基于地质条件的抗震设计地震动参数值细化研究
——以绵阳市新城区为例

李建亮[1]，赵　晶[2]

（1. 四川工商学院 智能建造与制造学院，成都 611745；
2. 四川交通职业技术学院 轨道交通工程系，成都 611130）

摘要：根据绵阳市新城区地震地质构造环境和工程场地地质条件，建立了 107 个土层地震反应钻孔计算模型，采用工程场地地震安全性评价工作中通用的地震危险性分析方法和土层地震反应计算程序包（ESE）进行了多遇地震、设防地震、罕遇地震作用下的地震危险性分析和土层地震反应计算，给出了该城区各分区的抗震设计地震动参数值，此结果大于直接根据现行国标区划图得到的结果，因此选用此结果进行建筑结构抗震设计会更安全可靠。

关键词：地震危险性；地质条件；地震动参数值；绵阳市新城区

中图分类号：P315.9；TU318　**文献标志码**：A　**文章编号**：1672－349X(2025)06－0029－07

DOI：10.16160/j.cnki.tsxyxb.2025.06.006

Refinement of Ground Motion Parameter Values for Seismic Design Based on Geological Conditions: A Case Study of the New Urban Area of Mianyang City

LI Jianliang[1], ZHAO Jing[2]

(1. College of Intelligent Construction and Manufacturing, Sichuan Technology and Business University, Chengdu 611745, China; 2. Department of Urban Rail Transit Engineering, Sichuan Vocational and Technical College of Communications, Chengdu 611130, China)

Abstract: Based on the seismogeological structural environment and engineering site geological conditions of the new urban area of Mianyang City, 107 borehole calculation models for soil layer seismic response have been established. Using the seismic hazard analysis method commonly employed in seismic safety evaluations of engineering sites and the soil layer seismic response calculation program package (ESE), this paper has conducted seismic hazard analysis and soil layer seismic response calculations for frequent earthquakes, design earthquakes and rare earthquakes. The ground motion parameter values for seismic design of each subzone in this urban area are provided. The results show that these values are higher than

---

收稿日期：2025－03－24

基金项目：四川省科技计划项目（2024JDKP0138）；眉山市指导性科技计划项目（2023KJZD164）；四川工商学院校级科研重点项目（XJ24ZD001）

作者简介：李建亮（1979—），男，河北唐山人，副教授，高级工程师，硕士，研究方向为工程地震、地震灾害损失评估。

通讯作者：赵晶（1981—），女，山东临邑人，副教授，高级工程师，博士，研究方向为工程地震、地震应急。

those obtained directly from the current national standard zoning map. Therefore, using these results for the seismic design of building structures will be safer and more reliable.

Key Words: seismic hazard; geological conditions; ground motion parameter values; new urban area of Mianyang City

0 引言

地震灾害是所有自然灾害之首，虽然地震预报目前已取得了一定进展，但还是不能做到准确预报，因此，有效的建筑结构抗震设计便是减轻地震灾害损失最有效的途径之一。目前，一般建筑结构的抗震设计依据是《中国地震动参数区划图》(GB18306－2015)[1]，该国标区划图的编图比例是 1∶400 万，比例尺非常大，图中一条分区界线所占区域就有 4 km 宽(国标绘图分界线为 1 mm 宽)，因此对于此区划图，位于分界线上的地区使用起来非常不方便甚至无法使用。另外，该国标区划图给出的建筑结构抗震设计标准是全国范围内Ⅱ类场地条件下 50 年超越概率 10％地震动(即设防地震)的平均归一化结果，并没有考虑同一场地类型不同地质条件对抗震设计结果的影响是不同的。而且，大量的地震震害调查结果表明，即使是同一场地震，其对同一场地上结构类型相同的建筑物所造成的破坏程度也是不尽相同的，甚至差别很大，这除了与建筑物自身建造年代或质量等有关外，还与其所处位置的地质条件不同有很大关系，因为不同的地质条件对地震作用的反应是不同的[2－3]。而且，对于一个城市而言，它的工程场地类型除了Ⅱ类场地外，还有Ⅰ类场地、Ⅲ类场地、Ⅳ类场地等；另外，城市中各区域的地震危险性大小其实是不一样的。如果某个城市的建筑结构均直接采用国标区划图中的地震动参数值进行抗震设计的话，那么难免会出现不合理的地方。所以要想尽可能使用符合实际的地震动参数值进行抗震设计，就需要根据该城市的地震地质构造环境和工程场地地质条件精确计算。因此，开展基于地震地质构造环境和工程场地地质条件的抗震设计地震动参数值的细化研究是非常有意义和非常必要的。

