

引用格式: 付豪,毛宁,龙妍,等.高速公路交能融合标准体系研究[J].标准科学,2025(7):98-104.
FU Hao,MAO Ning,LONG Yan,et al. Research on the Standards System of Freeway Transportation-Energy Integration [J].Standard Science,2025(7):98-104.

高速公路交能融合标准体系研究

付豪^{1,2} 毛宁³ 龙妍^{1*} 焦明扬⁴ 张槐洋⁴ 田逸飞⁴ 张立麒¹ 刘进²

(1.华中科技大学 能源与动力工程学院; 2.葛洲坝集团交通投资有限公司; 3.交通运输部规划研究院;
4.华中科技大学 中欧清洁与可再生能源学院)

摘要:【目的】交能融合标准体系的构建是推动交通能源一体化发展、实现交通行业绿色低碳转型的关键环节。高速公路交能融合作为道路交通领域减排降碳的重要抓手,亟须构建支撑高速公路场景交能融合发展的标准体系。【方法】结合“源-网-荷-储”一体化用能形式,深入分析交通与能源融合发展方向和路径,结合交通和能源融合概念的内在特征和具体特点,构建科学、系统、统一的高速公路场景下交能融合标准体系框架。【结果】从交通能源耦合发展、示范工程技术难题、标准制定分层拟编、引领国际核心标准4个方面,为交能融合标准化工作给出相应建议。【结论】高速公路交能融合标准体系的构建,为系统规划交能融合标准研制,全面推动交通用能网络基础建设提供了重要的科学依据和指导。

关键词: 交能融合; 标准体系; 高速公路; 标准化; 新型电力系统

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2025.07.014

Research on the Standards System of Freeway Transportation-Energy Integration

FU Hao^{1,2} MAO Ning³ LONG Yan^{1*} JIAO Mingyang⁴ ZHANG Huaiyang⁴
TIAN Yifei⁴ ZHANG Liqi¹ LIU Jin²

(1. School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology; 2. Gezhouba Group Transportation Investment Company; 3. Planning and Research Institute, Ministry of Transportation and Communications;
4. China-EU Institute for Clean and Renewable Energy at Huazhong University of Science and Technology)

Abstract: [Objective] The construction of the transportation-energy integration standards system is a key link to promote the integrated development of transportation and energy, and realize the green and low-carbon transformation of the transportation industry. As an important starting point for reducing carbon emission in the road transport field, it is urgent to build a standards system to support the transportation-energy integrated development of freeway scene. [Methods] Combined with the “source-net-charge-storage” integrated energy use form, the development direction and path of transportation and energy integration are analyzed, and a scientific, systematic and unified framework of transportation-energy integration standards system is constructed based on the internal and specific characteristics of the concept of transportation and energy integration. [Results] From four aspects of transportation and energy coupling development, demonstration engineering technical problems, standard formulation and compilation of layers, leading the international core standards,

基金项目: 本文受中国能建交能融合重大科技专项项目“综合交通与能源融合关键技术研究工程示范”(项目编号: CEEC2021-KJZX-08-1); 国家重点研发计划项目“引领典型行业率先碳达峰的质量基础协同控制技术体系研究与应用”(项目编号: 2021YFF0601000)资助。

作者简介: 付豪, 博士, 高级工程师, 研究方向为交通与能源融合。

龙妍, 通信作者, 博士, 教授, 研究方向为物质流-能量流-信息流协同控制、能源经济与管理等。

the corresponding suggestions for the standardization of energy integration are given. [Conclusion] The construction of the freeway transportation-energy integration standards system provides an important scientific basis and guidance for the system planning of energy integration standards and the overall promotion of the transportation energy use network infrastructure.

