

中英两国高速公路碳排放核算体系对比分析

梁广泉¹, 丁乐成^{2*}, 徐进³, 任真³, 王伟³, 刘安阳³

(1. 济南应用数学高等研究院, 山东 济南 250100; 2. 剑桥大学, 英国 剑桥 CB2 1TN;

3. 山东高速能源发展有限公司, 山东 济南 250101)

摘要:随着中国在2020年提出“2030年实现碳达峰,2060年实现碳中和”的目标,交通运输行业的节能降碳变得尤为重要。作为老牌工业化国家,英国在交通行业碳减排方面的研究起步较早。该文旨在对比分析中英两国高速公路碳排放核算体系的异同,以探讨各自的政策背景、核算方法及应用效果,从而为中国高速公路碳减排提供相关建议。通过文献分析和案例研究,该文系统梳理了两国在碳排放核算方面的政策框架和实施机制。结果表明:中国侧重于政府主导的规范与监控,通过法律法规和监测体系确保数据的准确性;而英国则采取市场导向的灵活机制,鼓励多方参与和自愿减排。这种差异导致中国在减排目标设定与实施上较为严谨,但缺乏灵活性,而英国在实践中展现出更大的适应能力。基于此,该文提出了以下建议:中国应全面评估核算模块,明确中期减排目标,并将其细化为年度可操作目标;在能源领域推动可再生能源政策,以降低对高排放能源的依赖;在交通领域,继续加大电动车推广,并改善公共交通网络。研究成果可为中国优化高速公路碳排放核算体系提供有益参考,并强调国际合作与知识共享在推动低碳技术创新中的重要性,为未来碳减排政策与实践的改进提供了新的视角。

关键词:绿色公路;碳排放核算体系;碳达峰碳中和;生命周期评价(LCA);低碳技术

中图分类号:U491

文献标志码:A

Comparative Analysis of Highway Carbon Emission Accounting Systems between China and Britain

LIANG Guangquan¹, DING Lecheng^{2*}, XU Jin³, REN Zhen³, WANG Wei³, LIU Anyang³

(1. Jinan Institute of Applied Mathematics, Jinan, Shandong 250100, China; 2. University of Cambridge, Cambridge, CB2 1TN, United Kingdom; 3. Shandong Hi-Speed Energy Development Co., Ltd., Jinan, Shandong 250101, China)

Abstract: With the goal of “achieving carbon peak by 2030 and carbon neutrality by 2060” proposed by China in 2020, energy conservation and carbon reduction in the transportation industry have become particularly important. As an established industrialized country, Britain started its research on carbon emission reduction in the transportation sector relatively early. This paper compared and analyzed the similarities and differences between the highway carbon emission accounting systems of China and Britain, so as to explore their respective policy backgrounds, accounting methods, and application effects and provide relevant suggestions for highway carbon emission reduction in China. Through literature analysis and case studies, the policy frameworks and implementation mechanisms of carbon emission accounting in the two countries were systematically reviewed. The results indicate that China focuses on government-led regulation and monitoring and ensures data accuracy through laws, regulations, and monitoring systems; meanwhile, Britain adopts a market-oriented flexible mechanism to encourage multi-party participation and voluntary emission reduction. This difference leads to China being rigorous in setting and implementing emission reduction targets but lacking flexibility, whereas Britain demonstrates greater adaptability in practice. Based on this, the following suggestions are proposed: China should comprehensively evaluate its accounting modules, clarify medium-term emission reduction targets, and refine them into annual operable targets; renewable energy policies should be promoted in the

收稿日期:2025-04-03 修回日期:2025-11-01

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(编号:ZR2024MA006);2022年度全国统计科学研究项目(编号:2022LY080)

作者简介:梁广泉,男,博士,高级工程师.E-mail:liangguang987654@163.com

*通信作者:丁乐成,男,本科在读.E-mail:122053457@qq.com

energy sector to reduce dependence on high-emission energy; in the transportation sector, the promotion of electric vehicles should be continuously increased, and public transportation networks should be improved. The research results can provide a useful reference for China to optimize the highway carbon emission accounting system, emphasize the importance of international cooperation and knowledge sharing in promoting low-carbon technology innovation, and provide a new perspective for the improvement of future carbon emission reduction policies and practices.

Keywords: green highway; carbon emission accounting system; carbon peak and carbon neutrality; life cycle assessment (LCA); low-carbon technology

0 引言

全球交通领域每年约贡献1/4的二氧化碳(CO₂)排放量,其中道路交通约占75%的份额,成为温室气体排放的主要来源之一。尤其是在快速发展的经济体中,交通运输业的碳排放问题尤为突出^[1]。作为全球碳排放大国,中国交通运输业近年来经历了显著发展,其能源消耗和碳排放量逐年上升,已成为国家能源安全、空气污染和应对气候变化的重要挑战^[2]。2020年数据显示,中国交通运输部门的CO₂排放量为9.3亿t,占全国总排放量的15%,其中道路交通的CO₂排放量高达7.84亿t,显示出该领域为总体排放的主要组成部分^[3]。鉴于此,控制交通运输部门的碳排放对中国实现2030年前碳达峰和2060年前碳中和的战略目标具有重要意义^[4]。与此同时,英国作为气候行动的先锋国家,近年来在交通运输领域,尤其是高速公路碳排放核算方面,建立了相对完善的核算体系^[5]。英国的交通运输碳排放核算体系已在多个层面得到了实践和优化,并通过严格的监管和政策框架有效控制了交通碳排放。特别是其在碳排放核算方法、数据管理和技术创新等方面的经验,为其他国家提供了有益的借鉴^[6]。相比之下,中国的高速公路碳排放核算体系尚处于起步阶段,虽然在减排目标上有明确的政策导向,但在核算标准、数据一致性以及核算工具的应用方面仍有待完善^[7]。

