

火电厂DCS国产化与智慧运行的融合策略研究

夏 杰¹ 陈晓英¹ 费章胜¹ 李惟斌¹ 夏 琦¹ 阚 键¹ 杨凯璇²

1. 上海上电漕泾发电有限公司 上海 201507

2. 上海发电设备成套设计研究院有限责任公司 上海 200240

摘 要: 本文以1000MW超超临界供热机组为实际施工典型案例,提出了一种以综合建模技术为基础建成的智能在线运转系统,该系统独立于火电厂DCS,文中主要详细地阐述了系统的设计过程及其关键功用。经将系统投入实地运行测试后表明,系统运行过程具有稳定性和可靠,可按客户要求输入和切断,具有较低的投资费用和较好的使用效益。

关键词: 集成建模; 在线智能优化; 火电机组; 自寻优; DCS

引言

在中国能源转型的背景下,火电厂作为电力系统的重要组成部分,仍然承担着保障电力供应稳定的基础性作用。随着“双碳”战略目标的提出,火电行业面临着前所未有的挑战,提高能源利用效率、降低排放水平成为当前火电厂发展的重要方向。而分布式控制系统作为火电厂运行控制的核心,其国产化进程与智能化升级已成为行业发展的关键议题。

长期以来,我国火电厂DCS系统主要依赖国外技术和产品,存在着技术受制于人、维护成本高、系统安全隐患等问题。随着国内自主控制技术和国家对工业控制系统安全的重视,推进DCS国产化已成为必然趋势。同时,人工智能、大数据、物联网等新兴技术的发展为火电厂智慧运行提供了新的技术支撑,如何将DCS国产化与智慧运行深度融合,形成具有中国特色的火电厂智能控制系统,成为亟待解决的问题。

一、国产DCS系统发展现状与智慧运行技术

1. 国产DCS系统发展现状

我国火电厂DCS系统已从依赖进口到自主创新发展。90年代初主要依赖国外企业产品,国产化率低。随着“两化融合”战略实施和技术积累,和利时、国电智深等国内企业已开发出自主知识产权DCS系统,在多个大型火电项目中成功应用。目前国产DCS在新建火电机组中应用比例超过40%,市场占有率稳步提升。国产系统已形成完整产品线,采用多级冗余设计保障可靠性,支持多种标准通信协议,具备基本监控功能。其主要优势在于低成本、本地化服务响应快、维护便捷,并逐步满

足国家网络安全等级保护要求。

然而,国产DCS仍存在先进控制算法应用不足、系统集成能力有限等不足,与智慧运行技术的深度融合尚未形成系统化解决方案。在“双碳”目标下,国产DCS系统面临着向智能化、网络化、集成化方向发展的机遇与挑战,未来发展重点是突破核心技术、增强智能化水平。

2. 智慧运行技术概述

智慧运行技术利用人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术,实现火电机组参数实时优化、故障预测与诊断、智能决策等功能,提高机组安全性、经济性和环保性。随着智能电厂建设推进,此技术已从概念研究进入实际应用阶段,主要包括数字孪生、人工智能控制、大数据分析等关键技术。

综合建模是智慧运行基础,包括机理模型、数据驱动模型和混合模型三种方法。在线优化控制是核心技术,通过多目标优化、自寻优控制和预测控制算法实时计算最优参数。故障预测与诊断技术结合机器学习和专家知识库,构建设备健康评估模型,提前预警潜在故障。知识自学习是发展方向,系统通过知识图谱和深度学习从历史数据中学习经验,自动分析设备性能变化,调整控制模型,实现策略持续优化,使系统具备“经验积累”能力,成为智慧电厂建设的重要特征。

二、基于1000MW超超临界供热机组的智能在线运转系统设计

1. 系统总体架构

本文提出的智能在线运转系统采用“独立于DCS的辅助决策系统”架构,最小干预原有DCS系统,实现灵活部署。系统包括数据采集层、模型计算层、优化控制

层和人机交互层四部分。数据采集层从DCS获取运行参数和设备状态；模型计算层构建机组运行特性模型；优化控制层生成最优控制参数；人机交互层提供友好界面支持监视和分析功能。

