

云南 $M \geq 5$ 地震震前异常的统计特征^{*}

付 虹, 李永莉, 赵小艳, 刘丽芳

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 通过对 1970 年以来云南 38 组 $M \geq 5$ 地震震前异常的综合分析, 得到云南 5 级以上地震的异常共性特征: 震前小震频度普遍增强; 6 级以上地震的异常持续时间比 5 级地震长; 异常分布越广可能未来地震的震级越大; 部分前兆观测项目趋势异常结束、新的突变异常增多, 是地震孕育进入短临阶段的标志。

关键词: 震例分析; 异常特征; 地震预报; 云南

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)04-0335-05

0 引言

云南的地震预测、预报工作始于 1970 年通海 7.8 级地震, 至今已近 40 年。40 年的工作、两国人的努力, 使我们对云南地震的孕育规律有了一些认识。虽然与地震孕育的复杂性相比, 现有的经验认识还远远不够, 覆盖不了历史也包括不了未来, 但现阶段还得借用这些经验指导我们的地震预报。在已相继出版的 9 册《中国震例》(张肇成等, 1988 1990,^a 1990 b 1999 2000; 陈棋福等, 2002^a 2002 b 2003 2008) 丛书中, 研究人员全面总结了云南地区从 1970 年的通海 7.8 级到 2001 年的永胜 6.0 级共 38 次 $M \geq 5$ 地震。张肇成等 (1991) 对书中 1966 ~ 1985 年中国大陆发生的 60 次 5 级以上地震的震例进行了系统分析, 郑兆苾等 (2006) 则对 1986 ~ 1999 年中国大陆发生的 5 级以上地震事件进行了统计与分析, 得到了中国大陆 5 级以上地震前兆的综合特征。但由于地震存在区域性特征, 为了进一步认识云南地区地震孕育、发展和发生的过程, 为云南的地震预报提供参考, 笔者结合云南地区地震活动的特点, 从实用的角度出发, 对云南地区震例中所使用的震前异常特别是前兆观测异常资料进行了统计分析。

1 资料使用

笔者对 1971 ~ 2001 年云南省 38 组 $M \geq 5$ 地震震例的总结报告 (张肇成等, 1988 1990,^a 1990 b

1999 2000 陈棋福等, 2002,^a 2002 b 2003 2008) 进行了再分析, 用以归纳总结它们的部分共性特征。

38 组地震中, 不同震级档次地震的分布和所占比例情况见表 1。从表中可以看到, 分布最多的是 5.0 ~ 5.9 级地震, 占全部地震的 62%, 6.0 ~ 6.9 级地震占 22%, 7 级及 7 级以上地震占 16%。小震级地震多、大震级地震少, 符合地震活动的总体规律。

表 1 不同震级档地震分布统计表

震级范围	次数	比例 (%)
5.0 ~ 5.4	17	44
5.5 ~ 5.9	7	18
6.0 ~ 6.4	4	11
6.5 ~ 6.9	4	11
7.0 ~ 7.4	4	11
≥ 7.5	2	5

38 组地震中共提出了 690 项异常, 这些异常中流体最多, 占 45%; 电磁最少, 仅为 9%, 这可能与云南前兆台网中电磁观测数量较少、流体观测数量最多有关 (表 2)。

表 2 不同测项异常统计表

异常项目	数目	比例 (%)
地震活动性	180	26
形变	136	20
电磁	63	9
流体	311	45

如果把地震活动性异常再进一步细分, 则最

^{*} 收稿日期: 2008-07-07.
基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2006BAC01B03-02-01) 和云南省人才引办项目 (2006PY01-39) 联合资助
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

多的是频度异常。这些频度异常均为增频异常，比例达到 39%，其它参数相对较少，最多的也不到 15%（表 3），说明云南 $M \geq 5$ 地震前能量预释放比较显著，小震增频具有普适性。

表 3 地震活动性异常统计表

异常项目	数目	比例 (%)
频度	69	39
空区	17	10
b值	22	12
地震窗	8	5
前兆震群	5	3
波速比	12	7
A值	4	2
断层总面积	5	3
应变释放	4	2
其它参数	20	11

