

# 中国交通零排放转型 蓝皮书

——暨中国清洁交通伙伴关系2022年度综合研究

## 版权说明

©2023 中国清洁交通伙伴关系(CCTP)版权所有。本报告邀请了来自不同机构的专家或团队共同撰写,每位专家对于其所写部分享有版权。未经授权,任何机构或个人不得以任何形式进行复制或转载。联系方式: info@icet.org.cn。

## 致谢

本书由中国清洁交通伙伴关系秘书处统筹编制,由能源基金会提供资金支持。感谢联合撰写团队的付出,感谢为本书提出宝贵意见的评审专家。

## 关于中国清洁交通伙伴关系

中国清洁交通伙伴关系(英文 China Clean Transportation Partnership, 简称 CCTP)是由从事中国清洁交通创新机制研究与推动的机构共同发起成立的非政府、非营利、自愿性的交流、合作及观点传递平台。秉承“独立、专业、共享、包容”的工作理念,通过跨部门、跨行业、跨机构、跨地域的交流与合作,聚焦政策和技术创新,总结、宣传并推广国际、中国和地方先进经验,加速交通迈向零排放。中国清洁交通伙伴关系联合了交通、能源、气候、环境、经济多领域的一线研究机构及智库,旨在打破行业间、部门间、国家和地方之间、不同性质的机构之间的信息壁垒,推动交通运输领域尽早实现零排放。秘书处由能源与交通创新中心(iCET)担任。

## 免责声明

报告中陈述的观点仅代表作者个人意见,不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性,不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。

## 编委会

主任 安 锋

副主任 王雯雯 王 姮

评审专家 丁晓华 王贺武 付 璐 刘好德

刘 莹 安 锋 赵立金 龚慧明

撰稿人 于丹阳 王小桐 王 姮 王雯雯 尹 航 刘 欢

刘胜强 刘琦宇 刘 斌 李立理 吴 睿 邵臻颖

欧训民 罗 静 秦兰芝 夏 晶 崔洪阳

(按姓氏笔画为序)

## 联合撰稿单位

中国汽车技术研究中心汽车战略与政策研究中心

中国环境科学研究院机动车排污监控中心

交通运输部规划研究院环境资源所

交通运输部科学研究院交通信息研究中心

国际清洁交通委员会

能源与交通创新中心

清华大学四川能源互联网研究院

清华大学环境学院

清华大学能源环境经济研究所

落基山研究所

(按机构首字笔画为序)

## 序 言

积极应对气候变化，加快推动各行各业绿色低碳发展，是人类社会实现可持续发展的必由之路。中国作为一个负责任的大国，一直致力于推动国内的绿色低碳发展，并于2020年提出了2030年碳达峰，2060年碳中和的“30/60双碳目标”。步入“十四五”“双碳”目标及能源转型更是成为电力、工业、交通、能源等领域五年乃至长期规划的重点任务。我国在清洁能源推广应用与脱碳技术转型方面既承受着巨大压力，也面临着前所未有的机遇。我国是目前全球最大的温室气体排放国，接近全球温室气体排放总量的30%。由于人口基数大、工业化起步晚，我国温室气体排放尚未达峰，因此必须坚定不移地贯彻绿色低碳发展理念，确保“30/60双碳目标”的顺利实现。

交通运输是国民经济发展中的先导性和基础性行业，随着经济社会的进一步发展，交通运输需求还有显著增长空间。我国交通部门碳排放仍在持续增长阶段，目前在国家碳排放总量中的比重已经超过10%。2021年10月，交通运输部印发《绿色交通“十四五”发展规划》，其中提出绿色交通“十四五”发展的具体目标并部署七项主要任务，从加快基础设施建设、优化交通运输结构、推广应用新能源等方面实现交通运输绿色发展水平大幅提升，不断降低CO<sub>2</sub>排放强度、削减主要污染物排放总量，加快形成绿色低碳运输方式。

可喜的是，在行业人员的不断努力下，我国交通领域绿色低碳发展已经颇有成效。在汽车领域，我国已经连续八年为全球最大的新能源汽车产销国，2022年新能源汽车销量达到688万辆，市场渗透率接近26%。在航运领域，当前我国典型港口和全球航运清洁化取得很大成效，2021年我国内河港专业化泊位岸电覆盖率基本达到100%，靠港船舶辅机排放得到进一步控制。轨道交通方面，截至2022年底我国铁路电气化率达到73.8%，稳居世界第一。在航空领域，2019年机场电气化率接近60%，煤炭消费占比下降至5%，每客能耗不断下降，并完成了加注国产可持续航空燃料航班的商业首飞。但也应看到，我国在交通绿色低碳发展方面也面临多重挑战。其中既包括世界范围内的

行业难题，如电动化在长途重卡上的应用及经济性问题、可持续航空燃料的生产成本和加注比例问题等，也包括一些我国目前正面临的技术瓶颈，运营机制和监管体制等问题。

在此背景下，中国清洁交通伙伴关系（CCTP）集结了来自交通、能源等多领域的专家，共同编写了这部蓝皮书，对中国交通零排放转型现状、方法以及所面临的问题进行了梳理，并通过国内外先进案例，深入剖析其对我国交通部门零排放转型的启示，助力我国交通部门持续脱碳。

本书是多位业内专家共同智慧的结晶。CCTP 执委会对报告的内容与形式多次进行讨论，能源与交通创新中心团队、交通运输部规划研究院吴睿、交通运输部科学研究院于丹阳及夏晶、中国环境科学研究院机动车排污监控中心尹航、清华大学能源环境经济研究所欧训民、中国汽车技术研究中心刘斌、清华四川能源互联网研究院李立理、交通运输部规划研究院刘胜强、清华大学环境学院刘欢团队、国际清洁交通委员会崔洪阳及邵臻颖、落基山研究所刘琦宇等做了很多基础性的工作，并将他们的研究经验通过本书进行分享和交流。上海市新能源汽车公共数据采集与监测研究中心丁晓华、亚洲清洁空气中心付璐、能源基金会龚慧明、北京交通发展研究院刘莹、交通运输部科学研究院刘好德、清华大学车辆与运载学院王贺武以及中国汽车工程学会赵立金等专家进行了评审，能源基金会交通项目组也多次提出宝贵意见，在此一并感谢。

本书的编写凝聚了很多人的厚望、关爱和支持，我谨代表中国清洁交通伙伴关系秘书处，向为本书提供支持和帮助的各位专家和相关单位表示衷心的感谢！由于时间和能力有限，书中难免还有疏漏和不足之处，敬请各位专家、同行和读者提出改进建议。



中国清洁交通伙伴关系执行主任

2023年4月

## 前 言

在全球共同应对气候变化的背景下，交通运输部门作为温室气体的主要排放源之一，其零排放转型备受关注。同时，中国作为全球最大的温室气体排放国，交通运输迈向零排放，实现低碳转型更是具有深远的意义。但在现有基础上，一些困扰交通深入零排放转型的问题仍亟需回答，比如中国交通零排放转型还面临哪些挑战？交通行业排放核算体系建设需要怎样的准备工作？如何持续推动汽车节能减排与电动化转型？国际上有哪些先进经验可供中国借鉴？

为解答这些问题，《中国交通零排放转型蓝皮书》应运而生。本书是关于中国交通领域绿色低碳发展的综合性研究报告，由中国清洁交通伙伴关系（CCTP）发起，在多位交通、能源及相关行业资深专家的指导下，由中国清洁交通伙伴关系成员单位的多位专家和研究人员共同撰写完成。本书是该系列报告的首版。

本书共分为 8 个篇章，以 50 个问答将交通领域最前沿、最典型的话题进行了精彩呈现。第一篇为全球绿色交通发展政策篇，梳理了近年国内外在交通减排方面出台的重要政策和措施；第二篇为中国交通运输绿色低碳发展行动路径篇，围绕交通低碳发展的形势要求、行动路径、主要目标和近期工作等四个方面展开论述；第三篇为交通运输领域碳排放核算篇，梳理行业碳排放核算常用方法，明确了交通运输行业碳排放核算边界，同时提出了分行业的碳排放核算方法和数据采集方法；第四篇为传统燃油车节能减排篇，回顾中国传统燃油车油耗与排放标准发展历程，分析现阶段面临的主要问题，并对建立温室气体和污染物协同管理机制进行展望；第五篇为汽车电动化转型篇，对中国新能源汽车发展进行回顾和展望，并对重点细分领域电动化所面临的挑战进行探讨；第六篇为全面电动化趋势下充换电技术革新和基础设施展望篇，以充电基础设施的关键技术与政策机制为切入点，探索基础设施与新能源汽车相互促进的发展机制；第七篇为交通运输结构协同发展篇，分析了中国“公转铁”“公转水”等相关工作的实施成效，并通过国外多式联运先进经验，启发中国交通运输结构调整的未来走向；第八章为海运减污降碳路径

篇，全面呈现当前全球海运船舶的排放水平和表观特征，为解锁行业减排困境提供新思路。

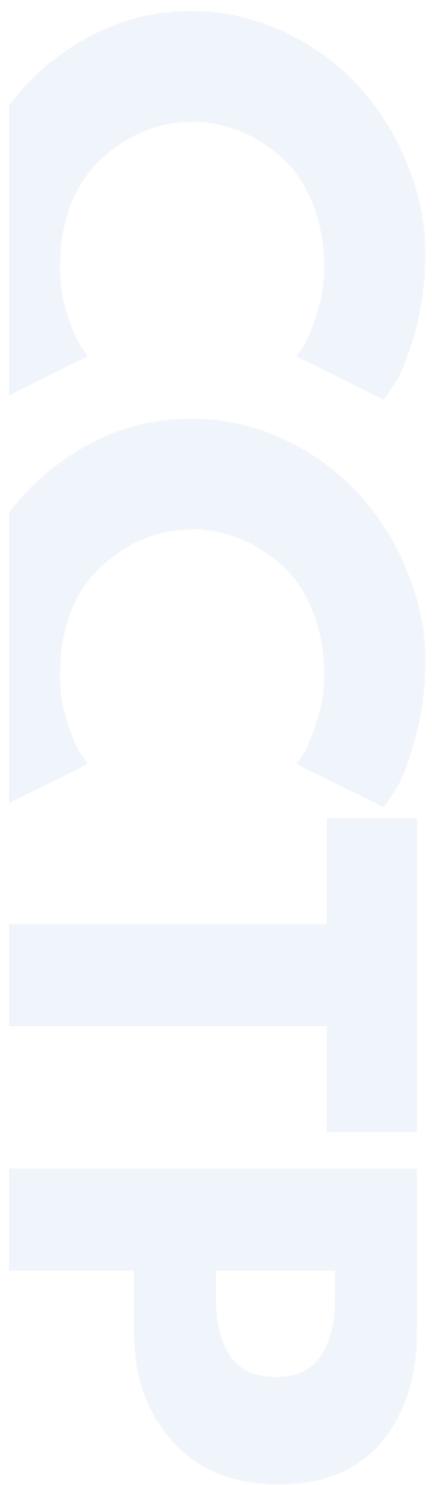
在中国“30/60 双碳目标”和政策框架的指导下，交通领域正在向零排放加速转型。本书系统梳理了国内外交通排放趋势与现状，指出中国交通零排放转型过程中的短板问题并加以分析论述，同时对重点细分领域加以关注。该书有利于交通监管部门、研究机构、上下游企业以及公众等群体了解交通零排放转型发展的最新动态，为管理部门出台相关政策法规、企业制定减排战略规划提供必要的借鉴和参考。

## 目 录

<b>I 全球绿色交通发展政策篇</b>	<b>- 1 -</b>
1 全球总体交通排放趋势如何?	- 2 -
2 中国交通排放趋势与现状如何?	- 4 -
3 国际上出台哪些具有影响力的交通减排政策?	- 6 -
4 中国出台了哪些具有影响力的清洁交通政策?	- 14 -
<b>II 中国交通运输绿色低碳发展行动路径篇</b>	<b>- 17 -</b>
5 交通运输碳减排面临怎样的形势要求?	- 18 -
6 交通运输领域绿色低碳发展的行动路径和任务是什么?	- 20 -
7 双碳“1+N”政策体系对交通运输领域提出了哪些目标?	- 24 -
8 交通领域双碳目标需要重点关注哪些问题?	- 27 -
<b>III 交通运输领域碳排放核算篇</b>	<b>- 29 -</b>
9 国际上对国家温室气体清单编制提出了怎样的要求?	- 30 -
10 中国温室气体排放核算管理机制是怎样的?	- 32 -
11 中国如何定义交通行业碳排放核算的需求与边界?	- 33 -
12 公路领域碳排放核算方法有哪些? 数据源如何获取?	- 35 -
13 水路领域碳排放核算方法有哪些? 数据源如何获取?	- 38 -
14 铁路和民航领域碳排放核算方法有哪些? 数据源如何获取?	- 42 -
15 交通领域碳排放核算还有哪些方面需要改进?	- 45 -
<b>IV 传统燃油车节能减排篇</b>	<b>- 46 -</b>
16 汽车减排方面国际法规发展趋势如何?	- 47 -
17 中国传统燃油车减排技术现状如何?	- 48 -

18 未来汽车减排技术发展方向是什么？具有怎样的减排潜力？	- 53 -
19 车燃实验室测量值与实际道路排放差异如何评估和解决？	- 56 -
20 低碳燃料或（替代燃料）能够在未来发挥多大的减排作用？	- 63 -
21 如何协调解决常规污染物与温室气体联合管控的要求？	- 65 -
<b>V 汽车电动化转型篇</b>	<b>- 70 -</b>
22 全球汽车电动化转型进程如何？	- 71 -
23 中国汽车电动化发展现状如何？	- 74 -
24 中国汽车电动化发展面临什么挑战？	- 79 -
25 中国汽车电动化进程中的财税政策是如何演变的？	- 81 -
26 相关优惠扶持政策对中国汽车电动化发展产生了哪些影响？	- 87 -
27 未来税收优惠政策还将如何发展？	- 90 -
28 商用车电动化面临哪些挑战？	- 93 -
29 电动商用车总拥有成本（TCO）何时与燃油车达成平衡？	- 96 -
30 商用车电动化需要哪些措施保障？	- 97 -
31 推进商用车电动化有哪些经验可以借鉴？	- 101 -
<b>VI 全面电动化趋势下充换电技术革新和基础设施展望篇</b>	<b>- 105 -</b>
32 充换电基础设施当前亟需解决的“两大老问题”是什么？	- 106 -
33 充换电基础设施未来仍需解决“两大新挑战”是什么？	- 109 -
34 如何通过充电设施的“关键创新”支撑车辆全面电动化？	- 111 -
35 如何完善轻型车公共快充规划与行业监管机制？	- 113 -
36 如何完善居民区固定车位“电气化+互动化”改造的统筹推进机制？	- 117 -
37 如何完善中重型货运公共快充跨行业协同与重点区域示范支持政策？	- 118 -
38 如何完善车网互动尤其是 V2G 配套政策机制创新设计？	- 120 -

<b>VII 交通运输结构协同发展篇</b>	<b>- 121 -</b>
39 中国运输结构调整工作成效如何?	- 122 -
40 各部门采取了哪些举措支持运输结构调整工作?	- 125 -
41 重点区域如何加快推进运输结构调整工作?	- 127 -
42 如何推进港口构建绿色低碳集疏运体系?	- 129 -
43 如何加快多式联运高质量发展?	- 130 -
44 美国在推动多式联运方面有怎样的经验?	- 131 -
45 美国多式联运经验给中国的启示是什么?	- 137 -
<b>VIII 海运减污降碳路径篇</b>	<b>- 139 -</b>
46 全球海运业减排经历了哪些过程?	- 140 -
47 全球海运船舶排放现状如何?	- 142 -
48 海运业减排现存哪些问题与挑战?	- 144 -
49 国际海运业碳减排措施与路径有哪些?	- 146 -
50 贸易格局优化具有怎样的减排潜力?	- 148 -
<b>附表 1 2021-2022 国际交通运输减碳政策文件</b>	<b>- 150 -</b>



## 表 目 录

表 1 部分国家于 2021 年新提出的针对轻型车的电动化转型目标 .....	- 8 -
表 2 部分国家于 2021 年新提出的针对重型车的电动化转型目标 .....	- 10 -
表 3 交通分领域碳排放强度目标 .....	- 24 -
表 4 国际履约中交通运输业的方法层级 .....	- 31 -
表 5 公路领域碳排放核算方法及优缺点 .....	- 35 -
表 6 公路旅客运输能源消耗情况表 .....	- 36 -
表 7 水路领域碳排放核算方法及优缺点 .....	- 38 -
表 8 水路旅客运输能源消耗情况表 .....	- 38 -
表 9 铁路运输企业能源消耗量统计表 .....	- 42 -
表 10 资源消费量及二氧化碳排放量统计表 .....	- 44 -
表 11 轻型车国五、国六阶段各技术占比 .....	- 50 -
表 12 轻型柴油车国五、国六阶段各技术占比 .....	- 51 -
表 13 重型柴油车国五国六阶段各技术占比 .....	- 52 -
表 14 未来减排技术路线研究情况 .....	- 54 -
表 15 2022 年中国新能源汽车销量结构情况 .....	- 76 -
表 16 2009-2020 年新能源汽车购置补贴政策总览 .....	- 82 -
表 17 新能源汽车购置补贴政策主要变化 .....	- 83 -

表 18 汽车产品税收优惠政策总览 .....	- 84 -
表 19 新能源汽车财税支持政策概况 .....	- 85 -
表 20 《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》设置的电动汽车销量目标 .....	- 90 -
表 21 商用车电动化推广的相关政策建议 .....	- 98 -
表 22 中国新能源汽车产业及基础设施总体目标 .....	- 99 -
表 23 中美两国主要运输体系建立的政策对比 .....	- 131 -
表 24 全球远洋船舶大气污染物及温室气体排放量 .....	- 142 -

## 图目录

图 1 全球交通部门碳排放情况（按方式） .....	- 2 -
图 2 欧洲交通部门污染物排放历史趋势 .....	- 3 -
图 3 1990-2021 年中国交通碳排放情况 .....	- 4 -
图 4 不同交通运输方式温室气体排放占比情况 .....	- 5 -
图 5 中国交通部门主要污染物排放情况 .....	- 6 -
图 6 英国铁路绿色发展目标 .....	- 12 -
图 7 中国国家温室气体清单编制工作组织体系 .....	- 30 -
图 8 轻型车排放控制发展历程 .....	- 49 -
图 9 重型车排放控制发展历程 .....	- 49 -
图 10 NO <sub>x</sub> 满足 0.12g/kWh 的排放控制技术路线 .....	- 55 -
图 11 NO <sub>x</sub> 满足 0.046g/kWh 的排放控制技术路线 .....	- 55 -
图 12 WLTC 工况及 RDE 下的污染物排放情况 .....	- 56 -
图 13 WLTC 工况及 RDE 下的 CO <sub>2</sub> 排放情况 .....	- 57 -
图 14 轻型车不同工况动力学特点分布 .....	- 58 -
图 15 重型车实际道路测试结果 .....	- 59 -
图 16 CO <sub>2</sub> 窗口法计算下的 NO <sub>x</sub> 数据使用率 .....	- 60 -
图 17 远程监控数据国六 N3 类车 NO <sub>x</sub> 排放结果 .....	- 61 -
图 18 FTP 城市工况特征 .....	- 68 -
图 19 全球电动汽车销量趋势 .....	- 71 -
图 20 中国、欧洲和北美对全球电动汽车销量的贡献率 .....	- 72 -
图 21 2012-2021 年全球重型电动汽车的销量及全球重型车销量中电动汽车占比 .....	- 73 -
图 22 2011-2022 年中国新能源汽车销量及市场渗透率图 .....	- 74 -
图 23 2011-2022 年中国新能源汽车不同技术路线产量图 .....	- 75 -
图 24 2022 年新能源汽车销量前十品牌 .....	- 77 -

图 25 2019-2022 年新能源商用车市场结构变化	- 78 -
图 26 2016-2021 年新能源乘用车平均续驶里程变化趋势	- 88 -
图 27 2016-2021 年新能源乘用车平均电耗水平变化趋势	- 88 -
图 28 2016-2021 年新能源乘用车平均系统能量密度变化趋势	- 89 -
图 29 不同场景商用车电动化进展 (2022)	- 94 -
图 30 加州先进清洁车队零排放转型预期时间节点	- 103 -
图 31 中国新能源物流车销量及渗透率趋势	- 104 -
图 32 不同级别城市“公共充电/加油比”与出租租赁电动化渗透率对比	- 107 -
图 33 大功率快充与 V2G 技术对于不同行驶强度车辆竞争力影响示意图	- 112 -
图 34 2019 年中国运输量位居前 3 的重点运输线路分布	- 119 -
图 35 2011-2022 年货运量结构变化趋势	- 123 -
图 36 2011-2022 年货物周转量结构变化趋势	- 123 -
图 37 2017-2021 年中国集装箱铁水联运量	- 124 -
图 38 三类商品的各种运输模式份额对比 (按重量计)	- 135 -
图 39 美国 1978 年到 2019 年间主要运输相关因素的变化	- 136 -
图 40 不同船舶类型 CO <sub>2</sub> 排放量的年际变化	- 143 -
图 41 全球海运贸易量走势与中国在全球的比重	- 145 -
图 42 船舶减排措施分类示意图	- 146 -
图 43 运营措施、核能、生物燃料和 LNG 的减排潜力 (蓝) 以及运营措施、生物燃料和 LNG 的 减排潜力 (黄)	- 147 -
图 44 贸易结构优化情景的主要 CO <sub>2</sub> 减排商品及其减排潜力	- 149 -

## 名词缩略

缩略词	中文名称	缩略词	中文名称
ABT	平均、存储、交易	LCFS	(美国加州) 低碳燃料标准
APU	飞机辅助动力装置	LNG	液化天然气
ASC	氨气氧化催化器	LPG	液化石油气
BC	黑碳	MARPOL	《防止船舶污染国际公约》
BEV	纯电动汽车	mpg	每加仑燃油行驶英里数
CAFC	企业平均燃料消耗量 (中国)	N <sub>2</sub> O	氧化亚氮
CAFE	公司平均燃料经济性 (美国)	NEDC	新欧洲驾驶循环测试
CARB	(美国) 加州空气资源委员会	NH <sub>3</sub>	氨气
CCS	碳捕捉与封存	NHTSA	美国高速交通安全管理局
CF	符合性因子	NMOG	非甲烷有机气体
CFR	清洁燃料法规 (加拿大)	NO <sub>x</sub>	氮氧化物统称
CH <sub>4</sub>	甲烷	OBD	车载自动诊断系统
CO	一氧化碳	OBFCM	车载燃油消耗监测装置
CO <sub>2</sub>	二氧化碳	OBM	车载排放监测
COP	《联合国气候变化框架公约》缔约方会议	ORVR	车载加油油气回收
DOC	柴油机氧化催化器	PHEV	插电式混合动力汽车
DPF	柴油颗粒捕集器	PM	颗粒物
ECU	车辆电控单元	PN	颗粒物数量

缩略词	中文名称	缩略词	中文名称
EEDI	能效设计指数 (船舶)	RDE	实际道路测试
EGR	废气再循环	RFS	《可再生燃料标准》(美国)
EHC	电加热金属载体催化剂	SAF	可持续航空燃油
EPA	美国环境保护署	SCR	选择性催化还原装置
ETS	碳排放交易体系	SO <sub>x</sub>	硫氧化物统称
FRA	美国联邦铁路管理局	TCI	测试状态指示
GHG	温室气体	TCO	总拥有成本
GPF	汽油颗粒捕集器	UNFCCC	联合国气候变化框架公约
HFCs	氢氟碳化合物	V1G	有序充电
IATA	国际航空运输协会	V2G	车网互动
IEA	国际能源署	VGT	可变截面涡轮增压器
IEC	国际电工委员会	VOCs	挥发性有机物
IMO	国际海事组织	WLTC	全球统一轻型车辆测试循环
IPCC	政府间气候变化专门委员会	WLTP	全球轻型车测试程序
ISO	国际标准化组织	ZEV	零排放汽车

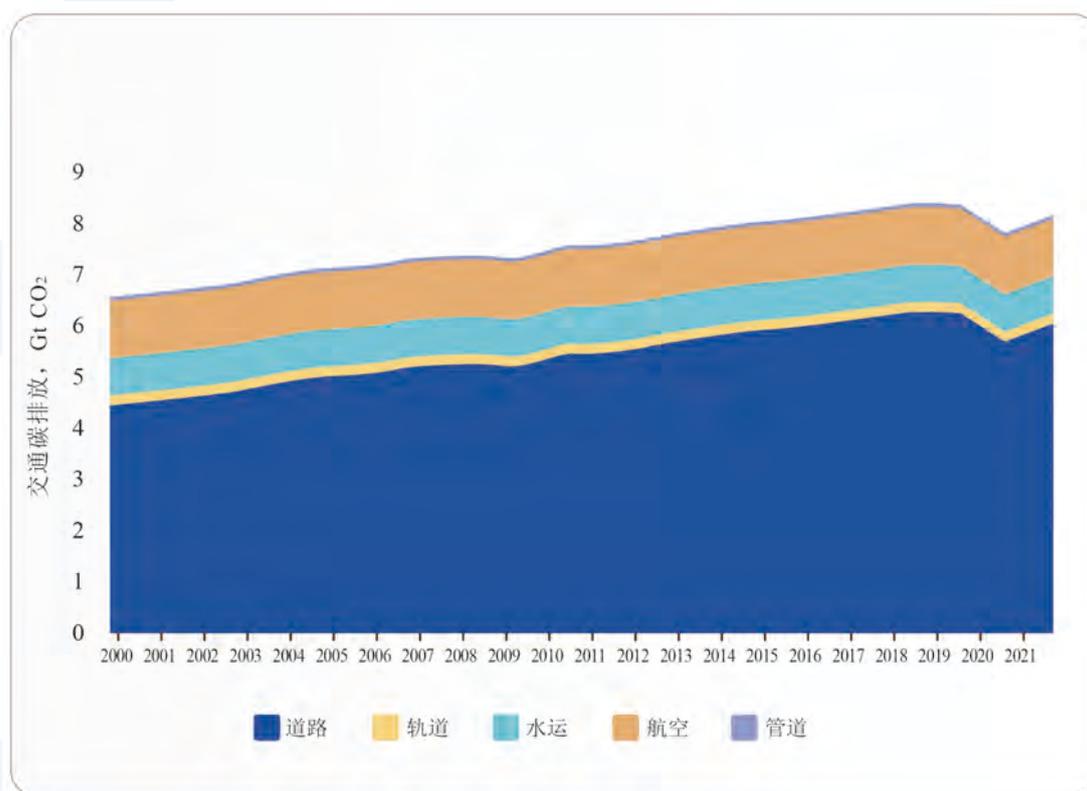
# I 全球绿色交通发展政策篇

交通运输是人类社会活动的基本需求。随着经济社会的发展，交通运输需求快速增长，随之也带来一系列问题，如道路交通工具保有量快速增长导致的城市出行拥堵，交通工具排放的空气污染物对居民健康的影响，以及交通碳排放对全球气候变化影响的加剧等问题。为此，长久以来各国都在积极探索在不影响交通运输需求的前提下，对上述问题提出可行的解决方案，使交通运输朝着更加高效、排放强度更低、更加清洁的方向发展。要实现这一目标，势必要借力于政策的强力干预和方向引导。近年来，国际各方在公路、铁路、水运以及航空等领域陆续出台了多项政策，以促使全球交通的绿色低碳转型。

感谢中国清洁交通伙伴关系秘书处、能源与交通创新中心高级项目官员王姮、项目官员罗静、清洁交通项目经理秦兰芝以及国际清洁交通委员会 (ICCT) 崔洪阳 (按姓氏首字笔划排序) 对本章节内容的宝贵贡献。

## 1 全球总体交通排放趋势如何？

2021 年全球交通部门碳排放接近 77 亿吨，较 2020 年增加了 8%<sup>1</sup>，占全球碳排放总量的 20%左右<sup>2</sup>，交通运输业正逐步走出疫情影响。从不同交通方式的碳排放占比来看，道路交通排放占比高达 75%，航空和水运各约占 11%，且航空排放占比在近几年呈现增长趋势，管道和轨道排放分别占总排放量的 2%和 1%。



数据来源：国际能源署，由能源与交通创新中心绘制

图 1 全球交通部门碳排放情况 (按方式)

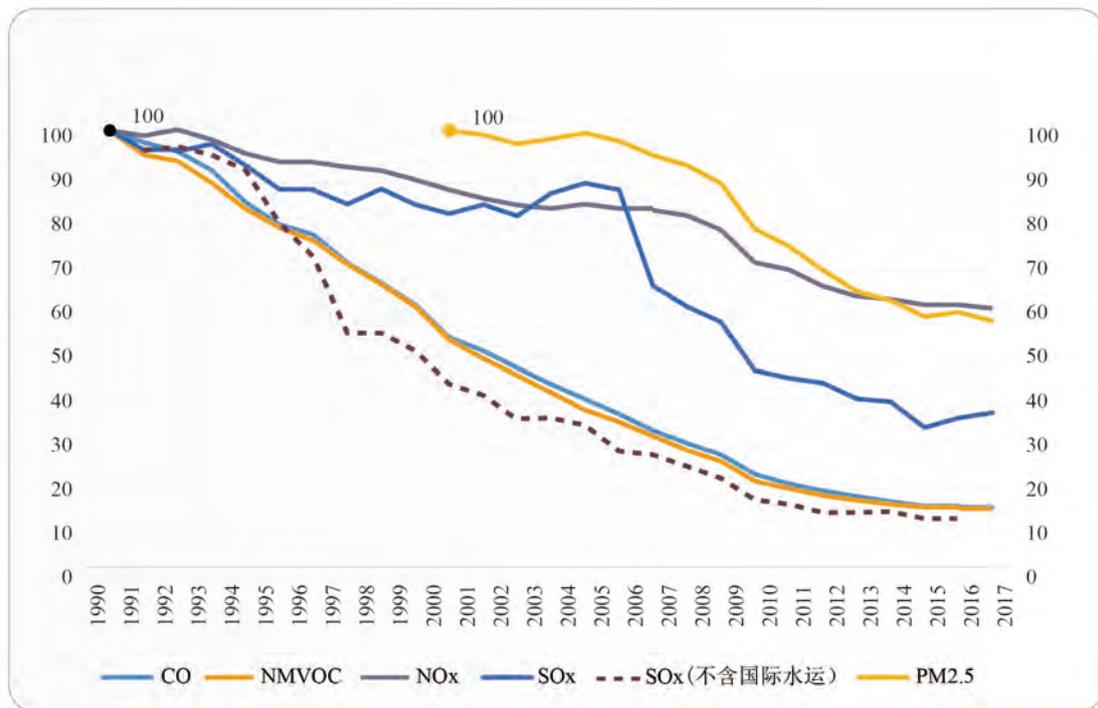
作为全球最大的能源消费终端之一，交通部门对石油的需求占全球石油消费总量的 57%，交通部门各类能源的消费量占全球能源消费总量的 28% (2021 年数据)。由于燃料的不充分燃烧等问题，在排放大量温室气体的同时，交通部门的空气污染物排放问题也不容小觑。在美国，交通部门排放了超过 55% 的氮氧化物 (NO<sub>x</sub>)，约 10% 的挥发性有机物 (VOCs) 和约 10% 的颗粒物<sup>3</sup>。尽管如此，通过更严格的排放标准，提高油

<sup>1</sup> IEA, Global CO<sub>2</sub> emissions from transport by sub-sector in the Net Zero Scenario, 2000-2030, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-sub-sector-in-the-net-zero-scenario-2000-2030>, IEA. License: CC BY 4.0

<sup>2</sup> Statista, <https://www.statista.com/statistics/1129656/global-share-of-co2-emissions-from-fossil-fuel-and-cement/>

<sup>3</sup> US EPA, <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/smog-soot-and->

品质量等措施，交通部门的污染物排放控制取得了显著成效。欧洲环境署数据显示，截至 2017 年（此后数据停更），交通部门的 CO 排放、非甲烷挥发性有机物排放以及 SO<sub>x</sub> 排放仅为 1990 年水平的 13.3%、13.2%和 12.6%（不含国际水运），NO<sub>x</sub> 排放较 1990 年下降了约 40%，PM<sub>2.5</sub> 较 2000 年下降 43.7%<sup>4</sup>。



数据来源：欧洲环境署，由能源与交通创新中心绘制

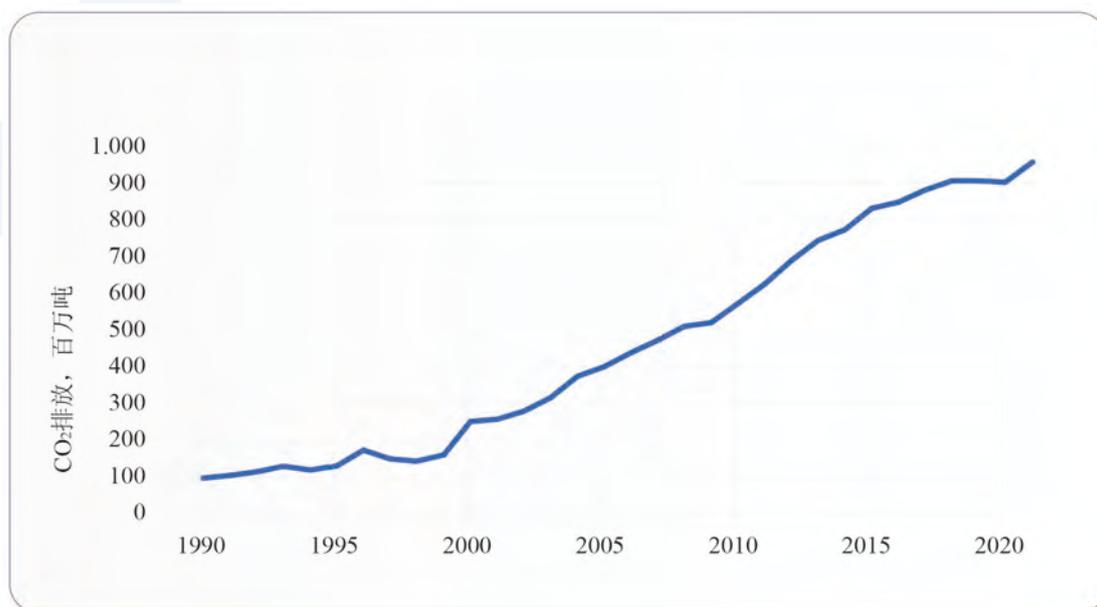
图 2 欧洲交通部门污染物排放历史趋势

other-air-pollution-transportation

<sup>4</sup> European Environment Agency, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>

## 2 中国交通排放趋势与现状如何？

近年来，中国交通碳排放量快速增长。数据显示，1990年至2021年，中国交通碳排放量从9,400万吨增加到9.6亿吨左右，增长了9倍之多。目前交通排放约占中国碳排放总量的10%<sup>5</sup>，相比于2014年（7%）<sup>6</sup>已经有了大幅提升，成为继电力和工业之后的第三大排放源。交通运输是国民经济发展的先导性和基础性行业，中国经济发展在进入“新常态”后，国民收入进一步提高，交通运输需求空间潜力巨大，这将对交通碳排放控制产生较大压力。具体到各细分领域，不同运输方式的碳排放情况差异明显。



数据来源：Statista，由能源与交通创新中心绘制

图 3 1990-2021 年中国交通碳排放情况

### (1) 道路交通排放

道路交通是交通碳排放的重点。统计数据<sup>7</sup>显示，道路交通碳排放约占中国交通碳排放总量的85%，是交通减排工作的绝对重点。道路交通工具体量大、增速快、场景复杂，运营及归属主体差异性大，尤其是对在国民经济中起到重要支撑作用的货运车辆的减碳工作，需综合考虑技术、成本、运行等多重因素，任务十分艰巨。

<sup>5</sup> 中华人民共和国中央人民政府网站, [http://www.gov.cn/xinwen/2022-01/14/content\\_5668085.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2022-01/14/content_5668085.htm)

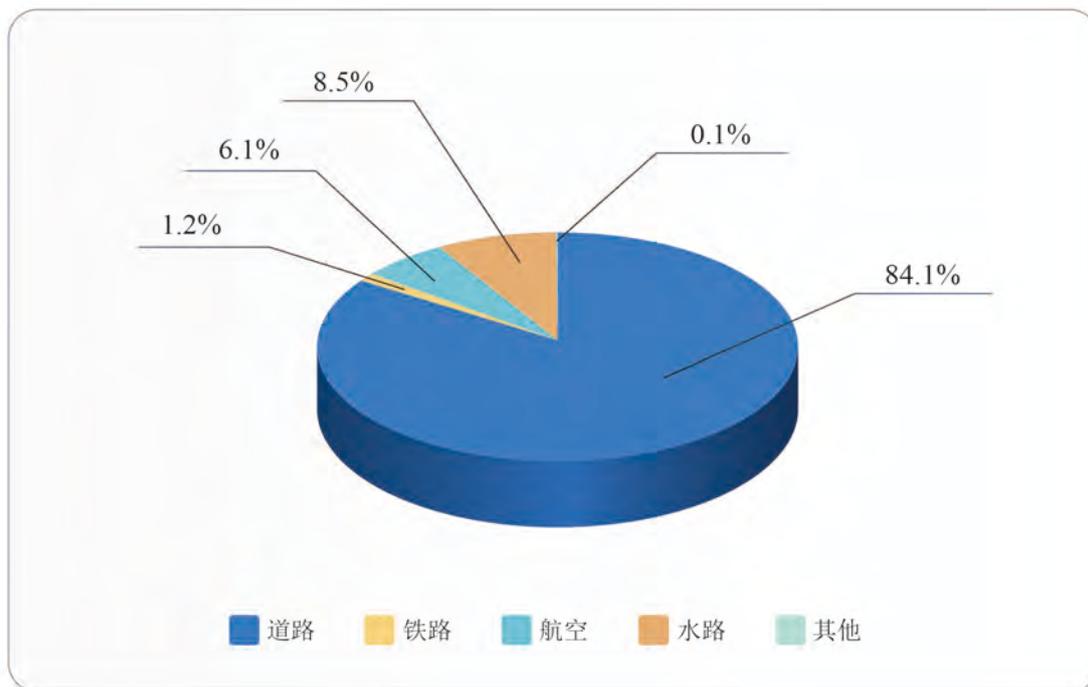
<sup>6</sup> 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告, 2018.

<sup>7</sup> 中国环境科学研究院机动车排污监控中心, 中国移动源环境管理年报 2020.

## (2) 铁路、水运及航空排放

道路交通以外的其他运输方式在整个交通碳排放中的占比相对较小。根据国家温室气体排放清单(2014)数据,水路、航空和铁路运输排放占比分别为 8.5%、6.1%和 1.2%。

作为资源消耗和碳排放大户,“双碳”目标背景下,交通领域将面临更加严峻的减排压力,推动交通领域碳排放达峰和深度减排对全社会实现碳达峰、碳中和意义重大。



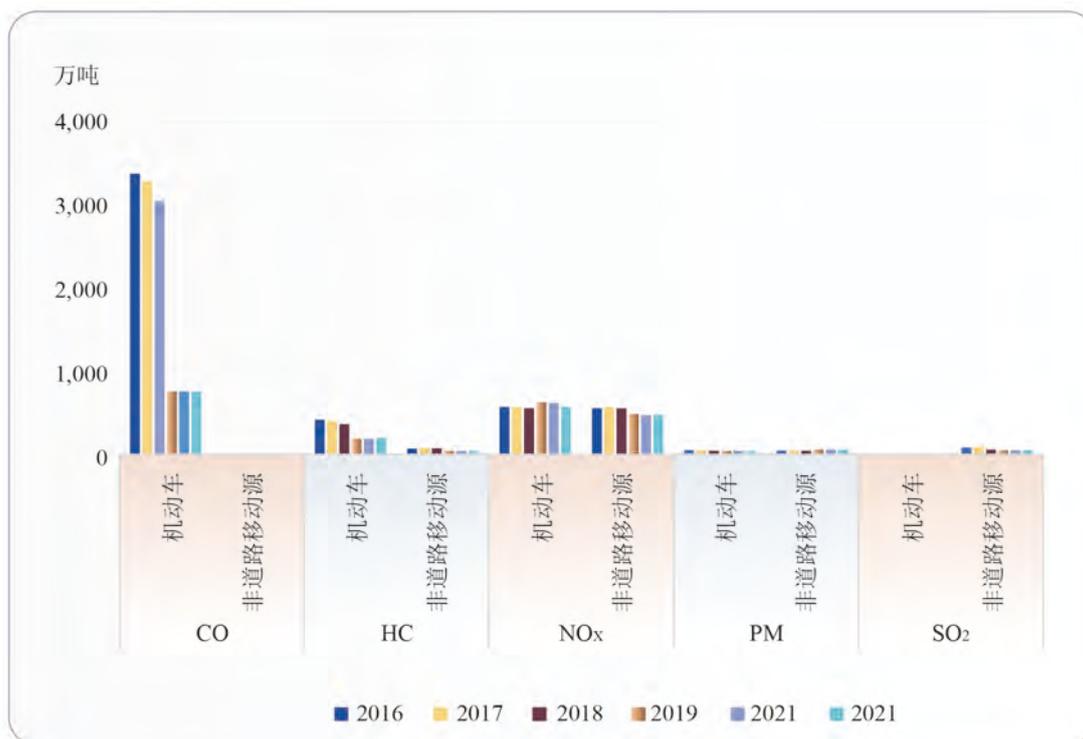
注：中国交通运输温室气体排放中，99%为 CO<sub>2</sub><sup>8</sup>。

数据来源：中国环境科学研究院机动车排污监控中心，由能源与交通创新中心绘制

图 4 不同交通运输方式温室气体排放占比情况

交通污染物排放方面，2021 全年污染物总排放量为 2120 万吨，较 2016 年下降了 60%。在常见的交通污染物中，除硫氧化物主要来自水运等非道路交通方式外，其他污染物均主要来源于道路交通排放，因此降低道路交通污染物排放是交通部门减污工作的重点。

<sup>8</sup> 中国环境科学研究院机动车排污监控中心，中国移动源环境管理年报 2020



数据来源：中国环境科学研究院机动车排污监控中心，由能源与交通创新中心绘制

图 5 中国交通部门主要污染物排放情况

### 3 国际上出台哪些具有影响力的交通减排政策？

应对全球气候危机，促进交通行业减排，仍然是未来交通发展的主题。多个国家和地区相继出台了多个相关政策和措施，以推进交通部门的零排放转型进程，更多详细政策见附表 1。

(1) 公路：汽车法规进一步加严，通过经济激励、加强基础设施建设等措施进一步推动电动化转型

汽车电动化转型仍然是公路运输绿色低碳发展并最终实现净零排放的主要路径。过去两年间，多个国家和地区也陆续出台相关政策以推动电动汽车应用。在第 26 届联合国气候变化大会（COP 26）期间，作为主席国的英国政府发表宣言，承诺加速向零排放汽车过渡，以实现《巴黎协定》目标，多个国家和车企参与签署了《COP 26 关于加速向 100%零排放汽车和货车过渡的宣言》。2023 年 3 月，欧盟与德国就此前批准的“2035 年起禁售燃油车”法案相关问题达成一致，即欧洲将保持技术中立，如果内燃机车辆只使用碳中和燃料，也可以在 2035 年以后进行新车登记，助力欧盟实现到 2030 年温室气体减排 55%，并在 2050 年实现气候中和的目标。7 月，美国和加拿大联合发

布了多州中、重型车辆零排放行动计划 (Multi-State Medium- and Heavy-Duty Zero-Emission Vehicle Action Plan)。该计划涵盖了超过 65 项战略和建议，具体包括车辆销售和购买要求（如先进清洁卡车法规）、车辆和基础设施购买激励措施、充电基础设施方面的公用事业投资、创新融资机制、劳动力发展计划以及在社区和公路沿线部署公共充电桩等具体细则。

针对于传统燃油汽车，美国进一步加严了燃油经济性标准，要求到 2026 车型年 (MY2026)，美国乘用车和轻型卡车的车队每加仑汽油的平均行驶里程提升至 49 英里（即平均燃油经济性达到 49 mpg，2020 年为 36 mpg）。欧盟发布了《乘用车和厢式货车新车 CO<sub>2</sub> 排放标准修订草案》<sup>9</sup>，这也是欧盟“Fit for 55”政策组合包的一部分。如果该修订草案获得通过，2030 年乘用车和厢式货车车队平均的新车 CO<sub>2</sub> 排放量将在 2021 年的基础上分别降低 55% 和 50%（基于现有的排放标准，乘用车和厢式货车分别只需要实现 37.5% 和 31% 的排放下降）。此外，该修订草案还要求乘用车和厢式货车在 2035 年实现零 CO<sub>2</sub> 排放，即新销售的乘用车和厢式货车必须 100% 是零排放汽车。欧洲议会还正式通过了欧盟委员会关于重新修订欧洲道路收费准则的提案，新准则将逐步淘汰基于时间的用户收费 (vignettes)，建立基于距离的通行费 (tolls) 收费机制；对卡车收取外部成本费用；逐步取代现行的根据车辆的欧洲排放等级的收费机制，根据不同重型车辆的 CO<sub>2</sub> 排放量进行差异化收费，对于轻型车，将基于 CO<sub>2</sub> 和空气污染物两种排放进行收费；此外，新准则还将收取拥堵费用于缓解交通拥堵。新准则可以更好地反映污染者付费和用户付费的原则，从而进一步解决温室气体排放、交通拥堵、道路基础设施融资和其他环境问题。

---

<sup>9</sup> European Commission, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO<sub>2</sub> emission performance standards for new passenger cars and light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition, (July 14, 2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0556>

表 1 近两年部分国家和地区新提出的针对轻型车的电动化转型目标

政府	目标年	目标
芬兰 <sup>a</sup>	2030	电动乘用车和电动箱式货车的保有量分别达到70万辆和4.5万辆
印度尼西亚 <sup>b</sup>	2030	电动乘用车的保有量达到200万辆
新加坡 <sup>c</sup>	2030	所有新注册的乘用车均为清洁能源汽车
泰国 <sup>d</sup>	2035	所有新销售的乘用车均为零排放汽车
加拿大 <sup>e</sup>	2035	所有新销售的轻型车均为零排放汽车
奥地利 <sup>f</sup>	2030	所有新注册的轻型车均为零排放汽车
美国 <sup>g</sup>	2030	新销售的乘用车中有50%是电动汽车
智利 <sup>h</sup>	2035	所有新增的轻型车均为零排放汽车
中国 <sup>ij</sup>	2025	出租车和网约车的保有量实现30%的电动化率
		物流车的保有量实现20%的电动化率
		公共领域全面电动化先行区试点
中国香港 <sup>k</sup>	2035	2035年或以前停止新登记燃油私家车（含混合动力车）
美国加州 <sup>l</sup>	2035	所有在加州新销售的轿车和轻型卡车100%为零排放汽车
欧盟 <sup>m</sup>	2035	所有新注册的轿车和厢式货车必须为零排放汽车
《第26届联合国气候变化大会关于加速乘用车和箱式货车实现100%零排放转型的宣言》的签字方 <sup>n</sup>	2040	所有新销售的轻型车均为零排放汽车

来源：国际清洁交通委员会、能源与交通创新中心整理

<sup>a</sup> Finland Ministry of Transport and Communications, Fossilittoma N Liikenteen Tiekartta [Fossil-free Transport Roadmap], (2021), [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/e4e97efb-1f23-4c22-bdf1-f1fc27809030/LAUSUNTOPYYNTO\\_20210115060016.PDF](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/e4e97efb-1f23-4c22-bdf1-f1fc27809030/LAUSUNTOPYYNTO_20210115060016.PDF)

<sup>b</sup> Indonesia Ministry of Energy and Mineral Resources, "Indonesian Govt Supports EV Charging Application," (February 1, 2021), <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/indonesian-govt-supports-ev-charging-application>

<sup>c</sup> Government of Singapore, Singapore Green Plan 2030, (2021), <https://www.greenplan.gov.sg/>. 新加坡的交通部长称新加坡语境下的清洁能源汽车包括纯电动汽车、燃料电池汽车、以及混合动力汽车，但是，他并未清晰地说明这里的混合动力汽车是否也包括非插电式的混合动力汽车。

<sup>d</sup> Randy Thanthong-Knight, "Thailand lays out bold EV plan, wants all electric cars by 2035," (April 22, 2021), <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-22/thailand-lays-out-bold-ev-plan-wants-all-electric-cars-by-2035>

<sup>e</sup> Government of Canada, Building a green economy: Government of Canada to require 100% of car and passenger truck sales be zero-emission by 2035 in Canada, (2021), <https://www.canada.ca/en/transport-canada/news/2021/06/building-a-green-economy-government-of-canada-to-require-100-of-car-and-passenger-truck-sales-be-zero-emission-by-2035-in-canada.html>

<sup>f</sup> Austrian Ministry of Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology, Austria's 2030 Mobility Master Plan, (2021),

<https://www.bmk.gv.at/en/topics/mobility/mobilitymasterplan2030.html>

<sup>g</sup> The White House, FACT SHEET: President Biden announces steps to drive American leadership forward on clean cars and trucks, (August 5, 2021), <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/08/05/fact-sheet-president-biden-announces-steps-to-drive-american-leadership-forward-on-clean-cars-and-trucks/>

