

“1+3+N”科技创新及绿色智能建造体系在 TB 水电工程建设中的应用

刘金山, 段 川, 李 志, 张天伟, 孙 颖

(华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

摘要:在总结澜沧江公司 20 年水电工程建设管理的基础上, 提出“以关键技术创新为引领、以智能建造平台为支撑、打造 TB 水电标杆工程”为目标, 建立了“1+3+N”科技创新及绿色智能建造体系, 实现了智能建造技术在水电工程中的全面应用。通过创新科技与智能建造体系和管理体制, 为工程安全、绿色、优质、高效的建造发挥了巨大作用, 最终使 TB 水电工程较可研进度提前一年实现投产发电, 创造了巨大的经济效益和社会效益。

关键词:智能建造; 科技创新; 管理创新; TB 水电工程

中图分类号:TV52

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2024)S1-0013-06

Application of “1+3+N” science and technology innovation and green intelligent construction system in TB Hydropower Project construction//LIU Jinshan, DUAN Chuan, LI Zhi, ZHANG Tianwei, SUN Ying (Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: On the basis of summarizing Lancang River Company's 20 years of hydropower project construction management, put forward the goal of “taking key technological innovation as the leader, supported by intelligent construction platform, and creating TB hydropower benchmarking project”, established the “1+3+N” scientific and technological innovation and green intelligent construction system, realized the comprehensive application of intelligent construction technology in hydropower projects. Through innovative technology and intelligent construction system and management system, it has played a great role in the safe, green, high-quality and efficient construction of the project, the TB Hydropower Project was put into operation one year ahead of the feasibility study schedule at last, creating huge economic and social benefits.

Key words: intelligent construction; technological innovation; management innovation; TB Hydropower Project

目前主要采用数字化、智能化建设管理的工程大多都着重于“数字大坝”和“部分工程智能建造管控”, 主要技术应用包括智能灌浆、智能温控和通水、大坝施工工艺智能监控等。如何建立一个集建设、运行管理于一体、能实现对整个水电站全方位智能化管理和电厂智慧运行的体系, 并针对现阶段管理中出现的问题, 配套形成系统的创新性智能化管理模式, 实现工程建设全面智能化应用和电站运行智慧化管理, 是目前行业中存在的主要问题。

TB 水电工程在总结澜沧江公司 20 年水电工程建设管理经验的基础上, 针对目前智能建造发展的局限开展了深入研究, 基于 GIS+BIM+VR+IoT 等新型信息技术, 充分结合工程建设实际和技术创新手段, 依靠多类多元大数据分析技术, 提出“以关键技术创新为引领、以智能建造平台为支撑、打造 TB 水

电标杆工程”为目标, 建立了“1+3+N”科技创新及绿色智能建造体系, 实现了智能建造技术在水电工程中的全面应用。

1 成果简介

TB 水电工程“1+3+N”科技创新及绿色智能建造体系包含了从管理模式到管理手段、范围、深度的全方位创新与实践(图 1)。“1”是指一个智能建造系统管理平台, “3”是指智建大坝、智建地厂、智慧砂石三大关键技术的创新运用, “N”是指围绕这三项核心开展的科技创新、管理创新、技术工艺创新和“五新”技术、职工众创等多项创新项目的综合应用。为确保“1+3+N”科技创新及绿色智能建造管理体系切实发挥效用, 创新了管理模式, 成立专项组织管理机构, 制定了完善的管理办法和细则, 形成了

