

云南降水与 $M \geq 6$ 地震关系初步分析*

林辉¹, 顾宁杰², 林佳霓³

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 昆明市官渡区地震局, 云南 昆明 650200;
3. 中山大学 物理科学与工程技术学院, 广东 广州 510275)

摘要: 通过对 1960 年以来云南地区的年降水与 $M \geq 6$ 地震的相关性进行分析, 发现云南全省年降水平均值小于 1 000 mm 或年降水距平值低于多年平均降水量 25% 的台站数大于 20, 出现降水旱异常后, 与次年云南地区发生 7 级地震的对应率分别为 25% 和 33%, 没有显著的相关性; 从降水的空间分布特征分析, 云南除思茅、普洱地震区外, 有 80% 的 $M \geq 6$ 强震在震前 1 年, 震中附近出现过降水大于多年均值 20% 的现象, 云南降水涝异常与 6 级以上地震存在一定的相关性, 但分析认为降水通过对地壳的加载可能对地震有一定的诱发作用, 但最多只是外因, 只起调制作用, 地震的发生主要是内因起主导作用。

关键词: 年降水; $M \geq 6$ 地震; 相关性; 云南地区

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)04-0428-07

0 引言

地震与气象之间的关系较早就有学者进行了研究, 特别是旱、涝与地震的关系已被许多学者关注, 有的学者认为大旱以后必有大震, 或大震前必有大旱(中央气象局科技情报研究所, 1976; 耿庆国, 1984); 有的学者认为降水通过渗透过程对断层产生影响, 会导致地震发生(李海华, 1983); 赵洪声等(1984, 1986)对昆明、普洱地区的中强地震前降水的调制关系进行了统计研究; 马敬霞等(2009)对中国大陆中强震发生前后震中地区降水特征进行研究后, 认为云南地区地震与大降水有一定关系, 震前一年内大降水次数异常偏少, 震后一年内的异常偏多或偏少不定, 其他地区大降水与地震的关系不明显。徐国钧等(1993)和耿庆国(2005)对震前短期内的降水过程进行了研究; 徐国钧等(2001), 王在华和余国钧(2002)用气象要素、气象奇点等方法对云南的最大地震震级进行预测。这些研究都表明降水与地震存在一定的统计关联。2009 年至 2010 年 4 月, 云南出现了百年不遇的特大干旱, 在 1970 年通海 7.8 级地震和 1988 年澜沧 7.2 级地震前, 云南也出现过干旱, 因此 2009 年的干旱是否会对对应发生大地震成为地震工作者关注的焦点。云南干

旱与 7 级以上地震对应率有多高? 云南 6 级以上地震前不同区域的降水与地震是否存在稳定的相关关系? 笔者就云南 1960 年以来的年降水和 $M \geq 6$ 地震关系进行分析, 寻找两者之间的相关性。

1 资料选取

云南全省的降水资料从 1960 年以来比较完整, 因此笔者选取 1960 年以来云南及周边地区(边境外推 50 km) $M \geq 6$ 地震作为样本进行统计分析, 地震样本参数如表 1 所示。

2 云南 $M \geq 6$ 地震前的降水特征

2.1 全省降水与 $M \geq 7$ 地震关系统计

1960 年以来云南地区发生 $M \geq 7$ 地震共 6 组(双震计为 1 组)。如果把云南省年降水平均值低于 1 000 mm 作为旱异常, 1960 年以来出现旱异常的年份有 1960、1969、1980、1988、1989、1992、2003、2009 年。出现旱异常以后次年发生 7 级以上地震的只有 1970 年 1 月 5 日通海 7.8 级和 1988 年 11 月 6 日澜沧—耿马 7.6、7.2 级(当年年底, 主要降水过程已结束); 其余的年份出现旱异常后, 只有 1993 年 1 月 27 日发生普洱 6.3 级地震; 其它年份出现旱异常后, 次年最大地震均小于 6.0 级。即当全省年平均降水小于 1 000 mm 后, 与云南发生 $M \geq 7$ 地震

* 收稿日期: 2010-06-01.

基金项目: 云南省人民政府十项重大措施监测预报项目(JCYB-20080601-5)资助.

