“双碳”目标下中国货物运输体系可持续发展策略

毛保华,周琪,李宁海,周瑾,吴金燕

北京交通大学中国综合交通研究中心,北京100044

摘要　分析了交通强国建设与”双碳”目标下中国交通运输发展的基本形势。以货物运输为对象,剖析了综合交通运输系统的结构。基于经济发展、产业结构调整、运输组织模式变革与新技术的影响,分析了2030年中国货物运输业的需求规模。结果表明,2030年中国货物运输需求规模约为20.5万亿t·km(不含远洋)。通过借鉴部分国家的发展经验,分析了碳达峰背景下中国货物运输业的减排任务。从运输规模控制、运输结构调整、运输组织模式变革以及新技术应用4个方面提出了促进中国货物运输业高质量、可持续发展的策略,包括调整产运结构、发挥铁路运输优势、优化运输方案、促进多式联运等。

关键词　综合运输;”双碳”目标;货物运输结构;运输组织

当前,中国经济正进入新的、高质量发展阶段。2017年,党的十九大提出“建立健全绿色低碳循环发展的经济体系”,首次提出“交通强国”理念。2019年9月,中共中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》提出,从2021年到本世纪中叶分2个阶段推进交通强国建设规划。2020年9月,国家主席习近平在第75届联合国大会上宣布,中国力争2030年前二氧化碳排放达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和目标。2021年10月,中共中央、国务院印发《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》,对新时期各行业发展提出具体要求。货物运输是支撑社会与经济发展的基础,也是交通运输系统碳排放的重要组成部分;从客货运角度看,中国货物运输碳排放量约占55.2%,研究货运业碳减排策略具有重要意义。

1　交通运输业的基本形势

在全面完成小康社会建设任务之后,中国社会与经济已步入全面建设社会主义现代化国家阶段。根据“2021年交通运输行业发展统计公报”[1],2021年底全国铁路营业里程达到15.0万km,其中高速

收稿日期:2020-06-24;修回日期:2022-07-15

基金项目:国家自然科学基金项目(71971021)

作者简介:毛保华,教授,研究方向为综合交通政策,运输组织与管理,电子信箱:bhmao@bjtu.edu.cn

引用格式:毛保华, 周琪, 李宁海, 等. “双碳”目标下中国货物运输体系可持续发展策略[J]. 科技导报, 2022, 40(14): 65-72; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.14.007

铁路达到4万km;铁路复线率59.5%,电化率73.3%。全国公路总里程528.07万km,其中高速公路16.91万km,高速公路对20万以上人口城市的覆盖率达到了98%。全国颁证民用航空运输机场248个,其中定期航班通航城市(或地区)244个。全国内河航道通航里程12.76万km,全国港口万吨级及以上泊位2659个。全年完成营业性客运量83亿人、旅客周转量19758亿人·km;完成营业性货运量521亿t、货物周转量218181亿t·km。可以说,中国交通运输行业经过改革开放40余年的发展,许多领域已实现新的突破。当前,中国经济发展要素、增长方式、环境、资源配置正在发生改变,面临的软、硬约束明显增多,碳达峰、碳中和成为中国中长期发展的重要框架。交通运输业是净碳排放部门,也是国民经济发展的重要基础;在高效支撑社会与经济发展的同时,要走可持续发展之路。2021年2月,中共中央、国务院印发的《国家综合立体交通网规划纲要》明确提出"加快推进绿色低碳发展,交通领域二氧化碳排放尽早达峰",对新时期交通运输行业的发展提出了新的要求。

中国交通运输业已基本实现了满足国民经济发展与社会运行需求的目标,并开始从交通大国向交通强国迈进。在从"大"到"强"的过程中,中国交通运输行业面临的形势特点可以概括为4个方面:一是交通供需存在不平衡、不充分;二是交通系统或企业的运行效率需要进一步提高;三是客货运输尤其是跨方式运输服务水平亟需改善;四是各种运输方式运行与发展的融合、集约与协调工作亟需加强和完善。

