硬梁包水电站智慧电厂建设顶层设计研究

李　立，　于青坤，　杨　辉，　白奎明，　丁　果，　何云峰
（四川华能泸定水电有限公司，四川 泸定　626100）

摘　要：硬梁包水电站作为华能四川能源开发有限公司下属第一个百万级装机容量的水电站，开展智慧电厂建设的顶层设计研究工作以推动硬梁包水电站数字化、网络化、智能化发展，增强竞争力、创新力、影响力和抗风险能力。笔者旨在研究建立以智慧运行、智慧检修、智慧维护、智慧大坝、智慧水库、智慧水情、智慧安全、智慧仓储等为基础应用的水电智慧管理决策系统，实现“无人值班、远程控制、信息共享、管控一体、数字赋能、决策优化”的建设目标。

关键词：智慧电厂；顶层设计；智慧化；数字化；自动化
中图分类号：TM62　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2023)01-0026-05

Research on Top-level Design of Smart Power Plant Construction of Yingliangbao Hydropower Station

LI Li, YU Qingkun, YANG Hui, BAI Kuiming, DING Guo, HE Yunfeng
(Sichuan Huaneng Luding Hydropower Co., Ltd., Luding Sichuan 626100)

Abstract: Yingliangbao Hydropower Station is the first hydropower station with one million level installed capacity subordinated to Huaneng Sichuan Energy Development Co., Ltd. It is necessary to carry out the top-level design research of smart power plant construction to promote the digital, networked and intelligent development of Yingliangbao Hydropower Station, and enhance its competitiveness, innovation, influence and anti-risk ability. The purpose of this paper is to research the establishment of a hydropower intelligent management and decision-making system based on applications such as intelligent operation, intelligent maintenance, intelligent dam, intelligent reservoir, intelligent water regime forecast, intelligent safety, intelligent storage and so on. In this way, the goal of "unattended operation, remote control, information sharing, management and control integration, digital empowerment, and decision-making optimization" can be achieved.

Key words: Smart power plant; Top-level design; Intelligence; Digital; Automation

0　引　言

近年来，国务院、国家发展改革委、国家能源局先后发布《关于推进“互联网＋”智慧能源发展的指导意见》《“十四五”数字经济发展规划》《“十四五”现代能源体系规划》《2022 年能源工作指导意见》，要求通过云计算、大数据、区块链、物联网、人工智能、5G 移动技术等新兴技术应用，以“创新引领、改革赋能”为基本原则，加快推动智慧能源建设应用，促进能源生产、运输、消费等各环节智能化升级，推动能源行业低碳转型。水电厂作为智慧能源系统的重要环节，进行数字化、智慧化转型升级迫在眉睫。

1　智慧电厂演进路线

收稿日期：2022-06-05

智慧电厂无论在概念上还是实践上都正经历着螺旋渐进式的演进，世界上顶尖的 IT 和电气工程师都汇聚于此，共同推进智慧电厂的变革，智慧电厂的演进经历了数字化电厂、智能化电厂、智慧化电厂的过程[1]。

数字化电厂，是将电厂所有信号数字化、所有管理的内容数字化，通过对电厂物理和工作对象全生命周期的信息量化，在此基础上进行分析、控制和决策。

根据《智能水电厂技术导则》(GB/T 40222－2021)的相关内容，智能水电厂的定义是：以自动化、数字化、信息化为基础，利用云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等技术，具有自感知、自学习、自决策、自适应能力，实现安全、稳定、高

效运行的水电厂[2]。而这里的“智能水电厂”的定义更接近于“智慧水电厂”。“智能水电厂”偏重对人工智能的应用，减少人的事务性工作，而“智慧水电厂”则偏重感知、数据流、综合应用，集成所有智能化系统，是对电厂“大脑”的建设，跨越时间和空间维度，更兼顾电厂整体性的考虑。

根据《智慧水电厂技术导则》(DL/T　1547—2021)的相关内容，智能水电厂的定义是：以自动化、数字化、信息化为基础，利用云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等技术，具有自感知、自学习、自适应、自决策、自执行能力，实现生产过程及运营管理智能化的水电厂[3]。

