

我国地震区划图的初步检验^①

王立媛^{1,2}, 陶夏新^{1,3}, 陶正如¹, 姜伟¹

(1.中国地震局工程力学研究所,黑龙江 哈尔滨 150080; 2.黑龙江科技大学,黑龙江 哈尔滨 150026;
3.哈尔滨工业大学,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:借助GIS的空间操作和空间分析的功能对我国四张地震区划图(1957年发表的中国地震区域划分图、1977年颁布的中国地震烈度区划图、1990年颁布的中国地震烈度区划图和2001年颁布的中国地震动参数区划图)分别用发表以后大陆地区发生的、经震害调查的5级以上浅源地震的等震线与之叠合,统计出相应时段中实际发生的不同烈度区超过区划图上烈度1度、2度或更多的总面积及相应的百分比;根据各个区划图表达的地震危险性定义制定标准检验了相应的可靠程度。通过与相应时段地震人员伤亡、经济损失的对比分析,指出了地震区划方法的进一步改进要把重点放在提高对7级以上大地震可能发生部位的识别上。

关键词:地震区划图;等震线;检验;GIS

中图分类号: P315.911

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2014)04-1064-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2014.04.1064

Preliminary Inspection of Seismic Zoning Maps in China

WANG Li-yuan^{1,2}, TAO Xia-xin^{1,3}, TAO Zheng-ru¹, JIANG Wei¹

(1. Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin, Heilongjiang 1500080, China;
2. Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang 150026, China;
3. Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: Four seismic zoning maps of China respectively published in 1957, 1977, 1990, and 2001 are inspected in this study. The isoseismals of shallow earthquakes of $M \geq 5$ occurring in the mainland of China after the maps were published are overlaid on the maps by means of Geographic Information System (GIS). The total areas with observed intensity of at least 1° larger than the corresponding intensity on the maps are summed. The percentages of areas with positive intensity difference against the entire mainland of China are calculated by the GIS function of special manipulation and analysis. The reliability of each map is tested according to its hazard definition. A key point for improving zoning methods is suggested by recognizing regions with the potential for large earthquakes of $M \geq 7$ on the basis of statistics of deaths, injuries, and losses by earthquakes during the four time periods.

Key words: seismic zoning map; isoseismal; inspection; GIS (Geographic Information system)

0 引言

自从有地震区划图发表,尤其是被用作抗震设防的依据以来,面临的疑问和争议就一直不断。近

几年一些大地震发生在区划图上危险性偏低的地方,要求对区划图做检验的呼声就更加强烈起来^[1-4]。用发表后以及编制期间两个十年中实际发

① 收稿日期: 2014-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178151); 国家自然科学基金国际合作与交流项目(51311120080)

作者简介: 王立媛(1982—), 女(汉族), 讲师, 在读博士, 主要从事地震区划方面的研究。E-mail: 376098069@qq.com

通讯作者: 陶夏新(1949—), 男, 博士, 教授, 主要从事工程地震, 岩土工程防灾等方面的研究

生的 6 级以上、震源深度小于 70 km 的地震对全球地震危险性评估项目(GSHAP)的区划图检验,结果令人难以接受^[5]。尤其是本世纪全球死亡人数最多(均在千人以上)的 12 次大地震中竟有 10 次在低估的地区,且多数在严重低估的地区,更使人不得不进一步思考区划编图的基本原理、数据和方法的可靠性^[6]。Steins 等^[2]强调,以科学的原则讲,只有证明了比随机猜测的成功率明显高的方法才能够被接受,而令人吃惊的是在许多国家地震区划编图中广泛采用的概率地震危险性评估方法(PSHA)从来没有经过任何客观的检验,甚至根据近 30 年中某国家及附近海域发生的 9 次造成伤亡的强震数据指出其区划图好像还不如简单假设区域地震活动性均匀分布的结果。

本文用我国大陆地区(暂不包括地震特别多的台湾地区)五十多年中部分破坏性地震的等震线与区划图叠合,统计出相应时段中实际发生的不同烈度区超过区划图上烈度 1 度、2 度或更多的总面积及相应的百分比。各个区划图表达的地震危险性定义有不同,据其制定相应的检验标准讨论区划图的可靠程度以及改进的重点。

