

# 云南强震活动间隔时间特征研究<sup>\*</sup>

秦嘉政, 钱晓东, 刘丽芳

(云南省地震局, 昆明 650224)

**摘要:** 利用云南丰富的历史和现代强震活动资料, 通过深入分析强震活动间隔时间的特点, 建立了强震活动的时间预测方程  $t = a + b\beta^\alpha$ 。根据云南地区  $M \geq 6$  地震的数据, 分时段、分区域拟合了时间预测方程。以该方程式模拟公元 1500~2008 年 500 余年的强震活动的时间特征均取得了比较好的效果。其次, 选用云南 500 余年的  $M \geq 6.5$  地震资料, 用  $T(M) = D(T)/N(M)$  定义估算强震活动的复发周期, 也取得了比较好的效果。分析认为, 云南地区今后几年可能进入强震活动的危险时段。

**关键词:** 强震活动; 强震破裂时间; 复发周期; 云南地区

**中图分类号:** P315.75      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-0666(2009)03-0221-07

## 0 引言

云南是中国大陆强震活动最频繁的地区之一, 既有丰富的现代地震记录, 也有悠久的历史地震记载。许多地震学家详细地研究了云南百年来强震活动的时间和空间分布特征及其活动规律(皇甫岗等, 2000; 皇甫岗, 2002; 秦嘉政等, 2005), 如 1900 年以来云南  $M \geq 6.7$  强震活动在时间上可划分为 4 个活跃期和 4 个平静期, 而在空间上, 以红河断裂带为界, 可把云南分为东、西两个地区, 强震活动具有东、西交替的明显特点, 即当西部处于强震活动主体活跃期时, 东部则相对平静期, 但也可能有部分强震参与活动, 反之亦然; 平静期和活跃期持续时间基本相当, 平均大致为 12 年左右。根据云南百年强震活动规律分析, 目前云南处于第 4 平静期末期并向第 5 活跃期启动的过渡时段。因此, 云南新一轮强震活动期什么时候启动? 首发强震将会在什么时间、什么地点发生? 强度有多大? 尤其是四川汶川 8.0 级地震发生后, 对云南强震活动将产生怎样的影响? 这些都是我们特别关心的震情趋势判定问题。

为了进一步研究云南强震活动的时间特征, 我们利用云南丰富的现代地震和历史地震活动资料, 选取更长的历史时间段, 以强震发生的间隔

时间和强震累积次数进行统计分析。这种新的方法, 能给出精度比常规的统计方法更高的结果, 可为我们分析预测今后云南强震活动趋势, 正确把握地震大形势提供重要参考。

## 1 统计分析及所用资料

### 1.1 统计分析理论

建立强震活动的时间破裂统计方程, 找到拟合精度高、误差小的统计方程数学模型, 是建立统计预测方法的关键。我们定义每次地震的发震时间(即地震破裂时间)为  $t$ , 单位为年, 累积地震次数用  $\beta$  表示, 则建立的适应于强震破裂时间的统计预测方程满足

$$t = a + b\beta^\alpha \quad (1)$$

式中,  $a$ 、 $b$  代表拟合常数,  $\beta$  代表参与统计计算的累积地震次数,  $\beta = \sum_{i=1}^n n_i$ , 指数  $\alpha$  代表累积地震次数随地震破裂时间的增长变化率, 是一个重要的控制参数。参与统计的地震数据中, 以第一个地震发生的时间为零点, 之后按地震时间间隔累积计算, 直到最后一个参与统计的地震发生时间为止的所有地震总的累积间隔时间, 就是强震破裂时间  $t$ 。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-09-16。

基金项目: 云南省重点项目“云南强震活动与动力学研究”和中国地震局“小江断裂带的中长期地震潜势定量研究”项目(200708035)联合资助。

1.2 资料

根据历史地震记载资料，从公元 1500 年起，云南就有较为完整的  $M \geq 6$  以上地震记录（毛玉平，韩新民，2003）。虽有可能存在遗漏，但从已有资料分析，红河断裂以东地区的遗漏比以西地区的遗漏要少得多。例如，红河断裂以东地区，从 1500 年至今  $M \geq 6.5$  地震记载有 29 次，而西部地区最早的记载是 1512 年，至今有 17 次，比东部地区少 12 次。这种现象也许反映了云南地区历史上经济发展的基本情况，即历史上东部地区的经济比西部地区要发达，因而发生在西部地区的某些地震事件或许未被记载。

