

Analysis of hazard points in centralized control operation of thermal power plant

Zongfu Zhang

Liaoning Datang International Huludao Thermal Power Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125000, China

Abstract

Practical experience demonstrates that in centralized control environments for thermal power plants, the dynamic coupling risks borne by operational systems have become increasingly prominent. This exposes operators to multiple challenges including equipment status fluctuations, system interconnection responses, and control strategy implementation, where hazard points exhibit characteristics of multi-instance occurrences and compounded factors. To address this, it is essential to establish a hazard prevention mechanism through systematic control logic and field validation measures. This paper first elaborates on the core concepts of centralized control in thermal power plants, then analyzes three critical hazard points encountered during operations, and finally proposes preventive strategies based on operational field experience and system control logic optimization practices. The implementation of these preventive measures provides a practical technical pathway and operational reference for safety management in centralized control operations at thermal power plants.

Keywords

thermal power plant; centralized control operation; hazard point; prevention strategy; analysis

火电厂集控运行的危险点分析

张宗福

辽宁大唐国际葫芦岛热电有限责任公司, 中国·辽宁 葫芦岛 125000

摘要

结合实践来看, 火力发电厂集中控制运行环境下, 运行系统所承载的动态耦合风险日益凸显, 这就使得运行人员同时面对设备状态波动、系统联动响应及控制策略执行环节, 且危险点呈现多实例、多因素叠加特征。在这种情况下需要依托系统化控制逻辑和现场验证措施构建危险点防范机制。鉴于此, 下文通过结合相关文献资料研究以及自身工作实践情况下, 首先就火电厂集控内涵展开阐述, 随后剖析其运行过程中所面临的三项危险点展开研究, 最后结合运行现场经验与系统控制逻辑优化实践探讨出相应的预防策略。通过这些预防策略的实施为火电厂集控运行安全管理提供可行的技术路径和实践经验参考。

关键词

火电厂; 集控运行; 危险点; 预防策略; 分析

1 引言

结合实践来看, 火电厂集控运行作为先进的发电模式, 具有运行效率高、经济效益好、环境污染低等优点。然而, 火电厂的集控运行过程中存在着众多潜在的危险点, 危险点可能源于设备故障、自然条件变化等多种因素, 一旦发生事故, 不仅会导致设备损坏、生产中断, 还可能引发重大的安全事故, 对人员安全和环境造成严重影响。在这种情况下开展火电厂集控运行的危险点深入剖析并探讨出相关针对性的预防策略, 对于增强火电厂的安全生产水平、减少事故发生率以及保障企业经济效益具有重要意义。

2 火电厂集控概述

在典型火力发电厂(如600 MW、1000 MW级燃煤机组)中, 集中控制系统(简称“集控”)主要指控制室内通过分布式控制系统(DCS)、电厂监控与数据采集系统(SCADA)、运行调度系统等, 对锅炉给煤、汽轮机、发电机、厂用电及辅助系统等主/辅设备进行统一监视、控制与调度的运行模式。该模式取代了传统各系统分散、人工干预频繁的方式, 形成“主控制室→远程终端→现场执行装置”的运行结构^[1]。在, 随着超超临界机组、数字化运维平台、智能故障诊断系统的推广, 火电厂集控运行不仅承担机组运行状态监测、参数调整、负荷变动响应, 更涵盖远程诊断、预知维护、故障预警等功能。同时, 集控系统在电厂承担调节、安全保护、与电网协同、应急处置等职能, 其运行对象涉及锅炉—汽轮机—发电机的联动控制、煤粉系统、除尘脱硫系统、厂用电

【作者简介】张宗福(1989-), 男, 蒙古族, 中国辽宁葫芦岛人, 本科, 工程师, 研究方向为集控运行研究。

主变系统及辅助循环系统等。故而，对运行工程师而言，理解该体系的架构、运行逻辑、关联设备及控制界面，掌握其状态监测、报警处理、故障响应路径、信息反馈机制，乃保障设备稳定、安全、高效运行的基础。

3 火电厂集控运行的危险点分析

3.1 设备状态异常与控制系统失效

在火电厂集控运行中，主蒸汽系统、再热蒸汽系统、汽轮机调速系统、发电机励磁系统、煤粉输送与磨煤机系统等构成核心运行链条。若其中关键设备（如汽轮机轴承振动、主汽管道裂纹、再热器漏铜、发电机绕组异常）状态异常，控制系统将难以按预设逻辑响应，可能演化为运行偏差或跳停事故。设备异常常通过温度、振动、压力、油量等监测信号反映，但若监测系统失灵、数据未及时更新、报警等级设定不当、控制逻辑未修订，控制屏幕所显示状态可能滞后或误判。同时，DCS、SCADA 或 PLC 控制模块发生通讯失败、控制算法偏差、冗余切换失效，将使运行状态转化为危险场景，设备失控或误动作的风险显著提升。该危险点在一些老旧火电厂尤为突出，因设备老化、控制系统升级滞后、状态反馈延迟等因素加剧。监控系统若不能实时反映设备状态，运行人员在集控室操作时缺乏准确参考，容易导致误判与误操作。综上，设备状态异常与控制系统失效构成集控运行中的首要危险点。

