

严寒地区特高拱坝施工期安全监测自动化方案初探

王建¹ 田军涛²

1. 新疆额尔齐斯河投资开发(集团)有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

2. 中国水利水电科学研究院 北京 100038

摘要: 严寒区高拱坝施工期安全监测采用常规人工采集不仅耗费大量人力,而且存在安全生产隐患,尤其在冬歇期低温及冰雪环境下采用人工监测很难实现。针对该问题,本文以西北高纬度地区QBT水利枢纽为依托,引进了一种适用于严寒地区风光电混合能源自动化系统,有效解决了施工期临时自动化安全监测系统持续供电、数据采集及数据传输的困难,实现了浇筑期及间歇期低温条件下安全监测数据自动化采集,降低施工期频繁采集造成的人工强度和人员安全风险,突破了冬歇期严寒环境下人工采集困难和存储数据的保障等难题,为提高今后类似工程安全监测质量、降低安全生产风险提供技术支撑。

关键词: 严寒区;高拱坝;施工期;安全监测;临时自动化

引言

大坝安全自动化监测系统能够有效实现大坝监测数据自动采集、处理和计算,对判断大坝结构健康状态,保障大坝安全运行具有重要意义^[1,2]。但在大坝建设过程中,由于工程施工现场环境复杂,施工工期长,自动化设备长期在恶劣环境下容易损坏,同时自动化系统设备技术更新较快等因素,一般认为安全监测自动化在施工期不具备实施条件,因此通常不会过早启动,在设计时就施工期监测仪器设备采购和安装以及自动化采集设备的采购安装调试分开招标,在下闸蓄水前才实施永久自动化安全监测。但是对于严寒地区混凝土坝的建设而言,由于坝址所处气候条件恶劣,地质条件复杂,采用常规人工采集不仅耗费大量人力,而且存在安全生产隐患,尤其在冬歇期低温及冰雪环境下采用人工监测很难实现。

以西北高纬度地区QBT水利枢纽为例,其环境特点

可以表现为“高纬高寒高震一长一短”,即地处北纬48°,年均气温2.8℃,极端最低气温-45℃,最大年较差81.6℃,地震基本烈度为Ⅶ度,计划总施工期约108个月,年有效施工期短(一般6个月/年),技术难度远超国内同类型工程,具有极大的挑战性。施工期频繁采集大批量数据的人工强度和人员安全风险,间歇期低温冰雪条件下人员无法进行人工数据采集。为了消除安全生产隐患,同时保证大坝性态在施工期内可控、可预见,因此本工程引入施工期安全监测临时自动化,有效解决了安全生产潜在隐患,提高了大坝安全监测效率,缩短了数据采集周期,解决了冬歇期数据采集和存储问题,有效提高了建设安全管理水平,为及时掌握拱坝结构状态及安全隐患,保障严寒区特高拱坝的安全施工提供有力保障。

1 工程概况

西北高纬度地区QBT水利枢纽工程拦河坝为混凝土双曲拱坝,拱坝坝高240m,下游设水垫塘及混凝土重力坝二道坝。正常蓄水位985.00m,死水位840.00m,最低发电水位900m,总库容为17.49亿m³。电站总装机670MW。工程地处大陆性北温及寒凉气候区。夏季干热,冬季严寒,季节温差悬殊,降水量小,蒸发量大,昼夜温差大,全年多季风。坝址多年平均气温为2.8℃;极端最高气温36.6℃;极端最低气温-45℃;多年平均降水量为203.8mm;多年平均风速2.4m/s;最大风速35.1m/s;最大积雪深76cm;最大冻土深220cm。工程所在地冬季寒冷而漫长,河面封冻,而且冰盖较厚。最长封冻天数为154天,最大河心冰厚为1.71m,最大岸边冰厚为

作者简介: 王建,1984年3月,汉族、男,甘肃,新疆额尔齐斯河投资开发(集团)有限公司,副处长,高级工程师,本科830000,邮箱39242072@qq.com,研究方向:水利工程建设管理及水工材料。

田军涛,1971年3月,汉族,男,河北晋州,中国水利水电科学研究院,高级工程师,本科学士,邮编100038,邮箱 tianjt@iwhr.com 研究方向:水工材料

基金项目:十三五国家重点研发计划(2018YFC0406700);国家自然科学基金项目(51879286);中国水利水电科学研究院科研业务费项目(SM0145B032021);新疆额尔齐斯河投资开发集团有限公司(QBT058/JA15)

