

2008年新疆和静5.3级地震异常特征 及短临跟踪回顾分析

李莹甄, 聂晓红, 王在华, 杨晓芳, 蒋靖祥, 王 琼

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:2008年8月30日新疆和静发生5.3级地震,位于新疆年度地震危险区内。震前由本文作者组成的南天山东段6级地震危险区短临跟踪小组于2008年6月中旬提出了短临预报意见。本文回顾了这次地震前开展的短临跟踪的工作思路、前兆异常的分析讨论及地震短期预测等,并对地震短临跟踪预报工作做一些探讨。

关键词:和静5.3级地震;地震短临跟踪;地震预测;前兆异常

中图分类号:P315.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0844(2010)04-0381-07

Retrospective Analysis on Short-term Tracing and Prediction before Hejing M_s 5.6 Earthquake in Xinjiang in 2008

LI Ying-zhen, NIE Xiao-hong, WANG Zai-hua, YANG Xiao-fang, JIANG Jing-xiang, WANG Qiong

(Arthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

Abstract:The Hejing M_s 5.6 earthquake occurred on Aug. 30, 2008, located in an annual seismic risk region in Xinjiang Uygur Autonomous Region. A group formed by authors for tracing and predicting short-term earthquakes in the east wing of South Tianshan had proposed a short-term prediction in middle of June before the earthquake. In this paper, the work thinking, analysis of anomalous precursors and process of short-term prediction before the event are retrospectively analyzed. Some discussion for short-term earthquake tracing and prediction are also presented.

Key words: Hejing M_s 5.6 earthquake; Short-term tracing and prediction of earthquakes; Earthquake prediction; Precursor anomaly

0 引言

在2008年1月初召开的全国地震趋势会商会上,新疆天山与西昆仑交汇地区(即乌恰交汇区)被判定为年度6~7级强震危险区;南天山东段库车—库尔勒地区被判定为6级强震危险区。危险区预测意见发布后,新疆地震局专门成立了两个地震重点危险区短临跟踪小组,以工作专题的形式对危险区实施短临跟踪分析及预报。通过与相关专家的深入讨论,跟踪组最后明确了危险区专题工作思路,主要有:①开展基础性的研究工作,对危险区地质构造及应力环境,历史地震活动规律和前兆异常特征进行

分析,为本年度前兆异常判定和短临预报打下坚实基础;②对年度危险区判定依据做深入分析论证,进一步明确年内强震危险性以指导短临预报;③密切跟踪区域和危险区地震活动性和前兆资料的异常变化,实时做出明确的形势判断与预测,透过周、月会商和突发震情的临时会商、紧急会商及时提出预测意见,为新疆地震局预报中心短临预报提供决策依据。

在上述工作思路引导下,2008年2月初两个跟踪组正式开始运作,对危险区开展了大量的深入分

收稿日期:2009-04-29

基金项目:中国地震局监测预报司地震短临跟踪专项经费和“十一五”科技支撑计划子专题(2006BAC01B03-04-02)

作者简介:李莹甄(1968-),女(汉族),甘肃武威人,副研究员,主要从事地震活动性分析预报研究工作。

析和研究,在8月30日和静5.3级地震和10月5日乌恰6.8级地震前提出了较为明确的短临预报意见。本文主要回顾分析跟踪组在和静5.3级地震前开展的一系列震情判定工作,力求客观反映震前的工作状态。

1 基础性工作

主要包括对危险区及相关构造区应力环境,地震类型,地震活动规律和前兆异常特征的分析。

(1) 通过搜集地质构造资料、GPS观测资料、历史中强地震震源机制解等,明确危险区应力状态,构造运动属性,强震破裂方式等;采用地震构造应变能积累阶段研究方法^[1]对危险区及附近当前的地震危险性做出较为明确的判断。分析认为危险区地处库车坳陷逆冲系统和库尔勒转换构造带^[2],具备发生中强地震应变能积累水平。

(2) 在新疆地震监测能力与地震目录完整性分析的基础上^[3],确定地震活动性分析时的合理下限震级;对危险区4级以上地震的序列类型、强余震的时空分布特征进行研究;分析认为危险区及其附近以水平压应力为主,中强地震主要为走滑和逆冲型^[4],地震序列类型多样,主余型和孤立型地震较多。