在统计分析过程中，考虑到我们重点是根据长期历史地震活动资料来研究未来强震活动趋势，

并依据建立的破裂时间方程进行数据统计拟合，因此，我们对所使用的强地震资料作了这样的取舍：对间隔在 3 个月以内的双震型地震，仅选取其中最大一次地震作为统计样本，这一是由于地震预测预报仍有许多困难，双震型地震预报难度更大，二是双震型地震毕竟只占极少数，多数强震都是单次的，选用时间间隔太短的双震型地震，会给统计结果带来较大的误差和不确定性，对未来强震活动分析预测误差就更大。根据这样的约束，我们得到 1500~2008 年云南地区  $M \geq 6$  地震共 93 次（罗荣联，1993；国家地震局震害防御司，1995；中国地震局震害防御司，1999）（图 1，表 1）。图 2 给出了这些地震的时间序列图。由图 2 可看出，1900 年以来，云南地区 6 级以上地震频繁发生，而 1900 年以前 6 级地震时间序列分布表面上看比较均匀且稀疏，但不排除可能有遗漏的情况。正如前述所推测的，云南西部地区古代经济不发达，文字记载不多，可能有若干地震事件未被记载（张受生，皇甫岗，1988）。

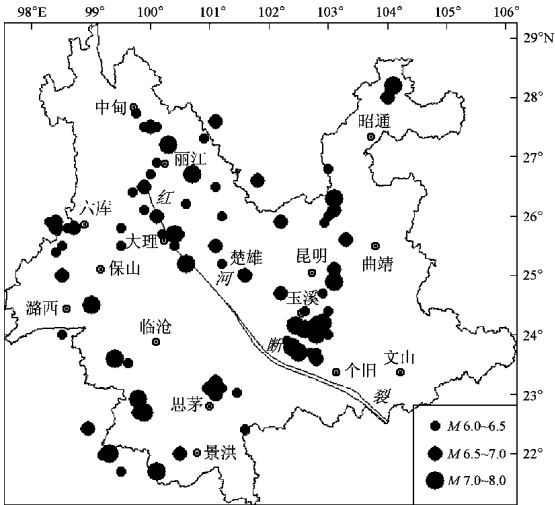


图 1 1500~2008 年云南地区  $M \geq 6$  地震震中分布

Fig 1 Distribution of earthquakes with  $M \geq 6$  in Yunnan region from 1500 to 2008

2 统计结果分析

2.1 云南地区强震破裂时间拟合

根据历史地震活动资料建立统计预测方程，最重要的是要有稳定可靠的统计样本，并且还应根据所用的统计样本建立拟合误差比较小的统计数理模型。根据图 2 给出的云南地区  $M \geq 6$  地震时间序列分布可知，1900 年前后的地震数目有明显差别：1900 年以前的 400 年间记录到的地震较少，仅为 30 次，占 30%；1900 年后的 100 年间有 63 次，占 64%。因此，我们以 1900 年为界，分两段进行拟合。在拟合过程中，两时间段拟合方程在接口处应相互约束，这样处理既考虑了强震活动时间的非均匀性，也满足了分段拟合相互制约的统一性。以这样的指导原则和思路，我们给出了云南地区的强震活动分段统计预测方程。

(1) 满足  $M \geq 6$  地震的统计预测方程的结果为

$$\begin{aligned} t &= -69.2 + 47.7\beta^{0.66} \\ \beta &\leq 30 \quad S=15.23 \quad R=0.992 \end{aligned} \tag{2}$$

和

$$\begin{aligned} t &= 379.1 + 0.55\beta^{1.21} \\ \beta &> 30 \quad S=2.60 \quad R=0.996 \end{aligned} \tag{3}$$

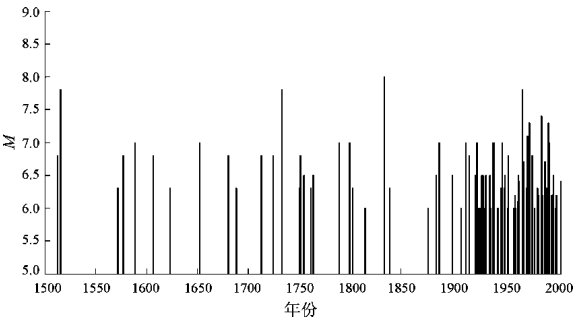


图 2 1500~2008 年云南地区  $M \geq 6$  地震时间序列图

Fig 2 M-t diagram of earthquakes with  $M \geq 6$  in Yunnan region from 1500 to 2008

