第18卷 第4期 西 北 地 震 学 报 Vol. 18 No. 4
1996年12月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL Dec. 1996

西藏地区强震活动趋势的初步研究

门可佩
(江苏省地球物理学会, 南京 210014)

摘要 根据1911～1994年地震资料, 详细讨论了西藏地区强震活动分期、特征及其趋势, 并应用统计方法分析研究了该区强震的时间分布规律和发震概率。结果表明, 本世纪以来西藏地区经历了3个强震轮回, 目前正处于第Ⅳ轮回平静幕结束、新的活跃幕即将开始之际, 未来活跃幕内将出现数组地震丛集现象, 1995～1996年发生 $M_S \geqslant 6$ 地震的累计概率为80%～87%, 发生 $M_S \geqslant 6.5$ 强震的累计概率达60%～76%。

主题词: 西藏 地震活动趋势 时间分布特征 地震概率

1 前言

地处世界屋脊的西藏地区, 是中国地震活动最为活跃的地区之一。该区南部是著名的喜马拉雅地震带, 北部为唐古拉地震带, 东部以南北地震带为邻, 地域辽阔, 平均海拔在4 000m以上。由于印度板块和欧亚板块挤压碰撞, 这里地体环境独特, 现代构造运动剧烈, 强震频繁发生。仅从有资料记录的1911年起, 到1994年的84a中, 共发生5级以上地震434次, 年均频度达5.16次/a。统计6级以上地震为85次, 年频度为1次/a, 其中8级以上巨震2次, 7～7.9级大震6次, 6.5～6.9级强震25次(表1、图1和图2); 5级、6级以及7级以上地震次数之比约为54:10.6:1, 也就是说, 西藏地区平均每年要发生5级以上地震5次, 其中有一次6级以上强震。

西藏地区是青藏高原巨块的主体, 是地学研究的重点场所, 该区强震活动的动态无疑将对全国地震形势产生重要影响。

2 强震活动基本特征

2.1 强震轮回特征

本世纪以来, 西藏地区经历了一个地震活跃期。由图2和图3a、b可以看出, 该地区强震活动具有强弱起伏、交替变化的韵律特征。如果以 $M_S \geqslant 6.7$ 为强震活动标准, 每个强震活跃幕中至少包含两次6.7级以上地震事件, 平静幕中不含有6.7级以上强震, 而且还要求各幕年均释放的能量也分别相当于6.7级以上或以下的地震。根据上述准则, 该区大致可划分为3个轮回(表2)。

第Ⅰ轮回, 因资料不完整, 其平静幕起始时间不详, 活跃幕中止于1916年, 年均释放能量

作者简介: 门可佩, 男, 46岁, 高工, 现主要从事物流技术经济、能源、地震预测等研究.

收稿日期: 1995-07-10; 修改稿: 1995-08-24

表1 西藏地区 $M_S \geqslant 6.5$ 强震目录(1911~1994年)

