轨道交通车站暖通通风系统运行优化与能耗管控研究

王天坤
河北加壹建筑设计有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]文中聚焦于轨道交通车站暖通通风系统的运行优化、能耗管控展开研究工作，其目的在于剖析车站通风空调系统在运行调节、设备协同、环境控制、能源管理等方面所存在的主要问题，进而探寻优化的途径。文章运用文献归纳、系统分析、运维管理研究相互结合的方式，从轨道交通车站暖通通风系统的特性、运行问题、能耗影响因素、优化举措、保障机制等多个方面进行论述。研究得出，轨道交通车站暖通通风系统的能耗受到客流变化、室外气象、设备效率、控制策略、运维管理等诸多因素的共同作用。结论表明，应当借助分时分区控制、设备联动优化、智能监测分析、精细化运维、节能评价机制，来提高车站的环境品质、能源利用效率。

[关键词]轨道交通车站；暖通通风系统；运行优化；能耗管控；节能管理
DOI：10.33142/sca.v9i10.20625　　中图分类号：U491　　文献标识码：A

Research on Optimization of HVAC System Operation and Energy Consumption Control in Rail Transit Stations

WANG Tiankun
Hebei Jiayi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: This article focuses on the research work of optimizing the operation and energy consumption control of HVAC systems in rail transit stations. The purpose is to analyze the main problems in the operation regulation, equipment coordination, environmental control, energy management, and other aspects of the station ventilation and air conditioning system, and explore ways to optimize them. The article combines literature review, system analysis, and operation and maintenance management research to discuss the characteristics, operational issues, energy consumption influencing factors, optimization measures, and guarantee mechanisms of HVAC systems in rail transit stations from multiple aspects. Research has shown that the energy consumption of HVAC systems in rail transit stations is influenced by various factors such as changes in passenger flow, outdoor weather conditions, equipment efficiency, control strategies, and operation and maintenance management. The conclusion indicates that the environmental quality and energy utilization efficiency of stations should be improved through time-sharing zoning control, equipment linkage optimization, intelligent monitoring and analysis, refined operation and maintenance, and energy-saving evaluation mechanisms.

Keywords: rail transit stations; HVAC system; operational optimization; energy consumption control; energy-saving management

引言

轨道交通车站的空间封闭性比较突出，客流波动情况比较显著，设备运行的时间也比较长，在此情况下，暖通通风系统肩负着通风换气、温湿度调节、防排烟、环境保障等关键功能。伴随城市轨道交通规模持续扩大，车站运营能耗问题越来越明显，其中暖通通风系统属于主要的能耗环节之一。对其运行优化、能耗管控路径展开研究，能够助力提高车站的舒适性、安全性、节能管理水平。

1 轨道交通车站暖通通风系统的基本认识

1.1 暖通通风系统的功能构成

轨道交通车站的暖通通风系统一般包括公共区通风空调系统、设备管理用房空调系统、区间通风系统、防排烟系统、冷源或热源系统、风机水泵系统、自动控制系统等。公共区系统主要用来保障站厅、站台等人员密集区域的温湿度、空气品质，设备用房系统主要保证通信、信号、供电和控制设备能够稳定运行，区间通风系统负责列车运行散热、活塞风组织、事故工况排烟等任务。这些系统相互联系，既要满足日常运营的舒适性需求，又要满足安全疏散和应急排烟要求。所以说，轨道交通车站暖通通风系统不是单一设备运行问题，而是涉及环境控制、能源消耗、安全保障和运维管理的综合系统。

1.2 系统运行的主要特征

轨道交通车站的暖通通风系统有着运行时间长久、负荷波动幅度大、控制要求较高、安全约束较强等特点。车

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

站运营通常包括早晚高峰、平峰、夜间检修等多个时段，客流密度变化会直接影响新风需求、冷负荷、空气品质。地下车站受外界气候影响相对缓慢，但其空间封闭、设备散热、列车运行产生的热量，致使其内部负荷具有持续性。高架或地面车站更易受室外温度、湿度、风环境的影响。通风空调系统还需兼顾消防排烟、事故通风要求，不能仅以降低能耗为目标而削弱安全冗余，运行优化要在舒适、安全、节能间实现平衡。

2 轨道交通车站暖通通风系统运行存在的主要问题

2.1 运行控制方式较为粗放

部分轨道交通车站的暖通通风系统目前存在运行控制比较粗放的情况。在实际运营过程当中，有些车站主要依据固定的时间表来启停设备，对于客流密度、室外气象、站内环境的变化，响应不够充分。在早晚高峰和平峰时段，采用相近的风量或者制冷量，这很容易造成高峰期局部环境不足，平峰期能源出现浪费现象。部分设备依靠人工经验进行调节，控制精度不高，参数调整也比较滞后。另外还有一些车站，对于不同的功能区缺少分区控制，站厅、站台、设备房、通道等区域的运行策略差异并不显著。粗放式控制致使暖通通风系统难以依据实际需求动态匹配负荷，这是能耗偏高的一个重要原因。