表 1 本研究中选取的 1500~2008 年云南地区  $M \geq 6$  地震目录

Tab 1 Catalogue of selected  $M \geq 6$  earthquakes in Yunnan region from 1500 to 2008

序号	时间 年—月—日	北纬 / (°)	东经 / (°)	震级 $M_s$	参考 地点	序号	时间 年—月—日	北纬 / (°)	东经 / (°)	震级 $M_s$	参考 地点
1	1500—01—13	24. 90	103. 10	7. 0	宜良	48	1934—01—19	25. 90	98. 30	6. 0	泸水
2	1512—10—18	25. 00	98. 50	6. 8	腾冲	49	1937—08—31	27. 50	100. 00	6. 5	缅甸
3	1515—06—27	26. 70	100. 70	7. 8	永胜	50	1938—05—14	21. 70	99. 50	6. 0	澜沧
4	1515—10—01	25. 70	100. 20	6. 0	大理	51	1940—04—06	23. 90	102. 30	6. 0	石屏
5	1571—09—19	24. 10	102. 80	6. 3	通海	52	1941—05—16	23. 60	99. 40	7. 0	耿马
6	1577—03—23	25. 00	98. 50	6. 8	腾冲	53	1941—10—31	25. 40	98. 40	6. 3	腾冲
7	1588—08—09	24. 00	102. 80	7. 0	建水	54	1941—12—26	22. 70	99. 90	7. 0	澜沧
8	1606—11—30	23. 60	102. 80	6. 8	建水	55	1946—01—26	24. 00	98. 50	6. 0	潞西
9	1623—05—04	25. 50	100. 40	6. 3	大理	56	1948—06—27	26. 40	99. 70	6. 3	剑川
10	1652—07—13	25. 20	100. 60	7. 0	弥渡	57	1950—02—03	21. 70	100. 10	7. 0	勐连
11	1680—09—09	25. 00	101. 60	6. 8	楚雄	58	1951—12—21	26. 70	100. 00	6. 3	丽江
12	1688—06—16	26. 50	99. 90	6. 3	剑川	59	1952—06—19	22. 70	99. 80	6. 5	澜沧
13	1713—02—26	25. 60	103. 30	6. 8	寻甸	60	1955—03—22	25. 90	98. 40	6. 0	泸水
14	1725—01—08	25. 10	103. 10	6. 8	嵩明	61	1955—06—07	26. 50	101. 10	6. 0	华坪
15	1733—08—02	26. 30	103. 10	7. 8	东川	62	1955—09—23	26. 60	101. 80	6. 8	攀枝
16	1750—09—15	24. 70	102. 90	6. 3	澄江	63	1961—06—27	27. 73	99. 75	6. 0	中甸
17	1751—05—25	26. 50	99. 90	6. 8	剑川	64	1962—06—24	25. 20	101. 20	6. 2	南华
18	1755—01—27	24. 70	102. 20	6. 5	易门	65	1963—04—23	25. 80	99. 50	6. 0	云龙
19	1755—02—08	23. 70	102. 80	6. 0	建水	66	1965—07—03	22. 40	101. 60	6. 1	江城
20	1761—05—23	24. 40	102. 60	6. 3	玉溪	67	1966—02—05	26. 10	103. 10	6. 5	东川
21	1763—12—30	24. 20	102. 80	6. 5	通海	68	1966—09—28	27. 50	100. 10	6. 4	中甸
22	1789—06—07	24. 20	102. 90	7. 0	华宁	69	1970—01—05	24. 10	102. 60	7. 8	通海
