

文章编号: 1005-0523(2025)04-0110-10



基于BWM与模糊FMEA-TOPSIS的网络 货运平台风险评估研究

甘卫华¹, 张巧媛¹, 耿婷²

(1. 华东交通大学交通运输工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 清华大学五道口金融学院, 北京 100083)

摘要: 网络货运平台是物流业典型的平台经济新业态, 其交易过程因货权、资金、地点、时间高度分离, 伴随许多风险产生。文章从网络货运平台运作流程出发, 构建了一个包括注册、审核、订单执行等8个方面、30项指标的网络货运平台风险评价指标体系。采用BWM法确定风险源权重, 并衡量决策者对网络货运平台的认知程度以确定专家权重, 将二者结合得到综合权重。建立模糊FMEA-TOPSIS模型进行风险评估, 计算风险因子到正理想解和负理想解的距离, 根据相对贴近度大小进行风险水平排序, 并与传统FMEA进行对比, 验证该方法的有效性。

关键词: 风险评估; 网络货运平台; 最优最劣法; 失效模式和影响分析

中图分类号: U491

文献标志码: A

本文引用格式: 甘卫华, 张巧媛, 耿婷. 基于BWM与模糊FMEA-TOPSIS的网络货运平台风险评估研究[J]. 华东交通大学学报, 2025, 42(4): 110-119.

Study on Risk Assessment of Online Freight Platform Based on BWM and Fuzzy FMEA-TOPSIS Model

Gan Weihua¹, Zhang Qiaoyuan¹, Geng Ting²

(1. School of Transportation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. PBC School of Finance, Tsinghua University, Beijing 10083, China)

Abstract: Online freight platform is one kind of typical new platform economy mode in logistics industry while risks are emerging due to the separation of cargoes property, fund, place, and time in the course of the operation process. Therefore, scientifically assessing the risks associated with online freight transportation platforms is crucial for promoting reasonable regulation on these platforms. Starting from the operational process of online freight platforms, this study constructed a risk evaluation index system including 8 aspects and 30 indicators, i.e. registration, verification, truck-cargo matching, order execution, order completion and etc. The best-worst method (BWM) was adopted to determine the weights of risk sources and experts' weights through evaluating decision makers' understanding of online freight platforms. Then, comprehensive weights were obtained through combined consideration of the two results. Risk assessment was then conducted based on the fuzzy FMEA-TOPSIS model, calculating the distances from risk factors to both positive and negative ideal solutions. The risk levels were ranked according to their relative closeness, and comparison was made with traditional FMEA to verify the effectiveness of fuzzy FMEA-TOPSIS model.

收稿日期: 2024-08-11

基金项目: 江西省重点研发计划“揭榜挂帅”工业领域重点项目(20223BBE51038)

Key words: risk assessment; online freight platform; best-worst method; failure mode and effects analysis

Citation format: GAN W H, ZHANG Q Y, GENG T. Study on risk assessment of online freight platform based on bwm and fuzzy fmea-topsis model[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2025, 42(4): 110–119.

网络货运平台是新兴数字化平台的重要代表之一,近年来发展迅猛,行业规模持续扩大与活跃度不断提升^[1]。但网络货运平台交易过程因货权、资金、地点、时间高度分离,伴随许多风险。例如,平台对货主/车主资质审查不严,造成违规上路;车主接单后违约导致订单无法完成,从而造成货主权益受损;车主在运送货物时造成货损货差,平台对货主货物赔付不及时等问题。这些问题不仅会使网络货运平台蒙受经济损失,也会因其较低的服务质量使平台不断流失用户。

当前国内外学者对网络货运平台的风险管理研究主要集中在风险分析、评估和预警3个方面。在风险识别方面,Giaglis等^[2]揭示了物流运输过程中,风险因素的多样性及其对企业产生的差异化影响。Deane等^[3]进一步强调,识别运输风险是物流风险管理中的关键,且外部风险相较于内部风险具有更广泛深远的影响。刘玲等^[4]提出一种融合了工作分解结构-风险分解结构(WBS-RBS)与基于相关系数及改进综合评价法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)的区间直觉模糊群决策的风险识别方法。在风险评估方面,Thompson等^[5]为了降低交通拥堵和运输成本的潜在风险,构建了城市区域的通用货运共享网络模型并进行了评价。陈晨^[6]将不确定性作为主要考虑因素,借助MATLAB和层次分析法,构建了一个风险评估模型,为网络货运企业风险防控提供依据。常连玉等^[7]在风险预警方面展开了探索,依托主成分分析(PCA)和Logit风险预警模型,研究了无车承运人的风险概率,并指出管理、价格、市场和服务质量等因素对风险具有直接影响。综上,关于网络货运平台的研究多集中于运力匹配^[8-9]、定价策略^[10-11]等领域,而对其风险监管^[12]和治理的深入探讨相对较少。尽管部分学者对平台的某些环节进行了风险分析^[13],但针对整个运营流程的系统性风险评估研究仍显不足。

失效模式与影响分析(failure mode & effect analysis, FMEA)是一种常用的风险评价技术,在制造

业^[14]、医疗^[15]、航空航天^[16]等多个领域广泛应用。传统的FMEA根据风险优先级(risk priority number, RPN)数 Y_{RPN} 的度量来表示故障等级, Y_{RPN} 值越大表示故障等级越高。 Y_{RPN} 值受发生率 O 、故障严重程度 S 和被检测率 D 这3个因子的影响,即将3者简单相乘。这种计算方法存在排序结果重复,不够准确等缺点。

