

# 可持续发展的内涵与现状研究综述

孙依,黄健畅\*,于雷

山东交通学院交通与物流工程学院,山东 济南 250357

**摘要:**当前各国对可持续发展的内涵认知尚未达成共识,发展现状缺乏系统梳理。本文对可持续发展内涵与现状开展综述研究:追溯可持续发展和可持续发展的历史演变;归纳各国际组织与国家或地区对可持续发展基本内涵的理解,界定现代可持续发展的基本含义为在考虑经济发展、社会需求、交通安全、交通公平的同时,减少交通碳排放、污染物排放和噪声等污染源对环境的影响,并降低交通能源消耗的新型交通发展模式,为后代预留持续的资源和空间;系统梳理16个可持续发展领域国际与国家权威机构的研究焦点;将可持续发展现状归纳为六大技术发展和四大发展模式,并分析其现状与主要问题,为可持续发展的未来发展提供方向支撑。

**关键词:**可持续发展;内涵界定;发展现状;技术发展;发展模式

**中图分类号:**U1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2026)01-0001-13

**引用格式:**孙依,黄健畅,于雷.可持续发展的内涵与现状研究综述[J].山东交通学院学报,2026,34(1):1-13.

SUN Yi, HUANG Jianchang, YU Lei. The conceptual evolution and current development of sustainable transportation: a review[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2026, 34(1): 1-13.

## 0 引言

在全球变暖与资源紧缺的时代背景下,推动可持续发展是实现社会经济绿色转型的关键环节。尤其是在超算技术、人工智能、燃料技术等新兴技术快速发展的背景下,如何推动现代化可持续发展,已成为学术界、产业界和政府决策层共同关注的研究热点与战略重点。《交通强国建设纲要》明确提出国家需贯彻可持续发展的理念<sup>[1]</sup>。《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》和《关于推动交通运输与能源融合发展的指导意见》进一步明确了低碳交通发展模式是实现可持续发展的核心目标,并推动成立相关部门与确保资金全面支撑<sup>[2-3]</sup>。联合国发布的《可持续发展十年实施计划(2026—2035)》旨在调动全球资源,建立战略合作机制,加速未来10 a可持续发展的实施建设<sup>[4]</sup>。中国、美国、日本及欧盟等制定了近中长期的可持续发展战略,通过政策引导与技术创新等举措推进可持续发展。但发展现状缺乏系统梳理,对发展目标的认知存在显著差异,对可持续发展内涵的界定尚未达成广泛共识,亟需开展可持续发展现状的梳理与内涵的界定研究。

许多国家或地区初步探讨了可持续发展的现状与基本含义。我国注重可持续发展与国家战略的协同,早期侧重基础设施建设,当前聚焦生态环境保护,致力于推动交通体系向绿色、高效、低碳方向转

**收稿日期:**2025-11-10

**基金项目:**国家自然科学基金项目(72501160);山东省自然科学基金项目(ZR2025QC750);山东省自然科学基金创新发展联合基金项目(ZR2024LZN008);中国高等教育学会高等教育科学研究规划课题(25GC0210)

**第一作者简介:**孙依(2001—),女,山东日照人,硕士研究生,主要研究方向为可持续发展、交通能源等,E-mail:sunyi\_hope@163.com。

**\*通信作者简介:**黄健畅(1995—),男,浙江温州人,副教授,硕士研究生导师,工学博士,主要研究方向为交通能源与排放、网联与自动驾驶等,E-mail:huangjianchang23@163.com。

型<sup>[5]</sup>。日本着力培育精细化交通治理范式,强调资源效率和社会韧性,积极推动紧凑型城市与公共交通优先战略融合<sup>[6]</sup>。欧洲主要聚焦污染物排放治理与低碳清洁能源技术,逐步形成适用于欧洲地区的可持续交通发展的理论体系与技术框架<sup>[7]</sup>。美国更侧重于经济可持续性发展,以交通脱碳、技术革新与社会公平为核心,为美国可持续交通体系的构建提供理论与技术支撑<sup>[8]</sup>。上述研究基于各国不同的交通发展水平与技术条件,明确了符合当地实际的可持续交通的发展路径。现有研究尚未全面梳理可持续交通的发展现状,未深入追溯其内涵演变,学术界对其核心内涵与发展现状尚未形成清晰共识。

本文聚焦道路交通领域,以学术理论、应用实践与时代发展相结合的综合视角,系统梳理多家国际权威机构对可持续交通发展现状与内涵的理解,为推动我国交通可持续发展提供理论框架与方向指导,以期服务于国家“双碳”战略与国家能源安全。

## 1 可持续交通的历史沿革

可持续交通是可持续发展的重要组成部分,交通领域作为能源消耗和污染排放的主要来源之一,推动其低碳绿色转型是实现可持续发展的核心环节。可持续交通需顺应不同的时代背景,形成契合时代特征的发展路径。可持续交通的发展始终遵循可持续发展的总体框架。从可持续发展与可持续交通两方面梳理可持续交通时历史沿革,如图1所示,其重要节点和核心内容如表1所示。