<sup>h</sup> Chile Ministry of Energy, Estrategia Nacional de Electro-Movilidad [National Electric Mobility Strategy], (2021), [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad\\_ministerio-de-energia.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf)

<sup>i</sup> 中国交通运输部, 绿色交通“十四五”发展规划, (2021), [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content\\_5669662.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content_5669662.htm)

<sup>j</sup> 中国工业和信息化部等八部门, 关于组织开展公共领域车辆全面电动化先行区试点工作的通知, [https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2023/art\\_9d131c56611b486fb5226619e60d149b.html](https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2023/art_9d131c56611b486fb5226619e60d149b.html)

<sup>k</sup> 香港电动化普及路线图, [https://www.eeb.gov.hk/sites/default/files/pdf/EV\\_roadmap\\_chi.pdf](https://www.eeb.gov.hk/sites/default/files/pdf/EV_roadmap_chi.pdf)

<sup>l</sup> California Air Resources Board, <https://ww2.arb.ca.gov/news/california-moves-accelerate-100-new-zero-emission-vehicle-sales-2035>

<sup>m</sup> European Commission, [https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/fit-55-eu-reaches-new-milestone-make-all-new-cars-and-vans-zero-emission-2035-2023-03-28\\_en](https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/fit-55-eu-reaches-new-milestone-make-all-new-cars-and-vans-zero-emission-2035-2023-03-28_en)

<sup>n</sup> COP26 declaration on accelerating the transition to 100% zero emission cars and vans, (Updated on December 6, 2021), <https://www.gov.uk/government/publications/cop26-declaration-zero-emission-cars-and-vans/cop26-declaration-on-accelerating-the-transition-to-100-zero-emission-cars-and-vans#signatories>. 签署《第 26 届联合国气候变化大会关于加速乘用车和厢式货车实现 100%零排放转型的宣言》的国家包括奥地利、阿塞拜疆、比利时、加拿大、佛得角、智利、克罗地亚、塞浦路斯、丹麦、萨尔瓦多、芬兰、冰岛、爱尔兰、以色列、列支敦士登、立陶宛、卢森堡、马耳他、荷兰、新西兰、挪威、波兰、斯洛文尼亚、瑞典、梵蒂冈、英国, 以及乌拉圭。

表 2 近两年部分国家和地区新提出的针对重型车的电动化转型目标

政府	目标年	目标
新西兰 <sup>a</sup>	2025	所有新购入的公交车均为零排放汽车
芬兰 <sup>b</sup>	2030	重型电动汽车的保有量达到4,600辆
奥地利 <sup>c</sup>	2030	所有新注册的18吨以下的重型货车均为零排放汽车
	2032	所有新注册的公交车均为零排放汽车
	2035	所有新注册的重型货车均为零排放汽车
智利 <sup>d</sup>	2035	所有新购入的公交车均为零排放汽车
		所有新销售的中型汽车均为零排放汽车
	2045	所有新销售的城际客车和货车均为零排放汽车
中国 <sup>e,f</sup>	2025	公交车的保有量实现72%的电动化率
	2025	公共领域全面电动化先行区试点
《全球零排放中重型车辆谅解备忘录》的签字方 <sup>g</sup>	2030	新销售的中重型货车中有30%是零排放汽车
	2040	所有新销售的中重型货车均为零排放汽车
英国 <sup>h</sup>	2035	所有新销售的26吨以下的重型货车均为零排放汽车
	2040	所有新销售的重型货车均为零排放汽车
欧盟 <sup>i</sup>	2030	公交车队100%零排放

来源：公开信息，国际清洁交通委员会整理，《全球汽车电动化转型年度总览：2021》

<sup>a</sup> New Zealand Ministry of Transport, Public Transport Decarbonization, (2021), <https://www.transport.govt.nz/area-of-interest/environment-and-climate-change/public-transport-decarbonisation/>

<sup>b</sup> Finland Ministry of Transport and Communications, Fossilittoma N Liikenteen Tiekartta [Fossil-free Transport Roadmap], (2021), [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/e4e97efb-1f23-4c22-bdf1-f1fc27809030/LAUSUNTOPYYNTO\\_20210115060016.PDF](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/e4e97efb-1f23-4c22-bdf1-f1fc27809030/LAUSUNTOPYYNTO_20210115060016.PDF)

<sup>c</sup> Austrian Ministry of Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology, Austria's 2030 Mobility Master Plan, (2021), <https://www.bmk.gv.at/en/topics/mobility/mobilitymasterplan2030.html>

<sup>d</sup> Chile Ministry of Energy, Estrategia Nacional de Electro-Movilidad [National Electric Mobility Strategy], (2021), [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad\\_ministerio-de-energia.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf)

<sup>e</sup> 中国交通运输部，绿色交通“十四五”发展规划，(2021)，[http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content\\_5669662.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/21/content_5669662.htm)

<sup>f</sup> 中国工业和信息化部等八部门，关于组织开展公共领域车辆全面电动化先行区试点工作的通知，[https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2023/art\\_9d131c56611b486fb5226619e60d149b.html](https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2023/art_9d131c56611b486fb5226619e60d149b.html)

<sup>g</sup> Global memorandum of understanding on zero-emission medium- and heavy-duty vehicles, (2021), <https://globaldrivetozero.org/mou-nations/>. 签署《全球零排放中重型车谅解备忘录》的国家包括奥地利、加拿大、智利、丹麦、芬兰、卢森堡、荷兰、新西兰、挪威、苏格兰、瑞士、土耳其、英国、乌拉圭、以及威尔士，美国在 COP 27 期间也签署此协议。

<sup>h</sup> Government of the United Kingdom, UK confirms pledge for zero-emission HGVs by 2040

and unveils new chargepoint design, (November 11, 2021), <https://www.gov.uk/government/news/uk-confirms-pledge-for-zero-emission-hgvs-by-2040-and-unveils-new-chargepoint-design>

<sup>1</sup>European Commission, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_23\\_762](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_762)

## (2) 铁路：多国提出到 2050 年实现铁路净零排放

铁路运输的首要任务是提高能源效率和减少 CO<sub>2</sub> 排放。在过去 30 年间，欧洲铁路运输部门的碳排放下降了 32%，欧洲铁路公司共同承诺，到 2030 年，将每乘客公里和每吨公里的 CO<sub>2</sub> 排放量降低 50%，并有望实现这一目标。欧盟发布的《欧盟绿色协议》

(EU Green Deal) 提出到 2050 年要消除所有交通部门中的碳排放，据悉按照现有减排速度，铁路运输部门是唯一能够实现 2050 净零排放目标的交通方式。2022 年 4 月，美国联邦铁路管理局(FRA)宣布了其铁路行业的气候挑战。该机构要求国家铁路网的所有者和运营商以及铁路设备制造商加入联邦铁路局的承诺，到 2050 年在铁路行业和铁路运输中实现温室气体净零排放。实现这一目标将有助于实现联邦铁路局的主要目标，即建立一个安全、高效、现代的交通运输系统，扩大经济机会，创造更清洁、更安全的社区，并帮助避免气候变化的最严重影响。英国政府则在更早些时候（2021 年 5 月）发布了《威廉姆斯-沙普斯铁路计划》(Williams-Shapps Plan for Rail)，呼吁制定一项 30 年战略，以此为铁路转型提供明确的长期计划。这项为期 30 年的战略还包括于 2020 年发布的“铁路网综合环境计划”，该计划将“铁路作为更清洁的未来交通系统的支柱”。英国政府承诺，将在 2040 年停运所有的柴油机车，并在 2050 年实现铁路净零排放。



来源：威廉姆斯-沙普斯铁路计划

图 6 英国铁路绿色发展目标

(3) 水运：加快技术创新，鼓励远洋船舶采用低碳或零碳燃料

国际能源署《清洁能源技术评估》报告对国际航运业的评估结果显示，在不考虑新冠疫情影响的情况下，由于全球对海运贸易需求的增加，航运活动带来的直接 CO<sub>2</sub> 排放量自 2010 年以来一直保持增长。全球航运业需要采取更严格的措施才能保证在 2020-2030 这十年间实现年均 1.42% 的减排（该比率与净零排放路径中要求一致）。因此迫切需要的是制定一套政策来降低航运活动的碳强度（例如提高能源效率措施和慢船要求等），还需要进行技术创新，鼓励远洋船舶采用低碳或零碳燃料等。COP 26 期间，19 国政府签署了新《克莱德班克宣言》(Clydebank Declaration)，同意在港口之间建立

零排放航运贸易航线，以加快全球海运业的脱碳进程。2022年3月，加州空气资源委员会通过了商业港口传播法规修订案，旨在减少加州港口海岸附近运营船舶的污染物和温室气体排放，助力加州实现到2045年净零排放的目标。2022年底，欧盟就将航运业纳入欧盟碳排放交易体系（EU ETS）达成了一项初步协议。根据该协议，在欧盟国家港口间航行的所有5,000总吨及以上船舶，要就100%的排放量支付费用；在欧盟国家港口和非欧盟国家港口间航行的5,000总吨及以上船舶，将被要求支付排放量的50%。费用的支付比例随时间推移而增加，从2024年的40%开始，到2025年达到70%，到2026年达到100%。

#### （4）航空：扩大可持续燃料和突破性技术应用，加速制定航空业碳中和路线图

尽管航空业是减排难度最大的领域之一，据不完全统计，已经有超过290家航空公司通过国际航空运输协会（IATA）和多个航空业机构承诺到2050年实现净零排放。2021年初，欧洲航空业阐述了到2050年消除其净CO<sub>2</sub>排放的路径，认为大部分削减将通过氢气和混合动力推进技术，以及可持续航空燃料（SAF）进行。2022年，英国政府发布了《航空净零战略》（Jet Zero Strategy），提出到2040年实现国内航线飞行净零排放，到2050年实现航空部门净零排放的目标。

#### （5）其他：推广慢行交通，促进交通零碳转型

2021年4月，联合国欧洲经济委员会工作组提议，欧洲国家应抓住新冠疫情后的复苏机遇，向更加健康的交通和出行模式转型，并在促进步行和骑行、提升道路安全和减轻交通拥堵等七大领域提出了具体建议。次月，欧洲国家通过了《维也纳宣言》以及首份《泛欧自行车出行总体规划》，旨在推动交通系统向更加清洁、安全、健康和包容转型，并重点在全欧洲推广骑自行车出行。《维也纳宣言》呼吁建立一个覆盖全欧洲的全面战略，促进交通出行向零碳转型，确保在未来的数十年内能够建立一个安全有效的交通体系，并鼓励区域所有国家在绿色健康的出行和交通领域重新启动可持续的投资。

## 4 中国出台了哪些具有影响力的清洁交通政策？

中国自 2020 年在第七十五届联合国大会上提出“将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，CO<sub>2</sub> 排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的“双碳”目标以来，基本构建起“1+N”政策体系，碳达峰碳中和工作扎实有序推进。交通是碳减排的重要行业，国家陆续推出相关政策，以加快交通行业零排放转型。2021 年，国务院先后印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030 年前碳达峰行动方案》，进一步深入和明确了中国落实 2030 年碳达峰目标的重点任务和主要指标。针对交通领域，文件提出要加快推进低碳交通运输体系建设，形成绿色低碳运输方式，确保交通领域碳排放增长保持在合理区间。

“十四五”时期不仅是履行“双碳”承诺的关键期，也是推动减污降碳协同增效、促进交通行业降低 CO<sub>2</sub> 排放强度、削减主要污染物排放总量、加快形成绿色低碳运输方式的深刻变革期。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出，要深入推进工业、建筑、交通等领域低碳转型，加快大宗货物和中长途货物运输“公转铁”“公转水”，推动城市公交和物流配送车辆电动化。2021 年 10 月，交通运输部印发《绿色交通“十四五”发展规划》，其中提出绿色交通“十四五”发展的具体目标并部署七项主要任务，从加快基础设施建设、优化交通运输结构、推广应用新能源等方面实现交通运输绿色发展水平大幅提升，不断降低 CO<sub>2</sub> 排放强度、削减主要污染物排放总量，加快形成绿色低碳运输方式。

2022 年 4 月，交通运输部、国家铁路局、中国民用航空局、国家邮政局等四部门出台贯彻落实《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》的实施意见，为加快推进交通运输绿色低碳转型，切实做好碳达峰、碳中和交通运输工作明确方向。在推广节能低碳型交通工具方面，要积极发展新能源和清洁能源运输工具；推进铁路电气化改造，深入推进机场运行电动化，推进船舶靠港使用岸电；提高燃油车船能效标准等。在优化交通运输结构方面，提出要提高铁路水路在综合运输中的承运比重，优化客货运组织，加快建设综合立体交通网在积极引导低碳出行方面，意见提出，要积极开展绿色出行创建行动，完善绿色出行服务体系；引导公众优先选择绿色出行方式，整体提升各城市的绿色出行水平。

国家重点聚焦在推进新能源交通工具规模化应用、加快运输结构优化调整、打造公众绿色低碳出行模式、建设绿色交通基础设施等方面，为推进公路、水路等不同运输方

式零排放转型发展提供建议。在国家宏观政策的引导下，各地方政府也不断出台政策意见或行动方案对交通运输行业的绿色低碳发展进行部署，全力推进各省市交通运输网络布局、新能源交通工具推广应用、运输结构调整优化及公众绿色低碳出行等重点工作。

#### (1) 公路：推进和保障新能源车辆规模化应用，加快运输结构优化调整

从政策层面看，推广新能源交通工具规模化使用，加快运输结构优化调整，提高运输效率是公路运输减污降碳的主要途径。2021年12月，国务院办公厅印发《推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案（2021-2025年）》，提出了提升多式联运承载能力和衔接水平、创新多式联运组织模式、促进重点区域运输结构调整、加快技术装备升级、营造统一开放市场环境、完善政策保障体系共六大措施。2022年1月，交通运输部印发的《公路“十四五”发展规划》提出到2025年营运车辆单位运输周转量CO<sub>2</sub>排放较2020年下降5%等14项预期性指标和6项约束性指标。同年11月，生态环境部、发改委等十五个部门联合印发《深入打好重污染天气消除、臭氧污染防治和柴油货车污染治理攻坚战行动方案》，提出统筹大气污染防治与“双碳”目标要求，开展大气减污降碳协同增效行动，优化调整产业、能源、运输结构，从源头减少大气污染物和碳排放。

#### (2) 铁路：优化完善铁路布局，不断提升铁路系统电气化水平

在政策端，2020年中国国家铁路集团出台的《新时代交通强国铁路先行规划纲要》要求不断提高绿色铁路承运比重，推动大宗货物和中长途货物运输向铁路转移，促进运输结构深度调整，降低社会物流成本。2021年2月发布的《国家综合立体交通网规划纲要》指出，构建以铁路为主干，以公路为基础，水运、民航比较优势充分发挥的国家综合和立体交通网，到2035年铁路网里程达到20万公里左右。《关于进一步做好铁路规划建设工作的意见》中指出，到2035年要使铁路网络布局结构更加优化完善。绿色发展方面，近五年间中国电气化铁路运营里程逐年增长。截至2022年底，中国铁路电气化里程超过11万公里，铁路电气化率达73.8%<sup>10</sup>。2021年12月，国家铁路局印发《“十四五”铁路科技创新规划》，提出逐步提升多式联运占铁路总运量比例，要求推进动力源向混合动力、低碳动力发展。推广可再生能源、新能源、清洁能源及智能友好并网技术在铁路行业的应用，降低CO<sub>2</sub>和各类污染物排放量。

---

<sup>10</sup> 中国铁道科学研究院集团有限公司，<https://www.rails.cn/news.php?id=61666>.

### (3) 水路：加快老旧船舶更新改造，推广新能源绿色船舶

“十四五”时期，中国将加快推进水运减排。在政策端，不断提升水运绿色发展水平，推进水路运输新能源渗透率的提高。2022年1月，交通运输部公开《水运“十四五”发展规划》，提出鼓励LNG、电动、氢能等新能源和清洁能源船舶研发应用并促进岸电设施常态化使用。同时强调大力发展铁水联运、水水中转，提高水路货物周转量占比。同年9月，工信部、发改委、财政部、生态环境部及交通运输部联合发布《关于加快内河船舶绿色智能发展的实施意见》，要求到2025年，液化天然气、电池、甲醇、氢燃料等绿色动力关键技术取得突破，船舶装备智能技术水平明显提升，内河船舶绿色智能标准规范体系基本形成。到2030年，内河船舶绿色智能技术全面推广应用，配套基础设施、运营管理、商业模式等产业生态更加完善，标准化、系列化绿色智能船型实现批量建造，产业链供应链水平大幅提升，初步建立内河船舶现代产业体系。此外，《内河航运发展纲要》《综合运输服务“十四五”发展规划》中也提出推动新能源和清洁能源船舶在运输服务领域应用，加快充换电、加氢等基础设施建设等要求。

### (4) 航空：探索航空领域替代能源，提升机场运行电动化水平

航空运输减排会重点关注减少飞机燃油相关的碳排放以及减少机场相关的排放两方面。《2030年前碳达峰行动方案》中提出提升机场运行电动化智能化水平，发展新能源航空器，引导航空企业加强智慧运行，实现系统化节能降碳。2021年3月，中国民航局印发《关于“十四五”期间深化民航改革工作的意见》，明确提出围绕国家“双碳”目标制定民航“低碳发展中长期路线图”和“绿色民航标准体系”，同时鼓励航空公司积极使用可持续航空燃油，并建立基于市场的民航节能减排机制。2021年12月，民航局印发《“十四五”民航绿色发展专项规划》，提出到2025年单位旅客吞吐量CO<sub>2</sub>排放下降到0.43千克、可持续航空燃料消费量累计达5万吨、可再生能源占比达到5%等主要指标，明确加快推动可持续航空燃料发展，加快推广绿色低碳技术，完善民航碳排放核算核查标准，加快补齐机场电动车辆设备、塑料污染治理、清洁能源自给等领域标准短板，大力推动行业脱碳。



## II 中国交通运输绿色低碳发展行动 路径篇

交通运输是国民经济中基础性、先导性、战略性产业和重要的服务性行业，是碳排放的重要领域之一，推动交通运输绿色低碳转型对于加快建设交通强国、促进交通运输高质量发展具有重要意义。本篇章围绕形势要求、行动路径、主要目标、近期工作等四个方面展开论述。针对形势要求，研究提出要充分认识中国交通运输高质量发展的历史机遇、碳减排严峻挑战和碳排放客观趋势。针对行动路径，研究提出以“交通用能深度脱碳化、客货运输绿色高效化”为主线，统筹四种方式，抓好“优化交通运输结构、推广节能低碳交通工具、积极引导绿色低碳出行、建设绿色低碳基础设施、增强绿色转型新动能”等五大任务。针对主要目标，研究系统梳理碳达峰碳中和“1+N”政策体系、各项五年规划、相关专项配套政策文件等对交通运输领域提出的一系列量化指标要求。针对近期重点工作，研究提出“把握目标任务节奏、强化部门协调机制、健全统计核算体系、及时启动“双碳”试点、着力拓宽资金渠道”等五方面建议。

感谢交通运输部规划研究院环境资源所主任、高级工程师吴睿对本章节内容的宝贵贡献。

## 5 交通运输碳减排面临怎样的形势要求？

交通运输是能源消耗和碳排放的重要领域之一，目前交通运输领域碳排放量约占全国碳排放总量 10%左右，近年来已成为中国温室气体排放增长最快的领域之一。“双碳”目标对交通运输行业而言，既是发展的重要挑战，更是行业绿色转型的重要机遇，将大大提高交通运输行业推进碳减排工作的紧迫感和积极性，也将加速重构产业结构和能源结构调整下的新型运输格局。

### (1) 要充分认识中国交通运输高质量发展历史机遇

交通一直是中国现代化的开路先锋。党中央、国务院先后印发《交通强国建设纲要》和《国家综合立体交通网规划纲要》，明确交通运输服务实现第二个百年奋斗目标的战略目标、重点任务和政策举措，权威判断中国未来一段时期“旅客出行需求稳步增长，高品质、多样化、个性化的需求不断增强；货物运输需求稳中有升，高价值、小批量、时效强的需求快速攀升”。

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对行业零排放转型提出了新的更高要求，有利于加快优化调整运输结构、促进运输效率提升、加速能源清洁化进程，助推交通运输高质量发展和可持续发展。构建新发展格局将加快中国技术创新和产业升级步伐，有利于推动建立装备技术成熟、产能规模合理、能源供给稳定、基础设施配套完善的交通装备产业生态，为交通运输零排放转型提供重要动能。

### (2) 要充分认识中国交通运输零排放转型面临的挑战

从现状看，中国私人汽车保有量和出行比重高，新能源汽车占比依然偏少；重型货车、船舶、飞机等都还缺乏成熟经济的新能源替代技术；货运综合运输效率不高，运输结构不合理，运输能耗偏高；绿色出行分担率有待提升；现有交通基础设施建设水平不适应电气化交通发展需求；交通运输行业能耗和碳排放统计核算基础薄弱。

从未来看，新增交通基础设施及运输装备、旅客出行量、货物运输量、快递业务量等还有较大增长空间，迫切需要新能源、新技术、新模式支撑；大规模存量传统燃油装备更新为新能源装备仍需要时间；跨部门、上下游的交通碳减排协调机制还需加强；新能源装备技术发展的未来仍然存在不确定性；世界各国的交通关联产业政策、国际组织的交通碳减排政策标准都可能影响中国交通碳减排节奏。

### (3) 要充分认识中国交通运输碳排放变化客观趋势

从排放趋势来看，满足经济社会发展和人民日益增长的美好生活需要，未来交通运输需求仍将在较长时期内刚性增长，降低碳排放总量面临较大压力。交通运输领域碳排放与运输需求规模变化、运输装备技术变革密切相关。近中期，交通运输规模呈现中高速增长，技术尚需发展和推广应用，规模增速是碳排放增长的主因。虽然新能源公交车、出租车替代速度正在加快，但是占排放大头的重型营运货车和船舶仍面临着新能源清洁能源技术装备尚不成熟、成本偏高、能源供应设施不足、企业购买意愿不强等问题，大规模商业应用尚需时间周期和资金投入实现落地。现有的机动车和船舶等交通装备数量巨大，实现逐步替换也需要相当长的时间。中远期，交通运输规模增速放缓，技术渗透和应用日渐提升，技术和政策减排措施将发挥主要作用。碳排放变化趋势按照发展情况将分为“稳步增长期、达峰平台期、稳步下降期、深度脱碳期”四个阶段。要把握好中国交通运输发展阶段特征，将绿色低碳发展理念贯穿交通强国建设全过程，坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路<sup>11</sup>。

---

<sup>11</sup> 李晓易,谭晓雨,吴睿,徐洪磊,钟志华,李悦,郑超蕙,王人洁,乔英俊. 交通运输领域碳达峰、碳中和路径研究[J]. 中国工程科学,2021,v.23(06):15-21.

## 6 交通运输领域绿色低碳发展的行动路径和任务是什么？

交通运输领域绿色低碳发展的总体思路是以交通运输全面绿色转型为引领，以提升交通运输装备能效利用水平为基础，以优化交通运输用能结构、提高交通运输组织效率为关键，加快形成绿色低碳交通运输方式，加快推进低碳交通运输体系建设，让交通更加环保、出行更加低碳、助力如期实现碳达峰碳中和目标，推动交通运输高质量发展<sup>12</sup>。

### (1) 行动路径

从减排路径来看，交通工具低碳动力技术蓬勃发展，尤其是新能源汽车加速普及将为公路降碳提供有力支撑，大宗货物运输量有望在 2030 年前后达峰并呈现下降趋势，共享交通、智慧交通有望改变出行习惯，交通工具利用效率大幅提升将为减少碳排放作出重要贡献。

坚持一条路径：以“交通用能深度脱碳化、客货运输绿色高效化”为主线，以绿色长寿基础设施建设和节能低碳运输装备应用和集约高效运输体系打造为重点，坚持稳中求进的工作总基调，加快形成绿色低碳交通运输方式。

统筹四种方式：遵循“铁路先行达峰、公路加速减排、水路稳妥发展、民航尽力而为”的总基调，把握好各种运输方式特点，结合新能源动力技术适用场景，按照先易后难、先增量后存量的原则，有序推动不同领域运输装备动力低碳替代。铁路领域稳步推进电气化进程，并探索氢燃料替代可能性；公路领域主要依靠传统燃油车能效提升以及电动车、氢燃料电池车等推广应用；水路领域主要依靠液化天然气、电力、氢燃料、氨燃料、醇燃料等新能源船舶动力技术发展以及能效提升；民航领域短期内尚未有清晰可行的替代能源装备技术，兼顾“尽力而为”与“量力而行”，逐步扩大可持续航空燃料应用。要以对交通运输领域碳达峰具有决定作用和减排潜力最大的公路运输领域为重点，协同推进运输结构优化、能效提升、新能源和清洁能源替代等工作，同时积极推进低碳零碳运输装备的技术储备和研发。

### (2) 主要任务

推进碳达峰碳中和交通运输工作，既要充分落实《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030 年前碳达峰行动方案》等

<sup>12</sup> 徐洪磊. 协同发力促进交通领域节能降碳[N]. 人民日报, 2022-01-14.

政策要求，又要与《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》《“十四五”综合交通运输发展规划》《绿色交通“十四五”发展规划》等相关战略规划进行融合互动，稳步实现交通运输发展与化石能源消耗的脱钩<sup>13</sup>。

### 抓好交通运输结构优化

优化运输结构是碳达峰阶段的主要举措之一，也是实现交通运输高质量发展、加快推进现代综合交通运输体系和交通强国建设的必然要求。要深刻理解铁路、公路、水路、民航、管道等运输方式特点和单位运输周转量能源消耗强度及碳排放强度差异，充分发挥铁路和水路运输运量大、能耗低、排放少、污染小的优势，降低空载率和不合理客货运周转量。

要加快形成以国家铁路网为骨干，以国家公路网为基础，水运、民航比较优势充分发挥的国家综合立体交通网。推动不同运输方式的合理分工、有效衔接，充分发挥各种运输方式的比较优势和组合效率，提高铁路、水路在综合运输中的承运比重，促进大宗货物和集装箱中长距离运输“公转铁”“公转水”。推广高效运输组织模式，加快发展以铁路、水路为骨干的多式联运。提升民航运输运行效率，推进民航运输系统化节能降碳。加快城乡物流配送绿色发展，推进绿色低碳、集约高效的物流配送服务模式创新。要推进智能交通和绿色交通有效融合，支持网络货运平台、综合出行信息平台规范化规模化集约化发展，减少运输空驶率、空载率。

### 推广节能低碳交通工具

推广节能低碳型交通工具是贯穿碳达峰碳中和阶段的重要举措，应重点抓好清洁燃料运输装备降碳、装备能效提升降碳两个关键任务。要把握电力、氢能、天然气、先进生物液体燃料等新能源、清洁能源动力装备技术发展进程、成本差异和适用场景，加快研发，按照先易后难、先增量后存量的原则，有序推动不同领域运输装备动力低碳替代和分场景适配。要以提升交通运输装备能效利用水平为基础，聚焦提升标准、抓好准入、高效推广、低效退出。

要优化交通运输装备用能结构，推广应用新能源和清洁能源，提高生产效率和整体能效水平。加快发展新能源和清洁能源车辆及船舶，积极探索电能、氢能等动力在重载

---

<sup>13</sup> 徐成光. 完整准确全面贯彻新发展理念 全力推动交通运输绿色低碳转型发展[EB/OL]. (2021-11-04). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1715460257135275707&wfr=spider&for=pc>.

货运车辆、船舶领域的应用。实施铁路减污降碳工程，推进铁路系统电气化改造。加快老旧船舶更新改造，积极推进绿色智能船舶示范应用，推进船舶靠港使用岸电。对标国际领先水平，不断提高营运车辆、船舶能效标准，提升能源利用效率。加快民航飞机节能环保升级改造，扩大低碳燃料在民航运输的应用，提高航运效率和机场运行效率。加快新能源配套基础设施建设及使用，推进交通运输服务场站高品质快充网络建设。

### 积极引导绿色低碳出行

积极引导全社会绿色低碳出行是推动交通碳达峰的最佳辅助措施，是推动形成绿色生活方式的重要体现，也是实现从出行需求源头上减少小汽车使用强度、促进交通运输系统减排、缓解城市拥堵的重要抓手。要营造良好出行环境、强化市场激励措施、培育绿色出行文化。

要深入推进公交都市建设，推动“城市公共交通+慢行”网络融合发展，提高公共交通供给能力和服务品质。积极开展绿色出行创建行动，优化慢行系统，培育绿色出行文化，引导公众优先选择公共交通、步行和自行车等绿色出行方式。

### 建设绿色低碳基础设施

加快绿色交通基础设施建设是推动资源节约集约循环利用、降低交通基础设施全生命周期资源能源消耗、从源头降低碳排放的重要抓手，是交通运输行业贯彻生态文明战略、服务“双碳”目标的必然要求，也是支撑加快建设交通强国、推进交通可持续发展的关键举措。

要将节能低碳理念贯穿交通基础设施规划、建设、运营和维护全过程，推进交通基础设施与生态保护红线相协调，与资源环境承载力相适应。统筹利用综合运输通道线位、土地、空域等资源，加大岸线、锚地等资源整合力度。全面推动以低碳为特征的绿色公路、绿色港口、绿色枢纽场站等建设，降低全生命周期能耗和碳排放。积极推广废旧路面、沥青、疏浚土、建筑垃圾等各类废弃物资源化利用。实施交通基础设施、交通枢纽场站等绿色化提升改造，提升新建铁路场站、民航机场、港口等设施新能源、清洁能源使用比例。强化交通与能源融合发展，因地制宜推进交通路网沿线及枢纽场站合理布局光伏发电设施。

### 增强交通运输绿色转型新动能

碳达峰碳中和交通运输工作是一项长期的系统工程，涉及面广、任务艰巨，交通运

输绿色低碳转型必然要从根本上摒弃粗放型发展方式，以创新为核心，增强发展动力，培育发展动能，依靠新技术、新机制赋能提升交通运输发展质量效率，助力碳达峰碳中和进程<sup>14</sup>。

要强化绿色低碳发展规划引领，将交通运输碳达峰碳中和目标要求全面融入各地区各部门综合交通运输规划等中长期发展规划和专项规划中，加强各类规划的衔接协调。加快构建市场导向的绿色交通技术创新体系，开展绿色基础设施建设、新能源运输工具装备、交通污染综合防治等应用研究，强化节能环保关键技术在交通运输领域推广应用。完善交通运输领域统计体系，加强对各种运输方式能耗、碳排放及污染物排放的统计分析，建设交通运输碳排放统计监测系统。研究支持交通运输碳达峰、碳中和相关财税金融政策，建立健全低碳交通建设投入机制。加强政府在碳达峰碳中和的法规、标准、制度等方面的主导作用，充分发挥碳排放权、用能权有偿使用、合同能源管理等市场机制作用。加强绿色交通国际交流与合作。

---

<sup>14</sup> 方海. 贯彻绿色转型发展新理念 擘画双碳交通工作总蓝图[N]. 中国交通报, 2022-08-25.

## 7 双碳“1+N”政策体系对交通运输领域提出了哪些目标？

### (1) 交通能源消耗目标

能耗总量目标：陆路交通运输石油消费力争 2030 年前达到峰值。

民航能耗目标：到 2025 年，机场单位旅客能耗五年平均达 0.853 千克标准煤，运输航空机队吨公里油耗五年平均达 0.293 千克；十四五可持续航空燃料消耗量五年累计达 5 万吨，2025 年当年可持续航空燃料消费量达到 2 万吨以上。

铁路能耗目标：到 2030 年，国家铁路单位换算周转量综合能耗比 2020 年下降 10%。

### (2) 交通碳排放强度目标

交通分领域碳排放强度目标如表 3 所示。

表 3 交通分领域碳排放强度目标

交通碳排放强度目标	2025年	2030年
营运交通工具（单位换算周转量）	较2020年下降5%	较2020年下降9.5%左右
营运车辆（单位运输周转量）	较2020年下降5%	-
营运船舶（单位运输周转量）	较2020年下降3.5%	-
航空	运输航空吨公里二氧化碳排放五年平均达0.886千克，单位旅客吞吐量二氧化碳排放五年平均达0.43千克	-
新车-乘用车	-	较2020年下降25%
新车-商用车	-	较2020年下降20%

### (3) 交通运输结构目标

铁路和水路货运量目标：到 2025 年，基本形成大宗货物及集装箱中长距离运输以铁路和水路为主的发展格局，全国铁路和水路货运量比 2020 年分别增长 10%和 12%左右。“十四五”时期，铁路货运量占比提高 0.5 个百分点，水路货运量年均增速超过 2%。

铁路建设目标：到 2025 年，沿海主要港口铁路进港率达到 90%以上，沿海港口重要港区铁路进港率大于 70%，实现长江干线主要港口铁路进港全覆盖；枢纽机场轨道交通接入率 80%。

重点区域运输结构调整目标：到 2025 年，重点区域运输结构显著优化，京津冀及周边地区、长三角地区、粤港澳大湾区等沿海主要港口利用疏港铁路、水路、封闭式皮带廊道、新能源汽车运输大宗货物的比例力争达到 80%；晋陕蒙煤炭主产区大型工矿企业中长距离运输（运距 500 公里以上）的煤炭和焦炭中，铁路运输比例力争达到 90%。新建或迁建煤炭、矿石、焦炭等大宗货物年运量 150 万吨以上的物流园区、工矿企业及粮食储备库等，原则上要接入铁路专用线或管道。

#### （4）交通运输组织优化目标

多式联运目标：十四五期间，集装箱铁水联运量年均增长 15%以上，建设 120 个多式联运示范工程。

绿色货运配送目标：十四五期间，在 100 个左右城市有序实施绿色货运配送示范工程。

城乡交通一体化目标：到 2025 年全国累计建成 200 个左右城乡交通运输一体化示范县。

#### （5）新能源、清洁能源交通工具推广目标

交通工具推广目标：到 2030 年，当年新增新能源、清洁能源动力的交通工具比例达到 40%左右。

车辆推广目标：到 2025 年，新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的 20%左右，百万人口以上城市（严寒地区除外）新增或更新地面公交、城市物流配送、邮政快递、出租、公务、环卫等车辆中电动车辆比例不低于 80%，全国城市公交、出租汽车、城市物流配送领域新能源汽车占比分别达到 72%、35%、20%以上，国际集装箱枢纽海港新能源清洁能源集卡占比达 60%，机场场内电动车辆设备占比达到 25%以上，燃料电池车辆保有量约 5 万辆，基本淘汰国三及以下排放标准汽车，新能源和国六排放标准货车保有量占比力争超过 40%；到 2030 年，大气污染防治重点区域新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售量的 50%左右，民用运输机场场内车辆装备等力争全面实现电动化。

#### (6) 交通能源服务场站优化目标

公路充电基础设施目标：到 2022 年底前，全国除高寒高海拔以外区域的高速公路服务区能够提供基本充电服务；到 2023 年底前，具备条件的普通国省干线公路服务区（站）能够提供基本充电服务；到 2025 年，国家生态文明试验区、大气污染防治重点区域的高速公路服务区快充站覆盖率不低于 80%、其他地区不低于 60%，每个服务区建设的充电基础设施或预留建设安装条件的车位原则上不低于小型客车停车位的 10%。

岸电目标：到 2025 年，长江经济带港口和水上服务区当年使用岸电电量较 2020 年增长率 100%。

机场 APU 目标：到 2025 年，机场场内充电设施与电动车辆设备数量比不小于 1:3，年旅客吞吐量 500 万人次以上机场飞机辅助动力装置（APU）替代设备使用率稳定在 95%以上。

#### (7) 绿色出行引导目标

公交都市目标：十四五期，遴选确定 50 个左右地市级及以上城市和部分中小城市分主题分类型开展国家公交都市创建。到 2025 年，超大、特大城市公共交通机动化出行分担率不低于 50%，大城市公共交通机动化出行分担率不低于 40%，中小城市和县城绿色出行比例不低于 60%。

绿色出行目标：十四五期，重点创建 100 个左右绿色出行城市，到 2025 年，力争 60%以上的创建城市绿色出行比例达到 70%，绿色出行服务满意率不低于 80%；到 2030 年，城区常住人口 100 万以上的城市绿色出行比例不低于 70%。

#### (8) 绿色交通基础设施建设目标

到 2025 年，高速公路、普通国省干线公路废旧沥青路面材料循环利用率分别达到 95%和 80%以上；到 2035 年，主要通道新增交通基础设施多方式国土空间综合利用率提高比例 80%，交通基础设施绿色化建设比例 95%。

## 8 交通领域“双碳”目标需要重点关注哪些问题？

碳达峰碳中和交通运输工作时间紧、任务重、挑战多，接下来一段时间需聚焦关键问题，夯实工作基础，稳妥有序推进<sup>15</sup>。

### (1) 把握目标任务节奏

目前全国各地交通运输碳达峰行动方案均已启动编制，但进度不一，亟需统筹把握行动节奏、形成工作合力。一是国家层面要加强对各省交通碳达峰行动方案和配套政策措施的指导，确保目标任务衔接、政策取向一致、步骤力度协同，共同构建全国交通运输绿色低碳发展顶层设计体系。二是综合考虑各地发展实际，分类施策，因地制宜细化分解国家相关目标任务，建立碳达峰工作任务台账和进展督导机制。三是要及早谋划、扎实做好交通运输行业参与“能源消费强度和能源消费总量控制”向“碳排放总量和强度双控”转变的各项准备事宜。

### (2) 强化部门协调机制

交通运输绿色低碳行动涉及众多部门，涵盖公铁水航、营运和非营运、中央和地方等不同层面任务。特别是地方普遍反映在铁路、民航碳减排领域难以抓到实处，亟需在“全国一盘棋”与“条块结合、部省联动”上明确责权边界、确保任务不出现“断档”和“真空”。需联合推动建立交通运输领域绿色低碳发展跨部门协调机制，统筹研究碳达峰工作的任务分工、重大政策、重大问题，协调跨部门职能的重大事项，安排部署重点工作，跟踪评估与督促检查重要工作落实情况。

### (3) 健全统计核算体系

目前交通运输领域能耗和碳排放数据掌握尚不系统，分车型分能源类型的能耗交叉统计数据缺失，部分企业统计数据存在失真现象，亟待夯实基础、补齐短板。国家层面要进一步加快健全交通运输领域能耗和碳排放统计监测核算体系，统一规范碳排放核算边界和方法。同时需要制修订相关行业能耗和碳排放统计调查制度，组织开展公路水路运输能耗专项调查，加快碳排放实测技术研究应用<sup>16</sup>。

<sup>15</sup> 吴睿. 低碳转型亟须发挥市场主体作用[N]. 中国交通报, 2022-06-25.

<sup>16</sup> 李晓易,吴睿. 交通运输温室气体核算边界和测算方法研究[J]. 气候变化研究进展, :1-10.

### (4) 及时启动“双碳”试点

目前国家层面交通运输领域绿色低碳发展相关政策陆续出台，多次提及鼓励有条件的地方和企业先行先试，社会各界高度关注，亟需加快推动“双碳”试点。具体工作包括：一是依托交通强国建设试点和国家碳达峰试点相关工作机制，开展新能源车船推广应用、近零碳交通基础设施建设、交通沿线光伏发电设施布设等试点工作。二是依托国家多式联运、城市绿色货运配送、公交都市建设、绿色出行城市等已有示范工程机制，将减污降碳相关要求纳入创建和评估工作。三是加强部委联动，引导各地交通部门和企业广泛参与燃料电池汽车示范应用、新能源汽车换电模式应用试点、公共领域车辆全面电动化城市试点等工作。

### (5) 着力拓宽资金渠道

目前各地绿色低碳交通发展资金需求巨大，单纯依靠车购税等财政资金难以有效保障，亟需发挥市场主体作用。一是统筹利用车购税、中央预算内投资等建立健全国家层面绿色低碳交通发展投入机制。二是引导各类金融机构将符合条件的交通运输绿色低碳转型项目纳入绿色金融支持范围。三是争取纳入国家绿色发展基金以及筹备中的国家低碳转型基金等支持方向。四是探索成立交通运输绿色低碳产业发展投资基金。五是研究指导交通运输重点企业适时参与碳排放权交易，鼓励碳普惠等市场化机制实践。

### III 交通运输领域碳排放核算篇

国家“双碳”战略对建立统一规范的碳排放统计核算体系提出了明确要求。国家发改委、交通运输部等监管部门对“双碳”目标进行跟踪评估，也迫切需要科学合理的核算方法做支撑。本篇内容重点分析了碳达峰下，交通运输行业碳排放的核算需求，通过梳理行业碳排放核算常用方法，明确了交通运输行业碳排放核算边界，同时提出了分行业的碳排放核算方法和数据采集方法，旨在为进一步完善中国交通运输领域碳排放统计监测体系提供借鉴，并对交通运输行业碳排放核算方法完善空间提出了展望。

感谢交通运输部科学研究院信息中心副研究员于丹阳以及助理研究员夏晶（按姓氏首字笔划排序）对本章节内容的宝贵贡献。

## 9 国际上对国家温室气体清单编制提出了怎样的要求？

中国在 1994 年作为非附件一缔约方（即发展中国家和最不发达国家）加入《联合国气候变化框架公约》。按照公约及其会议要求，中国需要进行信息通报或每两年进行一次更新报告，主要报告国家温室气体排放以及吸收情况。

在 2018 年卡托维兹气候大会上，《联合国气候变化框架公约》审议通过了强化透明度框架实施细则，要求各国从 2024 年起开始全面遵循《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》，提交自 2020 年起止 T-3（T 减 3）连续年份的清单，对清单编制的关键源分析、不确定性分析、完整性分析提出了更高要求。目前，中国清单编制已经完成了 1994 年、2005 年（回算）、2010 年、2012 年和 2014 年清单编制，正在准备 2015 年以来的清单编制工作。

中国温室气体清单编制由应对气候变化主管部门生态环境部总体牵头，具体工作由国家气候战略中心牵头实施。报告编制完成后，国家气候战略中心组织国内相关领域权威专家对报告结果进行审评，随后征求国家相关主管部门意见，修改完善后，经过国务院批准提交至《联合国气候变化框架公约》。

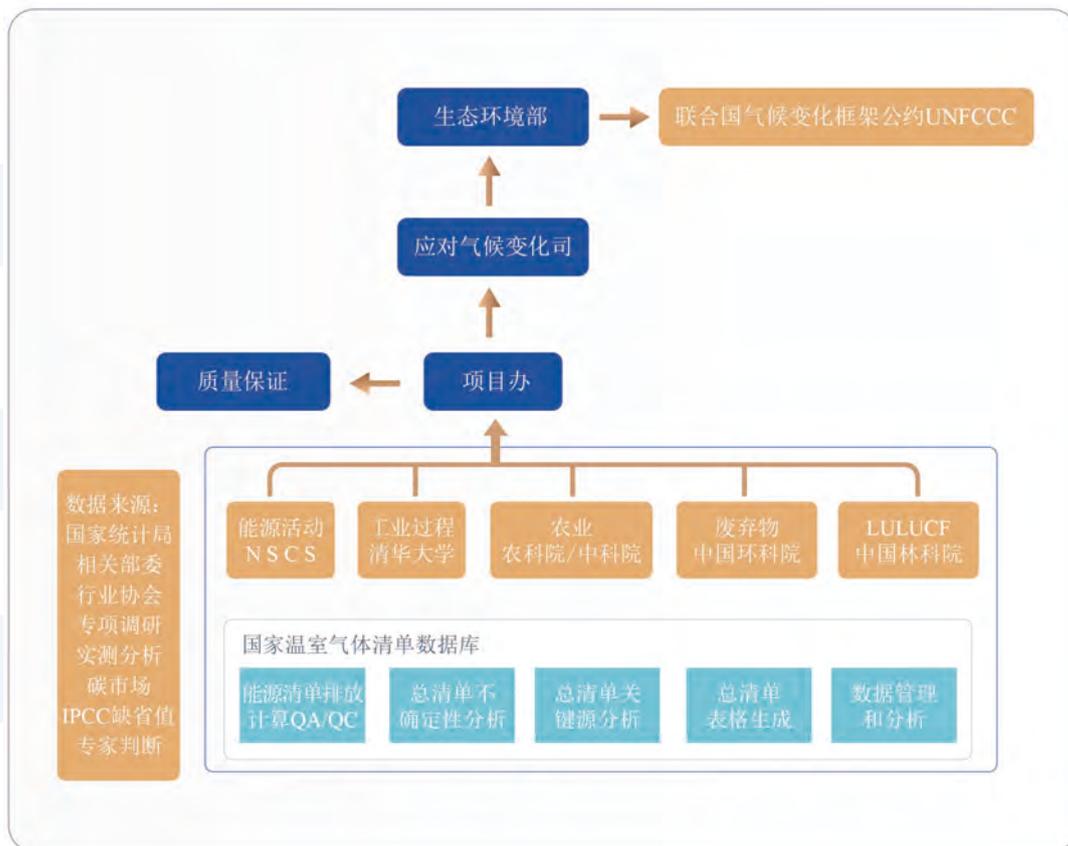


图 7 中国国家温室气体清单编制工作组织体系

根据清单总体要求，交通运输业分为航空运输、道路交通、铁路运输、水路运输和其他交通五个部分，核算范围包括了各自领域的所有移动源（营业性和非营业性）产生的直接 CO<sub>2</sub> 排放量，不包括基础设施等固定源排放。

表 4 国际履约中交通运输业的方法层级

	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O	
	方法论	排放因子	方法论	排放因子	方法论	排放因子
1.A化石燃料燃烧						
交通运输						
a.航空运输	T2	CS	T2	D	T2	D
b.道路交通	T2	CS	T3	D,CS	T3	D,CS
c.铁路运输	T1	D	T1	D	T1	D
d.水路运输	T1	D	T1	D	T1	D
e.其他交通	T1	D	T1	D	T1	D

注：T1 T2 T3：层级 1，层级 2，层级 3；CS：本国特定排放因子，D：IPCC 缺省排放因子

## 10 中国温室气体排放核算管理机制是怎样的？

2021年8月，为认真贯彻落实党中央、国务院决策部署以及碳达峰碳中和工作领导小组第一次全体会议精神，统筹做好碳排放统计核算工作，加快建立统一规范的碳排放统计核算体系，碳达峰碳中和工作领导小组办公室成立碳排放统计核算工作组，负责组织协调全国及各地区、各行业碳排放统计核算等工作。

统计核算工作组由国家发展改革委资源节约和环境保护司、国家统计局能源统计司主要负责同志共同担任组长，有关负责同志任副组长，成员单位包括科技部、工业和信息化部、财政部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、交通运输部、农业农村部、应急管理部、人民银行、市场监管总局、国管局、中国科学院、中国气象局、国家能源局、国家林草局、国家铁路局、中国民航局，中国煤炭工业协会、中国钢铁工业协会、中国石油和化学工业联合会、中国建筑材料联合会、中国有色金属工业协会、中国电力企业联合会等有关部门和行业协会。

工作组日常工作由国家统计局能源统计司承担，统筹组织国家和地方碳排放核算工作，其主要以国家和地区能源平衡表作为主要依据，乘以CO<sub>2</sub>排放因子，同时拆除不属于国家或地方CO<sub>2</sub>的部分排放量，得到国家和地方CO<sub>2</sub>总排放量。按照国民经济分类划分，交通运输、仓储和邮政业是指行业主管部门管辖范围内的交通运输业，即以营业性运输为主，包含移动源和固定源两个方面的直接CO<sub>2</sub>排放和间接CO<sub>2</sub>排放。

## 11 中国如何定义交通行业碳排放核算的需求与边界？

《2030年前碳达峰行动方案》提出了4项与交通碳排放相关目标：

- 到2030年，当年新增新能源、清洁能源动力的交通工具比例达到40%左右；
- 营运交通工具单位换算周转量碳排放强度比2020年下降9.5%左右；
- 国家铁路单位换算周转量综合能耗比2020年下降10%；
- 陆路交通运输石油消费力争2030年前达到峰值。

按照行业管理要求，营业性运输是指核算边界以地区行政区域为界，注册在本地的营运主体所拥有的交通工具运输行为。

基于交通运输部分管职责要求和现有数据基础，为更好满足国际、国家、行业和企业关于交通运输碳排放核算的整体需求，后文在核算边界的定义为包括为公路、水路、铁路、民航领域营业性/非营业性运输工具。

目前，中国国家层面尚未统一交通碳排放核算方法体系，核算边界、核算方法等方面也没有明确。碳核算的学术研究主要集中在行业碳测算方法的探讨和实证分析上，主要是排放因子法、投入产出法和系统动力法<sup>17,18</sup>也有学者提出营运性公路、水路、铁路和民航运输采用周转量法计算碳排放，非营运性公路采用保有量法计算碳排放<sup>19</sup>；从核算方法的创新性角度，当前文献中不乏对交通碳足迹计算方法<sup>20</sup>、综合生命周期方法<sup>21</sup>、基础设施碳排放的测算研究<sup>22</sup>，以及交通基础设施项目碳排放、碳补偿、综合碳排放的评估<sup>23</sup>；从行业碳核算体系角度，刘承智<sup>24</sup>分析了行业碳核算体系，指出中国应积极借

