

GPS 形变监测技术在天荒坪电站水库坝区的监测网试验

许 斌¹, 何秀凤¹, 岳建平¹, 周祖权²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 华东天荒坪抽水蓄能有限责任公司, 浙江 安吉 313300)

摘要 就天荒坪抽水蓄能电站水库坝区的 GPS 试验, 介绍 GPS 在使用单、双频机及不同观测时间段的定位精度。针对 GPS 在大坝滑坡监测中存在每个监测点上都需要安装 GPS 接收机而导致费用较高的问题, 提出了 GPS 多天线新技术——由 1 台接收机连接多根天线, 每个监测点上只安装 GPS 天线, 即多个监测点共用 1 台接收机。此外, 给出了该技术在水库坝区监测的试验结果。

关键词 GPS 形变监测; GPS 多天线; 监测网

中图分类号: TU45

文献标识码: A

文章编号: 1006-764X(2004)05-0024-03

我国目前已建成的水库大坝约 86 000 座, 坝高在 15 m 以上的约有 19 000 座^[1]。据初步统计, 在已建的这些水库大坝中, 被列为病险的大中型水库有 620 余座, 被列为病险的小型水库有 33 600 余座^[2]。对部分大坝存在的缺陷或隐患, 如不及及时发现和处理, 将直接影响大坝的安全, 甚至演变为溃坝的灾难性事故。此外, 库区的滑坡也是影响大坝安全的主要因素。滑坡大部分分布在河流的两岸, 其数量之多难以统计。仅三峡库区就有滑坡 2 490 处, 自 1980 年以来已有 30 多处发生崩塌、滑坡, 造成重大损失^[1]。由此可见, 对大坝及库区滑坡的安全监测非常重要。

传统的形变监测是在监测区建立控制网, 使用精密测距仪和经纬仪为主要手段, 选择网中高等级点建立统一基准, 将这些监控网点用可靠的方法高精度地与各部位的独立基准点联测, 将独立基准点各部位倒垂、正垂、引张线等监测系统联系起来, 形成整体的监测网络系统。监测网的精度和可靠性要求高, 观测周期长, 所需费用高, 而且需要大量的人力物力。

GPS 精密定位技术在大地测量、地壳形变监测、精密工程测量等诸多领域得到广泛的应用, 与观测边角相对几何关系的传统测量方法相比, GPS 监测具有突出的优点^[1]: 实现了高度自动化, 大大减轻外业强度, 同时得到高效可靠的三维点位监测结果。

1 GPS 在大坝、滑坡形变监测中的应用

GPS 用于形变监测, 监测的区域一般不是很大, 但变形监测点布设比较密集, 在一定范围内具有代

表性的区域布置测点, 在距离监测点合适的位置(如稳固的基岩上)建立基准点, 高精度地测定观测点三维坐标, 经过几期观测得到变形点坐标(或者基线)的变化量, 由观测点的形变量, 建立安全监测模型, 分析滑坡、大坝等的变形规律并实现及时反馈。事实上, 为了建立一个更接近实际情况的安全监测模型, 合理的密集分布监测点是需要的。

使用常规的全站仪难以实现同步观测, 并且需要更多的人力完成观测操作; 而使用 GPS 观测则简化了外业操作, 但是多个监测点需要使用更多的高精度接收机同时观测, 仪器费用也随之提高。因此, 降低成本是 GPS 形变观测需要解决的问题。

大坝和滑坡在短时间内不会出现很大的位移, 要通过观测整体的微小形变量, 构造形变分析模型, 预测变形体长期的变化趋势, 为以后的分析决策提供依据。为了进行形变分析, 需要监测点高精度位置坐标数据, 通常要求监测点的精度达到毫米级, 因此, 形变监测中, 进一步提高 GPS 的精度是 GPS 定位技术能否应用于形变测量的一个关键性问题。

与普通的工程测量不同, 滑坡及大坝形变监测需要实时传送数据, 并不断更新, 达到监控的目的。普通的全站仪由于内部的电器、光学特性使得它不能工作在雨雪天气, 夜里也难以完成测量作业。GPS 技术由于具有全天候作业的特点不但可以取代传统的测量作业方式, 而且可以将 GPS 信号传输到控制中心, 实现数据自动化传输、管理和分析处理。

GPS 用于形变监测虽具有突出的优点, 但由于

每个监测点上都需要安装 GPS 接收机 ,尤其是当监测点很多时 ,费用较高^[3] .针对这个问题 ,笔者提出了 GPS 一机多天线方法 ,由 1 台接收机连接多根天线 ,每个监测点上只安装 GPS 天线 ,即多个监测点共用 1 台接收机 ,这样监测系统的成本可大幅度下降 .基于上述设计思路 ,笔者研制开发了专利产品 “ GPS 一机多天线控制器 ” ,使 1 台 GPS 接收机能连接 8 根天线 .该项技术为大坝、高边坡及滑坡的 GPS 安全监测创造了良好的条件 ,也使 GPS 技术在水利水电工程中有了广阔的应用前景 .