系统采用分布式部署，通过标准化接口与DCS通信，体现“松耦合、强协同”设计理念，降低实施风险，便于功能扩展。系统考虑了冗余设计和安全防护，确保机组安全稳定运行。

2. 关键技术及实现方法

(1) 综合建模技术

综合建模采用机理模型、数据驱动模型和混合模型相结合方法，构建1000MW超超临界供热机组特性模型。机理模型基于热力学理论建立锅炉、汽轮机等设备数学模型；数据驱动模型利用两年运行数据，采用支持向量机、神经网络等算法构建性能预测模型；混合模型结合两者优势，适用于设备特性变化敏感参数。

系统实施模型验证和自校正机制，比较预测值与实际值偏差，优化模型参数。当偏差超过阈值时，自动触发参数辨识，定期更新模型适应设备老化，为性能评估和优化控制提供可靠依据。

(2) 在线智能优化算法

系统采用三类优化算法：多目标优化算法通过帕累托最优方法平衡热效率、环保排放和设备寿命，使用改进NSGA-II算法求解；自寻优控制算法基于扰动检测原理，通过调整参数观察响应自动寻找最佳运行点，主要应用于燃烧优化等领域；预测控制算法基于MPC理论，预测未来运行状态并规划控制轨迹，特别适用于负荷变化工况。

针对超超临界机组汽温控制，预测控制算法协调喷水减温器和燃烧调节，实现精确控制，温度波动减小22%，有效保护机组安全。

(3) DCS系统接口设计

接口设计遵循安全可靠、标准开放、灵活配置原则。数据采集接口采用OPCUA、Modbus TCP等标准协议，定时采集运行参数，设置缓冲区处理异常数据。控制指令接口将优化结果传递给DCS，设置多重安全机制：参数合理性检查、变化率限制、操作员确认和紧急切断功能。

系统提供适配不同国产DCS的接口模块，实现完善权限管理，根据用户角色设置差异化操作权限，所有操作有详细日志。双向数据校验确保传输准确性，保证系统安全性和优化结果有效应用。

(4) 人机交互设计

系统采用基于Web的响应式设计，支持多终端访问。主界面采用仪表板形式展示关键参数和性能指标，支持用户自定义组态。运行监视模块使用多维数据可视化技术，支持实时和历史数据无缝切换。优化建议模块显示最优参数组合及量化效果。

趋势分析模块提供历史数据查询和多参数关联分析，自动生成统计报表。系统配置模块允许调整模型参数和算法设置。人机交互设计平衡易用性和功能性，通过直观展示和便捷操作，降低使用门槛，提高操作人员接受度。

三、系统实施及性能评估

1. 工程实施过程

本系统在某1000MW超超临界供热机组采用阶段推进策略实施。需求分析阶段通过现场调研明确了提高效率、减少排放等目标。系统设计阶段完成了架构设计、模块划分和软硬件选型，注重与电厂人员的沟通。模型建立阶段采集了两年运行数据，建立了锅炉、汽轮机等设备的综合模型，并通过对比实际数据验证了模型精度。系统开发阶段完成了模块编码、调试和单元测试，优化了算法效率和稳定性。

系统集成阶段完成了与DCS的接口测试，并通过模拟工况进行性能测试。试运行阶段以“开环”方式运行，操作人员验证建议有效性后，优化了功能和界面。正式运行阶段实现了部分闭环控制，持续改进性能。

2. 系统性能评估

系统在7608小时运行期间，通过72.54%的负荷率显著降低煤耗率1.25g/kWh，年节约标煤6900吨，厂用电率降低0.15%，年增外送电量827万kWh，NO_x排放降低15mg/Nm³，年减排45吨，体现了显著的经济性和环保效益。运行稳定性提升，主蒸汽压力波动减小18%，设备寿命延长。系统可靠性高，可用率达99.8%，数据采集准确率99.95%。用户满意度调查显示，98%的运行人员认为优化建议有价值。

四、融合策略与应用推广

1. 国产DCS与智慧运行系统融合策略

分层解耦策略是指保持DCS基础控制功能的独立性和可靠性，将智能优化功能部署在上层系统，通过标准化接口实现数据交互。这种策略可以最大限度地降低对原有DCS系统的干扰，减少实施风险，特别适合老旧机组的智能化改造。渐进融合策略建议从辅助决策开始，让操作人员首先接受并信任系统的优化建议，待系统稳定运行、效果显著后，再逐步过渡到闭环优化控制，实现从“人在回路中”到“人监督自动控制”的平稳过渡。