23	1799—08—27	23. 80	102. 40	7. 0	石屏	70	1970—02—07	23. 08	101. 03	6. 2	普洱
24	1803—02—02	25. 70	100. 50	6. 3	宾川	71	1971—04—28	23. 00	101. 10	6. 7	普洱
25	1814—11—24	23. 70	102. 50	6. 0	石屏	72	1973—08—16	23. 10	101. 20	6. 3	普洱
26	1833—09—06	25. 00	103. 00	8. 0	嵩明	73	1974—05—11	28. 20	104. 10	7. 1	大关
27	1839—02—07	26. 10	99. 90	6. 3	洱源	74	1976—05—29	24. 50	99. 00	7. 3	龙陵
28	1876—08—05	25. 50	99. 50	6. 0	永平	75	1976—11—07	27. 60	101. 10	6. 7	盐源
29	1884—11—14	23. 10	101. 00	6. 5	普洱	76	1979—03—15	23. 20	101. 10	6. 8	普洱
30	1887—12—16	23. 70	102. 50	7. 0	石屏	77	1981—09—19	23. 02	101. 46	6. 0	普洱
31	1901—02—15	26. 00	100. 10	6. 5	洱源	78	1984—04—24	21. 97	99. 19	6. 3	孟连
32	1909—05—11	24. 40	103. 00	6. 0	华宁	79	1985—04—18	25. 89	102. 93	6. 2	寻甸
33	1913—12—21	24. 15	102. 45	7. 0	峨山	80	1988—11—06	22. 92	99. 79	7. 4	澜沧
34	1917—07—31	28. 00	104. 00	6. 8	大关	81	1989—05—07	23. 52	99. 62	6. 2	耿马
35	1923—07—01	22. 00	100. 50	6. 5	勐海	82	1992—04—23	22. 42	98. 95	6. 7	缅甸
36	1925—03—16	25. 70	100. 40	7. 0	宾川	83	1993—01—27	23. 10	101. 10	6. 3	普洱
37	1925—10—15	26. 90	100. 10	6. 0	丽江	84	1995—07—10	22. 00	99. 20	6. 2	孟连
38	1927—03—15	26. 00	103. 00	6. 0	寻甸	85	1995—07—12	22. 00	99. 30	7. 3	孟连
39	1929—03—22	24. 00	103. 00	6. 0	建水	86	1995—10—24	25. 90	102. 20	6. 5	武定
40	1929—10—17	25. 80	98. 70	6. 5	腾冲	87	1996—02—03	27. 20	100. 30	7. 0	丽江
41	1930—04—29	25. 80	98. 60	6. 3	腾冲	88	1998—11—19	27. 30	100. 90	6. 2	宁蒗
42	1930—05—15	26. 80	103. 00	6. 0	巧家	89	2000—01—15	25. 50	101. 10	6. 5	姚安
43	1930—09—22	25. 80	98. 40	6. 5	腾冲	90	2001—10—27	26. 20	100. 60	6. 0	永胜
44	1931—07—25	25. 50	98. 50	6. 0	腾冲	91	2003—07—21	26. 00	101. 20	6. 2	大姚
45	1933—06—07	27. 50	99. 90	6. 3	中甸	92	2007—06—03	23. 00	101. 10	6. 4	宁洱
46	1933—08—11	25. 90	98. 40	6. 5	泸水	93	2008—08—30	26. 20	101. 90	6. 1	会理
47	1934—01—12	23. 70	102. 70	6. 0	建水						