1 我国的地震区划图及检验原则

1957 年我国发表了第一张全国的地震区划图,根据发生过的最大地震烈度的分布和地质构造条件推断,给出了全国最大地震影响烈度的分布^[7]。这张图没有被正式采纳作为建设中抗震设防的依据,主要是由于当时大多数建(构)筑物并不考虑抗震设计,以及图上高烈度区面积过大,西部和边疆地区资料不足致使推测成分居多。显然,检验可以用五十多年中有没有,或有多少面积超过图中表示的“最大烈度”为标准。

第二张全国地震区划图颁布于 1980 年,给出了此后一百年内各地可能遭受的最大地震烈度的预测^[8]。这是我国第一张有确定时间限定的区划图。用三十几年中发生的地震来检验对一百年的预测并不很充分,但如果在这么短的时段内实际发生的地震烈度就超过图上所示“最大烈度”,仍然可视为一种足够强的检验。

1990 和 2001 年颁布的全国地震区划图采用国际上流行的 PSHA 方法编制,分别给出了 50 年超越概率 10% 的地震烈度、设计基本加速度值^[9]①。本文暂且不讨论中国科学工作者在方法上对 PSHA 的若干改进是否恰当,仅着眼于概率区划图如何检

验。从基本原理分析,PSHA 对未来 50 年的预测,或者称为评估,并没有区分这 50 年中前、中、后段地震危险性的差别,也没有考虑先发生的地震与随后地震相互的关联,忽略了大地震发生之间的相关性。因而可以按下式将 50 年中的超越概率 P_{50} 换算成任何时段 t 年的超越概率 P_t ,或年超越概率($t=1$ 年)^[10]:

$$P_t = 1.0 - (1.0 - P_{50})^{\frac{t}{50}} \quad (1)$$

从中可知,区划图颁布至 2011 年的 22 年和 11 年中的超越概率应该分别在 4.5% 和 2.3% 左右。为了便于与等震线比较,本文将 2001 版区划图中的加速度按说明书中的表 D1 简单归并为烈度,0.05 为Ⅵ度,0.1 和 0.15 为Ⅶ度,0.2 和 0.3 为Ⅷ度,0.4 为Ⅸ度。

根据大多数定律,只有很多地震的统计频度才可以视为期望的概率值。用短短 22 年、11 年的数据做检验显然不够可靠,但很多地点相应的统计值仍可以提供一个量的参考。本文采用实际造成的烈度超过区划图上相应烈度的面积所占百分比作为检验的标准,虽然比较勉强但还是有一定参考意义的。我国大约十年左右更新一次区划图,这两张图是已经停止和即将停止使用的,勉强检验一下总比等五六十年以后早已经不用,甚至地震区划方法完全不同时再检验要好得多。

上述四张区划图的投影方式和参数均有不同。例如,1990 年和 2001 年区划图分别以 1980 年版和 1989 年版的 1:400 万《中华人民共和国地图》、《中华人民共和国地形图》为底图,投影就有一定的差别。为了便于更准确地与等震线的空间叠合、分析,对不同投影方式和投影参数的图,借助 GIS 的投影转换功能,逐块据多个经纬网格节点仿射,统一校准到 1989 年版的《中华人民共和国地形图》上,实现了精度较好的配准。

2 检验所采用的破坏性地震数据及处理

上述区划图发表或颁布至 2011 年的四个时段中,我国大陆地区发生的浅源(震源深度小于 35 km,有新疆、西藏和四川的 23 次 5~6 级地震的震源深度略大些)破坏性地震(5 级及以上)的数目,列于表 1;其中删除了大震的余震,对于特大震只保留少数震级较大的强余震;地震群只保留震级最大

