

天然气发电站自动化改造中的关键技术分析

袁政林

(中国机械设备工程股份有限公司)

【摘要】文章对天然气发电站自动化改造中的关键技术进行了研究。针对精准调控、智能运维、安全防控的核心需求,构建了包含分布式控制系统(DCS)升级优化、智能感知与数据采集、机组联动控制、智能运维与故障诊断、安全防护与合规管控的关键技术体系。结果表明,这些技术实现了机组运行精准化、运维智能化与安全防控全方位覆盖,提升了发电效率、调峰能力与设备可用率,降低了能耗与运维成本。

【关键词】天然气发电站;自动化改造;分布式控制系统(DCS);智能感知

中图分类号:TE64;TM62

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2026.03.040

Analysis of Key Technologies in the Automation Transformation of Natural Gas Power Plants

YUAN Zheng-lin

(China Machinery Engineering Corporation)

【Abstract】This paper studies the key technologies in the automation transformation of natural gas power plants. To meet the core needs of precise regulation, intelligent operation and maintenance, and safety prevention and control, it constructs a key technology system including distributed control system (DCS) upgrading and optimization, intelligent perception and data collection, unit linkage control, intelligent operation and maintenance with fault diagnosis, and safety protection with compliance management. The results show that these technologies realize precise unit operation, intelligent operation and maintenance, and comprehensive safety prevention and control, improving power generation efficiency, peak regulation capacity and equipment availability, while reducing energy consumption and operation and maintenance costs.

【Keywords】natural gas power plant; automation transformation; distributed control system (DCS); intelligent perception

1 引言

当前,天然气发电站面临“灵活调峰要求提高、运维成本压力增大、环保标准收紧”的挑战,传统天然气发电站已不能满足现代电力系统的运行需求。

自动化改造是天然气发电站突破发展瓶颈的核心路径,通过整合分布式控制、智能感知、数据分析等技术,可实现机组运行的精准调控、运维的智能高效与安全的主动防控。本文立足天然气发电站的运行特性与改造需求,系统解析自动化改造技术体系,构建“需求分析—技术攻坚—落地保障”的框架,为电站自动化改造提供科学、可操作的理论与实践^[1]。

2 天然气发电站自动化改造的核心需求与目标

2.1 核心改造需求

2.1.1 精准调控需求

天然气发电站的核心设备包括燃气轮机、蒸汽

轮机、余热锅炉、发电机等,各设备运行参数相互耦合,需实现精准协同调控。在传统控制模式下,燃气轮机燃烧控制依赖固定参数,难以根据天然气组分、环境温度变化进行动态调整,易导致燃烧不充分或能耗偏高;机组负荷响应滞后于电网调度指令,调峰能力不足。因此,自动化改造需满足“参数实时感知—动态优化调控—负荷快速响应”的精准调控需求,提升机组运行的稳定性与灵活性。

2.1.2 智能运维需求

传统天然气发电站运维依赖人工巡检与定期检修,存在故障发现不及时、检修成本高、过度维护等问题。燃气轮机的热通道部件磨损、余热锅炉管道泄漏、发电机绝缘老化等故障,若未能及时处置,可能引发停机事故。自动化改造需构建“状态实时监测—故障精准诊断—维护按需开展”的智能运维体系,减少人工干预,降低运维成本,延长设备使用寿命^[2]。

2.1.3 安全防控需求

天然气发电站涉及高压燃气、高温蒸汽等危险介质,安全风险较高,需强化全流程安全防控。传统安全管理依赖人工巡检与报警装置,存在风险识别不全面、应急响应滞后等隐患。自动化改造需实现“风险实时监测—异常自动预警—应急快速处置”的闭环管控,覆盖燃气泄漏、火灾、机组超温超压等各类风险场景,保障人员与设备安全。

2.2 改造核心目标

2.2.1 效能提升目标

通过自动化改造,实现发电效率与调峰能力双提升。燃气轮机燃烧效率提升3%~5%,机组整体发电效率提升8%以上;机组负荷响应速度优化,从传统的分钟级缩短至秒级,满足电网深度调峰需求;能耗显著降低,单位发电量天然气消耗降低5%~8%。