2 碳排放视角下货物运输在综合运输体系中的地位

货运需求是表述国民经济系统发展的一个物理量,也是社会运行各类物资供应链相互作用的综合结果。既有研究表明,货运量与国内生产总值(GDP)之间具有长期均衡关系[2];货物运输也是交通运输行业碳排放的主要来源。据绿色创新发展中心研究[3],按2019年客货周转量推算中国交通运输业碳排放量中客运约1.157亿t,货运碳排量8.697亿t(不含管道)。需要注意的是,国家统计局在统计周转量时未统计小汽车部分。根据中国私人小汽车拥有量、年均行驶里程(km)及中国乘用车碳排放量水平($kgCO_2$/km)推算,2019年小汽车碳排放量约5.9亿t[4];交通运输领域总碳排放量(不含管道)达16亿t左右。

表1是美国能源信息署(Energy Information Administration, EIA)分析预测的2050年前全球不同水平经济体交通能耗水平变化。

从表1可看出,2050年非经济合作与发展组织(OECD)国家重、中型卡车能耗仍将快速增长,其增速甚至将快于国际与国内航运。

影响货运量的因素来自多方面,其中产业发展、物流组织与运输系统关系最大[5]。Yan等[6]研究

表1 不同国家货运交通分方式能耗水平

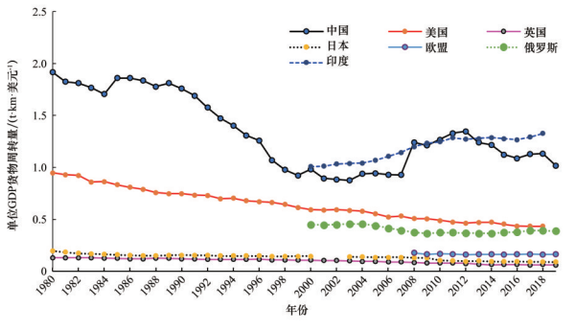
货运方式	能耗/1000万亿Btu							
	2010年		2020年		2030年		2050年	
	OECD国家	非OECD国家	OECD国家	非OECD国家	OECD国家	非OECD国家	OECD国家	非OECD国家
铁路	0.965	1.405	1.156	1.341	1.230	1.475	1.310	1.616
国内航运	0.385	0.438	0.353	0.682	0.352	0.797	0.353	0.888
国际航运	3.685	3.685	3.529	3.529	3.837	3.837	4.066	4.066
天然气管道	0.868	1.811	0.959	2.058	0.946	2.341	0.862	2.789
轻型卡车	4.103	2.018	3.656	2.298	3.393	2.384	3.610	2.966
中型卡车	2.405	4.981	2.405	5.295	2.314	5.587	2.592	7.061
重型卡车	6.278	6.915	7.264	10.828	6.996	13.455	7.351	20.503

注:1 Btu=1055.056 J,OECD指经济合作与发展组织。

了经济发展、技术进步等因素对货运需求的影响，认为对陆地货运需求影响最大的仍是GDP的增长。短期看，碳税（或较高的燃油价格）可能对货运业排放有较大影响，但排放行为标准的效果是一个长期课题，因为需要更新换代。对未来低碳货运来说，需要制定一套包括特定技术标准和价格机制的综合政策来推进低排放车辆技术尤其是重型货车运输领域的应用。研究还发现，与旅客运输相比，货运价格策略的弹性较低。Wang等[7]研究了中国30个省1997—2017年的数据，分析了货运量与经济发展的关系，发现货物运输强度在减弱，且地区差异明显；货运强度高的地区随着经济发展、产业结构优化货运强度下降更快。Sandoval-García等[8]对墨西哥2016—2030年交通与能耗的研究表明，交通、工业、建筑和农业等行业能源强度年均降低1.9%，如果交通部门能源强度降低的目标能实现，货运能耗强度可从2017年的0.7434 MJ/美元降到2030年的0.5793 MJ/美元，这将意味着碳排放降低33.1%。Simpson等[9]从宏观经济角度研究了物流系统的绩效，认为低效率的运输系统会束缚国家增长潜力，降低国家的国际竞争力。Gao等[10]研究了1978—2015年中国货物周转量与GDP的关系，分析表明二者间存在正相关性。Alises等[11]从宏观角度运用投入产出分析法研究了西班牙和英国1999—2011年道路货运车公里与经济结构的演变规律，发现经济向服务型的过渡会降低运输业的需求。此外，一些非经济性的因素也会显著改变道路货物运输需求，这些因素包括技术层面的、物流组织层面的以及方式间的作用[12]。

