

## 新疆地倾斜地震短期异常特征研究

杨又陵, 孙甲宁, 高国英, 温和平

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**利用常规分析方法研究了新疆部分4级和5级以上地震前地倾斜资料所出现的短期和临震异常变化,统计了异常开始至发震时间、异常持续时间、异常结束至发震时间、异常量级及异常形态等,通过对典型震例的剖析得出了中强地震和远场强地震前的地倾斜短期异常特征。在地震前的短临阶段,异常的项数和异常量级急剧增加;震级不同,异常起始时间和发震的优势时段也有所不同。

**关键词:**新疆; 中强地震; 地倾斜; 短期异常特征

中图分类号: P315.72+5

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2006)01-0064-05

### Study on Features of Short-term Earthquake Anomaly in Ground Tilt in Xinjiang

YANG You-ling, SUN Jia-ning, GAO Guo-ying, WEN He-ping

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

**Abstract:** Short-term and impending anomalies of ground tilt before some  $M_s4.0$  and  $M_s5.0$  earthquakes in Xinjiang are analyzed by routine methods. The statistical data such as the period between anomaly initial time and earthquake, the anomaly duration time, the period between anomaly ending and event, the anomalous amplitude and the anomalous shape are summarized. Through analyzing the typical cases the short-term anomalous features of ground tilt before moderate-strong earthquake and strong earthquake in a far distance are presented in the paper. In the short-impending period before event, the number and amplitude of anomalies increase quickly, the anomaly initial time and the predominant period for event occurring are different in different magnitude of events.

**Key words:** Xinjiang; Moderate-strong earthquake; Ground tilt; Short-term anomalous features

## 0 前言

地形变是地壳运动状态直接的反映,是最具特色的地球物理现象,它伴随在地震的孕育和发生的全过程中,国内外多次中强地震前均观测到地形变异常<sup>[1-3]</sup>。地倾斜观测是新疆分布最广、观测时间最长、积累资料最多的前兆观测项目,在多次的中强地震前显示出明显的中短期和临震异常,取得多次成功预报的经验和虚报、漏报的教训。在日常监测预报中通常使用的方法包括:形态法(单分量、矢量)、差分、卡尔曼滤波、契氏拟合等,由于这些方法

意义明确,使用简洁,一直伴随地倾斜的观测而进行。本文将在前人工作的基础上追加补充新资料之后利用这些常规的分析方法进行应用性研究,并对原有的判定指标进行补充和修订,并应用于捕捉新疆地区可能发生的中强以上地震。

## 1 研究思路和资料选取

在预报实践中发现在地倾斜观测点周围发生4.5级左右地震及近场3.5级以上地震前,有时也会出现异常变化。本文选择观测点周围150 km范

收稿日期:2005-07-01

基金项目:中国地震局“十五”科技攻关项目(2004BA601B010103);新疆维吾尔自治区科技攻关课题(200333116-06);新疆地震科学基金项目(200507)联合资助

作者简介:杨又陵(1951—),女(汉族),高级工程师,从事地震地形变分析与地震预报工作。

围内的4级以上有异常的地震,250~300 km范围内的5级以上地震,6级以上地震则视其实际异常定距离。1997年的伽师强震群按1次计算。异常的时段主要界定在3个月,研究短期直至临震的地倾斜异常。在选定的范围进行异常的概率统计,提取异常指标,确定不同震级的地倾斜异常的可能范围、持续时间及图像特征。同时以昆仑山8.1级地震前的地倾斜异常为例,分析强震的远场地倾斜异常特征。

本文选取了符合以上标准的4级地震(1971年7月—1997年5月)、5级以上地震(1986年4月—2003年2月)在全疆17个台站24台套仪器的地倾斜观测资料。在认真分析了所选取的地震样本和地倾斜观测资料之间的关系之后,对每次地震前地倾斜异常的异常开始至发震时间、异常持续时间、异常结束至发震时间、异常量级及异常形态分别进行了详细的统计和描述。限于篇幅文中不便给出所有的统计表格。

