

# 2000 年以来中国大陆 5 级以上地震 近源区的相继发震特征与预测

任雪梅<sup>1,2</sup>, 马禾青<sup>2</sup>, 陈春梅<sup>2</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 宁夏地震局, 宁夏 银川 750001)

**摘要:**通过对中国大陆除新疆和东北深震区以外的主要地区 2000 年以来 5 级以上地震活动特征的研究发现, 5 级以上地震近源区的相继发震是某些区域地震活动的重要特征。依据这一特征可以对今后研究区内 5 级以上地震的后续地震作中期预测。

**关键词:**中国大陆; 近源区; 相继发生; 地震预测

中图分类号: P315.75 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2005)03-0251-04

## Characteristics of $M \geq 5.0$ Earthquakes Occurring One after Another around Source Area in Chinese Mainland since 2000 and Its Prediction

REN Xue-mei<sup>1</sup>, MA He-qing<sup>2</sup>, CHEN Chun-mei<sup>2</sup>

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** By studying earthquake activity characteristics of  $M \geq 5.0$  in China mainland (Xinjiang and deep earthquake area in northeast China haven't been included) since 2000, it is found that the case for  $M \geq 5.0$  earthquakes occurring one after another around the source area is significant feature of seismicity in certain regions. Based on this characteristic, the medium term prediction can be made for future earthquakes of  $M \geq 5.0$  in study area.

**Key words:** Chinese mainland; Around source area; Occurring one after another; Earthquake prediction

## 0 引言

2004 年我国大陆 5 级以上地震的发震地点非常集中, 在青海德令哈和西藏班戈附近两个地区就分别发生了 5 次和 7 次 5 级以上地震, 而且与该区域 2003 年 5 级以上地震的震中相重合。2004 年中国大陆共发生 5 级以上地震 21 次, 其中有 16 次 5 级以上地震是在 2003 年 5 级以上地震近源区发生。这些在近源区发生的 5 级以上地震一般具有以下一些特征: 震级相差不大; 地震之间的震中距大于一般主震和余震之间的距离; 地震之间的时间间隔也超出余震的时间窗, 因此不能把它们认为是震群或是地震序列<sup>[1]</sup>, 也不同于强震复发的特征<sup>[2]</sup>。这些地震在同一地区的连续或成对发生的特征, 对于后续地震的预测有实际意义。本文通过对 2000 年 1 月

至 2004 年 10 月中国大陆 5 级以上地震近源区相继发震现象的研究, 发现存在一定的特征, 对未来的地震预测具有一定的参考价值。

## 1 资料选取

首先定义震中距在 100 km 以内, 5 级以上地震之间的时间间距大于 3 个月, 小于 3 年, 频次大于等于 2 次的地震组合为近源区的相继发生地震组, 同时规定任一个地震属于一组地震后, 不再参与后面的统计。其空间距离的算法: 取第一个地震的震中作为参考点, 计算其后的地震与参考点之间的距离<sup>[3]</sup>。

资料选自中国地震局分析预报中心提供的全国

收稿日期: 2004-12-15

作者简介: 任雪梅(1968—), 女(汉族), 四川崇州人, 副研究员, 主要从事地震活动性预报与研究。

2000 年~2004 年 12 月初的 5 级以上地震目录。

由于新疆地区的 5 级以上地震较频繁,且地震的发生区域较集中,地震之间的距离小于 100 km 范围的较多;东北深震区的 5 级以上地震的发生规律不同于其它地区,故不把这 2 个区域作为研究区。2000 年 1 月以来,中国大陆除上述两区外共发生 5 级以上地震 92 次,其中 2000 年 1 月 12 日辽宁海城 5.1 级地震与 1999 年 11 月 29 日辽宁岫岩 5.4 级地震为成对发生,不进行统计;昆仑山口西 8.1 级地震和其前震及余震也不进行统计,剩余 84 个地震。然后依据 K-K 法<sup>[4]</sup>进行余震删除(表 1),最后得到 61 个地震进行统计。

表 1 K-K 法删除余震的空间、时间窗

| 主震震级    | $R_0(m)/km$ | $T_0(m)/d$ |
|---------|-------------|------------|
| 5.0~5.4 | 50          | 183        |
| 5.5~5.9 | 50          | 365        |
| 6.0~6.9 | 100         | 548        |
| 7.0~7.4 | 100         | 730        |
| 7.5~7.9 | 150         | 913        |
| 8.0~8.5 | 150         | 1095       |

2 5 级以上地震近源区的相继发震特征

2.1 相继发震比例

根据上述条件,经统计得到 13 组近源区的相继发生地震组(见表 2),地震数为 27 个,占所统计的地震总数的 44.3%。2000 年至今的 4 年间,研究区的地震近一半具有近源区的相继发震特征,表明相继发震特征较为显著。