Keywords: transportation-energy integration; standards system; freeway; standardization; new power system

0 引言

党的二十大报告中强调积极稳妥推进“碳达峰、碳中和”。交通运输作为能源消耗的重点领域,面临着需求不断增长及环境政策更加严苛的双重挑战。交通运输排放占我国碳排放总量约11%^[1],特别是公路运输,目前占全国交通运输碳排放总量85%以上^[2],是交通碳排放绝对的主体和减排重点。

2019年中共中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》^[3]提出“推广新能源、清洁能源、智能化、数字化、轻量化、环保型交通装备及成套技术装备”等要求。为加快建设交通强国,构建现代化高质量国家综合立体交通网,支撑现代化经济体系和社会主义现代化强国建设,2021年中央财经委员会第九次会议首次提出,要构建清洁低碳安全高效的能源体系,控制化石能源总量,着力提高利用效能,实施可再生能源替代行动,深化电力体制改革,构建以新能源为主体的新型电力系统。2021年2月,国家发展改革委和国家能源局印发了《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》,强调包括清洁能源在内的电源开发和协调及储能设备的合理配置,强调负荷侧参与系统协调运行,大力推动风光储深度融合发展^[4]。这表明两个一体化建设已是构建消纳新能源电网的重要措施,将成为新型电力系统发展过程中的重要一环^[5]。2021年中共中央、国务院印发了《国家综合立体交通网规划纲要》^[6],要求推进交通基础设施网与能源网融合发展,健全能源战略物资运输保障体系,提出加强可再生能源、新能源、清洁能源装备设施更新利用和废旧建材再生利用等任务。一系列政策相继提出,构建新型电力系统,优化交通能源结构,推进交通基础设施网与能源网融合发展势在必行。

交通领域的新型用能形式和用能设施正在

快速发展,但支撑交能融合系统的标准体系尚属空白。2021年中共中央、国务院印发了《国家标准化发展纲要》^[7],其中提到“加快构建推动高质量发展的标准体系,助力高技术创新,促进高水平开放,引领高质量发展”。推动交能融合技术标准化是实现交通用能清洁化、能源交通一体化,以及提升清洁能源利用效率的坚实基础,也是促进能源、交通行业高质量、可持续发展的有效保障。因此,面向我国建设交通强国的重大需求,加快建设交能融合标准体系,推动交通与能源的深度融合,是助力交通领域“双碳”目标实现的重要举措。本文围绕最易于开展交能融合示范建设的高速公路场景,系统梳理国内交能融合标准制定现状,初步构建高速公路场景下交能融合标准体系,对交能融合标准化工作的统筹规划提出建议。

1 交能融合研究现状及发展趋势

1.1 发展现状

交能融合是交通网络、能源网络的整合,以交通为服务对象,以能源为动力,服务智能交通。交能融合发展催生了新的行业契机,国外机构与学者较早开展了高速公路场景下能源利用相关的研究及应用工作,主要侧重于可再生能源开发与道路设施相结合的实践应用。例如2014年荷兰通过在水泥板中嵌入晶体硅太阳能电池板,将其铺设在自行车道,生产的电能用来为街灯、交通信号灯和民宅供电^[8]。法国的瓦特路是全球第一条太阳能发电公路,全长约1千米,每年发电量达到280兆瓦时,可为整个小镇3400位居民的夜间道路照明供电。公路电气化技术也是交能融合重要研究方向^[9]。2018年,瑞典建立了世界上第一条电气化道路,该道路可以通过将车辆底部的移动臂和路面的轨道连接来为行驶中的电动汽车充电。我国在

