文章编号：2097-5899(2025)05-0061-12　　**中图分类号**：U2；F259.2　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202410080001
引用格式：谯熙康，陈斌，黄福友．组态视角下我国低碳物流效率分析及提升路径研究[J]．铁路物流，2025，43(5)：61-72.
QIAO Xikang，CHEN Bin，HUANG Fuyou. Efficiency Analysis and Improvement Path of Low-Carbon Logistics in China from the Perspective of Configuration[J]. Railway Logistics，2025，43(5)：61-72.

组态视角下我国低碳物流效率分析及提升路径研究

谯熙康[1]，陈　斌[1,2]，黄福友[3]

(1. 西华大学 汽车与交通学院，四川 成都　610039；2. 四川交通职业技术学院 公路交通安全四川省高校重点实验室，四川 成都　611130；3. 四川省交通运输发展战略和规划科学研究院 综合所，四川 成都　610041)

摘　要：为探讨低碳背景下我国物流效率的特征及其提升路径，基于2007—2021年我国30个省(区、市)面板数据，采用超效率SBM方法分析了低碳物流效率特征，然后基于宏观环境分析(PEST框架)选择影响因素，从组态视角出发采用fsQCA方法分析了我国物流业高质量发展的提升路径。结果表明：我国低碳物流效率处于中等水平，仍有很大的进步空间，各区域间呈现出显著的不均衡性；此外，低碳物流效率的提升是PEST框架下多个因素共同作用的结果，研究期内有双元驱动、多元驱动和全面发展3种类型共8条提升路径，其中提高经济发展水平、城镇化率、产业结构和R&D经费投入强度对提高低碳物流效率起到至关重要的作用，而以公路运输为主的运输结构不利于低碳物流业发展。最后，根据实证结果提出了针对性建议。

关键词：低碳物流效率；组态视角；PEST框架；fsQCA方法；提升路径

0　引言

近年来，国家提出了高质量发展的战略目标，强调创新、协调、绿色等发展理念。物流业作为国家经济发展的基础性和战略性产业，对国民经济的发展起到至关重要的作用[1]。然而，物流业在推动经济发展的同时排放出大量二氧化碳，对生态环境造成了不容忽视的影响。据测算，2021年我国物流业产生约12.2亿t二氧化碳，是目前二氧化碳排放增长最快的行业之一[2]。为实现物流业高质量发展的要求，国家提出了一系列政策和文件，对物流业高质量发展具有重要指导意义。2020年发布的《关于进一步降低物流成本实施意见》指出，积极推进降低物流成本、提高物流效率至关重要；2022年《“十四五”现代物流发展规划》进一步强调了提高全社会物流运行效率，倡导绿色低碳发展。物流效率作为物流业高质量发展的重要评估指标之一，其效率的高低直接影响着区域经济的发展。因此，在“双碳”目标下，深入剖析我国低碳物流效率及其提升路径具有重要现实意义。

目前，物流效率的相关文献研究主要集中在效率测算和影响因素分析2方面。效率测算方面，研究方法主要采用随机前沿分析(SFA)和数据包络分析(DEA)2类。SFA方法以Liu等[3]、何纪翔等[4]学者为代表，采用随机前沿函数进行效率评测，并且分析出统计误差等对物流效率的影响，但该方法测算过程较为复杂，且只能处理单产出的情况；而DEA能有效处理多投

收稿日期：2024-10-08
通信作者：黄福友(1988—)，男，四川达州人，四川省交通运输发展战略和规划科学研究院综合所高级工程师。
基金项目：四川省重点研发项目(2022YFG0132)

入、多产出指标的情况，应用更为广泛[5]，如李慧等[6]、李杰梅等[7]采用DEA的方法分别对“丝绸之路”沿线9个省份和我国331个地级及以上城市的物流效率进行了测算分析。

影响因素分析方面，主要采用以下3种研究方法。第1类以尹阳等[8]、龚雪[9]、龚雅玲等[10]为代表，将DEA和Tobit回归分析方法相结合，使用Tobit方法分析外部因素对效率的影响，但该方法忽略了不同因素间相互组合对物流效率的影响。第2类是以何景师等[11]、龚瑞风等[12]为代表，将SFA与DEA相结合构建多阶段DEA的分析方法，通过构建回归分析剔除掉影响因素对效率值的影响[13]，但该方法侧重于分析单个影响因素对物流效率的影响。第3类以卢美丽[14]、连文浩等[15]为代表，将DEA与定性比较分析方法(QCA)相结合，从组态的视角出发探讨条件变量和结果变量之间的逻辑关系，分析出物流效率的提升路径。此外在选取影响因素时，部分学者从单一视角切入分析物流效率的影响因素，如赵微[16]、秦雯等[17]从技术层面探讨了科技创新对物流效率的影响；朱文娟[18]、梁雯等[19]从社会层面探讨了城镇化率对物流效率的影响；郭茜等[20]从政策层面分析了“公转铁”策略对低碳物流效率的影响。也有学者关注了不同层面下因素之间联动匹配的问题，如刘小艳等[21]综合考虑社会层面的城镇化率和技术层面的技术创新，认为二者的协同作用更有利于物流业的发展；汪文生等[22]从经济层面的人均GDP和技术层面的R&D经费投入探讨了二者联动对物流效率的影响；张志坚等[23]从经济、社会和技术层面出发，探讨了三者联动对物流效率的影响；李娟等[1]关注了经济、政策和技术层面因素对物流效率的影响。

综上所述，现有对物流效率的测算及影响因素的分析已经取得了丰硕的研究成果。研究表明对物流效率的影响因素众多，但在选取影响因素时较为分散，缺乏从理论上构建相应的分析框架；其次大多数学者采用传统方法建立回归分析探讨提升路径，侧重于分析单个影响因素对物流效率的影响，缺乏分析影响因素与物流效率之间的逻辑关系，忽略了不同因素间相互组合对物流效率的影响，无法识别多重并发因素之间的因果逻辑关系。因此，研究从低碳背景出发，先采用超效率DEA模型对全国、四大区域和30个省市(因香港、澳门、西藏和台湾数据缺失，故暂不考虑)的低碳物流效率进行测算分析，然后基于宏观环境的PEST分析框架(“政策—经济—社会—技术”)和模糊集定性比较分析的fsQCA方法，构建多层面评价指标框架，探讨复杂组态视角下低碳物流行业的提升路径，最后根据实证结果为行业部门制定政策提供参考依据。

