

# 长宁窗地震与四川及邻区 $M \geq 5.5$ 地震的对应关系\*

易桂喜, 龙 锋, 张致伟, 阮 祥

(四川省地震局, 四川 成都 610041)

**摘要:** 系统分析了自1970年7月四川区域地震台网有记录以来长宁窗发生的  $M_L \geq 3.5$  地震及其与四川及邻区  $M \geq 5.5$  中一强地震的对应关系。结果显示, 根据一定的预报规则, 长宁窗地震可作为判定四川及邻区是否发生  $M \geq 5.5$  地震的中期预测指标, 该指标对四川地区  $M \geq 6$  地震预测效果最好。

**关键词:** 长宁窗; 四川及邻区; 中一强地震; 地震预测指标

**中图分类号:** P315.72

**文献标识码:**

**文章编号:** 1000-0666(2013)04-0427-06

## 0 前言

从震例总结发现, 在一些局部区域, 发生一定震级的地震可能对较大区域范围内的强震具有指示意义, 即存在点与面的关系。这种敏感的小区域称之为地震窗口, 而窗口内满足条件的地震称为信号型窗口地震。程万正(1984, 1986)研究发现, 位于华蓥山断裂带附近的长宁地区为四川地区的信号型地震窗口之一, 并利用1970~1982年的地震资料, 分析了长宁窗内  $M_S \geq 3.7$  地震与四川及邻区  $M \geq 6$  强震之间的对应关系。多年的预报实践显示, 以坐标(104.95°E, 28.77°N)为圆心, 50 km为半径的长宁圆形窗似乎是四川地区较为突出的信号型地震窗口, 长宁窗内  $M_L \geq 3.5$  地震对四川及邻区(25°~35°N, 96°~110°E)  $M \geq 5.5$  地震的发生具有一定的指示意义。

四川区域地震台网观测记录始于1970年7月。本文通过对1970年7月以来发生在长宁窗内的  $M_L \geq 3.5$  窗口地震与四川及邻区  $M \geq 5.5$  中一强地震的对应关系进行系统分析, 并对其预报效能进行统计检验, 为四川及邻区的中一强地震中、短期预报提供依据, 也为今后的分析预报人员提供可持续分析的资料。用于统计分析的1970年7月以来发生在四

川及邻区  $M \geq 5.5$  地震的空间与时间分布见图1。

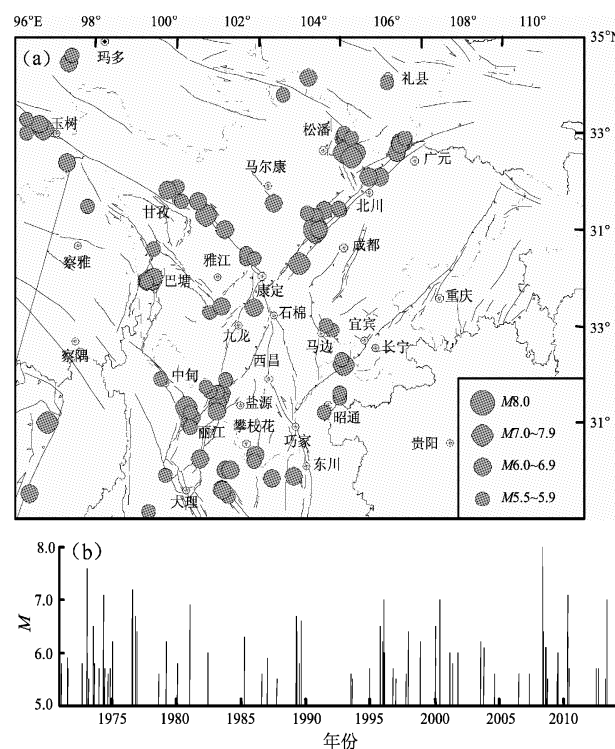


图1 1970年7月以来四川及邻区  $M \geq 5.5$  地震空间分布(a)和时间分布(b)

Fig. 1 Spatial (a) and temporal (b) distribution of  $M \geq 5.5$  earthquakes in Sichuan and its surrounding area since Jul., 1970

\* 收稿日期: 2013-05-18.

