

基于历史地震史料记载的 地震危险性分析方法¹

齐玉妍 金学申

(河北省地震局, 石家庄 050021)

摘要 现行的地震危险性分析方法是经过潜在震源区划分、地震活动性参数和衰减关系的确定, 以及基岩地震动参数的计算而作为基础资料的历史强震目录, 同时也是通过历史地震记载的分析得到的。然而, 在其每一个环节都存在不确定性, 而现有的不确定校正很难达到满意的程度。本文设想仅仅利用历史地震的史料记载, 依据最大似然法, 计算场地的各不同年份不同超越概率的地震危险性。以怀来、河间、唐山、承德、宁晋、石家庄为例, 并仅仅以这些场地的历史记载为依据, 不考虑推测的影响烈度, 计算这些场地的危险性分析结果, 并与中国地震烈度区划图(1990)的结果进行比较, 由此来说明本方法具有一定的可利用性。

关键词: 历史地震 史料记载 地震危险性分析方法

引言

自概率地震危险性方法(PSHA)得到广泛应用以来, 许多工程地震研究人员对概率地震危险性方法的各个环节中存在的不确定性进行了大量的研究。McGuire(1981)是较早对不确定性进行研究的学者之一, 他曾对PSHA中模型和参数的不确定性进行了研究, 提出了一种估计模型和参数中统计值不确定性的方法。Bender(1986)研究了潜在震源区边界的不确定性对场点地震危险评价结果的影响。丁韞玉等(1991)曾采用敏感性分析方法对潜在震源区范围、震级上限及 β 等地震活动参数的不确定性对结果的影响进行了研究。朱莉等(1986)也采用敏感性方法研究了震源区划分、震级上限、年平均发生率等参数对地震危险性分析结果的影响及其修正方法。高孟潭(1984)研究了年平均发生率的不确定性, 而鄢家全等(1996)对地震活动性参数 b 值和年平均发生率的不确定性及其对地震危险性结果的影响也进行了较为细致的研究。上述研究的共同认识是, 在PSHA中的各个环节都有不确定性发

1 基金项目 本文得到地震行业科研专项“历史地震资料补遗、可靠性及工程应用研究”(编号: 200708048)和科技部支撑项目(编号: 2006Bac13b01)资助

[收稿日期] 2009-03-27

[作者简介] 齐玉妍, 女, 生于1981年。2008年获得河北大学研究生学历, 现为助工。主要研究领域: 地震区划、历史地震和地震活动性。E-mail: qiyuyan@yahoo.cn

生, 其中地震活动性参数的不确定性是较大的, 它对场点结果的影响是不容忽视的。

针对这样的结果, 本文设想从减少地震危险性分析的环节入手来减少结果的不确定性。为此, 本文直接从编目的基础资料——历史文献中的地震记载入手, 应用最大似然法, 得到了研究区或场点概率性地震危险性方法的结果。由于研究环节的减少, 其不确定性也因此减少。

1 最大似然法

假定地震发生过程为泊松过程(金学申, 1994), 则在 t 时间段内最大地震小于给定震级 x 的概率为:

$$G(x/t) = P_r(X \leq x) = \exp \left[-v_0 t \left(\frac{A_2 - A(x)}{A_2 - A_{10}} \right) \right] \quad (1)$$

式中, $A_{10} = \exp(-\beta m_0)$, m_0 为目录的起始震级; $A_2 = \exp(-\beta m_{\max})$, m_{\max} 为最大震级; $A(x) = \exp(-\beta x)$; v_0 为年平均发生率。

假定由历史地震目录, 从 $T = (t_1, t_2, \dots, t_{n_0})$ 个时间间隔中选取其中的最大地震 $X_0 = (x_{01}, \dots, x_{0n})$, 那么, 地震活动性参数 $\theta = (\beta, \lambda)$ 的最大似然函数为:

$$L_0(\theta/X_0) = \prod_{i=1}^{n_0} g(x_{0i}, t_i/\theta) \quad (2)$$

$g(x, t/\theta)$ 是密度函数, 它的形式为:

$$g(x, t/\theta) = v_0 t \frac{A_2 - A(x)}{A_{10} - A_2} + \ln \frac{v_0 \beta t}{A_{10} - A_2} - \beta x \quad (3)$$

假定现今中小地震目录可分为若干个震级下限与持续时间不同的子目录, 每个子目录的震级下限为 $m_i (i=1, \dots, l)$, 它们的持续时间为 $T_i, i=1, \dots, l$; $T_i = T_{ie} - T_{ib}$, T_{ib} 为第 i 时间段的起始时间, T_{ie} 为第 i 时间段的结束时间, 如以“年”为单位, 本方法并不要求 $T_{ie} = T_{(i+1)b} - 1$, 即并不要求上一子目录的结束时间与下一子目录的开始时间之间不能存在时间“空区”, 这样灵活的条件使资料的选择具有广泛的适用性。

令数组 $\langle X_i \rangle$ 为:

$$\langle X_i \rangle = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_i}) \quad i=1, \dots, l$$

它是从第 i 个子目录中得到的震级数组, 根据定义, $x_{ij} \geq m_i$, m_i 为第 i 个子目录的震级下限, $j=1, \dots, n_i$; n_i 为第 i 个子目录的地震数。

