

Research on the application of power system automation in energy saving of power plant

Zheng Yu

Datang Nanjing Power Plant, Nanjing, Jiangsu, 210059, China

Abstract

With the intensifying global energy crisis and growing environmental awareness, energy conservation and emission reduction in power plants—key sectors for energy consumption and pollutant emissions—have become central to their sustainable development. Power system automation technology, leveraging its advantages in precise control, real-time monitoring, and intelligent optimization, provides crucial technical support for energy efficiency in power plants. This paper first analyzes the current status and challenges of energy conservation efforts in power plants, then delves into the specific application mechanisms of power system automation technology in core processes such as boiler combustion control, steam turbine regulation, auxiliary system optimization, and grid dispatch coordination. Practical engineering cases are used to verify its energy-saving effectiveness. Finally, addressing existing issues in automation technology applications, this study proposes optimization strategies and future development directions, offering theoretical references and practical guidance for power plants to achieve deep energy conservation through automation technology.

Keywords

power plant automation; combustion optimization; steam turbine regulation; intelligent dispatching

电力系统自动化在电厂节能中的应用研究

于正

大唐南京发电厂，中国·江苏南京 210059

摘要

随着全球能源危机的加剧和环保意识的不断提升，作为能源消耗和污染物排放的重点领域，电厂的节能降耗已成为其可持续发展的核心任务。电力系统自动化技术凭借其精确控制、实时监测、智能优化等优势，为电厂节能提供关键技术支撑。本文先分析当前电厂节能工作的现状与面临的挑战，然后进一步深入分析电力系统自动化技术在电厂锅炉燃烧控制、汽轮机调节、辅机系统优化、电网调度协调等核心环节的具体应用机制，并通过实际工程案例验证其节能效果。最后，针对自动化技术应用中存在的问题，提出优化策略与未来发展方向，为电厂通过自动化技术实现深度节能提供理论参考与实践指导。

关键词

电厂自动化；燃烧优化；汽轮机调节；智能调度

1 引言

在“双碳”目标推动下，我国电力行业正在由“高能耗、高排放”向“高效益、低污染”转型，电厂能源利用效率是国家能源战略落地的关键。虽然目前我国火电厂平均供电煤耗由2010年的333g/(kW·h)下降到2024年的270g/(kW·h)左右，但还与国际先进水平(250g/(kW·h)以下)相差甚远，节能潜力很大。电力系统自动化技术依托计算机、通信等技术，能实时监测、优化电厂生产，提升效率，其应用已从单设备控制向全流程智能优化发展。本文将从技术原理、应用场景、实践效果三方面，剖析其在电厂节能中的核心价值与

实现路径。

2 电厂节能现状与面临的挑战

2.1 能源利用效率有待提升

当前我国电厂（尤其是火电厂）仍存在能源转换效率低的问题。以燃煤火电厂为例，其发电效率通常在40%~45%之间，大量能量通过烟气、冷却水等形式流失。此外，部分电厂因设备老化、控制精度不足，导致机组在变负荷运行时难以维持最佳工况，进一步增加了能源消耗。

2.2 负荷波动与系统协调性矛盾

随着新能源（风电、光伏）的大规模并网，电网负荷波动日益加剧，电厂需频繁调整机组出力以满足电网需求。传统人工控制模式下，机组负荷调整存在响应滞后、参数匹配精度低的问题，易导致锅炉燃烧不稳定、汽轮机效率下降，

【作者简介】于正（1991-），男，中国江苏南京人，本科，工程师，从事电力系统及其自动化研究。

不仅增加了能源消耗，还可能影响电网安全稳定运行。

2.3 节能监测与管理体系统不完善

部分电厂缺乏完善的节能监测与管理体系统，无法实时获取生产过程中的关键能耗数据（如煤耗、水耗、电耗），也难以对能耗异常情况进行及时预警和诊断。此外，节能管理多依赖经验判断，缺乏科学的数据分析和优化决策支持，导致节能措施的实施效果大打折扣。

