

# 双碳目标下城市轨道交通节能减排的措施

徐 情

中维通(北京)科技有限公司 北京 100000

**摘要:** 面对“双碳”挑战,各个领域的节能环保已成首要任务之一,这包括了交通运输业中的系统。由于其正处于高速增长时期,且被视为重要的交通基础设施,因此它在应对“双碳”目标中起着至关重要的作用,即通过降低能源消费量与碳排放来推动绿色出行及低碳经济的发展。本文首先回顾了当前城市轨道交通碳排放状况,然后深入探讨了能源使用方式及其相关的影响因素,提出了一系列主要的节能策略,如电力供应优化、站内设施节约、列车运行效率提升以及运营管理模式创新等,同时明确指出未来城市轨道交通节能的关键点所在,旨在为整个行业的节能环保工作提供借鉴。

**关键词:** 城市轨道交通; 车辆能耗; 车站能耗; 节能减排

## 引言

城市轨道交通作为城市基础设施与公共交通的核心,以其电气化和大运量的特性,在碳减排领域占据重要地位。根据中国城市轨道交通协会年度报告的数据,2021年全国范围内的城市轨道交通能源消耗量达到了213.1亿千瓦时,同比增幅超过了23.6%,这反映出我国城市轨道交通发展的环境友好性和降低碳排放的需求越来越大。所以,为了促进城市轨道交通的长远发展,同时加速“双碳”目标的达成,需要在国内城市轨道交通中深入探讨和确立有效的环保节能技术路径,实行精细化的碳排放管控措施,并且持续利用科技创新手段来优化城市轨道交通系统,使之更具绿色、低碳、可持续的特点,从而为国家的长期稳定发展和人民的生活质量提升做出更大的努力。

## 一、双碳目标的背景

双碳目标被设定为全球社区在面对气候转变与环境污染问题时的重要策略目标。随着地球温度持续上升,我们正遭受从未有过的生态环境威胁及生态灾难。降低温室气体的排放量已成为了各国家政府和国际机构合作的主要焦点话题。双碳目标的设立表明了世界对于此问题的紧急性和其应负的责任感。

2020年,中国政府在联合国大会上宣布了具有里程碑意义的2030年和2060年碳减排目标。该决策旨在使中国的温室气体排放量在2030年达至顶点,并在2060年前达成全面脱碳的目标。这表明中国将在国际气候变革行动中承担关键角色。这个雄心勃勃的任务对于中国各个领域都带来了巨大的压力,同时也是其他国家可以参考

的学习模式。

为了达成双碳的目标,必须全面地考虑政策、科技和社会变革的影响。从政策角度来看,各国家应建立并强化相关法律规定,促进经济体系的优化和能源生产的转变,以此来减少温室气体的产生。而科技创新则是达成此目标的核心力量,它涵盖了如清洁能源的技术进步、高效率能源使用的实施以及碳捕获及储存技术的扩展等领域。此外,社会层面的积极参与也是必不可少的,这要求提高公众对节约资源和减少污染的认识,推进绿色生活的普及和可持续消费模式的形成<sup>[1]</sup>。

## 二、城市轨道交通耗能现状分析

根据统计数据显示,2022年的中国城市轨道交通能源消耗达227.92亿千瓦时,其中仅仅是牵引部分就能占据到113.15亿千瓦时的份额。随着新的路线逐渐增加,整体地铁行业的能源消耗预计也将持续升高,从而导致其总体碳排放量的增大。同时,也有数据显示,2022年全国各大城市的每公里用电量均比去年增加了34.02%,达到了0.144千瓦时;而在公共交通工具方面,每公里的用电量则减少了0.48%,至3.72千瓦时。这说明,随着国内城市交通载客能力的逐步增强,每人的能量消耗将会呈下降态势,相应的碳排放量亦会有明显降低。所以,这一系列的数据与现实情况为我们提供了一个重要的参照依据,以指导城市轨道交通实现绿色转变并实施节能减排措施<sup>[2]</sup>。

## 三、城市轨道交通碳排放与耗能构成及其影响因素

城市轨道交通系统能源消耗与其碳排放密切相关,具体来说,城市轨道交通体系其能源消耗可以被划分为两个主要类别:一是车载设备的能量使用,二是站点设

施的能量消耗。在这两大类中，车辆的能源消耗受到列车的特性、路线状况以及运营策略等多种因素的影响，进一步细化则包括了列车自身的重量、牵引效能、附属能源消费、线路上坡程度、站间距离以及技术速率和操作控制等方面所产生的能源消耗；而站点设施的主要能源消耗则是电梯、空调和照明等基础建设的部分。

在汽车能源消耗方面，列车的自身重量对其城市轨道交通能量消耗有较大的影响力。而在使用过程中，辅助转换器负责向火车提供电力，它的总体输出能力和效用也会直接影响到中低电压供应和整体行驶能量消耗。此外，因为轨道线型是相对固定的城市轨道交通系统的组成元素之一，因此“双碳”目标下的城市轨道交通节俭减少污染的工作焦点、有效的手段和策略应该主要是放在提高列车特性、优化运载方式和降低站台能源消耗等方面。