式中， $S$ 代表标准误差， $R$ 代表拟合的相关系数，起始时间从 1500年开始。作为对统计方程的检验，例如，参与统计计算的最后一次地震为 2008 年 8 月 30日会理 6.1级地震，相当于统计排序中的第 93次地震，该地震发震时间以年为单位表示为 2 008.88年，而用方程（4）式计算所得结果为 2 008.06年，考虑到统计使用了 500多年的地震资料，由本模型得到的统计误差是相当小的。图 3给出了 1500~2008年云南地区  $M \geq 6$ 地震的分段统计结果，图中分段（I）为由方程（2）所得结果，分段（II）为由方程（3）所得结果。

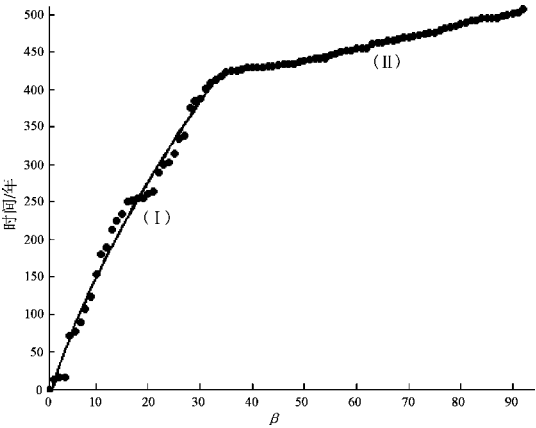


图 3 1500~2008年云南地区  $M \geq 6$ 地震  
破裂时间方程分段拟合结果

Fig 3 Different period fitting result of time to  
failure equation for the  $M \geq 6$  earthquakes  
in Yunnan region from 1500 to 2008

（2）满足  $M \geq 7.0$ 地震的统计预测方程的结果为

$$\begin{aligned} t &= -120.4 + 98.7\beta^{0.75} \\ \beta &\leq 10 \quad S=19.70 \quad R=0.989 \end{aligned} \tag{4}$$

和

$$\begin{aligned} t &= -2005.1 + 2156.4\beta^{0.05} \\ \beta &> 10 \quad S=3.70 \quad R=0.991 \end{aligned} \tag{5}$$

起始时间从 1500年开始，作为统计方程的检验，例如，当取参与统计计算的最后一次地震为 1996年 2月 3日丽江 7.0级地震，相当于统计排序中的第 20次地震，该地震发震时间按年为单位表示为 1 996.09年，而用方程（5）式计算所得破裂时间为 1 999.7年，与实际发生时间误差约 3.7年。考虑到我们使用的是 500多年的统计资料，得

出误差这么小的结果是令人满意的。图 4给出了 1500~2008年云南地区  $M \geq 7$ 地震的分段统计结果，图中分段（I）为由（4）式得到的结果，分段（II）为由（5）式得到的结果。

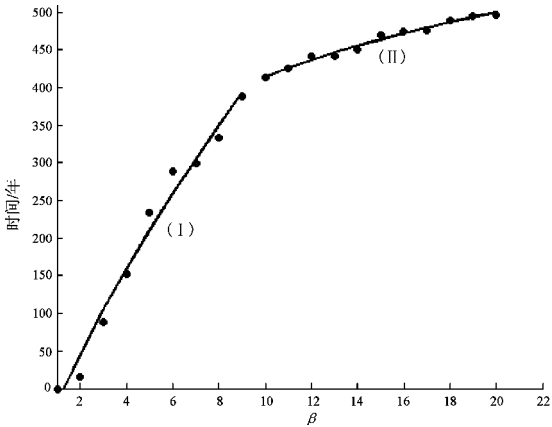


图 4 1500~2008年云南地区  $M \geq 7$ 地震  
破裂时间方程分段拟合结果

Fig 4 Different period fitting result of time to  
failure equation for the  $M \geq 7$  earthquakes  
in Yunnan region from 1500 to 2008

2.2 云南地区分区强震破裂时间拟合

云南地区位于青藏高原东南缘，受印度板块和欧亚板块的挤压，是全球地壳运动最激烈的地区。该地区地质构造十分复杂，强震活动也具有明显的分区、分带特征。闵子群（1989）以红河断裂为界，把云南地区分为东部和西部两个部分。据此，我们分别对这两个地区的强震活动进行破裂时间特征的统计分析。在我们所使用的 93次地震中，选用 60次作为东部地区地震的统计样本，选用 29次作为西部地区地震的统计样本（图 1）。

对红河断裂以东地区，当  $M \geq 6.0$ 时，拟合方程为

$$\begin{aligned} t &= -83.2 + 70.0\beta^{0.57} \\ \beta &\leq 31 \quad S=15.20 \quad R=0.992 \end{aligned} \tag{6}$$

和

$$\begin{aligned} t &= 380.6 + 0.079\beta^{1.81} \\ \beta &> 31 \quad S=2.99 \quad R=0.993 \end{aligned} \tag{7}$$

起始时间从 1500年开始，作为对统计方程的检验，例如，该地区最后一次 6级以上地震是 2008年 8月 30日四川会理 6.1级地震，利用式（7）计算给出的发震时间是 2010年，误差在  $\pm 3$ 年范围内。