3 电力系统自动化技术在电厂节能中的核心应用

3.1 提升燃料利用效率

锅炉作为火电厂核心设备，其燃烧效率直接决定电厂煤耗水平。传统燃烧控制依赖人工经验调节给煤量、送风量、引风量等参数，易造成燃料与空气配比失衡，出现不完全燃烧或过量空气系数过大的情况，既浪费能源又增加污染物排放。电力系统自动化技术可通过多手段实现锅炉燃烧优化控制：多变量预测控制（MPC）技术基于燃烧过程数学模型，实时预测炉膛温度等关键参数，动态调整各参数配比，确保燃烧始终处于最佳状态；在锅炉尾部安装在线烟气分析装置，将 O_2 、CO等成分数据反馈至控制系统，据此调整送风量与给煤量，减少排烟热损失和燃料浪费；同时，自动化系统还能控制燃烧器摆角、二次风挡板开度，优化火焰形态，适配不同负荷工况，提升锅炉吸热效率并避免炉膛结渣。

3.2 降低汽耗与机械损耗

汽轮机作为将蒸汽热能转化为机械能的关键设备，其运行效率直接影响电厂整体发电效率。传统汽轮机调节依赖人工操作调速器，难以精准把控蒸汽压力、温度、流量与机组转速、负荷的匹配关系，在变工况运行时易出现节流损失增大、级间效率下降等问题，增加能源消耗与设备损耗。电力系统自动化技术通过多种方式实现汽轮机节能运行：数字电液调节（DEH）系统取代传统液压调节系统，借助计算机控制技术精准调节汽轮机进汽阀门，能依据电网负荷需求实时调整阀门开度，优化蒸汽流量分配，比如机组变负荷时采用“顺序阀控制”模式，按负荷变化依次开关阀门，确保不同负荷下汽轮机均维持较高内效率，减少节流损失；自动化系统还会实时监测汽轮机入口蒸汽参数，并与锅炉出口蒸汽参数协同控制，负荷降低时适当下调蒸汽压力与温度（保持在设计范围内）以减少膨胀损失，负荷升高时及时提升参数，保障输出功率的同时避免设备损耗；此外，针对影响汽轮机排汽焓的凝汽器真空度，自动化系统通过控制循环水泵转速与抽气器运行状态实时调节，负荷较低时降低水泵转速减少电能消耗，同时利用抽气器排出不凝结气体，维持高真空度以提升循环效率。

3.3 减少厂用电消耗

电厂辅机系统（如风机、水泵、磨煤机等）是厂用电消耗的主要来源，其耗电量约占电厂总发电量的5%~8%。

传统辅机系统多采用定速运行模式，即便机组负荷较低，辅机仍维持额定转速运转，造成大量电能浪费。电力系统自动化技术可通过多种方式实现辅机系统节能优化：在送风机、引风机、循环水泵等辅机上安装变频调速装置，自动化系统能依据机组负荷需求实时调整辅机转速，比如机组负荷从额定负荷降至70%时，送风机和引风机转速相应降低，因耗电量与转速的三次方成正比，耗电量可减少约51%；同时建立辅机与锅炉、汽轮机等主机的联动控制机制，自动化系统根据主机的负荷、蒸汽压力、烟气流速等参数，自动调整辅机运行状态，像锅炉负荷降低时，系统会自动减少磨煤机运行台数并降低送风机、引风机转速，避免“大马拉小车”；此外，通过安装振动、温度、电流等传感器实时监测辅机运行状态，自动化系统分析监测数据，发现轴承温度过高、振动超标等异常时及时预警，指导运维人员检修，避免因辅机故障造成能源浪费与设备损坏^[1]。

