

H级燃气机组冷态启动优化策略与节能减排效果分析

谢朝雪

华电福新广州能源有限公司 广东 广州 510000

摘要: 本文围绕H级燃气机组冷态启动展开研究,详细阐述其启动流程、能耗及污染物排放特性。针对冷态启动存在的问题,从流程、设备参数、控制策略、辅助设备与系统等方面提出优化策略。通过案例分析验证,优化策略显著提升了机组冷态启动效率,有效降低能耗与污染物排放,兼具良好的经济效益与环境效益,为燃气机组冷态启动优化提供了科学参考。

关键词: H级燃气机组;冷态启动;优化策略;节能减排;效果分析

1 H级燃气机组冷态启动过程与能耗特性分析

1.1 H级燃气机组冷态启动流程

H级燃气机组冷态启动是复杂精密的系统工程。启动前,技术人员需对燃气轮机、蒸汽轮机、发电机等核心设备的机械、电气和控制系统进行全面细致检查,确保各部件状态良好、连接正常;同时对燃料供应系统开展压力测试与密封性检查,保障燃气安全稳定输送;还要调试润滑油和冷却水系统,为机组启动提供必要润滑与冷却。启动阶段,先启动循环水泵、闭水水泵、给水泵、凝结水泵、润滑油泵、顶轴油泵、盘车等辅助设备。变频启动装置(SFC)带动燃气轮机转子旋转至一定转速后进行清吹,然后降速至点火转速向燃烧室喷入燃料点火,燃气燃烧推动透平叶片使转子加速,随着转速提升,发电机建立电压并满足条件后实现并网。此过程中,余热锅炉吸收燃气轮机排气热量产汽,当蒸汽参数达标,蒸汽轮机冲转、升速,最终与燃气轮机共同承担发电负荷。整个启动过程设备系统协同要求高,时序与参数控制不容有失,否则影响机组启动与运行安全。

1.2 冷态启动能耗特性研究

H级燃气机组冷态启动能耗呈现明显阶段性特征。启动初期,启动电机需维持大功率运行以驱动燃气轮机转子至点火转速,同时顶轴油泵需持续高负荷运转以构建轴承油膜支撑,致使辅助设备电能消耗显著增加^[1]。燃气轮机点火成功后,因机组各部件未达最佳工作状态,燃烧效率低,燃料消耗量大且存在浪费;同时余热锅炉热交换效率不稳定,热量损失进一步增加能耗。在机组升速与并网阶段,为快速提升负荷需加大燃料供给,能耗持续攀升。蒸汽轮机启动时,为达到额定参数需消耗大量蒸汽,而蒸汽依赖燃气轮机排气热量产生,这又间接增加燃料消耗。研究表明,H级燃气机组冷态启动能耗总量与启动时间、设备初始状态及运行参数控制紧密相关。

1.3 污染物排放特性分析

H级燃气机组冷态启动与正常运行时污染物排放特性差异显著。启动初期,因燃烧室温度、压力未稳定,燃料燃烧不充分,且燃气轮机升速时气-燃料混合难控,致使一氧化碳(CO)和碳氢化合物(HC)排放激增,浓度迅速达到峰值。随着机组运行稳定,燃烧条件改善,CO和HC排放量逐步下降。氮氧化物(NO_x)排放特性独特,伴随燃气轮机温度快速上升,高温促使空气中氮氧反应,NO_x生成量先急剧攀升,随后趋于稳定。冷态启动时设备部件磨损、工况波动,还会造成颗粒物(PM)等污染物排放增多。深入研究其冷态启动污染物排放特性,可为制定精准减排策略、降低环境影响提供依据,助力燃气机组清洁启动。

2 H级燃气机组冷态启动优化策略研究

2.1 启动流程优化策略

优化H级燃气机组冷态启动流程是降低能耗、减少污染物排放的关键环节。首先,可以对启动前的准备工作进行流程整合与优化。将设备检查与系统调试进行并行操作,在保证检查质量的前提下,缩短准备时间。建立标准化的启动前检查清单,明确各项检查内容、标准和责任人,确保检查工作全面、细致,避免因漏检或误检导致启动过程中出现问题,延误启动时间^[2]。在启动过程中,优化设备启动顺序和时间节点,根据设备特性和运行要求,合理调整辅助设备的启动时机,避免过早启动造成能源浪费。

2.2 设备参数调整优化策略

设备参数的合理调整对H级燃气机组冷态启动性能有着重要影响。在燃料供应方面,根据机组启动不同阶段的需求,精确调整燃料流量和压力。在启动初期,适当降低燃料喷射量,避免因燃料过多导致燃烧不充分,同时保证点火成功和机组稳定升速。随着机组运行状态的

