

火力发电厂集控系统的可靠性与安全性分析

孙贵楠 王圣凯 陈旭峰 亓继伟
华能平凉发电有限责任公司 甘肃 平凉 744000

摘要：火力发电厂集控系统作为电厂生产运行的核心控制中枢，其可靠性与安全性直接关系到机组的稳定运行和电力供应的连续性。本文围绕火力发电厂集控系统，首先概述了其构成、工作原理及重要作用，随后从硬件、软件、环境和人为四个维度，深入分析了影响系统可靠性与安全性的关键因素，包括设备老化、软件漏洞、环境干扰、操作失误等。在此基础上，针对性地提出了提升策略，如硬件维护更新、软件漏洞修复、环境优化及人员培训管理等。研究旨在为增强火力发电厂集控系统的稳定性、降低运行风险提供理论参考和实践指导，以保障电厂的安全经济运行。

关键词：火力发电厂；集控系统；可靠性；安全性

引言：火力发电作为我国能源供应的重要组成部分，其稳定运行对国民经济发展和社会用电安全具有关键意义。集控系统作为火力发电厂实现集中监控、协调控制的核心平台，整合了锅炉、汽轮机、发电机等关键设备的运行数据与控制功能，是保障机组高效、安全运行的“神经中枢”。随着电力行业智能化、自动化水平的提升，集控系统的结构日益复杂，其可靠性与安全性面临的挑战也愈发突出。系统故障不仅可能导致机组停机、电力供应中断，甚至可能引发安全事故，造成重大经济损失。因此，深入分析影响集控系统可靠性与安全性的因素，探索科学有效的提升策略，已成为火力发电厂运维管理中的重要课题。

1 火力发电厂集控系统概述

1.1 集控系统的构成

集控系统由硬件与软件协同构成。硬件包含数据采集层（温度、压力等传感器及信号变送器）、控制层（PLC、DCS控制器）、执行层（电动阀门、调节挡板等）、监控层（操作员站、工程师站）及通信网络（光纤以太网、Profibus总线），另有UPS保障供电稳定。软件涵盖实时数据库、控制逻辑算法（如协调控制策略）、人机交互界面、报警管理系统及历史数据追溯模块。硬件是系统骨架，软件是控制核心，二者结合实现对发电全过程的集中管控。

1.2 集控系统的工作原理

系统以“感知-分析-控制”为核心流程。传感器实时采集锅炉燃烧、汽轮机转速、发电机负荷等参数，经变送器转换为标准信号传入控制器。控制器依据预设逻辑（如锅炉汽压与汽轮机功率的协调算法），对比设定值与实测值，计算调节量并驱动执行机构动作。同时，数据同步传输至操作员站，生成动态曲线与状态画面；当

参数超限，立即触发声光报警并启动联锁保护（如紧急停炉），形成从数据采集到闭环控制的完整链路，保障机组按工况稳定运行。

1.3 集控系统在火力发电中的重要作用

集控系统是电厂安全高效运行的“神经中枢”。其通过集中监控替代分散操作，减少人为失误，提升机组运行稳定性；实时诊断设备异常（如风机振动超标），提前预警故障以缩短检修停机时间；通过优化燃烧控制、汽机调门开度等，降低煤耗与厂用电率，提升经济性。在事故状态下（如汽轮机超速），能0.1秒内触发保护动作，避免设备损毁；同时为电网调峰提供快速响应能力，是保障电力供应连续性与可靠性的关键支撑^[1]。

2 影响集控系统可靠性与安全性的因素

2.1 硬件因素

2.1.1 设备老化与故障

长期运行后，硬件设备易出现老化问题。传感器因频繁启停产生机械磨损，测量精度下降甚至失灵；控制模块的电容、电阻等元件随使用时间增加性能衰减，导致逻辑运算延迟；执行机构的机械传动部件锈蚀、卡涩，动作响应迟缓。老化设备频发非致命性故障，逐渐降低系统稳定性，突发失效时可能引发机组控制中断，威胁运行安全。

2.1.2 硬件质量问题

部分硬件设备存在质量缺陷。低价采购的传感器温漂、时漂超标，数据偏差超出允许范围；劣质PLC模块抗干扰能力弱，易受环境影响误发指令；通信接口兼容性差，数据传输丢包或延迟。质量不达标部件会导致系统误判运行状态，引发不必要的保护动作，甚至因关键信号错误造成机组非计划停机。

2.1.3 电源故障

电源系统故障直接影响硬件运行。市电波动或中断时,UPS切换延迟会导致控制器瞬间掉电,造成程序中断或数据丢失;电源模块过载烧毁,使部分采集或执行设备失电停运;接地不良引发电源干扰,导致传感器信号失真、通信设备误码。

