

大藤峡水利枢纽 混凝土防裂智能温控系统

孙祥鹏¹,李松辉²

(1.广西大藤峡水利枢纽开发有限责任公司,537226,桂平;

2.中国水利水电科学研究院 水电可持续发展研究中心,100038,北京)

摘要:大藤峡水利枢纽工程具有浇筑方量大、建筑物复杂、浇筑块尺寸大、约束区范围大、暴露面多、材料特性差等诸多温控防裂不利因素。为有效防止混凝土裂缝的发生,开发了适合工程特点的智能温控软件系统、分析模型及硬件装备,并在本工程获得成功应用,实现了原材料预冷、混凝土拌和、仓面控温、通水冷却、保温全过程温控信息的自动感知、传输、互联共享及部分环节的智能控制,实现了基于互联网、物联网技术的温控防裂的全要素、全过程管理,有效提高了混凝土施工的管理水平。

关键词:混凝土坝;温度控制;智能化;防裂措施

Intelligent temperature control system for concrete crack prevention of Datengxia Hydraulic Project//Sun Xiangpeng, Li Songhui

Abstract: The Datengxia Hydraulic Project has many unfavorable factors of temperature control and crack prevention, such as large volume of pouring, complex buildings, large size of pouring blocks, large scope of restraint zone, many exposed surfaces, poor material characteristics and so on. In order to effectively prevent concrete cracks, an intelligent temperature control software system, analysis model and hardware equipment were developed and successfully applied in this project. The automatic sensing, transmission, interconnection, sharing and intelligent control of temperature control information in the whole process of raw material pre-cooling, concrete mixing, water cooling and thermal insulation are realized, and the intelligent control of some links is realized based on it. The full elements and whole process management of temperature control and crack prevention based on the Internet and the Internet of Things technology have been realized, effectively improving the management level of concrete construction.

Keywords: concrete dam; temperature control; intellectualization; crack prevention measures

中图分类号:TV315

文献标识码:B

文章编号:1000-1123(2020)04-0045-03

大藤峡水利枢纽由于建筑物的布置方式及特点,温控防裂存在巨大挑战:①建筑物复杂,包括泄水闸、船闸、厂房;②浇筑块尺寸大,其中最大块长 98.85 m;③约束区范围大,大部位于区域位于约束区;④暴露面多,受寒潮影响大,表面防裂压力大;⑤材料特性对温控防裂不利(绝热温升高、线胀系数大等);⑥气象条件对温控防裂不利(全年 1/3 的天数气温处于 30℃以上)。

为了有效防止大体积混凝土裂缝的产生,提高混凝土的施工质量,研究开发了大体积混凝土防裂智能温控系统。该技术可实现现场温控实施情况的自动获取、准确掌握、实时评估、智能干预及决策支持,有效提高了混凝土施工的管理水平、保障了混凝土施工质量。

一、智能温控系统总体构成

智能温控系统同人工智能类似,

包括“感知”“互联”“分析决策”和“控制”四个部分,如图 1 所示。其中“感知”主要是对各关键要素的采集(自动采集和人工采集);“互联”是通过信息化的手段实现多层次网络的通讯,实现远程、异构的各种终端设备和软硬件资源的密切关联、互通和共享;“控制”包括人工干预和智能控制,主要是自动化、智能化的温度、湿度、风速等小环境指标控制,以及混凝土养护和通水冷却调控;“分析决

收稿日期:2019-11-18

作者简介:孙祥鹏,高级工程师,主要从事水利信息化方面工作。

基金项目:国家重点研发计划(2016YFB0201003、2018YFC0406700),国家自然科学基金(51579252),水利部先进技术示范专项(011775),中国水利水电科学研究院科研专项。

策”是整个系统的核心,通过学习、记忆、分析、判断、反演、预测,最终形成决策。“感知”“互联”和“控制”相辅相成、相互依存,以“分析决策”为核心桥梁形成智能监控的统一整体。

智能温控系统的现场实施主要包括三部分,分别为软件系统与分析模型集成、硬件设备布置与安装,现场决策支持。

二、软件系统与分析模型

智能温控系统由 13 个子系统组成,可实现温控信息的自动获取和高效管理、开裂风险的实时评估和预警报警、温控施工的决策支持与干预反馈,包括电脑客户端及手机 APP 软件。

①温控信息采集、信息传输与信息管理与评价 3 个子系统可实现 22 种自动采集或人工温控信息的录入与存储、海量数据的实时自动入库、基于网络和权限分配的信息共享、温控报表的自动生成等功能。