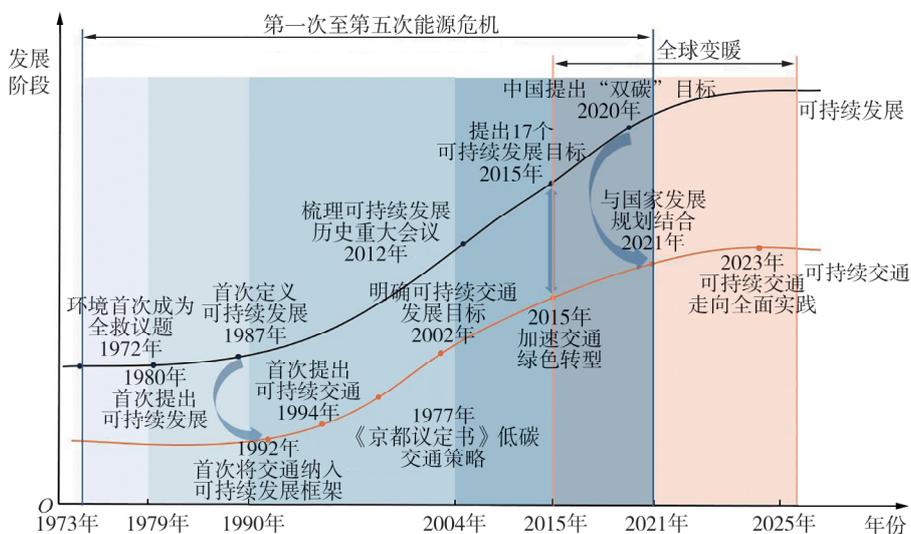


图1 可持续发展与可持续交通的历史沿革

可持续发展是时代背景与历史潮流共同推动的产物,每个时代都有可持续发展的时代任务和历史责任。20世纪70年代,世界首次爆发能源危机,环境问题开始成为全球性议题,为可持续发展奠定了基础。1972年,斯德哥尔摩人类环境会议通过《人类环境宣言》,引起全球对环境问题的关注,推动经济发展与环境保护关系的研究<sup>[9]</sup>。20世纪80年代,经济增长与区域环境间的矛盾日益突出,出现温室效应、酸雨等全球性环境危机,严重威胁全人类的生存和发展。在此背景下,1980年发布的《世界自然资源保护大纲》首次明确提出可持续发展的概念,强调经济发展应兼顾生态保护<sup>[10]</sup>。面对日益严重的全球性环境危机,1987年,联合国世界环境与发展委员会发表的《我们共同的未来》报告首次明确了可持续发展内涵:“可持续发展是指既满足当代人的需要,又不损害后代人满足其需要的能力的发展”<sup>[11]</sup>。此后,各国研究机构相继推出上百种对可持续发展内涵的解读,但该报告的阐述仍最具代表性。进入21世纪,可持续发展面临气候快速变化和科技加速更迭的时代背景。2012年联合国发布《我们希望的未来》,系统梳理了近50 a各项重要国际会议对可持续发展的要求,为后续制定可持续发展目标奠定基础<sup>[12]</sup>。2015年联合国通过《2030年可持续发展议程》,提出涵盖经济、社会与环境三大领域的17项可持续发展具体目

标<sup>[13]</sup>。我国积极响应全球倡议,于 2020 年明确提出“双碳”目标,计划用 40 a 实现碳减排减少近 80%。实现该目标的核心驱动力是科技创新驱动下的产业结构和能源结构调整,为我国可持续发展指明了节能降碳的方向<sup>[14]</sup>。

1992 年联合国环境与发展大会首次将交通领域纳入可持续发展的总体框架,并强调需通过交通规划与管理实现可持续交通目标<sup>[15]</sup>。1994 年经济合作与发展组织会上首次出现“可持续交通”的术语。1997 年通过的《联合国气候变化框架公约》京都议定书是全球气候治理进程中具有里程碑意义的国际法律文件,首次为发达国家确立了具有法律约束力的强制减排目标,为全球应对气候变化奠定了制度基础和实践框架。2002 年联合国约翰内斯堡峰会明确提出可持续交通的发展目标:改变现有交通的发展模式,减少交通对环境的污染,减少对人体健康的危害<sup>[16]</sup>。2015 年《巴黎协定》推动低碳绿色转型,呼吁各国加大对可持续交通的投资和支持,减少温室气体排放<sup>[17]</sup>。2021 年《北京宣言》提出将可持续交通目标纳入国家发展规划,为中国实现绿色低碳转型制定宏观框架<sup>[18]</sup>。2023 年全球可持续交通高峰论坛强调建设可持续交通体系的重要作用,国家主席习近平向论坛致贺信,指出建设安全、便捷、高效、绿色、经济、包容、韧性的可持续交通体系,是支撑服务经济社会高质量发展、实现“人享其行、物畅其流”美好愿景的重要举措<sup>[19]</sup>。

表 1 可持续发展和可持续交通的重要节点和核心内容

领域	年份	重要节点	核心内容
可持续发展	1972 年	斯德哥摩尔人类环境会议《人类环境宣言》 <sup>[9]</sup>	首次提出发展需要关注环境
	1975 年	第 94 届美国国会《能源政策与节约法》 <sup>[20]</sup>	确立汽车产业 CAFE <sup>①</sup> 标准
	1980 年	联合国环境规划署《世界自然资源保护大纲》 <sup>[10]</sup>	初步提出可持续发展的思想
	1987 年	联合国世界环境与发展委员会《我们共同的未来》 <sup>[11]</sup>	首次阐述可持续交通的概念
	2003 年	英国贸工部《我们能源的未来——构建一个低碳社会》 <sup>[21]</sup>	首次提出低碳经济的概念
	2006 年	日本经济产业省《新能源发展战略》 <sup>[22]</sup>	提出可持续能源战略,实现能源循环利用
	2012 年	联合国《我们希望的未来》 <sup>[12]</sup>	梳理近 50 a 重要会议要求,提出发展目标
	2015 年	联合国《2030 年可持续发展议程》 <sup>[13]</sup>	提出 17 个具体发展目标
	2020 年	第七十五届联合国大会 <sup>[14]</sup>	提出碳达峰、碳中和目标
可持续交通	2023 年	中国 21 世纪议程管理中心《2023 世界能源可持续性评价报告——聚焦“一带一路”》 <sup>[23]</sup>	构建能源可持续性指标体系
	1992 年	联合国环境与发展大会《21 世纪议程》 <sup>[15]</sup>	首次将交通纳入可持续发展框架
	1994 年	经济合作与发展组织 <sup>[24]</sup>	首次出现可持续交通术语
	1997 年	联合国《联合国气候变化框架公约》京都议定书 <sup>[25]</sup>	制定低碳交通发展战略
	2002 年	联合国约翰内斯堡峰会 <sup>[16]</sup>	明确可持续交通的发展目标
	2015 年	第二十一届联合国气候变化大会《巴黎协定》 <sup>[17]</sup>	呼吁投资可持续交通,减少温室气体排放
	2021 年	第二届联合国可持续交通大会《北京宣言》 <sup>[18]</sup>	将可持续交通目标纳入国家规划,制定转型框架
	2023 年	全球可持续交通高峰论坛 <sup>[19]</sup>	强调建设可持续交通体系的重要作用

①CAFE,企业平均燃油经济性(corporate average fuel economy)。

在 20 世纪能源危机背景下,可持续发展与可持续交通的内涵与定义初步形成;进入 21 世纪,随着全球气候变化与科技加速迭代,可持续交通的概念进一步深化,并逐步契合新的时代需求。因此,在全球变暖趋势不可逆转、化石能源等资源紧缺与新兴技术不断赋能交通产业发展的背景下,亟需提炼当代可持续交通的核心需求,剖析可持续交通的现状,界定新时代可持续交通的内涵,为交通行业转型发展提供清晰的方向指引。

## 2 可持续交通的内涵

不同国际组织与国家政府部门对可持续发展需求不同,对可持续发展的理解与界定存在差异。因此,系统梳理各国际组织与国家政府部门对可持续发展内涵的界定,需总结其核心共识,从经济发展阶段、资源禀赋、交通结构等维度剖析差异化的成因,深度理解可持续发展内涵与演进逻辑。不同国际组织与国家政府部门对可持续发展基本内涵的理解如表2所示。