① 中国地震动参数区划图编制课题组.中国地震动参数区划图编制报告.2001

的地震及有震害资料的地震。相应的震中分布如图 1 所示^[11]。

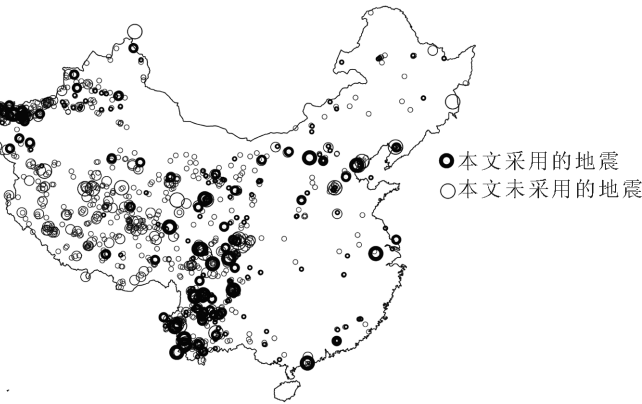


图 1 1957—2011 年我国大陆破坏性地震震中分布示意图

Fig.1 Epicenter map of destructive earthquakes in Mainland of China during 1957 to 2011

图中的粗圈表示本文检验中采用了的地震。细圈表示由于资料不完备没有采用的,包括有的没有经实际调查绘制的等震线;有的等震线图过于简单,能够标定空间位置的点少于四个,不能准确地校准;有的等震线图最大烈度为不足Ⅵ度;有的等震线图远未闭合等。从图中可见,本文没有采用的地震主要分布在青藏高原、天山西部、海域及少量边境附近的地震。

表 1 四个检验时段中破坏性地震数目^[11-12]

Table 1 Number of destructive earthquakes in the four periods^[11-12]

时间段	震级/M		
	5.0~6.0	6.0~7.0	≥7.0
1957—2011	154/407	64/120	18/26
1977—2011	118/319	41/77	8/12
1990—2011	81/238	35/58	5/9
2001—2011	29/119	13/24	2/5

注:表 1 中,每一时段的每一震级间隔中都列出两个数,斜线左侧的是本文采用的地震数目,右侧的是相应的地震总数。

从表 1 可见本文采用的地震数总体随着震级的增加比例有所上升,7 级及以上的地震总体上有三分之二以上、6~7 级的地震有一半以上。作者认为,与其采用某一地震烈度衰减关系推断未采用地震的等震线参与检验,进一步卷入一些不确定性,不如先根据有把握的数据做初步检验,确保本文的检验与评价绝对不会过头,还有一定余地。表 2 列出了本文统计的我国大陆 1957—2011 年地震灾害的统计数据,资料源列于附录一。从中可见 7 级及以

上的地震占破坏性地震总数的 5%左右,所引起的死亡人数却占总地震死亡人数的 99%,相应的房屋毁坏面积占 90%,直接经济损失占 96%。可以认为我国地震灾害损失主要由 7 级及以上地震引起,小于 5 级的地震所造成的几乎可以忽略不计。据此可知,本文仅采用 $M\geq 5$ 、部分数据相对可靠的地震做检验,把握住了重点,是能够说明主要问题的。

本文采用的等震线资料来源,亦见附录一所列的汇总表。限于篇幅,附录二中仅列出了表 1 中 26 次 7 级及以上的地震目录。

表 2 1957—2011 年中国大陆地震震害统计汇总表

Table 2 Statistics of earthquake disaster in Mainland of China during 1957 to 2011

震级区间/M	地震次数	死亡人数/人	房屋毁坏/m ²	直接经济损失/万元
≥7.0	30	347 474	178 879 460	89 696 129
6.0~7.0	132	2 881	15 473 408	2 281 292
5.0~6.0	358	503	4 758 550	1 601 627
<5	66	17	45 383	87 321

采用 GIS 商业软件建立了等震线信息系统,对每一地震的等震线逐条数字化,配准时在图上较均匀地选择 4 个以上已知经纬度值的控制点,实在不足时采用经纬线交点与地名点联合配准,投影转换、仿射到统一的地形底图坐标系。

3 空间分析的结果及统计

分四个时段检验,将每一时段的地震等震线逐一叠合在相应区划图上^[12-14],具有 1 度以上正烈度差地区的分布分别见图 2(a)~(d)。图中左下角水平的图例表示区划图上的烈度分区,右侧竖直的图例表示对应的正烈度差。

