

智慧发电专业委员会



中关村智能电力产业技术联盟  
ELECTRIC POWER TECHNOLOGY COLLABORATION

A futuristic 3D rendering of smart power generation technology. It features two white wind turbines, a grey cooling tower with a blue recycling symbol, and a central power plant structure with two cylindrical tanks. A blue laser beam projects from the power plant towards the cooling tower. In the background, a transparent digital interface displays a line graph and the letters 'AI' in a glowing circle, connected by a network of blue dots and lines. The entire scene is set against a light blue background with geometric shapes.

# 2025年度 智慧发电 创新案例汇编

## 编写委员会

**主 编：**付忠广 华北电力大学

**副主编：**张宇阳 中国电能成套设备有限公司

李超凡 中关村智能电力产业技术联盟

**委 员：**杜永胜 国家能源集团公司

杨忠亮 中国南方电网深圳供电局有限公司

陈树勇 《发电技术》

路 平 国核电力规划设计研究院有限公司

赵家敏 国核电力规划设计研究院有限公司

张成刚 国家电投集团综合智慧能源有限公司

陈麒宇 中国电力科学研究院有限公司

车德竞 《发电技术》副主编

赵宇飞 中关村智能电力产业技术联盟

周 璐 中关村智能电力产业技术联盟智慧发电专业委员会

# 前言

在“双碳”战略目标引领下，构建以新能源为主体的新型电力系统已成为我国能源革命的中心任务。电力行业作为国民经济的支柱与能源转型的关键领域，正经历一场以数字化、智能化、绿色化为核心的深刻变革。智慧发电作为这场变革的前沿阵地，深度融合了物联网、大数据、人工智能、数字孪生等新一代信息技术与发电生产全过程，旨在实现发电过程的精准感知、智能决策、协同优化与自主运行，是提升能源利用效率、保障电力系统安全稳定、促进可再生能源高效消纳、推动发电行业高质量发展的必由之路。

为系统梳理和展示我国智慧发电技术的最新进展、创新实践与工程成效，促进产学研用深度融合与先进经验的行业共享，中关村智能电力产业技术联盟智慧发电专业委员会组织开展了“2025年度智慧发电创新案例”征集与评选活动。本次活动面向发电集团、科研院所、高等院校及相关技术企业广泛征集，聚焦智能控制、智慧运维、数字孪生、工业互联网、人工智能应用、安全管控、新型储能协同等关键技术方向。所征集案例经由行业权威专家组成的评审委员会进行严格评审，最终遴选出22项具有显著创新性、先进性和推广价值的优秀成果。

本汇编收录的22个案例，涵盖了气电、水电、火电、风电、光伏、综合能源基地及关键支撑技术等多个领域。案例内容翔实，既包括面向重型燃气轮机少人值守与灵活调峰的智能控制运维一体化平台、基于工业互联网的云上水电创新管理范式、融合数字孪生与人工智能的智慧电厂整体解决方案等系统性创新；也涵盖了高原山地新能源智能监管、境外水电站跨境智慧运维、风电机组偏航储能后备电源、大型联合循环机组振动优化、发电企业智慧工地管理、安全隔离数据智能传输、生产智能分析平台等针对特定场景与痛点的关键技术突破。每个案例均从背景目标、创新亮点、技术方案、实施情况、效益评估及推广价值等方面进行了全面阐述，力求呈现技术逻辑的严谨性、工程实践的可靠性与经济效益的可度量性。

这些入选案例代表了当前我国智慧发电技术应用的前沿水平，部分成果已达到国际先进乃至领先水平。它们不仅是技术创新的集中体现，更是发电企业与科技力量协同攻关、将创新理念转化为现实生产力的生动实践。这些优秀案例获得了中关村智能电力产业技术联盟颁发的荣誉证书，标志着其创新价值获得了行业的广泛认可。

我们期望，本汇编能够为发电行业的管理者、技术人员、科研工作者提供有益的参考和借鉴，助力启发新思路、探索新路径、推广新模式。更希望通过展示这些来自一线的创新火花，进一步激发全行业的创新活力，加速智慧发电技术的迭代升级与规模化应用，共同为推动我国电力行业绿色

低碳转型、构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系贡献智慧和力量。

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

特别鸣谢：衷心感谢所有参与本次案例编写、评审的各位专家，感谢你们付出的专业智慧和宝贵时间。同时，也对在案例征集策划、组织及评审过程中给予重要指导和支持的以下专家表示诚挚谢意：

凌世河 国能大渡河流域水电开发有限公司

黄福强 长江电力溪洛渡电厂科技部

田 鑫 华电电力科学研究院有限公司

薛彦廷 华能西安热工研究院有限公司

刘 宇 中国华能集团有限公司

宋亚军 华北电力科学研究院有限责任公司

陈 林 华北电力大学

陈 菲 华北电力大学

邴汉坤 华电电力科学研究院有限公司

钱橙浩 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司

方 圆 大唐水电科学技术研究院有限公司

郭晶晶 中能国研（北京）电力科学研究院

中关村智能电力产业技术联盟智慧发电专业委员会

2025年12月

# 目录 /Contents

---

- 01 案例 1: 面向燃气轮机少人值守、灵活高效、安全可靠的智能控制与运维技术研究与工程应用
- 06 案例 2: 基于工业互联网打造云上水电创新管理新范式
- 10 案例 3: 基于能源+锦云工业互联网平台的智慧电厂
- 19 案例 4: 布拉格智慧风电场——打造“无人值守”智慧风电场标杆
- 23 案例 5: 高原山地新能源电站多源协同智能监管关键技术应用研究与示范
- 30 案例 6: 新疆华电天山北麓基地 610 万千瓦新能源项目智慧发电
- 33 案例 7: 玄武 SSK 有限空间作业安全监测套件
- 37 案例 8: 基于 OPGW 光缆的境外水电站 4G+AI 智慧运维创新案例
- 40 案例 9: 风电机组偏航储能后备电源系统
- 43 案例 10: 大型联合循环机组 NCB 汽轮机振动优化技术研究
- 48 案例 11: 发电企业智慧工地管理系统研发与应用
- 52 案例 12: 200 万千瓦“阿电入乌”区域互济新能源项目 (170 万千瓦光伏) EPC 总承包工程智慧基建系统
- 56 案例 13: 新能源百万千瓦基地智慧运维中心项目
- 63 案例 14: 新型自主无人继电保护测试系统创新开发与应用
- 67 案例 15: 白音华露天矿变配电站无人值守系统
- 72 案例 16: 基于国产化超融合集群的龙开口水电站智慧水调创新与应用
- 74 案例 17: 火电厂机组 NOx 实时监控与智能预测系统
- 78 案例 18: Solarwind
- 79 案例 19: 安全隔离数据拷贝智能终端
- 82 案例 20: 炉膛燃烧及水动力可视化实时仿真技术研究与应用
- 84 案例 21: 基于 GIS 与人工智能的大型水库智慧化管理平台建设与运用
- 87 案例 22: 生产智能分析应用平台

01

## 面向燃气轮机少人值守、灵活高效、安全可靠的智能控制与运维技术研究与工程应用

完成单位：华电电力科学研究院有限公司、浙江大学、华电浙江龙游热电有限公司

主要完成人：张方、李志军、张新民、赵玉柱、吴书泉、许伟强、蔚伟、姜海明、陈喆、孔婧

典型应用场景：适用于电网高频调峰需求下的重型燃机日常运行场景

内容简介：本案例面向重型燃气轮机智慧发电，以华电电科院自主研发的智能控制与智能运维产品为基础，构建了燃机智能控制与运维一体化平台，实现了“少人值守、灵活高效、安全可靠”的运行目标。在华电龙游热电有限公司、杭州华电半山发电有限公司等多家电厂、多种机型应用，实现了机组智能启停、IBH 能效优化、DLN 低排放燃烧、大小模型协同的多智能体故障预警、诊断与巡检策略生成，成果整体达到了国际先进水平，其中部分技术达到了国际领先水平。项目投运以来，调峰响应速率提升 13.7%，运行能效提升 0.48%，NO<sub>x</sub> 排放 ≤ 16 mg/m<sup>3</sup>，人工操作减少 90%，打造了具有自主可控、技术先进、规模化推广的智慧燃机应用案例。

### » 案例背景与目标

在“双碳”目标推进和新型电力系统加速构建的背景下，电网对电源侧的快速响应能力、运行灵活性和可靠性提出更高要求。重型燃气轮机作为关键的调峰电源，亟需从传统依赖人工操作的模式向智能化、少人化方向转型。当前，燃机运行普遍存在启停过程繁琐、人为干预多、效率和灵活性需进一步提升、异常状态难以提前识别、运维决策依赖人工等问题，制约了其在高比例可再生能源电网中的支撑作用，也增加了运维成本与安全风险。

发电企业提出了三项核心需求：一是降低对运行人员启停过程的操作强度，实现更安全、更智能的机组智能启停；二是进一步挖掘燃机的高效灵活运行能力，提升快速变负荷性能的同时，持续优化燃机运行效率；三是减少运行人员在故障报警与诊断过程中对经验的依赖，实现异常的早期自动预警、故障的快速定位与精准诊断，并支持运维决策的自动生成。

本案例面向重型燃气轮机智慧发电，致力于实现“少人值守、灵活高效、安全可靠”的运行目标，打造具有示范价值、涵盖多机型的智慧燃机创新应用案例。

### » 案例创新亮点

本案例依托自主研发的智能控制与智能运维产品，构建的燃机智能控制与运维一体化平台为核心，突破了传统燃机控制系统依赖人工经验、响应滞后、调控粗放的技术瓶颈，实现了从“经验驱动”向“数据驱动”的范式转变。通过融合数字孪生建模、动态优化控制、多变量协同调节与大小模型融合的智能诊断算法，构建了覆盖启停、调峰、燃烧稳定性的全周期智能闭环控制和监视系统。相较传统控制策略，本案例在响应速度、运行效率、排放控制和运行稳定性方面实现全面跃升，形成“高响应、低能耗、稳燃烧、少干预”的差异化技术优势，为燃气轮机智能化升级提供了可复制、可推广、涵盖多机型的行业新范式。

表 1 工程应用技术指标对比

比较内容		传统方案	本案例	比较结果	
少人值守方面	启动操作过程	高度依赖运行人员, 高频次调节机组	机组一键启动, 人少干预	实现少人值守, 经验解耦	
	燃机启动时间	46 分	41 分 8 秒	降低 3.93%	
	启动过程运行操作次数	≥ 500 次操作量	≤ 50 次操作量	降低 90%	
高效灵活方面	AGC 调节速率	6.75MW/min	7.69MW/min	提升 13.92%	
	一次调频性能	响应时间	1.8s	1.2s	降低 33.33%
		15 秒响应	90%	>90%	优于
		稳态误差	±5%	±3%	降低 40.00%
	燃机运行效率	平均 34.50%	平均 34.98%	相对提升 1.39%	
	模式切换扰动量	3MW	2MW	降低 33.33%	
	负载突变 50% 时转速控制误差	±5.0%	±3.5%	相对降低 30.00%	
NOX 排放	15-18mg/m <sup>3</sup>	12-16mg/m <sup>3</sup>	降低 15.15%		
安全可靠方面	异常预警时效性	故障发生后报警	平均至少提前 5min	从“事后处理”转向“事前防控”	
	故障诊断	依赖人工巡检与报警确认	自动诊断、自动生成检修策略	主动运维	

## » 内容介绍

### 1. 技术方案

本案例以华电智控（负责控制与优化）与智维（负责智能运维）两款产品为基础，构建面向重型燃气轮机的智能控制与运维一体化平台，开发了智能启停控制、高效灵活运行优化、“小模型 + 大模型”融合智能运维技术，具体技术方案如下。

智能启停控制技术，基于燃机启停工艺机理与强化学习算法，构建全自动、高可靠启停序列引擎。通过创新的燃机控制特性参数表征方法，建立了高精度燃机仿真模型，准确刻画了机组在启动、升速、并网等关键阶段的动态响应特性；依托该模型开展了数字孪生仿真预演与在线校验，动态优化操作时序、燃料斜坡、转速控制等参数，实现了“机组智能启停、无人干预”。系统融合实时边界条件（如环境温度、设备状态、电网指令等），确保了

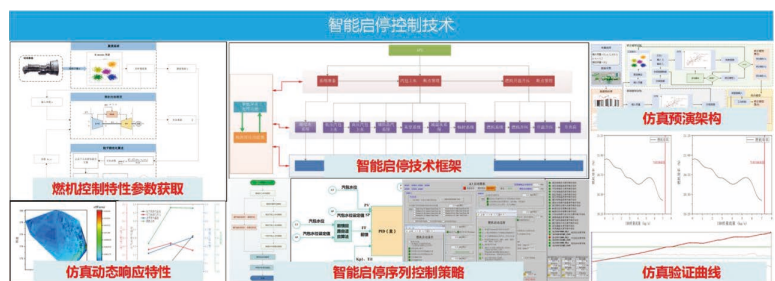


图 1 燃机智能控制技术

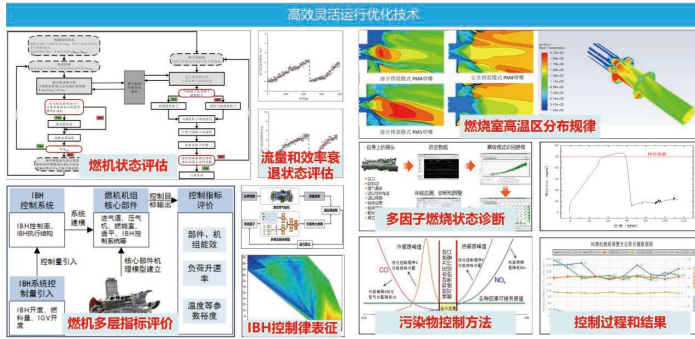


图 2 燃机高效灵活运行优化与控制技术

启停全过程安全、平稳、高效，大幅降低了对运行人员经验的依赖。

高效灵活运行优化技术，深度融合燃机全寿命周期状态监测方法与先进燃烧控制策略。基于高精度状态感知模型，动态识别机组健康状态与性能退化趋势；研发了 IBH 能效优化与控制技术，在变工况下主动调节压气机抽气量，改善喘振裕度并降低热耗；同步开发了 DLN 分级贫-预混燃烧污染物控制技术，通过燃料分级与空燃比精细

调控，在保障燃烧稳定性的同时显著降低 NOx 排放与碳排放，实现了灵活性、能效与环保的协同提升。

“小模型 + 大模型”融合智能运维技术，由预警模型与深度诊断大模型协同构成。预警模型采集 DCS 数据流，融合 SVR、多元正态分布与 BP 神经网络，对振动、排气温、转速等关键参数实现毫秒级异常检测与早期预警；在此基础上，创新融合多智能体系统（MAS）与知识增强生成（KAG）技术，构建了具备专业推理与决策能力的诊断系统，结合设备规程与历史案例，实现了故障精准溯源与检修策略生成，支撑少人值守下的主动运维。



图 3 燃机智能运维技术

所有功能模块统一集成于融合数据、模型与服务的燃机智能控制与运维一体化平台。该平台依托中国华电自主研发的智能控制与智能运维产品构建，部署于电厂控制大区，与 DCS 系统深度耦合，通过标准化接口实现高可靠、低时延的数据交互与指令协同。在严格满足电力监控系统安全防护要求的前提下，平台支撑智能算法对核心控制回路的辅助决策与闭环优化，贯通“感知 - 分析 - 控制”全链条，形成覆盖燃机启停、调峰、诊断的一体化智能运行体系。



图 4 燃机智能控制与运维平台及人机接口界面

## 2. 运行模式

本项目采用“技术研发 - 工程验证 - 平台产品化 - 规模化推广”闭环模式。联合高校、电厂、设备厂商，基于实际燃机场景完成系统集成与验证；平台模块化设计，支持多机型适配。以标杆项目为示范，形成标准化交付包，通过平台授权、技术服务模式向同类燃机电厂推广。依托持续运行数据驱动模型迭代，实现功能优化与价值提升，具备良好的商业化前景与可持续运营能力。

## 3. 项目实施情况

本案例在华电龙游热电有限公司、杭州华电半山发电有限公司等多家电厂、多种机型中完成了部署并投入常态化运行。其中华电龙游热电有限公司于 2025 年 6 月功能全部上线，依托自主研发的燃机智能控制与运维一体化平台，全面

集成智能启停、高效灵活优化、预警诊断等核心功能模块。平台部署于电厂控制大区，与现有 DCS 系统实现安全、稳定、低时延对接。目前，机组已实现一键自动启停、调峰响应速率提升 13.7%、热耗率降低 0.48%，NO<sub>x</sub> 排放稳定控制在 16mg/m<sup>3</sup> 以下，启停过程运行值守操作次数降低 90%。系统连续稳定运行超 6 个月，累计完成 73 次自动启停，验证了

表 2 工程示范应用情况

序号	示范电厂	示范机型	应用地点
1	华电浙江龙游热电有限公司	GE 9E	浙江龙游
2	杭州华电江东热电有限公司	三菱 M701F4	浙江杭州
3	杭州华电半山发电有限公司	GE 9F	浙江杭州
4	广东华电清远能源有限公司	G50	广东清远
5	华电上海闵行能源有限公司	LM2500	上海闵行
6	江苏华电昆山热电有限公司	GE 9FB	江苏苏州
7	四川华电内江燃气发电有限公司	三菱 M701D	四川内江

### » 成果与效益情况

经济效益方面，基于华电龙游热电 GE9E 机组年运行约 4,000 小时、年发电量约 4.5 亿千瓦时、天然气价格 3.7 元 / Nm<sup>3</sup> 的运行条件，热耗率降低 0.48% 可年节约天然气约 43 万 Nm<sup>3</sup>，折合燃料成本约 160 万元；启停过程人工操作减少 90%，缩短了启动时间 5min，可用于机组发电，产生效益约 339 万；调峰响应速率提升 13.7%，增强辅助服务中标能力，按浙江区域补偿标准估算，年增收约 80 万元；智能预警系统有效避免非停，年减少故障损失约 60 万元。每台机组综合年效益约 639 万元 / 年，投资回收期合理，具备良好的经济可行性与推广价值。

环境效益上，以示范电厂 9E 为例，提升负荷响应能力 13.9%，可新接纳 16.68MW 新能源，实现年减碳 1.9 万吨；有效降低机组热耗率 0.48%，按年发电量 4.5 亿千瓦时测算，年节约天然气约 43 万 Nm<sup>3</sup>，折合减少二氧化碳排放约 850 吨，累计实现年减碳 2 万吨。

社会效益显著，本项目的实施有力推动了燃气轮机电厂数字化转型与智能化升级，为传统火电领域培育新质生产力提供了可落地的示范路径。通过实现一键启停、智能预警与少人值守，显著减少人工干预频次，改善运行人员工作强度，降低高风险操作场景下的安全风险；同时，项目在工程实践中形成了一套覆盖建模、控制、诊断的燃机智能技术实施方法与集成规范，为行业智能化标准建设提供参考，有助于加快复合型能源数字化人才的培养，提高新型电力系统新能源接纳能力，对促进能源行业高质量发展具有积极意义。

### » 推广价值

本项目技术体系具有良好的通用性与可移植性。所构建的燃机智能控制与运维平台采用模块化设计，核心功能（智

能启停、能效优化、智能诊断) 不依赖特定主机品牌, 已验证适用于 GE 9E 机型, 也可适配西门子、三菱等主流重型燃机。平台部署于控制大区, 通过标准接口与现有 DCS 对接, 无需大规模改造基础设施, 工程实施周期短、兼容性强。以龙游项目为标杆, 形成的标准化交付包 (含模型库、控制逻辑、运维规程) 可快速复制至全国调峰燃机电厂, 助力行业实现少人值守、灵活高效与安全运行, 具备广阔的推广应用前景, 提高新型电力系统新能源接纳能力。

02

## 基于工业互联网打造云上水电创新管理新范式

完成单位：国能大渡河大数据服务有限公司

主要完成人：贺玉彬、罗玮、刘金全、陈媛、许剑、王甫志、刘芬香、马梦园、秦济森

典型应用场景：水电数字化转型

内容简介：本案例构建“云平台+边缘计算”工业互联网架构，实现水电设备多协议接入、数据实时采集与智能分析。平台整合气象水情、大坝安全等多维数据，通过隐私计算与联邦学习保障数据共享安全，提供 SaaS 化订阅及专业数据服务。平台投运为中小水电数字化转型整体投资降低 2/3，设备等效可用系数与水情预报精度均提升 5%，高效破解中小水电站数据孤岛、运维成本高、安全管控难等痛点，为水电行业绿色低碳、高效稳健发展提供可复制推广的智能化新范式。

### 案例背景与目标

我国已建成全球规模最大、数量最多、覆盖最广、复杂程度最高的水电体系。然而，占总量 99% 的中小水电在有限资源约束下，深陷流域协同难、安全运维难和效益提升难的“三难”困境。本项目直面国家重大战略需求，瞄准新一代信息技术与水电工业深度融合的技术瓶颈开展系统性攻关，构建水电工业互联网“多源数据融合-跨域可信流通-全链云化智控”三位一体技术体系，研发国内首个水电工业互联网平台（“云上水电”），通过模型泛化、应用迁移等方式，打造水电行业的“工业应用商店”，在气象水情、大坝地灾、设备管理等方面形成水电特色的“云化服务”，有效提升了中小水电运营管理精细化水平，创新实现了“低成本、大范围、高成效”的水电一体化专业数据服务的新范式。

### 案例创新亮点

本项目从理念、技术、服务、模式四大维度实现突破，与传统水电“单点封闭、高门槛、低协同”模式形成鲜明差异。

理念创新：打破传统“单一服务站”局限，首创全产业链生态理念，提出“大中小电站技术均等化”路径，整合资源打造行业技术首选入口，缩小行业差距。

技术创新：以统一云原生架构替代“烟囱式”系统，自主研发多协议边缘网关，数据汇聚周期从 1 个月缩至 3 天；通过隐私计算实现“数据可用不可见”，低代码工具使建模效率提升 15 倍，大幅降低信息化投入。

服务创新：SaaS 服务“即订即用”，专业团队破解人才匮乏痛点，多种数据元件实现“数据不出域”的价值挖掘，较传统服务更灵活高效。

模式创新：打造“开发者社区+算法众筹+水电社区”生态，应用开发周期缩短 60%，汇聚海量模型与人才，形成“知识共享、问题共解”的创新共同体，加速行业技术迭代。

### 内容介绍

#### 一、核心技术方案

本项目构建云边缘协同的流域水电智能调控技术体系，打造全球首个水电工业互联网平台，破解传统模式痛点。

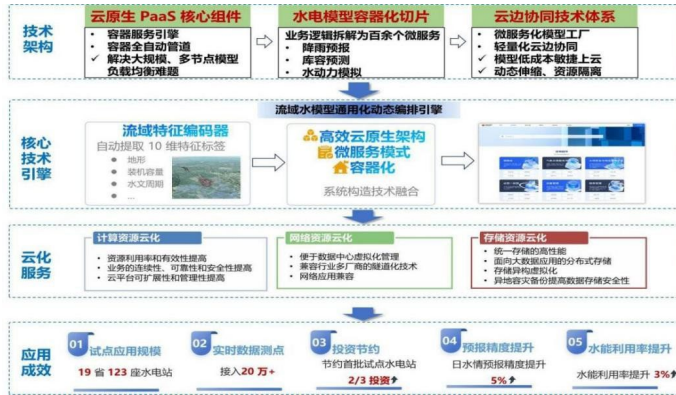


图 1 云上水电技术方案架构

对下采集端，通过自研智能边缘网关、PMIS 标准化编码、时序异常检测及“端 - 边 - 云”协同治理，解决水电数据繁杂、质量波动问题；对上应用层，依托双重联邦学习框架、秘密分享技术及动态安全管理机制，实现多主体数据隐私保护与协同建模，打破数据孤岛。同时融合全链条模拟同化、分布式水文水动力耦合建模等技术，通过 8 大 SaaS 应用服务、专业技术服务等多类运营赋能，突破传统建模效率低、仿真时效性差、中小水电技术壁垒高的瓶颈，实现高精度建模与技术普惠。

## 二、创新运营模式

平台构建“三类服务协同”的运营体系：一是 SaaS 订阅服务，涵盖 30 余项基础服务，覆盖 50 余个应用场景，为集团、子分公司及电站提供数据监测、水情预报等标准化服务；二是专业技术服务，通过运营中心为用户提供 76 项定制化服务，包括深度数据分析、故障定位、功能开发等；三是数据要素服务，结合大模型技术探索数据元件交易模式，最大化挖掘数据共享价值。

SaaS 服务	气象水情	大坝地灾	设备管理	运营一张图	智能报表	视频云
集团侧	水雨情数据全景采集 重大汛情灾害预警	大坝中心对接 重点大坝监管	可靠性监管	生产运营概览 指标对标	水电生产数据汇集	重点现场监视 应急指挥辅助
省公司	重点水库水情监测 流域水雨情预报 汛情分级预警 防汛应急指挥	重大风险预警 防汛救灾指挥 大坝地灾风险预警 大坝地灾安全分析	重大事故报警 应急处置指挥 设备工况预警 特征指标分析	生产运营辅助分析 发电进度跟踪 调度运行监视 指标预警	区域指标监管 指标溯源 生产数据智能分析 数据一键报送	全景在线直播 现场视频回放 全景在线直播 工业电视联动
电站侧	水库运行监测 局地精细化预报 风险预警靶向推送	大坝地灾安全监控 测点数量分析 异常报警推送及处置跟踪	设备状态监测 劣化预警 运行分析	发电监视 一站一图	生产报表自动生成 定制报表开发 数据辅助校验	工业电视监视 违规行为识别 安防系统报警联动

图 2 云上水电功能清单

## 三、项目实施情况

本项目以工业互联网体系为框架，深度匹配水电行业数据高效汇聚、跨域可信流通、系统精准建模与普惠应用的核心需求，创新构建“边缘感知 + 平台聚合 + 应用服务”三层架构，形成“多源数据融合 - 跨域可信流通 - 全链云化智控”的一体化解决方案。

(1) 边缘侧感知采集：在厂站侧部署适配超 20 种协议的智能边缘网关，实时采集设备运行、水文监测等多类数据，实现重要数据实时抽取与重点监视。

(2) 平台层数据治理与共享：研发隐私计算与联邦机制融合的数据共享技术，依托数据联邦机制打通跨区域分支机构异构数据平台，搭建软硬结合的可靠运算环境，在“数据不出域”的前提下，实现多方联合计算与联邦建模，有效支

撑流域级联合调度、厂站级经济运行等跨组织协作场景。

(3) 应用层服务赋能：以 SaaS 形式构建服务集群，涵盖“气象水情、设备管理、大坝安全、智能报表、视频云、运营一张图”等多类板块，提供可订阅式应用；同时配套专家诊断、AI 建模、报表定制等深度专业服务，形成“系统支撑 + 人工赋能”的双重服务机制，满足企业多样化需求。

(4) 生态化服务模式：创新打造水电行业“工业应用商店”，通过众筹开发机制与隐私保护共享机制，推动数据元件、专业模型及系统应用的生态化流通与迭代，构建以数据驱动为核心的开放协同管理模式，实现“低成本、大范围、高成效”的水电一体化专业服务。

### » 成果与效益情况

依托云上水电运营中心，平台已在四川、贵州、海南等 11 个省份 43 个流域成功落地，服务企业客户超 1000 家。作为国家能源集团水电数据分中心基座，项目有效支撑水电全景数据汇集与安全生产，全面提升水电站安全生产标准化水平，经济效益与社会效益成效显著。

经济效益亮点突出：防灾减灾领域，大渡河公司联合龙头石、沙湾、安谷等水电站构建跨区域流域电站群联合调度体系，近三年成功将多次流域大洪水化解为常年一般洪水，减少下游淹没范围，避免近万人因灾转移，累计避免或减少洪灾损失约 6 亿元；电力保障上，通过设备实时监控与工况预警分析，实现梯级电站协同调度，为 10 余省份稳定供电提供支撑，助力乡村振兴；安全管控方面，平台接入 3157 个摄像头，搭建天眼监控网络，筑牢风险预警与应急指挥基础；提质增效层面，智能报表与视频云功能减少低价值重复性工作及现场值班人力投入，推动“黑灯工厂”建设，人力资源成本降低 7%，同时探索出低成本数据服务新范式，使信息化投资减少 2/3。

社会效益广受赞誉：2024 年 7 月的云上水电发布会，获人民网、新华社等 20 余家主流媒体转载报道超 20 篇，全网总阅读量超 300 万人次。项目斩获国家数据局首届“数据要素 X”全国二等奖，亮相国际大坝委员会大会，获王浩院士“建议大范围推广”的高度评价，吸引多部委调研，且在行业大型论坛开展主题分享 10 余次，获同行广泛认可。

### » 推广价值

基于云上水电运营中心，项目成果在集团范围内规模化推广落地。通过多源数据融合、跨域可信流通及云化仿真等关键技术突破，实现全国 41 个流域 132 座电站数据“一次采集、多处复用”，既满足各层级用户的全景监控需求，又能适配水电特色业务场景，为跨业务协同提供高效数据支撑。

#### 1. 强化生产管理实时监测能力

项目完成集团内 132 座水电站接入，首个实现集团水电数据全覆盖模式。作为水电数据分中心核心基座，该项目有效支撑集团电力运营监控平台、基石系统等统建系统的数据供给需求，彻底破解总调在水电产业管控中的“灯下黑”难题。凭借突出成效，项目入选工信部工业数据分类分级水电领域唯一优秀案例，为水电生产管理提供全量、实时的数据监测支撑，助力管控效能提升。

#### 2. 提升超前预警能力

项目成功推动集团全部水电站数值天气预报使用率从 18% 跃升至 100%，重大灾害预警提醒实现全覆盖。针对中小水电痛点，将其灾害有效预见期普遍延长 1-3 天，依托实时数据监测与深度分析能力，为水电安全运行筑牢防线。

### 3. 支撑精准决策能力

通过实时数据与集团生产日报、快报、月报等报表数据自动校核, 报表自动报送率提高至 95% 接入设备数量超 30 万, 部署专用趋势预测与故障预警 AI 模型 100 余个, 有效提高设备分析精准度及运行效率, 为梯级水电集控管理等场景提供精准决策依据。

### 4. 优化应急处置能力

项目以低成本、高效率模式实现工业电视全域随时调用, 成功实现集团及子公司本部视频覆盖率 100%, 为应急指挥搭建起全方位“天眼”通道, 显著增强应急处置的可视化管控能力与响应效率。

03

## 基于能源+锦云工业互联网平台的智慧电厂

完成单位：成都贝斯特数码科技有限责任公司

主要完成人：钱澄浩、李相君、刘军、黄永军、彭桃、何沛衡、李雪松、欧阳裕洁、陈伟、周飞燃

典型应用场景：智慧电厂、智慧火电、智慧能源

内容简介：该案例由成都贝斯特数码科技有限责任公司完成，依托中能建崇左 2×660MW 电厂工程，构建“能源+锦云工业互联网平台”一体化智慧管控体系。以“五层架构+六中心”为核心设计，融合数字孪生、多协议贯通等技术，创新“平台赋能+全流程协同”运营模式与分阶段实施路径。实现电厂智能控制、运维、经营及辅助决策全场景覆盖，落地后锅炉效率提升，年省人力与检修成本，兼具技术先进性与行业适配性，为火电厂智能化转型提供可复制范式。

### 案例背景与目标

本项目立足国家能源数字化智能化发展战略要求，以打造集团火电厂智能化建设标杆为导向，依托中能建崇左 2×660MW 电厂工程推进智慧电厂建设；经 EPC 招标文件编制审定、多轮初设审查与外审，明确项目按工业互联网平台智能电厂模式设计，功能于一体化智慧管控平台实现且投产后分阶段落地。当前智慧电厂建设进入高峰期，但市面现有管控平台存在业务集成度低、行业业务理解不深的痛点，亟需发挥我方技术人才与专业优势，通过数字化信息化技术构建智慧管控体系架构与功能应用。项目预期实现电站智能控制、运维、经营及辅助决策，助力电站优化运行、节能降耗、高效生产，最终提升发电效益。

