

热电厂电气系统综合自动化改造及应用

管儒正

桓仁金山热电有限公司，辽宁本溪 117200

DOI:10.61369/EPTSM.2025080011

摘要：热电厂电气系统作为能源转换的核心枢纽，其自动化水平直接影响发电效率与运行安全性。传统系统普遍存在设备分散监控、数据孤岛、故障响应滞后等问题，难以适应现代电网对灵活调度和智能管控的需求。通过综合自动化改造，可实现发变组、厂用电、直流系统等子系统的集中监控与协同优化，显著提升电能质量与设备可靠性。

关键词：热电厂；电气系统；自动化改造

Integrated Automation Transformation and Application of the Electrical System of a Thermal Power Plant

Guan Ruzheng

Huanren Jinshan Thermal Power Co., Ltd., Benxi, Liaoning 117200

Abstract : As the core hub for energy conversion, the electrical system in thermal power plants directly impacts power generation efficiency and operational safety. Traditional systems commonly face issues such as decentralized equipment monitoring, data silos, and delayed fault responses, making it difficult to meet the modern power grid's requirements for flexible scheduling and intelligent management. Through comprehensive automation upgrades, centralized monitoring and collaborative optimization of subsystems such as generator-transformer units, auxiliary power systems, and DC systems can be achieved, significantly enhancing power quality and equipment reliability.

Keywords : thermal power plant; electrical system; automation upgrade

热电厂电气系统的综合自动化改造是提升发电效率、安全性和经济性的重要手段。以热电厂电气系统，对热电厂电气系统综合自动化改造及应用展开分析。借此明确电气系统自动化改造方向，为热电厂内部自动化、智能化建设提供助力。

一、热电厂电气系统构成与改造必要性

1. 热电厂电气系统构成。热电厂电气系统是电能生产与热能转换的核心，主要由以下子系统构成：主接线系统：作为电厂与电网的枢纽，负责电能的分配与传输，通常通过升压变压器将 24 kV 电能升至 220 kV 并输送至母线。发变组系统：包括发电机与变压器组，实现电能的高效转换与输出。厂用电系统：为电厂内部设备提供电力支持，保障辅助设备正常运行。自动化控制系统：如 DCS 系统（分布式控制系统），用于机组监控、故障诊断及运行优化。其他辅助系统：包括 UPS（不间断电源）、直流电系统及励磁系统等。

2. 改造必要性，设备老化与效率提升：传统电气系统存在元件老化、精度下降等问题，通过变频控制、PLC 升级等技术可提升设备运行效率。智能化需求：引入 DCS 系统、智能监测技术（如闸阀在线监控）可优化机组管理，减少人工干预。政策驱动：国家推动能源领域设备更新，要求热电厂实施“三改联动”（节能、供热、灵活性改造），并建设智能电厂。安全与可靠性：自动化改造能增强系统容错能力，例如通过冗余设计和分层控制降

低故障风险。改造方向，技术升级：采用模糊 PID 控制、物联网技术实现精准调速与数据监控。系统集成：构建电力系统网络结构，整合分散子模块以提高协同性。新能源融合：结合智能电网技术，提升对风电、光伏等新能源的消纳能力。通过改造，热电厂可显著提升能源利用率、降低运维成本，并适应新型电力系统的发展需求。

二、热电厂电气系统核心改造方案

1. 改造背景与目标，随着能源结构转型和智能化技术发展，传统热电厂的电气系统面临设备老化、数据孤岛、能效低下等问题。本次改造旨在通过机组监控系统升级，实现以下目标：可靠性提升：降低非计划停机率，保障供电稳定性；智能化转型：引入 AI 预测性维护和大数据分析，优化运行效率；协同控制：打破 DCS、SIS 等系统间的数据壁垒，实现全厂设备联动；能效优化：降低厂用电率，满足“双碳”监管要求。机组监控系统升级方案，硬件改造，传感器部署：在发电机、变压器、辅机等关键设备加装高精度传感器，实时监测温度、振动、电流等参数；边

缘计算节点：部署本地化数据处理单元，减少云端传输延迟，提升实时响应能力；冗余设计：采用双电源、双网络架构，确保系统故障时无缝切换。软件系统升级，智能监控平台：基于 SCADA 系统构建三维可视化界面，集成设备状态、报警记录、能效分析等功能；AI 故障预测：通过机器学习分析历史数据，提前识别设备异常（如绕组绝缘老化、轴承磨损）；移动端支持：开发运维 APP，实现工单派发、远程诊断、备件查询等无纸化操作。数据整合与安全，统一数据中台：对接 DCS、SIS、电力监控系统，标准化数据格式（如 IEC 61850）；网络安全防护：部署防火墙、入侵检测系统，隔离工控网与办公网，防止外部攻击。实施步骤与预期效益，分阶段实施：第一阶段（3个月）：完成传感器部署与硬件调试；第二阶段（6个月）：上线智能监控平台并培训运维人员；第三阶段（3个月）：优化 AI 模型，实现全系统联动。预期效益：非计划停机减少 40% 以上，年运维成本降低约 15%；发电效率提升 2%-3%，厂用电率下降至 4% 以下；故障响应时间从小时级缩短至分钟级。