## 2 短期异常特征分析

(1) 异常的主要表现形式。时序曲线明显偏离正常年变,呈下弯形或上弯形变化,一般恢复时段长于起始变化时段,呈不对称分布;矢量合成曲线多为打结或转折,当背景值变化速率较快时,一般以差分值的突变来判断异常。

单分量时序曲线以资料正常变化形态为背景来识别异常形态,如单分量测值出现系统性偏离,年变曲线改变正常形态等均属异常。如石场台石英摆( $\Delta = 18$  km)在2003年2月14日石河子5.4级地震前,EW分量从2002年9月中旬至年底年变形态与2001年同期相比发生明显畸变,10月份提前2个月转向(图1(a)),表现出明显的短期异常特征。

矢量图曲线以不正常转向、拐弯、加速和打结为主要特征。在短时间完成的打结可能在1~3个月后发现4~5级地震;连续2~3个月或更长时间完成的打结可能在1年内有5~6级地震发生<sup>[4]</sup>;6级以上地震前可能出现多次连续的打结或大速率趋势性地偏离。精河台石英摆在1995年5月2日乌苏5.8级地震( $\Delta = 170$  km)前,1995年1月6日—3月26日两分量测值几乎处于停滞状态,矢量图上表现为连续打结(图2);在2003年2月14日石河子5.4级地震前,石场台石英摆( $\Delta = 18$  km)矢量图在2002年12月6—23日之间出现3次转向和打弯,2003年1月24日—2月13日再次出现加速和3次转折变

化(图1(b))。前者表现出一定的短期异常特征,而后者则提供了更多的临震异常信息。

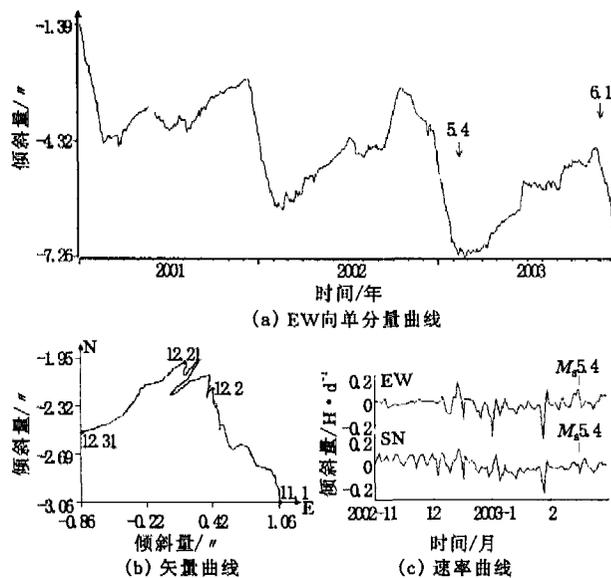


图1 石场台倾斜仪记录曲线

Fig. 1 The record curves of ground tilt in Shichang station.

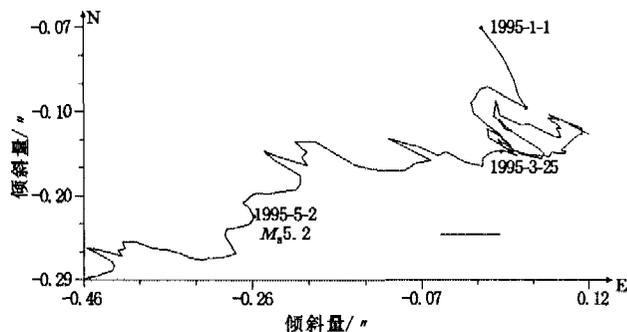


图2 精河台石英倾斜仪矢量曲线

Fig. 2 The synthetic vector curve of ground tilt in Jinghe station.

