

# 地震统计区地震活动性参数 $b$ 值及 $\nu_4$ 不确定性研究<sup>1</sup>

潘 华 李金臣

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要** 本文结合华北地区几个地震统计区的实例, 探讨了地震统计区的重要地震活动性参数  $b$  值和  $\nu_4$  不确定性的主要影响因素及其特征, 并研究分析了其不确定性的大小。结果表明, 地震活动性参数的不确定性主要影响因素为样本统计时段、样本处理方法、统计下限震级、高震级年平均发生率等。在郯庐地震统计区,  $b$  值变化可达 0.2 以上,  $\nu_4$  的变化可达 1.4 以上, 汾渭地震统计区的不确定性也基本相当, 河北平原地震统计区因为地震样本相对丰富, 不确定性要小许多。

**关键词:** 地震统计区  $b$  值  $\nu_4$

## 引言

在我国广泛采用的考虑地震活动时空不均匀性的概率地震危险性分析方法 (CPSHA) 中 (卢寿德, 2006), 地震统计区的  $b$  值和  $\nu_4$  是重要的地震活动性参数。地震活动性参数  $b$  值, 是指震级-累积频度关系式中的斜率。 $\nu_4$  为 4 级以上地震的年平均发生率。地震统计区内的  $b$  值和  $\nu_4$  并不是相互独立的, 它们相互关联, 共同决定了地震统计区的地震活动特征, 从而也决定了场点面临的地震危险性。这两个重要参数估计的不确定性, 将导致对地震统计区地震活动性评价的不确定性, 从而最终导致对场点地震危险性评价的不确定性。

本文将结合实际例子, 讨论可能导致  $b$  值和  $\nu_4$  不确定性的主要因素及其不确定性的大小。

## 1 地震活动性参数不确定性影响因素

### 1.1 $b$ 值的影响因素

地震统计样本对  $b$  值估计有直接的影响。在实际应用中, 回归样本的合适与否取决于以下两个方面:

(1) 是否能够反映对地震统计区未来地震活动趋势的预测。我国一些历史地震记载较悠久的地震带, 其地震活动常表现出显著活跃与相对平静时段交替出现的特征, 不同活动时段, 地震活动水平差异极大。对未来地震活动  $b$  值的估计, 在使用以往地震样本时, 要求使用与

<sup>1</sup> 中国地震局地球物理研究所论著号: 06AC2019

【收稿日期】 2006-06-05

【作者简介】 潘华, 男, 生于 1966 年。博士, 硕士研究生导师。主要研究领域: 工程地震。E-mail: panhua@126.com

预测的未来地震活动水平相当的相应历史时段的地震样本进行统计。为此,就必须合理地确定地震统计时段。

(2) 地震统计区内地震样本的分布是否反映地震统计区可能的地震发生状况。我国历史地震记载丰富,但是不同区域地震资料的分布极不平衡,有些地震带历史地震记载缺乏,地震样本对中强地震的反映明显不足;有些地震带地震样本集中于狭窄的震级域,造成样本点分布不均匀。因此,必须对地震统计区地震样本的分布状况进行分析,当样本不理想时,必须补充其它震级档样本点。通常采用的办法是利用记录较完备的小震级档样本和大震级档样本联合进行统计回归,必须对样本进行一定的处理。

因此, $b$  值的影响因素可概括为地震样本统计时段的确定和地震样本处理方法两个主要因素。

### 1.2 $\nu_4$ 的影响因素

地震统计区地震活动性参数  $\nu_4$  在地震危险性评价中具有较强的物理意义,尽管得自于历史地震的统计,但是,它必须能够反映未来工程寿命期所处地震活动时段内的地震活跃水平。理论上讲  $\nu_4$  应该根据相应时段内实际的地震数目统计得到,然而,我国 4—4 $\frac{3}{4}$  级地震只有 1970 年以后才有记录,而且历史地震的不同震级档资料完备情况也很不均衡,所以,直接统计方法无法在实际中应用。目前求取  $\nu_4$  的主要方法有以下两种:

#### (1) 直接计算

通过震级-累积频度(或年平均发生率)关系,直接计算得到  $\nu_4$ 。

#### (2) 经验调整

根据震级-累积频度(或年平均发生率)关系是对地震分布的一种近似,当出现地震危险性评价所关心的较高震级档地震年均发生率偏离计算值较大时,出于保守性原则,直接根据高震级档的年平均发生率对  $\nu_4$  进行调整。

由此可知,影响  $\nu_4$  计算结果的主要因素有:对  $b$  值有影响的各种因素同样对  $\nu_4$  也有影响。这些因素主要为:统计时段的选取及样本处理方法;高震级  $m$  档的年平均发生率实际统计值。

## 2 地震活动性参数不确定性特征

(1)  $b$  值和  $\nu_4$  彼此是不独立的, $b$  值不确定性会导致  $\nu_4$  的不确定性。因此,在分析  $b$  值和  $\nu_4$  不确定性对地震危险性的影响时,不能够将两者孤立起来分别考虑,必须联合分析它们的综合影响,否则,缺乏物理意义。

(2)  $b$  值和  $\nu_4$  都具有较强的物理意义,它们都与统计样本密切相关。不同地震统计区的地震样本差别很大,对  $b$  值和  $\nu_4$  的不确定性的影响因素及其影响程度也极其不同,因此,讨论  $b$  值和  $\nu_4$  不确定性,须结合具体地震统计区,否则,没有实际意义。

(3)  $b$  值和  $\nu_4$  的不确定性可划分为两类:一是同一样本下,因统计方法不同导致的不确定性,主要指采用直接统计、标定或联合统计等方法导致的不确定性;二是因不同样本导致的不确定性,主要是指由于时段划分不同导致的不同样本对统计结果的影响。

## 3 地震统计区 $b$ 值和 $\nu_4$ 不确定性大小的研究

### 3.1 研究思路

#### (1) 地震统计区划分方案

本文选择了《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)提供的地震统计区划分方案<sup>1</sup>。选择了华北地区的郟庐地震统计区、河北平原地震统计区和汾渭地震统计区,作为研究的具体对象。

### (2) 地震统计区 $b$ 值和 $v_4$ 影响因素分析

针对每个地震统计区地震样本的实际分布情况,分析各区  $b$  值和  $v_4$  估计中涉及到的各种主要的影响因素。

### (3) 地震统计区主要影响因素对 $b$ 值和 $v_4$ 不确定性影响

分析各影响因素的不确定性,并计算其相应的  $b$  值和  $v_4$ 。分析地震统计区各种影响因素对  $b$  值和  $v_4$  的估计值不确定性的影响。

为节省篇幅,下文仅以较典型的郟庐地震统计区为代表,对分析过程和结果进行详细的论述,其它地震统计区仅概略展示结果,相关研究可参考文献(潘华,2000)。

## 3.2 郟庐地震统计区 $b$ 值和 $v_4$ 不确定性研究

从郟庐地震统计区的  $M-T$  图上(图1),可以看到  $M_S \geq 4\frac{3}{4}$  地震自1400年以来表现出两个显著活跃的时段,与华北地区第二、第三地震活跃期相对应。大致为1477—1668年和1829年至今,期间1669—1828年是相对平静期。在前个活跃期曾发生1668年郟城  $8\frac{1}{2}$  级地震,而本活跃期地震活动比上活跃期弱很多,且尚未结束。

