

# 发电厂单元机组集控运行危险点预控分析

纪金廷

(大唐吉林发电有限公司珲春热电分公司, 吉林 延边 133300)

**摘要** 单元机组集控运行是发电厂现代化升级的重要方向, 有利于提升整体发电效率, 但其系统具备风险链式传导特性, 任意环节的隐患都可能快速扩散至全链条, 引发设备故障、生产瘫痪甚至安全事故。本文系统分析单元机组集控运行危险的形成机理, 明确设备损伤、参数失控、火灾爆炸等主要危险类型及危害后果, 构建“危险点普查—监测预警—健康诊断—状态预测”全链条预控体系, 提出针对性预控措施, 旨在对提升发电厂风险防控能力有所裨益, 进而保障机组安全稳定运行。

**关键词** 发电厂; 单元机组; 集控运行; 危险点预控

中图分类号: TM62

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.34.014

## 0 引言

随着社会用电需求的持续增长, 集控运行模式已成为发电厂提升运营效率、降低管理成本的关键路径, 通过一体化联动控制多台单元机组, 实现了发电流程的集约化管理。然而, 集控系统的高度耦合性使其呈现出显著的风险特征, 传统分散式防控手段难以应对复杂的链式风险传导, 导致运行故障频发, 严重威胁发电厂的安全生产与稳定供电。在此背景下, 如何精准识别单元机组集控运行中的危险点, 厘清风险演化规律, 构建科学高效的全链条预控体系, 已成为发电厂亟待解决的关键。

## 1 发电厂单元机组集控运行危险概述

### 1.1 形成机理

发电厂单元机组集控运行危险由多重因素引起, 并非单一因素决定, 核心因素包括设备、人员、环境和系统耦合, 任意方面形成纰漏, 都可能演变成故障问题, 并引发安全事故, 这也要求危险预控体系具备“多维度全域覆盖”特性, 完整涵盖全部影响因素。一是设备因素。即为硬件设备故障失效, 长期高强度运行过程中, 零部件出现老化磨损问题, 使用性能有所下滑, 如果不能及时更换全新部件和按时开展维护保养作业, 将频频出现各类故障问题。二是人员因素。错误操作行为而诱发危险事件, 如擅自修改机组运行参数、出现异常问题时盲目采取处置措施、接到报警信息后未能按时前往现场抢修设备<sup>[1]</sup>。三是环境因素。即为现场环境条件, 无法维持恒定环境条件, 空气湿度超标、环境温度过低和过高, 都会影响单元机组运行状态,

如高温环境下致使冷却系统效率降低。四是系统耦合因素。集控运行系统内单台机组、少数功能模块故障失效, 关联运行工况下, 对其他设备造成影响, 包含工况突变冲击、能量积聚失控。

### 1.2 危险类型

单元机组集控运行模式下, 危险类型众多, 各类危险事件的形成机理、影响范围和危害后果有着显著差别, 必须区分危险类型, 编制危险预控方案。通常情况下, 集控运行危险类型包括设备损伤、参数失控、火灾爆炸、机械伤害、电气安全和环境污染。一是设备损伤。因长期老化、工况剧烈波动, 或是设备本身存在设计制造缺陷, 运行期间出现故障问题, 核心功能部件严重受损, 常见危险事件包括锅炉水冷壁爆管、管道泄漏、阀门卡涩等。二是参数失控。因程序失控、错误下达控制指令和外部环境扰动而引起, 初期表现为单一参数超限或是多项参数异常波动, 如果未能及时采取处置措施, 危险快速传导至其他系统, 连锁触发多项问题, 如水位过低致使过热器温度超标, 最终出现爆管事故。三是火灾爆炸。在锅炉炉膛、电缆、氢气冷却发电机等核心设备出现严重故障问题, 诱发火灾爆炸事故, 危害程度最为严重。四是机械伤害。工作人员不慎卷入风机等转动设备, 或是因管道、部件脱落而砸伤地面人员, 集中出现在人工操控和设备维护环节。五是环境污染。集中在脱硫/脱硝系统和化学水处理系统, 故障持续期间, 系统功能暂时失效, 致使烟气排放超标和水体污染, 导致发电厂需承担相关违法责任。

