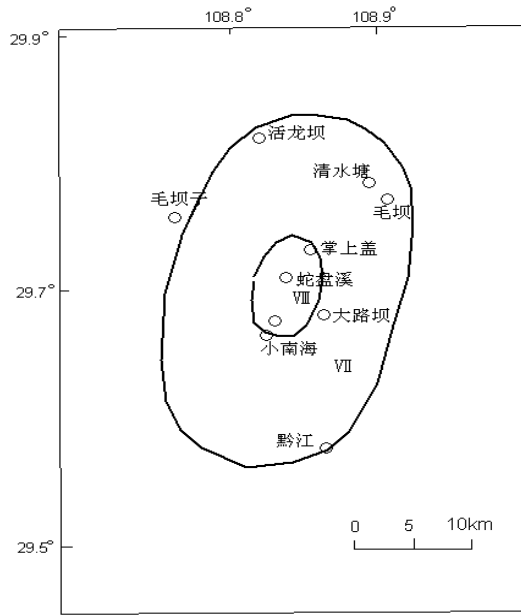


图 1.4-3 黔江地震有感范围（据黄伟）

20 世纪 60 年代原昆明地球物理研究所曾对黔江地震进行过考察。1978 年四川省地震局张文甫、刘盛利等人对该次地震做了较详细考察，并根据山崩、堵塞成湖的情况，勾绘出极震区(VIII度区)。范围：北到掌上盖、蛇盘溪一线；南面包括小南海；东以大路坝镇为界；西到孝径沟以西附近一带。形状为一长椭圆形，长轴呈北北东方向展布，长轴直径 37 千米、短轴直径 20 千米（图 1.4-4）。



结合图 1.4-3 和图 1.4-4，可以判定目标区位于烈度IV-V度，具体的影响烈度还需通过计算烈度综合判定。

1、等烈度线；2、地面破坏线；3、地震堆积物；4、地震湖
图 1.4-4 1856 年黔江 6¹/₄ 级地震等烈度线图(四川省地震局)

4、1879 年 7 月 1 日甘肃武都 8.0 级地震

清光绪五年五月十二日，查四川省城，微觉地动，历时仅半刻，惟门环箱扣微作响，余别无事故，城内外居民尚多有不及觉者。重庆、绥定、潼川、雅州、夔州、绵州及梓潼、剑州、巴州、江油、彰明、石泉、平武、安县、绵竹、合江、綦江、合州、南川等十九属，情势甚轻，并无坍塌城垣、房屋，伤人情事。惟绵州稟称州城垛口坍塌八个，余俱安定。阆中、罗江、平武、广元、昭化、苍溪、漳腊等七属，阆中

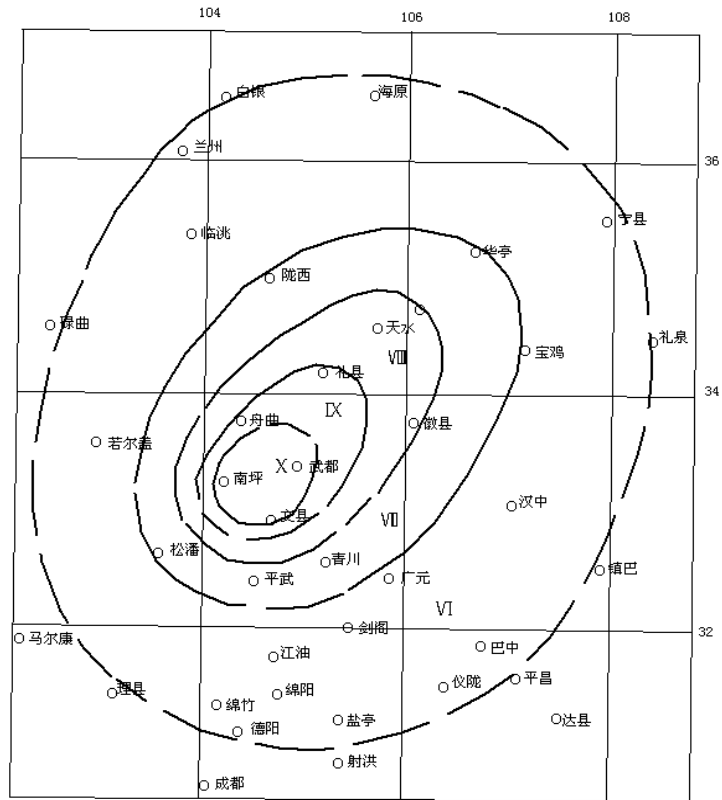


图 1.4-5 1879 年甘肃武都 8 级地震烈度分布图

城垣安堵，惟东路青龙、花垣两场，间有墙壁破坏之处，平武亦惟距城百二十里之茨湾地方，有石岩滚落七丈余，将岩下住居草屋压坏，压伤两人，余均无倒塌房屋伤人之事，广元、昭化、罗江、漳腊四属微有坍塌鼓裂数丈及数尺之处，广元民房坍塌十余处，昭化城外贾家河墙塌。惟南坪一营地动情形甚重，城署房屋倒塌甚多，又有珠河场河沟被沟上山岩坠塌，将河身壅塞，后复冲开，水势汹涌。致将河北街民房屋尽行淹坏，伤人甚多，而顺河以下哈沙沟、青龙场等处，亦同被灾等情。目标区位于VI度圈外(图 1.4-5)，具体的影响烈度还需通过计算烈度综合判定。

5、1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8¹/₂级地震

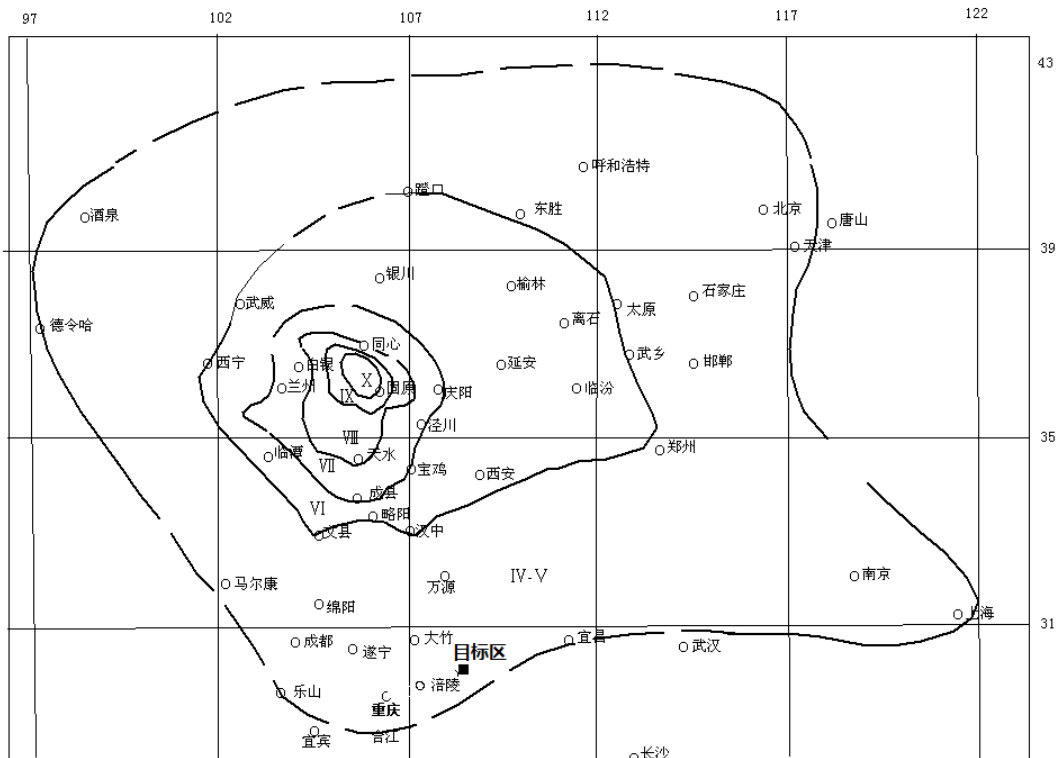


图 1.4-6 1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8¹/₂级地震等烈度线图

本次地震是近百年来在中国人口密集区发生的最大地震，其影响西至玉门，冬至东海之滨的上海。据记载“在震中东六盘山地区村镇埋没、地面或成高陵或陷深谷，山崩地裂，黑水横流，海原、固原等四城全毁。只海原一县死了 73604 人，死亡 59%。全区因地震而死亡者不下 20 万人。在地震破坏区，山崩崖塌，山川远移，峰谷互换，城墙倒塌，房屋荡尽，死伤无数。”西吉回教首领马元璋合家 60 余口及教徒五六百同时遇难，回汉人民死伤数万人。县城附近之苏家河全村 36 户，130 余间民房全部倒塌，堡于墙塌成一土埂。附近崖坎崩滑，村庄覆没，大路裂缝，长 3-4 丈，宽 1 丈，中段下陷 3-4 尺，压死 36 人。

破坏区：兰州倒塌房屋十分之三。死 3000 余人，畜 7000 余头。城堡垛口有倒塌，其他城堡（砖土）垛口或城墙亦有倒塌。白云观九级砖塔震倒四级，孙家坟和尚

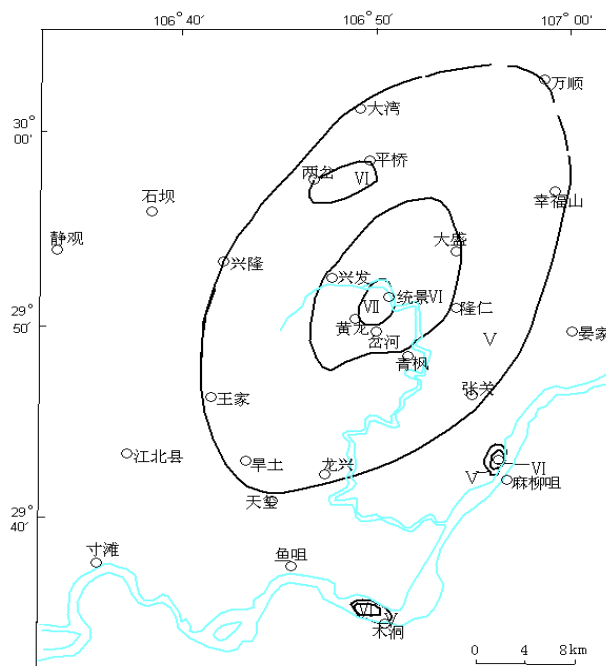
庙砖塔塔顶震落。皋兰山村落亦有裂缝。陇县：城坠山崩，压死 700 人。武都：塌屋十分之二，死 50 余人，畜 600 余头。西安：屋摇墙塌，被毁房屋约百户。

重庆：≤国民公报≥报导“渝州城内各处微有地震，户内所悬各物，摇摆约尺余远…”，≤长寿县志≥载“忽然（长寿）地动五秒钟。吊灯及一切器物皆震撼不已……”。由图 1.4-6 可以看到，该目标区位于 IV-V 度区，具体的影响烈度还需通过计算烈度综合判定。

6、1989 年 11 月 20 日重庆渝北统景 5.2、5.4 级地震

1989 年 11 月 20 日 11 时 18 分和 11 时 21 分，在渝北统景相继发生了 5.2、5.4 级双震。

根据现场考察结果，这次地震的宏观震中在统景镇杉林、同心村一带（图 1.4-7），等震线形态总体呈轴向为北 30° 东的椭圆形，震中烈度为 VII 度，并在洛碛、木洞、平桥一两岔等三处出现高烈度异常区。



1.等震线及烈度值;2.烈度异常点;3.仪器测定震中;4.宏观震中;
5.人工地震资料确定的地腹断裂;6.人工地震反映的资料复杂带;7.铜锣峡背斜轴
图 1.4-7 渝北统景 5.2、5.4 级地震等烈度线图(引自≤重庆地震研究≥)

据《重庆地震研究》：“这次地震重庆市所属的 21 个区县以及邻水、垫江县均强烈有[震]感。自贡、乐山、宜宾部分有[震]感，甚至远离震中的成都市部分高层建筑上静止的人也感到了这次地震。忠县城大部分人感到突然震动，万县市(今天城区)南门口、万县(今天城区)种子宿舍看到凉台电灯晃动。”

通过该次地震对目标区的影响情况，判定对目标区影响的宏观烈度为 IV 度。

7、2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级强震

2008 年 5 月 12 日汶川发生 8.0 级地震，震中烈度达 XI 度（图 1.4-8），以汶川县映秀镇和北川县县城为两个中心。IX 度以上分布区域紧靠发震断层，沿断层走向成长条形状；X 度和 IX 度边界受龙门山前山断裂错动的影响，在绵竹市和什坊市山区向盆

地方向突出，都江堰市区也略有突出。在山前盆地边缘的过渡带，烈度向东衰减很快，而西侧则衰减相对较缓。烈度分布南北也不对称，VIII度区和VII度区范围向四周扩大，且相同烈度的区域在北部比南部大，进入甘肃省和陕西省境内，显示出断层破裂向北东方向传播，最大余震发生在断层北部。VI度区在四川盆地和丘陵地区分布范围很广，一直延续到重庆市西部和云南省昭通市北端，在四川省西部面积相对要小，重庆地区VI度区主要分布在渝西的潼南县、铜梁县、大足县、双桥区、荣昌县和合川区等 13 个区县，面积 8509km²。

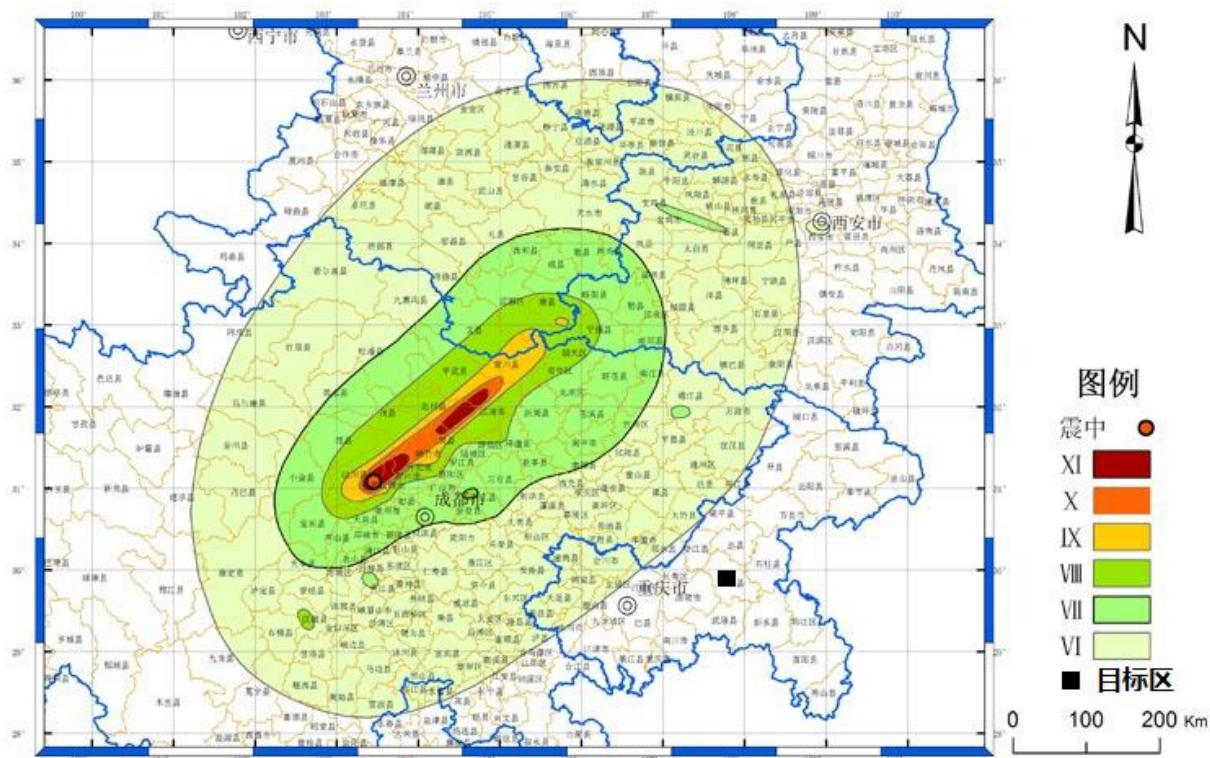


图 1.4-8 汶川 8.0 级地震烈度分布图(据袁一凡)

从此次地震对工程所在地区的影响主要表现地震时门窗、屋顶、屋架颤动作响或轻微变形，灰土掉落，砖混结构个别墙体抹灰出现细微裂缝，少量房屋有零星檐瓦掉落。图 1.4-8 上也可看出，目标区处于 V 度范围，因此汶川地震对目标区影响的宏观烈度应为 V 度。

8、2017 年 11 月 23 日武隆 5.0 级地震

此次地震灾区最高烈度 VI 度，VI 度区主要涉及重庆市武隆区火炉镇、江口镇、沧沟乡、文复苗族土家族乡，彭水苗族土族自治县高谷镇、鹿鸣乡，总面积 194 平方千米，宏观震中位于重庆市武隆区火炉镇车坝村。烈度图见图 1.4-9。从图上看，目标区位于 VI 度区外，具体的影响烈度还需通过计算烈度综合判定。

VI 度区：土木、砖木房屋少数中等破坏，砖混房屋少数轻微破坏，框架房屋基本完好。

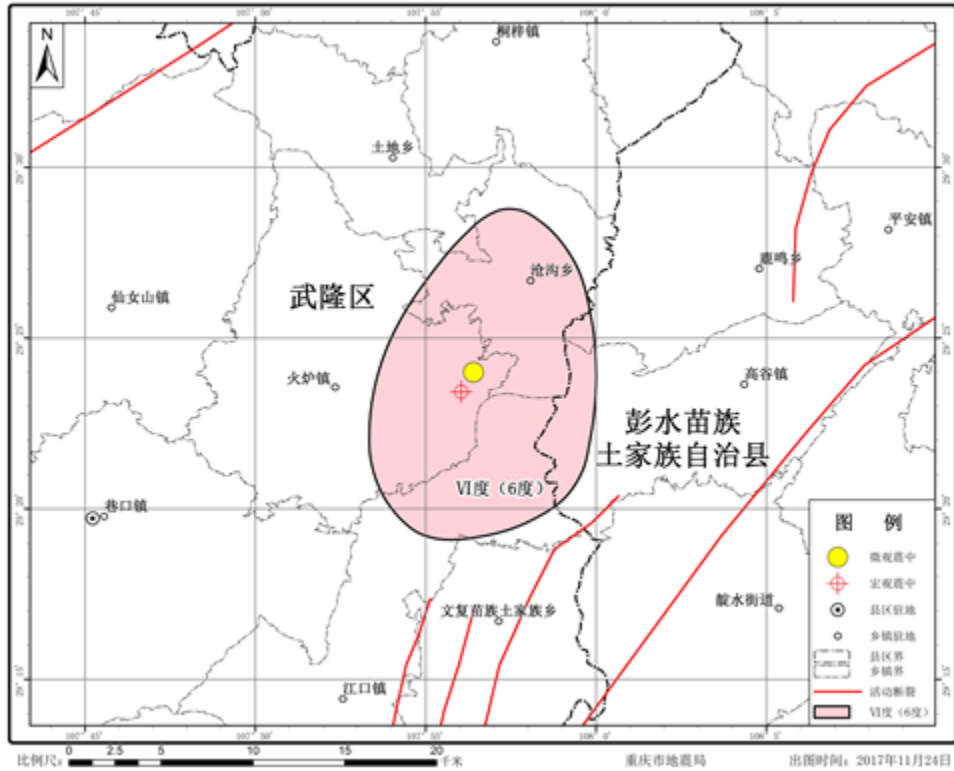


图 1.4-9 武隆 5.0 级地震烈度分布图

1.4.2 历史地震对目标区影响的计算分析

为了弥补历史地震等震线资料不全的影响，本次工作利用 1990 年中国地震烈度区划图中使用的东部地区平均轴烈度衰减关系式： $I = 4.493 + 1.454M - 1.792 \ln(R + 16)$ （式中 R 为震中距，单位为 km，M 为震级），由于地震烈度是地震影响程度的分级，其数值应归为整数。这里估算了可能对目标区产生 III 度以上烈度的地震影响烈度值，并参考衰减的标准差，进行综合评定，从而得到地震对目标区的影响烈度参考值。

1.4.3 目标区历史地震影响综合分析

根据表 1.4-1 结果，目标区遭受的最大影响烈度为 V 度，分别来自 1856 年 6 月 10 重庆黔江 $6\frac{1}{4}$ ，1879 年 7 月 1 日甘肃武都南 8.0 级地震，1920 年 12 月 16 日宁夏海原 $8\frac{1}{2}$ 和 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震。

表 1.4-1 历史地震对目标区影响烈度的综合判定

编号	发震时间 (年.月.日)	震级	震中参考地名	距目标区最短距 离 (km)	影响 烈度
1	1786.06.1	7 ³ / ₄	四川康定南	554.2	IV*
2	1854.12.24	5 ¹ / ₂	重庆南川	116.8	III*
3	1855.秋	4 ³ / ₄	重庆彭水	74.3	III*
4	1856.6.10	6 ¹ / ₄	重庆黔江	96.1	V*
5	1879.07.01	8	甘肃武都南	461.8	V*
6	1920.12.16	8 ¹ / ₂	宁夏海原	770	V*
7	1931.7.1	5	湖北咸丰、利川一带	107.3	III*
8	1989.11.20	5.4	重庆渝北统景	86.7	IV
	1989.11.20	5.2	重庆渝北统景	86.7	IV
9	2008.05.12	8	四川汶川	432.1	V
10	2017.11.23	5	重庆武隆	58.8	IV*

*表示通过烈度衰减关系得到

1.5 区域地震震源机制解及现代构造应力场

现代构造应力场是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，所引发的地震的震源特性也不同。根据地震的震源机制解反推地震发生地区的现代构造应力场，是目前常用的有效方法。

本节利用区域范围内及其周边地区破坏性地震的震源机制解结果，并利用重庆市的测震资料，从多个时段的小震综合节面解综合分析，对区域地震构造应力场空间分布特征及地震破裂特征进行分析研究。

1.5.1 中强震震源机制解反映的构造应力场

选出位于工作区域内及其周边地区地震的震源机制解共 10 个，给出下半球投影的标准格式。将上述结果均列于表 2-6 中，并绘制这 6 个地震的震源机制解分布图（图 1.5-1）。表中 str 为节面走向，dip 为节面倾角，slip 为滑动角，Az 代表力轴方位角，P1 代表力轴倾角。

表 1.5-1 区域及周边地震震源机制解

发震日期 年.月.日	震中位置		震级	节面 1			节面 2			P 轴		T 轴		B 轴		来源
	° N	° E		str	dip	slip	str	Dip	Slip	Az	Pl	Az	Pl	Az	Pl	
1979.05.22	31.08	110.5	5.1	116	72	148	217	60	20	169	8	73	35	270	5	②
1989.11.20	29.84	106.88	5.2	57	63	166	153	78	28	282	10	18	28	175	60	①
1997.08.13	29.5	105.5	5.2	63	57	114	204	40	58	137	9	23	68	230	20	③
2001.06.23	29.38	105.52	4.9	114	81	-116	5	27	-21	357	48	225	31	119	25	③
2010.01.31	30.3	105.7	5.0	16	51	87	201	39	94	108	6	267	84	18	2	④
2010.09.10	29.38	105.44	4.7	197	40	58	85	78	58	328	3	21	52	255	22	③
2013.12.16	31.1	110.4	5.1	73	56	170	168	82	34	-	-	-	-	-	-	④
2014.03.30	30.9	110.8	4.7	331	71	40	226	53	156	96	26	13	39	-	-	⑤
2016.12.27	29.47	105.6	4.8	29	34	41	263	68	117	333	18	210	58	173	22	③
2017.11.23	29.40	107.94	5.0	55	24	-79	223	66	-95	-	-	-	-	-	-	④

① 重庆涪陵核电项目；②许忠淮等，1994；③重庆市地震局；④中国地震局地球物理研究所；⑤湖北地震局

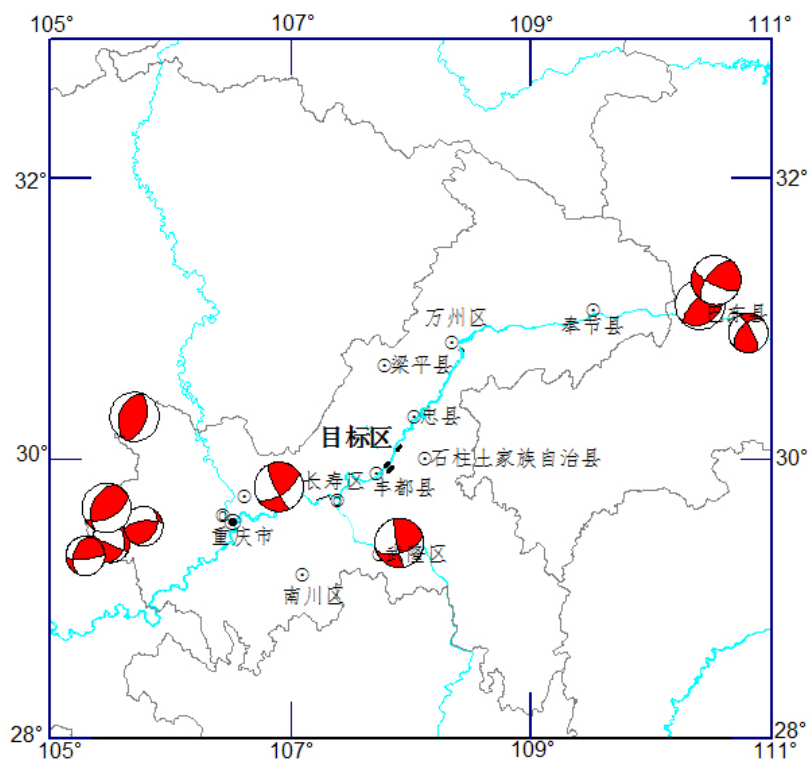


图 1.5-1 单个地震震源机制解分布图

从图中可以看出，这些地震以逆断层活动和逆兼走滑断层活动为主。

1.5.2 小震综合机制解反映的构造应力场

利用重庆地震台记录到的中小地震波形资料，求解单台多时段小震综合节面解，结果列在表 1.5-2 中。

表 1.5-2 中、小地震综合节面解

地址台名	资料起止时间	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比	资料来源
		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角		
重庆台	1977.3-1978.3	92.5	S	60	343	NE	60	128	45	218	0	308	45	27%	四川局
重庆台	1987.3-1989.11	45	NW	65	291	SW	49	267	50	163	11	57	38	20%	四川局
重庆台	1970.1-2003.12	50	NW	70	320	NW	57	275	7	185	3	70	82	31%	重庆局
重庆台	2003.1-2004.12	230		60	140		90	91	21	189	21	320	60	29%	重庆市地震工程研究所
重庆台	2005.1-2005.12	202		68	311		51	260	10	160	45	360	40	23.4%	重庆市地震工程研究所
重庆台	2007.06-2009.06	10	81	167	102	77	9	57	3	326	15	156	75	33%	重庆局
重庆台	2009.09-2010.02	74	81	-168	342	78	-10	298	15	208	1	112	75	0.00	重庆局
重庆台	2010.03-2010.08	67	83	140	163	50	9	121	21	17	33	238	49	6%	重庆局
重庆台	2010.12-2011.06	358	53	-122	224	47	-56	206	65	110	3	19	25	33%	重庆局
重庆台	2011.07-2012.12	243	43	-86	58	47	-93	274	87	151	2	61	2	45%	重庆局
重庆台	2013.01-2014.12	181	80	172	272	82	10	47	2	137	13	309	77	33%	重庆局
重庆台	2015.01-2016.11	91	88	-123	358	33	-3	332	38	209	35	92	33	34%	重庆局
重庆台	2017.01-2017.04	7	18	-22	118	83	-107	9	49	223	36	120	17	0.00	重庆局

许忠淮等（1989）由大量的地震资料推断我国大陆 79 个分区的构造应力场，其中，位于目标区周围地区的有 1 个分区。将这 1 个分区的结果分别列于表 1.5-3 中。

表 1.5-3 区域周边地区小震综合节面解

分区号	分区中心位置		P 轴		T 轴		矛盾比
	北纬 (°)	东经 (°)	方位角	倾角	方位角	倾角	
重庆地区	29.42	106.58	91	21	189	21	0.29
36	31.5	111.2	93	1	7	5	0.35

1.5.3 现代构造应力场特征

综合上面的结果，我们将得到的震源机制解表 1.5-1、表 1.5-2、表 1.5-3 中主压应力轴和主张应力轴的方位和倾角汇总在图 1.5-2 中及表 1.5-4 中。图中径线 0-90° 环表示力轴与水平面的夹角由水平至直立，即前述的倾角度数，大圆的外环度数为方位角度数。由图可见，主压应力轴 P 的优势方位为 NWW-SEE 向，倾角大多小于 60°；主张应力轴 T 轴的优势方位为 NNE-SSW 向，倾角大多小于 60°。分析得出，本区处于

NWW-SEE 向水平主压应力与 NNE-SSW 向水平主张应力为主的现代构造应力场中,在这样的应力场中易发生逆断层、走滑断层或逆兼走滑型断层活动,其中北东-北东东向破裂面具有以右旋水平剪切为主的错动性质;北西-北北西向或北北东向的破裂面具有以左旋水平剪切为主的错动性质。

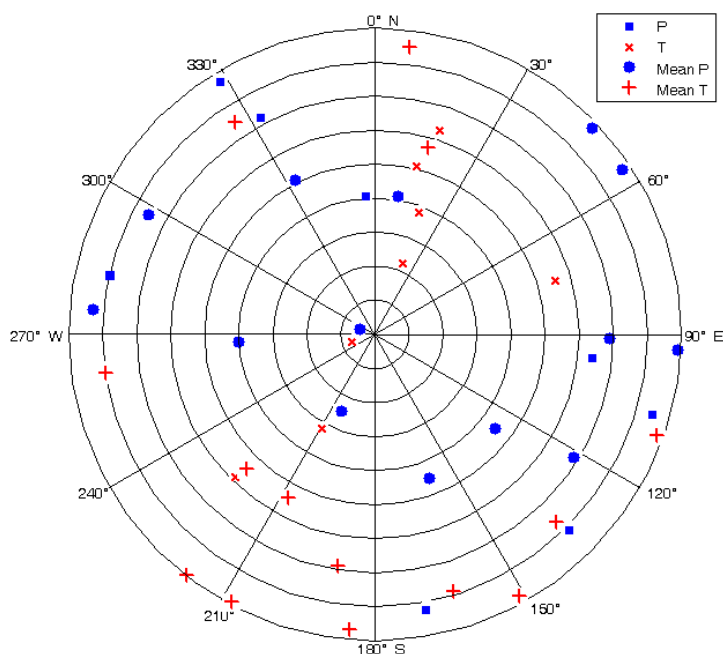


图 1.5-2 P、T 轴方位及倾角分布示意图

表 1.5-4 震源机制解节面及 P、T 轴倾角分布统计

次数及百分比 倾角 数值范围	P 轴		T 轴	
	n	%	n	%
[0 10]	10	47.6	6	28.6
(10 30]	4	19	4	19
(30 60)	5	23.8	9	42.9
[60 80)	1	4.8	1	4.8
[80 90]	1	4.8	1	4.8

1.6 近场区地震活动特征

以目标区为中心不小于 25km 的范围为近场区,本报告取 107.4° -108.3° E, 29.6° -30.3° N 之间的区域为近场区范围。这里对近场区的地震活动做出评价。

图 1.6-1 给出了有记载以来 $M \geq 2.0$ 地震震中分布图。近场区历史上共发生 $M \geq 2$ 级地震 135 次(表 1.6-1), 其中 2.0~2.9 级地震 116 次, 3.0~3.9 级地震 6 次, 4.0~4.9 级地震 13 次; 近场区范围内地震活动以小地震为主; 震源深度分布较浅。

我们将近场区有历史记载以来 $M \geq 4$ 级以上地震作图(图 1.6-2)。可以看到, 1852 年以来, 近场区地震活动经历了活跃-平静-活跃几个发展阶段。目前, 该地区地震活动进入新一轮的活跃期。预计该区小震还将呈活跃趋势, 未来仍存在 4 级地震活动的可能。

表 1.6-1 近场区历史地震各震级档次地震频次分布一览表

震级分档	4.0~4.6	3.0~3.9	2.0~2.9
地震频次	13	6	116

近场区内最大地震为 2004 年 11 月 21 日发生在石柱的 4.6 级地震, 距离目标区 33.8 公里, 利用 1990 年中国地震烈度区划图中使用的东部地区平均轴烈度衰减关系式估算, 得到影响烈度为 IV 度。距离目标区最近的较大地震是 1880 年 3 月 22 日发生的 4.5 级地震, 距离目标区 5.2 公里, 利用 1990 年中国地震烈度区划图中使用的东部地区平均轴烈度衰减关系式估算, 得到影响烈度为 V 度。综上, 近场区以小地震活动为主, 已发生地震对目标区的最大影响烈度为 V 度。

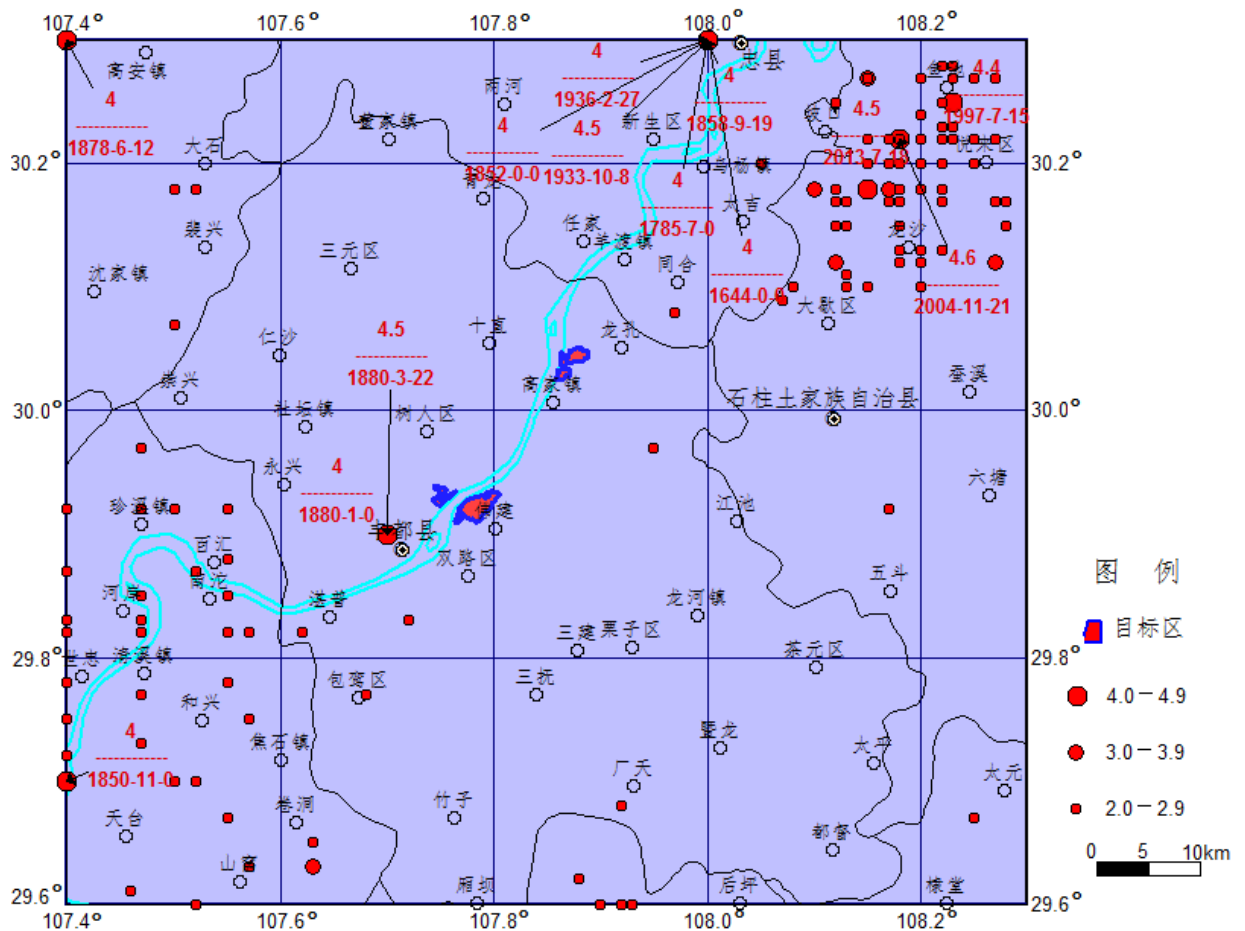


图 1.6-1 有记载以来近场区地震分布 ($M \geq 2.0$)

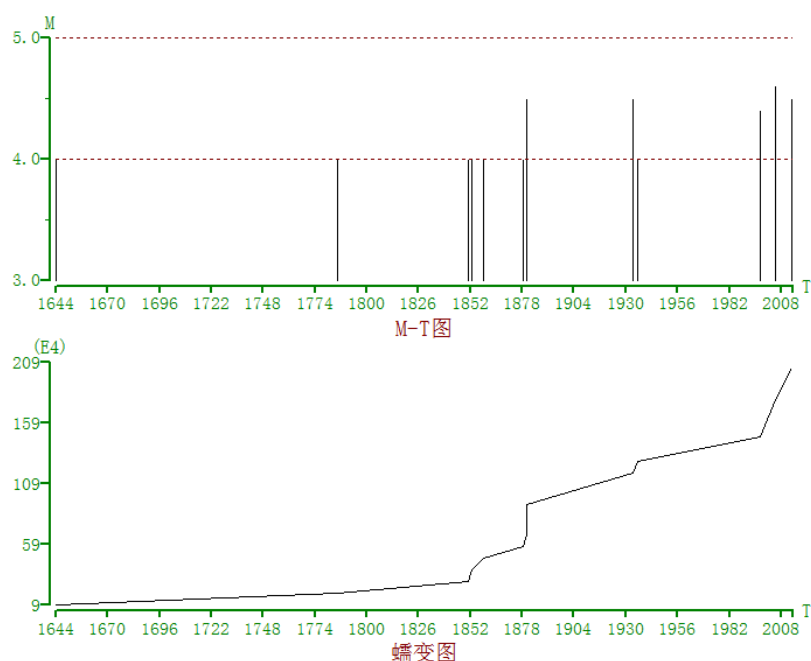


图 1.6-2 近场区 M-T 图及蠕变曲线 ($M \geq 4$ 级地震)

1.7 区域及近场区地震活动性评价

1、区域位于长江中游地震带，长江中游地震带未来百年内的地震活动时间进程仍将主要持续现在的地震相对活跃期，未来该带仍可能有中强地震发生。

2、区域内记录到 $M \geq 4.7$ 级的破坏性地震8次，其中6.0~6.9级地震1次，5.0~5.9级地震5次，4.7~4.9级地震2次。此外，还记录到现代小震 ($2.0 \leq M \leq 4.6$) 1035次。区域目前记到的最大地震是1856年重庆黔江 $6\frac{1}{4}$ 级地震。

3、区域范围内 $M \geq 4.7$ 级地震主要分布在目标区的南面和西面，基本分布在湖北利川、重庆黔江、彭水、南川、统景地区。其中，发生在黔江的地震，发震构造主要为沿北东向的黔江断裂带。发生在利川和彭水的地震，发震构造为北东向的彭水断裂。发生在南川的地震，发震构造为七曜山-金佛山基底断裂带。统景地震的发震构造为铜锣峡背斜轴部的北东向统景底腹断裂。工作区历史上没有发生过大于7级的地震，地震活动属中强水平。2017年11月23日武隆5级地震是距目标区最近的破坏性地震，约58.8km。

4、区域强震、中小地震震源深度分布较浅。

5、目标区遭受的最大影响烈度为V度，分别来自1856年6月10重庆黔江 $6\frac{1}{4}$ ，1879年7月1日甘肃武都南8.0级地震，1920年12月16日宁夏海原 $8\frac{1}{2}$ 和2008年5月12日汶川8.0级地震。

6、近场区历史上共发生 $M \geq 2$ 级地震135次（表1.6-1），其中2.0~2.9级地震

116次，3.0~3.9级地震6次，4.0~4.9级地震13次；震源深度分布较浅。近场区以小地震活动为主，已发生地震对目标区的最大影响烈度为V度。

7、区域处于NWW-SEE向水平主压应力与NNE-SSW向水平主张应力为主的现代构造应力场中，在这样的应力场中易发生逆断层、走滑断层或逆兼走滑型断层活动，其中北东-北东东向破裂面具有以右旋水平剪切为主的错动性质；北西-北北西向或北北东向的破裂面具有以左旋水平剪切为主的错动性质。

第二章 区域地震地质背景

区域地震地质环境是指目标区周围不小于150km范围内的地震地质条件，其核心内容是区域内的地震构造条件，找出区域内主要地震构造及其与地震活动的相互关系，评价目标区可能遭受的远场地震影响的主要地震构造类型和强度，编制区域地震构造图，从而为目标区的地震安全性评价提供潜在震源区划分的基本依据。

因此，本章将从区域内的地质构造背景、地球物理场特征、区域新构造运动及现代构造应力场、区域主要活动断裂带与地震构造评价等方面进行论述。

2.1 区域大地构造特征和新构造运动

2.1.1 板块的演化历史及运动影响

区域包主要位于扬子准地台内，扬子准地台主要包括四川台坳 (I_1^2)、上扬子台褶带 (I_1^3) 两个二级构造单元 (图 2.1-1 和表 2.1-1)。四川台坳又可分为四个三级构造单元，即川中台拱 (I_1^{2-2})、川北台陷 (I_1^{2-3})、川西台陷 (I_1^{2-4})、川东陷褶束 (I_1^{2-1})。目标区处在川东陷褶束内。

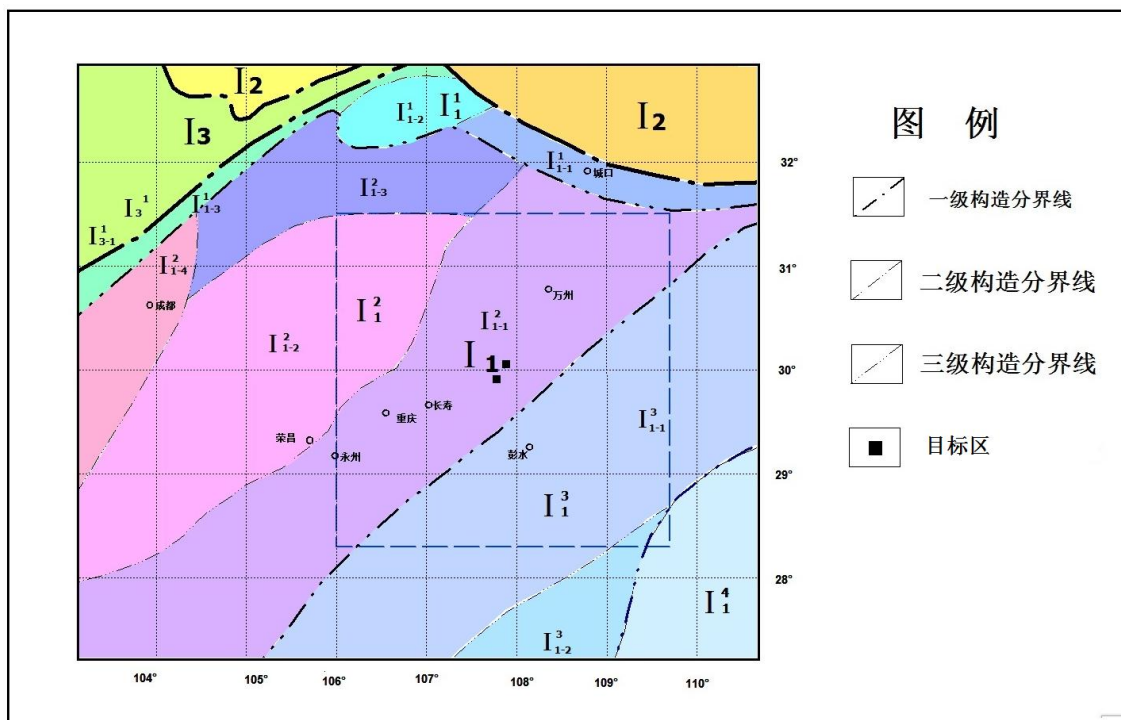


图 2.1-1 区域大地构造单元划分简图

表 2.1-1 区域及邻区大地构造单元划分表

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

	(I ₁ ¹)	龙门山陷褶束 (I ₁₋₃ ¹)
	四川台坳 (I ₁ ²)	川东陷褶束 (I ₁₋₁ ²)
		川中台拱 (I ₁₋₂ ²)
		川北台陷 (I ₁₋₃ ²)
		川西台陷 (I ₁₋₄ ²)
	上扬子台褶带 (I ₁ ³)	川东南陷褶束 (I ₁₋₁ ³)
印江陷褶束 (I ₁₋₂ ³)		
江南隆起 (I ₁ ⁴)		
秦岭地槽褶皱系 (I ₂)		
松潘-甘孜地槽褶皱系 (I ₃)	巴彦克拉冒地槽褶皱带 (I ₃ ¹)	茂汶-丹巴地背斜 (I ₃₋₁ ¹)

扬子准地台是晋宁运动时褶皱固结的相对稳定区域。在晋宁运动以前，它就有漫长的历史。通常认为地台结晶基底的年龄下限为 17 亿年，上限则以晋宁运动结束为界（8.5 亿年）。从古生代到中生代三叠纪，扬子准地台一直处于相对较稳定的构造环境，至中生代末-新生代初的各次构造运动中，不同地区受到的影响程度有所差异，表现出不同地区盖层的不同的变形形式和程度。扬子准地台具有典型的双层结构特征，下部为结晶基底，形成于晚太古代—早元古代；上部为褶皱基底，形成于中元古代—晚元古代。晋宁运动使地槽褶皱回返，形成扬子准地台。

区域内属四川台坳二级构造单元 (I12) 的部分，结晶基底主要由太古界—早元古界的各种片麻岩及岩浆岩组成。以华蓥山基底断裂为界，以西缺失褶皱基底，以东褶皱基底由板溪群砂岩、板岩组成。在古生代，华蓥山以西为相对隆起区，缺失泥盆系和石炭系；以东为相对沉降区，除缺失部分古生界外，地层发育齐全，坳陷中心从早至晚大致有从北西向东南迁移的趋势。中生代早三叠世晚期，该区逐渐发育成为半封闭的内海盆地，晚三叠世晚期形成内陆盆地，之后进入陆相沉积阶段，在侏罗纪沉积了数千米的红色陆屑建造。进入新生代早第三纪末四川运动时，地壳运动增强，表现为水平（造山）运动。川中台拱区盖层褶皱多为穹隆、短轴背斜和鼻状构造，川东陷褶束区盖层褶皱主要表现为北东向展布的狭窄背斜与开阔向斜相间排列，组成典型的“隔挡式”褶皱，在背斜轴部附近发育规模不大的地表压性或压扭性断裂构造，以及核部发育底腹压性断裂。

区域内属上扬子台褶带 (I₁³) 的部分，其基底具双层结构，下为结晶岩石建造，上层为变质岩石建造。川东南陷褶束 (I₁₋₁³) 为上扬子台褶带古生代坳陷中心，地层发育比较齐全，厚达万米左右。中生界不发育，构造以北东向宽缓背斜与向斜组成的“城垛状”褶皱为主，沿背斜轴部常发育长达数十千米的断层。

区域属中强地震活动区，从历史上中强地震的空间分布来看，地震多发生于二、三级构造单元的边界断裂带附近及其北东向背斜褶皱的轴部附近。

2.1.2 区域新构造运动的特点

2.1.2.1 新构造运动的基本特征

区域处于中国东部弱升区，新构造运动及地貌格局主要受喜马拉雅运动的影响。

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

根据第四纪抬升幅度的差异，区域的新构造运动可划分为四川盆地弱升区(II₁)、滇东-黔西中等掀区(II₃)和黔中面状隆升区(II₄) 3 个二级新构造分区。其中，四川盆地弱升区(II₁)在区域内又可细分为川中微升区(II₁₋₂)、川东盆岭区(II₁₋₃)和鄂西-黔东中升区(II₁₋₄) 3 个三级新构造分区，如表 2.1-2，如附图 I：区域地震构造图。

表 2.1-2 区域新构造运动分区表

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

东部弱升区(II)第四纪以来抬升幅度较小。川中微升区(II₁₋₂)第四纪一直处于剥蚀状态，抬升幅度小于 500m，形成大面积的丘陵地貌；川东盆岭区(II₁₋₃)整体性好，第四纪以来一直处于剥蚀状态，抬升幅度在 500m 左右，表现为中低山、丘陵相间分布的地貌类型；鄂西-黔东中升区(II₁₋₄)整体性好，第四纪以来一直处于稳定的隆升状态，抬升幅度在 1000~1500m 左右。黔中面状隆升区(II₄)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。

2.1.2.2 构造地貌

第三纪四川运动奠定了区域现今地貌形态的基本轮廓。其主要表现为构造地貌，既反映了区域性的水平挤压褶皱、整体间歇性抬升(或掀斜)，也表现了基底断裂活动的垂直差异运动和水平运动的构造地貌。

区域的构造地貌主要形成于第三纪末的喜马拉雅运动第一幕。据现今地貌形态，区域可划分为三个构造地貌单元。

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

(2) 华蓥山以东的低山丘陵相间排列地貌区：包括华蓥山基底断裂及其以东至

七曜山—金佛山基底断裂之间的广大地区，地貌上一系列北东走向的狭窄条状山岭与相对较宽阔的岭间丘陵相间排列。低山海拔多在 600—900m 之间，最高为华蓥山主峰高登山，海拔 1744m，岭间丘陵海拔一般在 500m 以下。这一地貌形态与区内存在的“隔挡式”褶皱构造一致，背斜为“山”，向斜为“谷”。

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

这三个构造地貌单元基本上以华蓥山基底断裂和七曜山—金佛山基底断裂线为界，是新生代以来基底断裂运动的直接结果。

2.1.2.3 垂直差异运动

新第三纪末以来的新构造运动，区内主要表现为大面积区域间歇性抬升运动，表现在下列方面：

1、普遍存在着三期六级夷平面。一期夷平面称为华蓥山期，形成于第三纪末，可分为两级：高一级的海拔 1400—1500m，低一级的海拔 1100—1200m；二期夷平面称为歌乐山期，形成于早更新世，可分为两级：高一级的海拔 800—900m，低一级的海拔 600—700m；三期夷平面称为盆地期（重庆期），形成于中更新世，亦可分为两级：高一级的海拔 450—500m，低一级的海拔 350—400m。

2、区域内长江、嘉陵江等河谷，分布有 V 级河流阶地（表 2.1—3）。

各级河流阶地的形成时代分别为全新世、晚更新世晚期、晚更新世早期、中更新世中晚期、中更新世早期，以基座阶地为主。长江在重庆各级河流阶地的相对高度分别为 20—30m、35m、60m、80—90m、110m。嘉陵江在重庆各级河流阶地相对高度分别为 20—30m、40m、60—67m、87—95m、120m。

表 2.1-3 区域主要河谷阶地特征表

时间	阶地 级数	长 江			嘉陵江	
		宜 宾	重 庆	奉 节	重 庆	合 川
全新世	I	11—16	20—30	61	20—30	30
		堆积	基座	基座	基座	堆积
晚更新世	II	20—40	35	84	40	40
		基座	基座	基座	基座	基座
	III	45—65	60	130	60—67	60—70
		基座	基座	基座	基座	基座
中更新世	IV	75—96	80—90	163	87—95	90—100
		基座	基座	基座	基座	基座
	V	125	110	224	120	120
		基座	基座	基座	基座	基座

说明：阶地面距常年水位高度(单位：m)

阶地类型

沈玉昌（1965）将该地区共划分出Ⅶ级河流阶地（图 2.1-2），其中Ⅰ-Ⅴ级阶地沿江分布比较稳定，Ⅵ级阶地分布于重庆以西，Ⅶ级阶地仅在合江附近出现。前人研究认为：重庆以西的Ⅵ级阶地为盆地期低夷平面，合江附近的Ⅶ级阶地为盆地期的高夷平面。长江河流阶地相对高度由宜宾—重庆—奉节逐渐增高的事实，表明区域第四纪以来的新构造运动在大面积区域间歇性抬升的背景上，存在着由西向东弱掀斜运动的特点。

3、现代水准测量。据中国科学院地质所和长江流域规划办沿长江水准路线复测结果（表 2.1-4），重庆—万州段表现为大面积掀斜式抬升，运动速度约为每年 5-9 毫米，而重庆—涪陵相对万州抬升量更大一些，反映了区域性由西向东掀斜的特点。

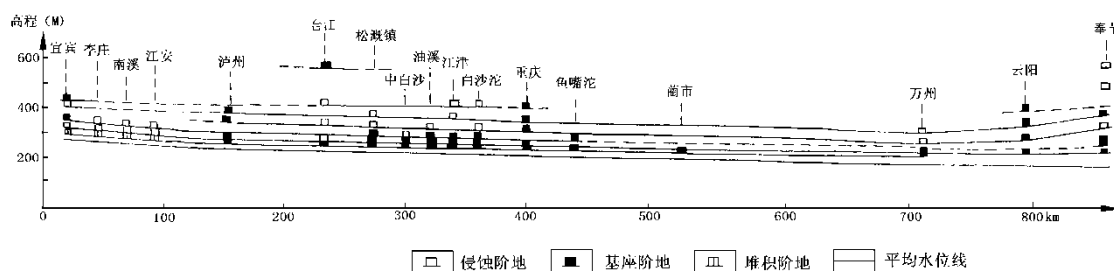


图 2.1-2 长江宜宾—万州河流阶地位相图（据沈玉昌，1965 年）

表 2.1-4 重庆—宜昌路线水准复测数值表

测量地段	垂直升降幅度(毫米)		垂直升降速度 (毫米/年)	备注
	最大值	最小值		
秭归—宜昌	+25	+13	约+2—+4	复测时间 间隔为 6 年
万州—秭归	-34	-20	约-3—-5	
重庆—万州	+57	+32	约+5—+9	

2.1.2.4 断裂运动特征

华蓥山基底断裂带东侧地区发育三级岩溶槽谷（标高 670 米），产更新世熊猫、东方剑齿象动物化石群，其形成时代可与断裂带西侧黑笋寨侵蚀阶地对比。然而，两侧垂直相对高差可达 200 m 左右，反映出第四纪以来断裂两盘的垂直差异运动。

据四川东部地区地貌区划资料，七曜山—金佛山基底断裂两侧的垂直差异运动自第四纪以来的差异抬升量达 300 余米。

上述两条基底断裂自第四纪以来的垂直差异运动，是形成区域由西北至东南呈由低至高的阶梯状地形地貌特点的直接原因。

断裂两侧无论在地貌上，或者是地质构造上均有明显差异。断裂北西一侧主要为侵蚀低丘地貌，构造简单。而东南一侧则为中山、丘陵地貌，且发育与其呈 35° 角斜交的几乎平行发育的力学配套的背、向斜构造。显然，这是华蓥山基底断裂压扭性（右行）水平运动的结果。它不仅控制了第四纪地貌发育特点，亦形成了区域地震地质构造的基本力学组合特征。

2.2 地壳结构特征及区域地球物理场

2.2.1 重力场特征

图 2.2-1 是区域布格重力异常图，区域重力异常走向以北北东、北西向为主，异常幅度和梯度较小，重力异常变化平稳，无大的重力梯级带和异常变化带，重力异常变化范围为 0 至 -160mGal。区域重力场的上述特征反映了深部构造比较简单，是一个构造相对稳定的地区。

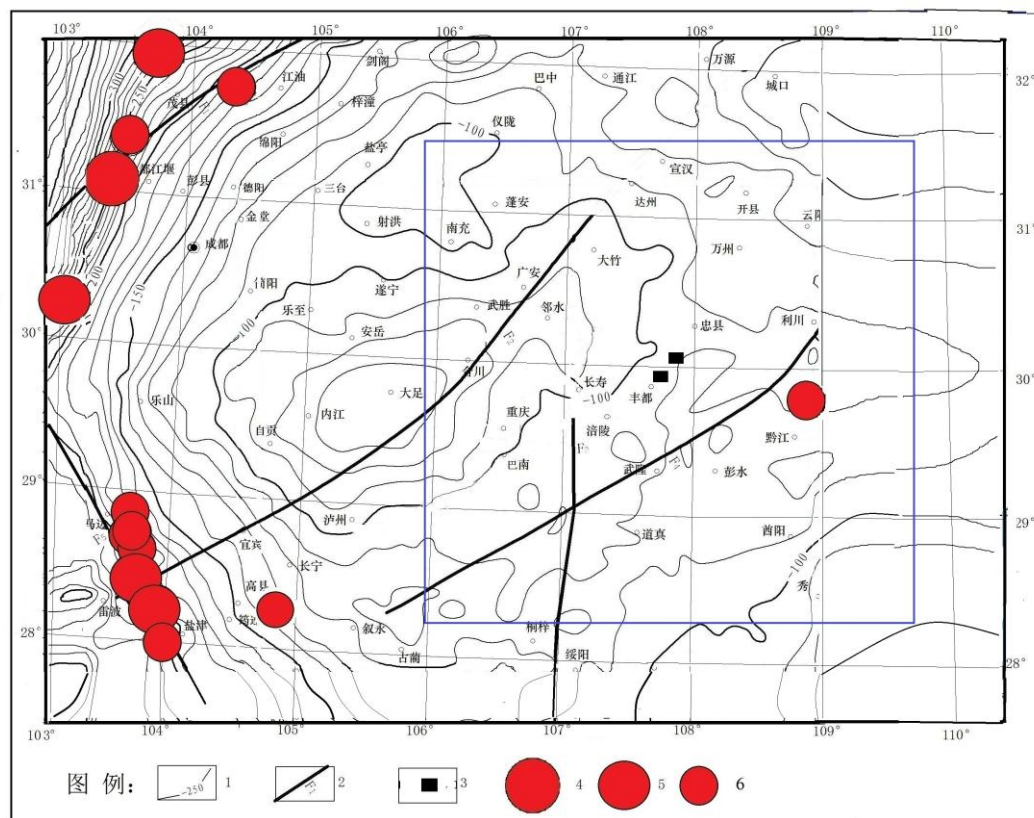
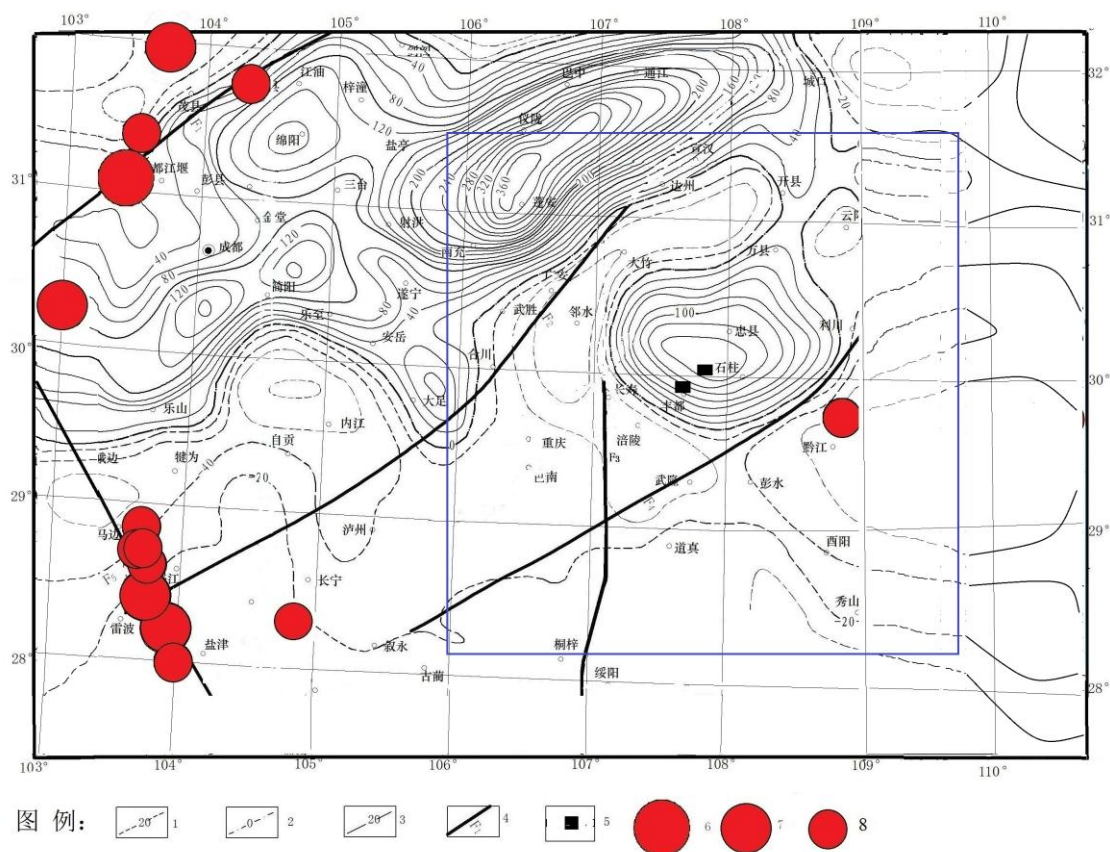


图 2.2-1 区域布格重力异常图

1、布格重力异常等值线(单位:毫伽); 2、主要深断裂及编号; F2: 华蓥山基底断裂; F3: 长寿-遵义基底断裂; F4: 七曜山-金佛山基底断裂; 3、目标区; 4、M=6.0~6.9 级震中

2.2.2 航磁异常特征

本区磁场面貌比较清晰，差异性表现十分突出，反映了不同地区的大地构造特性。图 2.2-2 是区域航磁异常等值线图，反映的是地壳上部结晶基底和各类岩石的磁性构造特征，总体而言，本区南侧等值线变化小，数值较低；区域北侧的蓬安、西侧大足和中部石柱附近磁场异常，反映这些地区结晶基底早期的强烈褶皱和岩浆活动特征及基底岩石磁性的差异。

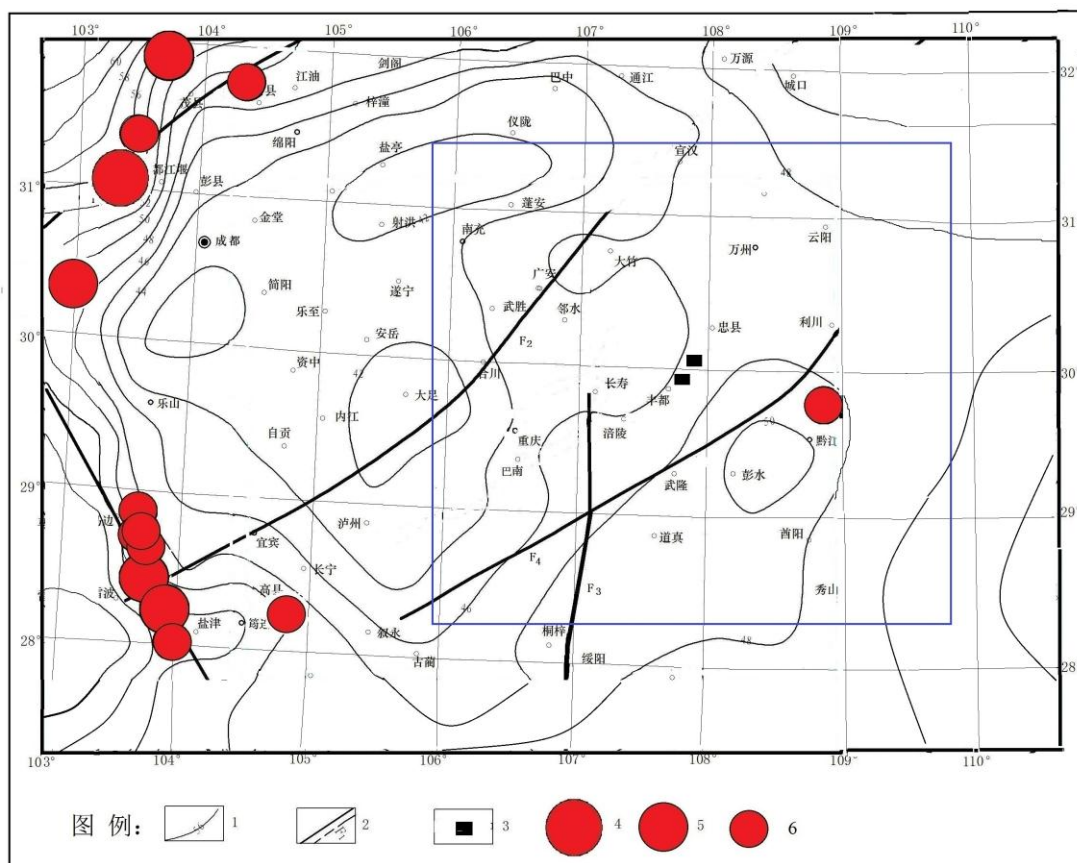


- 1、负磁异常等值线(单位:纳特); 2、零值线; 3、正磁异常等值线(单位:纳特); 4、主要深断裂及编号; F2: 华蓥山基底断裂; F3: 长寿-遵义基底断裂; F4: 七曜山-金佛山基底断裂; 5、工程场地; 6、M=6.0~6.9级震中 7、7M=7.0~7.9级震中 8、M=8.0级震中

图 2.2-2 区域航磁 ΔT 化极上延 20km 异常图

2.2.3 地壳结构特征

图 2.2-3 是区域及其邻区莫氏面埋深图，从图中可见，莫氏面深度为 38-42km，坡度极缓，扬子准地台古陆核正好位于该区，幔台顶部呈北东向延展，显示了该区深部具有稳定和较强刚性的特征。



1、莫霍面深度等值线(单位:千米);2、主要深断裂及编号; F2: 华蓥山基底断裂; F3: 长寿-遵义基底断裂; F4: 七曜山-金佛山基底断裂; 3、工程场地; 4、M=6.0~6.9 级震中 5、7M=7.0~7.9 级震中 6、M=8.0 级震中

图 2.2-3 区域综合地壳结构图

据地震测深与地球物理资料分析结果,工作区地壳结构具有成层性特点,由人工地震测深资料处理组图(图 2.2-4、图 2.2-5)可以看出川东及重庆地区地壳速度结构具有明显的多层速度结构特征,较为稳定的速度界面至少有 4—5 层,壳内三个速度结构层反映最为清楚。因此,可以将地壳大致分为三层:盖层以古、中生代沉积物为主,底部界面深度约 15 千米;中层为花岗岩质层,底部界面深度约 23 千米;下部为玄武岩质层,底部界面约为 40 千米。从潼南—龚滩地壳断裂结构图像上可以分辨出华蓥山基底断裂、七曜山—金佛山基底断裂、长寿—遵义基底断裂的存在。

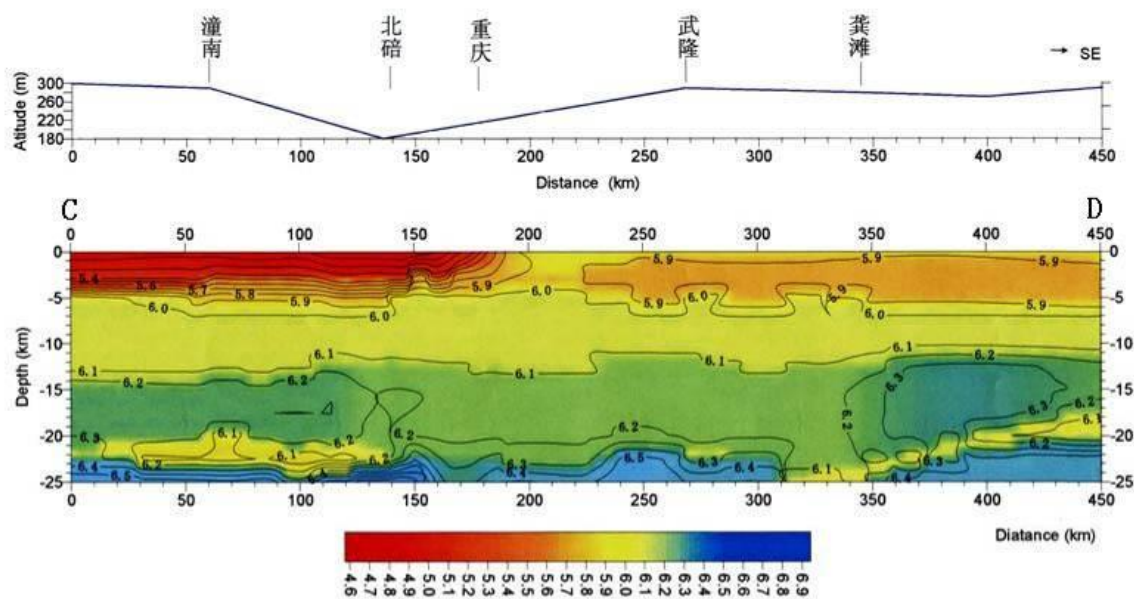


图 2.2-4 潼南—龚滩基底速度结构图像

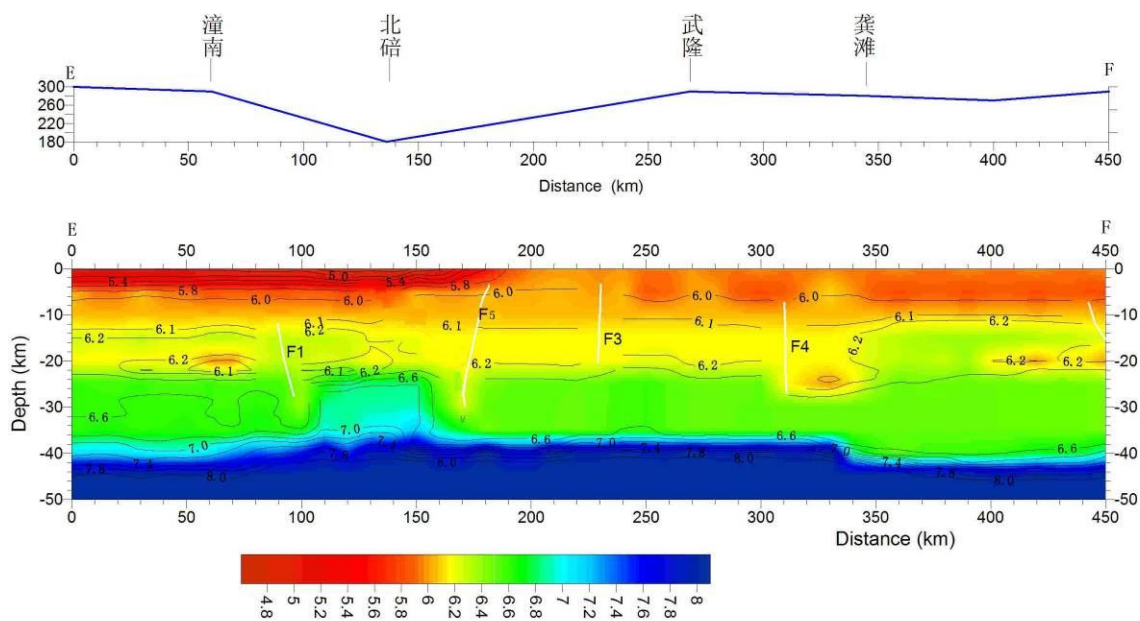


图 2.2-5 潼南—龚滩地壳断裂结构图像

据《重庆市都市区活断层探测与地震危险性评价工程技术报告》，区域东部的川东地区还分布有三排总体呈 NNE 走向的隔挡式背斜-断裂带，为典型的逆冲推覆薄皮构造样式，表现为盖层在基底上滑脱变形，发育大量逆断层，盖层褶皱滑脱面多位于震旦系及其以上的寒武或志留系之中，基底顶界面为最深的滑脱界限，盖层与基底构成显著的构造不协调现象。垂向上盖层变形结构表现为“三层楼”式，主要变形集中于中部构造层（S-T₂1）。同时受区域应力场与基底断裂控制的影响，在目标区内三排背斜的深浅构造组合样式呈现有一定程度的东、西差异（图 2.2-6）。

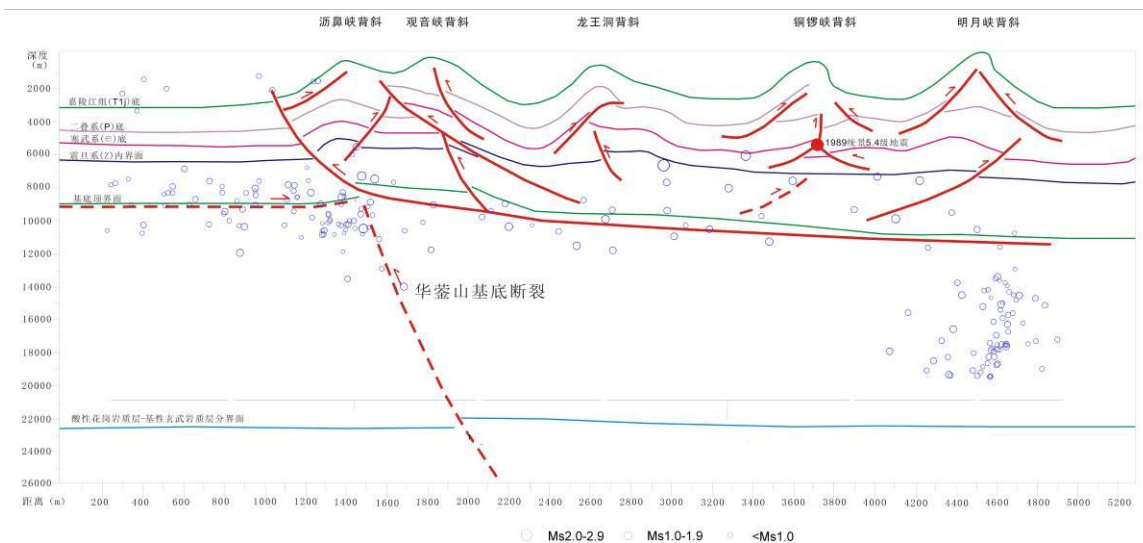


图 2.2-6 川东地区深浅构造组合样式及孕震构造示意图（李峰，2011）

综上所述，从区域地球物理场及深部构造背景与强震的空间分布关系可见，区域内 5 级左右的中强地震与地球物理场的关系不是十分密切，但常发生在有基底断裂和发育隔挡式背斜的地段，与褶皱盖层构造有一定联系。

2.3 区域主要断裂带特征及其活动性

区域以北东向的断裂构造为主导，考虑断裂的规模、性质、切割深度、演化历史以及展布部位等方面，初步分析，可将断裂分为发育在背斜核部的盖层断裂、基底断裂和与基底断裂相关联的地表断裂三类，经资料收集分析，区域内控制性断裂为基底断裂（见附图 I），其特点汇总为表 1-5。其中具有较强地震背景的是基底断裂带。

与基底断裂相关联的地表断裂在地表呈断续延伸，破碎带较宽，可达十几至几十米，其特点是与基底断裂或平行靠近、或重叠、或斜交，或深部同根，这些断层的最后活动时代多在中更新世时期，个别在晚更新世时期仍有活动，从分布在断层附近的地震震源深度较深的特点推测，它们与靠近的基底断裂存在成因或结构上的联系，因此，对这些断层在分析区域主要基底断裂的活动特点时一并阐述，后文重点讲述展布在区域内的基底断裂。

区内断裂（带）为：F1 华蓥山基底断裂、F2 方斗山基底断裂、F3 七曜山-金佛山基底断裂、F4 彭水基底断裂、F5 长寿-遵义基底断裂、F6 黔江断裂带、F7 煎茶溪-涪潭断裂。其中主要的是基底断裂，它们的规模相对较大，长度多在 200km 以上，深度多大于 20km，切割较深，对本区影响亦较大，基底只有长寿-遵义基底断裂为南北向，其它基底断裂呈北东走向。区域则被北东向的基底断裂分割为北东向排列的三条“长条形”断块，各断块在地貌特点、岩石建造、地质构造、新构造运动等方面均有着显著的差别。上述基底断裂中，除长寿-遵义基底断裂较浅外，其余基底断裂均属深断裂，对区域的地质构造、沉积建造、地震活动有着重要的控制作用。

表 2.3-1 区域主要断裂(带)特征表

编号	断裂(带)名称	长度(km)	走向	倾向	倾角	力学性质	地表断裂最新活动时期	地震相关情况
F1	华蓥山基底断裂	460	40-45°	SE	30-70°	右行逆冲	Q ₁ -Q ₃	北段: M≤4.0 级地震活动; 中段: 地震较少; 南段: 发生过多次 5.0-5.7 级地震
F2	方斗山基底断裂	>130	35°	NW/SE	55°	逆冲	Q ₁ -Q ₂	发生过 4.0-4.8 级地震活动。
F3	七曜山-金佛山基底断裂	>350	40-45°	NW	70° 左右	逆冲	Q ₁ -Q ₂	沿断裂 4.0-4.5 级地震频繁。在与长寿-遵义基底断裂交汇处, 有 5.0-5 ¹ / ₂ 级地震活动。
F4	彭水基底断裂	>200	30~50°	NW	60°	逆冲	Q ₁ -Q ₂	有 4 ¹ / ₄ 级历史地震分布
F5	长寿-遵义基底断裂	230	近 SN	E	30-60°	正断(基底) 逆冲(地表)	Q ₁ -Q ₂	与七曜山-金佛山基底断裂交汇地区发生过 5 ¹ / ₂ 级地震。
F6	黔江断裂带	180	30~50°	NW	60° 左右	逆冲	Q ₁ -Q ₃	最大地震 6 ¹ / ₄
F7	煎茶溪-湄潭断裂	200	55°	NW /SE	55° - 80°	逆冲	Q ₁ -Q ₂	风岗附近有温泉出露

1、华蓥山基底断裂 (F1)

该断裂带北起达州北、向南西经大竹、邻水、合川、铜梁、荣昌至宜宾南，长约460Km，是四川盆地内规模最大的断裂带。断裂带总体走向北40-45°东，倾向南东，倾角30-70°，具挤压逆冲性质。在地表，断裂表现为沿一系列背斜轴部延伸、断续出露而规模不大的压性或压扭性断层，长度多在几千米至几十千米，构成华蓥山断裂带。规模最大的地表断裂在华蓥山天池、宝顶一带，连续出露长度达50km以上。

物探资料表明，华蓥山基底断裂两侧结晶基底的埋深与性质有着迥然的差别，西侧的川中地区基底由一套基性、中性及较强磁性的火成岩所组成，具有密度高、磁性强的特点，表明基底为一变质深和硬化程度高的刚性块体，其埋深5-6Km；东侧的川东地区的基底主要由一套巨厚的沉积变质碎屑岩夹碳酸盐岩与火山碎屑岩的复理式建造所组成，属低密度和弱至无磁性的塑性基底结构，埋深一般7-9Km，最深可达11-12Km（赵从俊，1984；赵从俊等，1989）。华蓥山基底断裂的地表断裂带在第四纪有一定的活动性，在北西西向主压应力场作用下，显示为挤压逆冲性质，并具有一定的右旋滑动分量。

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—大足南段）

该段南起宜宾南，北止于大足南，全长约230余Km，走向北45°东左右。该段由5-6条规模不等的背斜构造呈右阶羽列而成，断裂常发育于背斜的轴部或靠近轴部的陡翼一侧，显压性特征。背斜长度不等，长约10Km至60Km，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”形弯转，表明断裂具有一定的右旋分量。四川省地震局（1993）曾在华蓥山断裂带的南段荣昌—高县等处取断层泥样进行SEM分析，结果表明，该断裂在上新世—早更新世（ N_2-Q_1 ）有过强烈活动，具蠕滑性质。而热释光（TL）测龄为距今22~7万年，表明断裂在中更新世中期到晚更新世早期又有过活动。该段断裂曾发生过多达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，表明该段断裂现今仍具有一定活动性。

(2) 中段（合川北—大足南段）

段南起大足南，北至合川北，全长约80Km，走向北40°东左右。该段由2-3条规模不等的背斜构造呈右阶羽列而成，断裂常发育于背斜的轴部或靠近轴部的陡翼一

侧，显压性特征。背斜长度不等，长约 10Km 至 40Km，背斜高点高程不等，一般为数百米。断裂规模不等，长短不一。在平面形态上，背斜有些许弯转，表明断裂具有一定的右旋分量，断层的剖面特征上没有中更新世晚期活动的特点，断面胶结好，据此特征推断其活动时代集中在中更新世早中期。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 M14.0 级地震。

华蓥山中段与北段在地表特征方面有较大差异，北段断层出露明显，出露规模大，主断面有多条小断面伴生；中段在地表出露时隐时现，出露规模小，部分隐伏；华蓥山中段与北段在地震活动性上差别也较大，其中中段曾发生 3 次 4-4.5 级地震，而北段均以小于 4 级的小震为主；华蓥山北段和中段在活动时代上也有一定的差别，中段活动时代集中在中更新世早中期，北段的活动时代集中在中更新世早期和早更新世。结合和该断裂中段和北段在地震活动性、最后的活动时代、断层的地表特征这多方面的不同，以合川北为分界点将该断裂分为北段和中段。

(3) 北段（合川北—达州北段）

该段南起合川北，北至达州北，全长约 150Km，走向北 30° 东左右。其中合川附近地表断裂发育于华蓥山复式背斜的西翼，在平面上由 3-4 条断裂近于平行展布、剖面上构成迭瓦状构造，并出现有反向冲断层，在剖面上，常见下古生界寒武系地层逆冲在二叠系地层之上，断距在 2000m 以上（图 1-9）。邻水至达州北地表断裂不发育，仅天池-桂兴北之间出露有 20-30Km 长的次级断裂。

在合川北至邻水之间的华蓥山复式背斜轴部高点达 1700m 左右，高出四川盆地 1300-1400m，显示出较强的差异运动。邻水至达州北华蓥山复式背斜构造形迹亦呈减弱的趋势，轴部高点降低，但深部的基底断裂依然显示清晰。

在合川东北至达州北之间的地表断裂的断裂破

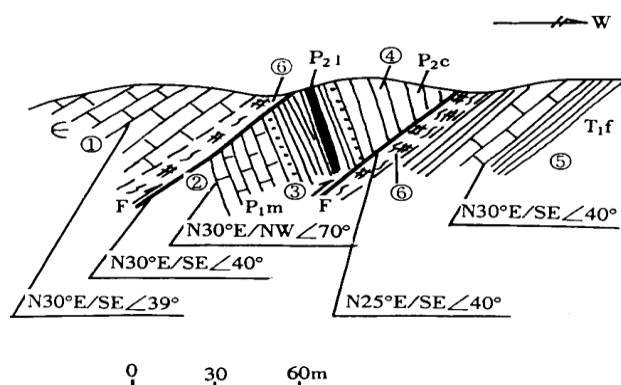


图 1-9 溪口场北田坝子华蓥山断裂剖面图

①寒武系灰岩；②下二叠系茅口组灰岩；③上二叠系罗坪组煤系地层；④上二叠系长兴组灰岩；⑤三叠系飞仙关组砂页岩、灰岩互层；⑥断层破碎带

碎带中所取 7 件年代学样品经热释光 (TL) 法测定的年龄值在 140900±11800 年-262400±20700 年之间。在桂兴乡所取断面上的方解石经热释光 (TL) 法测得的年龄值为 404700±29100 年。SEM 法鉴定结果表明活动亦在中更新世早中期和早更新世，以粘滑活动方式为主。沿该段断裂，现今有弱震零星分布，最大地震为 1986 年邻水 3.5 级地震。

综上所述，华蓥山基底断裂在地表可以比较明显的分为南段、北段和中段三段。现今地震活动是南段较强，北段和中段较弱。年代学测试结果表明华蓥山基底断裂北段和中段在中更新世有过活动，南段在中更新世中期到晚更新世早期有过活动。其中南段发生过多达 5-5.5 级地震，综合南段地震活动性较强、中更新世晚期到晚更新世早期有过活动的特点，该基底断裂南段具有发生 6.5 级地震的背景；由于北段和中段地震活动性较弱，通过和区域内主要断裂如长寿-遵义基底断裂进行构造类比（它们都有在早中更新世活动过，并且规模大，切割深，都是重庆地区主要的基底断裂），该基底断裂北段和中段具有发生 6 级地震的背景。

2、方斗山基底断裂（F2）

该断裂北起万州龙泉沟，向南经方斗山，在白马附近与七曜山-金佛山断裂带交汇。地表由 5-6 条断裂呈右阶雁行式排列组成的断裂带。地表断裂主要发育于二叠系-三叠系中，最大断距达 700m，长度大于 130km，为压性逆冲断层。

方斗山断裂南段石柱鱼池-丰都神仙磴一带，断裂规模宏大，单条断裂长度均可达 50km，断面倾向北西，可见二叠统乐平组砂页岩逆冲至下三叠统大冶组或嘉陵江组之上。在石柱鱼池、石柱城关西侧麻坪一带采集断层方解石样，经热释光（TL）法测定，最新活动时代分别距今 100 万年、 48.83 ± 3.81 万年和 50.49 ± 4.6 万年，表明麻坪一带方斗山断裂的最新一次活动在中更新世，鱼池一带方斗山断裂的最新一次较大活动在早更新世。

此断裂为四川盆地弱活动断裂构造区的东边界，具有明显的深部地球物理场特征。在重力平均异常图上，该断裂位于以大足为中心的重力高的南东侧宽缓下降的重力梯度带的背景上。沿断裂带中、小地震活动频繁，在石柱县茶园附近于 1979 年 8 月先后发生过 3.0 级地震和 3.8 级地震，之后于 1987 年 7 月 2 日在原地又发生 4.4 级地震，2004 年 11 月 21 日在石柱发生 ML4.6、2005 年 2 月 11 日再次发生 ML4.2 级地震，2013 年 7 月发生 ML4.8 级地震，从历史地震活动情况看，该断裂具有发生 6 级地震的背景。

3、七曜山-金佛山基底断裂（F3）

七曜山-金佛山基底断裂带，潜伏于盖层之下，大致沿金佛山、七曜山一带展布，走向北东，向北东可达巫山附近，长度大于 350km。大地构造上，为四川台坳与上扬子台皱带两个二级大地构造单元的边界断裂，控制了两侧地层与构造的发育，断裂带北西侧为中生代地层分布区，构造上表现为狭窄背斜与宽缓向斜组成的“隔挡式”褶皱；断裂带南东侧古生代地层广泛发育，构造上为宽缓背斜与向斜组成的“城垛式”褶皱。在地貌上断裂带构成四川盆地的东南边界，从最高一级夷平面的分布高程来看，南东侧比北西侧高出约 600-700m。

七曜山-金佛山基底断裂线性影像清晰，为重力异常和航磁异常梯度带。七曜山-金佛山基底断裂地表断裂基本沿一系列背斜带呈北东向断续延伸，构造形态较为复杂，七曜山-金佛山基底断裂主要包括南中北三段，其中北段由七曜山段、马武段组

成，中段由老场段和金佛山段组成，南段由綦江段组成。

七曜山-金佛山基底断裂北段断裂规模较大，最新活动时代均为早、中更新世，沿断裂发生过 4-5 级的地震，综合分析判断北段具有发生最大潜在地震为 6 级的地震构造背景；七曜山-金佛山基底断裂中段地球物理场和地貌特征明显，地震活动也较为显著，发生过 5^{1/2} 级历史地震和武隆 5.0 级地震，近期微震活动也较活跃，综合分析判断中段具有发生最大潜在地震为 6.5 级的地震构造背景；七曜山-金佛山基底断裂南段是根据重力异常线和地壳厚度曲线判断的隐伏段，缺少地震资料，无 4 级以上地震发生，但由于七曜山-金佛山基底断裂是区域内较大的断层，地震能力强，所以认为其隐伏的南段也有一定的发震能力，但小于北段和中段的发震能力，综合分析判断七曜山-金佛山基底断裂南段最大潜在地震震级为 5.5 级。

4、彭水基底断裂 (F4)

彭水基底断裂沿北东走向延至湖北利川，沿南东至贵州东北地区。前人研究认为，断裂带在电测深上反映极为明显。在电测深资料的解释图中，彭水基底断裂深达 70km 左右，断裂面切穿基底和盖层，呈弯弧形断面，上部（深 15km 左右）表现为正断层性质，下部为逆冲性质特征，整体为高角度逆冲断层的力学特征。

彭水基底断裂主要由郁山断层和龙嘴河等断层组成，向南、北分别延入贵州和湖北境内，全长达 200km。断裂主要发育在下古生代地层中，走向北 30~40° 东，倾向北西，倾角一般 50° 左右，是重庆东部地区的又一条基底断裂。四川省地震局（1988）的研究表明，该断裂主要形成于喜山运动早期，早期显张性，晚期具右旋逆冲性质。

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

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

此外，沿断裂有温泉分布，出露位置与断裂吻合很好。该断裂的北端利川毛坝附近于 1931 年 7 月 1 日发生 5 级地震，南段 1855 年彭水曾发生过 4^{3/4} 级地震。

综合分析认为该断裂规模较大，活动时代主要为早更新世和中更新世中期，发生过 4-5 级的地震，所以在最大历史地震震级基础上，增加 0.5 级，将彭水基底断裂最大潜在地震震级上限定为 5.5 级。

5、长寿-遵义基底断裂 (F5)

北起长寿北西，向南经南川西、桐梓东至遵义附近，长约 230km，为一条近南北走向的基底断裂带。断裂带在地表表现为沿背斜轴部及其附近断续出露的断层，地表断层长度多在 20-30km，倾向东，倾角 30-60°，带宽一般在 25km 左右。地表断裂带在贵州桐梓附近被北东向桐梓-正安断裂切为南、北两段，研区内为断裂带的北段，长约 180km。

长寿至南川段，在第四纪以来有一定活动，最新活动时代为中更新世，该断裂中部与七曜山-金佛山基底断裂交汇的南川地区 1854 年发生过 5¹/₂ 级地震；南川至遵义段，最新活动时代为早更新世至中更新世初，活动方式以粘滑为主，历史至今无中强地震发生，近期沿断裂有零星微小地震活动。这条断裂带与七曜山-金佛山基底断裂交汇地区发生过 5 1/2 级历史地震。铜锣峡褶断带由铜锣峡背斜与发育在背斜上的天口场断层组成，天口场断层为早、中更新世活动断层，1989 年在褶断带的背斜轴部发生过渝北统景 5.2、5.4 级地震。根据震级上限确定的地震构造和地震活动标志，该基底断裂具备发生 6 级地震的背景；与七曜山-金佛山断裂交汇段具备 6.5 级地震构造背景。

6、黔江断裂带 (F6)

黔江断裂带平行展布于彭水基底断裂东南侧，两者相距 20~30km，构造走向北东，向北延入湖北，向南伸入贵州，长约 180km。

黔江断裂带相对比较复杂，贵州境内的南段斜切褶皱构造，具有走滑活动性质；北段走向与褶皱构造轴向一致，自北而南，由龙潭断裂、筲箕滩（黔江）断裂和诸佛江断裂呈右行斜列组成，主要发育于古生代地层之中。其中，筲箕滩断裂为倾向北西的逆断层，兼有右旋走滑性质，为切割较深的背斜扩展断裂；其余两条倾向次级向斜，推测为褶皱活动形成的层间滑动断层或浅部切层断裂。

黔江断裂带卫星影像特征明显，多为沟谷负地形，北段龙潭断裂和筲箕滩断裂的线性影像又较南段诸佛江断裂的线性影像清晰，表明断裂第四纪以来有不同程度的新活动。

北段筲箕滩断裂从黔江坝子西侧通过，断裂东侧发育一套河湖相沉积物，可见厚度 30m。这套地层多构成现今河流阶地的基座。在 II 级阶地上取 ¹⁴C 样品，测得年龄为距今 26670±315a（四川省地震局，1993）。根据黔江坝子第四纪沉积物向西变厚的事实，有理由推定黔江坝子是晚更新世晚期以来筲箕滩断裂继承性差异活动形成的单侧断陷盆地。四川省地震局（1988）在黔江桥滩的筲箕滩断裂上取断层泥进行热释光（TL）和铀系法分析，结果表明，黔江断裂带（北段）最新活动主要发生在中更新世中晚期，并延至晚更新世初期。

地震史料记载，在黔江断裂带北段筲箕滩断裂北端附近的黔江小南海，1856 年 6 月 10 日发生过 6¹/₄ 级历史地震，震中烈度为 VIII 度。实地调查表明，该地震极震区长轴为北东向，有感范围有向北东、南西方向衰减较慢的特点，结合极震区大垮崖、