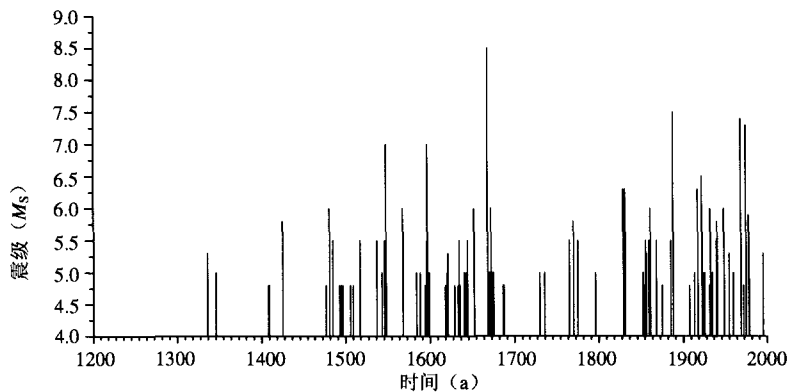


图1 郟庐地震统计区  $M-T$  图

Fig.1  $M-T$  plot of Tanlu seismic zone

(1) 统计时段 根据对实际资料的总结,现行的统计时段划分主要有3种方案,即1477年至今;1688年至今;1829年至今。从1477年至今划分是为了反映地震资料较完备时期内平均的地震活动情况;从1688年至今划分是为了反映一个完整地震活动期内地震大小分布情况;而从1829年至今划分是为了反映现在所处地震活跃期内地震大小分布情况。对郟庐地震统计区未来地震活动状况的预测,并没有统一的认识,因此,实际工作中多选择地震活动水平高于平均活动水平的时段进行统计,以满足安全性的要求。上述3个时段都是可以考虑的统计时段划分方案。本文也将这3个方案作为统计时段划分的不确定性来考虑(表1中方案1,2,3)。

1 环文林,1998. 中国及邻区地震区、带划分工作报告. 全国抗震设防区划图编制子专题工作报告.

(2) 样本处理方法 对郟庐地震统计区的地震样本分析表明, 该统计区 1400 年以来 7 级以上的地震样本基本没有缺失, 而 1400—1800 年之间 5—6.9 级地震有一定的缺失(国家地震局, 1996)。因此, 许多工作在确定地震活动性参数  $b$  值和  $v_4$  时, 采用了不同时段不同震级范围地震样本联合统计的方法。为了比较不同方法的结果对不确定性的影响, 本文针对上述 3 个时段, 分别采用联合统计方法计算  $b$  值和  $v_4$ , 以反映不确定性对地震活动性参数确定的影响。为此, 增加 3 个方案(表 1 中方案 4, 5, 6)。

(3) 不同起算震级 对于历史地震而言, 震级越大, 缺失情况会越小, 结果会越可靠。但太大的震级往往地震样本数目又难以达到统计要求。因此, 通常在  $b$  值回归时最小震级取为 5.0 级。但历史地震目录多从  $M_S \geq 4\frac{3}{4}$  开始, 这是历史地震能够确定的最小震级, 在有些历史上较为发达的地区, 这一震级的地震数目也相当可观, 有些地震带甚至超过 5 级左右地震的数目。华北地区自 1484 年以来  $4\frac{3}{4}$  级以上地震开始较为完备。因此, 在确定地震活动性参数时, 为尽可能利用历史地震资料, 增加回归样本数, 统计下限震级也可取  $4\frac{3}{4}$  级。郟庐地震带  $M_S 4\frac{3}{4}$ —4.9 级地震的数目与 5—5.4 震级档的地震数目相当, 可以作为一个样本点参与统计。因此, 新增补 3 个方案(表 1 中方案 7, 8, 9)。

(4) 经验调整 对未来趋势的预测较为关注较大地震是否能够控制住, 即对大地震的未来估计能否达到较为保守的要求, 以利于工程安全; 其次, 在相应统计时段内, 较大震级的地震一般较小地震少遗漏, 因此, 统计结果较为可靠; 再者, 较大震级的地震活动水平, 要能够代表未来该震级范围地震的活动水平。郟庐地震统计区属于中强地震较多的地震统计区, 自 1400 年以来 7 级以上地震基本不缺, 1800 年以来 5 级以上地震基本不缺, 因此, 理论计算得到的大震级档年平均发生率是否能够反映实际的地震发生状况, 是判断  $b$  值和  $v_4$  是否合理的重要依据。根据前述 1—3 方案的  $b$  值和  $v_4$ , 分别计算了 6 级以上各震级的年平均发生率  $v_m$ , 并对 6 级以上各震级档统计了实际的地震年平均发生率。经比较分析, 确定了郟庐地震统计区可以采用的标定  $v_4$  的 4 个方案(表 1 中方案 10, 11, 12, 13)。

