文章编号:1008-1534(2024)02-0114-10

基于 DEMATEL-ISM 的国内甩挂运输发展影响因素研究

魏子秋,韩新硕

(河北科技大学经济管理学院,河北石家庄 050018)

摘 要:为了降低国内社会物流成本、提升运输效率、支持国家绿色化物流发展、推广先进运输方式,对国内甩挂运输发展的影响因素进行研究。集成决策实验室分析(DEMATEL)法和解释结构模型(ISM)法,运用 Python 软件构建了国内甩挂运输发展影响因素的多层递阶结构模型,并基于模型分析了影响因素之间的递阶关系。结果表明:1)政府扶持力度 X_3 和发展现代物流意识 X_{13} 这 2 个因素的重要程度远高于其他发展因素,作为原因因素直接或间接影响每个发展因素;2)运输平台网络构建水平 X_{10} 作为强结果因素,主要受到大数据技术应用情况 X_{11} 和“互联网+”模式结合情况 X_{12} 等强原因因素的影响;3)甩挂运输联盟是发展国内甩挂运输的中坚因素,但其内部具有不稳定性。因此,针对国内甩挂运输发展问题,应重点关注政府扶持力度和发展现代物流意识,并加快甩挂运输联盟向甩挂运输平台转化,甩挂运输联盟内部建议采用新技术保证联盟健康发展。研究结果可为发展国内甩挂运输提供思路,从而促进实现物流行业的可持续性发展。

关键词:公路运输其他学科;甩挂运输;影响因素;DEMATEL-ISM;Python

中图分类号:F503 **文献标识码**:A **DOI**: 10.7535/hbgykj.2024yx02005

Research on the influencing factors of the development of drop-and-pull transportation in China based on DEMATEL-ISM

WEI Ziqiu, HAN Xinshuo

(School of Economics and Management, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: In order to reduce the cost of domestic social logistics, improve transportation efficiency, support the development of national green logistics, and promote advanced transportation modes, the influencing factors of the development of domestic drop-and-pull transport were studied. Integrated Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Interpretive Structural Model (ISM), Python software were used to construct a multi-level hierarchical structure model of the influencing factors of domestic drop-and-pull transportation development, and the hierarchical relationship between the influencing factors was analyzed based on the model. The results show that: 1) The importance of these two factors,

收稿日期:2023-07-29;修回日期:2023-12-11;责任编辑:王海云

基金项目:河北省教育厅教育教学改革研究与实践项目(2022GJJG183)

第一作者简介:魏子秋(1981—),女,河北石家庄人,副教授,博士,主要从事物流与供应链规划设计方面的研究。

通信作者:韩新硕。E-mail: 1256853538@qq.com

魏子秋,韩新硕.基于 DEMATEL-ISM 的国内甩挂运输发展影响因素研究[J].河北工业科技,2024,41(2):114-123.

WEI Ziqiu, HAN Xinshuo. Research on the influencing factors of the development of drop-and-pull transportation in China based on DEMATEL-ISM[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2024, 41(2): 114-123.

government support X_3 and the development of modern logistics consciousness X_{13}, is much higher than that of other development factors. As the cause factors, they directly or indirectly affect each development factor; 2) As a strong outcome factor, The transportation platform network construction level X_{10} is mainly affected by strong cause factors such as the application of big data technology X_{11} and the combination of Internet+ mode X_{12}; 3) The drop-and-pull transporttation alliance is the backbone of the development of domestic drop-and-pull transportation, but it has internal instability. Therefore, in view of the development of domestic drop-and-pull transportation, government support and the development of modern logistics consciousness should be focused on, the transformation of the drop-and-pull transportation alliance into a drop-and-pull transportation platform should be accelerated, and the drop-and-pull transportation alliance suggests the adoption of new technologies to ensure the healthy development of the alliance. The results of the study can provide ideas for the development of domestic drop-and-pull transportation, so as to promote the sustainable development of the logistics industry.

Keywords: other disciplines of road transport ; drop-and-pull transportation; influencing factors; DEMATEL-ISM; Python

甩挂运输是指牵引车将挂车甩留在目的地后，再拖带其他装满货物的挂车返回原地或者驶向新地点的运输方式[1]。作为现阶段较先进的道路运输方式，能够提高车辆运营效率、减少牵引车使用数量、降低空载率，进而帮助降低物流过程中的碳排放量，将绿色发展理念贯彻到整个物流活动中。发达国家在车辆标准化、运输组织方式、信息化和数字化以及运输管理等方面始终处于国际领先水平，而中国甩挂运输的发展相对滞后[2]。因此，为了追求节能减排，促进物流行业发展，中国有必要加强甩挂运输的相关技术研发，实现物流绿色可持续发展。

中国甩挂运输发展受到政府重视。2022 年国务院印发的《推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案(2021—2025 年)》中提到要鼓励绿色低碳运输模式。2021 年 11 月，国务院印发的《“十四五”冷链物流发展规划》提出要注重运输组织模式优化，支持发展冷链甩挂运输，有机融入公路甩挂运输体系。2019 年，国家发改委发布的《关于推动物流高质量发展促进形成强大国内市场的意见》和同年国务院办公厅转发交通运输部等部门的《关于加快道路货运行业转型升级促进高质量发展意见的通知》，均明确提出大力鼓励和支持“公共挂车池”模式和甩挂运输等新型运输发展[3]。根据相关政策可知，发展甩挂运输，有助于中国相关政策的落实，发展安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通体系。

学术层面针对甩挂运输发展影响因素的研究较少，且方法陈旧、年份较早。学者们对影响因素的分析主要集中在基础设施建设、经济水平、政策等外部因素[4-8]上，仅有少部分学者考虑到甩挂运输行业的特点(比如甩挂运输联盟[9-10])对其自身发展的影响。随着科技和相关理论的发展，有助于甩挂运输发展的技术条件、管理理念、意识层面也应被考虑。因此，有必要结合中国现今甩挂运输发展情况进行影响因素分析。

