

地铁通风空调系统自动化控制策略及节能优化

罗景文 白冰清

杭州杭港地铁有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 随着城市化进程的加速,地铁作为城市公共交通的重要组成部分,其运行效率和能源消耗问题日益受到关注。地铁通风空调系统作为保障地铁环境舒适性和安全性的关键系统,其自动化控制策略及节能优化对于降低地铁运营成本、提高能源利用效率具有重要意义。本文深入探讨了地铁通风空调系统的自动化控制策略,分析了当前存在的问题,并提出了相应的节能优化措施,旨在为地铁通风空调系统的优化运行提供理论支持和实践指导。

关键词: 地铁通风空调系统; 自动化控制策略; 节能优化

1 引言

地铁具有大运量、快速、准点等优点,是解决城市交通拥堵问题的有效手段。然而,地铁系统是一个庞大的能源消耗体,其中通风空调系统的能耗占比较大。地铁通风空调系统不仅要为乘客和工作人员提供舒适的室内环境,还要保证地铁车站和隧道内的空气质量,排除余热余湿和有害气体。因此,研究地铁通风空调系统的自动化控制策略及节能优化,对于实现地铁的绿色、可持续发展具有重要的现实意义。

2 地铁通风空调系统自动化控制策略

2.1 基于环境参数的控制策略

温度控制: 通过在车站公共区、设备管理用房和隧道内设置温度传感器,实时监测环境温度,并将温度信号传输给自动化控制系统。控制系统根据设定的温度范围,自动调节空气处理机组的送风温度和风量,以及冷水机组的运行负荷,使室内温度保持在舒适范围内。例如,当站厅温度高于设定上限时,控制系统会增加空气处理机组的冷水阀开度,加大送风量,降低送风温度;反之,当温度低于设定下限时,则减小冷水阀开度,减少送风量,提高送风温度。

湿度控制: 湿度对人体的舒适感和设备的正常运行也有重要影响。在地铁通风空调系统中,通过湿度传感器监测环境湿度,控制系统根据湿度设定值调节加湿器或除湿器的运行状态。当湿度过高时,启动除湿器降低空气湿度;当湿度过低时,开启加湿器增加空气湿度,以维持室内湿度的相对稳定。

空气品质控制: 为了保证地铁车站和隧道内的空气质量,需要实时监测空气中的二氧化碳、一氧化碳、粉尘等污染物的浓度。通过在关键区域设置空气品质传感器,当污染物浓度超过设定限值时,控制系统会自动增大新风量,加强通风换气,及时排除有害气体,改善室

内空气品质。

2.2 基于客流量的控制策略

客流量是影响地铁通风空调系统负荷的重要因素之一。通过在车站出入口、站厅、站台等位置安装客流量统计设备,实时获取客流量信息,并将其反馈给自动化控制系统。控制系统根据客流量的变化,动态调整通风空调系统的运行参数。例如,在客流量高峰时段,增加空气处理机组的风量和制冷量,以满足大量乘客对舒适环境的需求;在客流量低谷时段,适当降低系统运行负荷,减少能源消耗^[1]。此外,还可以结合列车运行时刻表,提前预测客流量的变化趋势,提前调整系统运行状态,实现更加精准的控制。

2.3 基于时间表的控制策略

地铁运营具有固定的时刻表,不同时间段的客流量和运营需求存在明显差异。因此,可以根据地铁的运营时间表制定通风空调系统的自动化控制时间表。在运营时段,按照满足乘客舒适性和设备运行要求的标准控制系统运行;在非运营时段,如夜间停运期间,降低系统的运行负荷,仅维持必要的基本通风,以保证车站和隧道内的空气流通,防止设备受潮损坏。通过基于时间表的控制策略,可以实现通风空调系统的定时启停和运行参数的自动调整,避免不必要的能源浪费。

3 地铁通风空调系统存在的问题

3.1 控制策略不够精准

目前,部分地铁通风空调系统的自动化控制策略仍较为简单,主要基于固定的环境参数设定值进行控制,未能充分考虑客流量、室外气象条件等动态因素的变化。例如,在客流量较少但室外温度较高的情况下,系统仍然按照高负荷模式运行,导致能源浪费。此外,控制系统的响应速度较慢,不能及时根据环境变化调整系统运行参数,影响了室内环境的舒适性和系统的节能效果。

3.2 设备老化与效率低下

随着地铁运营时间的增长,通风空调系统中的部分设备逐渐老化,性能下降。例如,冷水机组的制冷效率降低,风机的风量和风压不足,水泵的能耗增加等。这些问题不仅导致系统的能耗上升,还影响了系统的正常运行和室内环境质量^[2]。同时,由于设备更新换代成本较高,一些地铁运营单位对设备的维护和更新不及时,进一步加剧了设备老化问题。

