

基于对象—过程—主体分析方法的 区域低碳交通评价研究

陈静¹

(南京交通职业技术学院 交通节能减排中心, 江苏 南京 211188)

【摘要】: 推动节能减排与促进低碳发展已经成为我国发展的重要议题, 建立与低碳交通概念相适应的评价体系, 对于我国低碳建设具有重要意义。运用对象—过程—主体分析方法, 在对象维度考察能源消耗与碳排放; 过程维度考察输入端、循环端和输出端; 主体维度考察政府、交通企业和公众的共同行为。由此构建“对象—过程”维度和“对象—主体”维度 2 个一级指标 13 个子指标的区域低碳交通评价指标体系。在此基础上, 结合模糊数学方法与理想解法, 建立区域低碳交通评价方法。以江苏 2017 年交通发展为例开展评价分析, 形成区域低碳交通政策矩阵, 以为低碳交通管理提供参考。

【关键词】: 评价指标 评价方法 政策矩阵

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)03-038-05

随着我国社会经济的迅速发展, 交通拥堵与环境污染等问题日益突出, 交通碳排放已成为大气污染的主要来源。可见, 推进节能减排与低碳发展已刻不容缓, 建立与低碳交通概念相适应的评价体系, 对于促进我国低碳发展具有重要应用价值。目前, 国内外研究学者大体从两大视角对低碳交通开展评价研究, 一是在低碳交通评价指标及模型研究方面, Haq^[1]、Mccollum & Yang^[2]、陈宽民^[3]、程东祥等^[4]、伍慧和李理^[5]分别从国家、区域与城市等层面开展评价分析; Azadeh 等^[6]、汤云^[7]、陈静等^[8]分别从铁路、公路、水路等不同交通系统开展评价分析。二是在交通碳排放测算模型研究方面, Bose & Srinivasachary^[9]、Eom 等^[10]、Kakouei 等^[11]、贾顺平等^[12]、张秀媛等^[13]通过构建系统仿真、LEAP、全生命周期等模型研究交通运输行业的能源需求及碳排放总量; Guo 等^[14]、Cui & Li^[15]、Fan & Lei^[16]、吴开亚等^[17]、庄颖和夏斌^[18]运用结构分解方法与指数分解法对交通运输业碳排放开展因素分解分析, 提出有效的低碳交通策略。

当前低碳交通评价研究已取得许多有价值的成果, 但也存在一些不足之处, 主要体现在对象、过程和主体三个方面, 在对象方面, 单一关注于能耗与碳排放的总量问题, 未综合考虑规模、公平与效率三个基本要素, 而低碳交通的真正发展则需要达到以上三要素的统一; 在过程方面, 单一地从源头(输入端)或者末端(输出端)开展低碳交通评价, 其管理层面属于被动的应对式管理, 而真正意义的低碳交通管理属于主动的低碳管理, 应从输入端、循环端和输出端三个方面综合评价低碳交通水平; 在主体方面, 单一地从企业或者政府的视角诠释低碳交通, 未将政府、企业和公众三方组织进行互动与合作治理, 共同发展低碳交通。有鉴于此, 本研究基于对象—过程—主体分析模型^[19], 对区域低碳交通评价指标体系与方法开展深入研究, 以江苏为案例区域进行实证分析, 为相关政府部门制定低碳交通管理政策提供理论依据。

1 基于对象—过程—主体分析模型的区域低碳交通评价指标体系

作者简介: 陈静, 博士, 副研究员, 研究方向为交通节能减排。E-mail: chenjing7618@163.com

基金项目: 江苏省社会科学基金自筹经费项目“高质量发展背景下江苏重污染行业绿色治理策略研究”(20GLD009)

针对国内外学者开展低碳交通评价忽视对象、过程和主体的统一,本研究以对象—过程—主体分析模型(图 1)为基础,构建区域低碳交通评价指标体系。如图 1 所示,对象维度主要关注交通运输能源消耗与碳排放;过程维度综合考量输入端、循环端和输出端三个环节,主体维度综合分析政府、交通企业和公众三类组织的交互作用机制。