(3) 基于地震活动时间分布特征的应变能积累一释放、复发周期及中强震成组活动等分析,对危险区中强震活动状态与水平进行科学判定。分析认为危险区为历史强震活动区,1949年库车7级地震后以5级地震活动为主,中强地震成组性较好;2008年南天山东段仍将持续1999年以来应变积累状态,发生6级以上地震的可能性不大,但在应力积累状态下有发生5级地震的可能。

(4) 危险区中强地震震例研究。选取危险区内及周围1970年以来的5级以上震例,在《中国震例》、“十五”和“十一五”地震科技攻关研究成果的基础上,对震前出现的中期、中短期和短临异常进行整理与研究,提取出映震能力较好的前兆异常。分析认为地震学参数时间进程、地震空区和条带、地震波参数尾波持续时间比和振幅比、4级地震增强和平静等为危险区附近主要的地震学异常,短临跟踪中应密切关注上述参数、图像变化。危险区短临跟踪要对黑孜尔定点水准、库尔勒形变应力应变、危险区附近流动重力、乌鲁木齐水化学异常给予高度重视,对北天山形变异常也要给予关注。

2 危险区前兆异常短临跟踪分析过程

2.1 地震活动性异常跟踪判定

和静地震前在南天山东段危险区附近归纳起来大致有9类比较突出的地震活动异常,由于篇幅所限,仅对其中3次异常做简要分析,其他异常与相应的分析意见列于表1中。

2.1.1 天山中部4级地震增强、平静

2003年石河子5.4级地震后在天山中段4级地震集中分布,库车以东地区地震平静,危险区跨越增强区与平静区(图1)。

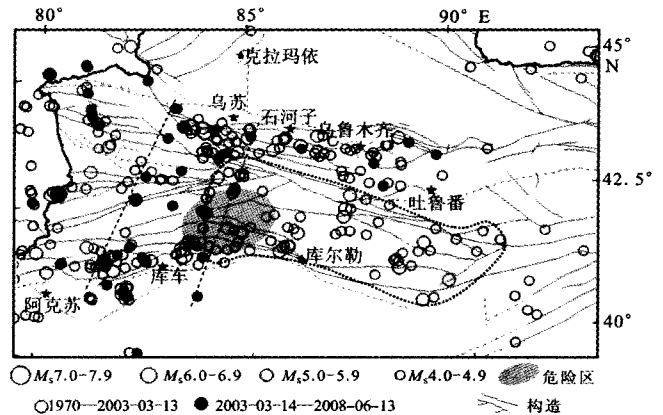


图1 南天山东段地震危险区附近4级地震增强区与平静区分布

Fig. 1 Distribution of the intensified and calm areas with respect to $M_s 4$ earthquakes in the risk region of east wing of South Tianshan.

4级地震增强区已发生2006年乌苏5.1级和2007年特克斯5.7级地震,5.7级地震后增强区内仍有4级地震活动,2008年3-6月又出现3级以上地震条带,地震空区等异常,危险区增强区一侧5级地震背景突出。

自2003年3月13日以来,库车以东的大片地区未发生4级以上地震,平静时长达2 008天,创历史新高,处于显著平静状态。1970年以来大于600天的4级地震平静,有一半为5级地震直接打破。4级地震平静打破后1年内平静区内及周边都发生了5级地震。2008年5级地震直接打破4级地震平静的可能性较大。

