

火电厂机组调试过程中的关键控制技术研究

戴进

中电建新能源集团股份有限公司

摘要: 火电厂机组调试关键控制技术研究聚焦大容量、高参数机组调试需求,结合能源结构转型与低碳发展要求,针对传统调试模式的短板,系统探究机组启动、热工控制、并网等关键阶段的控制技术。研究通过搭建数字孪生模型、运用工业大数据与智能化算法,优化动态协同控制、传感器校准、负荷调节等核心技术,解决控制精度不足、系统协同性欠缺、智能化水平偏低等问题,实现调试过程的精准化、高效化管控。该研究可缩短调试周期、降低设备损耗,保障机组稳定投运,完善火电调试技术体系,为火电行业低碳高效转型提供技术支撑。

关键词: 火电厂机组; 调试; 控制技术

DOI: 10.65976/3078-8145.2026.02.014

引言

火电厂机组调试是衔接设备安装与正式投运的核心环节,直接决定机组运行的稳定性、经济性与环保性。随着我国能源结构转型深化,大容量、高参数机组广泛应用,新能源并网对机组调峰调频能力提出更高要求,传统调试模式已难以适配现代化机组的复杂系统与低碳需求。当前高参数机组调试存在控制精度不足、系统协同性差、智能化水平低等问题,制约调试质量与效率,也为机组投运后埋下安全隐患。基于此,开展火电厂机组调试关键控制技术研究,旨在优化调试控制策略、完善技术体系,满足机组升级与行业转型需求,保障能源安全稳定供给。

1 研究背景和意义

1.1 研究背景

火电厂机组调试是火电机组从设备安装完毕到正式安全投运的核心过渡环节,直接衔接机组建设与生产运行的全流程。随着我国能源结构转型不断深化,火电厂作为基础能源供给枢纽,既要承担稳定供电的核心使命,也要适配新能源并网后的调峰调频需求,这就对机组运行的稳定性、经济性和环保性提出了更高标准。当前,大容量、高参数机组已成为火电厂发展的主流,超临界、超超临界机组广泛应用,机组系统的复杂性大幅提升,各设备、各系统间的耦合度显著增强,传统调试模式已难以满足现代化机组的调试要求。与此同时,能源低碳转型背景下,火电厂需严格落实节能减排政策,调试过程中不仅要保障机组各项参数达标,更要通过精准控制实现能耗与污染物排放的双重优化,因此,开展火电厂机组调试关键控制

技术研究,是顺应能源发展趋势、适配机组升级需求的必然选择。

1.2 研究意义

开展火电厂机组调试关键控制技术研究,对火电厂高质量发展、能源安全保障及行业技术升级具有多重核心价值。从火电厂自身发展来看,科学完善的调试关键控制技术能够有效规避调试过程中的各类安全隐患,减少调试过程中的设备损耗,缩短调试周期,降低调试成本,确保机组投运后能够长期稳定、高效运行,提升火电厂的生产效益与市场竞争力。从能源安全层面来讲,火电机组的稳定投运是保障电力系统供电可靠性的关键,调试过程中的精准控制能够有效避免因调试不当导致的机组故障,减少电力供应中断风险,为社会生产生活提供稳定的电力支撑。从行业发展角度而言,该研究能够填补当前高参数机组调试控制技术的短板,完善火电厂机组调试的技术体系,推动调试技术向智能化、精准化方向升级,同时为后续新型火电机组的调试提供技术参考,助力整个火电行业实现低碳化、高效化转型。

1.3 当前存在的问题

当前火电厂机组调试关键控制技术应用仍存在诸多亟待解决的短板,制约了调试质量与效率的提升。其一,控制精度不足是突出问题,部分调试控制技术未能充分适配高参数机组的运行特性,对机组启停、负荷调整过程中的参数波动把控不够精准,易导致机组运行参数偏离设计标准,影响调试效果。其二,控制协同性欠缺,机组调试涉及锅炉、汽轮机、发电机等多个系统,各系统的控制逻辑缺乏有效协同,存在

作者简介:戴进(1981—),男,本科,建设管理部主任,研究方向为电厂调试控制。

控制指令冲突、响应滞后等问题,难以实现整个机组系统的统筹调控。其三,智能化水平偏低,现有调试控制多依赖人工操作与经验判断,缺乏智能化监测、分析与调控手段,难以快速识别调试过程中的潜在隐患,且调试效率较低,无法满足现代化机组高效调试的需求。这些问题不仅影响机组调试质量,更可能为机组投运后的安全稳定运行埋下隐患,亟须通过技术研究加以解决。