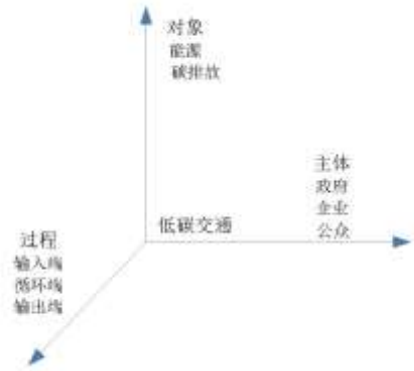


图 1 基于“对象—过程—主体”模型的低碳交通实施框架

(1) 低碳交通的对象分析。

从对象维度看,低碳交通在源头上要使用清洁能源与可再生能源。具体来说,低碳交通首先是交通与环境两个维度上的关系,环境由能源投入与碳排放组成的碳足迹(carbon footprint, CF)表示,交通运输生产量以旅客周转量(货物周转量)表示,则交通运输生产与环境投入的相互关系为“ $周转量=周转量/CF*CF$ ”,其中,“ $周转量/CF$ ”为碳周转率。可看出传统型的交通运输发展主要依赖于高能耗、高排放获得高的运输生产量,以致持续的运输生产超过了碳门槛;然而低碳交通发展要逆转这种现象,则需要减少不可再生能源投入,推动能源结构转型,加大清洁能源和可再生能源投入,提高碳周转率。此外,低碳交通的发展须关注生态规模、生态公平与生态效率三个关键要素,低碳交通政策应符合三条基线,即一是生态规模基线:确定交通运输消耗能源的总体规模即碳排放总量红线;二是生态公平基线:每个人所获得的低碳型运输服务应达到世界人均水平;三是生态效率基线:确定交通运输碳周转率。

(2) 低碳交通的过程分析。

从过程维度看,低碳交通要求从被动式末端管理转型为主动式源头管理。发展低碳交通,要应用运输组织优化、节能降耗技术等措施,促进交通运输过程的能源转化,提高能效。

(3) 低碳交通的主体分析。

在宏观层面,低碳交通发展的主体是政府、交通运输企业与公众。政府重视低碳交通中的生态规模与生态公平,交通运输企业重视生态效率与经济收益,公众则重视低碳交通中的效用获得(交通服务)和生态公平。在微观层面,低碳交通的主体是政府、企业和公众三方组织在低碳交通运行中的交互作用,政府的低碳引导、公众的低碳需求和环境团体的倒逼等是交通运输企业低碳转型的重要基础。

区域低碳交通需解决的关键问题是在不影响区域交通运输服务质量的情况下,尽可能地减少能源消耗和碳排放,因此交通运输能源消耗和碳排放是关键要素,即“对象—过程—主体”模型中的对象是三个维度的核心,过程维度和主体维度将围绕对象维度开展。基于“对象—过程—主体”模型的三维立体结构,将其分解为“对象—过程”和“对象—主体”两个二维关系。因此,

区域低碳交通评价指标体系涉及两大一级指标,分别为“对象—过程”指标和“对象—主体”指标。

从图 2 可知,过程维度的输入端能反映对象维度的生态规模和生态公平,可用区域交通能耗总量指标和人均指标体现;循环端能反映对象维度的生态效率问题,可用区域交通能耗效率指标体现;输出端能反映对象维度的生态规模和生态公平,可用区域交通碳排放总量及其人均指标体现。考虑到能耗指标与碳排放指标存在一定相关性,本文不设置碳排放总量和人均碳排放指标。因此,“对象—过程”维度指标以区域交通能耗总量指标、人均能耗指标和能耗效率指标体现。

主体维度的政府通过政策引导、投资建设低碳交通基础设施,反映生态规模和生态公平,可用低碳交通基础设施规模和相关人均指标体现;企业反映生态效率,可用单位碳排放的旅客周转率和单位碳排放的货物周转率等指标体现;公众通过绿色出行反映生态公平,可用公交分担率等指标来体现。因此,“对象—主体”维度指标以交通基础设施规模及相关人均指标、单位碳排放的旅客周转率及单位碳排放的货物周转率、公交分担率等指标来体现,具体指标如表 1 所示。

