

大坝变形监测自动化系统进展

方卫华¹, 王润英²

TV698-11

(1. 南京水利水电自动化研究所, 江苏 南京 210008; 2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:分析比较三种较新的大坝变形监测自动化系统的实际运行情况. 对于真空激光准直系统, 提高其稳定性的关键是提高安装质量, 保证其密封性, 同时保证波带板起落(翻转)系统的灵活性和复位精度, 此外还要选用高质量的激光管, 并采用防潮和稳压措施; 对于 GPS 系统为节约投资和提高精度采用双频双星卫星接收机和增加基准点数、优化基点布置的方法; 对于光纤系统, 其关键是解决光纤的保护和仪器系列化问题.

关键词:变形监测; 自动化系统; 激光准直; GPS; 光纤; 大坝安全 大坝

中图分类号:TV698.1+1

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2000)06-0023-03

大坝安全监测自动化最初是从应力、应变及温度监测开始的, 但由于变形监测能直观地反映大坝运行性态, 许多大坝性态出现异常, 最初都是通过变形测值出现异常得到反映的. 因此, 大坝安全监测技术规范将变形监测、渗流监测、应力、应变及温度监测和环境量监测等监测项目中的变形监测项目列为仪器监测的首选监测项目, 而位移监测又是变形监测的首选项目^[1].

大坝变形监测包括水平位移、垂直位移(沉降)、挠度、倾斜、表面接缝和裂缝监测. 水平位移和垂直位移监测方法很多, 其中水平位移监测有活动觇标法、小角度法、正倒垂线法、引张线法、激光准直法、前方交会法和导线法等; 垂直位移监测有精密水准、静力水准、三角高程、连通管法和真空激光准直等. 这些方法最初均采用光学仪器人工测量, 随着自动化技术的发展, 到目前为止, 已实现了垂线、引张线、静力水准、真空激光准直的自动化, 并且出现了 GPS、全站仪及光纤监测系统. 本文对近年来在大坝变形监测自动化系统中出现的真空激光准直系统、GPS 系统及光纤监测系统作一简要介绍.

1 真空激光准直系统

真空激光准直系统是利用激光的方向性强、亮度高、单色性和相干性好等特点和波带板激光衍射原理, 以及激光在真空中传播不受大气折光的影响进行设计的. 激光源和光电探测器分别安装在发射端和接收端的固定工作基点上, 波带板安装在测点

上, 从激光器发射出的激光束照满波带板后在接收端上形成干涉图像, 按照三点准直方法, 在接收端上测定图像的中心位置, 从而求出测点的位移.

1.1 设计及安装中需注意的问题

设计时需先确定测点位置及数据精度, 根据规范确定上述两要素之后, 根据式(1)确定工作真空度, 由大气折光差所引起的误差为

$$\alpha = 3.933 D_1 D_2 \frac{P}{T^2} \frac{\partial T}{\partial Y} \times 10^{-4} \quad (1)$$

式中: α 为测点偏离值的折光差, mm; D_1 为测点至点光源的距离, m; D_2 为测点至坐标仪的距离, m; P 为大气压强, 即工作真空度, Pa; T 为绝对温度, K; $\frac{\partial T}{\partial Y}$ 为温度沿管径方向的梯度, K/m. 这些值要根据具体情况确定, ϵ 按最大值(以中间测点)满足规范要求为准. 在确定工作真空度后要选择抽气时间及选择真空泵, 抽气时间按式(2)计算:

$$t = 2.3 \frac{V}{v} \cdot \lg \frac{P_i}{P_t} \quad (2)$$

式中: t 为抽气时间, h; V 为容积, m^3 ; v 为泵的有效抽速, m^3/h ; P_i 为开始抽气时的压强, Pa; P_t 为经 t 时间抽气后的压强, Pa.

真空泵至少应设 2 台, 其中 1 台备用.

在处理好以上问题后就要计算安装真空管道时要考虑的地球弯曲差的影响.

$$\delta_{\text{弯}} = L^2 / 2R \quad (3)$$

式中: L 是两点间的长度, m; R 为地球半径, 近似取

为 6370 km. 施工放样时应以中间点为准, 逐步向两端抬高。

设计及安装中要注意以下问题:

a. 管径选择. 管道的内径主要取决于测点距激光发射端的距离及其测值变幅, 同时还应考虑波带板最大的通光孔径及抽真空时管道的流导、放样及安装误差以及管道材料本身的弯曲等。

b. 注意密封和隔热. 真空激光准直系统的密封包括: 激光发射端和接收端的密封防潮, 管道系统(包括波纹管、测点箱、平晶密封段)的密封; 管道隔热的目的就是要尽可能地减少温度梯度, 在安装使用过程中还要注意检漏, 逐段与整体检漏相结合。