本文以绵阳市新城区为例，根据该城区的地震地质构造环境和工程场地地质条件计算该城区范围内的抗震设计地震动参数值。

1 工程场地概况

绵阳市新城区以丘陵和丘间河谷平原地貌为主，根据该城区的工程地质资料和土层厚度的分布情况，结合该城区的地质地貌填图成果，得到了该城区范围内场地的分类情况，包括Ⅰ类场地(Ⅰ-A 区)和Ⅱ类场地(Ⅱ区)，并在Ⅱ类场地范围内设置 107 个钻孔，钻孔间距约 1 km，分布比较均匀，能较好地揭露该场地范围内的土层分布特征。同时，结合地震危险性分析结果，将Ⅱ区细分为Ⅱ-A 和Ⅱ-B 两个亚区，如图 1 所示。

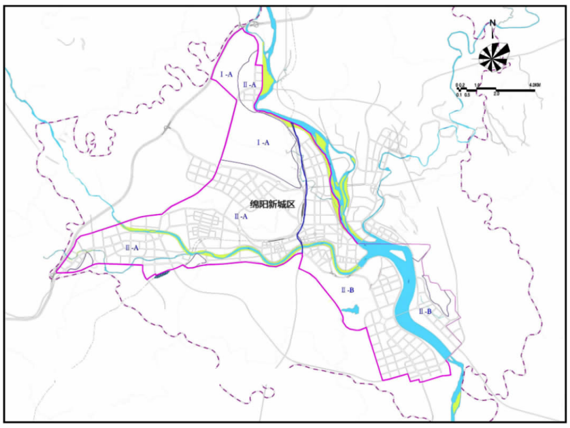


图 1　绵阳市新城区工程地质单元分区图

2 地震危险性分析

采用地震危险性分析中通用的土层地震反应计算程序包(ESE)，按照由经纬度 0.02°×0.02°间隔确定的 107 个计算点对绵阳市新城区进行地震危险性分析，得到 50 年超越概率 63％，10％，2％地震动(分别对应小震又叫多遇地震、中震又叫设防地震、大震又叫罕遇地震)下基岩水平的地震动峰值加速度(*PGA*)计算结果。限于篇幅，这里仅展示绵阳市新城区 50 年超越概率 10％地震动下的计算结果，如图 2