1　研究设计

1.1　研究方法

1.1.1　低碳物流效率测算方法—超效率SBM模型

传统DEA模型(BCC，CCR模型)无法处理非期望产出的情况，DEA衍生出的SBM模型无法进一步对有效决策单元(DMU)效率值进行排序，Tone[24]在此基础上提出了超效率SBM模型，核心思想是将每一个省份作为一个DMU，先用SBM模型对每一个DMU进行测算，当测算出的效率值大于1时再用超效率SBM模型对这些DUM进行测算排序，此时模型公式如下。

$$\min\rho=\frac{1+\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}s_i^-/x_{ik}}{1-\frac{1}{q_1+q_2}\left(\sum_{r=1}^{q_1}s_r^+/y_{rk}+\sum_{i=1}^{q_2}s_t^{b-}/b_{rk}\right)}$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum_{j=1,j\neq k}^{n}x_{ij}\lambda_j-s_i^j\leqslant x_{ik}\\ \sum_{j=1,j\neq k}^{n}y_{rj}\lambda_j+s_r^+\geqslant y_{rk}\\ \sum_{j=1,j\neq k}^{n}b_{tj}\lambda_j-s_t^{b-}\leqslant b_{tk}\\ 1-\frac{1}{q_1+q_2}\left(\sum_{r=1}^{q_1}s_r^+/y_{rk}+\sum_{i=1}^{q_2}s_t^{b-}/b_{rk}\right)>0\end{cases}\tag{1}$$

式中：ρ表示测算出的低碳物流效率值，当$\rho<1$时表示DMU存在效率损失，可以通过优化投入、产出量来提高效率值；s_i^-，s_r^+，s_t^{b-}表示第i个投入变量、第r个好的产出变量、第t个不好的产出变量的松弛变量，共有m个投入变量，q_1个好的产出变量，q_2个不好的产出变量；x_{ij}，y_{rj}，b_{tj}表示投入、好的产出和不好的产出变量；λ_j表示权重向量。

1.1.2　提升路径研究方法—模糊集定性分析(fsQCA)

QCA分析方法由Ragin提出[14]，是一种将定性分析和定量分析相结合的方法，基于布尔代数理论和集合理论，找出条件变量和结果变量之间的复杂因果关系，包括清晰集QCA(csQCA)和模糊集QCA(fsQCA)，其中csQCA是fsQCA的特殊情况。研究选用fsQCA方法分析低碳物流效率提升路径的原因包含以下几点：一是低碳背景下物流业的发展并非受到单一因素的影响，而是多种因素共同影响的结果，采用fsQCA能探讨出不同因素的组合对低碳物流效率的影响；二是提

高低碳物流效率的路径有很多，不同因素的组合可能会达到相同的效果，其中每一种组合都是一条路径，采用 fsQCA 能分析出多条提升路径；三是采用 fsQCA 具有因果非对称性的特点，有效避免了传统线性回归中因果关系对称的问题[25]，能更好地解释变量间相互依赖的组态效应。

1.2　评价体系

1.2.1　低碳物流效率测算评价指标及数据来源

由于我国缺乏对物流行业的专门统计数据，研究采用交通运输、仓储和邮政业数据来描述物流业[6-10]。结合国家的区域发展战略，将我国划分为东北、东部、中部和西部四大经济区域，四大区域划分如表 1 所示。选取 2007—2021 年我国 30 个省(区、市)的相关数据作为观测样本，测算分析全国、四大区域和各省份的低碳物流效率，数据来源于国家统计局和《中国能源统计年鉴》。最终建立测评低碳物流效率的投入、产出评价指标体系如表 2 所示。

表1　四大区域划分

Tab. 1　Division of four major regions

四大区域划分	包含省(区、市)
东北区域	辽宁、吉林、黑龙江
东部区域	北京、天津、上海、河北、江苏、浙江、山东、福建、广东、海南
中部区域	山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南
西部区域	四川、陕西、重庆、内蒙古、广西、云南、贵州、新疆、宁夏、新疆、青海

（1）投入指标。人力、物力和财力作为物流业投入的核心要素[26]，选择物流业从业人数、固定资产投资和等级公路里程作为对应投入要素的衡量指标。考虑到高质量发展的战略目标，将物流业消耗的能源同时纳入投入指标体系，由于铁路运输产生的二氧化碳排放量仅占公路运输的 1/10[27]，同时“公转铁”可有效降低碳排放[28]，因此基础设施投入仅选择等级公路里程。其中，能源消耗选取原煤、汽油、煤油等 8 种主要能源并折算为标准煤；固定资产投资采用永续盘存[29]的方法消除不同时期价格不同的影响。

（2）期望产出指标。经济效益和运输规模是物流业产出的核心要素。选取物流业产值和货运量作为产出要素的衡量指标。其中物流业产值采用 GDP 平减指数[29]消除不同时期价格不同的影响，考虑到航空货运量数据缺失，货运量选择铁路、公路和水运货运量之和表示。

（3）非期望产出指标。物流业生产活动中产生的二氧化碳反映了该行业高质量发展的程度。选取二氧化碳排放量作为非期望产出指标。采用“自上而下”[5]的方法估算二氧化碳排放量。

1.2.2　PEST 理论框架

低碳背景下物流业的发展是基于区域政策、经济、社会和技术层面多方因素共同影响的结果，因此寻求一个包含国家政策、经济、社会和技术的综合性分析框架至关重要。PEST 框架是研究某个行业外部环境的分析方法，运用该方法能客观分析出不同环境因素间的互动关系。研究基于 PEST 分析框架，选择 7 个影响因素作为条件变量，将低碳物流效率值作为结果变量，分析探讨物流效率高质量发展的提升路径。由于每个五年规划期有不同的政策制度和规划目标，分别选取 2007—2010 年、2011—2015 年、2016—2020 年相关数据均值为代表，测算并分析“十一五”“十二五”“十三五”时期的提升路径，考虑到 2021 年正处于疫情期间，以这一年的相关数据为代表，测算并分析疫情期间低碳物流效率的提升路径，为促进物流行业绿色转型提供理论支撑与实践指导。

表2　投入、产出评价指标体系

Tab. 2　Evaluation index of input and output

指标类别		指标名称	指标描述	数据来源
投入指标		等级公路里程	投入的基础设施	国家统计局
		从业人数	物流业投入的劳动力	国家统计局
		固定资产投资	物流业投入的财力	国家统计局
		能源消耗	物流业消耗的能源	《中国能源统计年鉴》
产出指标	期望产出	物流业产值	物流业经济效益产出	国家统计局
		货运量	物流业运输规模产出	国家统计局
	非期望产出	二氧化碳排放量	物流业产生的二氧化碳	“自上而下”方法测算得到

第一，政策层面因素(P)。包含对外开放程度[7,10]和政府支持程度[7,11]2个二级条件。对外开放是我国一项基本国策，对物流业的发展起到关键性的作用，开放程度越大的区域物流活动越活跃，对物流效率的影响也越大。政府支持程度为物流业的发展提供了制度保障，是物流业发展的关键驱动力。区域内政府对物流业的支持力度越大，物流业发展越好，效率值越高。

