

祁连—海原地震带中强地震 序列类型分布及其应用^{*}

杨立明, 王振亚, 程建武, 殷志钢

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要: 研究了 1970 年以来发生于祁连—海原地震带的 18 次中强地震序列特征, 在此基础上确定了地震序列类型, 研究了各种类型地震序列的分布规律. 结果表明, 该带的 18 次中强地震序列中有 44% 为主震型, 56% 为孤立型. 西海固地区的中强地震序列一般为孤立型; $101^{\circ} \sim 103.5^{\circ} \text{E}$ 范围内的祁连山中东段的中强地震序列一般为主震型; $99^{\circ} \sim 101^{\circ} \text{E}$ 范围内的祁连山中段为孤立型和主震型序列并存; 99°E 以西的祁连山西段的中强地震序列为孤立型. 将上述结果应用于 2000 年 6 月 6 日景泰 $M_s 5.9$ 地震的震后趋势快速判定, 判定结果与实际地震活动情况符合.

关键词: 祁连—海原地震带; 地震序列类型; 空间分布; 震后趋势判定

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000—0844(2001)02—0137—05

0 引言

一次破坏性地震发生后, 地震活动趋势如何, 还有没有更大的地震发生, 这是人们极为关心的问题. 因此研究人员必须尽快对震后趋势做出判定, 给政府部门决策提供参考并稳定人心. 地震序列类型的判定是震后趋势判定的核心问题.

祁连—海原地震带位于青藏块体北缘及东北缘. 沿该带地震活动强烈, 曾多次发生 7 级以上乃至 8 级大震, 中强地震也时有发生. 该带的分布范围包括甘肃中西部、宁夏南部和青海北部的广大区域, 对该带地震序列类型及其分布规律的分析研究, 有利于对强震的预报及震后趋势快速判定, 对西北广大地区国民经济的发展和西部大开发具有重要的意义.

1 地震序列类型的划分及判定原则^{①, ②, [1]}

目前, 中国学者划分的地震序列类型有 3 种:

- (1) 主震型. 包括主震-余震型和前震-主震-余震型.
- (2) 震群型. 包括震群型和双震型.
- (3) 孤立型.

收稿日期: 2001-01-12

^{*} 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001025.

作者简介: 杨立明(1966—), 男(汉族), 甘肃宁县人. 副研究员, 在读博士生, 主要从事地震预报的理论、方法及预报实践工作.

① 中国地震局分析预报中心. 地震分析预报技术骨干培训教材(下册). 1990. 110.

② 中国地震局预测预防司.《大中城市震后趋势快速判定工作方案》制定指南. 1997.

- 其划分原则如下:
- (1) 当序列中最大地震释放的能量 $E_{\max}$ 与序列总能量 E 之比, 即 $E_{\max}/E = 90\% \sim 99.9\%$ 时为主震型; 当 $E_{\max}/E \geq 99.9\%$ 时为孤立型; 当 $E_{\max}/E \leq 90\%$, 且 $M \geq 5$ 时为震群型.
- (2) 当 $0.7 < \Delta M \leq 2.4$ 时为主震型; 当 $\Delta M > 2.4$ 时为孤立型; 当 $\Delta M \leq 0.7$ 时为震群型. ΔM 为序列中最大地震与次大地震的震级差.
- (3) 震群型序列的前震和余震的频次较高, 主震型次之, 孤立型最弱.

2 祁连—海原地震带地震序列类型判定及分布特征

本文以 1970 年以来在祁连—海原地震带内发生的中强地震作为研究对象, 采用中国地震局分析预报中心提供的地震目录. 在计算 ΔM 、 $E_{\max}/E$ 及余震分布特征时, 选用 $M_L \geq 2.0$ 地震. 1970 年以来, 在祁连—海原地震带发生 $M_S \geq 5.0$ 地震 18 次. 这些地震的前震活动、余震活动特征、能量比和 ΔM 等基本资料如表 1 和表 2 所示. 其中源区指余震活动区, 中等地震指以主震为中心 $2^\circ \times 2^\circ$ 范围内在时间上最靠近主震的中等地震活动, Δt 为该中等地震到主震的时间, R 为该中等地震与主震之间的空间距离, 单位为度.