表 1 1960 年以来云南地区 $M\geq 6$ 地震参数和地震分区表
Tab. 1 Parameters of the $M\geq 6$ earthquakes in Yunnan since 1960

序号	发震时间	震中位置		震中地名	震级 M_s	震前区域 降水特征	地震所处 区 域
	年 - 月 - 日	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$				
1	1961 - 06 - 27	27°48′	99°42′	中甸	6.0	旱	I
2	1962 - 06 - 24	25°18′	101°06′	南华普朋	6.2	涝	I
3	1963 - 04 - 23	25°42′	99°30′	永平双河	6.0	涝	I
4	1965 - 07 - 03	22°18′	101°24′	思茅东南	6.1		IV
5	1966 - 02 - 05	26°12′	103°06′	东川	6.5	涝	II
	1966 - 02 - 13	26°06′	103°12′	东川	6.2		
6	1966 - 09 - 28	27°24′	100°12′	中甸东南	6.4	涝	I
7	1970 - 01 - 05	24°06′	102°36′	通海	7.8	先涝后旱	II
8	1970 - 02 - 07	23°00′	100°48′	普洱	6.2	先涝后旱	IV
9	1971 - 04 - 28	22°54′	101°00′	思茅西北	6.7	涝	IV
	1971 - 09 - 14	23°00′	100°48′	普洱	6.2		
10	1973 - 08 - 16	22°49′	100°58′	普洱	6.3		IV
11	1974 - 05 - 11	28°12′	103°54′	大关	7.1	涝	II
12	1976 - 05 - 29	24°24′	98°48′	龙陵	7.3	先涝后旱	III
		24°36′	98°48′	龙陵	7.4		
13	1976 - 11 - 07	27°27′	101°05′	盐源	6.7	先涝后旱	I
	1976 - 12 - 13	27°19′	101°03′	盐源	6.4		
14	1979 - 03 - 15	23°06′	101°12′	普洱磨黑	6.8	旱	IV
15	1984 - 04 - 24	22°05′	99°18′	孟连	6.0	涝	III
16	1985 - 04 - 18	25°54′	102°50′	禄劝	6.3	先涝后旱	II
17	1988 - 11 - 06	22°50′	99°43′	澜沧	7.6	涝	III
	1988 - 11 - 06	23°23′	99°36′	耿马	7.2		
18	1992 - 04 - 23	22°25′	98°57′	中缅边境	6.7	涝	III
	1992 - 04 - 23	22°37′	99°04′	中缅边境	6.8		
19	1993 - 01 - 27	22°56′	101°05′	普洱	6.3	先涝后旱	IV
20	1994 - 01 - 11	25°05′	97°19′	中缅边境	6.7	涝	III
21	1995 - 07 - 12	21°59′	99°04′	孟连西	7.3		III
22	1965 - 10 - 24	25°50′	102°19′	武定	6.5	涝	II
23	1996 - 02 - 03	27°18′	100°13′	丽江	7.0	涝	I
24	1998 - 11 - 19	27°14′	100°59′	宁蒗	6.2	涝	I
25	2000 - 01 - 15	25°35′	101°07′	姚安	6.5	涝	I
26	2001 - 10 - 27	26°14′	100°34′	永胜	6.0	涝	I
27	2003 - 07 - 21	25°57′	101°14′	大姚	6.2	涝	I
	2003 - 10 - 16	25°55′	101°18′	大姚	6.1		
28	2007 - 06 - 03	23°03′	101°01′	宁洱	6.4		IV
29	2009 - 07 - 09	25°36′	101°06′	姚安	6.0	涝	I

的对应率为 2/7，不到 30%（图 1a）。统计 7 级地震前是否出现旱异常：1960 年以来云南发生的 6 组 7 级以上地震前也只有通海地震和澜沧、耿马地震前 1 年出现了旱异常，旱异常对 7 级地震预报的对应率为 2/6（33%）。

图 1b 是对全省年降水平均值进行差分计算后的时间进程曲线。差分值可以较好地表达这种涝旱关系。从图 1b 可见如果把 -150 mm 作为涝异常和旱异常的阈值，其后 3 年内与云南发生 7 级以上地震的对应率为 4/9（44%），对应地震的情况分别是：1969 年达到阈值，1970 年通海发生 7.8 级地震；1972 年达到阈值，1974 年永善发生 7.1 级地震；1987 年达到阈值，1988 年澜沧、耿马分别发生 7.6、7.2 级地震；1992 年达到阈值，1995 年发生孟连 7.3 级地震。达到阈值后 1 年内发震的只有通海和澜沧、耿马 2 组地震，对应率仅 22%。