第二，经济层面因素(E)。包含经济发展水平[7,10]1个二级条件。经济发展水平通常能反映该区域的整体经济发展情况。经济发达的区域，物流业基础设施建设完善，为物流活动提供了坚实基础，同时经济发达区域的人才储备、技术应用和创新能力更强，物流效率更高。

第三，社会层面因素(S)。包含运输结构和城镇化率[10]2个二级条件。运输是物流业的主要生产过程之一，而运输结构是运输过程的组织体现，同时也是二氧化碳排放的主要生产过程，研究表明，单位公路货运量的能源消耗是单位铁路货运量的4至5倍，因此，探讨不同运输结构对于推动低碳物流业的发展具有重要意义。城镇化率作为一个国家现代化的标志，反映了区域内人口、资源聚集度，城镇化率越高的区域生产消费活动越活跃，从而影响低碳物流效率。

第四，技术层面因素(T)。包含R&D科研经费投入强度[11]和产业结构[10]2个二级条件。R&D科研经费投入强度是衡量一个区域技术研发能力的重要指标。科学技术作为第一生产力，是推动区域生产力和竞争力提升的关键支柱，同时对于物流业的高质量发展发挥着至关重要的作用。产业结构的优化与升级反映了区域内资源的分配和增长潜力，其合理化和高级化的发展为物流业创造了良好的发展条件。

条件变量、结果变量评价指标体系如表3所示。

2　实证分析

2.1　低碳物流效率分析

运用数学软件测算出2007—2021年各省(区、市)低碳物流效率值如表4所示。为更加形象地展示出我国低碳物流效率的差异情况，将低碳物流效率值划分为3个等级，低于0.4的为普通发展，介于0.4～0.7之间的为中水平发展，高于0.7的为高质量发展。

从表4来看，2007—2021年间我国大部分省份的低碳物流效率值介于0.4～0.7之间，处于中水平发展阶段。其中效率值低于0.4的占比达38.44%，达到有效的比率仅为9.78%，表明低碳背景下我国物流效率低，投入的资源没有得到充分利用，有很大的优化空间。

从省域来看，河北、天津和安徽的低碳物流效率值接近1，远高于全国平均水平。主要原因是这些省(市)的公路建设完善，在资源投入与全国平均水平相当的情况下凭借完善的公路网络，实现了远高于全国平均水平的产出，同时二氧化碳排放量低，因而低碳物流效率高；而黑龙江、新疆和四川低碳物流效率值远低于全国平均水平。主要原因是黑龙江和新疆修建的等级公路里程和全国平均水平相当，但投入的资金缺乏导致产出严重不足，是效率低的主要原因；四川是产出相当的情况下投入过多，投入的资源没有得到充分利用，因此低碳物流效率低。宁夏低碳物流效率值远高于全国平均水平，虽然经济发展缓慢，物流业产出低，但综合来看资源利用好，排放的二氧化碳少，低碳物流效率高。研究期内全国及部分省(区、市)投入、产出量如表5所示。

表3　条件变量、结果变量评价指标体系

Tab. 3　Evaluation index of conditional and outcome variables

变量名称	指标类别	指标名称	指标描述	指标代称
结果变量	—	低碳物流效率值	超效率SBM模型测算得到	Y1
条件变量	政策（P）	对外开放程度	进出口贸易额/GDP	X1
		政府支持程度	地方财政交通运输支出/地方财政一般预算支出	X2
	经济（E）	经济发展水平	GDP/人口	X3
	社会（S）	运输结构	公路货运量/铁路货运量	X4
		城镇化率	城镇人口数量/总人口	X5
	技术（T）	产业结构	第二产业增加值/第三产业增加值	X6
		R&D经费投入强度	R&D经费支出/GDP	X7

表4　2007—2021年各省(区、市)低碳物流效率值

Tab. 4　The low-carbon logistics efficiency in each province from 2007 to 2021 (municipality, autonomous region)

省(区、市)	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
北京	0.30	0.28	0.28	0.31	0.33	0.33	0.33	0.34	0.28	0.29	0.28	0.28	0.29	0.32	0.32
天津	1.13	1.02	1.00	1.00	1.05	0.93	1.03	0.96	0.88	0.89	0.91	0.92	0.89	0.94	1.07
河北	0.60	0.66	1.00	0.85	1.00	1.02	0.93	0.97	1.01	0.93	1.02	1.00	1.00	1.06	1.02
山西	0.66	0.50	0.40	0.42	0.42	0.43	0.40	0.41	0.43	0.43	0.47	0.55	0.53	0.56	0.64
内蒙古	0.41	0.40	0.40	0.40	0.42	0.43	0.43	0.46	0.45	0.52	0.58	0.62	0.58	0.56	0.60
辽宁	0.38	0.36	0.38	0.39	0.42	0.45	0.43	0.44	0.44	0.49	0.49	0.50	0.46	0.44	0.47
吉林	0.35	0.30	0.32	0.34	0.38	0.40	0.34	0.34	0.31	0.31	0.32	0.34	0.29	0.30	0.34
黑龙江	0.31	0.30	0.26	0.27	0.23	0.23	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.19	0.20	0.22
上海	0.61	0.61	0.54	0.61	0.61	0.63	0.59	0.64	0.66	0.66	0.66	0.74	0.76	0.87	1.11
江苏	0.56	0.55	0.59	0.65	0.72	1.02	0.82	1.00	0.69	0.73	0.72	0.73	0.79	0.79	1.05
浙江	0.50	0.46	0.48	0.52	0.52	0.53	0.52	0.53	0.56	0.60	0.65	0.72	0.82	0.73	1.04
安徽	0.66	0.89	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.05	0.85	0.86	0.85	0.91	0.84	0.86	1.05
福建	0.56	0.52	0.52	0.52	0.51	0.53	0.51	0.53	0.52	0.54	0.54	0.53	0.53	0.55	0.55
江西	0.37	0.49	0.49	0.49	0.50	0.59	0.51	0.53	0.50	0.53	0.54	0.58	0.51	0.47	0.57
山东	0.48	1.01	0.65	0.57	0.65	1.01	0.53	0.59	0.63	0.72	1.02	0.86	0.77	0.75	1.08
河南	0.47	0.48	0.53	0.54	0.56	0.63	0.53	0.59	0.58	0.61	0.61	0.74	0.69	0.57	0.68
湖北	0.22	0.25	0.28	0.32	0.33	0.37	0.37	0.40	0.40	0.38	0.40	0.41	0.40	0.33	0.40
湖南	0.47	0.52	0.47	0.48	0.46	0.53	0.47	0.47	0.46	0.46	0.47	0.46	0.40	0.38	0.41
广东	0.41	0.40	0.41	0.42	0.45	0.49	0.60	0.62	0.64	0.82	1.00	1.02	0.77	0.58	1.01
广西	0.32	0.39	0.39	0.44	0.46	0.48	0.49	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.47	0.49	0.51
海南	1.21	0.67	0.59	0.48	0.48	0.50	0.41	0.47	0.44	0.42	0.39	0.37	0.34	0.35	0.43
重庆	0.44	0.45	0.48	0.49	0.51	0.45	0.40	0.41	0.38	0.38	0.37	0.40	0.38	0.37	0.38
四川	0.34	0.32	0.28	0.28	0.31	0.32	0.32	0.29	0.31	0.29	0.28	0.30	0.30	0.26	0.27
贵州	0.34	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.37	0.38	0.35	0.35	0.37	0.38	0.33	0.32	0.34
云南	0.31	0.22	0.23	0.22	0.24	0.27	0.31	0.31	0.32	0.33	0.35	0.37	0.34	0.31	0.36
陕西	0.29	0.33	0.32	0.34	0.37	0.40	0.41	0.42	0.42	0.47	0.48	0.46	0.45	0.49	0.50
甘肃	0.45	0.38	0.37	0.37	0.40	0.43	0.37	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.35
青海	1.03	1.02	0.74	0.64	0.57	0.54	0.44	0.42	0.39	0.35	0.33	0.31	0.26	0.26	0.28
宁夏	1.01	1.05	1.05	1.04	1.02	1.02	0.88	0.82	0.79	0.77	0.69	0.69	0.69	0.71	0.79
新疆	0.28	0.29	0.29	0.28	0.27	0.30	0.27	0.30	0.28	0.28	0.30	0.35	0.32	0.24	0.27
均值	0.52	0.51	0.50	0.50	0.52	0.55	0.51	0.52	0.50	0.51	0.54	0.55	0.52	0.51	0.60