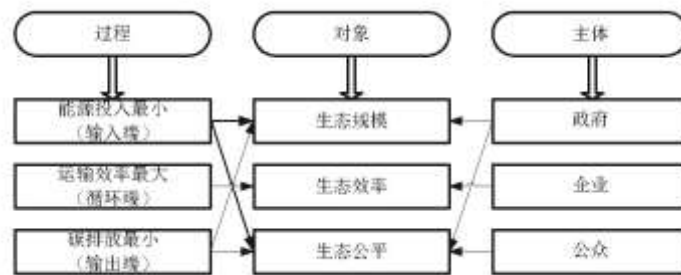


图 2 区域低碳交通的“对象—过程—主体”相互关系

2 区域低碳交通评价方法

区域低碳交通是一个复杂的综合系统,涉及区域范围内的公路、铁路与水路等多个子系统。开展区域低碳交通综合评价大体可采用 3 种类型的方法,分别是经验评价法、数学建模综合评价法与智能评价法。其中,模糊评价方法可解决传统评价方法中存在唯一解的问题,但模糊数学方法中隶属函数的确定是综合评价的关键问题^[20]。因此,本文以模糊评价法为核心思想,运用理想解法确定模糊评价法中的隶属函数,提出区域低碳交通评价方法^[21-22]。评价步骤如下:

(1) 指标集和评价集的确。综合评价指标集设定为: $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_n)$, 评价集为 $P=(P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n)$ 。评价结果设定为优、良、中、合格、差 5 个等级,评分值分别为 1.0、0.8、0.6、0.4、0。

(2) 评价因素权重的确定。通过专家咨询,运用层次分析法确定评价指标权重 w_i , 满足 $\sum_{i=1}^n w_i=1$ 。

(3) 隶属度的确定。首先对指标集进行无量纲化,得到 Y_i^0 。然后确定理想解与负理想解。由 Y_i^0 的最大值与最小值组成理想解向量 U^+ 与负理想解向量 U^- 。理想解 $U^+=[\max u_i]=[u_1^+, u_2^+, u_3^+, \dots, u_i^+, \dots, u_n^+]$, 负理想解 $U^-=[\min u_i]=[u_1^-, u_2^-, u_3^-, \dots, u_i^-, \dots, u_n^-]$ 。计算得到理想解、负理想解的距离 d_i^+ 、 d_i^- 分别是:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (u_i^+ - Y_i^0)^2} \quad (1)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^0 - u_i^-)^2} \quad (2)$$

最后, 计算相对贴近度 F_i 为:

$$F_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (3)$$

根据单项指标得分值 F_i 得到评判矩阵 R_i , 当 $0.8 < F_i < 1$, $R_i = \begin{pmatrix} \frac{F_i - 0.8}{0.2} & \frac{0.8 - F_i}{0.2} & 0 & 0 \end{pmatrix}$; 当 $0.4 < F_i < 0.6$, $R_i = \begin{pmatrix} 0 & \frac{F_i - 0.4}{0.2} & \frac{0.6 - F_i}{0.2} & 0 \end{pmatrix}$; 当 $0 < F_i < 0.4$, $R_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{F_i}{0.4} & \frac{0.4 - F_i}{0.4} \end{pmatrix}$

表 1 区域低碳交通评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标解释	单位
“对象—过程” 维度指标	效率指标	公路运输能耗效率	某区域内公路运输中每亿吨千米机动车的能源消耗量	万吨/亿吨 千米
		水路运输能耗效率	某区域内水路运输中每亿吨千米船舶的能源消耗量	万吨/亿吨 千米
	公平指标	人均能耗	某区域内交通运输能耗强度指标, 反映应有的利用能源的平等权利	吨/人
	总量指标	系统能耗总量	某区域内交通运输能源消耗的总体水平	万吨
“对象—主体” 维度指标	基础设施 指标	公路绿化率	某区域内低碳公路绿化指标, 反映公路建设的生态规模	%
		三级以上航道比重	某区域内低碳水运建设指标, 反映水运建设的生态规模	%
		城市轨道交通运营线路长度	某区域内轨道交通建设指标, 反映城市低碳交通生态规模	千米
		人均养护公路里程	某区域内低碳公路人均指标, 反映公路建设的生态公平	千米/万人
		人均等级航道里程	某区域内低碳水运人均指标, 反映水运建设的生态公平	千米/万人
	人均城市轨道交通运营线路长度	某区域内轨道交通建设人均指标, 反映城市低碳交通生态公平	千米/万人	
运输生产率指标	单位碳排放的旅客周转量(综合客运)	某区域内交通运输企业一定时期内旅客运输工作效率指标, 反映客运企业生态效率	亿人千米/ 万吨	