2.1.2 小震条带

特克斯地震后在危险区附近出现3级地震空区,2008年3月以来又出现3级地震条带(图2(a))。据中国震例统计:南天山危险区附近42%的震例前出现地震空区或条带。

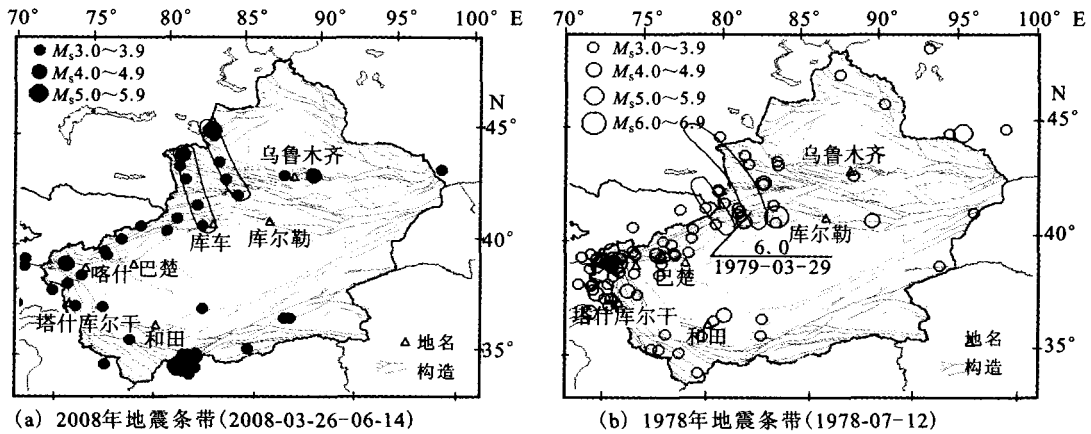


图2 天山中部3级地震条带与1979年库车6级地震前条带比较

Fig. 2 Comparison between the seismic bands ($M_s 3.0$) in Mid-Tianshan and the bands before the Kuche $M_s 6$ earthquake in 1979.

表1 和静地震前南天山东段危险区及附近部分地震活动性异常与分析意见一览表

编号	异常项	异常特征	异常类别与信度	分析意见
1	2007年特克斯5.7级地震影响	震区附近属于库仑引力 ^[6] 加载区	背景异常	特克斯地震对南天山东段危险区中强地震将起一定的触发作用。
2	2008年上半年北天山4级地震显著增强	达到1970年以来4级地震活动半年新高,2008年6月单月频次也创历史新高	中短期异常;对应地震增强区以5级地震为主,而在新疆地震活动显著平静地区则发生6级以上地震(对应率99%);5个月内危险区地震概率达到83%。	危险区6-9月有发生5级地震的危险,6-10月乌恰交汇区有发生6级以上地震的危险
3	温泉地震窗口异常	2008年5月以温泉台为中心,台站S-P≤10s以内的 $M_L 1.0$ 以上小地震月频次出现超线异常。	短期异常;温泉地震窗1993年以来在4个月内对应周围(300km以内)5.1级以上地震的异常对应率为56%	判定9月底前温泉台以东300km内有可能发生5.1级以上地震。
4	总体状态参量 R_t ^[8-9]	南天山东段($M_s 3.0$ 以上) R_t 时序曲线,2008年上半年3级以上地震活动偏离背景活动,处于不稳定状态	中短期异常;异常对应率在60%	南天山东段存在发生5~6级地震的可能。
5	天山中部中小地震破裂方式的变化	2007年11月~2008年7月,天山中部出现正断型地震集中区	中期异常;对比该区以逆冲和走滑为主的破裂情形,显示天山中部受张性垂直作用力较强	区域应力作用方式存在一定异常。
6	地震学参数时间进程异常	η 值、频度 N 、缺震、 S 值异常开始于2007年下半年,以持续低于或高于0.5倍均方差半年以上为异常特征	背景异常,多数参数异常通过 R 值检验	危险区异常背景显著

据地震空间图像扫描,2008年3-6月形成的3级地震双条带极为少见。仅在1979年3月29日库车6级地震前出现,具有一定前兆信息(图2(b))。两条平行条带中最西侧的条带与南天山西段3级地震活动基本连为一体,起到阻止小震继续向东破裂的作用,东侧条带两侧3级地震大范围平静,条带端部(危险区附近)是可能的震源位置。因此判定东侧条带端部危险性较大。

2.1.3 3级地震空区与振幅比异常

上世纪90年代以来新疆地震局坚持利用单台地震波运动学和动力学参数进行震情跟踪分析,振幅比是分析参数之一。按照冯德益量取振幅比的方

法^[6],天山中段从2002年起陆续改用单台数字地震波振幅比进行分析。2007年特克斯地震后在震中附近形成3级地震空区,空区内振幅比值较低(库车台记录)(图3),这一低值开始于2007年特克斯5.7级地震后(此前这一地区振幅比值高低混杂)。特克斯地震前在震中西北区域出现大面积的低值异常,震后低值区消失。比照特克斯地震前的异常^[7],3级地震空区与振幅比低值区内或边缘存在发生5级地震的可能。