尽管已有部分研究分别探讨了中国和英国在交通运输领域的碳排放核算与控制措施^[8-9],但针对两国高速公路碳排放核算体系的系统性比较研究相对较少。现有研究大多关注某一国家的单一分析,而缺乏跨国比较视角下的系统分析与方法改进。这一研究空白不仅限制了中国在制定高速公路碳减排政策时的国际经验借鉴,也使得全球范围内的碳减排策略协同缺乏实证支持^[10]。

基于此,本文通过对比分析中英两国高速公路碳排放核算体系,探讨其在核算方法、数据应用、政

策实施等方面的异同,进一步揭示两国在实现碳达峰碳中和目标上的策略差异与相互借鉴的可能性。本文通过最新的碳排放数据分析与政策评估,提出有助于中国优化高速公路碳排放核算体系的具体建议,并借鉴英国的成功经验,为中国高速公路领域实现低碳转型提供新的理论支持和实践方向。

1 中国交通运输行业碳排放核算研究现状

1.1 中国交通运输行业碳排放现状

交通运输领域已成为中国温室气体排放增长最快的行业之一,主要依赖化石燃料,清洁能源使用比例仍然较低,导致CO₂排放面临挑战^[11]。当前对化石燃料的高度依赖造成了大量温室气体和污染物的排放,加剧了雾霾、酸雨和温室效应,受到广泛关注。学术界对绿色转型进行了探讨,提出通过提高燃油效率、推广清洁能源等方式,借鉴发达国家经验以推动低碳交通。部分研究认为,应着重提升交通设备和技术的节能减排水平,鼓励使用非化石燃料^[12]。此外,私家车的节能减排也被视为低碳交通研究的重点。为实现交通领域的CO₂排放达峰,建议制定更严格的燃油经济性标准,推广替代燃料和低碳出行方式。随着碳达峰碳中和目标的提出,交通运输面临更大的减排压力,亟须加快节能减碳进程,制定关键措施以实现碳达峰碳中和的发展路径。

近年来,各省份交通运输业CO₂排放量显著增长,东部省(市)的排放量普遍高于其他地区。2020年,广东省、山东省、上海市和江苏省的CO₂排放量最高,东北地区各省(市)年均增速低于中国平均水平。西部部分省份增速较高,东部省(市)虽然增速较低,但排放量仍然较大^[13]。以山东省为例,其交通运输业CO₂排放量从2000年的533万t增至2020年的8370万t,约为排放量最低的青海省的12倍。沿海水路运输的CO₂排放量高于中西部内陆省份,主要因水路运输带动了其他运输子系统的发展。山东省年

均排放增长率最高(15.69%),成为调查省(市)中排放最多的第二大门。从碳排放强度(I_{CEI})空间分布来看,存在明显不平衡。 I_{CEI} 较高的地区主要集中在东北、西北和西南,而河北省、天津市、河南省、江苏省和福建省的 I_{CEI} 相对较低。整体来看,中国交通运输行业 I_{CEI} 呈现出东南低、西北高的格局。西部地区的碳排放强度最高,中部地区最低。2000—2020年间,交通运输领域发展呈现5种状态:弱脱钩、扩张性负脱钩、扩张性耦合、强脱钩和强负脱钩。因经济发展、地理分布和人口规模等因素而异,欠发达省份更容易呈现弱脱钩状态^[14]。

最新的政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告强调将气候(温度)变化控制在1.5℃以内的重要性,提出2030年CO₂排放达到峰值、2060年实现碳中和的目标。中国政府在2020年9月22日的第75届联合国大会上宣布,力争在2030年前实现碳排放峰值,标志着中国进入气候经济新时代,面临机遇与挑战。这将引发一场涉及经济、能源消费和基础设施等领域的绿色革命。此外,中国政府在气候雄心峰会上展示了应对气候变化的决心,对缓解美国退出《巴黎协定》产生重大影响。然而,随着交通需求持续增长,人们对便利性和出行服务的需求也在上升,这使得控制碳排放总量面临较大挑战^[15]。目前,清洁能源尚未广泛应用于交通领域,依赖于技术突破。如果没有积极且持续的减排政策,交通运输业的碳排放可能会成为最大的排放来源。在此背景下,中国的交通运输产业需要全面转型,以实现碳中和目标。政府和相关利益方需共同努力,采取有效措施,推动碳中和目标的实现,使中国在全球气候治理中发挥重要作用^[16]。

1.2 中国交通运输行业碳排放核算方法概述

由于缺乏官方CO₂排放统计数据,中国的许多研究集中在碳排放测量方面。针对道路交通的碳排放,已开发并应用多种测量模型,准确的碳排放测量对于客观评估道路交通对气候变化的影响至关重要^[17]。

“自下而上”分析法广泛用于预测道路交通的能源需求和温室气体排放,能够考虑多个重要因素,如车辆保有量、技术发展、行驶里程、燃油效率以及政策措施等。何南等^[18]利用此模型计算了中国道路运输的历史石油消耗和CO₂排放量,并通过弹性方法预测了未来车辆保有量的趋势;Hao等^[19]同样采用自下而上模型,模拟了乘用车车队的能源消耗和温室气