确定城市轨道交通消耗能量的所有相关要素及其在总体能源消费中的比例与所属元素，这不仅仅对于指引城市轨道交通节约资源和减少排放的目标有重要作用，而且也能够为选择合适的列车类型、设计行驶路线以及未来的新型车体研发工作提供有益的建议，并且还可以为城市轨道交通节省能源和降低排放量设定正确的目标<sup>[3]</sup>。

#### 四、城市轨道交通主要节能措施

##### (一) 车辆节能措施

###### 1、轻量化技术

作为一种关键的交通工具能源节约与环境保护手段，轻量化技术在轨道交通领域具有重要意义。例如，根据香港地铁的数据分析显示，通过实施轻量化措施，如果列车质量每降低一吨，那么一年可以实现约8000kWh的电力消耗节省，并且能够减少大约6.2t的二氧化碳释放。这种技术的应用在车辆设计的三十年的使用周期中，产生的节电环保效益非常显著，总计可达24万kWh的电力节约及186t的二氧化碳减少。

由于车体本身是车体轻量化设计面临的主要挑战，因此与传统钢铁或非铁材料相比，使用高强度铝材制造出的车型具有更优越的多项特性：例如其低密度带来的较低体重；良好的延展性和抗磨损能力等优点。例如中车浦镇公司自主研发的B型铝合金地铁拖车和动车车体，并进行了实际应用测试后发现可使总共减少15%~60%左右的整体负荷。

###### 2、牵引节能技术

优化的能源节约方案包括路线布局、技术速率的选择和基于乘客数量的车辆组合策略。通过精确地设定地铁站之间的距离可以有效减少列车的频繁启动与停止，从而实现更高的能源效率。根据研究结果显示，当站

间的距离小于2公里的时候，每公里的能量消耗会随着间隔增大而急剧下降，然后逐渐保持平稳。所以，适当扩大站点间距对提高地铁系统的能源利用率有积极作用，并且在制定路线图的过程中使用直线和大弧度的曲线也能进一步提升其能源效益。

为了满足高峰期的乘客需求并实现能源节省的目标，需要在选取技术速率的过程中权衡这两者的重要性。尽管初始阶段，高速度可以明显减少列车的行驶时长，但是这种效益随着速度的增加而逐渐衰退。所以，必须依据路线特质来确定合适的速度，并且对每个部分都设定了适当的巡航速度，这样才能够有效地减少城市的公共交通能量消耗。例如，对于广州市的地铁来说，当车速达到30公里每小时的时候，车辆的单位能耗会有明显的下降，这表明了最佳的交通工具运行速度应该接近这个值。此外，关于列车的组合方式上，考虑到高峰时段的人流量及运载安排，应保持其灵活性，从而进一步降低牵引力和系统的能量消耗。

##### 3、绿色能源替代

主要通过使用更环保的绿色能源来替换传统燃料的方式以达到城市轨道交通系统的节能与减少排放的目标。例如，利用太阳能光伏发电技术作为一种比燃烧化石燃料更加洁净的选择，并根据城市的地铁网络布局及路线特性设计合适的光伏资源开发策略。同时，需要精确地规划出适合的城市轨道交通光伏发电设施，建立起包括光伏发电、储存技术、直接供电方式以及灵活用电模式的一体化的综合能源体系，从而提供“光储直柔”一体化的解决方法，这也可以看作是城市轨道交通绿色低碳建设的一种可能选择。

为了提升地铁交通体系的能源持续力，不仅需要依靠光伏供电，还需要寻找并开发其他的环保能源替换方案。所以，可以根据各地区的自然环境及气候状况来设置地热、空气与水的热泵设备，同时充分运用太阳光、地下热量等各种环保能源，以此增加绿电在地铁交通体系能源供给的比例，逐渐降低对石油煤炭等传统能源的使用，从而引导城市轨道交通朝着更高效且持久的发展路径前进。

##### 4、车辆停放与维护

除去经营期间之外，当经营期结束之后，车辆后期存放及清洁保养是节约能源减少排放过程中常常被忽略的重要环节之一。对于停车场的基础设施构建来说，不仅需要满足火车停靠的需求，还需要尽力达到紧密布置的目的。从一开始规划轨道时就要充分考虑到车子的流畅操作过程，以防止内部交错冲突的发生，或者行驶路线过长等有可能影响到车的运作情况的问题。另外，