②仿真分析与反分析子系统可实现大坝浇筑到运行全过程实时跟踪反演仿真分析,及时预测未来温度、应

力及开裂风险,提出措施与建议。

③智能拌和子系统按照施工工期试验配合比,可实现混凝土机口温度的自动监控,确保各原材料用量及温度满足要求。

④智能喷雾子系统根据实时监测的仓面小气候特点,可实现仓面小气候的自动控制,有效防止高温季节施工混凝土仓面气温倒灌。

⑤智能保温子系统根据实时监测的混凝土内部温度、寒潮等信息,可实现混凝土仓面保温参数的自动计算,并给出对应材料参数保温厚度的建议。

⑥智能通水控制子系统按照目标温度曲线,基于统一的信息平台和实测数据,运用预测分析模型,提出通水冷却指令,通过自动控制设备完成下一个时段的通水流量与流向。

分析模型是以温度应力达标为目标,实现温控参数的精准预测与温控超标的超前预警,确保目标温度与实测温度一致(图 2),为系统的核心,包括九大在线实时分析模型(图 3)与 SAPTIS 离线分析模型。其中九大在线实时分析模型内嵌于软件管理系统,可实现温控效果的在线实时评价与

通水参数的智能调控。SAPTIS 离线分析模型可实现施工过程中对重大温控决策的线下仿真分析。

⑦报警预警、决策支持两个子系统实现温控指标超标报警和基于风险评价的开裂风险预警功能,并给出决策支持。

⑧信息发布与干预子系统通过网络将报警预警决策支持信息发送至相关人员电脑或手机终端,施工管理人员及时处理,并将处理情况反馈至服务器,完成管理闭环。

三、硬件设备布置与安装

大藤峡水利枢纽大体积混凝土智能温控系统本着技术先进、系统实用、结构合理、产品主流、低成本、低维护量作为基本原则进行设计,硬件设备的布置主要是根据枢纽的布置特点,在施工现场进行各类温控仪器的布置,主要包括现场分控站的布置,温度计的埋设设计及测控单元、水管流量测控装置、水管水温测量用数字温度传感器等温度流量测控设备计算。

现场分控站是指为方便设备集中管理而在施工现场设立的控制中心。本工程按照典型监测坝段的布置图,主供水及回水管路的设计图,设置分控站布置图如图 4、图 5 所示,分控站内布置测控单元。在现场布置 27 座分控站,分控站 1~7 的测控单元对应第 1 信道的中继路由器;分控站 8~17 的测控单元对应第 2 信道的中继路由器;分控站 18~19 的设备对应第 3 信道的中继路由器;分控站 20~23 的测控单元对应第 4 信道的中继路由器;分控站 24~27 的测控单元对应第 5 信道的中继路由器。在营地机房设立服务器,通过互联网连接,服务器内装有智能监控软件,智能监控软件经过集成处理及计算,实现各类信息的实时传输、分析及预警。