## 2 发电厂单元机组集控运行危险预控措施

### 2.1 危险点普查

单元机组集控运行危险具备类型众多、机理复杂的鲜明特征,从危险防控角度来看,必须全面普查所有危险点位,在其基础上完整建立危险预控体系,才能彻底消除防控死角。从现实层面来看,组合采取设备清单拆解法、工况全场景分析法两项方法,分别作为基础普查手段和动态普查手段,要点如下:第一,设备清单拆解法。全面统计发电厂单元机组集控系统内的全部设备,包含主设备和辅助设备,并把单体设备拆解为若干功能部件,如把锅炉系统拆解成安全阀、过热器、燃烧器等基础部件。综合分析设计文件、运行规程和历史运行数据,统计所有功能部件可能出现的故障问题,总结故障规律,确定故障触发条件和危害程度,把普查结果整理成危险点基础数据库。第二,工况全场景分析法。普查目光聚焦至单元机组关键工况,包括机组启停工况、设备切换工况、停机检修工况、负荷调整工况和多种异常工况,逐一测试关键工况下的运行危险,补充静态普查清单内容<sup>[2]</sup>。以机组启停工况普查要点为例,重点观察各项参数快速变化期间是否出现异常问题,如冷态启动模式下,迅速升高汽温汽压,伴随出现设备热冲击问题,测试冲击强度。

此外,为强化危险预控效果,高效利用有限资源,还应在危险普查结果基础上,建立风险矩阵,以危险发生概率、严重程度作为核心指标,技术人员和管理人员进行评价打分,逐一计算全部危险点的风险系数,倾斜资源优先预控排序靠前的危险点。对于危害发生概率,分为“高一中一低”三级,分别表示危险问题频繁发生、偶尔发生和极少发生。对于危险严重程度,分为“重大危险—较大危险—一般危险”三级,重大危险以出现人员伤亡和主设备报废为评判标准,较大危险以机组停机、造成重大经济损失为评判标准,一般危险则以具备快速处置条件、损失程度轻微作为评判标准。

### 2.2 监测预警

发电机单元机组集控运行期间,在内外部因素影响下,多数危险事件具备突发性,任何设备、时间、场景都有可能突然爆发重大危险事件,危险隐患形成至事件爆发的间隔时间较短。传统人工巡查模式下,无法及时察觉危险隐患和采取处置措施,往往是被动等待危险事件发生,再采取补救措施。对此,需要建立在线监测机制,通过传感器实时监测单元机组运行状况和现场环境条件,总结故障机理,设定各项参数

的预警值,即为安全阈值,测量值超出预警值,表明集控系统形成危险点,提醒工作人员前往现场核实问题,采取处置措施。从实操角度来看,监测预警机制建设期间,重点关注传感器选型布置、频率设定、预警值设定、分级预警四项问题。第一,传感器选型布置。以关键部位全覆盖作为监测准则,划定监测范围,确定各项参数所适用传感器种类,监测内容包含热力系统参数、电气系统状态、转动设备状态、可燃/有毒介质和环境参数。以热力系统参数为例,包含水位、汽温和汽压,分别选用压差式水位计、热电偶传感器和压力变送器,以锅炉过热器出口、汽包和汽轮机进/排汽口作为安装位置。第二,频率设定。客观评估参数重要程度,依次分为核心安全参数、设备状态参数、环境参数、低风险静态参数,核心安全参数监测频率相对最高,低风险静态参数监测频率相对最低。以核心安全参数为例,包括汽包水位、氢气浓度、炉膛压力等参数,必须满足实时监测要求,采样频率保持在 10 Hz 以上<sup>[3]</sup>。第三,预警值设定。必须贴合实际情况来设定预警值,遵循《火力发电厂安全规程》,确定各类设备的耳钉参数范围,调取历史运行数据,把事故案例临界参数作为预警基准,再结合设备老化程度、健康状态、负荷比例等因素,对基准值进行修正处理。同时,建立动态调整基准,每季度重新设定各项参数的预警值。第四,分级预警。根据参数偏差程度,触发不同等级预警信号,分为 I-III 级。I 级为异常提醒,以参数偏差超过  $\pm 5\%$  作为判定标准,集控界面上弹窗提示问题。II 级为正常预警,以参数偏差  $\pm 10\%$ 、趋势持续恶化作为判定标准,提醒操作人员调整设备工况和迅速排查危险原因。III 级为紧急预警,参数接近乃至超出安全阈值,启动声光报警装置,自动执行处置预案,切除故障部分。

### 2.3 健康诊断

健康诊断即为面向单元机组和辅机设备的精准体检,常规监测数据无法完整评估设备质量状况和性能劣化程度,早期设定安全阈值未能适配设备健康程度,最终引发误报警问题,或是遗漏故障隐患。对此,需要着手建立健康诊断机制,每季度或是每年度全面诊断设备健康状态,以出力达标率、运行能耗、非计划停运次数、平均故障间隔时间作为核心指标。设备健康等级越高,可靠性越强,以常规维护保养作为危险预控手段。如果设备健康等级偏低,较高概率出现故障问题,需适当提高维护频率、补充保养内容、缩短零部件更换时间,着手制定面向常见故障的处置预案。