为了克服传统FMEA对风险因子 S, O, D 的评价需采用精确数值来表示其程度大小,存在排序结果重复的问题,本文创新性地引入最佳最劣法(best-worst method, BWM),确定风险源的权重。同时通过衡量专家们对网络货运平台的认知程度以确定专家权重,将风险源和专家权重结合得到综合权重。建立模糊FMEA-TOPSIS模型,采用“VH”“H”“M”“L”“VL”5级语言术语,简化评估过程,提升决策精准度与便捷性,实现网络货运平台风险评估的简化操作、信息抓取和结果精确。与传统FMEA对比表明,该模型有效避免了简单相乘导致的排序模糊问题,提升了评估精度。

1 网络货运平台风险评估指标体系

网络货运平台从审核车主、货主的资质注册开始,一直到货运订单交付为止,具体的业务流程如图1所示。

经过对网络货运平台相关行政处罚案例的收集整理,发现税务类的处罚占据了较高比例。部分网络货运平台企业面临着车辆运行轨迹数据与真实运输作业不一致的困境,出于经济利益的考量,未能严格遵循既定的操作规范,转而采取变通手段,此举在发票开具环节留下了显著的合规缺陷,进而可能触及虚开增值税发票的法律红线。

值得注意的是,当前的网络货运平台与其实际运输任务的承担者之间缺乏有效的互动机制,平台对承运车辆和人员的管理掌控能力相对较弱,这使得对运输和交易全过程的实时监控和动态管理变得困难,从而引发了一定的责任风险。此外,相较

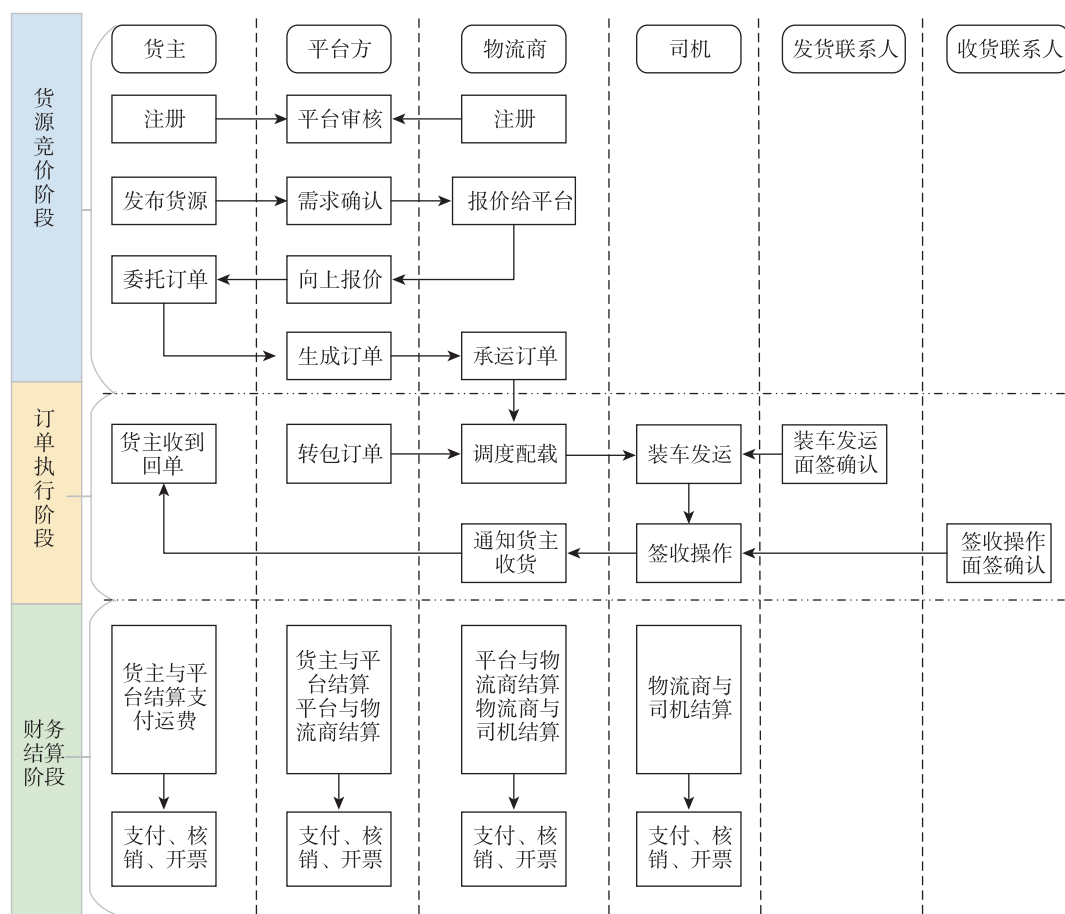


图1 网络货运平台业务流程图

Fig. 1 Business flow chart of the online freight platform

于传统货运承运人,网络货运平台对货物的掌控能力相对不足,对于运输过程中可能出现的货物毁损、错送及丢失等情况,平台往往难以进行有效的追责。

文章基于业务流程,识别出30个可能导致平台业务失效的风险源;建立了一个多层次的评估指标集,包括目标层、准则层和指标层,以全面评估网络货运平台的风险状况。具体的评估指标体系如图2。

