

智能优化技术在火力发电 DCS 系统控制中的经济性应用价值研究

刘 云

(大唐黄岛发电有限责任公司, 山东 青岛 266500)

摘 要 鉴于智能化发展驱动火力发电厂改革的时代要求, 本研究系统说明了火力发电 DCS 系统基本架构及局限性。通过实证案例分析, 展示了智能化 DCS 系统相较于传统 DCS 系统在经济性、技术性能及环保效益等方面的优势。同时, 从技术和管理两方面探讨火力发电智能化 DCS 系统的挑战及对策, 以期为同类型企业智能化改造提供有益参考。

关键词 火力发电; 智能化 DCS 系统; 分层分布式结构; 智能化控制; 经济性应用

中图分类号: TP273; TM73

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.005

0 引言

全球能源结构逐渐多元化清洁化方向转型。火力发电特别是燃煤发电亟需转型升级, 提升效率、降低排放并增强竞争力, 以实现可持续发展^[1]。智能化发展成为火力发电行业摆脱困境、实现提质增效的关键^[2]。DCS 系统作为火力发电厂的“大脑中枢神经”, 其性能直接决定了电厂安全、稳定、高效运行的水平。推动 DCS 系统智能化升级并研究其智能化控制的经济性应用价值, 不仅是顺应技术发展趋势的必然选择, 更对评估智能化投入实际回报、指导电厂技术改造决策具有现实意义^[3]。

1 火力发电 DCS 系统概述

1.1 智能化 DCS 系统

智能化 DCS 系统是融合人工智能算法、大数据分析以及物联网技术的先进控制系统, 该系统借助实时数据采集、处理与分析实现对工业生产过程的精准监控和优化。从组成来看, 在火力发电厂中, DCS 系统架构采用分层分布式结构^[4]。上层是监控层, 主要由操作员站和工程师站共同组成, 负责全厂生产过程的集中监视、操作与管理; 中层为控制层, 由多个现场控制站组合而成, 每个现场控制站负责特定区域或设备控制, 如锅炉控制以及汽轮机控制等; 下层是现场设备层, 涵盖各种传感器、执行器与现场仪表等, 负责现场数据采集以及设备的驱动工作。这种分层分布式结构使 DCS 系统具备较高的可靠性和灵活性, 可适应火力发电厂复杂多变的生产环境^[5]。

1.2 智能化 DCS 系统实现所使用的关键技术

智能化 DCS 系统的实现依靠多项关键技术融合与创新。首先是人工智能算法, 如机器学习和深度学习等, 系统通过从海量数据提取有价值信息进行模式识别与预测, 进而实现故障诊断、性能优化和自适应控制。大数据分析技术通过数据挖掘和关联分析等方法发现生产过程隐藏规律与异常, 为决策提供支持。物联网 (IoT) 技术通过传感器和执行器等现场设备能无缝接入网络、实现数据实时传输和远程监控, 为智能化分析提供数据基础。此外, 云计算或边缘计算平台通过复杂算法, 支撑大数据处理工作。网络安全技术确保高度互联环境下系统数据传输和操作指令机密性、完整性和可用性。这些技术协同应用共同构成智能化 DCS 系统的技术支撑体系。

1.3 传统、智能化 DCS 系统对比分析

传统 DCS 系统在火力发电生产过程的应用集中于锅炉控制、汽轮机控制、发电机控制等关键环节。

在锅炉控制中, 传统 DCS 系统能够实现对锅炉燃烧过程自动控制, 通过合理调节燃料量以及风量, 让锅炉的燃烧始终保持在最佳状态, 以此来提高燃烧效率并且降低污染物排放, 同时它还可以对锅炉水位与压力等参数进行精确控制, 从而确保锅炉能够实现安全稳定运行。在汽轮机控制中, 传统 DCS 系统能够实现对汽轮机转速与负荷自动调节, 确保汽轮机在不同工况条件下都能稳定运行。对汽轮机振动以及轴向位

作者简介: 刘云 (1986-), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向: 火电机组热控设备检修。