3.2 系统集成缺陷与网络/通讯风险

当前火电厂集控系统已由单一 DCS 向“DCS + SCADA + 电厂生产信息系统(PMIS) + 远程运维诊断”演进。系统集成程度提高同时带来通讯接口复杂、网络架构多样、数据交互频繁、外部访问扩展等特点。若系统集成平台设计不当、网络冗余差、接口未加固、威胁识别薄弱，则可能出现通讯丢包、数据延迟、控制指令误发、远程连接弱口等现象。此外，厂内网络若与运维、管理 IT 系统共网且隔离管理不足，将增大网络攻击、权限滥用、恶意软件侵入的风险。当集控系统数据被篡改、指令被修改、状态反馈不可控时，即便设备正常，也可能因控制逻辑被破坏而产生运行危险^[2]。近年来在部分火电厂推动“网络安全等级保护”“工业控制系统防护”等工作，但仍有少量场站存在通讯切换不及时、冗余链路单一、网络负载超标的问题。由此可见，系统集成缺陷与网络/通讯风险构成集控运行中不可忽视的第三类危险点。

3.3 环境及扰动因素引发的运行偏差

在火电厂集中控制运行过程中，外部环境（如煤质波动、煤运系统堵料、灰库积灰、烟道高温、外部电网负荷剧变、冷却水温升高、寒冷天气、台风暴雨等）亦可引发异常运行状态。在北方地区尤为显著，低温启动、中午高负荷、冷却水水温、灰场自燃、煤场着火等情况会对集控系统造成额外压力。此外，当风暴、雷电、地震或网侧波动发生，现场控

制设备可能自动切换、保护动作频发、设备被迫跨越预设工况。若集控系统未及时识别环境扰动导致的运行偏差，如灰场自燃导致输煤系统异常负荷、冷却塔水温异常引起机组负荷限值、外部电网频率波动导致机组速控系统误动作，则运行人员可能误判或迟缓响应。部分火电厂在“寒冷启动”“检修后恢复”“灰库消灰”环节曾发生设备开机延误、保护跳闸、控制参数异常等案例。因此，环境及扰动因素所导致的运行偏差构成集控运行的第四项危险点。

4 火电厂集控运行危险点的预防策略

4.1 针对设备状态异常与控制系统失效的预防

在针对设备状态异常与控制系统失效的预防方面，应从以下四个方面细化专业策略。首先，应在主汽系统、再热系统、汽轮机、发电机、煤粉系统、磨机、除尘脱硫系统等关键设备节点布置温度、振动、压力、油量、水质、裂纹等传感器，实现对典型机组工况的覆盖。应制定传感器安装位置方案，例如汽轮机轴承振动监测装在主轴两端、汽缸出口温度监测装在每级汽缸排汽管、再热系统疏水温度监测装在再热器出口管路。所采集信号实时传输至 DCS/SCADA 平台，并在画面上设定区域预警阈值^[3]。其次，应构建设备健康状态评估模型，将机组运行历史数据、维修换件记录、故障停机日志、振动功率谱分析结果等存入数据库，开展算法计算，例如基于指数衰减模型估计剩余寿命、基于贝叶斯网络估计故障概率，同时生成设备健康等级标签，并由系统定期输出“黄灯→红灯”预警提示，提示维修介入或系统优化。第三，在控制系统方面，应设计处理模块冗余、热备用通道及快速切换机制。具体做法包括：主 DCS 控制器采用双机热备，其中主控机每日进行故障仿真切换演练验证切换逻辑、通讯链路响应时间、IO 映射状态同步，记录切换延迟和数据丢失情况；PLC 控制回路采用双通道输入、双通道输出，并设切换测试周期、日志记录、故障时钟同步监控。第四，应严格执行 DCS/PLC 软件及逻辑变更管理流程。变更申请须由运行、自动化、检修三方审批；变更仿真验证包括新逻辑在仿真平台的功能验证、失效模式测试、回退方案确认；变更上线后应设定监控锁定期、历史版本回滚机制、变更记录归档管理。第五，应建立维修闭环机制：监测指标达到预警阈值后自动触发“工单”生成，维修任务纳入维修管理系统，安排检修班组、执行修复并记录维修结果、复验效果，确认状态回归前复验项目包括传感器校准、测点数据趋势确认、现场巡检确认。运行工程师需熟悉监测界面、掌握预警逻辑、落实维修闭环，并每季度组织状态异常演练，将设备状态异常情景（如再热器疏水温度突升、汽轮机主轴振动跳变）与控制系统失效情景（如 DCS 主控机故障后切换失败）纳入演练范畴，核查操作响应流程、职责分工、通讯通道通畅性、备用系统切换时间，以确保设备异常率降低、控制系统失效响应机制可用。