所示。

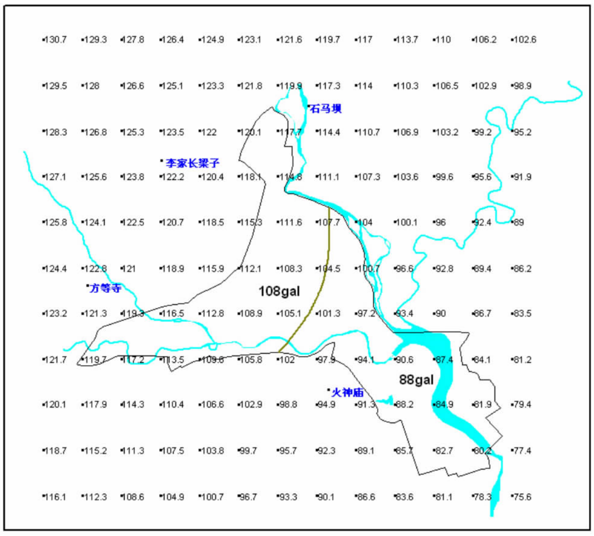


图 2　绵阳市新城区 50 年超越概率 10% 地震动下的基岩水平 *PGA* 分区图

由图 2 可见，基岩水平 *PGA* 由西向东逐渐减小，根据《工程场地地震安全性评价》(GB17741—2005)的规定，如果一个范围内该数值的差值超过 20%的话，就需要进行分区。因此，在该城区的中间位置绘制一条分界线，其两侧各自数值的平均值分别为 108 gal 和88 gal (1 gal＝1 cm/s^2)，二者相差 22.7%。这表明，该城区中各个位置的地震危险性大小是不同的，城区西半部分的地震危险性比东半部分大，且由西向东逐渐减小。对照图 1 可知，108 gal 区对应图 1 左半部分的Ⅰ-A 区和Ⅱ-A 区(即后缀 A 的区域)，88 gal 区对应其右半部分的Ⅱ-B 区(即后缀 B 的区域)。

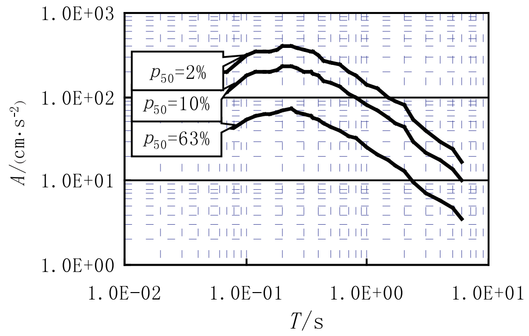
限于篇幅，这里每个分区仅展示其中一个计算点的地震危险性分析结果(基岩水平 *PGA* 及其反应谱)，见表 1 和图 3。

表 1　基岩水平 *PGA*　　gal

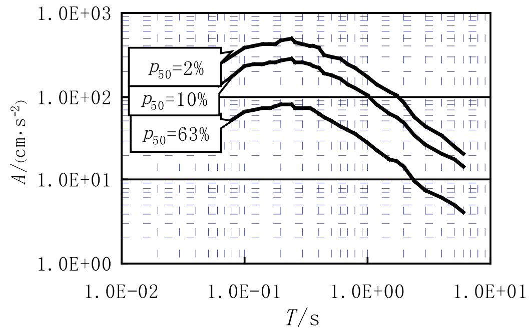
计算点	63%	10%	2%
88 gal 区某计算点	27.1	88.2	155.3
108 gal 区某计算点	31.2	108.3	184.5

3　土层地震反应计算

《工程场地地震安全性评价》(GB17741—2005)规定，场地地震反应计算是只针对土层场地的，即只有Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类场地才需要进行土层地震反应计算，然后再根据计算结果确定其抗震设计地震动参数值。对于Ⅰ类场地的抗震设计地震动参数值，则不需要计算，而是依据地震危险性分析结果直接确定。



(a)88 gal 区



(b)108 gal 区

图 3　两区各一计算点基岩水平 *PGA* 反应谱

3.1　土层地震反应钻孔计算模型及其参数确定

根据绵阳市新城区范围内的钻孔柱状图和地层剖面图发现，该城区内的地层分布在水平方向上变化不大，比较均匀。因此，可使用一维等效线性化波动方法开展土层地震反应计算，其原理依据的是《地震安全性评价技术教程》[4]。

根据绵阳市新城区地震地质构造环境和工程场地地质条件，建立土层地震反应钻孔计算模型，在使用该模型进行土层地震反应计算前，首先，需要收集整理 107 个土层场地钻孔(分布于Ⅱ-A 区 53 个、Ⅱ-B 区 54 个)的资料，由此获得建立计算模型所需的土层分层厚度、剪切波速、土体密度(限于篇幅，在此仅列出 B10 号钻孔的土层地震反应钻孔计算模型参数，见表 2)；其次，通过采集 11 组岩土动三轴样品，并结

合《四川数字强震动观测网络建设》和《工程场地地震安全性评价工作规范》(DB001－94)中的实验结果，确定Ⅱ类场地的土动力学参数，见表 3。

表 2 B10 号钻孔的土层地震反应钻孔计算模型参数

分层序号	岩土类型	分层厚度/m	剪切波速/(m·s^{-1})	密度/(g·cm^{-3})	土动力学参数编号
1	杂填土	1.5	109.2	1.8	1
2	粉土	0.7	186.7	2.0	2
3	细砂	2.8	235.4	1.9	3
4	稍密卵石	2.6	314.5	2.1	4
5	中密卵石	1.7	403.6	2.2	5
6	稍密卵石	1.1	320.8	2.1	4
7	密实卵石	3.3	472.6	2.3	6
8	强风化砂岩	0.5	489.7	2.2	7
9	中风化砂岩	基岩地震动输入面		2.4	7