基金项目: 国家科技支撑计划(编号: 2012BAK19B01-01)、中国地震局2013年度震情跟踪专项(M7)联合资助

1 长宁窗地震与四川及邻区  $M \geq 5.5$  地震的对应关系

根据长宁窗的定义范围, 自 1970 年 7 月四川

地震台网有记录以来至 2013 年 5 月 10 日, 长宁窗内共发生  $M_L \geq 3.5$  地震 72 次(表 1、图 2)。为便于分析长宁窗地震与中—强地震的对应关系, 同时挑选出长宁窗地震出现后 1 年内四川及邻区发生的  $M \geq 5.5$  地震, 一并列于表 1。

表 1 1970 年 7 月以来  $M_L \geq 3.5$  长宁窗地震与四川及邻区  $M \geq 5.5$  地震的对应关系  
Tab. 1 Corresponding relation between  $M_L \geq 3.5$  earthquakes in Changning window and  $M \geq 5.5$  earthquakes in Sichuan and its surrounding area since Jul. 1, 1970

| 长宁窗口地震     |                        |                        |     | 四川及邻区 $M \geq 5.5$ 地震对应情况  |
|------------|------------------------|------------------------|-----|--|
| 发震日期/年-月-日 | $\varphi_N/(^{\circ})$ | $\lambda_E/(^{\circ})$ | 震级  |  |
| 1971-09-20 | 28.27                  | 105.01                 | 4.2 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)   |
| 1971-11-02 | 28.24                  | 105.05                 | 3.6 |  |
| 1971-11-03 | 28.27                  | 104.58                 | 3.6 |  |
| 1972-04-23 | 28.24                  | 105.05                 | 3.5 | 1972 年 9 月, 四川康定 5.8、5.6、5.7 级地震; 1973 年 2 月, 四川炉霍 7.6、6.0 级地震; 1973 年 3 月, 四川甘孜 5.5 级地震 |
| 1975-12-04 | 28.34                  | 105.01                 | 4.7 | 1976 年 8 月, 四川松平 7.2、5.9、6.7、7.2 级地震; 1976 年 11~12 月, 四川盐源 6.7、5.6、6.4 级地震               |
| 1976-02-02 | 28.25                  | 105.09                 | 3.5 |  |
| 1976-02-12 | 28.24                  | 105.05                 | 3.7 |  |
| 1977-09-29 | 28.24                  | 105.05                 | 3.8 | 1978 年 8 月, 四川盐源 5.6 级地震   |
| 1981-01-13 | 28.46                  | 104.52                 | 4.0 | 1981 年 1 月, 四川道孚 6.9 级地震   |
| 1981-05-01 | 28.42                  | 104.33                 | 3.8 | 1981 年 5 月, 云南宁蒗 5.7 级地震   |
| 1982-05-25 | 28.28                  | 105.15                 | 3.5 | 1982 年 6 月, 四川甘孜 6.0 级地震   |
| 1986-04-28 | 29.06                  | 104.40                 | 4.1 | 1986 年 8 月, 四川理塘 5.6 级地震; 1987 年 1 月, 甘肃迭部 5.8 级地震                                       |
| 1987-05-17 | 28.48                  | 104.50                 | 3.9 | 1988 年 1 月, 云南宁蒗 5.5 级地震   |
| 1987-06-11 | 28.46                  | 104.55                 | 4.3 |  |
| 1987-11-09 | 28.50                  | 104.55                 | 3.6 |  |
| 1989-03-27 | 28.43                  | 104.55                 | 3.7 | 1989 年 4~7 月, 四川巴塘 6.7、6.7、6.4、6.2、5.8 级地震; 1989 年 9 月, 四川小金 6.6 级地震                     |
| 1990-01-27 | 29.08                  | 104.43                 | 3.5 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)   |
| 1990-06-16 | 29.12                  | 104.55                 | 3.6 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)   |
| 1992-04-17 | 28.45                  | 104.52                 | 4.3 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)   |
| 1993-07-06 | 29.02                  | 104.43                 | 3.5 | 1993 年 7 月, 云南中甸 5.6 级地震; 1993 年 8 月, 云南姚安 5.5 级地震                                       |
| 1993-07-06 | 29.03                  | 104.34                 | 3.6 |  |
| 1993-11-03 | 29.02                  | 104.41                 | 3.5 |  |
| 1994-02-21 | 29.06                  | 104.37                 | 3.5 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)   |
| 1994-05-06 | 29.06                  | 104.39                 | 4.1 |  |
| 1994-05-06 | 29.06                  | 104.39                 | 4.1 |  |
| 1994-06-23 | 29.03                  | 104.40                 | 3.5 |  |
| 1994-09-21 | 29.07                  | 104.40                 | 3.9 |  |
| 1994-10-08 | 29.06                  | 104.39                 | 3.6 |  |
| 1994-10-12 | 29.06                  | 104.40                 | 3.6 |  |
| 1994-12-11 | 29.04                  | 104.39                 | 3.5 |  |
| 1994-12-11 | 29.06                  | 104.39                 | 4.3 |  |
| 1994-12-12 | 29.00                  | 104.40                 | 3.6 |  |
| 1994-12-13 | 29.02                  | 104.37                 | 3.5 |  |
|            |                        |                        |     | 1994 年 12 月, 四川沐川 5.7 级地震; 1995 年 10 月, 云南武定 6.5 级地震                                     |