### 案例创新亮点

本案例核心创新点及差异化优势显著：一是技术架构创新，突破传统电厂“分层孤立”架构局限，采用五层架构+六中心”一体化设计，通过多协议融合实现全链路数据贯通，结合数字孪生技术构建虚实联动体系，相较于传统分散管控模式，实现生产态势全可视化与精准调控。二是运营模式创新，打造“平台赋能+全流程协同”模式，整合生产与经营数据形成全域资源池，依托智能技术实现无人化巡检与主动安全管控，区别于传统被动响应式管理，大幅提升运维效率与安全水平。三是落地路径创新，采用分阶段实施策略，精准匹配电厂运营需求，较传统“一刀切”建设方案更具灵活性与适配性，有效降低转型风险与成本。

### 内容介绍

本案例是基于中能建崇左 2×660MW 电厂工程的智慧电厂建设项目，由成都贝斯特数码科技有限责任公司提供解决方案，核心是构建基于能源+锦云工业互联网平台的一体化智慧管控体系，实现电厂全生命周期智能化运营。技术方案上，采用“五层架构+六中心”的核心设计（如图 1 所示）。

五层架构自下而上涵盖智能设备层、智能控制层、基础设施层（IaaS）、工业平台层（PaaS）及工业应用层（SaaS），



图 1 智慧电厂总体架构图

通过 MQTT、TCP/IP 等多协议实现全链路数据贯通，借助大数据建模、机器学习等技术完成数据清洗与智能分析。六中心（如图 2）包括数字孪生及全厂可视化中心、智能设备全生命周期管理中心等（如图 3~8），形成覆盖生产、运维、经营、安全的全场景应用，其中数字孪生实现电厂三维虚拟映射与实时态势展示，智能控制层可完成燃烧优化、脱硝智能喷氨等精准调控。

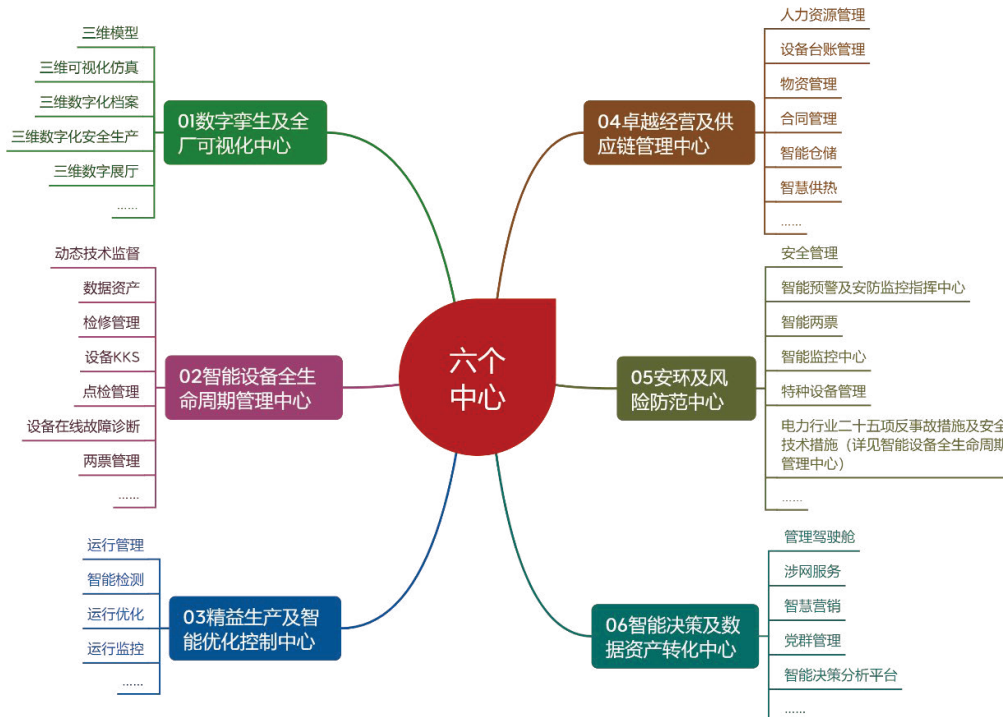


图 2 基于能源 + 锦云工业互联网平台的智慧电厂六中心

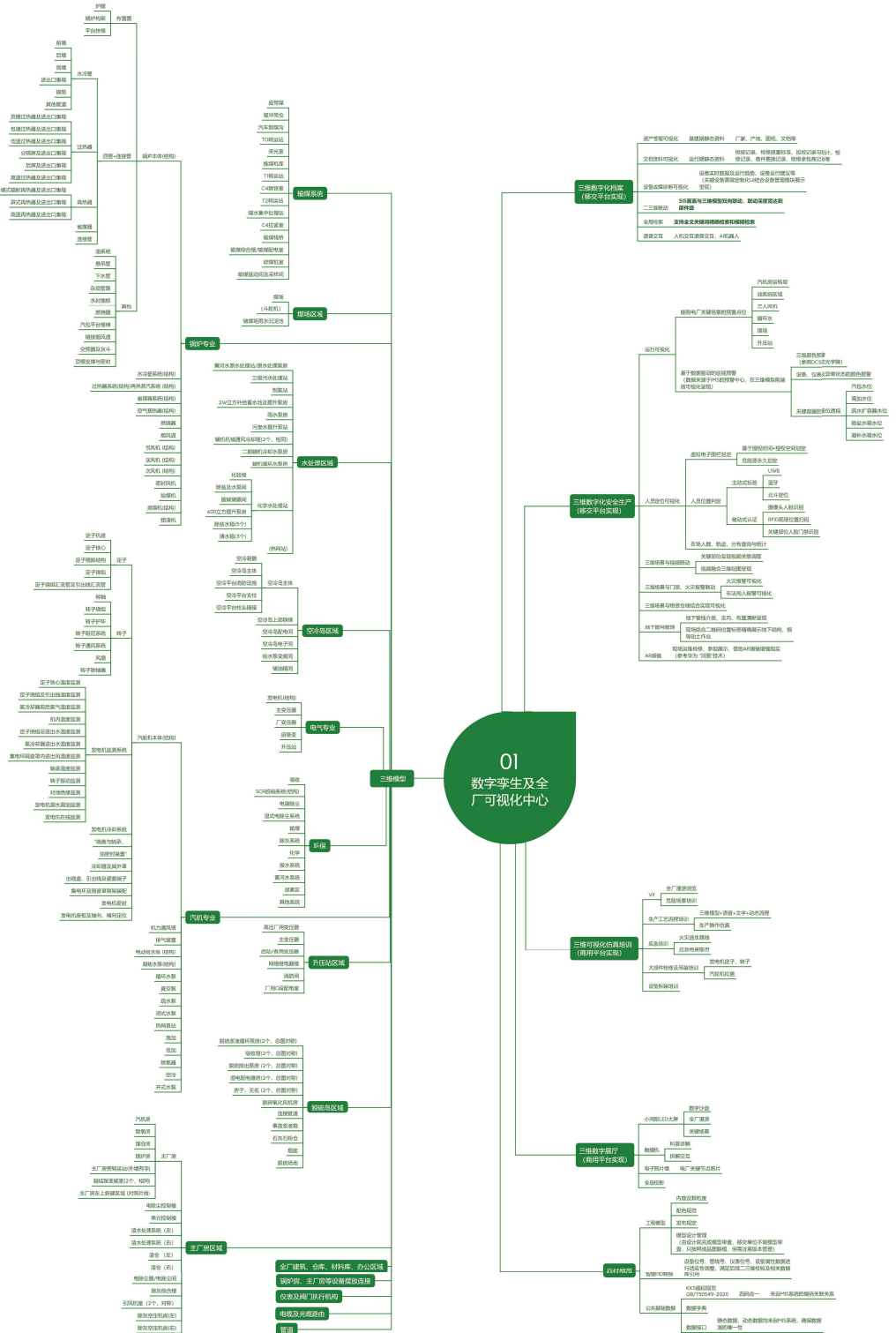


图 3 数字孪生及全厂可视化中心功能导图



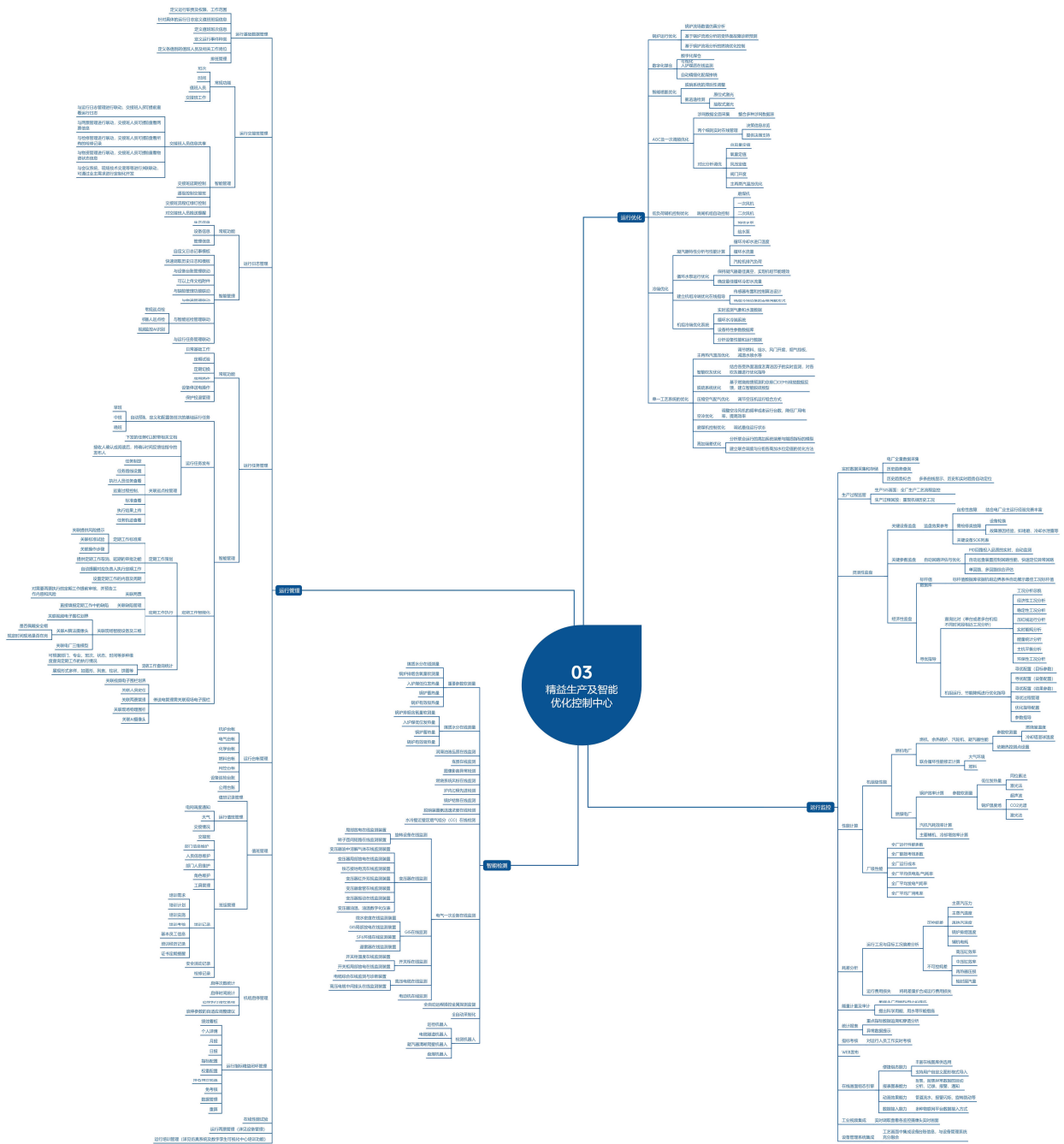


图 5 精益生产及智能优化控制中心功能导图



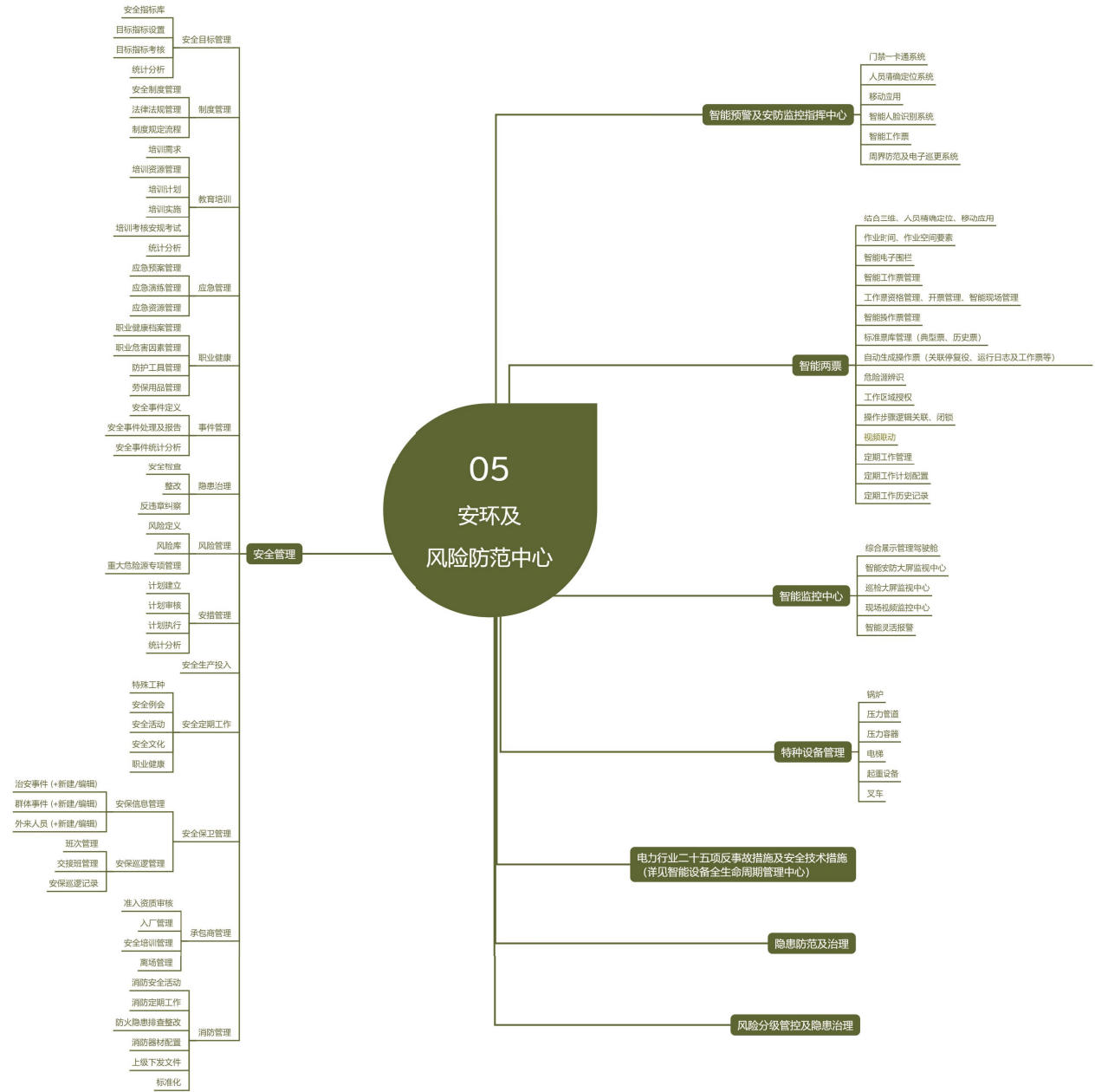


图 7 安环及风险防范中心功能导图

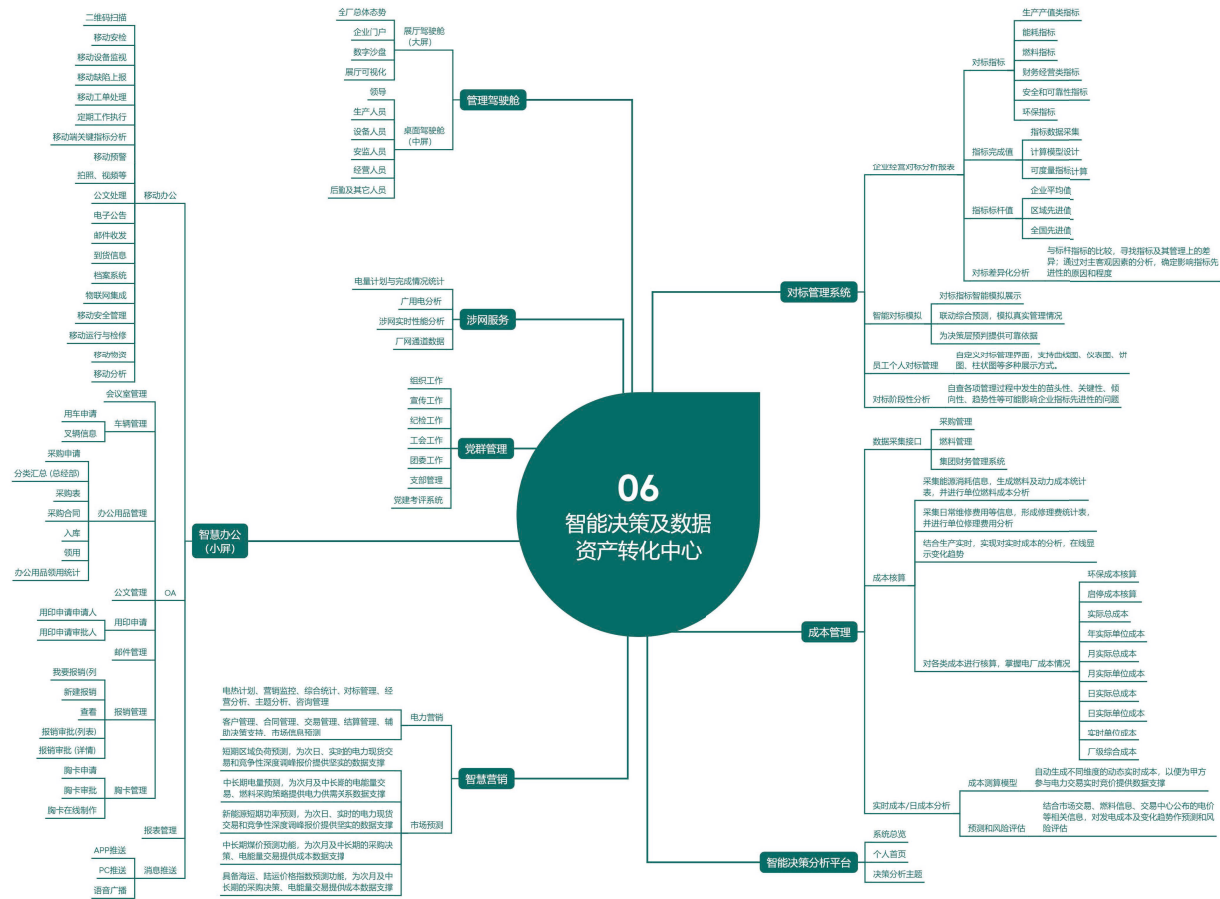


图 8 智能决策及数据资产转化中心功能导图

运营模式采用“平台赋能 + 全流程智能协同”模式。以工业互联网平台为底座，整合生产实时数据与经营管理数据，通过智能巡检机器人、5G+UWB 人员定位等技术实现无人化巡检与主动安全管控；依托智能决策中心完成成本分析、售电决策等经营赋能，构建“生产 - 运维 - 经营 - 决策”闭环管理体系，推动传统“被动管理”向“主动预判”转型。

项目实施推进有序，陆续完成 EPC 招标文件编制审定，明确信息化建设与功能规划；随后通过初设原则审查，确定工业互联网平台驱动的建设模式；后续先后完成初设内审与电规院外审，确认系统构架、数据中心等核心建设内容，明确投产后分阶段实施路径。目前已构建完善的基础设施支撑系统，工业平台层与应用层功能已实现集成落地，可提供运行管理、智能安防等全场景服务。

该方案通过技术架构创新与业务深度融合，有效解决传统电厂管控分散、效率偏低的痛点，为火电厂智能化转型提供了可复制的技术与实施范式。

## » 成果与效益情况

本案例相较于其他智慧电厂，具备更强大的业务集成能力和更智能的优化控制功能，解决方案落地实施后，产生了可观的经济效益和广泛的社会影响。

### 经济效益

(1) 通过燃烧优化，提高锅炉效率 0.5%，综合降低机组供电煤耗约 1.5g/kWh。

(2) 通过无人值守，按 5 个运行值每个值节省 2 名巡检人员考虑，共节约 10 人，按照每人 10 万一年计算，每年可节省人力成本约 100 万元。

(3) 通过 5G+ 机器人、设备视频 AI 巡检，按 5 个运行值每个值节省 1 名巡检人员考虑，共节约 5 人，按照每人 20 万一年计算，每年可节省人力成本约 100 万元。

(4) 通过设备可靠性维护，对维修成本大约有 2% 左右的正向改善，一台机组年度修费用按 3000 万元计算，单台机组每年节约检修、维护费用 60 万元。

### 社会效益

国内对于技术创新的呼声越来越高，本案例提出的智慧电厂整体技术架构及技术创新，大多技术方案还没有相关可参考借鉴的工程案例，属于我公司首次研究提出，在当前智慧管控平台建设还没有得到统一的大环境下，本案例提出的规划具有充分的前瞻性、先进性和创新性，推广后具有先行示范性，带来正面宣传效益，这对于提升公司在智慧电厂领域的核心竞争力具有极其重要的意义。

## » 推广价值

1. 契合行业发展趋势，引领转型方向：智慧电厂是计算机网络、自动控制等技术发展的必然产物，更是发电企业信息化应用的高级阶段与两化深度融合的必由之路，代表发电行业未来发展方向。本项目紧跟行业智能化建设高峰期浪潮，其建设思路与实施路径契合行业转型核心需求，推广应用可助力更多发电企业跟上技术革新节奏，加速全行业数字化智能化升级进程。

2. 精准破解行业痛点，提供优质解决方案：当前市面多数智慧电厂管控平台普遍存在业务集成度不足、对发电行业核心业务理解不深入的问题，难以满足企业实际运营需求。本项目依托企业技术人才与专业优势构建的智慧管控体系，精准弥补了现有平台的短板，形成了兼具业务适配性与技术先进性的成熟方案，具备广泛的行业推广适用性。

3. 赋能企业提质增效，创造核心价值：项目构建的智慧管控体系可实现电站智能控制、智能运维、智能经营及辅助决策等核心功能，有效助力企业优化运行流程、降低能耗成本、提升生产效率，最终实现发电效益的显著提升。这一价值成果可直接复制应用于各类火电厂项目，为企业带来实实在在的经济与运营价值，具备强烈的推广吸引力。

4. 树立行业示范标杆，带动整体升级：本项目作为集团火电厂智能化建设的标杆项目，其建设经验、技术路径与实施成果可为行业提供可借鉴、可复制的实践范式。推广该项目不仅能提升集团在能源智能化领域的行业影响力，更能带动全行业智慧电厂建设水平的整体提升，推动能源行业数字化转型高质量发展。

## 04

## 布拉格智慧风电场——打造“无人值守”智慧风电场标杆

完成单位：国核电力规划设计研究院有限公司、内蒙古巴音新能源有限公司

主要完成人：路平、但伟、王洪凯、白雪峰、高宇峰、陈思慧、李瑶、霍文聃、刘学锋、蒋瑞祥

典型应用场景：智慧风场

内容简介：国电投布拉格风电场是国家首批以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电基地项目之一，共安装 87 台风电机组，新建一座 220kV 升压站，总装机容量为 40 万千瓦。本项目通过建设智慧风电管理系统，接入风场各系统数据，实现了风场的全景监视、综合告警、巡检管理、预警诊断、生产营销一体化管理，提高了生产效率，降低了运维成本，增强了场站安全性，构建了闭环的智慧风场管理体系，建成了具有行业领先水平的智慧化风场。

## » 案例背景与目标

风电场设备巡检长期依赖传统人工方式，即通过“看、听、闻”等感官手段进行。此模式存在人力成本高、巡检手段单一、数据主观性强、易受恶劣天气影响及数据管理分散等弊端，无法满足新时代电力系统对设备巡检准确、实时、高频的需求。为提升场站核心竞争力，本项目按照“无人值守智慧风场”的原则进行设计，打造“无人值守”智慧风电场标杆。

项目拟构建一套行业领先的智慧运营管理体系，通过部署智能化监控终端与机器人，实现 7×24 小时无人化、高频率的设备监管。最终形成数据采集、实时传输、智能分析、决策反馈的管控闭环，从而提升场站的本质安全水平和设备可靠性，优化单位千瓦利润、度电成本等关键指标，确保电力系统的安全稳定运行。

## » 案例创新亮点

相较于传统依赖看、听、闻的人工巡检模式，本项目在技术和管理上实现了多维度创新，展现出显著的差异化优势：

**1. 构建“天地协同”立体巡检体系**

创新性地整合无人机、四足轮式机器人、轨道机器人及固定摄像头等异构终端，形成了空地联动的立体巡检网络。当地面机器人识别设备异常时，系统可自动调度无人机进行空中复核，实现“发现 - 研判 - 处置”闭环管理。

**2. 多模态数据融合与智能诊断**

突破传统单点监控局限，集成 SCADA、油色谱、振动监测等 11 类子系统数据，并基于 AI 算法实现智能诊断。数据驱动的方式使运维从“被动响应”转向“主动预警”。

**3. 业务流程全链路自动化**

从智能门禁的无感通行、消防系统的自动告警，到巡检任务的自动生成与报告自主输出，系统实现了运维流程的全链路数字化。

**4. 智慧分析与决策支持**

通过生产经营、安全态势及电力交易三大分析模块，为场站运营提供数据支撑。

## 内容介绍

本项目以“高清摄像机 + 轨道机器人”协同巡检为核心，结合先进的软件平台与网络架构，构建了一套完整的智慧场站解决方案。

智慧场站一体化平台主要建设：智慧安防、站区消防、智能巡检、智能分析四大功能模块。

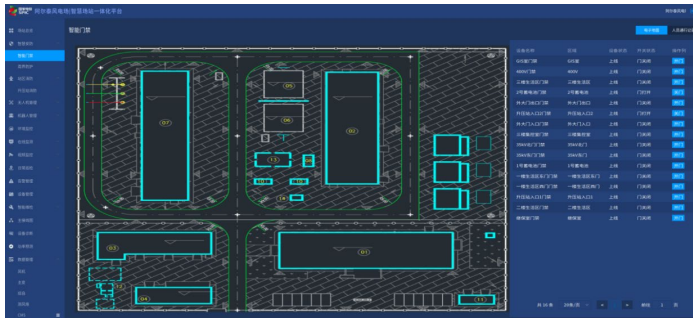


图 1 系统界面



图 2 监控数据看板

彻底打破传统人工巡检的时空限制。

集电线路巡检：移动机库自主起降，可精准识别鸟巢、绝缘子自爆等缺陷，单次续航 55 分钟，实现线路全覆盖。

风机巡检：无需停机即可识别叶片油污、胶衣破损、纤维层暴露等问题，结合 87 台风机建模数据采集服务，实现风机状态全维度、无盲区的监测。

集控台可实时查看飞行参数与视频画面，支持远程控制起降、返航及摄像头调节，巡检数据自动归档，为巡检分析提供精准数据支撑。

### 2) 机器人巡检

平台支持远程控制机器人和摄像头移动，还可精准选择巡检点并控制机器人抵达目标区域。

四足机器人适配室外复杂地形，可自动完成外观检查、红外测温、跑冒滴漏检测

### 1. 智慧安防

智能门禁系统 门禁系统通过人脸识别设备，实现人员身份的精准核验与权限精细化管控。

周界防护系统：采用“双光谱摄像机 + 脉冲式电子围栏 + 红外对射报警 + 声光联动”的立体防护方案。当检测到非法入侵时，系统会立即弹窗告警，并触发声光报警器，实现安全风险的及时响应和快速处置。

### 2. 站区消防

接入 35kV 母线室气体消防装置、气溶胶灭火装置及原有消防报警数据。实时展示告警列表与频次统计，支持手动与自动双启动模式，实现消防隐患的早发现、早处置，为设备与人员安全筑牢“防火墙”。

### 3. 智能巡检

#### 1) 无人机巡检

构建了集电线路与风机的专业化巡检体系，彻

任务名称	全副巡检	任务时间	巡检点位	巡检设备	巡检结果	巡检数据	异常信息	环境	操作
		2025-07-28 12:05:18	220kV-4号母线22137号端子	220kV-4号母线22137号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情
		2025-07-28 12:05:19	220kV-4号母线22117号端子	220kV-4号母线22117号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情
		2025-07-28 12:05:21	1号主变20018号端子	1号主变20018号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情
		2025-07-28 12:05:23	1号主变20019号端子	1号主变20019号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情
		2025-07-28 12:05:25	1号主变20020号端子	1号主变20020号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情
		2025-07-28 12:05:27	1号主变20021号端子	1号主变20021号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情
		2025-07-28 12:05:29	1号主变20022号端子	1号主变20022号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情
		2025-07-28 12:05:34	1号主变20023号端子	1号主变20023号端子	巡检正常	巡检数据	正常	升空站区域	查看详情

图 3 巡检日志

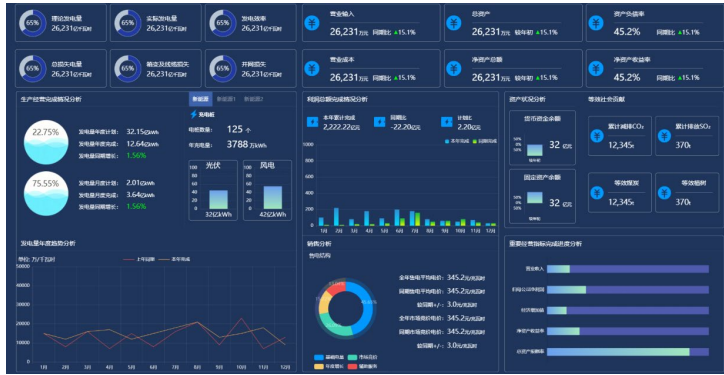


图 4 智能分析仪

及表计读数识别，生成巡检报表。

3 套导轨机器人部署于 35kV 配电室及继保室，搭载自稳云台、高清摄像头、红外模块、局放模块及 SF6 气体传感器，可检测设备温度、局部放电与有害气体浓度，支持远程控制移动、定点巡检及视频实时回传，精准攻克室内设备巡检盲区难题。

#### 4. 智能分析

生产经营、安全统计、电力交易三大维度数据通过百分比、柱状图、饼图可视化呈现。

管理人员通过管理驾驶舱可快速掌握场站的运营全貌，为生产调度、安全管控、电力交易的决策提供科学依据，真正实现“数据驱动决策，智能引领发展”。

### 5. 运营模式

项目实施后，场站的运营模式由“被动、人工、分散”转变为“主动、智能、集中”。日常巡检由系统自动执行，运维人员从繁重的现场重复性劳动中解放出来，转而聚焦于远程监控、异常确认、缺陷分析和消缺决策等高价值工作。通过远程任务下发和数据同步，集控中心能够对场站进行集中高效的管理，显著提升了运维效率和管理精细度。

## 成果与效益情况

### 1. 经济效益

- 降低人力成本：通过“无人化”巡检替代传统人工巡视，大幅减少现场运维人员配置和相关的人工成本。
- 提升生产效率：自动化、高频率的巡检和智能诊断，提高了设备缺陷的早期发现率，减少了非计划停机时间，提升了人均劳动生产率和单位千瓦利润。
- 降低运营成本：精细化的设备状态监测有助于实现状态检修，避免过度维修，延长设备寿命，从而降低度电运维成本。