3　新时期中国货物运输业的任务

货物运输是直接支撑国民经济运行与发展的基础。研究表明，货物运输需求的规模受经济规模影响最大，而单位GDP产生的货运需求与不同地区的自然地理条件、产业结构、物流组织模式等有关[13]。图1描述了过去几十年中国与美国、英国、日本、欧盟、俄罗斯及印度等部分国家（地区）单位GDP产生的货物周转量的变化情况。从图1可以



GDP为2015年不变价，数据来源于[14]；中国货物周转量数据来源于[15]，包括铁路、公路、水运（不含远洋）、民航及管道；美国的货物周转量来源于[16]，包括铁路、公路、水运、民航和管道5种方式；英国的货物周转量来源于[17]，包括公路、铁路、水运和管道4种方式。日本的货物周转量来源于[18-19]；包括铁路、公路、水运、民航4种方式，缺2001、2002年数据；欧盟货物周转量来源于[20]，包括公路、铁路和内河水运3种方式；俄罗斯的货物周转量来源于[21]，包括铁路、公路、管道、水运和航空5种方式；印度的货物周转量来源于[22-24]，包括公路、铁路和航空3种方式；各国（地区）包含的方式对绝对值有影响，对变化规律影响较少

图1　部分国家（地区）单位GDP货物周转量

看出，不同国家（地区）单位GDP的货物周转量水平不同，这与各国（地区）的产业结构特征、自然地理环境条件等因素有关。总的来看，各国单位GDP产生的货运量呈下降趋势，这一现象在发达经济体尤为明显。例如，中国1980—2019年单位GDP的货物周转量年均增长率为-1.61%，美国1980—2018年的年均增长率为-1.4%，英国1980—2019年的年均增长率为-1.9%，日本1980—2019年的年均增长率最大为-1.99%，欧盟2008—2019年的年均增长率为-0.74%，俄罗斯2000—2019年的年均增长率为-0.85%。只有印度2000—2018年单位GDP货物周转量仍呈增长态势，年均增长率达到了1.54%。

上述现象说明，对某一国家或地区来说，随着经济的发展与生产力布局的调整，产业结构不断升级和优化，货运需求增速将低于经济（GDP）增速。换言之，单位GDP的货运量将呈下降态势。进一步分析表明，印度经济发展总体上仍处于粗放型增长阶段，货运量增长速度仍高于经济增长。中国与俄罗斯经济发展阶段比较类似，呈波动中的下降趋势；发达经济体则呈稳定的下降趋势。从绝对值

看,国土面积较大的国家如中国与美国、俄罗斯、印度单位GDP的货运量较高,而英国、日本乃至欧盟地区相对较低。从近期发展环境看,逆全球化潮流下制造业回流明显,加上各国节能减排策略的实施与技术进步的影响,单位GDP的货运量总体上将继续呈下降态势。预计2025—2035年中国货运业的发展亦将遵循这个规律。

