

新疆黑孜跨断层形变测量资料异常分析

蒋靖祥¹, 尹光华¹, 温和平¹, 赖爱京¹, 张宏科²

(1. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆维吾尔自治区黑孜水库管理局, 新疆 拜城 842313)

摘要:采用多项式拟合、年极差、速率、断层相对微量位移分析方法系统地研究了 28 年来的黑孜跨断层形变测量资料, 结果表明年变畸变、斜率加快(快速下降)、年极差值超限、断层的相对微量位移明显增大为黑孜地区(100 km 范围内)可能发生中强以上地震的异常特点.

关键词:黑孜断层; 跨断层测量; 形变异常

中图分类号: 315.72⁺⁵ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)01-0042-07

0 前言

跨新疆拜城县黑孜断层的水准和基线测量分别于 1972 年、1979 年开始, 目前已有 28 年、22 年的连续观测数据. 这些资料不仅用于监视断层活动方面, 在水库诱发地震研究及地震震情监视中也有一定的作用. 詹士高等^[1]利用 1982 年以前的资料研究了黑孜断层的微量变化, 得到了较好的结果. 李茂玮等^[2~7]在研究拜城县黑孜水库小震群及区域地震异常时从曲线形态上初步分析了形变资料. 本文在前人研究的基础上采用多项式拟合、年极差分析、速率分析、断层相对微量位移分析等方法深入系统地研究了 28 年来的黑孜形变资料, 其异常特点是年变畸变、斜率加大、年极差值超限、断层的相对微量位移明显增大. 就断层活动性说来本质上是受到南北向构造挤压力而使断层逆冲运动加剧. 水库蓄水阶段对形变资料有重大影响, 其影响程度甚至比构造应力和地震的影响程度更为显著.

黑孜断层是一条第四纪活动断层. 它西起拜城西南木扎尔河南岸, 向东经渭干河、盐水沟等地, 延伸长逾 110 km, 消失于库车东北. 断层面倾向南或东南, 倾角变化较大($10^{\circ} \sim 80^{\circ}$)^[8]. 在黑孜水库跨断层测量场地, 黑孜断层走向 $N60^{\circ}E$, 倾向南东, 倾角 23° , 为低角度逆走滑断层.

跨断层形变测线斜跨断层, 二者相交锐角 69° , 测线长 24 m(图 1). 水准、基线对同一标志点进行观测. 端点标桩分别座落在断层的上、下盘基岩上, 仪器架设的固定观测墩位于测线中点, 而断层从观测墩与上盘标桩之间通过. 观测工作在室内进行, 端点标桩及观测墩均为固定的永久性结构, 温度、湿度、降雨、光照和刮风等多种因素干扰小, 观测中误差符合形变观测的规范要求, 资料可信.

收稿日期: 2001-02-19

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(98-804)资助.

作者简介: 蒋靖祥(1956-), 女(汉族), 河南永城人, 副研究员, 现主要从事地震预报研究工作.

1 黑孜水库跨断层形变观测资料分析

为研究黑孜形变测量资料的异常特征, 本文采用多项式拟合、斜率、年极差和断层微量位移等方法对 20 多年来的跨黑孜断层形变观测资料进行分析.

1.1 多项式拟合残差分析

图 2 (a) 是黑孜跨断层水准测量月均值资料, 由图可见, 一方面由于受到热应变的影响而具有较好的年变, 每年的 2 月份为谷值相位, 8 月份为峰值相位, 年变幅度一般小于 0.43 mm; 另一方面黑孜断层为走滑逆断层, 长期以来其上盘(南东盘)水准点相对于下盘(北西盘)水准点上升(后视读数变小), 这使得水准高差(后视读数减前视读数)趋势下降. 两种因素的综合效应使原始曲线长趋势下降而且在此背景下叠加有年变, 地震引起的异常不易识别.