2.1.4 地震活动异常综合分析

图4给出了危险区周围部分地震学异常项目的时间进程,在6月之前发现趋势异常2项,中短期异

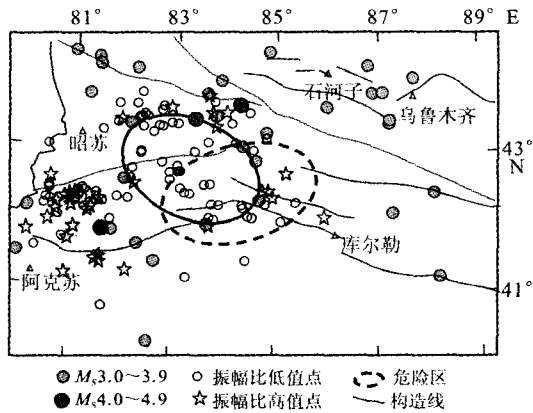


图3 3级地震空区与库车台振幅比空间异常分布

Fig. 3 The areas where anomalous amplitude ratio appeared and the seismic gap of $M_{5.3}$.

常12项(图4虚框内),异常出现较为集中的时间段为2007年6月—2008年8月,2008年8月是异常恢复或出现短期异常较为集中的月份,因而和静地震前危险区周围地震学趋势和短期异常是较为丰富的,这为我们捕捉这次地震提供了很好的条件。

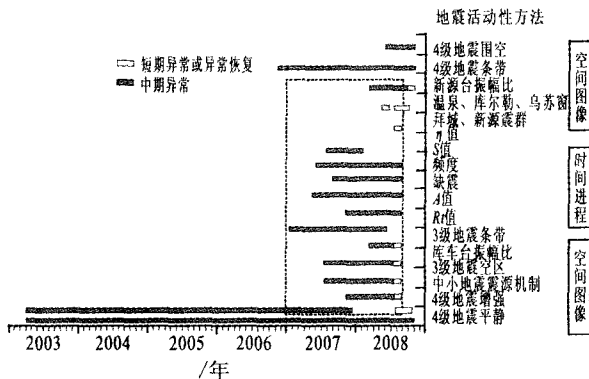


图4 危险区周围地震学异常时间进程

Fig. 4 The course of seismic anomalies around the risk region.

2.2 前兆异常时空跟踪分析

张国民等对华北地区强震的前兆异常的时空分布研究^[10]认为,前兆中、短、临三阶段异常划分为明显,中期阶段异常从震中向外围扩展,短期阶段异常在较大范围内大体同时出现,临震阶段异常自外围向震中收缩。杨又陵等对新疆中强以上地震前的前兆群体异常特征研究^[11]认为,在缺少近场资料时强震多发生在群体异常的峰值前后。新疆的地震前兆台网数量稀疏,分布也不均匀,主要分布在北天山一线,南天山东段附近测点少,测项也不多,这对于危险区地震短临跟踪相当不利。但据《中国震例》,南天山东段相当一部分震例记载了震前北天山的前

兆异常,这为利用北天山的前兆资料进行危险区地震预报提供了条件。

图5显示围绕危险区不同距离上的前兆台网分布,其中距离危险区200~300 km内有10个前兆测点13个测项;300~400 km内有11个测点24个测项,测点测项较多。地下流体和水化学在200~300 km内有4个测点,7个测项;300~400 km内6个测点15个测项,测点测项较多。可见前兆台网主要集中在危险区北天山一侧200~400 km的范围内,而危险区内前兆测点测项都很少。

