

高速铁路节能发展助力碳中和碳达峰

崔晓旭

中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100071

[摘要]随着全球气候变化问题日益严峻,碳中和碳达峰已成为全球各国的主要发展目标。高速铁路作为一种低碳、环保的交通工具,在节能减排、促进碳中和碳达峰方面起着重要作用。文中基于高速铁路节能发展现状,分析了其能源利用现状与节能措施,评估了高速铁路在促进碳中和碳达峰目标中的贡献。通过对项目建设方案的节能评估,分析了现行节能技术的可行性及其对能源消费的影响,提出进一步优化能源利用结构和提升能效的措施,为未来高速铁路的发展提供参考。

[关键词]高速铁路;节能发展;碳中和;碳达峰;能源利用

DOI: 10.33142/sca.v8i4.15946

中图分类号: F205

文献标识码: A

High-speed Railway Energy-saving Development Helps Achieve Carbon Neutrality and Peak Carbon Emissions

CUI Xiaoxu

China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing, 100071, China

Abstract: With the increasingly severe global climate change problem, carbon neutrality and peak carbon emissions have become the main development goals of countries around the world. As a low-carbon and environmentally friendly means of transportation, high-speed railways play an important role in energy conservation, emission reduction, and promoting carbon neutrality and peak carbon emissions. Based on the current situation of energy-saving development in high-speed railways, this article analyzes their energy utilization status and energy-saving measures, and evaluates the contribution of high-speed railways in promoting carbon neutrality and carbon peak goals. Through the energy-saving evaluation of the project construction plan, the feasibility of current energy-saving technologies and their impact on energy consumption were analyzed, and measures to further optimize the energy utilization structure and improve energy efficiency were proposed, providing reference for the future development of high-speed railways.

Keywords: high-speed railway; energy-saving development; carbon neutrality; carbon peak; energy utilization

引言

在应对全球气候变化和实现碳中和碳达峰目标的过程中,交通行业扮演着至关重要的角色。高速铁路作为一种高效、环保的运输方式,具有极大的节能潜力。随着技术的不断进步,高速铁路的能源利用效率得到了显著提升。然而,如何在未来发展中进一步减少能耗、降低碳排放,实现节能目标,仍然是亟待解决的问题。本文将围绕高速铁路的节能发展进行探讨,评估其建设方案中的节能措施,分析项目的能源利用状况,提出有效的节能对策。

1 高速铁路节能发展现状与意义

1.1 高速铁路的能效水平及现状

高速铁路作为现代化的交通工具,其能源消费特征具有明显的优势和独特性。首先,高速铁路的能源主要来自电力,与传统的燃油驱动交通工具相比,电力驱动减少了对化石能源的依赖,因此从整体上具有较低的碳排放水平。尤其是在清洁能源日益发展的背景下,电力驱动的优势愈加显现。在中国,高速铁路的电力供应逐步过渡到可再生能源,如风能和太阳能等,这使得高速铁路在能源使用上有更低的碳足迹。高速铁路的能源消耗并非完全无害。尽管电力驱动减少了燃料消耗,但其依赖的电力来源仍会影

响能效水平。高铁系统需要大量的电能来支持列车的高速运行、车站的供电以及其他基础设施的运转。由于电网结构和电力供应存在一定差异,部分地区的电力可能仍以煤炭为主,这对高铁的能效水平和碳排放产生了影响。高速铁路的能效水平相较于传统铁路和汽车交通工具已经有了显著提高。以中国为例,其设计时速可达300km/h以上的高速列车已经实现了较为精确的能效控制。与飞机和汽车等其他交通方式相比,高速铁路的单乘客能耗较低,尤其在大量旅客和长途运输中,显示出其在节能减排方面的潜力。

1.2 高速铁路在碳中和碳达峰中的作用

高速铁路在碳中和碳达峰中扮演着至关重要的角色。其最大的优势在于能够大幅减少交通运输领域的碳排放,推动能源消费结构的优化。随着全球碳中和目标的提出,交通行业的碳排放成为了关注重点。高速铁路通过替代传统的内燃机驱动交通工具,如汽车和飞机,显著减少了二氧化碳的排放。具体来说,高速铁路在运输过程中所消耗的能源主要是电力,而这部分电力的来源越来越倾向于可再生能源,从而进一步减少了交通领域的碳排放。高速铁路的运行不仅仅是替代传统运输方式,更重要的是推

动了能源结构的转型。通过铁路运输的电气化和清洁能源应用，推动了电网体系的绿色发展，促进了清洁能源的利用，进一步加速了低碳经济的发展。尤其是在一些国家和地区，政府出台了多项政策，支持高速铁路的建设与发展，形成了低碳出行的社会共识。高速铁路在减排方面仍面临一些挑战。首先，建设和维护高速铁路的成本较高，尤其是在一些地理条件复杂或人口稀少的地区，铁路的运营效率可能较低，造成较高的能源消耗。其次，高速铁路建设需要大量的资源投入，如钢铁、水泥等，这些过程本身也会带来碳排放。如何在减少碳排放的同时，控制整个系统的生命周期能源消耗，成为了未来高速铁路可持续发展的关键课题。