2020年10月,十九届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出,2035年人均国内生产总值达到中等发达国家水平的目标,实现经济总量或人均收入翻一番。北京大学新结构经济学研究院院长林毅夫在"中国发展高层论坛2021年会"上认为,2035年前中国GDP有9%左右的增长潜能,可望实现年均5%或6%的增长。中国社会科学院原副院长、央行货币政策委员会委员蔡昉在"2021青岛中国财富论坛"上认为,按潜在增长能力测算,实现2025和2035两个GDP目标需在未来15年里保持4.7%到4.9%的年均增速。中国经济体制改革研究会会长、原国家发改委副主任彭森在"2022亚洲博鳌论坛"上认为,中国经济每年增长4.0%~4.5%就能实现2035年目标。

2019年中国货物周转量约14.54万亿t·km(不含远洋运输),按2015年不变价的GDP为14.30万亿美元,单位GDP的货运量为1.017 t·km/美元。若GDP年均增长率为5%、单位GDP的货运量年均增长率为-1.6%,则2030—2035年单位GDP的货物周转量将下降到0.852与0.786 t·km/美元,由此推算货物周转量增长见表2。

从表2不难看出,2030年全国货物周转量规模在18.75万亿~20.83万亿t·km,2035年可达到21.04万亿~24.52万亿t·km(不含远洋运输,下同)。若单位GDP产生的货物周转量年均减少量为1.0%,2030、2035年货物周转量大致在20.1~22.3万亿t·km、23.19~27.03万亿t·km水平。总的来看,2035年中国货运量的下限在21万亿t·km左右,上限在27万亿t·km左右;中值在24万亿t·km(2030年为20.5万亿t·km)。按中值计算,2030年货物周转量较2019年的增幅在41%、2035年在65%左右。

2019年货物周转量结构见表3[15]。不难看出,公路、水运、铁路3种方式周转量合计占总周转量的96.14%。未来如何在货运总量增长41%~65%的基础上,控制中国交通运输业碳排放量是新时期中国货运业可持续发展需要研究的重点内容。

表2 2030—2035年中国货物周转量规模推算(不含远洋运输)

年份	货物周转量/万亿t·km	
	单位GDP的货物周转量下降1.0% GDP增长率5%/4%	单位GDP的货物周转量下降1.6%GDP增长率5%/4%
基础年(2019)	14.5337	14.5337
2020	15.12/14.97	15.03/14.88
2025	18.35/17.32	17.69/16.70
2030	22.27/20.05	20.83/18.75
2035	27.03/23.19	24.52/21.04

表3 2019年全国货物周转量及其结构

货运方式	周转量/亿t·km	占比/%	交通方式	周转量/亿t·km	占比/%
铁路	30182	20.77	民航	263	0.18
公路	59636	41.03	管道	5350	3.68
水运(不含远洋)	49906	34.34	总计(不含远洋)	145337	100

4 货物运输业减碳策略

如前所述,货运业碳排放占交通运输业的主要部分,也是交通运输行业碳达峰研究的重点。货运业碳减排的路径有3条:一是运输结构调整,即促进碳排放从高的方式向低排放方式转移,陆地运输方面主要是公路向铁路的转移。二是通过运输组织改革提高全运输链过程中低排放方式的占比,如公铁联运中扩大铁路运输占比、减少运输过程中的换装次数、提高运输枢纽作业效率、提高运输能力利用率、降低返程空率等。三是改善各种运输方式的技术性能,降低单位周转量的碳排放。前2种方法是近期碳减排的重点领域,技术性减碳则取决于运输技术的研发与推广应用。

不同运输方式碳排放水平可通过单位周转量的碳排放量即碳排放因子来刻画。碳排放因子除了与载运工具的技术水平有关外,还与运输效率与运输组织模式有关。表4给出了作者根据相关统计资料分析测算的美国、欧盟、日本不同货运方式的碳排放因子值(括号内的数字假设铁路为1,其他方式为铁路的倍数)。