图 5 给出了分段拟合结果，图中分段（I）为由（6）拟合所得结果，分段（II）为由（7）式拟合所得结果。

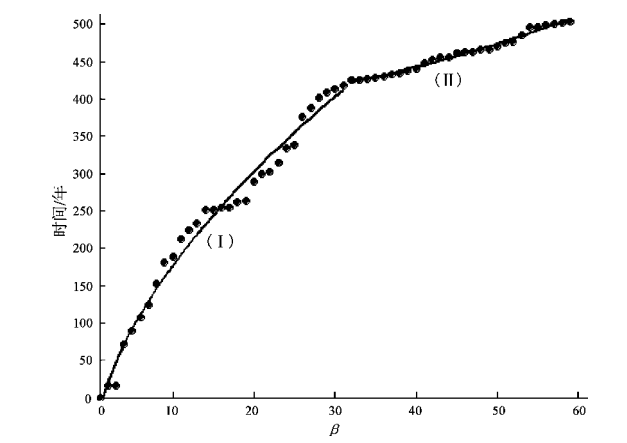


图 5 1500~2008 年云南红河断裂以东地区  $M \geq 6$  地震破裂时间方程分段拟合结果  
Fig 5 Different period fitting result of time to failure equation for the  $M \geq 6$  earthquakes in the east of Honghe fault in Yunnan region from 1500 to 2008

当  $M \geq 7.0$  时，拟合所得预测方程为

$$\begin{aligned} t &= -402.7 + 392.2\beta^{0.32} \\ S &= 11.9 \quad R = 0.997 \end{aligned} \tag{8}$$

起始时间从 1500 年开始，作为对统计方程的检验，例如，该地区最后一次 7.0 级地震是 1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级地震，利用方程（8）式预测的结果是 2004 年，误差在  $\pm 11$  年的范围内。用 500 年的地震资料作统计，预测误差在 8 年左右，结果是令人满意的。图 6 给出了预测方程拟合结果。

对于红河断裂以西地区，起始时间从 1929 年开始，当  $M \geq 6.0$  时，拟合方程为

$$\begin{aligned} t &= -5.4 + 1.4\beta^{1.19} \\ S &= 3.13 \quad R = 0.992 \end{aligned} \tag{9}$$

起始时间从 1941 年开始，当  $M \geq 7.0$  时，拟合方程为

$$\begin{aligned} t &= -8.9 + 5.0\beta^{1.45} \\ S &= 5.24 \quad R = 0.972 \end{aligned} \tag{10}$$

用上述两式分别得出最近一次地震的预测结果，它们与实际地震发震时间之差均在误差范围

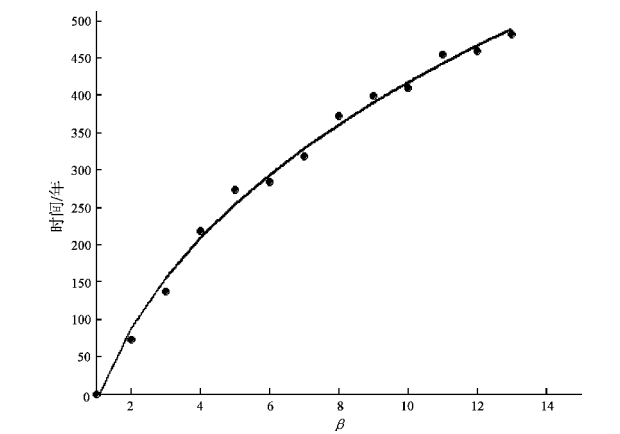


图 6 1515~2008 年云南红河断裂以东地区  $M \geq 7.0$  地震破裂时间方程拟合结果  
Fig 6 Different period fitting result of time to failure equation for the  $M \geq 7.0$  earthquakes in the east of Honghe fault of Yunnan region from 1515 to 2008

内。由于西部地区的地震统计数据相对东部地区要少得多，方程拟合的精度也相对要低些，拟合结果见图 7 和图 8。其次，在统计分析过程中，是否采用分段拟合，应根据参与统计的样本及给出的误差来确定。对于历史久远的资料，由于时间间隔的差异性比较大，用分段拟合的方法比较好。

