

迈向碳中和目标的上海交通低碳发展

关键问题研究

邵丹 李涵¹

（上海市城乡建设和交通发展研究院 200040）

【摘要】：以双碳目标为导向推进上海综合交通系统可持续发展，既是生态文明建设的应有之义，也是加速交通系统现代化进程的重大机遇。上海作为成长中的现代化国际大都市，对外交通和城市交通需求仍处于增长期，在交通设施体系建设尚未完成，交通装备和能源体系低碳转型刚刚起步的背景下，交通减碳形势严峻。研究厘清国内外交通碳排放统计口径内涵差异，梳理国际交通减碳沿革与碳中和策略，分析上海交通碳排放影响因素，预判上海交通能耗、碳排放及需求的阶段演化特征。提出要锚定远景碳中和目标，以结构性、系统性、全周期性的策略统筹交通领域双碳治理全局，梯次有序推进交通领域碳中和目标实现。

【关键词】：综合交通 能源转型 低碳技术 碳中和

根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）测算，若实现《巴黎协定》1.5℃温控目标，全球必须在2050年到达二氧化碳净零排放，即实现碳中和（Carbon Neutrality）。世界各国纷纷对碳中和目标做出承诺，并将时间和措施具体化。在工业化、城镇化进程尚未完全成熟的背景下，我国也明确承诺“力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”，体现了大国的担当。交通作为支撑工业化、城镇化进程的重要功能载体面临严峻的减排压力。交通领域的碳达峰碳中和，对于整体碳中和目标实现意义重大，立足新发展格局，根据上海国内国际双循环的战略链接和国内大循环的中心节点的发展定位，上海仍处于全球化、工业化、城镇化发展阶段提升的关键时期，综合交通仍面临航运中心发展、区域一体化和重大交通基础设施建设、个体机动化水平提升等机遇和挑战，也面临能源体系和交通装备制造转型等契机。如何以双碳目标为导向，以终极净零排放为愿景，真正实现交通与经济社会高质量发展、与生态环境减排等目标统筹，为全市碳达峰和碳中和做出更大贡献，必须系统思考、统筹布局、加速推进。

一、碳排放的统计、测算和上海基本情况

（一）碳排放的统计与测算

依据《2006年IPCC国家温室气体清单指南》，温室气体主要的排放源来自能源、工业生产过程、农业、土地利用变化和林业及废弃物，通用的碳排放计算方法为：排放量等于活动水平和排放因子的乘积。针对不同来源有不同的碳排放计算方法，交通碳排放主要依据其采取能源活动的碳排放进行计算。由于国内外在终端能源消费的行业划分方法不一致，导致交通能耗数据对应的范围和内涵有差异，并影响到碳排放的计算。有必要就碳排放计算相关的能源统计口径以及对应的计算方法进行厘清。

1. 碳排放基础数据的统计方法和口径。交通活动相关的能源数据是开展碳排放测算的基础。国际通行的模式是依据国际能

作者简介：邵丹，高级工程师，上海市城乡建设和交通发展研究院交通所副所长。
李涵，工程师，上海市城乡建设和交通发展研究院交通所政策室。

源署（IEA）20 世纪 90 年代建立的能源平衡体系，IEA 根据能源的终端使用（end-use）将终端能源消耗（final consumption）部门划分为工业部门、运输部门、其他部门和非能源产品消耗四大类，其中运输部门包括：道路、铁路、航空、国内水上运输及管道 5 种主要的方式（不含国际海运和航空），以此口径来计算运输部门的终端能耗和 CO2 排放量。国内能耗统计是基于以独立法人企业为基础的行业划分，因此国内的交通能耗统计中仅包含交通运营企业的能耗，与企业法人注册地相关的国际海运和航空能源一并统计在内，但分散在工业、建筑、服务、居民消费等领域中的非运营交通能耗未纳入交通能耗统计口径。

