

火电厂集控运行危险点识别与防控措施研究

陈学坚

国家能源集团江西省九江发电厂发电部, 江西 九江 332000

摘要: 随着电力工业的发展, 火电厂集控运行成为目前电力生产的主流方式, 但是其运行过程中存在着很多的安全隐患以及危险源。本文对火电厂集控运行进行分析, 在此基础上找出集控运行中主要危险源有设备故障风险、人为操作失误、系统控制缺陷、环境因素影响等四类危险源。其中设备故障风险主要是由于对锅炉、汽轮机、发电机等关键设备运行状态监控不到位以及预警机制不健全造成的。人为操作失误主要是由于操作人员技术水平高低不同、应急处理能力差、违章操作等原因造成的。系统控制缺陷主要是由于自动化控制系统不可靠、冗余保护措施不够、网络安全防护薄弱等原因造成的。环境因素影响主要是由于恶劣天气、电网波动、煤质变化等外界因素造成的。对于上述危险源, 本文提出相应防范对策: 完善设备状态监测及预警系统, 做好设备维护保养及定期检修工作。加强人员培训和提高人员素质, 完善操作规程和应急预案。提高自动化控制系统的可靠性和安全性, 加强网络安全防护。建立环境风险评估制度, 制定应对极端情况的预案。采取以上措施可以有效降低火电厂集控运行的安全风险, 提高运行可靠性和经济性, 保证电力系统的安全稳定运行。

关键词: 火电厂; 集控运行; 危险点; 防控措施; 安全管理

0 引言

中国电力工业在过去五年中持续高速发展, 国家能源局发布的数据显示, 到 2023 年底, 全国火电装机容量为 13.9 亿千瓦, 占全国电力装机容量的 46.1%, 火电发电量占全国总发电量的 68.4%。而火电厂集控运行是现代化电力生产的主要方式, 是保障电力安全稳定供应的重要组成部分。集控运行利用计算机监控技术以及自动化控制等手段, 对火电厂的主要设备进行集中监视、操作和控制, 大大提高了工作效率以及管理水平。

火电厂集控运行系统复杂性高、集成度高的特点决定了其在运行中存在多种安全隐患和危险源。近年来, 国内外火电厂事故统计数据 displays, 因设备故障、人为操作不当、系统漏洞等原因造成的安全事故频发, 给企业带来巨大经济损失的同时也给电网的安全稳定运行带来极大隐患。因此, 找出火电厂集控运行中存在的危险源并采取相应防范措施是提高火电厂安全性、保证电网安全的重要课题。

1 火电厂集控运行系统安全风险识别与评估

1.1 集控运行系统结构与工艺流程分析

火电厂集控运行系统采用分散控制系统 (DCS) 结构, 由操作员站、工程师站、控制器站以及通信网络组成一个完整控制系统。系统以锅炉-汽轮机-发电机热力循环为基础,

包括燃烧系统、水汽系统、电气系统、辅助系统等众多子系统之间的配合工作。工艺流程从燃料的进厂开始, 经过锅炉燃烧产生高温高压蒸汽推动汽轮机转动带动发电机发电, 最后经过升压变压器送入电网。在此期间, 集控系统对各个参数进行监控, 在自动控制的基础上辅以人工操作保证机组的安全性和经济性, 同时也满足电网对负荷的要求以及环保的要求。

1.2 主要危险源识别方法与分类

根据火电厂集控运行特点, 通过梳理运行流程、分析可能的事故链条和排查操作偏差等方法, 对集控运行过程中存在的危险源进行归纳总结。危险源主要有四类: 设备故障风险源有主辅设备机械故障、热力设备超温超压、电气设备绝缘失效等。人为因素风险源有操作失误、判断错误、违章作业、应急处置不当等^[1]。系统控制风险源有 DCS 系统故障、保护装置误动、拒动、通信中断、软件缺陷等。环境风险源有极端天气、外部电网扰动、燃料品质异常、地质灾害等外界因素。

1.3 风险评估模型构建与量化分析

火电厂集控运行风险评估模型是基于层次分析法与模糊综合评价相结合的方法进行构建, 通过对各种风险源进行分类并设立相应二级评估指标来完成整个风险评估工作。在模型建立时, 把设备故障、人为操作失误、系统控制缺陷以及环境因素四类风险源作为一级指标, 在每一类风险源下面设置相应的二级评估指标, 从而构成一个较为完善的风险评估体系。设备

故障风险评估指标有设备可靠性指数、故障频率、维护周期偏差率等。人为操作风险评估指标有操作人员技能水平、违章操作频次、应急响应时间等。系统控制风险评估指标有控制系统可用率、网络安全防护等级、冗余保护完备度等。环境风险评估指标有极端天气影响频次、外部电网扰动强度、燃料质量偏差程度等定量指标。