2 异常和地震关系统计分析

2.1 异常数量与震级的关系

我们统计了 38 组地震总结中给出的 690 项异常在不同震级档中的分布情况（表 4、图 1）。发现地震数量是震级档次越低的数量越多，越高的数量越少（表 1），但异常数量与震级档次却没有完全成正比关系，符合震级越大异常越多的规律（表 4）。这有两种可能，一是因为震例总结规定异常统计范围 5~5.9 级地震为 200 km，6~6.9 级地震为 300 km， $M \geq 7$ 地震为 500 km，因统计范围大小不一致而导致的结果；二是不排除地震越大，异常越多，分布范围越广的可能性。因为在统计范围相同的前提下，7.5 级以上地震不到 7.0~7.4

表 4 异常数量分布

震级范围	异常数量	比例 (%)
5.0~5.4	196	28
5.5~5.9	73	11
6.0~6.4	97	14
6.5~6.9	108	16
7.0~7.4	125	18
≥ 7.5	91	13

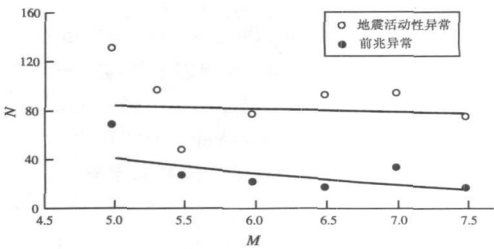


图 1 不同震级档地震活动性、前兆异常数量

级地震的一半，但异常数量比 7.0~7.4 级地震的一半还多；统计的 6.0~6.4 级地震和 6.5~6.9 级地震数量一样多，但后者的异常数量比前者多。云南的统计样本可能不够多，所以还有待用更多的震例去进行验证。如果把地震活动性异常和前兆异常分开统计（表 5、图 1），这个问题也同样存在。

表 5 地震活动性异常及前兆异常数量分布

震级范围	地震活动性异常	前兆异常
5.0~5.4	67	129
5.5~5.9	26	47
6.0~6.4	21	76
6.5~6.9	17	91
7.0~7.4	33	92
≥ 7.5	16	75

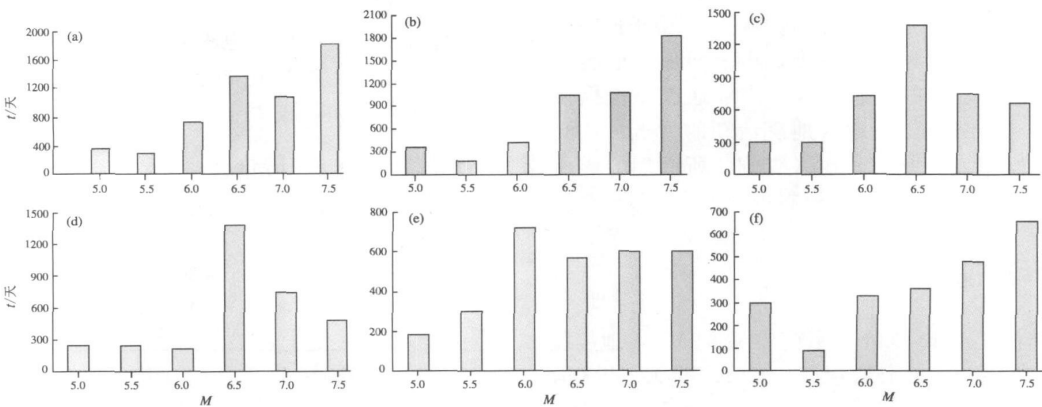


图 2 异常最长持续时间与震级的关系

(a) 异常；(b) 地震活动性；(c) 前兆；(d) 形变；(e) 流体；(f) 电磁

2.2 异常持续时间与震级的关系

取 38 组地震中不同观测项目的最长异常时间进行统计, 发现地震活动性异常和电磁异常的持续时间 (最长的) 基本上和震级成正比, 但也不是很好的线性关系; 5 级地震的形变和流体异常 (最长的) 持续时间比 6 级以上地震的异常 (最长的) 持续时间短, 但 $M \geq 6$ 地震的异常 (最长的)