小垮崖形成的力学机制，此次地震的发震构造与黔江断裂带关系最为密切（四川省地震局，1988）。彭水基底断裂带是深部相关的背景活动构造。

综上所述，黔江断裂带北段的最新活动时代为中更新世中晚期，局部段落延至晚更新世期间，该断裂带北段具备发生最大 6½ 级地震的构造背景；而其南段诸佛江断裂未发生过 5.0 级以上地震，活动时代为早中更新世，判断黔江断裂带南段备发生最大 5.5 级地震的背景。

7、煎茶溪-涪潭断裂（F7）

断裂展布于区域南部的贵州德江、涪潭一带，长约 220km，总体走向北 55° 东，倾向南东或北西，倾角 55°—80°，断裂呈舒缓波状延伸，切穿东西向和南北向等构造，反时针扭动清楚，呈压扭性质。沿断裂带常形成河谷和陡崖，航片上表现为断续的线性特征。北段风岗附近有温泉出露。该断裂有一定的规模，但地震活动性弱。断层在卫星影像图上无晚更新世活动的迹象，应为早中更新世断层。

根据前述分析，区域主要地震构造带的判定依据列于表 2.3-2。它构成划分潜在震源区的基本依据之一。

2.4 区域地震构造环境综合评价

2.4.1 区域地震构造环境

区域主要包括四川台坳、上扬子台褶带两个二级构造单元，目标区处在四川台坳内的川东陷褶束三级构造单元之中，地壳结构简单；区域新构造运动主要表现为大面积的整体间歇性抬升（或掀斜），局部有差异活动。地壳相对稳定。

2.4.2 区域中强地震发生的构造环境

区域内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。

表 2.3-2 地震构造带及最大潜在地震的判定依据

地震构造带		彭水基底断裂	七曜山—金佛山基底断裂	方斗山基底断裂	长寿—遵义基底断裂	黔江断裂带	华蓥山基底断裂	煎茶溪—湄潭断裂
现代构造应力场特征		EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, NE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, SN 向断层仍具有继承性的压性兼左旋走滑运动	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件	EW 向水平主压应力场作用下, NNE 向断层仍具有继承性的压性逆冲运动的应力条件
断裂最新变形特征	最新活动时期	Q ₁ -Q ₂	Q ₁ -Q ₂	Q ₁ -Q ₂	Q ₁ -Q ₂	Q ₁ -Q ₃	Q ₁ -Q ₃	Q ₁ -Q ₂
	地震的时间,地点,震级	1855, 彭水, 4 ³ / ₄	2017, 武隆, 5.0; 1854, 南川, 5 ¹ / ₂	1972, 白涛东, 4.0; 1979, 石柱, 3.8; 1987, 石柱, 4.0; 2004, 石柱, 4.6; 2005, 石柱, 4.2; 2013, 石柱, 4.8;	1854, 南川, 5 ¹ / ₂	1856, 黔江, 6 ¹ / ₄	1610, 高县, 5 ¹ / ₂ ; 1892, 南溪, 5; 1896, 富顺, 5 ³ / ₄ ; 1959, 富顺, 5 ¹ / ₂ , 1997, 荣昌, 5.2; 1999, 荣昌, 5.0	地震活动能力弱
地表断裂结构和分段特征		具有斜列状结构, 由郁江断裂和次级断裂斜列组合而成	具有斜列状结构, 自南而北有金佛山、老场、七曜山南段和七曜山断裂等多条次级断层组成	具有斜列状结构, 自南而北有和尚岩、石柱和龙泉沟等次级断层组合而成	分布在背斜的轴部, 由丰盛—神童坝断层、龙泉寺—高湾断层、半边山—南童关断层等次级断层组成	具有斜列状结构, 由龙潭坝断裂、筒基滩断裂、诸佛江断裂等 3 条次级断裂斜列组合而成	具有斜列状结构, 东北段断裂规模较大, 西南段由多条规模较大的背斜断裂羽状右阶排列	
断裂总长度		>200km	>350km	>130km	230km	180	460km	200

规模特征	断层分段长度	各次级断裂分段长度 20~50 km	金佛山段 30 km; 老场 20 km	和尚岩段 10km 石柱段 35km	各次级断裂分段长度 10~20km	各次级断裂分段长度 10~30km	各次级断裂分段长度 80-230km	
最大潜在地震	具有发生 5.5 级地震的发震构造条件	南段具有发生 5.5 级地震的发震构造条件,北段具备发生 6.0 级地震的发震构造条件,中段具有发生 6.5 级地震的发震构造条件	具有发生 6 级地震的发震构造条件	具有发生 6 级地震发震构造条件; 与七曜山—金佛山断裂交汇段具备 6.5 级发震构造条件	南段具有发生 5.5 级地震的发震构造条件, 北段具有发生 6.5 级地震的发震构造条件	北段和中段具有发生 6 级地震的发震构造条件, 南段具有发生 6.5 级地震的发震构造条件	具备发生本底地震能力	

2.4.3 区域范围内主要断裂构造的发震构造评价

(1) 华蓥山基底断裂在地表可以比较明显的分为南段、北段和中段三段。现今地震活动是南段较强，北段和中段较弱。年代学测试结果表明华蓥山基底断裂北段和中段在中更新世有过活动，南段在晚更新世早期有过活动。其中南段在晚更新世早期有过活动，并且荣昌附近发生过多次 5-5.5 级地震，该基底断裂南段具有发生 6.5 级地震的背景；由于北段和中段地震活动性较弱，年代学测试结果表明华蓥山基底断裂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，该基底断裂北段和中段具有发生 6 级地震的背景。

(2) 七曜山-金佛山基底断裂北段断裂规模较大，最新活动时代均为早、中更新世，沿断裂发生过 4-5 级的地震，综合分析判断北段具有发生最大潜在地震为 6 级的地震构造背景；七曜山-金佛山基底断裂中段地球物理场和地貌特征明显，并且在中更新世晚期有过活动，发生过 5 1/2 级历史地震和武隆 5.0 级地震，近期微震活动也较活跃，综合分析判断中段具有发生最大潜在地震为 6.5 级的地震构造背景；七曜山-金佛山基底断裂南段是根据重力异常线和地壳厚度曲线判断的隐伏段，缺少地震资料，无 4 级以上地震发生，但由于七曜山-金佛山基底断裂是区域内较大的断层，地震能力强，所以认为其隐伏的南段也有一定的发震能力，但小于北段和中段的发震能力，综合分析判断七曜山-金佛山基底断裂南段最大潜在地震震级为 5.5 级。

(3) 黔江断裂带北段的最新活动时代为中更新世中晚期，局部段落延至晚更新世期间，该断裂带北段具备发生最大 6 $\frac{1}{2}$ 级地震的构造背景；而其南段诸佛江断裂未发生过 5.0 级以上地震，活动时代为早中更新世，判断黔江断裂带南段备发生最大 5.5 级地震的背景。

(4) 重庆境内的方斗山基底断裂和长寿-遵义基底断裂，这些基底断裂规模大、切割较深，最近活动时代延伸至中更新世，但晚更新世无活动，发生过 4-6 级地震，综合历史地震法和构造类比法判断这些断裂具有发生 6 级地震的构造背景。

(5) 彭水基底断裂规模较大，活动时代主要为早更新世和中更新世中期，发生过 4-5 级的地震，所以在最大历史地震震级基础上，增加 0.5 级，将彭水基底断裂最大潜在地震震级上限定为 5.5 级。

第三章 近场区活动构造评价

近场区的范围为以工程为中心，外延 25km 的范围。近场区地震地质环境评价是在区域地震地质环境评价的基础上，调查展布在工程近场区内的断层的活动性及地震活动规律，阐述近场区地貌与地震构造特征，编制近场区地震构造图，为确定近场区范围的发震构造和本底地震提供依据。

3.1 地形地貌与新构造运动特点

近场区位于川东陷褶束内，构造地貌主要形成于第三纪末的喜马拉雅运动第一幕。第三纪四川运动奠定了重庆地区现今地貌形态的基本轮廓。新构造运动在近场及附近地区亦表现为间歇性抬升，形成了多级夷平面和河流阶地。

华蓥山基底断裂至七曜山-金佛山基底断裂之间地区，地貌上呈现一系列呈北东走向的狭窄条状山岭与相对较宽阔的岭间丘陵相间排列。低山海拔多在 600-900m 之间，岭间丘陵海拔一般在 500m 以下。这一地貌形态与区内存在的“隔挡式”褶皱构造一致，背斜为“山”，向斜为“谷”。

近场区存在四级夷平面和 V 级河流阶地，夷平面的海拔高度分别为 800-900m、600-700m、450-500m 和 350-400m。主要为歌乐山期和盆地期（重庆期），歌乐山期可分为两个亚期，第一亚期夷平面海拔高程约 800-900m，第二亚期夷平面海拔高程约 600-700m，该期夷平面形成于早更新世。盆地期形成 450-500m 和 350-400m 两级夷平面，形成于中更新世时期。

近场区的河流阶地主要沿长江和嘉陵江河谷两岸发育，呈零星状分布，其中 I、II 级阶地保存完整。五级河流阶地的形成时代分别为全新世、晚更新世晚期、晚更新世早期、中更新世中晚期、中更新世早期，以基座阶地为主。

现以菜园坝一铜圆局实测长江剖面为例将各级阶地的发育特征分述如下：

I 级阶地，拔河高度 10-15m，由半胶结的“江北砾岩”组成，经取样作热释光测龄，其年龄为 14400 ± 1200 年，对乌江彭水 I 级阶地“江北砾岩”取样经热释光测龄，其年龄值为 10000 ± 1500 年，故认为川东长江流域 I 级阶地的时代为全新世。

II 级阶地，为基座阶地，拔河高度 30-40m，由亚沙土砾石层组成。该级阶地地面较宽，铜元局长江电工厂和重庆火车站均座落在该级阶地上，时代为晚更新世晚期。

III 级阶地，为基座阶地，拔河高度 60m 左右，由亚沙土砾石层组成，中部取样作热释光测龄，其年龄值为 101800 ± 8100 年，为中更新世晚期沉积物。

IV 级阶地，为基座阶地，拔河高度 80-90m，在松林坡，李家沱等地都可以见到，时代为中更新世中晚期。

V 级阶地，为基座阶地，拔河高度 110-120m，以杨家坪天鹅抱蛋为代表，时代为中更新世早期。

上述资料表明：近场区的新构造运动主要表现为间歇性的抬升运动。根据 I 级阶

地的时代（按 10000 年计）和拔河高度估算，全新世以来地壳的平均抬升速率为 1—1.5mm/a，根据 II 级阶地的时代和拔河高度估算中更新世末期以来地壳的平均速率为 0.6mm/a。

3.2 地层发育情况

近场区基本处于剥蚀区，出露地层主要为侏罗纪以砂岩、泥岩为主的陆相碎屑堆积，当地俗称“红层”，背斜核部为三叠系灰岩。本地区缺失白垩系、第三系和第四系下中上统，多数地段被风化壳或第四系全新统残坡积物覆盖，河谷地段零星存在第四纪堆积。

1 第四系

本区第四纪以剥蚀为主，沉积不发育，分布零星，主要为长江、嘉陵江及一些更小河流沿岸、丘陵中山间盆地及一些洞穴等类型堆积。

(1) 全新统 (Q_4)

广泛发育于盆地的 T_1 阶地和超河漫滩沉积。阶地高出河面 10~18 m。阶地上部为砂质粘土，粘质砂土，其下为砂砾石层。厚度一般 7~12 m。在四川盆地东部，本组相当于前人所称的黄桷树粘土和江北砾石层的大部分。

(2) 上更新统 (Q_3)

川东地区的相对高程 60~74m，构成区域 T_3 阶地。该组砾石排列紧密，叠瓦状构造、沉积韵律明显，为典型的冲积层，厚 4~42 m，以长江干流厚度较大。三峡地区 T_3 阶地的古地磁年龄为 9 万年（陈宝冲，1996）。

(3) 中更新统 (Q_2)

在重庆大学松林坡、合川白麓山等地出露于古河床凸岸的最高台上，以砾石层为主，还有少量粘土、砂质粘土层。同时，在该时期形成 IV 级阶地，十分稳定，以重庆鞍子坪、北碚石子山、合川南江、潼南周家等地最为典型，以砾石层夹粗砂或粉土透镜体、网纹红土夹高岭土条带、铁锰质斑块岩性为主。

歌乐山、北碚、万县盐井沟等地有属中更新统的大量洞穴堆积，主要由红黄色粘土、褐黄色粉沙及砾石组成，含丰富的脊椎动物化石，有灵长类、长鼻类、奇蹄类等称为“剑齿象—大熊猫动物群”。

(4) 下更新统 (Q_1)

为盆地期冲积层，分布广泛，见于苍溪田家山、重庆王家山，三台木鱼山、简阳李巴山等地，该组下段为河床相沉积，砾石成分复杂，基底式胶结，厚 4~9m；上段为粘土层或含砾砂质粘土，厚 0~42m。地貌上，田家山组构成丘陵顶部，在盆地东部一带该组相当于前人所称的天鹅抱蛋砾石层，它构成 T_3 阶地，与盆地分解期的低夷平面较难区分。胶结不如上第三系红崖子组。在奉节，该组中发现东方剑齿象白齿化石，形成时期为早更新世。

2 侏罗系

(1) 上统 (J_3)

①蓬莱镇组

灰白色块状岩屑亚长石砂岩和砖红色钙质粉砂质泥岩为主，最大厚度达 600m。

②遂宁组

以鲜紫红色泥岩夹中、薄层粉砂状砂岩和少量细砂岩为主，并以此单一的岩性和鲜紫红色色调为特征，是侏罗系地层的突出标志层，最大厚度约为 600m。

中统 (J_2):

①新田沟组

以灰、灰黑色页岩夹砂岩、介壳灰岩透镜体，底部普遍存在石英砂岩、含砾砂岩或砾岩，最大厚度约 490m。

②沙溪庙组

下部为灰紫色长石石英砂岩、紫红色粉砂岩、泥岩，底部含砾石，上部以灰黑色页岩、灰绿或灰紫红色泥岩，砂岩层常见大型交错、板状和平行层理突出，以及厚度达近百米的巨厚泥岩、粉砂岩亦是显著特点，最大厚度 2100m。

(2) 下统 (J_1):

①珍珠冲组

以紫红色间灰绿色泥岩夹砂岩、红色泥页岩为主，含薄煤层、砂泥岩夹赤铁矿、菱铁矿等，最大厚度约为 320m，与下伏三叠系呈假整合或整合接触。

②自流井组

底部主要为灰岩、介壳灰岩、泥灰岩夹页岩；中部紫红、灰紫、灰绿色泥页岩；上部紫红、黄绿色泥页岩为主，最大厚度 420m。

3 三叠系

(1) 上统 (T_3): 须家河组

以灰、深灰色厚层中粒长石石英砂岩与页岩互层为主，夹层，是重庆主要的工业煤层位，厚度为 250-650m。

(2) 中统 (T_2): 雷口坡组和巴东组

这两组为含义相当的层位，以城口、万州、南川一线以西为雷口坡组，以灰岩、白云岩夹盐溶角砾岩及砂泥岩为主，含石膏、岩盐，最大厚度 400m；以东则为巴东组，为灰色泥灰岩、白云质灰岩、灰岩夹页岩、粉砂岩夹泥灰岩、水云母粘土岩等，最大厚度可达 1145m。

(3) 下统 (T_1): 嘉陵江组

以灰岩、白云质灰岩夹泥质页岩为主，以及微晶灰岩、生物碎屑灰岩、白云岩、白云质灰岩夹盐溶角砾岩等，在重庆一带常见石膏层，重庆西部有厚大的盐岩，其厚度为 500-800m。

3.3 活动构造调查

位于川东陷褶束内的近场区前新生代构造主要表现为北东至南北向隔挡式褶皱，背斜成山，向斜为盆地，在背斜核部或两翼发育断层，构成有条理的构造图像。

自新构造运动以来，由于华蓥山、七曜山-金佛山基底断裂的右行走滑和逆冲运动以及近南北向构造的叠加复合，使区域内沉积盖层继续发生多种变形，原有断层呈现不同程度的新活动表现。

在目标区外围 25km 范围内，活动构造主要是近 NS 向和 NE 向“隔挡”式褶皱及分布于背斜轴部的压扭性逆冲断层，两者合称褶断带。这里对其活动构造分别进行论述。

据本项工程近场区的资料收集显示，近场区展布 2 个褶断带，其位置、规模、来源、特点列于表 3.3-1。每个褶断带上都发育有断续延伸的地表断层（见附图 II：近场区地震构造图）。

表 3.3-1 近场区褶断带特征一览表

编号	名称	类型	宽度 (km)	主要特点	形成时期	资料来源	备注
[1]	大池褶断带	隔挡式	4—7	呈北北东向展布，轴部为三叠系灰岩 (T _{3xi})，两翼最大倾角 40°—80°，轴部出露第四纪早期活动断层。	喜马拉雅运动时期	①1:20 万区域地质调查报告； ②重庆市内系列工程场地地震安全性评价报告； ③卫星影象	
[2]	方斗山褶断带	隔挡式	10—12	主体呈近南北走向，略呈向西突出的弧形，轴部为三叠系灰岩，两翼最大倾角 30—84°，轴部出露第四纪早期活动断层。	喜马拉雅运动时期	①1:20 万区域地质调查报告； ②重庆市内系列工程场地地震安全性评价报告； ③卫星影象	

在研读分析上述资料的基础上，现场工作主要调查这些地表断层的结构与构造活动性及其地震情况。现以褶断带为提纲阐述主要地表断层的构造活动特点。

1、大池褶断带

大池褶断带由大池背斜和吊钟坝逆断层组成。

大池背斜：主体位于丰都县北西侧，向南西延伸至丰都县以南的长江边立石镇倾伏。轴向总体 N35° E。北东段轴部隆起较高，出露了雷口坡组，向南西逐渐降低，两翼地层为须家河组至上沙溪庙组。背斜轴部狭窄，两翼不对称，南东翼陡，倾角 50~84°，北西翼缓，倾角 15~30°

吊钟坝逆断层 (f₁)：位于大池背斜轴部偏南东翼，随背斜延伸至桐子坝消失，长

23km，断层倾向北西，倾角 70-80°，在吊钟坝一带，断层北西盘岩层产状平缓，雷口坡组绕曲发育，显示逆冲性质；南东盘岩层突然变陡，显示向下错动，属逆冲断层（如照片 3.3-1）。从断面和地貌上特征可判断该断层无晚更新世活动迹象。



照片 3.3-1 吊钟坝逆断层剖面对比图

2、方斗山褶断带

方斗山褶断带由方斗山背斜和发育在背斜的地表断层组成。

方斗山背斜：是近场区较重要的构造，其主要表现是背斜上断裂规模较大，活动性也相对较强，虽然历史至今无中强地震记载，但现今小震活动比较频繁，并有基底断裂为背景。该背斜在东端倾伏于云阳坳口场南，向南西延伸至涪陵市白涛镇以东翘起，长约 210km，白涛以东至万州新田段总体走向为北东 30°，新田以东段总体走向

为北东 72° ，呈向北西凸出的弧形。背斜南段(长冲至李家坪)，轴部地层主要为二叠系上统乐平组，两翼为三叠系及侏罗系，轴部附近压性断裂、节理及小褶皱发育。背斜中段(李家坪至金子坪)，轴部由下三叠统嘉陵江组组成，两翼由中、上三叠统及中、下侏罗统组成，轴部局部地段(如龙泉沟)挤压强烈，近场区轴部附近主要发育有楠木垭-大垭口逆断层和茶店斜冲断层。

1、楠木垭-大垭口逆断层 (f_{2-1})

位于横梁子逆断层之北东、方斗山背斜轴部。南端从朱高起，经大垭口及楠木垭以西，在大水井消失，全长约 38 公里。破坏了背斜轴部(图 3.3-1)。在地貌上，沿断层线构成一明显的陡崖(图 3.3-2)。断面舒缓波状。总体走向呈北 $20^\circ \sim 25^\circ$ 东，倾向南东，倾角 $32^\circ - 60^\circ$ ，局部高达 $80^\circ - 85^\circ$ 。

在朱高和楂口石间。断层开始于下二叠统内。往北东断距逐渐增大。至鸡冠石附近，北西盘为下三叠统大冶组，南东盘为下二叠统顶部地层，破碎带宽近 100 米，见角砾岩和透镜体。其长轴平行主断层。方解石脉发育。沿破碎带有蚀变现象。断层下盘岩层直立倒转，发育节理主要有三组，产状分别是倾向 350° ，角 82° 、倾向 90° ，角 80° 、倾向 30° 倾角 48° 。从断面和地貌上特征可判断该断层无晚更新世活动迹象。

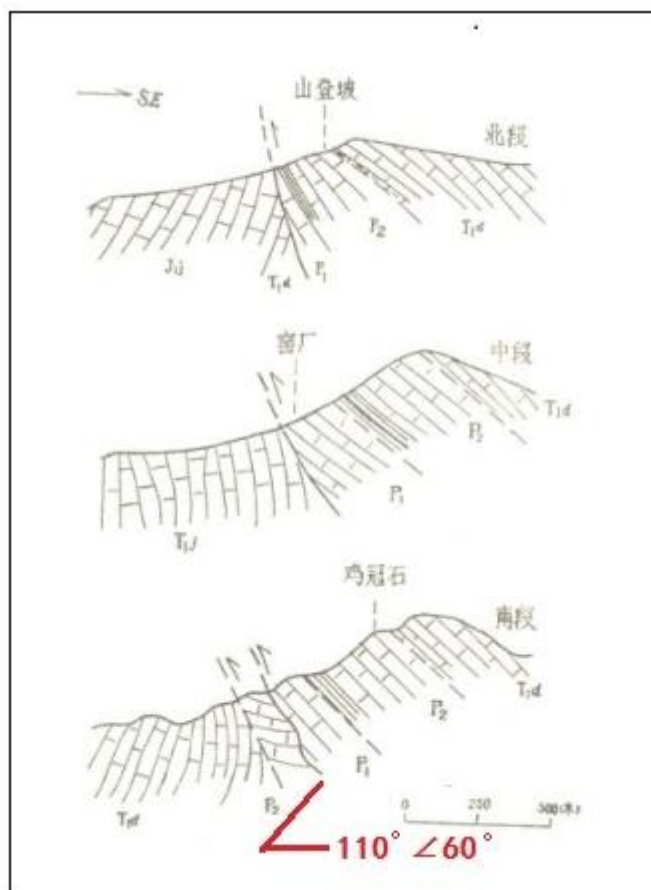


图 3.3-1 楠木垭-大垭口逆断层剖面对比图

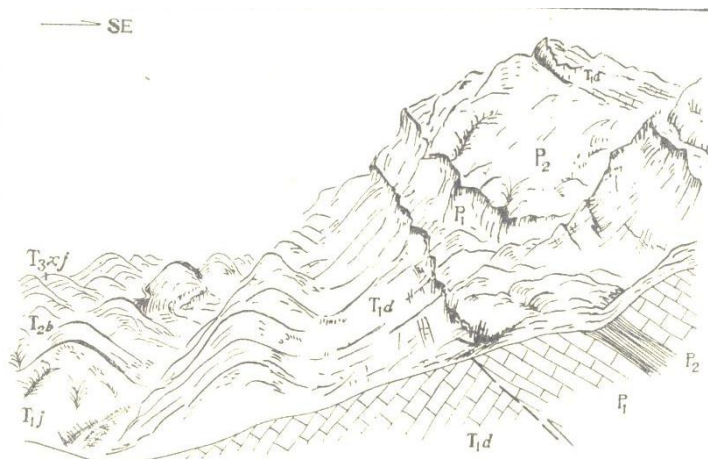


图 3.3-2 楠木垭-大垭口逆断层素描图

2、茶店斜冲断层 (f₂₋₂)

位横梁子逆冲断层北东端并与其斜交。交角 20°，全长约 5 公里，走向北 50° 东，倾向南东，倾角 45° 左右。茶店附近。南东盘下三叠统大冶组逆于北西盘嘉陵江组之上(图 3.3-3)。断层破碎带附近两盘地层倒转。方解石脉发育。挤压强烈，形成叠瓦式小断裂及小褶皱。上盘岩层上；中牵引褶曲向南东倒转。下盘岩层倾向南东转为倾向北西，反映上盘挡层向北东方向斜冲的拖曳现象。属压性兼具扭性的斜冲断层，从断面和地貌上特征可判断该断层无晚更新世活动迹象。

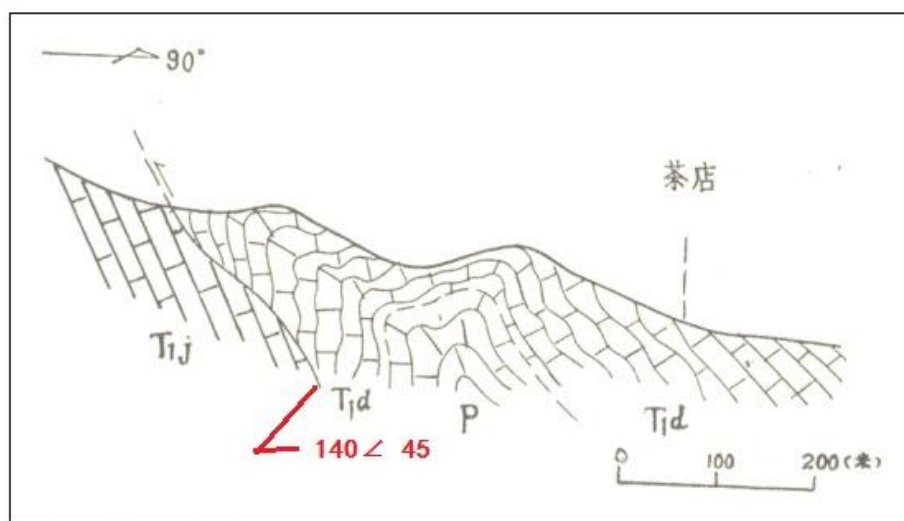


图 3.3-3 茶店附近近断层手剖面图

3、横梁子逆断层 (f₂₋₃)

该断裂长 18km，走向北 20-30 度东，倾向北西，倾角 40-50 度，北西盘上下二叠系分别与南东盘三叠系大冶组、嘉陵江组接触，使背斜遭到破坏。南端长冲以西，断层带见角砾岩、方解石化发育。下盘嘉陵江组灰岩倒转挤压强烈，小例皱发育，其轴向北 40° 东。同断层交角 20°，远离断层而消失。老林口南。断层破坏背斜轴。破碎带挤压强烈。方解石脉较发育，具轻微蚀变及断层角砾岩。两盘产状变化大。上盘局

部倒转，下盘大部直立倒转。小褶皱发育。至石庙垭口，断层斜切背斜轴，破坏南东翼。断层倾向北西。倾角 $55^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。下盘马湖池到茶店间伴生有近乎平行的小褶皱及断裂。较大的一个背斜。由上二叠统组成核部。长约 3 公里。在破屋一带，走向北 60° 东的次级茶店斜冲断层同主断层成 20° 交角。垭口南，断层消失在背斜东翼二叠系内。挤压破碎带发育一系列小破裂面、节理、牵引挠曲和透镜状岩块。破裂面主要走向为北 60° 东、北 30° 东及北 80° 东三组，并大都显压性。部分为张性。断层挤压特征显著。为北西盘逆冲断裂，后期具扭性。从断面和地貌上特征可判断该断层无晚更新世活动迹象。

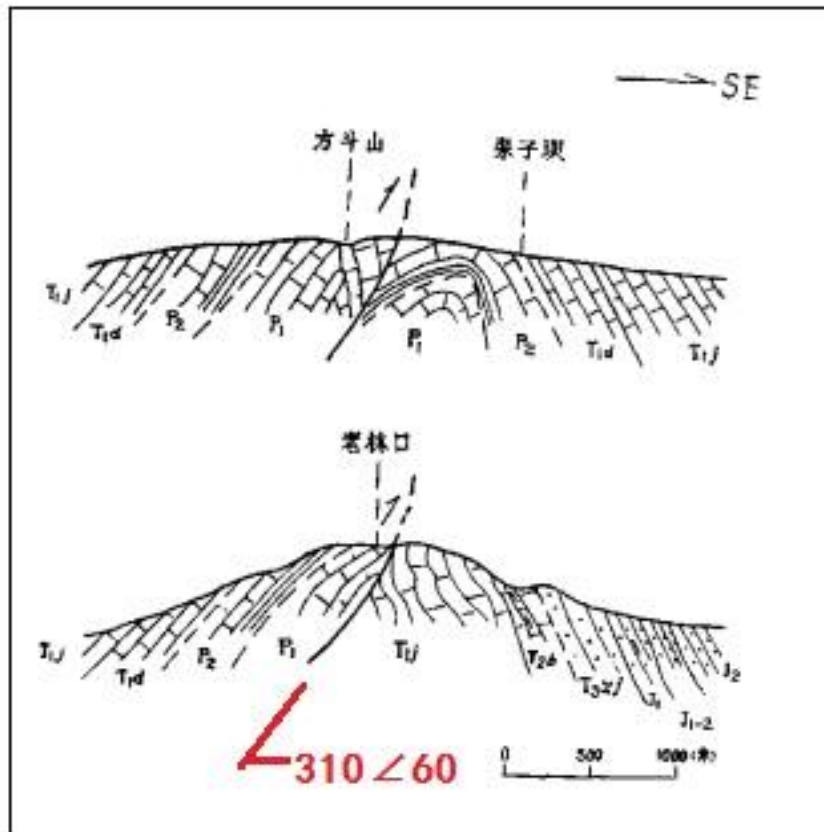


图 3.3-4 横梁子逆断层剖面对比图

楠木垭-大垭口逆断层和茶店斜冲断层、横梁子逆断层均发育于方斗山背斜之上，可能是方斗山断层褶皱带之下存在的方斗山基底断裂带的地表显示，它们的活动方式、地震特点受方斗山基底断裂带的控制和制约，具有发生中强地震的构造背景，可以与方斗山基底断裂带一起构成 6 级地震构造带。

经过资料收集整理、现场调查和综合分析，将近场区断层特征汇总为表 3.3-2。

表 3.3-2 近场区断层特征一览表

序号	断层名称	编号	长度 (km)	性质	地表断裂最后活动时代	距离场地最近距离 (km)	备注
1	吊钟坝逆断层	f ₁	23	逆断层	早中更新世	12	大池背斜
2	楠木垭-大垭口逆断层	f ₂₋₁	38	逆断层	早中更新世	15	与方斗山基底断裂带相关联。
3	茶店斜冲断层	f ₂₋₂	5	逆断层	早中更新世	10	
4	横梁子逆断层	f ₂₋₃	18	逆断层	早中更新世	7	

3.4 近场区地震构造综合评价

近场区内第四纪以来的新构造运动是以间歇性抬升为主，存在着断块差异运动。楠木垭-大垭口逆断层和茶店斜冲断层、横梁子逆断层均发育于方斗山背斜之上，这些地表断层规模较大，是方斗山褶断带之下存在的方斗山基底断裂带的地表显示。它们的活动方式、地震特点受方斗山基底断裂带的控制和制约，一起构成 6 级地震构造带。

第四章 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)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,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衰减关系,以地震危险性的概率分析方法,进行目标区的地震危险性分析计算。

4.1 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,确定合理的地震动衰减关系。

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_i , 则:

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

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， $\beta = \ln 10$ ， 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：

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

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：

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

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， v 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，对地震动衰减关系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。

4.2 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。

4.2.1 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。

4.2.2 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：长江中游地震带划分出秦岭一大巴、川中、渝黔、华南北部和华南中部 5 个地震构造区，背景潜源震级上限均为 5.0 级。图 4.2-1 给出了地震构造区划分示意图。

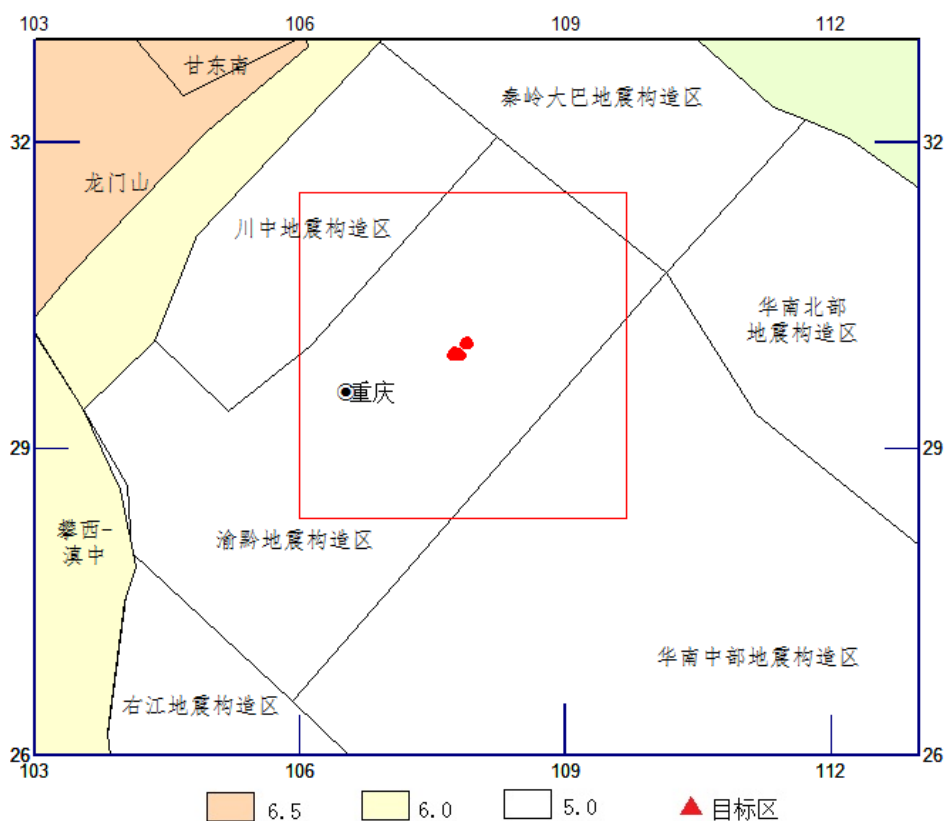


图 4.2-1 地震构造区划分示意图

4.2.3 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系指新构造、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。

4.2.4 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。

4.2.5 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，并以此作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：

1) 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；

2) 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；

3) 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；

4) 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。

5) 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。

4.2.6 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)（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，本次工作区域范围所在的长江中游地震带的背景性潜在震源区震级上限全部为 5.0 级，区域内主要潜在震源区划分图如图 4.2-2 所示。现将对目标区影响较大的潜在震源区划分分述如下：

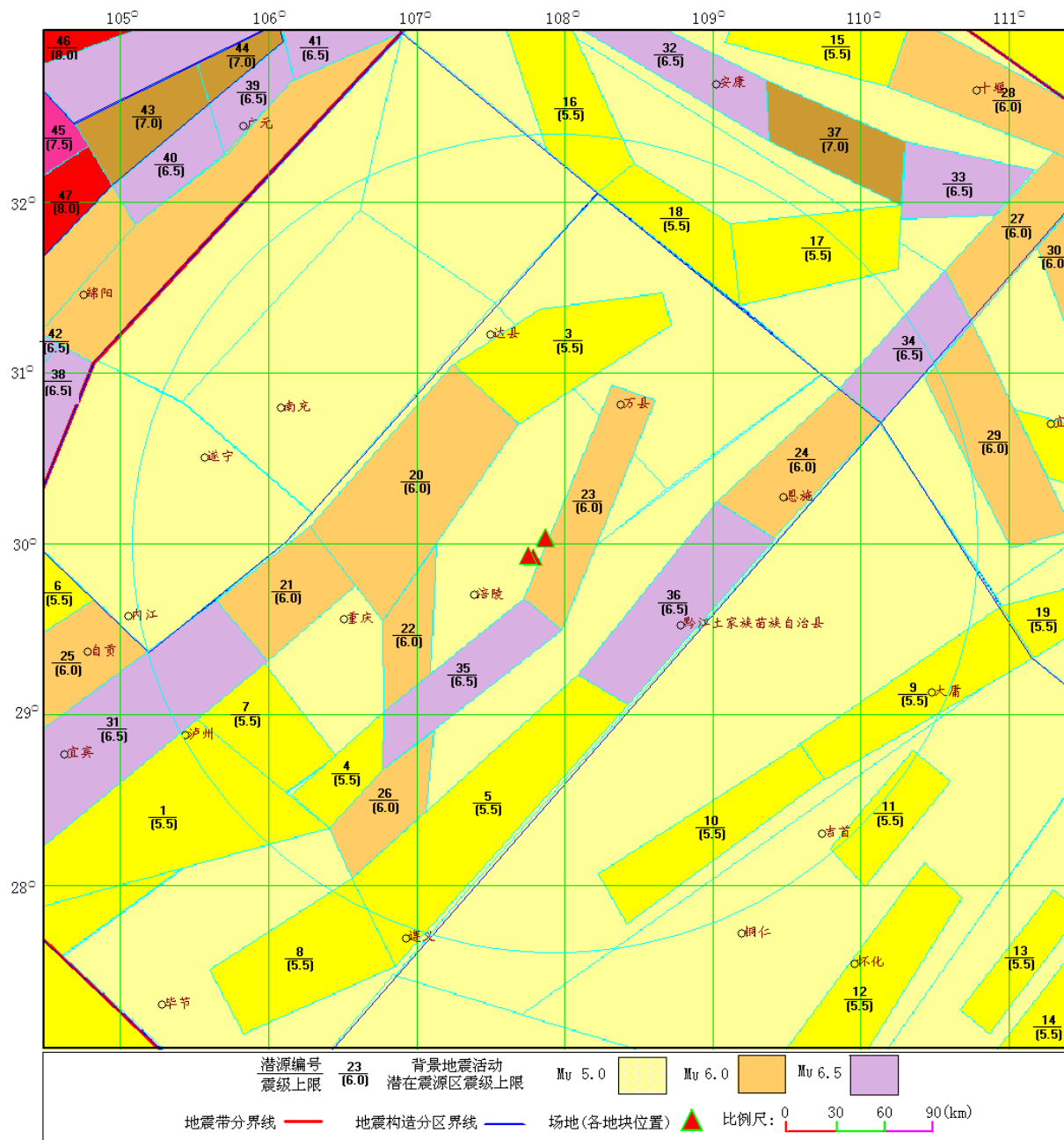


图 4.2-2 区域潜在震源区划分图

(1) 川东潜在震源区组

该组潜在震源区的地震构造背景主要为川东隔档式高陡背斜带，主要包括北东向华蓥山背斜带、铜锣峡背斜、明月峡背斜、方斗山背斜和南北向的长岭-半边山背斜等。方斗山背斜长约 200km，是川东地区规模仅次于华蓥山背斜带的高陡背斜。该背斜隆起幅度在 1000m 以上，最高可达 1680m，核部出露二叠系，表明褶皱变形较为强烈，卷入地

层较深，但地球物理场资料显示该背斜无深部基底断裂。该背斜轴部伴生有方斗山褶皱断裂，为第四纪早期断裂。沿背斜中部微震活动较为频繁，发生了十余次 3.0 级以上地震，最大震级 4.6 级。根据对这些小震活动的空间、时间特征分析，并结合其他工作开展的方斗山断裂活动性的专门调查结果（中国地震局地球物理研究所，2011），该背斜构造变形核心段为最大潜在地震震级为 5.5 级的发震构造。沿该发震构造划分了一个潜在震源区（23 号源）。考虑到方斗山背斜除了没有基底断裂以外，其他构造特征与华蓥山高陡背斜有一定的可比性，且现代小震活动相对来说还是较为显著的，在潜在震源区震级上限确定中，考虑一定的不确定性，故将该潜源震级上限定为 6.0 级。

华蓥山背斜构造带受华蓥山基底断裂控制，长约 460km，是川东地区规模最大的褶皱构造带。该背斜核部出露寒武纪地层，说明滑脱层位较深，变形程度较强。背斜轴部或陡翼伴生有华蓥山褶皱断裂，最新活动时代为中更新世，大致以合川和邻水北为界，北段主体不出露，中段规模较大，南段活动性较强，破坏性地震多分布南段的南端。与华蓥山背斜带相邻的铜锣峡，位于北东向华蓥山基底断裂东南侧，南北向南川—长寿断裂附近。1989 年发生过 5.2、5.4 级地震。沿华蓥山背斜构造带划分了 4 个潜在震源区，本区域包含 2 个潜源（3、23 号潜源），23 号潜源包括华蓥山背斜中段、铜锣峡背斜和明月峡背斜的主体部分，褶皱、断裂及地震活动较强，发生过 5.4 级地震，震级上限定为 6.0 级；华蓥山断裂北段分布于华蓥山背斜的向北倾末位置，其背斜规模小、断裂不发育，地震活动相对较弱，划分为震级上限 5.5 级潜在震源区（3 号潜源）。

长岭-半边山背斜是长寿—南川基底断裂控制下形成的一条背斜构造带，总体走向近南北，其北段为线性背斜带，长约 80km。地表断裂最新活动时代为第四纪中更新世晚期的活动断裂。沿断裂带地震活动的主要集中在与北东向构造汇合处，主要与北东向构造相关，本身地震活动较弱，在该断裂南端与金佛山断裂交汇的地方发生过 1854 年南川 5 级地震，该地震等震线方向为北东向，显示与齐曜山-金佛山断裂带的相关性。断裂带北部接近铜锣峡、明月峡背斜断裂带的部位发生过统景 5.2、5.4 级地震，等震线方向也近北东向，显示出与北东向构造的关系。该背斜北段定为最大潜在地震为 5.5 级的发震构造，沿该段划分出一个潜在震源区（22 号源），考虑一定的不确定性将震级上限定为 6.0 级。

（2）川东南潜在震源区组

该组潜在震源区构造背景为川东南城垛式背斜构造带为主，主要包括北东向齐曜山-金佛山背斜断裂带、彭水断裂和黔江断裂等。

齐曜山-金佛山断裂带线性影像清晰，为重力异常和航磁异常梯度带，存在倾向南东的齐曜山—金佛山基底逆断裂带。地表断裂基本沿一系列背斜带呈北东向断续延伸，构造形态较为复杂，主要由齐曜山段、马武段、老场段和金佛山段等四条次级断裂组成。马武断裂和齐曜山段断裂规模也较大，最新活动时代均为早、中更新世，沿断裂仅有零星小震，老场断裂南段为晚更新世活动断裂，而金佛山段尽管地表断裂不发育，但其地球物理场和地貌有明显显示、地震活动也较为显著，发生过 5 级地震，近期微震活动也很活跃。沿上述发震构造划分 35 号（金佛山段和老场段）最大潜在地震震级 6.5 级。

黔江断裂最新活动主要发生在中更新世中晚期，其中龙潭断裂和筲箕滩断裂可能延至晚更新世初期。1856年黔江 $6\frac{1}{4}$ 级地震的发震构造与黔江断裂带关系最为密切。沿该发震构造划分一个6.5级的潜在震源区（36号源）。

4.3 地震活动性参数的确定

近年来，我国学者（时振梁等，1991；中国地震烈度区划图编委会，1992）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。

4.3.1 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。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

震级上限 M_{uz} 的含义是指震级-频度关系式中，累积频度趋于零的震级极限值。确定 M_{uz} 有两条主要依据：一是历史地震资料足够长的地区，地震带中地震活动已经历几个地震活动期，可按该区内发生过的最大地震强度确定 M_{uz} ；二是在同一个大地震活动区内，用构造类比外推，认为具有相似构造条件的地震带，可发生相似强度的最大地震。在实际工作中，综合考虑以上两条原则，且遵从地震带的震级上限 M_{uz} 应等于区内各潜在震源区震级上限（ M_i ）的最大值这一原则，即 $M_{uz} = (M_i)_{\max}$ 。因此确定长江中游地震带 $M_{uz} = 7.0$ 。

起算震级 M_0 系指对工程场地有影响的最小震级，它与震源深度、震源类型、震源应力环境等有关。由于区域范围内地震属浅源地震，一些4级地震也会产生一定程度的破坏，故在本次工作中 M_0 取4级。

2. 各地震带 b 值和 v_4 的确定

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

V_4 是地震带 4.0 级以上地震的年发生次数，即 4.0 级以上地震的年平均发生率。从概率角度来说， V_4 代表地震带年 4.0 级以上地震次数随机变量的泊松期望值。

本次工作中采用了新一代全国地震动参数区划图编制中确定各地震带 b 值和 V_4 的方法，即以不同方案进行统计分析后确定的 b 值和 V_4 作为初值，根据各地震带内实际地震的发生率、未来地震活动趋势分析结果及 1970 年以来近 40 年的仪器记录地震资料所反映的中强地震发生次数的分布特点等因素，并基于对未来地震危险性给予合理保守考虑的原则，进行必要的调整，最终确定各地震带 V_4 与 b 值的结果。本次工作最终使用的 b 和 V_4 数值，直接采用了新一代全国地震动参数区划图编制中确定 b 值和 V_4 的结果。

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

对 V_4 与 b 值进行调整，重点考虑以下控制：

- ① M4 级以上地震年发生率应大致相当 1970 年以来地震活动水平；
- ② M5 级以上地震年发生率应大致相当 1900 年以来地震活动水平；
- ① 震级发生率应重点考虑 1300 年以来地震活动情况；

经调整，确定长江中游地震带地震活动性参数为 $b=1.1$ ， $V_4=3.2$ 。图 4.3-1 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，4~5 级震级段理论值与 1970 年以来的记录吻合较好，6 级以上震级段理论值较为保守，这主要是考虑到长江中游地震带所覆盖地区面积较大，6 级以上地震历史记载很少，而区划图潜在震源区划分方案对该地区 6 级左右地震的地震危险性较为重视，划分较多的新区，地震活动性需要对此有所反映。

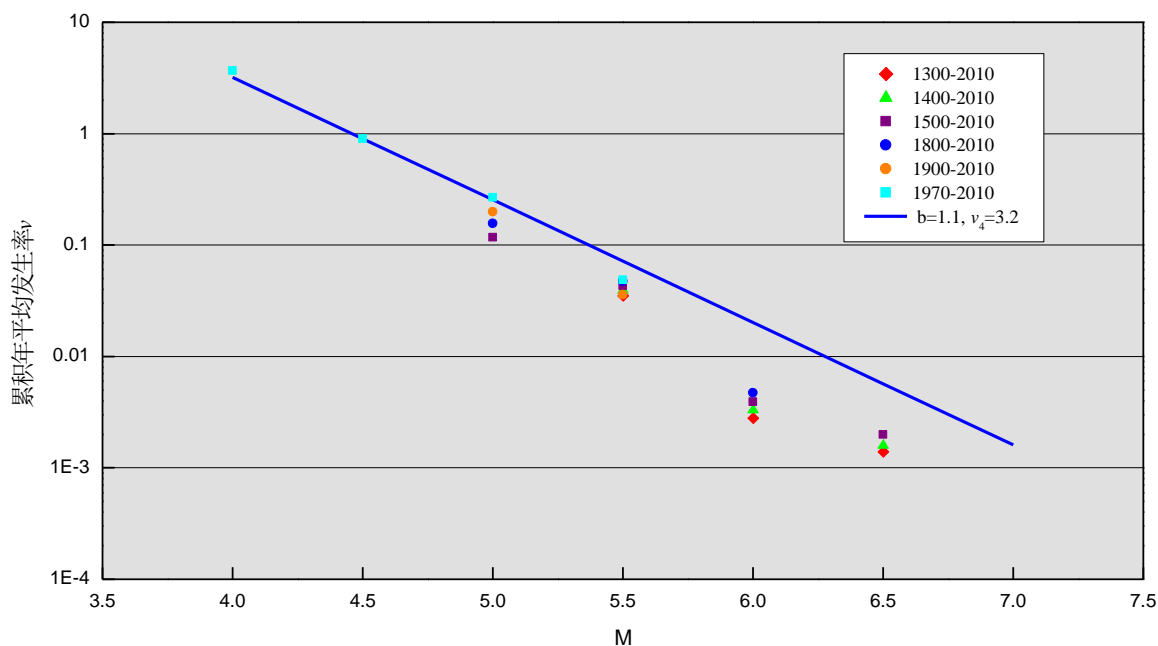


图 4.3-1 长江中游地震地震带各时段实际统计与理论结果对比

4.3.2 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的地区，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的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：

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

式中 ν 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。表 4.3-1 和表 4.3-2 给出了对工程场地地震危险性有一定影响的长江中游地震带的川中、渝黔地震构造区背景潜源空间分布函数。

表 4.3-1 渝黔地震构造区背景潜源地震空间分布函数

震级档	背景潜源内实际发生次数/年频次	地震空间分布函数/年频次
4.0-4.9	1/0.023	0.01/0.031

表 4.3-2 川中地震构造区背景潜源地震空间分布函数

震级档	背景潜源内实际发生次数/年频次	地震空间分布函数/年频次
4.0-4.9	2/0.047	0.02/0.062

潜在震源区的空间分布函数

为了刻画地震活动与时间和空间的关系，反映当前对地震趋势的估计，对于潜在震源区的空间分布函数采用多因子综合判定，选取了下列 6 个因子来确定其空间分布函数 f_{i,m_j} ：

潜在震源区活动构造的活动程度：地震发生需要一定的构造背景，通过潜在震源区活动构造的活动程度，直接决定了潜在震源区未来发生的地震的危险程度。

潜在震源区内 6 级以上地震重复发生的概率：西南地区许多 6 级以上强震具有原地重复发生的特征。用韦布尔 (Weibull) 分布：

$$P(t) = 1 - \exp(-\lambda t^\nu)$$

拟合西南地区 6 级以上强震原地重复的时间间隔，根据潜在震源区 6 级以上强震的逝去时间和相应的地震背景资料，可以得到各潜在震源区未来百年原地重复发生 6 级以上地震的可能性 (图 4.3-2) (雷建成等, 1997)。

潜在震源区地震发生的实际频度：这个因子主要反映了地震活动的历史重演规律，潜在震源区内单位面积上历史地震的实际发生频度，也代表了该潜在震源区未来地震的活动水平。

潜在震源区的面积：由于地震活动空间分布的随机性，潜在震源区面积的大小，代表了未来地震发生的可能性大小。

潜在震源区内地震活动度：地震活动度是考虑了区域内发生地震的频度、地震平均释放能量、最大震级和地震发生空间分布密度等因素的综合指标，能够较好地体现现今区域内的地震活动性，其计算公式为（谷继成等，1987）：

$$S = 1.17 \log_{10}(N+1) + 0.291 \log_{10} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{1.5M_i} + 0.15M_{\max}$$

本报告选用区域地震台网建立以来所有 2.5 级以上地震记录，以 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 作为扫描窗， 0.25° 作为空间滑动步长，对各地震带进行了空间扫描，求得了各潜在震源区的地震活动度值。

潜在震源区长期预报成果：根据新的地震活动趋势，新的观测资料，各地经济新发展，以及新的社会需求，中国地震局组织专家，研究、判定和编制了《2006 年—2020 年全国地震重点监视防御区分布图》，在全国范围内划分出了 24 个地震重点危险区（中国东部 $M_s \geq 6.0$ ，中国西部 $M_s \geq 7.0$ ），对中国 2020 年前地震活动做出了长期预测。

对于长江中游地震带，5.5 级以下地震表现出较强的随机性，因此，在确定 5.5 级以下地震的空间分布函数时，主要采用面积因子，对于 4.0—4.9 这一个震级档，减去背景震源相应震级档的空间分布权重后，采用面积因子，按面积等权分配，确定其相应的地震空间分布函数；对于 5.0—5.4 这一个震级档，直接采用面积因子，按面积等权分配，确定其相应的地震空间分布函数；在确定 5.5 级以上地震的空间分布函数时，由于长江中游地震带的地震活动性较弱，迄今尚无 7 级以上强震发生，6.0—6.9 级地震仅发生 3 次，不具有强震原地复发的特性，所以不考虑第二个因子（潜在震源区内 6 级以上地震重复发生的概率）。将除第二因子以外的其余 5 个因子等权相加，之后再经归一化处理，即得各潜在震源区的空间分布函数 f_{i,m_j} 。

对工程场地地震危险性影响较大的潜在震源区空间分布函数见下表：

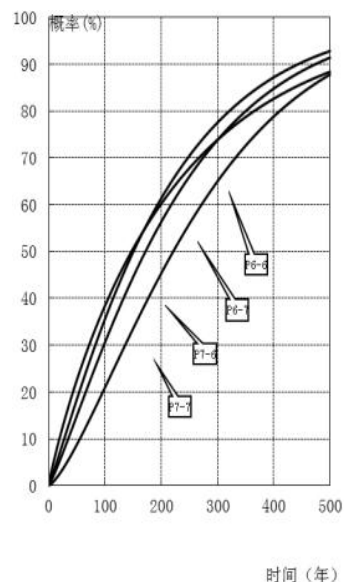


图 4.3-2 西南地区强震原地重复发生的 Weibull 分布概率图

表 4.3-1 区域几个主要潜在震源区 M_u 、 θ 和方向性函数

震级档 m_j 潜源编号	4.0-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4	≥ 7.5	M_u	θ_1 (度)	P_1	θ_2 (度)	P_2
23	0.00647	0.00779	0.02366	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	6.0	70	1.0	0	0
35	0.00266	0.02846	0.01595	0.08599	0.00000	0.00000	0.00000	6.5	50	1.0	0	0
36	0.00736	0.01082	0.01607	0.19171	0.00000	0.00000	0.00000	6.5	50	1.0	0	0
背景源	0.06383	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	5.0	0	0.5	90	0.5

注： M_u 为各潜在震源区的上限； θ_1 、 θ_2 为等震线长轴取向角度； P_1 、 P_2 为相应分布概率；高震级上限潜在震源区的低震级档空间分布函数由其下的震级上限为 6.5 级的潜在震源区给出。

4.4 地震动衰减关系

地震动衰减关系是地震危险性分析中的重要环节。由于地震动衰减同地震波传播路径中地壳介质的物理力学性质，以及震源错动性质和场地土质条件有关，因而具有明显的地区特点。

某个地区地震动衰减关系应该用该区的强震记录资料进行估计。但是我国的强震记录资料很少，不足以统计出可靠的地震动衰减关系，通常采用胡聿贤教授等得出的转换方法（胡聿贤，1984），借助某个参考区的地震烈度、加速度峰值和加速度反应谱的衰减关系，并利用研究区地震烈度衰减关系进行转换，得到研究地区的地震基岩水平加速度峰值和反应谱衰减关系。

根据《重庆市建设项目区域地震安全性评价工作技术指南（试行）》，直接采用中强地震区水平向基岩地震动加速度反应谱预测方程，如下表。

表 4.4-1 中强地震区基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数（长轴）

T (s)	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	C	D	E	σ
PGA	2.452	0.499	3.808	0.290	2.092	2.802	0.295	0.245
0.04	2.482	0.499	3.792	0.298	2.086	2.802	0.295	0.261
0.05	2.626	0.482	3.948	0.279	2.083	2.802	0.295	0.266
0.07	2.738	0.479	4.004	0.283	2.072	2.802	0.295	0.265
0.10	2.877	0.469	4.087	0.283	2.063	2.802	0.295	0.261
0.12	2.917	0.466	4.058	0.290	2.060	2.802	0.295	0.261
0.16	3.032	0.461	4.244	0.275	2.071	2.802	0.295	0.261
0.20	2.992	0.468	3.969	0.318	2.072	2.802	0.295	0.261
0.24	2.760	0.500	3.883	0.327	2.056	2.802	0.295	0.264
0.26	2.535	0.523	3.772	0.332	2.020	2.802	0.295	0.270
0.30	2.320	0.544	3.632	0.341	1.985	2.802	0.295	0.274
0.34	2.298	0.542	3.523	0.353	1.986	2.802	0.295	0.273
0.40	1.958	0.591	3.430	0.364	1.989	2.802	0.295	0.274
0.50	1.822	0.600	3.240	0.382	1.988	2.802	0.295	0.276
0.60	1.478	0.638	3.009	0.401	1.965	2.802	0.295	0.283
0.80	1.135	0.669	2.771	0.417	1.953	2.802	0.295	0.291
1.00	0.720	0.716	2.525	0.438	1.938	2.802	0.295	0.300
1.20	0.515	0.735	2.305	0.459	1.940	2.802	0.295	0.315
1.50	0.416	0.727	2.055	0.475	1.935	2.802	0.295	0.330
1.70	0.318	0.727	1.838	0.492	1.924	2.802	0.295	0.338
2.00	-0.147	0.756	1.434	0.512	1.838	2.802	0.295	0.342
2.40	-0.255	0.737	0.987	0.546	1.804	2.802	0.295	0.343
3.00	-0.483	0.741	0.611	0.572	1.769	2.802	0.295	0.340
4.00	-0.704	0.729	0.087	0.607	1.735	2.802	0.295	0.336
5.00	-0.871	0.720	-0.349	0.640	1.706	2.802	0.295	0.333
6.00	-0.836	0.673	-0.836	0.673	1.660	2.802	0.295	0.333

表4.4-2 中强地震区基岩水平向加速度反应谱预测方程模型系数（短轴）

T (s)	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	C	D	E	σ
PGA	1.738	0.475	2.807	0.310	1.734	1.295	0.331	0.245
0.04	1.782	0.473	2.769	0.321	1.729	1.295	0.331	0.261
0.05	1.919	0.458	2.954	0.298	1.727	1.295	0.331	0.266
0.07	2.039	0.453	3.019	0.302	1.718	1.295	0.331	0.265
0.10	2.189	0.443	3.101	0.303	1.711	1.295	0.331	0.261
0.12	2.234	0.439	3.085	0.308	1.708	1.295	0.331	0.261
0.16	2.308	0.441	3.325	0.283	1.717	1.295	0.331	0.261
0.20	2.303	0.442	3.027	0.330	1.718	1.295	0.331	0.261
0.24	2.071	0.474	2.916	0.343	1.703	1.295	0.331	0.264
0.26	1.846	0.498	2.788	0.353	1.672	1.295	0.331	0.270
0.30	1.640	0.519	2.645	0.364	1.643	1.295	0.331	0.274
0.34	1.616	0.518	2.558	0.373	1.643	1.295	0.331	0.273
0.40	1.263	0.568	2.423	0.389	1.643	1.295	0.331	0.274
0.50	1.126	0.577	2.234	0.406	1.642	1.295	0.331	0.276
0.60	0.791	0.613	1.975	0.431	1.622	1.295	0.331	0.283
0.80	0.433	0.647	1.734	0.446	1.610	1.295	0.331	0.291
1.00	0.016	0.695	1.465	0.471	1.596	1.295	0.331	0.300
1.20	-0.183	0.712	1.221	0.495	1.597	1.295	0.331	0.315
1.50	-0.290	0.706	1.020	0.503	1.592	1.295	0.331	0.330
1.70	-0.375	0.704	0.819	0.519	1.583	1.295	0.331	0.338
2.00	-0.826	0.736	0.445	0.540	1.510	1.295	0.331	0.342
2.40	-0.915	0.716	0.069	0.564	1.481	1.295	0.331	0.343
3.00	-1.128	0.719	-0.276	0.587	1.451	1.295	0.331	0.340
4.00	-1.334	0.706	-0.739	0.614	1.423	1.295	0.331	0.336
5.00	-1.482	0.697	-1.121	0.641	1.398	1.295	0.331	0.333
6.00	-1.422	0.649	-1.422	0.649	1.361	1.295	0.331	0.333

4.5 地震危险性分析结果

根据前述章节的研究，采用适合于本地区的地震动衰减关系，用国家地震局推荐的地震危险性分析程序包，计算得到了目标区在不同超越概率水平下的基岩水平峰值加速度及基岩水平加速度反应谱。地震危险性分析结果见表 4.5-1 至表 4.5-5，并用图 4.5-1 至 4.5-8 来表示。

表 4.5-1 地震危险性概率分析结果--不同超越概率水平下基岩水平向峰值加速度 (cm/s²)

目标区	50 年超越概率			100 年超越概率							
	63%	10%	2%	60%	40%	10%	5%	4%	3%	2%	1%
玉溪	15.82	46.9	98.15	24.32	32.53	62.07	88.43	96.13	105.96	120.45	149.86
高家	15.51	46.3	95.97	24.12	31.12	60.87	86.74	93.97	103.42	117.82	148.13
水天坪及月亮坝	15.37	45.8	94.07	24.01	30.84	59.85	85.28	92.08	101.19	115.50	142.43
镇江	13.68	42.7	84.64	23.01	29.61	53.21	76.73	82.83	90.86	103.40	127.81

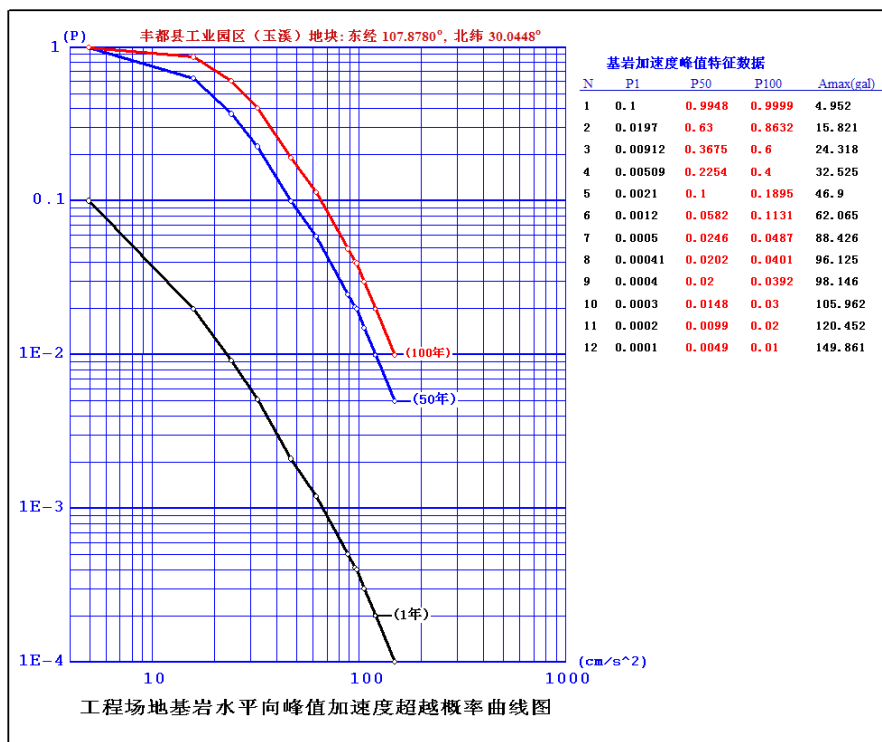


图 4.5-1 丰都工业园区玉溪地块基岩水平向峰值加速度超越概率曲线图

表 4.5-2 丰都工业园区玉溪地块基岩水平加速度反应谱 (单位: cm/s^2 , 0.05 阻尼比)

周期	50 年超越概率			100 年超越概率							
	63%	10%	2%	60%	40%	10%	5%	4%	3%	2%	1%
0	15.82	46.90	98.15	24.32	32.53	62.07	88.43	96.13	105.96	120.45	149.86
0.04	20.13	51.13	111.65	27.77	38.86	67.91	99.82	107.18	120.83	139.33	175.24
0.05	21.10	61.00	131.13	31.90	45.26	78.44	116.40	125.75	141.39	162.04	207.65
0.07	27.95	74.93	165.72	39.67	55.87	99.64	148.26	159.08	184.51	210.59	261.26
0.1	35.24	94.46	213.32	52.43	67.82	125.85	192.18	204.83	227.26	263.11	314.79
0.12	37.83	100.97	239.74	56.59	76.05	135.40	214.89	230.32	251.81	282.36	344.23
0.16	40.35	119.36	267.12	64.46	89.20	155.61	241.16	256.41	287.28	328.08	389.69
0.2	39.54	121.71	278.64	63.90	88.39	160.73	255.76	267.30	307.19	342.54	407.29
0.24	37.74	109.16	257.38	61.00	84.24	146.55	236.09	251.55	296.75	332.29	414.28
0.26	36.81	101.64	244.17	59.11	81.99	137.02	223.01	234.39	277.12	312.38	417.18
0.3	35.42	95.51	240.49	54.02	76.45	131.20	218.15	230.53	266.53	297.99	393.92
0.34	32.89	88.62	214.17	50.20	70.40	113.21	189.73	205.01	255.82	288.54	385.00
0.4	29.91	74.39	188.78	43.24	61.24	96.54	166.01	179.65	213.97	252.23	339.13
0.5	25.02	62.27	147.42	35.58	53.09	77.36	130.31	140.22	168.16	193.28	265.42
0.6	19.78	52.66	122.02	30.63	44.13	66.04	107.63	116.38	138.75	159.74	222.36
0.8	15.14	42.07	94.78	24.87	34.30	50.08	84.89	90.47	106.47	123.90	171.14
1	11.41	32.58	75.34	18.79	27.16	41.82	66.39	72.22	86.38	98.93	129.66
1.2	9.08	26.96	61.05	16.31	23.15	34.12	54.35	58.60	68.51	82.12	99.37
1.5	7.01	21.24	49.03	12.55	18.39	26.09	43.04	46.22	53.12	62.17	80.62
1.7	6.34	19.25	42.05	11.23	15.60	23.32	37.03	39.81	46.82	55.20	65.48
2	5.31	15.93	35.04	9.12	13.12	19.53	31.33	33.46	38.07	43.70	56.54
2.4	4.23	12.84	28.92	7.80	11.06	16.46	26.33	27.88	31.96	36.86	45.67
3	3.18	10.60	24.20	6.28	8.61	12.90	22.06	23.46	26.60	29.75	36.08
4	2.39	7.71	18.06	4.42	6.41	9.78	15.61	16.87	19.40	22.71	27.37

5	1.91	6.16	13.60	3.50	4.77	8.02	12.04	12.68	15.15	18.14	22.18
6	1.60	5.04	11.59	2.95	3.98	6.71	10.19	10.775	12.62	14.45	18.33

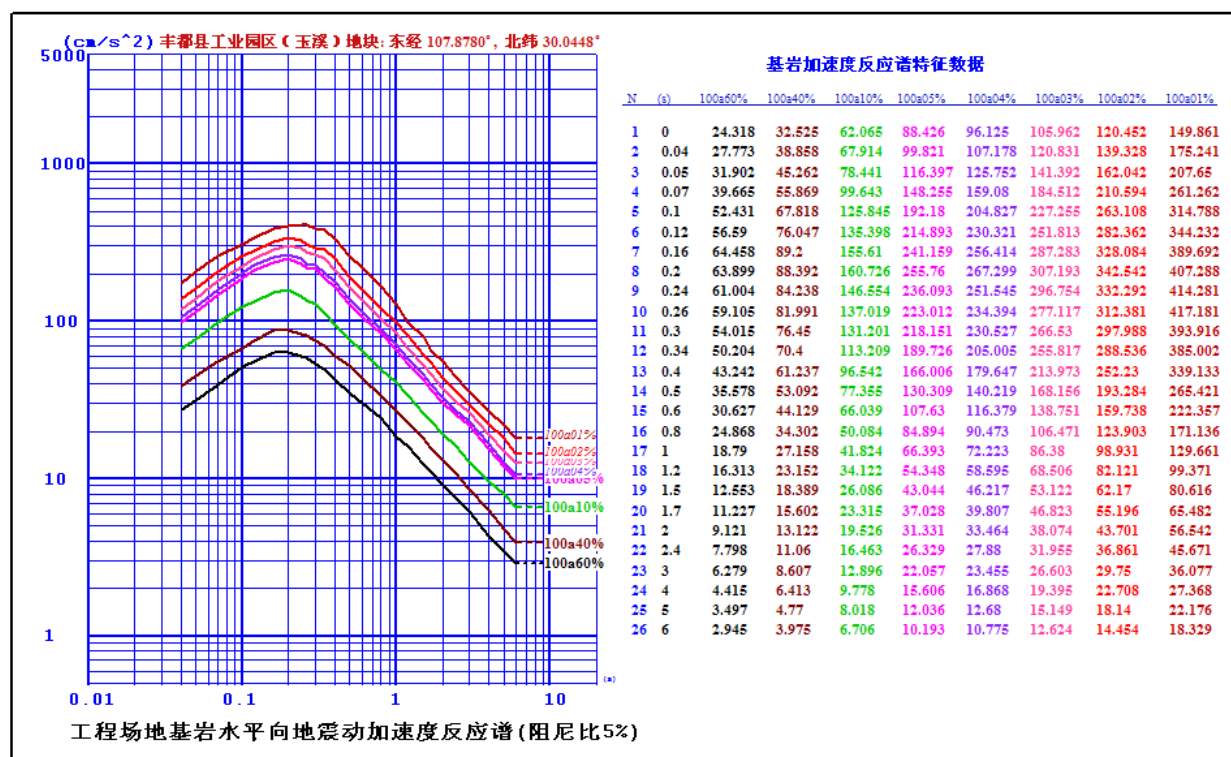
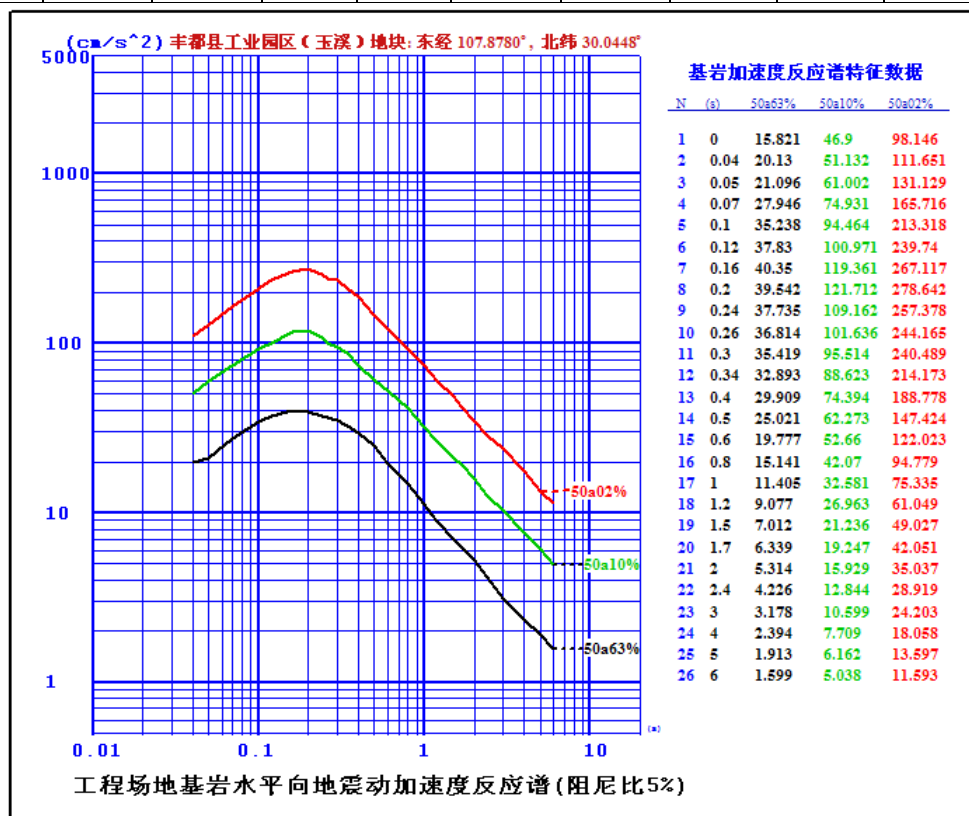


图 4.5-2 丰都工业园区玉溪地块基岩水平向地震动加速度反应谱 (0.05 阻尼比)

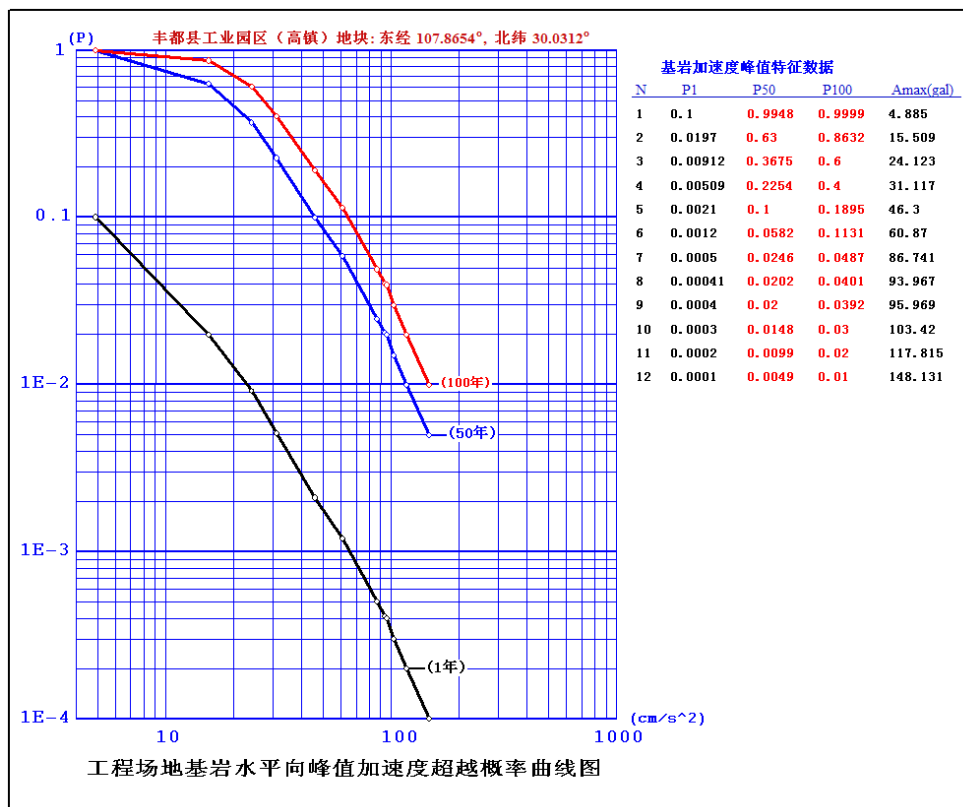


图 4.5-3 丰都工业园区高家地块基岩水平向峰值加速度超越概率曲线图

表 4.5-3 丰都工业园区高家地块基岩水平加速度反应谱（单位：cm/s²，0.05 阻尼比）

周期	50 年超越概率			100 年超越概率							
	63%	10%	2%	60%	40%	10%	5%	4%	3%	2%	1%
0.00	15.51	46.30	95.97	24.12	31.12	60.87	86.74	93.97	103.42	117.82	148.13
0.04	19.88	49.73	109.38	27.60	36.40	66.97	97.62	104.97	118.31	136.45	171.76
0.05	20.93	59.80	127.48	31.74	42.81	76.96	113.65	122.21	138.53	158.47	207.22
0.07	27.80	73.21	162.01	38.80	53.12	97.21	143.89	155.48	178.46	206.34	260.08
0.10	35.10	92.18	208.77	51.74	64.04	123.19	186.81	200.41	220.25	256.92	313.64
0.12	37.69	98.59	235.49	55.94	72.00	131.65	210.03	226.20	244.27	277.00	338.91
0.16	40.22	116.35	260.65	63.07	84.09	150.60	233.43	250.13	276.98	320.84	384.76
0.20	39.42	118.61	271.75	62.53	83.32	155.37	247.36	260.61	297.48	334.77	401.70
0.24	37.58	106.60	248.33	60.38	79.91	143.06	231.52	243.13	289.45	321.75	412.99
0.26	36.69	99.38	239.47	58.45	77.61	134.39	217.34	229.84	270.69	305.93	416.78
0.30	35.30	93.57	234.16	53.34	72.09	128.06	214.29	224.38	261.57	289.35	389.54
0.34	32.76	87.15	208.97	49.49	67.18	110.93	185.64	200.61	249.86	284.33	384.68
0.40	29.84	73.42	185.73	43.10	58.26	94.88	162.40	176.71	209.77	245.83	337.54
0.50	24.63	60.43	144.49	35.30	49.52	75.56	127.79	137.39	164.52	188.90	264.05
0.60	19.53	52.23	120.55	30.48	42.34	65.28	106.48	114.96	137.00	157.89	218.17
0.80	15.00	41.17	94.00	24.48	32.79	49.68	83.96	89.72	105.11	122.47	168.55
1.00	11.35	32.50	74.22	18.48	25.98	41.23	66.03	71.14	85.53	98.33	127.98
1.20	9.14	26.91	60.60	16.31	22.22	34.06	53.82	58.16	68.13	81.11	97.80
1.50	7.06	21.39	49.18	12.69	18.43	26.15	43.07	46.37	53.16	62.09	79.64
1.70	6.27	19.05	41.99	11.06	14.93	23.22	36.96	39.75	46.15	54.74	64.92
2.00	5.27	15.81	35.01	9.10	12.58	19.48	31.30	33.44	38.05	43.45	56.15
2.40	4.05	12.80	28.85	7.75	10.51	16.32	26.25	27.82	31.90	36.82	45.44

3.00	3.18	10.54	24.09	6.20	8.25	12.87	21.91	23.34	26.52	29.69	35.87
4.00	2.39	7.69	18.03	4.42	6.10	9.74	15.58	16.84	19.24	22.62	27.20
5.00	1.91	6.14	13.57	3.50	4.59	8.01	12.01	12.66	15.13	17.97	22.01
6.00	1.60	5.01	11.57	2.95	3.83	6.70	10.17	10.76	12.61	14.45	18.20

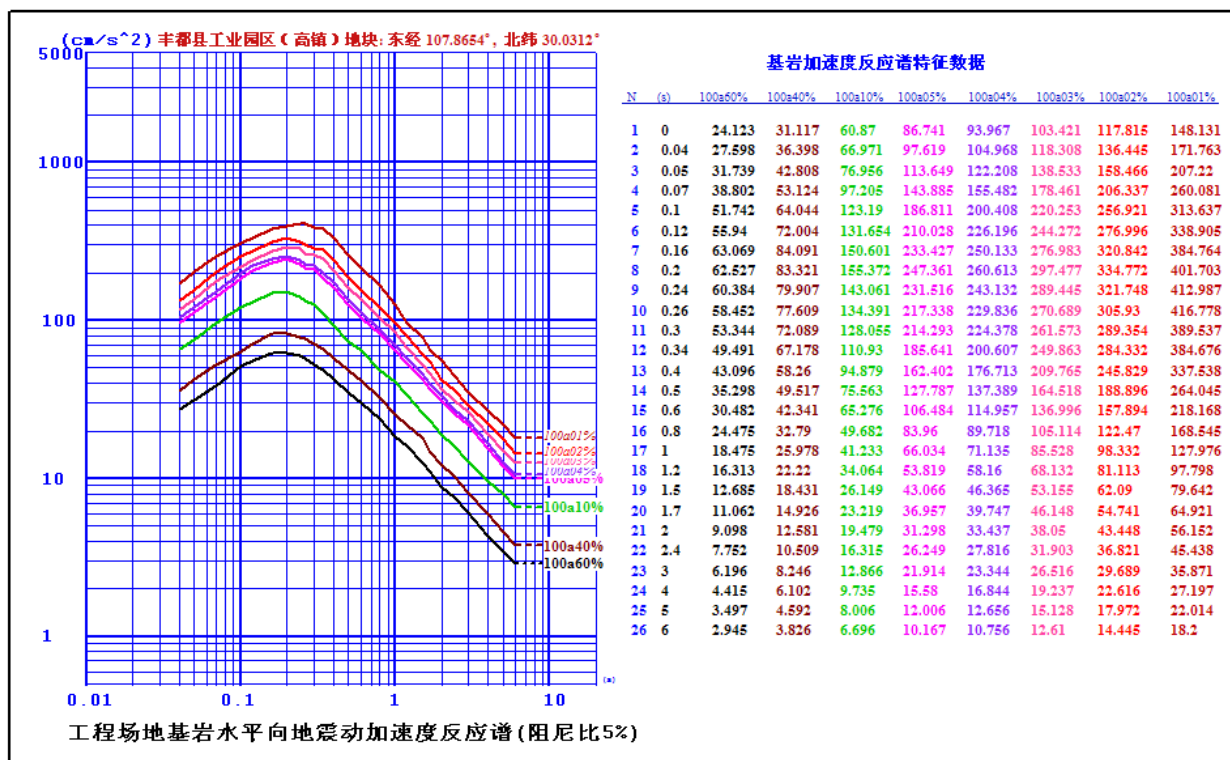
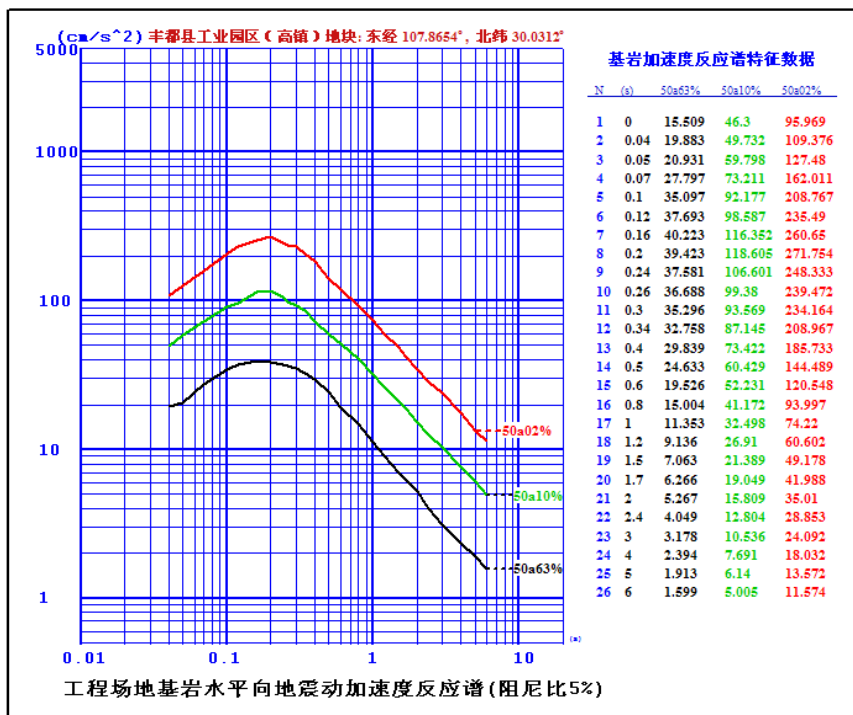


图 4.5-4 丰都工业园区高家地块基岩水平向地震动加速度反应谱 (0.05 阻尼比)

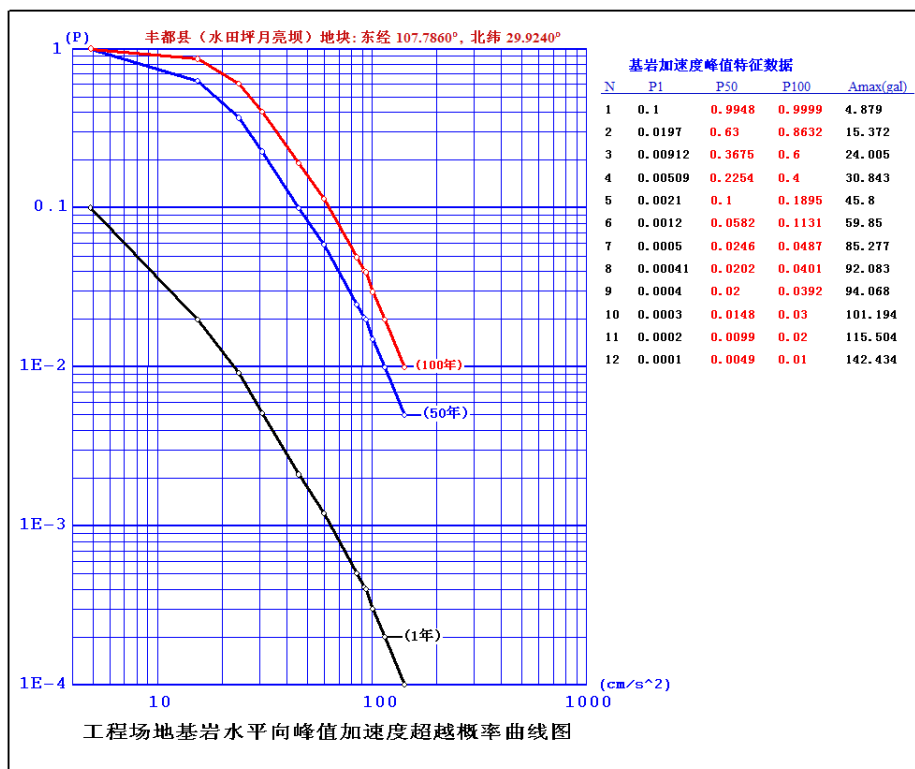


图 4.5-5 丰都工业园区水天坪月亮坝地块基岩水平向峰值加速度超越概率曲线图

表 4.5-4 丰都工业园区水天坪月亮坝地块基岩水平加速度反应谱（单位：cm/s²，0.05 阻尼比）

周期	50 年超越概率			100 年超越概率							
	63%	10%	2%	60%	40%	10%	5%	4%	3%	2%	1%
0.00	15.37	45.80	94.07	24.01	30.84	59.85	85.28	92.08	101.19	115.50	142.43
0.04	20.05	49.53	107.77	27.64	36.25	66.45	96.37	103.41	116.45	134.23	164.62
0.05	20.85	58.86	124.22	31.64	42.11	75.74	111.24	119.16	135.95	155.13	198.77
0.07	27.73	71.87	158.58	38.37	52.48	95.47	140.95	152.15	172.71	202.24	248.67
0.10	35.06	90.32	204.24	51.43	62.99	120.80	181.54	196.01	216.60	250.37	299.44
0.12	37.65	96.91	231.22	55.62	70.91	128.19	205.22	222.05	236.36	271.23	323.64
0.16	40.27	113.79	253.85	62.28	82.48	145.75	225.41	243.54	271.47	312.73	364.91
0.20	39.38	116.01	264.66	61.77	81.76	150.35	238.81	253.73	291.64	326.37	382.43
0.24	37.53	104.82	245.20	60.07	78.85	140.43	228.06	240.26	283.84	313.61	400.26
0.26	36.62	98.24	237.30	58.09	76.51	132.98	214.58	227.72	268.99	303.36	405.71
0.30	35.20	92.55	232.79	52.89	70.84	127.11	213.28	223.03	260.78	288.84	382.43
0.34	32.67	86.39	208.24	49.04	66.54	110.00	184.58	199.89	248.91	284.04	377.31
0.40	29.62	73.13	186.78	42.99	57.65	94.78	163.26	177.71	211.77	249.94	336.68
0.50	24.52	60.34	145.84	35.24	49.06	75.71	128.70	138.68	166.61	192.20	263.92
0.60	19.34	52.33	122.46	30.42	42.13	65.76	107.80	116.80	139.59	161.79	219.96
0.80	15.04	41.75	95.31	24.59	32.73	50.08	85.35	90.98	107.70	125.64	170.03
1.00	11.46	32.61	77.19	18.85	26.06	42.16	66.88	74.02	88.00	100.35	129.81
1.20	9.23	27.03	61.67	16.36	22.34	34.18	54.97	59.19	69.14	84.15	99.85
1.50	6.98	21.22	49.95	12.49	17.36	26.11	43.12	47.10	53.90	62.86	80.68
1.70	6.29	19.21	42.13	11.14	14.91	23.33	37.09	39.88	47.84	56.01	65.85
2.00	5.32	16.13	35.18	9.13	12.61	19.65	31.46	33.60	38.21	45.74	56.32
2.40	4.11	12.89	29.17	7.78	10.63	16.79	26.59	28.12	32.20	37.10	44.81
3.00	3.18	10.61	24.42	6.20	8.23	12.93	22.30	23.66	26.79	29.92	35.35

4.00	2.39	7.71	18.11	4.42	6.10	9.81	15.65	16.91	19.72	22.91	26.81
5.00	1.91	6.19	13.63	3.50	4.57	8.03	12.08	12.71	15.18	18.34	21.92
6.00	1.60	5.22	11.72	2.95	3.81	6.76	10.36	10.89	12.71	14.52	18.14

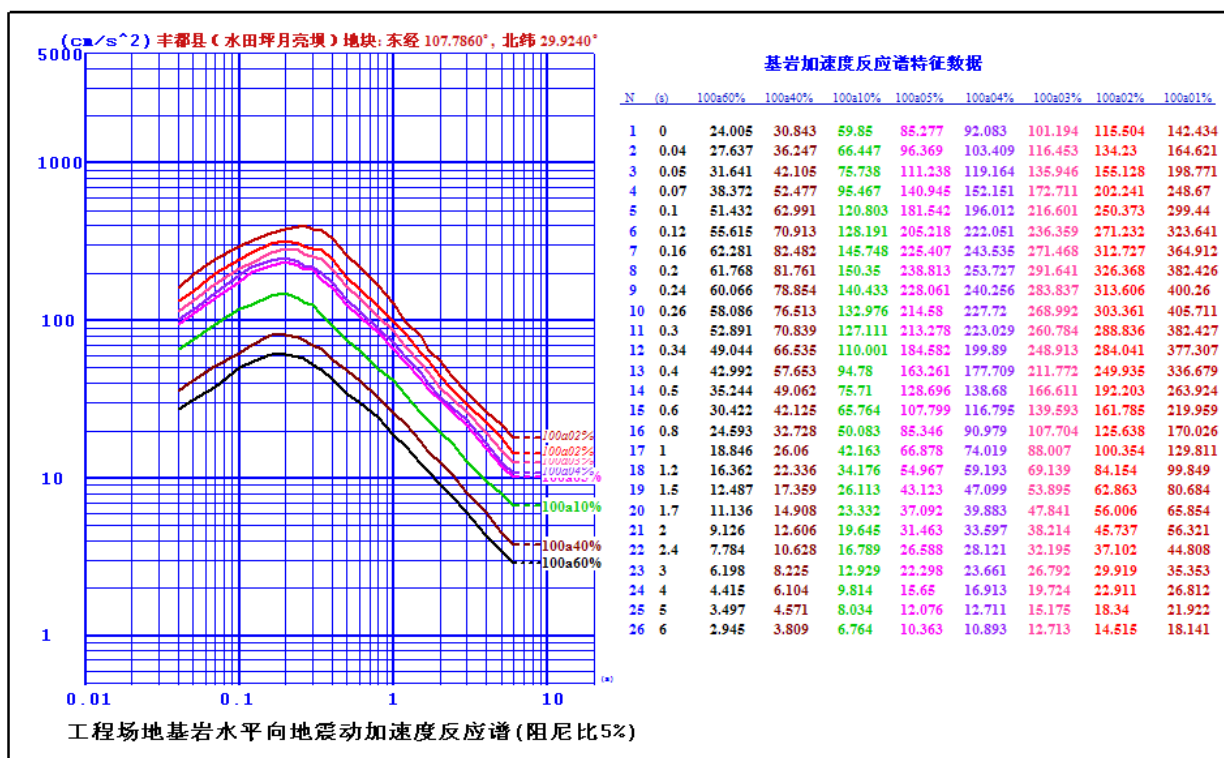
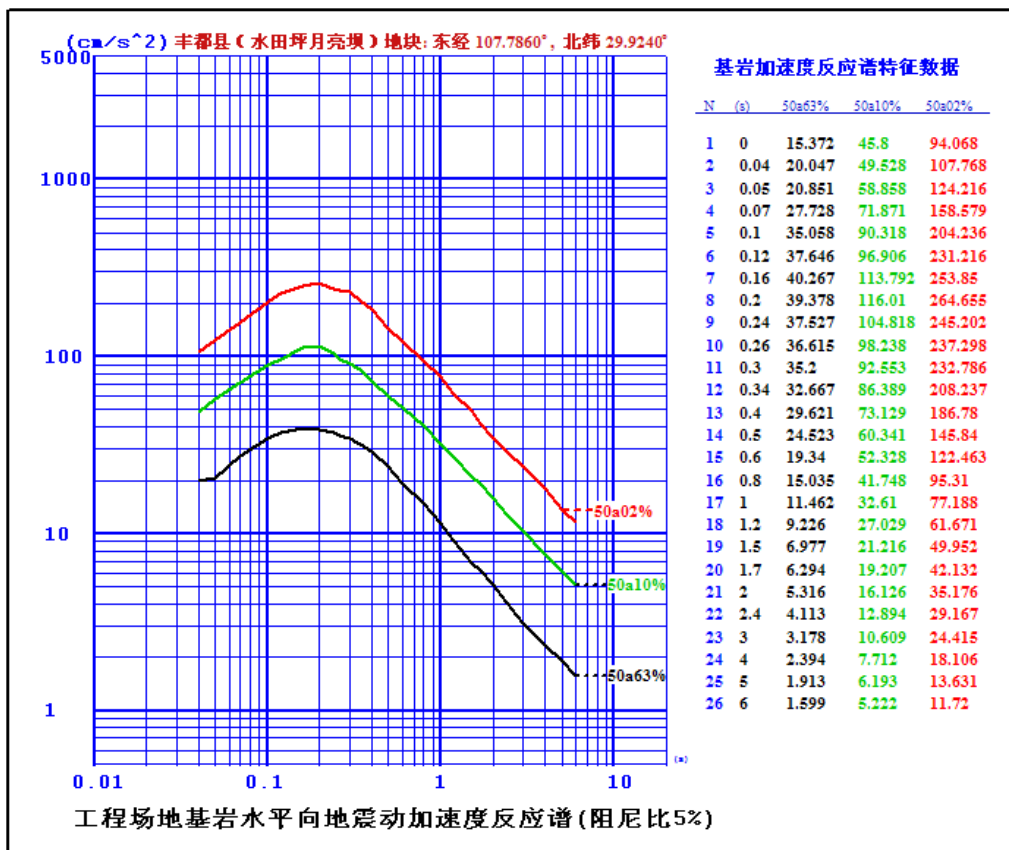