从图 2(a)中可见,这些烈度差主要分布在华北、川滇及青海等地,亦即区划图上中、低烈度区在这期间发生过大地震处。为便于叙述,本文以下称烈度差 1 度及以上的为低估;烈度差达 3 度、4 度、5 度的为严重低估。可以推定在接下去的几十、几百年中还会有更多被低估的地区显现出来。如果当年按这张地震区划图采取抗震设防措施,邢台、海城、唐山、汶川等地严重低估,总的伤亡和损失还是不会减少多少的。

从图 2(b)中可见,1977 版区划图上低估的地区主要分布在川滇、青海及新疆等地。东部设防水平提高和 1966—1976 年华北那一波强烈地震过去了两个因素使东部基本没有大面积的低估。

从图 2(c)中可见,1990 版区划图上低估的地区

主要分布在川滇、新疆及青藏等地。

2001 版区划图上低估的地区主要分布在川滇、新疆及青藏等地,与(图 2(c))、图 2(d)差别不明显。

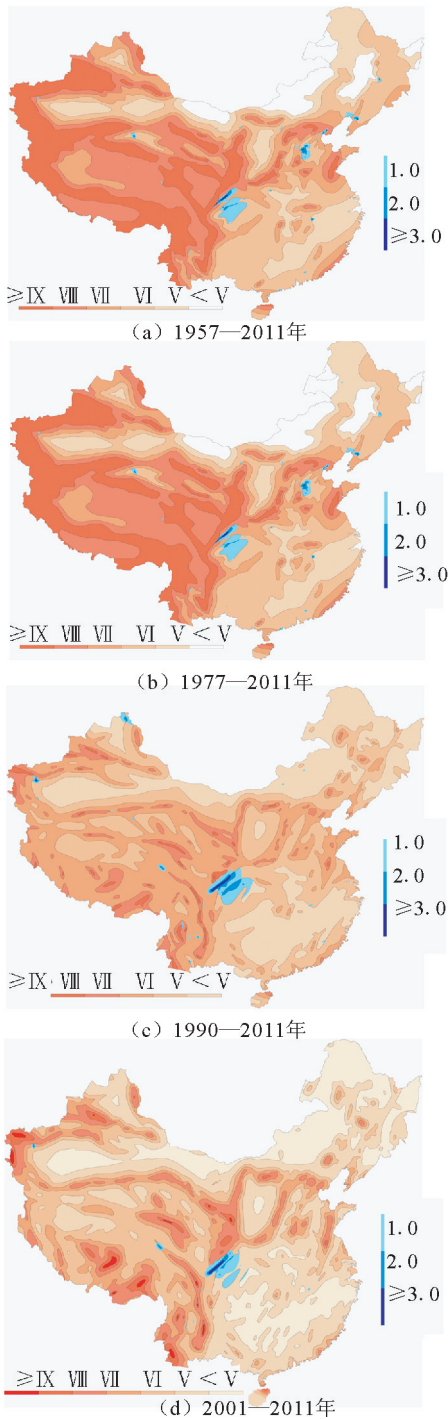


图 2 I 度以上正烈度差分布图

Fig.2 The areas with intensity difference> I

借助 GIS 空间分析的功能,读取实际地震烈度高于区划图上烈度的差,统计不同烈度差对应的面积,分别累计区划图上各烈度区中烈度差为 1 度、2 度、3 度、4 度和 5 度的面积总和,计算与区划图上相

应烈度区总面积的比。统计结果分别列于表 3、表 4、表 5 和表 6。

从表 3 中可见,即使图上“高烈度区面积过大”,1957 版地震区划图仍然不能保证表示的是“最大地震烈度”,在 55 年中有近 125 200 km² 的面积低估,占大陆地区总面积的 1.3%。其中 V 度区中有近 2.7%的面积低估;VI 度区中有近 2.1%的面积低估;VII 度区中有近 1.4%的面积低估;VIII 度区中有 0.4%的面积低估。低估主要发生在中、低烈度区,严重低估的面积可达 2 500 km² 以上。

