

# 《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015) 编图方法在云南地区的应用实践<sup>\*</sup>

闻满华

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

**摘要:** 采用《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)编图的技术方法,将云南地区划分为 $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ 的网格点,计算了基岩峰值加速度,并转换为一般场地结果,与五代图颁布的结果进行比对分析,同时对蒙自地区某代表场地计算了基岩反应谱并进行分析讨论。结果表明:云南地区绝大部分计算点的50年10%超越概率水平对应的一般场地峰值加速度试算结果与五代图比较吻合。从反应谱计算结果可以看出,五代图的计算方法及结果有效反映了云南地区地震环境对该代表场地的影响。建议今后云南地区地震危险性分析工作应采用五代图编图的技术方法。

**关键词:** 中国地震动参数区划图;基岩峰值加速度;超越概率;地震危险性分析

**中图分类号:** P315.911

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)02-0257-07

## 0 前言

从社会经济发展的要求、科技发展的必然结果、新资料的积累、重大灾害性事件的经验总结、国际发展趋势以及防震减灾法的相关要求等方面出发,中国地震局修编了《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)(中国地震局,2015)(以下简称五代图),于2015年6月1日正式发布为国家强制性标准。云南省范围内的重大项目地震安全性评价、地震小区划等涉及地震危险性分析的相关工作应使用五代图编图原则和技术方法。为了进一步掌握和应用这些新的技术方法,同时与云南地区以前的工程项目安评结果衔接过渡,本文采用五代图编图技术方法进行了云南地区试算实践,并对计算结果进行讨论。

## 1 五代图编图原则和技术方法

五代图修编以50年超越概率10%地震动峰值加速度与50年超越概率2%地震动峰值加速度对应的一般场地峰值加速度值的1/1.9中的较大者作为编图指标,从方法上保证了抗倒塌设计参数

(即罕遇地震动)的风险水平不低于50年超越概率2%。同时提出了极罕遇地震作用(年超越概率 $10^{-4}$ 的地震动)概念,用于国土规划和地震应急备灾。

五代图修编仍采用概率地震危险性分析方法(CPSHA),依据其基本原理,基于层次潜在震源区模型(周本刚等,2013),对地震活动性模型进行了改进。地震统计区内满足3个基本假定:(1)地震活动的震级满足截断的G-R关系;(2)地震发生符合泊松分布;(3)地震活动在不同潜在震源区之间为非均匀分布,在同一潜在震源区内为均匀分布。

五代图修编的基本技术思路和计算方法概述如下:

(1)以地震带为统计单元,分析地震活动的时间非均匀性,确定未来百年地震发生的概率模型和地震危险性空间相对分布概率模型。对每个统计单元采用分段的泊松过程模型。令 $N$ 表示统计单元未来 $t$ 年内地震发生次数的随机变量,根据泊松过程的基本假定,发生 $n$ 次 $M > 4$ 地震的概率为:

$$P(N=n) = \frac{(v_4 t)^n}{n!} e^{-v_4 t} \quad (1)$$

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2016-09-13.

基金项目: 国家国际科技合作专项: 中国—东南亚毗邻区大震活动地球动力学研究(2015DFA21260)资助.

其中,  $v_4$  为  $M > 4$  地震的年平均发生率。该值通过地震带未来百年地震活动趋势预测结果而得到, 反映了地震带地震活动水平的非均匀性。

统计单元内地震震级概率密度函数为截断的指数函数 (胡聿贤, 1999):

$$f_M(m) = \frac{\beta \exp(-\beta(m - m_0))}{1 - \exp(-\beta(m_{uz} - m_0))} \quad (2)$$

其中:  $m_0$  为震级下限;  $m_{uz}$  为地震带震级上限;  $\beta = 2.3b$ ;  $b$  即为在统计单元内震级频度关系中的  $b$  值, 它反映大小地震间的比例关系。当震级小于震级下限和大于震级上限时, 概率密度值为零。

(2) 在地震带 (统计单元) 内部划分地震构造区和潜在震源区 (周本刚, 2016)。潜在震源区内地震危险性是均匀分布的。潜在震源区由几何边界、震级上限和分震级档的地震空间分布函数  $f_{i,mj}$  来描述。每个地震构造区补充几个背景性潜在震源, 且边界也不完全重叠。