体排放,并评估了到2050年实现节油和减排的关键措施;Zhang等^[20]使用弹性系数法评估了汽车保有量,并运用LEAP建模工具分析了中国汽车的长期燃料消耗;Wu等^[21]采用Gompertz函数预测未来汽车保有量及中国到2050年的能源需求;Gambhir等^[22]用类似方法计算了中国道路车辆的CO₂排放量,并分析了2010—2050年间的减排途径^[23]。

多元线性回归和分解方法[如IPAT方程、STIRPAT模型、结构分解分析(SDA)和LMDI等]常用于探索污染物(如CO₂、SO₂)排放的驱动因素^[24]。Zhang等^[25]采用STIRPAT模型调查交通运输部门的CO₂排放,发现客运对CO₂排放的贡献更大,而电气化对碳减排潜力的影响更显著;Guo等^[26]使用时段LMDI和时间序列LMDI分析了中国交通CO₂排放的影响因素;Li^[27]测算并分析了锦江、长三角和珠三角地区的交通碳排放结构与驱动因素,研究发现经济福利对碳排放增长的影响最为显著;Wang等^[28]结合LMDI、生产理论分解分析(PDA)和归因分析(AA),探讨了碳强度变化的9个驱动因素;Huang等^[29]结合LMDI、PDA和AA,分析了交通运输部门CO₂强度变化的驱动因素;Hang等^[30]应用LMDI方法对中国SO₂排放驱动因素进行分解分析,发现末端处理强度和能源强度是减少工业SO₂排放的关键因素;Guo等^[31]根据1995—2016年的数据,采用LMDI方法分析了交通运输部门CO₂排放的驱动因素,发现交通运输能源强度和经济效应的增加对CO₂排放有正向贡献;Zhao等^[32]应用乘法LMDI-II方法对发电部门碳强度驱动因素进行分解分析,并使用情景模拟方法对2020年和2030年中国的碳强度进行预测。

2 英国高速公路碳排放核算与碳中和

2.1 英国的气候政策和碳排放目标

2.1.1 英国政府的政策重点

根据英国国家统计局的数据,自1990年以来,英国的总体温室气体(GHG)排放量减少了32%,而同期道路运输的排放量却增加了6%^[33]。目前,道路运输占英国总GHG排放量的20%左右,其中92%的排放来自交通运输部门,尤其是二氧化碳(CO₂),对全球气候变化产生重要影响。英国交通部指出,道路运输是空气污染物的主要来源,包括氮氧化物(NO_x)、颗粒物(PM)和一氧化碳(CO),其在交通污染物排放中贡献高达80%。根据环境食品和农村事

务部(DEFRA)的研究,这些污染物对人类健康和生态系统造成负面影响,尽管排放已显著减少,但在较低水平下,仍可能对人类健康造成损害。

许多研究集中于估算道路运输部门的GHG和空气污染物排放量,以深入了解其环境和健康影响,并推动相关政策的制定。然而,这些研究普遍存在限制,且结果各异,往往与所采用的模型和可用数据相关,同时也受地区或国家的影响。通常,这些排放估算在聚合级别进行,涵盖国家、地区或城市等范围。考虑到次要道路交通相对较少,但在英国,这类道路占整体道路网络的87%,因此传统方法可能导致排放估算不完整。英国政府已规定,到2030年停止销售新的汽油和柴油车辆,并计划到2035年实现所有新车和面包车的尾气排放完全为零。这一政策获得了运输和能源利益相关者的支持,并由2021年地方政府进行的一项研究推动,旨在解决无法使用街边停车场的驾驶员对公共电动汽车充电基础设施的需求。

皇家商务服务(Crown Commercial Service, CCS)的碳减排计划目标是到2050年实现净零排放。该计划明确了CCS在管理和减少业务相关碳排放方面的持续承诺,并设定了关键时间框架。具体来说,该计划在2035年设定了目标,计划在2019、2020年的基准上将GHG排放减少78%。在2019、2020年的基准年度,CCS的GHG排放量为829 791 t^[34]。

2.1.2 英国交通领域碳中和政策及协议

英国政府一直积极采取政策应对碳排放和气候变化。其中,碳定价机制的关键部分是碳价格下限(CPF),旨在为电力部门的碳排放设定最低价格,要求发电商支付每吨二氧化碳的价格。2020年12月,英国政府确认自2021年1月1日起实施英国排放交易体系。同时,政府提出税收排放补贴建议,规定超过特定碳排放阈值的设施将被征税。为确保一致性并减少管理复杂性,建议将税收排放配额与欧盟排放交易体系(ETS)第四阶段的免费配额和目标保持一致。税收配额的计算涉及历史活动数据和碳泄露暴露系数,补贴不可交易且不可结转。

《道路到零排放》(Road to Zero,简称R₂Z)计划旨在逐步淘汰传统化石燃料驱动的道路车辆,这是众多可能产生破坏性影响的交通和能源政策之一。通过建模和前瞻性情景分析,探讨了该计划的潜在影响,包括实现《巴黎协定》的气候目标所需的突破及生活方式变化的作用。汽车排放占英国地面运输

碳排放的60%,因此该行业在后《巴黎协定》行动计划中至关重要。尽管新测试周期数据对碳强度预测乐观,且已商定到2030年新车和货车的二氧化碳排放较2021年水平分别减少37.5%和31%。然而,未来销售的汽车仍将在较长时间内使用化石燃料。