2 评估理论及模型

2.1 BWM

风险源赋权是多准则决策过程,其中,基于两两比较的方法,如层次分析法(AHP)、网络分析法(ANP)以及BWM,被广泛采纳以辅助决策过程。AHP与ANP均强调在维持一致性前提下,反复实施风险源间的两两比对,构建判断矩阵并据此计算

权重,这一过程不仅计算繁琐,还常因结果一致性不足而削弱了专家评估的可靠性。

BWM是一种多准则决策方法,与AHP与ANP相比,BWM并非直接对所有指标进行成对比较,而是首先识别出最优与最劣指标,随后聚焦于最优指标与其余指标,以及其余指标与最劣指标之间的相对重要性评估。得益于其简洁性、直观性和在多标准决策场景下的高效性,BWM已在诸多领域^[17-19]内得到深入应用,有效削弱了主观偏见及决策者个人偏好的干扰。特别是在网络货运平台风险评估这类复杂决策场景中,BWM为专家提供了一个高效整合和评估多因素决策信息的框架,可以提升决策的客观性和科学性。

1) 在准则层构建过程中,根据专家组的综合意见甄选出最重要指标 C_b 与最不重要指标 C_w 。

2) 依据表1所设定的评估标度,采用1~9分制确定最优指标相对于其他指标的重要性。通过最

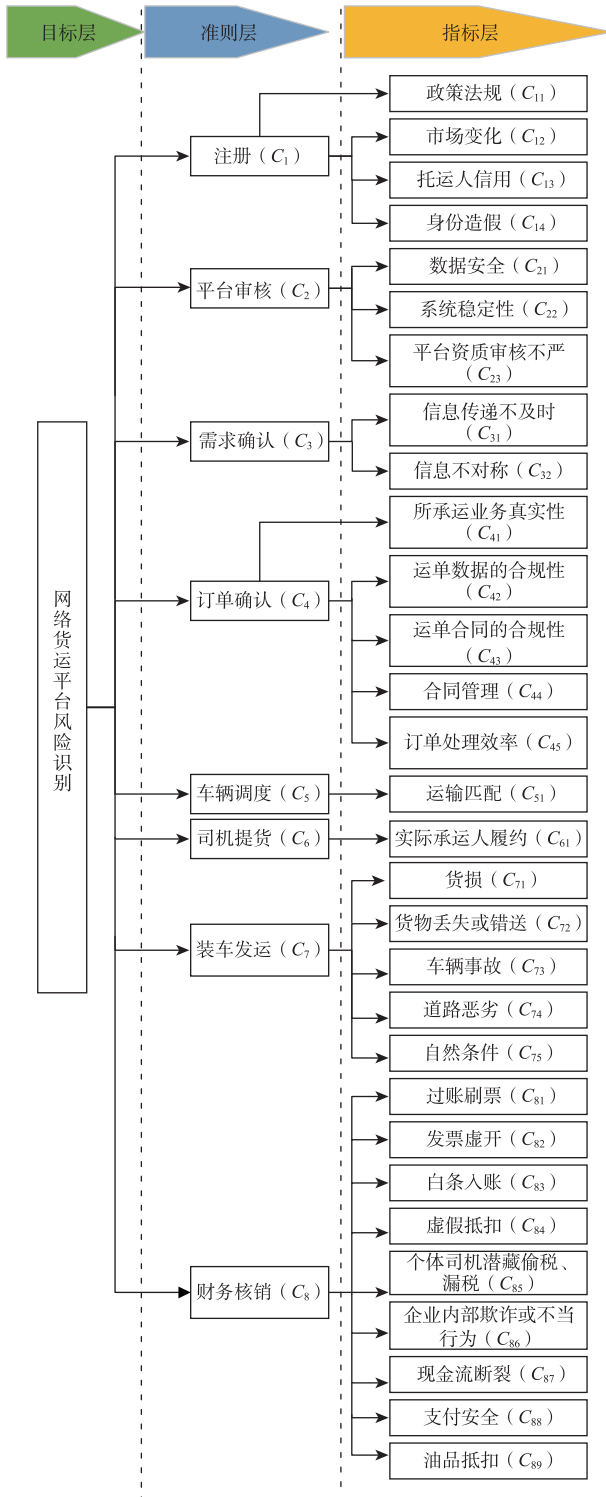


图2 网络货运平台风险评估指标体系

Fig. 2 Risk assessment index system of online freight platform

优指标和其他指标相对重要度的两两比较,得到向量 $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ 。 a_{Bj} 为最优指标 C_B 相对于指标 C_j 的重要性,1为两者同等重要,9为最优指标

表1 BWM评估标准

Tab.1 Assessment criteria for BWM

分值	标准
1	同等重要
2	介于同等重要和中度重要之间
3	中度重要
4	介于中度重要和高度重要之间
5	高度重要
6	介于高度重要和非常重要之间
7	非常重要
8	介于非常重要和完全重要之间
9	完全重要

相对后者完全重要; $j=1, \dots, n$; n 为风险因子总个数。

3) 依据表1所设定的评估标度,采用1~9分制确定其他指标相对于最差指标的重要性。通过其他指标和最差指标相对重要度的两两比较,得到向量 $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$ 。 a_{jW} 为指标 C_j 相对于最差指标 C_W 的重要性。

4) 采用线性BWM模型,计算最佳权重

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{q_B}{q_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{q_j}{q_W} - a_{jW} \right| \right\} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} : \begin{cases} \sum_{j=1}^n q_j = 1 \\ q_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n \end{cases}$$

