

20 世纪云南地区地震记录完全性评价^{*}

皇甫岗, 李忠华

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 通过对 1901 ~ 2000 年云南地区 5 级以上地震记录完全性分析, 发现 20 世纪早期云南地震漏载仍然严重, 30 年代以后 5 级以上地震记录较为完全, 其中滇西南为地震记录的主要漏载地区。根据 b 值估算得到 20 世纪云南地区漏载 5 级地震 143 次、6 级地震 6.6 次, 这是地震活动性研究需要考虑的重要因素。60 年代后地震活动的起伏与地震监控能力无关。

关键词: 20 世纪; 地震记录; 完全性; 云南地区

中图分类号: P315.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2010)01-0001-06

0 引言

地震记录是地震研究的重要基础。地震记录的完全性直接影响着人们对于地震活动性、地震成因、地震前兆识别与演化等的认识。地震记录依赖于文化和科学技术水平, 从一般意义上可以认为, 距今时间愈近的地震记录可靠性和精度愈高。

地震规律的探索与建立必须基于较为完全(真实、连续、一致)的地震记录。获取地震记载有不同的方法, 如考古的方法, 还限于对一个局部区域历史上是否发生过地震的认知。迄今为止, 有预测需求的地震活动性研究主要靠仪器观测地震的记录来实现。随着观测环境和仪器的改进、观测网点的加密, 不同级别、不同区域仪器观测地震较完全记录的起始年代并不相同。因此, 在研究地震活动性时, 必须认真分析和考察一个区域地震目录的信度, 否则, 不同研究者得出的地震活动规律可能大相径庭(陈颙, 陈棋福, 1994; 黄纬琼等, 1994; Chen Y, Chen Q F, 1995; Wiemer, Wyss, 2000; 刘祖荫等, 2002)。

云南是中国大陆地震活动最为频繁的地区之一。由于地处边疆、山区、多民族等因素, 云南的历史地震漏载十分严重(皇甫岗, 秦嘉政, 2006; 皇甫岗, 罗荣联, 2008)。因此, 研究云南地区地震活动性特别是探寻地震活动规律, 通常以 20 世纪以来的地震记录为基础, 并兼顾历史地

震活动情况。云南地区最早的仪器地震记录为徐家汇观象台记录到的 1909 年 5 月 11 日华宁、弥勒交界处的 6.0 ~ 6.5 级地震(上海市地震局地震观测技术研究所, 1985), 到 2009 年整整 100 年。在这一历史时期, 我国地震台网建设有一个逐步发展和完善的过程。20 世纪 30 年代全国开始系统的仪器观测, 50 年代建成由 11 个台站构成的中国地震台网, 60 年代扩展到 16 个基准地震台, 包括 1957 年建成投入观测的昆明地震台和成都地震台。中国科学院地球物理研究所处理地震记录, 形成《地震临时报告》。1964 年年底, 中国科学院地球物理研究所西南工作站在川滇交界地区建成由 10 个地震台组成的“西南控制台网”, 至 1968 年底扩展到 40 个台。1970 年以后, 云南、四川各自成网, 至 80 年代末昆明和成都成为全国 6 个电信传输地震台网的重要组成部分。90 年代中期, 对昆明地震遥测台网的数字化改造, 实现了地震记录从模拟向数字化的转变。进入 21 世纪, 昆明台网实现扩展并升级, 全网有 46 个地震台(不包括云南省外台站), 均配置 24 位数字化地震仪, 地震监控能力有了大幅提高。我国地震监测系统的发展史, 间接提示即便是在 20 世纪, 地震记录的完全性也有一个逐步提高的过程。

本文重点对 20 世纪云南地区地震记录的完全性进行探讨和评价, 旨在为地震研究特别是地震活动性研究提供坚实而客观的数据保障。

^{*} 收稿日期: 2009-10-30.

基金项目: 云南省重点项目“云南强震活动与动力学研究”资助.