2. 碳排放的测算方法。由于国内的能源消耗统计分类口径与国际差异较大，且很难获得全口径交通领域能源消耗数据，考虑能源数据的可获取性，按运营交通和非运营交通进行分类测算。运营交通使用行业能耗统计数据直接测算（包含国际海运和航空）；非运营交通碳排放则基于综合交通模型、大数据、调查等渠道获取的活动量和单位能效数据为基础进行测算，以弥补能耗统计渠道不健全的问题。

综上，虽然国内碳达峰行动方案中的碳排放统计口径总体沿用了终端使用导向的国际通行原则，但由于能耗统计基础数据的内涵和可获取程度不同，给最终的碳排放测算带来了较大困难。需要特别指出的是，在国际通行的统计规则中仅考虑直接排放，不考虑电力、热力等间接排放，国际航运和国际航空则计入国际燃料仓单独核算，这种口径的差异将影响到对交通领域碳中和内涵的理解和表述，以及目标的设定和责任分解，因此我们需要从整体碳中和的层面来理解和思考相关的应对策略和路径。

（二）上海交通领域碳排放基本情况

1. 交通需求刚性增长，能源消费规模呈现刚性增长态势。2019 年，上海交通行业能源消耗量为 2619 万吨标准煤，约占全市总能耗的 22%，其中，社会交通能源消耗量为 660 万吨标准煤。

2. 交通领域能源消耗以化石能源为主，碳排放仍呈现同步增长态势。上海交通化石能源消费占比 95.1%，其中煤油、燃料油占比超过 60%，煤油主要来自飞机，燃料油主要来自船舶，二者随着上海航运中心的建设呈高速增长；汽柴油消费占比约 30%，增速逐步放缓；电力消费占比 4.9%，主要来自铁路和城市轨道交通。随着上海新能源车的推广，城市客运行业新能源格局转型初步显现，用电消费呈现快速增长。从碳排放分布看，航空及国际远洋运输占比 56%，铁路、公路、内河水运、公交、出租等其他交通运输行业占比 25%，社会交通占比 19%。

上海交通运输行业能源消费量（单位：万吨标准煤）

指标	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
全社会能耗	11035	11325	11389	11478	11867
交通运输行业	2023	2230	2546	2520	2619