#### (5) 综合分析

分别计算上述 13 个方案的  $b$  值和  $v_4$  值, 同时, 为了探讨不同因素对  $b$  值和  $v_4$  计算结果的影响, 对 13 个方案根据所涉及的影响因素进行相应的组合(表 2), 并对组合中各方案结果(表 3)进行比较, 从而分析该因素导致的  $b$  值和  $v_4$  的不确定性。

由表 3 可知, 组合 5—9 对  $b$  值和  $v_4$  影响最大, 说明郟庐地震统计区内不同样本处理方法对  $b$  值和  $v_4$  计算结果影响最大。对  $b$  值而言, 其次的影响因素是统计时段和下限震级; 对  $v_4$  而言, 其次的影响因素是统计时段, 然后是标定震级, 最后是下限震级。

综合考虑所有因素对  $b$  值的影响可达 0.2 以上, 而对  $v_4$  的影响, 可达 1.4 以上。这可以看作是郟庐地震统计区  $b$  值和  $v_4$  不确定性的极限变化范围。

### 3.3 河北平原及汾渭地震统计区 $b$ 值和 $v_4$ 不确定性概述

#### (1) 河北平原地震统计区

本地震统计区共确定了 9 个  $b$  值和  $v_4$  确定方案(表 4), 相应分析结果示于表 5。

由表 5 可知, 所有组合对  $b$  值和  $v_4$  的影响均很小, 与郟庐地震统计区相比,  $b$  值极差最大值小近 5 倍,  $v_4$  极差最大值小 5 倍。可见, 由于河北平原地震统计区内的地震样本较为理想, 因此,  $b$  值和  $v_4$  的统计结果较为稳定, 不确定性较小。

表 1 郟庐地震统计区地震活动性参数确定方案

Table 1 Schemes for seismicity parameters calculating in Tanlu seismic zone

方案编号	描述
1	1477—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9
2	1688—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9
3	1829—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9
4	1477—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9, 1970—1999 年, $M_S$ 3.5—4.9
5	1688—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9, 1970—1999 年, $M_S$ 3.5—4.9
6	1829—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9, 1970—1999 年, $M_S$ 3.5—4.9
7	1477—1999 年, $M_S$ 4¼—8.9
8	1688—1999 年, $M_S$ 4¼—8.9
9	1829—1999 年, $M_S$ 4¼—8.9
10	1477—1999 年, $\nu_{7.0}$ , 理论值: 0.09596; 实际值: 0.01150
11	1688—1999 年, $\nu_{7.0}$ , 理论值: 0.00745; 实际值: 0.0096
12	1829—1999 年, $\nu_{6.0}$ , 理论值: 0.05588; 实际值: 0.05880
13	1829—1999 年, $\nu_{7.0}$ , 理论值: 0.01365; 实际值: 0.01760

表 2 郟庐地震统计区各因素方案组合

Table 2 Combined schemes for different factors in Tanlu seismic zone

考察的影响因素		方案编号	组合编码
不同统计时段		1, 2, 3	1
不同下限震级	1477—1999 年	1, 7	2
	1688—1999 年	2, 8	3
	1829—1999 年	3, 9	4
	综合	1, 2, 3, 7, 8, 9	5
不同处理方法	1477—1999 年	1, 4	6
	1688—1999 年	2, 5	7
	1829—1999 年	3, 6	8
	综合	1, 2, 3, 4, 5, 6	9
不同标定方案	1477—1999 年	1, 10	10
	1688—1999 年	2, 11	11
	1829—1999 年	3, 12, 13	12
	综合	1, 2, 3, 10, 11, 12, 13	13
所有影响因素		1—13	14

表 3 郟庐地震统计区不同因素对  $b$  值和  $\nu_4$  不确定性影响Table 3 Uncertainties of  $b$  and  $\nu_4$  caused by different factors in Tanlu seismic zone