在 13 组中,发生 2 次地震的有 12 组,地震数 24 个,占所统计的地震总数的 39.3%;发生 3 次地震的有 1 组,地震数 3 个,占所统计的地震总数的 4.9%。而 2002 年 4 月以前不属于近源区相继发震的地震为 20 个,占所统计的地震总数的 32.8%。以上分析表明,研究区的 5 级以上地震中近源区相继发生地震的比率最大,这些结果可以作为今后研究区内 5 级以上地震预测的近似概率。

2.2 相继发生地震的震级特征

由表 1 可以看出,13 个近源区的相继发生地震组内的地震震级相差最大为 0.8,最小为 0,平均 0.4,总体上各区域震级相差不大。这一特征可作为今后判定近源区相继发生地震的震级依据。

2.3 相继发震的空间特征

图 1 为 2000 年以来研究区 5 级以上地震和近

表 2 2000 年以来中国大陆 5 级以上地震的近源区的相继发生地震组

| 地震组序号 | 地震时间       | 地点         | 震级/M | 最大震级差/M | 最大距离/km | 时间间隔/月 |
|-------|------------|------------|------|---------|---------|--------|
| 1     | 2000-01-05 | 西藏聂荣       | 5.2  |         |         |        |
|       | 2000-07-10 | 唐古拉山口      | 5.6  | 0.4     | 75      | 11     |
|       | 2000-10-29 | 西藏安多县      | 5.3  |         |         |        |
| 2     | 2000-01-15 | 云南姚安       | 6.5  | 0.5     | 83      | 21     |
|       | 2001-10-27 | 云南永胜       | 6.0  |         |         |        |
| 3     | 2000-02-12 | 唐古拉山       | 5.4  | 0.4     | 30      | 9      |
|       | 2000-11-09 | 青海格尔木      | 5.2  |         |         |        |
| 4     | 2000-04-15 | 青海杂多       | 5.3  | 0.4     | 65      | 15     |
|       | 2001-07-26 | 青海至多       | 5.7  |         |         |        |
| 5     | 2000-10-31 | 西藏安多县      | 5.5  | 0.5     | 77      | 32     |
|       | 2003-05-25 | 西藏青海交界     | 5.0  |         |         |        |
| 6     | 2001-05-24 | 四川盐源-云南宁蒗间 | 5.8  | 0.8     | 46      | 27     |
|       | 2003-08-21 | 四川盐源县      | 5.0  |         |         |        |
| 7     | 2001-07-11 | 甘肃肃南裕固自治县  | 5.3  | 0.6     | 89      | 17     |
|       | 2002-12-14 | 甘肃省玉门市     | 5.9  |         |         |        |
| 8     | 2002-06-04 | 西藏普兰       | 5.7  | 0       | 68      | 28     |
|       | 2004-10-26 | 西藏扎达、普兰间   | 5.7  |         |         |        |
| 9     | 2002-06-29 | 青海省至多县     | 5.9  | 0       | 83      | 3      |
|       | 2002-09-28 | 青海省杂多县     | 5.9  |         |         |        |
| 10    | 2003-02-11 | 青海西藏交界     | 5.1  | 0.1     | 71      | 3      |
|       | 2003-05-21 | 青海省杂多县     | 5.0  |         |         |        |
| 11    | 2003-07-07 | 西藏青海交界     | 6.1  | 0.2     | 66      | 9      |
|       | 2004-03-28 | 西藏班戈、青海间   | 6.3  |         |         |        |
| 12    | 2003-11-13 | 甘肃岷县、临潭间   | 5.2  | 0.2     | 0       | 10     |
|       | 2004-09-07 | 甘肃岷县、临潭间   | 5.0  |         |         |        |
| 13    | 2003-11-15 | 云南鲁甸       | 5.1  | 0.5     | 0       | 10     |
|       | 2004-08-10 | 云南鲁甸、昭通间   | 5.6  |         |         |        |

源区的相继发生地震组的分布图。可以看出,相继发生地震主要集中分布于青海、西藏交界地区,云南、四川交界地区和甘肃省,西藏西南部有 1 组近源区的相继发生地震。从各个地震组内地震的间隔距离看(表 1),各区域相差较大:青海、西藏交界地区有 7 组近源区的相继发生地震,组内地震的平均间隔距离为 72 km;西藏地区有 1 组,间隔距离为 68 km;云南、四川交界和甘肃分别有 3、2 组,平均间隔距离相差不大,分别为 43 km 和 45 km。表明青海和西藏地区近源区的相继发生地震组内地震的间隔距离较大,约为 70 km 左右;云南和甘肃间隔距离较小,约为 45 km 左右。这一特征有助于判定近源区的相继发生地震组的后续地震发生的空间范围。