英国政府依据《气候变化法》(Climate Change Act),通过《碳预算法案》(Carbon Budget Act)设立碳预算,包括交通领域,以确保达成减排目标^[35]。气候变化委员会(CCC)依据科学和经济证据,在建议碳预算水平方面发挥关键作用。此外,法案还设定2050年将温室气体排放较1990年水平减少至少80%的长期目标,同时要求政府制定碳预算以实现这一长期目标。

自2009年以来,英国积极推进电动汽车充电基础设施建设。政府在2009年、2011年和2015年发布文件,鼓励电动汽车基础设施发展。2011年发布的《实现连接》(Making the Connection)战略旨在制定支持电动汽车车主和行业的充电基础设施发展框架,以刺激市场增长。尽管英国在2016年投票退出欧盟,但仍有法律义务执行《替代燃料基础设施指令》。2017年10月颁布的法案进一步推动了这一进程,允许政府在必要时进行监管,以提升消费者体验并确保关键战略地点的供应,该方案还要求充电点具备“智能”能力^[36]。

2.2 英国交通行业碳排放核算方法

生命周期方法(Life Cycle Assessment, LCA)被广泛认可为测量碳足迹的可靠国际方法。相关工具和数据集的开发促进了LCA的应用,其中包括国际道路联合会(IRF)开发的道路温室气体排放协调评估和标准化计算器(CHANGER),其目标是测量和基准化全球道路建设的碳足迹。2005年至2007年,纽卡斯尔大学为英国沥青路面开发了LCA模型,考虑了道路养护工程产生的交通排放。研究结果表明:LCA可在英国高速公路项目中评估并优化基础设施的环境影响,从而支持可持续发展和减少碳排放。LCA被定义为对产品系统整个生命周期的输入、输出和潜在环境影响的汇编和评估。采用生命周期分析方法时,需考虑研究系统所涉及的资源,以及其在生命周期内产生的排放或废弃物。LCA遵循逐步迭代程序,分析产品或服务在不同阶段或整个生命周期内的潜在环境影响^[37]。

如图1所示,根据ISO 14040标准,LCA包括四个步骤,形成一种迭代技术,以提高细节水平。第一

步是目标和范围的定义,涉及详细说明研究目的,并描述产品系统的限制和功能单元,以确保研究的清晰性和焦点;第二步是生命周期清单(LCI)阶段,描述系统内所有流程并分配资源和排放。此步骤使用不同工具和方法收集相关信息,确保对系统的全面了解,提升资源和排放分配的准确性;第三步评估清单中资源使用和排放的环境影响,包括之前收集的影响类别和指标,旨在量化各个环境影响,为综合评估提供数据支持;最后一步是解释,从重要性、可变性、质量等角度分析结果,以理解研究结果的含义,提取对环境影响的认知,并考虑研究的目标和范围,提出流程或产品改进或变更建议。整个LCA过程通过这四个步骤,确保了对产品系统整个生命周期的综合分析和评估^[38]。

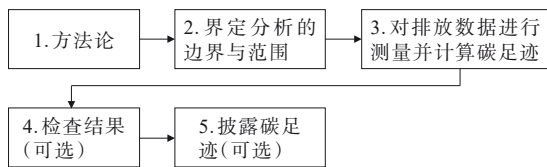


图1 ISO 定义的全局足迹方法方案 (14064: 2006)
Figure 1 Global footprint methodology scheme defined by ISO (14064: 2006)

混合生命周期评估(Hybrid Life Cycle Assessment, 混合LCA)是一种广泛研究产品或过程对环境影响的方法,系统考虑生命周期的不同阶段,包括材料提取、制造/生产、使用和最终处置。该方法通过计算每个输入和输出的环境影响,直接评估产品或过程的总生命周期环境影响。混合LCA主要通过两种方式进行:基于投入产出的LCA和基于过程的LCA。基于经济投入产出的LCA以经济部门之间的交易和资源相互作用为基础,测量全系统资源使用,包括所有相关部门的投入和产出,以作为该部门工业排放的指标。此模型能够识别与现有产品或流程直接相关的排放及与跨部门经济活动相关的排放。相对而言,基于过程的LCA使用明确定义的系统边界来隔离流程,并计算该边界内所有活动的直接排放。此方法要求逐项列出产品或过程生命周期中每个步骤的输入(材料和能源)及输出(排放),从而实现了对系统输入和输出的精确控制。使用两种混合LCA模型来评估建设项目的环境影响。在每个模型中,温室气体被量化为施工作业和材料/燃料使用的函数。每个模型都结合了基于输入/输出和基于过程的LCA模型以及排放计算器。图2概念性展示了混合

LCA 的架构。

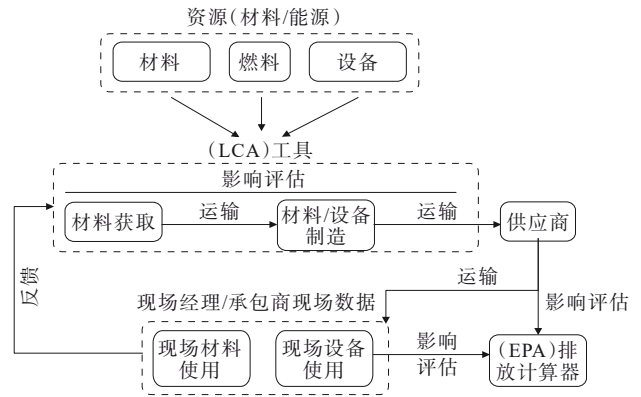


图2 混合生命周期评估模型
Figure 2 Hybrid life cycle assessment model

3 英国现有碳排放核算研究方法

3.1 数据收集方法

在英国,高速公路碳排放数据的收集采用多种技术,包括通过传感器网络和监测设备实时监测车辆数量、类型和行驶状况。交通管理系统和智能交通监控能够获取实时交通流量数据,从而估算车辆的碳排放量。目前,广泛使用一种4层架构框架,包括硬件层、数据存储层、集成层和分析层,具体架构如图3所示。