转化后求解准则权重,考虑到权重的非负和条件,计算式为

$$\min \xi \quad (2)$$

$$\text{s.t.} : \begin{cases} \left| \frac{q_B}{q_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \\ \left| \frac{q_j}{q_W} - a_{jW} \right| \leq \xi, j=1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n q_j = 1 \\ q_j \geq 0 \end{cases}$$

式中: q_B 为最优指标主观权重; q_W 为最差指标主观权重; q_j 为指标 j 的主观权重; ξ 为求解权重结果的指示值。

5) 计算一致性比率。鉴于评估决策的复杂性,专家在提供偏好信息时难以达成完全一致。当偏好信息在一致性程度上达到一定标准时,则可以视其为可靠的。当所有准则 j 的偏好值均满足设定的条件 $a_{Bj} \times a_{jW} = a_{BW}$ 时,则认定这些偏好信息是完

全一致的,确保了决策的稳健性和准确性。

2.2 专家权重计算

1) 在评估过程中,为了提升评价的一致性和准确性,文章需要合理确定各位计算专家的权重向量^[20]。权重的确定基于专家们各自的资质水平、工作经验以及对评价领域的熟悉程度。通过综合考量,对每位专家的得分进行累加,从而得出每位专家的评价权重。专家评价的分数 λ_i 分配依据具体如表2所示。

表2 专家评价权重分配

Tab.2 Distribution of experts' evaluation weights

项目	人员级别	分值
资质水平	资深专家	5
	高级专家	4
	中级专家	3
	高级技术人员	2
	一般操作人员	1
工作经验	≥ 10 年	6
	$\geq 5 \sim 10$ 年	4
	$\geq 3 \sim 5$ 年	2
	< 3 年	1
熟悉程度	熟悉	5
	非常熟悉	2

$$\lambda_i = \frac{L_i + E_i + F_i}{\sum_{j=1}^v L_i + E_i + F_i} \quad (3)$$

式中: L_i 为专家 i 资质水平项目得分; E_i 为专家 i 工作经验项目得分; F_i 为专家 i 熟悉程度项目得分; v 为专家的总数; $i = 1, 2, \dots, v$ 。

2) 确定专家权重。所有专家完成评估后,基于表2,计算专家权重 λ

$$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5]^T$$

3) 在风险评估过程中,对于专家结果的整合至关重要。文章依据BWM法所确定的风险源权重 q_k 以及之前计算得出的专家权重 λ , 进一步计算出加权平均值,这一结果将作为风险源的总权重向量 Q 。计算式为

$$Q = Q_z \times \lambda$$

式中: Q 为风险源总权重向量; $Q_z = [q_1, q_2, \dots, q_5]$, $q_1 \sim q_5$ 为5位专家评估所得风险源权重。

2.3 模糊FMEA-TOPSIS模型

在网络货运平台的事故资料与故障统计数据稀缺的背景下,风险评估工作面临挑战,大多依赖于业内专家的经验性判断。传统FMEA法由于等级之间概念模糊,区分度不高,通常情况下难以准确判断评价因素所属等级。为了减少传统FMEA法中专家决策主观性,避免 Y_{RPN} 可能出现的排序混乱问题,借助模糊FMEA-TOPSIS模型^[21],可解决风险影响因素量化评价困难的问题,进而提升风险评估的精确性与可信度。

1) 专家组根据自身经验通过调研、讨论、实验等形式,获取网络货运平台中存在的风险模式,并制定各风险因子的模糊术语集^[22]。

2) 专家模糊语言评价。如表3,专家 i 对某一风险评价指标 j 的三角模糊评价为

$$A = (a_i, b_i, c_i)$$

表3 模糊语言术语

Tab.3 Fuzzy language term

语言术语	S	O	D	模糊数
VH 很严重	几乎不可避免	探测几乎无法实现	(8,9,10)	
H 比较严重	反复发生	探测较难	(6,7,9)	
M 中等	偶尔发生	中等	(4,5,6)	
L 相对不严重	相对很少发生	探测较容易	(2,4,5)	
VL 不严重	不太可能发生	探测特别容易	(0,2,3)	

3) 标准化后得到加权判断矩阵 H 。风险评价指标的去模糊化评价结果 X 为

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{a_i + b_i + c_i}{3}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

标准化后得到

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_{1n} \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2n} \\ H_{31} & H_{32} & \cdots & H_{3n} \end{bmatrix}^T$$

式中: 第1,2,3行分别为对 O, S, D 的评价; 第 i 列 ($i = 1, 2, \dots, n$) 为故障模式 i 的评价值。

4) 分别计算故障模式 i 与正负理想解的欧氏距离 D_i^+ 和 D_i^- 。在风险评价体系中,正理想解被定义为在 S 内,针对特定风险评价指标所对应列元素的最大值;而负理想解则相应地取该列元素的最小

值。若某一评价对象与正理想解的距离最为接近,且同时与负理想解保持最远的偏离,则该对象被视为最优。

5) 计算各风险模式的相对贴近度 G_i 并进行风险排序。计算式为

$$G_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

式中: D_i^+ 和 D_i^- 分别表示故障模式 i 与正负理想解的欧氏距离。

进一步地,依据相对贴近度 G_i 对风险优先级数进行有序排列:相对贴近度数值愈高,意味着该风险优先级数愈显著,从而赋予其更高的维护优先级;反之,若相对贴近度较低,则该风险优先级数处于较低水平。

