

1998 ~ 2012 年云南地区地震预测情况回顾与总结^{*}

刘丽芳, 苏有锦, 毛玉平, 秦嘉政

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 通过总结云南省 1998 ~ 2012 年度地震趋势研究报告中云南地区地震趋势和地震重点危险区的判定情况, 给出了年度最大地震活动强度、危险区地震对应情况和地震危险区预测面积的统计分析结果, 以期得到云南地区年度地震预测情况的系统认识。

关键词: 地震活动强度; 年度地震趋势; 地震危险区判定; 云南地区

中图分类号: P315.7 **文献标识码:** **文章编号:** 1000-0666(2013)04-0407-11

0 引言

年度地震趋势和重点危险区判定是年度震情会商的重要环节及震情跟踪的重要依据, 也是地震中期预报的主要研究内容之一, 对未来一年防震减灾工作部署具有重要的指导意义。

年度地震危险区判定工作为地震部门及危险区涉及的当地各级政府指出了每年防震减灾工作需重点注意的地区, 但是, 要制定好相应的防震减灾对策和取得切实的减灾效果, 必须掌握重点危险区预测的实际

效果。因此, 本文对云南省 1998 ~ 2012 年度地震趋势研究报告中云南地区地震趋势和重点危险区的判定进行检验和分析。

1 基本情况

在每年年底提交的下一年度地震趋势研究报告中, 主要涉及年度地震趋势和年度重点危险区两个方面的重要预测内容^①。表 1 给出了 1998 ~ 2012 年度云南地区地震趋势判定意见。图 1 给出了 1998 ~ 2012 年度地震危险区预测和地震对应实况。

表 1 1998 ~ 2012 年云南地区地震趋势判定意见统计表

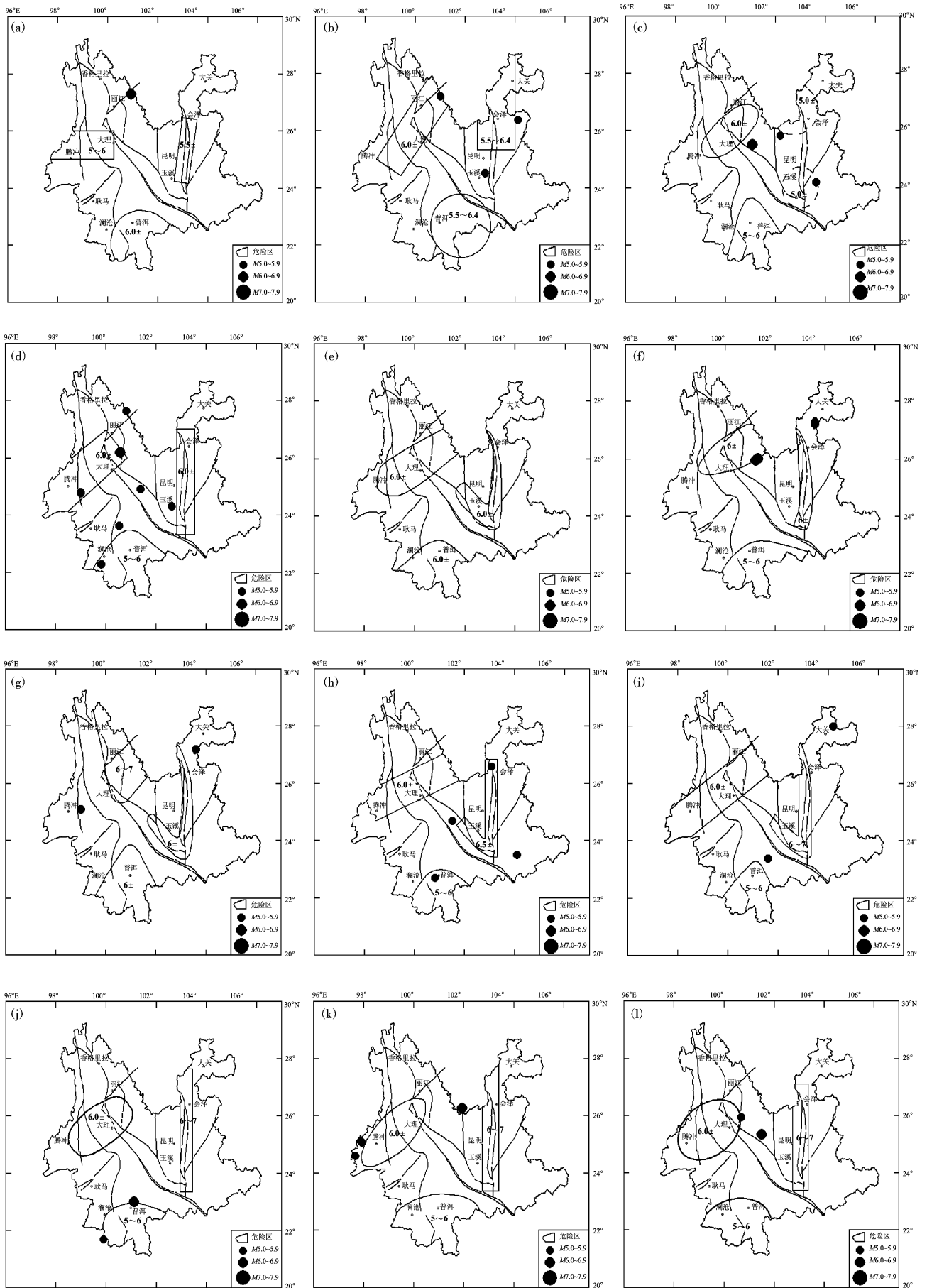
Tab. 1 Statistic of determination suggestions of earthquake trend in Yunnan area from 1998 to 2012