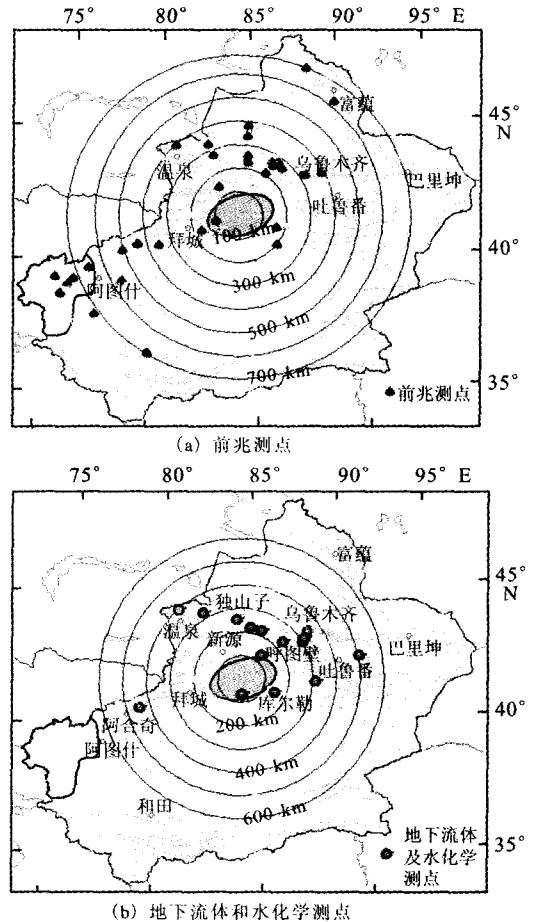


图5 危险区600 km范围内前兆和地下流体、水化学测点分布

Fig. 5 Distribution of precursor stations and underground fluid stations in a range of 600 km from the risk region.

跟踪组对北天山和南天山东段前兆异常进行了认真的排查和梳理,并仔细分析其时空分布特征。图6为围绕危险区周围前兆异常时间进程图,2006—2008年4月前兆异常由外围向危险区附近迁移收缩的现象较为明显,2008年3—6月危险区附近230 km范围内短期异常较为突出。

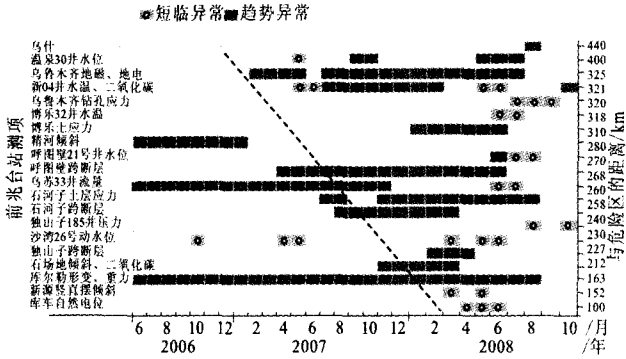


图 6 危险区周围前兆异常测项时间进程

Fig. 6 The course of anomalous precursors appeared in neighboring areas of the risk region.

由图 7 分析 2008 年 7 月前危险区周围异常比例。异常主要集中在 300 km 范围内,其中以 200~300 km 最为突出,异常占整个测项的 60%。综合以上前兆异常分析,跟踪组认为 2008 年 7~9 月危险区有发生 5 级以上地震的可能,发震地点应向危险区北天山一侧靠拢。

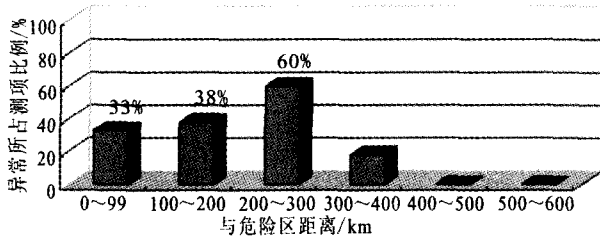


图 7 和静地震前危险区附近前兆异常比例分布

Fig. 7 Proportions of the number of anomalous precursors appeared before the Hejing earthquake in different distants to the risk region.

通过上述分析得出以下判断:(1)综合南天山东段危险区附近两大构造单元的应变能积累阶段及地震危险性,判定危险区近几年震级上限为 6.0~6.5 级左右;(2)根据南天山东段中强地震活动的成组性、4 级地震与中强地震的发生关系以及 4 级地震活动的特点(在增强区还是在平静区活动)综合判断本年度可能发生的地震震级在 5.0~5.5 级,发生 6 级地震的可能性不大;(3)2008 年南天山东段危险区附近地震活动较为平静,但与之相邻的北天山地震活跃,4 级地震集中活动区、3 级地震条带和空区、振幅比空间异常区主要分布在危险区以西和北天山一侧;南天山东段前兆短期异常不明显,而距危险区中心 200~400 km 北天山一侧前兆短期异常丰富,据此认为危险区西北部靠近北天山一侧为震中的可能性较大,但地震不应该脱离危险区。新疆于田 7.4