### 2. 管理与社会效益

- 提升本质安全：7×24 小时不间断监控和智能预警，有效规避了人工巡检的盲区和滞后性，极大提升了设备和人员的本质安全水平。
- 增强设备可靠性：通过红外测温、状态识别等技术，能及时发现设备过热、位置异常等潜在隐患，保障设备健康运行，确保电力可靠供应。
- 实现管理升级：构建了标准化、集约化、数智化的管控体系，为实现集团“一省一中心”的智慧运营管理模式奠定了坚实基础，提升了企业的核心竞争力。

### 3. 环境效益

- 助力清洁能源：作为新能源风电场，本项目的成功实施将保障风力发电设备的高效、稳定运行，为社会提供更可靠的清洁能源，间接为实现“双碳”目标做出贡献。

### » 推广价值

在“十四五”现代能源体系规划持续推动能源产业数字化、智能化转型的背景下，布拉格智慧风电场的成功实践，不仅实现了运维成本的降低与生产效率的提升，更为中国新能源场站，特别是环境复杂、区位偏远的大型基地项目提供了宝贵的范例。其以协同架构为支撑，以数据驱动为核心的管理模式，标志着风电运营正逐步迈向“集约化、智能化”的现代运维新阶段，全面支撑了我国能源高质量发展和高水平安全，为构建清洁低碳、安全高效的能源体系贡献了力量。

05

## 高原山地新能源电站多源协同智能监管 关键技术应用研究与示范

**完成单位：**华能澜沧江新能源有限公司、西安热工研究院有限公司

**主要完成人：**陈育聪、阮跃红、李元、杨建能、孔繁新、王忠杰、焦精伟、宋巨、白艳、杨正群

**典型应用场景：**应用于新能源企业全息业务管理、电站智慧运维、少人 / 无人值守电站管控等场景

**内容简介：**以华能集团公司数字化转型目标为牵引，带动公司发展理念、组织结构、产业模式、运营模式的全方位转型为要求，结合华能澜沧江公司新能源公司现状及生产特点建成“新能源电站多源协同监管平台”。通过将先进信息技术、计算机技术、大数据技术、语言模型技术与新能源公司生产管理、集约化监视、电站运维及经营各环节有机融合，打造“智能、协同、融合、安全、柔性”的“无人值守”多源协同智慧管控平台。平台具备多源智能监视、智能巡检及安防管理、生产指标、智能分析、生产管理、智能报表、智能经营、多源业务等功能模块。

### » 案例背景与目标

近年来，华能澜沧江新能源业务取得了显著进展，装机容量与新电站投运数量均呈现快速增长态势。预计到 2026 年，公司将运营超过 80 座电站，总装机容量达到 800 万千瓦以上。然而，随着新能源电站数量及装机规模的快速扩大，同时面临的高原山地场站“小、散、远、多”的局面，一系列挑战也随之而来，包括现场安全管控受限、运维工作的复杂度提升、设备维护压力增大、生产资源管理难度上升以及专业人才短缺等诸多问题。

为了应对这些挑战，华能澜沧江新能源公司携手西安热工研究院，共同启动了一系列创新合作项目。双方聚焦于技术创新、数字化转型、智慧运维、智能化应用、管理机制优化、数字技能人才培养及政策适应等方面，致力于研发适用于高原山地特点的新能源电站多源协同智能监管关键技术。此次合作以标准化生产数据平台为核心，旨在提供集约化管理的技术支持与数据保障，并充分考虑与华能集团新能源统一信息平台的兼容性。通过构建新一代管控平台，目标是实现“无人值守”的高效新能源电站管理模式，全面提升公司的运营效率与管理水平。

### » 案例创新亮点

#### 创新点一：提出了新能源跨系统多源异构数据安全协同与系统融合技术

通过微服务框架、多样化的数据采集方法和高效的存储技术和有效的管理方法，实现对多源异构数据的采集、处理和存储，为监视分析提供全面、准确的数据支持。在集控中心侧和场站侧配置工业数据采集平台，满足新能源电站多源协同监管平台的数据采集与通信需要，在集控中心和各场站配置数据统一采集系统平台，从根本上避免数据孤岛。

#### 创新点二：建立新能源电站全息协同管控服务技术架构

一体化平台采用 Java EE 分布式微服务架构平台，基于经典技术组合（Spring Boot、Spring Cloud & Alibaba、Vue、Element），平台支持 CAS 单点登录、在线定时任务配置；支持集群，支持多数据源，完全响应式布局，拥有完善的 XSS 防范及脚本过滤，彻底杜绝 XSS 攻击，采用 Maven 多项目依赖，模块及插件分项目，尽量松耦合，方便模块升级、增减模块，完善的日志记录体系。

**创新点三：建立“天地协同、数智驱动”的高原山地光伏全时空安全防护体系**

在高原山地光伏安全管控中，创新构建了“天、地、灾、生”协同管控体系。通过集成遥感监测、无人机巡检与地面物联网传感器，实现复杂地形下设备状态与边坡稳定的全天候智能感知；运用气象预警与地质灾害模型动态评估雪崩、滑坡、雷击、地震等极端风险，并建立自适应应急预案；同时通过数字孪生平台实现人员定位、作业行为智能监控与远程应急指挥，形成“监测、预警、防护、响应”全链条闭环管理，全面提升高海拔恶劣环境下光伏电站的本质安全与长效运维能力。

**创新点四：研发新能源电站全息协同管控平台**

按照整体规划，逐步建设完成“新能源电站多源协同监管平台”。平台研发功能包括：智能监视、生产指标、智能分析、生产管理、智能报表、智能经营、智能巡检、视频安防、多源业务、系统管理及基础信息等功能模块，建立新能源电站生命周期全息数据协同管理体系，实现新能源电站运维的“感知 - 诊断 - 决策 - 执行”全业务流程的数智管控。

**创新点五：多源协同管控关键技术融合促使组织与运维模式变革**

技术融合及应用推动了管理变革，将智能化技术在生产管理各环节中进行嵌入式应用，实现公司管理的信息标准化。支撑电站从“分散现场值守”向“集中监控、区域维护”的无人 / 少人值守模式转型。运维人员从重复性监盘工作中解放出来，转向数据分析与策略优化等高价值工作，形成新一代新型新能源运维人员。

**内容介绍**

**(一) 新能源电站多源协同监管平台功能架构设计**

基于云、大、物、移、智等构建的能源流、信息流、数据流“通道”，把分散的数据资源整合为一个整体，打通数据壁垒，建立统一的数据治理标准，奠定资源共享和有机协作基础，通过各业务数据采集、大数据深度挖掘完成公司新能源公司数据大融合，开展多源信息综合监管及分析基础平台建设服务。

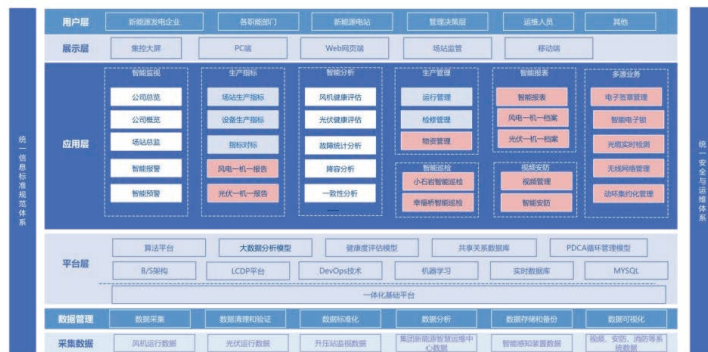


图 1 多源信息综合监管及分析基础平台功能架构图

**应用层：**根据新能源业务需求构建服务数字化管理、智能化生产等系列应用，利用“数据 + 算力 + 模型 + 场景”等技术来帮助业务人员快速、智能解决某些业务问题及难点。应用层提供包括智能监视、可靠性评估、智能报表、移动应用等服务。

**展示层：**通过 HTTP 等模式，实现对各类生产数据、分析数据、报警数据、报表数据等进行统一的展示，支持大屏展示、PC 端展示、移动端展示，满足不同用户的查阅需求。

**用户层：**多源信息综合监管及分析基础平台服务于新能源公司管理层及各个生产职能部门，使用人员包括公司决

**数据采集层：**负责采集新能源电站运维数据及电站辅助管理系统数据，完成与集团新能源智慧运维中心数据对接。

**数据管理层：**提供在线实时处理技术，实现对大规模数据进行分析、计算及标准化等处理。

**平台层：**部署实时数据和关系数据等多种格式的分布式数据存储及数据资产管理；管制平台智能算法；大数据建模工具平台；平台应用技术管理。

策层，生产运营项目的管理层及生产相关人员。

## (二) 多源协同监管平台技术架构

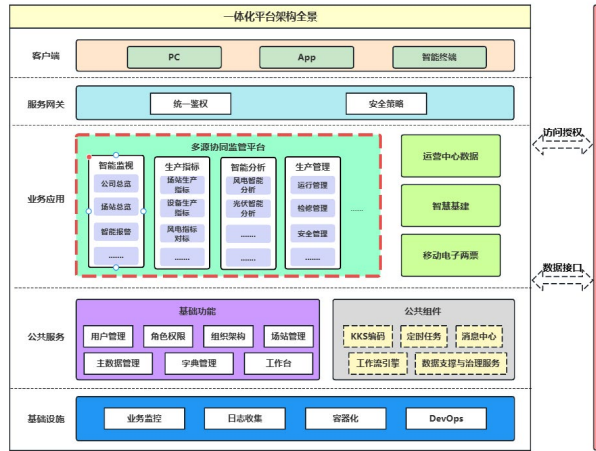


图2 多源信息综合监管及分析基础平台功能架构图

访问系统和协同工作

服务网关层：可看作是一个承上启下的“桥梁”，不仅提供合法用户的安全接入，还将各种系统应用服务聚合，进行统一鉴权，同时保证内、外网的正常通信。

业务应用层：是新能源核心业务的所在，多源协同监管平台，智慧基建，运营中心系统数据、智能预警与诊断、移动电子两票等板块覆盖了新能源全生命周期的大部分功能。

公共服务层：分为2个部分，一方面将基础功能模块化形成通用能力，保证业务快速开发和成型；另一方面侧重多源数据功能聚合，形成多设备，多协议的标准化接入和管理，它们对上层业务起到了很好的支撑和协调的作用。

基础设施层：是整个一体化平台的硬件载体，依托超融合/私有云、对象存储、容器化等解决方案，同时适配信创目录的各种软、硬件。

此外，我们的一体化平台遵循平等、开放的原则，任何第三方系统可通过标准的授权协议和数据接口实现业务集成和互通。

建设原则：遵循自主可控和开放性原则、坚持实用性和可扩展性原则

架构模式：“1+2+X”：1即一体化业务框架，2即PC+APP双端协同工作，X代表可承载多种业务系统模块。

## (三) 新能源电站多源协同监管平台运行环境建设

本平台网络架构具备灵活的横向扩展能力，满足电网“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证、综合防护”的要求开展设计和建设，项目IP遵循集团统一规划，支持IPv6、IPv4、区块链技术的应用和部署，新能源电站无人值守多源信息综合监管平台部署在集控安全三区。

## (四) 新能源电站多源业务数据融合及监管

在集控中心侧和场站侧配置工业数据采集平台，满足新能源电站多源协同监管平台的数据采集与通信需要，在集控中心和各场站配置数据统一采集系统平台，包括模块有：配置管理端、数据采集、数据传输、远程控制等。

集控侧统一数据接口平台总体网络架构如上图，数据采集与解析、配置与转发平台整体框架设计，完成所有模块的交互工作：规约驱动模块、读取规约配置模块、数据传输模块、点表生成模块，数据系统接口，数据标准化。

一体化平台采用Java EE 分布式微服务架构平台，基于经典技术组合（Spring Boot、Spring Cloud & Alibaba、Vue、Element），平台支持CAS 单点登录、在线定时任务配置；支持集群，支持多数据源，完全响应式布局，拥有完善的XSS 防范及脚本过滤，彻底杜绝XSS 攻击，采用Maven 多项目依赖，模块及插件分项目，尽量松耦合，方便模块升级、增减模块，完善的日志记录体系。

一体化平台展示了一个综合的技术架构全景，主要分为以下五层：

客户端层：提供用户与系统交互的界面，包括PC、移动应用和智能终端，确保用户能够随时、随地

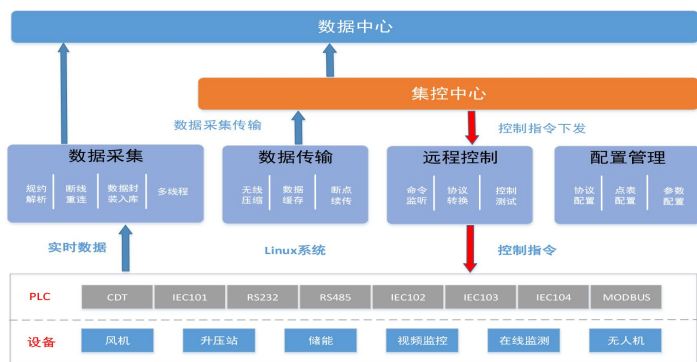


图 3 新能源电站多源业务数据融合及监管技术框架图

进行自动调用，根据采集源的状况进行连接、断开、重连、读取等操作。

点表生成：可以对各用户采集的数据生成点表并对点表进行管理。点表的生成以及对点工作由甲方人员负责完成。

数据系统接口：负责与数据系统的接口，对接口系统的数据进行分布式接口，并支持数据缓存与重发。

数据标准化：对各用户采集的数据点表依据数据类型、大数据建表规范进行数据标准化处理。

实时数据采集范围为：风机 SCADA 运行数据、风功率预测数据、箱变及集电线运行数据、升压站主要设备监视数据，生产运维数据等；光伏逆变器 SCADA 运行数据、光功率预测数据、箱变监视数据、集电线运行数据、升压站主要设备监视数据，生产运维数据等。

### （五）新能源电站多源协同监管平台开发及应用

项目按照整体规划，分期建设形式，逐步建设完成“新能源电站多源协同监管平台”。平台通过整合新能源运维期各应用系统结构化数据、半结构化数据、非结构化数据及台账模型数据，应用多源异构数据清洗策略优化、多源数据访问控制、异构数据关联查询高可用控制等技术，建立新能源电站生命周期全息数据协同管理体系，实现新能源电站运维的“感知 - 诊断 - 决策 - 执行”全业务流程的数智管控。

新能源电站多源协同监管平台研发功能包括：智能监视、生产指标、智能分析、生产管理、智能报表、智能巡检、视频安防、多源业务，系统管理及基础信息等功能系统，等功能模块。

智能监视系统包括公司概况、公司总览、场站总览、智能报警、智能预警、人员位置管理、电量监视等功能模块。

生产指标管理系统具备场站级和设备级生产运行关键指标的实时管理及对标分析。

智能分析系统包括风电和光伏两部分：风电部分具备风机健康评估和故障统计分析模块；光伏部分具备风机健康评估、方阵能效分析、逆变器降容分析、逆变器运行一致性分析、组串零流分析等功能。

生产管理系统具备新能源运行管理、设备管理、物资管理、检修管理及技术监督管理等功能。

智能报表系统具备生产运维智能报表、逆变器生产运行全生命周期的一机一台账管理、逆变器运行实时状态的一机一报告管理。

智能巡检系统基于无人机、智能巡检机器人、智能监控等感知装备，结合设备实时运行数据及状态分析数据建设的风机、光伏发电区域、集电线及升压站的智能巡检。

视频安防系统具备视频直播服务、视频管理服务、安防管理服务、扩展模块服务等功能。

多源业务集成风电场建设的各设备监测系统，包括但不限于：智能门禁管理系统、视频管理系统、消防系统等。

规约驱动：封装了对设备的数据读取，设备连接等具体的操作函数。包含通用协议和专用协议，针对不同厂家的系统，需要编写专用解析代码，专用驱动。支持的协议主要有电力标准规约 (IEC101/102/103/104)、Modbus-tcp/modbus-udp、RS232、RS485、ftp 的客户端协议等。

配置管理：可以配置管理读取规约，可以对各场站和场站各系统的数据测点进行配置管理；采集源配置，数据缓存配置，采集频率等基本配置。

数据传输：负责按照设置的频率对采集驱动

移动端业务应用服务功能，充分利用互联网实时交互的特点，根据澜沧江生产管理的实际需求，开发移动端业务功能模块，以适应多类型检修生产管理模型，为场站的持续优化提供了有力支持。

### （六）新能源电站运维全业务流程的数智管控体系建设

以华能集团新能源智慧运维平台为基础，围绕新能源生产管理业务，建立移动化及智慧化生产管理系统，统一规划运行管理、检修管理、安全管理、台账管理、技术监督管理模块。将智能化技术在生产管理各环节中进行嵌入式应用，实现集团内部三级管理的信息标准化，建立上下一体、沟通顺畅的管理体系。

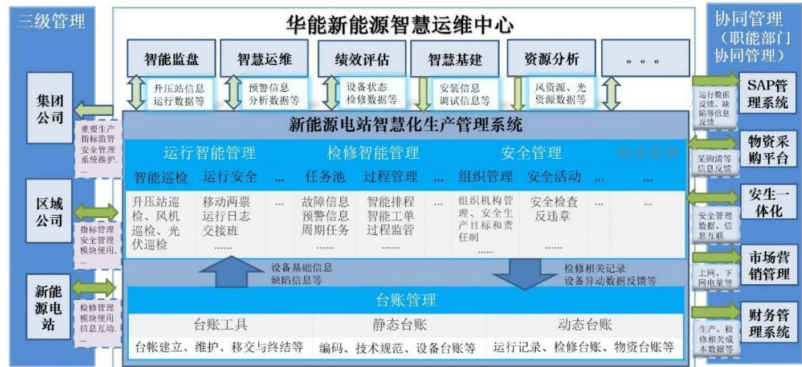


图 4 全业务流程系统功能关系图

梳理智能监控、智能诊断、智慧基建等应用系统现有的数据和应用功能，设计这些数据和与应用与生产管理融合的技术方案和方法；

梳理集团 SAP、物资采购平台和安生一体化平台应用功能、部署情况，以及集团在用户管理、主数据管理的方面的规划安排；

梳理集团 SAP、物资采购平台和安生一体化平台对新能源生产管理业务上的需求和要求；

在上述工作基础上，在满足集团总体规划，以及集团 SAP、物资采购平台和安生一体化平台对新能源生产管理业务上的需求和要求的基础上，完成场站级运行管理、检修管理、安全管理基本功能的设计；

结合区域公司和集团级数据指标统计的要求和管理需求，完成运行管理、检修管理和安全管理功能设计完善；

依据功能设计方案，完成系统的开发及部署。

#### （六）在实施过程中获得发明专利

- 一种风光储一体化系统的协同优化调度方法（受理）
- 一种风电场功率曲线动态校正方法及系统（受理）
- 一种基于深度学习的光伏组件故障诊断系统及方法（受理）
- 一种光伏电站综合诊断与智慧化能源管理方法及系统（受理）
- 一种分布式光伏三维建模的无人机测绘系统及设备（受理）
- 一种分布式光伏监测系统及其监测方法（受理）
- 一种光伏电站电性能健康度的智能诊断方法、系统及设备（受理）

## 成果与效益情况

新能源电站多源协同监管平台于 2025 年 10 月 1 日正式上线应用，服务于 56 座新能源电站，总装机容量 660 万 kW。经过三个月实践应用，能够大幅提高管理效率，降低人员成本，减少因故障带来的发电量损失，提高大部件设备寿命等。经过测算，投运期预计每年至少带来 650 万元的直接经济效益，后期经济效益将随着接入新能源场站的增多而

提升，项目具有较强的盈利能力。

### （一）经济效益

本案例通过新能源电站无人值守管理减少人力成本、通过智能监视及数据分析服务提升发电量，通过本项目建设，投运期每年可至少带来 394 万元的直接经济效益，具体经济效益如下所示：

1. 通过多源信息综合智能监视及运维报表及设备台账服务，每个新能源至少可节约人员 0.5 人，按照现有 33 个电站计算，每年可节约场站人员 16.5 人，场站人员费用按 20 万元 / 年计算，每年减少场站人员投入费用约  $20 \times 16.5=330$  万元。

2. 基于多源信息综合智能监视、风机设备状态分析及性能评估及光伏设备状态分析及性能评估服务，通过数据分析、智能预警、故障诊断等功能，可提升设备发电量 0.05% 以上；新能源电站无人值守多源信息综合监管及分析服务提升检修效率、降低故障停机时间等，至少可提升发电量 0.03% 以上。根据新能源公司总发电量 100 亿度电计算，按照平均上网电价 0.4 元 / 度电计算，每年可获得经济收益  $0.4 \times 1000000 \times 0.08\%=320$  万元。

随着新能源装机容量的持续增加，经济收益将越来越高。此外，通过提高运行人员的工作效率，通过有针对性开展运维工作，可有效提升机组的发电量，带来的经济效益更加可观。

### （二）社会效益

#### 1. 响应国家号召、促进行业发展

可以促进绿色能源的高效利用，提升绿色能源在整体能源结构占比和使用效率，降低温室气体的排放量，减少大气污染，契合当前国家创建环境友好型和资源友好型可持续发展战略的要求，增强绿色能源使用深度与整体用电效率，促进整个新能源产业链向基地化、高端化发展。

新能源电站无人值守多源信息综合监管及分析服务可以作为集团对外展示的一个窗口，提升新能源的社会美誉度，巩固企业在集团新能源产业中的重要地位，同时为企业运营降本增效。同时也为业内做好新技术应用的验证，新模式运营的带头，促进整个行业的向前发展。

#### 2. 优化管理流程，提升管理效率

基于资产管理系统和大部件预警系统，物资得到科学管理，设备缺陷以及故障知识得到沉淀。在生产管理活动中，现场人员可以方便获取此前类似任务的处理信息，不断优化处理流程和时间，提升应急效率 15% 以上。同时为企业沉淀出业务知识和专家经验，积累无形资产。

#### 3. 大幅提高员工工作幸福度

新能源电站无人值守多源信息综合监管及分析服务项目使用前沿科技技术提高企业运行效率，降低员工工作负荷，提升员工工作的幸福度，减少加班、焦虑、情绪低落等情况。进一步促进员工家庭和社会的和谐。

### （三）环境效益

本项目以全面绿色转型为引领，以电子化和智能化技术为抓手，构建了以智能诊断、智慧业务决策、大数据分析及监管集约化管理等技术为核心的新能源统一绿色智慧电力运维运营集控体系和平台，实现了新能源电站集约化、智慧化运维，提高了绿色发电量，达成了节能减排的目的。

按照节约 1 度电相当于减排 0.997 千克二氧化碳，本项目每年至少提高绿色发电量约 140 万千瓦时，相当于年减排二氧化碳约 1.4 亿千克，随着接入场站的增多，减排量进一步加大。

## » 推广价值

新能源电站多源协同监管平台项目符合将数字技术、数据要素和互联网理念，深度融入业务活动的发展理念，满足公司工作实际，能够切实提高工作效率，减轻工作压力，能够实现管理精益化和集约化，有助于企业打造良好的品牌形象。

新能源多源协同监管模式的成功实践，核心在于“数据驱动 + 政策协同 + 技术集成”三位一体模式。其推广价值不仅体现在解决具体技术难题更在于形成可复制的管理框架与市场机制。未来，各新能源企业可结合资源禀赋与管理特点，选择性借鉴智能监视、生产指标、智能分析、生产管理、智能报表、智能巡检、视频安防、多源业务等成熟建设及应用经验，同时强化区域间政策协同与标准互通，加速新能源电站无人值守建设进程。

06

## 新疆华电天山北麓基地 610 万千瓦新能源项目智慧发电

**完成单位：**中铁一局集团电务工程有限公司、新疆华电天山发电有限公司、中国华电科工集团有限公司  
**主要完成人：**张飞、秦超、邱润田、于露、鞠彪、付岩峰、吴志勇、郭新伟、刘国彦、苏卓

**典型应用场景：**1. 新能源电站智能预测与控制：基于 AI 算法实现风电、光伏出力精准预测（预测精度  $\geq 92\%$ ），动态调整机组运行策略；2. 数字孪生电厂：构建电站全生命周期数字模型，实现设备状态实时映射、故障提前预警（预警准确率  $\geq 95\%$ ）；3. 新型储能系统融合控制：配套 200 万千瓦 /800 万千瓦时储能电站，与风电、光伏协同调度，平抑出力波动，提升电网接纳能力；4. 智慧运维：通过物联网感知设备（部署传感器超 5000 个）实现设备状态远程监控，搭载无人机巡检、机器人运维，降低人工成本。  
**内容简介：**本案例为新疆华电天山北麓 610 万千瓦新能源基地智慧发电项目，涵盖 400 万千瓦风电、210 万千瓦光伏及 200 万千瓦 /800 万千瓦时储能系统。项目融合人工智能、大数据、数字孪生等技术，构建“预测 - 控制 - 运维 - 储能”一体化智慧体系，实现出力精准预测、设备智能监控、故障提前预警及储能协同调度。投运后，电站年发电量达 120 亿千瓦时，等效满负荷利用小时数 2850 小时，较传统新能源电站能耗降低 8%、运维效率提升 30%，为西北高比例新能源并网提供示范。

### » 案例背景与目标

**背景：**在“双碳”目标及新型电力系统建设要求下，西北地区新能源装机快速增长，但传统新能源电站存在出力波动大、预测精度低、运维依赖人工、储能协同性差等问题，制约电网安全稳定运行及新能源消纳（2023 年西北地区新能源弃电率约 3.2%）。同时，新疆华电天山北麓基地作为国家大型新能源基地项目，需通过智慧化技术破解规模化开发与高效运营的矛盾，打造行业示范。**目标：**1. 提升出力预测精度至 92% 以上，降低弃电率至 2% 以下；2. 构建数字孪生电厂，实现设备故障预警准确率  $\geq 95\%$ ，减少非计划停机时间 50%；3. 实现储能与风电、光伏协同调度，平抑出力波动幅度至  $\pm 5\%$  以内；4. 降低电站运维成本 15%、能耗 8%，年发电量提升 5%，形成可复制的智慧新能源基地建设运营模式。

### » 案例创新亮点

1. 多源数据融合预测技术：突破传统单一气象数据预测局限，融合卫星云图、地面气象站、设备运行数据（风速、光照、组件温度等），采用 LSTM+XGBoost 混合算法，预测精度达 93.5%，较传统方案（精度 85%）提升 8.5 个百分点，有效降低弃电风险。

2. 全要素数字孪生建模：首次实现新能源基地“风电场 - 光伏场 - 储能站 - 输电线路”全要素数字孪生建模，搭载实时数据传输通道（时延  $\leq 50\text{ms}$ ），可模拟不同工况下系统运行状态，提前识别设备潜在故障（如齿轮箱磨损、光伏组件热斑等），较传统人工巡检故障发现效率提升 4 倍。

3. 源储协同控制策略：创新“预测 - 调度 - 储能”闭环控制逻辑，根据出力预测结果动态调整储能充放电策略（如午间光伏出力高峰时储能充电，晚间风电高峰时优先并网），出力波动幅度控制在  $\pm 4.2\%$ ，较传统“固定充放电”模式（波动  $\pm 10\%$ ）提升 58%，满足电网调频调压要求。

4. 智能运维机器人集群：部署无人机（负责风电场巡检）、地面巡检机器人（负责光伏组件清扫与检测）、储能电站巡检机器人（负责电池舱温度、电压检测），形成“空-地-舱”立体运维网络，运维人员减少 40%，运维成本降低 18%，较传统人工运维模式更高效、安全。

## » 内容介绍

### 1. 技术方案

(1) 数据采集与传输：在风电场部署风速仪、风向仪、齿轮箱振动传感器（共 2000 个），光伏场部署辐照计、组件温度传感器（共 3000 个），储能站部署电池电压 / 电流 / 温度传感器（共 1000 个），数据通过 5G+ 边缘计算节点实时传输至中控平台（传输速率  $\geq 100\text{Mbps}$ ，时延  $\leq 50\text{ms}$ ），保障数据完整性与实时性。(2) 智能预测系统：基于华为 Atlas AI 服务器搭建预测平台，导入近 3 年气象数据（风速、光照、温度）、设备运行数据（出力、故障率）及电网调度需求，采用 LSTM+XGBoost 算法训练模型，每日滚动预测未来 72 小时出力，预测结果每 15 分钟更新 1 次，为调度决策提供依据。(3) 数字孪生平台：采用 Unity3D 引擎构建数字孪生模型，1:1 还原电站物理场景，同步接入实时运行数据（如风机转速、光伏组件出力、储能 SOC 等），支持三维可视化监控、设备状态查询、故障模拟分析；例如，当风机齿轮箱振动值超阈值时，平台自动标记异常位置，推送预警信息至运维人员，并模拟故障影响范围，辅助制定检修方案。(4) 源储协同控制：基于预测结果，通过 SCADA 系统下发控制指令：风电 / 光伏出力高峰时，储能系统充电（充电功率  $\leq 200$  万千瓦）；出力低谷或电网需求增加时，储能系统放电（放电功率  $\leq 200$  万千瓦），同时优化风机桨距角、光伏逆变器输出，确保并网点功率稳定。

### 2. 运营模式

采用“业主导 + 技术方支持 + 施工方保障”三方协同模式：新疆华电天山发电有限公司负责项目整体运营与电网协调；中国华电科工集团有限公司提供技术研发与系统维护（如算法迭代、平台升级）；中铁一局集团电务工程有限公司负责设备安装调试与现场运维（如机器人巡检、设备检修），三方通过云端协同平台共享数据、同步决策，实现“建设 - 运营 - 维护”全周期高效衔接。

### 3. 项目实施情况

项目分三阶段实施：2024 年 11 月 - 2025 年 3 月为前期准备（设备采购、场地平整、数据平台搭建）；2025 年 3 月 - 9 月为建设阶段（风机、光伏组件、储能设备安装，数字孪生平台调试）；2025 年 9 月 - 10 月为试运行与优化阶段（系统试运行，根据运行数据调整算法参数、优化控制策略），2025 年 10 月正式投运，目前系统运行稳定，各项指标达标。

## » 成果与效益情况

### 1. 经济效益

项目投运后，年发电量达 120 亿千瓦时，较传统新能源电站（年发电量 114 亿千瓦时）增加 6 亿千瓦时，按上网电价 0.35 元 / 千瓦时计算，年新增收入 2.1 亿元；运维成本从传统电站的 0.08 元 / 千瓦时降至 0.065 元 / 千瓦时，年节省运维费用 1.8 亿元；能耗降低 8%，年减少电费支出 0.5 亿元，合计年新增经济效益 4.4 亿元，投资回收期较传统方案缩短 1.5 年。

### 2. 社会效益

(1) 提升新能源消纳能力：通过精准预测与源储协同，项目弃电率从西北区域平均 3.2% 降至 1.8%，每年多消纳新

能源电量 2.16 亿千瓦时，相当于减少火电装机 4.32 万千瓦，缓解电网调峰压力；（2）创造就业机会：项目建设与运营阶段累计带动当地就业 1200 余人（含设备安装、运维服务等岗位），促进地方经济发展；（3）推动技术推广：项目形成的“数字孪生 + 源储协同”技术方案，已在新疆其他 3 个新能源项目推广应用，为行业提供可复制经验。

### 3. 环境效益

项目年发电量 120 亿千瓦时，相当于替代标准煤 360 万吨（按火电煤耗 300 克 / 千瓦时计算），减少二氧化碳排放 996 万吨、二氧化硫排放 3 万吨、氮氧化物排放 2.5 万吨，有效改善区域空气质量，助力“双碳”目标实现；同时，智能运维机器人替代人工巡检，减少燃油消耗（传统巡检车年耗油量约 50 吨），进一步降低碳排放。

