

2022 城市零碳交通白皮书

清华大学互联网产业研究院编制



协鑫能科
GCL-ET



清华大学 互联网产业研究院
Institute of Internet Industry, Tsinghua University

课题组

课题组负责人

朱 岩

清华大学互联网产业研究院院长

清华大学经济管理学院教授

课题组成员

李 辛 清华大学互联网产业研究院

关瑞玲 清华大学互联网产业研究院

文字校对

朱 锟 研究生(实习)

张天培 研究生(实习)

设计排版

段文秀 清华大学互联网产业研究院

致谢

感谢清华大学碳中和研究院院长助理、清华大学环境学院教授鲁玺、清华大学环境学院教授吴焜在项目前期提供的专业意见。

感谢协鑫集团在报告编制过程中提供的专业建议以及项目案例资料。

感谢清华大学互联网产业研究院各部门同事的通力配合。

摘要

2015年《巴黎协定》确立了全球温控的长期目标，截至2021年12月底，碳中和目标已覆盖了全球88%的温室气体排放、90%的世界经济体量和85%的世界人口。然而全球碳排放总量仍在攀升，据最新数据显示，2022年全球二氧化碳排放量有望刷新历史最高纪录，达到406亿吨。不久前于埃及沙姆沙伊赫落幕的《联合国气候变化框架公约》第二十七次缔约方大会（COP27）上，各国虽最终艰难达成共识，但是在诸多关键议题上仍存在分歧，全球碳中和之路道阻且长。

我国在2020年提出“2030年碳达峰，2060年碳中和”的自主减排目标，“双碳”目标的确立，是我国进入新发展阶段，实现可持续发展的必然选择和迫切需要，将倒逼中国能源结构、生产方式、经济结构转型，推动各行业走向高质量发展之路。

交通领域碳排放约占全球碳排放总量的四分之一，且与人类生产生活关系密切，受到各国的高度重视。在我国，交通领域碳排放约占碳排放总量的10%，其中城市公路交通是碳排放的主要来源。随着中国经济发展的稳步推进以及城镇化建设程度加深，城市客户和货运服务需求将保持高速增长，道路交通排放压力也将继续加大。

在汽车产业电动化、智能化、网联化的发展趋势下，以新能源汽车所带动的汽车产业绿色化将成为交通领域碳减排的重要推动力。我国新能源汽车产业发展迅猛，销量及保有量均位列全球第一，同时我们也要看到，城市内与之相配套的能源基础设施和智能交通基础设施仍存在巨大缺口。

本报告在全球碳中和的研究背景下，简要描述了全球主要国家的碳减排现状，并聚焦于交通领域，重点分析了我国城市交通领域碳排放现状、影响因素，系统梳理了交通领域政策规划。综合一系列国内外最新数据与研究成果，基于交通运输业对于全行业节能减排的重要意义，本报告从“规、管、路、车、人”五个方面展开探讨城市零碳交通的发展路径，以推动支撑可持续交通构建的法律法规体系为基石，通过优化道路管理、合理配置运输资源、建设完善与新型交通系统相适应的道路基础设施、提升交通工具的智能化水平、强化用户绿色交通理念几个方面，合力打造通往零碳交通目标的新型城市图景。

此外本报告提出了未来零碳交通中的关键基础设施，并介绍了六个典型应用场景及案例。最后，报告从财税政策、数据归集、市场机制、科技支持、完善新基建、制度巩固、普及宣传、人才储备八个方面提出了政策建议，以期推动以城市作为重要单元的社会结构向低碳、零碳目标更进一步。

目录

01

研究背景

1、全球交通领域碳排放背景	-02-
(1) 全球碳排放现状及零碳目标	-02-
(2) 全球交通领域碳排放分析	-04-
(3) 各国交通领域碳减排政策梳理及分析	-07-
2、中国交通领域碳排放现状	-08-
3、探索实现零碳交通的意义	-10-
(1) 本报告的研究内容及边界范围	-10-
(2) 研究意义	-11-

02

我国城市交通领域碳减排现状

1、我国城市交通发展现状	-13-
(1) 城市道路发展现状	-13-
(2) 汽车保有量现状	-14-
(3) 城市道路新能源基础设施布局情况	-17-
2、城市交通碳排放现状与影响因素	-22-
(1) 城市碳排放的基本情况	-22-
(2) 城市交通碳排放的影响因素	-23-
3、城市交通碳减排需要关注的主要问题	-25-
4、我国交通领域碳减排政策及发展规划	-26-

03

城市零碳交通发展路径

1、“规”——建立健全覆盖全社会的可持续交通法律体系	-30-
(1) 制定多层次的绿色交通法律法规体系	-30-
(2) 推进城市交通电动化发展规划	-30-
(3) 持续完善绿色交通行业标准体系	-30-
(4) 推动完善交通领域纳入全国碳排放权交易市场	-31-
2、“管”——合理规划城市布局,优化城市道路交通管理	-32-
(1) 合理规划城市布局,构建可持续发展交通城市	-32-
(2) 持续打造绿色低碳出行服务体系	-32-
(3) 升级优化城市综合货运服务体系	-33-
(4) 加强交通运输数字化管理水平	-35-
3、“路”——积极构建与零碳交通配套的新型道路基础设施	-36-
(1) 加大新型能源基础设施建设	-36-
(2) 积极布局智慧道路基础设施	-36-
(3) 进一步探索开放无人驾驶运营服务场景	-37-
4、“车”——大力发展低碳绿色智慧车辆	-37-
(1) 优化新能源汽车全生命周期碳排放	-37-
(2) 实现汽车动力电池的高效循环利用	-38-
(3) 发挥出新能源汽车协同能源系统发展的重要作用	-39-
(4) 汽车的数字化发展趋势带来的低碳发展机遇	-39-
5、“人”——促进绿色交通理念深入人心	-39-
(1) 打造内涵丰富,数实融合的绿色交通消费理念	-40-
(2) 完善绿色服务体系,满足多层次的出行需求	-40-
(3) 打造数字化智慧交通社群	-40-

04

未来城市零碳交通关键基础设施

1、电力基础设施	-42-
(1) 供电网络	-42-
(2) 储电网络	-43-
(3) 充(换)电网络	-44-
2、智慧交通运营平台	-45-
3、车路云协同一体化系统	-45-
4、零碳交通基础设施	-46-

05

零碳交通服务典型应用场景及案例

1、营运出租车/网约车电动化场景	-49-
2、钢铁生产企业公路运输电动化情景	-51-
3、绿色矿山典型应用场景	-53-
4、煤电厂智能物流应用场景	-55-
5、城市建设运输典型应用场景	-56-
6、国际大城市交通碳减排案例	-59-

06

政策建议

1、加强支撑交通运输行业实现零碳目标的财税政策支持	-63-
2、强化交通运输领域碳排放数据的计量、监测和统计	-63-

3、推动交通行业纳入全国统一碳市场	-64-
4、加强低碳科技创新应用, 激活数据要素价值, 提高交通碳减排效率	-64-
5、统筹推进城市交通基础设施建设, 加快充换电基础设施建设	-64-
6、加快新能源运营车辆普及, 完善车辆上牌登记制度	-64-
7、鼓励居民绿色出行, 建立碳积分制度, 加强绿色出行宣传	-65-
8、加强专业人才队伍建设	-65-

表目录

表 1 部分国家碳达峰碳中和目标时间表	-02-
表 2 部分发达国家交通领域减排政策	-07-
表 3 2022年主要省市充(换)电桩基础设施建设文件汇总	-18-
表 4 加氢站的等级划分	-21-
表 5 城市主要交通出行方式的能耗和污染物排放测算	-24-
表 6 近3年国家主要交通碳减排相关政策	-26-
表 7 全球主要碳市场行业覆盖情况	-32-
表 8 我国《汽车驾驶自动化分级》标准	-45-
表 9 减排路径测算	-60-

图目录

图 1. 1990~2021年我国二氧化碳排放总量/百万吨	-03-
图 2. 1990-2019年全球交通领域温室气体排放总量及趋势	-04-
图 3. 全球交通领域分行业碳排放结构占比	-05-
图 4. 可持续发展情境下全球交通领域碳排放预测	-05-
图 5. 全球部分国家交通领域人均碳排放情况	-06-
图 6. 全球主要国家交通领域1990-2019年累计碳排放总量	-06-
图 7. 分行业二氧化碳排放量/百万吨	-08-
图 8. 中国不同交通运输方式的货运活动量和相关二氧化碳排放量	-09-
图 9. 承诺目标情景下,中国交通运输行业二氧化碳排放量预测/百万吨	-10-
图 10. 2016—2021年末全国公路总里程及公路密度	-13-
图 11. 城市规模与道路网密度(左),城市区位、形态与道路网密度(右)	-14-
图 12. 近5年全球各主要国家轻型电动汽车保有量	-15-
图 13. 2016-2021年及2022年1-6月全国电动车保有量	-16-
图 14. 用户对新能源汽车的接受度	-16-
图 15. 2021年城市公共汽车燃料类型	-17-
图 16. 新能源车补能方式分类	-18-
图 17. 公共充电桩保有量及年化增速	-19-
图 18. 充换电技术对比	-20-
图 19. 2022年11月换电站前十省份	-21-
图 20. 换电车保有量、市场规模、动力电池需求预测	-21-
图 21. 加氢站数量与市场规模	-22-
图 22. 全球主要城市交通排放量及占比情况	-23-
图 23. 2021年营业性客运量分运输方式构成(左)、2021年营业性货运量分运输方式构成(右)	-25-
图 24. 2022绿色交通标准体系统计	-31-
图 25. 2015-2021年各运输方式承担货运量及承担货运周转量占比	-34-
图 26. 欧盟汽车全生命周期法规体系倡议	-38-

图 27. 虚拟电厂结构示意图	-42-
图 28. 电池资产管理模式	-44-
图 29. 交通数字运营平台	-45-
图 30. 车路云协同系统架构	-46-
图 31. 城市零碳交通服务整体构想	-49-
图 32. 杭州网约车换电项目站点布局	-50-
图 33. 杭州转塘里街换电站实景图	-50-
图 34. 荆州出租车换电项目站点布局	-51-
图 35. 荆江东岳换电站实景图	-51-
图 36. 钢铁企业典型应用场景示意图	-52-
图 37. 武安荣兰线A站实景图	-52-
图 38. 矿山典型应用场景示意图	-53-
图 39. 广纳蒙西矿山换电站实景图	-54-
图 40. 广纳蒙西矿山矿用卡车实景图	-54-
图 41. 广纳蒙西矿山储能电站实景图	-54-
图 42. 大型煤电企业典型应用场景示意图	-55-
图 43. 朔州“光伏+绿色交通”项目现场奠基图	-55-
图 44. 电港项目实景图	-56-
图 45. 城建运输企业典型应用场景示意图	-56-
图 46. 协鑫集团徐州市高新区换电站送电成功	-57-
图 47. 协鑫集团徐州市新城换电站开工建设	-58-
图 48. 共享汽车充电装置	-59-
图 49. 纽约市温室气体排放量占比趋势	-60-

01

研究背景



1、全球交通领域碳排放背景

(1) 全球碳排放现状及零碳目标

碳中和已经成为全球共同目标。工业革命以来，人类活动给自然界带来了史无前例的巨大变化，碳循环体系首当其冲，碳源和碳汇的平衡不再，进而出现了全球变暖、海平面上升等现象，引发了全球的反思。根据国际气候科学机构联盟“全球碳项目”的最新预测，2022年全球二氧化碳排放量将刷新历史最高纪录，达到406亿吨，如何应对气候变化已成为人类最为重大和紧迫的课题。2015年第21届联合国气候变化大会上，全球有超过190个缔约国参与签署了《巴黎协定》，确立了全球温控的长期目标，堪称人类历史上全球治理的典范。截至2021年12月底，全球已有136个国家、116个地区、234个主要城市和683家企业制定了碳中和目标。据Energy&Climate的统计，碳中和目标已覆盖了全球88%的温室气体排放、90%的世界经济体量和85%的世界人口。

表1 部分国家碳达峰碳中和目标时间表

地区	国家	实现碳达峰年份	碳中和目标年份	提出碳中和目标的场合或文件
欧洲	英国	1991	2050	2019年6月新修订的《气候变化法》
	法国	1991	2050	2020年颁布法令通过“国家低碳战略”
	德国	1990	2050	2019年11月通过的《气候保护法》
	丹麦	1996	2050	2018年立法规定
	瑞典	1993	2045	2017年立法规定
	挪威	1990前	2030	2017年立法规定
	芬兰	1994	2035	2021年立法规定
	荷兰	1996	2050	2022年内阁提出气候政策
	冰岛	--	2040	2018年立法规定
美洲	美国	2007	2050	2020年12月拜登总统宣称
	加拿大	2007	2050	2019年10月特鲁多总理承诺
亚洲	中国	2030	2060	2020年9月国家主席习近平在第75届联合国大会上的宣示
	日本	2013	2050	2020年12月日本经济产业省发布的《面向2050年碳中和的绿色成长战略》
	韩国	2020	2050	2020年4月韩国执政的民主党在选举中宣称

我国碳排放总量位于全球首位。自1980年以来，中国成为世界上增长最快的经济体，在以高速工业化和城市化进程为主要动力的中国经济转型中，国内生产总值扩张超过30倍。作为“世界工厂”，中国占世界工业产值增加值的四分之一，水泥和钢铁占世界总产量的一半以上。但与此同时，中国也是目前世界上最大的温室气体(GHG)排放国，排放量约占全球温室气体排放总量的四分之一。下图展示了自1990年

以来我国二氧化碳排放总量的变化趋势，可见2005年至2021年间，二氧化碳年排放总量增长近一倍。

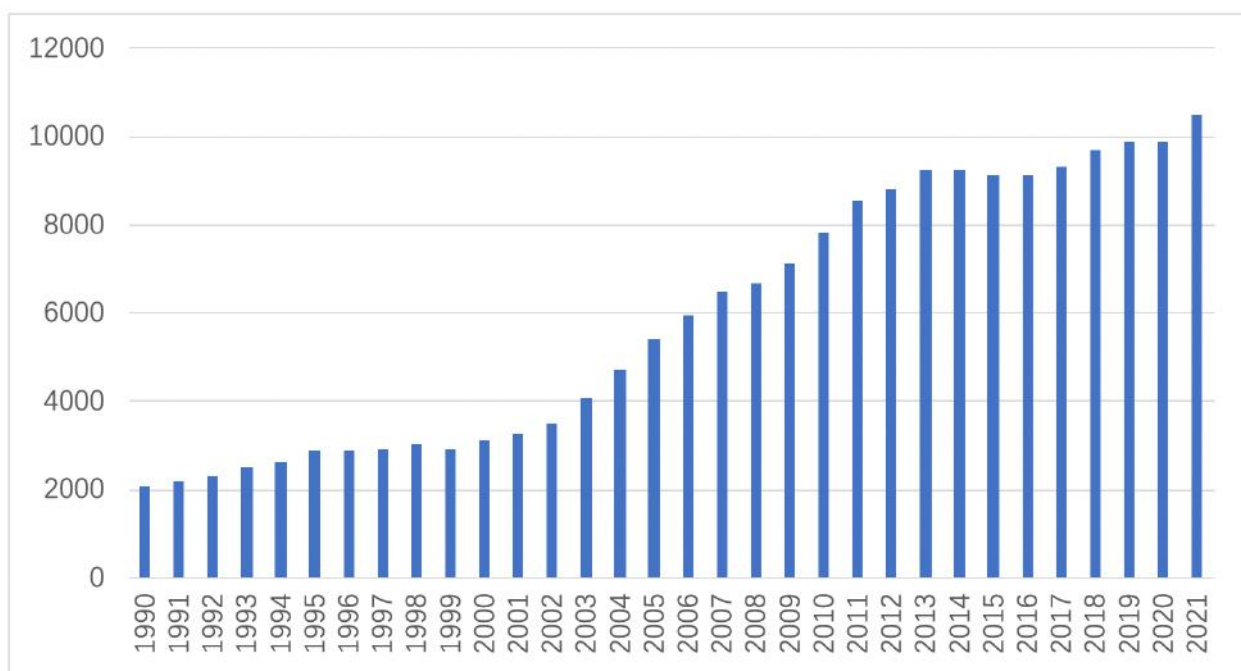


图 1 1990~2021年我国二氧化碳排放总量/百万吨

数据来源：IEA（国际能源署）

“双碳”目标是我国进入新发展阶段，实现高质量发展的必然选择和迫切需要。作为全球人口最多，也是碳排放量最大的国家，习近平主席在2020年9月的第七十五届联合国一般性辩论上郑重宣告，中国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”，向世界展示出了中国在应对气候变化问题上的大国担当，也体现出了中国构建全球命运共同体的基本理念与决心。2022年1月24日，习近平总书记在十九届中共中央政治局第三十六次集体学习时的讲话中提出，“实现‘双碳’目标，不是别人让我们做，而是我们自己必须要做”，进一步明确了“双碳目标”是我国进入新发展阶段，实现可持续发展的必然选择和迫切需要。

我国碳达峰碳中和目标时间紧、任务重。“双碳”目标的确立，将倒逼中国能源结构、生产方式、经济结构转型，带头发动前所未有的第四次绿色工业革命，促使中国成为世界应对气候变化的创新者、领先者、贡献者。但与此同时，对比欧美等发达国家，欧盟和美国都表示在2050年实现碳中和，然而欧盟27个成员国整体已于1990年碳达峰，美国于2005年达峰，意味着各自有60年和45年的时间从峰值走向净零排放。相比之下，中国“2030年碳达峰、2060年碳中和”的目标要求我国仅用30年将碳排放量从峰值降至净零排放甚至负碳排放，中国的减排路径远比欧美陡峭，减排速度甚至要超出欧盟1倍。同时考虑到当前碳排放总量大的特征，未来四十年的碳中和之路可谓时间紧、任务重。

(2) 全球交通领域碳排放分析

交通运输行业是全球主要的碳排放来源之一。交通运输行业是一个国家经济和社会发展的基本需求,是现代社会得以运转的重要支撑,但与此同时,交通运输行业对化石燃料的依赖程度位列所有行业之首,其二氧化碳排放量大约占到全球二氧化碳排放总量的四分之一。图2展示了1990-2019年间全球交通运输系统的温室气体排放情况,可见近30年间,全球交通领域的排放量以近1.7%的年平均增长率增长,增速超过其他任何终端用能部门。受到疫情的影响,2020年全球运输部门的碳排放空前下降,随着近两年国内外疫情的逐渐缓解,客运和货物运输活跃度复苏,进而导致2021年全球交通运输业的二氧化碳排放总量达到近77亿吨,较2020年的71亿吨增长超过8%¹。虽然疫情对交通出行的影响仍未完全消散,但从整体趋势来看,随着出行需求的逐渐恢复,交通行业碳排放在一段时间内仍将呈现增长趋势,需要全球各国从政策、产业、技术等方面共同发力,并采取强有力的执行措施,促进交通领域零碳目标的实现。

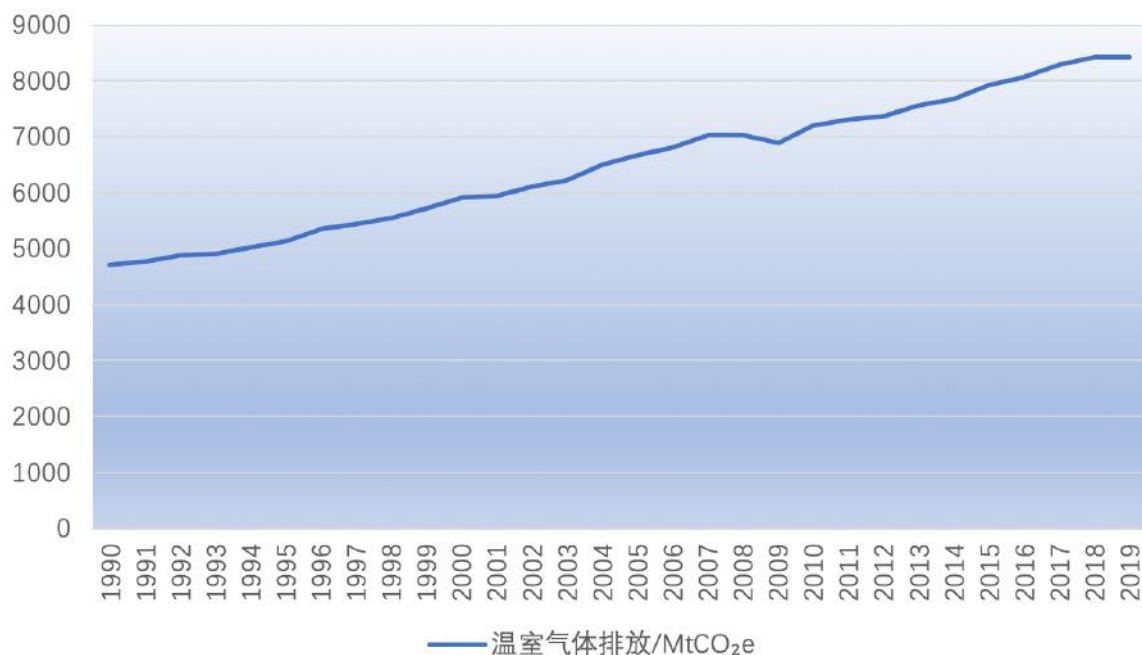


图2 1990-2019年全球交通领域温室气体排放总量及趋势

数据来源:CLIMATE WATCH, MtCO₂表示百万吨二氧化碳当量。

全球交通领域碳排放将于2025年前后达峰,公路运输为碳减排关键。公路交通碳排放约占到交通领域碳排放总量的四分之三,是关乎整个交通领域实现零碳目标的关键环节。2021年,包含公路客运和公路货运在内的公路运输碳排放量占全球交通行业碳排放总量的76.6%,其余部分来自航空、海运以及铁路等部门。根据IEA预测,在可持续发展情境下,全球交通领域碳排放将在疫情后出现短暂反弹,并于2025年左右达到峰值,之后持续下降。基于交通运输各部门节能降碳技术成熟度差别较大,交通运输部门减排的主要贡献将来自公路运输部门,其中公路客运和中重卡运输为降碳重点。

