# 2026
# 能源工业互联网
# 案例集

中国工业互联网研究院

能源工业互联网联合创新中心

2026 年 11 月

# 声　明

本案例集所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见；相关序号仅为案例索引号，不涉及任何排名。本案例中所有材料或内容的知识产权归能源工业互联网联合创新中心相关企业所有（注明是引自其他方面的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本中心并获得案例提供单位授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将案例集的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本中心将追究其相关法律责任。

能源工业互联网联合创新中心

邮箱：iceii@china-aii.com

**特别鸣谢：**

工业和信息化部信息通信管理局、信息技术发展司

国务院国有资产监督管理委员会办公厅

国家能源局能源节约和科技装备司

**牵头编制单位：**

中国工业互联网研究院

能源工业互联网联合创新中心

**参与编写单位：（按首字母排序）**

安徽长江液化天然气有限责任公司、安徽智碳能源有限公司、安科瑞电气股份有限公司、北京京东数智工业科技有限公司、北京神州绿盟科技有限公司、北京亚控科技发展有限公司、长扬科技（北京）股份有限公司、烽台科技（北京）有限公司、福建水口发电集团有限公司、广西电网有限责任公司防城港供电局、国家石油天然气管网集团液化天然气有限公司、国能大渡河流域水电开发有限公司、国能大渡河流域水电开发有限公司龚嘴水力发电总厂、国能神东煤炭有限责任公司、国网福建省电力有限公司营销服务中心、国网福州供电公司、国网湖南省电力有限公司信息通信分公司、国网信息通信产业集团、海光信息技术股份有限公司、海南电网有限责任公司建设分公司、憨猴科技集团有限公司、华溯科技（北京）有限公司、江苏量为石科技股份有限公司、江行智能（贵州）科技股份有限公司、朗坤智慧科技股份有

限公司、羚羊工业互联网股份有限公司、南方电网电算科技数字工程（广东）有限公司、南方电网数字电网集团（广东）有限公司、南方电网数字电网科技（广东）有限公司、南方电网数字电网研究院股份有限公司、山东浪潮数据库技术有限公司、上海电气集团数字科技有限公司、陕西西煤信息科技股份有限公司、陕西榆林能源集团杨伙盘煤电有限公司、深圳鹏锐信息技术股份有限公司、太极计算机股份有限公司、远光软件股份有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司曲靖局、中科开创（广州）智能科技发展有限公司、涿溪（山西）工业互联网科技有限公司

**牵头单位编写成员：**

尚舵、石佳磊、张宇熙、耿介坦、孙黎、陈天然、张斌艳、聂光涛、巫金凯

# 前　言

2026 年，人工智能正从单点工具演变为重塑产业底层逻辑的系统性力量。对制造业而言，这一年的关键词是“深度融合”：大模型开始真正嵌入生产调度、工艺优化与质量管控的核心环节，工业互联网则从连接与可视化，走向以智能体为节点的自主决策与协同。政府顶层设计对这一趋势的回应清晰而密集。2026 年政府工作报告首次提出“智能经济新形态”，明确深化拓展“人工智能+”，工信部等八部门随后印发《“人工智能+制造”专项行动实施意见》，提出到 2027 年推动 3 至 5 个通用大模型在制造业深度应用、推广 500 个典型应用场景。与此同时，《工业互联网和人工智能融合赋能行动方案》设定了到 2028 年推动不少于 5 万家企业实施“人工智能+工业互联网”升级改造的目标，将融合赋能从概念推向规模化落地。在能源领域，国家能源局发布首批 51 个“人工智能+”能源高价值场景，覆盖电网调度、新能源功率预测、虚拟电厂等关键环节，推动人工智能与能源从试点探索走向体系化推进。这一系列政策信号表明，人工智能与制造、工业互联网、能源的交汇，已不再是技术选项，而是产业升级的必由之路。

政策导向落到产业层面，首先表现为新场景的持续培育与新技术的加快变革。在能源行业，智能化应用正由状态监测、巡检识别等环节，向运行优化、协同调度等生产环节延伸；技术支撑也由单点工具转向平台化、体系化能力，数据治理、模型能力与算力底座同步完善。

按能源品种与业务链条梳理，这些实践分布在电网智能调控、新能源高效消纳、火电清洁转型、水电智慧运营、煤炭智能开采、油气全链优化、能源装备智造、能源创新业态八个方向，共同构成覆盖源、网、荷、储、用全环节的应用图谱。场景为技术提供验证场域，技术又不断拓展场景的边界，能源行业的智能化能力正在这一互动中积累、沉淀并向同类场景迁移。

本案例集在有关部门指导下，由中国工业互联网研究院依托能源工业互联网联合创新中心牵头编制。案例征集工作于 2026 年 1 月启动，得到能源企业、工业互联网企业与人工智能企业的广泛响应，近 60 家企业参与；经专家评审遴选，最终确定 45 个案例编纂成册。作为连续第 7 年推出的年度案例集，延续以真实工程实践记录产业进展的定位，得到各参编单位在案例撰写、数据核验与技术表述方面的大力支持。下一步，联合创新中心将持续开展年度案例征集与遴选，围绕高价值应用场景组织案例复盘与经验交流，推动优秀实践由单个企业向同类场景迁移；同时加强案例成果与标准制定、人才培育等工作的衔接，发挥产业生命共同体的纽带作用，与行业一道为新型能源体系建设积累可查、可用、可推广的实践样本。

能源工业互联网联合创新中心

2026 年 11 月

# 2026 年度优秀案例

1. **“夸父”新能源高精度功率预测系统**

——南方电网数字电网研究院股份有限公司

2. **基于工业智能的炼化装置能效协同优化平台**

——太极计算机股份有限公司

3. **面向西电东送电网主网架的多源异构数据融合与运行态势智能感知体系建设实践**

——中国南方电网有限责任公司超高压输电公司曲靖局

4. **服务于新型电力经营主体的浪潮能源互联网平台**

——山东浪潮数据库技术有限公司

5. **闽江 AI 洪水预报及水情智能调度解决方案**

——福建水口发电集团有限公司

6. **大模型驱动智算体系在智慧电网企业建设中的应用**

——国网湖南省电力有限公司信息通信分公司

7. **AI 赋能能源装备全生命周期预测性维护与智能安全管控**

——华溯科技（北京）有限公司

8. **基于工业互联网的 ICS+IMS 双平台煤电智慧化运营**

——陕西榆林能源集团杨伙盘煤电有限公司

9. **神东煤炭钢丝绳巡检机器人研制**

——国能神东煤炭有限责任公司

10. **AI+工业互联网打造分布式光伏数智运维“五网融通”新模式**

——北京京东数智工业科技有限公司

# 目录 CONTENT

第一章 电网智能调控 ..... 2
案例 1：面向西电东送电网主网架的多源异构数据融合与运行态势智能感知体系建设实践 ..... 3
案例 2：大模型驱动智算体系在智慧电网企业建设中的应用 ..... 11
案例 3：“智控”微电网边缘控制装置 ..... 15
案例 4：边缘算力前置与北斗全域通信赋能输电线路机载自主巡检 ..... 21
案例 5：基于供电所岗位智能体的基层单元数智化运营管理体系 ..... 26
案例 6：基于能源工业互联网的营配调一体化电费资金智能预测应用 ..... 32
案例 7：某大型供电企业电力通信全景智能运维一体化管控平台及应用 ..... 37
案例 8：面向极端灾害场景的电力应急数字化作战平台与保底通信体系 ..... 43
案例 9：面向新型电力系统的输变电设备图像智能治理与健康管理应用 ..... 47
案例 10：闽捷 AI 主动抢修指挥官 ..... 52
第二章 新能源高效消纳 ..... 57
案例 11：“夸父”新能源高精度功率预测系统 ..... 58
案例 12：AI+工业互联网打造分布式光伏数智运维“五网融通”新模式 ..... 63
案例 13：AI 辅助电力交易系统全流程智能化升级 ..... 67
案例 14：基于工业互联网的新能源智慧运营平台 ..... 71
案例 15：“发－供－用”全链条数字孪生的盐城市智慧能源大数据中心 ..... 76
案例 16：分布式光伏 AI 智能预测与全场景智慧运维消纳解决方案 ..... 80
案例 17：“云边端”协同的变电站运维 AI 履责装置 ..... 85
第三章 火电清洁转型 ..... 91
案例 18：基于工业互联网的 ICS+IMS 双平台煤电智慧化运营 ..... 92

# 目录 CONTENT

案例 19：基于数字化孪生的火力发电企业综合能源运行实时监测与能量集成优化指导系统 ..... 98
案例 20：打造火电设备全周期智能运维体系 ..... 103
案例 21：光大环保环保能源数字运营平台 ..... 107
第四章 水电智慧运营 ..... 112
案例 22：闽江 AI 洪水预报及水情智能调度解决方案 ..... 113
案例 23：基于“一脑多机”具身智能的水电站全场景智能巡检 ..... 119
案例 24：云上水电通用模型库构建关键技术研究及工程示范 ..... 125
案例 25：高心墙堆石坝渗控体系安全智能研判与辅助决策 ..... 131
第五章 煤炭智能开采 ..... 137
案例 26：神东煤炭钢丝绳巡检机器人研制 ..... 138
案例 27：西煤科技汽车智能装车系统 ..... 142
案例 28：带式输送设备预测性维护实施 ..... 147
第六章 油气全链优化 ..... 153
案例 29：基于工业智能的炼化装置能效协同优化平台 ..... 154
案例 30：亚控 KingFusion 信创版在长庆油田集团“大监控”解决方案 ..... 159
案例 31：贯通多维数据·智赋物流新章——LNG 物流平台多系统集成实践助力基层减负与全链增效 ..... 163
案例 32：LNG 接收站智能安全管控方案 ..... 169
案例 33：基于海光双芯算力的智能地震资料处理解释平台 ..... 174
案例 34：油田工业数字化资产智能运营保障平台建设与应用 ..... 178
第七章 能源装备智造 ..... 184
案例 35：AI 赋能能源装备全生命周期预测性维护与智能安全管控 ..... 185

# 目录 CONTENT

案例 36：500kV 海岛输变电工程数字化建造与智能运维技术应用 ..... 190
案例 37：基于羚羊工业互联网的设备智能运维体系建设 ..... 194
案例 38：基于 AI 原生数字孪生平台的能源装备智能研发与预测性维护 ..... 197
第八章 能源创新业态 ..... 203
案例 39：服务于新型电力经营主体的浪潮能源互联网平台 ..... 204
案例 40：电碳算协同运营系统 ..... 209
案例 41：安徽智碳长丰县下塘能源工业互联网平台 ..... 214
案例 42：面向新型电力系统的智能一体化安全检测体系构建 ..... 219
案例 43：虚拟电厂多类型灵活资源接入电网测试与评价 ..... 224
案例 44：核电设备某公司能碳管理系统 ..... 228
案例 45：基于风光储充一体化的“交能融合”智慧能源管理 ..... 232




# 电网智能调控

# 第一章 电网智能调控

电网智能调控的核心，是让庞大而复杂的电网具备“看得清、算得快、调得准”的能力。通过工业互联网贯通源网荷储各环节的数据链路，依托人工智能开展运行态势感知、负荷预测、故障研判与策略推演，调度决策正从“经验驱动”转向“数据驱动+模型驱动”，从“人工研判、逐级下令”转向“自动感知、协同决策”。在网架侧，智能算力前置与北斗全域通信让输电线路巡检由人工登塔转向机载自主巡航，微电网边缘控制装置让末端电网具备就地自治能力；在调控侧，岗位智能体把数智化能力直接送到基层单元；在应急侧，面向极端灾害场景的数字化作战平台与保底通信体系，为“三断”极端条件下的电力生命线提供了可靠保障。这种由点到面、由单环节到全链条的智能化跃迁，正在重塑电网的安全边界与运行效率。

本章节共收录来自南方电网数字电网研究院股份有限公司、国网湖南省电力有限公司信息通信分公司、远光软件股份有限公司、江苏量为石科技股份有限公司等单位的 10 份案例，围绕微电网边缘控制、主网架多源异构数据融合与态势感知、输电线路自主巡检等方面的最新应用成果。

# 案例 1：面向西电东送电网主网架的多源异构数据融合与运行态势智能感知体系建设实践

——中国南方电网有限责任公司超高压输电公司曲靖局

**关键词：西电东送；国产化替代；智能感知；电网运维**

## 1.背景及痛点

在“双碳”目标与新型电力系统建设战略指引下，能源电力行业加速向清洁低碳、安全智能转型。总书记强调要构建“清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能”的新型电力系统，南方电网自 2020 年起积极响应“建设数字中国、网络强国”等战略部署，全力应对能源结构调整与数字化转型带来的机遇与挑战。

南网超高压公司曲靖局作为西电东送关键枢纽，管辖设备 90%分布于滇桂黔三省交界崇山峻岭。然而，其覆盖区域内的云南昭通地区地震、滑坡等地质灾害集中度居长江上游首位，覆冰强度超过全国 80%山区，面临山火、冰灾、树障、外破等多重危害。罗平鲁布革地区建有斜角超过 45 度的“亚洲第一斜塔”，这些外部因素给灾害抢险、人工巡检带来极高的人身与设备风险。

面对区域跨度大、地形气候复杂等特高压行业痛点，曲靖局围绕西电东送主网架需求，建设多源异构数据融合与运行态势智能感知系统，旨在实现关键设备、人员、环境状态的全面感知，推动形成智能

巡视、智能安全、智能监测、三维孪生四大核心场景，突破复杂场景下电网运维难题，保障清洁能源跨区域稳定输送，并为新能源、储能等领域提供可复制的智能化解决方案，助力能源行业高质量发展与“双碳”目标达成。




图 1 特高压输电运维风险现状

## 2.基于工业互联网的解决方案

本项目以先进计算技术为核心驱动力，依托“硬件国产化底座+云边端协同架构+全链路技术融合”的设计思路，以“云-边-端”一体化架构为核心，构建多源异构数据融合与运行态势智能感知系统，形成覆盖采集、治理、分析、应用全流程的解决方案，全方位破解西电东送主网架运维难题，国产化率达 100%，产业链协同效应显著。本项目成果技术成熟度自测达到 TRL9-产品商业化生产等级。

（1）硬件底座：构建自主可控的先进计算基础设施

硬件层面全面采用国产化组件，搭建高性能、高安全的计算底座。核心计算设备选用海光、昇腾等自主可控芯片，配备华为、新华三等同类型号通用服务器，以及搭载昇腾 Atlas 310/910 算力卡的 AI 推理服务器，构建分布式计算集群。其中 AI 算力服务器配置 4 张昇腾算力卡，通过 PCIe 4.0 高速接口实现 CPU 与算力卡低延迟通信，支持算力卡间 NVLink 互联，多卡协同效率提升 30%以上，为 AI 算法推理提供强大算力支撑。网络安全方面，部署华为等同类型号防火墙、交换机及国密认证加密网关，结合近 300 台 WAPI 双向认证 AP 基站，构建覆盖终端、边缘、云端的立体安全网络，适配复杂电磁环境下的数据传输需求。终端层面，升级十大类 1950 套输电线路智能终端（含图像监控、覆冰监测、杆塔倾斜监测等）及 12 类变电站终端，实现设备状态、环境参数、作业场景的全面感知，数据采集频率最高达秒级。

表 1 整体架构层级及国产化说明

| 层级 | 组件 | 技术定位 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 硬件层 | 芯片：飞腾、鲲鹏、海光等自主可控芯片<br>通用服务器：华为、新华三、中科可控信息产业制造等制造商<br>算力服务器：昇腾 Atlas 算力卡<br>防火墙：华为<br>交换机：华为 | 算力底座、服务云 | 智能网关：配备通用服务器、算力服务器<br>运行态势感知系统：通用服务器、算力服务器<br>站端、局侧、省侧配备网络安全设备 |
| 系统层 | 麒麟操作系统 | 安全兼容的操作系统基座 | |

| 层级 | 组件 | 技术定位 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 数据层 | 南大通用 GBase 8a/MPP Cluster 数据库 | 高性能分布式数据管理核心 | |
| 业务层 | 国产化电力运行支持系统、行业定制应用 | 场景化业务承载平台 | 电力自研鉴权机制、电力自研业务中台、电力自研开发平台 |
| 安全层 | 国密算法体系、可信计算模块、全链路防护组件 | 端到端安全保障体系 | 电力自研 wapi 安全通信、电力自研算法体系 |

（2）架构设计：“云-边-端”协同的分布式计算体系

采用“云-边-端”三级协同架构，实现算力资源优化配置与数据高效流转。端侧部署的智能终端实时采集设备遥测、环境视频、故障告警等多源数据，通过 WAPI 安全协议与北斗定位协同回传，确保数据采集的实时性与准确性；边侧依托智能网关和轻量化计算节点，部署国产化 AI 推理模型，实现数据本地预处理、缺陷快速识别与风险预警；云侧基于国产化电力运行支持系统，搭载麒麟操作系统与南大通用 GBase 8a/MPP Cluster 数据库，开展数据深度融合分析、全局态势感知与 AI 模型迭代训练，通过分布式架构实现 TB 级数据的并行处理，查询性能提升 50%以上。该架构实现“原始数据不出域、隐私计算可追溯”，兼顾计算效率与数据安全，适配电网运维的实时性与安全性要求。

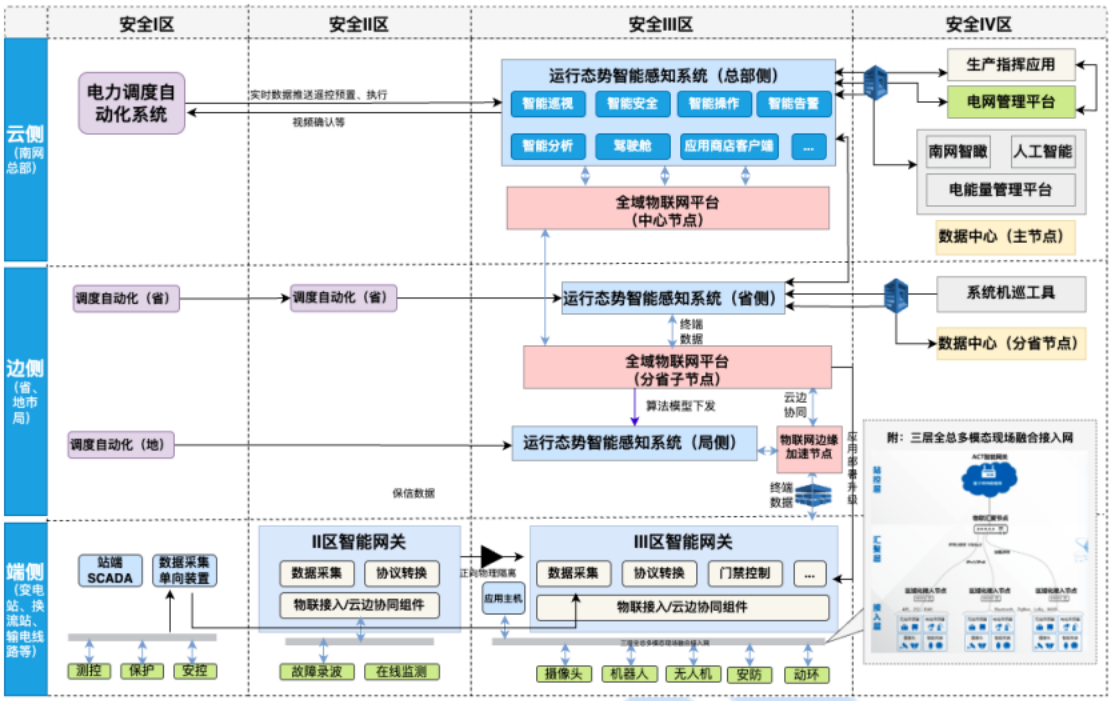


图 2 “云-边-端”协同的分布式计算体系

（3）技术融合：先进计算与业务场景的深度协同

智能巡视：通过全面部署输变电多类型智能感知终端与深度学习算法，构建了基于昇腾 AI 软硬件平台的变电设备识别算法及智能应用，实现了变电站设备缺陷识别、表计读数采集、红外测温分析，输电领域山火烟雾识别、大型机械识别、输电缺陷识别，构建了满足全方位、全时段需求的输变电设备联合巡检体系。

智能安全：依托站内智能终端与 AI 智能算法，构建现场作业数字化两票安全管控应用，从作业前准备到作业中监管，再到作业后回顾全流程覆盖，实现变电站作业安全远程化、集约化、智能化管理，提升数字化两票安全管控的效率与精准度。

智能监测：综合利用输变电在线监测装置、机巡图像、运行监控数据等，对设备的管理业务（缺陷隐患等）、电网运行（电压电流等）、

线下检修试验、在线状态监测、气象环境等多维数据进行融合分析，构建设备状态智能分析算法模型，动态掌握设备的运行状态，提前发现设备潜在隐患和趋势性缺陷，提升设备状态分析和故障预警能力。

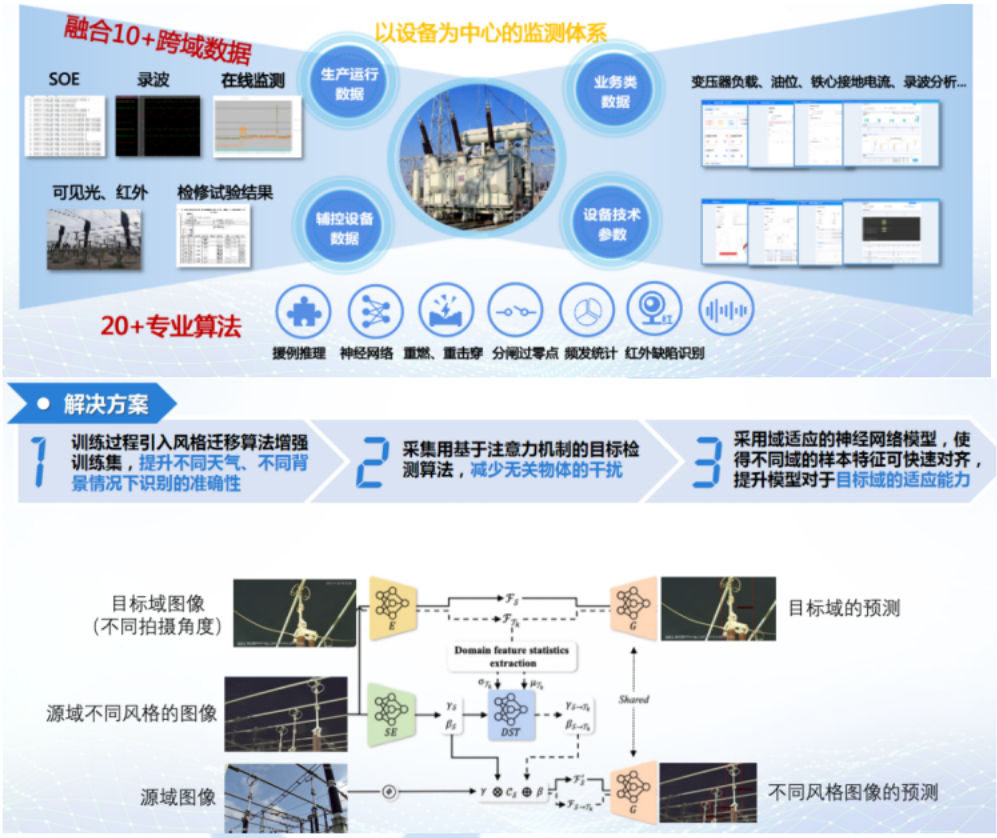


图 3 多源异构数据融合模式

三维孪生：结合监控驾驶舱功能形成业务数字孪生场景。输电驾驶舱集成南网智瞰地图、线路三维模型、激光点云、线路沿布图、关联设备台账、智能装备等信息，实现输电通道全方位监测，支撑各类灾害应急、运维的全流程智能处置。变电驾驶舱集成站端巡检机器人、无人机、摄像头、温湿度、门禁等智能传感设备，以及在线监测数据，实时采集设备状态和数据，结合智能算法分析，对设备运行状态进行识别、分析等，提升运检管控能力，为关键站点状态感知、集约化管控提供支撑。



图 4 站点三维全景

## 3.成效

经济效益方面：

（1）运维成本大幅降低。减少巡检频次与人力投入，每年节省运维费用 30%以上；

（2）故障损失有效规避。近两年预警重要交跨隐患 103 次，与交通、能源部门联动响应，避免了经济损失不可估量；

（3）供电可靠性显著提升。近三年紧急重大缺陷数下降 71%，设备隐患数下降 67%，非计划停运下降 45%。

社会效益方面：

（1）绿色低碳成效突出。输送清洁能源每年减少碳排放，助力“双碳”目标达成；

（2）公共安全保障有力。近两年预警山火险情 100 万余次，降低火灾对电网的破坏风险；与应急、林草部门快速协同，保护滇桂黔林区面积超 1000 平方公里，实现能源安全与生态保护、公共安全共

创；西电东送通道连续 11 年无事故，保障粤港澳大湾区及沿线地区供电稳定；

（3）作业安全风险降低。智能巡检替代人工进入高风险区域作业，大幅减少作业人员人身安全隐患；通过人员智能感知系统实现作业行为远程管控，进一步筑牢安全防线。

**公司简介：**中国南方电网有限责任公司超高压输电公司曲靖局成立于 1996 年 8 月，是南网超高压公司在云南实施西电东送战略的基层单位，主要负责云南东部、东北部西电东送大通道的建设及运维管理。管辖世界首个±500 千伏同塔双回直流输电工程——溪洛渡右岸电站送电广东同塔双回直流输电工程，送电容量 640 万千瓦；管辖云电送粤枢纽变电站——500 千伏罗平变电站，变电容量 186 万千伏安，占云南交流外送总容量的四分之三；所辖 220 千伏及以上线路 1726 千米，跨越云南、贵州、广西三省。

# 案例 2：大模型驱动智算体系在智慧电网企业建设中的应用

——国网湖南省电力有限公司信息通信分公司

**关键词：**数智化转型；智能算力；四位一体保障体系；全场景赋能

## 1.背景及痛点

随着能源行业数智化转型加速，湖南电网积极推动智能化升级，旨在实现业务运行的智能化、知识化与主动化转型。在此过程中，构建系统化、规模化、高效能的人工智能支撑体系，成为打造全国领先省级电网人工智能应用样板的关键路径。

在湖南电网推进数智化转型的过程中，面临多重系统性挑战。一是基础资源分散，协同能力不足，缺乏统一的架构进行集约化管理。二是核心要素存在短板，整体能力不均衡，样本资源分散且质量不一，算力供给无法灵活满足高频高并发需求，技术平台不统一导致开发门槛高，模型迭代速度慢且对电网特色场景适配性不足。三是规模化推广效能欠佳，应用场景碎片化、技术适配困难、标准不统一，跨业务、跨区域协同困难。

## 2.基于工业互联网的解决方案

为解决湖南电网在数智化转型中面临的基础资源分散、核心要素短板及规模化推广效能欠佳等核心挑战，国网湖南信通公司以“4516”体系为顶层设计，系统性地构建了闭环赋能框架，并围绕以下三大方

向扎实推进解决方案落地。

（1）构建“云边端协同”的智算基础架构，筑牢集约化支撑底座

围绕大模型全生命周期管理需求，设计并实施“纵向三层、横向一体系”的智算架构。纵向构建“省侧云—地市云/边缘层—终端层”三级协同体系。省侧云作为智慧中枢，集中承载模型推理、智能编排与共性服务；边缘层负责属地化数据接入与轻量推理，保障实时响应；终端层实现数据精准采集。横向建立覆盖算力、运营、安全的统一支撑体系，通过异构算力资源池化与智能调度平台，实现全省计算资源的统一纳管与高效利用，为人工智能规模化应用提供弹性、可靠的底层支撑。

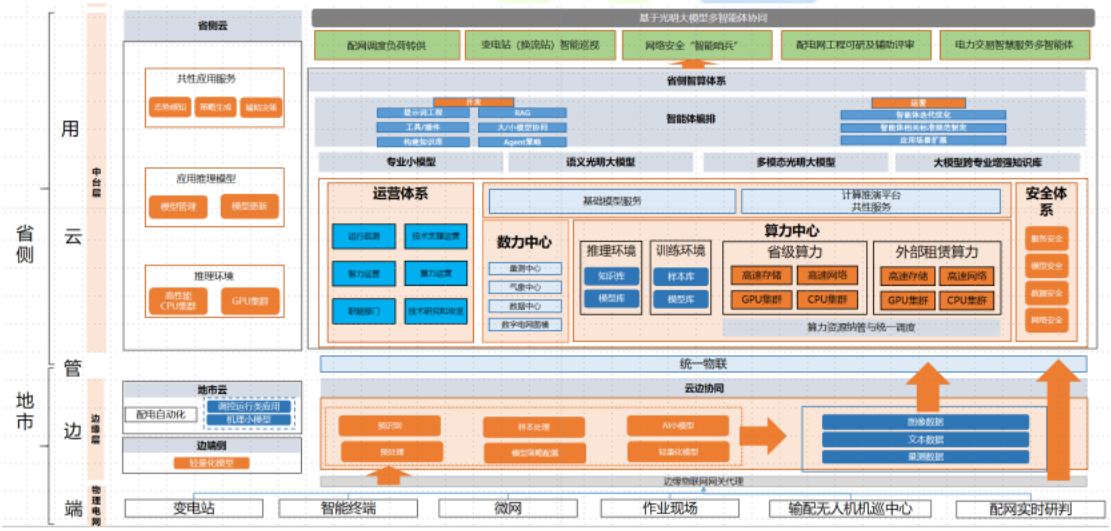


图 1 智算体系架构图

（2）统筹建设“四大关键要素”，夯实智算核心能力基座

聚焦数据、算力、平台、模型四大基础要素进行系统强化，一是建设高质量多模态样本资源中枢与智能生产工具链，解决样本分散与质量问题；二是构建“中心—边缘”分级、云边协同的绿色算力体系，

通过需求感知与弹性伸缩机制，满足高频高并发计算需求；三是打造开放协同的人工智能平台，集成主流工具链，研发电网专用编排引擎，显著降低开发门槛；四是建立包含“光明大模型”在内的敏捷迭代模型生态，通过闭环优化机制持续提升对电网特色场景的适配能力。四大要素协同发力，共同构成坚实可靠的智算能力底座。

（3）深化全场景业务应用赋能，破解规模化推广难题

构建统一的技术架构与标准，推动人工智能技术在规划建设、电网运行、设备管理、客户服务、作业管控及经营管理六大业务主线纵深落地。以“光明大模型”为核心引擎，构建“数据－模型－应用”赋能闭环，并利用统一组件库与协同机制，有效打通跨业务跨区域协同壁垒。形成了“大模型赋能业务，业务反哺模型”的良性循环，有力驱动业务向智能化、知识化、主动化转型升级。

**3.成效**

（1）基础设施与平台能力跨越式发展。成功构建企业级智算架构体系，整合异构算力资源，总算力达 44.7PFlops，实现资源统一调度与利用率大幅提升。建设集成多套工具链及大模型的统一平台，支撑 9 类模型管理与典型场景应用，为智能化转型奠定坚实基础。

（2）业务运营质效显著提升，形成数据驱动、智能预判的管理新范式。在投资管控、工程评审、电网调度等核心业务中实现关键突破，项目智能查重准确率超 95%，可研评审效率提升 50%，负荷转供策略生成时间缩短至秒级，有效提升投资效益、评审效率及电网运行

可靠性。

（3）关键技术取得自主突破。在“人工智能+电力”融合领域实现多项创新，攻克跨专项智能查重、多模态智能评审、有源配电网负荷转供等技术难题，形成自主知识产权体系，为核心业务智能化提供有力技术支撑。

（4）成果形成示范推广效应。配网故障智能研判和处置决策、可研辅助评审、负荷转供、防汛作业智能管控等多个典型应用获国家电网公司高度认可，并在内部多省试点推广。相关经验正通过行业合作向能源、制造等领域辐射，形成“电力人工智能大模型+”的跨行业借鉴价值，具备广泛的行业推广前景。

**公司简介：**国网湖南省电力有限公司信息通信分公司，是国网湖南省电力有限公司所属分公司，是国网湖南电力数字化转型的技术支撑机构以及互联网和通信专业省级业务实施机构，全面提供数字化项目建设、系统运维、视频会议通信保障等支撑服务。
国网湖南信通公司现有在运信息通信（中心）机房 5 个，总面积约 2505 平方米，各类信息通信主设备 4423 台，基础设施总资产达 13.72 亿元。国网湖南信通公司全面承接各类信息系统研发项目，已建设投运营销、运检、设备、发展、财务等领域信息通信系统 259 套，自主研发环保智慧监管平台等 72 个业务应用，建设成效获省委、省政府主要领导高度认可。建成电力物联网湖南省重点实验室，多次斩获省部级科技进步奖。

# 案例 3：“智控”微电网边缘控制装置

## ——南方电网数字电网研究院股份有限公司

**关键词：**微电网；边缘控制装置；协同优化；智能控制；安全稳定

### 1.背景及痛点

2022 年国家出台能源绿色低碳转型政策，确立全社会绿色用能导向，光伏、风电、储能等分布式能源快速普及，微电网成为能源低碳转型的重要应用载体。随着新能源并网占比不断提升，用户侧用能需求趋于多元，微网源荷出力波动、不确定性显著增大，控制目标更加复杂多变，对 EMS 实时感知、快速决策、动态优化能力提出更高要求。当前传统 EMS 方案仍存在明显短板：硬件配置复杂、建设成本高，软硬件集成度低，多为定制化开发；缺乏统一建模标准与灵活配置机制，通用性、可扩展性弱，设备扩容或目标调整需大量改造甚至重新开发；同时在边缘计算、实时控制和现场运维方面能力不足，难以适配分布式微网布局分散、资源受限、工况多变的实际应用场景。

### 2.基于工业互联网的解决方案

针对新能源高占比电网源网荷储协同平衡需求，本方案基于工业互联网架构，打造“智控 Plus”微电网中央控制与能量管理系统，通过对微电网的控制逻辑进行软件定义，作为微电网的中央控制器+能量管理系统，基于自研的通用硬件平台，适配 Linux/电鸿操作系统，

实现能量优化、孤岛检测、并离网切换及离网稳定控制等功能，支持 485/232 串口、工业光口、以太网等多类接口，兼容 IEC61850、IEC104、Modbus 等主流电力协议，可全面采集分布式电源、储能、充电桩等设备数据，实现全要素运行状态可视化监控。方案可灵活适配工业园区、园区型微电网、智能楼宇微电网、台区型微电网、海岛型微电网、风光互补离网型微电网、直流微电网、院校楼宇等场景，全面支撑微电网安全、经济、智能运行。

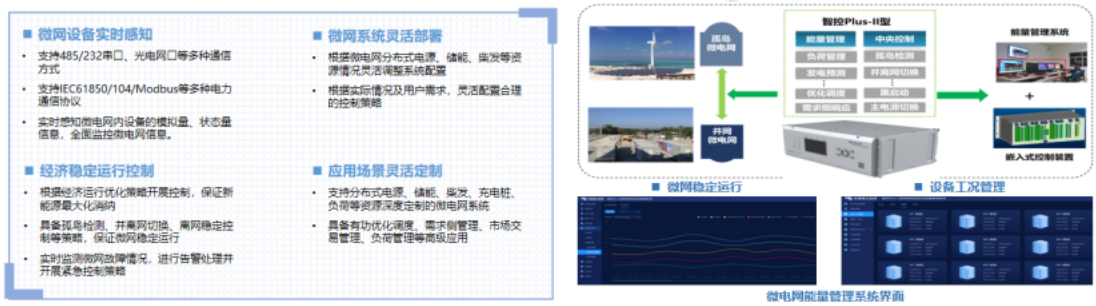


图 1 系统特性

方案具备两大优势：

一是采用软件定义技术+通用硬件平台，基于统一通用硬件平台，搭载多样化软件定义算法，提升不同场景下软硬件的通用性，实现硬件资源灵活拓展及资源有效复用，满足新型电力系统边缘侧灵活可控的需求。

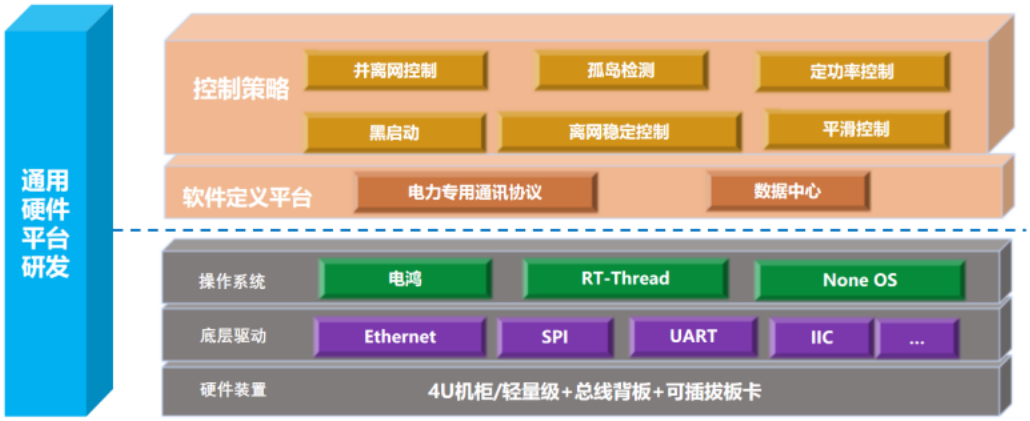


图 2 软件定义技术+通用硬件平台架构图

二是前端交互模块，支持图模一体化设计、预定义组件和模块，可通过拖拽图形元素的方式轻松配置电力系统拓扑结构、设备布局和连接关系，无需手动编写代码，提高了系统的可复用性及可维护性，灵活适配新型电力系统多样化的应用场景。




图 3 图模一体化组态工具架构图

（一）技术架构体系

打造通信网络、边缘智能控制、平台支撑、安全稳定控制、优化运行、电网友好互动六位一体技术架构，以南网自研“电鸿”电力物联操作系统为数字化基座，实现云边端深度融合与智能调控。

通信网络按就地层、间隔层、站域层、云端分层搭建，融合工业以太网、电力载波、4G/5G 专网等通信方式，适配多类电力协议，满足低时延、高可靠的数据传输与毫秒级控制要求。边缘智能控制装置为现场核心单元，集数据采集、边缘计算、就地控制于一体，具备毫秒级响应能力，断网后仍可依靠本地策略自治运行。

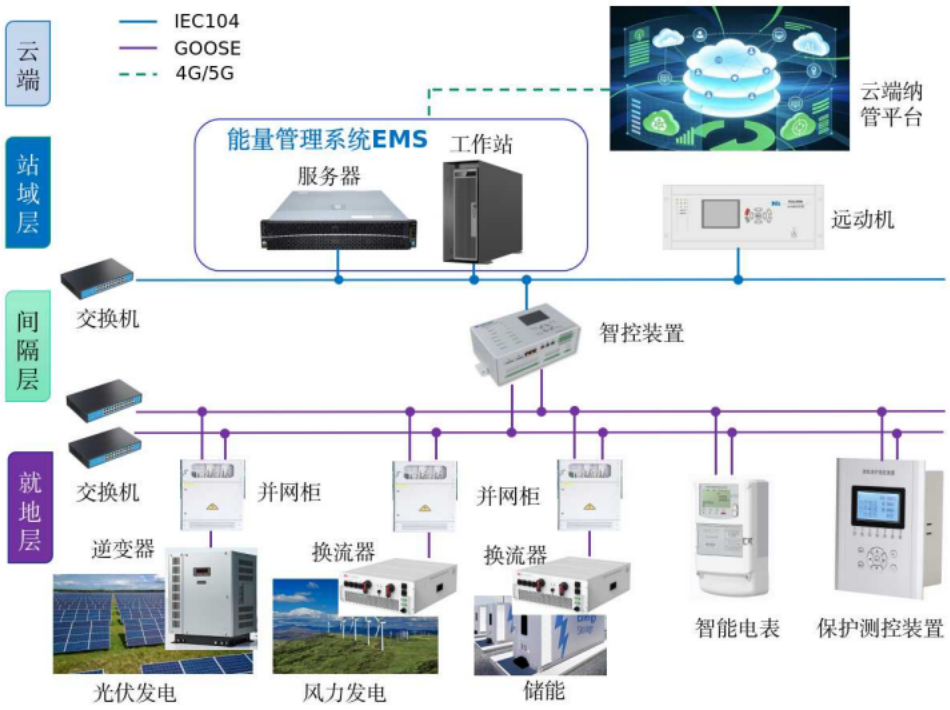


图 4 通信组网架构图

平台分为就地 EMS 平台与云端纳管平台，就地侧负责数据汇聚、本地调度与故障处理，云端承担源荷预测、多级优化、场站协同、电力交易等功能，依托标准化接口实现云边高效协同。安全稳定控制遵循分级管控原则，覆盖黑启动、并离网切换等全场景，搭建多层级频压调控体系，依靠冗余配置实现故障自愈。优化运行以安全为底线，采用三级经济调度模式，推动新能源就地消纳，可按需定制差异化调度逻辑。电网友好互动打通网荷协同通道，具备调峰调频、虚拟电厂

聚合、参与电力市场等能力，让微电网全面融入新型电力系统。

（二）示范应用成果

该产品与解决方案已入选南方电网公司挂网试运行目录，进入多省框架采购目录，并于广东、广西、贵州、海南等多地部署，覆盖微电网、虚拟电厂、分布式电源等多种场景，累计销售 320 余套，项目业绩超过 7000 万元。其中，海南电力学校自趋优微电网在 2024 年摩羯台风中，200ms 内成功实现从并网转离网稳定运行。

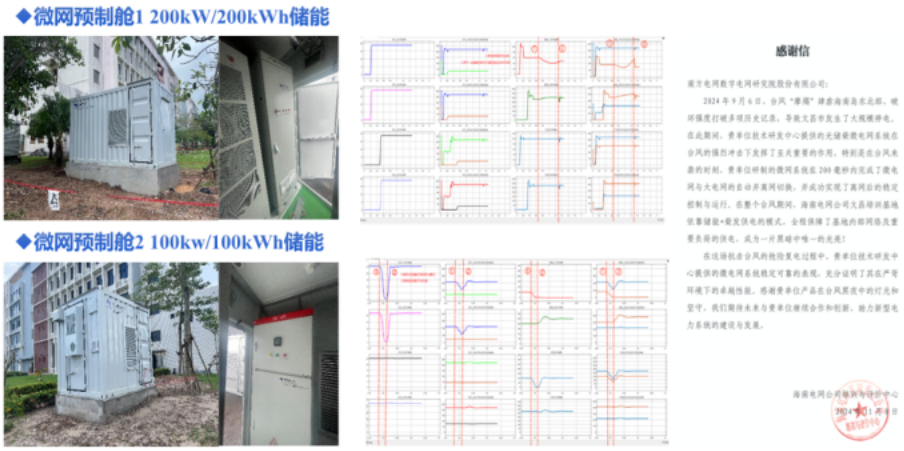


图 5 示范应用成果

## 3.成效

本套微电网智能调控解决方案落地示范工程后成效突出，有力支撑新型电力系统源网荷储深度协同与多能互补。方案融合边缘智能、南网“电鸿”操作系统与云边端协同架构，打破各类电源、负荷间的调控壁垒，实现风光储充、热、冷等多能流统一调度，构建源荷联动动态平衡体系，显著提升微电网自治水平与运行效率。依托精准源荷预测、滚动调度及并离网无缝切换技术，方案有效平抑风光出力波动，

最大化就地消纳新能源，减少弃风弃光与外网购电，助力各类场景绿色低碳转型，服务“双碳”目标实现。同时，采用软硬件集成化、架构轻量化设计，整合至单一边缘智控装置，部署便捷，一体化设计精简了硬件配置与施工环节，简化运维流程，有效压降建设与运维成本，大幅降低项目落地门槛，具备突出的技术优势与规模化推广价值。

**公司简介：**南网数研院是国资委首批科改示范企业、世界一流专业领军示范企业，为全球首家数字电网研究院。2025 年完成股改并登陆深交所，主营数字技术、芯片研发、人工智能、物联网、云计算等业务。公司搭建“一体三环”组织布局与全流程研发体系，人才体系完备，下设多家研究机构、专业子公司及各地分支机构。拥有伏羲芯片、电鸿操作系统、大瓦特电力大模型等核心技术成果，参与 30 余项国家级项目，荣获省部级以上奖项 20 余项，拥有专利 530 项、权威资质 60 余项，主导多项行业标准制定。公司深耕电力数字化领域，攻克多项行业首创技术，具备完善的实验平台与研发测试能力，是南方电网数字化转型、新型电力系统建设及落实“双碳”目标的核心支撑力量。