交能融合领域的技术研究尚处于初级阶段,高速公路场景下交能融合研究主要侧重在新能源资源利用和资源潜力评估方面。风能、光能发电具有随机性、波动性、间歇性等特点。系统灵活调节能力已成为影响风光集中式与分布式大发展、构建新型电力系统的关键因素^[10]。杨永平等^[11]评估了我国高速公路及铁路的光伏资源潜力,进而提出了陆路交通能源系统的发展策略。在新能源利用方式研究方面,“光伏+交通场景”是目前构建绿色交通能源系统的主要研究形式^[12],如光伏+高铁站、光伏+停车场、光伏+高速公路等。为实现最大化消纳绿色能源,戚野白等^[13]对高速公路服务区光伏与虚拟电厂协同控制策略进行了研究。能源互联技术可以提升新型电力系统的灵活性、充裕性和经济性^[14],交通能源互联网也是交能融合与数字化转型相结合的重要研究方向,交通-信息-新能源“三网”融合发展^[15],以及交能融合大数据平台的搭建^[16]将促进交通能源领域进一步深度融合。

在标准体系研究方面,国内学者多围绕轨道交通相关标准体系展开了研究和探讨^[17-19]。在标准体系建设方面,交通领域现有标准体系包括公路工程标准体系、交通运输安全应急标准体系、交通运输信息化标准体系、交通运输智慧物流标准体系、绿色交通标准体系、综合交通运输标准体系。其中,涉及能源领域的部分出现在绿色交通标准体系节能降碳标准——新能源与清洁能源应用中。能源领域现有标准体系包括风电标准体系、太阳能光伏产业综合标准化技术体系、新型储能标准体系。其中,涉及交通领域的部分出现在太阳能光伏产业综合标准化技术体系光伏应用标准——光伏交通设施中。现有能源与交通领域标准体系相对独立,编制逻辑和结构框架区别较大,虽存在部分交叉,但覆盖面不全,适用性不足,标准归口不清,难以支撑交能融合相关标准的系统规划和制定实施。

1.2 发展趋势

促进绿色电力与绿色交通共融,构建绿色交通发展体系和清洁低碳能源的融合是中国未来实

现交通低碳可持续发展的关键战略路径^[1],有助于建设交通强国,推进可再生能源转型,实现碳达峰、碳中和目标。未来随着绿色交通和绿色能源网络的进一步融合,以及光伏材料、车路协同等技术的进步,高速公路沿线能源需求量将急剧增加,高速公路需要同步规划建设科学合理、经济高效的供能、充电设施,因此需要进一步开发高速公路能源建设潜力,拓展高速公路可建设光伏发电的场景,将分布式清洁能源作为重要的能源补给手段。

交能融合标准化工作是推动交通能源一体化发展体系的基石,交能融合标准体系的构建是动态描绘交能融合发展蓝图、系统规划交能融合标准研制、全面指导交能融合标准实施计划的关键环节。目前,高速公路场景下分布式能源、储能等交互式能源设施正在快速发展,多能供给、综合服务、智慧用能等各种新型能源形式不断涌现,但交能融合作为一个新概念,其界定范围、技术规范、评价标准等都处在空白阶段,而新能源和互联网的加入需要结合各项新技术和应用场景进行相应迭代研究。因此,为推进交能融合系统的发展和完善,需要制定一套系统、科学、完整、开放、统一的交能融合关键技术标准体系,为交通与能源的深度融合指明发展方向。

2 标准体系编制

交通与能源融合的形式和用能技术与交通场景有密切的关系,主要交通场景包括铁路、公路、城市、港口、机场等。本文主要研究在高速公路场景下交能融合关键技术标准体系。

2.1 编制目标

根据高速公路场景下交能融合技术标准的需求,确保标准体系的分类科学、层级清晰、结构合理,能够完整清晰地展现交通、能源行业融合发展的实际情况和符合未来预期规划,以科学性原则、全面性原则和应用性原则为依据,构建高速公路交能融合标准体系,为交能融合领域涉及的关键技术提供重要支撑。