1 地震目录

云南地区 (21°~29°N, 97°~106°E) 的主体部分包括云南省全境、四川省南部 (西昌以南) 及其周边地带。20 世纪云南地区相关的地震编目有较好的工作基础 (中国科学院地震工作委员会历史组, 1956; 中国科学院地球物理研究所, 1976; 国家地震局, 1977; 四川地震资料汇编编辑组, 1980, 1981, 2000; 顾功叙, 1983; 中国地震简目汇编组, 1988; 云南省地震局, 1988; 谢毓寿等, 1989; 国家地震局震害防御司, 1995; 云南省地震局, 1999; 中国地震局震害防御司, 1999; 杨周胜, 毛玉平, 2003)。皇甫岗 (2009) 综合各类目录, 编制了一个 20 世纪以来《云南 5.0 级以上地震目录》, 并对地震事件的统计作必要的设定: ① 由于历史地震记录以及仪器测定前期记录不完全, 为了提高可比性, 统计地震事件时将余震剔除; ② 对于震群型 (含双震型) 地震, 除序列最大地震和主震外将与最大地震震级差小于或等于 0.5 级的地震计入。之所以这样设定, 主要是考虑地震事件记录的平衡性, 既不遗漏独立的显著事件, 也不因为类似震群型地震高频次而影响对于区域地震分布及能量释放特征的刻画。

皇甫岗等 (2000)、苏有锦等 (2001) 曾给出云南地区 20 世纪 5 级以上地震统计结果: 5 级以上地震总数为 333 次 (剔除部分余震), 其中 7 级

以上地震 10 组 13 次, 6~6.9 级地震 69 次。上述云南地区系指云南省边界外延 50 km 的范围内。笔者应用本目录作同期相关数据的统计, 得到 20 世纪 (1901~2000 年) 云南地区发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 403 次, 剔除余震后为 289 次, 其中 7 级以上地震 13 次, 6.0~6.9 级 62 次 (表 1)。

表 1 20 世纪云南地区 5 级以上地震统计表

Tab. 1 Statistics of the $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan in the 20th Century

时段/年	震级档			地震次数小计
	5.0~5.9	6.0~6.9	7.0~7.9	
1901~1910	7	3	0	10
1911~1920	10	4	1	15
1921~1930	17	10	1	28
1931~1940	23	9	0	32
1941~1950	26	6	3	35
1951~1960	24	6	0	30
1961~1970	21	8	1	30
1971~1980	35	6	3	44
1981~1990	24	3	2	29
1991~2000	27	7	2	36
1901~2000	214	62	13	289

2 地震记录完全性的宏观分析

由云南地区 5 级以上地震分布图 (图 1) 不难发现, 在 20 世纪以前的云南地区 5 级以上地震漏载十分惊人。同时也易得到一个直观的印象, 即 20 世纪云南地区 5 级以上地震记载较为完全。