表2 不同国际组织与国家政府部门对可持续发展基本内涵的理解

机构名称	可持续发展基本内涵	可持续发展核心要点
联合国经济和社会事务部 <sup>[4]</sup>	以安全、负担得起、可达、高效、有弹性的方式,为人员和货物流动提供服务,促进经济和社会发展,维护后代利益,最大限度地减少对环境的影响	构建交通服务体系,促进经济与社会发展,碳排放最小化
经济合作与发展组织 <sup>[26]</sup>	以安全、经济实用和可被社会接受的方式提供交通和服务,达到公认的卫生与环境目标,保护生态系统避免超过临界负荷,减少对全球环境的负面影响	兼顾安全、经济与社会,保护生态系统完整性,减少全球负面影响
世界可持续发展工商理事会 <sup>[27]</sup>	满足社会基础流通需求的同时不损害人类基本价值或生态价值的的能力,推动交通系统可持续发展	环境改善(减排、降噪),提高交通安全性,效率优化(缓解拥堵),促进社会公平性
美国能源部 <sup>[28]</sup>	推广低排放、零排放和节能的交通方式,减少燃料和车辆成本;减少碳排放降低环境污染,创造更多就业机会与交通公平;减少对外来能源依赖	推广可持续交通方式,降低环境与经济成本,创造就业与提高交通可及性,实现能源独立
日本国土交通省 <sup>[6]</sup>	在环境因素约束下满足经济和社会需求的交通发展模式,减少运输部门对环境污染,以缓解全球变暖为目标,长期持续地减少温室气体排放	交通发展模式受环境约束,减少运输对环境污染,长期减排
欧盟委员会 <sup>[7]</sup>	推广使用清洁能源车辆,降低对化石燃料的依赖;推动客运与货运向可持续运输方式转移;实施碳定价机制与基础设施收费制度,将交通产生的环境与社会成本内部化	交通能源转型(低/零排放车辆),运输方式优化(公共交通工具、铁路与水运),外部成本内部化
加拿大交通部 <sup>[29]</sup>	充分考虑环境、社会和经济等因素发展可持续的运输系统,旨在降低燃油消耗、排放、交通事故和拥堵等负面影响,保障经济与社会活动的长期可持续性,避免对人类未来发展造成损失	发展可持续交通系统,降低环境和交通负面影响,保障未来发展可持续性

由表2可知:不同国际组织和国家政府部门在界定概念的关注点时,有明确的逻辑对应关系。首先,社会经济发展阶段是影响可持续发展基本内涵差异的最根本因素。发展中国家处于交通需求快速增长阶段,更侧重提高运输效率和满足经济社会发展的需要;交通体系相对成熟的发达经济体更强调清洁能源应用和减少环境外部性。其次,资源禀赋是影响政策导向的重要因素,如欧盟石油资源匮乏,更注重减少对化石燃料的依赖;美国能源资源丰富,但交通排放总量较高,更侧重能源技术创新与清洁能源替代。此外,交通结构差异也是关键影响因素,如日本高密度公共交通体系更侧重多方式协同与高效衔接,美国私人汽车占比较高,其政策更强调能源效率与道路安全。最后,治理体系决定可持续发展的具体表达和实施路径。欧盟在跨国治理框架下更注重政策规则的可持续性与一致性;美国强调市场驱动和技术创新激励机制;我国通过集中统一的政策体系使其界定更强调顶层设计、多目标协同以及国家战略与交通发展的联动。

尽管在可持续发展基本内涵的界定方面存在差异,但核心共识是在确保交通安全、经济、高效等发展的前提下,最大限度地减少交通系统对生态环境的负面影响,维护后代交通资源的可持续性发展。因此,环境与资源的集约发展是可持续发展的核心目标,联合国经济和社会事务部指出要最大限度地减少交通

对环境的负面影响<sup>[4]</sup>;世界可持续发展工商理事会旨在倡导减少尾气排放和交通噪声的交通发展模式<sup>[27]</sup>;欧盟委员会与美国能源部致力于推动清洁能源技术的研发与应用,促进交通领域的低碳转型,降低对化石燃料的依赖<sup>[7,28]</sup>。除环境约束外,交通安全是发展可持续交通的根本保障。在此基础上,可持续交通的发展需遵循经济发展与社会需求的基本规律,如中国、加拿大均指出可持续交通应在确保经济与社会活动的长期可持续性发展的同时,不损害后代的福祉。因此,可持续交通是在保障安全、满足经济与社会需求的前提下,寻求环境影响最小化与资源利用最优化的协同发展模式。

综上所述,将可持续交通定义为:在考虑经济发展、社会需求、交通安全、交通公平的同时,减少交通碳排放、污染物排放和噪声等污染源对环境的影响,并降低交通能源消耗的新型交通发展模式,为后代预留持续的资源和发展空间。为实现可持续交通的多维度发展目标,国际组织、政府研究机构、学术界及产业界均将研究重点聚焦于可持续交通的关键领域。

### 3 可持续交通的主要研究机构与研究方向

基于对可持续交通基本内涵的共识,各研究机构如何将这些宏观定义转换为各领域的实际行动,是推动其发展的关键。选取 16 个可持续交通领域国际与国家权威机构的研究焦点如表 3 所示。可持续交通核心是通过技术革新、交通系统规划、公平政策优化,推动交通系统向低碳、高效与可持续方向发展。首先,脱碳技术与能源转型是可持续交通发展的核心方向,美国国家可持续交通中心聚焦多场景交通脱碳预测与零排放汽车技术,并强调全周期脱碳政策评估<sup>[30]</sup>;日本丰田中央研究所致力于研究碳中性能源载体和循环制造技术,并采用数字人体模型优化电动汽车设计<sup>[31]</sup>;中国天府永兴实验室借助碳捕获及其他降碳技术促进清洁能源的应用,实现减污与降碳的协同目标<sup>[32]</sup>。山东交通学院可持续交通研发中心重点开展交通污染排放检测与评估、交通碳减排技术与应用的研究,并探索交通网与能源网的深度融合,为交通能源系统的协同优化提供技术支撑<sup>[33]</sup>。其次,各研究机构积极推动数字化技术在智能交通与基础设施领域的创新,日本交通省国土技术政策综合研究所通过大数据优化国家基础设施与灾害应急体系的构建<sup>[34]</sup>;明尼苏达大学交通研究中心专注提高公共交通系统的智能化和安全性<sup>[35]</sup>。最后,可持续交通的发展不仅在于技术与设施,更体现在政策与社会公平方面,美国交通可持续发展研究中心通过共享出行和特殊人群流动性方案推动交通资源公平分配<sup>[36]</sup>;中国宇恒可持续交通研究中心构建碳排放模型,制定以公共交通为导向的低碳城市规划与政策<sup>[37]</sup>;欧洲的国际公共交通联盟通过跨洲合作项目,协调发展中国家与发达国家的交通经济与金融策略<sup>[38]</sup>;中国国际可持续交通创新和知识中心通过开放联动和创新驱动,推动国际间合作并促进全球经济共同发展<sup>[39]</sup>。

表 3 可持续交通领域国际与国家权威机构的研究焦点

机构名称	成立时间	可持续交通研究焦点
国家可持续交通中心(美国) <sup>[30]</sup>	2013 年	交通脱碳预测、零排放车辆技术、交通环境与公平的平衡、全交通污染物综合治理、全周期脱碳政策评估
交通可持续发展研究中心 <sup>[36]</sup>	2006 年	可持续共享出行、特殊人群流动性、新能源车辆与燃料、能源基础设施建设、未来移动出行
明尼苏达大学交通研究中心 <sup>[35]</sup>	1987 年	交通安全、公平与可持续,公共交通设计,基础设施政策分析,未来移动出行
交通与发展政策研究所 <sup>[40]</sup>	1985 年	公共交通设施规划及建设、慢行交通建设、交通政策和城市的可持续发展、出行需求管理
欧洲环境署 <sup>[41]</sup>	1990 年	气候、欧洲环境状况、经济与资源、城市交通可持续发展
国际道路运输联盟 <sup>[42]</sup>	1948 年	国际公路运输、改善道路安全、绿色道路运输
国际公共交通联盟 <sup>[38]</sup>	1885 年	可持续发展、交通与城市生活、交通经济与金融、车辆及设备