		单位碳排放的货物周转量(综合货运)	某区域内交通运输企业一定时期内货物运输工作效率指标,反映货运企业生态效率	亿吨千米/万吨
	绿色出行指标	公交分担率	指公众的公共交通出行量占总出行量的比例,反映生态公平程度	%

(4) 确定综合评价矩阵。综合评价矩阵 $R=W_i \cdot R_i$ 。

3 区域低碳交通评价实证

运用所建立的区域低碳交通评价指标与模型,评价江苏 2017 年低碳交通发展水平,计算得出各项指标评判矩阵与综合评价结果,如表 2 所示。

根据隶属度最大的评价原则,表明 2017 年江苏低碳交通发展水平处于“良”等级。其中,“对象—过程”维度指标中总量指标、人均指标与公路运输效率指标处于中等水平。2017 年亿吨千米公路运输能耗为 0.3531 万吨,而亿吨千米水运能耗仅为 0.0430 万吨,可见水路运输较公路运输更为节能低碳。因此,实现低碳交通须重点发展低碳公路运输,要加强宏观组织管理,提高公路运输效益;加强微观运输组织,提高运输服务水平;加强节能技术创新,提高运输能源效率。

“对象—主体”维度指标中“城市轨道交通运营线路长度”及其人均指标、“公交分担率”等表现较不理想。至 2017 年,南京、苏州、无锡已运行轨道交通,总运营里程 584 千米,日均服务 456 万人次,相比北京、上海等一线城市尚有一定差距。公交分担率仅为 24.1%,较 2016 年增长 2.12%。因此,须加快推进公交优先及相关配套政策,大力发展与完善以城市轨道交通为骨干的城市基础交通系统,推进不同公共交通体系之间的无缝衔接。

表 2 区域低碳交通评价指标权重与实证数据

指标	2017 年数据	权重	隶属度				
			优	良	中	合格	差
公路运输能耗效率	0.3531	0.1156	0	0.3017	0.6983	0	0
水路运输能耗效率	0.0430	0.1156	0	0.9213	0.0787	0	0
人均能耗	0.2879	0.1349	0	0.3811	0.6189	0	0
系统能耗总量	2311.91	0.1357	0	0.4187	0.5813	0	0
公路绿化率	92.44	0.0565	0.9021	0.0979	0	0	0
三级以上航道比重	25.79	0.0513	0	0.5672	0.4328	0	0
城市轨道交通运营线路长度	584	0.0595	0	0	0	0.6896	0.3104
人均养护公路里程	19.40	0.0566	0.8013	0.1987	0	0	0
人均等级航道里程	1.0854	0.0506	0	0.7113	0.2887	0	0

人均城市轨道交通运营线路长度	0.0727	0.0519	0	0	0	0.6793	0.3207
单位碳排放的旅客周转量(综合客运)	0.4706	0.0447	0	0.5392	0.4608	0	0
单位碳排放的货物周转量(综合货运)	2.7588	0.0447	0	0.5801	0.4199	0	0
公交分担率	24.1	0.0824	0	0.2621	0.7379	0	0
综合评价结果			0.0963	0.4031	0.3892	0.0763	0.0351