2.2 软件因素

2.2.1 软件漏洞与缺陷

软件设计过程中易存在漏洞与缺陷。控制逻辑算法可能存在逻辑死角,在特定工况下触发错误调节指令;数据处理模块偶发数据溢出或校验失效,导致采集数据失真;报警系统可能漏报或误报关键异常信号,延误故障处理时机。

2.2.2 软件升级与兼容性问题

软件升级过程中常出现兼容性问题。新版软件与原有硬件驱动不匹配,导致部分设备无法正常通信;升级后的数据格式与历史系统不兼容,造成历史数据丢失或调用错误;不同厂商软件模块整合时,接口协议冲突引发数据传输中断。

2.2.3 人为误操作导致的软件故障

人为误操作易引发软件故障。操作人员误修改关键参数设定值,导致系统偏离正常运行区间;误触逻辑组态界面的编辑按钮,造成控制程序意外篡改;未按规程执行软件重启或切换操作,引发系统进程死锁。

2.3 环境因素

2.3.1 温度、湿度等环境条件的影响

集控系统对环境温湿度敏感。温度过高会导致服务器、控制器等设备散热不良,芯片过热引发运算错误;湿度过高易使电路板受潮短路,过低则产生静电击穿元件。温湿度剧烈波动还会加剧设备材料热胀冷缩,导致接插件接触不良,造成信号传输中断,影响系统控制精度与稳定性。

2.3.2 电磁干扰

电厂强电磁环境易产生干扰。发电机、变压器等设备运行时释放强电磁场,会干扰传感器微弱信号,导致数据失真;高压电缆与控制电缆并行敷设时,电磁耦合引发误触发信号,使执行机构误动作;无线电波干扰通信网络,造成数据传输丢包或误码,破坏系统协同控制。

2.3.3 灰尘、腐蚀性气体等污染物的影响

灰尘与腐蚀性气体会侵蚀硬件。集控室若防尘不佳,灰尘附着在电路板表面,阻碍散热并引发绝缘下降;电厂烟气泄漏产生的硫化物、氮氧化物等腐蚀性气体,会腐蚀连接器金属触点,导致接触电阻增大;粉尘进入风扇等转动部件,还会造成设备卡涩或过热损坏。

2.4 人为因素

2.4.1 操作人员技能水平不足

操作人员技能不足易引发系统异常。部分人员对复杂控制逻辑理解不深,面对机组变工况时无法精准调控参数;对报警信息判断失误,延误故障处理时机;不熟悉紧急操作流程,突发状况下操作迟缓或步骤错误,导致系统偏离正常运行状态,甚至扩大故障影响范围。

2.4.2 安全意识淡薄

操作人员安全意识淡薄存在潜在风险。部分人员为图便捷跳过操作确认步骤,随意修改保护定值;巡检时忽视细节,对设备异常声响、异味等早期征兆视而不见;违规使用非专用设备接入控制网络,增加病毒入侵或数据泄露风险,威胁系统运行安全。

2.4.3 维护管理不到位

维护管理缺失影响系统稳定性。设备定期校验间隔过长,传感器精度超差未及时发现;备品备件管理混乱,关键部件故障时无法快速更换;维护记录不完整,难以追溯历史故障原因,导致同类问题反复出现,降低系统长期运行的可靠性^[2]。

3 提升集控系统可靠性与安全性的策略

3.1 硬件方面的改进措施

3.1.1 定期进行设备维护与更新

制定分级维护计划,对传感器、控制器等关键设备每季度开展精度校验与性能测试,记录参数衰减趋势;对运行超8年的PLC模块、通信接口等进行强制更换,优先替换频繁出现异常的老化部件;建立设备全生命周期档案,结合运行负荷与环境条件动态调整维护周期,及时淘汰濒临失效的硬件,避免因突发故障导致系统中断。

3.1.2 提高硬件设备采购质量

建立供应商资质审核机制,优先选择通过ISO9001认证且有电力行业应用案例的厂商;关键部件引入第三方检测,对传感器的测量误差、控制器的抗干扰能力等指标进行抽样验证;将设备平均无故障工作时间(MTBF)纳入采购合同条款,明确质量不达标时的退换货与索赔机制,从源头降低劣质硬件带来的风险。

3.1.3 优化电源系统设计

采用双路独立市电供电,配置冗余UPS系统并定期进行切换试验,确保断电时0毫秒无缝衔接;电源回路加装浪涌保护器与滤波装置,抑制电压尖峰与谐波干扰;对控制器、服务器等核心设备采用直流电源冗余设计,每个模块配备独立供电单元,避免单点电源故障引发连锁停机。

3.2 软件方面的改进措施

3.2.1 加强软件测试与漏洞修复

建立多层级软件测试体系,在开发阶段开展单元测试、集成测试,模拟极端工况验证逻辑漏洞;上线前进行全场景压力测试,重点检测数据处理模块在高负荷下的稳定性。引入专业漏洞扫描工具,定期对运行软件进行安全检测,针对发现的漏洞建立“发现-修复-验证”闭环机制。对关键控制算法,邀请第三方机构开展独立验证,确保逻辑严密性,从源头减少软件缺陷引发的运行风险。