四大区域及全国的低碳物流效率值如图1所示。从图1来看，四大区域之间的低碳物流效率差异显著，从高到低依次为东部、中部、西部和东北区域。其中，东北和西部区域的低碳物流效率低于全国平均水平，中部区域略高于全国平均水平，而东部区域远高于全国平均水平。具体而言，东北区域处于普通发展，中部和西部区域处于中水平发展，而东部区域向高质量发展迈进。

表5　研究期内全国及部分省(区、市)投入、产出量

Tab. 5　Input and output in China and some provinces (municipalities, autonomous regions)

省份(区、市)	投入指标				产出指标		
	等级公路里程/万km	从业人数/万人	固定资产投资/亿元	能源消耗/万t标准煤	物流业产值/亿元	货运量/万t	二氧化碳排放量/万t
河北	16.97	26.49	9 817.23	886.46	11 803.62	195 874.73	1 775.57
天津	1.53	13.69	3 429.08	444.57	544.56	47 577.80	900.60
安徽	17.75	19.72	5 253.86	835.21	1 007.46	317 633.53	1 686.60
黑龙江	12.97	26.06	4 327.73	868.94	323.40	57 418.47	1 890.33
新疆	13.00	14.82	3 555.25	770.98	312.49	64 243.67	1 462.56
四川	25.54	31.97	11 548.52	1 166.66	683.40	154 301.33	2 313.01
全国均值	12.73	25.18	6 403.31	1 052.52	784.45	131 765.33	2 127.57

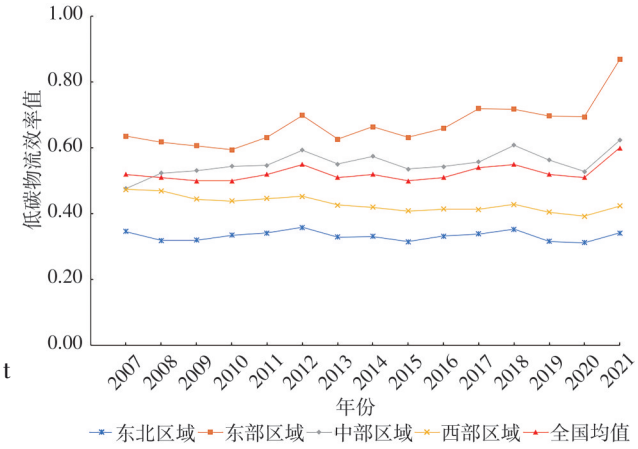


图1　四大区域及全国的低碳物流效率值

Fig.1　The low-carbon logistics efficiency in four regions and China

2.2　提升路径研究

2.2.1　校准

首先，需要对每个条件变量和结果变量进行模糊化处理。将每一个变量视为一个独立的集合，采用四分位法设定3个隶属点来建立隶属关系，参考现有研究[30]，采用直接法将95%作为完全隶属点，50%作为交叉点，0.05%作为完全不隶属点，从而将原始数据集合转换为0到1之间的独立集合。为避免数据校准后数值出现0.5而导致数据缺失的情况，将0.5更改为0.501。

2.2.2　单变量必要性分析

数据校准之后，需要检验各个因变量是否为结果变量的必要条件，即当结果出现时某个因变量始终存在，则该因变量为结果变量的必要条件，从而可以避免该变量在简单解的运算过程中被省略掉的可能。单个变量必要性分析主要从覆盖度和一致性2个检测指标反映[31]，研究表明[32]，当因变量的一致性数值大于0.9时，可以认为该因变量为结果变量的必要性条件。单因素必要性分析结果如表6所示，所有条件的一致性数值均小于0.9，表明低碳背景下物流业的发展不是单一因素的影响，而是多个因素共同影响的结果。

2.2.3　多变量条件组态充分性分析

在进行组态分析之前，通过构建真值表探讨条件变量的组合和结果变量之间的充分性。真值表能反映出不同条件变量之间的所有组合，从而反映出多个变量所构建的条件的充分性。由于案例数属于中小样本案例，将案例频数阈值设置为1，一致性数值和PRI一致性阈值分别设置为0.8和0.7[33]，大于这2个值的结果赋值为1，小于这2个值的结果赋值为0，计算出所有的提升路径。

2.2.4　提升路径组态分析

fsQCA计算出的结果包含简单解、中间解和复杂解3种结果，复杂解考虑了所有可能的组合条件，计算结果较为复杂；简单解尽可能简化条件间的组合，计算结果较为简约；中间解介于复杂解和简单解之间，旨在平衡计算结果的复杂性和解释力，更符合实际情况[31-33]。因此研究以中间解为主，简单解为辅对结果进行分析[34-35]，当中间解和简单解同时出现(缺失)的条件认定为核心条件存在(缺失)，若只有中间解存在(缺失)则为边缘条件存在(缺失)。低碳物流效率的提升路径如表7所示。

由表7可知，研究期间内共有8条提升路径，每条路径的一致性和总体一致性均高于0.8，表明这些路径均为提高低碳物流效率的充分条件组合；各时期提升路径的总体覆盖度分别为0.256，0.258，0.364和0.545，表明“十一五”时期的2条路径解释了25.6%