每个子目录的最大似然函数 θ 可写为两个函数之积:

$$L_i(\theta/X_i) = L_{i\beta} \cdot L_{i\lambda}$$

β 的似然函数 $L_{i\beta}$ 在假定震级 x 是一随机变量, 并在遵从古登堡-里希特分布的条件下可写为 (Rao, 1973):

$$L_{i\beta} = \beta^{n_i} \exp(-\beta \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}) / (A_{1i} - A_2)^{n_i} \quad (4)$$

其中

$$A_{1i} = \exp(-\beta m_i) \quad i=1, \dots, l$$

假定单位时间的地震数是一随机变量, $L_{i\lambda}$ 可写为:

$$L_{i\lambda} = C_i [\exp(-v_i T_i)] (v_i T_i)^{n_i} \quad (5)$$

其中, C_i 为常数, $i=1, \dots, l$, 于是有:

$$L(\theta / X) = \sum_{i=0}^l L_i(\theta / X_i)$$

令 $\partial \ln L(\theta / X) / \partial \lambda = 0$ 和 $\partial \ln L(\theta / X) / \partial \beta = 0$ 和 $\partial \ln L(\theta / X) / \partial \beta = 0$
得到

$$1/\lambda = \phi_1^E + \phi^C \quad (6a)$$

$$1/\beta = X - \phi_2^E - \phi_2 + \lambda(\phi_3^E + \phi_3^C) \quad (6b)$$

其中,

$$\begin{aligned} \phi_1^E &= r_0 B_1 \quad \phi_2^E = r_0 E(m_0, m_{\max}) \quad \phi_3^E = r_0 B_2 + \phi_2^E B_1 \\ \phi_1 &= \sum_{i=1}^l T_i C_i / n \quad \phi_2 = \sum_{i=1}^l r_i [E(m_i, m_{\max}) + D_i / C_i] \quad \phi_3 = \sum_{i=1}^l D_i T_i / n \end{aligned}$$

$$n = \sum_{i=0}^l n_i \quad r_i = n_i / n$$

$$B_1 = (\langle t \rangle A_2 - \langle tA \rangle) / (A_2 - A_1)$$

$$B_2 = (\langle tX_0 A \rangle - \langle t \rangle m_{\max} A_2) / (A_2 - A_1)$$

$$C_i = 1 - F(m_i)$$

$$F(m_i) = [A_1 - A(m_i)] / (A_1 - A_2) \quad i = 1, \dots, l$$

$$D_i = E(m_{\min}, m_i) - E(m_{\min}, m_{\max}) F(m_i)$$

$$E(x, y) = [xA(x) - yA(y)] / [A(x) - A_2]$$

$$\langle t \rangle = \sum_{i=1}^{n_0} t_i / n_0 \quad \langle tA \rangle = \sum_{i=1}^{n_0} t_i \cdot A(X_{0i}) / n_0$$

$$\langle tx_0 A \rangle = \sum_{i=1}^{n_0} t_i \square X_{0i} \square A(X_{0i}) / n_0$$

如果 $l=1$, $r_0=0$ ($n_0=0$), 这意味着仅考虑现今中小地震目录, 而这种目录的精度都认为是一样的。于是, 式 (6) 可变为:

$$1/\lambda = T/n \quad 7(a)$$

$$1/\beta = X - (m_{\max} A_2 - m_{\min} A_1) / (A_2 - A_1) \quad 7(b)$$

如果 $m_{\max} \rightarrow \infty$, 则 $1/\beta = \bar{X} - m_{\min}$, 这与 Aki (1965) 和 Utsu (1965) 得到的公式相同。如果 $r_0 = 1$, $n_i = 0$ ($i = 1, \dots, l$), 这表示仅由历史地震目录来确定各种参数, 则式 (6) 可变为:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\langle t \rangle A_2 - \langle tA \rangle}{A_2 - A_1} \quad 8(a)$$

$$\frac{1}{\beta} = \bar{X} - \frac{\langle tx_0 A \rangle - \langle t \rangle A_2 m_{\max}}{\langle tA \rangle - \langle t \rangle A_2} \quad 8(b)$$

需要指出的是, 应用上式时, 各时间段的最大震级可以从不相同的时间间隔中取得。

从式 8 (b) 不能得到 m_{\max} , 为了求最大震级, 需引入方程:

$$E(x_{\max} / T) = m_{\max} - \frac{E_1(TZ_2) - E_1(TZ_1)}{\beta \exp(-TZ_2)} - m_{\min} \exp(-\lambda T) \quad (9)$$

其中

$$Z_i = \lambda A_i / (A_2 - A_1) \quad i = 1, 2$$

$$T = \sum_{i=1}^{n_0} t_i + \sum_{i=1}^l T_i$$

$$E_1(Z) = \int_z^{\infty} \exp(-\xi) / \xi d\xi \quad E(x_{\max}/T) = x_{\max}$$

x_{\max} 是观测到的最大震级。

式 (9) 与式 (8) 组成一组迭代方程, 先以观测到的最大震级带入式 (8), 求得 m_{\max} , 然后再带入式 (9) 进行计算, 经过数次迭代, 可求得 λ , β 和 m_{\max} 。

