



民乐 - 山丹 6.1 级地震短期预报的科学总结

杨立明, 王兰民

(甘肃省地震局, 甘肃兰州 730000)

摘要 系统总结了民乐 - 山丹 6.1 级地震孕育的地震环境、中短期背景、短期阶段异常综合特征等。在此基础上结合祁连山地震带短期阶段地震异常的共性特征, 论述了民乐 - 山丹 6.1 级地震短期预报的主要依据和科学决策, 并对有关判定中的思路、方法、难点及问题等进行了讨论。

关键词 民乐 - 山丹 6.1 级地震; 短期预报; 科学总结

中图分类号: P315.75 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2004)01-0001-09

0 引言

2003年10月25日甘肃省民乐 - 山丹两县交界地区发生 M_s 6.1 地震。震前在中国地震局监测预报司和分析预报中心的指导下, 甘肃省地震局于9月20日提出了祁连山中东段地区6级左右地震短期预报意见, 并采取了多种行之有效的短临跟踪措施, 9月28日甘肃省地震局李克局长、王兰民副局长向李膺副省长进行了专门汇报, 并提交了书面报告。其中结论意见指出: “未来3个月内甘肃及边邻地区, 尤其是祁连山中东段、甘东南等地震重点危险区存在发生6级左右地震的可能”。随着震情形势的发展, 10月10日甘肃省地震局紧急震情会商会进一步缩短了预报期限。

10月25日民乐 - 山丹 6.1 级地震发生在祁连山中东段地区, 12月13日岷县 5.2 级地震发生在甘东南地区。这两次地震的发生意味着本次短期预报是成功的, 得到了中国地震局、甘肃省委、省政府的高度评价和表彰奖励。

根据震前的地震预报意见, 甘肃省地震局在重点危险区架设了多台流动强震仪, 其中一台就架设在极震区民乐县永固乡, 从而获得了 6.1 级和 5.8 级地震三分向的强震记录, 详见文献 [1]。

以下从民乐 - 山丹地震前的地震环境、中短期背景、短期阶段主要的地震活动及前兆异常、短期预报的科学决策等方面, 对该次地震预报进行回顾性的总结。

1 民乐 - 山丹 6.1 级地震短期预报的地震环境及中短期背景

1.1 地震环境分析

据研究^{①[1]}, 祁连山地震带的地震活动受青藏高原北部地区地震活动的制约和控制。据 1900 年以来青藏高原北部地区 $M_s \geq 5.0$ 、5.5、6.0 等不同强度层次地震 $M-t$ 图(图 1), 可以看出地震活动可以分为明显的 7 个活跃期和 6 个平静期。该区目前处于 2000 年景泰 5.9、兴海 6.6 级等地震开始的活跃期内, 2001 年昆仑山口西 8.1、2002 年玉门 5.9、2003 年德令哈 6.6 级等多次 6 级左右或以上地震的发生是这种活跃状态的表现。因而近几年青藏高原北部地区及祁连山地震带处于中强地震的活跃期是民乐 - 山丹 6.1 级地震的基本环境和背景。

1.2 地震预报的中短期依据

收稿日期 2004-02-10

* 中国地震局兰州地震研究所论著编号 1C20040016

作者简介 杨立明(1966 -)男(汉族), 甘肃宁县人, 研究员, 现主要从事地震预报的理论、方法研究和预报实践工作。

① 甘肃省地震局. 2001 年度甘肃省震情趋势研究报告. 2001.

1.2.1 活跃期内地震密集丛集特征

由图1可以看出,青藏高原北部地区地震活动既存在活跃期-平静期交替轮回的特征,也存在活跃期内低一个层次的密集丛集特征,绝大部分地震分布在不同的密集丛集活动段内。1950年以来活跃期内独立的5.5级以上地震的时间间隔统计分布如表1所示。

表1 1950年以来青藏高原北部地区密集丛集段地震时间分布

时间间隔/月	1~6	7~12	>12
频次/次	45	10	4
比率/%	76	17	7

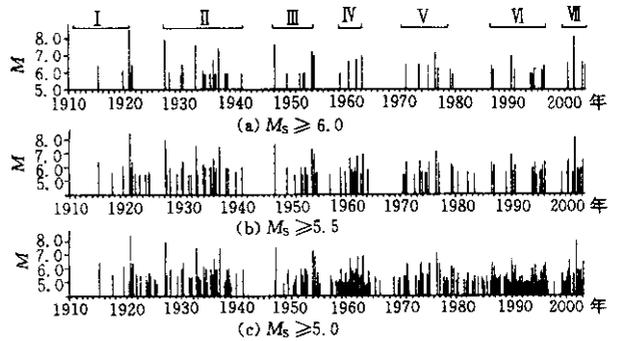


图1 青藏高原北部地区地震活动时间分布图

Fig. 1 $M-t$ chart for Northern region of Qinhai-Tibet plateau.

