

昆仑山口西 8.1 级地震后青藏高原 北部地区地震活动初步研究

刘小凤, 杨立明, 范 兵

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用相关震例分析了昆仑山口西 8.1 级地震后青藏高原北部地区未来 1~3 年地震活动特征。结果表明, 沿东昆仑构造带及邻近地区发生 $M_s \geq 7.0$ 地震后青藏高原北部地区中强地震活动有增强的趋势, 祁连山地震带和东昆仑地震带的地震活动具有交替发生的特征, 未来 1~3 年中强地震主体活动区为大型走滑活动断裂上应力转换部位和挤压会聚构造区, 如东昆仑断裂带中东段和祁连山地震带中东段和西段。

关键词: 地震预测; 青藏高原北部地区; 昆仑山口西 8.1 级地震

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)01-0052-07

0 引言

2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震是近 50 年来中国大陆最大的一次地震, 发生在青藏高原北部地区东昆仑活动断裂带西段。已有的研究表明, 该地区有着错综复杂的活动构造及孕震背景, 在该断裂带上发生的中强地震和强震一般有沿断裂向东西两端迁移或向北东向迁移的趋势, 因此这次地震必将对未来一段时间内青藏高原北部地区的中强震活动有着重要的影响。本文根据活动构造研究结果和中强震空间分布图像特征将青藏高原北部地区划分为三个不同的地区, 各地区之间的地震活动交替发生, 目前的主要活动地区为东昆仑地震带。通过分析东昆仑地震带发生过强震后中强震的时空分布和迁移特征, 研究青藏高原北部地区未来 1~3 年中强地震的时空分布特征, 初步预测昆仑山口西 8.1 级地震后中强地震最可能发生的地区。

1 构造背景

昆仑山口西 8.1 级地震发生在东昆仑断裂带的西段。该构造带是青藏高原内部一条古老的板块缝合带, 沿昆仑山脉呈 NW-SE 向延伸, 为一条全新世左旋走滑断裂带, 总体长度大于 2 000 km^[1], 晚更新世晚期以来平均左旋走滑速率达 14.8 ± 2.4 mm/a。地震地表破裂带走向 $N70^\circ \sim 90^\circ W$, 全长 350 km, 由一系列剪切裂缝、张剪切裂缝、张裂缝、隆起鼓包和开裂陷坑等斜列组成^[2], 反映了断裂水平挤压为主的活动特征。该断裂是青藏高原北部地区的南边界, 由于印度板块向北东方向的推挤作用, 整个地区处在统一的动力学环境下, 受到北东向区域应力场的作用, 使得东昆仑地震带与北部的柴达木—兰州地块和祁连山地震带在构造上既有区别又有联系, 所发生的地震也表现出一定的有序和迁移特征。

收稿日期: 2002-12-31

基金项目: 地震科学联合基金(102063)及“十五”攻关课题(2002BA601B01-03-01)资助。

中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2003006

作者简介: 刘小凤(1965—), 女(汉族), 甘肃宁县人, 副研究员, 主要从事地震预报和地震地质研究工作。

2 东昆仑地震带地震活动特征

2.1 活动时间分期

1900 年以来沿东昆仑断裂带及附近地区共发生 $M_s \geq 7.0$ 地震 11 次, 最大地震为 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震. 从历史资料记录比较完整的 1900 年开始, 最早的地震发生在断裂中部, 为 1902 年青海都兰 6.9 级地震; 其次为断裂西部与 NEE 向阿尔金走滑断裂交汇处的 1924 年 7 月 3 日和 12 日新疆民丰双震型地震; 之后沿断裂带东西往返迁移发生了 9 次 $M_s \geq 7.0$ 地震; 1976 年在断裂带东端与 NE 向龙门山断裂交汇的地方又发生了松潘双震型地震. 表 1 是 $M_s \geq 7.0$ 地震的活动分期, 在活动期内两次地震(双震示为 1 次)的间隔时间为 10 年左右, 最小为 3 年, 年平均发震概率为 0.13~0.23 次.

