

地铁暖通空调系统节能优化设计研究

曹 岗

中铁第六勘察设计院集团有限公司 天津 300308

【摘要】地铁暖通空调系统在能源消耗中占据重要比重，节能优化设计是提高系统效率、降低能源消耗的关键。通过对地铁暖通空调系统能效现状的分析，探讨了多样化的节能减排技术与设计改进方法，如采用高效设备、运用智能控制系统以及结合新的技术。优化后的设计方案能显著减少能源消耗，提升乘客体验，增强系统整体运行表现。实施先进节能策略后，地铁能源消耗得到有效管理，具有广泛的推广价值。

【关键词】地铁暖通空调；节能优化；智能控制；能效提升；能源回收

引言：

地铁运营中，暖通空调系统在车站负责温湿度调节及空气质量控制，其效能直接影响能源消耗和运营成本。随着地铁客流量的增加，能源消耗问题日益突出，节能改进显得尤为关键。目前，能源消耗对经济造成压力，环境负担加重。通过技术革新与系统升级，可以显著减少能源消耗并提高系统效率。本文旨在探讨现有问题，提出地铁系统节能优化设计理念，倡导可持续发展，并依次分析现状、介绍节能技术、提出优化设计方案及评估实施效果。

1 地铁暖通空调系统的能耗现状分析

1.1 地铁暖通空调系统的组成和工作原理

地铁暖通空调系统（HVAC系统）包括空调设备、通风设备、加热设备以及智能控制系统。站厅等区域的温度调节工作由空调设备主导，保障旅客的乘坐体验。通风系统通过引入新鲜空气和排放空气，确保地铁站台空气流通状况良好，空气质量优良。冬季时，地铁站台借助加热系统供应的热量抵御寒冷，保障周围环境温度适中。通过传感器、控制器及算法实现智能系统，实时监控地铁站台的温度、湿度及二氧化碳浓度等数据，进而自动调节系统，以优化能源消耗效果。各个单元紧密配合、无缝对接，要求在高效且舒适的环境中运行。

能源效率的表现，空调设备的制冷与制热效能直接影响整体能源消耗，尤其在夏季与冬季的高峰时期尤为明显。通风系统的能效取决于风机选型、风量调节和系统风阻设计，普遍存在能源效率不高的情况，尤其在负载不均或运作状态不稳定时。冬季期间，加热系统的能源消耗比例达到最高，电力和蒸汽成为主要能源供应，而能效提升面临更多制约。

1.2 能源消耗的现状与问题

不同地铁线路的供暖、通风与空调系统在能源消耗上存在明显差异。根据运营线路收集的资料，暖通空调系统在全年能源消耗中所占比重超过30%，在夏季或冬季的高峰时段，能耗指标甚至超过50%。车站的空调与通风设施受天气状况影响显著，尤其在高峰时段频繁出现超负荷运行现象。夏季空调冷却量需求剧增，冬季取暖需求增加，能源消耗过度。系统布局与操作规程不匹配，设备运行效率低，特别是在设备陈旧且未及时保养的情况下，能源使用效率不理想。

许多地铁的暖通空调设施未能达到最佳负荷调节水平，空调风机等设备往往在满载状态下运行，忽视了负载波动性，导致能源消耗超出合理范围。大多数系统在节能控制上存在明显缺陷，尤其是在乘客流量较少时，能源消耗过度，风阻问题显著，空气流通系统和温控系统反应迟缓，能效低下的问题因此进一步恶化。

2 地铁车站暖通空调节能技术的研究现状

2.1 节能空调技术

地铁系统对节能空调技术表现出极大认可，特别结合了变频技术和智能控制系统，使空调的能源消耗显著降低。空调的转速与功率调节依赖变频技术，针对不同需求灵活调节能源消耗水平，避免长期固定功率作业周期，节约能源资源。智能控制技术可根据地铁站台内温度、湿度及二氧化碳浓度等实时数据，调整空调负荷，防止温度调节过高或过低。通过这些先进技术，空调系统的能源利用率得到了大幅提升，能源消耗实现削减。采用高效压缩机、节能电机、热交换器以及低全球变暖潜力制冷剂的新型空调设备，与传统设备相比，能效显著提高。优化设计降低了

内部热损耗，结合传感器与调节技术，适应不断变化的环境，持续优化能源消耗效能。

2.2 能量回收技术

地铁系统通过引入先进的能量回收技术，将能量的利用效率提升至新的高度。系统通过智能调节，在车站通风和空调运作过程中有效回收并利用剩余热能，降低了对外部能源的依赖。设备通过收集车站内外的热量，进行合理调配，为车站空调提供所需的热源或冷源。这一方式不仅减少了能耗，还有效延长了设备的使用寿命。通过优化系统结构与流程，能量回收技术能够确保地铁暖通系统在不增加能源负担的情况下，实现最大化的节能效果。

