

火电机组自动化控制系统的设计与工程师应用探索

靳学钢 董浩

邹县发电厂，山东 邹城 273522

摘要：火电机组自动化控制系统的智能化升级是实现高效清洁发电的主要路径，本文对自动化控制系统的设计架构、核心技术以及工程实践展开了系统探讨，指出分层逐步推进的系统架构设计经由智能感知网络、过程控制层与决策管理层协同，大幅增进了机组运行效率与稳定性。研究指出工程师在系统全生命周期里起着核心作用，其复合型的知识构成与技术创新能力是解决多变量耦合控制、设备兼容性等难题的核心要素，实践检验表明，优化后的控制系统可达成煤耗降低 3%-8% 的效果，污染物排放削减量超 30%，且把机组调峰响应速率提升 3 - 5 倍，呈现出显著的经济效益与环境效益，研究进一步揭示，未来需突破多源数据融合、智能算法适应性等技术隘口，凭借产学研协同创新推动 AI、数字孪生等新技术的融合应用步伐，促进火电行业深度嵌入新型电力系统，为能源结构的转型与“双碳”目标达成提供技术后盾。

关键词：火电机组；自动化控制系统；系统设计；工程师角色；智能控制

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.24

引言

随着新能源发电技术的广泛应用，火电机组为降低厂用电率、实现节能减排目标，积极将新能源发电技术应用于厂用电系统。能源需求增长与环保要求趋严，火电机组的高效、清洁运行面临更高挑战^[1]。自动化控制系统作为火电机组的“神经中枢”，通过实时监测、智能决策与精准执行，成为平衡经济性与环保目标的核心手段。本文从系统设计出发，结合工程师实践，探索自动化控制系统的优化路径，旨在为火电机组的技术升级与行业可持续发展提供参考^[2]。

1 火电机组自动化控制系统概述

1.1 火电机组的基本原理

火电机组作为现代电力系统的关键组成，其运行的机制是以能量转换的物理过程为根基，该系统凭借化石燃料燃烧释放化学能量，然后转化为高温高压蒸汽中的热能^[3]，最终驱

动汽轮机工作，进而带动发电机发电，整个能量转换链条包含燃料输送系统、燃烧室、锅炉装置、汽轮发电机组及其配套辅助设备，各子系统相互间有紧密的工艺连接和参数上的耦合，值得注意的是，传统运行模式过分依赖操作人员的主观判定，大多面临热效率提升受困、工况调节滞后等技术方面的瓶颈，这为自动化控制系统的全面应用赋予了现实必要性^[4]。

1.2 火电机组自动化控制系统的技术发展路径

作为核心技术架构，自动化控制系统助力火电智能化转型，依托智能传感、算法中枢跟执行机构的协同运行，构建起覆盖机组全生命周期的动态调整体系^[5]，其功能架构着重聚焦三大核心要点：一是依靠实时监测锅炉温度、蒸汽压力等关键参数保障运行稳定性；二是借助智能算法实现燃烧效率与发电负荷的动态调整优化，如模型预测控制技术运用多变量耦

合建模同步增进能效与环保指标状况；三是构建自诊断与安全防护协同的智能保障格局。就技术发展的态势而言，国际先进国家已构建起包含运维管理、环保监测的数字化体系，而我国将技术引进与自主研发相结合，在超临界机组控制等范畴实现突破，就像华能集团智能系统把煤耗降低了超 5%，但跟国际方面的先进水平比，国内在自主算法的开发、多变量工况精确调控等方面依旧要持续突破，这让系统迭代升级面临着更高要求。

2 火电机组自动化控制系统的设计理念

2.1 系统架构设计

现代火电机组自动化控制系统的架构设计依照分层逐级递进的原则，设立起包含设备感知、过程调控及运营管理的三级技术架构，在基础感知的维度里，智能传感网络持续采集机组运转的实时工况数据；中间控制层凭借分散控制系统或者可编程控制设备，做到各工艺单元的自治式闭环优化；顶层的生产管理系统会把工业大数据平台与智能决策模块整合在一起，为远程运维与优化调度给予相应支撑，该层次化架构设计保证了底层控制的实时响应能力，又为上层系统保有功能拓展的空间，拿某大型火电项目做例子，经由采用标准化数据通信协议，成功实现了跨系统彼此间的数据融合与协同控制，极大提升了机组整体运行效果。

