

杨房沟水电站EPC模式智能建造智慧管理探索与应用

鄢江平, 崔伟杰, 李饶, 陈斌

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川省 成都市 610051)

摘要: 在水电站建设发展的新形势下, 杨房沟水电站是我国首个采用设计施工总承包模式建设的百万千瓦级水电站, 面对新模式下工程建设的实际问题和需求, 在结合已建和在建项目的基础上, 杨房沟水电站利用大数据、物联网、5G、云计算等智能技术在智能建造和智慧管理领域进行了大胆且富有成效的探索与应用。

关键词: EPC、智能建造、智慧管理、BIM、智能温控、数字孪生、智能振捣、影像采集、在线归档

中图分类号:

文献标识码: A

1 研究背景

随着电力体制改革的持续深入, 电力市场逐步放开, 在国家政策层面鼓励和发展工程总承包的背景下, 为进一步提升市场竞争力、增强综合实力、实现资源优化配置、控制工程造价、降低项目风险, 雅砻江公司积极响应, 2016年杨房沟水电站主体工程创新采用EPC模式, 是国内首个采用设计施工总承包建设模式的百万千瓦级大型水电工程, 被业内誉为“第二次鲁布革冲击波”^[1], 开启了水电建设模式的新时代、新探索和新实践。

近年来, 在水电行业, 部分已建和在建项目已在利用计算机视觉、云计算、人工智能、大数据等形成以智能建造^[2-4]为核心的建设管理体系领域进行了积极探索。在此背景下, 有必要开展杨房沟水电站EPC模式下智能建造智慧管理的探索与应用。

2 智能建造平台

杨房沟水电站结合总承包模式下的工程管理建设需求, 基于物联网、人工智能、云计算、工业5G等技术, 规划了基于BIM和雅砻江流域水电全生命周期数字管理的“一个平台、一个系统、多个APP”的管理方式, 建设了基于多维的杨房沟设计施工智能建造平台。该平台在BIM技术理念的引导下, 为杨房沟水电站设计施工总承包项目的工程信息进行数字化的归集, 打造为信息交互的平台, 构建了工程管理信息传递的数字化渠道, 降低了信息流通的成本, 为工程项目全方位、全过程的管控提供了驱动力, 极大提升了流域项目信息化建设管理水平。杨房沟水电站智能建造平台功能架构如图1所示。

杨房沟水电站BIM管理系统包括设计管理、质量管理、进度与仿真管理、投资管理、安全监测及其它模块等。设计管理模块实现线上上传、修改、审核设计报告、图纸、修改通知等设计文件, 参建单位相关管理人员可实时查看设计文件线上流程和审批痕迹, 实现提前了解设计意图、提出审核意见等功能, 大大提高设计管理效率; 质量管理模块实现质量验评文档录入、单元工程填报、现场移动端质量验评, 已在主体工程中全面应用, 并开发了电子质量验评系统和质量管理APP, 集成到BIM质量管理体系中, 同时, 该模块还具备上传验收现场视频、照片功能, 实现质量验评无纸化、质量资料规范化、质量过程可追溯以及质量动态管控; 进度与仿真管理模块能够根据现场实际需求, 利用三维视图, 实时展现当前工程进展, 并通过后台的进度仿真系统数据为项目提供短期和中长期的进度计划安排; 投资管理模块实现结算统计、投资对比、节点台账、工程量统计, 并通过与设计管理模块、质量管理模块及进度管理模块的数据交互, 能够实现对合同工程量、设计变更以及相应的工程投资量进行统计、分析; 其它模块包含大坝混凝土智能温控监控系统、数字孪生渗控施工智能建设系统、大坝混凝土振捣质量实时监控分析系统、大坝混凝土施工全过程影像采集、电子文档在线归档系统等, 详细内容详见下文。