表3(续)

机构名称	成立时间	可持续交通研究焦点
公益财团法人运输综合研究所(日本) <sup>[43]</sup>	1986年	铁、公、水、航多运输方式协同,交通安全,环境与可持续发展,新兴交通技术的研究与创新,交通法律、法规与政策的制定
国土交通省国土技术政策综合研究所(日本) <sup>[34]</sup>	2001年	国家基础设施与交通政策体系优化、国家灾害应急响应技术体系构建、地方现场技术能力提升专项支持、大数据管理与社会应用协同工程
日本汽车研究所 <sup>[44]</sup>	1969年	交通燃料效率测试、车辆噪声污染测试、安全性能试验、机动性试验
丰田中央研究所 <sup>[31]</sup>	1960年	碳中性能载体技术、循环型制造技术、数字人体模型/电动汽车
中国国际可持续交通创新和知识中心 <sup>[39]</sup>	2022年	开放联动、互联互通、共同发展、创新驱动、生态优先、国际合作
中国交通运输部科学研究院 <sup>[45]</sup>	1960年	交通运输环保与低碳、安全应急、综合政策与法规、交通信息技术、城市交通与轨道交通
宇恒可持续交通研究中心 <sup>[37]</sup>	2005年	城市公共交通系统规划,自行车与步行系统规划,碳排放模型构建与评估,交通规划、模拟模型构建,低碳城市与路网规划
天府永兴实验室 <sup>[32]</sup>	2021年	清洁低碳能源、资源碳中和、减污降碳协同、碳捕集与利用、碳汇与地质固碳
可持续交通研发中心 <sup>[33]</sup>	2023年	交通污染检测与评估、碳减排技术与应用、交能融合、网联大数据与智能交通、交通仿真与数字孪生

综上所述,现有研究机构在可持续交通领域的探索主要集中在两方面:一方面聚焦于脱碳技术、能源转型及数字化创新等核心技术突破,另一方面注重公共交通和新型交通发展、社会政策设计与跨区域合作等发展模式创新。

## 4 可持续交通现状

从技术发展与发展模式两方面总结可持续交通的发展现状。基于梳理的七十多篇行业报告、科研文献与机构研究,将可持续交通的发展分为六大技术与四大发展模式。技术发展包含交通能源技术、减污降碳技术、新能源汽车技术、自动/自动驾驶技术、其他运输方式与其他新兴技术;发展模式包含可持续交通规划、可持续交通管理、可持续交通控制、新兴出行方式。

### 4.1 技术发展现状

在交通能源技术现状方面,2013—2022年中国清洁能源消耗量在能源总消耗量中的占比从10.2%增至17.5%,2020—2050年国际能源署预计交通能源行业清洁能源消耗量占比将超过70%。在此背景下,以太阳能、风能与氢能等清洁能源为输入,依托储电、储氢与储热等多种形态的储能系统,正加速构建融合交通网、能源网与信息网的一体化系统,旨在实现能源生产、存储、输配与终端交通用能间的高效协同。扩大清洁能源在交通系统中的应用范围改变了能源供给结构,为可持续交通规划与新兴出行方式提供低碳化基础,使公共交通电动化、多式联运碳减排等模式转型成为可能。然而,当前的发展进程仍面临多重挑战:首先,清洁能源设备装机规模持续增长,但实际发电量在总发电量中的占比仅约为25%,这主要受限于可再生能源发电的不稳定性及输送网的技术瓶颈,导致整体利用效率有待提高。其次,分布式能源设备、微电网等能源基础设施建设和交通需求不匹配,缺乏统筹规划<sup>[46]</sup>,引发资源错配问题。再次,当前电力消纳仍采用传统的“自发自用,余电上网”策略,需深化改革“源网荷储一体化”体系<sup>[47]</sup>,实现能源高效利用。最后,交通能源利用、运行与调度数据未得到有效监管与利用,缺乏标准化的交通能源管理平台,跨部门协同与市场机制不健全,阻碍系统整体优化。

在减污降碳技术现状方面,减污降碳技术是应对气候与环境挑战的核心手段。2024年全球化石燃

料产生的CO<sub>2</sub>排放总量为374亿t,其中交通领域贡献了24%,而道路交通排放量在交通排放量中的占比大于70%。当前,技术研发已形成双重路径:微观层面聚焦车辆尾气处理技术的突破,宏观层面着力推进清洁燃料替代与交通系统能效优化等方面的研究<sup>[48]</sup>。减排技术的进步反向支撑低排放区管理、绿色交通控制等可持续交通管理模式,使管理策略与实时排放信息动态联动。推动交通规划与管理方式向环境响应型转变,使规划目标与技术能力实现协同提升。交通领域的高排放贡献率和复杂污染排放暴露了当前减污降碳技术体系存在的不足:首先,低碳导向的交通管控技术滞后,路网能耗优化与实时排放数据脱节,亟待构建多源数据融合机制增强调控能力;其次,现有排放监管平台功能不完善,难以实现对机动车尾气排放的全过程精准监控,制约了实时数据采集与智能决策能力的提高;最后,生态驾驶技术停留在媒体宣传、企业奖惩等方面,缺乏驾驶行为生态性的量化评估与明确定义<sup>[49]</sup>。

在新能源汽车技术现状方面,2012—2024年全球新能源汽车销量从20万台增至1600万台。其中,中国市场是这一趋势的主要驱动力,新能源汽车渗透率在2023年11月突破30.8%;截至2025年,我国已布设公共充电桩408.3万台,其中位列前十地区(广东、浙江、江苏、上海、山东、河南、湖北、安徽、四川、北京)建设的公共充电桩占比达67.4%;2025年1月至2025年5月,充电基础设施增量为158.3万台,其中公共充电桩增量为50.4万台,随车配建私人充电桩增量为107.9万台<sup>[50]</sup>。新能源汽车的快速普及与基础设施完善为新兴出行方式的商业化提供了技术条件;而共享运营模式对续航、安全和电池寿命的高要求又推动了动力电池技术的升级,实现技术与模式的双向耦合。面对新能源汽车市场渗透率快速提升与基础设施规模不断扩大,为保障其产业的健康发展亟需解决以下问题:首先,电池安全问题是新能源汽车面临的首要挑战,电池在过充、短路与高温等情况下易引发热失控,导致火灾或爆炸<sup>[51]</sup>。其次,在车辆使用环节,车辆负重、电池年限与驾驶习惯等影响电力消耗,续航里程缩短;电池性能、环境温度与充电设备状况等因素影响充电效率<sup>[52]</sup>。再次,电池回收处理体系不健全,虽政府初步构建电池回收政策体系,但其体系技术和标准不成熟,动力蓄电池回收仍面临诸多挑战。最后,充电基础设施布局仍需完善,充电设施密度和数量不足且分布不均衡,尤其是偏远地区仍缺乏充电设施<sup>[53]</sup>。

