

# 上海市水利管理处

## Shanghai Water Conservancy Management

### 水利科技

- ▶ 水利科研
- ▶ 科技动态
- ▶ 论文集萃

### 信息搜索

 

### GPS 在水利工程中的应用概况及发展趋势

**[摘要]** 水利工程是国家的经济命脉,提高其工作效率、保障其安全运营是头等大事。全球定位系统GPS(Global Positioning System)以其连续、实时、高精度、全天候测量和自动化程度高等优点,在工程及灾害监测中的应用越来越广泛。然而,目前GPS 在水利工程方面的应用也存在不足和局限性。首先对GPS 技术用于水利工程的现状及其特点进行总结,然后对目前GPS用于水利工程及变形监测的模式、数据处理方法及其存在的问题作一一介绍和分析,最后探讨GPS 技术的发展趋势。

**[关键词]** GPS;水利工程;应用现状;发展趋势

**[中图分类号]** TP39 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006 - 7175(2006) 09 - 0643 - 03

水利工程因为其污染小、经济效益显著,所以在国家的经济建设中起着举足轻重的作用。从小丰满、小浪底、葛洲坝到现在举世瞩目的三峡工程无一不为国家的经济建设、人民的日常生活提供了坚强有力地保证。但是其设计要求高、施工难度大,同时因为规模巨大,因此对原有的自然环境也会造成一些影响。在这些因素的影响下,如何确保工程安全高效施工和运营,是水利工作者首先要考虑的重大问题之一。测量的技术和方法是设计提供准确数据、高精度的放样以保证施工质量、竣工的验收以及运营后的变形监测和环境监测的重要手段之一,下面就测量新技术GPS 做一综述,以供同行参考。

#### 1 全球定位系统

在早期的水利工程中为工程提供设计依据和变形监测等的主要技术手段是传统的测量仪器和方法,即经纬仪、水准仪、测距仪等仪器利用三角网、导线、交会、几何水准等方法来获取数据。这些仪器设备在某些困难地区很难达到理想的精度且工作效率低下,而全球定位系统(GPS)的产生和应用为水利工程的兴建提供及时准确的测量数据和信息、提高工作效率提供了有力的保证,而且也运营中的水利建筑物的适时安全监测提供了可能性。

GPS 由3 部分组成:空间部分由24 颗GPS 卫星组成,卫星以6 个轨道均匀地分布在20 200 km的高空中,运行周期约为12 h ,可以保证在全球的任何位置、任何时间均可以同时观测到4 颗以上卫星;地面监控部分由监测站、主控站和注入站组成,主要完成对卫星的监视、对卫星数据的获取以及将卫星星历注入卫星的存储系统等功能;用户设备主要是GPS 接收机,接收机采用空间距离交会的方式,在接受到卫星发来的信号后经过数据处理即可解算出基线向量以及点位坐标。整个系统具有全球性、全天候、高精度、测站间不需通视等特点。全球定位系统的应用给测量工作带来了一场革命性的变革。

#### 2 GPS 在水利工程中的应用

水利工程从设计阶段到施工建设及竣工验收一直到安全运营监测和环境监测等均需要及时准确的高精度测量数据为其提供各方面的信息,从以往传统的测量方式来看:①在一些特殊的困难地区传统的测量仪器和方法难以保证数据的必要精度;②因为传统的仪器和方法大部分都是人工作业模式,所以既效率低下,而且当需要了解水利工程的实时变化情况时,比如当大坝在超水位蓄洪期间的变形检测,这也是传统仪器和方法无法解决的问题。GPS 的出现和应用使这些问题迎刃而解。

水利工程的设计阶段首先需要利用现势性很好的地形图来确定坝址的具体位置(当然还需要综合考虑水文地质等各方面综合因素,但本文仅从测绘方面加以论述,以下相同。)以及汇水面积。因水利工程大多处在地形复杂、高差变化比较大的困难地区,如采用传统的三角测量或导线测量的方式进行控制测量,要想达到规定的精度需花费大量的人力、物力和财力,而目前经典的GPS 静态测量模式的测量精度可达10 - 6 精度,若增加观测时间或采用精密星历或精密结算软件观测精度还会继续提高。这样的精度完全可以满足水利工程控制测量的需要,但是试验表明GPS 的工作效率却远远高于传统的测量模式。碎部测量若采用目前最新的GPS RTK(载波相位实时动态差分定位)技术工作效率还可进一步提高。