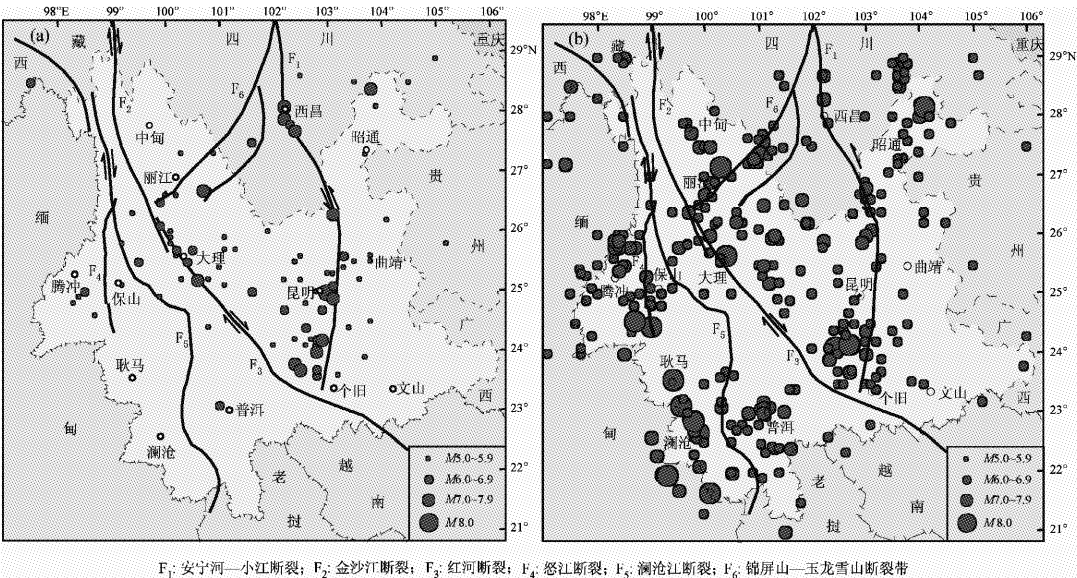


图 1 云南地区 5 级以上地震分布图

(a) 624 ~ 1900 年; (b) 1901 ~ 2008 年

Fig. 1 Distribution of the $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan

(a) 624 - 1900; (b) 1901 - 2008

通过 20 世纪以来云南地区 5.0~5.9 级地震随时间的分布特征，可以定性判断区域地震监控能力。正如前述，1901~1980 年云南地区经历无仪器记录到有仪器记录、大区域测震台网（点）到小区域测震网（点）的发展过程。将这一期间的 5.0~5.9 级地震分布，每 10 年作一个图（图 2），观察记录地震的分布特点。由图 2 可以看出：①

20 世纪 20 年代以前云南地区 5.0 级以上地震仍可能有相当程度的漏载，前 10 年地震零星分布。20 年代 5 级地震集中在小江断裂带及附近地区；② 50 年代以前，滇西南地区几乎无地震记载，50 年代后地震活动水平表现为骤升；③ 近百年来小江断裂带以东地区地震活动弱，起伏也不大。