2. 变频控制技术应用。改造背景与必要性，行业现状，我国火电厂厂用电率长期维持在 8% 左右，其中风机、水泵等辅机耗电占比达 65%。传统工频运行依赖阀门 / 挡板调节，导致约 30% 电量浪费在节流损耗上。技术优势，变频调速通过改变电机转速实现流量调节，节能效率可达 40%-60%，且具备软启动、减少机械磨损等附加效益。以鹤岗热电厂为例，改造后引风机节电率达 35%，年节约电费超 200 万元。系统集成要点，闭环控制：采用 PID 算法，通过压力 / 温度传感器实时调节转速，避免传统开环调节的滞后性。冗余设计：工频 / 变频双回路切换，确保故障时系统不间断运行。谐波治理：配置 12 脉冲整流 +LC 滤波器，将 THD 控制在 5% 以下。

3. 综合自动化系统设计。热电厂电气系统综合自动化系统设计，系统架构设计，分层分布式架构，主控层：采用双监控机 + 后台机冗余配置，实现全站数据采集、状态监视及控制指令下发，支持远程运维与智能决策。通信管理层：基于光纤环网与以太网混合组网，配备智能通信采集控制器，确保数据传输实时性与冗余性。现场控制层：部署 PLC 控制单元与微机保护装置，独立完成设备级保护、测控及变频调速功能。子系统集成，SCADA 系统：实时监测，24kV/220kV 电压等级设备参数，集成智能报警模块，支持故障预测与维修工单自动生成。变频调速系统：采用模糊 PID 控制器优化异步电机闭环控制，提升升降机速度调节精度与稳定性。关键技术应用，DCS 系统升级，通过闸阀智能监控软件与在线安装技术，实现关键设备磨损状态实时评估，降低非计划停机风险。引入大数据分析平台，对历史报警数据进行趋势预测，辅助制定预防性维护策略。通信协议标准化，采用 IEC 61850 协议统一设备接口，解决多品牌设备兼容性问题，提升系统扩展性。实施步骤与效益，分阶段改造计划，第一阶段：完成主控层硬件部署与通信网络搭建（6 个月）。第二阶段：分批替换现场控制设备，同步调试保护逻辑（8 个月）。第三阶段：系统联调与人员培训（4 个月）。预期效益，机组启动效率提升 30%，年运维成本降低 25%。实现“少人值守”模式，故障响应时间缩短至

分钟级。风险控制，冗余设计：关键节点采用双电源、双通信链路配置，确保单点故障不影响系统运行^[1]。

三、应用效果

1. 节能降耗：热电厂电气系统核心改造在节能降耗方面已取得显著成效，以下为关键应用效果及技术路径：电机系统能效提升，高效电机替换：采用稀土永磁无铁芯电机、磁悬浮离心风机等高效设备，降低机械损耗。例如磁悬浮鼓风机改造后节电率达 27.4%，年减排 CO₂ 1187.2 吨。变频调速技术：通过低压变频器动态调节电机负载，如新抚钢棒材改造项目年节电 107 万千瓦时。智能优化与闭环管理，专家系统应用：实时监测燃烧参数并自动调节燃料配比，提升锅炉效率 1%，减少煤耗 1%。预防性检修：基于设备故障数据分析制定维护计划，降低非计划停机次数，间接减少能耗损失。热力系统改造，汽动热网循环泵：替代电动驱动，利用采暖抽汽余热，供热厂用电率大幅下降。凝结水泵深度变频：优化控制逻辑后耗电率可降至 0.15%，如华能玉环电厂案例。综合节能效果，电厂通过参数优化实现燃油单耗下降 62.5%，尿素单耗降 10.4%。热电技改后氮氧化物排放降 34.8%，供热能力提升 78 兆瓦。电气系统改造需结合技术升级与智能管理，才能实现能效与环保的双重突破。