2.2 空间的迁移特征

沿东昆仑地震带发生的中强地震存在东西向迁移的特征. 其中东西两端与其它断裂交汇的地方发生了两次双震型地震, 在东段的分支断裂上发生了 1947 年达日 7.7 级地震, 西段的分支断裂上发生了 1973 年西藏申扎 7.3 级地震和 1997 年玛尼 7.5 级地震. 断裂主体发生的 4 次强震以 1902 年青海都兰 6.9 级地震开始, 向东迁移发生了 1937 年托索湖 7.5 级地震; 之后向西迁移发生了 1963 年阿兰湖 7.0 级地震; 平静了 38 年后发生了昆仑山口西 8.1 级地震. 中强震沿断裂带有序的分布和迁移特征表明未来 1~3 年沿东昆仑断裂带及其两端地区存在发生 $M_s \geq 6.0$ 地震的可能.

表 1 东昆仑地震带地震活动分期

活动分期	时段	主要地震		震级 / M	间隔时间 / 年	累积时间 / 年
		时间	地点			
第一活动期	1924~1942	1924-07-03	民丰	7.2		
		1924-07-12	民丰	7.2		
		1933-08-25	茂汶	7.5	9	22.5
		1937-01-07	托索湖	7.5	3.5	
第一平静期	1947~1962	1947-03-17	达日	7.7	10	
					16	
第二活动期	1963~1976	1963-04-19	阿兰湖	7.0		
		1973-07-14	申扎	7.3	10	
		1976-08-16	松潘	7.2	3	13
第二平静期	1977~1996	1976-08-23	松潘	7.2		
					20	
第三活动期	1997~?	1997-11-08	玛尼	7.5		
		2001-11-14	昆仑山口西	8.1	4	4

2.3 余震特征

东昆仑地震带上发生的几次 $M_s \geq 6.5$ 地震的余震活动均表现为频度低、强度小. 只有 1997 年玛尼地震之后余震较多, 震后 1~3 年中强震在原震区和断裂东段的甘青川交界地区发生. 其余大地震之后 1~3 年沿原震区及附近地区余震活动和中强震活动水平相对较低, 最大强余震均未达到应有的水平, 一般处于 5~6 级之间, 7.5 级以上地震的震级差一般处于 1.7~2.2 之间. 按平均值来推算, 昆仑山口西 8.1 级地震的最大余震可能在 6.2 级左右(表 2).

表2 东昆仑地震带 $M_S \geq 6.5$ 地震的余震活动特征

时间	主震		最大余震		震级差 / M	时间差 / 天
	地点	震级 / M	时间	震级 / M		
1902-11-04	都兰	6.9	—	—	—	—
1915-04-28	曲麻莱	6.5	—	—	—	—
1915-05-05	治多	6.5	—	—	—	—
1924-07-03	民丰	7.2	1924-07-05	5.0	2.2	2
1924-07-12	民丰	7.2	1924-07-16	5.0	2.2	4
1933-08-25	茂汶	7.5	1933-10-15	5.7	1.8	50
1937-01-07	托索湖	7.5	1937-01-08	5.7	1.9	1
1947-03-17	达日	7.7	—	—	—	—
1960-11-09	松潘	6.7	1961-03-30	5.5	1.2	140
1962-05-21	霍布逊湖	6.8	1962-05-21	5.9	0.9	0
1963-04-19	阿兰湖	7.0	1963-07-02	5.0	2.0	73
1973-07-14	西藏申扎	7.3	1973-07-14	6.0	1.3	0
1973-08-11	松潘	6.5	1974-01-16	5.7	0.8	155
1976-08-16	松潘	7.2	1976-08-22	6.7	0.5	6
1976-08-23	松潘	7.2	1976-09-21	5.2	2.0	28
1997-11-08	玛尼	7.5	1997-11-09	5.8	1.7	1
2000-09-12	兴海	6.6	2000-09-21	5.1	1.5	9
2001-11-14	昆仑山口西	8.1	2001-11-19	5.7	2.4	5