主震			源区前震活动	震前中等地震活动			$\Delta t/$ 月	$R/(\circ)$
时间	地点	震级		时间	震中位置	震级(M_L)		
1996-06-01	天祝	M_S 5.4	6 个月内无地震活动	1996-01-02	38.53°N, 102.75°E	3.8	5	1.23
1995-07-22	永登	M_S 5.8	6 个月内无地震活动	1995-01-09	37.9°N, 101.20°E	3.9	6	2.54
1993-10-20	托来	M_S 6.0	震前 7 天有 $M_L \geq 3.0$ 地震活动	1993-08-06	38.85°N, 97.52°E	3.4	2.46	1.26
1992-06-21	祁连	M_S 5.0	3~5 月小震活动 6 次	1992-03-20	39.13°N, 98.78°E	3.6	3	1.12
1992-01-12	嘉峪关	M_S 5.4	震前 1 个月有 M_L 4.0 地震活动	1991-11-30	39.98°N, 97.65°E	3.6	1.4	0.77
1991-10-01	门源	M_S 5.2	5、7、9 月有小震活动, 9 月 21 日发生 M_L 3.4 地震	1991-02-21	37.95°N, 100.35°E	3.9	7.3	1.26
1991-01-02	祁连	M_S 5.1	1990 年 11 月有小震活动 2 次	1990-12-26	37.83°N, 102.02°E	3.8	0.2	2.03
1989-11-02	固原	M_S 5.0	震前 12 天有 $M_L \geq 2.0$ 地震活动	—	—	—	—	—
1989-09-21	昌马	M_S 5.1	6 个月内无地震活动	1989-01-08	38.35°N, 98.35°E	3.6	8.4	1.50
1990-10-20	天祝	M_S 6.2	震前 6 个月发生 $M_L \geq 2.0$ 地震 5 次	1989-10-25	36.9°N, 103.87°E	3.4	12	0.36
1988-12-26	临泽	M_S 5.1	6 个月内无地震活动	1988-10-01	38.62°N, 99.48°E	4.2	3	0.64
1988-11-22	肃南	M_S 5.7	—	1987-09-12	38.75°N, 100.2°E	4.5	14.3	0.60
1986-08-26	门源	M_S 6.4	7 月有 2 级以上地震活动	1985-07-14	37.83°N, 101.83°E	4.1	13.4	0.28
1984-01-06	武威	M_S 5.3	震前 5 天有 M_L 4.0 地震活动	1984-01-02	37.73°N, 102.25°E	3.8	0	0.20
1982-04-14	海原	M_S 5.7	1981 年 12 月下旬以后无小震	1981-07-30	36.32°N, 104.12°E	3.4	8.5	1.33
1978-08-16	民乐	M_S 5.0	6 个月内无地震活动	—	—	—	—	—
1975-01-04	哈拉湖	M_S 5.3	—	—	—	—	—	—
1970-12-03	西吉	M_S 5.5	—	—	—	—	—	—

2.1 按 ΔM 的判定结果

按 ΔM 对地震序列类型进行判定, 该地震带的 18 次地震序列中有 9 次属主震型, 有 9 次属孤立型, 无震群型序列(表 3). 除了 1988 年 11 月 22 日肃南 5.7 级地震及 1986 年 8 月 26 日门源 6.4 级地震外, 其余的 16 次, 即 89% 的中强地震序列的 $\Delta M \geq 1.8$, 这可以作为评判该地震带主震后最大余震的一个指标.