# 案例 4：边缘算力前置与北斗全域通信赋能输电线路机载自主巡检

——广西电网有限责任公司防城港供电局

**关键词：**输电线路；智能巡视；边缘算力；北斗卫星

## 1.背景及痛点

为落实国家“人工智能+”行动及防城港市打造面向东盟 AI 策源地战略，广西电网防城港供电局积极推进“人工智能+电力”应用。当前传统输电无人机巡检普遍采用“云端 AI 识别”模式，存在三大核心瓶颈：一是严重依赖云端算力，无法就地实时研判；二是单张图像超 10M，在偏远山区等弱网环境下回传延迟高、丢包严重；三是作业耗时长，单次需 3—4 人耗时 1～2 天，难以适配应急抢修与常态化快巡需求。为此，项目构建了“边端算力前置+机载自主识别+北斗应急传输”一体化新范式。通过轻量化 AI 模型与边缘计算，实现缺陷实时识别与无公网可靠传输，推动巡检向“机载自主研判”跨越，有效解决时效与通信难题，为电网数智化升级提供可复制的实践示范。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本案例围绕“边端算力前置+机载自主识别+北斗应急传输”一体化智能巡检新范式，构建了完整的技术体系，在模型轻量化、边缘计算、融合通信及高精度控制等关键技术领域实现突破，并在复杂电网场景中得到规模化验证。关键技术解决方案如下：

**（1）模型压缩－精度增强－推理加速一体化轻量化技术创新**

针对机载终端算力受限（≤15TOPS）、功耗严苛（≤20W）及嵌入式部署难的痛点，构建剪枝精简－量化保真－推理并行一体化技术体系，破解大模型适配瓶颈。关键技术如下：

1）通道感知结构化剪枝：基于深层特征重要性动态评估，精准裁剪冗余卷积通道。模型参数压缩率超 65%，体量由 280MB 精简至 98MB，硬件资源负载降低 58%。2）自适应量化精度补偿增强：采用 8bit 量化感知训练框架，耦合目标特征强化复原机制。轻量化后识别精度稳定保持 92.3%以上，较传统静态量化提升 8.7 个百分点。3）存算一体推理协同加速：重构推理流水线，引入数据预加载与多核并行调度。推理速度提升 70%以上，端侧时延由 120ms 压缩至 36ms，满足实时检测≤50ms 要求，终端功耗降低 42%，综合感知效率提升 3 倍以上。

**（2）瑞芯微 RT3588 平台机载边缘实时处理技术创新**

依托国产瑞芯微 RT3588 平台，构建机载边缘原生实时处理单元，实现“环境感知－智能分析－自主决策”本地闭环，摆脱云端依赖。关键技术有：1）硬件接口定制化适配：集成 4 路高清视频采集与 2 路串行通信接口，支撑多源数据同步接入，数据吞吐带宽达 100Mbps。2）软硬件栈协同深度加速：优化内核调度，构建 GPU+NPU 异构协同架构。端侧处理时延控制在 50ms 以内，目标识别时延 35~45ms，较云端模式降幅超 80%。3）离线自主闭环作业能力：独立完成检测、研判与指令生成。断网工况下可连续作业 8 小时以上，作业连续性提

升 95%，覆盖无信号盲区。该技术实现巡检业务边缘自治，单架次效率提升 40%，异常响应速度提升 60%。

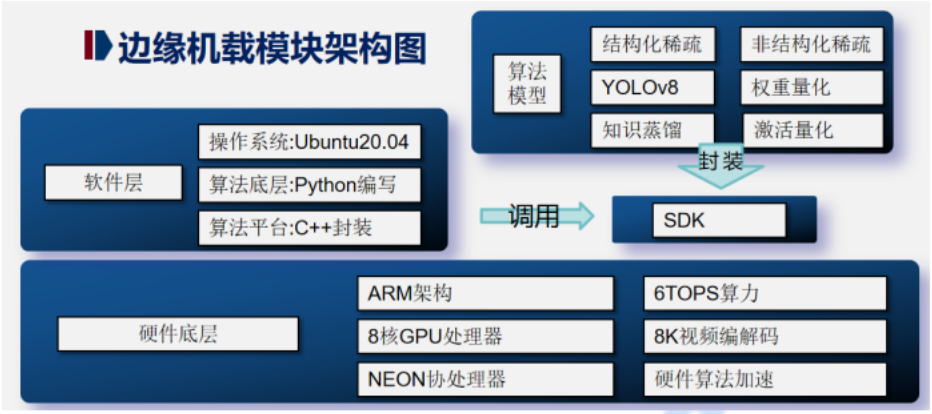


图 1 边缘机载模块架构图

**（3）公网+北斗三号短报文双链路自适应应急通信技术创新**




图 2 北斗三号融合通信

面向公网薄弱区域，构建双模融合、自适应冗余通信体系，保障数据与指令稳定传输。关键技术如下：

1）主备异构双链路融合架构：融合 4G/5G 与北斗三号短报文。公网承载高清数据，北斗承载指令与告警，链路无感切换时延≤100ms。2）信号驱动自适应无缝切换：基于信号强度动态阈值判定，实现毫秒级切换。弱网、无网工况下链路鲁棒性提升 90%以上。3）窄带信

息高效压缩传输：采用轻量化信源压缩编码，告警与指令压缩比达 8:1，北斗信道传输效率提升 30%，关键信息传输可靠率≥99.2%。

**（4）厘米级 RTK 定位与动态避障融合的自主飞行控制技术**

构建北斗 RTK 高精度定位－实时环境感知－动态航迹重规划－飞行姿态精准闭环控制体系，实现高安全自主巡检。技术创新如下：

1）多源融合厘米级高精度定位：融合北斗三号与 RTK 差分定位，水平精度±1cm、垂直精度±2cm，航线复现精度≤3cm，解决点位偏移与漏检问题。2）全域实时感知与动态航迹规划：集成视觉与激光雷达，障碍物探测距离达 50m，识别率≥99.5%。面对突发障碍 100ms 内完成航迹重规划，保障任务连续。3）高精度姿态闭环精准控制：搭载高精度伺服舵机与闭环调节算法，指令毫秒级响应。8 级风扰下自适应姿态补偿，高度控制误差≤5cm，姿态稳定性提升 85%。




图 3 RTK 定位与高精度自主飞行控制

## 3.成效

经过多轮野外实地测试与长期常态化运维验证，系统已成功应用

于辖区多条偏远山区输电线路、中越边境线路区段、沿海盐雾环境线路及无公网覆盖盲区，实现全天候自主巡检作业。系统整体运行平稳，无频繁宕机、通信失联、识别失效等异常工况，边缘推理、离线研判、自主避障、应急通信等核心功能全部稳定达标。在智能感知研判方面，机载端实时推理能力成熟稳定，单架次巡检图像识别时延稳定控制在 50ms 以内，缺陷识别精度保持行业先进水平，真正实现现场影像“实时采集、机载实时研判、隐患即时告警”，颠覆传统事后回传分析的滞后模式，大幅提升隐患处置时效性。在通信保障运行方面，双链路自适应通信机制运行可靠，有效填补偏远山地、边境区域公网覆盖盲区，弱网、无网场景下链路切换流畅稳定，彻底解决传统巡检通信中断痛点，关键告警信息、飞行控制指令传输可靠率稳定达到 99.2% 以上。在自主飞行作业方面，厘米级 RTK 高精度定位效果优异，航线复现精度高，动态避障系统探测范围广、响应速度快，可实时规避树木、山体、建筑等障碍物，巡检点位全覆盖无遗漏、无重复巡检。相较于传统人工巡检模式，单条线路巡检综合效率提升 3 倍以上，现场人工干预强度降低 80% 以上，大幅减少野外登高、山地徒步、现场值守人员投入，显著降低高空作业与野外作业安全风险。

**公司简介：**广西电网有限责任公司是南方电网公司的全资子公司，主要负责广西电网的电力建设、生产经营、电力购销、电力交易与调度、电力资源优化配置等相关业务，承担着为广西经济社会发展提供可靠优质电力保障的重任。其“四横两纵”网架覆盖全区，供电面积 23.76 万平方公里，服务客户 2243.9 万户，售电量 1896 亿千瓦时（+8.6%），客户平均停电时间同比下降 36.7%，第三方满意度 84 分，连续十一年广西公共服务行业满意度榜首，列“2024 广西企业 100 强”第 2 位，连续 14 次被评为“广西优秀企业”，荣获自治区主席质量奖；六度蝉联“全国文明单位”，获评“十大社会责任央企榜样奖”“中央企业先进基层党组织”“自治区先进基层党组织”。

# 案例 5：基于供电所岗位智能体的基层单元数智化运营管理体系

——国网福州供电公司

**关键词：**光明电力大模型；岗位智能体；基层供电所；数智化运营；电力数字化转型

## 1.背景及痛点

随着“数字中国”“新型电力系统”等国家战略落地，电力新质生产力加速发展，基层供电所作为电力服务“最后一公里”，其智能化水平直接影响供电服务质效。当前电力负荷增长、客户需求多元化，传统供电所管理模式弊端凸显。一是营配调多系统数据分散、质量不均，人工数据分析效率低，无法支撑精准决策；二是业务流程繁琐，员工多系统切换操作，重复性工作多、负荷大、业务处置效率低；三是服务模式被动，依赖人工排查与客户报修，异常问题预判能力不足；四是管理方式粗放，运营管控、绩效评价缺乏精准数据支撑，基层精益化管理水平薄弱，亟需智能化技术赋能转型。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本案例依托光明电力大模型与智能体深度融合技术，搭建一核二座三岗一机制的基层单元数智化运营管理体系，构建“大模型推理+智能体调度+Skills 执行”核心架构，全方位破解基层供电业务痛点，实现全岗位、全流程智能化赋能。整体体系架构如下：




图 1 供电所岗位智能体的基层单元数智化运营管理体系架构

体系以千亿级多模态光明电力大模型为核心中枢，依托电力专业知识库，实现多模态数据处理、业务逻辑推理、智能研判等核心能力，为全场景应用提供算力与智力支撑。搭建数据、能力双底座，数据底座打通营配调数据链路，完成 18 类核心业务数据治理，破除数据孤岛；能力底座围绕“查、判、办、写、说、学”核心动作，标准化业务能力，为智能体提供执行支撑。

案例聚焦供电所核心岗位，打造三大岗位智能体，覆盖运营管控、网格服务、综合业务全场景，实现基层业务全流程智能化赋能。

“i（站）所长”智能体依托营配知识图谱、多维数据融合等技术，汇聚 52 项营配业务数据，聚焦线损、低电压、频繁停电等核心指标，

实现站所运营数据一屏统览。可自动生成日、周、月运营报告，智能研判业务异常并一键派发处置工单，全程可视化监管网格服务进度。同时通过多维度量化模型，结合员工业务能力、工作成效、资质短板等数据，自动核算绩效工分，形成“监测—研判—分析—评价”的智慧运营闭环，全面替代人工统计研判工作。




图 2 i 所长智能体技术架构

“i 网格员”智能体基于 AI 语音交互、数据融合、能力画像技术，重构网格服务模式。搭载云电话智能报修功能，支持用户语音自助报障，系统可智能识别故障信息、匹配网格、派发工单，并主动推送停电告知。依托全量用户数据，实现“一次上门、多事办结”，避免重复服务。同时依托网格员作业数据生成个性化画像，精准定位技能短板，推送定制化学习方案，构建“报修—处置—复盘—提升”的智能服务闭环，大幅提升网格服务质效。

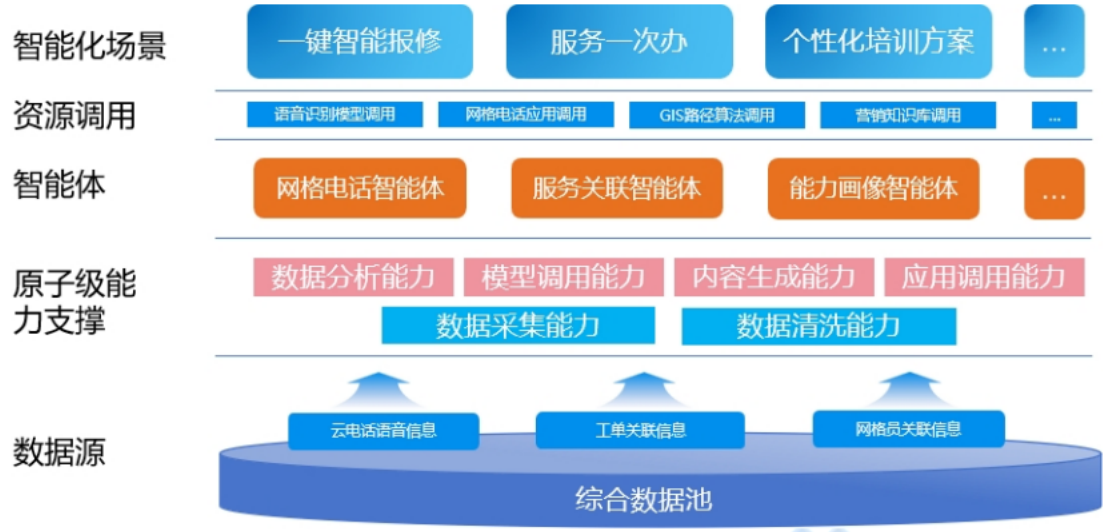


图 3 i 网格员智能体技术架构

“i 综合服务员”智能体联动大模型、物联网与智能稽核技术，覆盖三大综合业务场景。营业服务端依托智能终端、数字人，实现业务咨询、流程导引、高频业务自助办理，简化办电流程、分流窗口压力；物资仓储端依托物联网感知，实现物资出入库自动登记、库存监控、短缺预警、自动补货，达成全生命周期数字化管控；档案稽核端通过智能模型，自动审核用户档案、业扩资料与审批流程，精准排查违规问题并生成整改报告，有效规避业务合规风险。

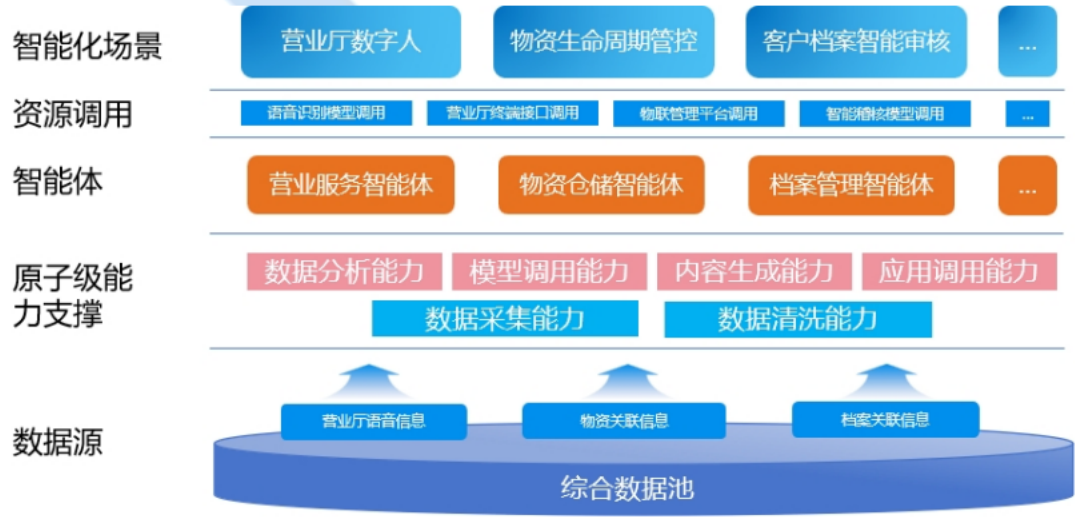


图 4 i 综合服务员智能体技术架构

配套构建三位一体闭环迭代机制，以业务实操反馈和用户诉求为导向，动态更新数据底座、迭代能力底座、优化场景智能体，保障体系长效适配基层业务变化，实现从人工驱动向智能驱动、被动响应向主动治理的全面转型。

**3.成效**

本案例已落地福州 83 个供电所并实现全省规模化推广，在管理、经济、社会维度实现全面提质增效，可复制、可推广价值突出。

管理层面，体系彻底打破业务数据壁垒，多源数据整合率达 99.96%，可自动完成数据归集、清洗与分析，替代 80%以上人工统计、报表编制工作，人工工作量减少 50%。工单处置、档案稽核效率分别提升 70%、60%，可提前 12 小时预判供电异常与线路隐患，推动运维管理从事后处置转向事前预防，显著提升基层供电所精益化管理水平。

经济层面，项目依托现有平台迭代升级，无需重构系统，建设成本降低 60%。单供电所年均节约运营成本超 5 万元，全省推广年节约综合成本超 3000 万元。同时，全员人均生产力提升 30%以上，有效提升电网运行可靠性，充分释放电网运营价值。

社会层面，故障处置与业务办理效率大幅提升，客户工单办理时长缩短 40%，低压用户停电时长有效压缩，客户服务满意度提升至 99%。同时大幅削减基层重复性工作，核心岗位员工工作负荷降低 50%以上，切实落实基层减负增效要求，夯实乡村电力保障能力，为

新型电力系统基层落地、优质供电服务体系建设提供有力支撑。

**公司简介：**国网福州供电公司是国网福建省电力有限公司的分公司，也是国网公司确定的大型地市供电企业之一。依托电力行业深厚积淀与数字化实践经验，公司积极探索工业互联网与能源业务深度融合路径，打造多项可复制、可推广的数字化应用成果，致力以数字技术赋能新型电力系统建设，为区域能源行业数字化、智能化发展树立实践标杆。

# 案例 6：基于能源工业互联网的营配调一体化电费资金智能预测应用

——远光软件股份有限公司

**关键词**：工业数据中台；营配调一体化；电费资金智能预测；信创数据安全；电力市场化适配

## 1.背景及痛点

随着新型电力系统建设加速推进和能源行业工业互联网平台加快落地，对能源企业现金流精准管控也提出了更高要求。现阶段传统电费收入预测模式短板突出：一是营销、配网、财务系统相互割裂，电量、电价、资金、气象等数据难以互通；二是数据汇总依靠人工线下操作，流程冗长、耗费人力，预测准确度有限；三是静态测算模型灵活性不足，难以适配购售同期、代理购电等政策变化，预测结果波动明显。现有模式难以满足企业现金流精细管理需要，亟待借助能源工业互联网，搭建能源企业一体化电费资金智能预测体系。

## 2.基于工业互联网的解决方案

基于能源工业互联网四大核心要素，搭建“数据层－平台层－模型层－应用层”四层技术架构，打通营销、配网、财务三大业务系统跨域数据链路，融合 HMM 与 XGBoost 双算法构建年/季/月/日全周期智能预测引擎，形成“预测－分析－溯源－迭代”全流程业务闭环。




图 1 电费资金风险预测架构

（1）数据层是工业数据采集与治理底座：依托多协议工业数据集成适配器，无缝对接营销业务系统、配网运营系统、财务管理系统等核心业务链路，并同步接入气象数据平台、产业运行监测平台等外部数据源。统一归集分时用电量、用户分类售电明细、应收/预收/实收电费流水、配网负荷运行等营配财全维度数据。内置数据同步与治理组件，完成异常值过滤、格式转换、缺失补全、业务维度关联，破除跨系统数据标准差异，为上层分析预测提供高质量、标准化的工业数据集。

（2）平台层是能源工业互联网 PaaS 底座：以自主可控的能源工业互联网 PaaS 平台为核心技术底座，承载数据服务与模型服务两大能力板块。数据服务：涵盖数据集成、开发、治理、安全、资产管理全流程，承接源数据统一存储、加工治理与资产化管理，构建规范的数据资源体系。模型服务：提供模型开发、训练、测试、部署、监控、复用全生命周期管理，承载算法运行环境与算力调度。平台采用微服

务弹性架构，支持私有化部署与云边协同，兼容现有电力业务系统，落地改造成本低、实施周期短。

（3）模型层是双算法融合智能预测引擎：为智能预测核心引擎，融合 HMM、XGBoost 两类算法搭建三条测算路径。第一条依托电量、分时电价数据测算应收电费；第二条借助 HMM 挖掘每日收缴规律，区分工作日、节假日资金流入特点，拆分月度预测至单日；第三条通过 XGBoost 引入气温、产业、购售电政策等外部因子，修正前两类测算偏差，输出精准结果。模型适配不同区域的产业结构与政策要求，实现多周期滚动预测与动态精度优化。

（4）应用层是营配调一体化智能应用：围绕电网资金管理与智能调控业务需求，搭建整体概览、模型预测偏差分析、报告管理、模型管理四大功能模块，覆盖预测、分析、管理全业务流程，支持多维指标可视化展示、偏差溯源诊断、自动报告生成与模型全生命周期管理，业务人员可在线调整参数完成模型迭代。

（5）平台严格遵循等级保护 2.0 标准和信创替代要求，基础设施到应用层实现全栈国产化适配。数据安全传输采用国密加密算法 SM2/SM4 和 TLS1.3 协议，存储 AES-256 加密保护。系统可靠性达 99.95%，支持主备实时切换与异地灾备，RTO≤15 分钟。




图 2 电费资金分析及预测

## 3.成效

已在国网山西、四川、辽宁、湖北、山东、北京 6 家省级电力公司落地应用，形成可复制的资金智能预测标杆成果，累计创造直接经济效益约 2500 万元。项目落地后取得显著成效：

一是预测精度大幅提升。依托 HMM 与 XGBoost 双算法融合模型，近 12 个月电费资金月度预测平均绝对偏差仅 2.9%，单月最大偏差约 3%，远低于国资委 5%管控红线；日度资金流入预测平均偏差最大控制在 4%以内。

二是人力效率大幅提升。全面替代传统人工计算方式，单月手工工作时长由原 120 小时缩减至 24 小时，人力投入降低 80%；偏差溯源由原人工跨系统核对 2 天缩短至系统自动分析 5 分钟，排查效率提升 99%。

三是深化营配调协同运营。精准预测联动配网调度与营销管理全

链条业务，通过资金流入趋势与用电负荷关联分析，使负荷预测准确率提升 35%，实现电量生产、用户服务、资金收支统筹联动，补齐营配调全流程协同短板。

四是赋能电网智能调控决策。将资金流数据转化为调控“新情报”，通过精准的电费资金流入预测反推区域用电负荷变化趋势，为配网调度优化、变压器容量配置及需求侧响应策略制定提供前瞻性数据支撑，实现从“财务后知后觉”到“调控先知先行”的转变，显著提升电网运行的经济性与安全性。

**公司简介：**远光软件股份有限公司创立于 1998 年，专注企业管理与智慧能源数智技术解决方案，是国网数科控股公司控股的深交所主板上市公司、国家高新技术企业。连续 24 年通过国家鼓励的重点软件企业认定，七次荣获“自主可靠企业核心软件品牌”，获评广东省制造业单项冠军企业。公司聚焦数智企业、智慧能源两大核心领域，以 AI 原生为驱动，依托自主研发技术打造全栈信创适配的数字化产品体系，相关产品已在能源电力、装备制造等众多央企规模化应用，自研的 Realinsight 企业智能分析平台已服务国家电网、南方电网等头部能源央企，已具备服务能源工业互联网电网智能调控的能力。

# 案例 7：某大型供电企业电力通信全景智能运维一体化管控平台及应用

——江苏量为石科技股份有限公司

**关键词：**电力通信；智能运维；一体化管控

## 1.背景及痛点

电力通信安全运行是电网“三道防线”可靠、正确动作的基础。随着能源转型的推进，在“双碳”目标驱动下，电网“双高”形态，“双新”特征更加凸显，电网对通信通道需求不断增长，对通信运行可靠性、接入灵活性、网络传输指标要求更加严苛，通信安全运行水平和承载能力直接影响大电网安全。另一方面，电力通信设备属于哑资源，使得难以对它们进行电子自动化管理，依靠传统人工管理方式或简单线上记录管理方式已不能满足数字化转型要求。

基于此背景，利用物联网、人工智能、大数据分析等技术，全面整合态势感知、可视化、各类网管、电力通信运维等数据，构建全景、透明、高效的电力通信全景智能运维一体化管控平台，提供网管集控应用、态势感知应用、可视化监控应用、资源管理应用四大类应用服务，实现电力通信“运行状态全景可视化、应急处置全景智能化、辅助决策全景数智化”，加快促进电力信息通信设备管理的数字化转型。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本方案秉承“数据驱动、智能赋能、全景管控、一体运维”的理

念，以工业互联网平台为底座，构建“感知层－网络层－平台层－应用层”的四层技术架构。通过全面感知通信网络运行状态和资源信息，实现多源数据的统一汇聚和融合分析；依托人工智能和大数据技术，打造智能分析引擎，实现故障智能诊断、风险提前预警和资源优化配置；通过一体化管控平台，提供统一的运维入口和可视化展示界面，实现通信网络的全景监控和全流程闭环管理。

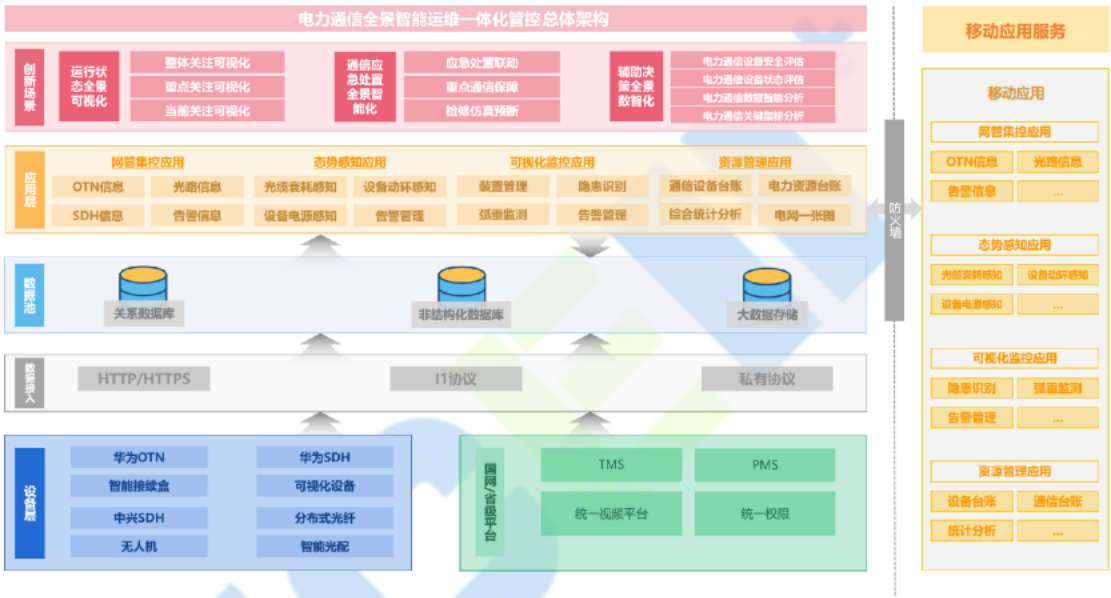


图 1 总体架构

### （一）统一多厂商网管集控，打破数据壁垒

构建统一的多厂商网管集控应用，通过标准化接口和协议适配，实现对华为 OTN、华为 SDH、中兴 SDH 等主流厂商网管系统的统一接入和集中管理。从各传输网管系统实时采集光路、电路、在用纤芯损耗、光路告警等运行数据，与资源管理系统中的光缆敷设信息、设备台账信息、业务承载信息进行深度关联，形成“光缆－光路－电路－业务”的完整数据链路。

**（二）构建全维度态势感知体系，实现主动预警**

获取在线监测设备、测试链路、测试配置、历史测试数据，对光缆衰耗、设备电源、设备动环等进行实时监测，利用波形自动对比分析和处理判断，及时发现潜在的安全隐患，防患于未然，保障企业生产运营管理业务的安全可靠运行。此外，对通信设备长期进行态势感知而不影响数据传输，接收网管集控平台告警信息，联动资源管理平台，一键故障定位，及时准确报告突发性设备故障，有效缩短应急处置时间。

**（三）打造三维可视化监控平台，实现全景展示**

利用可视化监控技术、无人机巡检技术获取通信设备现场照片、点云等数据，将数据进行结构化、非结构化存储，进行数据分析与聚合，融合图像识别、弧垂计算等人工智能算法，对通道隐患进行智能检测和自诊断分析，对通信设备覆冰、电腐蚀隐患进行自主识别，对光缆弧垂进行实时监测以及异常告警，最终实现以远程监控图像、点云模型等数据为基础的可视化全景展示。

**（四）建立全生命周期资源管理，提升精益水平**

资源管理模块以“五位一体”管理理念为落脚点，以“通信资产台账”为基础，对巡视、缺陷、隐患、检修、抢修五项生产工作进行资源台账的痕迹化管理，建立通信设备运维档案，完成基于 GIS 地图的资源管理平台构建，促进通信设备运维管理水平的进一步提升。

**（五）核心创新内容**

平台以“数据融合为基础、智能算法为核心、全景应用为载体”，

构建了“数据－算法－应用”三位一体的完整创新体系，实现了电力通信运维从传统人工模式向数字化智能化模式的根本性转变。

**（1）创新构建全景智能应用：**创新打造“整体－重点－当前”三级递进式全景智能应用，整合网管集控、态势感知、可视化感知三类核心数据，实现通信网络运行状态的全方位、多层次、实时化展示。对全网各类设备、系统进行集中监控，对三级及以上业务、重要变电站和枢纽站进行重点管控，针对重大保电、应急抢险等特殊时期进行动态专项监控，实时统计分析各类关键指标并以多样化图表直观呈现，让运维人员一目了然掌握全网运行态势。

**（2）创新应用核心功能算法：**突破传统被动运维模式，创新应用三大核心智能算法构建全流程自动化应急处置体系。应急处置联动算法实现故障发现、分析、定位、派单全流程自动化；重点通信保障算法支持一键进入重点保障模式，实现业务全流程闭环管控；检修仿真预断算法可模拟光缆开断场景，自动计算影响范围和程度，提前预判检修风险，有效避免因检修不当导致的业务中断。

**（3）创新融合多维分析数据：**通过多源数据深度融合和智能挖掘构建全面辅助决策体系。综合分析设备运行、运维、网络拓扑等多维度数据，构建安全风险评估模型和状态评价策略模型，实现设备安全风险和运行状态的智能评估；有机结合设备、光路、地理信息等数据，实现资源利用率、同路径、同路由设计等深度分析应用；支持一键生成定制化数据报表，减少运维人员 80%的二次资料整理工作；按照光缆运行、三级光路、光纤保护通道三大类进行关键指标实时分析，

为管理决策提供精准支撑。

**3.成效**

**（1）实现运行状态全景可视化**

创新构建全景智能应用，实现运行状态全景可视化。以各类网管、光缆衰耗、设备电源、设备动环等为管控对象，融合 GIS、三维模型、大数据分析等技术，基于信息组合的电力通信资源管理，实现运行状态整体关注可视化；以保护业务、高电压等级的站点等为管控对象，实现运行状态重点关注可视化；以临时性、紧急性的重大保电任务期间的电力通信设备运行状态为管控对象，实现运行状态当前关注可视化。目前管控光缆 1975 条、站点 943 座、保护业务 791 项、光路 2391 条。

**（2）实现应急处置全景智能化**

创新构建应用核心功能算法，实现应急处置全景智能化。融合故障检测算法、仿真模拟技术，实现应急处置联动一体化、重点通信保障全过程监控及检修仿真预判的全面线上化智能化应急处置、检修等工作，提高故障定位效率，提前对检修影响程度和范围进行预判，避免安全事故发生。依托智能化技术改造，作业效率实现跨越式提升：设备故障抢修时长由原有 2—3 小时压缩至 10—20 分钟，应急处置综合效率提升 70%以上，设备故障停运时长同比下降 62%，有效减少故障引发的各类经济损失，全方位筑牢电力通信网络安全、稳定、高效运行的坚实基础。

### （3）实现辅助决策全景数智化

创新融合多维分析数据，实现辅助决策全景数智化。全面整合电力通信设备各类数据，基于大数据分析技术，构建多数据融合分析的设备评价模型，完成设备安全评估、设备状态评估、数据关键指标分析以及同路径、同路由等数据分析，实现辅助决策数智化。上线运行以来，已提前预警 37 起潜在安全隐患，同路径同路由故障关联分析准确率达 98.5%，有效防范了通信网络系统性风险，显著提升了电力通信网的安全管控能力。

**公司简介：**江苏量为石科技股份有限公司成立于 2009 年，是聚焦智能电网、政府公共服务领域的高新技术企业，核心业务涵盖电网大数据治理、行业应用软件研发及物联网智能硬件研制。公司深化产学研融合，与南京大学、东南大学等高校长期合作，联合海内外研发团队协同攻关，面向智慧电网、智能配用电提供技术方案。公司坚持以客户为中心，以技术创新为动力，业务拓展至新能源建设运营领域，可提供软硬件产品、技术服务及综合解决方案。公司拥有高新技术企业、省专精特新中小企业等多项资质，持有近百项专利，具备扎实的研发与项目落地能力。

# 案例 8：面向极端灾害场景的电力应急数字化作战平台与保底通信体系

——南方电网数字电网集团（广东）有限公司

**关键词：**“三断”场景保底通信；多链路智能协同；前后方协同作战；标准化应急通信保障

## 1.背景及痛点

在台风、洪涝等极端灾害场景下，公网基站和基础通信设施易受损，导致现场出现“断网、断电、断路”等情况，传统通信方式难以满足电力应急抢修和指挥调度需求。同时，复杂地形和强电磁干扰环境下，通信网络存在组网困难、链路不稳定、业务传输时延高等问题，语音调度、视频回传及现场协同易中断，严重影响应急处置效率。此外，现有应急通信装备存在部署效率低、接口标准不统一、协同能力不足等问题，缺乏统一的数字化指挥与标准化保障体系。亟需构建融合 Mesh 自组网、多链路协同、数字化作战平台及标准化保障能力的一体化电力应急通信体系，提升极端灾害场景下通信保障、协同指挥与快速响应能力。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本项目构建“应急通信网络+业务传输保障+数字化作战平台+装备标准化保障”一体化解决方案，形成适用于极端灾害场景的电力应急数字化作战体系。

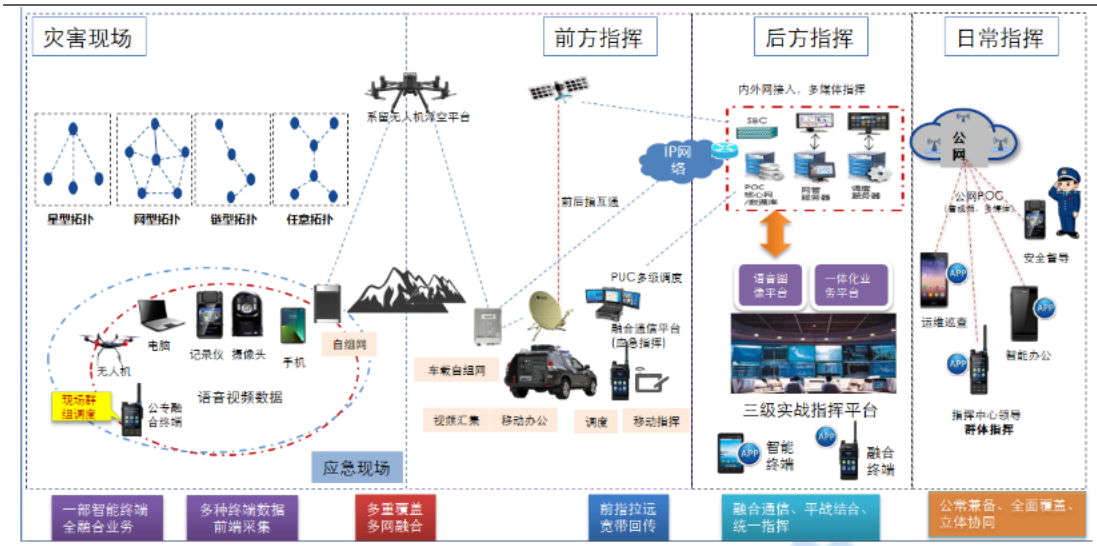


图 1 应急通信融合指挥调度总体架构图

（1）构建 Mesh 自组网与多链路融合通信体系

采用 Mesh 自组网、卫星通信及公网融合组网方式，实现灾害现场快速通信恢复。通过动态路由优化、链路自愈及智能选频机制，实现复杂环境下通信链路稳定运行。同时，建立多链路智能选路与自动切换机制，保障语音、视频及数据业务持续在线。




图 2 灾害现场 Mesh 自组网应急通信组网示意图

（2）构建低时延业务传输保障体系

针对弱网环境下视频卡顿、时延高等问题，采用 H.265 视频编码

压缩、自适应码率调节及业务优先级保障技术，实现无人机视频、现场视频及语音调度稳定传输。通过关键业务动态资源调度机制，优先保障应急指挥、抢修调度等核心业务运行。

（3）建设电力应急数字化作战平台

平台融合语音调度、视频调度、GIS 地图、消息服务及网络态势监测能力，实现终端统一接入与统一调度。具备组呼、紧急呼叫、视频会商、实时定位、轨迹跟踪、圈选呼叫、越区告警及网络拓扑可视化等功能，实现现场资源、通信节点及抢修力量“一张图”展示与协同指挥。




图 3 系统技术架构图

（4）构建标准化应急通信保障体系

通过模块化设计与统一接口规范，实现 Mesh 节点、卫星设备、便携指挥终端等装备统一接入与快速部署。结合运行监测、故障告警及日志审计机制，实现通信装备运行状态实时感知与统一运维管理。

平台总体架构包括“前端通信装备层—应急通信网络层—融合调

度平台层—指挥应用层”，形成覆盖现场通信、业务传输、指挥调度及运行保障的完整体系。

**3.成效**

项目形成了具备快速组网、多链路协同、融合调度及 GIS 可视化指挥能力的电力应急数字化作战平台原型系统，可有效支撑台风、洪涝等极端灾害场景下的应急通信保障与现场协同指挥。

通过 Mesh 自组网与多链路融合通信技术，系统在公网中断条件下仍可实现语音、视频及数据业务稳定运行，应急通信链路接通成功率达到 90%以上，多链路切换成功率达到 90%以上。平台具备网络拓扑实时展示、链路状态监测及关键业务优先保障能力，可有效提升复杂环境下通信网络稳定性与抗毁能力。

同时，平台实现了融合语音调度、视频会商、实时定位、轨迹跟踪及圈选呼叫等功能，提升了抢修资源调度效率与现场可视化指挥能力，为电力行业应急通信体系建设与数字化防灾应用提供了可复制、可推广的解决方案。

**公司简介：**南方电网数字电网集团（广东）有限公司立足国家新型电力系统建设战略，聚焦数字电网、工业互联网及电力数字化转型关键领域，持续推进新一代信息技术与电网业务深度融合。公司围绕电网系统建设、应急保障、通信网络及数字化运营等核心场景，形成了覆盖技术研发、平台建设、系统集成与运营支撑的综合能力体系，具备较强的数字化基础设施建设与行业应用创新能力。近年来，公司持续承担数字电网、应急通信、网络安全及生产指挥等重点项目建设任务，在电力行业数字化平台建设、应急保障体系构建及重大活动通信保障等方面积累了丰富经验，多项成果已在电网生产运行与应急保障场景落地应用，为电网安全稳定运行和数字化转型升级提供了有力支撑。

# 案例 9：面向新型电力系统的输变电设备图像智能治理与健康管理应用

——憨猴科技集团有限公司

**关键词**：多模态 AI；输变电设备健康管理；图像智能匹配；重复检测

## 1.背景及痛点

电网企业拥有海量杆塔、变压器、站房等输变电设备，日常巡检产生大量实拍图片。这些图片是设备健康管理、故障预警的重要数据基础，但长期以来面临三大痛点：

一是“账实不符”——巡检图片需人工逐张匹配至设备台账，效率低（100 张/2—3 小时）、错误率高（10%—15%）。

二是跨单位重复图问题严重——不同供电所对同一设备重复拍摄上传，造成存储浪费和数据冗余。

三是缺乏智能化治理工具——传统数据治理无法应对百万级非结构化图像，难以支撑输变电设备健康管理对高质量数据的需求。

亟需基于工业互联网架构，利用 AI 技术实现设备－图片智能匹配与跨单位重复检测，为设备健康管理提供干净、可信的数据底座。

## 2.基于工业互联网的解决方案

为解决以上问题，项目构建了一套多模态 AI 驱动的输变电设备图像智能治理系统，核心包括设备台账管理、图像自动匹配、重复图检测三大模块。




图 1 系统整体架构图

**（1）构建多模态融合匹配，实现多源数据比对校验**

智能体内置了“视觉特征+地理信息+设备属性”三模态融合感知与规划模块。当用户上传一批巡检图片后，智能体首先通过视觉大模型提取图片的深度特征，同时解析图片 GPS 信息，结合设备台账空间索引，自主规划出“地理约束初筛→设备类型分类→特征相似度排序”的多级匹配路径。与传统单一模态方法相比，匹配准确率提升至95%以上。首创“视觉特征+地理信息+设备属性”融合匹配算法，流程见图 2。




图 2 三模态融合匹配算法流程图

**（2）搭建向量检索搜索引擎，支撑海量信息研判**

已匹配图片的高维特征向量存入 Vastbase 向量数据库，构建跨供电所的图片特征索引。执行重复检测时，系统通过余弦相似度搜索，在指定单位范围内批量检索相似图片对，并针对不同设备类型设置差异化阈值（杆塔 0.85、变压器 0.88、站房 0.82）。检测结果自动生成包含重复率百分比、重复图片对详情、关联设备信息及所属单位的完

整报告。

**（3）建立人机协同保障机制，形成复核闭环管控**

人机协同的双重保障机制：智能体设计了“系统推荐+人工确认”的人机协同模式。在设备—图片匹配环节，智能体完成批量自动匹配后，将匹配结果推送给用户进行最终确认；在重复图检测环节，智能体识别出的重复对需要经过人工审核后方可执行清理操作。这种人机协同机制既发挥了智能体的批处理效率优势，又保留了专业人员的判断权威性，形成了“智能体高效执行、人类最终把关”的协同工作流。

**（4）全栈国产化技术体系，保障安全可控**

项目坚持“自主可控、安全可信”原则，从底层芯片到上层应用实现全国产技术栈闭环：采用通义千问多模态大模型进行图像特征提取，结合向量数据库实现亿级图像高效检索；系统全面适配麒麟操作系统及鲲鹏、昇腾等国产芯片平台，满足信创与数据安全要求。

**（5）打造一体化智能治理平台，支撑规模化落地**

为解决“实验室效果好、现场用不好”的行业难题，项目同步研发了电网设备图像智能治理一体化平台，具备四大核心能力：

- 设备图像自动匹配模块：支持批量导入 JPEG 等格式图片，自动解析 EXIF 经纬度与拍摄时间，完成图—账关联；
- 跨区域重复检测模块：按设备类型分组，自动识别不同供电所对同一设备的重复拍摄，生成重复对清单；
- 质量分析报告模块：一键输出含重复图、对比图、双方单位/班组、设备名称、子类型、拍摄内容、重复率（100%）等字段的

结构化报告。

- 平台提供 Web 可视化界面，已在试点单位验证，可快速复制至省、市、县三级供电体系，真正实现“技术可用→流程嵌入→业务好用”的闭环转化。




图 3 系统功能效果图

## 3.成效

### （1）核心指标

设备巡检图像自动匹配准确率≥95%、跨供电所重复图检测准确率≥90%、数据治理工作效率提升 80%以上、人工审核工作量减少 70%、年节省数据清洗、核验、存储等治理成本约 100 万元。该成果不仅解决了基层单位“图账不符、重复录入、协同困难”的现实难题，更打造了可复制、可推广的 AI 驱动电网数据治理新模式，为构建高质量电网数字底座、推进配电网智能化运行管理提供了坚实支撑。

**（2）经济社会效益**

在经济效益方面，系统上线后，某市电网公司数据治理成本显著下降。以人工匹配为例，原需数周完成的工作现仅需数小时，年节省人力成本约百万元；通过清理重复图片释放存储资源，为智能巡检、缺陷识别等高级应用奠定了高质量数据基础。

在社会效益方面，高质量的设备—图像关联数据为输变电设备健康管理（如杆塔倾斜预警）提供了可信数据基础，提升了电网运行安全性和供电可靠性。同时，该方案可复制推广至全国电网企业及铁路、通信等资产密集型行业，助力能源行业数字化转型。