数据来源：文献[2]。

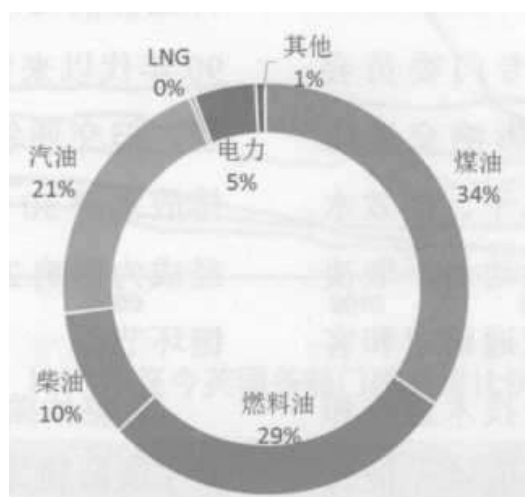


图 1 2019 年上海交通领域能源消耗结构

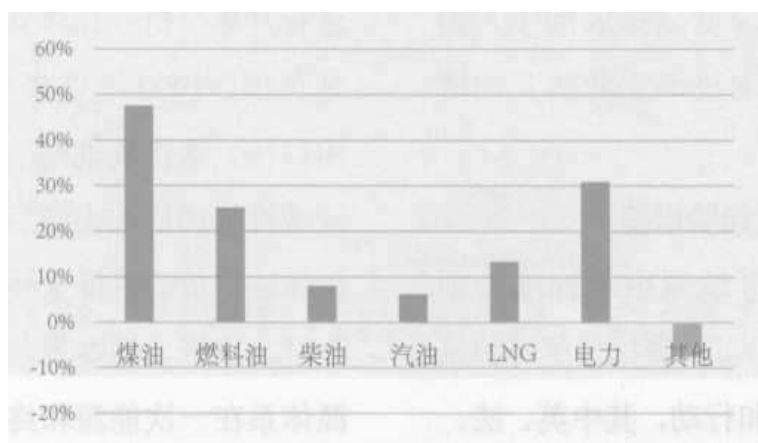


图 2 2015-2019 年上海交通领域主要能源消耗变化情况

3. 统计口径对上海碳排放治理的影响。对比国内外统计口径，道路客货运输、公共交通以及社会交通所涵盖的活动内涵与国际上的城市交通（urban transport）总体吻合，其能源消费及碳排放也基本是属地化范畴的，但海空运输能耗统计更多反映了与法人相关联的经济活动属性，不受空间、资源等因素约束，短期内难以通过技术手段治理。此外，虽然上海的电力碳排放因子受清洁外来电力占比提升呈现下降趋势，有效地降低了间接碳排放，但交通系统自身无法实现对其间接碳排放的中和。

二、交通碳排放影响因素和国际治理经验

（一）影响因素分析

基于政府间气候变化专门委员会（IPCC）对碳排放的定义，影响交通碳排放的要素大致包括活动水平、能效水平、碳效水平等。其中，活动水平取决于与经济社会活动相关的交通需求和客货周转量；能效水平取决于技术进步和管理优化等要素；碳效水平取决于能源结构，一次能源的低碳化和终端能源消费的电气化有助于降低碳排放因子。但最终的碳排放走势取决于三者的互动博弈关系。

（二）国际治理经验借鉴

从其他国家和地区碳中和行动计划看，发达国家在全面实现碳排放达峰的基础上开展 2050 碳中和行动，其中英、法、德等欧洲国家在上世纪 90 年代达峰，美、加等北美国家也在 2007 年达峰，日、韩等亚洲国家在 2010 年之后达峰，并预留了 40-60 年不等的时间进行碳排放中和。上述国家基本于 20 世纪中后期开始步入后工业化社会，60-90 年的全球化进一步助推了去工业化的进程，形成了以现代服务业主导的经济社会发展模式。

20 世纪末以来信息技术的发展进一步助推了金融、科技等为核心驱动力的经济发展。而始于 20 世纪 70 年代的石油危机，使得能源资源的可持续发展问题得到重视，以低碳化石能源和可再生能源为主的能源结构调整逐步成为共识。总体来看，上述国家的总体碳达峰时间与其工业化和全球化、城镇化和机动化的进程是吻合的。但值得注意的是，虽然发达国家自上个世纪 90 年代以来实现了整体碳排放的显著下降，但交通领域（国内使用口径）的碳排放水平 30 年来却维持基本稳定，并已经成为影响 2050 年碳中和目标实现的关键环节。

1. 整体碳减排与交通碳减排的关系。基于欧盟和英国的交通、能耗和碳排放数据，就其交通领域碳排放规模演化的情况进行具体分析：总体看来，无论是欧盟还是英国，1990 年以来交通领域（国内使用口径）碳排放规模基本维持稳定，交通碳减排进程均大大滞后于整体减碳进程。整体碳排放的下降主要源于工业，尤其是化工、造纸、钢铁等业态的转型，以及能源体系在一次能源和终端能源体系的低碳化转型（去煤，以及天然气和可再生能源的使用）。

具体来看，1990—2018 年欧盟整体碳排放降低了 20%，主要受益于工业、能源等经济活动的碳减排贡献，但单位 GDP 的运输强度和交通领域碳排放总体维持稳定（不同国家间有差别）。英国在上世纪 90 年代的单位 GDP 运输强度和整体碳排放已经达峰，伴随工业、能源、废物处理等领域碳排放 60-80% 的下降，英国实现整体碳排放降幅超过 40%，但交通领域的碳排放基本维持不变（见图 3）。

