

GNSS自动化监测系统在水工建筑物中的应用

张 鹏

广东建科源胜工程检测有限公司 广东 广州 510700

摘要：随着水利工程建设的不断发展，水工建筑物的安全监测愈发重要。GNSS（全球导航卫星系统）自动化监测系统凭借其高精度、实时性、全天候等优势，在水工建筑物监测领域得到了广泛应用。本文深入探讨了GNSS自动化监测系统在水工建筑物中的应用，包括其系统组成、工作原理、具体应用场景以及应用案例，并分析了该系统应用过程中面临的问题及相应的解决策略，旨在为GNSS自动化监测系统在水工建筑物中的进一步推广和应用提供参考。

关键词：GNSS自动化监测系统；水工建筑物；安全监测；技术细节；应用案例

1 引言

水工建筑物（如大坝、水闸、堤防等）是水利工程核心，承担防洪、灌溉等重要功能。但长期运行中，会受水压力、温度变化、地质条件改变及地震等因素影响，出现变形、裂缝等问题，威胁其安全与稳定。传统监测依赖人工用水准仪、全站仪测量，存在劳动强度大、测量周期长、精度易受人为与环境因素干扰等不足，难以实时连续监测，无法满足现代水利工程安全监测需求。GNSS自动化监测系统作为新兴技术，可实时准确获取变形信息，为保障水工建筑物安全运行提供有力支持。

2 GNSS 自动化监测系统概述

2.1 系统组成

GNSS自动化监测系统由多部分组成：GNSS接收机是核心，负责接收卫星信号，常用GNSS系统有GPS、GLONASS、Galileo和北斗，其性能影响监测精度与可靠性，高精度接收机水平定位精度可达毫米级、垂直达亚毫米级，采样频率可按需设置，现代接收机多具备多系统兼容性；数据传输设备负责将接收机采集的数据实时传至数据处理中心，有线传输如光纤、网线适用于近距离有布线条件处，无线传输包括GPRS、4G、5G、北斗短报文等，各有适用场景；数据处理与分析软件是系统“大脑”，具备数据预处理、坐标解算、变形分析、报表生成与预警等功能；电源系统为系统供电，野外监测点多采用太阳能供电与蓄电池结合方式，需根据设备功耗和日照条件选太阳能电池板，依连续工作时间选合适容量蓄电池；防雷系统用于保护野外监测设备免受雷击，一般包括避雷针、引下线、接地装置，各部分设计需结合实际情况。

2.2 工作原理

GNSS自动化监测系统基于全球导航卫星系统定位原理工作。GNSS接收机同时接收多颗卫星信号，测量信号发射到接收的时间差，算出接收机到卫星距离，再依据至少四颗卫星的距离信息，利用空间后方交会原理解算出接收机三维坐标。监测时，接收机按设定采样间隔实时采集卫星信号，经数据传输设备发至数据处理中心。中心先对原始观测数据预处理，如格式转换、粗差剔除、周跳探测与修复等，提升数据质量^[1]。接着采用差分GNSS技术，通过基准站与监测站差分计算，消除卫星钟差等公共误差，提高定位精度，常用伪距差分（DGPS）、载波相位差分（RTK）等技术，其中RTK可达厘米级甚至毫米级精度，在水工建筑物变形监测中应用广泛。经差分处理的数据再用算法解算坐标，比较不同时刻坐标得出位移变化量，实现实时监测。

3 GNSS 自动化监测系统在水工建筑物中的具体应用场景

3.1 大坝变形监测

大坝是水利工程中最重要的水工建筑物之一，其安全稳定运行直接关系到下游人民生命财产安全。GNSS自动化监测系统可以实时监测大坝的水平位移、垂直位移、倾斜等变形参数，及时发现大坝的异常变形情况。在大坝坝顶、坝肩、坝基等关键部位布置GNSS监测点。坝顶监测点主要用于监测大坝的整体水平位移和垂直位移；坝肩监测点用于监测坝肩的稳定性，防止坝肩滑坡；坝基监测点用于监测坝基的沉降和变形。监测点的布置间距应根据大坝的类型、规模和地质条件等因素确定，一般坝顶监测点间距为50-100米，坝肩和坝基监测点间距可适当加密。通过对监测数据的分析，可以评估大坝的结构安全性。例如，当监测数据显示大坝的水平位移量超过预警阈值时，可能表明大坝存在结构不稳定