表 3 Ⅱ类场地土动剪切模量比(G/G_{max})和阻尼比(ζ)与剪应变(γ)的关系

参数编号	岩土类型	参数	γ(10^{-4})							
			0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
1	杂填土	G/G_{max}	0.960	0.950	0.800	0.700	0.500	0.300	0.150	0.100
		ζ	0.025	0.028	0.030	0.045	0.080	0.100	0.150	0.170
2	粉土	G/G_{max}	0.993	0.984	0.921	0.852	0.532	0.362	0.102	0.054
		ζ	0.066	0.071	0.086	0.092	0.106	0.115	0.126	0.128
3	细砂	G/G_{max}	0.992	0.982	0.909	0.832	0.495	0.329	0.089	0.047
		ζ	0.068	0.073	0.085	0.094	0.1845	0.220	0.266	0.274
4	稍密卵石	G/G_{max}	0.976	0.956	0.858	0.763	0.615	0.488	0.326	0.143
		ζ	0.007	0.010	0.027	0.050	0.066	0.084	0.106	0.124
5	中密卵石	G/G_{max}	0.981	0.960	0.877	0.793	0.685	0.523	0.346	0.153
		ζ	0.005	0.008	0.023	0.035	0.066	0.086	0.105	0.122
6	密实卵石	G/G_{max}	0.996	0.972	0.909	0.824	0.663	0.538	0.350	0.126
		ζ	0.004	0.008	0.021	0.032	0.047	0.064	0.074	0.092
7	砂岩	G/G_{max}	0.999	0.999	0.995	0.987	0.964	0.947	0.915	0.908
		ζ	0.007	0.011	0.015	0.021	0.031	0.042	0.045	0.060

3.2 基岩地震动时程选取

在进行土层地震反应计算时，需要将前面计算得到的每个计算点的地震危险性分析结果(表 1 和图 3)采用三角级数法人工合成基岩地震动时程后输入到各自的土层地震反应钻孔计算模型中。对上述每个计算点在每个超越概率下分别人工合成 3 条基岩地震动时程，共合成 963 条。限于篇幅，88 gal 区和 108 gal 区仍仅展示上述两个计算点各自 50 年超越概率 10%地震动下的 1 条基岩地震动时程，见图 4 和图 5。

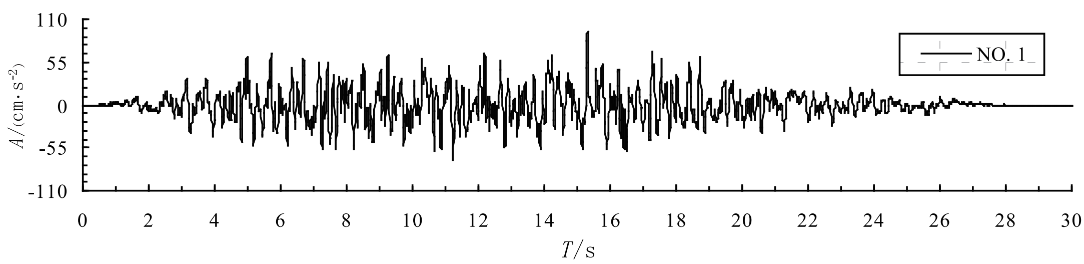


图 4 88 gal 区某计算点基岩地震动时程(P_{50}＝10%)

