

智慧电厂建设与智能发电技术应用分析

哲 浩¹ 柴 玲²

1. 华电(格尔木)能源有限公司 青海 海西蒙古族藏族自治州 817000

2. 黄河水电大通发电有限公司 青海 西宁 810100

摘 要: 智慧电厂建设依托分层递进的核心架构,整合物联网、大数据、人工智能等技术形成支撑体系。智能发电技术涵盖控制、监测、调度等类型,通过动态参数优化、多源数据融合等路径实现发电过程智能化。技术融合需构建"数据-模型-算法"矩阵,建设过程采用分域实施策略,运行优化形成闭环控制体系。当前优化方向聚焦算法迭代、标准化建设及人-机-环协同管理,通过知识图谱、数字孪生等技术深化数据价值挖掘,推动发电系统向高效、安全、低碳方向演进。

关键词: 智慧电厂;智能发电技术;技术融合;运行优化;数字孪生

引言:能源行业转型背景下,传统发电模式面临效率提升、安全管控、环保约束等多重挑战。智慧电厂通过集成物联网、云计算、人工智能等新一代信息技术,重构发电系统运行管理体系,成为破解行业痛点的关键路径。智能发电技术作为智慧电厂的核心驱动力,涵盖从设备层到系统层的多维度创新,既包括燃烧优化、故障预测等过程控制技术,也涉及多能互补调度、碳交易管理等系统协同方案。技术融合与场景适配成为当前建设重点,需通过标准化架构设计、数据治理体系构建及人机协同机制创新,推动发电系统向智能化、精益化方向演进。

1 智慧电厂建设的基础框架

1.1 智慧电厂建设的核心架构

智慧电厂建设需构建分层递进、功能协同的核心架构体系。物理层作为基础支撑,涵盖发电设备、传感器网络及能源传输设施,通过高精度感知技术实现设备状态与运行参数的实时采集^[1]。数据层聚焦于多源异构数据的整合与治理,依托工业互联网平台构建统一数据模型,解决信息孤岛问题,为上层应用提供标准化数据接口。平台层以云计算与边缘计算协同为核心,通过分布式计算架构实现海量数据的快速处理与价值挖掘,同时利用数字孪生技术构建虚拟电厂模型,实现物理系统与数字系统的双向映射。应用层则面向具体业务场景开发智能化功能模块,包括智能监控、故障预测、优化调度等,形成覆盖发电全流程的闭环管理体系。各层级间通过标准化通信协议实现数据交互,确保系统响应速度与决策准确性。

1.2 智慧电厂建设的关键要素

设备智能化升级是智慧电厂建设的物质基础,需通

过嵌入式传感器与智能执行机构的部署,使传统设备具备数据采集与远程控制能力。人员能力转型同样重要,需培养既懂发电工艺又掌握数据分析技术的复合型人才,构建人机协同的新型运维模式。管理机制创新需打破部门壁垒,建立跨专业数据共享与协同决策机制,通过流程再造提升运营效率。安全体系构建需覆盖物理安全、网络安全与数据安全三个维度,采用区块链技术保障关键数据不可篡改,通过零信任架构防范外部攻击。标准规范制定则需统一数据接口、通信协议与模型格式,为系统集成与互操作提供技术依据,避免因标准差异导致的兼容性问题。

1.3 智慧电厂建设的技术支撑基础

物联网技术通过部署低功耗广域网络实现设备全覆盖连接,结合5G通信技术满足实时控制场景的低延迟需求。大数据技术依托分布式存储与并行计算框架,解决海量运行数据的存储与处理难题,为深度分析提供算力保障。人工智能算法在故障诊断领域展现显著优势,通过卷积神经网络自动识别设备异常特征,在负荷预测场景中利用长短期记忆网络提升预测精度。数字孪生技术通过构建高保真虚拟模型,支持运行策略的预演验证,降低现场调试风险。区块链技术应用用于碳交易场景,确保数据溯源与交易透明性。边缘计算与云计算的协同架构则平衡了实时响应与全局优化需求,边缘节点处理本地紧急控制任务,云端平台完成跨系统协同决策。这些技术通过有机整合形成技术矩阵,为智慧电厂建设提供全方位支撑。

2 智能发电技术的核心类型与应用路径

2.1 发电过程智能化控制技术

发电过程智能化控制技术以动态参数优化为核心,

通过构建多变量耦合模型实现运行工况的精准匹配^[2]。基于模型预测控制算法,系统可依据负荷需求与环境参数变化,自动调整燃料供给量、风量配比及蒸汽压力等关键参数,使燃烧效率维持在最优区间。自适应控制技术通过在线辨识系统动态特性,动态修正控制策略参数,有效应对煤质波动、设备老化等不确定性因素。分层递阶控制架构将全局优化目标分解为局部控制任务,通过协调层实现锅炉-汽轮机-发电机组的能量流平衡,避免传统控制方式中各子系统独立运行导致的整体效率损失。部分先进系统已引入强化学习机制,通过持续交互学习积累运行经验,逐步形成面向复杂工况的最优控制策略。