<sup>17</sup> 谢守红, 薛红芳, 邵珠龙. 中国碳排放的区域差异及其与经济增长的关联分析[J]. 生态与农村环境学报, 2013,29(04):443-8

<sup>18</sup> 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, et al. 中国城乡居民生活碳排放驱动因素分析[J]. 中国人口资源与环境, 2014,24(08):33-41

<sup>19</sup> 李晓易, 吴睿. 交通运输温室气体核算边界和测算方法研究[J]. 气候变化研究进展:1-10

<sup>20</sup> Yaacob NFF, Mat Yazid MR, Abdul Maulud KN, et al. A review of the measurement method, analysis and implementation policy of carbon dioxide emission from transportation[J]. Sustainability, 2020,12(14):5873

<sup>21</sup> Brand C, Tran M, Anable J. The UK transport carbon model: An integrated life cycle approach to explore low carbon futures[J]. Energy Policy, 2012,41:107-24

<sup>22</sup> 刘杰, 高嘉蔚. 交通基础设施碳排放核算关键问题及对策探索[J]. 交通节能与环保, 2021,17(05):4-9

<sup>23</sup> 刘宽, 白云, 王创, et al. 交通基础设施项目的综合碳排放评估探究[J]. 环境科学与技术, 2017,40(10):185-90

<sup>24</sup> 刘承智, 潘爱玲, 谢涤宇. 我国完善企业碳排放核算体系的政策建议[J]. 经济纵横, 2014,11):42-5

鉴国际企业碳排放核算体系标准，充分发挥企业碳排放核算的管理效能。黄建<sup>25</sup>站在企业和行业的角度，提出中国的行业温室气体核算体系应借鉴美国电力行业的《温室气体强制性报告制度》，让企业和相关的排放主体积极参与到温室气体排放报告活动中来，以减少统计部门进行统计调查的高成本，使温室气体核算更具操作性。交通碳排放强度核算话题研究中，有学者定性分析强调交通正在成为中国实现降低碳排放强度目标的关键领域<sup>26</sup>、定量分析交通碳排放强度的区域差异<sup>27</sup>、聚焦使用碳排放强度确定道路交通碳排放配额的方法<sup>28</sup>等。

---

<sup>25</sup> 黄建, 李晓明, 祝君良. 行业温室气体排放核算体系——以美国电力为例[J]. 上海节能, 2013,05):37-42

<sup>26</sup> Huang Y, Zhu H, Zhang Z. The heterogeneous effect of driving factors on carbon emission intensity in the Chinese transport sector: Evidence from dynamic panel quantile regression[J]. Science of The Total Environment, 2020,727:138578

<sup>27</sup> Liu J, Li S, Ji Q. Regional differences and driving factors analysis of carbon emission intensity from transport sector in China[J]. Energy, 2021,224:120178

<sup>28</sup> Li X, Gao L, Liu J. The approach to carbon emission quotas of road transportation: A carbon emission intensity perspective[J]. Journal of advanced transportation, 2020,2020

## 12 公路领域碳排放核算方法有哪些？数据源如何获取？

通过对国内外政府部门、研究机构等单位对公路营业性客货领域碳排放核算现状的梳理，公路碳排放量核算关键方法包括以下三种：

表 5 公路领域碳排放核算方法及优缺点

计算方法	特点
<p>能耗总量法：基于车辆分燃料类型能源消耗总量推算二氧化碳排放量。</p> $E = \sum(EC_i \times EF_i)$ <p>式中： E, Emission——二氧化碳排放量； EC<sub>i</sub>, Energy Consumption——第 i 类燃料能源消耗量 (t)； EF<sub>i</sub>, Emission Factor——第 i 类燃料二氧化碳排放因子 (t-CO<sub>2</sub>/t)。</p>	<p>优点：方法清晰、容易理解，适用于能耗统计数据质量较高、已经实现全面统计的行业，可以实现分燃料类型能源消耗量×分燃料类型二氧化碳排放因子测算。 缺点：对能耗总量的数据质量要求较高，全国缺乏统一公开的分能源排放因子。</p>
<p>碳排放强度法：基于单位运量（周转量、吞吐量）碳排放强度和总运量（周转量、吞吐量）数据推算二氧化碳排放量。</p> $E = [\sum(EEC_i \times EF_i) / ET] \times TT$ <p>式中： E, Emission——二氧化碳排放量； EEC<sub>i</sub>, Enterprise Energy Consumption——经营业户第 i 类燃料能源消耗量 (t)； EF<sub>i</sub>, Emission Factor——第 i 类燃料二氧化碳排放因子 (t-CO<sub>2</sub>/t)； ET, Enterprise Turnover——经营业户客（货）运量（周转量、吞吐量）； TT, Total Turnover——本地区客（货）运量（周转量、吞吐量）。</p>	<p>优点：直接对标国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》营运交通工具单位换算周转量碳排放强度指标，有利于掌握宏观碳排放情况。 缺点：对样本量和样本代表性要求高，只有样本单位运量（周转量、吞吐量）碳排放强度可代表全行业单位运量（周转量、吞吐量）碳排放强度才可采用碳排放强度法。</p>
<p>保有量法：基于车辆保有量、单位行驶里程能耗强度、车辆年均行驶里程和二氧化碳排放因子推算二氧化碳排放量。</p> $E = \sum \sum [(VR_{ij} \times VKT_{ij} \times ECK_{ij}) \times EF_i]$ <p>式中： E, Emission——二氧化碳排放量； VR<sub>ij</sub>, Vehicle Registrations——第 i 类燃料第 j 类车辆保有量； VKT<sub>ij</sub>, Vehicle Kilometers of Travel——第 i 类燃料第 j 类车辆年均行驶里程 (km)； ECK<sub>ij</sub>, Energy Consumption per kilometer——第 i 类燃料第 j 类车辆单位行驶里程能源消费强度 (t/km)； EF<sub>i</sub>, Emission Factor——第 i 类燃料二氧化碳排放因子 (t-CO<sub>2</sub>/t)。</p>	<p>优点：适用于车辆数量庞大且难以进行全面统计的行业。 缺点：对年均行驶里程和单位行驶里程能源消费强度数据质量要求高，需要借助外部调查掌握数据情况。</p>

由此，公路领域碳排放核算方法建议如下：

(1) 营业性公路客运行业碳排放核算优先使用碳排放强度法。具备更精细化管理条件的地区可替代使用能耗总量法。即

### 核算方法一：碳排放强度法

活动水平数据来源：《公路水路交通运输企业一套表统计调查制度》公路旅客运输能源消耗情况表。

表 6 公路旅客运输能源消耗情况表

表 号：交企统 H104-1 表  
制定机关：交通运输部  
批准机关：国家统计局  
批准文号：国统制（2022）199号  
有效期至：2025年12月

统一社会信用代码：□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
尚未领取统一社会信用代码的填写原组织机构代码：  
□□□□□□□□-□

单位详细名称：\_\_\_\_\_ 20 年

指标名称	计量单位	代码	数量	指标名称	计量单位	代码	数量
甲	乙	丙	1	甲	乙	丙	1
一、客运车辆	—	—	—	纯电动车	公里	208	
车辆数	辆	101		混合动力车	公里	209	
汽油车	辆	102		氢能源车	公里	210	
柴油车	辆	103		其他	公里	211	
压缩天然气车	辆	104		三、能源消耗	—	—	—
液化天然气车	辆	105		能源消耗总量	千克标准煤	301	
纯电动车	辆	106		汽油车	升	302	
混合动力车	辆	107		柴油车	升	303	
其中：插电式混合动力车	辆	108		压缩天然气车	立方米	304	
氢能源车	辆	109		液化天然气车	千克	305	
其他	辆	110		纯电动车	千瓦时	306	
核定载客位	客位	111		混合动力车	千克标准煤	307	
二、运输服务	—	—	—	汽油	升	308	
客运量	人	201		柴油	升	309	
旅客周转量	人公里	202		压缩天然气	立方米	310	
总行程	公里	203		液化天然气	千克	311	
汽油车	公里	204		电	千瓦时	312	
柴油车	公里	205		其他	千克标准煤	313	
压缩天然气车	公里	206		氢能源车	千克	314	
液化天然气车	公里	207		其他	千克标准煤	315	

补充资料：能源消耗量填写“其他”项时，请注明具体能源类型名称 \_\_\_\_\_（可填写多个）

单位负责人：\_\_\_\_\_ 统计负责人：\_\_\_\_\_ 填表人：\_\_\_\_\_ 联系电话：\_\_\_\_\_ 报出日期：20 年 月 日

### 核算方法二：能耗总量法

活动水平数据来源：一是对于具有较强监测能力的地区，依托能耗在线监测设备采集单车实时能源消耗量。二是建立月度能耗统计报表制度，采集能耗数据。

(2) 营业性公路货运行业碳排放核算优先采用碳排放强度法。在保有量法测算的强度结果与碳排放强度法测算的强度结果吻合情况下，可替代使用保有量法推算。

### 核算方法一：碳排放强度法

单位周转量碳排放量数据来源：通过开展营运货车碳排放年度调查的方式采集。

货物周转量数据来源：《交通运输综合统计调查制度》。

### 核算方法二：保有量法

车辆保有量数据来源：保有量总量来自《交通运输综合统计调查制度》。

车辆单位行驶里程能耗量和车辆年均行驶里程数据来源：一是通过在营运货车上加装能耗在线监测设备或车辆出厂工况单耗数据或达标车型数据；二是通过全国道路货运车辆公共监管与服务平台。

#### (3) 非营业性公路客运行业碳排放核算优先使用保有量法。

车辆保有量数据来源：社会客运车辆保有量总量来自工信部上险库或公安部机动车注册登记系统。

车辆单位行驶里程能耗量数据来源：工信部理论出厂值、二手车数据。

车辆年均行驶里程数据来源：环境部年检数据库、二手车数据。

#### (4) 非营业性公路货运行业碳排放核算优先使用保有量法。

车辆保有量数据来源：社会货运车辆保有量总量来自工信部上险库或公安部机动车注册登记系统。

车辆单位行驶里程能耗量数据来源：工信部理论出厂值、环境部重型车监控平台。

车辆年均行驶里程数据来源：环境部重型车监控平台；交通运输部 12 吨及以上货运监管平台。

## 13 水路领域碳排放核算方法有哪些？数据源如何获取？

水路碳排放量核算关键方法包括以下三种：

表 7 水路领域碳排放核算方法及优缺点

计算方法	特点
<p>能耗总量法：基于船舶分燃料类型能源消耗总量推算二氧化碳排放量。</p>	
$E = \sum(EC_i \times EF_i)$ <p>式中：  <math>E</math>, Emission——二氧化碳排放量；  <math>EC_i</math>, Energy Consumption——第 <math>i</math> 类燃料能源消耗量 (t)；  <math>EF_i</math>, Emission Factor——第 <math>i</math> 类燃料二氧化碳排放因子 (t-CO<sub>2</sub>/t)。</p>	<p>优点：方法清晰、容易理解，适用于能耗统计数据质量较高、已经实现全面统计的行业，可以实现分燃料类型能源消耗量×分燃料类型二氧化碳排放因子测算。</p> <p>缺点：对能耗总量的数据质量要求较高，全国缺乏统一公开的分能源排放因子。</p>
<p>碳排放强度法：基于船舶单位运量（周转量、吞吐量）碳排放强度和总运量（周转量、吞吐量）数据推算二氧化碳排放量。</p>	
$E = [\sum(EEC_i \times EF_i) / ET] \times TT$ <p>式中：  <math>E</math>, Emission——二氧化碳排放量；  <math>EEC_i</math>, Enterprise Energy Consumption——经营业户第 <math>i</math> 类燃料能源消耗量 (t)；  <math>EF_i</math>, Emission Factor——第 <math>i</math> 类燃料二氧化碳排放因子 (t-CO<sub>2</sub>/t)；  <math>ET</math>, Enterprise Turnover——经营业户客（货）运量（周转量、吞吐量）；  <math>TT</math>, Total Turnover——本地区客（货）运量（周转量、吞吐量）。</p>	<p>优点：直接对标国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》营运交通工具单位换算周转量碳排放强度指标，有利于掌握宏观碳排放情况。</p> <p>缺点：对样本量和样本代表性要求高，只有样本单位运量（周转量、吞吐量）碳排放强度可代表全行业单位运量（周转量、吞吐量）碳排放强度才可采用碳排放强度法。</p>
<p>发动机功率法：该方法是利用船舶发动机功率与运行时间计算碳排放量。</p>	
<p>i. 对于可获取逐艘船舶活动数据的，可采用逐船发动机功率法。该方法计算结果最为精细。该方法利用船舶自动识别系统数据等船舶动态轨迹数据，对每两个船舶状态（船舶位置、航行状态、时间等信息）报送时间之间的船舶CO<sub>2</sub>排放进行计算，即利用每艘船舶的主机功率、发动机工作时间、发动机负载率、辅机燃油消耗占主机燃油消耗的比例等指标来核算每艘船舶每个时段的CO<sub>2</sub>排放量，加和形成总排放量。</p>	

$$E_m = \sum_i (P_i \times WT_i \times LOD_i \times SFOC_i \times 24 \times 10^{-6} \times EF_a + P_i \times WT_i \times LOD_i \times SFOC_i \times 24 \times 10^{-6} \times f \times EF_a)$$

其中:

- $E_m$ =船舶第  $t$  个时段内的燃料燃烧  $CO_2$  排放量 (t) ;
- $P_i$ =第  $i$  艘船舶主机额定功率 (kW) ;
- $WT_i$ =第  $i$  艘船舶第  $t$  个时段内的主机工作时间 (d) ;
- $LOD_i$ =第  $i$  艘船舶第  $t$  个时段内的主机平均负载率 (%) ;
- $SFOC_i$ =第  $i$  类船舶第  $t$  个时段内的船舶主机单位功率燃油消耗量(g/ kW) ;
- $EF_a$ =第  $a$  类燃料二氧化碳排放因子(t- $CO_2$ /t) ;
- $\alpha$ =燃料类型;
- $i$ =船舶数量;
- $f$ =辅机燃油消耗占主机燃油消耗的比例

- ii. 对于无法获得 AIS 数据等逐艘船舶活动数据, 但可获取船舶活动统计数据的, 可采用发动机功率统计法。该方法利用船舶种类、分类船舶数量、船舶主机功率、平均营运时间、主机平均负载率、单位功率油耗、辅机燃油消耗占主机燃油消耗的比例等指标来核算温室气体排放量。

$$E_w = \sum_i (P_i \times WT_i \times LOD_i \times SFOC_i \times 24 \times 10^{-6} \times EF_a + P_i \times WT_i \times LOD_i \times SFOC_i \times 24 \times 10^{-6} \times f \times EF_a)$$

式中:

- $E_w$ =水路运输温室气体排放量 (t) ;
- $P_i$ =水路运输第  $i$  类船舶类型安装功率 (Kw) ;
- $WT_i$ =水路运输第  $i$  类船舶类型主机平均工作时间 (d) ;
- $LOD_i$ =水路运输第  $i$  类船舶类型主机平均负载率 (%) ;
- $SFOC_i$ =水路运输第  $i$  类船舶类型主机单位功率燃油消耗量 (g/Kw-h) ;
- $EF_a$ =第  $a$  类燃料二氧化碳排放因子 (t- $CO_2$ /t) ;
- $\alpha$ =燃料类型;
- $i$ =船舶类型;
- $f$ =辅机燃油消耗占主机燃油消耗的比例。

优点: 精细化掌握船舶主机、辅机等能耗及碳排放情况。

缺点: 对船舶运行速度、运行时长、辅机消耗比例等数据质量要求高, 需要借助信息化平台或外部调查掌握数据情况。

由此, 水路领域碳排放核算方法建议如下:

(1) 水路客运行业碳排放核算优先使用碳排放强度法。具备更精细化管理条件的地区可替代使用能耗总量法。

#### 核算方法一: 碳排放强度法

活动水平数据来源: 《公路水路交通运输企业一套表统计调查制度》水路运输能源消耗情况表。

表 8 水路旅客运输能源消耗情况表

统一社会信用代码：□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
 尚未领取统一社会信用代码的填写原组织机构代码：  
 □□□□□□□□-□

表 号：交企统 W104 表  
 制定机关：交通运输部  
 批准机关：国家统计局  
 批准文号：国统制（2022）199 号  
 有效期至：2025 年 12 月

单位详细名称： 20 年

指标名称	计量单位	代码	总计	内河				海洋	
				1	2	3	4	5	
甲	乙	丙	1	2	3	4	5		
一、客运生产情况	—	—	—	—	—	—	—	—	
客运船舶数	艘	101							
汽油动力船	艘	102							
柴油动力船	艘	103							
燃料油动力船	艘	104							
液化天然气燃料动力船	艘	105							
液化石油气燃料动力船	艘	106							
氢燃料电池动力船	艘	107							
甲醇/乙醇燃料动力船	艘	108							
纯电动船	艘	109							
其他	艘	110							
客运船舶额定载客量	客位	111							
客运量	人	112							
旅客周转量	人公里	113							
能源消耗总量	吨标准煤	114							
汽油	吨	115							
柴油	吨	116							
燃料油	吨	117							
液化天然气	吨	118							
液化石油气	吨	119							
甲醇	吨	120							
乙醇	吨	121							
氢	吨	122							
电	千瓦时	123							
其他	吨标准煤	124							
总航行里程	公里	125							
二、货运生产情况	—	—	—	—	—	—	—	—	
货运船舶数	艘	201							
柴油动力船	艘	202							
燃料油动力船	艘	203							
液化天然气燃料动力船	艘	204							
液化石油气燃料动力船	艘	205							
氢燃料电池动力船	艘	206							
甲醇/乙醇燃料动力船	艘	207							
纯电动船	艘	208							
其他	艘	209							
货运船舶额定净载重量	吨	210							
货运量	吨	211							
货物周转量	吨公里	212							
能源消耗总量	吨标准煤	213							
柴油	吨	214							
燃料油	吨	215							
液化天然气	吨	216							
液化石油气	吨	217							
甲醇	吨	218							
乙醇	吨	219							
氢	吨	220							

电	千瓦时	221					
其他	吨标准煤	222					
总航行里程	公里	223					

补充资料：1. 客运能源消耗里填写“其他”项时，请注明具体能源类型名称\_\_\_\_\_（可填写多个）  
 2. 货运能源消耗里填写“其他”项时，请注明具体能源类型名称\_\_\_\_\_（可填写多个）  
 3. “是/否”拥有客货船，选择“是”或“否”，如果选“是”，共有\_\_\_\_\_艘。请将船舶分类数里、能耗等信息填写在“货运生产情况”中

单位负责人：\_\_\_\_\_ 统计负责人：\_\_\_\_\_ 填表人：\_\_\_\_\_ 联系电话：\_\_\_\_\_ 报出日期：20\_\_年\_\_月\_\_日

### 核算方法二：能耗总量法

活动水平数据来源：一是对于具有较强监测能力的地区，依托能耗在线监测设备采集单车实时能源消耗量。二是建立月度能耗统计报表制度，采集能耗数据。

（2）水路货运行业碳排放核算优先采用碳排放强度法，对于《船舶能耗数据和碳强度管理办法》实施效果好的地区可替代使用能耗总量法推算。

### 核算方法一：碳排放强度法

内河货船单位周转量碳排放量数据来源：通过开展营运货船碳排放年度调查的方式采集。

内河货物周转量数据来源：《交通运输综合统计调查制度》。

沿海货运单位周转量碳排放量、沿海货物周转量数据来源：《公路水路交通运输企业一套表统计调查制度》。

### 核算方法二：能耗总量法

依托海事局《船舶能耗数据和碳强度管理办法》，对于《船舶能耗数据和碳强度管理办法（征求意见稿）》实施效果好的地区，可通过海事报告数据对 400 总吨及以上的国内沿海航行船舶和内河船舶汇总得出船舶能耗数据，再结合补充样本调查获取 400 总吨以下国内沿海航行船舶和内河船舶能耗数据。

## 14 铁路和民航领域碳排放核算方法有哪些？数据源如何获取？

铁路和民航领域碳排放核算方法是采用能耗总量法进行统计核算。

铁路分燃料类型能源消耗数据来源：由国铁集团按月根据统计报表，统计包括列出机车（牵引用）、发电车（列车运行发电用）等能耗数据，其他全部归于固定源生产数据。其中年度《中国铁路统计公报》中单位运输量主营综合能耗数据包括国家铁路局能耗数据，不区分客货能耗（因存在客货混合站，难以详细区分客货消耗），单位运输量主营综合能耗数据将客货周转量按照 1:1 比例系数折算。在年度报送统计局数据时，根据铁路路线和站段的财务清单将运输量和能耗量按照属地原则拆分至各个地区，其中固定源按照纳税地属地管理，移动源机车和发电车按照站段归属地划分，月度能源消耗量统计指标如表 9 所示。

民航分燃料类型能源消耗数据来源：由民航局依托《民航综合统计调查制度》中“资源消费量及二氧化碳排放量统计表”汇总得出民航能耗和碳排放总数。该表由航空公司（按照 CCAR-121 部进行管理的航空运输承运人）和机场通过民航能耗统计填报系统向民航局节能减排主管部门报送。其中航空煤油、汽油、柴油主要满足移动源设备运行所需能源消耗，电力、天然气、外购热力主要满足固定源设施运行所需能源消耗，此外还有少量煤炭、煤油等在个别机场使用，以及微量液化石油气用于生活餐饮保障。各类能源消耗实物量主要根据能源供给商收费账单进行换算。对于境外航空公司飞机从中国出发飞往国境之外的航段所产生的温室气体排放（报告在国际燃料仓下），采用国家统计局能源平衡表中境外飞机在境内的加油量作为数据来源。

表 9 铁路运输企业能源消耗量统计表

单位详细名称：			202 年 月						
指标名称	计量单位	代码	总计	主营	机车	发电车	生产	辅营	生活
			1	2	3	4	5	6	7
甲	乙	丙	1	2	3	4	5	6	7
1. 煤炭	吨	1							
其中（1）无烟煤	吨	2							
（2）烟煤	吨	3							
（3）褐煤	吨	4							
（4）洗精煤	吨	5							
（5）煤制品	吨	6							
2. 焦炭	吨	7							
3. 燃油	吨	8							
其中（1）燃料油（重油）	吨	9							
（2）柴油	吨	10							
（3）汽油	吨	11							
（4）煤油	吨	12							
4. 电力	万千瓦时	13							
5. 其他	吨标准煤	14							
其中（1）焦炉煤气	万立方米	15							
（2）城市煤气	万立方米	16							
（3）液化石油气	万立方米	17							
（4）油田天然气	万立方米	18							
（5）气田天然气	万立方米	19							
（6）外购热力	百万千焦	20							

表 10 资源消费量及二氧化碳排放量统计表

表号：航综统34表  
 制定机关：民航局  
 批准机关：国家统计局  
 批准文号：国统制（2021）19号  
 有效期至：2024年3月

统一社会信用代码 □□□□□□□□□□□□□□□□□□  
 填报单位： 20 年 月

分类	资源品种	计量单位	当月				当年累计			
			消费量	折算吨标煤	排放因子	二氧化碳排放量(吨)	消费量	折算吨标煤	排放因子	二氧化碳排放量(吨)
甲	乙	丙	1	2	3	4	5	6	7	8
传统能源	航空煤油	吨			3.15				3.15	
	其中：国内航段	吨			3.15				3.15	
	港澳台航段	吨			3.15				3.15	
	国际航段	吨			3.15				3.15	
	煤炭	吨			2.08				2.08	
	煤油	吨			3.16				3.16	
	柴油	吨			3.14				3.14	
	汽油	吨			3.04				3.04	
	液化石油气	吨			2.95				2.95	
	电力	千瓦时			0				0	
	煤气	立方米			0.228×10 <sup>3</sup>				0.228×10 <sup>3</sup>	
	天然气	立方米			2.165×10 <sup>3</sup>				2.165×10 <sup>3</sup>	
	外购热力	百万千焦			0				0	
	其他	吨标煤			2.66				2.66	
备注 1										
可再生能源	生物燃油（航空）	吨			0				0	
	生物燃油（地面）	吨			0				0	
	太阳能	千瓦时			0				0	
	风能	千瓦时			0				0	
备注 2										
水	市政水	吨								
	非市政水	吨								
	备注 3									

单位负责人： 统计负责人： 填报人： 填报日期：

## 15 交通领域碳排放核算还有哪些方面需要改进？

中国交通运输领域建立统一碳排放核算体系任重道远，仍需进一步完善。为实现交通“双碳”关键目标，不仅要从方法学上突破，要解决当前行业能耗和碳排放相关数据的统计基础无法满足核算要求存在的问题，尤其是货运领域的问题；也要研究在将国际、国家、行业和企业的核算边界逐步趋于统一的基础上，聚焦行业管理职责和数据基础，编制行业排放清单。

### (1) 清单核算边界有待确认

本报告中分领域的排放数据源涉及多部门数据协调、共享、试算，并最终达成一致，需要一定的时间磨合。对于交通运输领域清单编制的核算边界，从交通运输部角度难以获取铁路和民航的分能源类型的明细能源消耗数据，也难以掌握行业管理以外的非营运客货车保有量和能耗水平数据。如何去协调国家发改委、国家统计局等国家部门实现对所有领域核算边界和核算数据源的确认，是清单编制的一项重点任务。

### (2) 进一步规范基础数据库管理

以公路货运领域为代表，包括营运性货运和非营运性在内的货运车辆在交通运输部、工信部、公安部的统计年报数据、上险数据和注册登记数据的货车保有量划分标准不一致、货车总量也存在差异，如何确定保有量选取原则以及车型标准以及获取分车型保有量数据将是下一步研究方向。

### (3) 结合大数据等多种方式建立能耗、活动水平等参数的本地化数据库

公路货运领域，车辆的分车型行驶里程与实际能耗水平、百公里能耗数据的获取存在较大难度，尤其是私人乘用车以外非营运性货车需依靠大样本调查补充获取参数数据。水路货运领域，仍需加大 AIS、船舶进出港报告等信息化系统在内河货运行业排放核算领域的应用研究，更全面掌握分船型辅机、锅炉等负荷功率以及排放因子等参数数据。

## IV 传统燃油车节能减排篇

近年来中国汽车产业仍然高位运行，2022 年上半年汽车产销分别完成 2,702 万辆和 2,686 万辆，汽车保有量达到 3.19 亿辆，84 个城市汽车保有量超过 100 万辆，以汽车为主的移动源氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和挥发性有机物（VOCs）排放占污染物排放达到 60%和 24%，交通领域 CO<sub>2</sub> 排放占比达到 10%左右。当前世界各国都在积极研究汽车产业能源转型，但燃油车仍将在未来很长时间内占主导地位，污染物和温室气体协同控制和减排体系成为世界各国设立绿色壁垒的重要手段。欧美各国也在研究制定下一阶段排放标准和相关法规。中国目前面临碳达峰碳中和以及美丽中国目标的双重压力，下一步应继续发挥标准升级优化产业发展的优势，强化实际道路行驶污染物排放控制，加强汽油车 VOCs 排放和柴油车 NO<sub>x</sub> 排放控制，尽早引入近零排放车辆，合理设计碳排放控制目标和实施机制，实现与污染物、油耗的协同控制，为中国“双碳”和美丽中国目标做出贡献。

感谢中国环境科学研究院机动车排污监控中心副主任尹航对本章节内容的宝贵贡献。

## 16 汽车减排方面国际法规发展趋势如何？

目前，欧洲和美国均已经开展下一阶段排放标准的制修订工作，排放控制趋势仍然从尾气和蒸发两方面加强控制，但随着多国提出“双碳”目标的现实背景，污染物排放标准 and 温室气体协同控制已经提上日程。

欧七轻型车法规持续加严测试条件。在实际行驶污染物排放要求方面，重复考虑行驶距离、动态驾驶、温度/海拔条件、车辆负载等内容，测试结果更能体现真实排放。欧七重型车法规除将进一步加严污染物限值外，也将降低 PN 的测试粒径 (23nm→10nm)，增加氧化亚氮 (N<sub>2</sub>O)、甲烷 (CH<sub>4</sub>) 等温室气体的管控，增加甲醛、乙醛等醛类物质的管控。预计下阶段排放标准重点移至整车排放，为了进一步控制整车及冷启动排放，将扩展车载排放测试系统 (PEMS) 的测试边界条件，并且缩短测试时间。

美国在轻型车方面正在实施 Tier 3 阶段标准 (2017-2025)<sup>29</sup>，与加州 LEV VIII (2015-2025) 阶段法规接轨，要求到 2025 年车队 NO<sub>x</sub>+非甲烷有机气体 (NMOG) 平均排放应满足 30 mg/mile。目前，加州正在研究制定 LEV IV 法规，核心在于车队平均核算中将逐步取消零排放汽车 (ZEV) 比例，到 2029 年仅对燃油车 NO<sub>x</sub>+NMOG 车队平均排放要求达到 30 mg/mile 进一步收紧车队限值。重型车方面，目前美国正在实施环境保护局 (EPA) 2010 法规，该法规排放控制水平与中国重型车国六标准基本相当。2020 年 8 月 27 日，美国加州通过了重型车超低 NO<sub>x</sub> 排放法规，要求将重型发动机的 NO<sub>x</sub> 排放限值进一步降低 90%。此外，标准还引入了新的低负荷测试循环，其特点是发动机负荷低、测试持续时间长 (5.505 s)，以确保需要对发动机及其后处理系统进行连续的主动热管理。针对整车排放测试，加州使用基于时间的可移动平均窗口法 (3B-MAW) 取代 NTE 法，3B-MAW 窗口法将更有利于考核整车实际道路行驶的怠速、低负荷等工况污染物排放。2022 年 12 月，美国 EPA 公布了重型车最新排放法规，其技术内容全面向加州法规看齐。

温室气体方面，欧洲采用基于企业平均整备质量车队管理模式，到 2030 年，各车企新售乘用车和轻型商用车平均碳排放量较 2021 年分别降低 55%和 50%，到 2035 年降低 100%，即实现零碳排放。到 2025 年，新售重型车企业平均碳排放相比 2020 年降

---

<sup>29</sup> US EPA, Office of the Administrator, Office of Policy and Environmental Innovation. Control of Air Pollution From Motor Vehicles: Tier 3 Motor Vehicle Emission and Fuel Standards[J]. 2014.

低 15%，2030 年降低 30%。美国由 EPA 负责制定温室气体（GHG）法案、国家高速公路安全管理局（NHTSA）制定企业平均燃料经济性（CAFE）标准，两个部门负责实施监管，分别制定温室气体排放法规和燃料消耗量法规，两个法规控制水平协同一致，汽车制造商必须同时满足两个法规要求。另外配套法规的实施采用基于平均、存储、交易（ABT）机制的灵活方式，赋予企业较大的宽松度、灵活度和自主权。

## 17 中国传统燃油车减排技术现状如何？

欧美用 30 年左右的时间不断升级汽车污染物和温室气体排放标准，2016 年，生态环境部、国家市场监督管理总局联合发布《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB 18352.6-2016），2018 年 6 月，生态环境部、国家市场监督管理总局联合发布《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB 17691-2018）。中国汽车排放标准也从国 1 升级到国 6，轻型车和重型车常规污染物排放下降了 90%以上（见图 8，图 9），目前达到与欧美相当的排放控制水平。随着排放标准的升级，排放控制技术也在不断进步，轻型车从化油器向电控三元转变，重型车从机内净化发展为以颗粒捕集器和选择性催化还原装置为核心的技术路线。

与国五标准相比，国六排放标准大幅加严污染物排放限值，轻型车各项污染物限值加严 40-50%左右<sup>30</sup>，重型车 NO<sub>x</sub>、颗粒物（PM）限值分别加严 77%、67%<sup>31</sup>，且新增颗粒物数量（PN）限值和氨（NH<sub>3</sub>）排放限值。

<sup>30</sup> 生态环境部.轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段） GB 18352.6-2016[S].北京:生态环境部,2018.

<sup>31</sup> 生态环境部.重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段） GB 17691-2018[S].北京:生态环境部,2018.

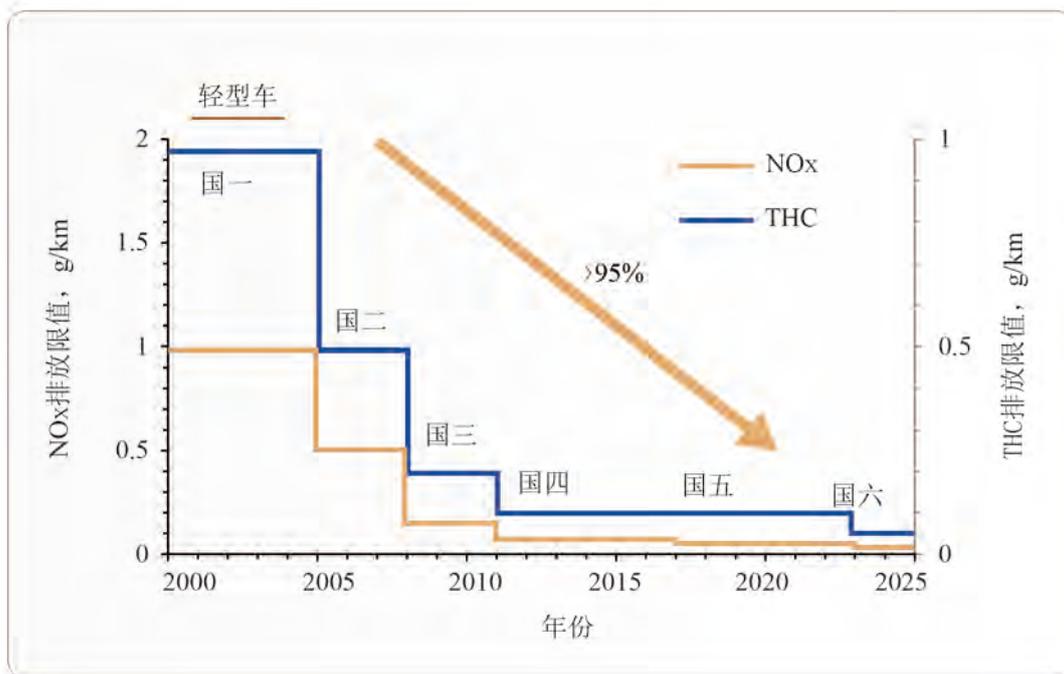


图 8 轻型车排放控制发展历程

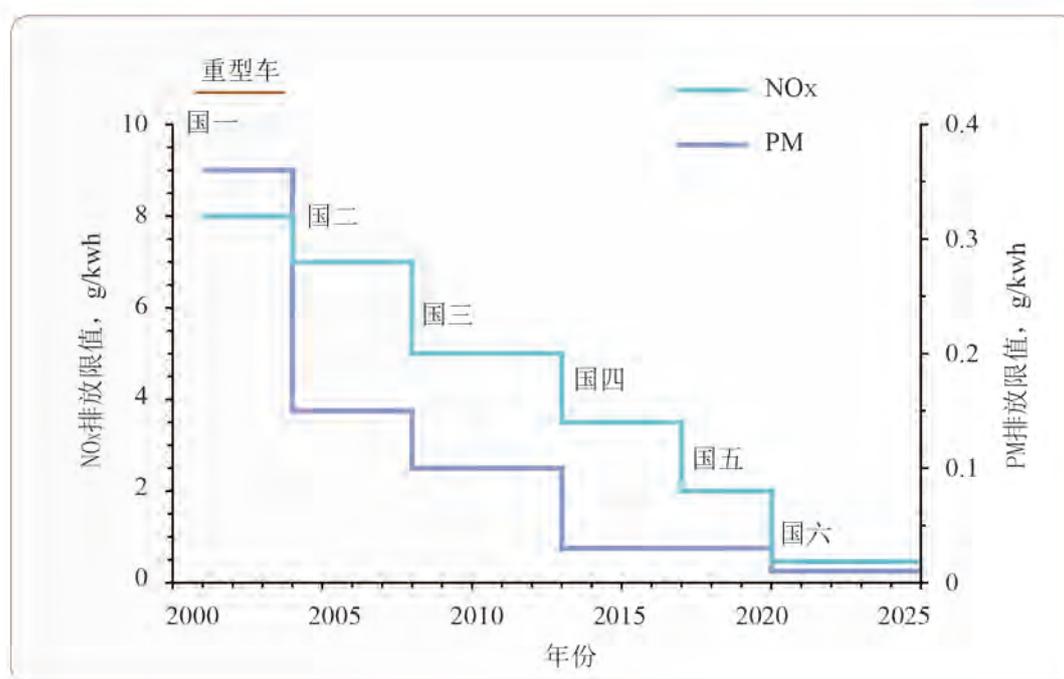


图 9 重型车排放控制发展历程

汽油车排放控制技术主要包括尾气、蒸发、曲轴箱污染物排放控制技术。汽油机机内净化技术经历从单点、多点喷射到缸内直喷，从简单的机内优化到进气增压、可变气门技术以及废气再循环(EGR)技术的应用，这些技术有效地改善了汽油机的燃烧过程，降低了原机污染物的排放。同时机外净化技术也经历了快速的升级，尾气催化技术已经从国一阶段时的普通三元催化器升级为目前典型的多级三元催化，部分直喷发动机搭载

汽油颗粒捕集器（GPF）技术。此外轻型汽油车从国四阶段起开始使用 EGR 技术，该技术在国六阶段的使用率较国五阶段增加 6%。

表 11 轻型车国五、国六阶段各技术占比

技术内容	国五	国六
电控燃油喷射	100%	100%
EGR	7%	13%
可变气门正时系统	100%	100%
缸内直喷	40%	36%
三元催化转换器	100%	100%
曲轴箱通风	100%	100%
GPF	0%	44%
ORVR	0%	100%

柴油机车的污染物控制技术主要分为机内控制技术和机外控制技术两大类。机内控制技术包括增压中冷、废气再循环、电控喷射等，机外控制技术包括柴油机氧化催化器（DOC）、柴油颗粒捕集器（DPF）、选择性催化还原装置（SCR）等。柴油机机内净化技术经历了燃油系统从机械控制到电控系统，从单体泵到高压共轨，以及增压中冷、EGR 的应用，这些技术有效地改善了柴油机的燃烧过程，提高柴油机的动力性和经济性，有效降低了原机污染物的排放。随着标准技术要求的不断加严，机内净化技术也经历了快速的升级，燃油喷射压力提高、进气两级增压、可变截面涡轮增压器（VGT）、冷却 EGR 等技术不断涌现，机内净化技术不断向精细化控制发展。

当前国六轻型柴油车最主流的控制技术路线（见表 12）主要为：增压中冷+EGR+电控燃油喷射+DPF+SCR，目前国内采用该技术路线的国六柴油机占比可达 60%，另有一部分轻型柴油车还采用了 DOC，占比将近 40%。

表 12 轻型柴油车国五、国六阶段各技术占比

技术内容	国五	国六
增压中冷	100%	100%
EGR	100%	100%
电控燃油喷射	100%	100%
DOC	100%	38%
DPF	100%	100%
SCR	2%	100%

重型柴油机的机外净化技术也随着标准技术要求的加严而越发复杂，从单一的 DOC，再到 SCR、DPF 和氨气氧化催化器(ASC)应用，组合从 DOC+DPF 到 DOC+SCR 再到 DOC+DPF+SCR+ASC，共同组成了柴油发动机排气后处理系统。当前国六重型柴油车最主流的控制技术路线（见表 13）主要为：增压中冷+EGR+DOC+DPF+SCR，目前国内采用该技术路线的国六柴油机占比可达 70%，另有一部分采用的技术不包括 EGR，占比约 30%。

对于重型燃气车，国五以前的技术一般为稀燃烧加两元催化器，随着排放标准的加严，国六燃气车普遍完善了 NO<sub>x</sub> 的排放控制策略，采用了理论空燃比+三元催化器，市场上全部厂家生产的国六燃气车均采用这一技术路线。

表 13 重型柴油车国五国六阶段各技术占比

技术内容	国五	国六
增压中冷	100%	100%
EGR	6.5%	67.9%
DOC	33.6%	100%
DPF	7.3%	100%
SCR	93.6%	100%

## 18 未来汽车减排技术发展方向是什么？具有怎样的减排潜力？

随着下阶段污染物排放标准的不断深入研究，各国普遍达成共识：污染物排放控制为近零排放控制目标，更加注重实际污染物排放的控制，更加注重低温和冷启动排放，排放测试边界和测试条件更加苛刻。更加注重影响人体健康方面（VOCs 组分、PN 等）的排放控制。

针对排放控制重点，各个企业都加大了常规燃料汽车排放控制技术的研发和产品的转型。常规燃油汽车主要包含动力系统的转型以及发动机标定及后处理技术的精准优化。除电动化转型直接变为零排放之外，动力系统逐渐趋向混动化发展，利用电驱动部分替代传统燃油发动机的污染高排放和燃油经济性差的运行区域，来实现车辆节能减排是可能是未来一段时期主流方向。其次，传统燃油发动机为动力系统车辆上，持续优化发动机燃烧条件，配套精准优化的后处理系统科学配比贵金属含量，使用电加热后处理等技术也可进一步提升转化效率，降低尾气排放。针对 VOCs 排放管控技术方面，未来将引入碳罐逸出排放控制装置，逐步实现汽油车燃油系统的零蒸发排放管控目标。

针对重型车，目前的排放控制技术，将很难满足下阶段排放要求。未来排放标准对汽车油耗、发动机本机设计、后处理排放控制等方面都会提出严峻挑战，对发动机和后处理技术同步优化，提升发动机热管理措施，降低原机 NO<sub>x</sub> 排放，并为后处理系统提供合适的温度区间，都将是未来柴油车排放控制技术发展的核心。基于此，国内外相关研究机构均在开展满足下阶段法规的排放控制技术路线研究。

表 14 未来减排技术路线研究情况

序号	技术方案	技术特点	研究机构
1	EHC+DOC+DPF+SCR/ASC	冷启动或者低速低载荷工况下，电加热催化器可以直接加热废气，从而让催化器尽快起燃、提升转化效率，使尿素提前喷射，从而提高NOx转化效率。	柴油机企业
2	PNA+微型燃烧器+SCRF+SCR+ASC	在催化剂未老化的情况下，NOx排放为0.015g/kWh，但老化后的后处理系统，NOx排放无法满足0.027g/kWh的限值要求。	美国西南研究院 <sup>a</sup>
3	燃烧器+DOC+DPF+SCR/ASC	燃烧器的加热单元（CSTU）通过喷嘴在排气管中喷射入柴油，通入高压气体实现雾化后，柴油在电火花作用下燃烧，从而产生热量，起到较好的对尾气的加热作用。	天纳克
4	双喷SCR技术	应对低温时NOx排放转换效率低的问题，从而实现整个后处理系统的低NOx排放性能。	Daimler Navistar 一汽锡柴 清华大学 <sup>b</sup> 康明斯

<sup>a</sup> Christopher, Sharp, Cynthia, et al. Achieving Ultra Low NOx Emissions Levels with a 2017 Heavy-Duty On-Highway TC Diesel Engine and an Advanced Technology Emissions System - Thermal Management Strategies[J]. SAE International Journal of Engines, 2017, 10(4).

<sup>b</sup> 刘世宇, 王国仰, 谭致, 等. 满足超低 NOx 排放标准的紧凑耦合 SCR 系统控制策略研究.