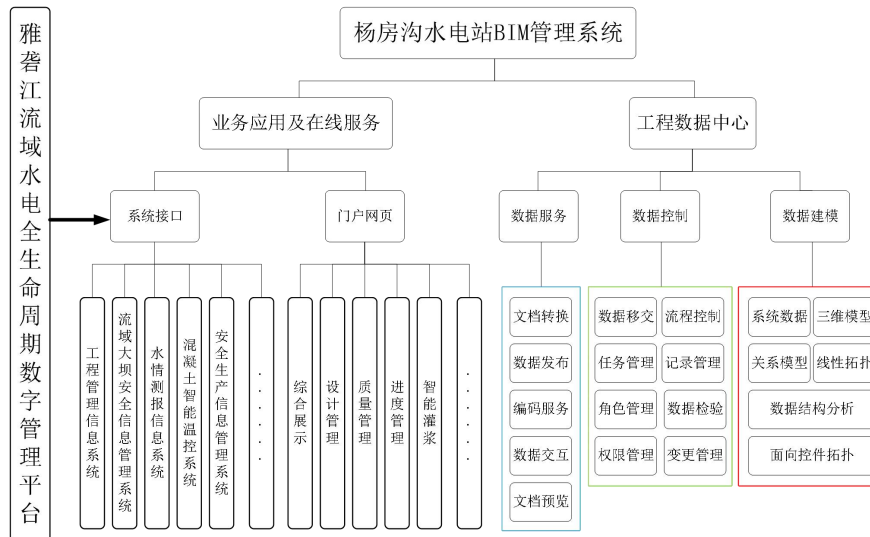


图1 智能建造平台功能架构

3 大坝混凝土智能温控系统

在大体积混凝土结构中，温度变化不但可能引起裂缝，对结构的应力状态也具有重要影响，有时温度应力在数值上可能超过其他外荷载引起的应力，温度变化对拱坝应力状态的影响也是十分显著的^[5]。

杨房沟水电站大坝混凝土智能温控系统是一个综合考虑杨房沟拱坝特点，以大体积混凝土防裂为根本目的，实现施工和温控信息实时采集、温控信息实时传输、温控信息自动管理、温控信息自动评价、温度应力自动分析、开裂风险实时预警、温控防裂反馈实时控制等温控施工动态智能监测、分析与控制的系统，能够实现大坝混凝土从原材料、生产、运输、浇筑、温度监测、冷却通水到封拱的全过程智能控制。

该系统总体分为温控信息监测与采集、温控信息评价和预警、智能自动化通水三大子系统。温控信息评价和预警子系统从温控信息监测与采集子系统获取必要的实时监测数据，通过对这些数据的实时分析和指标评价实现对大坝当前温控情况的评估和预警，并进一步给出处理措施。智能自动化通水模块从温控信息监测与采集子系统获取实时的温控、水文气象和施工信息等，并通过对智能通水关键参数的率定，生成通水预测模块所必须的数据格式，自动输入当前最理想温度过程，自动计算出通水方案。当遇到特殊情况时还可以通过专家决策方案对通水和施工方案进行调整，最后将最佳的通水方案和通水指令通过通水自动控制模块传递给相关硬件，实现自动化、智能化的通水冷却控制。系统采集调控原理图见图2。

另外，为进一步探究冬季苯板的保温效果，该系统在业内首次建立了保温效果评价系统，在大坝上、下游坝面、横缝面上混凝土与苯板间埋设一定数量的温度计，通过与周边大气温度的对比，分析评价苯板的保温效果，根据往日数据即可判定当前保温工作是否正常，并以此采取措施确保保温到位。

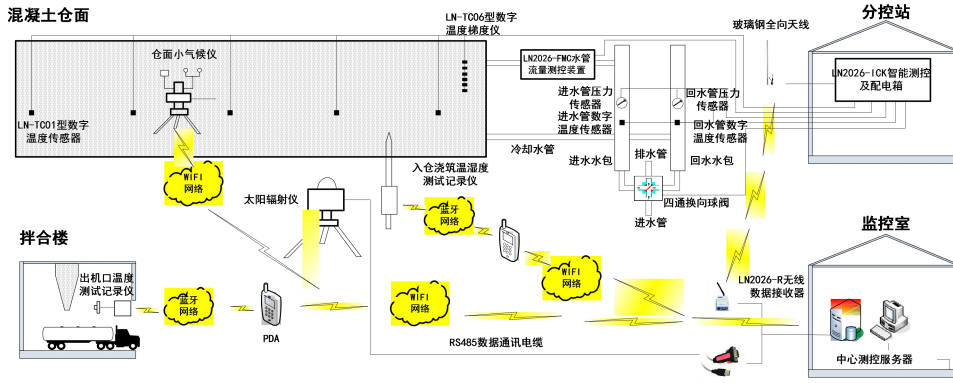


图2 杨房沟水电站大坝混凝土智能温控系统采集调控原理图

基于当前大体积混凝土智能温控理论和技术的不足（基本对象以浇筑仓为单位），杨房沟水电站正在依托该大坝研究智能温控的多维时空防裂设计方法和模型，以实现混凝土温控施工全时空关联动态智能调控和建立温控施工保证率与混凝土开裂风险相关关系等，从而有效解决温控施工存在的“四不”、“四大”问题，进一步提高混凝土温控理论和设计水平。

