

地铁环控系统节能措施研究

沈文斌

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221100

摘要：在城市化快速推进的当下，地铁凭借高效、便捷等优势，成为城市公共交通的关键力量，建设规模与日俱增。本文聚焦于地铁环控系统节能措施研究。首先概述地铁环控系统基本情况，接着深入剖析影响其能耗的因素，涵盖环境条件、客流量、设备性能及运行模式等方面。随后详细阐述现有地铁环控系统节能技术措施，包括智能控制技术、高效设备应用、自然通风与排烟利用、余热回收以及优化运行管理等。旨在通过全面研究，为降低地铁环控系统能耗、提升能源利用效率提供理论依据与实践参考，推动地铁运营的绿色可持续发展。

关键词：地铁环控系统；能耗因素；节能技术措施

引言：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，其建设规模不断扩大。地铁环控系统对于保障地铁内部环境舒适、安全起着关键作用，但同时也是能耗大户。在能源日益紧张、环保要求不断提高的当下，降低地铁环控系统能耗迫在眉睫。深入研究地铁环控系统节能措施，不仅能有效减少能源消耗、降低运营成本，还能减少对环境的影响，符合可持续发展的战略需求。并将对地铁环控系统展开全面研究，剖析能耗影响因素，并探讨切实可行的节能技术措施，为地铁行业的节能发展贡献力量。

1 地铁环控系统概述

(1) 地铁环控系统是保障地铁内部环境舒适与安全的核心系统。地铁运行于地下封闭空间，人员密集且设备众多，易产生大量热量、湿气及异味，若环境控制不当，会严重影响乘客的出行体验与身体健康。该系统通过调节地铁车站及隧道内的温度、湿度、空气质量和气流速度等参数，为乘客和工作人员创造适宜的环境条件，确保地铁在各种工况下都能安全、稳定地运行。

(2) 地铁环控系统具有复杂且综合的功能特性。它涵盖了通风、空调、排烟等多个子系统。通风子系统负责引入新鲜空气、排出污浊空气，维持车站及隧道内的空气流通，防止有害气体积聚；空调子系统则根据不同季节和运营时段，精确调节站内温度和湿度，使其保持在舒适范围内；排烟子系统在火灾等紧急情况下，能迅速排除烟雾，为人员疏散和消防救援提供有利条件。这些子系统相互协作、紧密配合，共同构建起一个完整的环境控制体系。(3) 地铁环控系统的设计与运行需充分考虑多方面因素。一方面，要根据地铁所在地区的气候条件、地质状况以及线路特点等进行个性化设计，以确保系统能够适应不同的外部环境。另一方面，要兼顾节能

与高效的要求，采用先进的技术和设备，优化系统运行模式，在满足环境控制需求的同时，尽可能降低能源消耗，实现经济效益与环境效益的双赢。总之，地铁环控系统是地铁运营不可或缺的重要组成部分，其性能的优劣直接关系到地铁的服务质量和运营安全^[1]。

2 影响地铁环控系统能耗的因素

2.1 环境条件

环境条件对地铁环控系统能耗有着显著影响。其中，气温是关键因素之一。在夏季高温时段，外界温度高，地铁车站和隧道内需要大量的冷量来维持适宜温度，空调系统需长时间高负荷运行，能耗大幅增加；冬季寒冷时，又需消耗能源进行供暖。湿度同样不可忽视，高湿度环境会让人感觉闷热，为了提升舒适度，环控系统需额外进行除湿操作，增加设备运行时间和功率。此外，地铁周边的空气质量也会影响能耗。若外界空气污染严重，通风系统在引入新风时，需要增加过滤、净化环节，这无疑会加重设备负担，导致能耗上升。

2.2 客流量

客流量是影响地铁环控系统能耗的重要因素。当客流量较大时，人员散发的热量和湿气增多，车站和列车内的温度和湿度会迅速上升。为了维持舒适的环境，空调系统需要加大制冷、制热或除湿的力度，通风系统也要提高换气频率，以确保空气清新，这必然导致设备运行功率增加，能耗上升。反之，在客流量较小的时段，如非高峰期或运营淡季，人员产生的热量和湿气相对较少，环控系统可适当降低运行强度，减少能源消耗。

2.3 设备性能

设备性能对地铁环控系统能耗起着决定性作用。先进的环控设备通常具有更高的能效比，能够在相同的制冷、制热或通风效果下，消耗更少的能源。例如，高效

节能的空调机组采用新型压缩机和优化的换热器设计，可显著降低能耗；智能通风设备能够根据实际需求自动调节风量，避免不必要的能源浪费。相反，老旧设备由于技术落后、部件磨损等原因，运行效率低下，能耗较高。而且，设备的维护保养状况也会影响能耗。定期维护保养可确保设备处于最佳运行状态，减少故障发生，提高能源利用效率；若维护不当，设备性能下降，不仅会增加能耗，还可能缩短设备使用寿命，增加运营成本^[2]。