序号	发震时间	时间间隔(a)	震中位置 °N	震中位置 °E	震级	地点
1	1911-10-15	----	31.0	80.5	6.75	朵隆
2	1915-12-03	4.133	29.5	91.5	7.0	桑日附近
3	1916-08-28	0.736	30.0	81.0	7.5	普兰南
4	1924-10-09	8.114	30.0	90.0	6.5	拉萨西北
5	1934-12-15	10.183	31.3	89.0	7.0	申扎东北
6	1935-01-03	0.050	30.8	88.2	6.5	申扎西
7	1941-01-21	6.050	27.5	91.9	6.75	错那南
8	1941-01-27	0.017	27.0	92.0	6.5	错那南
9	1944-10-18	3.725	31.4	83.2	6.75	昂拉仁错
10	1944-10-29	0.031	31.3	83.4	6.75	昂拉仁错
11	1947-07-29	2.750	28.6	93.6	7.7	朗县东南
12	1950-08-15	3.044	28.4	96.7	8.6	察隅墨脱
13	1950-09-30	0.125	28.7	94.2	6.5	米林南
14	1951-04-15	0.542	28.4	93.8	6.5	米林西南
15	1951-11-18	0.591	30.9	91.5	6.75	当雄
16	1951-11-18	----	31.1	91.4	8.0	当雄
17	1952-08-18	0.750	31.0	91.5	7.5	当雄
18	1955-01-29	2.448	33.2	82.4	6.5	西堤附近
19	1957-04-14	2.208	30.6	84.3	6.5	阿木中
20	1958-10-28	1.539	30.6	84.5	6.5	阿木中
21	1961-06-04	2.600	34.2	81.9	6.5	查罗尔错
22	1964-10-22	3.383	28.0	93.8	6.6	米林西南
23	1966-03-06	1.372	31.5	80.5	6.6	扎达东
24	1966-06-27	0.309	29.7	80.9	6.5	普兰南
25	1971-05-23	4.905	32.4	92.2	6.5	聂荣北
26	1973-07-14	2.142	35.1	86.5	7.3	亦基台错
27	1975-01-19	1.514	32.6	78.6	6.9	狮泉河西
28	1977-11-18	2.830	32.7	88.4	6.6	尼玛东北
29	1980-02-22	2.261	30.0	87.5	6.8	日喀则西北
30	1980-11-20	0.745	27.2	89.0	6.6	亚东南
31	1982-01-24	1.178	31.7	81.5	6.6	革吉
32	1992-07-30	10.516	29.6	90.2	6.5	尼木
33	1993-03-20	0.639	29.4	87.2	6.6	拉孜

24.05×10^{14}J,相当于每年发生一个 7.0 级地震。第Ⅱ轮回(1927~1952 年),其中的活跃幕为 1934~1952 年,历时 18a,年均释放能量高达 337.22×10^{14} J,相当于每年发生一个 7.8 级大地震。特别是 1947~1952 年,是该区本世纪以来能量大释放的高潮时段,短短 6a 中连续发生两个 8 级巨震和两个 7 级大震,因此这一时期的西藏地区成为我国大陆第 3 强震幕的两大主体活动区之一[3-4]。第Ⅲ轮回(1953~1982 年),其中活跃幕为 1973~1982 年,历时 10a,年均释放能量 10.16×10^{14}J,相当于每年一次 6.8 级地震,地震活动的强度及频度明显减弱。

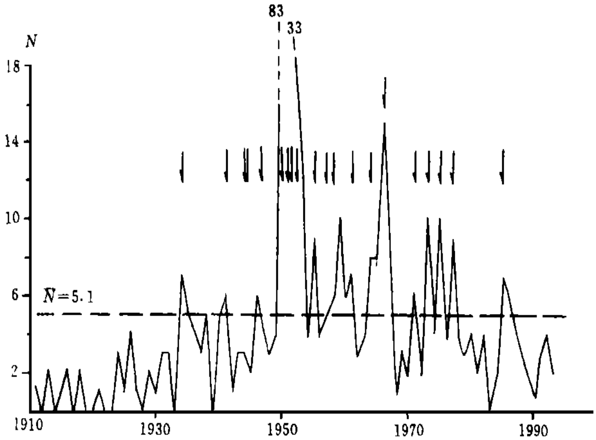

图 1　西藏地区 $M_S\geqslant5$ 地震频度曲线(1911~1994 年)

Fig. 1　The frequence of $M_S\geqslant5$ earthquakes in Tibet (1911—1994).

上述 3 个强震活跃幕平均幕长 11a,在各活跃幕中,强震发生的累计频度具有随时间而加速上升的特点。图 3c 为各轮回 $M_S\geqslant6.7$ 强震累计频度的指数拟合曲线(从 1910 年算起):

$$N(\text{Ⅰ}) = 0.6772e^{0.206t},\quad r = 0.9431;$$

$$N(\text{Ⅱ}) = 0.0509e^{0.1199t},\quad r = 0.9836;$$

$$N(\text{Ⅲ}) = 0.0004e^{0.1273t},\quad r = 0.9322$$

式中, t 为强震发生时间, r 为相关系数。

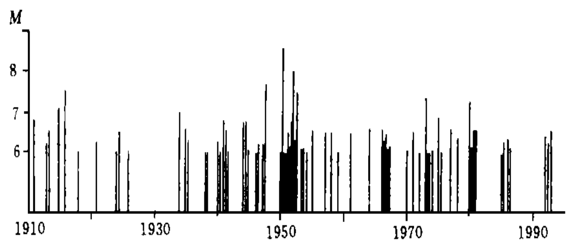

图 2　西藏地区 $M_S\geqslant6$ 地震 M-t 图(1911~1994 年)

Fig. 2　M-t diagram of earthquakes ($M_S\geqslant6$) in Tibet (1911—1994).

