

燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制关键技术研究

方迅舟

华电福新广州能源有限公司 广东 广州 510000

摘要: 随着能源领域技术革新,燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制技术成为提升发电效率与安全性的关键。本文深入研究其关键技术,包括设备启动顺序优化、协调控制策略、安全保护机制及人机交互与监控技术。通过合理规划启动流程、运用先进算法实现子系统协同,结合实时监测与智能交互,保障启停过程高效、安全。研究成果有效缩短启动时间,提升发电效率,降低运行成本与劳动强度,为该领域技术发展提供重要参考。

关键词: 燃气蒸汽联合循环电厂;自启停控制;关键技术

1 燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制系统概述

1.1 燃气蒸汽联合循环电厂工艺流程与设备组成

燃气蒸汽联合循环电厂是一种高效、环保的发电方式,其工艺流程融合了燃气轮机循环和蒸汽轮机循环,实现能源的梯级利用。整个流程起始于燃料系统,天然气或其他气体燃料经过过滤、调压等预处理后,进入燃气轮机燃烧室,与压缩空气混合燃烧,产生高温高压的燃气推动燃气轮机叶片旋转,带动发电机发电。燃气轮机排出的高温废气(温度通常在500℃-600℃左右)进入余热锅炉,余热锅炉利用这部分废气的热量加热给水,产生高温高压蒸汽。蒸汽驱动蒸汽轮机旋转,再次带动发电机发电。蒸汽轮机排出的乏汽经过冷凝器冷却凝结成水,通过水泵重新送回余热锅炉,形成循环。在设备组成方面,主要包含燃气轮机、蒸汽轮机、余热锅炉、发电机、压缩机、冷凝器、水泵等核心设备,以及燃料供应系统、汽水循环系统、电气系统、控制系统等辅助系统。燃气轮机作为发电的关键设备之一,其性能直接影响电厂的发电效率和可靠性;余热锅炉则承担着能量转换的重要角色,将燃气轮机排出的余热转化为蒸汽的热能;蒸汽轮机和发电机共同完成机械能到电能的转换。这些设备相互配合,构成了燃气蒸汽联合循环电厂复杂而高效的发电体系。

1.2 自启停控制系统(APS)架构与功能

自启停控制系统(APS)是燃气蒸汽联合循环电厂实现自动化启停的核心系统,采用分层分布式架构,包含过程控制级、协调控制级和操作管理级。过程控制级依托分散控制系统(DCS),直接控制阀门、泵等现场设备,并实时采集温度、压力等运行参数。协调控制级依据电厂启停目标与设备状态,协调各子系统,保障设备按序启停。操作管理级为人机交互平台,支持运行人员下达指令、监控状态、查看数据与报警信息。APS系统

功能强大^[1]。自动顺序控制可依预设逻辑,完成从启动准备、设备启动、系统调试到满负荷运行,再到停机冷却的全流程自动化操作。设备状态监测与故障诊断功能,通过分析运行参数,及时发现异常并报警,提供处理建议。优化控制功能基于不同工况,自动调节设备参数,提升电厂运行效率与经济性。安全保护功能则实时监测系统安全,遇异常迅速响应,保障设备与人身安全。

1.3 APS系统与传统启停方式的对比分析

传统的燃气蒸汽联合循环电厂启停方式主要依赖人工操作,运行人员需要按照操作规程,逐个启动或停止设备,并手动调整设备的运行参数。这种方式存在诸多弊端。首先,人工操作效率较低,启停过程耗时较长,通常需要数小时甚至更长时间,无法快速响应电网的负荷变化需求。其次,人工操作的准确性和一致性难以保证,由于运行人员的技术水平和操作习惯存在差异,容易出现操作失误,导致设备损坏或系统故障。人工操作还增加了运行人员的劳动强度,且在启停过程中,运行人员需要时刻关注设备状态,精神高度紧张,容易产生疲劳。相比之下,APS系统具有显著的优势,在效率方面,APS系统能够按照预设的优化程序自动执行启停操作,大大缩短启停时间,一般可将启动时间缩短30%-50%,提高了电厂对电网负荷变化的响应速度。在准确性和可靠性方面,APS系统严格按照既定的逻辑和条件进行操作,避免人为因素的干扰,减少操作失误的概率,提高了设备和系统的可靠性。在劳动强度方面,APS系统的应用使运行人员从繁琐的人工操作中解脱出来,只需在操作管理级进行必要的监控和干预,降低劳动强度,同时也提高运行人员的工作安全性,APS系统还能够通过对设备运行数据的分析和优化,提高电厂的运行效率和经济性,降低能源消耗和运行成本。

