

“双碳”战略下高速公路管控转型升级探索应用

高 杰，刘庆斌，孙绍云，宋晓峰

(山东高速云南发展有限公司，昆明 650214)

摘要:为响应国家“双碳”目标,提升交通低碳化服务水平,推动高速公路“低碳”转型,基于国家低碳发展趋势,研究分析国内外“双碳”基本现状以及高速公路碳减排空间,有针对性地提出高速公路服务于国家“双碳”目标的探索应用。

关键词:碳达峰;碳中和;数字化转型;高速公路;“双碳”

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1671—1807(2022)04—0334—06

当前,交通运输业碳排放占国家碳排放总量约 10%,其中公路运输占近 9 成^[1],使用化石燃料为驱动的交通运输工具排放的气候灾性碳占据排放量的主体,也是高速公路碳排放的主要来源以及减排重点。

立足国家低碳发展以及企业社会责任的本质,如何统筹推进高速公路低碳运管,助力实现“双碳”目标是一个亟待解决的系统工程问题。立足上述实际,重点针对高速公路服务于国家“双碳”战略这一课题,进行了探讨与研究。

1 “双碳”基本现状分析及高速公路减排空间

1.1 “双碳”目标时间周期短

数据显示,目前中国是全世界碳排放量最多的国家,其中,2011 年达到了 90 亿 t,2019 年达到了

100 亿 t,2019 年排放量占全球碳排放量的 27.9%^[2],是同期美国排放量的 2 倍、欧盟排放量的 3 倍。

截至 2020 年,全球已经有 54 个国家的碳排放实现达峰、44 个国家和经济体正式宣布“碳中和”目标。从净零排放目标来看,欧盟需要 60 年左右的时间,美国需要 45 年,而中国仅有 30 年,且与欧美等西方国家相比,中国目前尚处于经济上升期,且实现“碳达峰”与“碳中和”的间隔年限较短。基于现有实际,短期内在实现“双碳”目标过程中,面临的能源消费结构转型、产业经济升级、温室气体减排的压力,远比西方国家难度大,实现“双碳”目标任务艰巨、形势严峻。全球主要国家/地区“双碳”时间表见表 1。

表 1 全球主要国家/地区“双碳”时间表

国家	碳达峰时间	国家	碳达峰时间	部分国家/地区碳中和目标
德国	1990 年以前	爱尔兰	2001 年	已实现 苏里南、不丹
俄罗斯	1990 年以前	奥地利	2003 年	
挪威	1990 年以前	澳大利亚	2007 年	已立法 瑞典(2045)、英国(2050)、法国(2050)、丹麦(2050)、新西兰(2050)、匈牙利(2050)
法国	1991 年	加拿大	2007 年	
英国	1991 年	意大利	2007 年	正在立法 欧盟(2050)、西班牙(2050)、智利(2050)、斐济(2050)
瑞典	1993 年	美国	2007 年	
丹麦	1996 年	冰岛	2008 年	政策宣誓 芬兰(2035)、奥地利(2040)、冰岛(2040)、德国(2050)、瑞士(2050)、南非(2050)、中国(2060)
瑞士	2000 年	日本	2013 年	

1.2 能源消费结构属性差异大

气候灾性碳作为人为因素在自然循环中额外引入的增量碳,其主要是由人为燃烧化石能源排放的 CO₂、CH₄、氮氧化合物等温室气体所致,也是引

发全球气候变化的关键因素。经统计,全球约 73% 的碳排放来源于化石能源。中国碳排放主要集中在电热力生产、工业生产以及交通领域。

结合 BP 石油公司的 2020 年全球一次能源消

收稿日期:2021-11-29

作者简介:高杰(1991—),男,安徽安庆人,山东高速云南发展有限公司,硕士,研究方向为国有企业数字化转型、高速公路信息化建设及科技创新。

耗统计数据^[3]，目前中国在能源使用上仍以煤炭及原油为主，化石能源消费占比达到 76.15%，而清洁能源（核能、水电及可再生能源）占比仅有 15.66%；相比其他国家，煤炭的碳排放是美国、欧盟的 5 倍，清洁能源的占比是美国的 1/8、欧盟的 1/5，且与全球的基准水平存在较大差距。