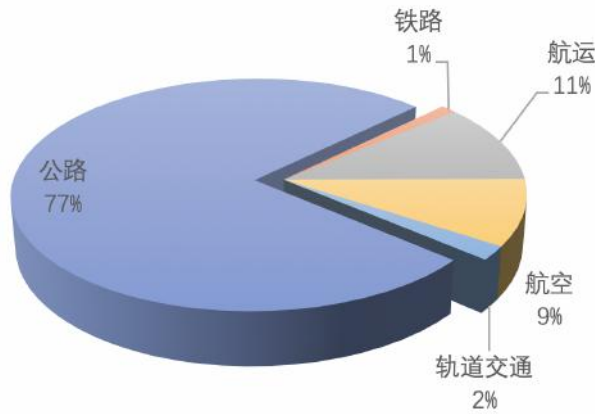


图3 全球交通领域分行业碳排放结构占比

数据来源:IEA

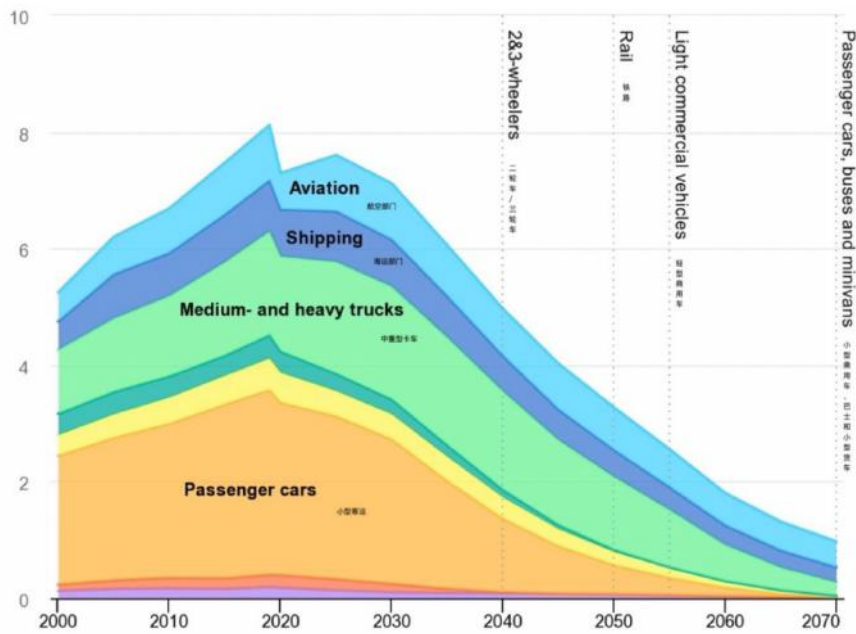


图4 可持续发展情境下全球交通领域碳排放预测

图表来源:IEA

说明:虚线表示各种运输方式基本停止使用化石燃料的年份。

发达国家交通领域碳排放总量及人均碳排放均高于发展中国家及新兴经济体。我国与发达国家的经济发展水平和基础设施体系建设水平截然不同，决定了我国与发达国家交通运输行业处于不同阶段。近30年间，发达国家的交通领域碳排放总量和人均碳排放量均显著高于发展中国家，从下图人均碳排放的变化趋势不难看出，北美和欧洲的发达国家在碳排放方面已经由增长到出现拐点并呈现下降趋势，而我国仍处于上升阶段。此外，城镇化水平同样深刻影响交通运输需求。据联合国统计，2018年发达国家城镇化率已经达到78%，中国目前的城镇化率接近发达国家上世纪七十年代水平，还有较大的提升空间。

因此，随着未来中国城镇化进程的持续推进，交通运输部门能耗也将继续增加。

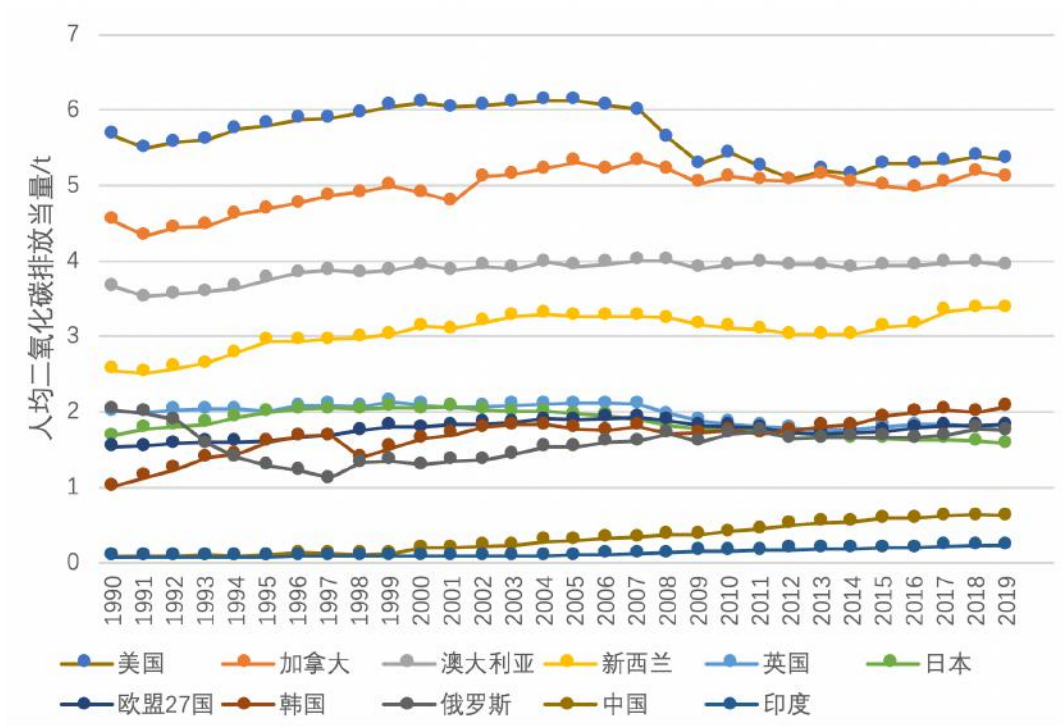


图 5 全球部分国家交通领域人均碳排放情况

数据来源: Climate Watch

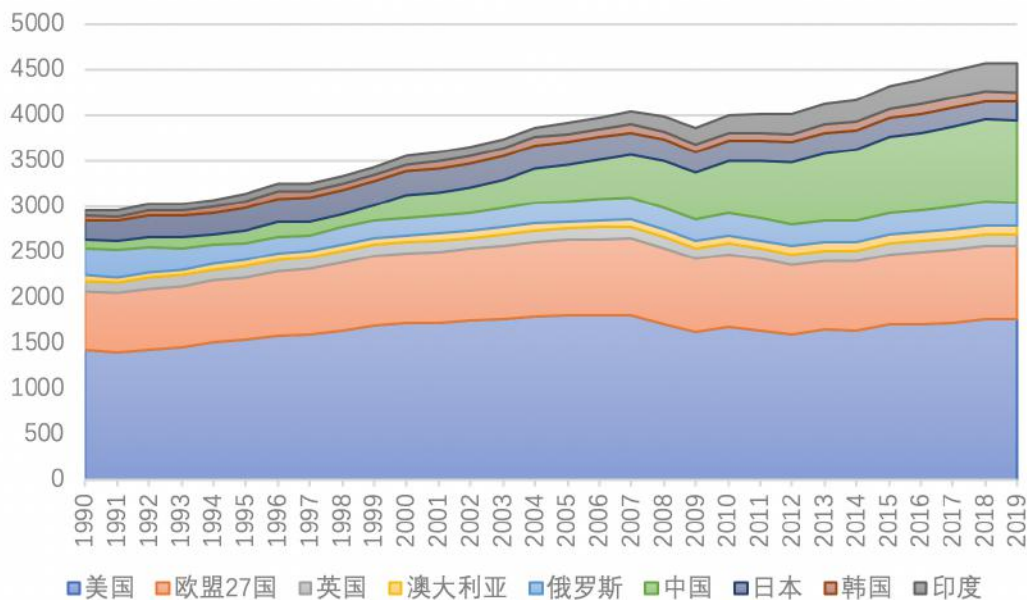


图 6 全球主要国家交通领域1990-2019年累计碳排放总量

数据来源: Climate Watch

(3) 各国交通领域碳减排政策梳理及分析

在全球零碳目标的背景之下，交通领域因其排放总量大，且与民众日常生活关系密切，受到各国的高度重视。各国纷纷推出政策规划，旨在推进交通领域碳减排。据IEA政策数据统计，全球交通领域现行有效及已颁布尚未生效的政策和已在计划中的交通领域优化减排政策超过900项，另有17项政策法规计划颁布。欧盟在推行气候政策方面走在前列，2019年强势启动《欧洲绿色协议》，该协议涵盖交通、农业、建筑以及钢铁、水泥、信息和通信技术、纺织和化工等各个领域，希望通过利用清洁能源、发展循环经济、抑制气候变化、恢复生物多样性、减少污染等措施提高资源利用效率，实现经济可持续发展，以实现2050年前欧洲地区的“碳中和”的目标。为满足绿色新政的要求，欧盟积极推进充电桩及替代燃料基础设施，并于2020年12月9日公布了“可持续和智能交通战略”，提出对欧盟的交通系统和基础设施进行数字化和智能化改造，以进一步削减交通运输领域的二氧化碳排放。2021年6月欧盟发布首部气候法案《欧洲气候法》，7月公布“减碳55”（Fit for 55）一揽子减排计划以落实《欧洲气候法》的新举措，下表中，列举了欧盟以及其他发达国家和组织近些年针对交通领域碳减排提出的部分政策主张：

表2 部分发达国家交通领域减排政策

国家或组织	年份	减排政策	主要内容
欧盟	2021	欧洲气候法	《欧洲气候法》通过建立法律框架，以在2050年实现温室气体净零排放，2030年欧盟新的温室气体减排目标要在1990年的基础上减少55%。
	2021	减碳55（Fit for 55）一揽子减排计划	为落实《欧洲气候法》，欧盟提出了一揽子减碳计划，包括向航运、公路运输和建筑领域拓展碳排放交易、实施新的“碳边境调节机制”目标、实施最严格的小型汽车和货车排放能效以及设立气候创新基金等。
美国	2022	国家电动汽车基础设施方案计划	美国交通和能源部宣布，在未来五年内，将提供近50亿美元的资金用于充电站建设，该项目将帮助各州沿着指定的替代燃料走廊，特别是沿着州际高速公路系统建立电动汽车充电站网络。
	2021	气候创新研究会投资项目	白宫发起了一项创新计划，包括成立一个新的工作组及制定创新议程大纲。能源部为低碳能源技术提供2亿美元赠款项目，用于低成本的零碳道路交通工具和运输系统研究。
	2021	零排放和节能汽车的研发项目	美国能源部宣布为四个尖端项目提供1800万美元的资金，这些项目将帮助乘用车提高运行效率，减少能源消耗，并有助于拜登政府实现到2050年碳排放净零的目标。
英国	2021	汽油和柴油汽车淘汰计划	英国政府将投入超过18亿英镑，计划到2030年，英国将停止在国内销售新的汽油和柴油汽车。销售结束将分两个阶段进行： 1)新汽油、柴油汽车和货车的淘汰日期将提前至2030年。 2)从2035年起，所有新汽车和货车的尾气排放必须完全为零。
	2021	电动汽车储能基础设施	英国政府计划投资数百万英镑，为电网供应不足的服务站安装快速充电桩，支持国家实现零排放交通，目标到2035年在高速公路网络上拥有6000个高功率充电设施。
	2021	政府资助电动卡车和氢动力公交车	英国商务大臣宣布设立5400万英镑的基金，开发下一代电动卡车和氢动力公交车，预计将在全英国创造近11万个工作岗位，并减少4500万吨碳排放。
	2021	英国2020年预算—零排放货车免税	从2021年4月起，政府将对零排放商用货车实行零税率。这一措施预计将在2021-22年为每辆货车节省433英镑的税收。
	2020	绿色工业革命十点计划	英国计划投资120亿英镑，投资绿色工业革命十点计划，其中第四点为制定零排放汽车战略，包括2030年停止新的汽油、柴油货车销售以及提供10亿英镑资金应用于支持英国汽车及其供应链电气化等。

英国	2018	充电基础设施投资基金	设立6亿英镑基金用于支持充电基础设施，对符合要求的充电点提供75%的补贴资金。
德国	2021	德国发展与恢复计划(DARP)	为了应对新冠肺炎大流行和经济危机，德国政府公布了其发展和恢复计划，旨在实现长期发展和绿色复苏。构建气候友好型交通是当中的重要部分，德国计划投资542.8亿欧元，通过新技术整合，使交通部门更加节能和低碳。
	2020	面向未来的一揽子计划	德国面向可持续交通领域推出涉及公路交通、铁路、海运和航空的一揽子计划，包括针对电动汽车购置免税、支持汽车制造新技术研发和数字化转型等，预计支持金额超过百亿欧元。
	2020	可持续交通——充电站基础设施	在2020年6月的经济刺激计划背景下，德国政府将投资25亿欧元用于扩展现代化和更安全的系统，包括充电站基础设施，促进电动汽车和电池生产领域的研发。目标是到2030年拥有多达100万个公共充电站。
韩国	2020	电动汽车计划——2050年实现“净零”目标	韩国政府为了实现2050年的净零目标，将开发2000万辆电动汽车。该计划将扩大该国目前氢燃料汽车和电动汽车的供应和生产，包括在国家计划的2000万辆汽车市场时代之前安装更多充电站，以及在城市设置加氢站，实现到2050年将全国80%以上的氢能转化为绿色氢气的目标。
日本	2021	2021年国家预算——支持海洋和港口领域的碳中和	为推动实现2050年碳中和目标，日本政府拨款8亿日元，用于开发海上风电、港口升级等海洋部门的低碳技术。

资料来源：根据公开数据整理

2、中国交通领域碳排放现状

我国交通领域碳排放总量大，脱碳难度高。数据显示，自1990年以来，我国各行业二氧化碳排放持续增高，其中运输行业排放量仅次于电力和工业部门，占我国全行业碳排放总量的10%左右，同时考虑到我国总体碳排放基数较大，交通领域碳排放不可小视。未来我国汽车保有量至少翻一番，将进一步加大交通领域减排难度。

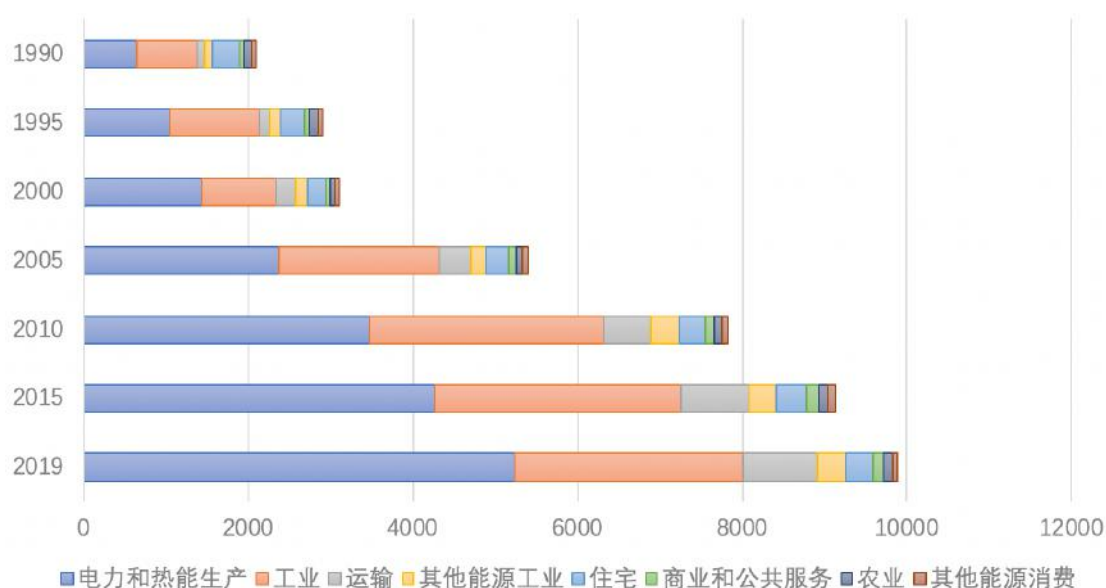


图7 分行业二氧化碳排放量/百万吨

数据来源：IEA(国际能源署)

道路交通是二氧化碳排放的重点来源。自新中国成立以来，中国交通运输体系逐渐成熟，从着力应对“有没有”、“够不够”的问题，向解决交通运输“好不好”的问题过渡²。过去十年中，我国交通领域二氧化碳排放占比呈现上升趋势，其中约四分之三来自道路运输。随着中国经济发展的稳步推进以及城镇化建设程度加深，城市客户和货运服务需求将保持高速增长，道路交通排放压力也将继续加大。以2020年货运碳排放数据为例，虽然公路货运在货运活动总量(以吨公里计算)中的比例从略低于40%下降到了2020年的不到三分之一，但是公路货运排放占货运排放总量的比重已从2000年的65%上升到2020年约80%。公路货运碳排放量于2019年达到3.9亿吨的高点，2020年因新冠疫情略有下降，2021年初发生反弹。据研究机构预测，我国货运活动的增长预计将持续到2060年，但增速与最近几十年的水平相比将更加温和³。

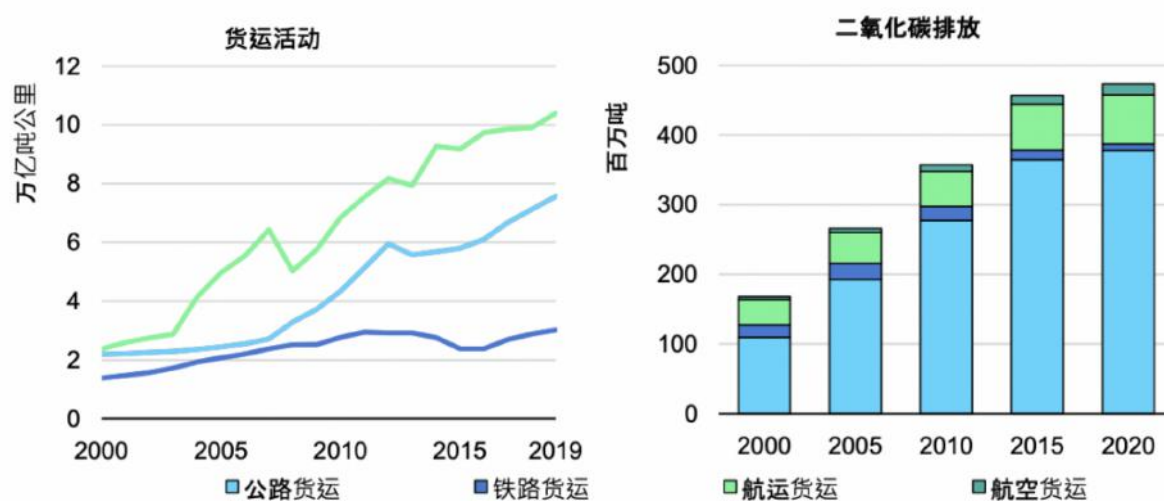


图 8 中国不同交通运输方式的货运活动量和相关二氧化碳排放量

图片来源:IEA

注:航空货运占货运活动总量的比重低于0.1%，占货运排放总量的比重不足3%，因此没有显示在左图中。

中国交通运输行业碳排放将于2030年前后达峰。2020年，中国交通运输行业的二氧化碳排放量约为9.5亿吨，占全国能源体系排放总量的9%左右，受新冠疫情影响，交通运输排放量略低于2019年。根据IEA预测，在我国承诺目标情景下，交通运输排放量在短期内将继续增长，2030年达到略高于10亿吨的峰值，然后逐步下降，到2060年下降到大约 1 亿吨，比2020年降低近90%。2060年仍将有大部分排放来自减排困难的国内航空、航运以及长途公路货运领域。随着国家经济活动的繁荣，人员和货物流动性将持续增加，在未来不到四十年的时间当中，中国交通零碳目标的实现将以道路交通为重点，汽车的电动化以及交通运输系统的高效协同将是推动减碳的关键因素。

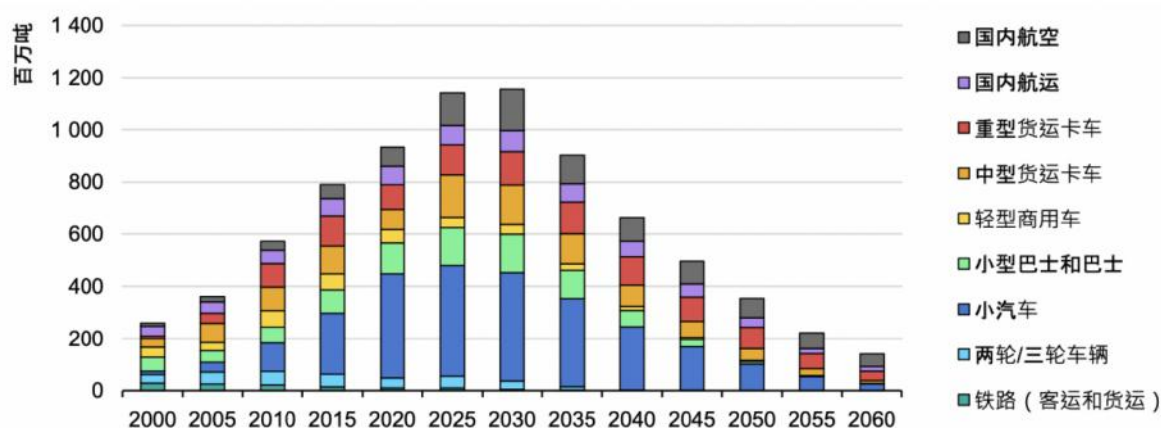


图9 承诺目标情景下，中国交通运输行业二氧化碳排放量预测/百万吨

图片来源:IEA(国际能源署)