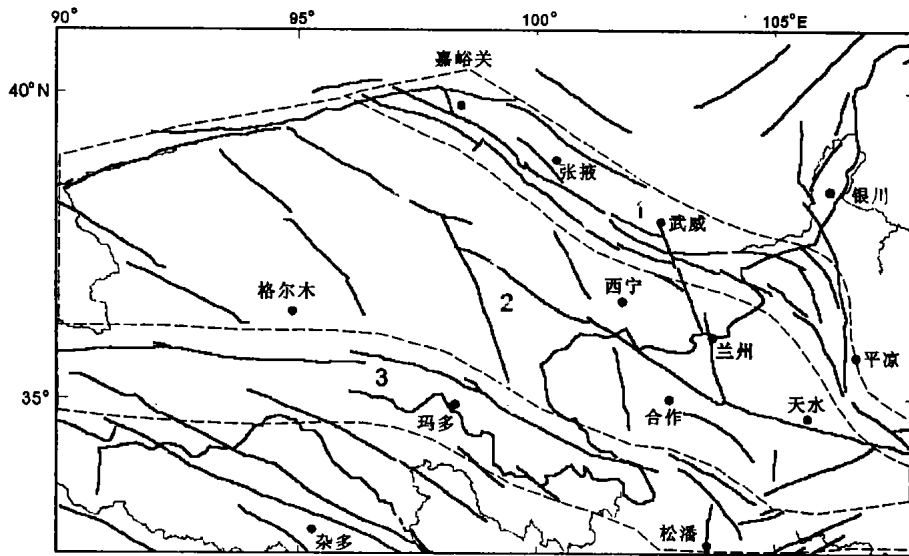
8.1级地震发生在东昆仑断裂带的西段,使西段积累的地震能量得以充分释放,从主震发生的11月14日到12月8日在原震区及邻近地区共发生了5次 M_S 5.0~5.6地震,然后沿断裂带向东迁移,直到2002年10月27日都兰5.4级地震为止的10个月时间内未发生一次中强地震,所有的余震分布在距震中以东180 km处,远远没有达到应有的强度,存在严重的缺震现象.表明主震的应力降较大,释放的能量在全序列中所占比重也较大.主震后余震区残存的应力和能量相对变小,必然导致余震强度降低,持续时间缩短.因此,未来1~3年沿原震区及附近地区发生 $M_S \geq 5.0$ 地震的概率比较高;而沿断裂带的中东段甘青川交界地区和西段与阿尔金断裂交汇地区发生 $M_S \geq 6.0$ 地震的可能性较大.

3 青藏高原北部地区地震活动特征

青藏高原北部地区(东昆仑地震带以北)是构造活动最强烈的地区之一,活动断裂十分发育,中强震和强震丛状发生, $M_S \geq 5.0$ 地震活动频繁,自然发生率较高.6级地震的平均发生时间为 18 ± 2 个月,并且在数十年尺度上具有相对稳定性.昆仑山口西8.1级地震发生在该地区南部的边界断裂带西段,但是孕震构造包括了青藏高原北部的广大地区.也就是说针对该地震的研究不能仅局限在单一的一条断裂带上,而要综合考虑周围参与活动的其它断裂和构造单元.因此将青藏高原北部地区作为一个相对独立的孕震系统来预测未来中强地震的时空强活动特征可能更有实际意义.为了进一步缩小孕震区的范围,按区域构造活动特征将整个地区划分成三个相对独立的构造单元,即北部边界祁连山地震带,南部边界东昆仑地震带,中间地块由柴达木—共和—西宁—兰州几个次级地块组成(图1).

3.1 地震时空分布

1900年以来青藏高原北部地区发生的13次7级以上地震主要集中在祁连山地震带和东昆仑地震带,柴达木—共和—西宁—兰州中间地块以中强地震为主.强地震基本上发生在北西西向和北北西向区域边



1. 祁连山地震带; 2. 柴达木—共和—西宁—兰州地块; 3. 东昆仑地震带

图 1 青藏高原北部地区构造单元划分图

Fig. 1 Division of tectonical units in northern area of Qinghai-Xizang plateau.