在自动/自动驾驶技术现状方面,自动驾驶技术分为L0至L5六个等级<sup>[54]</sup>,辅助驾驶(L0、L1、L2级别)主要用于私家车,通过部分自动化功能提升用户驾车体验;无人驾驶(L3及以上级别)实现特定区域或环境内的完全自动驾驶,其价值在于降低人力成本、节能减排和改善安全性等。自动/自动驾驶技术已在特定场地落地测试,自动驾驶出租车、自动驾驶巴士及干线物流运输均已验证这项技术<sup>[55-57]</sup>。自动驾驶技术在试点运营中产生的海量场景数据,又反向促进感知算法的迭代与决策系统的成熟。自动驾驶技术前景广阔且渗透率持续提升,但在向更高级别(尤其是L3及以上级别)的演进和规模化商用进程中仍面临多重挑战:首先,核心技术成熟度不足及数据获取困难,感知层、决策层等关键技术尚未成熟,自动驾驶技术的发展需收集大量且场景丰富的数据,但因耗时较长、成本高昂,难以满足实际需求。其次,单车智能所需的软硬件成本过高,阻碍了自动驾驶普及和功能升级,同时自动驾驶运行的通信端、路端、云端等协同基础设施尚不完善,处于早期探索阶段,与大规模商用要求差距明显<sup>[58]</sup>。最后,受相关法律法规不健全的制约,目前L3及以上级别自动驾驶车辆在系统操纵车辆出现事故时,在权责认定、道德伦理等方面存在较大争议和法律缺失<sup>[59]</sup>。自动驾驶技术是未来自动驾驶的演进,是在新兴技术如大数据、自动驾驶、车路协同、5G、北斗导航定位等推动下,通过自组织运行与自主化服务的方式,完成对客运与货运需求,其本质是减少交通系统的人为干预,提升交通系统的自主能力,其能力主要体现在交通需求主动响应、载运工具自动运行、基础设施主动管控、外部环境主动适应4个方面。

在其他运输方式现状方面,主要体现在铁路运输、航空运输、水运运输和管道运输。铁路运输聚焦于风能、光能、氢能及天然气等新能源动力列车的研究与低能耗技术装备的推广<sup>[60]</sup>;航空运输致力于研究无人化、电动化、智能化新型通用航空装备的场景化应用<sup>[61]</sup>;水运运输中加速推进船舶能源替代,液化天然气动力船舶、锂电池纯电动船舶及甲醇动力船舶应用范围不断扩大<sup>[62]</sup>;管道运输加快新材料、新工艺和智能化技术的应用,提升管道的运输效率和安全性。铁路、水运和航空领域的能源替代与智能化改造,为多式联运体系的绿色协同提供支撑。同时,多式联运需求的增长也推动铁路、水运、航空等运输方式在

节能动力、智能调度与运载效率方面持续创新。然而,铁路、航空、水运和管道运输的可持续交通发展也存在诸多问题,一是铁路基础设施建设会对环境造成一定影响,需通过更全面的环境评估与规划进行规避和缓解<sup>[63]</sup>。二是航空运输作为高碳排放行业,其脱碳程度受到可再生航空燃料技术的制约<sup>[64]</sup>,目前替代能源技术仍处于研发阶段。三是水运运输受限于替代燃料和技术的研发相对滞后,清洁能源多处于试验阶段或应用范围有限,难以大规模替代传统燃料;同时,船舶老化问题突出,效率较低、污染较大,升级改造或置换为清洁能源船舶成本过高。四是管道运输运行过程中本身会产生温室气体排放,泵站和压缩机等设备通常依赖化石燃料驱动,且天然气管道输送时甲烷泄漏也对气候变化有负面影响。

在其他新兴技术现状方面,大数据分析/超算技术、5G网络技术以及区块链技术共同构成了智能交通技术的三大支柱。其中,大数据分析技术负责采集、处理和分析海量交通数据,为交通管理部门提供全面的交通运行状态并精准诊断问题<sup>[65]</sup>;超级计算凭借强大计算与数据处理能力,实现对交通数据的实时分析和处理,为城市交通管理和交通流优化提供了关键支撑。5G网络技术具有超低时延、超高速率、超大网络容量等优势,对道路交通情况进行实时监测,并实现车联网(V2X)通信,更好地为道路管理发挥作用<sup>[66]</sup>。区块链技术目前处于试验和概念验证阶段,但在实际交通应用中仍受处理速度和兼容性问题影响。这些数字技术为可持续交通管理提供实时监测、精准调度与可信数据支撑,提升交通管控的精细化水平。技术进步使管理模式更智能化,而复杂的交通管理需求又反向促进数据平台集成度、算法能力与通信网络覆盖水平持续提升。然而,在其他新兴技术实施过程中仍存在一些挑战:首先,大数据分析需处理海量数据,且不同来源的数据质量参差不齐,增加了数据清洗和一致性处理的复杂性,影响最终结果的准确性和可靠性;超算技术的计算能力持续提高,难以满足对日益增长的数据规模进行实时分析的需求;超级计算的电力能源消耗巨大,其用电量占全球用电总量的1.5%~2.0%。其次,5G网络技术面临部署和维护成本较高、基站及设备能耗较高等问题,且在实际应用中易受网络条件影响产生延迟,需在提升网络效率的同时优化能源使用。最后,区块链技术在处理大规模交通数据时能力不足,现有技术的吞吐量和效率难以满足实时应用的需求,且难以实现跨平台、跨系统间的集成,限制其在复杂交通系统中的应用<sup>[67]</sup>。

#### 4.2 发展模式现状

可持续交通规划的目标不再局限于满足未来的交通需求,而更注重绿色融合与综合目标的实现<sup>[68]</sup>。可持续交通规划强调优化交通结构、推广低碳交通方式与发展多式联运、减少交通需求对环境的压力。同时,通过污染物控制,改善环境质量,并促进社会的和谐发展<sup>[69]</sup>。清洁能源、智能交通和新能源汽车等技术的发展,正在为多维度规划目标的落地提供现实可行的技术基础,使规划与技术间相互促进。这一理念转变体现了交通规划从单一功能导向,向生态、社会与经济协调发展的综合导向转型。这一先进的理念在落地实施过程中仍面临诸多挑战:可持续交通规划在推动绿色融合与多维目标协同方面,尚未形成系统整合与量化评估的完整技术体系;缺乏针对“可持续交通规划”的官方指导文件,从单一目标到综合目标转向缺乏明确的政策引领,技术体系整合和标准协调工作间缺乏系统动力和明确导向;在涉及多种交通方式协同的关键环节,各技术标准不匹配问题突出,影响了交通运输系统的整体效率和安全性。

