



# Study on the Influence of Maximum Magnitude Uncertainty to the Seismic Hazard in North China

Changlong Li\*

*Institute of Geophysics, China Earthquake Administration*

*\*Corresponding author. Email: changlongli@163.com*

## ABSTRACT

This paper summarizes the methods for considering the uncertainty of the upper magnitude limit in several domestic and foreign studies on seismic hazard and mapping, analyzes the influence of the uncertainty of the upper limit of magnitude in the potential source area on the earthquake hazard, and provides a new generation of seismic hazard maps. A proposed scheme for considering the uncertainty of the upper magnitude limit is presented. The conclusions drawn are that compared with several international earthquake risk studies, the estimation of the upper limit of the magnitude by the potential source model of the Seismic Hazard Map of China (2016) is conservative; when the upper limit of the potential source magnitude is between 5.5 and 6.5, the impact of the adjustment plan on seismic hazard is between several international studies on seismic hazard, which is generally reasonable; for the original potential source of magnitude 7, the increased occurrence rate of earthquakes with magnitudes 7-7.5 is adjusted to  $10^{-5}$ , the calculated seismic hazard increment is close to the consideration scheme of several international seismic hazard studies.

**Keywords(Bold):** *Seismic hazard, Maximum magnitude, Uncertainty, North China.*

## 华北地区震级上限不确定性对地震危险性的影响研究

李昌珑\*

*中国地震局地球物理研究所, 北京, 100081*

*\* 通讯作者. 电子邮箱: changlongli@163.com*

## 摘要

本文总结了国内外几项地震危险性和地震区划研究中对震级上限不确定性的考虑方法, 分析了潜在震源区震级上限不确定性对地震危险性的影响, 并对新一代地震区划图给出了对震级上限不确定性考虑的建议方案。得出的结论有, 与国际上几项地震危险性研究相比, 我国五代图潜源模型对震级上限的估计偏保守; 当潜源震级上限在 5.5-6.5 级时, 本文的潜源震级上限调整方案对地震危险性的影响介于国际几项地震危险性研究之间, 总体上是合理的; 对原 7 级潜源, 增加的 7-7.5 级震级档地震发生率调整为  $10^{-5}$  时, 计算的地震危险性增量与国际上几项地震危险性研究的考虑方案接近。

**关键字:** *地震危险性, 震级上限, 不确定性, 华北地区.*

## 1. 引言

震级上限是概率地震危险性分析<sup>[1]</sup>

(Probabilistic Seismic Hazard Assessment, PSHA;)

中的重要概念和地震区划模型中潜在震源区的重要参数, 它代表在某个潜在震源区内可能发生地震震级的最大极限值。震级上限被认为是在现有的认知水平下不可突破的震级取值, 即使发生突破震级上

限的地震，也应是发生概率极小的极端事件。然而，仅在中国第五代地震区划图<sup>[2]</sup>（GB18306-2015）的潜在震源区划分方案 2013 年确定以来，已有 2014 年景谷 6.4 级地震、2018 年筠连 5.7 级地震、2019 年长宁 6.0 级地震等地震的震级突破了所在潜在震源区的震级上限（表 1）。表明在第五代全国地震区划图模型下，地震震级突破所在潜源的震级上限并非罕遇事件。在现有资料和认知水平下是否需要调整对震级上限的设定方法，在新一代区划图中如何考虑震级上限的不确定性，是值得研究的问题。本文总结了国内外几项地震危险性和地震区划研究中对震级上限不确定性的考虑方法，分析了潜在震源区震级上限不确定性对地震危险性的影响，并对新一代地震区划图给出了对震级上限不确定性考虑的建议方案。

表 1 近年发生的几次震级突破所在潜在震源区震级上限的地震

时间地点	震级 (Ms)	所在潜源震级上限 (Ms)	超震级上限 (Ms)
2014 年, 景谷	6.4	6.0	0.4
2018 年, 筠连	5.7	5.5	0.2
2019 年, 长宁	6.0	5.5	0.5