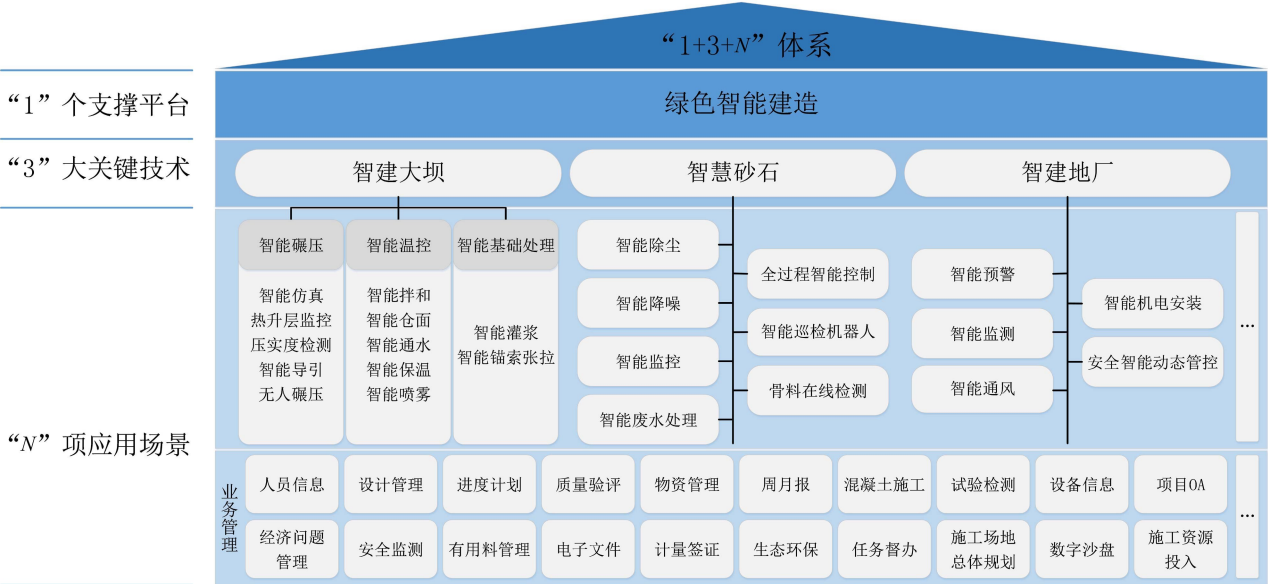


图 1 智能建造“1+3+N”体系

集业主、参建各方、科研院校于一体,“产、学、研、用”全链条的科研和智能建造研究、应用管理体系,依托 TB 水电工程建设,创新和引领水电工程建设科技和智能建造新技术的发展。

1.1 一个平台

建立了基于“建管合一”管理模式下的工程全生命周期、全方位的绿色智能建造管理系统,建设了安全、质量、进度、投资、环保等“五控制”的智能化体系,构建了工程建设全生命周期管理数据库和数字枢纽模型,实现了电站设计、建设、运营管理信息化、网络

化,能做到信息全记载、全监控、全追溯,实现工程建设全过程在线监控、实时分析反馈和智能管控,形成了系统的水电工程绿色智能建造体系(图 2)。

1.2 三大关键技术之一:大坝智能建造关键技术

TB 水电工程面临大坝工期紧张、结构复杂、温控要求高,施工难度较大等问题。在施工过程中积极应用大坝智能建造技术为大坝施工质量、安全保驾护航,从首仓混凝土浇筑开始应用智能建造系统,采用 STDPA 平台系统架构体系。遵循“全面感知、真实分析、实时控制”的闭环智能控制理论,将智能