为提取跨黑孜断层形变测量资料中的地震异常, 我们利用 EIS2000 软件^[9]作 6 阶多项式拟合, 求出趋势项如图 2 (b) 所示, 并得到去除趋势项后拟合残差值, 即图 2 (c). 20 多年来黑孜形变站 100 km 内发生了多次 5 级以上地震, 震前的形变异常从图 2 (c) 中可以看出是很清楚的, 主要的异常特征是年变形态畸变. 所谓年变形态畸变是指相位提前或滞后, 年变幅度超过正常值. 在 28 年的观测资料中共有 4 次异常时段, 说明如下:

(1) 第一次年变畸变是 1975 ~ 1978 年. 1975 年年变幅度增大, 峰值相位滞后 2 个月; 1976 年年变畸变最为突出, 从 2 月的谷值到 8 月的峰值幅度很小, 不到正常值的三分之一, 测值下降很快, 幅度为 0.523, 超过正常值 20%; 1977 年的谷值很低, 从 1975 年 8 月到 1977 年 2 月持续下降了 0.923 mm. 在长达几年的异常过程中, 台站 100 km 内发生 5 次中等强度地震, 其中以 1979 年 3 月 29 日库车 6.0 级地震为最大.

(2) 第二次年变畸变从 1983 年 8 月到 1985 年 3 月, 以 1984 年最为明显. 异常特征和上次类似, 但下降幅度更大, 持续下降了 1.266 mm. 对应了 1987 年 1 月 6 日拜城 5.9 级地震和 1987 年 8 月 5 日拜城 5.4 级地震. 这次地震活动持续时间短, 仅半年多就

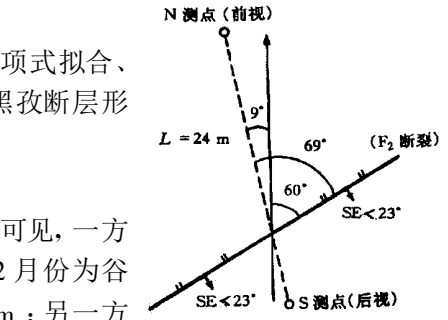
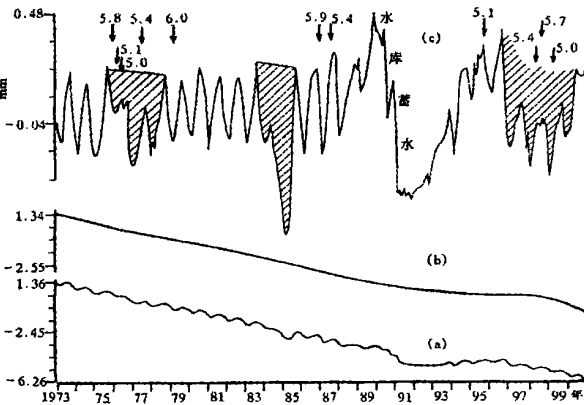


图 1 黑孜形变测量场地布置

Fig.1 The chart of Heizi deformation measure field



(a) 原始均值; (b) 拟合趋势项; (c) 拟合残差

图 2 黑孜水准测量月均值资料

Fig. 2 Monthly mean value of leveling surveys on Heizi fault.

结束了, 但是在黑孜跨断层垂直形变测量资料上引起的异常幅度最大, 其原因可能是南天山构造带该时段的区域构造应力场增强所致. 在同一构造带上, 以西段发生 1985 年 8 月乌恰 7.1 级地震及 1987 年 1 月乌什 6.4 级地震为标志, 向北东延伸 330 km 的黑孜也表现出巨大的形变异常和 1987 年的 2 次地震. 相反若不在同一构造带上, 7 级大震前黑孜跨断层形变的异常不明显. 如 1974 年 8 月乌兹别里山口 7.3 级地震和 1996 年 11 月喀拉昆仑山口 7.1 级地震(西昆仑和喀拉昆