西藏地区所经历的 3 个平静幕,平均幕长 17a,各幕年均释放能量分别相当于每年一次 5.8、6.3 和 6.2 级地震,平静幕中实际发生的最大地震均不超过 6.6 级。

综上所述,西藏地区强震活动分幕与文献[3]中我国大陆西南区地震分幕基本同步,只是各活跃幕起始时间相应要滞后 3~5a(第Ⅰ轮回不确)。目前,西藏地区正处于第Ⅳ轮回平静幕即将结束、新的活跃幕即将开始之际,估计未来活跃幕总体活动水平不会高于上一活跃幕。

2.2　时空分布特征

西藏地区强震活动主要分布在 30°N 线附近,南侧的雅鲁藏布江地震带、北侧的班公湖—那曲地震带、唐古拉南缘地震带是强震活动的重要场所。闻名遐迩的 1950 年墨脱 8.6 级巨震就发生在喜马拉雅褶皱带向南急剧转折的部位;崩错断裂上孕育过 1951 年当雄 8 级巨震。该区强震活动基本呈南强北弱的态势。

西藏地区强震活动具有成丛发生的显著特点。图1显示出该区5级以上地震的高频年与强震的关系。该区 $M_S \geqslant 6$ 地震的年频度为 $N_6 = 1$ 次/a，图3a则表明，几乎所有 $2N_6$ 危险线上的年份都曾发生过 $M_S \geqslant 6.5$ 强震，例外的是1985和1986两年。如果我们以 $2N_6$ 作为强震丛集的标准[6]，则该区强震丛集的平均间隔时间为0.5a。据此，在不考虑强余震的情况下，自1911年以来的84a中共有18个强震丛集组，计涉及48次强震，占总样本数的69.6%，其中有14个丛集组发生在活跃幕内，平均每个活跃幕约有5个丛集组，而每个平静幕仅有1.3个丛集组，这就是说，活跃幕内强震丛集发生的可能性大约是平静幕的3～4倍。

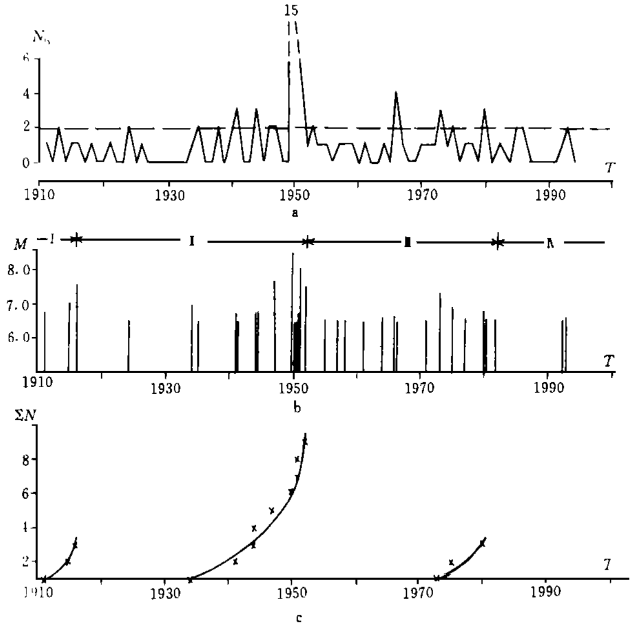

图3 1911～1994年西藏地区 $M_S \geqslant 6$ 强震的时间分布

Fig.3 Time distribution of strong earthquakes with $M_S \geqslant 6$ in Tibet (1911—1994).

