

青藏高原北部地震活动形势及其与中国大陆地区地震活动的关系研究^{*}

杨立明, 肖丽珠, 张小美, 殷志钢

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要: 简要回顾了 中国学者对地震大形势的主要研究结果. 指出地震活动时空强分布的不均匀性是地震活跃期和平静期的外在表现. 系统地分析了青藏高原北部地区的地震活动形势, 指出 20 世纪以来, 该区 $M_S \geq 6.0$ 地震经历了 6 个活跃期和 6 个平静期, 与中国大陆地区的地震活动不同步. 2000 年 6 月甘肃景泰 5.9 级地震和同年 9 月青海兴海 6.6 级地震的发生意味着该区进入了一个新的地震活跃期.

关键词: 青藏高原; 地震活动形势; 地震活跃期; 地震平静期

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)03-0243-07

0 引言

20 世纪 80 年代以来, 有不少学者对地震活动的大形势进行了研究, 提出了地震活动期、幕等概念, 划分了 20 世纪以来中国大陆的地震活跃期. 可以认为, 长期以来在地震活动大形势研究方面取得了很大进展. 但是, 在研究过程中人们也发现, 地震活动是具有区域性特征的, 不同空间尺度的地震活动既相互联系, 又有一定的区别, 不同区域的地震活动具有自身的特点. 本文拟结合最新地震活动动态, 对青藏高原北部地区地震活动形势进行研究, 同时分析比较该区地震活动与中国大陆地震活动形势的关系.

1 地震活动大形势研究的回顾

20 世纪 80 年代以来, 众多学者对中国大陆及其不同分区的地震大形势进行了分析研究^[1-7]. 主要研究内容和结果如下:

- (1) 将中国大陆 20 世纪以来的地震活动划分为 5 个地震活跃期, 论证了从 1988 年起中国大陆进入了 20 世纪以来的第 5 个地震活跃期.
- (2) 形成了地震活动大形势分析的科学思路和方法体系.
- (3) 研究了中国大陆地震孕育演化的地震地质和地球物理场背景, 强震孕育的环境条件等.

尽管这些学者所采用的研究方法不同, 选用地震目录不同及选取的研究区域略有差异(如

收稿日期: 2001-03-19

^{*} 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001046

作者简介: 杨立明(1966-), 男(汉族), 甘肃宁县人, 副研究员, 从事地震预报与相关研究工作.

中国大陆或中国大陆及邻近地区等),但却得到了几乎一致的结论,表明关于地震活跃期、平静期及地震活动方式的研究结果是客观的.现将主要研究结果汇总于表 1.从表 1 可以看出,关于活跃期的起始时间及终止时间的划分略有差异,这可能是由于研究区范围及选用资料的差异引起的.综合分析表 1,选择共性时段可得出中国大陆第 I 地震活跃期为 1897~1906 年,第 II 活跃期为 1920~1937 年,第 III 活跃期为 1945~1957 年,第 IV 活跃期为 1966~1976 年,1988 年以来为第 V 活跃期.

表 1 中国大陆地震活跃期的划分结果

研究者	第 I 活跃期	第 II 活跃期	第 III 活跃期	第 IV 活跃期	第 V 活跃期	研究范围
马宗晋	1897~1914	1920~1937	1946~1957	1966~1976	—	中国大陆及邻区
张国民	1895~1906	1920~1934	1947~1955	1969~1976	1988~	中国大陆
高旭	—	1920~1937	1947~1955	1966~1976	—	中国大陆
傅征祥	—	1913~1937	1944~1955	1966~1976	—	中国大陆
陆远忠	1897~1912	1920~1934	1944~1957	1967~1976	—	—
洪时中	1897~1912	1920~1934	1947~1957	1970~1976	1988~	中国大陆及邻区
赵洪声	~1906	1920~1933	1947~1955	1966~1976	1988~	—

20 世纪以来,中国大陆及邻区 7 级以上地震活动在时间上分布不均匀,呈现出 10 年以上尺度的密集和宁静交错的轮回活动特征(图 1).在空间分布上,不同的地震活跃期的强震活动的主体地区在变迁.由图 2 可以看出,1897~1906 年地震活动主要分布在帕米尔—贝加尔地区的 NE 向地震活动带上;1920~1937 年主要分布在中国大陆南北地震带和西藏地区;1945~1957 年主要分布在中国大陆南北地震带—蒙古中部和帕米尔—贝加尔地区;1966~1976 年主要分布在中国大陆的川滇和华北北部.1988 年以来 7 级以上地震则主要发生在喜马拉雅地震带及帕米尔—贝加尔地震带上.