中国环境科学研究院组织的重型车下阶段标准预研中，以潍柴动力 10L 柴油机为基础，开展下阶段技术路线开发工作，采用紧耦合位置较下游有较高的温度，能够提升转化效率，为 ccSCR 快速反应提供更好的条件，可满足 0.12g/kWh NOx 限值。采用高低压 EGR 技术降低原排，电加热金属载体催化器（EHC）加速后处理系统起燃，减少低温、低负荷工况污染物排放，采用 48V 系统提供 14kW 最大加热功率，可基本满足 0.046g/kWh NOx 限值。

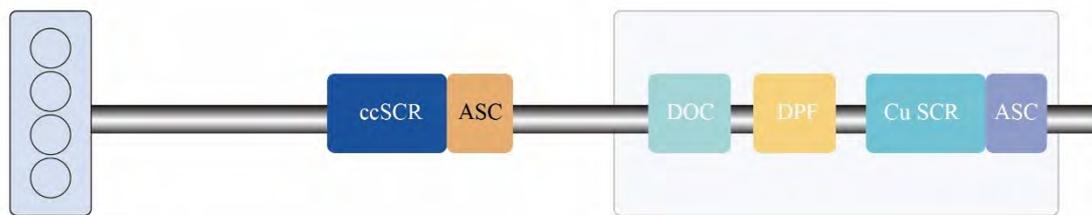


图 10 NOx 满足 0.12g/kWh 的排放控制技术路线

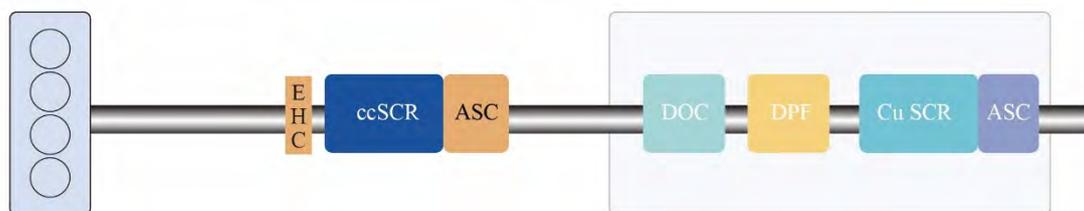


图 11 NOx 满足 0.046g/kWh 的排放控制技术路线

另一方面，企业产品研发和布局目标还必须综合考虑油耗降低及碳排放控制要求。各大企业在考虑燃油车大幅度降低污染物和碳排放的同时，也都在考虑能源转型，大力发展混合动力汽车、纯电动汽车以及氢能汽车等。氢燃料发动机汽车、可再生能源发动机汽车也是研究热点。

## 19 车燃实验室测量值与实际道路排放差异如何评估和解决？

### (1) 污染物实际排放和油耗现状

国五阶段以前，污染物排放主要以发动机台架或底盘测功机在固定测试工况、测试条件评价为主，国六排放标准增加了实际道路测试（RDE）。车辆油耗测试目前仍然以实验室台架评价为主。另一方面，国内外众多研究机构都加大了对实际行驶中污染物排放和油耗（CO<sub>2</sub>）的研究。

图 12 和 图 13 分别为部分试验车辆实验室全球统一轻型车辆测试循环（WLTC）工况及 RDE 测试下的污染物和 CO<sub>2</sub> 排放情况。

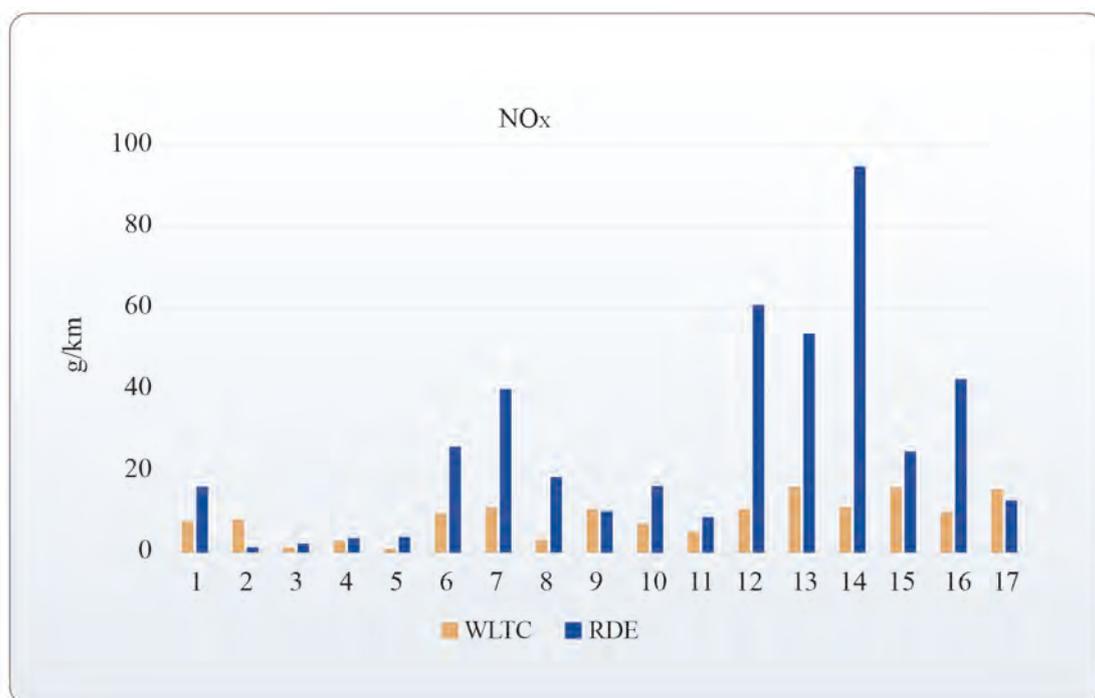


图 12 WLTC 工况及 RDE 下的污染物排放情况

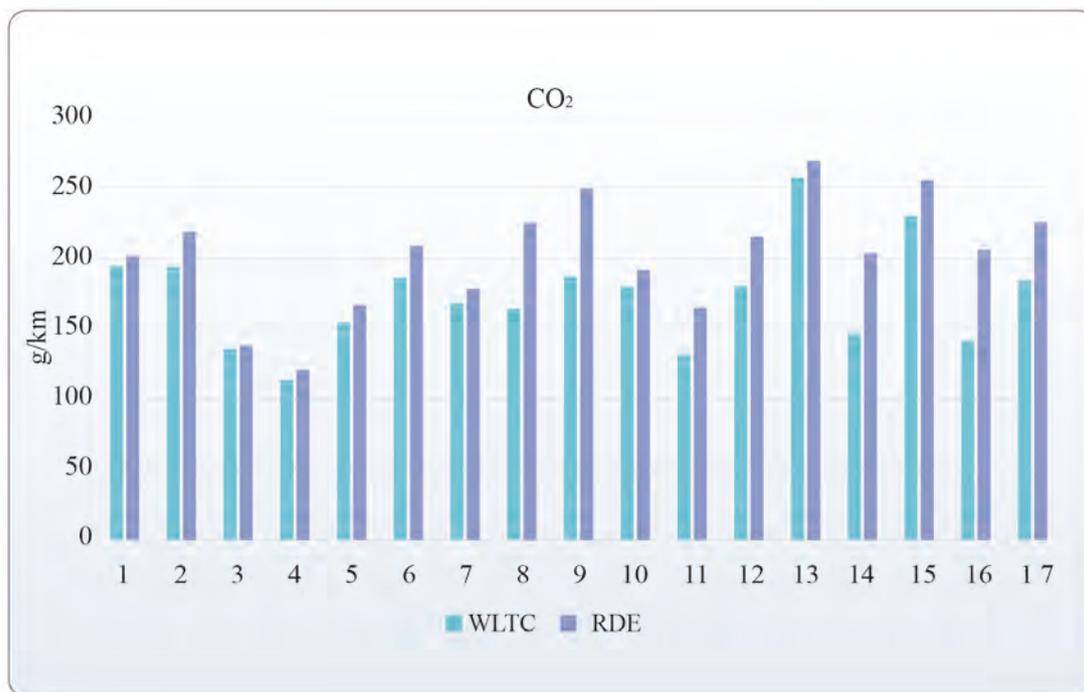
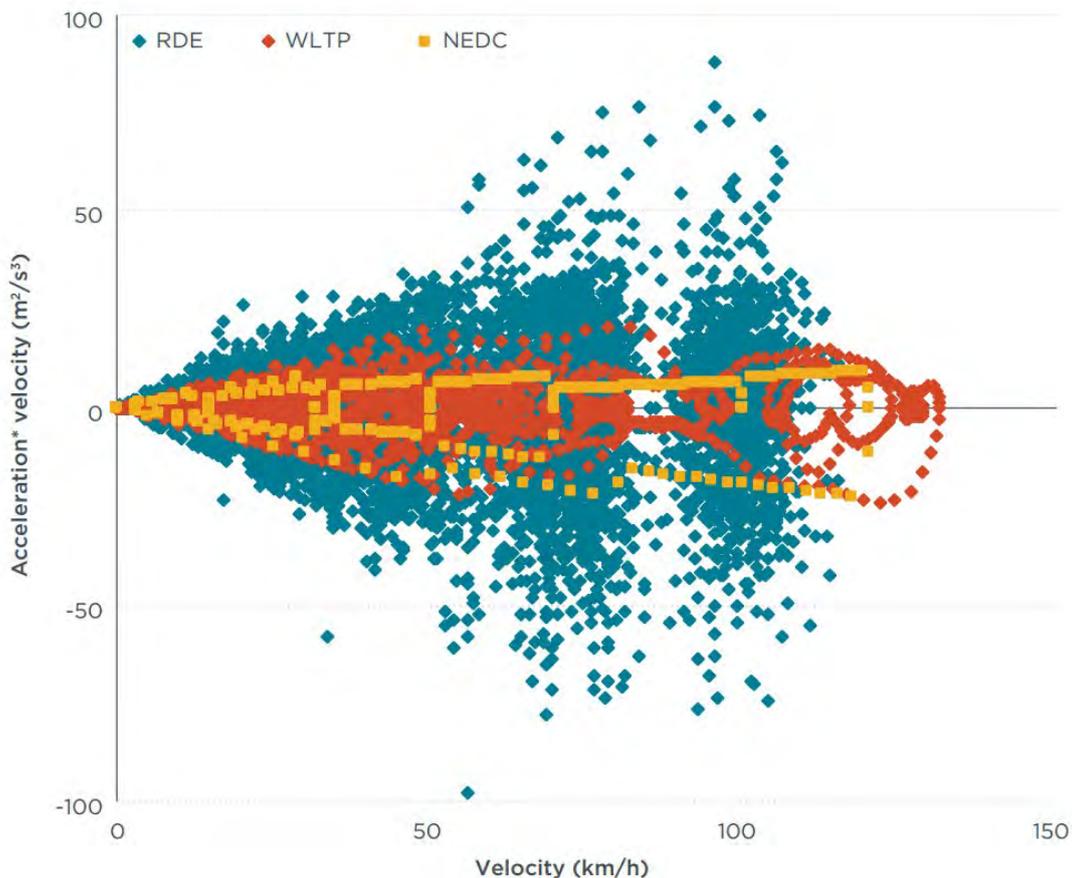


图 13 WLTC 工况及 RDE 下的 CO<sub>2</sub> 排放情况

可以看出，实际行驶工况下，NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 排放均显著高于实验室工况。进一步分析实际行驶 RDE 和实验室工况下车辆的行驶动力学特点<sup>32</sup>（见图 14），可以看出在 RDE 下，车辆的加速特征与实验室工况下明显不同，急加速和减速分布明显增多。针对实验室工况的发动机负荷特点无法满足实际行驶下的要求。与污染物不同，CO<sub>2</sub> 和油耗的差异更多的是由于实际行驶工况和实验室下的 WLTC 工况在行程比例及特点上存在明显差异，发动机热效率、燃油经济性较好的市郊工况占比较少，导致 CO<sub>2</sub> 排放明显高于实验室 WLTC 排放。

<sup>32</sup> Yang, Z., & Yang, L. (2018). Evaluation of real-world fuel consumption of light-duty vehicles in China. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/evaluation-of-real-world-fuel-consumption-of-light-duty-vehicles-in-china/>

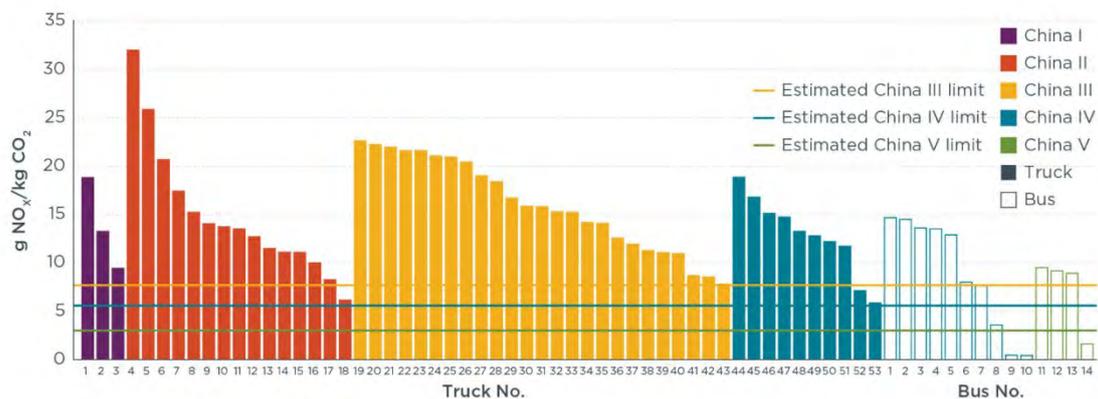


来源：国际清洁交通委员会，Evaluation of Real-World Fuel Consumption of Light-Duty Vehicles In China 2018

图 14 轻型车不同工况动力学特点分布

重型车的结果也表现出相似的特征<sup>33</sup>（见图 15），可以看出不论是重型货车或公交车，实际道路测试的 NO<sub>x</sub> 排放，均远高于标准限值。实际道路测试的行驶工况更具随机性，低负荷工况区域覆盖更广，整车企业需要开展全工况标定，而在五阶段之前，整车企业往往仅针对标准工况进行针对性开发，是导致实际道路测试污染物排放结果较实验室差异明显的主要原因。

<sup>33</sup> Yang L . Real-World Emissions in China: A Meta-Study of PEMS Emissions Data from China 0 to China 5/V Light- and Heavy-Duty Vehicles. 2018.



来源：国际清洁交通委员会，Real-World Emissions in China: A Meta-Study of PEMS Emissions Data from China 0 to China 5/V Light- and Heavy-Duty Vehicles 2018

图 15 重型车实际道路测试结果

综上所述可知，无论轻型车和重型车，污染物排放和油耗都存在实验室工况测试和实际消耗（排放）的较大差异，如何通过排放法规引导企业强化对实际道路行驶下真实工况的标定是国内外排放法规和碳排放控制的重点。

## (2) 目前实际道路排放测试法规的局限性

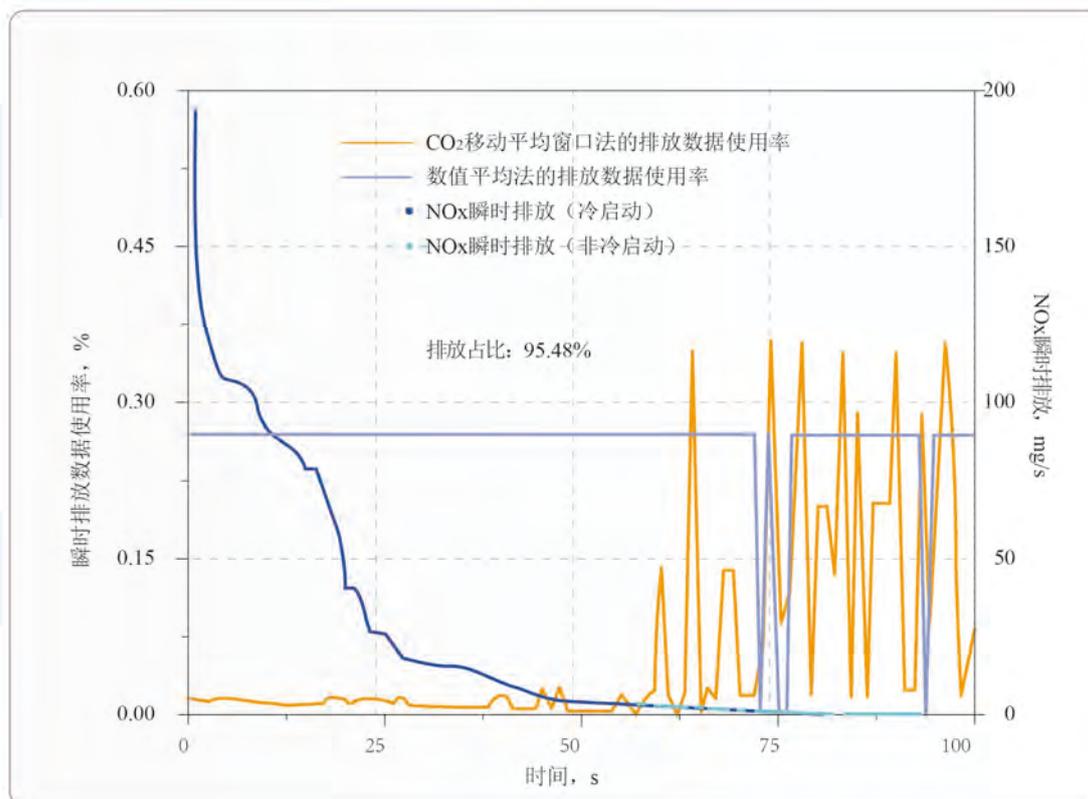
### 轻型车

在当前国际机动车排放控制中，欧洲、中国等均已在最新法规中规定了 RDE 要求，并作为实验室测试程序的补充，通过引入符合性因子（CF）来逐步减小车辆实际道路污染物排放量与排放法规限值间的差距，实际行驶排放测试将是进一步减少道路交通污染物排放进而促进空气质量状况改善的重要措施。在中国轻型车国六 RDE 法规中，规定 NO<sub>x</sub> 和 PN 的 CF 暂定值均为 2.1，但考虑到是首次引入，规定 2023 年 7 月 1 日前仅监测并报告污染物排放结果。此外考虑中国地形地貌和车辆使用特征，中国 RDE 法规在海拔、车速等方面与欧洲法规有所不同。

考虑到当前轻型车 RDE 测试中不包括冷启动，且 CO<sub>2</sub> 平均移动窗口法处理方法大幅削弱了高排放数据比例<sup>34</sup>，一定程度严重低估了实际排放情况，如图 16。另一方面，测试规程中的行程及动力学特点与中国实际道路车辆驾驶特点有一定差异，行程有效性的过多验证，导致实际驾驶特点不易表征。目前轻型车 RDE 测试中仅对 NO<sub>x</sub> 和 PN 进

<sup>34</sup> 王煜安. 轻型车实际道路排放评价方法研究 [D];北京理工大学,2021

行评价，无法全面反映 VOCs 实际排放特性，对中国控制臭氧污染极为不利。



来源：北京理工大学

图 16 CO<sub>2</sub> 窗口法计算下的 NO<sub>x</sub> 数据使用率

### 重型车

重型车第六阶段标准也提出了整车 PEMS 测试要求。根据车辆类型不同，标准对试验路线做了规定，包括市区路、市郊路和高速路，不同车型在测试时的三种路线的比例要求是不同的。重型车六阶段实际道路测试污染物包括 CO、THC、NO<sub>x</sub> 和 PN，结果以不超过实验室 1.5-2 倍为限值。另外，试验开始点和结束点之间的海拔高度之差不能超过 100m，并且试验车辆的累计正海拔高度增加应不大于 1,200m/100km。测试负荷依据 6a 和 6b 阶段有所不同，6b 阶段的载荷要求 10%-100%，覆盖更低载荷范围，对后处理的低温性能提出更高要求。

与轻型车 RDE 法规类似，重型车第六阶段车载法排放测试也不包括冷启动，采用功基窗口法数据处理时，平均功率低于额定功率 10%的窗口被剔除，导致冷启动和低负荷工况的排放数据没有得到有效评价，也严重低估了实际道路排放。远程监控数据（见图 17）也反映相似的结论，可以明显看出，NO<sub>x</sub> 排放低于 1g/km 的 N3 类车约占 50% 左右，而在型式检验时，几乎所有的 N3 类车，NO<sub>x</sub> 排放均低于 1g/km。

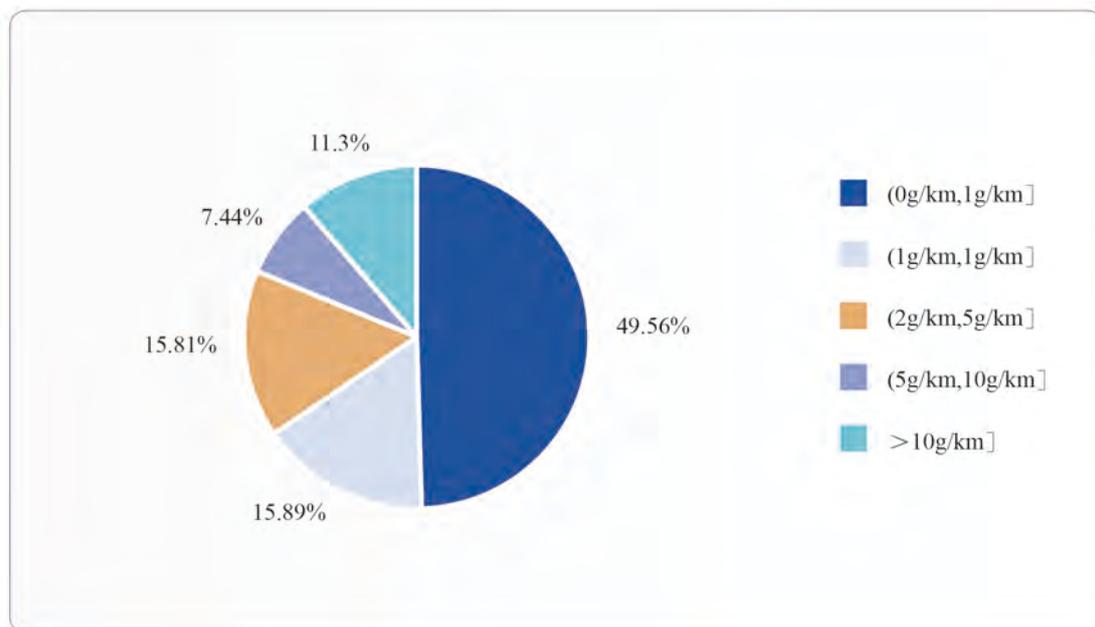


图 17 远程监控数据国六 N3 类车 NO<sub>x</sub> 排放结果

### (3) 下阶段标准强化 RDE 测试思路

轻型和重型实际道路测试法规对企业扩大标定范畴，降低实际道路行驶排放起到了一定的作用。但由于标准测试技术、测试规程、评价方法的局限性，导致目前的实际测试标准尚未全面真实反映车辆实际道路排放情况。在下一阶段的排放法规研究中，轻型车和重型车都将进一步完善测试规程，尽可能覆盖更多的行驶工况，引导企业逐步实现全工况标定。

目前，中国在持续开展实际道路测试的技术研究，拟在下阶段排放标准完善 RDE 测试要求，实现更真实的实际行驶排放评价。研究重点包括视情况增加污染物种类和要求；根据中国实际驾驶特点进一步扩展 RDE 测试边界条件，补充冷启动相关要求；优化完善污染物结果处理方法，规范 PEMS 设备的管理等。在重型车方面，扩展边界条件、扩展测试负荷要求，引入冷启动排放控制要求，考虑采用 3B-MAW 窗口法代替功基窗口法进行排放计算，引入怠速、低负荷、中高负荷排放评价方法，以便重点加强低负荷工况的排放控制。另外，结合污染物和温室气体协同管控的背景下，研究探索基于 PEMS 的实际道路污染物和温室气体协同的测试方法，进一步约束下一阶段车辆实际道路上的污染物和温室气体的协同减排。

(4) 利用在线手段开展实验室和实际道路排放差异评估和管理

目前，中国重型车第六阶段已实现污染物排放远程监控，现已接入 200 余万辆重型车，基本实现了重型车 NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 排放特征分析、高排放车识别、累计排放统计等基础功能，对实际道路行驶中的 NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放监管起到重要作用。

欧洲正在讨论的重型车欧七法规中，计划将加入车载排放监测 (OBM) 相关要求，为协助主管部门实时监控车辆的排放控制，及时发现故障，并提示车主进行维修。OBM 要求基于已有或正在研发的传感器实现车载端的排放监测，受传感器准确性限制，计划仅针对 NO<sub>x</sub>、NH<sub>3</sub> 进行监测。OBM 直接监控污染物排放，辅以测试状态指示 (TCI) 表明车辆状态正常、辅助策略激活、需要维修三种状态，用于在线监控污染物的排放增加，而非单一故障。通过基于计算模型或 OBD (车载自动诊断系统) 算法，可进行高排放车辆识别，确保车辆得到及时维修。

轻型车方面，欧洲已于 2021 年 3 月开始实施车载燃油消耗监测装置 (OBFCM) 法规<sup>35</sup>，通过搭载在车辆上的软件和硬件分析记录车辆燃油消耗实时情况，并对其准确性与实验室定容采样 (CVS) 排放测得碳平衡法油耗进行匹配，通过在用阶段定期或不定期进行数据上报，衡量企业或整个车队油耗和 CO<sub>2</sub> 排放情况的手段。

为加强对 OBFCM 准确性和有效性，全球轻型车测试程序 (WLTP) 第二阶段法案定义了车载数据准确度要求，并提出在全生命周期进行应得到有效监测。数据准确度应通过 WLTP 测试规程获得，车辆电控单元 (ECU) 提供的总油耗，与 WLTP 测试取得的油耗数据偏差在±5%以内。自 2022 年起，欧洲要求每年 4 月 1 日企业应向欧盟委员会上报上一年的车辆实际 CO<sub>2</sub> 排放及 VIN 信息等数据。基于 OBFCM 法规，欧盟委员会将监测 WLTP 认证数据与实际行驶 CO<sub>2</sub> 之间的差异，并通过致力于采取相关纠正举措，以防实际道路 CO<sub>2</sub> 排放和实验室下的 CO<sub>2</sub> 差异继续增大。

---

<sup>35</sup> European Union. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU)2021/392 of 4 March 2021 on the monitoring and reporting of data relating to CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars and light commercial vehicles pursuant to Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Implementing Regulations (EU) NO. 1014/2010, (EU) NO. 2017/1152 and (EU)2017/1153[S].2021.

## 20 低碳燃料或（替代燃料）能够在未来发挥多大的减排作用？

### （1）低碳燃料发展现状

美国、加拿大和欧盟等国家和地区在低碳燃料方面的研究处于领先地位，且具有很好的实践案例。

美国联邦政府在 2005 年就提出了《可再生燃料标准》（RFS）政策，之后美国加州于 2009 年出台了低碳燃料标准（LCFS）法规，并于 2011 年全面启动。此法规管理的燃料类型包括汽油、柴油、氢能、E100 等。研究表明，2020 年加州交通燃料平均碳强度比 2010 年降低了 7.42%，且减少了加州交通领域 4,300 万吨的温室气体排放<sup>36</sup>。

加拿大于 2022 年 6 月发布了最终的清洁燃料法规（CFR）。法规要求液化化石燃料主要供应商逐步降低汽油和柴油的碳强度，在燃料碳强度基准值的基础上，2023 年和 2030 年燃料碳强度应分别降低 3.5 g CO<sub>2</sub>e/MJ 和 14 g CO<sub>2</sub>e/MJ。该法规全面实施后，预计到 2030 年需要额外增加约 22 亿升低碳强度柴油和 7 亿升乙醇燃料，并减少高达 2,660 万吨的温室气体排放量。

另一方面，由于新冠疫情和碳中和政策，道达尔、壳牌等石油公司的炼厂都先后关停或转产可再生能源，向生物燃料领域扩张，改造原有炼厂生产可再生柴油、航空生物柴油及加氢植物油等。

中国低碳燃料的发展主要是乙醇汽油的推广。2017 年 9 月，国家发布了《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》，明确“到 2020 年，在全国范围内推广使用车用乙醇汽油，基本实现全覆盖”。目前，中国仅黑龙江、吉林、辽宁、河南、安徽、广西、天津 7 省市区全境，以及湖北、山东、江苏等部分省份及城市使用车用乙醇汽油，大部分地区并未使用。究其原因，主要是因为原料供应有缺口，仅消除陈化粮并不足以支撑全国推广乙醇汽油。

此外，甲醇汽油和生物柴油在中国部分省市也在试点推广。如山西早期推广的 M15 汽油（甲醇含量 15%）多年来已经有较为成熟的应用，且《关于在部分地区开展甲醇汽车应用的指导意见》文件提出重点在山西、陕西等资源禀赋条件较好且具有甲醇汽车运行经验的地区，加快 M100 甲醇汽车的应用。但使用纯甲醇燃料需要更换甲醇汽车，因

<sup>36</sup> 李越，秦兰芝，安锋. 加州低碳燃料标准解读及中国可行性研究[R]. 北京：能源与交通创新中心，2021.

此目前推广区域相对限定，短期难有可复制性。生物柴油目前主要在上海市的公交车、环卫车试点推广，因原料获取、成本等因素短期内在国内较难大范围应用。

## (2) 低碳燃料的应用及对燃油车的影响

低碳燃料的应用对传统燃油车的影响主要体现在两个方面：发动机性能和污染物排放。以商业层面上广泛应用生物燃料中的生物柴油为例，生物柴油与传统油的混合燃料已经成功应用于交通运输部门。且对于生物柴油的生产，美国和欧洲分别制定了相应的标准（EN 14214 和 ASTM 6751）。

由于生物柴油的物理性质和化学成分与传统柴油有明显的不同，无论是纯柴油还是混合柴油、生物柴油都需要改变喷油和点火过程。因此，污染物的排放及其数量、性质和组成均受到显著影响。研究表明<sup>37</sup>，生物柴油在传统内燃机中的性能非常显著，污染物的减排率最高能达到 78%。与传统柴油相比，生物柴油混合油能够有效减少 CO、CO<sub>2</sub> 和未燃烧的碳氢化合物排放，以及增加 NO<sub>x</sub> 的排放（目前可通过相关技术抵消）<sup>38</sup>。在颗粒物方面，生物柴油可以减少柴油喷雾火焰中形成的烟灰量，并可减少总颗粒物排放。

生物柴油可以直接用于任何柴油发动机，无论是纯柴油还是与石油柴油以任何比例混合。研究发现<sup>39,40</sup>20%的生物柴油混合物可以使发动机的性能提高 3%，有利于柴油发动机的长期应用。除此之外，生物柴油的润滑性比传统柴油高得多，可延长发动机寿命。

乙醇与常规汽油调合组分相比，具有蒸发潜热高、热值低、密度偏大、辛烷值高等特性，易与汽油组分形成共沸物从而改变油品馏程和蒸气压等特性。有研究开展了不同有机氧化合物的汽油对整车排放及燃油经济性的影响，发现 E5、E10 和普通汽油的百公里油耗方面差异不大，无论是常规气态污染物还是颗粒物排放，均未表现出明显差异。

---

<sup>37</sup> Nabi M N, Rasul M G, Anwar M, et al. Energy, exergy, performance, emission and combustion characteristics of diesel engine using new series of non-edible biodiesels[J]. Renewable Energy, 2019, 140(9): 647-657.

<sup>38</sup> Tamilselvan P, Nallusamy N, Rajkumar S. A comprehensive review on performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2017, 79(11): 1134-1159.

<sup>39</sup> Che W, Noor M M, Mamat R. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A review[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2018, 94: 127-142.

<sup>40</sup> Stanin H, Mikuli H, Wang X, et al. A review on alternative fuels in future energy system[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, 128.

总的来看，无论是对发动机的影响，还是污染物的排放，替代燃料和传统燃料都较为接近，可以采用现有的内燃机技术和基础设施，在碳中和过程中发挥过渡作用。

## 21 如何协调解决常规污染物与温室气体联合管控的要求？

### (1) 协同控制压力与紧迫性

据统计，2022年全国机动车保有量达4.17亿辆，其中汽车3.19亿辆，占机动车保有量的76.5%。全国84个城市汽车保有量超过100万辆，北京、成都、重庆、上海超过500万辆<sup>41</sup>。据第二次污染源普查结果公布，移动污染源排放的NO<sub>x</sub>和VOCs排放占比已经分别达到60%和24%<sup>42</sup>。另外据城市大气细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）源解析结果，北京、上海、杭州、济南、广州和深圳的移动源排放已成为PM<sub>2.5</sub>首要来源，占比分别为46.0%、29.2%、28.0%、32.6%、21.7%和52.1%。据测算机动车已成为交通领域CO<sub>2</sub>排放的主要来源，2019年机动车CO<sub>2</sub>排放9.78亿吨，约占交通运输CO<sub>2</sub>排放的84.6%，占总碳排放的10%左右<sup>43</sup>。当前中国面临应对气候变化与大气污染治理双重压力，加强机动车CO<sub>2</sub>和大气污染物排放协同控制，对中国实现“双碳”和环境质量改善目标具有重要意义。

### (2) 国内外协同管控现状

中国尚未建立机动车温室气体排放标准，主要通过油耗标准间接控制。中国先后于2005年和2008年实施了《乘用车燃料消耗量限值》第一阶段和第二阶段标准，对促进汽车节能技术的发展和运用，提高乘用车燃料经济性水平发挥了重要作用。第一、二阶段标准采用按整备质量分组的单车燃料消耗量评价体系，将车辆划分成16个不同的质量段，并对每个质量段内的车辆设定统一的单车最高燃料消耗量限值。如果某种车型的油耗不达标，将禁止生产、销售。2012年，中国实施乘用车燃料消耗第三阶段标准，在单车限值管理的基础上，引入“企业平均燃料消耗量（CAFC）”和“企业平均燃料消耗量目标值（T<sub>CAFC</sub>）”的概念，将汽车企业作为评价对象，在满足整体油耗下降的前提下，

<sup>41</sup> 中华人民共和国中央人民政府，[http://www.gov.cn/xinwen/2023-01/11/content\\_5736281.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2023-01/11/content_5736281.htm), 2023.

<sup>42</sup> 生态环境部，国家统计局，农业农村部. 第二次全国污染源普查公报.

[https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/rdzl/wrypc/zlxz/202006/t20200616\\_784745.html](https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/rdzl/wrypc/zlxz/202006/t20200616_784745.html). 2020.

<sup>43</sup> 黄志辉,纪亮,尹洁,吕晨,王军方,尹航,丁焰,蔡博峰,严刚.中国道路交通二氧化碳排放达峰路径研究[J].环境科学研究,2022,35(02):385-393.DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.2021.11.06.

赋予企业更多的灵活性。为加强汽车行业的节能减排和新能源汽车的推广应用, 2017 年中国发布《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》, 实现了两者之间的结转与交易。

2021 年中国乘用车燃料消耗量标准进入第五阶段。为确保油耗、排放标准试验工况统一, 油耗测试工况由 NEDC 工况改为 WLTC 工况, 并在 2021 年一次性完成过渡。将车型燃料消耗量限值的评价体系从按整备质量分组的阶梯式变更为基于整备质量的直线式。CAFC 要求逐年加严, 2021 ~ 2025 年企业平均燃料消耗量与企业平均燃料消耗量目标值的比值分别为 123%、120%、115%、108%和 100%。

除乘用车外, 中国还建立了轻型商用车和重型商用车燃料消耗量标准。轻型商用车自 2008 年以来, 目前已实施第三阶段燃料消耗量标准。标准采用按整备质量分组的单车燃料消耗量评价体系, 将车辆划分成 16 个不同的质量段, 并对每个质量段内的车辆设定统一的单车最高燃料消耗量限值。如果某种车型的油耗不达标, 将禁止生产、销售。重型商用车自 2012 年以来, 目前已实施第三阶段燃料消耗量标准。与第二阶段标准相比, 进一步加严了车型燃料消耗量限值, 对不符合管理规定的车辆, 禁止生产、销售。重型商用车燃料消耗量测试方法与排放标准不同。对于基本型车辆应采用底盘测功机法确定燃料消耗量。采用 C-WTVC 循环, 通过碳平衡法、质量法或容积法测定分别测量市区循环、公路循环和高速循环下的平均燃料消耗量。变型车辆可由车辆生产企业选择采用底盘测功机法或模拟算法确定燃料消耗量。模拟算法以发动机试验数据为基础, 输入整车、变速器、轮胎等关键参数, 通过计算机模拟车辆在 C-WTVC 循环下的运行状态, 计算市区循环、公路循环和高速循环下车辆燃料消耗量, 通过不同的权重系数加权平均后得到车辆的综合燃料消耗量。

美国、欧盟等国家和地区建立了相对完善机动车温室气体排放标准，对机动车温室气体和大气污染物进行了联合管控，可为中国提供经验借鉴。

一是建立大气污染物和温室气体联合测试和监管体系。为加强机动车温室气体控制，美国在燃料经济性管理的基础上 2012 年开始逐步引入温室气体排放标准。美国 EPA 对轻型车大气污染物、温室气体、燃料经济性采用统一的 FTP 城市工况和高速工况，如图 18 所示，测试结果分别报送 EPA 和 NHTSA，用于达标管理。同时，EPA 将机动车温室气体纳入大气污染物达标监管体系，联合开展企业生产一致性、在用符合性监督检查，对温室气体不达标企业实施处罚，对存在缺陷的产品实施召回，简化了监管程序，提高了监管效率。欧盟与美国类似，大气污染物与温室气体采用 WLTC 测试工况，一方面减轻了企业负担，一方面有利于规避企业认证过程中的作弊行为。欧盟和美国相关温室气体法规不仅针对 CO<sub>2</sub>，还将黑碳（BC）、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 及氢氟碳化合物（HFCs）等纳入管控范围。

二是制度灵活的达标制度和激励政策。美国在实施污染物和温室气体标准时均采用了灵活的达标制度，包括 ABT 制度、车型逐步导入、小企业豁免等制度，这些制度使得更严格的标准能够尽早地实施、创新技术更早地投入使用，企业能够更快速地安排新产品的研发和生产。除基本积分外，对采用高效空调、替代燃料、循环外技术等车型，EPA 还给予企业额外的积分奖励，从而鼓励节能减排技术的创新及应用。通过财政补贴、税费减免等经济激励政策，鼓励企业更积极地投入产品创新，促进标准顺利实施。为引导低排放车型的消费，2012 年美国环保局和交通部联合发布了燃料经济性及环保标识，涵盖燃料经济性、使用成本、温室气体和污染物排放评级等信息，对排放标准的顺利实施和低排放车的推广起到了重要的推动作用。

三是制定完善的大气污染物和温室气体达标和处罚制度。对不达标企业，欧美制定了强制性处罚措施，确保标准有效实施。依据《清洁空气法》，美国对所有大气污染物和温室气体超额排放的车型定为不合格产品，在下一车型年不能进行销售同时吊销其合格证。美国环保局可以依据企业违法严重程度，对于不合规的车辆，予以最高每辆 37500 美元的罚款。2012—2018 年，欧盟对 CO<sub>2</sub> 排放超标的新生产乘用车，按累进模式征收罚款。从 2019 年以后，超标值调整为全部按 95 欧元的标准征收罚款。

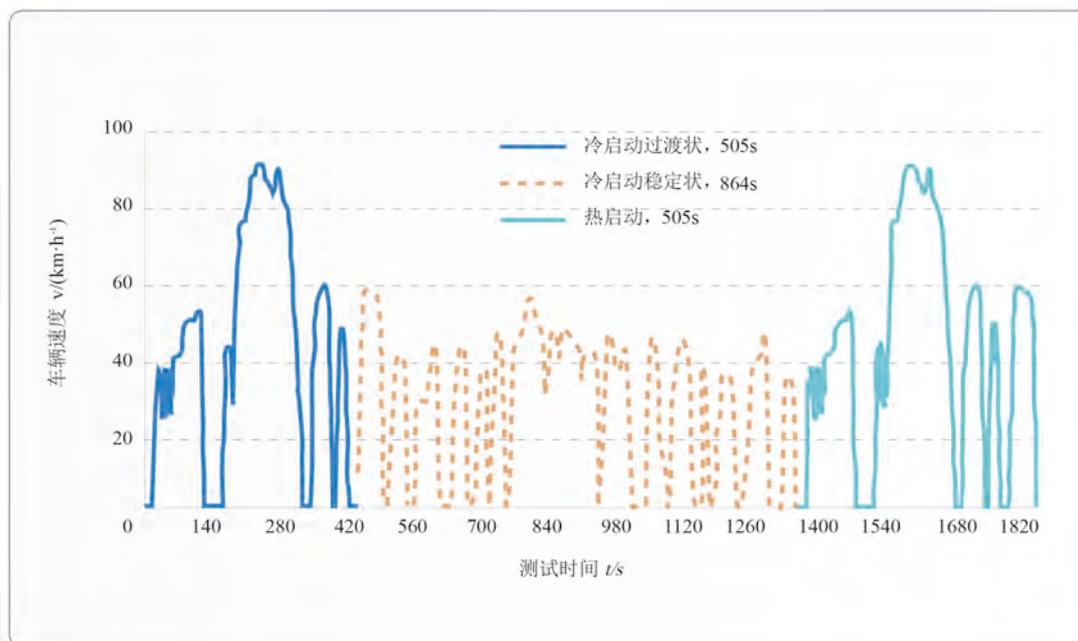


图 18 FTP 城市工况特征

### (3) 中国机动车温室气体与大气污染物协同管控思路

中国机动车碳排放管理还存在排放标准及管理体系不健全、与大气污染物管控缺乏有效协同等问题，与目前确定的“双碳”目标实现尚有较大差距，无法支撑“双碳”目标各项措施有效实施。

“十四五”时期，中国生态环境保护工作进入减污降碳协同治理新阶段，机动车领域需要统筹开展温室气体和大气污染物排放协同控制。以温室气体减排和空气质量改善为目标，建立统一的机动车温室气体和大气污染物环境管理体系，统一标准、统一监管、统一核算，推动机动车污染防治领域减污降碳协同增效，支撑深入打好污染防治攻坚战和碳达峰行动。

一是制定统一的机动车温室气体和大气污染物排放标准体系。启动机动车大气污染物和温室气体排放协同控制相关标准制修订工作。在现有大气污染物排放控制标准体系的基础上，开展温室气体测试工况、排放限值研究，协调与油耗标准的关系，将 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 及 HFCs 等纳入机动车排放标准，建立以实验室工况测试和 RDE 测试为主，低温、高海拔、空调开启等特殊测试为辅的大气污染物和温室气体排放标准体系。

——目标：统筹考虑环境空气改善、国家“双碳”目标及控制技术可达性，提出污染物控制目标；

——测试工况：WLTC 工况为主线，采用多工况评价模式；另外，研究考虑工况部分速度段的单独评价模式；

——管控方式：污染物及非 CO<sub>2</sub> 温室气体排放以单车限值管理为主，CO<sub>2</sub> 排放以车重或脚印面积为限值基础，考虑单车限值或者车队平均为主或并重的方式，设置准入门槛和逐年递减目标值，逐步引导车队清洁低碳转型。

二是建立统一的机动车温室气体和大气污染物监管机制。在现有机动车大气污染物排放监管体系中，统筹纳入温室气体，建立统一的监管机制。充分利用现有的机动车环保信息公开、生产一致性和在用符合性检查以及环保召回等管理制度，构建统一的机动车温室气体和大气污染物信息公开体系，联合开展机动车温室气体和大气污染物监督检查，建立温室气体和大气污染物减排统一谋划、统一布置、统一实施、统一检查的工作机制。

三是统筹考虑提升机动车减污降碳基础能力和政策配套。逐步完善移动源和交通领域碳排放和污染物协同监测网络，提升减污降碳协同监测能力。健全完善移动源碳排放统计调查、核算核查，依托移动源环保信息公开、达标监管、检测与维修等制度，探索实施移动源碳排放核查、核算与报告制度。制定机动车温室气体和大气污染物减排配套政策措施。充分发挥市场调节作用，制定相关经济激励政策。通过财政补贴、税费优惠、积分交易制度、绿色信贷等形式，提高机动车生产企业研发和应用新技术的积极性，确保排放标准有效实施，进一步激发市场活力。研究建立基于 ABT 机制的排放核算体系，鼓励企业提前导入先进的减排技术。研究建立碳排放交易、排污权交易等协调机制，实现大气污染物排放、温室气体排放协同管理，推动行业减污降碳、协同增效。

## V 汽车电动化转型篇

在道路交通领域，电动化转型是目前最受认可的低碳发展方向。经过十余年发展，汽车电动化在技术和市场两端均已完成从探索到初步成熟阶段的蜕变，并已然成为汽车技术发展不可逆转的趋势。技术层面，纯电动、插电式混合动力、零碳内燃机等多种技术路线并行，可满足不同车型需求；市场层面，中国、欧洲、美国等国家和地区的电动汽车渗透率逐年提升。但也应认识到，电动汽车的爆发一开始是在多重利好政策环境中催生出来的结果，全产业链仍面临多种挑战，如充电基础设施的跟进、电池回收处理等难题。在一些应用场景内，电动汽车与传统燃油汽车全生命周期的总拥有成本相比仍不具备优势，从而导致了不同场景下汽车电动化发展的严重失衡，这些问题也需要深入思考和探究。

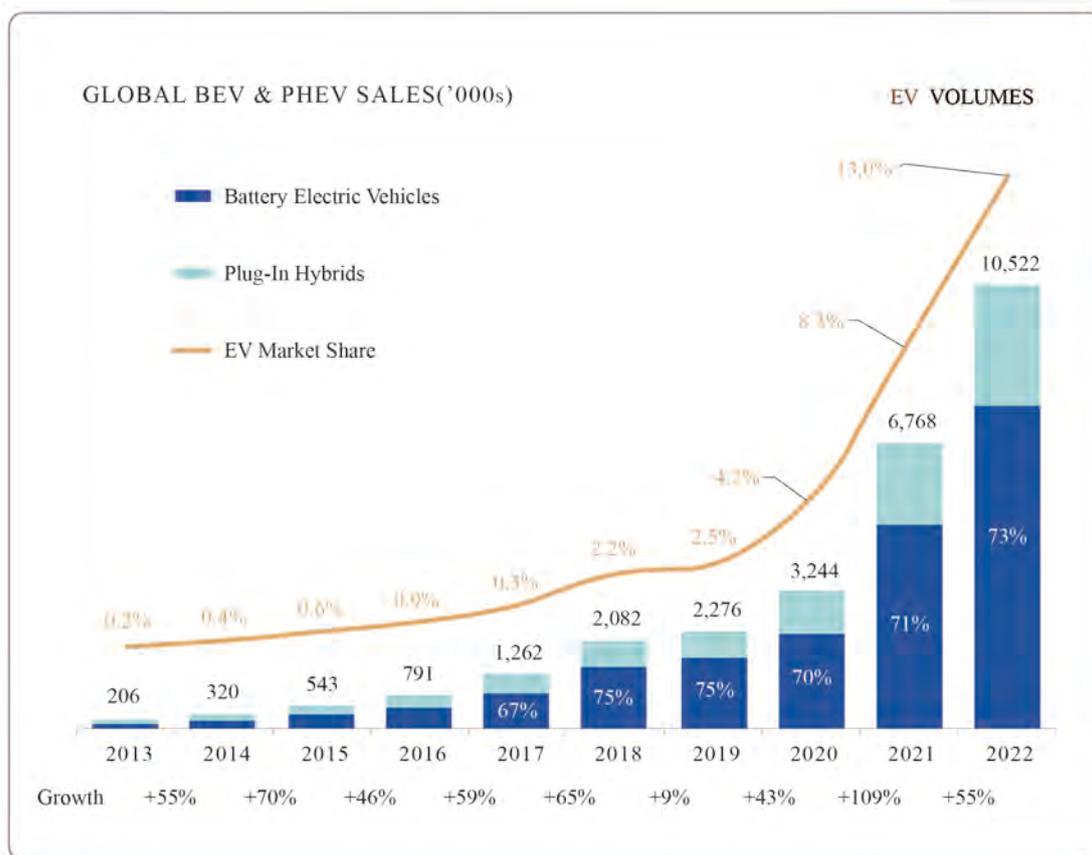
感谢中国汽车技术研究中心首席专家刘斌、落基山研究所 (RMI) 高级咨询师刘琦宇、清华大学能源环境经济研究所研究员欧训民、能源与交通创新中心清洁交通项目经理秦兰芝、国际清洁交通委员会 (ICCT) 高级研究员崔洪阳 (按姓氏首字笔划排序) 对本章节内容的宝贵贡献。

## 22 全球汽车电动化转型进程如何？

目前的汽车市场中，电动化车型一般是指纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车。由于现阶段燃料电池汽车的销量很低，且主要应用中重型汽车细分市场，很多统计数据中只包含纯电动汽车和插电式混合动力汽车，如 EV Volumes 的统计数据<sup>44</sup>。全球汽车电动化转型主要表现为以下几个特点。

### (1) 全球汽车电动化转型继续加速

如图 19 所示，2022 年全球电动汽车（含纯电动汽车和插电式混合动力汽车）的销量达到 1,052.2 万辆，再创历史新高。与 2021 年相比，销量同比增长 55%，电动汽车市场渗透率也从 8.3% 增加至 13.0%。



数据来源：EV Volumes

图 19 全球电动汽车销量趋势

<sup>44</sup> EV Volumes, Global EV sales for 2022, <https://www.ev-volumes.com/>

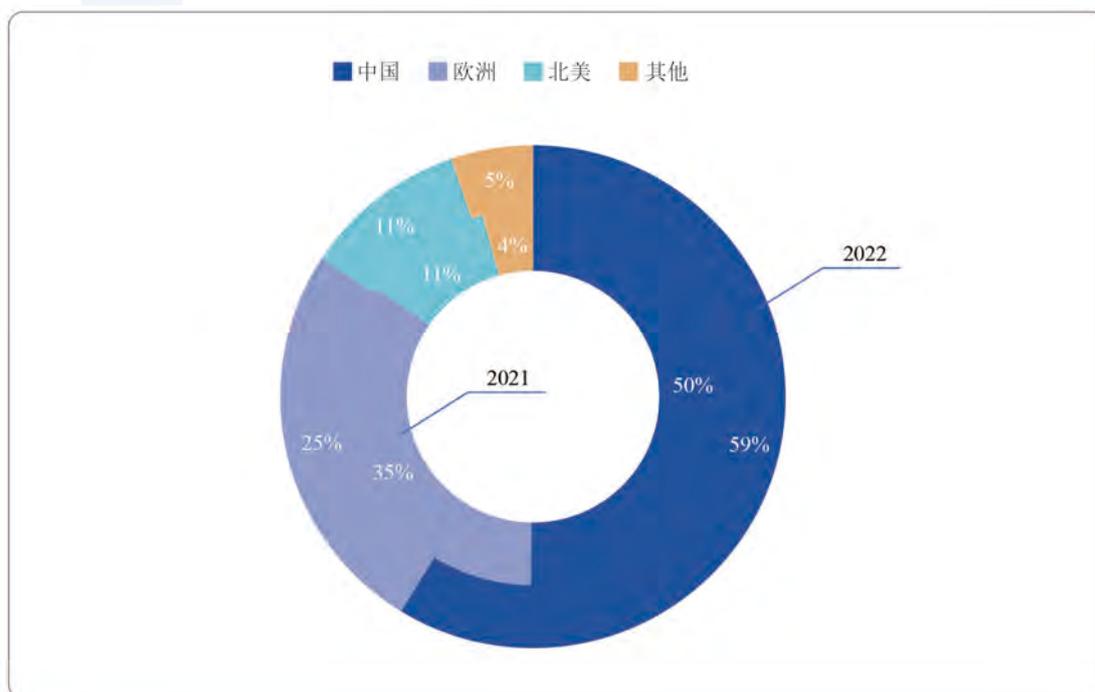
(2) 纯电动汽车仍然是电动化主流技术路径

EV Volumes 的数据显示，2018 年以来纯电动汽车销量占全球电动汽车销量的比例均在 70%以上，2022 年这一比例为 73%，为近三年最高。

(3) 中国电动汽车销量继续引领全球

2022 年，中国在电动汽车销量方面的领先优势进一步加强。如图 20 所示，中国对全球电动汽车销量的贡献率从 2021 年的 50%增长至 2022 年的 59%。与此同时，中国也是全球电动汽车累计销量最高的国家，截至 2022 年底，中国电动汽车的累计销量（含出口）约为 1,600 万辆，占全球总量的 54%。

欧洲电动汽车销量紧随中国，排名世界第二<sup>45</sup>。2022 年欧洲共销售了 268 万辆电动汽车，较 2021 年增长了 15%，但是其对全球电动汽车销量的贡献率进一步下滑至 25%，而在 2020 年这一比例约为 42%。2022 年北美市场电动汽车销量同比增长 48%，销量达到 110 万辆，对全球电动汽车销量的贡献率仍然维持在 11%左右的水平。



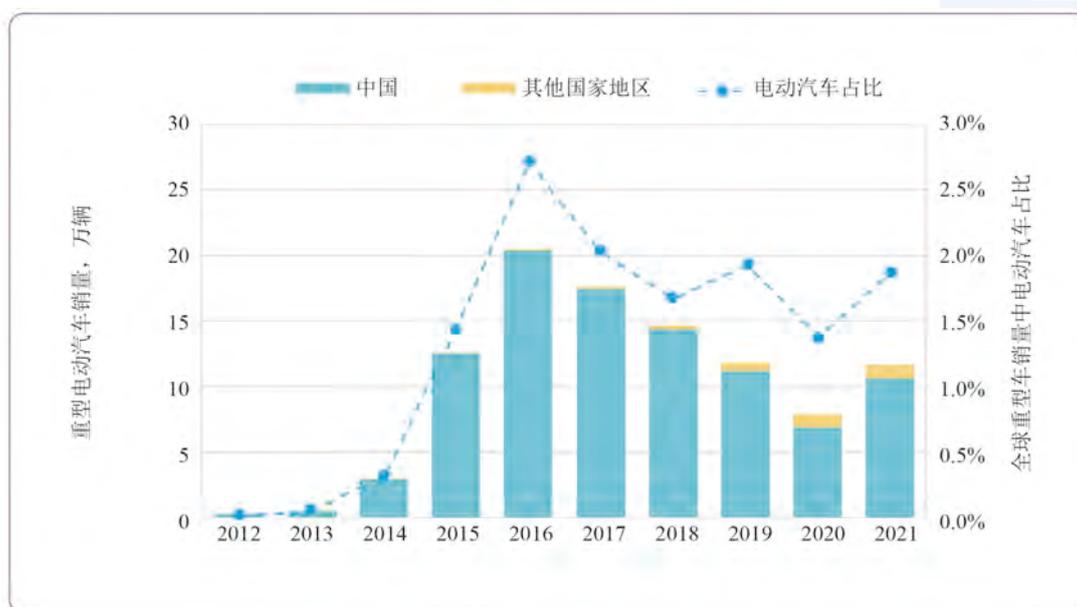
数据来源：EV Volumes

图 20 中国、欧洲和北美对全球电动汽车销量的贡献率

<sup>45</sup> 这里欧洲包括 27 个欧盟成员国、英国、以及欧洲自由贸易联盟（EFTA）的其他 4 个成员国，即冰岛、列支敦士登、挪威、和瑞士。

#### (4) 重型车的电动化转型尚处于早期阶段

从全球尺度看，重型车的电动化转型仍处于早期阶段<sup>46</sup>。如图 21 所示，全球重型电动汽车销量在 2016 年达到一个高峰，之后连续四年呈现下降趋势，尽管 2021 年的销量较 2020 年增长了 48%，但仍然比 2016 年的峰值低 43%。2021 年，中国对全球重型电动汽车销量的贡献率超过 90%，除中国外，全球范围内没有任何一个国家和地区的电动汽车销量超过 2,000 辆，超过 1,000 辆的也只有两个国家，分别是德国的 1,600 辆和印度的 1,200 辆。全球重型车销量中电动汽车的占比（即电动化率）在 2016 年达到 2.7%，是截至目前最高峰，在之后的五年间（2017-2021），全球重型车销量的电动化率一直在 1.5% 和 2% 之间波动，2021 年为 1.9%。



