

轨道交通环控系统的能效优化策略研究

王小兵

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 400020

摘要：轨道交通环控系统涵盖多子系统，能耗占比高，有负荷波动大、运行时间长、部分负荷工况多等特点。提升其能效可从多方面着手：设备选型上，选高效冷热源设备并合理配置容量、应用变频技术；优化风水系统设计，选高效设备并变频调节；推广新型节能技术。运行调控方面，优化运行参数、实现设备协同运行、开展负荷预测与前瞻控制。智能控制与管理上，建设智能控制系统、完善能耗监测、优化运维管理，以此降低能耗，推动轨道交通环控系统绿色发展。

关键词：轨道交通；环控系统；能效优化；节能策略

引言：轨道交通作为城市交通的大动脉，其环控系统对保障内部环境舒适安全至关重要，但能耗问题也不容忽视，在车站总能耗中占比达 40% - 60%。该系统涵盖多子系统，具有负荷波动大、运行时间长、部分负荷工况多等能耗特点。为降低能耗、提升能效，需从设备能效提升、运行调控、智能控制与管理等多方面发力。通过高效设备选型、优化风水系统、应用新型节能技术，以及合理调控运行参数、实现设备协同、开展负荷预测与前瞻控制等，推动轨道交通环控系统绿色发展。

1 轨道交通环控系统能耗特点

轨道交通环控系统作为保障轨道交通内部环境舒适与安全的关键设施，涵盖了通风、空调、采暖以及防排烟等多个子系统。这些子系统协同运作，共同承担着车站公共区、设备区以及隧道空间的环境调节重任，具体功能包括精准的温湿度控制、良好的空气品质保障以及在事故发生时的有效通风等。

在轨道交通运营过程中，环控系统能耗在车站总能耗中占据着相当大的比例，通常达到 40% - 60%，这一数据凸显了环控系统能耗优化对于降低轨道交通整体运营成本的重要性。其能耗特点主要体现在以下几个方面：

(1) 负荷波动大。轨道交通客流量随时间呈现明显的潮汐式变化，不同时段、不同区域的客流密度差异显著，这直接导致环控系统所需调节的环境负荷大幅波动。例如，早晚高峰时段，车站内人员密集，对通风和空调的需求急剧增加；而在平峰时段，客流量减少，负荷相应降低。(2) 运行时间长。轨道交通作为城市公共交通的重要组成部分，通常需要全天候不间断运行，环控系统也随之长时间持续工作，这无疑增加了能源的消耗。

(3) 部分负荷工况多。在实际运行中，环控系统很少处于满负荷运行状态，更多的是在部分负荷工况下运行。

如何在这种复杂多变的工况下，实现环控系统的高效运行和能源的合理利用，成为当前亟待解决的重要问题，也是能效优化策略研究的核心方向^[1]。

2 环控系统设备能效提升策略

2.1 高效冷热源设备选型

在轨道交通环控系统中，冷热源设备是能耗的关键环节，选型合理与否直接影响着系统整体的能效水平。因此，选用高效冷热源设备是提升能效的重要举措。

(1) 具体而言，应优先挑选高效冷水机组、热泵机组等作为冷热源设备。在选择过程中，部分负荷性能系数 (IPLV) 是至关重要的考量指标。IPLV 反映了设备在部分负荷工况下的综合性能，其值越高，表明设备在不同负荷条件下均能保持较高的运行效率。(2) 要根据轨道交通车站的实际规模、客流量以及环境条件等因素，对冷热源设备容量进行合理配置。避免设备容量过大造成“大马拉小车”的能源浪费，或容量过小无法满足实际需求。此外，积极应用变频技术也是提升设备运行效率的有效手段。通过变频调节，可根据实际负荷需求精准控制设备的运行频率，使设备始终在高效区间运行，从而有效降低系统运行能耗，实现环控系统冷热源设备的高效、节能运行^[2]。

2.2 风水系统优化设计

在轨道交通环控系统里，风水系统的运行能耗占据相当比例，对其进行优化设计是提升能效的关键环节。

(1) 采用大温差、小流量技术来优化水系统设计是重要举措。大温差意味着在输送相同热量或冷量时，所需的水流量减少。这不仅能降低水在管道内的流动阻力，还能减少水泵的功率消耗。同时，合理规划水系统的管路布局，缩短管路长度，减少弯头、阀门等局部阻力件，进一步降低水系统的输送能耗。(2) 在设备选型上，要