硬件层作为整个框架的入口点,确保实时数据的捕获,并将其传输到云平台进行聚合。实时传感设备每0.5~1 min推送数据,感知多种污染物并捕获天气数据。尽管自供电能力、边缘计算和板载智能等功能是可选的,但它们并非强制要求。多个网关与云平台的协同工作对数据的存储和传输至关重要,设备存储有助于防止数据丢失。此外,计算机视觉和边缘计算技术可通过在监控设备中嵌入机器学习模型来提升监控效果。相关开发技术包括VHDL、Verilog、FPGA和Arduino等。

数据存储层负责存储污染数据和模型权重。部署的传感设备捕获的读数可立即发送到该层,或临时存储后通过HTTP请求推送。该层确保数据的一致性、安全性和完整性,最好将统一预测服务(UPS)靠近历史污染数据以减少延迟,同时包含训练污染物浓度预测模型所需的权重和参数。由于数据存储层的数据量快速增长,需要借助Hadoop、Spark和Hive等技术,并可通过Apache Kafka或ActiveMQ等数据流框架进行实时监控和警报。

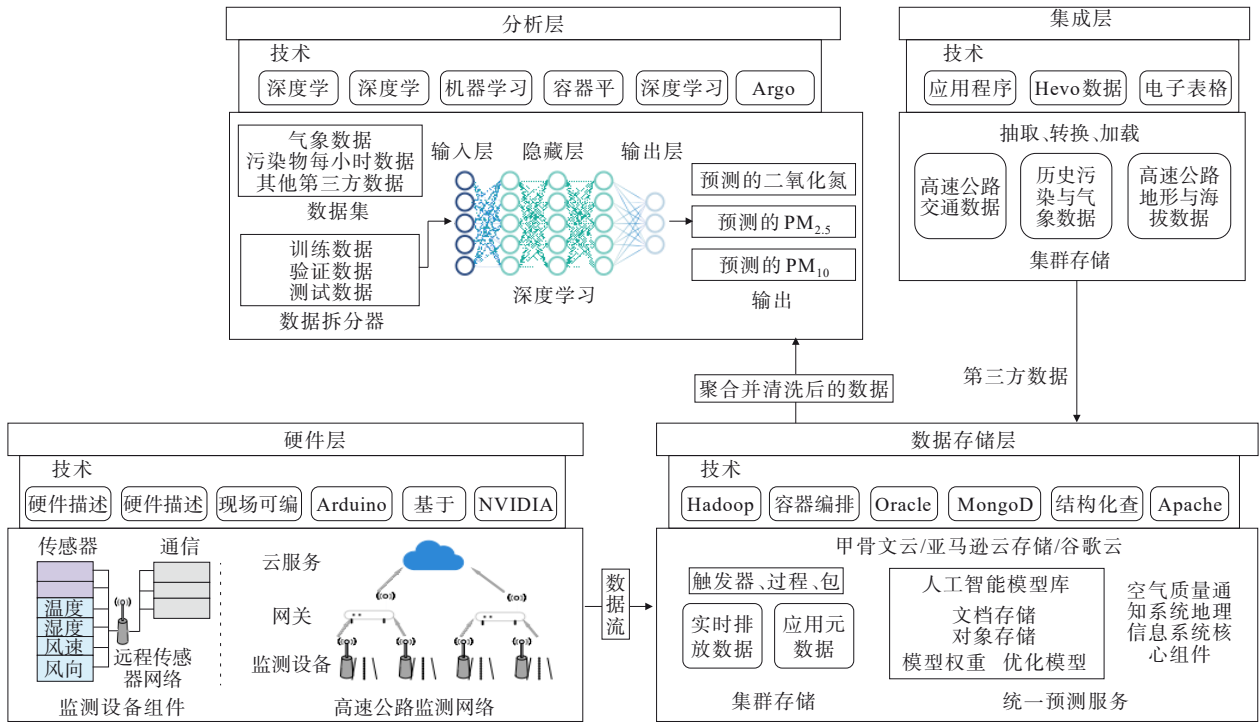


图 3 传感器智能检测收集系统结构

Figure 3 Structure of sensor-based intelligent detection and collection system

集成层用于整合来自第三方的数据,采用提取、转换和加载(ETL)过程处理数据摄取。这些外部数据可能包括其他监测站的污染数据、高速公路地理数据、气象数据和交通数据。该层确保监测设备未捕获的数据能够有效集成,提高模型性能,并将数据存储存储在数据存储层的独立表中以避免混淆。

分析层致力于对历史高速公路污染数据进行分析,以估计未来空气质量。该层从数据存储层提取数据,用于模型训练和验证。训练的初始阶段包括基本的数据预处理步骤,如一致性验证、目标属性转换、特征提取和数据插补等。近年来,MLOps(模型维护)逐渐受到关注,可以在此层实施,以确保模型在生产环境中的稳定性和性能。