2 项目建设方案节能评估

2.1 高速铁路项目的建设标准与节能设计

在高速铁路项目的建设过程中，节能设计方案起着至关重要的作用。为了达到更高的能效水平，设计阶段必须考虑如何在整体规划中实现能源的合理利用。首先，现代高速铁路建设的设计标准已不再仅仅关注铁路的安全性和舒适性，更加注重其能效和环保要求。设计时，采用了许多先进的节能技术，如线路的优化设计、桥梁与隧道的结构设计，以及车辆的动力系统改进等，均致力于减少能源消耗，提高整体运行效率。高速铁路的节能设计方案通常包括了对能源消耗进行科学预测，制定节能目标，以及引入高效、低能耗的建设技术。例如，采用轻质、高强度的铁路材料，以降低车体重量，从而减少动力消耗。列车采用了空气动力学优化设计，减少空气阻力，提高运行效率。对于供电系统，采用了高效的电力传输技术和更高效的电力变电站，减少了能源的损耗。通过模拟运行、实际测试等手段，对不同节能设计方案进行全面评估，确保所选技术方案的可行性和经济性。比如，车辆的动态性能、能耗数据、轨道结构等均需进行详细评估，以确保在项目投入使用后能够达到预期的节能效果。项目建设过程中，采用的节能技术不仅要考虑其初期投入，还要关注长期的运行成本和环保效益。

2.2 高速铁路建设过程中能源的优化利用

在高速铁路的建设过程中，如何优化能源利用，是保证其长期节能效果的关键。节能设备和智能化控制技术的应用为能源的优化利用提供了有力支持。例如，在高速铁路的电力供应系统中，广泛应用了智能电网技术。通过智能调度系统，能够在不同时间段合理分配电力资源，根据列车的运行需求自动调整电力的供应，避免了电力浪费。随着列车运行数据的不断反馈，智能系统能够实时监测并调整能耗，使得每列列车在运行过程中保持最佳的能源利用效率。

节能设备的广泛应用也提升了能源的优化利用。在高速铁路的建设过程中，轨道电气化技术的应用是能源优化

的一项重要举措。通过高效的电气设备以及智能控制系统，能够在不同的运行模式下实现电能的高效使用。这些设备包括了高效的变压器、变频器、能量回馈系统等，能够将制动过程中产生的能量回收并转化为电力，供列车继续使用，从而进一步减少能源消耗。高速铁路的线路与车站设计也对能源的优化利用起到了至关重要的作用。首先，轨道的建设注重减少坡度和曲线半径，以提高列车的运行效率，减少能耗。其次，车站建筑的设计上也充分考虑节能，采用了现代化的节能技术，如高效空调系统、LED照明、智能温控等，以降低车站的能源消耗。车站的设计还注重与外部能源系统的协调，合理利用太阳能、风能等可再生能源，为车站提供部分能源需求，减少对传统电力的依赖。

3 节能措施与能效提升评估

3.1 关键节能技术与措施

当前高速铁路领域应用了多种关键节能技术，以提高整体能效并减少能源消耗。首先，列车的空气动力学优化是其中一项重要的节能技术。通过设计流线型的列车车身，减少空气阻力，能够有效地降低能量消耗，尤其是在高速行驶时。列车外形的优化使得高速铁路在运行过程中能在最小的阻力下获得最大速度，从而提升能源利用效率。

列车的电力驱动系统逐渐由传统的电力驱动向更高效的系统过渡。采用高效的牵引电机和先进的变频控制技术，可以根据列车的实时需求调整电力供应，减少不必要的能量损耗。能源回收技术的应用也是一项关键节能措施。在制动过程中，高速铁路的列车能够将动能转化为电能，通过再生制动系统回馈到电网，减少能量浪费。

此外，高速铁路的节能措施还包括轨道优化设计和车站设施节能。轨道设计通过优化坡度、减少曲线半径等，降低列车运行时的能耗。车站建筑节能措施在整个铁路系统的能效提升中也占据重要地位。车站建筑采用高效照明、空调系统以及智能化控制技术，以降低能耗。例如，LED照明系统的广泛应用能够有效减少电力消耗，同时智能照明控制系统能够根据人流量自动调节亮度，进一步提高能源利用效率。空调系统方面，采用高效能热泵、地源热泵和冷热联供系统，可以显著降低供暖和制冷的能耗。此外，站房结构设计充分利用自然采光和自然通风，减少人工照明和机械通风的需求，进而降低建筑整体能耗。

3.2 节能措施实施效果评估

高速铁路的节能措施在实际运营中取得了显著成效，尤其是在降低能源消耗和提高能效方面表现突出。首先，列车空气动力学优化显著减少了高速行驶时的空气阻力，从而降低了能耗。据研究，优化车身流线型设计可以减少约10%~15%的空气阻力，使列车在相同功率下能够达到更高速度或减少能量损耗。此外，采用轻量化材料也在降低能耗方面发挥了重要作用。例如，高速列车使用铝合金或碳纤维复合材料，相较于传统钢材车身，可减少15%~