3、探索实现零碳交通的意义

(1) 本报告的研究内容及边界范围

现代意义上的交通运输业是指国民经济中专门从事运送旅客和货物的社会生产部门。通常人们把交通运输业划分为第三产业，但交通运输业并不生产有形的产品，它生产的唯一产品是服务⁴。根据国际标准行业分类，交通运输业按照运输结构可分为公路运输、铁路运输、航运运输、航空运输和管道运输五大类。一般而言，公路运输网络分布广、机动性强，在中短途运输中占有重要地位；铁路运输能力大，在长途运输中起着关键作用；水路运输成本低，线路投资低。另外不同运输子系统的运输偏好不同，客运主要依靠公路和铁路运输，货运主要依靠铁路、公路和水路运输。

交通行业在能源燃烧阶段主要产生二氧化碳、甲烷、一氧化二氮这三类温室气体，而甲烷和一氧化二氮排放占比非常小。交通运输领域零碳排放是指某一个或多个系统的绝对温室气体排放总量（折算为二氧化碳当量）接近于零，即意味着交通运输使用能源所产生的排放能够实现零排放，或者其产生的排放能够被其他途径所吸收中和⁵。从全生命周期的角度考虑，交通行业包括交通工具的设计制造、运输服务、后续回收处理等主要阶段，本报告研究范围按照温室气体排放清单的编制原则理解，即仅指交通运输服务阶段，且对于交通行业温室气体排放仅考虑二氧化碳一种，暂不考虑其他气体。

本文探讨城市道路交通零碳实现路径，将侧重研究城市内公路交通（暂不包括铁路运输、航空运输、水路运输、城际轨道交通以及内部道路），通过对我国绿色交通发展政策和城市交通碳排放现状的研究分析，结合零碳、低碳交通的关键基础设施以及“电动城市”案例研究，提出“双碳”目标下，我国城市零碳交通的发展路径、关键基础设施布局以及发展建议。

(2) 研究意义

2015年《巴黎协定》为全球气候行动制定了关键目标，即将全球温升目标控制在工业化前2摄氏度以内，努力控制在1.5摄氏度以内。然而根据国际能源署最新研究结果，即使各国能够按照目前的政策全面有序落实碳减排行动，仅有望在本世纪末将全球升温幅度控制在1.8摄氏度⁶。这意味着，若要实现1.5摄氏度以内的温控目标，需要全球协力采取更为积极乃至激进的措施促进全面减碳。交通运输行业与人类生产生活关系密切，是经济与社会发展的重要支柱，如不加以限制，其产生的碳排放将持续增加。因此，研究交通运输行业的零碳路径对实现全球碳排放净零的目标至关重要，引起了各相关部门和研究机构的高度关注。本报告将在总结归纳既有学者研究成果的基础上，通过城市交通零碳路径的研究，探索一套适合中国乃至世界城市未来高质量发展的解决方案，以期推动以城市作为重要单元的社会结构向低碳、零碳目标更进一步。

02

我国城市交通领域 碳减排现状

当前，我国交通领域碳减排面临较大挑战。一方面，随着经济的不断发展，居民出行时长、距离持续增加，对于私人交通工具的需求持续增加；另一方面，行业内仍然以化石能源供能为主，新能源虽已形成规模但仍处于初期发展阶段。因此，交通领域碳减排不仅要控制好因交通总量增加而导致的碳排放增长，还要推动以新能源为主的能源系统转型，通过交通、能源、社会生态的协同发展，打通碳减排路径。

1、我国城市交通发展现状

城市是我国经济发展的重要载体和居民经济活动的主要聚集地，城市交通布局是否合理、安全、顺畅直接影响着城市经济运转效率。城市交通的绿色化水平对于交通领域碳排放起着决定性作用。随着经济的不断发展，城市的经济结构、功能分布在不断优化，城市覆盖范围也在逐步扩大，随之产生了交通总量增加、道路拥堵、大气污染以及道路交通安全等一系列问题。**城市交通的碳减排需要从优化城市道路基础设施、道路交通工具以及道路交通工具能源构成三方面考虑**，这也是城市实现零碳交通的主要方向。

(1) 城市道路发展现状

我国公路建设保持稳步发展，公路基础设施逐步完善。根据交通运输部《2021年交通运输行业发展统计公报》数据显示，2021年全国公路总里程为528.07万公里，比上年末增加8.26万公里。公路密度为55.01公里/百平方公里，较上年增加0.86公里/百平方公里。全年完成交通固定资产投资36220亿元，其中公路固定资产投资25995亿元，比上年增长6.0%，占交通固定资产投资总额的约71%。在投资的带动下，公路交通基础设施逐步完善。



图 10 2016—2021年末全国公路总里程及公路密度

数据来源：交通运输部

我国城市道路密度持续增长。根据《中国主要城市道路网密度与运行状态监测报告》显示(如下图)，2022年度全国36个主要城市平均道路网密度为6.3km/km²，相较2021年度6.2km/km²指标值总体增长

1.6%。根据城市体量分类来看，超大型城市道路网密度为7.5km/km²，平均增长1.4%；特大型城市道路网密度为6.5km/km²，平均增长3.2%；I型大城市平均道路网密度为6.1km/km²，增长1.7%；II型大城市平均道路网密度为6.0km/km²，平均增长1.7%。根据“秦岭—淮河”地理分界线区分，2022年我国北方城市道路网密度平均为5.4km/km²，增长率1.9%，南方城市道路网密度平均为7.0km/km²，增长率为1.4%。尽管南、北方城市都平均稳定增长了0.1km/km²，北方城市道路网密度仍普遍低于南方城市。

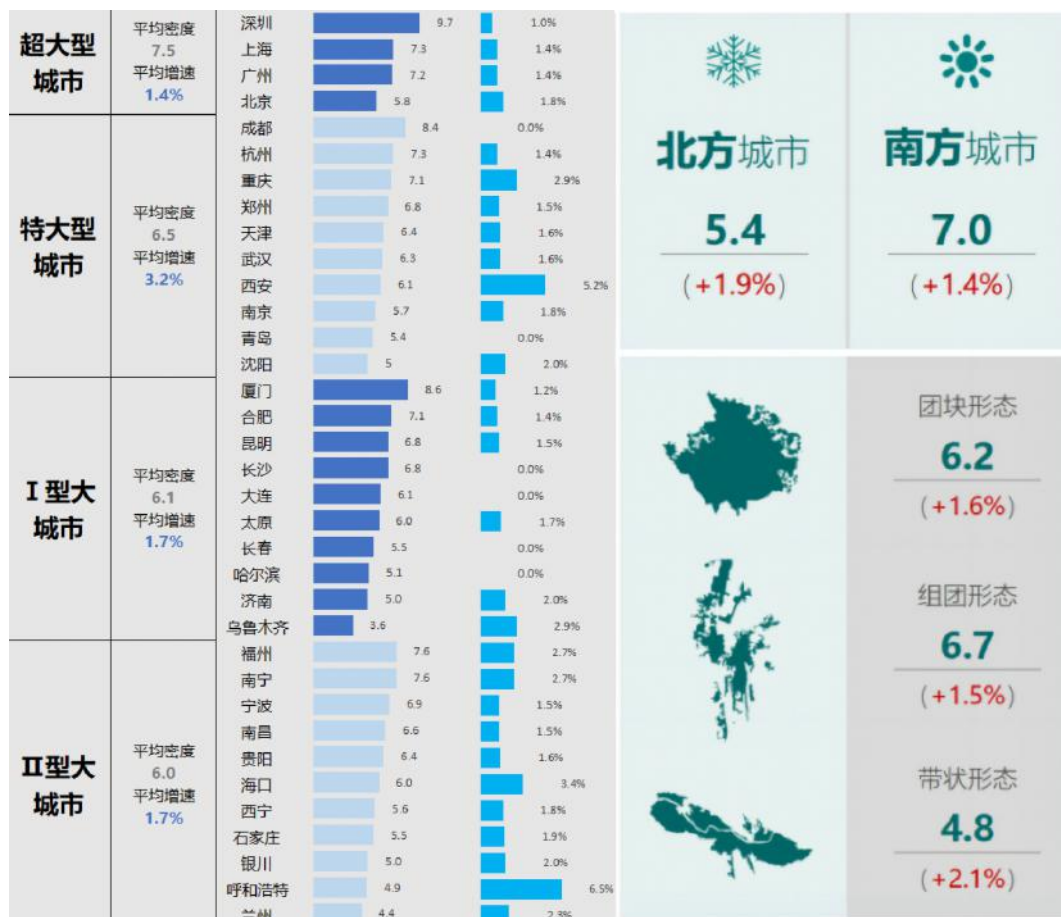


图 11 城市规模与道路网密度(左)，城市区位、形态与道路网密度(右)

道路运行状况是城市交通运行良好与否的重要指标。综合上述分析，我国道路基础设施建设仍在稳步发展，总里程数和密度呈持续增长态势，但道路密度上仍有提升空间。由此可见，未来几年我国的道路基础设施还将持续完善。

(2) 汽车保有量现状

我国大中型城市汽车保有量持续快速增长。据公安部统计，截至2022年9月底，全国机动车保有量达4.12亿辆。在城市汽车保有量方面，目前全国有82个城市的汽车保有量超过100万辆，同比增加6个城市，其中北京汽车保有量超过600万辆，成都、重庆汽车保有量超过500万辆，苏州、上海、郑州、西安、武汉汽车保有量超过400万辆。

我国新能源汽车发展势头迅猛，保有量位居全球第一。早在2010年《国务院关于加快培养和发展战略性新兴产业的决定》中，已将新能源汽车列为七大战略性新兴产业之一。在销售方面，近年来在国家的大力扶持与引导下，新能源汽车产销量实现高速增长。据最新数据显示，2022年中国电动汽车销量继续领跑全球，上半年销量超过245万辆，全球占比56.8%，同比增长率达113%。在保有量方面，截至2021年底，全球新能源汽车保有量已达1620万辆，年增长率达到57%。中国自2016年以来，超越美国成为全球第一大新能源汽车保有国。2021年中国新能源汽车保有量达780万辆，约占汽车保有总量的2%。

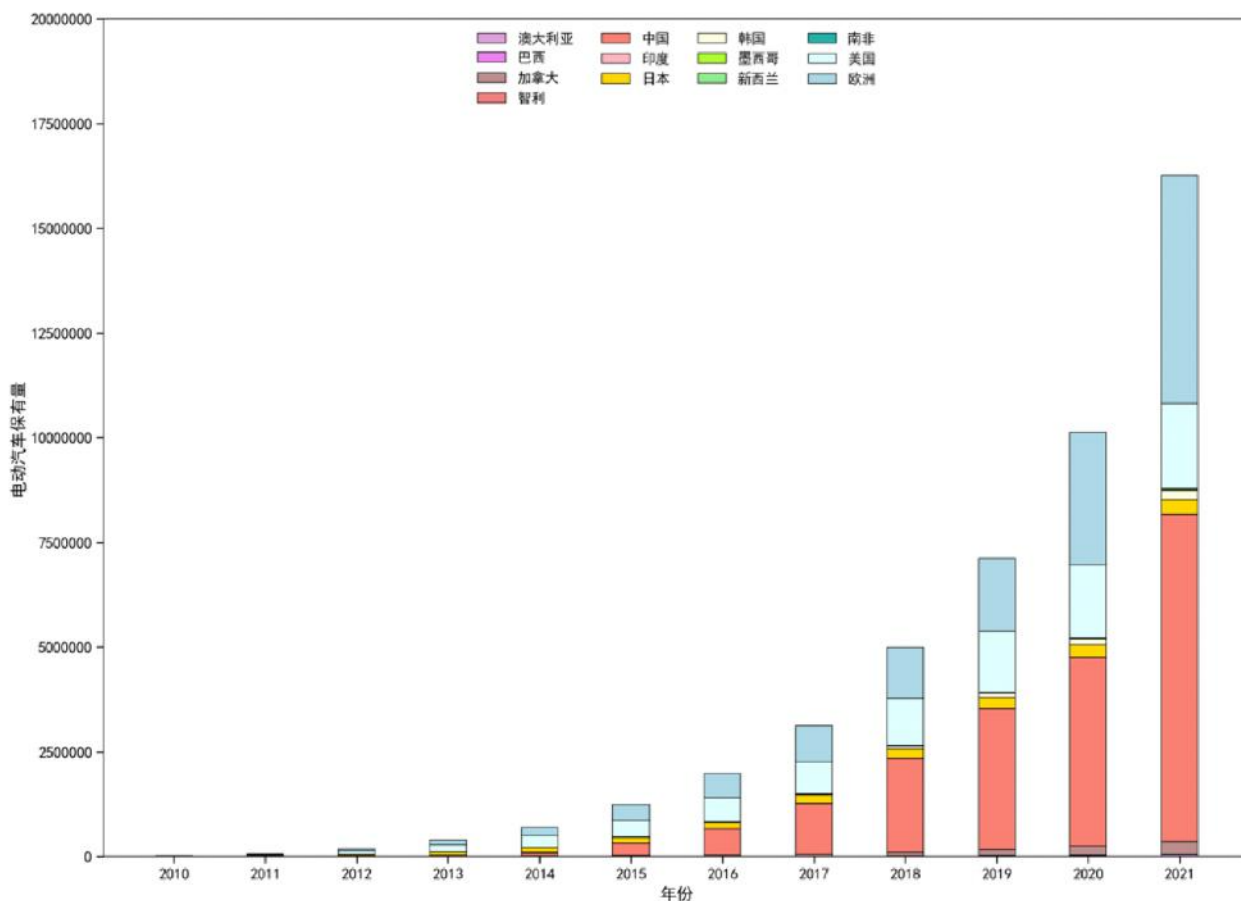


图 12 近5年全球各主要国家轻型电动汽车保有量

注：BEV为纯电动汽车；PHEV为插电式混合动力汽车。这一数字中的欧洲包括欧盟27国、挪威、冰岛、瑞士和英国。

消费者对新能源汽车的购买意愿持续增强。2022年前三季度，全国新注册登记新能源汽车371.3万辆，同比增长98.48%。全国新能源汽车中纯电动汽车保有量926万辆，占新能源汽车总量的80.56%。根据数据显示，消费者对于新能源车的接受度已从2017年的20%提升至2021年的63%。

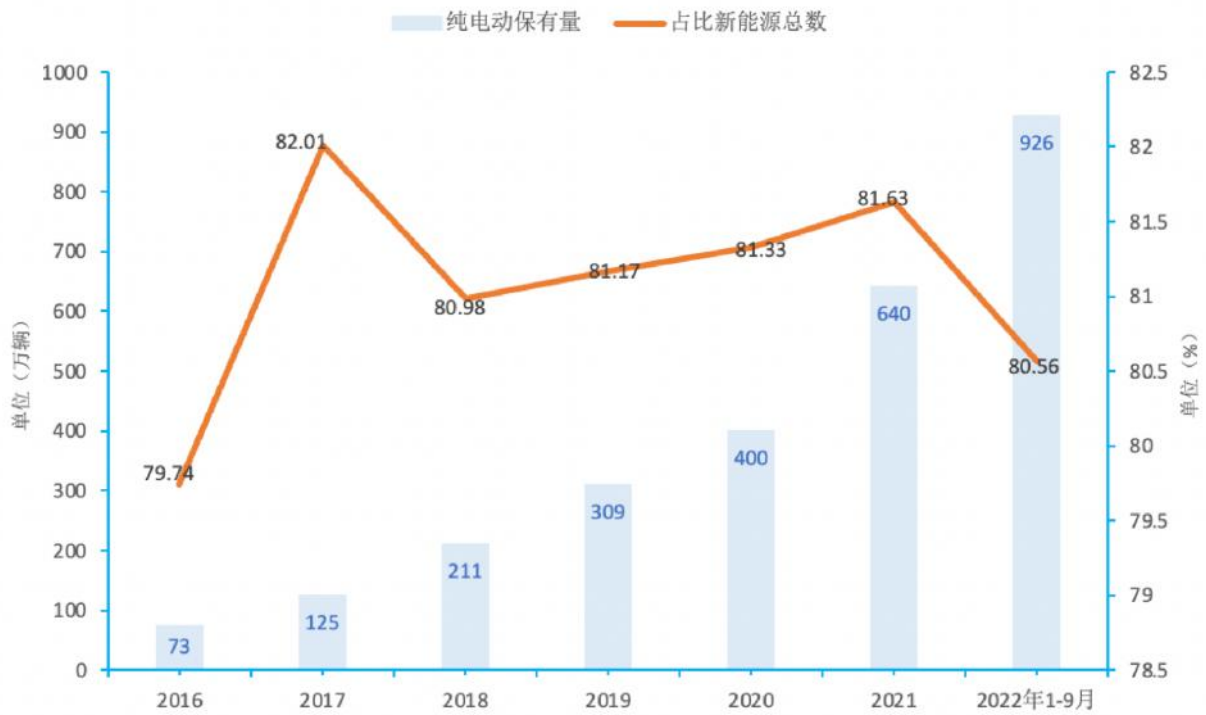


图 13 2016-2021年及2022年1-6月全国电动车保有量

数据来源：公安部、华泰证券

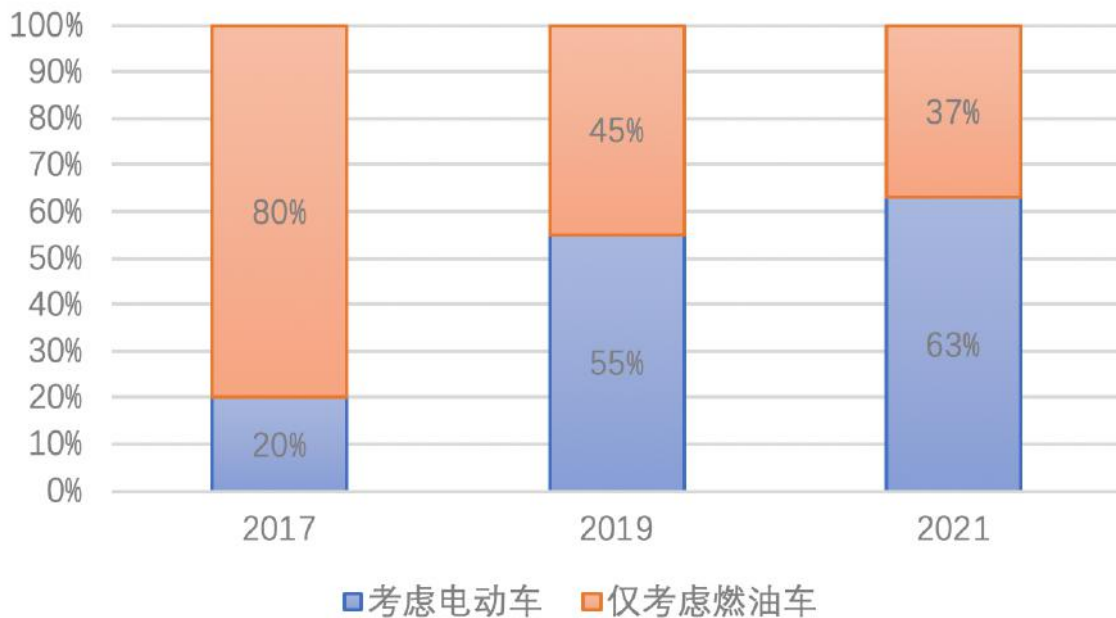


图 14 用户对新能源汽车的接受度

图表来源：华泰证券

新能源汽车成为城市公共客运的主要交通工具。我国城市公共交通汽电车燃料类型持续优化，2021年我国城市公共交通汽电车当中，新能源运营车辆数（包括纯电动车、混合动力车、氢能源车）达到50.89万辆，较2020年增加4.28万辆，占我国城市公共汽电车运营车辆总数的71.7%。

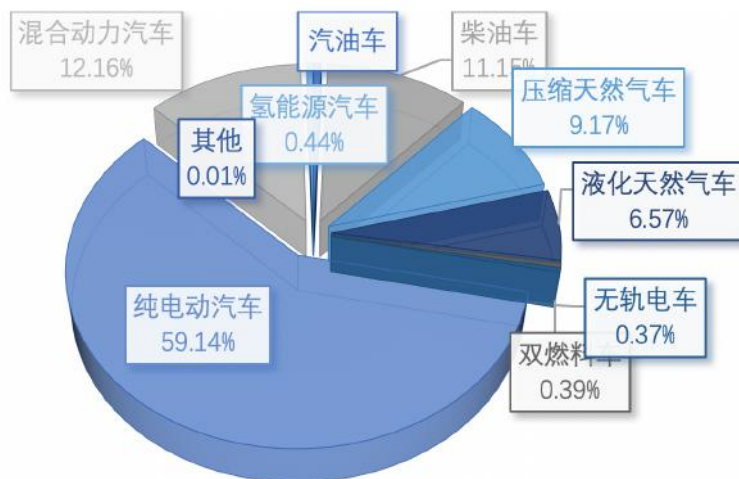


图 15 2021年城市公共汽电车燃料类型

数据来源：交通运输部

随着我国经济稳步发展和城镇化的持续推进，汽车保有量将继续增加，未来还将有更多城市汽车保有量突破100万大关。值得关注的是新能源汽车的增速远超保有量总数的增速，说明越来越多人倾向于选择新能源汽车。在汽车电动化、智能化、网联化的发展趋势中，以新能源汽车所带动的汽车产业绿色化将成为推动交通领域碳减排重要因素。