地倾斜测值的一阶差分反映倾斜速率的变化,能描述震源区及周围地区的岩石在主震发生前由微破裂或加速形变引起的突变异常。利用该方法能较好地消除长周期变化,突出短期变化<sup>[4]</sup>。新源台( $\Delta = 120$  km)地倾斜在1995年5月2日乌苏5.8级地震前7天速率突然增大(图3)。在2003年2月14日石河子5.4级地震前,2002年12月中旬新源( $\Delta = 220$  km)和石场台( $\Delta = 18$  km)的速率出现大幅度的突变,方向多次反复,时间上相当一致;震前17天石场台又出现1次大速率突变(相当于正常速率的10倍),但只持续了1天(图1(c)),表现为突出的临震速率异常。

(2) 初步分析发现,150 km范围的4级地震(或250 km以内的5级以上地震)的短临异常时间

多在20天以内,形态较简单,矢量图上仅出现1~2次小的打结。温泉台石英倾斜仪矢量曲线1995年8月下旬至9月初出现反向和打结,持续时间不足20天,恢复正常后9月28日在其西南方向距台站75 km处发生4.5级地震;随后在9月底10月初再次打结,这次持续时间比前一次更短,恢复正常后11月1日在昭苏西距台站225 km处发生了5.0级地震。这两次打结在一定程度上体现了新疆地区地倾斜矢量曲线在4级和5级地震前所具有的典型的短临异常特征(图4)。

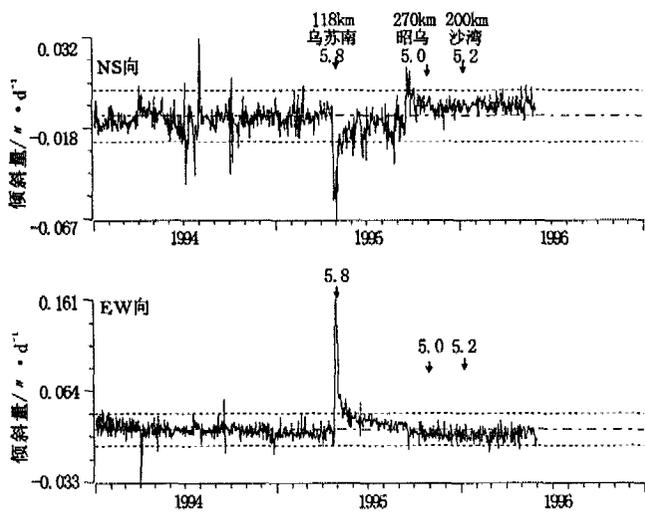


图3 新源倾斜仪速率曲线

Fig. 3 The speed change curves of ground tilt in Xinyuan station.

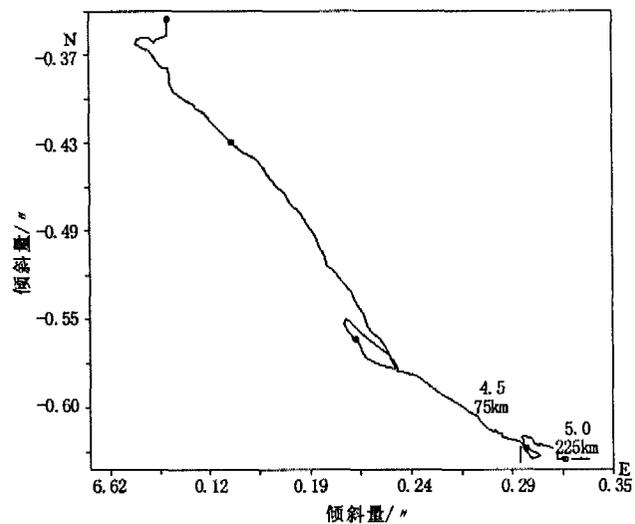


图4 温泉台石英倾斜仪矢量曲线

Fig. 4 The synthetic vector curve of ground tilt in Wenquan station.