移等相关参数进行监测,从而发现潜在的故障隐患^[6]。

然而,在控制精度方面,传统DCS系统采用的控制算法相对简单,很难实现对复杂生产过程进行精确控制。在响应速度方面,传统DCS系统的通信网络和数据传输方式相对落后,数据传输存在一定延迟使得系统对生产过程变化响应不够及时。当生产过程出现突发状况时,传统DCS系统可能无法迅速做出反应,进而影响生产的安全和稳定状况,而且由于其技术相对落后,设备容易出现故障情况,需要频繁进行维修和更换,增加了企业的运营成本。相比之下,智能化DCS系统通过人工智能算法、大数据分析以及物联网技术等先进技术的加持。在控制精度方面,智能化系统能够借助复杂算法实现对复杂生产过程的精确控制;在响应速度方面,其先进通信网络和数据传输方式能够减少数据传输延迟,让系统对生产过程变化的响应更为及时。另外,智能化系统还具备更强的故障预测和诊断能力,能够提前发现潜在问题并采取相应措施,以此提高生产的安全性和稳定性,使系统设备故障率及维护成本更低。

2 经济性应用价值案例分析

2.1 案例选择

近年来,智能控制技术被广泛应用。智能控制技术能够大大提高工作效率,降低劳动强度,特别是在火力发电的锅炉控制中以及电气工程自动化方面应用效果较好。为了验证智能化DCS系统控制经济性,评估模型适用性和准确性,选取大唐黄岛发电有限责任公司为研究案例,该电厂在2022年完成了DCS系统智能化升级工作,采用国产自主可控的睿渥DCS系统替代了原有进口DCS系统,该DCS系统通过深度集成人工智能算法,实现了对锅炉燃烧过程的精准调控与优化,提升了能源利用效率。同时,借助大数据分析技术,能够实时监测并分析运行数据,快速识别异常工况且自动调整参数,以显著增强故障预警和应急响应能力。DCS系统结合物联网技术的应用实现可与电厂各类传感器、执行器及远程监控平台无缝对接,降低人工干预需求。

2.2 数据收集范围

选择2021年(传统DCS系统运行期)与2023年(智能化DCS系统运行期)的数据进行分析。数据指标说明见表1。

2.3 评估验证

将收集到的数据从经济性、技术性、环保性这三个维度开展量化分析工作,以验证其可靠性。其分析结果显示:

在经济性方面,智能化系统标准煤耗降幅约2.01%,年燃料成本减少约3.35%。与此同时,年维护成本大幅降低,降幅高达31.02%,表明智能化系统在备件人工和外包等方面管理优化。

在技术性方面,智能化DCS系统负荷响应时间降幅约47.46%,显著提高了机组的动态响应能力与制指令执行精度,自动化投入率增加了8.9%,这表明更多自动调节回路得到了有效利用进而减少人工干预。

在环保性方面,智能化DCS系统的二氧化硫排放降幅达到33.42%,其氮氧化物排放降幅为27.68%,颗粒物排放降幅为35.08%,碳排放强度降幅为4.99%,这些数据体现了智能化系统在节能减排方面有积极作用(详见表2)。

综合来看,智能化DCS系统在燃煤机组当中的应用具有经济性,能为电厂实现高效清洁且智能的运行提供有力支持。

表1 数据指标说明

数据类别	数据内容	数据来源
经济性数据	燃料采购成本	电厂生产管理系统(Power Management System, PMS)、财务系统
	设备维护费用	电厂生产管理系统(Power Management System, PMS)、财务系统
	发电量	电厂生产管理系统(PMS)
	上网电价	财务系统
技术性数据	机组负荷响应时间	电厂生产管理系统(PMS)
	控制指令执行精度	电厂生产管理系统(PMS)
	自动化投入率	电厂生产管理系统(PMS)
环保性数据	二氧化硫排放量	环保监测平台
	氮氧化物排放量	环保监测平台
	颗粒物排放量	环保监测平台
	碳排放强度(吨CO ₂ /MW·h)	电厂生产管理系统(PMS)、环保监测平台

