

基于 GPS 多天线技术的远程自动化高边坡监测系统

桑文刚¹, 何秀凤¹, 许 斌¹, 肖胜昌², 王 冲²

(1. 河海大学卫星及空间信息应用研究所, 江苏 南京 210098; 2. 国家电力公司昆明勘测设计研究院, 云南 昆明 650200)

摘要 : 针对高边坡在大型工程建设中的重要性和常规 GPS 监测方法在高边坡监测中无法克服的弱点问题, 从系统的投入成本、自动化及可靠性角度考虑, 提出了基于 GPS 一机多天线技术、GPRS 无线通讯与控制等技术的远程自动化高边坡安全监测系统。该系统实现了高危边坡现场监测数据的自动采集与无线传送至远程监控中心, 并在远程监控中心自动完成数据的解算与分析, 已在云南小湾水电站二号山梁的形变监测中得到成功的应用。

关键词 : 高边坡监测; GPS; 一机多天线; GPRS; 小湾水电站

中图分类号 : TU413.6+2 **文献标识码** : A **文章编号** : 1006-7647(2006)01-0063-03

Multi-antenna GPS technique-based remote monitoring system for steep slopes // SANG Wen-gang¹, HE Xiu-feng¹, XU Bin¹, XIAO Sheng-chang², WANG Chong² (1. Institute of Satellite Navigation & Spatial Information System, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Kunming Hydroelectric Investigation and Design Institute, State Power Corporation, Kunming 650200, China)

Abstract : In consideration of the significance of steep slopes in large-scale project construction and some disadvantages of the conventional GPS monitoring method in steep slope monitoring, a remote monitoring system for steep slopes based on GPS multi-antenna technique and GPRS wireless-communication system was proposed from the angles of cost, level of automatization, and reliability. The system realizes the automatic acquisition of field monitoring data of highly dangerous slopes, and can transfer them to the remote monitoring center for data calculation and analysis through wireless communication. The system is successfully applied to the deformation monitoring for the No.2 steep slope at the Xiaowan Hydropower Station.

Key words : steep slope monitoring; GPS; multi-antenna GPS; GPRS; Xiaowan Hydropower Station

对于自然或人工边坡的形变监测, 通常有常规监测和 GPS 监测两种方法。常规监测方法是使用经纬仪、测距仪或全站仪等仪器, 采用前方交会、边角网、极坐标差分等方法获取监测点观测数据, 并通过相应的数据处理方法获得监测点的位移量。常规监测方法的优点是观测数据直观可靠, 短距离获得的精度高、投资少; 但缺点是受通视条件、气象条件以及施工干扰的影响, 在进行长距离监测时精度较差并且很难提高。由于高坝修筑在山区峡谷地带, 范围大, 气候复杂多变, 每到雨季更有湿度大、雾气大的特点, 使得常规的监测方法在雨季这样监测的重要时期不具备时效性。

GPS 作为一种高新技术, 在我国水电工程建设中已获得了一些应用, 但在大坝、边坡安全监测中的应用却是个十分薄弱的环节^[1-3]。影响 GPS 技术广泛应用于安全监测系统的最大障碍是费用昂贵、自动化程度不高。由于监测点和基准站上都需要安置

接收机, 当在大坝、边坡这样大范围区域实施监测时, 需要布设的测点很多, 投入成本很大, 若采用分批观测方法又需要较长周期, 因此极大地制约了 GPS 在该领域的发展。

针对 GPS 在安全监测中存在的问题, 笔者提出了 GPS 一机多天线思想, 并研制开发了 GPS 一机多天线控制器, 使一台 GPS 接收机能互不干扰地连接多个天线。在这种体系下, 每个监测点上只安装 GPS 天线, 而不需安装接收机, 从而极大地降低了安全监测系统的造价^[4]。该项技术开发为大坝、高边坡利用 GPS 进行安全监测创造了极为良好的条件, 也使 GPS 技术在水利水电工程中拥有了更为广阔的应用前景。此外, 基于 GPS 一机多天线控制器也为高边坡自动化连续遥测创造了有利条件。