(3) 利用全概率求和原理计算在统计单元内发生一次地震时, 场点给定地震动值  $a$  的超越概率。基本计算公式为 (胡聿贤, 1999):

$$P(A \geq a) = \iiint P(A \geq a | E) f(x, y | m) f_M(m) f_{\theta}(x, y, \theta) dx dy dm d\theta \quad (3)$$

其中:  $P(A \geq a | E)$  指震级为  $m$ 、震中位置为  $(x, y)$ 、地震动椭圆衰减长轴方向与正东方向夹角为  $\theta$  时场点给定地震动值  $a$  被超过的概率, 该函数由地震动衰减关系确定;  $f(x, y | m)$  为给定震级的空间分布函数, 该函数可由考虑震级分档情况和潜在震源区的面积得到;  $f_{\theta}(x, y, \theta)$  为等震线长轴取向概率密度函数, 用  $\delta$  函数表示。在同一潜在震源区内等震线长轴取向概率密度函数相同, 不同的潜在震源区该函数可以不同 (潘华等, 2013; 潘华, 李金臣, 2016)。

(4) 利用地震发生次数的分段泊松模型, 可以计算得到某个统计单元  $k$  对场点的超越概率为 (胡聿贤, 1999):

$$P_{ik}(A \geq a) = 1 - e^{-v_4 P(A \geq a)} \quad (4)$$

(5) 若有  $K$  个统计单元对场点有影响, 则场

点总的超越概率为:

$$P_i(A \geq a) = 1 - \prod_{k=1}^K [1 - P_{ik}(A \geq a)] \quad (5)$$

(6) 分区、分段采用不同的地震动参数衰减关系进行计算 (肖亮, 俞言祥, 2010)。本次修订采用了由中国地震动参数区划图第 4 工作组研制的衰减关系 (俞言祥, 汪素云, 2004; 俞言祥等, 2013), 分为青藏区、新疆区、东部强震区、中强地震区 4 个分区, 长、短两个方向,  $M > 6.5$ 、 $M \leq 6.5$  两段, 共 16 种不同的衰减关系。衰减关系可表示为:

$$\lg Y = A + BM + C \lg[R + De^{EM}] \pm \sigma \quad (6)$$

式中:  $Y$  代表加速度峰值或反应谱值;  $R$  为震中距;  $M$  为震级;  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  为回归系数,  $\sigma$  为标准差。

## 2 云南地区试算实践结果

采用五代图编制所使用的地震活动性模型参数、潜在震源区模型参数和地震动参数衰减关系, 对云南地区划分为  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  网格点计算了基岩峰值加速度并转换为一般场地结果, 与五代图颁布的结果进行比对分析。同时计算某代表场地基岩反应谱, 并对其进行分析。

云南地区的地震危险性概率分析方法的应用, 涉及青藏地震区的鲜水河—滇东地震带、滇西南地震带、喜马拉雅地震带、藏中地震带、龙门山地震带和华南地震区的右江地震带、长江中游地震带, 所涉及的地震带和地震构造区地震活动性模型参数, 如表 1 所示 (高孟潭, 2015)。所使用的分区基岩峰值加速度衰减关系参数、五代图基岩 I<sub>1</sub> 类场地峰值加速度与一般场地 (II 类) 峰值加速度转换系数 (高孟潭, 2015), 分别见表 2、3。

对不同的地震带设定不同的衰减关系, 分  $M > 6.5$  地震、 $M \leq 6.5$  地震两段对应的基岩峰值加速度衰减关系参数 (俞言祥, 2016), 分别计算潜在震源 (包括背景性潜源) 对目标场点的年超越概率贡献值, 对得到的 4 种值通过概率合成为总的年超越概率贡献曲线, 从总的年超越概率贡

献曲线上求取 50 年超越概率分别为 10%、2% 对应的基岩峰值加速度值，将两者通过转换关系转换为一般场地峰值加速度，然后取 10% 对应的一般场地峰值加速度值和 2% 对应的一般场地峰值加速度值的 1/1.9 两者中的较大值作为该场地的基本地震动。

表 1 云南地区涉及的地震带和地震构造区模型参数表  
Tab. 1 The model parameters of earthquake zone and seismic tectonic zone in Yunnan area