续表 1

| 长宁窗口地震     |                        |                        |     | 四川及邻区 $M \geq 5.5$ 地震对应情况                               |
|------------|------------------------|------------------------|-----|---|
| 发震日期/年-月-日 | $\varphi_N/(^{\circ})$ | $\lambda_E/(^{\circ})$ | 震级  |   |
| 1996-022-8 | 2902                   | 10437                  | 5.4 | 1996 年 9 月, 云南丽江 5.7 级地震; 1996 年 12 月, 四川白玉 5.5 级地震     |
| 1999-11-12 | 2822                   | 10455                  | 3.6 | 2000 年 1 月, 云南姚安 5.9、6.5 级地震; 2000 年 6 月, 缅甸 7.0 级地震    |
| 2001-12-06 | 29.09                  | 104.49                 | 3.8 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2002-04-29 | 28.25                  | 104.41                 | 3.8 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2004-06-17 | 29.06                  | 104.37                 | 4.5 |   |
| 2004-06-17 | 29.06                  | 104.37                 | 3.6 | 2004 年 8 月, 云南鲁甸 5.6 级地震                                |
| 2005-10-31 | 28.28                  | 105.13                 | 3.6 | 2006 年 7 月, 青海玉树 5.6 级地震                                |
| 2006-08-01 | 28.20                  | 104.59                 | 3.9 |   |
|            | 28.20                  | 104.50                 | 4.1 |   |
| 2007-01-04 | 28.22                  | 104.57                 | 3.8 |   |
| 2007-04-25 | 28.20                  | 104.57                 | 3.6 | 2007 年 5 月, 西藏妥坝 5.6 级地震                                |
| 2007-06-18 | 28.21                  | 104.51                 | 3.9 |   |
| 2007-10-06 | 28.23                  | 104.56                 | 4.2 |   |
| 2007-11-11 | 28.23                  | 104.53                 | 3.9 |   |
| 2008-02-01 | 28.20                  | 104.53                 | 4.8 | 2008 年 5~8 月, 四川汶川 8.0 及 13 次 $M \geq 5.5$ 余震           |
| 2008-02-14 | 28.22                  | 104.50                 | 3.8 |   |
| 2008-08-29 | 28.22                  | 104.53                 | 3.5 | 2008 年 8 月, 四川攀枝花 6.3、5.6 级地震;                          |
| 2008-11-19 | 28.20                  | 104.49                 | 3.7 | 2008 年 9 月, 甘肃武都—陕西宁强 5.5 级地震                           |
| 2009-01-01 | 28.22                  | 104.51                 | 3.5 |   |