2020 年主要国家能源消费结构如图 1 所示。

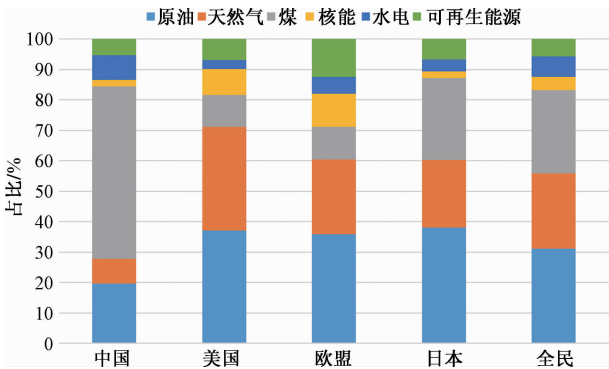


图 1 2020 年主要国家能源消费结构

1.3 配套碳市场起步较晚

碳市场作为碳交易的重要承载，既是促进碳资产流通、激发碳市场配置作用的功能主体，也是国内连接强制交易市场主体碳配额与自愿交易市场主体碳减排的重要纽带。伴随着全球范围内的减排行动不断升级，各国及各经济体根据发展程度及不同发展需求，呈现出各碳排放权交易市场自成体系的发展态势。

国外碳市场发展较早。2005 年，欧盟建立全球首个碳排放权交易系统。截至 2021 年 1 月末，全球共计 24 个运行中的碳市场，覆盖了全球 16% 的温室气体排放，运行范围跨越不同国家区域，对全球 GDP 的覆盖率达到了 54%。目前，相对成熟的碳市场包括欧盟、瑞士、韩国、区域温室气体倡议等国家，2020 年平均的配额价格分别为 28.28、28.28、27.62、7.06 美元^[4]，其中，2020 年欧盟碳交易额占全球碳市场份额达 88%。全球碳交易发展史如图 2 所示。

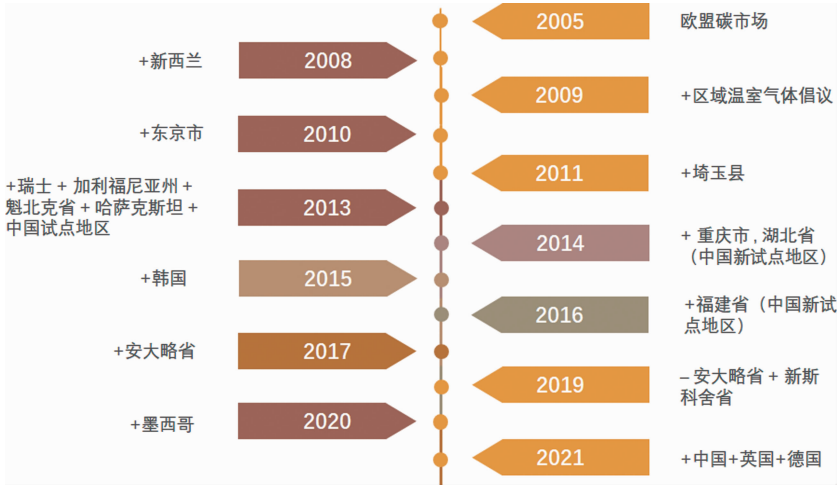


图 2 全球碳交易发展史

与国外碳市场建设情况对比来看，中国尚处于探索阶段、起步较晚。其中，从参与的行业主体来看，中国碳交易市场目前仅有发电行业参与交易，钢铁、有色、化工、石化、建材、造纸以及航空 7 大行业暂未纳入；从碳市场减排项目来看，中国 2002—2011 年主要参与国际清洁发展机制（CDM），2012 年，建立中国核证自愿减排（CCER）抵消机制，2017 年，相关部门决定暂缓 CCER 项目备案申请的审批以对交易办法进行修订，截至目前，CCER 市场处于停滞状态；从碳市场建设来看，2011 年，国家确定在北京、天津等 7 个城市开展碳排放权交易试点工作，2021 年 7 月，全国碳排放权交易市场正式上

线；从配套政策来看，主要集中在碳市场的部分行业试点及整体市场的培育、规范阶段，相关的杠杆工具等尚未使用，例如，“碳税”尚处于理论研究阶段^[5]。全国碳市场建设时间表如图 3 所示。

1.4 高速公路服务“双碳”空间大

1)截至 2020 年，国内燃油车、新能源车、燃气车销量分别占汽车总销量的 94.1%、5.4%、0.5%^[6]，其中，燃气车、新能源车主要应用在出租车、城市公交、城际客车、网约车，日常家用和货运商用占比极小，且通行路径集中分布在市政道路，相比而言，高速公路通行车辆的主体仍是燃油车。