地震区	地震带	震级上限 $M_{uz}$	起始震级 $M_0$	$b$ 值	年平均发生率 $v_4$	地震构造区	最大地震	背景源震级上限
青藏地震区	鲜水河—滇东地震带	8.0	4.0	0.85	32	川西	8.0	6.5
						攀西—滇中	8.0	6.0
	滇西南地震带	8.0	4.0	0.77	20	龙陵—耿马	8.0	6.0
						思茅	7.5	6.0
	喜马拉雅地震带	9.0	4.0	0.85	83	密支那	9.0	6.5
						喜马拉雅	9.0	7.0
	藏中地震带	8.5	4.0	0.81	25	藏东	7.5	6.5
	龙门山地震带	8.0	4.0	0.71	5.2	龙门山	8.0	6.5
华南地震区	右江地震带	7.0	4.0	1.04	2.5	—	7.0	5.0
	长江中游地震带	7.0	4.0	1.20	3.2	渝黔	6.5	5.0

表 2 分区基岩峰值加速度衰减关系参数表  
Tab. 2 The coefficients of the bedrock peak acceleration attenuation relationship within divided zones

地区	$M \leq 6.5$ 地震		$M > 6.5$ 地震					标准差 $\sigma$
	A	B	A	B	C	D	E	
青藏区长轴	2.387	0.645	3.807	0.411	-2.416	2.647	0.366	0.236
青藏区短轴	1.003	0.609	2.457	0.388	-1.854	-0.612	0.457	0.236
中强地震区长轴	2.417	0.498	3.706	0.298	-2.079	2.802	0.295	0.236
中强地震区短轴	1.715	0.471	2.69	0.321	-1.723	1.295	0.331	0.236

表 3 五代图基岩与一般场地峰值加速度转换系数表  
Tab. 3 The conversion coefficients of the peak acceleration between bedrock and general ground in the fifth generation of the seismic zoning map

场地类别	分段插值控制点及转换系数					
Ⅱ类场地地震动峰值加速度值/g	≤0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	≥0.40
Ⅰ <sub>1</sub> 类场地地震动峰值加速度值/gal	≤39	80	123	167	280	≥392
Ⅱ类场地转换系数	1.25	1.22	1.20	1.18	1.05	1.00

为了测试五代图潜源空间分布函数、分区衰减关系、分段计算地震动参数方法在云南地区的实际效果，首先选择青藏区（鲜水河—滇东地震带、滇西南地震带）和中强区（右江地震带）的潜在震源均能产生明显影响的蒙自地区某场地进行计算，场地位置为（23.37°N，103.38°E）。然后分两区、两段计算各地震带潜在震源对场地的超越概率贡献，合成总贡献的概率曲线，如表 4、图 1a 所示。最后从合成的总贡献的概率曲线上求取 50 年超越概率 63%、10% 和 2% 对应的基岩峰值加速度，通过表 3 转换为一般场地地震动峰值加速度，如表 5 所示。场地反应谱计算结果如表 6、图 1b 所示。用五代图计算方法对云南地区 0.2°×0.2°网格点计算了基岩峰值加速度并转换为一般场地结果，如图 2 所示。

表 4 场地分区、分段年超越概率试算表

Tab. 4 The trial calculation of annual exceedance probability in different areas and sections

$A_{\max}/\text{gal}$	概率贡献				总贡献
	青藏区衰减		中强区衰减		
	$M \leq 6.5$ 地震	$M > 6.5$ 地震	$M \leq 6.5$ 地震	$M > 6.5$ 地震	
1	2.94E-01	7.97E-02	9.28E-02	2.85E-03	4.12E-01
5	2.32E-01	5.91E-02	6.59E-02	2.21E-03	3.27E-01
10	1.04E-01	3.05E-02	2.97E-02	1.58E-03	1.58E-01
15	5.74E-02	2.00E-02	1.70E-02	1.22E-03	9.31E-02
20	3.52E-02	1.43E-02	1.08E-02	9.81E-04	6.02E-02
30	1.60E-02	8.34E-03	5.16E-03	6.85E-04	2.99E-02
40	8.44E-03	5.38E-03	2.78E-03	4.99E-04	1.70E-02
50	4.88E-03	3.68E-03	1.62E-03	3.70E-04	1.05E-02
60	3.01E-03	2.61E-03	9.91E-04	2.77E-04	6.87E-03
70	1.94E-03	1.91E-03	6.30E-04	2.09E-04	4.68E-03
80	1.30E-03	1.42E-03	4.14E-04	1.60E-04	3.29E-03
90	8.97E-04	1.08E-03	2.81E-04	1.24E-04	2.38E-03
100	6.30E-04	8.26E-04	1.92E-04	9.50E-05	1.74E-03
125	2.85E-04	4.47E-04	8.10E-05	5.17E-05	8.64E-04
150	1.40E-04	2.54E-04	3.68E-05	2.90E-05	4.60E-04
175	7.27E-05	1.48E-04	1.74E-05	1.67E-05	2.55E-04
200	3.94E-05	8.85E-05	8.59E-06	9.74E-06	1.46E-04
250	1.30E-05	3.43E-05	2.22E-06	3.54E-06	5.31E-05
300	4.57E-06	1.38E-05	5.44E-07	1.30E-06	2.02E-05
350	1.67E-06	5.59E-06	1.13E-07	4.81E-07	7.85E-06
400	5.91E-07	2.20E-06	2.55E-08	1.62E-07	2.98E-06
450	2.09E-07	8.51E-07	0.00E+00	4.52E-08	1.11E-06
500	6.67E-08	3.17E-07	0.00E+00	1.10E-08	3.95E-07
600	2.13E-13	2.33E-08	0.00E+00	0.00E+00	2.33E-08