挑选高效的风机和水泵。高效设备本身具有较低的能耗和较高的运行效率，能在相同工况下消耗更少的电能。并且，积极应用变频调节技术，根据实际负荷需求，实时调整风机和水泵的转速。当负荷较低时，降低转速，减少能源消耗；当负荷增加时，提高转速以满足需求。通过这种方式，使风水系统始终处于高效工作区间，有效减少输送过程中的能耗，进而提升整个环控系统的能效水平，实现节能降耗的目标。

2.3 新型节能技术应用

在轨道交通环控系统能效提升的探索中，积极推广新型节能技术是极具潜力的途径。（1）隧道活塞风是一种天然的能源资源，列车在隧道内高速行驶时会产生活塞效应，形成具有一定速度和压力的气流。合理利用这一特性，通过设置专门的通风装置，可将隧道活塞风引入车站环控系统，在合适工况下替代部分机械通风，减少风机运行时间，从而降低电能消耗。（2）间接蒸发冷却技术利用水蒸发吸热的原理，通过空气-空气热交换器实现空气的冷却，无需消耗大量冷媒和压缩功。在干燥或半干燥地区，该技术能显著降低空调系统的能耗，提高制冷效率。（3）冷凝热回收技术则是对空调系统运行过程中产生的冷凝热进行回收再利用。例如，将回收的热量用于车站的热水供应或冬季采暖，实现能源的梯级利用，避免冷凝热直接排放造成的能源浪费。通过综合应用这些新型节能技术，充分挖掘能源梯级利用和自然冷源利用的潜力，能够有效降低轨道交通环控系统的能源消耗，推动其向更加绿色、节能的方向发展^[3]。

3 环控系统运行调控策略

3.1 运行参数优化设定

在轨道交通环控系统的运行调控中，运行参数的优化设定是提升能效、保障环境舒适度的关键环节。（1）室外气象参数和客流变化是影响环控系统运行的重要因素。室外温度、湿度、风速等气象条件不断波动，而客流量在一天内也呈现出明显的峰谷特征。基于此，需动态优化室内温湿度设定值。例如，在夏季高温时段，若室外温度极高且客流量大，可适当放宽室内温度设定范围，避免空调系统过度制冷造成能源浪费；而在客流量较小的时段，则可将温度设定值适当调高。冬季同理，根据室外低温情况灵活调整室内供暖温度。（2）合理设定新风比例至关重要。新风对于维持室内空气品质必不可少，但处理新风需要消耗大量能量。在保证室内空气新鲜、满足人员健康需求的前提下，应尽可能减少不必要的新风引入。通过安装空气质量监测设备，实时掌握室内二氧化碳浓度等指标，据此精准调节新风阀开度，

控制新风量，从而有效降低新风处理能耗，实现环控系统运行参数的最优化设定，提升整体运行能效。

3.2 设备协同运行控制

在轨道交通环控系统运行过程中，实现设备的高效协同运行控制是提升系统整体能效、降低能耗的关键举措。（1）建立科学合理的设备群控策略是基础。该策略需综合考虑不同设备的特点、性能以及实际运行需求，对设备的启停顺序进行优化。例如，在系统启动时，按照先开启能耗较低、对系统运行影响较小的辅助设备，再依次启动核心冷热源设备、水泵、风机等的顺序进行操作，避免设备同时启动造成的大电流冲击和能源浪费；在系统关闭时，则采取相反的顺序。（2）对设备的运行组合进行优化也至关重要。根据不同的工况和负荷需求，精准调配冷热源设备、水泵、风机等设备的运行数量和运行参数。通过智能控制系统，使各设备之间形成良好的协同配合，避免出现部分设备过载运行而部分设备闲置的情况。如此一来，能够充分发挥每一台设备的效能，提高系统整体运行效率，在满足轨道交通内部环境需求的同时，实现能源的合理利用和系统能效的最大化提升^[4]。

3.3 负荷预测与前瞻控制

在轨道交通环控系统的精细化运行管理中，负荷预测与前瞻控制是提升能效、保障系统稳定运行的关键手段。（1）基于客流预测和气象预报来建立负荷预测模型是核心步骤。客流量的变化直接影响着车站内人员散热、散湿量，进而影响环控系统的冷热负荷需求；而气象参数，如温度、湿度、风速等，更是与系统的运行负荷密切相关。通过收集历史客流数据和气象资料，运用先进的数学算法和机器学习技术，构建精准的负荷预测模型，能够提前预估不同时段、不同区域的环控系统负荷情况。（2）实施前瞻控制策略则是将预测结果转化为实际调控行动。依据负荷预测模型得出的数据，提前对系统运行状态进行调整。例如，在预测到即将迎来客流高峰且气温升高时，提前增大冷热源设备的输出功率、调整风机转速等，使系统提前进入适应高负荷的运行状态。这样不仅能有效避免系统因负荷突变而频繁启停，减少设备损耗，还能防止系统出现大幅波动，确保环控系统始终在高效、稳定的区间内运行，实现能源的合理利用和系统性能的优化。