2.2 构建依据

依据《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》提出的“优化交通能源结构,推进新能源、清洁能源应用”和“推进交通基础设施网与运输服务网、信息网、能源网融合发展”的战略形势要求,以及《交通领域科技创新中长期发展规划纲要(2021—2035年)》全面布局交通与能源融合发展的科技研发任务方向,结合《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》提出的“推广低碳设施设备”中“鼓励在交通枢纽场站以及公路、铁路等沿线合理布局光伏发电及储能设施”和“实施交通运输绿色低碳转型行动”的行动要求,同时参考交通运输部印发《关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》《绿色交通“十四五”发展规划》《关于积极扩大交通运输有效投资的通知》《智能光伏产业创新发展行动计划(2021—2025年)》中提出在服务区、边坡等公路沿线适宜区域合理布局光伏发电设施的应用建

议,为推动交通能源融合发展和推进交能融合标准化建设工作提供有力保障。同时按照《中华人民共和国标准化法》^[20]和GB/T 13016—2018《标准体系构建原则和要求》^[21]的规定,对标准体系进行分析,进一步确定标准体系结构框架。

3 标准体系构建

3.1 标准体系结构图

基于交通和能源行业融合当前发展面临的战略形势要求,分析交通与能源融合发展方向和路径,遵循科学性原则、全面性原则、应用性原则,依照国家、行业对标准体系的建设要求,按照GB/T 13016—2018《标准体系构建原则和要求》,结合交通和能源融合概念的内在特征和具体特点,将高速公路交能融合标准体系框架划分为100基础标准、200设施标准、300设备标准、400运维标准、500评价标准、900相关标准。标准体系框架图如图1所示。

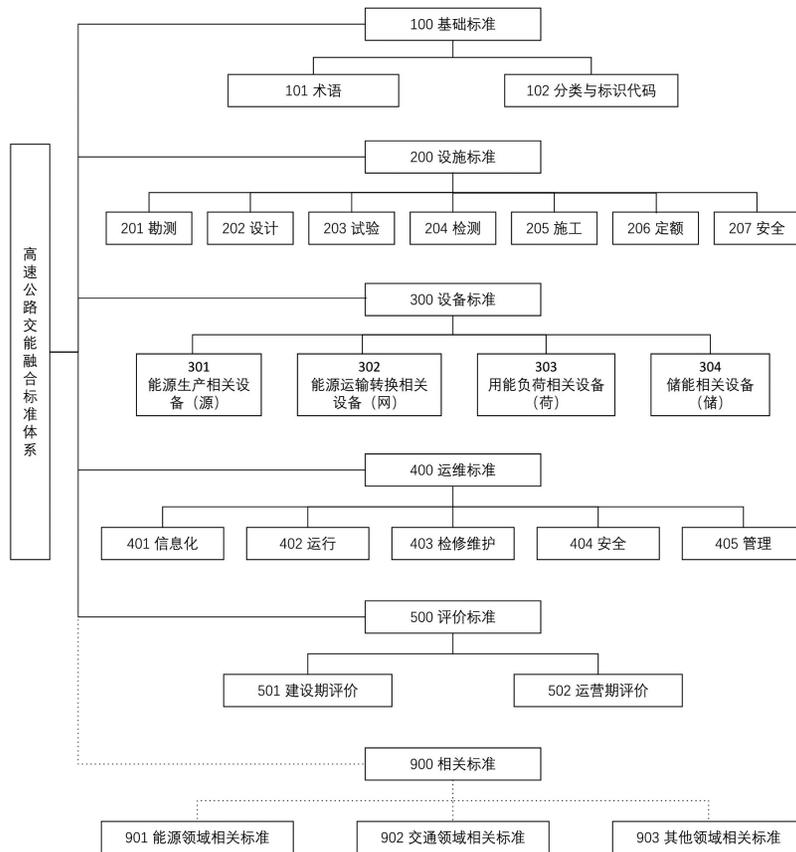


图1 高速公路交能融合标准体系结构图

3.2 各级子体系构建

构建标准体系应从多个维度考量,一级子体系共划分为6个类别,分别为100基础标准,包括术语和分类与标识代码2个方面;200设施标准,包括勘测、设计、试验、检测、施工、定额和安全7个方面;300设备标准,包括能源生产相关设备、能源运输转换相关设备、用能负荷相关设备和储能相关设备4个方面;400运维标准,包括信息化、运行、检修维护、安全和管理5个方面;500评价标准,包括建设期评价和运营期评价2个方面;900相关标准,包括能源领域相关标准、交通领域相关标准和其他领域相关标准。结构图中标准体系类别内容详细说明见表1至表6。