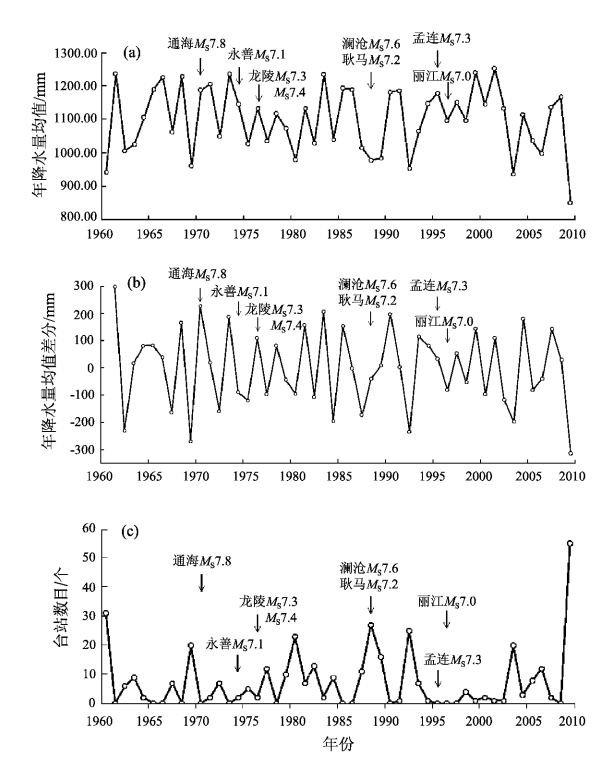


图 1 云南降水与 $M \geq 7$ 地震时间进程图
(a) 云南年降水均值；(b) 云南年降水均值差分；
(c) 云南年降水小于多年平均降水量 25% 的台站
Fig. 1 Precipitation and time process of $M \geq 7$ earthquakes in Yunnan
(a) Mean annual precipitation in Yunnan; (b) Difference of mean annual precipitation in Yunnan; (c) Number of stations in where the annual precipitation is lower than 25% of average

再换个角度，把位于年降水量低于多年平均降水量 25% 的地区的台站作为旱的台站，统计每年达到旱异常指标的台站数，得到图 1c。从图 1c 可见如果把 20 个旱异常的台站作为 7 级地震的阈值，那么达到阈值后，3 年内云南发生 7 级以上地震的对应率可以达到 50%，而 1 年内只有 33%。2009 年是 1960 年以来出现旱异常的台站最多的一年，但从历史对应率分析，笔者认为该年干旱与地震的相关性并不显著。

2.2 云南降水与 $M \geq 6$ 地震的空间分布特征

如果 7 级地震的影响范围较大，需要统计全省资料，笔者则认为 6 级地震应该与区域的降水关系更密切。云南各地的年降水量差异较大，如宾川年平均降水 570 mm 左右，西盟年平均降水 2 500 mm 左右。为了用相对统一的标准来作比较，笔者把每个台的降水先按下式作距平处理：

$$\Delta R_i = \frac{R_i - \bar{R}}{\bar{R}}$$

(1)

其中， R_i 第 i 个台的年降水量， \bar{R} 是该台多年的降水平均值。笔者用经同一处理后的资料绘制云南每年的降水距平值等值线平面图，对云南 $M \geq 6$ 地震前震中附近的降水情况作进一步分析。震中附近的降水在震前出现正距平的作为涝异常，出现负距平的作为旱异常，1960 年以来云南发生的 29 组 $M \geq 6$ 地震前研究区域的降水情况见表 1。

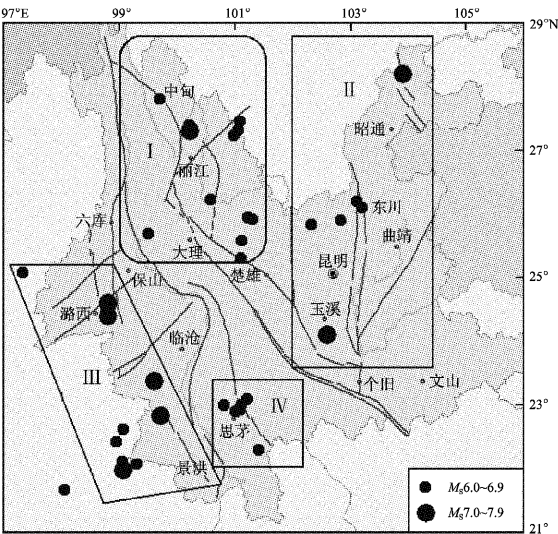


图 2 1960 年以来云南 $M \geq 6$ 地震震中分布及分区示意图
Fig. 2 Epicenter distribution and zoning of $M \geq 6$ earthquakes in Yunnan since 1960