图 4.5-6 丰都工业园区水天坪月亮坝地块基岩水平向地震动加速度反应谱(0.05 阻尼比)

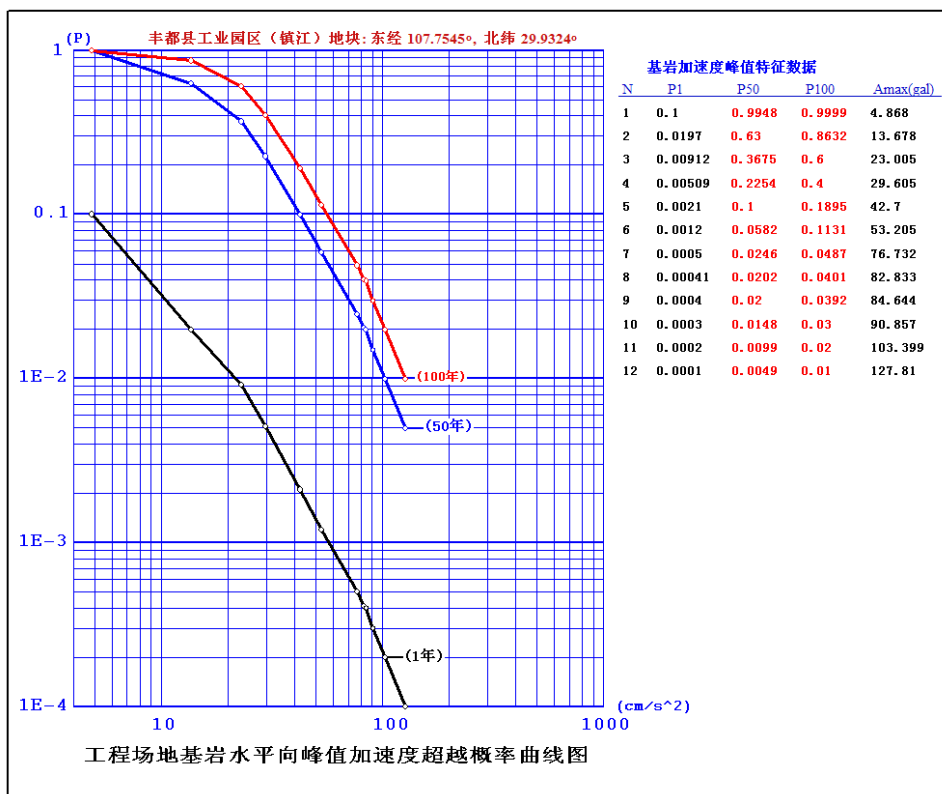


图 4.5-7 丰都工业园区镇江地块基岩水平向峰值加速度超越概率曲线图

表 4.5-5 丰都工业园区镇江地块基岩水平加速度反应谱（单位：cm/s²，0.05 阻尼比）

周期	50 年超越概率			100 年超越概率							
	63%	10%	2%	60%	40%	10%	5%	4%	3%	2%	1%
0.00	13.68	42.70	84.64	23.01	29.61	53.21	76.73	82.83	90.86	103.40	127.81
0.04	18.36	46.33	96.01	26.51	32.77	60.70	85.83	92.12	103.67	118.06	146.06
0.05	19.87	51.99	110.77	30.67	37.40	67.76	99.18	106.33	119.64	137.74	170.91
0.07	26.93	65.65	139.83	36.79	45.96	84.78	124.90	134.21	151.01	174.73	215.88
0.10	34.52	80.62	175.99	48.03	58.44	105.97	156.29	168.59	194.52	216.67	260.78
0.12	36.76	86.38	193.87	52.12	63.69	114.13	175.20	186.89	210.45	236.83	283.52
0.16	39.32	100.44	219.59	58.46	73.20	127.52	198.17	210.90	234.48	265.22	317.35
0.20	38.55	102.62	241.10	58.34	74.35	132.21	214.71	231.43	251.45	277.33	331.92
0.24	36.79	93.89	233.40	56.72	71.67	125.17	200.20	223.90	255.50	276.78	343.97
0.26	35.85	89.01	220.09	54.59	68.66	118.23	186.67	210.87	240.96	259.98	336.11
0.30	34.51	85.05	216.15	53.35	65.14	112.98	191.23	207.41	239.47	259.41	311.63
0.34	31.96	78.98	197.98	47.33	59.55	100.16	170.22	189.78	230.15	254.81	305.29
0.40	28.71	67.68	178.12	42.09	53.24	87.08	151.84	169.32	189.69	219.48	266.11
0.50	23.51	56.33	134.87	34.35	43.91	71.86	115.31	128.24	152.87	178.19	211.27
0.60	18.83	49.77	114.15	30.81	38.62	61.33	98.09	108.86	129.89	151.10	177.83
0.80	14.77	38.43	90.60	23.53	31.46	47.61	77.37	86.46	100.59	117.52	139.76
1.00	11.96	32.32	72.50	19.46	25.75	38.98	62.69	69.84	83.17	96.68	113.20
1.20	8.78	26.47	59.09	16.02	20.85	33.65	50.38	56.63	66.81	78.71	94.60
1.50	6.88	20.71	46.23	12.19	15.74	25.70	39.23	43.61	51.04	60.63	75.50
1.70	6.01	18.52	41.69	10.67	14.37	22.84	35.51	39.36	44.59	53.66	65.31
2.00	5.04	15.30	34.79	9.33	12.16	19.29	30.18	33.27	37.86	43.80	55.15
2.40	3.89	12.61	28.62	7.55	10.13	15.84	25.11	27.54	31.67	36.67	44.48

3.00	3.23	10.20	23.68	5.73	7.82	12.77	20.74	22.94	26.19	29.48	34.95
4.00	2.43	7.57	17.84	4.26	5.73	9.62	15.04	16.69	18.90	22.37	26.50
5.00	1.94	6.01	13.49	3.55	4.58	7.96	11.53	12.62	15.00	17.59	21.62
6.00	1.62	4.92	11.61	2.99	3.82	6.60	9.94	10.71	12.60	14.33	17.88

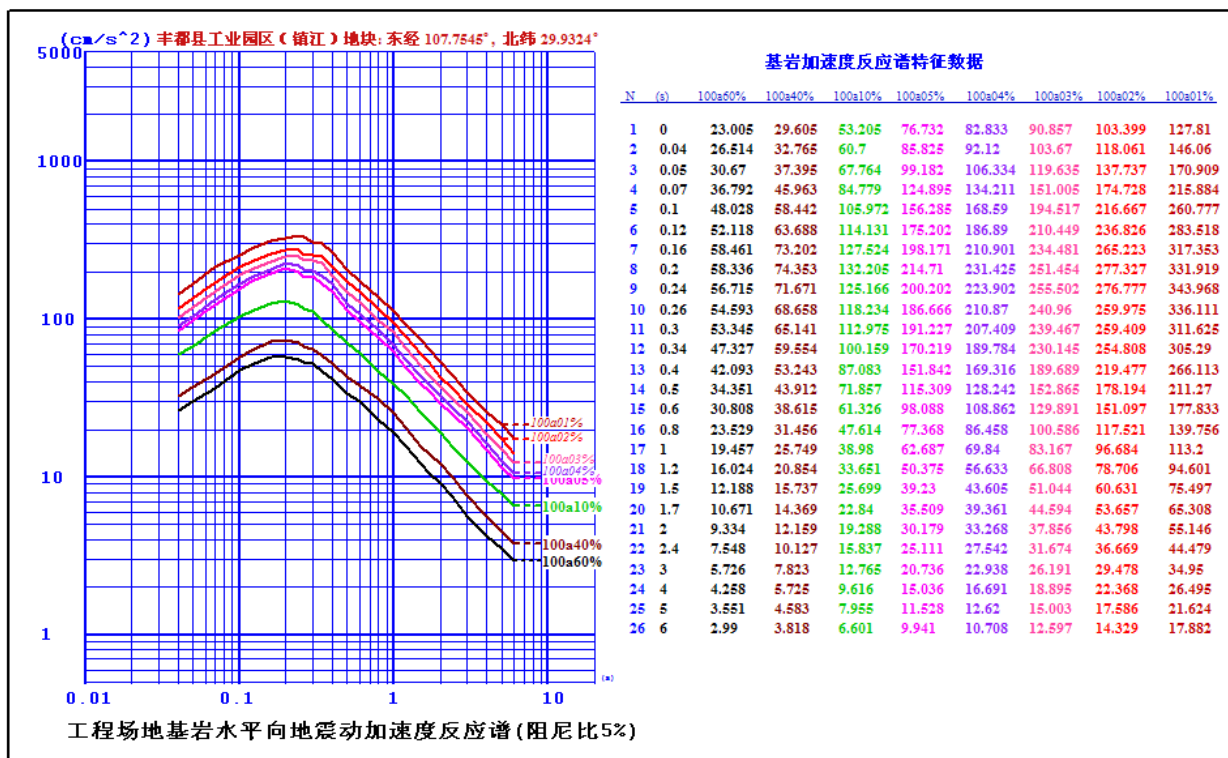
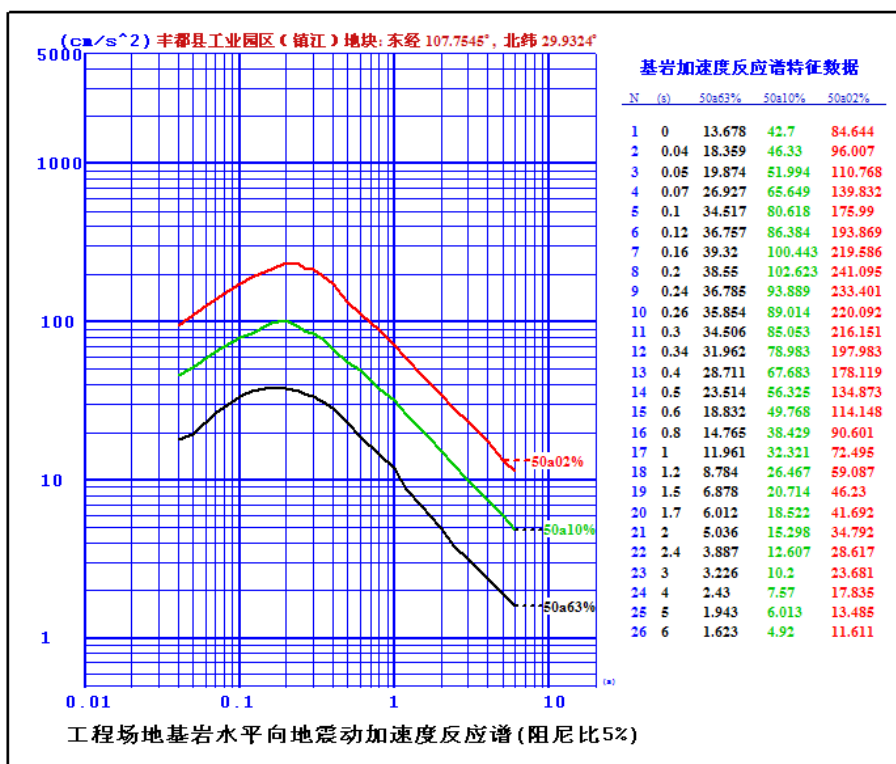


图 4.5-8 丰都工业园区镇江地块基岩水平向地震动加速度反应谱 (0.05 阻尼比)

表 4.5-6 是主要潜在震源区对丰都工业园区玉溪地块 50 年超越概率 10% 水平地震动峰值加速度加速度的贡献

潜源编号	贡献比例
23	84.69 %
36	5.7%
背景地震	5.43%
35	2.53%

由表可见，对目标区峰值加速度贡献较大的是 23 号、36 号、背景地震和 35 号潜在震源区。

表 4.5-7 是主要潜在震源区对丰都工业园区高家地块 50 年超越概率 10% 水平地震动峰值加速度加速度的贡献

潜源编号	贡献比例
23	83.42 %
36	6.27 %
背景地震	5.74%
35	2.67%

由表可见，对目标区峰值加速度贡献较大的是 23 号、36 号、背景地震和 35 号潜在震源区。

表 4.5-8 是主要潜在震源区对丰都工业园区水天坪月亮坝地块 50 年超越概率 10% 水平地震动峰值加速度加速度的贡献

潜源编号	贡献比例
23	74.34 %
35	11.58%
背景地震	8.92%
36	2.81%

由表可见，对目标区峰值加速度贡献较大的是 23 号、35 号、背景地震和 36 号潜在震源区。

表 4.5-9 是主要潜在震源区对丰都工业园区镇江地块 50 年超越概率 10% 水平地震动峰值加速度加速度的贡献

潜源编号	贡献比例
23	69.35%
35	13.91 %
背景地震	9.59 %
36	3.42 %

由表可见，对目标区峰值加速度贡献较大的是 23 号、35 号、背景地震和和 36 号潜在震源区。

第五章 场地工程地震条件及地震地质灾害评价

本章目的是在收集或勘测目标区的土层结构，场地类别、剪切波速等内容的基础上，分析场地地震效应情况，为场地地震动参数计算及地震地质灾害评价提供基础资料。限于篇幅所限，部分现场调查情况及打钻情况的照片见附录。

5.1 目标区工程地震地质条件概述

1、玉溪地块

场地位于长江右岸，属构造剥蚀丘陵地貌，地形起伏较大，总体上东高西低、北高南低，地形波状起伏，整体上呈现浅丘与沟槽相间分布的特征。场地现状大部分为原始地貌，仅少部分地块由于工程建设，原始地形地貌已遭受破坏，呈挖、填方区。场地整体地形坡角约 $5\sim 45^\circ$ ，局部呈小陡坎，地面高程约 155-305m。场地部分区域因挖填方施工形式多处人工边坡，边坡多数高度较小，局部边坡高度较大，最大高度约 22.5m。由于三峡库区蓄水，河漫滩被淹没，长江沿岸不见一级阶地和二级阶地。

玉溪工业园 2.4 km^2 ，绝大部分为砂、泥岩出露，场地主要为旱地、林地、挖填方施工区域及少量散居的农家。通过卫星影像分析及现场调查，发现仅有四处回填区，因此在这四处回填区各布设了一个钻孔，共 4 个钻孔。工程地质单元分区及钻孔布置如图 5.1-1。



图 5.1-1 丰都工业园区玉溪地块工程地质单元分区及钻孔布置（摘自 GoogleEarth）

据现场调查及钻探揭露（见图 5.1-2 至 5.1-5），场区范围内上覆土层为第四系全新统素填土（ Q_4^{ml} ）和下伏基岩为侏罗系上统遂宁组（ J_3s ），其岩土分层特征由上至下分述：

1、第四系全新统人工堆积素填土（ Q_4^{ml} ）：褐色、紫褐色、杂色等。物质组分较杂，主要成分由碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成。碎块石岩性主要为砂、泥岩。粘性土呈可塑状。块石粒径一般为 $2\sim 350\text{mm}$ 。结构松散。厚度 $0\sim 17.2\text{m}$ （YXZK4）。

2、侏罗系上统遂宁组（ J_3s ）：基岩为泥岩、砂岩为主，局部少量的粉砂质泥岩。

泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

砂岩：黄灰色、灰白色；主要由石英、长石及云母等矿物组成，夹少量紫色泥质团块、

条纹及薄夹层，细粒结构，钙质胶结，中厚层状构造。

粉砂质泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含砂质较重，局部夹较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

工程地质钻孔柱状图

工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号	YXZK1			
孔口标高(m)		坐标	30.044688	施工日期		稳定水位	无			
钻孔深度(m)	12.40		107.863659	钻孔直径	开孔:110,终孔:95 (mm)	测量日期	2019-12			
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取 样	水 位
Q ₄ ^{pl}	10.30	10.30	000					素填土：褐色、紫褐色、杂色，结构松散-稍密，干~稍湿，粒径大小2~25cm，局部较大，主要由砂泥岩碎块石、粘性土组成，硬杂质含量5~15%，堆积年限小于1年，为人工抛填。		
J _{3s}	11.50 12.40	2.10	000			强 中		泥岩：紫红色、褐红色。主要为粘土矿物组成，含砂质，泥质结构，中~厚层状构造，局部夹灰、灰绿色砂岩条带。 10.30-11.50m岩心较破碎，岩质软，为强风化层。11.50m以下岩芯呈短柱-柱状，局部较破碎，节长5~18cm，层理清晰，岩石强度较高，为中风化层。		

图 5.1-2 YXZK1 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图


工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号	YXZK2			
孔口标高(m)		坐标 (m)	30.042008	施工日期		稳定水位	无			
钻孔深度(m)	8.50		107.870900	钻孔直径	开孔:110,终孔:95 (mm)	测量日期	2019-12			
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:100	地层描述	取样	水位
Q ₄ ^{ml}	5.70	5.70	000					素填土：褐色、紫褐色、杂色，结构松散 稍密，干~稍湿，粒径大小2~45cm，局部较大，主要由砂泥岩碎块石、粘性土组成，硬杂质含量5~25%，堆积年限小于1年，为人工抛填。		
	6.10		000			强		泥岩：紫红色、褐红色。主要为粘土矿物组成，含砂质，泥质结构，中~厚层状构造，局部夹灰、灰绿色砂岩条带。		
J ₃ S	8.50	2.80	000			中		5.70-6.10m岩心较破碎，岩质软，为强风化层。6.10m以下岩芯呈短柱-柱状，局部较破碎，节长5~20cm，层理清晰，岩石强度较高，为中风化层。		

图 5.1-3 YXZK2 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图

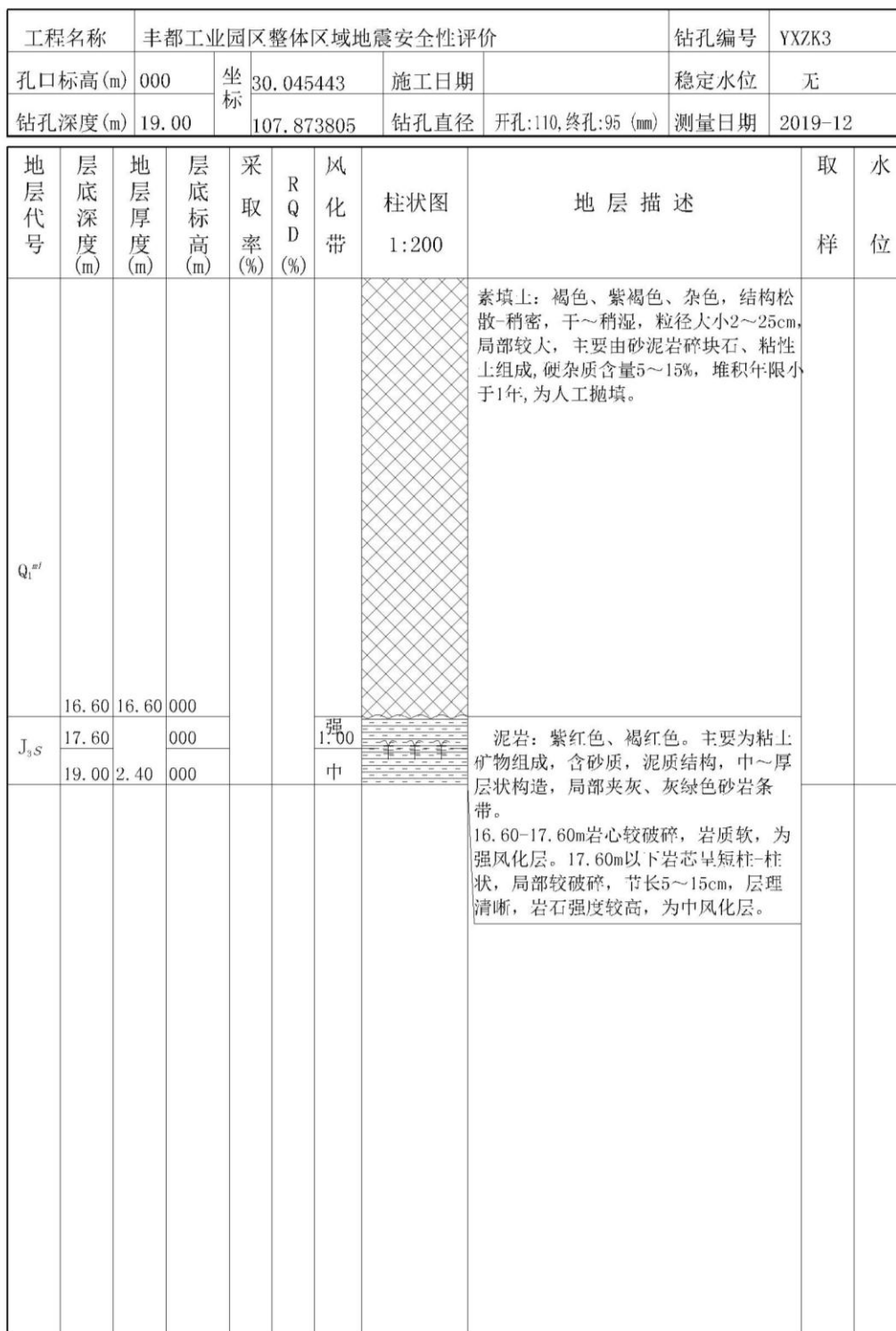


图 5.1-4 YXZK3 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图

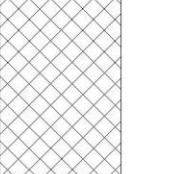
工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号		YXZK4		
孔口标高(m)		000	坐标	30.046432	施工日期		稳定水位		无	
钻孔深度(m)		19.70		107.881660	钻孔直径		开孔:110,终孔:95 (mm)	测量日期		2019-12
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取 样	水 位
Q ₁ ^{nl}	17.20	17.20	000					素填土: 褐色、紫褐色、杂色, 结构松散-稍密, 干~稍湿, 粒径大小2~45cm, 局部较大, 主要由砂泥岩碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成, 硬杂质含量5~21%, 堆积年限大于1年, 为人工抛填。		
	J ₃ S	18.40								
	19.70	2.50	000			中				

图 5.1-5 YXZK4 钻孔柱状图

2、高家地块

场地位于长江右岸, 属构造剥蚀丘陵地貌, 地形起伏较大, 总体呈东高、西低。最低

点位于西侧长江左岸岸坡处，最高点位于场地东侧山坡坡顶。场地现状由于各地块城乡建设，大部分原始地貌已遭受破坏，多呈挖、填方施工区及居民区。地形坡角约 $5\sim 45^\circ$ ，地面高程约 155-255m。场地多处因挖填方施工形式多处人工边坡，边坡高度均较小，最大高度约 7.5m。由于三峡库区蓄水，河漫滩被淹没，长江沿岸不见一级阶地和二级阶地。

高家中小企业创业园 0.8 km^2 ，通过卫星影像分析及现场调查，发现目标区内绝大部分为砂、泥岩出露，仅在长江边有一处回填区。因此在这处回填区布设了 2 个钻孔。工程地质单元分区及钻孔布设如图 5.1-6。



图 5.1-6 丰都工业园区高家地块工程地质单元分区及钻孔布设（摘自 GoogleEarth）

据现场调查和钻探揭露（图 5.1-7、图 5.1-8），场区范围内上覆土层为第四系全新统素填土 (Q_4^{ml}) 和下伏基岩为侏罗系上统遂宁组 (J_3s)，其岩土分层特征由上至下分述：

1、第四系全新统人工堆积素填土 (Q_4^{ml})：褐色、紫褐色、杂色等。物质组分较杂，主要成分由碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成。碎块石岩性主要为砂、泥岩。粘性土呈可塑状。块石粒径一般为 $2\sim 450\text{mm}$ ，局部达 0.8m 。结构松散-稍密。厚度 $0\sim 12.2\text{m}$ (GJZK1)。

2、侏罗系上统遂宁组 (J_3s)：基岩为泥岩、砂岩为主，局部少量的粉砂质泥岩。

泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

砂岩：黄灰色、灰白色；主要由石英、长石及云母等矿物组成，夹少量紫色泥质团块、条纹及薄夹层，细粒结构，钙质胶结，中厚层状构造。

粉砂质泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含砂质较重，局部夹较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

工程地质钻孔柱状图



工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号		GJK1			
孔口标高(m)		坐标	30.026554		施工日期		稳定水位		无		
钻孔深度(m)			107.860476		钻孔直径		开孔:110,终孔:95(mm)		测量日期		2019-12
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD(%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取样	水位	
Q ₄ ^{al}	12.20	12.20	000					素填土：褐色、紫褐色、杂色，结构松散-稍密，干~稍湿，粒径大小2~45cm，局部较大，主要由砂泥岩碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成，硬杂质含量15~45%，堆积年限大于5年，为人工抛填。			
	12.40		000			强中		泥岩：紫红色、褐红色。主要为粘土矿物组成，含砂质，泥质结构，中~厚层状构造，局部夹灰、灰绿色砂岩条带。			
J ₃ S	15.00	2.80	000					12.20-12.40m岩心较破碎，岩质软，为强风化层。12.40m以下岩芯呈短柱-柱状，局部较破碎，节长5~25cm，层理清晰，岩石强度较高，为中风化层。			

图 5.1-7 GJK1 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图

工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号		GJZK2					
孔口标高(m)		000		坐标	30.025272°		施工日期		稳定水位		无		
钻孔深度(m)		14.00			107.859707°		钻孔直径		开孔:110,终孔:95 (mm)		测量日期		2019-12
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述				取样	水位
Q ₄ st	11.8	11.8	000					素填土: 褐色、紫褐色、杂色, 结构松散-稍密, 干~稍湿, 粒径大小2~45cm, 局部较大, 主要由砂泥岩碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成, 硬杂质含量15~45%, 堆积年限大于5年, 为人工抛填。					
J _{3s}	12.20	0.40	000			Q ₂ ^{sl} 中		泥岩: 紫红色、褐红色。主要为粘土矿物组成, 含砂质, 泥质结构, 中~厚层状构造, 局部夹灰、灰绿色砂岩条带。					
	14.00	2.20	000					11.80-12.20m岩心较破碎, 岩质软, 为强风化层。12.20m以下岩芯呈短柱-柱状, 局部较破碎, 节长5~25cm, 层理清晰, 岩石强度较高, 为中风化层。					

图 5.1-8 GJZK2 钻孔柱状图

3、水天坪、月亮坝地块

场地位于长江右岸, 属构造剥蚀丘陵地貌, 总体呈东南高、西北低。最低点位于西北侧长江左岸岸坡处, 最高点位于场地东南侧山坡坡顶。2010年初, 丰都水天坪工业园区建设分地块陆续展开, 大部分原始地貌已遭受破坏, 多呈挖、填方施工区及居民区。地形

坡角约 $5\sim 45^\circ$ ，地面高程约 165–295m。场地多处因挖填方施工形式多处人工边坡，边坡高度不一，最大高度约 30m。由于三峡库区蓄水，河漫滩被淹没，长江沿岸不见一级阶地和二级阶地。

水天坪工业园区 5km^2 ，月亮坝 0.25km^2 。通过卫星影像分析及现场调查，现场调查人员沿着水天坪工业园区的所有路观察，发现绝大部分地区都是直接可以看到砂、泥岩出露，仅零星分布有四处回填区。此外，根据水天坪工业园区管理委员会提供的园区部分地区的勘察资料“丰都水天坪工业园峰峦科技南侧边坡治理工程工程地质勘查报告（一次性勘察）及丰都县水天坪工业园 B07 标准厂房工程地质勘查报告（一次性勘察）”中，也可以发现，总体上都是基岩，只有极个别钻孔有少量覆盖层。考虑到大部分地区都是直接出露砂岩和泥岩，因此在现场调查发现的四处回填区各布设一个钻孔，共布设 4 个钻孔。月亮坝面积较小，只有 0.25km^2 ，因此布设 1 个钻孔。工程地质单元分区及钻孔布设如图 5.1-9。



图 5.1-9 丰都工业园区水天坪、月亮坝地块工程地质单元分区及钻孔布设（摘自 GoogleEarth）

据现场调查及钻探揭露（图 5.1-10 至图 5.1-14），场区范围内上覆土层为第四系全新统素填土 (Q_4^{ml}) 和下伏基岩为侏罗系上统遂宁组 (J_3s)，其岩土分层特征由上至下分述：
 1、第四系全新统人工堆积素填土 (Q_4^{ml})：褐色、紫褐色、杂色等。物质组分较杂，主要成分由碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成。碎块石岩性主要为砂、泥岩。粘性土呈可塑状。块石粒径一般为 $2\sim 600\text{mm}$ ，局部长达 1.2m。结构松散。厚度 $0\sim 20\text{m}$ (YLBZK1)。
 2、侏罗系上统遂宁组 (J_3s)：基岩为泥岩、砂岩为主，局部少量的粉砂质泥岩。

泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

砂岩：黄灰色、灰白色；主要由石英、长石及云母等矿物组成，夹少量紫色泥质团块、条纹及薄夹层，细粒结构，钙质胶结，中厚层状构造。

粉砂质泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含砂质较重，局部夹较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

工程地质钻孔柱状图


工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号	STPZK1			
孔口标高(m)		坐标	29.926644	施工日期		稳定水位	无			
钻孔深度(m)	16.50	坐标	107.796568	钻孔直径	开孔:110,终孔:95 (mm)	测量日期	2019-12			
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取样	水位
Q ₄ ^{nl}	14.40	14.40	000					素填土：褐色、紫褐色、杂色，结构松散-稍密，干~稍湿，粒径大小2~35cm，局部较大，主要由砂泥岩碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成，硬杂质含量10~30%，堆积年限大于1年，为人工抛填。		
	J ₃ s	15.00		000						
	16.50	2.10	000			中				

图 5.1-10 STPZK1 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图




工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号	STPZK2			
孔口标高(m)		坐标	29.926767	施工日期		稳定水位	无			
钻孔深度(m)	14.00		107.778494	钻孔直径	开孔:110,终孔:95 (mm)	测量日期	2019-12			
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取样	水位
Q ₄ ^{pl}	10.60	10.60	000					素填土: 褐色、紫褐色、杂色, 结构松散-稍密, 干~稍湿, 粒径大小2~35cm, 局部可达1.2m, 主要由砂泥岩碎块石、粘性土及少量建筑垃圾组成, 硬杂质含量10~33%, 堆积年限大于2年, 为人工抛填。		
	12.10		000			强 1.50		泥岩: 紫红色、褐红色。主要为粘土矿物组成, 含砂质, 泥质结构, 中~厚层状构造, 局部夹灰、灰绿色砂岩条带。		
J ₃ S	14.00	3.40	000			中		10.60-12.10m岩心较破碎, 岩质软, 为强风化层。12.10m以下岩芯呈短柱-柱状, 局部较破碎, 节长3~18cm, 层理清晰, 岩石强度较高, 为中风化层。		

图 5.1-11 STPZK2 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图

工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号	STPZK3			
孔口标高(m)		坐标	29.915690	施工日期		稳定水位	无			
钻孔深度(m)	10.20		107.774367	钻孔直径	开孔:110,终孔:95 (mm)	测量日期	2019-12			
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取样	水位
Q ₄ ^{el}	7.60	7.60	000					素填土: 褐色、紫褐色、杂色, 结构松散~稍密, 干~稍湿, 粒径大小2~20cm, 局部较大, 主要由砂泥岩碎块石、粘性土组成, 硬杂质含量10~18%, 堆积年限大于1年, 为人工抛填。		
J _{3s}	8.80		000			强 1.20 中		泥岩: 紫红色、褐红色。主要为粘土矿物组成, 含砂质, 泥质结构, 中~厚层状构造, 局部夹灰、灰绿色砂岩条带。		
	10.20	2.60	000					7.60-8.80m岩心较破碎, 岩质软, 为强风化层。8.80m以下岩芯呈短柱-柱状, 局部较破碎, 节长3~20cm, 层理清晰, 岩石强度较高, 为中风化层。		

图 5.1-12 STPZK3 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图


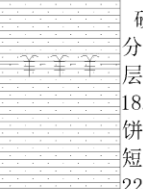

工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号	STPZK4			
孔口标高(m)		坐标	29.911865	施工日期		稳定水位	无			
钻孔深度(m)	24.90	坐标(m)	107.784853	钻孔直径	开孔:110,终孔:95 (mm)	测量日期	2019-12			
地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取 样	水 位
Q ₄ ^{pl}	18.50	18.50	000					素填土：褐色、紫褐色、杂色，结构松散-稍密，干~稍湿，粒径大小2~18cm，局部较大，主要由砂泥岩碎块石、粘性土组成，硬杂质含量5~15%，堆积年限小于1年，为人工抛填。		
	20.80		000			强 2.30		砂岩：黄灰色、灰白色，主要矿物成分为长石、石英，中细粒结构，中、厚层状构造，钙质胶结。 18.50-20.80m岩心较破碎，岩质软，呈饼状，为强风化层。20.80m以下岩芯呈短柱-柱状，局部较破碎，节长3~22cm，层理清晰，岩石强度较高，为中风化层。		
J ₃ S	24.90	6.40	000			中				

图 5.1-13 STPZK4 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图

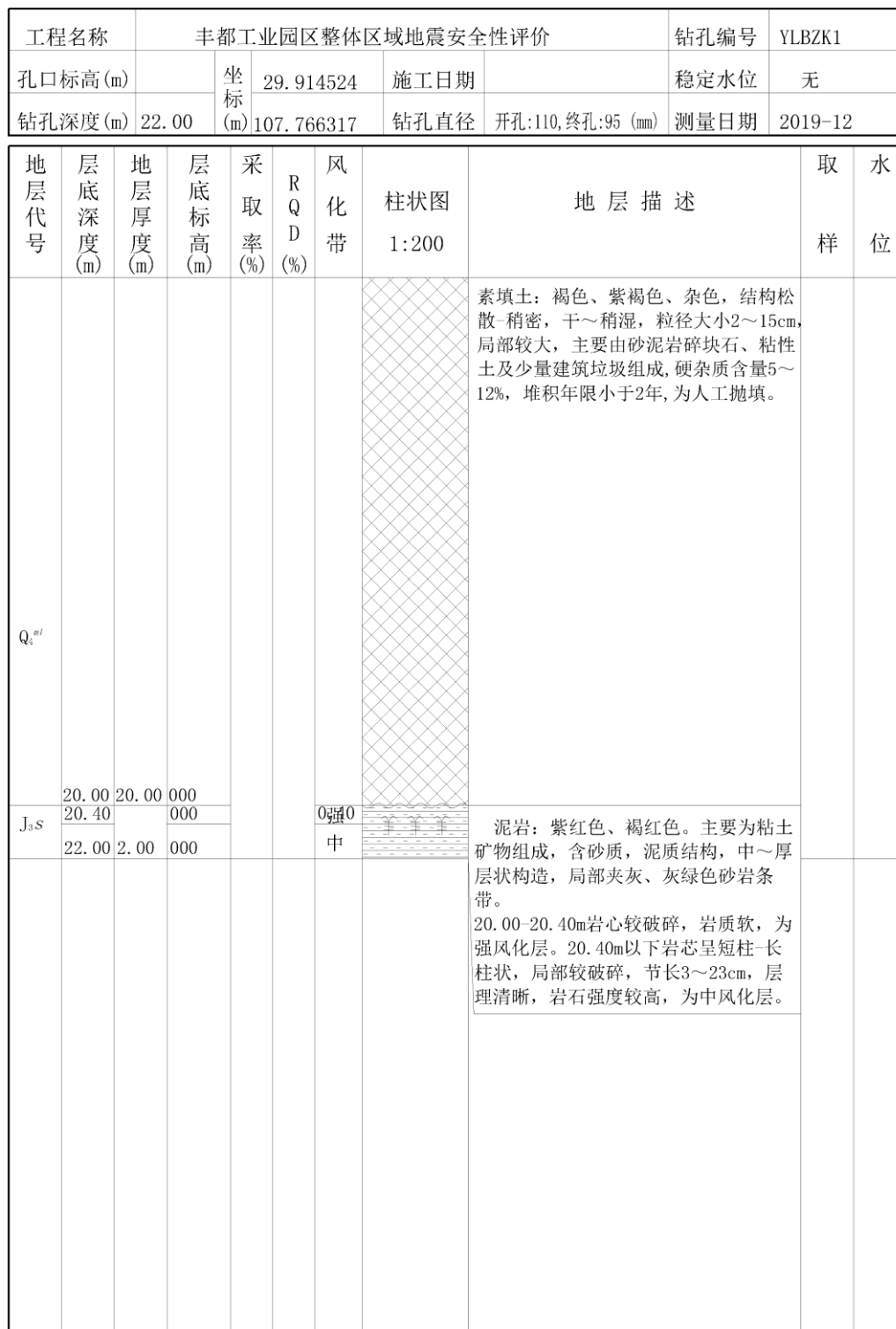


图 5.1-14 YLBZK1 钻孔柱状图

4、镇江地块

场地为残留的长江Ⅱ级阶地，阶地面剥蚀不完整，为长江左岸。场地现状由于城乡建设，原始地貌已部分遭受破坏，部分为填方区，第四系覆盖层厚度较大。场地总体呈西北高、东南低，地形整体较平缓，坡角约 $5\sim 20^\circ$ ，局部建筑间小陡坎，地面高程 $165\sim 230\text{m}$ 。场地主要为低山剥蚀区和回填区。

镇江工业园 1.3 km^2 ，通过卫星影像分析及现场调查，在镇江工业园远离长江的一侧，为原始地貌，砂泥岩直接出露地表，在靠长江的一侧有覆盖层，因此在回填区布设2个钻孔，工程地质单元分区及钻孔布设如图5.1-15。



图 5.1-15 丰都工业园区镇江地块工程地质单元分区及钻孔布设（截自 GoogleEarth）

据现场调查及钻探揭露（图 5.1-16、图 5.1-17），场区范围内上覆土层为第四系全新统素填土（ Q_4^{ml} ）、淤泥（ Q_4^{el+dl} ）、统冲洪积层（ Q_4^{al+pl} ）和下伏基岩为侏罗系上统遂宁组（ J_3s ），其岩土分层特征由上至下分述：

第四系全新统（ Q_4 ）：

1、第四系全新统人工堆积素填土（ Q_4^{ml} ）：褐色、紫褐色、杂色等。物质组分较杂，主要成分由碎块石、粘性土、卵石及少量建筑垃圾组成。碎块石岩性主要为砂、泥岩。粘性土呈可塑状。块石粒径一般为 $2\sim 650\text{mm}$ 。结构松散。厚度 $0\sim 14.5\text{m}$ （ZJZK1）。

2、淤泥质土（ Q_4^{el+dl} ）：褐黄色、褐色。呈软状，表层含有少量植物根系，主要由粘粒组成，含粉砂，局部部位含少量的粒径较小质软的砂岩块石。主要分布于场地西北侧山坡原始地貌处。厚度 $0\sim 3\text{m}$ （ZJZK1）。

3、侏罗系上统遂宁组（ J_3s ）：基岩为泥岩、砂岩为主，局部少量的粉砂质泥岩。

泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

砂岩：黄灰色、灰白色；主要由石英、长石及云母等矿物组成，夹少量紫色泥质团块、条纹及薄夹层，细粒结构，钙质胶结，中厚层状构造。

粉砂质泥岩：紫红色、褐红色，主要成份为粘土矿物，含砂质较重，局部夹较多灰色砂质条纹、团块及薄夹层，泥质结构，泥质胶结，中厚层状构造。

工程地质钻孔柱状图

工程名称		丰都工业园区整体区域地震安全性评价				钻孔编号	ZJK1	
孔口标高(m)	000	坐标	29.927481	施工日期		稳定水位	无	
钻孔深度(m)	14.50		107.748907	钻孔直径	开孔:110,终孔:95 (mm)		测量日期	2019-12



地层代号	层底深度(m)	地层厚度(m)	层底标高(m)	采取率(%)	RQD (%)	风化带	柱状图 1:200	地层描述	取样	水位
Q ₄ ^{sl}	10.00	10.00	000					素填土:褐色、紫褐色、杂色,结构松散-稍密,干~稍湿,粒径大小2~15cm,局部较大,主要由砂泥岩碎块石、粘性土组成,硬杂质含量5~15%,为人工抛填。		
Q ₄ ^{sl+dl}	13.00	3.00	000					淤泥质土:褐色。含有植物根系,呈软状,含少量砂岩,角砾,韧性低。		
J ₃ S	14.20 14.50	1.50	000 000			强 中		泥岩:紫红色、褐红色。主要为粘土矿物组成,含砂质,泥质结构,中~厚层状构造,局部夹灰、灰绿色砂岩条带。 13.00-14.20m岩心较破碎,岩质软,为强风化层。14.20m以下岩芯呈短柱-柱状,局部较破碎,节长5~22cm,层理清晰,岩石强度较高,为中风化层。		

图 5.1-16 ZJK1 钻孔柱状图

工程地质钻孔柱状图

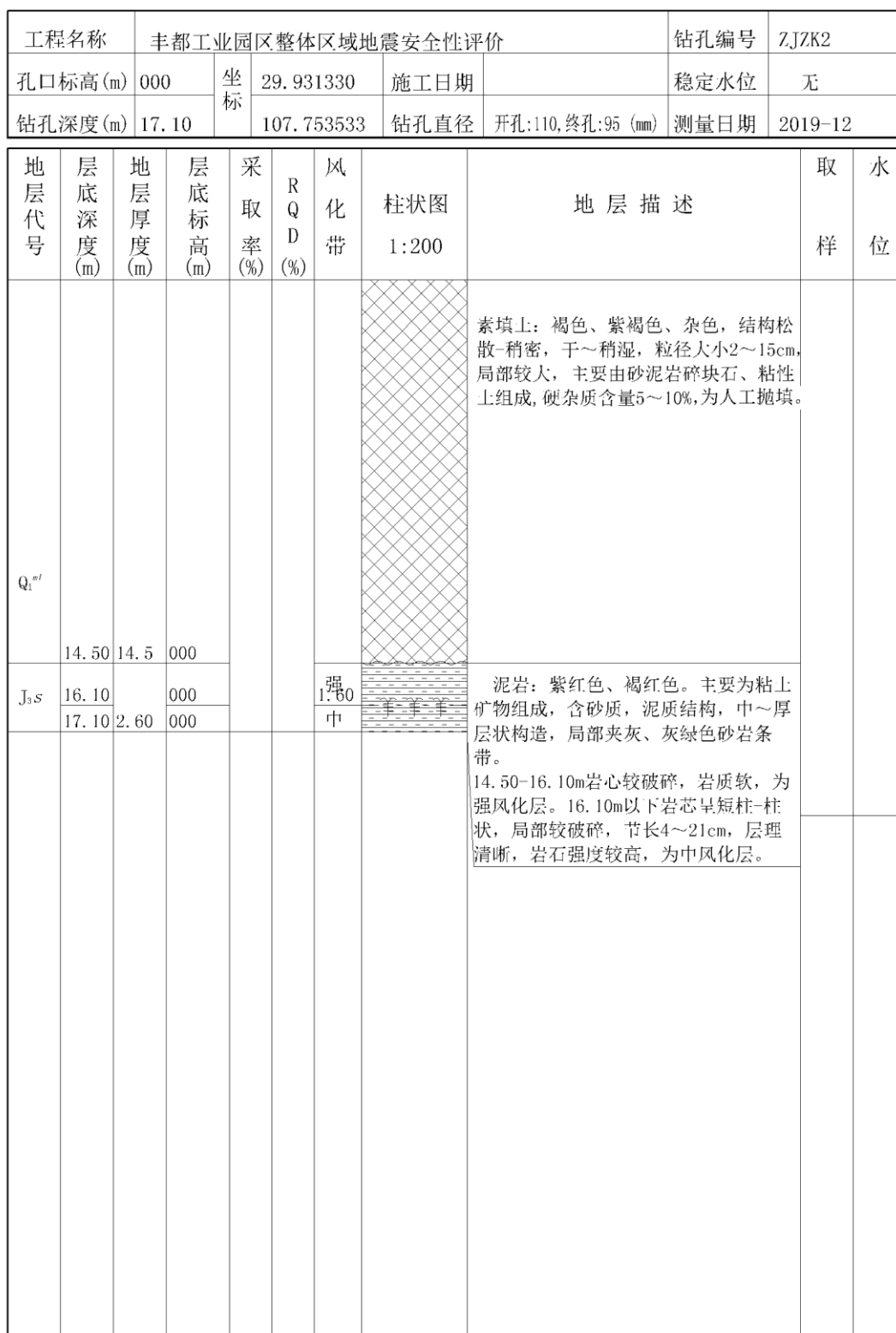


图 5.1-17 ZJK2 钻孔柱状图

5.2 场地类别划分

根据《建筑抗震设计规范》中的场地分类规定表 5.2-1, 并依据波速测试成果(图 5.2-1 至图 5.2-12), 计算得到了 13 个钻孔的场地地表下 20m 深度内土层的等效剪切波速值, 并确定了相应的场地类别。场地分类见附图 III。

等效剪切波速(V_{se}) 的计算:

土层的等效剪切波速计算如下:

$$V_{se} = d_o / t; \quad t = \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si})$$

式中: V_{se} —土层等效剪切波速(m/s);

d_o —计算深度(m), 取覆盖层厚度和 20m 二者的较小值;

t —剪切波速在地面至计算深度之间的传播时间;

d_i —计算深度范围内第 i 土层的厚度(m)。

按照上述方法计算得到钻孔地面下 20m 内土层的等效剪切波速, 其结果表 5.2-2:

表 5.2-1 各类建筑场地的覆盖层厚度(m)

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速	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 5.2-2 钻孔地表以下 20m 以内等效剪切波速值及场地类别

序号	钻孔编号	地下 20m 内土层等效波速(m/s)	覆盖土层厚度(m)	场地类别
1	YXZK1	143.5	10.3	II
2	YXZK2	138.0	5.7	II
3	YXZK3	141.9	16.6	III
4	YXZK4	145.8	17.2	III
5	GJZK1	146.6	12.2	II
6	GJZK2	140.7	11.8	II
7	STPZK1	128.6	14.4	II
8	STPZK2	125.4	10.6	II
9	STPZK3	121.1	7.6	II
10	STPZK4	126.4	18.5	III
11	YLBZK1	130.1	20	III

12	ZJZK1	136.8	13	II
13	ZJZK2	138.0	14.5	II

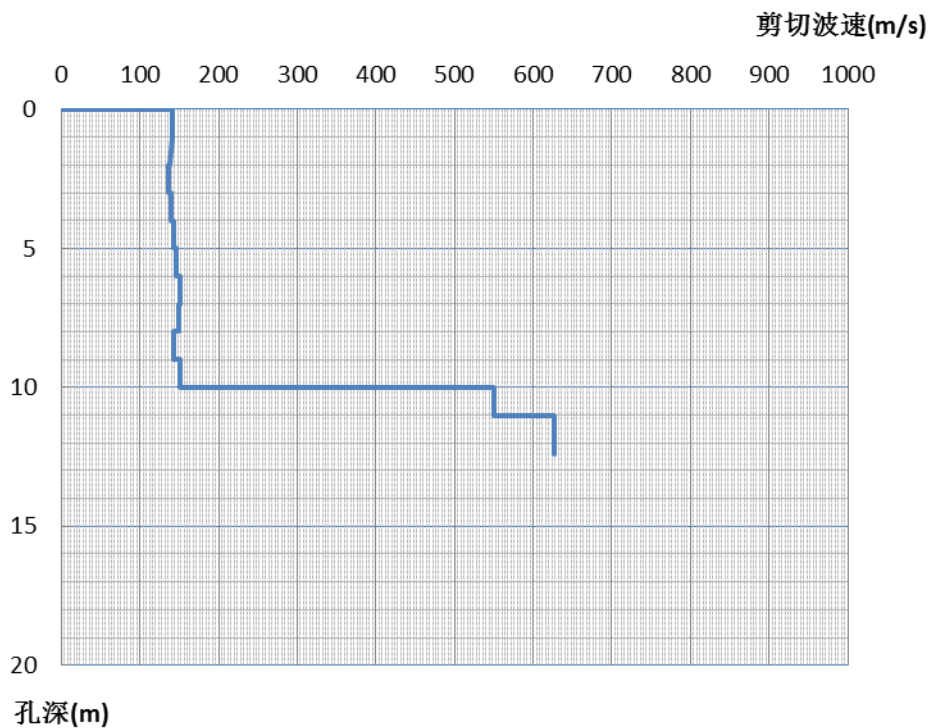


图 5.2-1 YXZK1 剪切波速直方图

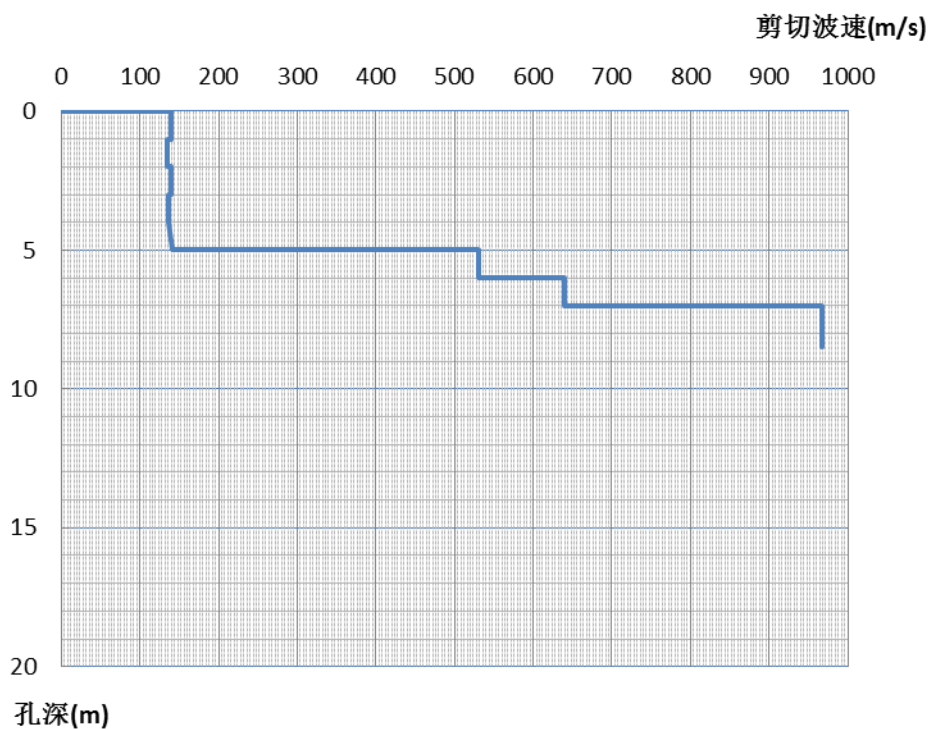


图 5.2-2 YXZK2 剪切波速直方图

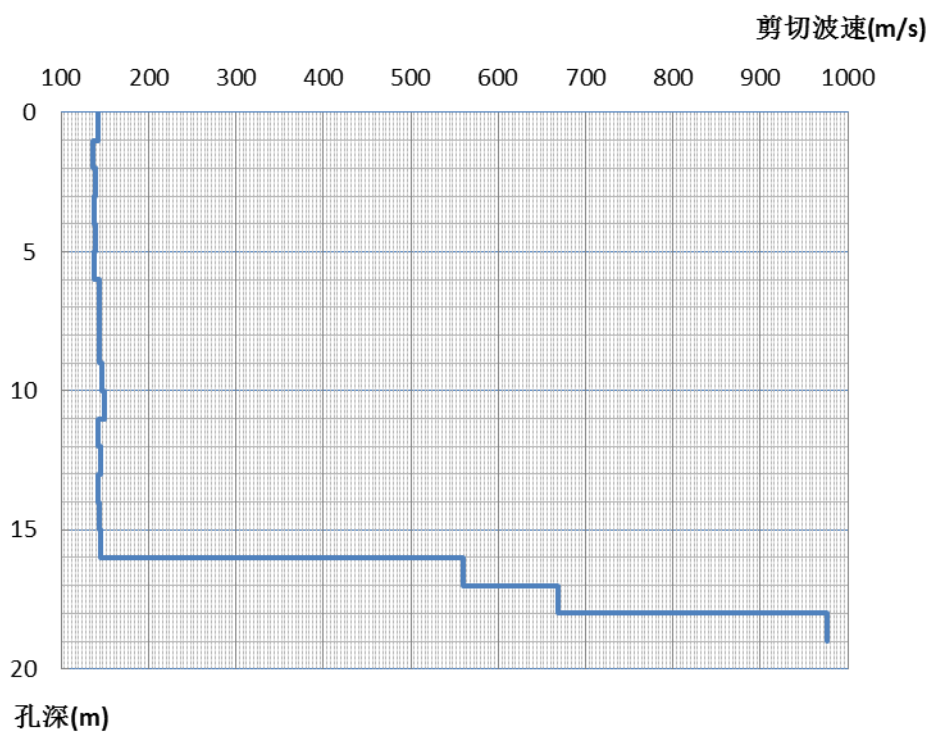


图 5.2-3 YXZK3 剪切波速直方图

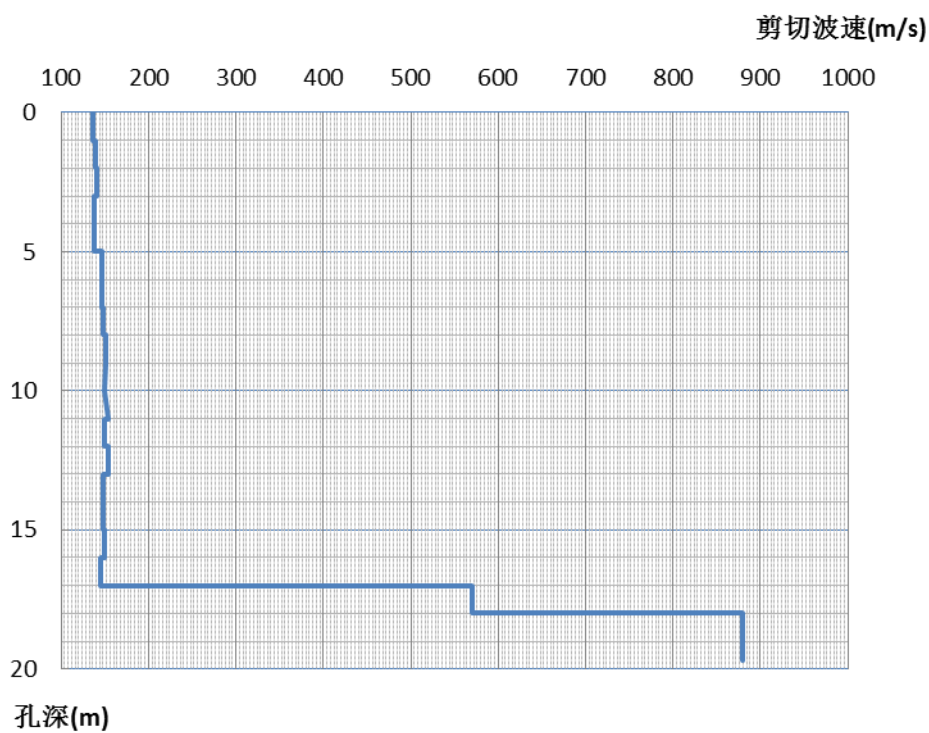


图 5.2-4 YXZK4 剪切波速直方图

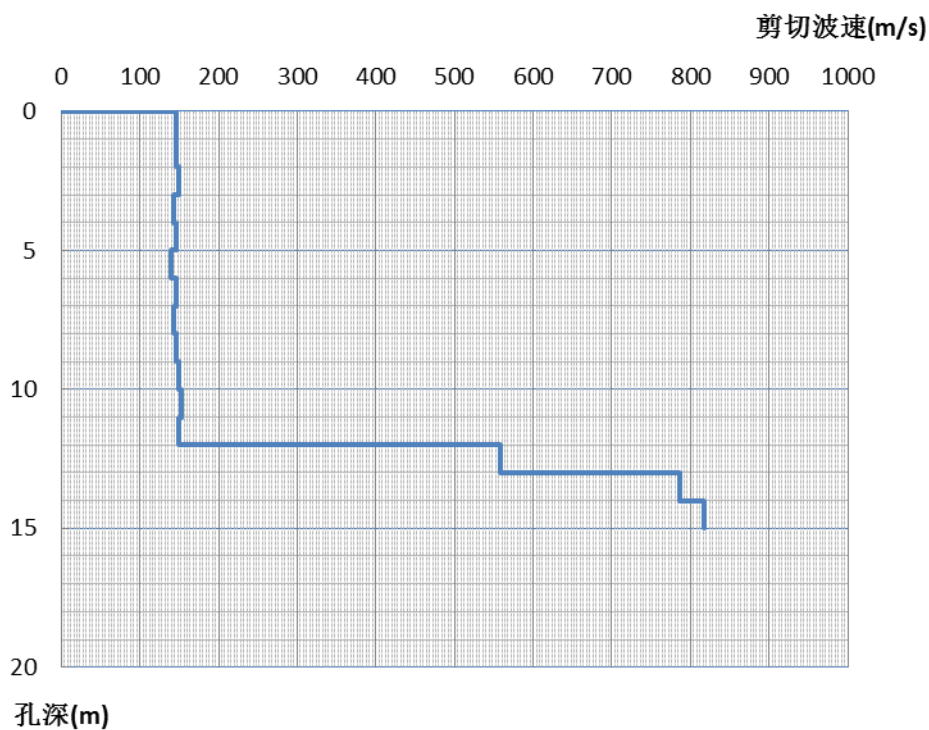


图 5.2-5 GJZK1 剪切波速直方图

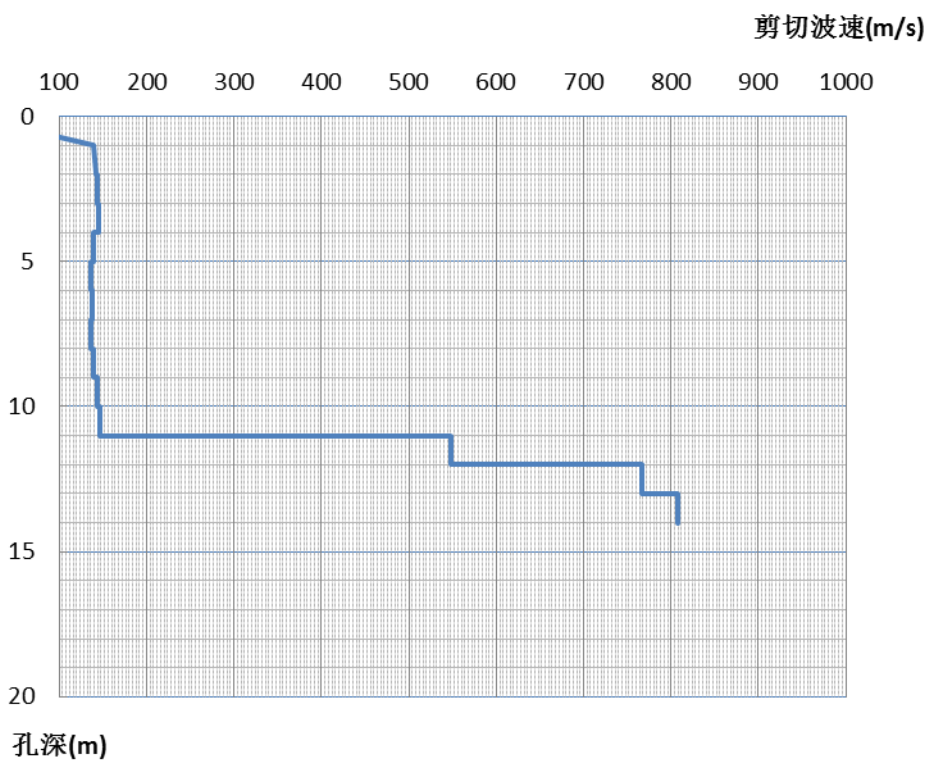


图 5.2-6 GJZK2 剪切波速直方图

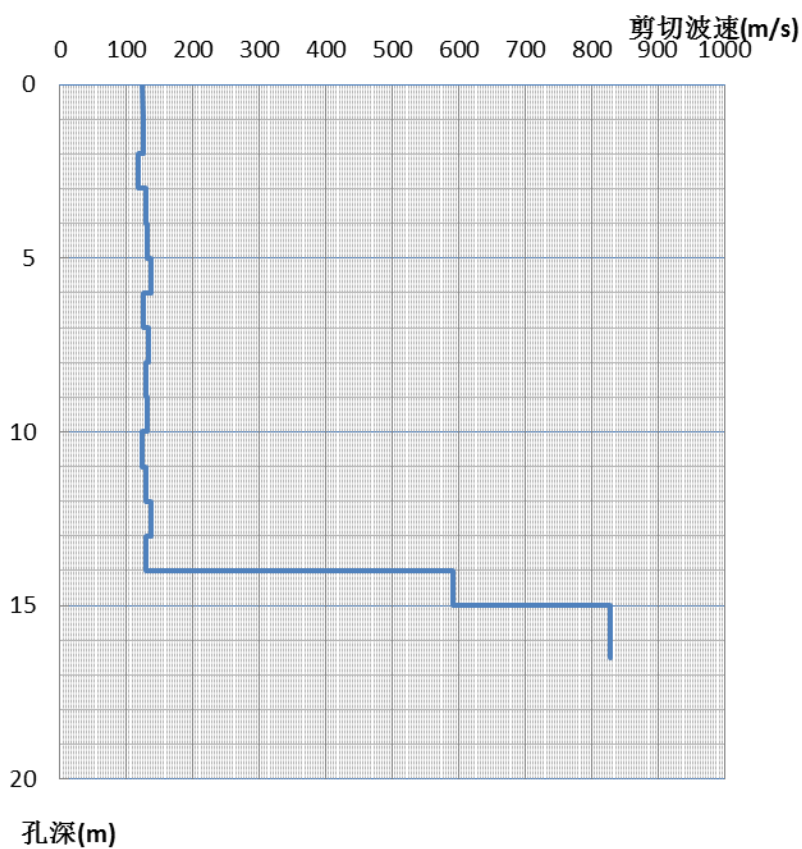


图 5.2-7 STPZK1 剪切波速直方图

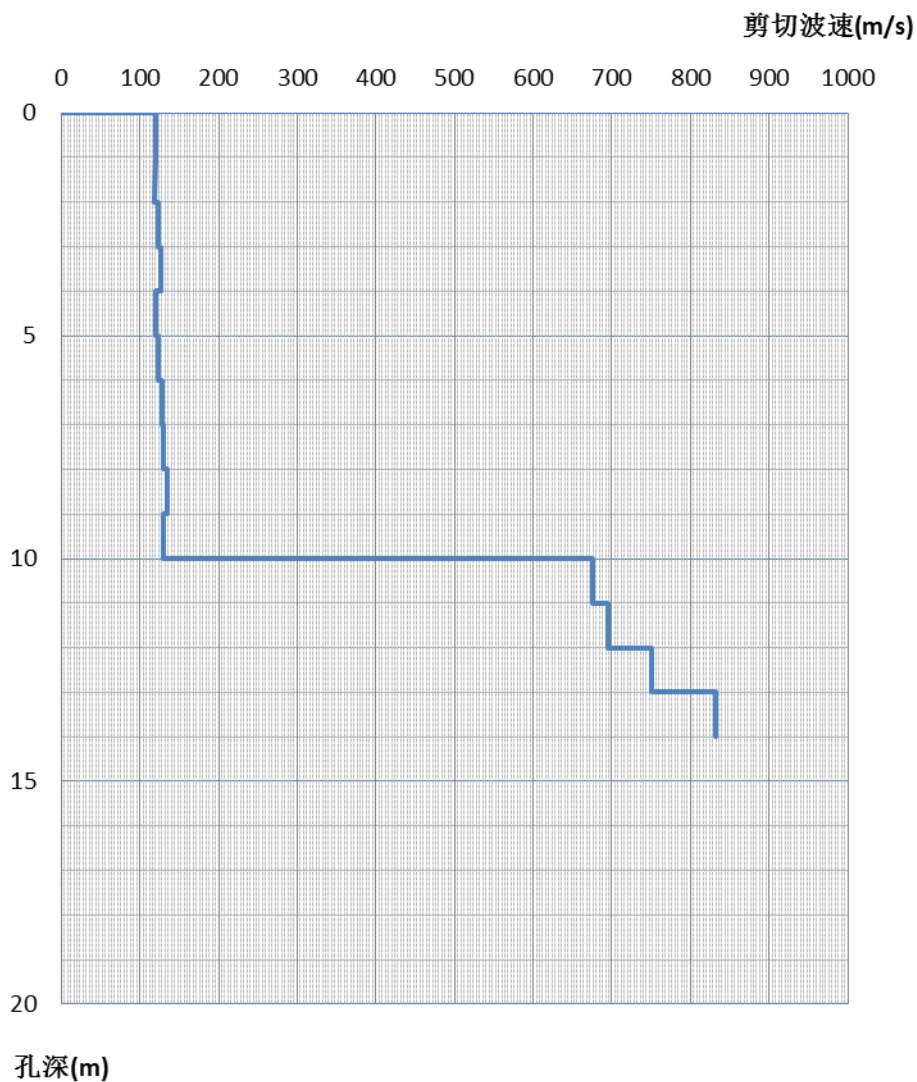


图 5.2-8 STPZK2 剪切波速直方图

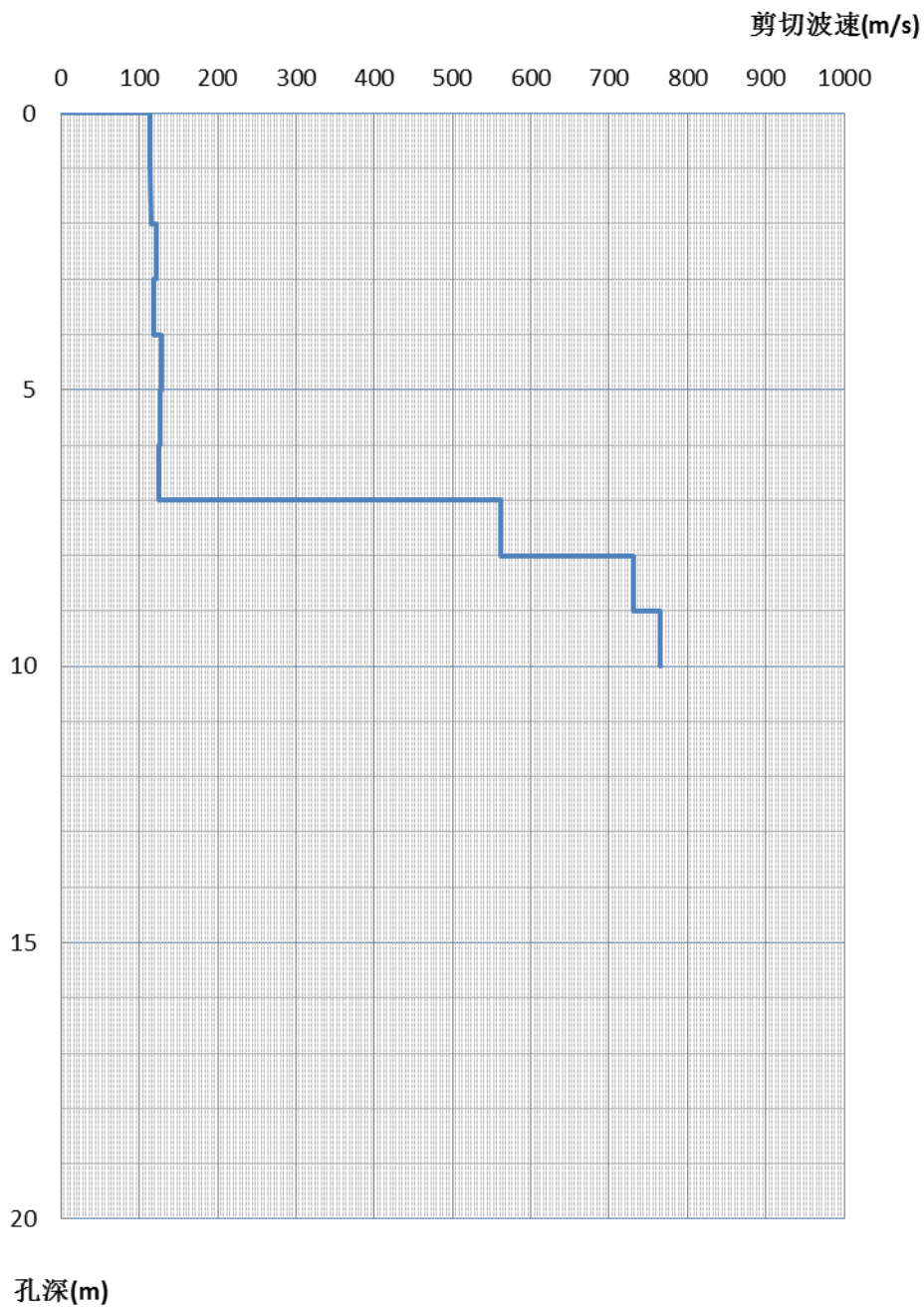


图 5.2-9 STPZK3 剪切波速直方图

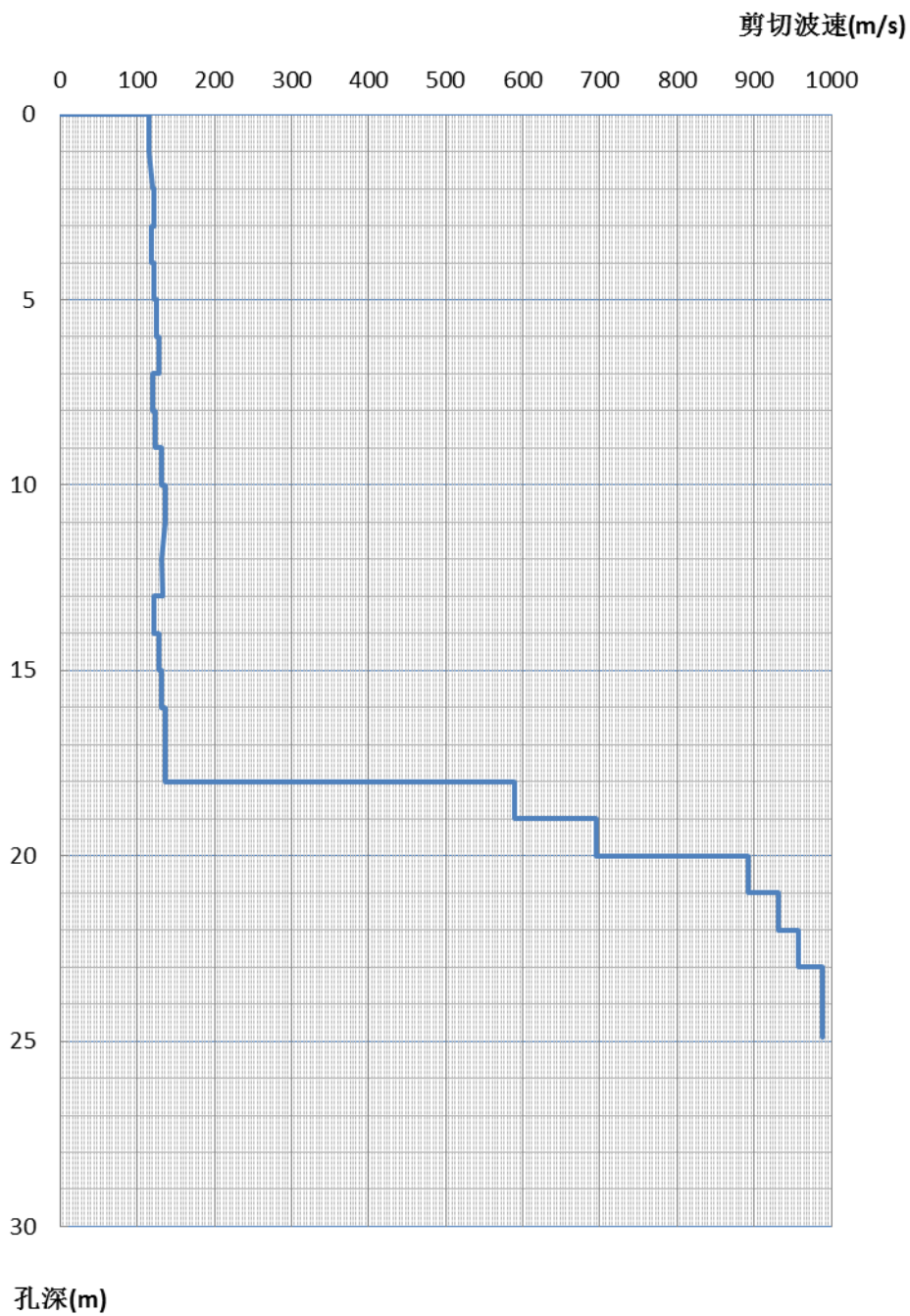


图 5.2-10 STPZK4 剪切波速直方图

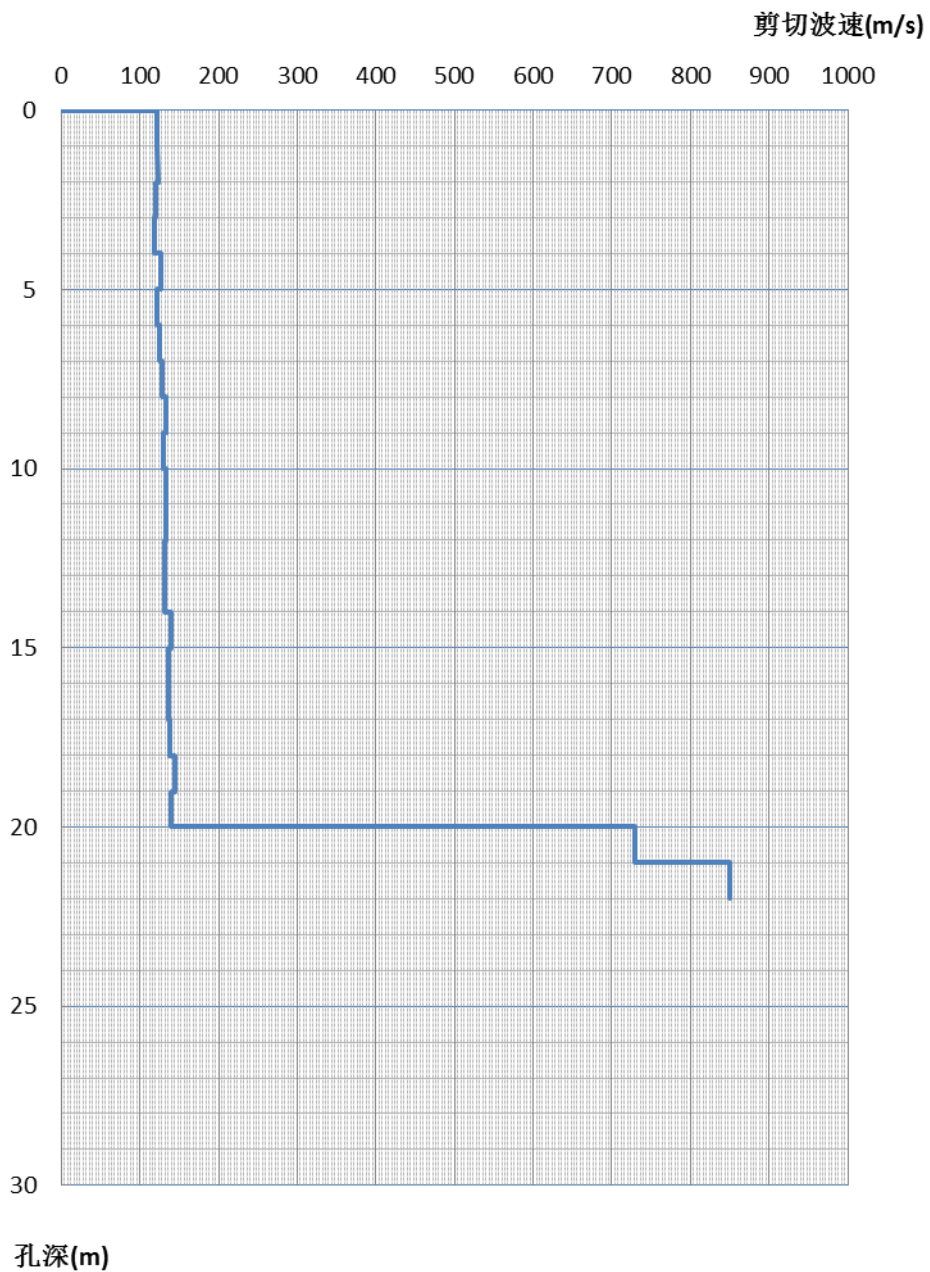


图 5.2-11 YLBZK1 剪切波速直方图

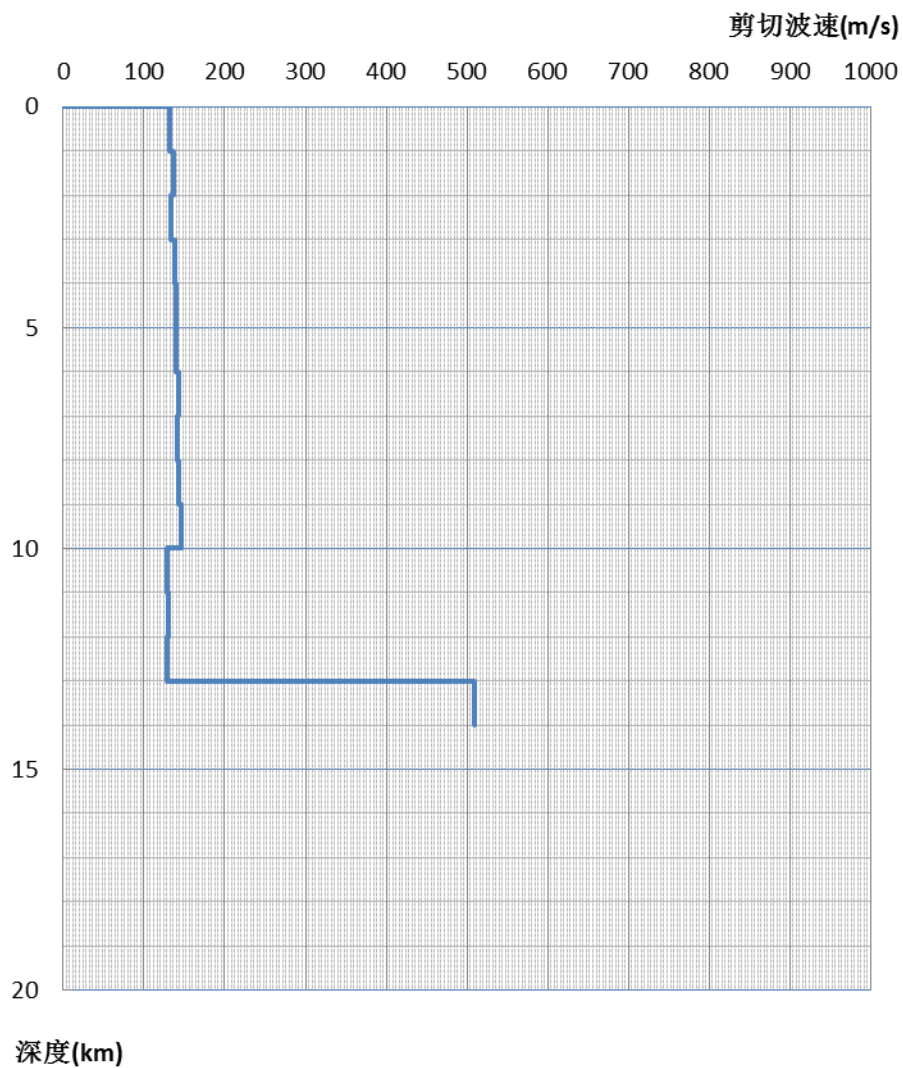
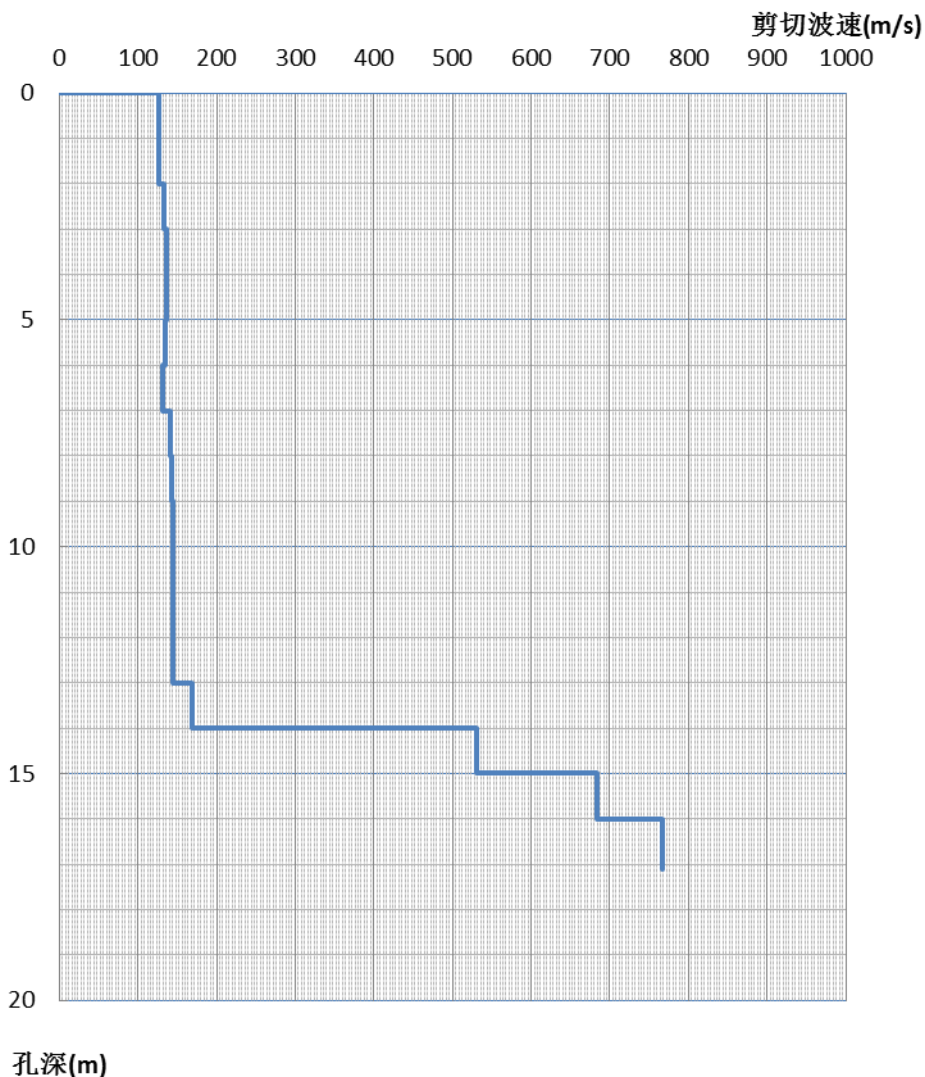


图 5.2-12 ZJK1 剪切波速直方图



、图 5.2-13 ZJK2 剪切波速直方图

5.3 软土震陷评估

根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001, 2009 年版) 第 5.7.11 款之相关规定: 当抗震设防烈度为 7、8、9 度时才需要考虑, 由于本项目目标区抗震设防烈度为 VI 度, 因此不需要考虑软土震陷问题。

表 5.5-1 等效剪切波速特征值

抗震设防烈度	7	8	9
等效剪切波速 V_{se} (m/s)	>90	>140	>200

5.4 砂土液化评估

根据场地钻探结果, 目标区内没有砂土和粉土, 不存在砂土液化的基础。

5.5 活动断层错动地表破裂影响分析

近场区地震构造研究表明，断裂多为早、中更新世断裂。目标区内未发现有断层通过，岩层产状平缓，所以场地没有因地震断层作用而导致的地表错动、地面变形等地震地质灾害的可能性。

5.6 滑坡、崩塌

经现场地质调查，场地及附近未见滑坡、崩塌等地质灾害，无因历史地震造成的滑坡、崩塌现象，场地现状整体稳定。

第六章 场地设计地震动参数确定

影响地震动的主要因素包括：震源机制、地震波传播路径和场地条件。前面在区域地震地质构造、地震活动性及区域基岩地震动峰值加速度和反应谱衰减关系研究的基础上，给出了基岩地震动峰值加速度与反应谱值，这一结果已包含了震级和地震波传播路径对场地地震动的影响，前一章也给出了场地工程地质条件的有关数据。本章将在此基础上进一步考虑局部场地条件的影响，以便为工程建筑物和构筑物提供合理的抗震设计依据。

6.1 场地基岩地震波的合成

按照国内外通行的做法，工程场地不同超越概率水平下的设计地震动时程，是通过人工数值模拟的方法得到的。

用人工数值模拟方法合成地震动时程时，除需要知道场地地震反应谱外，还需要知道强度包络函数。强度包络函数通常采用如下形式：

$$f(t) = \begin{cases} (t/t_1)^2 & 0 \leq t < t_1 \\ 1 & t_1 \leq t < t_2 \\ e^{-c(t-t_2)} & t_2 \leq t \end{cases} \quad (6.1-1)$$

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 5.1-1)

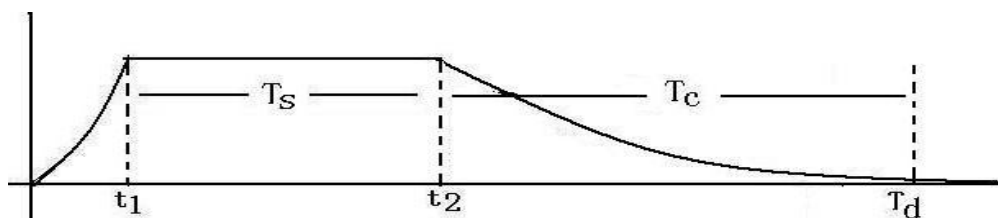


图 5.1-1 强度包络函数曲线示意图

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：

$$\text{Log}_{10}t_1 = -1.074 + 1.005\text{Log}_{10}(R + 10) + \varepsilon \quad (6.1-2)$$

$$\text{Log}_{10}T_s = -2.268 + 0.3262M + 0.5815\text{Log}_{10}(R + 10) + \varepsilon \quad (6.1-3)$$

$$\text{Log}_{10}c = 1.941 - 0.2817M - 0.567\text{Log}_{10}(R + 10) + \varepsilon \quad (6.1-4)$$

至于 t_2 ，则可由

$$t_2 = t_1 + T_s \quad (6.1-5)$$

获得；假若认为 $f(t_2 + T_c) = k$ 时，地震动终止，则

$$T_c = -\ln k / c \quad (6.1-6)$$

k 取 0.2，那么总持续时间：

$$T_d = t_1 + T_s + T_c \quad (6.1-7)$$

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小，由此得到强度包络函数 $f(t)$ 的参数（表 6.1-1）。

表 6.1-1 加速度时程强度包络函数

超越概	地震动包络函数参数		
	$t_1(s)$	$t_2(s)$	c
50 年 63%	3	8.5	0.14
50 年 10%	2.8	8.8	0.13
50 年 2%	2.4	9.2	0.10
100 年 60%	2.8	8.5	0.14
100 年 40%	2.7	8.6	0.13
100 年 10%	2.5	9.0	0.12
100 年 5%	2.4	9.1	0.11
100 年 4%	2.4	9.2	0.10
100 年 3%	2.4	9.3	0.10
100 年 2%	2.2	9.5	0.09
100 年 1%	2.1	9.7	0.08

为使寻求的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：

$$a(t) = f(t) \sum_{k=0}^{N-1} A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (6.1-8)$$

式中： $f(t)$ 为强度包络函数，形如式 (6.1-1)， 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 (6.1-10) 构造一个平稳高斯过程：

$$X(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (6.1-9)$$

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：

$$A_k = [4 \cdot S(\omega_k) \cdot \Delta\omega]^{\frac{1}{2}} \quad (6.1-10)$$

$$\begin{cases} \Delta\omega = 2\pi/T \\ \omega_k = 2\pi k/T \end{cases}$$

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：

$$S(\omega) = \frac{\xi}{\pi\omega} \cdot [S_a^T(\omega)]^2 \cdot \frac{1}{\ln\left[\frac{-\pi}{\omega T} \ln(1-P)\right]^{-1}} \quad (6.1-11)$$

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（6.1-9）改写成富氏变换形式：

$$X(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{i\omega_k t} \quad (6.1-12)$$

式中， A_k 为 $X(t)$ 的富氏谱，由式（6.1-10）得

$$A(\omega_k) = FS(\omega_k) e^{i\phi_k} \quad (6.1-13)$$

式中， $FS(k)$ 为富氏幅值谱， ϕ_k 为相位谱。按下式取值

$$FS(\omega_k) = \begin{cases} [4S(\omega_k)\Delta\omega]^{\frac{1}{2}} & k=0, N/2 \\ [S(\omega_k)\Delta\omega]^{\frac{1}{2}} & k=1, \dots, N/2+1 \end{cases} \quad (6.1-14)$$

$$A(\phi_k) = A^*(\phi_{n-k}) \quad k=N/2+1 \dots N-1$$

$A^*(\phi_{n-k})$ 为 $A(\phi_k)$ 的共轭谱，对式（6.1-13）进行富氏逆变换即可得式（6.1-9）所示的平稳高斯过程，将式（6.1-1）与式（6.1-9）相乘，即得到式（6.1-8）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：

$$X(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad (6.1-15)$$

式中： ϕ_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（6.1-15）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（6.1-11）表示的反应谱与功率谱的关系是近似的，式（6.1-14）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《工程场地地震安全性评价工作规范（GB17741—1999）》的要求，我们把给定的目标反应谱用对数等间距插值的方法加密到 78 个周期控制点，在这 78 个周期控制点上计算的加速度反应谱称为计算谱 $S_a(j)$ ，将其与目标反应谱 $S_a^T(j)$ 进行比较，这里定义一个误差函数：

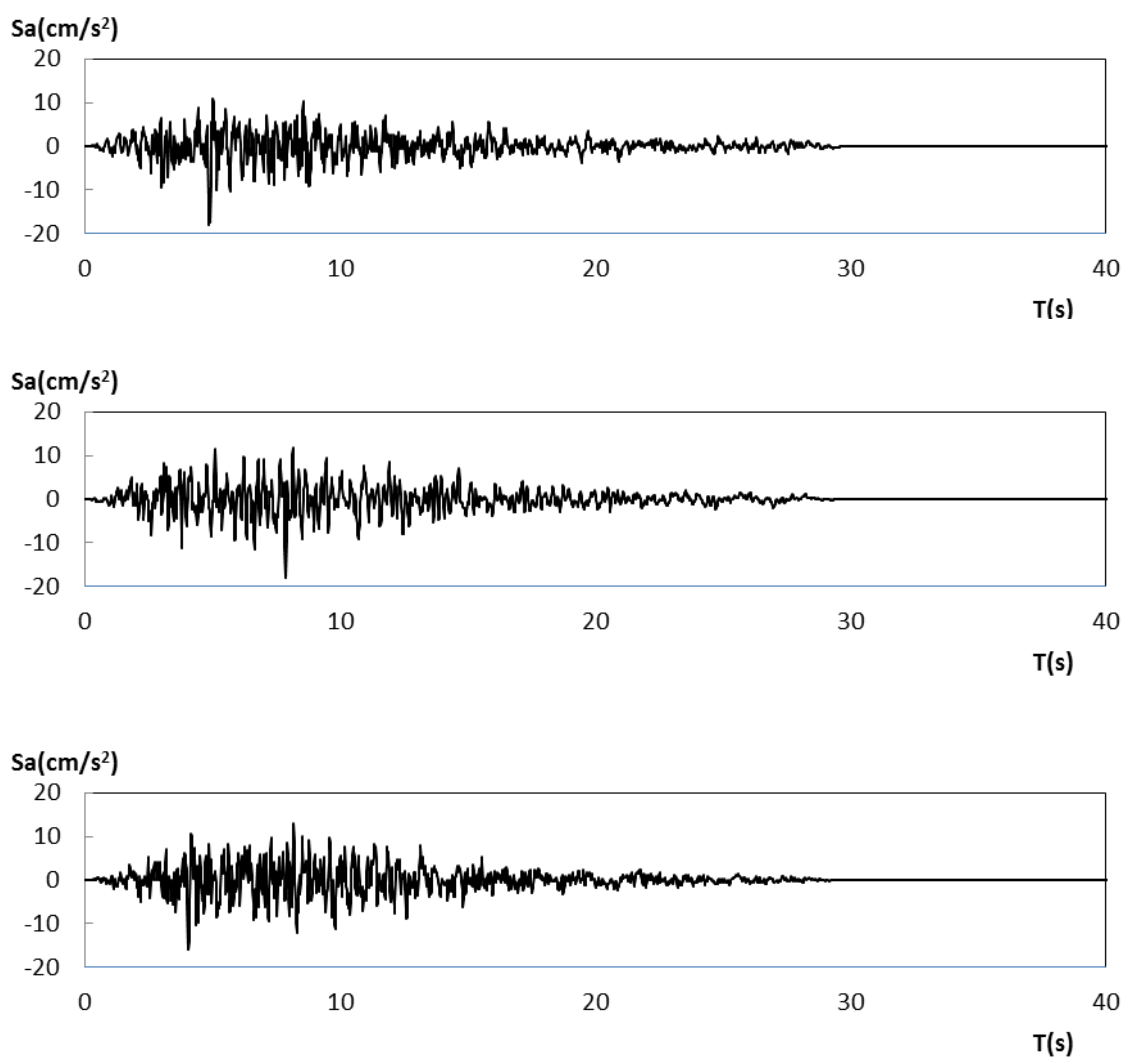
$$E(\omega_j) = \left| \frac{S_a(\omega_j) - S_a^T(\omega_j)}{S_a^T(\omega_j)} \right| \times 100\% \quad (6.1-16)$$