管道的设计应该尽量简洁且直接,并通过合理地安排建筑的位置和方向来最大化使用天然的光线和空气流通。

城市轨道交通领域由于普遍存在的计划性维保制度,因而存在人员与设备分配不均衡、资源共享难、过度维修等问题。通过实施“集中修”,可以取代传统的方式“分散修”;这不仅仅能够解决问题的人力物资分布失衡的情况,还可以更合理地安排使用各种资产并避免无谓的高额投资浪费情况的发生,并且有助于创建更加精确有效的检修时间表。另外,“实际状态修”也值得尝试:它依据机器的具体运行条件对其实施相应的检查工作,从而节约能量材料的同时也能减低其日常管理费用支出。一旦某一器械接近到它的预计生命周期的终点或者已到达预定年限的时候,可以借助于大型翻新或是改装机会逐渐推行诸如频率控制器(VFD)智能灯光技术之类的节电措施。然而在此过程中要首选那些具有高度科技创新能力高效环保而且稳定的装置产品作为我们的主要目标对象,以便保证升级后产品的优良功能特性,以此提高整体效率水平。如此一来既有可能显著增加装备使用的期限,又能给公司带来更多的利润收益<sup>[4]</sup>。

## (二) 车站节能措施

大约50%的能耗在城市轨道交通车站的基础设备中被消耗,而节能主要集中在照明系统和环控系统两个方面。

### 1、照明系统节能

为了达到照明系统的能源节约目标,需要对灯光强度及选取的设备做出精确的设计,这主要依赖于车站的人流密度、电梯的使用情况以及其他相关因素来确定。对于城市轨道交通的照明规划,应依据其上下车平台和人行道的繁忙状况,并确保照明的强弱与其所处的环境相匹配。此外,考虑到旅客在站内的逗留时间相对短暂,因此在满足视觉清晰度的同时,还需要考虑如何通过选用高效的光源和设备,调整灯具的数量和亮度,从而有效地节省电力消耗,减少温室气体排放,最终达成节能环保的目标。

### 2、环控系统节能

第一,需要削弱城市轨道交通环控系统的能源消耗。目前,大部分城市公共交通工具都采用了完全密封和隔离的屏蔽门系统,而其通风设备占据了相当一部分的能源使用率。所以在规划环控系统的时候,应该充分考虑运用自然的气流,选择环保型材料,并确保通风管路能够接近负载区域以达到节约能源的目的。此外,在设置通风口时,最好选用直线的管道布局,这样可以减少空气流动的阻力,从而提高环控系统的能源效率。例如,通过调整变频调节的风扇来适应上班与下班的高峰时段

的需求,并在人流稀少的时期适当减少风量的输出,以此节省能源的使用,实现了精确调控的目标。

第二,需要科学地运用屏蔽门技术。它作为一个关键的环境管理设备,主要作用是减轻火车进离站时的活塞气流影响,从而精确调节站台的小环境。据研究显示,使用屏蔽门技术的火车站空调系统相比传统封闭式的运作方式,能源消耗可以减少到22%–28%,这展示了明显的节能效果。但是,对于位于北极寒带地区且没有空调设施的冬季来说,屏蔽门系统的空气流通成本偏高,不适合广泛推广。所以,在选择环境控制策略的时候,必须全面考虑到当地的气候特点和实际情况,以便确定最合适的策略。

第三,需要对电梯系统的工作方式进行改进。其能源消耗主要是由系统构造及设备的基本属性所决定的。尽管当前使用的所有电梯都是自动启动停止运作的,这确实可以带来明显的节能效益,但这也可能导致电梯使用寿命缩短。此外,由于站内所有的电梯和配套设施都有长时间运转且承载能力分布不均匀的问题,所以把现有电梯从自动启动停止改为变频调整速度操作是降低城市轨道交通碳排放的一个有效选择。这种改动既能够保持之前的节能优势,同时也能在节约资源的同时适度延长电梯的使用寿命,从而达到双赢的效果<sup>[5]</sup>。

## 结语

随着国家的“双碳”战略推进,城市轨道交通系统已经开始实施环保科技与清洁能源的使用以完成其向绿色的转变;这使得它们的能源使用率大大提升并且减少了大量的二氧化碳释放出来。当前城市交通仍然处在快速发展期中,而且对于它的需要仍在不断增加,这个行业的节约用能任务仍旧十分艰巨。因此研究制定绿色、合理且有效的节能减排方案,并坚决落实各项节能减排措施,对我国“双碳”目标的顺利实现具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 同方泰德.促北京地铁节能可持续发展[C].高速铁路与轨道交通,2016:22–24.
- [2] 汇通华城持续助力上海地铁节能[C].高速铁路与轨道交通,2016:4.
- [3] 蔡昌俊,钟素银.轨道交通节能减排分析与实施[J].铁路技术创新,2011(05):5–10.
- [4] 汪永新,冯磊,许巍,李亮.南京地铁2号线节能策略探讨[J].现代城市轨道交通,2011(05):83–85,89.
- [5] 杨建兴.“双碳”背景下城市轨道交通绿色发展[J].电气化铁道,2023,34(05):48–51