在迭代过程中, 考虑了参数的标准误差, λ 和 β 的标准误差可由 $\hat{\theta} = (\lambda, \beta)$ 的协方差矩阵得到:

$$D(\hat{\theta}) = A^{-1}$$

$$A\{a_{ij}\} = \partial^2 \ln L / \partial \theta_i \partial \theta_j (\theta = \hat{\theta}) \quad i, j = 1, 2; \quad \theta_1 = \beta \quad \theta_2 = \lambda$$

为了分析组成资料的各部分对结果的贡献, 通过定义预期的信息量矩阵 (Edwards, 1972), 如:

$$L_{ij} = \frac{\partial^2 \ln L(\theta/X)}{\partial \theta_i \partial \theta_j} \Big|_{\theta=0}$$

则各个目录提供的信息量对结果的贡献比为:

$$\frac{\partial^2 \ln L_k(\theta/X)}{\partial \theta_i^2} \Big|_{\theta=\hat{\theta}} / \frac{\partial^2 \ln L(\theta/X)}{\partial \theta_i^2} \Big|_{\theta=\hat{\theta}} \quad i = 1, 2; \quad k = 0, 1, \dots, l$$

2 历史文献记载与烈度的确定以及其不确定性描述

2.1 历史文献记载与烈度的确定

在进行计算时, 本文用烈度值替代地震震级。对于历史文献记载与烈度值的对应关系, 李善邦 (1981) 认为对历史地震的烈度评定难以用普通烈度表为标准来评定烈度, 这是因为历史文献所记载的地震情况和描述辞句不是烈度表上的术语, 因此, 有必要采用记载上惯用的事项及语句, 另编一种适用的烈度表作为评定标准。他提出了一个历史地震烈度鉴定表, 如表 1 所示。

表 1 历史地震烈度鉴定表

Table 1 Checkup table for historical earthquake intensity determination

烈 度	地 震 情 况				
	1	2	3	4	5
VII±	损城垛门楼, 伤墙垣。	官民庐舍有损坏, 村居多坏。	黄土崖崩, 陡坎泥滑。	软湿之地有裂缝, 间有出水。	有死伤
VIII±	城郭、边墙部分坏, 墙垣多倾。坏沟渠、桥梁、欹石碑、坊、塔。	寺庙、仓库震坏, 或部分倒塌, 公廨、民房大半倾圮、树木摧折	山石崩坠、山岗山脚裂颓	平地裂缝涌沙水, 斜坡、路面裂, 冒新泉, 涸老泉	多死伤
IX—X	城垣、墩台大半坏, 塔身裂, 塔顶坠, 碑、坊倾倒, 石柱震裂, 桥梁破坏。	官民庐舍倾坏、寺庙、仓库亦多倒塌。	山崩崖裂, 道路阻塞, 堵河为湖, 甚至山移谷裂。	地大裂涌沙泥, 冒大水成渠; 边坡、河岸裂缝纵横, 绵延成带, 地面陷落、隆起、坍塌。温泉水涸或充溢。	死伤甚多
≥X	大毁坏	倒塌殆尽	普遍山崩或滑坡, 甚或高山为谷, 深谷为陵。道路河流阻塞。	地裂成渠, 大量涌水及沙泥, 毁坏田地。	死伤无数

注: 1 为大型建筑物破坏; 2 为普通民用房屋破坏; 3 为山崩滑坡; 4 为地坼裂; 5 为人员伤亡。

对于VI度及VI度以下的烈度确定，迄今没有统一的表述，为简单起见本文进行了以下的规定：

文献记载为地震并且无其他描述的，其烈度定为IV度；

文献记载为地震并且有其他描述的（如地震有声等），其烈度定为V度；

文献记载为地震并且有包括建筑物轻微或中等损坏的其他描述的，其烈度定为VI度。

2.2 烈度误差描述

(1) 地震史料分布的时间不均匀性

我国地震史料在时间上大概可分为3个阶段：

第一阶段：元及元以前时期。资料主要出自历朝正史，其中公元1世纪前，一般每100年都在20次以下；自公元2世纪起至元代，一般每年不超过100次。

第二阶段：明-清晚期（1870年）。资料主要取自地方志和正史，每100年的地震事件在600—1500次之间，自15世纪至19世纪的每100年的平均数是2世纪至13世纪每100年平均数的20多倍。

第三阶段：清晚期至民国时期。资料来源多样，除地方志外，也有报纸、私人著作、观测报告等，时间虽然只有80年，记录的地震事件高达2000余次（刘昌森，1993）。表2和表3给出了中国各历史时期和各世纪的地震数量。

表2 中国各历史时期地震数量分布

Table 2 Number of historical earthquake records at different Chinese history periods

时期	秦及秦以前	汉-三国	两晋-南北朝	隋-唐-五代	宋	元	明	清	民国
次数	17	132	220	156	209	159	2663	3838	1426

表3 中国各世纪地震数量分布

Table 3 Number of historical earthquake records in different centuries of China

公元世纪	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4
次数	2	0	0	0	1	1	4	2	0	4	14	20	11	71	52	62
公元世纪	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
次数	73	52	32	52	37	43	92	66	56	223	582	1298	1467	875	1840	