**（3）可复制性**

本方案已形成标准化产品，具备跨行业、跨场景的快速部署能力。技术框架解耦，可独立扩展至设备缺陷识别、状态评估、寿命预测等输变电设备健康管理高级应用。

**公司简介：**憨猴科技集团有限公司成立于 2018 年，总部位于北京，是一家以提供人工智能算力专有云为核心、集算力基础设施与大模型行业应用于一体的人工智能企业。公司围绕“算力+模型”的双驱动战略，为智驾、电力等重点行业提供全栈式智能化解决方案，助力产业从数字化向智能化升级。作为北京市“专精特新”中小企业，憨猴科技已获得 60 余项发明专利和软件著作权，入选“北京市潜在硬科技独角兽企业”，荣获“中国科技创新年度企业（人工智能）”“中国最具发展潜力独角兽奖”等荣誉。公司与中国移动、浪潮、新华三、超聚变、摩尔线程、沐曦股份等战略伙伴紧密合作，共同推动人工智能产业生态协同发展。

# 案例 10：闽捷 AI 主动抢修指挥官

## ——国网福建省电力有限公司营销服务中心

**关键词**：光明大模型；低压主动抢修；智能问答；知识图谱；营配调一体化

### 1.背景及痛点

国网福建营销服务中心在业务实践中发现，传统低压配网抢修高度依赖人工经验与用户报修，主要存在以下三类突出问题：主要存在以下三类突出问题：

（1）故障研判耗时长：抢修人员需在多个业务系统间手动切换、反复核对设备台账与停电数据，单次故障排查平均耗时 2-4 小时，严重拉长了停电恢复时间，影响用户用电体验。

（2）故障研判误报率高：老旧小区设备信号波动大，“停电事件”频发，传统规则难以甄别真实停电与信号异常，导致大量无效工单下派，加重基层负担，挤占有限抢修资源。

（3）指挥调度操作门槛高：停电范围、故障原因等关键信息分散在不同系统中，一线人员难以通过简单操作获取结构化决策支持，调度效率低下，对人员经验依赖程度高。

### 2.基于工业互联网的解决方案

本案例以国网福建电力“光明大模型”为核心技术底座，融合低

压配电网多源异构数据，构建了一套面向低压主动抢修场景的智能问答系统。系统通过自然语言交互方式，实现停电范围、故障原因、影响用户等核心信息的“随问即答”，将传统“人找数据”模式转变为“数据随问即达”。整体技术架构如图 1 所示。

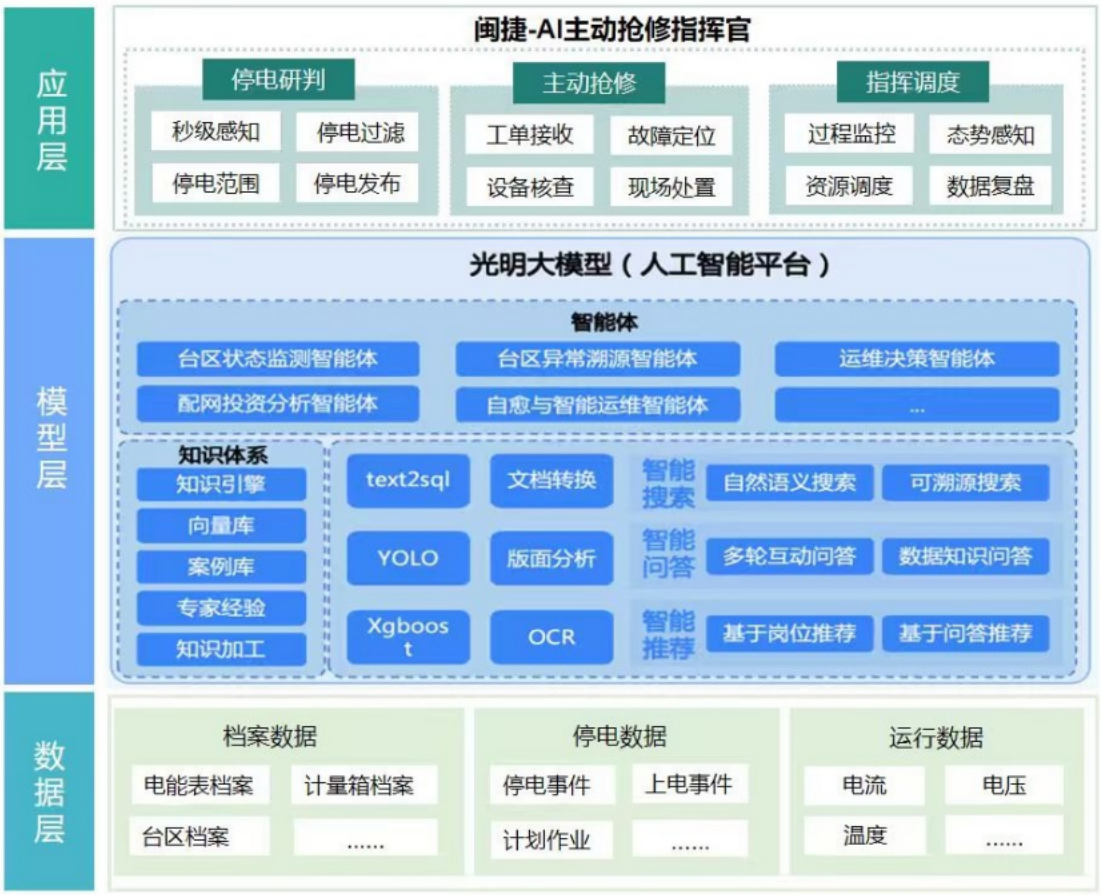


图 1 技术架构图

核心建设内容如下：

**（1）构建低压主动抢修业务知识图谱**

从历史工单、设备台账、拓扑图模、停上电事件等多源数据出发，对故障停电、计划停电、短时停电等场景信息进行语义关联，形成覆盖全省的领域知识图谱，为智能问答提供结构化知识基础。

**（2）基于“光明大模型”的语义解析**

依托“光明大模型”的语义理解能力，针对低压抢修领域特有的专业术语（如“总开研判数量”“拓扑图模异常”）和业务实体进行专项微调。结合故障、计划等高频场景特征，实现对模糊表述的精准消歧与意图解析，输出适配场景的查询指令。

**（3）低压主动抢修智能问答引擎**

采用 RAG（检索增强生成）架构，集成多轮对话状态跟踪与意图识别算法。当用户发起自然语言提问时，系统首先进行意图识别，随后通过思维链推理拆解复杂问题逻辑（例如，将“昨日泉州未报修但停电的用户有哪些”拆解为“筛选昨日停电用户”与“排除有报修记录的用户”两个子任务），接着从知识图谱中调取相关数据，最后由大模型生成可读的答案。

## 3.成效

致力于“抢修跑在客户感知前”的目标，已实现“3+N”工作成效。




图 2 工作成效

**（1）“3”个更加**

**①故障感知更快**

主动抢修工作能够及时发现并处理低压线路和设备的故障，对95598 工单数量压降也有一定成效，自全省推广以来，通过对比去年同期 95598 工单数量（全省推广以来 4182 单、去年同期 4611 单），下降约 9.3%。

**②故障定位更准**

停电范围精准研判，依托“电网一张图”，构建“总开、分路开关、分接箱、表箱、电表”多层级的低压台区拓扑结构，实时智能精准研判停电层级和故障范围，缩短故障排查时间。

**③抢修效率更高**

通过及时发布主动抢修工单，在客户尚未感知到停电之前，系统就会自动生成并派发抢修工单，现场人员能够在第一时间获取故障信息，提前做好抢修沟通准备，并迅速赶赴现场进行故障处理，停电抢修响应速度整体提升 20%。

**（2）“N”把管理利箭**

通过实施低压主动抢修，同时发掘了新的低压配电网管理的系统性问题（如发掘图模不准、基层对客户自拉自送管控不到位等管理问题），这些问题可以倒逼管理提升。

**公司简介：**国网福建营销服务中心负责省级计量采集、电费电价、客户服务、负荷与能效管理等营销全业务支撑工作，是福建公司最高计量技术机构，是福建公司五大智库单位之一。中心主要发挥“三个中心”定位功能。


新能源高效消纳

# 第二章 新能源高效消纳

新能源大规模高比例并网，是新型电力系统建设最突出的特征，也是“人工智能+”能源最具价值的应用方向之一。2026 年全国能源工作会议提出，全年新增风电、太阳能发电装机 2 亿千瓦以上，到 2030 年新能源发电装机比重超过 50%、成为电力装机主体。装机规模的持续跃升，正倒逼系统调节能力与消纳能力加速升级。

新能源高效消纳的关键，在于用数据与模型对冲风光资源的随机性与波动性。工业互联网把分散在场站、逆变器、气象站与交易平台的数据汇聚成可计算的资源图谱，通过人工智能把这张图谱转化为可交易的确定性——功率预测从“看天吃饭”走向小时级乃至分钟级精度，运维从“定期巡检、被动消缺”走向“状态驱动、预测性干预”，交易从“人工报价、经验决策”走向“时序预测、全流程闭环”。与此同时，数字孪生技术贯通“发—供—用”全链条，让区域能源系统在运行中持续优化、在仿真中先行验证；虚拟电厂与分布式能源的聚合运营，则为海量分散的绿色电力找到了参与系统调节的市场通道，让清洁能源既发得出，更送得稳、用得好。

本章节共收录来自南方电网数字电网研究院股份有限公司、北京京东数智工业科技有限公司等单位的 7 份案例，围绕高精度功率预测、分布式光伏数智运维、AI 辅助电力交易、新能源场站智慧运营、区域能源大数据中心、分布式光伏就地消纳等方面的最新应用成果。

# 案例 11：“夸父”新能源高精度功率预测系统

——南方电网数字电网研究院股份有限公司

**关键词**：云边融合；高分辨率；高时效；小时间尺度；全周期自动机器学习

## 1.背景及痛点

随着我国风、光新能源装机容量突破 18 亿千瓦大关，“十五五”末期功率日波动可达 6 亿千瓦，严重冲击电网安全。此外，全国统一电力市场提速要求新能源全量入市，企业迫切需要精准预测以支撑现货交易、规避高额考核。现行技术面临三大核心痛点：一是模型泛化与精度受限，海量源端数据清洗及特征筛选手段缺失，制约算法精度提升，且缺乏适配多元地形、气候及场站特征的泛化能力。二是预测边界深化与外延，随着新版“两个细则”考核加剧，导致系统准确率大幅下滑，预测时长拉长至 10～45 天，且超短期分辨率需由 15min 提升至 5min 以满足现货出清需求。三是复杂工况下可靠性不足，工程应用中 NWP 中断、实时功率缺失、模型失效频发，系统难以在极端工况下维持高精度预测。

## 2.基于工业互联网的解决方案

基于工业互联网架构，“夸父”新能源高精度功率预测系统采用云边协同的预测架构（图 1）。其核心业务后台“夸父”云版部署在

南网云安全Ⅳ区，依托强大的算力资源，承担海量多源异构气象数据的接入清洗、跨区域大数据融合以及全周期机器学习模型的集中式训练管理。而在各调度机构/集控中心、新能源场站，则轻量化部署“夸父”主站版与子站版系统，作为边缘预测节点，调用云端下发的最优模型参数在本地开展预测并实现高质量上报，显著降低场站考核压力。“夸父”的云边协同模式，为新能源高效消纳奠定了坚实的数字底座。

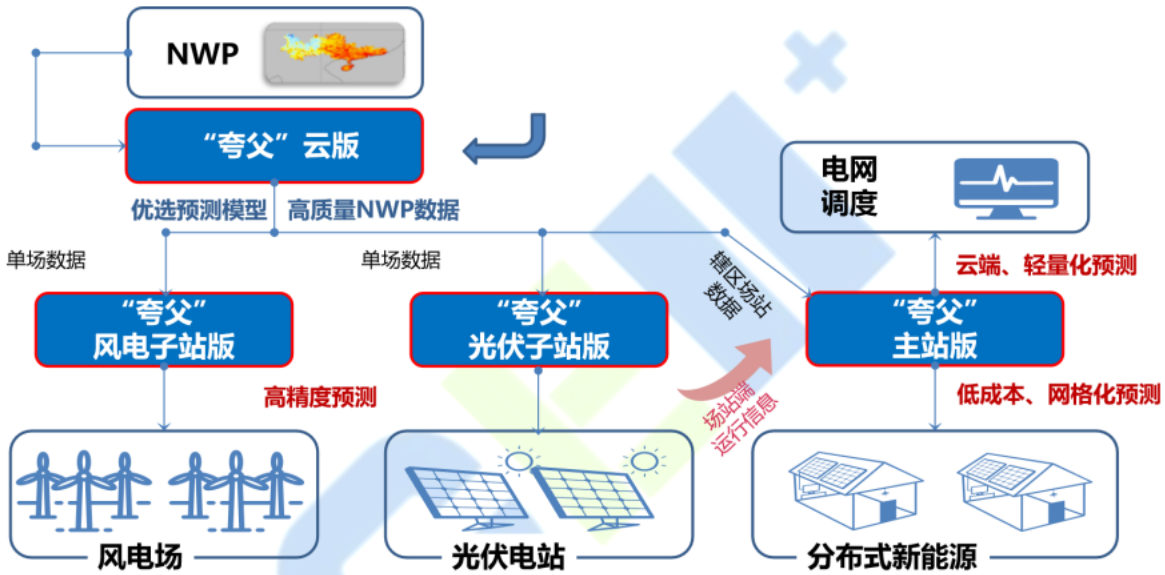


图 1 云边协同架构

针对源端海量异构数据清洗及特征工程面临的瓶颈，“夸父”在数据层和特征层实现突破。方案研发了海量数据极快速切片清洗与多阶段降噪技术，构建起涵盖欧洲 EC 与中国气象局等多渠道气象预报数据的交叉互校体系。通过建立多气象网格一对一映射规则消除时空异构性，并在特征向量级实现联级神经网络建模，引入基于可解释人工智能的气象特征交叉递归优选技术，从源头上解决了杂余数据干扰、算法精度受限的问题，提升功率预测精度上限。

在算法演进与多场景泛化层面，“夸父”融合了多模型集成学习

与先进的迁移学习机理。基于全周期自动机器学习框架（图 2），集成了包含 BPNN、GBRT、XGB、DTR 等 20 余套 AI 预测算法。通过提出超参数变步长寻优技术，可针对不同新能源场站自适应调整参数结构并进行模型优选。同时引入地形复杂因子的网格权重分配算法，利用 GIS 技术量化地形起伏与坡度对功率预测的影响，构建地形适配性权重模型，并结合天气场景识别实现多网格集成预测，进一步提升预测精度。此外，针对新建或扩容场站的历史数据空白，本方案攻克了预测模型迁移学习技术，共享南方区域 600 座新能源场站的预测模型和知识，自适应匹配运行特性，解决了知识迁移的瓶颈问题。

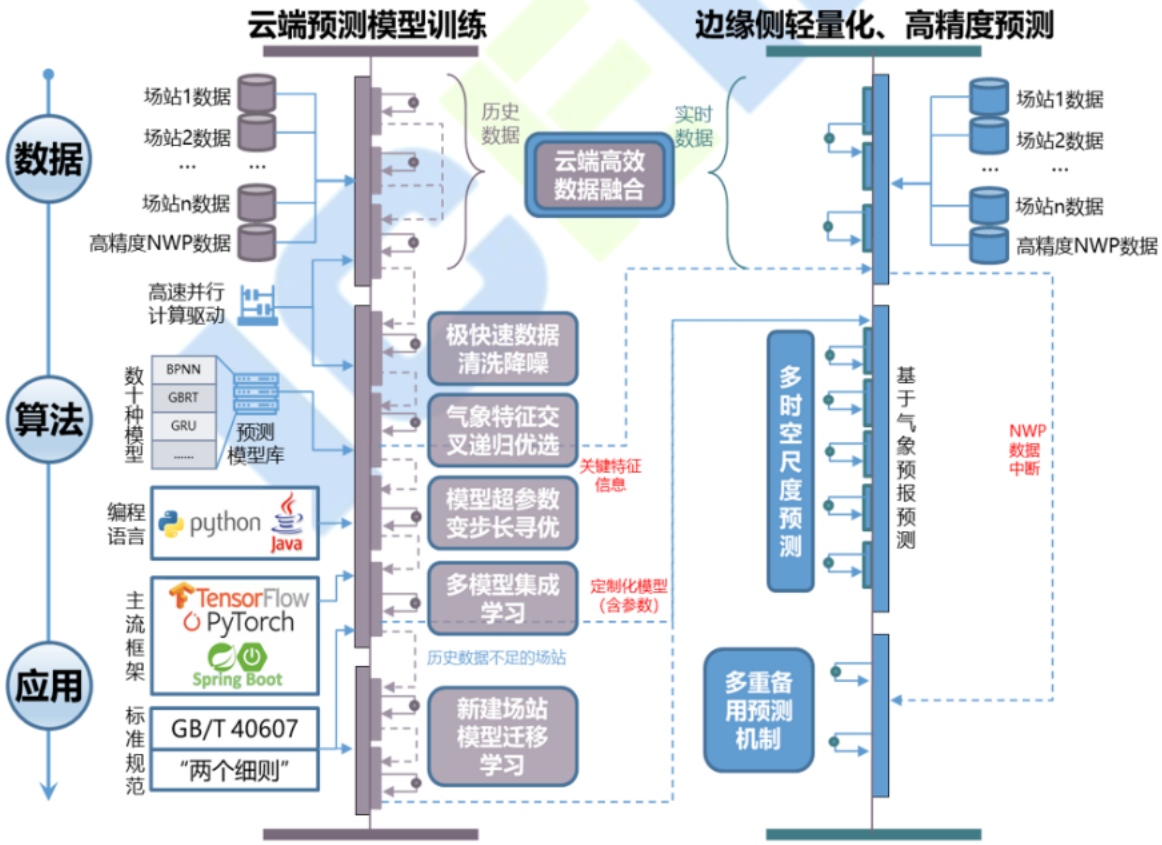


图 2 全周期自动机器学习框架

为保障稳健性与业务连续性，在应用层构建了数据与模型多重备

用的预测可靠性提升技术。针对 NWP 数据短时中断、实时功率缺失以及预测模型失效等意外工况，“夸父”提出了面向复杂工况的多备用模式灵活平滑切换策略，实现对恶劣工况的兼容，提升了功率预测系统的整体可靠性。基于微服务架构实现核心模块的分布式集成，并采用容器化技术完成产品部署，有效降低了场站的适配与运维成本。

方案提供了高精度、低成本、轻量化的短期、超短期、中长期功率预测服务，为发电企业积极规避新版“两个细则”考核、满足电力现货出清需求提供了核心的技术支撑。

**3.成效**

自 2023 年博鳌新型电力系统论坛正式发布以来，“夸父”新能源高精度功率预测系统展现出显著的产业示范效应与社会经济效益。在应用规模方面，系统已在南网总调，海南、贵州中调等调度机构以及海南澄迈光伏电站、广西民钦光伏电站等新能源场站推广，直接服务于超过 600 座新能源电站（总容量超过 4200 万千瓦），并于 2026 年进一步推广至云南国电电力富民风电开发有限公司。经工程验证，实际预测准确率高出国家标准要求 7%至 8%，技术成果整体达到国际领先水平。

在数字化赋能与经济效益层面，“夸父”已实现直接销售收入超 3.12 亿元，并凭借高精度的出力消纳能力，为电力系统产生间接经济效益达 108 亿元，相当于减少调峰调频电源建设容量 240 万千瓦。功率预测精度每提升 1 个百分点，每年可优化 11.64 亿千瓦时绿色电量。

此外，依托“夸父”，公司作为第一完成人制定了能源行业标准《NB/T 10205-2019 风电功率预测技术规定》，并牵头国际特大电网运营商组织预测工作组。拥有 3 项软件著作权、20 余项发明专利并同步申请 PCT 国际专利。曾荣获 2022 年“直通乌镇”全球互联网大赛一等奖并斩获第 48 届日内瓦国际发明展金奖。该成果具备广阔的国际推广价值，广泛适用于全球各地新能源功率预测业务。

**公司简介：**南方电网数字电网研究院股份有限公司，是全球首家数字电网研究院，2020 年入选国务院国资委首批“科改示范企业”，2021 年、2022 年获评国务院国资委“科改标杆企业”，2022 年获评国务院国资委“创建世界一流专业领军示范企业”；全资子公司大数据公司获评 2022 年国务院国资委“双百”标杆企业、2023 年国务院国资委“双百”优秀企业，全资子公司数字电网公司和大数据公司获批工信部专精特新“小巨人”企业。先后参与承接《数字电网关键技术》《宽温域高精度量子电流敏感元件及传感器》等 13 项国家重点研发计划项目和国家重大科技专项项目及 1 项省级重点研发项目。先后参与制定 82 项标准，有效发明专利 1475 项，共荣获中国电力科学技术奖等 30 项科技创新奖项。

# 案例 12：AI+工业互联网打造分布式光伏数智运维“五网融通”新模式

——北京京东数智工业科技有限公司

**关键词：**人工智能；分布式光伏；数智运维

## 1.背景及痛点

分布式光伏发展迅速，传统方式难以满足业务发展需要，分布式光伏点多面广、电站体量小、布点分散、区域跨度大，随着户用分布式光伏行业的高速发展，作为新能源行业的头部企业，上海源烨新能源有限公司（以下简称“上海源烨”）在分布式光伏领域面临着监管无抓手，监管难度大；运维效率低，故障处理及时性差；运维人员资质参差不齐，运维质量难以把控；备品备件供应时间长，清洗难度大，且很难判断清洗的投入产出等问题。上海源烨思考如何通过线上线下一体化能力，与北京京东数智工业科技有限公司合作（以下统称简称“京东工业”），利用京东工业在物流资源以及县域服务网络运维优势，通过智能技术能力来解决企业自身痛点。

## 2.基于工业互联网的解决方案

面对上海源烨在分布式光伏运维的痛点，京东工业以京擎互联工业互联网双跨平台为基座，以京备云为基础，利用 AI、物联网、大数据等技术能力，以及京东遍布全国 2800 个区县线下服务网络体系、覆盖光伏电站 90%以上的备品备件品类、强大的仓储物流能力等优势，

为客户提供云网、人网、货网、仓网、数网“五网融通”数智运维新模式，实现电站精确监控、智能分析、故障处理快速响应，运维人员规范管理、备品备件高效调配、仓储资源共享，助力分布式光伏运维全链路合规、降本、提效、保供。运维模式如图 1 所示。




图 1“人工智能+光伏”数智运维新模式

云网：以工业互联网双跨平台为基座，已为上海源烨实现近 16 万台分布式光伏电站数据直连、数据分析、故障诊断、自动派单，全流程数智化、自动化，大幅度提升监管效率和运维效率。为了降低运维成本，精准运维，利用 AI 进行智能分析，包括限电损失、故障损失、阴影损失、积灰损失并进行清洗预测，提高预判准确性，实现精准运维，降低运维成本。其中积灰分析，是基于对脏污程度在任意时间维度的预测、模拟，对因积灰、脏污所造成的发电量损失进行仿真分析，并结合未来 7—14 天的天气情况，基于系统的运筹算法模块计算该配置下最优的清洗建议，还可进行仿真，预估收益情况，合理分配清洗力量，降低成本。阴影遮挡分析是通过捕捉电流的变化规律，分析阴

影遮挡类型，提高告警准确率，精准运维。智能分析如图 2 所示。




图 2 智能分析

人网：京东遍布全国 2800 个区县线下服务网络体系，10 万+运维工程师，具有成熟的管理体系。对运维人员建立一人一档，严格管理人员资质、安全交底、培训考试等，严控运维质量。为保证安全合规，系统内置标准服务规范，运维人员按照标准规范履约并反馈形成闭环，严格落实两票制度，提高安全性。

货网：京东工业覆盖光伏电站场景 95%以上的备品备件品类，同时京东工业具有万仓合一的商品供应能力，将资源进行统一调度，支撑供应链资源的最优配置，通过运维小程序便捷购买。

仓网：京东具有 43 座亚洲一号，超 3100 个仓库，仓储面积超 3000 万㎡，通过多级仓网配送能力，及时将备品备件送至工程师手中，及时维修，降低损失。并建立工程师个人仓库，对备品备件的使用情况进行严格管理。

数网：完整全面的数据链路贯穿始终，运维工单全流程全环节可监、可管、可追溯，提高管理质量，并可清晰掌握备品备件去向。

**3.成效**

（1）实现运维全过程透明、合规管控

平台实现所有电站数据资产化，逆变器数据直连，独立自主可控，实现对资产全生命周期管理。从整体到局部到每一个电站每一个工单每一个环节，全部做到可监、可管、可追溯，并将运维考核落到实处，实现管理闭环，真正做到运维全面监管，监管效率提升约 30%。

（2）运维效率整体提升

在运维方面，户用光伏电站分散、场景多样，农户主体带有 C 端属性，实现“在线监控、故障告警、自动派单，接单响应、上门服务、服务追溯、故障分析”等线上线下一体化闭环运维流程，运维效率整体提升约 20%。

（3）运维成本显著降低

上海源烨利用京东人网能力、实现资源复合利用，运维人员规范管理，科学规划运维频次和作业路线。并利用人工智能技术进行智能分析，提高预判准确性，精准运维，实现运维服务成本下降 17%。

（4）备品备件供应及时性显著提升

上海源烨利用京东工业覆盖光伏电站 90%以上的备品备件品类及强大的仓储物流等能力实现仓储资源合理规划和共享、备品备件高效调配，备品备件供应时效提升 32%，保发增发。

**公司简介：**京东数智工业科技有限公司是京东集团旗下专注于工业供应链技术与服务业务的子集团。通过践行全链路工业供应链数智化，京东工业已经成为中国领先的工业供应链技术与服务提供商，为客户实现保供、降本、增效；致力于在供应链中打造一条链接供需双端、横跨不同行业、兼容不同类型物料的数字高速公路，让数据多流动、让商品少跑动，实现产业成本和效率的持续优化。

# 案例 13：AI 辅助电力交易系统全流程智能化升级

——羚羊工业互联网股份有限公司

**关键词**：AI 电力交易；时序预测；算电协同；全流程闭环；大模型

## 1.背景及痛点

随着安徽电力现货市场启动长周期连续结算试运行，市场活跃度大幅提升，导致交易员工作量激增。企业面临四大核心痛点：一是新能源出力、用电负荷、电价波动三大核心指标预测精度不足；二是人工交易策略对市场波动适配性差，难以应对复杂行情；三是交易操作效率低，人工盯盘与摘挂牌耗时费力；四是交易后复盘缺乏标准化归因体系，难以持续优化决策。亟需通过 AI 技术实现电力交易全流程智能化升级，以提升交易收益、降低人工负荷并管控交易风险。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本项目围绕“算电协同、以算优电”思路，采用大模型、时序预测、强化学习、RPA 自动化等技术，构建了“数据融合—智能预测—策略生成—自动执行—收益优化”的全流程智能交易闭环体系。

### （1）系统总体架构




图 1 系统总体架构

**（2）核心交付内容与技术路线**

**核心预测能力：**预测层融合多源数据，构建新能源出力、用电负荷、电价三大指标精准预测模型，实现多时间尺度、多场景的高精度预测，为交易决策提供量化支撑。

**差异化策略体系：**决策层采用强化学习与多目标优化算法，打造保守型、稳健型、激进型三套现货交易策略，精准适配客户不同风险偏好与收益目标。

**自动化交易工具：**执行层通过 RPA 技术对接安徽电力交易中心，配套滚动撮合自动化申报、绿电自动摘挂牌工具，覆盖交易执行全环节，并实现风险预警与仓位监测。

**全流程闭环管理：**应用层搭建市场概览、中长期滚搓、现货交易、复盘分析四大模块。引入策略备案与分级审批机制，实现交易全过程

数字化管理和可追溯管理。通过 K 线图、热力图等可视化工具支撑决策，自动生成标准化复盘报告，精准定位收益波动核心原因。

**3.成效**

项目上线后国能安徽综合能源实现常态化稳定运行，各项核心指标显著提升。

**交易操作效率大幅提升：**滚动撮合交易监控时间从 1.5 小时缩短至 15 分钟以内，效率提升超 84%；绿电摘牌操作时间从 1 小时压缩至 10 分钟以内，效率提升 83%以上；结算单、交易报表等数据分析效率提升 95%，单项目日均节约人力 2—4 小时。

**预测精度行业领先：**安徽省省级电力负荷预测准确率达 94%以上，用户级负荷预测准确率 93%以上，日前电价预测准确率稳定在 85%以上，为交易决策提供了精准的数据支撑。

**交易收益实现跨越式增长：**通过差异化 AI 策略，2025 年 9 月至 12 月累计实现单一售电交易主体现货套利超 400 万元。其中，8 月未采用 AI 策略时亏损 1.02 万元，9 月采用稳健型策略后单月套利 32.25 万元，10 月采用激进型策略单月套利达 116 万元，成功实现由亏损向持续高额盈利的突破。

该项目有效提升了企业市场竞争力和风险管控能力，形成了“以算优电”的算电协同范式，为电力市场高质量发展和“双碳”目标实现提供了有力支撑。

**公司简介：**羚羊工业互联网股份有限公司成立于 2022 年，由科大讯飞、数字安徽、合肥产投等投资，致力于以工业与能源大模型等 AI 技术推动制造业及能源行业智能化转型。2025 年 11 月，羚羊发布能源大模型及电力交易、设备运维垂直场景模型，深度覆盖设备诊断、功率预测、电力交易等六大关键领域，为能源全链条提供智能支撑。目前，公司已与众多国央企构建协同生态：助力中国华电打造“华电智”大模型；联合国家能源集团打造全球首个千亿级发电行业大模型“擎源”；助力中国石油构建昆仑大模型实现全链条部署；并与华能集团、国家电投集团达成战略合作，共建“数智华能”及“人工智能+能源”联合实验室，全面赋能产业生态。

# 案例 14：基于工业互联网的新能源智慧运营平台

——朗坤智慧科技股份有限公司

**关键词**：新能源；智慧运维；AI+；数智融合；分级诊断

## 1.背景及痛点

内蒙古智慧运维新能源有限公司在新能源运维中长期面临“散、慢、粗、被动”的痛点：风电、光伏、储能场站分散各地，缺乏统一集控，人员投入大、成本高；以事后维修为主，预测性维护能力薄弱；故障诊断依赖人工经验，告警阈值“一刀切”导致误报漏报，早期缺陷难识别，根因定位不准；检修方案靠人工编制，缺少结构化指引，停机时间长；海量测点未有效整合，数据孤岛严重，各层级缺乏“一张图”式全景视图；发电潜力挖掘不足，光伏遮挡、灰损等隐性损失难以主动发现，缺少机组寻优和功率预测等优化手段；专业知识分散，一线人员复用门槛高。这些问题制约着运维效率与发电效能的提升，亟需通过 AI 与数据驱动实现智慧化转型。

## 2.基于工业互联网的解决方案



图 1 新能源智慧运营平台

### （1）建设背景与目标

围绕公司发展战略，依托数字化新技术打造公司级技术平台，将信息系统与业务、流程深度融合，实现“数据融合+业务协同+智能应用”的转型目标。

平台定位为公司级工业互联网平台，深度融合工业互联网与人工智能技术，以 AI+数据双轮驱动，打造新能源场站“可监、可管、可预警、可优化”的智慧运维新体系，持续挖掘数据价值，构建高效预警分析与诊断模型，提升运维质效、降低综合成本，建设成为内蒙古自治区富有影响力的工业互联网平台，为行业及上下游企业赋能。

### （2）建设思路

基于云、大、物、移、智等技术，构建“能源流、信息流、数据流”通道，整合分散数据资源，建立统一数据治理标准，完成新能源数据大融合。总体架构划分为数据接入层、数据环境层、基础平台层、业务应用层、统一展示层五部分。

### （3）建设内容

**①总体架构：**构建一体化智慧运营平台 以智慧运营平台为核心，搭建管理大屏、层级驾驶舱、集中监盘、预警诊断、智能维检、安全生产、能效评估、知识库等八大业务模块，覆盖运营管理全场景，推动运维模式从“分散孤立”到“统一集控”、从“事后维修”到“预测性维护”、从“经验依赖”到“数据驱动”三大转变。

**②数据底座：**搭建一体化数据中心 构建统一数据中心，覆盖数据采集、归集、存储、服务全链路，接入升压站设备、风电场、光伏电站、储能电站、气象与环境、功率预测、视频、业务管理等 8 类数据源，覆盖近百个场站（含风场、光伏场站、储能电站）、600+路视频，接入上千万个实时测点，为深度能效分析和运营决策提供科学依据。

**③纵向贯通：**集团—区域—场站三级“一张图” 打造“集团公司综合监管中心—区域中心综合监管中心—场站综合监管中心”三级监管体系，对应“公司决策层—区域管控层—场站执行层”三级管理架构，做到决策有依据、管控有比对、执行有定位，实现关键指标、业务状态与风险预警的一站式可视化管理。

**④横向贯通：**智能监盘覆盖运检业务全要素，围绕场站运检业务搭建场站总览、场站监视、场站运维、设备预警、能效分析、场站巡检、场站视频七大功能模块，通过 AI 和大数据技术从监视、运维、巡检角度全方位保障场站人员，实现规范化运维、科学化管理。

**⑤十大核心应用场景：**围绕运维全流程构建十大应用，包括集中监控纵向穿透、Ⅳ诊断、故障预警、三维可视化建模、风机预警、振

动分析、光伏预警、智能巡盘、诊断报告、智能问答。其中风电针对每台机组 7 个核心部件部署 22 个智能预警模型；光伏构建 3 类设备、8 种模型、超 4 万个模型实例的检测体系；储能聚焦电芯寿命等参数建立健康评估。

**⑥AI 技术硬实力支撑：**通过自适应阈值挖掘、高频振动分析等技术创新，动态优化报警边界，克服人工设定“一刀切”导致的误报漏报，可识别轴承外圈等微小早期缺陷；融合设备机理模型、振动信号分析、工况数据等多种诊断方法实现故障根因定位，并通过三维可视化技术将告警关联至具体部件；大模型与新能源知识库深度融合，支持自然语言交互，让专业知识“随手可得”；基于行业知识库与检修经验自动生成诊断报告并推送工具、备件清单和安全措施等处理建议，赋能现场人员快速消缺。

**3.成效**

（1）集中管控体系建成

构建“集团—区域—场站”三级架构，覆盖风光储全业态，实现统一监视、统一调度，达到“无人值班、少人值守”。

（2）设备数字化档案库行业领先

累计导入逻辑设备数据百万条，生成设备台账百万条，实现全类型设备“一机一档、一件一档”，数据覆盖全生命周期。

（3）AI 预警诊断能力全面覆盖

累计部署近百种核心故障预警预测模型，，覆盖风机齿轮箱、主

轴承、叶片等部件，光伏箱变、逆变器等核心设备及储能电池健康状态、温变趋势等，实现全业态、全设备、全层级覆盖，支撑预测性维护。

（4）业务流程数字化与闭环管理

工作票、操作票全流程数字化，办理时间从平均 1 小时压缩到 30 分钟，效率提升 50%；缺陷、故障、检修业务闭环，系统自动推送预警、匹配资源、一键派单，全程可追溯；在危险区域和高频检修地点装设固定摄像头并配置临时布控球，做到“无视频不作业”。

（5）运维模式全面跨越

实现从“分散孤立”到“统一集控”、从“事后维修”到“预测性维护”、从“经验依赖”到“数据驱动”、从“纸质流转”到“全程数字化”的四重升级。

**公司简介：**朗坤智慧科技股份有限公司成立于 1999 年，是国家重点软件企业、国家制造业单项冠军企业，也是国家级跨行业跨领域工业互联网平台核心企业。公司自主打造苏畅工业互联网平台与瑶光工业大模型两大核心产品：苏畅平台连续 4 年入选国家级“双跨”平台，在 2025 年工信部动态评测中获评最高 A 级；瑶光工业大模型已沉淀 155 个行业智能体，相关方案入选工信部“人工智能赋能新型工业化典型应用案例”，并斩获 2025 年第七届工业互联网大赛全国总决赛总冠军。公司全面推进“All In AI”与全球化战略，深耕发电、煤矿、化工、冶金等领域，通过 CMMI5 级全球最高软件研发资质认证，拥有发明专利及软件著作权 500 余项，服务超 1500 家央企国企，业务覆盖全球 20 余个国家。

# 案例 15：“发－供－用”全链条数字孪生的盐城市智慧能源大数据中心

——上海电气集团数字科技有限公司

**关键词**：智慧能源；大数据驾驶舱；风光资源评估；新能源消纳；源网荷协调

## 1.背景及痛点

盐城作为中国东部沿海重要的能源基地，拥有江苏省最长的海岸线和最广袤的滩涂，风能、太阳能资源禀赋极其优越。截至案例建设期，盐城新能源装机容量已突破千万千瓦，成为区域电力供应的主力。然而，爆发式增长也带来了“成长的烦恼”：其一，资源家底不清，对全市风、光资源的时空分布、可开发潜力的掌握停留在静态估算，无法动态指导规划；其二，资产管控失明，“五大六小”等众多投资主体在盐项目星罗棋布，形成了数据烟囱，导致整体发电效率、设备健康状态难以全盘洞察；其三，经济环境效益难量化，大规模新能源并网对区域电网的支撑作用和减碳贡献缺乏直观、精准的追踪手段。这些痛点严重制约了盐城从“能源大市”向“能源强市”的跨越。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本方案以“盐城市智慧能源大数据中心”为载体，构建了一套“看资源、管资产、控运行、算效益”的工业互联网平台，其核心是按照“有什么、开发什么、运营得如何、消耗了多少”的逻辑线，实现城市

级能源全景数字化。




图 1 盐城市智慧能源大数据中心效果概览

核心功能阐释：

（1）资源全景评估：

平台整合高精度气象再分析数据、地理信息系统与海洋水文数据，动态生成覆盖盐城全域的风、光、海浪资源图谱。它超越了静态平均值，可展示各行政区、海域的风速、辐照度时空变化曲线，并叠加生态保护红线、电网廊道等约束条件，精准计算理论储量与技术可开发量，为海上风电、光伏基地的宏观选址和开发时序提供了“上帝视角”的数字依据。

（2）资产精准映射：

针对多投资主体的管理壁垒，平台建立了“新能源项目全息档案”。通过打通各企业生产系统，将全市所有风、光、火、生物质发电项目与变电站、输电线路等网架结构进行拓扑关联，形成“场-站-线”一张图。在卫星屏上，哪个区县有哪些企业开发了何种类型的项目、装机容量占比、并网状态、重点项目实时建设进度均一目了然。散状分布的新能源项目围绕升压站汇聚，清晰地勾勒出盐城新能源大网的物理形态。

（3）运营穿透监控：

平台实现了从宏观到微观的穿透式管理。宏观层面，可对比分析“五大四小”发电集团及本地企业在盐城的发电量、利用小时数，形成多维度对标；微观层面，可穿透至单台风机、单个逆变器，实现智能故障预警和能效评估。同时，以重点项目、重要变电站为节点，实时监测各汇集站的上网电量与潮流分布，精确掌握绿色电力的输送去向与消纳情况，保障电网安全稳定运行。

综合效益量化：

平台构建了区域能碳分析模型。一方面，动态计算新能源替代标煤、减少二氧化碳及森林砍伐量的累积与实时环境效益，将绿色贡献可视化。另一方面，结合区域 GDP、重点用能单位能耗数据，分析单位 GDP 能耗趋势、绿电消纳占比等指标，精准量化能源转型对地方经济发展的绿色支撑作用，为政府制定产业政策和能耗“双控”向碳排“双控”转变考核提供核心数据抓手。

**3.成效**

盐城智慧能源大数据中心上线后，取得了显著的管理、经济与社会效益，成为城市能源数字化转型的标杆。

管理效益飞跃：彻底打破了数据孤岛，政府能源主管部门首次拥有了覆盖全市域、全类型能源资产的“一站式”监控平台，实现了从被动接收统计报表向主动实时洞察的转变。新能源项目审批、建设监管、运行考核的效率提升，能源决策从经验驱动升级为数据驱动。

运营效益凸显：通过多层级对标分析与设备级故障预警，助力区域内新能源电站平均无故障运行时间提升。精准的光伏五点四段分析和线损对标模块，帮助场站快速定位能量损耗关键环节，场用电率和场损率均有降低。资源评估功能为新项目开发节约了前期勘察选址时间。

社会经济效益卓越：平台可视化呈现的“千万千瓦级”绿色成就和实时跳动的亿万级环境贡献数据，极大提升了城市绿色品牌形象。精准的需求侧响应和源网荷协调功能初显成效，有力保障了高比例新能源接入下的地区电网安全。更重要的是，该中心正吸引着新能源装备制造、运维服务和绿电交易等产业链上下游企业集聚，为盐城打造“绿色能源之城”注入了强大的数字动能。

**公司简介：**上海电气集团数字科技有限公司（简称“电气数科”）是上海电气集团股份有限公司直属子公司，是集团数字化产业发展和转型的关键载体。公司聚焦能源和工业装备细分领域，致力于成为能源和工业装备领域领先的数字化平台和解决方案提供商。对内，立足离散装备制造优势，成为上海电气产业转型和发展的新引擎；对外，聚焦能源和工业装备细分领域，成为数字赋能技术创新和应用的先行者。面向离散制造企业，融合信息技术和数字技术，聚焦工业互联网、企业管理信息化、智慧供应链、数字化工厂、基础设施及云服务、智慧空间与传播等领域，实现产品、生产、服务、管理的数字化和智能化。公司拥有专业的技术团队及丰富的实施经验，以“扎根装备制造、实施数字赋能、引领创新转型”为导向，推进装备制造业的数字化、网络化、智能化和绿色化。

# 案例 16：分布式光伏 AI 智能预测与全场景智慧运维消纳解决方案

——华溯科技（北京）有限公司

**关键词**：分布式光伏 AI 预测；就地消纳优化；新能源预测性运维；智能巡检路径；场站集中监控

## 1.背景及痛点

工业园区分布式光伏规模化部署已成为能源转型的重要路径，煤炭储运场景拥有大面积屋顶资源，为分布式新能源消纳提供了天然载体。但传统运维模式面临三大核心痛点：一是发电量依赖人工经验估算，未融合气象与负荷多维数据，功率预测误差超 22%，导致弃光严重、厂区负荷匹配失衡；二是光伏、风机、配电设备分散分布在码头与煤棚各处，人工巡检路线重复、排班不合理，设备故障发现滞后，发电量损耗严重；三是新能源台账与发电量统计依赖线下管理，消纳数据无法实时分析，就地消纳率不足 50%。大量绿电低价上网或弃用。传统运维模式亟需 AI 赋能，实现精准预测与高效消纳。

## 2.基于工业互联网的解决方案

依托工业互联网数据融合底座，落地“光伏新能源 AI 智能运维平台”，构建“数据融合－AI 预测－智能调度－消纳分析”四层架构，适配煤炭行业分布式新能源场景特征。作为首个面向煤炭行业的分布式光伏 AI 智能消纳平台，项目实现了从“经验估算”到“数据驱动”

的新能源运维范式转变。

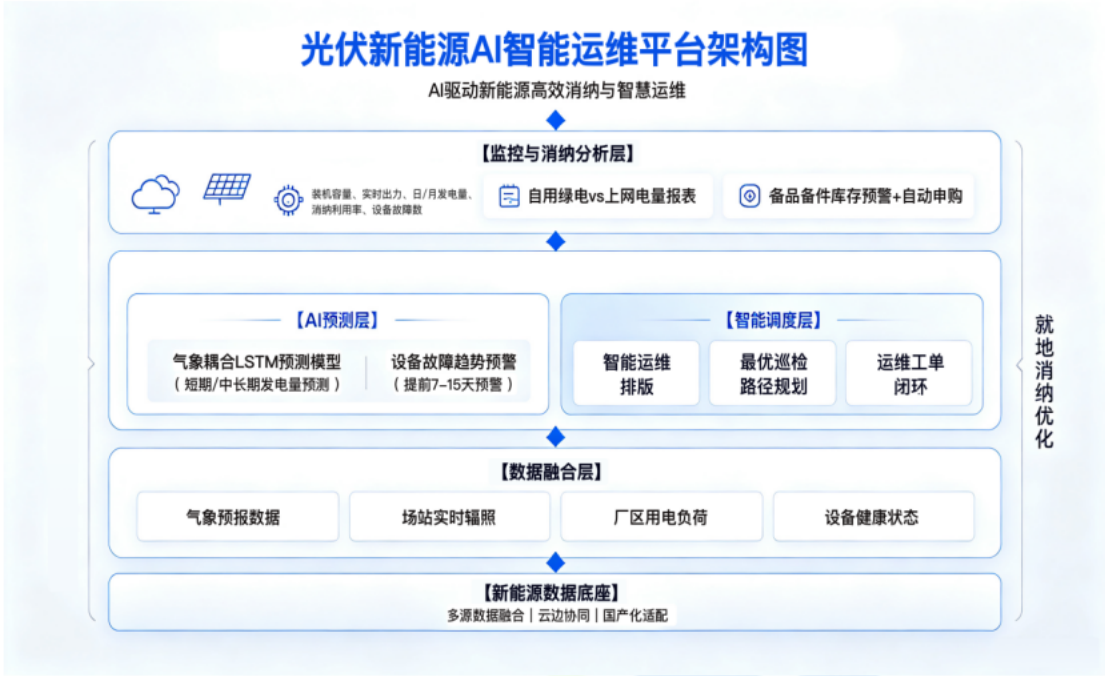


图 1 光伏新能源 AI 智能运维平台架构图

**（1）多源数据融合 AI 发电量预测模块**

平台接入气象预报、场站实时辐照、厂区用电负荷、设备健康状态等多源工业互联网数据，构建气象耦合 LSTM 预测模型，实现短期、中长期风光发电量精准预测。基于预测数据匹配厂区皮带输送、照明、装卸设备用电负荷，动态优化新能源就地消纳配比，减少光伏富余电量外送损耗与弃光问题，提升绿电自用比例。