(3) 城市道路新能源基础设施布局情况

在双碳目标下，交通能源体系正在经历由传统能源向传统能源与新能源融合最终实现新能源替代的变革发展过程中。新能源汽车相关基础设施建设规模是影响新能源汽车推广普及的关键因素。随着新能源汽车市场的快速发展，在需求推动下相关基础设施的建设规模也在迅速扩张。

近期，我国多个省市相继出台支持充（换）电基础设施建设的相关政策，部分省市还将提高车桩比定为明确建设目标。

表3 2022年主要省市充（换）电桩基础设施建设文件汇总

省/市	文件	相关内容	车桩比
北京	《北京市“十四五”时期能源发展规划》	到2025年，累计建成各类充电桩70万个，平原地区公共充电设施平均服务半径小于3公里。	

上海	《关于本市进一步推动充换电基础设施建设的实施意见》	形成适度超前的城市充电网络，到2025年，满足125万辆以上电动汽车的充电需求。	全市车桩比不高于2：1
广州	《广州市加快推进电动汽车充电基础设施建设三年行动方案（2022-2024年）》 《广州市智能与新能源汽车创新发展“十四五”规划》	到2024年，“一快一慢、有序充电”的充换电服务体系和“超充之都”基本建成；全市充换电设施服务能力达到约400万千瓦，建成超级快充站约1000座、“统建统管”小功率慢充小区约1000个、换电站约200座。到2025年换电站达到400个。	
深圳	《深圳市新能源汽车推广应用工作方案（2021-2025年）》	至2025年，全市新能源汽车保有量达到100万辆左右，累计建成公共和专用网络快速充电桩4.3万个左右，基础网络慢速充电桩79万个左右。	
湖南	《湖南省人民政府办公厅关于加快电动汽车充（换）电基础设施建设的实施意见》	到2025年底，全省充电设施保有量达到40万个以上，保障全省电动汽车出行和省外过境电动汽车充电需求。	
浙江	《浙江省新能源汽车产业发展“十四五”规划》 《浙江省充电基础设施发展“十四五”规划》	到2025年，建成综合供能服务站800座以上、公共领域充电桩8万个以上（其中智能公用充电桩5万个以上）、自用充电桩35万个以上。	公共领域车桩比不超过3:1
东莞	《东莞市汽车充电设施“十四五”发展规划（2021-2025年）》	“十四五”期间，我市将新增建设充换电设施10.8万台，到2025年充电设施累计建设总量达12万台。	我市充电设施累计建设总量占我市新能源汽车累计推广总量比，达1:1.8
苏州	《苏州市“十四五”电动汽车公共充换电设施规划》	到2025年，苏州市需累计建成充电桩20万个，其中私人充电桩不少于15.5万个，公共充电桩约3.6万个，专用充电桩约0.9万个，满足38万辆左右电动汽车的充换电需求。	全市车桩比达到2：1左右

目前，我国公共充电桩以直流快充为主，交流慢充为辅；私人充电桩主要以交流慢充为辅，基本符合新能源汽车用户的充电需求。为提升补能效率、优化用户体验，换电技术也在持续发展与完善，以攻克充电技术存在的“充电慢”、快充加速电池衰减等核心痛点。

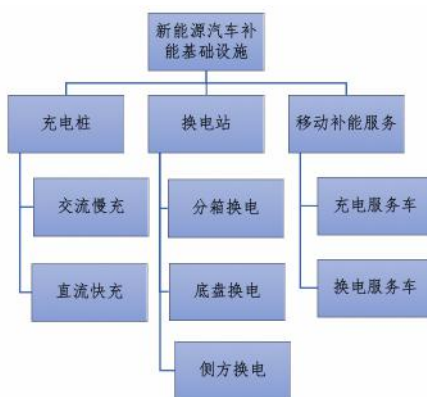


图 16 新能源车补能方式分类

充电桩

充电桩目前主要分为交流慢充和直流快充。就交流慢充而言，交流充电桩采用常规电压，充电功率较小、技术相对成熟，且结构简单、易安装、成本较低，大多安装在居民区、办公楼的停车场，适用于日常停车补能的应用场景。就直流快充而言，直流电桩采用高电压、充电功率大、充电速度快，直流充电桩技术和设备相对复杂，安装成本较高，一般以集中式充电站的形式出现，面向需要在短时间快速补能的应用场景。

《新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)》提出，要积极推广智能有序慢充为主、应急快充为辅的居民区充电服务模式，加快形成适度超前、快充为主、慢充为辅的高速公路和城乡公共充电网络。在需求端和政策端的双向驱动下，截至2022年第二季度，公共充电桩保有量共计达153万台，2020年以来年化增速达53%。

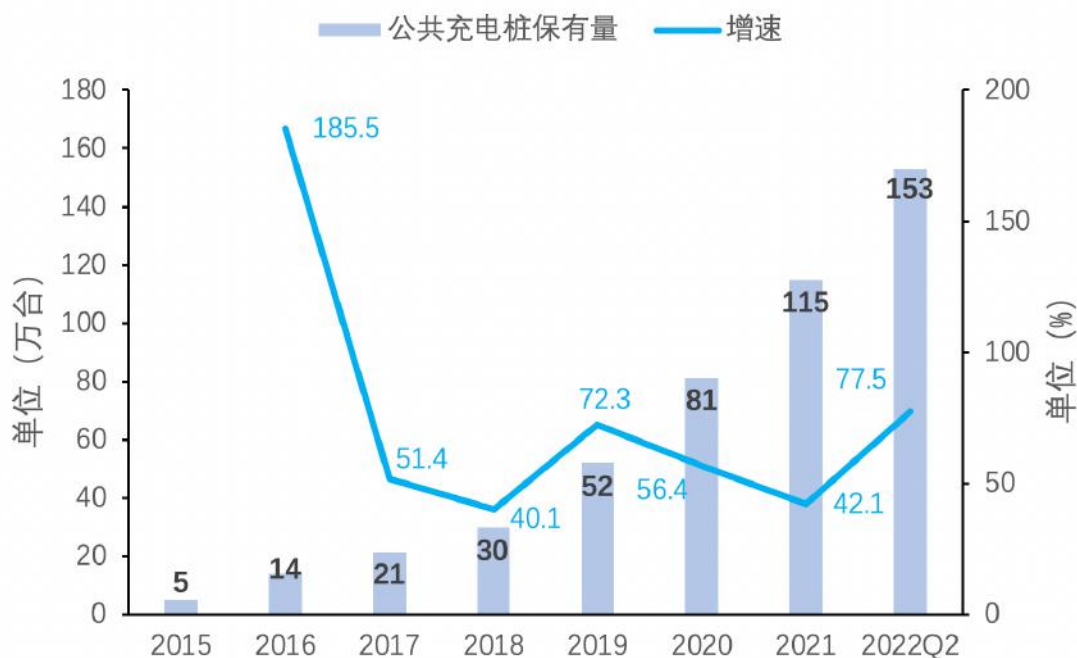


图 17 公共充电桩保有量及年化增速

资料来源:Wind, 华泰研究

换电站

随着技术的不断成熟，我国新能源汽车市场迅速扩张，但从需求侧看新能源汽车的发展仍存在亟待解决的痛点，其中最为突出的是新能源汽车补能问题，特别是城际交通中，由于新能源汽车“充电难”“充电慢”问题，消费者存在消耗大量计划外时间的风险。

新能源汽车换电模式是解决上述问题的方案之一。换电模式是通过集中型充电仓对大量电池集中存储、充电，可统一配送，或在换电站内对电动汽车进行换电。从换电方式讲，主要分为底盘换电、侧方换电和分箱换电⁷。换电服务的平均时长3~5分钟，可有效缓解电动车用户对续航里程的焦虑，提高用户的补能效率。目前主流的换电模式中，分箱换电和底盘换电主要应用于乘用车市场，侧方换电主要用于商用车市场。

分箱换电是将电池包做成标准化、可拆卸的动力电池箱，根据车型需求在车辆底部布置不同数量的标准箱动力电池，实现换电站设备和车型的兼容。

底盘换电是指首先由换电工程师将车辆在相应位置固定，随后换电升降机将车辆从底部升起，RGV将整车底盘的电池移出送至充电仓充电，并从充电仓中将满电电池自动运送至汽车底部固定。

侧方换电主要应用于重卡、矿卡等商用车，针对不同车型，换电方式还分为整体单侧换电、吊顶换电和整体双侧换电。

	加油	充电	换电	加氢
单次补给时间 (*600km续航情景)	5-10分钟	快充1-2小时 慢充6-8小时	2-15分钟	10-15分钟 (基于70Mpa加氢系统)
补给成本 (*含服务费)	~8-10元/L	~1-1.2元/KWH	~1.3元/KWH	~15-25元/KWH (基于30-40元/kg Hz 测算)
发展现状	价格上涨，但基础设施完备，仍然是目前最常用的补能方式	技术向高效升级，如双枪充电，边用边充，无线充电等	针对具有高频词、大电量需求的商用车领域，进行换电站投运及换电车型投放	现阶段主要用于商用车，加氢站建设提速，2021年以来，70Mpa加氢站建设快速放量

图 18 充换电技术对比

数据来源:艾瑞咨询

2021年，新能源换电车销量成倍数增长。根据《2022年中国新能源汽车换电市场研究报告》统计，2021年国内新能源换电汽车销量约16万辆，同比增长162%；中国新能源换电汽车保有量约25万辆，同比增长178%。

根据《2022年11月全国电动汽车充换电基础设施运行情况》数据，截止2022年11月，各省份换电站总量为1902座。其中北京以285座位居榜首，其次是广东省238座、浙江省224座。

据预测，到2025年，我国换电汽车保有量预计将达415万辆，换电站售电市场规模预计达616亿元，动力电池终端需求预计达360GWh。



图 19 2022年11月换电站前十省份

数据来源：中国电动汽车充电基础设施促进联盟



图 20 换电车保有量、市场规模、动力电池需求预测

数据来源：BNEF、中国汽车工业协会、中信证券、艾瑞咨询报告

加氢站

2021年5月,《加氢站技术规范(2021年修订版)》(GB50516-2010)开始实施,该文件将加氢站分为三个等级,并明确城市中心区不应建设一级加氢站。

表4 加氢站的等级划分

等级	储氢容器容量 (kg)	
	总容量G	单罐容量
一级	$5000 \leq G \leq 8000$	≤ 2000
二级	$3000 < G < 5000$	≤ 1500
三级	$G \leq 3000$	≤ 800

注：液氮罐的单罐容量不受本表中单罐容量的限制。

据统计，截至2021年末，我国已建成加氢站达218座，较2020年新增100座。2021年我国加氢站市场规模达到30.52亿元。



图 21 加氢站数量与市场规模

数据来源：华经产业研究院、亿渡数据

加氢站已成为能源新基建的重要组成部分，根据国家规划到2025年我国将建成加氢站1000座，我国加氢站市场规模将进入快速增长期。据预测，至2026年我国加氢站市场规模将达到151.2亿元。

移动补能服务

移动补能服务是使用移动充电车或换电车对新能源车辆提供补能服务，被誉为“电动车的充电宝”。移动补能设备具有灵巧性、易扩容、可移动的特点。

移动补能服务早期主要是对充换电基础设施建设普及率低的补充，可缓解基础设施布局不均衡、不充足等问题，缓解用户里程焦虑，与充电桩、换电站形成互补。此外，对于运营方，还可通过充电与服务的时间差，利用峰谷电价差，提高移动补能设备的收益率。

2、城市交通碳排放现状与影响因素

(1) 城市碳排放的基本情况

根据车百智库的研究结果，我国城市交通(含都市圈)的碳排放占整个交通领域排放总量的40%左右。

下图直观表现了全国主要城市的碳排放情况，从交通碳排放占比来看，国外城市普遍在20%~60%之间，尤其是美国的大中型城市，交通碳排占比大多超过50%。相比于国外城市，我国北京、上海这样的超一线城市碳排占比在25%左右，但由于城市面积和人口规模都较大，碳排放总量远超国外。

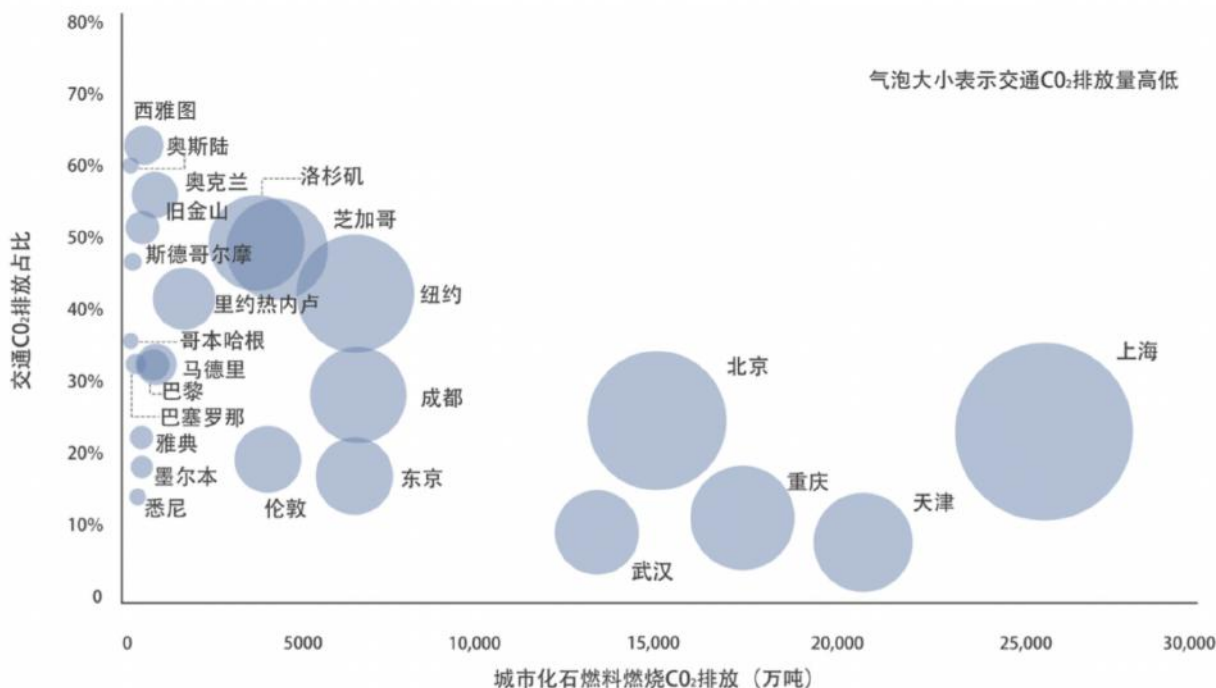


图 22 全球主要城市交通排放量及占比情况

数据来源：车百智库

(2) 城市交通碳排放的影响因素

城市交通的碳排放量受出行结构、运输需求、新能源汽车技术等多方面因素的影响，此外，城市经济发展水平、城市规模、核心产业类型、人口数量等外部因素也影响着城市交通碳排放。本部分主要聚焦于与交通运输直接相关的出行结构、运输需求，探讨其对城市交通碳减排的影响。

出行结构

城市客运交通系统主要由城市公共汽电车、城市轨道交通、出租汽车（含巡游出租车和网络预约出租车）、汽车租赁、互联网租赁自行车、城市客运轮渡等部分构成。城市交通的出行结构由多种因素决定，城市的规模、人口、经济发展水平、核心产业结构差异，都将影响城市出行结构，因此能源消耗、碳排放量以及对环境损坏程度也不尽相同。各种交通出行方式的污染物排放和能源消耗水平具有显著不同，由下

表可见，私人小汽车的单位二氧化碳排放量是普通公交的6到7倍，是轨道交通18倍；单位污染物排放量是普通公交的近5倍，是轨道交通的40余倍。

表5 城市主要交通出行方式的能耗和污染物排放测算⁸

	私家车	出租车	摩托车	普通公交	快速公交	轨道交通
二氧化碳 吨/百万人千米	140.2	116.9	62	19.8	4.7	7.5
氮氧化物 千克/百万人千米	746	662	90	168.4	42	17.5
油耗 吨/百万人千米	49.2	41	21.8	6.9	1.6	2.6

由此可见，交通出行结构对于城市交通碳减排来说至关重要，优化交通出行结构是对城市交通系统中不同交通方式的比例进行优化调整，进而改变不同出行方式在碳排放总量中的占比以达到降低碳排放总量的目标。

交通出行结构对于城市交通系统碳排放总量影响显著。城市的发展阶段不同，其交通出行结构具有不同特点。经济的不断发展推动着城市的发展，城镇化率的提高促使城市交通出行结构发生变化。在城镇化初期，城市规模较小，居民出行距离短、目的单一，步行和自行车是主要出行方式。随着市场经济的发展，城镇化也进入快速发展阶段。城市空间不断扩展，居民出行距离变长且需求变得多样化。以小汽车为代表的机动车出行方式逐步代替非机动车出行方式。“十四五”期间，我常住人口城镇化率将提高到65%，这意味着机动车出行需求还将进一步扩大。

运输需求

公路货运的高效运营是国民经济增长的必要条件，近年我国道路运输需求不断增长，特别是公路货运方面。根据交通运输部发布《2021年交通运输行业发展统计公报》数据，2021年全年完成营业性客运量83.03亿人，比上年下降14.1%，完成旅客周转量19758.15亿人公里、增长2.6%。完成营业性货运量521.60亿吨、增长12.3%，完成货物周转量218181.32亿吨公里、增长10.9%。全年完成营业性公路货运量391.39亿吨，比上年增长14.2%；公路货物周转量69087.65亿吨公里，增长14.8%；高速公路货车流量比上年增长6.0%。全年机动车年平均交通量为14993辆/日，比上年增长4.9%，年平均行驶量为348692万车公里/日、增长3.6%。营业性货运量分运输方式构成中公路占比达到75%。

根据对各国客运和货运碳减排的相对变化趋势的研究结论⁹，客运碳排放强度下降难度较大，而货运仍有较大减排空间。研究发现，随着出行便捷性、舒适性需求的提高，碳排放强度将随着客运单耗可能呈现的上升态势而上升，客运碳排放强度下降的空间相对较小且难度较大。此外，研究发现，美国、日本、欧盟等大多数国家货物运输的碳排放强度呈不断下降态势，而且普遍降幅较大。即使是国际货运物流业发达的国家，其节能减碳仍然大有潜力可挖。

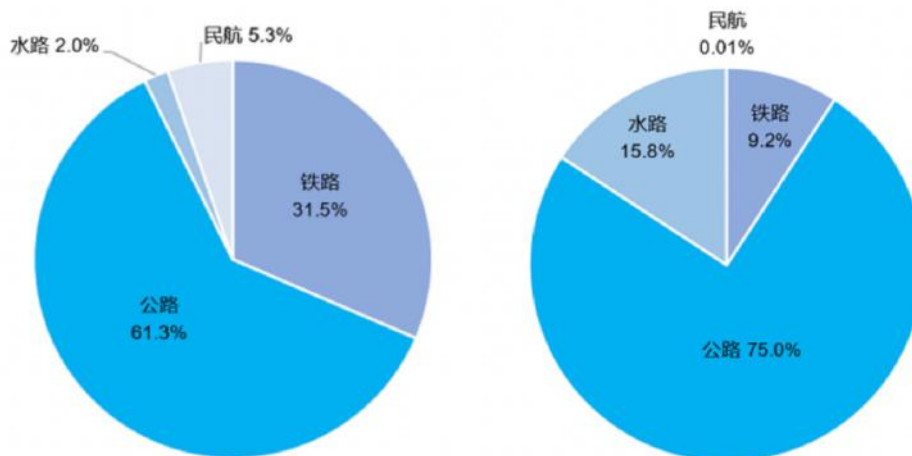


图 23 2021年营业性客运量分运输方式构成(左)、2021年营业性货运量分运输方式构成(右)

数据来源:交通运输部

因此,我国应着重发力货运碳减排,提高货运物流的运输效率,促进货车降碳技术的应用与发展,特别是港口型城市、交通枢纽型城市、资源型城市等对于货运需求高的城市,公路货运是城市交通碳减排的重要一环。

3、城市交通碳减排需要关注的主要问题

城市交通总量持续攀升。一方面居民机动车出行量持续增长。经济的高速发展及人口增长导致机动车数量增长,城市交通消费支出比例逐年上升,城市出行总量增加,城市交通拥堵问题严峻,加剧了小汽车的运行排放。另一方面,随着互联网推动各行业的转型以及电子商务的繁荣,城市内物流配送、城市间货物运输需求激增,导致货运排放占比显著增大。根据国家邮政局数据,2022年1-8月,全国快递服务企业业务量累计完成703.0亿件,同比增长4.4%;其中,异地业务量累计完成606.9亿件,同比增长6.4%。

城市道路网密度偏低。根据前文数据,虽然我国城市道路密度持续提升,超大型城市道路网密度为7.5km/km²,但与其他国际大都市相比仍存在较大差距,例如,东京路网密度为28.8km/km²、伦敦路网密度为22.4km/km²、纽约路网密度16.4km/km²¹⁰。城市道路网的不完善,是导致城市交通拥堵的重要原因之一,不仅影响城市交通出行效率、交通可达率,还导致城市交通碳排放量的增加。

新能源汽车补能基础设施比例有待提高。根据中国电动汽车充电基础设施促进联盟数据,截至2022年9月,全国充电基础设施累计数量为448.8万台,同比增加101.9%。结合前文数据,截至2022年9月,我国新能源汽车保有量为1149万辆,桩车比达1:2.56,距离1:1的目标仍有较大差距。充电站、换电站等补能基础设施仍需加大建设力度。

城市居民绿色出行意愿仍需加强。城市交通碳减排需要重点发展绿色公共交通，有助于区域内的节能降碳。但由于公共交通工具舒适性较差且线路固定导致出行效率偏低等原因，城市居民更偏好私人交通工具出行。