表1 100基础标准类别内容

体系编号	标准类别	标准内容说明
101	术语	交能融合领域涉及的基础术语标准
102	分类与标识代码	交能融合领域涉及的分类型标准和代码标准

表2 200设施标准类别内容

体系编号	标准类别	标准内容说明
201	勘测	交能融合设施地质、资源勘查,地形测绘等标准
202	设计	交能融合设施建设期综合规划、专业规划、工程规划、组件设计、鉴定和定型规范、规划报告编制相关标准
203	试验	交能融合设施建设期测量、指标计算、测试相关标准
204	检测	交能融合设施建设期检验、检测相关标准
205	施工	交能融合设施建设期工程建设、施工、验收、组件安装等相关标准
206	定额	交能融合设施建设期用于指导估算、概算、预算等各阶段文件编制和计价方法等相关标准
207	安全	交能融合设施建设期安全规范、安全技术要求、安全作业相关标准

表3 300设备标准类别内容

体系编号	标准类别	标准内容说明
301	能源生产相关设备(源)	交能融合设施建设期光伏设备、风电设备及其他能源相关设备的选型、调试,材料及工艺的使用规范
302	能源运输转换相关设备(网)	交能融合设施建设期微电网建设相关设备的选型、调试,材料及工艺的使用规范
303	用能负荷相关设备(荷)	交能融合设施建设期充换电设备、加氢站及基础用能设备的选型、调试,材料及工艺的使用规范
304	储能相关设备(储)	交能融合设施建设期电化学储能、氢储能及其他储能方式相关设备的选型、调试,材料及工艺的使用规范

表4 400运维标准类别内容

体系编号	标准类别	标准内容说明
401	信息化	交能融合信息化领域以信息为核心的各类活动所涉及的数据资源类标准
402	运行	公路基础设施和交能融合设施运行、运营管理相关标准
403	检修维护	公路基础设施和交能融合设施维护、检修相关标准
404	安全	公路基础设施和交能融合设施运行、运营、维护、检修安全相关标准
405	管理	公路基础设施和交能融合设施能源管理监测、监控、建模、数据系统相关标准

表5 500评价标准类别内容

体系编号	标准类别	标准内容说明
501	建设期评价	公路基础设施和交能融合设施建设期的相关软硬件的质量评价评定工作相关标准,如设施主体竣工后,设施的性能、环境影响、安全性等内容的评价、评定
502	运营期评价	公路基础设施和交能融合设施运营期的相关软硬件的质量评价评定工作相关标准,如绿色低碳评价等

表6 900相关标准类别内容

体系编号	标准类别	标准内容说明
901	能源领域相关标准	与高速公路交能融合标准体系密切相关,但属于能源领域的标准
902	交通领域相关标准	与高速公路交能融合标准体系密切相关,但属于交通领域的标准
903	其他领域相关标准	与高速公路交能融合标准体系密切相关,但不属于交通和能源领域的标准

3.3 标准统计

标准体系收集各类标准包括国家标准、行业标准共计113项。其中,已发布国家标准25项,行业标准18项,拟编标准72项。按一级子体系分类对现有标准及拟编标准进行统计,结果如图2所示。现有标准中分布在相关标准部分的数量最多,其次是设备标准部分。拟编标准则主要集中在设施标准及运维标准部分。可见,高速公路场景下交能融合领域的现有标准极其有限,应尽快针对交能融合场景的特殊性制定相关标准。