综上所述，甩挂运输作为一种先进的运输方式，因对物流领域绿色、高效的正外部性，受到国内外的重视，但目前中国的甩挂运输发展尚不尽人意。此外，已有研究大都是对影响甩挂运输发展的外部因素进行梳理，而对甩挂运输联盟、大数据技术、绿色物流意识等当下行业发展特点却缺乏深入研究。发展甩挂运输的头部工作首先要理清影响其发展的复杂系统。所以，本文运用 DEMATEL-ISM 法，探究中国甩挂运输发展这一复杂系统的影响因素以及因素之间的内部逻辑。

1　甩挂运输发展影响因素的识别

甩挂运输发展受到多方因素的制约，本文采用德尔菲法和 DEMATEL-ISM 法进行研究。德尔菲法也称专家意见法，能够充分发挥专家优势，凝聚专家智慧，使所选因素具有一定的可信度[11]。DEMATEL(decision-making trial and evaluation laboratory，决策实验室分析)法是一种用于分析复杂问题的决策支持方法，该方法通过计算不同因素的因果关系来评估各种因素之间的相互影响[12]。ISM(interpretative structural modeling，解释结构模型)法通过将影响因素进行层次划分来识别本质因素、中间因素和直接因素[13]。DEMATEL 法多用于工程研究领域，且常与 ISM 法联用，2 种方法联用能够揭示形成因子间的递阶结构关系，识别关键因子[14]。

本文先通过文献分析法对文献进行综合梳理，再采用德尔菲法征集邀请的科研机构、政府机关、甩挂运输企业方面的专家及相关人士的意见，最终确定 5 个维度、14 个影响因素，构成影响因素体系。

1.1　维度确定

本文参考交通运输部 2009 年 12 月 31 日发布的《关于促进甩挂运输发展的通知》中提到的促进发

展甩挂运输的 4 个事项作为 4 个维度，即发展甩挂运输意识、政策制度、站场设施、试点示范。“发展甩挂运输意识”是指要充分意识到甩挂运输发展的意义。各地区、有关部门要提高甩挂运输对推动现代物流和综合运输发展的认识，采取有效措施，引导和推动甩挂运输的发展。“政策制度”是指促进制度完善和解除约束，为甩挂运输营造适合发展的空间。“站场设施”是指完善枢纽站场设施，构建发展甩挂运输的重要基础条件，并加快综合交通枢纽的建设。“试点示范”是指各地方、有关部门要组织开展甩挂运输试点，探索并总结经验，发挥示范引导作用。本文充分参考文献以及客观发展需要，将这 4 个维度适当变动并扩增至 5 个，即政策制度、站场设施、甩挂运输企业联盟、技术条件、发展甩挂运输意识，并以此对甩挂运输影响因素进行识别。

1.2 维度分析

1.2.1 政策制度维度分析

相关政策可以实现相关领域的高效运行与健康发展。中国交通管理规定，甩挂运输中不允许使用牵引车或牵引拖车的连接形式，只允许拖拽半挂车[15]，这可能会阻碍对国外成功经验的借鉴。甩挂运输的关键是牵引车与挂车的匹配互换，如果实现不了牵引车和挂车标准化设计，就很难实现真正意义的甩挂运输[16]。在参考《关于促进甩挂运输发展的通知》等相关行业文件，并总结前人研究成果的基础上，结合专家意见归纳出：政策制度维度包括现有政策阻碍程度、市场标准化程度、政府扶持力度 3 个影响因素。

1.2.2 站场设施维度分析

当前甩挂运输发展存在很多缺陷，包括但不限于信息共享不足、车辆和基础设施私有制、车货不匹配等，针对这些问题共享货运站将会是甩挂运输未来发展的模式之一[17]。综合交通运输体系的建设是要打造绿色交通基础设施体系，推进绿色交通基础设施建设[18]，这对甩挂运输的发展有促进作用。在参考《关于印发第一批道路货运汽车及汽车列车推荐车型表的通知》等相关行业文件和《加快构建现代综合交通运输体系》等重要领导讲话，并总结前人研究成果的基础上，结合专家意见归纳出：站场设施维度包括甩挂场站建设情况、综合交通运输体系建设情况 2 个影响因素。

1.2.3 甩挂运输企业联盟维度分析

联盟构建的成功与否与多方面因素有关。甩挂运输联盟企业能否从众多企业中选择适宜的合作伙伴，保证企业具备联盟需要的企业素质是关键之一[19]。制定公开合理的调运规则被认为是甩挂运输企业联盟构建的重要措施[20]。物流联盟管理机制包含广泛，其水平对整个联盟绩效产生直接影响[21]。在参考《关于促进甩挂运输发展的通知》等相关行业文件，并总结前人研究成果的基础上，结合专家意见归纳出：甩挂运输企业联盟维度包括联盟内企业素质、联盟成员收益预期、联盟内公开合理的调运规则、联盟管理水平 4 个影响因素。

1.2.4 技术条件维度分析

技术是发展的生产力。运输平台网络化的搭建有助于甩挂联盟企业享受平台红利，提高盈利能力[22]。平台内数据的沉淀将会为预测各个流向的数据提供帮助。物联网技术可以对整个货流进行可视化物流作业服务，实现智能运输协同[23]，而互联网是物联网的基础。在总结前人研究成果的基础上，并结合专家意见归纳出：技术条件维度包括运输平台网络构建水平、大数据技术应用情况、“互联网＋”模式结合情况 3 个影响因素。

1.2.5 发展甩挂运输意识维度分析

意识可以指导人们开展实践活动。现代物流认为运输不是目的而是手段，现代物流管理追求的是实现物流系统的整体最优化，这需要提高运输效率和运输活动中装卸搬运的效率，减少车辆等待时间[24]。绿色物流的目标是降低污染物排放、减少资源消耗[25]，而合理采用不同的运输组织方式，可以实现这一目标。发展甩挂运输已成为中国交通运输业转向绿色、低碳、可持续发展的重要途径之一[26]。在参考《关于促进甩挂运输发展的通知》等相关行业文件，并总结前人研究成果的基础上，结合专家意见归纳出：发展甩挂运输意识维度包括发展现代物流意识、落实绿色发展理念 2 个影响因素。