年度	年度地震趋势判定意见
1998	1988 ~ 1996 年云南处于 $M \geq 6.8$ 地震活跃期, 1995 - 07 ~ 1996 - 02 孟连、武定、丽江地震已呈现非线性加速的地震连发时段, 活跃期将趋于结束, 云南境内发生 $M \geq 7$ 地震的可能性将减小; 估计 1998 年云南省最大震级为 6.5 级左右。
1999	1999 年云南省最大震级为 6.5 级。
2000	云南省本世纪第 4 个 $M \geq 6.8$ 地震活跃期已基本结束, 云南省 2000 年度地震活动水平为 6.0 级左右。
2001	2001 年度云南地区地震活动水平为 6.0 级左右, 最大强度 6.5 级。发生 7 级地震的可能性小。
2002	2002 年度或稍长时间云南地区存在 6 ~ 7 级地震危险, 年度内云南省地震最大强度为 6.5 级。
2003	云南地区现处 $M \geq 6.7$ 地震平静期向新一轮活跃期的过渡阶段。省内年度地震活动水平为 6 级左右。
2004	云南地区 2004 年度存在发生 6 ~ 7 级地震的可能。
2005	2005 年度云南存在发生 6.5 级左右地震的危险。
2006	2006 年度云南存在发生 6 ~ 7 级地震的危险。
2007	2007 年度云南地区存在发生 6 ~ 7 级地震的危险。
2008	2008 年度云南地区存在发生 6 ~ 7 级地震的危险。
2009	2009 年度云南地区存在发生 6 ~ 7 级地震的危险。
2010	2010 年度云南地区存在发生 6 ~ 7 级地震的危险。
2011	2011 年度云南地区存在发生 6 ~ 7 级地震的危险。
2012	缅甸 7.2 级地震的发生表明云南地区已进入新一轮强震活跃期, 2012 年度云南地区存在发生 6 ~ 7 级地震的危险。

^{*} 收稿日期: 2013 - 08 - 09.

基金项目: 云南省重点项目“新一轮强震活跃期相关研究 - 地震危险评估与年度地震趋势和危险区研究”(jeyb - 20080601 - 9 - 4) 和“云南地区强震预测预报指标体系研究”(JCYB - 20080601 - 1) 联合资助。

① 云南省地震局. 1997 ~ 2011. 云南省 1998 ~ 2012 年度地震趋势研究报告.



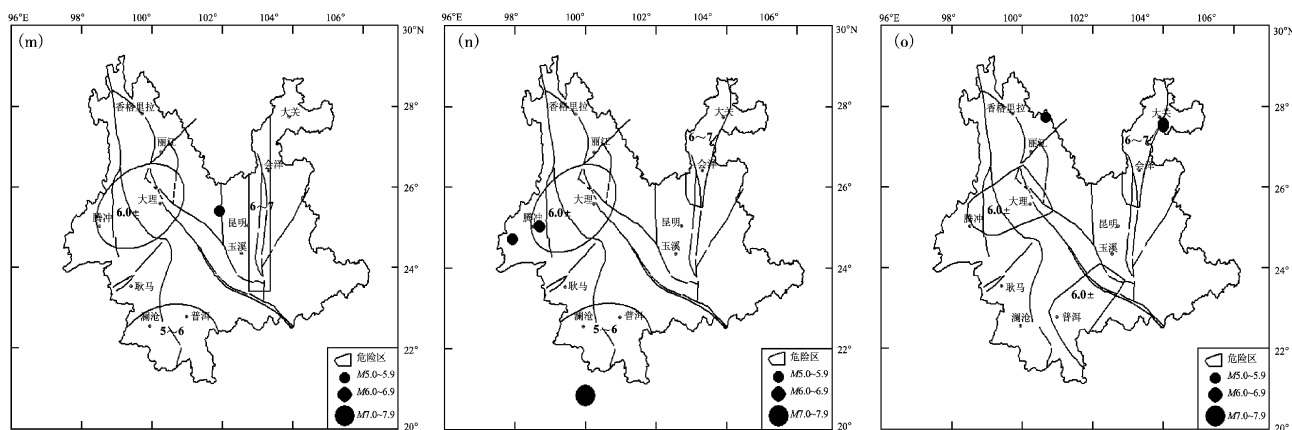


图1 云南省1998~2012年度地震危险区预测示意图

(a) 1998年度; (b) 1999年度; (c) 2000年度; (d) 2001年度; (e) 2002年度; (f) 2003年度;
(g) 2004年度; (h) 2005年度; (i) 2006年度; (j) 2007年度; (k) 2008年度;
(l) 2009年度; (m) 2010年度; (n) 2011年度; (o) 2012年度

Fig. 1 Sketch map of the prediction seismic risk region in Yunnan area from 1998 to 2012

(a) Year 1998; (b) Year 1999; (c) Year 2000; (d) Year 2001; (e) Year 2002; (f) Year 2003;
(g) Year 2004; (h) Year 2005; (i) Year 2006; (j) Year 2007; (k) Year 2008;
(l) Year 2009; (m) Year 2010; (n) Year 2011; (o) Year 2012

由表1和图1可见,年度地震趋势估计大致有3种情况:可能会发生6级左右,6.5级或6.5级左右,6~7级地震。1998~2012年度共划定46个地震重点危险区,除2000年度外,每年划定的危险区数均为3个,分别为滇东、滇西和滇西南地震危险区。

2 统计分析

2.1 年度最大地震活动强度

由表1和图2给出的1998~2012年度地震趋势估计,大致可分为两个阶段:1998~2003年度判定云南地区可能进入6.7级以上强震平静期,预测年度最大强度为6.5级(1998~1999年度、2001~2002年度)或6级左右(2000年度、2003年度);2004~2012年度判定云南地区可能进入新一轮强震活跃期,预测年度最大强度为6~7级(除2005年度判定为6.5级左右外,其余年度均判定为6~7级),2004年12月26日印尼8.7、8.5级地震后,2005年度水平判定为6.5级左右,2006~2012年度预测年度最大强度为6~7级,2010年度、2011年度判定云南地区发生7级地震的危险性增强,2011年3月24日缅甸7.2级地震后,判定“云南地区已进入新一轮强震活跃期”。

以当年度云南及邻近地区 $M \geq 5.0$ 地震作为评定地震,其中邻区地震距云南省界最近处的距离为5级地震小于10 km,6级地震小于50 km,7级地震小于100 km,分析了年度预测最大地震强度与实际最大地震之间的关系。由图2可见,1998~2003年度预测最大地震强度与实际最大地震基本吻合,2004~2010年度预测最大强度比实际最大地震强度明显偏高,即提前7个年度判定云南地区可能进入新一轮强震活跃期。2011年3月24日缅甸7.2级地震标志着云南地区已进入新一轮强震活跃期,2011~2012年度预测最大地震强度与实际最大地震强度基本一致。