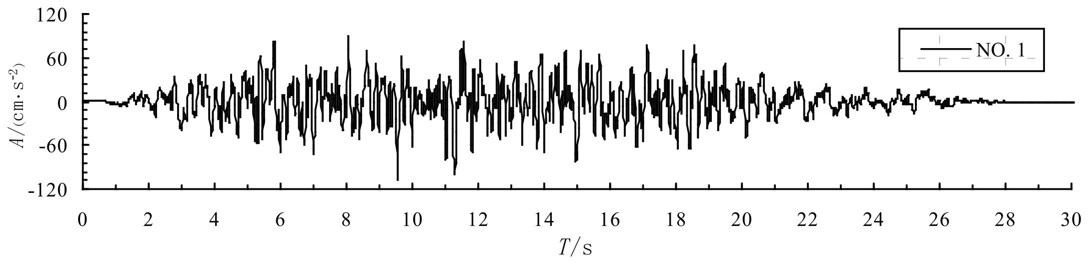


图 5　108 gal 区某计算点基岩地震动时程(P_{50}＝10％)

3.3　计算结果及规准

3.3.1　Ⅱ类场地计算结果确定

绵阳市新城区土层场地为Ⅱ类场地，对应工程地质单元分区中的Ⅱ区，对此，采用程序包(ESE)，把上述合成的 963 条基岩地震动时程均按幅值缩小一半后作为各个土层地震反应钻孔计算模型的地震动输入，分别计算得到了 50 年超越概率 63％，10％和 2％地震动下地面水平的地震动峰值加速度(PGA)(见表 4)及其反应谱(简称“计算谱”，见图 6、图 7 中的彩色细线)。限于篇幅，各分区仅展示一个计算模型得到的地面水平 PGA 计算结果。

表 4　各超越概率下某一计算模型得到的地面水平 *PGA*　　gal

序号	所属分区	钻孔	50 年超越概率								
			63％			10％			2％		
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
1	Ⅱ-A	B01	43.6	39.6	49.4	127.4	128.0	136.2	235.6	232.8	229.7
2	Ⅱ-B	B10	34.9	33.8	36.2	117.1	110.6	111.3	202.1	195.4	201.4

要获得用于抗震设计的地震动反应谱，还需采用规准谱对上述土层地震反应计算结果进行规准，这里的规准谱采用大多数抗震设计规范中所使用的地震动反应谱，其公式为：

$$\alpha(T)=A_{\max}(T)；\tag{1}$$

$$\alpha_{\max}=A_{\max}\beta_m/1\ 000。\tag{2}$$

式中，$A_{\max}$为抗震设计地震动峰值加速度最大值(cm/s^2)，$\alpha_{\max}$为地震影响系数最大值，β_m 为抗震设计地震动峰值加速度放大系数反应谱最大值，T 为建筑结构自振周期，$\beta(T)$为抗震设计地震动峰值加速度放大系数反应谱，取如下形式：

$$\beta(T)=\begin{cases}1 & T\leqslant T_0\\ 1+(\beta_m-1)\dfrac{T-T_0}{T_1-T_0} & T_0<T\leqslant T_1\\ \beta_m & T_1<T\leqslant T_g\\ \beta_m(\dfrac{T_g}{T})^{\gamma} & T_g<T\leqslant 6.0\ \mathrm{s}\end{cases}。\tag{3}$$

式中，T_0 和 T_1 均为地震动反应谱拐点周期，T_g 为反应谱特征周期，γ 为衰减指数。

采用上述公式对各计算模型得到的多遇地震、设防地震和罕遇地震下的计算结果进行规准，计算得到了两个分区内各超越概率下地面水平的抗震设计地震动反应谱(简称“设计谱”，见图 6、图 7 中的黑粗线)，其对应的各超越概率下的抗震设计地震动参数值(5％阻尼比)如表 5 所示。结果显示，同是Ⅱ类场地的不同区域其地面水平 PGA 是不同的，西半部分(Ⅱ-A 区)比东半部分(Ⅱ-B 区)大。

3.3.2　Ⅰ类场地计算结果的确定

对于绵阳市新城区的Ⅰ类场地(即Ⅰ-A 区)，如前所述不需要进行土层地震反应计算，而是直接采用式(1)－(3)对地震危险性分析得到的 108 gal 区的基岩水平地震动参数计算结果(表 1 和图 3b)进行规准即可，由此得到上述各超越概率水平下基岩水平的抗震设计地震动反应谱(简称“设计谱”，图 8 中的蓝线)，其对应的抗震设计地震动参数值(5％阻尼比)如表 6 所示。从表 6 可以看出，该抗震设计地震动参数值与地震地质构造环境和工程场地地质条件是相吻合的，Ⅰ类场地的 PGA 与Ⅱ类场地相比要小一些。