2.4 运行模式

运行模式是影响地铁环控系统能耗的关键环节。合理的运行模式能够根据不同时段、不同区域的需求，精准调节环控设备的运行状态，实现节能目标。例如，在地铁运营高峰时段，客流量大，环控系统可采用全负荷运行模式，确保车站和列车内环境舒适；而在非高峰时段，可切换至部分负荷运行模式，降低设备运行功率。此外，分区控制也是一种有效的节能运行模式，根据车站不同区域的功能和客流量，将车站划分为多个区域，分别控制各区域的环控设备，避免“一刀切”式的运行方式造成的能源浪费。

3 现有地铁环控系统节能技术措施

3.1 智能控制技术

(1) 智能传感器与数据采集技术是智能控制的基础。在地铁环控系统中，大量布置的温度、湿度、空气质量、客流量等智能传感器，能够实时、精准地采集环境数据和设备运行状态信息。这些传感器就像系统的“眼睛”和“耳朵”，将各种参数转化为电信号并传输至中央控制系统。例如，温度传感器可精确感知车站内各区域的温度变化，为空调系统的精准调节提供依据，避免因过度制冷或制热造成能源浪费。(2) 智能算法与决策系统发挥着核心作用。基于采集到的海量数据，运用先进的智能算法，如模糊控制算法、神经网络算法等，对环控设备的运行进行优化决策。系统可以根据不同时段、不同区域的客流量和环境参数，自动计算出最节能的设备运行参数组合。比如在客流量较小的非高峰时段，智能算法会适当降低空调的风速和制冷量，减少风机和压缩机的运行功率，实现按需供能。(3) 远程监控与自动化控制技术使管理更加高效。通过建立远程监控平台，管理人员可以在控制中心实时查看地铁各站点环控系统的运行情况，并进行远程操作和调整。一旦设备出现故障或能耗异常，系统能及时发出警报，管理人员可迅速采取措施。同时，自动化控制功能可以根据预设的程序和智能决策结果，自动调节环控设备的运行，无需人工干预，大大提高了系统的响应速度和节能效果。

3.2 高效设备应用

(1) 高效空调设备是降低地铁环控系统能耗的关键。新型的变频空调技术可根据地铁车站内实际负荷需求，自动调整压缩机的运行频率。在客流量较小、环境温度变化不大的时段，压缩机低频运行，有效减少电能消耗；而在客流量大、环境温度升高时，压缩机高频运转，快速调节室内温度。此外，采用高效换热器的空调机组，能增强热交换效率，使制冷或制热过程更加迅速、充分，降低单位面积的能耗。例如，一些地铁项目应用了具有微通道换热技术的空调，相比传统换热器，其换热效率提高了30%以上，显著减少了能源浪费。

(2) 高效通风设备对节能也起着重要作用。智能调节风量的通风机可根据车站内人员密度和空气质量状况，自动改变送风量和排风量。在非高峰时段，降低通风量以节省电能；在高峰时段或空气质量较差时，增大通风量保证空气流通。同时，采用低阻力的风道设计和高效的风机叶片，可减少通风过程中的能量损失，提高通风效率。(3) 节能型照明设备与环控系统协同节能。LED照明灯具具有能耗低、寿命长的特点，将其应用于地铁车站和隧道照明，可大幅降低照明能耗。而且，通过智能照明控制系统，可根据自然光照强度和人员活动情况，自动调节照明显亮度，进一步实现照明与环控系统的整体节能^[3]。

3.3 自然通风与排烟利用

(1) 合理设计自然通风口是实现自然通风与排烟利用的基础。在地铁车站的建筑设计中，根据当地的气候条件和地铁线路走向，科学规划通风口的位置、大小和形状。例如，在夏季主导风向的位置设置进风口，让外界新鲜空气自然流入车站；在车站的另一端或合适位置设置出风口，使站内污浊空气能够顺利排出。同时，通风口的面积大小要根据车站的规模和通风需求进行精确计算，确保在自然通风条件下，能够满足车站内人员呼吸和散热的基本要求，减少机械通风设备的使用时间和频率，从而降低能耗。(2) 利用活塞风效应增强自然通风效果。当地铁列车在隧道中行驶时，会产生类似活塞运动的空气流动，即活塞风。通过合理设计隧道和车站的结构，如设置活塞风井、风道等，引导活塞风进入车站，实现自然通风。在列车进站时，活塞风可将车站内的热空气和污浊空气排出；列车出站时，又能将外界新鲜空气带入车站。这种利用列车运行产生的自然动力进行通风的方式，无需额外消耗能源，大大降低了环控系统的能耗。(3) 自然通风与排烟系统在火灾等紧急情况下的协同作用至关重要。自然排烟设施可在火灾时