3.4 提升整体运行效率

随着电网规模扩大与新能源大规模并网，电厂与电网的协同运行愈发重要。传统调度模式下，电厂被动接受电网负荷指令，难以结合自身机组特性与能源供应情况优化调整，易使机组运行在非经济工况，增加能源消耗。电力系统自动化技术可通过多方式实现电网与电厂的协同节能调度：智能发电调度系统依托大数据与人工智能技术，构建电网负荷预测模型和电厂机组经济运行模型，调度中心结合负荷预测结果及各电厂机组煤耗特性、环保指标等，制定最优发电计划，将负荷合理分配，让高效低耗机组优先承担高负荷，老旧高耗机组适当降负荷以减少能耗；借助光纤通信、5G通信等自动化通信网络，实现电网调度中心与电厂的实时数据交互，电网负荷波动时，调度中心及时发送调整指令，电厂自动化系统快速响应，比如负荷骤增时10秒内完成机组出力提升，避免频率波动与能源浪费；同时，自动化系统将风电、光伏等新能源出力预测数据纳入调度计划，根据新能源出力波动实时调整传统电厂出力，实现二者互补，风电出力增加时降低火电厂负荷减少燃煤消耗，出力减少时则提升火电厂负荷保障供电稳定。A区域电网应用该系统后，火电厂平均供电煤耗降低5g/(kW·h)，年节约标准煤约3万吨，新能源弃电率下降2.1%，能源利用效率显著提升^[2]。

4 电力系统自动化在电厂节能应用中的实践案例

4.1 600MW超临界火电厂自动化节能改造

该火电厂为2010年投产的600MW超临界机组，因设备老化、控制精度不足，供电煤耗长期维持在290g/(kW·h)左右，高于同类型机组275g/(kW·h)的平均水平。2022年，电厂开展电力系统自动化节能改造，在锅炉燃烧系统采用多变量预测控制（MPC）技术，优化给煤量、送风量、引风量配比，并安装在线烟气分析装置实时调整过量空气系数；

汽轮机调节系统升级数字电液调节 (DEH) 系统, 采用顺序阀控制模式优化蒸汽流量分配, 同时安装凝汽器真空度自动控制系统; 辅机系统为送风机、引风机、循环水泵等辅机配备变频调速装置, 实现转速自动调节; 此外还接入区域智能发电调度系统, 依据电网负荷指令优化机组运行工况。改造后, 电厂供电煤耗降至 $272\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, 每年节约标准煤约 1.08 万吨, 减少 CO_2 排放约 2.8 万吨, 厂用电率从 6.5% 降至 5.8%, 每年节约厂用电约 420 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$, 经济效益与环保效益显著。

4.2 B 水电厂自动化优化调度

B 水电厂作为大型梯级水电站的龙头电厂, 总装机容量达 1200MW, 其运行效率受来水流量、电网负荷、下游水位等因素影响较大。传统调度模式下, 电厂主要依靠人工经验调整机组出力, 易出现水能利用效率低、弃水现象严重的问题。2023 年, 电厂引入电力系统自动化优化调度系统, 基于气象数据与水文数据, 采用机器学习算法建立来水流量预测模型, 可预测未来 72 小时来水流量为调度决策提供依据; 同时根据来水流量与电网负荷需求, 由自动化系统制定最优机组组合方案与出力分配方案, 确保机组在不同水头下均运行于最高效率区; 此外, 电厂与下游水电站搭建自动化通信网络, 实现梯级水库联合调度, 优化水库水位控制以减少弃水, 提升水能利用效率。改造后, 水电厂水能利用提高率从 92% 提升至 96.5%, 每年增加发电量约 1.8 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$, 按火电煤耗 $270\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 计算, 相当于节约标准煤约 5.4 万吨, 弃水率从 3.2% 降至 0.8%, 水资源利用效率大幅提升^[3]。