整理后的甩挂运输发展影响因素如图 1 所示。

2 甩挂运输发展影响因素多层递阶结构模型的建立

基于上述 5 个维度所识别出的甩挂运输发展影响因素，运用 DEMATEL 法分析各因素的重要程度，并运用 ISM 法构建出影响因素的多层递阶结构模型，用来分析甩挂运输发展影响因素之间的递阶关系。

2.1 建立直接影响矩阵

将甩挂运输发展的影响因素设为 $X=\{X_1, X_2, \cdots, X_{14}\}$，以 a_{ij} 指代 $X_i(i=1,2,\cdots,14)$ 与 $X_j(j=1,2,\cdots,14)$ 之间的关系，其值用 0、1、2、3 表示因素 X_i 对因素 X_j 的正影响强度，即：

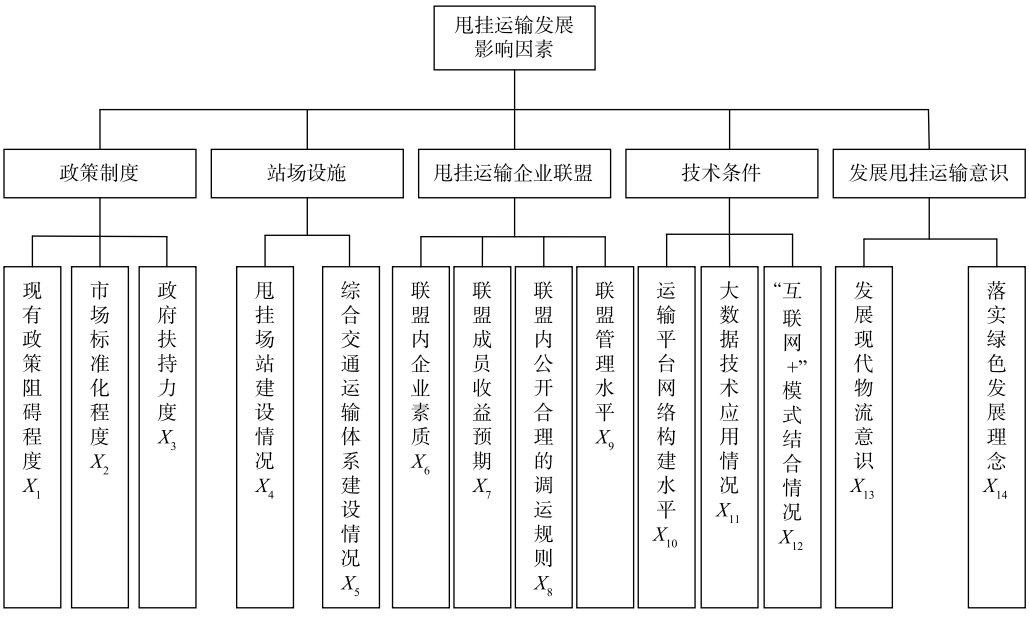

图 1　甩挂运输发展影响因素

Fig. 1 Factors affecting the development of drop-and-pull transportation

$$a_{ij}=\begin{cases}0,\text{无影响},\\1,\text{低影响},\\2,\text{中等影响},\\3,\text{高影响}。\end{cases}\tag{1}$$

由此得到甩挂运输发展影响因素的直接影响矩阵 $\boldsymbol{A}$：

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j}\\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j}\\ \vdots & \vdots & & \vdots\\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij}\end{bmatrix}。\tag{2}$$

本文邀请到 4 名物流工程与管理方面的专家、4 名来自河北省交通运输厅的工作人员、2 名从事甩挂运输的企业高管，以及数名物流行业一线、二线、三线的从业工作者，分别从科研视角、国家视角以及实际情况对因素间的影响强度进行访谈调查，力求使访谈结果具有普遍意义。根据专家和相关人士的意见，建立甩挂运输发展影响因素的直接影响矩阵 $\boldsymbol{A}$，即 $\boldsymbol{A}=(a_{ij})_{14\times14}$，见图 2。

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
X_1	0	1	0	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
X_2	0	0	0	3	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
X_3	3	2	0	2	2	0	2	0	0	1	2	2	2	2
X_4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
X_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X_6	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	1
X_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X_8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
X_9	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
X_{10}	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
X_{11}	0	0	0	0	2	0	2	2	2	2	0	0	0	0
X_{12}	0	0	0	0	1	1	1	1	1	3	2	0	0	0
X_{13}	1	2	2	1	1	0	0	0	1	2	2	2	0	2
X_{14}	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0

图 2　甩挂运输发展影响因素的直接影响矩阵 $\boldsymbol{A}$

Fig. 2　Direct influence matrix $\boldsymbol{A}$ of the influencing factors of the development of drop-and-pull transportation

2.2　建立综合影响矩阵

本文采取归一化的方式将图 2 中的直接影响矩阵转化为正规化直接影响矩阵。归一化的方法是对直接影响矩阵的每行求和，取求和后的最大值，然后对直接影响矩阵进行归一化处理。经计算，行的最大值为 20。按照式(3)可得到正规化直接影响矩

阵 $\boldsymbol{B}$，再按照式(4)通过 Python 软件计算出综合影响矩阵 $\boldsymbol{T}$，$\boldsymbol{T}=(t_{ij})_{14\times14}$，见图 3。

$$\boldsymbol{B}=\frac{X_{ij}}{\max\left(\sum_{j=1}^{n}X_{ij}\right)}。\tag{3}$$

$$\boldsymbol{T}=(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{B}^2+\cdots+\boldsymbol{B}^k)=\sum_{k=1}^{\infty}\boldsymbol{B}^k=\boldsymbol{B}(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{B})^{-1}，\tag{4}$$

