

# GPS 技术在高切坡安全监测中的应用

朱异云<sup>1</sup>, 刘佑荣<sup>2</sup>

(1. 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300142; 2. 中国地质大学 工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 随着交通、建筑等工程的快速发展,高切坡数量急剧增多,其安全性备受关注,对其进行变形监测意义重大. GPS 监测具有精度高,受环境限制小,易操作等特点,但由于成本较高,在工程实践中应用较少. 本文分析总结了目前国内外边坡变形监测的主要方法,阐述了 GPS 监测方法,通过三峡库区巴东高切坡监测实例分析,结果表明, GPS 观测精确可靠,精度可达毫米级,可有效监测地表变形. 同时,指出了 GPS 用于监测实践中应注意的相关问题.

**关键词:** GPS 监测原理; 变形监测; 高切坡

**中图分类号:** P228.4:TU413.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2009)03-0103-05

为了正确处理边坡潜在问题,对各类高切坡的变形监测是十分必需的. 现国内外地表变形监测的方法<sup>[1]</sup>主要有:

(1)大地测量法(三角交汇法、几何水准法、小角法、测距法、视准线法):投入快、精度高、监控面广、直观安全,适用于不同变形阶段的位移监测,但受地形通视和气候条件影响,不能连续观测;

(2)近景摄影法:快速、信息量大,实现非接触结构的三维状态测量,适用于不同变形阶段的位移监测,但某些现场条件难以满足,量测精度不易保证,且需专业测量分析人员操作;

(3)GPS(全球定位系统)测量法:精度高、投入快、易操作、可全天候观测,受地形通视条件限制小,适合于不同变形阶段地表三维位移监测,虽然目前成本高,但发展前景可观;

(4)测缝法(人工测缝法、自动测缝法、遥测法):人工、自动测缝法适应于裂缝两侧岩土体张开、闭合、位错、升降变化的监测,遥测法适应于加速变形阶段及施工安全的监测,受气候等外界因素影响大.

作为一种新型的变形监测方法, GPS 测量法凭借诸多优点,运用到高切坡变形监测中具有重大的实践和研究意义.

## 1 GPS 法变形监测

GPS 利用导航卫星进行授时测距的全球定位系统,测定与 3 颗卫星的距离后,通过 3 个以到各自距离为半径的球面的交点来定位接收机的位置<sup>[2,3]</sup>. 目前,运用 GPS 进行变形监测主要采用差分相对定位技术<sup>[4]</sup>,即在已知点上设立基准站,跟踪观测 GPS 卫星,测定各卫星伪距观测值的修正值;通过差分数据传输系统,实时发送给流动站;流动站观测 GPS 卫星伪距,以差分修正后进行定位解算. 根据其测量模式, GPS 监测也可分为静态测量与实时动态测量两种. 实时动态测量建立在实时处理两个观测站的载波相位基础上,能实时提供观测点的三维坐标,在德国水坝监测<sup>[5]</sup>中得到很好运用,达到了毫米级的高精度. 本文采用静态测量法,在能够构成一个三角形或大地四边形的几个监测点上(其中至少一点的坐标已知)安置 GPS 接收机,同

收稿日期: 2008-10-07

作者简介: 朱异云(1984-),男,江西南康人,硕士研究生,主要从事地质工程及监测方面工作.

E-mail: 306410837@qq.com

时连续观测数小时或数十小时,然后在室内进行平差解算来求得各监测点的三维坐标。

在成网的测点上布置 GPS 接收机通过卫星信号收集测点的数据,利用数据处理软件对原始数据进行处理后,得到满足精度要求和质量检验的测点三维坐标值;定期测量,获得每段时间内某测点的 X、Y 方向位移和垂直位移,得到各个方向位移累计变化曲线,根据曲线特征得出监测结果或结论,对危险边坡进行预警。