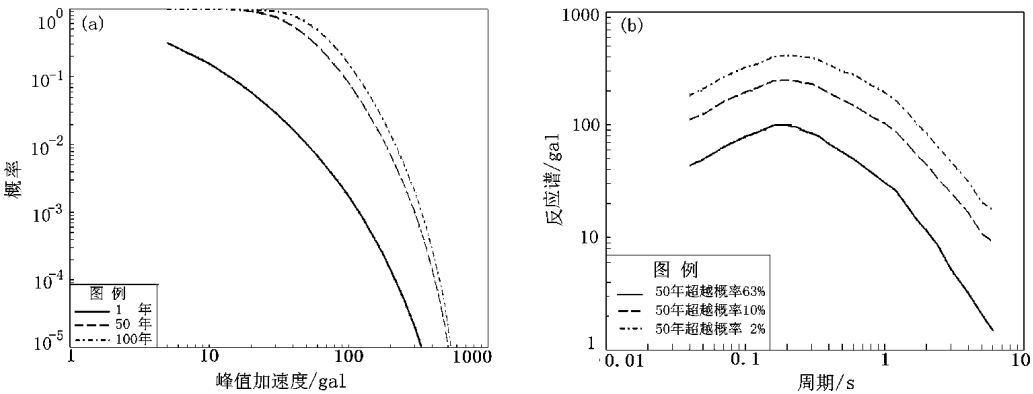


图 1 试算场地基岩加速度峰值超越概率曲线 (a) 及 3 个概率加速度反应谱 (b)  
Fig. 1 The exceedance probability curve of peak acceleration of bedrock in trial site (a) and acceleration response spectrum for three different probability (b)