**（2）新能源设备 AI 故障趋势预警**

采集光伏逆变器、箱变、皮带电机、风机温度、振动、出力数据，AI 算法持续拟合设备运行曲线，识别性能衰减、温升异常、隐性故障趋势，提前 7—15 天推送预警工单，将新能源设备运维由定期检修转为预测性维护，避免组件、电机故障造成发电量损失。

### （3）智能运维调度优化体系

平台内置两大 AI 调度能力：①智能运维排班，根据场站距离、设备故障优先级自动分配运维人员；②最优巡检路径规划，针对码头、煤棚点位分散特点，自动规划最短巡检路线，减少车辆、人员往返耗时。配套运维工单闭环流程，故障上报、派工、检修、验收全线上流转。




图 2 分布式光伏 AI 智能运维调度中心

### （4）分布式新能源统一监控与消纳分析

搭建新能源运维总览大屏，集中展示码头、煤棚所有分布式光伏装机容量、实时出力、日\月发电量、消纳利用率、设备故障数量；自动生成多维度消纳分析报表，区分厂区自用绿电、上网电量，直观展示新能源就地消纳成效，支撑负荷优化调整。

### （5）备品备件智能保障配套

联动平台备品备件模块，针对光伏组件、逆变器、电机轴承等耗

材建立库存阈值预警，低库存自动发起智能申购，保障故障设备快速更换，缩短新能源停机时长，持续保障消纳能力。

**3.成效**

该方案已在 2 个工业园区全面部署，覆盖约 15MW 分布式光伏场站，累计运行超 14 个月，实现分布式新能源高效消纳与智慧运维质效双升：

**（1）发电量预测精度大幅提升。**融合气象与负荷数据后短期功率预测误差降至 8%以内，厂区分布式光伏就地消纳率提升 22%，大幅减少弃光现象，绿电自用比例显著提高，年减少弃光电量约 55 万千瓦时，新增绿电收益约 41 万元。

**（2）设备可靠性显著增强。**新能源设备故障提前预警，光伏组件、配电电机隐性故障提前识别，设备非计划停机时长减少 51%，全年挽回损失约 15 万千瓦时，折合约 11 万元。

**（3）运维效率与成本全面优化。**运维人力成本大幅下降，AI 最优巡检路径+智能排班减少 40%外勤巡检工作量，场站驻场运维人员精简至 1 人，工单处理效率提升 65%，年节约约 18 万元。

**（4）管理数字化升级。**数字化报表自动生成，省去人工统计发电量、消纳数据工作，管理效率显著提升；已形成标准化园区分布式新能源消纳运维方案，支持分布式光伏设备全天候在线监控，为工矿企业屋顶光伏高效就地利用提供可复制的工业互联网实践路径，助力厂区清洁低碳转型。

**公司简介：**华溯科技（北京）有限公司专注能源工业互联网、电力 AI 平台研发和新能源 AI 智能运维，核心能力覆盖装备故障预判、多模态感知融合、数字孪生建模、多源数据融合分析等方向，核心产品有能源安全管控、新能源运维一体化、智慧办公等，支持私有化部署。拥有机器视觉识别、设备故障预判、多源数据融合等核心技术，落地煤炭码头、封闭式储煤棚、分布式光伏等场景。依托云边端协同底座打通感知、AI、业务全链路，形成“感知—预警—处置—优化”闭环体系，帮助企业降低运维成本、前置安全风险、提升数字化智能化水平，赋能能源行业数字化低碳转型。

# 案例 17：“云边端”协同的变电站运维 AI 履责装置

## ——长扬科技（北京）股份有限公司

**关键词：** AI 履责装置；云边端协同；数字责任清单；变电站智能运维；责任追溯

### 1.背景及痛点

随着2024年全国安全生产治本攻坚三年行动启动及2025年“AI+安全生产”的深化部署，电力行业同步将变电运维智能履责纳入刚性监管范畴。同时，随着生产规模不断扩大，传统安全生产责任制落实普遍存在四大痛点：一是责任界定模糊，跨部门交叉业务存在责任推诿，岗位责任照搬模板，与现场操作脱节；二是责任传递衰减，呈现“上热中温下冷”特征，一线岗位责任认知模糊，末端执行断层；三是考核流于形式，依赖台账检查，缺乏过程性数据支撑，考核结果与奖惩脱钩；四是责任追溯困难，发生安全问题后无法快速定位到人，问责缺乏客观依据，难以形成有效震慑。这些问题导致安全生产责任制长期停留在纸面，无法真正落地，给工业生产带来持续性安全隐患。

### 2.基于工业互联网的解决方案

长扬科技基于工业互联网架构，长扬科技推出 AI 履责装置一体化解决方案，通过“云边端”协同架构以及行为识别、风险智能分析、现场缺陷检测等核心能力，将传统难以量化、难以追溯的安全责任转

化为实时可验证的数字责任清单，实现安全管理的智能化、精准化、实时化升级，推动安全生产责任制从“纸面要求”向“智能落地”的根本性转变。

**（1）方案由云边端多层协同技术架构组成**

**边缘层：**部署自研边缘 AI 计算装置，依托企业现有视频监控设备，实现现场画面数据的本地化毫秒级处理，保障预警实时性。

**云端层：**搭建安全大数据中心，整合各终端上传的全量数据，形成完整的安全责任数据库，为全局决策提供支撑。

**应用层：**以智能预警平台为核心，融合多模态大模型与小模型协同的目标检测架构，兼顾实时性与复杂场景适应性，解决单一技术漏检率高的问题。

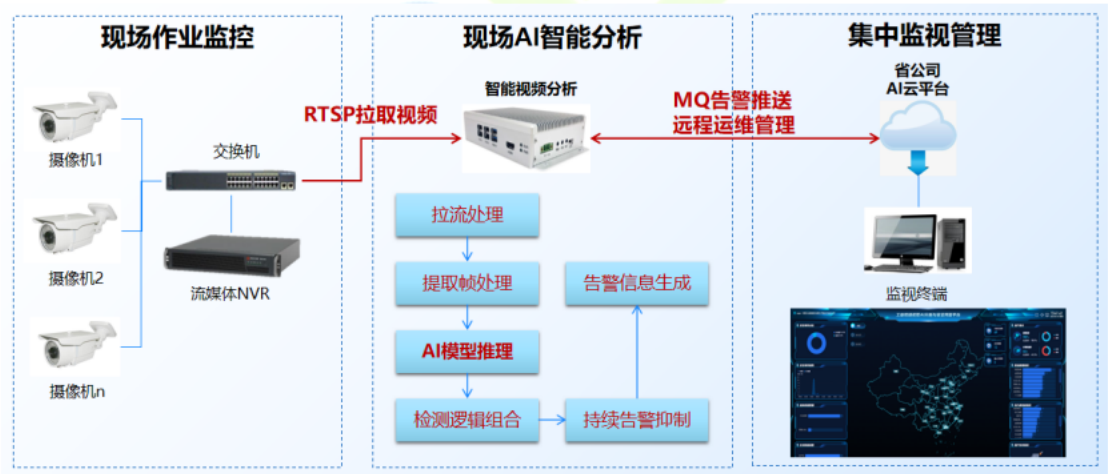


图 1 AI 履责装置云边端协同技术架构

**（2）具备四大核心管控能力**

从四大维度构建了可量化数字责任清单。通过 AI 大小模型结合技术，将抽象的安全责任转化为可量化、可追溯的数字指标，实现全场景风险覆盖：

**人员不安全行为管控：**通过 AI 行为分析，实时识别人员未戴安全帽、越界作业、倒地、防护缺失等违规行为，提前干预避免人为事故。

**环境风险智能感知：**可 7×24 小时捕捉烟雾火焰、动物入侵、漂浮物缠绕、鸟巢搭建、极端天气等环境异动，防患于未然。

**作业现场安全监护：**精准识别围栏倾倒、安全标识脱落、作业区域违规变更等细微变化，守护高危作业全流程安全。

**设备缺陷智能识别：**通过内置定制化算法模型，自动识别表计模糊、绝缘子破裂、油污渗漏、机械变形等数十类设备本体缺陷，将人工经验式巡检转化为标准化、可追溯的数字化巡检。

**（3）方案全流程闭环管理，实现安全责任全流程可追溯可考核**

方案通过“实时预警－多级联动－全程记录－量化评估”的闭环机制，从根本上解决了传统安全管理中责任悬空、过程断档、处置滞后、考核无据的核心难题：

**秒级实时预警：**系统作为 24 小时在岗的“电子哨兵”，对全域监控视频不间断智能解析，识别异常后立即触发现场声光报警。

**多级联动管控：**支持跨层级、跨部门的协同处置，确保风险得到及时响应。

**全程可追溯：**形成完整的责任链条，为事故复盘、责任认定提供客观依据。

**量化责任评估：**通过指挥中心大屏，所有预警事件按“人、环境、设备”分类滚动展示，为管理者提供员工履职情况的量化评价标准。




图 2 变电站运维履责管理人工智能辅助系统大屏示意图

**3.成效**

该方案在国内某大型电力央企变电站实现规模化落地，构建了 7×24 小时无人值守的智能化“感知中枢”，取得了显著的管理与技术成效：

（1）实现安全模式根本性转变：推动安全生产责任制从“纸面要求”向“智能落地”转变，安全管理从传统的“被动应对”升级为“主动预防”。通过提前识别和干预潜在风险，大幅压缩了风险暴露时间，有效降低了事故发生率。

（2）运维效率与响应速度质变：系统无需大规模改造现有硬件，仅加装边缘 AI 算力终端即可运行。它将传统滞后的处置流程升级为秒级响应，实现了全域监控视频的不间断智能解析，充当了 24 小时在岗的“电子哨兵”

（3）决策科学化与考核量化：彻底改变了过去依赖经验判断的

管理模式，通过长期行为数据分析，精准识别高风险人员和行为模式。指挥中心大屏可分类滚动展示预警事件，为员工履职情况提供了客观、量化的评价标准。

（4）重塑全员安全文化：清晰可见的安全责任与及时的履职反馈，显著提升了员工的安全意识和参与热情，推动企业形成了全员参与、全程可追溯的良性安全文化氛围。

**公司简介：**长扬科技（北京）股份有限公司是一家专注于工业互联网安全、工控网络安全和视觉 AI 安全大数据应用的国家高新技术企业，国有资本占股近 50%。公司在工业互联网安全领域持续深耕，团队核心成员是中国工业互联网安全事业的第一批践行者。目前技术研发人员总人数占公司总人数 75%以上，已成为行业领军企业。公司以信创为安全底座，以工业安全靶场为能力提升手段，引入 CMMI5 成熟度模型助力提升开发水平与算法模型能力，自主研发了工业互联网安全态势感知、工控安全防护、睿脑工业视觉 AI 安全、生产安全、工业安全靶场等近百款产品。针对不同行业生产场景、安全生产痛点，打造“一站式、全行业、定制化”的工业互联网+安全生产解决方案，广泛应用于电力、石油石化、轨道交通、城市市政、智能制造、钢铁冶金等 32 个关键领域近 5000 家工业企业。


火电清洁转型

# 第三章 火电清洁转型

在新能源逐步成为装机主体的进程中，煤电正由“主体电源”向“基础保障性和系统调节性电源”并重转型。火电清洁转型不是简单的“减量替代”，而是通过数字技术把存量资产的效率潜力、调节潜力与环保潜力充分释放出来。

基于工业互联网打通 DCS、SIS 与经营管理的数据壁垒，构建覆盖机组全生命周期的实时数据底座；数字孪生与自适应控制技术实现燃烧优化、负荷分配与能耗诊断的闭环迭代，让每一克煤的发热量被充分计算、每一度电的碳排放被精准计量；多模态大模型与多智能体技术的引入，则把设备健康管理从“定期检修”推进到“预测性维护”，把运行指导从“事后分析”推进到“实时寻优”。在这个过程中，以工业互联网、人工智能为代表的数智技术既是降碳的工具，也是保供的支撑——它让煤电在更低负荷、更快变负荷的工况下依然保持安全、经济、清洁运行，在保障电力安全稳定供应与推动绿色低碳转型之间找到了动态平衡点。

本章节共收录来自陕西榆林能源集团杨伙盘煤电有限公司、深圳鹏锐信息技术股份有限公司、朗坤智慧科技股份有限公司等单位的 4 份案例，围绕 ICS+IMS 双平台煤电智慧化运营、数字孪生综合能源运行实时监测与能量集成优化、火电设备全周期智能运维、环保能源数字运营等方面的最新应用成果。

# 案例 18：基于工业互联网的 ICS+IMS 双平台煤电智慧化运营

## ——陕西榆林能源集团杨伙盘煤电有限公司

**关键词：**工业互联网安全底座；ICS 智能发电平台；IMS 智慧管理平台

### 1.背景及痛点

新型电力系统下，煤电亟须向清洁、灵活、智慧化转型，传统管控模式存在突出短板：一是缺少统一智慧管理平台，生产、设备、安全、运行数据割裂，无法实现全局智能决策与闭环管控；二是机组启停、运行监视、锅炉维护依赖人工操作，效率低、风险高、标准化不足；三是设备状态、运行参数缺乏集中智慧监测，异常发现滞后，深度调峰下运行稳定性难以保障；四是能效、环保、安全多目标无法协同优化。

### 2.基于工业互联网的解决方案

为破解上述难题，公司建设智慧管理平台（IMS）、智能发电平台（ICS）双平台体系，以智慧化手段全面提升机组运行管控水平。本方案构建人、机、物全面互联互通的工业互联网，实现全厂全生命周期（设计、制造、建设、运行、退役）过程的数字化、信息化和智能化，以达到电厂安全、经济和环保指标综合最优目标。

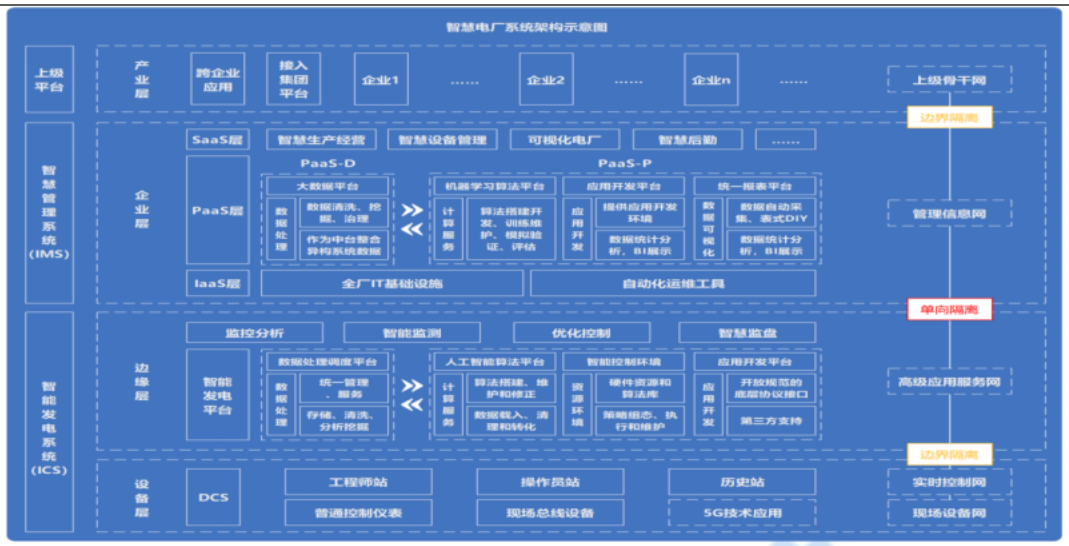


图 1 总体架构

**（1）工业互联网安全底座**

架构分两大安全分区，管理信息大区部署 IMS 私有云等独立组网模块，承载数据中台的机器学习、报表、应用开发等业务支撑功能；生产控制大区部署 ICS 服务器集群等，承载数据中台的大数据汇集治理与分析能力，整体架构符合电力网络安全等级保护要求。

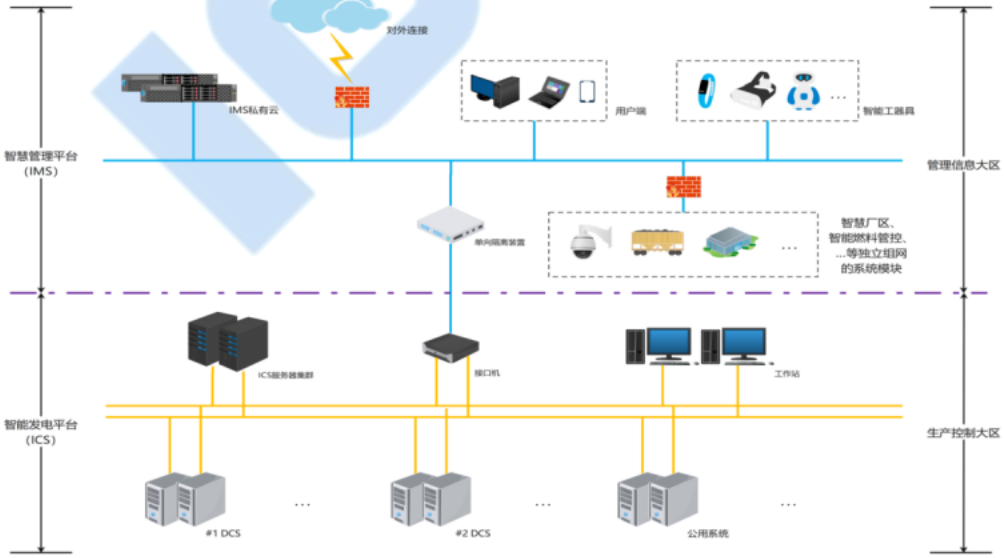


图 2 部署策略

**（2）ICS 智能发电平台**

ICS 智能发电平台作为机组生产运行实时控制核心，涵盖以下核心应用场景，覆盖火电清洁转型：APS 一键启停智能控制、多维度智能监盘系统、可视化智能吹灰系统、脱硝 SCR 精准喷氨系统、汽机故障诊断平台、智能燃烧优化模块、智能抄表系统、宽负荷巡航控制系统。

APS 一键启停系统设置锅炉冷态冲洗及真空断点、辅助系统启动断点、锅炉点火升温断点、汽机冲转并网断点、升负荷断点共五大断点，实现机组从冷态到满负荷的全程程控自启动。自 2024 年起常态化实现机组启停一键操作，运行倒班模式由四班三倒优化为六班三倒。

智能监盘系统从安全、故障、经济、参数、可靠性五个维度，对 24 个子系统、数千个测点进行全天候连续监控。通过“智慧监盘系统→智能抄表系统→负荷随动→APS 系统”四步走战略，实现常态化单人监盘，运行人员劳动强度大幅降低。




图 3 多维度智能监盘系统效果图

可视化智能吹灰通过监测受热面壁温实现“按需”吹灰，配合声波吹灰器避免管排吹损，吹灰频次降低 60%以上。SCR 精准喷氨系统按分区调整及喷氨总量控制，脱硝出口 NOx 变化幅度小于±5mg/Nm³，喷氨量减少 5%以上。智能燃烧优化基于历史工况寻优与数据驱动建模，实现锅炉效率、NOx 排放、汽温偏差等综合最优。宽负荷巡航控制系统在 3%变负荷速率下有效减小参数波动，提高一次调频合格率。

**（3）IMS 智慧管理平台**

IMS 智慧管理平台构建电厂智慧管控中枢，打破全链路数据壁垒，推动生产经营深度融合，打造一体化集成智能管控体系，全面支撑少纸化、高效化办公模式，核心应用包括违章识别系统、智能两票无纸化系统、无人巡检数据中心、UWB 人员定位系统+电子围栏、锅炉防磨防爆系统、SIS 厂级监控、点巡检系统、驾驶舱管理平台、输煤系统无人值守等。

智能两票无纸化系统实现工作票、操作票全流程线上办理与移动端审批，确保工作负责人和许可人现场共同确认安措后方可开工，系统嵌入“三讲一落实”，实现安全管控关口前移，所有审批环节支持电子签名与时间记录，全程可追溯。

UWB 人员定位系统采用 TDOA 算法实现亚米级定位精度，一期部署 370 台基站、二期增补 244 台，覆盖主厂房、煤仓间、输煤、空冷塔、灰硫等核心生产及高风险区域。基于高精度定位构建电子围栏防护体系，具备越界告警、滞留告警和静止告警功能，支持一键报警与应急联动。

端边云协同违章识别系统部署 205 路智能识别监控点位，精准识别安全帽佩戴、工作服规范、抽烟、脱岗、玩手机等违章行为，支持违章证据链回溯与多维数据分析。点巡检系统按五层防护体系和八定原则设置运行巡检、检修巡检、精密点检、无人巡检四种模式，自动分析设备劣化趋势并推送预警。燃料智能化实现入厂煤计量、采样、制样、化验全过程自动化无人值守，输煤系统实现斗轮堆取料机远程与全自动控制。

输煤无人值守依托智能机器人与固定检测设备联合巡检，全方位识别设备故障、现场环境及人员安全隐患，借助智慧平台实现远程监测告警控制；斗轮堆取料机改造后保留就地手动，新增多种远程控制模式，全自动工况依靠激光扫描、高精度定位构建实时三维数字煤场，无人自动完成堆取料作业，兼具设备状态故障监控、自动防撞等安全能力。




图 4 智慧管理平台总览

**3.成效**

**（1）在清洁低碳转型方面，**机组深度调峰能力显著提升，可稳定运行至 20%负荷；可视化智能吹灰使吹灰频次降低 71.57%，排烟温度降低 1.71℃，锅炉热效率提升，供电煤耗降至 292.82g/kWh，发电水耗 0.11kg/kWh，NOX 年度排放量降低了 25.63%，煤泥全负荷稳定掺烧达 20%，度电成本下降 0.003 元/kWh，节约燃料成本 1890 万元。2025 年公司 1 号机组获评中电联 600MW 级超超临界空冷机组 AAAA 级，且厂用电率位列同等级机组首位；2 号机组获评 AAA 级。

**（2）在运行控制方面，**APS 一键启停使机组并网时间缩短 2 小时，启停操作零失误；智能监盘实现常态化单人监盘，运行人员劳动强度大幅降低；机组运行稳定性显著增强。

**（3）在协同管理方面，**双平台依托工业互联网实现数据安全贯通，构建一体化协同体系；两票管理、巡点检全流程数字化闭环；移动办公、智能巡检、全面落地，跨部门业务协同效率提升；统一数据标准与治理体系，消除信息孤岛，形成安全合规、可复制推广的煤电数智化协同管理范式。

**公司简介：**陕西榆林能源集团杨伙盘煤电有限公司成立于 2019 年 10 月 30 日，位于神木市店塔镇杨伙盘村，注册资本金 10 亿元，公司下设 17 个职能部门。公司建设的榆能杨伙盘煤电一体化（2×660MW）项目是省市“十四五”重点项目，是陕北—湖北±800kV 特高压直流输电工程配套的五个电源点之一，2023 年 5 月 31 日正式建成投产，两台机组年利用小时数超 5000 小时，年发电量超 66 亿千瓦时。公司以先进技术赋能，全球首例采用自然通风直接空冷系统（NDC）、空冷塔采用钢管混凝土 X 支柱等多项创新技术，具有较好的引领示范效果。供电煤耗、水耗、综合厂用电率均居于行业领先地位，环保指标达到近零排放标准。建设节能高效、绿色环保、安全可靠、效益优良、管理智慧、行业领先的现代化一流电厂。

# 案例 19：基于数字化孪生的火力发电企业综合能源运行实时监测与能量集成优化指导系统

——深圳鹏锐信息技术股份有限公司

**关键词：**火电+综合能源；自适应控制；协同调度；运行指导

## 1.背景及痛点

在新的电力改革背景下，传统火电企业在转型中面临多重挑战。一是新能源装机扩张导致传统火电利用小时数下降，需通过灵活性改造维持竞争力；二是煤炭价格高位波动叠加碳交易成本，倒逼企业拓展非电业务以稳定收益；三是压缩空气、集中供冷等新兴业务涉及跨领域技术整合，对研发和运营能力提出更高要求；四是“双碳”目标下生物质掺烧、绿电等新项目投入大、回报周期长，且区域竞争加剧可能削弱先发优势。

为了系统性应对上述市场、政策和技术挑战，传统发电企业数字化转型建设，需要综合结合企业自身情况和区域能源供给特性，建立基于电力生产和综合能源供给的新型生态，提升企业安全生产和创收增收能力。

## 2.基于工业互联网的解决方案

以 2*660MW 火力发电厂的实际能源供给情况，为了助力企业完成“双碳”目标下传统能源系统的高质量转型发展，通过建设覆盖供

电、制冷、制气、抽汽和供热等多种类型的综合能源系统，构建了一套智能、安全、高效、经济的火力发电企业综合能源运行实时监测与能源集成优化指导系统，解决了工况复杂多变、供能距离远、设备故障频发、生产效率低等问题，实现多方面突破：一是多能供给变负荷自适应控制技术，实现了多工况下综合能源供给的精准调节；二是综合能源实时监测智能预警技术，提升了设备监测预警的准确性与系统运行的安全性；三是综合能源协同调度运行指导系统，实时分析系统运行经济指标，为运行人员提供经济最优的调度策略。

**（1）多能供给变负荷自适应控制技术研究**

研究基于用户侧需求的热、冷、气、汽、水等多能供给变负荷自适应控制策略，根据系统实际运行情况，采用多变量前馈/预测控制/预见控制等先进智能控制算法，精准动作、快速响应，实现了多工况、大延迟条件下能源供给的智能精准调节，满足系统多能耦合互补协同利用需求，提高整个综合能源系统运行的安全性和稳定性。




图 1 运行优化功能界面

### （2）综合能源实时监测智能预警技术研究

研究多源异构数据有效提取及处理技术，为监测预警技术研究提供有效数据支持，基于数据与模型混合驱动的退化趋势模型及预测方法，提出基于智能运行趋势分析及多重安全边界控制的综合能源系统智能监测预警技术，通过设备特性分析及数据挖掘算法，准确提炼故障特性，提高预警准确性，为多联供系统稳定运行提供保障。




图 2 实时监测智能预警功能界面

### （3）综合能源协同调度运行指导系统开发

针对综合能源各系统设备运行特点、负荷波动特性及运行经济性特性进行研究，建立了制冷（冷冻水、氯化钙）、制气（氮气、压缩空气）、抽汽（高、低压蒸汽）、供热、供水（热水、除盐水）、供电等多联供系统经济性模型和综合评价方法。系统根据多种供能价格、用户需求变化、电网指令、厂用电率变化、度电成本、碳排放指标购买成本、辅助服务收益等实际情况，建立综合能源系统运行经济性分析目标函数及约束条件。

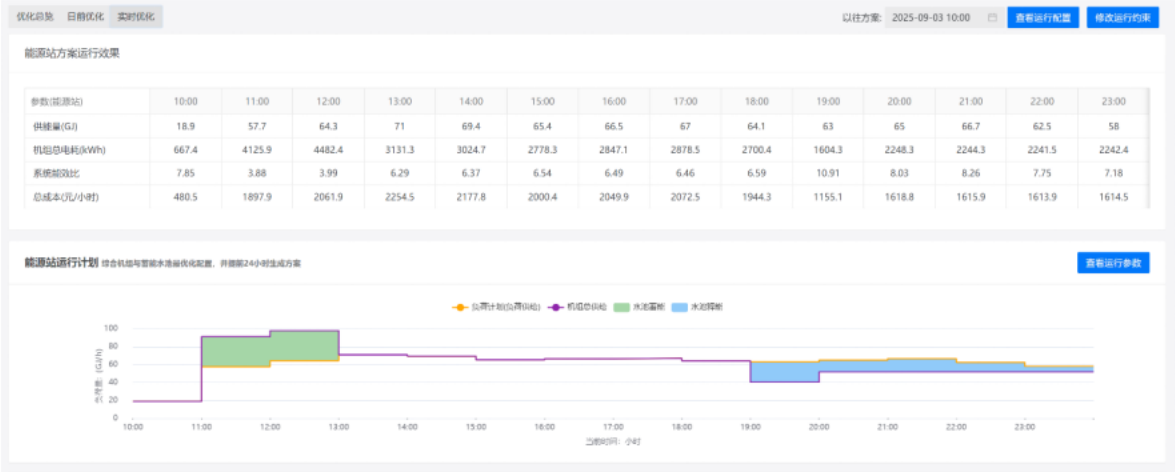


图 3 协同调度运行指导功能界面

**（4）能源供给数字孪生平台开发**

从安全性、可靠性、灵活性、经济性四个方面展示火电+综合能源生产运行情况，并完成综合能源系统的三维数字化模型的建立，以直观性、三维立体化、局部微观精确化表达。

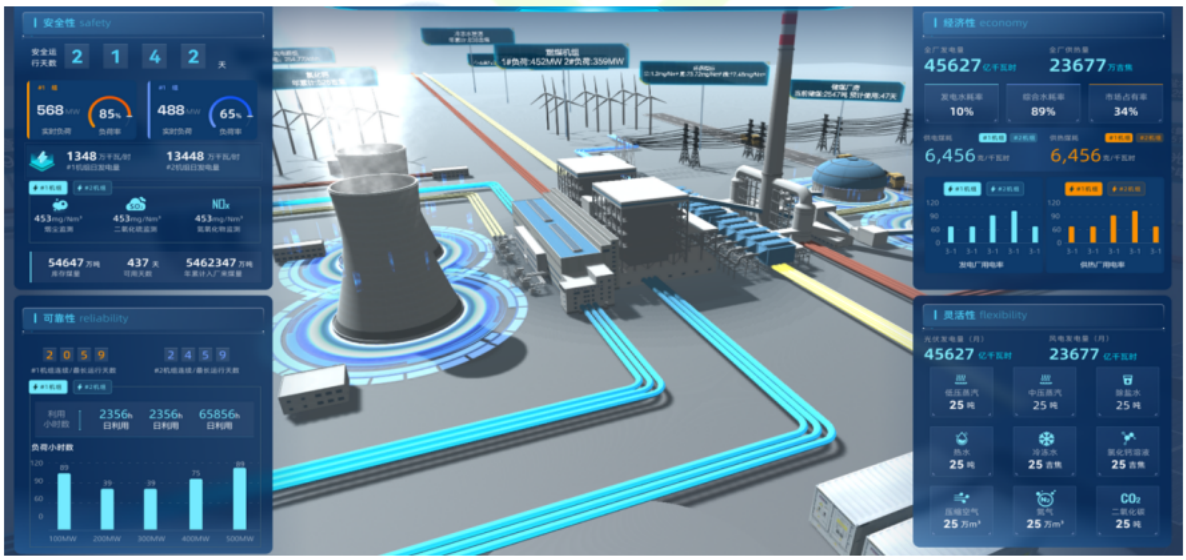


图 4 数字孪生平台功能界面

## 3.成效

通过研究多能供给变负荷自适应控制技术和综合能源实时监测

智能预警技术，并进行综合能源协同调度运行指导系统开发，实现了多联供系统精准调节、运行经济性数据实时分析、系统主要设备运行实时监测和为运行人员提供运行调度指导意见等功能。

（1）结合机组设计工况和运行工况，以及综合能源系统的工艺流程，优化机组的负荷和各设备之间组合运行控制模式，以厂级经济性指标为约束，纳入优化边界条件，进行量化评估与优化计算，给出自适应控制参考策略，可以实现系统性节省燃料成本 133 万元/年。

（2）根据设备异常数据特征和多重安全边界判断各系统设备运行状态，提前发现设备故障隐患，优化检修计划，缩短检修工期，节省备件和人工费约 114 万元/年；发现设备早期隐患并适时处理，防止突发的事故抢修导致的电量损失，减少费用损失约 186 万元/年。

（3）综合能源协同调度运行指导系统精准结合机组运行工况、负荷波动特性和运行经济性特性，综合考虑能效、成本、稳定性等多个关键指标，建立多维度的评估方法，主动适配供能需求，挖掘企业供给能力，增加创收约 245 万元/年。

**公司简介：**鹏锐技术是具备设备级、工厂级和产业级工业互联网平台运营和智慧能源建设能力的服务商，为常规发电、核电、石油石化、新能源等资产密集型企业提供“感知+物联+智能+移动”一体化智慧解决方案。产品包括具有信创自主可控的鹏锐能源工业互联网平台、智能采集与边缘计算设备、工业互联网平台、工业大数据分析平台、三维引擎、三维数字化信息管理系统、数字孪生平台等。鹏锐技术推动数据全生命周期管理，在设计阶段为设计院、工程公司、设备厂商提供完全独立自主可控的三维设计软件工具及协同平台，降低设计院设计软件的使用成本；在基建期降低造价、缩短工期；在运维期推动设备预测性维护、作业安全、机组经济高效运行等战略目标的落地。

# 案例 20：打造火电设备全周期智能运维体系

——羚羊工业互联网股份有限公司

**关键词**：火电全域态势感知；预测性维护；多模态大模型；多智能体博弈；设备健康管理

## 1.背景及痛点

火电机组正向“深度调峰”调节型角色转变，设备疲劳损伤与故障风险升高，传统“计划检修、被动抢修”模式难以适应。华能巢湖电厂 2 台 600MW 机组运维面临四大痛点：一是监测维度不全，关键数据缺失，无法形成设备全景视图；二是缺乏量化评估标准，检修决策依赖人工经验，易致过度维修或漏判；三是故障诊断低效，缺乏多模态融合推理，根因定位不准；四是运维流程割裂，知识碎片化且检修方案编制规范性不足。亟需引入新一代人工智能技术，实现从单点感知到全域态势研判、从经验决策到智能辅助决策的跨越。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本项目以华能巢湖电厂 2 台 600MW 机组为载体，构建“1 个火电设备运检大模型+1 个数据及大模型服务中心+6 大智能运维场景”的“116”总体架构，打造覆盖设备全生命周期的智能运维体系。




图 1 总体架构体系

**（1）多模态全域感知与图谱构建**

在现有系统基础上，增补声振温、视觉等多模态感知硬件，融合多源异构数据。引入图神经网络（GNN）构建火电设备时空关联图谱，将设备物理空间与工艺流程耦合，实现从“单点感知”到“系统级态势研判”的跨越，自动推演单点故障对全厂的连锁影响。

**（2）跨模态联合推理与量化评估**

部署工业级多模态大模型，同步分析时序振动、红外热像及声学信号，实现复合故障精准诊断与根因定位。针对关键辅机搭建多源数据融合的健康量化体系，通过机器学习生成 0-100 分健康度评分，精准量化故障风险，为预测性维护提供核心依据。

**（3）多智能体博弈式辅助决策**

首创运行优化、设备健康、市场交易三类智能体博弈协商机制。运行智能体寻优最低煤耗参数，健康智能体评估寿命影响，交易智能体计算最优报价。三方通过大模型协商，输出兼顾安全、经济与设备

健康的平衡决策方案。同时，依托大模型自动生成结构化检修方案，整合运维知识打造智能问答库，实现全流程智能化闭环管理。

**3.成效**

项目建成后，将推动机组运维模式从“人工被动抢修”向“数据驱动预测性维护”根本性转变，形成可复制推广的火电智能运维国家级试点样板。

**经济效益显著：**通过多智能体协同决策优化运行参数，预计单位煤耗降低 1.5g/kWh，年节约标准煤约 9000 吨；年均减少停机损失约 168 万元，降低维护成本 200 万—300 万元，延长设备使用寿命 2～3 年。

**运维效能提升：**实现预测性维护全覆盖，非计划停机时间减少 20%以上，维护成本降低 10%—15%。故障根因诊断准确率提升至 80%以上，检修方案编制缩短至分钟级。新员工独立上岗周期压缩至 3-6 个月，有效规避技术经验流失。

**社会与行业价值：**保障迎峰度夏/冬电力稳定供应，提升电网调峰韧性。通过精准健康评估与燃烧优化，减少耗材消耗与异常能耗，助力“双碳”目标。项目形成的标准化解决方案与知识产权成果，将为火电行业智能化转型升级提供示范，带动上下游产业链协同发展。

**公司简介：**羚羊工业互联网股份有限公司成立于 2022 年，由科大讯飞、数字安徽、合肥产投等投资，致力于以工业与能源大模型等 AI 技术推动制造业及能源行业智能化转型。2025 年 11 月，羚羊发布能源大模型及电力交易、设备运维垂直场景模型，深度覆盖设备诊断、功率预测、电力交易等六大关键领域，为能源全链条提供智能支撑。目前，公司已与众多国央企构建协同生态：助力中国华电打造“华电智”大模型；联合国家能源集团打造全球首个千亿级发电行业大模型“擎源”；助力中国石油构建昆仑大模型实现全链条部署；并与华能集团、国家电投集团达成战略合作，共建“数智华能”及“人工智能+能源”联合实验室，全面赋能产业生态。

# 案例 21：光大环保环保能源数字运营平台

## ——朗坤智慧科技股份有限公司

**关键词：**环保能源；智能管控；生产运维

### 1.背景及痛点

现有环保能源业务已部署 MIS、SIS 等系统，但系统上线已近十余年，架构老旧；且各系统独立部署，存在明显数据壁垒，数据整合难度大，企业管控力度弱，无法实现统一高效管理。同时，现有系统的运营分析、设备管理、指标/权限管理、数据可视化、自定义报表、智能预警等功能模块，已无法完全匹配业务实际需求。

随着业务快速发展、管理规模扩大，现有平台在信息/资源/业务共享、多维度管理方面已显不足，亟需通过信息化改造升级，打造全新技术平台，实现数据一体化与管理精细化，提升组织效能。

### 2.基于工业互联网的解决方案

环保能源数字运营平台基于工业互联网，以“数据驱动、智能决策”为核心，采用“板块－区域－项目”三级管控架构，融合数智技术，实现数字运营核心业务全覆盖。




图 1 能源数字化运营平台局部效果图

核心模块包括：

**生产运行管理：**覆盖值班、两票、定期工作、交接班、运行日志等全业务流程；建立统计分析、值际对标机制；与 DCS 系统对接，实现生产数据实时采集与工况分析，提升运营效率。

**设备资产管理：**建立设备知识库与智能台账，整合缺陷、工单、点检、检修管理全过程；构建设备可靠性管理中心，实现设备状态监测、故障诊断与预测，支持核心设备预防性维护，降低停机风险。

**数字值长：**基于大数据与 AI 技术，将电厂运行知识数字化建模，建立监督模型，通过模型预测实现智能预警与故障诊断，提供操作指导，辅助运行人员处理异常，降低设备故障风险。

**智能仓储：**引入物料二维码、智能扫码终端、自助结算台，实现扫码出入库、自助领料、自动盘点；电子标签与库位绑定实现数据自动更新，最终实现仓库无人值守。

**运营分析与对标：**构建设备、生产、成本管控等综合分析驾驶舱；建立指标建模、计算、查询完整体系；实施内外部对标，支撑量化管理与绩效考核。

**安全环保管理：**建立安全目标、检查、事故、隐患闭环管控体系；覆盖环保监控、三废管理、预警管理；建立职业健康、消防、特种设备合规管理模块，保障生产安全与环保达标。

**物资与采购管理：**覆盖需求计划、采购订货、入库出库、库存管理全流程；与财务系统对接实现业财一体化；建立定额采购、平衡利库机制，优化供应链效率。

**移动应用：**开发管理 APP、运维 APP，实现移动端生产监视、移动两票、随手签等功能；领导层移动端实时审批业务，提高决策效率与管理规范性。

**3.成效**

（1）降低运营成本，实现节能增效。搭建生产经营全业务管理驾驶舱，对各类关键指标、核心数据进行实时可视化展示与动态预警，降低运营成本 30%；

（2）生产运行管理，提升发电效益。依托生产运行历史大数据，整合展示核心生产指标、发电经济性指标及日常运行工作处理进度，精准优化生产运行模式，每年可实现发电效益提升约 1%。

（3）提升设备可靠性，降低检修成本。建立设备运维管理分析体系，涵盖核心设备运维指标监测、缺陷预警分析、检修成本分析及

大修技改落地情况管控，可精准、实时排查推送设备潜在风险，并实时预警推送，规避停产及安全事故。通过减少非停、延长设备检修周期，每年可节约检修成本超 30 万元。

（4）智能物资管理，降低人工成本。构建物资专项数据分析体系，涵盖主要备件采购趋势、仓储库存分布、呆滞物料统计、库存资金占用分析等模块，大幅提升物资出入库作业效率，实现无人值守仓库模式，有效降低 30%人工成本。

**公司简介：**朗坤智慧科技股份有限公司成立于 1999 年，是国家级制造业单项冠军与工信部“双跨”平台（最高 A 级）企业。深耕发电、煤矿、化工、冶金等流程工业，服务国家能源、国家电投、中国大唐、中国中煤、中国宝武、安徽海螺等 1500 余家大型央国企和世界 500 强企业，业务遍布全球 20 余国，以自主可控技术助力工业数智化转型与碳中和，致力于成为行业领先的工业 AI 全栈服务商。


水电智慧运营

# 第四章 水电智慧运营

水电是清洁能源体系的重要压舱石，其安全运行与优化调度直接关系到流域防洪、生态流量与能源供给的多重目标。水电智慧运营的着力点，集中在“水、机、坝”三大对象。在水情侧，人工智能融合气象、水文与历史径流数据，把洪水预报从经验外推升级为模型推演，为流域梯级联合调度赢得宝贵的预泄与蓄洪窗口；在机组侧，基于工业互联网的云边协同算力底座支撑设备状态评价与健康管理，让机组始终运行在最优效率区；在枢纽侧，大坝渗控体系、变形监测与安全研判通过大模型智能体实现异常识别、风险推演与辅助决策，把隐蔽工程的安全状态“透明化”。更进一步，“一脑多机”的具身智能巡检与云上通用模型库，正在把单一场景的智能应用沉淀为可复用、可迁移的行业能力，推动水电运营从“一站一系统”走向“一库多场景”，为梯级电站群的集约化、少人化管理奠定基础。

本章节共收录来自福建水口发电集团有限公司、国网信息通信产业集团、国能大渡河流域水电开发有限公司等单位的 4 份案例，围绕 AI 洪水预报与水情智能调度、水电站全场景智能巡检、云上水电通用模型库、高心墙堆石坝渗控体系安全智能研判与辅助决策等方面的最新应用成果。

# 案例 22：闽江 AI 洪水预报及水情智能调度解决方案

——福建水口发电集团有限公司

**关键词：**水口电站；AI 智慧调度；洪水精准预报；数字孪生；智能监测

## 1.背景及痛点

闽江源短流急、洪水频发，平均三年发生一次较大洪水，水口电站作为闽江干流关键枢纽，是流域防洪与水资源利用的核心节点。传统运营模式下，电站洪水监测以接触式设备为主，难以适配高洪水、夜间雨雾等复杂环境，智能感知能力薄弱。洪水预报依赖传统模型，水文与气象数据融合不足，存在预见期短、大洪水预报精度低的问题。水库调度依赖人工经验，未充分融合预报信息，洪水资源利用效率偏低，难以协同兼顾防洪、发电、生态、通航多目标优化。




图 1 核心业务痛点

## 2.基于工业互联网的解决方案

本方案依托能源工业互联网，针对国内各流域水电企业普遍存在的数据感知不全面、水情预测不精准、调度方式不智能等痛点问题，致力于提高水资源利用率，打造“全面感知－精准预报－智能调度”的全链条流域水资源高效综合利用平台。




图 2 总体架构图

一是搭建空天地一体化监测体系，部增设 AIFLOW 智能监测终端，采用图像识别技术开展 AI 水位识别，极大提升了监测的准确性与实时性；同步利用无人机开展重要河道流速测量及大坝上游边坡智能监测，提升水情感知能力，确保河道行洪安全，通过机器视觉与深度学习实现非接触式水位、流速、流量精准监测，突破复杂环境监测瓶颈。

二是融合水情多信道 RTU，综合 5G、北斗三短报文、超短波等通信技术，组建广覆盖、高速率、多维度的物联通信网络，实现空天地一体化传输，保障数据传输稳定高效搭建高可靠物联通信网络，保障数据实时传输与共享。