中国大陆地震活动的时空分布不均匀性是客观存在的.众所周知,太平洋板块和印度洋板块的作用对中国大陆强震的时空分布有重要影响.在一定程度上,板块的作用决定着中国大陆强震活动的空间分布格局.而地震活动在时间上的轮回性,既可能是地球系统各种韵律性,如天文周期、地球章动、地球自转、太阳活动等周期性变化的复杂组合、综合影响的结果,也可能是地球动力系统相互作用及其强弱时间变化的结果.因而,地震活跃期和平静期的出现不是偶然的,是由复杂的孕震环境及其相互作用决定的,有其深刻的物理背景.而活跃期和平静期的外在表现是地震活动的时空不均匀性.

2 青藏高原北部地区地震活动形势及其特征研究

2.1 活跃期与平静期划分及其特征

研究区域的范围取 $32^{\circ} \sim 43^{\circ} \text{N}$, $92^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$,包括了甘肃、宁夏和青海的绝大部分地区及四川北部部分地区.区内主要的构造和地震带有:祁连—海原地震带、西秦岭北缘—南祁连地震断裂带、库玛地震断裂带及阿尔金断裂的中北段地区.

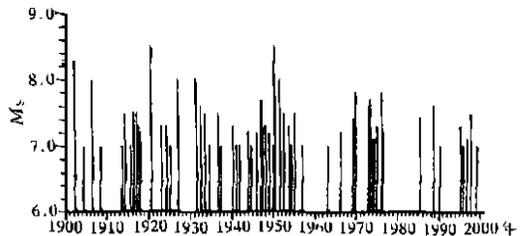


图 1 1990 年以来中国大陆 $M_s \geq 7.0$ 地震密集-平静交错的轮回特征

Fig. 1 Distribution of $M_s \geq 7.0$ earthquakes with time in Chinese continent since 1990.

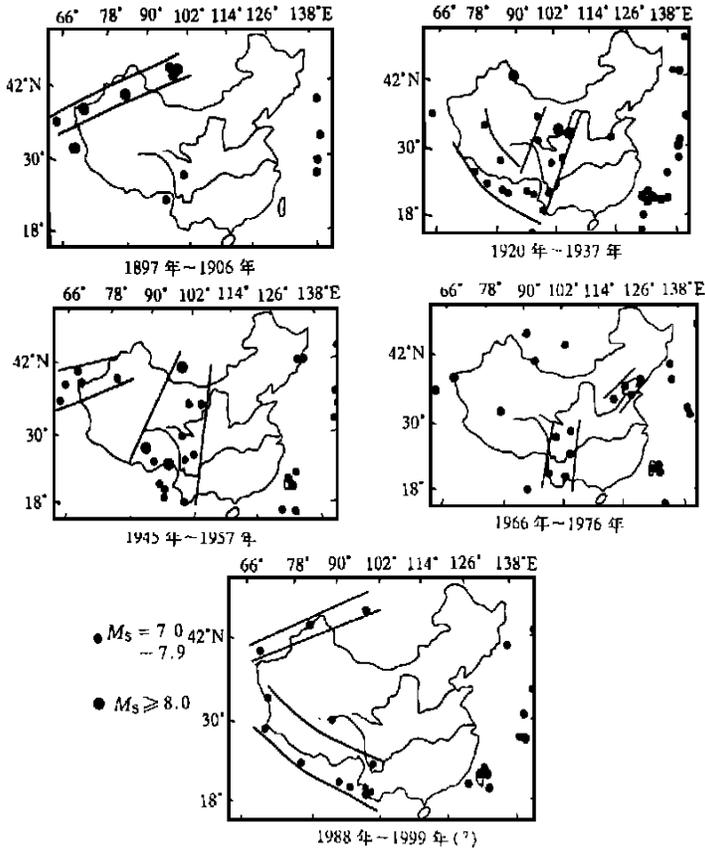


图 2 中国大陆及邻近地区不同活跃期 $M_s \geq 7.0$ 地震的空间分布

Fig. 2 Space distribution of $M_s \geq 7.0$ earthquakes in every active period of Chinese continent and its vicinity.

$M_s \geq 6.0$ 地震 $M-t$ 图 (图 3 (a)) 清楚地显示出该区地震时间分布的不均匀性. 由图可见, 20 世纪以来 $M_s \geq 6.0$ 地震共经历了 6 个活跃期和 6 个平静期. 该区 $M_s \geq 5.5$ 及 $M_s \geq 5.0$ 地震活动同样支持这一结论, 见图 3 (b) 和 (c). 各活跃期及平静期地震的主要活动特征见表 2 和表 3.