表 3 基于“对象—过程”和“对象—主体”的区域低碳交通政策矩阵

分类	过程/ 主体	政策建议
政策矩阵 1	输入（最小化）	加强能源转换，提高发电及送电效率；优化能源结构，促进新能源的开发利用。
	效率（最大化）	加快推进公路、水路、铁路及城市交通等领域的智慧交通建设；加快推进综合枢纽与换乘中心、高速公路网与普通公路网的衔接设施建设；加快构建江苏甩挂运输网络体系。
	输出（最小化）	强化移动源污染防治，推广降碳设备与技术；加快推进车船油改气工程，严格执行燃油经济性标准和环保标准。
政策矩阵 2	政府	在基础设施、装备结构、运输组织与信息科技等领域，立足规划，通过政策引导，充分发挥政策决策作用。
	企业	车企：在车辆配置、运行及其燃料使用方面，严格执行国家及地方政府的相关法规及标准；加强运输组织优化与甩挂运输。船企：大力推广船型标准化，严格实施油改气政策，推进船舶感知平台建设。路企：普及高速公路不停车收费，推进公路隧道节能与路面材料再生技术的应用，加强可再生能源在公路系统的应用推广。港企：加强机械节能改造、智能调度与生态护坡等节能减排技术推广。
	公众	普通公众：充分利用公共交通与慢行交通等资源，实现绿色出行全民化。有直接利益影响的特殊公众：采用社会调查、座谈、小型会议等方式实现公众参与，表达公众的利益诉求。掌握专业技能的专家学者：开展会议讨论与专家咨询，提高政府决策质量，获得公众的信赖与支持。关心公共服务的社会团体：拓展公众低碳交通的投入深度；降低公众低碳交通的行为成本。大众传媒：探索低碳知识的多维宣传空间；构建公众绿色出行的价值体系。

4 区域低碳交通政策矩阵

基于以上评价结果,反映江苏低碳交通发展较快。但在“对象—过程”维度与“对象—主体”维度存在一些问题。本研究从这两方面入手开展政策矩阵分析,如表 3 所示。(1)政策矩阵 1:基于对象—过程的区域低碳交通政策。对象涉及能源及碳排放两大领域,其过程为能源投入的最小化、能源效率的最大化及碳排放的最小化三个环节。其中,为实现能源投入最小化目标,主要是加强能源转换,优化能源结构。为实现能源效率最大化目标,主要应推广智能交通、加快发展轨道交通等。为实现碳排放最小化目标,主要应推广降碳设备与技术,积极推进车船油改气建设。(2)政策矩阵 2:基于对象—主体的区域低碳交通政策。其主体为政府、交通企业和公众,这三类组织通过三螺旋交互作用,区域低碳交通发展水平持续增长(图 3、图 4)。从图 3、图 4 可以看出,政府与企业间的低碳发展投资、政府与公众间的低碳政策调控、企业与公众间的全民低碳行动,三区联动合作促进区域低碳交通发展。政府作为区域低碳交通宏观管理的主体,立足规划,通过政策引导、顶层设计,推动区域低碳交通发展;企业作为区域低碳交通政策的具体实施者,主要落实交通节能减排工作,是区域低碳交通发展的关键要素;公众作为区域低碳交通发展的具体执行

者,通过绿色出行和低碳交通消费方式,实现区域低碳交通的全民化。

5 结论

(1)根据隶属度最大的评价原则,表明2017年江苏低碳交通发展水平处于“良”等级。但在公路运输与城市交通等方面低碳发展较为薄弱。公路运输能源效率为0.3531万吨/亿吨千米,其能效水平远低于水路运输。在城市交通方面,轨道交通与公交发展较为薄弱。至2017年,南京、苏州、无锡已运行轨道交通,总运营里程584千米,相比北京、上海等一线城市尚有一定差距。



图3 区域低碳交通发展的三螺旋交互模式立体结构图

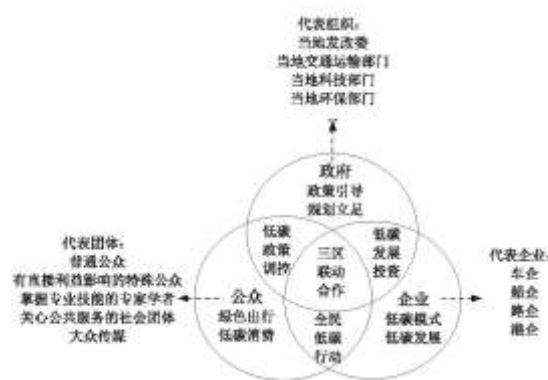


图4 区域低碳交通发展的三螺旋交互模式组织结构

(2)这些年间江苏在公路运输、城市交通两个领域的低碳建设尚需改进,为此本研究在“对象—过程”维度与“对象—主体”维度开展政策矩阵分析。基于对象—过程的低碳交通政策体现在输入最小化、效率最大化和输出最大化。基于对象—主体的低碳交通政策体现在构建“政府、企业和公众”三螺旋交互模式。