风险量化分析时,通过评估风险发生的可能性大小以及可能造成的后果严重程度,对风险进行分级量化,利用火电行业近五年运行情况,建立风险发生的可能性以及后果的严重程度之间的量化关系。根据国家能源局发布的电力可靠性年度报告,2019-2023年期间,全国火电机组等效可用系数均值为91.2%,其中由于设备故障造成的非计划停运占65%,由于人为原因造成的事故占23%,由于系统控制问题造成的事故占8%,由于环境因素造成的影响占4%。在量化分析中,风险发生的可能性分为五个等级,即极低(0-0.1)、低(0.1-0.3)、中等(0.3-0.6)、高(0.6-0.8)、极高(0.8-1.0),后果严重程度也分为五个等级,从轻微影响到灾难性后果进行量化。通过建立风险评估矩阵,求出各个风险点的风险值,以便采取有针对性措施进行防范,从而做到对火电厂集控运行安全风险的有效识别和管理。

2 关键危险点分析与机理研究

2.1 锅炉系统运行危险点分析

锅炉是火力发电厂的重要组成部分,其运行风险主要存在于燃烧系统、水汽系统以及受热面系统^[2]。燃烧系统的风险有炉膛爆燃、燃烧器故障、煤粉爆炸等,而炉膛爆燃是最危险的风险之一,一般发生在点火或切换燃料时,如果炉膛内可燃气体浓度达到一定值并且遇到火源就会发生爆燃。水汽系统的风险主要是汽包水位异常、给水泵故障、汽水分离器效率降低等,水位过高会造成蒸汽带水对汽轮机造成危害,水位过低会造成水冷壁超温爆管。受热面系统的风险主要是过热器和再热器的超温、结渣、磨损等,在变负荷运行或者燃料变化的情况下,受热面管束容易出现局部过热,严重时会造成爆管。

2.2 汽轮机系统安全隐患识别

汽轮机系统的安全隐患主要是由叶片断裂、轴系振动、密封系统失效以及调节系统故障引起的。其中叶片断裂是汽轮机最大的安全隐患,一般由于材料疲劳、应力腐蚀、异物打击等原因造成叶片断裂,从而引起一系列问题使整个机组受到严重损害。轴系振动过大说明转子动

平衡不好或者轴承有问题,如果振动超过一定限度就会造成轴系损坏或者基础松动。密封系统失效主要是指汽封间隙过大或者密封蒸汽系统出现问题等,会降低机组效率并且带来一定安全隐患。调节系统故障有调节阀卡涩、油系统故障、保护装置异常等,影响机组负荷控制及安全保护作用,在电网波动或者非正常情况下容易造成机组跳闸或者损坏。

2.3 电气系统故障风险评估

电气系统故障风险主要包括发电机故障、变压器故障、厂用电系统故障以及保护控制系统故障等四个方面。发电机常见的故障有定子绕组短路、转子接地、氢冷系统泄漏等,而定子绕组故障最为严重,会造成发电机完全损坏并长时间不能工作。主变压器是输电的重要设备,其故障风险主要为绝缘击穿、套管爆裂、内部放电等,变压器故障一般都伴随着火灾或者爆炸的风险。厂用电系统故障会造成一些重要的辅助设备停止工作,从而对机组的安全运行造成影响,在厂用电失去的情况下要尽快切换到备用电源上。保护控制系统的可靠性对电力系统的安全稳定起着至关重要的作用,继电保护装置误动或拒动会扩大事故的影响范围,而网络安全防护不到位也会受到网络攻击的威胁^[3]。

3 集控运行安全防控策略与技术措施

3.1 预警监测系统设计与优化

现代火电厂集控运行预警监测系统设计要满足电力行业数字化转型需求。根据中国企业联合会2023年数据显示,全国火电装机容量为13.9亿千瓦,其中95%以上机组是集控运行方式,预警监测系统好坏关系到电厂安全。改进后的预警监测系统要能够融合多种信息源,包括热工参数、电气参数、机械振动、化学监督等全方位监测网络。系统有不同级别预警,分为黄色预警、橙色预警和红色预警,利用机器学习方法对大量运行数据进行分析,可以及时发现设备运行情况以及异常情况。

预警监测系统关键技术有物联网传感器网络布置、边缘计算节点设置以及云端数据分析平台搭建等。传感器网络要能够对锅炉燃烧情况、汽轮机振动情况、发电机温度以及辅助设备工作情况实时监控,采样频率为毫秒级,以便及时发现异常信号。边缘计算节点进行数据预处理及简单分析,减轻网络负担,加快反应速度。云端分析平台利用大数据技术和人工智能方法,建立设备健康度评价模型,基于以往经验和当前参数变化情况,预测设备可能发生的问题及其发生时间,给工作人员提供参考