来源：国际清洁交通委员会：《全球汽车电动化转型年度总览：2021》

图 21 2012-2021 年全球重型电动汽车的销量及全球重型车销量中电动汽车占比

<sup>46</sup> 这里重型车包括客车和重型货车，指车辆总重在 3.5 吨以上（包括 3.5 吨）的货车。

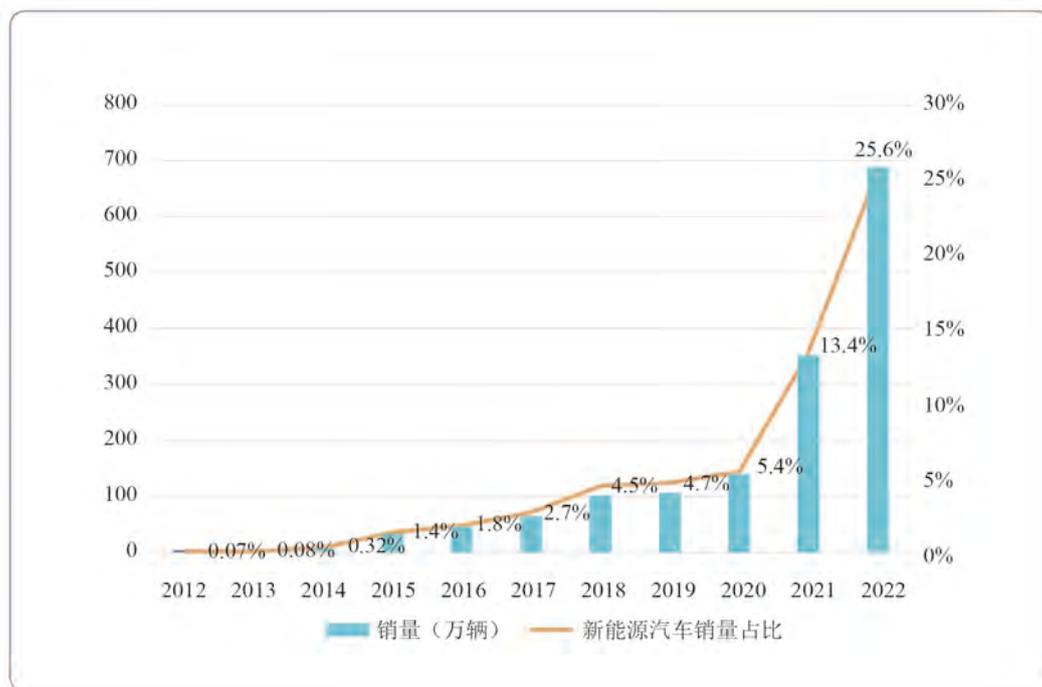
## 23 中国汽车电动化发展现状如何？

### (1) 市场规模

中国新能源汽车<sup>47</sup>发展态势迅猛，正处在繁荣发展时期，新能源汽车产销量连续 8 年居于全球第一。2022 年中国新能源汽车销量为 688.7 万辆，同比增长 93.4%。截至 2022 年底，中国新能源汽车保有量已经达到 1,310 万辆，占到全球保有量一半以上。

中国新能源汽车市场占有率不断提高。中国新能源汽车行业利好政策不断，发放购置补贴、加强充电基础设施建设、推动新能源汽车下乡等一系列措施推动新能源汽车市场占有率不断提高（如图 22 所示），2022 年已经超过 25%。

中国新能源汽车已经从培育示范期、商业化成长期进入到规模产业化的高速增长期，从政府补贴驱动阶段进入市场与政府双驱动、市场竞争驱动为主导的阶段。2021 年中国新能源汽车私人市场消费达到 78%，非限购地区消费潜力也日益显现，占比从 2020 年的 60%增长到 2021 年的 69%<sup>48</sup>。



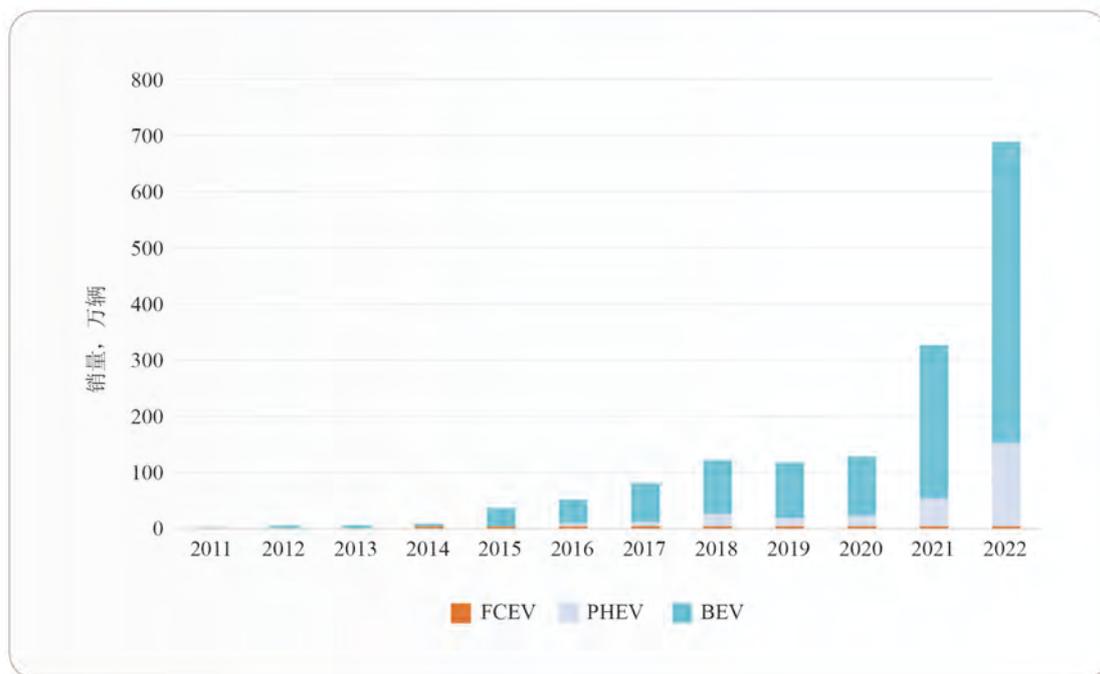
数据来源：中汽中心政研中心，中国汽车工业协会

图 22 2011-2022 年中国新能源汽车销量及市场渗透率图

<sup>47</sup> 中国习惯上将纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车统称为新能源汽车。

<sup>48</sup> 中汽中心政研中心，《2022 新能源汽车蓝皮书》中汽中心政研中心。

中国新能源汽车市场中,纯电动车型占据主导地位,插电式混合动力市场有所回升。如图 23 所示,2022 年中国纯电动汽车、插电式混合动力汽车、燃料电池汽车销量分别为 536.5 万辆、151.8 万辆和 0.3 万辆,占比分别为 77.9%、22.0%和 0.1%,其中插电式混合动力车型主要在乘用车领域。



数据来源: 中汽中心政研中心, 中国汽车工业协会

图 23 2011-2022 年中国新能源汽车不同技术路线产量图

2022 年中国新能源汽车销量结构情况如表 15 所示。新能源乘用车占新能源汽车比重较大,而且无论是新能源乘用车还是新能源商用车,都是纯电动汽车占比最大。

表 15 2022 年中国新能源汽车销量结构情况

类型	占比	类型	占比
新能源乘用车	95.1%	纯电动	73.1%
		插电式混合动力	22.0%
新能源商用车	4.9%	纯电动	4.8%
		插电式混合动力	0.1%

数据来源：中国汽车工业协会，乘用车市场信息联席会，新能源商用车市场信息联席会

## (2) 技术进步

中国新能源汽车技术进步，体现在汽车产品续驶里程提升、车载电量增长、整车电耗降低和电池能量密度增大等方面<sup>49,50</sup>。

### 续驶里程稳步提升

中国纯电动乘用车的续驶里程逐年提升，从 2016 年的 253 公里提升到 2021 年的 395 公里，提升幅度达到了 56.1%。续驶里程提升的主要原因是车载电量的提升及整车电耗降低。中国纯电动乘用车的平均电量迅速增长，2022 年纯电动乘用车平均电量超过 50 kWh，而 2016 年该数值仅为 37 kWh。电量增长的主要原因为动力电池能量密度的提升，以及全新平台架构总布置下电池布置空间的优化。

### 整车平均电耗降低

通过纯电动平台与集成化设计、整车轻量化及低风阻设计、电池能量密度及热管理

<sup>49</sup> 中汽中心数据中心，《面向碳中和的汽车行业低碳发展战略与转型路径--中国汽车低碳行动计划（2022）报告》。

<sup>50</sup> 工信部装备中心，《中国汽车产业发展年报 2021》。

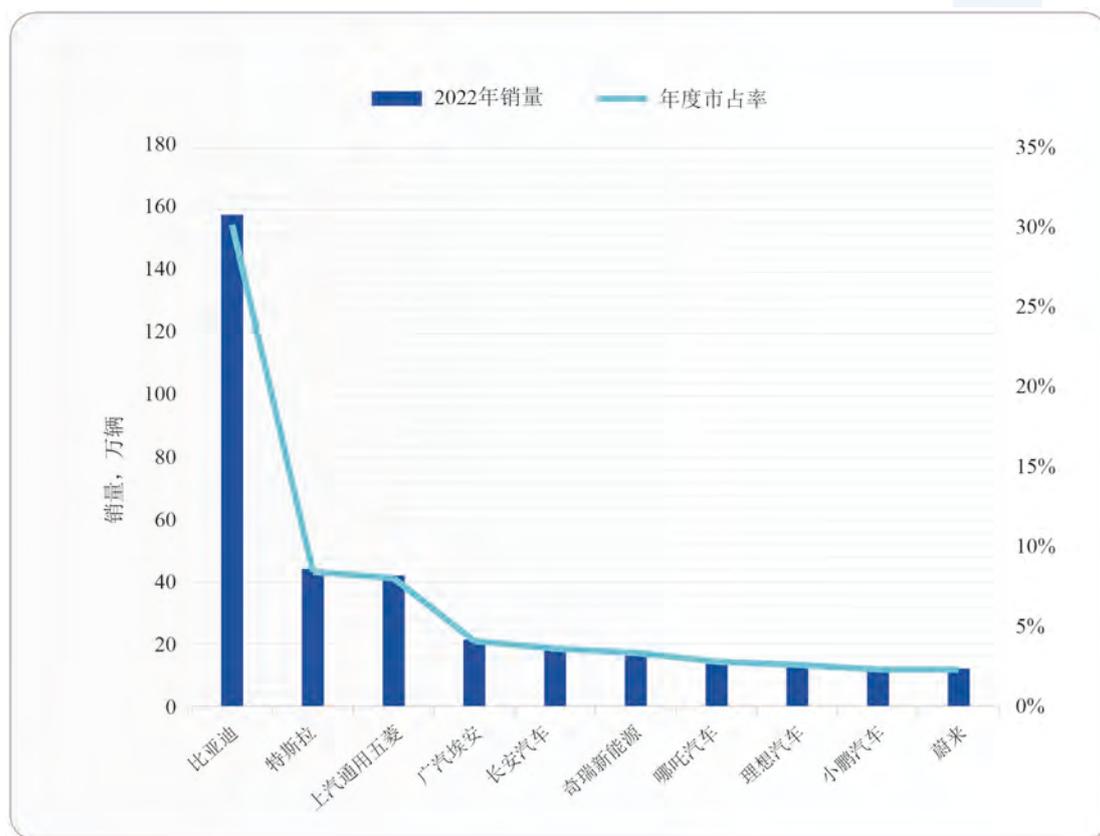
技术提升、电驱动效率优化等方式实现整车电耗降低。2021年，纯电动乘用车 NEDC 工况条件下新车平均电耗为 12.24 kWh，相比 2016 年的 15.71 kWh，降低了 22%。

### 动力电池能量密度提升

2021 年搭载三元材料动力电池且系统能量密度超过 160 Wh/kg 的新能源乘用车产量占比接近 70%，较 2020 年提升近 15 个百分点；2021 年搭载磷酸铁锂动力电池且系统能量密度超过 140 Wh/kg 的新能源乘用车产量占比 39%，相比 2020 年提升近 3 个百分点。

### (3) 产业发展

产业发展情况主要体现在中国品牌竞争力提升和新能源商用车呈现“客货两极分化”趋势。首先，中国品牌产品竞争力提升。2022 年新能源汽车品牌销量前 10 中，中国品牌占据 9 位，参见图 24。其中，比亚迪以绝对优势领先于排名第二的特斯拉，中国品牌市场占有率合计超过 91%。



数据来源：新车上险数

图 24 2022 年新能源汽车销量前十品牌

其次，新能源商用车市场表现为“客货两级分化”，客车持续下滑，货车翻倍增长。

2022 年，新能源客车销量为 5.8 万辆，同比增长 18%。新能源客车占比仍在持续下滑，2022 年市场占比仅为 17.2%，而在 2019 年这一比例为 66.5%。2022 年新能源货车销量达到 28 万辆，同比增长 109%，同时市场占比接近 83%，新能源货车已经成为新能源商用车市场的主力。

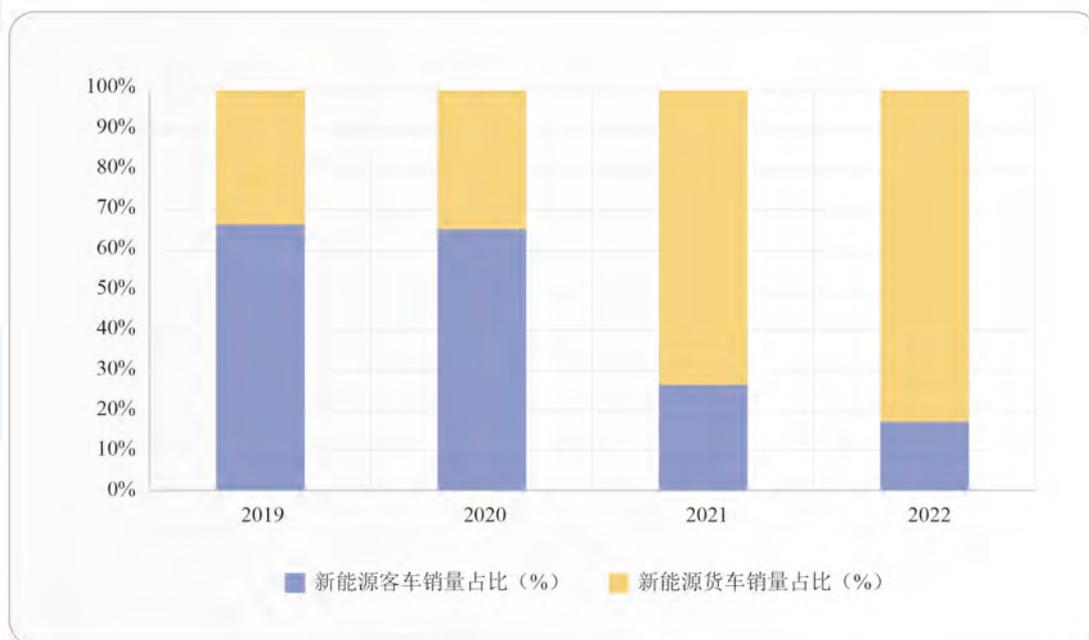


图 25 2019-2022 年新能源商用车市场结构变化

## 24 中国汽车电动化发展面临什么挑战？

中国新能源汽车技术和产业发展面临着一系列挑战，涵盖近期的产品性能仍需提升、成本下降空间有限、技术研发基础不牢，产业链存在短板、国际化遭遇绿色壁垒，长期的对电力系统的冲击、潜在的金属资源约束等挑战<sup>51,52,53,54</sup>。

(1) 近期来看，产品性能及使用方便性需要进一步提升，产品市场面临多重涨价风险，产业层面存在技术基础不牢和前瞻性不够等短板。

新能源汽车中电动汽车安全可靠、低温实用性和使用便利性亟待提升，其完全替代传统燃油车的优势还没有完全形成。充电设施虽然已经达到了 2.6:1 的充电桩和汽车的比例（2022 年底数据），但随着电动汽车数量的快速增长，充电设施不足问题依然存在。尽管动力电池的能量密度不断提升，百公里能耗不断降低，但是纯电动汽车里程焦虑和充电难等核心痛点并未完全解除。

(2) 动力电池价格上涨、芯片供应紧缺、补贴退坡、下阶段财税政策尚不明确等问题叠加，导致新能源汽车企业近期面临较大的成本增大压力，推向市场的产品面临涨价可能性。

中国新能源汽车产业的部分关键核心技术储备不足、部分产品依赖进口，原因在于前期研发创新主要集中在应用技术层面，缺少对基础材料和支撑技术的研究和突入，尤其在关键核心技术方向和产品研发、产业发展模式方面，前瞻投入和布局不够，以及全球视野和国际思维不足。

值得指出的是，随着动力电池系统能量密度提升，热失控安全隐患仍存，需要重点开展动力电池全生命周期安全防护设计和固态电池研发应用等基础性工作，实现新能源汽车的高安全、低成本发展。

(3) 中期来看，产业链建设仍存在一些突出短板，国际绿色壁垒或将形成，可能

---

<sup>51</sup> 中国电动汽车百人会，《全球及中国新能源汽车产业发展趋势与政策走向》，2022.4.1 调研报告

<sup>52</sup> 经济观察报，《中国新能源轻型商用车发展机遇初探》。

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1744088482491493172&wfr=spider&for=pc>

<sup>53</sup> 中国发展网，《1—8 月，我国新能源汽车产销分别达到了 397 万辆和 386 万辆》。

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1744096506615399962&wfr=spider&for=pc>

<sup>54</sup> 谈车论价，《国内外新能源汽车发展现状》。

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1737110192370030974&wfr=spider&for=pc>

对中国新能源汽车产业链国际化产生冲击。

新能源汽车短板从购置环节转向使用环节，尤其表现为充电基础设施投资不足的短板。产生原因包括多个方面。一是由于投资收益不高，企业进行超前建设和低负荷运营动力不足。二是公共充电设施建设往往涉及多个利益相关方，充电设施运营商面临着审批流程复杂、周期长、用地成本高、配网扩容难的问题。三是住宅私人充电桩建设一直以来存在固定车位不足、物业不配合等阻力。此外，充电基础设施技术迭代快，企业可能面临成本尚未收回，充电设施已面临淘汰的局面。

欧盟电池法规明确提出，从 2024 年 7 月起，只有已提供碳足迹声明的电池才能投放欧盟市场；2026 年 1 月 1 日起，将实行强制碳标签，预计 100 kWh 电池包生产环节潜在碳成本约 400-500 欧元。

目前，由于缺乏技术与经济实力，中国企业普遍未把减碳实质性纳入企业发展战略，整体减碳基础相对薄弱。2022 年中国锂离子电池出口大幅增长 86.7% 至 3,426.5 亿元，随着碳贸易壁垒的建立，中国在新能源汽车产业，尤其是动力电池出口领域建立的优势被削弱的风险较高。

(4) 长期来看，大规模新能源汽车运行可能引发电力系统运行风险，新能源汽车发展面临关键矿产资源安全保障问题。

电气化和氢能化是交通深度脱碳的最重要方式，将扩大交通电力和氢能消费规模。有研究表明，在实现“双碳”目标情景下，2050 年交通用电需求将占全社会电力总需求的 6%~11%，如不提前科学规划，未来电动汽车大规模充电负荷将导致本地配变超载，甚至对电力主干网产生压力，对整个电力平衡产生深远影响<sup>55,56</sup>。

新能源汽车发展需要稳定的关键矿产资源供应链作为支撑。研究表明，一辆电动汽车所需的关键矿产资源量是一辆传统内燃机汽车的 6 倍左右。中国镍、钴等矿产资源储量并不丰富，镍、钴对外依存度也分别超过 80% 和 90%。在原材料高度依赖国际市场的情况下，以新能源交通工具为代表的清洁能源技术产业链和供应链面临供应中断、贸易限制、价格波动或其他事态发展带来的复杂风险。

---

<sup>55</sup> 彭天铎，袁志逸，任磊，欧训民. 《中国碳中和目标下交通部门低碳发展路径研究》. 汽车工程学报, 2022, 12 (4) : 351-359.

<sup>56</sup> 刘坚、李海,《我国新能源汽车产业发展的挑战和政策建议》,《中国能源》2022-09-10.

## 25 中国汽车电动化进程中的财税政策是如何演变的？

为推动汽车的电动化，中国在新能源汽车发展早期就针对消费者出台购车补贴、税收优惠，持续多年培育新能源汽车发展，后期推出针对汽车生产企业的强制性“双积分”政策，希望通过市场化的积分措施接力财税政策，为电动汽车生产企业提供持续的激励。

### (1) 新能源汽车购置补贴政策

2009年，财政部会同科技部、工信部、发改委发布新能源汽车推广支持政策，首先在13个城市公共服务领域开展试点推广，后来逐步扩大到25个城市，并进一步扩大到对消费者购买新能源汽车给予财政补贴。到2017年，补贴政策已从最初的少数城市示范试点扩展到现在的全国普惠制实施，力度不断加大，在中国新能源汽车发展的过程中起到非常积极的作用。

2021年以来，中国新能源汽车产业进入了快速普及应用和市场化发展新阶段，新优势和新约束同在，新机遇和新挑战并存，政策体系不断完善，购置补贴政策再次延续。2021年发布《关于2022年新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》，坚持平缓退坡，并明确2022年退出，为政策顺利收尾做好准备。

表 16 2009-2020 年新能源汽车购置补贴政策总览

发布时间	政策名称
2009年	《关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知》
2010年	《关于扩大公共服务领域节能与新能源汽车示范推广有关工作的通知》
2012年	《关于扩大混合动力城市公交客车示范推广范围有关工作的通知》
2013年	《关于继续开展新能源汽车推广应用工作的通知》
2014年	《关于进一步做好新能源汽车推广应用工作的通知》
2016年	《关于2016-2020年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知》
2017年	《关于调整新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》
2018年	《关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》
2019年	《关于进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》
	《关于支持新能源公交车推广应用的通知》
2020年	《关于完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》
	《关于开展燃料电池汽车示范应用的通知》
2021年	《关于进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》
2022年	《关于2022年新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》

表 17 新能源汽车购置补贴政策主要变化

年份 类型	2009	2010	2012	2013	2014-2015	2016	2017-2021
乘用车	混合动力汽车节油率（5%以上）、最大电功率比（10%以上）			纯电续航里程（大于100km/h）、最高车速（不低于100km/h），综合燃料消耗量（小于限值的60%）等			逐步提高纯电续航里程、电池系统能量密度、提出燃料消耗量分档补贴等
客车	混合动力汽车节油率（10%以上）、最大电功率比（10%以上）					纯电动续航里程等	逐步加严Ekg，提高电池系统能量密度、快充倍率、节油率
货车	混合动力汽车节油率（5%以上）、最大电功率比（10%以上）			纯电续航里程等（BEV不低于80km，PHEV不低于50km）			逐步提高Ekg、电池系统能量密度、吨百公里电耗

## （2）新能源汽车税收优惠政策

目前中国已形成较为完善的新能源汽车税收优惠政策体系，消费税、车辆购置税、车船税三个主要的汽车产品税种均对新能源汽车给予不同程度优惠，有效降低新能源汽车生产、购置、保有成本。随着购置补贴政策逐年退坡，税收政策重要性更为突显。具体规定为：①消费税：电动汽车不属于征税范围，②车辆购置税：新能源汽车免征，③车船税：新能源汽车免征。

表 18 汽车产品税收优惠政策总览

税种	受惠车型	优惠方式	实施流程
消费税	纯电动及燃料电池车	不属于征税范围	直接免税
车辆购置税	新能源汽车	免税（2023年12月31日到期）	需申请进入《免征车辆购置税的新能源汽车车型目录》
车船税	纯电动及燃料电池乘用车	不属于征税范围	直接免税
	其他新能源汽车	免税	需申请进入《享受车船税减免优惠的节约能源使用新能源汽车车型目录》

目前中国已形成较为完善的新能源汽车财税支持政策体系，涵盖生产、购置、保有、使用等各环节。在生产环节，通过消费税政策降低纯电动及燃料电池车生产成本；购置环节，通过购置补贴、免征购置税政策共同作用，降低新能源汽车购置成本；保有和使用环节，通过运营补贴、免征车船税、基础设施奖补等政策降低新能源汽车保有和使用成本，并不断优化新能源汽车使用环境。财税政策多管齐下，发挥综合效应，有效带动新能源汽车产业快速增长。

表 19 新能源汽车财税支持政策概况

类别	美国	中国
放宽管制与市场化推进政策	<p>1976年和1980年分别出台的《铁路振兴与管理改革法》以及《斯塔格斯铁路法》</p> <p>1978年出台的《解除航空管执法》</p> <p>1980年针对货运行业出台的《汽车运输商法》</p> <p>1984年针对海运商户出台的《航运法》</p>	<p>成立了中国国家铁路集团有限公司，替代原铁道部，对铁路运输进行管理</p> <p>成立了私营航空公司</p>
资金支持、财税行动与政策措施	<p>出台相关法规为建设多式联运基础设施和提升货运效率提供直接的资金支持</p> <p>通过创造性手段吸引私人领域进行基础设施投资</p>	<p>为降低铁路和水路运营成本提供资金支持</p> <p>省级和地方层面为推动公转铁、公转水以及发展多式联运提供资金支持</p>
现代货运体系与多式联运技术	<p>集装箱的广泛应用</p> <p>推进自动化和车辆互联技术来提高运输效率</p>	<p>推进国家和省级多式联运示范工程建设</p>
多式联运基础设施	<p>建设足够且耐用可靠的基础设施，实现多种运输模式之间的有效衔接</p> <p>建设货运走廊</p>	<p>铁路进港，实现铁路水路运输之间的无缝衔接</p> <p>打造多层次、一体化的运输体系，提升运输效率</p>
环境政策	<p>空气质量标准</p> <p>尾气排放标准</p> <p>燃油质量标准</p> <p>燃油消耗量（GHG）标准</p> <p>推进替代燃料</p> <p>由政府和行业企业协同开展的SmartWay智慧货运行动，旨在提升燃油能效</p> <p>其他支持性项目例如缓解拥堵和空气质量改善计划（CMAQ）</p>	<p>空气质量标准</p> <p>尾气排放标准</p> <p>燃油质量标准</p> <p>燃油消耗量限值标准</p> <p>为应对柴油车排放而开展了强有力的国家级行动方案，其中包含了重点地区和行业的运输模式调整及排放控制目标</p>
研究与数据	<p>每五年开展一次商品流通调查</p> <p>向公众公开的基本货运结构分析</p> <p>面向长期需求的研究项目</p>	<p>国际及地方层面的专项调查</p>

### (3) “双积分”政策

为节约能源、保护环境，促进汽车产业健康发展，2017年9月，工业和信息化部、财政部、商务部、海关总署、市场监管总局（原质检总局）联合发布了《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》（以下简称《积分办法》），并于2020年6月修订发布《关于修改〈乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法〉的决定》。《积分办法》实施以来，在引导汽车节能、促进新能源汽车产业发展等方面发挥了重要作用。

为了更好地发挥政策作用，促进产业高质量发展，解决《积分办法》执行过程中存在机制不够灵活、市场供需调节能力不足等问题，2022年管理部门决定对《积分办法》进行再次修订，目前2024、2025年《积分办法》已经修订完善并发布征求意见稿。主要修改内容包括：

- (1) 更新了新能源汽车积分计算方法和考核比例，为推进实施“双碳”战略，保障实现《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》新能源汽车发展目标和油耗目标，综合考虑技术进步、成本下降和新能源、油耗积分合规成本变化情况，基于新能源汽车正积分与新能源汽车负积分、油耗负积分基本平衡原则，设定2024、2025年新能源汽车积分考核比例为28%和38%，并将2024、2025年度新能源乘用车标准车型分值较上一阶段平均下调40%左右，同时对应调整了积分计算方法和分值上限。
- (2) 增加了积分交易市场调节机制。为保障积分供需基本平衡，稳定企业预期，新增“积分交易市场调节机制”。通过建立积分池制度和设定积分池收储、释放积分的触发条件，最大限度减少对交易市场的干预。同时，明确积分池收储的优惠条件和收储上限要求。以及积分池释放机制。
- (3) 完善了积分核查和处罚要求。通过强化核查管理和严格处罚措施，保证企业燃料消耗量的准确性。
- (4) 提出将根据产业发展和碳排放管理工作需要，适时研究建立与其他碳减排体系的衔接机制。
- (5) 进一步提高积分交易灵活性、允许企业购买的新能源汽车正积分进行抵偿和结转。

(6) 为保障数据统计更为准确,调整境内生产、进口乘用车分别以合格证发证日期、海关报关单证放行日期为准确定核算年度。

总之,“双积分”政策是推动新能源汽车长效发展的重器,但任何一项新政策都需经历一个不断完善、逐步发挥作用的过程。“双积分”处于管理初期也是政策探索期,面临对政策定位模糊、经济措施缺乏、长期引导性不足等问题,后续重要工作是完善政策。一是政策设计中需要节能与新能源汽车并行发展,即既要鼓励新能源,又要鼓励节能。二是通过经济惩罚、自由交易和结转,更好地发挥市场作用。三是随着新能源汽车市场比例的上升,需要考虑政策适时退出的问题。四是尽快出台新能源商用车积分政策,推动新能源商用车市场发展。

## 26 相关优惠扶持政策对中国汽车电动化发展产生了哪些影响?

购置补贴以及多种财税政策的出台与实施是中国新能源汽车产业从无到有、做大做强的最有力推手。与此同时,“双积分”政策作为承接补贴政策的重要工具,通过积分交易促使收益从高能耗、低电动化比例企业转移至低能耗、高电动化比例企业,从而推动汽车产业的结构性变革。得益于这些政策,在过去十余年中,中国新能源汽车产业取得了长足的进步。

### (1) 新能源汽车产业规模快速提升

中国新能源汽车财税支持政策覆盖产业各环节,直接降低购置和成本,提升消费者购买和使用新能源汽车产品积极性。新能源汽车产业发展初期,市场增长趋势同补贴政策调整趋势基本一致,从择优选择城市试点示范到全国范围内大规模推广,从公共领域车辆试点切入到私人消费为主。随着财税支持政策逐渐完善,产业规模也逐步实现了从无到有,由弱变强的跨越式发展。产销规模连续八年全球领先。2022年中国新能源汽车销量突破688万辆,市场渗透率达到25%。

### (2) 整车技术水平稳步提升

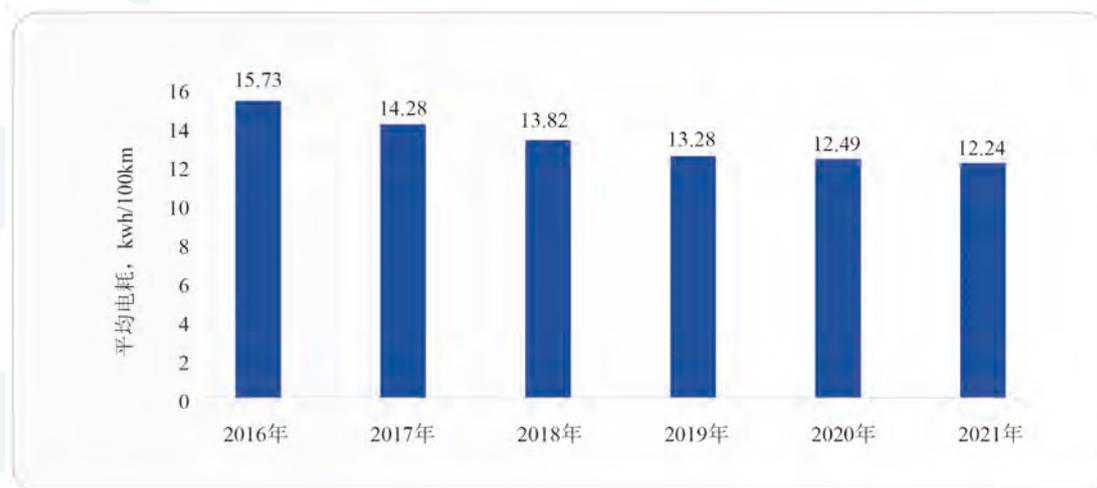
中国新能源财税支持政策在扶持产业成长的同时兼顾扶优扶强,购置补贴、免征购置税、免征车船税等政策中均设置了技术要求,并不断完善技术指标体系,通过技术要求的动态调整机制带动新能源汽车技术水平大幅提升,与国际先进水平差距缩小。目前中国已掌握了整车制造、动力电池、驱动电机等关键核心技术,续航里程方面,纯电动

乘用车 2021 年平均续驶里程约 395 km，相比 2020 年增加 2.6%，电能消耗量方面，2021 年平均电耗 12.24 kWh/100 km，相比 2020 年下降 2%，保持下降趋势。电池系统能量密度方面，2021 年搭载三元材料动力电池且系统能量密度超过 160 Wh/kg 的新能源乘用车产量占比接近 70%，较 2020 年提升近 15 个百分点；2021 年搭载磷酸铁锂动力电池且系统能量密度超过 140 Wh/kg 的新能源乘用车产量占比 39%，相比 2020 年提升近 3 个百分点。



数据来源：工业和信息化部

图 26 2016-2021 年新能源乘用车平均续驶里程变化趋势



数据来源：工业和信息化部

图 27 2016-2021 年新能源乘用车平均电耗水平变化趋势



数据来源：工业和信息化部

图 28 2016-2021 年新能源乘用车平均系统能量密度变化趋势

### (3) 企业竞争力明显提升

在国际引领方面，形成一批行业领先企业，实现“走出去”。由于前期新能源汽车财税政策支持力度大，同时对新能源汽车企业和产品均提出明确要求，带动企业加大研发投入，加快新产品开发，而快速增长的新能源汽车市场也衍生出多样化用户需求，给予全品类、差异化的新能源汽车产品更广阔的市场空间。中国在售新能源乘用车车型数量由 2010 年的不足 10 款，增长至 2021 年的 300+ 款，车型数量持续丰富并成功打造数款“网红车型”。中国新能源汽车企业竞争力也随之显著增强，比亚迪、吉利、上汽等主流乘用车企业稳居全球前十，宁德时代、精进电动等已进入宝马、大众、克莱斯勒等国际一流整车企业配套体系。与此同时，中国车企出口竞争力持续增强，2022 年累计出口达到 311 万辆，宇通客车、比亚迪等整车产品已出口英国、美国、日本等 70 多个国家和地区，有效拉动行业整体增长。

## 27 未来税收优惠政策还将如何发展？

按照《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》，到2035年纯电动汽车成为新销售车辆的主流，公共领域用车全面电动化，燃料电池汽车实现商业化应用，高度自动驾驶汽车实现规模化应用，充换电服务网络便捷高效，氢燃料供给体系建设稳步推进，有效促进节能减排水平和社会运行效率的提升。

2021年中国汽车工程学会牵头发布的《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中，针对2025、2030和2035年分别设定了如表20所示的电动汽车销量目标。

表 20 《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》设置的电动汽车销量目标

年份	2025	2030	2035
目标	BEV和PHEV年销量占汽车总销量的15%-25%； BEV占新能源销量的90%以上	BEV和PHEV年销量占汽车总销量的30%-40%； BEV占新能源销量的93%以上	EV和PHEV年销量占汽车总销量的50%-60%； BEV占新能源销量的95%以上

在“双碳”战略下，新能源汽车被视为道路交通最重要的减碳技术路线之一，在新能源汽车与燃油汽车平价前可能还应享受相应的税收优惠政策。综合考虑电池成本、油价变化、购置税变化情形下，从包含购置成本和使用成本的总拥有成本看，新能源汽车中的纯电动乘用车最快可在2025年内实现与传统燃油车平价。因此，针对纯电动乘用车的财税优惠政策在2025年应逐步退出，而新能源重卡等仍高于燃油汽车成本，还应继续给予相应的税收优惠支持。

经济性提升将使得电动汽车更快的速度实现大规模渗透，从而也会使得税收优惠政策逐步退出。有研究认为中国新能源汽车市场渗透率2023年将增至30%以上，车辆购置税等优惠政策也应逐步退坡。

电动化的加速推进，新能源汽车在2030年左右应负担相应的税费，原有车辆征税体系可能将变革。众多研究机构和专家分析认为，到2030年，预计新能源汽车占比将

达到 50%，新能源汽车也应缴纳道路建设相关的费用，传统的以内燃机气缸容量、成品油消费量的征税方式将导致税收的大幅流失，而已规模普及的新能源汽车也应承担相应的税费。因此，2030 年左右汽车税费征收体系将面临重大的调整。

### 上海与北京——如何解决有限容量下新能源与燃油车竞争问题

上海和北京都是老牌一线城市，拥有巨量的人口和汽车保有量。在多年的发展中，上海和北京的汽车容纳能力接近饱和，因此两市都有非常严格的新车上牌机制，避免车辆保有量快速增加给城市交通带来压力。但这就意味着在推广新能源汽车时，两市能够使用的政策激励手段更为有限，如果给予新能源汽车太多的上牌自由和路权自由，势必会给城市交通带来影响。许多大型城市都面临同样的问题，因此观察两个城市在新能源推广上采取的不同策略，有助于其他城市制定相关政策。

北京的交通拥堵问题一直为人诟病，因此长期以来一直采取摇号购车的措施控制汽车总量。对于新能源汽车，北京最初允许新能源专用牌照自由发放，但很快就遇到了新增车辆过多的问题，因而不得不再次对新能源牌照加以限制，转而采用限量发放、排队获取的方式。目前北京每年发放新能源汽车指标 7 万个左右，虽然有逐年增长的态势，但对于总体需求来说杯水车薪。尽管如此，北京仍然希望大力推动新能源汽车转型，制定了到 2025 年新能源汽车保有量达到 200 万辆的目标，届时新能源汽车将占到总保有量的 1/3。2021 年底北京新能源汽车保有量仅为 50.7 万辆，占比 8%，保有量增速明显落后于全国平均水平，离自身的目标也还有较大差距。如此一来，北京必须设法推动存量燃油车辆大规模退役和替换，在未来三年时间内，北京预计需要替换超过 100 万辆燃油车。但目前为止，存量替换的速度仍不尽如人意。

上海面临的问题类似，但是采取了完全不同的处理策略。上海为了控制城内交通拥堵问题，同北京一样限制了新车辆牌照的发放，但在新能源汽车管理上，上海的政策可以用宽松来形容。按照最新政策，至少在 2023 年以前，满足条件的上海市民都可以免费领取新能源汽车专用牌照，这和大约几十万上海燃油车牌照形成了鲜明对比。在这一政策刺激下，上海在 2021 年共销售新能源汽车超过 24 万辆，为全国第一，不仅大幅领先第二名深圳的 15 万辆，更是北京销量的两倍。2022 年上半年，尽管受到上海疫情影响，上海新能源汽车总销量有所回落，但依然达到了 42% 的惊人渗透率。不过，这样宽松的政策并非没有代价，由于大量新能源汽车涌入，上海交通拥堵问题被进一步放大，上海不得不加强了限行措施，不断扩大限行范围，给存量车辆出行带来了不便。

两相比较之下，我们能够得出以下结论。首先，严格的限牌政策对电动车推广起到了遏制作用。在北京，每年新发放的车辆指标十分有限，新车上牌难度非常高，因此存量车辆的迭代替换才是购车主力。由于电动车辆目前和燃油车辆还有性能上的差距，因此很多家庭不愿意将有限的牌照资源“浪费”在性能存在短板的新能源汽车上，即使目前北京提供了“油换电”补贴，也还是选择更为全面的燃油车。正是由于这一原因，尽管北京投入了大量资源助推新能源汽车发展，但目前的效果依然有限。

第二，与上一条相对的，在严格的限牌政策下，适度放开新能源汽车的上牌要求将会极大提升人们购买新能源汽车的意愿。从上海的经验可以看出，限牌政策压制了城市居民的购车需求，而一旦政策在新能源汽车上放开一个缺口，自然会有大量的刚需人群选择购买新能源汽车来满足出行需要。但这一政策的缺点也同样明显，城市有限的容纳能力势必意味着这样的宽松政策不可持续，上海也最终还是不得不用牺牲燃油车主利益的方式为新能源车腾出空间来。

可以看出，对汽车保有量接近饱和的城市来说，新能源汽车和燃油车存在着零和博弈的关系，放开新能源购车限制势必意味着限制燃油车的购买和使用，对存量机动车造成负面影响；而如果对燃油车和电动车一视同仁，那么限牌政策就会阻碍电动车推广。面对这样两难的局面，城市必须从存量车辆的替换入手，提高每年替换车辆中的新能源比例。而为了保证存量替换车辆全部为电动车，城市甚至可以采取替换车辆完全电动化的政策。

在具体执行上，城市可以使用强制要求与经济补偿相结合的方式，当燃油车辆要替换为新车时，其蓝牌将自动更换为绿牌，同时由政府发放 5,000 元到 1 万元左右的车换补贴。换车补贴不仅能够部分补偿车主额外的经济支出，由于补贴有时限性，更能激发燃油车车主的换车欲望。对于车主而言，这样的政策带来的影响也 smaller。相比于上海的限行措施，替换车辆电动化政策对绝大多数燃油车都不产生影响，无法接受电动车的车主也可以推迟自己的换车计划，继续正常使用燃油车，等到未来电动车性能技术提高后再做决定。

在替换车辆电动化政策下，城市将不再面临城市车辆保有量高速增长的问题，可以更加从容应对城市道路容量不足的问题，同时又可以满足城市车辆快速电动化的需求。以北京为例，2021 年北京汽车销量为 58 万台，其中 10 万台为新增车辆指标，48 万台为替换车辆。如果能够将每年的替换车辆完全新能源化，那么北京就有希望实现 2025 年达到 200 万辆电动车的目标。

## 28 商用车电动化面临哪些挑战？

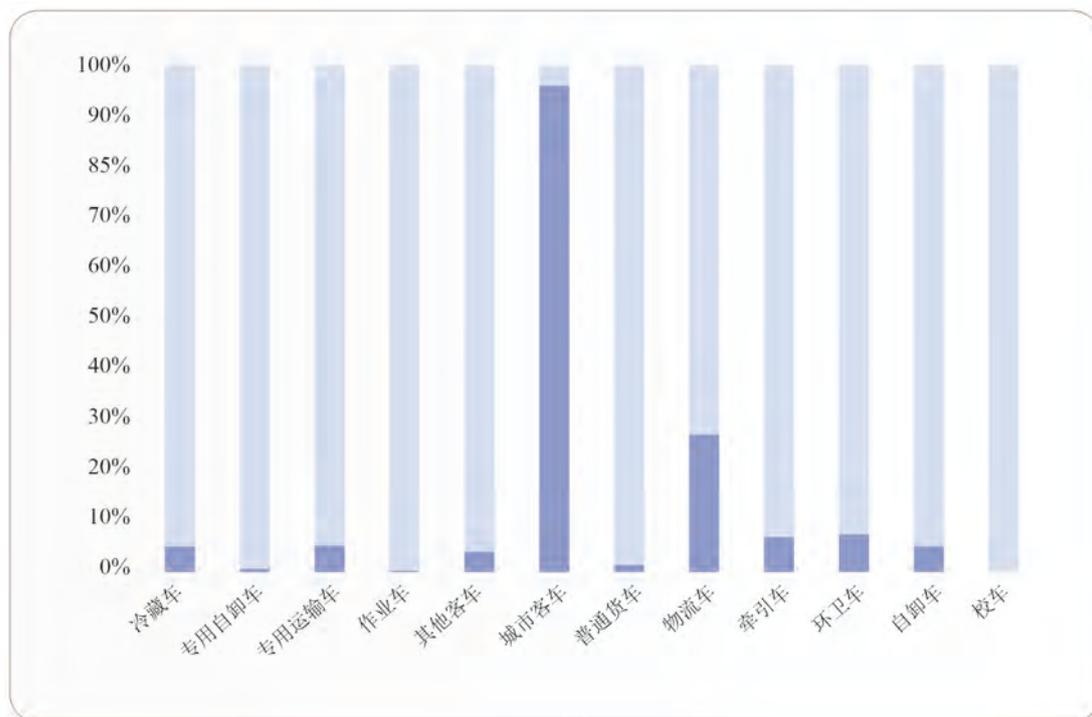
商用车作为一种生产资料，本身属性要比乘用车复杂，在电动化转型过程中也必然面临更多的压力和挑战。

### (1) 商用车场景复杂，细分市场电动化差异明显

为了与国际主流汽车市场接轨，“商用车辆”在《GB/T 3730.1-2001 汽车和半挂车的术语和定义》标准中首次被提出，是指“在设计和技术特征上用于运送人员和货物的汽车，并且可以牵引挂车”，并主要分为客车、货车和半挂牵引车三大类。该分类标准下根据不同车辆特性及使用场景，对商用车进行了更加详细的划分，如城市客车（公交）、长途客车、普通货车、专用作业车等。

商用车电动化既要考虑技术成熟程度，还要兼顾使用成本效益，因此在不同细分领域，商用车电动化的驱动力、目标制定及执行力度等存在明显差异。目前，城市客车仍是商用车电动化推广最为成熟的案例，2022 年该细分市场新车销售中新能源汽车占比已经达到 96%，但其他客车的电动化进展则相对缓慢。货车方面，电动化进程较快的场景为城市物流车和环卫车，作为公共领域车辆，这两类车的电动化也得益于政策的大力助推。其他场景方面，仍主要以传统燃油汽车为主，新能源渗透率不足 8%。

场景的复杂性及电动化发展步调的不一致就要求商用车电动化发展需要因场景施策，增加了整体工作推进的难度。



数据来源：新车上险数

图 29 不同场景商用车电动化进展 (2022)

## (2) 政策法规尚未健全，企业技术发展倾向于多点尝试

乘用车市场新能源化的快速发展在很大程度上得益于政策推动。其一是持续了十年左右的补贴政策，其二是自 2018 年实施的乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法（即“双积分”政策）。前者通过在消费终端为购买者节省支出，从经济层面激发了消费者的购买潜力，后者则是通过强制性为生产企业制定逐年增加的新能源汽车生产比例，从供应端刺激新能源汽车市场的更新迭代和技术进步，进而影响购买行为。

在商用车领域，虽然也有补贴政策，但新能源商用车的初始购买成本与传统燃油汽车之间的差价要比乘用车高得多，同时商用车拥有者对经济成本的敏感度又比乘用车车主高，单从成本方面考量，目前新能源商用车的购买动力不足。其次，与乘用车领域“双积分”政策对应的行业政策缺位，主要原因在于政策制定的难度很大，需要考虑的因素更加复杂。中国汽车技术研究中心从 2018 年起便着手进行商用车积分政策的研究，但截至目前该政策尚未发布。政策制定组对外公开的信息透露，即便商用车积分政策发布，在现阶段也不可能对所有场景车型进行强制性的电动化生产或销售比例约束，同时节能型商用车在相当长一段时期内也将是政策激励的一个重要部分。

在这种形势下，一些大型商用车企业目前对混合动力、纯电、燃料电池等多种技术路线都投入了研发精力，在进行技术储备的同时，也对市场进行积极尝试，但在类似像积分政策等此类行业重大决策的“靴子”落地之前，企业加大电动化研发和生产的动力也将被一定程度地遏制。

### （3）技术层面仍存在挑战

在现有技术发展及市场认知情况下，商用车电动化的主流技术路线是纯电+燃料电池。虽然这一点已基本达成共识，但在实际推进过程中仍存在问题，尤其是燃料电池汽车，目前仍处在初步发展阶段，行业相关人士对燃料电池汽车规模应用时间节点的乐观估计也在 2030 年前后<sup>57</sup>。同时，氢燃料电池不仅在电池系统需要技术攻关，涵盖制氢、储氢、运氢、加氢等环节的上游产业链也面临很多技术瓶颈。

以制氢为例，目前国际上主要有化石能源制氢、工业副产品提纯制氢、电解水制氢、生物质及其他制氢方式。国际可再生能源机构（IRENA）的一份报告<sup>58</sup>显示，目前超过 95% 的氢气采用化石燃料生产，在全球氢气供应中，仅有 4% 左右的氢气通过电解方式生产。以化石能源制氢在技术上较为成熟，也具有一定的经济性，但在制氢环节会排放大量 CO<sub>2</sub>，排放比约为 1:11~1:5.5<sup>59</sup>。通过碳捕获与储存（CCS）技术可以将此过程产生 CO<sub>2</sub> 进行封存，但资本支出和运营成本高昂，而且 CCS 技术需要一定的地质条件<sup>60</sup>。

即便是较为成熟的纯电动技术，从乘用车切换到商用车的过程中，部分核心供应商在三电系统匹配、场景适应性等方面仍存在一些问题。与此同时，核心零部件的短缺，尤其是动力电池价格的快速上涨也是制约电动商用车发展的重要原因。

---

<sup>57</sup> WRI India, Evaluation of the TCO for diesel and electric buses in India, 2022.