表4　不同货运方式碳排放因子

国家(地区)	碳排放因子/(kg·t^{-1}·km^{-1})			
	铁路	公路	内河水运	民航
美国	0.022(1.0)	0.217(9.86)	0.041(1.86)	1.165(52.95)
欧盟	0.0046(1.0)	0.1691(36.76)	0.1432(31.13)	1.0907(237.11)
日本	0.01896(1.0)	0.3545(18.70)	0.04083(2.15)	1.3178(69.51)
中国	0.014(1.0)	0.119(8.50)	0.009(0.64)	1.011(72.21)

注:美国、日本、欧盟数据分别来源于[25]、[26]、[27];中国数据为作者推算值。

从表4可以看出,不同国家(地区)各货运方式碳排放因子值虽有所不同,但基本规律是民航≥公路≥水运≥铁路。因此,促进货运向铁路与水运的转移,提高铁路与水运承担的货运量比重有利于降低货运业碳排放。基于表3的结构,不考虑管道运输时中国2019年铁、公、水(不含远洋)、民航的货运碳排放总量为8.235亿t。表5给出了2019年部分国家与地区以及中国货运业周转量及排放结构。未来中国货运结构的调整以及货运组织模式改革的任务简化为促进公路向铁路和水运方式的转移,即降低公路货运承担的运输量比重。

表5　2019年部分国家(地区)4种方式货运量及货运碳排放量结构对比

国家(地区)	占比/%							
	铁路		公路		水运		民航	
	周转量	碳排放	周转量	碳排放	周转量	碳排放	周转量	碳排放
美国	39.18	6.96	49.35	85.62	11.07	3.68	0.40	3.74
日本	4.94	0.45	52.87	89.90	41.95	8.21	0.23	1.44
中国	21.56	5.14	42.60	86.18	35.65	5.45	0.19	3.23

2019年,中国交通运输行业碳排放总量约为16亿t,2030—2035年货运量预计将增长41%~65%,如各类环境条件不变,货运行业碳排放将同步增长。由于短期内技术进步速度的限制,中国2035年前碳达峰的主要策略还需要依赖运输结构调整与运输组织模式改革。中国幅员辽阔,拥有庞大的公共运输网络。根据《国家综合立体交通网规划纲要》,2035年中国铁路里程将达到20万km。这为大力发展高效的营运型公共运输,尤其是营运型铁路运输提供了良好的基础设施支持。

显然,促进公路货运向铁路运输的转变、加大公铁联运中铁路运输占比是提高铁路运输比重的重要途经。为探讨扩大铁路货运占比对货运总排放C的影响,先建立一定总周转量和货运结构下的全方式碳排放量$\boldsymbol{C}$的测算模型:

$$C=T_{总}(E_{铁}\alpha_{铁}+E_{公}\alpha_{公}+E_{水}\alpha_{水}+E_{航}\alpha_{航})$$

其中$E_{铁}$、$E_{公}$、$E_{水}$、$E_{航}$为铁路、公路、水路、民航方式的排放因子(可据表4取值)。$\alpha_{铁}$、$\alpha_{公}$、$\alpha_{水}$、$\alpha_{航}$分别为铁路、公路、水路、民航货物周转量占比,$T_{总}$为4种方式的总周转量。

为分析陆地铁路与公路运输结构变化的效果,考虑到民航货运市场占比较低,水运排放因子较低,这里设定2030—2035年水运市场占比固定为30%、民航为0.2%。图2描述了公路货运分担率与总周转量增长率变化对总碳排放量的影响。从图2可以看出,2030年货物周转量增长41%情况下,