3 网络货运平台的风险评估过程

3.1 权重确定

1) 为确定风险源的权重,基于BWM对准则层和指标层的权重进行分别计算。

组建一个由5位专家(DM1~DM5)构成的评估团队。专家根据图3中明确的风险源,并参照表1中的评估标度,各自对“准则层”进行1次评估,再对“指标层”的8组风险源分别进行8次独立评估。将8组“指标层”风险源的评估结果与它们各自所属的“准则层”风险类别评估结果进行相乘,从而得到这些风险源在研究对象“网络货运平台风险”中的具体权重。如表4所示,CR为高分组和低分组的临界比值。

表4 指标权重及一致性比率
Tab.4 Index weight and consistency ratio

专家	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	CR
DM1	0.070 0	0.070 0	0.087 5	0.174 9	0.116 6	0.174 9	0.273 3	0.032 8	0.076 5
DM2	0.071 6	0.071 6	0.089 5	0.179 1	0.119 4	0.179 1	0.258 1	0.031 6	0.067 1
DM3	0.058 5	0.070 2	0.087 8	0.175 5	0.117 0	0.175 5	0.290 0	0.025 4	0.061 1
DM4	0.062 7	0.125 4	0.094 0	0.075 2	0.125 4	0.188 1	0.300 9	0.028 2	0.075 2
DM5	0.062 7	0.125 4	0.075 2	0.125 4	0.094 0	0.188 1	0.293 9	0.035 3	0.082 3

2) 专家权重计算。为全面考量专家意见的权重,首先依据表3中的评估标准,对5位专家(DM1~DM5)的资质水平、工作经验以及熟悉程度进行了详细分析,进而确定 λ 。计算式为

$$\lambda = [0.281, 0.234, 0.203, 0.156, 0.125]^T$$

3) 专家结果聚合。基于BWM计算得出的风险源权重与上一步确定的专家权重,计算加权平均值以作为 Q ,见图4。

经过对评估结果的细致分析,算术平均值与加权平均值详细结果如图4所示,从图中可以观察到两者整体趋势相近,但在 C_{61} 和 C_{71} 两个点上存在一定程度的偏差,尽管差异并不显著。为了更清晰地展示这些细微差别以及专家个体评估结果的对比,放大相关部分并绘制图5。在图5中,可以明显看到DM2的评估结果与其他4位专家相比存在较大的差异,这在一定程度上反映了DM2在处理所研究的网络货运平台问题时的决策能力相对较弱。特别是在 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{32} 这3个方面,加权平均值相较于算术平均值更能有效地削弱DM2的影响,从而

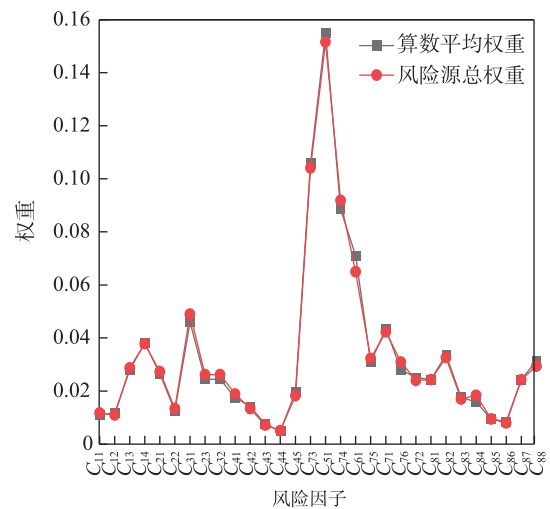


图4 权重的算术平均值与加权平均值的对比

Fig. 4 Comparison between arithmetic and weighted mean values of global weights

提高了整体评估的准确性和可靠性。

3.2 模糊FMEA评价

使用表3的模糊语言术语进行评价,得到适用

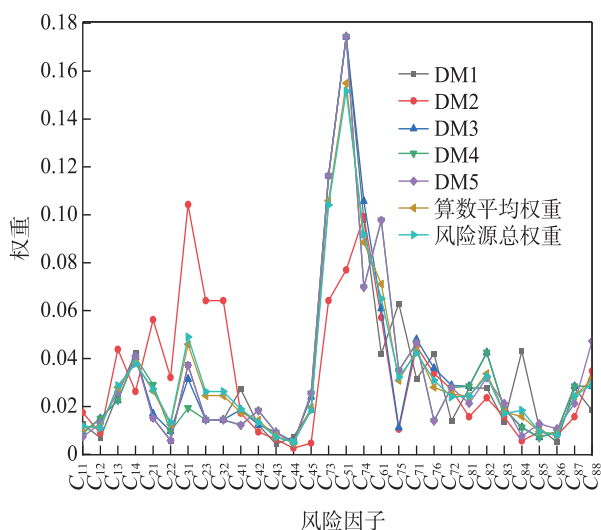


图5 不同方法得到的风险排序结果

Fig. 5 Ranking results of risk based on different methods

于网络货运平台的FMEA评估标准表^[24]。

3.3 TOPSIS评价

首先,对 S, O, D 的三角模糊评估结果进行去模糊化和标准化处理,从而得到网络货运平台风险模式的 H 。接着,确定各指标的正理想解和负理想解,并计算出风险因子与正理想解及负理想解的距离,如表5所示。