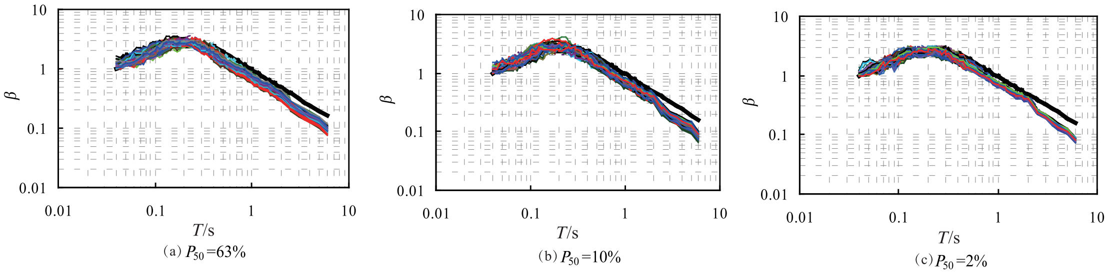


图 6　Ⅱ-A 区场地计算谱与设计谱(5%阻尼比)

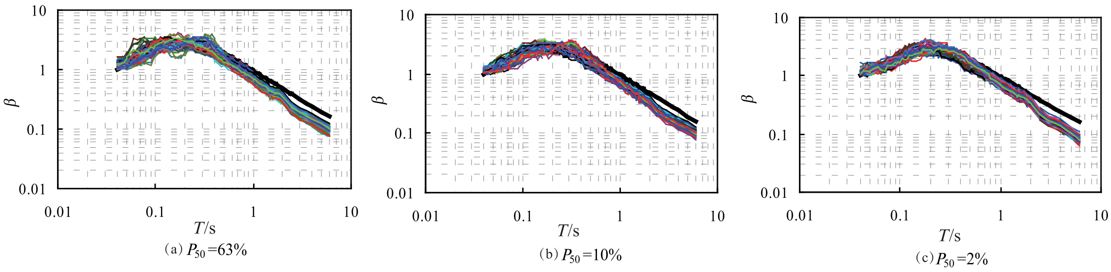


图 7　Ⅱ—B 区场地计算谱与设计谱(5%阻尼比)

表 5　Ⅱ类场地抗震设计地震动参数值(5%阻尼比)

分区	超越概率	T_0/s	T_1/s	T_g/s	β_m	γ	PGA/(cm·s^{-2})	α_{max}
Ⅱ-A	P_{50}=63%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	42.0	0.105
	P_{50}=10%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	134.0	0.335
	P_{50}=2%	0.04	0.10	0.45	2.6	1.0	233.0	0.606
Ⅱ-B	P_{50}=63%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	36.0	0.090
	P_{50}=10%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	113.0	0.283
	P_{50}=2%	0.04	0.10	0.45	2.6	1.0	202.0	0.525

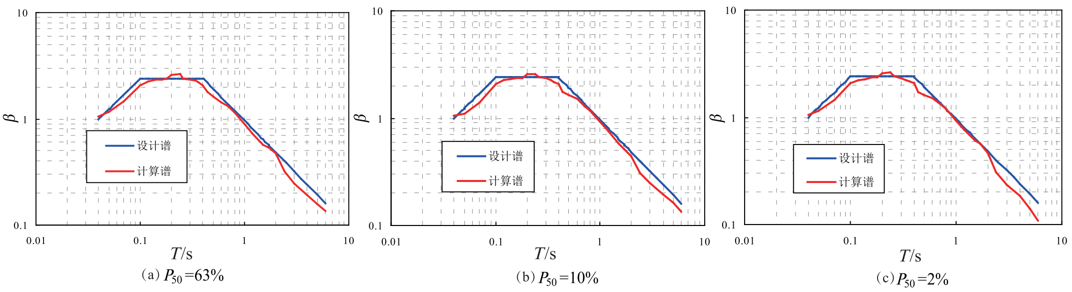


图 8　Ⅰ-A 区场地计算谱与设计谱(5%阻尼比)