## » 推广价值

1. 技术推广：项目的多源数据融合预测、全要素数字孪生、源储协同控制技术，可广泛应用于西北、华北等新能源高渗透率区域，尤其适用于百万千瓦级以上大型新能源基地，解决规模化开发中的出力波动、运维效率低等问题，预计推广后可使行业平均弃电率降低 1-2 个百分点，运维效率提升 25% 以上。

2. 模式推广：“业主 + 技术方 + 施工方”三方协同运营模式，明确各方权责，实现数据共享与高效协作，可复制至其他跨单位合作的新能源项目，减少沟通成本，提升项目实施效率。

3. 标准推广：项目积累的技术参数（如数字孪生建模精度、预测算法误差范围）与运营经验，可支撑“新能源基地智慧化建设与运营”团体标准编制，规范行业发展，提升智慧发电技术应用水平。

07

## 玄武 SSK 有限空间作业安全监测套件

完成单位：中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司

主要完成人：易乐安、张勇、李红明、江桥、胡合江、胡启兴、雷鸣、张文成、耿朝晖、左博伟

**典型应用场景：**有限空间作业

**内容简介：**有限空间作业安全管控套装是由中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司研发的一款面向高危作业场景的智能安全成套装备。该产品集视频监控、有毒有害气体检测（包括氧气、一氧化碳、硫化氢、甲烷等）、声光报警、SOS 紧急呼救、无线自组网通信及人员定位等功能于一体，搭配专用系统管理软件（支持网页端与移动端），可实现“作业前严密部署、作业中全程守护、作业后高效收尾”的全流程闭环管理。通过智能安全帽、无线自组网设备、声光报警器、CPE 路由器及移动平板等核心组件协同工作，系统能实时采集人员状态、环境数据与视频画面，支持远程对讲、异常预警和应急联动，有效提升有限空间等高风险作业环境下的安全管控能力与应急响应效率。

### » 案例背景与目标

电力行业受限空间作业（如炉膛、脱硫吸收塔、煤仓等）长期面临共性安全管控难题：传统网络信号难以穿透钢筋混凝土、金属罐体等屏蔽环境，导致通信阻断，突发险情时信息传递滞后；空间内易积聚有毒有害气体，光线昏暗、噪音剧烈，人工监测难以及时发现隐患；作业前风险预判不足、作业中动态监控缺失、作业后追溯无据，管理闭环未形成。

随着电力企业机组扩建（如华润电力三期、湖北能源江陵电厂二期项目），作业场景增多，传统“人防 + 物防”模式已无法满足政策要求与生产需求。同时，落实国家“科技兴安”战略，推动安全管理从“被动应对”向“主动预防”转型，亟需通过技术创新构建智能化安全防护体系。

该项目聚焦有限空间作业的安全痛点，通过“硬件集成化 + 软件智能化 + 全流程管控”的创新模式，破解通信难题、强化环境与人员监测、完善闭环管理体系，推动有限空间作业安全从“被动应对”向“主动防控”转变，为高风险作业场景筑牢安全防线，助力行业实现更高效、更安全的生产作业管理。

### » 案例创新亮点

产品在技术融合、场景适配和管理模式上具有显著创新：

#### 1. 多技术融合创新

**智能穿戴集成：**将气体检测、音视频通讯、定位、报警等功能一体化集成于安全帽，突破传统安全帽单一防护属性。

**网络自适应能力：**无线自组网无需中心基站，支持多跳中继和 4G/5G 公网接入，适配有限空间等无网络或弱网络作业场景，保障通讯不间断。

#### 2. 场景化功能创新

**全流程闭环管理：**针对有限空间作业等高危场景，设计“交底 - 登记 - 监控 - 收尾”全流程功能，解决传统作业管理

中风险难预警的痛点。

多维度报警联动：气体异常、人员安全、设备故障等报警信号可同步触发系统告警弹窗、声光警报、语音通知，实现多渠道快速响应。

### 3. 操作体验创新

AI 智能交互：支持“你好小安”语音唤醒，实现手电筒、录像、报警等功能语音控制，解放作业人员双手。

轻量化部署：套件五分钟内快速穿戴部署，有限空间作业监测系统服务一键配置部署，现场部署难度和培训成本低。

## » 内容介绍

有限空间作业安全监测套件（玄武 SSK）是一套集成了视频监控、气体检测、声光报警、紧急呼救、无线网络传输等功能的智能安全作业成套装备，并开发了一套有限空间作业安全监测系统。

### 1. 作业前准备功能

安全技术交底：通过移动平板向作业人员、安全监护人推送定制化安全规范（如受限空间作业流程、风险处置方案），支持电子签名留存交底记录，确保责任可追溯。

人员与设备绑定管理：支持移动平板扫脸登记作业人员信息（自动匹配后台人脸库，无库人员可手动补录）；扫描智能安全帽二维码实现“人员 - 设备”一对一绑定，绑定后视频画面同步显示人员姓名，便于定点监管。

工器具与设备部署：通过平板拍照登记工器具类别、外观，生成电子台账；无线自组网设备出厂已完成配对，现场仅需安装电池、天线，即可快速组网。

### 2. 作业中实时管控功能

多维度环境与人员安全监测：智能安全帽内置气体检测模块（必选甲烷、一氧化碳、硫化氢、氧气四合一检测），数据异常时同步触发移动 APP、系统网页弹窗报警；支持跌落、撞击、脱帽、高温报警，短按 SOS 键或语音呼叫可联动声光报警器（90-100 分贝 + 红色旋转 LED 灯），实现预警 - 响应即时联动。

音视频通讯与可视化监管：智能安全帽支持 1080P 视频录制（2100 万像素标配摄像头，137 度广角选配）、实时语音对讲；无线自组网（ME52-1400 背负式 / ME32-1400 手持式）支持无基站多跳通讯，架高传输距离 20-50 公里，保障弱网 / 无网场景通讯；通过智慧网页可实时查看作业人员 GPS/ 北斗定位（水平误差 ≤ 10 米）、设备电量 / 信号、视频分屏画面。

远程协同与指令传达：点击视频监控“开启对讲”按钮，可实现后台与作业人员实时语音通话，远程指导作业；支持群组通话、全呼功能，便于多人员协同处置突发情况。

### 3. 作业后收尾功能

闭环核对与数据留存：通过平板核对工器具归还情况（对比作业前登记照片），完成人员退场登记后，系统自动更新智慧网页“当前在场人数”；作业过程中的音视频文件、气体检测数据、定位轨迹自动存储，支持检索、下载，为作业报告编写提供数据支撑。

在设备协同与管控落地层面，系统形成“智能终端 + 通讯中枢 + 指挥平台”的三层架构：智能安全帽作为一线作业人员的“随身安全管家”，除视频与气体检测外，还集成了 GPS + 北斗双模定位、跌落 / 脱帽报警等功能，可实时捕捉人员位置、身体状态与环境风险，跌落报警则可在人员意外坠落时立即触发救援；自组网设备作为“通讯中枢”，不仅保障视频、气体数据、呼救信号的稳定传输，还支持 5G CPE 网络传输，在有公网信号的变电站区域可快速接入公共网络，

实现本地与远程指挥中心的联动；移动平板则承担“可视化 指挥调度平台”角色，其屏幕分辨率不低于 1080P、存储容量  $\geq 128\text{G}$ 、内存  $\geq 6\text{GB}$ 、尺寸  $\geq 11$  英寸，支持安全技术交底（生成电子文档并完成交底人、安全员、被交底人电子签名存档）、人员扫脸登记（支持人脸库匹配与手动补录两种模式）、工器具拍照登记（记录工器具外观与类别，便于作业后核对），同时可实现视频监控、实时语音对讲，让监护人员在作业现场即可完成全流程指挥调度。

## >> 成果与效益情况

(1) 作业安全风险显著降低：通过智能安全帽实现甲烷、一氧化碳等有害气体及氧气含量实时监测，智能手环追踪作业人员心率、血氧等生理状态，结合 AI 风险评估与动态许可判断，提前预警各类安全隐患，有效减少中毒、窒息、意外碰撞等事故发生概率。

(2) 现场通信难题彻底破解：无线手持自组网技术实现快速组网，信号穿透力强，解决了有限空间内外通信差、布线难的行业痛点；语音同步互联功能打破沟通屏障，确保作业人员与指挥中心实时联动，应急响应效率提升 50% 以上。

(3) 作业管理效率大幅提升：硬件设备三分钟快速部署、一键式使用，无需手动配置，大幅缩短作业准备时间；移动 APP 与智慧网页实现作业登记、安全交底、工器具管理等电子化操作，替代传统纸质流程，管理效率提升 60%，且降低人为失误风险。

应用企业通过该套装实现显著经济收益，在大别山电厂三期项目中累计产生直接经济效益 306.264 万元。其中，避免安全事故损失 300 万元（按历史事故率推算避免 1.2 起事故），提前预警隐患减少潜在损失 30 万元；作业前准备时间从 2 小时 / 次缩短至 0.5 小时 / 次，累计节省人工成本 3.6 万元；作业中断时间减少 40.8 小时，节省人工成本 3.264 万元；通过共享式智能设备减少传统检测设备重复购置，节省成本 5 万元；自动化记录功能减少专职安全记录人员 1 名，项目期间节省人工成本 14.4 万元。设备投入 24.08 万元，远低于综合收益，形成成本节约与风险防控双重价值。

## >> 推广价值

### 1. 提升高危作业安全水平

电力行业常涉及有限空间、高空、带电等高风险作业场景。玄武 SSK 集成有毒有害气体检测、视频监控、SOS 呼救、跌落 / 脱帽 / 静默等多重智能报警功能，可实时感知人员状态与环境风险，有效预防窒息、中毒、触电等事故，显著提升现场安全防护能力。

### 2. 实现作业全过程闭环管理

系统支持“作业前—作业中—作业后”全流程数字化管控：作业前通过人脸识别与安全交底确认人员资质；作业中实时监控气体数据、视频画面与定位信息；作业后自动归档记录，便于追溯与复盘。这种闭环管理契合电力企业对“两票三制”及安全标准化的要求。案例落地推动企业安全管理部门与作业班组工作方式重构。

### 3. 强化应急响应与远程协同能力

利用自组网通信（无需公网）、4G/5G 双模回传及声光联动报警，即使在地下变电站、电缆隧道等无信号区域，也能保障音视频通信畅通。监护人员可远程对讲指导、一键响应 SOS 报警，大幅缩短应急处置时间。

### 4. 符合数字化转型与智能巡检趋势

玄武 SSK 为构建“AI+ 物联网 + 边缘计算”的智能作业体系提供硬件载体，助力电力企业迈向本质安全型、数字化、

智能化运维。形成“技术替代低效人力、数据支撑精准决策”的新型安全管理模式。安全管理从“人工巡检 + 纸质记录”转向“智能监测 + 数字化追溯”，作业前审批、事中监控、事后复盘全流程线上化，减少人工干预。安全监护人员职能从“现场盯控”转向“远程预警处置”，管理层通过数据看板实现全局态势掌控。

## 08

## 基于 OPGW 光缆的境外水电站 4G+AI 智慧运维创新案例

**完成单位：**华能澜沧江水电股份有限公司、云南联合电力开发有限公司

**主要完成人：**黄光辉、韦杰文、魏坤、于亦霄、鲁文涛、肖宇、吕佳军、朱彬、彭承星

**典型应用场景：**1. AI 智能巡检：运维人员佩戴 AI 眼镜，接收标准化巡检路径指引，语音录入数据、AI 远程指导运维，实现“解放双手 + 精准判障”；2. 跨境远程指导：国内专家通过移动布控球、AI 眼镜的第一视角画面，实时标注操作要点，远程指导缅方人员处理设备故障；3. 全场景安全监管：三级安全网通过移动布控球实时监控户外作业、高风险工序，作业过程全程录制备案，实现“无监控不开工”；后方管理人员实时监控作业全程，语音对讲纠正违规，视频存证可追溯；4. 多源数据融合的智能预警：融合布控球视频、AR 眼镜画面、传感器数据，AI 模型实时分析人员行为与设备状态，主动预警风险。

**内容简介：**本项目突破境外电站通信瓶颈，创新利用 OPGW 光缆将国内 4G 信号跨境引接至缅甸电站，构建覆盖生产区域 4G 专网，同步部署 7 台移动布控球与 2 套 AI 眼镜，形成“通信 + 监控 + 智能”三位一体智慧体系。通过 4G 低时延传输，实现 AI 智能巡检、跨境远程指导、全流程安全监管，将巡检效率提升 40%、故障处置时间缩短 70%，既解决了境外信号盲区问题，又落实了“人员精简难”问题，在保障人员安全的同时，大幅提升运维智能化水平，为境外能源项目智慧化转型提供了可复制的“通信 + AI”融合方案。

## » 案例背景与目标

项目位于缅甸北部，受复杂政治环境与薄弱通信基础影响，存在信号盲区、跨境数据传输不畅等问题，中方人员驻场风险高，传统模式难满足“人员最少化、监管智能化”要求。目标依托 OPGW 光缆实现国内 4G 信号全区域覆盖，部署移动布控球与 AR 眼镜，构建“可视化、可追溯、可预警”的智能安防与运维体系，使故障响应时间 ≤ 15 分钟、巡检效率提升 40% 以上；建立“党旗领航、国内支持、远程控制、现场应急、本土支持”模式，现场中方人员减少 30%，实现安全隐患预警 100%，筑牢境外电站安全防线。

## » 案例创新亮点

介绍相较于传统境外电站方案，本项目具有三大核心创新：

1. 跨境通信架构创新：首次在境外电站利用 OPGW 电力光缆引接国内 4G 信号，替代传统卫星或本地弱信号，实现跨境低延迟、高带宽通信，较卫星方案时延降低 80%，稳定性提升 95%。

2. 三网融合应用创新：将“4G 专网 + 移动布控球 + AR 智能眼镜”深度融合，构建“信号覆盖 + 视频监控 + 智能交互”一体化平台，突破传统监控“只监不控”局限，实现“边看边指导、边检边预警”。

3. 安全运维模式创新：构建“去中心化”远程运维体系，AI 眼镜巡检及远程指导，移动布控球实现无死角监管，中方人员“零风险远程值守”，较传统驻场运维模式安全保障能力提升 100%，同时通过 AI 算法提前预警设备风险，实现从“事后处置”到“事前预防”的转变。案例的创新点，对比传统方案，说明差异化优势。

### » 内容介绍

#### 1. 技术方案

核心架构：采用“跨境传输 - 本地覆盖 - 智能应用”三级架构，实现全链路贯通：（1）跨境传输层：利用现有 OPGW 光缆，部署光解复用器（BBU）分离电力载波与 4G 数据流，通过 OTN 设备将国内 4G 信号波分复用后跨境传输，支持 200Mbps 以上上行带宽；（2）本地覆盖层：电站侧部署 4 台 BBU+32 台企业级皮基站，搭配“三层交换机 + POE 交换机 + 无线 AP”架构，实现 4G 信号全区域覆盖与厂房 WIFI 无缝漫游；（3）智能应用层：7 台可根据需求随时部署的移动布控球（支持 1080P 高清采集、红外夜视）部署于高风险作业面，2 套 AI 眼镜集成语音识别、AI 图像分析模块，通过 4G 专网接入云端管理平台。

关键技术特性：（1）信号安全：采用 AES-256 加密算法，与电站内网物理隔离，抵御跨境网络风险；（2）智能交互：AI 眼镜支持 SOP 可视化指引、语音数据录入、仪表读数自动识别，移动布控球支持远程控制、断点续传；（3）兼容性：适配境外复杂供电环境，设备采用 POE 供电、即插即用设计，部署灵活。

#### 2. 运营模式

构建“远程控制、本土支持”协同模式：（1）中方团队：国内云端管理平台配置技术专家与安全监督人员，负责接收 AI 眼镜 / 布控球上传的数据，通过 AI 分析预警设备风险，远程指导缅方人员操作；（2）缅方团队：按最低配置驻场，佩戴 AI 眼镜执行巡检任务，根据布控球传回的远程指令开展设备巡检、维护及监督；（3）协同机制：建立“数据采集 - 智能分析 - 语音传导 - 结果反馈”闭环流程，所有作业数据实时归档，支持追溯查询。

#### 3. 项目实施情况

项目分四阶段有序推进：（1）光缆引接与信号覆盖：完成 OPGW 光缆接入、BBU/RRU 部署、基站、AP 设备安装，实现全区域 4G/WIFI 覆盖、4G 信号测试；（2）本地覆盖与设备部署：同步部署移动布控球、AI 眼镜并完成系统集成；（3）运行优化：针对巡检、远程指导等场景开展测试，优化 AI 识别算法与信号覆盖，目前系统稳定运行，全场景功能验证、中缅双方人员操作培训。（4）目前系统相继投运，已稳定运行 3 个月，动态覆盖 6 个高风险作业面。

### » 成果与效益情况

#### 1. 实际运营情况

系统投运后，4G 信号覆盖生产区域，WIFI 漫游切换成功率 100%，AI 眼镜巡检效率较传统人工提升 40%，移动布控球实现 6 个关键作业面无死角监控，累计完成远程指导运维作业 80 余次，发现并整改安全隐患 16 起，未发生任何安全事故。

#### 2. 效益分析

（1）经济效益：现场中方人员减少 30%，年节约驻场成本、跨境差旅成本约 39 万元；（2）社会效益：践行“人民至上、生命至上”理念，压缩境外中方总人数；通过远程技术指导，提升缅方运维人员技能水平，促进技术本地化输出；在动荡环境下保障电站稳定供电，为当地民生提供能源支撑，彰显央企社会责任；

（3）环境效益：减少中方人员跨境往返碳排放；AI 远程指导维护消缺；设备集成化设计减少土建工程对周边生态的干扰。

## » 推广价值

本项目作为“一带一路”沿线境外能源项目智慧化改造的标杆案例，推广价值显著：

1. 场景适配推广：可直接复制应用于境外水电、风电等偏远能源项目，尤其适用于政治局势复杂、通信基础薄弱的区域，解决“信号接入 + 安全运维”双重难题；

2. 技术方案推广：“OPGW 跨境传输 + 4G 专网 + 智能终端”轻量化架构，无需大规模土建，成本可控、部署快速，适合老旧电站智能化升级；

3. 行业模式推广：“远程管控 + 属地执行”的跨境协同模式，为境外项目“人员最少化”配置提供成熟范本，平衡安全风险与运营效率；

4. 技术融合推广：“通信网络与智能设备深度融合”的设计思路，为工业物联网在能源行业的应用提供可借鉴路径，推动传统能源项目向“智慧化、无人化”转型。

## 风电机组偏航储能后备电源系统

**完成单位：**深圳量云能源网络科技有限公司、量云数字能源（内蒙古）有限公司  
**主要完成人：**银磊、张新宇、袁俊、李朝仕、肖平平、周艳红、张艳萍、张浩宇

**典型应用场景：**国电投西南研究院储能技术开发项目、华能西安热工院分散式储能项目、海口分局基于风光储多能互补的海岛微网应用研究技术服务项目

**内容简介：**本项目提供一种用于风电机组的储能系统的控制方法和通讯管理系统，用于保证储能系统在正常情况或极端天气下的安全运行，储能控制系统在“正常运行模式”与“台风运行模式”之间的有效切换，保证储能系统在极端条件下安全启动运行，在风电机组失去外部电网电力支持期间支持其偏航系统等自用电系统的正常运行，有效的提高风电机组的安全性，使储能系统能够安全可靠地为风电提供备用电。同时，在风电机组正常运行状态下，通过储能系统的充放电控制，可实现风机并网功率调节，提升机组上网电量。

### » 案例背景与目标

当台风来临时，偏航电机通过调整风电机组角度可以最大程度减小台风对风电机组的影响。台风过境之后，偏航电机需将风电机组恢复初始状态，重新投入生产运行。由于台风过境之前及过境时，可能会破坏甚至摧毁风电场与电网的连接，风力发电机组将停止生产，导致偏航电机失去工作电源，无法控制风电机组方向的改变。现有的风力发电机组通常以柴油发电机组作为其备用电源，但柴油发电机组具有安全可靠不足等问题。

本方案技术主要针对以上痛点难题，提供高效、环保、高可靠性、经济合理的电池储能海上应急电源技术，可在台风等恶劣天气期间有效降低风电机组载荷，避免台风带来的机组倒塔等灾害，提升机组自身灾害防御能力，提升风电并网性能。

### » 案例创新亮点

随着风电行业对高效、稳定运行系统的需求日益增长，该项目提供了一种可靠的解决方案，通过引入先进的控制策略和通讯管理技术，提高了风电机组与储能系统之间的协同工作效率，这种创新的技术应用能够平滑风电输出功率，减少电网的波动，从而提高了风能利用的效率和可靠性。不仅提升了风电系统的能量管理能力，还推动了风电技术的整体进步。

本项目有以下技术优势：

- (1) 备用电源：可适配各类风电机组厂家；
- (2) 有功调节：可配合进行风电机组自身用电负载的有功调节，实现辅助调频 / 调峰的功能；
- (3) 无功调节：可配合进行风电机组无功补偿，优化系统潮流；
- (4) 黑启动：可作为启动电源，建立微电网，并维持微电网的运行；

- (5) 分散式部署：单台设备故障不会对其他设备造成影响；
- (6) 集中式控制：所有储能系统，进行集中监测和集中控制；
- (7) 数据监测：实时展示储能运行数据。支持 Modbus-TCP 协议进行数据转发；
- (8) 录波功能：故障时刻，系统自动记录故障时刻的波形。

## » 内容介绍

### 1. 技术方案

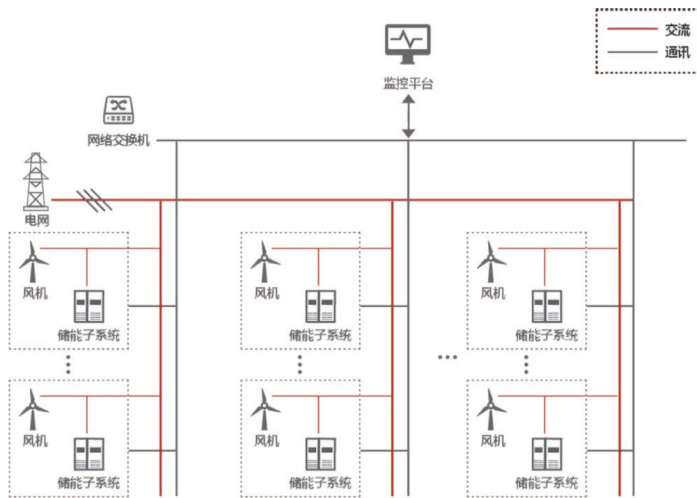


图 1 系统架构

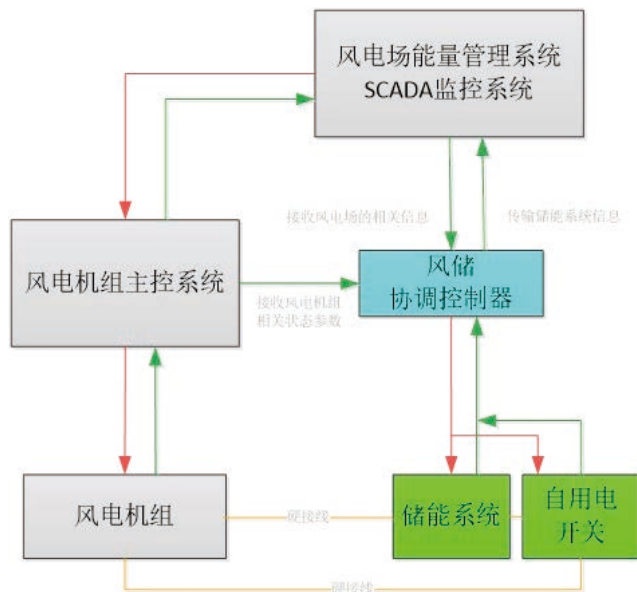


图 2 控制系统设计

本方案利用储能系统作为风电机组备用电源，不仅本质安全、可靠性高，还可以提高风力发电机组的抗灾能力及其上网电量。方案采用智能传感、数据采集、弹性配置、多源异构数据融合等新一代信息技术，构建了一个集智能传感网络、大数据分析平台和高效应急响应机制的综合解决方案，实现风电机组在面对突发事件时的快速回复和持续稳定供电，保障风电机组的稳定运行和电力供应安全。

为保证储能系统在正常情况或极端天气下的安全启动运行，需考虑两个方面的问题：

- (1) 储能系统的控制结构；
- (2) 储能系统的控制策略。

本项目方案实现了以下原创性技术突破：

(1) 储能协调控制器获取风电场的相关信息以及风电机组的实时信息；

(2) 储能协调控制器根据获取的信息向储能系统下发控制指令，控制储能系统运行于正常运行模式或台风运行模式，包括：储能协调控制器从获取的信息中检测台风信号；若检测到的台风信号为台风切入信号，则控制储能系统进入台风运行模式；若检测到的台风信号为台风切出信号，或者，未检测到台风信号，则控制储能系统进入正常运行模式。

### 2. 运营模式

本项目系统主要面向风力发电场站，主要客户定位为五大发电集团的区域子公司，项目产品可针对不同机型，灵活开发有一系列解决方案及

配套产品，依托母公司明阳智能强大的品牌影响力，量云能源可独立销售储能系统，也可与储能技术提供商合作，共享成本与收益。例如，技术提供商负责设备供应与维护，量云能源提供场地与电网接入，收益按比例分配；风电厂商也可以租赁的形式，按使用时间或电量付费，租赁方负责设备维护与升级。

### 3. 项目实施情况

本项目方案可以减少二阶涡激振动对风电机组的危害，有效降低风电机组在极端工况下 15% -30% 的极限载荷，提升机组安全性能，提升发电量，减少风电场电力系统发生脱网、各机组和升压站线路断开等事故发生，保障场站的设备运行安全，防止经济损失。

## » 成果与效益情况

(1) 本项目覆盖陆上、沿海、海上三种风力发电场景，陆上 / 沿海 / 海上型号部署总数超过 100 套，已在福建、广东等多个风电场项目中投入运行，形成落地案例 20 个，实现销售合同额超过 4 千万元。在项目执行期内，形成并已授权专利共 6 项，软件著作权 4 项；

(2) 在中关村举办的第三届国际储能创新大赛中，本项目相关产品项目被评为“储能应用创新典范 TOP10”，颁奖单位为国际储能技术与产业联盟；2024 年被中国专利保护协会评为“绿色技术创新典型案例”；

(3) 公司将自身专利技术纳入行业标准，牵头制定行业标准《风力发电机组偏航储能后备电源技术规范》（NB/T 11853-2025），该标准于 2025 年 9 月 28 日发布。该专利的成功实施成为行业内的标杆，引导风电储能行业的技术规范和发展方向。

本项目通过优化储能系统的配置和运行，提高了风电的并网友好性，促进了可再生能源的大规模消纳和利用，有助于推动能源结构的绿色转型。且该案例的实施带动了相关产业链的发展，包括储能设备制造、软件开发、系统集成等，促进整个风电产业链的技术创新和产业升级。

## » 推广价值

本项目技术通过引入先进的控制策略和通讯管理技术，提高了风电机组与储能系统之间的协同工作效率，这种创新技术应用能够平滑风电输出功率，减少电网的波动，从而提高了风能利用的效率和可靠性。不仅提升了风电系统的能量管理能力，还推动了风电技术的整体进步。

本项目技术的实施带动了相关产业链的发展，包括储能设备制造、软件开发、系统集成等，促进整个风电产业链的技术创新和产业升级。未来可能会有更多的研究和开发集中在提高储能系统的响应速度、降低成本、提升能量转换效率等方面。

本项目技术提高了风电的并网友好性，促进了可再生能源的大规模消纳和利用，有助于推动能源结构的绿色转型，促进了清洁能源的使用，减少了对化石燃料的依赖，减少了温室气体排放。此外，储能系统能够在风速较低时存储能量，在风速较高时释放能量，减少了对环境的干扰，有利于生态环境的保护，同时降低了潜在的安全风险。

10

## 大型联合循环机组 NCB 汽轮机振动优化技术研究

完成单位：华北电力科学研究院有限责任公司

主要完成人：宋亚军、宋铜铜、张巍

**典型应用场景：**联合循环机组 NCB 汽轮机

**内容简介：**项目以控制大型联合循环机组 NCB 汽轮机轴系振动为目标，开发了 SSS 离合器定点啮合控制系统，并在某实际 NCB 汽轮机上实现成功应用。课题创新点在于：（1）创新提出基于双键相同步采样法确定 SSS 离合器啮合位置，将 SSS 离合器啮合位置与轴系振动定量关联。（2）创新提出基于键相跟踪法控制 SSS 离合器定点啮合，控制 SSS 离合器在振动优化区啮合。（3）开发 SSS 离合器定点啮合控制系统，包含软硬件，在实际 NCB 汽轮机组上实现成功应用。

### » 案例背景与目标

北京市大多数联合循环机组都选择采用 NCB 汽轮机，在高中压转子与低压转子之间布置了 SSS 离合器。SSS 离合器利用啮合与脱开功能，可以使低压缸在线投入或退出运行，从而使机组可以在抽汽供热模式和背压供热模式之间进行在线切换。然而，汽轮机轴系中布置了 SSS 离合器后，由于 SSS 离合器的随机啮合性，在工况切换前后轴系振动会出现随机性波动。因此必须控制 SSS 离合器在指定区域啮合，从而控制轴系振动在可控范围内。

### » 案例创新亮点

（1）创新提出采用双键相同步采样法进行 SSS 离合器的啮合角度（高中压转子与低压转子相对位置）测量技术。该技术以 NCB 汽轮机高中压转子、低压转子的原始轴振信号以及键相信号为输入，实现了 SSS 离合器的啮合角度以及该角度下的轴系振动数值测量，解决了无法定量分析 SSS 离合器啮合角度对机组振动影响程度的问题。采用该方法对北京市两台典型 NCB 汽轮机进行了现场测试，准确记录了电厂 NCB 汽轮机在由“背压”工况切换为“抽凝”工况后高中压、低压转子的相对位置及对应振动情况，明确给出不同 NCB 汽轮机最有利轴系振动的高中压、低压转子的相对位置。供热季结束后，指导机组在检修期间进行了振动优化。

（2）创新提出采用键相追踪预测法开发了 SSS 离合器定点啮合技术。在此基础上，开发了一套“SSS 离合器啮合控制系统”，包含硬件和软件，并建立了试验台对该系统进行了试验验证。该项工作从理论上实现了 NCB 汽轮机在背压状态切换为抽凝状态时，SSS 离合器每次都在固定区域啮合的技术方法。

### » 内容介绍

#### （一）啮合位置精准测量

根据键相信号的测量原理，键相信号的触发时刻为转子上键槽对准键相器的时刻。现提出一种双键相同步采样法，

对高中压转子键相信号和低压转子键相信号在同一时间维度下进行同步采样分析，获得两根转子键相信号时间差，便能根据转速等数据计算出两根转子键槽在圆周方向上的角度差，即 SSS 离合器啮合位置。双键相同步采样示意图如图 1 所示。

双键相同步采样法获取的信号可分为以下三种情形：

情形一：SSS 离合器完成啮合，双键相同步采样法信号如图 2 所示。

由图 2 可知，高压键相信号周期  $T_1$  等于低压键相信号周期  $T_2$ ，且两路键相信号时间差为固定值，即  $t_1=t_2=...t_n$ 。根据啮合角度的定义，啮合角度  $\theta$  可由式 1 计算。

$$\theta = 360 \times \frac{t_{const}}{T_1} \quad (1)$$

情形二：SSS 离合器未啮合，低压转子转速保持不变，对应双键相同步采样法信号如图 3 所示。

由图 3 可知，高压键相信号周期  $T_1$  接近但小于低压键相信号周期  $T_2$ ，高中压转子转速  $V_1$  大于低压转子转速  $V_2$ 。测量得到的时间差  $t_1, t_2, ...t_n$  处于周期性循环变化当中，对应角度差  $\theta_n$  可由式 2 计算。

$$\theta_n = 360 \times \frac{tn}{T_1} \quad (n = 1, 2, \dots, n, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