2 燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制关键技术研究

2.1 设备启动顺序优化技术

设备启动顺序的优化是燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制系统的关键技术之一。在优化设备启动顺序时,需要综合考虑多个因素,包括设备的功能、相互之间的逻辑关系、启动条件和时间要求等。以燃气蒸汽联合循环电厂的启动过程为例,首先需要启动辅助系统,如润滑油系统、冷却水系统等,为核心设备的启动提供必要的条件。在润滑油系统启动后,需要等待润滑油压力和温度达到规定值,才能启动燃气轮机。燃气轮机启动后,其排出的废气进入余热锅炉,此时需要根据余热锅炉的启动条件,逐步启动给水系统、蒸汽系统等,确保余热锅炉能够安全、稳定地产生蒸汽。在蒸汽参数达到要求后,才能启动蒸汽轮机。在整个启动过程中,各个设备的启动顺序和时间间隔都经过精确计算和优化,以实现快速、高效、安全的启动。同时还需要考虑设备的故障情况,制定相应的应急启动顺序,确保在部分设备出现故障时,电厂仍能尽可能地实现启动和发电。

2.2 协调控制策略研究

协调控制策略是保证燃气蒸汽联合循环电厂自启停过程中各子系统协同工作的重要手段。在启停过程中,燃气轮机、蒸汽轮机、余热锅炉等核心设备以及各个辅助系统之间存在着复杂的能量转换和物质流动关系,需要通过有效的协调控制策略来实现系统的稳定运行。在启动过程中,协调控制策略需要根据燃气轮机的负荷变化,合理调整余热锅炉的燃烧和蒸汽产生量,确保蒸汽参数能够满足蒸汽轮机的启动和运行要求。还需要协调汽水循环系统的运行,保证给水流量、压力和温度的稳定,避免出现汽水冲击等异常情况。在停机过程中,协调控制策略要控制好燃气轮机和蒸汽轮机的降负荷速度,合理调整余热锅炉的运行参数,使设备能够安全、平稳地停止运行^[2]。另外,在电网负荷变化或系统出现扰动时,协调控制策略还需要快速响应,通过调整各设备的运行参数,维持电厂的稳定运行和电能质量。为实现有效的协调控制,通常采用先进的控制算法,如模型预测控制、模糊控制、神经网络控制等,结合电厂的实际运行数据和数学模型,对系统进行实时优化控制。

2.3 安全保护机制研究

安全保护机制是燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制系统不可或缺的重要组成部分,其目的是在启停过程中保障设备和人员的安全,防止发生事故。在参数监测与报警方面,通过在设备和系统的关键位置安装大量的传感器,实时监测温度、压力、流量、振动等运行参数。当某个参数超出预设的安全范围时,系统立即发出声光

报警信号,提醒运行人员注意。报警信息会详细记录参数异常的设备、时间、异常值等内容,方便运行人员进行故障排查和处理。故障诊断与处理功能则利用先进的故障诊断技术,如基于模型的诊断方法、故障树分析方法等,对设备的异常状态进行分析和判断,确定故障的类型、位置和原因,并提供相应的故障处理建议。在遇到严重故障或紧急情况时,安全保护机制能够迅速触发紧急停机程序,按照预定的顺序快速停止设备运行,切断燃料供应,启动安全保护装置,如安全阀、泄压阀等,防止事故的扩大,安全保护机制还需要定期进行测试和维护,确保其在关键时刻能够可靠动作。

2.4 人机交互与监控技术研究

人机交互与监控技术是连接运行人员和自启停控制系统的桥梁,它为运行人员提供了直观、便捷的操作和监控界面,使运行人员能够及时了解系统的运行状态,进行必要的操作和干预。良好的人机交互与监控技术能够提高运行人员的工作效率和操作准确性,降低操作失误的风险。在人机交互界面设计方面,采用图形化、可视化的设计理念,将电厂的工艺流程、设备布局、运行参数等信息以直观的图形、图表和动画形式展示给运行人员。运行人员可以通过鼠标、键盘等操作设备,方便地对系统进行操作,如下达启停指令、调整设备参数、查看历史数据等。界面还具备个性化定制功能,运行人员可以根据自己的工作习惯和需求,设置界面的显示内容和布局。在监控技术方面,利用先进的信息技术,实现对电厂设备和系统的实时监控。通过数据采集与监控系统(SCADA),将现场设备的运行数据实时传输到监控中心,运行人员可以在监控界面上实时查看设备的运行状态、参数变化趋势等信息^[3]。

