

# 严寒地区高拱坝安全监测招标设计方案思考

王建

新疆额尔齐斯河投资开发(集团)有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:**大坝安全监测是大坝建设运行的重要技术保障。目前,国内外在严寒地区修建200m以上高拱坝为数不多,做好拱坝安全监测招标方案设计,为指导和评价工程建设及运行尤为重要。基于对QBT水利枢纽工程大坝安全监测招标设计方案的研究,对标段划分、主要监测项目设置、仪器完好率的保障约束、资料及时性的保证、施工期部分项目临时自动化的实现及后续与永久自动化衔接、招标控制价的测算等问题进行全面和深入地思考,确定较为完备的安全监测招标设计方案。几点思考可为今后类似工程的安全监测的招标设计和实施提供参考。

**关键词:**安全监测;招标方案;自动化

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

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 $m^3$ 。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 $^{\circ}C$ ;极端最高气温36.6 $^{\circ}C$ ;极端最低气温-45 $^{\circ}C$ ;多年平均降水量为203.8mm;多年平均风速2.4m/s;最大风速35.1 m/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1.47m。

### 1.2 设计目的

QBT水利枢纽“强震、高寒、特高坝、年有效施工期短、地质条件复杂”的工程特点,使大坝变形、应力应变、渗流和温度等项目监测均变得极为复杂,为确保工程安全、根据大坝坝基坝肩地质条件、研究计算成果、工程处理措施制定有针对性的大坝安全监测设计方案是非常必要的;同时,通过切实可行的监测手段获取大坝最为直观的监测资料,可以有效检验设计理论、验

证试验成果、监控大坝工作性态、确保大坝安全运行。本工程安全监测实现的主要目的如下:

(1)为工程施工服务。主要表现在:监控严寒区混凝土施工过程中的温度变化情况,为坝体温控和坝面保温效果提供科学依据;监控拱坝封拱灌浆横缝开合度变化,为横缝灌浆提供监测数据;对工程高边坡及洞室开挖、支护等提供实测数据,确保工程施工安全。(2)为工程初期运行(蓄水)服务。通过对施工期监测资料分析研究,建立严寒强震区特高拱坝安全监测预测模型,为大坝初期蓄水和运行提供依据。(3)为设计和科研服务。通过获取施工期不同阶段的监测资料,指导设计,实现长间歇施工条件下工程的动态设计;通过对施工期和运行期完整的安全监测资料进行系统地分析研究,可以验证本工程设计理论、检验试验成果,为我国高坝尤其是严寒、强震区的高坝工程设计提供经验,提高设计和科研的水平。

### 1.3 设计原则

本工程安全监测以能够满足为工程施工、分析评价、设计反馈以及运行管理提供监测资料为出发点,根据工程施工期、运行期监控需求制定监测设计原则,并在工程建设期和运行期不断进行动态调整和优化,使之满足施工、设计、建管和运行等方面的需求。本工程主要设计原则包括:(1)根据工程施工、区域环境及运行特点,在突出重点、兼顾全局原则基础上,依据现行规范要求选择监测项目,采用适当的技术和方法实现在国内高寒区高拱坝上的应用。(2)测点布置考虑相互配合、补充、校验的功能,并按照施工期与运行期测点相结合、内外观测点相协调的原则进行布置。关键部位仪器设备考虑施工风险、仪器耐久性等影响因素具备适度冗余量,能够实现监测手段互相校验,资料分析相互印证,从而确保观测资料的完整性、准确性和可靠性。(3)监测仪器设备选型考虑施工

收稿日期:

**作者简介:**第一作者简介:王建,男,高级工程师,本科,E-mail:39242072@qq.com

**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)。

安装及观测方法简单、可靠,观测计算结果便于与设计值比较,仪器性价比相对较高,并便于维护和实现自动化。在选择传统仪器类型的同时,参考当前国内外相关行业产品在本项工程中进行应用。(4)本工程选择的安全监测系统性能应可靠、稳定、便于维护更新,同时考虑系统的先进性、经济性和耐久性;监测系统不仅要满足观测精度及环境要求,同时考虑工程信息化监测以及必要的科研需要,并能够体现出我国当前大坝安全监测的技术和水平。(5)本工程安全监测充分考虑监测项目在施工期的作用,如施工期混凝土温度、横缝开合度等监测项目,为优化温控措施、确定接缝灌浆时机、监控接触灌浆和固结灌浆效果提供数据支持。(6)根据现场施工监测和人工巡视检查结果,在工程建设期和运行期不断对监测设计进行动态调整和优化,满足工程建设的需求。

(7)本工程监测仪器设备基于计算机和网络技术实现自动化监控,以满足水库现代化管理需要。监测自动化系统按照安全可靠、技术先进、经济合理的原则进行选择。施工期仪器安装埋设结束后引入监测站尽早实现自动化观测,将监测数据通过光纤和GPRS等通讯方式传输至监测管理站,并与远程管理中心站实现通信。

