

“双碳”背景下浅谈地铁通风空调系统的现状及优化策略

郭松磊

中铁第一勘察设计院集团有限公司 陕西 西安 710043

【摘要】：随着经济和社会的快速发展，城镇化进程不断加快，地铁已成为城市居民出行的重要方式。地铁通风与空调系统在地铁运营中起着至关重要的作用，它不仅影响乘客的舒适度，还直接关系到地铁的能耗水平。在国家“双碳”战略背景下，优化地铁通风空调系统的设计，降低其能耗，已成为亟待解决的问题。本文通过分析城市轨道交通分类及能耗现状，以及其中占比较大的地铁通风空调系统的现状，探讨其在“双碳”背景下的优化策略，以期为我国地铁通风空调系统的节能降耗提供参考。

【关键词】：双碳；城市轨道交通；地铁；通风空调系统；优化策略

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.055

1 引言

我国明确提出力争 2030 年达到碳达峰、2060 年实现碳中和的目标，在双碳战略引导下，加快了降低碳排放的步伐，有利于引导绿色技术创新^[1]。城市轨道交通发挥着重要的集散功能。习近平总书记在出席北京大兴国际机场投运仪式时提出，城市轨道交通是现代大城市交通的发展方向。发展轨道交通是解决大城市病的有效途径，也是建设绿色城市、智能城市的有效途径^[2]。此外，习总书记在 2023 年 9 月 25 日向全球可持续发展高峰论坛致贺信时，也强调了发展轨道交通对于建设绿色城市和智能城市的重要性。在整个城市轨道交通体系中，地铁占比是最大的，据统计，截止到 2023 年底，地铁线路占比高达 76.1%，显然地铁已经成为我国城市公共交通的重要组成部分。地铁运营过程中产生的碳排放和通风空调系统的能耗已经成为城市轨道交通可持续发展的主要障碍^[3]。因此，必须基于“双碳”目标对地铁通风空调系统进行优化策略探讨，可采取自动化智能控制手段、精准调控地铁车站的空气质量 and 温湿度，降低能耗。具体可从通风空调系统形式的选择、冷水机组和通风空调设备优化、可再生能源的高效利用和加强智能化控制技术等方面内进行讨论。

2 城市轨道交通发展现状

轨道交通是指通过铺设固定轨道，并且由轨道车辆执行运输任务的交通运输方式，通常可以分为铁路交通和城市轨道交通两类。城市轨道交通主要承担城市内部中短距离的客运任务，具有节能、省地、运量大、全天候、无污染、安全性高的特点，属可持续发展的绿色环保交通方式。根据运营范围、线路铺设方式的不同，城市轨道交通可分为地铁、轻轨、有轨电车、磁悬浮列车等类别，城市轨道交通具体细分运营里程如下图 1 所示。并且据统计，截止到 2023 年底，共有 59 个城市开通城轨交通运营线路 338 条，运营线路总长度达 11232.65 公里。已经运营的线路，以地铁和市域为主，占比约 89%，其中，2023 年新增城轨交通运营线路 884.55 公里，车站数量达到 6239 座；总用电量高达约 249.8 亿 kwh，同比增长 8.72%。具体运营总里程和年用电量变化分布如图 2 所示。

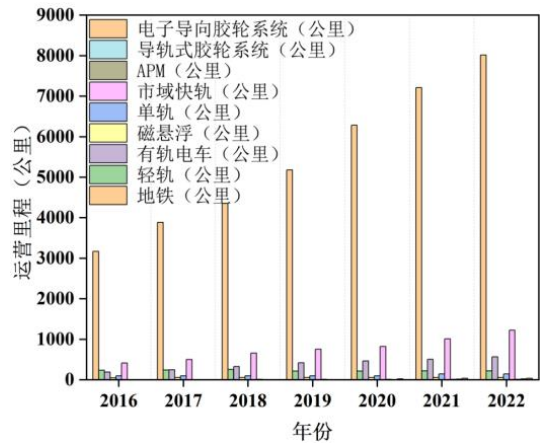


图 1 2016-2022 年中国城市轨道交通细分运营里程
(数据来源：网络)