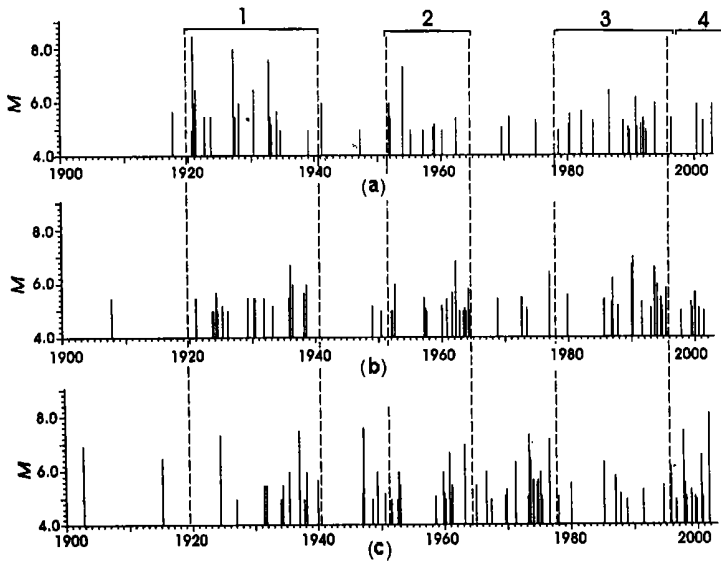
界活动断裂和内部次级地块的边界断裂带上, 只有少数散布在这些断裂带附近次级分支断裂或隐伏断裂上, 地震活动在空间上具有相对清晰的图像特征。

从三个地区的 $M-t$ 图和能量释放图可以看出, 三个区域地震活动在时间上是不同步的. 祁连山地震带和东昆仑地震带地震频次高, 强度大, 而中间地块则表现为地震频次高, 强度较低(图 2、3). 祁连山地震带与中间地块地震活动同步性较好, 中强地震成丛发生; 而东昆仑地震带的活动正好相反, 一般来说相对滞后 10~15 年. 但是, 当东昆仑地震带处于活动期时祁连山地震带和柴达木—兰州地块内仍然有一些中强地震发生, 并不是绝对的平静; 当祁连山地震带处于活跃期时东昆仑地震带也不是十分平静, 也有部分中强地震发生, 表明祁连山地震带和东昆仑地震带的强震存在交替发生的特点. 1900 年以来该地区发生的中强地震可以划分出 4 个相对集中的地震活动阶段: 第一阶段为 1920~1939 年, 地震主要发生在祁连山地震带, 其次为东昆仑地震带中东段; 第二阶段为 1953~1964 年, 地震活动散布在整个地区, 以中间地块最为活跃; 第三阶段为 1977~1996 年, 地震主要发生在中间地块和祁连山地震带, 东昆仑地震带相对平静; 第四阶段为 1997~现在, 祁连山地震带和中间地块以中强地震活动为主, 强震主要发生在东昆仑地震带西段, 中东段十分平静, 而这一段恰好是 1937 年 7.5 级和 1963 年 7.0 级地震活动区。

3.2 8.1 级地震后地震趋势分析

8.1 级地震至今青藏高原北部地区中强震活动相对较弱, 而弱震活动有增强的趋势, 通过对发生在东昆仑地震带上的几次强地震的分析不难发现(表 3), 在东段发生 1937 年托索湖地震、1947 年达日地震和 1963 年阿兰湖地震后青藏高原北部地区中强地震的强度均偏低, 只有断裂东端与龙门山断裂交汇地区发生的 1976 年松潘双震后青藏高原北部地区中强地震活动有增强的趋势. 2002 年整个地区地震活动水平相对较低, 除 8.1 级地震的余震外, 区内共发生 $M_s 5.0$ 以上地震 2 次, 分布在东昆仑地震带中段和祁连山地震带西段, 年活动水平明显低于 2000 和 2001 年。