设 ϵ 为给定的精度要求，取 $\epsilon = 5\%$ ，当 $E(j) > \epsilon$ 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 $E(j) < \epsilon$ 为止。这样得到的加速度时程，即满足强度包络函数的形状，又满足目标谱的要求。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：

$$\epsilon = \left| \frac{\sum_j a_{1j} \cdot a_{2j}}{\sqrt{\sum_j a_{1j}^2} \cdot \sqrt{\sum_j a_{2j}^2}} \right| \quad (6.1-17)$$

定义的相关系数，计算各个超越概率水平下 5 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 0.1，说明各个超越概率水平下的水平加速度时程在统计上是互不相关的。

我们利用计算机自动产生的不同随机相位谱，按 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 十一个概率水准合成基岩加速度时程，其中每一个概率水准合成五条时程，分别对应于五个不同的随机相位，时程采样步长为 0.02 秒，目标谱与合成时程的反应谱（计算谱）之间的相对误差均小于 5%。所拟合的基岩地震加速度时程见图 6.1-2，基岩地震加速度时程图从上至下依次为 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%（篇幅所限，仅给出玉溪工业园区的结果）。



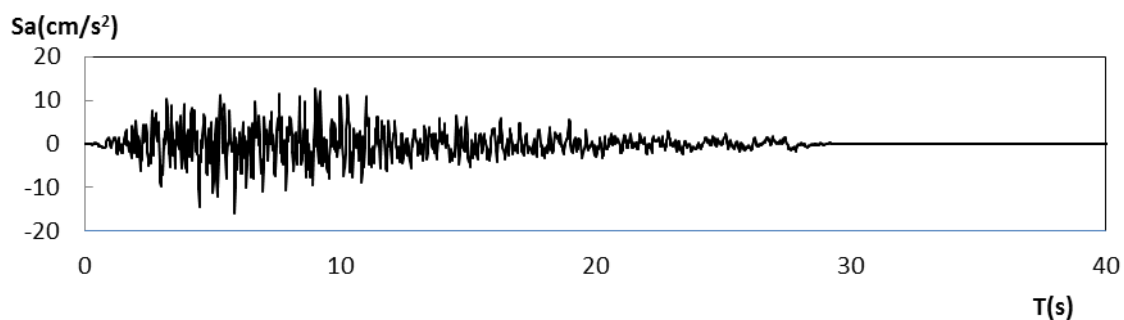
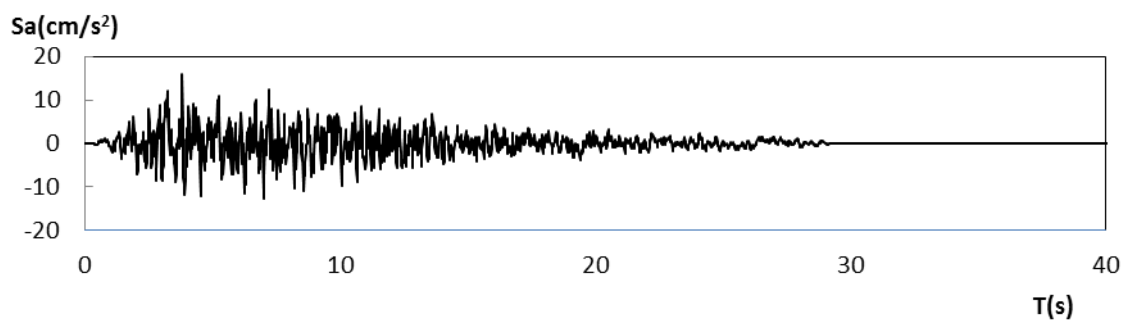
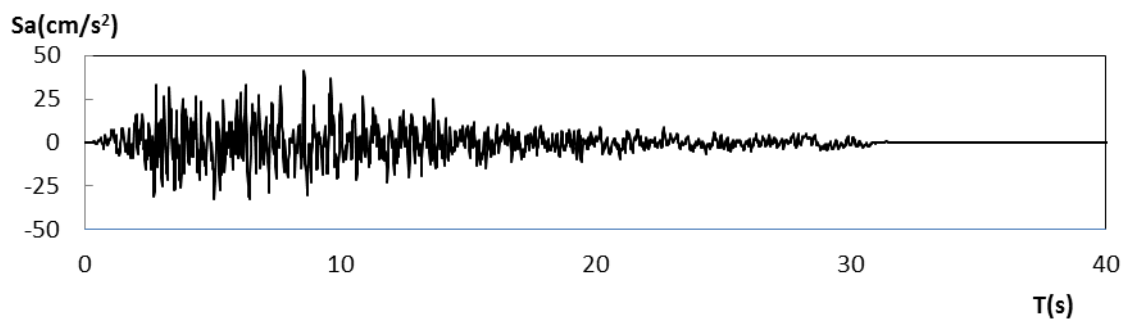
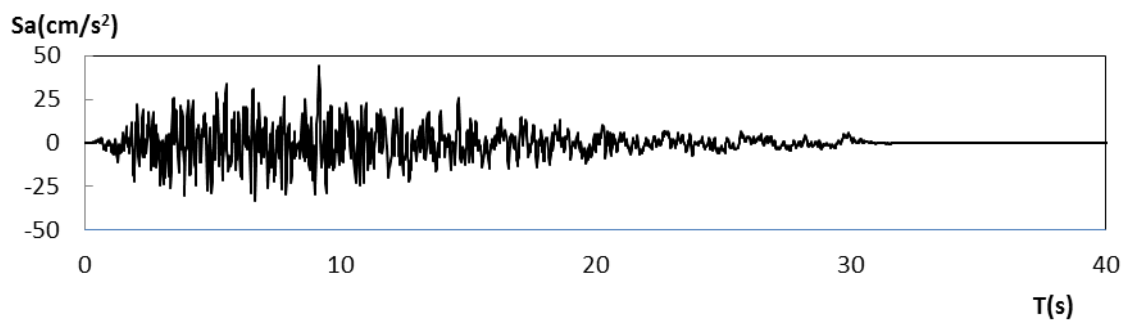


图 6.2-2a 50 年超越概率 63%基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



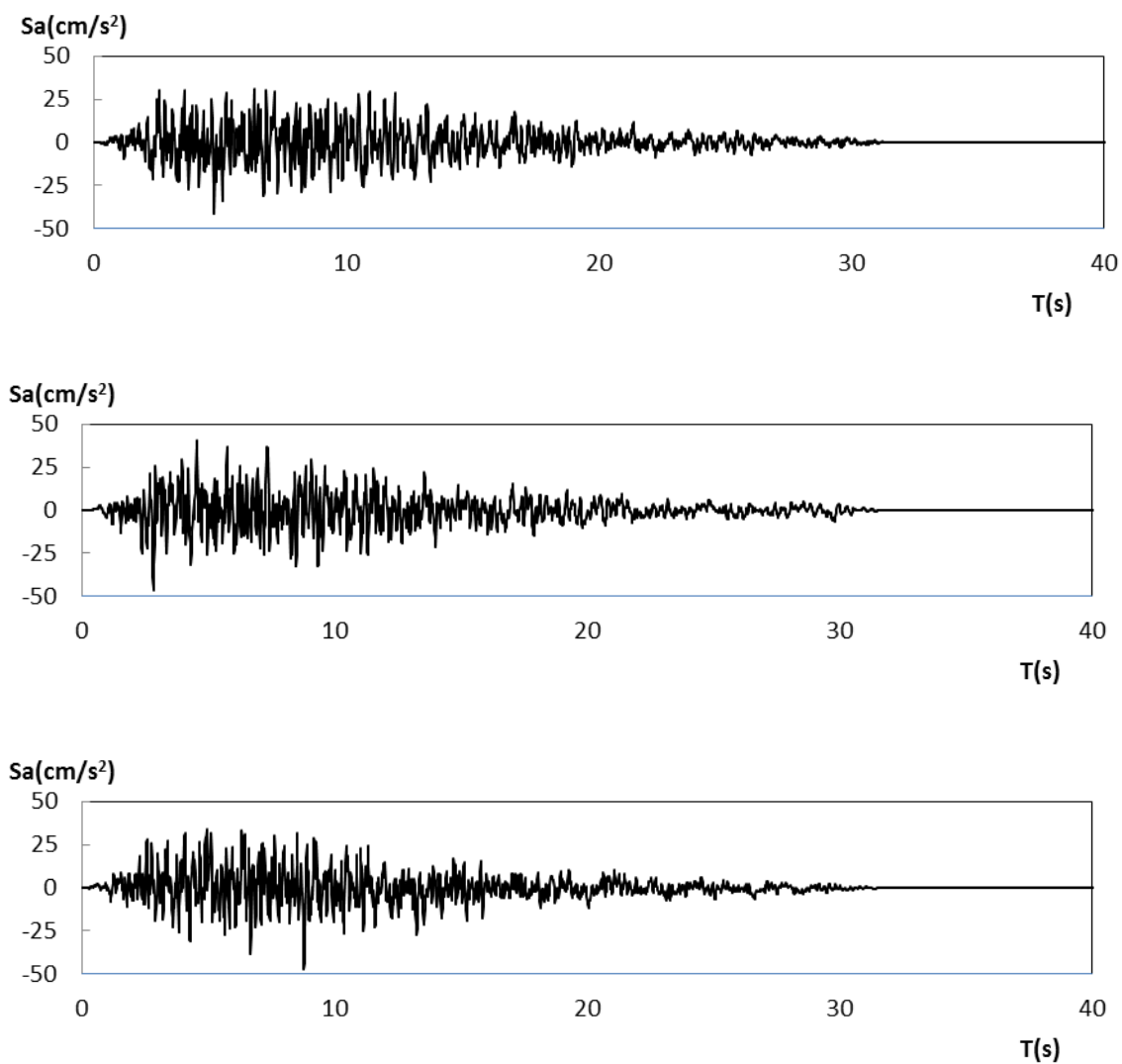
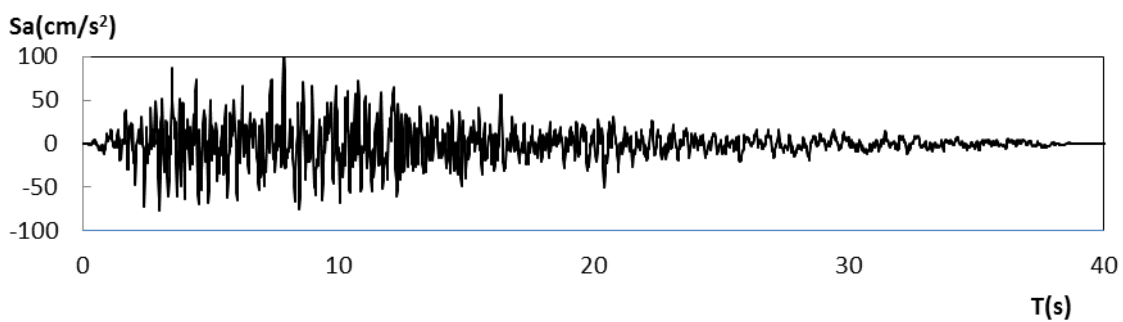


图 6.2-2b 50 年超越概率 10%基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



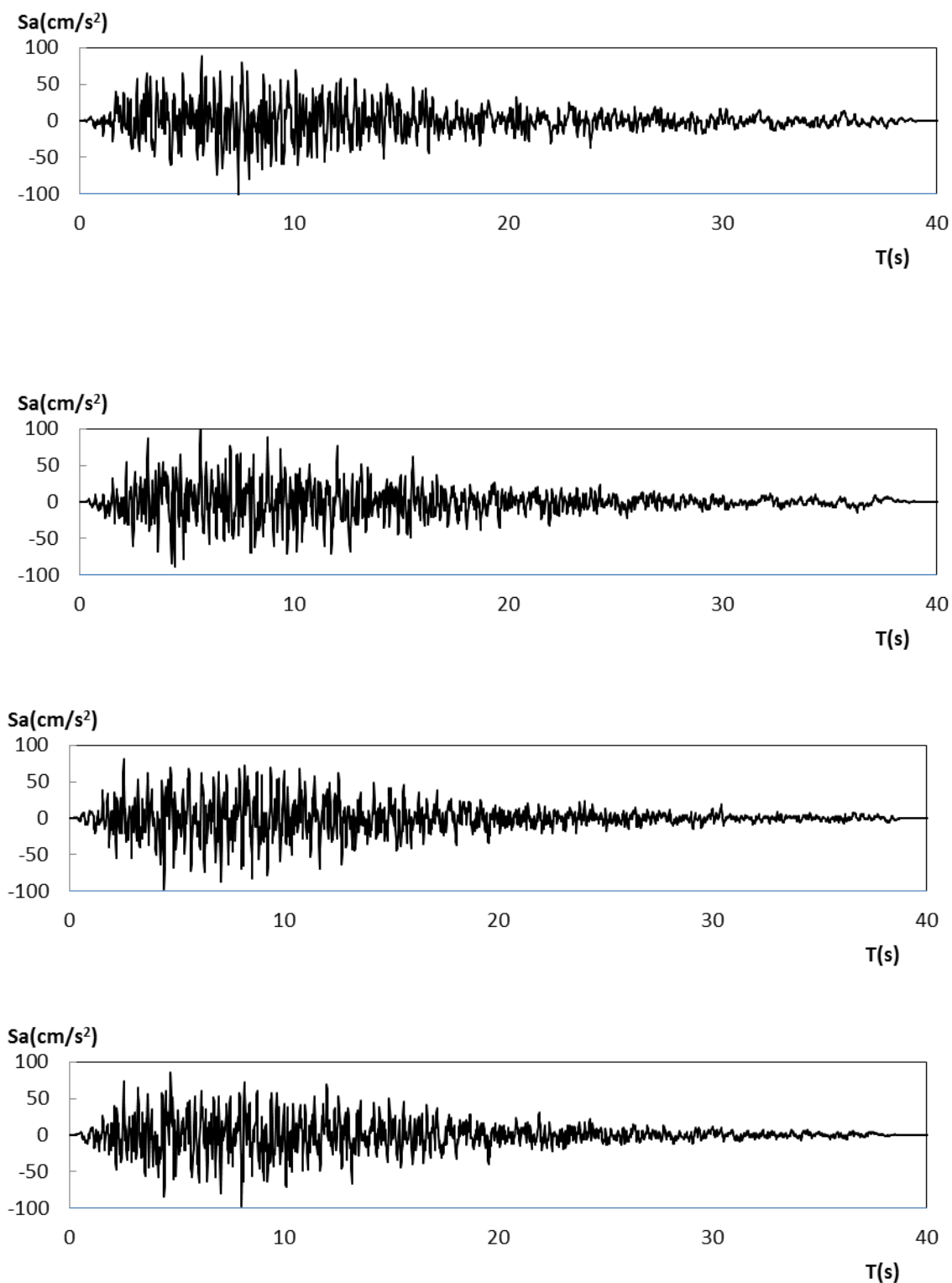
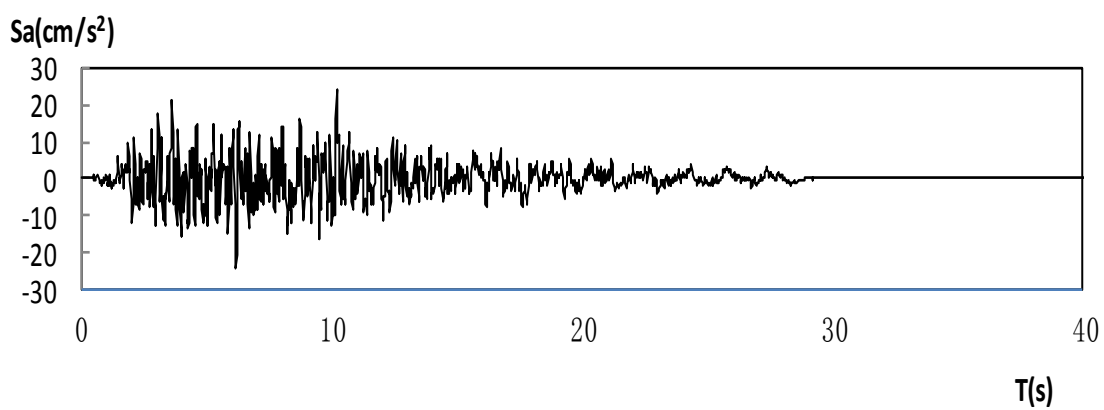
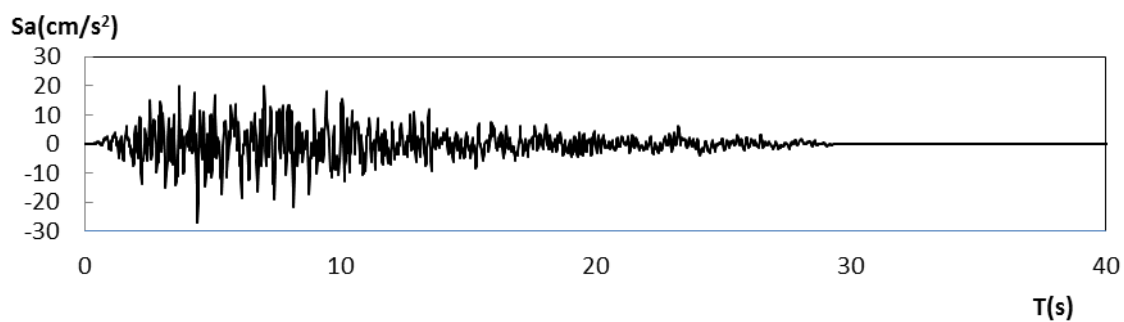
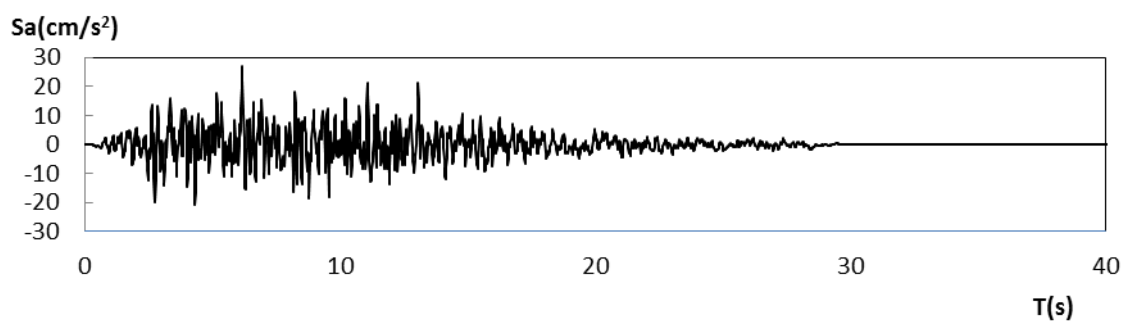
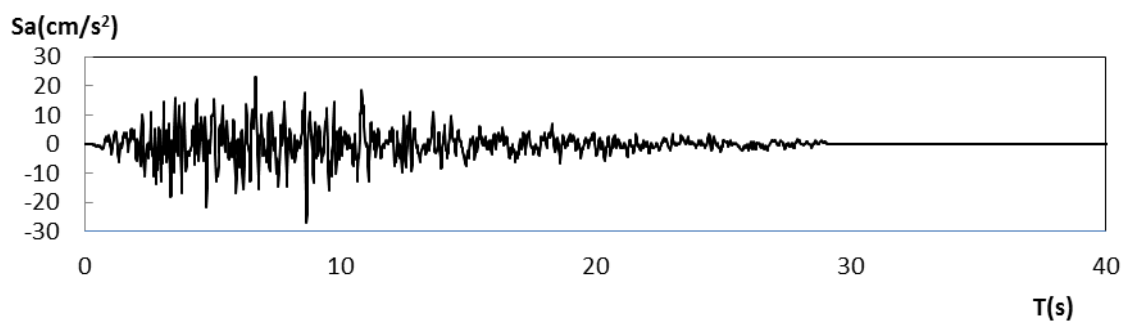


图 6.2-2c 50 年超越概率 2%基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



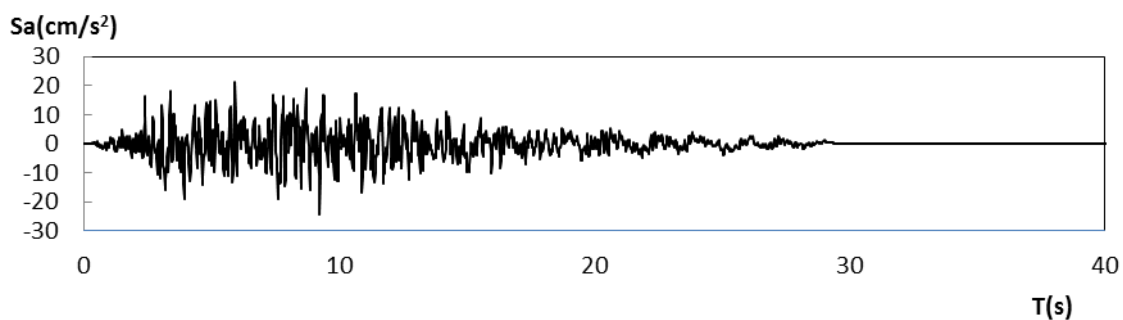


图 6.2-2d 100 年超越概率 60%基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)

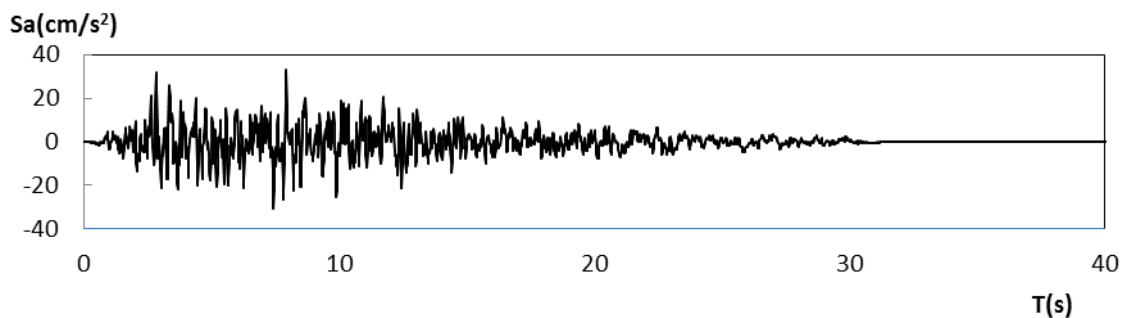
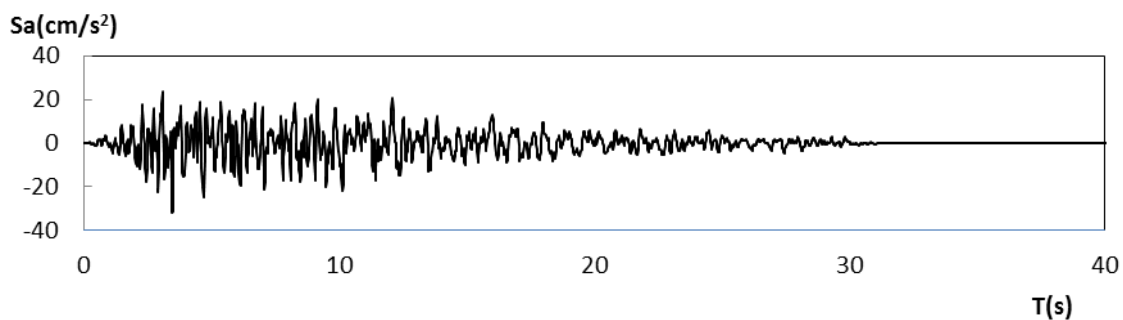
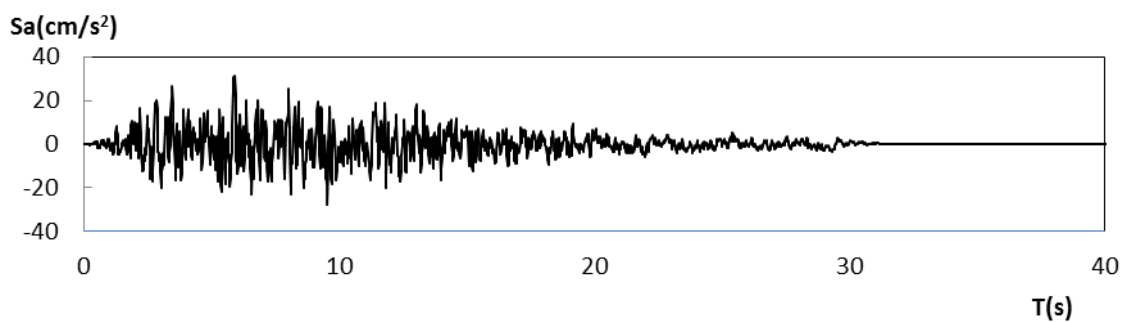
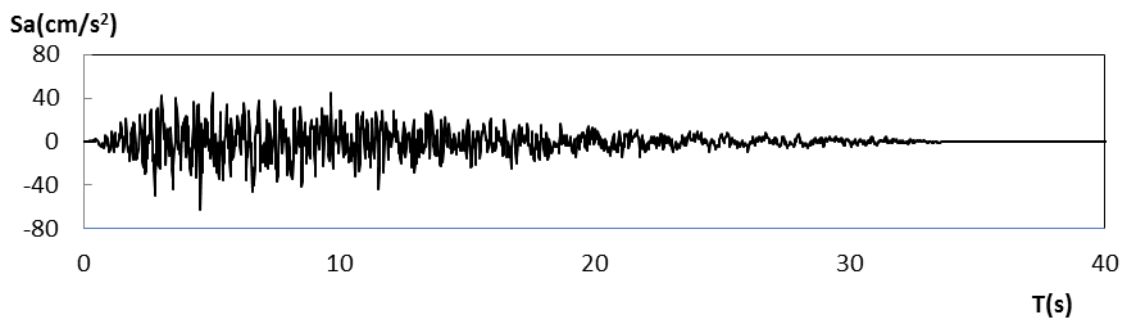
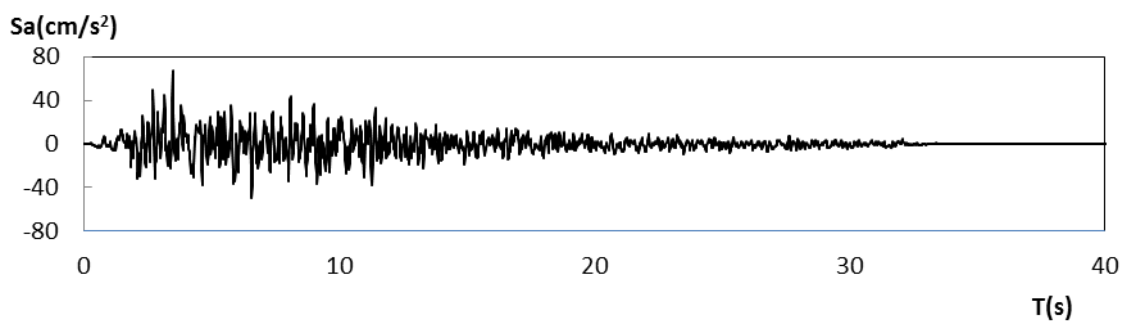
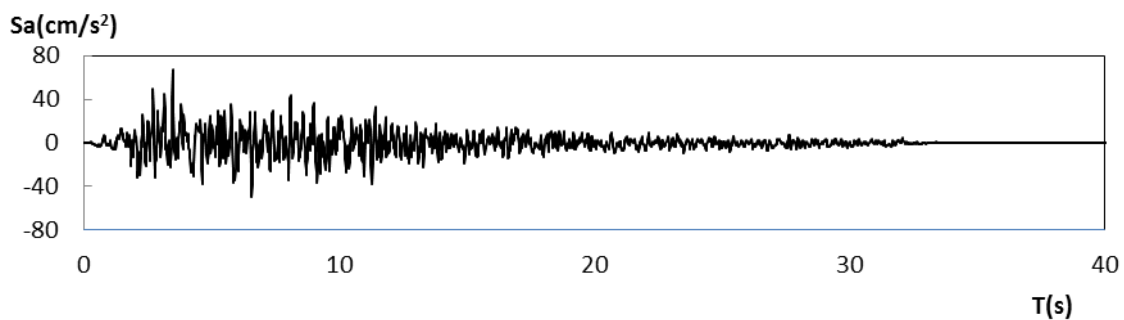
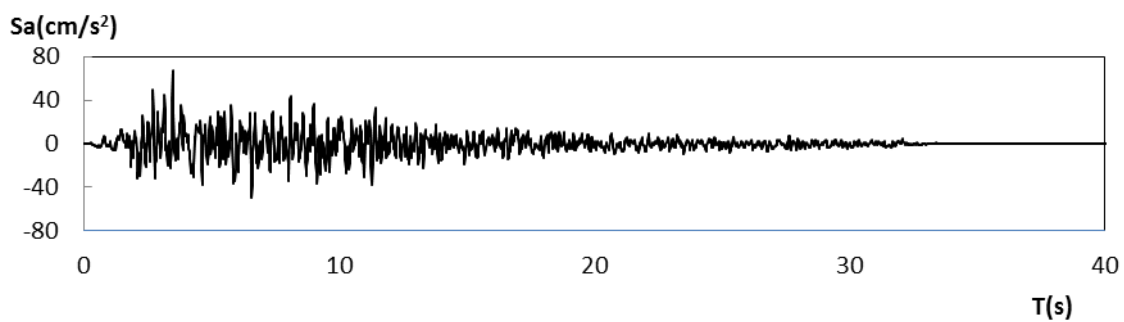


图 6.2-2e 100 年超越概率 40%基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



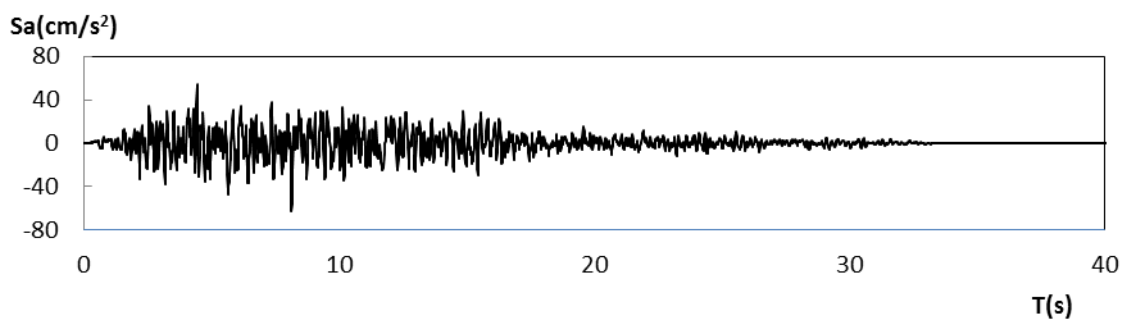
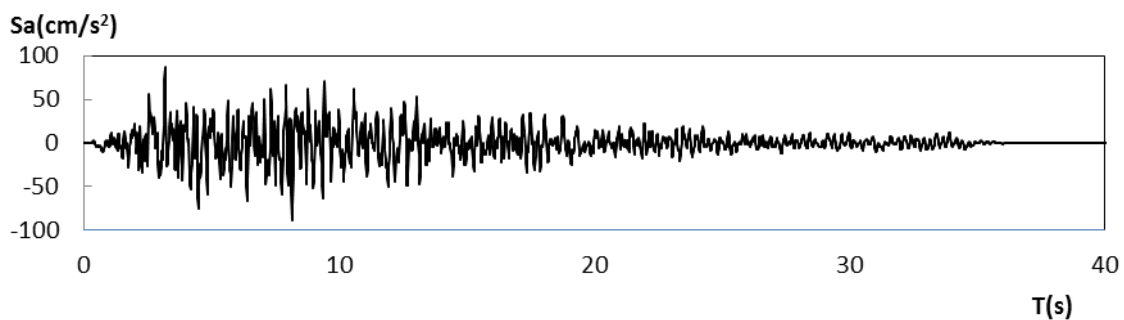
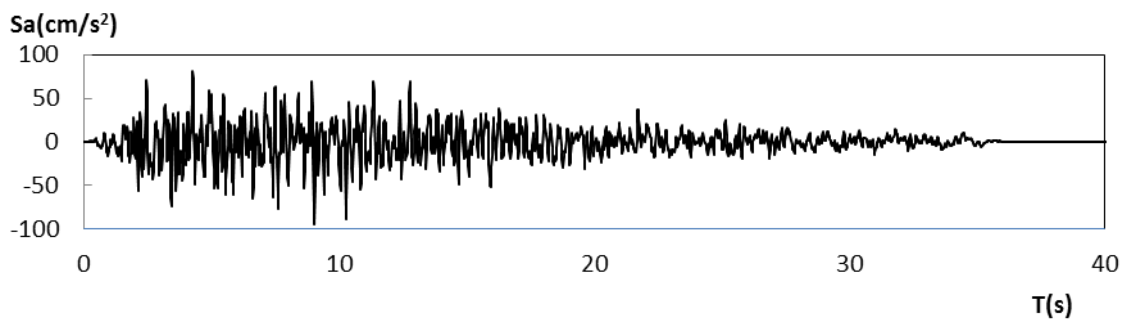
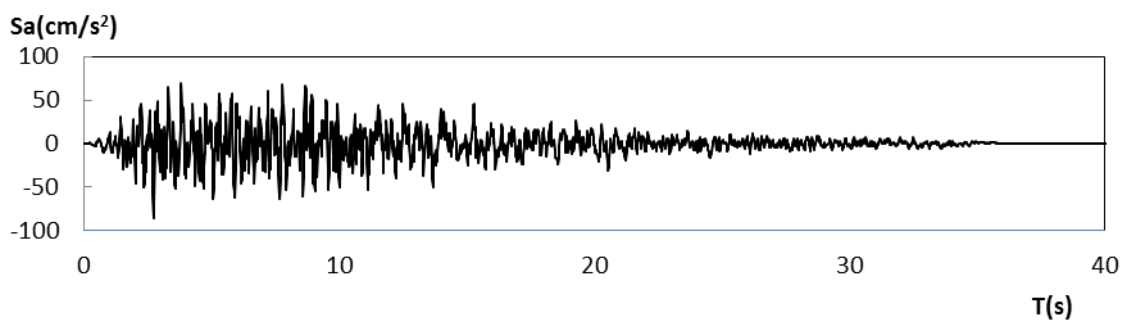


图 6.2-2f 100 年超越概率 10% 基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



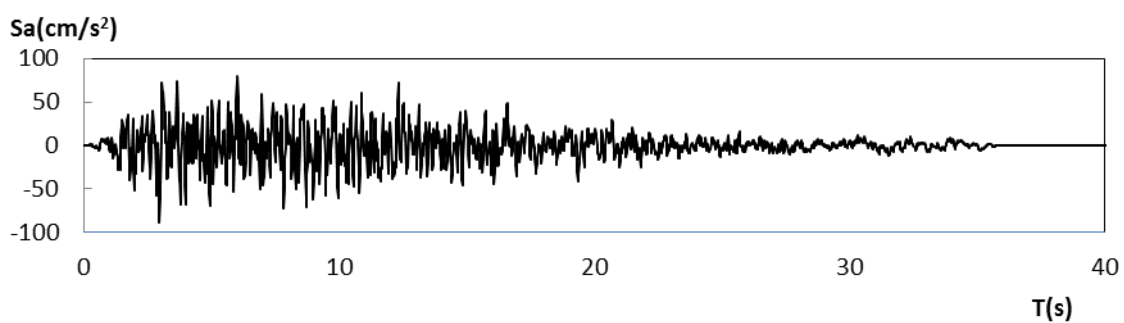
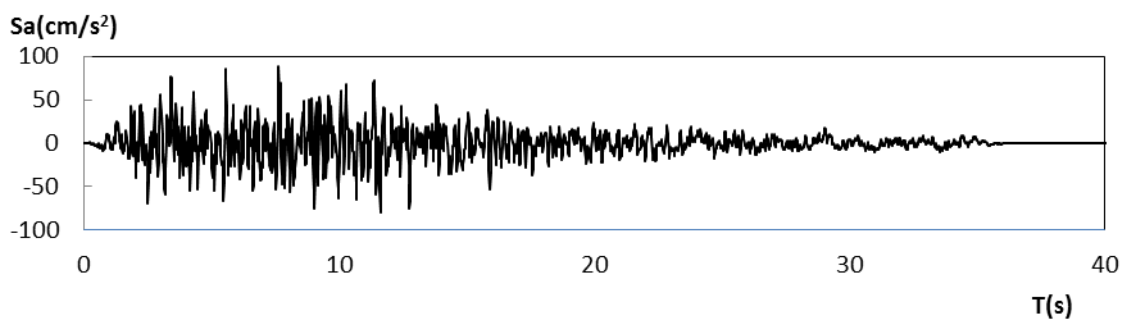
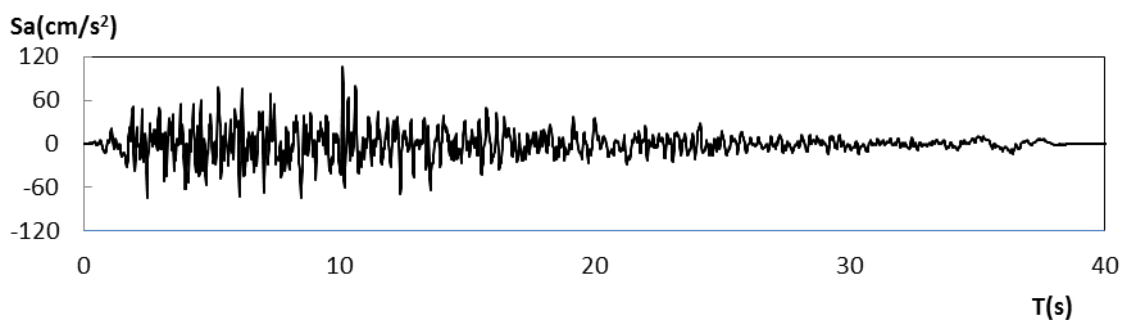
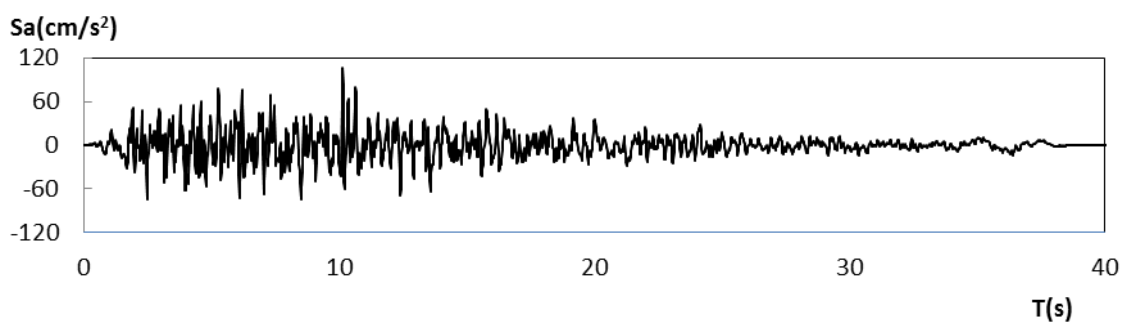


图 6.2-2g 100 年超越概率 5% 基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



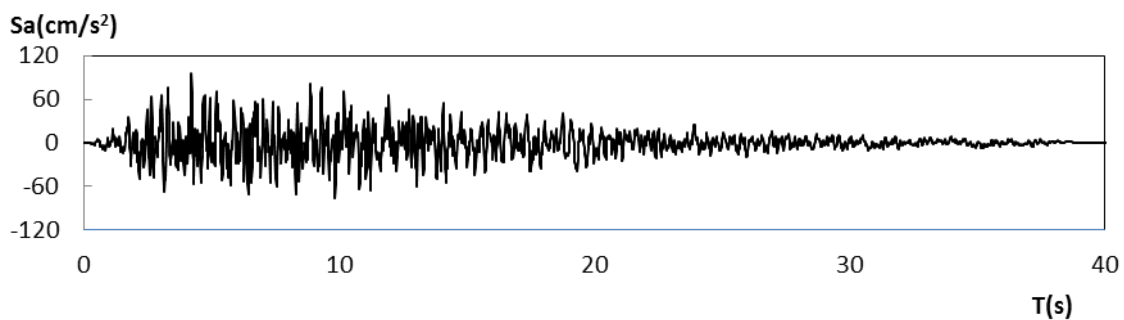
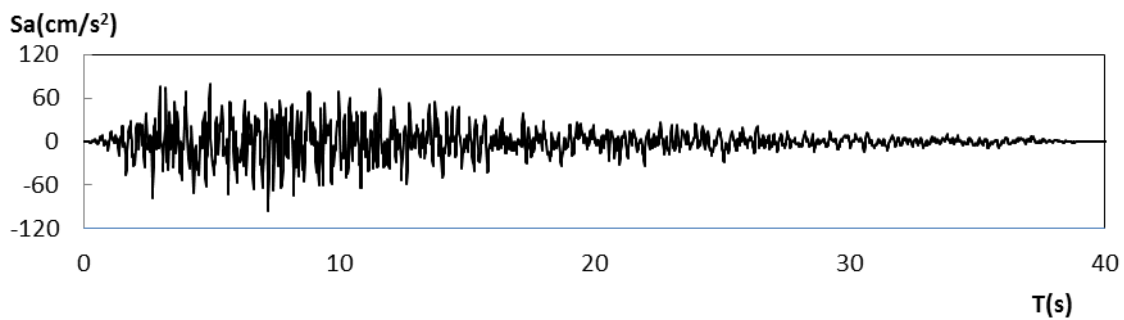
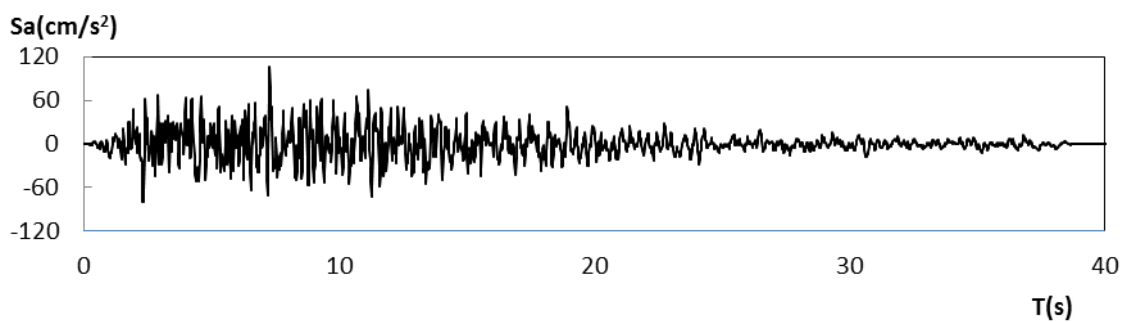
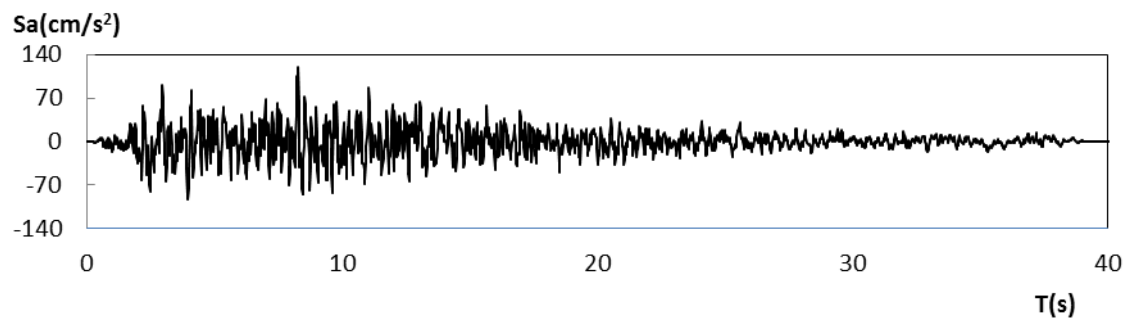


图 6.2-2h 100 年超越概率 4% 基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



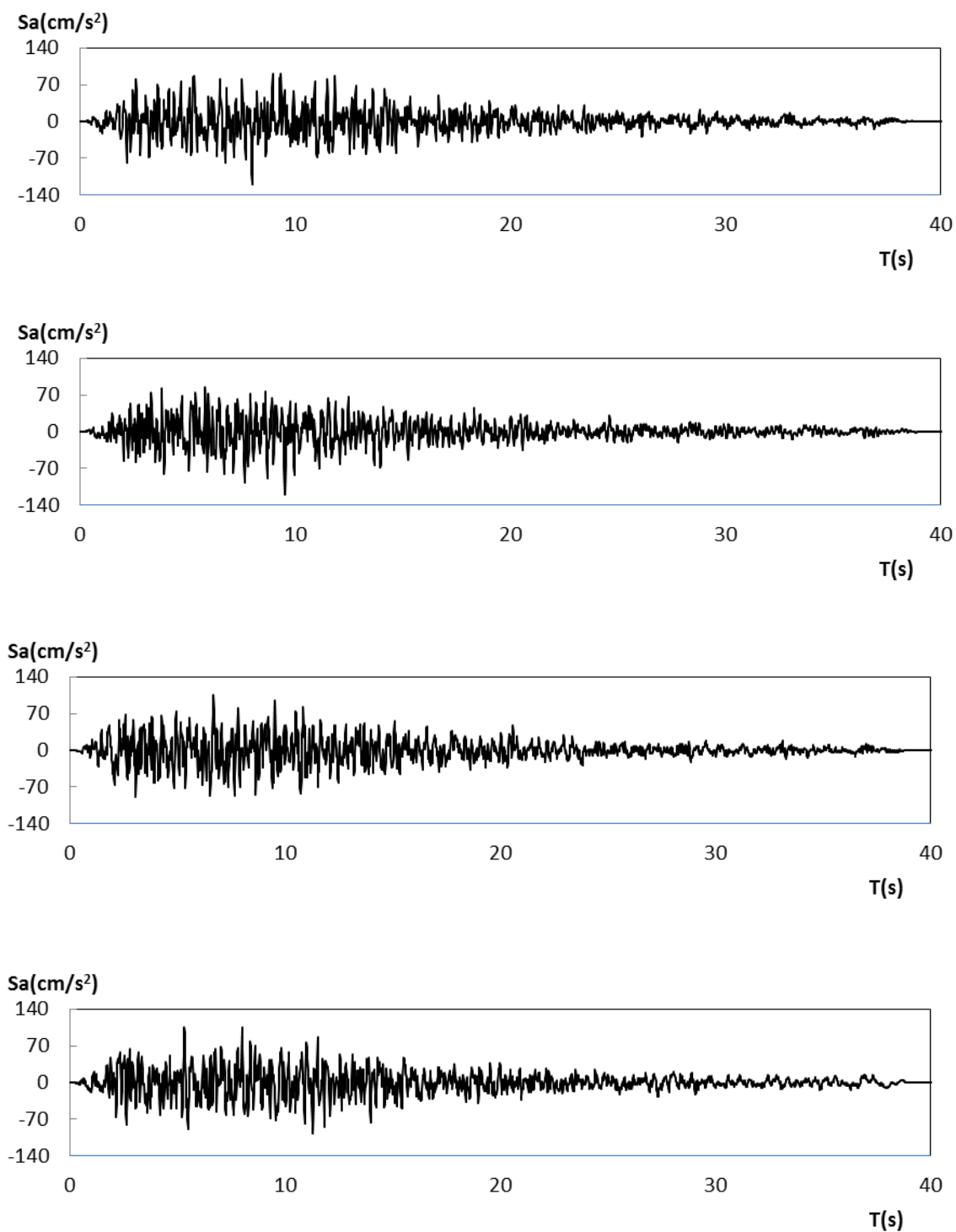
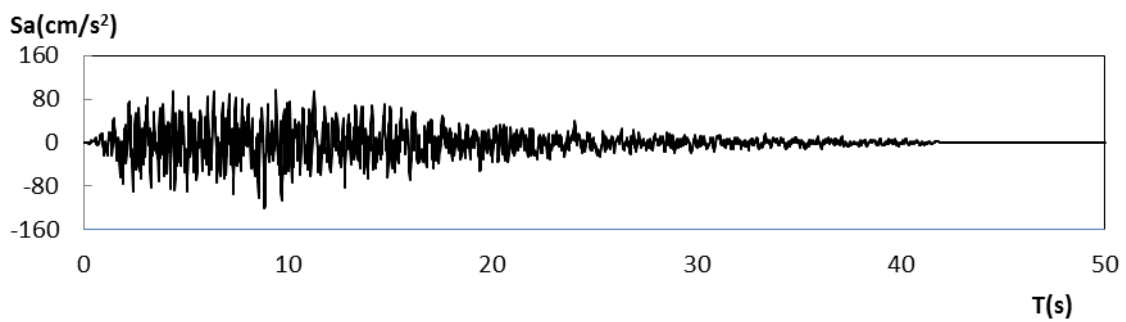
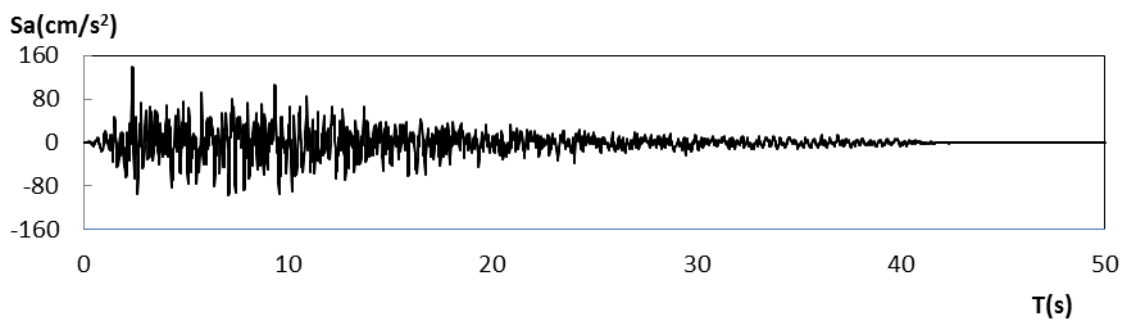
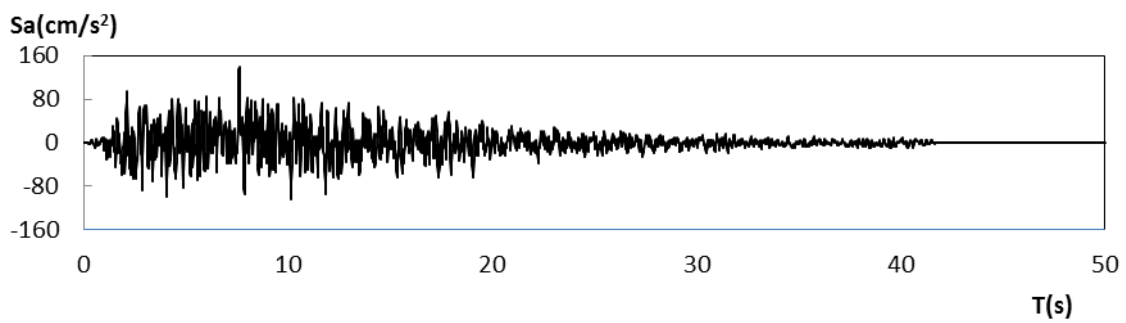
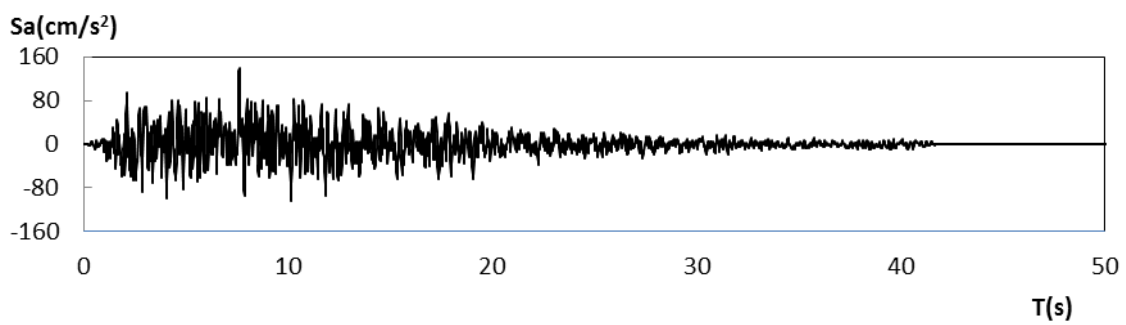


图 6.2-2i 100 年超越概率 3%基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



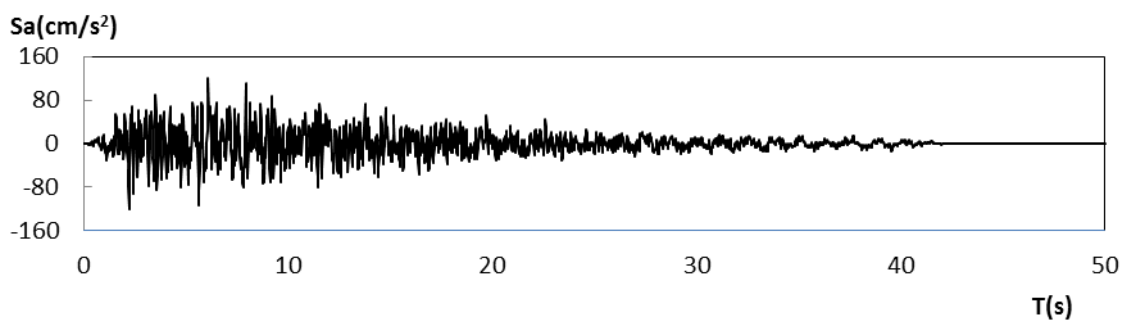
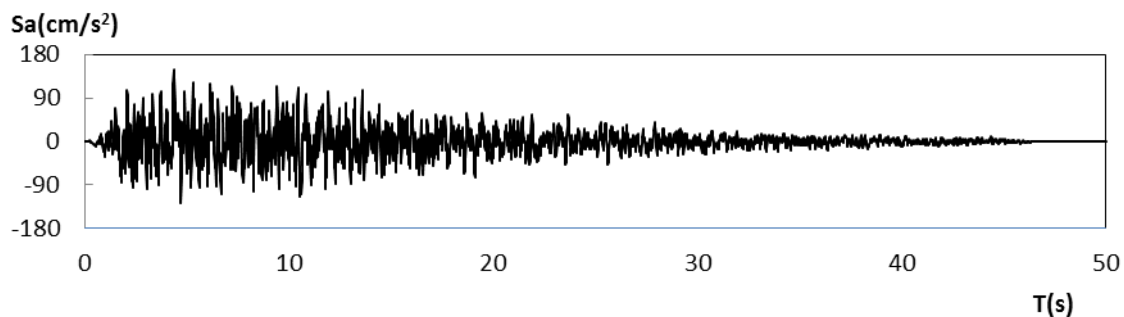
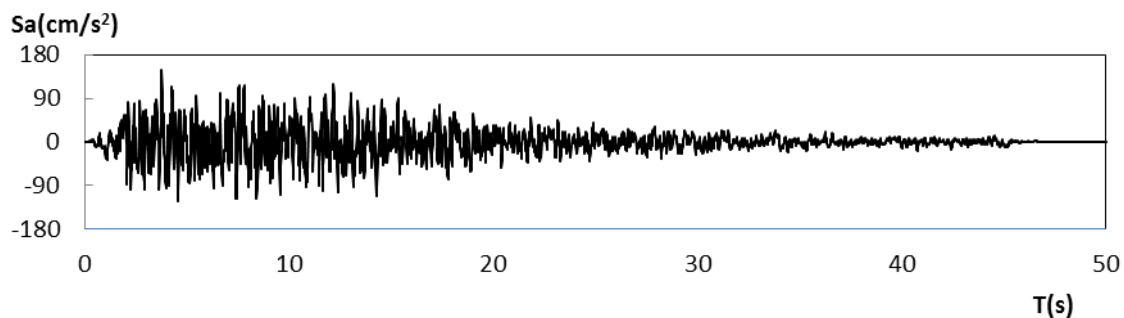
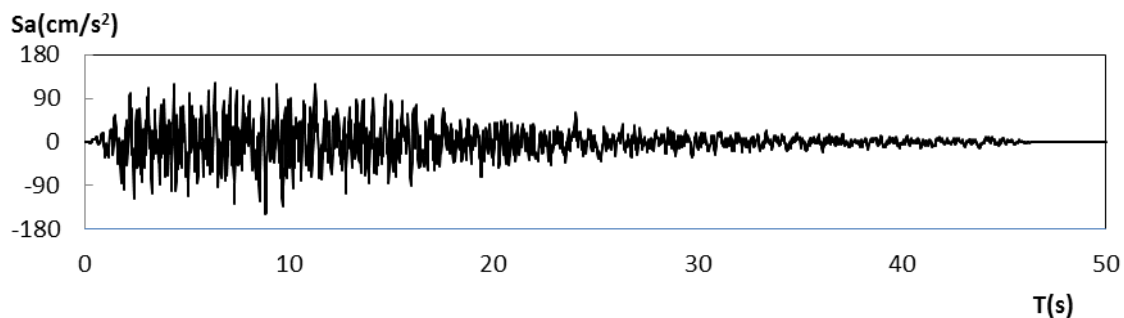


图 6.2-2j 100 年超越概率 2%基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)



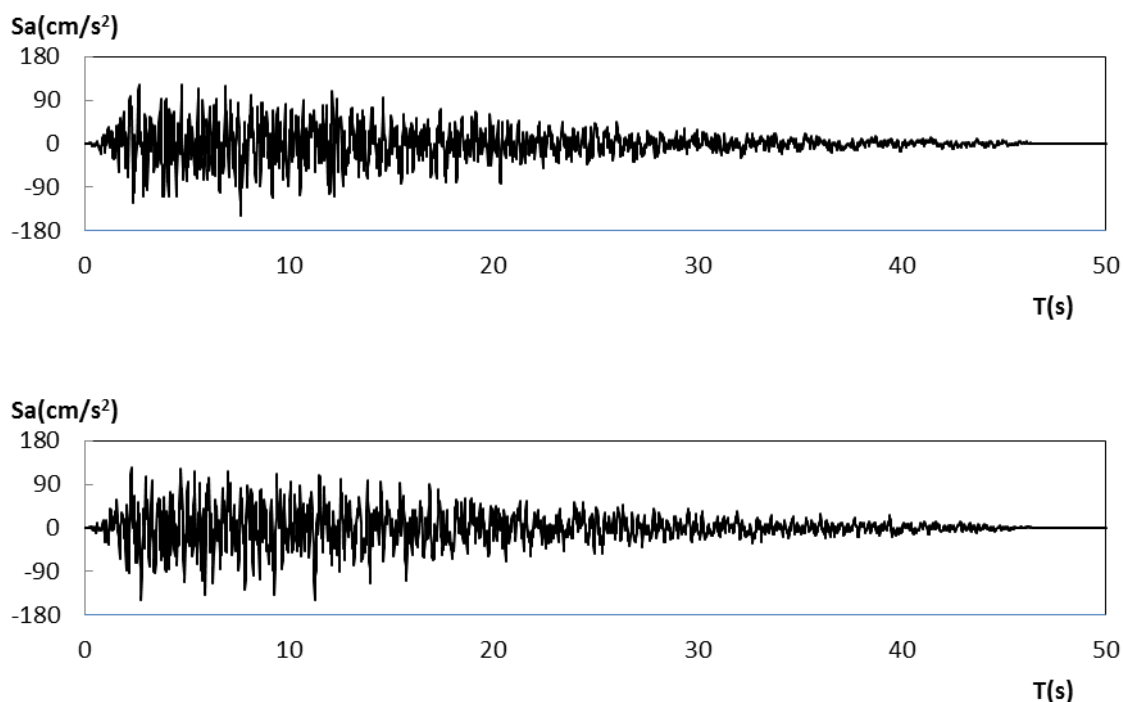


图 6.2-2k 100 年超越概率 1% 基岩地震加速度时程(玉溪工业园区)

6.2 场地土层地震反应计算

根据场地工程地质特征及土动力特性，建立相应的地震反应分析模型，采用一维波动方程的等效线性化分析方法计算各点地表地震峰值加速度及反应谱，其基本原理如下：

一维波动理论方法假定土层是水平成层且近似于无限延伸，基底及土层介质均为各向同性的线弹性体。假定剪切波从基岩垂直入射到 N 层水平层粘弹性介质，因此，在每一层介质中必须满足波动方程：

$$\rho_i \frac{\partial^2 u_i(x,t)}{\partial t^2} = G_i \frac{\partial^2 u_i(x,t)}{\partial x^2} + \eta_i \frac{\partial^3 u_i(x,t)}{\partial x^2 \partial t} \quad (6.2-1)$$

式中： (x,t) 为第 i 层土的位移函数， ρ_i 为第 i 层土的密度， G_i 为第 i 层土的剪切模量， η_i 为第 i 层土的粘滞系数。

各土层之间界面上应满足位移连续条件和应力连续函数，而在地表（第一层土的顶面）应满足零应力条件：

$$u_i(h_i,t) = u_{i+1}(0,t) \quad (6.2-2)$$

$$\tau_i(h_i,t) = \tau_{i+1}(0,t) \quad (6.2-3)$$

$$\tau_1(0,t) = 0 \quad (6.2-4)$$

计算时，先计算各土层相对于半空间垂直向上入射的传递函数，然后分别乘以基岩入

射波的付氏谱，得到各土层顶面的加速度付氏谱和各土层中面的剪应变付氏谱，经付氏逆变换得相应的加速度时程和剪应变时程。

考虑到土的非线性特性，各土层的动剪切模量和滞回阻尼比都是剪应变的函数。因此，先假定一初始剪切模量 G_0 和阻尼比 Z_0 ，计算出相应的各层土的剪切应变值，然后用最大剪应变值乘以折减系数（本项工作取 0.65）作为等效剪应变，再由剪切模量曲线和阻尼比曲线查出相应的剪切模量 G' 和阻尼比 Z' ，并比较 G' 、 G_0 和 Z' 、 Z_0 。如果剪切模量和阻尼比的相对误差都小于允许误差（本项工作取 5%），则认为土的应力应变关系得到满足，否则，以新的剪切模量 G' 和阻尼比 Z' 作为初始值，重复上述计算过程，直到相对误差都满足要求为止。

由以上模型可知，进行场地土层地震反应分析，需要土层剖面的分层厚度，同时需要土层中土体的力学特性资料，包括土体剪切波速值、密度值和土体动力非线性特性参数值。现场取得的资料包括土层的分层厚度、土体性状描述和土体剪切波速等。依据上述资料，建立了各钻孔的场地土层地震反应一维计算模型模型，见表 6.2-1~表 6.2-13。

表 6.2-1 YXZK1 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	138	3	1.8
1	素填土	143	3	1.8
1	素填土	148	3	1.8
1	素填土	151	1.3	1.8
4	基岩	550		2.5

表 6.2-2 YXZK2 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速(m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	138	3	1.8
1	素填土	138	2.7	1.8
4	基岩	530		2.5

表 6.2-3 YXZK3 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度(m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	139	3	1.8
1	素填土	138	3	1.8
1	素填土	143	3	1.8
1	素填土	146	3	1.8
1	素填土	143	3	1.8
1	素填土	145	1.6	1.8
4	基岩	560		2.5

表 6.2-4 YXZK4 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度(m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	139	3	1.8
1	素填土	141	3	1.8
1	素填土	148	3	1.8
1	素填土	151	3	1.8
1	素填土	150	3	1.8
1	素填土	150	2.2	1.8
3	基岩			2.5

表 6.2-5 GJZK1 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	147	3	1.8
1	素填土	143	3	1.8
1	素填土	145	3	1.8
1	素填土	150	3.2	1.8
3	基岩	558		2.5

表 6.2-6 GJZK2 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	141	3	1.8
1	素填土	139	3	1.8
1	素填土	138	3	1.8
1	素填土	145	1.8	1.8
3	基岩	548		2.5

表 6.2-7 STPZK1 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	122	3	1.8
1	素填土	132	3	1.8
1	素填土	130	3	1.8
1	素填土	128	3	1.8
1	素填土	133	2.4	1.8
3	基岩	591		2.5

表 6.2-8 STPZK2 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	121	3	1.8
1	素填土	124	3	1.8
1	素填土	131	3	1.8

1	素填土	130	1.6	1.8
3	基岩	675		2.5

表 6.2-9 STPZK3 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	117	3	1.8
1	素填土	125	3	1.8
1	素填土	125	1.6	1.8
3	基岩	562		2.5

表 6.2-10 STPZK4 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	119	3	1.8
1	素填土	122	3	1.8
1	素填土	124	3	1.8
1	素填土	133	3	1.8
1	素填土	128	3	1.8
1	素填土	135	3.5	1.8
3	基岩	590		2.5

表 6.2-11 YLBZK4 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	121	3	1.8
1	素填土	122	3	1.8
1	素填土	129	3	1.8
1	素填土	132	3	1.8
1	素填土	134	3	1.8
1	素填土	137	3	1.8
1	素填土	142	2	1.8
3	基岩	730		2.5

表 6.2-12 ZJZK1 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度 (g/cm ³)
1	素填土	134	3	1.8
1	素填土	139	3	1.8
1	素填土	143	3	1.8
1	素填土	146	1	1.8
2	淤泥质土	130	3	1.85
3	基岩	510		2.5

表 6.2-13 ZJZK2 钻孔土层地震反应分析模型参数

分层序号	岩土类型	剪切波速 (m/s)	分层厚度 (m)	密度
------	------	------------	----------	----

				(g/cm ³)
1	素填土	128	3	1.8
1	素填土	136	3	1.8
1	素填土	138	3	1.8
1	素填土	145	3	1.8
1	素填土	145	2.5	1.8
3	基岩	531		2.5

表 6.2-14 给出土层反应分析中所需的土体动力非线性特性等效曲线参数, 在土层地震反应分析计算中, 素填土、岩石的动剪切模量比与阻尼比参数参考了采用了中国地震局行业标准中的推荐值, 淤泥质土取土样进行了动三轴试验, 详见附件。

表 6.2-14 各土层的动剪切模量比及阻尼比与剪应变的关系
场地土 $G/G_{max} - \gamma$ 和 $\lambda - \gamma$ 的推荐值

土类 序号	岩性	参数	剪 切 应 变 τd							
			5.00E-06	1.00E-05	5.00E-05	1.00E-04	5.00E-04	1.00E-03	0.005	0.01
1	素/杂填 土	Gd/Gmax	0.960	0.950	0.800	0.700	0.300	0.200	0.150	0.100
		λd	0.025	0.028	0.030	0.035	0.080	0.100	0.110	0.120
2	淤泥质 土	Gd/Gmax	0.989	0.978	0.905	0.829	0.499	0.334	0.092	0.048
		λd	0.0201	0.0252	0.0481	0.0649	0.1170	0.1378	0.1651	0.1697
5	基岩	Gd/Gmax	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		λd	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050

6.3 场地设计地震动参数确定

在前面得到的场地土层地震反应计算结果的基础上, 本节将给出工程场地的设计地震动参数, 包括设计地震动峰值加速度、加速度反应谱值。从钻孔资料和土层地震反应计算结果来看, 钻孔场地土层对地震动的影响较为一致, 为减少钻探和原位测试结果对土层地震反应分析引起的偶然误差, 设计地震动峰值加速度是综合考虑样本峰值和短周期加速度反应谱值确定的, 加速度反应谱是对计算加速度反应谱采用均值拟合方法确定的。

$$S_a(T) = \begin{cases} A_{max} \times \left(1 + \frac{(\beta - 1)}{(T_0 - 0.04)} (T - 0.04)\right) & 0.04 s < T \leq T_0 \\ A_{max} \times \beta & T_0 < T \leq T_s \\ A_{max} \times \beta = \left(\frac{T_s}{T}\right)^c & T_s < T \leq 6 s \end{cases}$$

(6.3-1)

式中： T 为反应谱周期； A_{max} 为峰值加速度； T_0 、 T_g 为反应谱拐点周期； $S_a(T)$ 为周期为 T 时的反应谱值； β_m 为相对反应谱最大值； C 为衰减指数。规准后的反应谱参数，见表 6.3-1。表中数据综合反应了场地附近一定范围内，地震环境和场地条件对地震动的影响，反应局部场地条件的特性，可作为该工程场地抗震设计使用。

采用上面的公式，结合目标区地表面处 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%（阻尼比 5%）计算地震动加速度反应谱结果，得到相应的拟合曲线，作为目标区地表面处水平向 5% 阻尼比设计地震动加速度反应谱曲线。按照规准谱形式对场地相关地震动反应谱进行数值拟合，进而标定结构阻尼比 5% 反应谱的平台高度和周期拐点。对于 β_m 和 T_g 尽量按照平均意义调整给出，使其稍小于最大值，衰减系数 c 的取值统一取 0.9。

玉溪工业园区场地类别为 I 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-1a。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-1a；玉溪工业园区场地类别为 II 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-1b。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-1b；玉溪工业园区场地类别为 III 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-1c。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-1c；

高家中小企业创业园场地类别为 I 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-2a。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-2a；高家中小企业创业园场地类别为 II 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-2b。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-2b；

水天坪工业园区场地类别为 I 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-3a。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-3a；水天坪工业园区场地类别为 II 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-3b。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-3b；水天坪工业园区场地类别为 III 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-3c。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-3c；

月亮坝场地类别为 III 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数

设计值见表 6.3-4a。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-4a;

镇江工业园区场地类别为 I 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-5a。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-5a; 镇江工业园区场地类别为 II 类的目标区 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% 的水平向 5% 阻尼比的设计地震动反应谱参数设计值见表 6.3-5b。相应的场地设计地震动反应谱绘于图 6.3-5b;

根据 GB18306—2015《中国地震动参数区划图》中地震加速度峰值与地震基本烈度的对应关系, 场地地震基本烈度为 VI 度 (0.05g)。

表 6.3-1a 玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I 类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50 年 63%	15.8	2.5	0.1	0.3	0.9	0.040
50 年 10%	46.9	2.5	0.1	0.3	0.9	0.117
50 年 2%	98.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.245
100 年 60%	24.3	2.5	0.1	0.3	0.9	0.061
100 年 40%	32.5	2.5	0.1	0.3	0.9	0.081
100 年 10%	62.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.155
100 年 5%	88.4	2.5	0.1	0.3	0.9	0.221
100 年 4%	96.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.240
100 年 3%	106.0	2.5	0.1	0.35	0.9	0.265
100 年 2%	120.5	2.5	0.1	0.35	0.9	0.301
100 年 1%	149.9	2.5	0.1	0.35	0.9	0.375

表 6.3-1b 玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II 类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50 年 63%	28	2.5	0.1	0.35	0.9	0.070
50 年 10%	70	2.5	0.1	0.35	0.9	0.175
50 年 2%	140	2.5	0.1	0.45	0.9	0.350
100 年 60%	40	2.5	0.1	0.35	0.9	0.100
100 年 40%	55	2.5	0.1	0.35	0.9	0.138
100 年 10%	90	2.5	0.1	0.35	0.9	0.225
100 年 5%	120	2.5	0.1	0.45	0.9	0.300

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年4%	140	2.5	0.1	0.45	0.9	0.350
100年3%	160	2.5	0.1	0.45	0.9	0.400
100年2%	170	2.5	0.1	0.50	0.9	0.425
100年1%	190	2.5	0.1	0.55	0.9	0.475

表 6.3-1c 玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, III类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	26	2.5	0.1	0.50	0.9	0.065
50年10%	60	2.5	0.1	0.60	0.9	0.150
50年2%	115	2.5	0.1	0.80	0.9	0.288
100年60%	35	2.5	0.1	0.55	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.55	0.9	0.113
100年10%	75	2.5	0.1	0.60	0.9	0.188
100年5%	100	2.5	0.1	0.80	0.9	0.250
100年4%	115	2.5	0.1	0.80	0.9	0.288
100年3%	125	2.5	0.1	0.80	0.9	0.313
100年2%	140	2.5	0.1	0.90	0.9	0.350
100年1%	160	2.5	0.1	0.90	0.9	0.400

表 6.3-2a 高家中小企业创业园场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	15.5	2.5	0.1	0.3	0.9	0.039
50年10%	46.3	2.5	0.1	0.3	0.9	0.116
50年2%	96.0	2.5	0.1	0.3	0.9	0.240
100年60%	24.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.060
100年40%	31.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.078
100年10%	60.9	2.5	0.1	0.3	0.9	0.152
100年5%	86.7	2.5	0.1	0.3	0.9	0.217

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年4%	94.0	2.5	0.1	0.3	0.9	0.235
100年3%	103.4	2.5	0.1	0.35	0.9	0.259
100年2%	117.8	2.5	0.1	0.35	0.9	0.295
100年1%	148.1	2.5	0.1	0.35	0.9	0.370

表 6.3-2b 高家中小企业创业园场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	27	2.5	0.1	0.45	0.9	0.068
50年10%	70	2.5	0.1	0.55	0.9	0.175
50年2%	120	2.5	0.1	0.75	0.9	0.300
100年60%	35	2.5	0.1	0.45	0.9	0.88
100年40%	45	2.5	0.1	0.50	0.9	0.113
100年10%	80	2.5	0.1	0.65	0.9	0.200
100年5%	105	2.5	0.1	0.70	0.9	0.263
100年4%	120	2.5	0.1	0.75	0.9	0.300
100年3%	130	2.5	0.1	0.75	0.9	0.325
100年2%	145	2.5	0.1	0.80	0.9	0.363
100年1%	180	2.5	0.1	0.80	0.9	0.450

表 6.3-3a 水天坪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	15.4	2.5	0.1	0.3	0.9	0.039
50年10%	45.8	2.5	0.1	0.3	0.9	0.115
50年2%	94.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.235
100年60%	24.0	2.5	0.1	0.3	0.9	0.060
100年40%	30.8	2.5	0.1	0.3	0.9	0.077
100年10%	59.9	2.5	0.1	0.3	0.9	0.150
100年5%	85.3	2.5	0.1	0.3	0.9	0.213
100年4%	92.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.230

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年3%	101.2	2.5	0.1	0.35	0.9	0.253
100年2%	115.5	2.5	0.1	0.35	0.9	0.289
100年1%	142.4	2.5	0.1	0.35	0.9	0.356

表 6.3-3b 水天坪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	28	2.5	0.1	0.40	0.9	0.070
50年10%	70	2.5	0.1	0.50	0.9	0.175
50年2%	140	2.5	0.1	0.60	0.9	0.350
100年60%	40	2.5	0.1	0.40	0.9	0.100
100年40%	55	2.5	0.1	0.40	0.9	0.138
100年10%	90	2.5	0.1	0.50	0.9	0.225
100年5%	125	2.5	0.1	0.55	0.9	0.313
100年4%	140	2.5	0.1	0.60	0.9	0.350
100年3%	145	2.5	0.1	0.60	0.9	0.363
100年2%	160	2.5	0.1	0.60	0.9	0.400
100年1%	190	2.5	0.1	0.65	0.9	0.475

表 6.3-3c 水天坪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, III类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	28	2.5	0.1	0.50	0.9	0.070
50年10%	65	2.5	0.1	0.65	0.9	0.163
50年2%	110	2.5	0.1	0.75	0.9	0.275
100年60%	35	2.5	0.1	0.50	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.55	0.9	0.113
100年10%	75	2.5	0.1	0.65	0.9	0.188
100年5%	100	2.5	0.1	0.75	0.9	0.250
100年4%	110	2.5	0.1	0.75	0.9	0.275
100年3%	115	2.5	0.1	0.85	0.9	0.288

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年2%	125	2.5	0.1	0.85	0.9	0.313
100年1%	150	2.5	0.1	0.90	0.9	0.375

表 6.3-4a 月亮坝场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, III类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	28	2.5	0.1	0.55	0.9	0.070
50年10%	65	2.5	0.1	0.65	0.9	0.163
50年2%	110	2.5	0.1	0.80	0.9	0.275
100年60%	35	2.5	0.1	0.60	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.60	0.9	0.113
100年10%	70	2.5	0.1	0.65	0.9	0.188
100年5%	100	2.5	0.1	0.80	0.9	0.250
100年4%	110	2.5	0.1	0.80	0.9	0.275
100年3%	115	2.5	0.1	0.85	0.9	0.288
100年2%	125	2.5	0.1	0.85	0.9	0.313
100年1%	150	2.5	0.1	0.95	0.9	0.375

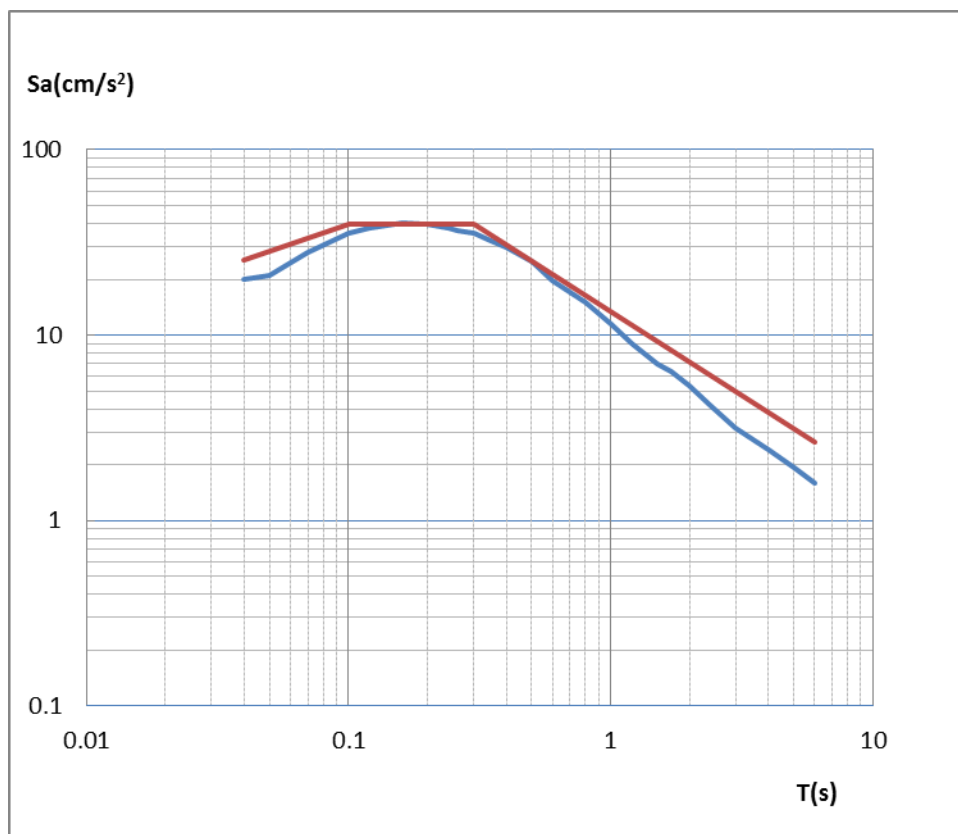
表 6.3-5a 镇江工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	13.7	2.5	0.1	0.35	0.9	0.034
50年10%	42.7	2.5	0.1	0.35	0.9	0.107
50年2%	84.6	2.5	0.1	0.35	0.9	0.212
100年60%	23.0	2.5	0.1	0.35	0.9	0.058
100年40%	29.6	2.5	0.1	0.35	0.9	0.074
100年10%	53.2	2.5	0.1	0.35	0.9	0.133
100年5%	76.7	2.5	0.1	0.35	0.9	0.192
100年4%	82.8	2.5	0.1	0.35	0.9	0.207
100年3%	90.9	2.5	0.1	0.35	0.9	0.227
100年2%	103.4	2.5	0.1	0.35	0.9	0.259

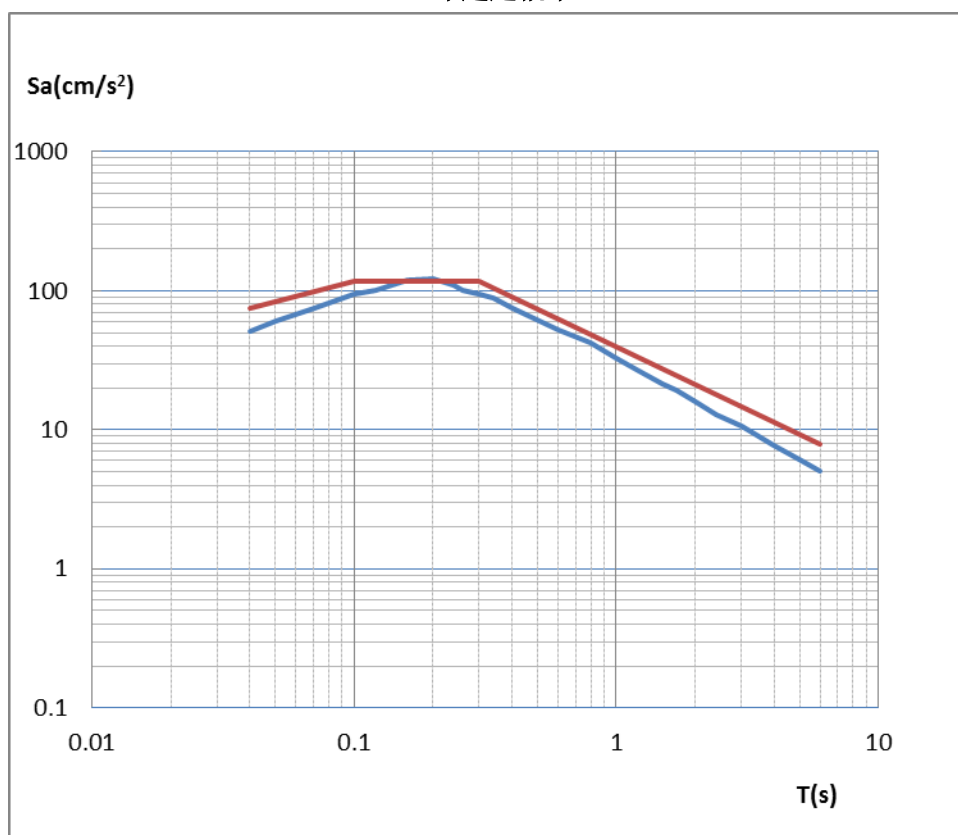
超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年1%	127.8	2.5	0.1	0.35	0.9	0.320

表 6.3-5b 镇江工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II类场地)

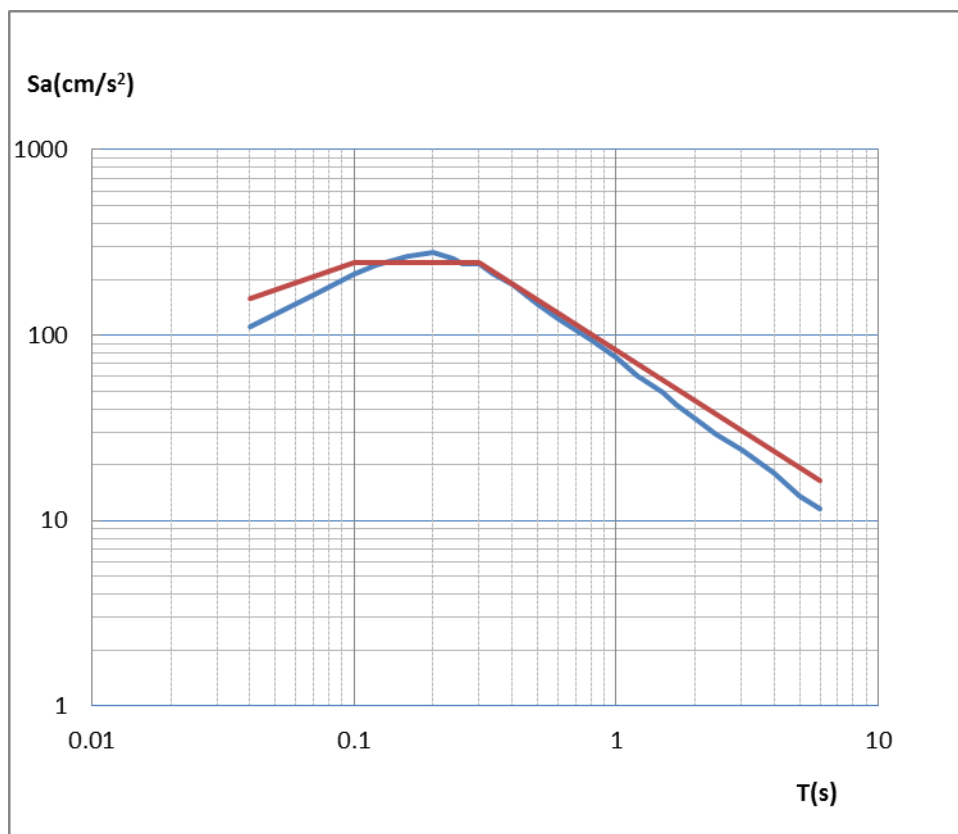
超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	25	2.5	0.1	0.40	0.9	0.063
50年10%	60	2.5	0.1	0.50	0.9	0.150
50年2%	100	2.5	0.1	0.60	0.9	0.250
100年60%	35	2.5	0.1	0.45	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.45	0.9	0.113
100年10%	75	2.5	0.1	0.50	0.9	0.188
100年5%	95	2.5	0.1	0.60	0.9	0.238
100年4%	100	2.5	0.1	0.60	0.9	0.250
100年3%	110	2.5	0.1	0.65	0.9	0.275
100年2%	120	2.5	0.1	0.70	0.9	0.300
100年1%	145	2.5	0.1	0.70	0.9	0.363