仑构造带)。

(3) 第三次年变畸变发生在 1989 年到 1993 年, 年变基本消失, 其中 1991 ~ 1993 年年变完全消失, 不仅幅度大(1.162 mm)而且时间长(4 年)。这次异常主要是水库开始大量蓄水造成的, 属环境因素影响所致, 和地震的关系不大。

(4) 第四次年变畸变发生在 1996 年 9 月到 1997 年 2 月, 曲线下降很快, 幅度较大。在短短 5 个月的时间内下降了 0.756 mm。1998 年 7 月 28 日拜城发生 5.4 级地震, 1999 年 3 月 15 日库车发生了 5.7 级地震及 6 月 17 日拜城发生 5.0 级地震。

从图 2 还可以看到每一次地震异常的时间较短且震后能够恢复, 不影响曲线整体变化趋势。原始月均值资料自观测以来为持续下降, 斜率为 0.25, 年形变量 0.3 mm, 说明断层活动以蠕滑为主。构造应力的积累和地震能量的释放过程会对断层活动产生一定程度的影响, 使其运动状态发生短期的改变而具有不均匀性, 但不能够左右断层的长期运动性质和活动方式。

1.2 斜率分析

从图 2 可见异常的显著特点是快速下降, 那么曲线的斜率必然加大。根据最小二乘法原理, 用一元线性回归分析方法计算黑孜跨断层垂直形变测量原始月均值资料的斜率, 其曲线斜率变化大的有四段(表 1)。异常时段的斜率比正常时段的斜率要大 1.9 倍以上, 并且异常斜率比(异常斜率值与正常斜率值相比)呈逐次增大的趋势。表现在断层活动上为速度加快, 上盘相对于下盘上升的幅度增大。在斜率异常后发生地震, 如 1、2、4 段后。

表 1 水准测量斜率异常统计表

编号	时段	正常斜率	异常斜率	异常斜率比	正常形变量	异常形变量	地震对应情况
1	1975-08 ~ 1977-02	-0.025 3	-0.048 6	1.9	0.481	0.923	1976 年到 1979 年的 5 次 5 ~ 6 级地震
2	1983-08 ~ 1985-03	-0.025 3	-0.063 3	2.5	0.506	1.266	1987 年 2 次 5 级以上地震
3	1989-11 ~ 1991-02	-0.019 7	-0.072 6	3.7	0.315	1.162	水库开始大量蓄水的影响
4	1996-09 ~ 1997-02	-0.023 9	-0.126 0	5.3	0.143	0.756	1998 年以来的 3 次 5 级以上地震

1.3 年极差值分析

有时间序列 $Y(I)$, 将一年中的最大值 $Y(I)_{\max}$ 和最小值 $Y(I)_{\min}$ 之差的绝对值 ΔC

$$\Delta C = |Y(I)_{\max} - Y(I)_{\min}|$$

称为年极差值, 得 ΔC 的时间序列。以 ΔC 的均值加 1.5 倍的均方差为异常警戒值。水准资料的异常限为 0.43(图 3a), 基线资料的异常限为 1.2(图 3b)。由图 3 可看出当年极差值大于或等于异常限时, 要注意黑孜水库附近发生 5 级以上地震的可能性。检索 1973 年以来水准资料的年极差值和 1980 年以来基线资料的年极差值, 其结果列于表 2。从图 3 和表 2 可见水准年极差值出现了 7 次异常, 其中 4 次对应地震, 1 次为水库蓄水干扰, 1 次可能是震后效应。对应率 57%。特点是异常出现后不会马上来地震, 一般要等一年以后。这点很重要, 对地震趋势预测有实际意义。基线年极差值共出现 4 次异常, 2 次对应地震, 对应率 50%。1980 年的异常可能是刚开始观测不久资料不稳定所致, 1988 年的异常可能是震后效应。水库开始大量蓄水对水准的影响更大(大异常), 对基线的影响小。另外基线资料出现的异常要比水准晚一年。事实证明年极差值异常也可作为该地区地震趋势预测的依据, 简便易行, 物理意义明确。