云南地区是一个年平均发生 5 级以上地震

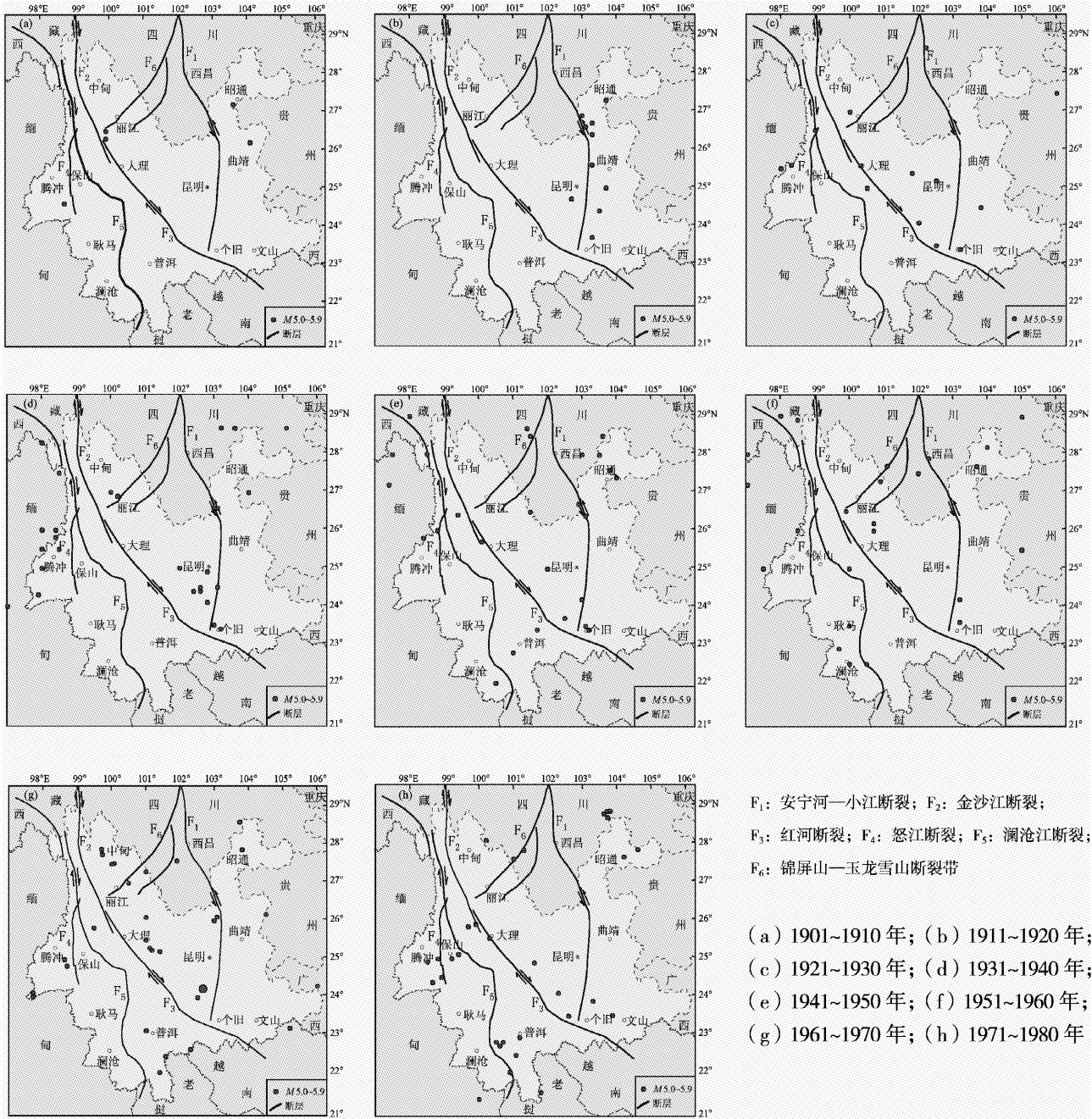


图 2 1901~1980 年云南地区 5.0~5.9 级地震分布图

Fig. 2 Distribution of the earthquakes with $5.0 \leq M \leq 5.9$ in Yunnan from 1901 to 1980

(a) 1901 - 1910; (b) 1911 - 1920; (c) 1921 - 1930; (d) 1931 - 1940;
(e) 1941 - 1950; (f) 1951 - 1960; (g) 1961 - 1970; (h) 1971 - 1980

(剔除余震)超过3次的地区,这是20世纪记录的5级地震的平均值。从图2可以直观看到,20世纪的前20~30年达不到该平均值,如1901~1910年有记录的5级以上地震仅10次,年均1次;1911~1920年有记录的5级以上地震共15次,年均1.5次,远低于整个世纪的年平均水平,主要原因可能是漏载。因此,可以通过年平均地震记录的变化来研究有完整地震记录的起始时间。

图3给出云南地区5级以上地震的年平均发生次数随累积时间的变化。作图的基本方法是,在1901~2008年时间段,先算出2001~2008年期间5级以上地震年发生率,然后以10年为步长逐一累积时间求算相应时间段内的地震年发生率。由图3可以得到云南地区5级地震记录相对完全的一个起始时间范围,大致为20世纪30年代初期。图中20年代出现的较高值,主要是受到1929~1931年腾冲地区罕见中强以上地震震群样本的影响,对比图2可以做出基本估计。同时还发现,20世纪80年代以来,云南地区5级以上地震年频次有所降低,这可能部分反映地震活动水平的变化,但不应属于地震监控能力的问题。