<sup>58</sup> IRENA, 可再生能源发电制氢, 2018. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA\\_Hydrogen\\_from\\_renewable\\_power\\_2018\\_CN.pdf?la=en&hash=44D43761635256648D11684641EAD134B958055B](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018_CN.pdf?la=en&hash=44D43761635256648D11684641EAD134B958055B)

<sup>59</sup> 第一财经, <https://www.yicai.com/news/100865090.html>

<sup>60</sup> 搜狐网, [https://www.sohu.com/a/441236086\\_120056227](https://www.sohu.com/a/441236086_120056227)

## 29 电动商用车总拥有成本（TCO）何时与燃油车达成平衡？

商用车的车辆总拥有成本（TCO）需综合考虑整车购置/租赁成本、补能（加油/充电）成本、维修保养成本、运营成本等因素，并要考虑使用强度、电池衰减、报废年限、补能时间成本等因素。

目前新能源商用车的生命周期成本较传统燃油汽车依然处于劣势。虽然在能源利用上，电力价格远低于燃油，但新能源汽车的电池及电控系统价格较内燃机要高，致使其购置成本相对更高。商用车单车价格本身就不低，无论是对于个体运营者还是批量采购的车队运营者，购置成本相对更高的新能源商用车都不具备太大优势。

国际清洁交通委员会（ICCT）2021年发布了《中国重型货运卡车的拥有总成本对比分析：纯电动、燃料电池和柴油货运卡车》<sup>61</sup>，重点研究了载货汽车、自卸汽车和半挂牵引车这三类新能源货车的经济性能，并将其与同款柴油车进行比较。分析发现，短期内电动商用车TCO仍然高于对应的传统燃油车辆。研究显示，纯电动货运卡车将在2025-2030年与柴油车实现拥有总成本平价。与柴油自卸汽车相比，纯电动自卸汽车最早到2025年可具备成本效益优势。纯电动半挂牵引车和载货汽车到2030年左右将实现与柴油车的拥有总成本平价。燃料电池载货汽车和自卸汽车到2030年左右可实现与柴油车之间的拥有总成本平价。

---

<sup>61</sup> 国际清洁交通委员会（ICCT），《中国重型货运卡车的拥有总成本对比分析：纯电动、燃料电池和柴油货运卡车》。2021.

### 30 商用车电动化需要哪些措施保障？

商用车电动化仍处在起步阶段，燃料电池汽车技术尚不成熟，而且在成本层面多个场景车型在短期内仍无法与传统燃油车达成 TCO 平衡。因此，在接下来一段时间内需要一系列措施来保障商用车电动化进程的推进。

#### (1) 继续完善政策体系

加州《先进清洁卡车》法规为强制性法规，要求企业必须制造一定比例的零排放卡车，不久还将配套要求以车队为主体购买和使用零排放卡车。未来中国也应出台类似政策，兼顾从生产和消费两个方面来推动商用车电动化。从以往经验来看，消费端的电动化目标往往需要因地制宜，即在经济、理念先进城市率先推行汽车电动化或者设定更高的电动化目标，而对相对落后地区则需要由点及面稳步推进。生产端的电动化比例目标一般为强制性目标，企业必须达到或者通过积分交易等方式来合规，但可能存在的问题是，由于缺少经济处罚机制的上位法，对不达标企业的处罚可能偏向于比较刚性的行政处罚，而非更加弹性化的经济处罚机制。

商用车运营多以营利为主要目的，成本敏感程度高。除公交、环卫等公共领域车型外，在新能源商用车尚不具备技术和成本优势时，其他营运类商用车的电动化推广难度较大。短期内，政府仍需给予新能源商用车足够的政策支撑和优惠，以使其电动化进程稳步推进。

总而言之，在近期，强制性法规约束和优惠激励政策相结合将是商用车电动化发展的有力推手。建议相关部门在制定商用车电动化路线及目标时，尽可能完善政策体系，鼓励新能源商用车的电动化技术突破，进而全面推进电动化进程。

表 21 商用车电动化推广的相关政策建议

环节/对象	政策级别	政策类型建议
电动化推广目标制定	国家/地方	中长期产业规划、节能与新能源汽车技术路线图 研究制定汽车产业温室气体排放标准 新能源商用车积分政策 新能源商用车三年行动计划 新能源商用车推广应用计划等
商用车企业	国家/地方	新能源商用车积分政策 电动车型研发补助、准入车型奖励等激励政策 企业税收优惠政策 新能源商用车运营补贴
运营商/消费者	国家/地方	新能源商用车购置优惠（购置税减免、购置补贴） 充电优惠政策 通行便利政策
电力、充/换电平台	国家/地方	充电设施建设配套优惠政策 融资租赁、车电分离 新型商业模式鼓励政策
产业标准	国家	动力电池标准 燃料电池标准 充、换电标准 氢气制取、储运及加注标准
政策实施	国家	推动经济上位法出台 积分交易机制政策 不达标企业处罚机制 碳市场交易

## (2) 加强和规划配套设施建设

在新能源乘用车的推广过程中，充电基础设施的集中度和使用便利性是制约其推广应用的主要因素之一。商用车的体量和分布密度远低于乘用车，且公交、环卫、邮政等公共领域运营平台有能力建设集中充电站，分散了一部分的充电设施使用压力。不过，新能源商用车依然面临较大的配套设施建设压力，这主要是由于商用车作为营利性运营车辆，长时间处于运行状态，接受长达若干小时的停滞充电状态，对运营者而言难度很大，需要换电技术的支持。近两年，换电站的建设迎来高增长，2021年中国换电站保有

量达到 1406 座<sup>62</sup>，但是充电站和换电站在新能源汽车补能版图中如何合理分配和规划仍是一个重要挑战。加氢站方面，截至 2022 年底，中国已累计建成加氢站 358 座，其中在营 245 座，二者均居世界首位<sup>63</sup>。但正在运营的加氢站几乎都不对外开放，仅供特定的公交车队或运输车队使用<sup>64</sup>。

表 22 中国新能源汽车产业及基础设施总体目标

类别	现状	近期目标 (~2025)	中期目标 (~2035)	远期目标 (~2050)
新能源汽车 销售比例 <sup>a</sup>	25% (2022)	15-25%	40%	/
燃料电池车 (万辆) <sup>b</sup>	0.89 (2021年底)	5	130	500
充电桩 (万个) <sup>c</sup>	261.7 (2021年底)	2,000	8,000	/
加氢站(座) <sup>d</sup>	310 (2022年底)	200	1,500	10,000

资料来源：

<sup>a</sup> 中国汽车工业协会，《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》；

<sup>b</sup> 《中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019 版）》；

<sup>c</sup> [http://www.gov.cn/xinwen/2020-07/17/content\\_5527862.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-07/17/content_5527862.htm)，《中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019 版）》；

<sup>d</sup> 新浪财经，中国氢能联盟，[http://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport\\_Show/kind/search/rptid/728998169460/index.phtml](http://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport_Show/kind/search/rptid/728998169460/index.phtml)

除在数量上进行规划和整体把控外，国家和地方相关部门也应着手制定和出台充电及氢气加注设施建设规范，为基础设施建设平台和运营提供一定优惠政策，同时充分调

<sup>62</sup> 艾瑞咨询，中国新能源汽车换电市场研究报告，2022。

<sup>63</sup> 新浪财经，[http://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport\\_Show/kind/search/rptid/728998169460/index.phtml](http://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport_Show/kind/search/rptid/728998169460/index.phtml)

<sup>64</sup> 东方财富网，<http://finance.eastmoney.com/a/202006281534694760.html>

动和鼓励社会资本参与并积极创新商业模式。

### (3) 分场景推进技术路径选择

电动化是商用车实现零排放的主要途径，但由于商用车的运营环境复杂，应考虑不同场景下的多种电动化实现路径。基于技术特性，纯电动汽车被认为是城市公交、轻型城市物流车等短途高频运营车辆的优先技术选择。对于长途干线运营车辆而言，可通过换电模式使用纯电动汽车，同时燃料电池汽车具有加氢快、续航长的优势，在产业规模化后将是长途商用车辆的主要技术选择。除此之外，零碳内燃机技术在近几年受到了较多关注和讨论，由于可以在无需大幅改变现有内燃机设计的基础上使用更加低碳乃至零碳燃料，如氢、氨等，零碳内燃机技术被认为是未来商用车低碳发展的一个重要技术选项。

就目前而言，商用车电动化发展仍需探讨多种技术实现路径，为鼓励行业技术创新，决策层面更应保持技术中立态度，尽可能通过制定行业减排目标等措施，以此激励企业根据自身优势和特点进行战略规划和研发投入。

### (4) 地域协同

除公交、环卫、场地作业等固定场景外，其他商用车类往往需要跨区域运营，这就对地域之间的协同提出了较高的要求。为鼓励新能源商用车推广，多地出台了保障措施对电动货车给予通行便利，但不同城市之间存在一定差异，如天津市对由本市核发的纯电动轻型、微型厢式载货汽车和纯电动轻型、微型封闭式载货汽车不受机动车尾号及早晚高峰时段限行限制，在日间进入市区行驶仍需持有专用通行证<sup>65</sup>；北京市持专用通行证的新能源货车则在7-9时和16-19时两个高峰时段不能通过五环路及以内道路<sup>66</sup>。这就要求新能源货车在跨城运营时综合考虑各中转城市的差异化政策，提前做好时间安排。在充分沟通的前提下，也鼓励货运互动密切的若干个城市或区域组成联盟，统一设置新能源商用车的通行政策，提高新能源商用车运营者的使用便利性。

总而言之，虽然商用车电动化发展仍处于起步阶段，面临和需要解决的问题还有很多。但中国已经具备了发展商用车电动化的背景环境，而且正在制定和完善相应推广政

<sup>65</sup> 天津公安，<http://ga.tj.gov.cn/tztg/2019-04-03/detail-ihvhiqaw9749832.shtml>

<sup>66</sup> 第一电动网，<https://www.d1ev.com/news/qiye/97077>

策。面向 2035 年的《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》也为商用车电动化提出了技术和攻关方向。

### 31 推进商用车电动化有哪些经验可以借鉴？

实际上，无论是国内还是国外在推进商用车电动化方面都仍在探索，不过这其中也有一些经验值得我们借鉴。

#### (1) 加州《先进清洁卡车》法规对中国商用车电动化发展的可借鉴经验

1) 要有上位法作为基础。加州是美国国内唯一一个拥有自主制定州级机动车排放标准权力的州<sup>67</sup>。2002 年 7 月，加州颁布众议院法令 AB1493 法案，要求 CARB 采取措施来限制非商用私人车辆的温室气体排放。2016 年，加州颁布参议院法令 SB32，明确提出了 2030 年加州温室气体排放在 1990 年基础上下降 40%<sup>68</sup>。在施瓦辛格担任加州州长时期签署的行政命令 S-3-05，提出了 2050 年温室气体排放在 1990 年基础上下降 80% 的目标<sup>69</sup>。中长期温室气体减排目标的确立，是推进交通行业零排放转型的主要助力。加州政府及相关管理部门之所以能够大胆地制定强制性的法规和政策来推进交通减排，主要原因在于加州政府一直在更新和发布长期减排计划，同时有相关法律作为政策制定的支撑和背书。与之相比，中国汽车产业相关政策的严苛程度和执行力度有待加强，政策不达标最有力的处罚措施之一，即经济处罚，在中国政策体系中由于缺乏上位法而未能使用。

2) 政策法规设计详细且完善，并尽可能提供长期导向信号。加州在低碳交通法规设计方面具有丰富的经验，这也在《先进清洁卡车》法规的设计中得到较为充分的体现。法规以“规定积分达标限额——零排放汽车积分交易——通过市场机制合规”为基本设计思路，该思路在轻型车 ZEV 积分交易机制中被应用且被证实有效，因此在《先进清洁卡车》法规中的应用也值得期待。与此同时，《先进清洁卡车》法规的时间线拉长至 2035 年以后，各年份目标清晰，为企业提供了明确的政策信号。中国在商用车积分政策的设计过程中，应该尽可能实现长期的政策引导，尽量避免频繁地对政策进行修订和更改，

<sup>67</sup> Congressional Research Service, Vehicle Fuel Economy and Greenhouse Gas Standards: Frequently Asked Questions.

<sup>68</sup> CARB, <https://www2.arb.ca.gov/ghg-2020-limit>

<sup>69</sup> Executive Order S-3-05, [http://static1.squarespace.com/static/549885d4e4b0ba0bff5dc695/t/54d7f1e0e4b0f0798cee3010/1423438304744/California+Executive+Order+S-3-05+\(June+2005\).pdf](http://static1.squarespace.com/static/549885d4e4b0ba0bff5dc695/t/54d7f1e0e4b0f0798cee3010/1423438304744/California+Executive+Order+S-3-05+(June+2005).pdf)

以免打乱企业的战略计划。

3) 及时公开政策进展和披露相关数据。在《先进清洁卡车》法规的制定过程中，CARB 先后举行了八次公开的工作组研讨会，就政策设计过程中遇到的问题与利益相关方进行反复讨论，以确保产业链各个环节的参与方提前了解法规设计和政策难点，从而合理规划并为政策的实施做好准备。此外，CARB 还很重视行业和公众的意见反馈，在法规制定过程中，先后进行了两轮意见征求，并收到了大量反馈意见和建议，这些反馈均能在 CARB 网站上逐一进行查看<sup>70</sup>。

### **国际经验——美国加州《先进清洁卡车》法规**

近两年，一些地区出台了强制性法规来推进商用车电动化，如美国加州，为行业和市场提供了长期且明确的信号指引，有利于企业进行研发和生产战略布局。

1990 年开始，加州空气资源委员会（CARB）引入零排放汽车（ZEV）项目，对乘用车企业实行 ZEV 达标管理，自 2010 年至今，加州地区注册的零排放汽车和插电式混合动力汽车总量便超过 55 万台<sup>1</sup>。为进一步改进空气质量，加快 ZEV 在中重型卡车领域的应用，CARB 于 2019 年 10 月发布了《先进清洁卡车》法规首个征求意见稿（Proposed Advanced Clean Trucks Regulation），要求在加州销售的中型和重型（Class 2b-8）卡车从 2024 年起须至少满足一定比例的 ZEV 比例要求，经修订后 2020 年 6 月 CARB 正式发布了《先进清洁卡车》法规，这是全球迄今为止首个针对卡车零排放的强制性法规<sup>1</sup>。此外，CARB 仍在积极制定一项名为《Advanced Clean Fleets（先进清洁车队）》的政策，该政策希望到 2045 年实现中重型车队的零排放转型。

<sup>70</sup> CARB, <https://www.arb.ca.gov/lispub/comm/bccommlog.php?listname=act2019>

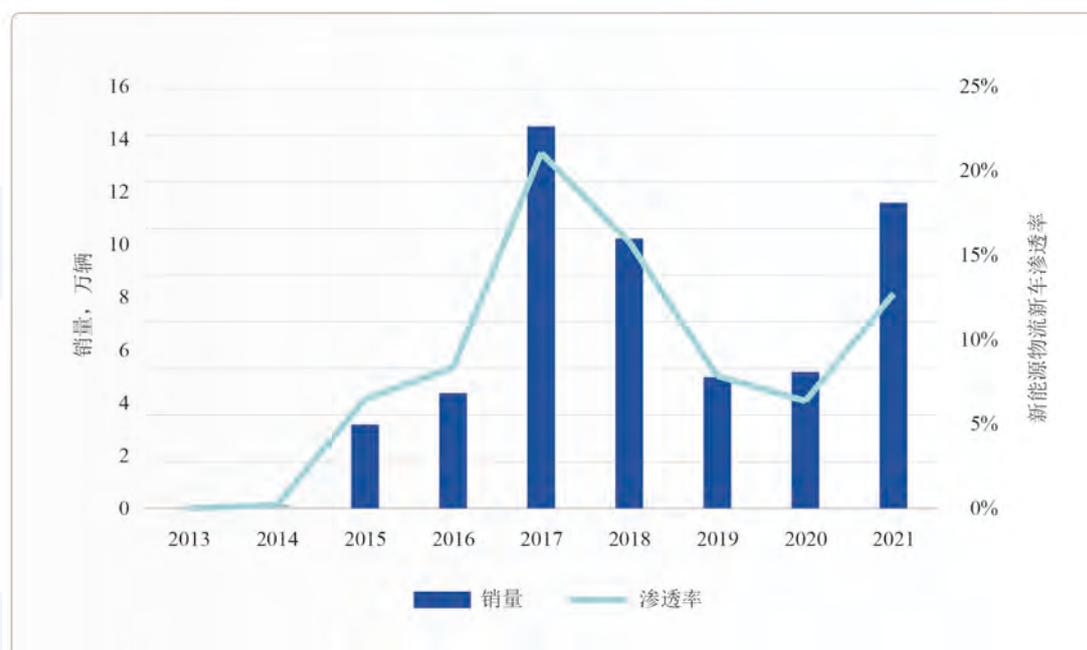


注：除港口、码头等短驳货运车队外，其他车队可考虑使用部分近零排放车辆。

图 30 加州先进清洁车队零排放转型预期时间节点

## (2) 地方与特定场景经验

纯电动物流车是商用车特定场景电动化的一个正面案例。在电动化推广较快的几个场景中，城市客车和环卫车总体上直属于政府管理，其电动化进展更多是政策强制执行的结果。城市物流车的电动化发展虽然在一定程度上也受到了政策的强制干预，但城市物流车的所有者在进行电动汽车置换、购买和使用，必然也得到了有利的正向刺激，如路权政策和运营补贴。随着新能源物流车推广的逐渐深入，补贴逐渐退坡，在这一阶段需要全面评估物流车在城市运行过程中存在的痛点问题并在新能源物流车推广层面进行回应，以此达到促进新能源物流车发展的目的，路权政策正是综合评估后，针对新能源物流车推广定制的有利政策。据不完全统计，约有 20 个城市明确地提出新能源物流车可以享受大部分时间段在市内道路畅行的权利。



数据来源：新车上险数，由能源与交通创新中心绘制

图 31 中国新能源物流车销量及渗透率趋势

新能源物流车推广的正向案例至少可以提供两方面的借鉴，一是现有推广比较成功城市所采取的政策可以在同等发展水平的城市进行复制，或作为主要参考；二是参考新能源物流车的案例，在其他场景商用车电动化进程中制定“定制化”政策，以此来推动电动化发展。

另一个对新能源货车应用推动较大的政策来自于环保领域。2020 年国家生态环境部发布的《重污染天气重点行业应急减排措施技术指南》提出对重点行业企业开展绩效分级，表现好的企业允许采用自主减排措施，不受停产限产影响。目前该政策扩展至钢铁、水泥、焦化等 39 个行业，通过置换新能源汽车推动企业交通运输的清洁化就是评级的一个重要条件。在该政策的推动下，实施绩效分级城市的中重型货车零排放化率相对靠前。未来，可进一步扩展环保绩效分级政策覆盖的行业，同时优化评级条件，有序推动新能源货车的应用。

## VI 全面电动化趋势下充换电技术革新和基础设施展望篇

近两年，中国消费者对于新能源汽车产品的接受度有明显改观，新能源汽车市场渗透率快速增长。但应该看到，电动汽车市场增长的主要驱动力来自于消费者接受度提升以及车辆产品竞争力与销售网络覆盖等供给侧的提升，充电基础设施这一关键环节依然存在明显短板。若不能及时补强，很可能会制约道路交通的全面电动化转型进程。因此，未来亟需加快充电基础设施的关键技术与政策机制的创新步伐。在关键技术层面，构建以大功率快充为核心的公共快速补能新体系，同时加强车网互动尤其是 V2G 技术的应用。在政策层面，通过自上而下的指标体系构建，完善公共充电体系规划，同时建立健全 V2G 等技术配套政策机制的创新设计，为汽车全面电动化转型提供保障。

感谢清华四川能源互联网研究院特聘研究员李立理对本章节内容的宝贵贡献。

2015年国务院办公厅发布《关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》（国办发〔2015〕73号）以来，中国充电基础设施发展取得了重要进展，为支撑中国电动汽车产业的规模化发展起到了重要保障作用。根据中国充电基础设施发展促进联盟统计，截至2022年11月，中国公共充电桩达到173.1万台，相比2015年底增长超过30倍<sup>71</sup>。根据国际能源署（IEA）的统计，截至2021年底，中国公共充电桩的总数在全球占比达到64%，其中公共快速充电桩在全球占比高达85%，高于中国电动汽车保有量在全球约50%的占比<sup>72</sup>。

尽管中国充换电设施已经取得了很大进展，总体规模在国际上处于领先地位，但距离道路交通全面电动化转型的目标，仍需解决两大老问题和两大新挑战。

## 32 充换电基础设施当前亟需解决的“两大老问题”是什么？

问题1：乘用车公共充电体验仍有欠缺，时间成本高、体验痛点多、覆盖仍不全等问题亟待解决

尽管中国纯电动乘用车的续航里程已经逐步接近传统燃油车，很多重点城市的乘用车公共快充设施的布局密度已超过加油站，东中部地区高速公路实现了公共快充基本覆盖，在线导航服务体系也已较为完善，乘用车公共快充“找桩远”“找桩难”等问题在多数城市地区已得到较好解决，但“体验差”“排队久”等问题依然十分突出。

首先，行业存在较明显的跑马圈地和无序竞争等问题，公共充电设施总体利用率偏低，充电运营企业缺乏稳定经营预期，在设施维护、技术升级以及服务提升等方面持续投入力度不足，充电成功率偏低、故障桩比例较高、非充电车辆占位等问题都较为突出。

其次，当前公共快充的速度距离加油的速度有明显差距，加上高速服务区公共充电设施规模尚不能有效满足节假日高峰需求，导致假期高速充电排队问题日益突出。

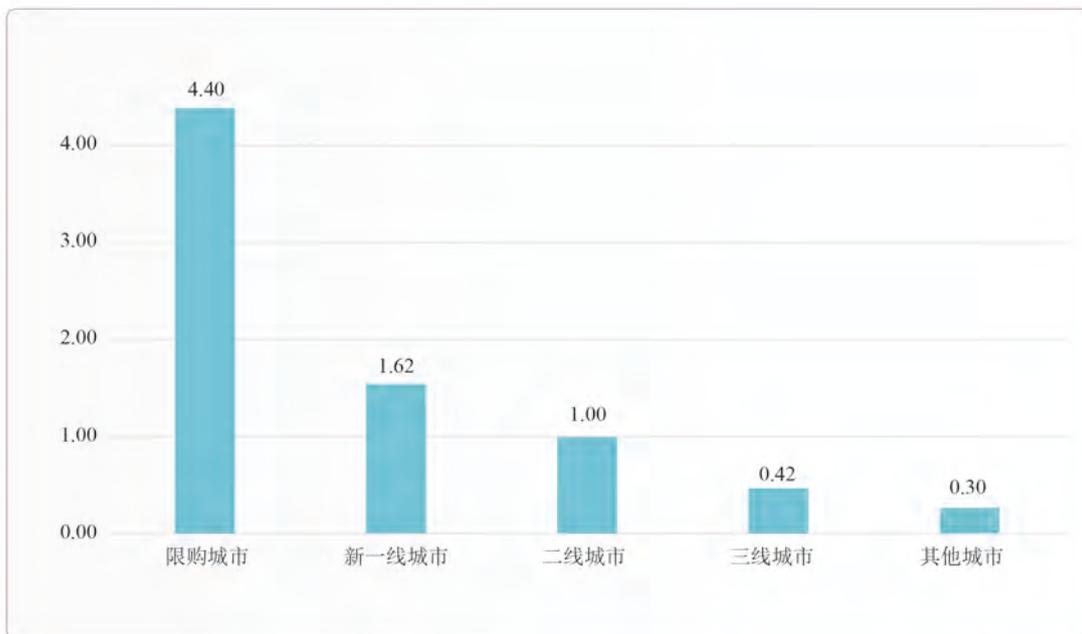
最后，目前中国公共充电桩在一、二线等重点城市的布局密度已经达到了较高水平，但对三线及以下城市的覆盖还有明显不足，一定程度上制约了三线及以下城市的电动化转型进程。基于高德地图等公共设施数据，通过公共充电站与加油站的比值（公共充电

---

<sup>71</sup>中国电动汽车充电基础设施促进联盟. 2022年11月全国电动汽车充换电基础设施运行情况[R]. 北京: 中国电动汽车充电基础设施促进联盟, 2022.

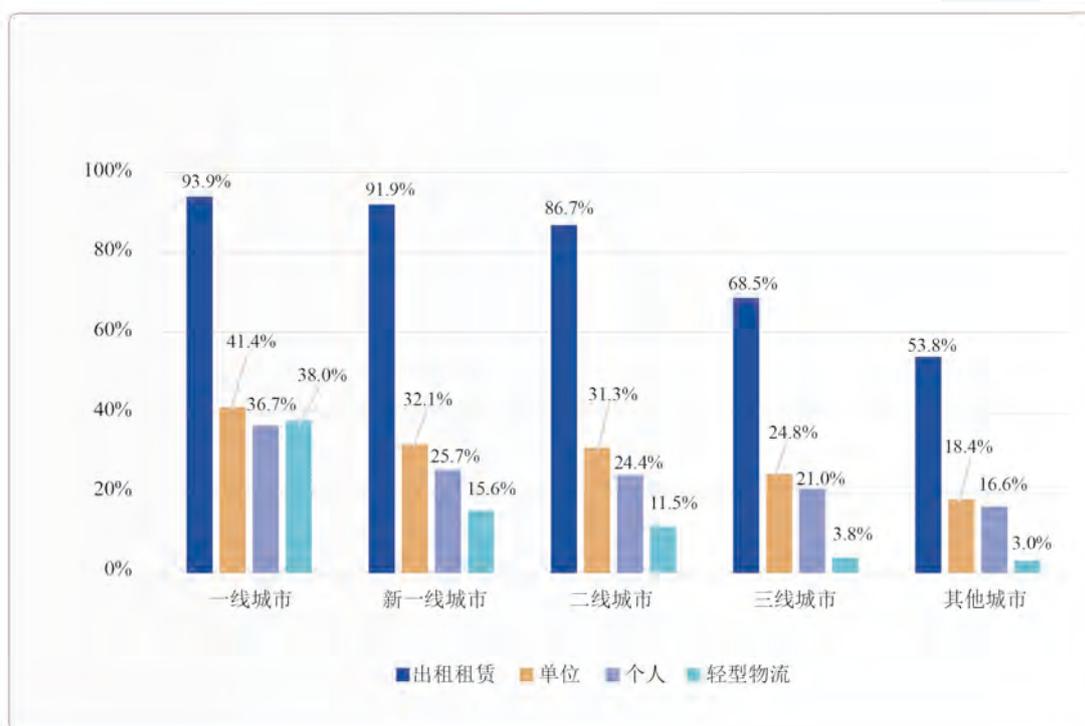
<sup>72</sup> International Energy Agency. Global EV Outlook 2022[R]. Paris: IEA, 2022.

（加油比）来衡量公共充电设施的覆盖密度，从图 32、图 33 可以看出中国三线及以下城市的公共充电/加油比明显偏低，是制约当前三线及以下城市新能源汽车渗透率增长的关键因素。



数据来源：高德地图

图 32 各级别城市公共充电站数量与加油站数量对比（2022 年 12 月底）



数据来源：车辆上险数

图 33 各级别城市各领域的电动化渗透率变化（2022 年 1-11 月）

问题 2：居民社区个人车位的电力接入改造仍待统筹，“有位无电”制约私人消费

个人车位配建充电桩是目前用户体验最好的充电模式，对于拥有固定车位的车主，能否配建个人桩对其用车体验将产生重要影响，会直接影响其购买决策。中国各地对于住宅的停车位配建比例标准在 2010 年前后有了显著提升，近十年的新建小区停车位配比普遍达到了 1:1 左右甚至更高。根据上海市最新停车设施的普查结果<sup>73</sup>，截至 2020 年底，上海市居住小区划线车位总数为 354 万个，夜间小区停车总数 403 万辆，有 88% 的车辆能够停放在小区划线车位，仅有 12% 左右车辆停放在划线车位外的小区各类公共空间。目前大部分车企销售车辆都会赠送充电桩和提供一定距离内电力施工和安装服务，因此是否具备电力接入条件成为了关键矛盾。

对于新建小区，去年以来，国家和部分地方均提出社区固定车位应 100% 具备个人充电桩直接装表条件的要求<sup>74,75</sup>，但由于目前各地执行的仍是前几年新能源汽车渗透率较低阶段制定的配建标准，仅不足 20% 左右的车位具备直接装表接电条件<sup>76,77,78</sup>，大部分车位仅预留了后续电力安装条件，仅完成一、二级配电的电缆桥架和保护管等配套建设，外电源管线、变压器、低压配电柜、电缆等设施仍需开展二次施工建设，并不具备直接装表接电条件。要落实国家最新关于社区固定车位 100% 具备直接装表接电条件的政策要求，仍需进一步修订完善配套配建标准和管理流程。

对于存量小区，个人车位的电力接入不仅涉及电力设施升级改造，还涉及小区公共设施、消防设施以及通信设施覆盖等方面内容，由于目前各地尚未针对存量小区个人车位电力接入改造制订明确的实施目标计划，也尚未建立多部门的统筹协调机制，不少存量小区由于相关改造的主体责任不清晰、建设改造标准不明确、物业人为阻挠等问题，难以完成个人车位的电力接入改造，一定程度制约了私人电动汽车消费的扩大。

---

<sup>73</sup> 张晓鸣.上海新建商品房配套停车位不低于 1 户 1 位，这份文件出炉[EB/OL].上海:文汇报,(2021-12-28)[2023-01-11]. <https://wenhui.whb.cn/third/baidu/202112/28/441445.html>

<sup>74</sup> 国家发改委,能源局等.关于进一步提升电动汽车充电基础设施服务保障能力的实施意见[Z].2022-01-10

<sup>75</sup> 天津市发改委.天津市 10 千伏及以下配电网建设与改造技术原则(2017 版)[R].天津:天津市发改委,2017.

<sup>76</sup> 浙江省标 DB33-1121-2016.浙江省住建厅.民用建筑电动汽车充电设施配置与设计规范[S].

<sup>77</sup> DB11/T-1455-2017.电动汽车充电基础设施规划设计标准[S].

<sup>78</sup> 成都市建委等.成都市电动汽车充电基础设施建设及运行维护技术要求(试行)(成建委[2018]674 号)[Z].2018-11-27

### 33 充换电基础设施未来仍需解决“两大新挑战”是什么？

挑战 1：中重型商用车在专用充换电领域取得进展，但公共充电配套体系建设仍待启动

目前中国商用车领域的电动化进程慢于乘用车领域，电动化进展较快的领域大多是对公共充电服务依赖较少的细分领域，如公交、班车等客车应用领域以及矿山港口、钢厂短途倒运等货运领域，这些领域大都可通过专用充换电站满足补能需求，实现电动化转型相对更容易。尤其近两年中国矿山、码头等特定领域的非道路重型车辆以及钢铁、电厂等特定区域运输场景的道路重卡都依托换电技术取得了一定突破，2022 年，从上险量来看，中国纯电动重卡销量规模达到 1.9 万辆，同比增长 96%；其中换电车型占比达到 53%，同步增长 210%，如果考虑在矿上、码头等内部作业不需要上险的重卡车辆，中国换电重卡 2022 年的进展十分显著，如 G7 绿港在鄂尔多斯和包头的煤炭运输“新能源+散改集”智慧甩箱模式、上海融和骏玖在电厂、矿山、重工业、港口、“公水联运”、城市短倒等场景的换电重卡示范都取得了较显著成效。

但相对而言，对于公共充换电设施依赖程度较高的商用车领域，如需要大范围长距离作业、停放场所不固定的车辆领域，其电动化转型进展就较小。目前仅深圳等少数地区在城建渣土车等领域及其配套公共充电站方面取得了一定突破，但仍高度依赖政策支持，充电速度和布局尚不能有效满足车辆运营主体的需求，尚不具备可持续商业化推广能力，换电技术在商用车领域的应用也局限在特定领域，在提供通用型公共服务方面仍面临诸多内生挑战。

由于中重型商用车总质量吨位分布更广，对配套公共充电设施的充电功率需求跨度更大、灵活性与兼容性要求更高，大规模应用后单站功率需求可能高达数十兆瓦甚至数百兆瓦，其技术标准体系、规划布局、电力接入需求都与乘用车公共充电设施有着显著区别，这是商用车全面电动化需要解决的一个重大挑战。总体而言，当前，中国公共充电设施的技术标准体系和建设布局都是面向乘用车所构建的，尚不具备对中重型商用车电动化的保障能力。

挑战 2：车网互动体系与机制仍待建立，海量电力灵活性资源被闲置

电动汽车是一类优质的电力灵活性资源，一方面，对于停车充电条件相对较好的电动汽车用户，其充电行为具有良好的可调节性，是支撑电力系统从“源随荷动”向“荷随

源动”转变的重要灵活性负荷资源（V1G，即有序充电）；另一方面，主流私人纯电动汽车行驶仅需要消耗约 20%的循环寿命，80%左右的动力电池循环寿命潜力可用作移动储能资源（V2G，即车网互动）。虽然由于车辆出行会造成车辆与电网的连接中断等问题，但通过大范围聚合，大规模移动储能可形成相对稳定和可预期的电网支撑能力，同时具有投资和运营成本低、无需额外占用土地资源等方面优势。

但是，车网互动体系涉及车辆、充电桩、聚合商、电网等多方利益主体，需要完善的技术标准体系以及电力市场机制才能充分发挥其灵活性资源价值。目前中国通过峰谷电价以及部分地区的需求响应、辅助服务试点，对电动汽车的负荷灵活调节潜力进行了初步应用，但主要以用户自主响应为主，资源聚合规模仍较小，用户参与程度也较低；电动汽车作为移动储能设备的 V2G 应用仍停留在小规模试点阶段，规模化商用条件尚不具备，电动汽车的灵活性资源潜力整体开发程度仍然很低。据相关研究机构测算<sup>79</sup>，到 2025 年，中国电动汽车可调节充电负荷（V1G）与移动储能（V2G）的灵活性潜力能够及时开发应用的比例仅占 1%，对应的灵活性资源闲置机会成本将高达数千亿元，到 2030 年这一闲置机会成本将达到万亿级别。随着中国电动汽车迅猛发展，如何尽快构建系统化的车网互动体系与机制，已成为行业高质量发展亟待解决的一个关键性问题。

破解当前“两大老问题”和解决未来“两大新挑战”的意义十分重大，一方面，将为壮大电动汽车市场消费规模、实现道路交通全面电动化提供基础保障；另一方面，通过促进电气化交通与新型电力系统深度融合，也将进一步提升纯电动汽车市场竞争力，释放万亿级电动汽车灵活性资源潜力。但这同时也是一项涉及产业链多个环节和多方利益主体的复杂系统工程，因此亟需发挥中国的制度优势，加快充换电基础设施的关键技术突破与政策机制创新步伐，实现充换电基础设施由“瓶颈制约”向“核心动力”的转变，为电动交通与车网互动的高质量发展提供“新基建”的有力保障。

<sup>79</sup> 清华四川能源互联网研究院,中国汽车工程学会.双碳目标下中国新能源汽车与能源融合的发展目标与推进路径研究[R].成都:清华四川能源互联网研究院,2022.

### 34 如何通过充电设施的“关键创新”支撑车辆全面电动化？

车辆全面电动化转型必须能够针对各类用户群体形成相比传统燃油车的综合技术经济竞争优势，大功率快充对于各类用户群体都能在不同程度提升其使用便捷性，具有基础性意义；而车网互动尤其是 V2G 则有望释放低行驶强度车辆作为移动储能的价值潜力，从而解决低行驶强度车辆经济性方面的不足，加速全面电动化替代进程。

对于高行驶强度车辆，“以电代油”经济性优势突出，核心是构建以大功率快充为核心的公共快速补能新体系。高运营强度车辆本身用能总量大，通过“以电代油”能够获得显著油电差价优势，一旦充电需求能够得到基本满足，往往会在经济性驱动下快速进入全面电动化转型进程。出租租赁领域是一个典型案例，随着近两年充电速度逐步提升到 1-1.5 C，在公共充电覆盖较好的一、二线城市，出租租赁领域的新车电动化渗透率已经接近全面电动化，即使公共充电覆盖不足的四线及以下城市也超过了 50%。下一步，对于高运营强度的中重型货运车辆，一旦能够实现兆瓦级能量补充，也有望复制出租网约车路径，很快进入全面电动化转型轨道，近些年欧美显著加快了乘用车大功率快充和商用车兆瓦级快充的标准和示范工作，其发展趋势日趋明朗，值得高度重视和关注。相比大功率充电，换电也是一种快速补能手段，但由于其在通用性和标准化方面存在的诸多挑战，能否成为未来公共快速补能的主流模式仍有待观察。

对低行驶强度车辆，“以电代油”经济性优势不明显，通过车网互动尤其是 V2G 提升经济性对于这类用户群体全面电动化意义重大。乘用车领域的低行驶强度车辆占比较高，根据大数据分析，2020 年中国新能源私家车中月均行驶里程低于 1,000 公里的占比超过 70%<sup>80</sup>。以月均 1,000 公里为基准，主流紧凑型乘用车每年节省的油电差价成本约为 5,000 元，按照 6%折现率、15 年周期测算的油电差价折现值为 4.9 万元，大体与 5 万元左右的纯电动汽车购置差价相当，意味着大部分私家车选用电动汽车并不比燃油车更经济。而通过 V2G 释放其作为“等效储能”的价值，综合考虑出车率、出行特性以及电网高峰时段可放电容量等限制，对一辆电池容量达到 60 kWh 的私家车，其聚合后的“等效储能容量”有望达到 12 kWh，按照当前固定储能 1.6-2 元/Wh 的 EPC 造价测算，一辆私家车的“等效储能容量”价值有望达到 1.9-2.4 万元。商用车领域的电动校车、班车、特殊作业车辆等细分市场同样也存在行驶强度不足导致油电差价效益不显著等问

<sup>80</sup> 王震坡,梁兆文等.中国新能源汽车大数据研究报告(2021)[M].北京:机械工业出版社,2021.

题，但其单车“等效储能”价值也更高，必须通过 V2G 才能实现电动校车相比燃油车的经济性，这也是近两年美国等地区大力推动校车 V2G 应用的背后逻辑。

对于大功率快充以及 V2G 对于不同行驶强度车辆竞争力提升的影响总结如图 34 所示。

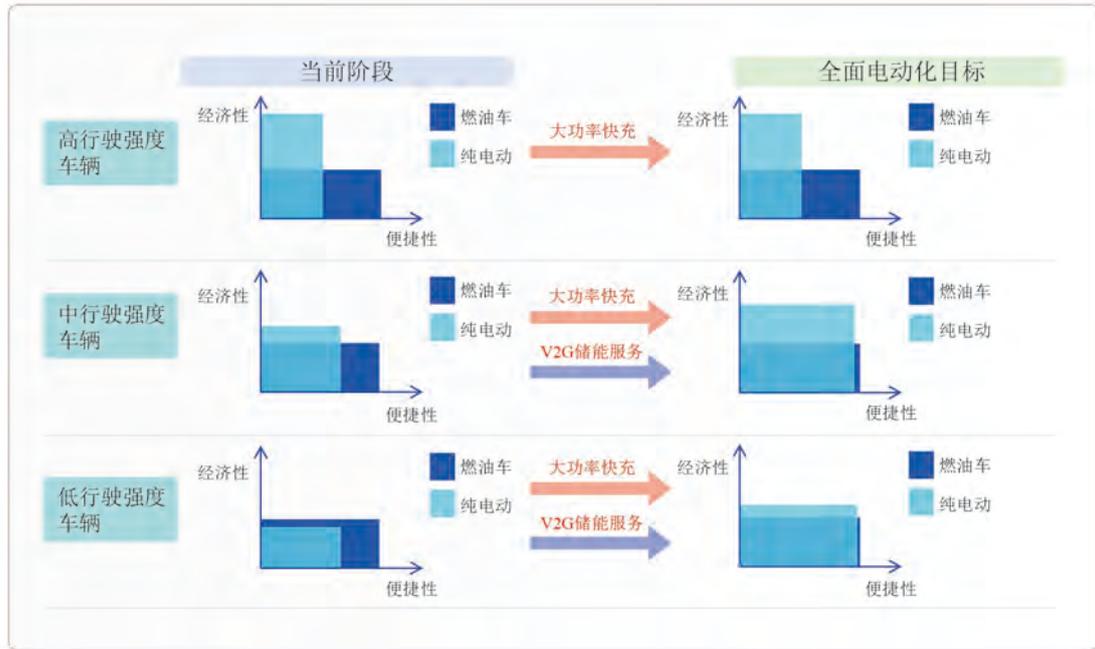


图 34 大功率快充与 V2G 技术对于不同行驶强度车辆竞争力影响示意图

## 35 如何完善轻型车公共快充规划与行业监管机制？

政策机制创新是解决中国充换电设施发展中的问题和挑战、促进大功率快充与车网互动两大关键创新应用的关键保障。建议下一阶段重点从以下几个方面开展充换电设施配套政策机制创新。

一是完善轻型车公共快充设施规划指标体系、建设标准衔接和政府绩效考核体系。首先，规划指标应细化至街道/乡镇一级，覆盖“密度、速度、总量”三个维度，为后续规划落地的监督考核提供参考依据，应加强对于超级快充技术的规划引导力度，合理提升充电速度和功率等级关键指标。其次，应建立规划指标与相关设施配建标准的衔接机制，以社会公共停车场、道路服务区、加油站等设施配建标准为规划落地抓手，将规划指标合理分解至各类设施的公共快充配建比例要求。最后，应将规划指标完成情况纳入相关部门和基层政府绩效考核体系，明确相关部门和街道/乡镇等基层政府责任分工与考核机制，形成规划实施闭环管理机制。

二是强化投资回报与建设保障机制，为社会资本提供稳定预期和优质营商环境。首先，应针对公共快充适度超前建设给予阶段性合理财政补贴，根据规划的公共快充设施利用率变化趋势，参考当地平均充电设施服务费、建设运营成本以及公共设施合理投资回报率水平，科学制定阶段性运营补贴机制与退坡方案。其次，应为高速、乡镇等保障性设施制定专项财政支持措施，应明确界定高速公路、国省干线公路、乡镇农村等区域的保障性设施范围，建立与行业平均利用率挂钩的专项补贴或政府购买服务等长效机制，稳定社会资本预期。再次，应为运营企业提供更完善的场地租赁权益保障机制，大幅加强对于公共快充场站承租人利益的保护，鼓励业主方与承租人签订5年以上的场地租赁合同，出租人不得单方面解除租赁合同和单方面提高租金，出租人应向承租方合理开放所承租车位的停车数据平台和停车管理权限，并配合办理电力容量报装与电力设施升级改造等事项。最后，应进一步优化完善配套电力接入和电力计量等服务，进一步完善公共快充场站容量配置和电力接入标准规范，进一步明确电网、用户各自承担投资界面，合理加大政府财政支持；对于未直接向电网报装接电、通过原有场地方变压器供电的公共快充设施，建议在征得业主同意基础上，允许租赁方申请电力直接计量服务，可以享受电价和电力交易等支持政策。

三是建立公共快充设施利用率监测预警机制，形成以街道/乡镇为单位的公共快充总量约束机制，从源头上解决行业跑马圈地和无序竞争问题。建议各地参考中国在解决

光伏和风电行业无序发展过程中的经验，以街道和乡镇为单位，结合公共快充规划建立行业总体利用率的监测预警分级管理机制，对于设施规模明显超过规划目标且利用率严重偏低的区域，允许采取暂缓新项目备案等措施对供给过剩区域的公共快充设施总量进行合理调控，引导社会资本更多投向供给不足区域，从源头上解决市场无序竞争等问题，为社会资本提供相对稳定经营预期，为行业可持续健康发展提供重要的政府调控机制保障。

四是建立公共充电行业备案管理与考核机制，实现行业“有法可依”。从过去几年实践来看，宽松的行业监管环境下中国公共充电设施规模和市场参与主体数量都实现了快速发展，但也暴露出来了行业无序竞争、服务质量与用户体验不佳、设施利用率偏低、标准互操作性不足、企业普遍经营困难等问题，这些问题很难单纯依靠市场自身解决。考虑到公共充电设施对于公共利益和公共安全的影响愈发突出，建议地方政府建立公共充电行业的备案管理机制和年度考核办法，发挥备案管理机制在兼顾市场活力和有效监管方面的综合优势，并与充电设施规划工作有效衔接。首先，各地应在企业和场站备案时明确对于企业资质能力、服务质量以及安全生产等方面要求，适当提高要求；其次，则应同步建立备案场站和企业的年度考核管理机制，形成监管闭环；最后，应加快完善充电设施尤其是超充设施的互操作标准，建立完善的标准检测和认证体系，并通过与产品公告和备案管理衔接保证公共快充设施 and 不同厂家车辆具有良好的兼容性和互操作性。

五是加快建设和完善行业监管和公共服务平台，实现监管“有据可循”。结合前述行业备案管理与年度考核机制，应加快构建国家-省-市三级监管平台：1) 国家平台重点应实现和各省平台以及大型运营商的贯通，指导各省平台按照全国统一标准规范建设和互联互通，对接国家级新能源汽车和公共交通等监管平台，完善全国层面的行业统计分析，支撑中央政府相关部门开展规划和行业监管，支撑国家补贴核算发放，并为行业提供全国层面的数据和信息公共服务；2) 省市级平台重点应做好本地公共充电设施的行业统计分析，支撑省市层面开展公共充电设施规划、备案管理以及年度考核评级，并实现与同级公共停车、新能源汽车等相关平台的互联互通，为做好省市层面的公共充电设施监管提供有力数据支撑。

六是强化行政执法保障能力，实现监管“执法必严”。强化公共充电行业监管的行政执法保障体系，建立交通、消防、建设、电力等行政管理部门联合执法机制，按照“双随

机、一公开”原则细化公共充电行业的检查管理制度和流程。如上海市交通委等部门起草的《上海市公共停车场（库）充电设施建设管理办法（征求意见稿）》<sup>81</sup>就明确了公共停车场经营主体是场内公共充电设施日常管理的重要责任人，并将充电设施运维、专用充电停车位管理等事项纳入公共停车场（库）经营备案、质量信誉考核内容，进行定期检查考核；同时对于电动汽车用户违规行为也提出了明确规定，明确对用户占用充电专用停车位且未按公示价格缴纳差别化停车费或经劝阻不驶离充电专用停车位的，将依法进行处罚，并由市级充电平台建立充电车辆的信用管理制度，对纳入黑名单的车辆，全市公用充电桩可暂停对其提供充电服务。

### **深圳如何利用公共车辆快速建立充电基础设施网络？**

谈起中国电动汽车市场近年来取得的成就，深圳总是一个绕不开的案例。作为中国电动化转型最早、支持力度最大的城市之一，深圳的成功经验得到了全世界的关注和效仿，深圳本身也成了中国电动化道路上的一座里程碑。截至 2021 年底，深圳新能源车保有量已经达到 54.4 万辆，占总体保有量的 14%，2022 年上半年中，深圳销售新能源汽车 8.6 万辆，市场渗透率为 47%，销量与渗透率在一线城市中均排名第一，维持了深圳的一贯水准。作为对比，全国上半年的新能源汽车销量为 209 万辆，也就是说，深圳一个城市售出新能源汽车就占到了全国总销量的 4%。

回过头来看，深圳采取的补贴、路权、限牌等一系列推广措施似乎并没有太多特殊之处，但实际上在当时，许多现在看来非常常见的政策法规都还鲜有人尝试，这些措施的执行效果和成本也都没有现成的案例可以借鉴。正是有了深圳的大胆尝试，如今其他城市在推行自己的电动车政策时才有了可以参考和依照的前车之鉴。对于深圳补贴、路权以及限牌等政策研究已经非常深入，因此本文将着重介绍深圳解决充电难问题的发展经验。