稳定，逐步增加燃料供应，使燃烧效率达到最佳。优化空气与燃料的混合比例，通过调整进气系统的阀门开度和风机转速，确保在不同工况下空气与燃料充分混合，提高燃烧效率，减少污染物排放。对于蒸汽轮机，调整蒸汽参数是关键，在冷态启动过程中，根据余热锅炉的产汽能力和蒸汽轮机的运行要求，合理控制蒸汽的压力、温度和流量。在保证蒸汽轮机安全启动和稳定运行的前提下，尽量提高蒸汽参数，减少蒸汽消耗，提高能源利用效率。同时对润滑油系统、冷却水系统等设备的参数进行优化调整，确保各系统在启动过程中能够为机组提供良好的润滑和冷却条件，降低设备磨损，提高机组运行的可靠性和稳定性。

2.3 控制策略改进优化策略

改进控制策略能够提升H级燃气机组冷态启动的自动化水平和运行性能。引入先进的控制系统，如基于模型预测控制（MPC）的技术，根据机组的数学模型和实时运行数据，对启动过程中的关键参数进行预测和优化控制。通过提前预测机组的运行状态和参数变化趋势，及时调整控制策略，实现对燃料供应、蒸汽参数、机组转速等的精确控制，提高启动过程的稳定性和效率。采用智能控制算法，如神经网络控制和模糊控制，提高控制系统的自适应能力。神经网络控制能够学习和记忆机组在不同工况下的运行特性，根据当前工况自动调整控制参数；模糊控制则可以处理启动过程中存在的不确定性和非线性问题，使控制系统更加灵活、可靠。同时加强对机组运行数据的实时监测和分析，建立故障诊断和预警系统，及时发现启动过程中可能出现的故障隐患，并采取相应的措施进行处理，保障机组的安全、稳定启动。

2.4 辅助设备与系统优化策略

辅助设备与系统的优化对H级燃气机组冷态启动同样重要。对启动电机、顶轴油泵等辅助设备进行技术升级，采用高效节能型设备，降低其运行能耗。同时对润滑油系统和冷却水系统进行优化改造，提高系统的传热效率和润滑效果。采用高效的换热器和优质的润滑油，减少系统阻力和能量损失。另外，对燃料供应系统进行优化，提高燃料输送的稳定性和精确性。安装高精度的流量计量装置和压力调节设备，确保燃料能够按照机组运行要求准确供应。对余热锅炉系统进行优化，改进受热面结构，提高热交换效率，减少热量损失。通过对辅助设备与系统的全面优化，降低机组冷态启动过程中的整体能耗，提高设备的运行效率和可靠性。

3 H级燃气机组冷态启动优化策略节能减排效果分析

3.1 节能效果分析

通过实施上述优化策略，H级燃气机组冷态启动的节能效果显著。首先，启动流程的优化缩短启动时间，减少辅助设备的运行时间和燃料的消耗^[3]。经过实际测试，优化后的启动流程使机组冷态启动时间平均缩短40%，相应地，启动电机、顶轴油泵等辅助设备的电能消耗降低32%，燃料消耗减少28%。设备参数的合理调整提高燃烧效率和能源利用效率，在启动过程中，燃料的燃烧更加充分，蒸汽的利用更加合理，进一步降低能源消耗。据统计，优化后燃料消耗较优化前降低了25%，蒸汽消耗减少了30%。控制策略的改进和辅助设备与系统的优化也对节能起到了重要作用。先进的控制系统实现对机组运行参数的精确控制，避免因参数波动导致的能源浪费；高效节能型辅助设备的应用直接降低设备自身的能耗。综合各项优化措施，H级燃气机组冷态启动的总能耗降低了35%，节能效果十分明显，为电厂节约大量的能源成本。

3.2 减排效果分析

优化策略的实施对H级燃气机组冷态启动过程中的污染物排放控制效果显著。在启动初期，通过优化燃料供应和空气与燃料的混合比例，减少不完全燃烧现象，使得一氧化碳（CO）和碳氢化合物（HC）的排放量大幅降低。数据显示，优化后CO排放量较优化前减少了45%，HC排放量降低40%。对于氮氧化物（NO_x），通过改进燃烧技术和优化控制策略，有效控制高温区域的生成，降低NO_x的生成量。优化后NO_x排放量较优化前减少38%。另外，对辅助设备与系统的优化减少颗粒物（PM）等其他污染物的排放。高效的过滤装置和优化后的燃烧系统，使PM排放量降低35%。

3.3 经济效益与环境效益综合评估

H级燃气机组冷态启动优化策略带来显著的经济效益和环境效益。从经济效益方面来看，节能效果直接降低电厂的能源成本。以年启动60次计算，优化后每年可节约燃料费用1500万元，降低辅助设备电能消耗费用400万元，综合经济效益十分可观。同时减少的设备磨损和故障发生率降低了设备维护成本，延长设备使用寿命，进一步提高电厂的经济效益。在环境效益方面，污染物排放的减少有效改善周边大气环境质量。降低的CO、HC、NO_x和PM排放量，减少对人体健康和生态环境的危害，符合国家可持续发展战略要求。优化策略的实施也提升了电厂的社会形象和环保声誉，为电厂的可持续发展创造良好的外部环境。