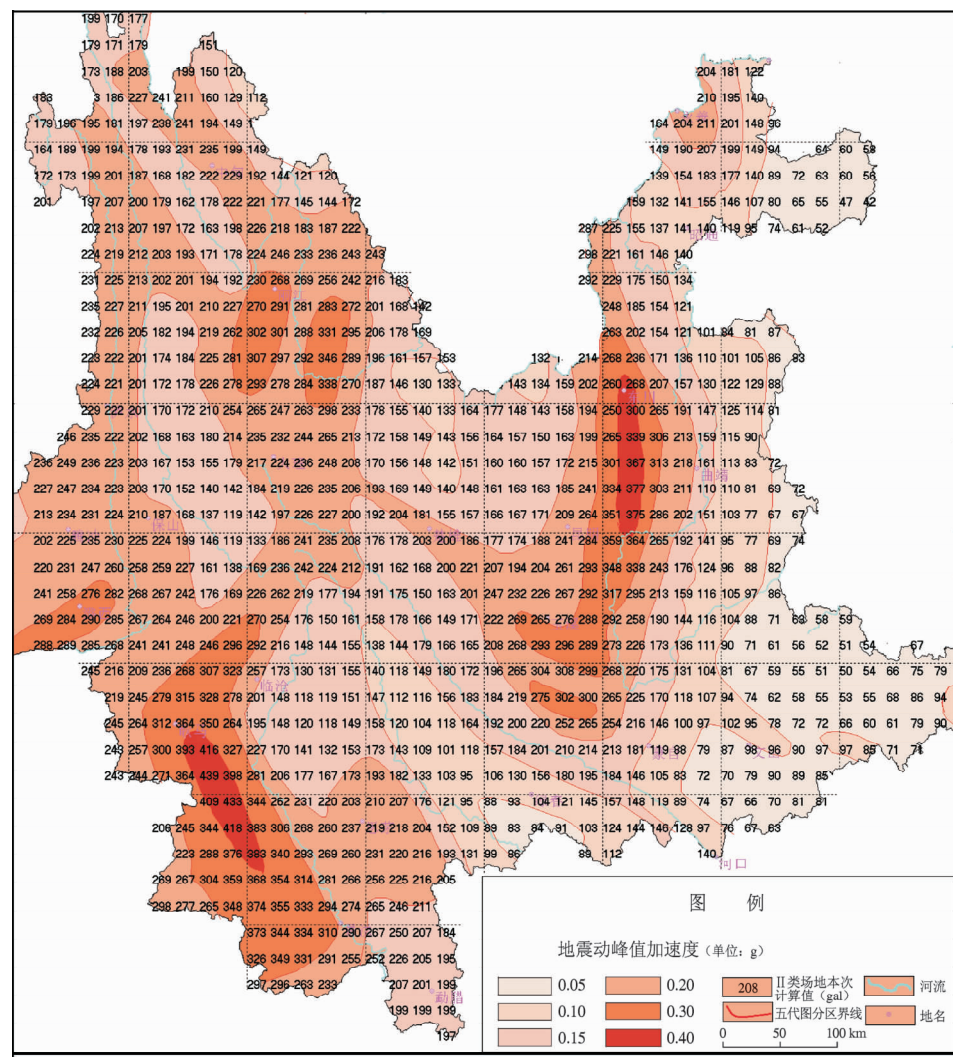


图 2 云南地区大部一般场地 50 年超越概率 10% 地震动峰值加速度试算结果

Fig. 2 The trial calculation results of ground motion peak acceleration of 10% exceedance probability over 50 years for most general site in Yunnan area

表 5 场地峰值加速度试算表

Tab. 5 Trial calculation of peak ground motion acceleration

项目	50 年超越概率		
	$P=63\%$	$P=10\%$	$P=2\%$
基岩峰值加速/gal	37.92	94.31	156.80
土层 (Ⅱ类场地) 峰值加速/g	0.05	0.12	0.19

3 结论及讨论

本文选择的蒙自地区某试算场地具有代表性,其周围的鲜水河—滇东地震带、滇西南地震带和右江地震带均对其峰值加速度产生显著影响。如

表 4 所示,2 种衰减关系、6.5 级上下两段共 4 类概率贡献的试算值表现合理,该场地所处中强地震活动区,五代图颁布的峰值加速度为 0.10 g 分区,从表 4 中可以看出,对应峰值 100 gal 以下的 4 种概率贡献大致在相同数量级水平,200 ~ 300 gal 段落主要受两区潜源 6.5 级以上段的影响,300 gal 以上段落主要受青藏区潜源 6.5 级以上段的影响。从合成的总概率贡献曲线 (图 1a) 上读取的 50 年 63%、10%、2% 这 3 个概率水平对应的峰值加速度经转换为一般场地峰值分别是 0.05 g、0.12 g 和 0.19 g,这 3 个概率土层峰值比例合理,10% 概率水平的峰值 0.12 g 与场地所处 0.10 g 分区匹配较好。从峰值加速度和反应谱计算结果可以看出,

表 6 场地基岩地震动反应谱值试算表

Tab. 6 Trial calculation of bedrock ground motion response spectrum values

周期/s	50 年超越概率反应谱值			周期/s	50 年超越概率反应谱值			周期/s	50 年超越概率反应谱值		
	63%	10%	2%		63%	10%	2%		63%	10%	2%
PGA	37.9	94.3	156.8	0.26	89.1	237.6	402.7	1.50	18.2	65.6	124.6
0.04	43.5	111.9	184.5	0.30	84.5	230.4	395.6	1.70	14.6	54.7	103.9
0.05	49.3	124.5	209.8	0.34	78.6	215.2	374.1	2.00	11.5	44.5	84.6
0.07	63.7	160.5	267.3	0.40	68.1	192.3	343.5	2.40	8.7	34.0	64.6
0.10	79.4	196.2	324.5	0.50	57.6	165.7	298.2	3.00	5.2	24.9	47.3
0.12	85.0	211.0	343.7	0.60	49.7	149.8	280.7	4.00	3.2	16.6	31.5
0.16	99.3	246.3	404.4	0.80	38.2	119.3	226.6	5.00	2.1	10.9	20.8
0.20	99.8	248.8	415.2	1.00	30.9	102.5	194.7	6.00	1.5	9.2	17.5
0.24	94.7	243.9	410.6	1.20	26.3	87.9	167.0				