3.2 数据处理计算方法

CEEQUAL是由英国土木工程师学会(ICE)开发的工具,用于评估土木基础设施项目在12个领域的可持续性表现,具体权重分配见表1(ICE, 2008)。

CEEQUAL通常在设计和施工结束时完成,当有足够的实证证据支持评分时,通过CEEQUAL测量的道路项目在“能源和碳”部分得分较低。既有研究表明:低碳排放评估采用率较低可能是导致得分不高的原因之一,而且这种评估还有助于在其他一些领域(如材料使用、废物管理、交通等)取得更高分。

表 1 CEEQUAL 权重分配情况

Table 1 CEEQUAL weight distribution

领域	权重/%	领域	权重/%
项目管理	10.9	材料使用	74
能源和碳排放	8.5	对邻居的影响	7.0
生态和生物多样性	8.8	景观	7.4
交通	7.1	水资源和水环境	7.5
用地	7.9	废物管理	6.4
历史环境	6.7	与地方社区和其他利益相关方的关系	6.4

Greenroads是华盛顿大学开发的一种道路设计和施工项目可持续性评级系统,旨在量化道路项目在多个领域的最佳实践(表2)。该评级系统的“项目要求”部分为强制性内容,旨在捕捉可持续性最关键的核心理念。在“自愿积分”组合中,每个项目根据权重分配分值(1~5分)。此外,Greenroads允许在经其批准的情况下创建并使用最多10分的“定制信用”(custom credit)。值得注意的是,生命周期评估(LCA)在“项目要求”和“材料与资源”部分均为强制性内容。无论使用CEEQUAL还是Greenroads,项目的积分值或认证水平均可用于评估新建项目,并作为衡量和管理可持续性的指标,这些指标可以是自愿性的或规定性的,有助于推动整体可持续性表

现的提升。

表2 Greenroads涉及领域情况
Table 2 Fields involved in Greenroads

领域	分值/分	领域	分值/分
施工活动	14	出行和公平	26
定制信用	8	路面技术	14
环境和水资源	18	项目要求	强制性
材料和资源	20		

4 中英两国高速公路碳排放核算分析对比

4.1 中国与英国高速公路碳排放核算方法的比较

4.1.1 英国交通行业碳核算方法

英国采用生命周期分析(LCA)作为评估和优化高速公路基础设施环境影响的核心工具,涵盖项目的整个生命周期,包括规划阶段的材料选择、施工方法、工程设计和土地利用,以及运营阶段的能源效率、交通管理系统和维护修复。LCA的全面性使其能够识别碳排放的主要来源,为项目提供有效的环境管理和可持续发展支持。

潜在生命周期项目规划阶段:通过LCA评估不同设计和建设选项的环境影响,以制定最佳方案。

碳足迹评估阶段:估算项目的整体碳排放量,包括建设和运营阶段,帮助确定主要碳排放来源。

材料选择、施工方法和能源效率:LCA促进选择环保低碳材料和施工方法,评估运营的能源效率,推动节能减排。

4.1.2 中国交通行业碳核算方法

中国在高速公路碳排放领域主要采用多元线性回归和分解方法进行评估,与英国的方法存在显著差异。在缺乏官方CO₂排放统计数据的情况下,中国的研究通常集中于国家层面,主要采用IPAT方程、STIRPAT模型、结构分解分析(SDA)和LMDI等方法进行分析。这些方法虽能分解碳排放的影响因素,但往往忽视了地区之间的差异。尽管中国的研究开始关注地区或省级道路运输的能源需求和温室气体排放,但总体仍缺乏对省际长期趋势和特定道路运输特征的全面描述。

综上所述,尽管两国在评估和降低高速公路碳排放方面存在相似之处,但英国更加注重LCA等全面方法,而中国则依赖于多元线性回归和分解分析。中国可以借鉴英国的LCA经验,特别是在全面评估

高速公路项目方面;而英国则可学习中国在因素分解分析上的做法,尤其是针对具体区域的研究。此外,两国均需关注数据和假设的更新,以确保所采用的方法和模型与最新信息和政策相匹配,从而更有效地制定减排策略。

4.2 中国与英国碳中和策略的对比

4.2.1 碳中和目标与时间表

英国:设定了明确的长期目标,如2050年将碳排放减少80%。此外,还制定了中期目标(例如2030年、2040年的减排目标),并根据这些目标制定具体的碳预算。这为政府和企业提供了清晰的时间表和里程碑,推动碳中和目标的实现。

中国:宣布2030年前碳达峰和2060年实现碳中和的目标。这是重大承诺,但在实现碳达峰和减排方面,具体目标和中期阶段的规划尚不明确。中国需要制定更具体、量化的中期目标,并建立与这些目标相匹配的碳预算体系。

4.2.2 减排政策和措施

英国实施了多项政策和措施,包括《道路零排放》计划、碳预算法案、电动车充电基础设施建设、碳市场和税收政策等。这些措施涵盖了能源、交通和工业等领域,为实现碳中和目标提供了综合性支持。

中国:同样采取了一系列政策来减少碳排放,包括加速清洁能源发展、调整能源消费结构,以及制定碳达峰碳中和目标。然而,中国在交通、工业等领域的减排举措可能需要更多的政策和措施来强化。

4.2.3 国际合作与影响

英国:积极参与国际气候变化合作,与其他国家分享最佳实践和创新技术。英国的碳中和政策在国际气候治理中具有重要影响。

中国:在国际上积极参与气候变化合作,提出碳达峰碳中和目标,并对全球碳减排目标产生重要影响。中国的承诺为全球碳减排目标做出了积极贡献。

5 结论

本文通过系统分析中英两国高速公路碳排放核算体系的异同,探讨了各自的政策背景、核算方法及应用效果,得出以下结论:

(1) 中国的核算体系更侧重于政府主导的政策框架,强调规范与监控,而英国则采取了更灵活的市场导向,注重多方参与和自愿减排机制。这一差异不仅反映了两国在减排目标和策略上的不同取向,还分享了各自的实践经验与教训。

(2) 针对中国的情况,建议借鉴英国在碳排放核算方面的经验,特别是对各个模块的碳排放情况进行全面评估、设立合理减排目标及明确中期目标。中国可以在能源领域学习英国推动可再生能源发展和减少化石燃料使用的政策措施,加速向低碳能源的过渡。同时,在交通领域,借鉴英国的电动车推广计划及公共交通改善措施,将有助于实现更有效的减排。此外,推动碳市场和税收政策的激励性设计、与国际社会合作,以及建立健全的数据收集和报告机制也是提高中国碳排放管理水平的重要举措。这些措施将有助于增强政府和企业的责任感,确保准确监测碳排放情况。

(3) 本研究为中国在高速公路碳排放管理方面提供了宝贵的参考,有助于政策制定者优化碳排放核算体系,以更有效地实现碳减排目标。研究不仅为相关企业制定碳减排策略提供了理论支持,还促进了其在绿色转型方面的实践。该文通过系统梳理与分析,为深入理解中英两国碳排放核算体系的构建与实施提供了新的视角,以助力未来碳减排政策与实践的改进。

参考文献:

References:

- [1] AGENCY I E. World energy Outlook 2020[M]. Paris: OECD Publishing, 2020.
- [2] WANG Q, LIU Y. China's energy consumption and economic growth: A multivariate causality test[J]. Energy Economics, 2018, 30(6): 3077-3094.
- [3] ZHANG X, WANG C. Transport CO₂ emissions in China: A decomposition and policy analysis[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2019, 59: 312-326.
- [4] 国家发展和改革委员会(NDRC). 中国国民经济和社会发展第十四个五年规划[R]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2021.
National Development and Reform Commission (NDRC). China's 14th five-year plan on national economic and social development[R]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2021.
- [5] Department for Transport (DfT), UK. Decarbonising transport: A better, greener Britain[R]. London: Department for Transport, 2021.
- [6] Committee on Climate Change (CCC), UK. Reducing UK emissions: 2020 progress report to parliament[R]. London: Committee on Climate Change, 2020.
- [7] LI J, ZHAO P. Carbon emissions from the transport sector in China: Current status, future trends, and reduction policies[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 112: 1535-1543.
- [8] SMITH A, JONES T. Comparison of transport emission inventories in the EU and China[J]. Environmental Science & Policy, 2021, 98: 134-142.
- [9] LI H, ZHANG Y. Exploring carbon emissions in China's road transport sector[J]. Energy Policy, 2019, 87: 18-23.
- [10] WANG S, ZHANG D. Challenges in achieving carbon neutrality in China's road transport sector: Lessons from global experiences[J]. Nature Energy, 2020, 5: 367-371.
- [11] 刘星悦, 刘银山, 周康. 炼化企业碳排放盘查分析及碳交易方向[J]. 中外能源, 2023, 28(6): 78-83.
LIU Xingyue, LIU Yinshan, ZHOU Kang. Carbon emission inventory analysis and carbon trading direction of refining and petrochemical enterprises[J]. Sino-Global Energy, 2023, 28(6): 78-83.
- [12] 宋国华. “交通+能源”高效耦合支撑低碳交通系统建设[J]. 前沿科学, 2022, 16(2): 56-59.
SONG Guohua. Efficient coupling of “transportation and energy” to support the construction of low-carbon transportation system[J]. Frontier Science, 2022, 16(2): 56-59.
- [13] 田泽, 肖玲颖, 刘超, 等. 中国城镇化对交通运输业碳排放的空间效应研究[J]. 技术经济, 2023, 42(1): 141-153.
TIAN Ze, XIAO Lingying, LIU Chao, et al. Research on the spatial effect of urbanization on the carbon emission of transportation industry in China[J]. Journal of Technology Economics, 2023, 42(1): 141-153.
- [14] SARAH KAPLAN, 左昌. 世界地球日50年来悬而未决的问题: 如何构建一个更具可持续性的世界[J]. 英语文摘, 2020(7): 10-15.
SARAH KAPLAN, ZUO Chang. The unresolved issue of world earth day for 50 years: How to build a more sustainable world[J]. English Digest, 2020 (7): 10-15.
- [15] 魏作标, 夏立爽, 刘志强. 山区高速公路隧道施工碳排放监控技术应用[J]. 公路交通科技, 2022, 39(增刊2): 339-344.
WEI Zuobiao, XIA Lishuang, LIU Zhiqiang. Application of carbon emission monitoring technology in mountain expressway tunnel construction[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2022, 39 (sup 2): 339-344.
- [16] 常征, 宋艳, 姬美臣, 等. 运营车辆碳排放监测和管理体系构建[J]. 中外公路, 2024, 44(4): 255-262.
CHANG Zheng, SONG Yan, JI Meichen, et al. Construction of carbon emission monitoring and management system for commercial vehicles[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2024, 44(4): 255-262.
- [17] 蔡博峰. 中国城市二氧化碳排放研究[J]. 中国能源, 2011, 33(6): 28-32, 47.
CAI Bofeng. Study on carbon dioxide emissions from cities of China[J]. Energy of China, 2011, 33(6): 28-32, 47.
- [18] 何南, 李季涛. 考虑运输方式间影响关系的公路客运交通需求预测[J]. 公路交通科技, 2017, 34(7): 153-158.
HE Nan, LI Jitao. Highway passenger transport demand