图 3 流域一张图功能架构

三是搭建 AI 洪水预报平台，基于数字高程地图、气象站和水文站监测数据等多源信息，结合基于数字高程模型的分布式降雨径流模型、新安江模型、马斯京根、LSTM 模型、时空异构图洪水预报模型和混合深度学习模型等深度学习智能算法，同时为解决不同规模洪水场次预报精度及预见期问题，基于贝叶斯模型平均方法（BMA），集成不同模型预报值的先验分布来获取预报变量概率分布，构建概率预报模型，实现水库和流域主要控制断面等的可靠洪水预报。




图 4 闽江 AI 洪水预报系统效果图

四是基于数字孪生技术，贯通水口库区三维仿真模型及水库调度信息系统，实现监测数据、业务数据和模型数据的融合，结合数字孪生流域动态和静态数据，对水口电站流域防洪水库调度全过程进行仿真预演和智能推荐，提供更准确、更可靠的数据和方案选择，优化流域防洪调度和管理，提高水能利用效率。




图 5 水口电站数字孪生监测

五是基于历史调度方案、预报数据的信息，集成调度规则、边界条件，通过机器学习，构建水库调度算法模型。可以对防洪、发电、通航、生态等多目标调度模式进行高效演算，实时更新流量水位情况的可视化界面，为水库调度提供快速精准支撑。

六是基于人工智能平台开发调度智能体应用，通过构建 RAG 推理问答框架及记忆库，使智能体明确调度规则解析、策略推理等核心逻辑，接入预报及历史数据作为参考知识库，规范并约束智能体输出内容，与水口公司水库数字孪生调度平台对接，开发三大核心功能模块（智能问数、洪水总结、方案对比），并以消息气泡方式模板化输

出调度推荐方案，辅助业务人员调度决策。




图 6 调度智能体应用

## 3.成效

经济效益方面，投运以来累计实现节水增发电量 6.76 亿千瓦时，相当于节约标准煤 20.6 万吨、减排二氧化碳 51.6 万吨，有效提升了洪水资源利用效率，最大化清洁能源发电效益，助力福建省“碳达峰、碳中和”目标推进。同时，通过优化调度来水，增加通航天数 15 天，为船民增加货运量约 16 万吨，节约运输成本近 1600 万元，有效带动了流域航运经济发展。

社会效益方面，投运以来科学开展拦洪削峰 20 次，有效减轻闽江上下游防汛压力，发挥了显著的防洪减灾作用，守护沿岸群众生命财产安全。累计开展“补淡压咸”生态调度 308 天，提高下游水厂取用合格淡水的时长，改善了沿线生产生活用水取水条件，同时水口电站最小生态下泄流量达标率保持在 99.9%以上，位列全省第一，为流域生态安全提供了坚实保障。

技术与管理层面，形成 AI 赋能的洪水监测预报全套技术体系，

洪水预报精度显著提升，相关指标达到行业领先水平，监测设备已在全国多个省市推广应用，为行业技术升级提供支撑，同时调度方案生成效率大幅提升，构建起政企协同的水库调度新模式，为国内大型水电站智慧化运营提供了可复制的实践范本。

**公司简介：**福建水口发电集团有限公司是国网福建省电力有限公司全资子公司，核心运营水口电站（华东最大常规水电站，装机 161 万千瓦），承担闽江防洪、发电、通航、生态保障核心任务。公司深耕水电智慧化转型领域，依托人工智能、数字孪生、5G、北斗等前沿技术，专注水库洪水智能监测预报与精细化调度技术研发，累计获得授权专利 25 项，多项技术成果达到国际领先水平，推动了流域防洪减灾和水资源高效利用。

# 案例 23：基于“一脑多机”具身智能的水电站全场景智能巡检

——国网信息通信产业集团
中科开创（广州）智能科技发展有限公司

**关键词：**工业互联网架构；多源数据全链路闭环；云边协同算力底座；电力知识图谱；具身智能巡检；“一脑多机”协同调度

## 1.背景及痛点

工业和信息化部等八部门《关于推动工业互联网高质量发展的实施意见》明确深化人工智能与工业互联网融合，国家能源局“人工智能+”能源高价值场景将设备精益检修纳入重点方向，为水电智能巡检建设提供政策指引。水电站设备分布广、工况复杂，随着“无人值班、少人值守”深入推进，传统人工巡检手段单一、依赖人员经验、覆盖不全，隐患发现滞后；高压强磁、密闭气室等场景存在人员安全风险，温度、振动、表计、气体泄漏等在线监测能力不足。现有巡检系统多孤立建设，终端标准不统一、数据孤岛突出、跨系统协同不足，缺乏“设备－网络－平台－应用”全链路工业互联网架构支撑。亟须构建基于工业互联网架构的“一脑多机”全场景自主可控智能巡检方案。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本方案遵循工业互联网标准架构设计，融合具身智能技术，以水

电站智能生产工业互联网平台为底座，向下接入多源异构感知终端，向上打通各类生产业务系统，构建“数据全链路贯通、多系统协同联动”的全场景智能巡检解决方案，总体架构如图 1 所示。

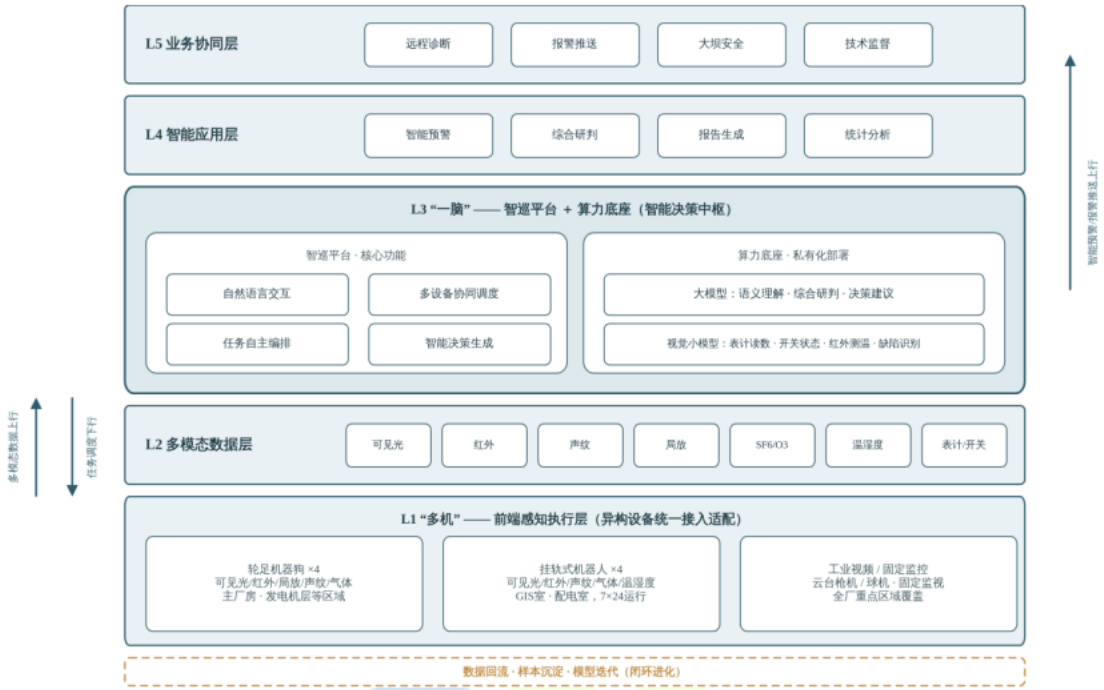


图 1 “一脑多机”水电站全场景智能巡检总体架构

**（1）工业互联网架构设计**

**■ 设备层（L1：多机）**

“多机”为异构前端感知设备，含轮足/挂轨巡检机器人、工业视频、固定式传感终端，采集可见光、红外、声纹、局放、气体等多模态数据，覆盖厂房、GIS 室、配电室等重点区域，替代人工实现全域数据标准化采集。

**■ 网络层（L2：多模态数据传输）**

依托电力工业物联网专网与边缘网关，构建“终端－边缘－云端”传输链路，通过统一协议适配与专用加密，保障数据高可靠、低时延

安全传输。

■ **平台层（L3 一脑）**

“一脑”由智巡平台与算力底座组成。智巡平台具备自然语言交互、多机协同调度与智能决策功能，算力底座支持大、小模型私有化部署。系统整合设备台账、缺陷案例、检修规程构建知识图谱，形成“小模型识别—大模型理解—智能体规划—多形态行动”具身智能链路，语音指令识别准确率实测达 96.7%。

■ **应用层（L4+L5 智能应用+业务协同）**

系统融合多模态数据替代人工巡检，开展设备状态、环境参数、电气指标、专项检测四类巡检；落地智能预警、研判分析、报告自动生成、多机协同调度功能，与远程诊断、大坝安全、技术监督等系统数据共享、业务联动，构建双重验证机制，实现运维全流程闭环。

**（2）数据全链路闭环机制**

打通视频、机器人、传感器与既有业务系统接口，基于私有算力底座与知识图谱，构建工业互联网架构下的具身智能应用链路。

■ **接入与采集**

统一异构设备协议，移动机器人与固定监测协同采集全要素数据。

■ **汇聚与分析**

数据归一化汇聚至平台，采用“视觉小模型特征识别+大模型/知识图谱故障诊断”机制。

■ **闭环处置**

研判结论自动触发告警与工单，联动机器人复核，沉淀样本驱动

算法迭代。

**（3）典型场景应用**

在发电机层，轮足机器狗对轴承等部位测温识别，3 号机组上导轴承温升偏高 4.2℃时，系统调取知识图谱生成诊断建议，经补油消缺避免机组非计划停运，巡检示例如图 2 所示。




图 2 巡检对象示例图

在 GIS 室及配电室，挂轨机器人开展表计、开关识别与气体监测，10kV 开关柜电缆接头超 68℃阈值时，系统 10 秒内告警并生成工单，缺陷闭环仅 2 小时，远快于人工模式。

在水轮机层，机器人多模态采集，系统识别出 2 号机组转轮室碰摩早期特征并提前 5 天预警，检修人员利用停机窗口处置，避免缺陷扩大。

系统自动生成巡检报告，数据存储不低于 180 天；异常信息实时推送，缺陷样本回流支撑模型迭代；识别结论共享至各业务系统，通过权限管理保障安全运行。

**3.成效**

效率与经济性方面，多台巡检终端全域协同部署后，可替代电站 90%的常规例行巡检工作量，综合巡检效率提升 86%，巡检报告由人工编制转为自动生成；基于国网 6 座中型水电站智能巡检试点实测数据测算，单座电站年均节约巡检运维、设备维保及非计划停机损失等综合成本 35 万元。

质量方面，设备缺陷智能识别综合准确率实测达 97.2%（设计指标不低于 95%），温度异常、振动异响、“跑冒滴漏” 等缺陷识别更加客观、一致；典型设备缺陷提前 3 天预警，部分缓慢劣化类缺陷可提前 7 天预警，隐患发现由事后处置转向事前预警。

安全方面，人员无需再进入高压强磁和存在气体风险的区域开展例行巡检，气体超限及时报警，人员安全暴露风险显著降低。

管理方面，异常告警与缺陷处理形成闭环，巡检结论与水电远程诊断、报警推送、大坝安全管理、技术监督系统共享，运维人员由高频次现场巡检转向异常复核与决策分析，形成人机协同巡检新模式，

推动巡检模式由被动监控向主动监控转变。此外，方案采用模块化、通用化架构，并纳入流域梯级水电站群和抽水蓄能电站推广计划，后续可迁移至变电站、火电厂等同类场景，具备规模化推广价值。

**公司简介：国网信息通信产业集团**深耕电力人工智能、电力行业大模型、云边端协同、电力特种智能装备研发与行业平台建设，在工业互联网平台搭建、跨系统数据共享与业务联动、数据全链路治理方面拥有成熟实践，具备全链条自主研发能力。集团自主攻关多形态巡检装备自主导航、多模态感知融合、设备缺陷知识图谱、多终端协同调度、算力底座等核心技术，自主完成巡检机器人本体传感适配、行业 AI 算法研发、一体化智巡管控平台搭建、模型迭代优化、现场业务系统集成全流程工作。面向水电厂“无人值班、少人值守”转型需求，自主打造“一脑多机”全场景智能巡检体系，实现厂房、配电室、GIS 室全域自主巡检、缺陷智能诊断、隐患闭环管控，整套软硬件、算法、平台均为集团自主研发，适配水电高压、高湿、复杂地形特殊作业环境。

**中科开创（广州）智能科技发展有限公司**是一家专注于人工智能与机器人技术研发、装备制造及行业应用落地的高新技术企业，面向电力能源、新型城市基础设施及高危复杂作业场景，提供智能机器人、具身智能行业解决方案。具备机器人本体研发、底层运动控制、边侧智能硬件及现场工程交付全栈能力，已积累丰富的水电站无人化巡检经验。

# 案例 24：云上水电通用模型库构建关键技术研究及工程示范

——国能大渡河流域水电开发有限公司龚嘴水力发电总厂

**关键词**：云上水电通用模型库；云边算力协同；边缘计算装置；水电知识图谱；设备智能化管控

## 1.背景及痛点

本成果聚焦水电设备管理与技术管控的核心痛点，以数字化、智能化转型为目标，通过开展云上水电通用模型库构建关键技术研究及工程示范，整合物联网、人工智能、边缘计算等先进技术，构建“数据－模型－应用”一体化的水电一体化管控平台。

**（1）数据管理存在突出短板**

集团各水电站建设时序不同，软硬件平台架构差异大，数据来源多、接口协议不统一，多源异构数据融合困难。电站海量时序数据传输存储压力大，处理能力有限，加之数据标准不统一、共享机制不健全，数据质量与利用效率不高，难以有效支撑设备管理与科学决策。

**（2）设备管控智能化水平不足**

传统设备管理依靠人工巡检与经验研判，巡检任务重、劳动强度大，故障预判准确率偏低。缺少通用水电设备模型，现有模型难以适配水电系统高维、非线性、强耦合的复杂特征，故障诊断、趋势预测精度有限，设备全生命周期智能管控难以落地。

### （3）平台支撑能力有待提升

现有管控平台功能与技术指标存在局限，无法适配集团、省公司、电站三级差异化数据服务需求。云边算力协同薄弱，边缘节点资源受限，云端计算模式易引发网络延迟与安全隐患，不能满足设备实时监控、智能预警等高频率业务使用要求。

## 2.基于工业互联网的解决方案

按照“技术突破—平台构建—示范应用—推广复制”总体思路，设定三大目标：突破多源异构数据融合、云边算力协同、通用模型构建等关键技术；搭建云上水电通用模型库与一体化管控平台，实现数据标准化、模型通用化、应用智能化；选取不少于 10 座水电站开展示范，形成可复制推广模式，支撑集团调度与监控系统建设。

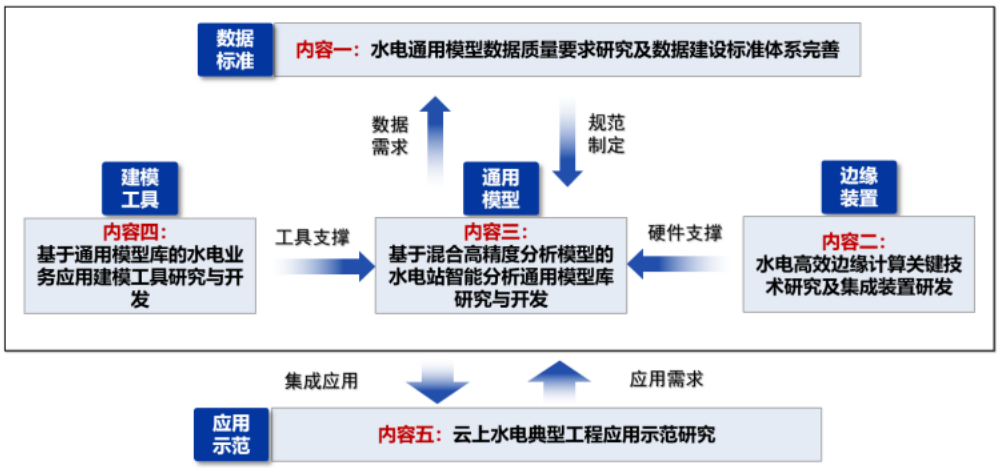


图 1 整体研究思路

项目从理念、技术、服务、模式四方面开展创新。理念上推动从“建系统”向“买服务”转变，实现行业“技术平权”；技术上打造云原生自主可控体系，自研物联网关、数据分类分级编码、iPaaS 微

服务组件，运用隐私计算实现多方数据“可用不可见”，开发流域水文模拟工具，搭建具备 50+场景能力的水电工业软件平台；服务上输出 SaaS、专业、数据元件三类服务；模式上搭建开发者社区、BI 广场、算法众筹三层生态。

制定水电设备通用模型库输入输出规范，统一模型参数、告警信息的命名、格式、字段定义，规范模型文件管理标准。研发国产化水电边缘计算集成装置，基于国产芯片与操作系统，兼容多类工业协议，实现现场数据自主采集、存储与就地智能分析，缓解异构协议、算力不足、云端传输延迟及安全风险等问题。



图 2 边缘计算装置




图 3 首页界面

开展水电领域知识图谱开发，运用多源知识抽取技术完成知识提取、存储，实现知识查询与可视化展示。研发水电业务应用建模工具，内置 88 种以上算子，提供模型全生命周期管理，依托四层架构数据底座，支撑设备安全、水文预报、优化调度等场景的 SaaS 应用开发。




图 4 运行监视界面




图 5 系统管理界面

选取 10 座典型水电站开展工程示范，部署边缘装置、模型库与建模工具，完成测点标准化编码。平台具备首页综合监视、运行监视、

运行分析、数据查询、劣化预警、趋势预测、系统管理功能，通过站级驾驶舱、AI 算法追踪机组振摆、温度等关键参数，实现设备健康感知、智能预警，辅助运维决策。

建立专项创新小组，实行“研发－测试－试点－优化”闭环机制，联合科研机构开展攻关，落实网络安全与数据治理规范，同步开展人员技能培训。示范验证后面向中小水电推广相关产品，并针对集团多产业板块完成适配改造，实现成果跨产业复用。

**3.成效**

**（1）管理水平提升**

**实现数据标准化管理**，建立了统一的水电数据治理体系和模型输入输出规范，解决了多源异构数据融合难、数据标准不统一的问题。

**设备管控智能化转型**，替代了传统人工经验判断，设备异常监控能力提升 10%—20%，多模型阈值预警准确率达到 75%以上。

**（2）生产效率提高**

**运维效率显著提升**，龚嘴水电站每秒可采集 16900+数据点，实现设备状态实时监控、缺陷自动统计及趋势分析，预计减少人工巡检频次 35%，故障预判准确率提升 50%，有效减少设备故障处理时间。

**（3）经济效益显著**

**降低运维成本**，通过设备智能化管控和故障预判，减少设备故障停机时间和维修成本，延长设备使用寿命，同时减少人工巡检频次，降低人力成本，各试点电站运维成本均有明显下降。

**降低运营成本**，通过平台化服务方式，在资源配置、数据处理和业务运营等方面实现更高效率。

**（4）社会效益影响深远**

**引领水电行业数字化转型**，为水电行业提供了一套高效、可靠、可通用化的数字化设备管控方案，推动水电行业从传统经验驱动向数据智能驱动转型。

**推动技术创新和产业升级**，成果中涉及的边缘计算、人工智能、数据治理等技术在水电领域的成功应用，带动了相关产业链的技术进步，为能源行业数字化、智能化创新提供了实践范例，具有重要的推广应用价值。

**公司简介：**国能大渡河流域水电开发有限公司龚嘴水力发电总厂（简称“龚电总厂”）位于四川省乐山境内的大渡河下游，管理着龚嘴、铜街子两座大型水电站，总装机容量为 1470 兆瓦。其中龚嘴水电站共有 7 台机组，总装机 770 兆瓦，设计年发电量 34.18 亿千瓦时，于 1966 年 3 月开工建设，1971 年 12 月第一台机组发电，1979 年 12 月全部投产。铜街子水电站位于龚嘴水电站下游 33 公里处，共有 4 台机组，总装机容量为 700 兆瓦，设计年发电量 32.1 亿千瓦时，于 1985 年正式动工，1992 年 10 月第一台机组发电，1994 年 12 月全部建成投产。

# 案例 25：高心墙堆石坝渗控体系安全智能研判与辅助决策

——国能大渡河流域水电开发有限公司

**关键词：**大语言模型智能体；高心墙堆石坝；渗控体系；异常研判；风险推演

## 1.背景及痛点

高坝的长期安全高效运行是保障库坝系统安全和发电效益的重要前提。由于筑坝材料物理和力学性质间的差异，在复杂的赋存环境和长期运行条件下，可能出现坝体变形和渗水问题，进而影响水电站的安全运行。

尽管数智技术在渗流安全管控领域展现出应用潜力，但其与渗流场建模、智能预警等技术的融合深度仍显不足。现有监测系统主要完成数据采集、过程线展示和阈值报警，尚难判断异常来自仪器状态、边界条件变化还是渗控体系性态演化。测值异常后，专业人员仍需逐项关联库水位、降雨、渗压、渗流量、排水设施和巡视资料，并结合历史规律及渗流计算研判，存在资料调用分散、分析链条长、经验依赖强、结论一致性不足等问题，难以及时形成可复核的专业意见。

## 2.基于工业互联网的解决方案

以瀑布沟水电站砾石土心墙堆石坝为对象，依托既有大坝安全监测系统及相关信息系统，利用工业互联网实现安全监测资料、工程基

础资料和专业分析程序的统一接入与关联应用，围绕渗控体系运行状态分析、异常核查和安全研判，形成**资料核验→工况辨识→性态分析→模型复核→专业研判**的技术路线。

**（1）渗控对象与监测资料关联组织。**围绕心墙、坝基防渗工程、心墙与坝基及岸坡接触部位、反滤排水体和典型监测断面，对渗压计、测压管、量水设施及排水孔等监测设施进行统一组织，建立测点与坝段、高程、监测断面及渗流控制部位之间的对应关系，明确各监测项目的监测目的及主要影响因素。接入库水位、降雨、渗透压力、测压管水位、渗流量、排水设施运行状态、巡视检查和仪器检验维护等资料，统一测点编码、时间基准和数据口径。对缺测、重复、异常跳变、长期不变、漂移及时序异常等情况进行自动检查，并结合人工比测、仪器检验维护和测点变更记录核验资料可靠性，为后续监测资料分析提供可靠基础。

**（2）监测资料分析、渗流计算与专业智能体构建。**根据库水位、上下游水位差、降雨及运行阶段划分典型工况，分析渗透压力、测压管水位和渗流量的变化过程及其与边界条件的响应关系，计算变化速率、响应时滞、响应幅值、历史分位和回归残差，结合相邻测点变化、监测断面水头分布和历史同期成果开展相关性与一致性分析，识别正常工况响应、监测资料异常、局部测点异常以及需要进一步核查的工作性态变化。对于监测量响应关系发生明显变化且资料条件满足要求的部位，调用渗流计算模型开展典型工况复核，必要时分析分区等效渗透系数变化对监测成果的影响。构建面向渗控安全分析的大语言模

型智能体，承担工程问题理解、分析任务分解、专业资料检索、分析程序调用和成果归纳等工作；统计分析和渗流计算由确定性专业程序完成，实现监测资料分析、工程经验和渗流机理分析的综合应用。

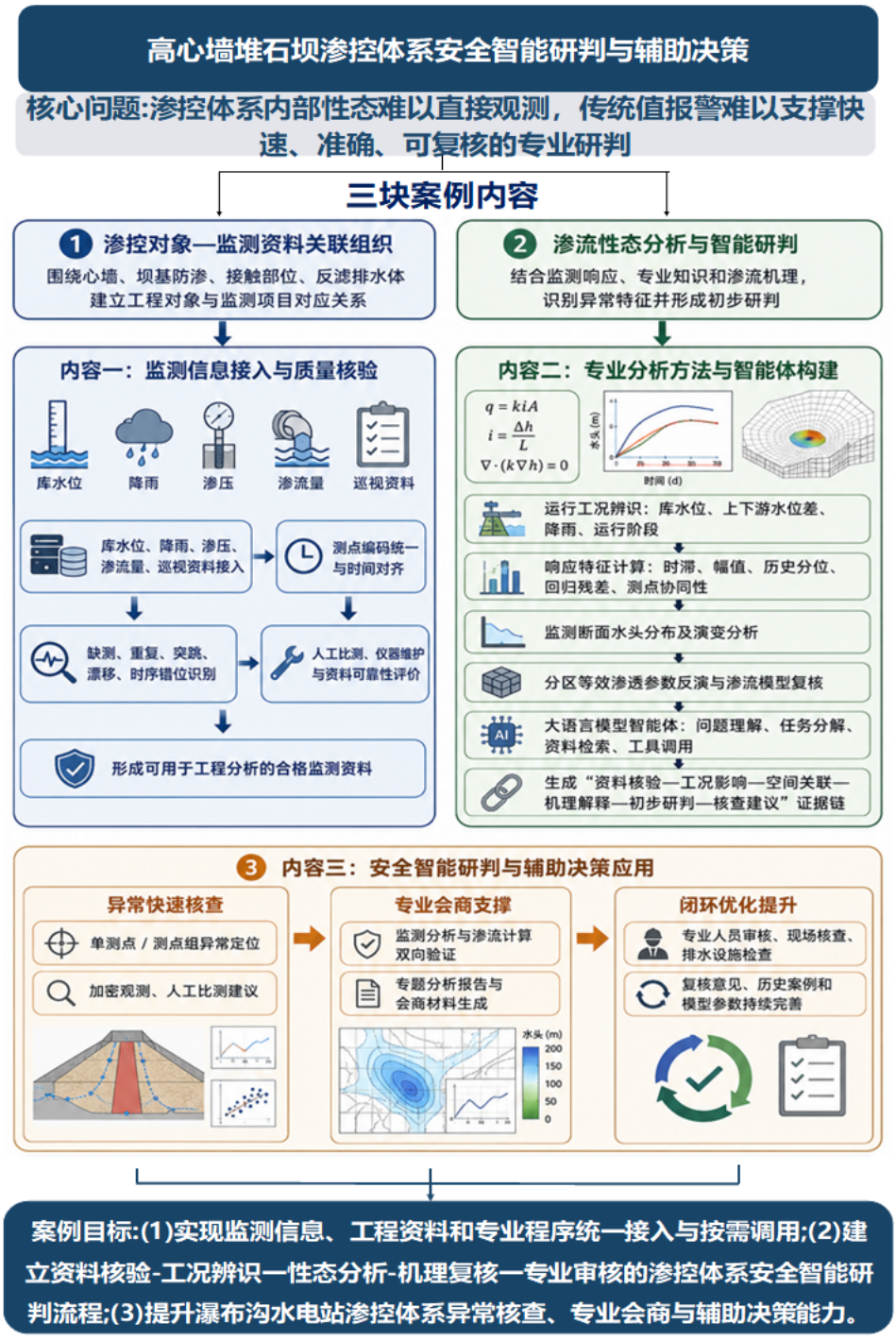


图 1 高心强堆石坝渗控体系安全智能研判及辅助决策

**（3）渗控安全智能研判与辅助决策。**针对渗压持续升高、测值突变、渗流量异常以及监测成果偏离历史规律等情况，系统首先核查监测资料完整性和仪器运行情况，关联分析库水位、降雨等外部条件以及相邻测点、同断面测点和渗流量变化；对常规资料分析不能充分解释的异常，进一步调用渗流模型进行复核。综合资料可靠性、异常特征、运行工况、空间分布及模型分析结果形成初步研判意见，辅助提出加密观测、人工比测、仪器检查、排水设施检查、现场巡视或专题分析等建议，并由专业人员审核确认。关键测值、分析条件、模型参数、计算成果及引用资料全过程可追溯，现场核查结果和处置记录统一归档，为后续同类异常分析提供依据。

系统坚持智能分析辅助、专业人员决策，大语言模型不修改原始监测数据，不直接作出大坝安全结论。通过工业互联网将分散的监测信息、工程资料和专业分析程序有效贯通，形成监测资料分析、渗流模型复核、智能辅助研判与专业审核相结合的渗控安全分析模式，提高异常核查和专业会商的效率与规范性。

**3.成效**

项目已完成渗流监测异常辅助分析功能的阶段性验证。针对渗压测值持续升高、突变或与历史规律不一致等情况，系统可自动核查监测资料完整性和仪器运行记录，关联库水位、降雨、渗流量、相邻测点及历史同期工况，计算变化速率、响应时滞、响应幅值和测点协同性，形成异常现象、影响因素及空间关联的分析证据。

在瀑布沟水电站应用验证中，系统已接入 69 个渗压监测测点，并汇集渗流量监测设施以及水库水位、降雨、巡视检查等资料。针对 10 项典型异常分析任务，系统能够辅助区分监测或仪器异常、库水位及降雨引起的正常响应、局部测点异常以及需进一步核查的渗流性态变化，并按照可能性和证据充分程度给出加密观测、人工比测、仪器检查、排水设施检查、现场巡视或渗流模型复核等建议。分析结论、关键测值、计算过程和引用资料均可追溯，并由专业人员审核确认。

项目初步改变了异常发生后依靠人工逐项查数、绘图和凭经验分析的工作方式，提高了异常分析的完整性、规范性和专业会商效率。资料查询、过程线绘制及专题材料生成时间同步缩短，但系统定位仍为专业辅助工具，不替代大坝安全分析和责任人员判断。异常识别准确率及提前发现能力将在连续试运行和典型事件验证后据实评价。

**公司简介：**国能大渡河流域水电开发有限公司主要从事大渡河流域水电开发运营。围绕高坝大库运行安全，公司持续开展安全监测、工程分析、数字化平台和人工智能应用研究，已具备监测数据接入治理、工程资料管理、专业模型开发及业务系统建设能力。针对高心墙堆石坝渗流状态隐蔽、监测数据关联复杂、异常研判依赖专业经验等问题，公司组织水工、岩土、监测和信息技术人员联合研发渗控体系安全风险分析与推演智能体，将监测数据、工程资料、专业知识和渗流分析模型纳入统一分析流程，为异常核查、专题分析和运行安全会商提供技术支持。

# 煤炭智能开采



# 第五章 煤炭智能开采

煤炭是我国能源安全的兜底保障，智能开采的着力点，正由工作面装备升级延伸至巡检、装运与设备保障环节。井下高粉尘、强振动、长距离且防爆要求严苛，智能化首先要解决的是“能否长期稳定运行”。在巡检侧，钢丝绳巡检机器人以“轨道+牵引自发电”破解井下供电与防爆约束，融合矿鸿系统实现 5300 米超长单程巡检与 AI 视觉识别；在运销侧，汽车智能装车系统打通排队叫号、无人过磅、智能装车与篷布识别，把依赖人工衔接的公路物流整合为集中管控的一体化流程；在设备侧，带式输送机预测性维护依托工业互联网标识解析为每一枚托辊赋予数字身份，把故障处置从“事后抢修”推进到“主动预防”。由巡检替人、装运无人到设备自预警，数据链路贯通井下与地面、生产与运销，推动煤矿智能化从单点装备升级走向全链条协同，为全系统智能煤矿建设奠定基础。

本章节共收录来自国能神东煤炭有限责任公司、陕西西煤信息科技股份有限公司、涿溪（山西）工业互联网科技有限公司等单位的 3 份案例，围绕井下钢丝绳巡检机器人、煤炭公路物流汽车智能装车、带式输送设备预测性维护等方面的最新应用成果。

# 案例 26：神东煤炭钢丝绳巡检机器人研制

——国能神东煤炭有限责任公司

**关键词**：智能化；钢丝绳；自发电；AI 识别

## 1.背景及痛点

当前神东各煤矿普遍采用“人工巡检+固定摄像头”的模式，存在效率低、覆盖有限、无法智能预警等问题。项目研发了一种用于井下复杂环境的胶带机巡检机器人系统，以响应国家《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》及国家能源集团对智能化建设的考核要求。本项目通过机器人技术替代人工，实现了胶带机运行状态的全面感知、智能诊断与预警，从而提升安全保障水平，是迈向智能矿山巡检无人化的重要实践。

## 2.基于工业互联网的解决方案

为适应井下恶劣、狭长且防爆要求高的环境，神东煤炭皮带机巡检机器人的技术方案做出了针对性创新。相较于地面或桥梁上需要复杂爬行与夹持机构的机器人，神东煤炭皮带机巡检机器人采用“轨道+钢丝绳牵引”的简洁可靠设计。其最突出的创新之一是自发电技术：机器人通过被牵引运动带动本体发电机，为自身传感器和控制系统供电，从根本上解决了井下设备充电难、防爆要求高的核心痛点。此外，其 5300 米的超长单程巡检距离，也远超一般设备检测机器人的常规

作业范围。

项目解决方案包括七大关键环节：一是基于现场工况制定研发指标；二是确定机器人本体尺寸与运行周期；三是攻克防爆环境下牵引自发电稳压供电技术；四是研究长距离钢丝绳牵引力学规律及配套结构设计；五是实现机器人与矿鸿系统的深度融合，构建统一数据平台；六是优化恶劣环境下基于 AI 视觉的智能识别算法；七是验证前端识别模块在井下的实际应用性能。项目聚焦解决井下特殊环境的适应性、动力供给、可靠牵引、智能识别及系统集成等核心难题，最终实现工业试验与推广应用奠定了理论基础与技术支撑。机器人本体如图 1 所示。



图 1 机器人本体

项目主要创新点包括以下 3 个方面：

（1）机器人本体采用外部动力牵引自发电供电，于隔爆腔内设计内置发电机，发电机输出三相交流电稳压原理，为机器人在井下环境中供应稳定的电能提供理论基础。

（2）钢丝绳牵引机器人搭载矿鸿核心板并将机器人软件系统与

矿鸿软件平台有机融合，搭建以矿鸿系统为基础以机器人为载体的“万物互联”“统一数据标准”“分布式数据管理”“自主可控”等特性功能。




图 2 皮带跑偏

（3）机器人结合前端识别功能模块通过实验分析标准初始化方法的问题，然后根据两个目标——状态方差和梯度方差保持不变推导出参数的特点，给出前端识别模块初始化方法的具体形式。

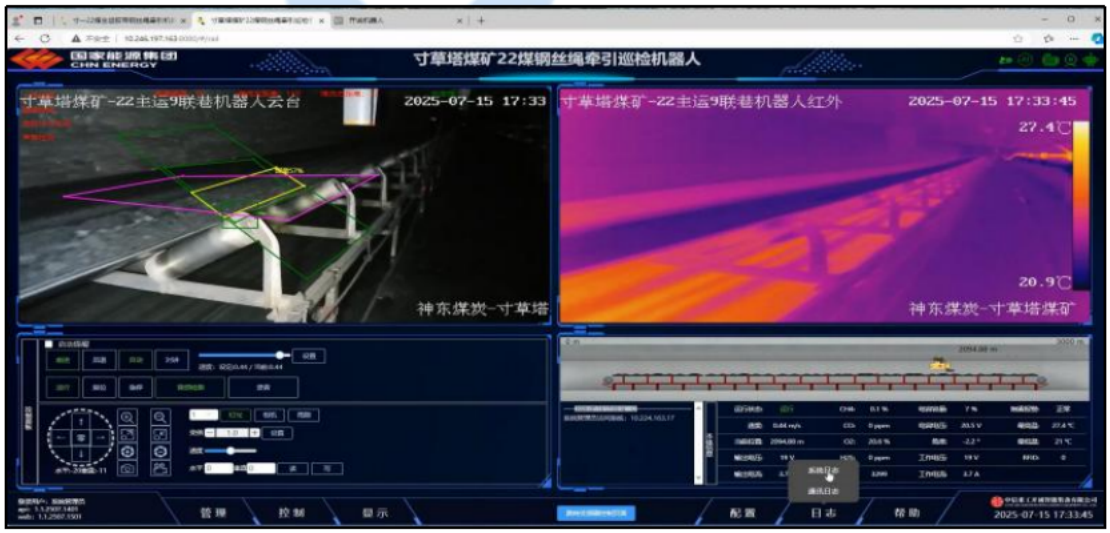


图 3 皮带堆煤、红外热成像

### 3.成效

从应用成效看，神东煤炭皮带机巡检机器人系统已在多个矿井（如大柳塔、补连塔煤矿）得到规模化应用验证。实践证明，它能将单班巡检人员从 1—2 人减少至 0 人，故障预警准确率超过 70%，单台每年可节约人工成本超百万元。这种经过大规模工业化验证、并能直接产生显著经济效益的成熟度，是目前许多仍处于实验室或示范阶段的国内外钢丝绳巡检机器人所不具备的。

总而言之，神东煤炭皮带机巡检机器人并非通用型检测设备，而是针对煤矿井下特殊工况进行深度定制和系统创新的专用智能化解决方案。它在可靠性、自持性、系统集成度和商业化应用效益方面，均处于国内外行业领先地位。

**公司简介：**国能神东煤炭集团有限责任公司是国家能源投资集团有限责任公司的骨干煤炭生产企业，于 1984 年开发建设，地处陕、蒙、晋三省区能源富集区。作为国家“七五”重点项目，公司承担着国家能源战略重点西移的重大任务，主要负责所属 13 个矿井的开发建设和生产运营。公司主营煤炭生产及洗选加工，主要煤炭产品为原料用煤和优质动力煤。公司开发建设 40 多年来，坚持以煤炭保能源安全，开创了新型集约化安全高效千万吨矿井群生产模式，矿井采掘机械化率 100%，资源回采率 87%以上，原煤生产人员效率最高达 164.47 吨/工，率先建成国内首个亿吨、两亿吨级煤炭生产基地。

# 案例 27：西煤科技汽车智能装车系统

## ——陕西西煤信息科技股份有限公司

**关键词**：能源工业互联网；煤炭大宗物流；智能装运；数字化转型

### 1.背景及痛点

煤炭大宗物流中，汽车运输是大型煤矿、集运站及储煤基地不可或缺的核心环节，具备灵活直达、成本较低、适配中小批量分散运输等显著优势，但传统作业模式与新一代信息技术融合不足，已成为制约产运高效衔接的关键瓶颈。突出存在以下问题：

**（1）系统孤岛与协同低效：**各环节控制系统独立运行，车辆入场、过磅、装车全流程依赖人工通讯配合，排队拥堵严重，作业效率低下；

**（2）人工依赖与安全风险：**刷卡识别、装车操作、过磅检斤均需人工干预，司机下车刷卡存在交通安全隐患，人员劳动强度大；

**（3）质量管控与成本浪费：**人工装车易出现超重、撒料、装载不均问题，极寒地区防冻液喷洒损耗严重，增加企业运营成本；

**（4）数据割裂与决策滞后：**数据分散于多系统端口，人工录入误差率高、时效性差，无法为生产决策提供可靠支撑；

**（5）环保监管缺失：**车辆出场篷布苫盖缺乏有效监管，易造成运输沿线物料遗撒与扬尘污染。

**2.基于工业互联网的解决方案**

本项目是能源工业互联网技术在煤炭公路物流领域的创新应用，紧扣“数字赋能能源转型”主线，针对传统汽车装运全流程痛点，通过对传统装车站的工业互联网改造与系统深度集成，构建集中管控一体化智能装车体系，实现汽车装运全流程无人化、智能化作业，已成功落地陕西多家大型煤矿企业，获得行业广泛认可。以下是系统的核心功能概述：

**（1）集中管控一体化架构。**基于工业互联网平台架构，打通感知层、网络层、平台层与应用层数据壁垒，实现车辆排队叫号、无人过磅、防冻液喷洒、智能装车、篷布识别、电子榜单全环节一体化联动控制。通过升级网络通讯系统，整合各子系统资源，采用统一 HMI 人机交互界面，实现全站系统的集中管理与一键式操作，彻底解决传统系统“孤岛式”分布问题。

**（2）多模态融合感知与无人化作业。**构建 AI 机器视觉+车牌识别+二维码扫描的多模态感知体系，实现车辆身份的精准验证。开发无人过磅系统，集成激光定位、光栅检测与防作弊分析，司机全程不下车即可完成称重；研发 AI 智能装车系统，通过机器视觉实时监测车厢煤量状态，结合车厢尺寸数据自动控制放料与车辆调度，配合语音广播、LED 提示屏实现司机自助装车；部署可升降式智能防冻液喷洒系统，根据车型自动调整喷洒高度与用量，实现停车停喷、车间停喷。

**（3）全流程智能管控系统。**开发手机 APP 远程排队系统，支持

司机远程定位签到，矿方可分煤种智能叫号，有效缓解厂区道路拥堵；基于深度学习算法开发篷布识别系统，自动检测车辆篷布苫盖情况，联动运销系统拦截违规车辆；部署撒煤实时监测系统，通过高清摄像头与图像识别技术预警车帮撒煤并自动抓拍存档；集成电子榜单功能，实现磅单无纸化流转，大幅缩短车辆周转时间。

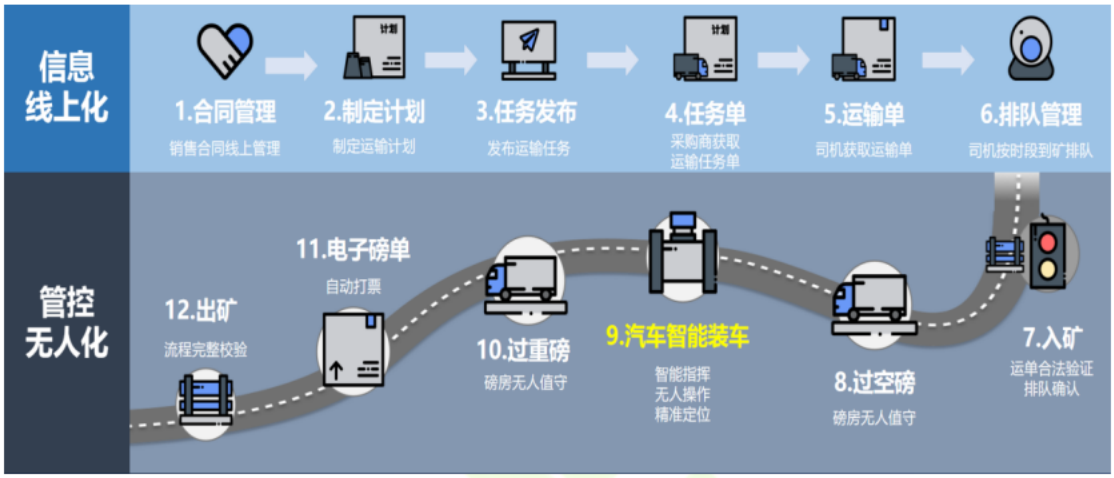


图 1 汽车装运全流程无人化管控示意图

**（4）数据驱动的运销管理平台。**构建多端协同的运销管理系统，支持矿方端、承运商端、司机端分级权限管理，实现调拨单派发、运单实时追踪、销售统计分析等功能。系统自动生成多维度数据报表，支持按客户、煤种、时间等条件组合查询与 Excel 导出，为企业生产调度与经营决策提供数据支撑。

**（5）全维度安全与设备管理体系。**建立车辆黑名单管理机制，自动拦截违规车辆；部署设备远程管理平台，实现对全线设备运行状态的实时监控、远程诊断与维护，提前预警设备故障。系统集成多重安全报警机制，异常情况自动触发声光报警并推送至集控中心，形成完整的安全作业闭环。

项目最终实现了汽车装运全流程无人化管控，达到减员增效、降低劳动强度、提升装运效率与质量的目标，为煤炭行业公路物流数字化转型提供了可复制的示范方案。

**3.成效**

以西煤科技韩家湾煤矿智能装车项目为例，项目通过工业互联网技术赋能煤炭公路物流数字化转型，实现了经济效益、社会效益与环保效益的全面提升。

**1.经济效益：**直接效益显著，无人过磅系统实现“一人监管、无人操作”，按 4 个磅房三班倒模式减少岗位 16 人；智能装车系统覆盖 10 个装车通道，同样实现单人监管，减少岗位 20 人，年节约人工成本合计 432 万元。智能防冻液喷洒系统使药剂用量节约 15%—20%，按年外运量 300 万吨计算，年节省药剂费用 15.2 万元。间接效益方面，有效避免撒煤等装车事故，提升一次性装车精度与车辆周转效率，大幅缓解厂区道路拥堵，降低了综合运输成本。

**2.社会效益：**安全层面，实现远程排队、过磅无人值守、装车无人操作，司机全程不下车即可完成全流程作业，彻底规避了人员现场作业的安全风险，筑牢企业安全生产防线。行业辐射层面，技术方案适配各类大宗散料汽车装车站，具备极强的可复制性与推广价值，为能源行业公路物流数字化转型提供了可借鉴的示范样本。