4 智能控制与管理策略

4.1 智能控制系统建设

在轨道交通环控系统智能化升级中，构建智能控制系统是核心举措。该系统充分融合人工智能与大数据技

术,为环控系统的高效运行提供有力支撑。(1)人工智能技术中的机器学习算法发挥着关键作用。它能够对环控系统运行过程中产生的大量数据进行深度剖析,涵盖设备运行参数、室内外环境参数、客流量等多维度信息。通过分析这些数据,机器学习算法可以精准识别不同工况下系统的运行规律和最优控制参数。(2)基于上述分析,系统能运用机器学习算法持续优化控制策略。它可以根据实时的环境变化和设备状态,自动调整冷热源设备、通风设备等的运行参数,实现系统的自适应运行。同时,系统具备自学习能力,在长期运行过程中不断积累经验,对控制策略进行动态修正和完善,达成自优化运行,进而提升环控系统的整体能效和运行稳定性。

4.2 能耗监测与管理

在轨道交通环控系统的智能控制与管理体系里,建立完善的能耗监测系统是精准把控能源消耗、挖掘节能潜力的关键基础。该系统需具备全面且精细的监测能力,能够实时、准确地采集通风、空调、采暖、防排烟等各子系统的能耗数据,涵盖电、水、热等不同能源形式的消耗情况。(1)采集到的能耗数据将被传输至专门的数据处理平台,运用专业的数据分析工具和方法进行深度剖析。通过对比不同时间段、不同工况下的能耗数据,能够清晰识别出各子系统的能耗特征和变化规律。同时,结合系统运行参数和环境参数,进一步分析能耗异常的原因。(2)基于能耗数据分析结果,可以精准定位系统中的节能潜力点,例如发现某些设备在部分负荷工况下运行效率低下,或者某些时段存在能源浪费现象。据此为系统优化运行提供明确指导,制定针对性的节能措施,实现环控系统能耗的有效降低和运行效率的提升。

4.3 运维管理优化

在轨道交通环控系统智能控制与管理中,运维管理优化是保障系统稳定高效运行、实现节能目标的重要环节。(1)制定科学的设备维护计划是关键基础。依据设备的运行特性、使用年限以及历史故障数据,合理安排定期维护、预防性维护和状态监测维护。定期对设备进

行清洁、润滑、紧固等常规保养,及时更换易损件,避免因小故障引发大隐患,确保设备始终处于高效运行状态,降低设备故障率,减少因设备停机维修造成的能源浪费。(2)加强运行人员培训不可或缺。通过组织专业培训课程,涵盖系统原理、设备操作、节能技术等方面知识,提升运行人员对环控系统的认知水平。开展节能案例分析和实操演练,强化其节能意识,提高操作技能。确保运行人员能够准确执行优化策略,根据系统实际运行情况及时调整设备参数,保障各项节能措施有效落地,推动环控系统整体能效的提升^[5]。

结束语

综上所述,轨道交通环控系统能耗问题突出,但通过多方面策略可实现能效提升与节能降耗。从设备能效提升,选型高效冷热源、优化风水系统、应用新型节能技术;到运行调控,优化参数设定、控制设备协同、实施负荷预测与前瞻控制;再到智能控制与管理,建设智能系统、加强能耗监测、优化运维管理,形成了一套完整且系统的解决方案。这些策略相互配合、协同作用,不仅能有效降低环控系统能耗,减少轨道交通运营成本,还能推动其向绿色、智能、可持续方向发展,为城市轨道交通的高质量运行和节能减排目标的实现提供坚实保障。

参考文献

- [1]徐相生.轨道交通电力环控系统优化设计与能效提升策略研究[J].人民公交,2024,(20): 106-108.
- [2]陈小飞,陈晓君,盛传新.地铁轨道交通环控系统的虚拟仿真设计与实现[J].自动化应用,2024, 65 (16): 235-237+240.
- [3]徐相生.轨道交通电力环控系统优化设计与能效提升策略研究[J].人民公交,2024,(20):106-108.
- [4]王佳琦.轨道交通地下车站环控系统制式改造方案可行性分析[J].隧道与轨道交通,2021,(01):31-34+61.
- [5]罗定鑫,吴疆,张瑞,等.基于城市轨道交通地铁站环控系统的在线运维与诊断系统[J].暖通空调,2020,50(09): 103-110.