式中 $\boldsymbol{I}$ 为单位矩阵。

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
X_1	0.00	0.05	0.00	0.11	0.07	0.00	0.01	0.01	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
X_2	0.00	0.00	0.00	0.15	0.17	0.00	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
X_3	0.16	0.12	0.01	0.15	0.17	0.01	0.13	0.03	0.02	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
X_4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
X_5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X_6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.11	0.10	0.00	0.01	0.01	0.01	0.05	0.06
X_7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X_8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
X_9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
X_{10}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
X_{11}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.12	0.12	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
X_{12}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.50	0.09	0.09	0.06	0.16	0.10	0.00	0.00	0.00
X_{13}	0.07	0.12	0.10	0.09	0.11	0.01	0.05	0.04	0.07	0.16	0.13	0.11	0.02	0.11
X_{14}	0.05	0.01	0.01	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.05	0.01

图 3 甩挂运输发展影响因素的综合影响矩阵 $\boldsymbol{T}$

Fig. 3 Comprehensive influence matrix $\boldsymbol{T}$ of the influencing factors of the development of drop-and-pull transportation

2.3 DEMATEL 计算结果

根据甩挂运输发展影响因素的综合影响矩阵 $\boldsymbol{T}$，计算各要素的影响度、被影响度、中心度和原因度。影响度是综合矩阵 $\boldsymbol{T}$ 各行值的和，记为 D_i，如式(5)所示。

$$D_i=\sum_{j=1}^{n}a_{ij}，\ i=1,2,\cdots,n。\tag{5}$$

被影响度是综合矩阵 $\boldsymbol{T}$ 各列值的和，记为 C_i，如式(6)所示。

$$C_i=\sum_{i=1}^{n}a_{ij}，\ j=1,2,\cdots,n。\tag{6}$$

中心度是影响度与被影响度的加和，记为 M_i，如式(7)所示。

$$M_i=D_i+C_i。\tag{7}$$

原因度是影响度和被影响度相减，记为 R_i，如式(8)所示。

$$R_i=D_i-C_i。\tag{8}$$

当 $R_i>0$，则称该要素为原因要素，否则，称为结果要素。

甩挂运输发展影响因素综合影响矩阵的影响度、被影响度、中心度和原因度经由 Python 软件计算结果如表 1 所示。

表 1 甩挂运输发展影响因素综合影响矩阵的影响度、被影响度、中心度和原因度

Tab. 1 Influence degree, affected degree, centrality and cause degree of comprehensive influence matrix of the influencing factors of the development of drop-and-pull transportation

影响因素	影响度 D_i	被影响度 C_i	中心度 M_i	原因度 R_i
X_1	0.36	0.29	0.65	0.06
X_2	0.39	0.30	0.68	0.08
X_3	1.38	0.12	1.50	1.26
X_4	0.16	0.56	0.72	−0.40
X_5	0.00	0.85	0.85	−0.85
X_6	0.38	0.06	0.45	0.32
X_7	0.00	0.75	0.75	−0.75
X_8	0.11	0.62	0.73	−0.50
X_9	0.16	0.26	0.42	−0.10
X_{10}	0.21	0.85	1.06	−0.64
X_{11}	0.55	0.39	0.91	0.19
X_{12}	0.62	0.24	0.85	0.38
X_{13}	1.18	0.23	1.41	0.95
X_{14}	0.28	0.29	0.57	−0.00

其中，中心度具有重要的参考价值，它表示影响因素在复杂系统的重要程度，所以根据中心度，可以通过 Python 软件的 matplotlib 库绘制甩挂运输发展影响因素的重要性曲线，如图 4 所示。

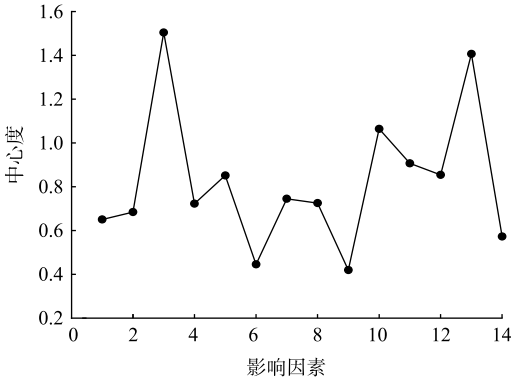

图 4　甩挂运输发展影响因素的重要性曲线

Fig. 4　Importance curve of the factors affecting the development of drop-and-pull transportation

对甩挂运输发展影响较大的因素是政府扶持力度 X_3、发展现代物流意识 X_{13}；其次是综合交通运输体系建设情况 X_5、运输平台网络构建水平 X_{10}、大数据技术应用情况 X_{11}、“互联网＋”模式结合情况 X_{12}；再次为现有政策阻碍程度 X_1、市场标准化程度 X_2、甩挂场站建设情况 X_4、联盟成员收益预期 X_7、联盟内公开合理的调运规则 X_8；最后为联盟内企业素质 X_6、联盟管理水平 X_9、落实绿色发展理念 X_{14}。

原因度的正负表示该影响因素在本复杂系统中属于原因因素还是结果因素。通过 Python 软件绘制甩挂运输发展影响因素的因果图，如图 5 所示。

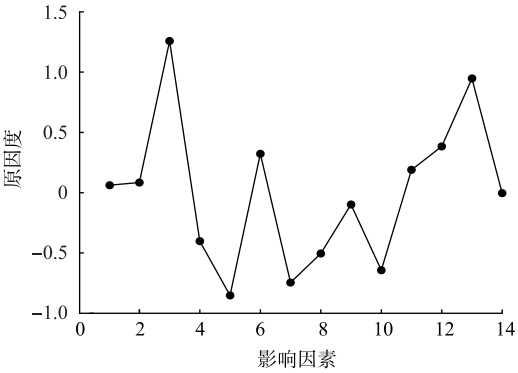

图 5　甩挂运输发展影响因素的因果图

Fig. 5　Causal diagram of the influencing factors of the development of drop and pull transportation