3.2.2 合理进行软件升级与管理

制定软件升级专项方案,升级前全面评估新版软件与硬件、现有系统的兼容性,搭建仿真测试环境验证功能稳定性。采用“试点-推广”模式,先在非关键子系统试运行,监测无异常后再全系统部署。建立升级档案,详细记录版本号、升级内容及测试结果,同时备份旧版软件及配置参数,一旦出现兼容性问题可快速回滚,避免升级不当导致系统瘫痪。

3.2.3 建立软件操作规范与培训机制

编制标准化软件操作手册,明确参数修改、逻辑组态等关键操作的审批流程及操作步骤,严禁越权操作。定期组织操作人员开展软件技能培训,结合典型故障案例讲解误操作后果及规避方法,考核合格后方可上岗。开发操作模拟系统,供人员练习紧急操作及复杂工况调控,通过反复训练提升操作熟练度,减少人为失误引发的软件故障。

3.3 环境方面的改善措施

3.3.1 优化集控室环境条件

安装智能恒温恒湿空调系统,将集控室内温度严格控制在18-25℃,湿度维持在40%-60%,并配备温湿度实时监测装置,超标时自动报警。采用精密空调风道设计,确保设备散热均匀,避免局部温差过大。在集控室入口设置风淋室,减少人员带入的外界温湿度波动,同时对门窗进行密封处理,防止外界环境剧烈变化影响室内稳定,为硬件设备提供适宜的运行环境。

3.3.2 加强电磁屏蔽与干扰防护

对集控室墙体、天花板加装金属屏蔽层,形成法拉第笼结构,阻断外部电磁场侵入。控制电缆与动力电缆分开敷设,间距保持在0.5米以上,交叉处采用垂直穿越方式,并对控制电缆套金属波纹管屏蔽。通信线路选用光纤传输,减少电磁耦合干扰,同时在设备接口处安装信号隔离器与滤波器,抑制传导干扰,确保数据传输与控制指令的准确性。

3.3.3 做好防尘、防腐措施

集控室采用正压通风设计,新风经高效过滤器过滤后送入,防止外部灰尘进入。定期对设备表面、散热孔

进行真空吸尘清洁,每月用专用清洁剂擦拭电路板及连接器。在集控室周边设置气体监测点,实时监测硫化物、氮氧化物等腐蚀性气体浓度,超标时启动净化装置,同时对裸露金属部件进行防腐涂层处理,延缓设备腐蚀老化速度。

3.4 人为方面的管理措施

3.4.1 加强操作人员技能培训

构建分层级培训体系,新员工需接受集控系统基础知识、标准操作流程的全流程培训,经理论笔试与模拟操作考核合格方可上岗。在岗人员每季度参加进阶培训,内容涵盖复杂工况调控逻辑、系统新增功能原理及操作规范。引入虚拟现实培训系统,模拟各类运行场景供实操练习,提升应急处置能力。

3.4.2 强化安全意识教育

建立常态化安全教育机制,定期组织安全知识讲座、法规宣讲会,明确操作红线及违规后果。在集控室关键区域张贴操作禁令标识,设置操作权限分级体系,关键参数修改执行双人双岗复核制度。每月召开安全形势分析会,通报系统运行风险点及整改要求,鼓励员工主动上报安全隐患。将安全表现纳入个人绩效考核,对无违规记录的团队给予奖励,营造重视安全的工作氛围。

3.4.3 完善维护管理机制

制定覆盖全设备的标准化维护规程,明确各类设备的巡检周期、检查项目及判定标准,巡检数据需实时上传至管理系统,确保可追溯。建立设备全生命周期电子档案,整合运行参数、维护记录及故障信息,通过数据趋势分析预判设备状态,提前制定检修计划。实行维护责任分区制度,将设备完好率与维护团队绩效直接关联,设立专项奖励基金,对及时发现重大隐患的人员给予额外奖励,提升维护工作主动性^[3]。

结束语

火力发电厂集控系统的可靠性与安全性是保障电力稳定供应的核心环节,其运行状态受硬件、软件、环境及人为多因素交织影响。通过针对性的硬件优化、软件升级、环境改善及人员管理措施,可系统性降低故障风险,提升系统稳定性。

参考文献

- [1]陈忠江.火力发电厂发电机组的集控运行技术思考分析[J].科技风,2021(15):115.
- [2]罗盼盼,贺双健.火力发电厂发电机组的集控运行技术思考分析[J].科技风,2021(8):14.
- [3]曹彦军.试析火力发电厂发电机组集控运行技术[J].山东工业技术,2020(19):167.