

# 火电厂机组集控运行技术管理

徐达志

国能民权热电有限公司 河南 商丘 476800

**摘要:** 火电厂机组集控运行技术管理通过整合DCS、SIS等系统,构建“硬件-软件-通信”一体化控制平台,实现机组全流程实时监控与智能决策。其核心涵盖全生命周期管理、风险管理及数字化运维,解决传统母管制效率低、人为干预多等问题。通过数据融合、故障预警及负荷优化算法,提升发电效率并降低排放,同时依托标准化流程与多层次防护体系,保障系统安全稳定运行,推动火电厂向高效、低碳方向转型。

**关键词:** 火电厂; 机组集控运行技术; 管理策略

引言: 在能源转型与“双碳”目标驱动下,火电厂正从传统母管制运行向智能化、集约化方向加速演进。机组集控运行技术作为核心支撑,通过整合分散控制系统(DCS)、能量管理系统(EMS)及工业互联网平台,实现了生产流程的实时监控与协同优化。然而,实际应用中仍面临异构系统兼容性差、算法可靠性不足、跨部门协作低效等挑战。本文系统探讨集控运行技术管理的理论框架、体系构建及实施策略,为提升火电厂运行效能与绿色低碳水平提供参考。

## 1 火电厂集控运行技术管理的理论基础

### 1.1 火电厂集控运行技术发展现状

(1) 集控系统定义与核心功能: 火电厂集控系统是整合机组生产全流程的一体化控制平台,核心功能包括集中监控(实时采集锅炉、汽轮机等关键设备运行参数,实现远程集中操作,减少现场值守)、数据融合(整合DCS、SIS等系统多源异构数据,通过清洗与标准化处理,形成统一数据资产)、智能决策(基于数据挖掘给出负荷调整、故障预警建议,提升运行稳定性与效率)。(2) 国内外火电厂集控技术应用对比: 国内以DCS系统为主导,侧重机组单体控制,在参数调节精度与设备兼容性上成熟,但跨厂协同能力弱; 国外依托工业互联网平台(如GEPredix、西门子MindSphere),实现多电厂数据互联与全局优化,可动态匹配电网需求与碳排放目标,但在国内复杂工况适配性上需改进。

### 1.2 火电厂集控运行技术管理相关理论

(1) 全生命周期管理理论: 覆盖集控系统从设计(结合电厂装机容量、环保要求规划系统架构)、安装(严格把控设备安装精度与线路布局规范性)、调试(模拟满负荷、变负荷等场景验证系统功能)到运维(定期检修与故障应急处理)的全阶段,确保系统长期高效运行。(2) 风险管理理论: FMEA失效模式分析通过梳理集控系统关键

部件(如传感器、控制器)的潜在故障模式,评估故障影响程度并制定预防措施; HAZOP风险评估围绕系统运行流程,识别参数偏离、操作失误等风险点,降低安全事故发生概率。(3) 数字化运维理论: 借助预测性维护技术(基于设备运行数据与劣化模型,提前预测故障发生时间)、状态监测技术(实时跟踪系统电压、电流、温度等关键指标),减少非计划停机时间,降低运维成本。

### 1.3 火电厂集控运行技术管理研究空白与突破方向

(1) 现有研究多聚焦单一技术优化(如DCS参数调整、算法改进),缺乏涵盖“技术应用-流程管理-人员协同”的系统化管理框架,难以支撑集控系统整体效能提升。(2) 集控运行与能源管理(如机组能耗动态优化)、碳排放(如实时测算碳排放并联动调整运行策略)的联动研究不足,无法满足火电厂“双碳”目标下的绿色运行需求,亟待构建协同管理机制。

## 2 火电厂机组集控运行技术体系构建

### 2.1 集控系统架构设计

(1) 硬件层: 传感器网络覆盖锅炉、汽轮机、发电机等关键设备,实时采集温度、压力、转速等运行参数,精度达 $\pm 0.1\%$ ; PLC控制器采用冗余配置,响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ,保障控制指令快速执行; 服务器集群采用双机热备架构,存储容量不低于100TB,满足3-5年运行数据存储需求,同时支持弹性扩展。(2) 软件层: DCS/ECS系统实现机组启停、负荷调节等核心控制功能,控制周期 $\leq 200\text{ms}$ ; SCADA监控平台提供可视化操作界面,可实时展示1000+设备运行状态,支持历史数据回溯与趋势分析; 大数据分析模块集成机器学习算法,能对10万级/秒数据进行挖掘,为优化决策提供支撑。(3) 通信层: 工业以太网采用环网拓扑结构,带宽 $\geq 1000\text{Mbps}$ ,丢包率 $< 0.001\%$ ; 5G专网用于偏远区域设备数据传输,时延 $\leq 20\text{ms}$ ,满足移动巡检数据实时回传需求; OPCUA协议实现跨厂商设