1.4 断层相对微量位移分析

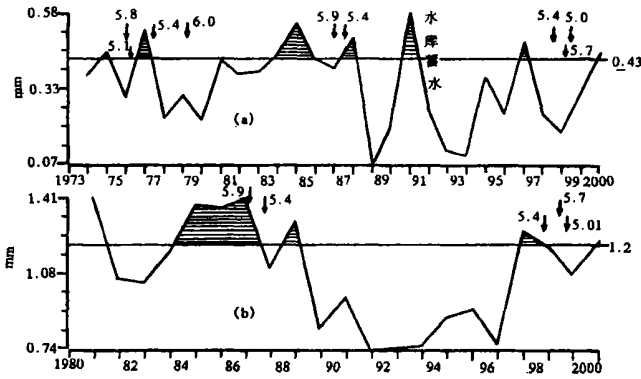


图 3 黑孜跨断层水准测量(a)和基线测量(b) 年极差值图

Fig. 3 Annual extremum difference of cross-fault measurement on Heizi fault.

表 2 年极差值异常统计一览表

水准异常		基线异常		对应地震
异常年	异常值	异常年	异常值	
1974	0.445			1976 年 1 月 10 日库车 5.8 级地震、5 月 7 日拜城 5.0 级地震、8 月 5 日拜城 5.1 级地震。
1976	0.522			1977 年 7 月 23 日库车 5.4 级地震、1979 年 3 月 29 日库车 6.0 级地震
1983	0.45	1984	1.38	1987 年 1 月 6 日拜城 5.9 级地震、1987 年 8 月 5 日拜城 5.4 级地震
1984	0.548	1985	1.37	
		1986	1.41	
1987	0.494	1988	1.31	受 1987 年地震的影响
1990	0.583			黑孜水库开始蓄水
1996	0.482	1997	1.26	1998 年 7 月 28 日拜城 5.4 级地震、1999 年 3 月 15 日库车 5.7 级地震、1999 年 6 月 17 日拜城 5.0 级地震
2000	0.442			?

利用跨断层水准、基线的测量资料可计算断层的相对微量位移^[10]。

断层年相对水平扭动速率 ΔS :

$$\Delta S = \frac{\Delta l}{\cos \alpha} + \Delta H \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \quad (1)$$

断层相对滑动角 Φ :

$$\Phi = \arctan \frac{\Delta s \sin \beta}{\Delta H} \quad (2)$$

式中: α 是测线与断层走向的夹角, 为 69° ; β 是断层面倾角, 等于 23° ; ΔH 是上盘相对于下盘的水准点年抬升量, Δl 是斜交基线的长度年变化量。

相对微量位移是指在异常段前后相对于正常背景下的微量位移变化量, 没有扣除山体相

对于盆地的长期抬升或水库修建、蓄水等因素导致的水准高差变化量,因为在计算背景值、异常时都不考虑这些因素.微量位移计算同时需要水准和基线的测量资料,所以仅处理 1980 年以后的资料(图 4).

考虑到回朔性检验结果,以均值加 1 倍均方差定为异常警戒值:断层相对滑动角 -21° ,断层年相对水平扭动速率 6.6 mm .由图 4(a)可见断层的相对滑移角出现了 3 次异常:(1) 1985 年的异常对应了 2 年后在拜城发生 5.9 和 5.4 级地震;(2) 1991 年的异常是水库正式大量蓄水造成的,异常值比地震异常大的多,但这种异常可以排除;(3) 1994 年的异常是 1998 年拜城地震、1999 年库车地震和拜城地震的反映.地震对应率 66% .