1.47m。

2 存在的问题

2.1 采集强度大、难度高且劳务稀缺

考虑到每年4月底~10月初为混凝土浇筑期,根据《混凝土坝安全监测技术规范》(SL601-2013)规定^[3]:钢筋计、钢板计、压应力计、应变计、无应力计、温度计等仪器埋设后,24h内,4h/次;第2~3天,8h/次;第4~7天,12h/次;直至混凝土达到最高水化热温升为止,以后观测3次/月。因此浇筑期各类监测仪器数据采集工作频繁且数量庞大,传统的人工采集工作强度大且难度高。同时,北疆地区受气候影响每年施工期仅半年,地处西北边陲,劳务稀缺且工费偏高,仅依靠常规人工测量很难保证数据的准确性和真实性,而且监测人员在恶劣的气候环境条件下作业存在较大的安全生产风险。

2.2 冬季寒冷漫长,监测设备性能要求高

工程每年停工日期约为10月中旬至次年4月中旬,所处的区域冬季冰雪较厚,极端最低气温-46.2℃,依靠人力进入施工区监测较为困难。为保证安全监测数据的连续性及完整性,工程临时自动化安全监测方案需充分考虑设备的耐寒、耐久性、临时供电和通信方式及保障措施等。

3 施工期(含冬歇期)观测方案初步设计探索

工程安全监测自动化拟计划在混凝土浇筑后期逐步开始实施,考虑到工程冬季气候环境恶劣,引入了一种新型风光电混合能源的加热保温装置,确保设备在冬季正常工作。对监测数据进行比对分析满足要求后采用自动化采集数据作为日常观测资料进行整编分析,对临时自动化设备进行评估后并入永久自动化系统。在此基础上,制定合理的观测方案。方案主要包括工程施工期及冬歇期,且重点侧重于冬歇期大坝内观仪器、边坡以及其他部位的观测项目。

3.1 工程施工期

(1) 工程施工期边坡表面变形采用全站仪半自动化监测方式定期观测。

(2) 工程施工期边坡及大坝等部位内部监测仪器传统采集以人工观测为主,施工过程中为提高采集效率和真实性采用临时自动化监测设备完成施工期观测工作,同时临时自动化监测数据与人工观测数据定期和不定期进行比对分析。

3.2 施工冬歇期

(1) 边坡表面变形

合成孔径雷达干涉测量技术(INSAR)集成孔径雷达技术与干涉测量技术于一体,是一种主动式微波遥

感技术,能够全天候、全天地获取地表三维信息,空间分辨率高,基本不受气候条件影响,能够满足对地观测的需求。如图1为INSAR原理示意图,图中 A_1 、 A_2 分别代表雷达卫星的天线位置,两条天线之间的夹角记为 β 。 H 、 h 分别代表雷达卫星高程和地物高程。 R 、 R' 分别代表雷达卫星两条天线到地物的距离。

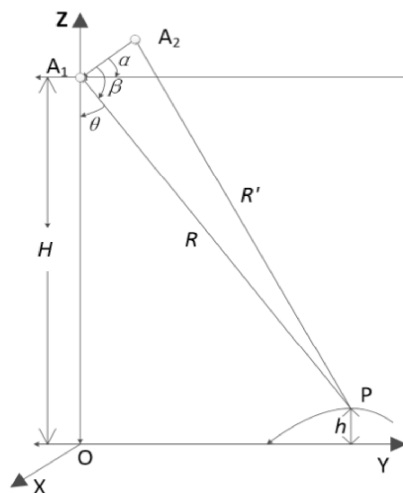


图1 InSAR原理示意图

本工程冬歇期因现场积雪影响,人员进出工地困难。为监测大坝枢纽冬歇期边坡变形规律,为来年开工提供科学依据,边坡表面变形采用INSAR技术进行监测。监测内容包括:边坡变形的形变速率、边坡变形的形变量、边坡变形的时空变化分析报告、高寒区边坡类InSAR监测工作方法与技术体系。利用边坡外部观测墩角反射器,取得底面实测坐标,构建角反射器(CR)监控网(安装角反射器的数量,应根据施工期各测点的变形量情况,选择各边坡已浇筑测墩数量的2/3进行确定);利用地面实测CR坐标和卫星星历数据,定位CR的反射信号,提取CR的峰值信号并精化卫星轨道数据;结合时间基线的分布情况,选择合理的干涉影像,综合分析形变、高程误差、大气延迟差等相位分量,通过时间维上的相位解缠和空间维度上的相位展开等技术,分离观测墩变形信息。之后根据现场条件选用X、C和L波段多期SAR数据,基于CRInSAR和相干目标短基线InSAR技术,利用GAMMA和SARscape等软件对每月的边坡变形监测资料进行解析,并与全站仪人工观测结果进行对比,不断迭代INSAR技术在边坡变形观测中的数据处理方法,提高观测精度。