甩挂运输发展影响因素的原因因素有现有政策阻碍程度 X_1、市场标准化程度 X_2、政府扶持力度 X_3、联盟内企业素质 X_6、大数据技术应用情况 X_{11}、“互联网＋”模式结合情况 X_{12}、发展现代物流意识 X_{13}。甩挂运输发展影响因素结果因素有甩挂场站建设情况 X_4、综合交通运输体系建设情况 X_5、联盟成员收益预期 X_7、联盟内公开合理的调运规则 X_8、联盟管理水平 X_9、运输平台网络构建水平 X_{10}、落实绿色发展理念 X_{14}。

利用 Python 软件绘制原因-结果图，如图 6 所示。其中，第Ⅰ区是强原因因素集，第Ⅱ区是弱原因因素集，这 2 个区内因素都属于原因因素；第Ⅲ区是弱结果因素集、第Ⅳ区是强结果因素集，这 2 个区内的因素都是结果因素。

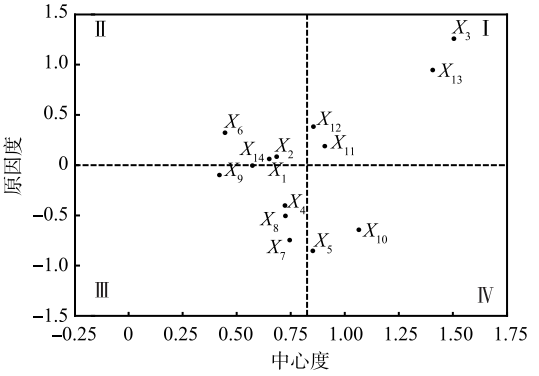

图 6　甩挂运输发展影响因素的原因-结果图

Fig. 6　Reason-result diagram of the influencing factors of the development of drop-and-pull transportation

2.4　建立可达矩阵

综合影响矩阵中未考虑到因素自身的影响，为了得到整体影响矩阵，在综合影响矩阵的基础上加上单位矩阵 $\boldsymbol{I}$。采用引入阈值 λ 的方式将系统整体影响矩阵中较小的因素舍去，从而达到简化系统结构的目的。但由于存在阈值设置过大系统会过于简化，阈值过小系统会过于复杂的问题，导致系统因素间的关系难以衡量，所以本文对阈值 λ 进行多次取值，分别设置为 $\lambda=0.04$、$\lambda=0.08$、$\lambda=0.12$、$\lambda=0.16$。利用 Python 软件得到不同阈值下甩挂运输发展影响因素的节点度变化图（如图 7 所示），其中当 $\lambda=0.08$ 时，节点度比较适中。因此，本文阈值 λ 取值 0.08，运算出甩挂运输发展影响因素可达矩阵 $\boldsymbol{E}$（如图 8 所示）。

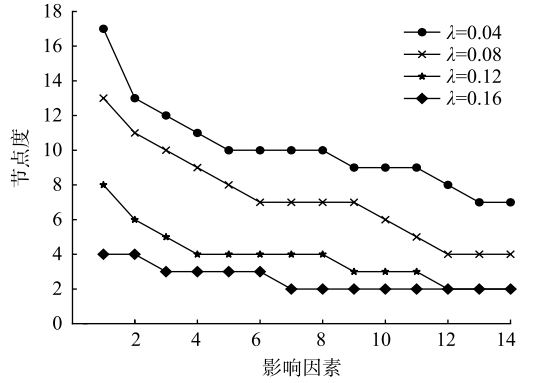

图 7　不同阈值下甩挂运输发展影响因素节点度的变化

Fig. 7　Change of node degree of factors influencing the development of drop-and-pull transportation under different thresholds

2.5 多层递阶结构模型的建立

根据图 8 中可达矩阵 $\boldsymbol{E}$，计算甩挂运输发展影响因素可达集 $R(x_i)$、先行集 $A(x_i)$、共同集 $C(x_i)$。可达集是可达矩阵中各因素可影响到的所有因素集合；先行集是指可达矩阵中影响其他因素的所有因素集合；共同集是指可达集和先行集的交集。如式(9)—式(11)所示。

$$R(x_i)=\{X_j \mid a_{ij}=1\}, \tag{9}$$

$$A(x_i)=\{X_j \mid a_{ji}=1\}, \tag{10}$$

$$C(x_i)=R(x_i)\cap A(x_i)。 \tag{11}$$

当可达集等于共同集时，可以得到甩挂运输发展影响因素顶层单元 L_i，如式(12)所示。

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
X_1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
X_2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X_3	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
X_4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X_6	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
X_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
X_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
X_9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
X_{10}	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
X_{11}	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
X_{12}	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0
X_{13}	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
X_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

图 8 甩挂运输发展影响因素的可达矩阵 $\boldsymbol{E}$

Fig. 8 Reachability matrix $\boldsymbol{E}$ of influencing factors of drop-and-pull transport development

$$L_i=\{X_j \mid X_j \in (X-L_0-L_1-\cdots-L_{i-1}),\ R(x_i)=C(x_i)\}。 \tag{12}$$

经验证，当 $i=5$、7、8、14 时，满足 $R(x_i)=C(x_i)$，故 X_5、X_7、X_8、X_{14} 为可达矩阵 $\boldsymbol{E}$ 的顶层单元 L_1，将其从可达矩阵中划去，得到矩阵 $\boldsymbol{E}_1$，重复此过程，最终可以得到 $\boldsymbol{E}_1$ 的顶层单元 $L_2=\{X_4,X_6,X_9,X_{10}\}$，同理，$\boldsymbol{E}_2$ 的顶层单元 $L_3=\{X_1,X_2,X_{11}\}$，$\boldsymbol{E}_3$ 的顶层单元 $L_4=\{X_{12}\}$，$\boldsymbol{E}_4$ 的顶层单元 $L_5=\{X_3,X_{13}\}$。建立的甩挂运输发展因素的多层递阶结构模型如图 9 所示。