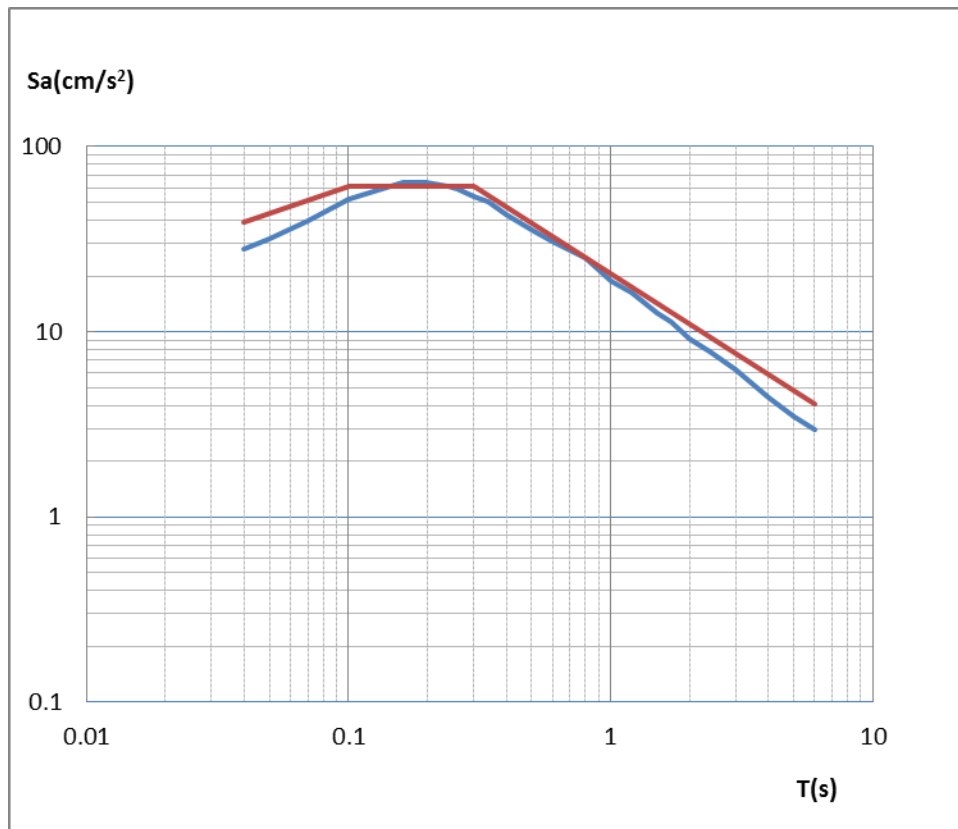
50年超越概率 63%



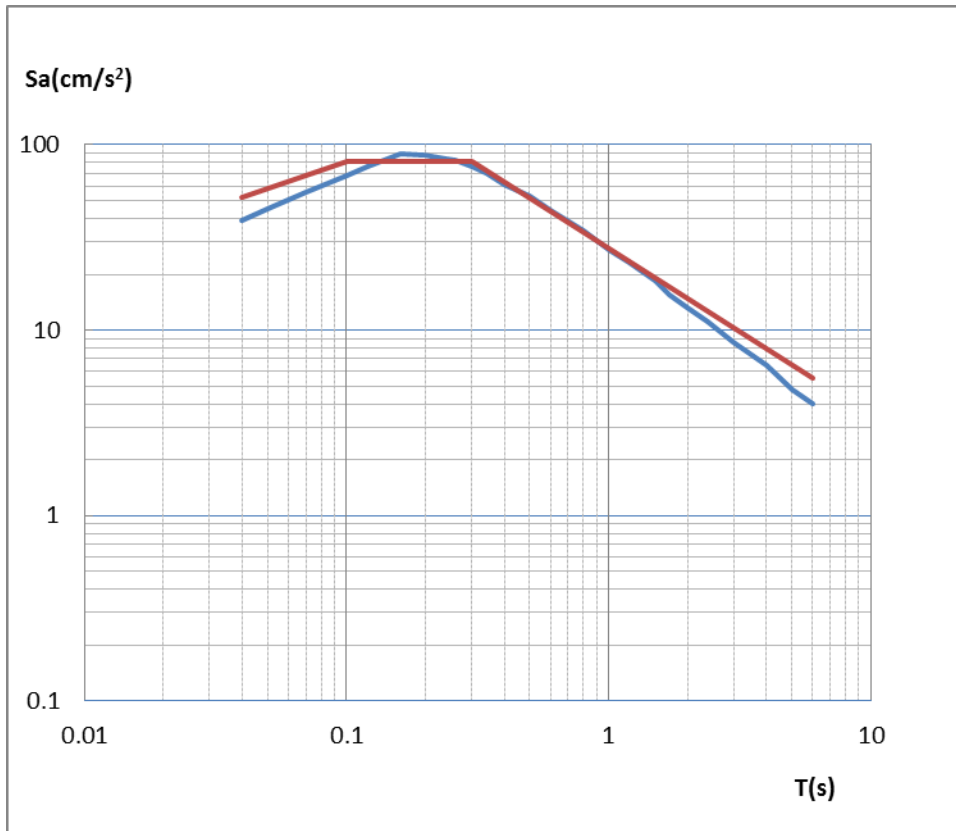
50年超越概率 10%



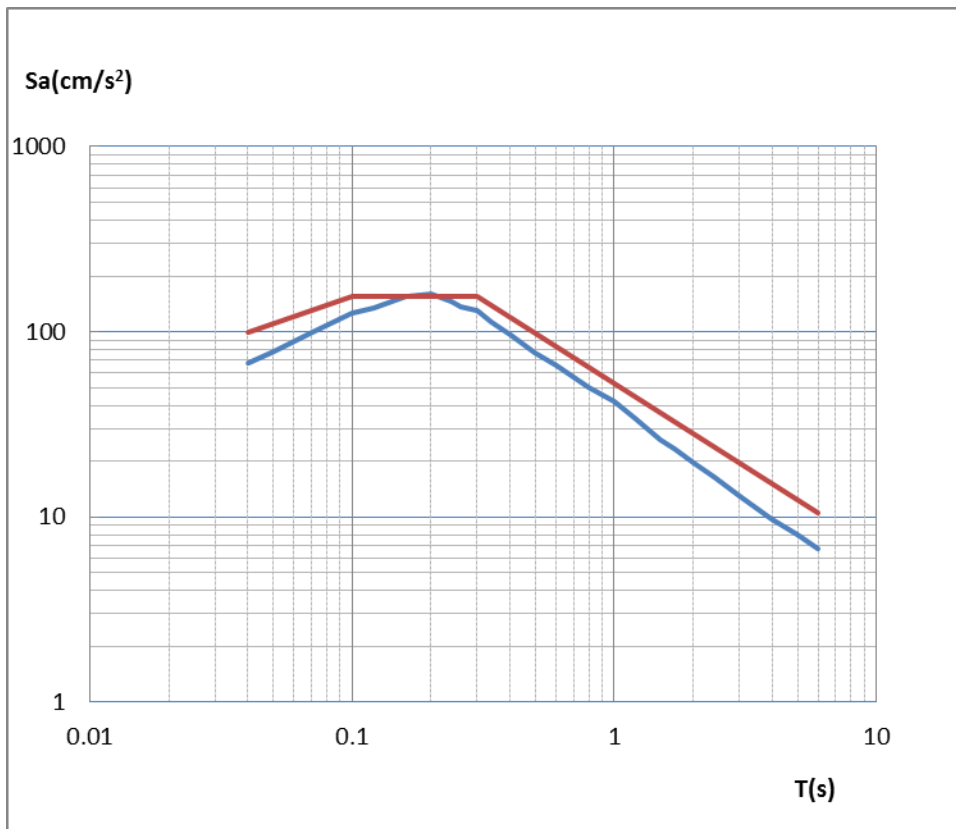
50年超越概率 2%



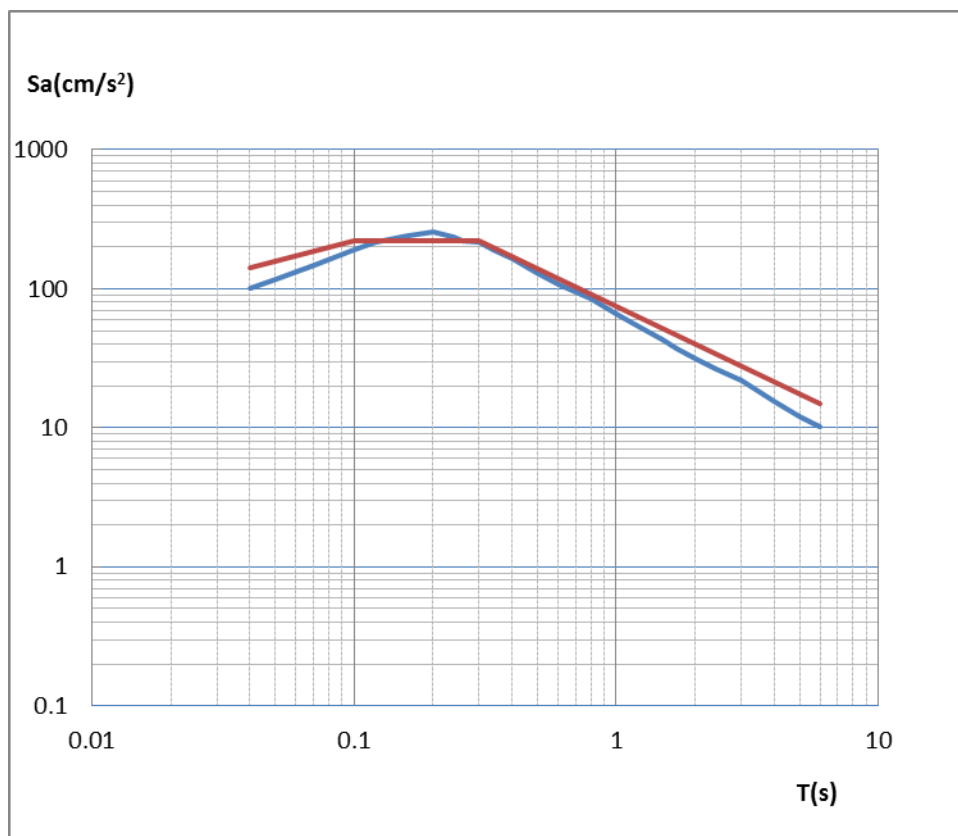
100年超越概率 60%



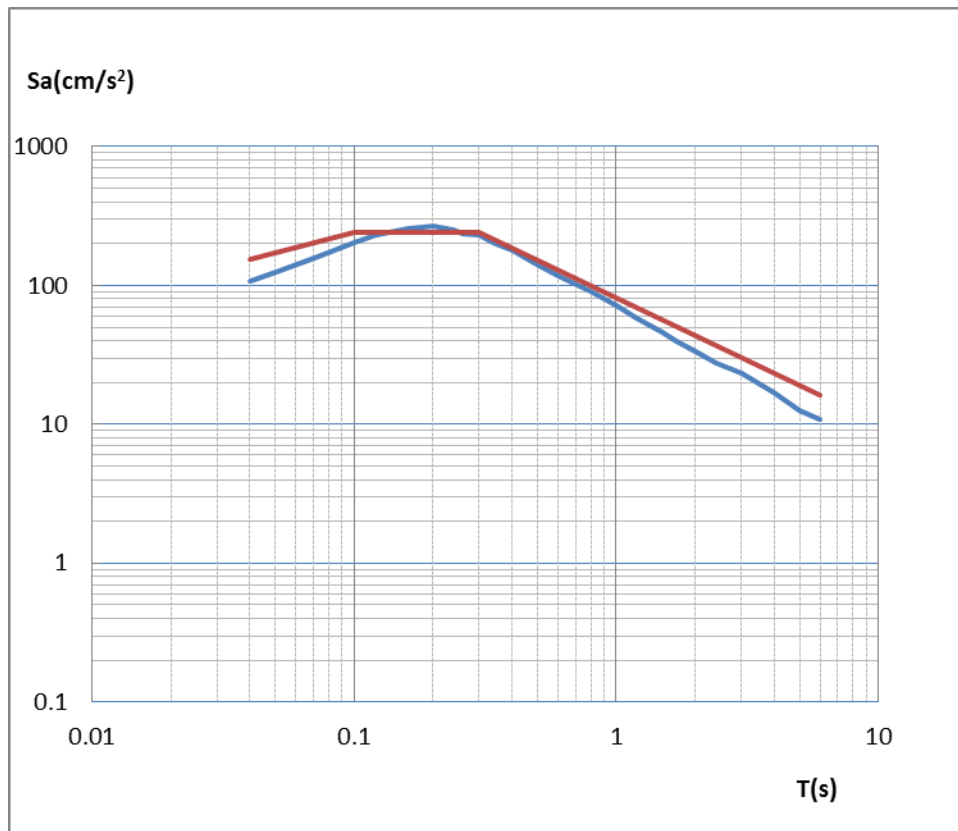
100年超越概率40%



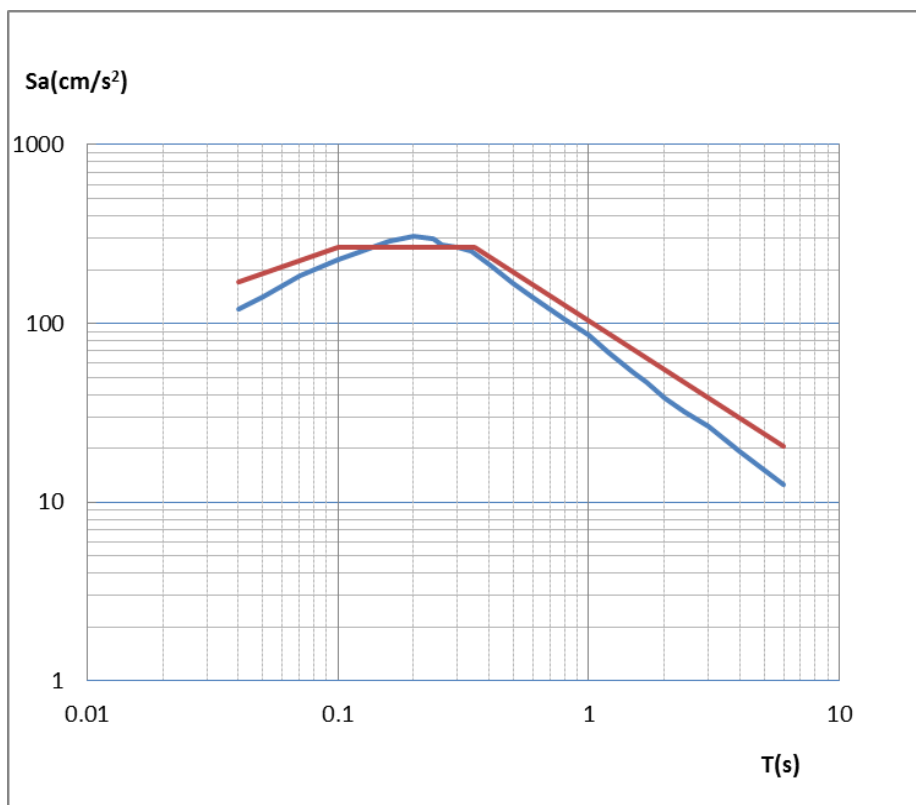
100年超越概率10%



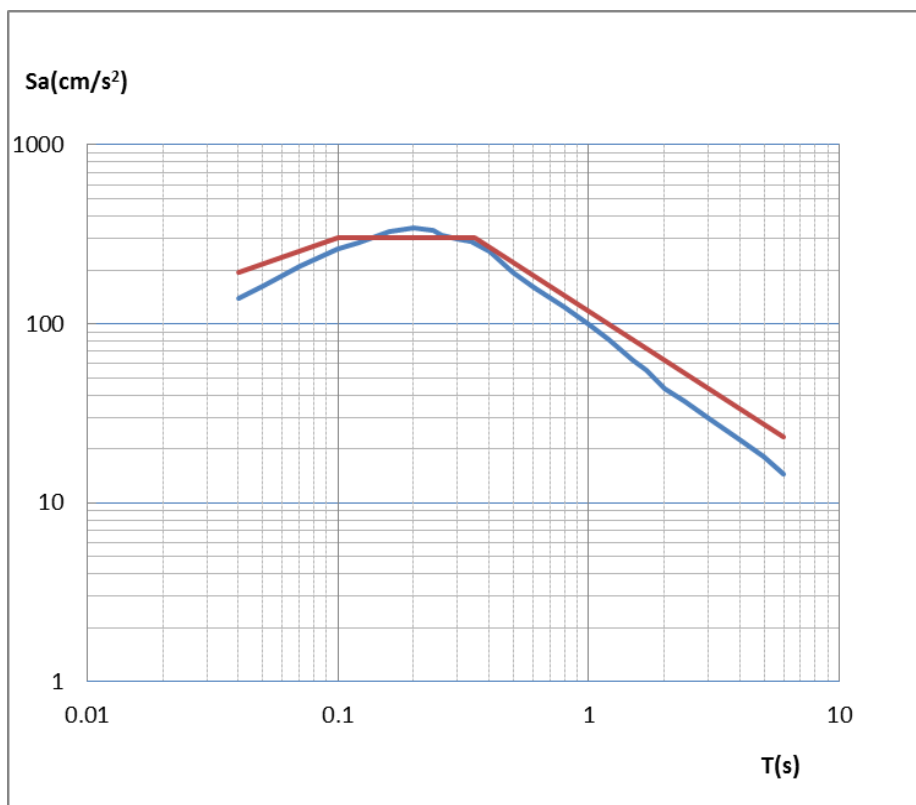
100年超越概率 5%



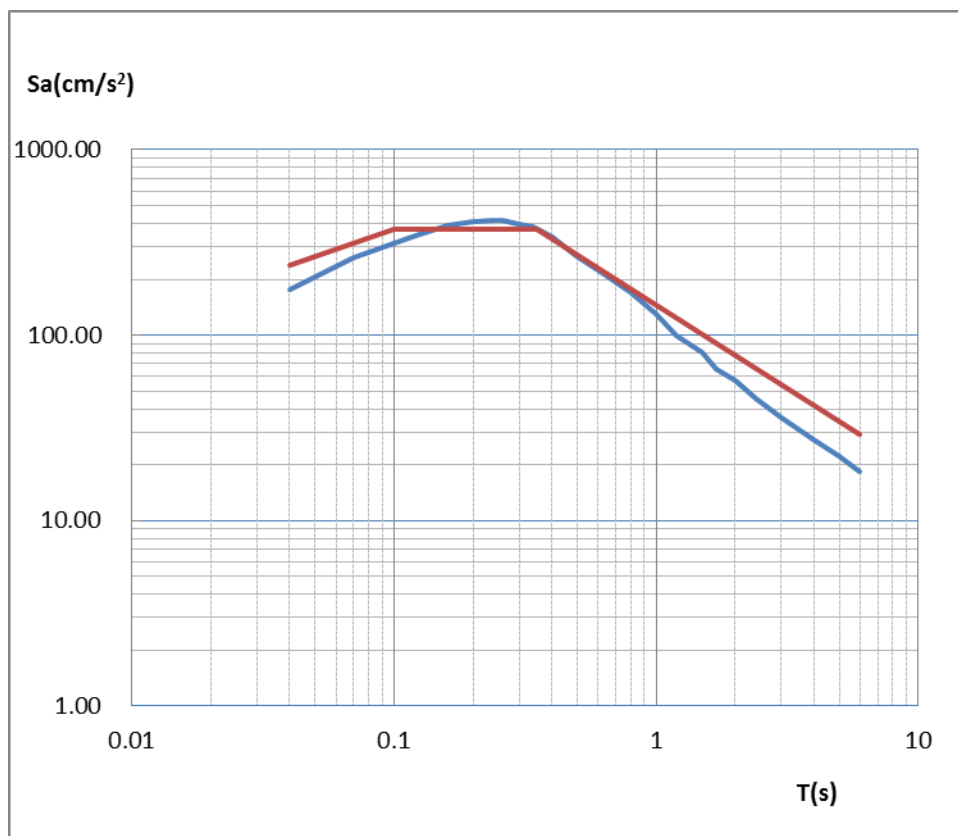
100年超越概率 4%



100年超越概率3%

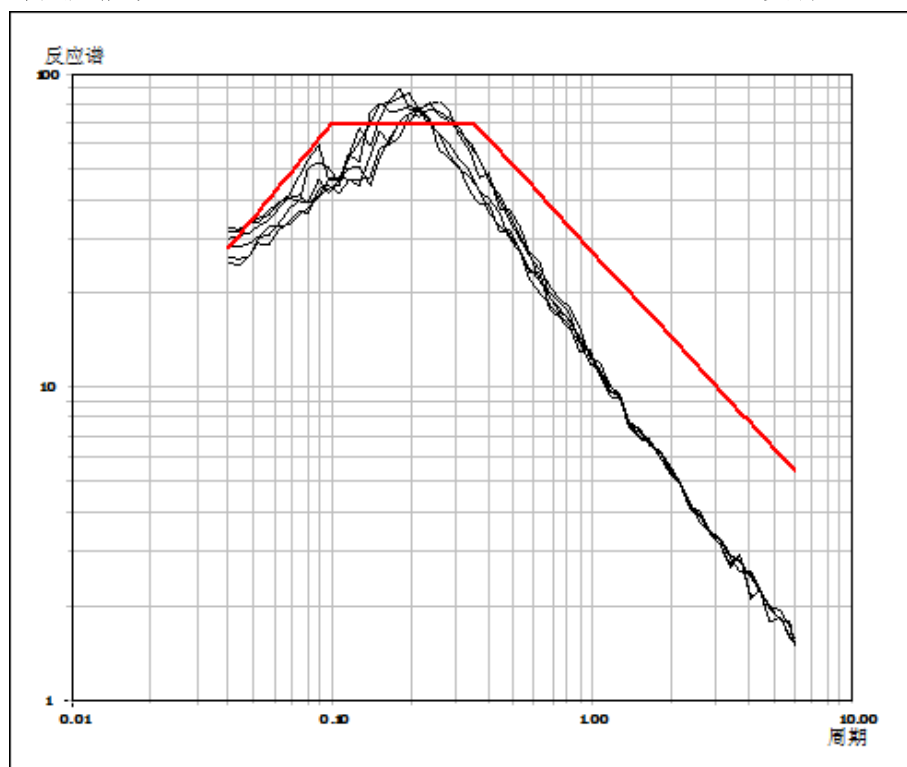


100年超越概率2%

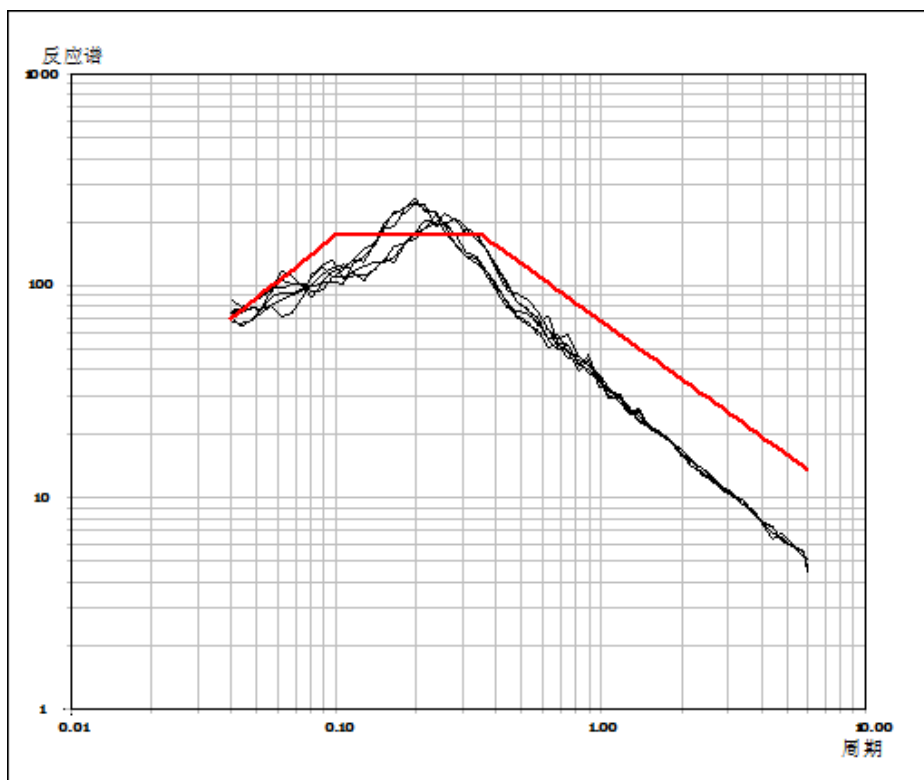


100年超越概率 1%

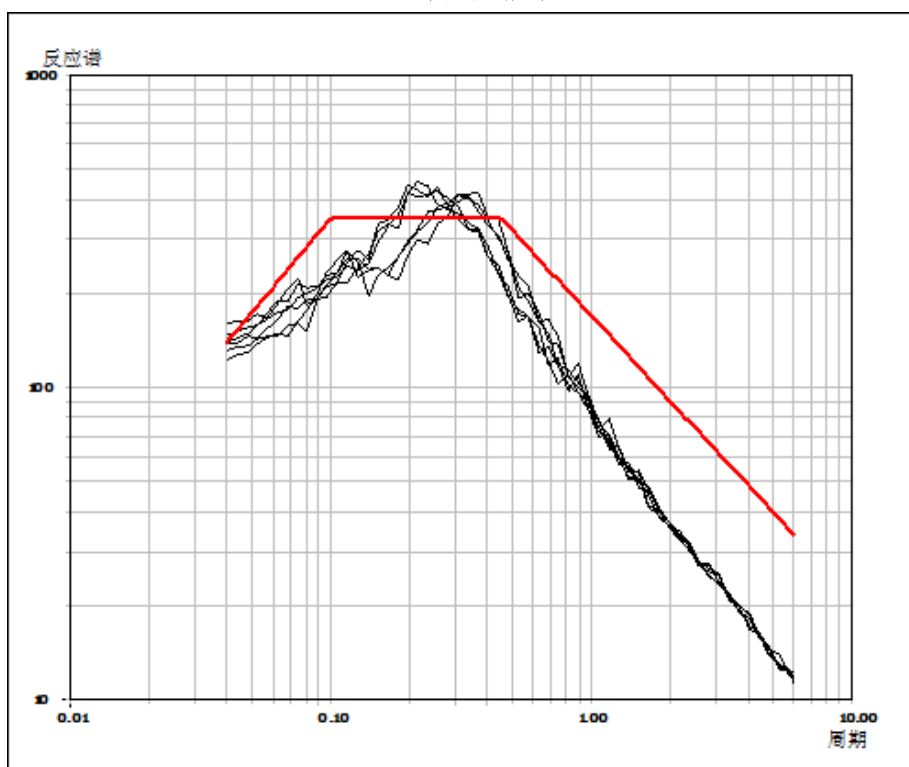
图 6.3-1a 玉溪工业园区场地水平向反应谱及规范反应谱(从上到下 50年超越概率 63%、10%、2%，100年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1% I类场地、5% 阻尼比)



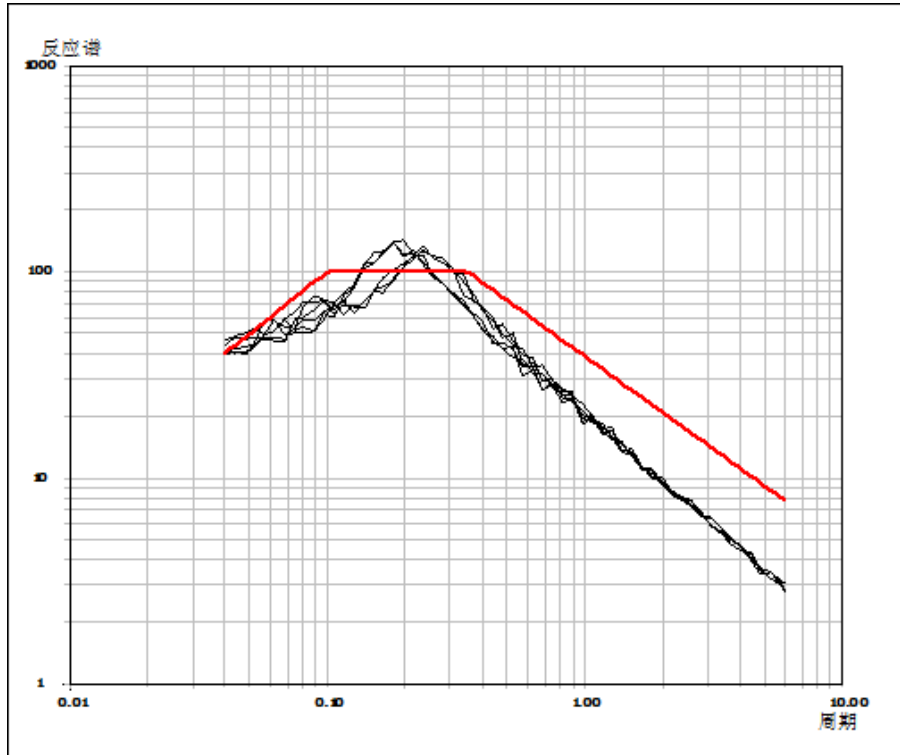
50年超越概率 63%



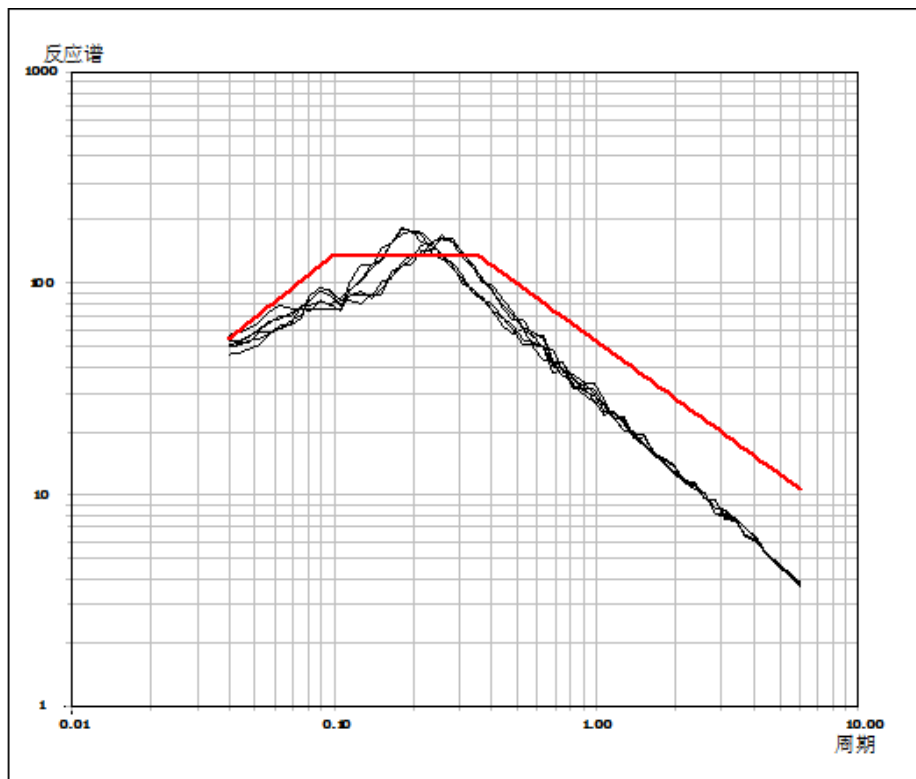
50年超越概率10%



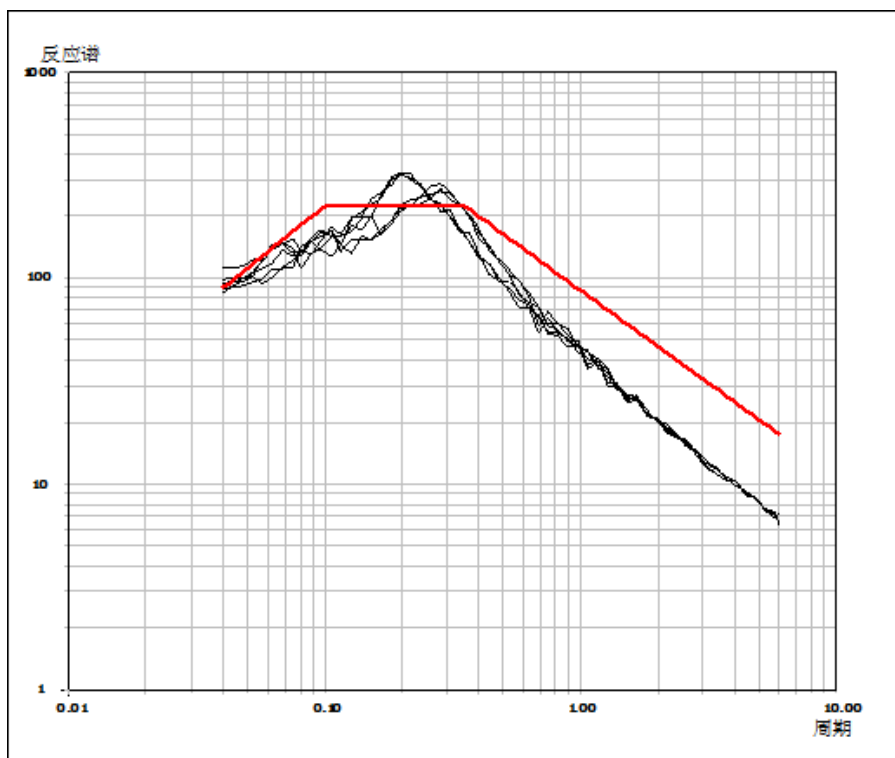
50年超越概率2%



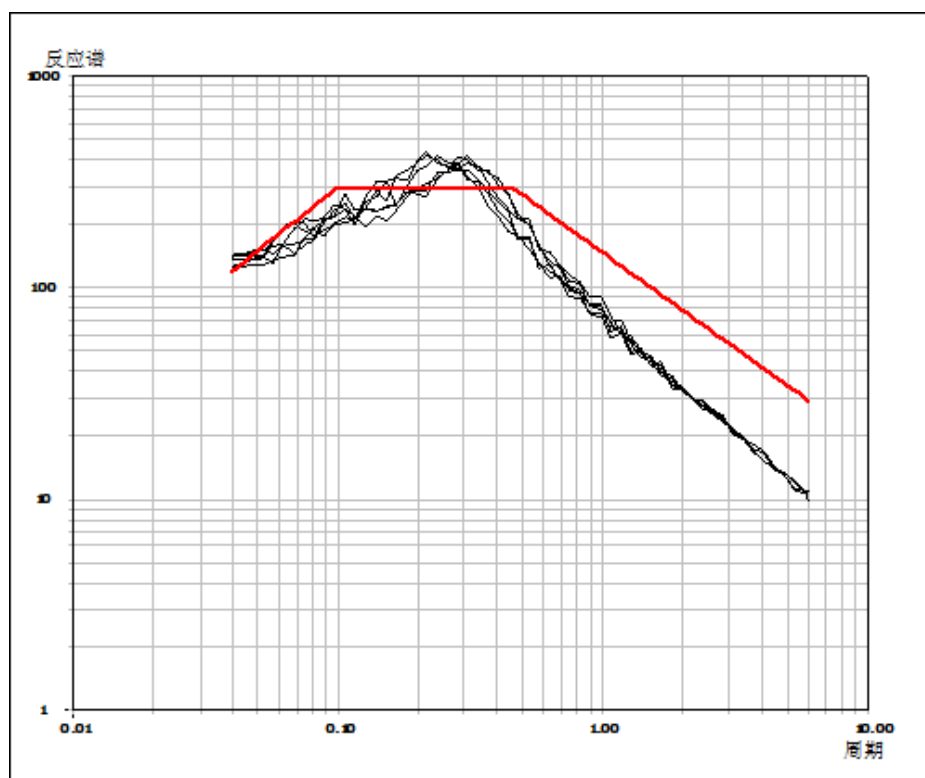
100 年超越概率 60%



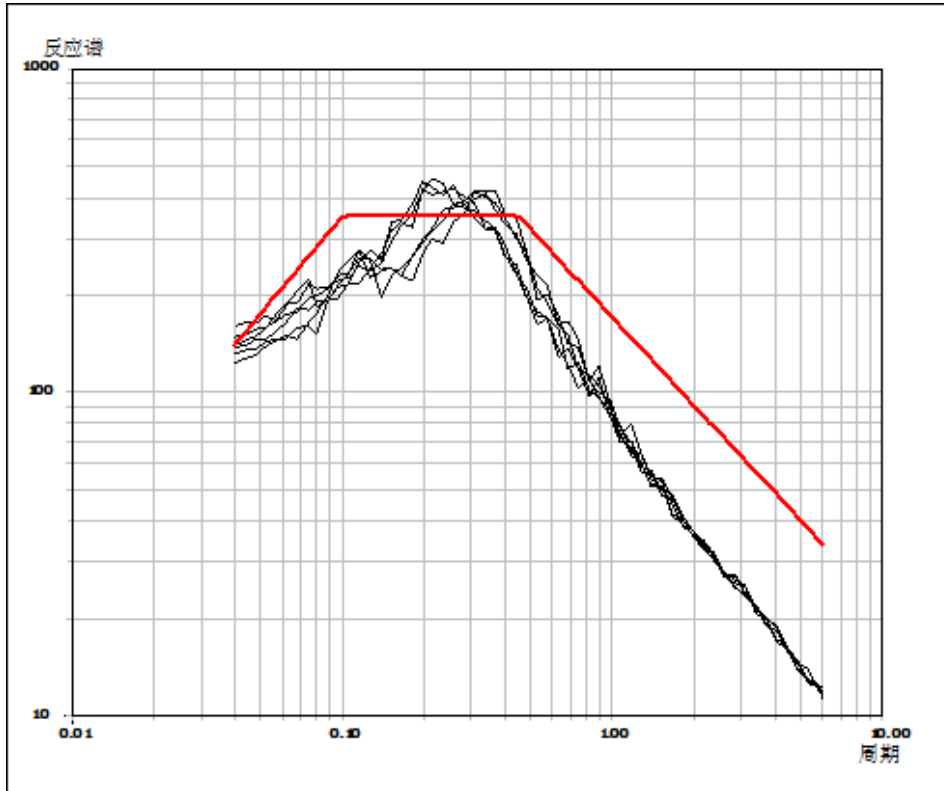
100 年超越概率 40%



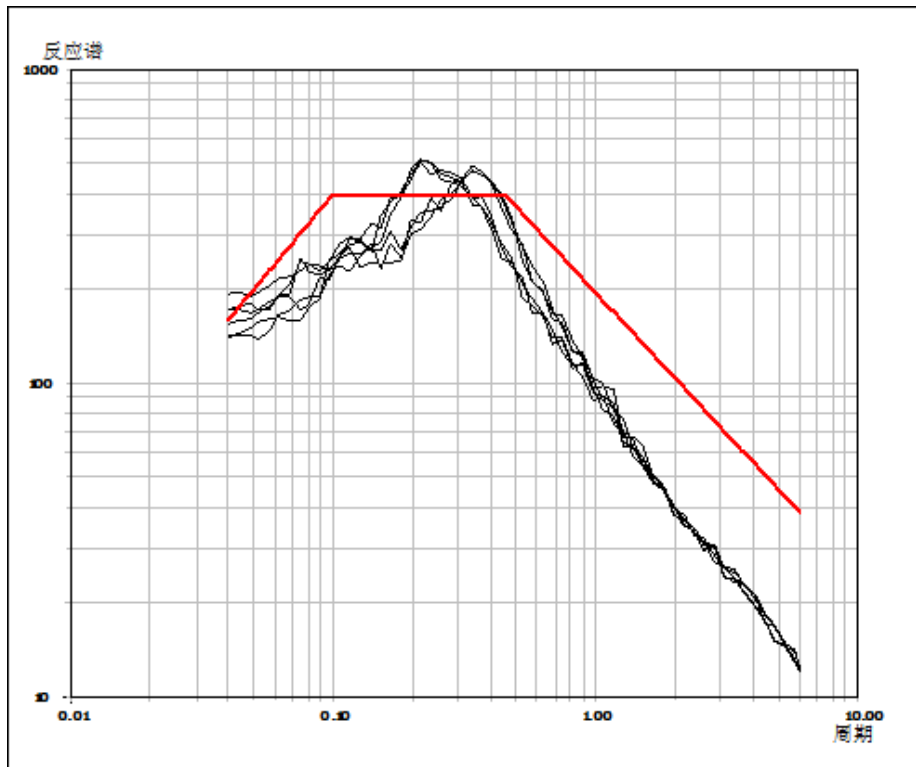
100年超越概率10%



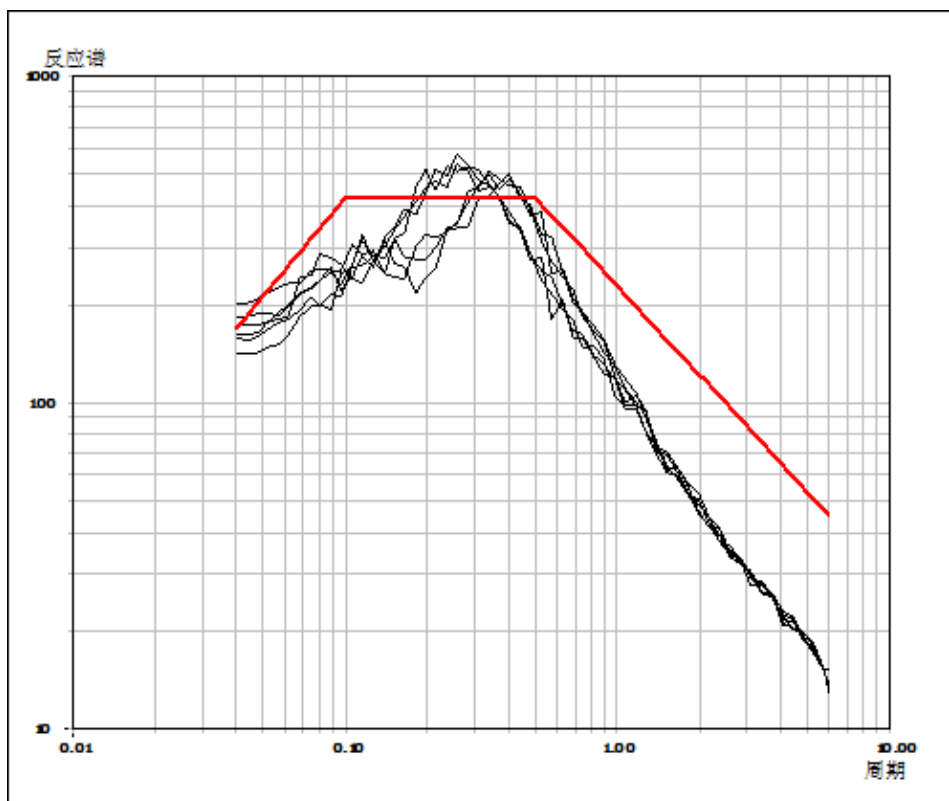
100年超越概率5%



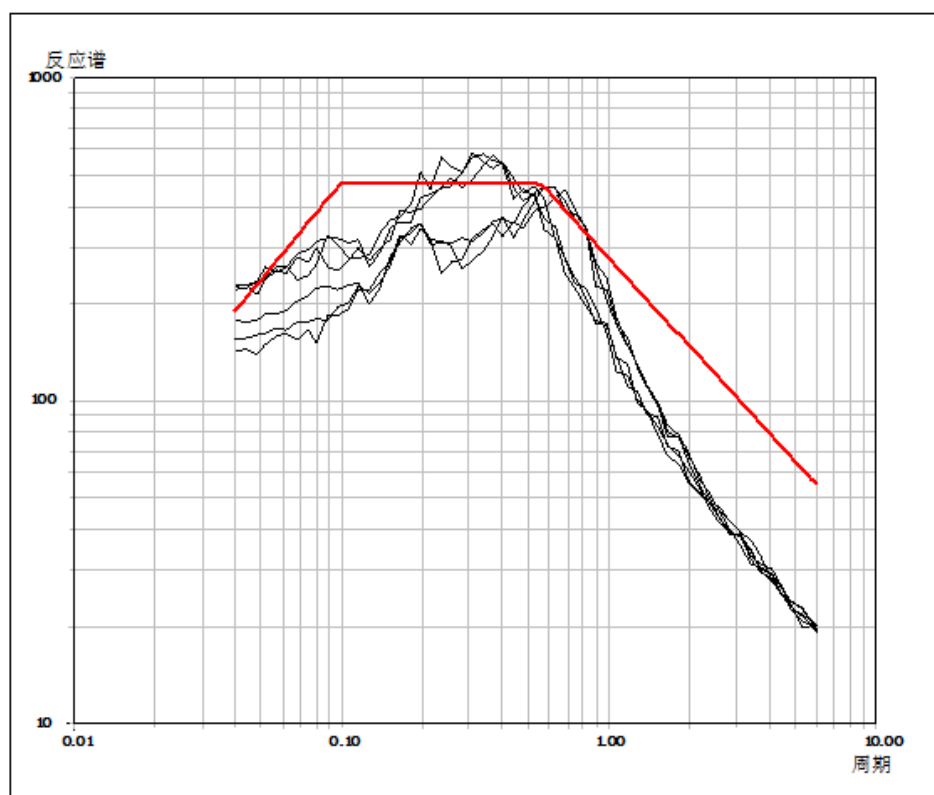
100年超越概率4%



100年超越概率3%

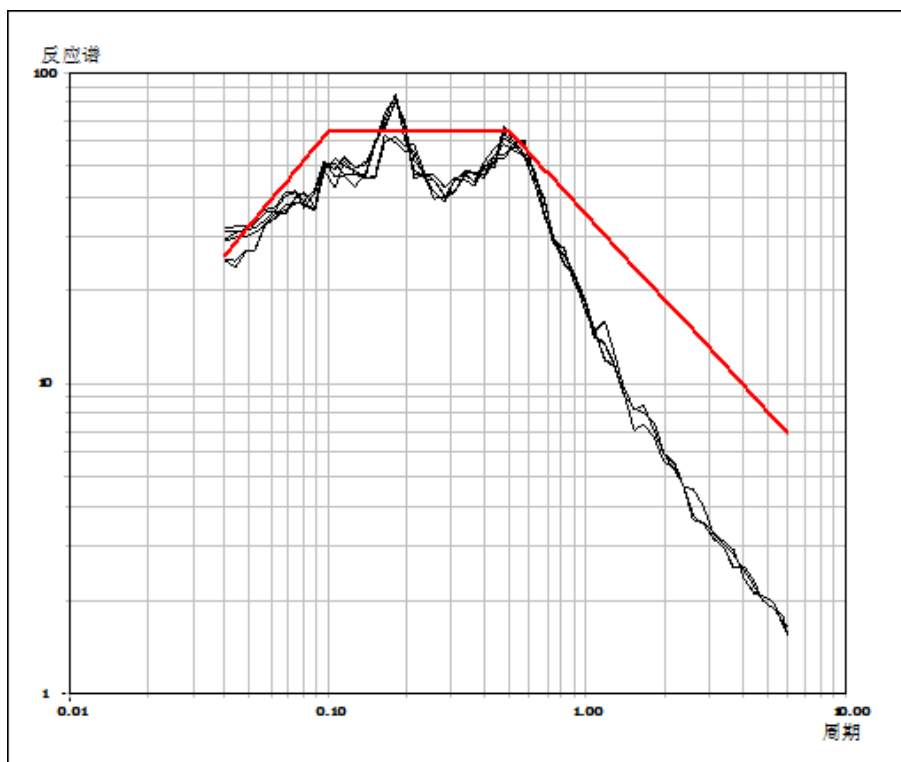


100年超越概率2%

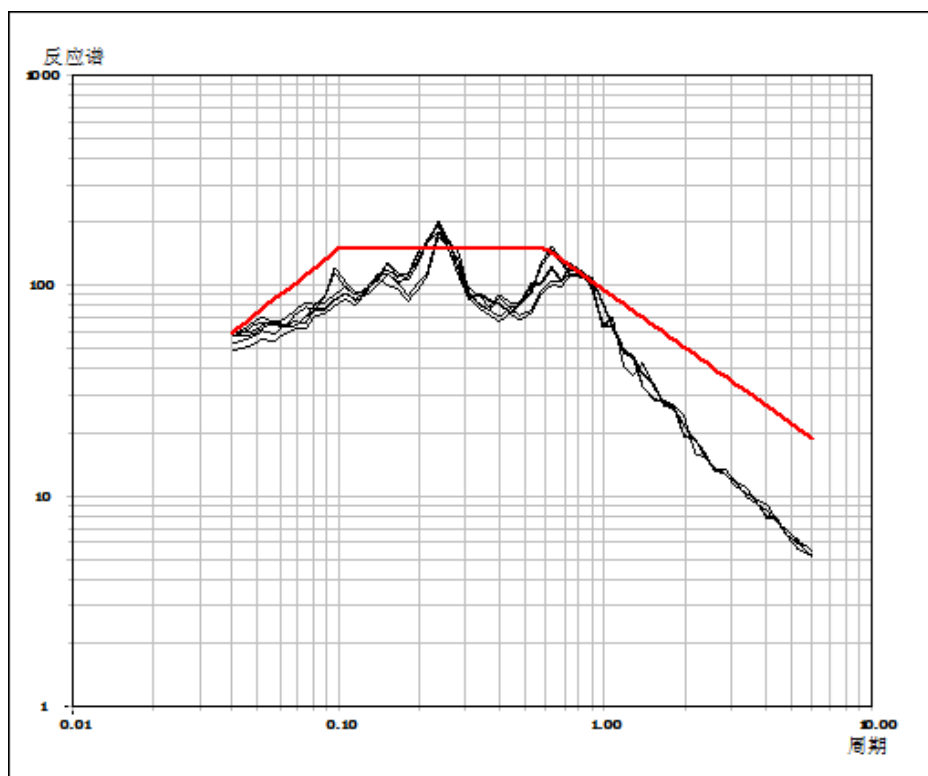


100年超越概率1%

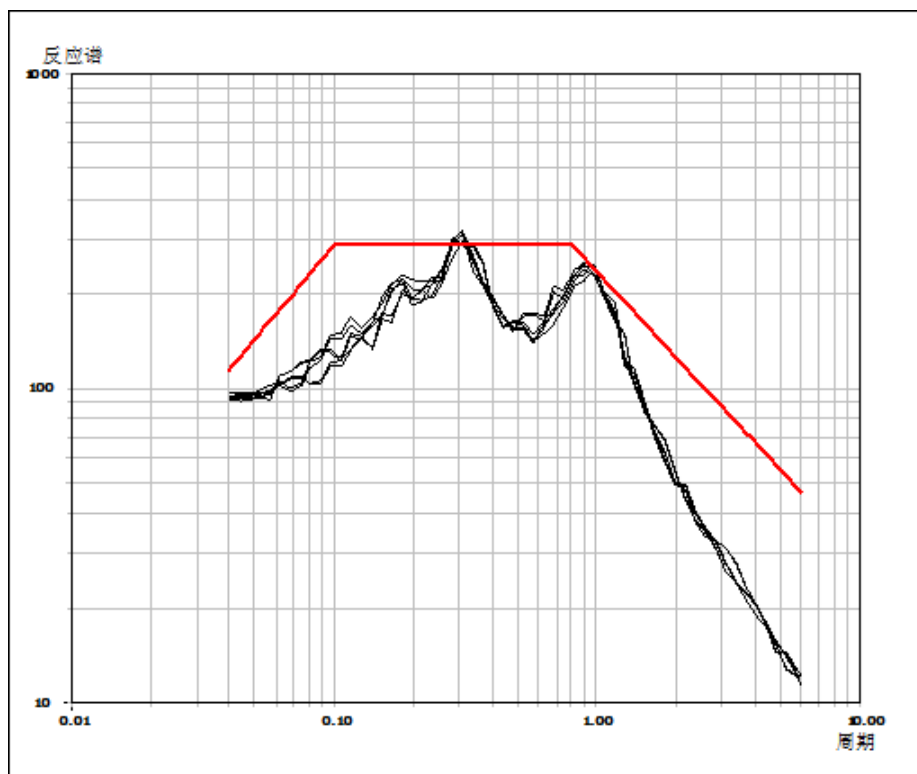
图 6.3-1b 玉溪工业园区场地水平向反应谱及规准反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，II 类场地，5% 阻尼比)



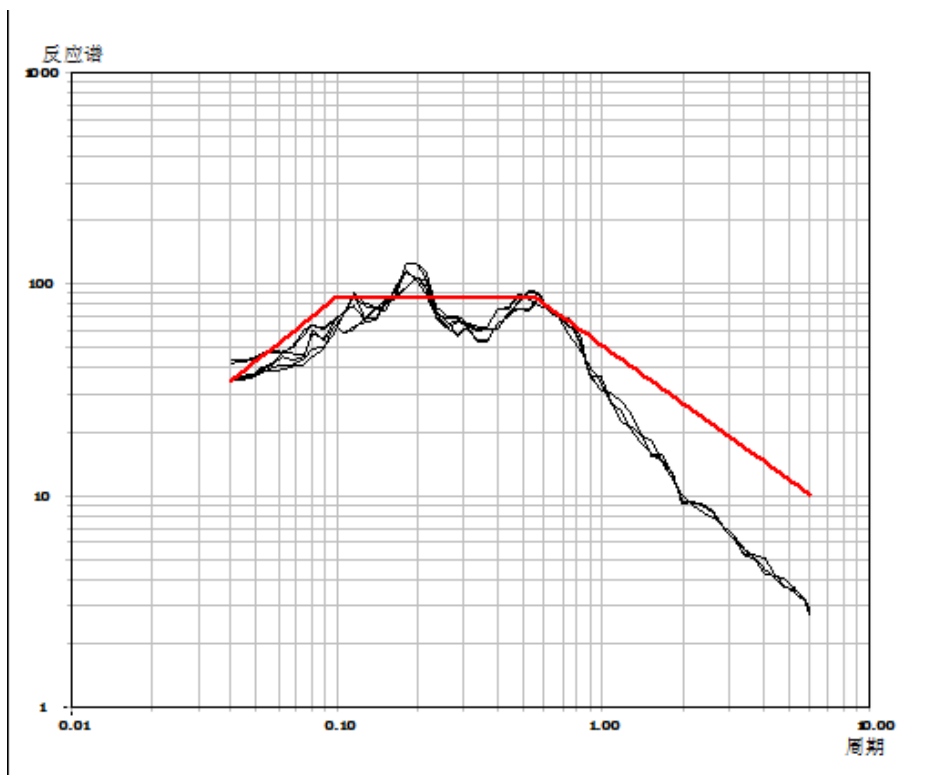
50年超越概率 63%



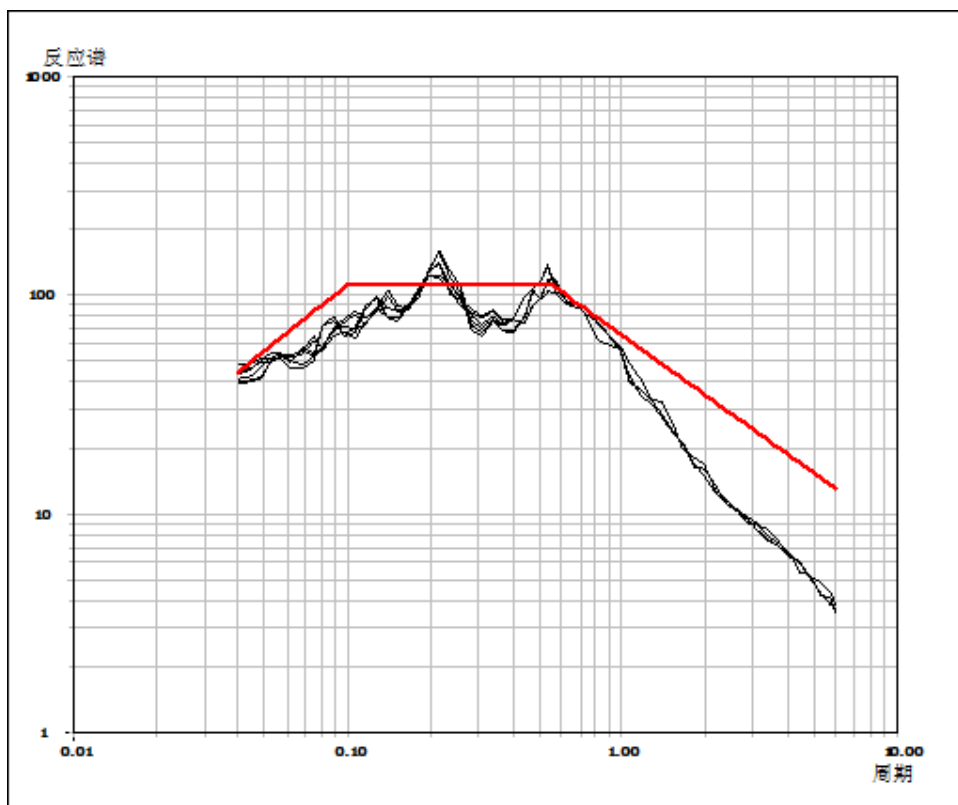
50年超越概率 10%



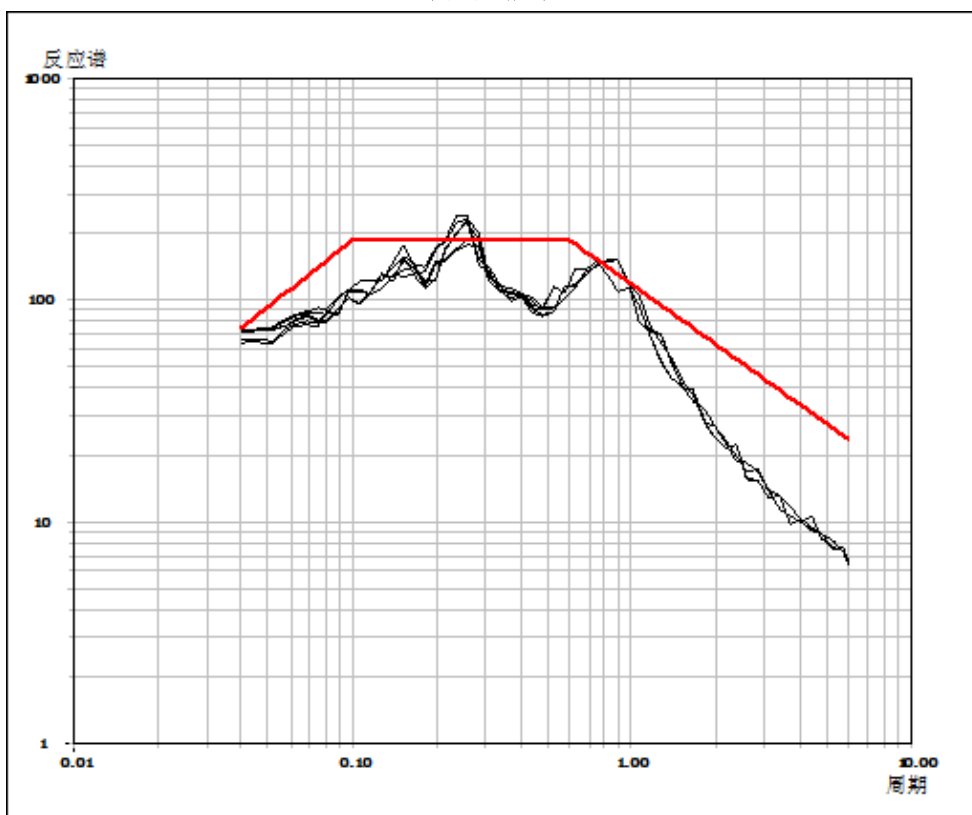
50年超越概率 2%



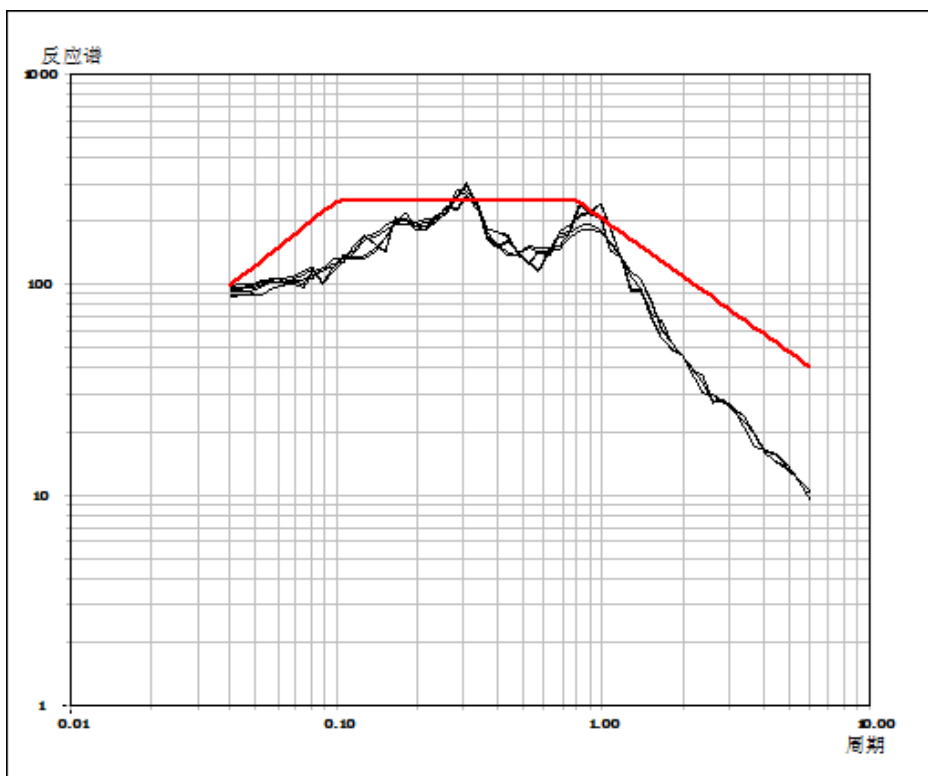
100年超越概率 60%



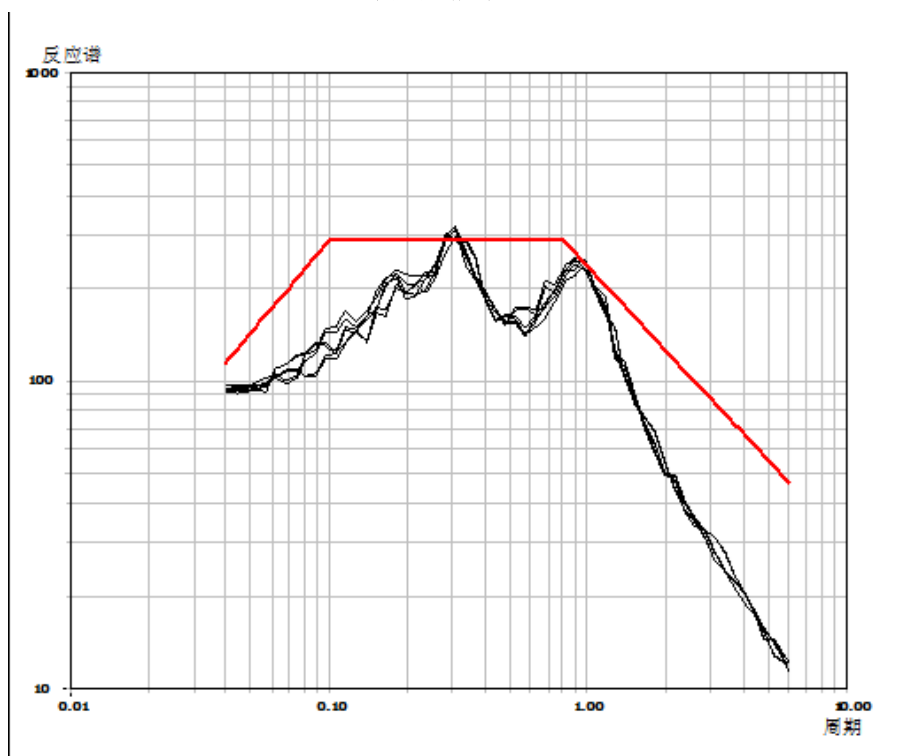
100 年超越概率 40%



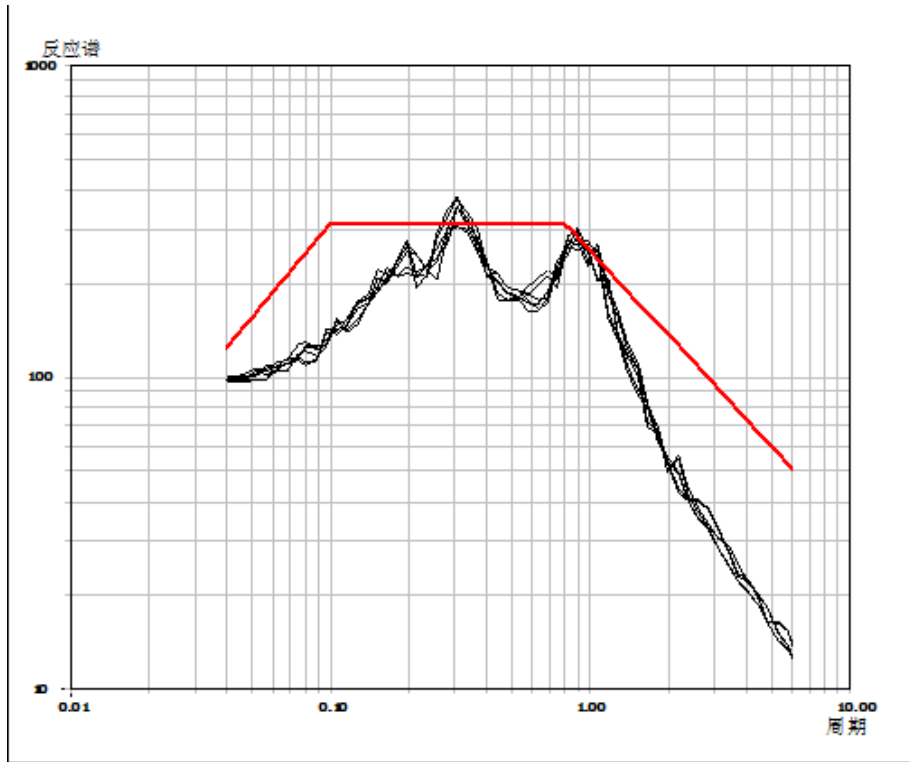
100 年超越概率 10%



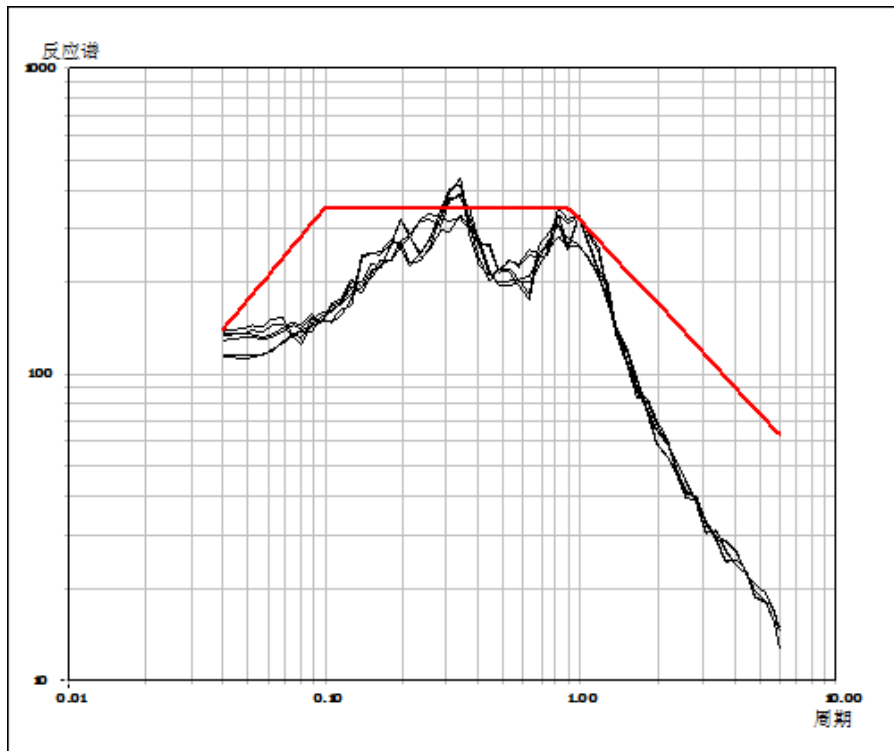
100年超越概率5%



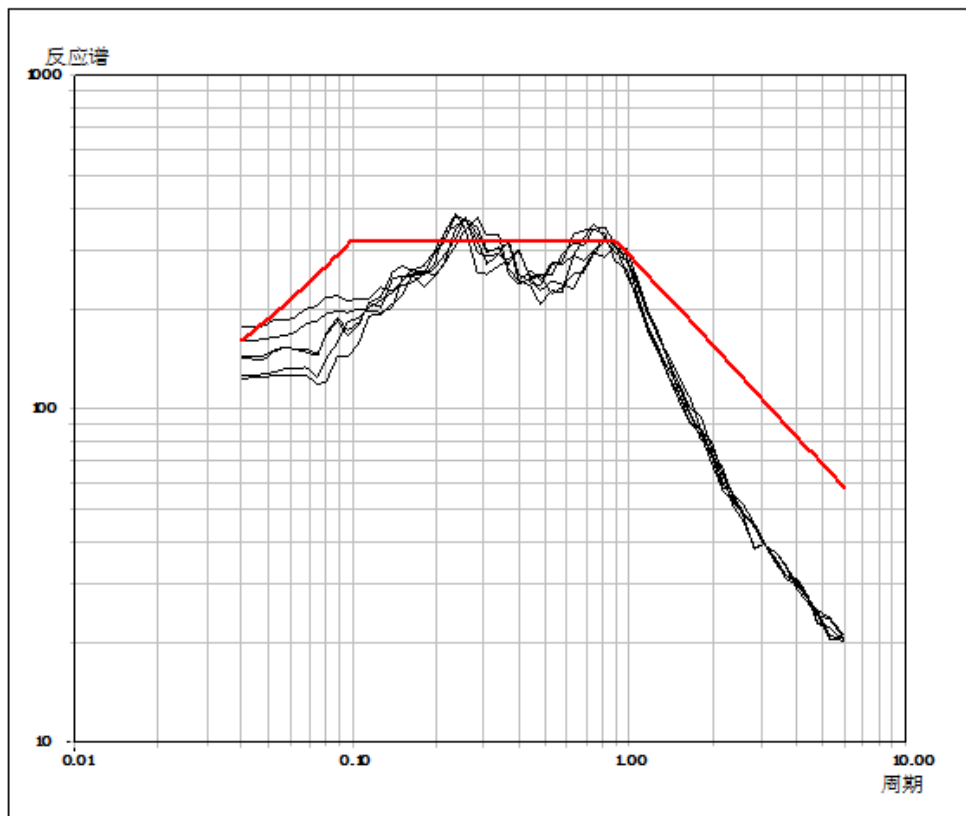
100年超越概率4%



100年超越概率3%

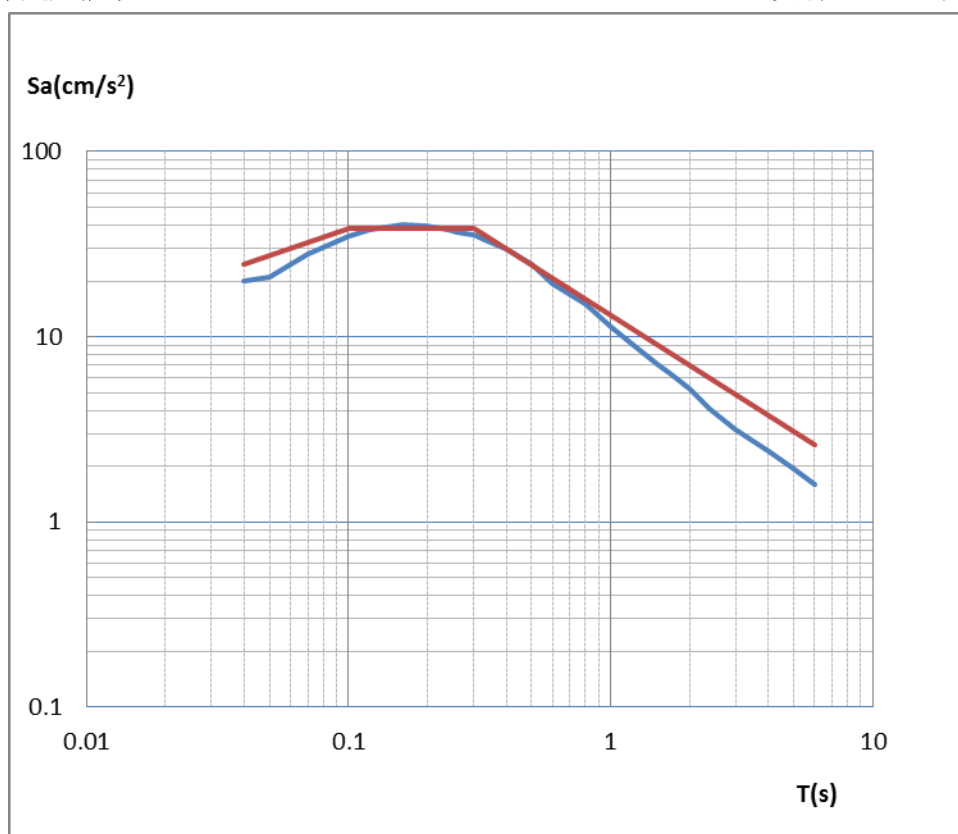


100年超越概率2%

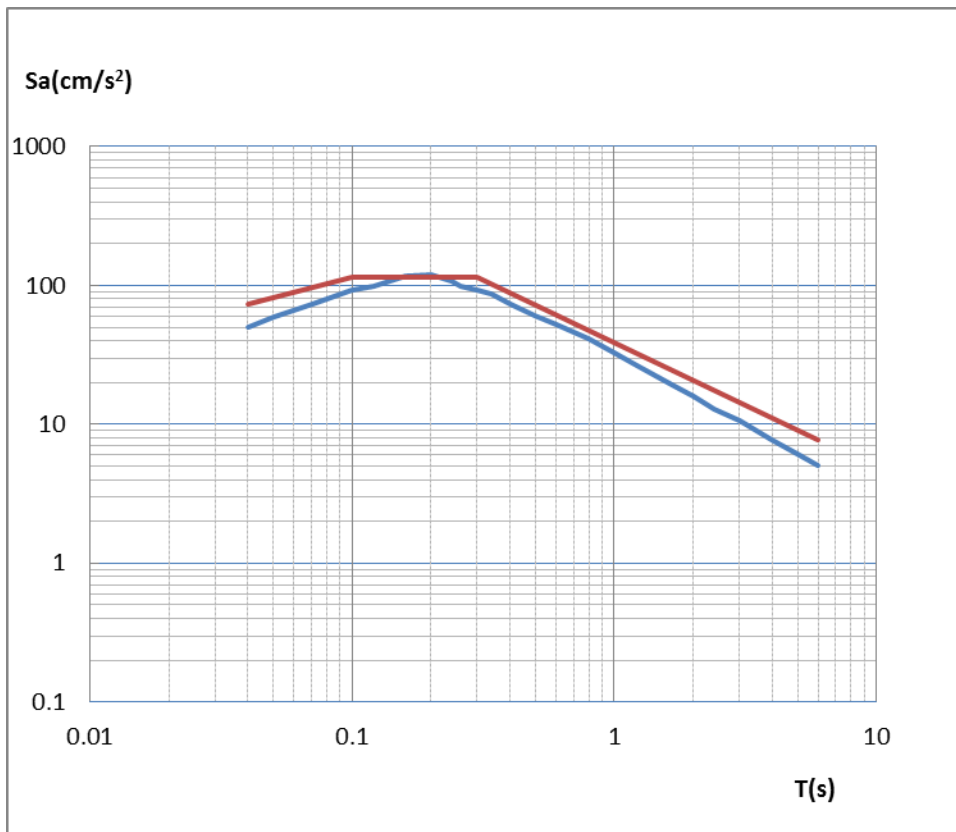


100年超越概率 1%

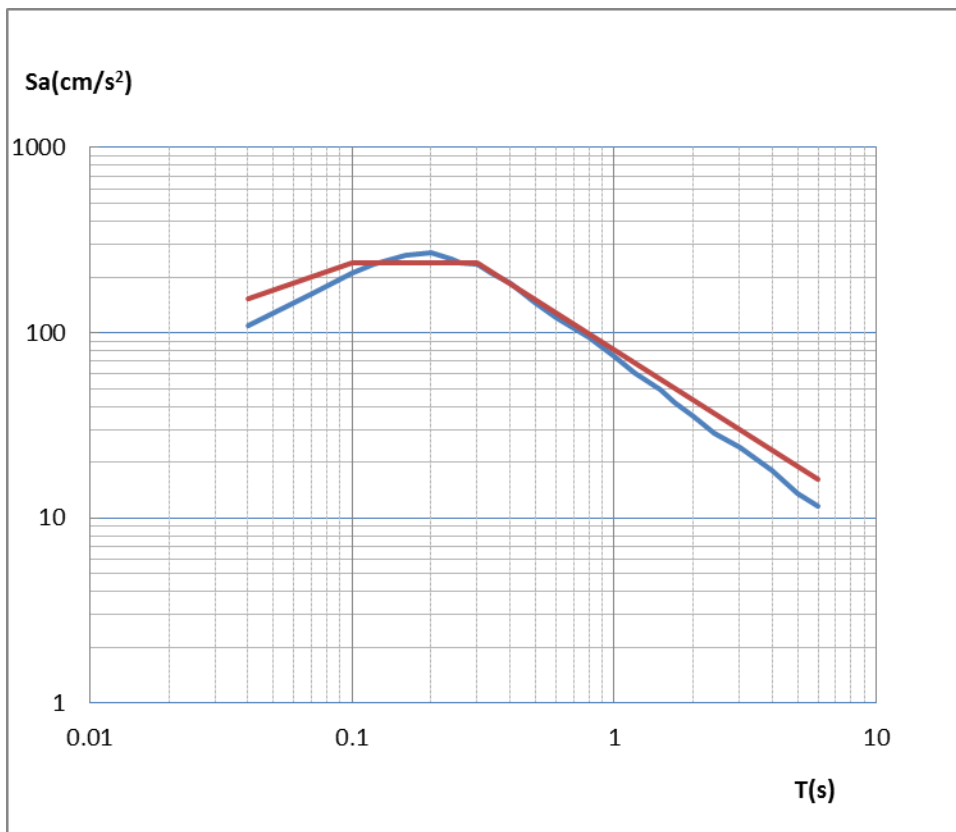
图 6.3-1c 玉溪工业园区场地水平向反应谱及规范反应谱(从上到下 50年超越概率 63%、10%、2%，100年超越概率 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，Ⅲ类场地，5% 阻尼比)



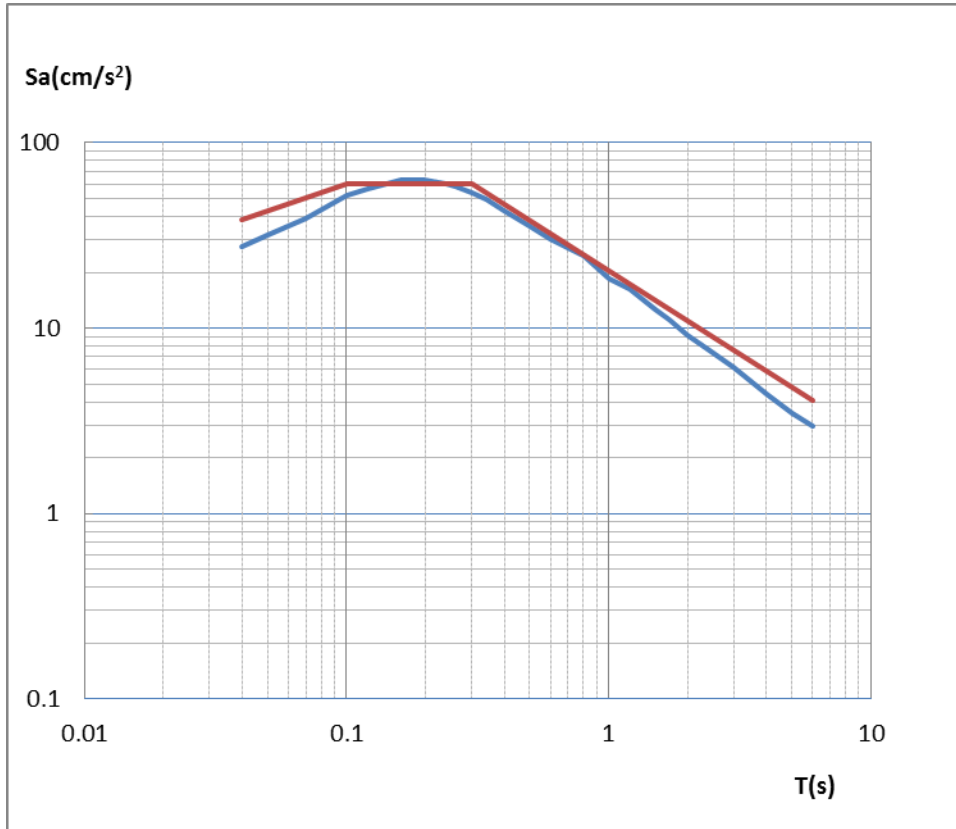
50年超越概率 63%



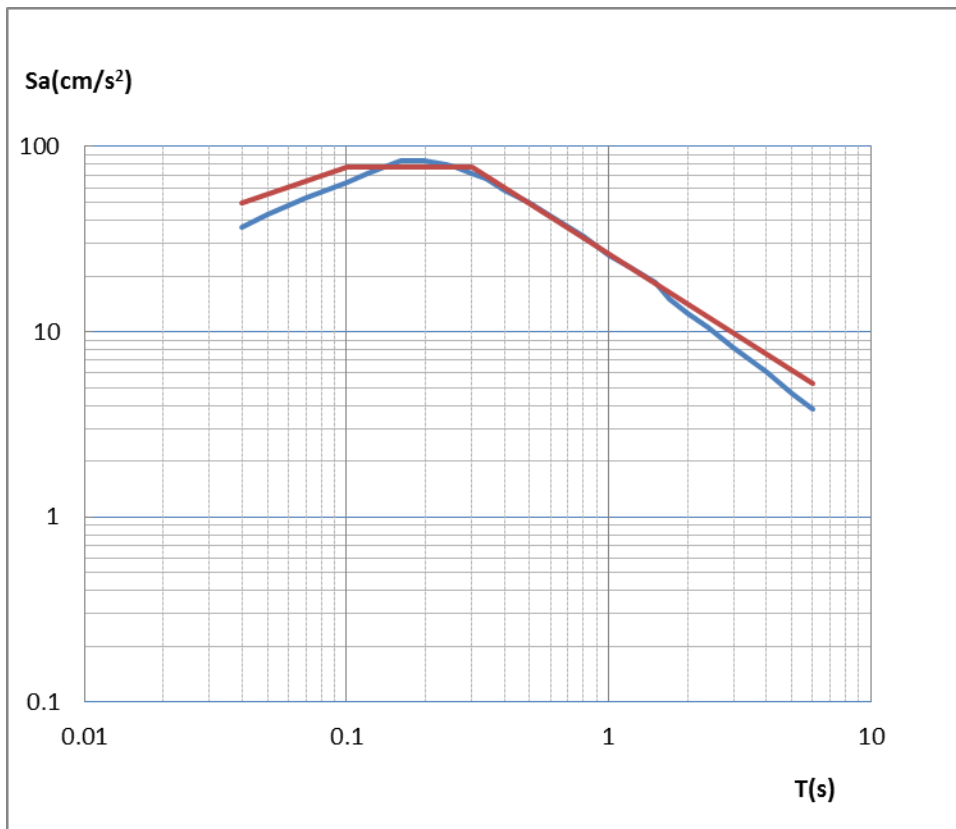
50年超越概率 10%



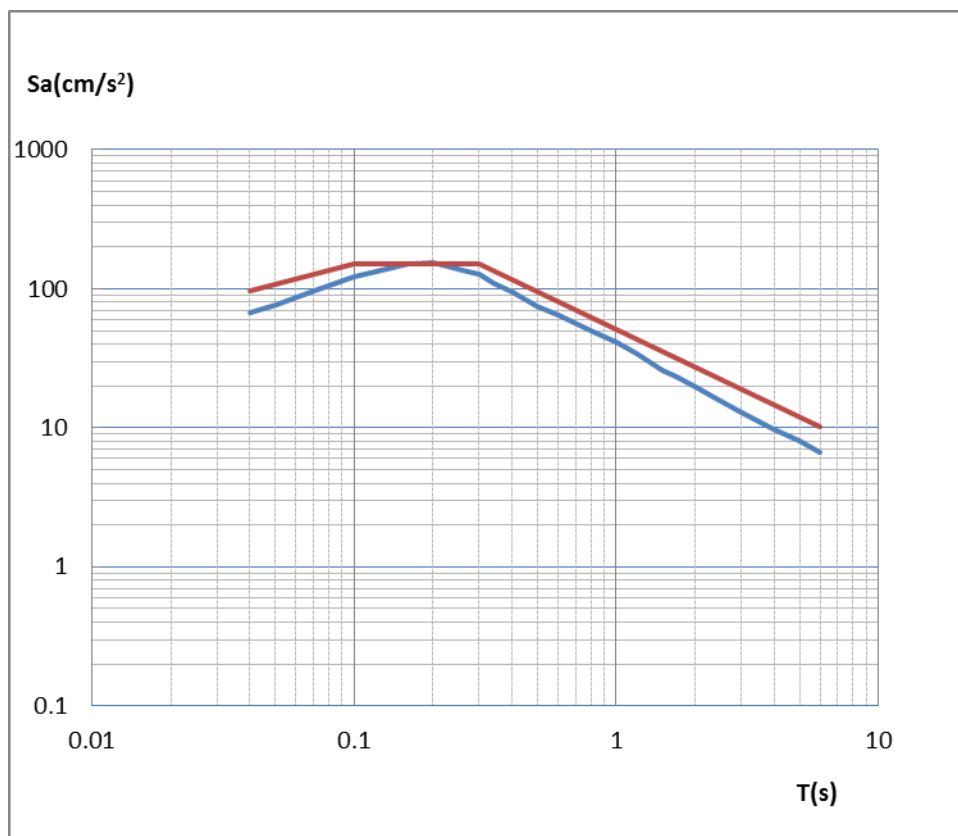
50年超越概率 2%



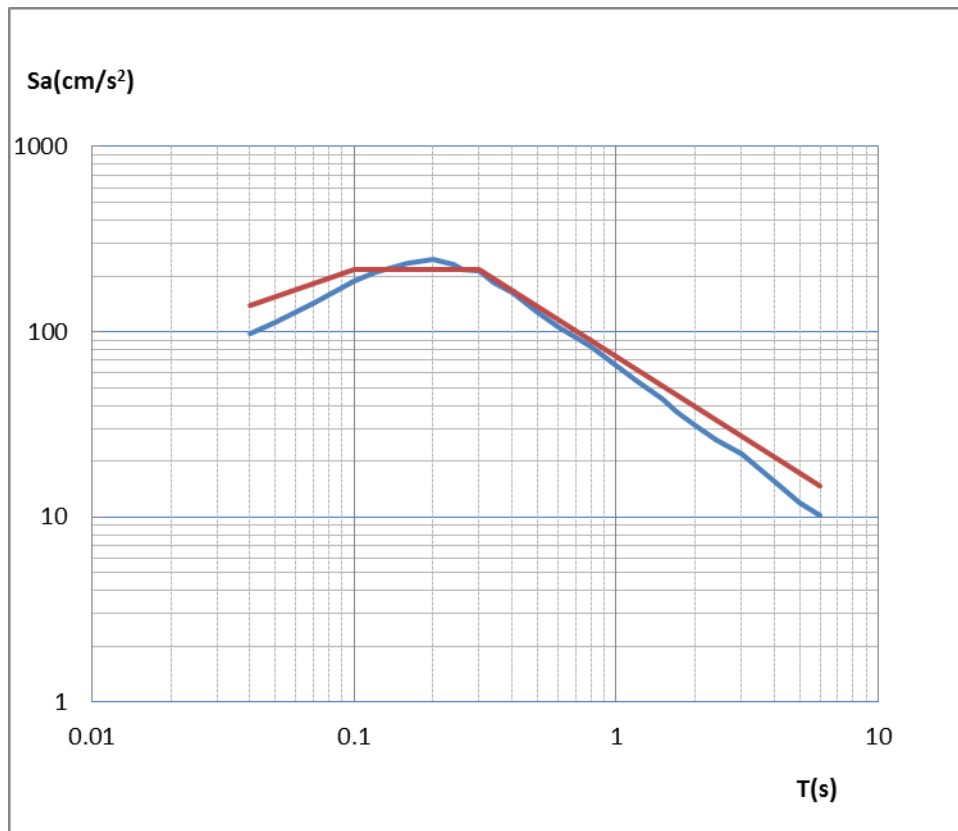
100年超越概率 60%



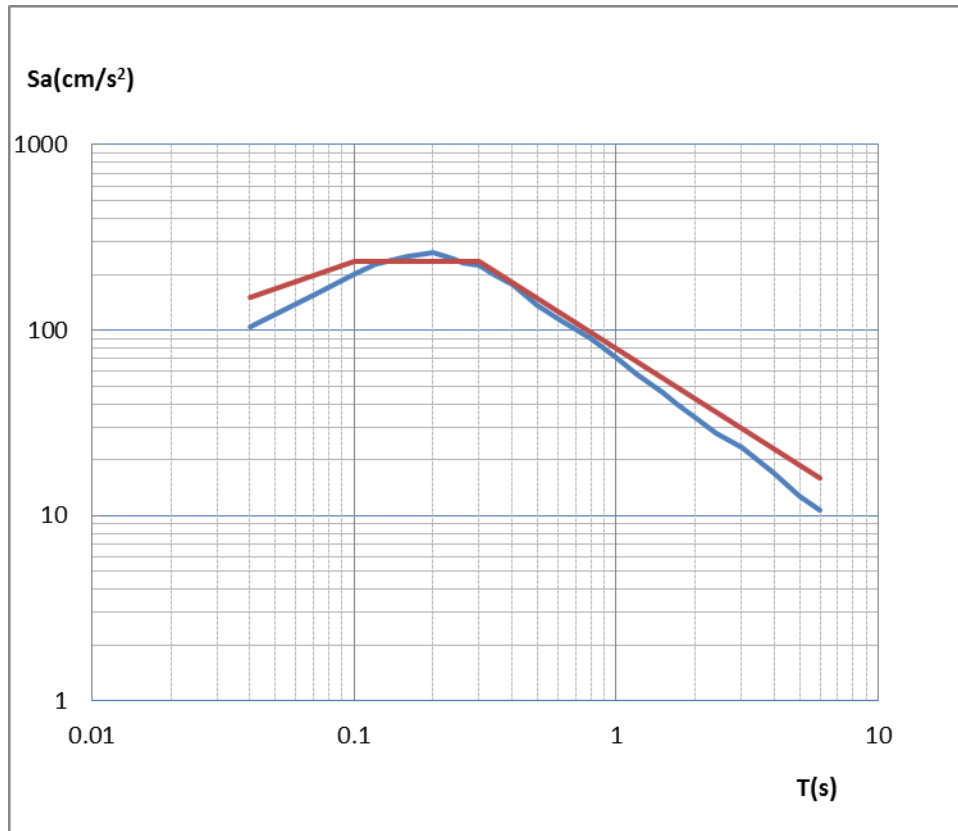
100年超越概率 40%



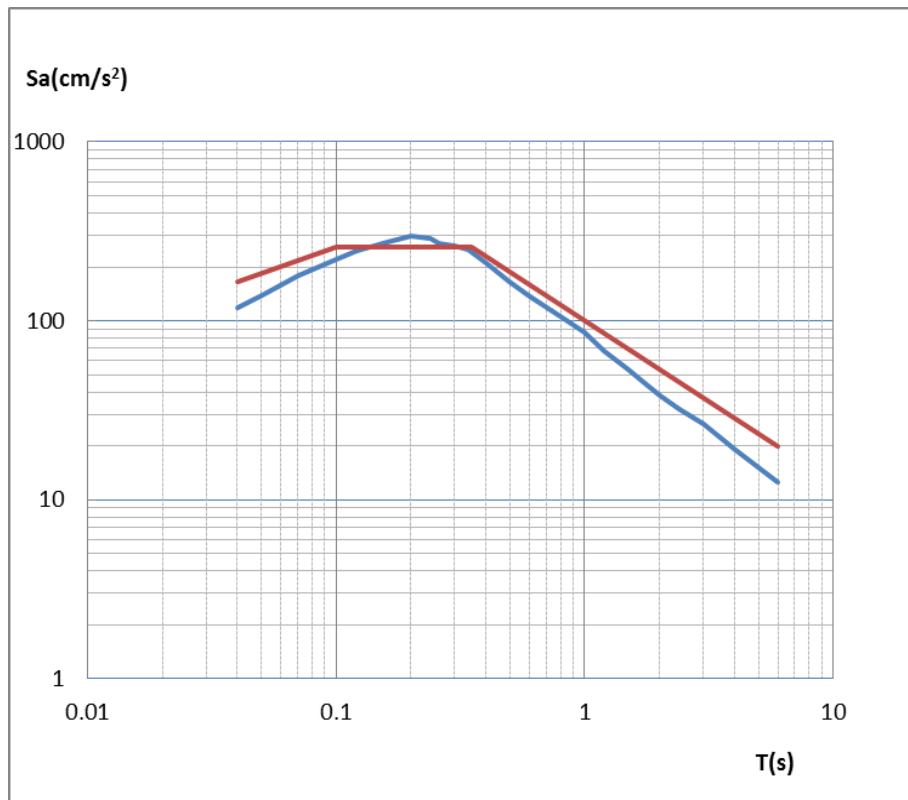
100年超越概率 10%



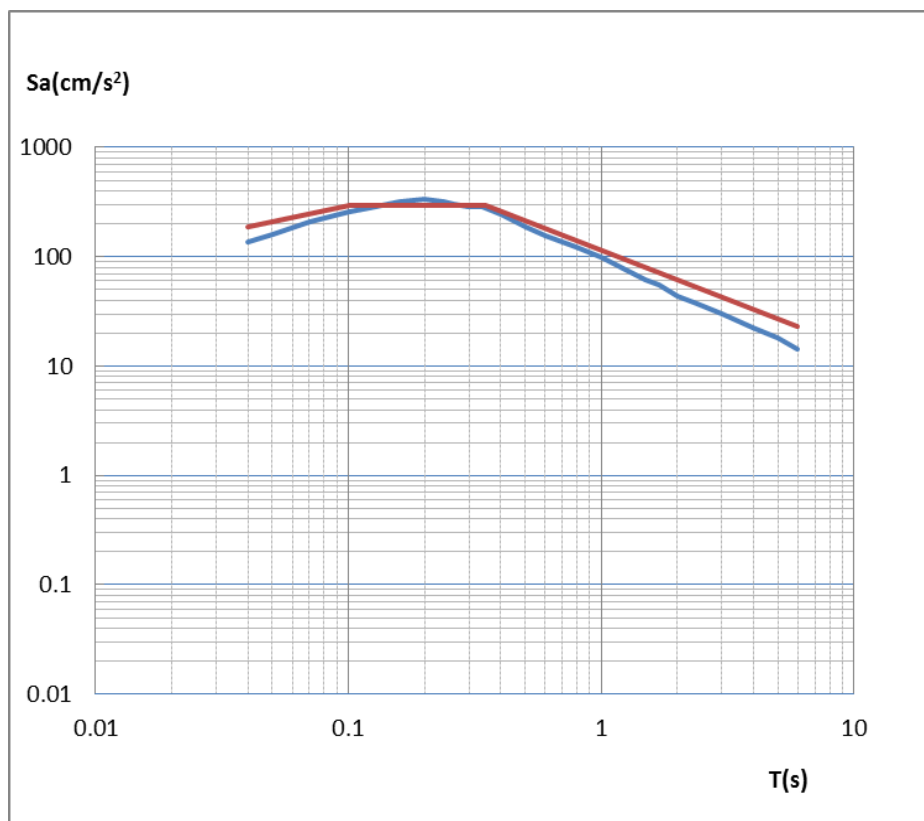
100年超越概率 5%



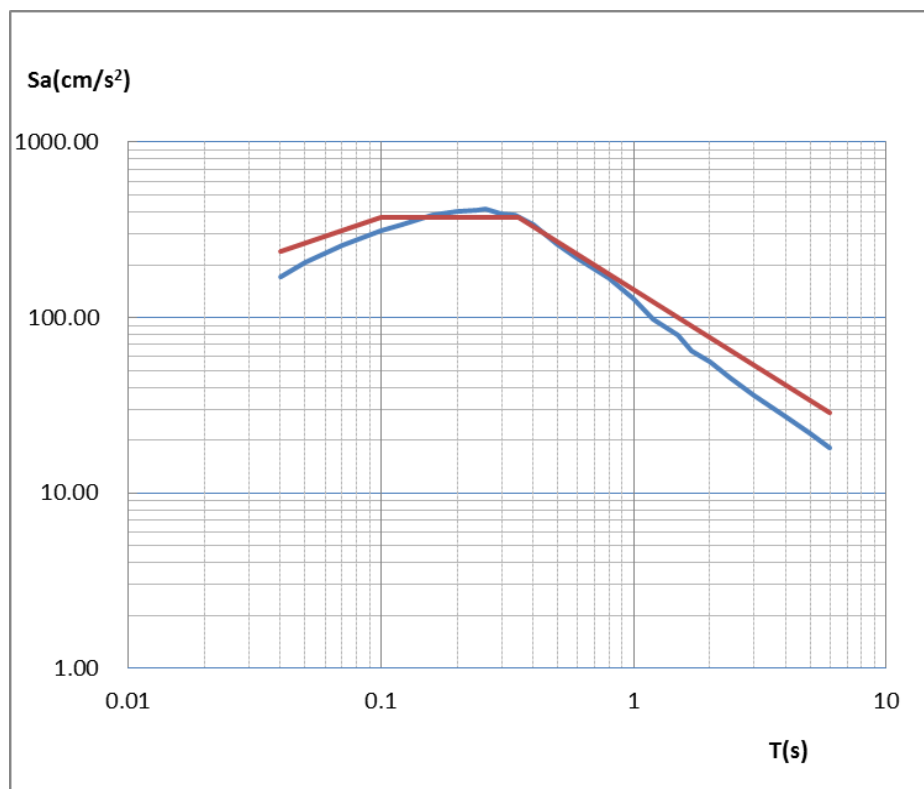
100年超越概率4%



100年超越概率3%

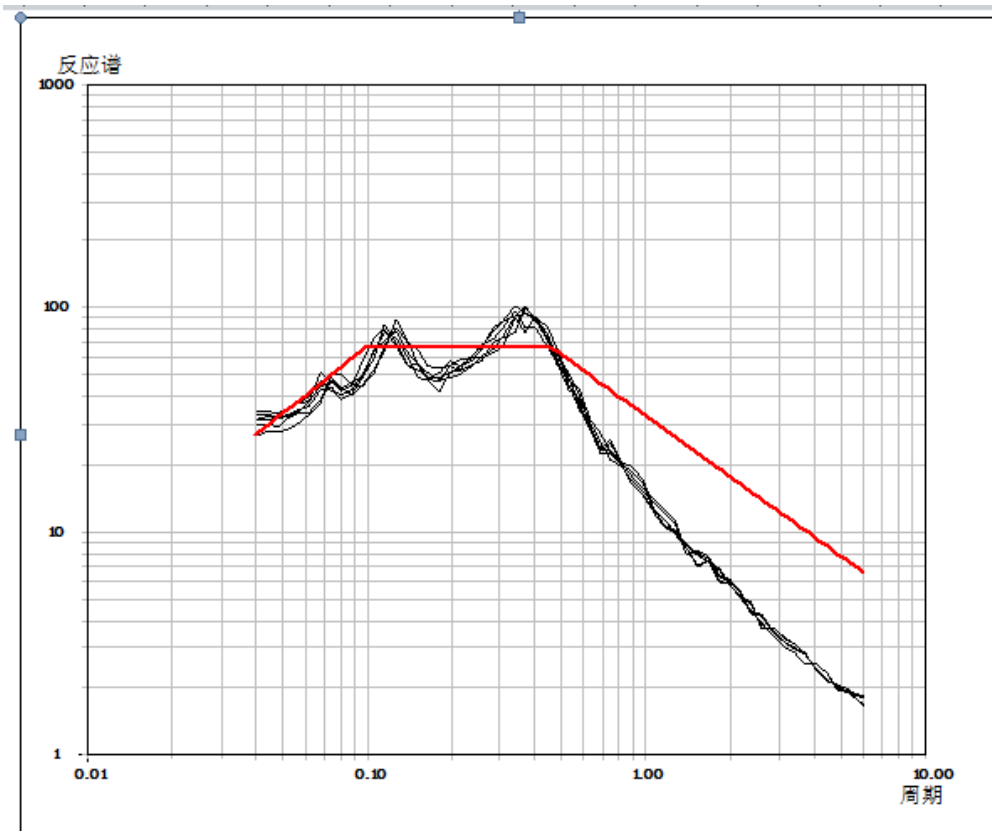


100年超越概率2%

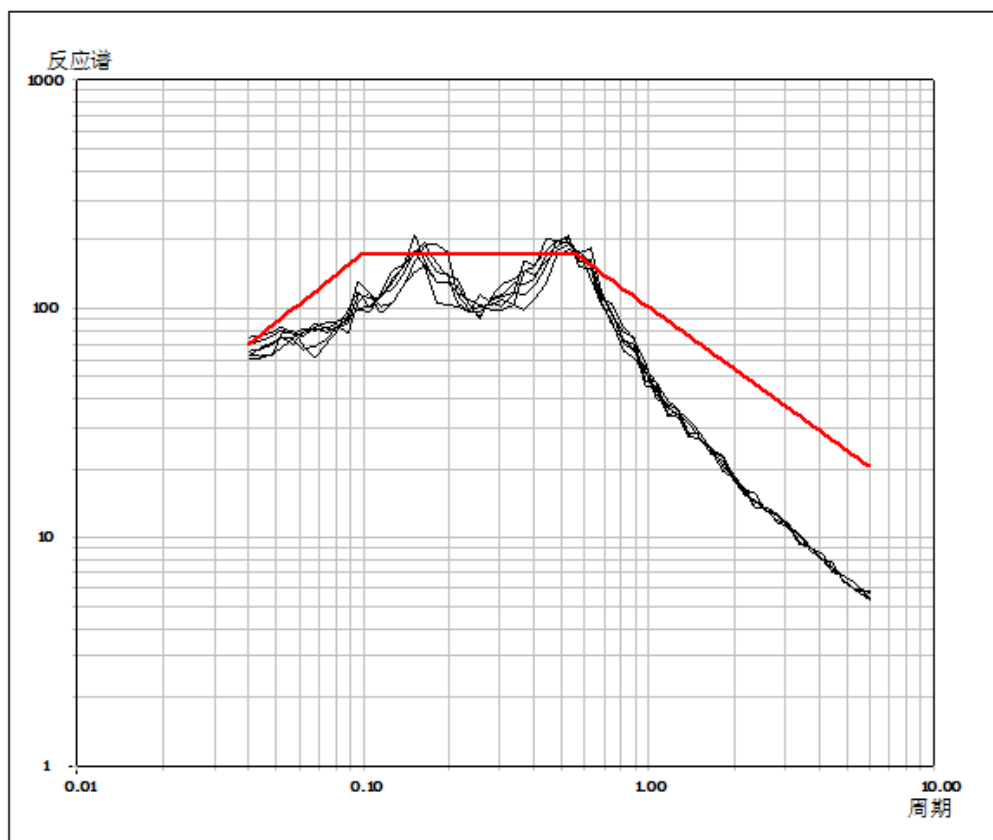


100年超越概率1%

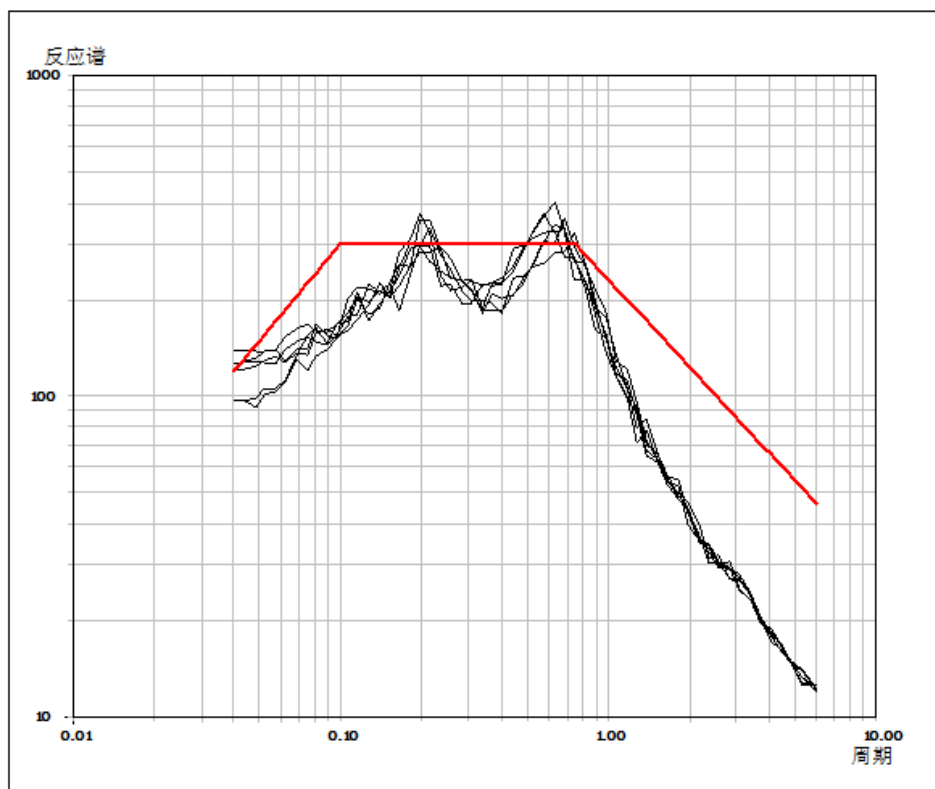
图 6.3-2a 高家场地水平向反应谱及规范反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，I 类场地，5% 阻尼比)