3 智能化DCS系统控制应用推广挑战及对策分析

3.1 技术层面

智能化DCS系统在推广应用进程中面临显著技术复杂性挑战。该系统融合人工智能、大数据、物联网

表 2 传统 DCS 系统与智能化 DCS 系统数据分析结果

维度	指标数据	传统 DCS 系统 (2021 年)	智能化 DCS 系统 (2023 年)	提升幅度
经济性	标准煤耗 (g/kW·h)	318.7	312.3	-2.01%
	年燃料成本 (万元)	27 845 600	26 912 500	-3.35%
	年维护成本 (万元)	142.8	98.5	-31.02%
技术性	负荷响应时间 (秒)	47.2	24.8	-47.46%
	控制指令执行精度 (偏差范围, °C)	±2.8	±1.5	≈ -46.43%
	自动化投入率 (%)	86.5	94.2	≈ 8.9%
环保性	二氧化硫排放 (mg/m ³)	178.3	118.7	-33.42%
	氮氧化物排放 (mg/m ³)	348.6	252.1	-27.68%
	颗粒物排放 (mg/m ³)	30.5	19.8	-35.08%
	碳排放强度 (kgCO ₂ /MW·h)	898.2	853.4	≈ -4.99%

及传统控制技术,其架构比传统 DCS 系统复杂,这对系统设计、集成、实施和调试提出了极高要求,特别是和电厂现有老旧设备与系统进行兼容对接时,会因接口标准不统一、数据格式不匹配、通信协议不兼容等问题,导致项目周期延长、成本增加且效果难以预料。为应对技术方面挑战,需注意以下两个方面:首先,需加大产学研用的协同合作,积极推动制定智能化 DCS 系统在电力行业的统一标准,涵盖数据接口、通信协议以及安全规范等内容,以此降低集成难度并提升系统互操作性。其次,要重视数据治理和安全保障工作,建立电厂级的数据治理体系,对历史数据进行清洗、校验和整合,建设统一的数据平台,确保数据质量能够满足智能化应用需求。

3.2 管理层面

长久以来形成的经验型管理模式和相对保守安全的文化,让电厂管理层与一线员工对高度自动化、智能化控制系统心存疑虑。观念方面的阻力成为项目立项、投资决策以及推广应用的主要障碍。另外,智能化 DCS 系统的应用并非单纯的技术替换,而是涉及电厂内部组织架构调整和业务流程再造的系统性变革。变革常常触及现有部门职责边界和人员利益,容易引发内部阻力,协调难度大、实施过程缓慢,还充满不确定性^[7]。

传统管理思维需要进行转变,自上而下推动智能化项目顺利实施。首先,细化任务,责任到人,按照年度、季度计划召开管理思维研讨会,提高中高层管理质量,减少后期整改及变更工作。其次,需要系统规划并实施组织变革与流程优化,建立一套行之有效的变革沟通 and 反馈机制。将 DCS 智能化升级纳入整体战略规划,争取全面支持资源。

4 结束语

随着科学技术的不断发展,各行各业都将自动化技术、智能技术纳入发展规划并进行现场应用,以提高生产效率。我国热电技术发展较快,部分企业虽然采用 DCS 系统,但还存在智能化控制水平低、用户负荷波动大造成锅炉控制系统运行效率不高、热电系统运行稳定性低等问题。针对这种情况,智能化 DCS 系统应用成为火力发电行业顺应能源转型趋势、实现提质增效与可持续发展的关键举措,其经济性应用价值显著且推广意义重大。未来,随着人工智能和大数据等技术持续进步,智能化 DCS 系统将朝着更深度集成、更自主决策、更高效协同方向发展。

参考文献:

- [1] 付高见,沈思贤,涂攀,等.基于 DCS 控制的燃料智能化管控系统分析与应用[J].电气技术与经济,2023(07):86-90.
- [2] 伊怀海.火电企业数字化转型煤炭利用效益评价研究[D].北京:中国地质大学(北京),2023.
- [3] 莫日格吉勒图.火力发电机组 DCS 控制系统自主可控改造展望[J].自动化应用,2023,64(01):76-78.
- [4] 李双喜.分散控制系统 DCS 技术在火力发电中的应用[J].集成电路应用,2021,38(01):108-109.
- [5] 杨正.火力发电 DCS 系统安全防护措施浅析[J].企业管理,2020(S1):274-276.
- [6] 薛永明,樊鹏.三种锅炉排烟余热回收系统经济性分析[J].能源研究与利用,2020(02):37-42.
- [7] 陈德霖.浅谈某 1000MW 发电机组 DCS 系统电源优化技术[J].科技与创新,2018(05):78-79.