2.2 设备状态智能化监测技术

设备状态智能化监测技术依托多源传感器融合实现故障特征的早期识别。振动分析系统通过部署三向加速度传感器,捕捉转子不平衡、轴承磨损等典型故障的频域特征,结合时频分析方法提升微弱故障检测灵敏度。温度场监测技术采用红外热成像与光纤测温相结合的方式,构建设备表面温度分布图谱,及时发现局部过热缺陷。油液分析模块通过检测颗粒计数、元素成分等指标,评估齿轮箱、变压器等设备的磨损状态。声发射监测技术聚焦于高压设备内部局部放电产生的瞬态弹性波,利用波形特征参数实现绝缘缺陷的定位与分级。数据融合引擎将不同监测手段获取的特征量进行关联分析,通过构建故障树模型提升诊断准确性,为预测性维护提供可靠依据。

2.3 发电系统智能化调度技术

发电系统智能化调度技术以经济性与安全性双重目标为导向,构建多时间尺度优化模型。日前调度层面,系统综合考虑电价波动、新能源出力预测及机组启停成本,制定次日发电计划曲线。日内滚动调度通过每15分钟更新一次预测数据,动态调整机组出力分配,平抑新能源功率波动对系统的影响。实时调度模块聚焦于频率调节与电压控制,利用储能装置快速充放电特性,构建虚拟惯量支撑系统,增强电网抗扰动能力。多能互补调度框架整合火电、水电、风电及储能资源,通过水火风光联合优化算法,实现不同能源形式的梯级利用。部分区域已试点碳交易机制下的调度模型,将碳排放成本纳入目标函数,引导清洁能源优先消纳。

2.4 智能发电技术的应用适配路径

技术适配需遵循"分步实施、重点突破"原则,优先在锅炉燃烧优化、汽轮机通流改造等关键环节部署智能控制模块。老旧机组改造应侧重于传感器加装与数据采集系统升级,为后续智能化应用奠定基础。新建电厂则需

采用一体化设计思路,将智能技术嵌入设备选型与系统架构规划阶段。区域能源互联网场景下,需构建跨厂级数据共享平台,通过标准化接口实现调度指令的快速下达与运行数据的实时上传。针对新能源占比提升带来的波动性问题,需配套建设储能装置与柔性输电设备,形成"源网荷储"协同控制体系。技术迭代过程中应建立动态评估机制,定期校验智能系统运行效果,确保技术投入与效益产出形成良性循环。

3 智慧电厂建设与智能发电技术的融合路径

3.1 技术层面的融合要点

技术融合需构建"数据-模型-算法"三位一体的技术矩阵。数据层需建立统一的数据治理框架,通过工业互联网平台实现设备状态数据、运行参数与市场信息的标准化接入,采用时序数据库与图数据库混合存储模式满足不同类型数据的查询需求^[3]。模型层应整合物理模型与数据驱动模型,在燃烧优化场景中结合热力学方程与神经网络模型,提升预测精度;设备故障诊断领域则融合故障树分析与深度学习算法,增强特征识别能力。算法层需开发跨系统协同优化算法,通过强化学习实现锅炉-汽轮机-发电机组的联合控制策略迭代,利用多目标优化算法平衡经济性与环保性指标。技术接口设计应遵循 IEC61850 等国际标准,确保不同厂商设备的互操作性,为系统扩展预留开放接口。

3.2 建设层面的融合实施

建设过程需采用"分域实施、逐步集成"策略。基础设施域应优先部署5G专网与边缘计算节点,构建覆盖全厂的低时延通信网络,为实时控制提供网络保障。设备改造域需分阶段完成智能传感器加装与执行机构升级,重点在锅炉燃烧器、汽轮机调节阀等关键部位部署高精度监测装置。平台建设域需搭建云边协同架构,云端平台聚焦于大数据分析与全局优化,边缘节点负责本地数据预处理与紧急控制任务。应用开发域应建立模块化开发体系,将智能监控、故障预测等功能封装为独立微服务,通过服务编排实现业务场景的快速构建。建设过程中需建立数字化孪生体系,在虚拟空间同步构建电厂数字模型,通过数据驱动实现物理系统与数字系统的动态映射,为系统调试与优化提供虚拟验证环境。

3.3 运行层面的融合优化

运行优化需构建"感知-决策-执行"闭环控制体系。感知层通过多源数据融合提升状态认知能力,将设备振动、温度、压力等参数与运行工况关联分析,构建设备健康度评价体系。决策层采用分层优化架构,厂级调度系统依据电网需求与新能源出力预测制定发电计划,机