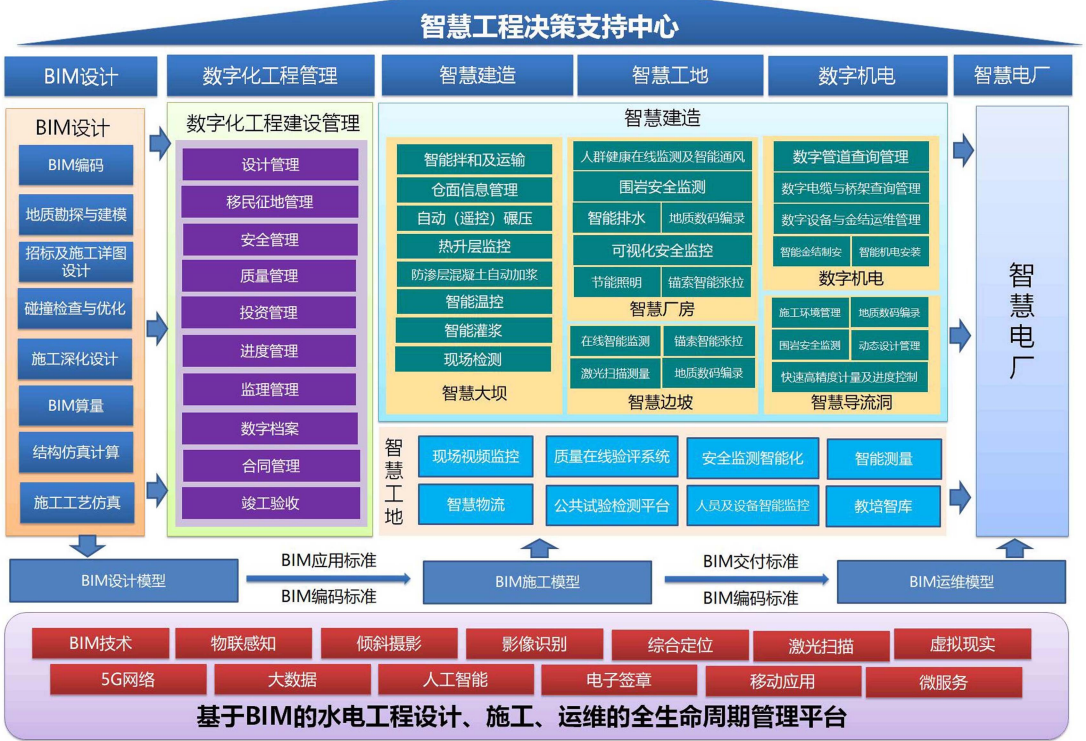


图 2 智能建造系统平台架构

化技术与水电工程建设深度融合,以关键技术创新为引领,以智能建造平台为支撑,围绕安全优质高效建设 TB 水电工程需求,以智能碾压、智能温控、智能灌浆、智慧钢筋厂、智能拌和、通用管理等智控系统作为强有力的管理手段,实现工程建设过程的智能化控制,有效保障了大坝建设质量和运行安全。

1.2.1 大坝混凝土智能碾压关键技术

创新开展碾压混凝土坝智能仿真、热升层状态智能监控、碾压过程智能监控、智能反馈导引、智能无人碾压等理论方法的研究并取得新突破,实现了碾压混凝土从运输到仓面施工全过程大数据统计和智能化分析、反馈(图3),热升层时间参数的控制达到分钟级,碾压轨迹参数可达到厘米级。首次应用压实度智能预测系统,对仓面压实质量实时“智能预测和评价”,实现压实质量由“点”抽查向“面”全控的跨越。无人驾驶机群碾压技术开创了复杂工况下碾压混凝土大坝“碾压机群”作业的先河,实现碾压施工的优质高效。

1.2.2 大坝混凝土智能温控关键技术

集成混凝土拌和、运输、浇筑、碾压养护全流程温度管控要素,研发了一体化智能温控平台(图4),通过智能温控、智能喷雾、智能通水系统为每个浇筑块选择最优的控温策略和通水调控时机、流量、开度等参数。建立全坝、全过程、实时温控仿真云计算平台,实现7~10d完成一次大坝整体温控性态仿真计算,对大坝应力情况进行全面分析。

1.2.3 大型水电工程智能基础处理关键技术

通过全套智能灌浆设备与自动化制浆站的应用,实现了灌浆工程的一键启动和全过程自动化控制(图5)。通过智能灌浆云平台的灌前岩体可灌性分析、灌浆过程参数自动控制和灌后施工质量评价与展示,应用水电工程灌浆事前-事中-事后的全过程智能分析与馈控方法,确保了灌浆质量与灌浆安全的全面受控。