表6　单因素必要性分析结果

Tab. 6　Necessity analysis of single factor

变量	“十一五”时期		“十二五”时期		“十三五”时期		疫情时期	
	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度
X1	0.68	0.73	0.64	0.72	0.75	0.73	0.74	0.75
~X1	0.57	0.52	0.64	0.55	0.58	0.52	0.56	0.51
X2	0.57	0.57	0.57	0.59	0.46	0.45	0.49	0.52
~X2	0.72	0.70	0.77	0.71	0.82	0.73	0.79	0.71
X3	0.72	0.75	0.71	0.69	0.73	0.74	0.74	0.74
~X3	0.59	0.55	0.60	0.59	0.60	0.52	0.56	0.52
X4	0.55	0.61	0.64	0.62	0.54	0.52	0.56	0.64
~X4	0.62	0.55	0.61	0.60	0.72	0.65	0.67	0.56
X5	0.70	0.74	0.66	0.70	0.74	0.74	0.71	0.74
~X5	0.59	0.55	0.63	0.57	0.61	0.53	0.57	0.52
X6	0.66	0.65	0.64	0.62	0.74	0.66	0.70	0.64
~X6	0.60	0.59	0.64	0.64	0.53	0.52	0.52	0.53
X7	0.66	0.69	0.66	0.71	0.73	0.74	0.70	0.74
~X7	0.64	0.60	0.66	0.59	0.58	0.50	0.57	0.50

注：“~”表示逻辑运算非集，表示变量处于较低水平或变量缺失。

表7　低碳物流效率的提升路径

Tab. 7　The optimization paths of low-carbon logistics efficiency

变量	“十一五”时期		“十二五”时期	“十三五”时期	疫情时期			
	路径1	路径2	路径3	路径4	路径5	路径6	路径7	路径8
X1	•	●	●	●	⊗	•	•	•
X2	⊗	●	⊗	⊗	•	⊗	⊗	⊗
X3	●	●	•	●	●	●	⊗	●
X4	●	⊗	●	⊗	⊗	⊗	⊗	•
X5	●	●	•	●	●	•	●	●
X6		●	●	●	●	⊗	●	●
X7	●	●	•	●		●	●	●
一致性	0.825	0.861	0.945	0.957	0.909	0.943	0.885	0.916
唯一覆盖度	0.042	0.081	0.258	0.364	0.099	0.052	0.016	0.097
原始覆盖度	0.175	0.214	0.258	0.364	0.285	0.287	0.272	0.308
总体覆盖度	0.256		0.258	0.364	0.545			
总体一致性	0.847		0.945	0.957	0.886			

注：●表示核心条件存在；⊗表示核心条件缺失；•表示边缘条件存在；⊗表示边缘条件缺失；空格表示该条件可有可无。

的省份案例，“十二五”时期的1条路径解释了25.8%的省份案例，“十三五”时期的1条路径解释了36.4%省份案例，疫情时期的4条路径覆盖了54.5%的省份案例。结合各提升路径的特征与研究框架，将8条提升路径划分为以下3种类型。

（1）双元驱动型。这一类型提升路径主要是疫情时期的路径6和路径7。

路径6由经济—技术层面因素共同驱动，这一时期核心条件集中在经济发展水平和技术层面的R&D经费投入强度，表明这些因素在推动低碳物流业发展中发挥着至关重要的作用。其中社会层面的运输结构核心条件缺失，表明公路运输不利于低碳物流的发展，铁路运输能有效提高低碳物流效率；政府支持程度和产业结构的缺失，表明这些因素对物流业高质量发展的贡献较小。典型案例有天津和山东，主要集中在东部沿海区域，科技创新水平高，产业结构完善，铁路建设完备，依靠自身区位优势，加大科技创新力度来提高低碳物流效率。

路径7由社会—技术层面因素共同驱动，核心条件集中于社会层面的城镇化率和技术层面的产业结构、R&D经费投入强度，表明这些因素在推动低碳物流效率方面发挥着重要作用。运输结构的缺失，表明公路运输不利于低碳物流的发展，同时政府支持程度和经济发展缺失，表明这些因素对低碳物流业的发展无关紧要。典型案例为辽宁，依靠铁路运输并加大科技创新力度以提高低碳物流效率。

（2）多元驱动型。这一类型主要包括“十一五”时期的路径1、“十二五”时期的路径3和疫情时期的路径5、路径8。

路径1以经济、社会和技术层面因素联合驱动，经济发展水平、运输结构、城镇化率和R&D经费投入强度对推动低碳物流效率的发展起到了关键作用。典型案例为天津、上海，分布在东部沿海区域，经济实力雄厚，城镇化远高于全国平均水平，等级公路建设完善，共同促进低碳物流效率提高。

路径3以政策、社会和技术层面因素联合驱动，对外开放程度、运输结构和产业结构起到了关键作用。典型案例为江苏和山东，位于东部沿海区域，依靠政策优势扩大对外开放程度，并且公路设施建设完善，物流活动以公路运输为主，运输结构分别居全国第3、第11位，此外产业结构逐渐高级化发展，多层因素联合驱动是推动物流业高质量发展的主要原因。

路径5以经济、社会和技术层面因素联合驱动，经济发展水平、城镇化率和产业结构作为核心条件存在，运输结构作为核心条件缺失。典型案例为内蒙古和陕西，以第二产业发展为主，产业结构分别居全国第2、第3位，同时物流运输以铁路运输为主，运输结构分别居全国倒数第2、第5位，主要原因是疫情期间主要依靠第二产业、公路运输，这些因素共同作用是促进物流业高质量发展的主要动力。

路径8以经济、社会和技术层面因素联合驱动，经济发展水平、城镇化率、R&D经费投入强度和产业结构作为核心条件存在，对物流业高质量发展起到至关重要的作用。典型案例有江苏、福建和浙江，经济实力雄厚，人均GDP分别居全国第3、第4和第6位，城镇化率远高于全国平均水平，产业结构逐渐转型升级，技术创新得到持续加强与深化，共同促进低碳物流效率提高。

（3）全面发展型。这类提升路径为“十一五”时期的路径2和“十三五”时期的路径4。

这类路径以政策、经济、社会和技术层面因素联合驱动。浙江为路径2中的典型案例，这一时期浙江积极响应“一带一路”倡议，加快建设世界一流海洋港口，构建“港通四海”的发展格局，率先从全面发展的视角促进物流业提质增效。江苏和山东是路径4的典型案例，在这一时期，得益于东部沿海区域的重要战略地位，经济实力雄厚，城镇化水平和质量稳步提升，科技创新水平显著高于全国平均水平，物流业的高质量发展逐渐向全面发展型路径转变。