级和四川汶川 8 级地震发生后(特别是 6 月)天山中段 4 级地震出现非常显著的持续增强活动,北天山地区前兆群体短期异常明显,发生中强地震的迫切性显见。2008 年 6 月 13 日跟踪组向新疆地震局预报中心填报短期预报卡提出短临预测意见,认为在 2008 年 6 月 14 日至 2008 年 9 月 14 日间,以危险区内北纬 42.87°,东经 83.70°为中心,半径 150 km 范围内有发生 5~6 级地震的危险。

2.3 震前 2 个月前兆异常的短期和临震变化

地震预报做出后,我们继续密切跟踪震情变化,6 月下旬至 8 月地震活动和前兆资料出现新的异常变化。地震学方面出现了震群、3 级地震空段、危险区附近窗口异常,而 3 级地震条带和空区或发散或打破,振幅比低异常区出现高值突跳,中小地震破裂方式出现恢复迹象。前兆方面,呼图壁 21 号井模拟水位、乌鲁木齐土层应变、库尔勒台伸缩仪和独山子 185 井压力出现短临变化,更加大了中强地震发震的可能性。

2008 年 7 月 24 日—8 月 1 日在南天山东段地震活动平静的背景下拜城出现 4 级震群活动,这也是 2008 年南天山东段发生的第一个 4 级地震,与这个震群呼应的还有新源 3 级小震群活动,因此震群活动引起我们的高度关注。

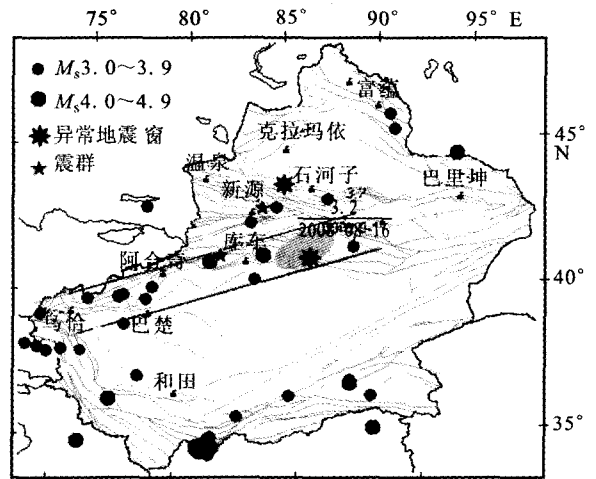


图 8 新疆 3 级以上地震分布 (2008 年 7 月至 8 月 29 日)

Fig. 8 Distribution of earthquakes ($\geq M_s 3$) in Xinjiang (2008-07-08-29).

7 月南天山 3 级地震出现新的活跃,2008 年 8 月 16 日南天山东段 4 级地震平静区域出现 3 级地震活动,8 月 22 日库车再次发生 4.5 级,这组活动在危险区附近形成空段(图 8),进一步显现出震源的可能位置。

库尔勒窗7月,乌苏窗7-8月持续异常。库尔勒窗2000年以来仅2次(包括这次)乌苏窗在最近几次5级以上地震前3个月也有较好的反映。上述窗口的异常进一步增强了南天山东段的发展的可能性。

8月南天山东段80°经线以东地区中小地震震源破裂方式由张性正断破裂开始转为走滑型(图9),应力作用方式有恢复背景状态迹象。

6月18日呼图壁发生4.3级地震,呼图壁21号井模拟水位出现震后突升现象(图10(a))。2008年7月14日-8月9日乌鲁木齐土层应变(图10(b))NW向张性变化达历史最大值。库尔勒台伸缩仪EW向2008年5月开始出现不稳定变化,并持续至8月,形变速率在8月出现显著不稳定波动(图

10(c)),这套资料不稳定变化在2007年7月20日特克斯5.7级地震前后表现同样突出,也成为2008年危险区附近最为突出的前兆异常之一。8月北天山独山子185井压力出现井喷现象(图10(d))。

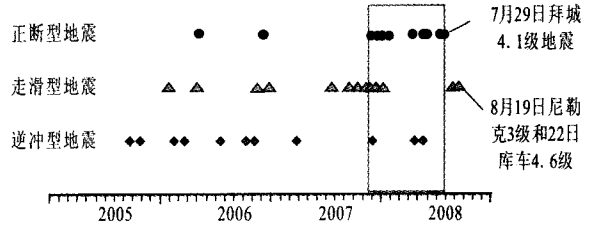


图9 2005年以来天山中东段(80°以东)中小地震震源机制随时间变化

Fig. 9 Focal mechanism solutions of small-mid earthquakes since 2005 in east and Mid Tianshan (east to 80°).