20%的重量,进而降低牵引能耗。

电力驱动系统的升级也极大地提升了能效。高效牵引电机和先进的变频控制系统能够根据列车运行状态动态调整能耗,从而减少不必要的电能浪费。例如,采用全新的IGBT(绝缘栅双极晶体管)变频控制技术后,牵引系统效率可提高5%~8%。此外,制动能量回收技术进一步降低了能源损耗。再生制动系统能够将制动时的动能转化为电能并回馈至电网或供给其他列车使用,在实际运营中可回收约20%~30%的牵引能量,大幅减少电力需求。

轨道和车站节能措施同样贡献显著。轨道优化设计减少了曲线半径和坡度,使列车运行更加顺畅,降低了不必要的能耗损失。车站建筑的节能改造进一步降低了整体能源消耗。例如,北京南站采用太阳能光伏发电系统,每年可提供约200万千瓦时的清洁电力,占站内总用电量的10%以上。此外,智能照明系统的应用使得车站照明能耗减少约30%,而高效空调系统结合地源热泵技术可减少15%~25%的空调能耗。

4 项目能源利用状况核算及能效提升

4.1 项目能源消费状况核算

项目能源消费状况核算是了解高速铁路能源利用效率和节能潜力的关键环节。通过对高速铁路的能源消费数据进行详细分析,可以更好地把握其能源利用现状。高速铁路的能源消耗主要来源于列车的电力驱动系统、电力设备的运行以及车站、隧道等设施的照明和空调系统。具体来说,每列高速列车在运营中的电力消耗取决于其运行速度、载客量和线路的坡度等因素。根据近年来的数据,高速铁路的单位能耗已经有了显著降低,例如一列300km/h的列车,每乘客公里的能耗低于同等距离的飞机和汽车。与传统交通方式相比,高速铁路在能源消耗方面表现出明显的优势。传统汽车和航空运输方式通常依赖于化石燃料,且其单位运输能耗较高。根据统计,航空运输在长途旅行中的能耗比高速铁路高出约三倍,而汽车的单位能源消耗也显著高于高速铁路。与之相比,高速铁路在运行中主要依赖电力,尤其是在电力逐渐由可再生能源供应的背景下,其碳排放和能耗显著低于传统燃油驱动的工具。这些数据充分表明,高速铁路的能源利用效率远高于其他传统交通方式,具有较大的节能潜力。

4.2 提升能源利用效率的策略

为了进一步提升高速铁路的能源利用效率,需要在多个方面采取优化措施,推动能源的高效利用。首先,优化

能源利用结构是提升整体能效的核心策略。高速铁路系统的电力供应结构应逐步过渡到低碳、可再生能源,以减少对传统火力发电的依赖。例如,随着风能和太阳能等可再生能源的逐步应用,高速铁路能够利用这些绿色电力代替传统煤电,进一步降低其碳足迹。与此同时,智能电网的建设也可以在调度过程中根据实时需求优化电力分配,确保电力资源的高效利用,避免能源浪费。提升系统综合效率是实现节能目标的另一个重要措施。这可以通过改善列车动力系统、优化车站设施、提升轨道设计等方面来实现。列车动力系统的优化可以通过改进电动机效率、降低摩擦损失以及采用先进的电力回馈系统来减少能量浪费。对于车站设计来说,利用智能化控制系统对照明、空调和电力消耗进行动态调节,可以大幅度降低车站的能源需求。轨道设计方面,采用轻质材料和减少坡度的设计,可以减少列车运行时的能耗。通过优化能源利用结构和提升系统综合效率,高速铁路的能源消耗可以得到显著降低,不仅能减少运营成本,也能够为实现碳中和和碳达峰的过程中发挥重要作用。

5 结束语

高速铁路作为重要的绿色交通工具,已在促进碳中和碳达峰方面取得了显著进展。通过对项目建设方案和节能措施的评估,本文认为,未来应进一步推动节能技术的创新与应用,优化能源消费结构,不断提升能效。只有实现全面节能,才能最大限度地降低碳排放,推动我国交通行业的绿色可持续发展,助力实现碳中和碳达峰的目标。高效、环保的高速铁路将在全球气候变化的应对中发挥重要作用,成为推动绿色交通发展的典范。

[参考文献]

- [1] 赵光辉. 我国交通运输碳达峰碳中和规制及政策研究[J]. 改革与战略, 2022, 38(4): 14-30.
- [2] 王文丽. 高速铁路对成渝城市群经济高质量发展影响研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2022.
- [3] 冯超, 段瑞芳, 赵宇泽. 高速铁路冻土路基施工质量的控制[J]. 建材发展导向, 2025, 23(4): 10-12.
- [4] 柯睿思. ABB 积极支持中国可再生能源和铁路发展 ABB 智能技术和增效节能解决方案助力中国重点行业发展[J]. 电气制造, 2010(5): 14.

作者简介: 崔晓旭(1992.10—), 女, 北京市, 汉族, 研究生, 工程师, 就职于中铁工程设计咨询集团有限公司, 从事铁路工程环境保护相关工作。