4、我国交通领域碳减排政策及发展规划

2021年10月中共中央、国务院相继印发了《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》，为我国实现“30·60”目标指明了方向和路径。在交通方面，《意见》指出加快推进低碳交通运输体系建设，要优化交通运输结构，推广节能低碳型交通工具，积极引导低碳出行；《方案》提出推动运输工具装备低碳转型、构建绿色高效交通运输体系、加快绿色交通基础设施建设。随后，国家相关部委也陆续印发相关文件，主要聚焦促进新能源发展、鼓励绿色出行、推动新能源基础设施建设等方面。

表6 近3年国家主要交通碳减排相关政策

发布时间	发布部门	政策名称	相关内容
2022年9月	财政部、税务总局、工业和信息化部	《关于延续新能源汽车免征车辆购置税政策的公告》	购置日期在2023年内的新能源汽车免征车辆购置税。
2022年5月	国家发展改革委、国家能源局	《关于促进新时代新能源高质量发展实施方案的通知》	创新新能源开发利用模式，加快构建适应新能源的新型电力系统，完善相关政策支持，促进新时代新能源高质量发展。
2021年12月	财政部、工业和信息化部、科技部、发展改革委	《关于2022年新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》	2022年，新能源汽车补贴标准在2021年基础上退坡30%；城市公交、道路客运、出租（含网约车）、环卫、城市物流配送、邮政快递、民航机场以及党政机关公务领域符合要求的车辆，补贴标准在2021年基础上退坡20%。
2021年10月	工业与信息部	《关于启动新能源汽车换电模式应用试点工作的通知》	决定启动新能源汽车换电模式应用试点工作。纳入此次试点范围的城市共有11个，其中综合应用类城市8个（北京、南京、武汉、三亚、重庆、长春、合肥、济南），重卡特色类3个（宜宾、唐山、包头）。预计推广换电车辆10万辆以上，换电站1000座以上。
2021年12月	交通运输部、国家标准化管理委员会、国家铁路局、中国民用航空局、国家邮政局	《交通运输标准化“十四五”发展规划》	绿色交通领域。以推进绿色集约循环发展，建设绿色交通，落实“碳达峰”目标任务为着力点，严格执行国家节能环保强制性标准，着力推进绿色交通发展有关新技术、新设备、新材料、新工艺标准制修订，促进资源节约集约利用，强化节能减排、污染防治和生态环境保护修复。
2021年9月	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》	加快推进低碳交通运输体系建设。要优化交通运输结构，推广节能低碳型交通工具，积极引导低碳出行。
2021年8月	工业和信息化部、科技部、生态环境部、商务部、市场监管总局	《新能源汽车动力电池梯次利用管理办法》	加强新能源汽车动力电池梯次利用管理，提升资源综合利用水平，保障梯次利用电池产品的质量，保护生态环境。

2021年2月	中共中央 国务院	《国家综合立体交通网规划纲要》	推进绿色低碳发展，促进交通基础设施与生态空间协调，实施交通生态修复提升工程，加大交通污染监测和综合治理力度，优化调整运输结构，促进交通能源动力系统清洁化、低碳化、高效化。
2021年2月	国务院	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	建立健全绿色低碳循环发展经济体系，优化产业结构、能源结构、运输结构，构建市场导向绿色创新体系，完善相关法律法规。
2020年12月	财政部、工业和信息化部、科技部、发展改革委	《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》	为支持新能源汽车产业高质量发展，需要平缓补贴退坡力度，实现新老标准平稳过渡，并完善市场化长效机制，防止重复建设，提高产业集中度。
2020年11月	国家发展改革委、国家邮政局、工业和信息化部、司法部、生态环境部、住房城乡建设部、商务部、市场监管总局	《关于加快推进快递包装绿色转型的意见》	分两步在快递包装领域全面建立与绿色理念相适应的法律、标准和政策体系，强化快递包装绿色治理，推进快递包装材料源头减量，提升快递包装产品规范化水平，减少二次包装。
2020年10月	国务院办公厅	《关于印发新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》	到2025年，我国新能源汽车市场竞争力明显增强，动力电池、驱动电机、车用操作系统等关键技术取得重大突破，安全水平全面提升。纯电动乘用车新车平均电耗降至12.0千瓦时/百公里，新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的20%左右，高度自动驾驶汽车实现限定区域和特定场景商业化应用，充换电服务便利性显著提高。
2020年7月	交通运输部、国家发展改革委	《绿色出行创建行动方案》	到2022年，力争60%以上的创建城市绿色出行比例达到70%以上，绿色出行服务满意率不低于80%。公交都市创建城市将绿色出行创建纳入公交都市创建一并推进。

新能源相关标准逐步完善，为推进交通领域碳减排提供有力抓手。2021年10月，中共中央、国务院印发《国家标准化发展纲要》指出，要完善绿色发展标准化保障，建立健全碳达峰、碳中和标准。2021年11月1日国家标准《电动汽车换电安全要求》开始实施，该《标准》是我国汽车行业在换电领域制定的首个基础通用国家标准，明确了换电车辆的一般安全要求。2022年8月，交通运输部印发《绿色交通标准体系（2022年）》，在2016年版本基础上结合新形势进一步深化，继续推动交通运输领域节能降碳、污染防治，促进交通与自然和谐发展，列出了与交通运输行业节能降碳、污染物排放和生态环境保护密切相关的国家标准、生态环境行业标准43项，以促进绿色标准的协同实施。

明确建立标准计量体系目标，使交通领域碳减排有据可依。2022年11月，市场监管总局等九部门联合印发《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》提出，到2025年，碳达峰碳中和标准计量体系基本建立。目前，我国交通领域尚未形成统一计量标准，存在减排量重复计算、第三方核证机构缺失等问题。统一标准的确立，将从制度上进一步推动碳减排工作进行，也为碳减排工作提供有效可信数据，促进碳减排工作的效率提升。

当前，我国交通运输行业正处于“交通强国”建设的关键阶段，交通基础设施建设、汽车保有量等都呈上升趋势。交通领域碳减排工作任务艰巨，需要重点关注城市交通总量持续攀升、城市道路网密度偏低、新能源汽车补能基础设施比例有待提高、城市居民绿色出行意愿仍需加强等问题。通过政策促进新能源发展、鼓励绿色出行、推动新能源基础设施建设、完善碳达峰碳中和标准计量体系建设，将有助于扎实推进交通领域各项减碳工作，助力双碳目标的实现。

03

城市零碳交通发展路径



探讨城市交通领域的排放是一个非常复杂的系统性问题，涉及政府、企业、行业组织、社会公众等各层面的参与主体，关系到能源结构、运输结构、城市规划、技术升级等方面的因素。基于交通运输业对于全行业节能减排的重要意义，本报告从“规、管、路、车、人”五个方面展开探讨城市零碳交通的发展路径，以推动支撑可持续交通构建的法律法规体系为基石，通过优化道路管理、合理配置运输资源、建设完善与新型交通系统相适应的道路基础设施、提升交通工具的智能化水平、强化用户绿色交通理念几个方面，合力打造通往零碳交通目标的新型城市图景。

1、“规”——建立健全覆盖全社会的可持续交通法律体系

(1) 制定多层次的绿色交通法律法规体系

我国始终高度重视交通行业节能减排与高质量发展的重要意义。自“十二五”以来，围绕交通运输行业提高能源利用效率、大力推动技术进步、加强节能减排监管等方面，国家出台了多项政策法规（在上一章节有详细描述），取得了一系列实施成果。在城市层面，设立了节能减排专项资金，用于支持交通运输节能减排新技术、新工艺、新材料等的应用，并开展了绿色交通省市、绿色公路、绿色港口等一系列区域性、主题性项目支持，采取“以奖代补”的方式，有效调动参与交通运输行业企事业单位应用先进节能减排技术的积极性，促进了交通运输绿色发展技术的迭代升级。《绿色交通“十四五”规划》提出，要在2025年初步形成交通运输领域绿色低碳生产方式，基本实现基础设施环境友好、运输装备清洁低碳、运输组织集约高效，重点领域取得突破性进展，绿色发展水平总体适应交通强国建设阶段性要求的总体发展目标。这就需要以健全的法规制度为基本框架，以具体项目为抓手，全社会各主体单位多方参与、共同治理，推动形成政府、企业共管共治的绿色交通体系。

(2) 推进城市交通电动化发展规划

电动化是实现零碳交通公认的重要路径。国家工信部于2021年9月份推出了《关于启动新能源汽车换电模式应用试点工作的通知》，在我国11个城市启动了新能源汽车换电模式应用试点工作。一方面，应进一步扩大试点城市范围，并提升财税、金融政策支持力度，促进充换电基础设施的构建和完善；另一方面，各城市地区应积极推出电动化城市发展规划，鼓励新能源汽车整车制造、动力电池、智能驾驶相关产业链加速发展，加大新能源充换电基础设施布局，推动源网荷储一体化项目建设，引导城市交通向电动化转型。

(3) 持续完善绿色交通行业标准体系

2022年八月，《绿色交通标准体系》出台，旨在通过构建包含基础通用标准、节能降碳标准、污染防

治标准、生态环境保护修复标准、资源节约集约利用标准以及相关标准在内的标准体系框架，目标到2025年，基本建立覆盖全面、结构合理、衔接配套、先进适用，到2030年，进一步深化完善的绿色交通标准体系。据统计，本次绿色标准体系当中涵盖共计242项推动交通行业绿色发展水平提升和生态文明体系建设的执行标准，其中195项已发布，另有47项待制定发布。其中节能降碳标准数量最多，占到全部标准数量的42%，包含了新能源技术与清洁能源应用、能耗能效、碳排放控制、节能技术与管理、核算与监测几个类别，凸显了低碳交通的重要性。未来，该体系应在交通网络数据的管理与应用、交通能效管理平台的构建、充换电站的建设运营标准、区域零碳交通建设及监测标准等数字化技术应用的标准化方面进一步完善，以更好更快地适应零碳交通城市发展。

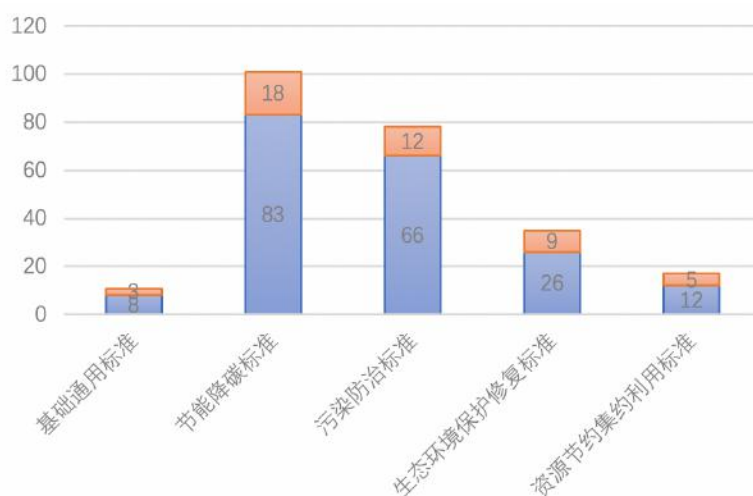


图 24 2022绿色交通标准体系统计

(4) 推动完善交通领域纳入全国碳排放权交易市场

碳排放权交易市场是推动碳减排的重要市场机制。从国际上各大主要碳市场行业覆盖情况来看，道路交通运输的行业覆盖仍有限。我国全国统一碳市场于2021年7月鸣锣开市，一期仅纳入规模以上的发电企业，尚未纳入交通运输行业，交易产品以碳配额现货为主，相较于其他发达国家来说，我国碳市场存在行业覆盖率低、交易品类少、碳配额价格低、参与主体相对单一等问题。不过在区域碳市场方面，我国自2012年起，陆续在广东、湖北、北京、上海、天津、深圳、重庆，两省五市共七个地区开始了碳排放交易的试点工作，其中北京、上海、深圳均在交通领域纳入碳市场方面作出了有益的探索，并将碳交易试点从以固定排放源为主逐步扩大到移动源。北京已将重点交通企业固定源纳入碳交易平台，覆盖公交、轨道、郊区客运、路政四个子行业，并逐步将轨道交通、公交、出租、客运等移动源纳入碳交易体系。上海已将航空、港口、机场、铁路等交通行业纳入碳交易试点方案。深圳已将公共汽车、出租车和地铁等公共移动碳排放源纳入试点管理范围，开展公共交通碳排放核查工作。上述探索均为交通运输领域纳入全国碳市场奠定了有力基础。

表7 全球主要碳市场行业覆盖情况

全球主要碳市场行业覆盖情况								
	电力	工业	建筑	道路交通	国内航空	废物处置	林业	碳排放覆盖率
韩国碳市场	✓	✓	✓		✓	✓		73%
新西兰碳市场	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	49%
中国全国碳市场	✓							44%
中国试点碳市场		✓	✓	✓	✓			41%
德国碳市场		✓	✓	✓				40%
欧盟碳市场	✓	✓			✓			39%
英国碳市场	✓	✓			✓			28%
RGGI (美国)	✓							11%
东京&埼玉县碳市场		✓	✓					20%

数据来源:ICAP

2、“管”——合理规划城市布局,优化城市道路交通管理

(1) 合理规划城市布局,构建可持续发展交通城市

城市是我国重要的行政单元,也是推动我国经济发展的重要力量。在国家应对气候变化战略研究和国际合作中心发布的《中国城镇化低碳发展的关联分析对策》中的研究表明,城镇化的提升将导致碳排放量增长。根据国家统计局的研究,城市人口的人均能源消耗是农村人口的三倍。仅从交通运输需求来看,城市内与城市间的人员、货物运输往来需求更高,活动也更为频繁,机动化水平更高。根据第七次人口普查的调查数据显示,2020年我国常住人口城镇化率已接近64%,比2010年提高了14个百分点。与此同时,十年间中国交通运输行业能耗占比亦呈现逐步上升趋势。

在城市中,不同形式的土地利用会产生不同性质和强度的交通需求。合理的城市规划可以通过优化出行方式和路线,有效缩短出行距离并减少不必要的出行活动,继而降低或优化交通流量。制订城市总体规划、土地使用规划和交通专项规划,划设有效的城市管理边界,可以控制城市半径增长,防止城市无目的蔓延,引导城市精明发展。针对不同城市用地打造相应的基础设施和交通管理方案,可以缩短居民出行距离、减少小汽车出行需求及其活动量,并最终减少能源消耗和温室气体排放¹¹。

(2) 持续打造绿色低碳出行服务体系

现阶段我国城市交通的主要方式包含城市轨道交通、城市公共汽电车、出租汽车、私人小汽车、各种共享出行方式、租赁出行、自行车等,从出行成本角度来看,慢行交通和公共交通出行成本最低;从碳排

放的角度去看，公共交通单位周转量碳排放也远低于私家车；然而从出行意愿上来看，随着生活水平的不断提升，人们对旅途舒适性高效性的追求持续增强，私家车的保有量及城市客运量占比连年走高。因此，要从系统性、科学性、人性化的角度综合考量城市出行服务体系的构建，满足各层面的实际需求，为出行者提供灵活生动、高效便捷且温暖友善的出行体验。具体可从以下几个角度着手：

第一、继续加大城市公共交通及慢行交通体系建设。

2021年，我国城市公共汽车运营车辆规模和轨道交通运营里程持续增长。考虑到中大型城市交通压力，应进一步大力发展公共交通，优化市内出行公共交通系统网络建设，积极推动城市轨道交通逐步成为中、大型城市公共交通的主要方式，建立便利便捷的公共交通运输体系，加大清洁燃料公共汽电车投放比例，提升城市公共交通分担率。应在公共交通规划、用地、资金及路权等方面给予优先支持，助力快速公交系统(BRT)、城市轨道交通建设，并着力打造高品质、温馨舒适的自行车、行人道等慢行交通系统，加强不同类型交通工具换乘的便捷性和智能化，推动城市交通客运向友好、绿色、低碳、智慧化方向发展⁹。

第二、推动私家乘用车电动化进程。

私家车有其不可替代性。考虑很难从数量上予以削减，因此从能源结构上推动私家车电动化、清洁化成为重要环节。我国在新能源汽车产业链当中具有一定的先发优势。就目前而言，新能源汽车在技术层面和成本层面已经基本追平燃油汽车，且成本仍有下降空间。但围绕电池带来的续航里程短、充换电便捷性、电池造价高，保值性低等诸多痛点，仍是新能源汽车替代燃油车进程中的一道障碍。一方面各地应持续加大新能源汽车购买、置换方面的价格优惠政策，并通过调节资源为新能源汽车指标分配、车位分配等方面提供便利，还可以通过建立个人、家庭、企业账户碳信用积分，给予购置人额外支持；另一方面城市要系统考虑高度电动化下情景下城市充电基础设施布局，推动车、电分离的模式，这样不仅能够降低新能源汽车购置成本，降低因电池引发的购置人的顾虑，还可以提升电池的梯次利用效率，从根本上提升其竞争优势。

第三、城市客运交通运营模式优化，鼓励网约车健康发展。

出租汽车是城市客运交通系统的重要组成部分，2021年我国出租汽车客运量、运营里程分别同比增长了5.4%和8.4%，反映出乘用人点对点的乘用需求不断增强。在强调绿色出行的背景之下，一方面可通过加强新能源基础设施建设、政策支持等方式不断提升出租汽车运营车型当中新能源汽车的占比；另一方面可加大力度推动共享出行，利用数字技术优化网约车平台算法，提升运营车辆里程利用率及次均载客人数。通过不断规范发展网约车行业，提升共享出行在城市客运系统中的比例。

(3) 升级优化城市综合货运服务体系

城市货运系统通常由公路、铁路、水路、航空和管道五种运输方式组成，五种运输方式各有优缺点，适用于不同情形。随着我国经济持续发展，对货物运输绿色高效的需求不断提升，综合运输的概念应运而

生,即将各种运输方式在社会化运输范围内和统一运输过程中,按照其技术经济特点组成的分工协作、有机结合、连接贯通、布局合理的交通运输综合体¹²。2019年交通部发布《多部门关于引发绿色出行行动计划(2019-2022年)的通知》,强调需要构建完善综合运输服务网络。通过优化调整运输结构,创新运输组织模式,发挥各种运输方式的比较优势和组合效率。

基于城市货运系统排放现状,可从以下几方面进行城市货运系统优化,推动货运系统节能降碳:

第一、优化综合运输服务体系,实现多式联运“最后一公里”绿色化。

过去二十年,中国货运结构性变化趋势明显,总体呈现货物运输结构中公路占比明显上升,而铁路占比持续下降的趋势。分析原因,一方面,中国东部沿海地区人口分布密集,生产与消费均旺盛活跃,特别是随着电商市场过去十年的高速发展,高效短途运输市场快速增长,驱动公路运输需求占比持续提升;另一方面,铁路货运运能与货物需求匹配偏低,而且铁路运输尚未形成高效的市场化经营模式,影响铁路中长距离的货运能力发挥¹³。近五年的数据可见,尽管公路运输货运量占比有所下降,但公路运输依然承担了货运四分之三左右的货运量。

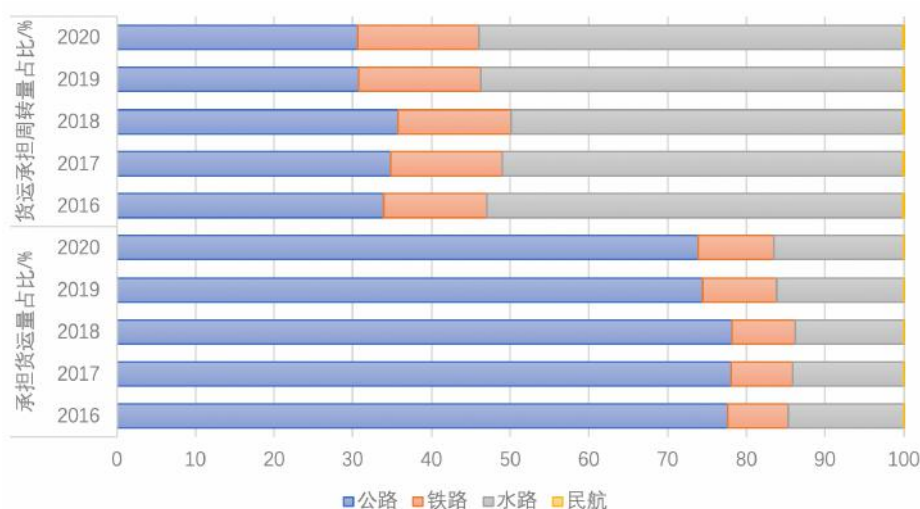


图 25 2015-2020年各运输方式承担货运量及承担货运周转量占比

数据来源:中国公路货运发展研究报告(2021)

在国家整体交通运输结构持续推动“公转铁”、“公转水”,发挥铁路、水运在大宗物资中长距离运输中的骨干作用,加大货运铁路建设投入,显著提高重点区域大宗货物铁路水路货运比例,提高沿海港口集装箱铁路集疏港比例的政策要求背景下,按照“宜水则水、宜陆则陆、宜空则空”的原则,充分发挥各种运输方式的比较优势和组合效率,加快发展水路、铁路等绿色运输方式,对于交通货运系统实现结构性减排具有重要意义。

城市货运应不断革新物流体系,推动智慧物流发展,构建一站式智能物流服务体系,提高物流效率。尤其应在重型货运低碳绿色化方面提前布局,实现公、铁、水运输的高效衔接,同时要积极推进基础设施

的绿色化,推动构建零碳货运港站以及物流园区,从站、路、车多维度,全链路促进多式联运“最后一公里”绿色低碳化发展。

第二、推动公路货运经营整合升级。

我国公路货运行业整体结构分散,研究者基于某公路货运平台2020年数据统计,我国货运车拥有量不足5辆的货运车主比例占到99.7%,有93%的货运车主仅拥有1台车辆,且拥有5辆以上车主所持车辆总数不足全部车辆总数的3%,反映出我国货运交通以个体经营为主的特点,进而表现出行业集约化程度低,车、货不匹配等行业痛点。针对上述情况,应加强物流企业生态建设,形成“人、车、货、场”等基础设施的高效利用以及物流的有序运转,从经营模式上,打破原有“小、散、乱”的局面,推动资源集约化整合。