从表5中可以清晰看出, C_{71} 的风险最高,其次是 C_{72} 、 C_{82} 和 C_{89} 。

对于网络货运平台而言,货损货差风险排序最高,可能是因为货物在运输过程中会受到不同程度的损坏,比如受潮、碎裂、挤压等,可能会导致客户投诉或索赔,影响平台的声誉和业绩。网络货运平台可以加强对货物打包和装载的质量控制,强化货物运输过程中的监控与保护,建立完善的货物运输保险制度。并且与物流公司开展紧密合作,共同打造更为稳定的运输服务机制,从而降低货物损失的风险。货物错送的风险在货物分拣、装车和配送过程中可能发生订单指派失误,导致货物发送错误的目的地。网络货运平台应加强货物信息管理,实施全程追踪监控,提高货物分拣和装车的准确性,建立货物签收验证机制,及时处理投诉和弥补客户损失。

发票虚开的风险居高不下,可能是因为平台与供应商之间信息流通不畅,税务监管机制不够严密,难以及时发现虚假发票。网络货运平台需建立完善的内部审计机制,定期对发票信息进行核查,

表5 各风险因子与正负理想解欧氏距离

Tab.5 Euclidean distance between each fault mode and positive and negative ideal solution

风险因子	S	O	D	D_i^+	D_i^-
C_{11}	0.048 4	0.020 3	0.033 0	0.074 8	0.034 0
C_{12}	0.048 4	0.045 4	0.059 2	0.063 1	0.043 5
C_{13}	0.044 8	0.030 7	0.033 0	0.070 1	0.033 1
C_{14}	0.047 4	0.025 1	0.018 3	0.072 3	0.033 8
C_{21}	0.040 3	0.037 2	0.033 0	0.068 7	0.032 8
C_{22}	0.020 6	0.025 1	0.033 0	0.083 3	0.016 3
C_{23}	0.018 4	0.022 4	0.018 3	0.085 8	0.015 1
C_{31}	0.021 6	0.026 3	0.018 3	0.082 2	0.017 0
C_{32}	0.016 7	0.020 3	0.033 0	0.087 8	0.014 7
C_{41}	0.044 8	0.025 0	0.032 2	0.073 1	0.031 4
C_{42}	0.020 6	0.025 0	0.022 5	0.083 3	0.016 3
C_{43}	0.014 6	0.017 7	0.030 2	0.090 4	0.014 9
C_{44}	0.015 2	0.021 6	0.024 3	0.088 0	0.015 1
C_{45}	0.020 6	0.025 0	0.025 5	0.083 3	0.016 3
C_{51}	0.014 6	0.017 7	0.025 5	0.090 4	0.014 9
C_{61}	0.044 8	0.020 4	0.059 2	0.075 7	0.030 8
C_{71}	0.057 3	0.065 8	0.056 3	0.057 9	0.063 5
C_{72}	0.056 9	0.063 7	0.052 8	0.058 0	0.061 7
C_{73}	0.041 0	0.050 0	0.065 2	0.064 2	0.041 9
C_{74}	0.037 3	0.045 4	0.018 3	0.067 0	0.036 5
C_{75}	0.039 8	0.048 5	0.062 3	0.065 1	0.040 1
C_{81}	0.039 8	0.038 9	0.030 2	0.068 2	0.033 5
C_{82}	0.041 0	0.056 9	0.030 2	0.063 0	0.047 4
C_{83}	0.043 0	0.044 3	0.031 7	0.065 1	0.039 1
C_{84}	0.025 1	0.030 5	0.020 1	0.078 4	0.020 4
C_{85}	0.017 3	0.021 1	0.022 5	0.087 1	0.014 8
C_{86}	0.016 3	0.019 8	0.018 3	0.088 3	0.014 7
C_{87}	0.014 6	0.021 1	0.030 2	0.088 6	0.015 2
C_{88}	0.044 8	0.034 9	0.033 4	0.068 1	0.034 9
C_{89}	0.044 3	0.053 9	0.030 2	0.062 2	0.046 7

确保发票的真实性和合规性。同时加强平台与供应商之间的信息披露和沟通,减少信息不对称带来的风险。

油品抵扣的风险高的原因可能是许多网络货运公司对油品进项税抵扣的政策理解不足,导致无法正确操作。因此,网络货运平台应加强财务人员和承运司机的培训和学习,提高核算准确性。在核算过程中要严格按照政策规定进行操作,确保应纳税额和可抵扣税额的准确核算。

3.4 与传统FMEA法对比

为了验证新方法的有效性,文章分别应用传统

FMEA法和模糊FMEA-TOPSIS法对实例中的风险因子进行排序,所得结果详见表7。

表7 传统FMEA与模糊FMEA-TOPSIS的对比
Tab.7 Comparison of traditional FMEA with fuzzy FMEA-TOPSIS

风险因子	传统FMEA					FMEA-TOPSIS
	S	O	D	Y_{RPN}	排序	排序
C_{71}	7	7	8	392	1	1
C_{72}	7	6	8	336	2	2
C_{82}	6	4	8	192	3	3
C_{89}	5	4	6	120	4	4
C_{73}	4	6	5	120	4	6
C_{12}	4	6	5	120	4	7
C_{61}	6	4	5	120	4	8
C_{83}	6	5	4	120	4	9
C_{81}	5	4	5	100	9	5
C_{41}	4	5	5	100	9	16
C_{74}	5	5	4	100	9	19
C_{14}	4	6	4	96	12	13
C_{11}	8	2	6	96	12	15
C_{21}	6	3	5	90	12	11
C_{88}	5	3	4	60	15	10
C_{84}	5	4	3	60	15	14
C_{87}	5	3	4	60	15	22
C_{13}	3	4	4	48	18	12
C_{22}	3	4	4	48	18	18
C_{75}	4	3	4	48	18	17
C_{32}	4	3	3	36	21	20
C_{31}	4	3	3	36	21	24
C_{42}	2	6	3	36	21	25
C_{23}	3	4	3	36	21	29
C_{45}	4	3	2	24	25	21
C_{43}	4	2	3	24	25	23
C_{44}	4	2	3	24	25	26
C_{51}	4	2	3	24	25	27
C_{85}	4	3	2	24	25	28
C_{86}	4	2	2	16	30	30