表 3 1957—2011 年烈度差统计表

Table 3 Statistics of intensity difference during 1957 to 2011

正烈度差	1	2	3	4	5	总面积/km ²
V 度区	47 400 2.50	3 197 0.17	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	1 897 340
VI 度区	40 292 1.82	5 404 0.24	330 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	2 219 885
VII 度区	14 289 0.95	5 198 0.34	759 0.05	479 0.03	0.00 0.00	1 507 424
VIII 度区	4 742 0.24	2 177 0.11	964 0.05	0.00 0.00	0.00 0.00	1 951 255
IX 度及 以上	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	1 875 187
大陆地 区总体	106 723 1.13	159 76 0.17	205 3 0.02	479 0.01	0.00 0.00	9 451 091

表 4 1977—2011 年烈度差统计表

Table 4 Statistics of intensitics difference during 1977 to 2011

正烈度差	1	2	3	4	5	总面积/km ²
V 度区	113 884 3.04	36 078 0.96	3 502 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	3 744 514
VI 度区	48 772 1.85	21 069 0.80	7 158 0.27	1 353 0.05	1 147 0.04	2 639 556
VII 度区	10 809 0.52	1 420 0.07	1 547 0.07	932 0.04	0.00 0.00	2 098 818
VIII 度区	2 756 0.37	450 0.06	219 0.03	0.00 0.00	0.00 0.00	741 305
IX 度及 以上	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	226 898
大陆地 区总体	176 221 1.86	59 017 0.62	12 426 0.13	2 285 0.02	1 147 0.01	9 451 091

从表 4 中可见,在 35 年中“百年最大烈度”亦有 251 100 km² 以上低估了,占大陆地区总面积的 2.7%。其中 V 度区中有近 4.1%的面积低估;VI 度区中有 3.0%的面积低估;VII 度区中有 0.7%面的积低估;VIII 度区中有近 0.5%的面积低估;与表 3 中的相应数值相比,这张区划图 VIII 度及以上的区域大幅减小,分别减小了约 62%和 88%,但即使是考虑 55 年和 35 年的比例,低估的面积反而减少了,严重低估

的面积竟少了 77%。与此同时,V、Ⅵ、Ⅶ度区的面积均有较大的增加,分别扩大了 97.4%、18.9%和 39.2%,但低估的面积并没有减小,反而总体上增加了 111.1%,致使严重低估的面积达到 156 00 km²以上,增加了 9.0 倍。说明减小高烈度区势必增加低估的风险。在中、低烈度区,相当一部分是从图 2(a)中的高烈度区降下来的,发生强烈地震的问题更加突出了。

从表 5 中可见,在这 22 年里有近 159 630 km² 低估,占大陆地区总面积的 1.69%,其中 V 度区中有近 2.9%的面积低估;Ⅵ度区中有 1.5%的面积低估;Ⅶ度区中有近 1.3%的面积低估;Ⅷ度区中亦有近 0.2%的面积被低估。低估主要发生在中、低烈度区,严重低估的面积可达 6 900 km² 以上。虽然低估面积(可以大体上理解为等间距离散的地表点数目)所占百分比远不及 4.5%,考虑 32 年与 22 年的比例,严重低估面积比表 4 中的还要小,但对汶川等大地震严重低估使 22 年中地震造成的死亡人数、震害并没有因此而明显减少。

表 5 1990—2011 年烈度差统计表

正烈度差	1	2	3	4	5	总面积/km ²
V 度区	58 443	16 711	0.00	0.00	0.00	2 591 845
	2.25	0.64	0.00	0.00	0.00	
Ⅵ度区	30 568	9 989	2 508	479	194	2 908 003
	1.05	0.34	0.09	0.02	0.01	
Ⅶ度区	28 546	7 142	1 659	2 103	0.00	3 134 521
	0.91	0.23	0.05	0.07	0.00	
Ⅷ度区	1 288	0.00	0.00	0.00	0.00	703 438
	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ⅸ度及 以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113 284
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
大陆地区	118 845	33 842	4 167	2 582	194	9 451 091
区总体	1.26	0.36	0.04	0.03	0.00	

表 6 2001—2011 年烈度差统计表

正烈度差	1	2	3	4	5	总面积/km ²
V 度区	20 396	11	0.00	0.00	0.00	3 586 219
	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ⅵ度区	34 013	2 822	0.00	0.00	0.00	1 274 984
	2.67	0.22	0.00	0.00	0.00	
Ⅶ度区	26 996	9 395	3 350	2 297	0.00	3 509 184
	0.77	0.27	0.10	0.07	0.00	
Ⅷ度区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1 046 531
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ⅸ度及 以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34 173
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
大陆地区	81 405	12 228	3 350	2 297	0.00	9 451 091
区总体	0.86	0.13	0.04	0.02	0.00	