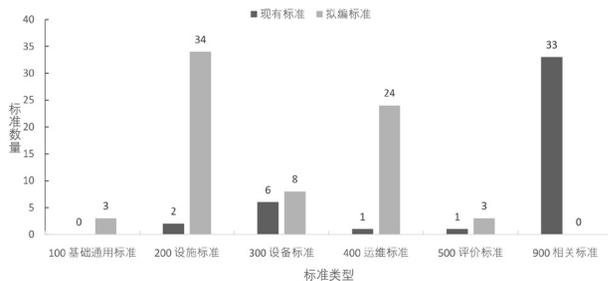


图2 高速公路交能融合分门类标准统计图

4 标准制修订规划建议

在交通用能需求不断增加,新型交通用能技术快速发展的双重压力下,实现交通与能源领域的融合离不开标准化的推动。为了完善高速公路交能融合标准体系,提出以下标准制修订相关建议:

(1)充分结合工程问题,配套制定相关标准。应重点关注交能融合示范工程项目现场实施问题,以问题为导向,有目的、有计划地对标准化过

程及成果信息进行收集、加工、分析、研究等一系列活动。有序开展技术研究工作,掌握交能融合关键技术,形成面向典型应用场景的交能融合解决方案。比如针对“如何快速对边坡稳定性情况进行评价”这一工程问题,可以制定《边坡光伏设施稳定性计算方法与评价》。用研究成果为标准制定打下坚实基础,构建面向应用的高速公路场景下的交能融合关键技术标准体系。

(2)交通能源相互支撑,标准制定互为一体。交能融合不仅是2个领域在空间上的组合,更是二者在技术实践上的相互耦合。不仅能源的生产和使用要适应交通场景的特殊性,交通设施及工程的相关标准也要配合能源设备的使用需求。例如,在高速公路边坡安装光伏板的项目中,不仅要制定光伏板在边坡场景下的安装标准,如《边坡光伏板铺设桩基选型标准》《临滑极限状态下边坡光伏板桩基安装规范》等,也要考虑光伏的安装对边坡产生的生态影响、安全影响,从而制定应对标准,如《边坡光伏发电工程生态防护设计规范》等。

(3)标准制定分层拟编,避免标准交叉重复。交能融合领域现有标准主要在通用标准中,其交叉主要体现在国家标准、行业标准、地方标准之间的重复。应梳理现有相似标准,对重复标准进行整合修订,保证各级标准之间层级清晰、相互补充,充分发挥现有标准的协调机制作用。在制定拟编标准时,要做到分期分类、由上至下。由国家标准引领,地方标准、行业标准进行补充。这需要各级标准管理部门的协同合作,在标准立项之前就划清标准适用范围,避免重复立项、分级不清等问题。

(4)加强国际交流合作,引领国际核心标准。交能融合目前尚处在起步阶段,国内外还未进行系统性的研究工作和深入的研究成果。我国应利用好自身庞大的交通系统,顺应能源结构转型的趋势,依据交通运输体系发展规划和可再生能源技术优势,尽快参与到国际交能融合领域的技术交流中。引领并配合其他国家开展交能融合关键技术研究及标准制定,争取在国际标准的编制中取得主导地位。

高速公路场景下的交能融合关键技术标准体

系的构建是一项服务交通与能源融合关键技术的基础性标准化工程。下一步,相关部门可依据本标准体系,对相关社会生产活动进行监督和指导,根据标准体系的运行情况对标准体系进行定期更新。坚持习近平总书记“绿水青山就是金山银山”的绿色发展理念,加强交能融合标准化工作的总体规划及顶层设计,助推交能融合领域的发展,提高交能融合标准化工作效能。

5 结论

(1) 结合交通与能源领域结合发展的政策导向,分析了当前交能融合领域的研究现状及发展趋势,明确了构建交能融合标准体系的必要性。

(2) 从高速公路用能场景角度切入,结合“源-网-荷-储”一体化的用能形式,构建了高速公路场景下交能融合关键技术标准体系,为高速公路场景下的交能融合技术标准化工作提供参考。