可以看出,76%的5.5级以上地震的时间间隔不超过6个月,处于不同的密集丛集段内。2002年9月以来本区中强以上地震活动的密集丛集现象突出,先后发生了2002年12月14日玉门5.9级、2003年4月17日德令哈6.6级及3次5.0~5.4级地震。这种特征及其进一步发展有利于该区继续发生中强以上地震,从而为民乐-山丹6.1级地震的预报提供了中短期依据。

1.2.2 甘青地区地震活动的关系

1900年以来青海西部、南部6级以上地震后,向北、向东迁移的可能性较大^①,其中1980年以来的迁移关系如表2所示。可以看出,青海西、南部发生6级以上地震后甘肃地区均有5级以上迁移地震发生;迁移的时间基本集中在1年以内,优势时段为震后5~10个月,迁移的空间以祁连山中东段为主,同时祁连西段、甘东南等区域均有呼应地震发生。2003年4月17日德令哈6.6级地震的发生为甘肃地区发生5级以上地震提供了中短期预报依据。

表2 青海西部、南部地区6级以上地震与甘肃地区的呼应关系

青海西部、南部地震			时间差/月	甘肃地区地震		
时间	地点	震级/ M		时间	地点	震级/ M
1983-11-06	唐古拉山	6.0	5	1984-04-14	武威	5.3
1986-08-21	唐古拉山	6.5	0	1986-08-26	门源	6.4
			5	1987-01-08	迭部	5.9
1988-11-05	唐古拉山	6.8	0	1988-11-22	肃南	5.7
1990-01-04	茫崖	6.7	9	1990-10-20	天祝	6.2
1990-04-26	共和	7.0	6			
1994-06-30	唐古拉山	6.3	13	1995-07-22	永登	5.8
1995-12-18	果洛	6.2	6	1996-06-06	天祝	5.4
2000-09-12	兴海	6.6	10	2001-07-11	肃南	5.3
2001-11-14	昆仑山口西	8.1	13	2002-12-14	玉门	5.9
2003-04-17	德林哈	6.6	6	2003-10-25	民乐	6.1

2 民乐-山丹6.1级地震前短期阶段地震活动及前兆异常

纵观民乐-山丹地震前短期阶段的地震活动及前兆异常场的表现,可以划分出四个不同的阶段。

2.1 第一阶段(6月19日~7月18日):中等地震有序迁移阶段

6月19日~7月18日期间,甘肃及边邻地区地震活动表现出了十分显著的异常。甘东南地区在多年地震活动水平低的基础上,6月19日发生了礼县震群,先后累计发生中小地震60余次,经分析属于前兆性震群,随后7月2日景泰发生 $M_s 4.4$ 地震、7月18日肃南发生 $M_s 4.6$ 级地震。整体上表现出由东往西有序迁移的特征。值得一提的是,10月5~10日类似的地震活动图像再次出现,意味着青藏块体东北缘地

区地震活动的有序性、整体性均在不断加强。

2.2 第二阶段(7月~9月):前兆异常成组同步活动阶段

在此阶段前兆观测出现了共计 18 个台项的异常变化,呈现出成组同步活动的态势。主要特征表现为:异常测项种类齐全,包括地电、应力、形变、水位、水氡等观测项目;空间上集中在祁连山中东段附近(6 台项)、甘东南地区(10 台项)及祁连西段地区(2 台项);时间上,7 月份出现了 4 台项的异常、8 月份 9 台项、9 月份 5 台项。主要异常点位包括兰州地电、平凉水位、宕昌水管仪、武都应变、酒泉水氡、兰州大滩水位、清水流量、武山 1 号泉水氡、22 号井水氡、武威地电、刘家峡应力、山丹地电、临夏地电、礼县流量、礼县水氡、肃南水管仪、武都应变、清水水氡等。异常的变化形态举例如图 2 所示。

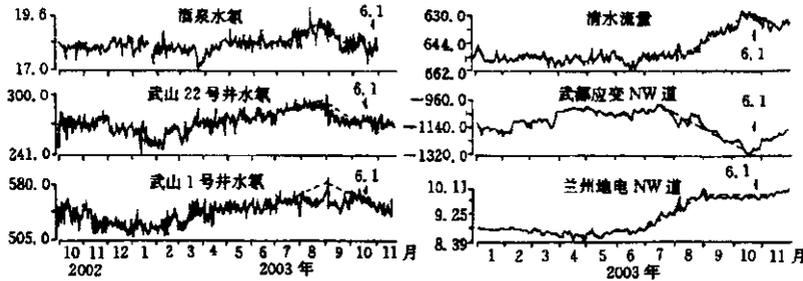


图 2 2003 年 7~9 月甘肃省群体前兆异常成组活动特征

Fig. 2 The examples of group precursor in Gansu prov. form June to July 2003.