影响因素	组合编号	$b$ 值极差	$\nu_4$ 极差
统计时段	1	0.0628	0.4151
不同震级 (时段 1)	2	0.0031	0.0128
不同震级 (时段 2)	3	0.0137	0.0515
不同震级 (时段 3)	4	0.0107	0.0612
下限震级	5	0.0092	0.0418
不同方法 (时段 1)	6	0.1433	0.9548
不同方法 (时段 2)	7	0.1757	1.0904
不同方法 (时段 3)	8	0.1304	1.0281
计算方法	9	0.1498	1.0244
不同标定震级 (时段 1)	10		0.1031
不同标定震级 (时段 2)	11		0.1841
不同标定震级 (时段 3)	12		0.2738
标定震级	13		0.1870
综合影响	14	0.2385	1.4432

表 4 河北平原地震统计区  $b$  值和  $\nu_4$  计算方案

Table 4 Schemes for seismicity parameters calculating in Hebei plain seismic zone

考察的影响因素		方案编号
统计时段	1484—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9	1
	1680—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9	2
不同下限震级	1484—1999 年, $M_S$ 4¼—8.9	3
	1680—1999 年, $M_S$ 4¼—8.9	4
不同标定方案	1484—1999 年, $\nu_{6.5}$ 理论值: 0.0256; 实际值: 0.0291	5
	1484—1999 年, $\nu_{7.0}$ 理论值: 0.0115; 实际值: 0.0117	6
	1484—1999 年, $\nu_{7.5}$ 理论值: 0.0052; 实际值: 0.0058	7
	1680—1999 年, $\nu_{6.5}$ 理论值: 0.0309; 实际值: 0.0345	8
	1680—1999 年, $\nu_{7.0}$ 理论值: 0.0146; 实际值: 0.0157	9

注: 灰色的行表示该影响因素的综合影响。表 5、表 7 相同。

## (2) 汾渭地震统计区

本地震统计区确定了 9 个  $b$  值和  $v_4$  的方案 (表 6), 相应分析结果示于表 7。

表 5 河北平原地震统计区不同因素对  $b$  值和  $v_4$  不确定性影响Table 5 Uncertainties of  $b$  and  $v_4$  caused by different factors in Hebei plain seismic zone

影响因素	方案编码	$b$ 值 极差	$v_4$ 极差	方案组 合编号
统计时段	1, 2	0.0457	0.1034	1
不同震级 (时段 1)	1, 3	0.0044	0.0439	2
不同震级 (时段 2)	2, 4	0.0073	0.0621	3
下限震级	1, 2, 3, 4	0.0059	0.0530	4
不同标定震级 (时段 1)	1, 5, 6, 7		0.1930	5
不同标定震级 (时段 2)	2, 8, 9		0.1522	6
标定震级	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9		0.1726	7
综合影响	1—9	0.0457	0.2964	8

表 7 汾渭地震统计区不同因素对  $b$  值和  $v_4$  不确定性影响Table 7 Uncertainties of  $b$  and  $v_4$  caused by different factors in Fenwei seismic zone

影响因素	方案编码	$b$ 值 极差	$v_4$ 极差	组合 编号
统计时段	1, 2	0.0961	0.0403	1
不同方法 (时段 1)	1, 3	0.0871	0.5659	2
不同方法 (时段 2)	2, 4	0.0853	0.5743	3
计算方法	1, 2, 3	0.0862	0.5701	4
不同标定震级 (时段 1)	1, 5, 6, 9		0.1641	5
不同标定震级 (时段 2)	2, 7, 8		0.3141	6
标定震级	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9		0.2391	7
综合影响	1—9	0.1831	0.6146	8

表 6  $b$  值和  $v_4$  计算方案

Table 6 Schemes for seismicity parameters calculating in Fenwei seismic zone

考察的影响因素		方案 编号
统计时段	1487—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9	1
	1487—1720 年, $M_S$ 5.0—8.9	2
不同样本 处理方法	1487—1999 年, $M_S$ 5.0—8.9	3
	1970—1999 年, $M_S$ 3.5—4.9	
	1487—1720 年, $M_S$ 5.0—8.9	4
不同标定 方案	1970—1999 年, $M_S$ 3.5—4.9	5
	1487—1999 年, $v_{6.5}$ 理论值: 0.0182 实际值: 0.0215	
	1487—1999 年, $v_{7.0}$ 理论值: 0.0087 实际值: 0.0097	6
	1487—1720 年, $v_{6.5}$ 理论值: 0.0334 实际值: 0.0472	7
	1680—1999 年, $v_{7.0}$ 理论值: 0.0179 实际值: 0.0215	8
	(由 1487—1999 年时段的 $b$ 值得 4 级以上地震数) / (1487 年以来两 个活跃时段 1487—1720 年, 1815 —1999 年包含的时段长度) = $v_4$	9