可见，各个时期记录的地震事件数呈台阶式递增，随着时间的推移，记载的丰富程度大为增加。我国地震史料时间跨度虽然有4000余年，但记录比较完整的仅500多年，早期地震大量缺失。从现在掌握的各世纪震级分布情况可以看出，我国 $M \geq 7\frac{1}{2}$ 级地震几乎都分布在14世纪以后，在20世纪就发生了16次，其中 $M \geq 8$ 级的地震就发生了5次。而在14世纪前，只有180年的甘肃表氏及512年的山西原平代县间发生过。显然，有些特大地震或因发生在海里或在山区而遗漏，或因记载的语意不详而无法给出确切参数，同时，我们也认为不排除早期的地震震级定得过于保守，以致造成前后两个时期不协调的现象。如1185年6月15日的福建漳州 $6\frac{1}{2}$ 级地震，正史仅记福州地震，当时的临安府（今杭州）记的是6月14日地震，如果没有找到赵汝愚的奏议，很可能就处理为2次有感地震。又如，两汉时期，特

别是在东汉时期地震频繁,常波及到数十郡国,但是只因郡国名称不确切,无法给出参数,所以,并不是在那些历史时期无特大地震发生。因此,不同时期的“地震”的描述是不能等量齐观的。

(2) 地震史料分布的空间不均匀性

我国地震史料大部分集中在东部地区,而近代仪器记录却西部比东部多。以 20 世纪青海为例, $M \geq 7$ 级地震的年发生率为 0.044; $M \geq 6$ 级地震的年发生率为 0.238; $M \geq 5$ 级地震的年发生率为 0.554。而 20 世纪 60 年代前,青海留下的文字记载仅 6 次,3 次为本省地震,另外 3 次为甘肃 $M \geq 6^{3/4}$ 级地震对青海的波及,连 1947 年 3 月 17 日达日西北的 7.7 级地震也未留下只言片语。另外,对历史文献中描述的“地震”、“地大震”,在确定其烈度时,不同的地区是不一样的。如在华北地区、长江中下游、陕西渭河流域、四川盆地、东南沿海等,在清代晚期,由于报纸、杂志和私人著作大量出现,一般可作 III 度—IV 度和 IV 度—V 度来处理,而对西部或地震高发地区(如台湾),所记载的“地大震”可能就是 1 次大震的记载。

为了处理地震史料分布的时空不均匀性,在应用这些资料时,对确定的烈度误差作了如下规定:

(1) 对 14 世纪以前的地震记载,其烈度的确定仍按前述的规定确定,但其烈度误差定为 1° ; 而 14 世纪后的地震,其误差定为 0.5° 。

(2) 对经度 105° 以西的历史地震,其烈度误差定为 1° ; 而对经度 105° 以东的地震,其误差定为 0.5° 。

本文设想通过误差的不同,来描述地震史料分布的不确定性。

3 算例

本文以河北省的某些城市为例,来说明本方法的可行性。

3.1 怀来和河间的历史地震文献记载

在表 4 和表 5 中,给出了怀来和河间的历史地震文献记载和由地震记载确定的烈度。

表 4 河间地震一览表

Table 4 List of records for Hejian earthquakes

发震时间	地点	记载内容	对应烈度	备注
1004.05.23	瀛洲(今河间)	四月己卯夜,瀛洲地震	4	
1068.08.20	瀛洲(今河间)	河北地大震,坏城郭屋室,瀛洲为甚。是日再震,大雨,公私暴露,仓储库积,无所覆冒。	7	
1068.12.23	瀛洲(今河间)	①沧地震,坏城郭帑庾。寿朋(人名)以席为屋,督吏案缮葺,未数月,复其归。②伏以自河以北,坤载不宁。敷置净筵,以祈后福。③大雨地震,官舍民庐推陷。④地震城圯,安抚使李肃之筑,即今制。	6	
1069.01.06	瀛洲(今河间)	瀛洲地大震	5	
1144.08.16	河间府(今河间)	①雨雹三日不止,人皆哀之。②风雹雨雪,咫尺不相睹,(河间)城郭内外,地皆震裂,数日不已。	6	
明 代				
1511.12.11	河间府(今河间)	有声如雷,动摇居民房屋。	5	
1526 年春	河间府(今河间)	地震。	4	

续表

发震时间	地 点	记 载 内 容	对应烈度	备 注
明 代				
1624.02.01	河间府（今河间）	寅时初刻地震，自西北乾地起，连震二次，向东南巽地而去，又至本时末刻，复微震动二次，亦自西北向东南而去。	5	
1624.04.17	河间府（今河间）	北京地震，自西北至东南，有声如雷，未、申时又震二次。	5	
1626.06.28	河间府（今河间）	京师地震，轰然有声；河间、天津卫，同时亦震，宣大同日震。	4	
1626.09.26	河间府 （治河间，今河间）	六年地震。	4	
1628.10.07	河间府 （治河间，今河间）	子刻地震	4	
1668.07.25	河间府	夜地大震，房屋倒坏，人有震死者	7	
1679.09.02		地震有声如雷，震倒学宫官舍民房甚多。	6	
1966.03.08	隆尧东：河间	全县 40 多万人均感觉震动，门窗作响，悬挂物摇晃，屋内落尘土。城内一栋二层楼房墙垛裂缝，塌落，缝宽 3—6cm，长 2m。	6	
1966.03.20	巨鹿西北：河间	全县以中部和南部房屋破坏为重，特别是南部的西九吉公社。倒房 195 间，破坏 449 间，损坏 1124 间。全县重伤 1 人，轻伤 3 人。	7	
1967.03.27	河间、大城	极震区内震害程度不一，大城县西南部西留庄各公社和王权庄公社所属的几个村庄，任丘、河间两县交界处的任丘县北汉公社和河间县诗经公社所属的几个村以及坝县信安、胜芳和永清县刘长公社最重。	8	
1973.12.31	河间东	极震区：西起河间县米格庄公社以西，南到沙河桥、景和、杜生一线以北，东到里塔、白塔、崇仙公社以东，北界在西留各庄、南张寨以北，呈椭圆形，长轴为东西向。区内房屋裂缝、落瓦、落灰现象较普遍。电灯摇动，房屋及门窗作响，悬挂物摇摆，器皿内水泼出，立柜门自动开关。群众听到很大响声，并感到强烈上下颠动，大部分人跑出屋外。	6	
1976.07.28	河间	全县倒房 5737 间，严重损坏 1242 间。	7	