通过对比分析表7中的数据,可以观察到两种方法在识别高风险因子时呈现出一致性,即 C_{71} 、 C_{72} 、 C_{82} 、 C_{89} 均被识别为优先级最高的前4位风险因子,而 C_{86} 均被视为优先级最低的风险因子。这一结果说明,无论是采用传统FMEA法还是模糊FMEA-TOPSIS法,在网络货运平台的风险评价中,它们都能有效地识别出风险水平最高与最低的风险模式,从而验证了这两种方法的适用性。

进一步对比分析表7数据发现,模糊FMEA-

TOPSIS法在处理风险优先数计算时,没有任何 Y_{RPN} 值是相同的,有效避免了简单相乘带来的弊端,同时也降低了风险评价指标属性值微小变化对最终结果产生的显著影响。以油品抵扣(C_{89})、车辆事故(C_{73})、市场变化(C_{12})、实际承运人履约(C_{61})、白条入账(C_{83})这5项风险因子为例,在传统FMEA法的计算框架下,这些因子的 Y_{RPN} 值相同,并列排名第4,无法有效区分其潜在影响的差异。然而,当采用模糊FMEA-TOPSIS法进行评估时,各风险因子的相对贴适度值被精确量化为0.722 04(C_{89})、0.551 65(C_{73})、0.551 59(C_{12})、0.517 15(C_{61})、0.493 73(C_{83}),这一变化不仅打破了原有并列排名的局限,而且根据各自风险因子的实际影响程度进行了更为细致的排序,从而更加准确地反映了各风险因子在整体风险评估体系中的相对重要性和优先级。这在一定程度上显示了该方法相较于传统FMEA方法的优越性。

4 结论

1) 传统FMEA与模糊FMEA-TOPSIS两种方法均将货损(C_{71})、货物丢失错送(C_{72})、发票虚开(C_{82})、油品抵扣(C_{89})列为首要风险因子,而最低优先级的风险模式则共同为未扣缴个人所得税(C_{86}),这一结果验证了两种方法在识别风险模式上的一致性。但新方法有效规避了简单相乘可能带来的缺陷,同时降低了风险评价指标属性值微小变化对最终结果产生的显著影响。这一优势表明新方法在处理复杂风险评价任务时更具优越性和实用性。

2) 为了降低网络货运平台货损货差风险、货物错送丢失风险、发票虚开风险,平台可以投保货物运输保险,选择可靠的物流合作伙伴,在货物的运输过程中实施严格的跟踪和监控系统;同时核实和记录发票信息,确保所有发票信息真实有效,从而提升货物运输和交易的安全性和可靠性。

3) 该研究有助于网络货运平台管理者明确平台运营中各环节风险水平的大小,提前准备风险应对措施,帮助网络货运平台提升运输安全性,优化管理效率、保证服务质量,为平台持续健康发展提供有力支持。

参考文献:

[1] 崔忠付. 运用网络货运新数据 创造物流信用新价值[J].