本文结合云南小湾水电站 2 号山梁堆积体的安全监测系统, 详细介绍 GPS 多天线技术、远程自动化形变监测技术和 GPS 数据处理新方法。

1 系统简介

边坡安全监测系统由数据采集、数据通讯、计算机网络、应用软件、趋势分析及预警 5 个子系统组成,见图 1。

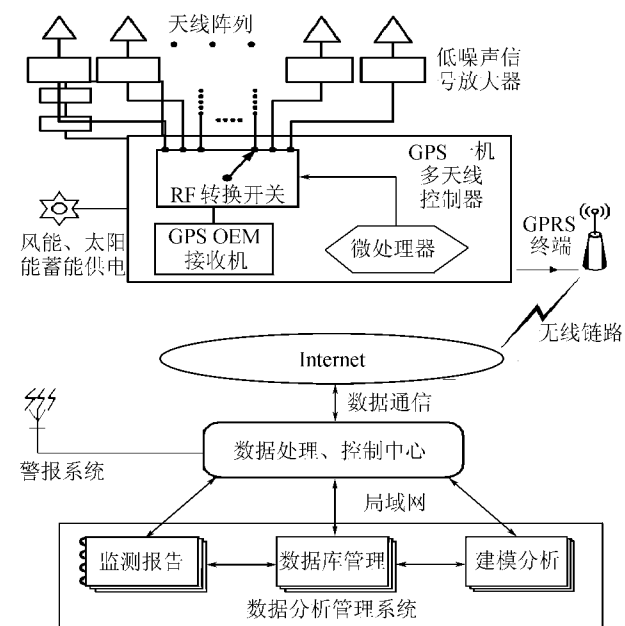


图 1 系统组成

原始监测数据采集部分主要负责各监测点 GPS 数据的接收和存储,其核心部分是一机多天线控制器,由硬件和软件控制两大部分构成。硬件部分包括多通道微波开关及相应的控制电路、一台 GPS 接收机及相应的处理芯片^[4]。软件部分实现控制多通道工作方式并可设置测点的观测时间、与 GPS 接收机通讯和数据发送等功能,通过采用实时控制技术,使接收机能够互不干扰地接收若干个 GPS 天线传输来的信号。系统基于工业控制中常用的嵌入式系统 PC-104 架构,从而更为有效地控制系统运行以及监控数据的存储与传输。

数据无线传输主要负责将采集到的原始监测数据通过无线网络传输到控制中心,主要利用 GPRS 技术实现。

计算机网络子系统以监控中心为核心建立一管理局域网。局域网内设中心服务器、数据接收工作站、数据处理工作站以及成果显示工作站。中心服务器具备文件服务器、数据库服务器等多种功能,在局域网内可以实现办公自动化和信息共享。边坡上实时采集监测数据发送至数据接收工作站,工作站根据数据标识将数据整理归类后发送到中心服务器入库备份。数据处理工作站通过相应的应用软件对接收到的监测数据进行解算分析。

应用软件子系统包含了监测数据解算、分析、管

理为一体的高边坡安全监测专用软件,可实现资料录入、计算分析、查询、统计、图形绘制、报表打印等功能。软件界面友好,功能强大,使用方便。资料录入实现数据自动更新,并将数据按处理时段合并整理后通过网络发送到中心服务器进行备份;GPS 数据解算软件通过获得监测点的三维坐标,并将解算数据纳入数据库,通过相应的算法分析拟合作出预报;功能强大的报表生成器和图形绘制软件生成各种报表和过程线、统计曲线。