备数据交互,兼容主流工业设备通信标准,数据传输安全性符合GB/T30279要求<sup>[1]</sup>。

## 2.2 核心技术模块

(1) 数据采集与预处理:通过多源异构数据融合技术,整合传感器、DCS、第三方系统数据,采用异常值剔除、数据归一化、时序补全算法,将数据完整性提升至99.9%,为后续分析提供高质量数据基础。(2) 智能监控与预警:基于LSTM、随机森林等机器学习算法构建故障诊断模型,对轴承磨损、阀门卡涩等20+类常见故障识别准确率 $\geq 95\%$ ,提前1-3小时发出预警,预警响应时间 $\leq 10s$ ,助力运维人员及时处置。(3) 优化调度与控制:负荷分配模块结合电网需求与机组效率曲线,实现多机组负荷动态分配,降低厂用电率0.3%-0.5%;燃烧优化模块通过调整配风比、煤量,使锅炉效率提升0.2%-0.4%,减少污染物排放。

## 2.3 技术集成难点与解决方案

(1) 异构系统兼容性:开发协议转换网关,支持Modbus、Profinet等10+种工业协议转换;研发中间件软件,建立统一数据交互接口,解决DCS、SIS、MIS系统数据孤岛问题,实现数据互通率100%。(2) 实时性要求:在厂区部署边缘计算节点,将数据处理时延从云端的500ms降至50ms以内;优化数据传输链路,采用优先级调度机制,确保控制指令、预警信息优先传输,满足实时控制需求。(3) 安全性保障:按照等保2.0三级标准构建防护体系,部署防火墙、入侵检测系统;对采集数据、控制指令采用AES-256加密算法,建立数据访问权限管理制度,防止数据泄露与恶意攻击,保障系统安全稳定运行。

## 3 火电厂机组集控运行技术管理策略

### 3.1 标准化管理流程

(1) 操作规程制定:针对机组启动/停机,明确“暖管-冲转-并网”“降负荷-解列-停机”各环节操作步骤及时限,如锅炉升温速率不超过 $2^{\circ}C/min$ ;参数调整规程细化汽压、汽温、水位等关键指标控制范围,偏差 $\pm 5\%$ 时触发预警;应急处置规程覆盖电网波动、设备跳闸等12类突发场景,明确故障响应流程与责任分工,确保3分钟内启动处置方案。(2) 人员资质管理:建立集控室值班员“培训-考核-认证”体系,培训内容涵盖DCS系统操作、故障判断、应急处置等,累计培训时长不低于200学时;考核采用理论笔试(占比40%)与实操模拟(占比60%)结合方式,合格线设为80分;认证实行每2年复审制,复审未通过者暂停上岗,需重新培训考核<sup>[2]</sup>。(3) 设备巡检与维护制度:制定设备点检表,明确传感器、PLC控制器等关键部件每日巡检项目(如传感器数据

偏差、控制器指示灯状态);预防性维护计划按设备类型分类,如服务器每季度除尘、传感器每半年校准,同时建立维护台账,记录维护时间、内容及责任人,确保维护覆盖率100%。

### 3.2 风险管理机制

(1) 风险识别:建立动态风险清单,设备故障重点关注汽轮机轴承磨损、锅炉水位计失灵等高频问题;人为误操作聚焦参数误调、指令误发等场景;网络攻击重点排查工业以太网入侵、数据篡改等风险,每月更新风险清单。(2) 风险评估:采用LEC法量化风险等级,事故可能性(L)分5级(如“频繁发生”为5分、“极少发生”为1分),暴露频率(E)分6级(如“连续暴露”为6分、“每年1次”为1分),后果严重性(C)分5级(如“机组停运”为5分、“轻微影响”为1分),计算风险值( $D=L \times E \times C$ ), $D \geq 70$ 为重大风险,需优先管控。(3) 风险控制:设备层面采用冗余设计,如关键PLC控制器双机热备、电源双回路供电;人员层面实行权限分级,集控值班员仅拥有操作权限,管理员拥有配置权限,防止越权操作;每月开展应急演练,模拟设备故障、网络攻击等场景,提升人员处置能力,演练合格率需达100%<sup>[3]</sup>。

### 3.3 数据驱动决策支持

(1) 性能指标分析:实时采集热效率、供电煤耗、排放浓度等核心指标,热效率低于设计值90%、供电煤耗超 $300g/kWh$ 、排放浓度超国家标准时,自动生成分析报告,定位问题根源(如燃烧不充分、设备老化)。(2) 趋势预测模型:基于历史运行数据构建负荷预测模型,采用ARIMA算法预测未来24小时电网负荷,准确率 $\geq 92\%$ ;设备劣化预测模型结合振动、温度等数据,预测轴承、阀门等部件剩余寿命,提前1-2个月发出更换预警。(3) 优化决策工具:将遗传算法应用于负荷分配,在满足电网需求前提下,实现多机组能耗最优,降低总煤耗1%-2%;强化学习算法用于燃烧优化,通过实时调整配风、煤量,使锅炉热效率提升0.3%-0.5%,同时减少 $NO_x$ 排放5%-8%,为运行决策提供科学依据。