交通运输业已经成为英国国内温室气体（GHG）排放的最大贡献者（2019 年占 27%），若考虑国际航空和航运的排放，则交通领域的碳排放呈现增长态势，其中国际航空碳排放已经较 1990 年增长 1.3 倍，而国际航运则稳定在 1990 年的水平（见图 4）。当然交通碳排放也呈现一些积极的变化，以占主体地位的道路交通为例（小客车和出租车占主体），新乘用车的单位里程碳排放强度自 2000 年以来已经下降近 30%，但车辆大型化以及出行次数的增加又抵消了碳减排的效果。

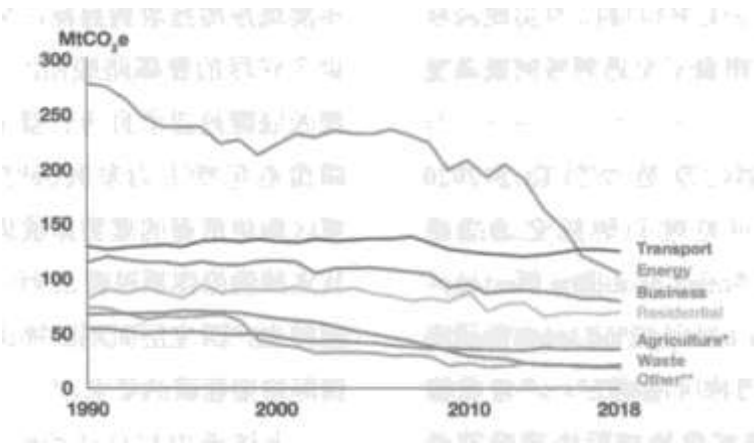


图 3 1990 年至今英国各部门碳减排比例

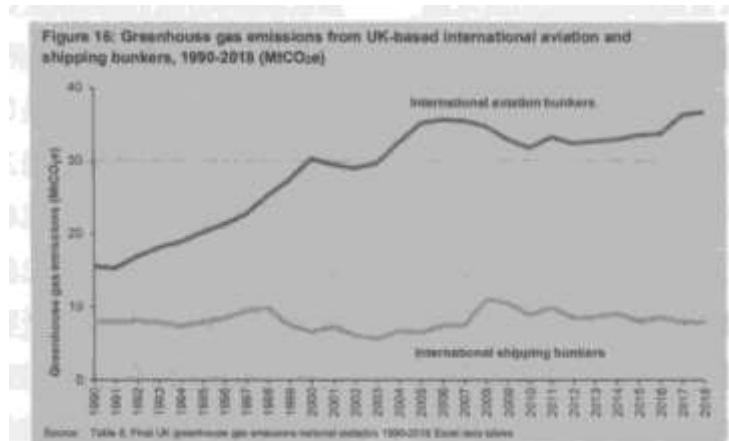


图 4 英国国际航空和海运碳排放变化

资料来源：文献[3]。

2. 碳中和治理和交通脱碳对策。交通系统作为经济社会活动的一个重要环节，其碳中和需要依靠整个经济社会系统的脱碳转型才能实现,主要发达国家形成以“减排”和“增汇”为2条主线，聚焦“零碳能源体系构建”“低碳产业转型”和“生态固碳增汇/碳捕获、利用与封存（CCUS）”3个维度的脱碳策略。目前交通碳减排进程均大大滞后于整体减碳进程的事实，也客观上反映了外部要素脱碳技术能力不足、转型经济性问题对交通脱碳效果的影响。为加快破解交通领域碳中和的问题，确保2050年全面碳中和目标的实现，欧盟和英国近期均出台了交通领域的脱碳发展行动路径方案。