**3.环保效益：**精准智能喷洒与 AI 篷布识别检测技术，有效减少了汽车运输过程中的扬尘与物料洒落，显著降低了对运输沿线生态环

境的污染，助力煤炭行业绿色低碳发展。

**公司简介：**陕西西煤信息科技股份有限公司（简称“西煤科技”）系陕西省物流集团陕西煤炭交易中心有限公司下属企业，注册资本 2000 万元，专业为大宗商品流通领域提供智能化、数字化、信息化整体解决方案，致力于成为大宗商品流通领域最具影响力的技术服务商。

公司深耕工业智能化技术研发，在大数据分析、智能算法、物联网应用领域拥有 30 余项自主知识产权，自主研发的“三网一平台”、西煤云仓、智能装车等核心产品已覆盖陕煤集团、延长石油等 120 余家单位，积累了丰富的大宗物流与智慧矿山信息化、自动化系统建设经验。

公司为国家高新技术企业，已通过 ISO9001、ISO27001、CMMI 三级、CS2、ITSS 等多项权威体系认证，秉持“与客户共创价值、同员工共同成长、为股东争创利益”的核心价值观，助力工业企业数字化转型升级。

# 案例 28：带式输送设备预测性维护实施

## ——涿溪（山西）工业互联网科技有限公司

**关键词**：工业互联网标识解析；预测性维护；托辊智能监测

### 1.背景及痛点

煤炭、发电等能源行业的带式输送机运行环境恶劣（高粉尘、潮湿、高温）、输送距离长、托辊数量多，托辊故障易引发安全事故和生产中断，探索设备的预测性维护是行业刚需。

安全保障刚需：托辊停转与皮带摩擦易引发火灾，煤矿井下、电厂输煤廊道等场景还可能因故障导致瓦斯积聚、人员伤亡等严重事故，系统可实时预警隐患，避免安全风险。

生产连续性要求：煤炭运输、电厂输煤中断会直接导致煤矿减产、电厂停机，造成数十万元/小时的经济损失，系统能提前预判故障，保障生产不间断。

传统巡检局限性：人工巡检主观性强、效率低，且无法覆盖长距离、高危区域，温度/振动等单一检测方式易误报，系统可实现 24 小时全维度监测，解决传统模式痛点。

### 2.基于工业互联网的解决方案

#### （1）硬件部署

通过部署矿用本安型无线温速传感器、无线网关等设备，持续采

集托辊、皮带的传输速度、转速、轴温、振动、倾角等数据。



图 1 局部硬件实物图

**（2）软件部署**

**数字化身份编码：**依托工业互联网标识解析能力，为每一个托辊、传感器、网关等物理设备分配唯一工业互联网标识，实现设备数字化身份编码，完成全生命周期唯一识别、数据溯源与跨层级信息关联。

**多维度现场数据采集：**通过加装振动、温度、位移、速度等类型传感器，全天候不间断采集设备运行物理指标，精准捕捉运行过程中的细微工况变化，将物理运行状态转化为标准化数字信号，为后端数据分析、状态判定提供完整真实的底层数据来源。

**边缘数据处理与安全传输：**传感器采集的原始数据统一接入自研的边缘计算网关设备，完成本地数据降噪、滤波、无效杂值剔除等预处理工作。网关兼容多种工业通信协议，负责将清洗后的有效数据稳定上传至上层管理系统。

**故障识别及预警：**基于故障诊断模型及托辊状态分析模型，对托辊磨损失速、轴承故障失速、托辊/辊筒打滑、托辊失衡掉落、托辊支

架倾斜、皮带传输速度不均匀等故障进行早期识别与预警。

**分级故障报警：**设置多级报警机制，当监测数据出现小幅异常、临界异常、紧急故障等情况时，分别触发不同等级告警提示，支持系统弹窗提醒、短信推送等多种告警方式。同时系统标注异常点位、异常数值等信息，帮助运维人员第一时间锁定位置，规避故障持续恶化引发的安全事故。

**设备健康评估：**系统结合设备出厂标准参数、长期正常运行数据建立健康基线模型，实时对照运行数据偏差情况，划分设备健康等级，量化设备整体运行优劣程度，让管理人员清晰掌握实际运行情况。

**运维数据可视化：**系统以仪表盘、趋势曲线图等可视化形式展示所有设备的实时运行数据、告警记录、维修记录等，形成电子化设备运维台账，方便管理人员随时调取查阅，为设备技改、运维方案优化、生产成本核算等提供可靠的数据依据。

**多端联动实现功能：**通过 PC 端及移动端联动，实现托辊智能监测，完成实时数据监测、智能报警、数据统计、趋势曲线分析等功能。




图 2 移动端效果图

**智能化维修决策支撑：**针对各类设备隐患与故障预测，系统结合历史同类故障处理台账、零部件更换记录等，匹配对应的维修方案、所需备品备件清单，给出合理的检修建议，提升维修工作的精准度与作业效率。

## 3.成效

该解决方案在多家大型装备制造集团、塔矿、智能装备公司实现了部署应用。企业通过系统实时监测替代了人工巡检，覆盖了人工难以触及的区域，提升了巡检效率，故障托辊精准定位功能的实现也帮助企业提升了故障处理效率，降低了抢修成本。基于故障诊断模型及托辊状态分析模型，企业提前预警了托辊停转、过热、支架倾斜等故障，将事故消除在了萌芽状态，避免了火灾、皮带撕裂等重大安全事件的发生，实现了从“被动抢修”到“主动预防”的转型。同时，托

辊运行数据不断积累，也为企业运维决策、设备选型提供了数据支撑。

该方案可在煤炭、发电等能源行业实现规模复制推广，并根据企业现状及需求，对解决方案进行定制化设计及部署，依托工业互联网标识解析、物联网、人工智能等技术，实现井下皮带托辊实时监测，解决高粉尘环境下的设备维护难题。同时，团队将通过持续的异常类型积累形成皮带托辊监测大数据库，赋能 AI 大模型训练，推动模型持续迭代优化，不断提升托辊故障识别准确率、预警时效性与工况适配能力，筑牢井下安全生产防线，助力能源行业绿色安全、高效智能发展。

**公司简介：**涿溪工业互联网作为国家工业互联网数智赋能解决方案服务商，致力于推动传统产业与工业互联网的融合发展，在北京、山西、浙江、广东、陕西等地实现跨区域的业务布局和服务覆盖。
涿溪（山西）工业互联网科技有限公司落地山西，立足于产业优势，利用大数据、物联网、标识解析等新一代信息技术，深度融合垂直产业，致力于打造行业工业互联网应用服务。
公司建设了山西省首个工业互联网标识解析综合型二级节点，入选了工信部2023年工业互联网试点示范项目。基于标识解析体系打造了设备智能巡检、工业设备预测性维护等解决方案，为行业企业提供智能运维、生产管理、智能仓储、能耗管理、市场管控等全流程解决方案，助力企业数字化、智能化转型发展。


油气全链优化

# 第六章 油气全链优化

油气产业链条长、场景复杂、安全要求高，是工业化互联网与人工智能技术渗透最深、任务部署最密的能源品种。油气全链优化的要义，是把“勘探—开发—储运—炼化—销售”这条长链条上的数据断点逐一打通，让工业互联网与人工智能技术将每一个环节都成为可计算的决策依据。在上游，国产 CPU 与 DCU 双引擎算力支撑 PB 级地震资料处理，把资料解释由以周计压缩至以天计，油田“大监控”把数千口油水井、上百座站场纳入统一视图，以报警优化和智能诊断支撑井站无人值守；在中游，LNG 物流平台对内打通主数据与生产系统、对外对接行业云和监管平台，使槽车装车、证照核验、计划审批线上协同，接收站以视频 AI 和巡检机器人把特殊作业、重大危险源纳入闭环管控；在下游，炼化装置能效协同优化叠加机理模型与工业智能模型，形成“在线监测—异常识别—节能诊断—效果跟踪”闭环，工业数字化资产运营平台以物模型纳管 PLC、RTU，让故障定位与工单调度连成一线。勘探、开发、储运、炼化由此连成一条可计算的数据链。

本章节共收录来自太极计算机股份有限公司、北京亚控科技发展有限公司、国家管网集团液化天然气有限公司等单位的 6 份案例，围绕炼化装置能效协同优化、油气生产“大监控”、LNG 物流与接收站智能安全管控、智能地震资料处理解释、油田工业数字化资产运营等方面的最新应用成果。

# 案例 29：基于工业智能的炼化装置能效协同优化平台

——太极计算机股份有限公司

**关键词**：炼化装置能效优化；多源数据融合；工业智能模型；设备在线诊断；数字化驾驶舱

## 1.背景及痛点

炼化企业装置设备类型多、能耗构成复杂，加热炉、压缩机、冷换设备、管线、泵群等设备长期连续运行，其效率直接影响能耗、生产稳定性和碳排放。传统能效管理主要依赖人工台账和离线分析，存在数据分散、计算滞后、指标口径不统一、异常发现不及时等问题。炼化企业虽沉淀大量运行数据，但分散在 PHD、LIMS 等系统，设备基础信息、实时测点与能效指标缺少统一映射关系，难以支撑设备级、装置级、区域级能效对标分析。同时，各类设备机理差异大，依靠人工经验难以及时识别低效运行、负荷偏离、效率劣化和仪表异常等问题，亟需建设面向炼化重点设备的工业互联网应用平台，推动能效管理由“人工统计、事后分析”向“在线监测、实时诊断、闭环优化”转变。

## 2.基于工业互联网的解决方案

### （1）总体架构

针对炼化企业重点设备能效管理需求，建设设备域一体化平台。

平台围绕炼化企业“高耗能、广分布、多类型、强耦合”的设备运行特点，采用“感知层—边缘层—平台层—应用层”四层架构，集成数据采集、能效计算、状态诊断、节能空间识别、优化建议和效果跟踪，构建重点设备能效闭环管理体系，如图 1 所示。




图 1 基于工业智能的炼化装置能效协同优化平台架构图

感知层通过 5G+工业网关接入加热炉、压缩机、烟机、冷换设备、管线及泵群等运行数据，汇聚温度、压力、流量、功率、振动、介质状态、烟气成分等关键参数。边缘层部署计算节点，完成数据清洗、协议转换、质量校验与就近计算，提升实时数据接入效率与稳定性。平台层构建统一数据底座与主数据体系，打通 PHD、LIMS 等系统，实现跨装置、跨设备、跨专业的数据关联；融合机理模型、规则模型与智能算法，支持能效在线计算、阈值预警和节能空间分析。应用层

建设设备管理、能效监测分析、驾驶舱、装置地图、效率趋势分析、对比统计、报警推送等功能模块。

**（2）关键应用场景**

①加热炉燃烧效率在线监测与优化：综合热负荷、氧气含量、一氧化碳、温度等参数，在线核算热效率（如图 2），识别排烟损失高、燃烧不合理、工况波动等问题，辅助操作人员及时调整燃烧工况。




图 2 加热炉热效率评估

②压缩机效率监测与劣化识别：针对离心机、往复机及汽轮机，基于入口/出口工况、气体组分、流量、压缩因子等参数，计算负载率、功率、效率并趋势分析，识别效率偏离、能耗异常、低负荷等问题，如图 3。

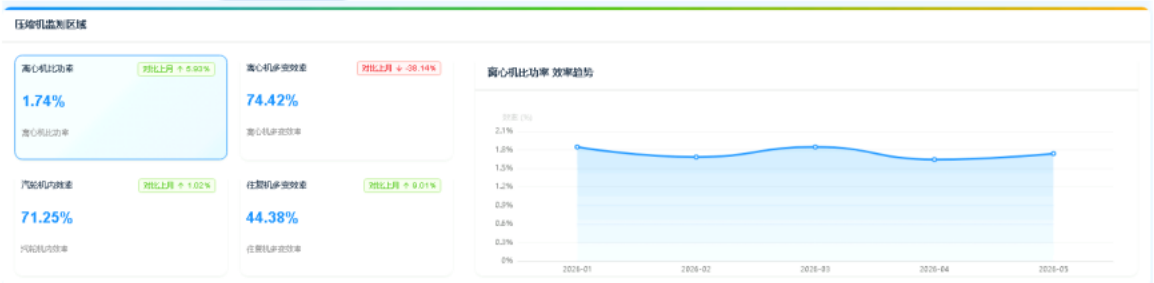


图 3 压缩机效率评估

③管线保温性能评估：基于表面温度、环境温度、热流密度等，计算散热损失及年节约费用，自动生成“节能/耗能”标签，并对耗能管线优先级排序，指导保温改造，降低热损失，如图 4。

| 序号 | 作业部 | 设备/管线名称 | 表面热损系数（w/(m2*k)） | 保温表面平均温度（℃） | 测量环境温度（℃） | 测量保温表面热流密度（W/m²） | 设备管线操作温度（℃） | 保温表面最大允许热流密度（W/m²） | 设备管道保温层表面面积（㎡） | 检测状态 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 动力区-热电部 | 2908-原丙烯专线 | 21.53 | 42.8 | 32 | 232.52 | 410 | 207.2 | 197.94 | 检测 |
| 2 | 动力区-热电部 | 2908-北干线 | 23.75 | 43.2 | 32 | 266.05 | 410 | 207.2 | 218.49 | 检测 |
| 3 | 动力区-热电部 | 2908-乙烯专线 | 23.75 | 46.7 | 31 | 372.94 | 421 | 210.72 | 5711.1 | 检测 |
| 4 | 动力区-热电部 | 0070-西四线中压蒸汽管线 | 23.75 | 44.8 | 32 | 304.06 | 380 | 197.6 | 493.99 | 检测 |
| 5 | 动力区-热电部 | 0070-西二线 | 25.63 | 44.2 | 32 | 312.69 | 410 | 207.2 | 1597.73 | 检测 |

图 4 管线性能评估

④能效异常预警：基于泵群、电机、调节阀、关键测点及机柜间环境等，识别振动异常、阀门小开度、测点长期无变化、偏差过小、湿度超标等问题，并结合历史趋势和专家规则辅助研判原因。

**（3）建设特色**

①覆盖对象广：通过多源数据融合与链路监控，实现从单设备向多类型协同优化。

②行业模型深：沉淀炼化设备机理、运行规则及现场经验为可复用模型，支持“一机一策”精准实时评估。

③应用闭环实：形成“在线监测—异常识别—节能诊断—优化建议—效果跟踪”业务闭环。

④推广基础好：平台架构和模型组件复用性强，可向更多炼化企业复制推广。

**3.成效**

（1）量化经济成效：平台已在炼化企业设备域形成规模化应用，覆盖加热炉 46 台、烟机 2 台、往复式压缩机 20 台、离心式压缩机 5 台、汽轮机 5 台、冷换设备 2672 台、管线设备 21744 台、泵群 27293 台，构建了炼化装置能效监测与优化的数据底座。通过实时能效监测、计算、异常预警和优化指导，加热炉热效率提升约 2%—5%，压缩机

平均运行效率提升 3%—8%，管线散热损失降低约 3%—5%，机泵效率提高 5%以上，非计划停机次数大幅降低，设备可靠性显著提升。

（2）安全与绿色效益：通过能效异常实时预警与故障诊断联动，实现设备隐患早发现、早处置，降低因效率劣化导致的设备故障和安全风险。平台已完成燃料、蒸汽、热损失等能耗环节的数据基础与分析框架建设，为后续开展综合节能量、节约费用及二氧化碳减排的统一核算提供依据，支撑节能降碳工作持续深化。

（3）可推广性与示范意义：本案例已形成可复制的炼化装置能效优化解决方案，架构与算法具备通用性，可快速适配至同类型企业。目前相关技术已在多家炼化企业等企业成功应用，覆盖常减压、催化裂化、加氢裂化等核心装置。未来，太极股份将持续深化“机理模型+AI”融合技术，拓展至反应深度优化、产品收率预测等场景，助力炼化行业从“能耗双控”向“碳排放双控”转型。

**公司简介：**太极计算机股份有限公司（太极股份）是国内领先的数字政府、智慧城市及行业数字化解决方案提供商，隶属于中国电科集团。公司深耕能源化工领域二十余年，为中石油、中石化、中海油等央企集团及下属炼化企业提供了覆盖生产管控、设备管理、安全环保、能源优化的全链条数字化服务。公司自主研发的 TECO 工业互联网平台，通过了工业互联网产业联盟（AII）的可信服务评估认证。此外，太极股份还通过了国家数据管理能力成熟度（DCMM）乙方四级评估认证，并斩获中国质量奖提名奖及多项省部级科技奖励。公司累计获得专利 351 项、软件著作权 1838 项，具备从咨询规划到落地实施的全周期服务能力。

# 案例 30：亚控 KingFusion 信创版在长庆油田集团“大监控”解决方案

——北京亚控科技发展有限公司

**关键词**：油气大监控；云边端协同；全栈信创适配；模型复用；AI 智能诊断

## 1.背景及痛点

长庆油田生产区域横跨西北四省，面积达 37 万平方千米，年油气产量超 6000 万吨，井站线分布极广，管理难度巨大。在“数智石油”战略驱动下，油田已实现油井、站场、注水井、气井数字化覆盖率“四个 100%”，把油气田装进了监控屏幕，实现了产量增 2 倍，用工总量不增，人均劳效翻番的佳绩。

随着企业不断发展，数据治理低效、故障诊断能力弱、性能瓶颈等深层困境不断凸显。以长庆油田某采油厂为例，现有生产监控系统覆盖下辖的 7 个作业区，在集团大力推广井站无人值守的运行模式下，如何更好地满足功能可扩展、数据能治理、故障易识别、安全好运维的生产核心需求，一直是未解难题。

## 2.基于工业互联网的解决方案

为破解困局，采油厂以需求为原点，以深度融合应用为目标，决定采取“自主设计+底座引进+联合开发”的模式，试点建设油田生产物联网监控平台。经过充分市场调研，最终选择北京亚控科技发展有

限公司 KingFusion 4.5 管控一体化平台，构建了“云-边-端”三级部署架构，通过 17 大核心功能模块实现采油厂所属 4403 口油水井、124 座站场、管线及机泵设备等 21 万个数据点的全量采集、集中存储、报警优化、远程管控以及基于 AI 大模型的生产数据训练和智能诊断。

本方案功能架构和部署架构如下图所示：

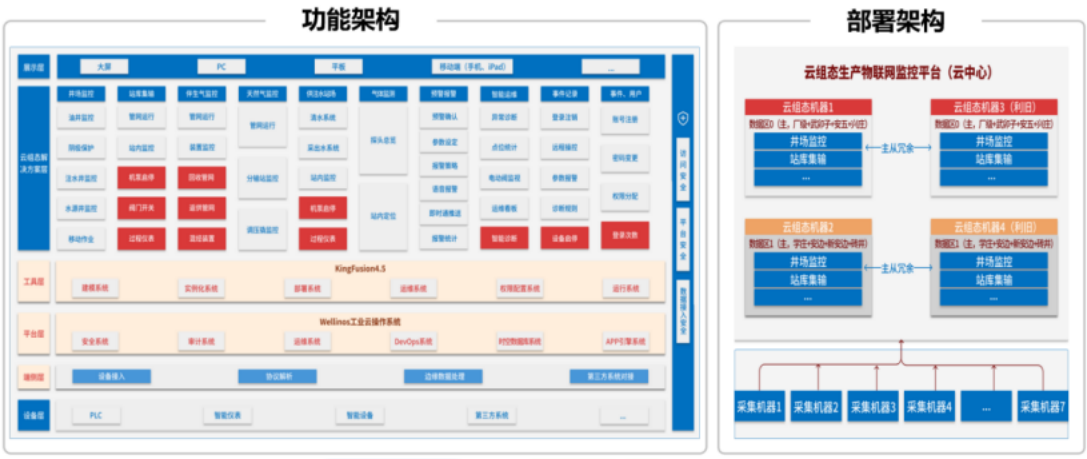


图 1 功能及部署架构

核心技术创新：

- **云整合与热更新：**应用云化技术完成数据资源整合和功能扩展。创新地将变量、逻辑、图形进行模型化封装，同时将监视、控制及报警功能拆分为独立单元，模型复用率达 100%，且可实现“零星维护”，系统不停机、业务不中断。
- **报警优化与智能诊断：**
  - 报警优化处置：创新性开发多限值约束检验、无代码报警动态配置，实现源头防错，日过滤无效报警超 4000 条；通过增设处置时长计算和数据统计功能，实现对标分级评价，支撑应用

量化考核管理。

- 智能识别诊断：基于“仪表设备特征+工艺电气规则+多维度实时数据智能诊断”的一体化设计，实现断网掉线、数据死值识别准确率 100%，启停、调频控制识别准确率 100%，从技术层面赋能井站无人值守平稳运行。

- **数据与 AI 适配：**创新设计并深度集成“实时数据诊断—标注—再训练”流程，构建采油厂高质量数据集。工艺参数报警限值优化、管道泄漏监测联动等 AI 应用，为工况诊断、参数优化、趋势预测提供“短平快”的资源支撑，该设计获 2025 年中国石油人工智能创新大赛应用创意一等奖。

**3.成效**

**（1）构建新一代油田生产大监控系统**

本系统实现该采油厂 4403 口油水井、124 座站场稳定采集与集中监控，支撑 89 座站场无人值守运行。具备云整合、热更新、100%模型复用、报警优化、数据找人、智能诊断等六大核心优势。

**（2）经济效益显著**

截至 2026 年 3 月 31 日，累计转化利润 2337.85 万元，平台 16 年全生命周期预计产生经济效益超 7.3 亿元。在人员薪酬优化方面，89 座场站解决用工 133.5 人，服务器集中部署减少 13 台套，节约 65.24 万元。

**（3）核心性能大幅提升**

系统上线后，现场设备运行故障响应时效从原来 8 小时缩短至 23 分钟，提升了 95.2%。另外，系统上线的报警优化模块，报警限值设定耗时缩短超 80%，无效报警减少 4000 多条。

**（4）社会效益与推广前景**

本系统的数据智能诊断、报警限值校验等功能支撑生产物联网“看得见、控得住、管得牢”，为井站无人值守的安全运行提供核心技术支撑，高质量数据集有效缩短 AI 人工智能项目开发测试周期，拉动上游设备供应 154.4 万元，可为其他采油厂、油田公司生产物联网建设提供参考和借鉴。

**公司简介：**北京亚控科技发展有限公司简称“亚控科技”，是一家成立于 1997 年的高新技术企业，是中国最早成立的工业自动化组态软件研发生产厂家，总部位于中国北京，在全国多地设立分公司、研发中心和办事处，同时在多个国家设有分支机构，售前售后服务体系完善。亚控科技可为广大设备层厂商、自控系统集成商、MES 以及信息化平台实施商、最终用户提供包括设备或工段级监控平台即组态王 KingView 系列产品、实时数据采集平台 KingIOServer、厂级或集团级监控平台 KingSCADA、信创 SCADA 监控平台 KingSCADA4.0 信创版、国内第一款商品化的工业数据库产品 KingHistorian、管控一体化平台 KingFusion 产品、工业云操作系统 WellinOS 产品等在内的全系列产品线及完整解决方案。

# 案例 31：贯通多维数据·智赋物流新章——LNG 物流平台多系统集成实践助力基层减负与全链增效

——国家石油天然气管网集团液化天然气有限公司

**关键词**：LNG 物流管理平台；数据融通；全流程线上化；槽车外输优化

## 1.背景及痛点

全球及国内 LNG 市场规模持续高速扩张，我国已成为全球最大天然气进口国，LNG 接收能力、液态外输业务量逐年攀升。为落实国家管网集团数字化工作规划、践行“两大一新”发展战略与“X+1+X”市场化改革愿景，集团启动 LNG 物流管理平台建设。目前集团 6 家在运 LNG 接收站槽车外输业务体量庞大，年最大外输能力 92 万次，业务需求持续增长。现阶段行业及现场运营存在诸多短板：缺乏统一数字化系统支撑槽车外输全流程；各业务系统分散独立，数据割裂、链路断层；日常业务依赖人工线下操作、纸质留存，数据处理效率低、共享追溯困难；提货申报、现场作业流程繁琐，不仅制约整体运营管控效能，也大幅降低客户提货体验与服务质量。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本方案依托工业互联网、物联网、人工智能、大数据技术体系，搭建 LNG 物流管理平台，实现全站槽车装车、安全管控、证照核验、

计划审批等全流程线上化，面向管网内部单位、上下游贸易企业、承运商及监管机构提供协同服务，依托网络互联、数据互通、系统集成、智能应用能力，破解传统业务信息割裂、流程零散、管理低效等问题。

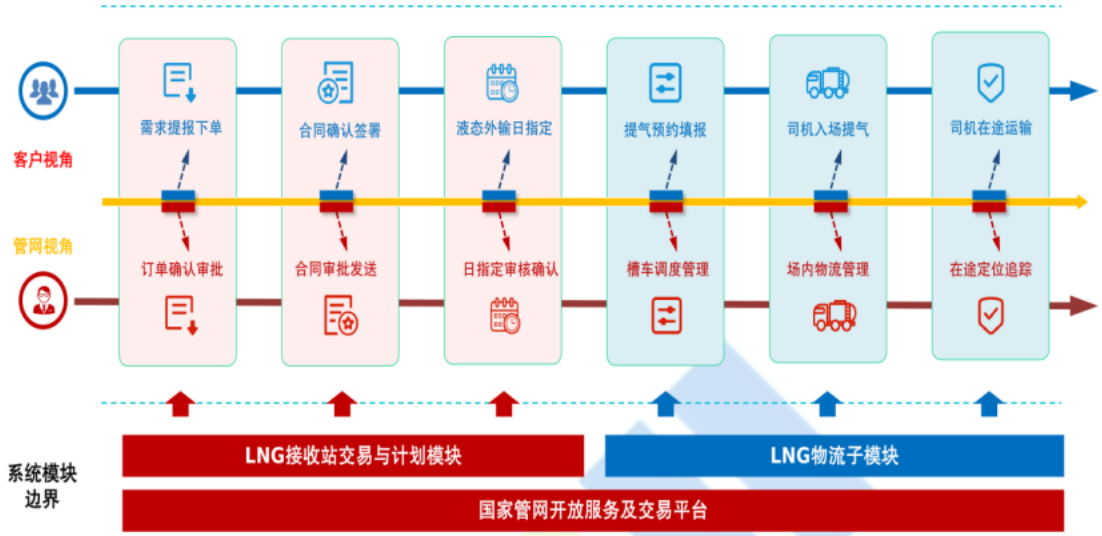


图 1 总体业务框架

平台采用五级架构体系，分为感知层、边缘层、资源层、平台层与应用层。感知层对接场站充装、热值分析系统，集成改造门禁、地磅设备，新增 PDA、自助终端，实现现场作业数据全域采集。边缘层依托 4/5G、光网络等搭建数据通道，打通场站、设备、平台互联链路，保障数据高效传输。资源层依托平台 IaaS、PaaS 云服务，提供算力、存储、网络基础资源。平台层提供微服务、GIS、数据对接等中台支撑能力，保障数据无缝流转。应用层通过 PC 端、小程序及 5G 专网移动终端，全方位覆盖办公管理与现场作业场景。

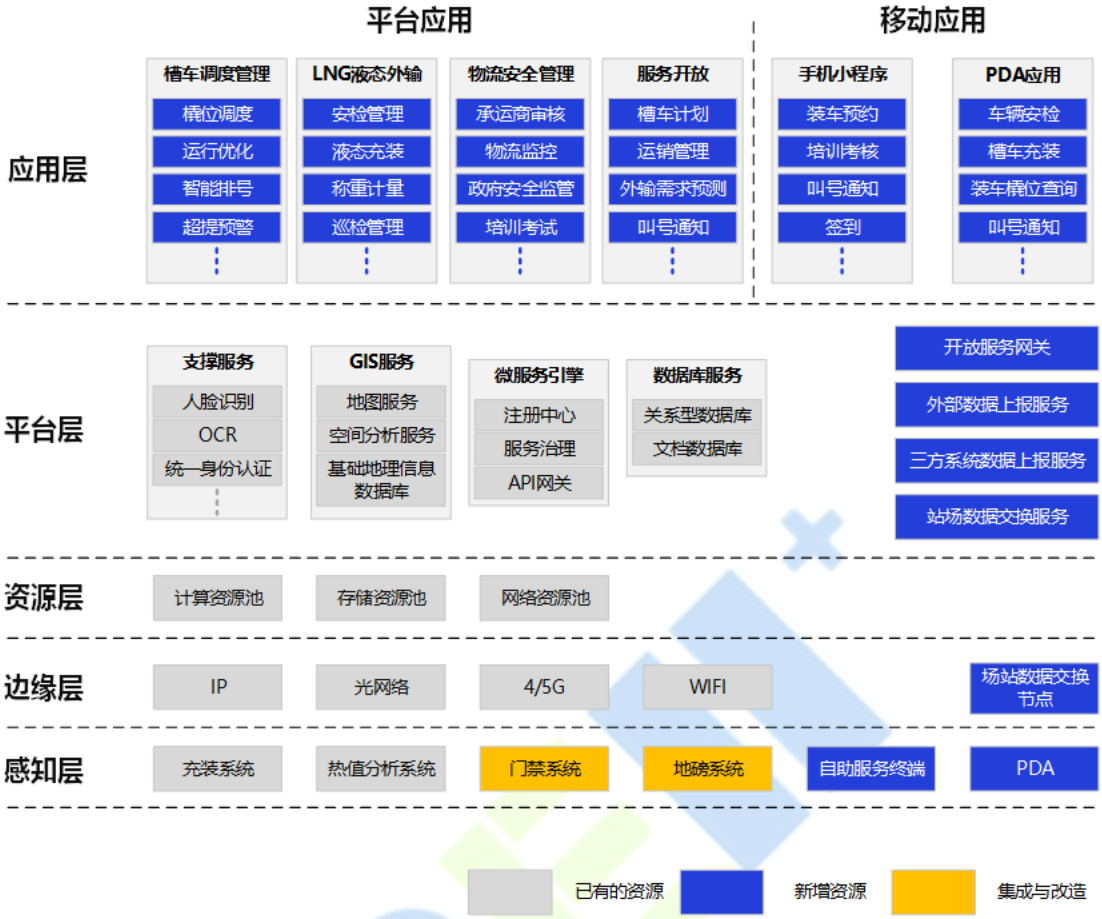


图 2 总体架构

方案以工业互联网数据融通为核心抓手，实现多维度跨主体数据互联共享。对内深度集成集团 MDM 主数据、统一认证、Weact、交易平台、生产运行、资产完整性、CV 大模型等内部系统，统一基础数据口径，打通业务流转链路，减少人工重复填报。对外对接 LNG 行业云、国家政务服务中心、压力容器监管平台，同步承运商、槽车、证照资质数据，实现证件 AI 智能核验、监管信息自动上报；同时向地方环保、海关等监管部门共享作业台账、排放监测等数据，构建政企协同监管体系。站内整合装车撬生产、智能巡检、视频监管数据，实现场站运营状态全景可视。

依托模块化微服务架构，搭建全场景业务应用功能。对外服务端可完成商户注册、资质审核、提货计划申报、运单跟踪、安全培训考核等操作；司机通过移动端小程序，实现车辆自检、进厂预约、任务查询、到场签到等自助业务。内部管理端具备承运商管控、计划审批、充装调度、违章管理、人员场站运维等功能。现场作业配套智能门禁、无人地磅、自助终端、手持作业设备，实现进场核验、充装管控、计量结算无人化作业。

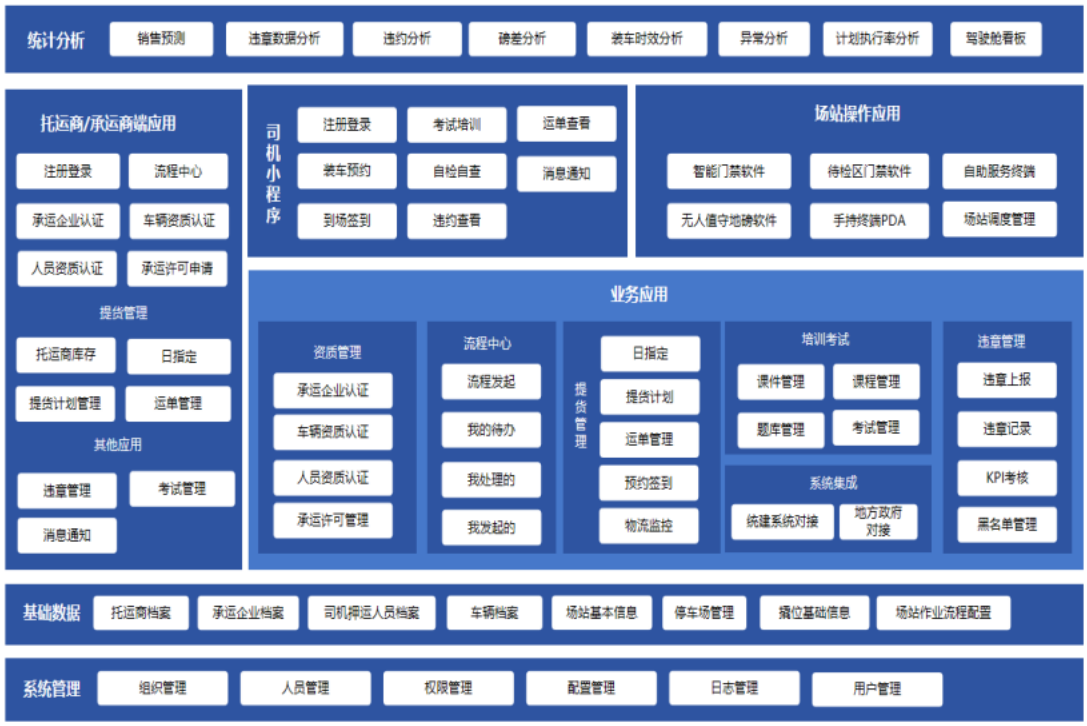


图 3 全场景业务应用体系

平台搭载大数据统计分析模块，围绕装车时效、计划执行、承运商考核、磅差损耗等维度生成分析报表与可视化看板，以数据驱动调度决策与运营优化。同时融合物联网、OCR 识别、AI 视觉比对等人工智能技术，提升业务智能化水平。

系统构建多层级网络与数据安全防护机制，软硬件均采用国产化

适配建设，整体国产化率达 100%，系统可用率达到 99.9%，具备高并发、高稳定、易扩展特性，依靠工业互联网全域协同能力，全面规范 LNG 槽车外输业务流程，提升整体运营管控质效。

**3.成效**

本平台依托工业互联网全域互联、数据融通、智能协同能力，已在大连、深圳、粤东、天津、漳州、海南 6 家 LNG 接收站全面落地应用，沉淀 OCR 证照核验、人脸识别签到、槽车全流程管控等创新应用成果，实现 LNG 物流全链路数字化升级，综合效益突出。

一是运营效率提质降本。平台实现槽车外输全流程线上化、标准化、无纸化。以天津接收站为例，业务预约与计划变更由 3 人协作精简为 1 人独立完成；资质审核、线上培训大幅缩减人力投入；信息上报时长由 30－60 分钟压缩至 10 分钟以内，有效破解线下流程繁琐、车辆拥堵、人工干预过多等问题。

二是全域数据互联互通。依托工业互联网数据集成能力，对内打通集团统建系统、站内智能设备、CV 大模型、巡检数据；对外对接 LNG 行业云、政务服务平台、地方监管部门，破除数据孤岛，减少重复填报，为资源调度与经营决策提供数据支撑。

三是安全合规有效强化。通过证照在线核验、作业全程留痕、监管数据自动上报，实现资质审核智能化、业务过程可追溯，降低人工审核差错，高效满足监管要求，提升 LNG 物流安全管控水平。

**公司简介：**国家石油天然气管网集团液化天然气有限公司，是国家管网集团旗下专注于 LNG 业务的全资子公司，承担集团 LNG 资源统筹、接收站运营、市场贸易与专业化管理职责。公司深耕 LNG 接收站投资建设、安全运营、储运调峰与数字化创新，统筹管理大连、天津、深圳、粤东、漳州、海南多座大型 LNG 接收站，构建“全国一张网” LNG 储运体系，在能源保供、公平开放、关键技术国产化、智能化建设等领域成果突出。公司以数字化转型赋能业务高质量发展，全力推进 LNG 物流全流程智慧化管控，持续提升能源保供能力与运营效率，服务国家能源安全战略与行业高质量发展。

# 案例 32：LNG 接收站智能安全管控方案

## ——安徽长江液化天然气有限责任公司

**关键词：**视频 AI 分析；巡检机器人；人员定位管理；特殊作业管控

### 1.背景及痛点

传统 LNG 接收站安全管理数字化水平偏低，缺少实时监测、智能预警和闭环管控能力，管理标准化精细化欠缺，人为失误隐患较大，无法适配主动防控与线上监管需求。日常管控主要依靠人工巡检、纸质审批和人工监控，特殊作业审批效率低，现场违规行为难以及时处置，作业数据相互割裂，事故溯源和责任界定难度较高。

为此，国家、安徽省及芜湖市相关政府部门陆续出台危险化学品数字化安全管控政策，明确要求相关企业建设智能安全管控平台；芜湖 LNG 接收站作为危化品重大危险源企业，搭建该平台是其依规履行安全生产主体责任的必要举措。该平台可整合全品类安全数据，实现风险精准研判与作业全流程管控，有效排查消除安全隐患，升级安全管理效能，同时符合监管合规要求，夯实企业安全生产保障基础。

### 2.基于工业互联网的解决方案

本方案依托工业互联网平台，整合 5G 专网、北斗定位、物联网、AI 分析等技术，搭建一体化智能安全管控平台。

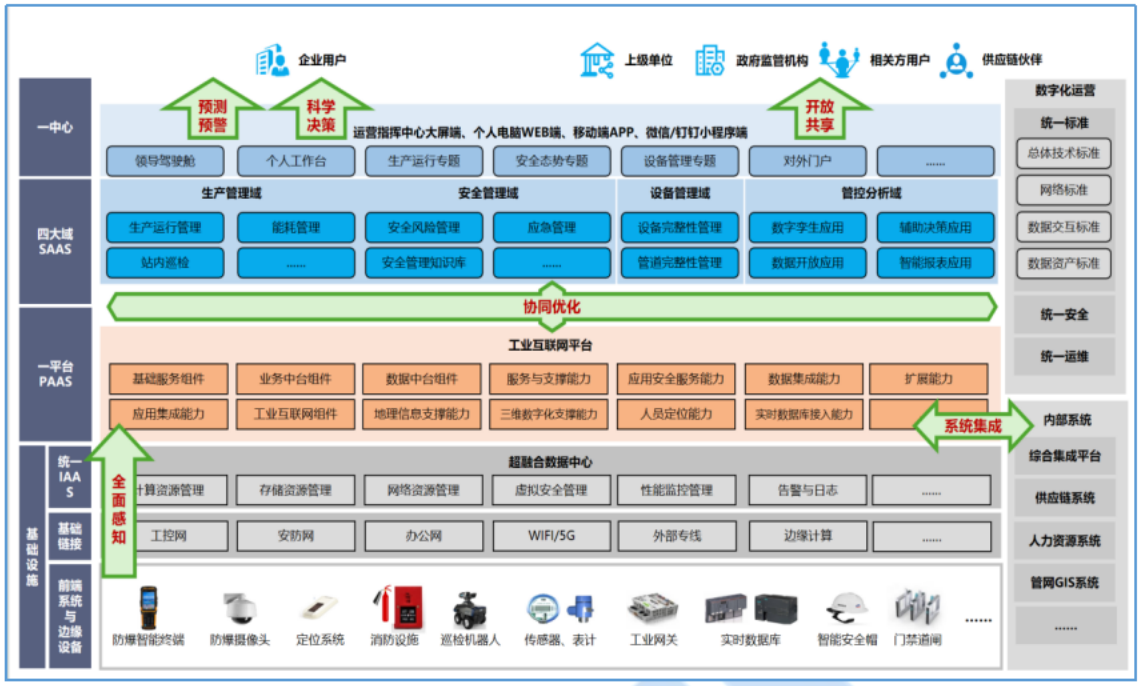


图 1 平台架构图

**（1）数字化赋能提升特殊作业安全管控**

一方面实现作业票线上全流程审批流转，以标准化流程取代纸质填报，解决填写易出错、流程冗杂、存档不便等问题，规避票据违规引发的处罚风险；另一方面通过整合人脸识别、气体监测、人员定位视频 AI 分析与门禁管控技术，实现对现场作业行为、监护人员脱岗、无关人员闯入作业区进行管控，实现了审批人员现场核查验票。借助数字化完成作业闭环管控，源头把控安全风险，稳固特殊作业安全根基。

**（2）数智化赋能筑牢双重预防安全管控防线**

与安徽省危化品监测预警系统互联互通，满足重大危险源监管要求，梳理形成 84 项包保隐患排查、30 项重点部位巡检任务，定时推送至移动端并智能提醒，通过绘制风险四色分布图，落实分级管控

要求。依托双重预防体系实现风险管控电子化闭环，自动派发任务并督促限期处置。系统每日依据预设规则自动量化考核，以考核压实安全职责，确保隐患排查与风险管控工作切实落地。

**（3）数字化赋能构建重大危险源智能化管控体系**

一方面将储罐区、工艺区重大危险源的压力、温度、液位、视频等数据，统一接入安徽省危化品监测预警系统，接受线上监管；另一方面进行重大危险源的监测和预警，结合报警数据剖析问题根源，找准管理漏洞，优化作业流程，排查潜在隐患，全面实现重大危险源精细化、智能化、常态化管控。

**（4）数字化赋能承包商准入及作业全过程管控**

对承包商准入、退场实行全流程精细化管控，业务流程规范清晰、精简高效；同时自动生成培训台账、智能预警资质及培训有效期，实现施工全过程督查、违章问题整改电子化闭环管理。

**（5）AI 视频巡检筑牢接收站关键区域安全防线**

依托已建的视频监控资源，部署 30 余项智能识别算法，对接收站槽车充装区、储罐区、工艺装置区、码头作业区等关键区域的作业环境、人员行为、设备设施状态等异常隐患进行识别预警，第一时间推送至管理人员移动端和中控室，实现安全风险超前预判、实时防控，从源头防范各类安全事故发生。




图 2 视频 AI 分析平台

**（6）智能巡检机器人赋能槽车区无人巡检**

依托智能巡检机器人，对接收站槽车充装区开展环境状态、仪表参数、跑冒滴漏、气动阀开关等全自动巡回检测，以智能化技术替代人工巡检，显著提升巡检频次与巡检精度，有效减轻现场人员巡检工作负荷，大幅降低人员长期在高危区域作业的安全暴露风险，实现无人化、常态化安全巡检。

## 3.成效

平台落地后，推动芜湖 LNG 接收站安全管理实现从被动处置向主动预防的转型，经济效益、安全管控效益、管理效能等方面均取得了十分显著效果。

经济效益方面，通过推行无纸化电子作业票，每年可节约纸质印刷、运输及报废成本 0.81 万元；优化作业流程、减少签字奔波与统计

值守环节，相当于年节约 3.3 人/年的人力投入，对应节省人工成本约 49.5 万元；同时可规避监管罚款及安全事故损失，年度综合降本可达 65.31 万元，审批效率提升 50%以上。

安全管控层面，实现重大危险源监测数据实时联网监管，报警处置效率大幅提升；特殊作业全程留痕，人员越界、离岗可触发实时告警，从根源杜绝无证上岗、监护缺位的问题；AI 视频可对 30 余类违章实现自动秒级预警，智能机器人替代人工开展高危区域巡检，进一步降低了人员的安全暴露风险。

管理效能上，双重预防机制、承包商管理实现全流程电子化，隐患排查、履职任务可线上推送并要求限时办结，系统每日自动完成量化考评，真正实现风险分级管控、隐患闭环治理。同时本方案形成了一套可复制的 LNG 场站数字化管控范式，完全契合危化行业尤其是 LNG 接收站的需求，具备行业推广价值。

**公司简介：**安徽长江液化天然气有限责任公司运营全国首座内河 LNG 接收站——芜湖长江 LNG 内河接收（转运）站，是长三角天然气产供储销体系重要储气设施。公司已构建“上游有气源、中游有管线、下游有市场”全产业链布局，拥有天然气长输干线、区域城燃特许经营权及综合能源服务站点。先后与中海油、国家管网、中石油、奇瑞集团等深度合作，布局大型 LNG 接收站、长输管线、热电联产及分布式能源项目，投运江海联运 LNG 专用运输船，打通“海气进江、海气入皖”战略通道，在 LNG 场站运营、管网调度、智慧安全数字化建设方面具备成熟落地经验与行业示范能力。