2.2 按能量比的判定结果

按能量比判定, 该地震带的中强地震序列中 94% 的属于主震型和孤立型, 而属于震群型序列的只占 6% (表 4)。

表 2 1970 年以来祁连—海原地震带 18 次中强地震序列的基本参数及判定结果

主震			余震活动		地震序列类型判据			序列
时间	地点 (震级 M_S)	分布范围	最大震级 (M_L)	余震特征	ΔM	$E_{\max}/E$	$E_{\text{sec}}/E_{\max}$	类型
1996-06-01	天祝 5.4	37.2°~37.4°N, 102.6°~103°E	2.0	余震丰富, 持续 3 天	3.4	0.999	0.000	孤立
1995-07-22	永登 5.8	36.2°~36.5°N, 103°~103.4°E	3.4	余震丰富, 持续 4 天	2.4	0.996	0.000	主震
1993-10-20	托来 6.0	38.2°~38.6°N, 98.5°~99°E	1.6	持续 3 天, 余震 14 次, 间歇 3 天	4.4	1.0	0.000	孤立
1992-06-21	祁连 5.0	38.3°~38.7°N, 99.3°~100°E	1.0	余震较少, 8 天内仅有 1 次	4.0	1.00	0.000	孤立
1992-01-12	嘉峪关 5.4	39.6°~39.9°N, 98.2°~98.5°E	1.4	持续 1 天, 频度 4 次	4.0	1.0	0.000	孤立
1991-10-01	门源 5.2	37.6°~37.9°N, 101.2°~101.8°E	2.8	持续 5 天, 发震 28 次, 间歇 1 天	2.4	0.99	0.000	主震
1991-01-02	祁连 5.1	38.0°~38.3°N, 99.7°~100°E	2.8	持续 2 天, 余震 10 次	2.3	0.991	0.005	主震
1989-11-02	固原 5.0	35.7°~36.3°N, 106°~106.6°E	1.6	持续 2 天, 余震 4 次	3.4	0.999	0.001	孤立
1989-09-21	昌马 5.1	38.8°~39.3°N, 96.9°~97.4°E	2.4	持续 8 天, 余震 12 次	2.7	0.995	0.004	孤立
1990-10-20	天祝 6.2	37°~37.2°N, 103.3°~103.9°E	4.2	余震丰富, 11 天发震 122 次	2.0	0.994	0.005	主震
1988-12-26	临泽 5.1	39°~39.3°N, 99.9°~100.2°E	3.1	余震当天结束, 10 天后发生 1 次 2.0 地震	2.0	0.992	0.008	主震
1988-11-22	肃南 5.7	38.4°~38.9°N, 99.3°~99.9°E	4.7	13 天余震 22 次	1.0	0.848	0.001	主震
1986-08-26	门源 6.4	37.6°~37.8°N, 101.4°~101.8°E	5.4	余震丰富, 持续 1 个多月	1.0	0.941	0.037	主震
1984-01-06	武威 5.3	37.7°~38.1°N, 102°~102.3°E	3.1	持续 20 天左右	2.2	0.986	0.009	主震
1982-04-14	海原 5.7	36.4°~36.8°N, 105.2°~105.8°E	2.6	持续 3 天	3.1	0.999	0.001	孤立
1978-08-16	民乐 5.0	38.1°~38.4°N, 100.8°~101.2°E	2.5	持续 5 天	2.5	0.998	0.001	孤立
1975-01-04	哈拉湖 5.3	38.7°~38.9°N, 97.2°~97.5°E	1.2	无 $M_L \geq 2.0$ 地震	≥ 4.1	—	—	孤立
1970-12-03	西吉 5.5	—	< 1.2	无 $M_L \geq 2.0$ 地震	≥ 4.3	—	—	孤立

表 3 按震级差的判定结果

序列类型	震群型	主震型	孤立型
ΔM 标准	$\Delta M \leq 0.7$	$0.7 < \Delta M \leq 2.4$	$\Delta M > 2.4$
震例数	0	9	9
比例	0	0.50	0.50

表 4 按能量比的判定结果

序列类型	震群型	主震型	孤立型
$E_{\max}/E$ 标准	$E_{\max}/E \leq 0.9$	$0.9 < E_{\max}/E < 0.999$	$E_{\max}/E \geq 0.999$
震例数	1	9	6
比例	0.06	0.56	0.38

2.3 前震和余震活动特征

该地震带发生的中强地震序列的余震活动持续时间较短, 78% 的地震序列的余震持续不超过 10 天。在频度上除了 1996 年 6 月 1 日天祝 5.4 级、1995 年 7 月 22 日永登 5.8 级、1990

年 10 月 20 日天祝 6.2 级和 1986 年门源 6.4 级地震序列的余震频度较高外, 其余地震序列的余震频度较低. 祁连山东段中强地震序列的余震频度较高, 其余地区中强地震序列的余震频度较低.

这些地震序列的前震活动在源区不明显, 震前 1 个月内有小震或中强地震活动的仅有 4 例, 占总数的 27%, 其余的震前 1 个月内小震活动一般都不发育, 表现为频度低, 强度小的特点, 与正常动态背景上的小震活动较难区分. 除了 1984 年 1 月 6 日武威 5.3 级地震外, 其余地震临震前在源区附近($2^{\circ} \times 2^{\circ}$)均无 $M_L \geq 4.0$ 地震活动, 但有 67 % 的地震震前半年内有 $M_L \geq 4.0$ 地震活动. 在空间上这些地震不具有优势分布.

综合考虑判定地震序列类型的 3 条原则, 对祁连—海原地震带 18 次中强地震序列类型的判定结果如表 2 所示. 表 3 列出的是按 ΔM 的判定结果, 不是综合判定结果. 在判定时, 以 ΔM 和 $E_{\max}/E$ 判据为主, 若二者不符, 则考虑前震和余震特征进行判定. 1988 年 11 月 22 日肃南 5.7 地震序列为主震型(表 2), 不是震群型, 其能量比偏低可能与 1988 年 11 月 26 日临泽 5.1 级地震有关, 二者相互影响, 前震和余震相互混合, 从而引起偏差.