### 3 云南强震活动复发周期分析

根据资料及使用分析模型的不同，地震活动复发周期有多种统计分析方法（陈培善等，2003）。根据历史强震活动进行统计预测研究，是探讨一个地区未来强震活动的重要技术手段（张国民，1990）。虽然给出的只是统计结果，但可为研究一个地区未来强震活动的趋势提供重要参考。我们提出一个简明的计算地震复发周期的公式

$$T(M) = D(T) / N(M) \tag{11}$$

式中， $T(M)$  代表震级大于或等于  $M$  的地震复发时间， $D(T)$  为相应给出的地震间隔累积时间， $N(M)$  代表相应的总地震次数。这个公式的优点在于可使用一个地区的实际地震活动资料进行统计，给出的结果代表某一地区地震复发时间周期的平均值，避免了用多种参数计算地震复发周期带来的误差。如果地震活动随时间分布大致为均匀线性，则用这种方法估算的复发周期误差就很小。

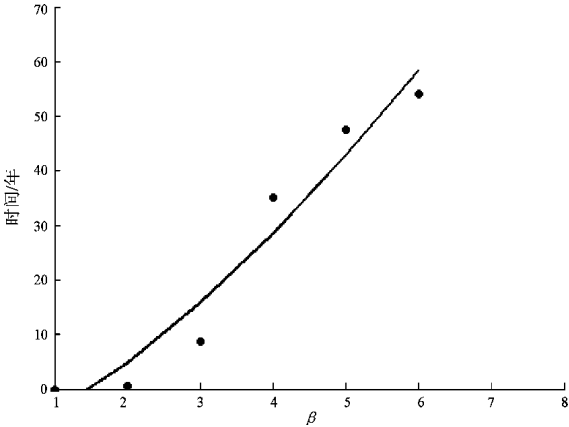
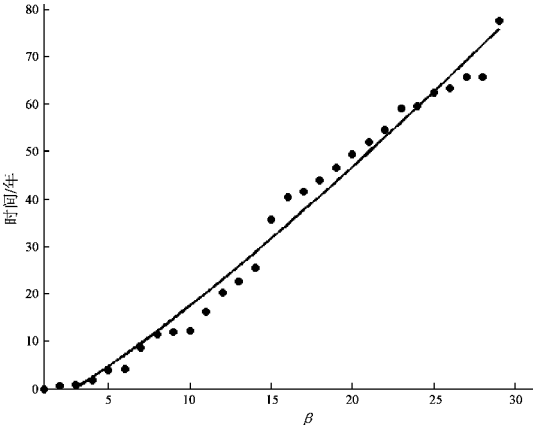


图 7 1929~2008年云南红河断裂以西地区  $M \geq 6.0$ 地震破裂时间方程拟合结果  
Fig 7 Different period fitting result of time to failure equation for the  $M \geq 6.0$  earthquakes in the west of Honghe fault of Yunnan region from 1929 to 2008

图 8 1929~2008年云南红河断裂以西地区  $M \geq 7.0$ 级地震破裂时间方程拟合结果  
Fig 8 Different period fitting result of time to failure equation for the  $M \geq 7.0$  earthquakes in the west of Honghe fault of Yunnan region from 1929 to 2008

利用 (11) 式, 我们统计得出云南地区  $M \geq 6.5$ 地震的平均复发时间约为 11 年。根据这个结果, 云南地区最近一次  $M \geq 6.5$ 地震是 2000 年 1 月 15 日姚安 6.5 级地震, 那么下一次 6.5 级地震可能在 2011 年左右发生。以红河断裂为界对云南东、西部地区分别统计, 得到  $M \geq 6.5$ 地震在东部地区的平均复发时间约为 17 年, 在西部地区约为 26 年。东部地区最近一次  $M \geq 6.5$ 地震是 2000 年 1 月 15 日姚安 6.5 级地震, 那么该地区应在 2017 年左右再次发生同等强度的地震。西部地区最近一次  $M \geq 6.5$ 地震是 1995 年 7 月 12 日勐连西 7.3 级地震, 那么下一次同等强度的地震预计应在 2020 年左右发生。我们注意到, 云南地区总的统计结果与分区统计结果不一致, 这是由参与统计样本的数量和间隔时间差别引起的。特别是 1900 年前后两个时段的强震活动间隔时间差异太大, 直接导致统计结果误差很大, 如何解决这种问题, 还需要进一步研究。从分析结果看, 下一次强震活动时间东部地区要早于西部地区。由于统计误差以及统计资料的质量问题, 本统计结果仍存在不确定性, 但对未来云南地震的强震活动趋势分析, 仍可在一定意义上提供参考。