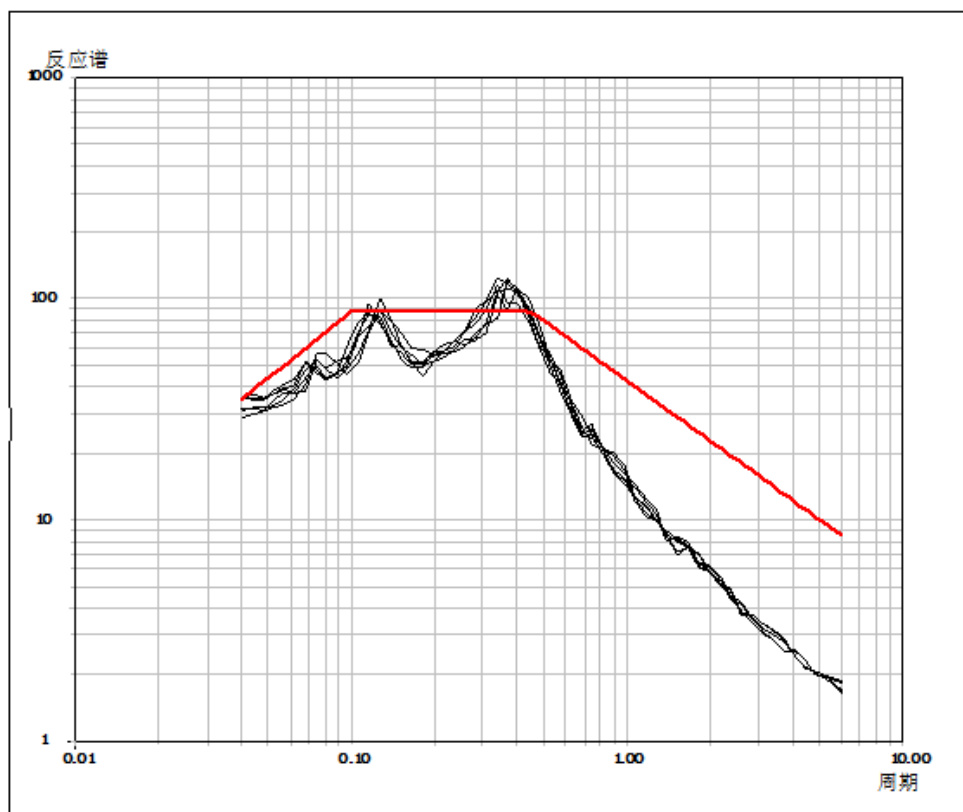
50年超越概率63%



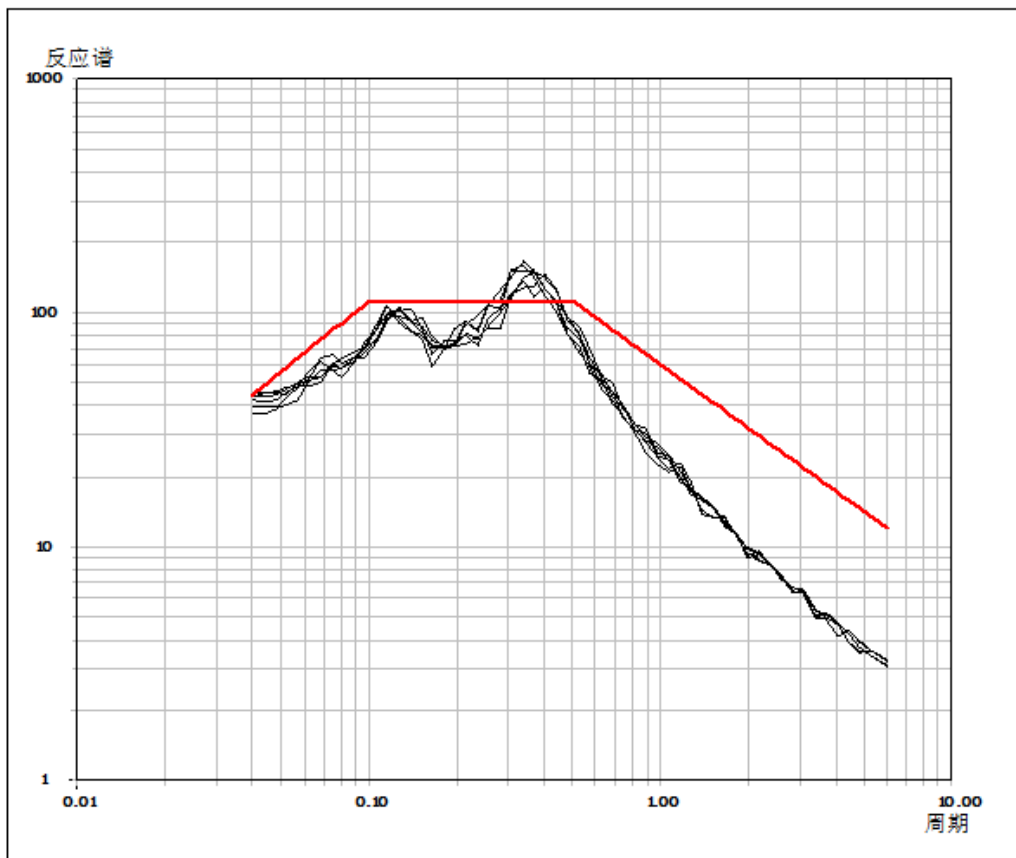
50年超越概率10%



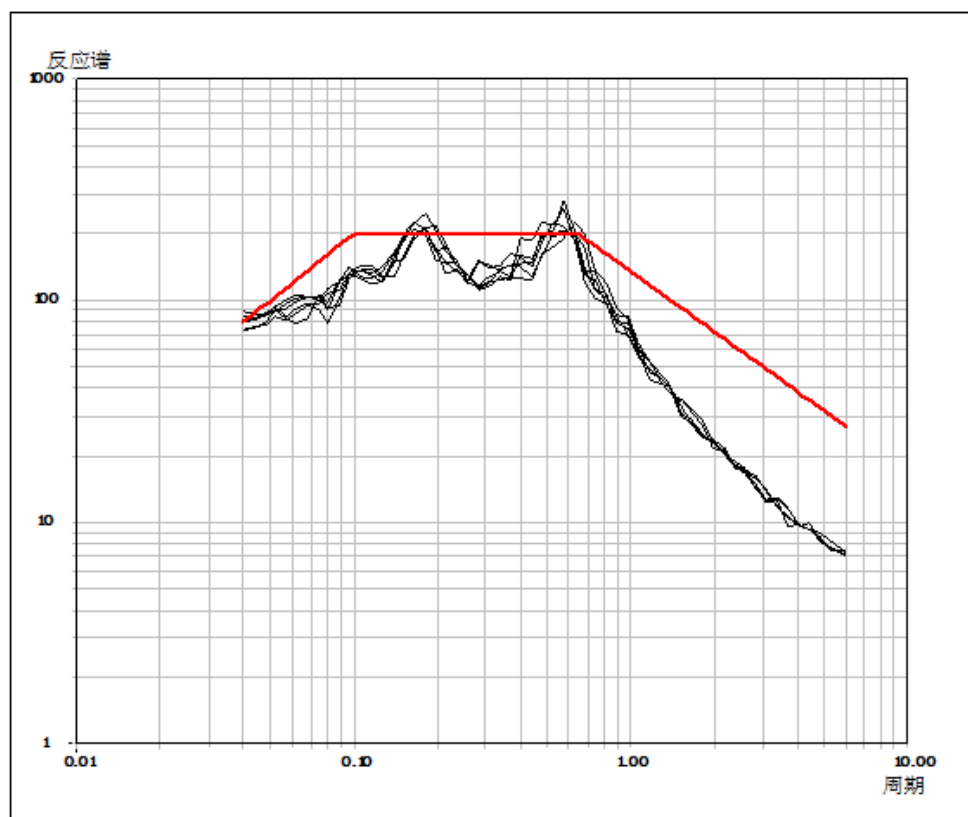
50年超越概率2%



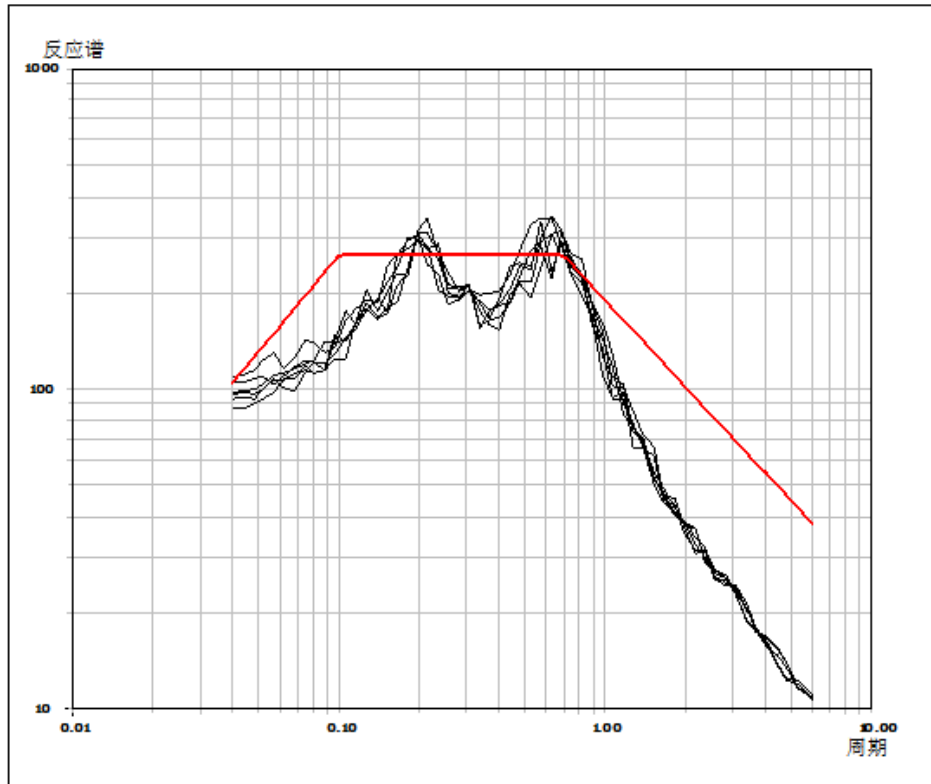
100年超越概率60%



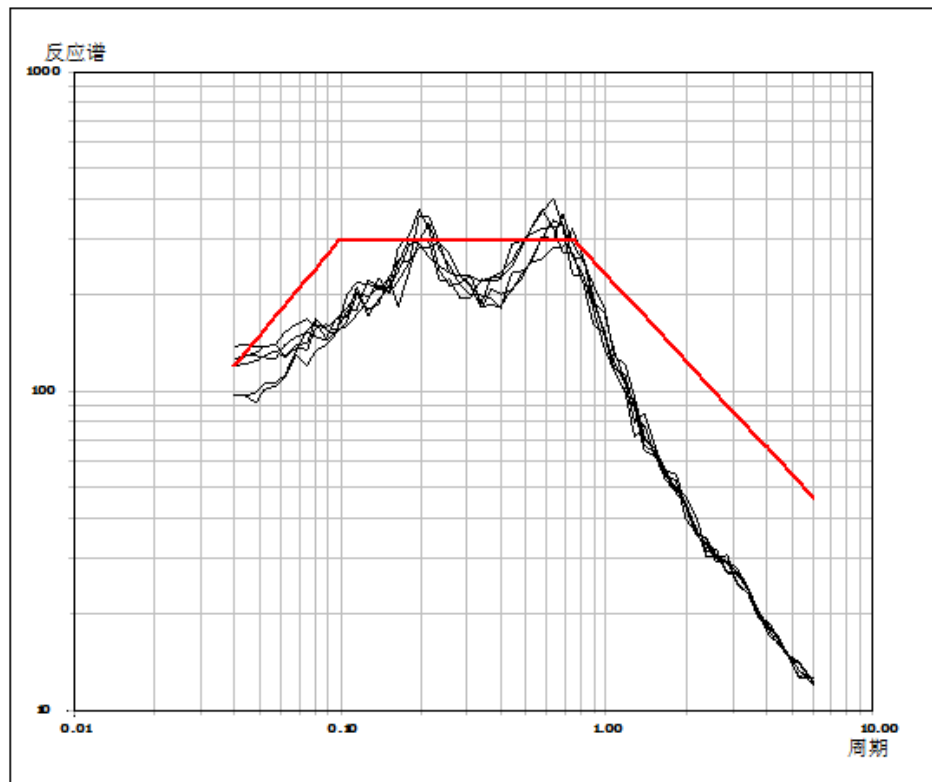
100 年超越概率 40%



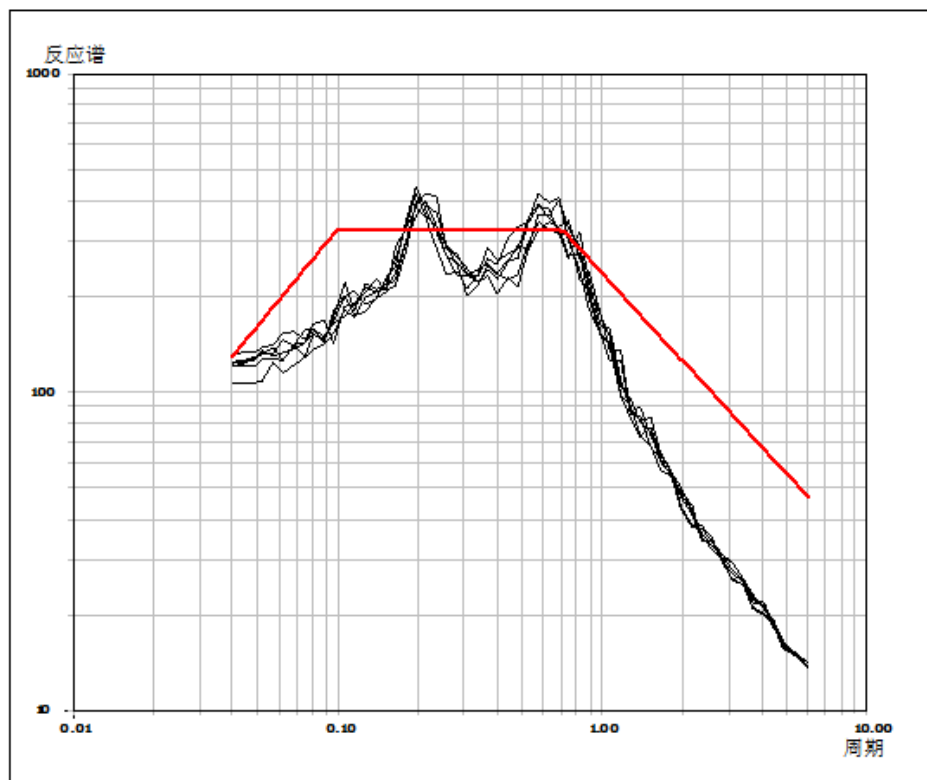
100 年超越概率 10%



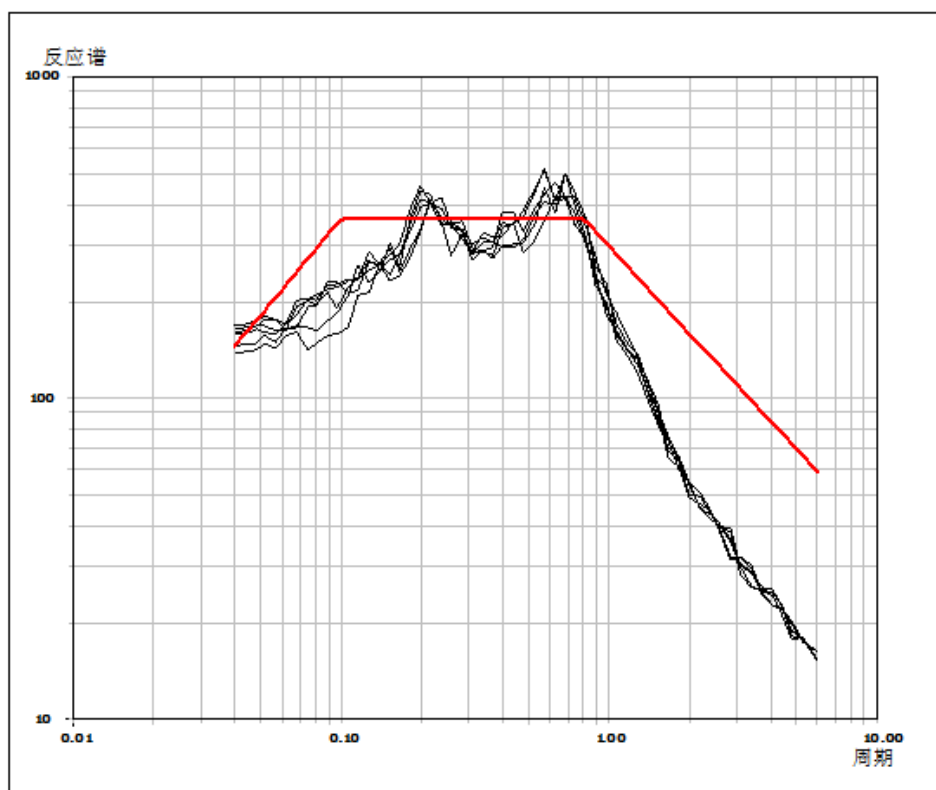
100年超越概率5%



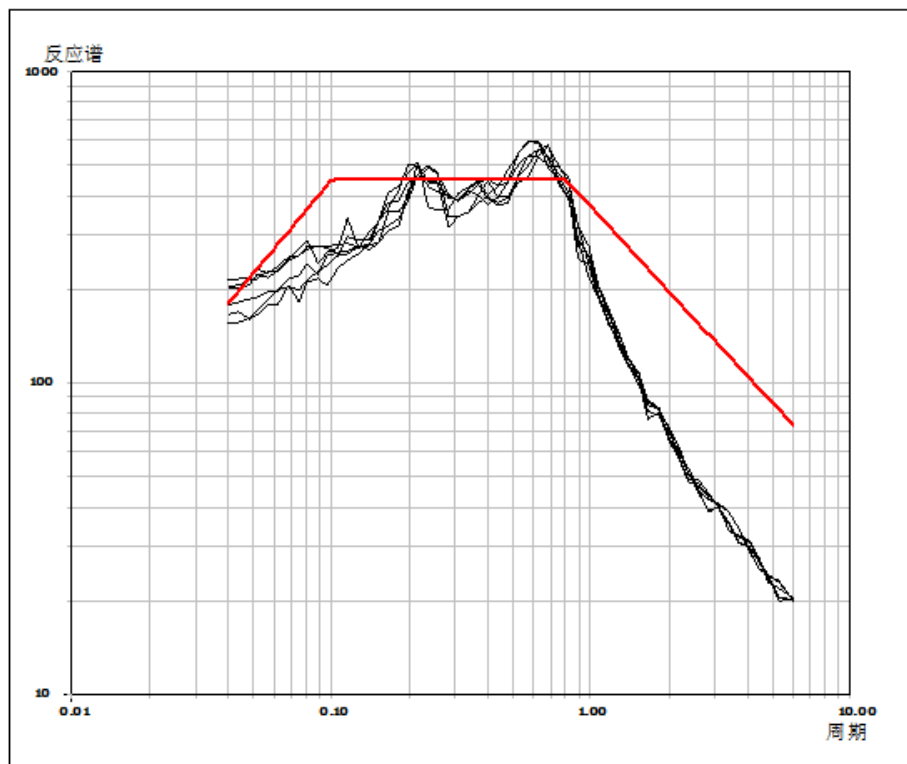
100年超越概率4%



100年超越概率3%

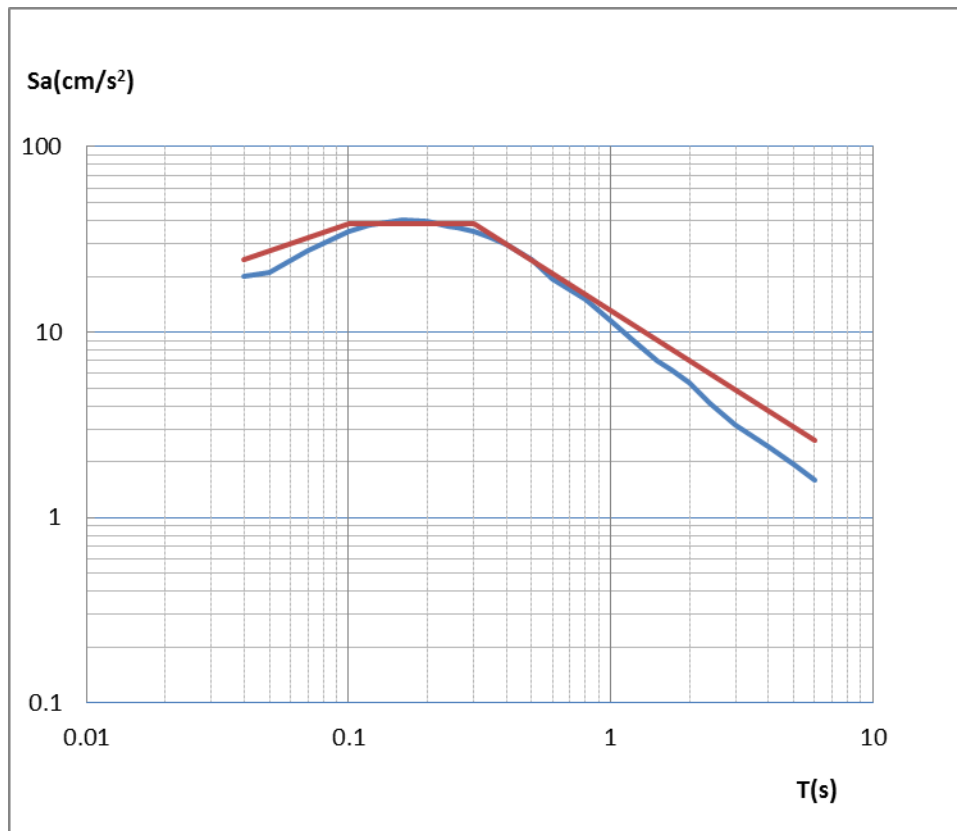


100年超越概率2%

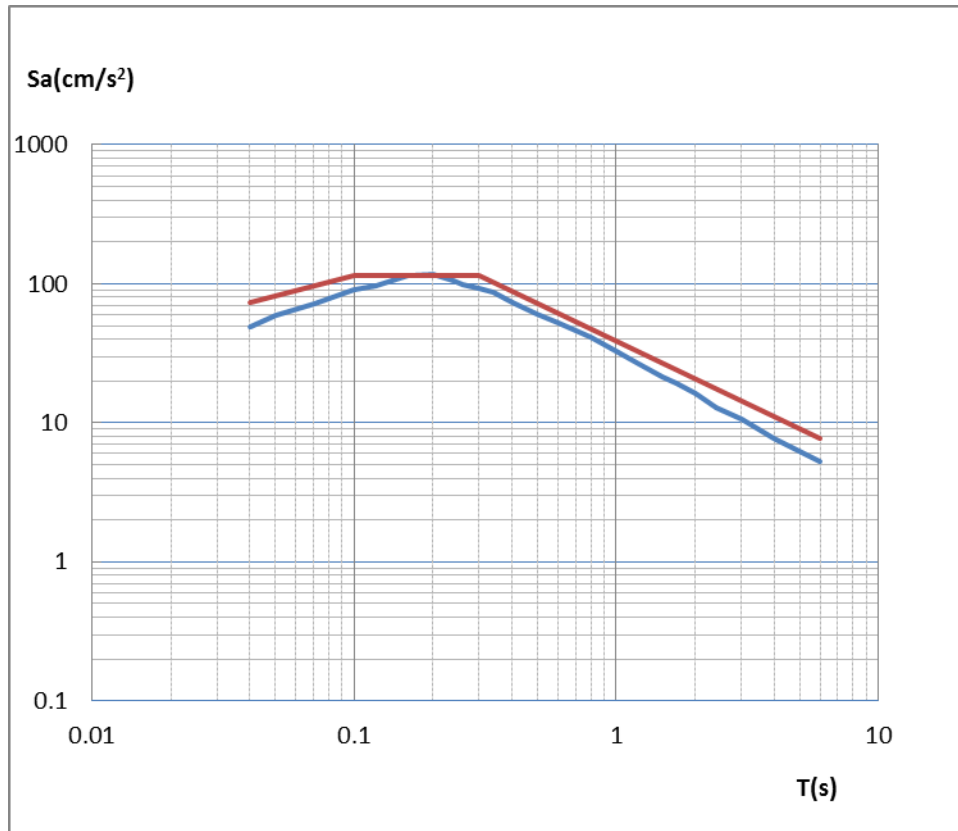


100 年超越概率 1%

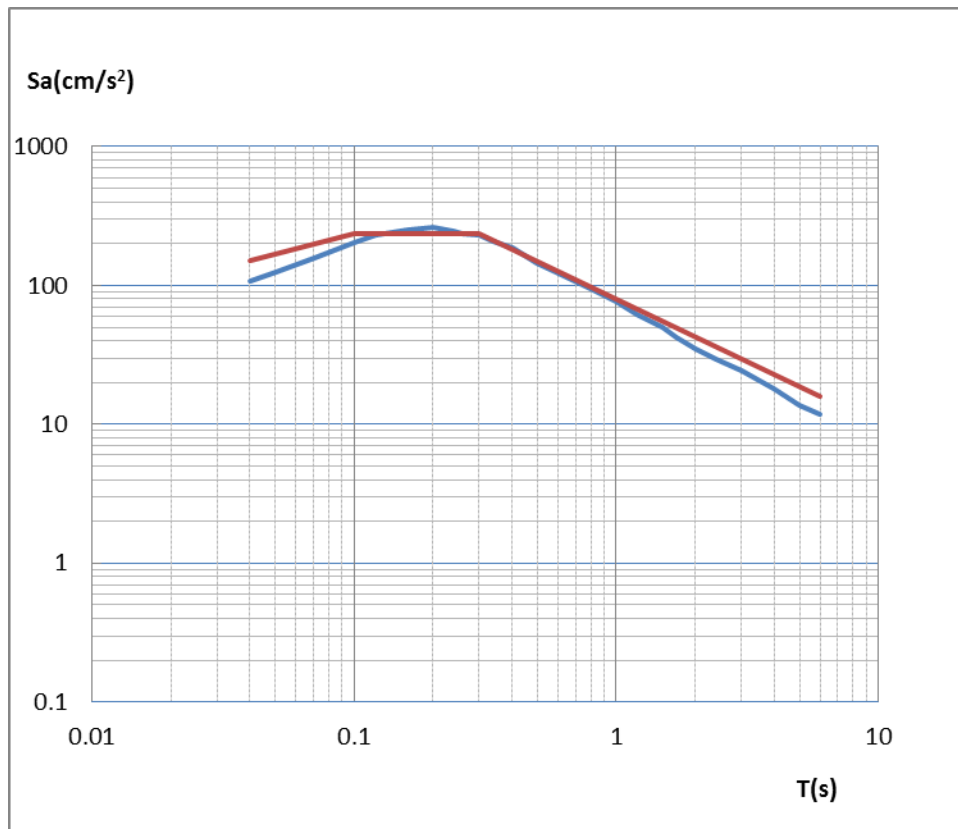
图 6.3-2b 高家场地水平向反应谱及规范反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，II 类场地，5% 阻尼比)



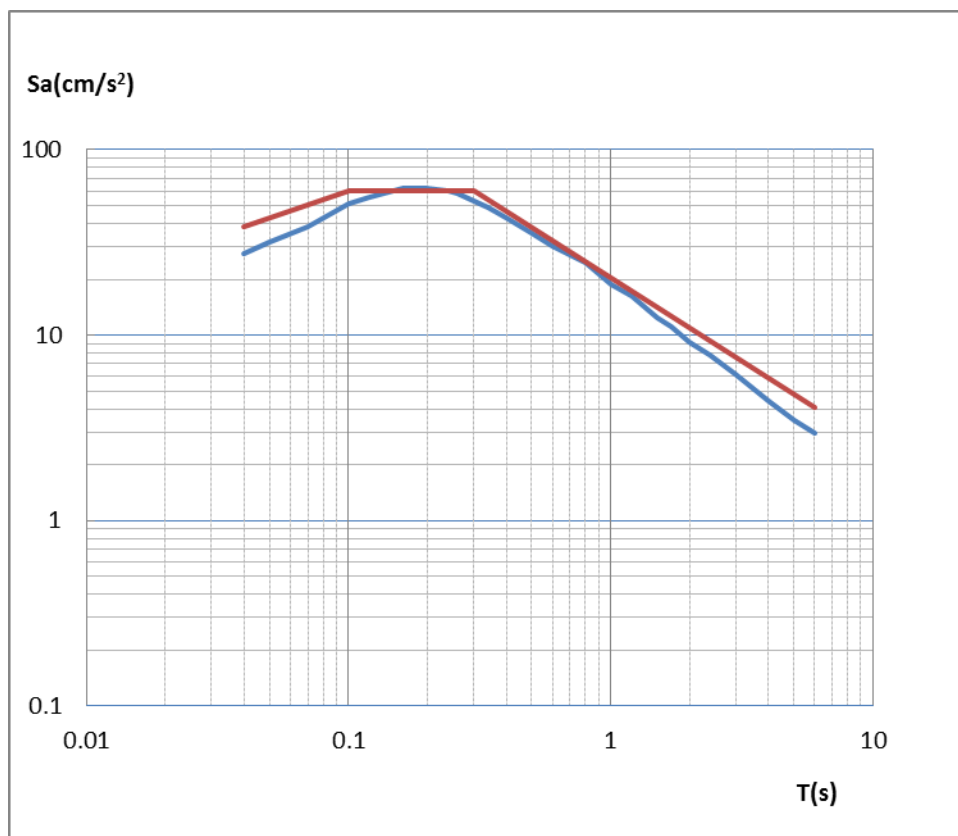
50 年超越概率 63%



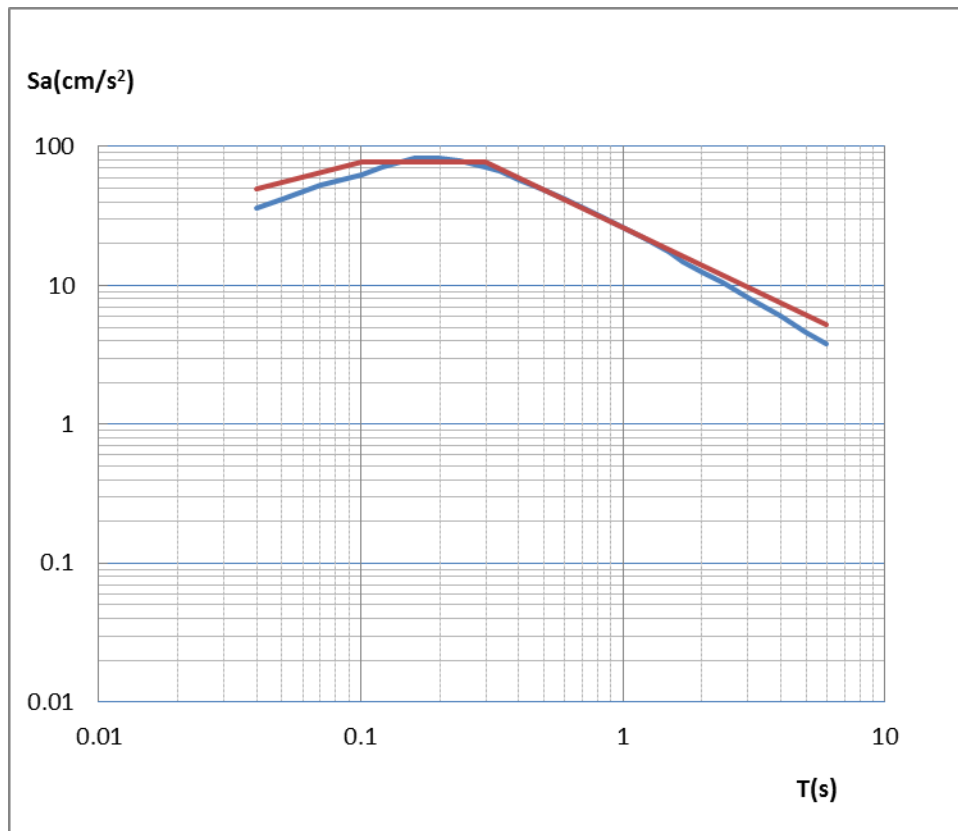
50年超越概率10%



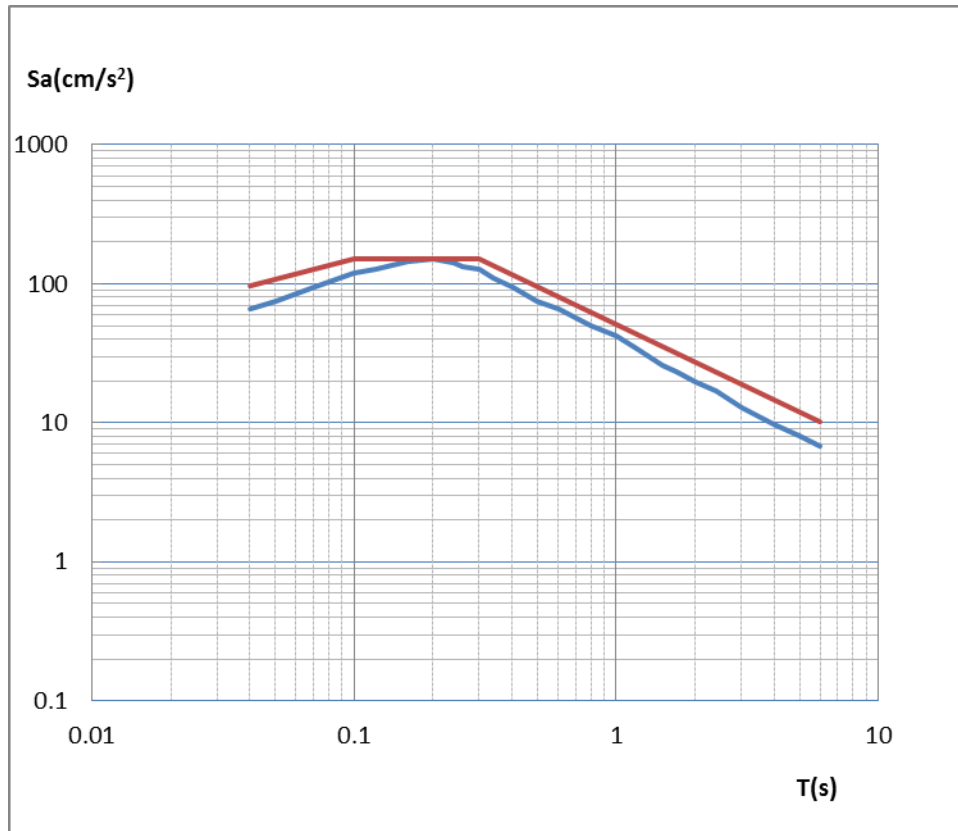
50年超越概率2%



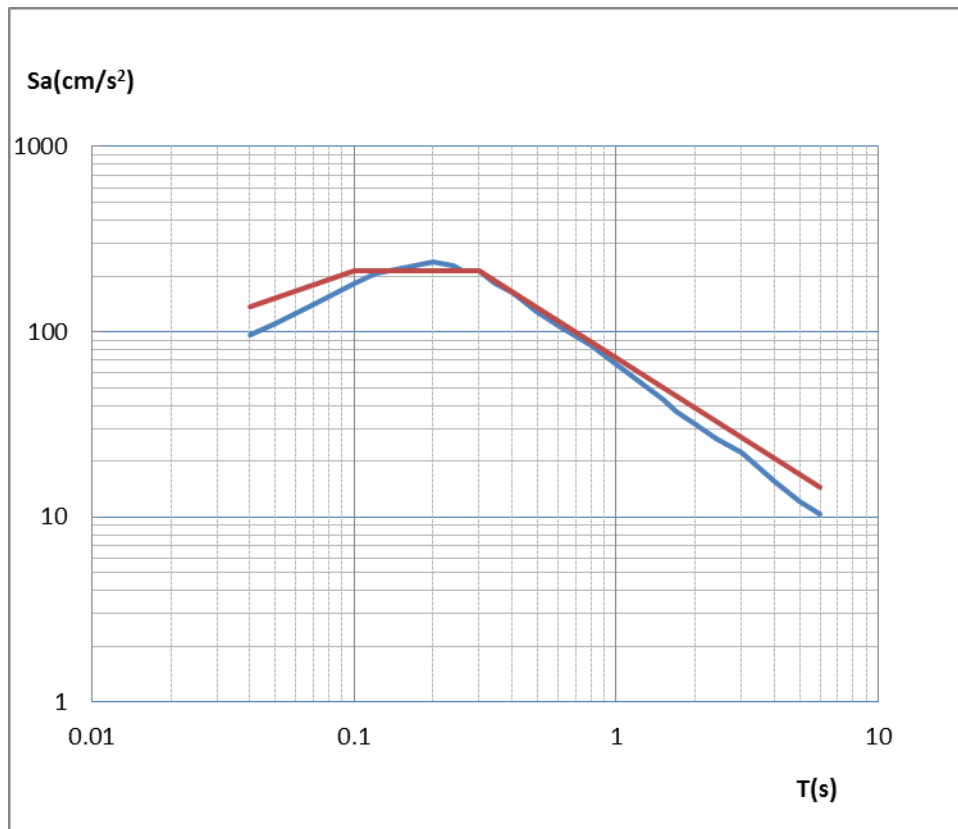
100年超越概率 60%



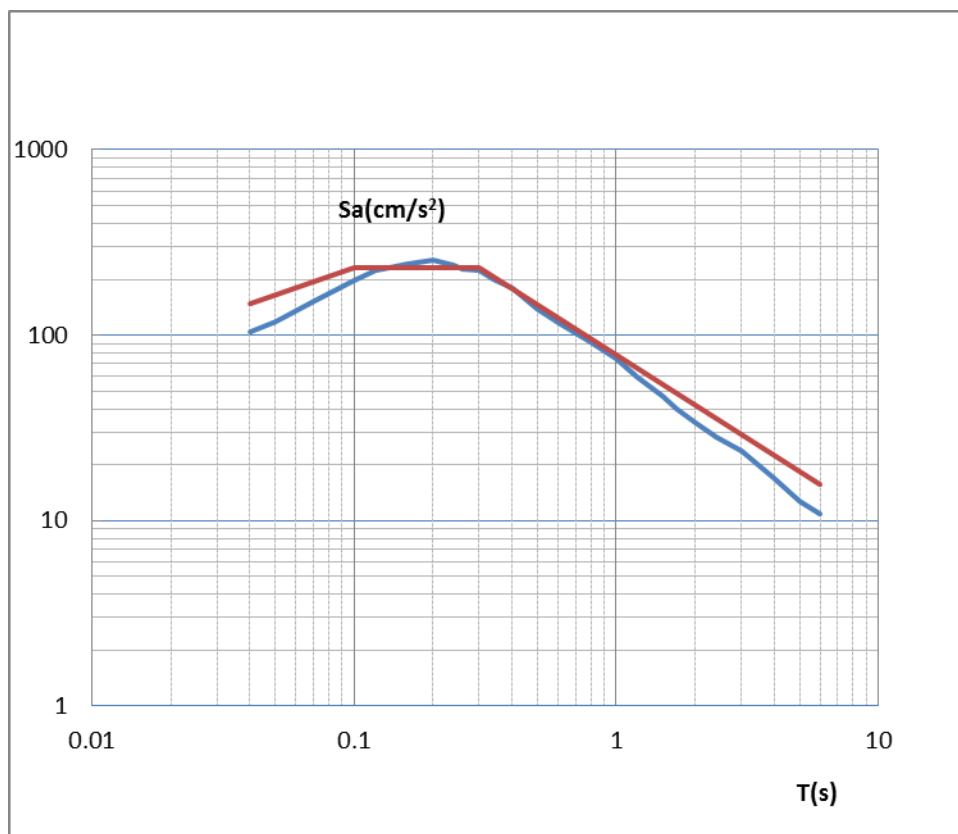
100年超越概率 40%



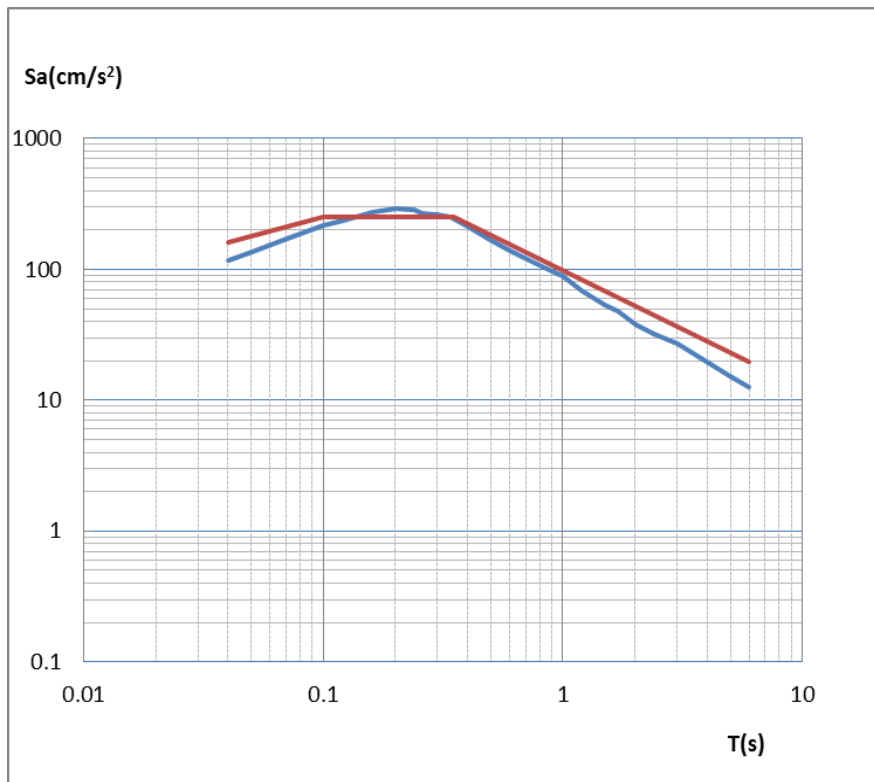
100年超越概率 10%



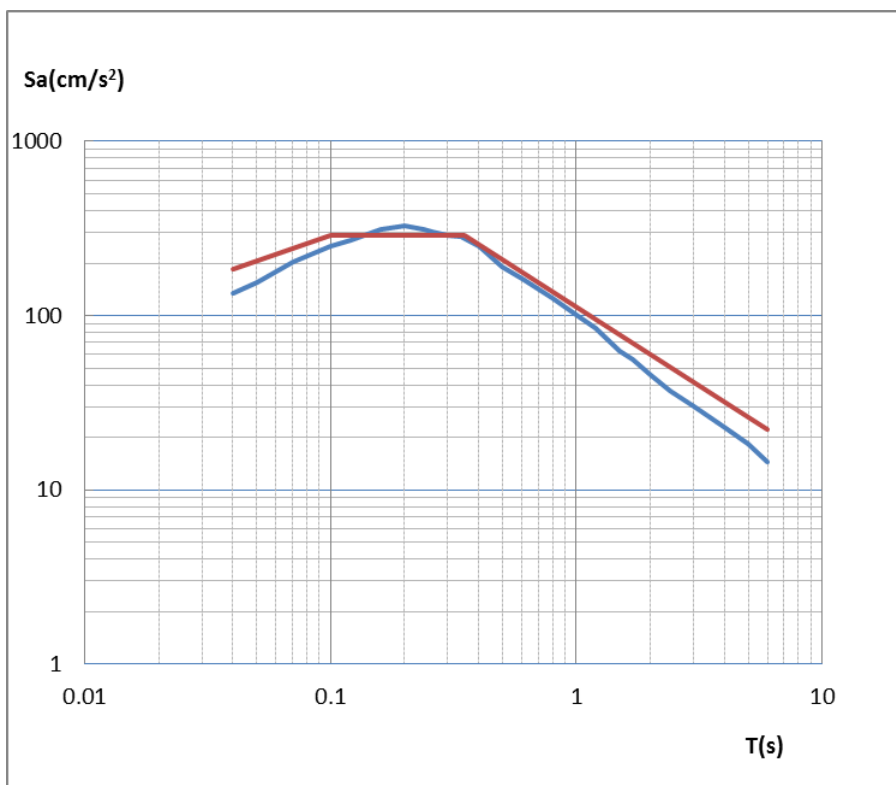
100年超越概率 5%



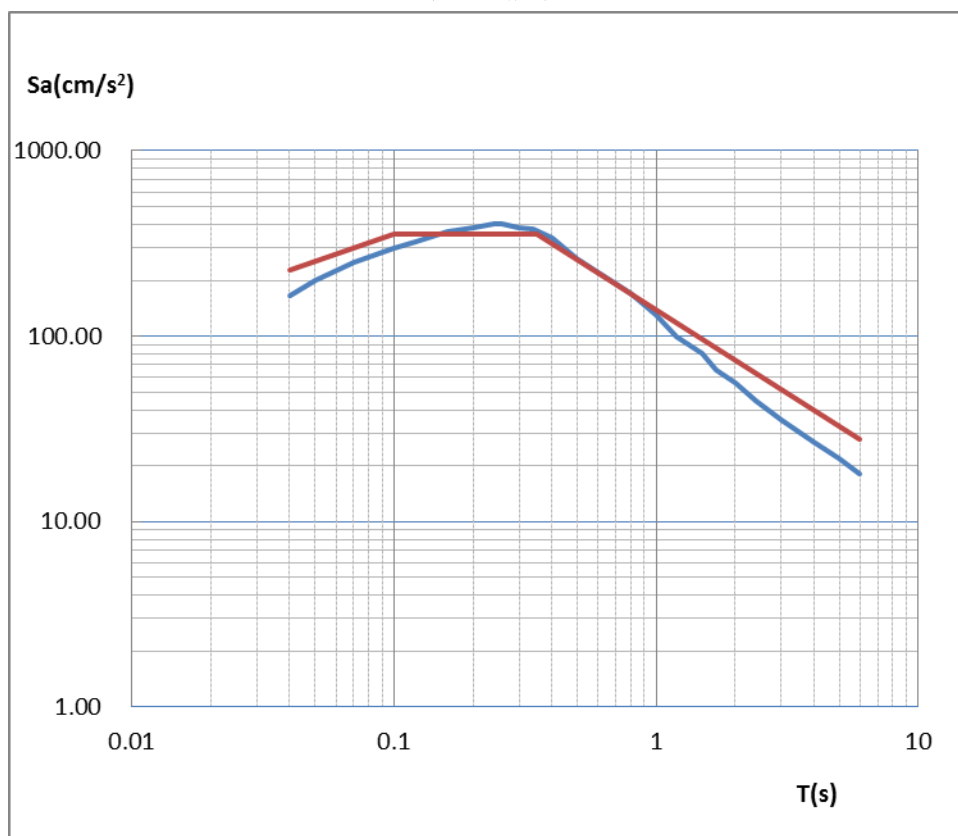
100年超越概率4%



100年超越概率3%

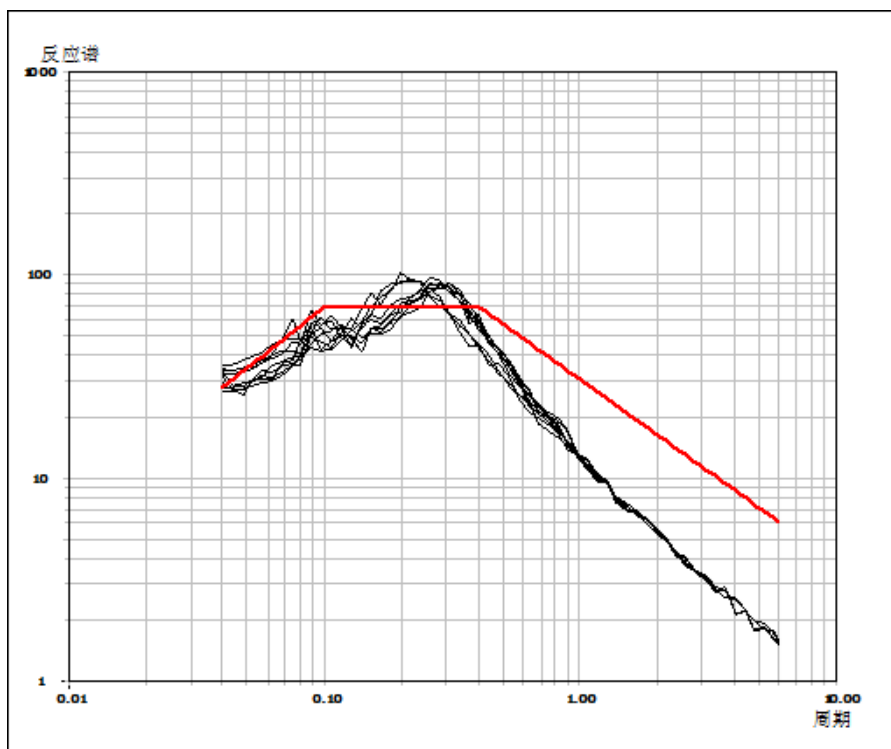


100年超越概率2%

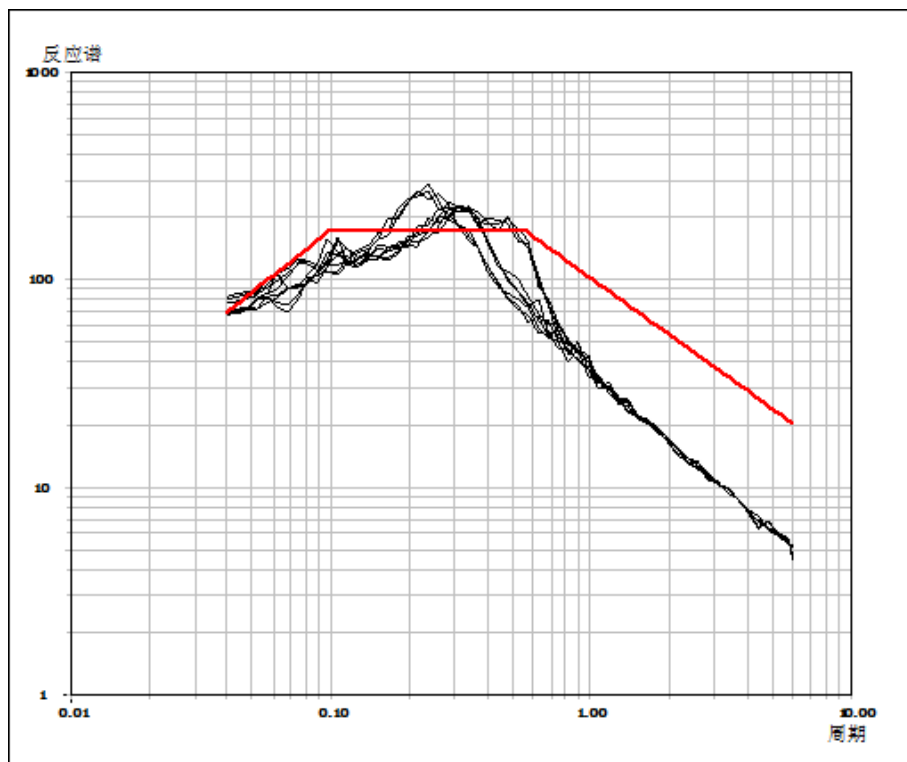


100年超越概率1%

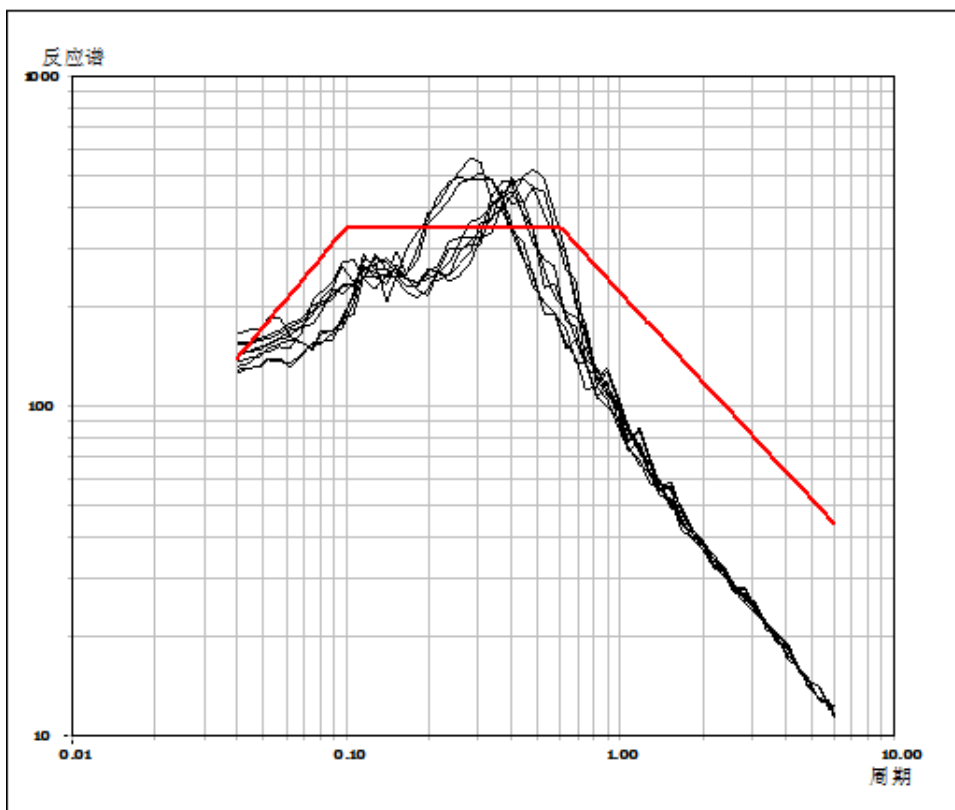
图 6.3-3a 水天坪场地水平向反应谱及规准反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，I 类场地，5% 阻尼比)



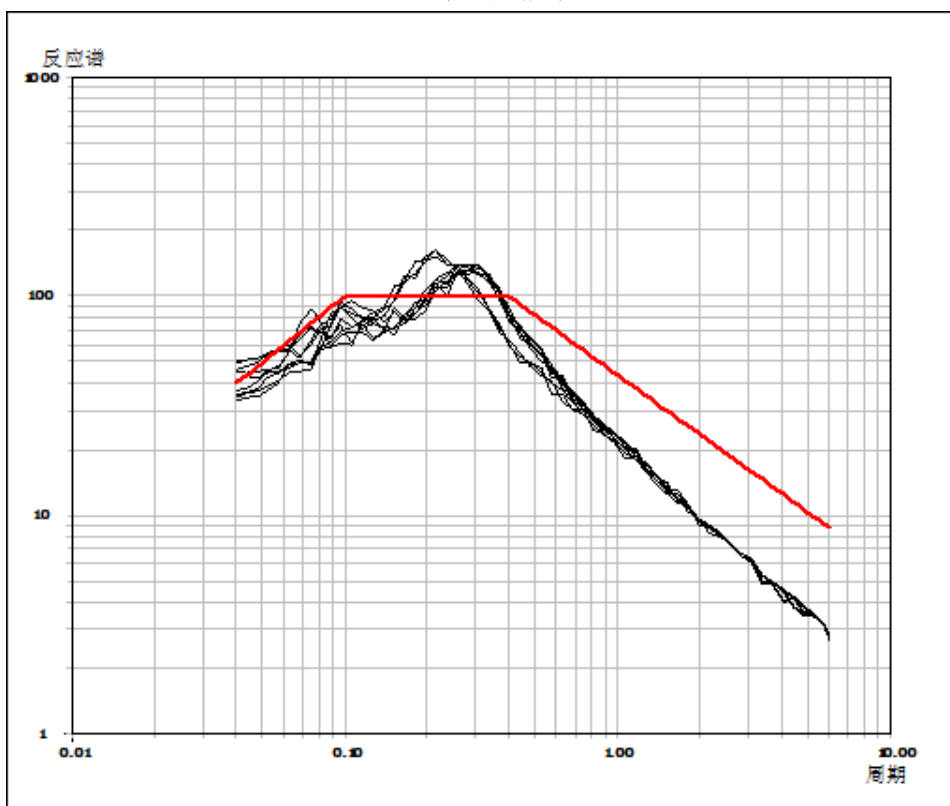
50年超越概率 63%



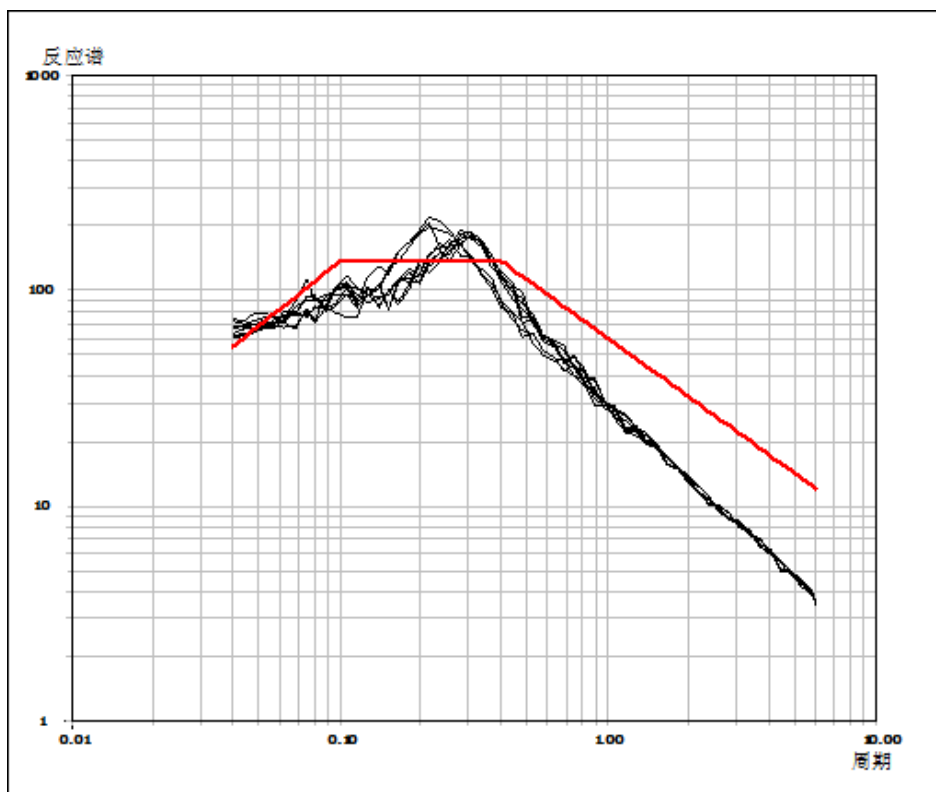
50年超越概率 10%



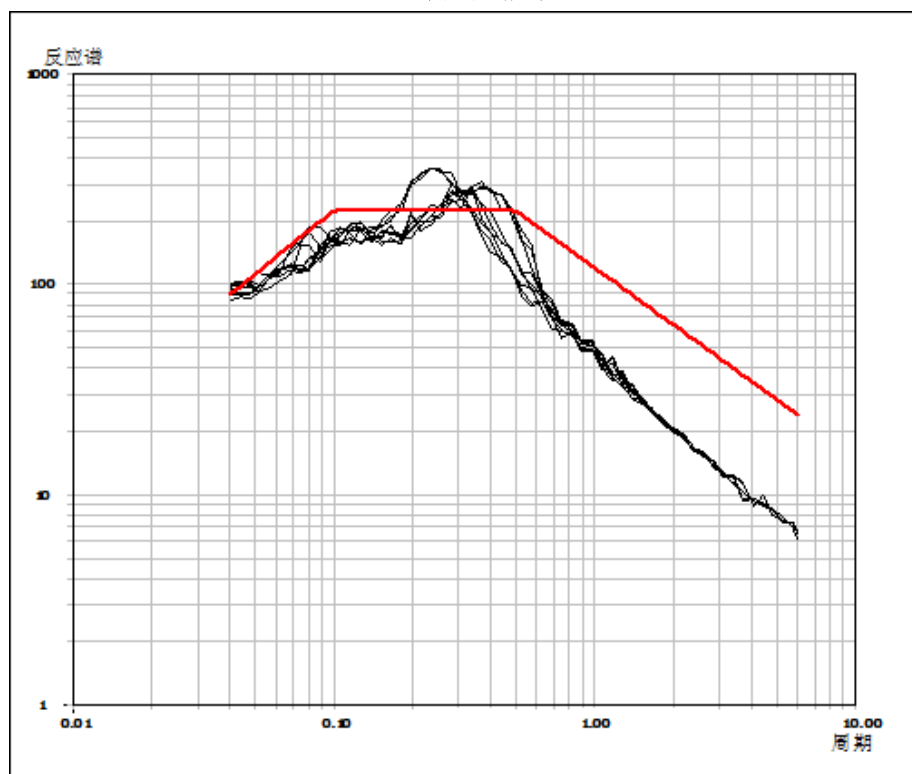
50年超越概率2%



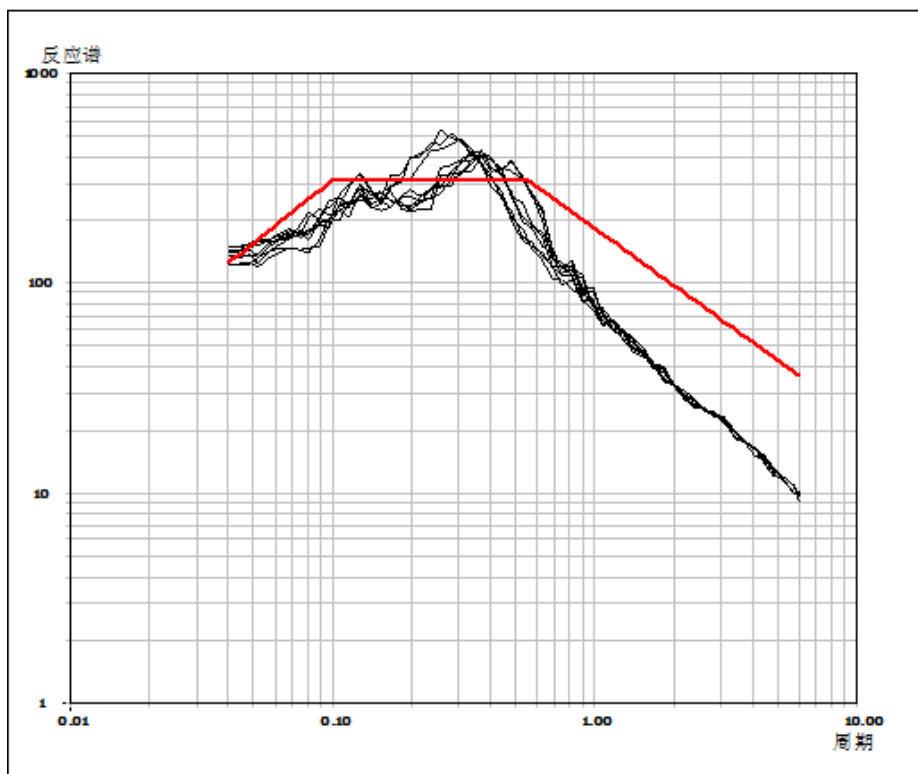
100年超越概率60%



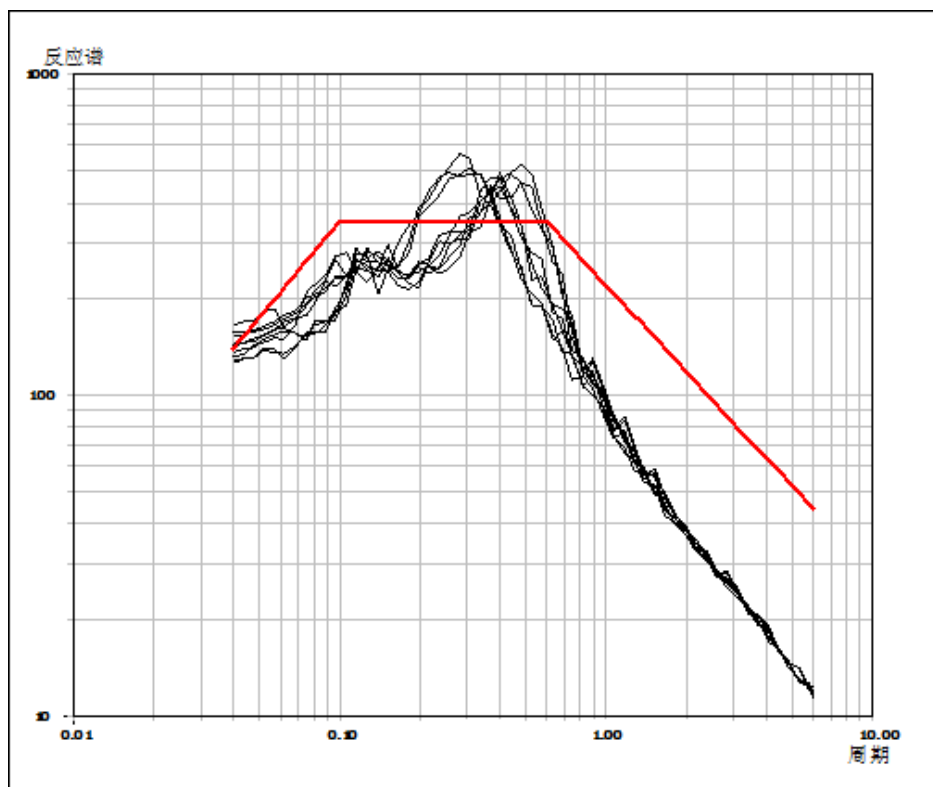
100年超越概率40%



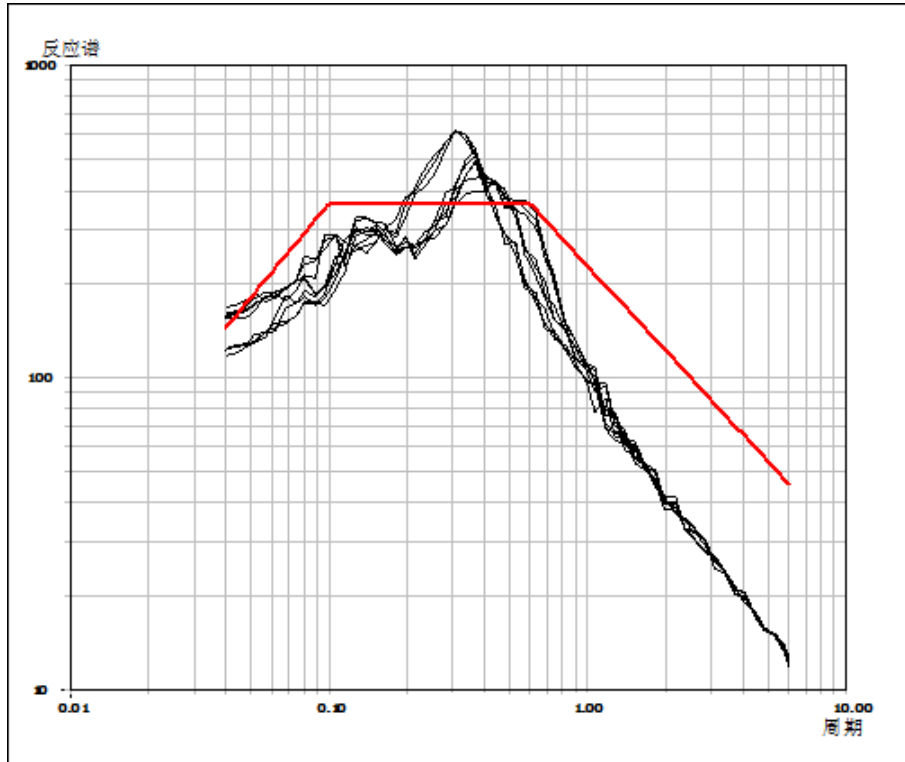
100年超越概率10%



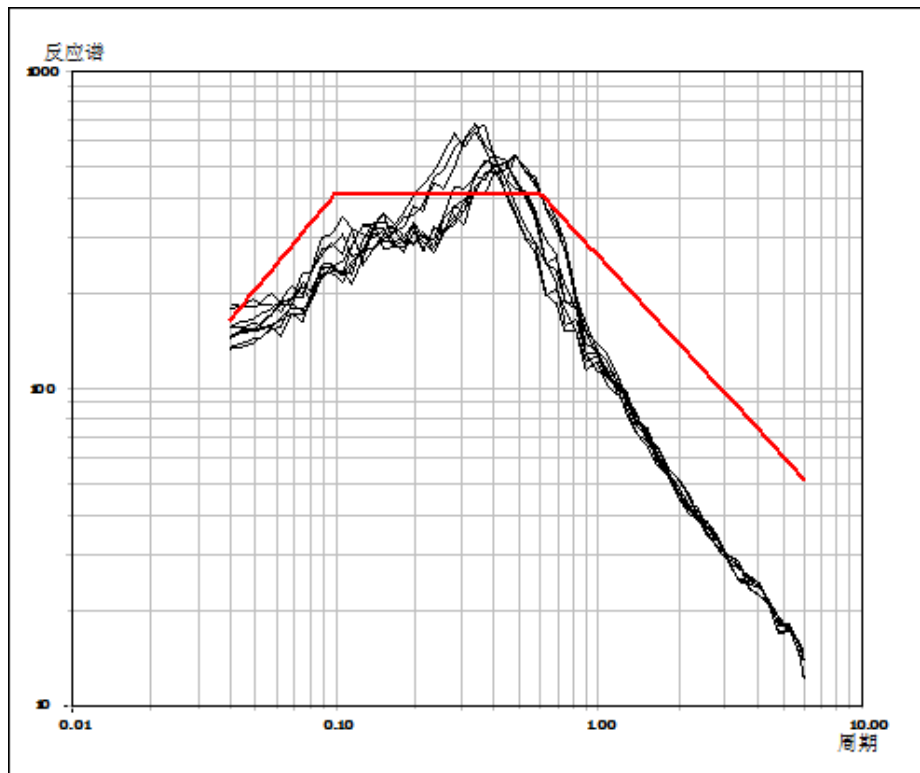
100年超越概率5%



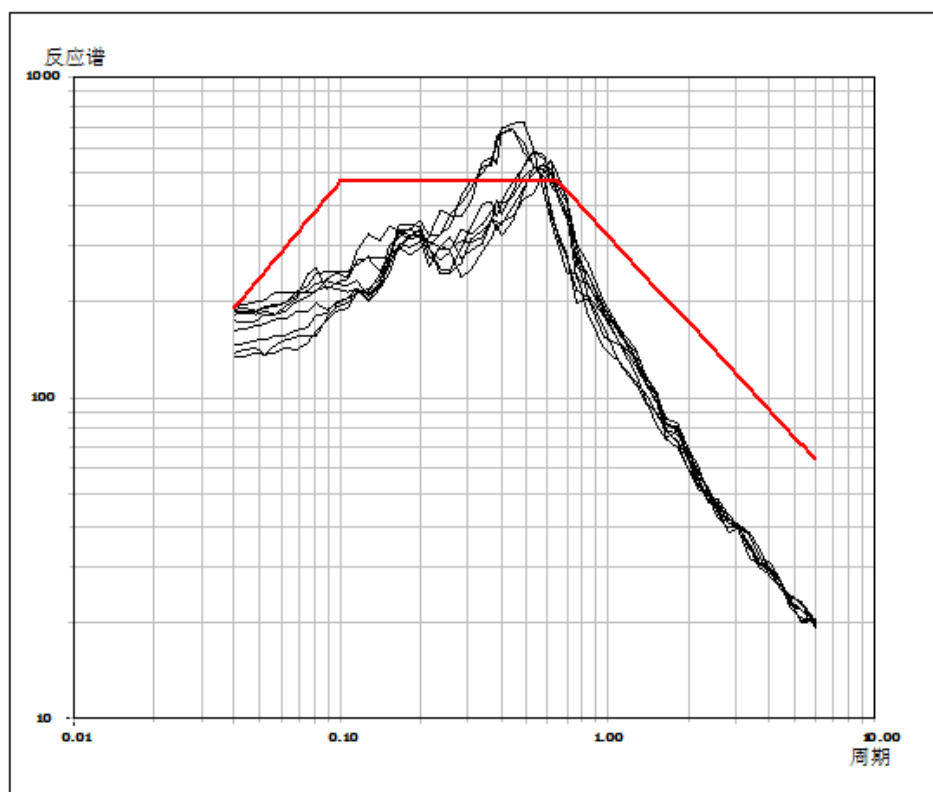
100年超越概率4%



100年超越概率3%

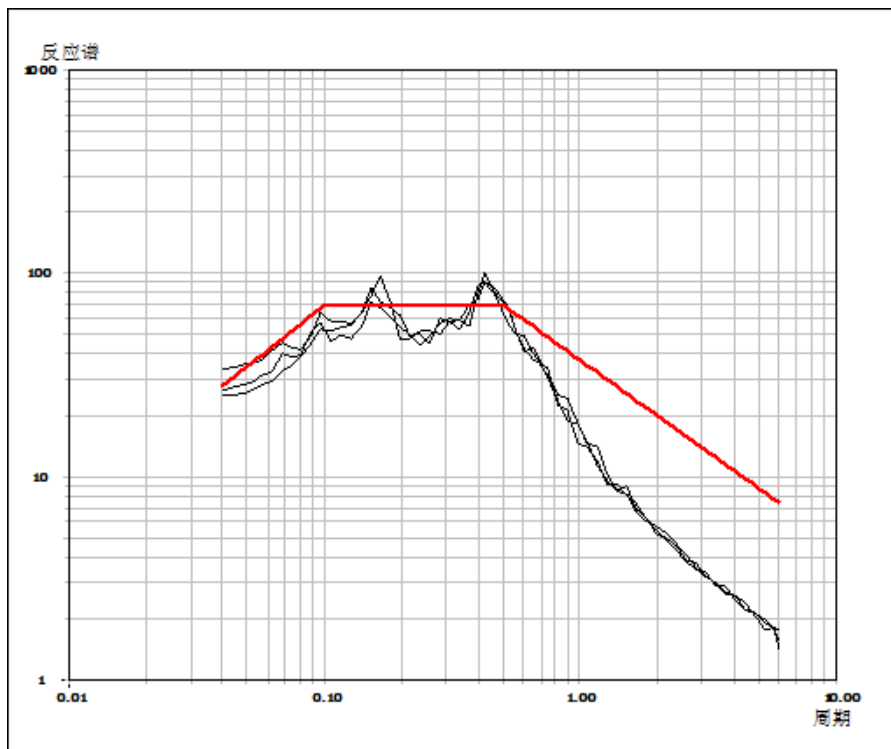


100年超越概率2%

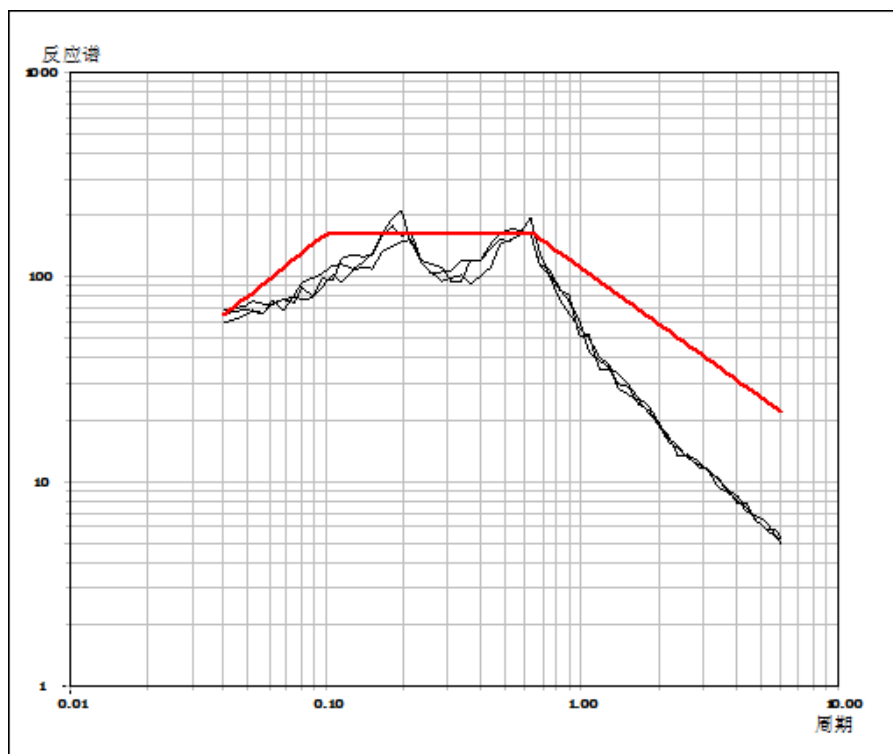


100年超越概率 1%

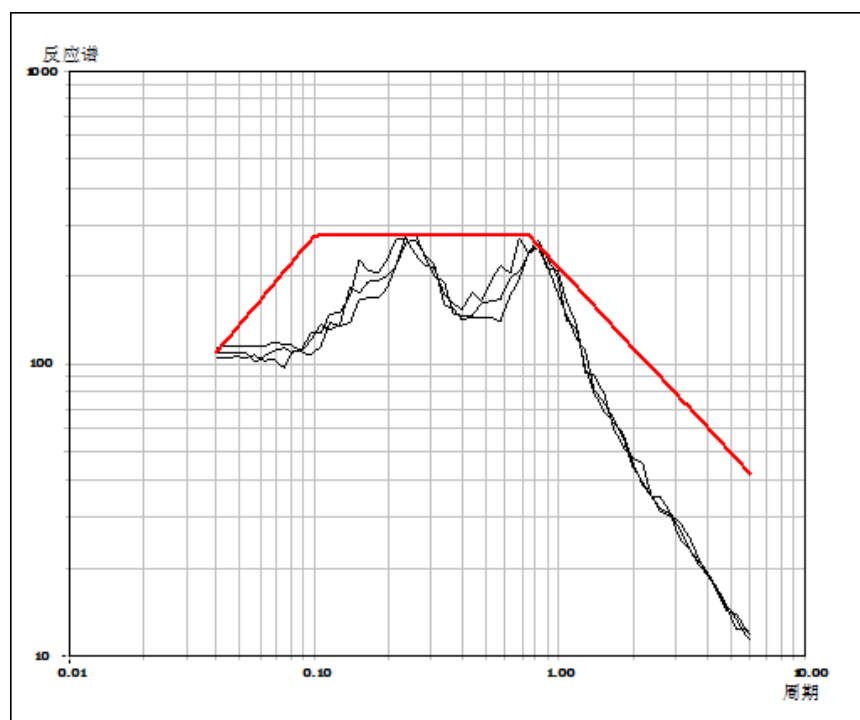
图 6.3-3b 水天坪场地水平向反应谱及规范反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，II 类场地，5% 阻尼比)