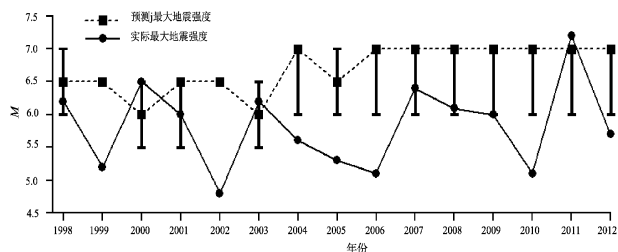


图2 云南地区年度预测最大地震强度和实际最大地震强度对比图

Fig. 2 The maximum magnitude comparison of the annual prediction and the actual earthquakes in Yunnan area

云南省 1998 ~ 2012 年度地震危险区一般有 3 个, 分别为滇东、滇西和滇西南地震危险区。根据“地震实况震中不超过预测区外侧 50 km”对应地震的原则, 表 2 给出了 1998 ~ 2012 年度地震危险区及实际对应地震情况。图 3 给出了滇东、滇西、滇西南地震危险区年度预测最大地震强度和实际发生最大地震强度对比图。由图 3a 可见, 滇东地震危险区年度预测最大地震强度有两个明显的阶段: (1) 1998 ~ 2005 年度判定滇东地震危险区处于强震平静阶段, 预测最大强度为 $5.5 \pm$ 、 $5.5 \sim 6.4$ 、 $5.0 \sim 5.5$ 、 $6 \pm$ 、 $6.5 \pm$, 即预测最大强度为震级 6.5 级左右及其以下, 该阶段有震年度预测最大地震强度比实际最大地震强度略有偏高, 但趋势判断基本正确; (2) 2006 ~ 2012 年度判定滇东地震危险区可能进入新一轮强震活动期, 年度预测最大强度为 6 ~ 7 级, 该阶段有 6/7 个年度虚报, 预测最大地震强度比实际最大地震强度明显偏高。由图 3b 可见, 滇西地震危险区年度预测最大地震强度除 1998 年度为 5 ~ 6 级、2004 年度为 6 ~ 7 级外, 其余年度均为 6 级左右, 该危险区有 8/15 个年度虚报, 有震年度预测最大地震强度与实际最大地震强度符合得较好。由图 3c 可见, 滇西南地震危险区年度预测最大地震强度为 $6 \pm$ 、 $5.5 \sim 6.4$ 、 $5 \sim 6$, 11/15 个年度虚报, 有震年度预测最大地震强度与实际最大地震强度吻合得较好。总体而言, 基于云南地区每年 $M \geq 5.0$ 地震时间和空间非均匀性, 每年划定的滇东、滇西、滇西南地震危险区的虚报比例总体偏高。在有震对应的情况下, 滇东地震危险区预测最大地震强度比实

际最大地震强度明显偏高, 滇西和滇西南地震危险区预测最大地震强度与实际最大地震强度基本一致。

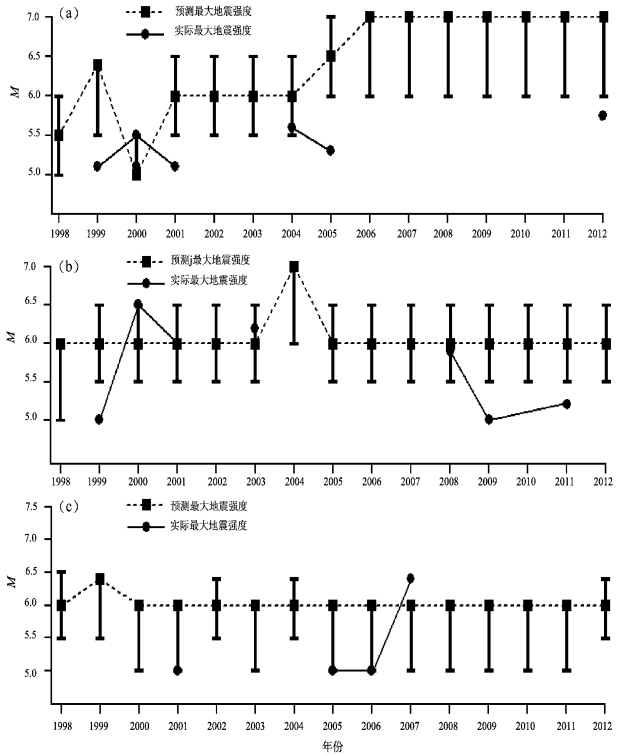


图 3 滇东 (a)、滇西 (b)、滇西南 (c) 地震危险区年度预测最大地震强度和实际最大地震强度对比图

Fig. 3 The maximum magnitude comparison of the annual prediction and the real earthquakes in seismic risk region of Eastern (a), Western (b) and Southwest (c) Yunnan in one year

表 2 1998 ~ 2012 年度地震危险区与地震实况统计表

Tab. 2 Statistic of the prediction seismic risk region and its corresponding actual earthquake from 1998 to 2012

时间	实际 (预测) 最大地震强度	云南及邻区实际发生 $M \geq 5.0$ 地震	年度地震危险区		
			危险区名称	预测震级	对应地震实况
1998 年度	6.2 (6.5 ±)	1998 - 11 - 19 宁蒗 6.2	滇西大理、洱源、永平、泸水、保山一带	5 ~ 6	/
			滇西南思茅、江城、绿春、勐海及中缅、老、越交界	6.0 ±	/
			会泽、寻甸、嵩明、澄江一带	5.5 ±	/
1999 年度	5.2 (6.5)	1999 - 11 - 25 澄江 5.2	永善、巧家、会泽、东川、会东一带及川滇交界地区	5.5 ~ 6.4	1998 - 12 - 01 宣威 5.1
		1998 - 12 - 01 宣威 5.1	宁蒗、鹤庆、宾川、永平、施甸	6.0 ±	1999 - 01 - 03 宁蒗 5.0
		1999 - 01 - 03 宁蒗 5.0	思茅、勐腊、江城、石屏	5.5 ~ 6.4	/