组级控制系统根据燃料特性与环境参数动态调整运行参数,设备级保护系统实时监测异常工况并触发联锁保护。执行层通过智能执行机构实现控制指令的精准落地,电动调节阀采用位置反馈与力矩控制双闭环模式,提升调节精度与响应速度。运行过程中需建立动态评估机制,通过数字孪生模型模拟不同控制策略的运行效果,利用强化学习持续优化控制参数,形成"在线监测-策略评估-参数优化"的迭代升级模式。人机交互界面应采用三维可视化技术,将设备状态、能量流动等关键信息直观呈现,提升运行人员决策效率。

4 智慧电厂建设与智能发电技术应用的优化方向

4.1 技术应用优化

技术应用优化需聚焦算法迭代与数据价值深挖。在控制算法领域,应推动模型预测控制与强化学习的深度融合,通过构建包含经济性、环保性、安全性指标的多目标优化函数,实现燃烧过程、汽水循环等核心系统的动态自适应调整^[4]。数据治理层面需建立全生命周期管理体系,从数据采集环节强化传感器精度校准,在传输阶段采用量子加密技术保障数据安全,存储环节构建冷热数据分层架构降低存储成本,分析环节引入知识图谱技术提升数据关联挖掘能力。人工智能模型训练应采用迁移学习策略,利用相似机组运行数据构建预训练模型,再通过目标电厂数据微调提升模型适用性。技术融合方面需开发跨系统协同优化工具,将智能发电技术与智慧安防、智慧物流等模块进行数据互通,实现全厂资源的最优配置。

4.2 建设模式优化

建设模式优化需构建"标准化+个性化"双轨体系。标准化层面应制定智慧电厂建设技术导则,明确数据接口、通信协议、模型格式等关键技术参数,建立涵盖设备选型、系统集成、验收测试的全流程标准体系。个性化层面需建立模块化建设框架,将智慧监控、智能诊断、优化调度等功能封装为独立模块,根据电厂规模、机组类型、能源结构等特征进行灵活组合。建设过程应引入数字孪生技术,在虚拟空间构建与物理电厂完全映射的数字模型,通过仿真推演优化系统架构设计,提前识别建设风险点。对于老旧机组改造,需采用"渐进式"升级策略,优先完成关键设备智能化改造,逐步扩展至全厂范围;新建电厂则应实施"一体化"设计,将智能技术嵌

入工艺流程规划阶段,避免后期改造带来的系统兼容性问题。

4.3 运行管理优化

运行管理优化需建立"人-机-环"协同机制。人员能力建设方面应构建三维培训体系,通过虚拟现实技术模拟设备操作场景,利用数字孪生模型开展故障处置演练,结合增强现实技术实现现场作业指导,全面提升运行人员数字化技能水平。设备管理领域需推行预测性维护策略,基于设备健康度评价模型制定差异化检修计划,将传统定期检修转变为状态检修,降低非计划停机风险。能源管理方面应建立多能互补优化模型,整合火电、新能源、储能等资源,通过动态电价机制引导发电计划调整,实现能源梯级利用与经济性最优。安全管理需构建智能防控体系,利用视频分析技术识别人员违规行为,通过气体传感器网络监测有毒有害物质泄漏,采用无人机巡检排查高空设备缺陷,形成立体化安全防护网络^[5]。

结束语

智慧电厂与智能发电技术的深度融合,正在重塑发电行业的技术生态与运营模式。通过构建分层递进的技术架构、开发场景适配的智能应用、建立人-机-环协同管理机制,发电系统实现了从局部优化到全局协同的跨越。技术迭代过程中,算法精度提升、数据价值深挖、标准体系完善成为关键突破点,而设备健康管理、能源梯级利用、安全立体防控等实践则验证了技术落地的有效性。随着数字孪生、强化学习等技术的持续渗透,发电系统将形成"感知-决策-执行"的闭环优化能力,为能源行业高质量发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]陈录,齐全友,吴扬扬,等.智慧电厂建设与智能发电技术应用探讨[J].科技创新与应用,2021,11(23):174-176.
- [2]胡群丰,钱叶骏.智慧电厂建设与智能发电技术应用分析[J].电力设备管理,2023(17):47-49.
- [3]薄玉龙.智慧电厂建设与智能发电技术应用探讨[J].建材与装饰,2022,18(35):114-116.
- [4]杨鲤铭.智慧电厂建设与智能发电技术应用探讨[J].电力系统装备,2022(4):75-77.
- [5]唐雁文.智慧电厂建设与智能发电技术应用探讨[J].数字化用户,2022,28(41):100-102.