首先,应持续推进无车承运人试点工作,完善相关法规制度及标准规范,制定出台相关配套措施,加快培育创新能力强、运营管理规范、资源综合利用率高的无车承运人品牌企业,充分利用移动互联网等技术手段,实现对中小物流企业和个体运输业户的集约整合和资源高效配置。支持引导发展货运大车队、甩挂运输挂车共享租赁、多式联运、共同配送等集约高效的运输组织模式,促进运力资源的有效整合,发挥规模化、网络化运营优势,降低运输成本。其次,支持大型龙头骨干物流企业以资产为纽带,通过兼并、重组、收购、控股、加盟连锁等方式,有效整合中小物流企业,构建跨区域的物流运输服务网络。进一步延伸运输服务链条,提供涵盖仓储管理、运输配送、流通加工、物流金融的供应链一体化服务,强化核心竞争力,培育物流企业品牌⁹。

第三、利用数字技术构建智慧物流体系。

利用物联网、大数据、人工智能等数字技术,构建包含网络货运管理、园区无人值守、数字化场站运营等功能模块的智慧物流系统,可实现运输车辆、人员服务、货物安全、道路优化等方面的系统化管理,满足业务模式、服务模式的创新需求,实现安全高效、绿色、智能、低碳货物储运,大幅提高货物周转率。

不仅如此,在数字技术助力之下,绿色储运应用场景的边界得以拓展。在生活场景中,可以将智能穿戴、无人配送、智能快递柜等数字应用引入,使智慧物流能够以更多形式触达日常用户。在工业场景中,可融合矿区生态修复、新能源电站、物流平台与新能源运力等功能,打造一体化应用,依托平台将产业各环节碳排放纳入监测与核算,实现碳资产的有效管理,并借助于节能减排以及碳汇等手段,为实现零碳物流园区以及全产业链减碳提供有力支撑。

(4) 加强交通运输数字化管理水平

随着中国全面进入数字经济时代,以数据为生产要素的生产关系变革正在影响着生活的方方面面。一方面,数字化转型将加快碳排放计量体系的完善,大数据、物联网、人工智能、区块链等新一代信息技术在各行业的逐步深入应用,充分释放数据价值。同样交通活动的碳排放也可通过数据得以体现,形成可计量、可追溯、可视化的计量体系,为交通各环节的碳减排措施提供支撑。另一方面,数字化转型将重

塑行业规则，打造新商业模式。当数据成为交通碳减排领域的新要素后，生态内的各流程将发生变化，并直接导致其商业模式重构。基于数据要素的交通领域碳减排，数字化与绿色化融合将形成新型商业模式，为相关政府部门、相关企业提供解决方案，并由咨询式向运营式、平台式转变。

数字交通是以数据为关键要素和核心驱动，促进物理和虚拟空间的交通运输活动不断融合、交互作用的现代交通运输体系¹⁴。交通的数据基础设施主要包括数据采集与传输的信息基础设施、全覆盖的高精度交通地理信息平台、交通感知网络、数据共享协同平台等。换言之，交通运输的数字化是大数据、云计算、5G、GIS、北斗导航等新一代信息技术的应用场景。基于数字基础设施，交通领域的治理能力、公共服务能力将得到显著提升，进而推动由数据所牵引的交通领域碳减排。

3、“路”——积极构建与零碳交通配套的新型道路基础设施

道路基础设施是实现零碳交通的关键支撑。除包含铁路、公路、桥梁等，还应纳入充换电站等与绿色交通发展相适应的新型道路交通基础设施。与此同时，随着智能化交通网络的构建，与汽车革命、交通革命配套的数字化道路交通基础设施也将成为参与未来零碳交通系统构建的重要力量。

(1) 加大新型能源基础设施建设

“新型交通能源基础设施”是交通用能的基础设施，以安全、低碳、便捷和经济为目标，通过与城市设施、交通运输、能源系统的深度融合，实现交通流、能源流和信息流双向互动，为不同新能源汽车能源补给提供体系化的解决方案¹⁵。在新能源汽车加速发展的形势之下，能源要素的重要性愈发凸显，一方面，应充分利用现有能源基础设施，加强新型交通能源基础设施协同规划和加速融合；另一方面，应尽快构建与新型交通系统相适应的，风光氢储一体化能源配套基础设施，促进新能源汽车智能化、清洁化发展。

(2) 积极布局智慧道路基础设施

智慧道路基础设施是智能交通发展阶段，尤其是高级别自动驾驶系统所必需的配套设施，具体可包含用以全面动态感知城市道路交通实时信息的摄像机、雷达、气象监测仪等智能感知设备以及云控基础平台等，形成车、路、云、网、图一体智能网联协同系统，构造形成新型智能化基础设施。高级别自动驾驶需要实现车路一体化耦合发展，即结合智能汽车、路侧智能设施（道路感知与定位设备）、云计算，打造智慧交通生态系统，通过人与车、路与车之间的信息交互，实现高级别自动驾驶。

目前国内的车路协同远远落后于单车智能的迭代研发速度，部署范围也仅实现了在个别城市的试点，需要技术研发与政策法规、行业规范、金融市场多端发力。一方面应加快智慧路侧关键设备及综合解

决方案研发创新,降低部署成本;另一方面需要制定全国统一的智慧交通路段标准,以推动自动驾驶在更大范围落地应用。

(3) 进一步探索开放无人驾驶运营服务场景

随着智能驾驶技术的日趋成熟,将依据高级别的环境感知、人车交互催生出真正无人驾驶模式下的出行服务新生态。乘用车和商用车领域的自动驾驶场景也在不断丰富。据埃森哲《出行服务:消费者视角》报告预测,到2030年,全球出行服务的营收总规模预计将达到1.2万亿欧元。众多车企和互联网企业纷纷入局,采取合作或独立运营的方式研发设计适于商用的车型以及操作服务系统,积极参与到出行服务生态共创当中。据报道,百度旗下“萝卜快跑”自动驾驶乘用车已在7个城市实现载人测试运营服务,广州市也已在指定区域开展了自动驾驶巴士的运营测试,目前运行均平稳、安全,为自动驾驶赋能乘用车出行服务提供了示范应用场景。

相比于乘用车领域自动驾驶运营服务,商用领域的自动驾驶运营服务可根据服务需求,限制运输区域并指定路段,现阶段落地实施难度更小,落地性更强,可在港口物流枢纽地区、大型物流中转站以及部分高速路段设立示范路段,并集中部署智慧道路设施,逐步丰富自动驾驶在商用领域的服务应用场景。

4、“车”——大力发展低碳绿色智慧车辆

汽车是城市道路交通的主要载体,也是与能源消费息息相关的直接碳排放源。整体而言,加速燃油车替代、大力发展电动、氢能等新能源汽车技术,推动电动汽车与人工智能、物联网、自动驾驶、共享经济等新技术、新业态融合发展,是实现交通领域低碳、零碳目标的重要路径。我国在新能源汽车产业快速发展,但仍面临普遍存在的行业痛点。为持续扩大和巩固新能源汽车产业的基础优势,发挥出新能源产业在实现交通领域零碳引领带动作用,应着力解决以下几方面问题:

(1) 优化新能源汽车全生命周期碳排放

汽车作为主要的道路交通工具,是碳减排的重要目标环节。针对汽车本身的温室气体排放管理,目前国际上的政策倾向也逐渐呈现出从使用端向全生命周期扩展的趋势。

在欧盟出台的一揽子环保提案中,欧盟提到设立碳边境调节机制(CBAM),即以生命周期碳排放为基础建立国际贸易竞争的新规则,初步覆盖范围包括水泥、电力、化肥、钢铁和铝。虽然暂未涉及汽车,但相关法案正在计划当中,预计2024年,进入欧洲市场的动力电池制造商和供应商必须提供碳足迹声明,到2025年,每一辆出口到欧盟的汽车需核算公开其生命周期二氧化碳的排放情况¹⁶。

当前我国汽车碳排放管理政策主要集中于汽车使用端，2021年7月，国家发改委印发的《“十四五”循环经济发展规划》中提出，要进行汽车使用全生命周期管理推进行动，研究制定汽车使用全生命周期管理方案，构建涵盖汽车生产企业、经销商、维修企业、回收拆解企业等的汽车使用全生命周期信息交互系统等。未来，仍需行业参与者共同努力，积极对标国际标准，一方面避免我国新能源汽车产业出海遭遇碳壁垒的风险，另一方面也作为我国提升产业绿色化水平，促进交通领域脱碳的重要机遇。



图 26 欧盟汽车全生命周期法规体系倡议

图片来源：车百智库

(2) 实现汽车动力电池的高效循环利用

动力电池的生产具有高度的自然资源依赖性。研究数据显示，当前全球锂、钴、镍资源经济可采储量分别为 2100 万吨、9400 万吨和 710 万吨，以锂资源为例，当前储量可以支撑 2000 亿千瓦时动力电池，即 20 亿辆电动汽车生产制造。由于资源地理分布集中，锂、钴、镍资源均面临不同程度的资源供应风险，通过资源回收再生实现可持续供应十分必要。同时，随着电动汽车产业的蓬勃发展，即将迎来锂离子电池大规模退役的阶段，预计到 2025 年，我国需要回收利用的电池总量将达到 1.25 亿千瓦时，对其进行规模化、专业化的回收利用有利于缓解资源短缺、最大化全生命周期价值、实现健康可持续发展，具有巨大的经济与环保价值。

从出口方面来看，欧洲是我国锂离子电池产品出口的重要目的地，根据欧盟委员会的新电池法案要求，从2024年7月1日起，工业及电动汽车电池的制造商和供应商必须提供产品碳足迹声明。既是我国产品出海面临的挑战也是倒逼我国完善电池生产的碳足迹标准，实现产业高质量升级的重大机遇。

在实施层面，通过推行新能源汽车换电服务，实现车、电分离，由电池运营商统一管理电池，集中充电，不仅能够缓解用户对于汽车电池折旧成本的焦虑，还可以有效延长电池的寿命，实现梯次利用，提高电池全生命周期应用价值。

(3) 发挥出新能源汽车协同能源系统发展的重要作用

随着新能源汽车保有量不断提升,电动汽车快速充电将对电网产生冲击,使电网系统的安全稳定运行面临巨大挑战,而根据用户早出晚归的使用习惯,晚间对电动汽车的集中充电又会额外增加电网高峰期间供电压力。在此背景之下,车网互动(V2G, Vehicle to Grid)技术被认为是构建新型智慧电力系统的重要组成部分。据统计,在任何给定时刻,90%以上的个人汽车都处于停放状态,电动汽车中的电池将成为待开发的配电网“充电宝”,对电网进行反向供电,并能够根据电网需求曲线进行“削峰填谷”,减小负荷需求功率¹⁶。

在全球范围内,欧盟、美国、日本等国均已开展了V2G项目,而在中国这一技术和市场发展还处于初步的阶段。应持续加大该领域研究力度,并不断完善市场机制,提升项目的经济效益可行性。此外,在实施层面,构建统一的新能源汽车管理平台,可以对电池资源形成统一有序管理调度,使之成为新型电力系统的重要组成部分。

(4) 汽车的数字化发展趋势带来的低碳发展机遇

从产业链的角度来看,汽车产业正在迈向“电动化、智能化、网联化、共享化”的全新发展阶段,以人工智能、物联网、自动驾驶等新技术为代表的数字技术,通过技术模式、管理模式、商业模式等方面的变革重塑产业生态、价值创造、价值传递的方式。自动驾驶就是其中最富有代表性技术之一。以货运重卡为例,针对柴油重型卡车污染严重、碳排放量高、超载频发等痛点,自动驾驶卡车可提供航运、空运交通枢纽至物流园区、港口、矿区等多场景下的绿色自动驾驶运输解决方案,实现运输过程中的“人、车、货”智能管理,有效增强了货运安全性、能源使用效率及环境友好性。

从全球范围来看,自动驾驶卡车公司主要集中在中国和美国。美国自动驾驶卡车公司主要聚焦物流领域,发展长途货运、B2B短途物流,多应用于第三方物流、消费品分销等领域。中国自动驾驶卡车公司则大多在港口和物流领域同步布局,从港口内到港口间,再拓展至干线物流。老牌企业沃尔沃卡车在商用车自动驾驶领域走在前端,已实现在深矿开采、垃圾回收、农作物收割、特定长途运输等场景的自动驾驶商业化。

5、“人”——促进绿色交通理念深入人心

“人”是城市交通系统的重要参与者,个体和群体的绿色交通行为对于引导整个交通行业健康发展至关重要。通过培育创建积极的低碳文化,并建立富有成效的激励机制,使交通参与者从内心对绿色交通理念产生认同感,在绿色低碳出行的过程中获得幸福感,有助于营造全社会绿色低碳的文化氛围。

(1) 打造内涵丰富，数实融合的绿色交通消费理念

一方面要强化低碳交通发展理念，推动行业低碳发展与文化建设有机融合，丰富绿色交通文化内涵，将其融入行业核心价值体系并加以推广和弘扬；另一方面要加强低碳交通宣传教育，借助新兴传播媒介及数字化工具开展多种形式的节能低碳宣传、培训和交流，打造线下联动，物理空间与数字空间相结合的宣传教育体系。

(2) 完善绿色服务体系，满足多层次的出行需求

同时也要充分认识到随着社会的发展，人们对出行服务的舒适化、高品质、高效率乃至智能化的需求越来越强，应不断提升以城市公共交通为核心的低碳交通体系中基础设施及管理服务的品质，提升用户出行体验。一方面要兼顾逐渐老龄化的社会中，公共交通对高龄用户以及残弱群体的友好程度，通过完善老年乘车的优待政策、提升助老出行服务水平、完善交通基础设施适老化程度，帮扶老龄人口提升数字化体验等方面，共商共建一套温暖友善的绿色出行体系，比如各主要网约车平台公司已在近300个城市推出了“一键叫车”服务，上海市8个中心城区还推出了200个具备“一键叫车”信息化功能的出租汽车候客站，是适老化交通服务的典型应用场景；另一方面要满足年轻人群的数字化需求，形成与新生代出行用户的良性互动，推出生动多元的数字化交通出行服务，打造兼具互动性、社交属性的出行服务场景。

(3) 打造数字化智慧交通社群

从意识方面调动“人”的积极性，激励人们向更加可持续的出行方式转变，是形成良性健康的出行文化重要手段。身处数字时代，Z 世代人群具有与生俱来的数字共生能力，天然适应社群化数字空间。而5G、大数据、物联网等数字技术的高速发展，使得交通出行服务可以通过包括智能手机在内的各种移动终端轻易触达。基于此，澳洲学者Hussain Dia在其著作中提出，可以在智能终端开发游戏化的应用，通过游戏的框架规则设定引导出行者选择更加低碳、可持续的出行方式，并通过积分、虚拟币、排行榜、角色、社交网络等游戏化元素，提升参与者参与积极性与游戏体验。国外在此领域已有过多项尝试，如应用程序 Changers- CO₂ fit 可以自动测量通勤者的行程距离并计算其碳足迹，旨在通过奖励积分等方式为自行车、步行或公共交通提供奖励积分；MOBI项目通过增加团队成员间竞争性的游戏体验，促进员工智能出行。在我国，目前主流的导航及生活服务应用小程序模块也都逐渐融入了游戏化的激励因素，作为交通领域碳普惠项目的一个重要方面，未来可持续深入探索该领域所带来的低碳潜力。

04

未来城市零碳交通 关键基础设施

1、电力基础设施

交通基础设施的建设是区域资源合理流动和经济交流的基础，合理有效的交通基础设施建设将促进资源和劳动力的高效配置，形成以交通运输业带动产业发展的良性循环。以电动汽车为代表的新能源汽车解决了燃油燃烧尾气的问题，减少了碳排放和空气污染，支持电动汽车尤其是纯电动车的发展，推动燃油车与电动汽车的代际更迭是实现零碳交通、推进碳达峰碳中和的必然选择。在未来城市零碳交通的关键基础设施建设中，尤为重要的一点便是建设与电动汽车相适应的配套设施设备。

与燃油车需要加油站类似，电动车需求的快速增长催生了电力能源补给基础设施的需求。然而目前配套电力基础设施建设存在明显的地区差异，需要结合城市实际情况进行规划，并适度超前建设，整个行业仍有较大市场成长空间。总体来看，未来电力基础设施的建设将从供、储、充（换）三个方向构建现代化、智能化的供电网络、储电网络和充（换）电网络，保障新能源汽车的能源补给。

(1) 供电网络

供电网络的可靠、稳定，不仅对新能源汽车的使用有直接影响，也是城市新型能源基础设施建设水平的重要衡量指标。以新能源为主体的新型电力系统是城市碳中和的重要支撑，低成本的绿色电力是交通系统实现零碳的基础。结合城市发展需求，围绕城市管理服务，依托地区资源禀赋，应因地制宜开发风、光、氢、储能系统，从能源供给侧推动减碳，构建多能互补、智慧高效的能源服务体系，布局完善新能源汽车配套一体化充换电基础设施，形成多元化发展的补能方案。

虚拟电厂

虚拟电厂 (virtual power plant,VPP) 利用软件平台和通信技术，协调容量小、地理位置分散的分布式能源 (distributed energy resources, DERs)，使他们和传统发电厂一样参与电力市场交易并支持电网稳定运行¹⁹。



图 27 虚拟电厂结构示意图¹⁸

虚拟电厂内部通过信息技术将发电、用电、储能等资源进行梳理聚合，与外部集控系统、管理平台配合进行协同控制、协同优化，实现数据分析、运行策略调整。虚拟电厂对外进行能量传输，根据市场变化需求进行碳市场、电力市场交易¹⁷。

(2) 储电网络

国家发改委、能源局印发《“十四五”新型储能发展实施方案》提出，到2025年，新型储能由商业化初期步入规模化发展阶段、具备大规模商业化应用条件；到2030年，新型储能全面市场化发展。

风光氢储一体化

风光氢储一体化是目前被认为最为可行的新型能量储存和转化的方法之一，以氢能作为储能介质，为风电、光电的储能提供新解决思路，打破了能源供应系统单独发展运行的模式，为综合能源系统协调发展奠定基础。

风光氢储一体化是由光伏或风力发电机组的直流电源通过控制器将多余的能量储存在储能装置中，再通过逆变器将其转化为交流电用于制氢。电能通过制氢设备转化为氢气，氢气被运送至用能终端或通过燃料电池并入电网。此过程，将离散的不稳定的新能源电力转化为稳定的氢能，氢能作为运输介质将能源运输至用能终端。并且该过程是零污染循环，没有污染物产生。因此，风光氢储一体化是未来零碳城市综合能源供给系统中重要的解决方案之一。

发展风光氢储一体化，不仅能促进可再生能源的规模化发展，也是新能源消纳的重要途径。

车网互动

2022年1月，国家发展改革委、国家能源局联合印发《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》提出，支持用户侧储能、电动汽车充电设施、分布式发电等用户侧可调节资源，以及负荷聚合商、虚拟电厂运营商、综合能源服务商等参与电力市场交易和系统运行调节。

车网互动技术 (V2G, Vehicle to Grid)，通过在电动车在电网低负荷时充电，在电网高负荷时向电网放电，将电动车电池作为储能设备对电网进行削峰填谷，以缓解整体电网的用电压力。

有分析认为，电动汽车的电池可成为所有储能中成本最低的、响应电网需求最快的储能模式¹⁹。随着电动汽车的规模化发展，锂电池储能的价格已经从几年前的4元/W下降到今天0.5元/W，储能的成本也从2元/W降到0.4元/W，循环次数可以到3000次。目前每台电动汽车上平均装了50度锂电池，平均续航400千米，每天平均行驶里程50千米-60千米，每天消耗10-15度电，至少还有20度电可以参与电网储能调峰服务。目前中国的发电总装机20亿kW，若2030年中国电动汽车达到1亿辆，通过充电网链接到电

网的电动汽车的总电池量将达到50亿kWh，若有1/3的车参与调峰，每辆车调峰20kWh，每天的调峰电量将达到6.6亿度，等于电网装了一个巨大的储能调节池。

(3) 充(换)电网络

光储充换一体化

光储充换一体化是由光伏系统、储能系统、充(换)电系统、监控系统等组成的微电网系统，其中储能系统将光伏发电剩余电量进行存储，充(换)电站作为用能终点，综合应用实现与电网的协同配合。光储充换一体化不仅实现清洁能源就地消纳，对于抑制光伏发电的随机性有调节作用，还能起到削峰填谷的作用，以缓解大规模电动车负荷对电网稳定性的冲击，提高电网运行的安全性和稳定性。