2.3 绿色建筑设计与智能控制系统

绿色建筑设计的理念正逐步推广，在地铁车站建筑设计中，节能环保理念日益成为主流。通过自然通风和采光升级，减少空调系统的负担，提高建筑外立面的隔热效果并加大保温材料厚度，减少热量流失，达到良好的节能效果。

智能控制系统的优化途径也是节能关键手段之一。通过数据采集与细致分析，智能系统可以即时监控和调整空调通风系统的运行状况，确保需求与实际情况精确吻合。借助海量数据研究，智能系统擅长预测并调整能源消耗模式，根据季节变换、客流量波动和温湿度变化，自动调整空调负荷，显著减少不必要的能源消耗。系统内还包含故障检测预警模块，维持设备持续高效运行，降低设备故障引发的能效损失。通过这些技术手段，地铁暖通空调系统的能源效率显著增强，运营成本大幅降低。

3 地铁车站暖通空调系统节能优化设计方法

3.1 系统优化设计的原则和目标

地铁车站暖通空调系统的优化设计应以节能、舒适和可持续发展为主要原则。在设计过程中，首先要充分考虑车站内外环境的差异，包括车站的建筑特点、通风要求及气候条件。通过科学分析，合理选定空调设备的类型和运行模式，降低能源消耗。同时，必须保证车站内空气质量和温湿度达到乘客的舒适标准，确保通风系统的有效运行，避免空调过度或不足而造成的能效浪费。

优化设计的目标不仅是提高系统运行效率，减少能源消耗，还要在保障舒适度的前提下，延长系统的使用寿命，减少维护成本。设计者应通过对车站人员流量、热负荷变化、外界气候变化等因素的综合分析，合理规划空调的运行模式和能效管理策略，确保整个系统在不同的负荷条件下均能稳定高效运行。

3.2 优化设计的技术路径

在优化设计中，可以通过多种技术路径来提高系统的能源利用率。首先，采用高效的空调设备和风机，减少能源浪费。比如，选择变频空调系统、采用高效热泵技术、安装智能控制系统等，以适应车站负荷的变化，实现动态调节。

其次，合理配置空调设备的布局与通风系统的设计，使得车站内的空气流通顺畅，避免空气滞留或死角。对空调系统进行分区控制，根据车站内不同区域的实际需求，调节空调系统的运行状态，避免大范围的过度降温或加热，从而实现局部节能。

智能化控制系统在车站暖通空调系统中的应用也日益重要。通过实时监测车站内的环境数据（如温度、湿度、人员流量等），结合历史数据分析，可以对空调系统进行智能调控，优化能效。此外，利用建筑能耗监测系统进行实时数据分析，根据实际使用情况进行动态调节，进一步减少能源浪费。

3.3 系统设计中节能与舒适度的平衡

在地铁车站暖通空调系统设计中，节能与舒适度的平衡是一个重要的设计难点。节能的主要目的是减少能源消耗和运行成本，而舒适度则直接影响乘客的体验。两者有时存在一定的冲突，因此需要通过合理的设计方案来实现平衡。

首先，在保证舒适度的基础上，应尽量减少能源的过度消耗。例如，车站内的空调温度设置应避免过高或过低的温差，保证温度适宜的同时避免系统长期满负荷运行。在空调的使用过程中，适时利用车站的自然通风来减少空调的负担，降低能耗。

此外，车站的空调系统应具备智能调节功能，根据实际人流量和环境变化自动调整空调运行模式，避免能源浪费。通过精确的温湿度控制，不仅能提供舒适的环境，还能有效避免因为过度调节导致的能源浪费。

综合考虑节能与舒适度，设计者应从设备选型、布局优化、控制策略等多个方面入手，采取灵活的设计方案，以实现系统性能的最大化。

4 地铁车站暖通空调系统节能优化的关键技术和措施

4.1 节能优化的关键技术

在地铁车站暖通空调系统的节能优化过程中，采用先进的技术是提高能源利用效率的核心。首先，变频控制技术（VFD）被广泛应用于空调系统中的风机和水泵。通过变频调速，设备能够根据实际需求自动调节转速，从而减少能源浪费，降低电力消耗。尤其是在车站负荷变化较大的情况下，变频技术能够动态调整设备运行状态，避免系统长期满负荷运行，提升能源利用效率。