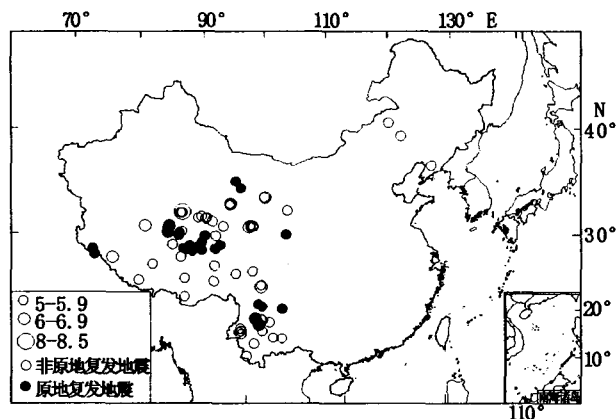


图1 2000年以来研究区内的5级以上地震和近源区的相继发生地震组分布图

Fig. 1 Distribution of  $M \geq 5.0$  earthquakes and earthquake groups occurring one after another around source area in study area since 2000.

## 2.4 相继发震的时间特征

在时间进程上,各个近源区的相继发生地震组内的地震间隔时间长短不一,最长为2年8个月,最短仅3个月。其中各地区又有较大差异:青海、西藏交界地区地震间隔时间最长为2年8个月,最短3个月,平均1年;四川及与云南交界地区地震间隔时间最长为2年3个月,最短为1年9个月,平均2年;甘肃地区地震间隔时间最长为1年5个月,最短10个月,平均1年1个月;云南仅有1组,间隔时间为10个月;西藏也仅有1组,间隔时间为2年4个月。

对比各区域5级以上地震近源区的相继发生时间,云南最短,西藏、四川及四川、云南交界地区最长,甘肃和青海、西藏交界地区居中。

## 3 未来5级以上地震在近源区相继发生的危险性预测

到2004年12月初做统计时,依据2000年以来研究区内近源区的相继发生地震组内地震的最长间隔时间为2年8个月,因此可预测2002年4月以来可能在近源区发生5级以上后续地震的情况。所研究的61个地震中2002年4月以来发生的有29个,除已经在近源区的相继发生的15个地震外,还有14个地震未发生后续地震(图2)。下面着重分析在青海、西藏交界地区,云南、四川交界地区,甘肃及西藏西南部4个区域发震的危险性。

### 3.1 青海、西藏交界地区

青海、西藏交界地区2000年以来属于近源区的

相继发生地震组的地震已有15个,2002年4月后未发生近源区后继地震的有3个,分别为2003年1月17日西藏班戈5.0、2004年3月7日西藏安多、那曲间5.6和2004年8月24日西藏安多5.8级地震,集中分布在西藏安多县境内。依据以上青海、西藏交界地区复发地震组内地震的时、空、强特征,可以预测2005—2006年西藏安多县及与青海交界地区有发生5.0~6.5级地震的可能。

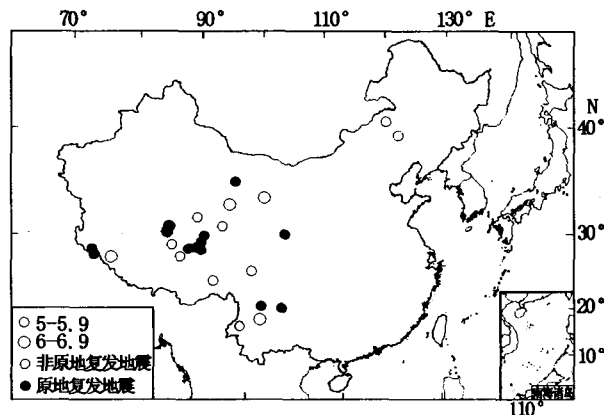


图2 2002年4月以来研究区内的5级以上地震和近源区的相继发生地震组分布图

Fig. 2 Distribution of  $M \geq 5.0$  earthquakes and earthquake groups occurring one after another around source area in study area since Apr. 2002.

### 3.2 云南、四川交界地区

云南、四川交界地区2000年以来属于近源区的相继发生地震组的地震已有6个,2002年4月后未发生后继地震的有1个,为2003年7月21日云南大姚6.2级地震,依据以上云南、四川交界地区复发地震组内地震的时、空、强特征,可以预测2004—2005年在云南大姚震中区有发生6级左右地震的危险。

### 3.3 甘肃省

甘肃2000年以来属于近源区的相继发生地震组的地震已有4个,2002年4月后未发生后继地震的有1个,为2003年10月25日民乐6.1级地震。2000年以来该区域未出现近源区的相继发生地震,且距离甘肃已发生近源区的相继发生地震的距离分别为280 km、380 km和490 km,因此不好判断该区域未来有近源区的相继发生地震的可能。