c. 选择高质量的波带板及其起落(或翻转)系统^[2], 以增加其可靠性和减小各种误差, 特别是复位误差。

d. 系统需采用自动的循环冷却水装置, 在真空泵运行期间对其进行冷却^[2]。

1.2 工程运用

国内最早建成真空激光变形监测自动化系统的是太平哨发电厂, 其系统于 1981 年 9 月建成, 1982 年 9 月通过验收, 至今运行良好; 其次则是丰满大坝变形监测系统, 1981 年动工兴建, 1984 年 6 月建成, 至今运行良好。相反, 枫树坝真空激光系统于 1982 年 7 月建成, 由于施工安装质量差, 真空管道密封不好, 漏气量大, 波带板翻转(起落)系统失灵, 激光管寿命短, 复位精度差等原因, 至今未取得完整的资料, 出现同样情况的还有龚嘴、青溪等工程。正在设计施工(或试运行)的有云峰、桓仁、葛洲坝白石等工程。

1.3 系统的优缺点和增加系统稳定性的措施

真空激光准直系统的优点是能同时测量水平和垂直位移, 一套系统相当于两套系统, 且精度较高, 同时相对坝外静力水准、浮托式引张线系统有较强的抗低温和温变能力、自动化程度较高。系统不足主要表现在: ①真空激光准直系统包括机、电、光及冷却设备, 安装较复杂, 要保持一定的真空度和漏气度, 施工安装要求较高; ②光源的寿命及波带板的复位精度、灵敏度及管内真空度长时间较难保证, 且一块波带板翻转不成功即会影响到其它测点的测量, 冷却水、真空泵工作长期协调难度大; ③如果系统出现漏气、波带板复位失效问题, 维修工程量较大。

对上述不足, 可采取以下措施增加系统的稳定性: ①注意安装质量, 确保漏气量满足规定标准; ②选用高质量的激光管, 并注意防潮和采用稳压措施; ③对于波带板采用光电到位开关代替机械到位开关。

2 GPS 系统

我国从 90 年代初开始引进 GPS 接收机并应用于大地测量。由于大坝变形测量精度要求较高, 安装在大坝上的 GPS 系统均采用全载波相位测量法, 同时采用基于全跟踪操作实时测量(RTK)、抗射频干扰的多位信号处理、SAW 滤波技术和高精度的 Ashtech L1/L2 抑径圈天线。在测量坝体变形时要在坝体两岸就近设置不少于两个基准点, 同时在基准点和坝体测点上安装 GPS 接收机及天线。通过测量接收到的载波相位和接收机本身产生的参考相位之差, 求出坝体位移。

2.1 工程应用

到目前为止国内应用 GPS 测量大坝变形并实现自动化且较成功的只有湖北清江隔河岩水电站, 该系统主要由 5 个坝顶测点和左右岸两个基准点组成, 1998 年 3 月正式投入试运行。系统采用 Ashtech Z-12CGRS 型双频 GPS 接收机及带防护罩天线, 软件采用改进后的 GAMIT 软件和精密星历进行基线向量解算, 由 GPSADT 软件进行网平差计算^[3,4]。其中 7 台 GPS 接收机 365 天 24 小时连续观测, 通过 1 年的运行, 其 1 小时及 6 小时基线测值与平均值之差变幅见表 1。

表 1 基线测值与平均值的差值变幅统计

测量时间/h	$\Delta x/\text{mm}$ (上下游方向)	$\Delta y/\text{mm}$ (左右岸方向)	$\Delta z/\text{mm}$ (竖直方向)
1	± 0.37	± 0.74	± 1.37
6	± 0.32	± 0.52	± 0.81

GPS 系统的优点主要有: ①每个测点能同时测量 x, y, z 三个方向的位移, 自动化程度高; ②设备安装后, 由于天线采用了保护罩, 仪器设备维修简单。系统的不足主要表现在: ①自动化系统投资费用较高, 隔河岩系统总经费超过 600 万元, 除去软件, 由于每个变形测点需配备天线及 GPS 接收机, 单点费用也在 20 万元以上; ②测量精度受位置和测量时间影响较大, 如廊道内就无法进行观测, 要得到测点的精确测值, 测量时间较长; ③受政治因素影响大, 因 GPS 卫星是美国政府用于军事目的而发射的; ④长期稳定性有待进一步考核。