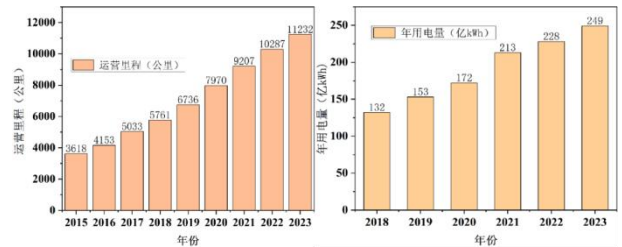


图 2 中国城市轨道交通运营里程和年用电量变化
(数据来源：《城市轨道交通 2023 年统计和分析报告》)

从上图分析可以发现，我国城市轨道交通呈现出存量规模大，增量市场在放缓等特点。因为随着城市化进程的加速和公共交通需求的不断增长，越来越多的城市开始建设或扩建城市轨道交通网络，已经形成了庞大的存量市场规模。存量市场规模的扩大，意味着已经投入了大量的资金和资源，已经形成了较为完善的城市轨道交通体系。国家对城市轨道交通建设的政策导向已从过去的鼓励建设转向更加注重运营效率和可持续性发展，进而对其能耗和碳排放的关注度持续升温。从下图 3 近 10 年在建线路规模及年度完成投资情况也能看出这一点。



图3 近10年在建线路规模及年度完成建设投资情况

(数据来源:《城市轨道交通2023年统计和分析报告》)

3 城市轨道交通地铁车站能耗现状

从上文中提到的数据不难发现,整个城市轨道交通体系中,地铁占比非常高,地铁运营过程中的能耗以及碳排放是城市轨道交通可持续发展的主要障碍。地铁车站的用电主要集中在牵引用电与通风空调系统用电,其中通风空调系统能耗约占总运行能耗的30~40%。地铁车站用电能耗组成如下图4所示。据统计,2023年城市轨道交通总用电量249.8亿kwh中,非牵引变用电120.41亿kwh,其中通风空调系统能耗占比甚至能高达45%左右,能耗强度达到300W·h/(m²·a),接近办公建筑4倍,如图5所示。因此,通风空调系统能耗的降低是地铁节能降耗的重要环节。

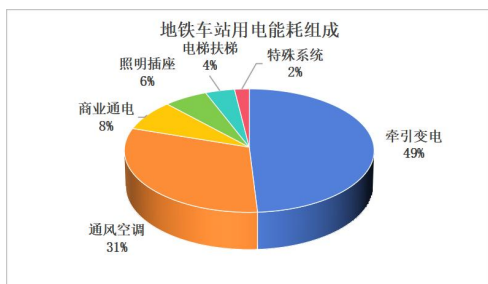


图4 地铁车站用电能耗组成

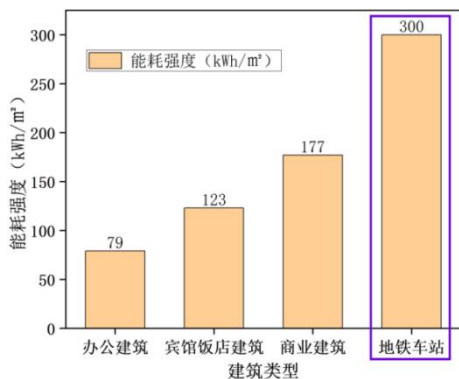


图5 公共建筑能耗强度

(数据来源:《城市轨道交通2023年统计和分析报告》)