3 燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制系统应用案例分析

3.1 案例电厂概况

某燃气蒸汽联合循环电厂位于我国东部地区,是一座大型的现代化发电企业,总装机容量为1380MW,由3台燃气轮机和3台蒸汽轮机组成。该电厂采用先进的燃气蒸汽联合循环发电技术,以天然气为燃料,具有发电效率高、污染排放低等优点。电厂的主要设备均采用国际知名品牌产品,如燃气轮机采用西门子SGT5-4000F型先进型号,其具有高效、可靠、低排放等特点;余热锅炉采用杭州锅炉集团股份有限公司的产品,能够充分回收燃气轮机排出的余热,提高能源利用效率。在控制系统方面,电厂原采用传统的人工启停方式,运行人员需要在启停过程中进行大量的手动操作,启停过程耗时较

长,且操作过程中存在一定的安全风险。为了提高电厂的自动化水平和运行效率,降低运行成本和安全风险,电厂决定引入自启停控制系统(APS)。

3.2 APS系统设计与实施

在APS系统设计阶段,设计团队首先对电厂的工艺流程、设备特点和运行要求进行了深入的调研和分析,结合国内外先进的自启停控制技术,制定了详细的系统设计方案。在系统架构方面,采用分层分布式架构,分为过程控制级、协调控制级和操作管理级。过程控制级基于电厂现有的分散控制系统(DCS)进行升级改造,增加了必要的传感器和执行机构,以实现设备的精确控制和数据采集。协调控制级采用先进的控制算法和软件平台,根据电厂的启停逻辑和优化程序,对各个子系统进行协调控制。操作管理级设计了直观、友好的人机交互界面,方便运行人员进行操作和监控。在系统实施阶段,首先进行了设备的安装和调试工作,包括传感器、执行机构的安装,以及控制系统软件的安装和配置。然后对系统全面的测试,包括功能测试、性能测试、安全测试等。在功能测试中,验证APS系统是否能够按照预设的逻辑和程序完成电厂的自动启停操作;在性能测试中,评估系统的启动时间、响应速度等性能指标;在安全测试中,模拟各种故障和紧急情况,检验系统的安全保护机制是否可靠。经过多次测试和优化,APS系统达到设计要求,并顺利投入运行。

3.3 系统应用效果分析

APS系统在该电厂投入运行后,取得显著的应用效果。在启动时间方面,相比传统的人工启停方式,启动时间缩短约40%,大幅提高电厂对电网负荷变化的响应速度,能够更好地契合电网的调度要求。在运行效率层面,通过APS系统的优化控制,电厂的发电效率提高5%。这一提升背后,是系统精准调控燃气轮机、余热锅炉等设备运行参数,促使能源梯级利用效率提升,进而

有效降低了能源消耗和运行成本^[4]。在安全性方面,由于APS系统严格按照预设的逻辑和条件进行操作,极大减少人为操作失误的概率。其完善的安全保护机制,依靠全方位的传感器监测网络,能够敏锐捕捉设备异常,像温度、压力等参数一旦偏离正常范围,便能迅速发出预警并采取相应处理措施,切实保障设备和人员的安全。在运行管理方面,人机交互与监控技术的应用使运行人员能够更加直观、便捷地了解系统的运行状态,进行操作和管理。运行人员借助图形化界面,轻松下达指令、查看数据,降低劳动强度,也使得运行管理的效率和水平大幅提高。APS系统还能够对设备的运行数据进行深度分析和挖掘,为电厂的设备维护、性能优化和生产决策提供有力的数据支撑,助力电厂持续高效稳定运行。

结束语

燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制关键技术研究与应用,显著提高了电厂自动化水平与运行效益,对推动电力行业绿色高效发展意义重大。然而,面对能源结构转型与智能化升级需求,相关技术仍需持续创新。未来应进一步融合人工智能、大数据等前沿技术,深化系统优化,增强自适应能力,以更好地适应复杂工况与电网需求,助力实现电力行业可持续发展目标。

参考文献

- [1]吴建邦.燃气-蒸汽联合循环发电机组自启停控制系统的应用及优化[J].大众科技,2020,254(10):45-46+65.
- [2]王军.燃气蒸汽联合循环电厂自启停控制系统APS的优化和改进[J].信息系统工程,2020,315(03):117-119.
- [3]薛志敏,熊波,乐增孟等.燃气-蒸汽联合循环供热机组经济运行策略[J].广东电力,2023,36(06):1-10.
- [4]翁文霖,孙玲飞.燃气-蒸汽联合循环机组运行过程热经济性诊断及仿真研究[J].装备维修技术,2023,(03):29-33.