表 6　Ⅰ-A 区场地抗震设计地震动参数值(5%阻尼比)

分区	超越概率	T_0/s	T_1/s	T_g/s	β_m	γ	PGA/(cm·s^{-2})	α_{max}
Ⅰ-A	P_{50}=63%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	31.0	0.078
	P_{50}=10%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	108.0	0.270
	P_{50}=2%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	184.0	0.460

4　与国标结果对比分析

根据国标规定，一般建设结构的抗震设计地震动参数值直接采用国标区划图中的数据即可。查询国标区划图可知，绵阳市新城区Ⅱ类场地 50 年超越概率 10%地震动下的抗震设计地震动峰值加速度(PGA)位于国标区划图中的 0.1 g(1 g=1 000 gal)分区、地震动反应谱特征周期(T_g)位于 0.40 s 分区；其Ⅰ类场地的

PGA 位于 0.082 g 分区、T_g 位于 0.3 s 分区，因此通过计算可得基于国标区划图的绵阳市新城区的抗震设计地震动参数值，见表 7。与表 5 和表 6 的结果对比发现，表 7 中的参数值均有不同程度的减小，即现行国标下的抗震设计地震动参数值偏小，且本应结果不一致的Ⅱ-A 区和Ⅱ-B 区却获得了相同的结果，这是不合理的。另外，就对建筑结构的设计水平地震作用力有直接影响的地震影响系数最大值 α_{max} 而言，Ⅰ-A 区的 50 年超越概率 63%，10%，2%地震动下分别减小了 13.0%，31.7%和 17.9%；相应地，Ⅱ-A 区分别减小了 25%，34%和 27.6%；Ⅱ-B 区分别减小了 7.1%，13.2%和 10.5%。可见，减小最多的是Ⅱ-A 区，最大达到了 34%，这说明在其他抗震设计条件一样的情况下此分区建筑结构的设计水平地震作用力最大会降低 34%；其次是Ⅰ-A 区；减小最少的是Ⅱ-B 区。另外，对于Ⅰ-A 区而言，地震动反应谱特征周期 T_g 也分别减小了 0.1 s，0.1 s，0.05 s，这会导致自振周期大于 T_g 的建筑结构的设计水平地震作用力还会在此基础上降低。综上，直接采用基于国标区划图的地震动参数值（表 7）不如采用本文根据实际场地地震地质构造环境和地质条件计算得到的地震动参数值（表 5－6）进行的建筑结构抗震设计结果安全可靠，所以，从安全可靠的角度考虑，需根据实际工程场地地震地质构造环境和地质条件来细化绵阳市新城区的抗震设计地震动参数值，这样才能通过抗震设计使建筑物达到有效抵御和减轻地震灾害的目的。

表 7　基于国标区划图的抗震设计地震动参数值(5%阻尼比)

分区	超越概率	T_0/s	T_1/s	T_g/s	β_m	γ	PGA/(cm·s^{-2})	α_{max}
Ⅰ-A	P_{50}=63%	0.04	0.10	0.30	2.5	1.0	27.5	0.069
	P_{50}=10%	0.04	0.10	0.30	2.5	1.0	82.0	0.205
	P_{50}=2%	0.04	0.10	0.35	2.5	1.0	156.0	0.390
Ⅱ-A	P_{50}=63%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	33.5	0.084
	P_{50}=10%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	100.0	0.250
	P_{50}=2%	0.04	0.10	0.45	2.5	1.0	190.0	0.475
Ⅱ-B	P_{50}=63%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	33.5	0.084
	P_{50}=10%	0.04	0.10	0.40	2.5	1.0	100.0	0.250
	P_{50}=2%	0.04	0.10	0.45	2.5	1.0	190.0	0.475

5　结论

本文根据绵阳市新城区地震地质构造环境和工程场地地质条件，采用工程场地地震安全性评价工作中通用的地震危险性分析方法和土层地震反应计算程序包(ESE)，计算得到了其范围内各分区的多遇地震、设防地震和罕遇地震下的抗震设计地震动参数值，并得出以下结论。