## 2 总体方案规划的思考

### 2.1 标段划分

(1)在我国开始大规模建设的大型水电工程的早期(约15年前),考虑到主体施工与监测仪器安装埋设的干扰,将监测仪器采购、安装埋设纳入主体施工标内,再招1个观测及资料整编分析标(一般由设计院或科研单位承担),由于存在互相推诿责任风险,并随着对监测工作要求的不断提高,此方式不再沿用。(2)为发挥施工、设计、科研各单位优势,也曾采用2家及以上单位联合以联合体方式投标,缺点是各自为阵,业主协调工作量大,澜沧江某拱坝工程曾采用此方式,较难达到预期。(3)至今对于工程区域广,监测工作量非常大的工程,视规模按工程部位划分监测标段。针对QBT工程规模、工期、枢纽布置,以及监测仪器总量和专项投资规模,宜选择规模较大,且经验丰富的监测实施单位为目标,故不必按内、外观进行标段划分;按地面与地下工程进行标段划分的必要性取决于地下部分工程量多少;

分1~2个标为宜。若划分2个标段,宜将仪器设备采购与现场实施分开,即可保障业主对监测仪器质量的控制,利于厂商研发或提供耐高寒等特殊仪器,也可使有经验的单位做好现场实施工作。目前国网新源抽水蓄能电站均采用此模式。标段过多会导致协调难度大,且各标规模小承接单位不会大量投入,最终效果不佳。

### 2.2 概算对比

依据水电工程安全监测专项投资编制细则规定,在预可行性研究阶段,工程安全监测系统专项投资按主体建筑工程投资的百分率进行估算<sup>[4]</sup>,取费率为1~2.5%,主体建筑工程投资5亿元以下的取上限,50亿元以上的取下限。QBT工程建安投资约56.6亿元,依据上述算法预计投资为5660万元,初设概算中安全监测工程投资计列6313万元。调研类似项目安全监测合同价在实施过程中均有不同程度突破情况,尤其是后续自动化系统投资增加较大。考虑到QBT工程地处高纬严寒的西北偏远地区,当地属农牧区监测专业技术普工稀缺,工期长达108个月,年有效施工工期仅6~7个月,有近半年施工间歇期属于冰雪低温条件施工环境,期间的监测数据需要在条件极其恶劣的情况下采集获取,综合考虑诸多不利因素后本工程适当提高投资费率,加大投资确保项目保质保量地完成。

### 2.3 招标控制价

QBT工程招标阶段,项目法人多次组织参建各方对方案进行论证,结合本工程所处地理位置及施工环境特征,对安全监测系统中个别设计不合理、不实用及未考虑到的项目进行优化,比如取消集线箱、取消分布式光纤测温、增加施工期临时自动化系统、暂缓实施竖直升高等,切实将有限的投资利用在必要的监测项目上。

### 2.4 主监测断面

国内多座已建高拱坝根据坝顶弧长、坝段、坝高、抗震设计烈度等因素综合考虑,设有5~7个主监测断面<sup>[5]</sup>,通常采用“七梁五拱”。表1提供与本工程规模相当的几座已建拱坝特性,经过比较分析,认为QBT工程拱坝地处高纬高寒区,建设及运行条件较恶劣,仅设置5个主监测断面相对偏少,可根据监测项目的必要和费用允许的情况下增加2个主监测断面,特别是增加左右拱端处监测断面更有必要。

表1 已建类似拱坝特性表

序号	坝名	坝顶弧长(m)	坝高(m)	混凝土量(万m <sup>3</sup> )	坝段(个)	抗震设计烈度(度)	多年平均气温(℃)	主监测断面(个)
1	拉西瓦	475.8	250.0	373	22	VIII	7.2	5
2	小湾	892.8	294.5	840	43	IX	19.1	7
3	二滩	769.0	240.0	409	39	VIII	20	7
4	溪洛渡	681.5	285.5	680	31	VIII	16.8	7
5	QBT	790.5	240	400	35	VIII	2.8	5

### 2.5 仪器完好率

监测设施保护措施费是在承包人合同工程项目全部完工,并通过由发包人组织的完工验收后,根据仪器完好率进行支付。对于移交的监测设施,可更换的监测仪器设备完好率应为100%;不可更换仪器完好率超过90%时,可支付该项费用,该项费用支付的计算公式为: $(\text{实际完好率}-0.90)\times 10\times \text{监测设施保护措施费投标报价}$ ,其中工程量报价单中所列的监测设施保护措施费总价为最高支付费用。

### 2.6 资料及时性

根据合同条款约定期限,承包人及时提交监测月报、年报和相关专题报告等资料,如未按期限要求正式提交合格的报告,承包人向发包人支付资料延误罚款,因承包人原因造成拖延,处以经济处罚,总罚款不超过当月(年)结算额的2%。

## 3 单(专)项方案的思考

### 3.1 施工期监测自动化

目前已是较为常见的一种做法,提高了工程施工期监测效果,仅存在部分电缆或光缆等设施损耗现象,适量增加些过程维护工作,增加投资很小。简易安全监测采集房,对采集模块起到防水防尘防砸等保护作用,可机动调动,不影响现场施工,且可与土建工程同步上升。