图2为1960年以来云南 $M \geq 6$ 地震震中分布图，笔者把它们按照地震活动带大致分为不同的4个区域，再分析各个区域震前的降水异常特征。

I区：该区是滇西北地区（图2），1960年以来该区共发生 $M \geq 6$ 地震11组（双震算1组）。从表1可见在这9组地震震前1年，震中附近地区区域降水量都大于平均值，只有1961年中甸6.0级和1976年盐源、宁蒗6.7、6.4级地震前1年震中

附近的降水小于平均值。1962年云南大部分地区都是旱异常，只有滇西北是涝异常；1963年，在涝异常的边缘地带发生了永平6.0级地震。在姚安、大姚地区，所有的6级以上地震发生前，震中附近地区都出现了降水较多的现象。如果把降水大于平均降水值的20%作为震中地区的涝异常，则该区80%的6级以上地震前1年，震中附近地区的降水特征是以涝异常为主（图3）。

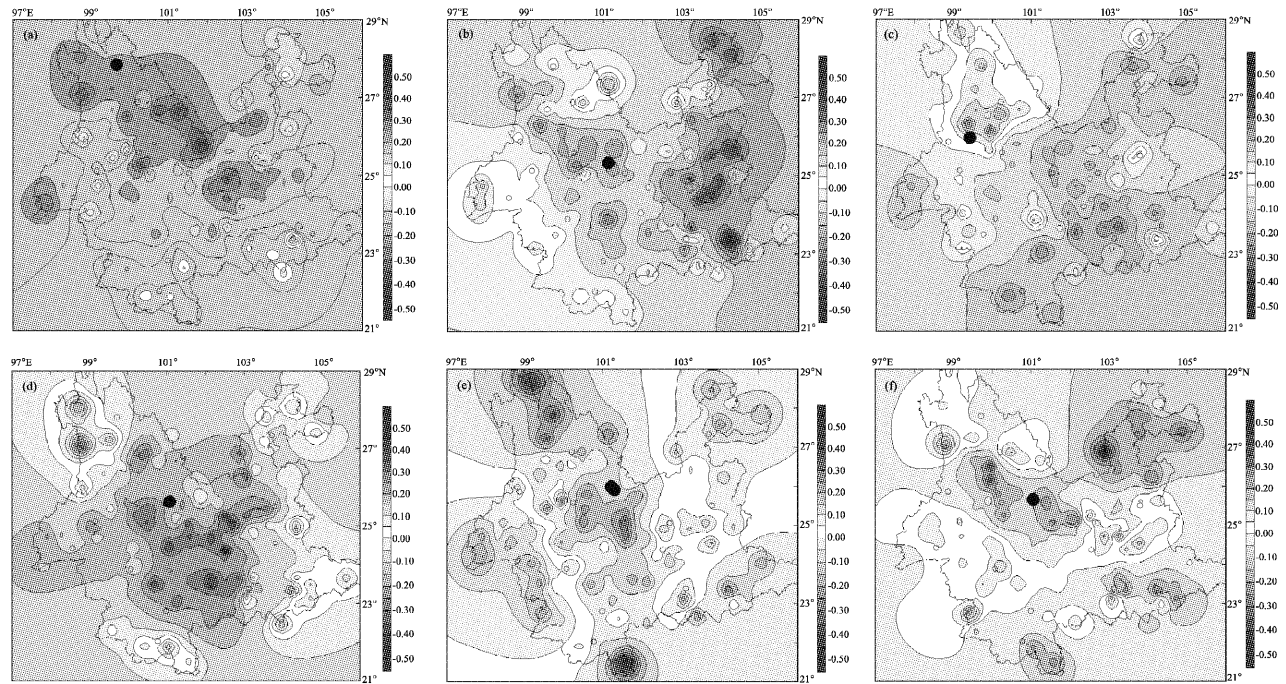


图3 滇西北地区部分 $M \geq 6$ 地震前云南降水空间分布示意图

(a) 1961年中甸6.0级地震前1年；(b) 1962年南华6.2级地震前1年；(c) 1963年永平地震6.3级地震前1年；
(d) 2000年姚安6.5级地震前1年；(e) 2003年大姚6.2、6.1级地震前1年；(f) 2009年姚安6.0级地震前1年