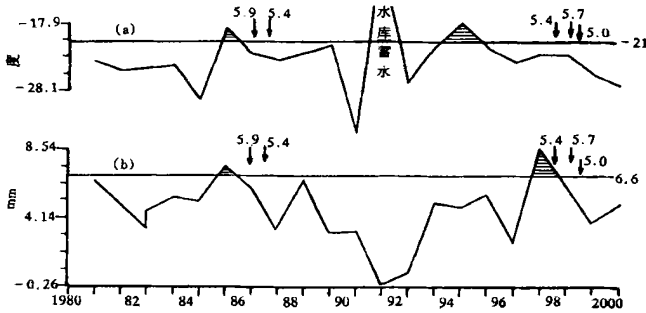


图 4 断层相对滑动角(a)和水平扭动速率(b)的微量位移图

Fig. 4 Fault relatively minim displacement on Heizi fault.

图 4(b)断层的相对水平扭动速率出现 2 次异常:第一次是 1985 年的异常,有 1987 年的拜城地震与之对应;第二次是 1997 年的异常,对应 1998 年的拜城地震及 1999 年的库车地震、拜城地震.地震对应率 100% .由图 4 可见:水库蓄水对断层的相对滑移角影响特别大,对断层的相对水平扭动量影响不明显;断层相对微量位移方法可以更好地抑制干扰,提高预报率.

2 认识与讨论

2.1 几点认识

综合上述分析得到几点认识:

- (1) 本文采用的分析方法比较好地突出了异常,物理意义明确,简便易行,行之有效.
- (2) 跨断层形变测量资料异常的主要特点是年变畸变, (),

(3) , — .

(4) , “ N” .

(5) , .

2.2

150 m,

3 个方面:

;

,

;

开始蓄水,1991 正式大量蓄水, 1990 年水准曲线下下降很快, 1991 ~ 1993 年的年变完全消失.

震前兆异常都大; 1.205 mm, 0.94 mm; 1990 年的极差值比任何一次地 (4) , -34° 38°, 72° (11°).

2.3

GPS 各测点主要运动方向为 NNW, NS 向(20° ~ 30°)^[11]; N23°E; N3°E. NS 向应力作用而呈现逆冲速度加快的不均匀性活动,

7 级大震活动与库车一

11 年的相同韵律性. 3 次 7 级大震(1974 年、1985 年、1996 年), (1976、1987、1998 年), 17 ~ 20 个月.

[]

[1] , , . [J] , 1986, (4): 38—43.
 [2] , , . 1989 年 10 月新疆拜城县克孜尔震群现场监视预报[J] . , 1990, 4(2):165—170.
 [3] , . [J] . 1996, 10(2): 147—153.
 [4] , . [J] . , 1996, 10(3): 286—288.
 [5] . F₂断层与库区地震活动[J] . , 1998, 13(4): 370—373.
 [6] , , . [J] . , 1998, 12(2): 152—159.
 [7] , , , . 5.6 级、 5.3 级地震形变兆异常[J] . , 2000, 14(3): 234—241.
 [8] , , , . 1999 年 3 月 15 日库车 5.6 级地震烈度及地震构造[J] . , 2000, 14(1): 51—57.
 [9] , , , . [EIS2000] [M] . : , 2000.
 [10] . [J] . , 1981, (5): 24—25.
 [11] , , . [J] . , 1989, 3(4): 356—361.
 [12] , , , . [J] . , 2000, 45(14): 1543—1547.

[13] . [J] . , 1997, 11(): 125—181.

STUDY ON ABNORMITY CHARACTERISTICS OF CROSS—FAULT MEASUREMENT ON HEIZI FAULT

JIANG Jing-xiang¹, YIN Guang-hua¹, WEN He-ping¹,
LAI Ai-jing¹, ZHANG Hong-ke²

(1. *Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China;*
2. *Administrative Bureau of Heizi Reservoir, Baicheng 842313, China*)

Abstract: Cross-fault measurements data in 28 years of Heizi deformation station is studied by multinomial drafting、annual extremum difference、speed、fault relatively minim displacement analysis. The results indicates that annual variation aberrance、speed quicken、annual extremum difference exceeding and fault relatively minim displacement evidently increasing are abnormality characteristics of medium-strong earthquake in Heizi area ($R = 100$ km).

Key words: Heizi fault; Cross-fault measurement; Deformation abnormality