智能化控制系统也是提升系统能效的重要技术。通过集成物联网技术、传感器和大数据分析，空调系统能够实时监测车站内温度、湿度、空气质量等各类环境因素，并根据实时数据自动调节空调系统的运行模式。这种智能控制不仅能够确保车站环境的舒适性，还能在不影响乘客舒适度的情况下最大化降低能耗。

4.2 节能优化措施

针对地铁站暖通空调系统的节能优化，还可以采取一系列具体的措施。首先，合理设计和选型空调设备是节能优化的基础。应根据车站的面积、布局、客流量和气候特点，合理选择空调设备的功率和类型，避免出现设备超负荷运行的现象。与此同时，空调系统的管道设计也需要进行优化，减少空气流动中的能量损失。

其次，智能调度与分区控制的实施对于节能至关重要。通过对车站不同区域的负荷需求进行分析，可以实现分区控制，即根据每个区域的实际需求调节空调设备的运行状态。例如，工作人员较少的区域可以设置较低的空调温度，乘客流量较大的区域则保持适宜的温度，以避免资源的浪费。

另外，定期对空调系统进行维护和检查是保证其长期节能运行的必要措施。随着时间的推移，空调设备和管道可能会积尘或出现故障，这将影响其能效。因此，建立健全的设备保养制度，及时清洁滤网、检查制冷剂量和管道密封性，对于确保系统高效运行至关重要。

5 地铁站通风空调系统节能设计实施及其成效分析

5.1 节能优化设计实施的难点与解决方案

地铁站暖通空调节能减排设计面临设备兼容性、系统复杂性及新技术融合的挑战。现有设备与新技术可能不兼容，影响节能效果。同时，地铁系统的运作模式和客流量波动大，调节与优化任务增添难度。管理层面主要问题在于员工培训、设备保养及节能控制策略实施。解决方案是通过分阶段升级和设备更换，选用与现有设施匹配的节能措施，采用模块化设计和智能化调节系统，减少技术整合难度。成功案例表明，某地铁线路已实现超过15%的节能成果。

5.2 节能效果的评估方法

对节能效果的评估需要依赖能效数据的对比分析，以观察优化前后的节能效果改进。首先，收集并整理地铁系统优化前后的能源消耗数据，实施深入探讨，分析系统运

作期间的能源消耗差异。对节能技术实施后的效果进行审核，并设立一套量化的节能减排效果衡量体系，包括能耗降低数值、能源成本节约效果、温湿度控制精度的提高水平等。保证评价准则具备实际操作性和明确度，实施周期性检查与结果交流，不断调整设计蓝图，确保系统长久高效运转。

5.3 节能优化设计的推广与应用前景

该研究成果在其他地铁线路的广泛应用前景非常看好。随着地铁站工程与日常运营的逐步拓展，众多大都市的地铁网络正面临能源消耗不断上升的挑战。通过节能优化设计，可以显著减少运营成本及碳排放，符合绿色可持续发展的理念。智能控制与节能设备领域的创新不断涌现，地铁节能技术的进步将拓展更广阔的应用空间。人工智能、大数据与物联网的深度结合，有望实现更精确的节能管理及更高的能源利用效率。该技术的普及将推动地铁行业向节能环保的方向转型，优化公司全面运营效果。

结语：

地铁站暖通空调系统的节能优化设计在提升能源利用效率、降低运营成本、改善乘客舒适度等方面具有重要意义。通过应用变频技术、智能控制系统等先进节能技术，并结合合理的设备选型、布局优化及分区控制等措施，能够显著降低能源消耗。通过合理的节能设计、智能化的管理和有效的技术实施，地铁站的暖通空调系统能够达到节能与舒适度的平衡，从而实现可持续发展的目标。在节能效果的评估方面，全面的数据对比分析与生命周期能效评估方法为进一步提升系统性能提供了重要依据。

参考文献：

- [1] 陈伟. 地铁暖通空调系统的用能现状和节能设计方法研究[J]. 智能建筑, 2022, (03): 68-70.
- [2] 董军寨, 李纪英. BIM技术在地铁站暖通设计中的应用[J]. 山东工业技术, 2020, (02): 69-72. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2020.02.013.
- [3] 吴佳. 地铁暖通空调系统的用能现状和节能设计措施探讨[J]. 四川建材, 2021, 47(05): 185-186.
- [4] 赵静德. 暖通空调系统的节能优化设计研究[J]. 住宅与房地产, 2022, (13): 128-130.
- [5] 李珍珠. 暖通空调自动系统节能优化设计研究[J]. 办公自动化, 2023, 28(17): 58-60.