迅速排除烟雾，为人员疏散和消防救援创造有利条件。同时，与机械排烟系统相互配合，形成多层次的排烟体系，提高排烟效率，保障地铁运营安全，间接减少因火灾等事故导致的能源额外消耗和设备损耗。

3.4 余热回收

(1) 地铁设备运行产生大量余热，合理回收可实现能源再利用。地铁列车制动时，制动装置会将列车的动能转化为热能散发出去；车站内的空调系统、照明设备等在运行过程中也会产生余热。这些余热若直接排放到环境中，不仅造成能源浪费，还可能对周边环境产生热污染。通过安装余热回收装置，如热管换热器、板式换热器等，可以将这些余热收集起来，为地铁其他需要热能的环节提供能源支持，实现能源的梯级利用。(2) 余热回收可用于车站的供暖和生活热水供应。在冬季，将回收的列车制动余热和空调系统余热，通过热交换装置转化为热水，输送到车站的供暖系统中，为车站大厅、站台等区域供暖，减少对传统供暖能源的依赖。同时，这些余热还可用于加热生活用水，为车站工作人员和乘客提供热水服务，降低生活热水制备过程中的能源消耗，提高能源利用效率。(3) 余热回收技术有助于提升地铁环控系统的整体节能效果。通过对余热的回收和再利用，减少了为获取相同热能而消耗的其他能源，降低了环控系统的整体能耗。而且，余热回收装置的运行相对稳定，维护成本较低，能够在长期运行中持续为地铁节能减排做出贡献，符合可持续发展的理念，推动地铁运营向绿色、低碳方向转型。

3.5 优化运行管理

(1) 建立科学合理的运行管理制度是优化运行管理的基础。制定详细的设备操作规程，明确不同工况下环控设备的启动、运行和停止条件，确保操作人员严格按照规范执行，避免因误操作导致的能源浪费。同时，完善巡检制度，安排专人定期对环控设备进行巡查，及时发现设备运行中的异常情况，如设备漏风、管道堵塞等，并迅速处理，保证设备始终处于高效运行状态，减少因设备故障引发的额外能耗。(2) 实施精细化的能耗

监测与分析至关重要。借助先进的能耗监测系统，实时采集地铁环控系统各设备的能耗数据，包括用电量、用水量等。通过对这些数据的深入分析，找出能耗高的环节和设备，为后续的节能优化提供依据。例如，若发现某时间段空调系统的能耗异常升高，可进一步分析是客流量变化、设备性能下降还是控制策略不合理导致的，从而有针对性地采取措施降低能耗。(3) 加强人员培训与管理，提升运行管理人员的专业素质。定期组织培训课程，使管理人员掌握最新的节能技术和管理方法，提高其对环控系统运行优化的能力。同时，建立激励机制，对在节能工作中表现突出的个人或团队给予奖励，激发管理人员主动参与节能工作的积极性，形成全员参与、共同节能的良好氛围，推动地铁环控系统运行管理水平不断提升^[4]。

结束语

地铁环控系统节能研究意义重大，关乎城市交通的绿色转型与可持续发展。通过深入探究，我们发现智能控制让设备运行更精准高效，高效设备从源头降低能耗，自然通风与排烟利用巧妙借助自然之力，余热回收实现能源二次利用，优化运行管理则保障系统稳定节能。然而，节能之路永无止境。未来，随着新材料、新技术的不断涌现，我们需持续创新，将更多前沿成果应用于地铁环控系统，进一步提升节能水平，打造更加绿色、低碳、智能的地铁出行环境，为城市的绿色发展添砖加瓦。

参考文献

- [1] 洪小渐,钱堃,楚洪亮,等.某地铁车站环控系统冷源节能优化研究[J].煤气与热力,2021,41(5):271-272.
- [2] 梁宇翔.地铁环控系统节能技术要点及其措施分析[J].名城绘,2021(5):142-145.
- [3] 晋志富.地铁车站环控系统运营节能措施探讨[J].技术与市场,2021,24(4):124-125
- [4] 李国庆.城市轨道交通通风空调系统的现状及发展趋势[J].暖通空调,2021,41(6):215-216.