## 4 火电厂机组集控运行的挑战与对策

### 4.1 技术层面挑战

(1) 老旧机组改造难度大:部分运行超15年的老旧机组,其原有设备接口与新型集控系统不兼容,如早期继电器控制设备无法直接接入PLC控制器,需额外加装转换模块;同时,厂区原有网络布线多为传统电缆,无法满足5G专网、工业以太网的带宽与抗干扰要求,重新布线需拆除原有管道、墙体,改造周期长达2-3个月,

且易影响机组正常运行,改造成本较新建机组高15%~20%。(2)算法可靠性不足:当前集控系统智能算法存在明显短板,模型训练时若依赖有限的故障数据,易出现过拟合问题,如轴承故障诊断模型在训练集准确率达98%,但实际应用中因工况差异准确率降至80%以下;此外,部分优化算法(如复杂的强化学习模型)需大量算力支撑,在机组负荷波动频繁场景下,计算时延超500ms,无法满足实时控制需求,导致优化指令滞后。

#### 4.2 管理层面挑战

(1)跨部门协作障碍:集控运行涉及生产、维护、信息多部门,生产部门关注机组负荷达标,维护部门侧重设备检修效率,信息部门负责系统稳定,三者目标差异易引发衔接问题。例如,生产部门提出的负荷紧急调整需求,需信息部门同步优化算法参数、维护部门提前排查设备状态,但因缺乏统一协作机制,响应时间常超4小时,影响机组运行效率。(2)人员技能转型压力:传统运行人员擅长现场操作与参数监控,但缺乏数据分析、算法应用能力,难以胜任集控系统故障诊断、优化决策工作。据调研,某电厂60%以上的运行人员仅掌握基础计算机操作,无法独立解读大数据分析报告,且对机器学习、工业互联网等新技术接受度较低,技能转型培训周期需6~12个月,短期内人才缺口显著。

#### 4.3 对策建议

(1)推动集控系统标准化建设:由电力行业协会牵头,制定老旧机组改造技术规范,明确设备接口、网络布线、数据格式的统一标准,如规定老旧设备转换模块的兼容性参数、工业以太网的最低带宽要求;同时发布集控系统算法可靠性评价指标,包括模型泛化能力测试标准、实时性时延阈值,引导企业按标准开展改造与算法优化,降低技术适配成本。(2)构建“技术+管理”复合型人才培养体系:联合高校、培训机构开设集控运行专项课程,课程设置涵盖DCS系统操作、数据分析工具

(Python、SQL)、机器学习基础等内容,理论学习与电厂实操占比按4:6分配;推行“师徒带教+轮岗实训”模式,安排传统运行人员到信息部门、维护部门轮岗3~6个月,提升跨部门协作能力,同时建立技能认证体系,将数据分析能力纳入岗位考核,激发人员转型动力<sup>[4]</sup>。(3)加强政企合作:政府设立集控改造示范项目补贴,对符合标准的老旧机组改造项目给予10%~15%的资金补贴,降低企业改造压力;推动电力企业、高校、科研机构组建技术攻关联合体,针对算法可靠性、设备兼容性等难题开展联合研发,如某省已组建“火电厂智能集控技术联盟”,一年内攻克3项关键技术,推动算法实时性时延降至200ms以内,成果在5家电厂推广应用。

#### 结束语

火电厂机组集控运行技术管理是推动电力行业智能化、绿色化转型的关键抓手。通过构建全生命周期管理体系、强化数据驱动决策能力、完善风险防控机制,不仅显著提升了机组运行效率与安全性,更有效支撑了节能减排目标的实现。面对老旧机组改造、算法优化及跨部门协作等挑战,需持续深化技术创新、强化复合型人才培养、完善政企协同机制,以推动集控运行技术向更高水平的标准化、智能化迈进,为能源清洁低碳转型注入持久动力。

#### 参考文献

- [1]程晓东.火电厂集控运行及机组协调控制策略研究[J].应用能源技术,2022,(05):51-53.
- [2]刘建东.火电厂集控运行技术分析 with 优化研究[J].中国设备工程,2022,(12):119-120.
- [3]胡正.火电厂机组集控运行技术管理[J].技术与市场,2021,(11):112-113.
- [4]刘昊阳,孙贺,乔建平.火电厂中的单元机组集控运行的探讨[J].中国新通信,2020,(12):138-139.