## 2 实例分析

巴东县高切坡主要分布在巴东新县城信陵镇、官渡口新集镇太矶头、东壤口新集镇雷家坪与沿渡河新集镇青包。进行专业监测的高切坡 61 处,控制坡面面积 29.50 万  $m^2$ 。其中有相当数量高切坡规模大,坡高且陡。本文分析的高切坡位于北京大道,坡高 40 m,坡向  $75^\circ$ ,坡度  $40^\circ$ ,安全等级为一级。场地地层:①第四系覆盖层。主要由第一层人工填土和二层残坡积土组成,含碎石粉质黏土,层厚变化较大(2.4~11.6 m);②基岩。三叠系中统巴东组(T2b)泥质灰岩,岩层产状  $340^\circ \angle 24^\circ$ ,为顺向坡地质结构。该坡地形较复杂,场地平整后有产生顺层滑坡和堆积层沿基岩面滑移的可能性,边坡稳定条件差,对巴东主干道-北京大道安全构成威胁,需对其进行专业监测。

### 2.1 GPS 布网原则

为了及时有效、安全可靠地反映高切坡变形情况,对 GPS 网点的布置应遵循以下原则<sup>[6]</sup>:

- (1) 重点突出、全面兼顾。对重点坡、变形明显的坡,以及坡的关键部位和敏感部位应优先布置监控点;
- (2) 基准点应布置于高切坡变形影响范围之外,且基础牢固,确保监测数据是高切坡变形的真实反应;
- (3) 场地开阔,避开障碍物,减少对卫星信号接收的影响;
- (4) 基准网点宜有一个以上其它基准网点与其通视,便于核验。

### 2.2 监测方案

根据 GPS 布网原则,在巴东地区选择 20 个点作为基准点,组成基准网。由前 3 期数据分析可知,基准网精度为毫米级,可靠性高。该切坡治理以格构和锚喷为主,4 个监测点(BDGPSJC077、BDGPSJC083、BDGPSJC084 与 BDGPSJC079)基本沿着排水沟布置,2 个基准点 BD21JZK0 和 BD100ZJK3,布置在该坡前后稳定的基岩上,构成该坡变形监测的监测网<sup>[7,8]</sup>。变形监测网示意图见图 1。

采用双频 GPS 接收机进行观测,接收天线为直径约 50 cm 的圆形金属盘,并进行强制对中,消除仪器对中误差,点位中误差绝对值不超过 5 mm。GPS 监测网的观测要求和各项限差按 GB/T18314-2001 中的 C 级网的有关规定<sup>[9]</sup>执行。观测时截止高度角设为  $15^\circ$ ,数据采样间隔为 15 s,精度因子(DOP)数值小于 8,采用 LEICA Geo Office 6.0 数据处理软件,WGS 1984 坐标,椭球高程模式,通过三维约束解算平差<sup>[10]</sup>。

### 2.3 监测结果及分析

**2.3.1 数据精度与检验** 卫星信号时段处理后进行网平差处理,可得到各监测点的标准差与精度(见表 1)。从表 1 可见,精度都在毫米级,符合本项目要求的精度要求。基线向量残差情况见表 2,可见整体上监测点的网形布置比较合理,残差很小,只是基线 BD100ZJK3-BDGPSJC079 的残差稍大,但也小于 2。对网平差解算后获得的精度结果进行 F-检验,即 W-检验和 T-检验。F-检验的结果为 0.03(小于临界值 1.89),说明此 GPS 网测量的数据质量好,经过解算后获得的基线精度可靠度高。