2.3 第三阶段(8月19日~31日):具有较高映震效能前兆异常的同步出现阶段

武威地电、刘家峡应力、清水流量等是甘肃地区具有较高预报效能的前兆观测手段。8 月 19~31 日期间这几个前兆观测相对同步出现了显著的异常变化。

(1) 武威地电 8 月 28 日至 9 月 2 日期间观测曲线出现了类似于德令哈 6.6 级地震前的变化,8 月 28 日测值快速下降,至 9 月 2 日累计下降幅度达到 16.7%(见图 7(a))。

(2) 刘家峡应力 8 月 18 日~8 月 27 日期间,刘家峡应力两道观测曲线出现了类似于玉门地震前的各向异性变化。其中 EW 向 8 月 17 日开始转折上升,8 月 27 日加速上升,9 月 29 日发生转折回返;NS 向 8 月 21 日开始转折下降,10 月 2 日转折回返(图 3)。

(3) 清水流量 8 月初以来,清水流量在多年趋势下降的基础上出现了显著的上升变化,8 月 29 日起出现加速上升变化,异常十分显著(见图 7(c))。

2.4 第四阶段(10月初~地震发生):转折~突跳及部分宏观异常出现阶段

在此阶段,出现了多项前兆异常的转折变化及显著的地震活动,且出现了部分宏观异常现象。

(1) 部分前兆出现转折或突跳:主要包括武威地电、刘家峡应力、清水水氡、灵台水氡、临夏地电、礼县流量、礼县水氡、嘉峪关气氡等。如临夏地电 10 月 4 日快速下降,7 日达到最低点,然后回返,10 日前后基本恢复(图 4)。

(2) 地震活动的有序迁移及显著地震发生:10 月 5 日~10 日出现了类似于第一阶段的地震活动的有序迁移,10 月 5 日 6 点 56 分~7 点 31 分甘谷县连续发生三次地震,震级依次为 2.5、2.2、2.4;10 月 6 日在肃南发生一次 M_s 3.9 级地震(N38.85°,E100°);10 月 10 日在肃南再次

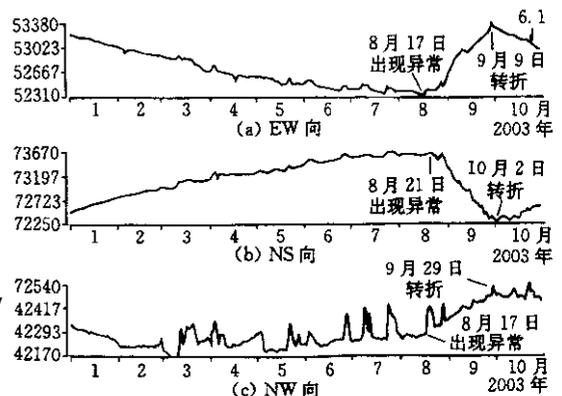


图 3 2003 年刘家峡应力变化曲线

Fig. 3 Curve of stress variation at Liujiaxia station in 2003.

发生 M_s 4.6 地震($N39.52^\circ, E98.25^\circ$) 表现出由东往西有序迁移的特征。

(3) 宏观异常现象的出现 据礼县地震局 10 月 22 日报告, 礼县自来水公司的水井突然上涨约 3 m, 原因不明。

4 民乐 - 山丹 6.1 级地震短期预报的科学决策

民乐地震的短临跟踪及决策, 是一个系统的科学问题, 最终的判定意见是在对地震活动场、前兆场以及历史地震活动特征综合分析的基础上得出的。

4.1 预报时间综合判定

根据多年来震情跟踪与地震预报工作的实践经验及有关结果^[3], 地震前的异常表现是十分复杂的, 通常表现为前兆异常的群体活动、地震孕育场的系统演化等。近年来, 祁连山地震带多次 5 级以上破坏性地震前短期阶段异常表现的共性特征可初步概括为: 局部地区地震活动的增强或有序迁移; 大范围群体前兆的成组同步异常; 部分具有较高应震效能的前兆异常或区域显著的地震事件的发生等。这几个方面的共性特征体现了短期阶段地震孕育演化中不同方面的表现, 为进一步开展震情跟踪和分析预报工作提供了初步的判据。沿着这一思路, 对 6~9 月期间的地震活动、群体前兆异常、重点前兆异常等进行综合分析, 判断短期内祁连山地震带, 尤其是中东段地区发生中强以上地震的可能性很大。主要依据如下:

4.1.1 局部地区地震活动增强或有序迁移。

地震活动增强是本区较为普遍的一种地震活动现象^[4], 1970 年以来的 31 次 5 级以上地震前出现增强的有 27 次。短期阶段地震活动增强具有两种表现形式: 一种为局部地区的地震活动增强, 且存在增强—转折发震和增强发震等形态。加速增强或转折是进入短期乃至临震的标志之一, 1986 年门源 6.4、1995 年永登 5.8、1996 年天祝 5.4、2000 年景泰 5.9、2001 年肃南 5.3 和 2003 年德令哈 6.6 级地震前均具有这种增强活动的特征。另一种是多个应力集中区相继出现地震活动的活跃, 表现出组合活动及有序迁移的态势。受青藏块体东北缘构造特征的制约, 这些应力集中区或有序迁移区包括祁连山中东段的古浪—门源地区、西海固地区、祁连中段的榆木山地区, 祁连西段的酒泉地区、甘东南的武都—松潘地区及禄曲—若尔盖地区等。一般地震前这些应力增强区中的部分或全部陆续出现地震活动的活跃, 整体上具有快速、有序的迁移图像, 是孕震系统进入短期阶段的标志之一, 1986 年门源 6.4、1995 年永登 5.8、1996 年天祝 5.4、2000 年景泰 5.9、2001 年肃南 5.3、2002 年玉门 5.9 和 2003 年德令哈 6.6 级地震前均具有这种增强活动的特征。