从欧盟来看，欧盟委员会于2020年12月公布《可持续和智能交通战略 Sustainable and Smart Mobility Strategy putting European transport on track for the future》（以下简称《战略》），旨在推动和落实《欧洲绿色协议》中明确的交通运输领域碳排放到2050年减少90%的目标。主要策略包括：推动汽车全面电动化转型，推进充电站等相关配套基础设施的建设和使用；鼓励飞机及船舶可再生资源代替化石能源，推动立法、建立排放控制区；优化高铁等清洁高效交通方式的服务；促进公路运输向铁路运输、水路运输转型；制定基于碳排放的激励措施使得负外部成本内部化。针对陆运、海运、航空各行业特点，《战略》分别建立了2030/2050分阶段零排放发展目标，既有针对汽车、船舶、飞机等不同装备的零排放目标，也有针对预定集体出行等不同模式的碳中和目标。到2030年，至少有3000万辆零排放汽车和8万辆零排放卡车在欧洲公路上行驶；500公里以下的欧盟内集体出行达到碳中和；零排放船舶将进入市场；到2035年，零排放大型飞机将投入市场；到2050年，几乎所有交通装备都将实现零排放。

从英国来看，2021年7月发布了全球首个《交通脱碳计划》（Decarbonising Transport），从全行业范围出发、以2050年实现净零排放为目标，为各细分领域制定了详尽的脱碳路线图。为未来30年的深入脱碳设定了目标、拟定了路线。其战略重点包括大力发展公交和慢行交通模式、淘汰所有的非零排放道路交通工具、货运和物流体系脱碳、绿色交通技术创新，同时也在国家层面明确提出了加速海运和国际航空脱碳的要求。

上述碳中和行动均锚定2050交通体系脱碳目标，一是强调所有交通方式全覆盖和梯次推进实施，优先推进城市化地区的道路交通脱碳，然后是铁路、重型道路货运、内河水运区域交通，最后是国际海空远程运输；二是系统化解决路径布局，从交通装备、运输结构、能源体系（低碳能源替代和氢能应用）全要素，综合采取科技、市场、绿色金融、规制管理等手段。

（三）对上海交通碳减排治理的启示

与国际交通碳中和的背景不同，我们是在交通排放仍未达峰进入平台期的背景下开展碳减排，距离达峰承诺期不足 10 年，从平台期到最终碳中和也只有短短 30 年。欧洲前 30 年交通碳减排历程告诉我们，即便在交通需求基本达峰的背景下，以提升内燃机交通效率、化石能源低碳化等为代表的“局部性、改善型”策略和技术手段仍不足以有效地实现碳减排，在应对需求波动、要求提升等问题上的弹性明显不足，以至于欧洲的交通碳排放平台期已经延续了 30 年，至今尚未看到明确的下行态势。而欧盟和英国最新出台的交通碳中和行动计划则体现了“全局型、结构性”的策略转变，更多从能源体系的低碳化、交通体系和出行行为的低碳化，以及全生命周期的碳减排管理来实现更具韧性的发展，并将此视作提升经济、技术竞争力的重要机遇。考虑到以能源和信息技术为核心的技术革命和产业变革周期已经到来，较欧洲交通碳达峰所处的上一个 30 年更具技术突破的可行性，上海交通碳中和治理的挑战与机遇并存。

三、上海交通碳排放趋势预判

（一）关于城市功能和综合交通体系发展

上海作为成长中的国际化大都市，交通活动量与城市功能、产业结构、经济社会发展阶段以及交通基础设施等因素紧密相关。

1. 城市功能支撑人口与经济活动的持续增长。根据上海市国民经济和社会发展“十四五”规划以及 2035 上海市城市总体规划，到 2025 年，国际经济、金融、贸易、航运和科技创新中心核心功能迈上新台阶，到 2035 年基本建成具有世界影响力的社会主义现代化国际大都市，到 2050 年全面建成具有世界影响力的社会主义现代化国际大都市，各项发展指标全面达到国际领先水平，上述发展和空间规划为交通活动量的预测提供了依据。