正常情况下,发电厂单元机组健康等级分为 I-IV 级别,采取百分制,以运行状态、机械结构状态、趋势劣化程度、性能参数指标作为评价维度。I 级为优良等级,健康分数超过 90 分,设备各项性能达标,无劣化趋势。II 级为良好等级,健康分数为 75~89 分,设备核心指标达标,极少数辅助指标接近预警值,后续重点监测异常指标。III 级为一般等级,健康分数为 60~74 分,设备核心指标接近预警值,伴随出现轻微缺陷病害,管理人员在 48 内分析异常原因,针对性制定并落实隐患整改方案,同步提高监测频率。IV 级为不合格,健康分数低于 60 分,设备核心指标超出预警值,必须降低负荷运行,24 h 内停机检修<sup>[4]</sup>。

#### 2.4 状态预测

受限于技术水平,早期发电厂项目以“在线监测+即时处置”作为危险预控方案,往往是在集控系统出现明显征兆后,才能识别故障隐患,消耗一定时间来制定、执行处置方案,时常因处置不及时而爆发故障问题,造成实质性损失。对此,需要建立状态预测机制,进一步前置危险预控时间,采取数据驱动和模型推演手段,提前分析未来可能形成的危险隐患,在隐患实质形成前,采取防治措施,确保单元机组运行过程不受影响。全面收集发电厂历史数据,包括运行数据和故障信息,逐一建立振动、温度等核心参数的变化趋势模型,历史数据提交给 AI 算法进行训练,逐步总结参数变化趋势和故障机理,根据训练成果来设定模型规则。再把实时监测数据提交给变化趋势模型,预测未来一定时间的参数变化情况,预测时间越短,预测精度越高。

### 3 发电厂单元机组集控运行危险预控性能测试方法

#### 3.1 量化数据验证

制定危险预控方案后,前期进行局部试点验证,利用量化数据来测试整体预控效果是否达到预期水准,分析异常原因,不断采取改进措施,直至完全达到目标效果后,再将方案推广至发电厂所有单元机组。以分模块测试作为准则,逐一开展危险点普查完整性测试、监测预警性能测试、健康诊断精度测试、状态预测精度测试在内的多项作业,汇总整理测试数据。后续以风险发生率、预警误报率、重大故障提前预警时长、应急处置时间、隐患闭环率、预控措施执行率作为核心指标,对照分析危险点预控方案执行前后情况<sup>[5]</sup>。从整体落实角度来看,以隐患闭环率达到 100%、整改质量达标率超过 95%、预控措施执行率超过 98% 作为合格标准。

#### 3.2 场景化验证

模拟真实危险场景,真实检验危险预控体系落地效果,验证项目包括设备劣化模拟验证、极端工况冲击验证,最终进行无脚本应急演练验证。以设备劣化模拟验证方法为例,依托仿真系统来模拟核心设备和辅助设备的渐进式劣化过程,如管道结垢堵塞、轴承磨损失效,无人工干预情况下,预控系统从监测数据内捕捉特征,识别劣化趋势,触发报警信号,以预警时间提前设备危险临界状态 72 h 作为合格标准,要求故障诊断结果和模拟劣化类型完全一致。

#### 3.3 长期趋势验证

长期跟踪观察单元机组集控运行危险预控效果是否稳定,跟踪时间在 12-24 个月,组合采取趋势曲线分析、机组对标验证两项方法。趋势曲线分析是着手绘制危险事件发生率等核心参数的年度趋势曲线,以指标波动幅度不超限、危险事件发生率趋近于 0 为合格标准。机组对标验证是挑选相同规格型号、健康状态、使用年限基本一致的单元机组,作为对照组,统计故障诊断准确率、事故损失在内的多项核心预控指标,要求整体预控效果达到行业先进水平,核心预控指标位于行业前 20%。

### 4 结束语

单元机组集控运行作为发电厂项目转型升级的核心路径,其高效性与智能化水平直接影响电厂安全与经济性。然而,受设备老化、人为操作偏差及系统复杂性提升等多重因素叠加影响,当前集控运行环节已成为危险事件高发领域。发电厂管理人员应及早树立风险防控意识,主动诊断单元机组集控系统危险隐患,锁定主要危险点,并举落实危险点普查、监测预警、健康诊断、状态预测四项预控策略,量化验证危险预控性能是否达标,最大限度消除危险隐患。

#### 参考文献:

- [1] 李小军. 发电厂单元机组集控运行危险点自动化监测技术分析[J]. 自动化博览, 2024,41(09):92-94.
- [2] 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(06):127-129.
- [3] 付振宇. 煤电电厂单元机组集控运行风险点智能化预警[J]. 自动化应用, 2025,66(15):248-251.
- [4] 沈群策. 发电厂单元机组集控运行危险点预控分析[J]. 长江信息通信, 2021,34(09):59-61.
- [5] 陈明付. 火电厂集控运行的危险点预控研究[J]. 河南科技, 2020,39(34):61-63.