| 2009-03-12 | 28.41                  | 104.58                 | 3.8 | 2009 年 6 月, 四川绵竹 5.6 级地震                                |
| 2009-07-07 | 28.41                  | 104.57                 | 3.5 | 2009 年 7 月, 云南姚安 6.0 级地震                                |
| 2009-11-21 | 28.40                  | 104.59                 | 3.5 |   |
| 2010-03-11 | 28.38                  | 105.07                 | 3.5 | 2010 年 4~5 月, 青海玉树 7.1、6.3、5.7 级地震                      |
| 2010-05-31 | 28.27                  | 104.38                 | 3.5 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2010-07-16 | 28.25                  | 104.53                 | 4.0 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2010-10-06 | 28.22                  | 104.55                 | 4.6 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2010-10-15 | 28.41                  | 104.59                 | 3.9 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2011-04-30 | 28.22                  | 104.55                 | 3.8 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2011-06-02 | 28.20                  | 104.55                 | 3.9 | (震后 1 年内无 $M \geq 5.5$ 地震)                              |
| 2011-06-26 | 28.22                  | 104.55                 | 4.3 |   |
| 2012-01-07 | 2840                   | 104.58                 | 3.7 |   |
| 2012-04-09 | 28.23                  | 104.56                 | 4.1 | 2012 年 6 月, 四川盐源—云南宁蒗 5.7 级地震                           |
| 2012-07-28 | 28.23                  | 104.49                 | 3.8 |   |
| 2012-07-31 | 28.25                  | 104.52                 | 3.5 |   |
| 2012-08-20 | 28.35                  | 104.93                 | 3.5 |   |
| 2012-08-25 | 28.39                  | 104.83                 | 3.8 | 2012 年 9 月, 云南彝良 5.7、5.6 级地震; 2013 年 3 月, 云南大理 5.5 级地震; |
|            |                        |                        |     | 2013 年 4 月四川芦山 7.0 级地震                                  |
| 2013-04-25 | 28.40                  | 104.90                 | 5.3 |   |
|            | 28.40                  | 104.90                 | 4.7 |   |
| 2013-05-07 | 28.40                  | 104.90                 | 4.0 | ?   |

注：表中黑色加粗标示与其最近的长宁窗地震之间时间间隔小于 6 个月的地震。

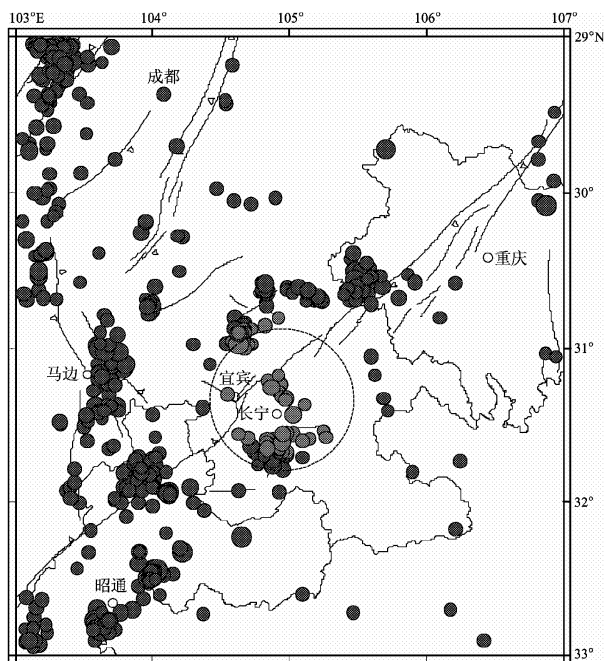


图2 1970年7月以来长宁窗及附近区域  $M_L \geq 3.5$  地震震中分布 (黑色虚线框标示长宁窗范围, 红色圆为长宁窗口地震)