2021 年 1—9 月，新能源车累计销售 215.7 万



图 3 全国碳市场建设时间表

辆,同比累计增长 185.3%,其中,新能源乘用车占比高达 94.8%^[6]。当前,国家政策推动作用下,新能源乘用车的替代效应正在逐步显现,正处于快速发展阶段。

2)当下路网的不断密集以及汽车保有量逐年增加,国家高速公路年平均日交通量和日均行驶量均不断增加,2015—2019 年,年平均日交通量由 2.4 万辆增加至 2.8 万辆^[7],同比增长 17.3%,高速车辆通行体量不断增大。2015—2019 年国家高速公路交通流量如图 4 所示。

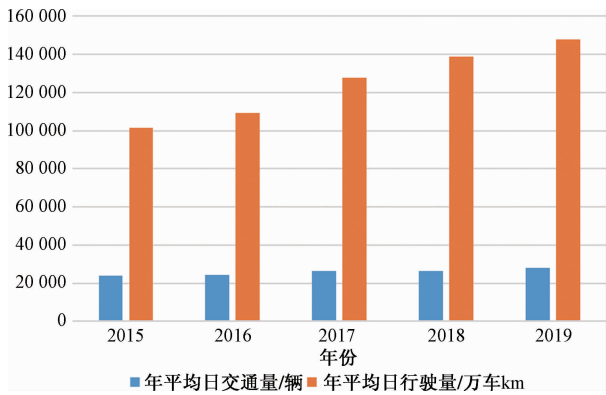


图 4 2015—2019 年国家高速公路交通流量

3)基于国家“五年计划”的角度分析高速公路建设里程,并结合现行《收费公路管理条例》中高速公路收费年限的规定,“十一五”期间以及之前建设的高速公路,即将面临收费到期,考虑前期建设的高速公路多为跨域核心路网禀赋属性以及到期免费情况下的日常管养费用等相关因素,当前主流的方式多为采取改扩建后延长收费年限,由此估算,国内短期内面临改扩建的高速公路约占 46%^[7-8]。

同时,结合各省市“十四五”规划中拟定新改建的高速公路情况,“十四五”“十五五”期间,将面临较大规模及体量的高速建设,且该阶段又处在实现

2030“碳达峰”的关节节点之前,如何统筹在实际建设施工中推进绿色建材的使用,减少道路施工对自然资源损害,切实将高速公路作为新基建的低碳主体,建设低碳化、能耗低、环境污染小的高速公路,其意义和价值重大。高速公路 5 年计划建设里程分析如图 5 所示。

4)随着国家《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》等相关政策的不断出台,已明确提出了推动交通基础设施数字转型、智慧升级等具体工作的目标节点。在政策导向的基础上,高速公路业主单位如何顺应数字化经济发展潮流,平衡好企业数字化转型和经营决策(专项预算)之间的关系,逐步有序推动高速公路智慧化运管、低碳化经营,具有较大的探索发展空间。

2 高速公路服务“双碳”的探索分析

基于上述基本现状分析,从短期看,处理好前期高速公路低碳运管、数字化转型与企业经营压力、资金预算的矛盾,需要一定的政策驱动及引导;从中期看,推动高速公路行业保持“低碳、脱碳”发展,最终要依靠碳市场机制的不断完善;从长期看,强化高速公路行业主体在碳市场上的全产业链发展,核心来自基础学科的研究突破及落地应用,需要不断地进行科技创新。

围绕国家“双碳”目标的战略部署及高速公路行业主体的经营业态、使命责任,本研究具体探索分析了高速公路服务“双碳”目标的实现路径(图 6),以期行业的低碳转型提供参考。

2.1 积极构建企业碳资产管理体系

1)在“碳中和”时代,结合企业的经营业态、资产规模、明确企业的战略定位(图 7),进而有针对性地开展“十四五”双碳专章或发展规划编制工作,并配套提前做好人才、资源的前期储备工作。