- 中国物流与采购, 2024(13): 11-12.
- CUI Z F. Creating new value of logistics credit by using new data of network freight transportation[J]. *China Logistics & Purchasing*, 2024(13): 11-12.
- [2] GIAGLIS G M, MINIS I, TATARAKIS A, et al. Minimizing logistics risk through real-time vehicle routing and mobile technologies: research to date and future trends[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2004, 34(9): 749-764.
- [3] DEANE J K, RAGSDALE C T, RAKES T R, et al. Managing supply chain risk and disruption from IT security incidents[J]. *Operations Management Research*, 2009, 2(1): 4-12.
- [4] 刘玲, 陈博宁, 杨雪键, 等. 基于WBS-RBS和区间直觉模糊集的X网络货运平台运营风险评估[J]. *供应链管理*, 2023, 4(11): 17-29.
- LIU L, CHEN B N, YANG X J, et al. Operational risk assessment of X online freight platform based on WBS-RBS and interval intuitionistic fuzzy set[J]. *Supply Chain Management*, 2023, 4(11): 17-29.
- [5] THOMPSON R G, NASSIR N, FRAUENFELDER P. Shared freight networks in metropolitan areas[J]. *Transportation Research Procedia*, 2020, 46: 204-211.
- [6] 陈晨. 网络货运平台风险分析及评估模型构建[J]. *物流工程与管理*, 2021, 43(6): 175-177.
- CHEN C. Risk analysis and evaluation model construction of network freight platform[J]. *Logistics Engineering and Management*, 2021, 43(6): 175-177.
- [7] 常连玉, 胡大伟, 陈海燕, 等. 基于PCA-Logit模型的无车承运人风险预警[J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2017, 38(3): 273-279.
- CHANG L Y, HU D W, CHEN H Y, et al. Risk warning of no-car operating carrier based on PCA-Logit model[J]. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2017, 38(3): 273-279.
- [8] PARK A, CHEN R, CHO S, et al. The determinants of online matching platforms for freight services[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2023, 179: 103284.
- [9] 周潇. 数字平台、行业重组与群体生计: 以公路货运市场车货匹配模式的变迁为例[J]. *社会学研究*, 2021, 36(5): 47-69, 227.
- ZHOU X. Digital platform, industry reorganization and group livelihood: a case study of the change of trucks-goods matching mode[J]. *Sociological Studies*, 2021, 36(5): 47-69, 227.
- [10] 桂云苗, 程静, 龚本刚. 不同信息策略下竞争型网络货运平台定价研究[J]. *中国管理科学*, 2023, 31(5): 176-186.
- GUI Y M, CHENG J, GONG B G. Research on pricing of competitive network freight platform under different information strategy[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2023, 31(5): 176-186.
- [11] YANG C C, BIAN J S, GUO X L, et al. Logistics outsourcing strategy with online freight platforms[J]. *Omega*, 2024, 125: 103042.
- [12] 甘卫华, 刘郑, 刘亚楠, 等. 基于奖惩机制的网络货运平台监管策略演化博弈分析[J]. *华东交通大学学报*, 2023, 40(1): 34-43.
- GAN W H, LIU Z, LIU Y N, et al. Evolutionary game analysis of regulating strategy based on reward and punishment mechanisms[J]. *Journal of East China Jiaotong University*, 2023, 40(1): 34-43.
- [13] 庞瑞琪, 储雪俭, 杨玉彬. 数字信任监管与小微运力企业融资信用风险: 基于网络货运平台的演化博弈分析[J]. *上海大学学报(自然科学版)*, 2022, 28(6): 970-980.
- PANG R Q, CHU X J, YANG Y B. Digital trust regulation and the credit risk of small and micro transportation capacity enterprises' financing: evolutionary game analysis based on online freight platform[J]. *Journal of Shanghai University (Natural Science Edition)*, 2022, 28(6): 970-980.
- [14] 李蒙, 王海峰, 汪小勇, 等. 基于FMEA和模糊TOPSIS的波浪能发电装置风险评估方法[J]. *船舶工程*, 2023, 45(1): 6-16.
- LI M, WANG H F, WANG X Y, et al. Risk assessment method of wave energy converter based on FMEA and fuzzy TOPSIS[J]. *Ship Engineering*, 2023, 45(1): 6-16.
- [15] WANG X Z, LIU L, WANG L Y, et al. An application of BWM for risk control in reverse logistics of medical waste[J]. *Frontiers in Public Health*, 2024, 12: 1331679.
- [16] 石旭东, 成博源, 黄琨, 等. 基于模糊TOPSIS-FMEA的飞机IDG风险评价[J]. *系统工程与电子技术*, 2022, 44(6): 2060-2064.
- SHI X D, CHENG B Y, HUANG K, et al. Risk assessment of aircraft IDG based on fuzzy TOPSIS-FMEA[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2022, 44(6): 2060-2064.
- [17] 刘嘉豪, 余杨, 余建星, 等. 基于BWM群决策赋权与

- FMEA 的风险评估方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(8): 37-43.
- LIU J H, YU Y, YU J X, et al. Risk assessment method based on BWM group decision-making weighting and FMEA[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2022, 18(8): 37-43.
- [18] 李耘宇, 张智成, 陈金州, 等. 基于BWM与模糊理论的桥梁综合评估方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2023, 42(12): 9-14, 22.
- LI Y Y, ZHANG Z C, CHEN J Z, et al. Synthetic evaluation method of bridge based on BWM and fuzzy theory[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2023, 42(12): 9-14, 22.
- [19] 朱洁, 冯建刚, 高玉琴, 等. 基于BWM-CRITIC-TOPSIS的幸福河湖综合评价模型[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(6): 8-14.
- ZHU J, FENG J G, GAO Y Q, et al. Comprehensive evaluation model for happy rivers and lakes based on BWM-CRITIC-TOPSIS[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2022, 42(6): 8-14.
- [20] 黄栋, 周景冉. 基于改进FMEA的装备采购供应链质量风险评估[J]. 海军工程大学学报, 2022, 34(2): 50-56.
- HUANG D, ZHOU J R. Quality risk assessment of equipment procurement supply chain based on improved FMEA[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2022, 34(2): 50-56.
- [21] SHARIFI F, ALI VAHDATZAD M, BARGHI B, et al. Identifying and ranking risks using combined FMEA-TOPSIS method for new product development in the dairy industry and offering mitigation strategies: case study of Ramak Company[J]. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2022, 13(5): 2790-2807.
- [22] BHATTACHARJEE P, DEY V, MANDAL U K. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) using interval number based BWM-MCDM approach: Risk Expected Value (REV) method[J]. Soft Computing, 2022, 26(22): 12667-12688.
- [23] 王浩伦, 徐翔斌, 甘卫华. 基于三角模糊软集的FMEA风险评估方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(11): 3054-3062.
- WANG H L, XU X B, GAN W H. Risk evaluation method in FMEA based on triangular fuzzy soft sets[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(11): 3054-3062.



第一作者:甘卫华(1969—),女,教授,博士,博士生导师,研究方向为物流与供应链管理。E-mail:weihuagan@163.com。



通信作者:张巧媛(1999—),女,硕士研究生,研究方向为物流与供应链管理。E-mail:645834317@qq.com。

(责任编辑:姜红贵)