

文章编号: 1008-2786-(2008)6-745-03

基于 GPS的雅安峡口滑坡变形监测

陈永波^{1,2}

(1. 成都理工大学地质灾害防治与工程地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 滑坡是斜坡体物质变形累积到一定程度而形成并发生的, 因此通过滑坡体的变形监测, 能揭示和预测坡体的变形趋势, 且监测的数据精度越高, 对滑坡的预测和趋势分析准确度越高。目前对滑坡体的地表变形监测手段很多, 但大多数监测数据的精度都不尽如人意, 因此监测仪器以及手段的选择至关重要。GPS对静止物体的空间相对定位精度已非常高, 本研究正是基于 GPS观测数据高精度的特点, 借助其对滑坡进行监测, 从而分析滑坡的变形特征以及可能发展趋势。

关键词: GPS 滑坡; 变形监测; 预测; 趋势分析

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

GPS是 20世纪美国国防部主办的一项规模宏大的空间计划, GPS空间星座由 24颗卫星组成, 分布在 6个等间隔的轨道面上, 卫星同时发射两种信号(C/A码和P码)^[1]。其具有全球范围、全天候、全时域、连续快速等特点。随着 GPS接收机的不断改进, 数学处理方法的优化, 使得 GPS的测量精度大大提高, 在使用精密星历的条件下, 几百公里以上的基线解算精度可达到 10^{-8} 。大地测量进行滑坡体监测一直被广泛采用, 并取得许多成功的经验。随着 GPS技术的迅速发展, 以及其观测精度的提高, 逐渐的应用于坡体变形观测中。

1 GPS测量原理

1.1 工作原理及特点

GPS是 70年代早期在原导航系统基础上发展产生的进行全方位实时导航、定位系统^[2]。它的测量是通过跟踪接收 GPS卫星连续不断传送到地球上的电磁波, 获取接受点在地面上的经度、纬度、大地高以及三维坐标。其测量精度主要由设备、所用卫星数目、接收机质量及天线安装系统、电离层反射

波、对流层反射波延迟、以及星历(描述卫星位置的轨道参数信息)、后处理软件等因素有关。

GPS测量较传统测量方法有以下优点:

1. 观测站之间无须通视, 不要求控制网保障良好的几何结构, 从而使点位选择灵活。

2. 可全天候作业, 定位精度高。

3. 提供三维坐标。

4. 操作简便, 自动化程度高。

但在测量时, 接收机天线必须满足可视天空要求。

1.2 测量基准点及测量网形

1. 滑坡变形监测分析是建立在多次重复测量的基础上, 因此需要建立一个统一的基准。对于滑坡变形监测, 基准点应选择在离滑坡较远且地质条件良好地域, 并且使网型变得非常简单的地点。

2. 测量时采用 GPS静态定位模式, 同步作业图形之间采用边连接和点连接来控制整个监测网形。

1.3 观测误差及处理方法

测量中主要存在以下几种误差:

1. 卫星星历误差: 是 GPS相对定位的主要误差, 在一个观测段内属于系统误差。通过广播星历

收稿日期(Received date): 2008-05-02; 改回日期(Accepted): 2008-07-05。

作者简介(Biography): 陈永波(1971-), 男(汉族), 山西运城人, 博士后, 副研究员, 主要从事山地灾害减灾理论研究、工程防治等方面的研究工作。[Chen Yongbo(1971-), mail associate Professor research interests including slope engineering and landslide hazard assessment.] E-mail: chenyl@imde.ac.cn