从表 7 中可知, 汾渭地震统计区, 所有组合对  $b$  值和  $v_4$  的影响与郟庐地震统计区相比, 基本相当, 影响较大。

## 4 结论

上述分析结果表明:

(1)  $b$  值和  $v_4$  是不独立的, 因此, 应联合研究其不确定性表现。

(2) 地震安全性评价工作中, 影响  $b$  值和  $v_4$  的主要因素有地震样本统计时段的划分、地震样本的下限震级大小、地震样本的处理使用方法、以及  $v_4$  标定使用的震级。

(3) 不同地震统计区  $b$  值和  $v_4$  影响因素不同, 如表 8 所示。

表 8 不同地震统计区影响因素分布

Table 8 A list of effective factors in different seismic zones

地震统计区	样本统计时段	样本下限震级	样本处理方法	标定震级
郟庐地震统计区	√	√	√	√
河北平原地震统计区	√	√	×	√
汾渭地震统计区	√	×	√	√

(4) 同一因素的影响程度在不同地震统计区不同, 表 9 所示为地震样本统计时段划分的影响在不同地震统计区的表现, 可以看到该因素在不同地震统计区影响上的差异。

(5) 华北地区 3 个主要的地震统计区, 所有因素综合影响下的  $b$  值和  $\nu_4$  极差值, 列于表 10 中, 它反映了华北地区  $b$  值极差和  $\nu_4$  的最大变化幅度, 不同区相差有时是较大的。

表 9 不同地震统计区样本统计时段导致的  $b$  值和  $\nu_4$  极差Table 9 The maximum value of changes of  $b$  and  $\nu_4$  caused by statistical period of samples

地震统计区	$b$ 值极差值	$\nu_4$ 极差值
郟庐地震统计区	0.06	0.42
河北平原地震统计区	0.05	0.10
汾渭地震统计区	0.10	0.04

表 10 各地震统计区  $b$  值和  $\nu_4$  综合影响极差值分布Table 10 Maximum value of uncertainty in  $b$  and  $\nu_4$ 

地震统计区	$b$ 值极差值	$\nu_4$ 极差值
郟庐地震统计区	0.24	1.44
河北平原地震统计区	0.05	0.30
汾渭地震统计区	0.18	0.61

## 参考文献

- 卢寿德主编, 2006.《工程场地地震安全性评价 GB17741-2005》宣贯教材, 中国标准出版社.  
 国家地震局, 1996. 中国地震烈度区划(1990)概论. 北京: 地震出版社.  
 潘华, 2000. 概率地震危险性分析中参数不确定性研究. 中国地震局地球物理研究所博士论文.

## Study on Uncertainties of Seismicity Parameters $b$ and $\nu_4$ in Seismic Statistical Zones

Pan Hua and Li Jinchun

(Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract** For several seismic statistical zones in North China, the key factors causing the uncertainty of important seismicity parameters  $b$  and  $\nu_4$  and the features of their uncertainty are discussed in this paper. The effect degree of uncertainty is also analyzed. It can be seen that the key influencing factors are statistical period, methods of processing statistic samples, lower limit magnitude and annual average occurrence ratio of large earthquakes. The variation ranges of  $b$  and  $\nu_4$  in Tanlu seismic zone are as high as 0.2 and 1.4 respectively, which is similar as that in Fenwei seismic zone. In Hebei plain seismic zone, however, the variation is much smaller because of the sufficient statistic samples.

**Key words:** Seismic statistical zone;  $b$  value;  $\nu_4$