

电力系统黑启动策略下燃气电厂的快速响应

秦 春

国电投（江门）能源发展有限公司 广东 开平 529300

摘要：随着电力系统的不断演进，其安全稳定运行的重要性日益凸显。黑启动，作为应对全面停电的终极策略，对电力系统的恢复具有决定性作用。燃气电厂，凭借其独特的技术优势，在这一策略中发挥着至关重要的作用。本文将从专业技术角度深入探讨在电力系统黑启动策略下，燃气电厂如何实现快速响应，以期为电力系统的安全稳定恢复提供理论支持和实践指导。

关键词：电力系统；黑启动；燃气电厂；快速响应；专业技术

引言

近年来，全球范围内频发的大规模停电事件引发了对电力系统恢复策略的深入研究。黑启动，作为其中的核心策略，要求电力系统在全面停电后能够迅速恢复供电。燃气电厂，以其独特的技术优势，成为黑启动过程中的关键力量。本文将从燃气电厂的专业技术角度出发，详细剖析其在黑启动策略下的快速响应机制。

1 电力系统黑启动概述

黑启动是指在电力系统因故障停运后，不依赖外部电源的帮助，通过系统内部具有自启动能力的发电机组启动，带动其他无自启动能力的机组，逐步扩大电力系统的恢复范围，最终实现整个电力系统的恢复。黑启动策略的制定和实施需要综合考虑电源的分布、机组的特性、恢复路径的选择等多个因素。

2 电力系统黑启动的重要性与技术挑战

黑启动是电力系统在极端情况下的自救手段，其成功与否直接关系到整个社会的正常运转。然而，黑启动过程中面临着诸多技术挑战，如电源的快速启动、恢复路径的优化选择、负荷的逐步恢复与平衡等。这些挑战要求燃气电厂必须具备高度的技术水平和快速响应能力。

3 电力系统黑启动策略下燃气电厂快速响应的关键技术与实践

3.1 燃气轮机快速启动技术

在燃气轮机的启动过程中，流程的繁简直接影响到启动时间的长短。因此，优化启动流程成为提高燃气轮机快速响应能力的重要手段。具体而言，优化启动流程包括以下几个方面：（1）简化启动步骤：通过对燃气轮机启动过程中的冗余步骤进行合并或剔除，减少不必要的操作，从而缩短启动时间。例如，优化某些设备启动顺序，提高启动效率。（2）提高辅助设备的自动化水平：辅助设备如润滑油系统、冷却水系统等在燃气轮

机启动过程中发挥着重要作用。通过提高这些设备的自动化水平，实现自动投入和调节，可以减少人工干预，加快启动速度。（3）采用先进的控制系统：引入先进的控制系统，如顺序控制系统（SCS）、分散控制系统（DCS）和机组一键启动，对燃气轮机的启动过程进行精确控制，确保各步骤的顺畅衔接，进一步提高启动效率。燃气轮机在冷态下启动时，需要经历吹扫和点火两个关键阶段。采用先进的点火技术，可以确保燃气轮机在恶劣环境下也能快速启动^[1]。启动前吹扫：在燃气轮机启动前，通过将空气从燃机内部排除，以清除燃机内部的残余气体，降低机组启动时的风险。点火系统：点火系统是燃气轮机启动过程中的关键环节。采用先进的点火技术，如高能点火器、等离子点火器等，可以提高点火成功率和稳定性，确保燃气轮机在冷态下也能快速启动。同时，点火系统的可靠性也至关重要，因此需要定期进行维护和检查，确保其处于良好状态。

3.2 高效的能量管理系统：

在电力系统黑启动策略下，燃气电厂的高效能量管理系统发挥着举足轻重的作用。这一系统不仅关乎电厂自身的稳定运行，更对整个电力系统的恢复速度与效率产生深远影响。储能技术是高效能量管理系统的核心组成部分，尤其在燃气电厂的启动过程中，其重要性更为凸显。通过合理配置储能设备，如电池储能系统（BESS），燃气电厂能够在关键时刻提供瞬时功率支持，确保电力系统的稳定恢复。BESS具有响应速度快、能量密度高等特点，能够在燃气轮机启动初期，为其提供必要的功率补偿。这不仅减轻了电网的负担，还提高了燃气电厂的启动可靠性。同时，BESS还能够在电力需求高峰时释放储存的能量，平衡电网负荷，进一步提高电力系统的稳定性。燃气轮机在运行过程中会产生大量热能，这些热能若未经有效利用，将造成巨大的能源浪