2　国内外智慧电厂建设现状与发展趋势

2.1　国外智慧电厂发展现状及趋势

德国提出工业 4.0 概念，以智能工厂、智能生产和智能物流为三大主题，旨在提升制造业的发展水平；美国提出工业互联网概念，通过智能机器间的连接，实现全球工业系统与高级计算、分析、传感及互联网技术的高度融合。技术层面，国外智慧水电厂相关产业多采用仿真技术进行性能计算及优化分析，AI 应用程度不高，但运维、检修数据比较完整，专家知识库积累较为全面，应用扩展性较好。

2.2　国内智慧电厂发展现状及趋势

2020 年 8 月，国资委发布了《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》，全面部署国有企业数字化转型工作。2021 年“十四五”规划开局伊始，国务院、国家发改委、国家能源局先后出台《“十四五”数字经济发展规划》《“十四五”现代能源体系规划》《2022 年能源工作指导意见》等文件，将能源行业及相关产业数字化、智能化及网络化发展，作为促进行业及相关产业高质量发展的主要抓手，发电企业作为能源领域的重要组成部分，如何把握数字化转型的历史机遇，完成由传统电力生产企业向综合能源服务型企业转型升级，促进以电力消费为重要支撑的相关产业高质量可持续发展，提高中国智造国际市场竞争力，是国有企业应该肩负的历史使命，也是电力企业需要完成的重要课题。

国内电力行业智慧水电厂及相关产业的智慧化应用较为初级，各发电企业仅仅是通过部分新技术改造、数据智能化应用等方式，在实现电厂生产效率、设备安全可靠性和经营效益提升等方面进行探索与研究，相关标准在工程上的应用需要进一步实践；各发电企业的智慧应用主要集中在发电设备智能化运维、生产管理具体业务的智能化决策等方面，尚未形成以数字化、智能化与网络化为技术支撑的生产管理模式变革、产业生态体系建设和新型商业模式格局。

3　智慧电厂建设总体思路

3.1　总体愿景

智慧电厂是以“风险自动识别、设备智能运维、系统智能联动”为目标，将信息技术与电厂运行管理深度融合，通过打造智能数据中心、电厂智能管控和决策智慧平台，实现以数据驱动的自动预判、自主决策、自我演进的柔性组织形态和新型电厂管理模式[4]。硬梁包智慧电厂依托“云大物智移”等信息技术，深度融合电厂安全生产和优化运营的业务需求，针对不同的业务场景、岗位职责及角色定位，建立高效、准确的科学决策模型和人机交互模型，全面呈现企业生产经营全过程信息，应用大数据分析模型展示智慧化成果，建立以智慧运行、智慧检修、智慧维护、智慧大坝、智慧水库、智慧水情、智慧安全、智慧仓储等为基础运用的智慧硬梁包决策管理系统。

3.2　建设目标

硬梁包水电站智慧水电厂的建设，紧密围绕华能集团智慧能源系统建设总体布局，坚持“统一规划、多方实施、分层分类、重点突破、创造价值、注重实效”的工作原则和推进模式，延续华能四川能源开发有限公司“都市水电”建设理念，实现“无人值班、远程控制、信息共享、管控一体、数字赋能、决策优化”的建设目标。

3.3　整体架构设想

硬梁包智慧水电厂的建设主要是解决电站信息孤岛和业务协同问题，提高数据挖掘和智能决策能力，提升水资源优化利用水平，促进生产运营管理向一体化、网络化、智能化模式转变。通过云计算、人工智能、区块链等技术手段，以设备泛在感知、云边协同融合、数据驱动决策为目标，将工

业技术、信息技术与电厂生产经营深度融合，重构人员、物资、管理等要素，打造智慧电厂全面感知、安全环保、经济运行、协同运营、科学决策五大能力，全面提升安全、生产、管理、决策水平[5]。

4　网络安全和智慧应用模块

4.1　网络安全

智慧水电厂一体化平台应在自主可控工控系统基础上，摆脱传统边界安全防护技术局限，突破工控安全核心技术，构建内嵌式工控安全架构体系，做到“外防侵入”“内防漏洞”，实现工控系统安全可控，提升电站基础设施本质安全。其电力二次系统安全防护的总体原则是“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”，建立架构、功能、管理统一的智慧电厂网络安全防护技术体系[6]。智慧电厂相关的数据采集、管理、应用等服务器或系统，网络安全防护原则遵照其所在安全区等级进行网络安全防护设备部署和策略配置。按照电力二次系统网络安全分区、二次安防的一般要求，智慧电厂的整体架构设计应包括生产控制大区（安全Ⅰ区、安全Ⅱ区）、管理信息大区（安全Ⅲ区）、互联网大区（安全Ⅳ区）。智慧电厂的各个功能模块和系统应按照安全防护要求分区管理，因此梳理上述分析的需求，智慧电厂的物理架构分区图见图 1。