3.1.1 近年来,大部分水电工程在施工期就逐步开展了监测自动化项目,BHT水电站施工期实施的自动化监测项目有大坝横缝测缝计、坝基渗流、渗压计等;JP一级水电站实施的项目有高边坡锚索测力计、多点位移计、大坝横缝测缝计、坝基渗流、渗压计等。

3.1.2 通过调研多家设计单位均认为在施工期实施监测自动化非常有必要,如条件不具备时,至少应建立半自动化监测系统(数据采集实现自动化),保证监测数据的真实性、连续性和完整性,还可以根据工程需要及时调整和加密观测频次等,能有效解决了人工观测的局限性,在高山峡谷地形人工观测难度巨大,特别是拱坝,很难保证及时观测和采集数据。自动化监测系统可及时提供混凝土浇筑温度,指导混凝土从拌和、运输、入仓各环节温控措施的调整,封拱及接缝灌浆时测缝计数据也可接入自动化监测系统,确保数据及时可靠。

3.1.3 施工期自动化(半自动化)监测系统应作为后期永久性监测自动化一部分,在施工期招标时与仪器设备安装埋设作为一个项目招标,实际上未增加监测标的整体(施工期、后期自动化)投资。建立施工期自动化监测即使一次性投入较人工监测大,但实际摊销后自动化费用将在五年左右与人工监测投资持平,且施工期自

动化采集系统可接入后期永久监测系统中。

本工程招标方案中设计拟推荐了采用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的自动化采集系统,通过风光电混合能源的加热保温装置保障低温季节仪器正常运行,可有效解决施工期大量数据采集问题,尤其是解决冬歇期人员受低温及冰雪限制无法到达仓面进行采集数据问题。

3.1.4 混凝土浇筑前要把土建工程承建单位实施的温度监测用温度计接入半自动化监测系统,确保数据真实可靠。土建承建单位施工期人工观测数据应与自动化采集数据比对,确保人工测量数据的准确性,澜沧江某工程实施的效果很好。

### 3.2 仪器选型及安装

3.2.1 监测仪器除渗压计选用原装进口设备,其他采用国产设备性价比更高,选用一线成熟的仪器及设备。

3.2.2 引张线式水平位移计精度及使用效果较差,QBT工程取消该监测项目。

3.2.3 阵列式位移计单价较高,系统误差较大,阵列式位移计某一节(测点)坏了会导致后边所有节(测点)将无法采集到数据,造成数据缺失。目前在拱坝中拱向和梁向的变形(挠度)监测还没有应用,应用效果需进一步研究和论证,还需论证在低温条件下是否适用。

阵列式位移计与拱坝真空激光等可作为科研项目进行尝试和探索。

3.2.4 监测仪器设备引出后续电缆后应每隔10m做耐久性较好的标签,便于后期观测、接入自动化及运行期维保。

3.2.5 坝基与坝体张合情况监测手段,需根据工程实际情况来判断,单独一种仪器的作用是有限的。如小湾除了在17号、22号、23号、28号坝段坝踵部位布置6点式锚杆应力计,定性监测坝基岩体应力与变形的深度范围和大小以外,还布置了双轴钻孔岩石应力计、压应力计、单向测缝计、滑动测微计孔等多种仪器。QBT工程地质条件复杂,可借鉴类似方法进行相关监测设备布设。

3.2.6 温度计、测缝计的布设按灌区和浇筑仓考虑,统筹智能温控系统、土建单位施工监测及安全监测单位的仪器布设,不要重复和遗漏。

### 3.3 分布式光纤测温

内地已建多座高拱坝均未使用分布式光纤测温系统,仅有澜沧江某工程在施工初期布设了部分分布式光纤测温,后废弃。分布式光纤测温系统易受现场施工环境、湿度、温度及灰尘等诸多因素影响,受施工交叉和干扰较大,数据失真严重,可靠性较传统温度计差且

造价昂贵。无论是从技术先进性，还是工程适用性等方面，分布式光纤测温系统的价值都不大。可结合最新研究成果，考虑将分布式光纤应变、温度、裂缝、振动等综合监测系统作为科研项目尝试。

#### 4 结语

借鉴国内已建类似高拱坝安全监测系统设计经验，结合QBT工程自身特点，对拱坝安全监测招标设计方案进行系统、全面地审查和思考，形成以下结论：

(1) 在满足设计规范要求及工程实际环境和需求的前提下，将安全监测系统统筹规划成工程建设及运行的“听诊器”，尤其考虑工程所处偏远边疆及严寒的实际情况，总体控制好投资总额不超概算。

(2) 充分对施工期临时自动化方案的可行性和经济性进行论证，投入使用后从根本上解决人工费用高昂、浇筑期大量数据采集工作强度和人工采集数据的真实性、施工期冬季间歇期数据采集等问题。

#### 参考文献：

[1]孙金华.我国水库大坝安全管理成就及面临的挑战[J].中国水利,2018(20):1-6.

[2]吴中如.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]何向阳,周启,周和清,等.水库大坝监测资料整编分析系统的研究与开发[J].人民长江,2015,46(23):108-110+115.