从表 6 中可见,在这 11 年中有近 99 300 km² 低估,占大陆地区总面积的 1.05%,其中 V 度区中有近 0.6%的面积低估,Ⅵ度区中有 2.9%的面积低估,Ⅶ度区中有 1.2%的面积低估。虽然低估的百分比亦远不到 2.3%,但考虑到 22 年与 11 年的比例,比表 5 对应的还是高出不少。严重低估的面积可达 5 600 km² 以上。按上述比例分析,亦明显高于表 5 的相应数值。低估主要发生在中烈度区,同样由于对汶川等大地震严重低估,11 年中地震造成的震害总量与前一版区划图颁布后 22 年中的相差不多。

4 与伤亡和损失的比对

众所周知,地震区划的目的和功能主要在于减轻地震灾害。表 7 分别列出了 4 个时段中严重低估地区的人员死亡、房屋毁坏、直接经济损失,及占相应时段中全国总值的百分比。从中可见,严重低估地区的死亡人数、房屋毁坏、直接经济损失,在四个时段中均占全国总值的 85%以上,最高达 96%。可以说,四个时段的地震灾害主要由发生在严重低估区的大地震造成。减少、减小严重低估区是未来改进地震区划图的重点。根据本文上述定义,未来Ⅵ度、Ⅶ度区中 7 级以上地震的识别应该是改进的重中之重。

5 结语

本文根据各个区划图表达的地震危险性定义制定标准,将其发布或颁布至 2011 年实际发生的大部分 5 级以上中国大陆破坏性地震的等震线图与相应的地震区划图叠加,统计出各时段中低估、严重低估的面积和相应的百分比,检验了我国四张地震区划图。检验结果表明,估计最大地震烈度的两张区划图都有一定程度的低估,严重低估的面积分别达到 2 500 km² 和 15 800 km²。两张 PSHA 地震区划图上低估范围分别占大陆地区总面积的 1.69%和 1.05%,远不到编图给定超越概率相应的 4.5%和 2.3%,严重低估的面积仍达到 6 900 km²、5 600 km²。在这四个时段中,我国遭到的地震灾害都主要是由发生在严重低估区的大地震造成的。若 1978 年唐山 7.8 级地震与 2008 年汶川 8.0 级地震两次地震能够大体上有预估,地震造成的死亡人数、房屋毁坏的面积和直接经济损失都可以因区划图的颁布而减少七、八成。由于一部分资料不够充分的地震没有采用,上述检验结果是偏于保守的。

理想的区划图检验应该与其使用期间建设的总

规模、抗震设计和建造技术结合,综合比较采用规定的设防标准的投入与减灾效益。显然这需要相当大的项目支撑才能完成。从这个角度可以很容易理解大面积提高设防烈度,全面加大抗震投入,不是一个

恰当的解决方案。PSHA 方法对地震区的地震活动性参数有总体上的限制,增加高震级上限潜在震源区的数目、面积会在某种程度上“稀释”地震危险性,亦要十分谨慎。

表 7 四个时段中烈度严重低估区的死亡人数、房屋毁坏和直接经济损失

Table 7 The death toll,damaged building and direct economic losses in the seismic intensity were seriously underestimated areas in four test periods

时间段	死亡人数/个	占全国的百分比/%	房屋毁坏/万 m ²	占全国的百分比/%	直接经济损失/亿元	占全国的百分比/%
1957-2011	320 619	93.17	382 447 300	94.31	86 739 400	96.68
1977-2011	70 421	94.95	176 126 513	86.44	85 747 502	93.17
1990-2011	69 495	95.11	167 491 193	87.74	85 370 692	93.27
2001-2011	69 227	95.63	165 039 000	90.95	85 230 900	94.40

总之,地震区划方法的进一步改进要尽最大努力减少严重低估,把重点放在提高对 7½ 级以上大地震可能发生的部位判断上,同时努力减少、减小震级上限 7½ 以上的潜在震源区。

参考文献(References)

[1]. Bommer Julian J,Norman A Abrahamson.Why Do Modern Probabilistic Seismic-hazard Analyses often Lead to Increased Hazard Estimates[J].Bulletin of the Seismological Society of America,2006,96(6):1967-1977.