五代图的计算方法及结果有效反映了该场地所处的地震环境。

从图 2 可以看出,云南地区绝大部分计算点的 50 年 10% 超越概率水平对应的一般场地峰值加速度试算值与五代图(中国地震局,2015)较为吻合。有极少部分地区试算值略低于五代图,这是五代图修编时考虑了部分地区大震近场效应,并且征求地方政府意见后从安全的角度考虑对峰值加速度分区有所提高的结果。图中少量计算值为 0.10 g 的区域提高至 0.15 g,东川地区提高幅度最大,其原因为东川以北至巧家处在同一 8 级潜源内,其模型参数设置需要兼顾到该潜源北段巧家地区的烈度计算结果,致使东川周边地区的计算结果达不到 0.40 g,但在编图时考虑到小江断裂的大震近场效应以及上述安全原则,调整提高至 0.40 g 水平。

通过本文的试算实践可以看出,五代图编图的模型、方法和计算结果有效反映出云南地区地震活动环境的实际状况,以供同行共享参考。建议今后云南地区地震危险性分析工作应采用五代图编图的技术方法。

感谢中国地震局地球物理研究所俞言祥研究员、潘华研究员提供潜源模型参数和衰减关系数

据以及在使用中给予的悉心指导。

参考文献:

高孟潭. 2015. GB 18306 — 2015《中国地震动参数区划图》宣贯教材 [M]. 北京:中国标准出版社.

胡聿贤. 1999. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京:地震出版社.

潘华,高孟潭,谢富仁. 2013. 新版地震区划图地震活动性模型与参数确定[J]. 震灾防御技术,8(1):11-23.

潘华,李金臣. 2016. 新一代地震区划图的地震活动性模型[J]. 城市与减灾,(3):28-33.

肖亮,俞言祥. 2010. 应用两步法使用圆模型拟合华北地区地震烈度衰减关系[C]//中国地球物理 2010——中国地球物理学会第二十六届年会、中国地震学会第十三次学术大会论文集. 北京:中国地震学会.

俞言祥,李山有,肖亮. 2013. 为新区划图编制所建立的地震动衰减关系[J]. 震灾防御技术,8(1):24-33.

俞言祥,汪素云. 2004. 青藏高原东北地区水平向基岩加速度峰值与反应谱衰减关系[J]. 地震学报,26(6):591-600.

俞言祥. 2016. 新一代地震区划图地震动参数衰减关系的建立与特点分析[J]. 城市与减灾,(3):34-38.

中国地震局. 2015. GB 18306 — 2015《中国地震动参数区划图》[M]. 北京:中国标准出版社.

周本刚,陈国星,高战武,等. 2013. 新地震区划图潜在震源区划分的主要技术特色[J]. 震灾防御技术,8(2):113-124.

周本刚. 2016. 新一代地震区划图潜在震源区划分的技术进展[J]. 城市与减灾,(3):18-23.

## Application Practice of Mapping Method of Seismic Ground Motion Parameter Zonation Map of China (GB18306 – 2015) in Yunnan Area

WEN Manhua

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650041, Yunnan, China)

### Abstract

Using the method of the fifth generation of the *Seismic Ground Motion Parameter Zonation Map of China*, we calculated the peak ground acceleration on bedrock in a grid of  $0.2 \times 0.2$  degrees in Yunnan Province. The results were converted to normal field, and then compared to the fifth generation map. We also analyzed the response spectrum of bedrock on a representative site. The comparison result shows that the calculated peak ground acceleration for an exceeding probability of 10% in the future 50 years is consistent with the fifth generation map in most of Yunnan Province. Based on the response spectrum analysis, the fifth generation map successfully reflects the effect of the Yunnan earthquake environment in this area. So we recommend the method of the fifth generation map for seismic hazard analysis in the future.

**Keywords:** *Seismic Ground Motion Parameter Zonation Map of China*; bedrock peak ground acceleration; exceedance probability; seismic hazard analysis