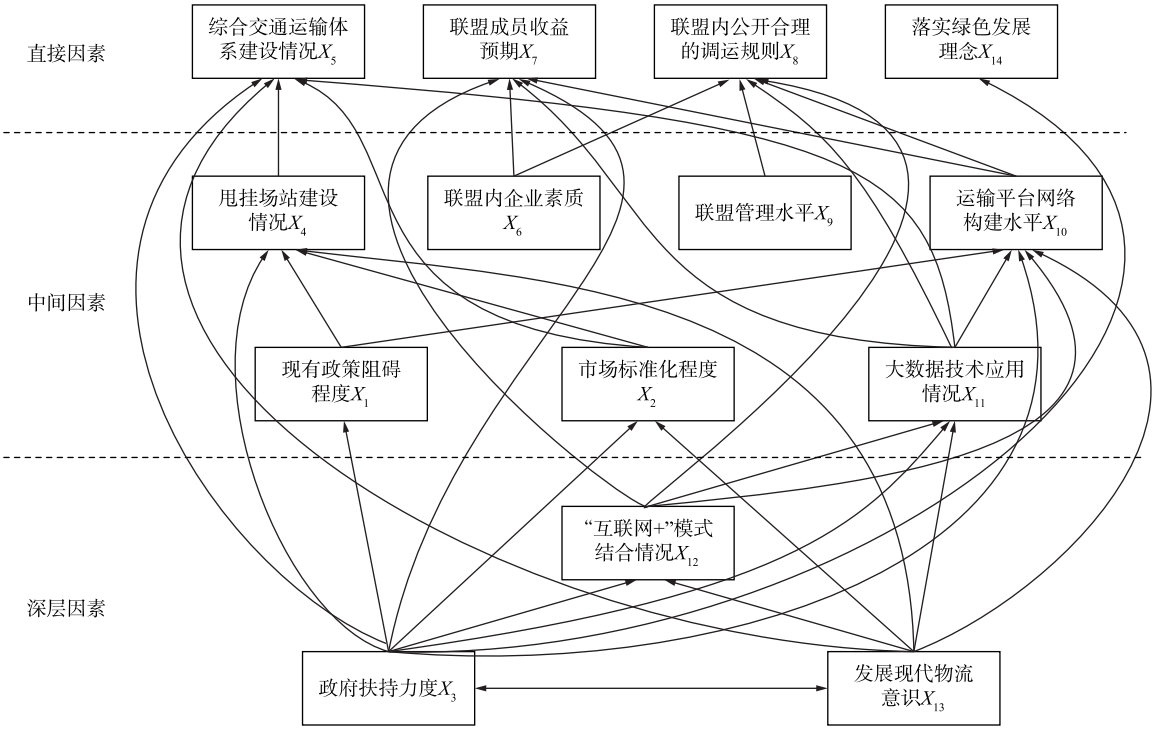

图 9 甩挂运输发展因素的多层递阶结构模型

Fig. 9 Multi-level hierarchical structure model of development factors of drop-and-pull transportation

2.6　多层递阶结构模型的应用分析

由图 9 中甩挂运输发展因素多层递阶结构模型可以看出，甩挂运输发展因素共分为 5 个层次。L_1 层作为递阶层次模型的顶层，其内因素属于影响甩挂运输的直接因素。顶层内因素包括：综合交通运输体系建设情况 X_5、联盟成员收益预期 X_7、联盟内公开合理的调运规则 X_8、落实绿色发展理念 X_{14}。L_2 层和 L_3 层作为递阶结构模型的中间层，其内因素属于影响甩挂运输的中间因素，在整个系统中起到承上启下的作用。中间层的因素通过顶层因素对整个系统产生影响，并受到下层因素影响[27]。其中 L_2 层因素包括：甩挂场站建设情况 X_4、联盟内企业素质 X_6、联盟管理水平 X_9、运输平台网络构建水平 X_{10}。L_3 层因素包括：现有政策阻碍程度 X_1、市场标准化程度 X_2、大数据技术应用情况 X_{11}。L_4 层和 L_5 层作为递阶结构模型的底层，其内因素属于影响甩挂运输的深层因素。其中 L_4 层因素包括“互联网＋”模式结合情况 X_{12}。L_5 层因素包括：政府扶持力度 X_3、发展现代物流意识 X_{13}。

从图 4、图 5 可知，政府扶持力度 X_3、发展现代物流意识 X_{13} 这 2 个因素的重要程度要远高于其他相关因素，且属于原因因素，原因度远高于其他因素。图 9 直观地说明政府扶持力度 X_3、发展现代物流意识 X_{13} 这 2 个因素是系统中的深层因素，影响程度广且深，二者共同影响落实绿色发展理念 X_{14}。甩挂运输的实现有利于节能减排，随着绿色发展理念不断深入，将极大程度地促进甩挂运输发展。同时二者也相互影响，发展现代物流意识 X_{13} 影响着政府扶持力度的大小，政府扶持力度 X_3 也促进现代物流意识不断普及，以及现有政策阻碍程度 X_1 的降低，这都说明政府扶持力度 X_3、发展现代物流意识 X_{13} 对甩挂运输发展的重要性。

由图 6、图 8 可知，政府扶持力度 X_3、大数据技术应用情况 X_{11}、“互联网＋”模式结合情况 X_{12}、发展现代物流意识 X_{13} 属于强原因因素，它们对甩挂运输发展有非常显著的影响。综合交通运输体系建设情况 X_5、运输平台网络构建水平 X_{10} 属于强结果因素，这类因素主要是受到强原因因素综合影响的结果。意识的不断普及和政策的引导可加速新兴技术在甩挂运输领域的应用。其中，“互联网＋”模式在甩挂运输领域的应用改变消费者的消费习惯，使其更加注重消费体验。此外，互联网催生大数据产生，大数据技术与运输业深度融合可以帮助运输企业进行线路优化与设计，促进提升运输平台网络构建水平 X_{10}，从而直接影响甩挂运输发展。除此之外，对于发展现代物流综合运输体系意识的普及和政府在多式联运的政策扶持，也不断促进运输市场标准化程度 X_2 的提高、甩挂场站建设情况 X_4 的完善，进而改善综合交通运输体系建设情况 X_5，增强运输生产力，提高运输经济效益，最终加速甩挂运输的发展。