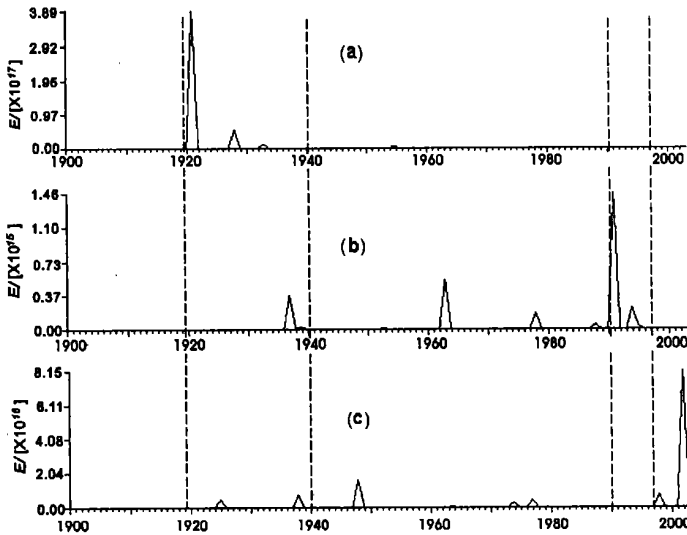
地震活动在空间分布上也是不均匀的, 8.1 级地震前三年内 $M_L \geq 4.0$ 地震主要分布在东昆仑地震带的东段和祁连山地震带中东段, 而地震之后主要集中在东昆仑地震带西段以及散布于整个祁连山地震带上, 其余弱震活动主要集中在区内 NWW 向主边界断裂和 NNW 向次级断裂交汇的地区, 如河西西部地区、祁连山中东段地区、甘东南地区、六盘山地区和格尔木以东地区等, 块体内部基本上没有 $M_L 4$ 以上地震活



a. 祁连山地震带; b. 柴达木—兰州地块; c. 东昆仑地震带

图2 青藏高原北部地区 $M-t$ 图 ($M_S \geq 5.0$)

Fig. 2 $M-t$ chart of $M_S \geq 5.0$ earthquakes in northern area of Qinghai-Xizang plateau



a. 祁连山地震带; b. 柴达木—兰州地块; c. 东昆仑地震带

图3 青藏高原北部地区能量释放图

Fig. 3 Release of earthquake energy in northern area of Qinghai-Xizang plateau.

动(图4).一方面表明这些地区应力场活动在增强,发生中强地震的概率逐渐增加;另一方面也包含了8.1级地震后应力场调整过程中的震后效应,如果能够有效的区分出二者之间的差异必将对震后一段时期的地震活动趋势预测产生重要的影响.

结合震后中强震和弱震活动特征,未来1~2年该地区将会是一个相对活跃的时段,存在发生6级以上地震的背景,主体活动区可能是东昆仑地震带中东段的甘青川交界地区和祁连山地震带的西段、中东段地区.

表 3 东昆仑地震带强震后 1~3 年青藏高原北部地区中强震活动特征

主震			中强震			时间间隔/月
时间	震级/ M	地点	时间	震级/ M	地点	
1937-01-07	7.5	托索湖	1937-11-17	5.0	甘德	10
			1938-04-10	5.7	都兰	15
			1938-08-23	6.0	天峻	19
			1939-03-13	5.0	靖远	26
1947-03-17	7.0	青海达日	1947-03-27	5.0	尕河	<1
			1949-02-07	5.3	油泉子	23
			1949-06-15	6.0	班玛	27
1963-04-19	7.0	阿兰湖	1963-07-02	5.0	霍布逊湖	2.5
			1964-03-16	5.8	霍布逊湖	11
			1964-05-31	5.0	和政	13
1976-08-16	7.2	松潘	1976-09-23	6.2	阿左旗	1
1976-08-23	7.2	松潘	1977-01-02	6.4	茫崖	4.5
			1977-01-19	6.3	格尔木	5
			1977-10-20	5.1	若羌	14
			1977-12-16	5.3	杂多东	16
			1978-02-21	5.1	玛曲	18
			1978-08-16	5.0	民乐	24
			2001-11-14	8.1	昆仑山口西	2002-06-29
2002-09-28	5.2	杂多	10			
2002-10-27	5.4	都兰	11			
2002-12-14	5.9	玉门	13			

4 结论和讨论

(1) 沿东昆仑地震带发生的强震后余震活动强度和频度普遍较低, 昆仑山口西 8.1 级地震再次证明了发生在纯剪切走滑活动断裂带上强震的主震能量释放比较充分, 破裂主要沿断裂走向向两端传递, 随时间推移应力将会向北东或沿断裂带向东西两端迁移, 使得青藏高原北部地区的地震活动呈现出逐渐增强的趋势. 未来 1~3 年东昆仑地震带东段、祁连山地震带上的会聚构造区和柴达木—兰州地块内部 NNW 和 NWW 向断裂交汇的地方是中强地震活动的主体地区.