电池资产管理

电池资产管理是基于数据对电池作为资产进行全生命周期管理的业务模式，通过“以租代购”的模式，将补能需求与电池资产管理结合，驱动电池利用率和车辆运营效率的提升。

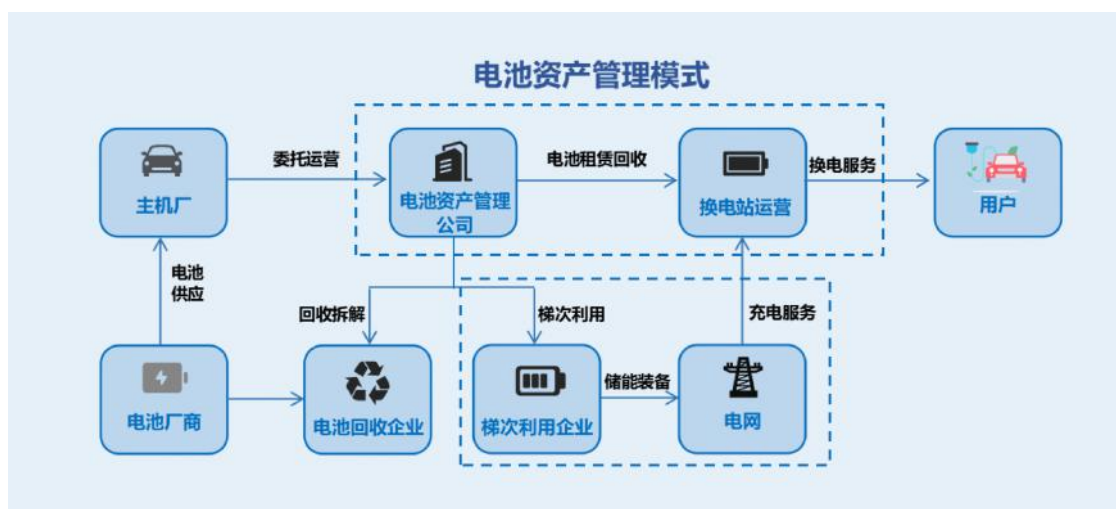


图 28 电池资产管理模式

数据是电池资产管理实现有效业务运转的基础。基于数据搭建管理平台，通过大数据、人工智能、区块链、物联网等技术，实现全业务链的数据采集、存储、分析、价值化，确保电池资产全生命周期数据可追溯，为电池资产管理业务的运转提供可信数据保障。

2、智慧交通运营平台

交通数字运营平台架构包括，IaaS平台、PaaS平台、SaaS平台和生态服务4层。IaaS平台以提供云设备、区块链、通讯网络为主；PaaS平台主要发挥中台作用，包括换电业务中台、换电数据中台、换电技术中台和Devops；SaaS平台是基于AI智慧拿到为生态内的各项服务提供数智化支持。



图 29 交通数字运营平台

在实际应用中，通过整合共享交通流信息、交通事故信息等可以帮助出行者优化交通路线，减少道路拥堵等无效出行时间；同时，政府相关部门也可以依据交通大数据合理配置各项公共资源，为交通组织、警力部署等提供决策依据。

3、车路云协同一体化系统

自动驾驶是未来汽车产业发展的重要趋势。根据《汽车驾驶自动化分级》国家推荐标准，我国将自动驾驶分为5级，L4~L5通常被认为是高级别的自动驾驶。根据《智能网联汽车发展路线图2.0》预测，到2025年，我国L2、L3级别的自动驾驶新车市场占有率将超过50%，到2030年，我国L2、L3级别的自动驾驶新车市场占有率将超过70%，L4级别的自动驾驶新车占有率将达到20%。

表8 全球主要碳市场行业覆盖情况

分级	名称	车辆横向和纵向运动控制	目标和时间探测与响应	动态驾驶任务接管	设计运行条件
0级	应急辅助	驾驶员	驾驶员及系统	驾驶员	有限制

1级	部分驾驶辅助	驾驶员和系统	驾驶员及系统	驾驶员	有限制
2级	组合驾驶辅助	系统	驾驶员及系统	驾驶员	有限制
3级	有条件自动驾驶	系统	系统	动态驾驶任务接管用户 (接管后成为驾驶员)	有限制
4级	高度自动驾驶	系统	系统	系统	有限制
5级	完全自动驾驶	系统	系统	系统	无限制

资料来源：根据GB/T 40429-2021整理。

随着自动驾驶技术的成熟和商业化的加速，与之相配套的智慧道路基础设施布局亟待加强。车路云深度协同被认为是新一代车路协同形态，是单车智能和车路协同的有效补充²⁰。推动V2X(Vehicle to Everything)到C-V2X(Cloud- V2X)系统建设，即采用先进的无线通信网络，高精地图、高精定位等构成的车联网，以及路侧感知设施和智能诱导设施构成的交通控制网，将V代表的车辆与包括路、车、人在内的万物相连的动态实时信息交互，并在全时空动态交通信息采集与融合的基础上，开展车辆主动安全控制和道路协同管理，充分实现人、车、路、云的有效协同，形成的安全、高效和环保的道路交通系统²¹。

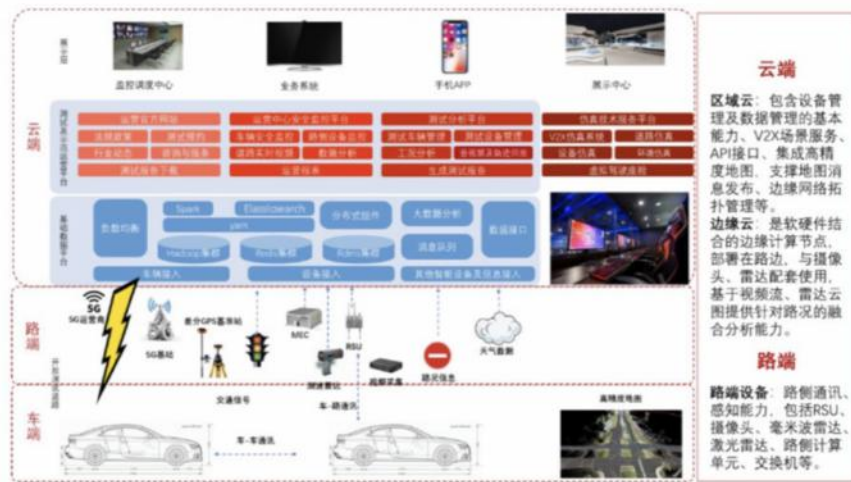


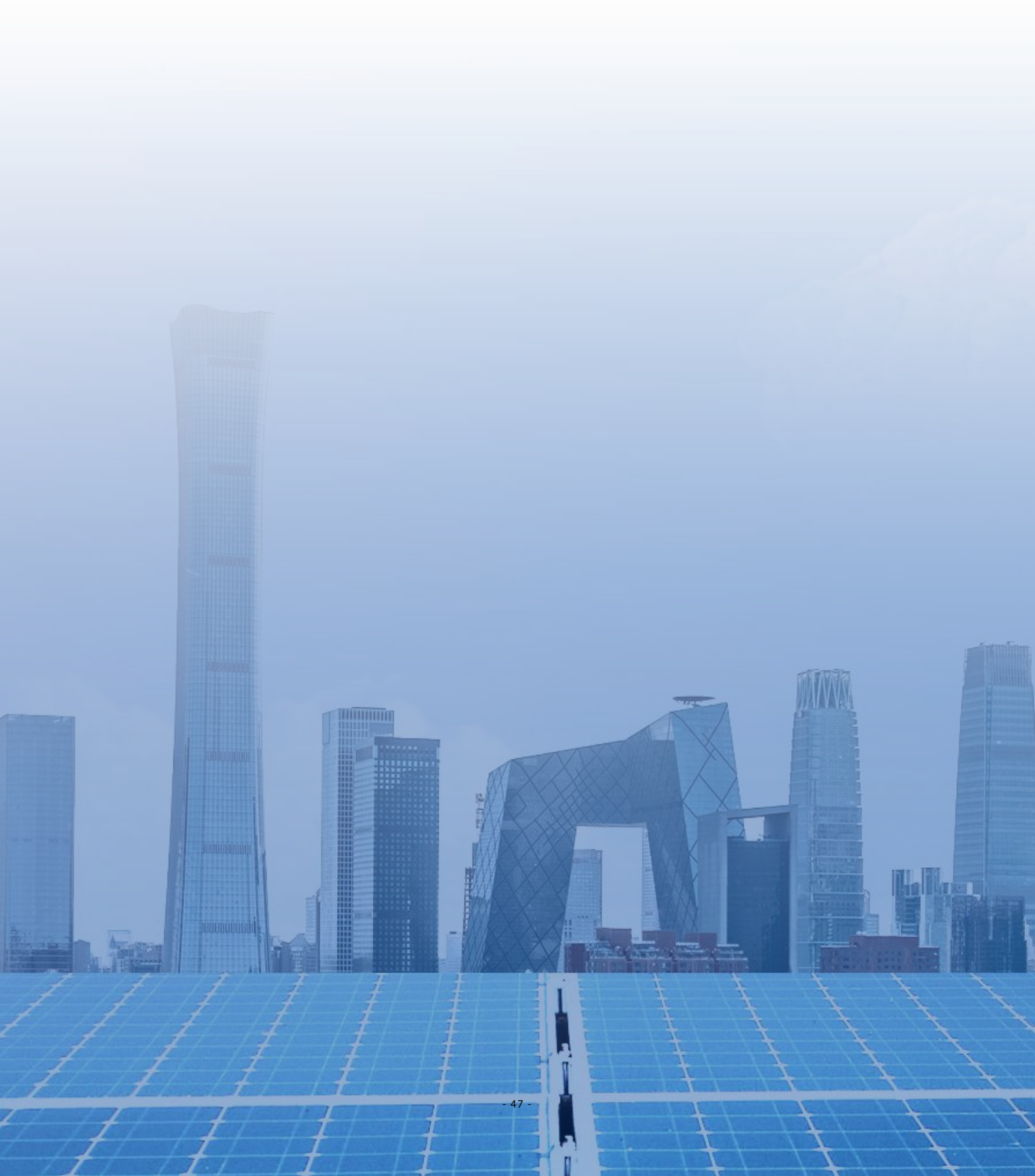
图 30 车路云协同系统架构

图片来源：创业邦研究中心

4、零碳交通基础设施

高速公路服务区、充换电站、公共交通客运枢纽、货运物流园区是城市交通基础设施的关键节点。与公路相比，枢纽服务站点边界相对明确，可以作为零碳交通领域重要的切入点。一方面可通过建立量化的碳排放管理系统，并大力推广低碳技术应用，集成低碳化施工、分布式清洁能源开发、新型储能与微

电网构建、电动和氢燃料重卡等先进技术促进源头减碳；另一方面还可以通过开发站内碳汇项目，如拓展立体绿化、增强站内及周边绿化等方式吸收抵消服务区碳排放，此外还可以通过购买绿电、绿证等方式实现综合碳汇。



05

零碳交通服务典型 应用场景及案例

城市是落实绿色交通战略，实现交通领域零碳的重要单元。以城市为落脚点，结合城市自身发展的特点，通过搭建数字化平台，将出行服务、物流运输与能源基础设施有机融合，可以为城市交通零碳构建灵活生动、触点多样、智能高效的服务场景，破解城市交通发展的难点和痛点，并由点及面加以复制推广，将带动高端创新产业链集群向区域汇集，最终可实现由零碳交通牵引带动的零碳智慧城市发展。



图 31 城市零碳交通服务整体构想

根据不同类型的城市类型，可重点从以下场景入手：

1、营运出租车/网约车电动化场景

根据相关研究，不同交通方式具有不同的二氧化碳排放特征，城市客运交通不同出行方式的碳排放强度由高到低依次为出租车、网约车、私人小客车、公共汽（电）车、轨道交通、自行车和步行²²。由此可见，出租车及网约车的碳减排对于控制城市客运交通碳排放总量至关重要。

协鑫选取城市发展相对发达，出租车、网约车保有量具备一定规模，出行需求充分，但城市新能源基础设施支撑不足、新能源汽车规模效应尚未形成的城市进行换电实现试点，规划建设出租车及网约车换电站，并进行项目运营。

案例一：杭州网约车换电项目

○ 项目介绍

杭州网约车换电项目一期规划13座站，其中已投运6座站，在建7座站，预计2022年年底13座站可全部完成建设。换电站采用协鑫自研单通道站，布局位置为临近高铁站、机场等交通枢纽，以及住宅区及商圈等需求集中区域，服务车型为换电版网约车。

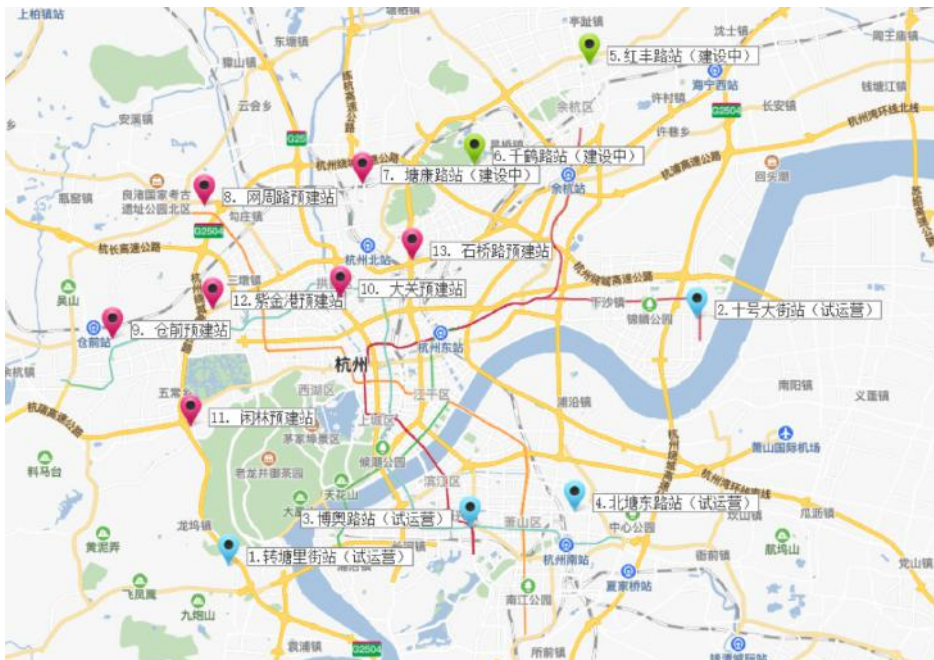


图 32 杭州网约车换电项目站点布局



图 33 杭州转塘里街换电站实景图

案例二：荆州出租车换电项目

○ 项目介绍

荆州出租车换电项目一期规划3座站，其中已投运2座站，开工2座站，预计2023年年中第3座站投建。换电站布局在出租车流量集中区域，站内配有当地快慢充电桩及其他基础生活服务设施。补能时间缩短至90秒，服务车型为换电版东风风神E70，日均服务次数可达400次。

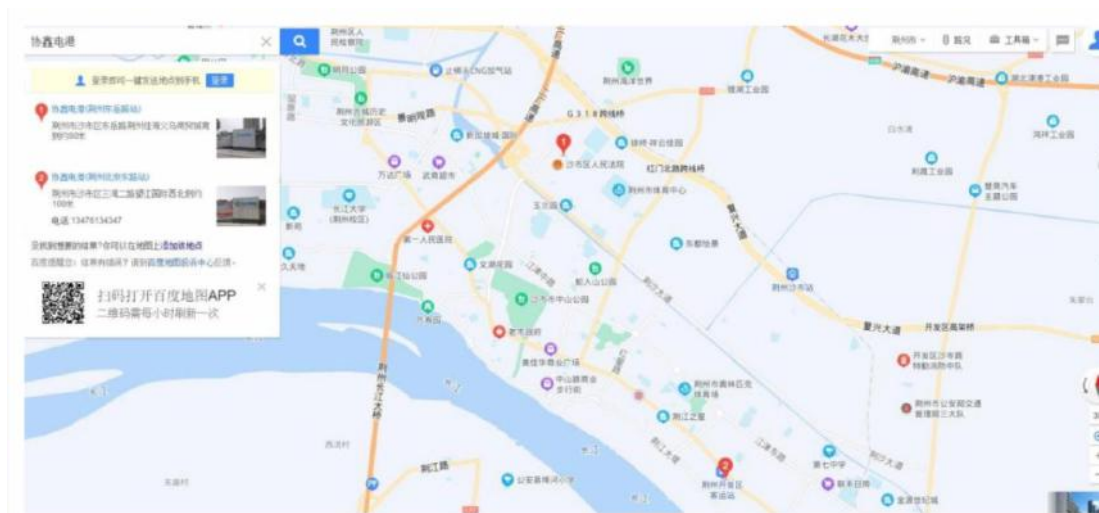


图 34 荆州出租车换电项目站点布局

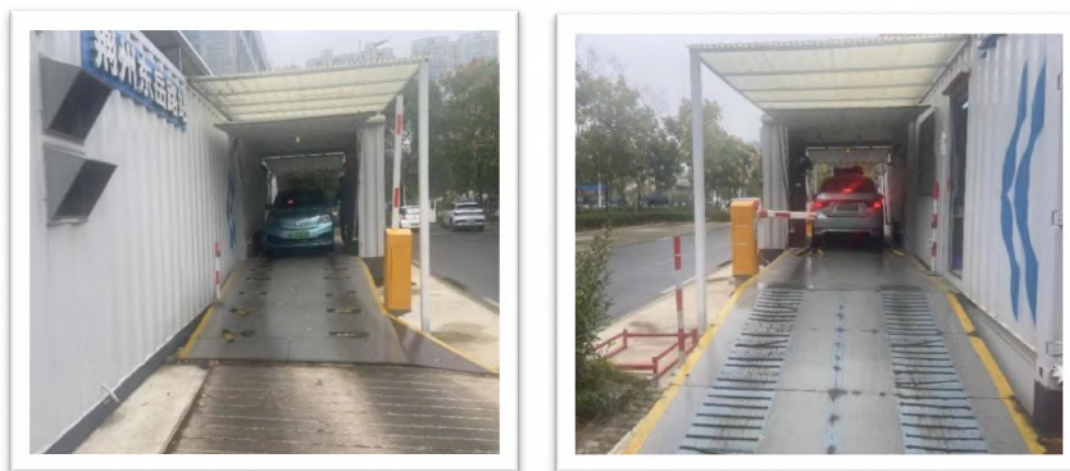


图 35 荆州东岳换电站实景图

2、钢铁生产企业公路运输电动化情景

钢铁生产、销售企业中大宗原材料和成品运输主要依赖铁路和水运，重型货运卡车通常作为多式联运过程中公路运输部分的重要衔接，平均往返里程在30~100公里之间，是短倒运输的典型场景。在码头、铁路站台、物流园区之间建设补能基础设施，是新能源运力高效稳定运行的有力保障。



图 36 钢铁企业典型应用场景示意图

案例三：邯郸武安物流换电站项目

○ 项目介绍

武安是全国58个重点产煤县(市)和全国四大富铁矿基地之一。河北陆港保税物流公司位于武安，是钢铁生产原材料的集散地，承担着武安各大钢厂对原材料需求的运输能力，钢铁运输总需求为2000万吨/年。而武安各大钢铁企业主要聚集在武安西边的青龙山工业区、南明河工业区等地，是企业密集的重工业区，是国家大气污染治理的重点区域。为了实现企业可持续发展，响应国家绿色环保要求，钢铁企业80%以上的运输能力需要依靠新能源电动重卡。

协鑫武安换电站依托河北保税物流，位于河北保税物流及各大型钢铁公司必经之路，为新能源电车承担换电补能的服务工作，保障东部原料基地至西部钢铁产区线路新能源重卡车的运输能力。换电站可在3分钟内实现快速换电，满足重卡车连续运营的需求。同时项目营运数据可实现实时上传至云平台，为后期营运分析提供了有力支撑。



图 37 武安荣兰线A站实景图

此外，协鑫云平台的合作搭建不仅满足数据收集更可以提供数据分析、运营指导，届时将更好提高能源利用效率，助力绿色发展。

3、绿色矿山典型应用场景

绿色矿山是我国煤炭工业“十四五”时期实现高质量可持续发展的重要目标，指在矿产资源开发全过程中，实施科学有序开采，对矿区及周边生态环境扰动控制在可控制范围内，以实现环境生态化、开采方式科学化、资源利用高效化、管理信息数字化和矿区社区和谐化为基本要求，贯穿绿色矿业循环经济发展模式。建立矿区“源网荷储”项目，一方面充分利用煤矿复垦区空闲土地进行光伏电站建设，并对矿产剥离、下游产业链进行矿卡及工程设备的新能源车辆置换，同时配备储能项目，实现矿区内新能源电力的就地消纳，是实现绿色矿区的典型示范场景。



图 38 矿山典型应用场景示意图

案例四：广纳蒙西—零碳矿山项目

○ 项目介绍

广纳煤矿煤炭储量超1亿吨，年产能200万吨，其所在的鄂尔多斯棋盘井镇是矿区富集、煤焦化、冶金化工企业密集的重工业区，也是国家大气污染治理的重点区域。为实现该矿的有序发展，广纳集团提出建设绿色矿山的整体方案。一方面，大力推进矿区工程机械电动化，由广纳集团投资购置30台宇通105E纯电动宽体矿卡无动力车身及配电设施，协鑫集团投资建设换电站和负责换电站质保，持有30台纯电动宽体矿卡车载电池和9块站端备用电池；另一方面开展矿山用电光伏化，广纳集团利用蒙西矿排土场等空闲和需要植被恢复的土地资源，已经在蒙西煤矿建设了4MW光伏电站，后续还将在蒙西煤矿排土场继续建设20MW光伏项目，实现绿色供能目标。此外，项目采用基于区块链环境下的蒙西煤矿大数据应用平台，对现场能源生产、能源调度提供数据分析和运营指导。



图 39 广纳蒙西矿山换电站实景图



图 40 广纳蒙西矿山矿用卡车实景图



图 41 广纳蒙西矿山储能电站实景图

4、煤电厂智能物流应用场景

发展煤炭智能绿色物流,要求加强矿区、园区集疏运系统智能化发展,在矿区短途倒运中大力推广应用新能源汽车,构建覆盖全区的现代煤炭智慧物流网络。通过与电厂的合资合作,在厂区内建设充换电站,并充分利用电价优势,形成换电市场的竞争力,是打造煤电企业智能物流应用的典型场景。



图 42 大型煤电企业典型应用场景示意图

案例五：协鑫（朔州）电港项目

○ 项目介绍

山西朔州地区煤炭资源丰富,煤、电产业发达。立足能源、矿山等重点领域,在全省范围内加快推动电动重卡、电动装载机等新能源汽车应用,积极推进交通绿能替代,加快推进“绿色能源+智慧物流”集成融合,推动新能源汽车与电厂、矿山等企业深度融合发展,进而促进和带动全省新能源汽车换电模式创新应用,是整合资源、释放产能、转换动能、减少排放、顺时应势的重要举措。