进行解算,能保证 1~2 mm 相对定位精度,满足测量需要。

2. 对流层折射影响:可以利用同步观测量求差,来减少误差。

3. 周跳修复:周跳是否修复是决定 GPS观测精度的一个重要因素,可以应用专业软件(如 GAM II)进行人为干预修复。

4. 多路径误差:与卫星信号方向、反射系数等不定因素有关,可以选择合适的站点以及改进天线来削弱其影响。

2 四川雅安峡口滑坡 GPS监测

2.1 滑坡概况

峡口滑坡位于雅安市以北 10 km 的陇西河峡谷地区左崖。该滑坡是由古滑坡(时代不明)、体积约 $1\ 000 \times 10^4\ m^3$,复活滑坡(1981年)、体积约 $260 \times 10^4\ m^3$,现在蠕动体(自 1981年滑动后,1990年代开始又有所变形)、体积约 $80 \times 10^4\ m^3$ 组成。在同一斜坡上反演出三种性质不同的破坏方式,充分说明了该滑坡所具有的继发性特点。

峡口滑坡位于峡口背斜的北西翼并靠近背斜轴部。其轴部附近有一条张扭性断层通过。由于该断层在滑坡附近发生转折,致使岩层中的构造裂隙十分发育,岩层甚为破碎,地下水活跃。滑坡地区的地质层为侏罗系蓬莱组 (J_p) 地层组成,峡口背斜之核部,两翼为白垩系的天马组 (K_{1t}),滑坡发育在天马组地层中。产状 $340^\circ \angle 30^\circ$ 。此组地层下部是软硬相间的长石石英细砂岩及泥岩,上部为软弱易风化的泥岩和粉砂岩,为一套滑坡易滑地层。

峡口滑坡位于深丘-低山区,河谷海拔高程 750~970 m,滑坡上、下游均为峡谷地貌,滑坡地段陇西河右岸为悬崖峭壁,左岩则为古滑坡宽缓地形。滑坡经过多次间息活动已形成明显的三级平台,保留了完整的台阶、台面、台壁地形。

陇西河自北而南穿过滑坡前缘,并形成冲刷岸,河床比降为 24.5%,滑坡上游水流湍急,河水冲刷能力极强,对斜坡稳定造成不利影响。

2.2 滑坡 GPS观测

1. 变形监测网的布设

峡口滑坡监测网布设于 2001年年底,共埋设 12座观测墩,其网形见图 1所示。基准点一个,选择在滑坡体下游(左侧)约 500 m处,位于滑坡体外

的稳定基岩上。

2. 滑坡变形体外业实施

该滑坡体位移数据监测是利用 3台套美国天宝(Trimble)4600ls型 GPS接收机来进行测量,其精度为 $5\ mm \pm 10\ ppm$ 。自第一年 10月开始首次观测以来,共计完成 11次测量工作,观测时间分别为第一年的 9 10 11、12月,次年 1 2 3 4 5、6月各一次,雨季每月两次。观测成果质量和精度均满足有关部门及滑坡监测规范要求。

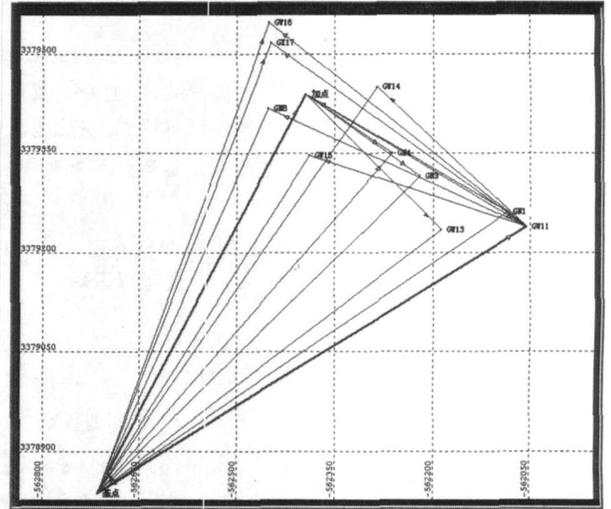


图 1 滑坡 GPS 监测网形布置图

Fig 1 GPS monitor net diagram of landslide

2.3 观测数据后处理

观测的原始数据采用美国天宝的 GPS 数据处理软件,首先进行预处理,其中网平差采用坐标系统 - b54 基准点 - b54 大地水准面模型 - OSU91A (Global)。通过预处理后的数据,以首次测量为基准,可以得知每一次观测后该点的相对位移。通过观测,各点相对位移量见表 1。