在锚索张拉施工中,研发了一套基于中央服务器集中管控的智能预应力锚索张拉系统(图6),实

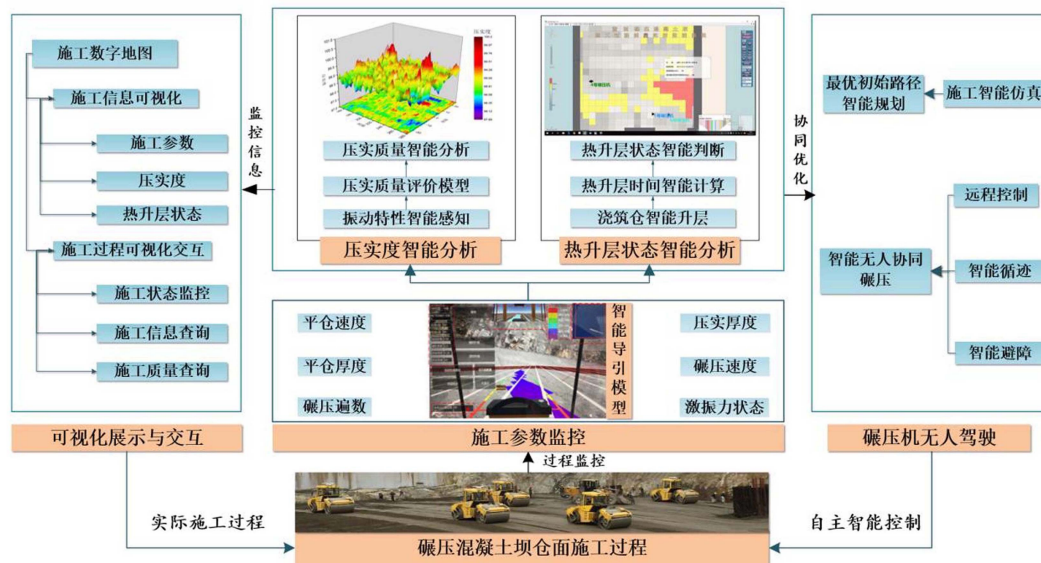


图3 智能碾压技术体系

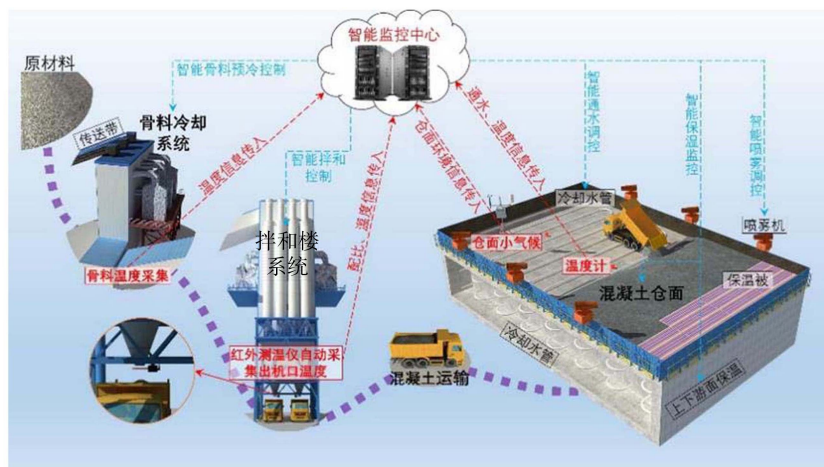


图 4 智能温控系统体系

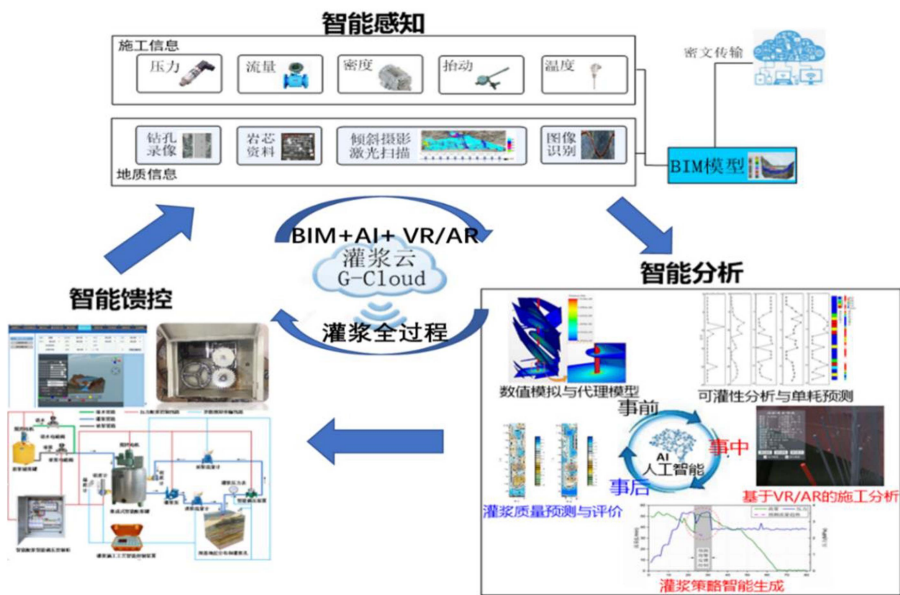


图 5 灌浆过程智能分析

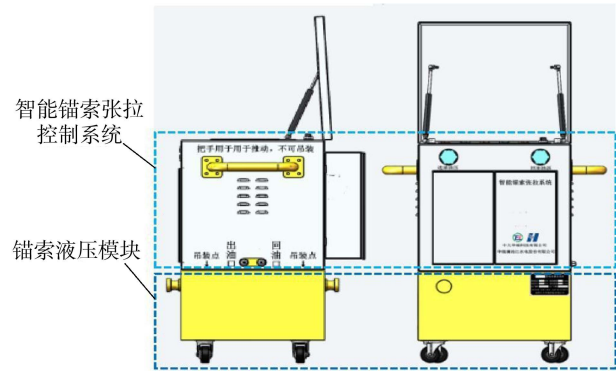


图 6 智能锚索张拉系统



图 7 大斜层碾压通仓连续滚动施工技术

时采集锚索张拉关键参数,分析张拉情况,智能控制张拉过程。实现对整个锚索张拉工程的全过程、全周期智能化管理。

1.2.4 大坝碾压混凝土快速升层成套管控技术

在碾压混凝土大坝施工中,采用全过程 BIM 施工方案设计,为动态展示施工方案的优劣、快速决策最优方案提供了直观依据,使得施工方案更经济合理可行。大坝碾压混凝土浇筑中,创新应用廊道台车模板整体吊装、门槽直埋施工、大模板连续翻升、单仓连续 18 m 升层、通仓 6、9 m 大斜层滚动浇筑(图 7)等技术,总结创立了“双仓总制”“三刀五平”“三推四碾”等施工技术及编制了《工艺提升 35 条》应知应会口袋书与《大坝碾压混凝土施工工艺标准化手册》等。