## 2. 国内外已有地震危险性研究对震级上限不确定性的考虑

国内外已有一些地震危险性分析研究考虑了震级上限的不确定性。

### 2.1 美国

在美国的全国地震危险性模型<sup>[3]</sup>中，最大震级  $M_{max}$  基于最大的已知破裂、全球类似构造区的最大破裂，以及区域内断层的维度。在美国西部（除加州）的地震危险性模型（WUS）中，由背景地震活动性估计最大震级是困难的，因为这需要数百年的地震观测历史（多数地震的复发周期远大于这一时间）。WUS 中使用两个  $M_{max}$  取值，7.45 和 7.95

（之前的模型是 6.8）。7.45 接近于 1887 年墨西哥 Sonora 7.5 级地震的震级，7.95 的权重很低，由西部地区的大地测量和地震矩速率的观测结果估算而来。加州背景地震的  $M_{max}$  值由 7.0 增加到了 7.3-

7.9，由于 2010 年墨西哥 El Mayor-Cucapah 7.1 级地震使 UCERF2 模型的  $M_{max}$  值增加。

Wheeler (2009)<sup>[4]</sup>专门讨论了落基山东部的最大震级估计问题。该研究分析了目前采用较多的几种确定震级上限的方法：（1）使用最大观测震级  $M_{obs}$ ；（2） $M_{obs}$  加 1 震级档；（3）由地震活动性得到的  $M_{max}$ ；（4）由历史记录的 GR 关系外推的  $M_{max}$ ；（5）由  $m_b$  饱和估计  $M_{max}$ ，近似为 7.5；（6）由当地地质特征估算  $M_{max}$ ；（7）由北美构造相似性估算  $M_{max}$ ；（8）由全球构造相似性估算  $M_{max}$ ；（9）由贝叶斯方法估算  $M_{max}$ ；（10）由物理学原理估算  $M_{max}$ ；（11）由统计方法估算  $M_{max}$ ；（12）用模式识别方法估算  $M_{max}$ ；（13）由地壳  $L_g$  和  $Q_0$  值估计  $M_{max}$ 。文中详细讨论了几种方法的优缺点及各自的适用情况。其中，第（1）、（3）、

（4）种方法适用于历史地震记录较完备，地震目录丰富的地区。其他方法可用于地震记录缺乏或观测历史较短的地区。有时仅使用一种方法的不确定性较大，常多种方法联合使用，确定最终的震级上限。

### 2.2 欧洲

欧洲地震危险性统一模型<sup>[5]</sup>（SHARE）对震级上限不确定性的考虑，使用将最大记录地震  $M_{obs}$  分别加 0.2、0.4、0.6 级的取值加权考虑， $M_{obs}$ 、 $M_{obs}+0.2$ 、 $M_{obs}+0.4$ 、 $M_{obs}+0.6$  的权重分别为 0.5、0.2、0.2、0.1。对亚速尔-直布罗陀地区的潜源，考虑  $M_{obs}$  和  $M_{obs}+0.3$  的权重分别为 0.7 和 0.3。SHARE 模型对不同构造类型潜源的震级上限不确定性考虑的逻辑树如图 1 所示。

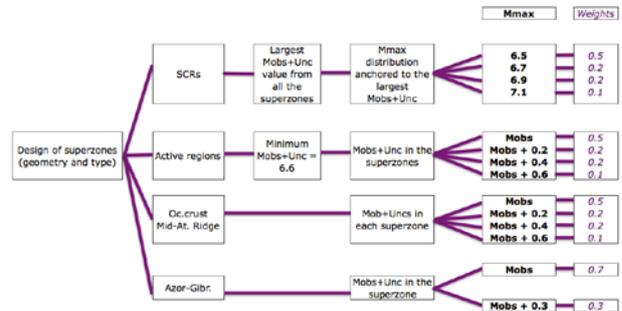


图 1 欧洲 SHARE 模型中不同类型潜源的震级上限取值逻辑树

### 2.3 日本

日本的全国地震危险性图（全国地震动预测地图）<sup>[6]</sup>给出未来 30 年给定地震动的超越概率分布

图。然而，大地震的复发时间很长，海沟型地震可达数十年到数百年，活断层地震可达数千年到数万年尺度，远大于危险性图描述的 30 年。日本的地震史料有千年的历史（长的一千几百年，短的几百年）。但也受地点的限制，例如江户时代以前就没有北海道的地震记录，太平洋沿岸地区的地震记录近代以来才有。地震危险性图使用一千年的地震记录，考虑了重现期为五千年的地震。由此可推断震级上限在 Mobs 的基础上增加了 0.5-0.6 级。