2.2 GPS 系统的改进

a. 现在的 GPS 系统是每个测点均有一台 GPS 接收机, 可考虑改成每个测点有一根天线, 所有测点(或相近测点)共用一台接收机, 每台接收机依次通过天线采集数据, 从而减少系统费用。

b. 将现有的单卫星系统改为双卫星系统, 以减少对地形的要求和受政治因素的影响。现在 Ashtech

公司即有 GPS/GLONASS 产品问世,该产品能同时接收美国和俄罗斯卫星信号,可有效地克服由于山体阻挡问题,但仍无法解决廊道内的测量问题。

c. 改进算法和增加基准点数并合理布置基准点(平面上均匀就近布置,并尽可能不在一直线上),从而使解快速收敛以缩短测量时间。

d. 增加系统抗干扰、防雷及自检措施。

3 光纤变形监测系统

光纤传感器出现于 70 年代后期,至 90 年代初开始应用于水电及土木工程,国内从 90 年代也开始研究将光纤传感器应用于大坝安全监测。目前开展这一方面研究的有成都勘测设计研究院科研所、中国水利水电科学研究院、华中理工大学等单位。

光纤传感器是利用被测物理量来调制光纤的光参数(光强、波长、相位、延时、偏振态等),然后将这些光参数变化转化成电信号进行测量从而测定被测物理量。

3.1 工程应用

第一套大坝变形光纤传感测量系统是由华中理工大学和葛洲坝水力发电厂合作研制的,该系统于 1994 年开始试制,1995 年 3~4 月进行了现场安装调试并投入试运行,在试运行初期因光纤折断及人为原因多次发生故障,直到 1996 年 5 月才正式运行^①。

该系统只有 1 个引张线测点,设在二江泄水闸闸尾观测廊道引张线上,是利用红外光射向固定于被测点的模板和引张线上,光针扫描模板和引张线,形成光脉冲经返回光缆送往监测仪,经计算即可求出测点位移。其主要技术指标为:量程 50 mm;精度小于等于 0.1 mm;分辨率小于 0.01 mm;遥测距离 5 000 m;测量时间小于 10 s;工作环境温度 -10~+40℃,湿度小于或等于 98%。

3.2 光纤传感器的优缺点及改进措施

光纤传感器是利用光参数变化实现自动化测量的,因此其防潮、抗干扰能力强,同时没有锈蚀问题;另外由于传感器刚度较小,其抗振性能及对测点的影响误差均较小,且光纤即是传感部件又是传输部件,可实现分布式测量。

光纤传感器的不足主要表现在该技术处于发展初期,未经长期工程考验,而且费用较高。

光纤传感器的改进措施有:

a. 在应用光纤测量位移时,用光速乘以传播

时间的方法误差较大。因为用脉冲波进行时间测量难度较大。因此现改用高频波来调制激光信号,测时间改为测频率,同样由于时间域反射测量(OTDR)装置有许多不足,现在也正在改进中,方法之一就是改用频率域反射测量技术(OFDR)。

b. 开展水工环境下光纤的研制,要求光纤具有一定的强度和柔韧性,同时注意采取保护措施。

c. 进行光纤仪器的系统化并注意和常用仪器系统的接口。

4 结 语

a. 水工环境下要求大坝安全监测系统能长期、稳定、可靠运行,所以对其原理、结构、性能均要求较高,只有根据各座大坝的具体情况和各种系统的具体特点,选择合乎自己要求的自动化系统,才能真正实现快速、有效的大坝安全监测。

b. 大坝安全监测自动化是集机械、光学、电子、通信、计算机等科学于一体的综合性学科,只有不断努力,紧跟科学发展步伐,才能使我国大坝安全监测自动化水平不断提高。

c. 在广大科技工作者的努力下,大坝变形监测自动化近几年已取得了较大的进展,除本文所介绍的外,近年在新疆三屯河应用 Leica TCA2003 型全站仪实现变形监测自动化取得成功也是说明。

参考文献:

- [1] SDJ336-89,混凝土大坝安全监测技术规范(试行)[S].
- [2] 夏刚,夏强,夏正坚.真空激光准直变形监测自动化系统新进展[J].大坝安全监测,1999(1):249~254.
- [3] 花向红,徐绍铨.大坝安全监测自动化系统设计的研究[J].湖北测绘,1997(4):5~13.
- [4] 柳太康,徐绍铨.GPS 技术在隔河岩水库大坝外观变形监测中的应用[J].地震与地壳形变,1998(2):23~28.

(收稿日期:1999-04-02 编辑:熊水斌)

声 明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊内容已加入《北极星》网站。本刊从 2000 年起,将刊出文章全文在《北极星》网站(<http://www.lodestar.com.cn>)发布。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章在该网站发布,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《水利水电科技进展》编辑部

^①庄正新.三峡工程安全监测自动化系统试点研究报告.葛洲坝水力发电厂,1996 年 8 月。