

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2025.01.025

引用格式:唐润西,赵露薇,张少锦,等.新形势下高速公路运营企业全面风险评估[J].公路与汽运,2025,41(1):125-131.

Citation:TANG Runxi,ZHAO Luwei,ZHANG Shaojin, et al.Comprehensive risk assessment of expressway operation enterprises under the new situation[J].Highways & Automotive Applications,2025,41(1):125-131.

新形势下高速公路运营企业全面风险评估*

唐润西¹, 赵露薇², 张少锦³, 王青娥¹

(1.中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075;2.江苏科技大学 土木工程与建筑学院, 江苏 镇江 212000;
3.扬州大学 建筑科学与工程学院, 江苏 扬州 225000)

摘要:在省界收费站取消、ETC(电子不停车收费)收费系统普及等新形势及新型冠状病毒感染疫情影响下,高速公路运营企业面临政策、收费系统信息安全、全面预算管控等风险,亟须开展风险评估与应对措施研究。文中基于国务院国有资产监督管理委员会颁布的《中央企业全面风险管理指引》和 Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission 的《Enterprise Risk Management—Integrated Framework》,结合企业内部制度、相关研究文献及实地调研座谈,构建高速公路运营企业全面风险评估指标体系,选用区间值模糊集、D-S 证据理论、层次分析法开展某高速公路运营公司在新形势下的风险评估分析。结果表明,宏观经济风险和政策风险是高速公路运营企业全面风险的主要来源,提前制定风险缓释方案有利于保障企业处于安全状态。

关键词: 工程经济;高速公路运营企业;风险评估;评价指标体系;风险缓释

中图分类号:U415.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)01-0125-07

近年来,高速公路行业保持良好发展势头,高速公路运营企业逐渐成为经营高速公路的主体。由于高速公路运营企业具有运营内容繁多、技术含量较高、管理类别复杂等特征,同时受外部环境影响和内部因素限制,企业面临诸多不确定性并最终形成风险,这些不同类别的复杂风险隐藏在各层级、各部门^[1]。目前的研究多集中于高速公路企业的运营风险,陈哲基于广东高速公路运营面临的自然风险、经济风险、行为风险,开展了风险识别、分析和控制研究^[2];李然从收费站运营、服务区运营等方面建立了运营安全风险评价指标体系,但侧重于运营风险,且缺乏定量分析及佐证^[3];王毅采取层次分析(Alytic Hierarchy Process, AHP)法和模糊评价方法对高速公路企业经营风险进行了评价^[4]。鲜有学者探讨高速公路运营企业的全面风险。同时,2018 年以来高速公路省界收费站逐步取消、电子不停车收费系统(Electronic Toll Collection, ETC)普及及2020 年新型冠状病毒感染疫情暴发等,给高速公路行业带来前所未有的影响和冲击^[5],给企业造成政策、收费系统信息安全、全面预算管控等多方面风险。因此,

亟须开展高速公路运营企业全面风险评估。

用于风险评估的常用方法包括故障树^[6]及事件树^[7-8]等定性分析方法。但随着事件树或故障树枝的增加,其结构的直观性降低、计算复杂性增加。有学者将其与模糊综合评价法^[9]、神经网络^[10]、贝叶斯概率理论^[11]等定量分析方法相结合,但仍存在专家判断的主观性问题。为规避这些评估方法的不足,本文基于实地调研和访谈,分析高速公路运营企业的各类风险点和影响因素,建立基于模糊集、D-S 证据理论、AHP 法的全面风险评估方法,分析、评估各管理板块的风险水平,提出风险管理提升建议。

1 全面风险评估指标体系构建

以《Enterprise Risk Management—Integrated Framework》^[12]和国资改革〔2006〕108 号《中央企业全面风险管理指引》^[13]为总体参考框架,将文献调查法和实地调研法相结合,构建全面风险评估指标体系。首先,结合高速公路运营企业风险管理、内部控制制度及企业内各业务部门管理制度和相关文献,以战略风险、运营风险、市场风险、财务风险、法

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(72171237)

律风险为关键词在知网平台进行高级检索,将论文来源设为 EI、CSSCI、CSCD 等级的期刊及博士、硕士学位论文,筛选出期刊论文和博士、硕士学位论文作为选取风险评估指标的参考。其次,在广东省多家高速公路运营企业开展实地调研,与各部门负责人和骨干员工开展为期 14 d 的座谈,座谈内容主要为部门职能与管控流程、风险关注重点、各部门风险管控需求

及企业风险控制现状等,梳理企业内部业务开展流程和各部门之间的工作联系,剖析高速公路运营企业的风险点。在人工提取风险评估指标的基础上,结合专家座谈讨论、制度分析、风险事件梳理等适当修改完善相关指标,最终建立涵盖战略风险、运营风险、市场风险、财务风险、法律风险的全面风险评估指标体系(见图 1)。

