

# 三峡库区云阳县滑坡 GPS 变形监测网基准稳定性分析

冯晓亮, 李远宁

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

**摘要:** 变形监测是监测变形体安全性的重要手段, 其基本任务就是通过对变形体测量, 获取其动态位移信息并进行分析、判断, 对变形体安危状况做出预警。主要研究 GPS 变形监测的基准稳定性分析之 F 检验法, 结合三峡库区云阳县专业监测滑坡具体工程, 对 GPS 滑坡变形监测基准网的基准稳定性进行分析。

**关键词:** 三峡库区; 云阳县; 滑坡; 变形监测; 基准网; 稳定性

**中图分类号:** P642.22; TH762 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)07-0035-03

**Analysis on Stability of Basic Benchmark of GPS Deformation Monitoring Networks for Landslide in Yunyang County of Three Gorges Reservoir Region/FENG Xiao-liang, LI Yuan-ning (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)**

**Abstract:** Deformation monitoring is an important means to monitor the safety of deformation, and the basic function is to collect dynamic displacement information through deformation measurement. According to the information, analysis and determination can be made on early-warning to dangerous situations. Analysis was made on F testing method of stability of basic benchmark of GPS deformation monitoring study. Based on the sliding monitoring engineering in Yunyang County, analysis on stability of basic benchmark of GPS landslide deformation monitoring networks was also made.

**Key words:** Three Gorges reservoir area; Yunyang County; landslide; deformation monitoring; benchmark networks; stability

变形监测是监测变形体安全性的重要手段, 其基本任务就是通过对变形体测量, 获取其动态位移信息并进行分析、判断, 对变形体安危状况做出预警。目前, 随着 GPS 系统的不断完善和人们对其研究的不断深入, 由 GPS 定位获取变形监测数据已成为一种趋势。GPS 变形监测的实现可以减轻外业工作量, 大大提高工作效率, 从而带来直接的经济效益。但实现这一目标的前提条件是确保基准点的稳定, 只有在得到与实际相符的变形量基础之上, 才能准确判断变形体的运行状态, 合理解释变形原因。因此, 对 GPS 变形监测基准的稳定性研究具有重要的理论意义和现实意义。

## 1 基准网基准稳定性的 F 检验

### 1.1 检验的方法

将基准点及工作基点组成网状图形, 定期进行重复点位位置测量, 计算它们的坐标, 用统计检验的方法来判断点位的稳定性。由于事先无法预知哪些点是稳定的, 因此在处理各周期的测量成果时, 不能事先给出已知数据, 平差计算时必须采用没有已知

数据的自由网平差方法。

### 1.2 检验原理

假设在 2 个观测周期期间, 网中所有基准点均没有变动, 那么可以把 2 周期的观测看成是对同一网进行的 2 次连续观测, 由这 2 次观测资料所得的 2 组基准点高程或坐标可以看成是一组双观测值, 则利用由双观测值之差的方法计算双观测值的单位权方差估值  $\theta^2$ , 根据 2 周期的观测成果计算联合单位权方差估值  $\mu^2$ 。应用 F 检验法求在原假设  $H_0$  基准点没有变形下的 F 值, 选择置信水平  $\alpha$ , 查取在  $\alpha$  置信水平下的分位值。如果 F 值小于分位值则接受原假设, 否则拒绝原假设。

根据任何两期的观测成果, 计算单位权方差估值为:

$$\mu_x^2 = (v^T p v)_i / f_i \quad (1)$$

$$\mu_y^2 = (v^T p v)_j / f_j \quad (2)$$

式中:  $i, j$ ——分别表示不同的两期观测;  $f_i, f_j$ ——分别为不同的两期观测的单位权方差估值的自由度。

一般情况下两期观测精度是相等的。根据两期方差估值计算联合方差估值为:

收稿日期: 2008-05-31

**作者简介:** 冯晓亮(1980-), 男(汉族), 甘肃秦安人, 中国地质科学院探矿工艺研究所助理工程师, 测绘工程专业, 从事地质灾害防治监测工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号, fengxiaoliang1980@126.com; 李远宁(1962-), 男(汉族), 浙江永康人, 中国地质科学院探矿工艺研究所教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事地质灾害防治监测工作, liyuanning1962@126.com。

$$\begin{aligned} \mu^2 &= [(v^T pv)_i + (v^T pv)_j] / f \\ f &= f_i + f_j \end{aligned} \quad (3)$$