根据大藤峡水利枢纽的施工进度,考虑重复利用,所需的各类设备的数量如表 1 所示。

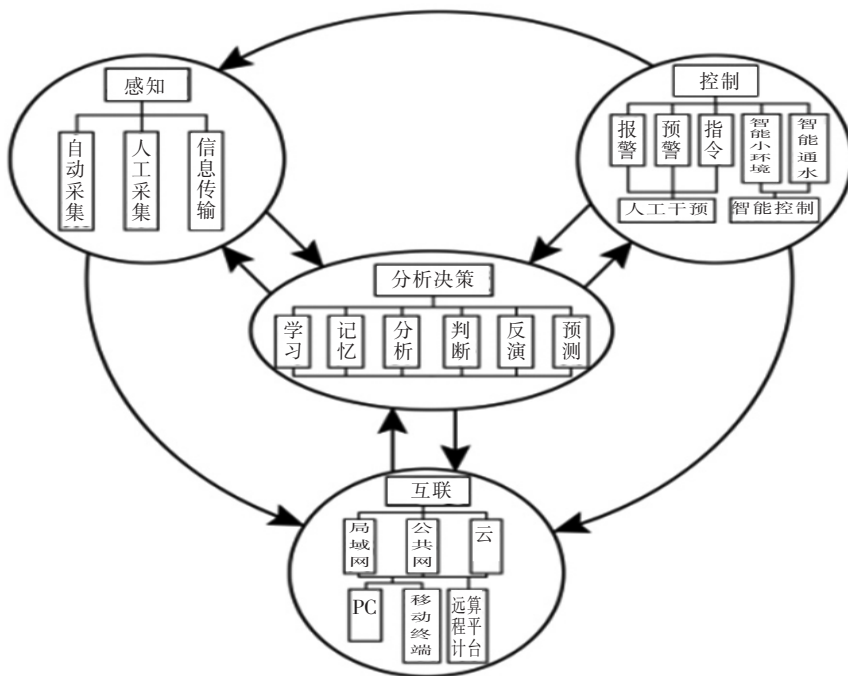


图 1 大体积混凝土智能温控系统结构

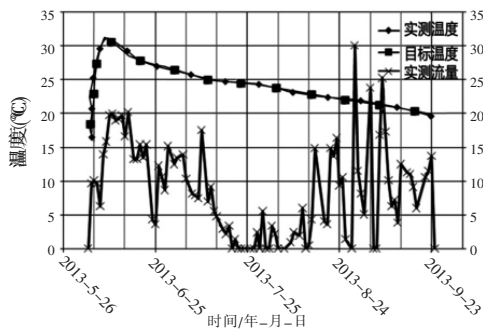


图2 目标温度与实测温度过程线

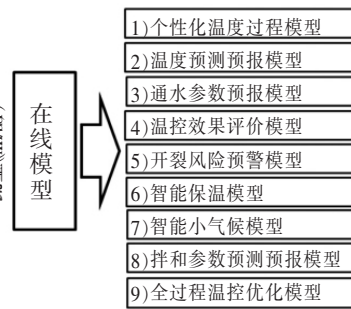


图3 在线分析模型

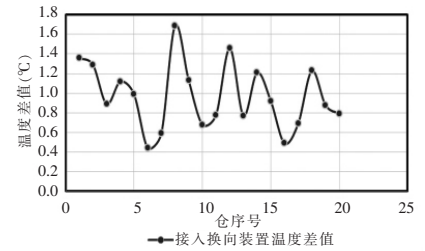


图7 上下游混凝土温差图

温控报告对现场的温控实施情况进行系统分析、总结与评价。

针对闸坝结构底板部位位于强约束区、厚度较薄的情况,提出了按照各浇筑层翌年冬天最低温度的平均值(15℃)作为基础温差的计算依据,给出基础温差32℃温控标准。针对低温季节混凝土施工问题,考虑到混凝土发热快、冬季气温低的特点,认为混凝土浇筑完成后若不进行技术保温,将存在降温速率过大、易开裂问题,提出了混凝土浇筑完成后及时进行保温、可有效减小温度应力的温控措施。

针对船闸坝段上游面宽度较大(宽45m)的特点,通过仿真计算提出上游侧提前渣土回填及增加中期冷却的温控措施,混凝土最大应力小于1.2MPa,有效避免上游面裂缝发生。

结合温控周报、月报、季报及年报,以及各阶段施工情况,进行系统评价与下一步温控工作建议,工程做到了个性化温控施工与控制。

参考文献:

[1] 张国新,等.大体积混凝土防裂智能监控系统[J].水利水电科技进展,2015(5).
 [2] 张国新,等.混凝土坝温控防裂智能监控系统及其工程应用[J].水利水电技术,2014(1).
 [3] 李松辉,等.大藤峡水利枢纽智能温控设计报告[R].北京:中国水利水电科学研究院,2017.
 [4] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999.

责任编辑 吕彩霞

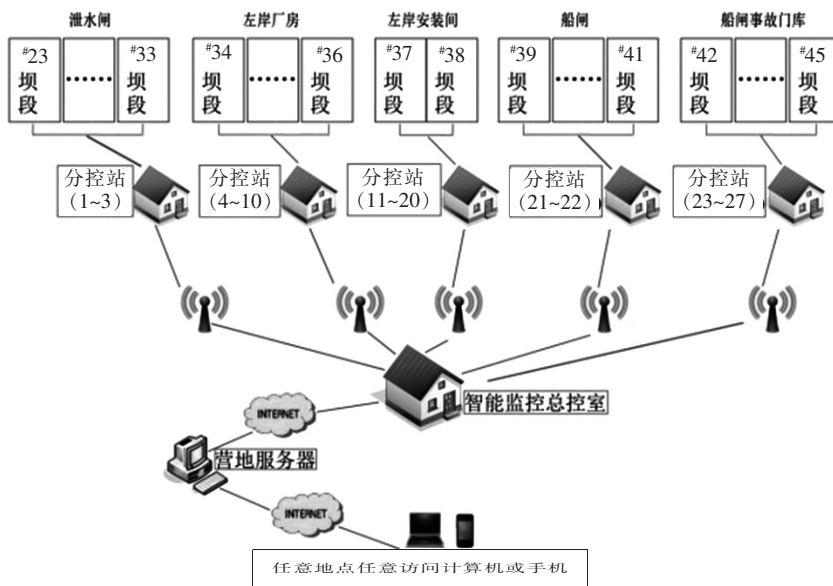


图4 分站布置设计



图5 分站现场布置

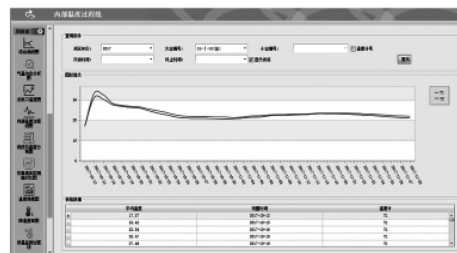


图6 典型仓温度过程线图

表1 大藤峡水利枢纽设备总量表

设备名称	测控装置 (台)	控制装置 (台)	测控单元 (个)	专用配电箱 (台)	换向阀门 (个)	接线电缆 (m)	数字温度计 (个)
设备数量	231	231	116	30	30	6 590	7 500

由典型仓温度过程线(图6)可知,理想温度过程与实测温度过程基本吻合。由项目实施后上下游侧温差图(图7)可知,智能换向装置可实现每仓混凝土的12小时自动换向,最大温差小于2℃。

四、现场决策支持

大坝混凝土主体浇筑期间,针对大藤峡温控防裂的特点,现场派驻科研人员对软件系统及硬件设备的安装进行指导与维护,通过仿真计算与