GPS在水利工程中最大的贡献是将这项技术应用到坝体的变形监测当中。竣工后的运营期间对大坝进行变形监测是现在大型水利工程必不可少的一个重要环节,世界各国因溃坝而造成的经济损失和人员伤亡的事故不胜枚举。如法国67 m高的Malpasset 拱坝1959 年垮坝,美国93 m高的Teton 土坝1976 年溃决等,其所造成的经济损失可想而知。以往的交会或极坐标的测量方式测量精度低、周期长,而且无法实现连续观测。这样有限的、周期性的变形数据实时性差同时也为变形分析增加了难度。GPS 因为其高精度、全天候的特点,为建立大坝的实时连续变形监测系统和获取长时间大量的变形监测数据以进行变形分析提供了有力地保证。我国在青江隔河岩大坝建立的GPS 自动化变形监测系统,由数据采集、传输、处理与分析三大部分组成。数据传输部分及时准确地传输观测资料及有关信息(观测值、卫星星历)到控制中心,也能在总控室中对各接收机进行遥控(譬如:开机、关机、改时段长度、设置采样率、截止高度角等参数)。数据处理及管理部分主要由总控软件、数据自动处理软件、自动变形分析软件和数据库管理等部分组成。该系统曾在1998年长江抗洪错峰中发挥了重要作用,确保了安全渡汛,避免了荆江大堤灾难性的分洪。

水利工程的修建对原有的地貌、地质环境将会造成一定地影响,水下地形测量等环境监测也是水利工程竣工后的一项重要内容,意大利262m高的拱坝于1963年因库岸大滑坡导致涌浪翻坝且水库淤满而失效。因此除了对两岸可能产生滑坡的滑坡体进行监测外定期对水下地形进行测量也是非常必要的,及时清淤以保证库容和航道的畅通。以往困扰测量工作者的主要问题是水下地形点平面位置的确定,而目前的GPS RTK技术可以保证在动态的情况下解算得点位精度可达cm级,这完全可以满足水下地形点的平面位置精度要求。

### 3 存在的问题和发展趋势

GPS应用于水利、土木等各项工程,已取得许多试验研究成果。但在现阶段,在高山峡谷、地下、建筑物密集地区和密林深处,由于卫星信号被遮挡及多路径效应的影响,其监测精度和可靠性不高或无法进行监测。尤其是在水利工程中其绝大部分面积为水域,其对接收卫星信号的多路径效应非常严重,这将是制约GPS在水利工程中广泛应用的一个主要因素。对于多路径效应所带来的误差可以采用在天线下面增加抑径板或抑径圈的方法加以减弱,该方法可以减少30%左右的多路径误差;由加拿大诺瓦泰公司研制的多路径误差消除技术MET(Multi2path Elimination Technology)可使多路径误差减少60%;而随后开发的消除多路径延迟的锁相环路MEDLL(MultipathEliminating Delay Lock Loop)技术则可使接收机减少90%的多路径误差,虽然这两项技术的应用在国内还未见详细报道,但是它却说明了GPS可以广泛用于水利工程的可能性。

另外,根据一些滑坡等工程GPS监测资料的分析结果和实验研究成果来看,目前GPS监测水平位移的精度较高,而监测垂直位移的精度较低(约比水平位移的监测精度低2倍),这种状况使得在水利工程勘测阶段、高精度变形监测中还难以利用GPS同时精确测定平面和垂直位移。之所以GPS高程测定的精度较低的主要原因是GPS测定的是点位沿法线到达托球面的大地高,而在水利工程中应用的是点位沿垂线到达似大地水准面的正常高,因为期间的差距(高程异常)的不确定性而导致了GPS测高的精度。目前可以采用GPS水准、曲面拟合的方法来提高GPS高程测量的精度,如果对于变形监测不考虑高程系统的差别而只考虑相邻两次的高差变化,则直接使用大地高差精度会有进一步地改善。

由于GPS存在这些不足之处,所以在水利工程中目前它不能完全替代其它测量技术和方法,而应在必要时采用由GPS与其它技术集成组合而成的观测方案及变形监测系统。如在美国加州南部的一个新水库(DiamondValley Lake)采用了GPS和测量机器人等其它技术集成而成的一个综合自动监测系统,获得了mm级的精度。

目前GPS动态变形监测数据处理主要采用的是整周模糊度动态解算法(Ambiguity Resolution On - The - Fly,简称OTF法),但该方法只能达到cm级精度,不能满足高精度动态变形监测的需要。另外,对于动态变形监测,由于监测点在很短时间内的变形是微小的,表现为一种弱信号,而误差却成为强噪声,如何从受强噪声干扰的序列观测数据中提取微弱的特征信息,以提高变形监测的精度,是GPS动态监测系统应解决的一个关键技术问题。目前,这一问题通常是采用数据平滑或Kalman滤波的方法在时域内进行处理。对于变形的频率和幅值等主要变形特征的分析,则通常采用频谱分析法将时域内的数据序列通过Fourier级数转换到频域内进行分析。但由于这些方法本身存在的缺陷,对于非平稳、非等时间间隔观测信号的变形特征提取存在局限性。

根据对国内外GPS在水利工程的应用现状分析,可将GPS在水利工程中应用(主要是高精度的变形监测中)的发展趋势概括为以下几个方面:

(1) 建立GPS变形监控在线实时分析系统对于大坝进行变形监测,研究建立技术先进而又实用的GPS变形监控在线实时分析系统是一个重要的发展趋势。这种系统由数据采集、传输和处理与分析等几个主要部分组成,可以使监测数据得到及时地分析和处理,从而实时地评价变形的现状和预测其发展趋势,为灾害发生的可能性分析与预报提供科学依据,这对处于活跃阶段的滑坡体及大坝变形监测具有特别重要的意义。由于建立连续运行的GPS网络系统进行大坝和滑坡等变形监测,成本较为昂贵,因此,研究低成本的GPS一机多天线变形在线实时监测分析系统也是一个颇有实际意义的研究方向。

(2) 建立GPS与其它变形监测技术集成组合的综合变形监测系统。为克服GPS技术用于变形监测的不足和局限性,根据变形监测的对象和目的,将GPS与其它变形监测技术(如测量机器人、INSAR、数字近景摄影测量和特殊变形测量技术等)集成组合形成综合变形监测系统,可实现不同监测技术之间的优势互补。例如,将GPS与IN2SAR集成组合成GPS/INS变形监测系统,可从离散点位测定进入到四维形变场( $x, y, z, t$ )的整体动态精确测定,使GPS变形监测技术应用范围更加广阔。

(3) 大大提高的时空采样率将会为变形监测自动化的变形分析提供更为丰富的数据信息。

(4) 加强对各种方法和模型的使用性研究。高精度的GPS数据必须要采用更为合适的模型进行研究分析,才可以为大坝等变形体提供更为准确的预报。比如将小波分析理论应用于坝体的变形监测将会在其数据处理和分析方面发挥重要作用。总之,随着测量技术的发展必将出现更多数据分析的新方法。

### 4 结 语

GPS以其连续、实时、高精度、全天候测量和自动化程度高等优点,在工程及灾害监测中的应用将越来越广泛。诞生于20世纪80年代的小波分析理论,是一种最新的时频局部化分析方法,被认为是自Fourier分析之后的突破性进展。将小波分析方法用于GPS动态变形分析,可望有效地提取动态变形特征,是一个值得重视的研究方向。此外,应当重视研究如何提高GPS垂直位移的监测精度,使之能与水平位移的监测精度相匹配,从而使GPS可以同时测定三维位移的优越性得到更有效地发挥。

[参考文献]

[1] 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.

[2] 黄声享,尹晖,蒋征. 变形监测数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

- [3] 胡友健,罗 昀,曾 云. 全球定位系统原理与应用[M]. 北京:中国地质大学出版社,2003.
- [4] 魏二虎,黄劲松. GPS 测量操作与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.
- [5] 王秀美,贺跃光,曾卓乔. 数字化近景摄影测量系统在滑坡监测中的应用[J]. 测绘通报,2002,(2):28-30.
- [6] 周 山,文小兵,李 陶,等. 近景数字摄影测量及动态卡尔曼滤波在建筑物变形观测中的应用[J]. 东北测绘,2000,(3):29-30.
- [7] 陈永奇,吴子安,吴中如. 变形监测分析与预报[M]. 北京:测绘出版社,1998.
- [8] 李征航,吴云孙,李振洪,等. 隔河岩大坝外观变形数据的处理和分析[J]. 武汉测绘科技大学学报,2000,(06):25.
- [9] Ding XL, Chen YQ, Huang D F, et al. MariaTsakiri and Mike Stewart, Slope Monitoring Using GPS - A Multi - antenna Approach[J]. GPS World, 2000,(8):27-29.
- [10] 杨 光,何秀凤,华锡生,等. GPS 一机多天线在小浪底大坝变形监测中的应用[J]. 水电自动化与大坝监测,2003,(1):27.
- [11] 王爱生,李虎生,余 哲,等. 利用多期复测成果比较GPS 网与边角网的精度[J]. 测绘通报,2001,(2):16-18.
- [12] 张 航,王政梅,刘 进,等. GPS 复测黄腊石滑坡大地形变网的精度分析[J]. 工程勘察,2001,(2):54-58.
- [13] 李德仁. 论RS、GPS 与GIS 集成的定义、理论与关键技术[J]. 遥感学报,1997,(1):64-68.
- [14] 潘宝玉,王贵祥. 3S 技术集成及其在地质领域中的应用[J]. 山东地质,1998,(04):14.
- [15] 焦明连,吕秀建. 基于GPS RTK技术的数字化地形测量[J]IGNSS World of China,2005,(2):20-22.

[作者简介] 刘旭春(1969-),男,黑龙江伊春人,副教授,在读博士研究生;潘 雄(1973-),男,湖北宜昌人,副教授,博士后.

附件:

作者:刘旭春 潘雄

来源:水利科技与经济

日期:2009-03-02

---

首 页 | 信息公开 | 行业管理 | 信息简报 | 水利科技 | 党的建设 | 便民服务

上海市水利管理处

地址:上海市南苏州路333号华隆大厦23楼 邮政编码:200002 电话:63216790 Email:shsl@shsl.org.cn

(建议您将电脑显示屏的分辨率调整为1024\*768浏览本网站)