2 GPS 大坝形变监测网试验

天荒坪抽水蓄能电站位于浙江省北部安吉县境内 ,电站枢纽包括上水库、下水库、输水系统和厂房等部分 ,处于天目山区中部的崇山峻岭中 ,河道落差很大 .下水库位于太湖流域西苕溪的支流大溪上 ,上水库位于大溪的一条小支沟的沟源洼地 ,输水系统和厂房均设在地下 ,上、下水库库底天然高差约 590 m ,筑坝形成水库后平均水头约 570 m ,两个水库的水平距离仅 1 km 左右 .因此 ,建立先进可靠的 GPS 形变监测系统 ,对于实时监控枢纽的安全运行具有重要的意义 .

将 GPS 应用于天荒坪抽水蓄能电站大坝的形变监测 ,工程实现中必须研究如下一些限制因素及其对定位精度的影响 .

a. GPS 观测可以使用双频接收机 ,也可以使用单频接收机 .考虑到成本问题 ,在几千米的小范围内 ,不影响观测精度的情况下 ,用单频机代替双频机 .

b. 使用 GPS 定位首先要求接收机跟踪锁定足够数目的卫星 ,以便进行整周模糊度解算 .在大坝的形变监测中观测时间的长度也是决定形变观测精度的一个因素 .

针对以上问题 ,笔者受天荒坪电站总公司委托 ,在天荒坪抽水蓄能电站的坝区较系统地进行了一些试验 ,并获得有一定价值的成果 .

2.1 观测时间的选择

考虑到用 GPS 观测不同于普通的全站仪 ,需要先对天空中可见星进行锁定 ,计算整周模糊度 ,再根据卫星的分布计算几何精度因子 ,评价 GPS 定位的精度水平 .当接收机失去对卫星的锁定时(如遮挡或卫星飞离可视天空) ,需要重新锁定卫星 ,比较并使用最优的卫星空间结构计算天线位置 .因此 ,笔者就观测时间的长短 ,做了相关的试验并进行分析 .在天荒坪上水库 ,选取 TS06 ,TS07 ,TS04 作为基准点 ,因其具有良好的环境条件和稳定性 ,将边坡上 TS04 ,TP11 ,TPZ7 ,TP1 作为变形监测点 ,使用双频接收机分别连续观测 15 ,30 ,45 ,60 ,90 min ,并使用 PRISM 随机软件经过基线解算及网平差处理 ,结果见表 1 .

从表 1 中 3 个监测点的坐标分量中误差 M_x , M_y , M_p 可以看出 ,15 min 观测精度只能达到厘米级 ,最小约 1 cm ,最大达到近 7 cm .因此 ,15 min 时间不适合作为 GPS 观测大坝形变的观测时间 .当观测时间在 30 min 以上时 ,观测精度有了明显好转 .观测时间大于 45 min 时 ,精度基本上在 2 ~ 3 mm 之间变化 .从表 1 中还可以看出 ,90 min 观测与 45 min 观测结果相差已经不是很明显 .从提高工作效率、节省工作时间方面考虑 ,45 min 已经能够达到 GPS 进行滑坡及大坝形变监测的要求 .

2.2 单频、双频 GPS 接收机试验

双频接收机可以连续观测 L1 和 L2 两个频段的载波和测距码 ,增加了观测量 ,可以更好地消除信号在大气中传播造成的误差 .但是与测量型单频接收机相比 ,双频接收机在价格上要高得多 .对于需要密集布点的监测系统 ,使用的接收机数量较多时成本

表 1 GPS 不同观测时间平差结果

观测时间/min	站名	X/m	Y/m	M_x /cm	M_y /cm	M_p /cm
15	TP11	75 265.066	49 321.305	3.70	5.93	6.98
15	TPZ7	74 715.401	49 017.203	1.15	3.85	4.02
15	TP1	74 831.549	49 206.485	2.55	3.75	4.53
30	TP11	75 265.084	49 321.280	0.53	0.52	0.75
30	TPZ7	74 715.213	49 017.131	0.27	0.12	0.30
30	TP1	74 831.451	49 206.463	0.28	0.15	0.32
45	TP11	75 265.089	49 321.281	0.32	0.28	0.42
45	TPZ7	74 715.172	49 107.125	0.21	0.25	0.33
45	TP1	74 831.451	49 206.472	0.25	0.24	0.35
60	TP11	75 265.092	49 321.282	0.24	0.23	0.33
60	TPZ7	74 715.173	49 017.127	0.26	0.24	0.35
60	TP1	74 831.456	49 206.467	0.18	0.20	0.27
90	TP11	75 265.089	49 321.282	0.24	0.27	0.37
90	TPZ7	74 715.178	49 017.127	0.24	0.15	0.28
90	TP1	74 831.454	49 206.469	0.18	0.22	0.28

会很高.为此 笔者做了单频、双频接收机比较试验.取 TS06 和 TS07 作为基准点 ,使用双频机 ,对观测点 TS04 ,TP11 ,TPZ7 ,TP1 在 2 d 相同时段内 ,分别用单频机及双频机进行观测.观测中 ,外部条件没有明显变化 ,基线解算与网平差均使用随机软件.平差结果见表 2.