续表2

时间	实际（预测） 最大地震强度	云南及邻区实际发生 $M \geq 5.0$ 地震	年度地震危险区		
			危险区名称	预测震级	对应地震实况
2000 年度	6.5 (6.0±)	2000-01-15 姚安 6.5 2000-01-27 丘北弥勒 5.5 2000-08-21 武定 5.1	滇西—滇西北施甸、保山、永平、洱源、剑川、华坪等一带	6.0±	2000-01-15 姚安 6.5
			滇西南思茅、普洱、江城、勐腊及中缅、老、越交界	5~6	/
			滇东地区南部石屏、建水一带	5.0±	2000-01-27 丘北—弥勒 5.5
			滇东北会泽、巧家一带	5.0±	2000-08-21 武定 5.1
2001 年度	6.0 (6.0±, 最大 6.5)	2001-03-12 澜沧 5.0 2001-04-10 施甸 5.2 2001-04-12 施甸 5.9 2001-06-08 施甸 5.3 2001-05-24 宁蒗 5.8 2001-07-10 楚雄 5.3 2001-07-15 江川 5.1 2001-09-04 景谷 5.0 2001-10-27 永胜 6.0	滇西永胜、剑川、大理、永平、保山、腾冲、盈江一带	6.0±	2001-04-10 施甸 5.2
					2001-04-12 施甸 5.9
					2001-06-08 施甸 5.3
					2001-10-27 永胜 6.0
			滇东巧家、东川、寻甸、宜良、华宁一带	6.0±	2001-07-15 江川 5.1
					2001-07-15 江川 5.1
			滇西南普洱、思茅、景洪、勐腊及中缅、中老一带	5~6	2001-03-12 澜沧 5.0
					2001-09-04 景谷 5.0
2002 年度	<5.0 (6.5)	/	滇西永胜—鹤庆—泸水—腾冲—施甸—永仁一带	6.0±	/
			滇东禄丰、双柏、新平、建水、宜良、东川、巧家一带	6.0±	/
			滇西南思普及孟连—澜沧—普洱—勐腊	6.0±	/
2003 年度	6.2 (6±)	2003-07-21 大姚 6.2 2003-10-16 大姚 6.1 2003-11-15 鲁甸 5.1 2003-11-26 鲁甸 5.0	滇西华坪、剑川、云龙、永平、下关、永仁一带	6±	2003-07-21 大姚 6.2 2003-10-16 大姚 6.1
			滇东巧家、东川、寻甸、弥勒、开远一带	6±	/
			滇西南勐海、普洱、金平及中越、中老、中缅交界一带	5~6	/
			滇西北中甸、剑川、弥渡、永仁及川滇交界一带	6~7	/
2004 年度	5.6 (6~7)	2004-08-10 鲁甸 5.6 2004-10-16 保山 5.3	滇西南勐海、景谷、江城及中老、中越、中缅交界一带	6±	/
			滇东双柏、易门、建水、开远、华宁、宜良、寻甸、巧家一带	6±	2004-08-10 鲁甸 5.6
			滇东易门—石屏—建水—华宁—宜良—寻甸—巧家一带	6.5±	2004-12-26 双柏 5.0 2005-08-05 会泽 5.3
2005 年度	5.3 (6.5±)	2004-12-26 双柏 5.0 2005-08-05 会泽 5.3 2005-01-26 思茅 5.0 2005-08-13 文山 5.3	滇西泸水—腾冲—永平—剑川—永胜—永仁一带及川滇交界地区	6.0±	/
			滇西南勐海—思茅—江城—勐腊及其边境	5~6	2005-01-26 思茅 5.0
			小江断裂和楚雄—建水断裂中东段的巧家—会泽—寻甸—华宁—开远—易门—双柏一带	6~7	/
2006 年度	5.1 (6~7)	2006-01-12 墨江 5.0 2006-07-22 盐津 5.1 2006-08-25 盐津 5.1	滇西芒市—腾冲—永平—剑川—永胜—永仁一带及川滇交界	6.0±	/
			滇西南勐海—思茅—江城—勐腊及其边境一带	5~6	2006-01-12 墨江 5.0
			小江断裂带上的鲁甸—会泽—东川—寻甸—华宁—开远一带	6~7	/
2007 年度	6.4 (6~7)	2007-06-03 宁洱 6.4 2007-06-23 缅甸 5.8、5.6	滇西大理—永胜—剑川—泸水—腾冲一带	6.0±	/
			滇西南澜沧—思茅—江城—勐腊—景洪及其边境一带	5~6	2007-06-03 宁洱 6.4 2007-06-23 缅甸 5.8、5.6

续表 2

时间	实际（预测） 最大地震强度	云南及邻区实际发生 $M \geq 5.0$ 地震	年度地震危险区		
			危险区名称	预测震级	对应地震实况
2008 年度	6.1 (6~7)	2008-08-30 攀枝花 6.1 2008-03-21 盈江 5.0 2008-08-20 盈江 5.0 2008-08-21 盈江 5.9	滇东小江断裂带上的巧家—会泽—东川—寻甸—华宁—石屏一带	6~7	/
			滇西剑川—大理—六库—保山—腾冲—盈江一带	6.0±	2008-03-21 盈江 5.0 2008-08-20 盈江 5.0 2008-08-21 盈江 5.9
			滇西南普洱—澜沧—景洪—勐海—勐腊及其边境一带	5~6	/
2009 年度	6.0 (6~7)	2009-07-09 姚安 6.0 2009-11-02 宾川 5.0	滇东小江断裂带上的巧家—会泽—东川—寻甸—华宁—建水一带	6~7	/
			滇西剑川—永平—六库—保山—腾冲一带	6.0±	2009-11-02 宾川 5.0
			滇西南普洱—澜沧—景洪—勐海—勐腊及其边境一带	5~6	/
2010 年度	5.1 (6~7)	2010-02-25 元谋 5.1	滇东小江断裂带上的巧家—会泽—东川—寻甸—华宁—建水一带	6~7	/
			滇西弥渡—宾川—剑川—泸水—腾冲—施甸一带	6.0±	/
			滇西南思茅—景洪—澜沧—勐腊及其边境一带	5~6	/
2011 年度	7.2 (6~7)	2011-03-10 盈江 5.8 2011-03-24 缅甸 7.2 2011-06-20 腾冲 5.2 2011-08-09 腾冲 5.2	小江断裂中北段寻甸—东川—会泽—巧家—永善—马边及川滇交界一带	6~7	/
			滇西剑川—大理—保山—施甸—腾冲一带	6.0±	2011-06-20 腾冲 5.2 2011-08-09 腾冲 5.2
			滇西南思茅—澜沧—景洪—勐腊及其边境一带	5~6	/
2012 年度	5.7 (6~7)	2012-06-24 宁蒗 5.7 2012-09-07 彝良 5.7、5.6	滇东北寻甸—东川—会泽—巧家—永善及川滇交界一带	6~7	2012-09-07 彝良 5.7、5.6
			滇西大理—保山—施甸—腾冲一带	6.0±	/
			滇南至滇西南石屏—建水—江城—宁洱—思茅—勐腊一带	6.0±	/