### 3.4 西藏西南部

西藏西南部2000年以来属于近源区的相继发生地震组的地震有1个,2002年4月后未发生后继地震的有1个,为2004年07月12日西藏仲巴、隆

格爾間 6.7 级地震。依据以上西藏西南部复发地震组内地震的时、空、强特征,可以预测 2005~2006 年距离西藏仲巴地区 70 km 范围有发生 6~7 级地震的可能。

#### 4 结论及讨论

2000 年以来中国大陆(除新疆和东北深震区以外)5 级以上地震具有近源区的相继发震的特征,表明该时段内研究区的应力状态变化不大,发生地震的区域具有继承性。

依据本文的分析可得以下结论:

(1)2000 年以来青海、西藏交界,云南、四川交界,甘肃及西藏西南部地区的 5 级以上地震具有显著近源区的相继发生特征。

(2)依据以上各区域复发地震组内地震的时、

空、强特征,可以预测 2005 年~2006 年西藏安多县及与青海交界地区有发生 5.0~6.5 级地震的可能;2004~2005 年云南大姚附近有发生 6 级左右地震的危险;2005~2006 年西藏仲巴附近有发生 6~7 级地震的可能。

#### 【参考文献】

- [1] 中国地震局预测预防司. 大陆地震预报的方法和理论[M]. 北京:地震出版社,1998. 44.
- [2] 郑文俊,袁道阳,何文贵. 祁连山中东段强震复发概率模型及未来强震地点预测[J]. 西北地震学报,2004,26(3):228-233.
- [3] 陈凌,刘杰,陈顺,等. 地震活动性分析中余震的删除[J]. 地球物理学报,1998,41(增刊):244-252.
- [4] 马永青,赵卫明,任雪梅,等. 中国大陆地震成组活动特征统计分析[J]. 地震,2003,23(1):57-62.

(上接 250 页)

#### 【参考文献】

- [1] 张成科,张先康,赵金仁,等. 渤海湾及其邻区壳幔速度结构研究与综述[J]. 地震学报,2002,24(4):428-435.
- [2] 祝治平,张先康,盖玉杰,等. 邢台震源区及其邻近地区地壳上地幔速度结构研究[J]. 地震学报,1992,27(3):328-334.
- [3] Jinli Huang, Dapeng Zhao. Crustal heterogeneity and seismotectonics of the region around Beijing, China[J]. Tectonophysics,2004,385:159-180.
- [4] 于湘伟,陈运泰,王培德. 京津唐地区中上地壳三维 P 波速度结构[J]. 地震学报,2003,25(1):1-14.
- [5] 嘉世旭,刘昌铨. 邢台震源区波速比异常与地震的关系[J]. 地震学报,1996,39(增刊):205-215.
- [6] 傅征祥,程燕. 北京和张家口地区地壳平均波速比的联合测定[J]. 地震,1988,(4):28-34.
- [7] 栗生平,傅征祥. 华北地区地震带分段波速比平均值的测定[A]. 见:国家地震局科技发展司,中国大陆 2005 年前强震危险性预测研究[C]. 北京:地震出版社,1997. 96-99.
- [8] Smith E G C. Joint determination of seismic velocity ratios: Theory and application to an aftershock sequence[J]. Bull. Seic. Soc. Am., 1983,73(2):405-417.
- [9] 黎晓明,张晓东. 应用多法测定华北地区地壳的平均波速比[J]. 地震,2004,24(1):163-169.
- [10] Scholz C H. 马胜利,等译. 地震与断层力学[M]. 北京:地震出版社,1990. 364.
- [11] Semenov A N. Variations of the travel time of transverse and longitudinal waves before violent earthquakes[J]. Izv. Acad. Sci. USSR, Phys. Solid Earth (Eng. trans.),1969,(3):245-258.
- [12] Aggarwal Y P, Sykes L R, Simpson D W, et al. Spatial and temporal variations of  $t_s/t_p$  and in P wave residual at blue Mountain Lake, New York: Application to earthquake prediction[J]. J. Geophys. Res., 1973,80:718-732.
- [13] McEvilly T V, Johnson L R. Stability of p and s velocities from central California quarry blasts[J]. Bull. Seismol. Soc. Am., 1974,64:343-353.
- [14] Mogi K. Earthquake Prediction [M]. Tokyo: Academic Press,1985.
- [15] 冯德益. 地震波速变化[M]. 北京:地震出版社,1981.
- [16] 张学民,刁桂苓,束沛镛,等. 华北地区地下介质波速比值( $V_p/V_s$ )研究[J]. 地震地质,2004,26(2):305-317.
- [17] 张学民,刁桂苓,束沛镛. 鄂尔多斯块体及其东南缘剪切波速度结构与波速比研究[J]. 中国地震,2004,20(1):53-63.