5 电力系统自动化在电厂节能应用中存在的问题与优化策略

5.1 存在的问题

电力系统自动化在电厂节能应用中, 首先面临技术集成度有待提升的问题, 部分电厂的自动化系统仍处于“孤岛”状态, 锅炉、汽轮机、辅机、调度等系统间数据交互不畅, 难以实现全流程协同优化, 比如锅炉燃烧系统优化调整时未充分考虑汽轮机运行状态, 直接导致系统整体效率下降。其次是数据质量与分析能力不足, 电厂生产过程中产生的实时运行数据、设备状态数据、能耗数据等海量数据, 存在数据噪声大、数据缺失等情况, 影响自动化系统决策精度, 且部分电厂缺乏人工智能、大数据分析等先进数据分析算法, 难以从海量数据中挖掘节能潜力。再者, 人员技术水平参差不齐, 自动化系统运行维护需专业技术人员, 但部分电厂运维人员对自动化技术的理解和操作能力不足, 甚至仍依赖人工经验调整参数, 使自动化系统处于“手动控制”状态, 无法充分发挥节能功能。最后, 初期投资与回报周期矛盾突出,

电力系统自动化改造需较大初期投资用于设备采购、系统集成、软件开发等, 而节能效益实现需要一定时间, 部分电厂因资金压力或短期利益考量, 对自动化改造积极性不高^[4]。

5.2 优化策略

针对上述问题, 首先应该推进自动化系统的集成化建设, 通过建立统一的电厂自动化管控平台, 实现锅炉、汽轮机、辅机、调度等系统的数据共享与协同控制, 如利用工业互联网技术, 将各系统实时数据接入管控平台, 经过数据融合分析, 制定全流程优化方案, 提高系统整体运行效率。其次, 加强数据采集设备的维护与校准, 减少数据噪声和缺失, 同时通过深度学习, 强化学习等人工智能算法, 对海量数据进行分析, 挖掘能耗异常原因, 预测机组运行状态, 为节能决策提供科学支撑, 如利用深度学习模型预测锅炉燃烧效率, 提前调整控制参数, 避免能源浪费。再次, 加强人员培训与技术交流, 定期组织运维人员参加自动化技术培训, 提高系统操作与维护能力, 加强与高校、科研机构的技术交流, 引进先进的节能技术及管理经验, 促进自动化系统优化升级。最后, 完善政策支持与激励机制政府要制定相关的政策, 对电厂自动化节能改造给予资金补贴或者税收优惠, 降低初期投资成本, 同时建立节能效益评价体系, 对节能效果好的电厂给予奖励, 提高其开展自动化改造的积极性^[5]。

6 结语

电力系统自动化技术通过对电厂锅炉燃烧、汽轮机调节、辅机系统、电网调度等环节的精准控制和智能优化, 能够有效提升能源利用效率、降低能源消耗、减少污染物排放, 是电厂实现节能降耗的关键技术手段。实践案例表明, 应用自动化技术后, 电厂的供电煤耗可降低 $5\sim 8\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, 厂用电率可降低 0.5~1 个百分点, 节能效果显著。然而, 当前电力系统自动化在电厂节能应用中仍存在技术集成度低、数据质量差、人员技术水平不足、初期投资大等问题, 需要通过系统集成化建设、数据质量提升、人员培训、政策支持等措施加以解决。

参考文献

- [1] 赵琳. 自动化技术在电厂节能减排中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2023, (01): 234-236.
- [2] 李亚飞. 自动化技术在电厂节能减排中的应用研究[J]. 科技经济市场, 2021, (07): 29-30.
- [3] 赵智慧, 赵娜. 基于节能减排理念的火电厂热工自动化设计及运用研究[J]. 中国设备工程, 2021, (09): 9-10.
- [4] 代宇. 自动化技术在电厂节能减排中的应用分析[J]. 节能, 2019, 38 (10): 109-111.
- [5] 吴计锐. 节能减排理念下电厂自动化技术研究[J]. 科技风, 2017, (25): 175.