2.4 结果分析

1. GN4点变形量最大。该点位于滑坡体后缘变形带,是滑坡体变形最为强烈的地带。

2. 其次变形较大的点分别为 GX17 GX15。这两点位于滑坡体前缘公路边,由于受前部河流冲刷作用的影响,使该地段每年变形都在加剧,观测结果与实际吻合。

3. GW 14 GW 13 GW 11三点变形较小。它们分别位于滑坡体外,虽然受滑坡牵引作用,但由于滑坡目前还处于蠕滑阶段,因此其位移量较小。

表 1 观测点的三维位移量

Table 1 Three-D displacement data of monitoring point

观测点	dx	dy	dh
基点	0.000	0.000	0.000
GX17	0.015	0.002	-0.034
GW15	0.020	0.012	-0.022
GW14	-0.007	-0.004	-0.003
GW13	0.000	-0.002	0.004
GW11	0.008	0.006	-0.030
GN8	0.011	-0.002	-0.020
GN4	0.035	-0.010	0.054
GN3*	-0.002	-0.004	0.006
GN1	0.010	0.001	-0.027
加点	0.007	-0.004	-0.016

3 结论

GPS 进行滑坡监测是一种比较实用有效方法, 国内外有许多应用实例, 均取得了良好效果。随着 GPS 定位技术的不断发展, 仪器功能增强和完善、价格进一步降低, 各种解算模型的完善, 相信 GPS 在滑坡监测中有非常广阔的应用前景。

参考文献 (References)

- [1] Du Jianjun. The Landslide Automatic Monitoring System Based on GPS Technique[D]. Chongqing Chongqing University, 2005 [杜建军. 基于 GPS 技术的滑坡自动监测系统[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.]
- [2] Liu Hui. The Theory and Applying Research of Landslide Exterior Monitoring System Based on the Integration of GPS and GIS[D]. Hua nan Anhui University of Science and Technology, 2006. [刘辉. 基于 GPS/GIS 集成的滑坡外观监测系统的理论与应用研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2006.]
- [3] Zhao Yu. Mechanical analysis of sliding process of Ya'an Xiakou landslide and prediction of its hazard mode[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2001, 09(02): 188~193 [赵宇. 雅安峡口滑坡力学分析及灾害模式预测[J]. 工程地质学报, 2001, 09(02): 188~193]
- [4] Zhao Hongjin, Zeng Xuping. GPS application in landslide monitoring[J]. *People Yangtze River*, 2002, 31(8): 44~46 [赵宏金, 曾旭平. GPS 高程在滑坡监测中的应用研究[J]. 人民长江, 2002, 31(8): 44~46]
- [5] Lin Quankui. GPS measure technique application in landslide monitoring[J]. *Northwest Hydroelectric Power*, 2002, 2: 32~33 [齐奎奎. GPS 测量技术在滑坡监测中的应用[J]. 西北水电, 2002, 2: 32~33]

The Deformation Monitoring of Xiakou Landslide in Ya'an Based on GPS

CHEN Yongbo^{1, 2}

(1. State Professional Labs of Geological Hazard Prevention and Engineering Geological Environment Protection, Chengdu 610059, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract Landslides occurs when the deformation of slope substance accumulates to some extent. So, the deformation of slope can reflect the trend of the developing of slope. The quality of the deformation data decides the outcome of the trend to the slope. At present, there are many monitoring methods of surface deformation. But the quality of most of monitoring data is not good enough for the trend analysis. The precision of space orientation by GPS is so high for the relative immobile object. This paper analysed the deformation character and the trend to the Xiakou landslide based on GPS monitoring data.

Key words GPS; landslide; deformation monitoring; prediction; trend analysis