图 43 朔州“光伏+绿色交通”项目现场奠基图

朔州政府率先以区域的三座燃煤电厂为示范,对于进出厂区生产物料运输进行绿色交通运输改造。协鑫能科与中矿科工集团公司(合作伙伴)与三座燃煤电厂达成“光伏+绿电交通”项目运输,为保障三座燃煤电厂绿色交通项目落地,规划投放150辆新能源重卡车辆及配套建设的换电站2座形成示范基地,并搭建智能化数字物流管理平台,通过绿电、绿能、绿色物流一体化解决方案,打造出大型朔州燃煤电厂+电动重卡标杆应用场景的典范,推动当地大宗物料运输“油改电”,为实现科学化、智能化管控,巩固蓝天保卫战成果作出新贡献。



图 44 电港项目实景图

5、城市建设运输典型应用场景

城市建设中,需要对物料运输所涉及的市政车辆进行新能源置换,推动城市配套运输工具的电动化转变;通过渣土或商砼某一成熟场景的项目切入,统筹运输线路、站点选址、倾倒地定点等规划布局,完成城建运输的电动网络化的提前布局;通过推行成熟的市级电动化方案,以城建绿色运输项目为抓手,实现城市全场景充换电应用。



图 45 城建运输企业典型应用场景示意图

案例六：徐州市城市新能源渣土车换电项目

○ 项目背景

为深入贯彻落实国家“碳达峰碳中和”战略，建设绿色交通示范项目，助推徐州市新能源产业发展，搭建开放型产业生态。徐州市政府从调节资源分配方面采取措施，支持电动重卡发展，自2021年起将电动重卡列入徐州地铁集团公司工程招标限制条件，以及出台了相应黄牌重卡车的路权限行控制政策。此外，徐州市政府2022年8月11日下发的《徐州市支持城市级充换电服务平台建设助推新能源产业发展的工作方案》中提出（一）发展目标：按照“科学规划、适度超前、示范引导、快速推广、保障民生”的原则，建设集“充换电网+储能网+智能微电网”于一体的充换电平台，同步研究布局电池维修、回收及梯次利用、碳资源交易等上下游产业链，为城市级新能源产业发展构建良好的生态系统。1、建设国家零碳交通示范城市2、打造充换电服务“全市一张网”3、科学布局充换电基础设施建设。（二）重点任务：1、推进全市充换电设施统筹建设运营管理2、加大新能源汽车推广应用3、合理布局充换电基础设施建设4、开放新能源车辆专用路权5、制定换电设施建设运营补贴政策6、推进车网互动技术创新与试点示范7、建立健全行业监管体系。

○ 项目介绍

徐州高新区站：

徐州高新区站是协鑫能科在徐州建设的第二座新能源电动重卡换电站，该站于2022年9月2日送电投产，10月2日进入正式运营期。该站是协鑫能科自研5备1型新能源电动重卡换电站，每天可为新能源电动重卡提供140次换电操作，最高可满足50辆新能源电动重卡使用。目前，正为徐州策腾建筑工程有限公司的30辆新能源电动重卡车提供换电服务，后续根据市场需求面向社会提供换电服务。



图 46 协鑫集团徐州市高新区换电站送电成功

徐州新城区站：

徐州新城区站是由徐协能科与徐工云电共同投资建设的新能源电动重卡换电站，该站于2022年9月初开始施工，目前仍在建设阶段。换电站建成后，每天可为新能源电动重卡提供140次换电操作，最高可满足50辆新能源电动重卡使用。该站主要为江苏彭玺新能源科技有限公司30辆新能源电动重卡车提供换电服务，后续将根据市场需求面向社会提供换电服务。



图 47 协鑫集团徐州市新城换电站开工建设

○ 项目优势

解决“补能难”问题。客户无需担心能源补给难的问题。协鑫徐州项目建成后将实现徐州市每8公里范围内有一座换电站，解决寻站距离远的问题。

提高运营效率，增加客户收益。换电站采取车电分离模式，整个电池换电过程仅需3分钟，大大提高了运营效率，延长了客户每日里程数，从而增加客户收益。

顺应国家“碳减排”形势。一是推广使用新能源车，顺应了国家“碳达峰”、“碳中和”的大背景，以及徐州市国民经济和社会发展第十四个五年规划，推动实现大气污染防治目标，持续提升环境质量；二是顺应新能源大趋势，抓住换电机遇，就等同于抓住了市场；三是等同于提前锁定运力，徐州地铁集团公司工程招标限制条件中明确提出需使用新能源重卡车才可参与投标，换电车未来会比燃油车获得更多的中标机会。

成本低、补贴优，经济效益不容忽视。一是能源成本低：柴油车约3.2元/km，电动车约2.9元/km，每年运营8万公里，可节约成本2万元-3万元；二是政府补贴优：免购置税，节约4万元左右，车辆行驶4万公里运营补贴50万元；三是使用寿命长：电池质保8年，使用寿命比柴油车多3年，无排放升级顾虑，无强制报废风险。四是运营权益多：路权、大气防控期间增时作业、工程承揽优势。

6、国际大城市交通碳减排案例

中国深圳

深圳于2017年成为全球首个全面实现公交电动化的城市，2018年出租车实现全面电动化，2020年网约车、环卫车实现全面纯电动化。高峰期间公共交通占机动化出行比例达到了62.6%，城市交通绿色出行分担率达到了77.42%，在全国名列前茅。根据相关数据，专营公交车辆实现纯电动化后，每年可减少二氧化碳排放量约135.3万吨，巡游出租车实现纯电动化后，每年可减少二氧化碳排放量约60万吨²³。

瑞典哈马碧生态城²⁴

哈马碧生态城(Hammarby Sjöstad Eco-Town) 位于瑞典首都斯德哥尔摩城区东南部，占地约204万平方米，是全球可持续发展城市建设的典范。20世纪90年代初，为申请2004年奥运会主办权，斯德哥尔摩政府将哈马碧地区规划为奥运村并对其进行改造。在申奥失败后，哈马碧的建设并未停止，经过20多年的发展，哈马碧已成为高循环、低能耗的宜居生态城。

在交通领域，哈马碧建立了以轻轨、公共巴士、共享汽车为主的便捷高效的公共交通网络。区域内的轻轨穿了所有城市中心，并与地铁站链接，公交巴士线路与铁路站相通，同时桐乡内场和购物中心。共享汽车方面，建立汽车共享俱乐部，并在主要公共建筑附近设立免费充电装置，为共享汽车补能。据统计，在哈马碧，居民选择公共交通的比例是79%，而当地私人汽车的占有率不足40%。



图 48 共享汽车充电装置

美国纽约

纽约作为超大型国际现代化城市，在碳减排方面一直扮演先行者。根据纽约市长办公室数据纽约于2005年实现碳达峰，此后年碳排放量呈逐年下降趋势。2020年，碳排放量4844万吨，较2005年下降25.1%，其中交通领域排放量为1232万吨，占总量的25.43%。

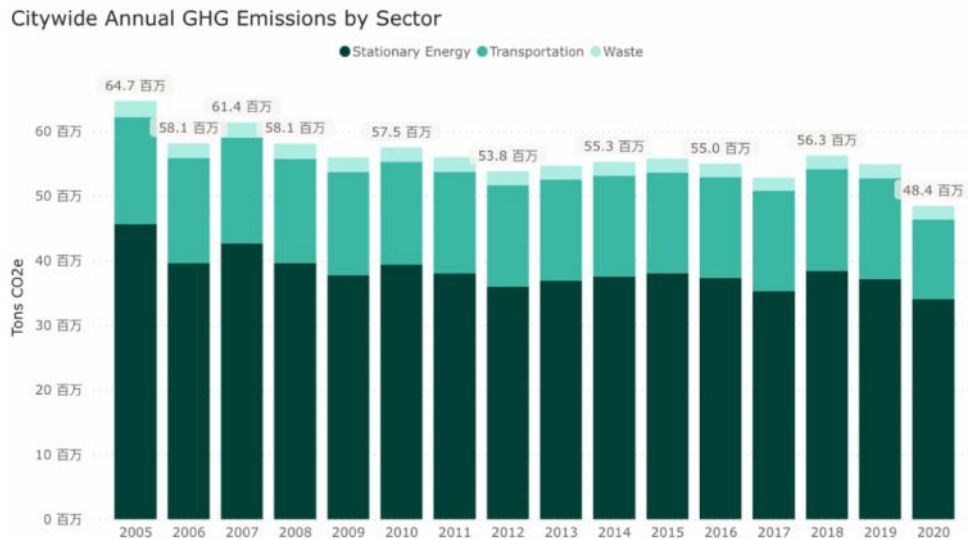


图 49 纽约市温室气体排放量占比趋势

数据来源：<https://climate.cityofnewyork.us/>

2014年9月，纽约市长设定了到2050年将纽约市温室气体排放量下降80%的目标。为实现80%的减排目标，在纽约市发布的《迈向碳中和的纽约之路》(<Pathways to Carbon-Neutral NYC: modernize, reimagine, reach>) 报告对纽约市未来碳减排路径和趋势进行了分析(交通领域见下表)。

表9 减排路径测算²⁵

	电气化 假定建筑、交通和蒸汽生产对电力的依赖增加	低碳燃料 假设生物可再生天然气 (RNG) 供应量较大，建筑物电气化程度较低；中型和重型车辆依靠生物燃料而不是电力	多样化 将电气化途径的更高电气化率与低碳燃料途径的更高生物源RNG供应相结合
轻型汽车销量	到2040年，68%的电池电动汽车 (BEV)、12%的插电式混合动力电动汽车和20%的内燃机汽车		
中型和重型汽车销售	到2050年，100%纯电动汽车	生物燃料**用于脱碳	到2050年，100%纯电动汽车
轻型汽车行驶里程(VMT)	到2025年，-17%VMT		

针对交通领域重点考虑出行方式的优化和能源转型两种路径对碳排放产生的影响, 主要包括: 一是小汽车向公共交通、步行、自行车转移后导致的车辆行驶里程的变化; 二是零排放车辆的规模, 包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车。

06

政策建议



城市零碳交通是“双碳”目标下，政府和人民对美好未来的共同追求，也孕育着巨大价值。在新型产业的孵化和推进阶段，打造政企命运共同体至关重要，不应让短期利益和政企能力错配成为前进的阻碍。政府应当与企业精诚配合，充分释放资源，发挥公信机构的优势，在产业规划、政策引导、平台搭建、资源协调、资金支持方面给予推力，激发市场活力，提振市场信心。早日落成示范区，把城市零碳产业做大做强，为双碳目标的实现作出贡献。为此，针对产业发展问题，报告提出如下政策建议：

1、加强支撑交通运输行业实现零碳目标的财税政策支持

实现交通运输领域零碳目标需要从建设绿色交通新型基础设施、优化调整交通运输结构、加快清洁能源和智能交通技术开发应用等多方面共同发力，需要相关主体提供大量资金。建议国家完善相关领域财税和金融政策，共同引导构建多元化的绿色交通运输领域投融资机制，增强相关主体开展绿色低碳投资的商业可行性。首先要鼓励各地政府设立交通运输零碳发展专项财政政策，并为社会资本投入绿色低碳交通运输领域提供税收优惠；其次要鼓励绿色金融产品和服务创新，通过绿色信贷、绿色债券、绿色保险等金融产品、创新绿色金融服务，加强对绿色低碳交通项目、绿色交通企业的支持，降低融资成本和融资门槛，引导优质社会资本投入绿色低碳交通实现促进降碳目标；第三要创新投融资模式，通过设立政府引导基金、市场化引导基金、PPP模式、股权投资等模式，鼓励有资金实力、专业能力和社会资本参与绿色低碳交通项目。

鼓励地方成立新能源产业引导基金，吸引社会资本、产业资本，快速推进产业落地；政府引导、鼓励地方国资控股、参股银行保险类机构跟进、制定新能源汽车相关的金融方案，为零碳绿色数字化交通基础设施建设提供支持，鼓励通过发行银行企业联名电卡、ETC折扣等方式给予营运司机优惠激励。

2、强化交通运输领域碳排放数据的计量、监测和统计

从运输环节来看，交通运输行业产生的二氧化碳排放主要来自移动源，其碳排放数据获取的难度要远高于固定源。目前的核算统计来自社会交通运输碳排放和营运性交通碳排放两个口径，其中社会交通运输排放（即非营运交通运输工具）的能耗和碳排放数据相对缺乏，难以获得准确的数据；营运交通企业中，公路客运营主体通常为大型国有企业，计量相对准确，而公路货运和水路货运往往存在多、散、小的特点，进一步加剧了监测数据获取的难度。需要进一步建立健全统计监测体制机制，确保交通运输行业排放基础数据全面准确。通过搭建数字营运物流平台，将有助于系统全面掌握车辆行驶、燃料加注及充换电情况，实现对车辆和营运的全过程管理，保证排放数据真实可靠。

3、推动交通行业纳入全国统一碳市场

现阶段，我国全国统一碳交易市场尚未纳入交通运输行业，然而从试点碳市场的运行情况看，交通运输行业碳排放面临排放边界不固定、排放源多而杂、难以统计等问题，交通运输碳交易缺乏充分考虑和体现交通运输行业特点的顶层设计方案。结合国家双碳目标相关任务要求，交通运输领域移动源参与碳交易的主体范围、时间节点、准入退出门槛等问题需要进一步明确，应开展交通运输碳交易的社会经济影响评估，设计适用于我国交通运输行业的碳配额分配方法。通过市场机制充分调动行业减排的积极性。

4、加强低碳科技创新应用，激活数据要素价值，提高交通碳减排效率

加强低碳科技的创新应用，是实现交通领域碳减排的重要措施。一方面需要在新能源汽车性能、电池续航方面加强创新，提高新能源汽车的适用性、功能性和舒适性，为扩大新能源汽车的市场规模奠定技术基础。另一方面应从数据要素角度着手，发挥数据价值，通过智慧平台、城市大脑等新型基础设施，提高城市交通管理的智慧化水平。

基于智慧交通基础设施平台，通过大数据、人工智能、5G、数字孪生等技术，实现交通领域碳足迹追踪，为精准碳减排调控提供数据支撑，协助相关部门实现交通碳减排的精细化管理和智慧化决策。

5、统筹推进城市交通基础设施建设，加快充换电基础设施建设

对于城市新区、开发区建设，将电力和充换电站等补能基础设施纳入城市整体发展规划，由地方政府牵头、联合专业机构/企业，参考当地新能源汽车发展预测，做出相应的充换电站布局、土地规划和电力配套规划；对于现有城区，以适度超前的原则制订充换电站建设用地指标，为充换电站建设的土地购买、租赁和电力扩容提供绿色通道，为新能源车辆提供路权便利政策。

对充换电站建设的项目土地租购及设备投资给予一定的资金扶持奖励，对于现有城区建设充换电站需要电力扩容的，建立审批绿色通道；为地方充换电运营企业提供税收减免，对于新能源运营车辆提供车辆检测补贴、保险补贴、过路费优惠等；为充换电站运营提供电费补贴。

6、加快新能源运营车辆普及，完善车辆上牌登记制度

建议对本地生产的新能源汽车给予一定的购车补贴,对于网约车车型,按运营年限提供购车补贴,对于商用车,设定年行驶里程条件给予一定的购车补贴;对运营类车辆限牌城市,提供换电网约/出租车牌照支持政策,以及提前置换补贴政策。

出台无动力车身/电池的单独公安交管上牌登记系统,不再将整车作为唯一登记主体,支持地方金融机构为无动力车身和电池提供单独金融产品方案。

7、鼓励居民绿色出行,建立碳积分制度,加强绿色出行宣传

绿色出行是交通领域实现双碳目标的有效辅助措施。在交通基础设施的规划、建设和运行中,应该充分考虑居民绿色出行的需求。加强城市公共交通设施建设和服务质量,为居民营造绿色出行的良好环境,提升绿色出行的便捷性和舒适度。

发挥市场作用,提升居民绿色出行积极性。以城市为单位实施绿色出行普惠措施,建立居民绿色出行碳积分账户和对应的经济奖励或普惠福利,对于居民的绿色出行行为预计积分奖励。通过数字技术、金融机制、普惠政策,对居民的绿色出行行为予以奖励,激发居民的积极性,从而形成绿色出行习惯。

加强绿色出行宣传,增加居民低碳意识。对于交通碳减排任务较重的城市,可持续开展节能低碳宣传,周期性开展“绿色出行日”、“宣传周”等主题活动,发挥宣传教育和舆论引导作用,增强居民低碳意识。

8、加强专业人才培养

随着智慧交通的不断推进,围绕智能、低碳发展的创新交通人才缺口增大,尤其面向新能源、人工智能、软件算法、系统设计、环境感知等新兴应用领域的人才严重不足。从行业创新角度,需要加强人才培养顶层设计,以创新建设能力为核心,培养吸收具有多学科交叉背景的复合型人才。从行业应用角度,应在职高、大专院校设立专业化的电动汽车及配套设施的专业人才培养,短期补充职业司机人员储备,中长期培养职业运营、维护类人才,以确保全行业人才支撑体系建立完善。

参考文献：

- ¹ International Energy Agency. Transport[R]. Paris: IEA, 2022.
- ² 国家发展和改革委员会综合运输研究所. 中国可持续交通发展报告(2021)[M]. 北京: 中国市场出版社, 2021.
- ³ International Energy Agency. 中国能源体系碳中和路线图[R]. Paris: IEA, 2021.
- ⁴ 杨君. 中国交通运输业碳排放测度及减排路径研究[D]. 江西财经大学, 2022.
- ⁵ 奚文怡, 蒋慧, 鹿璐等. 城市的交通“净零”排放: 路径分析方法、关键举措和对策建议[R]. 北京: 世界资源研究所, 2021.
- ⁶ International Energy Agency. World Energy Outlook 2021[R]. Paris: IEA, 2022.
- ⁷ 艾瑞咨询研究院. 2022年中国新能源汽车换电市场研究报告[R]. 北京: 艾瑞咨询, 2022.
- ⁸ 张琳玲. 碳减排目标下城市交通出行结构优化与调控研究[D]. 中国矿业大学, 2019.
- ⁹ 中国交通低碳转型发展战略与路径研究课题组. 碳达峰碳中和目标下中国交通低碳转型发展战略与路径研究[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
- ¹⁰ 何健, 黄启乐, 汪振东. 广州市城市道路网密度提升路径探索[J]. 交通与运输, 2019, 35(04): 35-38.
- ¹¹ 世界资源研究所. 城市的交通“净零”排放: 路径分析方法、关键举措和对策建议[R].
- ¹² 长安大学. 中国公路货运发展研究报告(2021)[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2022.
- ¹³ 国泰君安证券研究所. 低碳减排, 交通运输行业任重道远 --碳中和系列报告之交通运输行业[R]. 上海: 国泰君安, 2021.
- ¹⁴ 交通运输部. 数字交通发展规划纲要[S]. 北京: 交通运输部, 2019.
- ¹⁵ 车百智库, 中国电力企业联合会. 2022新型交通能源基础设施发展研究报告[R]. 北京: 中国电动汽车百人会, 2022.
- ¹⁶ 车百智库, 清华大学. 汽车、交通、能源协同实现碳达峰碳中和目标、路径与机制[R]. 北京: 中国电动汽车百人会, 2022.
- ¹⁷ 陶若冰, 徐红丽. 虚拟电厂供电可靠性管理策略研究及评估[J]. 电力需求侧管理, 2022, 24(04): 36-41.
- ¹⁸ 钟永洁, 纪陵, 李靖霞, 蒋衍君, 吴世伟, 王紫东. 虚拟电厂基础特征内涵与发展现状概述[J]. 综合智慧能源, 2022, 44(06): 25-36.
- ¹⁹ 吴斌. 上亿辆新能源汽车化身“超级电池”, 虚拟电厂“新风口”将至?[EB/OL]. <http://www.21jingji.com/article/20220926/herald/b16377b417f682159da0443fe91c15e2.html>, 2022. hao.baidu.com/s?id=1745078917713436760&wfr=spider&for=pc
- ²⁰ 创业邦研究中心. 2022年中国商用车自动驾驶产业发展报告[R]. 北京: 创业邦, 2022.
- ²¹ 曹吉昌, 高亮. 智慧道路体系化建设的关键问题与发展路径研究[J]. 建设科技, 2022(18): 9-12.
- ²² 李丽, 王晓颖. 双碳目标下北京城市交通结构优化研究[J]. 交通节能与环保, 2022, 18(02): 52-56.
- ²³ 张海莺, 罗勉. 紧追低碳“新时尚”, 争当现代争当现代“卖碳翁”[EB/OL]. <http://www.chinadevelopment.com.cn/news/zj/2022/09/1796788.shtml>, 2022.
- ²⁴ 北京规划自然资源. 重点地区规划 | 瑞典哈马碧生态城规划理念解读[EB/OL]. https://www.sohu.com/a/394081789_275005, 2020.
- ²⁵ Mayor's Office of Sustainability, Con Edison, National Grid. Pathways to Carbon-Neutral NYC: modernize, reimagine, reach[R]. New York: MOS, 2021.

东西智库 | 专注中国制造业高质量发展

东西智库，专注于中国制造业高质量发展研究，主要涵盖新一代信息技术、数控机床和机器人、航空航天、船舶与海工、轨道交通、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、医疗器械等制造强国战略十大领域，并提供战略咨询、规划编制、项目咨询、产业情报、品牌宣传等服务。

欢迎加入东西智库小密圈，阅览更多制造业精选信息

 知识星球

微信扫码加入星球小密圈

交流 | 分享 | 研究

赠1万+制造业精选资料