(3) 统计发现异常量级多在 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 之间,几次7级地震前曾出现 $10^{-5}$ 量级、以及1次 $10^{-4}$ 量级的异常变化。但研究发现 $10^{-4}$ 量级的异常是

1974年乌鲁木齐水磨沟台的记录,当时使用的是JB倾斜仪,精度低,且正常时段的零漂量已达 $0.1 \sim 0.3 \text{ } ^\circ/\text{d}$ ,只能作为参考。初步认为异常量级与震级之间的关系并不十分密切。

(4) 4级地震和5级以上地震前异常出现至发震时间的统计结果分别列于表1,根据实际情况划分成不同的时段并计算了各时段的概率。可以看出4级地震前异常提前1个月的概率已达80%、5级以上地震前异常提前3个月的概率也达80%,这说明在地震前的短临阶段,异常的项数和异常量级急剧增加,并且震级越大,异常出现的时间相对较早。

表1 震前异常出现时间统计表

时段	4级地震				5级以上地震				
	半月	1月	2月	3月	半月	1月	2月	3月	5-7月
次数	6	6	2	1	12	7	11	4	8
单项/%	40	40	13	7	28	17	26	9	19
累计/%	40	80	93	7	28	45	71.4	80	19

(5) 4级地震和5级以上地震前异常结束至发震时间的统计结果分别列于表2。从发震时间分布概率可以看到分别有33%的4级地震和52%的5级以上地震发生在异常恢复期;60%的4级地震发生在异常结束后20天之内;而5级以上地震在异常结束后1个月内发震的概率为40%。这说明震级不同,发震的优势时段也存在一定的差异。

表2 异常结束到发震时间统计表

时段	4级地震				5级以上地震				
	10天	20天	未结束或震后恢复	>1月	10天	20天	30天	未结束或震后恢复	>1月
次数	8	1	5	1	6	6	5	22	3
单项/%	53	7			14	14	12		
累计/%	53	60	33	7	14	28	40	52	7

(6) 在使用形态法前,必须确认正常的背景场,认清可能的干扰因素及其表现形式。如精河台每年春季2—5月份的大风时段的典型图像是向NW方向突变,应在研究其变化参量的基础上辨别异常。对于因观测点环境变化可能对年变形态产生影响,应在确认正常背景值的前提下进行动态跟踪的研究。

### 3 远场强地震的短期异常分析

#### 3.1 现象描述

(1) 1996年1月9日沙湾5.2级地震后,从1月27日到4月中旬石场的地倾斜出现了大速率向WS倾斜的现象,最大速率达 $0.26 \text{ } ^\circ/\text{d}$ ,期间北天山一线的多台倾斜仪及其他观测项目相继出现较大变

化。结果 3 月中旬在阿勒泰和阿图什先后发生了 6.1 级 ( $\Delta = 470 \text{ km}$ ) 和 6.7 级 ( $\Delta = 910 \text{ km}$ ) 强烈地震,而北天山的地震活动在此期间却异常平静。但在 1997-1998 年伽师强震群活动期间,这种多台项同时出现异常的现象却不显著,只在个别 6 级地震前新源 ( $\Delta = 550 \text{ km}$ )、石场 ( $\Delta = 800 \text{ km}$ ) 等台在震前 3-5 天记录到了连续几小时的速率突变,但很快又恢复了。另外,如果说 2002 年 12 月中旬新源、石场台的大幅度速率突变是石河子 5.4 级地震的短期前兆,则紧跟其后的是 12 月 25 日乌恰 5.8 级地震 ( $\Delta = 810 \text{ km}$  和  $\Delta = 980 \text{ km}$ ) 和 2003 年 1 月 4 日伽师 5.4 级地震,而 2003 年 2 月 24 日巴楚 6.8 级地震前 3 天新源台 ( $\Delta = 550 \text{ km}$ ) 的 NS 向也出现类似的 1 次突变。我们称之为强地震前的远场地倾斜短期异常效应。