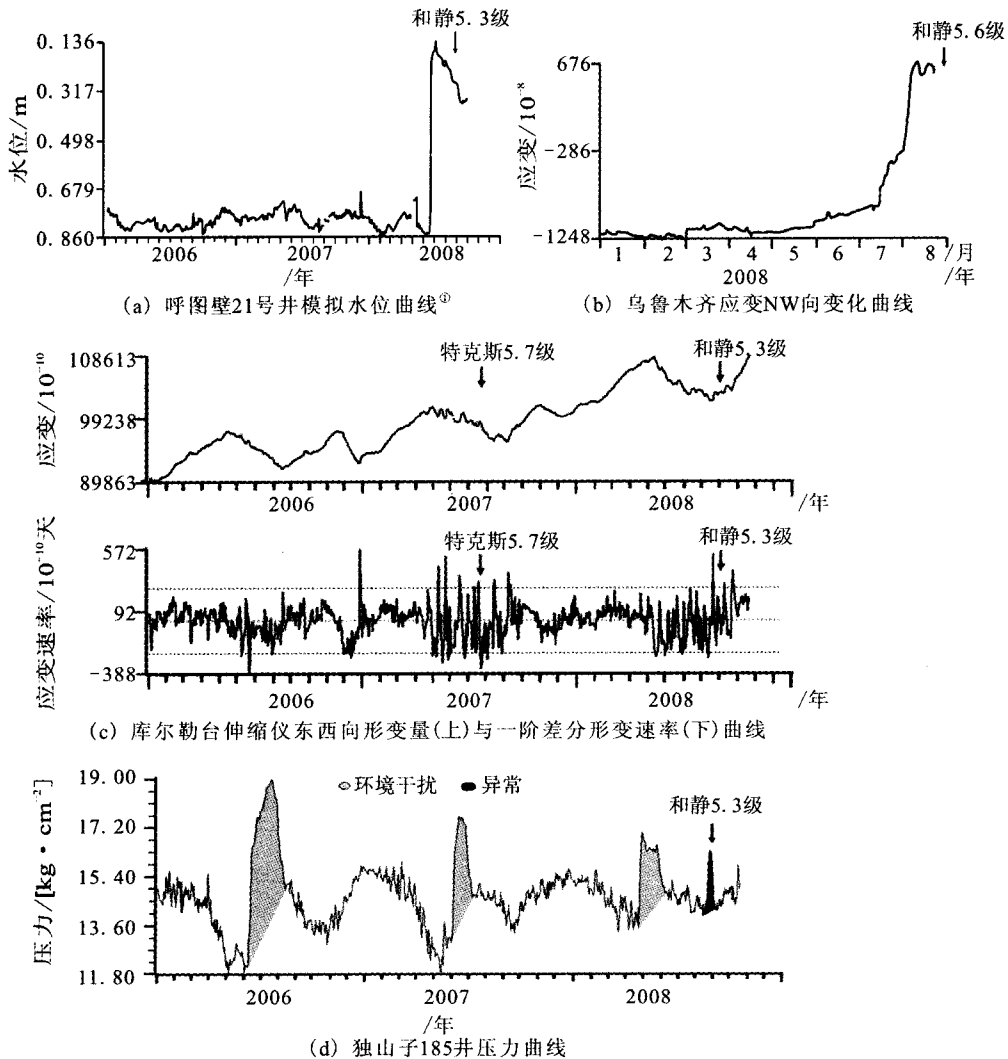


图10 一些典型的短临前兆异常

Fig. 10 Some typical short-term precursor anomalies.

① 新疆地震局预报中心综合室. 2008年地震会商资料汇总. 2008.