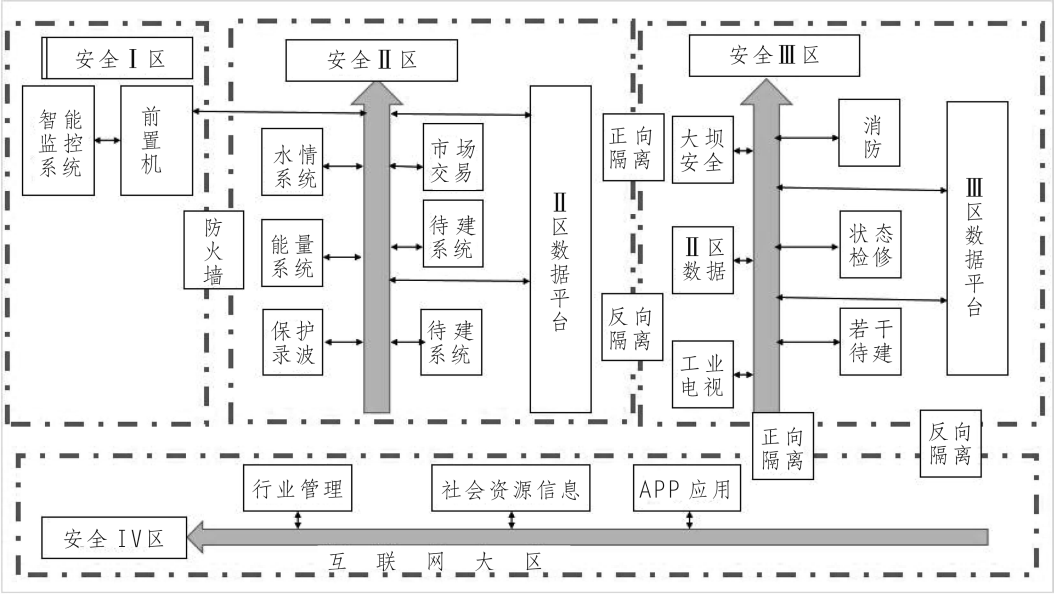

图 1　智慧电厂的物理架构分区图

4.2　智慧应用模块

智慧水电厂依靠“云大物智移”等信息技术，以安全、可靠的电力生产设备设施为基础，以建立安全、高效、经济、精准的智慧决策体系为目标，建设支持多源异构数据的接入、管理和应用，具备设备运行、检维、库坝管理、水情管理、安全管理、仓储管理等功能的综合分析决策系统。

4.2.1　智慧运行

智慧运行模块应在传统计算机监控系统机电设备运行监视，AGC、AVC 调节和开停机流程顺控操作、单一设备的操作功能的基础上，实现智能监视、自动报表、智能操作、智能优化控制、智能巡检、智能报警和应急处置等功能，提高电站运行工作效率与质量，减轻人员工作强度，满足智慧运行的要求。

4.2.2　智慧检修

利用大数据、人工智能等新兴技术，在硬梁包水电站逐步推进设备设施检修信息化管理和状态检修工作，实现检修全过程的信息化和智能化管理。汇集电站各设备基础参数、历史运行数据、在线监测数据，监理设备状态分析模型，运用大数据分析、评价、确定设备状态，并针对设备状态评估等需求的高级应用，开发检修智能管理系统，实现各系统设备状态自动评价打分和状态检修策略自动制定，为检修决策提出建议，避免设备过检修或欠检修。

4.2.3　智慧维护

设备智慧维护包括定期维护和精准维护。设备定期维护主要包括状态维护、智能专业巡检、定期工作推送、工器具管理等，根据设备定期维护工作清单定期自动进行维护工单推送和流程执行。设备精准维护主要包括设备异常、缺陷管理，以智慧电厂一体化平台为基础，以大数据、机器学习、数据可视化等技术为手段，以提高设备缺陷及异常情况感知的敏锐性、故障原因分析的准确性和异常处理的高效性为目的，建立以数据分析结果等多维度的数据分析模型，实现异常设备精准定位、异常处理流程自动触发及精准推送的设备精准维护技术体系，降低设备不必要损耗，提高设备使用价值和可靠性。