费。因此,高效能量管理系统中的另一关键环节就是热能回收与利用。通过余热锅炉等设备,燃气电厂能够回收燃气轮机排放的热能,并将其转化为蒸汽或热水等形式的可利用能源。这些回收的能源不仅可以用于电厂自身的供热和制冷需求,还可以对外供应,实现能源的梯级利用和最大化效益。此外,热能回收与利用还有助于降低燃气电厂的运行成本。通过减少能源浪费和提高能源利用效率,电厂能够在长期运行中实现更为经济的运营成本,为电力系统的可持续发展提供有力支持。

3.3 智能控制系统:

在电力系统黑启动策略下,智能控制系统是燃气电厂实现快速响应的“大脑”。通过集成先进的传感器、数据分析技术以及自动化控制策略,智能控制系统能够实时监测电网状态和机组性能,并据此进行精准决策和快速响应。实时监测是智能控制系统的基石。通过在电网和机组关键部位部署高精度传感器,系统能够实时采集电压、电流、功率、温度、压力等多种参数,全面反映电网状态和机组性能。这些数据经过高速传输和处理后,以可视化的形式呈现在控制中心的大屏幕上,供运行人员随时查看。同时,利用先进的数据分析技术,如机器学习、模式识别等,智能控制系统能够对采集到的数据进行深入挖掘和诊断。系统可以自动识别异常数据,预测潜在故障,并生成详细的诊断报告。这些报告不仅为运行人员提供了宝贵的决策支持,还有助于电厂实现预防性维护和故障预测,大大提高了机组的可靠性和安全性。在实时监测与诊断的基础上,智能控制系统进一步实现了机组的自动化调度和远程控制。通过预设的控制策略和算法,系统能够根据电网需求和机组状态,自动调整机组的出力、负荷分配等运行参数,确保电厂始终保持在最优运行状态^[2]。此外,远程控制功能的实现,使得运行人员可以在控制中心对机组进行远程操控。这不仅提高了响应速度和准确性,还降低了人员的工作强度和安全风险。在电力系统黑启动过程中,远程控制功能尤为重要,它使得电厂能够在最短时间内恢复供电,有效缩短停电时间,减少社会经济损失。

3.4 协同与调度策略:

在电力系统中,燃气电厂并非孤立存在,而是与水电、风电等多种电源形式共同构成了一个复杂的能源网络。因此,在电力系统黑启动策略下,燃气电厂的快速响应不仅依赖于自身的技术和管理水平,还需要与其他电源以及电网企业建立紧密的协同与调度关系。燃气电厂与水电、风电等可再生能源发电站之间的协同至关重要。这些不同类型的电源在能源特性、运行方式等方面

各有优势,通过建立协同机制,可以实现优势互补和资源共享,从而提高整个电力系统的稳定性和调节能力。具体来说,燃气电厂具有启动速度快、调节灵活的特点,可以在短时间内提供稳定的电力输出;而水电站则拥有储能优势,能够在电力需求低谷时储存能量,并在高峰时释放;风电则受自然条件影响,具有间歇性和不确定性,但长期来看是一种清洁、可持续的能源。通过智能调度系统将这些电源连接起来,可以根据实时电力需求和能源供应情况,动态调整各电源的出力比例,实现最优的能源配置。电网企业在电力系统黑启动过程中扮演着关键角色。燃气电厂需要与电网保持紧密合作,确保在黑启动过程中能够统一调度、有序恢复。这要求双方建立高效的通信机制和数据共享平台,以便实时交换电网状态、机组性能等信息。电网企业可以根据这些信息,制定科学的调度计划,优先恢复对关键负荷的供电,确保电力系统的稳定运行。同时,燃气电厂也需要积极响应电网企业的调度指令,及时调整机组出力和运行方式,为电力系统的快速恢复贡献力量。

4 专业技术挑战与解决方案

4.1 设备可靠性问题:

在燃气电厂的运营过程中,设备可靠性是确保电力系统稳定运行的关键因素。尤其在黑启动策略下,设备的快速响应和持续稳定运行至关重要。为解决设备可靠性问题,必须从日常维护、定期检修以及故障预警与快速响应等多个方面入手,全面提升设备管理水平。首先,加强设备的日常维护是保障设备可靠性的基础。这包括定期检查设备的运行状态、紧固松动部件、更换磨损零件等。通过日常维护,可以及时发现并处理设备潜在的小问题,防止其演变为大的故障。同时,日常维护还能保持设备的清洁和良好的工作环境,延长设备的使用寿命。其次,定期检修工作是确保设备长期稳定运行的关键。检修周期应根据设备的类型、使用频率和重要性进行合理设定。检修过程中,应对设备进行全面细致的检查、测试和评估,及时发现并处理存在的隐患。此外,检修还应包括对设备进行必要的调试和优化,确保其性能达到最佳状态^[3]。最后,建立设备故障预警和快速响应机制是提升设备可靠性的重要手段。通过引入先进的传感器和监测系统,可以实时监测设备的运行状态和关键参数。一旦发现异常情况,系统应立即发出预警信息,通知相关人员及时处理。同时,快速响应机制应确保在设备发生故障时,能够迅速调动维修力量和资源,进行紧急抢修,尽快恢复设备的正常运行。

4.2 能源供应稳定性问题:

能源供应的稳定性是燃气电厂运营的核心要素,尤其在电力系统黑启动策略下,其重要性更为凸显。为确保能源供应不受单一渠道或突发事件的干扰,建立多元化的能源供应体系并加强与供应商的合作沟通显得尤为重要。多元化的能源供应体系意味着燃气电厂需要从多个渠道、多种类型的能源中获取所需,如天然气、液化石油气等。这种策略不仅能降低对某一特定能源的依赖,还能在某种能源供应出现波动时,迅速从其他渠道获得补充,确保电厂的正常运行。此外,随着可再生能源技术的不断发展,燃气电厂还可以考虑与风电、光伏等可再生能源发电站建立连接,实现能源的互补与协同供应。其次,与能源供应商建立长期、稳定的合作关系也是保障能源供应稳定性的关键。通过与供应商签订长期供应合同,燃气电厂可以确保在黑启动过程中或其他紧急情况下,获得优先、稳定的能源供应。此外,双方还应建立高效的沟通机制,定期交流能源市场动态、供应情况等信息,以便及时调整采购策略,应对可能出现的市场波动^[4]。最后,燃气电厂自身也应加强能源储存与调度能力。通过建设足够容量的储气设施,电厂可以在能源供应充裕时储存部分能源,以备不时之需。同时,智能调度系统的应用也能够帮助电厂实时监测能源供需情况,根据电网需求和机组状态,动态调整能源的使用与分配,确保在任何情况下都能维持稳定的电力输出。

4.3 人员技能与培训问题:

在电力系统黑启动策略下,运行人员的技能水平和协同作战能力至关重要。为确保燃气电厂在关键时刻能够迅速、准确地响应,必须高度重视人员的技能提升与培训。第一,定期开展针对黑启动策略的培训和演练活动是必不可少的。这些活动应涵盖黑启动的基本原理、操作流程、关键设备操作等多个方面,确保运行人员能够全面、深入地掌握相关知识。通过模拟真实的黑启动

场景进行演练,可以检验运行人员对理论知识的掌握程度,并发现可能存在的问题和不足。第二,为提高培训的针对性和实效性,应引入先进的仿真模拟技术。仿真模拟系统能够模拟燃气电厂在各种工况下的运行状态,为人员提供逼真的模拟环境进行实践操作训练。通过这种训练方式,运行人员可以在无风险的情况下进行反复操作练习,直至熟练掌握相关技能。这不仅能够提升运行人员的操作技能,还能增强他们在紧急情况下的心理素质 and 应变能力。第三,还应注重加强运行人员之间的协同作战能力培训。在电力系统黑启动过程中,各岗位人员需要紧密配合,共同完成恢复任务。因此,应通过团队训练、案例分析等方式,培养运行人员的团队协作精神和沟通能力,确保他们在关键时刻能够相互支持、共同应对挑战。

结语

本文从专业技术角度深入探讨了电力系统黑启动策略下燃气电厂的快速响应机制。通过优化关键技术与实践、解决专业技术挑战以及加强协同与调度策略的研究与实践,燃气电厂将为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。展望未来,随着技术的不断进步和创新应用的涌现,燃气电厂在黑启动策略下的快速响应能力将得到进一步提升和完善。

参考文献

- [1]冷亚军,吴宗育,时浩,等.电力系统黑启动决策方法比较研究[J].运筹与管理,2022,31(07):161-166.
- [2]顾雪平,白岩松,李少岩,等.电力系统黑启动恢复问题的研究评述[J].电工技术学报,2022,37(13):3183-3200.
- [3]蔡伟君.电力系统新增黑启动机组优化布点研究[J].电工技术,2021,(14):94-95.
- [4]向国炎.电力系统黑启动的难点及对策研究[J].通信电源技术,2019,36(08):237-238.