Fig. 3 Spatial distribution of precipitation in Yunnan before part of $M \geq 6$ earthquakes in northwest Yunnan

(a) Zhongdian $M6.0$ earthquake in 1961; (b) Nanhua $M6.2$ earthquake in 1962; (c) Yongping $M6.3$ earthquake in 1963; (d) Yaoan $M6.5$ earthquake in 2000; (e) Dayao $M6.2$ and $M6.1$ earthquakes in 2003; (f) Yaoan $M6.0$ earthquake in 2009

II区：该区是云南的东部地区（图2），1960年以来只发生过5次6级以上地震，其中有2组7级地震。1970年通海7.8级地震前的1969年是大旱（图4b），但1968年震中附近地区出现过涝（图4a）。其余的地震，只有1985年禄劝6.3级地震前1年震中附近降水少于平均值，而1966年东川6.5、6.2级，1974年昭通大关7.1级和1965年武定6.5级地震前1年，在震中附近的降水都大于平均降水值的20%（图4c，d）。如果只看震前1年，该区有60%的地震发生前是涝异常，40%的地震发生前是旱异常，如果考虑1970年通海7.8级地震前1968年是大涝，则震前2年出现过涝异常而发生地震的比例可达到80%。

III区：该区是腾冲—耿马—澜沧地震区（图2）。1960年以来该区共发生6级以上地震6组，其中1976年龙陵7.3、7.4级地震前一年（1975年）降水较少，为旱异常，1995年孟连西7.3级地震前（1994年）震中附近降水正常，其余地震前降水丰沛，均为涝异常。再进一步追踪分析，1974年，在龙陵地震震中附近也曾出现过降水大于均值20%的涝异常（图5a），这类先涝后旱的情况在表1里已作标注。60%的强震前1年出现了涝异常，20%的地震前是旱异常，20%的地震前降水未见异常，同样地，若也考虑龙陵地震前1974年震中附近曾出现过涝，则80%的地震前出现过涝异常。