预警子系统根据边坡监测成果,建立预警机制,以便及时为决策部门提供信息,使决策部门能迅速作出反应,避免造成不必要的损失。

2 小湾水电站高边坡形变监测实验与分析

小湾水电站枢纽区地理坐标为东经 100°06'27",北纬 24°42'15",左岸为云南省大理州南涧县,右岸为云南省临沧地区凤庆县。两岸植被覆盖稀疏,主要以灌木、荒草为主。工程枢纽区河段长约 2300m,正常蓄水位 1240m 时河谷宽 720~800m。河谷呈“V”字形,两岸山坡陡峻,在高程 1600m 以下,两岸平均坡度 40°~42°,部分地段为悬崖绝壁。

本次监测的高边坡为小湾水电站坝体左坝肩所在地——2 号山梁。2 号山梁饮水沟堆积体分布在左岸坝前饮水沟下游侧山坡地段,其坡面平均坡度 32°~35°,前缘高程为 1130m,后缘高程为 1590m。堆积体平均铅直厚度约 33~36m,最大厚度 60.63m,长度约 700m,平均宽 190m,总体积为 400 万 m³。堆积层组成物质主要为块石层,在自然状态下是稳定的,但由于堆积体靠近左坝肩,坝肩开挖时必然触及堆积体前缘,可能引发堆积体失稳,虽然对堆积体实施了降坡、支护等工程措施,但所形成的 340m 的高边坡的稳定是影响工程顺利进行的重要因素。另外,在坝肩左右岸上下游附近形成的高边坡坡度陡、高差大,也是监测的重点对象。

2.1 测点概述

针对 2 号山梁地质特点,边坡监测点选在 2 号山梁堆积体主滑移断面和滑移体边缘相邻山体上,高程范围为 1245~1580m。在 1380m 高程以上选取 4 个断面,共有 16 个监测点;在 1245~1380m 之间选取 3 个断面,共有 8 个监测点。整个堆积体的 GPS 监测点数为 24 个。每 8 个监测点为一组,连接到一个控制器,共有 3 组。GPS 监测点一般采用原外观点,为使 GPS 监测与常规监测相校核,在每组的 2 个原外观点旁埋设一个新点,作为 GPS 监测点。3 个数据采集站布置在边坡上,从上到下依此为 1~3 号,为减少电缆传输距离,提高数据传输可靠性,采集

站应布置在一组监测点的中间。每个采集站配置有一台双频 GPS 接收机、一台多天线控制器、一台工控 PC 机、一台 GPRS 通讯设备、UPS 电源和蓄电池等。

为使系统投入运行后,做到无人值守的安全、自动的工作模式,将接收到的监测数据以无线传输的方式发送到距离现场较远、较为安全的控制中心,选用了移动公司提供的 GPRS 业务。使用嵌入式系统 PC-104 与接收机和 GPRS 无线传输终端相连接,利用 PC-104 上的两个 RS-232 串口,以中断方式控制数据同时互不干扰的收发,并利用控制软件设置发送数据的时间间隔,这样就可以根据现场条件,合理安排监测密度,以便及时向有关部门提交监测成果,做好相应的处理。

2.2 监测成果

2004 年 6 月进行仪器设备安装调试,并进行首期观测。观测方案采取 10 min 切换一个通道,每天定时在 6 时和 18 时两次计算成果,并将计算结果分析预报后提交有关单位。图 2 给出了本系统监测点 C2A-III-TP-36 在 2004 年 7~8 月的监测成果,并将该点结果与相应的 GPS 监测校核点进行对比。通过常规监测得到的数据成果和采用基于一机多天线控制器系统比较来看,形变趋势相当,基本反映了该测区的形变量,可以作为边坡监测的一种有效的手段。

