

青藏高原北部地区 7 级以上地震孕育演化特征及其应用研究^{*}

杨立明, 王振亚, 郑卫平, 张 勇
(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要: 研究了青藏高原北部地区 7 级以上地震活动的时空分布特征、孕育演化过程及其不均匀性等问题。结果表明, 本区 7 级以上地震前的中强地震活动场具有一定的共性特征, 表现为地震孕育的阶段性及其不同的地震活动异常现象, 利用这些特征可进行 7 级以上地震震情形势及其阶段性的判定研究, 对本区的 7 级以上地震预测具有实用价值。

主题词: 青藏高原; 地震孕育; 不均匀性; 阶段性

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)02-0147-07

0 引言

青藏高原北部地区($32^{\circ} \sim 42^{\circ} \text{N}$, $92^{\circ} \sim 108^{\circ} \text{E}$)地震活动强烈, 本世纪以来发生 7 级以上地震 12 次, 是我国地震的主要活动地区之一。本文拟对青藏高原北部地区 7 级以上地震的时空分布特征、震前不同时空尺度的演化规律等进行分析研究, 以提高对 7 级大震演化过程的科学认识, 并进一步应用于地震分析预报工作之中。

1 7 级以上地震时空分布特征

青藏高原北部地区 7 级以上地震活动主要受祁连山断裂带(I)、南祁连-西秦岭断裂带(II)及花石峡-玛曲断裂带(III)的控制, 7 级以上地震主要分布在这几条大断裂带及其附近地区(图 1)。若以发生年为单位分析, 则 1561 年以来, 7 级以上地震时空特征如表 1 所示。

由表 1 可看出: ① 1561~1739 年地震集中在 I 带和 II 带, 1879~1976 年地震集中在 I 带和 III 带, 表明了地震活动地区的迁移, 且 3 个带的地震活动频次比为 I : II : III = 8 : 3 : 5, 即 50% 的 7 级以上地震分布在祁连山断裂带(I); ② 从 1561 年起发生在南祁连-西秦岭断裂带(II)的地震, 其前后紧邻的地震属同一地震带; ③ 在时间分布上, 本世纪以来 7 级以上地震的发震间隔均为 5 a 或 7 a 的整数倍, 个别震例存在 ± 1 a 的误差。将此现象外推, 结果表明, 1561 年以来的 7 级以上地震均满足此现象, 这可能反映了地震活动的一种普适规律, 具有相对的稳定性。本世纪以前的地震间隔较大, 这可能与资料不全有关。

收稿日期: 1999-05-19

* 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2000015

作者简介: 杨立明(1966-), 男, 副研究员, 主要从事地震预报理论与方法研究。

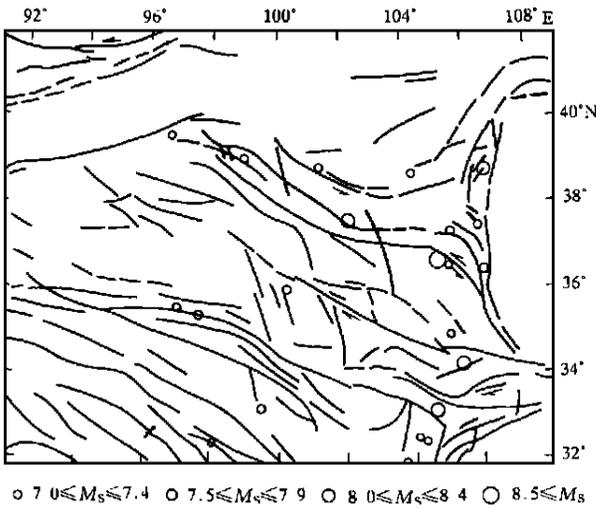


图1 青藏高原北部地区活动构造及7级以上地震空间分布(1561~1998)

Fig. 1 The active tectonics and spatial distribution of $M_s \geq 7.0$ earthquakes in northern part area of the Qinghai-Xizang Plateau.

表1 青藏高原北部地区7级以上地震时空分布

发生时间	所在带	地震间隔	
		$\Delta T/a$	ΔT 是7 a或5 a的倍数
1561	I	—	—
1609	I	48	7×7
1654	II	45	5×9
1709	I	55	5×11或7×8
1718	II	9	5×2
1739	I	21	5×4或7×3
1879	III	140	5×28或7×20
1920	I	41	5×8或7×6
1927	I	7	7×1
1932	I	5	5×1
1937	III	5	5×1
1947	III	10	5×2
1954	I	7	7×1
1963	III	9	5×2
1976	III	13	7×2
1990	II	14	7×2

2 7级以上大震演化过程分析

由于资料不全,本文选用1900年以来发生在本区的7级以上地震作为研究对象.考虑到有些7级以上地震(或是双震、或时空距离较近、或是8级余震)在资料上难以区分,将1920年海原8.5级和7.0级地震当成一组、1954年山丹—民勤2次7级以上地震当成一组、1976年松潘—平武2次7级以上地震当成一组.这样,共有9组地震,下面的分析中采用发生年号代表相应的地震.其主要参数如表2所示.