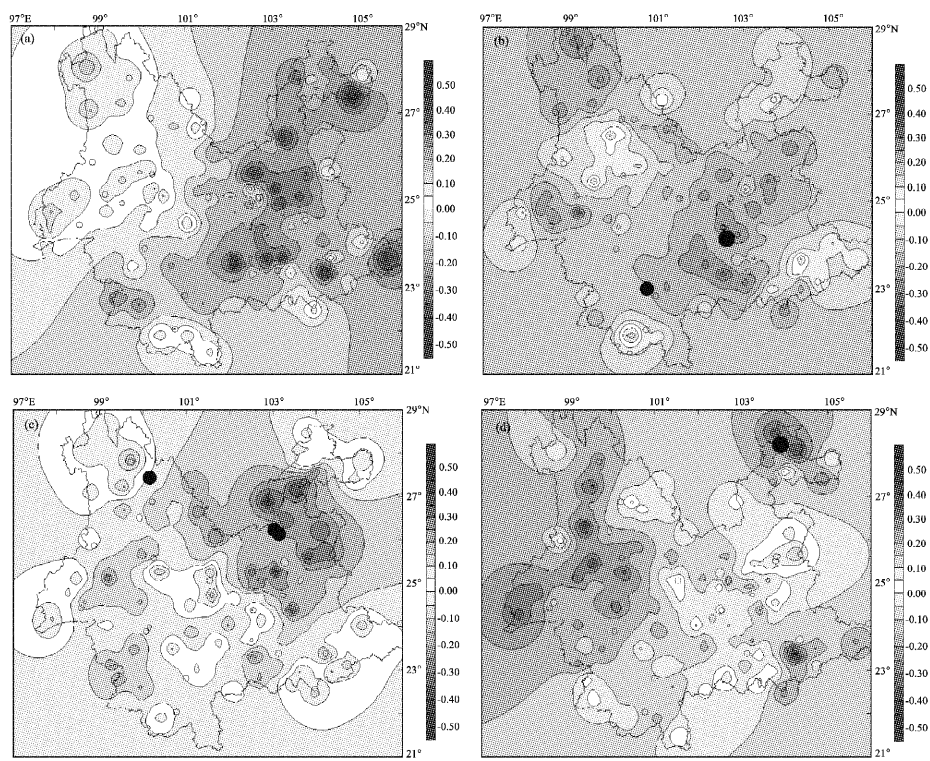


图 4 云南东部地区部分 $M \geq 6$ 地震前降水分布图

(a) 1970 年通海地震前 2 年; (b) 1970 年通海地震前 1 年; (c) 1966 年东川 6.6、6.2 级地震前 1 年; (d) 1973 年大关 7.1 级地震前 1 年

Fig. 4 Distribution of precipitation before part of $M \geq 6$ earthquakes in east Yunnan

(a) Precipitation in 1968; (b) Tonghai earthquake in 1970; (c) Dongchuan $M6.6$ and $M6.2$ earthquake in 1966; (d) Daguan $M7.1$ earthquake in 1974.

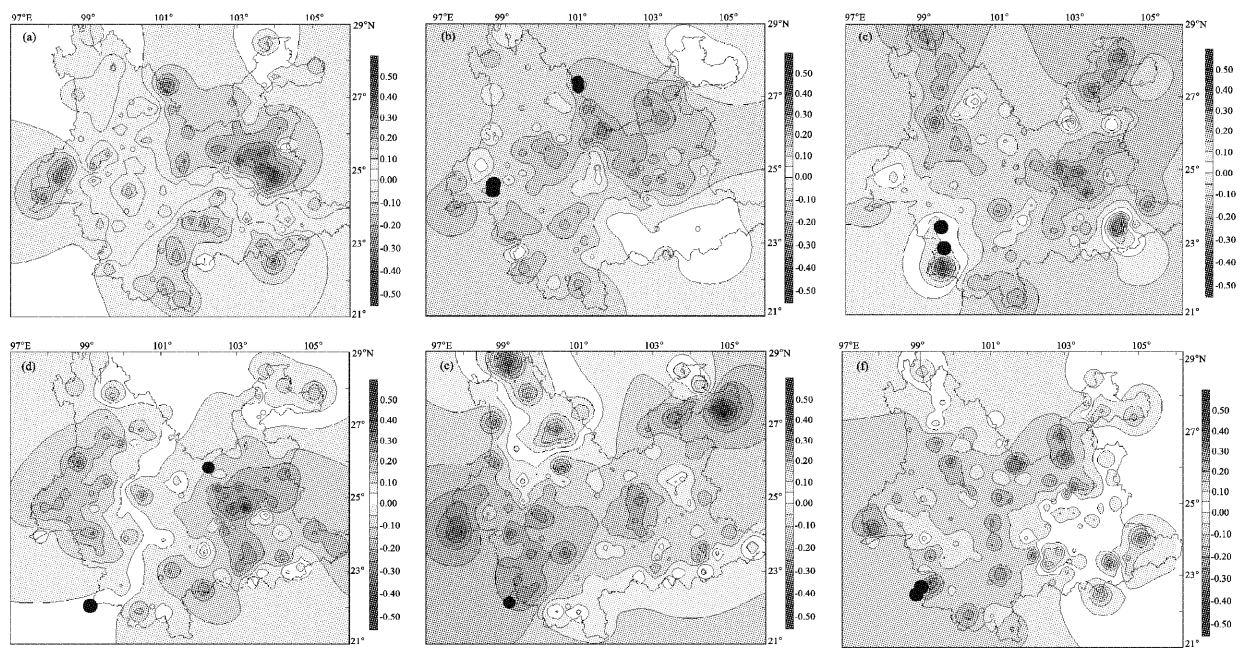


图 5 腾冲、澜沧地震带部分 $M \geq 6$ 地震前降水距平空间分布

(a) 1976 年龙陵 7.3、7.4 级地震前 3 年; (b) 1976 年龙陵 7.3、7.4 级地震前 1 年; (c) 1988 年澜沧 7.6 级地震前 1 年; (d) 1995 年孟连 7.3 级地震前 1 年; (e) 1984 年孟连 6.3 级地震前 1 年; (f) 1992 年中缅边境 6.9、6.8 级地震前 1 年