表 5 怀来地震一览表

Table 5 List of records for Huailai earthquakes

发震时间	地 点	记 载 内 容	对应烈度	备 注
294.03.14	上谷郡（治沮阳，今怀来东南）	上谷、上庸、辽东地震	4	
1337.09.16	怀来	京城地震，自夜达旦，连日不定。太庙前殿一室墙圯，神灵震惊，其余廡民居间有毁塌。盖京师天子所属，宗庙社稷所在，是以民心皇皇，上下忧恐。	8	
1399.09.08	怀来所（今怀来东南旧怀来）	地震	4	
1449.02.02—03.03	怀来卫（今怀来东南旧怀来）	屡震	4	
1483.04.16—05.15	怀来卫（今怀来东南旧怀来）	地震	4	
1493	怀来卫（今怀来东南，旧怀来）	有声如雷如鼓，或摇动房屋树木，多至四五次	5	
1495.05.04	怀来卫（今怀来东南，旧怀来）	宣府怀来卫地震有声	5	
1495.09.07	怀来卫（今怀来东南，旧怀来）	宣府怀来卫地震	4	
1495.09.18	怀来卫（今怀来东南，旧怀来）	宣府怀来卫地复震	4	
1497.07.12	怀来卫（今怀来东南，旧怀来）	甲戌，宣府怀来卫地震	4	
1502.10.14	怀来卫	宣府怀来卫及隆庆右卫俱地震有声	5	

续表

发震时间	地 点	记 载 内 容	对应烈度	备 注
1505.03.16	怀来卫 (今怀来东南, 旧怀来)	春二月地震	4	
1511.09.26	怀来卫 (今怀来东南, 旧怀来)	有声如雷, 动摇居民房屋	5	
1512.12.31	怀来卫、隆庆右卫 (今怀来东南旧怀来)	直隶怀来卫、隆庆右卫各地震有声	5	
1513.04.15	怀来卫 (今怀来东南, 旧怀来)	怀来卫地震	4	
1516.01.28	怀来卫 (今怀来东南, 旧怀来)	怀来卫地震	4	
1517.01.17	怀来卫 (今怀来东南, 旧怀来)	宣府怀来卫地震	4	
1520.10.21	怀来卫 (今怀来)	地震	4	
1524.05.13	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1531.06.25—07.23	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1533.02.14	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震如雷	5	
1533.09.28—10.27	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1545.01.23	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1557.07.06	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1612.02.19	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1616.10.10	怀来卫 (今怀来旧怀来) 土木堡 (今怀来土木)	前得怀来城八月晦日戊辰地震之报, 已为可异, 不谓九月初八日接怀来道详文, 又有本月初三日辛未、初六日甲戌复于各处原动地方连震之至再且三, ……今自念八至初六仅九日, 而地震者四, ……东路怀来、延庆、柳沟、土木及下北路、滴水各处, 连州俱动, 而且不止。	6	
1616.10.13	怀来卫	巳时, 中日黑光一道, 直射南山, 至次日丑时, 地震若雷, 山腰轰动, 堵墙毁折, 变出非常。	6	
1621.05.31	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1626.07.06	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震如雷, 坏民物。自此日日微动, 月余方至	6	
1637.02.20	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	申时, 忽然地震, 从正西方至东南一带, 墙屋俱动, 微闻有声。	5	
1661.10.23	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震有声	5	
1662.12.31	直隶卫 (今怀来东南旧怀来)	地震有声	5	
1664.03.28	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震有声	5	
1664.03.29	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1678.08.17—09.15	怀来卫 (今怀来东南旧怀来)	地震	4	
1719.08.31	直隶卫 (今怀来东南旧怀来)	怀来地震, 八月复震, 民居倾倒无数。	8	
1720.07.25	怀来 (今怀来东南旧怀来)	怀来县广慈寺大门、二门、大殿、两边配殿、僧人所住房舍、以及周围庙墙, 均行倒塌或炸裂等语, 将此咨行京师。	9	
1746.07.29	怀来 (今怀来东南旧怀来)	戌刻地中微动即止, 城乡人民亦有未及知觉者, 并无摇撼民居损坏墙垣之事, 居民相安。	4	
1935.12.31	怀来	怀来县一带地震, 闻隆隆二响, 凡在室内静坐者, 均有感觉, 墙壁门窗亦稍现动摇, 为时约二秒许。	5	