民乐 - 山丹地震前第一阶段地震活动增强及有序迁移现象的出现意味着祁连山地震带存在短期内发生中强以上地震的可能。

4.1.2 大范围群体前兆的成组同步异常

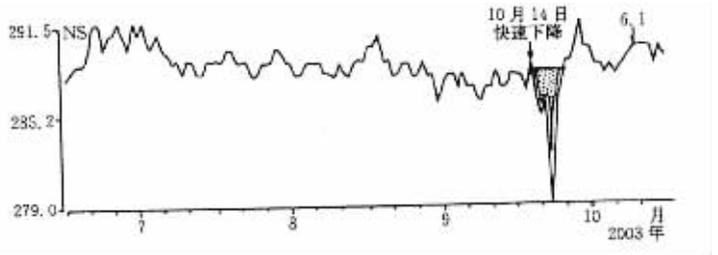


图4 临夏地电观测曲线

Fig. 4 Curve of geo-electricity at Linxia station.

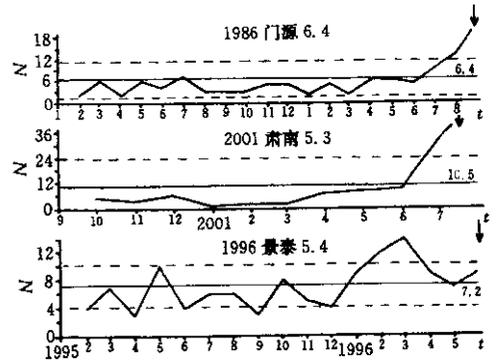


图5 祁连山地震带短期阶段地震活动增强现象

Fig. 5 Increasing activity of seismicity in short term in Qilian seismic region .

民乐 - 山丹地震前第一阶段地震活动增强及有序迁移现象的出现意味着祁连山地震带存在短期内发生中强以上地震的可能。

4.1.2 大范围群体前兆的成组同步异常

② 杨立明. 青藏高原北部地区地震活动短期前兆特征及其预测方法研究. "十五"科技攻关计划子专题报告, 2003.

甘肃及边邻地区强震前的前兆异常通常表现为群体前兆变化的成组同步活动^③[5],是本区强震前短期阶段的标志之一。1995 年永登 5.8、2000 年景泰 5.9、2001 年肃南 5.3 和 2003 年德令哈 6.6 级地震前短期阶段均出现过大范围群体前兆的成组同步异常现象(图 6(a)、(b))。2003 年 8 月前后,甘肃地区前兆台网观测到大范围的相对同步活动的前兆异常变化,其时间进程如图 6(c)所示,意味着祁连山地震带短期阶段存在发生中强以上地震的可能。

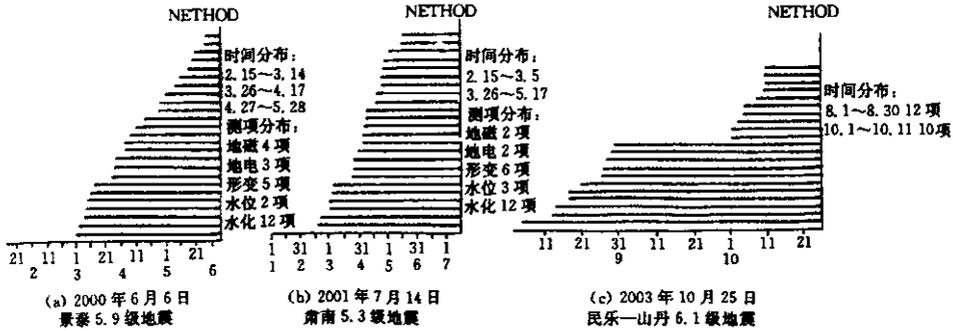


图 6 祁连山地震带群体前兆成组同步特征

Fig. 6 The feature of synchronous precursor in group in Qilian seismic region.