## 2.4 西亚

中东地震模型<sup>[7]</sup> (EMME) 中，用  $M_{max}$  表示震级上限。确定  $M_{max}$  的方法是，（1）确定目标断层的最大历史地震  $M_{obs}$ ；（2）根据地质构造资料估算断层的最大发震能力；（3）选取二者中的较大值。考虑震级上限不确定性的方法是，将  $M_{obs}$  的值分别扩展为  $M_{obs}+0.3$  和  $M_{obs}+0.6$ 。这种取值的根据是地震目录中的震级不确定性<sup>[8]</sup>。假设  $b$  值取值为 0.9-1，则根据 Wheeler (2009) 的研究，这种考虑相当于使我们考虑的地震的重现期延长了 1.37-1.7 倍。这种方法使我们考虑了重现期为 4000-5000 年，震级大于记录值  $M_{obs}$  的地震。图 2 为 EMME 模型中各面源和断层源的  $M_{max}$  取值。在实际地震危险性计算中，各潜源的震级上限  $M_{max}$ 、 $M_{max}+0.3$ 、 $M_{max}+0.5$  的权重一般分别取 0.5、0.4、0.1。

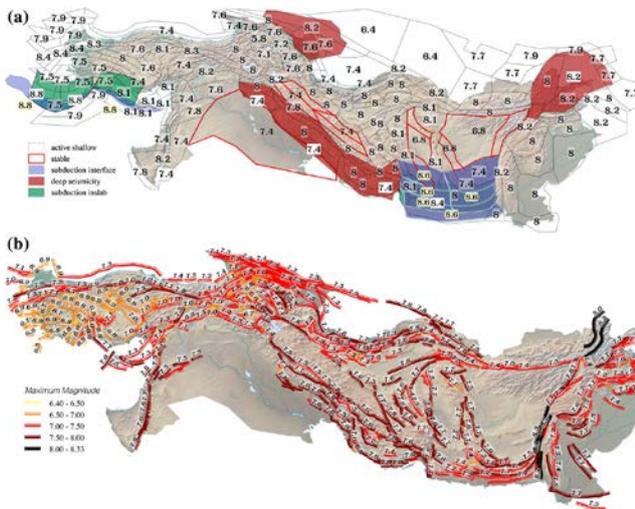


图 2 EMME 模型中各面源和断层源的  $M_{max}$  取值。

## 2.5 中亚

中亚地震模型 (EMCA) <sup>[9]</sup> 中指出，震级上限由研究者根据基于历史地震活动性的经验给出。在历史最大地震的基础上考虑了不确定性。在最大历史地震  $M_{obs}$  的基础上加 0.5 级作为  $M_{max}$  的取值。地震危险性计算中，震级上限考虑为  $M_{max}-0.5$ 、 $M_{max}$ 、 $M_{max}+0.5$  分别取权重 0.2、0.6、0.2。

## 2.6 中国

中国的全国地震区划研究中，第四代<sup>[10]</sup>和第五代地震区划图都对全国划分了潜在震源区。第五代地震区划图模型对所有 1643 个潜在震源区都确定了震级上限，确定的方法基于地震地质资料，并结合历史最大地震综合判定震级上限。注重西部高震级潜在震源区的震级上限的判定<sup>[11]</sup>。重视构造背景对高震级潜在震源区划分的控制，加强了构造类比原则的应用。考虑到基础地质资料的平衡性和历史地震记载的完备性，特别注意了利用所处构造位置、不同级别活动块体边界动力学与运动学特征对潜在震源区震级上限与边界划分的控制，甄别出高震级地震构造带，并在此基础上根据地震构造带不同段落的差异，划分不同震级上限的潜在震源区。西部地区划分潜在震源区实际操作中，对 I、II 级活动块体边界带一般以震级 7.5 级为基准，然后依据边界带上构造部位、断层结构、古地震地表破裂长度与位移、深部构造等，按照构造类比识别出更高震级的潜在震源区。中国第五代区划图构造源潜在震源区划分及其震级上限如图 3 所示。