通过固化人员、固化工艺、固化流程,加强过程管控、提高工作效率、提升质量水平。实现了单仓上升 18 m、单月全坝整体最大上升 15 m、连续 5 个月平均上升 14 m、年累计上升 126 m、19 个月浇筑至大坝坝顶的纪录,在国内处于先进水平。

1.3 三大关键技术之二:地下厂房安全智能建设关键技术

1.3.1 地下厂房智能通风及人群健康在线监测系统

建设地下厂房智能通风及人群健康在线监测系统,通过在线实时监控地下洞室的污染物浓度,以及洞内人员定位、施工机械设备定位等控制指标,建立空气质量动态实时控制及预警机制,自动控制变频通风系统,实现洞室高效通风(图 8),保证地下洞室的施工安全、质量与效率。



图 8 智能通风系统

1.3.2 地下工程施工智能动态管控技术研发与应用

研发了大型地下洞室群安全智能动态管控技术(图9),通过构建工程、地质同步成长三维可视化模型,建立了全时全域智能监测技术体系与安全动态管控技术平台,以及地下工程安全智能动态管控云平台等,实现了智能设计+智慧感知+动态管控联动分析。应用“一孔到底”精细化爆破技术和“深孔预裂、薄层开挖、随层支护”技术,首次将预裂深度提高到16m,实现大跨度地下洞室精细、快速开挖。首次将预留岩盖法施工技术应用用于水电工程大型地下厂房开挖中,突破了传统施工方法中从上至下正向递进施工的限制,实现了大型地下洞室群多维度立体化平行施工,在保证安全、质量的同时加快了施工进度。