在甩挂运输企业联盟维度中，联盟内企业素质 X_6、联盟管理水平 X_9 在中间因素层，联盟成员收益预期 X_7、联盟内公开合理的调运规则 X_8 在直接因素层，是发展甩挂运输的中坚因素。甩挂运输联盟作为一个行业组织，无论是联盟内企业还是未参与联盟的企业都会考虑自身收益预期，这最直接影响甩挂运输联盟能否发展起来。此外，联盟内企业整体素质，比如合作兼容性、甩挂设施情况等，都是影响甩挂运输企业能否长远发展的条件，而且联盟内部涉及成员众多，成员之间还可能因为管理水平不足导致调运规则不合理而貌合神离，这将极大影响联盟发展，从而影响甩挂运输的发展。

3　讨论与建议

3.1　重视深层因素，发展中国甩挂运输

政府扶持力度 X_3、发展现代物流意识 X_{13} 作为中国发展甩挂运输的深层因素，直接或间接影响每个影响因素。从各个维度出发，政府扶持力度 X_3、发展现代物流意识 X_{13} 有助于降低政策阻碍程度和提高市场标准化程度，有助于场站设施建设以及促使技术条件应用，进而促进联盟升级。所以，发展中国甩挂运输需重视深层因素。此外，政策投放和意识普及要相结合。甩挂运输作为一种先进的运输方式，可以有效促进诸如冷链物流体系、综合运输体系的构建，这需要在出台相关物流政策时，针对货运组织形式给出建议，用政策驱动使行业人士意识到甩挂运输的优越性，促使行业提速变强。这样不仅有利于其他物流领域的发展，还有助于甩挂运输联盟的升级。

3.2　加快甩挂运输联盟升级，构建甩挂运输平台

随着“互联网＋”、大数据等技术在运输业应用的不断深入，中国甩挂运输行业具备组建平台的技术保障能力。甩挂联盟仅单边考虑企业内部关系，而平台能多边考虑并有针对性地解决用户需求。此外，平台在促进合作创新、资源共享、利益协调和服务升级等方面对联盟发展起到举足轻重的作用[19]，有助于联盟企业在联盟成员收益预期 X_7、联盟内公开合理的调运规则 X_8、联盟管理水平 X_9 等方面的提升，进而提高联盟内企业素质 X_6，在竞争激烈的市场中持续发展。

3.3 应用新技术工具，加速甩挂运输联盟转化为甩挂运输平台

甩挂运输企业作为甩挂运输联盟基本单元，其素质是联盟能否健康发展的重要指标。在甄选相关企业时，应通过构建相关评价模型进行测评，将测评结果作为是否选择其作为伙伴以及未来收益分配的依据。此外，联盟应采用运输网络规划信息系统，对运力进行实时监控，方便联盟对企业进行作业管理，防止出现调运不合理的情况。

4 结 语

甩挂运输作为中国公路运输发展的新方向，有助于物流行业践行绿色低碳理念，推动交通运输结构的优化。本文以中国甩挂运输发展系统为研究对象，通过识别影响因素，利用 DEMATEL-ISM 探究因素之间的内在逻辑，并根据结果对中国甩挂运输发展进行讨论。

1)本文识别出 14 个影响中国甩挂运输发展的因素，充分考虑甩挂运输联盟、大数据技术、绿色物流意识等当下行业发展特点，比过往文献更具有时代特征，对相关研究有一定补充作用。

2)通过对中国甩挂运输发展因素的多层递阶结构分析可知，系统中深层因素具有影响范围大的特点。所以，重视政府扶持力度 X_3 和发展现代物流意识 X_{13} 这 2 个深层因素，有助于促进技术深度融合，通过“互联网＋”模式的结合和大数据技术的应用，帮助甩挂运输联盟向平台转化。对技术的深度融合还有助于提高联盟内部的稳定性，通过评价技术和大数据分析，规避因联盟内企业素质 X_6、联盟管理水平 X_9 不足导致的联盟成员收益预期 X_7 低、联盟内公开合理的调运规则 X_8 不合理等问题。

本文可为中国甩挂运输发展提供思路，但依然存在不足之处，例如未对影响因素进行赋权，后续可以引入决策技术加以完善。

参考文献/References：

[1] 梁栋，黄耿钊，王国庆. 我国甩挂运输的现状与发展策略研究[J]. 现代商贸工业，2020，41(33)：24-25.

[2] 张燕宏，杨光敏. 甩挂运输综述[J]. 物流技术，2023，42(4)：1-6.
ZHANG Yanhong，YANG Guangmin. Review of drop and pull transport[J]. Logistics Technology，2023，42(4)：1-6.

[3] 康凤伟，于梦琦，周志成，等. 公铁联运企业甩挂运输联盟平台的价值创造模型[J]. 物流技术，2022，41(5)：33-38.
KANG Fengwei，YU Mengqi，ZHOU Zhicheng，et al. Value creation model for drop and pull transport associated platform of highway-railway combined transport enterprises[J]. Logistics Technology，2022，41(5)：33-38.

[4] 黄浩丰，郝纪秀. 道路甩挂运输快速发展阶段的外部影响因素及特点[J]. 物流技术，2011，30(10)：25-27.
HUANG Haofeng，HAO Jixiu. External factors and characteristics of drop-and-pull transport in the stage of rapiddevelopment[J]. Logistics Technology，2011，30(10)：25-27.