4 基于数字孪生的渗控施工智能建设系统

水电站渗控工程施工作业往往空间较为狭窄，环境复杂，属于隐蔽工程，质量、安全管控难度大。传统施工作业方式自动化水平、智能化程度低，勘探、钻孔、灌浆、检查等各个施工环节设备和管理相互割裂，各部位的孔内成像、声波、灌浆量，抬动变形、渗漏水数据等相互之间的关联关系分析不多。

杨房沟水电站建立了基于数字孪生的渗控施工智能建设系统，可以全程、全面、系统的用数字展现整个智能施工过程。该系统整体接入杨房沟水电站BIM管理系统。系统以工业5G为基础，通过LOAR无线接收器将各传感器采集的数据实时传输至智能云平台，确保数据的真实性。系统内置地质编录反馈的各类数据，智能云平台通过参数模拟分析给定初始值，后序孔灌浆参数利用大数据深度学习和分析，不断修订初始数据。现场建立了智能注浆控制硬件系统，如图3所示。各硬件系统联合实现制浆、配浆、输浆、灌浆和灌浆控制等。硬件分别安装有各类传感器，可实现灌前压水试验无压无回报警、抬动报警、浆液越级变浓提醒、无压无回孔段须调整浓浆报警、灌后压水试验不合格孔段报警、单耗异常报警等功能。其中，智能调压控制系统利用液压无级变速器结构原理和PQ五线多阶段灌浆过程压力控制算法，解决灌浆压力不稳定，人工操作不及时和失误的问题；智能制输配浆控制系统利用二阶段鲁棒优化算法获取时间轴内稀浆的需求量，提升制、配浆精细化管理水平，解决供需沟通不畅，达到输浆智能分配的目的。

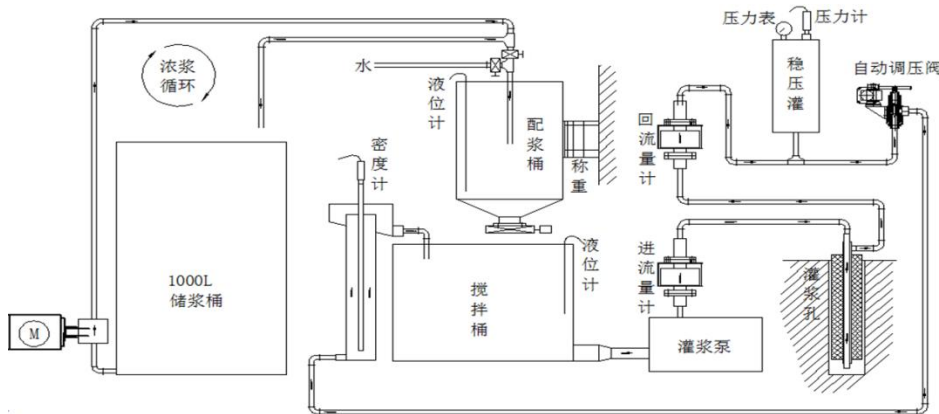


图3 智能灌浆控制系统原理图

施工作业和现场监测的可视化使得杨房沟水电站的基础处理工程施工真正成为“隐蔽工程，阳关作业”。

5 大坝混凝土振捣质量实时监控分析系统

高拱坝承受巨大水推力，加上坝体内部各类结构（如廊道、抽排水泵房、电梯井、表孔、中孔）复杂，使得混凝土浇筑质量对确保坝体安全运行显得至关重要。混凝土振捣作为大坝混凝土浇筑施工的核心流程之一，其传统管理方式往往依靠人工监视的方式，施工过程评价以定性为主。

为提升精细化管理和控制、适应机械化快速施工需求，杨房沟水电站研发了大坝混凝土振捣质量实时监控分析系统，如图4所示。该系统集成多源传感器信息“采集-集成-分析-反馈”于一体的振捣施工过程实时监控分析系统。混凝土振捣台车上安装了集成定位、授时、测距、测振等监测仪器装置，利用无线通讯技术实时采集和传输作为计算振捣状态参数的数据，对大坝混凝土振捣过程中的振捣频率、作业位置、作业时间、插入深度、角度等进行实时监控，根据预先设定的控制标准，服务器端的应用程序采用高精度快速图形算法实时分析判断上述指标是否满足要求，当超出设定范围值时，系统自动给现场管理人员发送报警信息，第一时间进行现场处理，从而实现对混凝土质量的高效管控。在每仓施工结束后，生成相关图表报告，作为仓面质量验收的支撑材料。