表2 1900年以来青藏高原北部地区7级以上地震基本参数

分组	地震基本参数				
	时间	$\varphi_N/(\text{°})$	$\lambda_E/(\text{°})$	地点	震级 M
1	1920-12-16	36.70	104.90	海原	8.5
	1920-12-25	36.60	105.20		7.0
2	1927-05-23	37.70	102.20	古浪	8.0
3	1932-12-25	39.70	96.70	昌马	7.6
4	1937-01-07	35.50	97.60	托索湖	7.5
5	1947-03-17	33.30	99.50	达日	7.7
6	1954-02-11	39.00	101.30	山丹—民勤	7.3
	1954-07-31	38.80	104.20		7.0
7	1963-04-19	35.70	97.00	阿拉克湖	7.0
8	1976-08-16	32.60	104.10	松潘—平武	7.2
	1976-08-23	32.50	104.30		7.2
9	1990-04-26	36.10	100.30	共和	7.0

2.1 7级以上地震前大于10 a尺度的演化特征

图2是1929年5月1日至1954年2月10日山丹—民勤2次7级以上地震前的中强地震

活动图像, 从图中可看出, 整个祁连山断裂带存在长达 25 a 之久的中强地震平静现象.

图 3 是 1969 年 1 月 1 日至 1990 年 4 月 25 日共和 7.0 级地震前长达 21 a 之久的中强地震活动图像, 南祁连-西秦岭断裂带存在长达 21 a 之久的中强地震平静现象.

进一步分析表明, 上述平静现象具有普遍性, 1920 年、1927 年、1932 年、1963 年等 7 级以上地震均存在同样的现象(表 3).

由图 2、图 3 和表 3 的结果表明, 本区 7 级以上地震前均存在较长时间的孕育期, 在此期间内, 围绕未来 7 级以上大震存在较大范围的中强震平静. 因此, 大范围长时间的中强地震平静既是本区 7 级以上大震孕育的普遍特征, 也为本区的 7 级以上大震提供了中长期的预报指标. 须引起注意的是, 上述不同地震前的

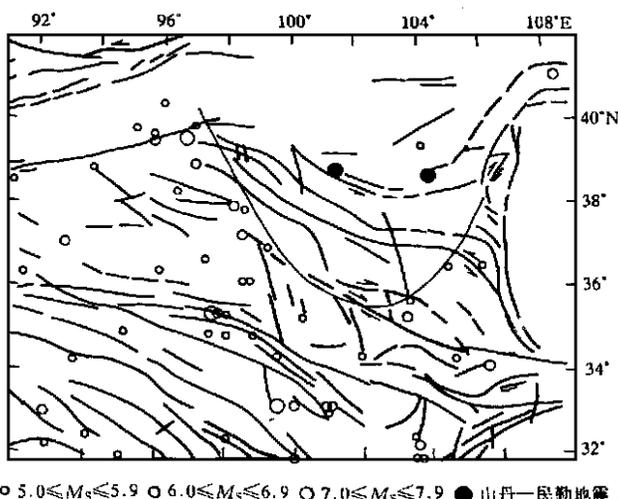


图 2 1954 年山丹—民勤地震前 $M_S \geq 5.0$ 地震震中分布(1929-05-01 ~ 1954-02-10)

Fig. 2 The epicentre distribution of the $M_S \geq 5.0$ earthquakes before Shandan-Minqin earthquakes in 1954 (1929-05-01 ~ 1954-02-10).