a $M_S \geqslant 6$ 地震年频度曲线； b $M_S \geqslant 6.5$ 强震的 M-t 图；

c 各活跃幕 $M_S \geqslant 6.7$ 强震累计频度曲线

郑大林等明确提出，1988年11月6日云南澜沧7.6级地震的发生标志着我国西南地区地震活跃时期的开始[7]。稍后几年，西藏地区便有了响应，发生了1992年7月30日尼木6.5级—1993年1月18日当雄6.3级—1993年3月20日拉孜6.6级强震组，打破了该区多年低水平活动的平静局面。这个强震丛集组是否预示着该区平静幕的结束、新的活跃幕的开始呢？果真如此，未来活跃幕内将发生多个强震丛集组。

表2 本世纪以来西藏地区强震轮回的划分

序号	分幕	时序	时间(a)	频度(次)	最大震级(M_S)	年均释放能量与相当震级
第Ⅰ轮回	活跃幕	1911～1916	6	3	7.5	24.05×10^{14}J(M7.0)
第Ⅱ轮回	平静幕	1917～1933	17	0	6.5	0.41×10^{14}J(M5.8)
	活跃幕	1934～1952	18	9	8.6	337.22×10^{14}J(M7.8)
第Ⅲ轮回	平静幕	1953～1972	20	0	6.6	2.05×10^{14}J(M6.3)
	活跃幕	1973～1982	10	3	7.3	10.16×10^{14}J(M6.8)
第Ⅳ轮回	平静幕	1983～1995(?)	13	0	6.6	1.27×10^{14}J(M6.2)
	活跃幕					

注：(1)年均释放能量用 $M_S \geqslant 6$ 地震计算；(2)频度以 $M_S \geqslant 6.7$ 地震的次数计算

3　未来强震的发震概率

3.1　$M_S \geqslant 6.5$ 强震年统计分析

表 1 为西藏地区 1911～1994 年 $M_S \geqslant 6.5$ 强震目录，该区在 84a 中就有 26 个年份发生过 $M_S \geqslant 6.5$ 强震，（同一年中发生数个 6.5 级以上地震，依然记为一次强震年），58a 没有发生过 $M_S \geqslant 6.5$ 强震，强震年的自然概率占 31％，非强震年占 69％。各强震年和非强震年的统计如表 3 所示。若规定 $M_S \geqslant 6.5$ 强震年后，次年又发生 $M_S \geqslant 6.5$ 强震，则称为一次强震连发事件，接着的一年如再次发生 $M_S \geqslant 6.5$ 强震，就加记一次强震连发事件，如此类推，便可统计出 $M_S \geqslant 6.5$ 强震年后 1～3a 内再次发生强震的概率，结果列于表 4。

表 3　西藏地区 $M_S \geqslant 6.5$ 强震发生年统计（1911～1994 年）

年　代	年发震动态										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
1910		1	0	0	0	1	1	0	0	0	3
1920	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1930	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
1940	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	3
1950	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	6
1960	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	3
1970	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	4
1980	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
1990	0	0	1	1	0						?

注：1……$M_S \geqslant 6.5$ 地震发震年；0……$M_S \geqslant 6.5$ 地震未发震年.

表 4　$M_S \geqslant 6.5$ 强震年后再次发生 $M_S \geqslant 6.5$ 强震的概率

强震年后	强震连发	不再发生强震
1a 内	6 次（23 ％）	20 次（77 ％）
2a 内	12 次（48 ％）	13 次（52 ％）
3a 内	19 次（76 ％）	6 次（24 ％）

本方法是对 $M_S \geqslant 6.5$ 强震年份进行统计，实质上是一种累计概率。表 4 中，强震年后次年再发生强震的概率仅为 23％，小于强震年自然概率 31％，这里应该用自然概率来替代。应用表 4，可以对西藏地区未来 6.5 级以上强震形势进行初步的年度评估：1993 年 3 月 20 日拉孜 6.6 级地震后至 1995 年，再次发生 $M_S \geqslant 6.5$ 强震的概率为 48％左右。如果平静持续到 1996 年度，则发震的概率将猛增到 76％，对此应予以高度警惕。