4 结语

统计结果建立的分段拟合方程相互约束, 与独立的分段拟合有明显区别。方程拟合系数  $\alpha$  是一个重要的控制参数, 它代表强震活动的强弱程度。由破裂时间方程可预测下一次强震活动的危险时段, 从而为强震活动趋势分析判断提供一种可能的定量分析结果, 对把握地震趋势发展是有益的。

地震学家已经注意到, 不同的统计时段对地震活动性参数估计有一定影响 (黄伟琼, 吴宣, 2001)。本文中我们进行分段统计拟合, 是考虑到 1900 年以前云南历史地震可能存在遗漏现象, 尤其是 7 级以下地震, 因此以 1900 年为分割点作分段拟合统计是一个适当的考虑, 但是对于有比较完整的记录的地区, 如红河断裂以东的 7 级以上强震、红河断裂以西的 6 级以上地震则未作分段统计仍可得出误差较小的统计结果。

由于统计结果与统计样数、地区、时段以及方法等密切相关, 因而我们针对不同的统计对象给出了不同的结果, 在具体预测分析中应注意到这些情况。综合分析本文由破裂时间方法和地震复发周期方法给出的不同震级的预测结果, 我们认为应重视云南地区未来 3~5 年 (即 2012 年前后) 强震活动的危险性。该结果与已有的对云南强震趋势分析的结果基本一致。

参考文献:

陈培善, 白彤霞, 李保昆. 2003. b值和地震复发周期 [J]. 地球物

- 理学报, 46 (4): 510—519.
- 国家地震局震害防御司. 1995. 中国历史强震目录 [M]. 北京: 地震出版社.
- 黄伟琼, 吴宣. 2001. 统计时段对地震活动性参数估计的影响 [J]. 地震学报, 23 (6): 588—595.
- 皇甫岗. 2002. 对云南地区强震活动规律的认识 [J]. 地震研究, 25 (增刊 B): 1—6.
- 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.
- 蒋长胜, 吴忠良. 2005. 2004 年 12 月 26 日印尼北苏门答腊以西近海  $M_w 9.0$  地震与地震的类临界点模型. 地震学报, 27 (3): 269—275.
- 罗荣联. 1993. 云贵川藏历史有感地震简目 [M]. 成都: 成都科技大学出版社.
- 毛玉平, 韩新民. 2003. 云南地区强震 ( $M \geq 6$ ) 研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 闵子群. 1989. 云贵地区地震区、带 [Q] // 闵子群. 云贵地区地震危险性研究文集. 昆明: 云南科技出版社: 87—92.
- 秦嘉政, 皇甫岗, 钱晓东. 2005. 云南强震活动与预测方法研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 张国民. 1990. 本世纪 90 年代我国大陆强震活动趋势研究 [M] // 国家地震局分析预报中心. 中国地震大形势预测研究. 北京: 地震出版社.
- 张受生, 皇甫岗. 1988. 1515 年云南永胜 8 级地震破裂带及其相关问题的探讨 [M] // 新疆维吾尔自治区地震局. 中国地震断层研究. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.
- 中国地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录 [M]. 北京: 地震出版社.

## Study on Interval Time Characteristics of Strong Earthquake Activities in Yunnan Region

QIN Jia-zheng QIAN Xiao-dong LIU Li-fang

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

### Abstract

Through abundant data of historical and modern strong earthquakes in Yunnan region, we analyze the time interval of strong earthquakes and established a time-prediction equation,  $t = a + b\beta^a$ , for strong earthquakes. According to the data of  $M \geq 6$  earthquakes in Yunnan region, we fit the time-prediction equation in different periods and in different parts of Yunnan. The equation is effective in simulating the temporal characteristics of strong earthquakes from 1500 to 2008. The formula  $T(M) = D(T)/N(M)$  is also effective in estimating the recurrence period of strong earthquakes, based on time interval data of  $M \geq 6.5$  earthquakes about 500 years in Yunnan region. The advantages of time-prediction equation for strong earthquakes in the paper are of high precision, small error and full use of abundant history data. The statistical analysis shows that strong earthquake activities in Yunnan region will probably come to a dangerous period in the future.

**Key words:** strong earthquake activities, time of the occurrence of strong earthquakes, recurrence period, Yunnan region