### (二) 定点啮合控制策略制定

从情形二双键相同步采样法得到的角度差为循环数列这一特征出发，具体步骤如下：

步骤一：对 SSS 离合器啮合角度进行测量，将离合器啮合后 NCB 汽轮机组轴系振动数据与啮合角度定量联系。通过对大量啮合角度及其对应的轴系振动情况进行统计分析，确定 SSS 离合器的最佳啮合角度，并将其定义为  $\theta$  目标。通过对离合器大量啮合过程进行分析，确定  $\Delta\theta_2$ 。

步骤二：通过现场试验：确定低压转子能够稳定停留的转速  $V_0$ ，计算间隔角度  $\Delta\theta$ ；根据对低压转子转速达到  $V_0$  之前升速率的识别，确定低压转子自  $V_0$  上升至  $V_2$  的加速度数值  $a$  ( $a$  可视情况设为固定值，或通过动态监测低压转子升速率确定)，计算  $\Delta\theta_1$ 。

$$\theta_{0目标} = \theta_{目标} - \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 \quad (3)$$

步骤三：工况切换开始。低压转子升速至  $V_0$  后保持，此时角度差  $\theta_0$  在不断的循环变化中。当监测到的  $\theta_0$  满足公式 4 时，立即向转速控制系统发出低压转子继续升速信号，控制低压转子以升速率  $a$  冲转至啮合。

$$|\theta_0 + \Delta t_{滞后} \times \Delta V \times 60 - \theta_{0目标}| \leq \Delta\theta \quad (4)$$

式中： $\Delta t_{滞后}$  为一个时间段，定义为自转速控制系统发出控制升速信号时刻起，至主动轴开始以固定升速率  $a$  升速时刻止这一段时间的长度，可根据现场试验获得，视为已知量。

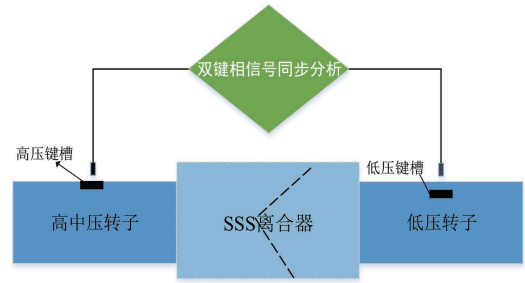


图 1 双键相同步采样示意图

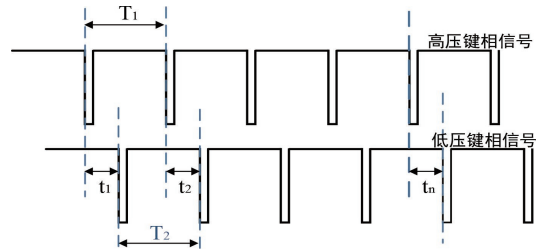


图 2 情形一—双键相同步采样信号

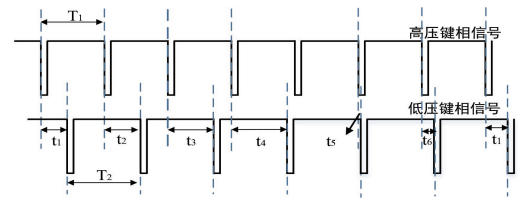


图 3 情形二—双键相同步采样信号

### (三) 开发软硬件系统

SSS 离合器啮合控制仪硬件系统采用集成化设计，包括信号调理电路、键相信号处理电路、FPGA 逻辑控制、采样录波电路、控制输出电路、嵌入式核心板、电源模块等。设计接入高 / 低压 2 路键相信号及对应各 8 路振动信号、输出 1 路“继续升速开关量”信号。硬件设计框图如图 4 所示。

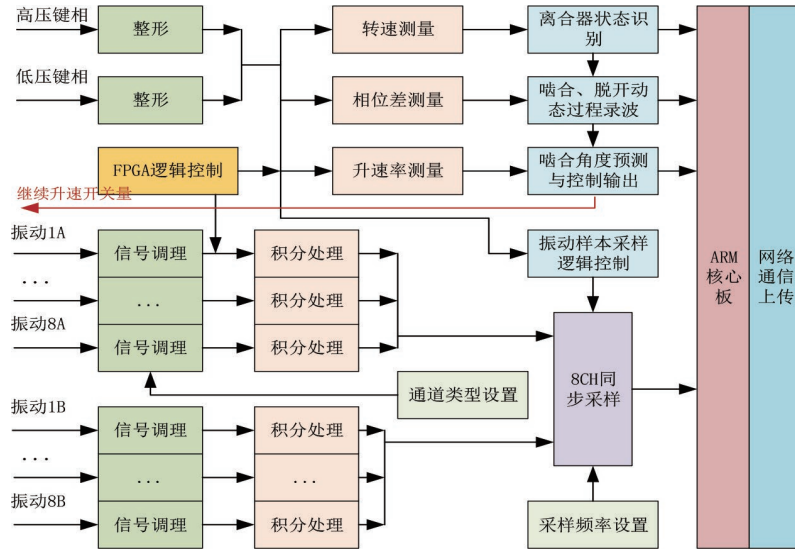


图 4 硬件设计框图

SSS 离合器啮合控制仪软件系统提供啮合角度计算、轴系振动监测、离合器状态监测、定点啮合控制等功能，包含信号采样相关配重参数设置功能，通过后台网络通信线程与硬件连接。软件功能模块组成如图 5 所示。SSS 离合器啮合控制仪如图 6 所示。

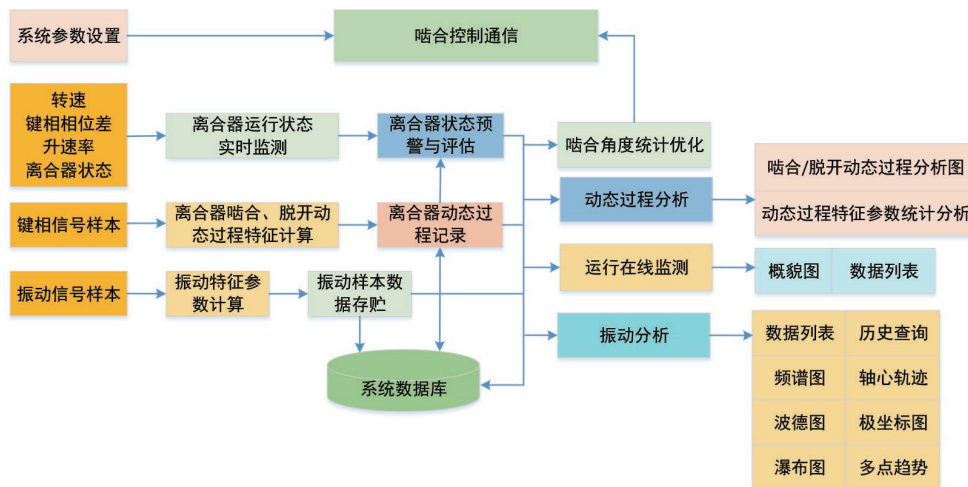


图 5 软件功能模块图



图 6 SSS 离合器啮合控制仪

## » 成果与效益情况

### （一）实际应用

在 A 机组应用开发的 SSS 离合器定点啮合控制系统后，测量获取了离合器不同啮合位置下的轴系振动数据。SSS 离合器啮合角度对轴系中 4 瓦的振动影响最大，不同啮合角度下的 4 瓦振动呈现出不同特性。从机组 A 收集的样本数据显示

（1）在部分啮合角度下，4 瓦在啮合完成初期振动基数较低，且后续的波动也较小，处于稳定可控状态。

（2）在部分啮合角度下，4 瓦在啮合完成初期振动基数较大，且后续振动出现较大范围波动，处于不可控状态。

（3）SSS 离合器啮合完成后，不同于轴系中的其他轴瓦，4 瓦振动会随时间发生波动，因此需要综合分析评价啮合角度对 4 瓦的影响，不能单以啮合初期时的振动水平为评价标准。

（4）啮合角度接近时，4 瓦振动数据及波动规律类似，也就是说在一定角度范围内，啮合角度对 4 瓦振动的影响接近，这一规律为定点啮合控制策略中的目标角度提供了一定控制裕度。

### （二）经济效益分析

该项目成果可提升大型联合循环机组 NCB 汽轮机运行的安全可靠，特别是在供暖季期间，可避免电厂因非计划停机造成的发电量、供热量损失和电网考核费用，每台机组每年预计可节省 300 万元，测算方法如下：

以 2023-2024 供热季为例，假设 NCB 汽轮机组存在一次因 SSS 离合器啮合至振动恶化区，导致轴系振动不可控制，则机组需要停机对 SSS 离合器进行人工啮合处理，处理过程需要 2 天左右，产生经济损失约 300 万元。

### （三）社会效益分析

该项目成果可提升大型联合循环机组 NCB 汽轮机运行的安全性，从保障民生供电、保障民生保供方面提升了供电与供热的可靠性。该项目可以推广应用至其他大型联合循环机组 NCB 汽轮发电机组，对同类型机组轴系可以直接推广应用。

» 推广价值

该项目可以推广应用至其他大型联合循环机组 NCB 汽轮发电机组，对同类型机组轴系可以直接推广应用。

## 发电企业智慧工地管理系统研发与应用

完成单位：国能信控技术股份有限公司

主要完成人：米路中、戴聚辉、尹健、杨琴琴、姜立龙、张飞、胡岍、陈佳豪

**典型应用场景：**服务于发电企业（电站）用户电站基建施工现场智能化管控，工地、楼宇智能化建设，多媒体、安防类设施改造，办公楼、管控中心网络通讯建设，为发电企业（电站）基建期数字化管理，提供智慧工地一体化管控解决方案。

**内容简介：**发电企业智慧工地管理系统研发与应用项目旨在助力工地项目人员实现对人员、环境与作业安全的全方位监管。系统通过汇聚并沉淀各类工地监管数据，从视频监控、人员实名制管理、进出场记录、环境监测、安全帽佩戴识别、危险区域越界预警等多个维度，深度剖析工地管理现状。平台能够实时监控现场数据，全面感知施工动态，并通过集成多种传感器、数据分析工具与可视化技术，赋能工地管理团队精准把握施工进度，有效提升工地精细化运营水平。

### » 案例背景与目标

国家《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确提出要加快数字化发展，建设数字中国，将提升建筑工业化、数字化、智能化水平作为发展目标，明确到 2035 年，“迈入智能建造世界强国行列”。

国能信控技术股份有限公司在国家能源集团加快推进智慧企业建设、推进电力产业发展相关工作要求的指引下，聚焦发电企业高质量发展需求，坚持目标导向，充分利用数字思维、信息技术，推进公司生产、运营和管理能力的数字化、智能化、智慧化水平提升；通过大数据技术推动传统业务升级，推进电力生产管理及相关技术与大数据的深度融合，加速业务模式创新，打造发电企业智慧基建管理系统，形成一整套可满足现场人、机、料、环全面监管的一站式智慧工程管控方案，构建标准化、智能化、智慧化管理体系，为数字化决策分析提供系统支撑，助力“安全、绿色、智慧”工程建设。

### » 案例创新亮点

发电企业智慧工地管理系统研发与应用项目集成多项创新技术，全面提升工程管理效能与安全性。通过全景式实景指挥大屏，实时展现现场动态，辅助精准决策。劳务人员实行实名制准入，结合人脸、指纹等生物识别技术加强管理。系统专设农民工欠薪监管模块，保障工资发放透明合规，降低欠薪风险。

借助北斗定位与智能终端，对管理人员进行实时定位与智能监管。特种车辆与机械的运行状态及关键参数均被实时监测，实现智能管控。AI 视频监控系统能对高风险作业进行智能识别与预警，显著提升现场事故预防能力。

物联网技术广泛应用于高危作业监控，实时采集设备与环境数据，及时预警安全隐患。5G 无人机实现高空监控与远程巡检，快速发现异常并支持应急响应。

平台采用低代码技术，提供可视化编辑与拖拽配置，支持灵活定制。基于自主时序数据产品，实现全场景监测数

据的统一存储与计算，提升安全监测效率与准确性。此外，系统首次深度融合物联网，整合各类传感器与业务数据，实现工地信息的集中统一管理。

## 内容介绍

案例成功构建并应用了一套以数据驱动为核心的发电企业智慧工地管理系统，深度融合多项前沿技术，实现了对施工现场“人、机、料、法、环”全要素的智能化监管与闭环管理。



图1 设计理念

技术方案：系统技术架构以统一数据平台为基础，深度融合了物联网（IoT）、人工智能（AI）、5G及北斗定位等关键技术。在数据采集层，通过广泛的物联网传感器网络、AI视频监控、5G无人机及智能终端，实时汇聚人员位置、设备运行参数、环境数据和视频流。5G网络确保了高空无人机画面等大数据量的低延迟、高速回传。在数据处理层，基于自主时序数据库，首次在基建现场实现了跨监测系统的统一时序化数据存储与计算，为大型设备安全监测提供了精准高效的数据底座；将物联网平台深度融为系统底层，统一完成所有传感数据与业务数据的接入、清洗与标准化，彻底打破数据孤岛。在应用层，AI视频分析实现安全违章行为的自动识别与预警；北斗定位与智能终端结合，对管理人员与特种车辆进行实时定位与智能调度；低代码平台的引入，则通过可视化拖拽配置，大幅提升了定制化功能开发的敏捷性。



图2 智能监管一张网

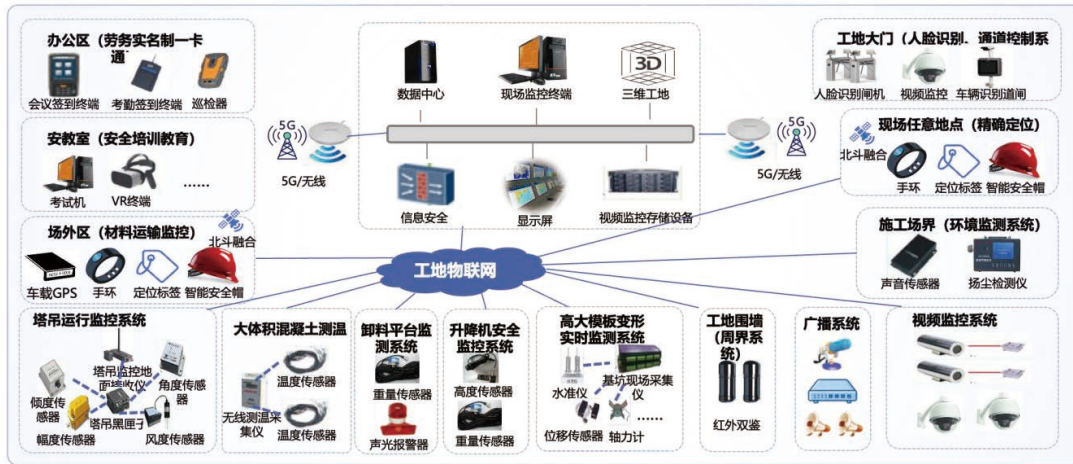


图 3 5G+ 北斗 + 物联深度融合

运营模式：数据驱动的标准化闭环。构建了“数字准入、智能预警、标准执行”的运营新模式。在人员管理上，通过实名制生物识别准入与农民工工资监管模块联动，从入职到薪酬发放形成透明、可追溯的管理闭环，保障权益并规范用工。日常运营以全景指挥大屏为可视化中枢，集中呈现全局动态。系统依据数据模型自动运行智能化预警，对安全隐患、设备异常等风险进行主动预测与多级报警。同时，配套制定并固化标准化线上处置流程，确保预警能够被规范、及时地响应与反馈，将技术能力转化为可持续的标准化流程，实现从被动响应到主动预防的根本转变。



图 4 智能监控

项目实施情况：项目已成功落地，实现了技术与管理的深度融合与显著效能提升。在技术整合上，不仅完成了物联网与业务系统的首次深度融合，建立了统一数据资产，还通过低代码平台快速响应了多样化的现场管理需求。在管理效能上，通过对人员、车辆的实时定位与轨迹管理，强化了在岗履职监督；AI 视频监控与 5G 无人机巡检的天地协同，实现了对高风险作业的全方位、无死角智能预警，安全事故预防能力大幅提高。在数据价值层面，统一时序数据平台为塔吊、升降机等关键设备提供了高效的监测分析能力，并为未来基于数据驱动的自动控制（如远程安全干预）奠定了基础。项目的实施全面推动了工地管理向精细化、智能化转型升级，为工程安全、质量与效率提供了坚实保障。

## » 成果与效益情况

1. 项目管理与协同的优化。通过构建统一的“智慧工地”管理平台，显著优化了项目管理与协同工作。实现参建各方信息共享与高效协同，人、机、料、法、环五大施工现场要素全面管理。以在神华九江项目上的应用效果为例，实现所有施工人员、物资进出厂审批 100% 线上管控，极大的提高了管理效率在 50% 以上。2024 年以来，人员进出厂审批流程

达到 6600 余条，涉及施工人员总数 12000 余人，基建物资出厂审批流程 1800 余条。

2. 安全与质量管理的强化。利用 AR 技术和 AI 技术构建了实景地图和智能监控系统，实现了对施工现场安全隐患的实时识别和预警。通过构建承包商管理系统，实现对承包商资质的严格审查和门禁联动管理，确保施工现场的承包商具备相应的资质和能力。

(1) 在安全方面，通过智能监控系统 AI 抓违章和智能 APP 系统全年共查处违章行为 3198 项，其中严重违章 553 项，起到明显的现场警示作用，实现现场违章行为持续下降。

(2) 在质量管理方面，通过手机 APP，管理人员可实时上报质量问题并及时处理、反馈，确保问题及时发现和有效整改。质量管理体系还对质量问题进行统计分析，形成质量通病清单，为管理者提供质量改进方向和依据。2024 年通报整改各类质量通病问题 890 余项。

3. 管理能效的显著提升。“智慧工地”通过制度流程化、流程表单化、表单信息化，实现了管理制度与信息技术的深度融合。2024 年系统共发出有效机械设备预警信息 55 项，支持决策处理了 3 号汽机塔吊基础不均匀沉降、污水池基坑边坡失稳等重大安全、质量隐患 5 项。相较传统管理方式，节约测量人员工时约 6500 人天，节约人工成本超过 260 万元。

## » 推广价值

发电企业智慧工地管理系统研发与应用项目成果目前已在国家能源集团下属九江、汉川、池州、廊坊、定州、沧东、蠡县、天津大港、清远、辽宁阜新等数十家单位的智慧工地项目推广应用，成果以其基建期数据全时序化管理、全生命周期一体化管理，满足基建生产一体化、永临结合、建设方、施工方、监理方等多方使用，实现快速开发、灵活配置和高效迭代；凭借着完全自研、自主可控等优势特点在市场脱颖而出，并逐步向“空天地一体化”方向演进，无人机巡检 + 卫星遥感 + 地下管网监测形成全维度感知网络，预计 2030 年，案例成果可应用至数万亿级建筑科技市场，重构工程建设价值链。

12

## 200 万千瓦“阿电入乌”区域互济新能源项目（170 万千瓦光伏） EPC 总承包工程智慧基建系统

完成单位：中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司

主要完成人：干梦军、张筱筱、徐兴、张兵、何超、周大健、张子夏、杨康、孙东东

典型应用场景：沙漠腹地光伏大基地基建项目

内容简介：本项目基于 200 万千瓦“阿电入乌”区域互济新能源项目工程，结合工程特点及难点创新地打造了一套智慧基建系统，本系统针对“沙、戈、荒”新能源大基地项目场景中，场地范围大、施工环境恶劣、施工人员多、物料管理难等痛点问题，项目全程依托数智化平台集成实现作业面全景监控、多维度智能巡检、人员管理、车辆识别、智能装备与云端监控，实现了施工过程的规范化、可视化与可追溯。

### 案例背景与目标

阿电入乌项目作为内蒙古自治区首个跨盟市合作保障性新能源项目，也是目前国内最大的基于沙漠腹地移动沙丘地质地形建设的光伏项目，同时也是华东院中标容量最大的光伏 EPC 总承包项目，建设面积高达 33.8 平方公里，建设高峰期施工人员高达 7000 人。项目既面临交通不便、流动沙丘、极端天气多发、生态脆弱等客观挑战，又面临工期紧、多标段、作业面广、人员管理难、物资供应难等带来的管理难题。

为将项目打造成为大基地项目的标杆示范，阿电入乌项目在目标导向下，采用了一套精益管理引领、数智技术赋能、全过程协同创新”的新型智慧基建系统，在广袤的沙漠腹地实现了工程精度、建设效率与综合效益的同步提升。

### 案例创新亮点

本项目面临交通不便、流动沙丘、极端天气多发、生态脆弱等客观挑战，又面临工期紧、多标段、作业面广、人员管理难、物资供应难等带来的管理难题，智慧基建系统以计算机网络为基础支撑，以 AI+ 技术及数据库为核心，集成 AI 三维测量与建模、定位识别、人脸识别、传感技术、虚拟现实、GPS 物联网、云数据处理等多项先进技术，构建成一个管理理念先进、信息高度共享的智慧基建管理。该系统实现了视频高清化、模块智能化、系统集成化、全程互联化与数据可视化，有效解决了沙漠光伏大基地场景下，基建项目位置偏、范围广、管理难的问题，显著提升了工程管理的信息化水平与智慧化水平。

### 内容介绍

本项目智慧工地系统以计算机网络为基础支撑，以数据库为核心，集成视频监控、定位识别、人脸识别、传感技术、虚拟现实、GPS 物联网、云数据处理等多项先进技术，构建成一个管理理念先进、信息高度共享的综合管理平台。该系统实现了视频高清化、模块智能化、系统集成化、全程互联化与数据可视化，显著提升了工程管理的信息化水平。为满足安全施工、集中管理与远程监控的需求，本系统采用先进的视频监控技术、图像处理技术、视音频编解码技术、无线

网络传输技术、流媒体传输技术以及集中监控管理平台，构建了一套功能完善、性能可靠的智慧工地管理系统。系统设计秉承技术先进、功能完备、运行稳定、成本节约的原则，并充分考虑了施工、维护和操作的实际需求，为未来系统扩展、升级及改造预留了空间。本系统设计体系系统、完整、全面，方案具备科学性、合理性与可操作性。系统具备以下特点：现场监控可视化、传输网络无线化、报警方式多样化、数据采集动态化、现场执法移动化、历史数据可追溯、应急指挥协同化及管理控制一体化。有助于施工方与业主方实现协同管理，保障施工现场秩序井然、沟通及时，确保施工安全、质量与进度处于可控状态。

作业面全景监控。在建筑施工现场，确保工程质量、保障施工人员安全以及维护建材与设备财产安全，始终是项目管理层关注的核心要务。阿电入乌项目“智慧工地”平台通过整合三维实景地图、人员精准定位、AI 智能识别与视频监控等多项功能，可实现风险 AI 秒级研判与环境数据动态预警，大幅提升隐患响应与处理效率，为项目管理者提供实时、可靠的风险防控支持。智慧工地可实现作业面全景监控并达到以下要求：支持随时查看分散工地现场施工情况，宜在视频叠加多维应用数据；应支持事后溯源查看，宜仅检索有人场景或以图搜索快速查看；支持中心上墙预览、回放；支持全局整体查看、重点区域查看细节要求；支持夜间能看清细节要求；支持人员进入车道或者危险区域自动告警；支持火灾隐患预警告警；支持智能识别，实时预警的要求。如安全帽未佩戴告警 / 车辆未清洗出场等区域管理的自动告警识别需求；支持无线传输，减少工程布线和维护工作；支持室外、雷电、高空安装环境。

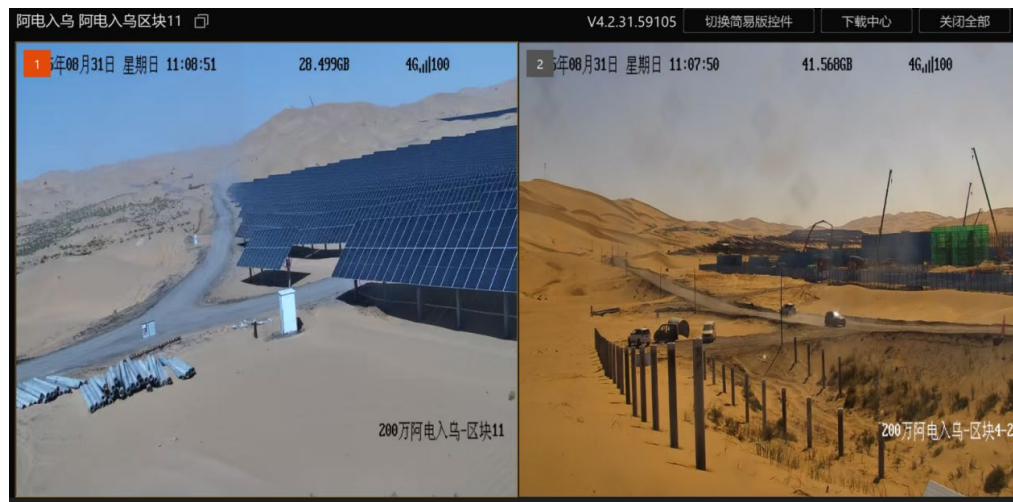


图 1 全站全景监控

多维度智能巡检。在工地管理过程中，管理方的核心诉求集中于规范巡检流程、提升巡检与沟通效率、及时规避风险、明确并落实各方责任，以实现管理效能的全面提升。阿电入乌项目通过搭建数字化巡检平台，利用移动端 APP 实现任务派发、现场记录与问题上报的闭环管理，强化流程跟踪与责任绑定。针对传统监控难以覆盖的死角区域，引入具备自动巡航与高清拍摄能力的无人机巡检系统，实现对全场尤其是高风险区域的实时动态监控与无死角文明施工督查。通过无人机自动巡航，快速采集并自动拼接生成工地的高分辨率正射影像与三维实景模型，形成覆盖全场、可量测分析的全景视图。该视图可协助管理人员实时掌握施工进度、资源分布与场地布局，为全局统筹与科学决策提供直观的数据支持。同时系统自动识别现场安全隐患（如未穿戴安全帽、违规吸烟等），并实时推送预警信息至相关责任人，协助管理人员快速督促整改，有效规范工地文明施工。



图 2 现场无人机智能巡检

人员定位系统。阿电入乌人员定位系统采用国内广泛应用的 NB-IoT（窄带物联网）技术，在作业人员安全帽内集成 GPS/北斗双模定位与 NB-IoT 通信模块，通过物联网实现厘米级精度的实时位置感知。定位数据实时上传至综合管理平台，不仅自动完成人员进退场考勤、工时统计与现场劳动力分布可视化，还可对长时间静止、越界作业、误入危险区域等异常行为进行智能判断与预警，显著提升人员管理效率与现场安全管控能力。

车辆识别系统。车辆管理是阿电入乌项目施工管理重点难点。汽车起重机、材料运输车、渣土车未经清洗进出、无证车辆违规进场清运、社会车辆误入大型施工区域等现象，不仅带来交通安全隐患、增加材料管理难度，也造成场内道路污染。阿电入乌通过智能化的出入口车辆管控系统，在入口部署视频监控单元，自动识别并采集车辆出入图像，结合全景高清球机实现无死角监控，重点对渣土车密封与清洗状态、黑车入场、材料运输车辆进行视频取证与记录，实现对车辆进出行为的可视化管理。同时，系统具备车辆计数与频次统计功能，合理调度进出流量，保障场内交通畅通，并可对异常及可疑车辆进行实时检测与告警，防范物资盗窃行为，全面提升工地物资与交通管理水平。



图 3 智能车辆识别系统

光伏组件安装智能化。阿电入乌项目依托智慧工地平台，通过引进光伏组件安装机器人，实现组件安装过程智能化。光伏组件安装机器人通过精准控制，实现组件抬举及就位的高速化及精准化，组件安装机器人通过与现场班组施工人员的匹配及磨合，使得机器人安装班组日安装效率显著提高，返工率减少。



图 4 光伏电站智能运维作业现场

## » 成果与效益情况

通过实施上述智慧基建系统，项目在工程设计、安全管理、物资管理、效率提升与质量控制方面取得了显著经济及管理成效。

系统实现了对作业面、人员、车辆的全时段、全方位智能监控与预警，安全帽佩戴识别、危险区域闯入告警等功能采用，使现场违章作业发生率较同类型项目降低约 30%；人员与车辆线上实名制管理、定位追踪及智能巡检大幅提升了现场管控精度与响应速度，同时有效结合本项目农民工支付方式，使本项目农民工投诉量较同类型项目有显著减少；光伏安装机器人的应用更使安装效率提升 300%、返工率降低 60%。整体上，系统通过数据互联与协同管理，实现了施工过程的规范化、可视化与可追溯，保障了工程有序推进，综合管理效能得到实质性增强。

## » 推广价值

智慧基建系统的全面应用，推动了项目管理从传统经验模式向数字化、精细化方向的根本转型。一方面，系统通过集成实时数据与智能分析，实现了风险预警前置化、决策支持科学化，显著提升了项目在安全、质量、进度等方面的可控性与预见性；另一方面，多系统协同与移动化办公打破了信息孤岛，强化了各方协同效率，使管理流程更透明、责任更明晰，为当前项目的高效执行提供了坚实支撑。在沙戈荒场景，新能源大基地基建项目执行中具有现实意义。

## 新能源百万千瓦基地智慧运维中心项目

完成单位：浩云科技股份有限公司  
主要完成人：艾胜明、倪呈军、陈帆

**典型应用场景：**本案例聚焦于国能长源电力股份有限公司旗下汉川新能源基地的运维体系转型，覆盖三级业务场景：1. 基地级应用：直接服务于汉川公司 1000MW 渔光互补光伏基地（含星湖、麻河、嘉河、蚌湖等 4 个场站），实现全域设备、环境、人员的智能化管控；2. 公司级推广：成果复制至长源电力其他新能源项目（如风电、光伏电站），推动省级子公司运维模式升级；3. 集团级赋能：通过构建标准化智慧运维平台，为国家能源集团提供跨区域新能源集控解决方案，支撑“总部 - 省级公司 - 场站”三级管理体系优化。项目核心赋能新能源生产运营、安全监控、巡检维护等业务流程，并输出技术标准至集团同类基地。

**内容简介：**项目聚焦新能源电力行业光伏细分领域，针对湖北省汉川市 1000MW 渔光互补基地，通过 AIoT、大数据技术构建全域智慧运维系统。传统运维模式难以支撑百万千瓦级分布式光伏电站的高效管理，面临设备故障响应滞后、安全防控薄弱、人工巡检成本高等挑战。本项目覆盖华严农场、沔汉湖等 4 个场站及光伏区，实现了“集中监控、无人值班、少人值守”目标。项目创新性整合无人机巡检、箱变防入侵、火灾预警、5G 人员定位等 11 个子系统，构建全流程智慧运维管理平台。实现了基于 AI 算法优化巡检路径、故障预测及应急调度，提升运维效率；通过移动端 APP 与智能工单系统支撑远程管控，减少现场人力依赖。项目建成后，将成为湖北省首个百万千瓦级“渔光互补”智慧运维标杆，推动新能源电站向自动化、AI 化转型。

### » 案例背景与目标

本工程智慧光伏系统的各系统建设要从整体考虑，统一规划，遵循集团公司总体规划以及相关标准规范。打破传统信息化中数据孤岛，利用“大数据、物联网、移动互联网、智慧应用”等先进技术理念，结合发电行业发展新趋势，进行业务应用与智能化创新，对光伏运维管控各业务环节进行集成与应用，以“智慧”的方法改进设备与人员交互的方式，建立互联协同、安全监控、智能运维的项目生态圈，提高项目各方的业务分析与管控能力、过程协同能力、风险控制能力，实现智慧运维。本工程应通过 AI 智能、物联网、大数据等技术相结合，连接视频监控系统、光伏区无人机巡检系统、光伏区箱变防入侵 / 驱离系统、光伏区火灾预警系统、升压站过温预警系统、升压站消防联网系统、5G 人员定位系统等设备，并集合通过从 4 个场站不同品牌的前端硬件中获取的升压站、逆变器、汇流箱等全部设备的运行数据，形成“自由联动”、“自动运行”、“自主运维”的光伏电站智慧运维体系，提升光伏电站的运维效率、降低各项运维成本。系统实现光伏数据采集、电气数据采集、功率预测数据采集、电能量数据采集、SCADA 系统数据采集等，实现数据的全面汇聚、清洗、装配、大数据分析、展示，为下属场站的远程无人值守打下基础。从各升压站 SCADA 系统等监控系统传输数据到运维中心，在运维中心实时监控各场站。可实现在运维中心远程值守下属场站，可实现对下属场站的数据远程监控、远程控制、远程操作、远程管理，实现对下属场站的无人值守，同时平台建设时将新平台与汉川电厂物联网平台软件无缝对接。