2. 国际、区域、市域等各空间尺度的客货运交通需求均呈现持续增长态势。从全球交通联系看，上海定位为国际大循环的链接以及国内大循环的中心城市，未来上海将从全球门户城市逐步向全球中心城市转变，以更好发挥对全球资源的配置功能。而随着城市产业结构的转型，以及全球产业链的区域化布局，以商品贸易为核心的航运需求发展增速将逐步放缓，但航空需求仍有较大发展空间。从区域交通联系看，国家综合立体交通网络的建设，都市圈城际轨道交通网络，以及超高速轨道交通工具的发展将为国家 4 大发展级间、长三角都市圈的高频次交通出行提供支撑。从市域交通联系看，五大新城建设将为人口和经济发展提供新的战略空间，预计 2035 年全市人员出行总量将达到 7800 万人次，较现状提升 36%，其中机动化出行比例接近 60%，交通需求规模和机动化水平与东京都市圈水平相当。

3. 交通设施体系建设符合低碳导向，但交通需求和能耗将伴随设施建设周期呈现台阶式增长。合理的交通模式和运输方式结构是实现综合交通体系低碳发展的基础。国家运输结构调整计划，有助于从更大的空间范围实现货物运输模式的优化，进一步降低公路运输占比，铁路、水运等低碳运输模式将呈现增长。上海长期坚持小客车拥有和使用管理政策，也将对交通结构的集约均衡发展形成支撑。但交通设施网络的建设投运需要周期，预计“十四五十五五”依然是重大交通基础设施的建设期。待国家八横八纵的铁路网络、长三角区域轨道网络、市域轨道交通网络、上海五大新城的综合交通设施体系、海空枢纽等设施全面建成投运后，交通需求、交通发展模式才会逐步成熟，并伴随交通需求、能耗和碳排放的集中释放。

（二）关于能源体系变革对能效和碳效的影响

1. 技术突破将成为推动能效提升的主要因素。展望未来，技术突破将发挥比既有管理措施更为有效的能效提升作用。国际能源署（IEA）预测，在高效情景下，到 2040 年间交通部门在保证活动水平翻一番的情况下，能源需求可以基本保持不变。从实际发展来看，百年变局叠加世纪疫情，在世界经济发展动力存在诸多不确定性的情况下，以新能源、信息技术为核心的科技革命和产业变革正在成为驱动未来发展的重要动力，城市交通业态能效趋势确实已经可见端倪，但重型远程交通尚未看到清晰的路径。道路运输领域，随着《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》的实施和修订，节能与新能源小客车快速发

展，行业的整体油耗水平呈持续下降态势；航运方面，国际海事组织（IMO）已对远洋船舶的单位运输活动碳排放强度提出了目标（2030 年较 2008 年降低 40%，2050 年力争降低 70%），并通过 EEDI 和 EEXI 指标对新、老船舶进行约束；航空方面，燃油效率提升极大程度依赖于飞机发动机的发展进步，而航空发动机发展应该是从渐进式的变革往颠覆式的创新转变的发展路线。

2. 能源低碳化转型将持续降低碳排放强度。应对气候变化背景下，碳达峰、碳中和等约束机制将有力加速推动交通能源结构的重塑，转型路径应该是新旧能源体系的并行推进，并可能呈现如下特征：终端使用交通能源的电气化、低碳化转型，电力、天然气等能源消费快速增长，汽柴油消费增速放缓达峰；一次能源的低碳化转型，风、光、水等可再生能源，以及生物质能源的使用更加普及；氢能得到更广泛的应用，绿氢技术更加成熟，未来可控核聚变技术将真正实现能源的脱碳。但总体来看，能源结构的整体低碳化、脱碳转型依然会经历很长的周期。

（三）关于交通领域碳排放趋势的预判

基于上述判断，统筹考虑设施体系、能源体系建设周期等影响因素，预计交通能耗和碳排放将呈现化石能源消耗先达峰，然后碳排放达峰，交通需求最后达峰的发展顺序，不同业态和领域的达峰时序存在差异，而碳中和则需要能源结构的全面转型并结合外部领域支撑才能实现。