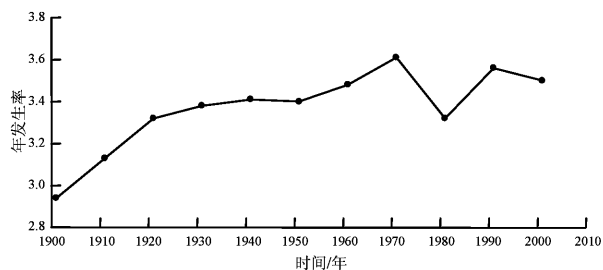


图3 1901~2008年云南地区5级以上地震年平均次数随累积记录时间的变化图

Fig. 3 Annual Average number of the $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan from 1901 to 2008

上述结果基本上满足大区域地震活动性研究的要求,但研究局部区域特别是测震台网网缘区域的地震活动,还要慎重对待。对过去100余年来滇西南地区地震能量积累与释放分析,发现20世纪50年代以前的5.0级以上地震平静,实际上应为对该区地震几乎无监控能力所致。考虑到滇西南地区在全区释放地震能量的比例,在地震活动性研究中必须充分注意一些特殊区域漏载的问题。

更小地震记录基本完全的起始时间与云南地

震台网建设及运行密切相关。本区台网建设大致分为3个阶段:1965~1970年,台网主要建在昆明、大理、华坪一带,滇西及滇西南几乎无台站,4.0~4.9级地震可能遗漏;1971~1976年滇西、滇西南建设一批台站,1976~1988年,省内4.0~4.9级无遗漏,省界附近可能遗漏;1988年后,传输台网逐步建立,4.0级以上地震无遗漏(陈立德,付虹,2003)。因为划为研究区的四川南部的地震监控水平高于滇西南地区,可以认为,从上世纪80年代末,云南地区4.0级以上地震能够得以完全记录。

3 地震记录漏载定量分析

地震记录中历史地震记录和仪器记录漏载的原因各有侧重。历史地震记录中存在漏载、标准不统一问题(谢毓寿等,1989)。仪器记录的漏载主要是有的区域早期无地震监测能力。

可以通过 b 值来判断记录的完全程度。根据古登堡—里克特公式

$$\log N = a - bM, \quad (1)$$

得到震级为 M 的地震次数

$$N(M) = 10^{a-bM}. \quad (2)$$

类似得到震级为 $M-1$ 的地震次数为

$$N(M-1) = 10^{a-b(M-1)}. \quad (3)$$

将震级为 $M-1$ 的地震与震级为 M 的地震次数相比,有

$$\frac{N(M-1)}{N(M)} = 10^b. \quad (4)$$

通过1970年以来区域台网的观测记录求取 b 值。1970年后 $M_L 3.8$ 以上地震记录完整(苏有锦等,2001)。图4给出了1970~2008年云南地区3.8级以上地震的震级频度关系。3.8级以上地震共2858次。图中最小二乘拟合式的常数 $b = 0.74 \pm 0.03$,共有数据点38个,相关系数0.95。因此,考虑到 b 值误差时,震级为 M 的地震与震级为 $M-1$ 的地震次数之比约为5.2~5.8。

20世纪云南地区记录到7级地震10组13次,

6 级地震 62 次，5 级地震 214 次（表 1）。由此得到

$$\frac{N(6)}{N(7)} = \frac{62}{13} = 4.7, \tag{5}$$

$$\frac{N(5)}{N(6)} = \frac{214}{62} = 3.5. \tag{6}$$

为了慎重起见，取

$$\frac{N(M-1)}{N(M)} = 5.2. \tag{7}$$

根据式（5）~ 式（7），可以计算云南地区 6 级和 5 级地震漏载次数 n_6 和 n_5 。一般来讲，20 世纪云南地区 7 级地震遗漏的可能性小，即 $n_1 = 0$ 。由于式（7）表达了无地震记录遗漏的情形，实际应为

$$\frac{N(6) + n_6}{N(7) + n_7} = 5.2, \tag{8}$$

$$\frac{N(5) + n_5}{N(6) + n_6} = 5.2. \tag{9}$$

将式（8）与式（5）相比，得到 $n_6 = 6.6$ （次）。同样地，将相应值代入式（9），可以得到 $n_5 = 143$ （次）。由此可见，20 世纪上半叶云南地区 5 级地震的漏载仍然是严重的。