表 2 单频和双频 GPS 接收机观测结果比较

机型	站名	X/m	Y/m	M _x /cm	M _y /cm	M _p /cm
单频机	TS04	74 535.746	49 104.183	0.37	0.38	0.53
	TP11	75 265.746	49 321.283	0.46	0.44	0.63
	TPZ7	74 715.155	49 017.539	0.20	0.48	0.52
	TP1	74 831.464	49 206.470	0.23	0.42	0.48
双频机	TS04	74 535.738	49 104.182	0.14	0.13	0.19
	TP11	75 265.090	49 321.283	0.15	0.16	0.22
	TPZ7	74 715.174	49 017.128	0.16	0.11	0.20
	TP1	74 831.454	49 206.470	0.11	0.14	0.18

由表 2 可见 ,单频接收机观测精度为 2~6 mm ,而双频接收机在同等条件下观测精度可达到 1~2 mm.显然 ,在坝区进行形变监测 ,使用双频接收机可以达到较好的效果.但对于要求不是很高的滑坡形变监测区 ,基于费用问题 ,可以考虑使用单频接收机.

3 GPS 多天线技术在大坝形变监测中的应用

大坝安全监测中 ,制约 GPS 应用的一个关键因素是费用高.进行形变监测时 ,每一个变形监测点都需要配备 1 套 GPS 接收机 ,这使得监测系统的费用相当昂贵. GPS 一机多天线系统的研制目的在于大幅度减少用于形变监测中的 GPS 接收机数量.利用 GPS 一机多天线控制器 ,使 1 台接收机连接 8 根天线 ,每个监测点上只安装 GPS 天线 ,8 个监测点共用 1 台接收机 ,这样监测系统的成本可大幅度下降. GPS 一机多天线系统由控制中心、数据通信、多天线接收单元和供电系统构成 ,其原理见文献 [4].

在天荒坪水电站的上水库采用 GPS 一机多天线系统进行了相关试验.取 TS07 作为基准点 ,TPZ8 ,PZ10 ,PZ11 为观测点 ,这 3 个观测点共用 1 台接收机.事先设置多天线各通道工作相同时间及其它相关参数 ,监测点布置如图 1 所示.

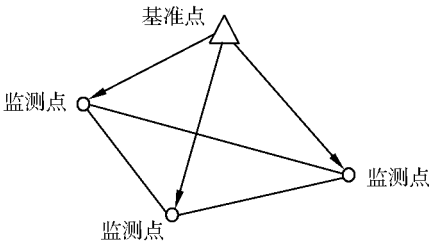


图 1 GPS 多天线监测网布局

不同于常规 GPS 观测结果处理 ,由于 GPS 一机多天线系统具有分时操作的特点 ,对观测文件需要

按时间进行切割 ,笔者用自行开发的程序对接收机采集的数据进行处理.经过切割的观测文件与普通文件相似 ,将基准点连同 3 个监测点一起进行基线解算 ,结果见表 3.

表 3 基线长度及中误差

基线段	基线长度/m	中误差/m	卫星数/颗	PDOP
TS07—TPZ8	457.818	0.003	13	1.7
TS07—PZ10	357.252	0.002	12	1.6
TS07—PZ11	306.797	0.002	11	1.5

注 :载波类型为 L1/L2 GPS.

从表 3 看出 ,使用 GPS 一机多天线系统 ,观测精度达到 2~3 mm ,这与前面在各站分别架设接收机观测得到的效果相当 ,但是使用接收机的数量大大减少 ,从而减少了监测系统的成本.

4 结 论

天荒坪抽水蓄能电站水库坝区的监测网试验显示 ,GPS 技术完全可以应用于滑坡及大坝形变监测 ,而且由于其全天候工作、自动化观测、简单的操作、高精度的成果 ,具有传统测量无法比拟的优势.制约 GPS 应用于形变监测的一个因素是费用 ,但是 ,利用 GPS 多天线技术 ,使得接收机的数量在不影响观测质量的前提下大大减少.随着 GPS 自动化监测系统的不断完善 ,数据的采集、传输、处理(包括分析、管理)都不需要人为的干预 ,这使 GPS 在水利水电工程中有越来越广阔的应用前景.

参考文献 :

[1] 徐绍铨 ,程温鸣 ,李征航. GPS 在大坝和滑坡安全监测中应用的研究 [J]. 水力发电 ,2003 ,29(1) :61~64.
[2] 何秀凤 ,杨光 ,王新洲. 基于 GPS 一机多天线的大坝形变监测系统 [J]. 导航 ,2002 ,38(3) :30~35.
[3] Huang Dingfa , Ding Xiaoli , Chen Yongqi. A New GPS system for continuous deformation monitoring [J]. Journal of Southwest Jiaotong University ,2000 ,8(2) :169~176.
[4] 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.

(收稿日期 2004-01-05 编辑 :高建群)