由表 2 和表 3 可以看出:

(1) 在活跃期内一般发生 $M_s \geq 5.5$ 地震 13~17 次, $M_s \geq 6.0$ 地震 7~15 次, $M_s \geq 7.0$ 地震 1~3 次; 而平静期一般没有 $M_s \geq 6.0$ 地震活动, 最大震级为 M_s 5.2~5.7.

(2) 各平静期的持续时间为 57~84 个月, 即 5~7 年; 活跃期的最大间隔时间为 38 个月, 具有优势分布 (第 I 活跃期可能有资料遗失).

(3) 第 II 活跃期是一个较强的活跃期, 其持续时间、发震频度等都超过了其它活跃期.

进一步归纳可得出地震活动处于平静期的判据为: 没有 $M_s \geq 5.8$ 地震活动; 6 级地震平静时间超过 38 个月左右; $M_s \geq 5.0$ 地震累计频次低于 11 次. 而进入活跃期的判据为: 发生 5.8 级以上或 6 级左右地震; 6 级地震平静时间接近或超过 57 个月; $M_s \geq 5.0$ 地震频次达到或超过 11 次.

2.2 平静期内 $M_S \geq 5.0$ 地震活动及平静的相对性

由图 3(c)和表 3 可以看出, 尽管研究区内 $M_S \geq 5.0$ 地震活动同样存在活跃期和安静期的轮回, 但是在 $M_S \geq 6.0$ 地震的平静期内, 仍然有许多 $M_S 5.0 \sim 6.0$ 地震发生, 甚至还很活跃, 这表明平静期与活跃期的划分是相对的。

为了对该区 $M_S \geq 5.0$ 地震的活动状态有客观的了解, 作者选用不同的时间段, 计算其地震发生频次, 结果见表 4. 各平静期 $M_S 5.0 \sim 6.0$ 地震活动情况如表 5 所示。

由表 4 和表 5 可以看出, 青藏高原北部地区 $M_S \geq 5.0$ 地震活动频次较高. 以 1950 年为界, 之前和之后地震活动都具有相对的稳定性. 平静期内均有 12~14 次 $M_S \geq 5.0$ 地震发生, 而且在新的活跃期开始之前, $M_S \geq 5.0$ 地震活动频繁, 因而所谓的地震平静期是相对的。

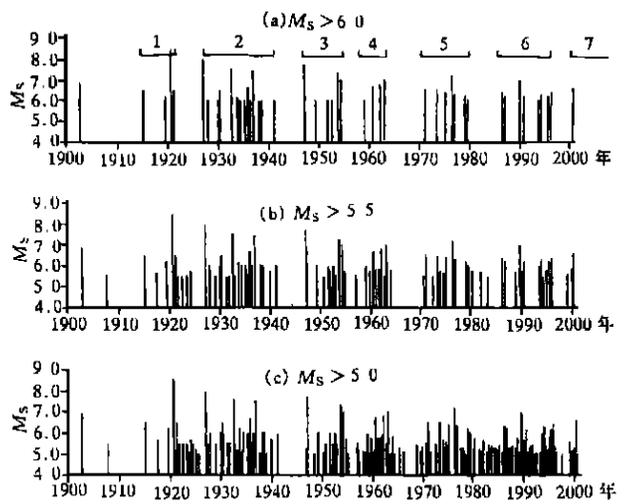


图 3 青藏高原北部地区 $M_S \geq 5.0$ 地震 $M-t$ 图

Fig. 3 Diagram of $M-t$ of $M_S \geq 5.0$ earthquakes in northern the Qinghai-Tibet plateau.

表 2 青藏高原北部地区 $M_S \geq 6.0$ 地震活跃期特征

活跃期	I	II	III	IV	V	VI
活跃时段	1915~1921	1927~1941	1947~1954	1959~1964	1971~1979	1986~1995
地震最大间隔/月	51	32	30	11	27	38
地震频次	$M_S \geq 5.5$	11	35	14	13	17
	$M_S \geq 6.0$	7	15	7	4	12
	$M_S \geq 7.0$	2	3	3	1	2
最大地震 (M_S)	8.5	8.0	7.7	7.0	7.2	7.0

表 3 青藏高原北部地区 $M_S \geq 6.0$ 地震平静期特征

平静期	I	II	III	IV	V	VI
平静时段	1921~1927	1941~1947	1954~1959	1964~1971	1979~1986	1996~2000-06(?)
持续时间/月	71	71	57	84	84	54(?)
地震频次	$M_S \geq 5.0$	12	1	13	12	14
	$M_S \geq 5.5$	7	0	2	3	4
	$M_S \geq 6.0$	0	0	0	0	0
	$M_S \geq 7.0$	0	0	0	0	0
最大地震 (M_S)	5.7	5.2	5.7	5.5	5.7	5.6(?)