综合对比不同的提升路径，经济发展水平、城镇化率、产业结构和R&D经费投入强度对低碳物流效率的影响发挥了重要作用，在8条提升路径中作为核心条件出现了6次及以上，对物流业高质量发展起到了重要作用；而运输结构作为核心条件缺失出现5次，表明公路运输不利于低碳物流业的发展。分时期看，“十一五”时期有2条提升路径，这一时期提升路径以多元驱动型为主，部分沿海省份逐渐由多元驱动型向全面发展型转变。“十二五”时期有1条提升路径，这一时期政策、技术和社会层面的因素发挥了重要作用。“十三五”时期有1条提升路径，依赖前期的基础条件，提升低碳物流效率的策略逐步向更加全面和综合性的发展模式转变。疫情时期，突如其来的疫情对物流业的发展产生了巨大的影响，这一时期有4条提升路径，依托现有的经济基础和完善的铁路设施，多元驱动型提升路径在这一时期占据了主导地位。

2.2.5　稳健性检验

为验证测算结果的稳定性，参考以往研究结果，采用调整一致性数值的方法检验稳定性。将一致性数值由原始的0.8分别调整为0.75和0.85[36]重新测算提升路径。结果显示，测算结果与原始一致性数值为0.8的组态结果保持一致，表明提升路径具有良好的稳定性。

3　结论及建议

3.1　结论

以2007—2021年的数据为样本，采用超效率SBM模型测算并分析了全国、四大区域和30个省(区、市)的低碳物流效率值，然后从组态视角出发，综合考虑政策、经济、社会和技术4个层面的因素构建了PEST框架，采用fsQCA方法分析了“十一五”“十二五”“十三五”3个五年规划期的提升路径，并以2021年的数据为代表，测算并分析了疫情时期我国低碳物流效率的提升路径，得出以下结论。

（1）我国低碳物流效率处于中水平发展阶段，四大区域之间低碳物流效率值差异显著，呈现出由东向西逐级递减的鲜明特点。具体到各省份层面，河北、天津、安徽等省份(市)的低碳物流效率高于全国平均水平，位于第一梯队，黑龙江、新疆、四川等省份(自治区)的低碳物流效率远低于全国平均水平，处于末端。

（2）PEST框架下单个因素均不是提高低碳物流效率的关键，而是多种因素综合作用的结果。整个研究期内有双元驱动型、多元驱动型和全面发展型3种类型8条提升路径。提升低碳物流效率的路径由“十一五”时期的多元驱动型逐渐向“十三五”时期全面发展型转变。疫情时期，我国低碳物流效率的提升路径由经济、社会和技术层面因素驱动。

（3）横向对比分析来看，经济发展水平、城镇化率、产业结构和R&D经费投入强度对提高低碳物流效率发挥了重要作用，以公路运输方式为主的运输结构不利于低碳物流的发展，铁路运输有助于提高低碳物流效率。

3.2　建议

（1）优化资源配置，加强技术创新，促进产业结构合理化与高级化。国家应加强科技创新力度，通过政策引导和市场激励，大力投资高科技产业和创新服务，促进第二产业向技术密集型和科技创新型方向发展，减少第二产业在国民经济中的占比，减少对传统重工业的依赖。

（2）持续优化运输结构，减少公路运输占比。各省份结合自身地区特征和优势，因地制宜，积极采取“公转铁”策略，推动公铁水等多种运输方式的协同发展，充分发挥多式联运的优势。同时，优化运输网络布局，提升关键节点和枢纽的运输能力，实现整体运输结构的均衡和高效。此外，采用绿色、低碳的运输方式，以减少物流运输过程的二氧化碳排放。

（3）优化城镇化水平，提高资源聚集度。科学规划人口、产业和服务设施的聚集度，优化城市交通网络，提升物流基础设施的现代化，加强物流中心与生产、消费地点之间的连接和流通效率，减少物流活动的分散和长途运输。

（4）应因地制宜，走全面发展型路径。考虑到四大区域间低碳物流效率差异明显，国家应注重各省份之间的协调发展，以低碳物流效率高的东部区域辐射全国。同时，各省份结合自身政策导向和实际情况，着力发挥现有经济规模及优势资源，政府部门协助调整规模，有针对性地制定提升策略。此外，加强政策、经济、社会、技术层面不同因素之间的协同整合，加强中、西部区域向东部区域省份交流、学习，逐渐实现全面协调发展。

参考文献：

[1] 李　娟，王琴梅. 我国西部地区物流业发展质量及其影响因素研究：基于物流业效率视角[J]. 北京工业大学学报(社会科学版)，2020，20(2)：82-93.
LI Juan，WANG Qinmei. Research on Logistics Industry Development Quality and Its Constraints in Western China[J]. Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition)，2020，20(2)：82-93.

[2] 姜晓红，陈　莎，张　毅. 物流企业碳排放总量与效率测算方法[J]. 交通运输系统工程与信息，2022，22(2)：313-321.
JIANG Xiaohong，CHEN Sha，ZHANG Yi. Calculation Method of Total Carbon Emission and Efficiency of Logistics Enterprises[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2022，22(2)：313-321.

[3] LIU H W，YANG R L，SHI H J. The Impact of the Platform Economy and Environmental Regulations on the Technical Efficiency of the Express Delivery Industry[J]. International Journal of Logistics Research and Applications，2022，25(4-5)：725-742.

[4] 何纪翔，马晓琳. 物流业要素配置效率及区域异质性：基于SFA模型的实证检验[J]. 商业经济研究，2021(14)：111-114.

[5] 郑　琰，贲宇姝，王康得，等. 物流企业的碳排放效率评价及驱动因素分析[J]. 交通运输系统工程与信息，2023，23(2)：11-21.
ZHENG Yan，BEN Yushu，WANG Kangde，et al. Carbon Emission Efficiency Evaluation and Driving Factors Analysis of Logistics Enterprises[J]. Journal of Transportation Systems

Engineering and Information Technology，2023，23(2)：11−21.

[6] 李　慧，李　玮. 物流业碳排放效率评价及动态演化分析：以“丝绸之路经济带”沿线省区为例[J]. 环境科学与技术，2019，42(3)：165−171.
LI Hui，LI Wei. Carbon Emission Efficiency Evaluation and Dynamic Evolution Analysis of Logistics Industry：Taking the Provinces along the Silk Road Economic Belt as an Example[J]. Environmental Science & Technology，2019，42(3)：165−171.

[7] 李杰梅，祁婧洁，尹　琪，等. 碳排放约束下我国地级及以上城市物流效率研究[J]. 生态经济，2024，40(6)：61−68.
LI Jiemei，QI Jingjie，YIN Qi，et al. A Study of Logistics Efficiency in Prefecture-Level and the above Cities in China under Carbon Emission Constraints[J]. Ecological Economy，2024，40(6)：61−68.