# 案例 33：基于海光双芯算力的智能地震资料处理解释平台

——海光信息技术股份有限公司

**关键词：**智能地震勘探；地质目标 AI 评价；国产异构算力；全栈信创；油气勘探工业互联网

## 1.背景及痛点

进入“十四五”以来，我国油气勘探不断向深层、复杂探区拓展，单次三维勘探数据量跃升至 PB 级，叠加高密度采集与叠前偏移成像技术普及，地震数据处理对并行计算、存储 IO 和安全可控提出极高要求。传统作业高度依赖海外软硬件平台，面临高端加速芯片供应不稳定、成本高昂及安全隐患突出的风险。同时，地质目标评价环节长期依赖专家经验，人工初始拾取、速度谱解释、层位追踪等重复性工作耗时长达数周至数月，效率低、主观性强，难以满足“时间紧、任务重”的生产节奏。

此外，国产芯片与大型工业软件之间普遍存在“适配但不高效”的断层，亟需通过芯软深度协同和工业互联网平台化部署，打通从底层算力到上层智能应用的全链路，实现油气勘探的自主可控与智能升级。

## 2.基于工业互联网的解决方案

中国石油东方物探采用分层解耦的工业互联网平台架构，智能地

震资料处理解释平台自上而下划分为五层：

- 软件即服务层（SaaS）面向勘探开发业务，提供底图、三维可视化、地震剖面、地质剖面、单井分析及作业管理等核心服务；
- 数据即服务层（DaaS）建设多学科数据管理系统，实现敏感数据识别、数据分级分类与服务管控；
- 平台即服务层（PaaS）部署云计算管理系统，涵盖访问门户、资源管理、作业调度、统计分析与许可证管理；
- 基础设施即服务层（IaaS）提供可信计算资源、可信操作系统、可信安全沙箱、云原生密码算力及安全容器/虚拟机；
- 硬件层以海光 C86 架构 CPU 处理器与 GPGPU 架构 DCU 算力卡为算力基座，形成“CPU 通用计算+DCU 异构加速”的国产双引擎架构。

该架构通过资源虚拟化与作业调度系统，将 GeoEast 的 42 个技术系列、1000 余个功能模块统一纳管，实现计算资源弹性伸缩与多租户安全隔离。

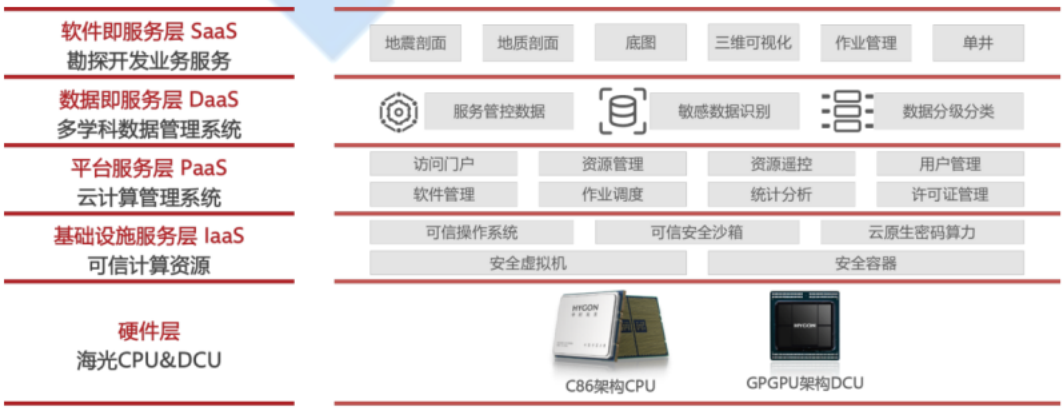


图 1 总体架构

**CPU 侧深度优化：**针对 GeoEast 网络分布式计算与并行处理特点，充分调用海光 C86 处理器多核架构与多线程技术。基于 SIMD 指令集优化高分辨率处理、复杂地表及低信噪比地区资料处理等矩阵并行算法；通过进程亲和性配置与代码亲和性修改，实现 NUMA 亲和绑定，保持核心在连续内存区域访问预加载数据，解决叠前偏移和三维可视化解释关键函数的热点集中问题。

**DCU 侧异构加速：**针对 FWI、Deblend、MPP5D、PSTM、RNA3D、PSDM 等关键科学计算模块开展深度性能调优，同时依托海光 DCU 的 AI 算力，完成 GeoEast-Smarter 及专业大模型训练推理的完全适配，关键 AI 模块包括智能初至拾取、智能速度谱拾取、智能层位解释、智能断层解释，以及叠前数据处理分析模型与构造解释大模型。

**安全可信与平台化部署：**基于海光安全虚拟化技术 CSV，将地震资料数据处理过程置于可信执行环境中，通过内存加密保护油田核心地质信息；海光 CPU 原生兼容 x86 生态，海光 DCU 原生兼容 CUDA 生态，极大降低 GeoEast 应用迁移适配的时间与软件重构成本，保障业务连续性与一致性。

### 3.成效

该模式具备良好的可复制性，随着油气行业勘探开发算力需求提升与国产化进程推进，“海光芯+GeoEast 大型工业软件”组合将在各石油勘探院和油气田广泛部署，为我国能源勘探领域信创产业生态的成熟发展提供标杆示范。

**在科学计算性能层面**，海光 CPU 在 PSTM、PSDM、五维插值等模块实现较 Intel 平台 3~5 倍性能提升；海光 DCU 在 FWI、RNA3D、MPP5D 等模块达到或超越 A100 性能水平，准确率无差异。

**在人工智能应用层面**，AI 初至拾取将周期从 2 周缩短至 1 天，AI 速度谱拾取效率提升 10 倍以上，智能层位与断层解释效率分别提升 4~25 倍和 5 倍以上，显著降低专家劳动强度并提升地质目标评价精度。

**在自主可控建设层面**，构建了“国产 CPU+国产 DCU+国产工业软件”的完整自主可控链路，成功支撑多个重大油气勘探项目地震资料处理解释全流程，并入选国资委信创适配典型案例。

**公司简介**：海光信息技术股份有限公司成立于 2014 年，2022 年成功登陆科创板（股票代码：688041），是国内高端计算芯片领域的领军企业。公司专注于高端处理器、加速器等计算芯片产品与技术的研发，以“成为世界一流芯片企业，为数字中国提供核心计算引擎”为目标，凭借务实的研发态度、前沿的创新理念、先进的技术实力与可靠的产品性能，持续推动我国信息产业核心竞争力提升。作为国家先进微处理器产业的重要推动者，海光信息已实现多代通用处理器（CPU）与人工智能加速器（DCU）的自主研发及商业化应用。其芯片产品兼具卓越性能、主流生态、安全可靠与自主迭代等核心优势，已搭载于国内多家知名整机厂商产品，广泛应用于云计算、大数据处理、人工智能等商业场景，覆盖政府、能源、金融等关键行业，在国内高端计算、智能计算市场占据头部份额，为各行业数字化转型筑牢算力根基。

# 案例 34：油田工业数字化资产智能运营保障平台建设与应用

——烽台科技（北京）有限公司

**关键词：**工业数字化资产、智能巡检、设备健康管理、故障诊断、协同闭环运维

## 1.背景及痛点

中石油某油田持续推进油气生产数字化改造，大量 PLC、RTU、工业主机、交换机、数据库、视频设备和仪器仪表投入运行，数字化设备已成为油气生产自动控制的重要基础。随着资产规模增长，传统人工、表格和多个独立系统的管理模式无法适应集中化、智能化运营要求，主要痛点如下：

**痛点一：工业资产底数不清**

设备类型多、数量大、分布层级多，原有资产台账依赖人工维护，资产新增、离线、配置变化难以及时更新。

**痛点二：设备状态感知不足**

PLC、RTU、工业主机、交换机、数据库及仪器仪表运行数据分散在不同系统，缺乏统一采集、监测和展示手段。

**痛点三：故障定位和处置效率低**

发生网络中断、设备离线、数据库异常或控制设备故障时，需多部门分别排查，故障定位慢、响应不及时、恢复周期不可控。

**痛点四：运维业务缺乏闭环**

巡检、报修、维修、配置、入网、备件出入库等业务相互割裂，运维依赖人工沟通，难以形成统一流程、过程留痕和知识沉淀。

## 2.基于工业互联网的解决方案

项目围绕油田工业资产“看得全、判得准、处得快”的运营保障需求，构建“一底座、一中枢、一闭环”的工业资产智能运营体系。通过在站库、作业区和采油厂三级部署采集探针，获取不同类型工业设备的资产及运行数据；基于工业资产物模型形成设备在数字空间中的标准化映射；进一步融合生产、设备、网络、视频和运维等多源信息，开展故障判定、根因分析和预测性维护，并将分析结果与人员、组织及工单流程关联，形成从设备感知到故障处置和知识沉淀的完整闭环。

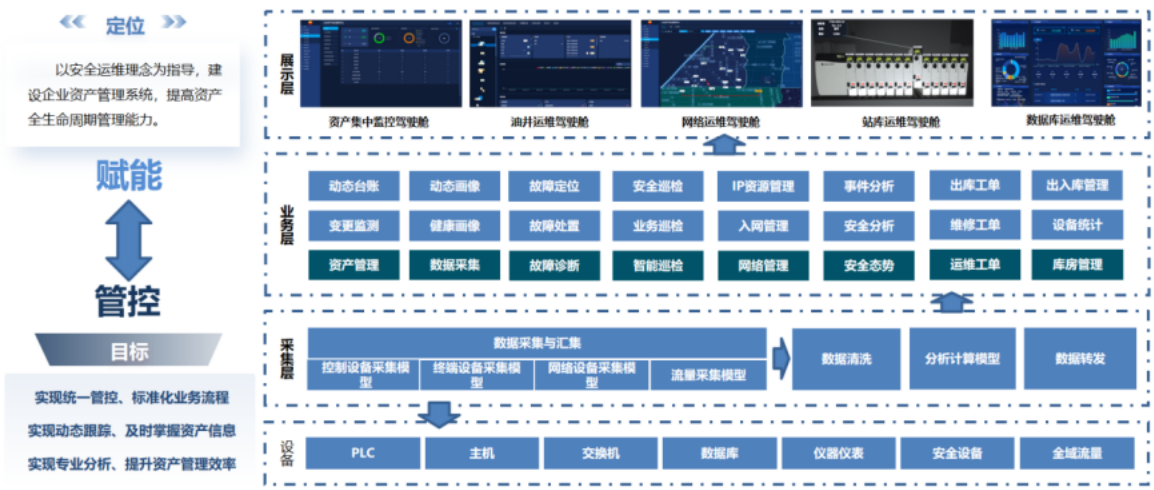


图 1 总体架构图

**（1）构建工业资产物模型驱动的数字化运营底座**

通过在站库、作业区和采油厂三级部署采集探针及采集节点，兼

容多类工业协议，获取 PLC、RTU、工业主机、网络设备、数据库、数字化仪器仪表和视频设备的资产、状态、配置、日志、流量及生产参数。

将采集的数据按照不同设备类型进行标准化建模，形成覆盖静态属性、运行状态、动态数据和拓扑关系的工业资产物模型，并关联作业区、班组、站库、井号和生产业务，构建设备在数字空间中的完整映射。

在此基础上，实现资产自动发现、动态台账、配置变更跟踪、设备画像、网络拓扑和全生命周期管理，为上层智能分析提供统一、可信的数据基础。

**（2）构建生产运行与设备运维融合的智能分析中枢**

基于多源数据融合，建立生产工况与设备运行状态的关联分析机制，识别“工况异常－设备劣化”传导关系。针对 PLC、RTU、仪器仪表等设备构建专业诊断模型，实现工况诊断、参数偏差识别、IO 模组异常检测等场景化研判。对跨系统告警进行时空关联与去重归并，通过拓扑溯源实现故障根因精准定位。结合设备历史运行数据与劣化趋势，建立预测性维护模型，提前识别潜在隐患，推动运维模式从事后处置向事前预防转变。

**（3）形成分析结果驱动的智能运维调度闭环**

平台将故障判定结果与组织架构、岗位职责、设备归属和运维流程关联，根据设备类型、故障类别、所属区域和责任专业，自动生成或辅助形成运维任务，并通过即时通信工具推送至对应管理和维修人

员。

围绕报修、审批、任务分配、维修执行、验收归档和进度监督，实现全过程线上流转，并提供任务超时提醒、低效节点分析、人员匹配建议和多层级运维日报。

故障处置完成后，将故障原因、维修方式、处理结果和运行效果沉淀至设备档案、案例库及故障知识库，反向优化后续诊断规则和处置策略，形成**“设备感知—异常发现—故障判定—根因定位—任务调度—维修处置—结果验证—知识沉淀”**的持续改进闭环。

**3.成效**

项目落地后，整体运营效能稳步提升，初步形成覆盖“感知—分析—处置—优化”的全链路智能保障体系，为油田数字化转型提供了扎实的实践支撑。

一是实现工业资产全量接入与集中可视。依托采集探针部署，完成厂域多类型设备的统一纳管，动态台账准确率保持在较高水平，实现“一眼看全”的设备全景视图。

二是提升多类型设备故障智能研判能力。针对 PLC、仪器仪表、主机终端等设备构建差异化诊断模型，有效降低无效派单比例。

三是显著缩短故障响应与排查周期。通过告警关联与根因定位，多数问题可在派单前完成初步定位，减少现场往返频次。

四是推动运维组织与资源配置优化。一线巡检用工规模有所压缩，人员逐步向分析研判类岗位倾斜，运维资源向高价值环节流动的趋势

初步显现。

五是形成可复制推广的智能运营模式。相关机制已在多个采油厂平稳运行，沉淀出覆盖资产建模、智能分析、闭环处置的标准化路径，为同类型油气田企业提供了可参考的实践范式。

**公司简介：**烽台科技（北京）有限公司成立于 2015 年，是一家面向工业数字化领域，提供专业化、标准化工业数据治理、靶场仿真、安全与智能运营解决方案的国家级专精特新“小巨人”企业。
烽台科技坚持以技术创新和高品质服务为核心，深耕工业领域多个重点行业，围绕行业用户的实际需求，形成工业场景下的智能数据治理、可管可控的智能数据运营、矩阵式工业靶场三大主营业务和多行业解决方案的业务布局。
公司智能数据网关、数据管理平台、测试床等产品与工业数据治理、工业数据安全咨询等服务主要应用于石油化工、钢铁、电网、管网、政府、有色、智能制造、高等院校等行业用户、设计院/所、科研院/所、集成商及软硬件厂商，协助用户进行有效的风险管理与可靠的运营支撑。


能源装备智造

# 第七章 能源装备智造

能源装备是能源转型的物质技术基础，装备制造的数字化水平决定了能源系统智能化的上限。《关于推动工业互联网高质量发展的实施意见》中明确要求推动工业互联网数智化能力从外围的辅助管理系统，真正深入到生产控制、工艺优化和研发设计的核心环节。

能源装备制造的数字化纵深，正向建造、运维与研发设计三个环节同时延伸。在建造侧，北斗定位终端、激光点云与数字孪生平台把导线间距、基坑几何等关键参量由人工测量转为自动提取；在运维侧，多模态 AI 视觉与温振传感覆盖高粉尘、强振动工况，工业大模型、时序基础模型与知识图谱相融合，把依赖个人经验的排障过程沉淀为可复用的故障图谱；在研发侧，AI 原生数字孪生平台以本体大模型统一语义、以多智能体调度仿真工具，把运行工况与维修经验反向注入产品设计。运维数据回流设计端，正推动能源装备从一次交付的物理产品走向持续迭代的数字载体，形成“研发—仿真—运维—迭代”的全流程闭环。

本章节共收录来自华溯科技（北京）有限公司、海南电网有限责任公司建设分公司、羚羊工业互联网股份有限公司等单位的 4 份案例，围绕输变电工程数字化建造与智能运维、装备全生命周期预测性维护、设备智能运维体系建设、AI 原生数字孪生研发等方面的最新应用成果。

# 案例 35：AI 赋能能源装备全生命周期预测性维护与智能安全管控

——华溯科技（北京）有限公司

**关键词**：装备预测性维护；AI 视觉智能巡检；工业互联网；设备安全闭环；多模态感知

## 1.背景及痛点

能源装备是能源工业稳定运行的物理基础，其智能化运维水平直接关系生产安全与效率。煤炭码头、封闭式储煤棚是能源储运关键节点，内部含皮带机、堆取料机、变压器等海量装备，长期运行在高粉尘、强振动、大温差的恶劣工况下，传统人工巡检模式面临三大核心痛点：一是覆盖不全，仪表读数、皮带撕裂、设备温升异常依靠肉眼判断，漏检率超 30%；二是事后维修被动响应，皮带、电机突发故障易造成堆煤滞港停产，单次非计划停机损失超 50 万元；三是安全管控盲区多，高危区域闯入、人机碰撞事故年均 3 起。传统人工运维模式已无法满足能源装备连续稳定运行要求，亟需 AI 驱动的智能化升级。

## 2.基于工业互联网的解决方案

依托工业互联网云边协同底座，落地“AI 安全生产智能管控平台”，构建“多模态感知—边缘 AI 分析—云端业务闭环”三层架构，覆盖煤炭码头、储煤棚全类型能源装备全生命周期管理。首次将多模

态 AI 视觉技术与数字孪生建模系统化应用于煤炭储运装备运维场景，通过运维数据持续反哺装备研发优化，打通“运维数据驱动装备迭代”的智能制造闭环。




图 1 AI 安全生产智能管控平台架构图

**（1）端侧多模态感知与 AI 智能识别引擎**

在皮带廊道、堆取料机作业区、配电室布设高清摄像头、温振传感器、红外测温终端，统一接入工业互联网数据中台，消除装备数据孤岛。自主研发五类工业 AI 识别模型实现装备自动化监测：AI 仪表自动读表、皮带撕裂跑偏实时识别、设备跑冒滴漏与高温预警、高危区域人员越界检测、装备劣化趋势预判，单模型识别准确率均超过 98%，毫秒级告警推送至值班终端。单台边缘服务器可覆盖 200 台以上装备的实时 AI 分析，覆盖皮带机、堆取料机、变压器、配电柜等核心装备类型。

**（2）装备全生命周期业务闭环与数字孪生反哺**

平台内置标准化装备管理业务底座，涵盖设备台账统一归档、两票三制 AI 辅助编制、隐患自动分级与智能派单、备品备件阈值预警等全流程线上闭环。采集装备运行、故障、检修数据构建数字孪生模型，持续优化故障预测算法精度，并将运维洞察反哺装备选型与设计优化环节，推动装备从“经验运维”向“数据驱动智造”升级。

**（3）场景化深度适配与统一管控**

针对储煤棚高粉尘、码头装备点位分散等特点定制专属监测策略—煤棚强化明火识别模型、码头增加装卸安全距离管控算法。搭建装备健康总览大屏，实时展示设备在线状态、故障预警、待整改隐患和备品库存，支持远程统筹调度。一套平台适配两类能源储运场景，已形成标准化可复制方案。

**（4）安全可控与信创兼容。**

平台采用私有化部署架构，数据不出厂区，全链路通信加密。支持国产操作系统及国产 AI 加速芯片适配，满足能源行业工控安全与数据安全要求，保障客户核心生产数据自主可控。

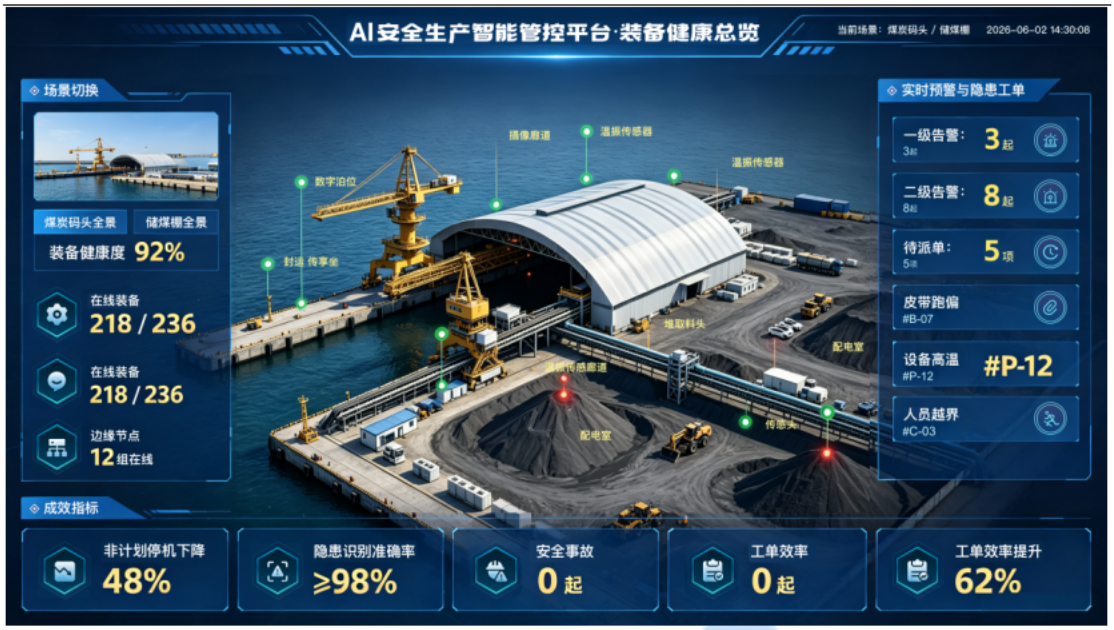


图 2 装备健康总览情况

平台整体识别准确率 98%以上，支持边缘端毫秒级响应，全年无间断稳定运行，具备在同类型煤炭储运场景中标准化快速推广条件。

**3.成效**

已在 3 个中型煤炭码头、储煤棚全面部署，覆盖 200 余台套核心能源装备，累计运行超过 18 个月，能源装备运维与安全管控实现全方位提质增效：

**（1）装备故障预警能力实现质的飞跃。**实施前年均因漏检导致非计划停机 5—8 次，实施后非计划停机次数下降 48%，隐患识别准确率达 98%以上，年避免停产损失约 240 万元（按每次停机综合损失 80 万元、年均减少 3 次计算）。

**（2）巡检人力成本大幅优化。**人工巡检工作量大幅降低，AI 自动读表、视频巡检替代 75%人工现场巡查，巡检人力成本下降 36%，每日自动生成巡检台账，取消手抄纸质记录；

**（3）装备安全风险可控。**装备周边人员违章、越界闯入实时告警，装备人机碰撞安全事故清零，从年均 3 起降为零，年避免事故损失约 100 万元。

**（4）运维管理效率显著提升。**装备运维流程数字化，检修票、隐患整改、备件申领全线上闭环，工单流转效率提升 62%，备品备件短缺停机问题减少 90%，年节约备件及管理成本约 40 万元

适配高粉尘恶劣工况环境，全年稳定运行无间断，为煤炭储运行业能源装备智能化运维提供标准化可复制工业互联网解决方案，具备向港口、矿山、钢铁等同类重工业场景跨行业推广的基础条件。

**公司简介：**华溯科技（北京）有限公司是国家高新技术企业、科技型中小企业，专注能源工业互联网与 AI 平台研发，核心能力覆盖装备故障预判、多模态感知融合、数字孪生建模三大方向，核心产品有能源安全管控、新能源运维一体化、智慧办公等，支持私有化部署。拥有机器视觉识别、设备故障预判、多源数据融合等核心技术，落地煤炭码头、封闭式储煤棚、分布式光伏等场景。依托云边端协同底座打通感知、AI、业务全链路，形成“感知—预警—处置—优化”闭环体系，帮助企业降低运维成本、前置安全风险、提升能源企业数字化智能化水平，赋能能源行业数字化低碳转型。

# 案例 36：500kV 海岛输变电工程数字化建造与智能运维技术应用

——海南电网有限责任公司建设分公司、南方电网数字电网科技（广东）有限公司

**关键词**：精密测量；缺陷检测；智能运维；数字孪生底座

## 1.背景及痛点

在传统输电线路施工及变电站建设过程中，对经纬度、高程、导线间距、导线对地距离、设备安全边界、基坑几何尺寸及多层厂房量算等关键参量的测量，存在精度不足、效率偏低、自动化程度不高的问题；在输电线路与变电站运维过程中，对线路部件缺陷、塔体异物、绝缘子缺陷、设备状态异常等隐患的识别难度大、定位不准确、预警响应滞后，难以满足及时发现与处置的要求。现有系统在前端感知、边缘处理、平台分析与业务应用等环节之间协同性不足，难以支撑超高压输变电工程数字化建造与智能运维的一体化应用需求。

## 2.基于工业互联网的解决方案

在输电线路施工测量方面，研制了无人机定位终端 UAV-TRACKER，支持 BDS、GPS、GLONASS 三星定位、4G 通信、LBS 基站定位、远程升级和姿态监测，定位精度优于 3m，具备 IP67 防护等级与长续航能力，为复杂施工环境下的高精度定位提供可靠硬件支撑。进一步提出融合规则部件提取与聚类生长的导线距离计算方法，

通过点云去噪、地面点剔除、基于体素 Transformer 的规则部件提取、导线分类，以及基于局部密度峰值与几何约束的聚类生长，实现了导线间距、导线对地距离及导线与变电设施距离的自动计算。

在变电站施工测量与验收方面，研发了基于激光点云的基坑几何信息提取与检测方法，通过点云滤波、地面去除、三正交方向投影、形态学处理、最大连通域检测和多边形拟合等步骤，高效提取复杂点云条件下的基坑轮廓与几何尺寸。同时，提出基于多视投影和层次分析的多层变电站厂房量算方法，经点云预处理、梯度分割分层、法向量分析、俯视/正视/左视投影及轮廓提取，实现多层厂房的精准量算与验收。

在输电线路与变电站运维方面，构建了多源感知与智能识别技术链。线路侧，提出基于无人探测器的部件识别告警方法，结合自主巡检、深度学习识别、部件温度阈值判别及异常告警，实现子部件缺陷的精准识别与定位。针对输电塔异物，提出基于轮廓数据形状指标阈值的异物巡检方法，通过图像预处理、轮廓提取、复杂度与面积融合指标计算，完成异物识别、定位和分类，并可联动清理装置实时处置。

在设备状态监测方面，提出基于边侧的输电设备监测方法，利用传感器采集电流、电压、温度、振动等数据，构建综合健康评分与综合评分指数（含标准化分数、自适应偏差校正项和趋势因子），实现设备状态的边缘侧实时分析、预警和维护策略生成。

在系统集成方面，针对一体化系统集成难题，研发了物联网边缘计算数据高效采集技术，搭建输电运行数字化支持系统；提出三维模

型参数化构建与轻量化处理方法，开发可支撑百万级数据并发的数字孪生平台，实现了超高压输变电工程数字化建造与智能运维的系统集成应用。

500kV 海岛输变电工程数字化建造与智能运维关键技术及应用的技术成果已应用于海南岛 500kV 输变电工程，包括昌江核电二期、三亚输变电工程、昌化（西部）变电站、椰城（海口东）变电站等多个典型场景，形成了面向 500kV 站线工程的数字化建造与智能运维成套应用模式，显著提升了输变电工程关键参量测量和缺陷检测的数字化、自动化与智能化水平。

| 应用领域 | 关键技术与方法 | 核心成果 |
| --- | --- | --- |
| 输电线路施工测量 | UAV-TRACKER 定位终端、融合规则部件提取与聚类生长的导线距离算法 | 定位精度优于 3m，实现导线间距、对地距离、与变电设施距离自动计算 |
| 变电站施工测量与验收 | 基坑轮廓提取方法（点云滤波+投影+形态学处理+多边形拟合）；多层厂房量算方法（梯度分割+多视投影+轮廓提取） | 复杂点云下基坑几何尺寸高效提取，多层厂房精准量算与验收 |
| 输电线路与变电站运维 | 无人探测器+深度学习识别+温度阈值判别 | 线路子部件缺陷精准识别与定位 |
| | 轮廓数据形状指标阈值（复杂度+面积融合指标） | 异物识别、定位、分类，联动清理装置 |
| 设备状态监测 | 边侧传感器（电流/电压/温度/振动）+ 综合健康评分模型（标准化分数、自适应偏差校正、趋势因子） | 设备状态边缘侧实时分析、预警、维护策略生成 |
| 系统集成 | 物联网边缘数据采集、输电运行数字化支持系统、轻量化数字孪生平台（百万级并发） | 超高压输变电工程数字化建造与智能运维一体化集成 |

**3.成效**

项目成果已在海南 500 千伏骨干网架建设中实现工程化应用，覆盖昌江核电二期接入、昌化（西部）、三亚、椰城（海口东）等多项 500 千伏输变电工程。应用涵盖施工精密测量、变电站数字化管控、设备与线路状态监测、智能巡检、缺陷识别、数据采集及数字孪生集成，有效支撑了长路径、广跨度、复杂地形下的工程建设与运维管理。

成果显著提升了超高压输变电工程建设和运维的数字化、智能化水平。建设阶段，实现线路、基坑、厂房、设备间距等高精度测量与验收，提升数据获取效率与一致性；运维阶段，增强对异物、绝缘子缺陷、设备状态等风险的识别、监测与预警能力，降低人工巡检依赖。以三亚输变电工程为例，作为海南首个 500 千伏项目，其横跨多市县，对加快建设“清洁能源岛”和“智能电网综合示范省”、保障海南经济社会发展具有重要意义。

该成果已在海南多个新建、扩建及配套送出工程中完成应用验证，具备较强工程适应性与复制价值。形成的数字化建造、智能巡检、状态监测、缺陷识别及数字孪生平台等技术，可进一步推广至后续 500 千伏及以上工程，并为海岛型、山区型、城市型电网提供可借鉴的数字化建设与智能运维方案，具有良好的行业推广前景与社会应用价值。

**公司简介**：海南电网有限责任公司建设分公司是海南电网有限责任公司的分公司，成立于 2014 年，主要承担海南省电网的规划、投资、建设和相关技术咨询等核心职能。

南方电网数字电网科技（广东）有限公司是南网数字集团旗下全资子公司，是专注于物理电网数字化的专业公司，公司主要围绕全域物联、智能泛在、平台赋能，致力于打造融合全域物联、数字孪生的数字电网整体解决方案，形成输、变、配、调度全场景，云管边端全环节的产品体系。

# 案例 37：基于羚羊工业互联网的设备智能运维体系建设

——羚羊工业互联网股份有限公司

**关键词**：工业大模型；时序基础模型；设备智能运维；知识图谱；大小模型融合

## 1.背景及痛点

长庆石化项目聚焦中石油长庆石化炼化厂区离心泵、常减压装置等核心动设备的智能运维改造，旨在解决传统运维模式面临的四大痛点：一是模型适配难，传统小模型仅能针对固定工况生效，换机型或工况后诊断准确率大幅下降；二是经验断层严重，老师傅的故障排查经验难以固化传承，新员工培养周期长；三是流程协同割裂，故障诊断、工单开列、检修方案准备各环节缺乏联动，协同效率低；四是精力严重分散，少人化运营下运维人员需同时监控上百台设备，难以保障异常响应的及时性。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本项目采用“大小模型融合+时序大模型+人机闭环迭代”的差异化技术路线，依托讯飞星火工业大模型与国产化算力底座，构建了自主可控的设备智能运维体系。

### （1）核心技术架构

| 层级 | 技术选型 | 核心优势 |
| --- | --- | --- |
| 模型底座 | 讯飞星火工业大模型+国产化算力（华为） | 自主可控，适配国内企业部署要求 |
| 数据处理 | 时序模型 | 针对石化行业占比超 70%的时序数据（振动、电流、压力）自动提取潜在特征，解决传统机理模型泛化能力差的问题 |
| 分层推理 | 小模型做初步异常筛选+大模型做深度关联推理 | 兼顾效率与诊断精度，降低算力成本 |

**（2）项目实施步骤**

第一步，数据准备与知识库搭建（约 1 个月）。打通现有系统数据接口，采集实时运行数据；梳理历史检修工单、操作手册及专家记录，清洗后存入企业私有知识库。

第二步，故障图谱构建（约 1-2 个月）。联合设备专家梳理 20 余种常见故障并构建故障树。大模型自动切分文档语义并结合 OCR 识别非结构化数据，经专家逐轮标注验证，上线前准确率即达 85%以上。

第三步，人机耦合闭环迭代。系统实时监测异常并推送诊断结论，现场专家复核修正后，样本自动回灌故障图谱持续迭代，稳定运行 2 个月后诊断准确率提升至 90%。

**（3）关键技术特性**

系统兼容多种工业通讯协议，可直接对接现有 SIS/SCADA 系统，无需大规模新增传感器，改造成本低；支持自然语言交互，一线人员可直接提问获取参数与诊断结论；系统嵌入操作员站，报警触发后秒级推送根因分析及操作卡，实现跨系统无缝协同。

### 3.成效

项目上线后各项核心指标显著提升。运维效率方面，工单处理整体效率提升 52%，故障排查排期时间缩短 67%。诊断准确率方面，动设备故障诊断准确率稳定维持在 80%以上，运行两个月后提升至 90%。业务闭环方面，实现了“报警触发→多源数据联动→大模型推理诊断→检修方案推荐→自动生成工单→检修记录沉淀”的完整 PDCA 闭环，成功替代传统 24 小时人工盯盘模式。知识传承方面，将老师傅数十年积累的故障排查经验固化为可复用的企业知识资产，有效解决了石化行业普遍面临的运维经验断层问题。

作为国内首个在炼化企业常态化落地的大模型设备运维项目，该项目登上了央视《科技盛典》，成为能源行业大模型落地的标杆案例，为火电、风电等其他能源领域的智能化改造提供了可复制的经验。

**公司简介：**羚羊工业互联网股份有限公司成立于 2022 年，由科大讯飞、数字安徽、合肥产投等投资，致力于以工业与能源大模型等 AI 技术推动制造业及能源行业智能化转型。2025 年 11 月，羚羊发布能源大模型及电力交易、设备运维垂直场景模型，深度覆盖设备诊断、功率预测、电力交易等六大关键领域，为能源全链条提供智能支撑。目前，公司已与众多国央企构建协同生态：助力中国华电打造“华电智”大模型；联合国家能源集团打造全球首个千亿级发电行业大模型“擎源”；助力中国石油构建昆仑大模型实现全链条部署；并与华能集团、国家电投集团达成战略合作，共建“数智华能”及“人工智能+能源”联合实验室，全面赋能产业生态。

# 案例 38：基于 AI 原生数字孪生平台的能源装备智能研发与预测性维护

——远光软件股份有限公司

**关键词**：能源装备智造；AI 原生数字孪生；预测性维护；多智能体协同；信创自主可控

## 1.背景及痛点

紧扣工信部等八部门《关于推动工业互联网高质量发展的实施意见》及国家能源局“人工智能+”能源高价值应用场景要求，面向能源装备智造方向，针对能源装备制造企业在研发协同、设备运维环节长期存在的短板，提供基于工业互联网的系统性解决方案。当前正面临高端突破、绿色转型、数智融合等历史使命，但行业转型升级仍面临系统建设分散集成难度大、数智技术应用深度不足、产品升级换代缓慢、数字化业务模式创新困难等四大核心瓶颈，现有模式难以支撑装备制造企业从信息化迈向数智化的跃升，亟待借助 AI 原生数字孪生与工业互联网构建一体化智能研发与运维体系。

## 2.基于工业互联网的解决方案

基于工业互联网枢纽以全栈自主创新的九天灵境 AI 原生数字孪生平台为智能底座，搭建“数据层－平台层－模型层－应用层”四层技术架构，向下通过物联网网关与边缘计算节点接入装备全要素运行数据，向上依托本体大模型、研发大模型与企业级智能体实现研发与

运维的自主感知、拆解、调度与执行，形成“研发－仿真－运维－迭代”全流程业务闭环。




图 1 方案总体架构

（1）数据层—装备全要素数据采集与融合底座：依托物联网网关与边缘计算节点，接入风电主机、光伏逆变器、输变电设备、储能系统等能源装备的产品设计模型、工艺参数、材料数据、仿真结果、运行工况、故障日志等全维度数据。集成研发管理系统、工艺管理系统、生产执行系统、运维管理系统等企业业务链路，统一归集结构化与非结构化异构数据，内置数据同步与治理组件和标准化的工业数据集。

（2）平台层—AI 原生数字孪生 PaaS 底座：以远光九天灵境 AI 原生数字孪生平台为核心智能底座，承载数据服务与模型服务两大能力板块。数据服务涵盖数据集成、开发、治理、安全、资产管理全流程。模型服务提供本体大模型、研发大模型及多智能体的开发、训练、测试、部署、监控、复用全生命周期管理，承载算法运行环境与算力

调度。平台采用微服务弹性架构，支持私有化部署与云边协同，已完成芯片、操作系统、数据库、中间件全栈信创适配。

（3）模型层—本体大模型与多智能体协同引擎：为智能研发与预测性维护的核心引擎。基于本体大模型构建装备制造领域的统一语义知识图谱，将分散的异构数据自动映射为统一的业务实体与关系，实现跨系统知识的自动关联与推理。依托多智能体协同框架，研发场景下，企业级智能体自动拆解研发人员的自然语言需求，调度仿真工具执行计算并反馈结果，实现方案寻优；运维场景下，内置故障画像算法与知识推理能力，自动生成运维策略与检修方案。




图 2 装备智能研发与数字孪生

（4）应用层—围绕能源装备全生命周期业务需求，搭建智能研发仿真、装备健康评估、远程运维决策、知识自进化管理四大功能模块，覆盖产品设计、仿真验证、状态监测、故障预警、维护策略生成、知识沉淀全业务流程。研发人员可通过自然语言触发仿真任务，业务变更与方案迭代周期从月/周级压缩至分钟级；运维人员可实时查看设备健康状态、接收预测性维护预警，并获取智能体自动生成的检修

方案，实现从被动维修向预测性维护的全面转型。

（5）平台严格遵循等级保护 2.0 标准和信创替代要求，基础设施到应用层实现全栈国产化适配，已通过相关安全认证。数据安全传输采用国密加密算法，存储采用高强度加密保护，保障能源装备关键数据的安全与业务连续性。

**3.成效**

已形成可复制的智能研发与预测性维护标杆成果，预期成效显著：

**（1）研发效率大幅提升。**依托本体大模型统一语义底座与多智能体协同，跨专业研发并行协同效率预期提升 3-5 倍，装备研发综合效率预期提升 300%以上；业务变更与方案迭代周期从月/周级压缩至分钟级，需求驱动→仿真寻优→参数迭代闭环实现近实时响应，研发—工艺—生产—运维数据链全面贯通，质量追溯完整率预期达 95%以上。

**（2）运维能力显著增强。**通过装备健康状态实时评估与自进化运维知识体系，设备异常停机时间预期降低 30%以上，平均故障修复时间预期缩短 40%以上；关键设备预测性维护预警准确率预期达 90%以上，设备劣化趋势可提前 7—15 天识别，远程运维结合知识自进化机制使综合运维人力成本预期降低 50%以上。

**（3）数智化转型纵深推进。**以 AI 原生数字孪生平台为核心，将数字孪生技术从传统的状态监测延伸至研发仿真优化、预测性决策等核心业务环节，打破国外关键算法库的技术封锁，推动能源装备制造

企业从信息化阶段跨越至数智化阶段，实现产品升级与业务模式创新的双轮驱动。

**（4）赋能能源装备全生命周期协同。**通过统一语义知识图谱打通研发、工艺、生产、运维全链条数据，实现设计意图、制造参数与运行反馈的闭环联动。每一次故障诊断与维修经验自动沉淀为结构化知识，持续反哺研发设计端，形成运行“反馈驱动设计优化”的迭代机制，为能源装备的高端突破和绿色转型提供可持续的数智支撑。

**公司简介：**远光软件股份有限公司创立于 1998 年，专注企业管理与智慧能源数智技术解决方案，是国网数科控股公司控股的深交所主板上市公司、国家高新技术企业。公司连续 24 年通过国家鼓励的重点软件企业认定，七次荣获“自主可靠企业核心软件品牌”，获评广东省制造业单项冠军企业。公司聚焦数智企业、智慧能源两大核心领域，以 AI 原生为驱动，依托自主研发技术打造全栈信创适配的数字化产品体系，相关产品已在能源电力、装备制造等众多央企规模化应用。自研九天灵境 AI 原生数字孪生平台已服务风电主机、光伏逆变器、输变电设备、储能系统等能源装备制造头部企业，具备从智能研发到预测性维护的全场景数智赋能能力。


能源创新业态

# 第八章 能源创新业态

能源新业态是“人工智能+”能源最具想象力的增量空间。《关于推进“人工智能+”能源高质量发展的实施意见》将“人工智能+能源新业态”列为八大应用场景之一；51 个“人工智能+”能源高价值场景清单中，“人工智能+”能源新业态类场景达 7 个。

能源创新业态的涌现，本质上是能源系统从“单向供给”走向“多向互动”的产物。在资源侧，分布式电源、储能与可控负荷经虚拟电厂聚合，由“不可观、不可测、不可控”转为可观、可测、可调，算力负荷以日前编排、日内路由和需求响应参与电力市场，使“以电强算、以算促电”落到调度环节；在平台侧，面向新型经营主体的能源互联网平台以 SaaS 化交付交易辅助决策与聚合调控能力，园区与高速服务区集成源网荷储、风光储充和能碳核算；在规则侧，灵活资源接入测试与评价为调节能力提供可计量依据，能碳管理系统把用能计划、碳排核算与履约纳入闭环，大模型内容安全与代码审计成为新业态的安全前提。多主体、多要素的协同互动，正在把按需供给的单向链条重塑为可计量、可交易、可监管的开放生态。

本章节共收录来自南方电网电算科技数字工程（广东）有限公司、山东浪潮数据库技术有限公司、安徽智碳能源有限公司等单位的 7 份案例，围绕电碳算协同运营、能源互联网平台对新型经营主体服务赋能等方面的最新应用成果。

# 案例 39：服务于新型电力经营主体的浪潮能源互联网平台

——山东浪潮数据库技术有限公司

**关键词：**能源互联网平台；电力市场；电力交易；虚拟电厂；新型经营主体

## 1.背景及痛点

当前电力市场处于快速变革阶段，市场机制、交易品种、监管规则持续更新，业务复杂度大幅提升，对交易主体的适应能力提出了极高要求。然而，传统软件模式无法快速适配政策与交易规则更新，易出现系统与市场脱节问题，直接影响交易效率与收益。

虚拟电厂、电力交易等新业务前期投入高、收益不明确，传统系统架构下客户需承担前期硬件投入、软件持续升级成本，投资风险大。AI 赋能、数据驱动成为电力交易、虚拟电厂等新兴业务发展的核心趋势，传统软件算力不足、技术迭代滞后，且缺乏全域数据汇聚赋能能力，难以形成数据驱动的智能决策闭环。亟需以 SaaS 轻量化、云端架构为核心的能源互联网平台，实现敏捷迭代、AI 能力实时更新与数据持续赋能。

## 2.基于工业互联网的解决方案

浪潮打造并独立运营能源互联网平台，统一连接“源-网-荷-储”资源、设备与经营主体，融合算法、算力和数据等 AI 能力，沉淀市

场交易、调控、决策和运营等业务能力，形成可复用的平台化能力底座，支撑虚拟电厂、储能运营和电力交易等应用的快速构建与持续运营。




图 1 平台总体架构

该平台是面向能源电力行业的“云+平台+应用+智能体+生态”一体化 AI 原生数字底座。平台以能源行业场景为牵引，以 IaaS、PaaS、中台能力为基础，以开放平台、应用市场和 AI 开发能力为抓手，面向能源企业、园区、售电公司、虚拟电厂运营商、充电运营商、设备厂商、服务商、ISV、个人开发者等多类角色，提供：

- 能源业务 SaaS 应用快速交付能力
- 行业应用 AI 辅助开发能力
- AI 智能体构建与运营能力
- 物联接入、设备控制与数据治理能力

- Token、算力、存储、数据库、模型调用等资源服务能力
- 行业生态伙伴入驻、协同合作与商业分润能力

平台通过统一连接设备、数据、模型、应用、开发者和服务商，形成“设备接入—数据沉淀—智能分析—应用构建—交易运营—生态变现”的完整业务闭环，实现技术、业务、商业与生态的协同共生。

平台整体采用五层架构、两类生态、一个运营闭环的一体化总体业务架构，层级清晰、能力完整、闭环可运营。底层基础设施与资源层提供 IaaS 硬件资源、算力、存储、网络安全等基础运行环境，为全平台运转提供底层支撑；数据与连接层依托物联中台、数智中台，实现设备接入、数据汇聚治理、实时与离线数据分析，打通全域数据链路；平台 PaaS 能力层整合业务、AI、技术服务、开发工具及集成开放能力，支撑应用快速构建与能力复用；应用与智能体层输出标准 SaaS、AI 智能体、行业模板及二次开发应用，面向用户交付可直接落地的业务能力；最上层体验入口层搭建多类统一门户，为不同角色用户提供专属访问与操作渠道。