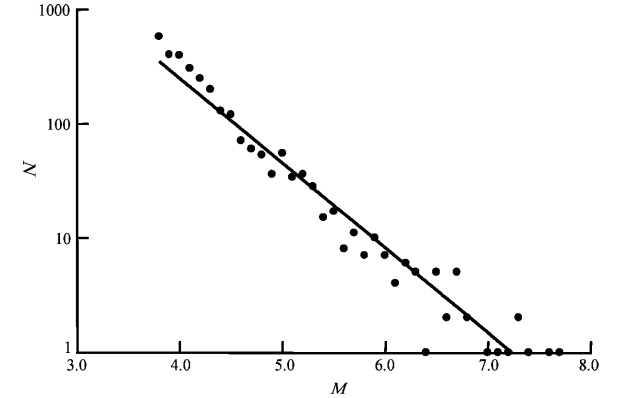


图 4 1970~2008 年云南地区 3.8 级以上地震的震级频度关系

Fig. 4 Magnitude-Frequency relation of the $M \geq 3.8$ earthquakes in Yunnan from 1970 to 2008

根据 20 世纪的地震活动水平及其 5、6 级地震的漏载数，不难估算出云南地区历史地震的漏载

情况。从 b 值推断，20 世纪云南地区实际发生的 5 级以上地震约为 427 次。

4 主要漏载地区

云南地区地震记录的完全性取决于滇西南地区，其为云南地区地震记录的“短板”（注：经济学“水桶理论”中的概念）。滇西南地区最早的一次地震记录是 1884 年普洱 6½ 级地震。此后约 40 年无地震记载。滇西南地区地震活动记录阶段性特征十分明显。20 世纪 20 年代以前，几乎无地震记录；20 年代至 70 年代，5 级以上地震多有记载，6 级以上地震记录可能基本上是完全的；1970 年以来，破坏性地震几乎无遗漏，在 $M-t$ 图上表现为增频现象。从图 5 分析，滇西南 40 年代以后 5 级以上地震记录才较为完全。研究该区地震活动时应当注意这一现象。实际上，滇西南地区的观测台网是在 1988 年澜沧—耿马地震以后才得到加强的。

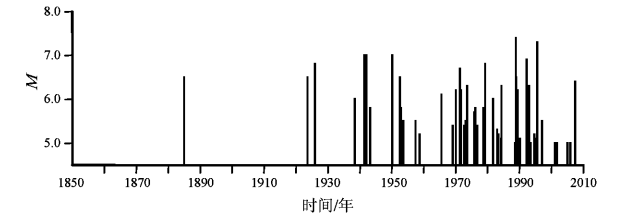


图 5 1850~2008 年滇西南地区 5 级以上地震 $M-t$ 图

Fig. 5 $M-t$ relation of the $M \geq 5.0$ earthquakes in Southwest Yunnan from 1850 to 2008

5 结论

- （1）20 世纪早期云南地震漏载仍然严重，30 年代以后 5 级以上地震记录较为完全，其中滇西南为主要漏载地区。
- （2）根据 b 值估算得到 20 世纪云南地区漏载 5 级地震 143 次，6 级地震 6.6 次。
- （3）20 世纪 60 年代以来 5 级以上地震年发生率的较大起伏变化与地震监控能力关系不大。

参考文献：

陈立德,付虹. 2003. 地震预报基础与实践[M]. 北京:地震出版社.