在可持续交通管理现状方面,管理理念变化体现在五个方面:一是从被动响应转向主动引导,通过优化交通网络结构、提升公共交通服务水平等,主动引导交通系统向健康、低碳方向发展<sup>[70]</sup>;二是倡导政府、企业、社会组织和公众等共同参与,形成合力;三是从单一目标转向综合目标,在统筹交通系统效率的同时,需兼顾其对经济、社会和环境的影响<sup>[71]</sup>;四是从粗放管理转向精细管理,提升交通效率和服务水平,减少污染排放<sup>[72]</sup>;五是更关注人的出行需求和体验,强调以人为核心的交通管理。公交优先、低排放区等管理政策加速清洁能源车辆、车路协同设施等的应用,使技术应用与管理需求形成正向闭环。反向推动智能监测、自动驾驶、数字平台等技术的发展,使管理政策更具执行力。从理念向实践转化的关键阶段仍面临一系列亟待解决的问题:一是可持续交通管理需大量资金投入和技术支持,包括智能交通系统的建设、清洁能源车辆的研发和推广等,但目前很多地区在资金和技术方面存在不足。二是政府已经出台一系列支持可持续交通管理的政策,但在实际执行过程中,受各地政策环境与经济发展水平差异制约,

政策执行力度往往不同。三是可持续交通管理需公众的广泛参与和支持,但目前很多市民对可持续交通的概念和重要性认识不足,缺乏参与可持续交通管理的积极性和主动性。四是可持续交通管理涉及多个部门和领域,目前很多地区在跨部门协调与合作机制方面存在不足,存在各部门间信息共享不畅、政策衔接不紧密等问题。五是在推动可持续交通管理的过程中,需关注交通系统的公平性和包容性,目前很多地区的交通系统存在低收入群体和特殊群体的出行需求未得到充分满足。

在可持续交通控制现状方面,呈三大转变趋势:一是从传统化向智能化转变,通过车辆间的协同与智能调度,实现交通流的平滑运行,减少因交通延误导致的车辆污染物排放;二是从单一目标向多维目标转变,传统的交通控制以提高交通效率、缓解交通拥堵为主要目标,可持续交通控制以减少交通对环境的影响为主要目标;三是从单一手段向综合手段转变,强调构建综合交通体系,实现多种交通方式的协调发展<sup>[73]</sup>。智能化控制策略对实时感知、车路协同、自动驾驶等技术提出更高数据与响应要求,在一定程度上反向促进技术系统持续迭代。车路协同系统和自动驾驶车辆提供高精度运行数据,可反向优化交通控制策略的精细化设计,使控制模式持续适应技术升级。推进这些积极转型的落地过程中,仍面临诸多挑战:可持续交通控制需大量资金投入,许多地区在资金和技术方面难以实现对新技术的研发和基础设施改造;公共交通、步行道等基础设施存在衔接不足、整合度较低等问题,难以满足公众的出行需求;可持续交通控制需公众广泛参与和支持,目前公众对可持续交通认识不足,参与相关实践的积极性和主动性不高。

在新兴出行方式现状方面,其发展呈四方面特征:一是能源结构向清洁能源转变,以电动汽车、氢能源汽车为代表的新能源交通工具加速推广;二是出行模式向多元化发展,共享单车、网约车等新型出行方式使用户选择增加;三是目标导向转向整体效率优化,依托智能交通提升整体出行效率并缓解交通拥堵;四是价值取向强调环保优先,新兴出行方式更注重环保和可持续发展<sup>[74]</sup>。新兴出行方式的规模化运营依赖电动化和智能化技术,其高频次、标准化的运营场景也为新能源汽车和自动驾驶技术提供了丰富的测试环境与商业化路径,形成技术与模式的双向促进关系。推广普及新兴出行方式与效能提升过程中,面临多重问题亟待解决:一是市场接受度不高与成本较高,新兴出行方式在安全性、便捷性等方面存在制约,其研发、生产、运营等成本均相对较高,市场接受度较低。二是法规滞后与标准体系不健全,新兴出行方式的发展往往快于相关法律法规的制定和完善,在实际应用过程中可能会出现法律空白或法律冲突的情况。新兴出行方式涉及多领域和部门,其标准制定缺乏有效统筹,制约多元化模式发展。三是资源消耗与回收瓶颈削弱环保效益,新兴出行方式在使用环节具有环保优势,但共享交通工具的规模化生产与废旧电池回收体系的技术和标准不成熟,均可能部分抵消其使用阶段的减排效益。

### 4.3 小结

综上所述,可持续交通并非单一领域的孤立发展,而是技术发展与发展模式中多维度协同作用的结果。技术发展是发展模式有效运行的基础支撑,以清洁能源、减污降碳、新能源汽车、自动/自动驾驶及多种运输方式协同创新为支撑,推动交通系统在能源替代、污染减排、运行效率和智能化水平上取得显著突破;运用新兴技术为实时监测、优化调度与精准治理提供数据基础。发展模式是技术发展效能释放的关键路径,通过可持续交通规划、管理、控制及新兴出行方式的不断完善,使技术创新具备制度化与场景化实施条件,形成规划目标、政策工具与技术能力间的正向互动。

从整体系统层面看,将技术发展转化为体系化、规模化的可持续交通实践仍面临一系列共性核心瓶颈。首先,最普遍的问题是跨部门协同不足,当前能源、交通与信息等领域在规划、建设和运营层面缺乏统一的系统框架与协调机制,难以支撑可持续交通的系统性推进。其次,资金投入不足与基础设施发展不均衡。在高成本的智能化和清洁能源设施建设方面尤为突出,各地区投入差异显著,限制了低碳化、智能化水平的全面提升。再次,标准体系不统一与政策滞后导致技术与管理难以协同,影响多式联运、自动驾驶、新兴出行方式等领域的规模化应用;数据资源碎片化限制了智能调度、实时排放监测和跨领域信息共享,制约了智能化水平提升。最后,公众参与度和接受度不足制约新兴出行方式、生态驾驶以及绿色交通管理等政策的有效落地。由此可见,可持续交通的发展需从系统性治理的高度出发,加强顶层设计,构

建跨部门协同机制,完善标准体系与政策环境,并构建低碳化、智能化的交通基础设施体系,实现技术发展与模式创新的协同推进。

## 5 结束语

基于可持续发展框架,本文厘清可持续交通的历史演化脉络,从可持续交通的内涵、研究机构与研究方向、技术发展与发展模式三方面系统总结可持续交通的内涵与研究现状。

1) 国际组织及主要国家或地区对可持续交通基本含义进行界定,虽对可持续交通基本含义的理解各有侧重,但普遍将重点放在减轻环境负担与减少资源消耗上。

2) 在当前时代背景与可持续发展需求的驱动下,综合各国家或地区对可持续交通基本含义的理解,将可持续交通定义为:在考虑经济发展、社会需求、交通安全、交通公平的同时,减少交通碳排放、污染物排放和噪声等污染源对环境的影响,并降低交通能源消耗的新型交通发展模式,为后代预留持续的资源和发展空间。

3) 现有研究机构在可持续交通领域的探索主要集中在两方面:一方面聚焦于脱碳技术、能源转型及数字化创新等核心技术突破,另一方面注重公共交通和新型交通发展、社会政策设计与跨区域合作等发展模式创新。

4) 当前可持续交通的发展体现在技术发展和发展模式两方面,技术发展包含交通能源技术、减污降碳技术、新能源汽车技术、自动/自动驾驶技术、其他运输方式与其他新兴技术;发展模式包含可持续交通规划、可持续交通管理、可持续交通控制、新兴出行方式。