4.2 针对系统集成缺陷与网络/通讯风险的预防

针对火电厂集控系统的集成缺陷与网络/通讯风险防控,应在网络结构、通讯监测、权限控制、安全测试与数据完整性五个方面形成系统预防体系。首先,建立分层防护架构,对DCS-SCADA-PMIS网络实施物理隔离与逻辑分区,运行与办公网络完全独立,关键链路采用主备双路结构(双网卡、双交换机、双光纤通道),并定期开展切换验证,防止单点故障或配置误操作引发控制失效。其次,构建通讯链路监测与预警机制,通过实时采集丢包率、时延、指令响应时长等指标进行动态分析,设置丢包>0.1%、延迟>100ms等阈值,当性能偏离时系统自动告警并联动切换备用路径,确保信号传输稳定。第三,实行分级权限控制,将运行、运维、管理人员权限按职能细化,所有逻辑变更与远程接入均采用多因素认证、操作留痕与变更审批,确保访问控制与责任追溯闭环。第四,针对工业控制系统(ICS)开展周期性渗透测试与漏洞扫描,对PLC、RTU、HMI等核心节点实施弱口令检测、协议攻击模拟和补丁验证,建立补丁评估、安装、回归测试全流程机制,防止安全策略滞后^[4]。第五,构建数据完整性与访问审计体系,对关键控制指令与监测数据执行签名校验与冗余比对,发现差异即触发报警并冻结执行;对VPN、远程维护通道和无线链路开展日志审计与来源追踪,定期生成安全评估报告并复核异常访问记录,从而实现集控系统运行数据链路的全过程可控与可溯。

4.3 针对环境及扰动因素引发的运行偏差的预防

为防范环境及扰动因素引发的运行偏差,应构建“扰动识别—预警—响应”闭环体系。第一,建立以煤质、水温、灰场状态、外部电网负荷波动、气象(低温、台风、高风暴)为参数的扰动识别模型,对煤场堆积温度、煤粉自燃、灰库积灰、冷却水进回水温差、输煤皮带温度实现在线监测,并在传感器中设定警戒阈值。第二,集控系统应与该扰动识别模块联动,一旦识别异常扰动,例如冷却水温超过设计值、低温启动延迟、灰库自燃征兆,应在控制界面中提示并启动

预设程序(如减负、旁机停、换煤场、启动备用冷却泵等)。第三,应对运行工况中可能出现的电网频率骤变、负荷突降/突增、远程调度命令突变等情形设定应急切换机制,集控室应配备“扰动响应清单”,运行工程师在接到系统提示或监测异常后,立即按照清单执行:切换旁机、调整控制参数、通知检修队伍、切换至保守模式。第四,环境监测数据应纳入运行日志与分析系统,定期进行扰动事件归因分析,并将结果转化为运行参数校正、设备检修或操作规程修订^[5]。第五,对火电厂集控系统中关键外部接口(如煤场、灰场、冷却水系统、气象监测)开展联合演练,运行、维修、安全、供应链部门共同参与,模拟低温启动、灰场自燃、输煤阻塞、电网突降等情境,通过实战演练提升响应协同能力。

5 结语

综上所述,随着火力发电行业数字化、智能化程度不断提升,集中控制运行模式在图像化监控、数据驱动运维、远程协同管理等方面将更加依赖系统稳定性与操作精准性。作为火电厂集控运行工程师,必须在设备状态监测、操作规程执行、网络安全管理、环境扰动响应等方面持续强化能力,以适应未来运行体系发展的要求,并为火电机组运行安全、经济、高效提供坚实保障。

参考文献

- [1] 蒋鑫.火电厂集控运行的危险点预控分析[J].中国仪器仪表, 2024(8):35-38.
- [2] 王银平.试析火电厂集控运行的危险点与预防措施[J].工程技术与管理, 2024(1).
- [3] 张新豪.火电厂集控运行的危险点预控研究[J].工程施工新技术, 2025, 4(3):208-210.DOI:10.37155/2811-0609-0403-70.
- [4] 周大威,刘赟,刘鹏,等.火电厂集控运行危险点预控[J].工程施工新技术, 2025(19).
- [5] 周国梁,王昱丹.发电厂单元机组集控运行危险点预控分析[J].中国设备工程, 2024(006):000.