2 火电厂机组调试过程中的关键控制技术

2.1 机组启动阶段的动态协同控制技术

2.1.1 基于模型预测控制(MPC)的启动参数精准调控

技术人员需先依托机组数字孪生模型,搭建涵盖锅炉、汽轮机、发电机的多变量预测模型,结合启动阶段的动态特性,将主蒸汽压力、温度、机组转速等核心参数纳入控制变量体系。在启动初期,技术人员要通过工业互联网平台实时采集锅炉给水流量、燃料供给量、空气过量系数等基础数据,利用机器学习算法对数据进行降噪处理,排除外界干扰因素对参数检测的影响。随后,依据模型预测控制理论,设定启动过程中各阶段的参数阈值,通过动态寻优算法实时调整燃料供给速率与给水调节阀开度,确保主蒸汽温度以每分钟2-3℃的速率平稳上升,避免出现温度骤升骤降导致的锅炉受热面热应力超标问题。同时,需同步监测汽轮机转子温度与胀差变化,将预测模型输出的调控指令与现场实际参数进行对比分析,通过PID参数自整定技术动态优化调控策略,保障机组启动过程中各系统参数的协同匹配,为机组顺利启动奠定基础。整个调控过程中,技术人员要全程跟踪参数变化曲线,及时修正模型预测偏差,确保启动参数始终处于最优控制范围内,有效缩短启动时间,降低启动能耗。

2.1.2 启动过程中多系统联动协调控制

在机组启动调试阶段,技术人员需打破各系统独立调试的传统模式,构建锅炉、汽轮机、循环水、凝结水等多系统联动控制体系,依托分布式控制系统(DCS)实现各系统的实时数据交互与指令协同。首先,要完成各系统的单独调试校准,确保锅炉燃烧系统、汽轮机调速系统、给水处理系统等单个系统运行稳定,各项性能指标达到设计要求。在此基础上,通过DCS系统搭建联动控制逻辑,将锅炉燃烧调整与汽轮机转速控制相关联,当汽轮机转速上升至3000r/min时,自动触发锅炉负荷提升指令,同步调整燃料供给量与送引风量,实现负荷与转速的协同匹配。同时,

重点关注凝结水系统与除氧系统的联动运行,通过调节凝结水泵转速与除氧器压力,确保除氧效果达标,避免因给水含氧量过高腐蚀机组设备。此外,技术人员还需利用边缘计算技术,对多系统联动过程中的数据进行实时分析,及时发现系统间的协同偏差,通过动态调整控制参数,解决启动过程中可能出现的系统脱节问题,确保机组启动过程平稳、高效,最大限度降低启动过程中的设备损耗。

2.2 热工控制系统调试的精准校准技术

2.2.1 基于工业大数据的传感器精准校准

在热工控制系统调试过程中,需以传感器精度为核心,借助工业大数据分析技术,完成对温度、压力、流量等各类传感器的全面校准与性能优化。在实践环节,技术人员要对所有传感器进行逐一排查,记录传感器的安装位置、型号规格及出厂校准参数,建立传感器全生命周期管理台账。随后,利用高精度校准设备,对传感器进行静态与动态校准,在不同工况下模拟传感器的实际运行环境,采集传感器的输出信号与标准信号进行对比,计算偏差值并建立偏差数据库。通过大数据分析算法,可挖掘传感器偏差与工况参数之间的关联规律,识别出易出现偏差的传感器及工况场景,针对性制定校准方案。对于关键部位的传感器,需采用在线校准技术,在不影响机组调试进度的前提下,实时监测传感器的运行状态,通过自适应校准算法动态修正偏差,确保传感器输出数据的准确性。同时,技术人员还要对传感器的信号传输线路进行检测,排查线路干扰、接触不良等问题,保障信号传输的稳定性,为热工控制系统的精准调控提供可靠的数据支撑。

2.2.2 热工控制逻辑的优化与验证

热工控制逻辑的合理性直接决定机组调试质量与运行稳定性,技术人员需结合机组设计参数与运行需求,运用先进控制理论对热工控制逻辑进行优化与全面验证。首先,要梳理现有热工控制逻辑,结合模型预测控制、模糊控制等前沿理论,优化控制逻辑结构的参数,重点完善锅炉燃烧控制、汽包水位控制、汽轮机调速控制等核心逻辑模块。在燃烧控制逻辑优化中,技术人员引入烟气氧量闭环控制逻辑,通过实时监测烟气氧量变化,动态调整送引风量与燃料配比,实现燃烧效率的最大化;在汽包水位控制中,采用三冲量控制逻辑,结合汽包水位、给水流量、蒸汽流量的实时数据,优化水位调节速度与精度,避免出现虚假水位导致的控制失稳。优化完成后,技术人员需通过仿真测试与现场调试相结合的方式,对控制逻辑进