2.2 年度地震危险区判定及对应情况分析

年度地震预测工作中最重要的部分是年度危险区的判定，利用以下参数定量检验和评价年度地震危险区的预测能力^①：

准确率 $P_1 = \frac{\text{实际发生 } M \geq 5.0 \text{ 地震的区数}}{\text{预报区数目}}$ ， (1)

虚报率 $P_2 = 1 - P_1$ ， (2)

漏报率 $P_3 = \frac{\text{实际发生 } M \geq 5.0 \text{ 地震数} - \text{准确预报的地震数}}{\text{实际发生 } M \geq 5.0 \text{ 地震的区数}}$ 。 (3)

所有统计均考虑 5 级以上地震，双震或震群计为 1 次，即只要在预测年度内，5 级以上地震实况震中

不超过预测区外侧 50 km 即算报对，而不考虑原来预测震级。1998 ~ 2012 年度地震危险区划分及地震实况如图 1 和表 2 所示。图 4 和表 3 为统计结果。由图 4a 可见，1998 ~ 2012 年度云南地区每年一般划定 3 个地震危险区（其中仅一个年度划定 4 个），平均有 1.2 ± 0.69 个危险区报对了 5 级以上地震，前者较为稳定，后者起伏波动相对较大，因而报对危险区数与危险区总数关系不大。图 4b 为云南地区每个年度发生的 $M \geq 5.0$ 地震数与报对的地震数，分别为 (2.4 ± 1.07) 次/年和 (1.5 ± 1.02) 次/年，可见两者之间的关系亦不明显。图 4c ~ e 为年度地震危险区预报准确率、虚报率和地震漏报率，1998 ~ 2002 年度地震危险区的预测能

① 赵洪声，李晏平，张立，等. 1999. 云南地震预报效能评价. 地震通讯，18 - 24.

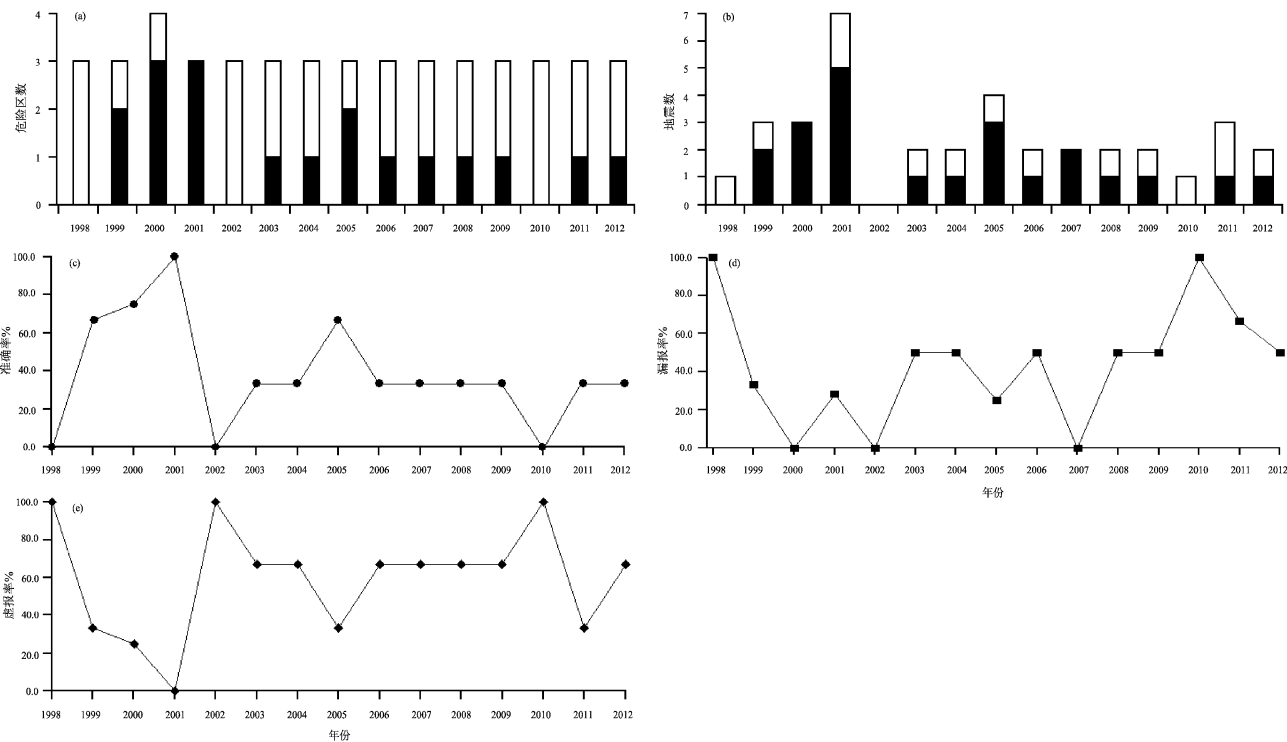


图 4 1998 ~ 2012 年度地震危险区实际预测能力的时间变化
(a) 年度危险区数目和报对的危险区数目；(b) 年度 $M \geq 5.0$ 地震数与报对地震数；(c) 年度地震危险区预报准确率；(d) 年度 $M \geq 5.0$ 地震漏报率；(e) 年度地震危险区虚报率

Fig. 4 Time variation of actual prediction ability of seismic risk region from 1998 to 2012
(a) The number of the annual prediction seismic risk regions and the right number of the prediction seismic risk regions；
(b) the number of the annual prediction $M \geq 5$ earthquakes and the right number of prediction earthquakes；(c) the accuracy rate of the annual prediction seismic risk region；(d) the missing rate of the annual prediction $M \geq 5$ earthquakes；(e) the false alert rate of the annual prediction earthquakes