## » 案例创新亮点

设置统一运维中心，对四个光伏站场的运维工作统一指挥调度。该运维模式与行业中普遍采用的每个站点独立运维模式不同。该模式下将需要大量智慧化工具以简化运维中心人员的工作量，尽可能提高自动化程度，以实现临时突发故障实时告警，并配备中长期风险预警系统，以供人员运维工作安排、工器具物资调度排班作参考。

一体化运维平台负责收集、汇聚设备状态监视、站场环境监测、人员活动轨迹等数据，使生产数据和运维数据相结合，为统一指挥调度、科学管理提供决策依据。

摒弃传统烟囱式或简单分层架构，创造性提出并实现了“设备边缘感知计算（边缘能力层）+ 平台层智能处理（CEP引擎、流计算、大数据平台）+ 应用层业务协同 + 表现层统一交互”的垂直整合与水平扩展架构。

将边缘计算与大数据技术相结合，实现数据在边缘侧的初步处理和筛选，减少传输至云端的数据量，降低延迟，提高整体系统的响应速度和运行效率，对海量的物联网数据和业务数据进行清洗、整理和标准化，提高数据质量和可用性。利用大数据分析技术，从多个维度对数据进行深入挖掘和分析，挖掘潜在的设备故障隐患、生产效率提升空间，借助 CEP 引擎，实现对实时数据流的快速计算和处理，能够及时捕捉到关键业务事件的变化趋势，为运维人员提供实时的决策支持，提高对突发事件的响应速度和处理能力，以数据标准化为基础，打破传统业务系统之间的壁垒，将人员、设备、网络和物联网数据进行深度融合，构建出一个全面、统一的智慧运维管理体系，为不同层级、不同场景的智慧化应用提供有力支撑，实现“人 - 机 - 网 - 物”跨界融合。

打破“安防数据”、“生产数据”、“运维数据”壁垒，实现设备运行参数、视频图像流、安防报警信号、环境气象信息、工单流程数据等多维数据的统一汇聚、关联分析和深度挖掘。

## » 内容介绍

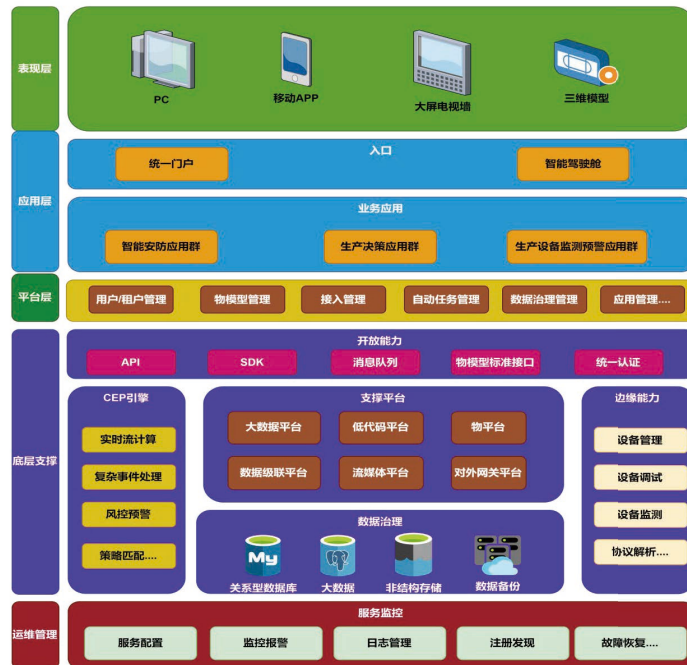


图 1 运维平台分层架构图

新能源百万千瓦基地光伏智慧运维平台采用物联网、低代码、大数据等技术连接智慧场站中的所有物联网设备，并提供统一的监视、控制、应用界面，集中告警数据、统一告警处理业务流程，形成完整的，针对新能源光伏智慧场站的全面管理体系。

本系统主要分为“运维管理”“底层支撑”“平台层”“应用层”“表现层”，把物联、业务数据逐层处理，并提供完善的应用功能界面及接口给终端用户对物联网设备的监视和控制。

该架构是物联网、边缘分析、中心计算、大数据技术在大型新能源场站运维领域的系统性集成创新，解决了大规模、多类型物联网设备统一接入、数据处理与业务协同的行业共性难题，为构建“智慧电厂”提供了可复用的核心架构范式。

建设以数据标准化为基础，通过“人 - 机 - 网 -



图 2 系统架构图

物”跨界融合，打造边缘 + 大数据结合的全层次开放式平滑扩展技术架构，实现物联网、大数据、移动应用等先进信息技术支撑下的不同层级、不同场景的智慧化应用，提升新能源光伏智慧电站板块运营管控能力、生产运维能力、智慧决策能力。

业务支撑层的建设涵盖智能安防、生产决策、设备监测、智能巡检、故障诊断、系统管理、移动端诸方面，其将数据安防、监测数据采集、监测数据分析等功能集于一身，乃是智慧运维平台最为核心的应用基石。

以物理机为底层设备，基于深信服超融合 HCI 虚拟化出 9 台银河麒麟 v10sp2 操作系统，在系统中进行智慧运维平台的部署并对外提供消息中心，事件策略，流程引擎，数据清洗，设备监测，定时服务，故障检测，物联控制，视频预览，生物识别等功能模块，通过这些模块配置出来的基础数据应用，视频子系统应用，无人机巡检子系统，入侵防盗子系统，火灾预警子系统，升压站高温预警子系统，智能消防子系统，智能门禁子系统等应用通过 WEB 网页,APP, 智能工作台对外提供访问服务，帮助客户完成信息化，智能化建设。

每台超融合节点均预留出一部分的空闲超融合资源，便于后续业务不断发展下虚拟机的新增以及扩容，并且预留足够的资源提供给当某台超融合节点意外宕机时，深信服超融合将会为宕机虚拟机提供 HA 服务，把宕机节点所在虚拟机全部迁移到未宕机超融合节点从而实现虚拟机的高可用。



图 3 业务支撑系统功能模块图



图 4 多层次系统架构图

严格按照“横向隔离、纵向加密”的网络规划原则，每个场站一区和三区之间均使用“纵向加密装置”对场一区和三区网络之间的生产设备交互数据进行加密。即：每个场站均部署一台纵向加密装置，在网络一区部署一台纵向加密装置，将生产设备监测数据通过“纵向加密装置”传输到三区，再通过联通网络专线上传到智慧运维平台。

其余智慧安防类设备已经部署 / 安装在网络三区，则通过联通专线连接到智慧运维平台进行监控、操控及管理。

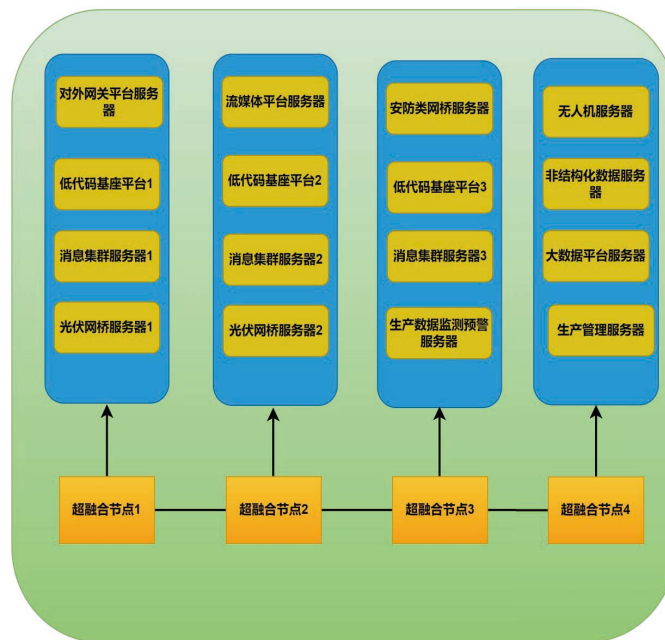


图 5 系统架构图

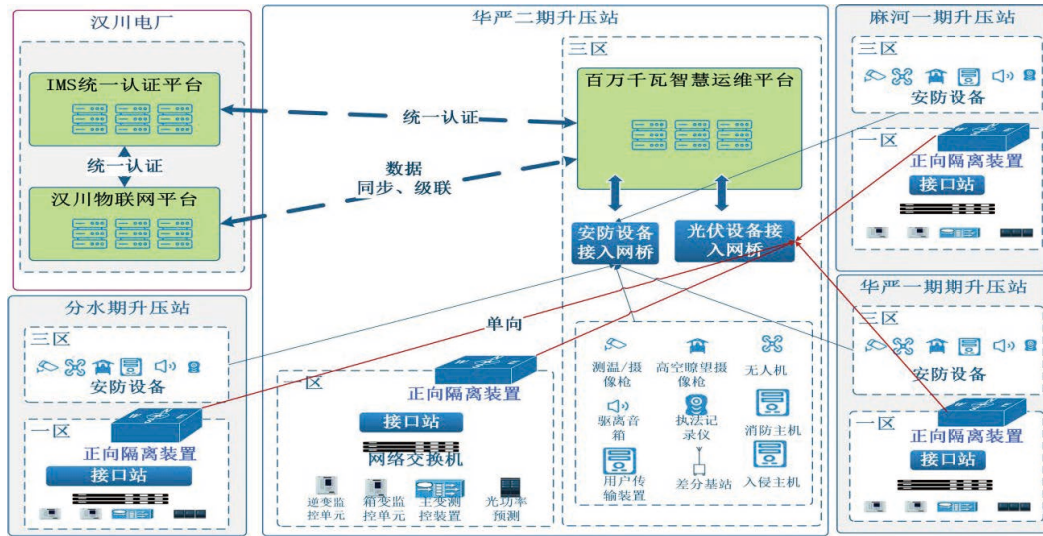


图 6 百万千瓦智慧运维平台与多升压站及电厂设备接入数据

在子项目升压站中部署无人机机库及巡检无人机，并在运维中心部署自动巡检策略，实现无人机按计划对光伏组件、箱变、升压站等重点区域的自动巡视，精确到每块光伏板、升压站和箱变相关表计的定位分析，并对光伏组件缺陷自动分析。

在光伏区中增设视频智能入侵报警 + 驱离系统，以防止儿童、周边村民入侵，从而造成人身伤害或设备损坏。

在光伏区中架设高空瞭望火灾预警系统，由系统全天候、全覆盖，全自动巡查光伏组件、汇流箱等容易产生火灾、高温的点位，并对火点、烟雾自动分析向运维中心预警。

利用红外监控对华严一期升压站、麻河升压站、华严二三期升压站、分水升压站中的主变压器、断路器、线路的接头及设备本身进行全天候温度监测，并在有温度过高时自动向运维中心报警。

对华严一期升压站、麻河升压站、华严二三期升压站、分水升压站中的消防主机进行联网，在运维中心实时接收升压站中消防报警信号，与视频系统联动，以尽快确认火情及后续灭火、断电及其它处置工作。

采用 5G+ 北斗定位技术，与执法记录仪相结合，对光伏区中作业人员进行精确定位及实时录音录像功能。

可对光伏新能源基地场内的气象信息和光伏阵列、汇流组件、逆变器 / 变流器、升压设备、安防、消防、智能巡检无人机、热成像摄像机、定位分析设备、智能分析等系统和设备利用物联网平台实现实时监测，对故障智能诊断与运维、大数据分析，为光伏基地的日常运营、安全生产、故障诊断、生产决策、日常值守、调度指挥、报警接警、报警处置、业务流程管理、日常履职、巡检巡查、教育培训等提供先进的技术手段，并可通过手机 APP 移动端实现智慧光伏运维全方面管理。

提供的智慧光伏系统建设应按照兼容扩展原则，实现兼容电厂生产信息及集团一体化管控系统的对接及应用要求，可按照集团和电厂要求提供兼容统一的标准协议接口开发。我方提供的智慧光伏系统可与汉川电厂物联网平台实现无缝衔接、无缝级联。

集智能安防、生产决策、设备监测、智能巡检、故障诊断、系统管理、移动端巡检 App 七大模块于一个平台，是百万级千瓦基地运维中心的核心运行系统。

平台连接视频监控系统、无人机、测温、过温预警系统等设备，并集合通过从光伏电站生产集控系统中获取的升压站设备、光伏面板、汇流箱等设备的运行数据，形成“自由联动”、“自动运行”、“自主运维”的光伏电站运维工作体系核心。

平台软件可对光伏新能源基地场内的气象信息和光伏阵列、汇流组件、逆变器 / 变流器、升压设备、安防、消防、智能巡检无人机、高空瞭望智能摄像机、热成像摄像机、定位分析设备、智能分析等系统、和物联网设备实现实时监测，对故障智能诊断与运维、大数据分析，为光伏基地的日常运营、安全生产、故障诊断、生产决策、日常值守、调度指挥、报警接警、报警处置、业务流程管理、日常履职、巡检巡查、教育培训等提供先进的技术手段，并可通过手机 APP 移动端实现智慧光伏运维全方面管理。

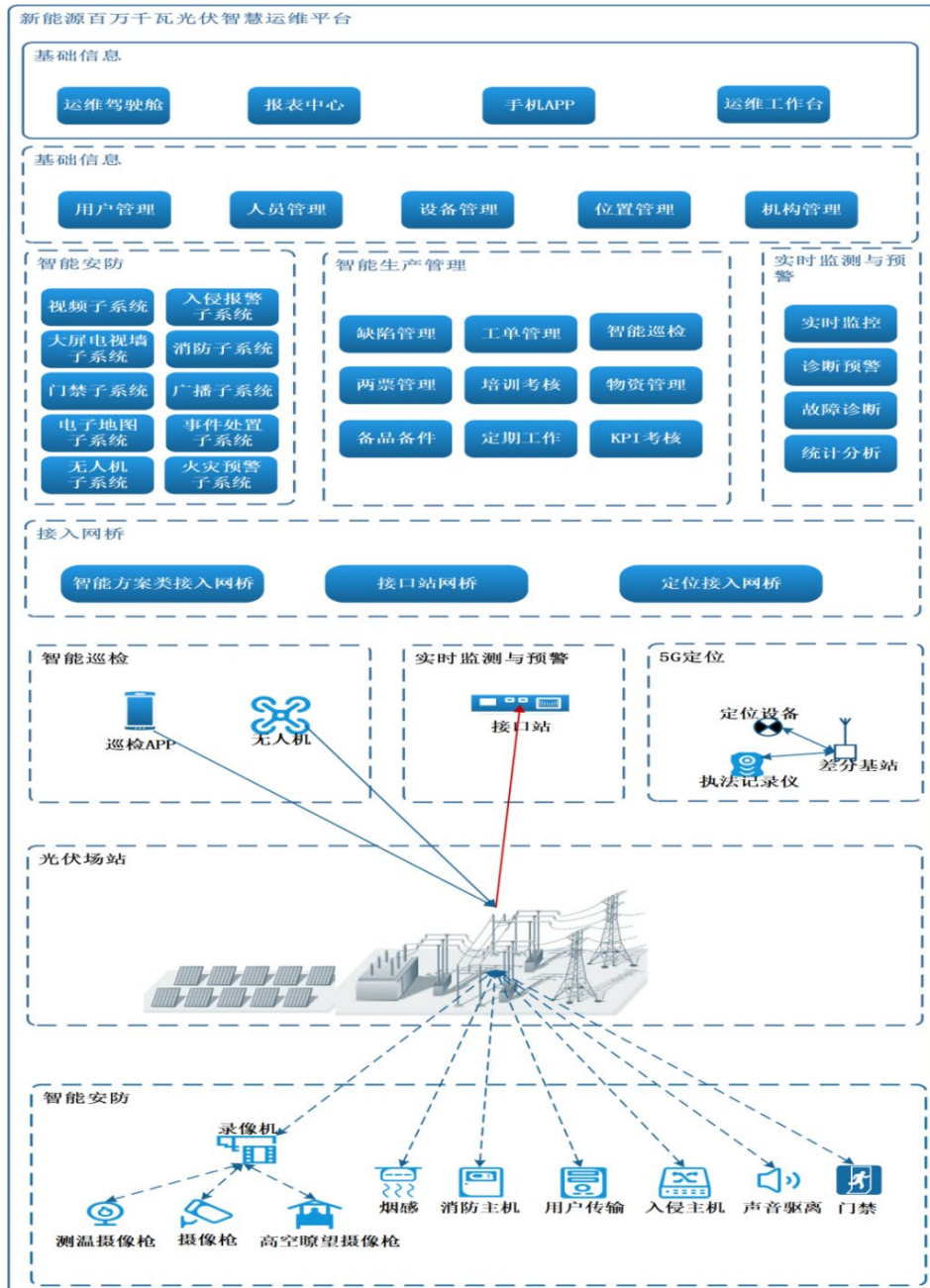


图 7 新能源百万千瓦光伏智慧运维平台架构图

### » 成果与效益情况

本系统通过智能化运维体系，构建“集控式、少人化”的光伏电站全生命周期管理新范式。在直接效益层面，无人机集群巡检与 AI 诊断技术实现运维人力结构优化，大幅降低传统人工巡检的作业强度与安全风险成本；预防性维护策略精准拦截光伏组件隐性衰减，保障发电连续性并延长关键设备服役周期，从源头优化资产使用效率。间接效益层面，依托信创兼容架构与 5G 融合定位技术，系统具备跨新能源场景的规模化复制能力，为抢占千亿级光伏运维蓝海市场奠定基础。其创新的“SaaS+ 硬件 + 数据服务”模式，未来可衍生至碳资产管理与电力交易增值业务，为国能开辟第二增长曲线。当前行业趋势表明，规模化智能运维已成发电集团降本增效的核心抓手，本系统通过重构运维价值链，奠定“轻资产运营、高质量收益”的可持续发展底座。

### » 推广价值

本系统规模化应用推动行业从“被动抢修”向“预测维护”的变革。运维成本结构性优化，通过无人机自动巡检、设备健康预测模型等技术，实现缺陷早期拦截，场站运维成本预估递减 15% 以上。传统模式下 60% 资源用于故障抢修，预估将压缩至 20% 以下，释放资金用于技术升级。全行业效率跃升：光伏组件清洗周期可从“固定周期”升级为“污渍 AI 识别触发”，资源利用率提升 40%。同时，深度契合“数字经济 × 能源安全”融合战略，构建“集中监控、少人值守”运维模式。

## 14

## 新型自主无人继电保护测试系统创新开发与应用

完成单位：三峡金沙江川云水电开发有限公司永善溪洛渡电厂

主要完成人：田朋云、杨海、侯小虎、王丹、周国军、廖正杨、袁岳、张迪雅、李秋良、万玉鑫

**典型应用场景：**适用于电厂发变组保护、PMU 等高精度设备校验，兼容智能站与常规站，覆盖设备定检、换型改造、故障诊断等多场景继电保护测试。

**内容简介：**三峡溪洛渡电厂研发新型自主无人继电保护测试系统，聚焦传统继电保护校验人力依赖、出错率高、数据利用率低等痛点。依托 7 项授权专利，构建“方法 - 硬件”技术壁垒，集成物联网、大数据等技术，实现测试全流程自动化闭环运行。其兼容多协议与设备型号，测试效率大幅优于传统方式，电厂已部署 4 套并稳定运行 1 年多。成果填补国内技术空白，既减少检修成本、避免停机巨额损失，又保障电力系统安全，助力节能减排，具备全国推广价值。

## » 案例背景与目标

随着电网智能化发展与电站无人值守趋势，传统继电保护测试依赖人工操作，存在诸多痛点：全套发变组保护校验需 2 名熟练工耗时 8 天，效率低下；人为操作易出错，且常规测试仪精度不足，无法适配 PMU 等高精度设备校验；测试数据孤立、兼容性差，难以满足智能站与常规站双场景需求。为响应智能运检“减员增效、精准运维”要求，解决传统测试瓶颈，项目以溪洛渡电厂为试点，研发新型自主无人继电保护测试系统。预期实现三大目标：一是达成测试全流程自动化，无需人工干预，预期实现测试自动化、数据智能化、兼容多场景，提升设备运维效率；二是提升测试精度至 0.05%，可对 PMU、故障录波等高精度采样装置或仪表进行校验，兼容市面绝大多数保护装置；三是构建云边协同数据管理平台，实现测试方案共享与报告自动生成，全面提升电站运维智能化水平与电网安全稳定性。

## » 案例创新亮点

1. 首创全流程无人值守测试方案，突破传统人工操作局限，实现从参数召唤、定值配置到报告生成的全程自动化，测试自动化率达 100%，对比传统人工模式，误差从 5% 降至 0.05%，大幅提升测试精准度。
2. 搭建云边协同智能校验平台，整合物联网与大数据技术，测试数据实时上传共享，基于大数据分析和机器学习的智能校验算法，实现对继电保护测试数据的实时采集、传输、校验和分析，提高测试数据的准确性和可靠性。解决传统方案数据孤立、复用率低的痛点，支持跨厂方案复用，减少重复开发成本。
3. 实现多场景柔性适配，实时获取定值单，通过 SCD 解析与多协议兼容（支持 IEC61850、103 等），自动根据测试方案生成实体化测试模型，自动根据测试模型的计算公式，结合定值自动计算加量，适配多种保护装置，覆盖智能站与常规站双场景，无需人工换线即可完成复杂测试，对比传统测试仪兼容性不足的问题，适用范围显著拓宽。
4. 硬件采用模块化高精度设计，12U18I 同步输出满足发变组保护等复杂测试需求，核心精度达 0.05%，可兼顾 PMU 等高精度设备校验，解决传统仪器精度不足、功能单一的短板。

» 内容介绍

目前大多数继电保护的测试工作，仍旧采用人工操作继电保护测试仪进行测试，存在测试效率低、人为因素影响大等缺点。微机保护装置逻辑校验已经成为制约提升智能运维水平和实现减员增效的最大障碍，微机保护设备换型改造需要花费大量的时间进行调试设备，对提高调试效率也提出了更高的要求。现继电保护测试仪已经具备了与微机保护装置通信并且具备读写保护装置定值、软压板、动作报文的能力。基于此，微机保护装置一键自动校验甚至自主无人校验功能的实现已成为可能。本成果设计一款具有测试自动化程度高、测试精度与准确性高、系统兼容性与适应性强、数据管理与存储智能化水平高以及系统可靠性好等技术特点的继电保护测试仪，可通过标准化封装测试线接口完成快速便捷安全接线，自动测试逻辑校验项目，大幅度缩减保护逻辑校验时间，提升现场工作效率，减少逻辑校验工作对熟练工的依赖，以实现减员增效、建设智慧电站目标。

(一) 技术方案

系统采用“硬件模块化 + 软件双平台”架构，硬件以标准屏柜布局集成 3U 测试仪，搭载工控机、交换机及模块化主板，实现 12 路电压、18 路电流同步输出，精度达 0.05%，兼容 GPS/ 北斗等多种方式对时，支持 WiFi、RJ45 等多接口通信。软件分为设计与运行双平台，设计平台含测试方案设计、报告定制及方案库管理功能，运行平台支持设备端与手持端双端测试，可通过 SCD 解析、MMS/103 协议召唤保护装置模型，自动完成加量计算、逻辑校验与报告生成，形成“采集 - 计算 - 判别 - 报告”闭环流程。

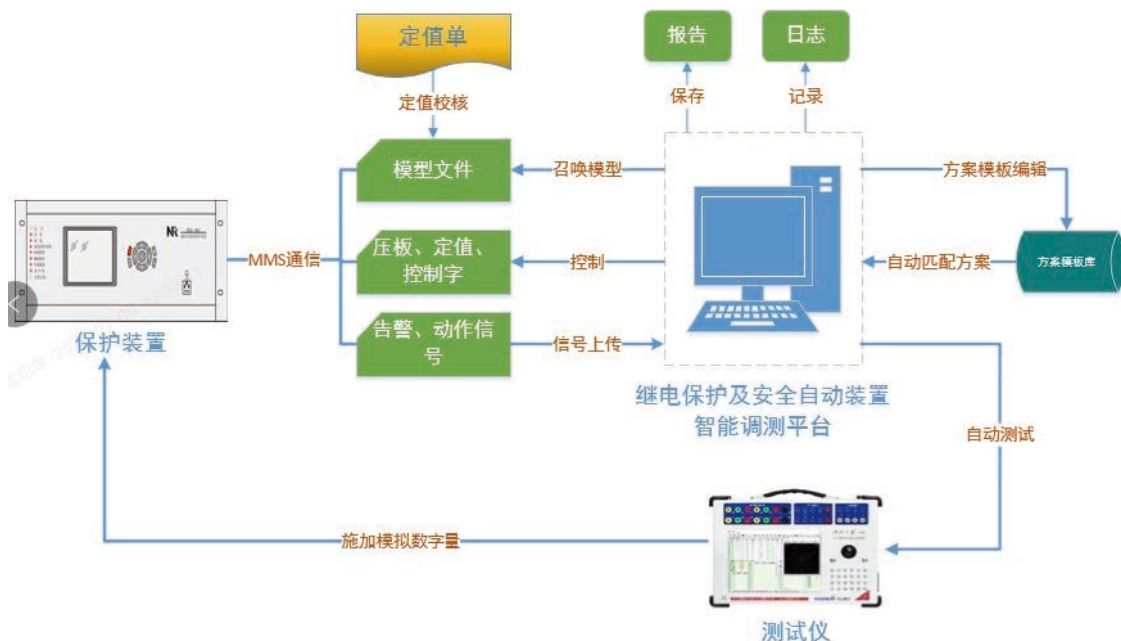


图 1 继电保护闭环测试闭环原理图

## （二）运营模式

采用“自主产业化 + 云边协同共享”模式，测试方案云端存储，支持跨厂复用与个性化修改，减少重复开发成本；设备端与手持端联动，满足固定场站测试与现场移动运维双重需求。建立标准化测试模板库，覆盖多种保护装置，适配智能站与常规站双场景，提供“一键式”无人值守测试与定制化报告服务，实现测试流程标准化、数据管理智能化。

## （三）项目实施情况

项目于 2023 年 10 月启动，截至目前，已累计部署溪洛渡水电站部署 4 套本项目设备。实现继电保护装置自动校验，以达到大大缩短定值校验时间的目标；新研制的具有自动校验功能的继电保护测试仪，适用于厂站发变组保护、GIS 串内开关装置、GIS 保护装置、线路保护装置等设备的自动校验。项目获 2 项发明专利、4 项实用新型专利及 1 项软著，通过国网计量中心型式试验，技术达到国际先进水平。

本装置可用于水电厂保护班组继电保护测试，具有较大的实用性，可在各水电厂、输配用等电网用户全面推广应用，具备良好的推广前景。

## » 成果与效益情况

### 1. 经济效益

本成果可以减少日常检修人员的工作量，降低检修费用，更早地回收投资成本；同时，能在早期发现故障，安排检修避免因故障停机检修造成的经济损失。

据统计，停机时间越长、损失的水量和折算的电量越大，一次停机损失将达到上百万千瓦时。以溪洛渡电厂为例，该厂单机容量为 77 万千瓦，单台机组满负荷运行，每天发电量为 1680 万度，例如按照上网电价 0.3 元计算，每停机 1 天，直接经济损失将达到 504 万，如需要进行深度检查处理，工期在 10 天左右，直接经济损失将达到 5000 多万。因此，本项目将直接减少大量经济损失。

本成果技术市场需求广泛，以水电应用市场为例，我国水能资源可开发装机容量约 6.8 亿千瓦，近年我国水电装机容量近 4 亿千瓦，同时结合我国水电发展情况，未来三年水电装机平均复合增速预计将达到 3.68%，预计未来 3 年水电新增装机增量为 4000 万千瓦。无论是在役电站还是在建电站，都会面临继电保护失效的潜在危险，作为智能电厂建设的一个重要组成部分，各电厂也是本项目产品重点推广方向，因此，本项目远期经济效益可观。

### 2. 社会效益

(1) 有利于带动行业及相关产业的技术进步。本成果在同一技术路线中处于领先地位，建立了智能化测试方案库，能够自动匹配不同电压等级、保护类型、厂商和型号的测试需求，并实现闭环自动化测试，填补了国内在此领域的技术空白，同时，通过云平台实现了测试数据的集中管理和分析，大幅提升了数据的可复用性和智能化水平。

(2) 本成果技术发明的成果可以有效地迁移、应用到火电、核能核电、风力发电、航空航天、装备制造、军工等相关行业及领域，对于提升上述行业及领域设备的研发和使用，具有积极的促进作用。

(3) 保障电厂安全生产、安全运营，促进经济社会健康发展。实现继电保护设备智能化检测，能够对潜在故障做到及时处理。从而完全能够避免大范围检修带来的损失，保证水电机组的生产制造、安全运营，减少因机组非计划停运对电网的冲击扰动、电网中潮流分布发生变化、系统震荡事故等影响电力系统稳定运行和因机组停机造成缺电的情况，确保下游工业企业安全、有序地开展工业生产，保障社会经济健康发展。

### 3. 环境效益

有利于节能减排。本成果产品有助于保障水电厂安全生产和安全运营管理，减少维护周期与成本，进而降低发电成本，最终间接促进水电在我国能源消费中的占比，促进节能减排。

#### » 推广价值

该成果可完成继电保护装置自动校验，以达到大大缩短定值校验时间的目标；新研制的具有自动校验功能的继电保护测试仪，适用于厂站发变组保护、GIS 串内开关装置、GIS 保护装置、线路保护装置等设备的自动校验，具有较大的实用性，已在三峡集团各流域电厂及新能源站推广运用。

该成果可迁移至火电、新能源电站及电力检修企业，适配各类继电保护装置校验需求。我国水电装机近 4 亿千瓦，未来三年新增装机超 4000 万千瓦，市场需求广阔。其无人值守、高精度、广兼容特性，契合智能电网发展趋势，可有效降低运维成本、提升电网安全，该成果可在各电厂、输配用等电网用户全面推广应用，具备显著推广应用价值。



图 2 CTG-BH001 继电保护自动测试仪

15

## 白音华露天矿变配电站无人值守系统

**完成单位：**国家电投集团内蒙古白音华煤电有限公司露天矿

**主要完成人：**董彦强、王志强、杨小龙、丛日东、赵鸣宇

**典型应用场景：**该场景针对露天煤矿 110kV 变电站、35kV 移动变电站等关键供电场所，通过部署智能巡检机器人系统，实现变配电站设备状态的全天候、全方位自动监测。场景以解决传统人工巡检安全风险高、效率低、数据准确性差等痛点为目标，是推进煤矿智能化建设，实现“无人值守、少人巡检”的核心应用。

**内容简介：**白音华二号矿变配电系统无人值守项目覆盖二号矿整个供电系统，实施范围包括 110kV 变电站 1 座，35kV 移动变电站 9 座，地面系统和办公生活 10kV 箱式变电站 11 座、电力调度集控中心 1 套。本项目重点针对设备高龄、人工巡视低效率、无法实时监测、变电站分散难管理等设备管理难点提出解决方案。解决了电气系统远程和就地监控、全景监控、智能巡检、智能五防等问题。通过智能分析和辅助工具，进行主动性防御，将安全隐患预先排除，为供电系统的安全稳定运行提供技术支撑。在提高电网运行可靠性，达到减员增效的目的，建成“安全可靠、优质高效、绿色低碳、智能互动”的供电系统。