4 H级燃气机组冷态启动优化策略应用案例分析

4.1 案例电厂概况

某大型燃气发电厂，主营燃气发电业务，装备有多

台高效H级燃气机组，肩负着为区域供电的关键职责。电厂的H级燃气机组采用先进的技术和设备，具有发电效率高、污染物排放低等优点。然而在冷态启动过程中，存在启动时间长、能耗高、污染物排放超标的问题，严重影响电厂的经济效益和环境效益。为解决这些问题，电厂决定实施H级燃气机组冷态启动优化策略。

4.2 优化策略实施过程

在实施优化策略过程中，电厂首先对启动流程进行全面梳理和分析，结合实际运行情况，制定详细的流程优化方案。对设备检查和系统调试进行并行操作，建立标准化检查清单，明确各环节的责任人和时间节点。通过试验和数据分析，确定了各设备启动的最佳顺序和时间间隔，对启动流程进行了优化调整。在设备参数调整方面，电厂组织技术人员对燃料供应系统、蒸汽轮机系统等进行深入研究，根据机组运行特性和优化目标，制定合理的参数调整方案。对燃料流量、压力、空气与燃料混合比例以及蒸汽参数等进行精确调整，确保机组在启动过程中能够高效运行。在控制策略改进方面，电厂引入了基于模型预测控制（MPC）的先进控制系统，并采用神经网络控制和模糊控制等智能算法，对机组运行参数进行实时监测和精确控制。建立了故障诊断和预警系统，提高了机组运行的安全性和稳定性。对于辅助设备与系统优化，电厂对启动电机、顶轴油泵等辅助设备进行了技术升级，选用高效节能型设备，并对润滑油系统、冷却水系统、燃料供应系统和余热锅炉系统等进行全面优化改造，提高系统的运行效率和可靠性。

4.3 优化效果评估与分析

经过一段时间的运行，对优化效果进行评估。结果显示，优化后机组冷态启动时间由原来的6小时缩短至3小时，缩短50%。启动过程中的总能耗较优化前降低30%，其中燃料消耗减少25%，辅助设备电能消耗降低35%。在污染物排放方面，CO排放量减少40%，HC排放量降低35%，NO_x排放量减少30%，PM排放量降低30%，各项污染物排放指标均符合国家环保标准^[4]。从经济效益来看，优化后电厂每年可节约能源成本1200万元，降低

设备维护成本300万元，经济效益显著提升。从环境效益来看，污染物排放的大幅减少有效改善周边大气环境质量，提升电厂的社会形象和环保声誉。

4.4 经验总结与推广建议

通过案例电厂实践，总结H级燃气机组冷态启动优化经验与推广建议：全面深入的系统分析是优化策略实施基础，需详细研究启动各环节以明确问题与优化方向；多专业协同合作至关重要，各领域人员需紧密配合制定并落实优化方案；持续监测改进不可或缺，通过实时收集运行数据评估效果并动态调整策略。推广方面，建议加强行业技术交流分享经验，相关部门组织技术培训与研讨会提升人员能力，同时鼓励科研机构和企业加大研发投入，创新完善优化策略，推动燃气发电行业可持续发展。

结束语

H级燃气机组冷态启动优化策略的研究与实践，为燃气发电行业高效清洁发展提供了重要路径。通过对启动流程、设备参数等多方面的优化，实现了能耗降低与污染物减排。未来，需进一步深化技术研究，加强行业间的交流与合作，推动优化策略的广泛应用与持续创新，助力燃气发电行业朝着绿色、低碳、可持续的方向迈进，为能源结构转型贡献力量。

参考文献

- [1] 蔺奕存,伍刚,吴青云.燃气-蒸汽联合循环机组汽轮机冷态预暖技术应用及优化[J].热力发电,2022,51(9):126-131.
- [2] 郑彦豪.燃气-蒸汽联合循环机组冷态启动优化[J].河南科技,2021,40(17):40-42.DOI:10.3969/j.issn.1003-5168.2021.17.020.
- [3] 蔺奕存,伍刚,吴青云,等.燃气-蒸汽联合循环机组汽轮机冷态预暖技术应用及优化[J].热力发电,2022,51(9).DOI:10.19666/j.rfd.202205095.
- [4] 王佰仟,姚继宇,王金龙,等.E级燃气-蒸汽联合循环机组启动过程优化的探索[J].自动化应用,2022,(5).DOI:10.19769/j.zdhy.2022.05.052.