2008年8月27日在月会商会上跟踪组仍然维持了短临预报意见。8月30日在预报区中心位置发生和静5.3级地震,地震三要素完全对应,取得了较好的预测效果。

3 一些问题的思考

2008年度通过对新疆南天山东段6级地震危险区和静5.3级地震的短临跟踪和预测得到以下启示:

(1) 当前地震预报仍以经验性为主,地震监测预报的工作措施是否得当,预报人员是否具有强烈的社会责任心,经验是否丰富,会直接影响地震预报的效果,体现在短临预报中就是化被动等待地震为主动寻找地震。从我们所经历的历次成功与不成功的地震预报实践来看,短临跟踪以专家负责的综合预报的方式汇集多学科多方法,其预报效果好于单人单方法的预报。

(2) 过去的地震预报研究成果可以用来指导短临预报工作。短临跟踪中很多资料和结论为“十五”、“十一五”地震科技攻关和《中国震例》的研究成果在危险区的具体应用、体现和深化。在这次地震前我们通过中国震例总结出对南天山东段中强震反应良好的前兆异常,利用空区和条带、地震增强—平静图像等预报了发震的地点和强度;利用地震活动增强和地震窗口,以及前兆异常时空分布特征成功预报了发震的时间段,也表明前人研究的方法在地震短期预报中依然行之有效。但地震预报又是复杂的,脱离开当前地震活动特点,片面套用预报指标体系或模式,预报效果也可能不佳。

(3) 地震短临预报需建立在历史地震地质状况充分了解,地震活动发展趋势的正确判断和前兆趋势异常持续跟踪与关注之上。通过对危险区历史地震地质背景进行研究,评估地震危险性程度,对近期可能发生震级上限,历史地震活动规律,地震破裂方式和余震类型分析。通过历史地震震例总结,对危险区地震前兆异常种类和分布做到心中有数。通过持续跟踪长、中、短期前兆异常发展进行跟踪与预报仍是一条可行的途径。

(4) 在新疆前兆台网稀疏、分布不合理、资料质量、信度不高,异常难于提取的情况下,强调开展大范围动态群体异常短临跟踪显得尤其必要。和静地震前震区附近及整个南天山东段前兆手段异常不明显,异常比例不高,但北天山一侧前兆异常突出,

善加利用这些异常为危险区短临预报服务,我们的做法是对危险区周围前兆异常进行时空动态跟踪,以此提取出短期异常信息。

(5) 临震异常是否存在? 临震异常与短期异常究竟有何区别? 天山中段4~5级地震的增强活动是否是更大地震的长期前兆? 这些问题有待做进一步探索与思考。

(6) 这次短临跟踪预报虽将库仑破裂应力、应变积累与释放模型、地震活动性状态参量、中小地震震源机制解和应力降等新方法用于地震短临预报,取得了较好的结果,但地震预报新方法、新手段、新技术应用仍显不足。值得一提的是,本跟踪专题得到中国地震局监测预报司的经费支持,使我们与地震预报同行交流、学习新技术新方法有了保障,开拓了思路,有利于提高预报水平。

感谢中国地震局监测预报司预报处对工作的支持和经费保障,感谢王海涛研究员对震情跟踪工作的指导及有关讨论,感谢张国民研究员对本文的启发和建议。

[参考文献]

- [1] 李莹甄,沈军,王海涛. 天山各分区地震活动性与能量积累阶段关系初探[J]. 中国地震,2005,21(4):496-507.
- [2] 邓超东,冯先岳,张培震,等. 天山活动构造[M]. 北京:地震出版社,2000.
- [3] 王海涛,李莹甄,屠弘伟. 新疆历史地震目录完整性分析[J]. 内陆地震,2006,20(1):10-17.
- [4] 新疆地震局. 天山地震目录及中强地震震源机制解[J]. 内陆地震,1997,11(增刊):127-147.
- [5] Okada Y. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space[J]. Bull. Seism. Soc. Amer.,1992,82:1018-1040.
- [6] 冯德益. 近地震S、P波振幅比异常与地震预报[J]. 地球物理学报,1974,17(3):140-154.
- [7] 李莹甄,聂晓红,夏爱国,等. 2007年7月20日新疆特克斯5.9级地震及震前部分地震学前兆异常[J]. 中国地震,2008,24(4):370-378.
- [8] 王琼,曲延军. 地震活动性总体状态参量RT在新疆天山地区的初步应用[J]. 地震研究,2008,31(2):109-113.
- [9] 王琼,曲延军. 新疆天山地区中强地震前中小地震活动特征的定量研究. 西北地震学报,2008,30(4):385-391.
- [10] 张国民,傅征祥,桂燮泰,等. 地震预报引论[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [11] 杨又陵,温和平,高国英,等. 新疆前兆群体异常与中强以上地震的短期预测研究[J]. 内陆地震,2006,20(3):211-218.