另一方面,对全国主要地铁城市首条线路开通时间进行统

计发现,城市轨道交通运营15年以上的城市达10个,线路多达21条,具体开通时间表如表1所示。随着这些地铁车站使用年限的增长,部分城市机电设备,特别是通风空调系统,已进入大修期,进而会面临更新改造问题,而通风空调系统作为地铁车站环境控制的核心组成部分,将是机电设备更新改造的关注重点。在轨道交通地铁车站通风空调系统的运行中,我们面临的主要问题包括设备老化导致的能效下降、维护成本增加,以及在新时代背景下对节能减排、绿色运营的高要求。为了解决这些问题,我们需对通风空调系统的优化设计方案进行研究,包括采用高效节能的空调技术与设备,优化系统控制策略以提高能效,探索可再生能源在空调系统中的应用潜力,以及通过集成先进的物联网技术与数据分析手段对通风空调系统进行智能化管理,实现空调系统的远程监控与智能调度,进一步提升系统的运行效率与响应速度。

表1 全国主要地铁城市首条线路开通时间表

| 城市 | 首条开通时间 | 城市 | 首条开通时间 |
|----|------------|-----|------------|
| 北京 | 1971/1/15 | 苏州 | 2012/4/28 |
| 上海 | 1993/5/28 | 杭州 | 2012/11/24 |
| 广州 | 1997/6/28 | 沈阳 | 2010/9/27 |
| 深圳 | 2004/12/28 | 长沙 | 2014/4/29 |
| 武汉 | 2004/7/28 | 无锡 | 2014/7/1 |
| 重庆 | 2004/11/6 | 青岛 | 2015/10/1 |
| 南京 | 2005/5/15 | 大连 | 2015/5/22 |
| 成都 | 2010/9/27 | 郑州 | 2013/12/28 |
| 天津 | 1984/12/28 | 昆明 | 2012/6/28 |
| 西安 | 2011/9/16 | 哈尔滨 | 2013/9/26 |

注:数据来源:网络

4 地铁车站通风空调系统的现状及问题

地铁车站通风空调系统的组成.地铁车站通风空调系统由隧道通风系统、公共区通风空调系统(俗称“大系统”)、车站内管理机房和设备用房空调通风系统(俗称“小系统”)及空调制冷循环系统(俗称“空调水系统”)等组成。

4.1 地铁车站通风空调系统存在的问题

(1) 系统设备多、运行时间长.在机电系统中,通风空调专业的设备最多,体量最大,控制难度较大,安装调试困难。以某采用水冷式系统地下二层标准站为例,其运行模式多达23种。需要控制包括6台空调机组,风机29台,风阀242个,冷水机组2台,水泵4台,冷却塔2台,电动水阀9个,还包括多联机系统等设备。控制模式复杂,易导致出现运行模式问题影响运营安全。而且很多地铁的通风空调系统不论是空调季

还是非空调季都要参与模式联动运行,以小系统空调器为例,几乎全天24小时运行。

(2) 占地面积大.地铁通风空调系统设备及管线占地面积巨大。据统计地下车站总面积的1/3,设备管理用房面积的1/2被通风空调系统设备占据,是名副其实的第一占地大户。

(3) 运行能效低.初近期实际负荷多小于设计负荷,存在“大马拉小车”的现象。且大小系统一般合用一套冷源,导致夜间螺杆机在较低负载运行,运行能效低,还有就是冷冻水系统在运行过程中变频控制策略失效,也会导致水泵能耗升高。

(4) 环境不友好.地铁通风空调系统设备运行时会产生较大的噪声和振动,对地铁内外环境影响较大,另外一些设置在地面的系统设备例如风亭、冷却塔、多联室外机等也会给城市景观和周边人员带来较大的影响。

5 地铁车站通风空调系统的优化策略

基于以上地铁通风空调系统的现存问题,可针对性提出以下优化策略:

(1) 合理选择通风空调系统形式.对于地铁通风空调系统的优化,首先要从系统形式的选择上进行优化。地铁通风空调系统的形式有多种,不同的系统形式其耗能情况也不同。因此,在地铁通风空调系统的设计中,要根据地铁车站的实际情况,结合当地的气候条件,合理选择系统形式。比如对于运行模式复杂的通风空调系统,公共区可采用单风机模式,在供冷季以内循环为主,当检测站内CO₂浓度高出正常值时开启排风机变频调节新风量;在通风季选择只排不送方式,排风机变频调节新风量,并在公区安装一组自循环空气净化器,按需开启。针对通风空调系统占地面积过大问题,采用“空气-水”空调系统紧凑化设计技术,实现降低土建面积,投资成本。对于环境不友好的问题,可采用模块化蒸发式冷凝冷水机组,该机组是由多台模块机组及统一的集中控制柜组成。蒸发冷凝机组均可设置于地下机房内,无需地面空间,避免冷却塔漂水噪音征地问题。

(2) 优化冷水机组系统.冷水机组系统是地铁通风空调系统的重要组成部分,其耗能也较大。因此,在地铁通风空调系统的优化中,要对冷水机组系统进行优化。首先,要合理选择冷水机组。冷水机组的选择要根据地铁车站的实际情况,结合当地的气候条件,选择适合的冷水机组型号和数量。其次,要

对冷水机组进行定期维护和保养,保证其正常运行。同时,还可以采用变频技术,对冷水机组进行变频控制,根据车站的实际负荷情况,调节冷水机组的运行频率,降低其耗能。

(3) 优化通风空调设备.通风空调设备是地铁通风空调系统的关键设备,其性能直接影响到系统的运行效果和耗能情况。因此,在地铁通风空调系统的优化中,要对通风空调设备进行优化。首先,要选择性能优良的通风空调设备,保证其运行效率和效果。其次,要对通风空调设备进行定期维护和保养,保证其正常运行。同时,还可以采用先进的控制技术和控制策略,对通风空调设备进行智能控制,根据车站的实际情况进行自动调节,降低其耗能。

(4) 利用可再生能源.在地铁通风空调系统的优化中,还可以利用可再生能源,如太阳能、地热能等。这些可再生能源具有清洁、环保、可持续等优点,可以为地铁通风空调系统提供部分能源,降低其耗能,提高运行能效。例如,可以利用太阳能发电系统为地铁通风空调系统提供电力,或者利用地热能进行空调制冷和制热等。以厦门轨道交通东孚车辆段为例,采用了“全部自用”模式的分布式光伏发电,充分利用车辆段车库屋顶铺设光伏组件,吸收阳光转化为电能,每年可向轨道交通提供清洁能源650万度,减少二氧化碳排放约5148吨/年,节约标准煤约2092吨/年,节能减排效益显著。

(5) 加强智能化控制技术的应用.智能化控制技术是地铁通风空调系统优化的重要手段之一。通过智能化控制技术,可以实现对地铁通风空调系统的实时监测和控制,根据车站的实际情况进行自动调节,降低其耗能。例如,可以利用智能传感器和控制器对车站内的温度和湿度进行实时监测和控制,根据车站的实际情况进行自动调节;还可以利用智能控制系统对冷水机组、通风空调设备等进行智能控制,实现节能降耗的目标。

6 总结

本文通过分析地铁通风空调系统的现状及存在的问题,提出了在“双碳”背景下地铁通风空调系统的优化策略。通过合理选择空调系统形式、优化冷水机组系统、优化通风空调设备、利用可再生能源和加强智能化控制技术的应用等措施,可以降低地铁通风空调系统的能耗,提高运行效率,实现绿色、低碳运营。因此,我们应该重视地铁车站通风空调系统的优化工作,不断探索和创新优化方法和手段,为地铁的可持续发展和节能减排做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 杨艳红,王雪纯.“双碳”目标下老城区地铁站域优化策略研究——以南京张府园地铁站域为例[J].中国名城,2023,37(04):45-52.
- [2] 郑茂典,段永利,马思遥,等.大兴机场线为金凤腾飞铺好科技跑道[J].科技创新与品牌,2023,(04):25-27.
- [3] 吴炜,刘伊江,渠永通.双碳背景下地铁通风空调风系统设计优化思路再探讨[J].制冷与空调(四川),2023,37(02):312-319.