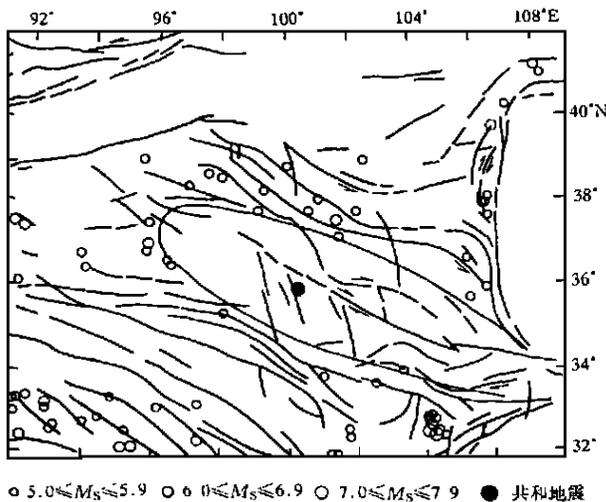


图 3 1990 年共和地震前 $M_S \geq 5.0$ 地震震中分布(1969-01-01 ~ 1990-04-25)

Fig. 3 The epicentre distribution of $M_S \geq 5.0$ earthquakes before the Gonghe earthquake in 1990 (1969-01-01 ~ 1990-04-25).

平静时段存在相互重叠的现象, 如表 3 中第 3 组的 1937 年阿拉克湖 7.0 级地震孕育的同时, 祁连山断裂带也处在 1954 年山丹—民勤 2 次 7.0 级地震的孕育期. 这反映了本区 7 级以上地震在复杂地壳结构中多源并存、同期孕育的事实.

2.2 7 级以上地震前 2~5 a 尺度的演化特征

在震前 10 a 以上尺度的长时间大范围中强地震的背景上, 震前 2~5 a, 研究区地震活动表现出了新的特征. 研究表明^①, 本区中强震年频次超过 5 次, 对 7 级以上地震预报具有指标意义. 在时间上连续, 资料未作任何修正的前提下, 本世纪以来, 青藏高原北部地区 $M_S \geq 5.0$ 中强地震年频次超过 5 次的年号及其与

本区 7 级以上地震的对应关系如表 4 所示.

1954 年山丹—民勤 2 次 7.0 级地震前, 1939~1951 年青藏高原北部地区地震活动频次均小于 5 次, 但到了 1952 年, 研究区内中强地震频发, 年频次竟达到 10 次.

① 杨立明等. 甘肃省 1998 年度地震趋势研究报告.

1990 年共和 7.0 级地震前, 1977 ~ 1985 年整个青藏高原北部地区地震活动频次较低, 年年都达不到 5 次, 但到了震前 4 a, 即 1986 ~ 1988 年连续 3 a, 研究区中强地震频次均超过 5 次, 表现出相对高的活跃状态.

进一步分析表明, 1937 年、1954 年、1963 年、1976 年、1990 年等地震均存在上述现象. 这说明 7 级以上大震前 2~5 a 青藏高原北部地区存在研究区中强地震的成组活跃特征, 而这些中强地震一般发生在外围地区, 未来 7 级以上地震的震中及其相关地区则继续保持平静. 类似图 2、图 3 的活动空间图像没有发生变化.

表 3 青藏高原北部地区 7 级以上地震前大范围平静现象

发震时间	平静时段	平静间隔/a
1920、1927	1900-01-01 ~ 1920-12-24	20
1932	1917-10-01 ~ 1932-12-20	15
1937	1931-08-01 ~ 1937-01-01	6
1954	1929-05-01 ~ 1954-02-10	25
1963	1947-02 ~ 1963-04-18	16
1990	1969-01 ~ 1990-04-25	21

值得注意的是 1920 年、1927 年发生的 7 级以上地震没有表现出上述特征, 表 4 中相应的高频次可能是由余震引起的, 这可能与 1930 年以前的资料不完整有关. 而 1976 年松潘—平武地震前 2~5 a 研究区中等地震频次增高, 与其它 7 级以上地震不同的是震中区也有地震活动, 表现出地震孕育的个性行为.

2.3 震前末次地震与主震的时空关系

在震前 2~5 a 研究区地震活跃的背景下, 震前 1 a 尺度的地震活动有所减弱, 末次地震及其与主震的时空距离如表 5 所示.

由表 5 可看出, 在时间上, 末次地震距主震一般不超过 1 a. 1920 年、1927 年、1947 年 3 次 $M_s \geq 7.7$ 地震的间隔时间 Δt 均小于 3 个月, 就是说, 临震状态与研究区中强震活跃状态的减弱是连在一起的. 空间上, 末次地震与主震的距离 r 最近为 237 km, 最远为 1 256 km, 没有明显的优势分布.