的问题,需要及时采取加固措施;当垂直位移量出现异常变化时,可能意味着坝基存在沉降或隆起等问题,需要进一步调查和处理。同时,通过对长期监测数据的分析,还可以了解大坝的变形趋势和发展规律,为大坝的维护和管理提供科学依据。

3.2 水闸变形监测

水闸是调节水位、控制流量的重要水工建筑物,其变形情况会影响水闸的正常运行和使用寿命。GNSS自动化监测系统可以对水闸的闸室、闸墩、翼墙等部位的变形进行监测,及时发现水闸的裂缝、沉降等问题。在水闸的闸室、闸墩、翼墙等部位安装GNSS接收机。闸室监测点用于监测闸室的变形情况,防止闸室因变形过大而影响闸门的正常启闭;闸墩监测点用于监测闸墩的稳定性和垂直度;翼墙监测点用于监测翼墙的位移和倾斜情况,防止翼墙倒塌^[2]。当监测数据显示水闸某部位的位移量超过预警阈值时,系统会及时发出预警信息。管理人员可以根据预警信息,及时对水闸进行维修和加固。例如,如果监测到闸墩出现明显的沉降现象,可能需要采取注浆加固等措施来提高闸墩的稳定性;如果翼墙出现倾斜,可能需要对翼墙进行支撑或加固处理。

3.3 堤防变形监测

堤防是防御洪水的重要屏障,其稳定性对于保护沿岸地区的安全至关重要。GNSS自动化监测系统可以对堤防的堤顶、堤坡等部位的变形进行监测,及时发现堤防的滑坡、塌陷等险情。在堤防沿线每隔一定距离布置一个GNSS监测点,形成监测网络。堤顶监测点主要用于监测堤防的整体水平位移;堤坡监测点用于监测堤坡的稳定性,防止堤坡滑坡。监测点的布置密度应根据堤防的地质条件、堤高和洪水风险等因素确定,一般堤防监测点间距为100-200米。通过对监测数据的实时分析,系统能够及时发现堤防的异常变形情况。当监测数据显示堤防某部位的位移量突然增大时,可能表明该部位存在滑坡或塌陷的危险,系统会及时发出预警信息。防汛部门可以根据预警信息,迅速组织人员对堤防进行巡查和抢险,确保堤防的安全。

3.4 水电站厂房变形监测

水电站厂房是水电站的核心建筑,其变形会影响发电设备的正常运行和人员的安全。GNSS自动化监测系统可以对水电站厂房的墙体、楼板、基础等部位的变形进行监测,及时发现厂房的结构安全隐患。在水电站厂房的墙体、楼板、基础等关键部位安装GNSS接收机。墙体监测点用于监测墙体的变形和裂缝情况;楼板监测点用于监测楼板的沉降和变形;基础监测点用于监测基础的稳定性

和沉降情况。通过对监测数据的分析,可以评估水电站厂房的结构安全性^[3]。当监测数据显示厂房某部位的变形量超过预警阈值时,需要及时采取加固措施。例如,如果监测到厂房基础出现不均匀沉降,可能需要采用桩基托换等技术来加固基础,确保厂房的安全稳定运行。

4 应用案例:某水库大坝 GNSS 自动化监测项目

4.1 项目背景

某水库大坝为混凝土重力坝,坝高85米,坝长320米,建于20世纪80年代。由于大坝运行年限较长,且近年来经历了多次洪水考验,为了确保大坝的安全运行,决定采用GNSS自动化监测系统对大坝进行变形监测。

4.2 监测方案

4.2.1 监测点布置

在大坝坝顶每隔50米布置一个GNSS监测点,共布置了7个监测点;在坝肩两侧各布置了2个监测点;在坝基布置了3个监测点。同时,在远离大坝的稳定区域布置了2个基准站。

4.2.2 设备选型

选用TrimbleNetR9GNSS接收机,其水平定位精度可达 $\pm 2.5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$,垂直定位精度可达 $\pm 5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$ 。数据传输采用4G无线传输方式,电源系统采用太阳能供电与蓄电池相结合的方式。数据处理与分析软件采用TrimbleBusinessCenter软件,具备数据预处理、坐标解算、变形分析、报表生成等功能。

4.3 监测效果

系统投入运行后,能够实时、准确地监测大坝的变形情况。在监测初期,大坝的变形较为稳定,水平位移量每月在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,垂直位移量每月在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。在一次强降雨过程中,系统监测到大坝某坝肩监测点的水平位移量突然增大,从每月 $\pm 1\text{mm}$ 增加到每月 $+3\text{mm}$,超过了预警阈值($\pm 2\text{mm}$)。系统及时发出了预警信息,管理人员根据预警信息,迅速组织人员对大坝进行了检查和加固。经过现场检查,发现该坝肩存在局部滑坡的迹象,通过采取注浆加固和锚索加固等措施,有效控制了坝肩的变形,避免了可能发生的安全事故。