行验证：先利用机组仿真系统模拟不同工况下的运行状态，检测控制逻辑的响应速度与调控效果；再在现场调试中，逐步投入优化后的控制逻辑，实时监测各参数的控制精度，针对出现的逻辑漏洞及时修正。技术人员还要记录调试过程中的各类数据，通过对比分析优化前后的控制效果，进一步完善控制逻辑，确保热工控制系统能够适应机组不同工况的运行需求，提升机组运行的经济性与稳定性。

2.3 机组并网阶段的稳定性控制技术

2.3.1 并网前的参数匹配与同步控制

机组并网调试是保障机组安全接入电网、实现稳定运行的关键环节，技术人员需重点做好并网前的参数匹配与同步控制工作，依托同步相量测量技术（PMU）实现机组与电网的精准同步。技术人员要对机组的输出电压、频率、相位等核心参数进行精准调节，将机组转速稳定在 3000r/min，确保机组输出频率与电网频率偏差控制在 $\pm 0.2\text{Hz}$ 以内，电压偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内。在此过程中，需通过汽轮机调速系统实时调整转速，利用励磁系统优化机组输出电压，同时借助 PMU 设备实时采集机组与电网的同步参数，通过相位差补偿算法，精准控制机组输出相位与电网相位的差值，确保差值控制在允许范围内。技术人员要对并网开关的状态进行全面检查，确认开关动作灵活、信号传输正常，同时制定完善的并网操作流程，明确各操作步骤的先后顺序与操作规范。在同步控制过程中，技术人员需全程监控参数变化，一旦出现参数偏差超标，立即触发应急调控指令，调整机组运行状态，避免因参数不匹配导致并网失败或设备损坏。此外，技术人员还要对并网前的保护装置进行调试，确保保护装置能够及时响应异常情况，为并网过程提供安全保障。

2.3.2 并网后机组负荷的动态调节与稳定控制

机组成功并网后，技术人员需聚焦负荷动态调节与运行稳定性控制，结合电网调度需求，运用先进的负荷控制技术，实现机组负荷的精准调控与稳定运行。期间，技术人员要根据电网调度指令，制定负荷调节方案，采用协调控制策略，将机组负荷分解至锅炉与汽轮机系统，明确各系统的负荷调节目标与速率。在

负荷提升阶段，技术人员需逐步增加燃料供给量，同步调整送引风量与给水流量，确保锅炉蒸发量与汽轮机负荷需求相匹配，同时通过励磁系统调整机组输出电压，维持电网电压稳定；在负荷下降阶段，技术人员需有序减少燃料供给，避免锅炉压力骤降，同时优化汽轮机调速阀门开度，确保机组转速稳定在额定范围。技术人员需利用大数据分析与人工智能技术，实时监测机组运行参数与电网运行状态，预测负荷变化趋势，提前调整控制策略，实现负荷的预判性调节。针对并网后可能出现的电网频率波动、电压波动等问题，需搭建负荷抗干扰控制体系，通过动态调整 PID 控制参数，提升机组对电网扰动的适应能力，确保机组负荷稳定。同时，技术人员还要定期对机组并网后的运行数据进行分析，排查潜在的运行隐患，优化负荷调节策略，保障机组长期稳定并网运行，提升机组的供电可靠性与经济性。

3 结束语

总体来说，火电厂机组调试关键控制技术的优化与应用，有效破解了当前高参数机组调试中的核心痛点，实现了调试过程从传统经验驱动向精准技术驱动的转变。通过各关键阶段的技术创新与协同管控，不仅提升了机组调试的精度与效率，缩短调试周期、降低能耗与设备损耗，更完善了火电调试技术体系，推动调试技术向智能化、精准化方向升级。该研究的实践成果，不仅为现有高参数机组调试提供了可行方案，更为后续新型火电机组调试提供了技术参考，助力火电行业在低碳转型背景下实现高质量发展，为能源安全保障奠定更坚实的技术基础。

参考文献：

- [1] 陈云飞. 浅谈火电厂仿真机开发调试与培训应用 [J]. 中国设备工程, 2025, (17): 160-162.
- [2] 李佳, 王忠言, 李茹艳, 等. 海外火电工程热工调试问题及分析 [J]. 吉林电力, 2020, 48(04): 54-56.
- [3] 孟永杰, 刘明勇, 蒋晓峰, 等. 燃煤机组热媒水系统运行优化 [J]. 能源与节能, 2018, (02): 92-94+133.
- [4] 邱勇军, 黄轶康, 李国奇. 燃煤电厂大型机组湿式电除尘器系统启动调试实践 [J]. 科技视界, 2017, (27): 128-129.