Fig. 2 Epicenter distribution of  $M_L \geq 3.5$  earthquakes in Changning window and its surrounding area since Jul. , 1970 (the black dashed fram is the range of Changning window; the red solid circle is the location of Changning window earthquake)

表1显示, 2013年4月芦山7.0级地震前, 长宁窗共发生69次  $M_L \geq 3.5$  地震, 其中56次震后1年内在四川及邻区发生了  $M \geq 5.5$  地震, 仅有13次例外, 对应中—强地震的比例占窗口地震总数的81.2%。表明长宁窗内  $M_L \geq 3.5$  地震对四川及邻区  $M \geq 5.5$  级中—强地震具有较强的中期指示意义。

1970年7月至2013年4月的42.3年间, 四川及邻区共发生  $M \geq 5.5$  地震90次<sup>①</sup> (含强余震), 分布在61个月内, 其中  $M \geq 6$  地震45次, 分布在31个月内。90次  $M \geq 5.5$  地震中, 63次发生在长宁窗出现窗口地震后1年内, 占地震总数的70%; 27次震前无窗口地震, 漏报约30%。31次  $M \geq 6$  以上地震前出现了长宁窗口地震, 占  $M \geq 6$  地震总数的69%。值得注意的是, 1970年7月以来四川

地区发生在16个月中的28次  $M \geq 6$  地震事件中, 有25次地震事件是在长宁窗窗口地震出现后的1年内发生的, 仅1973年8月11日松潘6.5级、1975年1月24日九龙6.5级和2001年2月23日雅江6.0级3次地震例外。

由表1还可发现, 69次  $M \geq 3.5$  窗口地震中, 有37次窗口地震后6个月内即发生了  $M \geq 5.5$  地震, 占窗口地震总数的53.546%, 表明长宁窗  $M_L \geq 3.5$  地震对四川及邻区  $M \geq 5.5$  中—强地震可能还具有一定的短期指示意义。

图3显示, 1970年以来四川及邻区发生的7次  $M \geq 7$  地震中, 有5次大震前1年内长宁窗窗口地震密集活动, 丽江地震间隔时间稍长, 发生在窗口地震密集活动1年2个月; 仅1974年大关7.1级地震例外, 震前2年内无窗口地震活动 (表1)。因此, 长宁窗窗口地震密集活动可作为判别四川及邻区未来1年或稍长时间是否发生  $M \geq 7$  地震的重要参考依据。

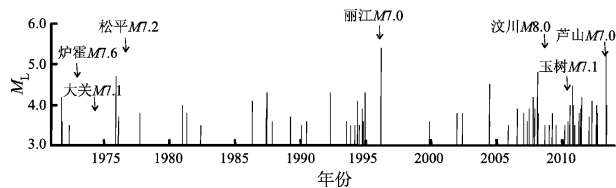


图3 1970年7月以来长宁窗  $M_L \geq 3.5$  地震时间分布

Fig. 3 Temporal distribution of  $M_L \geq 3.5$  earthquakes in Changning window since Jul. , 1970

## 2 预测评分与内符检验

判别长宁窗  $M_L \geq 3.5$  地震是否具有统计上的预测意义, 必须严格遵循一定的预测规则, 进行预测评分  $R$  检验。预测评分通常采用内符检验方法, 即利用已有震例进行评价。

### 2.1 预测规则

预测规则1: 长宁窗发生  $M_L \geq 3.5$  窗口地震后, 预测未来12个月内四川及邻区可能发生  $M \geq 5.5$  中—强地震。

<sup>①</sup> 1999年8月以前的地震资料来源于《中国强地震目录》(中国地震局监测司预报管理处, 1999年), 1999年8月后的地震资料来源于四川地震台网观测报告。