持续时间并不与震级成正比, 而是无序的 (图 2)。再取不同观测项目的震前平均异常时间进行统计, 发现结果同样是相似的 (图 3)。这表明, 如果在云南的地震预测实践中, 盲目地应用“八五”攻关中给出的用异常持续时间计算震级的统计关系式 (全国统计结果), 估算出的未来最大地震可能是不正确的。

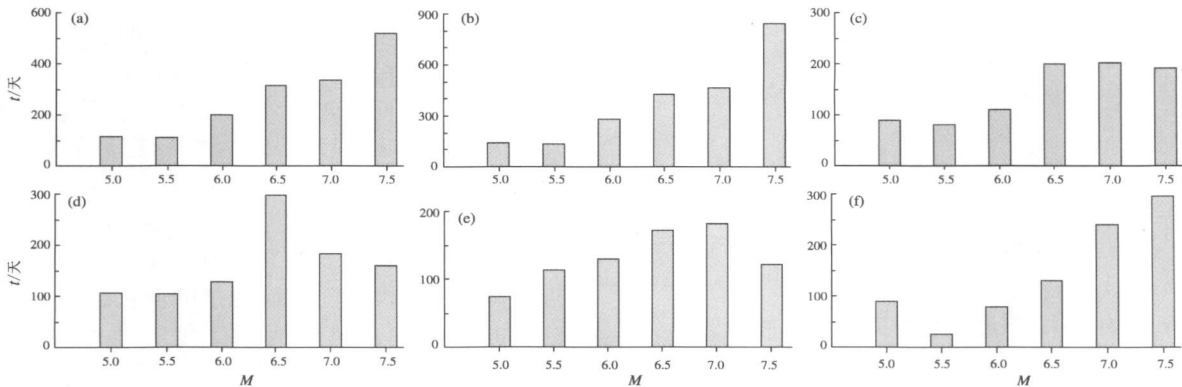


图 3 平均异常时间和震级的关系
(a) 异常; (b) 地震活动性; (c) 前兆; (d) 形变; (e) 流体; (f) 电磁

2.3 异常震中距变化与震级的关系

对前兆观测异常分布与地震的关系进行统计发现, 5 级左右地震的异常震中距与震级关系不明显, 从 5.5 级以上地震开始, 异常距震中的距离基本上与震级的增大呈线性关系, 可以说震级越大, 异常分布也越广 (图 4)。

2.4 前兆异常随时间的变化

从 38 组地震的异常震中距和前兆观测异常数量随时间的变化关系 (图 5) 可见, 随着发震时间的逼近, 异常距震中的距离有减小的趋势, 但从平均震中距离的量级来看, 最大和最小仅相差了