4.2.4　智慧大坝

智慧大坝包括库区岸坡综合管理和库区生态环境智能管理。大坝运行工况智能诊断与决策支持主要包括大坝安全监控、水工巡检、防洪度汛等业务实施与管理，以及大坝运行工况智能诊断和特殊事件应急响应支持等；大坝智能巡检主要包括大坝内外部、引水发电系统和泄洪流道水工巡检及分析评判。智慧大坝板块在强化大坝工况全面感知和数据质量保证的基础上，进一步提升大坝安全分析评估与决策功能，对大坝监测数据进行分析，结合工程结构物理特性，构建数据驱动和知识驱动融合的大坝安全智能分析诊断体系，实现监测数据的异常甄别、大坝工作状态的安全评估、趋势预判，特殊风险事件的安全预警及决策建议，提升水电站水库运行的综合管理和应急决策支持水平。

4.2.5　智慧水库

智慧水库包括库区岸坡综合管理和库区生态环境智能管理。库区岸坡综合管理主要包括库岸边坡及地质灾害监控、枢纽区上下游近坝水域安全生产管理、库区移民和扶贫信息化管理等；库区生态环境智能管理主要包括水库水体环境分层监测采样与综合评价、水体和库周生态大范围监测等。智慧水库以构建多源监测数据有效融合的数据存储分析平台为基础，创新现有监测信息采集与获取技术，研究数据驱动与知识驱动有机结合的智能诊断分析模型，建立水库库岸地质灾害和水体环境的风险异常感知、趋势发展研判和分级预警管控的成套技术体系，提升水电站水库运行的综合管理和应急决策支持水平。

4.2.6　智慧水情

智慧水情收集汇总电站流域气象预报和实时降雨信息，接入电站实时运行数据，实现电站水情监测、水务自动计算、高精度气象水情预报、汛情分析预警、洪水调度和防洪应急决策等功能，建立大渡河流域水资源安全、高效、可持续利用的智能机制，实现数据信息采集处理、发电计划编制、检修管理、闸门自动控制、综合预警、指标统计分析评价等功能，实现水资源时间、空间维度的合理优化配置，获得更好的发电效益。

4.2.7　智慧安全

智慧安全拟采用现代信息化手段，实现安全管理业务工作全流程电子化、人员行为的智慧化管控，将日常安全管理工作全部信息化、可视化，利用门禁、电子围栏和智能安全帽等感知设备和工业电视，对工作负责人、工作联系人、工作班成员的作业全过程进行实时分析，对是否履行安全职责、是否在规定区域活动进行监视和定位。同时提升安全检查整改、事故障碍分析、隐患排查治理、安全教育培训考核、应急救援等规范化、智能化管理水平，提高安全管理工作效率。

4.2.8　智慧仓储

智慧仓储是电厂智慧检维的基础环节，通过建立智慧仓储系统实现对电厂各类设备物资的有效管理。在华能集团数字仓库建设要求基础上，利用信息化技术及先进的仓储管理方法，实现入库、出库、盘库、移库管理的信息自动抓取、自动识别、自动预警及智能管理功能，并与四川公司下属的其他兄弟公司建立物资仓储“互为备用”的管理模式，有效降低仓储成本、提高仓储效率、优化备品备件定额，进而满足智慧化生产管理各项要求。

5　结　语

智慧水电厂始于感知，巧于思考，长于控制。建设智慧水电厂将有力推动水电行业的创新发展，是为了建立现代能源电力系统，实现安全、高效、绿色、低碳的发电，是助力国家“双碳”目标实

现的大势所趋。受到项目造价与整个工程概算费用的限制，硬梁包水电站智慧电厂最终的建设将以公司最终决策为准。本文是基于对硬梁包水电站自身智慧化建设的积极探索，旨在以《智慧水电厂技术导则》(DL/T 1547－2021)为科学依据，围绕自感知、自学习、自适应、自决策、自执行等能力的实现，以网络安全与八大智慧应用模块搭建为抓手，进而构建“无人值班、信息共享、管控一体、数字赋能、决策优化”的智慧水电厂，提供顶层设计的一个方向仅供参考。

参考文献：

[1] 田宁. 智慧电厂顶层设计的研究[D]. 秦皇岛：燕山大学，2016.