续表

发震时间	地 点	记 载 内 容	对应烈度	备 注
1937	怀来	地震, 房屋损坏, 人畜伤	6	
1965.05.07	怀来附近	暖泉公社及所属之夹河、沙营一带, 土搁梁房屋墙壁普遍裂缝, 个别老旧牲畜厩倒塌, 个别房屋墙壁严重倾斜。砖石山墙裂缝, 砖包土坯墙砖皮倒塌。黄土陡坎多崩塌, 陡坎边有裂缝。	6	
1966.03.08	隆尧东	怀来: 许多人感觉震动, 有声, 如坐小舟, 门窗发响, 悬挂物摆动, 屋顶尘土下落。	5	
1967.07.28	怀来东北	位于阴山山系与太行山系交汇处的怀来、延庆断陷盆地内。地震发生在地形较为复杂的山区, 有基岩和各种松散。震区房屋一般都是结构较好的木架土坯房。自怀来的甘泉庄经瓦房子、大海陀到延庆的海沟, 呈北东方向的带状分布, 长约 33km, 宽约 5km。这一带破坏较重。房屋普遍掉土或掉瓦, 房墙裂缝较多, 有的地方倒 2—3 堵墙。山石滚落, 土崖崩落。	6	
1976.07.28		怀来: 全县倒房 126 间, 破坏 3606 间, 轻微损坏 2285 间, 倒院墙 24 堵, 窑洞 100 余孔。县城房屋裂缝。	7	

3.2 计算结果

依据上面给出的怀来和河间的历史文献记载结果, 计算了这 2 个城市的地震危险性。图 1 和图 2 给出了 1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果。

而在图 3、图 4、图 5、图 6 给出了唐山、承德、宁晋、石家庄等城市依据相同的思路得到的 1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果, 为了便于比较, 在表 6 给出了这 6 个城市 50 年超越概率 10% 的值, 并同时给出了地震烈度区划图 (河北省地震局, 1990) 给出的这几个城市的结果。

表 6 各城市计算得到的 50 年超越概率 10% 的烈度值与烈度区划图结果的比较

Table 6 Comparison of our results to that from seismic zonation map of China (exceeding probability of 10% for 50 years)

城 市	怀 来	河 间	唐 山	承 德	宁 晋	石 家 庄
本方法结果	7.3	6.6	6.9 (8.9)	4.8	6.6 (8.1)	5.8
区划图结果	8	7	8	6	8	6

注: 括号里的数字是考虑唐山地震和邢台地震的结果。

4 不确定性分析

在应用本方法进行计算时, 主要的误差来自历史文献的记载推算的烈度误差, 为了研究由这样的误差所造成结果变化的大小, 进行了如下几种计算:

计算方案 1: 14 世纪以前的误差为 1° , 其后的误差为 0.5° ;

计算方案 2: 全部烈度值的误差都为 1° ;

计算方案 3: 全部烈度值的误差都为 0.5° 。

表 7 给出了这 3 种计算的结果, 从结果可以看出, 不同方案的误差不大于 1° 。

表 7 各城市各计算方案得到的 50 年超越概率 10% 的烈度值的比较

Table 7 Comparison of the results obtained from 3 schemes in different cities

城 市	怀 来	河 间	唐 山	承 德	宁 晋	石 家 庄
计算方案 1	7.3	6.6	6.9 (8.9)	4.8	6.6 (8.1)	5.8
计算方案 2	7.0	6.5	6.7 (8.2)	4.7	6.4	5.6
计算方案 3	7.5	6.9	7.3 (9.2)	5.4	6.9	6.4

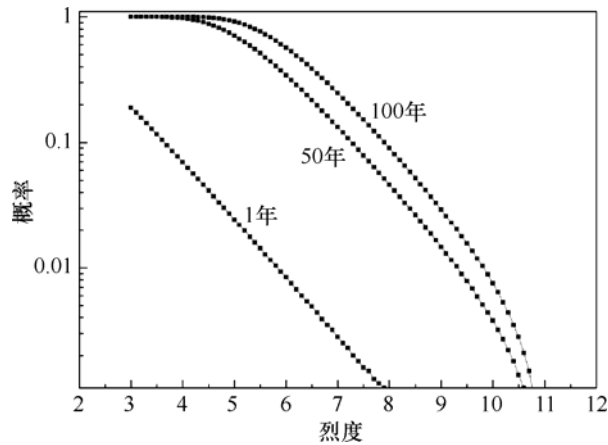


图 1 怀来 1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.1 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Huailai area

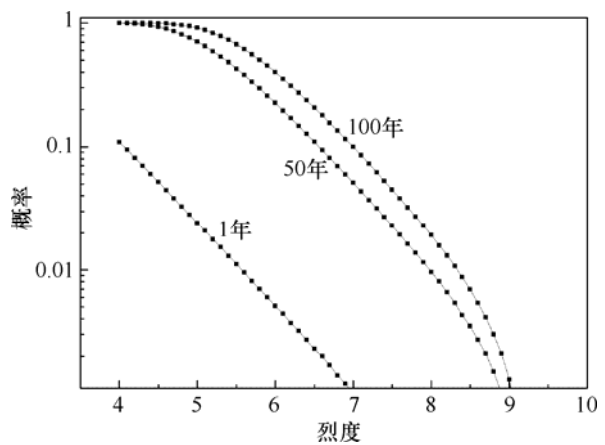


图 2 河间 1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.2 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Hejian area