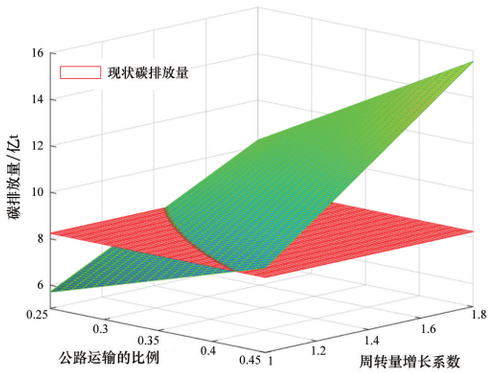


图2 公路货运向铁路转移的效果分析

按现状结构碳排放量将达11.69亿t;要维系陆地运输碳排放量基本不变,公路运输占比应控制在26%。2035年货物周转量增长61%情景下,要实现陆地碳排放量不增的目标,公路运输占比需控制在20%左右。显然,这是一种过于理想的情景。由于公路运输"门到门"的特点以及短距离货物运输需求的客观存在,并不是任何交通结构目标都是可行的。在进行结构调整的同时,还应积极降低公路货物运输自身的碳排放强度,多管齐下,促进交通运输业早日实现碳达峰目标。

图3描述了降低公路运输排放因子对上述2个平衡点的影响。从图3可以看出,2030年公路货运碳排放强度如能从现状的0.119 kg/(t·km)降低到0.084 kg/(t·km),公路分担率平衡点大致在39%,2035年公路排放因子如进一步降低到0.075 kg/(t·km),平衡点大致在35%。

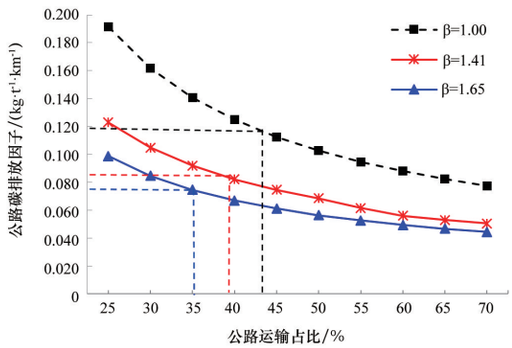


图3 公路运输碳排放因子值变化对市场占比控制值的影响

5 对策与建议

通过上述分析,提出"双碳"目标下中国货运业高质量发展的5条对策与建议。

1)现阶段是中国社会与经济发展的关键时期,交通运输业作为支撑国民经济发展的重要基础设施,其货运需求规模的重要因素是GDP的规模。经验表明,对一定地区来说,单位GDP产生的货运需求规模虽然是一个慢变量,但总体上呈下降态势。中国过去40年的年均增长率为-1.61%,这一趋势与经济仍在粗放型增长阶段的印度不同。这也说明了中国经济发展水平提高后产业布局优化、产业结构升级换代对货运业的影响。从高质量发展角度出发,2035年前应进一步推动产业结构调整升级,在不影响经济增长的前提下降低货运需求总规模。

2)在考虑产业结构优化前提下,中国2030、2035年按周转量测算的货运需求规模可能仍将增加41%和65%;2035年前从交通结构角度促进高排放因子方式向低排放方式转移是促进交通运输行业碳达峰的重要手段。以陆地货物运输为例,在现有排放因子水平条件下,要维持2030年与2035年碳排放量不变,需要将公路运输占比控制到26%与20%,这显然是难以实现的。因此,需要从技术与装备角度同时降低公路货物运输的碳排放水平。研究表明,公路货物运输碳排放因子值如降低30%,上述市场占比控制上限可从26%提高到39%。

3)从控制高排放方式规模的策略看,设施层面的运力配置与市场层面的运输服务水平是相辅相成的。过去40余年中国基础设施已有了巨大发展,2035年铁路网络规模可望达到20万km,较目前增长33%;这将从根本上改变铁路运输部门长期受制于运力的困境,为货物运输业的发展提供了良好的运力支撑条件。下一步,研究提升铁路货运服务水平、强化公铁与海铁联运协作、在运价中以适当方式考虑碳排放成本、出台控制过长距离公路货物运输的政策措施等都是推动中国货运业可持续发展的重要方向。