(1)计算得到的绵阳市新城区各分区的抗震设计地震动参数值与其地震地质构造环境和工程场地地质条件相吻合，可以作为绵阳市新城区土地利用、国土规划、一般建筑结构抗震设计和老旧房屋抗震加固等工作的设计依据，实际应用价值高。

(2)通过计算分析可知，绵阳市新城区内每个计算点上的地震危险性分析结果是不同的，西高东低，说明各分区内每个位置的地震危险性程度是不同的，亦是西高东低；另外，各钻孔的土层地震反应计算结果也是不同的，并不像国标区划图规定的某一分区内所有位置的结果都是相同的。

(3)通过将实际计算得到的绵阳市新城区的抗震设计地震动参数值与直接根据国标区划图得到的结果对比发现，前者比后者大，其中Ⅰ-A 区、Ⅱ-A 区和Ⅱ-B 区 50 年超越概率 10%地震动下的地震影响系数最大值分别增大了 31.7%，34%和 13.2%，说明采用前者进行抗震设计比采用后者更安全可靠。因此，从安全可靠的角度考虑，在抗震设计前需要细化区域范围内的地震动参数值，而不是简单地直接采用国标中规定的参数值。 (下转第 43 页)

拟，结果如下。

(1)在同时施作锚杆和喷射混凝土层的工况下，模拟结果显示喷射混凝土层在减少围岩变形和抑制塑性区扩展方面发挥了主导作用；相比之下，锚杆的支护效果在此情况下并不显著。

(2)将仅施作锚杆与仅开挖毛洞的工况进行对比，发现这两种工况对围岩的塑性区扩展、变形和应力分布的影响差异并不明显。换句话说，锚杆的施作并未显著改善围岩的塑性区分布、位移和应力状况。

(3)当对比仅开挖毛洞与仅施作喷射混凝土层的工况时，发现喷射混凝土层的施加对围岩的变形和塑性区有显著的改善作用，能够有效改善围岩的塑性区分布、位移和应力，从而显著增强隧道的稳定性和安全性。同样的结论也适用于比较仅施作锚杆与施作锚杆加喷射混凝土层的情况。

(4)在评估工程造价和工期进度的基础上，结合 4 种不同衬砌厚度下的隧道位移、应力和塑性区数据，建议将原有的 30 cm 衬砌厚度调整为 25 cm。这种改动能够在确保安全的前提下有效减少支护材料的消耗且提高隧洞施工的效率，从而增加经济效益和社会效益。

综上，本研究结果表明，衬砌结构对于提升隧道的稳定性起着至关重要的作用，而锚杆的作用则相对较小；并且根据对比分析得出衬砌厚度可从 30 cm 调整为 25 cm，以节省工程造价。

参考文献：

[1]　罗中权，张学良，王丽娟. 滇中引水工程大理Ⅱ段隧洞断面监测成果分析评价[J]. 云南水力发电，2022，38(6)：57－61.

[2]　方智淳，朱正国，马超义，等. 岩溶隧道超前加固方案比选[J]. 铁道建筑，2020，60(10)：65－67.

[3]　叶明浩，高华光. 圭嘎拉隧道围岩稳定性及支护效果研究[J]. 地下水，2020，42(6)：131－133.

[4]　王刚. 隧道锚杆支护的数值模拟研究[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报，2019，18(4)：69－74.

[5]　刘嫦娥，张青，牟春来，等. 某水电站引水隧洞 TBM 支护选型设计[J]. 水电与新源，2021，35(7)：31－34.

(责任编校：白丽娟)

(上接第 35 页)

参考文献：

[1]　中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 中国地震动参数区划图：GB18306－2015[S]. 北京：中国标准出版社，2015：2－6.

[2]　李小军，彭青. 不同类别场地地震动参数的计算分析[J]. 地震工程与工程振动，2001，21(1)：29－36.

[3]　李建亮，亢川川，何玉林，等. 场地条件对地面加速度峰值离散性的影响研究[J]. 震灾防御技术，2011，6(4)：416－426.

[4]　胡聿贤. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京：地震出版社，1999：58.

(责任编校：李秀荣)