预测规则 2: 长宁窗发生  $M_L \geq 3.5$  窗口地震后, 预测未来 12 个月内四川及邻区可能发生  $M \geq 6$  强震。

预测规则 3: 长宁窗发生  $M_L \geq 3.5$  窗口地震后, 预测未来 12 个月内四川地区可能发生  $M \geq 6$  强震。

预测规则 4: 长宁窗发生  $M_L \geq 3.5$  窗口地震后, 预测未来 6 个月内四川及邻区可能发生  $M \geq 5.5$  中一强地震。

## 2.2 预测效果内符检验

1970 年 7 月至 2013 年 4 月共 515 个月内, 四川及邻区共发生  $M \geq 5.5$  地震 90 次, 其中,  $M \geq 6$  地震 45 次 (四川地区 28 次)。根据预测规则, 利用预测效能评分  $R$  值 (国家地震局科技监测司, 1990):

$$R = \text{报对地震数} / \text{应报地震总数} - \text{预报占用时间} / \text{预报研究的时间}, \quad (1)$$

对长宁窗  $M_L \geq 3.5$  窗口地震预测效果进行内符检验。

(1) 根据预测规则 1, 长宁窗 69 次窗口地震共预测 230 个月, 应报地震 90 次, 其中, 报对 63 次地震, 漏报 27 次, 预测评分  $R$  值为:

$$R = 63/90 - 230/515 = 0.25, R > R_0 = 0.10, \quad (2)$$

通过统计检验。

(2) 根据预测规则 2, 69 次窗口地震共预测 230 个月, 应报地震数 45 次, 其中报对 31 次地震, 漏报 14 次, 预测评分  $R$  值为:

$$R = 31/45 - 230/515 = 0.24, R > R_0 = 0.15, \quad (3)$$

通过统计检验。

(3) 根据预测规则 3, 69 次窗口地震共预测 230 个月, 应报地震数 28 次, 其中报对 25 次地震, 漏报 3 次, 预测评分  $R$  值为:

$$R = 25/28 - 230/515 = 0.45, R > R_0 = 0.18, \quad (4)$$

通过统计检验。

(4) 根据预测规则 4, 69 次窗口地震共预测 190 个月, 应报地震数 90 次, 其中报对 46 次地震, 漏报 44 次, 预测评分  $R$  值为

$$R = 46/90 - 190/515 = 0.14, R > R_0 = 0.11 \quad (5)$$

通过统计检验。

上述内符检验结果表明, 长宁窗口地震对四川及邻区  $M \geq 5.5$  级中一强地震具有统计上的预测意义, 可作为判断四川及邻区未来 1 年是否发生  $M \geq 5.5$  或  $M \geq 6$  地震的中期预测指标, 该指标对四川地区  $M \geq 6$  地震指示意义最强。6 个月短期预测尽管可通过统计检验, 但与随机预测相近, 出现虚报与漏报的几率均较高, 故其短期预测意义不显著。

## 3 结论与讨论

本文对 1970 年 7 月以来发生在长宁信号型地震窗内  $M_L \geq 3.5$  的地震与四川及邻区  $M \geq 5.5$  中一强地震的对应关系进行了系统清理与分析, 提出了预测规则, 并进行了预测效果内符检验。结果显示: 长宁窗  $M_L \geq 3.5$  地震可作为判定四川及邻区  $M \geq 5.5$  或  $M \geq 6$  地震的 1 年尺度中期预测指标。

尽管在四川地区所发生的多数  $M \geq 6$  强震前都出现了窗口地震, 但 1973 年 8 月 11 日黄龙 6.5、1975 年 1 月 15 日九龙 6.5 和 2001 年 2 月 23 日雅江 6.0 级 3 次地震前, 长宁窗未发生窗口地震。因此, 要判断四川地区是否会发生  $M \geq 6$  强震, 还必须结合对该区域具有更强指示意义的四川地区中等地震月频度 (易桂喜, 韩渭宾, 2004) 是否出现异常来进行综合判定。