2.2 关键技术与设备选择

在火电机组自动化控制系统构建这件事上，核心技术的选定与硬件配置对系统的整体效能起到决定性作用，就锅炉汽温调节这类具有突出非线性特征和时滞效应的控制对象而言，采用融合模糊逻辑的 PID 控制策略能有效改进调节精度，依托海量运行数据搭建的数字镜像技术，为机组全工况动态仿真及预防性维修提供了技术依托。就硬件配置层面而言，采

用测量精度达到 0.1%级别的压力传感装置和具备电磁兼容特质的工业通信设备，是让数据采集与传输可靠性得以保障的关键项，采用双机热备架构的容错控制装置能明显提升系统稳定性，国内某大型电厂运行数据说明，该设计方案能够把系统年可用率提升至 99.99%的行业先进水平。

2.3 安全性与稳定性设计

火电机组自动化控制系统的安全稳定运行离不开多层次防护体系的搭建，从安全保障角度，采用分级防护的手段，通过硬件备份机制、软件异常处理模块及网络隔离技术构成立体防护网，典型的应用场景有燃烧控制系统配置双路信号采集装置和独立供电线路，有效防范单一元件失效造成的系统宕机风险。鉴于系统稳定性要求，采用频域响应分析方法来评估控制策略的抗扰动能力，同时借助确定性任务调度机制保障核心控制指令优先开展，工程实际表明，创新性采用非线性优化算法可大幅提升负荷调节品质，某示范工程凭借先进控制算法的实施，顺利把机组出力波动的范围管控在额定值正负百分之一以内，达到国际前沿水平。

3 工程师在自动化控制系统中的角色

3.1 工程师的职业技能要求

现代火电机组自动化控制领域对工程师专业素养提出了既全面又严格的要求，从专业能力这个维度审视，工程师需搭建起融合热力学、自动控制原理、计算机应用技术以及工业现场总线通信标准的复合型知识框架，得精通监控与数据采集系统的组态开发操作，又要拥有工业大数据平台运维分析的本领，在职业素养这个层面，除专业技术能力这项能力外，协同工作的意识跟知识更新的能力同样重要性显著，这在应对诸如碳捕集与封存系统等新兴技术在工程上的应用时体现得特别明显，需要工程师迅速抓住工艺特征并及时改进控

制办法。

3.2 工程师在设计中的参与程度

在火电机组自动化控制系统的整个生命周期里，工程师始终担当核心主导角色，自项目起始阶段进行需求调研开始，工程师就得跟热力系统专家紧密配合，一起搭建精准的受控设备数学模型，进入详细设计阶段后，工程师面临着在成本控制与技术指标间的双重抉择，典型事例像在可编程逻辑控制器的选型过程中，对国产设备实施严密的电磁兼容性测试，以保证它能替代进口产品，达到工程要求，值得注意的是，伴随数字化技术的进步，部分走在前列的设计团队已开始采用虚拟调试手段，依靠构建高保真数字模型完成预调试，某工程实例显示，该技术可切实减少近三分之一的现场调试时间，显著增进工程实施的成效。

3.3 工程师在实施与维护中的作用

在火电机组自动化系统启动运行后的全生命周期管理阶段，工程师承担着十分关键的运维优化任务，依靠智能优化算法的持续采用，工程师可实现对控制系统参数的动态调整，典型情况是采用以生物进化原理为启发的参数寻优途径，使调节器特性一直与机组设备的老化进程相吻合。若设备出现了异常状况时，工程师可把机械振动特征图谱识别技术跟故障诊断专家系统综合使用，实现关键旋转部件以汽轮机支承结构为例的损伤快速定位，实践结果表明，由专业工程师团队组建的智能运维体系收效良好，某大型发电企业采用设备状态预判维护系统后，意外停机事件发生率近乎下降了四成，为电厂安全经济运行筑牢了坚实的保障防线。

4 自动化控制系统的应用效果分析

4.1 经济效益分析

处于火电机组运行管理领域里，自动化控制系统的经济价值已充分得到证实，采用先进的燃烧控制技术，系统可精准达成燃煤效率的

优化，典型机组能实现煤耗降低 3% - 8%，就常见六百兆瓦发电机组来举例，该系统每年可省下上万吨规模的标准煤消耗量，直接造就数千万元人民币的燃料费用节约效益。从设备维护的角度看，借助状态监测的智能维护策略明显降低了突发故障发生的比率，按照行业案例的数据显示，运用这项技术后，企业年度维护开支平均削减了差不多四分之一，机组运行的可靠性指标稳定停留在 95%以上的高水平，即便系统建设阶段需要投入分散控制系统这类关键设备，初期投资约计占项目总投资的百分之五到百分之十，但依据全生命周期成本展开分析，多数项目在三至五年的期限内可收回投资，反映出突出的长期经济回报特征。