(2) 8.1 级地震前后青藏高原北部地区 M_L 4.0 以上地震呈现出高度有序的活动特征. 地震前三年内 $M_L \geq 4.0$ 地震主要分布在东昆仑地震带的东段和祁连山地震带中东段, 而地震之后主要集中在东昆仑地震带西段以及散布于整个祁连山地震带上, 中间块体内部基本上没有 M_L 4 以上地震活动.

(3) 自 2001 年 12 月开始区内弱震活动出现了许多新的现象, 其中既有新出现的一些孕震信息, 也包含了 8.1 级地震之后区域应力场调整过程中引起的震后效应. 目前我们还无法了解其中的差异, 因此对未来地震的预测受到了一定的局限, 还有待于以后进一步的跟踪分析和更加深入的研究.

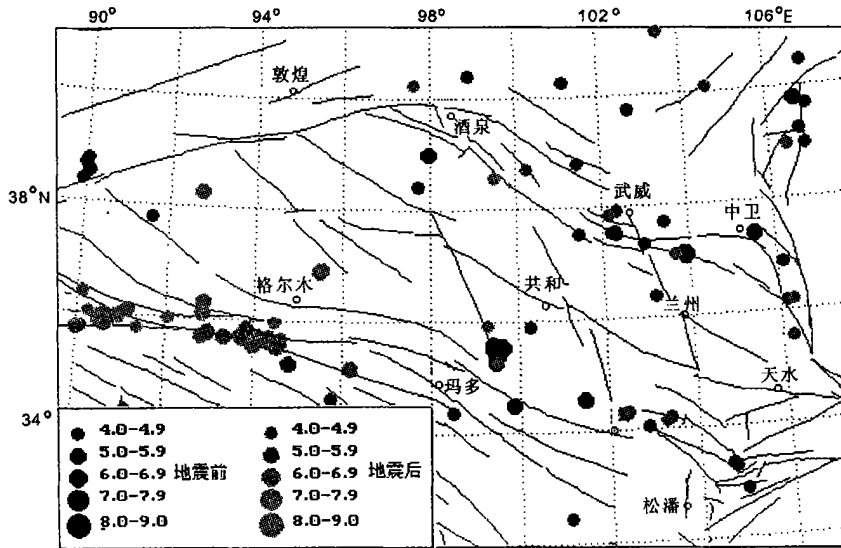


图4 8.1级地震前后青藏高原北部地区 $M_L \geq 4.0$ 地震

Fig. 4 Distribution of $M_L \geq 4.0$ earthquakes in northern area of Qinghai-Xizang plateau before and after the 8.1 earthquake.

- [1] 沈军, 尹光华, 赵瑞斌. 2001年11月14日新疆青海交界东昆仑山8.1级地震构造背景初探[J], 内陆地震, 2002, 16(1): 1-7.
- [2] 徐锡伟, 陈文彬, 于贵华, 等. 2001年11月14日昆仑山库赛湖地震($M_S 8.1$)地表破裂带的基本特征[J], 地震地质, 2002, 24(1): 1-13.

PRELIMINARY RESEARCH ON THE SEISMICITY IN NORTHERN QINGHAI-XIZANG PLATEAU AFTER WEST TO KUNLUN MOUNTAIN PASS $M_S 8.1$ EARTHQUAKE

LIU Xiao-feng, YANG Li-ming, FAN Bing

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The seismicity character in northern Qinghai-Xizang plateau after west to Kunlun Mountain Pass $M_S 8.1$ earthquake in future 1~3 years is analysed by using date of some previous events. The result shows that the seismicity of moderate strong earthquake in the area is strengthened after $M \geq 7.0$ earthquakes along Eastern Kunlun Fault and adjacent areas. The strong shocks in Qilian Mountain and Eastern Kunlun Seismic Belts are occurred alternately. The main active regions of moderate strong earthquake are some stress transition sites and extruding-tectonic areas on great strike-slip active faults, such as mid-eastern segment of Eastern Kunlun Seismic Belt, western end and mid-eastern segment of Qilian Mountain Seismic Belt.

Key words: Earthquake prediction; Northern area of Qinghai-Xizang plateau; West to Kunlun Mountain Pass $M_S 8.1$ earthquake