表 4 青藏高原北部地区不同时段 $M_s \geq 5.0$ 地震活动频次

时段	1920~1996	1930~1996	1940~1996	1950~1996	1960~1996	1970~1996
地震频次	265	230	193	185	145	104
平均间隔/月	3.442	3.443	3.482	2.984	2.979	3.00

表 5 各平静期 $M_s 5.0 \sim 6.0$ 地震活动情况

序号	平静期时段	地震活动
I	1921~1927	发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 12 次
II	1941~1947	发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 1 次
III	1954~1959	发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 13 次, 其中活跃期开始前活动频繁, 2 年内发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 10 次, 平均每 2.4 月发生 1 次.
IV	1964~1971	发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 12 次, 在活跃期开始前活动频繁, 1 年半的时间内发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 6 次, 平均 3 个月 1 次.
V	1980~1986	发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 14 次, 在活跃期开始前活动频繁, 2 年内发生 6 次, 平均 5.4 个月 1 次.

2.3 活跃期内 7 级地震的时间分布特征

青藏高原北部地区 7 级地震与地震活跃时段的对应关系见表 6. 由表 6 可以看出, 该区 7 级地震发生在活跃期的开始和结尾, 具有优势分布.

表 6 青藏高原北部地区 7 级地震的时间分布特征

发震时间	地点	震级 (M_s)	活跃期持续时段	位置
1920-12-16 1920-12-25	海原	8.5 7.0	1915~1921	结尾
1927-05-23 1932-12-25 1937-01-07	古浪 昌马 阿拉克湖	8.0 7.6 7.5	1927~1941	开头 中部 结尾
1947-03-17 1954-02-11 1954-07-31	达日 山丹 民勤	7.7 7.3 7.0	1947~1954	开头 结尾 结尾
1963-04-19	阿兰湖	7.0	1960~1964	结尾
1976-08-16 1976-08-22	松潘 松潘	7.2 7.2	1971~1979	开头
1990-04-20	共和	7.0	1986~1995	中部

3 青藏高原北部地区地震活动与中国大陆地震活动的不同步性研究

青藏高原北部地区的地震活动既受中国大陆整体动力环境的制约和影响, 同时又具有自身的特点.

由图 4 可见: 中国大陆地区 20 世纪以来经历了 5 个地震活跃期, 而青藏高原北部地区经历了 6 个地震活跃期. 除第 II 个活跃期外, 青藏高原北部地区的活跃期的持续时间比中国大陆地区短, 其起止时间在中国大陆地震活跃期之前、之后或活跃期内, 没有明显的规律性, 表明该区的地震活动与中国大陆地区是不同步的. 另外, 由图 2(b)和图 4 可知, 中国大陆地区的第 II 地震活跃期中, 甘宁青地区地震活跃. 2 个地区的第 II 活跃期在时间上重合较多, 这可能与该

活跃期较其它活跃期持续时间长、地震强度大和频度高有关。

由图 2 和表 6 可见, 青藏高原北部地区的 7 级地震均发生在中国大陆地区及该区的活跃期内, 因而, 该区的 7 级地震活动均是作为全国地震活跃期的一部分发生的, 可以是主体地区地震活动的一部分, 也可能是参与地区地震的活动. 而该区 $M_s 6.0$ 地震活动则具有区域特征, 并不一定与中国大陆地区的地震活动同步。

由图 2 还可以看出, 在中国大陆地区的第 I 和 IV 地震活跃期内, 青藏高原北部地区无地震活动或地震活动较弱; 在第 II 和 III 活跃期内, 该区作为主体地区参与活动, 而第 V 活跃期, 该区则作为一般性地区参与活动. 这表明该区与中国大陆地区的地震活动是不同步的, 而且在空间分布上也存在差异。

从 1995 年 12 月青海果洛发生 6.2 级地震后到 2000 年 6 月景泰 5.9 级地震发生, 其间青藏高原北部地区没有发生过 $M_s \geq 6$ 地震, 5.0 级以上地震活动保持较低的水平, 频度和强度都不高, 具有平静期的特征. 而从 2000 年 6 月起, 该区内 5 级以上地震频发. 6 月 6 日景泰 5.9 级及 9 月 12 日青海兴海 6.6 级、9 月 13 日治多 5.0 级等一系列中强以上地震的发生表明该区地震活动增强. 同时, 1995 年 12 月 ~ 2000 年 6 月, 该区内发生 $M_s 5.0 \sim 5.9$ 地震已达 11 次, 而平静时间已有 54 个月, 因而, 中强地震活动的强度、频度和平静间隔等均已满足进入活跃期的判据, 因此该区新一轮 $M_s \geq 6.0$ 地震的活跃期可能已经开始。