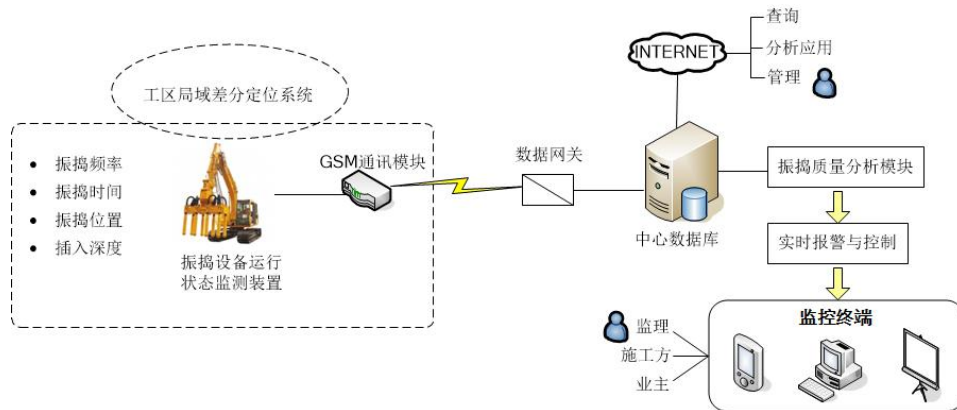


图4 杨房沟水电站大坝混凝土振捣质量实时监控分析系统图

目前，杨房沟水电站大坝混凝土已浇筑过半，振捣质量实时监控分析系统极大提高了EPC模式下的仓面施工管理效率和水平，具有较大推广应用价值。

6 大坝混凝土施工全过程影像采集

水电工程工序多，各工序前后关联影响大，施工和管理不到位易产生各类复杂问题，如裂缝、渗漏等。其原因一般难以直接准确判定。丰满水电站数字化视频监控系统为解决此类问题提供了一个解决思路，增加了工程监督管理的检查手段。但是受限于精度、视角和存储问题，并不能完全解决上述问题^[6]。因此，进一步探索、解决施工过程中缺陷和问题并为后序施工和工程项目提供指导性建议意义重大。杨房沟水电站在行业内率先采用大坝混凝土施工全过程影像采集方式。

通过手持式移动摄影对大坝混凝土所有仓面施工进行全过程记录、监控，包括建基面及地质缺陷处理前后资料、大坝混凝土全工序施工过程、混凝土外观缺陷检查和处理等资料。现场拍摄录制前对施工部位、工序等内容进行清晰简要表达，赋予足够的信息与价值，并对记录过程中发现的问题及时采取的有效措施。

杨房沟水电站施工区区域安装了24台云相机，并将该模块嵌入BIM管理系统进行24小时、全过程影像采集，系统设置回放功能，当大坝某个坝段开仓时，选择角度和距离最合适的云相机定焦录像直至收仓。过程中管理人员亦可对施工行为进行查看和管理。

参建单位定期对施工过程影像资料全部进行整理分类,形成永久档案,为后续工程验收提供真实、完整的全过程资料。通过移动摄影以及云相机平台线下、线上相结合的方式,杨房沟水电站实现了大坝混凝土施工全过程影像资料采集和跟踪,同时为工程永久安全运行提供全建设期的可追溯支撑材料。

7 电子文档在线归档系统

大量水电工程的档案验收时间由于资料不齐全、填写不规范等原因需整改持续时间长,且水电工程在施工过程中参建单位管理和操作人员更换频繁,使得补充和完善归档资料的代价较大。大量工程项目启用信息化手段提高项目管理效率,丰满水电站采用了移动端填报验收评定资料,但验收评定完成仍需要手签、拍照上传电子文件复制件归档。

杨房沟水电站利用BIM系统质量管理模块用于单元工程的质量验评信息管理,实现单元工程填报、现场移动端质量验评、质量验评文档录入,在线生成验收评定表单。该系统涵盖了杨房沟水电站开挖、支护、混凝土浇筑、机电金结安装、灌浆等各个专业板块。为保障BIM系统电子文件的形成合规性和归档规范性,解决电子文件归档难题,提出“电子签名+XML封装+PDF转化+四性检测”方案。

电子文件形成阶段,BIM系统内、外形成的电子文件采用合法有效的电子签章和哈希校验,保证其真实有效;对于已形成的历史纸质文件,通过加盖电子签章,效力等同于原件。电子文件归档阶段,一个单元验收评定的所有文件按照固定顺序组成一件归档。触发归档按钮时,将电子文件签章信息和形成的元数据封装在XML中,将电子文件转化为不含签章信息的pdf文件,通过归档阶段和移交阶段四性检测,保证电子文件真实、完整、可用、安全。