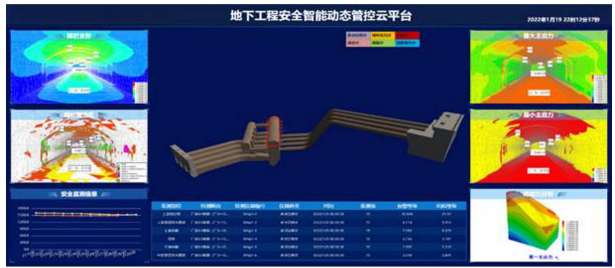


图9 地下工程安全智能动态管控云平台

1.4 三大关键技术之三:绿色智慧砂石加工系统关键技术

构建了一套包括现场信息采集和指令执行单元、数据综合处理与智能调度单元、多方案介入协调管理单元、可视化智能监控单元组成的绿色智能化系统,实现了砂石系统智能化控制、信息化管理和智能化决策。建立了智能废水处理、智能降噪及智能抑尘系统,实现了高效、绿色加工。应用骨料粒型在线检测系统及巡检机器人,实现了骨料质量在线检测和长距离胶带机无人值守,节能降耗,提高工效。建立智慧边坡系统,实现了边坡变形在线监测、主动预警和动态响应。建立砂石加工三维可视化智能控制系统,实现了生产数据实时查询、产线设备状态在线监测、生产线全貌巡游等,有效提升了砂石加工系统的生产效率和质量保证率。

1.5 N项技术运用

应用智能拌和系统实现了拌和参数和生产数据实时自动监测、采集、传输等,提高了工作效率和混凝土生产强度。应用智慧物料系统实现钢筋自动加工及加工状态的动态显示,降低了钢筋损耗,提高了生产效率。应用斜井无人挖机遥控下井扒渣、无排架快速施工等技术,大大提高了开挖支护安全性和施工进度。首次将辉长岩开挖料作为水电工程主体

建筑骨料应用于工程建设。创新应用化学锚栓、主厂房侧墙铝塑板挂板、清水混凝土、酸洗钢模板、CGM 高强无收缩灌浆材料、FUKO 可重复灌浆管、聚氨酯软木弹性垫层、地下洞室定位系统、步进式套顶台车、清水混凝土等先进工艺和技术,有力提升了工程建设科技创新水平、管控能力与工程建设管理水平,提高了工程建设效率。

2 管理创新

创新管理模式,遵循“坚持以关键技术创新为引领,以智能建造平台为支撑,打造华能水电标杆工程”的理念,成立专项组织管理机构,由专人负责智能建造及科技创新,配套形成符合智能建造系统运行的管理架构,构建全新的科技创新和绿色智能建造管理体系,在确保 TB 水电工程安全、绿色、优质、高效建设的同时,大力开展和应用科技创新成果,开展过程报奖。同步形成数字孪生,与电站智慧运行无缝衔接,致力于打造 TB 智慧电站。

在健全完善创新管理制度和相关组织机构的基础上,针对 TB 水电工程科技创新和智能建造实际应用情况,创新提出“动态一张图,管控一流程,管理一机制,数字一档案”的管理理念,转变传统水电工程建设观念,将工程建设过程管理和控制资料全部由智能建造系统自动生成,实现数据的实时、动态更新与可视化展示,形成了与科技创新与智能建造系统相匹配的管理体制,优化工作流程,为更好地发挥智能建造系统实时、动态、分析、反馈的作用奠定了基础,使得工程建设决策更加科学、高效,有力地提升了 TB 水电工程大坝智能化管理水平,提高了工程建设质量、安全、进度保证率,为保证工程安全、优质、智能、高效建设发挥了积极作用。

3 实施成效

智能碾压技术应用于大坝工程全部碾压仓共计1300余层的施工中,保证了碾压混凝土仓面浇筑质量参数真实受控。大坝碾压混凝土层间覆盖时间达标率99.1%,摊铺厚度达标率98.5%,碾压遍数达标率99.2%,压实度达标率100%。智能温控系统实时监测和智能调控大坝混凝土温度,出机口温度合格率达95%以上,浇筑温度合格率达97.2%以上,最高温度合格率达97.4%,坝体温度总体控制良好,全面改善了大坝混凝土的温控水平,有效控制了大坝开裂。帷幕灌浆第三方检测合格率100%,锚索张拉精准受控。碾压混凝土坝通仓大斜层滚动浇筑,实现了单仓上升18m、单月全坝整体最大上升15m、连续5个月平均上升14m、年累计上升

126 m、19 个月浇筑至大坝坝顶的纪录,处于国内先进水平。在创造快速施工纪录的同时,保证了大坝的高品质,取出了 26.5 m 世界最长碾压混凝土芯样。

地下智能动态管控技术的应用实现了环境气体实时、连续、自动化、可视化和高精度在线监测,基于点网联动智能通风优化,使得爆破施工后空气达标时间缩短 20%,能耗降低 40%。