### » 案例背景与目标

#### 1. 项目背景

随着国家发改委、国家矿山安全监察局等部委对煤矿智能化建设提出明确要求，煤炭行业正经历一场以智能化技术提升本质安全水平与生产效率的深刻变革。国家电投白音华露天矿作为内蒙古自治区智能化矿山建设示范企业，积极响应政策号召，致力于将物联网、人工智能等先进技术与煤炭生产深度融合。

在此背景下，露天矿变配电站及输煤系统等关键场所的传统人工巡检模式暴露出诸多严峻挑战：一方面，巡检人员需直面高压设备、狭窄空间及移动机械，存在触电、机械伤害、物体打击等极高安全风险；另一方面，人工巡检依赖个人经验与感官判断，对设备温度、局放、异常声音等状态难以实现量化、精准和连续的监测，存在数据采集不准确、故障发现滞后等问题，已成为保障供电可靠性与生产连续性的薄弱环节。因此，应用智能技术替代人工，实现巡检过程的自动化、智能化与数字化，成为矿山高质量发展的迫切需求。

#### 2. 核心需求

本项目旨在解决以下核心需求：

**安全需求：**最大限度减少人员进入高风险作业环境，从根本上杜绝相关安全事故，提升本质安全水平。

**效率需求：**改变传统巡检耗时费力、频次有限的模式，实现关键设备 24 小时不间断、无遗漏的精准监测，提升运维效率。

**管理需求：**扭转依赖人工经验的粗放式设备管理状态，通过数据驱动实现设备状态预测性维护，提升设备可靠性与管理决策科学性。

### 3. 预期目标

项目旨在建设一套技术先进、运行可靠的变配电站智能巡检机器人系统，并设定以下具体目标：

安全目标：实现变配电站核心区域巡检的“无人化”，彻底将人员从危险环境中解放出来。

效能目标：单站机器人系统可替代 6-8 名巡检人员，巡检效率提升 50% 以上，实现设备状态数据的自动采集、分析与预警。

经济目标：通过减少人工投入和实现预测性维护，预期每年节省人工成本逾 180 万元，降低设备故障停机率 25% 以上，优化维保成本。

标杆目标：打造一套可在露天煤矿行业复制推广的智能巡检解决方案，为行业智能化转型树立标杆。

### » 案例创新亮点

本案例的创新性体现在构建了“云端智能 + 边缘计算”的一体化巡检新模式，实现了从“人工感官判断”到“数据智能决策”的根本性变革。

与传统人工巡检相比，其核心优势在于：

技术架构创新：通过部署轨道式机器人，集成高清视觉、红外热成像、声音、气体等多维传感器，结合 3D 激光导航与 5G 通信，实现了对变配电站室内设备的全天候、无死角自主巡检与数据采集，解决了人工巡检存在主观盲区、无法量化监测的痛点。

功能价值创新：基于 AI 算法，系统能自动识别仪表读数、分析设备热缺陷、诊断异常状态，实现从“被动响应”到“主动预警”的转变。这不仅将人员从高风险环境中彻底解放，更通过预测性维护大幅提升了设备可靠性。

应用场景创新：方案针对煤矿井下恶劣环境（如防爆、防尘、严寒）进行了适应性设计，攻克了复杂场景下的稳定运行难题，为同类型露天煤矿的智能化巡检提供了可复制的成熟样板，差异化优势显著。

### » 内容介绍

本案例通过部署智能巡检机器人系统，构建了一套集智能感知、自主决策、集约管理于一体的变配电站无人化巡检解决方案，彻底改变了传统依赖人工的运维模式，实现了巡检工作的自动化、智能化与数字化。

#### 一、先进可靠的技术方案：构建“端 - 边 - 云”协同的智能巡检体系

项目技术方案的核心是构建一个由智能机器人（端）、边缘计算节点（边）和云端智能平台（云）组成的协同工作体系。

##### 1. 机器人本体（终端执行层）：

在变配电站室内部署轨道式巡检机器人，作为系统的“眼睛”和“耳朵”。机器人本体搭载多种高精度传感器，包括：

双视云台摄像机：集成高清可见光相机与红外热成像仪，既可读取仪表盘、指示灯状态，又能精准检测设备温度分布，及时发现过热缺陷。

声学传感器：采集设备运行声音，通过 AI 算法分析异常噪音，诊断内部故障。

环境传感器：实时监测站内 SF6 气体浓度、氧气含量、温湿度等环境参数，保障运行安全。

##### 2. 边缘计算与网络传输（边缘控制层）：

在站内部署边缘计算网关，赋予机器人强大的本地智能。机器人通过工业级无线 AP（Wi-Fi 6）或滑触线通信技术

与控制中心实时交互。边缘层负责：

自主导航与避障：基于预设的 3D 点云地图与视觉标志，实现厘米级精确定位与路径规划，遇到障碍物可自动绕行或急停。

实时数据分析：对采集到的视频、温度、声音数据进行初步处理和识别，实现本地级的快速告警（如温度瞬间超标），降低云端压力，提升响应速度。

### 3. 云端智能管控平台（云端决策层）：

所有数据汇聚至煤矿智能化综合管控平台，形成设备运维的数字孪生体。平台具备以下功能：

全景可视化管理：通过 3D 建模技术，将变配电站设备与机器人巡检轨迹真实还原，实现“一张图”管理。

大数据分析预测性维护：基于历史数据与 AI 算法，对设备健康状态进行趋势分析，预测潜在故障，变“事后维修”为“事前预警”。

任务管理与报表生成：支持定制化巡检计划（定时、定点、定制路线），自动生成巡检报告，为管理决策提供数据支撑。

## 二、高效集约的运营模式：实现“无人值守、少人巡检”

项目的运营模式实现了从传统“被动响应”到现代“主动预警”的深刻变革。

日常运营：机器人按照预设的“一日三巡”加特殊时段加强巡检的计划自动执行任务。运维人员无需进入高压区域，仅在控制中心即可通过平台大屏监控全场设备状态，接收系统推送的异常告警信息。

报警处置流程：当机器人识别到异常（如开关柜局部过热），系统会立即在平台弹窗告警，并可将现场视频画面自动切换至主屏幕。运维人员根据报警级别，启动远程确认或派发维修工单，形成“发现 - 预警 - 处置 - 复核”的闭环管理。

数据驱动决策：平台积累的海量巡检数据为设备全生命周期管理提供了依据。例如，通过分析某一型号开关柜的长期温度变化趋势，可以优化其维修保养周期，精准降低运维成本。

这种运营模式不仅大幅降低了劳动强度和安全风险，更将运维人员从重复性劳动中解放出来，转向进行更高价值的设备状态分析和诊断工作。

## 三、扎实有序的项目实施与卓越应用成效

项目于 2020 年 10 月启动，至 2023 年 6 月完成建设并投入成熟应用，实施过程分为三个阶段：

规划与设计阶段（2020.10-2021.06）：深入分析现场需求，定制机器人巡检路径与检测点，完成技术方案评审。

部署与集成阶段（2021.07-2022.12）：完成轨道铺设、机器人安装调试，并将其无缝集成到现有的矿区工业互联网平台和视频监控系统中。

试运行与优化阶段（2023.01-2023.06）：进行长时间试运行，不断优化 AI 算法识别准确率与系统稳定性，直至全面交付。

项目实施成效显著，具体体现在：

安全效益：实现了变配电站核心区域巡检的完全无人化，从根本上杜绝了人员触电、设备误碰等安全风险。

经济效益：单套系统替代 8 名巡检人员，全年节省人工成本约 180 万元。通过预测性维护，设备故障停机率降低 25-40%，维保成本下降 25-30%。

管理效益：巡检数据标准化、可追溯，提高了管理透明度与决策科学性。巡检到位率与数据准确性达到 100%，为矿山的安全、稳定、高效生产提供了坚实保障。

综上所述，白音华露天矿变配电站智能巡检机器人项目通过创新的技术方案、集约的运营模式和成功的实施应用，已成为煤炭行业智能化建设的标杆实践，具备极高的推广价值。

### » 成果与效益情况

白音华露天矿智能巡检机器人系统自投入运营以来，运行稳定可靠，已从经济效益、社会效益及环境效益等多个维度取得了显著且可量化的成果。

#### 一、经济效益：降本增效，价值凸显

项目经济效益直接且可观，主要体现在“节流”与“开源”两个方面：

**直接降本，人员优化：**系统成功替代了变配电站及输煤系统原需的 16 名巡检人员，实现了“无人值守、少人巡检”。经核算，全年可直接节省人工工资、社保等支出约 180 万元，投资回报周期短。

**增效降耗，减少损失：**通过 24 小时不间断的精准监测与预测性维护，设备管理的主动性和预见性大幅增强。应用以来，关键设备的故障停机率降低了 25-40%，保障了生产的连续稳定运行，间接创造了巨大的产量效益。同时，维保策略从“定期检修”优化为“按需检修”，使维保成本降低了 25-30%，避免了过度维修和资源浪费。

#### 二、社会效益：安全为本，树立标杆

社会效益是本项目更深远的价值体现，核心在于提升本质安全水平和推动行业进步：

**本质安全革命性提升：**该系统将巡检人员从高压、高速转动设备等危险环境中彻底解放，从根本上杜绝了因人工巡检可能导致的触电、机械伤害、物体打击等重大安全事故风险，实现了“科技兴安”的核心理念。

**引领行业智能化转型：**作为内蒙古自治区首批通过验收的智能化示范矿山，本案例的成功实践为同类型露天煤矿的智能化建设提供了成熟、可复制的样板。其解决方案已入选国家部委的“机器人典型应用场景名单”，对推动整个煤炭行业的技术进步和转型升级具有重要的示范意义。

#### 三、环境效益：绿色运维，节能减排

项目虽以安全与效率为首要目标，但也带来了积极的间接环境效益：

**推动绿色低碳运维：**巡检机器人的运行本身能耗极低，远低于传统巡检车辆或人员频繁往返的能耗。通过优化设备运行状态，减少了因设备故障（如电机过载、传动效率低下）造成的额外能源损耗，间接降低了碳排放。

**减少潜在污染风险：**系统对设备温度、异响的早期预警，能有效防止因故障恶化导致的润滑油泄漏、火灾等次生环境污染事件，体现了绿色矿山的发展要求。

综上所述，白音华露天矿智能巡检机器人项目不仅取得了立竿见影的经济回报，更在提升矿山本质安全、引领行业变革以及促进绿色低碳发展方面做出了重要贡献，是一项兼具经济价值与社会价值的成功实践。

### » 推广价值

本案例的成功实施，不仅为白音华露天矿带来了显著效益，更具备高度的行业推广价值和广阔的应用前景，其推广价值主要体现在以下几个方面：

#### 1. 普适性强，解决行业共性痛点

该案例所针对的变配电站及输煤系统巡检场景，是煤炭、冶金、港口、电力等众多涉及大型固定式输送线和关键供电设施的行业的共性场景。这些场景普遍存在环境危险、人工巡检效率低下、数据采集不精准等痛点。本案例提供的“轨道式 + 轮式”机器人协同巡检方案，技术路线清晰，适应性改造要求明确，能够为同类型企业提供“即学即用”的成熟范式，

具备跨行业、跨地域的大规模推广潜力。

## 2. 技术方案成熟可靠，可复制性高

项目所采用的机器人本体、传感器、导航技术和智能分析平台均为经过现场验证的成熟技术和商业化产品，供应链稳定。解决方案采用模块化设计，企业可根据自身需求（如巡检范围、精度要求、预算）灵活选配机器人类型和传感器组合，易于进行定制化部署。从实施角度看，该案例已形成标准化的建设、调试和运营流程，极大降低了新项目复制的技术门槛和实施风险。

## 3. 经济效益显著，投资回报模型清晰

案例提供了清晰的经济账：一次性硬件投入约 182.8 万元，每年可节省人工成本约 180 万元，投资回收期在 1-2 年内。同时，通过降低设备故障停机率和维保成本带来的间接经济效益更为可观。这种明确、快速的投资回报模型，能够有效说服潜在用户单位下定决心进行投入，解决了智能化项目“投入大、见效慢”的决策顾虑，为项目的市场推广提供了强有力的经济性论证。

## 4. 社会效益突出，符合国家政策导向

项目核心价值在于提升本质安全水平，完美契合国家关于《煤矿智能化建设指导意见》中“少人则安、无人则安”的核心要求，以及安全生产专项整治行动的政策导向。推广此类解决方案，能够从技术层面直接减少高危环境作业人员，是响应国家号召、落实企业安全生产主体责任的直观体现，容易获得监管部门的认可与支持，具备强大的政策驱动力。

综上所述，白音华露天矿智能巡检机器人应用系统是一个痛点抓得准、技术方案稳、经济效益好、政策契合度高的优质案例。它不仅为煤炭行业，更为广大传统工业领域的智能化转型升级提供了极具参考价值和可操作性的成功实践，具备极高的行业推广价值和广泛的示范意义。

16

## 基于国产化超融合集群的龙开口水电站智慧水调创新与应用

完成单位：华能龙开口水电有限公司

主要完成人：胡国超、高芝国、钟鸣、黄永国、韦向星、邹圣增、沈智敏、王鑫、王辰宇、王发锐

**典型应用场景：**适用于大型水电站复杂水情监测与调度、综合性水电工程防洪灌溉供水协同、需国产化替代及提升信息安全能力的能源设施，可实现水情数据整合、智能预报、精准调度等核心场景应用。

**内容简介：**本案例创新采用全国产化多节点超融合集群部署，整合水文、工情等多源信息，实现软硬件全栈国产化适配。攻克数据多源整合难题，集成洪水预报、次洪管理、防洪调度、发电调度、经济指标分析等高级应用，提升调度精准度与系统安全性。2023 年 11 月试运行以来，年均发电量超设计 17%，防洪成效显著，为水电行业国产化、智能化转型提供示范。

### » 案例背景与目标

龙开口水电站原水调系统软件版本老旧淘汰，不支持国产化架构，核心软硬件非国产且停服，网络安全风险高，设备无冗余配置，难以满足精细化调度、国产化替代及等保 2.0 要求。需求：响应国产化替代及南网总调整改要求，解决系统网络安全隐患，提升调度智能化水平，实现资源优化配置。目标：利用超融合集群打造全栈国产化、智能高效的智慧水调系统，实现数据多源整合、智能预报、精准调度，保障系统安全稳定运行，提升发电效益与防洪能力。

### » 案例创新亮点

**国产化超融合集群架构：**6 台实体机构建 24 台虚拟服务器，硬件利用率提升约 40%，故障恢复时间缩至分钟级，且核心软硬件全国产，打破技术垄断。传统架构主要为实体服务器，资源分配灵活性不足，难以做到冗余，故障后恢复时间长。

**全栈适配与双活协同：**实现“操作系统 - 数据库 - 业务软件”全栈国产化兼容，关键环节双冗余配置，数据稳定可靠。

**智能调度与数据融合：**整合多通道数据，完整性 99.8%，预见期达 72 小时，泄洪响应从 2 小时缩至 15 分钟，传统人工调度效率低下。

**一体化安全防护：**构建“纵向加密 + 正向隔离 + 反向隔离 + 入侵防御 + 防火墙 + 日志审计”多层防护架构，安全事件响应 5 分钟内，满足等保 2.0 要求，传统系统安全防护薄弱。

### » 内容介绍

本成果针对原有水调系统硬件老化、软件停服、安全隐患突出等瓶颈，创新采用国产化超融合集群方案，打造自主可控智慧水调系统，实现技术突破与效益提升的双重跨越。

技术方案上，系统摒弃传统“单机 + 磁盘阵列”模式，构建“全国产化多节点超融合集群”架构。整合长城超云服务器、银河麒麟操作系统、达梦数据库等核心软硬件，搭建统一资源池，通过虚拟化技术部署二十余台虚拟机，实现计算、存

储、网络资源动态调度与冗余备份。核心业务区采用“六双”冗余配置，硬件利用率大幅提升，故障恢复时间从小时级缩短至分钟级。同时，攻克多源数据异构整合难题，整合北斗短报文、GPRS 等多通道数据，开发水文气象耦合预报模型与智能调度模型，洪峰预见期延长至 72 小时，搭建“PC 端 + 移动终端”多维度应用场景，推动水库调度工作向“智能研判”转型。安全防护方面，构建多层联动防护架构，引入供应链安全管控机制，全面满足等保 2.0 二级要求。

运营模式上，建立“跨企协同 + 党建引领 + 机制保障”三维联动体系。牵头组建近 10 家厂商参与的联合攻关组，通过专项技术交流群开展协同攻关，项目负责人驻厂统筹技术对接。成立党员骨干青年突击队，建立问题发现 - 分析 - 解决 - 复盘闭环机制。制定全流程管理计划，邀请第三方开展多维度测评，将科技创新与保供成效纳入考核，激发全员参与热情。系统运行中，实现水情数据自动采集、分析与报表生成，全年系统可用度达 99.96%，数据合格率 99.97%，为电力现货市场提供稳定支撑。

项目实施阶段，严格遵循“需求调研 - 方案设计 - 设备采购 - 部署实施 - 试运行 - 竣工验收”全流程推进。通过软硬件兼容适配、多源数据传输等技术攻坚，仅用数月完成从技术选型到现场全调的全流程工作。常态化开展水调系统故障应急演练，模拟系统崩溃场景，验证应急通信机数据报送准确性与通道可靠性，提升应急处置能力。项目已获 2 项发明专利授权，相关成果荣获 2025 年智能发电技术创新成果四星奖，形成可复制推广的技术方案 + 实施流程 + 验收标准体系，为水电行业核心系统国产化改造提供了宝贵实践范例。

## » 成果与效益情况

(一) 运营情况：系统 2023 年 11 月试运行以来，水情自动测报系统通畅率 99.75%、系统可用度 99.96%，来水预测综合准确率 99.43%，计划报表合格率 100%，生态流量保障率 100%，运行稳定可靠。

(二) 经济效益：1. 成本节约：6 台实体机替代 24 台虚拟服务器，节约替换成本 45 万元；硬件利用率提升 40%，降低运维成本。2. 发电增益：2024 年汛期 7 月增发电量 2.13 亿千瓦时，年发电量超设计 17%；2025 年发电耗水率 5.79 立方米 / 千瓦时，为近 5 年最优。

(三) 社会效益：1. 防洪成效：2024 年成功应对“长江 1 号和 2 号”洪水，调度闸门 105 次，拦蓄洪峰 71.57 亿立方米，获长江水利委员会感谢信。2. 国产化示范：实现全栈国产化，为水电行业国产化替代提供标杆，提升国家能源信息安全。3. 系统可靠性：故障恢复时间缩至分钟级，保障电力供应稳定。

(四) 环境效益：通过精准调度提升水能利用率，减少能源浪费，助力“双碳”目标；生态流量保障率 100%，保护金沙江流域生态环境，维护鱼类生存安全。

## » 推广价值

(一) 技术可复制：形成“技术方案 + 实施流程 + 验收标准”的完整体系，核心技术与架构可直接应用于同类水电站。

(二) 适配场景广：适用于大型、综合性水电站及需国产化替代的能源设施，解决调度智能化、数据安全等共性问题。

(三) 效益显著：兼顾经济、社会、环境效益，可帮助企业提升发电效率、降低安全风险、践行国家战略。

(四) 行业引领：推动水电行业数字化、国产化转型，为构建安全可控的能源信息体系提供实践经验。

## 火电厂机组 NO<sub>x</sub> 实时监控与智能预测系统

完成单位：华能云南滇东能源有限责任公司、华能澜沧江水电股份有限公司

主要完成人：邱华、符庭彬、刘文杰、王冬瑞、朱万炳、吴涛、肖亮、康伟、赵锦红、刘鑫鑫

**典型应用场景：**适用于火力发电厂脱硝系统运行监控，可实时采集多台机组脱硝相关数据，通过智能模型预测出口 NO<sub>x</sub> 浓度，为还原剂添加量控制提供数据支撑，尤其适用于对环保排放要求高、需精准控制运行成本的发电场景。

**内容简介：**本案例基于 Spring Boot 开发，构建机组 NO<sub>x</sub> 实时监控与智能预测系统，实现 4 台机组脱硝数据并行采集、动态模型训练、实时预测及可视化展示。通过 OPC UA 协议对接 SIS 系统获取数据，采用三种动态训练策略优化模型，精准预测 3 分钟后出口 NO<sub>x</sub> 浓度，为还原剂添加控制提供科学依据，有效平衡环保排放与运行成本，提升脱硝系统智能化水平。

### » 案例背景与目标

在电厂脱硝系统运行中，还原剂添加量控制是关键环节：添加不足会导致 NO<sub>x</sub> 排放超标，违反环保要求；添加过量则造成资源浪费，增加运行成本。同时，从还原剂添加到出口 NO<sub>x</sub> 浓度监测存在时间滞后，传统人工控制或固定参数控制模式难以精准适配工况变化。为解决这一痛点，亟需构建智能化系统实现 NO<sub>x</sub> 浓度精准预测与动态调控。本项目预期目标为：实现 4 台机组脱硝数据实时采集与存储，通过动态模型训练提升预测准确率，提前 3 分钟预测出口 NO<sub>x</sub> 浓度，为还原剂添加控制提供数据支撑，最终实现环保达标、成本优化与运行效率提升的多重目标。

### » 案例创新亮点

1. 动态模型训练体系创新：采用增量训练、移动窗口训练、保守训练三种并行策略，每小时自动训练并评估，仅部署优于现有模型版本，解决传统模型固定化、适应性差的问题。
2. 数据采集与处理优化：通过 OPC UA 协议对接 SIS 系统，实现 4 台机组 10 秒级并行数据采集，新增负荷、原烟气温度等特征，结合机组运行状态智能判断，确保数据有效性。
3. 可视化与交互体验升级：Web 界面采用现代科技感设计，并列展示 4 台机组真实值与预测值，通过折线图呈现历史趋势，30 秒自动刷新，解决传统界面数据滞后、展示单一的问题。

### » 内容介绍

#### 1. 技术方案

(1) 架构设计：系统基于 Spring Boot 2.7.18 构建，采用 "数据采集 - 模型训练 - 预测服务 - 可视化展示" 四层架构。数据层采用 H2 嵌入式数据库存储采集数据与预测结果，支持快速部署；服务层包含数据采集、模型训练、预测三大核心服务，通过 Spring Scheduling 实现定时任务；接口层提供 RESTful API 供前端调用；前端采用 HTML/CSS/

JavaScript+Chart.js 实现可视化。

(2) 数据采集：通过 OPC UA 协议对接 SIS 系统，每 10 秒并行采集 4 台机组的 A/B 侧入口 NO<sub>x</sub> 浓度、A/B 侧产品气流量、出口 NO<sub>x</sub> 浓度、负荷、原烟气温度等数据，结合负荷  $\geq 10$ 、原烟气温度  $\geq 100^{\circ}\text{C}$  等条件判断机组运行状态，仅保存运行状态下的有效数据。

(3) 模型训练：基于 apache.commons.math3 实现多元线性回归算法，构建三种训练策略：增量训练（添加最近 1 小时数据）、移动窗口训练（保留最近 72 小时数据）、保守训练（使用过去 24 小时数据），每小时自动训练并通过测试集评估，选择误差最小的模型部署。

(4) 预测服务：每 10 秒执行一次预测，利用最优模型预测 3 分钟后出口 NO<sub>x</sub> 浓度，同时提供多模型预测对比接口，支持模型效果评估。

(5) 可视化展示：Web 界面采用深色科技风设计，并列展示 4 台机组的实时数据 (A/B 侧入口 NO<sub>x</sub>、产品气流量等)、真实值与预测值对比，通过折线图呈现 30 个数据点的历史趋势，30 秒自动刷新数据。

## 2. 运营模式

系统采用“自动运行 + 定期维护”的运营模式：数据采集、模型训练、预测、界面刷新等核心流程全自动化，无需人工干预；技术人员每月进行一次系统维护，包括数据备份、模型性能检查、服务器状态监控等，确保系统稳定运行。同时建立异常预警机制，当数据采集失败或模型准确率低于阈值时，系统自动记录日志并通知维护人员。

## 3. 项目实施情况

项目分三阶段实施：第一阶段（需求分析与设计）：完成脱硝系统业务调研、技术方案设计及架构搭建，明确数据采集指标与模型训练规则；第二阶段（开发与测试）：实现数据采集接口开发、模型训练算法编码、Web 界面开发，在测试环境完成功能测试与性能优化，确保数据采集延迟  $\leq 1$  秒，模型预测准确率  $\geq 65\%$ ；第三阶段（部署与上线）：在电厂生产环境部署系统，对接真实 SIS 系统，完成 4 台机组数据适配与模型初始化，上线后持续监控运行状态，根据实际运行数据优化模型参数。目前系统已稳定运行 1 个月。

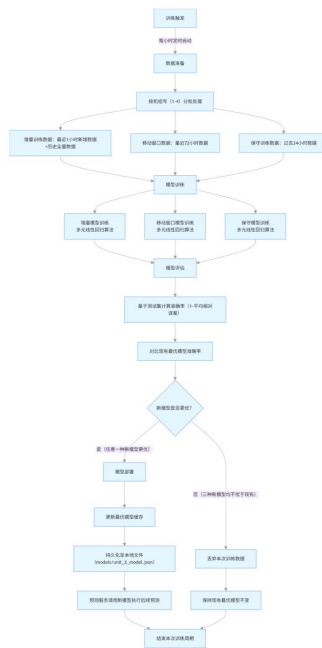


图 1 模型训练流程

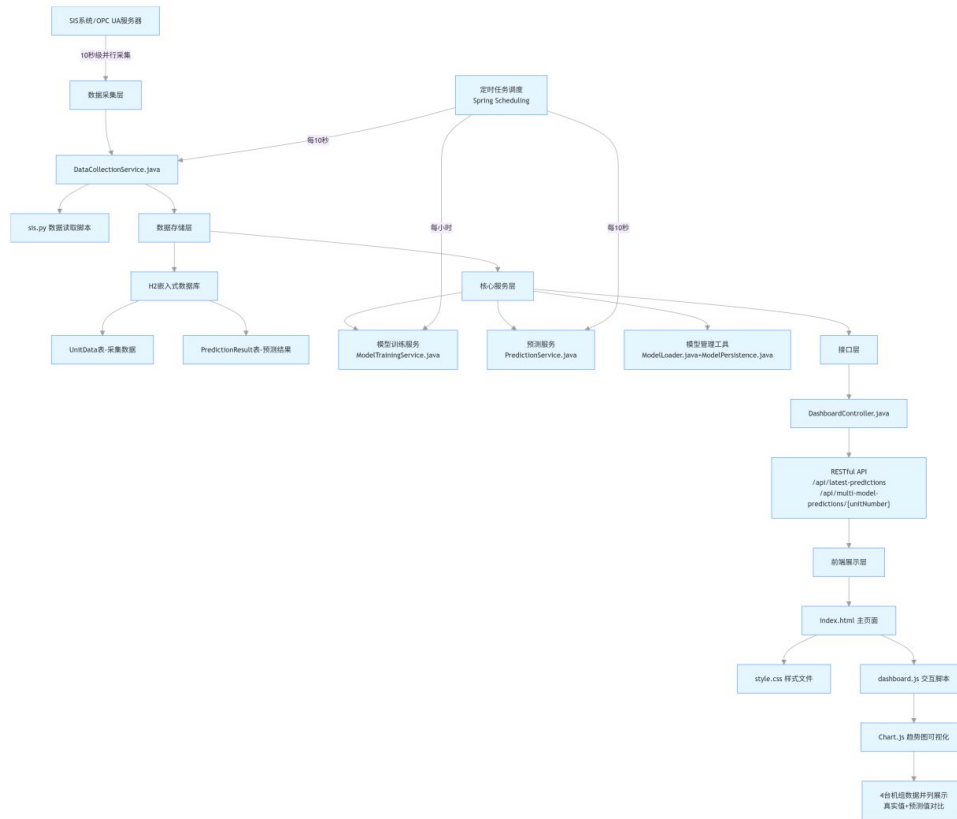


图 2 系统架构图

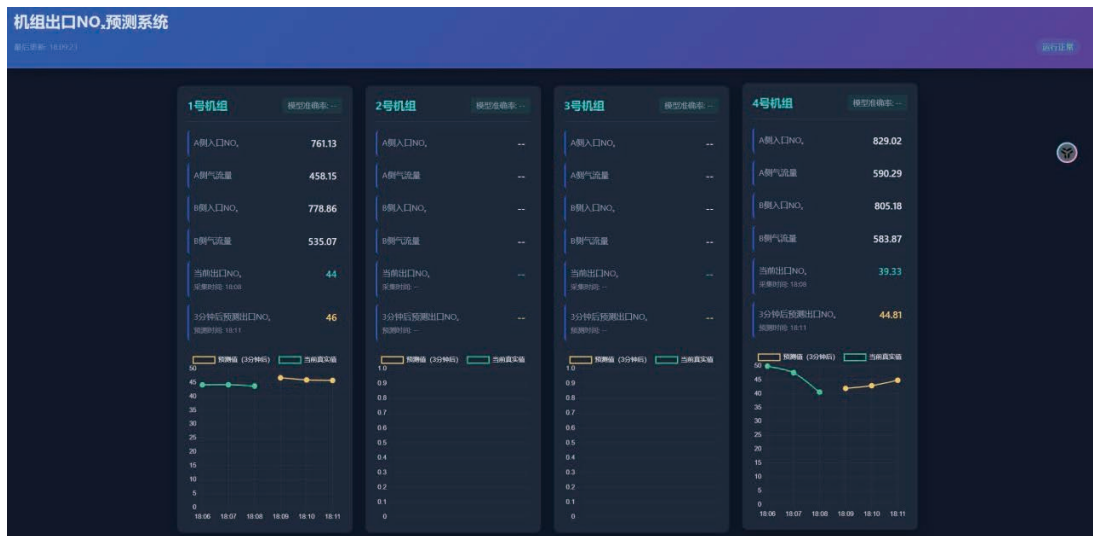


图 3 网站截图

## » 成果与效益情况

### 1. 实际运营情况

系统上线后长期稳定运行，数据采集成功率保持在较高水平，模型预测准确率处于较高区间，Web 界面响应迅速，无卡顿或数据延迟问题。4 台机组的脱硝系统运行状态均通过系统实现全流程可视化监控，操作人员可实时掌握出口 NO<sub>x</sub> 真实值与预测值动态变化，为还原剂添加调整提供了科学精准的决策依据，有效支撑脱硝工艺优化。

### 2. 经济效益

通过精准预测与还原剂用量动态优化，显著降低了还原剂浪费，单台机组月度还原剂损耗量大幅减少，4 台机组全年节约运行成本显著。同时，系统自动化运行模式大幅减少了人工监控与手动调整的工作量，运维人员人均每月节省大量重复劳动时间，整体运营效率明显提升。此外，通过提前预判 NO<sub>x</sub> 排放趋势，有效规避了因排放超标导致的环保罚款风险，间接降低了合规成本。

### 3. 社会效益

项目率先实现火力发电行业脱硝系统的智能化升级改造，形成了一套“数据采集 - 模型训练 - 预测调控 - 可视化展示”的全流程解决方案，为行业内同类项目提供了可复制、可推广的技术参考。系统的成功应用推动电厂脱硝管理从“经验驱动”向“数据驱动”转型，显著提升了电厂智能化管理水平，助力能源行业数字化转型进程，同时增强了企业在环保与节能领域的示范引领作用，树立了绿色低碳的良好行业形象。

### 4. 环境效益

通过精准控制还原剂添加量，有效降低了 NO<sub>x</sub> 排放浓度，4 台机组 NO<sub>x</sub> 排放量实现明显下降，大幅减少了对大气环境的污染影响。同时，还原剂使用效率显著提升，减少了资源消耗与废弃物产生，完全契合绿色低碳发展理念，为电力行业实现“双碳”目标提供了切实可行的实践路径，贡献了积极力量。