4.1.3 显著的地震事件

强震前出现显著的地震事件或显著的前兆异常是祁连山地震带地震前的一种较为普遍的现象。其显著地震震级一般在 M_s 3.6~4.5;空间上距离主震一般在 1 度以内;震级差在 1~2 级;时间上距主震一般在数天~3.5 个月之间。因而显著地震事件的出现是本区部分地震进入短期乃至临震的标志之一(表 3)。

2003 年 7 月 2 日景泰 M_s 4.4 地震、18 日肃南 M_s 4.6 地震具有显著地震的特征,意味着短期内祁连山地震带,尤其是中东段地区存在发生中强以上地震的可能性较大。

4.1.4 映震效果较高的前兆异常

震例研究结果表明,当甘肃及边邻地区映震效果较高的前兆异常,如武威地电、刘家峡应力、清水流量等观测项目出现异常,尤其是相对同步异常变化时,对区域强震具有短期或短临指示意义。

(1) 武威地电:在 1986 年门源 6.4 (图 7(a)),1990 年景泰 6.2、1995 年永登

表 3 祁连山地震带中强震前的显著地震统计

序号	地 震		显著地震		空间距 离/°	时间差	震级 差/ M
	年代	地点	震级/ M	震级/ M_s			
1	1984	天祝	5.3	3.8	0	4 天	1.5
2	1984	祁连	5.2	3.9	0	1 天	1.3
3	1988	肃南	5.3	3.7	0	50 天	1.6
4	1991	门源	5.2	3.9	0	7 月	1.3
5	1992	嘉峪关		3.6	0.5	1.5 月	1.8
6	1995	永登	5.8	2.4	0	7 月	3.4
7	1999	河南		3.8	0	21 天	1.3
8	2000	景泰	5.9		0.5	2 月	
9	2001	肃南	5.3	4.2		15 天内	0.9
10	2002	玉门	5.9	3.7		3.5 月	2.1
11	2003	德令哈	6.6	4.0		12 天	1.9
						3 月	

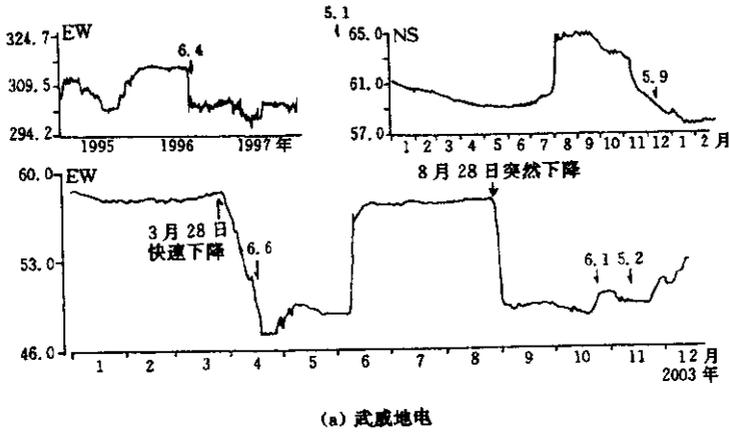
5.8、1996 年天祝 5.4、2000 年景泰 5.9(图 7(a))、2001 年肃南 5.3、2002 年玉门 5.9 和 2003 年德令哈 6.6 级地震(图 7(a))前均有较好的异常显示。武威地电的变化形态比较典型的有三种,即剧烈变化性、缓变型、异常不明型。在距离武威较近的祁连山地震带中东段及中段地区(景泰-托莱地区),异常表现为剧变型,对应的地震以短期或短临为主;在距离较远的祁连山西段张掖-肃南地区(托莱以西)、东段西海固地区(景泰以东)、南面的共和地区等异常变化为缓变型或剧变型,对应的地震以短期阶段为主;距离更远的青海西南部地区 6 级以上地震前一般没有异常出现。

③ 甘肃省地震局分析预报中心前兆组. 甘肃省前兆观测异常与中强地震的总结. 2002.

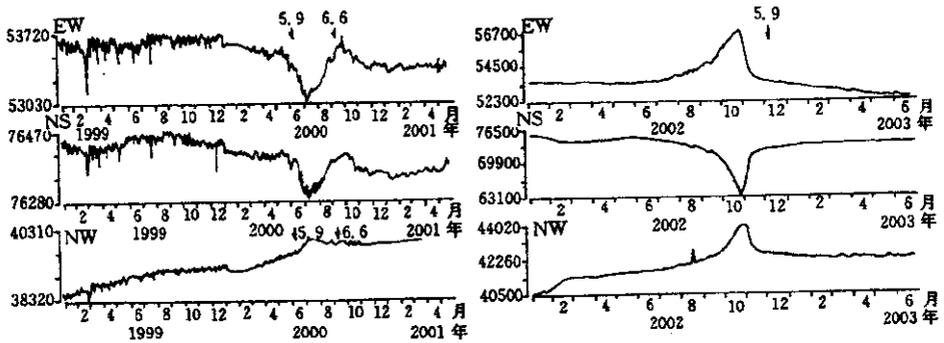
(2) 刘家峡应力:该测项在1986年门源6.4、1990年景泰6.2、1995年永登5.8、1996年天祝5.4、2000年景泰5.9(图7(b))和2002年玉门5.9级地震(图7(b))前具有较好的异常显示。