4)作为国民经济的净碳排放部门,交通运输

行业的减碳是一项复杂的系统工程,它涉及政策引导、技术水平、经营管理与市场机制等诸多方面。部分发达国家通过产业结构与发电结构的调整,基本实现了对工业和电力部门的减碳,但交通运输部门减碳依然任重道远。例如,1991年碳达峰的英国经过多年努力,2016年以后交通行业已成为第一大碳排放部门;美国2007年实现了碳达峰,近年来传统排放大户电力部门的排放已得到较好控制,但交通部门的碳排放控制成效不大,2019年已上升为最大排放行业。德国是气候保护较积极的欧洲国家,1990年实现了碳达峰,其时交通部门碳排放总量(不含农业交通)1.65亿t,1999年交通排放量仍在增长,达到了1.82亿t,2013年仍有1.563亿t(不含国际航空运输与海运)。这表明,各国交通运输领域的碳减排战略的制订对慢变量的技术因素期望较高,而对交通运输系统涉及的社会运行与市场机制的复杂性估计不足。

5)公路运输是各国交通运输行业碳排放的主要部门,占全球交通运输行业总排放的四分之三左右,也是碳减排的难点。近年全球新能源汽车产业发展迅速,2020年销量达到324万辆;欧洲与中国市场占比均超过了40%。这些新能源车辆中99%是适用于客运领域的纯电动与插混动力汽车,对短距离运输可以发挥良好作用;但对中长距离、中重型燃油卡车运输的替代性良策不多。长远看,这需要调整交通运输能源结构[28]。因此,加快中国在燃料电池尤其是氢燃料电池领域的研发对交通运输行业的能源动力结构改善具有重要战略意义。

参考文献(References)

[1] 交通运输部. 2021年交通运输行业发展统计公报[R/OL]. (2022-05-25)[2022-06-10]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202205/t20220524_3656659.html.

[2] 刘建强, 何景华. 交通运输业与国民经济发展的实证研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2002, 2(1): 82-86.

[3] 王庆一. 2020中国能源数据[R]. 北京:绿色创新发展中心, 2021.

[4] 中国汽车技术研究中心. 2020中国汽车低碳行动计划研究报告[R/OL]. [2020-12-07]. http://auto-eaca.com/a/chengguofabunarong/ziliaoxiazai/zhongguoqichedit/2020/0731/367.html.

[5] Ottemöller O, Friedrich H. Opportunities of sectoral freight transport demand modelling[J]. Case Studies on Transport Policy, 2016, 4(1): 9-12.

[6] Yan S Y, Kelly de B, Dennehy E, et al. Climate policies for freight transport: Energy and emission projections through 2050[J]. Transport Policy, 2021, 107: 11-23.

[7] Wang H, Han J Y, Su M, et al. The relationship between freight transport and economic development: A case study of China[J]. Research in Transportation Economics, 2021, 85: 100885.

[8] Sandoval-García E, Matsumoto Y, Sánchez-Partida D. Data and energy efficiency indicators of freight transport sector in Mexico[J]. Case Studies on Transport Policy, 2021, 9(3): 1336-1343.

[9] Simpson Z P, Havenga J H, Witthöft I E, et al. Chapter 4-A methodology for disaggregated freight demand modeling in emerging economies: World Conference on Transport Research Society[M]//Freight Transport Modeling in Emerging Countries. Amsterdam: Elsevier, 2021: 55-84.

[10] Gao Y E, Zhang Y P, Lia H J, et al. Study on the relationship between comprehensive transportation freight index and GDP in China[J]. Procedia Engineering, 2016, 137: 571-580.

[11] Alises A, Vassallo J M. The impact of the structure of the economy on the evolution of road freight transport: A macro analysis from an Input-Output approach[J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14: 2870-2879.

[12] 王庆云, 毛保华. 科技进步对交通运输系统发展的影响[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(6): 1-8.

[13] Llorca M, Jamasb T. Energy efficiency and rebound effect in European road freight transport[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 101: 98-110.