---

<sup>81</sup>上海市交通委等.上海市公共停车场（库）充电设施建设管理办法（征求意见稿）[Z].2022-07-29

新能源汽车推广的一大难点在于如何破解充电基础设施和电动汽车之间互相掣肘问题，长期以来电动汽车充电难、充电慢的问题一直为人诟病，由于国内大多数家庭没有私人车库和建设私人充电桩的条件，因此非常依赖公共充电设施，如果城市内公共充电设施不足，很容易阻碍新能源汽车的推广进程。但反过来，充电桩产业也非常需要成熟、成规模的新能源汽车市场的支持，否则充电桩的利用率将无法得到保证，企业的盈利能力将受到极大的影响。

深圳解决这一问题的思路之一是以公共车辆带动私有车辆，以充电站点逐渐辐射为充电网络。与私家车相比，公交车、出租车等公共服务车型的电动化难度要低得多。由于这些车辆每日的行驶距离更长，出行频率更高，车辆不仅可以将电动车使用成本更低的优势发挥得更加充分，其带来的频繁的充电需求也保证了充电基础设施的使用率，进而拉低了充电设施的度电建设成本。如此一来，公共车辆就成了充电基础设施网络的绝佳切入点。在 2017 年年底，深圳就已经实现了公交全面新能源化，全市超过 1.5 万辆公交车都由电力驱动，成为全球第一个实现这一目标的城市。此后，深圳又在 2018 年基本实现了出租车新能源化，全市 21,689 个出租车指标中，纯电动出租车指标有 21,485 个。基于这些电动车辆，深圳得以在全市建立了最初的充电设施网络，这一网络对周边的私人车辆部分开放，吸引附近居民选择电动车辆。

对于中小城市来说，城市财政很难拿出巨额资金来补贴新能源汽车或充电桩，也不像深圳一样有比亚迪等本地新能源汽车企业的加持，因此不可能全盘复刻深圳的成功经验。但从公共车辆到私有车辆的大思路是值得借鉴的。新能源公共车辆尽管前期投资高，但长期来看有助于降低车辆使用成本，因此不会对城市财政造成太大负担。而公共车辆能够为城市提供最初的基础设施、配套服务和市场认可，是破解充电设施与电动车“鸡生蛋、蛋生鸡”这一难题的有效方式。

## 36 如何完善居民区固定车位“电气化+互动化”改造的统筹推进机制？

一是以“车位附近有电源+消防通信有保障”为目标，细化和明确增量与存量住宅社区固定车位的“电气化+互动化”建设改造标准规范。随着中国新能源汽车渗透率快速提升，从进一步拉动新能源汽车消费、满足广大民众在自有车位充电的迫切愿望、为私人电动汽车参与车网互动创造有利条件等角度出发，以居民小区固定车位“电气化+互动化”全面覆盖为目标，开展配套电力设施、通信设施，以及消防设施整体改造的条件趋于成熟，应将其作为中国推进“新基建”的一项核心工作。一方面，应按照“全面覆盖、就近接入”的原则，明确固定车位的接入电源布局要求和建设规范；另一方面，应同步明确配套通信设施以及消防设施的升级改造标准规范，同步建设改造到位。

二是明确小区固定车位电气化和互动化改造的配套投资和建设保障机制，为相关实施主体开展建设改造创造有利条件。对于新建小区，应由开发商整体完成相关电力设施、消防设施、通信设施等配套投资建设，通过固定车位销售或租赁方式收回投资。对于存量小区，电力设施改造建议由电网企业作为投资建设主体完成整体建设改造，通过输配电价疏导结合政府财政补助提供投资保障，并通过绿色金额等手段降低电网企业财务成本。存量小区建设实施过程中，还需要居民社区管理单位和物业企业在配套设施占地和布置、公共区域施工管理等方面予以支持配合，各地住房建设管理单位以及街道等基层政府部门也应明确相关建设规范和管理办法，为实施单位提供建设施工便利条件。

三是明确居民区智能有序充放电体系配套标准与规范，并通过政策法规尽快实现全国范围强制推广。首先，应在充放电设备层面，借鉴上海以及英国等地区的经验，尽快出台社区个人智能充放电设备的强制性国家或行业标准，确保未来新销售的社区个人充放电设备能够具备与电网安全高效互动的能力。其次，应在系统架构层面，明确车辆-充电桩-聚合商-电网等相关方实现高效互动的硬件系统架构和交互协议标准，形成体系化的技术标准规范，满足个人用户和充放电聚合商参与各类电力交易的需求。最后，应在行业政策法规方面，明确对于新销售乘用车、个人充电桩在产品检测认证、市场准入管理、销售上牌以及报装接电等环节的政策法规要求。

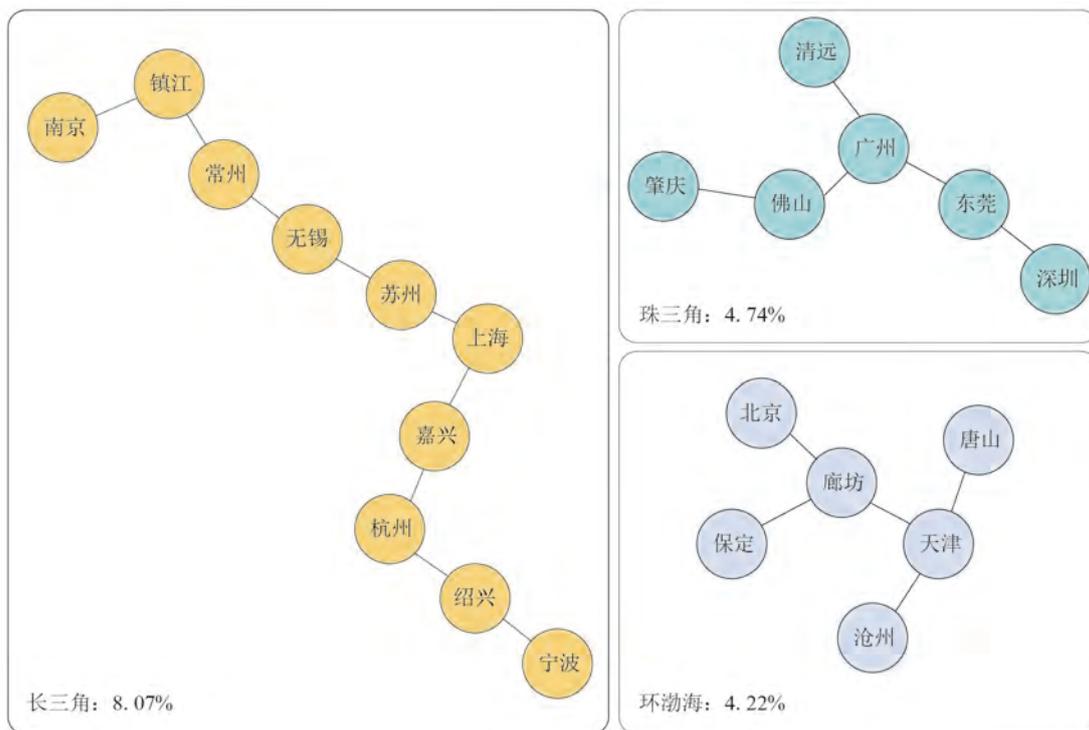
### 37 如何完善中重型货运公共快充跨行业协同与重点区域示范支持政策？

一是应由交通、能源、汽车等主管部门牵头建立中国中重型货运公共快充跨行业协作平台，明确行业发展路线图和规模商用化时间节点。建议由交通、能源、汽车等相关主管部门牵头搭建跨行业协作平台，借鉴中国推动5G等重大行业推动技术升级的经验，依托协作平台开展行业顶层设计和路线图研究，提出明确的商用化时间节点，更好促进行业共识；在此基础上，成立专业化工作组开展相关技术标准、测试规范、标准法规等各项务实准备工作，组织开展跨行业共同参与的试点示范验证工作。

二是应组织和支持有条件的地区联合开展重点区域中重型货运公共快充试点示范项目。中国中重型货运在局部区域较为集中，具备优先开展区域公共快充试点示范的优越条件。根据公路货运大数据报告<sup>82</sup>，如图35所示，2019年中国环渤海、珠三角、长三角等区域的3条重要线路承担了全国15%以上的运输份额，其中长三角区域的南京-上海-杭州-宁波的线路总长度在600公里左右；珠三角区域的肇庆-广州-深圳的全程仅有300公里左右；北京-天津-唐山也仅有300公里左右。因此，应优先选择以上区域的重点线路开展区域中重型货运的公共快充试点示范项目，为产业链上下游提供公共测试验证环境。建议由有关部委牵头，组织开展示范区域和示范线路申报工作，进行区域内中重型商用车配套公共快充示范线路的统一规划和同步建设，示范区域内各省市应制定统一的专项支持政策，为示范快充站建立投资回报保障机制，并在通行路权、最大允许车载总质量标准等方面给予试点专项政策支持。

---

<sup>82</sup> 长安大学,北京中交兴路信息科技有限公司.中国公路货运大数据报告 2019[R].北京:长安大学,北京中交兴路信息科技有限公司,2020.



数据来源：中交兴路。图中比例是指货运活动份额，货运活动使用“额定吨位周转量”进行表征，  
 额定吨位周转量=额定吨位载重×行驶里程。

图 35 2019 年中国运输量位居前 3 的重点运输线路分布

## 38 如何完善车网互动尤其是 V2G 配套政策机制创新设计？

一是应尽快在国家层面制定车网互动顶层设计和商用化路线图。应结合中国实际需求和基础，结合未来新型电力系统需求以及电力市场改革进展，综合研判动力电池以及 V2G 车型的技术成熟度以及消费者参与意愿，形成符合实际国情的车网互动发展目标与实施路径。跟踪 IEC、ISO 等国际标准化组织的车网互动相关工作进展，确保中国车网互动的顶层设计与国际保持同步。

二是应建立跨行业协同机制，加快技术标准和测试认证体系建设。应由能源和汽车行业主管部门牵头，建立由主流车企、充电设备企业、充放电聚合商以及电网企业等产业链各方参与的车网互动跨行业协同工作机制，重点推进车网互动相关技术标准和测试认证体系的建设，推动中国车网互动标准与国际标准体系的有效衔接，形成明确的规模商用节点和标准化实施路线图，并针对各项重点工作成立对应的工作组，确保各个里程碑节点任务能够有效分解和落实，最终满足规模商用的各项要求。

三是应开展先行示范区建设，完善配套市场机制以及政策监管体系。应选择新能源汽车发展最快的城市或省份开展车网互动先行示范区建设，在验证有关技术方案的同时，应为充放电聚合商全面参与各类电力市场交易提供有力政策机制保障，支持个人车辆通过 V2G 模式常态化参与电网互动，允许充放电聚合商在电力市场交易中具备与独立储能电站同等市场地位，支持 V2G 聚合商与独立储能电站开展公平竞争。同时，也应结合先行示范区建设，完善充放电资源并网、计量体系以及聚合交易监管体系，确保车网互动业务有序健康发展。

## VII 交通运输结构协同发展篇

构建清洁低碳的运输体系，是支撑国家碳达峰碳中和战略和深入打好污染防治攻坚战的重点任务，也是加快建设交通强国的内在要求。2017年以来，中国大力推进大宗货物及中长距离货物运输“公转铁”“公转水”，加快推进多式联运发展，取得了积极成效。未来应进一步以京津冀及周边地区、汾渭平原地区以及长三角和粤港澳大湾区为重点区域加快优化调整运输结构，加快构建港口绿色低碳集疏运体系，推进多式联运高质量发展。

感谢交通运输部规划研究院总工程师刘胜强以及国际清洁交通委员会 (ICCT) 高级研究员邵臻颖 (按姓氏首字笔划排序) 对本章节内容的宝贵贡献。

## 39 中国运输结构调整工作成效如何？

2017年，天津、唐山、黄骅等环渤海港口陆续停止接受煤炭汽车集港运输，揭开了中国运输结构调整工作的序幕。2018年10月，国务院办公厅印发《推进运输结构调整三年行动计划（2018—2020年）》<sup>83</sup>，2021年12月又印发《推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案（2021—2025年）》<sup>84</sup>，持续全面推进运输结构调整工作。交通运输行业深入贯彻落实党中央、国务院决策部署，积极出台支持政策，大力推进大宗货物及中长距离货物运输向铁路和水运有序转移，加快推进集装箱多式联运发展，提高运输组织水平，取得了积极成效。

铁路、水路在大宗货物中长距离运输中的骨干作用进一步凸显，运输结构持续优化。铁路货运量及其占比自2016年降至历史最低值后，持续反弹不断增长，至2022年铁路货运量增长至49.3亿吨，增长了47.9%，在货运量中的占比由2016年的7.6%增长至9.7%；铁路货物周转量占比也由2016年的12.7%增长至15.9%。2011-2022年间，水路货运量及其占比持续增长，由42.6亿吨增长至85.5亿吨，占比由11.5%增长至16.9%<sup>85</sup>。截至2020年底，环渤海地区、山东省、长三角地区沿海主要港口的煤炭集港已全部改由铁路或水路运输，矿石采用铁路、水运和皮带机疏港的比例达到61.3%，较2017年增长了20个百分点<sup>86</sup>。

多式联运实现快速发展。近年来，陆续出台了《交通运输部等十八个部门关于进一步鼓励开展多式联运工作的通知》<sup>87</sup>等一系列指导性文件，创新公铁联运、空铁联运、铁水联运、江海联运、水水中转、滚装联运等高效运输组织模式，组织开展多式联运示范工程项目，在基础设施建设、组织模式创新、技术装备研发应用、信息互联互通等方面不断探索，覆盖全国28个省份，已开通线路390余条，累计完成集装箱多式联运量超过1,400万标箱<sup>88</sup>。集装箱铁水联运加快发展，2021年完成集装箱铁水联运量超过754万标箱，2017年至2021年，集装箱铁水联运量年均增长21%<sup>89</sup>。

<sup>83</sup> 国务院办公厅关于印发推进运输结构调整三年行动计划（2018—2020年）的通知[EB/OL].

[http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-10/09/content\\_5328817.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-10/09/content_5328817.htm)

<sup>84</sup> 国务院办公厅关于印发推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案（2021—2025年）的通知

[EB/OL]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content\\_5669424.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5669424.htm)

<sup>85</sup> 数据来源：国家统计局。

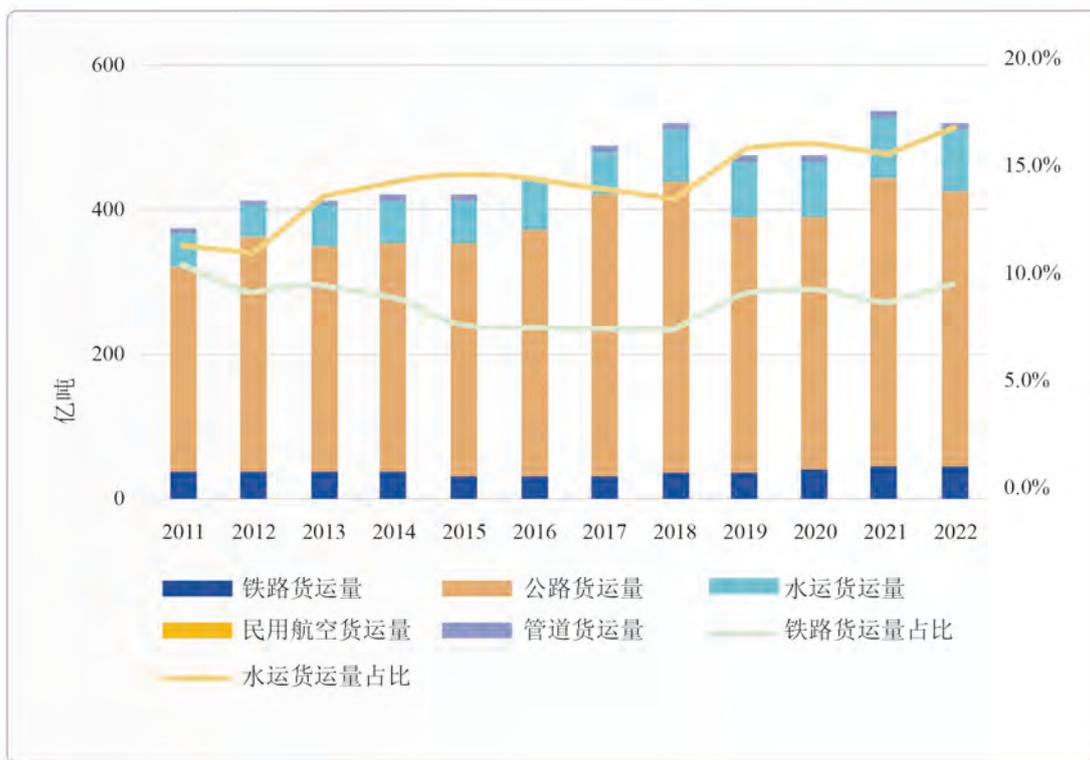
<sup>86</sup> 数据来源：交通运输部，《中国可持续交通发展报告》。

<sup>87</sup> 交通运输部等十八个部门关于进一步鼓励开展多式联运工作的通知 [EB/OL].

[http://www.gov.cn/xinwen/2017-01/04/content\\_5156520.htm#1](http://www.gov.cn/xinwen/2017-01/04/content_5156520.htm#1)

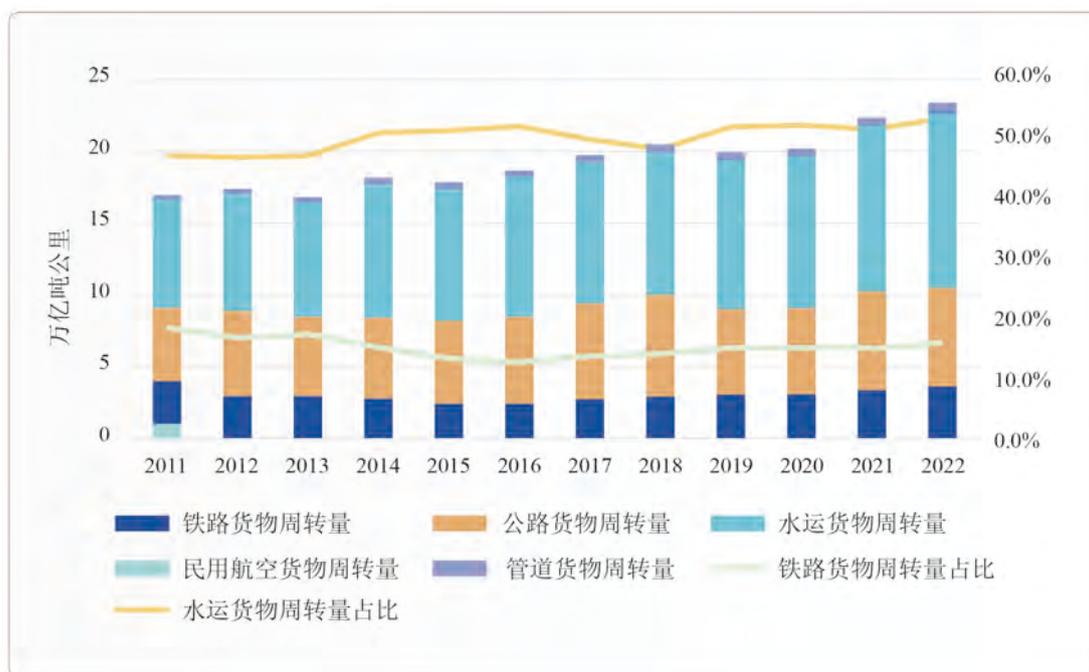
<sup>88</sup> 数据来源：交通运输部，《中国可持续交通发展报告》。

<sup>89</sup> 数据来源：交通运输部，2017年-2021年《交通运输行业发展统计公报》。



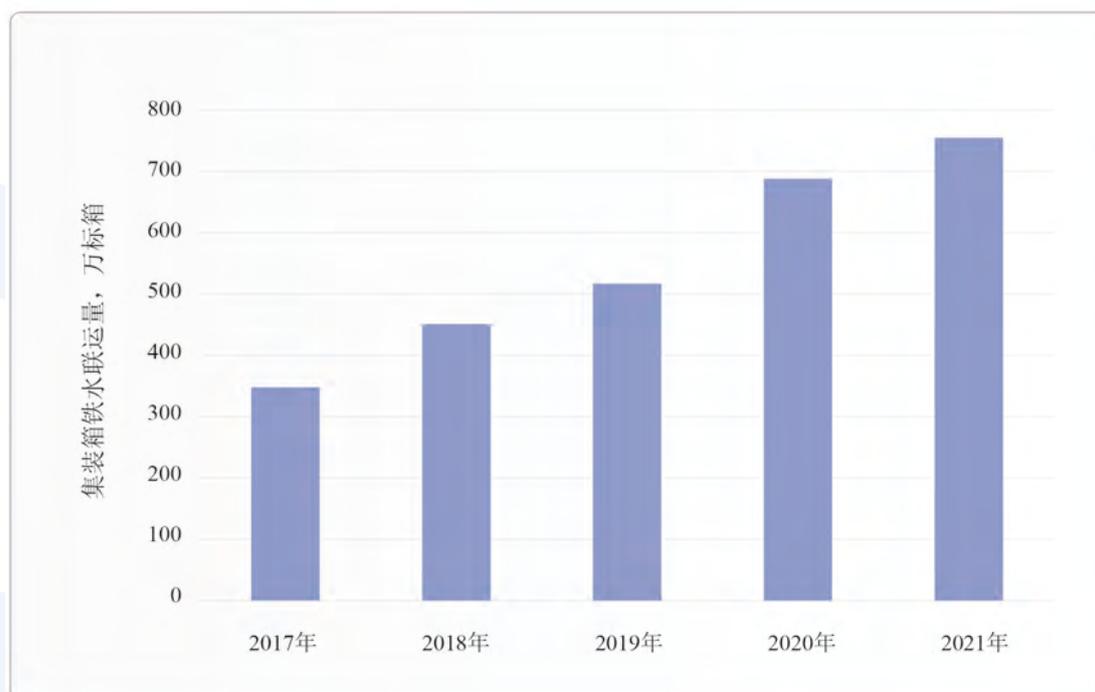
数据来源：国家统计局

图 36 2011-2022 年货运量结构变化趋势



数据来源：国家统计局

图 37 2011-2022 年货物周转量结构变化趋势



数据来源：交通运输部，2017年-2021年《交通运输行业发展统计公报》

图 38 2017—2021 年中国集装箱铁水联运量

## 40 各部门采取了哪些举措支持运输结构调整工作？

交通运输部全面贯彻落实国务院运输结构调整政策文件，制定贯彻落实文件，细化分解目标任务，梳理铁路专用线重点建设项目，加强工作统筹部署，协调解决关键问题，推动运输结构调整工作。利用车辆购置税资金支持运输结构调整工作，“十三五”期支持港口集疏运铁路项目建设，“十四五”期结合国家综合货运枢纽补链强链工作支持综合货运枢纽及集疏运体系项目建设，推进完善港口、物流园区绿色低碳集疏运体系，加快解决“最后一公里”问题。组织开展国家综合货运枢纽补链强链工作，2022年15个城市进入首批国家综合货运枢纽补链强链范围，按照每个城市原则上不超过15亿元、每个城市群原则上不超过30亿元给予奖补资金。加快推进多式联运发展，2016年以来先后组织实施了四批116个多式联运示范工程。以环渤海地区、山东省、长三角地区沿海主要港口和唐山港、黄骅港的煤炭集港以及矿石、焦炭运输为重点，全面推动港口大宗货物集疏运结构优化，定期组织调度，确保完成国家任务要求。修订《港口收费计费办法》，降低货物港务费、引航（移泊）费等收费标准，合并堆存保管费、库场使用费等收费项目，降低港口收费标准，推动降本增效。

国家发展改革委牵头制定《加快推进铁路专用线建设的指导意见》<sup>90</sup>，推进铁路进港口、大型工矿企业和物流园区，推动充分利用既有铁路设施，提高铁路专用线共建共享利用效率，先后推动两批铁路专用线重点项目，并安排长江经济带绿色发展专项中央预算内投资，支持长江经济带港口集疏运铁路项目建设。进一步清理规范铁路货物运输相关收费，清理规范地方政府收费，简化铁路货运杂费，加强专用线代维等服务收费管理，推动降低地方铁路运价水平，规范经营者收费行为，推动降低物流成本，提高铁路竞争优势。

生态环境部重点推进实施钢铁行业超低排放，针对进出钢铁企业的铁精矿、煤炭、焦炭等大宗物料和产品，提出采用铁路、水路、管道或管状带式输送机清洁方式运输比例的要求，从严格新改扩建项目环境准入、积极有序推进现有钢铁企业超低排放改造、实行差别化环保管理政策等方面推进落实。结合蓝天保卫战重点区域强化监督定点帮扶、

---

<sup>90</sup> 关于加快推进铁路专用线建设的指导意见. [http://www.gov.cn/xinwen/2019-09/18/content\\_5430913.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2019-09/18/content_5430913.htm)

重点地区秋冬季大气污染综合治理攻坚行动等工作，推进各地和相关企业加快落实运输结构调整工作任务。自然资源部将运输结构调整重点铁路专用线项目作为允许占用永久基本农田的重大建设项目，纳入用地预审受理范围，解决铁路专用线项目用地审批难题。国家税务总局下调铁路运输服务增值税税率。

国家铁路集团制定铁路货运增量行动方案，细化煤炭、矿石、集装箱、商品汽车等货运增量目标，明确铁路货运增量任务和具体举措，提高铁路货运量。出台铁路运价下浮、取消合并杂费、降低收费标准等政策，推动各铁路局集团公司对国铁运输的整车、零担、集装箱等货物运价相应下浮，取消翻卸车作业服务费等部分杂费，降低货车延期占用费、专用线代运营代维护费等部分收费标准。

地方政府部门积极出台运输结构调整资金支持政策。江苏、云南、黑龙江等部分省份和城市出台运输结构调整资金支持政策，安排专项资金支持铁路专用线建设以及“公转铁”“公转水”和多式联运发展。部分省份建立部门联席会议机制，开展工作督导检查，推进各地各重点企业切实落实运输结构调整工作部署。

## 41 重点区域如何加快推进运输结构调整工作？

京津冀及周边地区、汾渭平原地区以及长三角和粤港澳大湾区是中国货运强度最高、运输结构调整潜力最大的区域，其中京津冀及周边地区、汾渭平原地区也是中国大气污染防治的重点区域。应以这些地区为重点，加快推进运输结构调整示范区建设，带动其他地区深化运输结构调整工作。

京津冀及周边地区应持续深化运输结构调整示范区建设。京津冀及周边地区是中国钢铁产能最密集的区域，也是建材、石化、电解铝等高能耗、高排放行业最为聚集的地区，货物运输需求巨大，是中国大气污染防治的重点区域，也是运输结构调整潜力最大的区域之一。从运输结构来看，2021年北京市、天津市、河北省、山西省、山东省、河南省6省（市）铁路、公路货运量占比分别为16.3%、79.3%<sup>91</sup>，与2016年相比货物运输结构持续优化，运输结构调整示范区取得了重大进展，但总体上看运输结构仍有较大的优化调整空间。应以港口集疏运和大型工矿企业大宗货物运输为关键抓手，大幅提高大宗货物采用铁路、水路、封闭式皮带廊道、新能源汽车运输等绿色低碳运输的比例。加快推进铁路进港口、大型工矿企业和物流园区，引导铁路运输企业与煤炭、矿石、钢铁等大型企业采用“量价互保”等模式，规范地方铁路、专用铁路、铁路专用线收费，以及港口装卸、港外堆场、检验检疫、船公司、船代等收费，降低铁路“门到门”运输成本。在煤炭矿区、物流园区和钢铁、火电、煤化工、建材等领域培育一批绿色运输品牌企业<sup>92</sup>。

晋陕蒙煤炭主产区应大幅提高煤炭中长距离铁路运输比例。晋陕蒙三省（区）原煤产量占全国比例超过70%，煤炭净调出量约占全国跨省调运总量的90%，是中国“西煤东运”“北煤南运”主要货源地。应加快推进煤炭生产、运输和消费集中地区干线货运铁路建设进度，推动浩吉、大秦、唐包、瓦日、朔黄等煤运干线铁路按最大运输能力保障煤炭运输需求，推动运力紧张铁路扩能改造，补齐铁路运输短板。加大煤炭直达列车、点到点货运列车等班列产品开行频次。完善铁路运价灵活调整机制，持续推行煤炭铁路运价下浮政策，提高铁路竞争优势。按照“晋陕蒙煤炭主产区大型工矿企业中长距离运输（运距500公里以上）的煤炭和焦炭中，铁路运输比例力争达到90%”要求，大幅提

<sup>91</sup> 数据来源：国家统计局。

<sup>92</sup> 国务院办公厅关于印发推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案（2021—2025年）的通知[EB/OL]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content\\_5669424.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5669424.htm)

高煤炭跨省及省内中长距离铁路运输比例。

长三角和粤港澳大湾区应加快推进集装箱铁水联运、水水中转发展。长三角地区和粤港澳大湾区都是世界级港口群，是中国经济最发达的两个区域，也是中国集装箱运输最为密集的区域。但 2021 年上海港、深圳港、广州港集装箱铁水联运量占吞吐量比例仍不足 1%，远低于世界先进港口和国内港口平均水平。应依托多式联运示范工程建设，大幅提高集装箱铁水联运量。鼓励港口企业与铁路、航运等企业加强合作，统筹布局集装箱换箱点。因地制宜推进宁波至金华双层高集装箱运输示范通道建设，加快推进沪通铁路二期及外高桥港区装卸线工程等多式联运项目建设。

## 42 如何推进港口构建绿色低碳集疏运体系？

港口是现代物流体系的关键节点，是综合物流供应链中最大的货物集结点，是水陆运输的枢纽、水运货物的集散地、远洋运输的起点和终点。推进港口构建绿色低碳集疏运体系是运输结构优化调整的重点和关键。近年来，国家安排专项资金支持疏港铁路建设，加快构建绿色低碳集疏运结构，取得了明显成效。要进一步落实港口运输结构调整要求，加快推进港口集疏运铁路建设，不断提高港口大宗货物采用疏港铁路、水路、封闭式皮带廊道、新能源汽车运输的比例<sup>93</sup>。

一是加快疏港铁路建设完善港口集疏运网络。推动铁路直通主要港口的规模化港区，新建或改扩建集装箱、大宗干散货作业区原则上要同步建设进港铁路，配足到发线、装卸线，实现铁路深入码头堆场。加快推进已列入国家发展改革委重点铁路专用线建设项目清单的疏港铁路项目建设进度，利用中央预算内投资，支持长江经济带港口疏港铁路项目建设。依托国家综合货运枢纽补链强链工作，安排车购税资金支持疏港铁路新建或改扩建工程，不断提高铁路集疏运能力。

二是推进港口加快构建绿色低碳集疏运体系。按照国家提出的“京津冀及周边地区、长三角地区、粤港澳大湾区等沿海主要港口利用疏港铁路、水路、封闭式皮带廊道、新能源汽车运输大宗货物的比例力争达到 80%”要求，提高港口绿色低碳集疏运比例。在确保主要港口煤炭集港采用铁路运输基础上，大幅提高矿石、焦炭等大宗货物铁路和水路运输比例，推进钢材、粮食、商品汽车等积极采用铁路和水路集疏运。在中短途集疏运领域，鼓励港口应用纯电动、氢燃料电池、可再生合成燃料车辆，提高新能源车辆集疏运比例。推进港口与周边企业联合，因地制宜采用封闭式皮带廊道集疏运。

三是加快港口铁水联运、江海联运发展。加快港口铁水联运发展，在符合条件的港口试点推进“船边直提”和“抵港直装”模式。加快港口型物流枢纽建设，完善港口多式联运、便捷通关、仓储配送等服务功能，建立“港口+内陆港”为核心的多式联运体系，合理布局内陆无水港。推进港口统筹江海直达和江海联运发展，加快江海直达和江海联运配套码头、锚地等设施升级改造。推动企业充分利用项目资源，加快发展铁水联运、江海直达运输，形成一批江海河联运精品线路。

<sup>93</sup> 国务院办公厅关于印发推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案（2021—2025 年）的通知[EB/OL]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content\\_5669424.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5669424.htm)

## 43 如何加快多式联运高质量发展？

多式联运作为一种集约高效的先进运输组织方式，对提高运输效率、促进节能减排具有重要的作用。从欧美国家经验看，通过优化运输结构，加强不同运输方式间无缝化衔接和一体化组织，可提高运输效率 30%左右。加快多式联运发展是推进运输结构调整的重要方向之一，应强化铁路、公路、水路基础设施协调衔接，推进运输服务规则衔接和标准协同，尤其是加快港口集装箱铁水联运发展，不断提高集装箱铁水联运量占吞吐量的比例。

一是要提升多式联运承载能力和衔接水平。要完善多式联运骨干通道，提高交通基础设施一体化布局和建设水平，加快建设以“6 轴 7 廊 8 通道”主骨架为重点的综合立体交通网。加快综合货运枢纽多式联运换装设施与集疏运体系建设，提升多式联运效率与物流综合服务水平。推进多式联运型物流园区、铁路专用线建设，加快解决枢纽站场“连而不畅”“邻而不接”等“最后一公里”问题，形成以铁路、水运为主的大宗货物和集装箱中长距离运输格局。

二是要创新多式联运组织模式。要加快推动铁水、公铁、公水、空陆等联运发展，大力发展铁路快运，推动冷链、危化品、国内邮件快件等专业化联运发展。针对城市生产生活物资运输，充分挖掘城市既有铁路场站和线路资源，创新“外集内配”等生产生活物资公铁联运模式，支持港口城市结合城区老码头改造发展生活物资水陆联运。鼓励港口航运、铁路货运、航空寄递、货代企业及平台型企业等加快向多式联运经营人转型，培育更多具备“统一组织、全程负责、一票到底”专业化多式联运经营人，打造更多具有资源整合能力和国际影响力的龙头骨干企业。

三是要深化多式联运制度规则衔接和信息交换共享。深入推进多式联运“一单制”，研究制定不同运输方式货物品名、危险货物划分等互认目录清单，解决多式联运服务规则、技术标准等“最后一厘米”的软条件制约。加快推进多式联运信息资源共享，推进部门间、方式间、企业间、区域间多式联运信息互联共享，加大铁路、公路、水运、民航等企业信息开放和共享力度，解决多式联运“信息孤岛”“数据断链”等问题。

四是要加快多式联运技术装备升级。要加大 35 吨敞顶箱使用力度，探索建立以 45 英尺内陆标准箱为载体的内贸多式联运体系。推动建立跨区域、跨运输方式的集装箱循环共用系统，降低空箱调转比例。积极推动标准化托盘在集装箱运输和多式联运中的应

用，加快培育集装箱、半挂车、托盘等专业化租赁市场。进一步扩大双层集装箱开行范围，研究推行双高箱运输，加快内陆通用集装箱推广应用。

## 44 美国在推动多式联运方面有怎样的经验？

多式联运在美国的应用较为广泛，主要用于较长距离运输。美国的多式联运在过去几十年中迅猛增长，多式联运的运输周转量在 2017 年已达到 21%，较 1993 年的占比翻了三倍。其中，主要的增长来自公铁联运和铁水联运，其运输周转量分别达到了多式联运 70%和 16%。

经济发展、能源结构等因素从根源上影响着货运带来的排放，研究发现政策干预也可以有效遏制排放增长的趋势。美国战后几十年一直致力于交通运输，尤其是铁路运输的放松管制和走向市场化。这些法规和措施驱使了货物运输市场化程度不断加深，从而使得货运更加高效和智慧。自 80 年代后，美国出台了多项针对运输系统的战略规划和政策，推动基础设施的建设，并提供财政税收的支持，其目标是构建出一套更加高效、一体化且更加绿色环保的多式联运框架体系。此外美国还非常重视现代货运技术的创新研发，以及对交通运输的数据收集和研究，来支持其运输体系的绿色化和高效化。自 2017 年起，中国也开始实施交通运输结构调整战略，将重型大宗货运转移到主要由铁路和水路进行运输，同时从行业角度提出了一些其他配套要求，并在各个层面提供财税和基础建设的支持。如表 23 所示，从本质上中美两国都是从政策和技术层面入手进行投资，其目标也都是为了减少货运领域的温室气体和常规污染物排放。

通过深入分析和比较中美三类典型货物煤炭、铁矿石和商品车的运输结构(图 39)得出，铁路在美国是大宗型货物运输的主要方式，辅以公路和水路，同时，美国在运输这三种典型商品时，都更多引入多式联运的运输方式，其市场份额达到了 5-13%不等(按重量计)。而在中国大宗型货物仍主要依赖于公路运输，但是近几年的运输结构调整使铁路和水路的占比有所增加，但是由于数据缺乏，多式联运的信息无法得到统计。

煤炭：美国的煤炭运输以铁路为主，当前占煤炭运输重量的 64%左右，且过去 40 年这一比例变化不大。铁路和水路承担了绝大部分煤炭的长途运输，公路则承担了短途，即最后一公里的运输。在中国，公路承担了大量煤炭行业大宗货物的运输，当前占煤炭运输重量的 28%左右。铁路在中国煤炭运输作用远小于美国，但水路运煤比例高于美国。

铁矿石：美国的铁矿石运输当前也以铁路为主（重量占比 53%），水路和多式联运

参与也较多(重量占比分别为 18%和 13%), 公路运输为补充。中国的铁矿石以公路运输为主(重量占比 57%), 其次是水路, 铁路运输仅占 13%。

商品车: 商品车两国的运输方式最为接近, 都是以公路为主。美国还采用了一定比例的多式联运。中国铁路运输的比例大幅高于美国, 特别是近几年在相关的政策干预下, 其涨幅迅速。

表 23 中美两国主要运输体系建立的政策对比

类别	美国	中国
放宽管制与市场化推进政策	<p>1976年和1980年分别出台的《铁路振兴与管理改革法》以及《斯塔格斯铁路法》</p> <p>1978年出台的《解除航空管执法》</p> <p>1980年针对货运行业出台的《汽车运输商法》</p> <p>1984年针对海运商户出台的《航运法》</p>	<p>成立了中国国家铁路集团有限公司，替代原铁道部，对铁路运输进行管理</p> <p>成立了私营航空公司</p>
资金支持、财税行动与政策措施	<p>出台相关法规为建设多式联运基础设施和提升货运效率提供直接的资金支持</p> <p>通过创造性手段吸引私人领域进行基础设施投资</p>	<p>为降低铁路和水路运营成本提供资金支持</p> <p>省级和地方层面为推动公转铁、公转水以及发展多式联运提供资金支持</p>
现代货运体系与多式联运技术	<p>集装箱的广泛应用</p> <p>推进自动化和车辆互联技术来提高运输效率</p>	<p>推进国家和省级多式联运示范工程建设</p>
多式联运基础设施	<p>建设足够且耐用可靠的基础设施，实现多种运输模式之间的有效衔接</p> <p>建设货运走廊</p>	<p>铁路进港，实现铁路水路运输之间的无缝衔接</p> <p>打造多层次、一体化的运输体系，提升运输效率</p>
环境政策	<p>空气质量标准</p> <p>尾气排放标准</p> <p>燃油质量标准</p> <p>燃油消耗量（GHG）标准</p> <p>推进替代燃料</p> <p>由政府和行业企业协同开展的SmartWay智慧货运行动，旨在提升燃油能效</p> <p>其他支持性项目例如缓解拥堵和空气质量改善计划（CMAQ）</p>	<p>空气质量标准</p> <p>尾气排放标准</p> <p>燃油质量标准</p> <p>燃油消耗量限值标准</p> <p>为应对柴油车排放而开展了强有力的国家级行动方案，其中包含了重点地区和行业的运输模式调整及排放控制目标</p>
研究与数据	<p>每五年开展一次商品流通调查</p> <p>向公众公开的基本货运结构分析</p> <p>面向长期需求的研究项目</p>	<p>国际及地方层面的专项调查</p>

来源：国际清洁交通委员会整理

**美国：**从整体货运活动和运输结构看，美国 2020 年的货运总量为 193 亿吨，货运周转量为 7.7 万亿吨公里；中国货运活动经历了爆发式增长，自 2009 年起货运活动总量已超过美国，并且还在保持快速增长的趋势。2020 年，中国国内运输系统完成货运总量为 463 亿吨，货运周转量为 20 万亿吨公里。各个运输模式的比较结论如下：

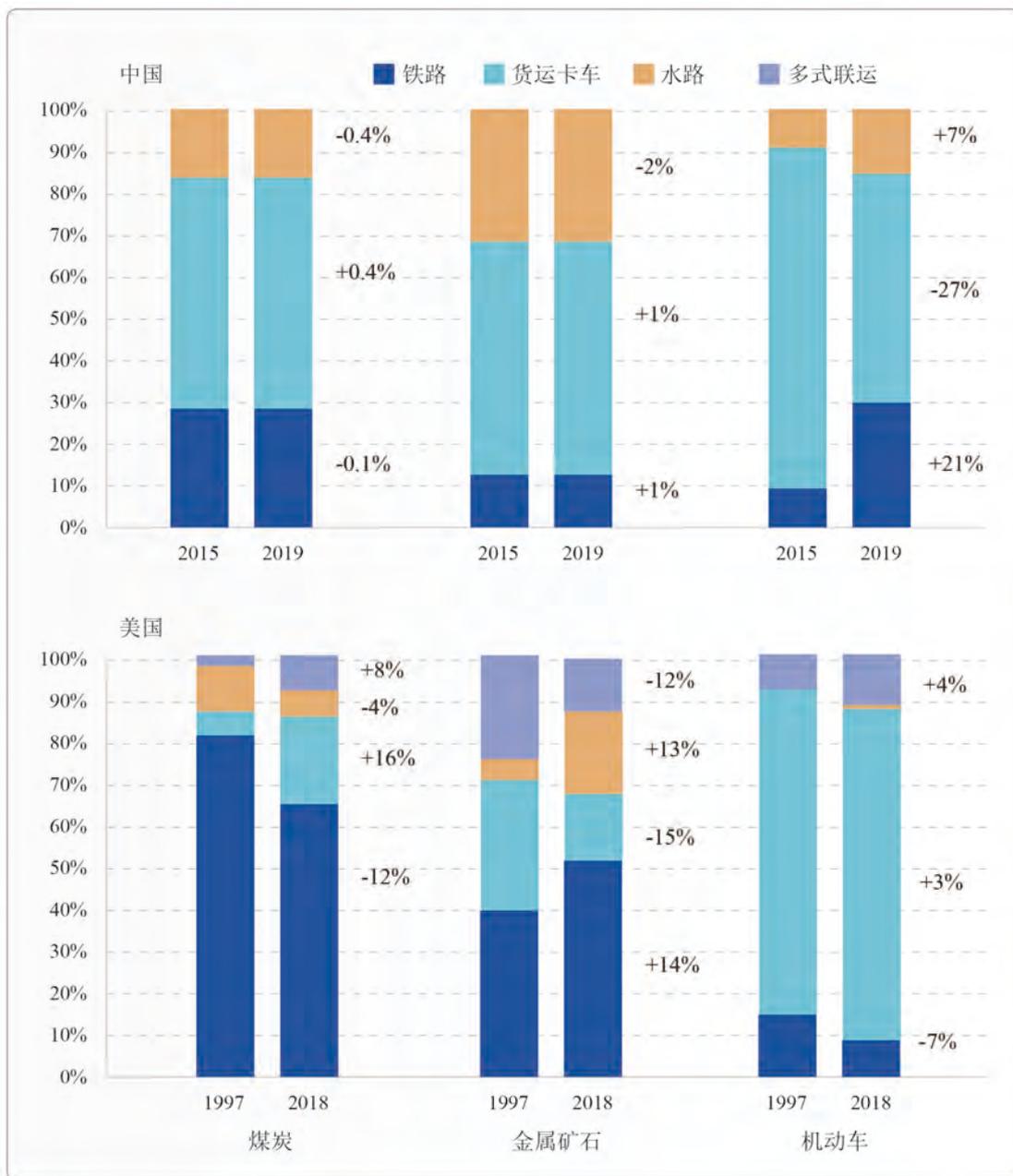
公路运输在中美两国都是主要的运输模式，货运周转量占比为 40-50%，但两国的发展趋势有所不同。美国的公路运输活动量近年来相对保持稳定，而中国的公路运输占比在过去 40 年间从 5% 增长至将近 50%。

美国铁路运输的货运周转量占比要高于中国，2020 年美国铁路货运周转量占比为 27%，而中国为 16%。上世纪 80 年代以来，两国铁路运输呈现出了完全不同的发展模式，美国铁路运输的市场份额在过去 40 年间增长了 50%，中国则减少了近 75%。

水路运输对于中美两国而言都是成本最低廉的大宗货物运输方式。目前美国水路运输的份额比例已降至仅余 10%，而中国水路运输份额则增长至 31%，成为了第二大货运周转方式。

中美两国在管道运输方面的发展差异也非常大。2020 年，美国管道运输周转量占比为 19%，而中国仅为 3%。管道运输在美国石油及石油产品和水煤浆运输系统中发挥着重要作用，而中国的管道则主要用于石油、天然气和石油产品运输。

中美两国的航空运输都增速迅猛。尽管航空运输的占比最小，但在过去 40 年中，美国航空运输的增幅为 4 倍，中国则高达 271 倍。这样的增幅变化主要是由于两国对于高附加值产品和高时效性运输需求的增加。

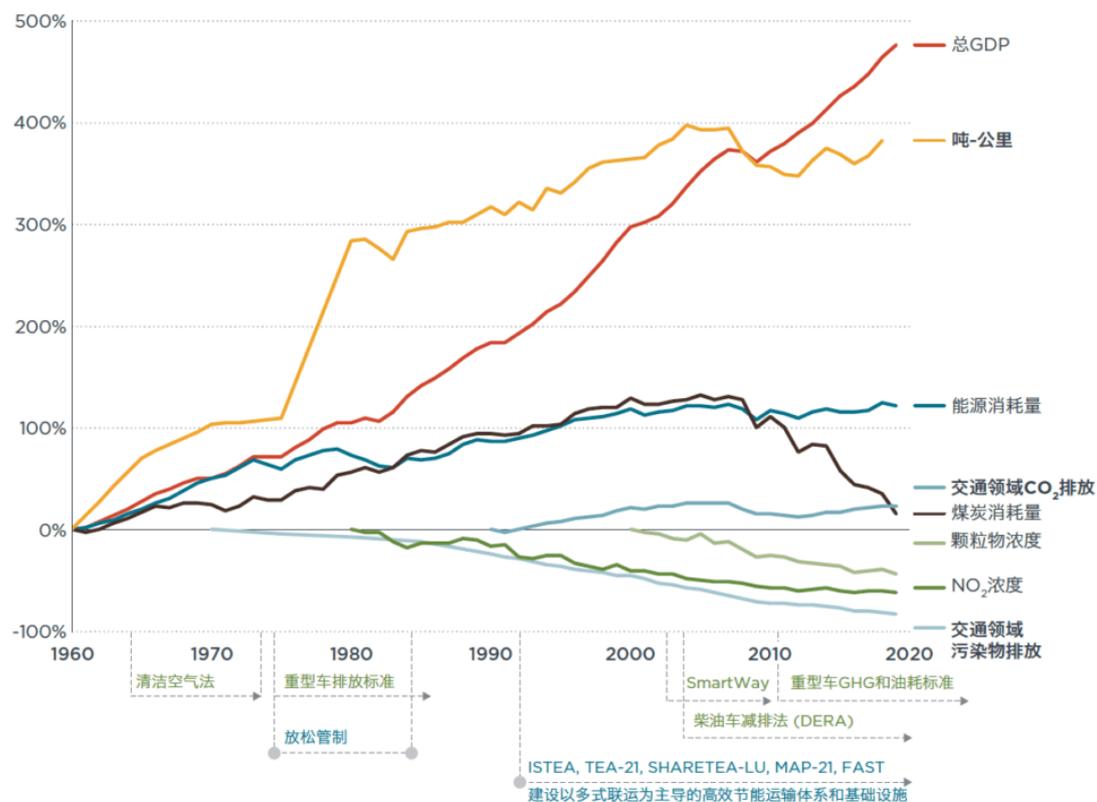


来源：国际清洁交通委员会，《全球汽车电动化转型年度总览：2021》

图 39 三类商品的各种运输模式份额对比 (按重量计)

美国的经验也确认了交通运输和环境的政策和法规能成功降低了由于经济增长和能源使用增长而导致的货运量增加和对环境的负面影响（图 40）。其交通运输系统的快速增长、放宽管制和多式联运的推进，加上经济增长、基础设施建设增加和技术创新，使交通运输行业得以重塑并为所有运输模式带来了生产力的显著增长。而一套新的集成化的国家货运体系管理和规划框架，对货运体系进行了结构性的调整，推进了市场化率并在运输模式选择方面提供了更大的灵活性。同时，由于货运活动的快速增长，人们对空气污染的危害和气候变化的紧迫性有了更深刻的认识，推动了环保法案的出台。多年