[2] 中国电力企业联合会. GB/T 40222-2021 智能水电厂技术导则[S]. 北京：国家标准化管理委员会，2021.

[3] 电力行业水电站自动化标准化技术委员会. DL/T 1547-2021 智慧水电厂技术导则[S]. 北京：国家能源局，2021.

[4] 靳帅. 基于智能自主、人机协同愿景下的智慧电厂建设研究与实践[J]. 水电与新能源，2022，36(1)：63-65.

[5] 吴晓珊，廖爱明. 智慧电厂信息化顶层设计[J]. 新型工业化，2021，11(11)：119-122.

[6] 钟青祥，何红荣，杨忠伟，等. 大渡河流域梯级水电站集控中心“调控一体化”系统的建设与运行[J]. 水电自动化与大坝监测，2014，38(1)：63-66.

作者简介：

李　立(1990-)，男，四川德阳人，四川华能泸定水电有限公司，工程师，学士，从事水电站电气及自动化技术管理工作；

于青坤(1981-)，男，辽宁大连人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，注册安全工程师，硕士，从事电站安全生产管理；

杨　辉(1971-)，男，甘肃宁县人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，学士，从事水电工程机电项目管理及水电站安全生产管理工作；

白奎明(1974-)，男，四川广安人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，硕士，从事水电工程建设、电厂运行维护管理工作；

丁　果(1985-)，男，重庆九龙坡人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，硕士，从事电站安全生产管理工作；

何云峰(1973-)，男，四川都江堰人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，学士，从事水电站生产技术管理工作.

(责任编辑：吴永红)

(上接第 20 页)

管理制度相关要求，确保变更管理合规开展，工程投资经得起考验。针对总结发现的问题，认真分析研究，剖析问题根源，落实责任、加强协作，举一反三开展整改，推动变更管理水平持续提升。在工作中进一步加强合同履约管理，维护参建各方的合法权益，强化变更管理人员的责任担当，以规范有序的变更管理为工程建设提供资金保障。

4　结　语

以某水电站全过程管理咨询为案例，结合从业以来的工作成果总结，对水电工程可能产生变更的主要原因、处理原则以及解决方法进行了系统梳理和分析。肯定了技术与经济相结合是控制项目投资最有效的手段，也认可应从组织措施、合同措施等多方面采取措施[5]。研究成果能够对水电项目变更管理提供更全面系统的认识，同时呼吁工程建设各参与方应该高度重视工程变更管理，充分认识到变更管理的重要性。在项目实施过程中，建设参与各方应该充分收集基础资料并充分研究，在遵守合同约定的同时，应严格执行变更管理程序，维护项目建设参与各方的合法权益，确保工程建设顺利、优质、卓效。

参考文献：

[1] 张彦娜. 合理控制工程造价可以确保项目投资效益最大化[J]. 建筑工程技术与设计，2014(11)：144.

[2] 王广德，石豫川，刘汉超，等. 水利水电地下洞室围岩分类[J]. 水力发电学报，2006，25(2)：123－127.

[3] 孙莹. 工程变更对造价的影响及其控制对策—以大型综合性办公楼项目为例[J]. 建筑经济，2017(6)：54－57.

[4] 刘玉刚. 水利工程变更管理及控制方法研究[J]. 黄河水利职业技术学院学报，2017(2)：28－30.

[5] 中国水利工程协会. 建设工程投资控制(水利工程)[M]. 北京：中国水利水电出版社，2022：9－10.

作者简介：

李文海(1988-)，男，四川宣汉人，中国水利水电建设工程咨询中南有限公司，工程师，本科，从事水利工程合同与造价管理工作；

殷云清(1981-)，男，云南大理人，中国水利水电建设工程咨询中南有限公司，工程师，本科，从事水利工程技术研究工作；

徐继敏(1977-)，男，四川荥经人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，学士，从事电气工程及其自动化方面工作；

王雅儒(1991-)，男，藏，四川康定人，中国水利水电建设工程咨询中南有限公司，工程师，学士，从事水利工程项目管理工作；

蒲平新(1998-)，男，四川巴中人，四川华能泸定水电有限公司，学士，从事水利水电工程管理工作.

(责任编辑：吴永红)