[14] World Bank. World development indicators[EB/OL]. (2022-06-30)[2022-07-12]. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.

[15] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022: 325-326.

[16] Bureau of Transportation Statistics. National transportation statistics[EB/OL]. (2021-11-30) [2022-07-12]. https://www.bts.gov/topics/national-transportation-statistics.

[17] Department for Transport. Statistical data set: Freight (TSGB04)[EB/OL]. (2021-12-16)[2022-07-12]. https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/tsgb04-

freight.

[18] 日本国土交通省. 運輸白書[EB/OL]. (2000-11-18)[2022-07-13]. https://www.mlit.go.jp/hakusyo/transport/index3_.htm.

[19] 日本総務省統計局. 日本統計年鑑[EB/OL]. (2022-02-16)[2022-07-13]. https://www.stat.go.jp/data/nenkan/index2.html.

[20] Eurostat. Databrowser: Transportation category[EB/OL]. (2022-06-28)[2022-07-13]. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/transp?lang=en&display=list&sort=category.

[21] Федеральная служба государственной статистики. Транспорт[EB/OL]. (2022-06-29)[2022-07-13]. https://rosstat.gov.ru/statistics/transport.

[22] Ministry of Road Transport and Highways. Road transport year book[EB/OL]. (2021-06-28)[2022-07-13]. https://morth.nic.in/road-transport-year-books.

[23] World Bank. Air transport, freight (million ton-km)-India[EB/OL]. (2022-06-30)[2022-07-13]. https://data.worldbank.org.cn/indicator/IS.AIR.GOOD.MT.K1.

[24] World Bank. Railways, goods transported (million ton-km)-India[EB/OL]. (2022-06-30)[2022-07-13]. https://data.worldbank.org.cn/indicator/IS.RRS.GOOD.MT.K6?end=2020&locations=IN&start=2000&view=chart.

[25] The United States Environmental Protection Agency. Inventory of U.S. greenhouse gas emission and sinks 1990-2019[R]. Washington D.C.: EPA, 2021.

[26] Greenhouse Gas Inventory Office of Japan(GIO). Japan's GHG emissions data(FY1990-2020)[EB/OL]. (2022-04-19)[2022-07-12]. https://www.nies.go.jp/gio/en/archive/ghgdata/jqjm10000018e3wx-att/L5-7gas_2022_gioweb_ver1.1.xlsx.

[27] European Commission. Transport in figures 2021[EB/OL]. (2021-09-21)[2022-07-12]. https://data.europa.eu/doi/10.2832/27610.

[28] 毛保华, 卢霞, 黄俊生, 等. 碳中和目标下氢能源在中国运输业中的发展路径[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(6): 234-243.

Sustainable development policy for freight transport in China with double carbon taget

MAO Baohua, ZHOU Qi, LI Ninghai, ZHOU Jin, WU Jinyan

Integrated Transport Research Center of China, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract As an important infrastructure to support the operation and the development of the national economy, the transport industry is facing a series of challenges for the high-quality development. This paper first analyzes the current situations of the transport systems under the construction of a transport power of China and the double carbon strategy, and the structures of the freight transport turnover and emissions from the viewpoint of the integrated transportation. Based on the historical development of the economy, the industrial restructuring, the transformation of the transport organization modes and the new technical progress, the paper then predicts the freight transport demand in 2030. The results show the freight transport turnover of China mainland in 2030 is about 20500 billion t-km, excluding the ocean transport. The task of the carbon reduction of the freight transport is advanced, with the experience of developed countries. Finally, five suggestions are put forward, concerning the control of the freight transport demand scale, the reconstruction of the freight transport structure, the transport scheme optimization, the energy systems adjustment and the application of new technologies, to promote the high-quality and sustainable development of the freight transport in China.

Keywords integrated transport; double carbon taget; freight transport structure; transport organization

（责任编辑 王志敏）