4.2 环境影响评估

现代火电机组自动化控制系统在环保方面呈现出显著的技术长处，采用动态调节燃烧过程关键参数，系统有能力把氮氧化物排放浓度控制在每立方米 50 毫克以内，把硫化物排放浓度限制到每立方米 35 毫克以下，完全符合国家刚颁布的超低排放环保准则，以东部地区某个大型滨海发电厂运行数据为例证，开始应用智能脱硝控制技术后，每年该设施的氮氧化物减排量达两千吨以上，单位发电量对应的二氧化碳排放强度实现了百分之十二的下降。这类控制系统还具备与碳捕集封存设施的无缝对接能力，为传统火力发电向清洁低碳方向转型提供了可行的技术解决方案。不过需要指出的是，控制系统自身运行能耗问题以及设备报废后的电子垃圾处理难题，仍然是行业亟待突破的技术瓶颈，需要通过创新性的环保设计理念加以完善。

4.3 对运行效率的提升

在火电机组运行效率优化的工作里，自动化控制技术显现出显著的技术长处，采用先进的动态响应算法技术，较传统控制方式而言，机组调节性能提升三至五倍，基于预测模型的

协调控制系统能实现每分钟对额定功率按百分之三的负荷变化速率进行调节,可有效契合现代电网快速调峰的需求。用某超超临界机组的实际运行数据做例子,在采用自动化控制系统之后,主蒸汽温度控制精度由起初正负五摄氏度大幅提升至正负一摄氏度的区间内,机组的整体热效率由此提高了二点一个百分点,处于设备维护这个领域,因智能化故障诊断技术的应用,平均故障处理时间从起初的八小时减到了两小时,设备综合运行效率提升幅度超百分之十五,为电力生产系统的稳定可靠运行奠定了坚实技术基础。

5 未来发展趋势与挑战

火电行业正处于智能化升级的关键阶段,既面临重大发展机遇也需应对多重挑战。在技术革新方面,人工智能算法能够优化机组运行参数,数字孪生技术实现了设备全生命周期的数字化管理,5G 通信则为控制系统提供了更快的响应速度,国家电投的实践案例证明新技术可显著提升运行效率。然而在转型步骤的推进中,依然存在诸多技术难题,涉及到多源数据整合、特殊工况环境下算法适应性问题,老旧机组改造也碰到成本与兼容性等现实阻碍,为攻克这些瓶颈,得从三个方面去做:深入开展产学研合作实现技术自主创新,采用模

块化设计以简化改造流程,以及采用区块链保障数据安全,国际能源研究机构揣度,未来全球智能火电市场会呈现快速增长的走向,行业只有破除现存的技术与机制阻碍,才能在这一新兴领域夺得竞争优势。

结束语

火电机组自动化控制系统的深入应用,正引领行业向高效、清洁、智能化方向迈进,采用融合智能传感、先进算法与数字技术的方式构建的动态调控体系,不仅有效提升了机组运行效率跟环保水平,更达成了从传统人工操作迈向数字化管理的跨越,工程实践说明,优化后的自动化系统可一边降低煤耗、一边减少污染物排放,加大机组调峰能力与设备的可靠度,既有经济效益又有环境效益。随着人工智能、数字孪生等新技术渐渐渗透,火电行业智能化发展的潜力得到了进一步挖掘,但依旧要攻克多源数据融合、老旧机组兼容性等技术难题,且要加强产学研协同创新以及复合型人才培养,在政策的引导与技术的驱动下,火电机组要借助持续的迭代升级深度融入新型电力系统,为能源结构转型以及“双碳”目标达成提供有力支撑,最终实现保障能源安全和可持续发展两者间的平衡。

参考文献

- [1] 邱谦,邓敏慧,顾立群,等. “双碳”目标下火电机组发电煤成本分析及软件开发[J]. 上海电力大学学报,2025,41(01):43-49.
- [2] 王晓楠,张雷,李勇. 光伏发电接入火电机组厂用系统影响分析[J]. 设备管理与维修,2024,(21):26-29.
- [3] 王德深,刘新民,樊培利,等. 火电机组灵活性改造的技术运用与发展趋势探究[J]. 大众标准化,2024,(13):129-131.
- [4] 潘嘉琪. 面向新型电力系统的火电机组灵活性改造效果评价研究[D]. 华北电力大学(北京),2024.
- [5] 李勇,王礼,朱斌. 大型火电机组自动化控制系统改造[J]. 东北电力技术,2015,36(05):48-51.