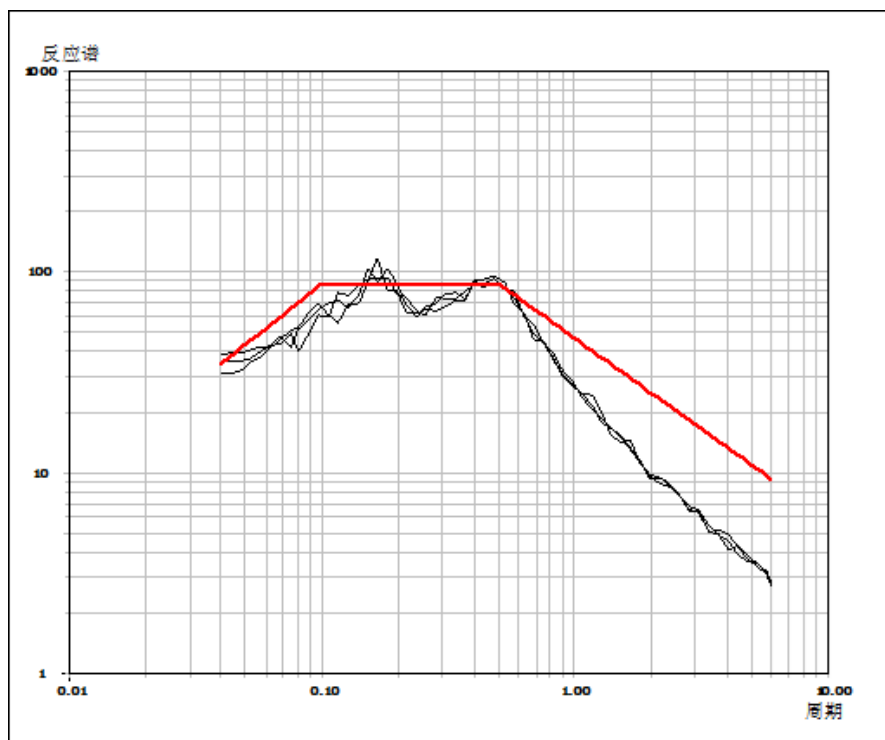
50年超越概率 63%



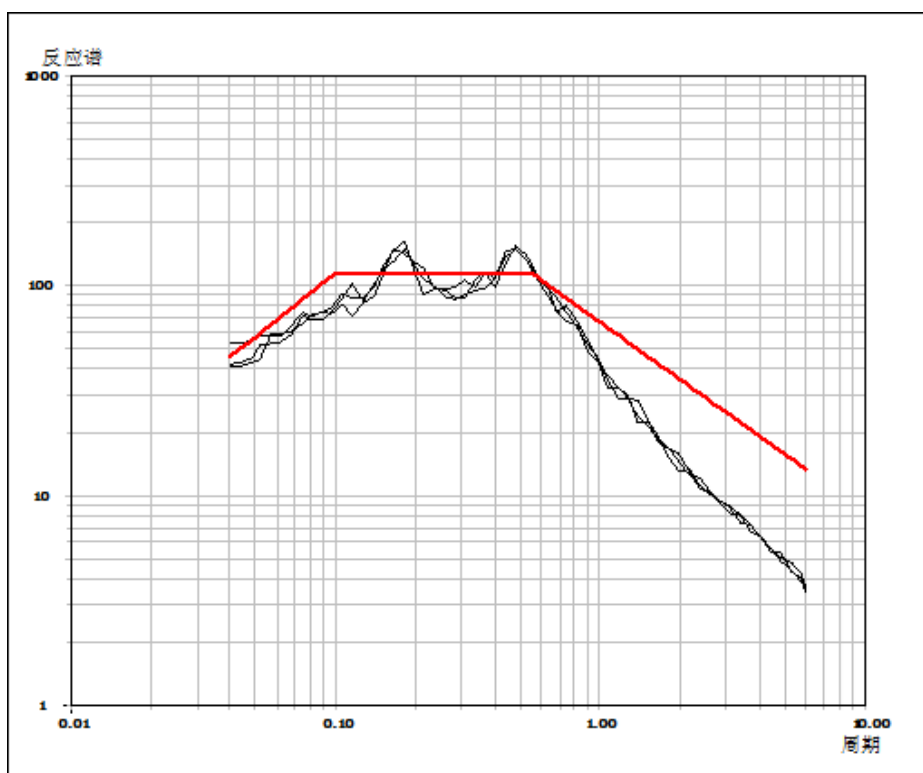
50年超越概率10%



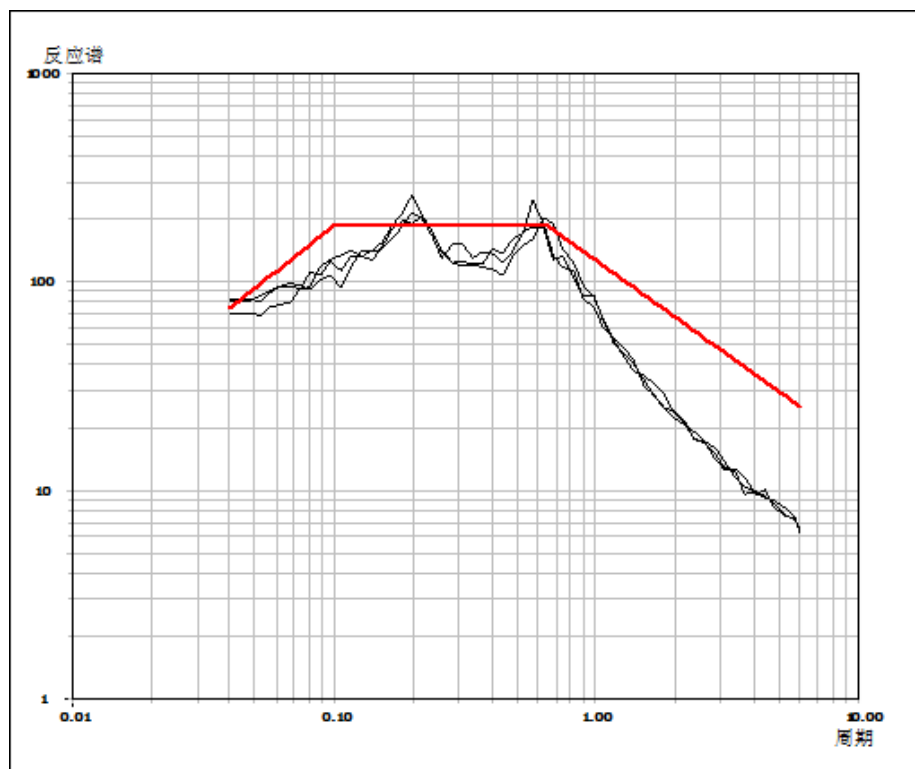
50年超越概率2%



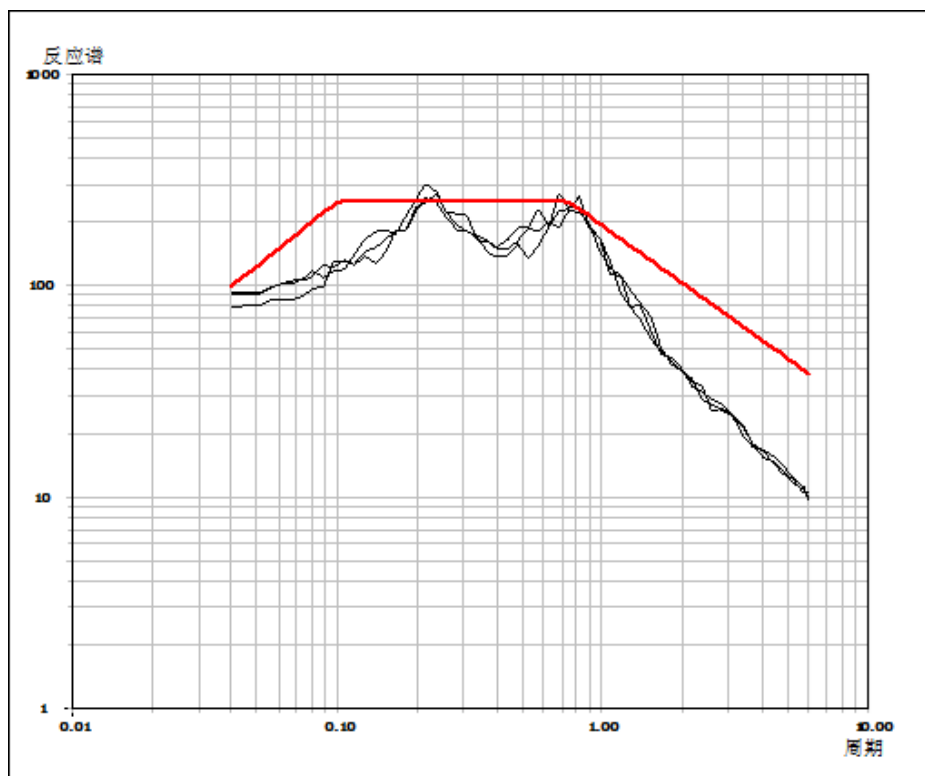
100年超越概率60%



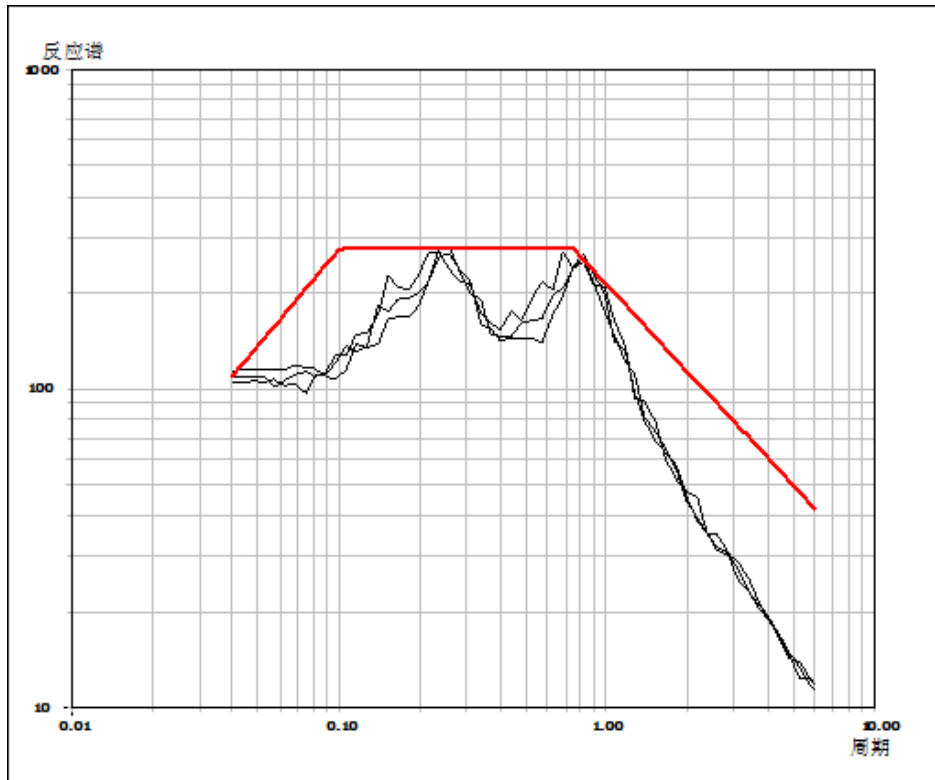
100年超越概率40%



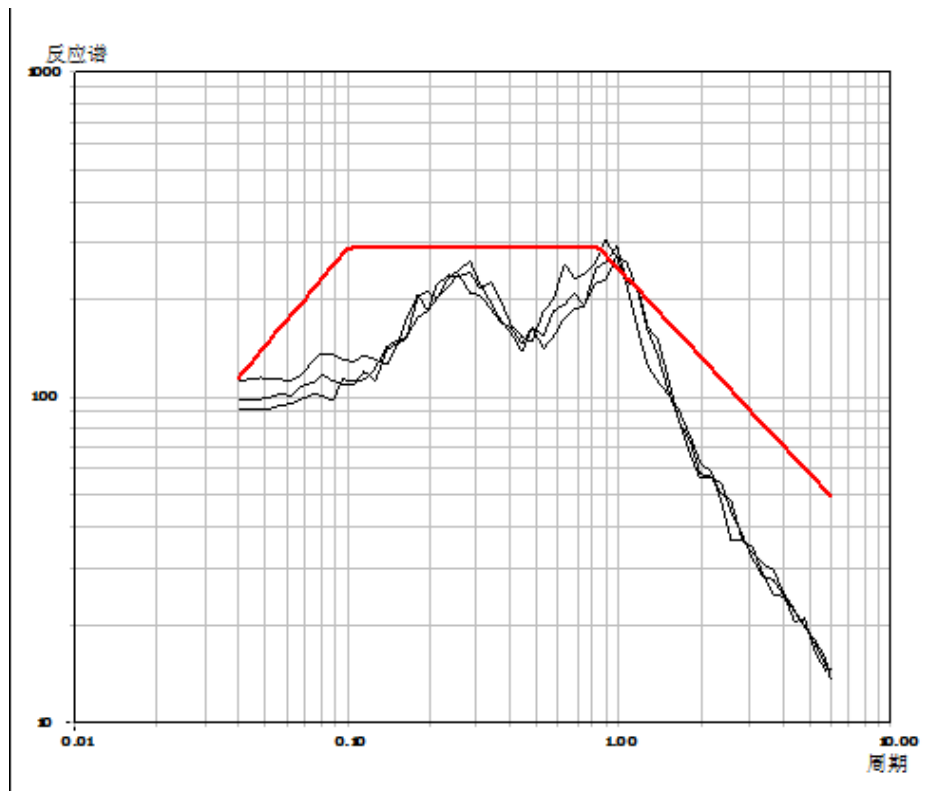
100年超越概率 10%



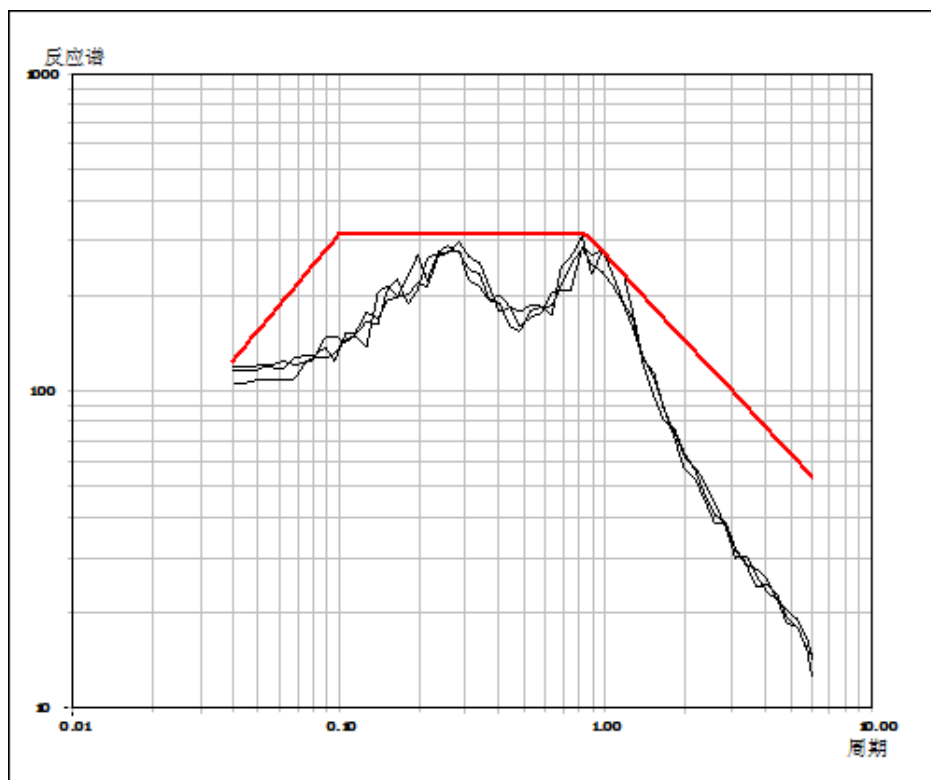
100年超越概率 5%



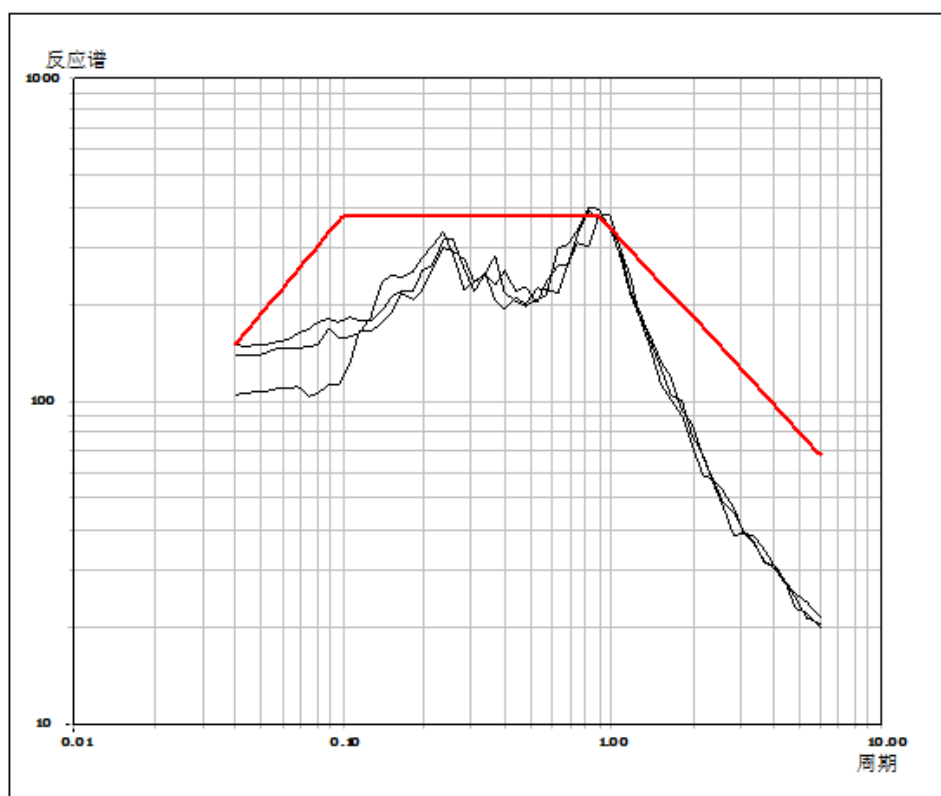
100年超越概率4%



100年超越概率3%

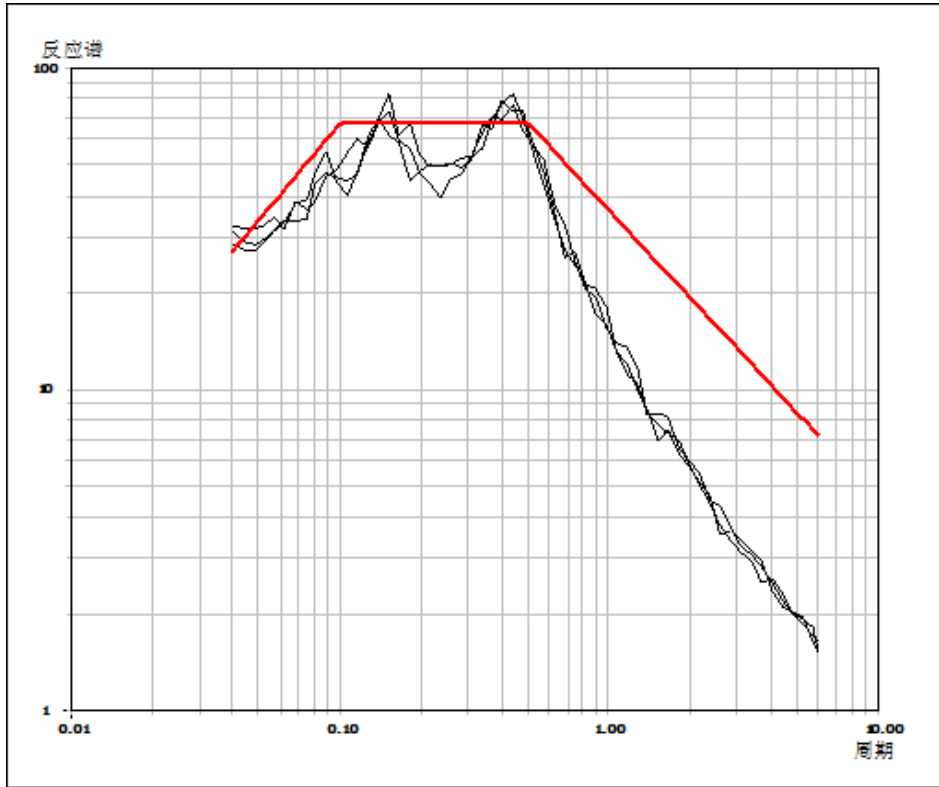


100年超越概率2%

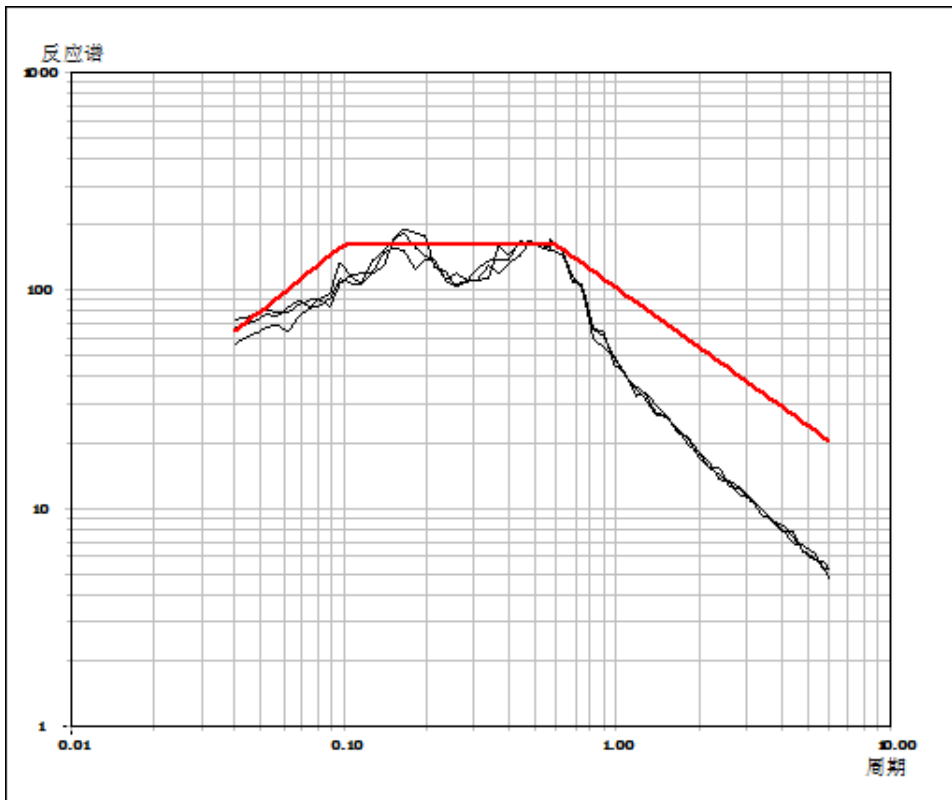


100年超越概率1%

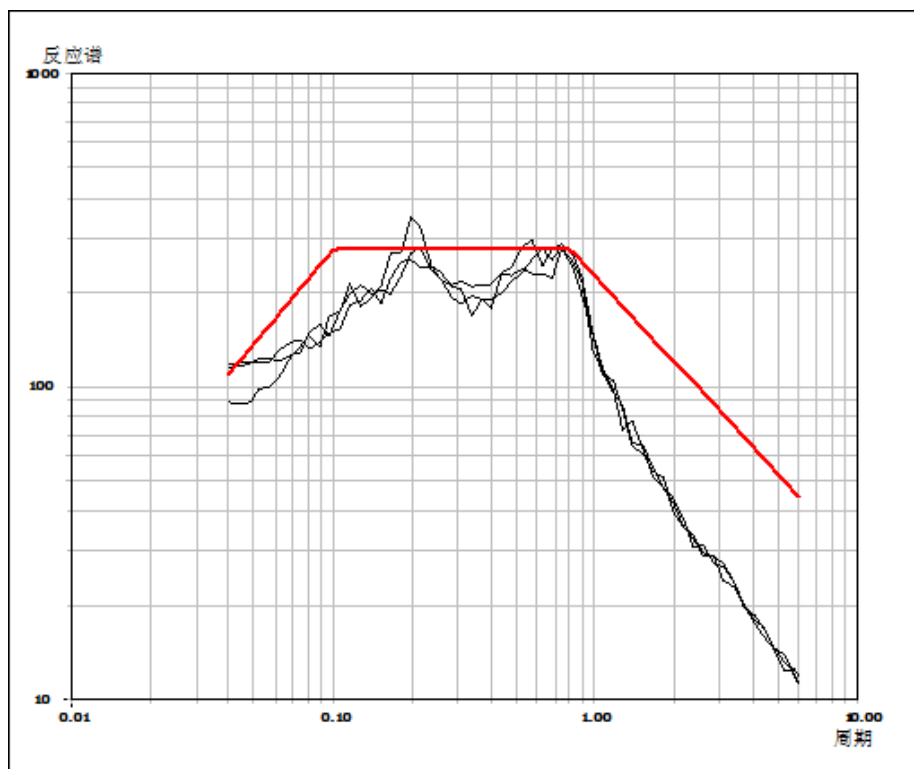
图 6.3-3c 水天坪场地水平向反应谱及规准反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，Ⅲ类场地，5% 阻尼比)



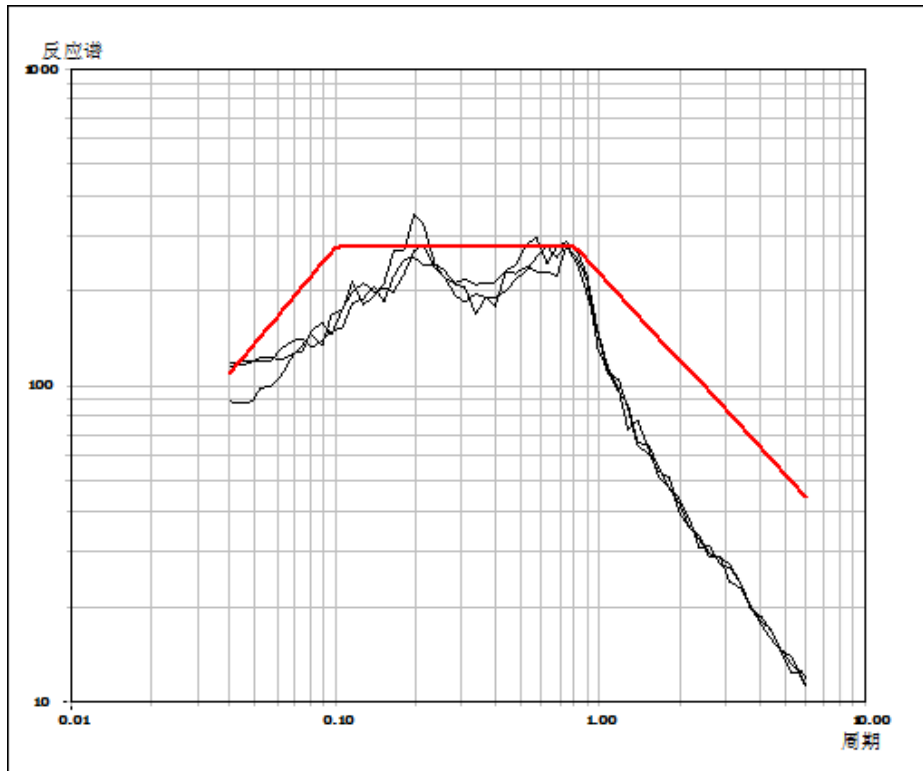
50年超越概率 63%



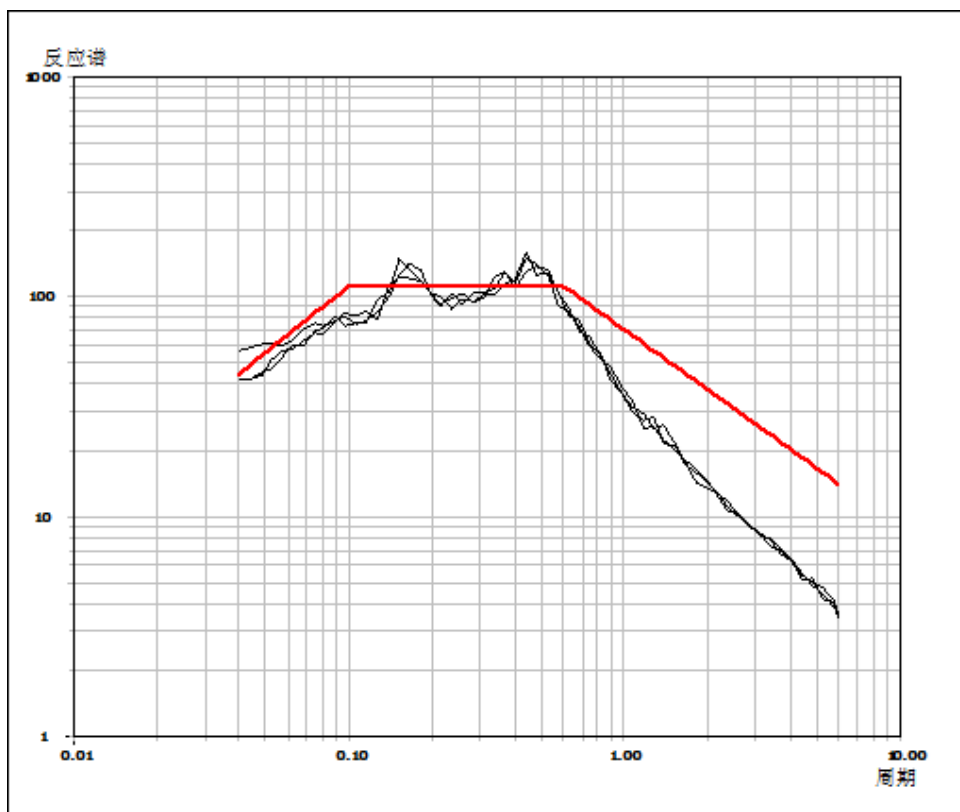
50年超越概率 10%



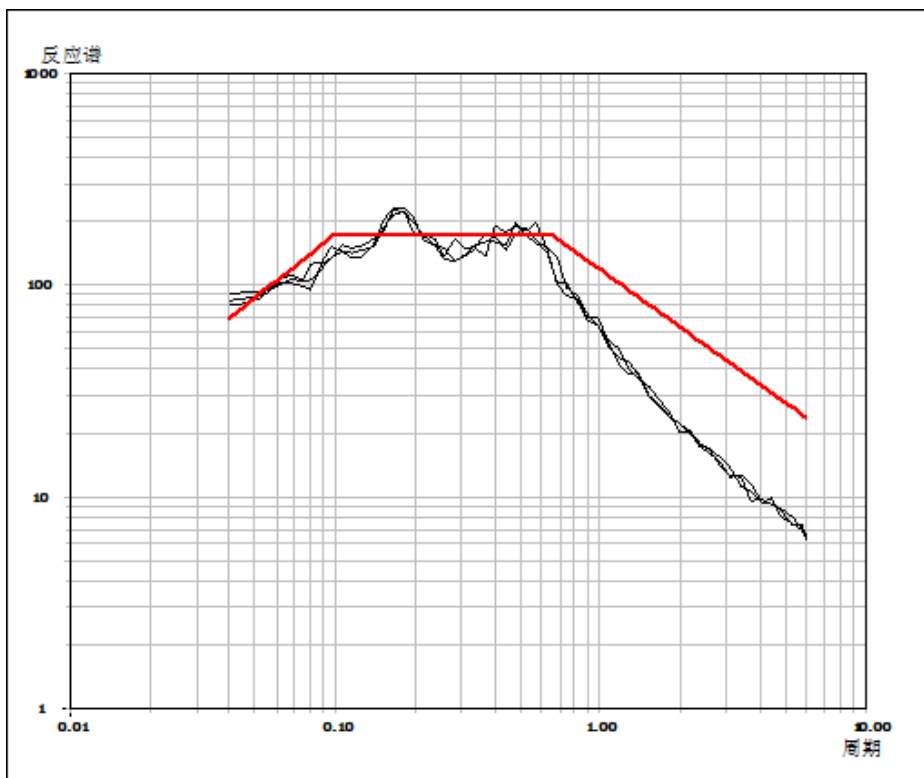
50年超越概率2%



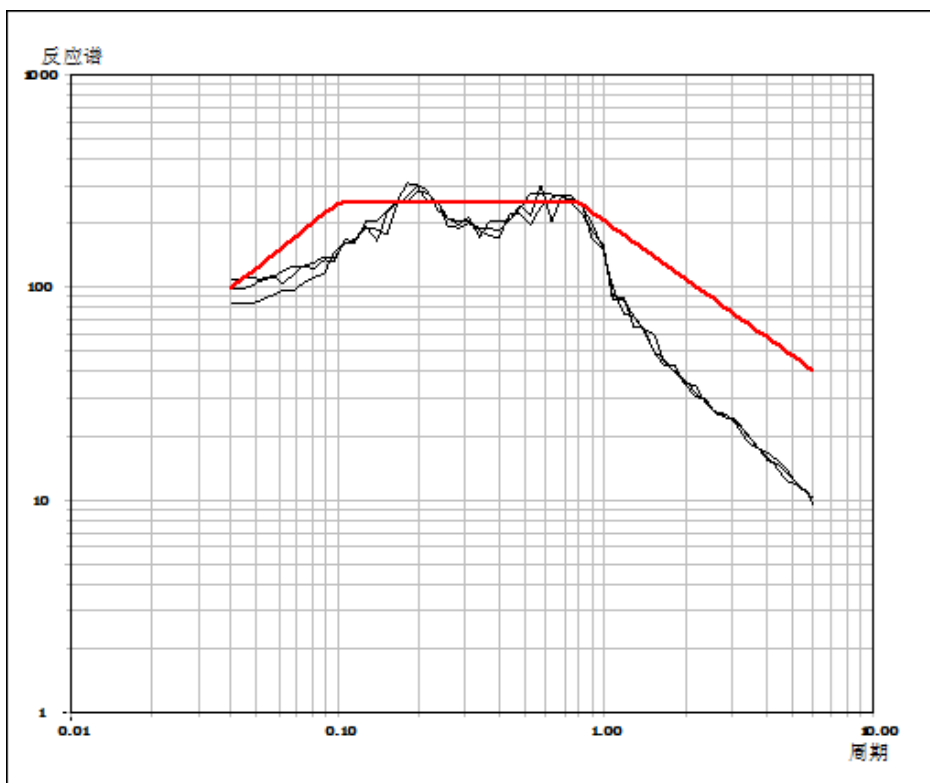
100年超越概率60%



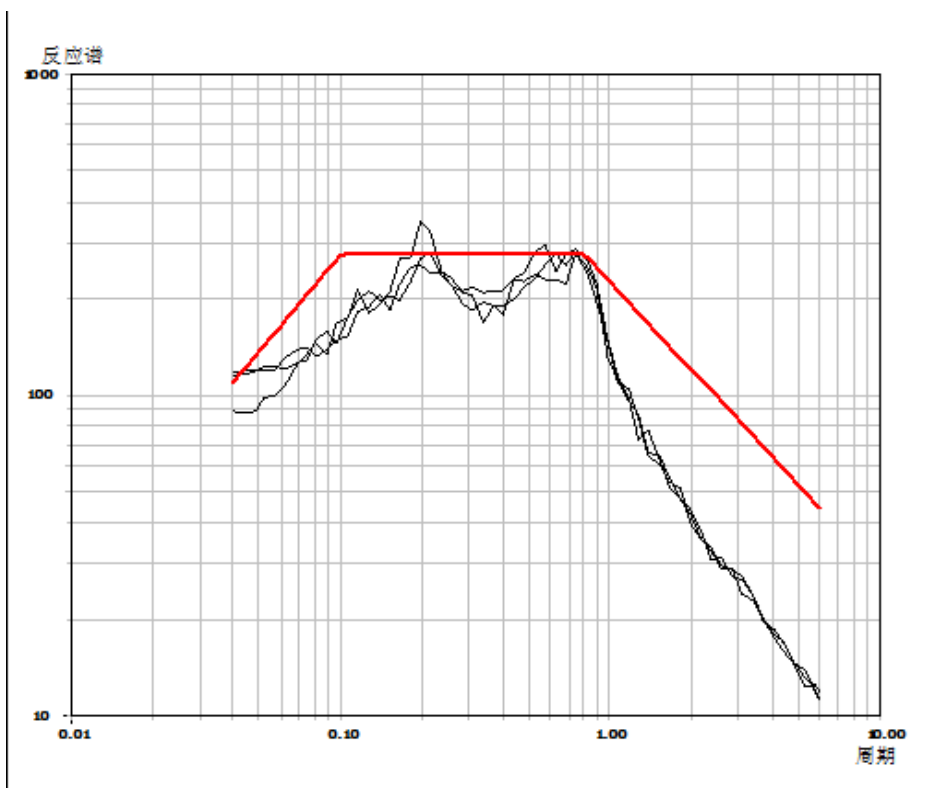
100年超越概率 40%



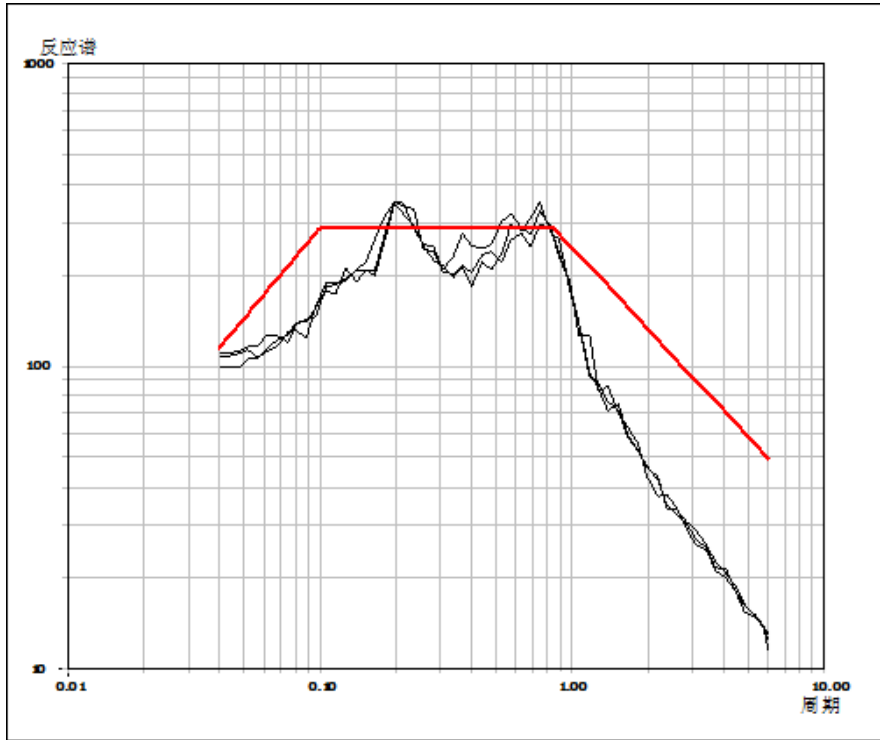
100年超越概率 10%



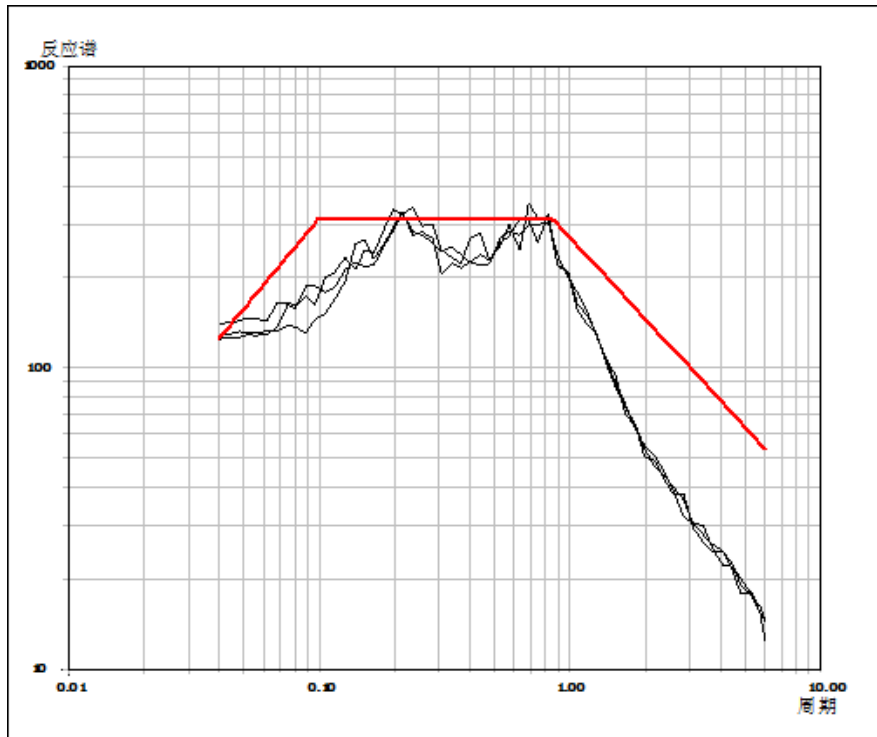
100年超越概率5%



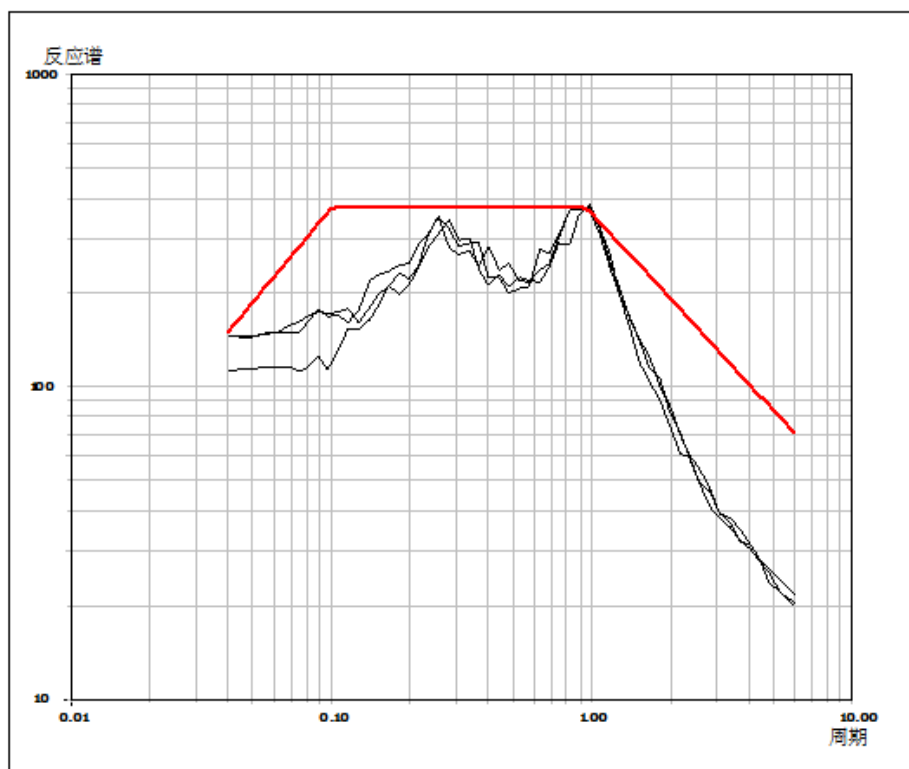
100年超越概率4%



100年超越概率 3%

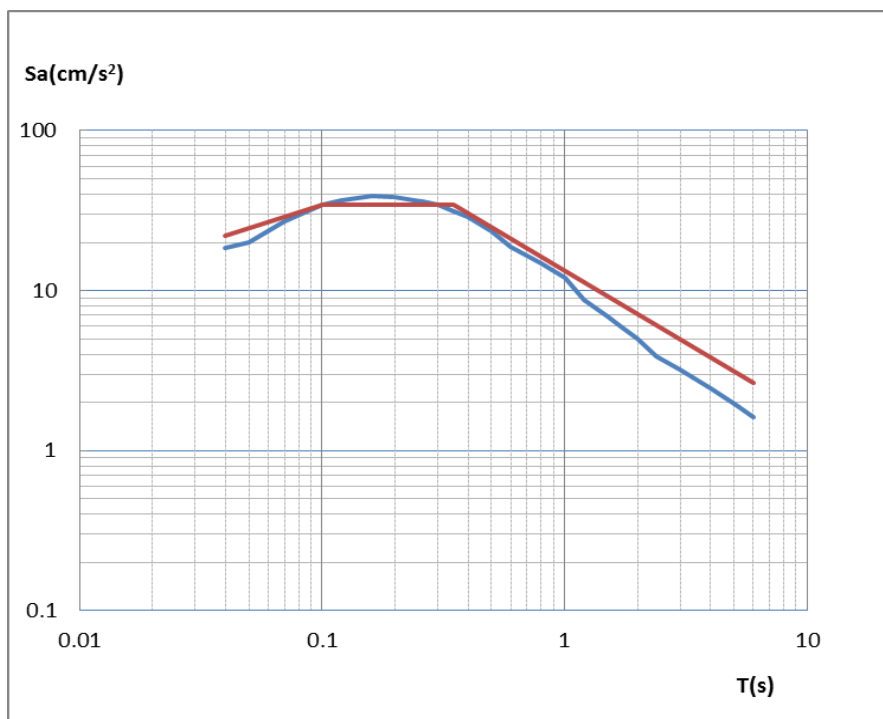


100年超越概率 2%

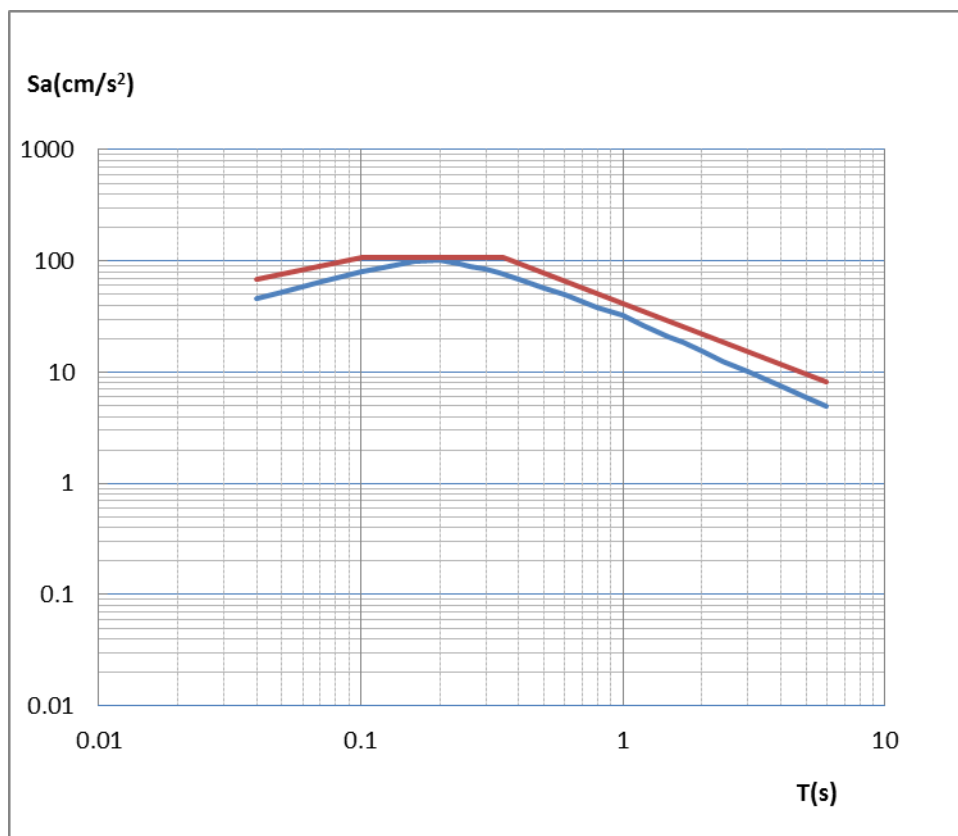


100 年超越概率 1%

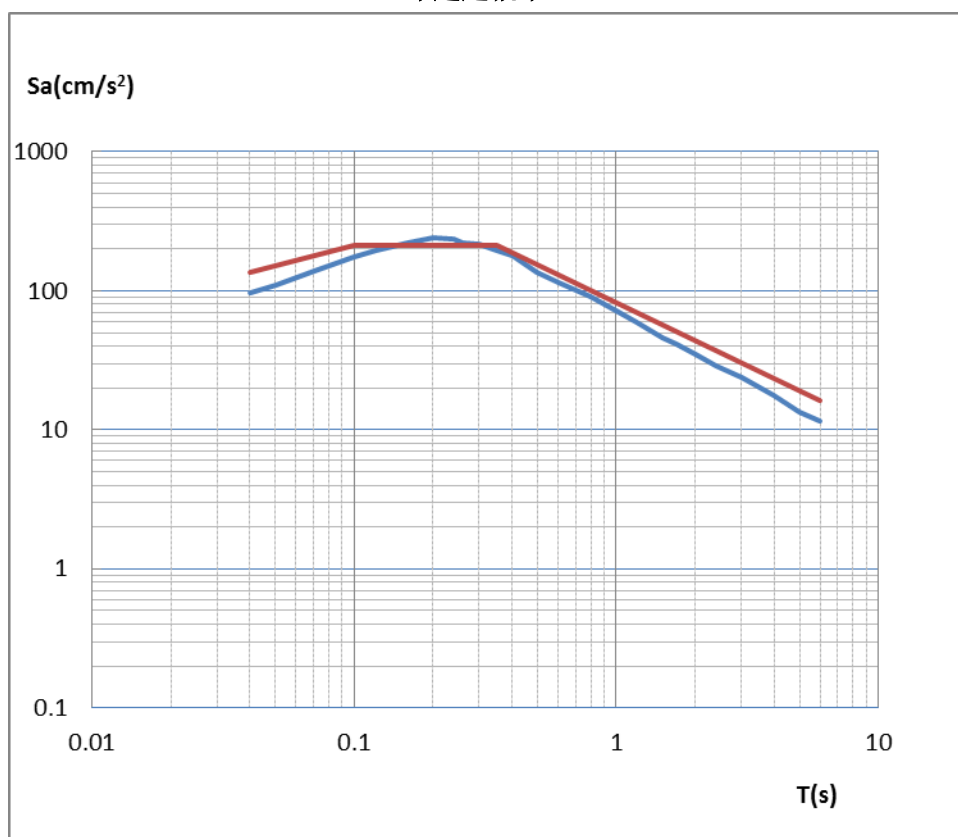
图 6.3-4a 月亮坝场地水平向反应谱及规准反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，Ⅲ类场地，5% 阻尼比)



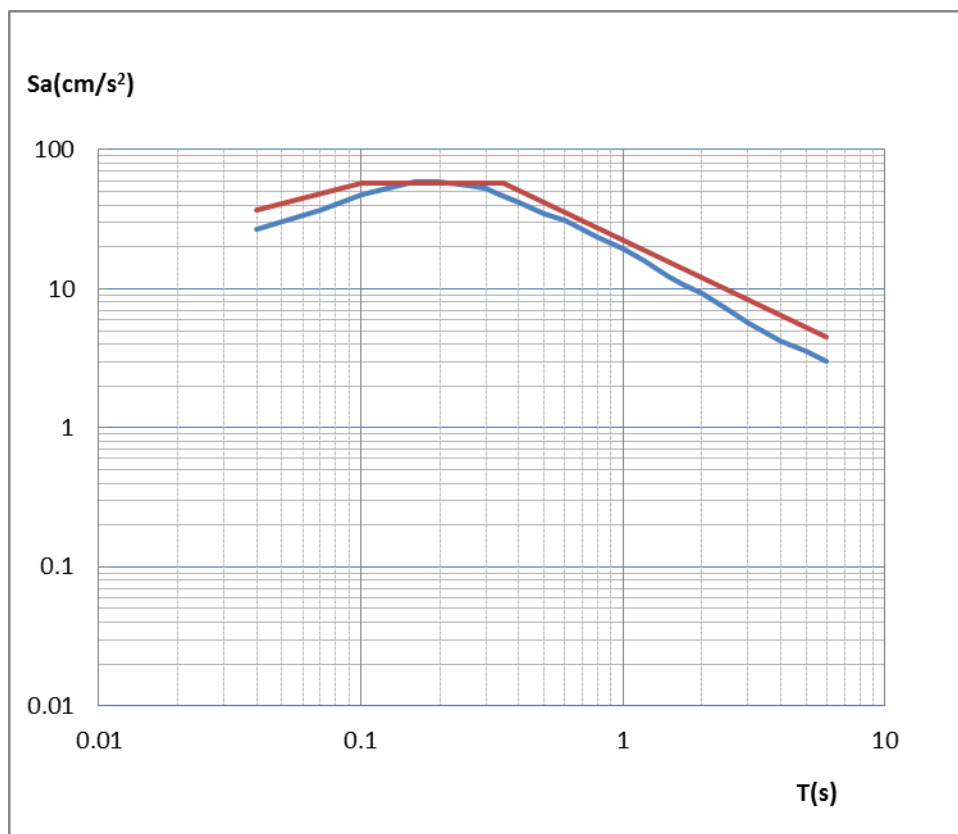
50 年超越概率 63%



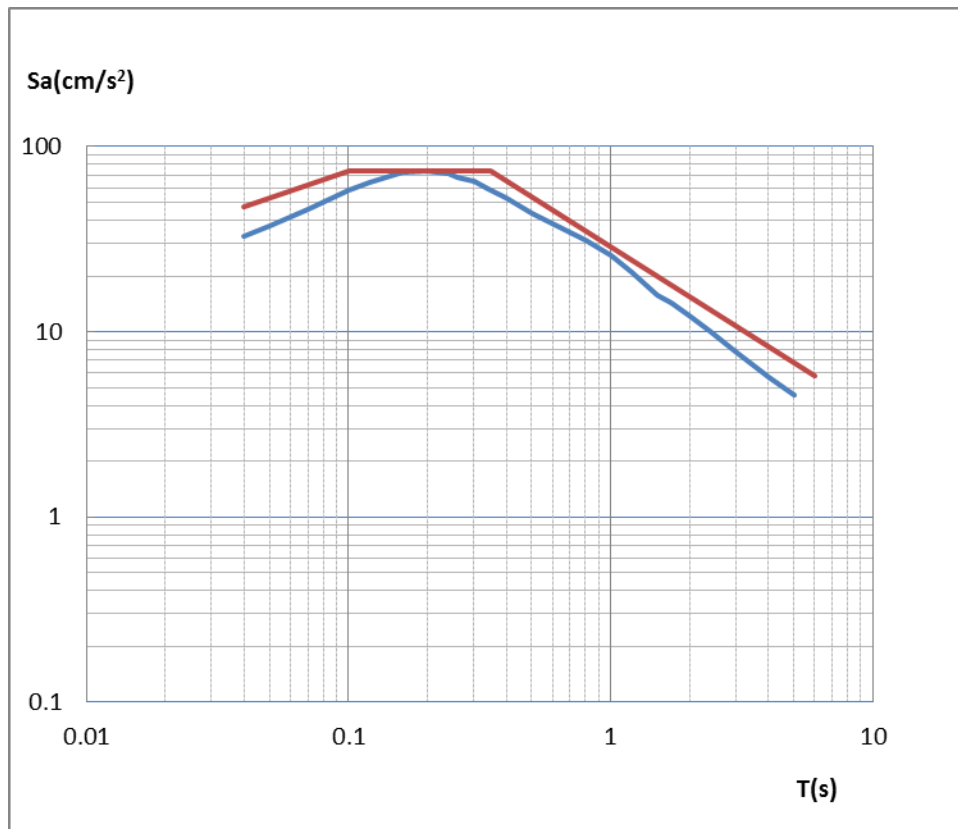
50年超越概率 10%



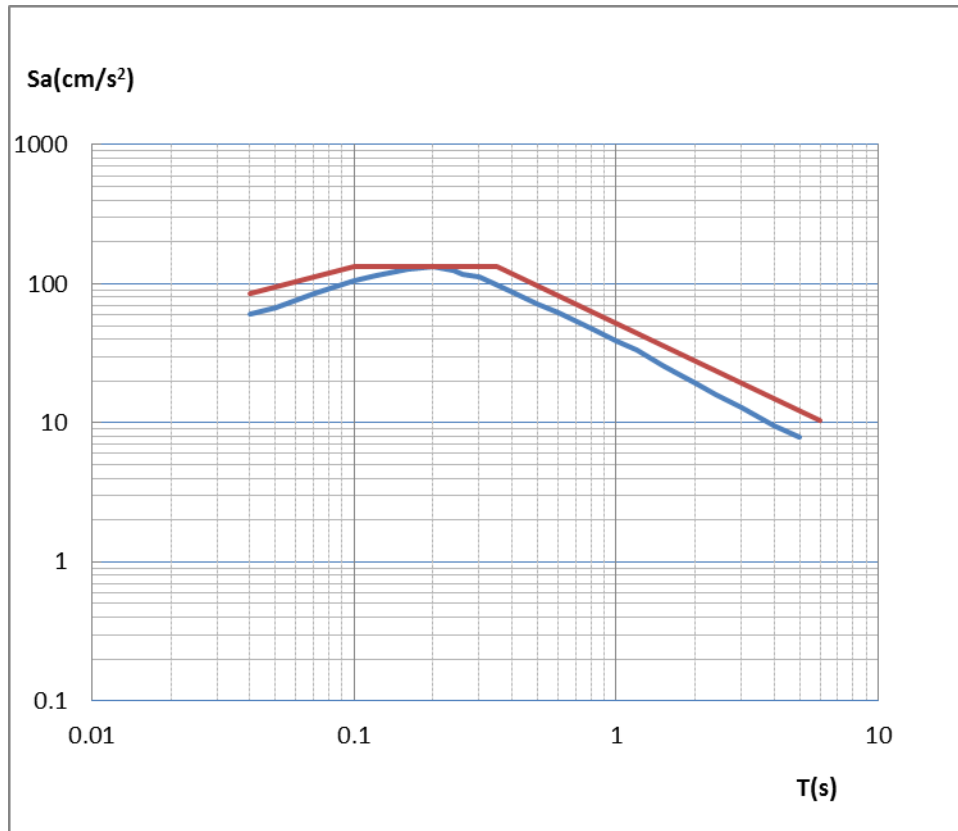
50年超越概率 2%



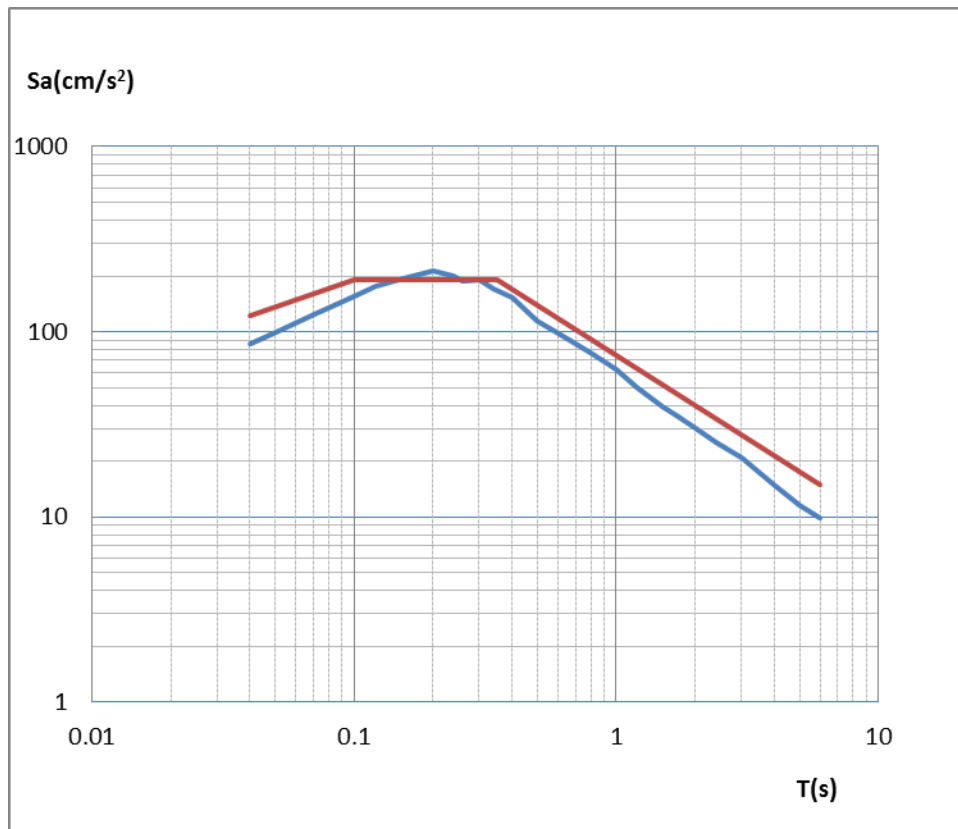
100年超越概率 60%



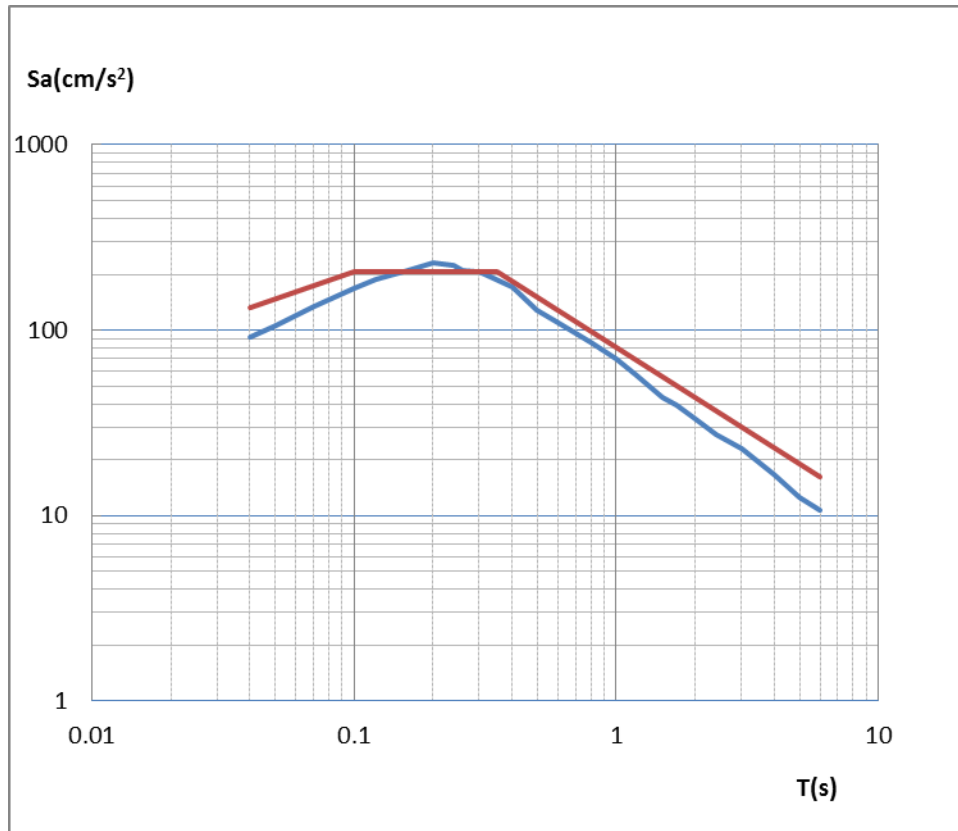
100年超越概率 40%



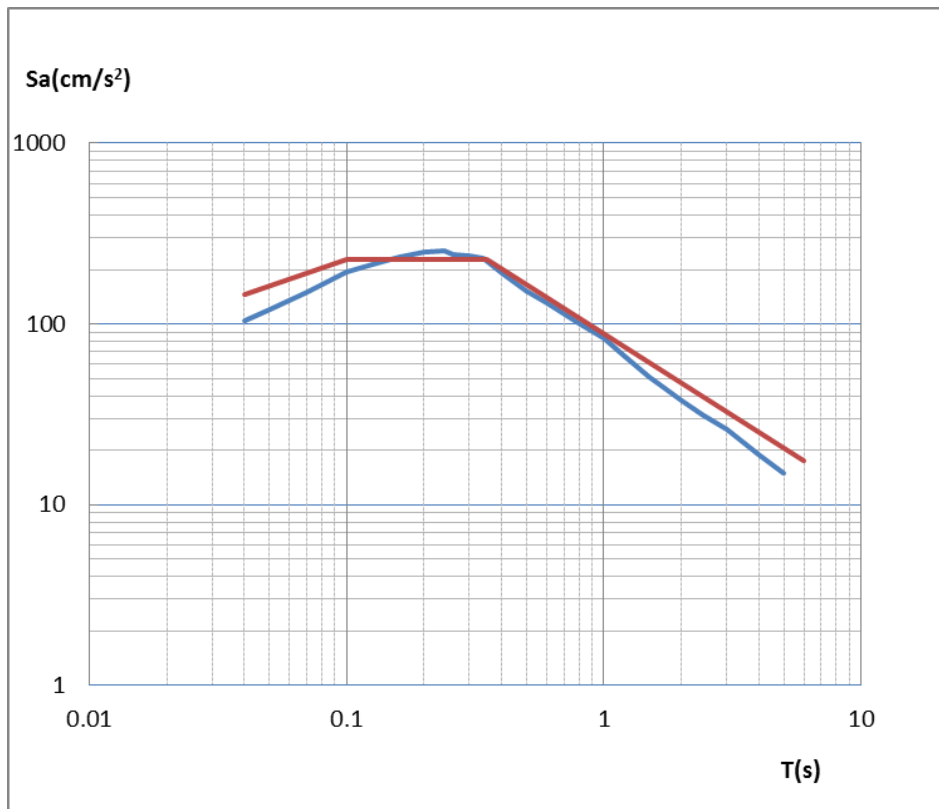
100年超越概率10%



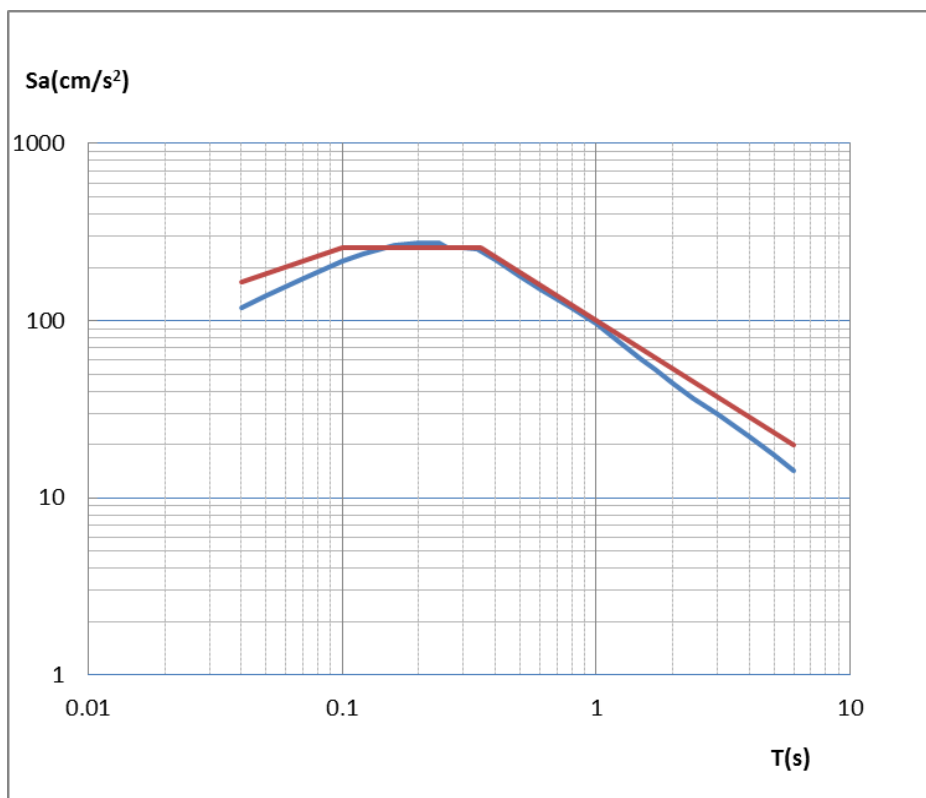
100年超越概率5%



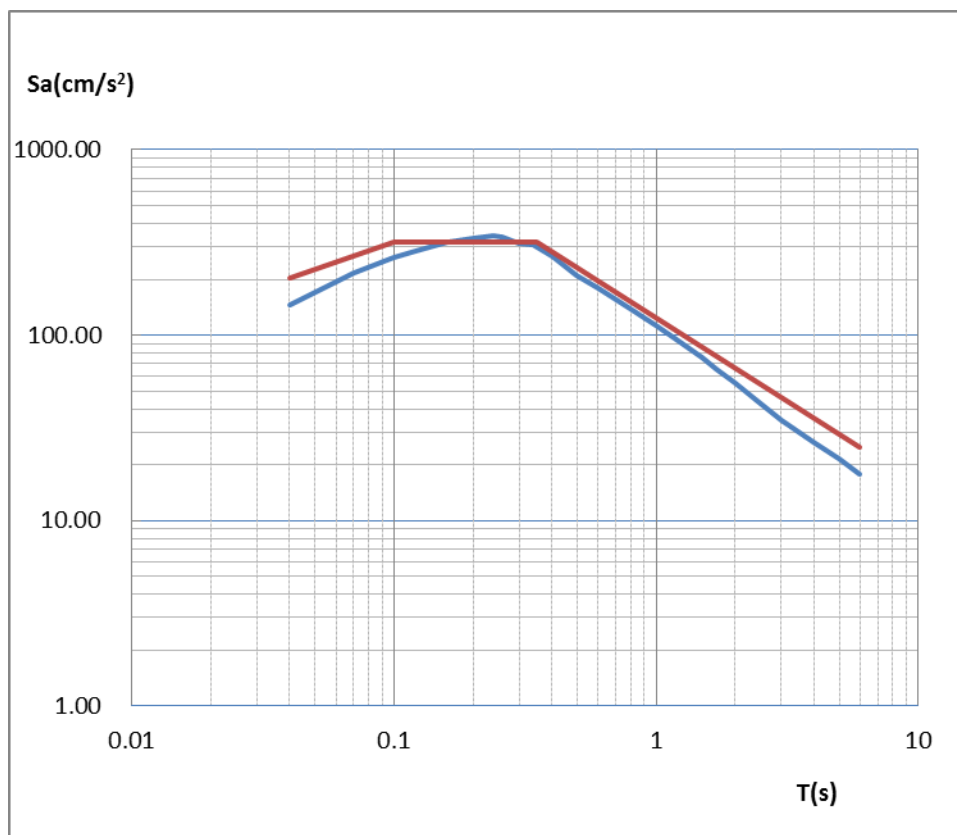
100年超越概率4%



100年超越概率3%

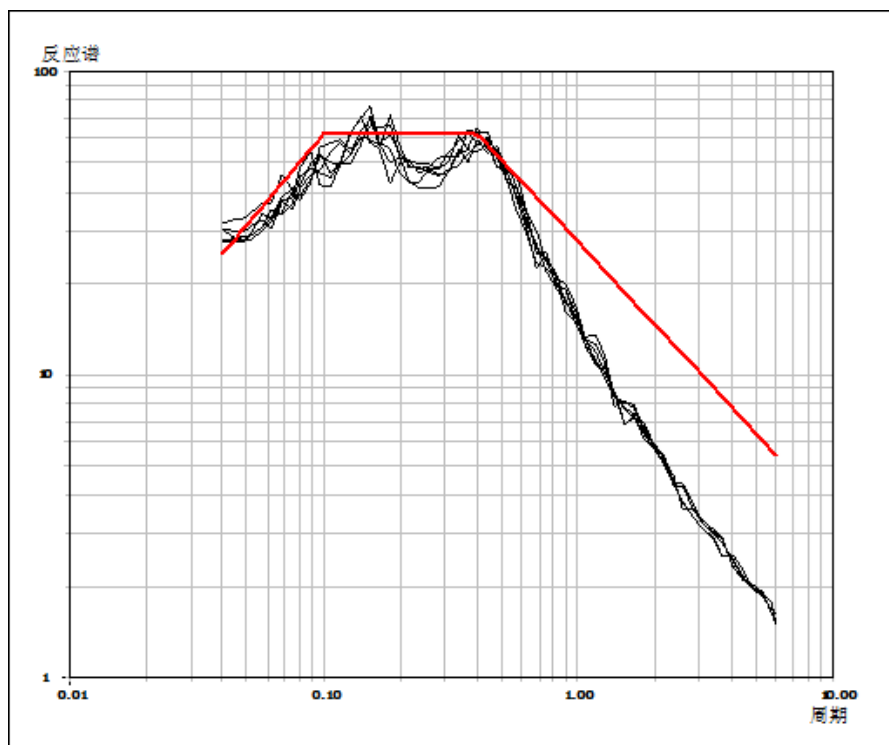


100年超越概率 2%

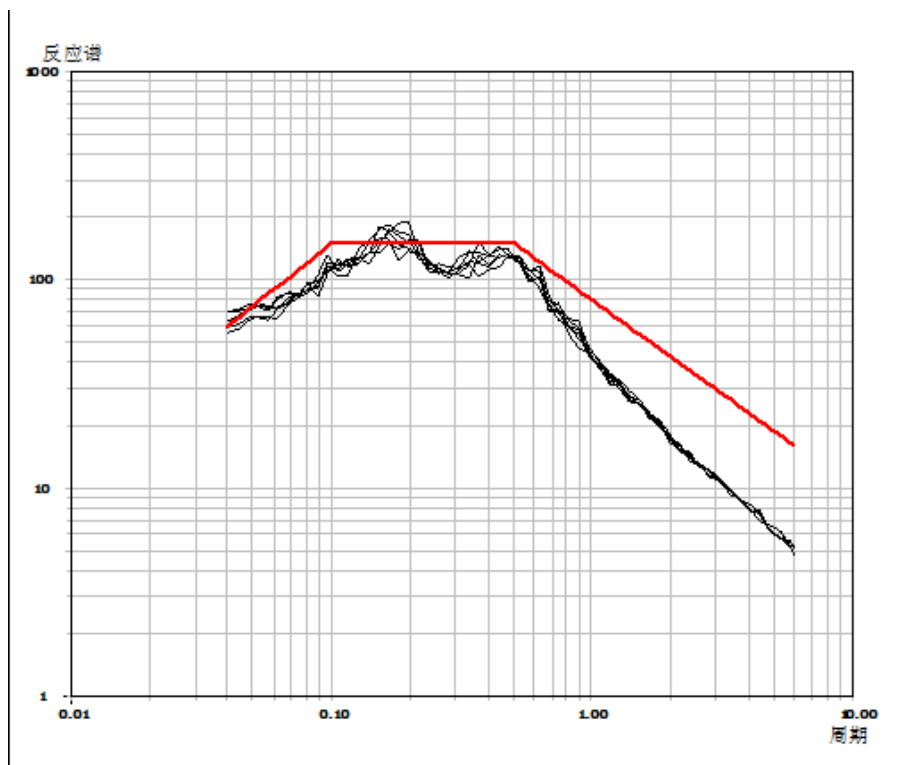


100年超越概率 1%

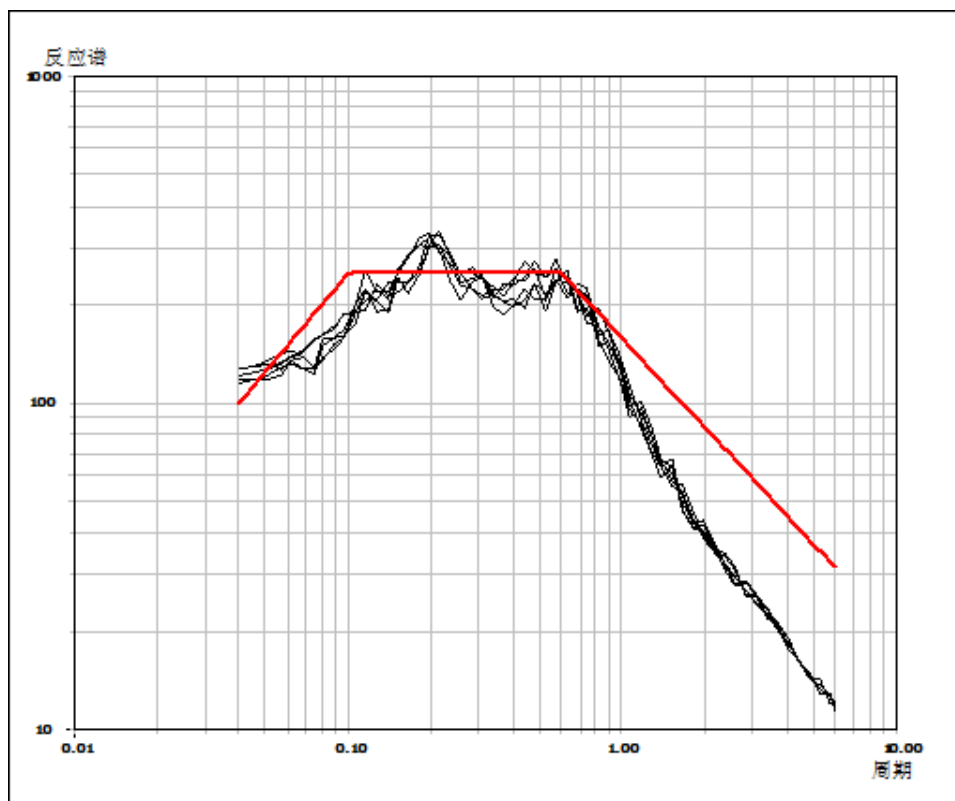
图 6.3-5a 镇江场地水平向反应谱及规范反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，I 类场地，5% 阻尼比)



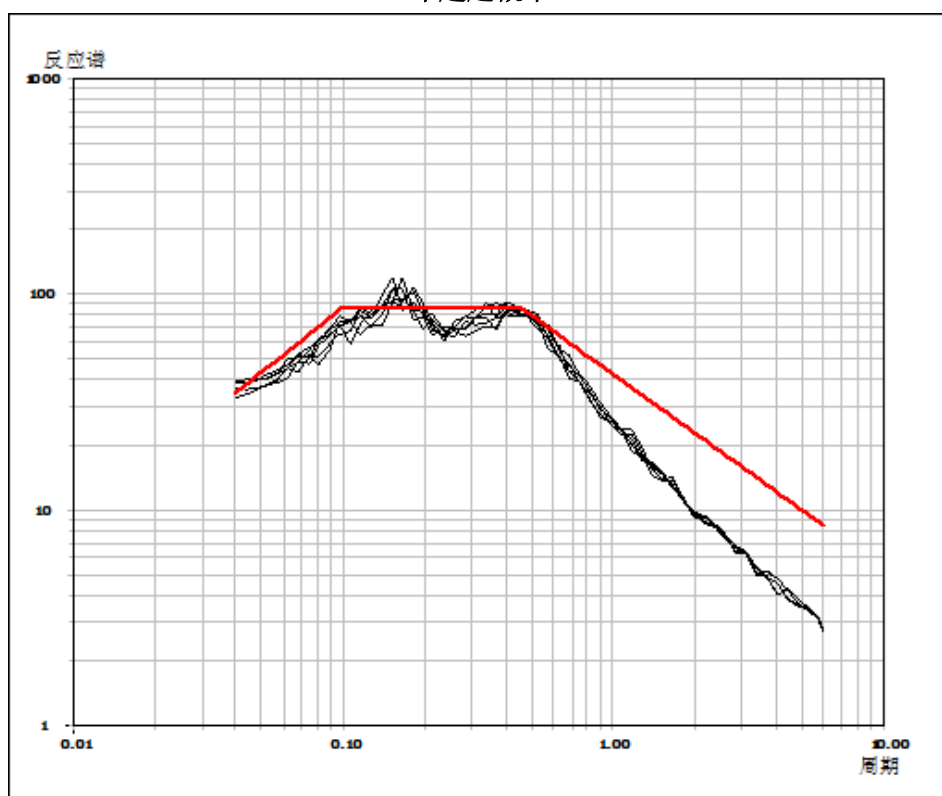
50年超越概率 63%



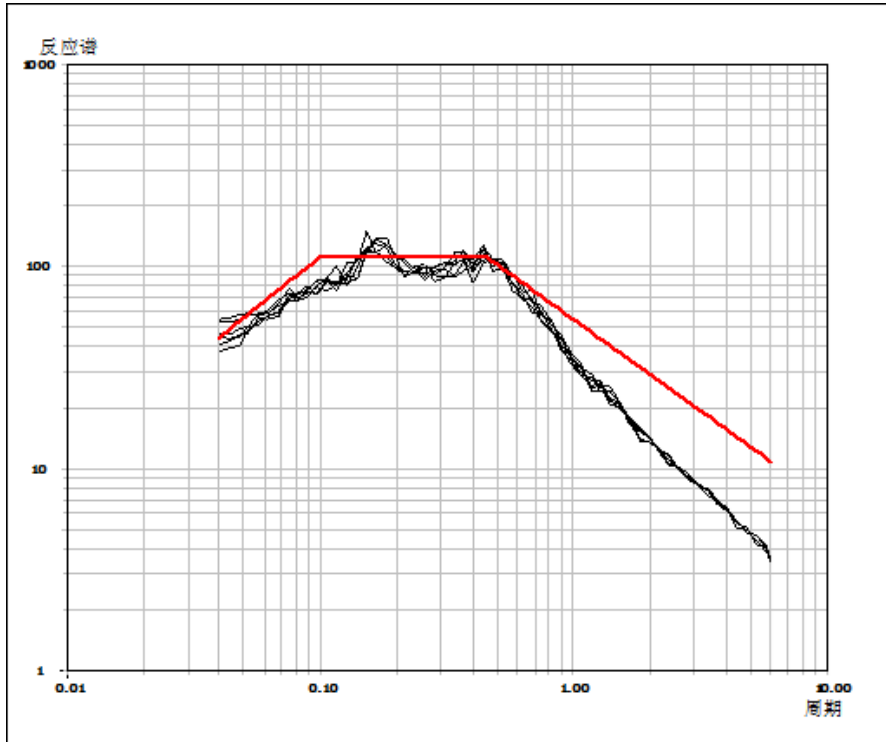
50年超越概率 10%



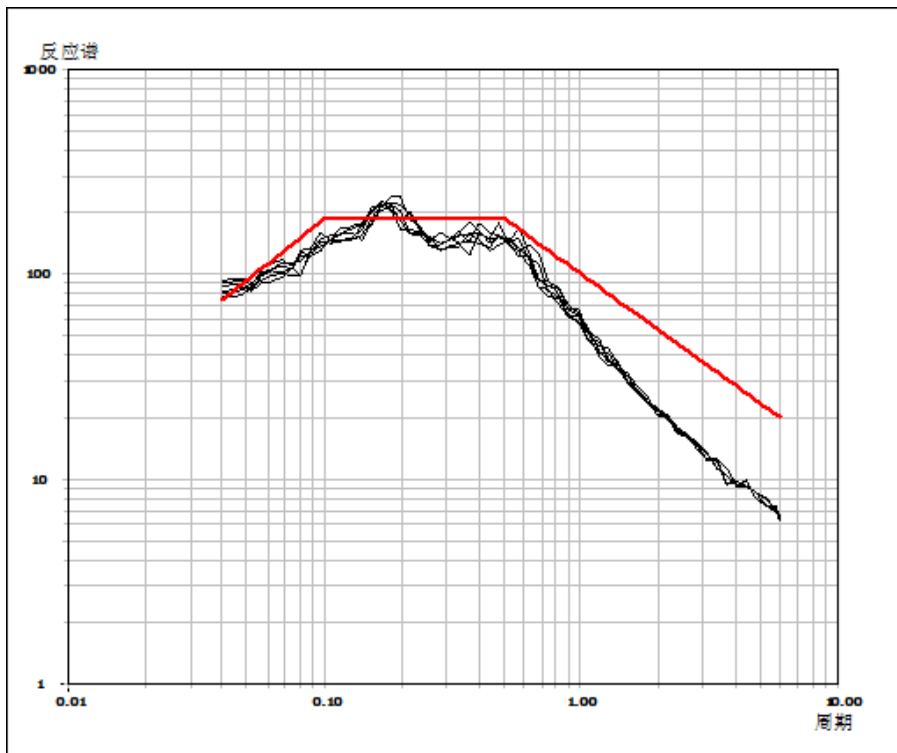
50年超越概率2%



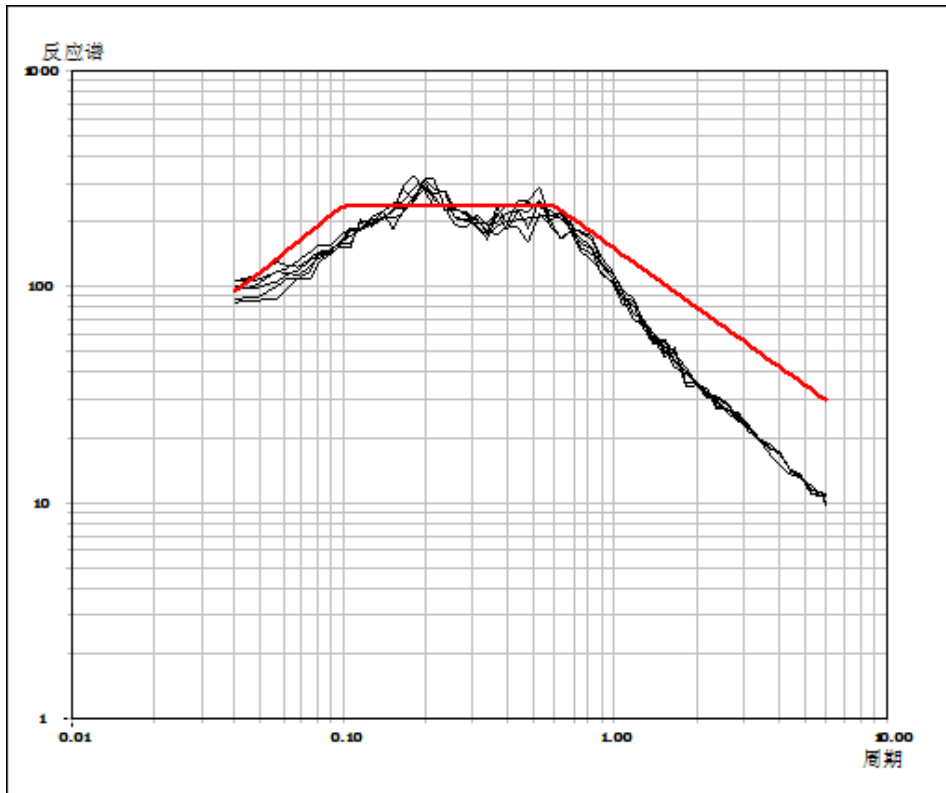
100年超越概率60%



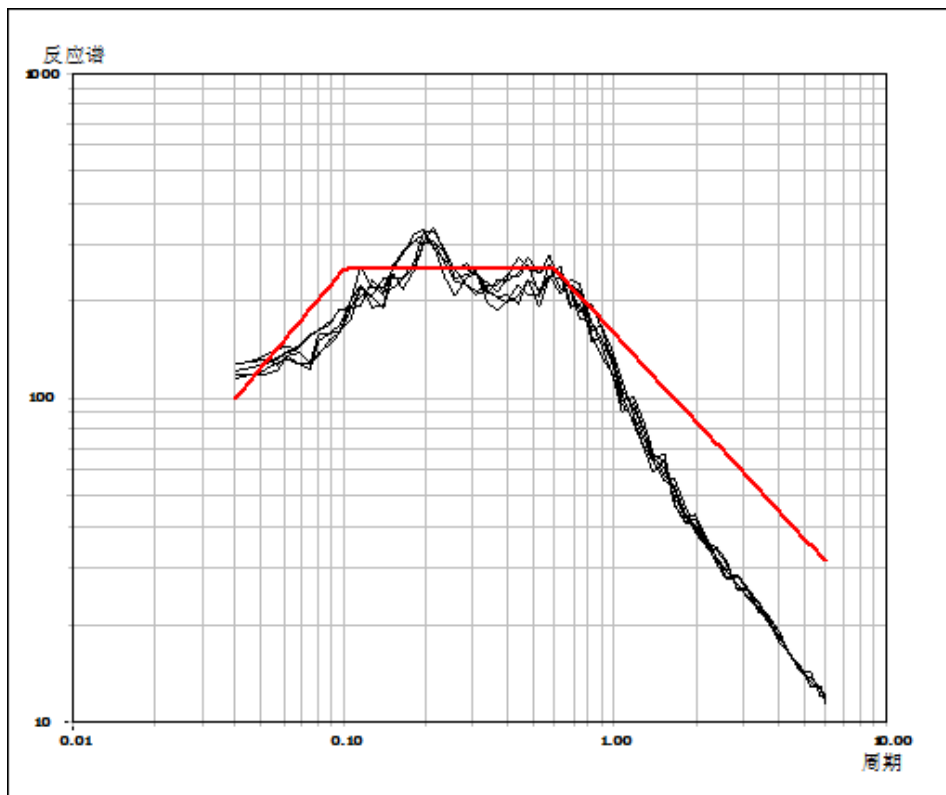
100年超越概率 40%



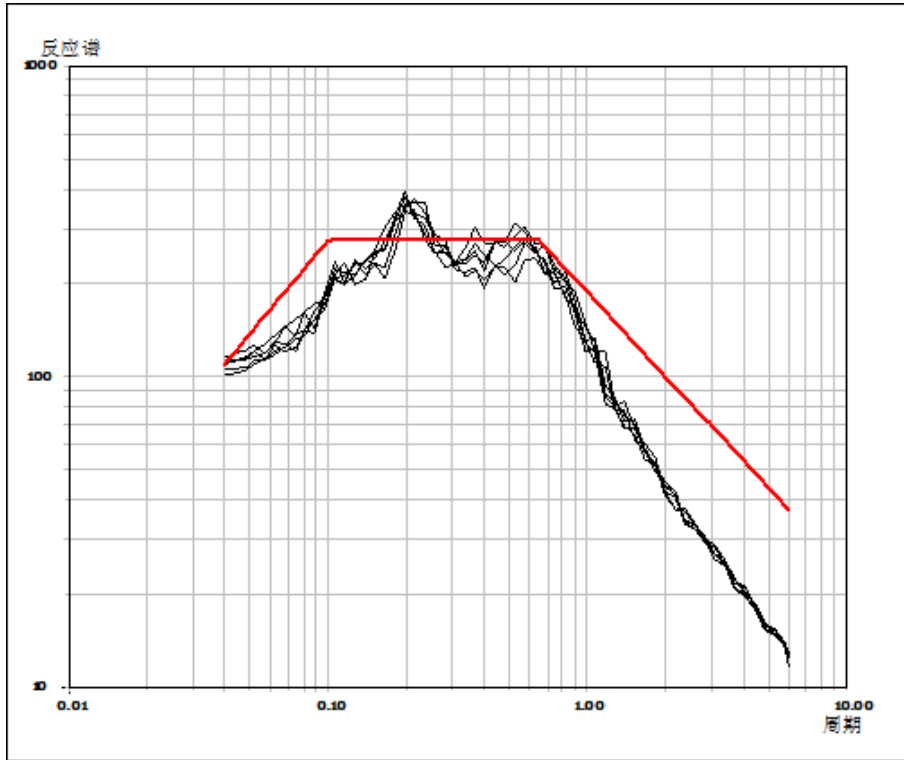
100年超越概率 10%



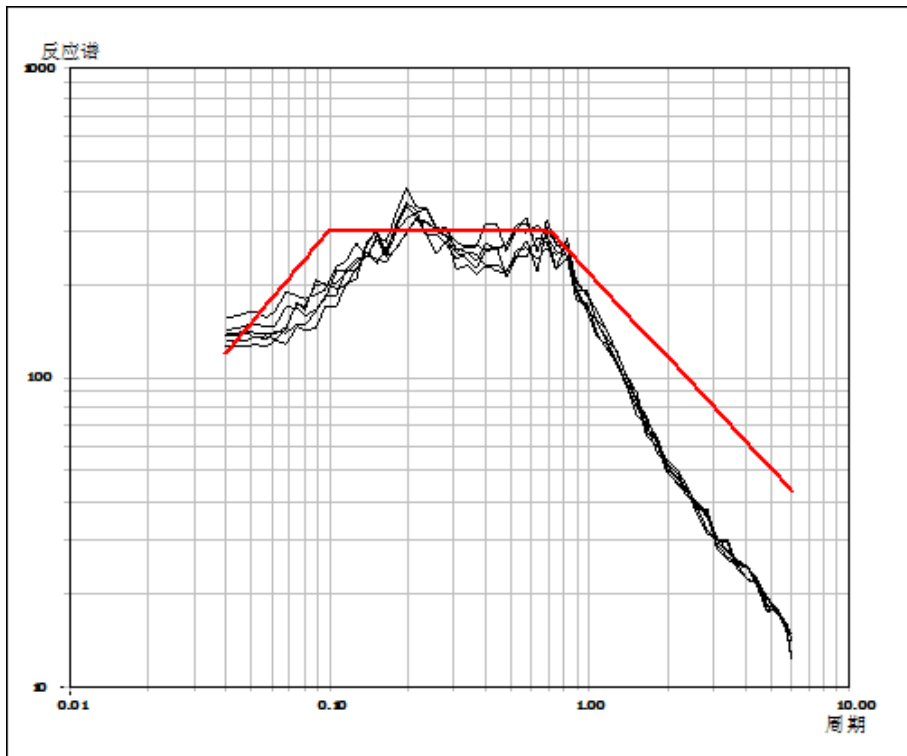
100年超越概率5%



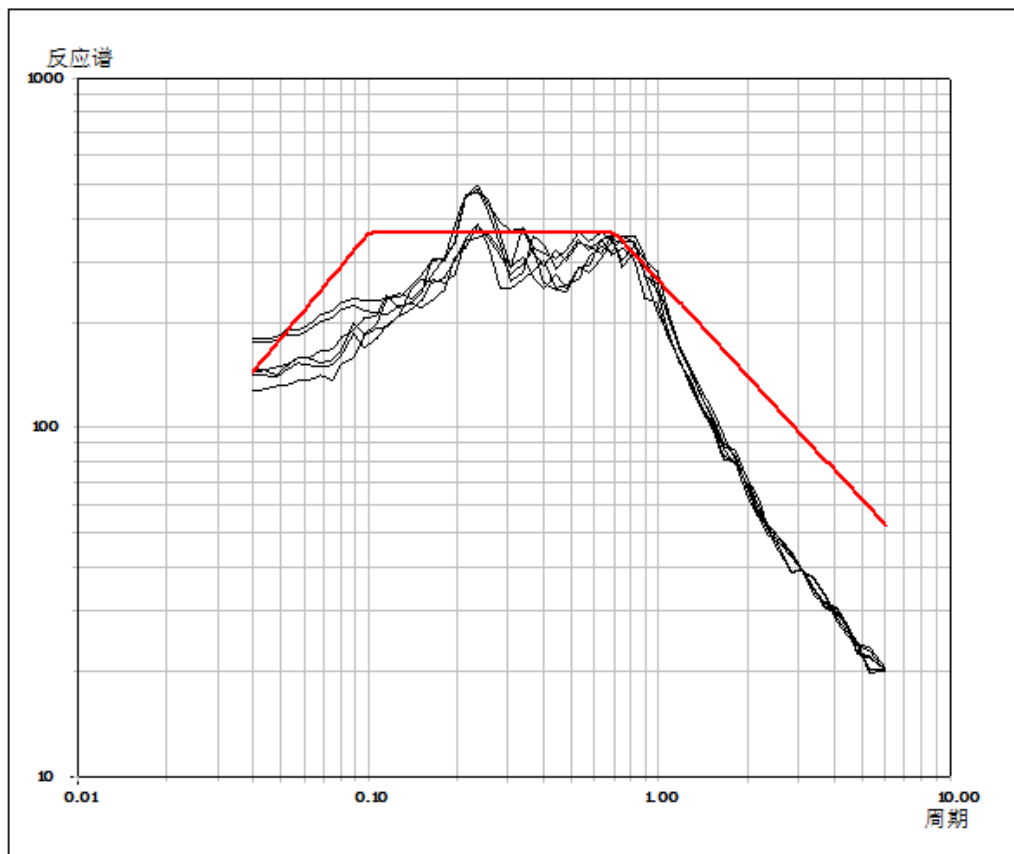
100年超越概率4%



100年超越概率3%



100年超越概率2%



100年超越概率1%

图 6.3-5a 镇江场地水平向反应谱及规范反应谱(从上到下 50 年超越概率 63%、10%、2%，100 超越概率年 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2%、1%，II 类场地，5% 阻尼比)

6.4 场地设计地震动加速度时程

根据工程特殊结构抗震计算的需要（采用时程分析法计算），本节依据工程场地设计地震动参数值人工合成场地设计地震动加速度时程，以作为工程结构动力反应分析计算的地震输入。利用上一节确定的场地设计地震峰值加速度、目标加速度反应谱以及时程强度包络函数参数，按前述方法进行人工合成场地地面加速度时程。对于 50 年不同超越概率的工况各合成 5 条不同随机相位的时程，以供设计验算使用，合成地震动的采样间隔为 0.02 秒。这里仅给出玉溪工业园区的地震动时程曲线，见图 6.4-1。其它设计地震动时程曲线见数据文件。所合成的人工波时间步长为 0.02 秒，文件格式：各点为加速度幅值 (cm/s^2)，设计地震动加速度数据文件名均相同，列于表 6.4-1 内。