4 结语

本文简要回顾了有关地震活动大形势研究的主要结果, 认为地震活跃期和平静期现象, 可能是由复杂的孕震环境及其相互作用所决定的。

青藏高原北部地区 $M_s \geq 6.0$ 地震活动自 20 世纪以来经历了 6 个活跃期和 6 个平静期. 2000 年 6 月 6 日景泰 5.9 级、9 月 12 日青海兴海 6.6 级地震的发生, 标志着该区进入了一个新的地震活跃时段。

该区的地震活跃期与中国大陆地区的地震活跃期在时间上是不同步的, 地震活动在空间上也存在明显的差异. 该区有时是中国大陆的地震活跃期的主体地区, 有的时候也可能是参与地区, 区内 $M_s 6.0$ 地震可能发生在中国大陆地震活跃期内, 也可能发生在平静期内。

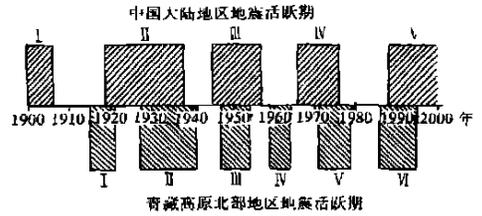


图 4 中国大陆与青藏高原北部地区地震活跃期比较

Fig. 4 A comparison between seismic active periods of northern the Qinghai Tibet plateau and continent of China.

[参考文献]

- [1] 马宗晋, 汪良谋. 中国大震形势研究的述评与形势预测[A]. 见: 国家地震局分析预报中心编. 中国地震大形势预测研究[C]. 北京: 地震出版社, 1990. 9—24.
- [2] 张国民, 姜秀娥, 陈修启, 等. 本世纪90年代中国大陆强震活动趋势研究[A]. 见: 国家地震局分析预报中心编. 中国地震大形势预测研究[C]. 北京: 地震出版社, 1990. 25—33.
- [3] 石特临, 郭大庆, 毕秋菊, 等. 应用动态序列建模方法研究中国大陆和青藏高原北部地区地震活动大形势[A]. 见: 国家地震局分析预报中心编. 中国地震大形势预测研究[C]. 北京: 地震出版社, 1990. 82—89.
- [4] 傅征祥. 中国大陆近期强震危险性判定研究的某些回顾[A]. 见: 国家地震局分析预报中心编. 中国地震大形势预测研究[C]. 北京: 地震出版社, 1990. 182—187.
- [5] 陆远忠, 郑兆芯, 陈宇卫, 等. 我国大陆强震活动的分期及趋势预测[A]. 见: 国家地震局分析预报中心编. 中国地震大形势预测研究[C]. 北京: 地震出版社, 1990. 34—49.
- [6] 洪时中. 对中国大陆新的地震活跃幕的几点初步认识[A]. 见: 国家地震局分析预报中心编. 中国地震大形势预测研究[C]. 北京: 地震出版社, 1990. 101—107.
- [7] 赵洪声, 钱兆霞, 蔡静观, 等. 中国大陆2020年前地震大形势及此背景下的云南地震危险性[A]. 见: 国家地震局分析预报中心编. 中国地震大形势预测研究[C]. 北京: 地震出版社, 1990. 66—76.

STUDY ON SEISMICITY CHARACTER OF NORTHERN QINGHAI-TIBET PLATEAU AND RELATIONSHIP BETWEEN IT AND SEISMICITY OF CONTINENT OF CHINA

YANG Li-ming, XIAO Li-zhu, ZHANG Xiao-mei, YIN Zhi-gang
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The main conclusions of the study on the seismicity tendency by other men of learning are reviewed briefly, and the main behaviors of the seismicity in time and space are obtained. Meanwhile, the tendency of seismicity in northern Qinghai-Tibet plateau is analyzed systematically. There are 6 active periods and 6 quiet periods of seismicity in the region in the 20th century, not synchronizing with that of the continent of China. A new active period for earthquake begins by the Jingtai M_s 5.9 earthquake on June 6, 2000 and the Xinghai M_s 6.6 earthquake on Sept. 12, 2000.

Key words: Qinghai-Tibet plateau; Tendency of earthquake; Seismic active period; Seismic quiet period