5 GNSS 自动化监测系统应用过程中面临的问题及解决策略

5.1 信号遮挡问题

在水工建筑物监测中,由于建筑物本身或周围环境的影响,可能会导致GNSS信号被遮挡,从而影响监测精度。例如,大坝坝体、水闸闸室等部位可能会对卫星信号产生遮挡,导致接收机接收到的卫星数量减少,定位精度下降。解决策略包括:合理选择监测点的位置,尽

量避免将监测点布置在信号遮挡严重的区域。如果无法避免,可以采用增加监测点高度、使用多天线接收机等方式来改善信号接收条件。采用差分GNSS技术,通过基准站与监测站之间的差分计算,消除卫星钟差、电离层延迟、对流层延迟等误差,提高定位精度。结合其他监测技术,如全站仪、水准仪等,对GNSS监测数据进行补充和验证,提高监测结果的可靠性。

5.2 数据传输稳定性问题

GNSS自动化监测系统需要实时将监测数据传输到数据处理中心,数据传输的稳定性直接影响到监测的实时性和可靠性。在野外监测环境中,可能会受到信号干扰、网络故障等因素的影响,导致数据传输中断或延迟。解决策略包括:选择稳定可靠的数据传输方式,如采用双链路传输(同时使用有线和无线传输方式),当一种传输方式出现故障时,能够自动切换到另一种传输方式,确保数据的正常传输^[4]。在数据传输设备中增加数据缓存功能,当网络出现故障时,能够将采集到的数据暂时存储在本地,待网络恢复后再自动传输到数据处理中心,避免数据丢失。加强对数据传输网络的维护和管理,定期检查网络设备的运行状态,及时发现和解决网络故障。

5.3 设备维护与管理问题

GNSS自动化监测系统设备大多安装在野外,长期暴露在自然环境中,容易受到风吹、日晒、雨淋等的影响,导致设备故障率较高。同时,监测点分布广泛,给设备的维护和管理带来了一定的困难。解决策略包括:选用质量可靠、防水、防尘、耐腐蚀的监测设备,提高设备的适应性和可靠性。建立完善的设备维护管理制度,定期对监测设备进行巡检、保养和维修,及时发现和处理设备故障。利用远程监控技术,对监测设备的运行状态进行实时监控,当设备出现异常时,能够及时发出警报,通知维护人员进行处理。

5.4 数据处理与分析问题

GNSS自动化监测系统产生的数据量巨大,如何对这些数据进行高效、准确的处理和分析,提取有价值的信息,是实际应用中面临的一个重要问题。同时,不同的水工建筑物具有不同的变形特点和监测需求,需要开发针对性的数据处理与分析算法。解决策略包括:开发专业的数据处理与分析软件,具备数据预处理、坐标解算、变形分析、报表生成等功能,提高数据处理和分析的效率。引入人工智能、机器学习等先进技术,对监测数据进行深度挖掘和分析,建立变形预测模型,实现对水工建筑物变形的提前预警。加强对监测人员的培训,提高其数据处理和分析能力,使其能够根据不同的监测需求,灵活运用数据处理与分析方法。

结语

GNSS自动化监测系统具备高精度、实时性等优势,在水工建筑物安全监测中前景广阔,能监测变形、及时发现隐患,保障安全运行。实际应用中虽面临信号遮挡、数据传输稳定性等问题,但可通过合理选监测点、采用差分GNSS技术、选稳定传输方式、加强设备维护、开发专业软件等策略解决。随着技术发展,其作用将更突出。未来可探索与InSAR、激光雷达等技术融合,提高监测精度,同时深度挖掘数据,建立科学预测模型,为水工建筑物安全评估和管理提供更全面支持。

参考文献

- [1]陈凤文.水利工程GNSS控制网布设与测量精度分析[J].水上安全,2024,(03):43-45.
- [2]董莉,张慧.GNSS技术在水利工程测绘中的应用[J].产业科技创新,2023,5(04):83-85.
- [3]朱德军,李浩博,王晓明.GNSS遥感技术在智慧水利建设中的应用展望[J].水利水电技术(中英文),2022,53(10):33-57.
- [4]吴创涛.水利GNSS监测系统在惠州大堤北堤中的建设实践[J].水利科学与寒区工程,2024,7(07):120-123.