2.2 设备协同与系统平衡不足

暖通通风系统所涉及的设备有冷水机组、冷却塔、水泵、空调机组、组合风柜、送排风机、风阀、控制系统等，任何一个环节出现不匹配的情况，都极有可能使得整体效率降低。在部分车站当中，存在着单台设备运行状况良好，然而系统整体能效却不太理想的状况。比如说，风机的风量与实际的需求不相匹配，水泵的流量过大，冷源供回水温的差值偏小，末端风阀的调节不够到位，这些情况都会致使无效能耗有所增加。设备协同方面存在欠缺，还会造成局部区域出现冷热不均、噪声偏大、系统频繁调整等问题。暖通通风系统的优化，不能仅仅着眼于单台设备的节能，而应当从冷源、输配、末端、控制系统的整体平衡着手，以此提高系统的综合运行效率。

2.3 能耗监测与数据分析不足

能耗管控离不开数据的有力支持，然而部分车站的能耗监测却存在不够精细的状况。某些项目仅仅对车站总电耗进行统计，这样一来就很难区分暖通、照明、动力、其他系统各自的具体能耗，还有些项目虽然设置了分项计量，可是在数据分析、应用方面存在欠缺，无法形成运行优化的依据。要是缺少对温湿度、二氧化碳浓度、客流量、设备运行时间、频率、负荷率、能耗数据的联动分析，那么就很难判断设备是否处于合理的运行状态。倘若能耗数据仅仅用于报表汇总，而没有应用于异常识别、策略调整、绩效评价，那么其管理价值将会被削弱。数据分析不足导致能耗管控停留在经验管理的层面，难以达成精细化节能的目标。

3 轨道交通车站暖通通风系统能耗影响因素分析

3.1 客流变化与运营时段因素

客流的变化对于车站暖通通风系统负荷有着重要影响。在早晚高峰时段，乘客比较集中，人体散热、湿负荷、新风需求都会增加，此时通风空调系统需要给予更强的环境保障。而在平峰时段，客流会减少，如果系统依旧维持高负荷运行，那么就会造成能源的浪费。不同线路、不同站点、不同日期、不同季节的客流变化都存在着差异，所以运行策略无法简单地统一。运营时段同样会对设备启停、预冷预热安排产生影响。要是设备过早启动，就会增加无效运行的时间，要是启动过晚，则有可能对开站初期的环境质量造成影响。所以，应当结合客流规律、运营组织来进行分时调控。

3.2 气象条件与空间环境因素

室外气象状况对于车站暖通通风系统的能耗有着关键作用。在夏季高温且高湿的状况下，制冷除湿的负荷会增多，到了冬季低温之时，部分区域就得留意防寒、通风的平衡，处于过渡季节的时候，能够借助自然冷源或者通风换气来降低机械制冷的需求。车站的空间形态同样会对负荷分布产生影响，地下站、高架站、换乘站、大型枢纽站在围护结构、人员密度、设备散热还有通风路径这些方面存在显著差异。站台层、站厅层、出入口通道、设备用房的环境要求不一样，要是采用统一的控制标准，很容易出现局部过度调节或者调节不足的情况。气象和空间因素决定了暖通通风系统必须拥有灵活的适应能力。

3.3 设备效率与运维管理因素

设备效率对于系统能耗有着直接的影响。冷水机组、水泵、风机、空调机组在长时间的运行过程中，有可能因为积尘、结垢、过滤器堵塞、轴承磨损、阀门失调、控制参数漂移等情况，进而导致效率降低。要是运维管理没有及时进行，那么设备或许会长时间处于低效的状态。过滤网清洗不及时的话，就会增加风阻，水系统水质管理有不足的话，就会对换热效率产生影响，风阀水阀调节不当的话，就会破坏系统平衡。运维管理水平在运行策略制定、巡检制度执行、故障处理、节能意识培养等多个方面也有所体现。设备效率和运维管理是相互关联的，只

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

有强化日常维护、性能评估，才能够让系统长期保持高效运行。

4 轨道交通车站暖通通风系统运行优化措施

4.1 实施分时分区精细化控制

轨道交通车站的暖通通风系统需要依据客流情况、区域功能、环境需求来施行分时分区控制。分时控制能够依照早高峰、平峰、晚高峰、运营结束、夜间检修等不同的时段，去设置不一样的运行模式，以此让送风量、制冷量、设备的启停与实际需求达成匹配。分区控制要依据站厅、站台、换乘通道、出入口、设备用房、管理用房等区域的特点，分别设定温湿度、风量、运行参数。对于客流比较低的区域，可以适度降低设备运行的强度，对于人员密集或者设备散热集中的区域，要保障环境质量。分时分区控制的关键之处在于动态感知、及时调节，防止全站统一运行造成能源浪费。