## » 推广价值

本案例具有显著的行业推广价值：技术层面，系统基于成熟的 Spring Boot 框架与开源组件开发，技术架构简洁、可扩展性强，适配不同规模电厂的脱硝系统改造需求，三种动态模型训练策略可根据实际工况灵活调整；应用层面，解决了电厂脱硝系统还原剂浪费、排放超标、人工依赖度高等共性问题，其“数据采集 - 模型训练 - 预测 - 可视化”的全流程解决方案可直接复制到其他火力发电厂；政策层面，符合国家环保减排与能源数字化转型的发展方向，响应“双碳”目标要求，推广应用后可有效提升行业整体环保与节能水平，具有广泛的应用前景与社会价值。

完成单位：北京瑞科同创科技股份有限公司、北京爱特瑞科软件开发有限责任公司

主要完成人：宋军、袁宗涛、凌超、李家琳、张硕

### » 典型应用场景

1. 新能源电站投资评估：为风、光伏电站选址提供资源数据支撑，包括风速、辐射量、海拔等核心指标分析。
2. 电站开发规划：通过三维设计、站点管理功能，实现项目区域规划与资源统筹。
3. 运维优化：为已有电站提供资源变化分析、发电量优化计算，支撑改造决策。
4. 跨行业应用：覆盖能源电力、工程机械、军工装备、工业生产等领域，适配多场景风光资源数据需求。

### » 内容简介

Solarwind 风光资源在线查询分析平台是北京爱特瑞科软件开发有限责任公司自研的全流程新能源数据服务平台，集风光资源查询、数据分析、发电量计算、经济评价、三维设计、API 接口服务于一体，基于高精度底层数据库与 GIS 技术，实现风光资源全场景数字化管理，为新能源项目全生命周期提供数据支撑。

## 19

## 安全隔离数据拷贝智能终端

**完成单位：**中国长江电力股份有限公司溪洛渡电厂、重庆浩顿信息技术有限公司

**主要完成人：**黄福强、屈文锋、杨海、张攀、毛彦军

**典型应用场景：**适用于电力系统不同安全等级网络间间歇性、小批量、非标准数据摆渡场景，如故障报文调用、定值数据传输、运维文件交换等；可拓展至政务、金融、军队等关键领域涉密数据安全传输场景。解决网络安全领域人工作业场景最后一公里监管难题，有效防止社会工程学攻击。

**内容简介：**本案例由溪洛渡水力发电厂联合重庆浩顿信息技术有限公司研发，突破光隔离单向传输、三重物理隔离等核心技术，打造国产化率超 98.6% 的安全隔离数据拷贝智能终端。创新整合“多因素认证 - 实时病毒查杀 - 合规校验 - 端到端加密 - 日志审计”全链条功能，无需人工干预即可完成安全摆渡，既解决了传统人工刻盘“操作繁琐、效率低下、易误操作”的痛点，又杜绝了人工台账带来的人为安全风险，填补了国内数据跨网安全摆渡“自动化、智能化、一体化、一站式”的技术空白。数据传输速度达 600Mbps，效率较传统方式提升 50% 以上，单次摆渡耗时从 1 小时缩短至 10 分钟内。装备解决了传统数据摆渡“安全与效率失衡”难题，在电厂实际应用中实现数据摆渡效率提升 50% 以上，年节约运维费用超 20 万元，为电力行业及关键领域数据安全传输提供了可复制、可推广的创新方案。

## » 案例背景与目标

在“西电东送”国家战略背景下，溪洛渡水力发电厂作为长江电力骨干电厂，面临电力运维中涉密数据传输的安全与效率双重挑战。传统数据摆渡方式存在人工刻盘效率低、隔离网闸成本高、进口设备存在安全后门等问题，无法满足关键领域自主可控与非组网场景需求。为响应长江电力数字化转型与网络安全建设战略，解决电力系统数据传输“安全与效率失衡”“合规与成本冲突”的共性痛点，溪洛渡电厂联合重庆浩顿信息技术有限公司启动本项目。预期目标为研发一款具备物理隔离、国产化适配、全流程安全防护的智能终端，实现数据摆渡效率提升 50% 以上，年节约运维费用超 20 万元，形成自主知识产权与可推广的技术方案，填补非组网模式下小批量数据安全摆渡的技术空白。

## » 案例创新亮点

1. 防护架构创新，破解被动隔离困境：摒弃同类产品单纯依赖物理隔离的被动模式，首创“堵疏结合、智能引导”的主动防护架构，通过“光隔离网闸 + 双独立麒麟系统 + 存储权限管控”三重物理隔离为基础，联动数智化认证与安全校验机制，既彻底杜绝逆向传输与数据泄露风险（安全合规率 100%），又解决传统隔离设备“防护单一、响应滞后”的短板，构建本质安全屏障。

2. 国产化深度集成，适配自主可控需求：硬件国产化率 100%，深度集成飞腾处理器、国产密码卡、麒麟嵌入式系统等核心组件，软件层面全面适配国密 SM4 加密算法、Clamav 国产病毒库，完全摆脱进口依赖，满足关键领域自主可控战略要求，同时通过商用密码产品认证与多项国家标准测试，技术成熟度高。

3. 全流程智能联动，填补技术空白：创新整合“多因素认证 - 实时病毒查杀 - 合规校验 - 端到端加密 - 日志审计”全

链条功能，无需人工干预即可完成安全摆渡，既解决了传统人工刻盘“操作繁琐、效率低下、易误操作”的痛点，又杜绝了人工台账带来的人为安全风险，填补了国内数据跨网安全摆渡“自动化、智能化、一体化、一站式”的技术空白。数据传输速度达 600Mbps，效率较传统方式提升 50% 以上，单次摆渡耗时从 1 小时缩短至 10 分钟内。

4. 场景化精准适配，降低应用门槛：针对非组网场景专项优化，支持千兆网口、USB 双接口灵活连接，无需搭建复杂组网系统，硬件与运维成本较传统隔离网闸降低 90%；便携式触控设计适配现场运维需求，可精准覆盖故障报文调用、定值备份比对、涉密数据存储等多场景，解决了同类产品“适配性差、操作复杂、成本高昂”的行业痛点。

5. 技术路线唯一创新，工程验证充分：以“智能引导式隔离防护”为核心的技术路线与应用模式具备唯一性，已在溪洛渡水电站完成长期示范应用，实现零泄密、零病毒植入，年节约运维费用超 20 万元，通过行业专家鉴定（总体达到国内先进水平），具备产业化推广条件，可有效破解关键领域数据摆渡“安全与效率失衡”“合规与成本冲突”的共性难题。

### » 内容介绍

#### （一）技术方案

本项目构建“硬件隔离 + 软件防护 + 国产化适配”的全链条技术体系。硬件层面采用光隔离单向传输技术，实现输入存储器“只写”、输出存储器“只读”的物理隔离设计，搭配双独立麒麟系统分时运行，从底层阻断数据泄露风险；集成国产飞腾腾珑 E2000Q 处理器、国密合规密码卡，核心零部件均为国内知名品牌，硬件国产化率达 98.6%。软件层面开发一体化安全防护模块，集成国密 SM4 加密算法、Clamav 病毒查杀、多因素认证功能，实现数据传输全流程加密与安全检测；配套开发客户端与管理后台，支持断点续传、日志审计等功能，满足运维管理合规要求。

#### （二）运营模式

采用“用户需求导向 + 联合研发 + 场景验证 + 产业化推广”的创新模式。溪洛渡电厂基于自身运维痛点提出需求，提供应用场景与实践验证支持；重庆浩顿信息技术有限公司发挥技术优势，负责方案设计、软硬件开发与产业化落地；双方建立“研发 - 测试 - 优化”闭环机制，通过电厂实际运维场景持续迭代产品，确保装备适配性与稳定性。

#### （三）项目实施情况

项目于 2023 年 3 月启动，2023 年 3-4 月完成总体方案设计与专利布局；2023 年 5-9 月完成软硬件开发与硬件样机试制；2023 年 10-12 月通过商用密码产品认证及系列国家标准测试；2024 年 1-8 月在溪洛渡电厂开展示范应用，完成多场景适配优化；2024 年 9-12 月完成成果鉴定与产业化筹备，目前已具备年产能 500 台的产业化条件。装备在电厂实际应用中运行稳定，未出现安全漏洞与故障问题，完全满足运维工作需求。

### » 成果与效益情况

#### （一）经济效益

##### 1. 直接经济效益

(1) 知识产权收益：通过专利许可实现直接收益 50 万元，净利润分成比例达 50%；

(2) 产业化收益：项目已形成成熟产业化能力，规划年产能 500 台，预计年销售收入超 2000 万元；未来 3 年市场规模有望突破万台，乐观估计销售额可破亿元；

(3) 行业规模效益：装备在溪洛渡电厂应用后，数据摆渡效率提升 50% 以上，单次传输耗时从 1 小时缩短至 10 分钟内，年节约运维费用超 20 万元；按行业推广 100 台计算，可带动全行业年节约成本超 3000 万元，同时拉动国产处理器、密

码卡等上下游产业链协同发展，经济价值显著。

## 2. 间接经济效益

(1) 人工成本节约：单次数据摆渡作业可节约人工成本 200 元，溪洛渡电厂全厂年度数据摆渡作业预计 1000 次，年节约成本 10 万元；按行业推广场景测算，将进一步放大人工效率提升带来的成本优化空间。

(2) 网安隐性成本节约：有效减少数据泄露导致的罚款、声誉损失等隐性支出，按行业平均数据泄露成本核算，单客户年均节约相关成本 10 万元，显著降低关键领域运营风险。

## (二) 社会效益

1. 技术创新价值：突破光隔离单向传输、三重物理隔离等核心技术，获授权实用新型专利 1 件、受理发明专利 4 件，构建完整自主技术体系，填补非组网模式下小批量、间歇性数据安全摆渡的技术空白，推动数据安全领域从“被动防护”向“本质安全”转型；

2. 自主可控价值：装备硬件国产化率超 98.6%，完全适配国产软硬件生态，打破进口设备依赖，降低关键领域数据传输的安全后门风险；

3. 行业支撑价值：为电力、政务、军队等关键行业提供自主可控的安全数据传输解决方案，助力网络安全自主可控国家战略落地实施，提升我国关键领域数据安全保障能力。

## (三) 环境效益

1. 流程节能：通过数字化智能化手段优化运维流程，减少人工干预与纸质文件使用，间接降低能源消耗与碳排放，契合智慧发电绿色转型趋势；

2. 设备节能：采用模块化设计与节能元器件，运行功耗较传统设备降低 30% 以上，严格遵循绿色低碳发展理念，为行业低碳化升级提供实用支撑。

## » 推广价值

本案例研发的安全隔离数据拷贝智能终端，既解决了电力系统数据传输的安全与效率痛点，又形成了“国产化适配 + 轻量化设计 + 全流程防护”的创新模式，具备三大推广价值：一是技术可复制，核心技术已形成完整体系，可快速适配不同行业数据安全传输需求；二是应用成本低，无需复杂组网，较传统方案成本降低 60%，中小企业与基层单位易落地；三是政策契合度高，完全符合关键领域自主可控、网络安全建设等国家战略，推广前景广阔。目前已在溪洛渡电厂验证成熟，可优先在长江电力旗下电站及电力行业推广，后续逐步拓展至政务、金融、军队等关键领域，市场需求潜力巨大。

20

## 炉膛燃烧及水动力可视化实时仿真技术研究与应用

完成单位：博努力（北京）仿真技术有限公司、重庆大学

主要完成人：王廷举、高学伟、冯孟超、郑晓杰、苟小龙、王国强、沈永凤、贾子晗

**典型应用场景：**本项目针对超临界燃煤机组在深度调峰中面临的燃烧不稳定、温度偏差大、结焦积灰等问题，融合声波测温技术与炉膛燃烧反应流数字孪生技术，构建锅炉三维温度场实时监测与仿真系统。通过机理模型与数据驱动融合，实现炉内燃烧状态的可视化、预警与操作指导，提升机组运行的安全性、经济性与环保性。

**内容简介：**本项目针对超超临界燃煤机组在深度调峰中面临的燃烧不稳定、温度偏差大、结焦积灰等问题，融合声波测温技术与炉膛燃烧反应流数字孪生技术，构建锅炉三维温度场实时监测与仿真系统。通过机理模型与数据驱动融合，实现炉内燃烧状态的可视化、预警与操作指导，提升机组运行的安全性、经济性与环保性。

### 案例背景与目标

**背景：**随着新能源并网比例提高，火电机组需频繁参与深度调峰，导致锅炉燃烧稳定性下降、两侧汽温烟温偏差大、结焦积灰加剧等问题，严重影响机组安全与经济运行。传统测温手段难以实现全炉膛三维温度场实时监测，制约了燃烧优化与故障预警能力。

**目标：**构建基于数字孪生的锅与炉实时仿真系统，实现炉内三维温度场 $\leq 5s$ 刷新、测温误差 $\leq 15^{\circ}C$ 的实时监测；开发燃烧预警与优化指导平台，提升机组调峰能力、降低煤耗与排放，为智慧电厂建设提供关键技术支撑。

### 案例创新亮点

1. 技术融合创新：首次将声波测温与 CFD 精细模型、数据驱动算法相结合，实现高精度、高时空分辨率的炉膛三维温度场在线重建。
2. 模型自演进能力：研发动态数字孪生模型在线自修正技术，实现模型随运行工况自适应调整，保持长期准确性。
3. 全流程可视化与智能预警：实现从炉内燃烧到汽水系统的全三维可视化监控，具备温度异常、结焦、积灰等智能预警与操作建议功能。
4. 产学研用协同：企业、高校、技术公司联合攻关，形成可复制推广的智慧锅炉解决方案。

### 内容介绍

#### 技术方案：

项目采用机理建模+数据驱动+实时仿真”一体化技术路线。通过声波测温系统布设 12 条声学路径，结合 DCS/SIS 数据，构建锅炉燃烧与汽水系统数字孪生模型。利用 CFD 模拟典型工况，训练轻量化实时模型，实现炉内温度、流场、浓度场的三维动态重建。

**实施情况：**

项目分为四个专题：

- (1) 机组数据采集与处理：开发 OPC 接口与高性能数据库，实现多源数据融合与预处理。
- (2) 数字孪生模型构建：建立炉内燃烧与锅内水动力实时模型，具备在线自演进能力。
- (3) 温度场实时呈现：开发三维可视化平台，支持炉内断面温度、热负荷、结焦区域等的动态展示。
- (4) 预警与指导平台：基于温度场与运行数据，实现异常报警与燃烧优化建议。

**运营模式：**

东方电气集团东方锅炉股份有限公司作为应用主体与投资方，重庆大学、博努力（北京）仿真技术有限公司负责关键技术研发与系统集成，博努力公司提供仿真技术支持，形成“企业主导、院校研发、技术协作”的协同创新模式。

**» 成果与效益情况****经济效益：**

- (1) 预计降低供电煤耗 1.5~2.5g/kWh，年节约燃煤成本约 200 万元。
- (2) 减少非计划停机，提升设备可靠性，延长检修周期。
- (3) 通过参与深度调峰，增加高电价时段发电收益。

**环保效益：**

- (1) 优化燃烧降低 NO<sub>x</sub> 生成，减少尿素消耗，年节约脱硝成本约 50 万元。
- (2) 降低 CO<sub>2</sub> 排放，为碳交易提供支撑。

**社会与行业效益：**

- (1) 推动火电行业数字孪生技术规模化应用，提升行业智能化水平。
- (2) 形成可复制推广的技术方案，助力集团内外电厂改造升级。
- (3) 培养一批复合型仿真与运维人才，促进行业技术进步。

**» 推广价值**

本项目技术成熟度高、实用性强，适用于各类燃煤机组锅炉系统，尤其在参与深度调峰、负荷频繁波动的机组中效益显著。成果可在全国火电机组上快速推广，并拓展至钢铁、化工等领域的工业炉窑监测与优化，具有广泛的行业应用前景。

21

## 基于 GIS 与人工智能的大型水库智慧化管理平台建设与运用

完成单位：华能澜沧江水电股份有限公司糯扎渡水电厂

主要完成人：陈晓璇、魏佩佩、孔明、苏武华、姚元龙、金涛、杨玉军、陈中阳、陈猛

**典型应用场景：**围绕防洪度汛标准化管理视角，瞄准水电科技前沿，充分利用大数据、人工智能、物联网等先进信息技术，构建基于全国产化安全可信架构，服务于防洪度汛日常管理、异常预警、风险评估、应急指挥调度等业务，切实解决防洪度汛管理中存在的痛点与难点的大型水库智慧化管理平台，从而进一步提升防洪度汛管理水平，推动传统防洪度汛管理模式革新，引领电厂向世界一流水电厂目标迈进。

**内容简介：**大型水库智慧化管理平台是一套服务于防洪度汛管理工作，基于软硬件全国产化的安全架构，集数据采集系统为基础、通信系统为保障、计算机网络系统为依托、决策支持系统为核心的管理平台。主要由监测管理系统、业务管理系统、无人机管控系统和运维管理一张图四大核心模块组成。

### » 案例背景与目标

糯扎渡电厂作为澜沧江 - 湄公河国际大河上的重要工程，防洪度汛安全一直是电厂安全管理的重点。然而防汛工作专业多、范围广、点多且分散、信息量大。传统的防汛管理方式由于数据集成和共享能力的欠缺，未形成系统性的智能化预警及应急处置手段。当下，随着各新兴技术的快速发展，探索和研究云计算、物联网、大数据、人工智能、区块链等信息技术在防汛业务领域的研发和应用，全面提升防汛业务领域数据采集、管理和综合利用水平，为水电厂防汛管理工作提供了新的思路和方法。

### » 案例创新亮点

1. 建立全端即时防汛预警体系，实现多源异构数据实时交互与管理的一体化集成业务管理平台。
2. 构建基于智能识别与 GIS 可视化的防汛物资全生命周期智慧管理体系。
3. 设计基于角色权限与人员动态的防汛值班智能编排及全流程信息化管理体系。
4. AI 识别引领人工智能技术在水利行业的深度应用。
5. 远程无人机自主巡航路径规划及分布式巡检控制技术运用。
6. 标准化应急处置流程为水利行业应急管理之典范。
7. 基于前沿理论的高效运维革新制定缺陷闭环处理机制。
8. 构建高效协同的多系统联动设备状态监测体系。
9. 制定自适应智能阈值动态调整策略。
10. 全国产化安全可信架构体系搭建。

## » 内容介绍

### 1. 主要技术原理和内容

构建一套服务于防洪度汛管理工作，基于软硬件全国产化的安全架构，集数据采集系统为基础、通信系统为保障、计算机网络系统为依托、决策支持系统为核心的大型水库智慧化管理平台。平台采用多层架构的 B/S 结构，瀑布型生命周期模型开发。

SCADA 层：在枢纽区各防汛重点处针对性布设不同的监测设备和视频监控系统，每个安装点位上都配有 RTU 数据采集设备、DTU 数据传输设备、太阳能电源供电，通过物联网传感器网络实现对数据的实时采集。

数据层：现场监测终端设备都具有独立的 IP 地址，内插物联网卡，将采集到的数据通过电厂 5G 专网传输到以太网中的数据处理中心，实现实时、高清的视频传输和海量数据的快速交互。

支撑层：利用数据库的基础数据，基于 AI 机器学习、深度学习、自然语言处理等领域算法和模型训练，对采集到的数据进行智能分析和处理，提取有价值的信息，识别防汛风险和预测未来防汛形势。

应用层：将处理结果在三维 GIS 的可视化界面进行展示，同时围绕防汛业务分别建设监测管理子系统、业务管理子系统、无人机管控系统，并配套提供图形报表导出和打印、用户角色分配和权限管理、公网通信等通用服务。在系统功能流程化、配置灵活性、接口标准化等方面做了大量的优化整改，各模块功能既相互独立，又相互联系，共同构成一个有机整体。同时，重视与其他已建、在建和拟建系统的对接和集成，避免后期系统的二次调整和实施，很好地实现了数据同源、信息共享、业务流畅的建设目标，避免信息孤岛。

用户层：根据不同用户的分配权限，登录 web 端和移动端即可获取对应的功能模块和操作界面，可实现广泛的防汛综合信息搜集、整合和展示，为用户提供高质量的服务体验。

### 2. 实施效果

采用平台开展防汛业务日常工作，极大提高了日常业务管理效率，有效节约了车辆磨损、油料费、物资积压与浪费、人工成本。

平台多个功能的应用，加强了对小、偏、散的防汛区域进行监测监控以及异常信息的分析、研判，在 2024 年台风“摩羯”、2025 年台风“桦加沙”过境、8 次暴雨预警等多个重要时段发挥重要作用，避免潜在经济损失。

平台建成使用后运行安全稳定，未曾发生失密、泄密事件，助推电厂防洪度汛管理工作完成标准化创建，并被选为示范试点，在流域电厂内进行可复制化的创新成果推广。本成果已经中国水力发电工程学会专家组评价及鉴定。且在被认定澜沧江公司首家一流电厂的指标对标中主要防汛设备、设施完好率评价为 100%。

## » 成果与效益情况

1. 赋能日常管理模式蜕变：电厂采用平台记录防汛巡检消缺情况、管理防汛物资、开展汛期值班、完成复杂地形区域无人机远程巡检等日常工作，极大提高了日常业务管理效率。通过无人机巡检有效节约了车辆磨损、油料费及人工成本，巡检效率大幅提升。5G 网络使防汛数据的采集和传输效率更加便捷、便宜，减少光纤铺设的施工量和维护成本。分析和识别物资数据，挖掘物资配备和分布的合理性，更加合理安排物资采购储备，间接降低物资管理成本。

2. 助力应急管理能力进阶：平台具备的 AI 智能视觉分析与异常识别功能、多系统设备状态协同监测与告警联动功能、标准化应急处置流程响应功能、多源异构数据实时交互与管理功能的应用，加强了对小、偏、散的防汛区域进行监测监

控以及异常信息的分析、研判。在台风“摩羯”过境、7 次暴雨预警等多个重要时段提前发现防汛风险隐患，启动相应应急处置的标准化工作流程，实现紧急情况下的智慧预警及应急处置，保障周边公共群体安全度汛。

3. 驱动引领一流效能显著：平台建成使用后运行安全稳定，未曾发生失密、泄密事件，助推电厂防洪度汛管理工作完成标准化创建。并被澜沧江公司选为示范试点，在流域电厂内进行可复制化的创新成果推广。平台作为智慧电厂建设的一部分经中国水力发电工程学会专家组评价及鉴定“已基本达到中级智慧水电厂技术水平”。在认定澜沧江公司首家一流电厂的指标对标中主要防汛设备、设施完好率评价为 100%，展现出卓越的管理成效和运维水平。

### » 推广价值

该项研究成果受理发明专利 3 项，撰写学术论文 2 篇。成果兼具创新性、先进性和应用性，实现了技术和管理的深度结合，从数字化到智慧化的跨越，推动防洪度汛管理从“人防”到“技防”，从“多人”到“少人”，从“被动发现”到“主动防御”的创新变革，为相关行业提供了可借鉴的工程实践示范案例，成为可借鉴、可复制的标杆，引领防洪度汛管理向智能化、标准化方向迈进。

22

## 生产智能分析应用平台

**完成单位：**华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电厂

**主要完成人：**吴威、胥亚峰、龚登位、韦德筠、丁文华、邢志江、周喜、刘辉、张坤、胡希光

**典型应用场景：**水力发电厂生产系统工业互联及智能诊断预警

**内容简介：**本案例为传统电厂生产系统信息烟囱、无法服务生产活动问题，将各生产分析系统进行整合，在此基础上，由一线运行人员将生产经验、信息系统需求等进行融合、程序化，形成了一批服务与生产、减轻运维人员重复劳动的智能运用，使电厂生产分析向信息化、智能化迈出了重要一大步。

### » 案例背景与目标

随着科技的发展及对水力发电技术的不断探索，水力发电厂以分析主辅设备运行状态的信息系统建设越来越多，而各系统又是孤立的，形成了一个一个个的信息烟囱，无法与电厂业务深度融合及迭代，形成了“为建而建、建而无用、建而不用”困境。本案例对这一问题进行了探索，以达到将孤立的、海量的信息集中起来，使用与现场运维需求深度融合的算法，以改变传统的电厂运维模式，使人从重复、繁琐的巡检及数据分析中解放出来而更加关注电力生产的本质化、源头化安全。

### » 案例创新亮点

托巴电厂生产智能分析应用平台形成了平台软硬件全国产化自主可控，7类场景、31个模块及N个智能应用的“1+3+N”技术体系架构，融合计算机监控系统、保信子站、电能量系统、主变在线监测、高压电缆在线监测、励磁智能分析系统、工业电视系统、检修电源系统、蓄电池在线监测系统等10余系统，10多万个信号测点，数据类型涵盖数字、图像、波形、声纹等，可实现设备多角度、全方位的检查及分析。采用与现场运维深度融合的大数据分析算法，形成了智能报表、开停机指导、开停机过程分析、定值自学习、数据品质检测、数据关联分析、告警统计及分析、参数异化预警、设备动作统计、辅助服务免考申诉等一批服务于运、维、检的应用，将人员从重复的信息收集中解放出来，专注于数据价值的挖掘，设备健康状态的诊断。

### » 内容介绍

#### 1. 数据融合与算法创新

- 1) 数据深度融合创新：整合多个独立系统的异构数据，构建统一平台，消除信息壁垒，实现跨系统数据无缝共享。
- 2) 业务模式创新：平台专注于生产运行、维护和检修核心业务，推动运维模式变革，促进人员转向数据价值挖掘和本质安全管理。
- 3) 系统迭代创新：支持算法动态调整和优化，通过使用反馈实现持续迭代，确保平台与实际需求深度融合。

## 2. 多系统的智能巡检

- 1) 全国产化软硬件：采用银河麒麟操作系统、达梦数据库及中科曙光服务器等国产设备。
- 2) 智能分析监控：基于图像识别技术，实现热成像测温、油位 / 水位监测、仪表识别等功能。
- 3) 安全行为智能管控：整合人脸识别、安全帽 / 安全带检测等功能，联动广播系统自动语音制止不安全行为。
- 4) 紧急事件联动响应：与火灾、水灾报警系统集成，自动调用涉灾区域视频并弹窗报警。
- 5) 数据可视化与智慧巡检：接入遥测数据，叠加显示在画面；定制巡检计划，自动识别异常并生成报告。

## 3. 基于开停机过程的设备健康分析

本模块融合计算机技术与水电厂开停机流程，实现对设备健康水平的精准评估。其运用先进的计算机技术，对开停机过程中的每一个设备动作进行运行时间、状态变化、关键参数波动等分析。这种方法为设备的预防性维护、故障预测及检修策略的制定提供了科学依据。

## 4. 基于运行工况的定值学习

- 1) 平台集成与数据共享：部署超融合平台，整合安全一区监控和辅控系统数据。
- 2) 多源数据智能处理：接入 SCADA 等系统，全面采集设备运行数据与状态信号，构建数据集（正常 / 异常工况），并采用智能化筛选、清洗与归一化处理。
- 3) 动态自学习算法：构建特征矩阵预测最优定值，持续数据输入动态修正模型。
- 4) 人机协同交互机制：可视化展示定值信息，支持 PDF/Excel 导出与人工审核。

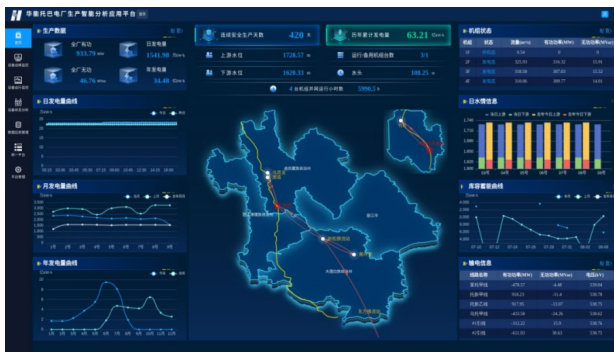


图 1 生产智能应用分析平台

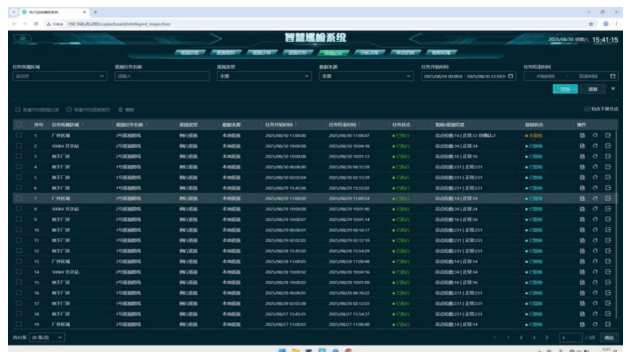


图 2 智能巡检系统



图 3 机组开停机过程分析



图 4 定值学习

## » 成果与效益情况

### 1. 多系统的数据融合

1) 提升运维管理效能：通过整合多系统孤立数据，解决了信息烟囱问题，大幅减少运维人员重复性巡检和数据收集的时间消耗，使其能专注于电力生产本质安全与源头风险防控。

2) 实现数据深度融合：平台深度融合现场需求的算法驱动数据价值挖掘，高效指导运行方式、维护及检修决策

3) 驱动智能决策：系统支持算法持续迭代优化，推动运维模式向数字化、智能化转型，实现整体管理流程的精简与升级。

### 2. 工业电视系统国产化与智能联动突破

1) 全厂国产化技术落地：基于银河麒麟系统、达梦数据库及国产服务器构建，实现核心软硬件自主可控，为关键基础设施安全奠定基础。

2) 设备智能巡检多维升级

A. 自动识别功能：集成热成像测温、仪表识别、油位 / 水位监测等，替代人工完成高危环境设备检查；

B. 安全行为管控：通过人脸识别、安全装备检测及电子围栏，实时规范作业行为，联动广播系统自动语音干预违规操作。

3) 跨系统应急联动机制：与消防、防水淹系统深度集成，遇险情自动调取监控画面、弹窗报警并解锁门禁，提升应急响应速度与人员撤离效率。

4) 数据融合与智能分析

A. 多源数据集成：通过 104 协议对接生产平台，将水位、闸门开度、设备参数等关键数据叠加至视频画面，实现“图像 + 数据”一体化监控；

B. 智慧巡检闭环：定制化巡检计划结合 AI 图像识别，自动生成可视化报告，持续优化算法以减少人工依赖。

### 3. 综合管理效益与战略价值

1) 运维模式转型：自动化替代重复性人工操作，释放人力资源聚焦高价值任务；

2) 安全体系强化：构建“智能识别 - 实时告警 - 主动干预”的全链条安防体系；

3) 国产化示范效应：验证国产技术在高要求工业场景的可靠性，推动行业自主创新；

4) 智慧化生态构建：为电厂设备管理、安全管控、应急响应提供统一智能平台，奠定“无人值守、少人巡检”的智慧运维基础。

## » 推广价值

托巴电厂智能分析应用平台构建了“感知 - 分析 - 决策 - 执行”的智能化运维闭环体系，其典型经验体现三大核心范式：国产化替代与创新融合（硬件自主 + 算法创新）、数据驱动决策升维（从经验判断到模型预测）、系统协同价值倍增（打破子系统壁垒释放联动效能）。成果可在水电行业及有定值整定需求的各类企业中推广和应用，助力企业设备运维精细化水平及智能化水平，进一步助力企业智慧化转型。

## 中关村智能电力产业技术联盟 智慧发电专业委员会

---

联系人：周璐

电话：17363927891

传真：010-63337011

网址：[www.eptc.org.cn](http://www.eptc.org.cn)

邮箱：[zhoul@eptc.org.cn](mailto:zhoul@eptc.org.cn)

总部地址：北京市西城区广安门外大街168号朗琴国际B座1512室

深圳办公室：深圳市南山区粤海街道兰芷二路66号阳光金融大厦309

广州办公室：广东省广州市黄浦区光道中路11号运升科学园B2栋3A03C