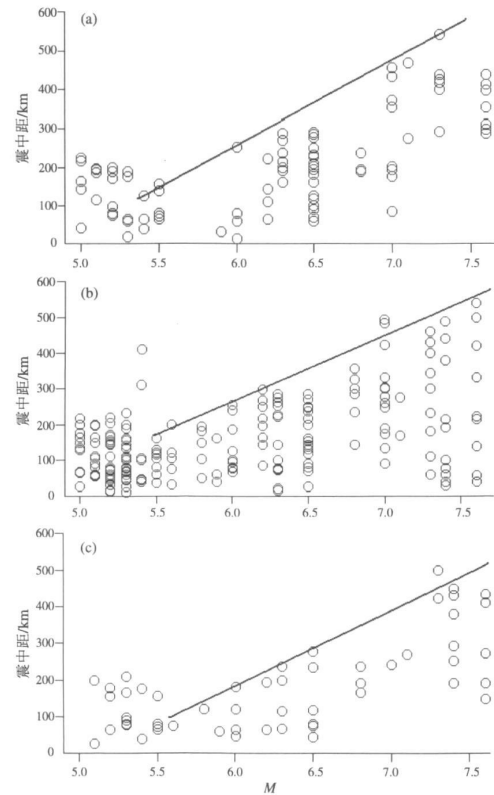


图 4 异常震中距与震级关系统计
(a) 形变; (b) 流体; (c) 电磁

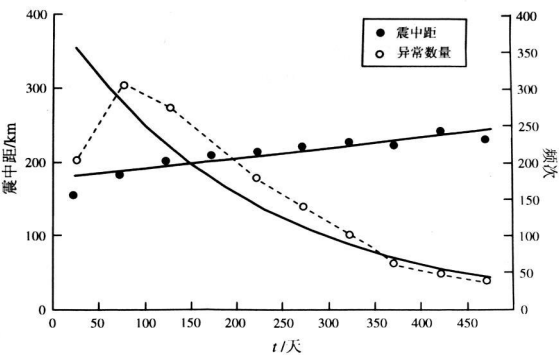


图 5 云南 $M \geq 5$ 地震异常数量和异常震中距时间进程曲线

100 km 这样的结果在实际预报中是没有办法操作的。从异常数量与时间的关系分析,震前 1 年尺度的时间异常开始不断增多,而到临震前 1~2 个月,异常数量显著减少。另一方面,我们统计新出现的异常频次时,发现进入震前 75 天后,新异常的频次增加非常显著(图 6)。异常总数的减少和新异常数量的增加,可能是地震孕育进入短临阶段的重要特征。

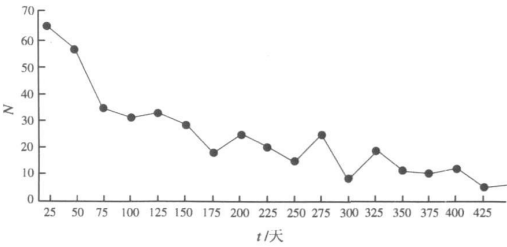


图 6 云南 $M \geq 5$ 地震新异常数量时间进程曲线

3 结论与讨论

(1) 云南 $M \geq 5$ 地震前异常最多的是流体,占 45%,其次是地震活动性,占 26%,形变占 20%,电磁仅占 9%,这可能与云南地区流体观测数量最多有关。从地震活动性异常分类看,频度异常最多,占 39%,其它异常最多也未超过 15%。因为这些频度异常都是增频异常,说明云南的地震活动预释放比较显著。2007 年 6 月 3 日宁洱 6.4 级地震前,震中附近的滇西南地区小震活动就出现了显著增强(付虹等, 2007)。这是小的单元体破裂后把能量集中到更大的单元体,继而发生了更大的地震(郭增建等, 1979)。这种现象在云南较为常见,因此,小震活动增多是云南 $M \geq 5$ 地震较好的预报指标。

(2) 异常持续时间与震级虽然不完全呈线性关系,但还是存在一定的规律,6 级以上地震的异常持续时间比 5 级地震的异常持续时间长是肯定的,这可能揭示了震级大的地震需要的孕育时间更长。当有 1 年以上的趋势异常出现时,可以预测地震的震级可能大于等于 6 级。因为不是完全的线性相关,所以用统计公式计算未来震级的方法不能确定未来的地震是 6 级还是 7 级。

(3) 统计分析显示,震级越大,前兆异常的空间分布越广。微观前兆是区域应力水平增强作用下地壳介质产生应变和应力集中的结果,大面

积出现异常传递了整个场上区域应力水平都在增强的信息,这种状态下发生大地震的可能性较大,在预测中可以参考。值得注意的是,云南地区地质构造错综复杂,多条活动断裂都可能同时孕育地震,出现中等地震连发的现象,因此大面积前兆异常可能是大震前的特征,也可能是多次中等地震集中活动的结果,所以这个特征在预测应用中需要进一步判别。

(4) 前兆异常在中短期阶段,即震前 75~125 天最多,进入短临阶段(50 天内),异常数量明显减少;另一方面,新异常数量在短临阶段显著增加。分析具体原因,是因为部分趋势异常结束,使异常总数减少;突变异常增多,使新异常数量增加。前兆异常总项数显著减少和新异常项数显著增加的巨涨落现象,可以用信息论中临界点附近系统的信息输出随控制变量的变化会显著增大、输出的响应信息呈非线性变化的理论给予解释(陈立德等, 2008)。因此,可以把部分趋势异常结束、新的突变异常增多作为判断地震孕育进入短临阶段的标志。