(3) 清水流量:该测项具有阶段性变化的特点,转换位置常常发生5级以上地震。1990年景泰6.2、1995年永登5.8、1996年天祝5.4、和2000年景泰5.9级地震是在类似的变化过程中发生的(图7(c))。

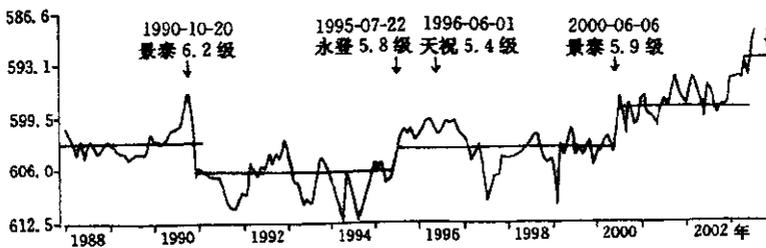
8月19~31日,对本区地震短期预报具有较高预报效能的刘家峡应力、武威地电、清水流量等相继出现了大幅快速异常变化。其中武威地电的异常形态为剧变型(图7(a)),刘家峡应力为各向异性变化(图3),而清水流量则呈现出阶段性变化的特征(图7(c))。根据以往震例总结,武威地电、刘家峡应力、清水流量等异常相对同步出现后,祁连山地震带短期内发生强震的可能性很大。



(a) 武威地电



(b) 刘家峡应力



(c) 清水流量

图7 几个具有较高映震能力的前兆异常

Fig.7 Some precursor anomalies with higher reflecting earthquake ability.

4.2 预报地点综合判定

综合判定祁连山地震带中东段是发震可能性最大的地区。主要依据如下：

4.2.1 祁连山地震带强震迁移特征

据研究^④,1900 年以来祁连~海原地震带地震活动具有由东向西,然后由西向东有序迁移的特征。2000 年景泰 5.9 级、2001 年肃南 5.3 级、2002 年玉门 5.9 级等地震具有逐步由东向西迁移的特征,下次地震活动折返向东的可能性较大。因而玉门 5.9 级地震后祁连山地震带下次地震发生在中段或中东段的可能性较大。

4.2.2 德令哈地震的响应

2003 年 4 月 17 日德令哈 6.6 级地震后 4 月 18 日在张掖东北发生了一次 M_s 3.3 地震 4 月 19 日再次发生一次 M_s 3.0 地震,表现出受德令哈地震的影响快速呼应的特点。从构造分析的角度来看,德令哈地震发生在祁连山南部柴达木盆地北缘断裂带,与北祁连山构造带在深部合并到一个主干断裂带上,形成类似于“花状”构造^[8],地震活动的快速呼应恰好反映了这种构造特点。根据强震后快速呼应地震对未来强震的指示意义,该次响应地震及附近地区是未来强震危险性较高的地区。实际上,该次地震与 10 月 25 日民乐-山丹 6.1 级地震相距 109 km。

4.2.3 地震空区

本次 6.1 级地震前,祁连山中东段地区存在 2 级和 3 级地震空区,其中 2 级地震空区形成时间为 2002 年 4 月 29 日~2003 年 6 月 14 日,围空时间为 14.5 个月,空区长轴 NWW 向,长 120 km 3 级地震空区形成时间为 1996 年 7 月 28 日~2003 年 6 月 14 日,围空时间为 7 年,空区长轴 NW 向,长 160 km。民乐-山丹地震就发生在空区内部(图 8)。

4.2.4 地震条带

2003 年 1 月~10 月 24 日 M_L 4 以上地震形成两条地震条带,其中一条呈北西向,沿祁连山地震带分布;另一条沿北东向分布。两组条带在张掖及附近地区交汇,交汇区及附近地区未来发生强震的可能性较大。实际上民乐-山丹 6.1 级地震就发生在交汇区附近(图 9)。

4.2.5 综合前兆

2003 年 7~9 月甘肃及边邻地区出现的多项相对同步的前兆异常及其分布(祁连山中东段附近地区 6 台项、甘东南及周边地区 10 台项、祁连西段地区 2 台项)意味着未来地震发生在甘东南及周边、祁连山中东段等区域的可能性较大。

4.2.6 重点前兆

武威地电的剧变型对应的地震一般分布祁连山地震带的景泰-托莱一带 2003 年 8 月底出现的武威地电异常属于典型的剧变型,因而未来地震发生在祁连山中东段-中段的可能性较大。

4.3 预报强度综合判定

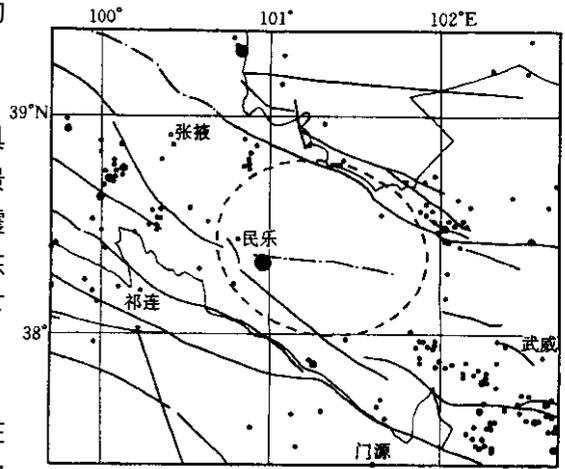


图 8 祁连山中东段 2 级地震空区 (2002-04-29 ~ 2003-06-14)

Fig. 8 The seismic gap for $M_s > 2$ in middle-eastern section of Qilianshan seismic region (2002-04-29 ~ 2003-06-14).