[2] Stein S,R Geller,M Liu.Bad Assumptions or Bad Luck: Why Earthquake Hazard Maps Need Objective Testing[J].Seismological Research Letters,2011,82(5):623-626.

[3] Stein S,R Geller,M Liu.Why Earthquake Hazard Maps often Fail and What to Do About it[J].Tectonophysics,2011,562-563:1-25.

[4] Wang Z,James C Cobb .A Critique of Probabilistic Versus Deterministic Seismic Hazard Analysis with Special Reference to the New Madrid Seismic Zone[J].Geological Society of America (Special Papers),2013,493:259-275.

[5] Kossobokov V G,A K Nekrasova.Global Seismic Hazard Assessment Program Maps Are Erroneous[J].Seismic Instruments,2012,48(2):162-170.

[6] Wyss M,A Nekrasova,V Kossobokov.Errors in Expected Human Losses Due to Incorrect Seismic Hazard Estimates[J].Natural Hazard,2012,62(3):927-935.

[7] 李善邦.中国地震区域划分图及其说明[J].地球物理学报,1957,6(2):2-158.

LI San-bang.China Earthquake Zonation and Its Description [J].Acta Geophysica Sinica,1957,6(2):2-158.(in Chinese)

[8] 国家地震局.中国地震烈度区划工作报告(内部)[M].北京:地震出版社,1981.

State Seismological Bureau.Report of Seismic Intensity Zoning of China (Interior)[M].Beijing:Seismological Press,1981.(in Chinese)

[9] 国家地震局.中国地震烈度区划(1990)概论[M].北京:地震出版社,1993.

State Seismological Bureau.Outline of Seismic Intensity Zoning of China (1990)[M].Beijing:Seismological Press,1993.(in Chinese)

[10] 陶夏新.京津唐地区地震区划图编制方法的研究[D].哈尔滨:国家地震局工程力学研究所,1986.

TAO Xia-xin.On Method of Seismic Zoning Map of Beijing-Tianjin-Tangshan Region[D].Harbin:Institute of Engineering Mechanics of China Earthquake Administration,1986.(in Chinese)

[11] 中国地震年鉴编辑委员会.中国地震年鉴(1949—1981)[M].中国地震年鉴 1982—2007[M].北京:地震出版社,1990,1983,1985,1985,1986,1987,1988,1990,1991,1992,1992,1993,1994,1995,1996,1997,1998,1999,1999,2001,2002,2003,2004,2005,2007,2008,2009.

Editorial Committee of China Earthquake Yearbook.China Earthquake Yearbook (1949—1981)[M].China Earthquake Yearbook in 1982—2007 [M].Beijing:Seismological Press,1990,1983,1985,1985,1986,1987,1988,1990,1991,1992,1992,1993,1994,1995,1996,1997,1998,1999,2001,2002,2003,2004,2005,2007,2008,2009.(in Chinese)

[12] 国家地震科学数据共享中心.[http://data.earthquake.cn/ index.html](http://data.earthquake.cn/index.html).

China Earthquake Information Center: [http://data. earthquake.cn/ Index.html](http://data.earthquake.cn/ Index.html).(in Chinese)

[13] 刘白云,袁道阳,陈继锋.玉树 M_s7.1 地震时空破裂过程及与地表破裂带的对应关系[J].西北地震学报,2012,34(1):23-28.

LIU Bai-yun, YUAN Dao-yang, CHEN Ji-feng. Relation Between the Source Rupture Process and Surface Rupture Zone of the M_s7.1 Yushu Earthquake [J].Northwestern Seismological Journal,2012,34(1):23-28.(in Chinese)

[14] 秦娟,蔡辉腾,李光,等.重庆及邻区震后烈度分布评估模型构建[J].地震工程学报,2013,35(2):394-400.