4.2 优化设备联动与系统运行参数

暖通通风系统的节能工作需着重关注设备联动优化。冷源系统能够依据负荷的变化来对冷水机组台数、冷冻水温度、冷却水温度、水泵频率做出调整，以此提高部分负荷的效率。风系统能够借助变频控制来调节风机的运行，防止出现长期满负荷送风的情况。水系统要留意供回水温差、流量平衡、阀门开度，减少大流量小温差运行现象。末端设备应当结合温湿度和空气品质来进行调节，避免冷热量输送与实际需求不相匹配。设备联动优化要求控制系统拥有稳定的数据采集、逻辑判断、执行能力，并且需要运维人员定期核查控制参数。经过系统参数优化，能够在不降低舒适性的条件下降低能耗。

4.3 加强通风模式与过渡季节利用

通风模式的优化对于降低暖通系统的能耗而言是关键途径。轨道交通车站在不同的季节、不同的运营状态之下，能够采用机械通风、空调制冷、全新风、回风循环或者混合通风等模式。当处于过渡季节，室外空气条件相对较好时，可以适度增加新风或者借助通风换气来降低机械制冷的需求。在夜间非运营时段，能够依据站内的余热、外界气象条件采用预通风、排热或者低负荷运行的方式，从而为次日的运营营造出较好的环境基础。通风模式的调整必须要兼顾空气品质、防排烟要求、设备房运行安全，不能仅仅简单地减少风量。科学地选择运行模式，有助于提高车站系统对于季节变化、客流变化的适应能力。

5 轨道交通车站暖通通风系统能耗管控保障机制

5.1 建立能耗监测与评价体系

轨道交通车站需要建立起相对完善的能耗监测、评价模式，借助分项计量还有智能监测的方式，分别去掌握冷源、风机、水泵、空调机组、其他相关设备的能耗数据，并且把这些能耗数据与客流、温湿度、室外气象、设备运行状态进行关联分析。评价指标能够涵盖单位面积能耗、单位客流能耗、设备运行效率、系统负荷率、节能措施效果等方面。能耗评价不能仅仅着眼于总量的变化，还应当对能耗与服务水平之间的关系展开分析。通过定期发布能耗分析报告，能够找出异常能耗、低效设备、不合理运行策略，以此为调整提供依据。

5.2 推进智能控制与数字化运维

智能控制、数字化运维属于提高能耗管控能力的关键方向。车站能够借助环境传感器、客流数据、设备监测系统还有能耗平台，达成对温湿度、空气品质、设备状态、能耗变化的实时把控。控制系统能够依据客流与环境参数自动调节运行模式，降低人工调节的滞后性。数字化运维平台能够创建设备台账、巡检记录、故障记录、保养计划、能耗档案，达成运维过程的可追溯。针对关键设备，能够借助运行趋势分析辨别效率下降、潜在故障，展开预防性维护。智能控制并非完全取代人工，而是为运维决策给予数据支撑，提高管理效率与准确性。

5.3 完善运维制度与人员能力建设

暖通通风系统的节能效果最终要依靠运维制度来落实。运营单位需要制定一系列制度，像设备启停、参数调整、巡检维护、滤网清洗、水质处理、节能检查、异常处置等方面的制度，以此避免运行管理出现随意化的情况。在不同的季节、客流条件下，要形成相应的运行方案，并且依据实际效果持续进行修正。人员能力建设也非常关键，运维人员不但要熟悉设备操作，还得掌握能耗分析、控制逻辑、节能策略、故障诊断方法。借助培训、考核、经验复盘，能够提高运维团队的节能意识和技术能力。制度与人才共同起到支撑作用，才能够让运行优化从短期调整转变为长期机制。

6 结论

轨道交通车站暖通通风系统的运行优化、能耗管控，是提高城市轨道交通绿色运营水平的重要方面。有研究显示，车站暖通通风系统具备运行时间较长、负荷波动较大、系统关联较强、安全约束较高等特性，其能耗受到客流变化、运营时段、室外气象、空间形态、设备效率、运维管理等多种因素的影响。当前部分车站依然存在运行控制粗放、设备协同不足、能耗监测不精细、数据利用不充分等问题，对节能效果提高形成了制约。为提高系统运行效率，要实施分时分区精细化控制，优化冷源、风机、水泵、末

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

端设备联动，合理运用过渡季节通风条件，减少无效运行、过度调节。要建立能耗监测与评价模式，推进智能控制、数字化运维，完善运维制度并且加强人员能力建设。未来，轨道交通车站暖通通风系统应进一步融合客流预测、智能算法、数字孪生、设备健康管理技术，达成从经验调节朝着数据驱动、主动优化、全寿命周期节能管理的转变。

[参考文献]

[1]住房和城乡建设部.地铁设计规范：GB 50157—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
[2]李明,张海峰.城市轨道交通车站通风空调系统节能运行策略研究[J].暖通空调,2021,51(10):89-94.
[3]陈晓峰,赵立新.地铁车站暖通空调系统运行能耗影响因素分析[J].建筑节能,2022,50(8):117-121.
[4]王建华,刘志强.轨道交通车站通风空调系统智能控制与节能优化研究[J].都市快轨交通,2023,36(6):132-137.

作者简介：王天坤（1994—），女，汉族，河北石家庄人，工程师，西南石油大学，现就职于河北加壹建筑设计有限公司，从事暖通设计工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.