(2) 内部仪器监测

施工冬歇期边坡内部监测仪器采用临时自动化监测设备完成冬歇期观测工作,临时自动采集和信号传输设

备安置在保护箱内，为确保相关设备在低温环境下正常工作，保护箱需采用风光电混合能源的加热保温装置，在每年冬歇期前后及过程中采用人工观测数据与临时自动化监测数据进行比对分析。

(3) 大坝及其他部位监测

施工冬歇期大坝及其它部位内部监测仪器可采用临时自动化监测设备完成冬歇期观测工作，临时自动采集设备安置在大坝廊道内或隧洞内，信号传输设备安置在大坝表面的保护箱内，为确保信号传输设备在低温环境下正常工作，保护箱需采用风光电混合能源的加热保温装置，如图2为保温装置原理示意图。在每年冬歇期前后及过程中采用人工观测数据与临时自动化监测数据进行比对分析。

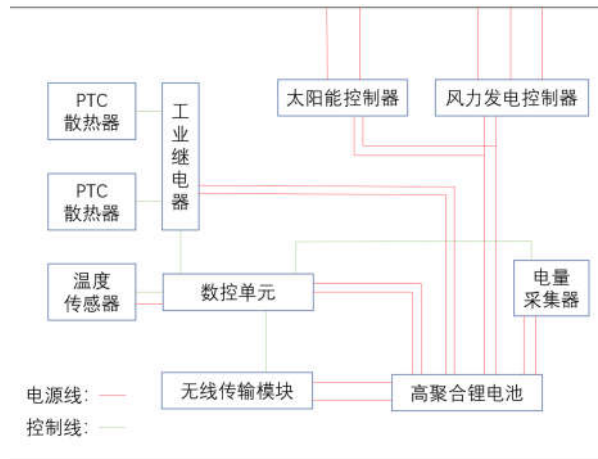


图2 风光电混合能源保温装置原理示意图

表1 风光电混合能源加热保护装置参数表

序号	装置名称	配置要求	备注
1	板式太阳能加热器	满足800WH吸热转换功率，可持续为30L油管中的液体加热。	
2	导热油	①热稳定性较好，结焦少，使用寿命较长的液体；②导热性能、流动性能及可泵性能良好的；③低毒无味，不腐蚀设备，对环境影响很小；⑤凝固点较低，沸点较高，低沸点组分含量较少。蒸汽压不高，蒸发损失少。	
3	储油罐	容量 ≥ 15L，密封性能良好；保温性能良好。用于储存液体，保温液体。	
4	散热器	散热板要求散热效率高，不易腐蚀。使用铜板散热器最佳。	
5	油泵	实现储液罐中的液体与散热器中的液体循环，密封性良好。	
6	太阳能电池板	功率 ≥ 100W，电压24V，可为电池充电。	外接
7	风力发电机	功率及电压同上；满足工作环境 -40℃-70℃。为电池充电。	
8	锂电池	电压24V；储能电池，能够满足控制系统的用电要求。	
9	箱体	内部须有保温板，箱体厚度 ≥ 1mm。	
10	岩棉保温板	厚度 ≥ 5cm，且密封性良好。	
11	温度反馈集成电路调控	用于监测箱体温度，温度过低时触发油泵更换液体散热。	
12	单通道多通道无线采集仪	支持1/4通道、4g、NB、蓝牙通讯方式、低功耗技术，采集频率1次/周持续一年以上。	

4 结论

采用上述智能化安全监测采集系统替代传统人工采集，较好地解决了施工期浇筑过程中全天候的大量数据频繁采集工作，有效降低人工采集面临的坝段间、灌区间通行中的安全风险和昼夜不间断采集的人工劳动强度。

本工程所处地属西北高纬度地区，年有效施工期仅6~7个月，当地实际人工费较高，采用自动化采集系统将有效地解决传统大量人工采集造成观测外业费用紧张矛盾，保证了监测工作顺利开展。

通过对自动化安全监测系统的采集设备、网络传输、

供电保障、保温装置等核心环节结合严寒气候进行针对性设计和应用，具备解决冬季人工无法现地观测问题，保证了冬歇期工程安全监测数据的连续性和完整性。

参考文献：

[1]赵志仁.大坝安全监测的原理与应用[M].天津:天津科学技术出版社,1992.

[2]吴中如编著.水工建筑物安全监控理论及其应用[M].北京:高等教育出版社,2003.

[3]SL601-2013,混凝土坝安全监测技术规范[S]. 2013.