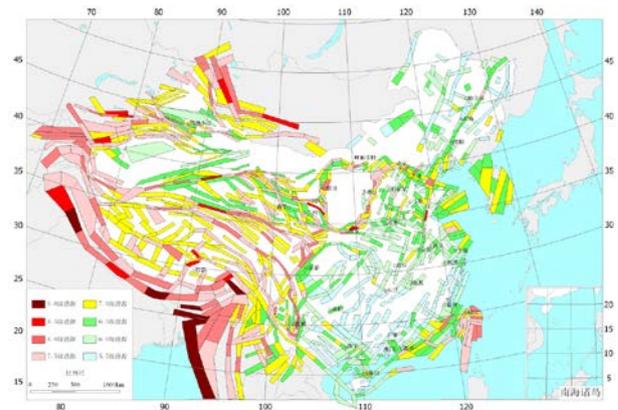


图 3 中国第五代区划图构造源潜在震源区划分及其震级上限

综上所述，当前国内外地震危险性研究对潜源震级上限的确定方法多是基于最大观测地震、最大历史地震、地震地质资料估算、构造类比等方法。国际上的一些研究对震级上限不确定性有较多的分析。国内五代图的潜源划分模型对西部高震级的震级上限有较详细的确定方法。但在断层资料较少、地震活动也不活跃的地区，潜源的震级上限仍存在较大的不确定性。引言中列举的几次突破震级上限的地震也多是发生在通常认为的稳定少震地区。本文将针对上述问题，对国内潜在震源区震级上限调整方案展开研究。

### 3. 潜在震源区震级上限调整对地震危险性的影响研究

#### 3.1 第五代区划图潜源模型的震级上限调整与分析

第五代区划图给出的潜源模型的震级上限从 5.5 级到 9.0 级不等, 按照每 0.5 级震级档分档。本文将第五代区划图模型中国东部的华北平原地震统计区和东北地震统计区作为研究区域, 在地震统计区内选取有代表性的潜在震源区作为研究对象开展研究。

本文对五代图潜源模型的震级上限确定方法进行分析后认为, 震级上限 7.5 级及以上潜源的认定通常有较充分的资料依据, 且大多数潜源的尺度不支持发生超出震级上限的地震。五代图发布以来也未出现 7.5 级以上潜源震级上限被突破的震例。因此本文的试算选择的潜源震级上限最大为 7.0 级。选择潜在震源区的原则是, 所选取的潜在震源区周边一定距离范围内的没有震级上限更高的潜源, 保证潜源正上方的一部分场点的地震危险性参数由该潜源主导控制; 同时为全面研究不同震级的情况, 考虑选取潜源的震级上限分别为 5.5、6.0、6.5、7.0。依据此思路, 本文选择了 4 个潜源作为研究对象, 分别为内蒙古科左中旗附近的 746 号潜源(震级上限 5.5)、河北石家庄附近的 545 号潜源(震级上限 6.0)、河南郑州附近的 562 号潜源(震级上限 6.5)、河北河间附近的 573 号潜源(震级上限 7.0)。4 个潜源的编号及位置如图 4 所示。