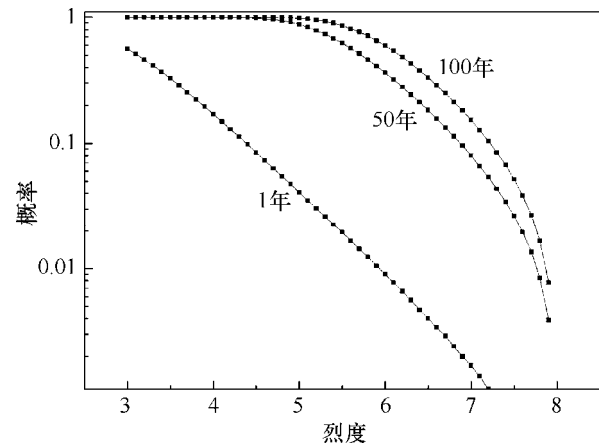


图 3 唐山 1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.3 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Tangshan area

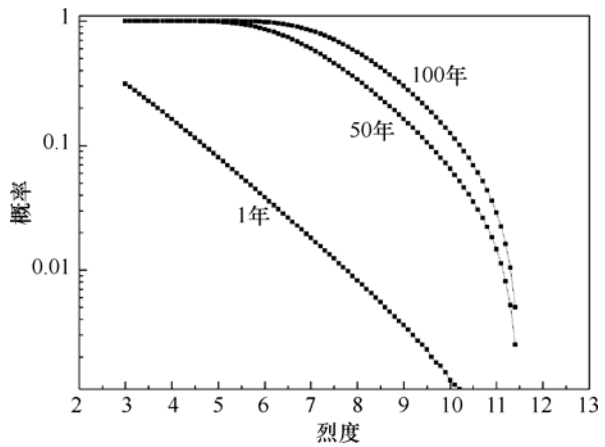


图 4 唐山（包括唐山地震）1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.4 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Tangshan area (including Tangshan earthquake)

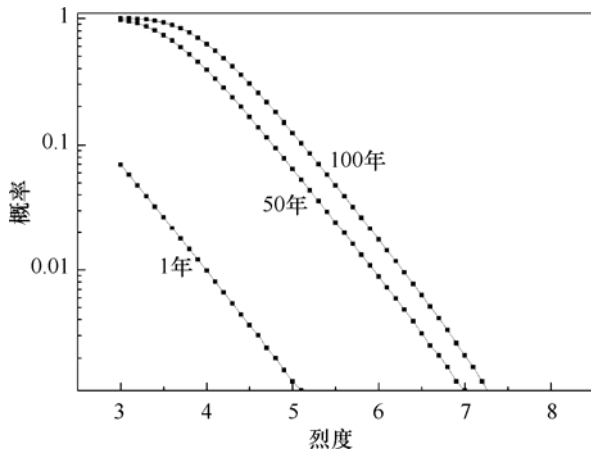


图 5 承德 1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.5 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Chengde area

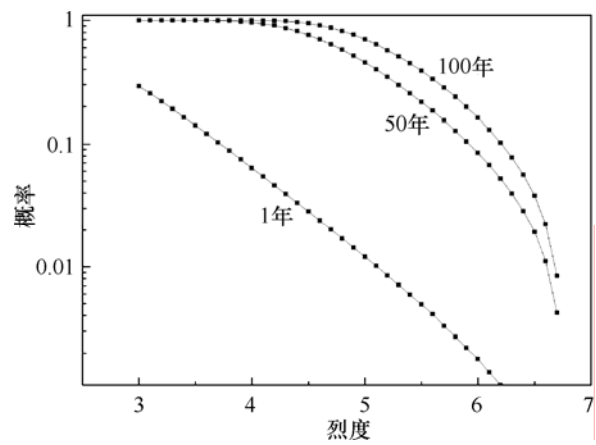


图 6 宁晋 1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.6 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Ningjin area

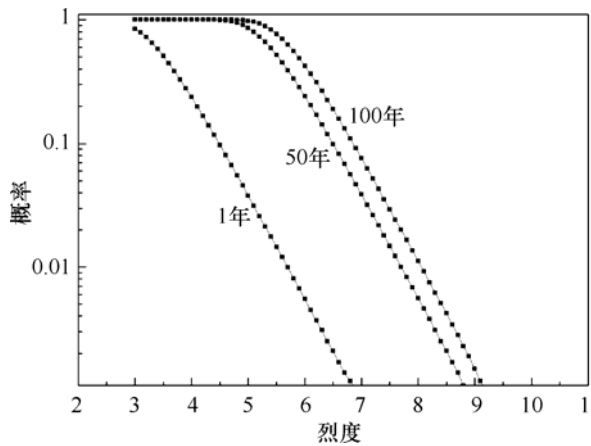


图 7 宁晋（包括邢台地震）1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.7 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Ningjin area (including Xintai earthquake)