2.2.2 运维优化目标

构建智能运维体系,设备故障诊断准确率提升至90%以上,故障响应时间缩短50%;减少非计划停机次数,设备可用率提升至95%以上;运维人工成本降低30%~40%,实现“降本增效”。

2.2.3 安全环保目标

建立全方位安全防控体系,燃气泄漏、火灾等风险预警覆盖率达100%,应急处置时间缩短至3分钟以内;氮氧化物排放浓度控制在30mg/m³以下,满足超低排放要求;能耗监测数据准确率达99%以上,实现节能精细化管理^[3]。

3 天然气发电站自动化改造的关键技术体系

3.1 分布式控制系统(DCS)升级与优化

3.1.1 系统架构重构

分布式控制系统(DCS)是自动化改造的核心载体,需重构“集中监控—分散控制—全局协同”的系统架构。采用工业以太网与光纤通信技术,搭建高速、可靠的通信网络,实现控制站、操作站、现场设备的数据实时传输;将传统分散的控制模块整合为统一的DCS平台,覆盖燃气轮机控制、蒸汽轮机控制、余热锅炉控制、发电机控制等全流程,打破设备间的

信息壁垒。引入边缘计算节点部署在现场控制站,实现实时数据处理与快速控制决策,降低云计算压力与网络延迟,确保机组控制响应时间≤100ms。

3.1.2 核心控制算法优化

针对天然气发电站的运行特性,优化DCS核心控制算法。在燃气轮机燃烧控制中,采用模糊PID控制算法,结合天然气组分、环境温度、机组负荷等实时数据,动态调整燃料供给量与空气系数,确保燃烧充分且氮氧化物排放达标;引入模型预测控制(MPC)算法,建立机组运行数学模型,预测不同工况下的运行状态,提前调整控制参数,优化机组效率与稳定性。在机组负荷控制中,采用自适应控制算法,根据电网调度指令与机组运行状态,动态调整负荷响应速度与调节精度,实现“快速响应—平稳过渡”的负荷调控。

3.2 智能感知与数据采集技术

3.2.1 多维度传感器部署

构建“全域覆盖—精准感知”的智能传感网络,针对关键设备与核心参数部署多类型传感器。在燃气轮机上部署温度、压力、振动、转速传感器,实时监测热通道部件温度、燃气压力、转子振动等参数;在余热锅炉上安装水位、压力、温度、烟气成分传感器,跟踪锅炉运行状态与污染物排放;在天然气管道上部署流量、压力、泄漏传感器,防范燃气泄漏风险;在发电机上配置电压、电流、绝缘状态传感器,保障发电安全。传感器需具备高精度、高可靠性、抗干扰能力强的特性,满足配电站高温、高压、高电磁干扰的运行环境要求。

3.2.2 数据融合与预处理技术

通过数据采集网关整合多传感器数据,采用多源数据融合技术消除数据冗余与误差,提升数据质量。利用卡尔曼滤波算法对振动、温度等动态数据进行降噪处理,提取有效特征;采用异常值检测算法(如孤立森林算法)识别传感器故障或数据异常,自动标记并替换异常数据;建立数据标准化处理流程,统一数据格式与单位,为后续分析与控制提供高质量数据支撑。数据采集频率根据参数重要性动态调整,核心参数(如燃气压力、燃烧温度)采集频率≥10Hz,普通参数采集频率1-5Hz,确保数据的实时性与有效性。

3.3 机组联动控制与智能优化技术

3.3.1 多设备协同控制

实现燃气轮机、蒸汽轮机、余热锅炉、发电机的多设备联动控制,构建“源-网-荷-储”协同运行体系。基于DCS平台建立设备间的联动控制逻辑,燃气轮机启动后,根据其排气温度与流量自动调整余热锅炉的给水流量与燃烧补充措施;余热锅炉产生的蒸汽达到设定参数后,自动触发蒸汽轮机启动与负荷加载;发电机根据机组运行状态与电网指令,动态调整励磁电流与输出功率,确保电能质量稳定。通过联动控制,减少设备启停与负荷调整的等待时间,提升机组整体运行效率。