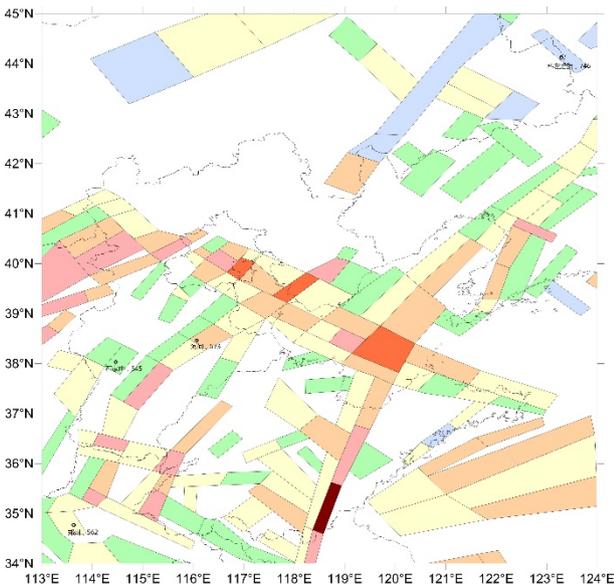


图 4 4 个试算场点位置及对应潜源编号示意图

假设将潜源的震级上限提高一档(0.5 级), 多出的最高级震级档通常缺少地震记录、地质资料等数据能够作为确定地震活动性参数的依据。参考五代图潜源地震发生率的确定方法<sup>[12]</sup>和国外研究中的地震发生率处理方法<sup>[3, 5, 7]</sup>, 本文使用地震统计区和潜源的 G-R 关系<sup>[13]</sup>将地震发生率外推, 得到增加的震级档的地震年发生率。4 个试算潜源增加震级档的地震发生率如表 2 所示。由表 2 可见, 外推出的增加震级档的地震年发生率基本在  $10^{-4}$  量级, 约相当于数千年一遇的地震的年发生率。

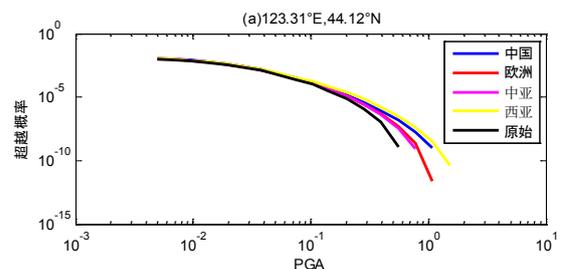
表 2 4 个试算潜源增加震级档的地震发生率

潜源编号	震级上限	增加的震级档	外推地震年发生率	本文赋值
746	5.5	5.5-6.0	$3.03 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
545	6.0	6.0-6.5	$2.44 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
562	6.5	6.5-7.0	$1.26 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
573	7.0	7.0-7.5	$3.72 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$

由于增加的震级档并无实际地震记录支持, 因此实际的该震级档地震发生率应小于基于 G-R 关系外推的地震发生率。本文假设该震级档的地震均为 1 万年一遇, 即地震年发生率都为  $1 \times 10^{-4}$ 。

#### 3.2 国内外潜源模型

试算的场点选取分别受 4 个潜源主导影响的内蒙古科左中旗(123.31°E, 44.12°N)、河北石家庄(114.46°E, 38.03°N)、河南郑州(113.62°E, 34.76°N)、河北河间(116.1°E, 38.44°N)。使用上节建立的增加一个震级档之后的地震活动性模型计算四个场点的地震动峰值加速度(PGA)的地震危险性曲线, 并分别使用美国方案、欧洲方案、西亚方案、中亚方案计算各自方案中增加震级档后的地震危险性曲线。国际方案中涉及到地震发生率外推的计算方法与 2.1 节相同。绘出各方案计算的地震危险性曲线和原始模型计算的地震危险性曲线, 如图 5 所示。