[8] 尹　阳，叶　翀，江文婷. 基于Super−SBM−DEA模型的区域物流效率评价与影响因素[J]. 电子科技大学学报(社科版)，2023，25(4)：103−112.
YIN Yang，YE Chong，JIANG Wenting. Efficiency Evaluation and Influencing Factors of Regional Logistics Industry Based on Super−SBM−DEA Model[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China (Social Sciences Edition)，2023，25(4)：103−112.

[9] 龚　雪. 区域物流效率测度及影响因素分析[J]. 统计与决策，2022，38(12)：112−116.

[10] 龚雅玲，万建香，封福育. 区域物流效率的测度及其影响因素研究：基于DEA与Tobit模型[J]. 江西社会科学，2019，39(10)：72−80.

[11] 何景师，张智勇，叶善椿. 基于三阶段超效率SBM−DEA模型的我国沿海五大城市群低碳物流效率研究[J]. 上海海事大学学报，2023，44(3)：55−63.
HE Jingshi，ZHANG Zhiyong，YE Shanchun. Research on Efficiency of Low-Carbon Logistics in China’s Five Coastal Urban Groups Based on Three-Stage Super-Efficiency SBM−DEA Model[J]. Journal of Shanghai Maritime University，2023，44(3)：55−63.

[12] 龚瑞风，薛　俭，刘汝丽. 中国区域物流效率测度及其时空特征分析[J]. 统计与决策，2022，38(10)：141−145.

[13] FRIED H O，LOVELL C A K，SCHMIDT S S，et al. Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis[J]. Journal of Productivity Analysis，2002，17(1)：157−174.

[14] 卢美丽. 中国物流业效率提升是否有路径显现?基于省级数据的定性比较分析[J]. 商业经济与管理，2020(7)：27−37.
LU Meili. Does the Logistics Industry Efficiency Show Its Way in China? A Qualitative Comparative Analysis of Provincial Data[J]. Journal of Business Economics，2020(7)：27−37.

[15] 连文浩，褚衍昌，严子淳. 中国航空物流业高质量发展效率影响因素组态与路径研究：基于中国31个省份的fsQCA分析[J]. 资源开发与市场，2022，38(12)：1468−1474.
LIAN Wenhao，CHU Yanchang，YAN Zichun. Research on the Configuration and Path of Influencing Factors of High-Quality Development Efficiency of China’s Aviation Logistics Industry：Based on the fsQCA Analysis of 31 Provinces in China[J]. Resource Development & Market，2022，38(12)：1468−1474.

[16] 赵　微. 科技创新对流通业高质量发展的影响：物流效率的中介效应和环境规制的调节效应[J]. 商业经济研究，2023(19)：29−32.

[17] 秦　雯，倪　容. 科技创新对珠江西岸物流产业效率的影响：基于超效率三阶段数据包络分析模型[J]. 科技管理研究，2022，42(20)：89−95.
QIN Wen，NI Rong. Impact of Scientific and Technological Innovation on Logistics Industry Efficiency in the West Bank of the Pearl River：Based on Super-Efficiency Three-Stage DEA Model[J]. Science and Technology Management Research，2022，42(20)：89−95.

[18] 朱文娟. 新型城镇化对我国物流业效率的影响：基于城乡产业融合和流通业集聚的视角[J]. 商业经济研究，2023(8)：85−88.

[19] 梁　雯，顾大超，叶仁慧. 新时代长三角城市群新型城镇化与物流效率协同发展研究[J]. 中州大学学报，2021，38(3)：26−34.
LIANG Wen，GU Dachao，YE Renhui. Research on the Synergistic Development of New Urbanization and Logistics Efficiency in the Yangtze River Delta Urban Agglomerations in the New Era[J]. Journal of Zhongzhou University，2021，38(3)：26−34.

[20] 郭　茜，韩　嵩，李　倩.“公转铁”政策对京津冀绿色物流效率的影响[J]. 中国流通经济，2024，38(3)：45−55.
GUO Qian，HAN Song，LI Qian. The Impact of “Translocation from Road to Railway” Policy on the Green Efficiency of Logistics in Beijing−Tianjin−Hebei[J]. China Business and Market，2024，38(3)：45−55.

[21] 刘小艳，苏　炜，刘景芝. 技术升级与城镇化影响产业结构合理化的机制：以物流业为例[J]. 商业经济研究，2022(10)：186−189.
LIU Xiaoyan，SU Wei，LIU Jingzhi. The Mechanism of Technological Upgrading and Urbanization Affecting the Rationalization of Industrial Structure：Taking the Logistics Industry as an Example[J]. Journal of Commercial Economics，2022(10)：186−189.

[22] 汪文生，考晓璇. 高质量发展视角下环渤海地区物流效率测度研究：基于三阶段DEA模型[J]. 商业研究，2021(4)：75−84.
WANG Wensheng，KAO Xiaoxuan. Research on the Measurement of Logistics Efficiency in the Bohai Rim Region from the Perspective of High-Quality Development：Based on the Three-Stage DEA Model[J]. Commercial Research，2021(4)：75−84.

[23] 张志坚，张　智，万谧宇，等. 高质量发展视角下长江经济带沿线城市物流业效率综合评价：基于3阶段DEA模型[J]. 江西师范大学学报(自然科学版)，2023，47(4)：350−359，367.
ZHANG Zhijian，ZHANG Zhi，WAN Miyu，et al. The Comprehensive Evaluation on Logistics Industry Efficiency in the Cities along the Yangtze River Economic Belt from the Perspective of High-Quality Development：Based on Three-Stage DEA Model[J]. Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science Edition)，2023，47(4)：350−359，367.

[24] TONE K. A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research，2001，130(3)：498−509.

[25] 杜运周，贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA)：管理学研究

的一条新道路[J]. 管理世界，2017，33(6)：155-167.

[26] 杨亚铭，薛旭红，王建新，等. 组态视角下物流业高质量发展效率提升路径研究[J]. 技术与创新管理，2023，44(5)：593-600.
YANG Yaming，XUE Xuhong，WANG Jianxin，et al. Research on the Path of High-Quality Development Efficiency Improvement of Logistics Industry from the Perspective of Configuration[J]. Technology and Innovation Management，2023，44(5)：593-600.

[27] 康　禄. 低碳背景下公铁联运路径优化研究[J]. 铁道货运，2024，42(5)：39-45.
KANG Lu. Route Optimization of Road-Rail Intermodal Transportation under Low Carbon Background[J]. Railway Freight Transport，2024，42(5)：39-45.

[28] 商　霖，梁　巍，李　峰，等. 双碳目标下邯黄通道铁矿石运输方案比选[J]. 铁道货运，2024，42(9)：65-72.
SHANG Lin，LIANG Wei，LI Feng，et al. Comparison of Iron Ore Transportation through Handan-Huanghua Port Corridor under Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals[J]. Railway Freight Transport，2024，42(9)：65-72.