表 3 1998 ~ 2012 年度地震危险区预测震级基本统计和预测能力

Tab. 3 Basic statistic of the prediction magnitude and the prediction ability in seismic risk region from 1998 to 2012

年度	5 ±	5 ~ 6	5.5 ±	5.5 ~ 6.4	6 ±	6.5 ±	6 ~ 7	危险区 总数	对应 $M \geq 5$ 地震 危险区数量	预报准确 率 (%)	虚报率 (%)	漏报率 (%)
1998		1	1		1			3	0	0	100	100
1999				2	1			3	2	66.7	33.3	33.3
2000	2	1			1			4	3	75.0	25.0	0
2001		1			2			3	3	100	0	28.2
2002					3			3	0	0	100	0
2003		1			2			3	1	33.3	66.7	50.0
2004					2		1	3	1	33.3	66.7	50.0
2005		1			1	1		3	2	66.7	33.3	25.0
2006		1			1		1	3	1	33.3	66.7	50.0
2007		1			1		1	3	1	33.3	66.7	0
2008		1			1		1	3	1	33.3	66.7	50.0
2009		1			1		1	3	1	33.3	66.7	50.0
2010		1			1		1	3	0	0	100	100
2011		1			1		1	3	1	33.3	66.7	66.7
2012					2		1	3	1	33.3	66.7	50.0
合计	2	11	1	2	21	1	8	46	18			
%	4.3	23.9	2.2	4.3	45.7	2.2	17.4		39.1			

力起伏波动明显, 2003 ~ 2012 年度地震危险区预报准确率相对稳定在 33.3%。此外, 破坏性地震活动主体地区持续的地方与时段, 所划地震危险区容易对应地震, 地震活动主体地区转换的年份或少震区发生地震的年份, 所划定的危险区地震对应率往往偏低。

在时间上, 每年划定年度地震危险区的数目基本稳定, 但由于地震活动的起伏, 落入危险区的地震数目会有差异。在空间上, 地震危险区往往划定在地震多发的地区或略有调整, 由于主体活动地区的转移, 往往也会出现落入危险区的地震数目的变化。

2.3 有 $M \geq 5.0$ 地震对应的危险区基本状况

在年度地震危险区预测中, 关于预测强度有 $5 \pm$ 、 $5 \sim 6$ 、 $5.5 \pm$ 、 $5.5 \sim 6.4$ 、 $6 \pm$ 、 $6.5 \pm$ 、 $6 \sim 7$ 级共 7 种, 但 1998 ~ 2012 年度常用的预测强度是 $6 \pm$ 、 $5 \sim 6$ 、 $6 \sim 7$, 分别占有所有地震危险区预测强度的 45.7%、23.9% 和 17.4%。1998 ~ 2012 年度划定的 46 个地震危险区中, 报对地震的危险区数为 18 个, 占地震危险区总数的 39.1%, 这一比例是未考虑预测震级与实际震级差异的统计结果, 即只要是地震危险区内及其边缘 50 km 范围落入 5 级以上地震即认为是对应了地震 (表 3)。

在“报对”的地震危险区中, 理论上预测次数足够多之后, 预测震级与实际震级之差符合零均值正态分布^①。但实际上如图 5 所示, 多数情况 (13/18) 预测震级中值高于或等于实际震级, 少数情况 (5/18) 预测震级中值低于实际震级。预测震级与实际震级之差最大为 1.2 级, 差值平均值为 0.35 级, 差值绝对值的平均值为 0.59 ± 0.34 级。

2.4 年度地震危险区预测面积统计

每年划定的地震危险区预测图, 意味着有可能发生严重的地震灾害, 需引起高度关注和警惕的地区。表 4 给出了 1998 ~ 2012 年度危险区总面积、各个地震危险区面积和预测面积率。其中预测面积率 (精确率) 利用式 (4) 计算^②:

$$\text{预测面积率(精确率)} = \frac{\text{预测面积}}{\text{云南全省总面积}} \quad (4)$$

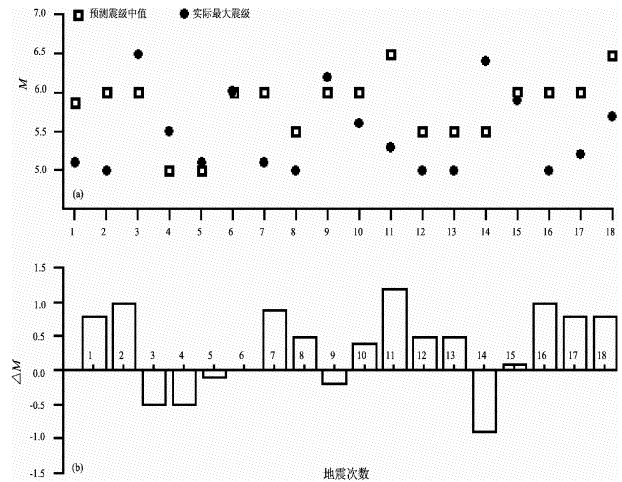


图 5 “报对”危险区实际发生地震震级与预测震级中值的关系

(a) “报对”危险区预测震级中值 (空心框) 与实际最大震级 (实心圆); (b) “报对”危险区预测震级中值与实际最大震级之差

Tab. 5 The relation between the magnitude of the actual earthquakes in right prediction seismic risk area and the prediction magnitude median

(a) the prediction magnitude (hollow frame) in seismic risk area and the actual maximum magnitude (solid circle);
(b) the difference between the right predict magnitude in right prediction seismic risk area and the actual maximum magnitude

图 6 给出了年度地震危险区总面积随时间的变化曲线。由图 6 和表 4 可见, 年度地震危险区总面积为 $70\,800 \sim 121\,922 \text{ km}^2$, 预测面积率为 $(18 \sim 31)\%$, 年度危险区总面积的平均值为 $(10.0 \pm 1.17) \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中 1998 年度和 2012 年度预测面积率较小, 分别为 18% 和 19%, 1999 年度和 2001 年度预测面积率较大, 分别为 30% 和 31%。1998 ~ 2007 年度危险区预测面积率起伏波动较大, 2008 ~ 2011 年度危险区预测面积率相对稳定在 27% 左右, 1998 ~ 2012 年度危险区预测面积总体呈减小趋势, 即准确率有所提高。图 7 给出了 1998 ~ 2012 年度各个地震危险区预测面积时间变

① 蒋海昆, 苗青壮, 陈荣华. 2007 基于《中国震例》及全国年度预测“白皮书”的定量统计分析. 震情研究, No. 4, 2008, No. 1 合订本.