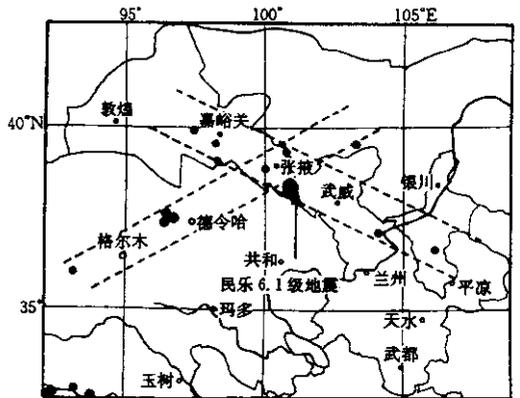


图 9 民乐-山丹地震前的地震条带 (2003-01 ~ 10-24, M_L 4.0 ~ 6.0)

Fig. 9 The seismic strips before Minle-Shandan earthquake (2003-01 ~ 10-24, M_L 4.0 ~ 6.0).

④ 甘肃省地震局. 1998 年度甘肃省震情趋势研究报告. 1998.

根据祁连山地震带历史地震强度特点、蠕变积累等综合判定未来地震的强度为6级左右的可能性较大。主要依据如下:

4.3.1 历史地震活动强度特征

祁连山地震带是我国强震和中强震活动的主要地区之一,历史上地震频次高,强度大,发生6级左右地震的可能性较大。

4.3.2 祁连山地震带蠕变积累

祁连山地震带的蠕变曲线表明,1995以后处于应变积累阶段,具有发生6级以上地震的能量积累(图10)。

4.3.3 地震空区的计算结果

前以及祁连山中东段存在2级和3级地震空区,根据统计公式 $M_s = 3.69 \log L - 1.71 \pm 0.47$, 计算出3级地震空区对应主震震级为 6.4 ± 0.5 ; 2级地震空区对应主震震级为 5.9 ± 0.5 。综合认为未来强震的震级在6级左右。

4.4 预报结论

9月底~10月初地震形势发展很快,地震活动及前兆异常均出现了部分新的变化。在前期判定工作的基础上,根据10月初显著的地震活动事件及多项前兆异常的转折变化等,甘肃省地震局10月10日紧急震情会商会结论认为:预期地震在未来2月发生的可能性较大。主要依据为(1)9月底~10月初成组前兆出现转折、突跳等变化,意味着强震的危险性在进一步逼近;(2)10月5~10日出现了类似于第一阶段的地震活动的有序迁移,意味着青藏块体东北缘地区地震活动的整体性、有序性在进一步增强。

5 民乐-山丹6.1级地震短期预报中有关问题的思考和讨论

短临跟踪及进一步预测意见的提出是一项系统的科学问题,有效的跟踪及判定取决于合理的思路、充足的资料、不断完善的判据等。在民乐-山丹地震的短临跟踪及分析预报过程中,有关跟踪思路、判定方法、异常确认、判定意见的提出等问题始终是贯穿整个过程的核心问题。

(1) 预报思路的讨论

众所周知,地震前的异常表现是十分复杂的,经常表现为各种前兆异常的群体活动,如何综合这些异常现象则是一个值得深入探讨的问题。综合不是简单的罗列和叠加,合理的综合应该是立足于区域构造,从过程、演化、系统的角度,将复杂多变的地震活动、前兆异常、宏观现象置于区域构造框架内,从群体异常变化时间的阶段性和配套性、空间的协调性及可能的物理关联的角度进行综合。因此综合的过程首先是一个逻辑思维的过程,是一个将丰富而有复杂多样的多种观测结果进行提炼、合并、归纳的过程,是一种基于物理思想的综合。

(2) 预报方法的讨论

祁连山地震带多次5级以上地震前短期阶段异常表现的共性特征是本次民乐-山丹地震预报重要的基础和依据,地震的发生证实了这些依据和共性特征的实用价值。因而在开展地震预报实践中需要不断提炼、完善具有区域特点的地震活动及前兆异常的共性特征和区域差异性,并在此基础上发展相应的预报方法和指标,其中重点异常的提取和识别是一项十分重要的工作。

(3) 预报中的难点讨论

地点判定一直是祁连山地震带地震预报中最困难的问题。多次中强以上地震前的前兆异常出现在整个祁连山地震带,甚至整个青藏块体东北缘。民乐-山丹地震前的异常范围就包括了祁连山中东段、西段、甘东南地区,而显著地震活动是从甘东南到祁连山中西段的大范围有序迁移。如何判定危险地点仍然是一个需要不断研究探索的问题。同样,震后趋势判定也是一个难题。