此外，由表 3 的最右列还可以得知，$M_S \geqslant 6.5$ 强震年份以 50 年代 6 次为最高，20 年代为 1 次属最低，平均数为 3 次。90 年代已出现 2 次强震年，按趋势估计，大约还将出现 1～2 次强震年。

3.2　$\Delta t - N_{\Delta t}$ 统计分析与强震时间分布

这里我们再对 1911 年以来西藏地区 $M_S \geqslant 6$、$M_S \geqslant 6.5$ 地震分别进行统计，先计算出相邻

两次地震的时间间隔Δt,那么6级以上地震最大时间间隔不超过9a,6.5级以上地震最大时间间隔不超过11a,以1a为一个统计区间,依次求出各区间内时间间隔的频次$N_{\Delta t}$,由此绘制出$\Delta t - N\Delta t$直方图(见图4)。需要说明的是,统计中删除了强余震。图4a表明,80%的$M_S \geqslant 6$地震集中发生在$\Delta t \leqslant 2a$内;图4b表明,81%的$M_S \geqslant 6.5$地震集中发生在$\Delta t \leqslant 4a$内。

由图4,用最小二乘法可获得Δt与$N\Delta t$之间的指数关系,即该区强震的时间分布规律:

$$M_S \geqslant 6.0: \quad N_{\Delta t} = 69.7515 e^{-0.5801/\Delta t}, \quad r = 0.9958;$$

$$M_S \geqslant 6.5: \quad N_{\Delta t} = 32.3223 e^{-1.0893/\Delta t}, \quad r = 0.9718$$

统计结果列于表5、表6,据此我们可对西藏地区未来几年的强震危险性作出概率估计:1993年3月20日拉孜6.6级地震后直至1995年7月底,该区已有约2.5a未发生过6级以上地震。据表5,到1995年3月底6级以上地震的累计发震概率已超过80%,到1996年3月底将达到87%。按照表6,1995年内6.5级以上地震的累计发震概率已超过60%,如平静持续到1996年3月,危险性将增至76.4%。

上述两种统计,从不同角度出发探讨西藏地区未来强震的累计概率,所得结果基本一致,这说明结论符合该区强震活动实际,是合理可信的,因此该区面临的强震形势显得十分严峻而紧迫。

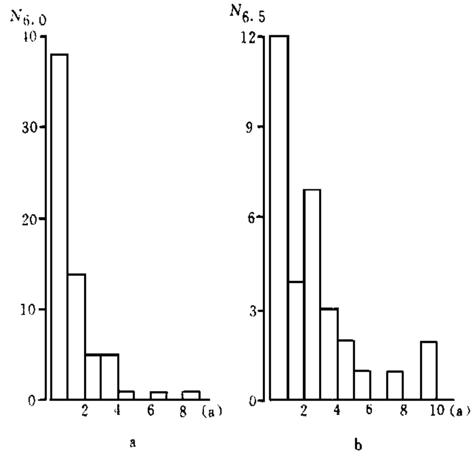

图4 西藏地区强震Δt-$N_{\Delta t}$关系直方图(1911~1994年)

Fig. 4 Histogram of Δt-$N_{\Delta t}$ in Tibet (1911—1994).
a $M_S \geqslant 6.0$; b $M_S \geqslant 6.5$

4 结束语

(1)自1973年7月亦基台错7.3级地震以来,西藏地区已有22a没有发生过7级以上地震,80年代至今5级和6级地震的频度也较

表5 西藏地区 $M_S \geqslant 6$ 强震$\Delta t - N_{\Delta t}$统计(1911~1994年)

统计区间编号	时间间隔(Δt)	实际频次(N)	概率(%)	实际累计概率(%)	计算频次(N)	计算累计概率(%)
1	0~1a	39	59.1	59.1	39.20	58.9
2	1~2a	14	21.2	80.3	13.60	79.3
3	2~3a	5	7.6	87.9	5.51	87.6
4	3~4a	5	7.6	95.5	2.97	92.1
5	4~5a	1	1.5	97.0	1.85	94.8
6	5~6a	0	0.0	97.0	1.26	96.7
7	6~7a	1	1.5	98.5	0.92	98.1
8	7~8a	0	0.0	98.5	0.70	99.2
9	8a以上	1	1.5	100.0	0.55	100.0