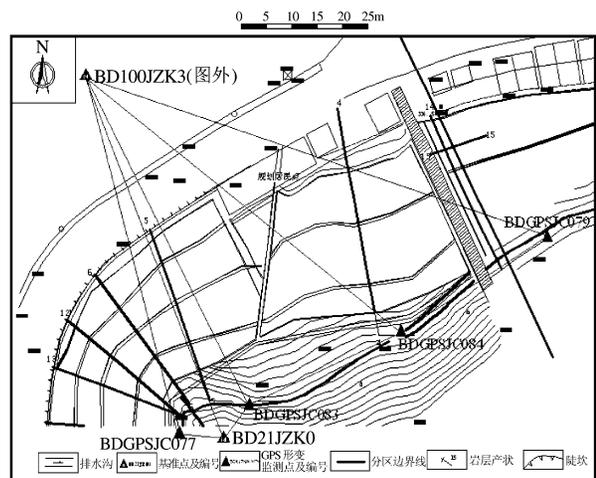


图 1 巴东某高切坡监测网示意图

Fig. 1 Solution map of one monitoring network in Badong

表1 监测网中GPS点标准差与精度

Tab.1 Standard deviation and precision of GPS in the monitoring network

点号	X坐标		Y坐标		高程	
	标准差/m	精度/m	标准差/m	精度/m	标准差/m	精度/m
BOGPSJC084	0.000 5	0.001 5	0.001 5	0.001 1	0.000 9	0.001 7
BDGPSJC077	0.000 6	0.001 4	0.000 9	0.000 9	0.000 7	0.001 6
BD21JZK0	0.000 5	0.001 1	0.000 8	0.000 8	0.000 7	0.001 3
BDGPSJC083	0.000 5	0.000 9	0.000 8	0.000 8	0.000 6	0.001 1
BDGPSJC079	0.000 5	0.000 9	0.000 7	0.000 7	0.000 6	0.001 1
BD100ZJK3	0.000 2	0.000 5	0.000 4	0.000 4	0.000 3	0.000 6

表2 GPS基线向量残差

Tab.2 Residual difference of GPS base lines vector

测站	目标	平差向量/m	残差/m	残差/(10 <sup>-4</sup> m)
BD100ZJK3	BOGPSJC084	419.192 0	0	0
BD100ZJK3	BDGPSJC083	396.423 6	0	0
BD100ZJK3	BDGPSJC079	452.627 4	0.000 8	1.9
BD100ZJK3	BDGPSJC077	384.505 8	0	0
BD100ZJK3	BD21JZK0	397.682 5	0	0

2.3.2 变形分析 对所测各期数据进行变形分析,将所获得的变形量投影到独立坐标上,(LEICA Geo Office 6.0处理的数据是84坐标下的变形,根据该坡倾向与走向进行投影,独立坐标以走向方向为Y方向,倾向方向为X方向,垂直向上为H方向)并绘出X方向、Y方向与H方向各监测点的累计变形曲线(见图2)。

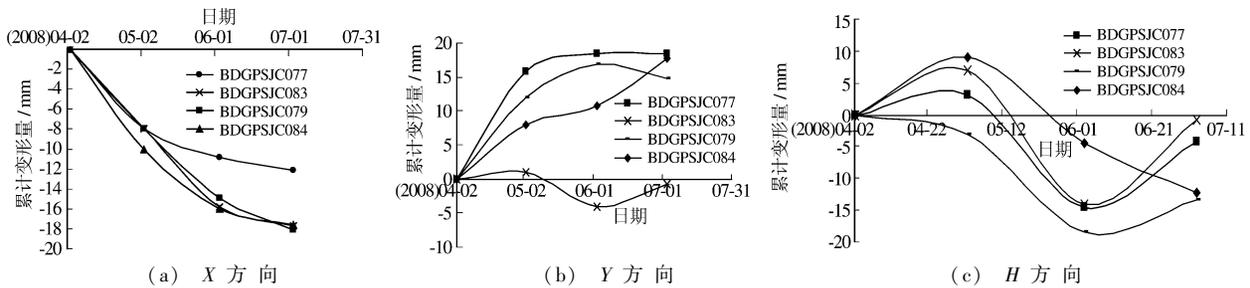


图2 各方向累计变形曲线

Fig.2 Accumulated deformation curves

可见,X方向月变形最大的监测点是6月的BDGPSJC083和5月的BDGPSJC084,均为10 mm,而月变形量最小的是7月的BDGPSJC083点,没有发生变形,4个监测点整体的变形趋势一致,X方向位移都是增大.5,6月份各监测点位移变形速率较大,7月后变形速率逐渐变小,4~7月中,4个监测点累计变形量最大为BDGPSJC083点,达18 mm;