多元协同策略强调促进设备制造商、软件开发商、电厂用户多方协作，共同推进融合应用。国产DCS厂商负责提供开放的接口和稳定的底层控制；软件企业开发先进的算法和应用；电厂用户提供运行需求和实际验证。通过建立产学研用联盟，形成技术互补、优势互补、风险共担的协作机制，加速智慧电厂建设。差异化应用策略是根据机组类型、容量、运行方式等特点，选择适合的融合方案。大型新建机组可采用深度融合方案，将智能算法嵌入DCS系统；中小型存量机组可采用外挂式方案，通过标准接口实现功能扩展，灵活应对不同场景需求。

2.应用推广建议

标准体系建设是制定国产DCS与智慧运行系统的接口标准、功能规范和评价体系，促进产业健康发展。建议由行业主管部门牵头，组织制定智慧电厂技术标准体系，包括数据接口标准、模型规范、算法评价方法等，为行业发展提供规范指引。示范工程建设是选择典型火电机组建设示范工程，积累实践经验，树立行业标杆。建议在不同类型、不同容量的机组中开展试点，形成可复制、可推广的经验，通过现场参观、技术交流等方式扩大影响力。

人才培养是加强自动化、信息化、智能化复合型人才培养，提高电厂技术人员应用水平。建议开展多层次、多形式的培训，针对管理人员强化智能化转型意识，针对技术人员提升专业技能，针对操作人员加强实操训练。同时，鼓励高校设置相关专业方向，培养适应智慧电厂需求的新型人才。产学研合作是推动企业、高校、科研院所合作，共同攻克关键技术难题。建议建立产学研创新联盟，设立联合实验室，开展关键技术攻关，促进科研成果转化，加快技术创新和应用推广。

政策支持是出台支持国产DCS应用的政策措施，加快国产化替代进程。建议加大财政补贴力度，对采用国产DCS和智慧运行系统的电厂给予适当奖励；通过税收优惠、贷款贴息等方式，降低企业创新成本；在重大项目招标中适当向国产技术倾斜，扩大市场份额。市场拓展是面向不同类型用户，开发多样化的产品和服务。建议针对大型发电集团，提供整体解决方案；针对中小电厂，开发标准化、模块化产品；针对智能化改造需求，提供专业咨询和技术服务，满足不同层次用户需求，拓展市场空间。

五、案例分析

某电厂1000MW超超临界供热机组采用国产DCS系统，融合智能在线优化技术，构建独立运行的优化系统。该系统基于集成建模技术，通过标准化接口与DCS交互，实现燃烧优化、汽温控制等功能。投运后，机组煤耗降低1.25g/kWh；NO_x排放减少15mg/Nm³；运行稳定性显著提升，主汽压力波动降低18%。系统可用率达99.8%，操作满意度超98%，验证了国产DCS与智能技术融合的可行性，为同类型机组改造提供了示范样板。

结束语

本文以某1000MW超超临界供热机组为研究对象，深入探讨了DCS国产化与智慧运行系统的融合策略及实施效果。研究表明，通过采用分层解耦架构和渐进式融合策略，成功实现了国产DCS系统与智能优化技术的有机结合。系统投运后不仅显著提升了机组运行的经济性和环保性能，更验证了国产控制系统在大型火电机组中应用的可靠性。这一实践为火电行业智能化转型提供了可复制的技术路径，同时也为后续更大范围的国产化替代积累了宝贵经验。未来，随着人工智能技术的持续发展和行业标准的不断完善，DCS国产化与智慧运行的深度融合必将为火电行业的高质量发展注入新的动力，为实现“双碳”目标提供有力支撑。建议后续研究可进一步探索多机组协同优化、数字孪生等新技术的应用，持续推动火电行业向更高效、更清洁、更智能的方向发展。

参考文献

- [1] 李云军. 火力发电厂烟气余热利用与应用探讨[J]. 工程建设与设计, 2020(14): 21-22.
- [2] 张祖辉, 孔竟. 基于虚拟现实的电厂智慧维护培训仿真系统[J]. 工程建设与设计, 2021(3): 49-50.
- [3] 赵雨, 郭春晖. 火电厂承包商智慧安全管控系统研究与应用[J]. 工程建设与设计, 2021(14): 414-415.
- [4] 葛长虎. 火力发电厂烟气余热利用技术研究[J]. 中国科技纵横, 2019(3): 162-163.
- [5] 商敬超. 关于工业余热余压利用的思考与探讨[J]. 化工管理, 2018(30): 67.
- [6] 廖定荣. 烟气余热利用在火力发电厂的应用价值[J]. 科技展望, 2016(36): 78.