

地铁通风空调系统变频节能优化技术研究

高广健

哈尔滨地铁集团 黑龙江 哈尔滨 150000

【摘要】：地铁通风空调系统是地铁运营中的核心能耗单元，变频技术的合理应用可有效降低其能耗水平。本文以地铁通风空调系统变频节能优化为核心，探讨系统运行中存在的能耗问题，分析变频技术适配特性，提出针对性的优化技术方案，阐述方案实施的关键要点与保障措施。研究表明，科学的变频节能优化技术能实现通风空调系统能耗与运行需求的精准匹配，显著提升能源利用效率。该研究为地铁通风空调系统节能改造提供技术参考，助力地铁运营的绿色低碳发展。

【关键词】：地铁通风空调系统；变频技术；节能优化；能耗控制；运行适配

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.034

地铁作为城市公共交通的骨干力量，其运营过程中的能源消耗问题备受关注。通风空调系统承担着地铁车站与隧道的温湿度调节、空气流通保障等重要功能，其能耗在地铁总运营能耗中占比极高，直接影响地铁运营的经济性与环保性。变频节能技术凭借其负载变化的良好适配性，在各类工业与民用建筑节能领域已得到广泛应用，但在地铁通风空调系统的针对性应用中仍存在适配性不足、优化方向不明确等问题。基于此，开展地铁通风空调系统变频节能优化技术研究，挖掘变频技术的节能潜力，构建贴合地铁运营工况的优化方案，不仅能有效降低运营成本，更符合城市轨道交通绿色发展的趋势。本文围绕这一核心展开深入探讨，为相关技术应用与推广提供理论与实践支撑。

1 地铁通风空调系统运行现状及变频节能适配性问题

地铁通风空调系统的运行工况受客流变化、外界环境温度、列车运行密度等多种因素影响，呈现出显著的动态波动特性。当前多数地铁通风空调系统采用定速运行模式，该模式下设备输出功率固定，无法根据实际负荷需求进行实时调整，导致在低负荷时段出现大量能源浪费。例如在夜间或客流低谷期，系统仍维持额定风量与冷量输出，不仅增加了能耗，还可能因过度调节导致室内温湿度偏离舒适范围，影响乘客体验。同时，系统各组成部分如风机、水泵、冷水机组等的运行协调性不足，设备之间的联动控制缺乏科学性，进一步加剧了能耗冗余问题。

变频技术通过改变供电频率实现设备转速的精准调节，进而匹配不同负荷下的运行需求，具备应用于地铁通风空调系统节能改造的核心优势。但在实际适配过程中，存在诸多亟待解决的问题。部分既有系统的设备老旧，其机械结构与变频驱动装置的兼容性较差，直接替换或改造易出现运行不稳定、故障频发等情况。此外，变频控制策略的制定缺乏对地铁动态工况

的充分考量，多采用简单的阈值控制模式，未能结合客流预测、环境参数变化等因素进行动态优化，导致变频技术的节能潜力无法充分发挥^[1]。系统的能耗监测与反馈机制不完善，也是制约变频节能适配效果的关键因素。当前部分地铁通风空调系统缺乏全面的能耗数据采集终端，无法实时获取风机、水泵等核心设备的运行参数与能耗信息，难以对变频调节效果进行精准评估与动态修正。同时，运维人员对变频技术的认知与操作水平参差不齐，在设备调试、日常维护等环节存在不规范操作，不仅影响变频系统的稳定运行，还可能缩短设备使用寿命，增加后期运营成本。

2 地铁通风空调系统变频节能优化技术方案构建

针对地铁通风空调系统的动态运行特性，需构建基于工况动态匹配的变频控制策略。通过搭建综合监测平台，整合客流数据、外界环境参数、列车运行信息等多源数据，实现对系统负荷的精准预测。基于预测结果，采用分段式变频调节逻辑，针对不同时段、不同客流强度下的负荷需求，设定差异化的转速调节区间，确保风机、水泵等设备的输出功率与实际负荷精准匹配。同时，强化系统各设备之间的联动控制，实现风机与冷水机组、新风阀与回风阀的协同变频调节，提升系统整体运行效率。