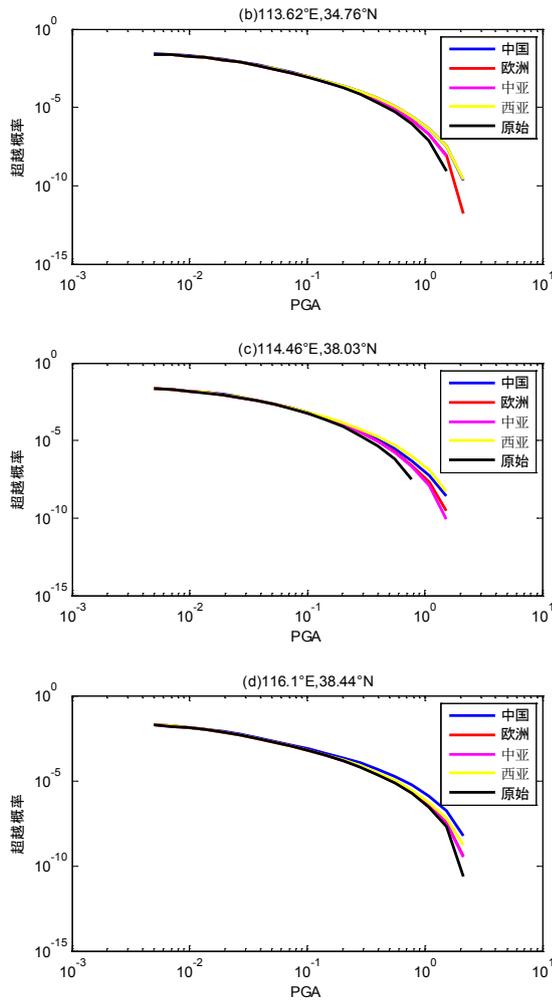


图5 不同方案计算的四个场点PGA地震危险性曲线。(a)科左中旗场点；(b)石家庄场点；(c)郑州场点；(d)河间场点

由图5可见,增加震级档后的地震危险性曲线在高超越概率处与原始模型的差别不大。在低超越概率(年超越概率低于 $10^{-5}$ )时,增加震级档计算的地震危险性大于原始模型。对科左中旗、石家庄、郑州三个场点,西亚方案对地震危险性曲线的影响最大。对河间场点,本文对五代图模型的调整方案的影响最大。

在各国模型方案的比较中,欧洲模型和中亚模型的地震危险性曲线在四个场点的结果都差别不大,都小于本文模型和西亚模型。对科左中旗、石家庄、郑州三个场点,本文方案的结果小于西亚模型,大于欧洲和中亚模型。计算结果表明,采用本文的调整方案后,对震级上限不确定性的考虑与国际上的其他研究接近,但对7级以上震级档的考虑结果大于国际其他研究。

#### 4. 结论和讨论

本文总结了国内外几项地震危险性和地震区划研究中对震级上限不确定性的考虑方法,分析了潜在震源区震级上限调整对地震危险性的影响,给出了7级以上震级档地震发生率调整的建议方案。得出的结论如下:

(1) 与国际上几项地震危险性研究相比,我国五代图潜源模型对震级上限的估计偏保守。

(2) 当潜源震级上限在5.5-6.5级时,本文的潜源震级上限调整方案对地震危险性的影响介于国际几项地震危险性研究之间,总体上是合理的。

(3) 对原7级潜源,增加的7-7.5级震级档地震发生率调整为 $10^{-5}$ 时,计算的地震危险性增量与国际上几项地震危险性研究的考虑方案接近。

本文对震级上限增加以5.5-7.0级的潜在震源区的震级上限调整进行了试算。对其他震级的调整,还需要开展更多的研究。

#### 致谢

本文使用的地震危险性模型为中国第五代地震动参数区划图模型(GB 18306-2015)<sup>[2]</sup>,使用的地震危险性计算工具为意大利全球地震模型(GEM)基金会开发的OpenQuake软件<sup>[14]</sup>。

#### 参考文献

- [1] Cornell C A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(5): 1583-1606.
- [2] 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. 2015. 中国地震动参数区划图. GB 18306-2015.
- [3] Petersen M D, Moschetti M P, Powers P M, et al. 2015. The 2014 United States national seismic hazard model. *Earthquake Spectra*, 31(S1): S1-S30.
- [4] Wheeler R L. 2009. Methods of Mmax Estimation East of the Rocky Mountains. USGS Open-File Report 2009-1018.
- [5] Giardini D, Woessne J, Danciu L. 2014. Mapping Europe's Seismic Hazard. *EOS*, 94(29): 261-268.
- [6] 地震调查研究推进本部,地震调查委员会. 2016. 全国地震动预测地图2016年版.(日文版)
- [7] Danciu L, Sesetyan K, Demircioglu M, et al. 2018. The 2014 Earthquake Model of the Middle East: seismogenic sources. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8): 3465-3496.
- [8] Zare M, Amini H, Yazdi P, et al. 2014. Recent developments of the Middle East catalog. *Journal of Seismology*, 18(4):749-772.

- [9] Ullah S, Bindi D, Pilz M, et al. 2015. Probabilistic seismic hazard assessment for Central Asia. *Annals of Geophysics*, 58(1): 0103S.
- [10] 高孟潭. 2003. 新的国家地震区划图. *地震学报*, 25(6): 630~636.
- [11] 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. *震灾防御技术*, 8(2): 113~124.
- [12] 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. *震灾防御技术*, 8(1): 11~23.
- [13] Gutenberg B, Richter C F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34(4): 185-188.
- [14] Pagani M, Monelli D, Weatherill G, et al. 2014. OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model. *Seismological Research Letters*, 85(3): 692-702.

**Open Access** This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