表 4 青藏高原北部地区 $M \geq 5.0$ 地震年频次与 7 级以上地震的对应关系

序号	时间	地震频次	对应 7 级地震			
			时间	$\varphi_N / (^\circ)$	$\lambda_E / (^\circ)$	震级 M
1	1920	5	1920-12-16	36. 70	104. 90	8. 5
	1921	9	1920-12-25	36. 60	105. 20	7. 0
2	1927	9	1927-05-23	37. 70	102. 20	8. 0
	1934	7				
3	1937	5	1937-01-07	35. 50	97. 60	7. 5
	1938	5				
	1938	5				
4	1952	10	1954-02-11	39. 00	101. 30	7. 3
	1954	7	1954-07-31	38. 80	104. 20	7. 0
5	1959	9				
	1960	6				
	1961	7	1963-04-19	35. 70	97. 00	7. 0
	1962	13				
6	1971	5	1976-08-16	32. 60	104. 10	7. 2
	1976	9	1976-08-23	32. 50	104. 30	7. 2
7	1986	7				
	1987	5				
	1988	5	1990-04-26	36. 10	100. 30	7. 0
	1990	6				
	1991	7				

3 7 级以上地震前中强震的时间分布不均匀性特征

设在时间间隔 Δt 内发生 5 级以上地震 N 次, 则 $P = N/\Delta t$ 表示研究区单位时间内地震发生率, 是地震发生时间的统计平均表述, 1950 年以来, 本区发生 5 级以上地震 189 个, 取不同的时段组合, P 值的分析对比如表 6 所示.

表 5 震前末次中强震与主震的时空关系

主震年号	末次地震			$\Delta t/$ 月	$r/$ km	
	时间	$\varphi_N/(\text{°})$	$\lambda_E/(\text{°})$			震级 M
1920	1920-09	37. 50	102. 90	5. 0	3. 0	237
1927	1927-03-16	38. 20	98. 20	6. 0	2. 0	443
	1927-05-23	37. 70	102. 20	5. 5	0. 0	644
1932	1931-12-07	34. 50	102. 00	5. 5	12. 5	816
1937	1936-08-01	34. 20	105. 70	6. 0	5. 0	902
1947	1947-01-21	35. 00	97. 50	5. 2	2. 0	287
1954	1953-03-01	32. 50	103. 50	5. 5	11. 3	755
1963	1962-12-18	38. 00	106. 10	5. 5	4. 0	1 032
1976	1975-05-13	33. 10	92. 90	5. 1	15. 0	1 256
1990	1989-11-02	36. 00	106. 50	5. 0	5. 8	627

表 6 不同时段地震发生率

起始时间	终止时间	$\Delta t/$ 月	N	P
1950-01	1998-12	587	189	0. 322
1960-01	1998-12	467	149	0. 319
1970-01	1998-12	347	108	0. 311
1980-01	1998-12	227	71	0. 313

从该表中可见, 1950 年以来, 不同的时间段内, 单位时间内发生地震的平均个数基本相同, 接近于常数, 这表明了 1950 年以来本区 $M_s \geq 5.0$ 地震活动具有统计意义上的平稳性. P 值平均为 0. 316, 可作为在一定时期内本区地震活动程度的一种定量表述.

设 $\{\Delta t\}$ 表示地震的时间间隔序列, 对第 i 个地震, 在 Δt_i 时间间隔内, 应发生地震个数为 $P \cdot \Delta t_i$, 而实际发生地震个数为 1, 因而 $\Delta N_i = 1 - P \cdot \Delta t_i$ 表示实际地震活动与统计平均值的偏离. 对 ΔN_i 的意义分析如下:

$\Delta N_i > 0$, 表示实际发震间隔小于统计平均值, 地震活动活跃. 连续数次 $\Delta N_i > 0$, 表示中强地震频发.

$\Delta N_i < 0$, 表示实际发震间隔大于统计平均值, 地震活动相对平静. 连续数次 $\Delta N_i < 0$, 表示中强地震平静. 较大的 $|\Delta N_i|$ 值, 表示大的地震平静间隔.

$\Delta N_i = 0$, 表示实际地震间隔与统计平均值相等, 地震活动处于正常平稳活动状态.

1990 年共和 7 级地震前 (1978-01-01 ~ 1990-04-26), 本区地震活动 $\Delta N_i - i$ 分布如图 4 所示. 可以看出, 地震活动存在 3 时段结构, 在 $i \leq 21$ 的时段内, ΔN_i 正负相间, 表明地震活动具

有一定的随机性, 没有明显的优势活动趋势; 在 $21 < i \leq 32$ 的时段内, $\Delta N_i > 0$,
 , , ; $i > 32$ 的时段内, ΔN_i 正负相间,
 1 时段, 1 时段活跃. 3 时段内,
 , 5 是该地震前地震活动时间间隔滑动平均结果, 3 时段结构, : 1 时段地
 震活动维持较长的滑动平均时间间隔, , ; 2 时段时间间隔持续减小,
 , ; 3 时段发生转折,
 , , 7 级以上地震.