[29] 张　军，吴桂英，张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算：1952—2000[J]. 经济研究，2004，39(10)：35-44.
ZHANG Jun，WU Guiying，ZHANG Jipeng. The Estimation of China's Provincial Capital Stock：1952—2000[J]. Economic Research Journal，2004，39(10)：35-44.

[30] KUSA R，DUDA J，SUDER M. Explaining SME Performance with fsQCA：The Role of Entrepreneurial Orientation，Entrepreneur Motivation，and Opportunity Perception[J]. Journal of Innovation & Knowledge，2021，6(4)：234-245.

[31] 宫晓辰，孙　涛. 节能减排政策工具降低碳强度影响机制研究：基于30省(市、自治区)数据的模糊集定性比较分析[J]. 城市问题，2021(7)：23-32.
GONG Xiaochen，SUN Tao. Study on Effect Mechanism of Policy Instruments for Energy-Saving and Emission-Reduction to Reduce the Carbon Intensity：A Fuzzy-Set Qualitative Comparative Analysis Based on 30 Provincial Jurisdictions[J]. Urban Problems，2021(7)：23-32.

[32] 孙秀梅，闫　肃. TOE框架下资源型城市低碳转型驱动路径：基于我国108个资源型城市的fsQCA研究[J]. 科技进步与对策，2023，40(23)：72-81.
SUN Xiumei，YAN Su. The Driving Path for Low-Carbon Transformation of Resource-Dependent Cities under the TOE Framework：An fsQCA Research Based on 108 Resource-Dependent Cities in China[J]. Science & Technology Progress and Policy，2023，40(23)：72-81.

[33] 陶克涛，张术丹，赵云辉. 什么决定了政府公共卫生治理绩效?基于QCA方法的联动效应研究[J]. 管理世界，2021，37(5)：128-138，156，10.
TAO Ketao，ZHANG Shudan，ZHAO Yunhui. What Does Determine Performance of Government Public Health Governance?A Study on Co-Movement Effect Based on QCA[J]. Journal of Management World，2021，37(5)：128-138，156，10.

[34] 张　旭，田明骏，陈泓竹，等. 高质量发展视域下区域绿色物流的多重并发因果关系与多元路径[J]. 北京交通大学学报(社会科学版)，2024，23(1)：114-124.
ZHANG Xu，TIAN Mingjun，CHEN Hongzhu，et al. Multiple Concurrent Causation and Multiple Paths of Regional Green Logistics in the Context of High-Quality Development[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition)，2024，23(1)：114-124.

[35] 杜运周，刘秋辰，程建青. 什么样的营商环境生态产生城市高创业活跃度?基于制度组态的分析[J]. 管理世界，2020，36(9)：141-155.
DU Yunzhou，LIU Qiuchen，CHENG Jianqing. What Kind of Ecosystem for Doing Business Will Contribute to City-Level High Entrepreneurial Activity? A Research Based on Institutional Configurations[J]. Management World，2020，36(9)：141-155.

[36] 张　明，杜运周. 组织与管理研究中QCA方法的应用：定位、策略和方向[J]. 管理学报，2019，16(9)：1312-1323.
ZHANG Ming，DU Yunzhou. Qualitative Comparative Analysis (QCA)in Management and Organization Research：Position，Tactics，and Directions[J]. Chinese Journal of Management，2019，16(9)：1312-1323.

（责任编辑：魏　然）

Efficiency Analysis and Improvement Path of Low-Carbon Logistics in China from the Perspective of Configuration

QIAO Xikang[1]，CHEN Bin[1,2]，HUANG Fuyou[3]

(1. School of Automobile and Transportation，Xihua University，Chengdu 610039，Sichuan，China；2. Sichuan College Key Laboratory of Road Traffic Safety，Sichuan Vocational and Technical College of Communications，Chengdu 611130，Sichuan，China；3. Comprehensive Research Institute，Institute of Transportation Development Strategy & Planning of Sichuan Province，Chengdu 610041，Sichuan，China)

Abstract: In order to explore the characteristics and improvement path of logistics efficiency in China from a low-carbon perspective，based on the panel data of 30 provinces in China from 2007 to 2021，the super-efficiency SBM method was

used to analyze the characteristics of low-carbon logistics efficiency. According to the macro-environment analysis (PEST) framework, influencing factors were selected, and the fsQCA method was used to analyze the improvement path of high-quality development of the logistics industry in China from the perspective of configuration. The results show that the low-carbon logistics efficiency is at the middle level in China, and there is still a lot of room for improvement, showing a significant imbalance among regions. In addition, the improvement of low-carbon logistics efficiency is the result of the joint action of multiple factors under the PEST framework. During the study period, there are eight improvement paths of dual-drive, multi-drive, and all-round development. The level of economic development, the urbanization rate, the industrial structure, and the R&D expenditure intensity, play a vital role in improving the low-carbon logistics efficiency. However, the highway-oriented transportation structure is not conducive to the development of the low-carbon logistics industry. Finally, some suggestions are provided according to the empirical results.
Keywords: Low-Carbon Logistics Efficiency; Configuration Perspective; PEST Framework; FsQCA Method; Improvement Path

（上接第60页）

Risk Assessment for Heavy-Haul Railway Contact Lines Based on Causal Bayesian Network

ZHAO Guozhi[1], WANG Zhenlin[2], YAN Long[2], ZHANG Jingxiang[3], GAO Wei[4], LI Qingbo[5], CAI Lili[6]

(1. Shaanxi Railway and Logistics Industry Group Co, Ltd., Xi'an 710000, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Jingshen Railway Co., Ltd., Yulin 719000, Shaanxi, China; 3. Enterprise Management and Planning Department, Shaanxi Jingshen Railway Co., Ltd., Yulin 719000, Shaanxi, China; 4. Mengjiawan Maintenance Workshop, Shaanxi Jingshen Railway Co., Ltd., Yulin 719000, Shaanxi, China; 5. Ningtiaota Workshop, Shaanxi Jingshen Railway Co., Ltd., Yulin 719000, Shaanxi, China; 6. Transport Command and Information Technology Research Institute, CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: This paper proposed an assessment model for heavy-haul contact lines based on the causal Bayesian network to solve the problem that existing studies have not fully considered the complex causal relationship between risk factors and consequences. Firstly, risk factors such as climatic conditions, vehicle loads, and equipment failures were identified via historical data analysis. Then, a causal network for risk propagation was constructed by combining the contact line fault tree and the failure mode and effect analysis (FMEA) method to clarify the conditional probability relationship between the risk factors. Additionally, reverse inference was carried out by adopting the Bayesian network to identify key risk nodes and causal chains. Finally, the risk was evaluated based on the actual operation data. The results show that the proposed method can not only analyze the direct risk effect, but also reveal the potential causal paths, thus improving the assessment accuracy and reliability, and providing references for railway operation and maintenance.
Keywords: Heavy-Haul Railway; Contact Line; Risk Assessment Model; Causal Analysis; Bayesian Network