参考文献:

[1]Haq G. Towards sustainable transport planning:A comparison between Britain and the Netherlands[M].Aldershot: Averbury Press, 1997.

-
- [2] Mccollum D, Yang C. Achieving deep reductions in US transport greenhouse gas emissions: Scenario analysis and policy implications[J]. *Energy Policy*, 2009, 37(12): 5580-5596.
- [3] 陈宽民. 城市交通系统理论分析与应用[D]. 西安: 长安大学, 2003.
- [4] 程东祥, 陈静, 诸大建, 等. 区域低碳交通评价模型研究[J]. *环境污染与防治*, 2014(12): 91-95.
- [5] 伍慧, 李理. 城市交通绿色低碳发展评价指标研究[J]. *现代交通技术*, 2015(4): 84-88.
- [6] Azadeh A, Ghaderi S F, Izadbakhsh H. Integration of DEA and AHP with computer simulation for railway system improvement and optimization[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2008, 195(2): 775-785.
- [7] 汤云. 基于 DPSIR 模型低碳绿色公路运输发展评价研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [8] 陈静, 张毅, 黄贤金, 等. 基于灰色数据包络分析法的水运低碳竞争力动态评价模型[J]. *环境污染与防治*, 2017(11): 1274-1278.
- [9] Bose R K, Srinivasachary V. Policies to reduce energy use and environmental emissions in the transport sector: A case of Delhi city[J]. *Energy Policy*, 1997, 25: 1137-1150.
- [10] Eom J, Schipper L, Thompson L. We keep on truckin': Trends in freight energy use and carbon emissions in 11 IEA countries[J]. *Energy Policy*, 2012, 45: 327-341.
- [11] Kakouei A, Vatani A, Idris A K B. An estimation of traffic related CO₂ emissions from motor vehicles in the capital city of Iran[J]. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2012, 9: 1-5.
- [12] 贾顺平, 毛保华, 刘爽, 等. 中国交通运输能源消耗水平测算与分析[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2010(1): 22-27.
- [13] 张秀媛, 杨新苗, 闫琰. 城市交通能耗和碳排放统计测算方法研究[J]. *中国软科学*, 2014(6): 142-150.
- [14] Guo B, Geng Y, Franke B, et al. Uncovering China's transport CO₂ emissions patterns at the regional level[J]. *Energy Policy*, 2014, 74: 134-146.
- [15] Cui Q, Li Y. An empirical study on the influencing factors of transportation carbon efficiency: evidences from fifteen countries[J]. *Applied Energy*, 2015, 141: 209-217.
- [16] Fan F Y, Lei Y L. Decomposition analysis of energy-related carbon emissions from the transportation sector in Beijing[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016, 42: 135-145.
- [17] 吴开亚, 何彩虹, 王桂新, 等. 上海市交通能源消费碳排放的测算与分解分析[J]. *经济地理*, 2012(11): 45-51.
- [18] 庄颖, 夏斌. 广东省交通碳排放核算及影响因素分析[J]. *环境科学研究*, 2017(7): 1154-1162.

-
- [19] 诸大建. 可持续性科学:基于对象—过程—主体的分析模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(7):1-9.
- [20] 陈衍泰, 陈国宏, 李美娟. 综合评价方法分类及研究进展[J]. 管理科学学报, 2004(2):69-79.
- [21] 陈静, 林逢春, 曾智超. 企业环境绩效模糊综合评价[J]. 环境污染与防治, 2006(1):37-40.
- [22] 陈静, 陈宁, 诸大建, 等. 基于灰熵理论的城市绿色转型评价模型研究[J]. 城市发展研究, 2012(1):96-102.