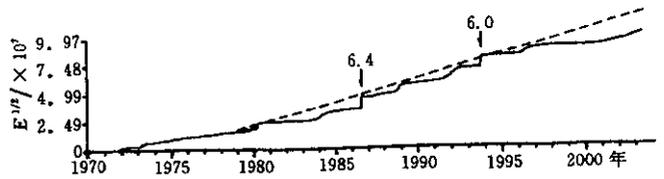


图10 祁连山地震带蠕变曲线(1970~2003-09-31, $M_L 4.0 \sim 6.9$)

Fig. 10 Curve of creep in Qilian seismic region (1970 ~ 2003-09-31, $M_L 4.0 \sim 6.9$).

(4) 本次地震带来的新问题

根据以往的多项研究结果^[6,7],祁连山地震带地震活动一般表现为主震 - 余震型,且具有余震不发育,衰减快,主震与余震差较大等特点。本次地震突破了以上结论,在很短的时间内发生了 6.1 级和 5.8 级地震,是双震型;且余震丰富,先后发生余震 500 多次。因而民乐 - 山丹地震的发生为祁连山地震带的震型判定、余震分析带来了新的问题。

民乐 - 山丹地震的短期预报及跟踪工作是在中国地震局监测预报司、中国地震局分析预报中心的指导和协助下,在甘肃省地震局党组领导下开展的,在实施短临

跟踪工作的过程中,中国地震局第二形变测量中心、青海、宁夏、四川、云南等省(区)地震局和甘肃省各市(州、地)地震局给予了极大的支持,在此一并表示衷心的感谢!

(张元生、李晓峰、刘小凤、董治平、燕明芝、郑卫平、张煜、张苏平、梅秀萍等参加了部分工作)

表 4 地震三要素综合判定依据

三要素	时间	空间	强度
判定结果	2003-09-20 日 ~ 12-20	祁连山中东段	6 级左右
主 要 判 定 依 据	1、群体前兆的成组同步活动 短期	1、祁连山地震带强震迁移特征 :中东段	1、历史地震强度特征 δ
	2、具有较高映震效能的显著前兆异常 短期、短临	2、德令哈地震后的响应地震 张掖附近	2、蠕变积累 δ 级左右
	3、显著地震活动事件及其有序迁移 :短期、短临	3、空区 :中东段 4、条带 :中东段 5、显著地震 :中东段、中段 6、前兆异常的空间分布 :甘东南、中东段 7、显著前兆异常形态 :景泰 - 托莱	3、空区 δ 级左右

[参考文献]

[1] 闵祥仪,姚凯,何新社. 2003 年 10 月 25 日甘肃省民乐 - 山丹 M_s 6.1 地震强震近场记录和分析 [J]. 西北地震学报, 2003, 25(4) : 289 - 292.

[2] 杨立明,肖丽珠,张小美,等. 青藏高原北部地区地震活动形势及其与中国大陆地区地震活动的关系研究 [J]. 西北地震学报, 2001, 23(3) : 243 - 249.

[3] 赵和云,钱家栋,夏玉胜,等. 甘肃、宁夏和青海地区地震前兆的某些特征 [J]. 西北地震学报, 1997, 17(3) : 1 - 10.

[4] 程建武. 地震活动增强现象与时间破裂模型研究 [D]. 硕士论文, 2001.

[5] 毛可,孙景芳,张国英,等. 1995 年 7 月 22 日甘肃永登 5.8 级地震前兆异常的研究 [J]. 高原地震, 1995, 7(4) : 31 - 42.

[6] 杨立明,王振亚,程建武,等. 祁连 - 海原地震带中强地震序列类型分布及其应用 [J]. 西北地震学报, 2001, 23(2) : 137 - 141.

[7] 陈玉华,马文静,张敏. 青海东北部中强地震序列类型及特征研究 [J]. 内陆地震, 2000, 14(4) : 330 - 338.

[8] 袁道阳. 青藏高原东北缘晚新生代以来的构造变形特征与时空演化 [D]. 博士论文, 2003.

SCIENTIFIC SUMMARIZATION OF SHORT TERM PREDICT TO MINLE - SHANDAN M_s 6.1 EARTHQUAKE

YANG Lim-ing, WANG lan-min

(Seismological Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000 China)

Abstract :The seismic environment, seismic background in middle - short term and integrative characters of anomalies in short term in the seismogenic process of Minle - Shandan earthquake are summarized systematically. On the base of common features of precursors in short term before middle-strong earthquake in Qilian seismic belt, the main evidences and scientific judgement to short term prediction are expatiated. Meanwhile, the method, difficulty and perplexed problems associated with the judgment are discussed.

Key word :Minle earthquake with M_s 6.1 ; Short term prediction ; Scientific summarization