Y方向月变形最大的监测点是4月的BDGPSJC077点,变形量为16 mm,每月变形量最小的是BDGPSJC083点,只有1 mm.从Y方向上看,监测点BDGPSJC083位移有正有负,说明边坡变形方向无规则,这是由于BDGPSJC083监测点处于边坡向里弯曲处所致.但整体上变形很小,最大才4 mm.Y方向上其他3个监测点的变形趋势一致,位移均增大.各监测点在5,6月份变形速率较大,之后变形速率逐渐减小.监测点累计变形量最大的是BDGPSJC084点,达18 mm;

Z方向变形曲线表明,4个测点的Z向变形均有正有负,是由于每次整平测量,GPS基座不能保证在同一水平面上,最大变幅达10 mm.图中位移变化最大的有12 mm,最小的有3.6 mm,除去这类人工误差后,Z向位移变化速率很小.

**2.3.3 位移影响因素分析** 位移的影响因素主要有气温、降雨量及其它偶然因素。尽管巴东县年内气温变幅较大,7~8月平均气温达35.3℃,最高气温达41.4℃,1~2月份平均气温仅3.8℃,最低气温-9.4℃。但4~7月每次测量气温都很适宜,温度变化小。因此,气温对本文监测点位移的影响较小。该地区降雨具有连续集中的特点,其中4~9月份降雨量占年降雨量的71.8%,6,7月降雨量最大,X方向位移变化也最大,随着降雨量的减少,位移变化也趋小。这是因为雨水的冲刷润滑不利于边坡的稳定。H方向位移变化较大,主要是由仪器安装上的人为误差所致,如整平时每次仪器基座不可能在同一水平面上,反应在高程上即垂直误差较大。

从监测数据上看,边坡位移速率最大的是BDGPSJC077点,为0.5 mm/d,BDGPSJC083点的位移速率最大为0.3 mm/d,均小于1 mm/d,该高切坡尚处于基本稳定状态,但由于其位移变化已经较大,且最可能发生破坏的地方为监测点BDGPSJC077和BDGPSJC083附近部位,因此必须对该高切坡安全问题引起高度重视,定期关注关键部位的变形,及时预警预报。

### 3 实践中的注意事项

在实际测量过程中,为了获得更高质量的监测数据,需要注意以下事项:

(1)由于每个边坡的地形和环境不一样,使得有的基线几十米,而有的基线长达千米,在网平差计算中各基线残差相差很大,影响数据质量。因此,GPS监测网型应合理,各基线长度差不多,实践中可通过调整坡点仪器位置来调整各基线长度,保证各基线长度基本一致;

(2)要保证GPS观测的有效时段不小于30 min<sup>[11]</sup>。由于巴东地区环境不够理想,实践中监测点观测有效时段为1 h,基准点为2 h,保证了测量的精度;

(3)采用同步观测方法,使GPS信号好的监测点在同一时段观测,并使用边连接推进,这不仅可以提高数据质量,还可以减少工作量,提高工作效率;

(4)对于加密控制网或一般工程控制网,可布置点连式三边网,在保证点位精度情况下,可以减少大量观测与计算工作量;

(5)周围存在阻挡物但又必须布置GPS监测点时,应将天线的接线口指向北方,这样可以降低DOP值;

(6)同一监测点每次仪器整平时,如基座不在同一水平面,容易产生高程上的误差,一般要保证在3 mm以内;加之基座的磨损,也会加大误差。若能固定GPS进行实时连续观测,将大大提高数据精度;

(7)尽量避免潮汐、太阳黑子等活动的时段进行GPS观测。

### 4 结 语

通过对高切坡变形监测的实例分析,证明利用GPS进行变形监测,测量精度可达毫米级,并且可靠性高,是一种高效实用的地表变形监测手段。随着GPS定位技术的发展,仪器功能的改进,各种解算模型的完善,加之不断总结和吸取实践中的经验教训,GPS在边坡变形监测中有着广阔的应用前景。