假设两期观测期间点位没有变动,由双观测值原理可得:

$$d = X^j - X^i \quad (4)$$

式中: $d$ ——两期坐标差; $X^j$ ——第  $j$  期各点的高程或坐标; $X^i$ ——第  $i$  期各点的高程或坐标。

其差值  $d$  的相应的权系数阵:

$$Q_d = Q^j + Q^i \quad (5)$$

式中: $Q^j$ ——第  $j$  期平差值的协因数阵; $Q^i$ ——第  $i$  期平差值的协因数阵。

当网形一致时, $Q_d = 2Q$ 。

由双观测值差值求单位权方差估值为:

$$\theta^2 = d^T p_d d / f_d, \quad P_d = Q_d^{-1} \quad (6)$$

如果原假设 2 次观测期间点位没有变动是正确的,则由高程差或坐标差所算得的估值  $\theta^2$  和由上式所算得的联合方差估值  $\mu^2$  应来自同一母体。为了检验这一假设的正确性,应用 F 检验法,检验这 2 个方差的同一性。

求统计量为:

$$F = \theta^2 / \mu^2 \quad (7)$$

由  $P(F \geq F_{1-\alpha}, f_d, f | H_0) = \alpha$  来检验点位没有变动的假设。置信水平  $\alpha$  通常采用 0.05;由  $\alpha$  与自由度  $f_d$ ,可以在  $F$  分布表上查得分位值。当统计量  $F$  值小于其分位值,即认为基准点是稳定的,变形分析即告完成。当统计量  $F$  值大于其分位值时,则必须拒绝原假设,亦即认为基准点及工作基点发生了变动。设网中部分点位可能移动,则有:

$$d = \begin{pmatrix} d_M \\ d_F \end{pmatrix} \quad (8)$$

式中: $M$ ——表示可能移动的点数; $F$ ——表示可能稳定的点数。

$$d = \begin{pmatrix} P_M & P_{MF} \\ P_{FM} & P_F \end{pmatrix} \quad (9)$$

分别根据  $F$  组与  $M$  组中的点作为双观测值,计算其单位权方差估值。

$$\overline{d_M} = d_M + P_M^{-1} P_{MF} d_F \quad (10)$$

$$P_F = P_F - P_{MF} P_M^{-1} P_{FM} \quad (11)$$

由此可得:

$$d^T p_d d = \overline{d_M}^T \overline{p_M} \overline{d_M} + d_F^T \overline{P_F} d_F \quad (12)$$

$d^T p_d d$  分成了两项,第一项可用来检验  $M$  这一组点位的稳定性,第二项可用来检验  $F$  这一组点位的稳定性。统计量为:

$$F_F = Q_F^2 / \mu^2$$

$$Q_F^2 = (d_F^T P_F d_F / f_F) d$$

在一定的显著性水平  $\alpha$  下,若  $F_F \leq F_{\alpha}(f_F, f_0)$ ,则认为所作分块是正确的;否则,说明所选稳定点中还有动点,应剔除其中位移量最大的点重新进行上述检验,直到通过为止。

## 2 GPS 滑坡监测基准网的组成及相关指标设计

### 2.1 测区基本情况

该基准网位于云阳县龙洞乡,由 4 个滑坡的监测基准点共 8 个共同组成基准网。坐标系统为北京 54 坐标系统,高程系统为黄海高程系。

该测区交通较便利,视野开阔,易于安置 GPS 接收机。同时,GPS 点位 200 m 范围内没有大功率无线电发射源、高压线和大面积水域。

利用 4 台美国 TRIMBLE 4600LS 加强型 GPS 接收机进行数据采集。其技术指标为:平均边长  $D = 0.2 \sim 1$  km,GPS 接收机性能为单频,接收机标称精度  $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ ,同步观测接收机数量  $\geq 3$ ,卫星高度角  $15^\circ$ ,有效观测卫星总数  $\geq 6$ ,时段中任一卫星有效观测时间  $\geq 30 \text{ min}$ ,观测时段数 2,观测时间长度  $\geq 120 \text{ min}$ ,数据采样间隔  $15 \sim 60 \text{ s}$ ,点的几何图形强度因子(PDOP)  $\leq 8$ 。

### 2.2 数据外业验算及处理

采用美国 TRIMBLE 公司商用软件(GPSURVEY 2.35)进行数据传输和预处理,对所有三角形同步环和异步环进行三维闭合差统计。把存储在 GPS 接收机中的观测数据,通过 DSM 传输至便携式计算机中,利用 GPSURVEY 2.35 版软件进行单基线处理,得到所有基线的固定解(.FIX),对所有解出的基线,其 ratio 值均要大于 3.0,并对每条基线中参与计算的卫星状况进行筛选和优化,让所有参与计算的卫星均为健康状态,对不合格的基线给予剔除,所有基线剔除率不大于 10%,对检验符合要求的基线边进行组网,参加后处理计算,采用上述网平差软件,在 WGS-84 系中进行无约束平差,得到 WGS-84 系中的三维坐标。在无约束平差达到要求的前提下才进行 WGS-84 系统到北京-54 坐标系统的转换。