由表 2 可以看出, 该地震带的中等地震序列以主震型或孤立型为主, 其中主震型占 44%, 孤立型占 56%. 地震序列类型的空间分布如图 1 所示. 孤立型序列分布在 $97^{\circ} \sim 99^{\circ} \text{E}$ 范围内及西海固地区; 主震型序列分布在 $99^{\circ} \sim 103.5^{\circ} \text{E}$ 范围内, 仅 1995 年 7 月 22 日永登 5.8 级地震例外. 进一步细分, 则西海固地区的地震序列主要为孤立型; $101^{\circ} \sim 103.5^{\circ} \text{E}$ 范围内的祁连山东段地区的地震序列为主震型; $99^{\circ} \sim 101^{\circ} \text{E}$ 范围内的祁连山中段为孤立型和主震型序列共存区; 99°E 以西的祁连山西段的地震序列为孤立型.

3 地震序列类型在景泰 5.9 级地震震后趋势快速判定中的应用

2000 年 6 月 6 日, 在祁连—海原地震带内发生了景泰 M_S 5.9 地震, 震中位于 37.1°N , 104.0°E , 祁连山东段与西海固地区接壤的部位. 根据震中位置判断, 该次地震序列可能属于主震型或孤立型, 其主震与最大余震震级之差大于 1.8, 余震少, 震级小, 且衰减迅速.

该次地震发生 2 小时后, 在兰州地震研究所举行的紧急会商会上, 作者依据这一判断提出, 该次地震后可能不会有类似强度或更大的地震发生, 且最大余震不会超过 4.0 级和余震较少等意见.

实际上, 该次地震后, 余震确实较少, 最大余震仅为 M_S 3.2, 说明作者对震后趋势的快速判定是正确的. 事实表明, 本文的研究结果对于祁连—海原地震带发生的中强地震的震后趋势快速判定有一定的实用价值.

4 结论

综上所述, 可以得出以下主要结论:
(1) 祁连—海原地震带的中强以上地震序列以主震型和孤立型为主, 主震型占 44%, 孤立型占 56%. 地震序列的空间分布有一定的规

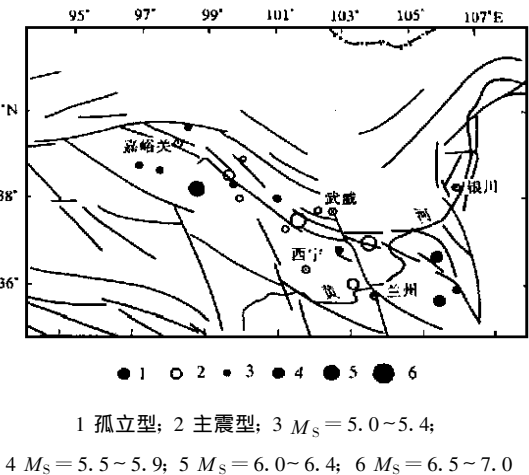


图 1 祁连—海原地震带中强地震序列类型的空间分布
Fig. 1 Space distribution of mid-strong earthquake sequences of Qilian—Haiyuan seismic zone.

律, 在西海固地区为孤立型; $101^{\circ} \sim 103.5^{\circ}\text{E}$ 范围内的祁连山东段为主震型; $99^{\circ} \sim 101^{\circ}\text{E}$ 范围内的祁连山中段为孤立型和主震型共存区; 99°E 以西的祁连山西段为孤立型。

(2) 89% 的中强地震的主震与最大余震震级之差大于或等于 1.8, 可据此判定震后最大余震的震级。

(3) 该带发生的中强地震的前震不发育, 余震少, 且震级小, 衰减迅速, 78% 的地震其余震活动持续时间不超过 10 天。

以上结论还有待进一步积累资料进行验证和修正, 同时, 将余震活动区当成源区是否恰当, 也有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] 吴开统. 地震序列概论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.

THE DISTRIBUTION OF TYPES OF MID-STRONG EARTHQUAKE SEQUENCES IN QILIAN—HAIYUAN SEISMIC ZONE AND THEIR APPLICATION

YANG Li-ming, WANG Zhen-ya, CHENG Jian-wu, YIN Zhi-gang
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The types of sequences and features of foreshock and aftershock activities of 18 $M_s \geq 5.0$ earthquakes since 1970 along Qilian—Haiyuan seismic zone are studied. The space distribution of types of the sequences along the zone is analyzed. The results show that 44 percent of events are mainshock type, and 55 percent of events are isolated type. The sequences in Xiji—Haiyuan—Guyuan segment of the zone are isolated type, that in the middle-eastern segment of the zone are mainshock type, that in the middle segment of the zone are isolated type and mainshock type both, and that in the western segment of the zone are isolated type. The result of the seismicity trend judging after the Jingtai $M_s 5.9$ earthquake on June 6, 2000 by using study results of this paper consists with real facts.

Key words: Qilian—Haiyuan seismic zone; Seismic sequence type; Space distribution; Seismicity trend judgement after earthquake