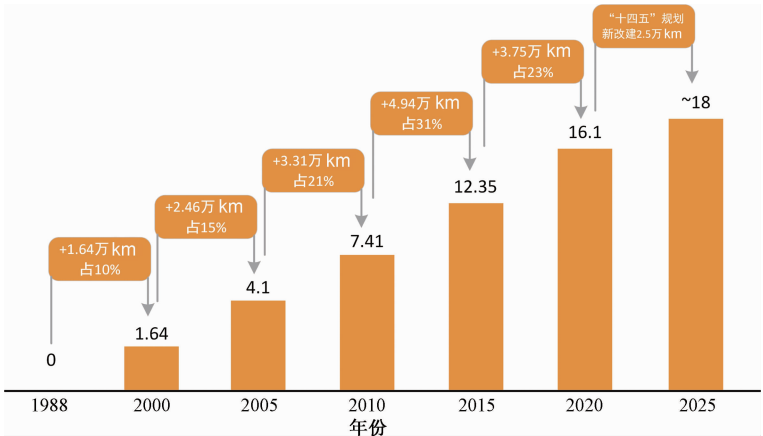


图 5 高速公路 5 年计划建设里程分析



图 6 高速公路服务“双碳”目标路径分析



图 7 企业战略定位

2)根据企业的实际现状,做好自身的碳排放核查工作;同时,根据企业的碳排放情况及其所在区域的碳减排政策,研究行业及区域碳配额分配机制及 CCER 自愿减排抵消机制,为企业的碳资产管理奠定基础。

3)根据企业的战略规划及定位,确定企业碳资产管理架构形式、组织机构及人员配备,制定适合自身发展的“双碳实施路径”,并结合企业采用的交易策略、流程制定企业碳资产相关规章制度,完成企业碳管理体系构建。

2.2 推动绿色节能助力碳中和

1)碳排放监测管理方面,构建企业综合能源管控平台进行能源管理,将高速公路的具体场景纳入监测范围,实时监测企业全线用能情况,实现碳排

放实时监测控制。

2)机电专项提升工程的方案或技术指标制定方面,将“碳排放成本”或“低碳排放标准”统筹纳入考虑,优先制定、甄选一些高性价比的方案,逐步树立“低碳化”的基本导向,引导前期项目设计及具体实施的全过程,倒逼行业供应链全链条的各层的能效优化,减少业主作为链条末端的碳排放量。

例如,招标采购文件中,明确节能低碳的相关技术指标或将低碳相关的解决方案优劣重点作为评标的评分标准;重点依托云服务技术,减少物理隔离的计算或服务中心的建设及资源浪费,将“算力”“服务”等各类应用搬到云上,一方面有效提升资源的利用率,另一方面探索深化应用“东数西算”创新发展模式^[9],逐步转变传统意义上的信息化建设思路,充分发挥东西部地区的资源禀赋,实现节能减排。

3)加快高速公路充电桩配套建设,满足新能源汽车快速发展需求,为新能源车提供充电服务,有效减少车用汽柴油消耗;同时,应用分析 ETC 门架及收费站出入口等行业数据,通过信息化和大数据的监测分析,提前告知车主引导到空闲的充电桩去充电,着力提升用户便捷充电体验。

4)在新建或改扩建项目中,优先推广绿色建材

的使用。例如:使用新材料泡沫铝制成的新型护栏及声屏障,从材料生产源头实现节能减排;应用沥青路面冷再生、温再生等技术,实现路面材料再生利用以及施工用料的节能减排,在高速公路沿线服务区、收费站等地方,集中进行污水处理,实现污水减排^[10]。

2.3 打造数字化转型智能化发展

从高速公路信息化提升服务于“双碳”目标来看,笔者结合多年的行业从业经验,认为应侧重提升高速公路承载力及车辆通行能力,特别是极端天气频发或通行量不均匀系数较高的路段,减少和避免主线拥堵。

1)从不均匀系数维度来看,目前高速公路主要涉及两大类,一是随着城市集群化的建设,部分发达区域的高速公路愈发呈现出“市政道路化”的属性,如京津冀、长三角、珠三角等城市群,市民跨区域上、下班使得高速公路出现早、晚高峰的峰谷场景;二是疫情常态化防控下,法定节假日期间的自驾出行,也使得高速公路通行量呈现峰值。高位通行量情况下,高速公路极易出现交通事故或突发事件,造成车辆拥堵。

基于上述情况并结合长三角区域路段单位试点经验,高速公路路段业主单位可以有效联合路政、交警,一方面依托体制优势和联动机制,另一方面基于信息化提升,系统集成高速公路沿线车道通行指示情报板、匝道与主线交界处红绿灯以及沿线监控视频的事件检测等资源,使得在局部点位拥堵情况下可以通过有效控制匝道及应急车道的启用,缓解主线拥堵。