自 1970 年 7 月有区域台网记录以来, 长宁窗在一个月发生 3 次以上  $M_L \geq 3.5$  地震的次数并不多见 (表 1、图 2), 如: 1994 年 9 月 21 日~10 月 12 日发生 3 次窗口地震 (1994 年 9 月 21 日  $M_L 3.9$ 、10 月 8 日  $M_L 3.6$ 、10 月 12 日  $M_L 3.6$ ), 12 月 11~13 日再次密集发生 4 次窗口地震 (1994 年 12 月 11 日  $M_L 3.5$ 、 $M_L 4.3$ , 12 日  $M_L 3.6$ , 13 日  $M_L 3.5$ ), 其后相继发生 1994 年 12 月 30 日四川沐川 5.7、1995 年 10 月 24 日云南武定 6.5、1996 年 2 月 3 日云南丽江 7.0 级地震; 2012 年 7 月 28 日至 8 月 25 日密集发生 4 次窗口地震 (7 月 28 日  $M_L 4.0$ 、31 日  $M_L 3.5$ , 8 月 20 日  $M_L 3.5$ 、25 日  $M_L 3.8$ ), 之后相继发生 2012 年 9 月 7 日云南彝良 5.7、5.6 级和 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地

震,与1994年9~12月长宁窗口地震密集活动后的四川及邻区地震活动形势极为类似。上述震例显示,若长宁窗1个月内发生3次以上 $M_L \geq 3.5$ 地震,四川及邻区发生7级左右地震的可能性很大。

尽管有研究根据地震震源深度、震源机制、视应力等特征判定长宁地区地震活动可能与当地工业生产过程中的加压注水存在一定程度上的关联性(阮祥等,2008),但当地中等地震的频繁发生更多地应反映包括长宁窗在内的川滇交界东侧地区应力水平较高。芦山7.0级地震后,长宁窗于2013年4月25日至5月7日再次密集发生3次 $M_L \geq 4.0$ 窗口地震,为有台网记录以来强度最高的一组窗口地震(表1),预示未来1年四川及邻区仍

可能发生7级左右地震,应加强该区域尤其是川滇交界东侧一带的地震活动监视。

#### 参考文献:

- 程万正.1984.前兆地震活动“窗口”或敏感部位的寻觅及有效性估计[J].地震研究,7(6):657-665.
- 程万正.1986.四川地区前兆地震活动“窗口”的研究[J].四川地震,(2):17-22.
- 国家地震局科技监测司.1990.地震学分析预报方法式指南[M].北京:地震出版社.
- 阮祥,程万正,张永久,等.2008.四川长宁盐矿井注水诱发地震研究[J].中国地震,24(3):226-234.
- 易桂喜,韩渭宾.2004.四川及邻区强震前地震活动频度的变化特征[J].地震研究,27(1):8-13.

## The Relationship between Earthquakes in Changning Window and $M \geq 5.5$ Earthquakes in Sichuan and its Adjacent Area

YI Gui-xi, LONG Feng, ZHANG Zhi-wei, RUAN Xiang

(Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China)

#### Abstract

We have systematically analyzed the relationship between  $M_L \geq 3.5$  earthquakes in Changning window and moderate-strong earthquakes in Sichuan and its adjacent area recorded by Sichuan Regional Seismic Network since Jul., 1970. The result shows that  $M_L \geq 3.5$  earthquakes in Changning window can be considered as the middle-term prediction indicator whether or not  $M \geq 5.5$  or  $M \geq 6$  earthquakes occurred in Sichuan and its adjacent area, especially for  $M \geq 6$  earthquakes in Sichuan area.

**Key words:** Changning window; Sichuan and its adjacent area; moderate-strong earthquakes; earthquake prediction indicator