② 赵洪声, 李晏平, 张立, 等. 1999. 云南地震预报效能评价. 地震通讯, 18 - 24.

表 4 1998 ~ 2012 年度地震危险区预测面积统计表

Tab. 4 Statistic table of the prediction area in seismic area from 1998 to 2012

年度	危险区名称	各危险区 面积/km ²	总面积 /km ²	预测 面积率 (%)	年度	危险区名称	各危险区 面积/km ²	总面积 /km ²	预测 面积率 (%)
1998	滇西	22 950	70 800	18	2006	滇东	25 890	114 570	29
	滇西南	33 000				滇西	60 050		
	滇东	14 850				滇西南	28 630		
1999	滇东北	37 480	118 020	30	2007	滇东	23 000	91 370	23
	滇西	44 200				滇西	37 450		
	滇西南	36 340				滇西南	30 920		
2000	滇西滇西北	27 430	94 971	24	2008	滇东	26 300	111 750	28
	滇西南	33 640				滇西	37 880		
	滇东 + 滇东北	33 901				滇西南	47 570		
2001	滇西	50 030	121 922	31	2009	滇东	23 790	104 970	27
	滇东	29 890				滇西	43 260		
	滇西南	42 002				滇西南	37 920		
2002	滇西	43 860	101 439	26	2010	滇东	26 300	107 400	27
	滇东	23 680				滇西	43 180		
	滇西南	33 899				滇西南	37 920		
2003	滇西	30 830	84 290	21	2011	滇东	20 860	101 680	26
	滇东	17 130				滇西	42 530		
	滇西南	36 330				滇西南	38 290		
2004	滇西北	38 910	106 020	27	2012	滇东北	20 860	75 680	19
	滇西南	41 880				滇西	28 280		
	滇东	25 230				滇南至滇西南	26 540		
2005	滇东	25 400	94 680	24					
	滇西	41 400							
	滇西南	27 880							

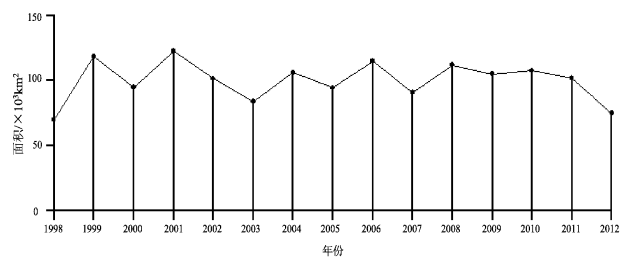


图 6 1998 ~ 2012 年度地震危险区
预测总面积时间变化图

Fig. 6 Time variation of the prediction area
in seismic area from 1998 to 2012

化图，滇西地震危险区的面积较大，滇西南地震危险区的面积次之，滇东地震危险区的面积最小。每年划定滇西地震危险区的面积变化较大，而滇东地震危险区每年划定的面积相对较稳定。

总体而言，1998 ~ 2012 年度预测有发生强震危险的国土面积少则占 18%，多则达 31%，而一

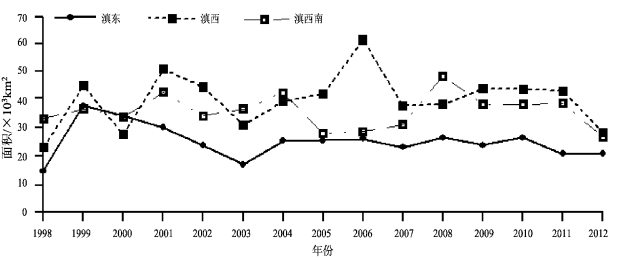


图 7 1998 ~ 2012 年度各个地震危险区
预测面积时间变化图

Fig. 7 Time variation of each prediction area
in seismic area from 1998 to 2012

次 6 级强震的实际成灾面积（以 7 度烈度区统计）为数百至千余平方公里，仅相当于全省面积的 0.1 ~ 0.5% 左右；7 级大震，如通海 7.8 级地震的成灾面积 10 906 km²，占全省总面积的 2%，这一数据对比反映目前年度预测对强震的空间分辨能力尚需提高。

3 基本认识

(1) 云南地区 $M \geq 6.7$ 地震存在 10 年尺度活跃—平静特征, 20 世纪云南地区 $M \geq 6.7$ 地震 4 个活跃期持续时间平均为 11.8 ± 2.8 年, 3 个平静期持续时间平均为 12.3 ± 3.8 年 (皇甫岗等, 2000; 苏有锦等, 2001; 刘祖荫等, 2002), 这是近十多年来云南地区地震大形势研究与地震趋势判定的主要依据。基于该认识, 对 1996 年丽江 7.0 级地震后云南地区进入强震平静期的判定是正确的; 但从 2004 年开始给出了云南地区可能会进入新一轮强震活跃期的判定和预测意见提前了 7 个年度, 直到 2011 年 3 月 24 日缅甸 7.2 级地震的发生才标志着云南地区进入新一轮强震活跃期。实质上, 这是根据平均平静期持续时间 (12.3 ± 3.8) 年做出的一个估计, 考虑到 4 年左右的统计误差, 最早 2004 年, 最迟 2012 年进入强震活跃期, 可见预测时间有较大的跨度, 有 8 年的时间窗。