Fig. 5 Spatial distribution of precipitation departure before part of $M \geq 6$ earthquakes in Tengchong-Lancang seismic belt

(a) Precipitation in 1974; (b) Longling $M7.3$ and $M7.4$ earthquake in 1976; (c) Lancang $M7.6$ earthquake in 1988; (d) Menglian $M7.3$ earthquake in 1995; (e) Menglian $M6.3$ earthquake in 1984; (f) Sino - Burmese border $M6.9$ and $M6.8$ earthquake in 1992

Ⅳ区：该区主要是思茅、普洱地震区。1960年以来，该区共发生6级以上地震7组，其中3组地震前震中附近降水正常，另外3组地震前震中附近降水少于平均值，旱异常，有2组地震前震中附近出现了涝异常（图6）。该区近1/3的地震前是涝异常，1/3的地震前是旱异常，有近1/3的地震

前降水正常，基本可以认为该区的降水与6级以上地震没有显著的对应关系。进一步分析发现，思茅、普洱地震区断裂纵横交错，形成类棋盘式的构造格局，这些纵横交错的断裂对降水可能有相互制约的作用。除这个区外，80%的 $M \geq 6$ 地震前都出现了降水多的涝异常。

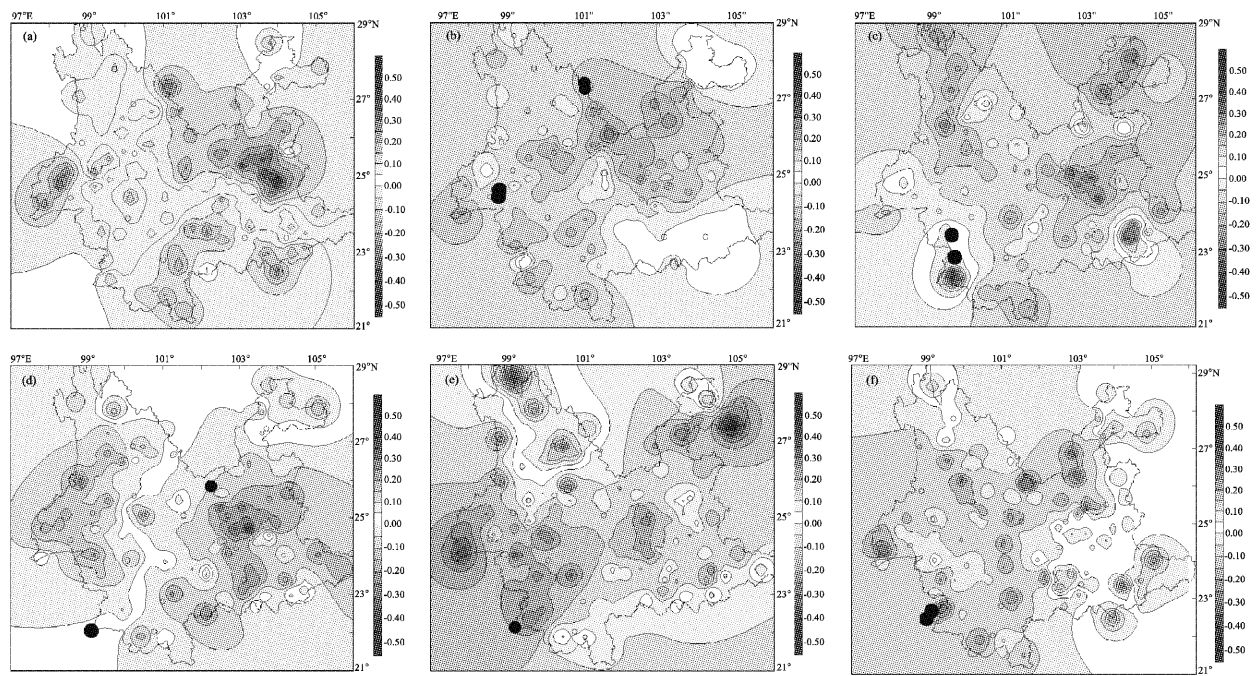


图6 思茅、普洱地震区部分 $M \geq 6$ 地震前降水异常分布
(a) 1965 年思茅 6.1 级地震前 1 年；(b) 1971 年思茅 6.7、6.2 级地震前 1 年；
(c) 1979 年普洱 6.8 级地震前 1 年；(d) 2007 年宁洱 6.4 级地震前 1 年
Fig. 6 Distribution of precipitation anomaly before part of $M \geq 6$ earthquakes in Simao – Puer seismic zone
(a) $M6.1$ Simao earthquake in 1965；(b) $M6.7$ and $M6.2$ Simao earthquake in 1971；
(c) $M6.8$ Pu'er earthquake in 1979；(d) $M6.4$ Ning'er earthquake in 2007.