(2) 2002 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震前新疆地倾斜出现短期异常<sup>[5-6]</sup>。震前新疆有 6 台项 ( $711 \text{ km} \leq \Delta \leq 1130 \text{ km}$ ) 地形变资料记录到明显的前兆异常信息,其中多数表现为短期或临震异常特征。如库尔勒台地倾斜 ( $\Delta = 711 \text{ km}$ ) 2001 年 10 月 22 日矢量方向突变,打结、转向加剧,异常前后持续 105 天,8.1 级地震后快速恢复北倾 (图 5); 乌什台 ( $\Delta = 1130 \text{ km}$ ) EW 向在 2001 年 10 月 21 日加速 E 倾,到 11 月 9 日突然反向,11 日恢复正常,2 天后发生了 8.1 级地震。石场台 ( $\Delta = 931 \text{ km}$ ) 地倾斜矢量曲线在 2001 年 9 月 25 日-10 月 25 日、11 月 3-12 日连续 2 次出现打结。临震前 4 天红山 ( $\Delta = 855 \text{ km}$ ) 和库尔勒 ( $\Delta = 711 \text{ km}$ ) 重力仪均记录到明显的高频脉动信息。

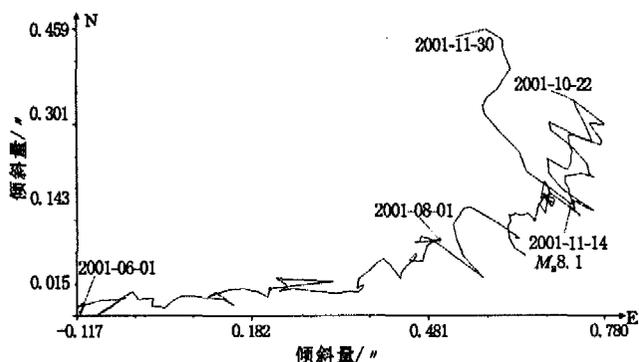


图 5 2001 年 6 月—11 月库尔勒地倾斜矢量曲线

Fig. 5 The synthetic vector curve of ground tilt in Kuerle station.

### 3.2 异常特征

一致性:各台的中短期异常出现在 NS 向,表现为年变幅减小 43%~52%,精河台伸缩仪 ( $\Delta = 1$

117 km) 的异常也出现在 NS 向。短临异常主要出现在 EW 向,表现为加速和反向变化,说明临震前形变场存在 1 次较大的突变,重力仪记录到了明显的临震高频地脉动信息。各项异常在时间上表现出较好的同步性。

差异性:距震中最近的库尔勒台记录到了连续的形变异常和震后快速恢复过程,而其他台的异常在时间上是间断的;乌鲁木齐的重力仪记录到的高频脉动在震前 45 小时消失,而库尔勒台重力仪记录的脉动信息持续到震前。这些现象有可能反映了异常与震中距的关系。

在 8.1 级地震前 1 年多时间,中国地壳运动观测网络中基准站的水平位移记录到 3 次明显的运动格局变化过程<sup>[7]</sup>,乌鲁木齐、乌什和塔什库尔干 3 个基准点在 2000 年 8-11 月、2001 年 2 月中旬-3 月底、2001 年 7 月中旬-10 月底记录到较大幅度的转向变化,表明强震的孕育过程中较大范围的地壳水平运动确实处于非稳定状态,新疆的形变台观测到的异常在时间上与之存在较好的同步性。由此可认为震前的远场形变短期前兆异常是可信的,8 级强震形变异常区至少达到了 1200 km 的范围。

新疆地区主要受印度板块和西伯利亚板块的相对挤压作用,8.1 级地震是印度板块向北推移增强的结果,因此中短期异常主要出现在 NS 向可解释为应力增强的结果。8.1 级地震在地面形成了一条近 EW 走向、长约 350 km 的地表破裂带,短临阶段地倾斜 EW 向的突变以及重力仪记录的高频脉动可能是巨大的地表破裂前预滑的直接记录。