低,缺震现象严重。目前,该区正处于本世纪以来第Ⅳ轮回平静幕即将结束、新活跃幕即将开始之际,未来几年将发生数次强震丛集组。

(2)1993 年 3 月 20 日拉孜 6.6 级地震至今,已平静 2a 多了,1995～1996 年发生 $M_S \geqslant 6$ 地震的累计概率为 80％～87％,发生 $M_S \geqslant 6.5$ 强震的累计概率为 60％～76％。

(3)张国民的研究表明,印度板块北边界的强震活动对于我国大陆西部 7 级强震活动具有重要影响[5]。1995 年 7 月 12 日,地处印度板块北边界东端的中缅边境(22.0°N,99.2°E)发生了 7.3 级强震,近 4 个月内应密切注意西藏地区,特别是 30°N 线附近,若出现 5 级左右的前震,它有可能指示未来强震的空间位置[8]。

表 6　西藏地区 $M_S \geqslant 6.5$ 强震 $\Delta t - N_{\Delta t}$ 统计(1911～1994 年)

统计区间编号	时间间隔(Δt)	实际频次(N)	概率(％)	实际累计概率(％)	计算频次(N)	计算累计概率(％)
1	0～1a	12	37.5	37.5	11.09	36.5
2	1～2a	4	12.5	50.0	8.22	63.5
3	2～3a	7	21.9	71.9	3.92	76.4
4	3～4a	3	9.4	81.3	2.25	83.8
5	4～5a	2	6.3	87.6	1.45	88.6
6	5～6a	0	0.0	87.6	1.02	91.9
7	6～7a	1	3.1	90.7	0.75	94.4
8	7～8a	0	0.0	90.7	0.57	96.3
9	8～9a	1	3.1	93.8	0.45	97.8
10	9～10a	0	0.0	93.8	0.37	99.0
11	10a 以上	2	6.2	100.0	0.31	100.0

(4)由于该区地震前兆监控能力较差,资料不完整,因此概率统计分析方法显得尤为重要。本文采用统计手段进行强震趋势研究,所得结论虽无前兆意义,但具统计和预报意义,可为该地区地震形势的深入研究和防震抗灾工作提供参考。

参考文献

1　顾功叙. 中国地震目录(公元前 1831～公元 1969 年). 科学出版社, 1983.
2　顾功叙. 中国地震目录(公元 1970～1979 年). 地震出版社, 1983.
3　马宗晋, 等. 1966～1976 年中国九大地震. 地震出版社, 1982.
4　张国民. 我国大陆强震活动的韵律性特征. 地震地质, 1987, 9(2): 27～37.
5　张国民, 等. 印度板块北边界地震活动和中国大陆地震. 地震, 1994(3): 1～5.
6　李志雄, 等. 中国大陆 7 级大震序列时间特征及中期预测方法. 地震, 1995(2): 99～100.
7　郑大林, 等. 关于 1989 年我国西南地区地震趋势的研究报告. 中国地震趋势预测研究(1989 年度), 地震出版社, 1989.
8　赵根模. 诱发前震预报方法的检验——1981－1992 年中国大陆地震活动图象. 地震, 1995(2): 131～135.

PRELIMINARY STUDY ON THE TREND OF STRONG EARTHQUAKE ACTIVITY IN XIZANG REGION

Men Kepei

(*Geophysical Society of Jiangsu Province, Nanjing* 210014)

Abstract

According to the seismic data from 1911 to 1994, division of seismic periods, seismicity features and the trend of strong earthquake in Tibet have been discussed in detail. Time distribution of strong earthquakes and the probability of occurrence have also been analysed by using statistical method. The results show that the region has gone through three strong-earthquake cycles since this century , and now it is between the end of the quiet episode and the beginning of the active episode in the 4th cycle. There will be several swarms here in the future. During 1995 and 1996, the occurrence probability of $M_S \geqslant 6.0$ earthquake is 80%—87%, and that of $M_S \geqslant 6.5$ earthquake is 60%—76% in Tibet region.

Key words: Xizang, Seismicity trend, Time distribution character, Seismic probability