目前该在线归档系统已获得以国家档案局为代表的专家组评审通过,BIM在线归档系统为杨房沟顺利通过档案专项验收奠定基础、实现电子文件在线移交和提高归档管理效率,并为其他工程建设项目电子文件管理提供借鉴。

8 流域平台融合

杨房沟水电站将BIM管理系统与雅砻江公司流域水电全生命周期数字管理平台相结合,实现了数据间实时传递与共享,健全了流域信息采集传输、存储管理和应用。

目前,杨房沟水电站将BIM管理系统已完成安全监测、水情信息、电子文档、影像采集等系统与公司管理平台的无缝衔接,满足多平台数据高效、安全传递,极大提高了工程建设管理水平。另外,雅砻江流域多为深山峡谷,各类地质灾害频发,水情信息、安全监测等数据的实时共享将对流域应急管理和救援提供数据支撑,实现流域项目及设备的实时监测、预测和安全管控。

智能平台的融合显著提高流域开发管理及大型水电站建设和运行的效率,并且不断推动和完善雅砻江流域工程建设管理信息化、数字化、可视化水平,同时还将带动水电行业信息化、现代化水平不断提升。

9 结语与展望

水电站智能建造和智慧管理是保证建设质量和水平的重要方法,杨房沟水电站在EPC模式下智能建造和智慧管理的探索与应用极大提高了杨房沟水电站全面管控的规范化、精细化、信息化和智能化。随着大数据、物联网、5G、人工智能、云计算和区块链的不断发展与应用,水电站全面智能建造与智慧管理已成为必然选择。

水电站的智能建造与管理使得信息维度和数据量倍增,亟待解决智能消除冗余或相似数据方法和高效便捷检索所需信息的问题。另外,继续探索和构建具有普适性的智能建造与智慧管理平台对水电站建设具有重大意义。

参 考 文 献

- [1] 鄢江平, 李啟常, 章环境, 陈斌, 魏宝龙. 杨房沟水电站EPC建设模式的初步实践[J]. 人民长江, 2016, 47(20): 5-7+32.
- [2] 钟登华, 时梦楠, 崔博, 王佳俊, 关涛. 大坝智能建设研究进展[J]. 水利学报, 2019, 50(01): 38-52+61.
- [3] 李松辉, 张国新, 刘毅, 张龔. 大体积混凝土防裂智能监控技术及工程应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(01): 9-15.
- [4] 樊启祥, 张超然, 陈文斌, 李庆斌, 张国新, 周绍武, 汪志林, 杨宗立, 李文伟, 彭华, 陈文夫, 尹习双, 杨宁, 李果. 乌东德及白鹤滩特高拱坝智能建造关键技术[J]. 水力发电学报, 2019, 38(02): 22-35.
- [5] 大体积混凝土温度应力与温度控制(第二版) [M]. 中国水利水电出版社, 朱伯芳著, 2012.
- [6] 姚宝永, 田政. 数字化技术在丰满水电站重建工程中的应用[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(12): 87-89+70.

Exploration and application of intelligent construction and intelligent management in Yangfanggou hydropower station by EPC

YAN Jiangping, CUI Weijie, LI Rao, CHEN Bin

(Yalong River Hydropower Development Company, Ltd., Chengdu 610051, China)

Abstract: In the new situation of the hydropower station construction development, Yangfanggou Hydropower Station is the first million-kilowatts-class hydropower station built by EPC model in China. Faced with the practical problems and demands of engineering construction under the new mode, Yangfanggou Hydropower Station has made bold and effective exploration and application in the field of intelligent construction and intelligent management by using smart technologies such as big data, Internet of things, 5G and cloud computing on the basis of existing and ongoing projects.

Key words: EPC; Intelligent Construction; Smart Management; BIM; Intelligent Temperature Control; Digital Twin; Intelligent vibration; Image Acquisition; Online Elite Archiving

第一作者简介: 鄢江平(1972-), 男, 湖北石首人, 教授级高级工程师, 雅砻江流域水电开发有限公司杨房沟建设管理局副局长, 主要从事水电工程项目管理工作, 手机号码: 187-8152-3636, Email: yanjiangping@ylhdc.com.cn, 通讯地址: 四川省凉山州西昌市新村街道海滨中路 88 号转杨房沟建设管理局。