平台配套构建双生态体系，开发者生态吸纳各类开发伙伴入驻，依托平台能力开发上架应用，实现生态共创与商业变现；服务商生态联动各类实施、运维、集成服务商，通过标准化认证、考核、分润机制，筑牢项目交付与本地运维服务闭环。

同时，平台形成一体化业务运营闭环，可一站式支撑售电、虚拟电厂、新能源场站、独立储能、充电桩、源网荷储等全场景能源业务。

各层级各司其职、协同联动，门户体系实现引流导入，应用层支

撑业务快速部署订阅，底层中台提供核心技术支撑，开放体系赋能开发者创新创业，AI 原生能力激活平台生产力，服务商体系保障落地运维，构建起完整、可持续商业化的平台运行体系。

**3.成效**

AI 原生的浪潮能源互联网平台，突破通用数字化平台同质化、适配性弱等行业短板，依托场景化、智能化、生态化的一体化建设体系，全面提升电力与综合能源业务数字化、智能化运营水平，取得多维度落地成效。

浪潮依托能源互联网平台，打造高唐县虚拟电厂，作为聊城市首个政府主导型虚拟电厂，成功参与电网削峰 3 次，削峰成功率 100%，可调节能力达 8.225 兆瓦，助力企业降低用能成本 2%—5%。

浪潮依托能源互联网平台，打造电力交易辅助决策系统，突破了基于时序大模型的多品种中长期电价预测技术、负荷预测技术及现货电价预测技术，达到国内领先水平。D+7 周期内负荷预测准确率达 92.5%，较传统方式提升超 17 个百分点，现货价差方向预测准确度达 72%，通过大模型智能化替代人工数据处理、预测分析等工作，每年节约人力成本 30%，公司售电业务月度盈利能力提升 17%，综合盈利能力（含人力成本、购电成本降低）提高 24.5%。

浪潮能源互联网平台深度融合人工智能技术，赋能电力市场全链路，面向新能源发电、售电及虚拟电厂、源网荷储、独立储能等主体，提供智能化交易与运营服务，推动新能源高效消纳与资源优化配置，

为构建新型电力系统注入数字动能，助力能源绿色低碳转型。

**公司简介：**山东浪潮数据库技术有限公司是浪潮集团基础软件核心产业单位，以分布式多模数据库 KaiwuDB 为核心，面向数字能源、工业互联网等领域，构建“数据库+”产业生态，提供数据底座、软硬件产品与行业解决方案。公司为山东省专精特新中小企业、平台经济重点企业，建有山东省软件工程技术中心、山东省数字经济产业创新中心、济南市重点实验室 7 个省级/市级创新平台，通过四大国际管理体系认证，获评国家级产学研合作创新示范企业。产品竞争力突出，KaiwuDB 连续 3 年入选 Gartner 中国数据与 AI 技术成熟度曲线报告，BenchANT 国际时序数据库性能测试全球第一，墨天轮国产时序数据库流行度全国第二。

# 案例 40：电碳算协同运营系统

## ——南方电网电算科技数字工程（广东）有限公司

**关键词：**算电协同；优化编排；实时调度；需求响应

### 1.背景及痛点

当前，数字经济与能源产业加速深度融合，算力作为支撑数字产业发展的新型核心生产力要素，已成为能源数字化转型的关键载体，但行业发展仍存在诸多结构性痛点与短板，制约产业高质量、绿色化发展。目前算力行业供需匹配失衡问题突出，下游企业、个人等用户存在用算门槛高、综合用算成本居高不下的问题，大幅增加了数字业务运营成本。上游各类智算中心、算力节点资源闲置浪费现象严重，全国已投运智算中心平均实际利用率仅为 58.3%，资源集约化利用水平偏低。同时，算力运行与绿电消纳、碳排放管控体系相互脱节，新能源电力无法高效匹配算力调度需求，既造成绿电资源浪费，也导致算力产业碳排管控缺位，形成高能耗、低效能、高成本的行业发展困境。

### 2.基于工业互联网的解决方案

电碳算协同运营系统纳管了南网总部及五省区全量智算资源，包括 1084 台服务器，8074 张算力卡，算力规模 4292.96P，同时接入电信韶关、移动南方基地数据中心（广州）700 多 P 算力，形成了涵盖不同地域、不同品牌、不同规模、不同价格的算力供应源。

### （1）日前任务优化编排

依托工业互联网全域感知、数据互通、智能调度与跨域协同能力，电碳算协同运营平台搭建起算力需求侧、算力供给侧与电力能源侧互联互通的一体化数字枢纽。平台汇聚终端用户算力任务订单数据，采集任务卡型、调度偏好、时效要求、费用阈值等全维度需求信息，同时接入供给端已入网算力资源台账，完成算力资产全域数字化建模与动态管控。

**①任务和数据导入：**进入日前编排页面，系统实时接入电力交易中心现货日前出清价格曲线、新能源出力预测等时序数据，点击“编排”，展现当天已收集的机巡缺陷图像识别、视频渲染、模型训练、大模型微调等非实时任务。




图 1 日前任务提交与编排

**②任务优化编排：**点击确认，依托平台内置的南方电网“天权”智能求解器这一工业级智能算法引擎，发挥智能撮合、全局优化、柔性编排核心能力，将包含时间、规模、品牌、成本、绿电等需求的非

实时任务与算力资源进行撮合，自动匹配次日低谷电价时段或新能源出力高峰的数据中心，完成算力任务时序、空间、资源的全局最优编排。

**③编排结果展示：**优化编排后，展示各数据中心任务分配情况，




图 2 编排效果展示

对比优化编排与随机分配的成本效益；点击某个数据中心，展示编排前后该数据中心不同时段任务分配情况。

**（2）日内任务智能路由**

依托工业互联网实时数据采集、边缘互联、智能路由、动态协同能力，电碳算运营系统构建全域实时感知与动态调度体系。系统接入超短期新能源出力预测、各算力节点负载状态、分时电价预判等多维动态数据，通过工业互联网跨端数据通道，系统实时接收用户即时算力请求，同步解析任务时效要求与成本、性能、绿电等调度偏好。依托平台内置智能决策引擎，对全网算力资源、电力禀赋进行实时综合研判，按照最优匹配规则实现算力任务智能路由与自动分配，将任务

精准调度至电价更低、绿电占比更高、硬件性能更佳的算力节点。




图 3 日内任务智能路由

**（3）需求响应高效转移**




图 4 需求响应高效转移

区域电网出现负荷调节诉求后，电碳算协同运营系统通过工业互联网跨节点通信链路，全域遍历全网算力节点资源池，同步采集各节点算力服务报价、实时电价、设备负载、资源余量等多维动态数据。基于智能分析与筛选引擎，择优锁定电价最优、绿电丰富且算力资源

充裕的目标节点，下发批量任务迁移指令，打通跨区域算力业务、电力负荷、网络链路的协同通道，完成算力任务规模化跨域转移。

**3.成效**

在能源电力方面，通过电碳算协同机制实现算力负荷可预测、可调控、可调度，匹配新能源间歇性、波动性出力，大范围消纳富余新能源电力，提升大电网安全稳定运行、资源高效配置能力，实现数据中心绿色低碳转型。在运营收益方面，利用算力负荷快速响应特性，通过负荷聚合商模式参与电力现货市场、辅助服务市场，赚取节点价差与电网调节补贴，盘活闲置算力资源利用率和调节能力，丰富电力市场调节主体类型，完善全国电力市场化交易体系。在产业生态方面，以具有竞争力的“低电价”和“零碳算力”优势，精准吸纳大模型训练、工业场景推理等对时延不敏感的高能耗业务，形成“洼地效应”，带动上游高端算力设备制造、下游 AI 场景落地、数字服务外包等全产业链集群化布局，补齐区域数字产业短板、优化全国算力产业空间布局，助力国家“东数西算”战略落地实施。

**公司简介：**南方电网电算科技数字工程（广东）有限公司成立于 2021 年 7 月，是南网数研院全资子公司，注册资本 13 亿元，是南方电网大数据业务领域的专业子公司，国家高新技术企业，承担着南网“数字产业化，产业数字化”的重要使命。公司贯彻落实南方电网公司重要战略部署，重点布局新型数字基础设施建设运营、电算协同、用户侧数字化工程集成三大业务板块，以电算协同技术为核心驱动积极开展数据中心建设，为全网提供算力服务，努力打造成为能源行业数字工程全栈技术服务商和“电算协同”绿色智能数字基础设施解决方案提供商。

# 案例 41：安徽智碳长丰县下塘能源工业互联网平台

——安徽智碳能源有限公司

**关键词：**能源工业互联网、源网荷储协同、虚拟电厂、能碳一体化管控、零碳园区

## 1.背景及痛点

长丰县下塘工业园集聚新能源、高端制造等重点产业，园区光伏、储能、风电等分布式新能源资源体量持续增长，工业用能负荷集中、用能结构复杂、新能源消纳压力突出。园区原有能源管理模式较为传统，各类能源设备、能耗监测系统相互独立，数据孤岛问题严重，无法实现全域能源数据统一汇聚分析。同时，园区分布式资源分散无序，缺乏统一聚合调控手段，柔性负荷利用率低，新能源就地消纳效率不足，企业用能成本偏高。此外，园区碳排放核算、能耗管控缺乏数字化工具，“双碳”监管无精准数据支撑，企业节能降碳改造缺乏针对性方案，亟需搭建全域能源工业互联网平台，破解源网荷储协同不畅、能碳管控薄弱等核心痛点。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本项目立足长丰县下塘工业园全域能源转型需求，依托工业互联网技术底座，搭建一体化能源工业互联网平台，构建“边缘感知、平台中枢、场景应用”三级架构，实现园区能源流、数据流、碳流、业

务流深度融合，打造多能互补、源网协同、负荷可调、储能可控的智慧能源管控体系。

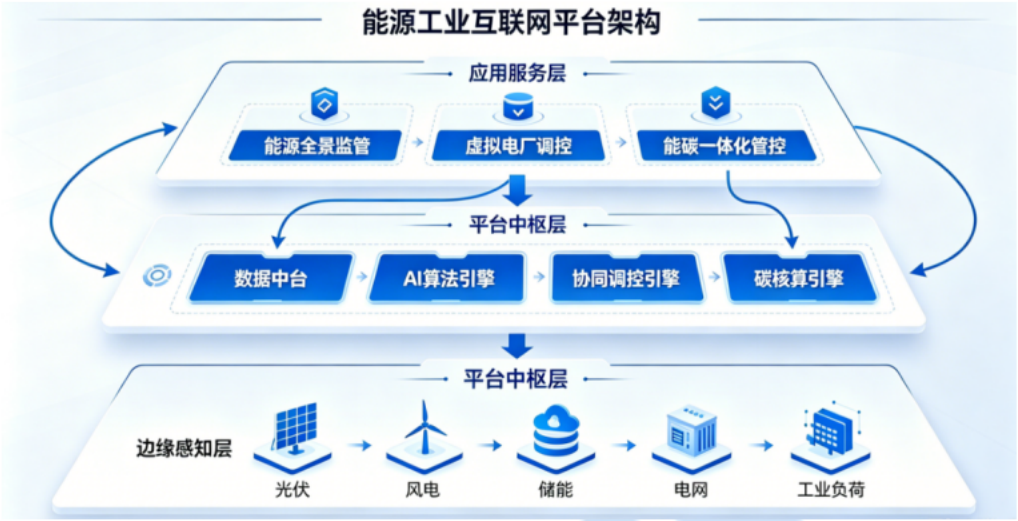


图 1 平台整体架构图

平台边缘感知层，通过部署 AIOT 物联平台，链接智能物联网关、能耗采集终端、能源监测设备，全覆盖接入园区光伏、风电、储能、工业负荷、充电桩、水电气热等全品类能源数据，破除不同设备、不同企业、不同系统之间的数据壁垒，实现全域能源数据实时采集、精准归集、统一标准化治理，为平台智能调控提供底层数据支撑。




图 2 空压智能体

平台中枢层依托工业互联网底座，搭建数据中台、AI 算法引擎、协同调控引擎、碳核算引擎四大核心模块，完成海量异构数据清洗、分析、建模。通过新能源出力预测、负荷精准预判、储能充放电优化、柔性负荷调度等算法模型，实现园区分布式能源资源智能聚合与动态调控，解决分布式资源分散管控难题，构建园区虚拟电厂运行体系。




图 3 能碳一体化监测

平台应用服务层面向园区管委会、电网单位、入驻企业、能源服务商、设备厂商等多类主体，打造能源全景监管、虚拟电厂聚合调控、能碳一体化监测、智能诊断、绿电交易匹配、微电网多能互补调度等多个智能体。依托平台实现园区多能联供优化运行，统筹分布式新能源发电、储能调峰、工业柔性负荷调节，形成“源随荷动、荷随网调、储充联动”的协同运行模式。同时搭建标准化碳核算体系，实现园区、企业、项目三级碳排放实时监测、自动核算、趋势预警，精准支撑“双碳”管控工作。

在安全方面平台采用国产化软硬件架构，落实等保三级安全标准，实现数据分级授权、加密传输、安全存储，同时也融合了区块链技术，保障园区能源数据安全、可信、稳定、合规，全面适配工业园区复杂用能场景。

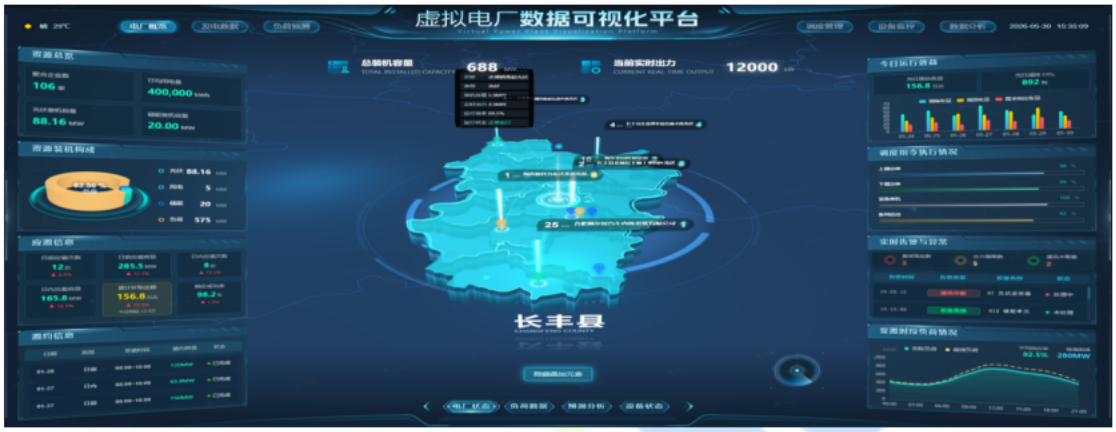


图 4 虚拟电厂




图 5 聚合交易

**3.成效**

平台落地运行后，已累计服务用户超 420 家，链接生态服务资源 500+以上，全面赋能长丰县下塘工业园能源数字化、绿色低碳转型，在能效提升、降碳减排、成本管控、示范引领等方面取得显著成效。

能效提升方面，通过源网荷储协同优化与虚拟电厂负荷聚合调控，园区新能源就地消纳率提升了 28%。通过优化园区能源供需匹配算法，

园区整体综合能源利用效率得到显著提升。通过智能诊断平台，帮助园区企业进行全方位的用能诊断，并针对低效设备提出优化方案，企业整体能效提升 12%以上。

降碳减排方面，依托平台能碳一体化精准管控能力，实现园区碳排放可测、可监、可控、可减，精准挖掘企业节能降碳潜力，批量落地节能优化、绿电替代改造场景，大幅降低园区整体碳排放水平，年累减碳 4.2 万吨，助力区域“双碳”目标稳步落地。

经济效益方面，平台通过峰谷负荷优化、储能调峰套利、节能降耗改造，有效降低园区企业综合用能成本，帮助企业实现精细化用能管理，减少无效能耗浪费，切实为企业减负增效。开展分布式能源聚合交易，全年交易量超 7000 万 kwh，为园区企业节省用能成本 1 千多万，极大地提升了园区整体能源运营的经济性。

行业示范方面，项目打造了县域工业园区能源工业互联网建设的“长丰样板”，融合零碳园区、智能微电网、虚拟电厂多类创新业态，模式成熟、可复制性强，为全省乃至全国工业园区能源数字化转型、新型电力系统建设、零碳园区打造提供了优秀实践案例。

**公司简介：**安徽智碳能源有限公司为海尔卡奥斯与安徽省能源集团合资共建企业，扎根合肥市长丰县下塘工业园，是专注能源工业互联网、双碳数字化、源网荷储协同调控的高新技术企业。公司聚焦工业园区能源数字化转型，深耕能碳一体化管控、分布式能源聚合、虚拟电厂调度等核心业务。公司落地建设长丰县下塘能源工业互联网平台，打造区域能源数字化标杆场景，先后获评省级十大低碳应用场景，并助力长丰下塘工业园成功入选安徽省首批零碳产业园区筹建名单，构建了可复制、可推广的园区智慧能源运营模式，为区域新型电力系统、零碳园区建设提供核心技术支撑与平台服务能力。

# 案例 42：面向新型电力系统的智能一体化安全检测体系构建

——北京神州绿盟科技有限公司

**关键词**：安全检测；代码审计；漏洞扫描；电力；大模型安全

## 1.背景及痛点

随着大模型技术快速发展，电力行业积极利用通用基模训练电力数据，构建行业大模型，如国家电网光明电力大模型和南方电网大瓦特模型，推动数字化转型与新型电力系统建设。本案例聚焦解决大模型赋能电力行业安全检验检测中的三大问题，一是推动检验检测业务全自动化，通过自然语言交互完成从安全检测规划到工具调度、报告生成、漏洞验证及知识积累的闭环；二是完成漏扫、代码审计、软件成分分析等多工具智能调度；三是识别控制模型风险，国家电网各级单位开展光明大模型深化应用的同时常伴随模型风险发生，需及时发现并整改规避。绿盟通过“风云卫”安全垂域大模型及“清风卫”大模型安全防护能力，为电力行业构建智能安全评测体系化能力。

## 2.基于工业互联网的解决方案

本项目方案围绕 AI 安全测评与 AI 赋能检测两大核心，构建电力智能一体化安全检测平台。核心方案一打造 AI 赋能的“智能安全评测”能力，依托统一算力、网络安全垂域大模型及智能体能力中心，实现评测意图理解、任务编排、调度执行与决策建议，并提供内容安

全、对抗风险、框架漏洞、应用漏洞及智能体安全等大模型专项评测。

核心方案二聚焦 AI 应用自身安全，建立面向大模型全周期的合规风险评估与自动化风险评估框架，从内容安全、对抗安全、供应链组件安全及模型后门四大维度进行全面评估，覆盖主流开源与商业模型，确保大模型在电力行业的安全可信应用。




图 1 面向大模型全周期合规风险评估与自动化风险评估框架

本案例一期主要聚焦于 AI 安全测评与 AI 赋能检测两大核心方向的基础能力建设。通过绿盟大模型安全评估系统（AI-SCAN）对电力单位大模型进行安全测评，其中内容安全聚焦模型输出内容的合规性与风险识别，实现覆盖违法有害、虚假内容、商业违规等 34 类风险的全维度自动化检测；对抗安全测评是为了评估模型在规避攻击、对抗样本场景下的抗攻击能力和鲁棒性，绿盟 AI-SCAN 支持构造提示注入、指令劫持等 20 余种对抗性测试用例，测评风险抑制能力；智能体自身安全测评针对智能体 API 接口交互链路提供安全风险检测，覆盖认证鉴权、权限控制等维度，模拟越权访问等典型攻击场景。

同时，绿盟风云卫大模型赋能检测能力，构建了涵盖智能检测装备调度、代码安全审计、漏洞扫描与发现、软件成分分析、安全培训和知识解答、安全工具使用指导、智能渗透技战法规划、漏洞可利用验证脚本生成能力的漏洞运营智能体。

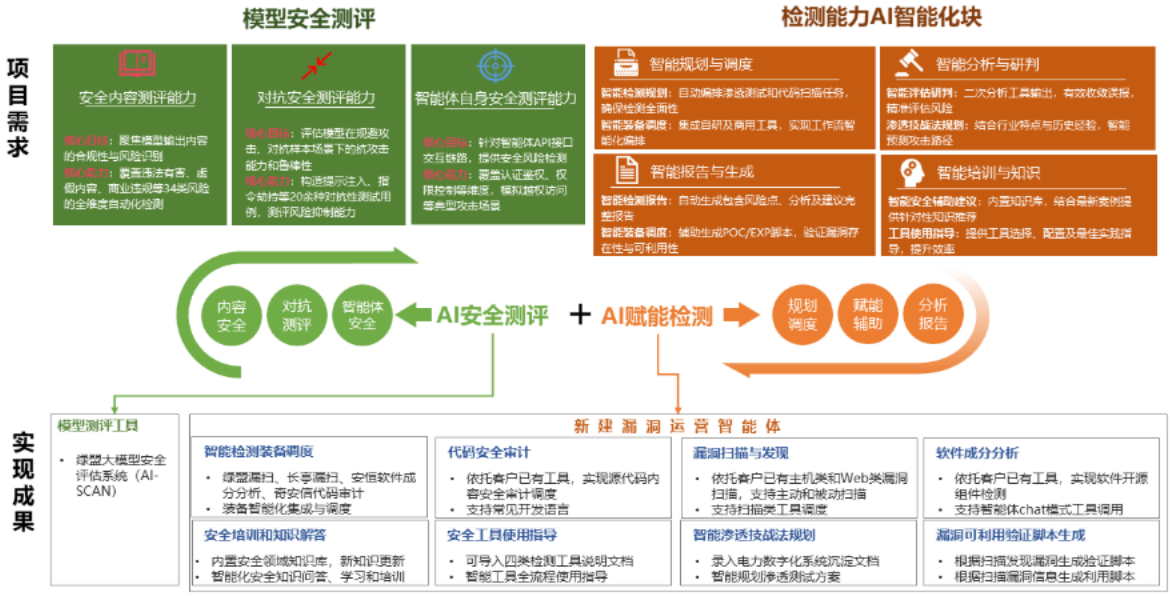


图 2 AI 安全评测与 AI 赋能检测

项目二期主要围绕电力一体化检验检测平台（SDA 平台）进行代码安全测评升级，代码审计智能体与代码仓库对接，从入库门禁到存量代码实现“检测－阻断－修复－验证”全周期管理。

（1）AI 大模型深度赋能：融合光明等国产大模型，实现智能漏洞挖掘，代码智能注释与风险研判，提升分析效率；

（2）代码审计流程左移：与代码仓库联动，实现提交即扫描、合并即门禁，从源头阻断风险，保障代码质量；

（3）开源组件全生命周期治理：覆盖组件引入、漏洞监控、合规检查、分类分级，实现全流程管控，消除供应链隐患；

（4）全方位合规与质量审计：内置国标、行标及国际安全标准，支持代码质量评分与合规自动映射，满足监管要求；

（5）敏感信息智能防护：自动识别硬编码密钥、敏感数据，实时阻断高危风险，精准溯源，防止数据泄露；

（6）自动化闭环与智能运维：构建扫描－告警－阻断－修复－验证自动化流程，提升运营效率。

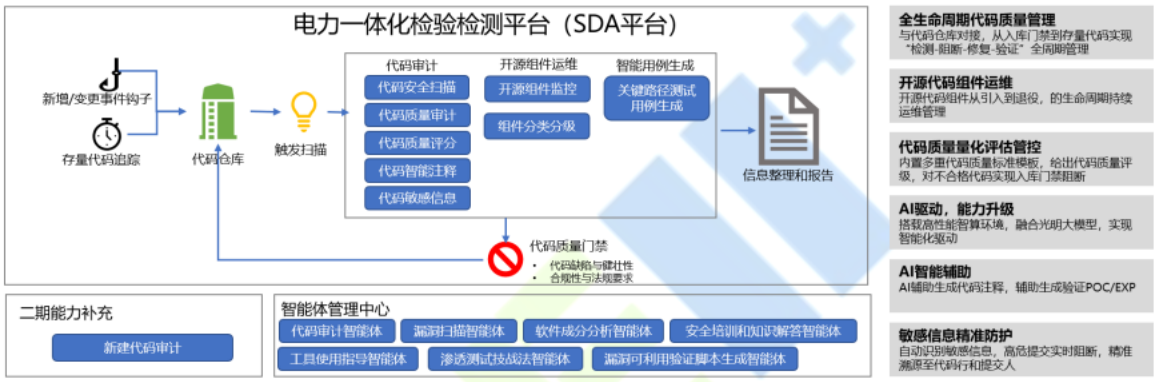


图 3 电力一体化检验检测平台（SDA 平台）功能架构图

## 3.成效

本案例面向电力行业定制化提供源代码审计、软件成分分析、渗透测试、知识问答四大能力增强智能体，在安全检测全流程中实现了显著的智能化应用成效。任务编排与工具调度层面，支持智能规划渗透测试和代码扫描任务，通过预设逻辑规则实现自动化编排；同时支持检测工具的智能化集成与调用，完成工作流智能化编排，确保检测全面性与系统性。深度分析与策略规划层面，结合电力数字化系统特点与安全需求，利用历史渗透经验数据，智能生成验证漏洞存在性的 POC 与 EXP 脚本，并科学规划渗透技战法与预测攻击路径，为测试

人员提供精准方案；并自动生成包含风险点、详细分析及改进措施的风险研判与报告。项目整体方案为大模型在电力行业的安全合规与可信应用筑牢了安全防线，有效提升了电力行业网络和数据安全防御水平，推动电力数智化转型升级。

**公司简介：**绿盟科技成立于 2000 年 4 月，总部位于北京，2014 年在深交所创业板上市（股票代码：300369），是国内领先的人工智能安全、数据安全与网络安全解决方案提供商。公司拥有员工超 3,000 人，其中研发人员占比超 65%，在全国所有省会城市及计划单列市设有 90 余个分支机构，业务覆盖政府、金融、运营商、能源、交通、科教文卫、企业等各行业。截至 2025 年末，公司累计参与制定国家标准 50 余项、行业标准 90 余项、团体标准 30 余项；拥有各类专利 633 项、软件著作权 664 项。公司设有八大实验室和四大战队，围绕人工智能、云安全、数据安全、物联网、漏洞挖掘、攻防实战、威胁情报等方向开展深入研究。2025 年研发投入 5.76 亿元，占营收 22.68%，坚持自主研发。

# 案例 43：虚拟电厂多类型灵活资源接入电网测试与评价

——江行智能（贵州）科技股份有限公司

**关键词**：虚拟电厂；工业互联网；多类型资源聚合；智能调控；能源数字化

## 1.背景及痛点

随着新能源规模快速增长，电力系统正向以新能源为主体的新型电力系统转型。新能源具有间歇性、随机性和波动性特点，对电网安全稳定运行和调节能力提出更高要求。

与此同时，分布式电源、储能、可控负荷等灵活资源呈现数量多、类型复杂、地域分散等特点，传统电网集中式调度方式难以实现全面感知和精准控制，大量资源处于“不可观、不可测、不可控”状态。

虚拟电厂通过工业互联网技术连接分散资源，实现多类型能源资源聚合管理和协同优化，但当前仍面临资源特性差异大、调节能力难以准确评估、接入测试标准不统一等问题，影响虚拟电厂参与电网调节和市场交易能力。

## 2.基于工业互联网的解决方案

江行智能基于工业互联网架构，面向虚拟电厂多类型灵活资源接入需求，构建“端—边—云—智能”一体化解决方案，实现分布式能源资源的全面感知、智能分析、协同控制和效果评价。




图 1 虚拟电厂评价检测平台

整体方案以工业互联网平台为基础，通过接入分布式新能源、储能、工业负荷、电动汽车充电设施等多类型资源，建立资源数字化模型和智能画像体系，对资源运行状态、响应能力、调节潜力进行实时分析，实现资源从“分散管理”向“统一聚合调控”转变。方案核心包括：

**（1）多类型资源智能画像**

针对工业负荷、分布式新能源、储能、电动汽车等不同资源特点，建立资源数字化画像模型，从可调容量、响应速度、持续时间、调节精度等维度分析资源能力，实现资源精准分类和动态评估。报告提出通过资源画像技术适应调峰、调频、灵活爬坡等不同调控场景需求。

**（2）多资源协同优化与智能调控**

通过工业互联网平台汇聚各类能源数据，结合历史运行数据、实时运行状态和电网调节需求，对资源进行统一管理和协同优化，实现新能源、储能和负荷资源之间的互补运行，提高系统灵活调节能力。

虚拟电厂通过聚合分布式电源、储能和可控负荷，实现能源资源统一管理和调度。

**（3）接入测试与运行评价**

建立虚拟电厂多类型灵活资源接入测试与评价体系，从调节容量、调节精度、调节速率、响应时间、持续时间等维度，对资源接入能力和运行效果进行综合评价，为虚拟电厂参与电网运行提供可靠的数据依据。

**（4）工业互联网闭环运行**

通过工业互联网实现资源状态采集、运行分析、调控执行和效果反馈闭环，提高虚拟电厂运行可靠性。系统支持虚拟电厂资源接入、智能画像、可调能力测试等核心功能，实现大规模多模式资源高效互动。

**3.成效**

通过工业互联网与智能化技术融合，该方案提升了虚拟电厂对分布式能源资源的感知、分析和调控能力，推动分散能源资源由“不可见、不可控”向“可观、可测、可调”转变。一方面，方案构建了面向多类型灵活资源的智能画像和评价体系，实现对新能源、储能、可控负荷等资源调节潜力的精准评估，为虚拟电厂参与调峰、调频、需求响应等业务提供技术支撑，项目成果可解决当前虚拟电厂资源接入测试粗放、评价标准不统一等问题。另一方面，通过工业互联网平台实现多源能源数据融合和资源协同优化，提高新能源消纳能力和电力

系统灵活调节水平，虚拟电厂能够聚合海量分布式资源参与电网互动，促进供需平衡和电网安全稳定运行。

未来，该方案可进一步推广至新能源场站、工业园区、综合能源系统等场景，助力构建绿色、高效、智能的新型能源体系。

**公司简介：**江行智能是中国物理 AI 规模化应用的引领者，致力于构建面向真实世界的“通用跨本体物理 AI 大脑”。
公司的物理 AI 技术体系由通用跨本体物理 AI 大脑 JX-Phi Brain 与闭环数据基础设施 JX-Phi World 构成。JX-Phi Brain 覆盖“感知—理解—决策—执行”全链路，可驱动无人机、四足机器人、人形机器人等多种本体，适配多元工业任务与环境；JX-Phi World 以真实工业数据、真机数据与世界模型仿真引擎为底座，持续训练与迭代大脑模型，使其在实际应用中不断进化。
公司解决方案已应用于 1500 余座工业场站，覆盖新能源、电网、油气等关键行业。核心团队来自海内外顶尖高校，兼具前沿技术实力与丰富产业经验。历经八年深耕，公司已与红杉中国、联想创投、宁德时代等头部机构及产业战略伙伴建立长期合作。

# 案例 44：核电设备某公司能碳管理系统

## ——上海电气集团数字科技有限公司

**关键词**：能源管控；能碳双控；测点聚合；用能计划

### 1.背景及痛点

实现碳达峰碳中和，对推进中国式现代化、实现高质量发展、全面建设社会主义现代化强国具有重要意义。国家层面在 2022 年提出了工业领域碳达峰的方案，核电设备某公司作为全市工业型重点能耗企业，积极响应上海市碳达峰碳中和及节能减排重点工作安排，建设生产用能能耗及碳排核算管理系统，满足公司节能、减碳、降本、低碳化、数字化发展要求。

核电设备某公司在实际生产过程中，已对车间部分机加设备进行了电表联网，但车间零星天然气用气、电柜等尚未完成统一采集管控。核电设备某公司期望通过水、电、气的全厂能源用量的采集，指导生产作业，在企业节能降碳领域，细化管理层级的能耗，提出精细化的用能计划，实现生产用能优化的根本目标。通过建设能碳管理系统，满足企业自身生产管理需求，同时自动生成企业生产经营中的碳排放总量及强度的申报要求。

### 2.基于工业互联网的解决方案

聚焦核电设备某公司生产用能与碳管理痛点，上海电气集团数字

科技有限公司基于星云智汇工业互联网平台“能碳智慧管家”能力，量身打造企业级能碳管理体系。系统实现能源精细化调度、单位能耗动态统计，构建能源监测、分析、管控、履约全业务闭环，推动企业能碳管理模式向数字化、智慧化转型。




图 1 部分功能效果图

主要包括：

**（1）测点聚合**

基于星云智汇工业数字基底平台，着力打造一个安全可靠实时数采平台，汇聚业务数据、生产数据和设备数据。

**（2）综合能源管理**

平台可视化显示整个工厂的水、电、气等能源消耗情况，识别从工厂到车间的层级能源消耗分布。通过历史数据的趋势分析，实现分层分级传递能源消耗指标。

**（3）能源计划**

平台在实现了能源可管—能源可视后，在软件层面进行用能习惯

优化。通过下发到各虚拟层级的年度用能计划，进行能源核算。

**（4）能碳履约**

平台通过算法模型进行统计分析，识别当前主要节能降碳途径，通过平台将企业的碳排放总量和强度有效管理起来，实现能耗向碳排总量及强度的转变。

**3.成效**

该项目从多维度推动核电设备某公司能碳管理体系的数字化、精细化升级，为企业降本增效与绿色发展提供坚实支撑。全面提升企业能源管理的精细化与信息化水平，通过构建统一的能源数据采集与管控平台，打破信息孤岛，实现各类能源消耗的实时监测、动态统计与集中管理，为优化决策提供可靠数据依据。此外，平台还将显著提升能效分析水平与碳排放核算的准确性，为企业碳履约、碳核查提供有力保障。

（1）节能增效——依托能源精益化管理，企业可精准识别用能浪费环节，优化能源分配策略，每年节电约 10 万 kwh、节约天然气约 9 万 $m^3$，同时实现线上抄表，减少误差，预计提升相关岗位人员效率 20%，让管理流程更高效规范。

（2）数字化能碳管理——提升能效分析水平与碳排放核算的准确性，为企业碳履约、碳核查提供有力保障，助力企业构建“监测－分析－管控－优化－履约”的能碳管理闭环，推动向绿色低碳、智慧高效模式稳步迈进。

**公司简介：**上海电气集团数字科技有限公司（简称“电气数科”）是上海电气集团股份有限公司直属子公司，是集团数字化产业发展和转型的关键载体。公司聚焦能源和工业装备细分领域，致力于成为能源和工业装备领域领先的数字化平台和解决方案提供商。对内，立足离散装备制造优势，成为上海电气产业转型和发展的新引擎；对外，聚焦能源和工业装备细分领域，成为数字赋能技术创新和应用的先行者。面向离散制造企业，融合信息技术和数字技术，聚焦工业互联网、企业管理信息化、智慧供应链、数字化工厂、基础设施及云服务、智慧空间与传播等领域，实现产品、生产、服务、管理的数字化和智能化。公司拥有专业的技术团队及丰富的实施经验，以“扎根装备制造、实施数字赋能、引领创新转型”为导向，推进装备制造业的数字化、网络化、智能化和绿色化。

# 案例 45：基于风光储充一体化的“交能融合”智慧能源管理

——安科瑞电气股份有限公司

**关键词**：交能融合样板；风光储充一体化；AI 降本增效；虚拟电厂子站

## 1.背景及痛点

《“十五五”现代能源体系规划》明确支持能源基础设施的数字化改造、智慧能源平台及智慧能源示范工程的实施。在降碳减排领域，加快交通行业实现低碳转型发展意义重大。在交能融合背景下，服务区、收费站等高速公路站点设置分布式光伏、储能等设备，建设充电基础设施，参与电网调峰、削峰填谷等辅助服务，支持短时离网运行，进一步作为能源互联网的配套设施。项目将新能源、高速公路两个行业的系统相互融合，为多场景项目带来重要借鉴和示范意义。

## 2.基于工业互联网的解决方案

围绕高速、服务区、收费站、隧道口搭建一套风光储充一体化运维云平台，深度融合物联网、大数据与人工智能技术，全天候采集风力发电、光伏系统、储能系统以及充电桩的数据分析，直接监视运行状态，在安全稳定的基础上以经济优化运行为目标，促进新能源消纳，提高电网运行稳定性，补偿负荷波动；有效实现用户侧的需求管理、消除昼夜峰谷差、平滑负荷，降低供电成本。

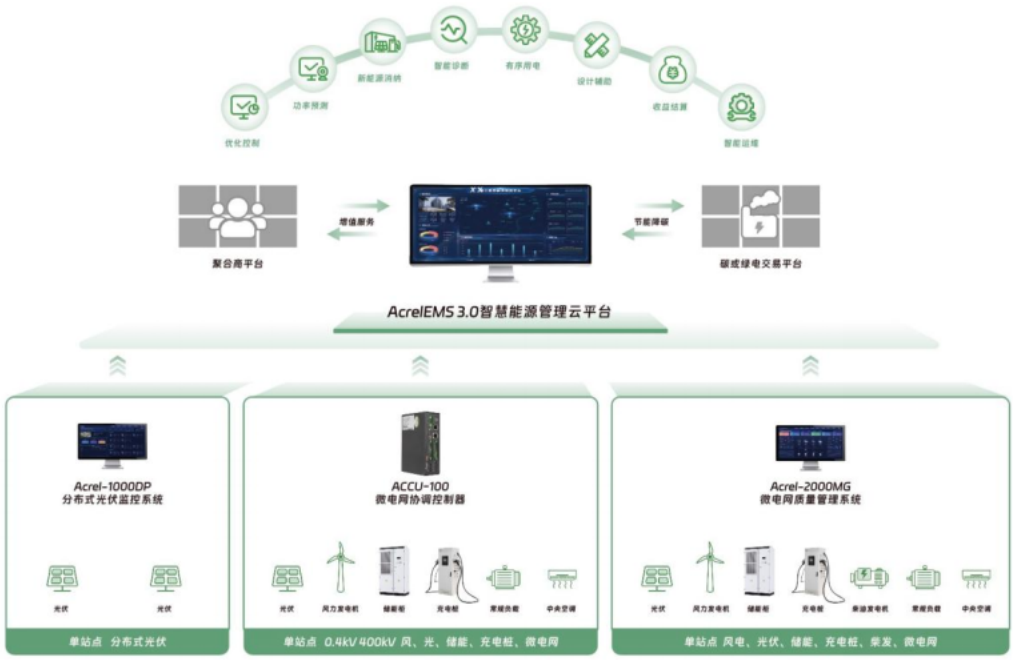


图 1 平台架构图

平台构建“云-边-端”模式，以单个站点或者多个站点的微电网源、网、荷、储全环节全面管理和优化为核心，构成一个高效协同的业务体系，整体构架组成如下：

**（1）边缘层**

终端层即智慧能源管理平台采集的数据来源，主要包括：

光伏逆变器及汇流箱：统计光伏子系统直流侧与交流侧的发电功率、日发电量、总发电量、发电效率等数据。

储能 PCS 及 BMS：采集储能子系统充放电功率、日充放效率、电池状态等数据；电池侧额定电量、剩余电量、实时 SOC 以及电池运行信息等。

直流/交流充电桩：采集充电桩实时电压、电流、功率等数据以及日充电次数、日充电金额、日充电量和充电功率等数据。

### （2）网络层

网络层主要负责实现终端层设备和能源管理平台之间的数据通信，采用能量管理系统、协调控制器、能源网关等网络装置实现。支持无线公网/专网远程通信接口，支持多类型采集通信协议，灵活接入各类设备。

### （3）平台层

平台层主要负责提供能量管理系统的基础设施和服务，具体功能包括如下：IaaS 服务：支持能源管理平台和应用所需的计算、存储和网络等资源，将其虚拟化后对外提供统一的服务接口。PaaS 服务：支持 IOT、AI 等技术，支持开箱即用的功能。支持 RBAC 模块常见功能。

### （4）应用层




图 2 应用架构图

基于微电网“源网荷储”全量数据，应用知识驱动+数据驱动的模型算法，对能源系统进行“监、管、控、调、统”，并在 PC 端、

手机 APP 可视化展示。应用层主要包括智慧驾驶舱、运行监测、优化调度、运行控制、收益结算、智能运维、碳资产管理、虚拟电厂管理等核心功能。




图 3 智慧能源管理平台局部效果图

- 综合监控：实现微电网风电、光伏、储能、负荷、充电桩、环境数据的采集、监测、可视化展示、异常告警、事件查询、报表统计等功能；
- 智能控制：协同光伏、储能、负载等多种能源主体，动态规划智能策略，实现储能、光伏协调控制，比如计划曲线、削峰填谷、防逆流、新能源消纳、需量控制等；
- 能源分析：具备微电网能耗及效益分析、微电网经济运行分析、多维度电量分析，并进行日、月、年能源报表统计；
- 功率预测：以历史光伏输出功率和历史数值天气数据为基础，结合数值天气预报数据和光伏发电单元的地理位置，采用 AI 深度学习算法建立预测模型库，实现光伏发电的短时和超短时功率预测，

并经进行误差分析；同时对微电网内所有负荷，基于历史负荷数据，通过 AI 大数据分析算法，预测负荷功率曲线。

- 优化调度：根据分布式能源发电预测、负荷预测结果，并结合分时电价、电网交互功率及储能约束条件等因素，以用电成本最低为目标，建立 AI 优化模型，采用深度学习算法解析微电网运行功率计划，系统通过将功率计划进行分解，实现对光伏、储能、充电桩的优化控制。

**3.成效**

项目搭建了“云-边-端”一体化的智慧能源管理平台，满足光伏系统、风力发电、储能系统、充电桩及空调照明等全系统的接入，集监控系统、能量管理，系统以经济优化运行为目标，促进可再生能源应用，提高电网运行稳定性、补偿负荷波动；有效实现用户侧的需求管理、平滑负荷，提高电力设备运行效率、降低供电成本。利用 AI 算法对光伏发电、储能和充电负荷进行精准预测与动态调度，实现能源的高效利用。迈出了交能融合的实质性一步，为全国交通领域低碳转型提供了宝贵经验，为全国推广提供了可复制的标准化范本。

**公司简介：**安科瑞电气股份有限公司(股票代码:300286)成立于 2003 年，是一家为企业提供能效系统和用电安全解决方案的高科技股份制企业。公司总部位于上海嘉定，形成了“云-边-端”的能源互联网生态体系，目前已有 30000 多套系统解决方案运行在全国各地。公司解决方案涵盖电力、新能源、环保、消防等多个领域和数据中心、医院、校园、工厂、交通等多个行业，为企业节能降耗和实现能源数字化建设提供解决方案，为实现“碳达峰、碳中和”提供数据支持。

# 后　记

《2026 能源工业互联网案例集》在“十五五”开局之年起笔编纂，既是对能源行业智能化实践的一次系统性检阅，也是面向新型能源体系建设的再一次出发。全书以八个篇章、45 个案例，记录了能源领域本年度的探索，共同构成这一关键转折点上产业界的真实答卷。从电网、油气、煤炭领域的骨干企业，到深耕工业互联网的专精特新力量，入选案例的企业把“人工智能+”能源的命题落到生产经营一线，拆解为可落地、可计量、可复制的具体工程，在自主可控替代、核心算法攻关、工业数据治理等方向持续投入。它们既是新型能源体系的建设者，也是能源新质生产力最活跃的创造者，这些实践共同构成了我国能源智能化进程的生动注脚。

通读本年度案例，可以看到实践在能源系统中的分布与推进方式。在运行环节，状态感知、图像识别、智能巡检、安全管控等应用已形成较为集中的实践积累，机组运行优化、工艺参数寻优、调度决策支持等方向也有案例陆续落地；在数据与模型层面，跨系统数据贯通、行业高质量数据集建设、工业大模型与时序基础模型的场景适配，成为多个案例共同的技术工作；在推进方式上，既有依托专项投入建设的示范项目，也有按平台化、模块化思路组织、面向同类场景复制推广的探索。八个方向、不同能源品种的实践并列呈现，数据来源、模型选型与工程路径各有侧重，为观察能源智能化提供了丰富的样本。

面向 2030 年初步建成新型能源体系的目标，能源人工智能的应用深度与广度还将持续拓展。把人工智能嵌入运行控制优化、工艺参数寻优、调度决策主流程，让智能在更多场景中承担起感知、判断与执行的连贯职责，是行业共同关注的方向，也离不开工程规范、验证标准、高质量数据集与商业模式的协同推进。能源工业互联网联合创新中心愿继续做这一进程的见证者、记录者与同行者，持续征集、遴选和推广年度最佳实践，围绕高价值场景组织复盘与交流，发挥产业生命共同体的纽带作用，与行业一道，共同书写能源强国建设的时代新篇。

能源工业互联网联合创新中心

2026 年 11 月


CAII
中国工业互联网研究院
China Academy of Industrial Internet


ICEII
能源工业互联网联合创新中心
Innovation Center of Energy Industrial Internet