(3) 通过分场景梳理高速公路场景下交能融合现有标准,本研究发现现在边坡、隔离带、路面等特定交通场景下的能源技术相关标准较少,现有标准多集中于通用场景的用能技术中。

(4) 通过分技术梳理高速公路场景下交能融合现有标准,发现太阳能利用技术、风能利用技术和充换电设施相关技术现有标准较多;氢储能技术、离网型微电网技术和其他储能技术相关标准较少,特别是氢储能技术相关标准还处在空白状态。

参考文献

- [1] 李晓易,谭晓雨,吴睿,等. 交通运输领域碳达峰、碳中和路径研究[J]. 中国工程科学, 2021,23(6):15-21.
- [2] 中国交通碳排放占总量10%,近九成是公路运输,如何减碳? | 桔数博客[EB/OL]. (2022-11-8)[2024-12-03]. <http://blog.jushukj.com/archives/3199.html>.
- [3] 中国政府网.中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》(2019年第28号国务院公报)[EB/OL]. (2022-11-15)[2024-12-03].http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5437132.htm.
- [4] 韩朝阳. 浅谈能源多能互补综合利用评估技术分析[J]. 中国设备工程, 2021(8):166-167.
- [5] 李建林,崔宜琳,熊俊杰,等.“两个一体化”战略下储能应用前景分析[J]. 热力发电, 2021,50(8): 1-8.
- [6] 中国政府网.中共中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》[Z]. 2021.
- [7] 中国政府网.中共中央、国务院印发《国家标准化发展纲要》[Z].2021.
- [8] 高嘉蔚,孙芳,毛宁,等. 公路交通与能源深度融合发展思路与展望[J]. 交通节能与环保, 2022,18(2): 1-4.
- [9] 李齐丽,刘杰,毛宁,等. 电气化公路运输系统技术方案探索[J]. 交通节能与环保, 2022,18(2): 5-10.
- [10] 任大伟,侯金鸣,肖晋宇,等. 支撑双碳目标的新型储能发展潜力及路径研究[J].中国电力,2023,56(8):17-25.
- [11] 杨勇平,武平,程鹏,等. 我国陆路交通能源系统发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2022,24(3):153-162.
- [12] 薛彩云.“光伏+交通”路宽且长未来可期[N]. 中国交通报, 2022-03-10(7).
- [13] 戚野白,刘开欣,刘杰,等. 高速公路服务区光伏与虚拟电厂协同控制策略研究[J]. 交通节能与环保, 2022,18(2): 15-21.
- [14] 黄雨涵,丁涛,李雨婷,等. 碳中和背景下能源低碳化技术综述及对新型电力系统发展的启示[J]. 中国电机工程学报,2021,41(S1):28-51.
- [15] 刘慧波,陶勇. 关于交通基础设施网、信息网、新能源网“三网”融合发展的思考[J]. 中国公路, 2022(5): 46-48.
- [16] 廖凯,张润涛,杨子安,等. 交通能源融合大数据平台架构与应用[J]. 电力系统自动化, 2022,46(12): 20-35.
- [17] 何静,杨周楼. 现代有轨电车标准体系框架构建研究[J]. 标准科学, 2025(1):88-93.
- [18] 韩冰,朱旻昊,付强,等. 城市轨道交通可信性标准体系研究[J]. 标准科学, 2022(9):62-66.
- [19] 旻苏,王霞,计雄飞,等. 北京市智慧轨道交通标准化体系探讨[J]. 标准科学, 2022(4):79-82.
- [20] 中国人大网.中华人民共和国标准化法[Z].2021.
- [21] 国家标准化管理委员会. 标准体系构建原则和要求:GB/T 13016—2018 [S].北京:中国标准出版社, 2018.