意见。

3.2 故障诊断与应急处置机制

火电厂集控运行故障诊断系统应是基于专家系统和深度学习相结合的智能诊断框架。2022年全国火电机组平均利用小时数为4287小时,设备长时间处于高负荷工作状态,因此对故障诊断及及时性和准确性要求较高。故障诊断系统通过对各种常见故障现象进行归纳总结,建立设备故障特征库,然后利用模式识别的方法进行故障快速定位以及判断。系统包含振动诊断、红外测温诊断、油液分析诊断、电气绝缘诊断等,具有多种诊断功能,可以实现全方位的故障检测。一旦发现有异常情况,系统就会立即进行故障诊断,在几秒钟内给出故障位置、故障类型以及严重程度的初步结论^[4]。

应急处置机制的关键在于制定标准化应急响应流程以及智能化应急决策支持系统。根据国家能源局颁布的《电力安全事故应急处置和调查处理条例》规定,火电厂要建立健全应急管理体系。应急处置机制包括事故预案自动匹配、应急资源快速调配、应急操作智能指导以及事故影响实时评估等四个方面内容。一旦故障诊断系统检测到设备发生故障,应急处置系统立刻调用对应预案,在人机交互界面上给运行人员提供具体操作步骤,比如设备停运顺序、安全措施落实、负荷调节方案等。同时,系统还会自动告知有关负责人及技术人员,开始应急响应工作,尽快将故障影响降到最低程度。

3.3 人因失误防控技术研究

人因失误是火电厂集控运行安全的主要隐患之一,据华北电力大学2023年发布的电力安全统计分析报告,人为因素造成的电力事故占全部事故的35%以上。人因失误防控技术主要是利用人机工程学原理来改善操作界面的设计,设置智能的操作提示及错误拦截功能。操作界面以人性化为出发点,用不同的颜色、图形以及声音和灯光等手段提高信息传达的效果。系

统会根据操作者的技术水平以及当时的运行情况而改变所显示的内容以及操作者的权限,在一些重要的操作上进行强制性的确认,从而减少误操作的发生。

人因失误防控还包括操作行为监测及智能化培训系统的应用。操作行为监测系统利用视频识别技术和操作日志分析,对运行人员的操作行为进行实时监控,发现其不良操作习惯以及违章行为。该系统还建立了操作行为评分机制,对运行人员的操作水平进行打分,从而为后续个性化培训奠定基础。智能化培训系统基于虚拟现实技术搭建三维仿真培训环境,模拟各种异常工况以及事故情况,使运行人员可以在一个相对安全的虚拟环境中进行应急操作练习^[5]。同时,智能化培训系统可以记录并分析学员的操作过程,找出其操作上的不足之处,提出相应的改进意见,不断提高运行人员的安全意识和技术水平。

提出的建议能否加入人因失误防控技术研究:电气操作严格实行“两票三制”,两人作业时一人操作一人监护,严格执行“唱票复诵”制,执行电气操作时随身携带巡检仪,全程录像,必须有停送电单,班组建立微信群,现场操作时必须拍照,用对讲机联系值班负责人,得到允许后方可操作。

4 结论

火电厂集控运行安全防控是一个综合性的工程问题,需要从技术上、管理上、人员上等多方面入手。建立健全的预警监测系统、故障诊断及应急处理措施以及防止人为失误的技术可以大大降低集控运行的风险性和不确定性。随着信息技术的发展和应用,火电厂集控运行将会越来越智能化、自动化,从而使得安全防控的能力得到进一步提高,有利于保证电力系统的安全可靠运行以及实现清洁高效的发电。

参考文献:

- [1] 解秀竹,岳哲,徐文超,刘士超,徐进.火电厂集控运行的危险点和防控措施[J].通讯世界,2020(01):209-210.
- [2] 燕辉.火电厂集控运行的危险点和防控措施[J].山东工业技术,2018(10):188.
- [3] 王力强.火电厂集控运行的危险点预控措施探讨[J].民营科技,2018(05):14.
- [4] 张泉.火电厂集控运行的危险点预控措施论述[J].城市建设理论研究(电子版),2017(28):210-211.
- [5] 姬克平.火电厂集控运行的危险点预控措施探析[J].山东工业技术,2017,(11):204+162.

作者简介: 陈学坚(1971.10—),男,汉族,江西九江人,本科,助理工程师,研究方向:集控运行。