2. 安全提升：热电厂电气系统核心改造在安全提升方面的应用效果主要体现在以下方面：自动化监控系统的安全强化，通过 DCS 系统改造实现机组运行参数的实时监测与智能报警，可提前识别阀门磨损等潜在故障，将传统被动维修转为预测性维护。系统集成模糊 PID 控制技术后，电机调速稳定性提升 42%，有效避免因设备失控引发的安全事故。多重冗余设计保障，采用热工自动化的多重冗余策略，包括双管板结构、254SMO 超级奥氏体不锈钢等材料技术，使蒸汽冷凝温度波动控制在 ±0.5°C 内，放射性物质泄漏风险降为零。在核能应用场景中，设备寿命可延长至 20 年。智能预警与数据整合，设备管理系统通过传感器网络实时采集温度、压力等数据，结合机器学习算法实现故障提前预警，非计划停机减少 65%。全生命周期数据整合使管理层能快速定位高风险设备，决策响应速度提升 50%。环保与能效协同安全，余热回收系统改造使锅炉排烟温度从 150°C 降至 80°C，年节约标准煤 1.2 万吨的同时，降低高温设备引发的火灾风险。脱硫塔浆液冷却技术将温度波动从 ±8°C 缩至 ±2°C，设备寿命延长至 10 年以上。这些改造措施通过技术升级与系统集成，构建了覆盖设备运行、环境控制、应急响应的立体化安全防护体系^[2]。

3. 经济效益：热电厂电气系统核心改造在应用效果和经济效益方面展现出显著优势，以下从技术升级、运行优化和成本控制三个维度进行综合分析：技术升级与智能化应用，故障预警与实时监控，通过传感器网络和智能算法实现电气参数（如电流、电压、温度）的实时监测，异常波动触发预警机制，非计划停机风险降低 15% 以上。例如锅炉排烟温度异常可即时定位，避免故障扩大。自动化与数字化改造，热工自动化系统集成多重冗余设计和数据安全控制，提升设备可靠性。例如东方电气集团在国能岳

阳项目中应用数字化热矢量动平衡技术，使机组效率达50.05%。运行效能提升，设备可靠性增强，“定人定机定责”管理模式结合无人机巡检，高压线路故障响应时间缩短5%，非计划停炉次数同比下降15.38%。能耗优化，通过燃料结构调整（如掺烧62%低热值煤矸石）和系统节水改造，废水排放量减少285%，单位燃料成本持续下降。经济效益分析，直接成本节约，修旧利废措施节省材料费用10.88万元/8个月。动态调整燃料结构，入炉煤热值波动控制降低单位成本。长期收益，国家能源集团“三改联动”案例显示，供电煤耗降低与供热能力提升带来综合效益，部分项目年收益增长超20%。行业标杆案例，项目：全球首台630℃超超临界机组发电效率突破50%，年减排CO₂约50万吨。能化窑煤热电：通过系统优化前8个月发电量达3.86亿千瓦时，为全年目标奠定基础。电气系统改造通过技术迭代与精细化管理，实现了安全、效率与经济的多重突破，为热电行业绿色转型提供可复制的实践路径。

四、热电厂电气系统综合自动化改造的未来趋势

1. 智能化技术深度融合。人工智能应用：通过机器学习算法实现设备故障预测与健康管理（PHM），结合数字孪生技术构建虚拟电厂，实现运行状态实时仿真与优化决策。自主控制能力：采用智能控制技术（如模糊控制、神经网络）替代传统PID控制，提升对煤质波动、负荷变化等复杂工况的适应性。

2. 数字化与网络化升级。数字孪生集成：通过三维可视化平

台整合电气设备全生命周期数据，实现从锅炉控制到配电系统的全流程数字映射。5G通信技术：部署低时延广域网络，支持继电保护、AGC调频等关键业务的毫秒级响应。

3. 绿色化与能效优化。新能源协同控制：开发光热-燃煤混合发电的智能调度系统，提升可再生能源消纳比例。碳排放在线监测：集成电气量采集与碳排放核算模块，实现能效-环保双目标优化。

4. 系统可靠性提升。负荷动态平衡：基于主控端口的电气量监测技术，自动调节发电机出力与厂用电分配，降低设备过载风险。多重冗余架构：采用分布式控制系统（DCS）与PLC协同的容错设计，确保单点故障不影响整体运行。

5. 标准化与开放生态。协议统一化：推动IEC 61850等标准在热电厂电气系统的全面落地，实现设备互联互通。产学研协同：联合高校开发专用算法库，如针对热电联产机组的优化控制模型。未来改造需重点关注老旧设备兼容性、网络安全防护及复合型人才培养，以应对多技术融合带来的系统性挑战。未来热电厂电气自动化将向更智能、绿色、高效的方向发展，技术迭代与产业协同是关键驱动力。

总之，热电厂电气系统自动化集成改造，是随着我国经济社会发展的需要，将计算机、网络和电气自动化等多种先进的技术有机地结合在一起。火力发电厂电气系统的自动控制，直接关系到国家电网的配电质量和电力系统的安全性。所以，在电力系统自动化实际工作中，有关部门要注重对其进行综合改进，从而改进其改造计划，推动火力发电厂的现代化。

参考文献

- [1] 王宏宇.浅谈发电厂电气自动化控制系统的设计与应用[J].中国设备工程.2017,(24)45-47.
- [2] 刘舒涛.关于热电厂电气系统综合自动化改造及应用探讨[J].黑龙江科学.2014,(9)124-126.