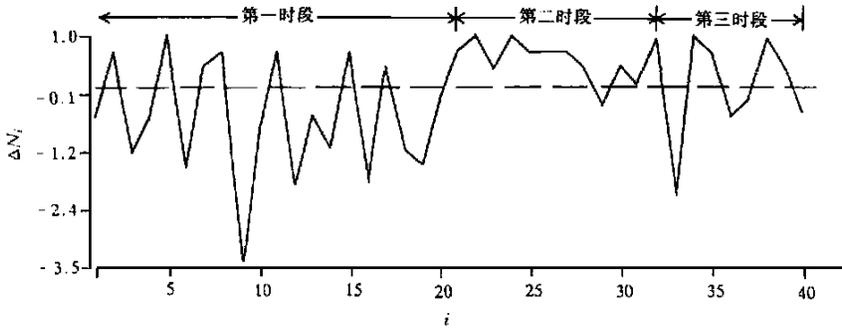


图 4 1990 年共和 7.0 级地震前 $M_s \geq 5.0$ 地震活动与统计平均值的偏离(1978-01-01 ~ 1990-04-26)

Fig. 4 The deviation of $M_s \geq 5.0$ earthquake activity from statistical mean value before the Gonghe $M_s 7.0$ earthquake in 1990 (1978-01-01 ~ 1990-04-25).

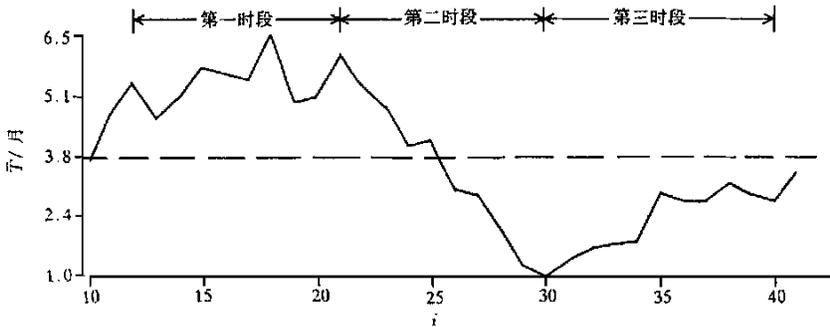


图 5 1990 年共和 7.0 级地震前 $M_s \geq 5.0$ 地震时间间隔滑动平均结果(1978-01-01 ~ 1990-04-26)

Fig. 5 The slip mean results of time intervals of $M_s \geq 5.0$ earthquakes before the Gonghe $M_s 7.0$ earthquake in 1990 (1978-01-01 ~ 1990-04-25).

, 1954 年山丹一 7.0 级地震、1963 年阿拉克湖 7.3 级地震、1976 年松潘一 7.2 级地震等都具有类似的特征.

4

, 7 级以上地震的孕育演化具有一定的共性特征,

: ① 7级以上地震的发震间隔为5 a或7 a的整数倍; ②

10 a; ③ 2~5 a,

(1976年松潘地

震例外); ④

7级以上地震孕育的时间进程及其中强地震活动场的不同表现,

② 7级以上地震震前较长时期地震活动场的异常表现,

10 a尺度的7级以上地震判定指标. ③ 7级以上地震的孕育已进入了2~5 a的时间尺度,

④ 7级以上地震的时间进程及其阶段性,

7级以上地震的孕育演化,

7级以上地震孕育过程中的多源并存,

[]

[1] [A]. [C]. : , 1997. 3~12.

[2] [J]. , 1998, (5): 9~13.

THE FEATURES OF EVOLUTION OF $M_s \geq 7.0$ EARTHQUAKES IN NORTHERN PART AREA OF THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU AND THEIR APPLICATION

YANG Li-ming, WANG Zhen-ya, ZHENG Wei-ping, ZHANG Yong
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The problems of spatial-temporal distribution characters, the process of evolution and its inhomogeneity of $M_s \geq 7.0$ earthquakes in northern part area of Qinghai-Xizang Plateau have been studied. The results show that the active fields of moderate-strong earthquakes have some common features which have appeared before $M_s \geq 7.0$ earthquakes, and have several stages in gestation process with different active abnormal phenomenon. These features can be used to judge the tendency and preparation stages and have practice value for prediction of the events with $M_s \geq 7.0$ in the area.

Key words: Qinghai-Xizang Plateau; Earthquake preparation; Inhomogeneity; Stage