3.3 系统设计不合理

在地铁建设初期,部分通风空调系统的设计存在不合理之处。例如,系统选型过大,导致设备在部分负荷下运行效率低下;风道设计不合理,造成局部阻力过大,增加了风机的能耗;空调水系统的水力平衡失调,使得部分末端设备得不到足够的冷量或热量,影响了系统的整体性能。此外,设计过程中对节能措施的考虑不够充分,缺乏对系统运行优化和能源管理的整体规划。

3.4 能源管理不完善

地铁通风空调系统的能源管理目前还存在一些不足之处。一方面,缺乏完善的能源监测和统计体系,无法实时、准确地掌握系统的能源消耗情况,难以对能源消耗进行精细化管理。另一方面,能源管理人员的专业素质有待提高,对节能技术和方法的应用不够熟练,缺乏有效的能源管理策略和措施,导致系统的节能潜力未能得到充分发挥。

4 地铁通风空调系统节能优化措施

4.1 优化自动化控制策略

采用模糊控制、神经网络控制、模型预测控制等智能控制算法,提高控制系统的自适应能力和精度。这些算法能够根据实时的环境参数、客流量、设备运行状态等多源信息,自动调整通风空调系统的运行参数,实现系统的优化运行。例如,模糊控制算法可以根据温度、湿度、客流量等输入变量的模糊化处理,通过模糊推理得出相应的控制输出,调节设备的运行状态,使系统在不同工况下都能保持良好的节能效果。利用历史数据和气象预报信息,建立地铁通风空调系统的负荷预测模型^[3]。通过预测未来一段时间内的系统负荷变化,提前调整设备的运行计划和参数设置,避免系统在负荷高峰时出现过载运行,在负荷低谷时出现能源浪费。例如,根据天气预报提前预测室外温度的变化趋势,合理安排冷水机组的启停时间和负荷调节,提高系统的能源利用效率。

4.2 设备更新与改造

对老化、低效的设备进行更新换代,选用高效节能的冷水机组、风机、水泵等设备。例如,采用变频调速

技术的风机和水泵,能够根据系统负荷的变化自动调节转速,降低能耗。与传统的定频设备相比,变频设备在部分负荷下运行时可节省大量电能。此外,新型的冷水机组采用了先进的制冷技术和节能设计,制冷效率更高,能够有效降低系统的制冷能耗。对现有设备进行性能优化改造,提高设备的运行效率。例如,对风机的叶轮进行改造,改善气动性能,减少风道阻力;对冷水机组的冷凝器和蒸发器进行清洗和维护,提高换热效率;对水泵进行节能改造,如采用高效叶轮、优化管道布局等措施,降低水泵的能耗。

4.3 系统设计与优化

在地铁通风空调系统设计阶段,应根据地铁车站和隧道的实际需求,合理选择设备的型号和规格,确保系统各设备之间的匹配性。避免设备选型过大或过小,提高系统在部分负荷下的运行效率。例如,通过精确计算车站的冷负荷和风量需求,选择合适容量的冷水机组和空气处理机组,使系统在实际运行中能够高效运行。对风道和水系统进行优化设计,降低系统的阻力损失。合理布置风道,减少弯头、三通等局部阻力件的使用,采用光滑的内壁材料,降低风道的风阻。在水系统设计中,进行详细的水力计算,确保各环节的水力平衡,避免出现水力失调现象。同时,采用合适的管径和流速,降低水泵的扬程和能耗。在地铁通风空调系统中,充分利用自然冷源可以显著降低能源消耗。例如,在过渡季节和冬季,当室外空气温度较低时,可以采用全新风运行模式,直接将室外冷空气引入车站进行降温,减少冷水机组的运行时间。此外,还可以考虑采用地源热泵、水源热泵等可再生能源技术,为地铁通风空调系统提供冷热源,进一步提高系统的节能性和环保性。

4.4 加强能源管理

完善地铁通风空调系统的能源监测与统计体系,安装能源计量仪表,实时监测系统的电能、水能、冷量等能源消耗数据。通过能源管理系统对监测数据进行采集、分析和处理,生成能源消耗报表和趋势图,为能源管理提供数据支持。管理人员可以根据能源监测数据,及时发现能源消耗异常情况,采取相应的措施进行调整和优化。建立健全能源管理制度,明确各部门和岗位的能源管理职责,制定能源消耗定额和节能目标。加强对能源管理人员的培训,提高其专业素质和管理水平。同时,建立能源管理考核机制,将能源消耗指标与部门的绩效考核挂钩,激励员工积极参与节能工作,形成全员节能的良好氛围。加强对地铁运营人员和乘客的节能宣传教育,提高全员的节能意识。通过开展节能培训活