开展设备适配性改造与选型优化，是保障变频节能效果的基础，直接决定变频技术在地铁通风空调系统中节能潜力的发挥。对于既有老旧设备，需从机械性能、电气兼容性、运行稳定性等多维度开展全面的性能检测与评估，精准定位与变频系统不兼容的核心症结，针对性实施改造升级，如更换适配的高精度轴承、耐高频振动密封件及适配性电气元件等，大幅提升设备与变频驱动装置的运行匹配度^[2]。在新设备选型过程中，需严格遵循地铁通风空调系统的设计参数与动态运行工况要求，优先选用符合一级能效标准的高效节能型变频风机、水泵及冷水机组，科学测算并确定设备的额定功率、变频调节范围、

启停响应速度等关键参数,确保设备在高峰客流、低谷运营等全工况运行范围内均能保持优异的能源利用效率,规避“大马拉小车”的能耗浪费问题。

构建能耗监测与反馈优化体系,实现变频节能效果的闭环管控。在系统各核心设备及关键节点安装智能监测终端,实时采集转速、功率、能耗、温湿度等运行参数,通过数据传输网络上传至控制中心。依托数据分析平台,对采集到的参数进行深入分析,评估变频调节方案的节能效果,识别运行过程中存在的问题。基于分析结果,对变频控制策略进行动态修正与优化,同时为运维人员提供精准的维护建议,确保系统始终处于最优节能运行状态。

3 地铁通风空调系统变频节能优化技术实施与效果验证

变频节能优化技术的实施需遵循科学的流程,首先开展现场调研与数据采集工作,全面掌握目标地铁线路通风空调系统的设备配置、运行参数、能耗现状等基础信息,明确系统存在的能耗问题与优化需求。结合调研结果,完成变频控制策略的细化设计、设备适配性改造方案的制定及监测系统的布局规划,确保方案的可行性与针对性。在实施过程中,严格按照施工规范开展设备安装、线路改造、程序调试等工作,同步做好施工质量管控,避免因施工不当影响系统运行稳定性。

实施过程中的调试与试运行是保障优化效果的关键环节。在完成设备安装与系统改造后,进行分阶段调试工作,首先对单个变频设备进行空载调试,检查设备运行状态、转速调节精

度等关键指标;随后开展系统联动调试,验证各设备之间的协同运行效果,测试变频控制策略在不同工况下的适配性^[3]。调试完成后进入试运行阶段,选取不同客流时段、不同外界环境条件的典型工况,持续监测系统运行参数与能耗数据,对比分析优化前后的能耗变化,及时发现并解决试运行过程中出现的问题。

效果验证需从能耗降低、运行稳定性、环境舒适度等多维度开展。通过对比优化前后相同工况下的能耗数据,评估变频节能技术的实际节能成效;对系统运行过程中的设备故障发生率、参数波动范围等指标进行统计分析,验证系统运行稳定性的提升效果;同时,通过采集乘客区域的温湿度、空气质量等参数,评估优化方案对环境舒适度的保障作用。基于验证结果,形成完整的技术实施总结,为该技术在其他地铁线路的推广应用提供可复制的经验与技术参考。

4 结语

本文围绕地铁通风空调系统变频节能优化技术展开研究,明确了系统运行中的能耗问题及变频技术适配痛点,构建了涵盖控制策略、设备适配、监测反馈的全流程优化方案,通过实施流程规范与多维度效果验证,证实了该技术的节能有效性与运行可行性。变频节能优化技术的应用,可实现地铁通风空调系统能耗与负荷需求的精准匹配,为地铁运营降本增效提供有力支撑。后续需持续关注技术迭代与实际运行需求,进一步提升优化方案的适配性与智能化水平,助力城市轨道交通绿色低碳发展。

参考文献:

- [1] 王超.地铁通风空调系统绿色建造应用设计探析[J].城市开发,2025,(03):118-120.
- [2] 周恒,杜亚辰.地铁通风空调系统能耗智能控制模型优化及实例验证[J].城市轨道交通研究,2024,27(S2):74-82+93.
- [3] 武旭.变频节能技术在地铁通风空调系统中的应用[J].中国设备工程,2023,(07):110-112.