(5) 虽然地震预报工作者一直在不断探索新思路、新方法,在云南也尝试过用物理意义更清晰的参数来预测地震,如应力降等(付虹等, 2008),但就目前的状况,利用地震的一些共性特征,对已获得经验的地震类型作外推预测,还是最有效的方法之一。虽然我们已积累了一些经验,对某种类型在特定环境下的地震能作一定程度的预测、判断,但距离解决地震预报问题、满足公众要求还有遥远的距离,地震预报工作任重道远。

参考文献:

陈立德, 付虹, 郭成栋. 2008. 强震短临前兆异常共性特征的物理基础 [J]. 地震研究, 31 (2): 99—102.
陈棋福, 郑大林, 车时, 等. 2002a. 中国震例 (1992~1994) [M]. 北京: 地震出版社.
陈棋福, 郑大林, 车时, 等. 2008. 中国震例 (2000~2002) [M]. 北京: 地震出版社.
陈棋福, 郑大林, 高荣胜, 等. 2003. 中国震例 (1997~1999) [M]. 北京: 地震出版社.
陈棋福, 郑大林, 刘桂萍, 等. 2002b. 中国震例 (1995~1996) [M]. 北京: 地震出版社.
付虹, 苏有锦, 刘丽芳, 等. 2008. 云南地区地震预报的进展及震源参数用于地震预报的尝试 [J] // 中国地震预报探索——梅世蓉先生 80 华诞论文集. 北京: 地震出版社: 160—168.
付虹, 王世芹, 秦嘉政, 等. 2007. 2007 年 5~6 月滇西南地区 $M \geq 5$ 成组地震活动中、短临异常特征及预测 [J]. 地震研究, 30 (4): 303—310.

- 郭增建, 秦保燕. 1979. 震源物理 [M]. 北京: 地震出版社.
- 张肇成, 罗兰格, 李海华, 等. 1988. 中国震例 (1966 ~ 1975) [M]. 北京: 地震出版社.
- 张肇成, 罗兰格, 李海华, 等. 1990^a. 中国震例 (1976 ~ 1980) [M]. 北京: 地震出版社.
- 张肇成, 罗兰格, 李海华, 等. 1990^b. 中国震例 (1981 ~ 1985) [M]. 北京: 地震出版社.
- 张肇成, 郑大林, 徐京华, 等. 1999. 中国震例 (1986 ~ 1988) [M]. 北京: 地震出版社.

- 张肇成, 郑大林, 徐京华, 等. 2000. 中国震例 (1989 ~ 1991) [M]. 北京: 地震出版社.
- 张肇成, 郑大林, 罗咏生, 等. 1991. 中国大陆地震震例及综合预报判据和指标的研究 [Q] // 国家地震局科技监测司. 地震预报方法实用化研究文集 (综合预报专集). 北京: 地震出版社: 185—216.
- 郑兆苾, 张国民, 何康, 等. 2006. 中国大陆地震震例异常统计与分析 [J]. 地震, 26 (2): 29—37.

Statistical Characteristics of the Anomalies before the $M \geq 5$ Earthquakes in Yunnan Region

FU Hong, LI Yong-li, ZHAO Xiao-yan, LU Li-fang

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

Abstract

We synthetically analyzed the anomalies before the 38 groups of earthquakes ($M \geq 5$) since 1970 in the Yunnan region, and obtained the common characteristics of the anomalies. The frequency of small earthquakes usually increases before the earthquakes ($M \geq 5$); the durations of anomalies of $M \geq 6$ earthquakes are longer than those of $M 5-6$ earthquakes; the wider the anomalies distribute, the bigger the magnitude of the earthquake ($M \geq 5$); the ending of some tendentious precursory anomalies and the increasing of new abrupt anomalies can be considered as the sign of the earthquake preparation going into short term and impending earthquake period.

Key words: analysis of earthquake case; anomaly characteristic; earthquake prediction; Yunnan