QIN Juan, CAI Hui-teng, LI Guang, et al. Study on Model Building of Post-earthquake Intensity in Chongqing and Its Adjacent Areas[J].China Earthquake Engineering Journal, 2013,35(2):394-400.(in Chinese)

附录一

等震线、震害、损失、死亡人数资料来源汇总表	
时间段	主要参考文献
1957—1980	《中国地震年鉴(1949—1981)》,《中国震例(1966—1975)》,《中国震例(1976—1980)》,《中国地震历史资料汇编(第五卷)》,《中国古今地震灾情总汇》
Ⅱ1981—1990	《中国地震年鉴(1949—1981)》,《中国地震年鉴 1982》~《中国地震年鉴 1990》,《中国震例(1981—1985)》,《中国震例(1986—1988)》,《中国震例(1989—1991)》,《中国地震历史资料汇编(第五卷)》,《中国古今地震灾情总汇》
1991—2000	《中国震例(1989—1991)》,《中国震例(1992—1994)》,《中国震例(1995—1996)》,《中国震例(1997—1999)》,《中国地震年鉴 1991》~《中国地震年鉴 2000》,《中国大陆地震灾害损失评估汇编(1990—1995)》,《中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996—2000)》,《1992 年中国大陆地区地震灾害及其特点》,《1993 年中国大陆地区地震灾害述评》,《1995 年中国大陆地震灾害述评》,《1996 年中国大陆地震灾害述评》,《1997 年中国大陆地震灾害述评》,《1998 年中国大陆地震灾害述评》,《2000 年中国大陆地震灾害述评》
Ⅲ2001—2011	《2001—2005 年中国大陆地震灾害损失评估汇编》,《中国地震年鉴 2001》~《中国地震年鉴 2007》,2007 年后等震线图来自知网中相应文献,《2003 年中国大陆震害述评》,《2005 年中国大陆地震灾害损失述评》,《2006 年地震灾害情况》,《2007 年中国大陆地震灾害损失述评》,《2008 年中国大陆地震灾害损失述评》,《2009 年中国大陆地震灾害损失述评》,《2010 年中国大陆地震灾害损失述评》,《2011 年中国大陆地震灾害损失述评》

附录二

1957 年以来我国大陆 7 级及以上地震目录					
时间	地点	震级/(M_s)	纬度/($^{\circ}$)	经度($^{\circ}$)	备注
1963-04-19	青海阿兰湖	7	35.70	97.00	未采用
1966-03-22	河北邢台	7.2	37.50	115.10	
1969-07-18	渤海渤中	7.4	38.20	119.40	
1970-01-05	云南通海	7.8	24.20	102.68	
1973-02-06	四川炉霍	7.9	31.30	100.70	
1973-07-14	西藏亦基台错	7.3	35.10	86.50	未采用
1974-05-11	云南永善一大关	7.1	28.20	104.10	
1974-08-11	新疆阿克陶	7.3	39.40	73.80	未采用
1975-02-04	辽宁海城	7.3	40.70	122.70	
1976-05-29	云南龙陵	7.3	24.50	99.00	
1976-05-29	云南龙陵	7.4	24.60	98.70	
1976-07-28	河北唐山	7.8	39.40	118.00	
1976-07-28	河北滦县	7.1	39.70	118.50	未采用
1976-08-16	四川松潘	7.2	32.80	104.30	
1985-08-23	新疆乌恰	7.1	39.53	75.32	
1988-11-06	云南澜沧—耿马	7.2	23.16	99.55	
1988-11-06	云南澜沧—耿马	7.4	22.92	99.79	
1990-04-26	青海共和	7	36.06	100.33	
1995-07-12	云南孟连西	7.3	22.05	99.05	
1996-02-03	云南丽江	7.0	27.03	100.03	
1997-11-08	西藏玛尼	7.4	35.26	87.33	未采用
2001-11-14	昆仑山口西	8.1	35.92	90.53	未采用
2003-09-27	中俄蒙边境	7.9	49.90	87.90	未采用
2008-03-21	新疆于田	7.5	35.64	81.54	未采用
2008-05-12	四川汶川	8	31.01	103.42	
2010-04-14	青海玉树	7.3	33.22	96.59	