未来研究应聚焦于可持续交通在政策、技术与模式上的关键瓶颈;需深化跨区域、多主体的政策协同机制研究,明确不同治理层级间的职责分工与协同路径;亟须构建交通系统层面的综合评价框架,揭示技术进步与模式创新在不同城市类型、出行结构与资源禀赋下的适配性差异;应加强典型试点城市可持续交通模式的经验提炼,形成可迁移的可持续交通转型策略,为政策制定与实践落地提供支撑。

### 参考文献:

- [1] 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院印发《交通强国建设纲要》[R/OL]. (2019-09-19) [2025-07-10]. [https://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content\\_5431432.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm).
- [2] 国务院. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[R/OL]. (2022-01-18) [2025-07-17]. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content\\_5669049.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm).
- [3] 交通运输部, 国家发展改革委, 工业和信息化部, 等. 交通运输部等十部门关于推动交通运输与能源融合发展的指导意见[R/OL]. (2025-03-26) [2025-07-13]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202504/content\\_7021087.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202504/content_7021087.htm).
- [4] Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. UN decade of sustainable transport 2026—2035[R/OL]. [2025-07-16]. <https://sdgs.un.org/un-decade-sustainable-transport-2026-2035>.
- [5] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 《中国交通的可持续发展》白皮书[R/OL]. (2020-12-22) [2025-10-20]. [http://www.scio.gov.cn/zfbps/zfbps\\_2279/202207/t20220704\\_130661.html](http://www.scio.gov.cn/zfbps/zfbps_2279/202207/t20220704_130661.html).
- [6] 太田 勝敏. 实现环境可持续交通(EST)[EB/OL]. [2025-10-20]. <https://www.estfukyu.jp/mezashite.html>.
- [7] European Commission. Mobility strategy[EB/OL]. (2021-07-20) [2025-07-16]. [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en).
- [8] 中国科学院科技战略咨询研究院. 美国政府发布《交通部门脱碳蓝图》[EB/OL]. (2023-04-27) [2025-07-16]. [http://casisd.cas.cn/zkcg/ydkb/kjzcyzxb/2023/zcxkb202303/202304/t20230427\\_6746661.html](http://casisd.cas.cn/zkcg/ydkb/kjzcyzxb/2023/zcxkb202303/202304/t20230427_6746661.html).
- [9] United Nations. Report of the United Nations conference on the human environment[R]. Stockholm, 5-16 June 1972. New York:United Nations, 1972.
- [10] International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. World conservation strategy: living resource conservation for sustainable development[R]. Gland: IUCN, 1980.

- [11] World Commission on Environment and Development. Report of the world commission on environment and development; our common future[R]. New York: WCED, 1987.
- [12] United Nations. The future we want[R]. New York: UN, 2012.
- [13] United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development[R]. New York: UN, 2015.
- [14] 新华社. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话[EB/OL]. (2020-09-22) [2025-07-16]. [https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content\\_5546168.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm).
- [15] United Nations. Agenda 21[R]. New York: UN, 1992.
- [16] United Nations. Report of the world summit on sustainable development[R]. New York: UN, 2002.
- [17] United Nations. Paris Agreement[R]. New York: UN, 2015.
- [18] United Nations. Report of the second United Nations global sustainable transport conference[R]. New York: UN, 2021.
- [19] 新华网. 习近平向全球可持续交通高峰论坛致贺信[EB/OL]. (2023-09-25) [2025-07-16]. <https://world.huanqiu.com/article/4EgJV2R6Cn8>.
- [20] United States Congress. Energy policy and conservation act[R/OL]. (1975-12-22) [2025-07-21]. <https://www.congress.gov/bill/94th-congress/senate-bill/622>.
- [21] Department of Trade and Industry. Energy white paper: our energy future: creating a low carbon economy[R/OL]. (2003-02-24) [2025-07-23]. <https://www.gov.uk/government/publications/our-energy-future-creating-a-low-carbon-economy>.
- [22] 中研网. 日本国家能源战略[R/OL]. (2007-03-22) [2025-07-21]. <https://www.in-en.com/article/html/energy-74870.shtml>.
- [23] 鲁玺, 赵琦, 张贤. 2023世界能源可持续性评价报告: 聚焦“一带一路”[R]. 北京: 清华大学环境学院, 2023.
- [24] 陆化普. 中国城市可持续交通发展[J]. 科技导报, 2022, 40(14):24-30
- [25] United Nations. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change[S]. New York: UN, 1998.
- [26] Organization for Economic Co-operation and Development. OECD guidelines towards environmentally sustainable transport[R/OL]. (2002-10-24) [2025-07-16]. <https://doi.org/10.1787/9789264199293-en>.
- [27] KPMG. Mobility 2030: transforming the mobility landscape[R/OL]. (2020-01-29) [2025-07-16]. <https://courses.diyguru.org/downloads/e-mobility/industry-reports/mobility-2030-transforming-the-mobility-landscape-kpmg-report/>.
- [28] U. S. Department of Transportation. Transportation & fuels pillar[EB/OL]. [2025-07-16]. <https://www.energy.gov/cmei/transportation-fuels-pillar>.
- [29] Transport Canada. 2023 to 2027 departmental sustainable development strategy[R/OL]. (2025-10-06) [2025-10-20]. <https://tc.canada.ca/en/corporate-services/transparency/sustainable-development-transport-canada/2023-2027-departmental-sustainable-development-strategy>.
- [30] National Center for Sustainable Transportation. About the NCST[EB/OL]. [2025-07-16]. <https://ncst.ucdavis.edu/about>.
- [31] Toyota Central R&D Labs. Representative research results[EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.tytlabs.co.jp/en/company/results.html>.
- [32] 天府永兴实验室. 关于实验室[EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.tfyxlab.cn/About>.
- [33] 交通探界者. 可持续交通研发团队|赋能低碳交通, 引领智慧未来[EB/OL]. (2025-09-04) [2025-10-21]. <https://mp.weixin.qq.com/s/U6x-ZTDQ23qGc8SRy-bspq>.
- [34] National Institute for Land and Infrastructure Management. About NILIM[EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.nilim.go.jp/english/about/outline.htm>.
- [35] Center for Transportation Studies. About the center for transportation studies (CTS)[EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.cts.umn.edu/about>.
- [36] Transportation Sustainability Research Center. About TSRC[EB/OL]. [2025-07-18]. <https://tsrc.berkeley.edu/about>.
- [37] 宇恒可持续交通研究中心. 关于我们[EB/OL]. [2025-07-18]. <http://www.chinastc.org/gywm>.
- [38] The International Association of Public Transport. About UITP[EB/OL]. [2025-07-18].
- [39] 中国国际可持续交通创新和知识中心. 可持续交通创新中心简介[EB/OL]. [2025-07-18]. <https://stic.bjtu.edu.cn/cms/item/306.html>.