#### 参 考 文 献:

- [1] 李红中. 边坡变形监测技术现状与发展趋势[J]. 中国水运, 2008, 6(1): 54-55. (LI Hong-zhong. Status and trend of deformation monitoring technology of slope[J]. Chinese Water Transportation, 2008, 6(1):54-55. (in Chinese))
- [2] 徐绍铨, 张华海, 杨志强, 等. GPS测量原理及应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001. (XU Shao-quan, ZHANG Hua-hai, YANG Zhi-qiang, et al. GPS measurement principle and application[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001. (in Chinese))

- [3] 李征航,黄劲松. GPS测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005. (LI Zheng-hang, HUANG Jing-song. GPS measurement and data processing [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005. (in Chinese))
- [4] 郭振声,吴江. GPS技术在巴东库区滑坡监测中的应用[J]. 中国非金属矿工业导刊,2006(4):63-64. (GUO Zhen-sheng, WU Jiang. Application of GPS technology in landslide monitoring in Badong[J]. China Non-Metallic Minerals Industry Guide, 2006(4):63-64. (in Chinese))
- [5] 项伟, JAGER R. 德国GPS在线位移监控和预警系统工作原理与工程应用[J]. 地质科技情报,2005(24):126-128. (XIANG Wei, JAGER R. GPS online displacement monitoring principle and pre-warning systems and its application in engineering in German[J]. Geological Science and Technology Information, 2005(24):126-128. (in Chinese))
- [6] 冯晓亮,李远宁. 三峡库区云阳县滑坡GPS变形监测网基准稳定性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008(7):35-37. (FENG Xiao-liang, LI Yuan-ning. Stability analysis of GPS deformation monitoring baseline network in Yunyang landslide in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Prospecting Engineering (Geotechnical Drilling and Excavation), 2008(7):35-37. (in Chinese))
- [7] 曾光辉,陈莉,侯炳绅. 三峡库区杨家坪滑坡监测预警施工设计实例[J]. 人民长江,2007,38(9):60-63. (ZENG Guang-hui, CHEN Li, HOU Bin-shen. Example of landslide monitoring and construction design in Yangjiaping in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Yangtze River, 2007, 38(9):60-63. (in Chinese))
- [8] 胡本涛,季伟峰. 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):324-326. (HU Ben-tao, JI Wei-feng. Study on monitoring and control in Hejiawan landslide in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Chinese Journal of Geological Hazards and Control, 2007, 18(1):324-326. (in Chinese))
- [9] 国家质量技术监督局. 全球定位系统(GPS)测量规范[M]. 北京:中国标准出版社,2001. (State Quality and Technical Supervision. GPS measurement norms[M]. Beijing: Chinese Standard Press, 2001. (in Chinese))
- [10] 朱干章,王双龙. 滑坡GPS监测数据处理方法探讨[J]. 测绘信息与工程,2007,32(6):6-7. (ZHU Gan-Zhang, WANG Shuang-long. Discuss of GPS monitoring data processing method in landslide [J]. Mapping Information and Engineering, 2007, 32(6):6-7. (in Chinese))
- [11] 谢劭峰,王新桥. 工程GPS网必要观测时间探讨[J]. 全球定位系统,2007(4):30-31. (XIE Shao-feng, WANG Xin-qiao. Discuss of necessary observation time in GPS network[J]. Global Positioning System, 2007(4):30-31. (in Chinese))

## Application of GPS technology in high cut slope safety monitoring

ZHU Yi-yun<sup>1</sup>, LIU You-rong<sup>2</sup>

(1. China Railway Sanyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Tianjin 300142, China; 2. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** With the rapid development of engineering like transportation, construction and so on, high cut slope becomes more and more dangerous. So it is of great significance to monitor its deformation. GPS monitoring has many advantages, such as high precision, small limitation, and easy operation. Because of its high expenses, GPS monitoring practice in projects is limited, and obtains little experience and lessons. The paper summarizes the domestic and foreign primary means of deformation monitoring in high cut slope at present, outlines the method of GPS monitoring and gives one example of monitoring with the conclusion that due to its mm-level accuracy and good reliability, GPS monitoring is a highly effective means of ground deformation monitoring and has extensive application prospects. At the same time the paper puts forward some points in practice, which may guide the future GPS monitoring.

**Key words:** GPS monitoring principle; deformation monitoring; high cut slope