[5] 王秋霏，杨慧敏，周沫，等. 我国甩挂运输发展存在的问题及建议[J]. 森林工程，2013，29(6)：159-162.
WANG Qiufei，YANG Huimin，ZHOU Mo，et al. Problems and suggestions in the development of the drop and pull transport in China[J]. Forest Engineering，2013，29(6)：159-162.

[6] 吴启贤. 影响道路运输企业甩挂运输发展的因素：基于 PEST 模型的分析[J]. 科技广场，2015(1)：151-153.
WU Qixian. Analysis on influencing factors on drop and pull transport in road transportation enterprises based on PEST model[J]. Science Mosaic，2015(1)：151-153.

[7] 范林强. 汽车甩挂运输组织模式选择问题研究[D]. 成都：西南交通大学，2013.
FAN Linqiang. Study on the Choice of Organization Modes of Semi-Trailer Swap Transportation[D]. Chengdu：Southwest Jiaotong University，2013.

[8] 石相团，杨扬，李莉诗. 甩挂运输研究综述[J]. 物流科技，2019，42(8)：74-77.
SHI Xiangtuan，YANG Yang，LI Lishi. Summary of research on drop and pull transport[J]. Logistics Sci-Tech，2019，42(8)：74-77.

[9] 杨晓，张谦. 甩挂运输发展的影响因素的影响度分析[J]. 物流科技，2012，35(7)：82-84.
YANG Xiao，ZHANG Qian. The degree of analysis of the factors which affecting the development of the pull transport[J]. Logistics Sci-Tech，2012，35(7)：82-84.

[10] 石相团. 跨境甩挂运输发展影响因素研究：以澜湄合作区域为例[D]. 昆明：昆明理工大学，2020.
SHI Xiangtuan. Study on the Influencing Factors of the Development of Drop and Pull Transport：A Case Study of the Lancang Mekong Cooperation Region[D]. Kunming：Kunming University of Science and Technology，2020.

[11] 黄家璇，赵希勇. 基于 DEMATEL-ISM-MICMAC 法的老年康养旅游基地高质量发展关键因素研究[J]. 旅游科学，2023，37(2)：60-76.
HUANG Jiaxuan，ZHAO Xiyong. A study on the key factors of high-quality development of elderly health and wellness tourism bases based on the DEMATEL-ISM-MICMAC method[J]. Tourism Science，2023，37(2)：60-76.

[12] LEE H S，TZENG G H，YEIH W，et al. Revised DEMATEL：Resolving the infeasibility of DEMATEL[J]. Applied Mathematical Modelling，2013，37(10/11)：6746-6757.

[13] ATTRI R，DEV N，SHARMA V. Interpretive structural modelling (ISM) approach：An overview[J]. Research Journal of Management Sciences，2013，2(2)：3-8.

[14] 李广利，严一知，刘文琦，等. 基于 DEMATEL-ISM 的矿工不安全情绪形成因子研究[J]. 中国安全科学学报，2021，31(7)：30-37.
LI Guangli，YAN Yizhi，LIU Wenqi，et al. Research on formation factors of miners′ unsafe emotions based on DEMATEL-ISM[J]. China Safety Science Journal，2021，31(7)：30-37.

[15] CHEN Hao，WANG Wenxian，CHENG Birong，et al. Optimal method for allocation of tractors and trailers in daily dispatches of road drops and pull transport[J]. Journal of Advanced Transportation，2022，2022：3017196.

[16] 刘兴源，王景晟，徐静野."甩挂运输"下牵引车与半挂车的匹配设计[J]. 商用汽车，2011(2)：50-53.
LIU Xingyuan，WANG Jingsheng，XU Jingye. The match design of the tractor and semi-trailer in "drop and pull transport"[J]. Commercial Vehicle，2011(2)：50-53.

[17] FENG Mei，CHENG Yaorong. Optimization of drop-and-pull transport network based on shared freight station and hub-and-spoke network [J]. Journal Européen des Systèmes Automatisés，2019，52(5)：457-464.

[18] 谢柳. 推动现代综合交通运输体系建设的路径探析：评中国计划出版社《加快构建现代综合交通运输体系》[J]. 价格理论与实践，2023(4)：216.

[19] 冯建丽，高超."互联网＋"背景下的甩挂运输企业联盟的伙伴选择研究[J]. 公路交通科技，2022，39(7)：181-190.
FENG Jianli，GAO Chao. Study on selecting partner of drop-and-pull transport enterprise alliance under background of "Internet Plus"[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2022，39(7)：181-190.

[20] 吕文岱，韩雨辰，贺亦军. 基于甩挂运输的虚拟企业联盟构建研究[J]. 兰州学刊，2012(1)：78-82.

[21] 魏子秋，吕文岱，韩雨辰. 区域物流联盟绩效影响因素分析[J]. 商业时代，2013(12)：39-41.

[22] 冯建丽. 运输企业联盟向运输平台发展的动因研究[J]. 交通企业管理，2022，37(1)：5-8.

[23] LI Juntao，ZHANG Liwei. Research of drop and pull transport system based on internet of things[J]. Applied Mechanics and Materials，2012，263-266：2865-2871.

[24] 刘学成，杨晓红. 现代物流管理概论[M]. 成都：西南交通大学出版社，2010：52-53.

[25] 王长琼. 绿色物流[M]. 北京：化学工业出版社，2004：2-3.

[26] WANG Qingbin，LIU Xiaolin，LI Gang，et al. Study on the location-routing problem in network-type tractor-and-trailer transportation mode[J]. Sustainability，2023，15(8)：6970.

[27] 刘明菲，陈威. 基于集成 DEMATEL-ISM 的生鲜冷链前置仓物流服务质量风险影响因素研究[J]. 安全与环境工程，2020，27(1)：118-125.
LIU Mingfei，CHEN Wei. Research on risk impacting factors of logistics service quality of fresh cold chain front warehouse based on DEMATEL-ISM method[J]. Safety and Environmental Engineering，2020，27(1)：118-125.