动,使运营人员掌握节能技术和方法,能够正确操作和维护通风空调系统设备,确保系统在节能状态下运行。同时,引导乘客养成良好的节能习惯,如合理使用电梯、减少不必要的空调使用等,共同为地铁的节能减排做出贡献。

5 案例分析——以广州地铁三号线北延段为例

5.1 项目概况

广州地铁三号线北延段全长30.9公里,共设12座车站,是连接广州市中心与白云国际机场的重要交通线路。该线路客流量大,通风空调系统运行负荷高,原系统控制方式较为粗放,能耗居高不下。为降低运营成本,提高能源利用效率,广州地铁对三号线北延段的通风空调系统进行了自动化控制策略及节能优化改造。

5.2 自动化控制策略

5.2.1 智能环境感知与精准调控

在车站公共区、设备区以及隧道内安装了高精度的温湿度、二氧化碳、PM2.5等传感器,共计500余个,实现对环境参数的全方位实时监测。通过先进的楼宇自控系统(BAS),对采集到的数据进行分析处理,自动调节空调机组、风机等设备的运行状态。例如,当公共区二氧化碳浓度超过1200ppm时,BAS系统会自动提高新风机组的运行频率,增加新风量;当温湿度超出设定的舒适范围(温度25℃-27℃,湿度40%-60%)时,系统会精确调节空调机组的制冷/制热输出和风机转速,确保车站环境始终处于舒适状态。

5.2.2 基于客流预测的动态控制

利用AFC(自动售检票)系统的历史客流数据和实时客流信息,结合地铁运营时刻表,建立客流预测模型。根据预测的客流量大小,提前调整通风空调系统的运行参数。在早晚高峰时段,客流量较大,系统会自动提高空调机组和风机的运行效率,以满足大量乘客的舒适需求;而在平峰和低谷时段,系统则降低设备运行频率,减少不必要的能耗。经实际运行测试,通过基于客流预测的动态控制,系统能耗可降低10%-15%。

5.3 节能优化措施

5.3.1 变频调速技术全面应用

对车站内的空调机组、风机、水泵等设备全部加装变频器,根据实际负荷需求实时调节设备转速。以空调机组为例,在部分负荷工况下,通过降低风机转速,可显著减少风机的能耗。经实际测量,在夜间低客流时段,风机转速降低至额定转速的50%左右,能耗可降低约

40%。全线应用变频调速技术后,通风空调系统的风机和水泵能耗降低了25%-30%。

5.3.2 水蓄冷技术引入

在部分车站的空调水系统中引入水蓄冷技术。在夜间低谷电价时段,利用制冷机组制备冷水并储存于蓄冷罐中;在白天高峰电价时段,减少制冷机组的运行时间,优先使用蓄冷罐中的冷水为车站提供冷量。通过这种方式,不仅降低了高峰时段的用电负荷,还充分利用了低谷电价的优惠政策,有效降低了空调系统的运行成本。据统计,水蓄冷技术的应用使相关车站的空调系统年电费支出降低了18%左右。

6.实施效果

经过一段时间的运行监测和数据分析,广州地铁三号线北延段通风空调系统自动化控制策略及节能优化改造取得了显著成效。与改造前相比,全线通风空调系统年节能率达到28%,每年节约电量约350万千瓦时,减少二氧化碳排放约3486吨。同时,车站内的环境质量得到了明显改善,乘客的舒适度大幅提升,为广州地铁的绿色、可持续发展做出了积极贡献。

结语

地铁通风空调系统的自动化控制策略及节能优化是地铁节能减排、提高运营效率的重要举措。通过采用基于环境参数、客流量、时间表以及多系统联动的自动化控制策略,并结合设备更新与改造、系统设计与优化、加强能源管理等节能优化措施,可以有效降低地铁通风空调系统的能源消耗,提高系统的运行效率和可靠性。在实际应用中,应根据地铁的实际情况,制定个性化的节能优化方案,并不断探索和应用新的节能技术和管理方法,以实现地铁通风空调系统的可持续发展,为城市的绿色交通建设做出贡献。同时,政府和相关部门应加强对地铁节能工作的支持和引导,制定相关的政策和标准,推动地铁行业节能技术的研发和应用,促进地铁运营的节能减排目标的实现。

参考文献

- [1]孔敏,侯凯娟.基于变频技术的地铁车站空调通风系统自适应控制方法[J].设备管理与维修,2024,(21):45-48.
- [2]王圣均.地铁车站通风空调系统节能控制方法研究[J].科学技术创新,2025,(08):201-204.
- [3]杨旭.地铁空调通风系统低碳运行控制策略[J].绿色建筑,2025,17(01):52-56.