1. 道路交通。道路交通包括客货营运交通以及社会交通，既有能源结构以汽柴油为主体，伴随新能源车的发展，电力能耗呈现快速增长态势。道路运输行业的化石能源消耗将逐步达峰，其中城市公共出行服务客运车辆以及乘用车随着新能源车辆的快速推广和更新替代，碳排放强度将得到有效控制。但区域层面的长途客车或重型货车等大型车辆碳排放减排难度较大，依照国家产业发展规划，2035 年燃料电池汽车能顺利商业化应用，此后大型车辆的碳排放强度才会逐步下降。

2. 轨道交通。轨道交通包含城市轨道（含市域铁）以及国铁，轨道设施的建设周期预计将延续到 2035 年。由于轨道交通全部使用电力，因此其碳排放主要为前端的间接排放，取决于整体能耗规模，以及对应对碳排放因子。因此轨道交通的碳排放规模主要取决于建设投运周期，考虑到未来电力碳排放因子仍有下降空间，最终间接碳排放将趋于稳定。

3. 水运和航空交通。水运和航空等远程交通仍处于增长期，其碳排放主要受技术因素制约。内河水运 LNG、电动化、燃料电池等新能源应用将逐步增加。海运和航空能源转型的难度较大，近期主要是在港口、机场等配套作业中实现新能源替代；远期，海空运输的碳排放将与国际海事和民航组织设定的降碳周期基本同步，碳中和能力明显提升的时间节点在 2040–2050 年。国际航空运输协会（IATA）提出了 2050 年实现净零碳排放的目标，计划通过可持续航空燃料（SAF）减少 65% 的碳排放，通过新的推进技术减少 13% 的碳排放，通过效率提升减少 3% 的碳排放，其余通过碳捕集和碳补偿来处理；航运领域，LNG 将成为传统燃料向零碳燃料的过渡燃料，随着 2030 年或 2040 年法规的收紧，生物燃料和电化燃料将逐渐替代现有船舶燃料，生物甲醇、氨、氢等将被逐渐用于新建船舶。

四、上海交通双碳治理路径与策略

（一）定位和目标

双碳战略目标背景下，交通碳排放治理不能仅仅定位于适应型、改善型应对，更要体现对整体碳减排的主动型贡献。充分发挥后发优势，在坚持末端能效治理的基础上，着力强调基于低碳运输体系、低碳能源体系等结构性减排策略，更好把握新一轮技术和产业革命契机，更好利用区域协同和长三角一体化战略机遇，更好发挥生态文明战略倒逼机制，以更便利高效的出行服务、更高的能效和更大的碳减排效率，消纳尚未达峰的机动化运输活动需求，在保障经济社会交通服务的基础上引导碳排放尽快达峰，缩短平台期并进入下降态势，形成城市交通、对外交通梯次达峰、碳中和的总体发展格局。

（二）策略建议

锚定远景碳中和目标，以结构性、系统性、全周期性减碳理念统筹交通领域双碳治理全局，梯次有序推进交通领域碳中和目标实现。

1. 推进交通体系和能源体系的低碳化发展，加快培育结构性脱碳能力。坚持效率优先，推进交通体系低碳转型。

一是持续完善城市交通发展模式，依据 2035 城市总体规划和城镇化发展规律，预计上海综合交通体系的大规模建设时间还有 10-15 年，应坚持公交优先发展、降低小汽车出行依赖，发挥城市空间规划对于低碳交通发展模式的锁定作用。

二是把握国家运输结构调整战略契机，大力发展完善多式联运体系和服务水平，进一步降低公路运输方式结构。

三是加强低碳交通体系建设与高效营运组织的统筹。以完善公共交通体系建设为核心的交通结构优化政策是交通系统低碳发展的基础保障，但能源利用效率和碳减排效率的真正提升，有赖于相匹配的客运强度支撑。