2)针对极端天气频发路段,在推进高速公路智能化和信息化过程中,应重点关注通行用户的“伴随式服务”,即可以通过网络互联将路段沿线实时的各类监测数据提供给第三方导航终端(如气象信息、视频事件监测信息、路面凝冰/边坡及桥隧监测信息等)或通过车路协同及时将路侧方信息提供给通行车辆,以期弥补现行情况下第三方导航终端数据源单一的弊端,从而为高速通行车辆提供精准的路况信息服务和突发情况下司机必要的应急应变时间,减少一次事故的发生及二次损失的扩大。

3)在日常收费运营及三大系统改造过程中,业主单位要重点区分“支撑型应用”“业务型应用”“创新型应用”的工程界面,合理确定技术方案及其对应的预算列支。一方面避免资金浪费及后续系统不可用性;另一方面可以基于“利旧复用”的思路迭

代式推进提升改造工作,减少试错成本。

例如:基于“去岛化”的理念以及收费机器人规模化应用^[11],实现收费站区的“无人化”,为车乘人员提供低碳智能的快捷服务;基于视频联网上“云”的事件检测预警、高大边坡监测系统及无人机等各类技术手段,形成对高速公路的巡检运管的低碳化。

4)基于高速公路碳减排场景类型多以及可减排量大的基本现状,重点做好收费系统数据与沿线路衍经济业态下其他系统数据的融合,并借助区块链技术,实现数据的“信用化”,确保数据与低碳减排行为及量化减排量之间的映射关联,为后续高速公路交通碳普惠平台的建立以及广大用户个人碳减排、碳中和的实现奠定基础。

2.4 重点做好碳资产的综合开发及运营管理

1)结合地方自然资源禀赋,依托高速路网沿线的资源设施,有针对性地在建筑物屋顶、服务区、道路边坡、沿线 ETC 门架或监控杆位等区域,通过构建分布式光伏或风力发电形成“绿电”,在“自发自用,余电上网”的基础上^[12],逐步改变企业能源消费结构,促进企业绿色用能,发挥低碳优势,减少碳排放,逐步实现“能源结构低碳化、生产运营去碳化”。

2)逐步探索高速公路林业 CCER 项目的开发,尤其是“十三五”期间建设完成和“十四五”期间拟定规划建设的高速公路,通过系统对高速公路中央隔离带、预留带、边坡及服务区等沿线区域内的绿化林木进行 CCER 项目开发,进而形成有效的核证减排量。一方面可以用于企业自身的“碳中和”,潜在提升企业社会形象;另一方面可以参与碳市场的碳交易,作为营业外收入直接“变现”。

3)基于高速公路数字化转型,在部分高速公路机电专项改造提升的同时,依托第三方碳咨询机构,配套进行碳减排新型方法学的开发,进行形成有效的核证减排量。例如,基于高速公路的出入口的 ETC 通行、收费机器人、服务区沿线充电桩等减排场景,将其打造为碳减排示范项目,并依托 CCER 进行减排量申请核证,形成“可持续、可复制”的盈利模式。

4)探索构建碳普惠平台,借助普惠“碳积分”,有效将用户、高速公路业主单位、高速公路沿线其他业态经营单位、低碳行为方式(如使用 ETC 作为高速公路通行介质、采用 ETC 加油或通行车辆为新能源车车辆等)等多维主体有效整合,一方面增加用户黏性,潜在实现“引车上路”,进而推动路衍经济的多业态发展;另一方通过“碳积分”变现的方式,

让公众用户享有“碳普惠”收益,持续推动大众积极参与“双碳”行动。

5)提前做好“碳配额”在交通行业试行的相关准备工作,通过引进第三方碳咨询公司进行碳资产管理咨询服务,帮助企业建立碳资产管理组织架构、制定科学的碳交易及碳金融计划目标,并通过各类碳金融手段(如碳配额与 CCER 现货交易、碳配额与 CCER 置换、碳资产托管、碳资产回购及抵押融资等),来实现碳资产的保值增值。

3 结论和建议

立足国家“双碳”战略发展大局,本文以高速公路为切入点,重点分析了高速公路行业在双碳战略推进方面面临的客观挑战;同时,也多维度细化提出了高速公路服务“双碳”目标的实现路径,以期为行业的低碳转型提供参考,并得出以下结论和建议。

1)从驱动核心要素来看,“双碳”战略的推进目前主要处于政策驱动阶段,资本和市场尚未构建成熟驱动体系,尤其目前全国统一碳市场明确强制纳入碳排放监控的电力、钢铁、有色等八大行业中暂未涉及高速公路行业。