3 结论与讨论

降水减少的旱异常与云南7级地震的对应率震前1年内只有33%，震前3年也只有50%，因此从统计的角度分析认为旱异常与云南7级地震的相关性不显著。

1960年以来，云南除思茅、普洱地震区外的其他地区，80%以上的 $M \geq 6$ 地震前震中附近均出现了降水大于均值20%的涝异常，显示降水增多与云南的 $M \geq 6$ 地震有一定的相关性。但降水对发震断层的作用的机理是复杂的，因此并不是所有区域的降水增多都对应地震。

云南大部分地区降水增多与 $M \geq 6$ 地震的发生

存在一定的相关性，但降水对地壳的加载作用，可能仅仅只是地震诱发因素，并且前人有研究结果显示降水异常与地震的关系仅在云南显著，但云南1960年以来的降水资料显示也有降水增多但没有发生6级地震的情况，因此降水可能只是诱发地震的原因之一，起主导作用的应该是内因，即该区是否已有6级以上地震在孕育。

参考文献：

耿庆国. 1984. 旱震关系与大地震中期预报[J]. 中国科学(B辑), (7):658–666.
耿庆国. 2005. 破坏性地震短期临震预测的一个有效方法[J]. 国际地震动态, (5):117–124.
李海华. 1983. 大气降水对地震活动某种调制作用的初步讨论[J]. 地震学报, 5(2):234–241.

- 马敬霞,王式功,杨德宝. 2009. 中国大陆中强震发生前后震中降水变化特征[J]. 兰州大学学报, 45(5):135-137.
- 王在华,徐国钧. 2002. 气象要素与云南震区最大震级的统计相关分析[J]. 内陆地震, 16(3):235-243.
- 徐国钧,谭天明,兰红林,等. 1993. 云南破坏性地震与气象要素的关系[J]. 地震研究, 16(3):148-155.
- 徐国钧,田敏,赵革建,等. 2001. 气象奇点与云南最大震级预报研究

- [J]. 云南大学学报, 23(5):351-356.
- 赵洪声,黄云宝. 1984. 大气降水对昆明周围地震活动的调制[J]. 西北地震学报, 6(1):38-42.
- 赵洪声. 1986. 大气降水剧变对思茅—普洱区地震活动的影响[J]. 地震学刊, (1):59-62.
- 中央气象局科技情报研究所. 1976. 地震与气象关系的研究情况[J]. 山东气象, (6):24-28.

Preliminary Analysis of Correlation between the Precipitation and the $M \geq 6$ Earthquake in Yunnan

LIN Hui¹, GU Ning-jie², LIN Jia-ni³

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

(2. Earthquake Administration of Guandu District, Kunming 650200, Yunnan, China)

(3. School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China)

Abstract

Analyzing correlation between annual precipitation and the $M \geq 6$ earthquakes in Yunnan since 1960, we find that when the mean annual precipitation in Yunnan is less than 1 000 mm, or the number of the stations whose annual precipitation anomaly is lower than 25% is larger than 20, the corresponding probability of $M \geq 7$ earthquake in Yunnan in the following year is only 25% and 33% respectively. The correlation between the drought anomaly and the $M \geq 7$ earthquake isn't significant. Analyzing the spatial distribution of precipitation in Yunnan, we find that one year before the $M \geq 6$ earthquakes more than 80% of the total, the annual precipitation near the epicenters of the earthquakes is 20% higher than the average. The correlation between the flood anomaly and the $M \geq 6$ earthquakes happened in Yunnan is significant. We think that the precipitation loaded on the crust may trigger the earthquake, but it is only a modulator. The intrinsic factor is decisive for the earthquake.

Key words: annual precipitation; $M \geq 6$ earthquakes; correlation; Yunnan