陈颢,陈棋福. 1994. 中国历史地震目录的完全性分析[C]//陈运

- 泰, 阚荣举, 滕吉文. 中国固体地球物理学进展——庆贺曾融生教授诞辰七十周年. 北京: 海洋出版社, 368–372.
- 顾功叙. 1983. 中国地震目录: 公元 1831—公元 1969 年 [M]. 北京: 科学出版社.
- 国家地震局. 1977. 中国地震简目 [M]. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局震害防御司. 1995. 中国历史强震目录: 公元前 23 世纪—公元 1911 年 [M]. 北京: 地震出版社.
- 黄伟琼, 李文香, 曹学峰. 1994. 中国大陆地震资料完整性研究 (之二) [J]. 地震学报, 16(4): 423–432.
- 皇甫岗. 2009. 云南 5.0 级以上地震目录 [D]. 合肥: 中国科学技术大学.
- 皇甫岗, 罗荣联. 2008. 历史地震资料重在考证 [J]. 地震研究, 31(4): 304–307.
- 皇甫岗, 秦嘉政. 2006. 云南地区大震活动规律研究 [J]. 地震地质, 28(1): 37–47.
- 皇甫岗, 苏有锦, 石绍先. 2000. 20 世纪云南地区地震活动研究 [J]. 地震研究, 23(1): 1–9.
- 刘祖荫, 苏有锦, 秦嘉政, 等. 2002. 20 世纪云南地震活动 [M]. 北京: 地震出版社.
- 四川地震资料汇编编辑组. 1980. 四川地震资料汇编 (第 1 卷) (1949 年前) [G]. 成都: 四川人民出版社.
- 四川地震资料汇编编辑组. 1981. 四川地震资料汇编 (第 2 卷) (1949 年—1979 年) [G]. 成都: 四川人民出版社.
- 四川地震资料汇编编辑组. 2000. 四川地震资料汇编 (第 3 卷) (1979 年 6 月—1999 年 12 月) [G]. 成都: 成都地图出版社.
- 苏有锦, 李忠华, 刘祖荫, 等. 2001. 20 世纪云南地区 $M_s \geq 5.0$ 级地震活动的基本特征 [J]. 地震研究, 24(1): 1–9.
- 上海市地震局地震观测技术研究所. 1985. 徐家汇地震台地震记录报告 (1906—1948) [R]. 上海: 上海市地震局地震观测技术研究所.
- 谢毓寿, 程德利, 丁学仁. 1989. 1900—1980 年中国 $M \geq 4.7$ 地震的均一震级目录 [M]. 北京: 地震出版社.
- 杨周胜, 毛玉平. 2003. 云南省地震目录 (1997—2001). 昆明: 云南科技出版社.
- 云南省地震局. 1988. 云南省地震资料汇编 [G]. 北京: 地震出版社.
- 云南省地震局. 1999. 云南省志·地震志 [M]. 昆明: 云南省人民出版社.
- 中国地震简目汇编组. 1988. 中国地震简目 (B. C 780—A. D 1986. $M \geq 4.7$) [G]. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录 (公元 1912 年—1990 年 $M_s \geq 4.7$) [M]. 北京: 中国科学技术出版社.
- 中国科学院地球物理研究所. 1976. 中国强震简目 [M]. 北京: 地震出版社.
- 中国科学院地震工作委员会历史组. 1956. 中国地震资料年表 [M]. 北京: 科学出版社.
- Chen Y, Chen Q F. 1995. Completeness analysis of the historical earthquake catalogue in China [J]. Earthquake Research in China, 9(4): 365–369.
- Wiemer S, Wyss M. 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western US and Japan [J]. BSSA, 90: 859–869.

Completeness Analysis of the Earthquake Catalogue in Yunnan in the 20th Century

HUANGFU Gang, LI Zhong-hua

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

Abstract

We analyze the completeness of the catalogue of $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan from 1901 to 2000. We find that the records of historical seismic events in Yunnan in the early 20th Century are seriously omitted but relatively complete since the 1930s. The omission is the most serious in Southwest Yunnan. About 143 events with $M \geq 5.0$ and 6.6 events with $M \geq 6.0$ are omitted in the 20th Century in Yunnan based on the evaluation of b value. We suggest considering the completeness of the earthquake catalogue when studying the seismicity in Yunnan.

Key words: 20th Century; earthquake catalogue; completeness analysis; Yunnan region