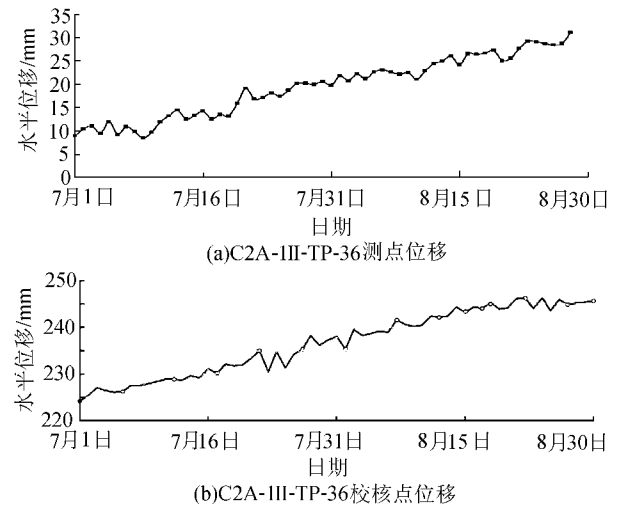


图 2 测点水平位移

2.3 测点趋势预报

针对监测系统要求的实时性和可预报性,需要根据一定时期内的监测数据,建立起适当的数学模型对未来的形变趋势加以预报,以便使有关部门通过气候条件、施工进展和以往数据综合考虑,提前作出判断,从而对边坡进行及时有效的处理,排除事故隐患。为此,将累积下来的监测成果用二次曲线加以拟合,即:

$$y = c_0x^2 + c_1x + b \tag{1}$$

式中: c_0, c_1, b 为常数,通过最小二乘算法解算。为了

衡量预测数据的可靠性,需要引入 R^2 进行检验^[5]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}} \tag{2}$$

式中 $\hat{y}_i$ 为由公式计算得到的测点拟合值。当趋势线的 R^2 等于或接近 1 时其可靠性最高。形变预报只有当进行 R^2 检验,在具有足够可靠性的基础上才有意义。另外由于预报是一种外推过程,因此随着外推时间的增长,预报精度降低,所以应随着观测量的增长,不断更新预报方程的参数。

表 1 为利用小湾水电站 2 号山梁所采集的一个月监测数据,采用式(1)拟合监测点的形变趋势得到的实测值与预报值,通过计算检验得到 $R^2 = 0.953$,说明该拟合线趋势较能反映真实情况,可以用来预报观测值。针对每天形变监测值、趋势分析及预报值并结合内观监测信息的综合分析,判断是否启动预警子系统。

表 1 系统预报值与实测值对比 mm

日期	实测值	预报值	预报值与实测值之差
8月23日	29.2	27.7	-1.5
8月24日	29.1	28.0	-1.1
8月25日	28.7	28.3	-0.4
8月26日	28.4	28.6	-0.2
8月27日	28.8	28.9	0.1
8月28日	31.1	29.2	-1.9

3 结 语

通过系统的实测数据分析结果可以看出,基于 GPS 一机多天线技术的远程高边坡监测与常规测量在平面上精度相当,比较适合小湾水电站高边坡监测的需要。GPS 一机多天线远程高边坡监测系统既克服了常规方法在困难地区难以进行有效监测的缺点,又能充分发挥 GPS 监测速度快、精度高的优势,同时采用一机多天线技术、GPRS 等技术还可达到省经费、省时、安全以及高质量的效果。

参考文献:

[1] 何秀凤, 华锡生. GPS 一机多天线变形监测系统[J]. 水电自动化与大坝监测, 2002, 26(3): 34-37.
[2] 杨光, 何秀凤. GPS 多天线大坝形变监测系统研究[J]. 测绘通报, 2003(8): 33-47.
[3] 徐勇, 何秀凤. 浦东海塘 GPS 位移监测系统[J]. 工程勘测, 2004(1): 43-50.
[4] 华锡生, 何秀凤. GPS 技术在水电工程中的应用及展望[J]. 水电自动化与大坝监测, 2002, 26(4): 6-9.
[5] 韦博成, 鲁国斌, 史建清. 统计诊断引论[M]. 南京: 东南大学出版社, 1991.

(收稿日期 2005-01-06 编辑 熊水斌)