- forecasting considering relationship among transport modes[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2017, 34(7): 153-158.
- [19] HAO H, LIU Z W, ZHAO F Q, et al. Scenario analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions from China's passenger vehicles[J]. *Energy*, 2015, 91: 151-159.
- [20] ZHANG Q Y, TIAN W L, ZHENG Y Y, et al. Fuel consumption from vehicles of China until 2030 in energy scenarios[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(11): 6860-6867.
- [21] WU T, ZHANG M B, OU X M. Analysis of future vehicle energy demand in China based on a Gompertz function method and computable general equilibrium model[J]. *Energies*, 2014, 7(11): 7454-7482.
- [22] GAMBHIR A, TSE L K C, TONG D L, et al. Reducing China's road transport sector CO₂ emissions to 2050: Technologies, costs and decomposition analysis[J]. *Applied Energy*, 2015, 157: 905-917.
- [23] 张海涛, 孟良, 吕丽华. 基于LCA的沥青路面设计参数对碳排放的影响[J]. *公路交通科技*, 2018, 35(2): 1-7.
ZHANG Haitao, MENG Liang, LYU Lihua. Influence of asphalt pavement design parameters on carbon emissions based on LCA technology[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2018, 35(2): 1-7.
- [24] 吉兴全, 赵国航, 于一潇, 等. 基于4E平衡的碳排放因素分解与峰值预测方法[J]. *高电压技术*, 2022, 48(7): 2483-2494.
JI Xingquan, ZHAO Guohang, YU Yixiao, et al. Carbon emission peak prediction and factor decompose method based on 4E equilibrium[J]. *High Voltage Engineering*, 2022, 48(7): 2483-2494.
- [25] ZHANG C G, NIAN J. Panel estimation for transport sector CO₂ emissions and its affecting factors: A regional analysis in China[J]. *Energy Policy*, 2013, 63: 918-926.
- [26] GUO B, GENG Y, FRANKE B, et al. Uncovering China's transport CO₂ emission patterns at the regional level[J]. *Energy Policy*, 2014, 74: 134-146.
- [27] LI L N. Structure and influencing factors of CO₂ emissions from transport sector in three major metropolitan regions of China: Estimation and decomposition[J]. *Transportation*, 2019, 46(4): 1245-1269.
- [28] WANG Q W, HANG Y, SU B, et al. Contributions to sector-level carbon intensity change: An integrated decomposition analysis[J]. *Energy Economics*, 2018, 70(1): 12-25.
- [29] HUANG F, ZHOU D Q, WANG Q W, et al. Decomposition and attribution analysis of the transport sector's carbon dioxide intensity change in China[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2019, 119:343-358.
- [30] HANG Y, WANG Q W, WANG Y Z, et al. Industrial SO₂ emissions treatment in China: A temporal-spatial whole process decomposition analysis[J]. *Journal of environmental management*, 2019, 243: 419-434.
- [31] GUO M Y, MENG J. Exploring the driving factors of carbon dioxide emission from transport sector in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 226: 692-705.
- [32] ZHAO Y H, CAO Y, SHI X P, et al. How China's electricity generation sector can achieve its carbon intensity reduction targets? [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 706: 135689.
- [33] 王艳萍, 刘强. 英美规范在沥青路面结构设计中的应用和比较[J]. *中外公路*, 2021, 41(3): 41-47.
WANG Yanping, LIU Qiang. Application and comparison of British and American standards in structural design of asphalt pavement[J]. *Journal of China & Foreign Highway*, 2021, 41(3): 41-47.
- [34] WHABY M, KETAVARAPU G, KOIDE A, et al. Inhibition and degradation of NRAS with a pan-NRAS monobody[J]. *Oncogene*, 2024, 43(48): 3489-3497.
- [35] METCALFE D B. A sink down under[J]. *Nature*, 2014, 509(7502): 566-567.
- [36] 刘夏青, 梁本凡, 丁晓涵. 新绿色贸易壁垒: 欧盟碳边境调节机制对中国纺织服装行业发展的影响[J]. *价格月刊*, 2023(3): 23-31.
LIU Xiaqing, LIANG Benfan, DING Xiaohan. New green trade barriers: The impact of EU carbon border adjustment mechanism on the development of China's textile and garment industry[J]. *Prices Monthly*, 2023(3): 23-31.
- [37] 包含, 王耿, 晏长根, 等. 公路建设碳排放核算与岩土工程低碳措施及碳补偿研究综述[J]. *中国公路学报*, 2025, 38(1): 46-72.
BAO Han, WANG Geng, YAN Changgen, et al. Highway construction carbon emission assessment and low-carbon measures and carbon compensation for geotechnical engineering: A review[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2025, 38(1): 46-72.
- [38] 郑健龙, 陈梦洁, 刘超超. 公路基础设施智能建造发展与展望综述[J]. *中外公路*, 2025, 45(2): 1-20.
ZHENG Jianlong, CHEN Mengjie, LIU Chaochao. Review of intelligent construction development of highway infrastructures and its prospects[J]. *Journal of China & Foreign Highway*, 2025, 45(2): 1-20.