### 3.3 判据

对于南天山的 6 级强震,北天山的观测点一般只在震前 3~5 天出现几小时或几天的速率、方向的突变;与近场的中强地震相比较缺少明显的背景异常;一般只在少数几个台出现,如新源、石场等。

若异常台站较多,但缺少明显的背景异常,则可能类似于 1996 年春季在远场较大面积存在发生不止 1 次 6 级地震的可能。

若异常台站较多,存在明显的背景异常和较明显的阶段性异常,则可能在 1000 多公里的范围有发生 7.5 级以上强震的可能。

## 4 讨论与结论

牛安福等<sup>[8]</sup>研究的突变主要是持续时间在十几天至半年之内的变化,即短期前兆特征,其基本条件一是变形速度显著增加,二是变形速度的稳定和

持续,两个条件从另一方面也给出了突变应具有巨幅特征和单调性。通过上述研究发现,新疆地区定点形变资料的突变特征主要出现在中强地震前的短临阶段,主要表现为震前几天到十几天速率快速增大和方向突变,可能会多次出现又消失,随着地震的临近异常则显示为幅度更大的、持续时间更短的突变。正如梅世蓉<sup>[9]</sup>研究认为:地震中短期的前兆变化会进一步改变震源周围介质的性质,使应力向震源体集中的过程愈演愈烈(应力的增强可使介质密度增加),最后达到极限,……故震前短临阶段会有个介质性质、形变应变的强烈变化过程,具有异常数量增加、异常幅度加大、并向震中集中等特征。

通过上述分析,初步得出以下结论:

(1) 对于单台而言,4级地震短期异常时间多在20天左右,形态比较简单多为矢量曲线打结,一般无背静异常;5级以上、尤其是6级以上地震前,震前2~3年可能出现背景异常,有较好的中短临异常显示,震前2~3个月出现打结或大速率的变化。

(2) 4级地震的异常范围较小,多在1~2个台出现异常;5级以上地震前异常区域较大,但一般为相关区域,多在同一地震带上;远场强震前可在1000多公里的范围观测到较同步的、形态相似的短期异常。

(3) 若异常台站较多,缺少明显的背景异常时,在远场存在发生不止1次6级地震的可能;存在明显的背景异常和较明显的阶段性异常时,在远场有

可能发生7.5级以上强震。

(4) 5级以上中强震前的短期异常存在不连续性,如何进行识别,多台资料的联合分析应该是关键。

地震预报尚未过关,地震前兆极为复杂,上述认识有待在地震监测预报的长期实践中不断修正和提高。

#### [参考文献]

- [1] 陈非比,张建华,刘秉良,等.唐山地震[M].北京:地震出版社,1979.
- [2] 力武常次.地震预报[M].北京:地震出版社,1978.
- [3] 乌洛莫夫 B N.地球动力学与地震预报[M].北京:地震出版社,1994.
- [4] 杨又陵,徐道遵,温和平.新疆天山地区定点形变中短期地震前兆识别预报方法及效能评价研究[J].内陆地震,1999,13(4):314-324.
- [5] 杨又陵,温和平,张翼.昆仑山西8.1级地震定点形变异常初析[J].内陆地震,2002,16(4):317-324.
- [6] 杨又陵,高国英,温和平,等.新疆地震前兆异常特征研究[J].地震,2005,25(1):89-96.
- [7] 顾国华,张晶,王武星.中国地壳运动观测网络基准站水平位移向量时间序列[J].地震,2003,23(2):39-47.
- [8] 牛安福.地倾斜变化的突变性及与地震关系的研究[J].地震学报,2004,25(4):441-445.
- [9] 梅世蓉.地震前兆场物理模式及前兆分布特征与机制研究进展[J].地震,1995,15(增刊):2-22.