来，环保政策和法规不断加严，降低了交通部门的污染物排放并协同带来了空气质量改善。



来源：国际清洁交通委员会，《迈向绿色和可持续货运体系：中美多式联运政策和关键因素对比》

图 40 美国 1978 年到 2019 年间主要运输相关因素的变化

## 45 美国多式联运经验给中国的启示是什么？

从根本上向服务型经济和更清洁的能源转型。美国的经验证实了经济和能源对货运活动的重要影响，其以服务性为主的经济结构，和以天然气和可再生能源为主的能源结构，大幅度减少了大宗型货物（如煤炭和矿石）的运输需求。中国应考虑加速向服务型经济和向清洁能源转型升级，并不断优化产业结构和产业布局以减少对大宗型货物的依赖和运输需求。

继续全面加严能效、碳排放、燃油质量和尾气污染物控制标准。美国和中国的经验证明，即使在货运活动迅速增长和能源需求增加的情况下，排放控制标准和法规也能有效地减少运输领域的污染排放，改善空气质量。此外，就像在推动轻型车和城市公交电动化的进程上一致，中国还应带头推进电动化、新能源和清洁货运技术，进一步加速向绿色和可持续货运体系转型。

立足多式联运，发展和提升高效货运系统。过去几十年来，美国的货运政策一直把重点放在加强不同运输模式、不同州以及不同地区之间的运输协作和提升货运体系的整体效率方面，以提高货运行业整体运行能力为目的，而不是面向单一某种运输模式。这一做法在美国的成功，表明运输模式之间的协作有助于实现高效的货运体系。鉴于目前中国已经加快推进货运市场化，制定一套包含多式联运架构的发展战略规划对于加速向高效的运输结构转型是至关重要的。

加大基础设施投资，保障高效的多式联运体系的建设。美国已经从联邦、州、地区乃至私营层面划拨了大量资金用于支持建设各种运输模式所需的网络和基础设施。通过资金定向分配的方式，美国构建了多式联运转运枢纽、衔接设施以及其他设备，将所有运输模式连接在一起构建成了运输网络。中国也需要确保和增长长期资金投入，为未来现代化多式联运提供所需的设备和基础设施。除了中央、省级和地方层面的投入，中国还可以鼓励相关机构、企业乃至是私人进行投资。

通过战略政策杠杆，提升铁路运输、水路运输和管道运输在大宗型货物运输中的占比。基于对煤炭和铁矿石的分析，可以看到铁路运输在 2017 年的运输结构调整政策的影响下，其增长幅度较快，但占比变化不大。这为进一步提高铁路利用率留下了巨大的潜力。中国亟需开展相关分析和研究，设定发展目标和战略，推动公路运输以外的其他运输模式发展，挖掘铁路运输、水路运输、管道运输以及多式联运在中国的应用潜力。

挖掘铁路运输的运力潜能，运输更高价值的产品，提高成本效益。作为美国货运系统的支柱，铁路在运输煤炭、农产品、矿产以及长途货运和多式联运方面发挥着主导作用。但目前中国的铁路系统尚不具备这样的特征。但中国已经开始投资建设完整的运输网络体系，并致力于降低托运人的运输成本，未来铁路在引领中国货运活动方面可能会发挥更大的作用。

大力发展提升货运效率的先进技术。集装箱的发明为多式联运的应用铺平了道路，其在货运领域中的广泛采用提高了整体运输效率，因为它有助于更好地实现不同运输模式之间的衔接。此外，美国近期批准的“车队自动列队行驶”技术进一步增强了在公路高速行驶状态下的节能潜力。因此，这种跨模式技术对于中国推广多式联运、提高效率、降低成本和减少货运领域排放是至关重要的。

重视基础性研究和数据收集。中国在货运数据收集方面与美国存在一些差距，公开数据和信息非常有限。《中国统计年鉴》对交通运输部门的整体情况有比较全面地收录，但仍缺乏货运领域的详细信息。一套精心设计采集的数据，类似美国每五年开展的商品流向调查，可以用于了解商品运输的具体信息并成为一项重要的分析工具，来评估对货运基础设施和服务的需求、能源消耗量，甚至是安全风险和环境问题。

综上所述，货物运输活动是空气污染的重要来源。在过去几年中，中国一直致力于通过货物运输结构调整来减少空气污染物的排放并取得了显著成效。具体而言，中国通过《打赢蓝天保卫战三年行动计划》和《柴油货车污染治理攻坚战行动计划》等的实施，以优化产业结构、能源结构、运输结构为指导思想，大力推进公转铁、公转水。结合持续出台和加严一系列机动车和发动机排放标准和油耗标准，成功地在货运活动大幅增加的背景下依然有效控制了车辆排放，从而实现了空气质量的改善。然而，随着中国经济和贸易的持续蓬勃发展，货物运输需求的持续增长，中国在进一步优化调整运输结构、切实实现绿色、可持续货运方面将面临更为艰巨的挑战。中国首先需要从根源入手寻求结构性解决方案，即从资源密集型的重工业向技术密集型的轻工业和服务业转型，从高排放强度的能源结构和粗放型、低效率的能源使用方式向更清洁、高效的能源使用转型。其次，中国可以参考美国的历史经验和教训，通过政策引导货运体系的市场化、高效化、清洁化和智慧化。政府之手的作用可以从管理交通模式的具体运行转型到通过政策法规保障交通运输市场的公平性，减少其环境污染和其他负面影响，以及加大未来绿色高效运输技术和运输模式基础设施的投入。

## VIII 海运减污降碳路径篇

国际海运贸易的迅速发展带来了大量船舶温室气体（GHG）和大气污染物的排放，对全球气候、大气环境和人类健康造成持续威胁。国际海事组织（IMO）在巴黎协定签订后，提出了2050年海运业GHG减排50%的宏伟目标，为了实现该减排目标，IMO一直在法规政策层面探索新的减排机制促进国际海运业减排；同时国际海运业也已经开始探寻使用替代燃料的减排路径。但是，由于各国经济和技术水平发展不一，由IMO倡导的减排措施难以激发各国能动性，极大地限制了技术大国的减排自主贡献，导致仅依靠船舶运营和技术手段实现海运碳减排的目标十分艰难。为了促进国际海运业建立长期稳定的减排机制，不仅需要全面掌握当前海运船舶的排放水平和表观特征，更需要深入了解海运船队行为和排放背后的贸易驱动因素，为解锁行业减排困境提供新思路。

感谢清华大学环境学院教授刘欢、博士生王小桐对本章节内容的宝贵贡献。

## 46 全球海运业减排经历了哪些过程？

19 世纪开始，世界范围内的海运贸易高速发展，国际商船的运输规模也随之不断增加。相较于陆运和空运，海运具有能效高、运量大、成本低等优势<sup>94</sup>，是各国贸易往来的主要的运输方式。根据联合国贸易和发展会议（UNCTAD）的《海运评述》报告，海运目前承担了世界贸易运输总量的 80%以上<sup>95</sup>，成为全球经济的重要支柱。但与此同时，由于海运的能源主要为化石燃料，船舶在海上运输过程中也排放了大量的温室气体（GHG），如 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 和 BC 等。根据国际海事组织（IMO）第四次 GHG 研究的最新估算结果，2018 年全球船舶排放的 CO<sub>2</sub> 达到 10.6 亿吨，其中 70%以上来自船舶的国际运输；全球船舶排放约占总人为源排放量的 2.9%，且这一比例在 2012—2018 年间呈现增加趋势<sup>96</sup>。

IMO 早在 1973 年就开始呼吁减少船舶排放，并且不断制定新的船舶碳减排法规，以修正案的方式将其加入《防止船舶污染国际公约》（MARPOL）中。2011 年，IMO 海洋环境保护委员会（MEPC）通过了强制性全球能效标准，首次确定了新船的“能效设计指数”（EEDI）和适用于所有船舶的“船舶能效管理计划”（SEEMP）<sup>97,98</sup>，是历史上第一个针对整个工业部门的全球性温室气体强制减排制度。2018 年，MEPC 通过了《IMO 关于减少船舶温室气体的初步战略》的修正案，提出 IMO 持续致力于减少国际海运产生的温室气体排放且力求在本世纪尽快消除这些排放的愿景，并设置了船队设计能效、国际海运碳强度和国际海运温室气体排放总量三方面的目标<sup>99</sup>。首先，对 EEDI 法规实施效果进行审查，以求进一步加强船舶的能效设计要求，并酌情为每一种船舶类型确定

---

<sup>94</sup> Smith T, Prakash V, Aldous L, et al. The Existing Shipping Fleet's CO<sub>2</sub> Efficiency [R]. University College London Energy Institute, 2015.

<sup>95</sup> UNCTAD. Review of maritime transport 2019 [R]. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development, 2019 (2020-1-31). [https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf)

<sup>96</sup> Faber J, Hanayama S, Zhang S, et al. Forth IMO Greenhouse gas study [R]. London: International Maritime Organization, 2020. <https://www.maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2021/03/4th-IMO-GHG-Study-2020.pdf>.

<sup>97</sup> IMO. Resolution MEPC 213(63), 2012 Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP) [R/OL]. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/213\(63\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/213(63).pdf).

<sup>98</sup> IMO. Resolution MEPC.212(63), 2012 Guidelines of the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships [R/OL]. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.212\(63\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.212(63).pdf)

<sup>99</sup> IMO. Resolution MEPC.304(72), Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships[R/OL]. International Maritime Organization, 2018. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304\(72\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304(72).pdf).

每一阶段的改进百分比；其次，到 2030 年，国际海运船舶平均单位运输工作量的 CO<sub>2</sub> 排放量较 2008 年减少至少 40%，到 2050 年努力减少 70%；再次，尽快使国际海运的温室气体排放量达到峰值，到 2050 年，国际海运温室气体年排放总量比 2008 年减少至少 50%，同时按照愿景中的要求尽快消除温室气体排放以符合《巴黎协定》的温度目标。2021 年，MEPC 通过了现有船舶能效指数 (EEXI)<sup>100</sup>和年度运营碳强度指标 (CII) 和 CII 评级政策<sup>101</sup>等，启动针对船舶能效提升的法规要求，但是实现海运减排的远期目标仍缺乏有效的减排机制和明确的实施路径。

---

<sup>100</sup> IMO. Resolution MEPC.333(76), 2021 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI) [R/OL]. 2021.

<sup>101</sup> IMO. Resolution MEPC.336(76), 2021 Guidelines on operational carbon intensity indicators and the calculation methods (CII guidelines, G1) [R/OL]. 2021.

## 47 全球海运船舶排放现状如何？

根据清华大学船舶排放清单模型 (SEIM v2.0) 模型<sup>102</sup>估算, 2019 年全球远洋船舶 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放量分别为 1,700 万吨、1,240 万吨和 10 亿吨 (表 24)。船舶发动机中绝大部分为柴油机, 在其工作过程中通过燃料燃烧, 氧化空气中的氮气 (N<sub>2</sub>) 或燃料中的氮元素而产生大量的 NO<sub>x</sub> 排放, 成为船舶废气中的首要污染物<sup>103</sup>。同时, 在 2020 年全球“限硫令”启动之前, 远洋船舶多以重油为燃料, 而重油的硫含量远高于大多数陆地交通工具使用的柴油, 因此 SO<sub>2</sub> 也成为船舶排放的重要污染物, 且远洋船舶业成为交通源 SO<sub>2</sub> 排放的最主要来源。从年际变化来看, 2017 和 2018 年全球远洋船舶 CO<sub>2</sub> 年排放分别增加了 8.3% 和 4.6%, 而 2019 年中美贸易量的减少导致了 CO<sub>2</sub> 年排放量下降了 3.9%。2016—2019 年间, 不同污染物之间的年际变化趋势较为一致。

表 24 全球远洋船舶大气污染物及温室气体排放量

排放部门	清单年份	大气污染物					温室气体		
		NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM	CO	HC	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
		万吨/年	万吨/年	万吨/年	万吨/年	万吨/年	万吨/年	万吨/年	万吨/年
国际海运	2016	1,620	1,190	154	70.1	65.1	9.2	1.3	5.2
	2017	1,710	1,280	165	75.2	69.4	9.9	1.4	5.7
	2018	1,770	1,340	172	78.3	72.2	10.4	1.4	6.0
	2019	1,700	1,240	160	75.2	69.6	10.0	1.4	5.8

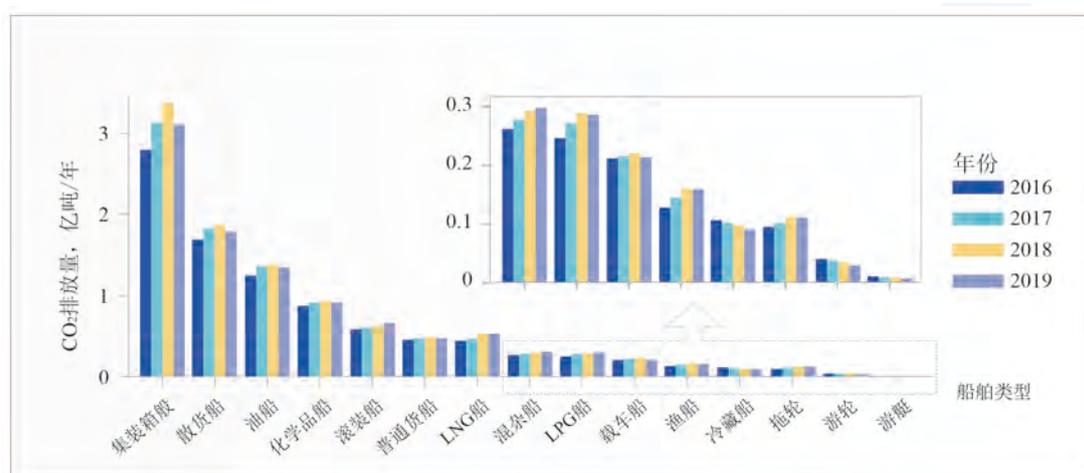
数据来源: 王小桐等<sup>102</sup>

图 41 以 CO<sub>2</sub> 为例展示了不同船型在 2016—2019 年间的年际排放变化情况。从

<sup>102</sup> Wang X, Yi W, Lv Z, et al. Ship emissions around China under gradually promoted control policies from 2016 to 2019[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2021, 21, 13835–13853.

<sup>103</sup> Corbett J J, Fischbeck P S, Pandis S N. Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1999, 104 (D3): 3457-3470.

历年排放的绝对值来看,包括以上四类船型在内的绝大多数船舶 CO<sub>2</sub> 排放量在 2016—2018 年间均逐年增加,而 2019 年略有下降,其中集装箱船、散货船和油船 2019 年 CO<sub>2</sub> 排放量同比分别下降 7.7%、3.9%和 3.9%。然而,少数船型在 2016—2019 年间的 CO<sub>2</sub> 排放量始终保持稳定的增长,如滚装船、LNG 船和 LPG 船,其年均增长率分别为 4.0%、5.1%和 7.2%。与此同时,冷藏船和游轮在四年间的 CO<sub>2</sub> 排放逐年减少,主要源于大量高耗能的老旧船舶的淘汰,但这两类船舶在总 CO<sub>2</sub> 排放量中的占比较少(<2%),因此船队迭代对全球海运减排的贡献较小。总体而言,各类型船舶在不同年份对全球 CO<sub>2</sub> 排放的贡献比例基本保持不变。集装箱始终为船舶 CO<sub>2</sub> 排放的首要来源,年均贡献为 31.4%,其次为散货船(18.1%)、油轮(13.5%)和化学品船(9.1%)。



数据来源: 王小桐等<sup>102</sup>

图 41 不同船舶类型 CO<sub>2</sub> 排放量的年际变化

在通过排放清单进行船队排放表征基础上,由清华大学开发的全球贸易运输排放矩阵(GTEMS)模型进一步实现国际海运排放向双边贸易国家的量化分解<sup>104</sup>。研究表明,中国作为世界最大的原材料与能源需求国,其 2018 年由进口贸易所产生海运 CO<sub>2</sub> 排放量约为 1.6 亿吨,是第二位美国的 2.6 倍。其中铁矿、原油、石油气和煤炭等商品 CO<sub>2</sub> 排放量之和占中国进口海运 CO<sub>2</sub> 总排放量的 51.5%。此外,植物产品对中国进口海运 CO<sub>2</sub> 排放量的贡献也高达 11.5%,其中绝大部分来源于大豆。2021 年,由中国倡导的“一带一路”合作建设从理念、愿景转化为现实行动,已进入落地生根、开花结果的全面推进阶段。“一带一路”国家间有大量贸易往来,增量显著<sup>105</sup>。可以预见未来中国船舶排

<sup>104</sup> Wang X T, Liu H, Lv Z F, et al. Trade-linked shipping CO<sub>2</sub> emissions[J]. Nature Climate Change, 2021, 11(11): 945-951.

<sup>105</sup> “一带一路”绿色发展国际联盟秘书处.“一带一路”海上互联互通绿色发展研究[R]. 2021.

放量将日益增长，而全球船舶排放中与中国贸易关联的排放占比也会逐渐增大。

## 48 海运业减排现存哪些问题与挑战？

在应对全球气候变化和大气污染治理的进程中，国际海运是最难减排的部门之一。这一方面源于国际运输船舶的全球流动性，无法按国内污染源控制方法对其进行属地划分和排放管理；另一方面来源于海运涉及的利益相关方众多，难以形成公平有效的国际海运减排机制。联合国早在 20 世纪 90 年代就提出要对全球海运排放进行管控，并在《联合国气候变化框架公约》的基础上讨论持续如何对海运 GHG 减排进行责任分配<sup>106</sup>。但国际海运涉及船舶注册国、运营国、租赁国及贸易国多个利益相关方，没有一种单一的责任分配方式可以在具有环境效益和法律效力的同时也满足公平负担原则<sup>107</sup>。因此，国际海运温室气体的减排至今未纳入《京都议定书》和《巴黎协定》中，而作为一个单独的排放部门，由 IMO 负责在全球层面上统一推进全球海运温室气体与大气污染物的减排。然而，当今各国的技术和经济实力不一，全球共同推进的减排措施难以激发各国能动性，很大程度上限制了技术大国的减排潜力，导致海运业的减排进程缓慢，以至于造成欧盟计划采取将海运纳入碳排放交易体系（ETS）的单边行动<sup>108</sup>。因此，在难以实现减排责任分配和单边措施备受争议的境况下，实现全球海运温室气体的减排目标仍需要探索新的机制。

全球海运减排不仅是国际社会亟待解决的难题，也关系到中国未来海运贸易的发展。中国作为世界上最大的海运贸易国和第二大经济体，在世界范围内的主要国家和地区都有航线和服务网络。中国吞吐了全球 25% 以上的港口集装箱，世界前十大港口中中国占据 7 个<sup>109</sup>。同时，与中国贸易有关的排放在全球海运船舶排放中的比重也会逐步提高。据估算，2009—2020 年间，全球海运贸易增量中的 65% 由中国带动<sup>110</sup>；至 2020 年，

<sup>106</sup> UNFCCC. Report of its Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice on fourth session Held in Geneva from 16 to 18 December 1996. [Z]. United Nations Framework Convention on Climate Change: 1996.

<sup>107</sup> Heitmann N, Khalilian S. Accounting for carbon dioxide emissions from international shipping: Burden sharing under different UNFCCC allocation options and regime scenarios [J]. Marine Policy, 2011, 35 (5): 682-691.

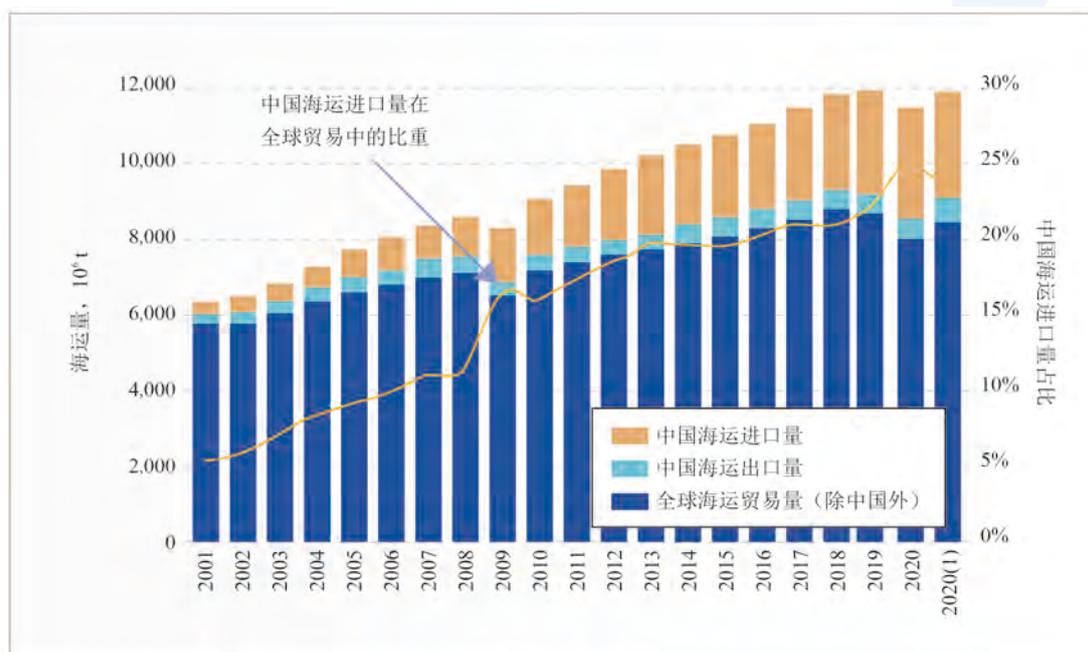
<sup>108</sup> Pons A, Martin C, Andrew E, et al. Study on EU ETS for maritime transport and possible alternative options of combinations to reduce greenhouse gas emissions [R]. Brussels: European Commission, 2021 [2021-10-22].

<sup>109</sup> UNCTAD. Review of maritime transport 2017[R]. 2017.

<sup>110</sup> 克拉克森研究. 全球航运市场中国影响力报告 [EB/OL]. (2021-11).

[https://mp.weixin.qq.com/s/0oEHp\\_m4C4qpy1WDAzbBsQ](https://mp.weixin.qq.com/s/0oEHp_m4C4qpy1WDAzbBsQ).

中国海运进口贸易量已经占到全球总量的四分之一（图 42）。不断发展的中国海运贸易势必也会带来持续增加船舶排放量，在中国海运贸易的持续增长的情况下，未来中国的海运排放形势也面临很大的不确定性。因此，面对国际海运温室气体的减排压力和国内空气质量的改善要求，中国也需要不断加深海运贸易排放的现状与未来趋势认识，探索海运温室气体与大气污染物协同治理的有效途径。



数据来源：克拉克森研究<sup>110</sup>

图 42 全球海运贸易量走势与中国在全球的比重

## 49 国际海运业碳减排措施与路径有哪些？

2018年，IMO在提出《初步战略》的同时，提供了一系列短中远期候选措施，其中短期措施包括改进现有能效框架、优化航速和降速、鼓励成员国提交国家行动计划等，中期措施包括采用替代燃料、探索新型减排机制等，远期措施则期望寻求零碳或无化石燃料等<sup>99</sup>。现阶段，船舶的减排措施主要分为技术措施和运营措施两大类，两大类措施分别对应了MARPOL公约中的EEDI/EEXI和SEEMP/CII。如图43所示，船舶的技术措施是指在船舶设计制造阶段采用一些节能优化设计；运营措施是指在船舶运营阶段采取的提高能效的措施，如避免风浪大的海域以降低船舶负荷，清除船体污垢以降低船体阻力等等。尽管多项措施均表现出一定的减排潜力，但仅依赖于技术和运营措施不足以实现绝对减排<sup>111,112</sup>。

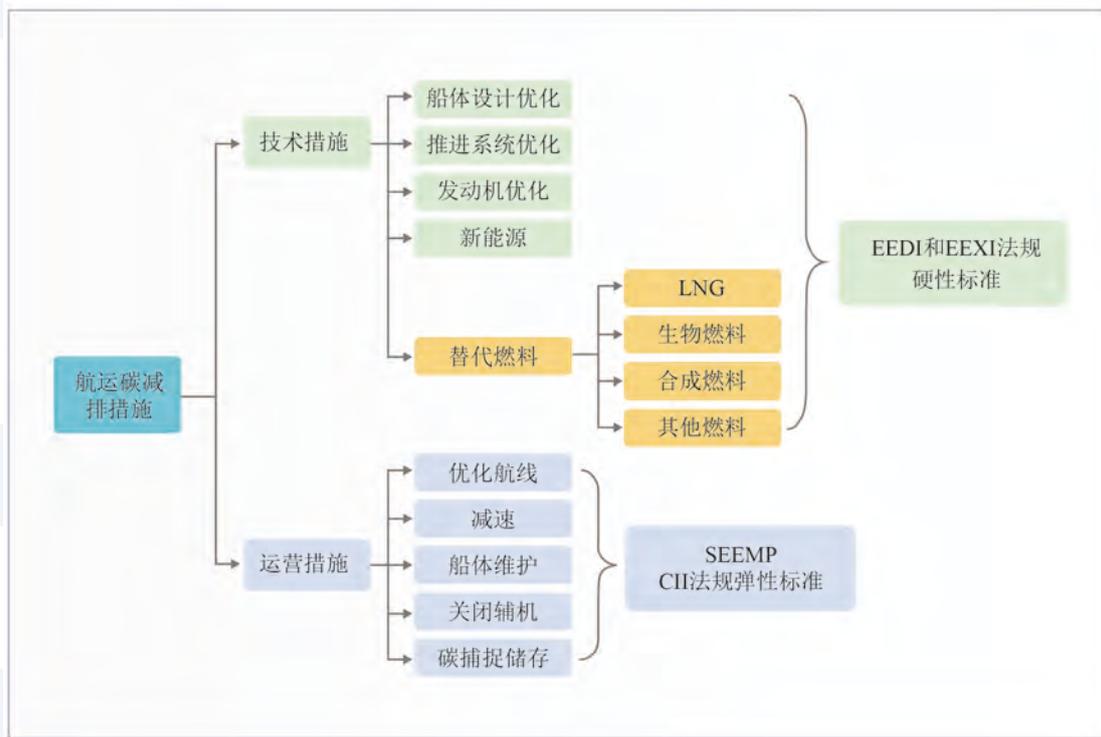


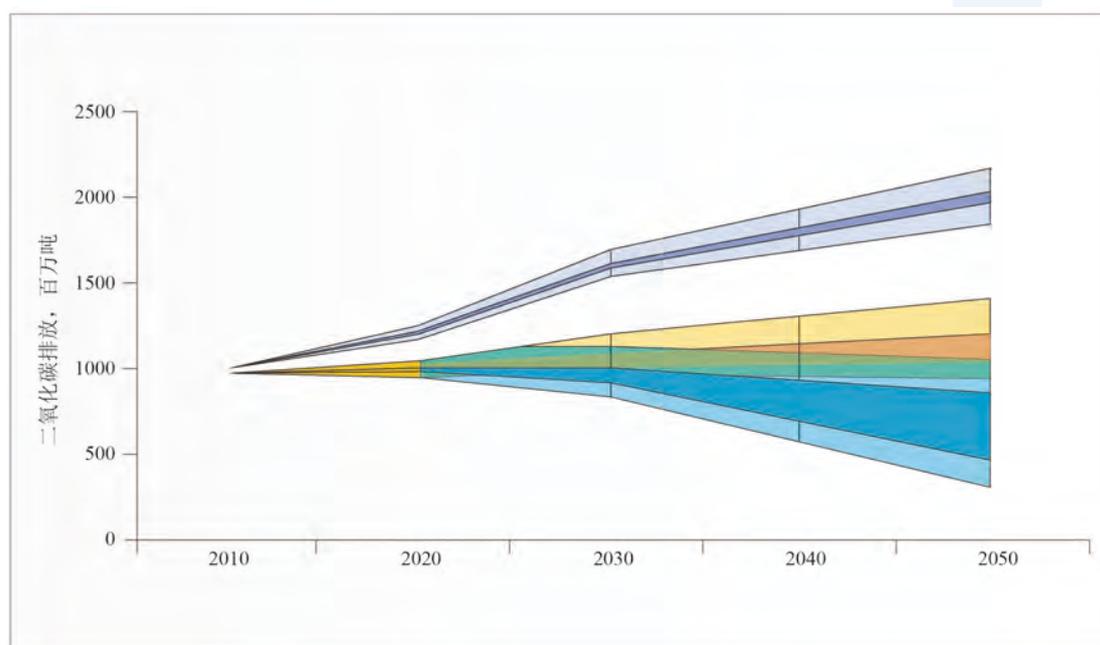
图 43 船舶减排措施分类示意图

在未来的几十年中，为实现海运业的碳中和目标，碳排放更低的生物甲醇燃料、液氢和液氨将会是海运业发展的方向。由于船舶的硫氧化物和氮氧化物减排需求，过去的

<sup>111</sup> Balcombe P, Brierley J, Lewis C, et al. How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies [J]. Energy Conversion and Management, 2019, 182: 72-88.

<sup>112</sup> Bouman E A, Lindstad E, Riiland A I, et al. State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 52: 408-421.

二十年中已经出现了使用 LNG、LPG 等替代燃料的船舶。目前海运业对未来的替代燃料还处在路线之争阶段，LNG、甲醇、液氢和液氨是被考虑的主要选项。从燃料本身来看，LNG 和甲醇为含碳燃料，液氢和液氨为零碳燃料，但是从全生命周期来看，利用生物质发酵或碳收集人工合成的甲烷和甲醇也可以视为零碳燃料，而由化石燃料制成的液氢和液氨则也不能视为零碳燃料。由于替代燃料技术的可用性不同，未来全球船队必然会使用多种替代燃料来应对减排压力，然而何种技术组合才能实现船舶减排目标一直是被关注的问题。有研究表明，在 100 美元每吨 CO<sub>2</sub> 的边际成本下，使用运营措施和多种替代燃料技术组合，海运业将在 2050 年减少 70% 的 CO<sub>2</sub> 排放，如图 44 所示，体现了替代燃料技术和其他技术组合时的巨大减排潜力。



数据来源：Eide 等<sup>113</sup>

图 44 运营措施、核能、生物燃料和 LNG 的减排潜力（蓝）以及运营措施、生物燃料和 LNG 的减排潜力（黄）

<sup>113</sup> Eide M S, Chryssakis C, Endresen Ø. CO<sub>2</sub> abatement potential towards 2050 for shipping, including alternative fuels[J]. Carbon Management, 2013, 4(3): 275-289.

## 50 贸易格局优化具有怎样的减排潜力？

国际贸易作为船舶运输的潜在驱动力，推动着船舶制造业和海运部门的繁荣发展，同时也导致了海运排放的不断增加。联合国环境规划署《2020年排放差距报告》显示，从上世纪90年代到2008年，国际贸易增长和船舶排放表现出了较高一致性和显著协同性<sup>114</sup>。作为国际贸易商品的主要载体和连接远洋贸易发生的实际路径，国际海运减排的实现不仅依赖于技术与营运措施的共同推进，还受到贸易量增长或下降、贸易政策的改变或贸易结构变化等的冲击影响。因此，将海运排放追溯至贸易需求侧，从而挖掘贸易需求端的海运减排潜力很有必要，不仅能够完善现有的国家碳核算方法的完整性，也有助于激活贸易双方自主减排贡献的积极性，从而推动全球航运减排的潜力和供应链的低碳化发展。

研究表明，若假设各国海运贸易的进出口量保持当前水平不变，按就近交易原则对所有国际贸易流进行重新分配，在理想情况下，国际贸易伙伴优化之后的全球海运CO<sub>2</sub>排放量为4.6亿吨，其带来的国际海运CO<sub>2</sub>排放量为2.8亿吨，约为当前全球海运排放总量的38.1%<sup>102</sup>，不同主要商品减排潜力如图45所示。在HS 4位海关编码级别的1,000多种贸易商品中，原油、非原油、石油气、煤炭和铁矿的海运CO<sub>2</sub>减排量最大，其全年减排量分别为0.38亿吨、0.30亿吨、0.15亿吨、0.15亿吨和0.08亿吨。相对各商品目前的排放水平而言，非原油的减排潜力最大，通过贸易伙伴优化可以减少超过一半的海运CO<sub>2</sub>排放量(52.8%)，其次是原油和石油气，其减排潜力也分别达38.1%和35.8%。

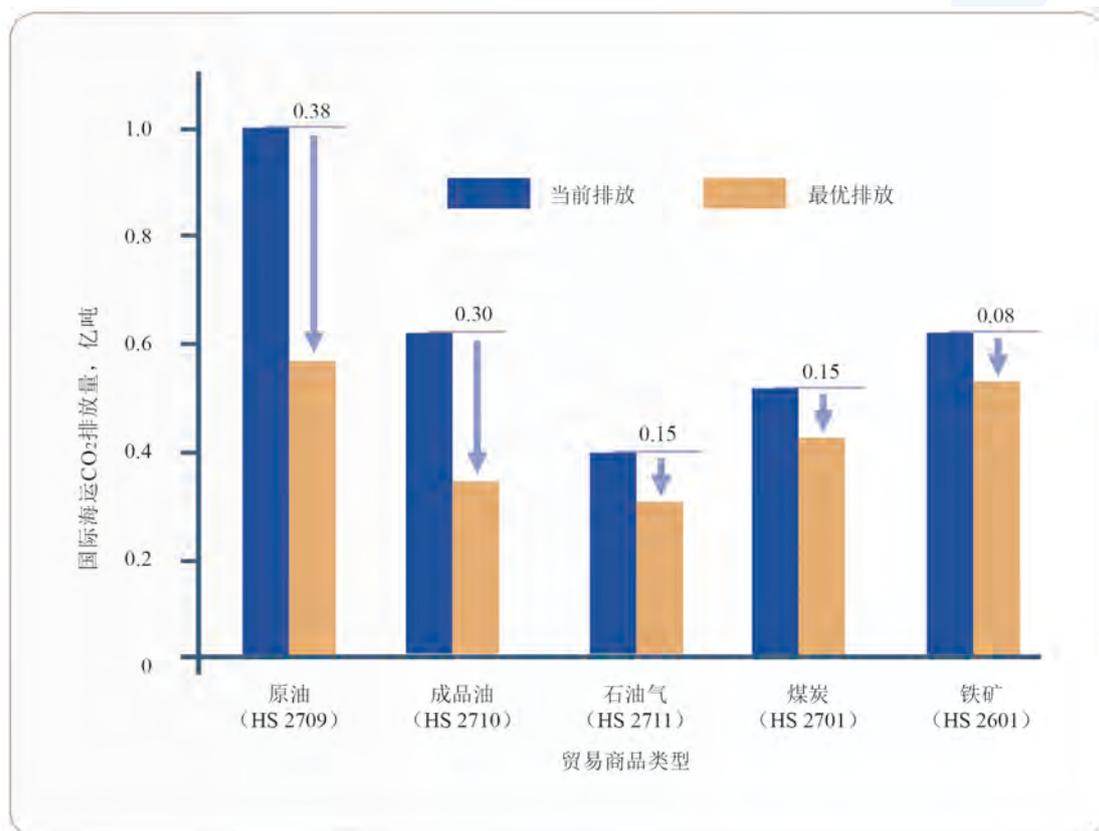
目前，国际上针对海运碳减排的初步措施均以船舶作为管控对象，通过设立船舶的能效要求来促使船主采用有效措施来减少排放，如船体清洁、速度优化、安装辅助太阳能或风能等。然而，船舶在海运物流链中为末端工具，其起点来源于国际间贸易需求。现有研究均表明，在国际贸易持续增长的情况下，仅依靠船舶的技术和运营措施来实现2050年国际海运业减排50%的目标十分艰难<sup>115</sup>。IMO最新的温室气体研究表明，八组有利可图的技术和运营措施的潜在减排量在2030年之前将低于10%，在2050年之前将低于18%<sup>116</sup>。尽管市场措施(MBMs)被认为具有较大的减排潜力，但目前欧盟将海

<sup>114</sup> United Nations. Emissions Gap Emissions Gap Report 2020[J]. 2020: 1-102.

<sup>115</sup> Mallouppas G, Yfantis E A. Decarbonization in Shipping Industry: A Review of Research, Technology Development, and Innovation Proposals [J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9 (4).

<sup>116</sup> Faber J, Hanayama S, Zhang S, et al. Forth IMO Greenhouse gas study [R]. London: International Maritime Organization, 2020. <https://www.maritimecyprus.com/wp->

运纳入 ETS 的单边行动尚且面临违背国际海运市场公平、影响长期减排战略推进等争议，全球层面市场措施更是在未来很长一段时间内无法实现<sup>117</sup>。在这种境况下，改变国际贸易格局可以带来巨大的航运减排潜力。通过倡导贸易伙伴以国际合作方式形成自主减排贡献，或许能够为国际海运减排机制的设计提供新视角，助力国际海运业实现温室气体减排目标。



数据来源: Wang 等<sup>102</sup>

图 45 贸易结构优化情景的主要 CO<sub>2</sub> 减排商品及其减排潜力

content/uploads/2021/03/4th-IMO-GHG-Study-2020.pdf.

<sup>117</sup> Hughes E. Implications of application of the EU Emissions Trading System (ETS) to international shipping, and potential benefits of alternative Market-Based Measures (MBMs) [R]. Brussels: European Community Shipowners' Associations (ECSA), 2020 (2020-10). <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html>

附表 1 2021-2022 国际交通运输减碳政策文件

国家/地区	涉及部门	时间	主要内容
国际	水运	2021/11	19国政府签署了新“克莱德班克宣言”(Clydebank Declaration), 同意在港口之间建立零排放航运贸易航线, 以加快全球海运业的脱碳进程。该宣言的目标是到2020年代中期建立至少6条绿色航运走廊, 并在2030年之前增加“更多航线”。这将需要开发零排放燃料的供应, 以及所需的基础设施脱碳和监管框架。
北美	公路	2022/07	美国和加拿大联合发布了多州中、重型车辆零排放行动计划(Multi-State Medium- and Heavy-Duty Zero-Emission Vehicle Action Plan)。该计划涵盖了超过65项战略和建议, 具体包括车辆销售和购买要求(如先进清洁卡车法规)、车辆和基础设施购买激励措施、充电基础设施方面的公用事业投资、创新融资机制、劳动力发展计划以及在社区和公路沿线部署公共充电桩等具体细则。
美国	公路	2022/12	为加速实现到2025年部署25万个充电桩的目标, 美国加州批准了一个29亿美元的投资计划。该计划将增加9万个新的电动汽车充电桩, 比已经安装的8万个充电桩多出一倍以上。
		2022/10	拜登政府通过美国能源部(DOE)宣布了第一批受《两党基础设施法》资助项目, 该项目将为20家公司提供28亿美元用于锂、石墨及其他电池材料的提取, 加工、制造以及回收等环节, 从而促进美国清洁能源技术的生产和就业。
		2022/08	加州空气资源委员会公布了最新清洁交通计划, 新计划旨在通过实现汽车零排放进而推动加州在2045年前实现碳中和的目标。 美国《通胀削减法案》(Inflation Reduction Act of 2022)正式由总统拜登签字生效, 其中将投资3,690亿美元以应对能源安全和气候变化, 由此成为美国有史以来最大的一笔气候投资
		2022/07	美国能源部宣布提供9,600万美元用于支持美国国内交通运输部门脱碳。该笔资金将主要用于扩大充电基础设施的可获得性、通过电气化和使用替代燃料创造更加清洁的非道路交通工具以及最大限度地提高电动汽车的效率和可获得性, 从而支持拜登总统到2050年前实现净零排放的目标。
		2022/05	美国能源部宣布将从两党基础设施法案中获得31.6亿美元, 用于美国本土电动汽车电池制造业的发展。
		2022/03	美国国家公路交通安全管理局宣布了新的具有里程碑意义的燃油经济性标准, 要求到2026车型年(MY2026), 美国乘用车和轻型卡车的车队每加仑汽油的平均行驶里程提升至49英里(即平均燃油经济性达到49mpg, 2020年为36mpg)。
		2021/12	拜登于近日启动了一项使联邦政府碳中和的计划, 命令联邦机构购买电动汽车, 为风能、太阳能和核能设施供电, 并使用可持续建筑材料。
		2021/11	美国通过了《基础设施投资与就业法案(IIJA)》, 该法案将美国联邦政府为基础设施建设提供的专款中的75亿美元分配给电动汽车基础设施建设, 目标是建成一个由5万个公共充电桩构成的国家级的电动汽车充电网络, 既包括高速公路通道上为长途行驶的电动汽车服务的充电桩, 也包括车主平时在市内经常停车的位置上的充电桩。

国家/地区	涉及部门	时间	主要内容
美国	公路	2021/05	加州参议院新近批准的一项法案中提出，将组建加州电动汽车管理局 (California Electric Vehicle Authority)，以确保加州到2035年内销售的乘用车和2045年商用卡车全部实现零排放的目标。 美国参议院财政委员会通过了《美国清洁能源法案》提案，计划提供316亿美元电动车消费税收抵免。
		2021/03	发布《基础设施计划》，提出将投资1,740亿美元支持美国电动汽车市场发展，内容涉及完善国内产业链、销售折扣与税收优惠、到2030年建50万个充电桩、校车公交及联邦车队电动化。
	水运	2022/03	加州空气资源委员会通过商业港口船舶法规(Commercial Harbor Craft Regulation) 的修订案，旨在减少加州港口海岸附近运营船舶的污染物和温室气体排放，以改善周围社区居民的公共健康，助力加州实现到2045年净零排放的目标。
加拿大	公路	2022/04	扩大了零排放汽车的补贴范围，部分价格更高、体积更大的零排放皮卡和SUV即将能够享受加拿大联邦的零排放汽车激励计划，购买价格不超过7万加元的零排放汽车的消费者，可以享受退税。
欧盟	多领域	2021/07	欧盟委员会正式推出应对气候变化的一揽子计划。这些计划涉及气候、能源、土地使用、交通、税收等多方面，意在通过政策调整，使欧盟温室气体净排放量在2030年前与1990年的水平相比至少减少55%。计划包括：加强现有碳排放交易体系，同时纳入更多行业；增加可再生能源使用；提高能源效率；加快推出低排放运输模式及配套的燃料和基础设施；调整税收政策；采取措施防止碳泄漏；维护增加自然碳汇。
	公路	2022/06	就2035年起禁售燃油车达成共识，这意味着自2035年起，欧盟市场将不再销售使用汽油和柴油燃料的轿车及轻型商用车，助力欧盟实现到2030年温室气体减排55%，并在2050年实现气候中和的目标。
		2022/02	欧洲议会全体会议正式通过了欧盟委员会关于重新修订欧洲道路收费准则(Eurovignette Directive)的提案。修订后的新准则将逐步淘汰基于时间的用户收费(vignettes)，建立基于距离的通行费(tolls)收费机制；对卡车收取外部成本费用；逐步取代现行的根据车辆的欧洲排放等级的收费机制，根据不同重型车辆的CO <sub>2</sub> 排放量进行差异化收费，对于轻型车，将基于CO <sub>2</sub> 和空气污染物两种排放进行收费；此外，新准则还将收取拥堵费用于缓解交通拥堵。
		2021/07	欧盟发布了《替代燃料基础设施法规 (AFIR) 草案》，这也是欧盟“Fit for 55”政策组合包的一部分。如果获得通过，AFIR将取代欧盟从2014年开始实施的《替代燃料基础设施指令 (AFID)》。与AFID相比，AFIR的一个关键变化就是从指令升级为法规，这就确保了AFIR中所提出的电动汽车充电基础设施建设要求是具有法律约束力的，并且是对欧盟的所有成员国同时生效。

国家/地区	涉及部门	时间	主要内容
欧盟	水运	2022/11	欧盟就将航运业纳入欧盟碳排放交易体系（EU ETS）达成了一项初步协议，根据该协议，在欧盟国家港口间航行的所有5,000总吨及以上船舶，要就100%的排放量支付费用；在欧盟国家港口和非欧盟国家港口间航行的5,000总吨及以上船舶，将被要求支付排放量的50%。费用的支付比例随时间推移而增加，从2024年的40%开始，到2025年达到70%，到2026年达到100%。
	慢行交通	2021/05	欧洲国家通过《维也纳宣言》以及首份《泛欧自行车出行总体规划》，旨在推动交通系统向更加清洁、安全、健康和包容转型，并重点在全欧洲推广骑自行车出行。
英国	多领域	2021/12	英国商业、能源和工业战略部（BEIS）启动第2期工业燃料转换竞赛（IFSC），投入5,500万英镑支持开发工业低碳燃料技术，实现英国净零排放目标。此次启动的第2期IFSC将继续推进氢能、电气化和生物能源在工业领域的应用。
	航空	2022/07	英国政府发布了“航空净零战略”（Jet Zero Strategy），提出到2040年实现国内航线飞行净零排放，到2050年实现航空部门净零排放的目标。
	铁路	2021/05	英国政府发布了《威廉姆斯-沙普斯铁路计划》，呼吁制定一项30年战略，以此为铁路转型提供明确的长期计划。这项为期30年的战略将包括将于2022年发布的“铁路网综合环境计划”，该计划将“铁路作为更清洁的未来交通系统的支柱”。英国政府承诺，将在2040年停运所有的柴油机车，并在2050年实现铁路净零排放。
西班牙	公路	2021/04	西班牙将其电动汽车补贴项目从版本二升级为版本三（即MOVES III项目），从2021年4月至2023年12月，西班牙给予电动乘用车的购置补贴为每辆车最高4,500欧元（版本二时为4,000欧元），如果消费者是将自己的燃油车报废后再购买电动乘用车，那么购置补贴将进一步提升至每辆车最高7,000欧元（版本二时为5,500欧元）。此外，在版本三下，电动厢式货车也可以获得购置补贴，补贴额度为每辆车最高7,000欧元，如果消费者是将自己的燃油车报废后再购买电动箱式货车，那么购置补贴将进一步提升至每辆车最高9,000欧元。
瑞典	公路	2021/04	瑞典将其基于零排放乘用车的购置补贴从每辆车最高6万瑞典克朗提升至7万瑞典克朗，同时，将给予插电式混合动力乘用车的购置补贴从每辆车最高6万瑞典克朗降低至4.5万瑞典克朗。
韩国	公路	2022/09	韩国产业通商资源部召开汽车产业战略圆桌会议，发布《汽车产业全球三强战略》。该战略计划旨在通过向未来汽车迅速灵活的转型以及向新移动出行方式的扩张，使韩国跃升为汽车产业全球前三。其主要战略目标是，到2030年，全球范围内，韩产电动汽车达330万辆，世界市场占有率达到12%；2022-2026年韩国拨款超95万亿韩元用于汽车行业；到2030年，培养3万名未来汽车专业人才。为实现上述目标，制定了四大核心战略：以电动化全球领先、生态系统整体灵活转型、构建稳定的供应链、创造自动驾驶及移动出行新产业。

国家/地区	涉及部门	时间	主要内容
韩国	公路	2022/08	韩国国土交通部在官网上公布自动驾驶汽车有偿载客许可申请方法和出租车有偿载客许可的具体审核标准。预计最早从今年下半年开始，首尔上岩、江南、世宗、济州等全国10个市、道的14个示范运行地区将启动自动驾驶出租车收费载客服务。
		2022/03	韩国3月25日开始实施《碳中和与绿色增长基本法》，在法律实施后的1年内，政府将以20年为期制定国家碳中和基本计划，地方自治团体据此制定以10年为期市、道及市、郡、区基本计划。该法案规定，将2030年国家温室气体减排目标上调至40%、制定国家碳中和基本计划。韩国成为第14个立法实施碳中和的国家。在运输领域，法案提出将投入450万辆环保汽车，争取实现37.8%的减排目标。
以色列	公路	2022/02	以色列环境保护部为该国公共交通运营商设定了强制性目标：到2024年，至少30%新购买公交车需为零排放；到2050年零排放公交占比将增长到至少50%；到2026年及以后，以色列所有新增公共交通巴士都必须实现零排放；到2036年，城市公共交通中将只有零排放公交车。这一举措将助力以色列实现到2050年温室气体净零排放目标。
新西兰	公路	2022/05	新西兰政府公布了一项减排计划，表示将加大交通运输领域的减排力度，加快普及电动汽车。政府将提供清洁汽车补贴，鼓励购买低排放汽车，投资电动汽车充电设施，还将试行一项电动车租赁计划。该国还制定了另外一个目标：到2035年实现整个公共交通车队的脱碳。

## 说明

推动交通零排放转型是行业的最终目标，而绿色、低碳发展则是近期的重要任务，在国家和地方政府文件中也主要使用这一表述，本书在引述相关文件和讨论相关议题时也使用这一表述。

目前的汽车市场中，电动化车型一般是指纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车。由于现阶段燃料电池汽车的销量很低，且主要应用中重型汽车细分市场，很多统计数据中只包含纯电动汽车和插电式混合动力汽车，如 EV Volumes 的国际数据统计。根据统计习惯，在本书中“电动汽车”是指纯电动汽车和插电式混合动力汽车，“新能源汽车”术语是中国汽车市场所特有的，仅用于中国国内情况的描述，包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车。

二氧化碳（CO<sub>2</sub>）是中国交通运输行业最主要的温室气体排放种类，在本书中，如无特殊说明，碳排放指 CO<sub>2</sub> 排放。



微信公众号



微信视频号

官方网站：[www.cctp.org.cn](http://www.cctp.org.cn)

官方微博：清洁交通伙伴关系\_CCTP