(2) 各个地震危险区震级水平的变化, 实际上与每年对地震主体地区的判定有关。云南地区 $M \geq 6.7$ 地震以金沙江—红河断裂带为界, 东、西交替发生, 第一、三活跃期的强震活动主体地区在东部, 第二、四活跃期在西部, 据此推测新一轮强震活跃期主体活动地区可能在金沙江—红河断裂带及其以东的云南中东部地区 (皇甫岗等, 2000; 苏有锦等, 2001; 刘祖荫等, 2002)。基于该认识, 从 2006 年度开始将滇东地震危险区的最大地震强度判定为 6~7 级。云南地区 $M \geq 6.0$ 地震主体地区的轮回现象和云南地区 $M \geq 5$ 地震不同的时段存在不同的主体地区^① (付虹等, 1997, 2008) 等特征, 也是各个地震危险区强度的预测依据。总体而言, 滇东地震危险区的预测最大地震强度比实际最大地震强度明显偏高, 滇西地震危险区和滇西南地震危险区的预测最大地震强度和实际最大地震强度基本一致。

(3) 1998~2012 年度云南地区每年一般划定 3 个地震危险区 (仅一个年度划定了 4 个), 平均有 (1.2 ± 0.69) 个地震危险区报对了云南地区 5 级以上地震, 报对地震危险区的数量与危险区总数关系不大。1998~2012 年度划定的 46 个危险区

中, 报对地震的危险区数为 18 个, 占危险区总数的 39.1%, 这一比例是在未考虑预测震级与实际震级的差异前提下, 危险区及其边缘 50 km 范围内落入 5 级以上地震的统计结果; 若按 5 级以上地震落入地震危险区统计, 则报对的危险区数为 11 个, 占地震危险区总数的 23.9%, 比例更低。实际上, 地震危险区往往划定在地震多发的地区或略有调整, 而破坏性地震活动主体地区持续的地方与时段, 所划地震危险区容易对应地震, 地震活动主体地区转换的年份或少震区发生地震的年份, 所划定的危险区地震对应率往往偏低。

(4) 1998~2012 年度云南地区每个年度发生的 $M_L \geq 5.0$ 地震数与报对的地震数分别为 (2.4 ± 1.07) 次/年和 (1.5 ± 1.02) 次/年, 两者之间的关系亦不明显。年度地震危险区常用的预测强度是 6±、5~6、6~7 级, 分别占有所有危险区预测强度的 45.7%、23.9% 和 17.4%。有 72.2% 的预测震级中值大于或等于实际震级, 27.7% 的预测震级中值低于实际震级, 预测震级与实际震级之差最大为 1.2 级, 差值平均值为 0.35 级, 差值绝对值的平均值为 0.59 ± 0.34 级。

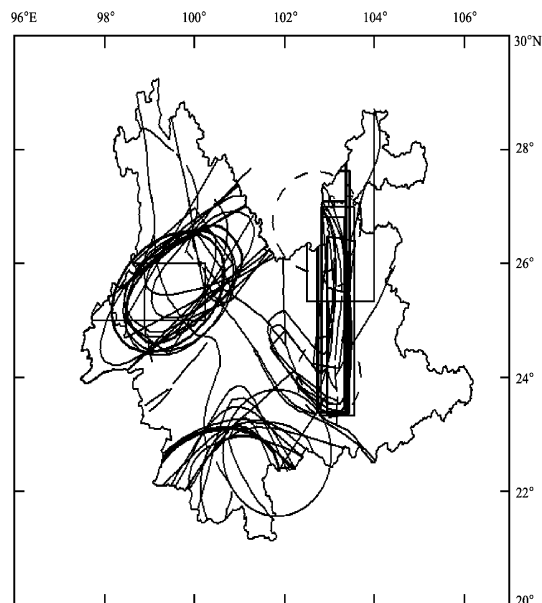


图 8 1998~2012 年度地震危险区预测叠加图
Fig. 8 Superposition chart of the prediction seismic risk areas from 1998 to 2012

① 付虹, 刘丽芳, 李永莉. 云南年度地震重点危险区工作总结. 震情研究, 2007, No. 4, 2008, No. 1 合订本.

(5) 1998~2012年度地震危险区总面积为70 800~121 922 km², 预测面积率为(18~31)%, 年度危险区总面积平均值为 $(10.0 \pm 1.17) \times 10^4$ km², 预测面积总体呈逐年减小趋势, 即准确率有所提高, 但是与强震的实际成灾面积相比, 年度预测对强震的空间分辨能力还需提高。

(6) 从图8给出的1998~2012年度地震危险区预测叠加图表明, 每年地震危险区的划定存在明显的重复性。依据云南地区 $M \geq 6.7$ 地震10年尺度活跃—平静的特征所作出的最大地震强度预测也存在较大的时间跨度。因此, 要不断加强年度地震重点危险区判定指标研究, 解决危险区圈定的继承性问题; 不断清理、提炼不同强度地震的判定指标和特征, 提高云南年度最大地震活动水平的预测能力; 要坚持发展与继承相结合, 利用测震学、形变、流体、磁电等学科观测资料,

探索适用一年时间尺度的具有较好预测效能的指标体系和方法技术, 是地震预测预报努力探索的方向。

参考文献:

- 付虹, 陈立德, 罗平, 等. 1997. 1995年7月12日云南孟连中缅边界7.3级地震中短临预报及前兆特征[J]. 地震研究, 20(3): 249-258.
- 付虹, 刘丽芳, 赵小艳, 等. 2008. 云南年度危险区预测能力的统计分析[J]. 地震, 28(4): 68-79.
- 皇甫岗, 石绍先, 苏有锦. 2000. 20世纪云南地震活动研究[J]. 地震研究, 23(1): 1-9.
- 刘祖荫, 苏有锦, 秦嘉政, 等. 2002. 20世纪云南地震活动[M]. 北京: 地震出版社.
- 苏有锦, 李忠华, 刘祖荫, 等. 2001. 20世纪云南地区 $M_s \geq 5.0$ 地震活动的基本特征[J]. 地震研究, 24(1): 1-9.

Review and Summary of Annual Earthquake Prediction in Yunnan from 1998 to 2012

LIU Li-fang, SU You-jin, MAO Yu-ping, QIN Jia-zheng

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Through summarizing the prediction and judging situation of the earthquake tendency and earthquake key risk region, which were recorded in the research report of annual earthquake tendency consultation in Yunnan province from 1998 to 2012, we induced the statistical and analytical results of the annual largest seismic activity strength, the corresponding situation of actual earthquakes in risk region and statistic analyzing result of prediction area of risk region in order to obtain the systematic knowledge of annual earthquake prediction in Yunnan region.

Key words: seismic activity strength; annual earthquake tendency; determination of earthquake risk region; Yunnan area