3.3.2 工况自适应优化

基于大数据分析 with 机器学习技术,构建机组工况自适应优化模型。通过分析历史运行数据,挖掘不同天然气组分、环境条件、负荷需求下的最优运行参数组合;实时监测当前工况数据,与最优参数组合进行对比,自动调整控制策略。例如,当天然气组分发生变化时,模型快速计算最优燃料供给量与空气系数,确保燃烧效率与排放达标;当电网负荷需求降低时,模型优化机组运行参数,降低能耗与排放,实现“工况变—参数调—效能优”的动态适配。

3.4 智能运维与故障诊断技术

3.4.1 设备状态监测与趋势分析

构建设备全生命周期状态监测体系,基于传感器采集的振动、温度、压力等数据,结合设备运行时间、维护记录,建立设备健康状态评估模型。采用时序数据分析算法,预测设备运行趋势,例如通过分析燃气轮机转子振动数据的变化趋势,预判轴承磨损程度;通过监测余热锅炉管道温度分布,识别管道结垢或泄漏风险。利用可视化技术将设备健康状态以图表形式展示,方便运维人员直观掌握设备运行情况,提前制订维护计划。

3.4.2 智能故障诊断与预警

融合深度学习与故障树分析技术,构建智能故障诊断模型。基于历史故障数据与专家经验,建立故障特征库与诊断规则库;通过深度学习算法(如卷积神经网络CNN)提取设备运行数据中的故障特征,与特征库进行匹配,实现故障类型、故障位置、故

障严重程度的精准诊断。当监测到设备异常时,系统自动发出多级预警,并推送故障处置方案,指导运维人员快速排查与修复故障。

3.5 安全防护与合规管控技术

3.5.1 全方位安全监控系统

构建“硬件防护—软件预警—应急联动”的全方位安全监控系统。在天然气管道、燃气轮机机房等关键区域部署燃气泄漏检测仪、火焰探测器、温度传感器,实现安全风险的实时监测;在DCS平台中集成安全监控模块,设置风险预警阈值,当监测数据超出阈值时,自动触发应急响应,如关闭燃气阀门、启动通风设备、切断相关设备电源。结合视频监控与人员定位技术,实现对作业人员与作业区域的安全管控,避免违规操作与人员误入危险区域。

3.5.2 能耗与排放精准管控

采用能耗与排放在线监测技术,实现精细化管理。通过智能电表、燃气流量计、蒸汽流量计等设备,实时采集机组能耗数据,计算单位发电量能耗,分析能耗异常原因并优化;在烟气排放口安装在线监测设备(CEMS),实时监测氮氧化物、二氧化硫、颗粒物等污染物排放浓度,数据实时上传至环保监管平台。利用数据分析技术挖掘能耗与排放的优化空间,确保满足环保与节能合规要求。

4 结语

天然气发电站自动化改造是一项系统性、技术性极强的工程,其核心在于通过技术融合与体系重构,破解传统运行模式的效率低、运维难、安全风险高的痛点,实现机组运行的精准化、智能化与高效化。本文构建了“需求导向—技术攻坚—落地验证”的改造框架,系统解析了分布式控制系统升级、智能感知、机组联动控制、智能运维、安全防护等关键技术的应用路径,形成了覆盖改造全流程的技术体系。

参考文献

- [1] 张亚东. 天然气发电站自动化改造中的关键技术分析[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32 (7): 98-100.
- [2] 吴奕钊. 黄龙带水库电站自动化运行升级改造实践[J]. 云南水力发电, 2025, 41 (5): 158-162.
- [3] 翁晨雷. 物联网技术在工业自动化中的应用研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025 (8): 30-32.