2)从整体全局来看,高速公路行业减排优势明显,可减排空间大,一方面基于我国高速公路已建和规划拟建的基础体量,另一方面来源于中国汽车通行量、保有量。高速公路行业在“双碳”目标导向下的积极探索和工作开展,对于中国短期的“碳达峰”及远期的“碳中和”目标实现作用重大。

3)从价值导向来看,高速公路行业业主单位积极服务于“双碳”战略价值效益巨大。一方面能够基于碳交易市场机制将林业碳汇等闲置的路产资源变现,提升企业经济效益;另一方面,以“低碳、绿色、高效”为基本导向,整合产业链上下游的优势资源,集中在高速公路行业内的数字智慧产业方向上发力,形成有核心竞争力的软硬件产品或行业解决方案,可以潜在推动企业在主业经营基础上的数字

化转型,助力中国路企高质量、可持续发展。

参考文献

[1] 樊曦,叶吴鸣,周圆.“驶”向高质量发展新时代:写在第二届联合国全球可持续交通大会开幕之际[EB/OL]. [2021-10-13]. [http://www. news. cn/world/2021-10-13/c_1127954336. htm](http://www.news.cn/world/2021-10-13/c_1127954336.htm).

[2] 前瞻产业研究院. 2021 年低碳科技白皮书[EB/OL]. [2021-10-19]. [https://mp. weixin. qq. com/s/ Zlg2AYYKIkPu5bNiG8iZ_Q](https://mp.weixin.qq.com/s/Zlg2AYYKIkPu5bNiG8iZ_Q).

[3] BP(英国石油公司). Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition[EB/OL]. [2021-7-8]. [https://www. bp. com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report. pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf).

[4] 国际碳行动伙伴组织(ICAP). 全球碳市场进展 2021 年度报告[EB/OL]. [2021-3-27]. [https://icapcarbonaction. com/zh/? option = com _ attach&-task = download&-id = 739](https://icapcarbonaction.com/zh/?option=com_attach&task=download&id=739).

[5] 李创. 基于 CGE 模型的碳税政策模拟分析[J]. 工业技术经济,2014(1):146-153.

[6] 中国汽车工业协会. 2020 年汽车工业经济运行情况[EB/OL]. [2021-01-13]. [http://www. caam. org. cn/chn/4/ cate_39/con_5232916. html](http://www.caam.org.cn/chn/4/cate_39/con_5232916.html).

[7] 交通运输部. 2013—2020 年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. [2021-05-19]. [https://www. mot. gov. cn/](https://www.mot.gov.cn/).

[8] 交通运输部. 2001—2012 年公路水路交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. [2013-04-23]. [https://www. mot. gov. cn/](https://www.mot.gov.cn/).

[9] 刘庆斌,高杰,孙绍云,等. 高速公路信息化转型及路衍经济发展探讨[J]. 中国交通信息化,2021(9):35-38.

[10] 山东高速集团. 智慧赋能新基建 开启出行新时代:全国最长智慧高速公路建成通车[EB/OL]. [2021. 09. 29]. [https://mp. weixin. qq. com/s/jObFq9q3lSG5rjKJQp1A](https://mp.weixin.qq.com/s/jObFq9q3lSG5rjKJQp1A).

[11] 中国交通信息化. 多省市高速收费站实现智慧化升级[EB/OL]. [2021-11-03]. [https://mp. weixin. qq. com/s/OjbYkwOe3FqUanfFh4HyuA](https://mp.weixin.qq.com/s/OjbYkwOe3FqUanfFh4HyuA).

[12] 崔晓东,戴芳芳,李猛,等. 利用分布式光伏发电进行木材加工企业节能减排的规划和实践[J]. 中国人造板, 2018(4):7-11.

Exploration and Application of Expressway Management and Control Transformation and Upgrading under the “Double Carbon” Strategy

GAO Jie, LIU Qingbin, SUN Shaoyun, SONG Xiaofeng

(Shandong Expressway Yunnan Development Co., Ltd., Kunming 650214, China)

Abstract: In order to make response to the national “double carbon” goal, improve the low-carbon service level of transportation and promote the “low-carbon” transformation of expressway, based on the national low-carbon development trend, the basic situation of “double carbon” at home and abroad and the space for expressway carbon emission reduction was analyzed, and the exploration and application of expressway serving the national “double carbon” goal were put forward.

Keywords: carbon peak; carbon neutralization; digital transformation; expressway; “double carbon”