- [40] Institute for Transportation and Development Policy. Our work [EB/OL]. [2025-07-18]. <https://itdp.org/our-work/>.
- [41] European Environment Agency. About us [EB/OL]. [2025-07-16]. <https://www.eea.europa.eu/en/about>.
- [42] International Road Transport Union. About IRU [EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.iru.org/who-we-are/about-iru/vision-mission>.
- [43] Japan Transport and Tourism Research Institute. About JTTRI [EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.jttri.or.jp/english/about/jttri/>.
- [44] Japan Automobile Research Institute. JARI profile [EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.jari.or.jp/en/about/laboratory/>.
- [45] 交通部科学研究院. 业务领域[EB/OL]. [2025-07-18]. <https://www.motcats.ac.cn/col/col6/index.html>.
- [46] 刘栋晨, 季昱, 胡岳. 交能融合 V2G 技术研究与实践综述[J]. 上海交通大学学报, 2025, 59(1):1-15.
- [47] 孟旭瑶, 刘佳佳, 文福栓, 等. “源网荷储一体化项目”的发展现状与关键技术[J]. 电力系统自动化, 2026, 50(1):1-19.
- [48] 徐倩. 基于城市交通特征的中国机动车排放清单建立[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
- [49] 程颖, 张佳乐, 张少君, 等. 大型货运车辆生态驾驶及节油潜力评估[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(6):253-258.
- [50] 中国充电联盟. 2025年5月全国电动汽车充电桩基础设施运行情况[EB/OL]. (2025-06-12) [2025-07-15]. <https://ne-time.cn/web/article/36067>.
- [51] SHEN R Q, QUAN Y F, MCINTOSH J D, et al. Fire safety of battery electric vehicles: hazard identification, detection, and mitigation[J]. SAE International Journal of Electrified Vehicles, 2024, 13(3):279-294.
- [52] 陈丽丹, 张尧, FIGUEIREDO Antonio. 电动汽车充放电负荷预测研究综述[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(10):177-191.
- [53] 袁文辉, 张学东. 退役动力电池回收体系政策与技术发展研究[J]. 有色金属(中英文), 2025, 15(6):1081-1086.
- [54] ATAKISHIYEV S, SALAMEH M, YAO H S, et al. Explainable artificial intelligence for autonomous driving: a comprehensive overview and field guide for future research directions[J]. IEEE Access, 2024, 12:101603-101625.
- [55] 曾伟良, 韩宇, 何锦源, 等. 自动驾驶出租车动态合乘效益仿真分析[J]. 计算机科学, 2021, 48(2):257-263.
- [56] LI Z H, NIU J R, LI Z Z, et al. The impact of individual differences on the acceptance of self-driving buses: a case study of Nanjing, China[J]. Sustainability, 2022, 14(18):11425.
- [57] 王森, 王舒帆, 张子健. 面向干线物流自动驾驶运输系统的测试方案设计[J]. 汽车工程师, 2025(5):43-48.
- [58] 李晓华. 自动驾驶的发展现状、挑战与应对[J]. 人民论坛, 2023(18):68-72.
- [59] 袁国何. 论自动驾驶情形中的刑事责任[J]. 苏州大学学报(法学版), 2022, 9(4):80-91.
- [60] 胡田飞, 刘济华, 李天峰, 等. 铁路与新能源融合发展现状及展望[J]. 中国工程科学, 2023, 25(2):122-132.
- [61] FAN B K, LI Y, ZHANG R Y, et al. Review on the technological development and application of UAV systems[J]. Chinese Journal of Electronics, 2020, 29(2):199-207.
- [62] 童亮, 袁裕鹏, 李骁, 等. 我国氢动力船舶创新发展模式研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(3):127-139.
- [63] DA FONSECA-SOARES D, ELIZIÁRIO S A, GALVINCIO J D, et al. Greenhouse gas emissions in railways: systematic review of research progress[J]. Buildings, 2024, 14(2):539.
- [64] QASEM N A A, MOURAD A, ABDERRAHMANE A, et al. A recent review of aviation fuels and sustainable aviation fuels[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2024, 149(10):4287-4312.
- [65] ABIRAMI S, PETHURAJ M, UTHAYAKUMAR M, et al. A systematic survey on big data and artificial intelligence algorithms for intelligent transportation system[J]. Case Studies on Transport Policy, 2024, 17:101247.
- [66] PAWAR V, ZADE N, VORA D, et al. Intelligent transportation system with 5G vehicle-to-everything (V2X): architectures, vehicular use cases, emergency vehicles, current challenges, and future directions[J]. IEEE Access, 2024, 12:183937-183960.
- [67] 汪红梅. 区块链在智慧交通管理中的应用研究[J]. 辽宁警察学院学报, 2024, 26(5):44-50.
- [68] 交通运输部. 国家综合立体交通网规划纲要[R/OL]. (2021-02-25) [2025-07-19]. [https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202102/t20210225\\_3527909.html](https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202102/t20210225_3527909.html).
- [69] 交通运输部. 交通运输部关于印发《绿色交通“十四五”发展规划》的通知[R/OL]. (2021-10-29) [2025-07-19].

- [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content\\_5669662.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content_5669662.htm).
- [70] 交通运输部, 国家发展改革委, 公安部, 等. 关于推进城市公共交通健康可持续发展的若干意见[R/OL]. (2023-10-08) [2025-07-21]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content\\_6907977.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content_6907977.htm).
- [71] 交通运输部, 中央宣传部, 国家发展改革委, 等. 交通运输部等十二部门和单位关于印发《绿色出行行动计划(2019—2022年)》的通知[EB/OL]. (2019-06-03) [2025-07-21]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-10/28/content\\_5445647.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-10/28/content_5445647.htm)
- [72] SHI Z M, QIAN Y S, ZENG J W, et al. Coordinated development of urban transportation structure optimization and energy conservation, and emission reduction under the low-carbon background in Lanzhou, China [J]. *Systems*, 2025, 13 (1):34.
- [73] 国务院. 国务院关于印发《中国制造2025》的通知[EB/OL]. (2015-05-19) [2025-06-25]. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content\\_9784.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm).
- [74] 袁志逸, 李振宇, 康利平, 等. 中国交通部门低碳排放措施和路径研究综述[J]. *气候变化研究进展*, 2021, 17 (1):27-35.

## The conceptual evolution and current development of sustainable transportation: a review

SUN Yi, HUANG Jianchang<sup>\*</sup>, YU Lei

*School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China*

**Abstract:** In the context of global warming and resource scarcity, promoting sustainable transportation is a vital component of the green transformation of socio-economic systems. Yet, no universal consensus has been reached on the definition of sustainable transportation, and systematic reviews of its current development remain limited. This paper provides a comprehensive review of both the conceptual foundation and the current state of sustainable transportation. First, it traces the historical evolution of the concept. Second, it synthesized and compared definitions proposed by international organizations and national or regional authorities. Sustainable transportation is herein defined as an innovative development model that minimizes environmental impacts, such as carbon emissions, air pollutants, and noise, reduces energy consumption, and integrates economic growth, social well-being, traffic safety, and equity, thereby preserving resources and opportunities for future generations. Third, the research priorities of 16 leading international and national institutions in the field are systematically reviewed. Finally, current progress summarized in terms of six key technological advances and four developmental models, with major challenges and issues identified. The findings provide theoretical insights and strategic guidance for the future advancement of sustainable transportation.

**Keywords:** sustainable transportation; conceptual definition; current development status; technological advancement; development model

(责任编辑:赵玉真)