全时全域智能监测技术体系与多信息综合评价安全动态管控技术的应用,使超大规模洞室群集约化布置模式与设计更加科学合理,实现了大型地下洞室群的集约化布局(机组间距由常规 30 m 减为 28 m,附属洞室长度缩短 20% 以上),工程投资节约 30%。为大型地下厂房预留岩盖法施工技术提供技术依据,实现了“上下立体同步开挖”,突破了传统施工方法中从上至下正向递进施工的工期限制,施工效率提高 20%,缩短施工工期 30%。

绿色智慧砂石加工系统的建设与实施,在保证砂石加工质量高品质的同时,降低了环境污染和功耗,减少了人员投入,大幅提升了加工效率和系统运行稳定性,实现了产量连续 8 个月超设计产能 50%,做到了绿色、低碳、环保、高效。

4 结 论

TB 水电工程“1+3+N”科技创新及绿色智能建造体系的建立,为支撑工程建设各项科技创新、技术创新创造了平台。绿色智能建造技术的应用,确保了大坝在连续高升层、通仓大斜层快速浇筑的同时保持了高标准的建设质量,数万米坝基灌浆施工真实可靠、有据可查,大型地下厂房围岩整体安全稳定,砂石加工污染与能耗得到有效防治,地下施工安全和健康得到了有效保障。各系统之间数据共享、互为支撑,实现数据实时、动态更新和反馈,一定程度上可以自动决策,为工程建设管理和决策提供了有效的支撑,极大地促进了工程建设,提升了建设管理水平,为项目实现数字化转型奠定了基础。

“1+3+N”科技创新及绿色智能建造体系的建设与应用,是结合 TB 水电工程特点和目前先进的信息化、智能化技术,在水电工程建设全过程、全方位、全生命周期中的创新应用,实现了智能建造技术在水电工程中的全面应用。通过创新科技与智能建造体系和管理体制,使 TB 水电工程建设者牢固树立了创新产生效益、科技就是生产力的理念,将创新刻在了 TB 水电工程建设者的基因里贯穿每个施工环节,为工程安全、绿色、优质、高效的发挥发挥了巨大作用,最终使 TB 水电工程较可研进度提前一年

实现投产发电,创造了巨大的经济效益和社会效益,生动诠释了创新驱动发展的理念。

参考文献:

[1] 李庆斌,石杰. 大坝建设 4.0[J]. 水力发电学报,2015, 34(8):1-6. (LI Qingbin,SHI Jie. Dam construction 4.0 [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2015,34(8): 1-6. (in Chinese))

[2] 钟登华,王飞,吴斌平,等. 从数字大坝到智慧大坝[J]. 水力发电学报,2015,34(10):1-13. (ZHONG Denghua, WANG Fei,WU Binping,et al. From digital dam toward smart dam [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2015,34(10):1-13. (in Chinese))

[3] 李庆斌,马睿,胡昱,等. 大坝智能建造研究进展与发展趋势[J]. 清华大学学报(自然科学版),2022,62(8): 1252-1269. (LI Qingbin,MA Rui,HU Yu,et al. A review of intelligent dam construction techniques [J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2022,62 (8):1252-1269. (in Chinese))

[4] 马洪琪,钟登华,张宗亮,等. 重大水利水电工程施工实时控制关键技术及其工程应用[J]. 中国工程科学, 2011,13(12):20-27. (MA Hongqi,ZHONG Denghua , ZHANG Zongliang, et al. Key technologies of real-time construction control for major hydraulic and hydroelectric projects[J]. Strategic Study of CAE,2011,13(12):20- 27. (in Chinese))

[5] 马洪琪,迟福东,庞博慧. 黄登高碾压混凝土坝全面数字化建设技术研究与应用[C]//国际碾压混凝土坝技术新进展与水库大坝高质量建设管理:中国大坝工程学会 2019 学术年会论文集. 北京:中国三峡出版社, 2019:19-29.

[6] 樊启祥,周绍武,林鹏,等. 大型水利水电工程施工智能控制成套技术及应用[J]. 水利学报,2016,47(7):916- 923. (FAN Qixiang,ZHOU Shaowu,LIN Peng, et al. Construction intelligent control packaged technology and its application for a large hydropower project[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47 (7): 916-923. (in Chinese))

(收稿日期:2024 - 09 - 14 编辑:熊水斌)