坚持推拉并举，加快推进能源结构低碳化转型。能源结构体系的转型是个系统性问题，需要较长的周期，既需要加快构建新能源转型相关的设施、装备和使用生态等建设，也需要加强过渡期传统化石能源的低碳化改善。同时要进一步发挥碳减排政策的倒逼作用，面向长期战略目标，尽快建立完善以碳排放减量为核心的装备制造、市场准入、通行使用等标准和公共政策。

2. 坚持“共同但有区别责任”的原则，加强能源、产业、交通等领域的协同减碳

一是统筹直接碳排放和间接碳排放治理。目前国内外交通碳排放统计口径的差异主要是源于不同的统计原则和治理体系，如果从经济社会整体减碳的角度去思考，两者并不矛盾。应加强利益相关方的协同联动，关键看谁能提供更加专业和有效的减碳能力。能源供给方应进一步降低能源碳排放强度，而能源使用方进一步提升能源使用效率。

二是加强产业政策与交通发展总体政策的联动。全力支持新能源产业在交通领域的应用，推进新能源车从“推广阶段”过渡到“普及阶段”，积极引导存量燃油车辆更新置换为新能源车，实现车辆能源结构低碳化与交通方式结构绿色化的统筹。

三是强化国际海空交通碳排放的协同治理。持续加大航空、水运等领域装备的新能源技术攻关、示范应用和商业化探索。积极参与国际海运、航空碳排放技术标准制定，提升碳减排领域规则制定话语权。与国家部委、运输企业、国际组织合作，推进国际交通碳排放治理试点示范。

3. 提升碳汇技术能力，发挥市场机制的减碳补充作用。在着力降低碳排放的基础上，充分利用生态固碳增汇/碳捕集技术，加强对已排放温室气体的消纳处理。如在船舶、飞机等大型交通装备上安装碳捕捉设备。通过对排气中的二氧化碳进行捕集、分离提纯和封存，增加交通设施和装备的碳汇能力，处理或平衡掉交通领域的末端排放。坚持减碳一盘棋，充分考虑到低碳技术的发展和商业化应用时间的不确定性，用好碳交易等市场化机制，加强交通方式间以及与其他领域、区域的减碳协同。

参考文献：

[1]周银香,李蒙娟. IEA 统计视角的迈向碳中和目标的上海交通低碳发展关键问题研究我国交通碳排放测度与修正[J]. 绿色科技, 2017 (6) .

[2]上海能源统计年鉴[R]. 上海：上海市统计局，2020.

[3]Department for Business, Energy & Industrial Strategy.2018 UK Greenhouse Gas Emissions: Final Figures-Statistical Release [EB/OL].2018[2021-08-01]https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/862887/2018_Final_greenhouse_gas_emissions_statistical_release.pdf.

[4]郭楷模、孙玉玲、裴惠娟、陈伟、滕飞、秦阿宁、李娜娜、曲建升.趋势观察：国际碳中和行动关键技术前沿热点与发展趋势[J].中国科学院院刊，2021（9）.

[5]European commission.Sustainable & smart mobility strategy: putting European transport on track for the future[R/OL]2020.12.<https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/2021-mobility-strategy-and-actionplan.pdf>.

[6]Department of Transport.Decarbonising Transport:A Better, Greener Britain[R/OL],2021[2021-08-01].https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachmentdata/file/100719_4/decarbonising-transport-a-better-greener-britain.pdf.

[7]International Energy Agency.Market Report Series Energy Efficiency 2018.[R/OL].https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0f81f5f-8f87-487e-a56b-8e0167d18c56/Market_Report_Series_Energy_Efficiency_2018.pdf.

[8]国务院办公厅.国务院办公厅关于印发新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）的通知（国办发〔2020〕39 号）[EB/OL].2020[2021-04-03].<http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content5556716.htm>.

[9]邵丹，李涵.城市客运交通电动化碳排放效益和碳达峰目标[J].城市交通，2021（41）.