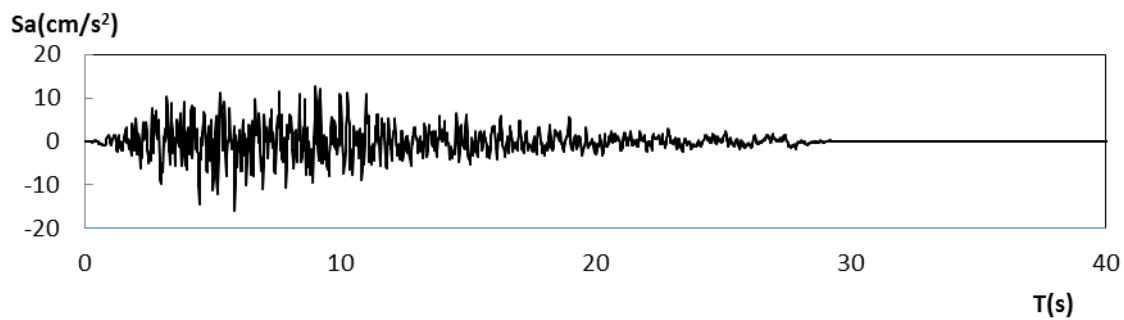
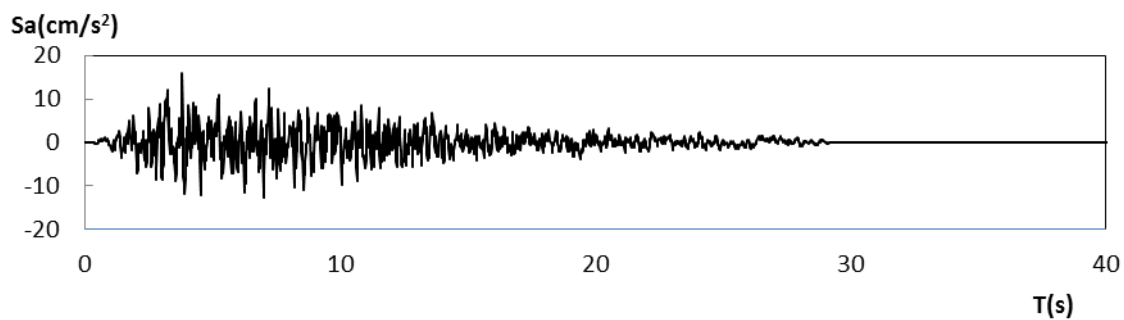
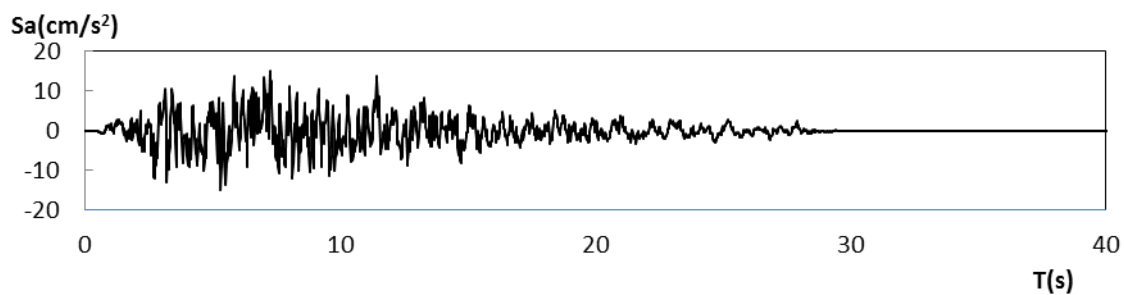
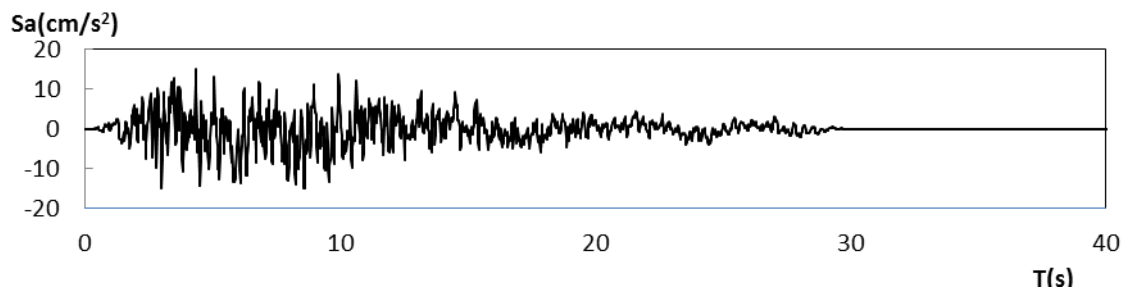
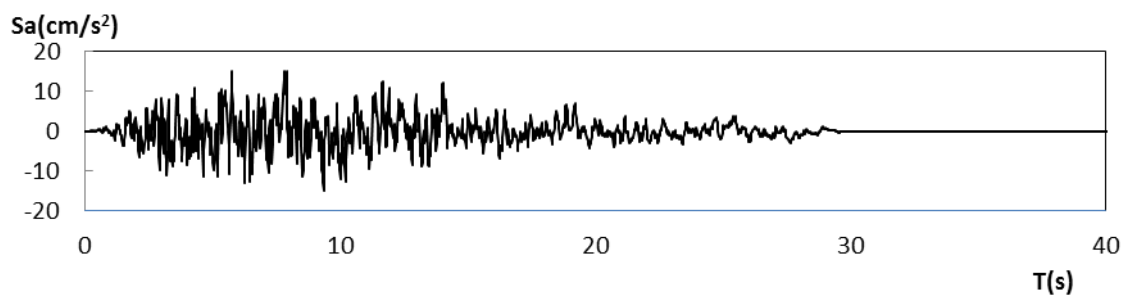
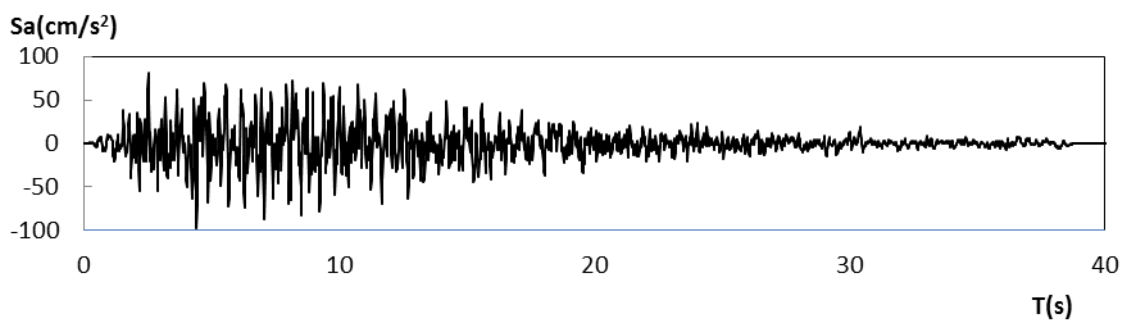
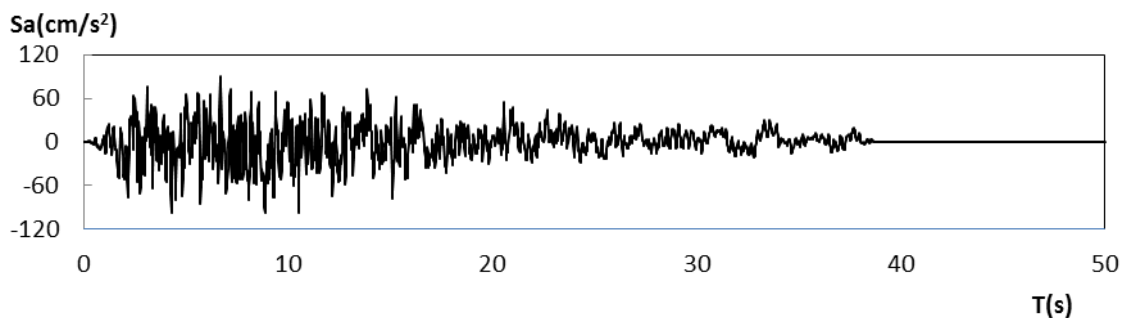
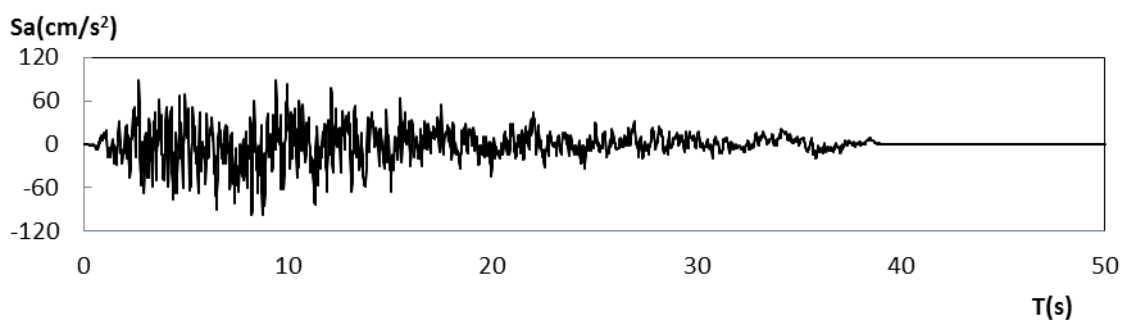
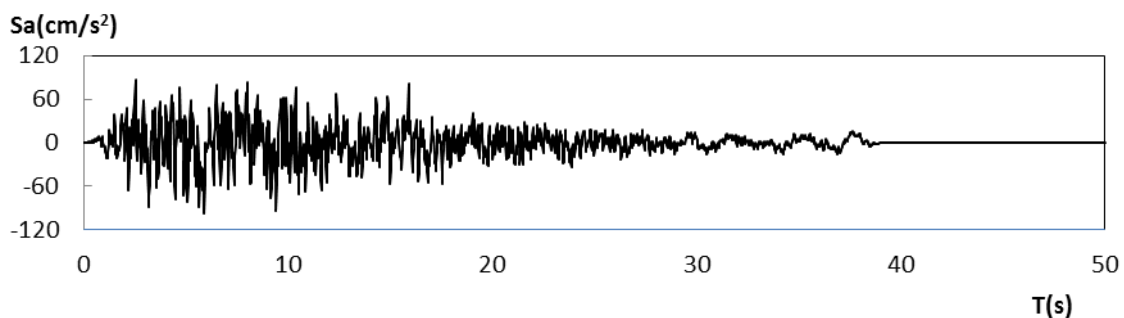


图 6.4-1a 玉溪工业园区类 I 类场地 50 年超越概率 63% 的设计人工地震动时程曲线



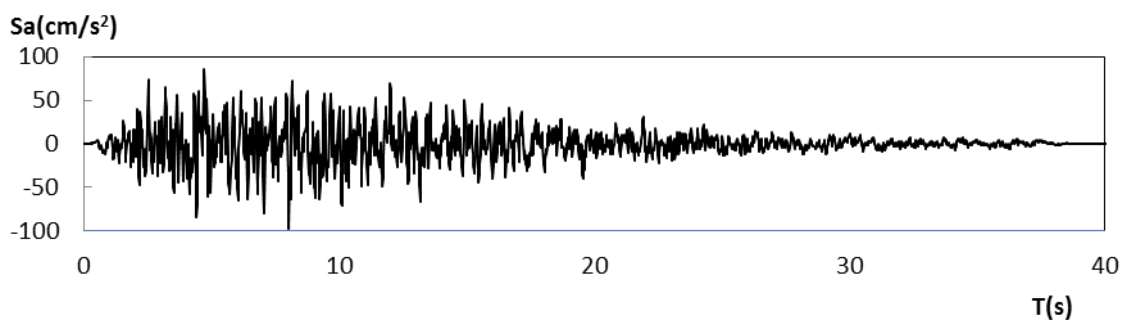
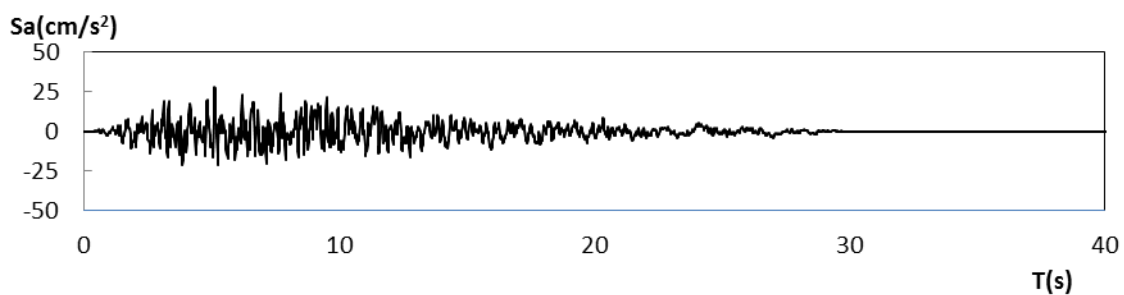
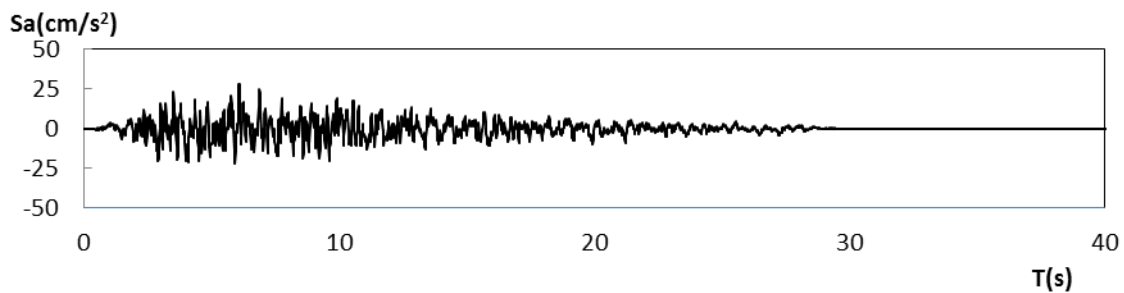
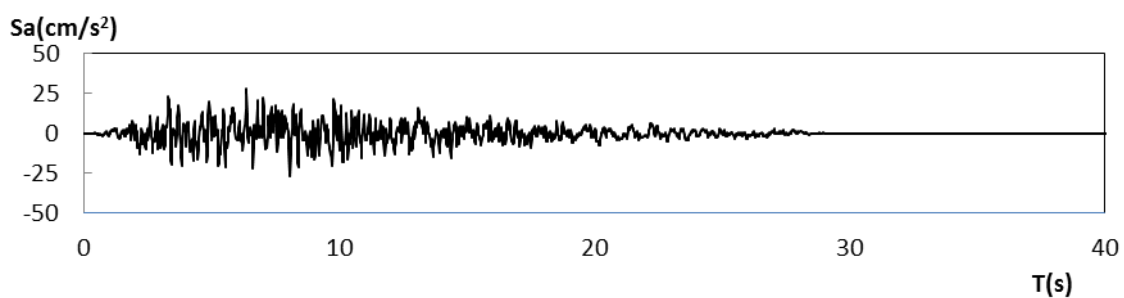


图 6.4-1b 玉溪工业园区类 I 类场地 50 年超越概率 2% 的设计人工地震动时程曲线



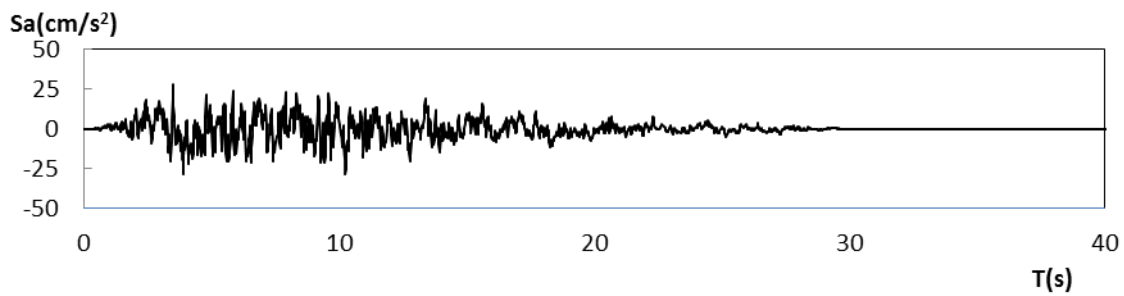
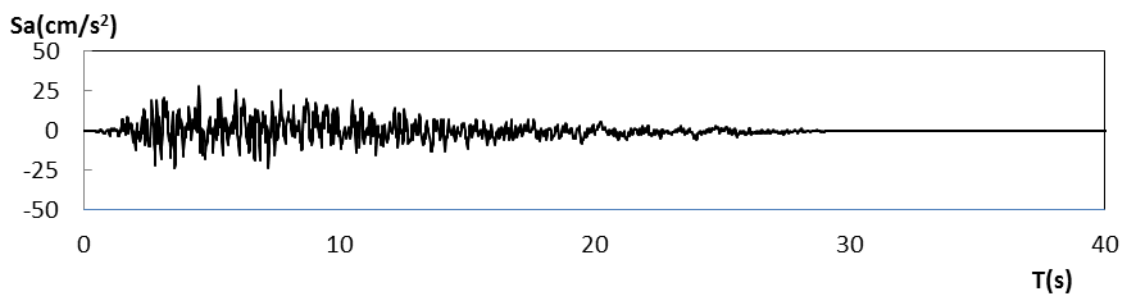
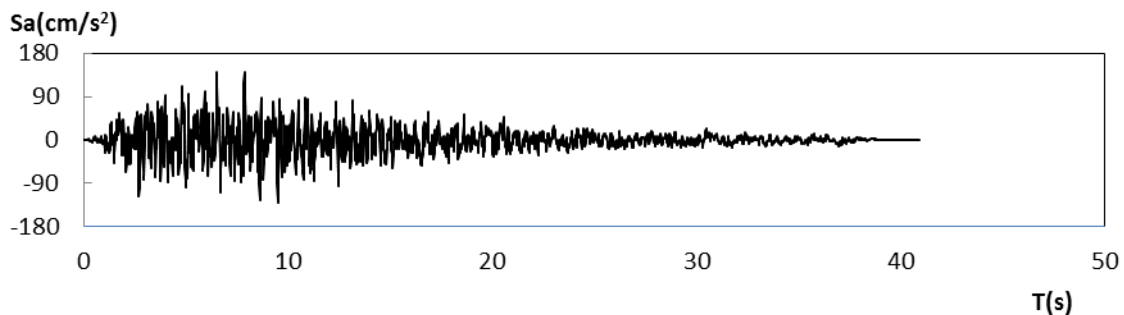
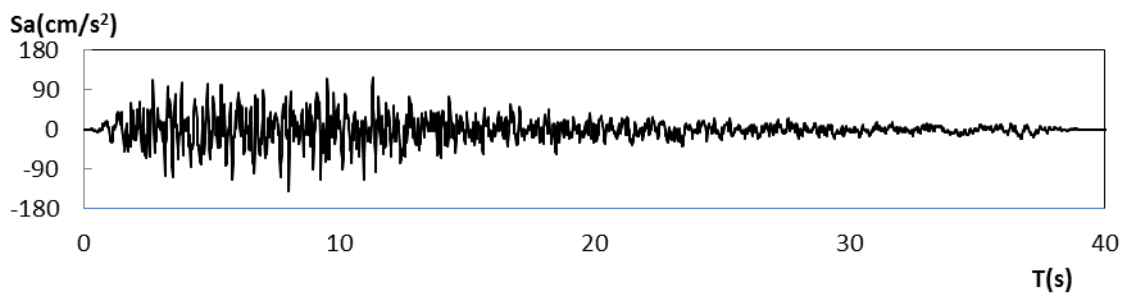


图 6.4-1c 玉溪工业园区类 II 类场地 50 年超越概率 63% 的设计人工地震动时程曲线



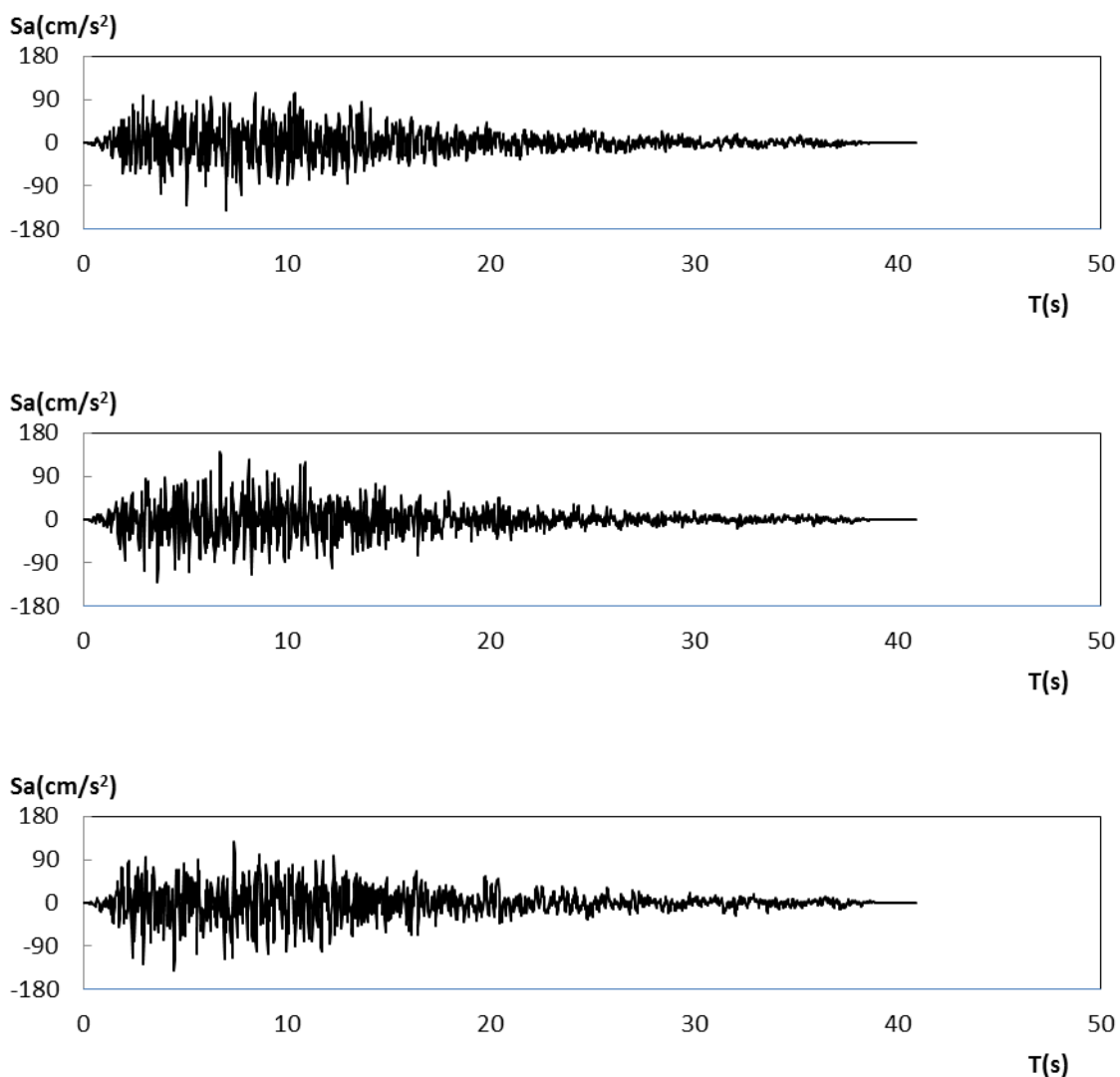


图 6.4-1d 玉溪工业园区类 II 类场地 50 年超越概率 2% 的设计人工地震动时程曲线

6.4-1 场地地震波文件名一览表

目标区	场地类别	概率水准	文件名
玉溪工业园区	I 类场地	50 年 63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
		50 年 2%	r-50-2-1.txt
			r-50-2-2.txt
			r-50-2-3.txt
			r-50-2-4.txt
			r-50-2-5.txt

	II类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
		50年2%	r-50-2-1.txt
			r-50-2-2.txt
			r-50-2-3.txt
			r-50-2-4.txt
			r-50-2-5.txt
	III类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
50年2%		r-50-2-1.txt	
		r-50-2-2.txt	
		r-50-2-3.txt	
		r-50-2-4.txt	
		r-50-2-5.txt	
高家中小企业园	I类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
		50年2%	r-50-2-1.txt
			r-50-2-2.txt
			r-50-2-3.txt
			r-50-2-4.txt
			r-50-2-5.txt
	II类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
		50年2%	r-50-2-1.txt
			r-50-2-2.txt
			r-50-2-3.txt
			r-50-2-4.txt
			r-50-2-5.txt

水天坪工业园区	I类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
		50年2%	r-50-2-1.txt
			r-50-2-2.txt
			r-50-2-3.txt
			r-50-2-4.txt
			r-50-2-5.txt
	II类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
		50年2%	r-50-2-1.txt
			r-50-2-2.txt
			r-50-2-3.txt
			r-50-2-4.txt
			r-50-2-5.txt
III类场地	50年63%	r-50-63-1.txt	
		r--50-63-2.txt	
		r-50-63-3.txt	
		r--50-63-4.txt	
		r-50-63-5.txt	
	50年2%	r-50-2-1.txt	
		r-50-2-2.txt	
		r-50-2-3.txt	
		r-50-2-4.txt	
		r-50-2-5.txt	
月亮坝	III类	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
	50年2%	r-50-2-1.txt	
		r-50-2-2.txt	
		r-50-2-3.txt	
		r-50-2-4.txt	
		r-50-2-5.txt	

镇江工业园区	I类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
		50年2%	r-50-2-1.txt
			r-50-2-2.txt
			r-50-2-3.txt
			r-50-2-4.txt
			r-50-2-5.txt
	II类场地	50年63%	r-50-63-1.txt
			r--50-63-2.txt
			r-50-63-3.txt
			r--50-63-4.txt
			r-50-63-5.txt
50年2%	r-50-2-1.txt		
	r-50-2-2.txt		
	r-50-2-3.txt		
	r-50-2-4.txt		
	r-50-2-5.txt		

6.5 场地不同类别设计地震动参数的确定

在目标区的建筑场地类别发生变化下，各超越概率水平的反应谱参数，除峰值加速度值和特征周期外，可取表 6.5-1 中相同值，峰值加速度值可根据表 6.5-1 进行调整，特征周期可根据表 6.5-2 进行调整。

表 6.5-1 场地地震动峰值加速度调整系数

II类场地地震动峰值 加速度值	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
≤0.05g	0.72	0.80	1.00	1.30	1.25
0.10g	0.74	0.82	1.00	1.25	1.20
0.15g	0.75	0.83	1.00	1.15	1.10
0.20g	0.76	0.85	1.00	1.00	1.00
0.30g	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95
≥0.40g	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90

表 6.5-2 场地基本地震动加速度反应谱特征周期调整表

II类场地基本地震加速度反应 谱特征周期分区值 (s)	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
0.35	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
0.40	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
0.45	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

第七章 结论及说明

7.1 主要结论

本项目完成了重庆市丰都县工业园区区域性地震安全性评价工作。项目的主要工作内容为：区域及近场地震活动性分析，区域及近场地震地质调查和断层活动性鉴定，地震危险性计算、场地工程地震条件及地震地质灾害评价，场地设计地震动参数计算等工作。项目工作所获得的主要结果如下：

一、地震活动环境评价

1、区域位于长江中游地震带，长江中游地震带未来百年内的地震活动时间进程仍将主要持续现在的地震相对活跃期，未来该带仍可能有中强地震发生。

2、区域内记录到 $M \geq 4.7$ 级的破坏性地震8次，其中6.0-6.9级地震1次，5.0~5.9级地震5次，4.7-4.9级地震2次。此外，还记录到现代小震（ $2.0 \leq M \leq 4.6$ ）1035次。区域目前记到的最大地震是1856年重庆黔江 $6\frac{1}{4}$ 级地震。

3、区域范围内 $M \geq 4.7$ 级地震主要分布在目标区的南面和西面，基本分布在湖北利川、重庆黔江、彭水、南川、统景地区。区域内历史上共发生过7次4.7级以上地震，最大的是1856年黔江 $6\frac{1}{4}$ 级地震。其中，发生在黔江的地震，发震构造主要为沿北东向的黔江断裂带。发生在利川和彭水的地震，发震构造为北东向的彭水断裂。发生在南川的地震，发震构造为七曜山-金佛山基底断裂带。统景地震的发震构造为铜锣峡背斜轴部的北东向统景底腹断裂。工作区历史上没有发生过大于7级的地震，地震活动属中强水平。2017年11月23日武隆5级地震是距目标区最近的破坏性地震，约58.8km。

4、区域强震、中小地震震源深度分布较浅。

5、目标区遭受的最大影响烈度为V度，分别来自1856年6月10重庆黔江 $6\frac{1}{4}$ ，1879年7月1日甘肃武都南8.0级地震，1920年12月16日宁夏海原 $8\frac{1}{2}$ 和2008年5月12日汶川8.0级地震。

6、近场区历史上共发生 $M \geq 2$ 级地震135次（表1.6-1），其中2.0~2.9级地震116次，3.0~3.9级地震6次，4.0~4.9级地震13次；震源深度分布较浅。近场区以小地震活动为主，已发生地震对目标区的最大影响烈度为V度。

7、区域处于NWW-SEE向水平主压应力与NNE-SSW向水平主张应力为主的现代构造应力场中，在这样的应力场中易发生逆断层、走滑断层或逆兼走滑型断层活动，其中北东-北东东向破裂面具有以右旋水平剪切为主的错动性质；北西-北北西向或北北东向的破裂面具有以左旋水平剪切为主的错动性质。

二、地震构造环境评价

1. 区域主要包括四川台坳、上扬子台褶带两个二级构造单元，目标区处在四川台坳内的川东陷褶束三级构造单元之中，地壳结构简单；区域新构造运动主要表现为大面积的整体间歇性抬升（或掀斜），局部有差异活动。地壳相对稳定。

2. 区域内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。

3. 华蓥山基底断裂南段具有发生 6.5 级地震的背景，北段和中段具有发生 6 级地震的背景。七曜山-金佛山基底断裂北段具有发生最大潜在地震为 6 级的地震构造背景；中段具有发生最大潜在地震为 6.5 级的地震构造背景；南段最大潜在地震震级为 5.5 级。黔江断裂带北段的最新活动时代为中更新世中晚期，局部段落延至晚更新世期间，该断裂带北段具备发生最大 6 级地震的构造背景；而其南段具备发生最大 5.5 级地震的背景。方斗山基底断裂和长寿-遵义基底断裂，具有发生 6 级地震的构造背景。彭水基底断裂最大潜在地震震级上限定为 5.5 级。

4. 近场区内第四纪以来的新构造运动是以间隙性抬升为主，存在着断块差异运动。楠木垭-大垭口逆断层和茶店斜冲断层、横梁子逆断层均发育于方斗山背斜之上，这些地表断层规模较大，是方斗山褶皱断带之下存在的方斗山基底断裂带的地表显示。它们的活动方式、地震特点受方斗山基底断裂带的控制和制约，一起构成 6 级地震构造带。

三、地震危险性概率计算结果

通过地震危险性概率分析计算，得出了目标区 50 年超越概率为 63%、10%、2% 和 100 年超越概率为 60%、40%、10%、5%、4%、3%、2% 的基岩水平峰值加速度值（表 4.5-1），工程场地的地震基本烈度为 VI 度。

四、场地地震地质灾害评价

目标区地貌属构造剥蚀丘陵地貌，场地内无断裂构造发育，场地稳定性良好；场地绝大部分砂泥岩直接出露，为 I 类场地，只有极个别面积积极小的部分为 II 类场地和 III 类场地。场地内无液化土层分布，滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害可能性小。

7.2 设计地震动参数使用说明

1. 本报告给出的设计地震动参数结果，综合反映了场区附近一定范围内地震活动性、地震地质环境和局部场地条件对地震动的影响，因此，具有较强的地区相关性，仅适用于本目标区。

2. 本报告给出的 50 年超越概率 63%、10%、2%，其中超越概率 63% 的设计地震动参数可用于结构的截面验算，超越概率 2% 的设计地震动参数可用于结构的变形验算。其中，100 年水准的抗震设防地震动参数，是根据相关规范的规定而提供的，供抗震设计应用参考。

3. 场地地表竖向设计地震动峰值加速度取水平向设计地震动峰值加速度的 65%，其谱形参数与水平向的相同。

4. 本项目提供了场地设计地震动的 5% 阻尼比加速度反应谱，如果工程结构抗震设计中需要设计地震动的其它阻尼比加速度反应谱，建议依据《建筑抗震设计规范》GB50011-2010(2016 年版) 中所给的地震影响系数的阻尼比调整规定，利用场地地震动 5% 阻尼比加速度反应谱计算场地地震动的其它阻尼比加速度反应谱值。

5. 按土层地震反应分析结果，确定的场地地表和地下设计地震动参数如表 7.2-1 所示，

表中, A_{max} 为设计峰值加速度, β_{max} 为反应谱放大系数最大值, 设计反应谱平台段起始周期 T_1 为 0.1 秒, T_g 为设计反应谱特征周期, c 为反应谱下降段的衰减指数, α_{max} 为地震影响系数最大值。

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

表 7.2-1a 玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I 类场地)

超越概率	Amax (gal)	β_{max}	T1(s)	Tg (s)	c	α_{max}
50 年 63%	15.8	2.5	0.1	0.3	0.9	0.040
50 年 10%	46.9	2.5	0.1	0.3	0.9	0.117
50 年 2%	98.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.245
100 年 60%	24.3	2.5	0.1	0.3	0.9	0.061
100 年 40%	32.5	2.5	0.1	0.3	0.9	0.081
100 年 10%	62.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.155
100 年 5%	88.4	2.5	0.1	0.3	0.9	0.221
100 年 4%	96.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.240
100 年 3%	106.0	2.5	0.1	0.35	0.9	0.265
100 年 2%	120.5	2.5	0.1	0.35	0.9	0.301
100 年 1%	149.9	2.5	0.1	0.35	0.9	0.375

表 7.2-1b 玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II 类场地)

超越概率	Amax (gal)	β_{max}	T1(s)	Tg (s)	c	α_{max}
50 年 63%	28	2.5	0.1	0.35	0.9	0.070
50 年 10%	70	2.5	0.1	0.35	0.9	0.175
50 年 2%	140	2.5	0.1	0.45	0.9	0.350
100 年 60%	40	2.5	0.1	0.35	0.9	0.100
100 年 40%	55	2.5	0.1	0.35	0.9	0.138
100 年 10%	90	2.5	0.1	0.35	0.9	0.225

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年5%	120	2.5	0.1	0.45	0.9	0.300
100年4%	140	2.5	0.1	0.45	0.9	0.350
100年3%	160	2.5	0.1	0.45	0.9	0.400
100年2%	170	2.5	0.1	0.50	0.9	0.425
100年1%	190	2.5	0.1	0.55	0.9	0.475

表 7.2-1c 玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, III类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	26	2.5	0.1	0.50	0.9	0.065
50年10%	60	2.5	0.1	0.60	0.9	0.150
50年2%	115	2.5	0.1	0.80	0.9	0.288
100年60%	35	2.5	0.1	0.55	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.55	0.9	0.113
100年10%	75	2.5	0.1	0.60	0.9	0.188
100年5%	100	2.5	0.1	0.80	0.9	0.250
100年4%	115	2.5	0.1	0.80	0.9	0.288
100年3%	125	2.5	0.1	0.80	0.9	0.313
100年2%	140	2.5	0.1	0.90	0.9	0.350
100年1%	160	2.5	0.1	0.90	0.9	0.400

表 7.2-1d 高家中小企业创业园场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	15.5	2.5	0.1	0.3	0.9	0.039
50年10%	46.3	2.5	0.1	0.3	0.9	0.116
50年2%	96.0	2.5	0.1	0.3	0.9	0.240
100年60%	24.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.060
100年40%	31.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.078
100年10%	60.9	2.5	0.1	0.3	0.9	0.152

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年5%	86.7	2.5	0.1	0.3	0.9	0.217
100年4%	94.0	2.5	0.1	0.3	0.9	0.235
100年3%	103.4	2.5	0.1	0.35	0.9	0.259
100年2%	117.8	2.5	0.1	0.35	0.9	0.295
100年1%	148.1	2.5	0.1	0.35	0.9	0.370

表 7.2-1e 高家中小企业创业园场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	27	2.5	0.1	0.45	0.9	0.068
50年10%	70	2.5	0.1	0.55	0.9	0.175
50年2%	120	2.5	0.1	0.75	0.9	0.300
100年60%	35	2.5	0.1	0.45	0.9	0.88
100年40%	45	2.5	0.1	0.50	0.9	0.113
100年10%	80	2.5	0.1	0.65	0.9	0.200
100年5%	105	2.5	0.1	0.70	0.9	0.263
100年4%	120	2.5	0.1	0.75	0.9	0.300
100年3%	130	2.5	0.1	0.75	0.9	0.325
100年2%	145	2.5	0.1	0.80	0.9	0.363
100年1%	180	2.5	0.1	0.80	0.9	0.450

表 7.2-1f 水天坪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	15.4	2.5	0.1	0.3	0.9	0.039
50年10%	45.8	2.5	0.1	0.3	0.9	0.115
50年2%	94.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.235
100年60%	24.0	2.5	0.1	0.3	0.9	0.060
100年40%	30.8	2.5	0.1	0.3	0.9	0.077
100年10%	59.9	2.5	0.1	0.3	0.9	0.150
100年5%	85.3	2.5	0.1	0.3	0.9	0.213

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年4%	92.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.230
100年3%	101.2	2.5	0.1	0.35	0.9	0.253
100年2%	115.5	2.5	0.1	0.35	0.9	0.289
100年1%	142.4	2.5	0.1	0.35	0.9	0.356

表 7.2-1h 水天坪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	28	2.5	0.1	0.40	0.9	0.070
50年10%	70	2.5	0.1	0.50	0.9	0.175
50年2%	140	2.5	0.1	0.60	0.9	0.350
100年60%	40	2.5	0.1	0.40	0.9	0.100
100年40%	55	2.5	0.1	0.40	0.9	0.138
100年10%	90	2.5	0.1	0.50	0.9	0.225
100年5%	125	2.5	0.1	0.55	0.9	0.313
100年4%	140	2.5	0.1	0.60	0.9	0.350
100年3%	145	2.5	0.1	0.60	0.9	0.363
100年2%	160	2.5	0.1	0.60	0.9	0.400
100年1%	190	2.5	0.1	0.65	0.9	0.475

表 7.2-1i 水天坪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, III类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	28	2.5	0.1	0.50	0.9	0.070
50年10%	65	2.5	0.1	0.65	0.9	0.163
50年2%	110	2.5	0.1	0.75	0.9	0.275
100年60%	35	2.5	0.1	0.50	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.55	0.9	0.113
100年10%	75	2.5	0.1	0.65	0.9	0.188
100年5%	100	2.5	0.1	0.75	0.9	0.250
100年4%	110	2.5	0.1	0.75	0.9	0.275

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年3%	115	2.5	0.1	0.85	0.9	0.288
100年2%	125	2.5	0.1	0.85	0.9	0.313
100年1%	150	2.5	0.1	0.90	0.9	0.375

表 7.2-1j 月亮坝场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, III类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	28	2.5	0.1	0.55	0.9	0.070
50年10%	65	2.5	0.1	0.65	0.9	0.163
50年2%	110	2.5	0.1	0.80	0.9	0.275
100年60%	35	2.5	0.1	0.60	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.60	0.9	0.113
100年10%	70	2.5	0.1	0.65	0.9	0.188
100年5%	100	2.5	0.1	0.80	0.9	0.250
100年4%	110	2.5	0.1	0.80	0.9	0.275
100年3%	115	2.5	0.1	0.85	0.9	0.288
100年2%	125	2.5	0.1	0.85	0.9	0.313
100年1%	150	2.5	0.1	0.95	0.9	0.375

表 7.2-1k 镇江工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	13.7	2.5	0.1	0.35	0.9	0.034
50年10%	42.7	2.5	0.1	0.35	0.9	0.107
50年2%	84.6	2.5	0.1	0.35	0.9	0.212
100年60%	23.0	2.5	0.1	0.35	0.9	0.058
100年40%	29.6	2.5	0.1	0.35	0.9	0.074
100年10%	53.2	2.5	0.1	0.35	0.9	0.133
100年5%	76.7	2.5	0.1	0.35	0.9	0.192
100年4%	82.8	2.5	0.1	0.35	0.9	0.207
100年3%	90.9	2.5	0.1	0.35	0.9	0.227

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
100年2%	103.4	2.5	0.1	0.35	0.9	0.259
100年1%	127.8	2.5	0.1	0.35	0.9	0.320

表 7.2-11 镇江工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, II 类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50年63%	25	2.5	0.1	0.40	0.9	0.063
50年10%	60	2.5	0.1	0.50	0.9	0.150
50年2%	100	2.5	0.1	0.60	0.9	0.250
100年60%	35	2.5	0.1	0.45	0.9	0.088
100年40%	45	2.5	0.1	0.45	0.9	0.113
100年10%	75	2.5	0.1	0.50	0.9	0.188
100年5%	95	2.5	0.1	0.60	0.9	0.238
100年4%	100	2.5	0.1	0.60	0.9	0.250
100年3%	110	2.5	0.1	0.65	0.9	0.275
100年2%	120	2.5	0.1	0.70	0.9	0.300
100年1%	145	2.5	0.1	0.70	0.9	0.363

第八章 查询系统

8.1 查询系统简介

该查询系统由中冶建筑研究总院有限公司根据《重庆市区域性地震安全性评价技术指南》(试行)自主研发的软件系统,该系统界面友好,操作简便,不依赖于第三方软件或服务,可在现下流行的主流操作系统进行查询服务。该系统是基于GIS信息系统的基信息系统由我公司自己重新编码,基于目标区地理标准坐标开发的查询系统。简单的说,该系统是首先通过确认空间地理范围,再通过友好界面,输入经纬度,从而判断所输入点的位置,根据所输入点的经纬度坐标产出地震动参数结果。

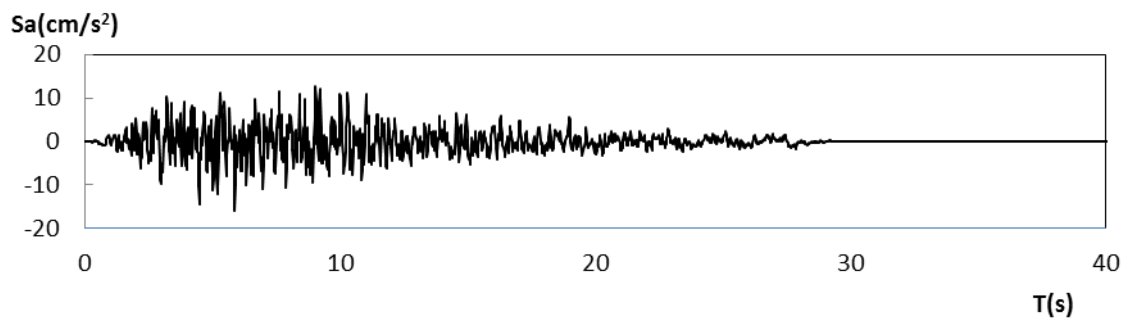
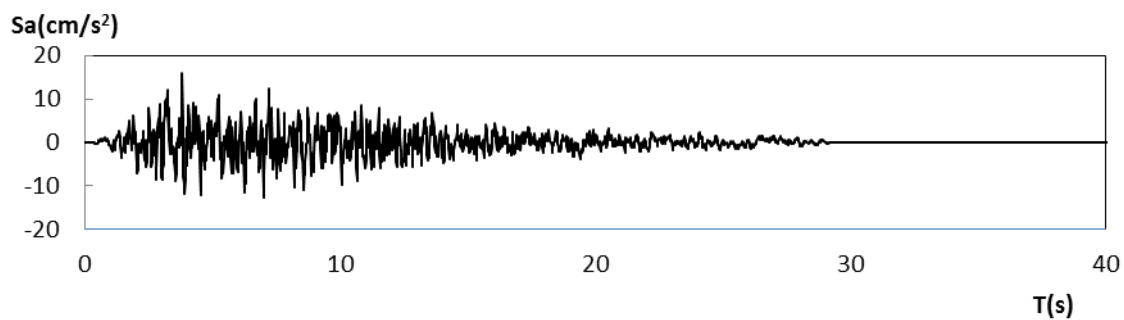
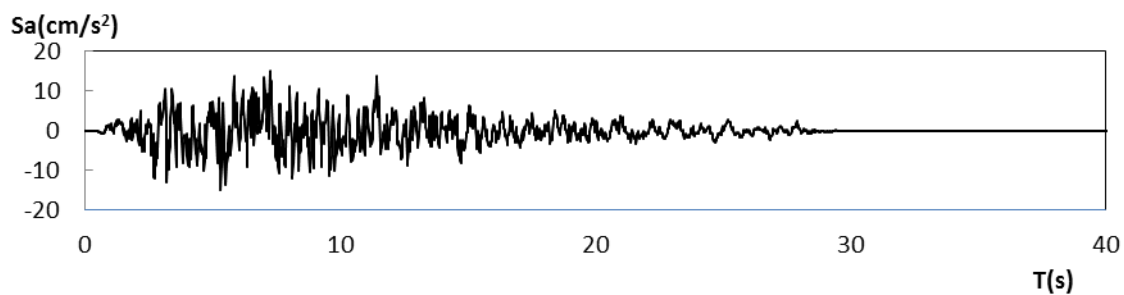
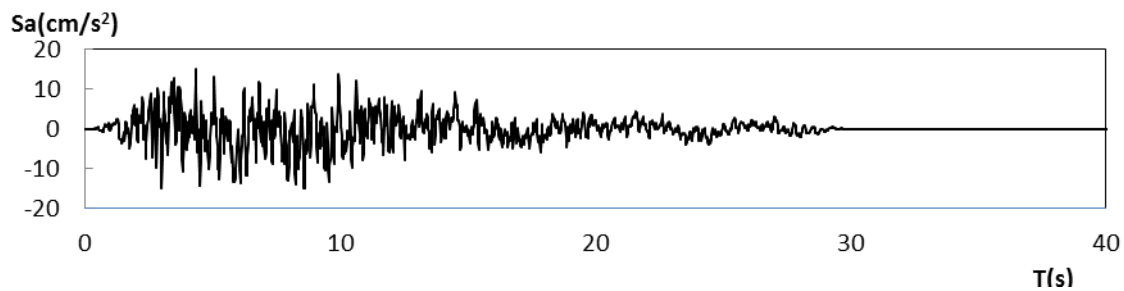
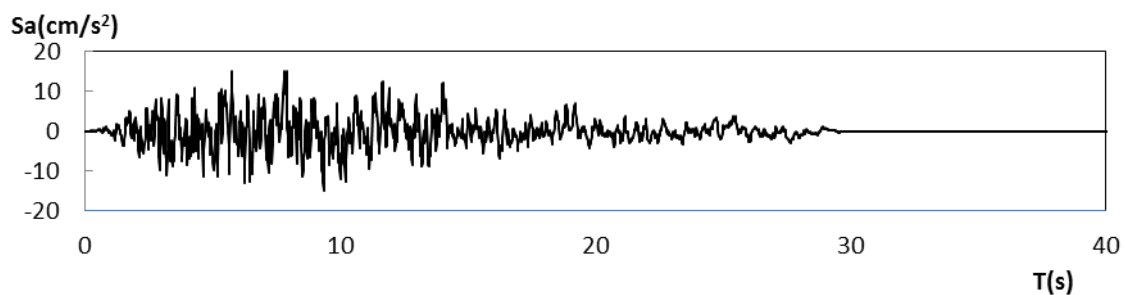
8.2 查询系统操作

举个例子:

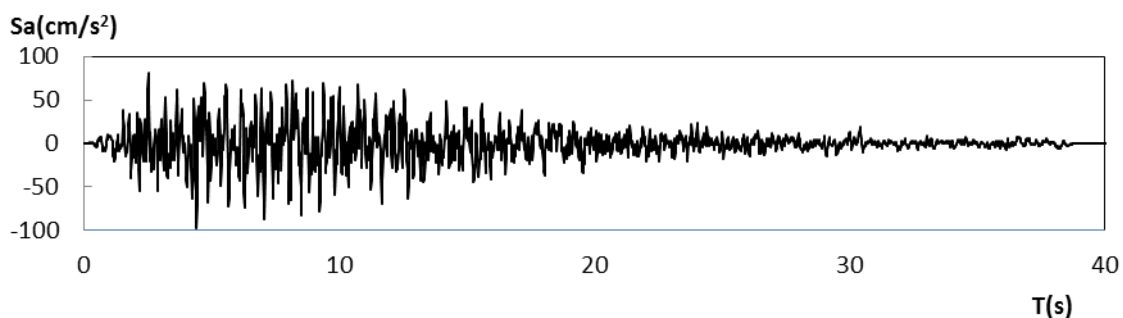
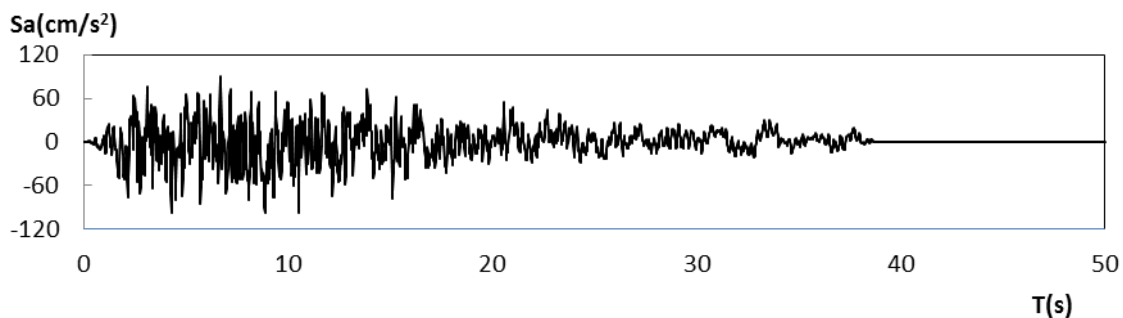
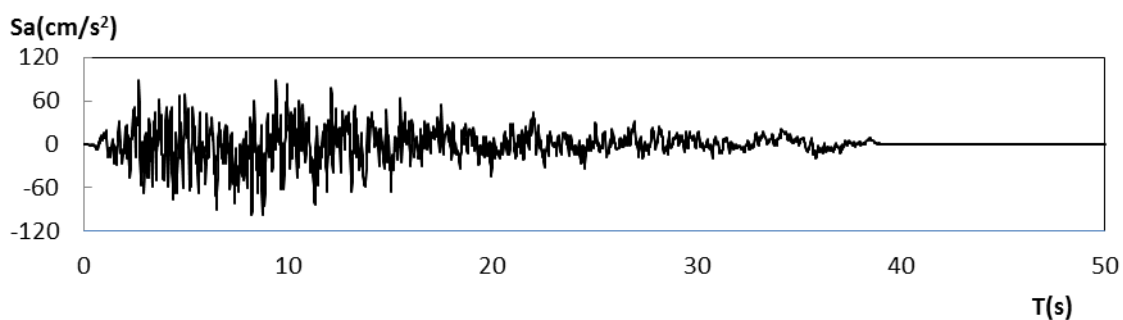
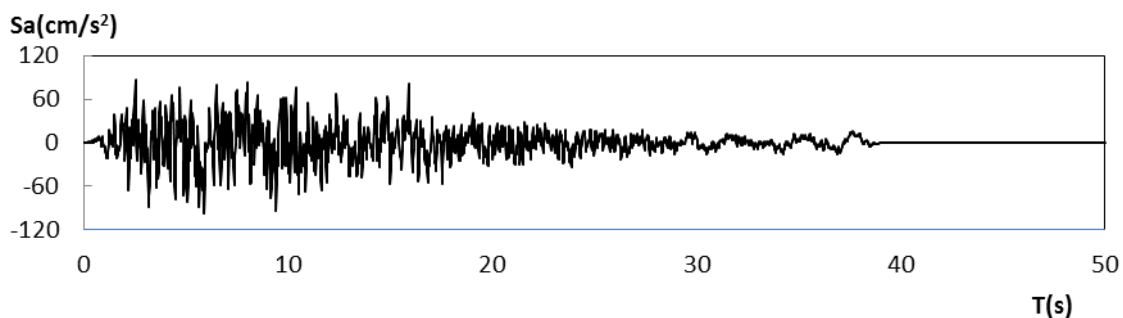
在查询界面中输入经纬度时,若该点处于丰都工业园区范围内,则可以查询结果,若处于丰都工业园区范围之外,则显示“找不到相关数据,请重新输入”,若所输入的经纬度处于玉溪地块 I 类场地,则输出下表的结果,然后再点住概率水准 50 年 63% 或者 50 年 2% 时,输出相应概率水准 50 年 63% 或者 50 年 2% 的设计人工地震动时程曲线:

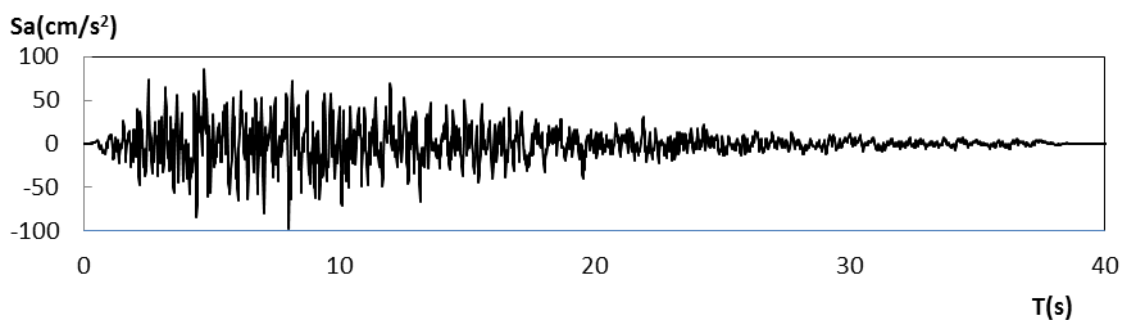
玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, I 类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50 年 63%	15.8	2.5	0.1	0.3	0.9	0.040
50 年 10%	46.9	2.5	0.1	0.3	0.9	0.117
50 年 2%	98.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.245
100 年 60%	24.3	2.5	0.1	0.3	0.9	0.061
100 年 40%	32.5	2.5	0.1	0.3	0.9	0.081
100 年 10%	62.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.155
100 年 5%	88.4	2.5	0.1	0.3	0.9	0.221
100 年 4%	96.1	2.5	0.1	0.3	0.9	0.240
100 年 3%	106.0	2.5	0.1	0.35	0.9	0.265
100 年 2%	120.5	2.5	0.1	0.35	0.9	0.301
100 年 1%	149.9	2.5	0.1	0.35	0.9	0.375



玉溪工业园区类 I 类场地 50 年超越概率 63% 的设计人工地震动时程曲线





玉溪工业园区类 I 类场地 50 年超越概率 2% 的设计人工地震动时程曲线

若所输入的经纬度处于玉溪地块 II 类场地，则输出下表的结果，然后再点住概率水准 50 年 63% 或者 50 年 2% 时，输出相应概率水准 50 年 63% 或者 50 年 2% 的设计人工地震动时程曲线。

玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数（0.05 阻尼比，II 类场地）

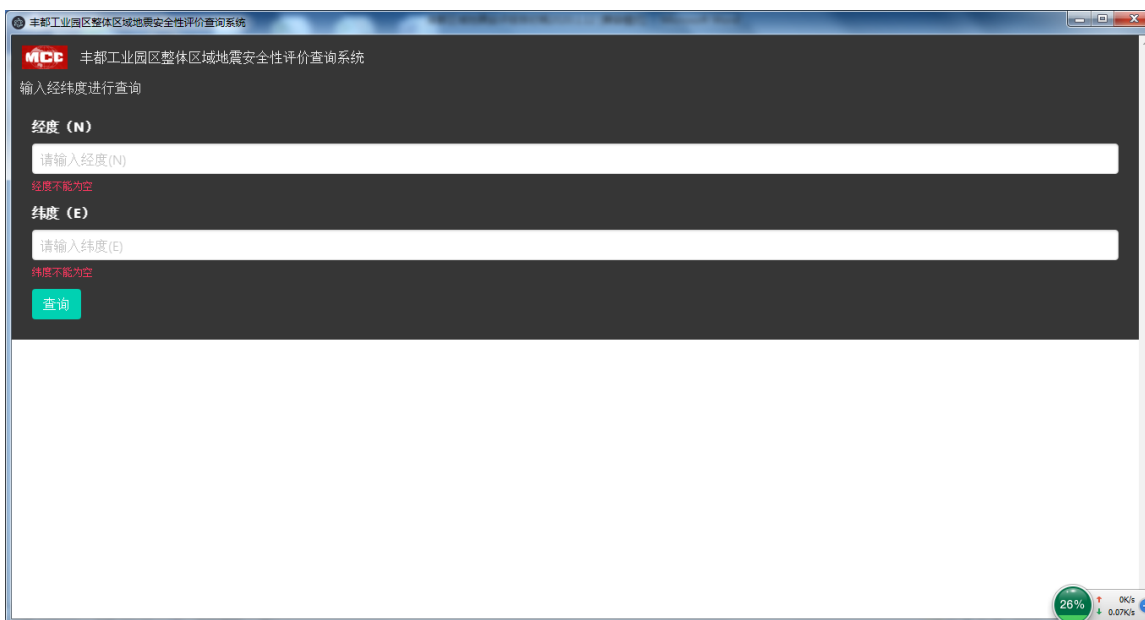
超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50 年 63%	28	2.5	0.1	0.35	0.9	0.070
50 年 10%	70	2.5	0.1	0.35	0.9	0.175
50 年 2%	140	2.5	0.1	0.45	0.9	0.350
100 年 60%	40	2.5	0.1	0.35	0.9	0.100
100 年 40%	55	2.5	0.1	0.35	0.9	0.138
100 年 10%	90	2.5	0.1	0.35	0.9	0.225
100 年 5%	120	2.5	0.1	0.45	0.9	0.300
100 年 4%	140	2.5	0.1	0.45	0.9	0.350
100 年 3%	160	2.5	0.1	0.45	0.9	0.400
100 年 2%	170	2.5	0.1	0.50	0.9	0.425
100 年 1%	190	2.5	0.1	0.55	0.9	0.475

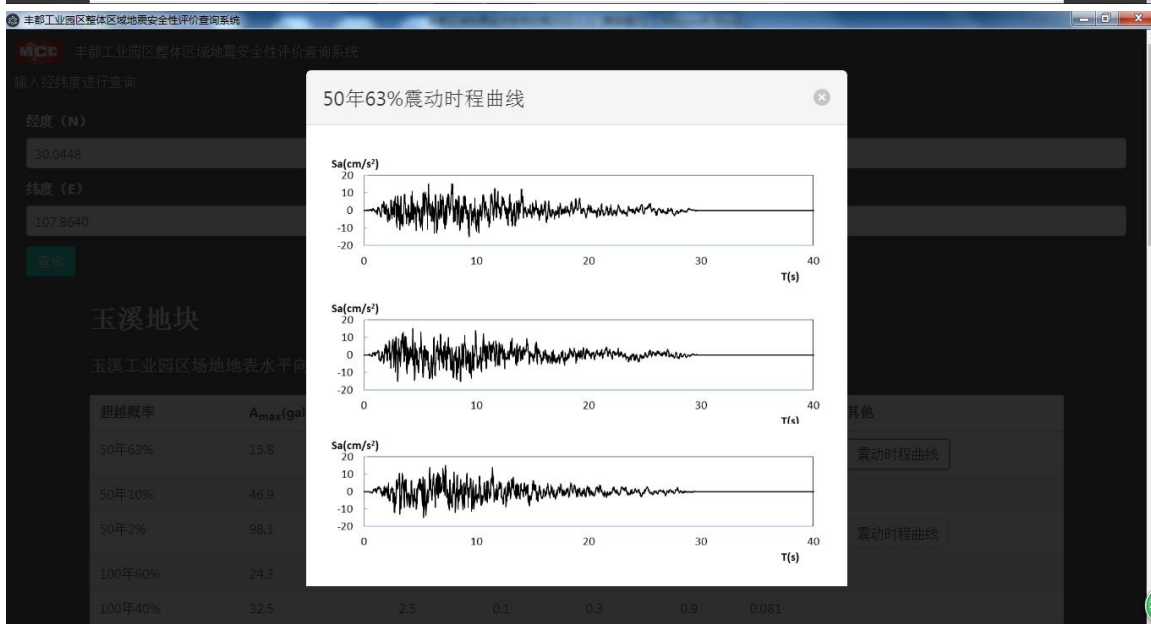
若所输入的经纬度处于玉溪地块 III 类场地，则输出下表的结果，然后再点住概率水准 50 年 63% 或者 50 年 2% 时，输出相应概率水准 50 年 63% 或者 50 年 2% 的设计人工地震动时程曲线。

玉溪工业园区场地地表水平向设计地震反应谱参数 (0.05 阻尼比, III类场地)

超越概率	A _{max} (gal)	β_{\max}	T ₁ (s)	T _g (s)	c	α_{\max}
50 年 63%	26	2.5	0.1	0.50	0.9	0.065
50 年 10%	60	2.5	0.1	0.60	0.9	0.150
50 年 2%	115	2.5	0.1	0.80	0.9	0.288
100 年 60%	35	2.5	0.1	0.55	0.9	0.088
100 年 40%	45	2.5	0.1	0.55	0.9	0.113
100 年 10%	75	2.5	0.1	0.60	0.9	0.188
100 年 5%	100	2.5	0.1	0.80	0.9	0.250
100 年 4%	115	2.5	0.1	0.80	0.9	0.288
100 年 3%	125	2.5	0.1	0.80	0.9	0.313
100 年 2%	140	2.5	0.1	0.90	0.9	0.350
100 年 1%	160	2.5	0.1	0.90	0.9	0.400

显示界面:

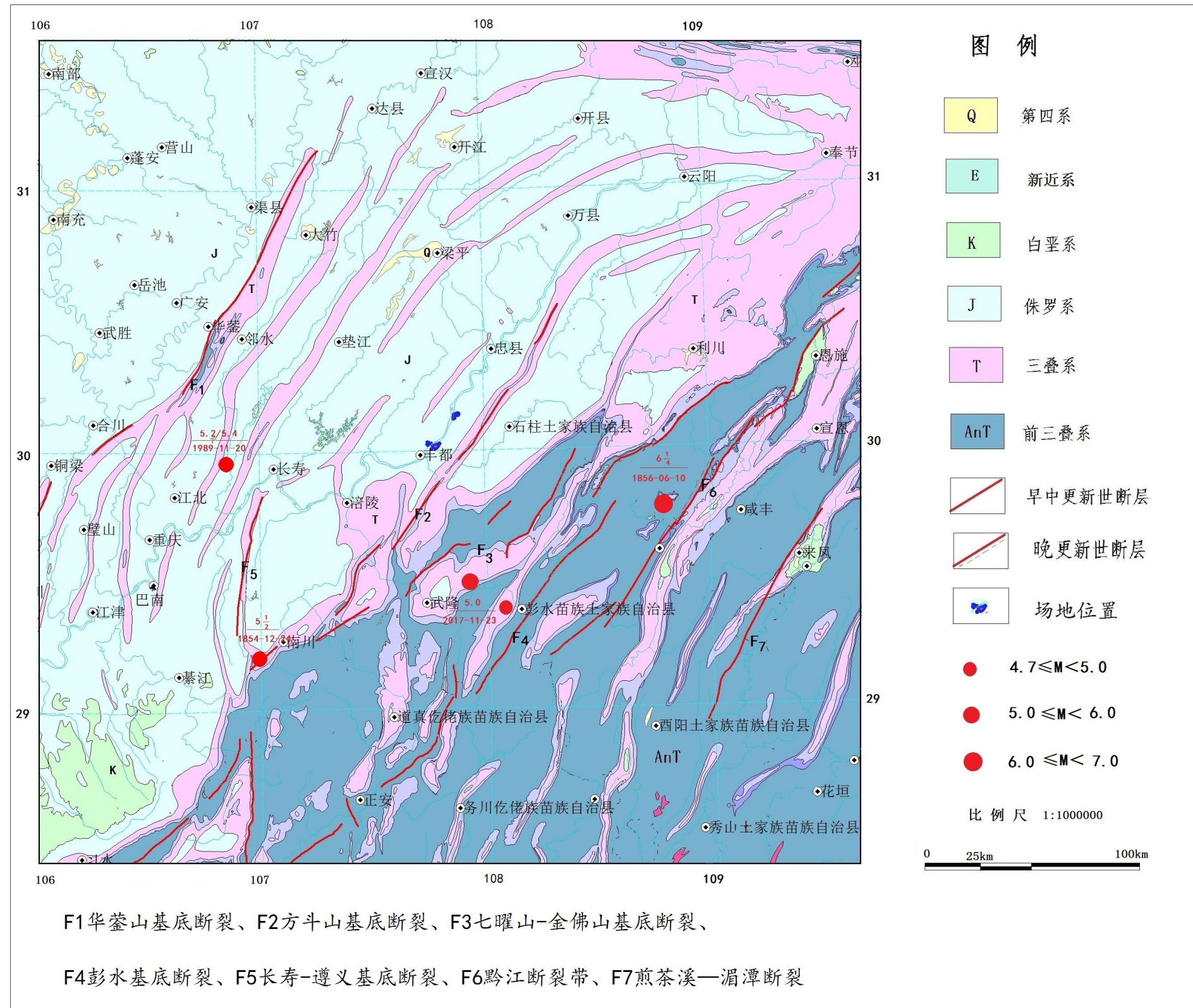




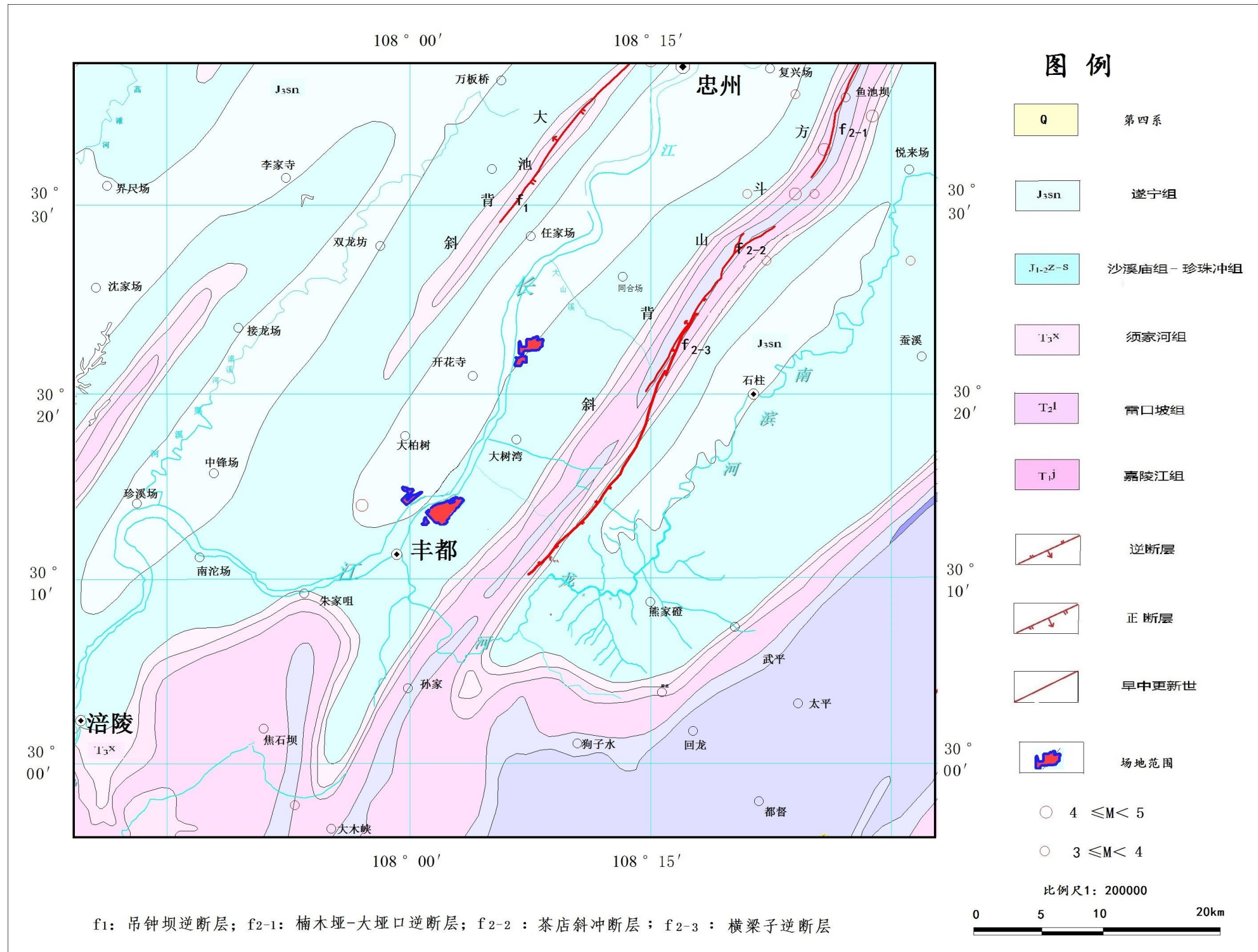
参考文献及资料

- [1] 国家质量技术监督局. 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). 2005
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国地震动参数区划图 (GB18306-2015). 2015
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)》. 2010
- [4] 钱洪等. 四川盆地地震地质基本特征. 四川地震, No. 3, 1992
- [5] 刘新诗. 四川盆地的第四系. 四川科学技术出版社, 1983
- [6] 唐荣昌等. 四川活动断层与地震. 地震出版社, 1994
- [7] 胡聿贤等. 缺乏强震观测资料地区地震动参数的估算方法, 地震小区划—理论与实践. 地震出版社, 1989
- [8] 霍俊荣、胡聿贤等. 地面运动时程强度包络函数的研究. 地震工程与工程振动, 8(1), 1988
- [9] 胡聿贤等. 基岩地震动参数震级和距离的关系. 地震学报. 4(2), 1982
- [10] 重庆市地震办公室编. 重庆江北地震学术讨论会文集. 地震出版社, 1993
- [11] 云南局等编. 云贵川藏历史有感地震简目 (公元 110 年—1969 年). 成都科技大学出版社. 1993
- [12] 重庆候风地震科技开发公司. 重庆地区重大工程建设场地地震安全性评价报告 2002—2006 年 6 月间系列报告
- [13] 重庆市地震工程研究所. 重庆地区重大工程建设场地地震安全性评价报告 2009 年 1 月—2012 年 12 月间系列报告
- [14] 刁守中、晁洪太编. 中国历史有感地震目录. 地震出版社. 2008
- [15] 丁仁杰、李克昌等, 重庆地震研究暨《重庆 1:50 万地震构造图》. 地震出版社. 2004 年 3 月
- [16] 孙成民主编, 四川地震全纪录. 四川出版集团、四川人民出版社. 2010
- [17] 重庆南江地质工程勘察院, 丰都水天坪工业园峰峦科技南侧边坡治理工程工程地质勘查报告 (一次性勘察), 2013 年 12 月
- [18] 重庆北江岩土工程勘察设计有限公司, 丰都县水天坪工业园 B07 标准厂房南侧边坡工程工程地质勘察报告 (一次性勘察), 2011 年 11 月

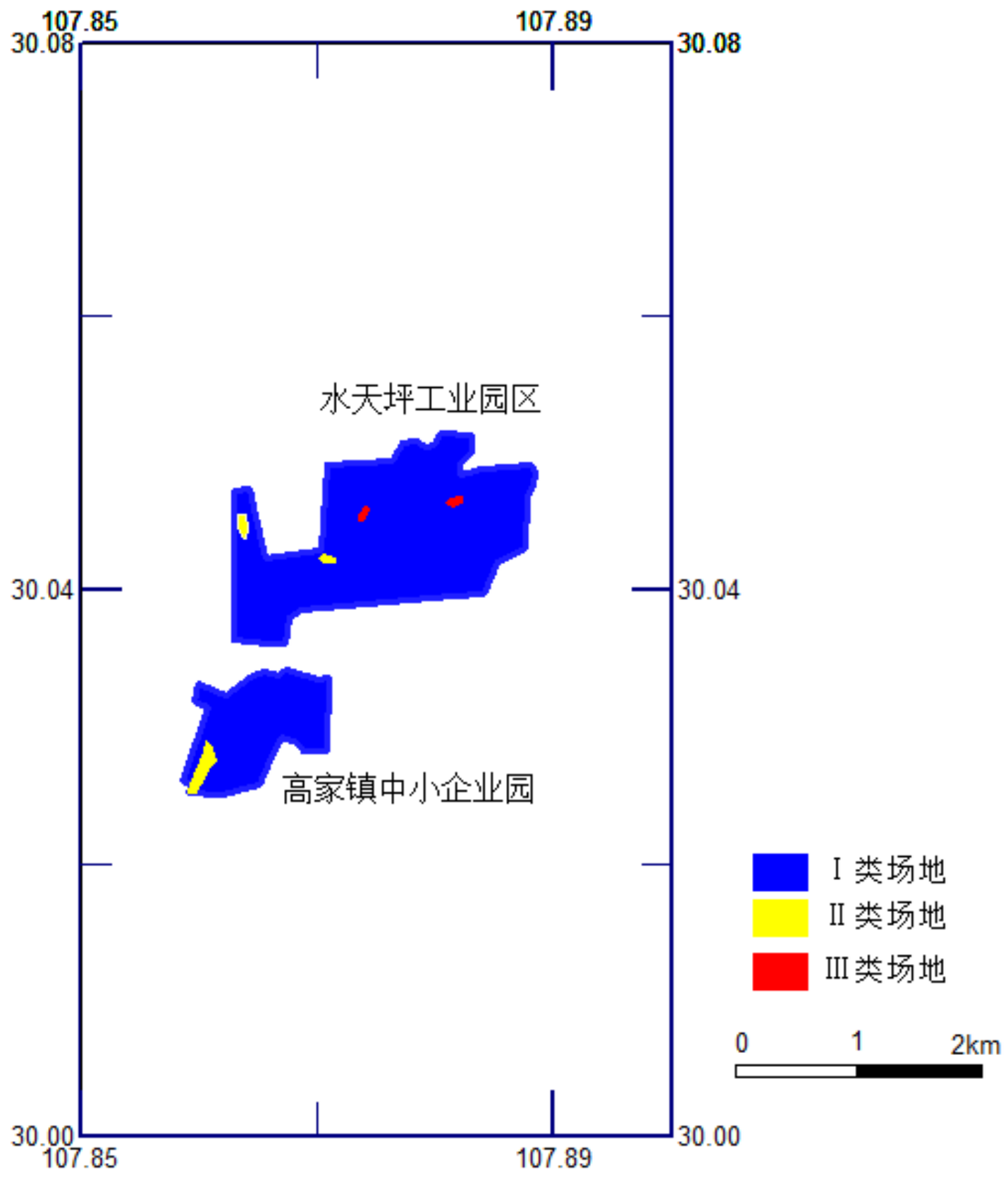
附图 I：区域地震构造图



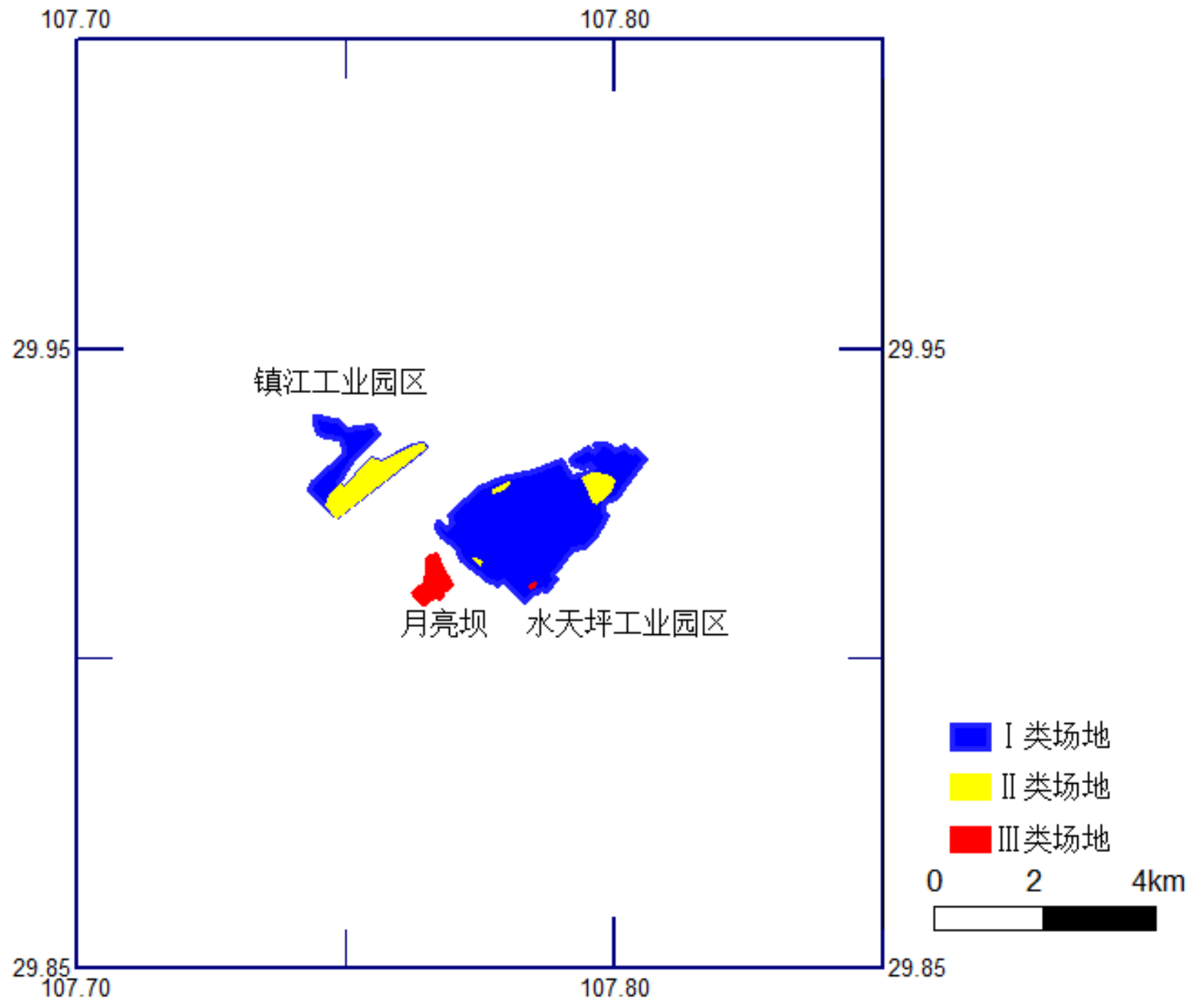
附图 II：近场区地震构造图



附图III：丰都工业园区场地分类图



场地类别划分图 1



场地类别划分图 2

重庆市丰都县工业园区区域性地震安全性评价项目 典型土样动剪切模量比和阻尼比试验研究报告

委托单位： 中冶建筑研究总院有限公司

负责人：胡庆兴

完成人：左熹、苏杰、董青

金陵科技学院

2019年12月25日



目 录

1、 前言	- 231 -
2、 试验仪器与试验方法	- 231 -
2.1 自振柱试验仪	- 231 -
2.2 动剪切模量、阻尼比试验原理	- 231 -
2.3 试样尺寸与固结	- 232 -
3、 试验结果	- 232 -
3.1 试验土样及试验条件	- 232 -
3.2 试验结果	3

1、前言

受中冶建筑研究总院有限公司委托，对丰都工业园区区域性地震安全评价项目所取的典型土样进行动剪切模量比与阻尼比的自振柱试验研究。2019年12月25日提交成果报告。

2、试验仪器与试验方法

2.1 自振柱试验仪

试验采用 GZZ-50 型自振柱仪，根据扭转自由振动（自振柱）原理，用计算机控制试验过程及采集试验数据，故该设备具有良好的试验测试精度。

2.2 动剪切模量、阻尼比试验原理

自振柱仪扭转试验直接测定土样的动剪切模量 G 、阻尼比 λ ，根据波在杆件(试件)中传播理论，由式(1)确定剪切模量 G 。

$$G = \rho \left(\frac{2\pi f H}{\beta} \right)^2 \quad (1)$$

式中 G —土样的动剪切模量；
 ρ —土样的质量密度；
 f —扭转振动共振频率；
 H —土样的高度；
 β —扭转振动频率方程的特征值。

扭转自由振动（自振柱）法假定在动载作用下土的动剪应力 τ 和剪应变幅值 γ 之间的关系符合双曲线规律：

$$\tau = \frac{\gamma}{a + b\gamma} \quad (2)$$

式中 a 和 b 为试验参数。
 土的动剪切模量定义为：

$$G = \tau / \gamma \quad (3)$$

则有

$$G = \frac{1}{a + b\gamma} \quad (4)$$

$$\text{令 } G_{\max} = 1/a \quad (5)$$

$$\gamma_r = a/b \quad (6)$$

由式(4)可知 $1/G \sim \gamma$ 呈直线关系，其截距 $a = 1/G_{\max}$ ， γ_r 为该线的截距 a 和斜率 b 的比值。

由于该模型参数较少，对部分土样拟合的效果不理想，而采用三参数的 Davidenkov 模型对各类土的 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 关系曲线进行拟合，实践表明该模型适用性较好。Davidenkov 模型的函数关系式为：

$$G = G_{\max} [1 - H(\gamma)] \quad (7)$$

其中，函数 $H(\gamma)$ 定义为：

$$H(\gamma) = \left[\frac{(\gamma/\gamma_0)^{2B}}{1 + (\gamma/\gamma_0)^{2B}} \right]^A \quad (8)$$

式中： A, B 和 γ_0 为拟合参数。由此模型可绘出从 $10^{-6} \sim 10^{-1}$ 剪应变幅值范围内的曲线。

土的阻尼比 λ 随剪应变幅值而变化，其经验关系如下：

$$\lambda = \lambda_{\min} + \lambda_0 (1 - G/G_{\max})^{n_\lambda} \quad (9)$$

式中 λ_{\min} 为土的基本阻尼比，与土的性质、固结状态等因素有关。根据扭转自由振动（自振柱）的试验结果，在 $10^{-6} \sim 10^{-1}$ 剪应变幅值范围内用双对数坐标绘制 $\lambda \sim (1 - G/G_{\max})$ 关系曲线，可求出 λ_{\min} 、 λ_0 、 n_λ ，并将 $\lambda \sim \gamma$ 关系曲线与 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 曲线绘在同一图中。

2.3 试样尺寸与固结

自振柱试验土样尺寸：直径 $D=5.00\text{cm}$ ，高 $H=10.00\text{cm}$ 。

试验过程：按试验预定条件制备试样；安装试样；给试样施加等向固结压力并使其固结；逐级增加振动应力，测取试样扭转方向的自振频率和相应的剪应变、阻尼振动线，计算动剪切模量和阻尼比。

试验在均等固结压力下进行。通常实际地层正应力大于侧向应力，试验用的均等固结压力取为正应力的 $2/3$ 。

3、试验结果

3.1 试验土样及试验条件

按照技术要求，对所送土样进行了动剪切模量、阻尼比试验研究。表 1 是土样编号、土样描述、取土深度及自振柱试验时施加的固结压力 σ_c 。

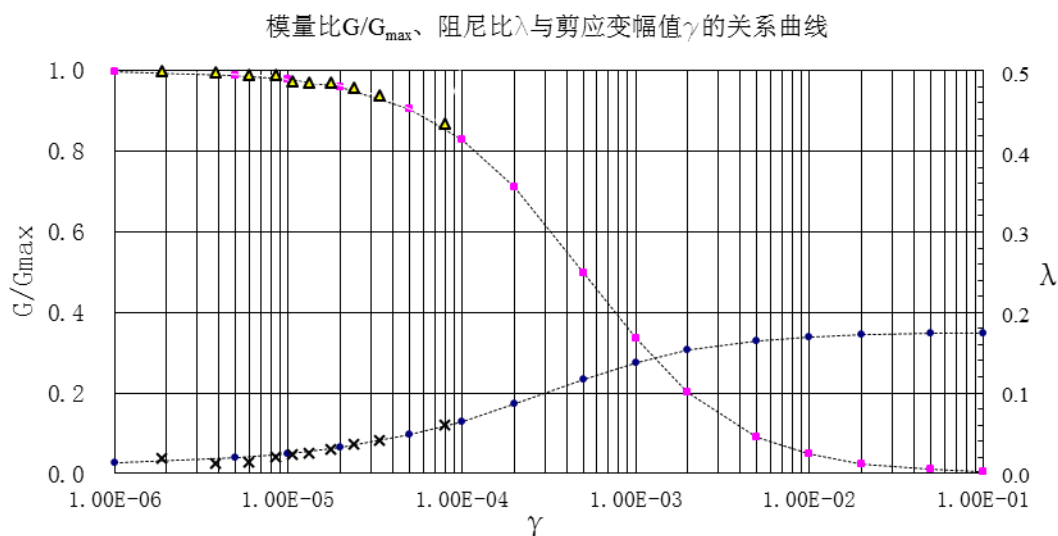
表 1 土样编号、土样描述、取土深度及自振柱试验时施加的固结压力 σ_c

试验编号	孔号	取样深度(m)	土样描述	状态或密实度	γ (kN/m^3)	σ_c (kPa)	G_{\max} (MPa)
G1	ZJZK1	12.0-12.2	淤泥质土，褐色	软	19.2	80	15.4

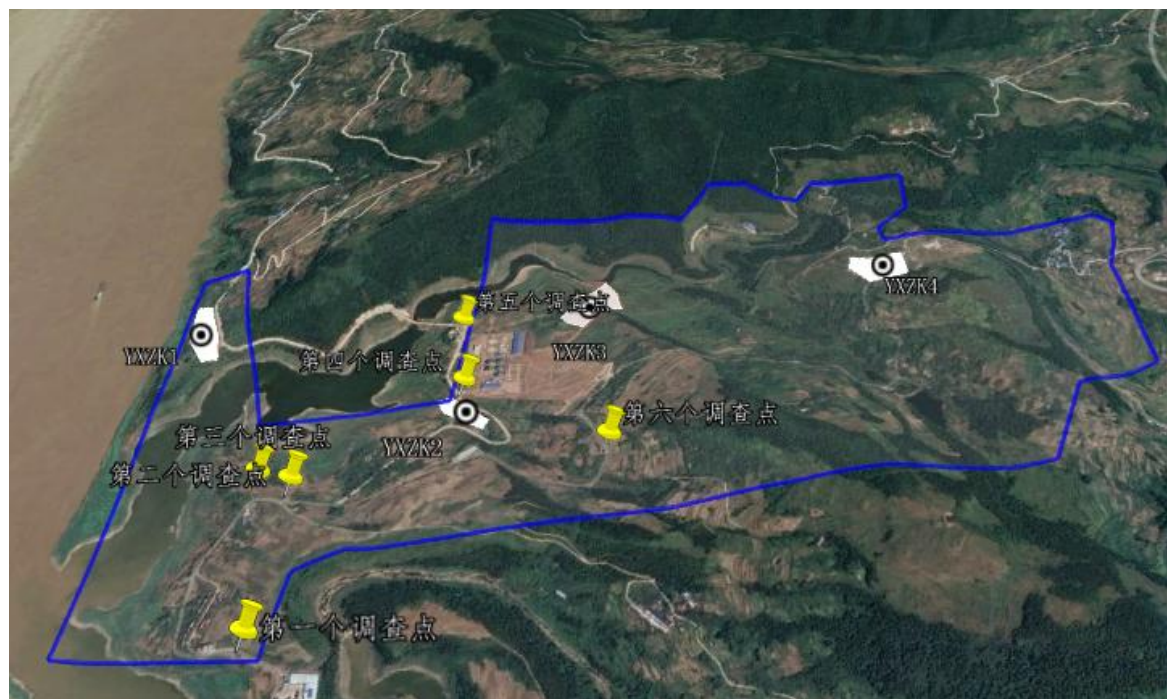
3.2 试验结果

1#孔(4.3-4.5) G1 动剪模量比和阻尼比与动剪应变关系表

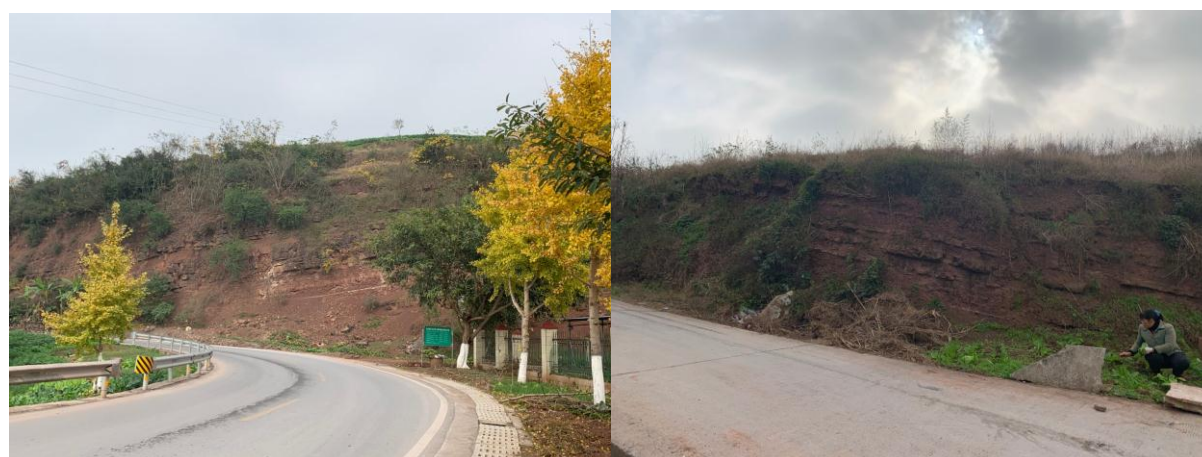
γ	5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
G/G_{\max}	0.989	0.978	0.905	0.829	0.499	0.334	0.092	0.048
λ	0.0201	0.0252	0.0481	0.0649	0.1170	0.1378	0.1651	0.1697



附录：现场调查情况及打钻情况的照片，因篇幅所限，只列出部分玉溪调查情况：



调查点 1，泥岩出露；调查点 2，泥岩出露



调查点 3，泥岩出露；调查点 4，砂岩出露



调查点 5，泥岩出露；调查点 6，砂岩出露



高家调查情况



调查点 1，砂岩直接出露地表



调查点 2，砂岩直接出露地表



调查点 3，砂岩直接出露地表；

调查点 4，远处山包，近处砂岩出露地表



调查点 5，砂岩直接出露地表；

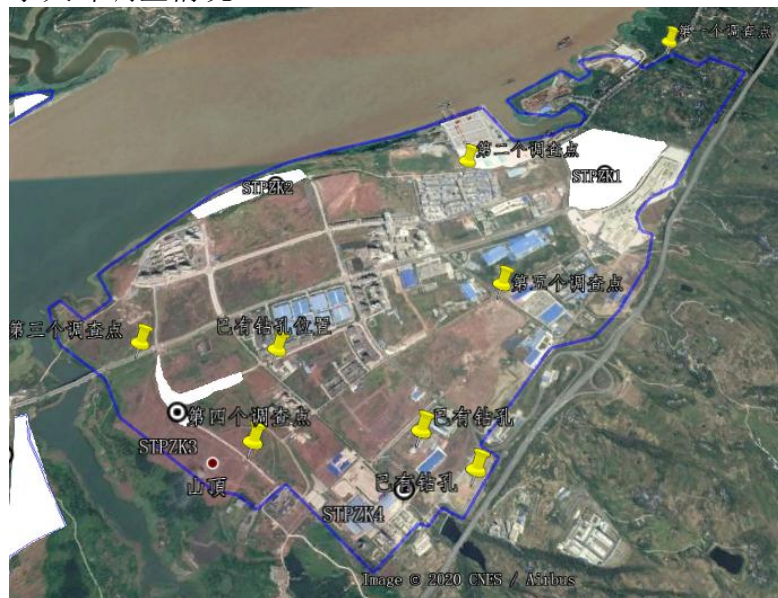
调查点 6，泥岩出露



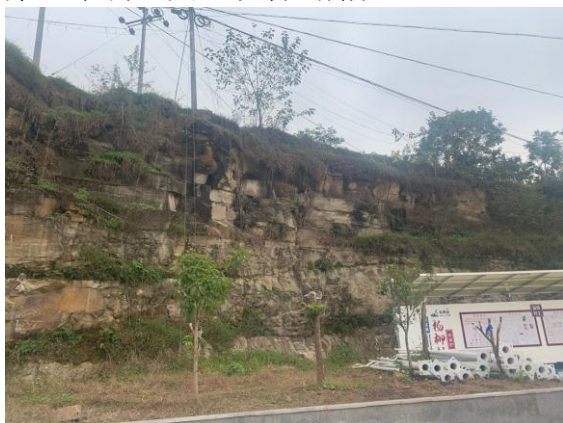
调查点 7，砂岩出露



水天坪调查情况：



第一个调查点，砂岩出露；



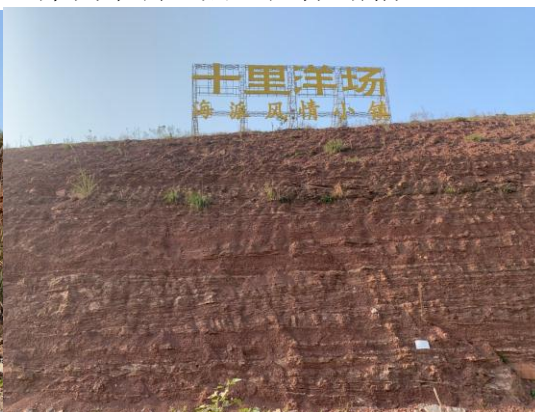
第二个调查点，砂岩出露；



第三个调查点，泥岩出露；



第四个调查点，泥岩出露；



第五个调查点，泥岩出露



打孔现场

玉溪钻孔:



高家钻孔：



水天坪及月亮坝钻孔：





镇江钻孔