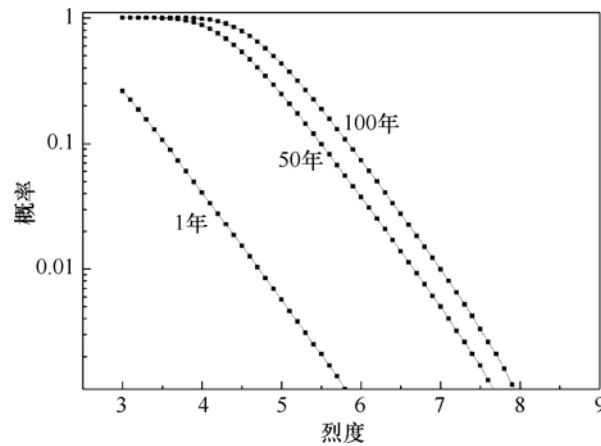


图 8 石家庄（考虑烈度误差为 1）1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.8 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Shijiazhuang area (intensity error allowance is 1)

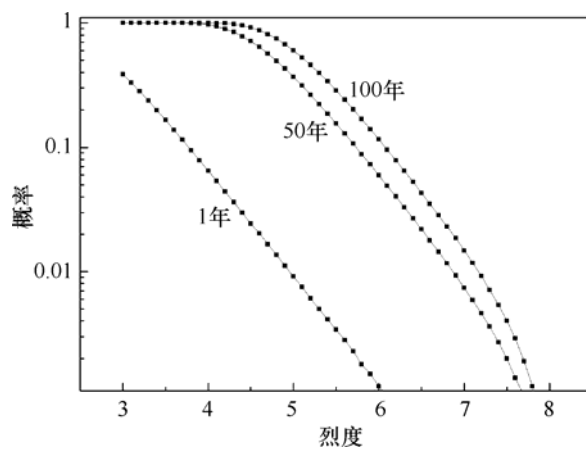


图 9 石家庄（考虑烈度误差为 0.5）1 年、50 年和 100 年不同超越概率的危险性结果

Fig.9 Exceeding probability vs. intensity for 1 year, 50 years and 100 years, Shijiazhuang area (intensity error allowance is 0.5)

5 结论

(1) 本方法仅应用历史地震文献的记载, 减少了多层次的分析和计算, 由此减少了结果的误差和不确定性, 这是本方法的长处所在。

(2) 从计算结果来看, 大部分城市的结果与地震区划图的结果相对应, 但对那些发生了大地震的区域来说, 大地震前后的结果有明显的差异。

(3) 本方法的不确定性主要来自文献推算烈度所带来的误差, 而从结果来看, 其误差并不明显。

参考文献

- 丁韞玉, 耿秀玲, 1991. 潜在震源区不确定因素分析. 中国地震, **7** (4): 33—38.
- 高孟潭, 1984. 京津唐地区地震危险性分析. 国家地震局地球物理所硕士学位论文.
- 河北省地震局, 1990. 河北省地震资料汇编. 北京: 地震出版社.
- 金学申, 1994. 不同精度资料的地震危险性方法. 地震学报, **16** (3): 281—287.
- 李善邦, 1981. 中国地震. 北京: 地震出版社.
- 刘昌森, 1993. 历史有感地震处理的原则和方法. 东北地震研究, **9** (3): 16—24.
- 鄢家全, 韩炜, 1996. 地震活动性参数的不确定性及其对区划结果的影响. 中国地震, **12** (增刊): 71—77.
- 朱丽, 胡贤, 1986. 地震危险性分析中的不确定性分析. 国家地震局工程力学研究所研究报告.
- Aki K., 1965. Maximum likelihood estimate of bin the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ. **43**: 237—239.
- Bender B., 1986. Modeling source zone bounding uncertainty in seismic hazard analysis. B.S.S.A, **76** (2): 329—341.
- Edwards A.W.F., 1972. Likelihood. Cambridge University Press, Newyork, p. 235.
- McGuire R.B., 1995. Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. B.S.S.A, **85**: 1275—1284.
- Rao C.R., 1973. Linear Statistical Inference and Its Application. Ed. 2, John Wiley and Sons, New York, P. 625.
- Utsu T., 1965. A method for determining the value of b in formula $\log n = a - bM$ showing the magnitude-frequency relation for earthquakes. Geophys. Bull. Hokkaido Univ, **13**: 99—103.

Seismic Hazard Analysis Based on Historical Earthquake Records

Qi Yuyan and Jin Xueshen

(Seismological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract The general seismic hazard analysis is based on delineation of potential earthquake source, determination of the seismic activity parameters and seismic motion attenuation relations and calculation of bedrock seismic ground motion parameters. On the other hand, the historical earthquake catalogue as basic data is usually obtained by analyzing the historical earthquake records. It is obvious that there exists uncertainty in each analysis step and it is impossible to be satisfactory for current analysis of the correction of uncertainty. In this paper, the maximum likelihood method is used to proceed to seismic hazard in different years and different exceed-probability by using of historical earthquake records. Taking Huailai, Hejian, Tangshan, Chengde, Ningjin, and Shijiazhuang as the case studies, we calculate the seismic risk probabilities respectively. Finally our results are compared with that from the seismic intensity zoning map China.

Key words: Historical earthquake; Historical earthquake records; Seismic hazard analysis; Approach