## 3 监测网基准点的稳定性分析

根据监测的要求,对该网分别于 2007 年 8 月及 2008 年 3 月进行了观测,在对该网两期观测数据基线解算结果检查合格的基础上,进行了该网的基准

点稳定性分析。首先根据自由网平差结果,计算两期基准网的点位坐标差(见表 1),获取两期 GPS 点位坐标改正数(见表 2),其次按照式(3)~(6)计算  $\mu$ 、 $\theta$ ,最后根据式(7)计算统计量  $F$  并进行判断。

表 1 GPS 基准网自由平差成果表

点号	$\Delta X/\text{mm}$	$\Delta Y/\text{mm}$	点号	$\Delta X/\text{mm}$	$\Delta Y/\text{mm}$
j1	0.004	-0.002	j5	-0.008	-0.002
j2	0.001	-0.014	j6	-0.004	-0.002
j3	0.003	-0.008	j7	-0.004	-0.005
j4	0.002	-0.006	j8	-0.001	-0.010

表 2 GPS 两期观测的改正数

第一期		第二期	
$V_{x1}$	$V_{y1}$	$V_{x2}$	$V_{y2}$
0.120	0.011	0.200	0.200
0.100	0.020	0.200	-0.800
-0.100	0.000	0.500	-0.800
0.030	0.010	-0.400	0.900
0.100	0.000	-0.500	0.500
0.100	0.023	-0.100	0.500
-0.020	0.014	-0.100	0.600
-0.100	0.000	0.400	-0.800

在本次检验中,计算出  $\mu = 0.3214$ ,  $\theta = 3.9624 \times 10^{-5}$ ,  $F = 1.2299 \times 10^{-4}$ 。

(上接第 34 页)

由此推断:生基包滑坡整体处于潜在不稳定状态,在雨季,受降雨影响滑坡易发生蠕滑变形,由于滑坡体前缘坡度较缓,厚度较大,产生急剧变形的可能性不大,但是在雨季,尤其在暴雨情况下应当加强人工巡查,密切留意滑坡体上建筑物的变形情况。从经济及合理性考虑,建议对变形区域内的建筑物进行搬迁避让,以最大限度防止可能的灾害带来的损失和人员伤亡。

而  $F(1 - \alpha, f, f) = 0.312340376$ ,  $F < F(1 - \alpha, f, f)$ , 所以,可以确定该基准网稳定。

#### 4 结语

在 GPS 变形监测中,无论是垂直位移观测还是水平位移观测,都要求基准点及工作点是稳定不动的,对于周期性重复观测的 GPS 监测网,采用固定基准点进行变形分析是最理想的情况,但基准网的稳定性是一个相对的概念,由于一些因素的影响,基准点发生了位移,前后两期基准发生变化受到周围环境的影响,若不加处理则无疑会导致变形分析结果的失真。因此,对基准点的稳定性评价,是变形观测数据处理时不可忽视的重要内容。

#### 参考文献:

- [1] 詹龙喜,等. 变形监测基准点的稳定性检验[J]. 上海地质, 2004, (2): 34 - 37.
- [2] 周西振. 变形监测网基准点及工作基准的稳定性检验[J]. 北京测绘, 2001, (3): 37 - 39.
- [3] 吴良才,胡振琪. GPS 平面基准点的可靠性分析[J]. 测绘工程, 2003, (3): 39 - 41.
- [4] 黄声享. 监测网的稳定性分析[J]. 测绘信息与工程, 2001, (3): 16 - 18.

#### 参考文献:

- [1] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [2] 王运生,孙书勤,李永昭. 地貌学及第四纪地质学简明教程[M]. 成都:四川大学出版社,2008.
- [3] 向贤华,张欣,李传才,等. 三峡库区滑坡成因分析及治理措施综述[J]. 建筑技术开发, 2003, (10).
- [4] 王思敬,马凤山,杜永廉. 水库地区的水岩作用及其地质环境影响[J]. 工程地质学, 1996, 4(3): 1 - 9.
- [5] 胡本涛,季伟峰,等. 三峡库区何家湾滑坡监测及防治措施研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(1).