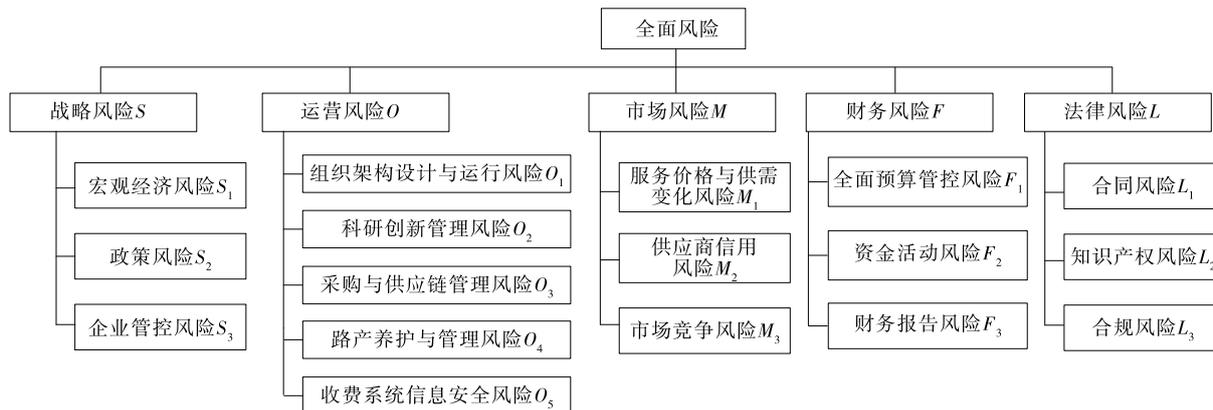


图 1 高速公路运营企业全面风险评估指标体系

2 基于模糊集、D-S 证据理论、AHP 法的全面风险评估方法

2.1 构造隶属度矩阵

专家通常无法精确打分,其给出的数值可能会导致重要信息遗漏,造成结果分析偏差^[14]。区间值模糊集是一种用数学方法表示不确定性、模拟不精确信息的工具,采用包含上下限值的区间来描述专家意见,能消除采用单一值作为隶属度造成的不确定性^[15-16]。采用区间值模糊集构造隶属度矩阵来表示专家评分,正态分布特性采用式(1)表示。

$$y = e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \quad (1)$$

式中: x 为量化值; μ 表示隶属函数的中心; σ 表示隶属函数的宽度,反映专家对于打分值的不确定度范围, σ 越大,不确定范围越大。

将高速公路运营企业全面风险分为 I(极小)、II(小)、III(中等)、IV(大)、V(极大)5 个等级,对应量化值为 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9,对应隶属函数中心为 0.00、0.25、0.50、0.75、1.00,不确定度范围为 0.0~0.2。各风险等级所对应隶属函数见表 1。

2.2 基于 D-S 证据理论的数据融合

传统的去模糊化方法如重心法、最大值平均法、最大值中心法等会不可避免地导致模糊信息的产生^[17]。信息融合是替代传统去模糊法的理想工具,

表 1 各风险等级对应的隶属函数

风险等级	隶属函数	风险等级	隶属函数
I(极小)	$y_I(x, \sigma) = e^{-x^2/(2\sigma^2)}$	IV(大)	$y_{IV}(x, \sigma) = e^{-(x-0.75)^2/(2\sigma^2)}$
II(小)	$y_{II}(x, \sigma) = e^{-(x-0.25)^2/(2\sigma^2)}$	V(极大)	$y_V(x, \sigma) = e^{-(x-1)^2/(2\sigma^2)}$
III(中等)	$y_{III}(x, \sigma) = e^{-(x-0.50)^2/(2\sigma^2)}$		

能用于合成多源模糊数据^[18]。D-S 证据理论是处理认知不确定性、冲突和偏差的最典型的信息融合技术之一,能集成大量知识和数据,更全面地组合来自不同专家的评估区间值,已被广泛应用于专家系统^[19]。其关键步骤是证据融合^[20],能通过量化可信度来解决不确定性和模糊性,基于 Dempster 合成法则,多个证据 $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ 融合后的结果为:

$$m(A) = \begin{cases} 0, A = \emptyset \\ \frac{1}{1-K} \sum_{A_i \cap A_j \cap \dots \cap A_k = A} m_1(A_i)m_2(A_j)\dots m_n(A_k), A \neq \emptyset \end{cases} \quad (2)$$

式中: $K = \sum_{A_i \cap A_j \cap \dots \cap A_k = \emptyset} m_1(A_i)m_2(A_j)\dots m_n(A_k) <$

1,代表冲突程度; $m_i(A_j)$ 表示证据 m_i 对命题 A_j 为真的信任程度; \emptyset 表示空集。

当 n 个专家对一个具有 m 个风险等级的系统进行评估时,计算时间为 $O(m^n)$ 。为克服这种计算的复杂性和低效率,对 D-S 证据理论进行改进,采用矩阵分析方法,将计算时间缩短为 $O(m^2 \times n)$ 。步骤如下:

(1) 设有 n 个专家打分,由高斯函数得到基本概率分配矩阵[见式(3)]。

$$M = \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \vdots \\ M_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{1I} & M_{1II} & M_{1III} & M_{1IV} & M_{1V} \\ M_{2I} & M_{2II} & M_{2III} & M_{2IV} & M_{2V} \\ M_{3I} & M_{3II} & M_{3III} & M_{3IV} & M_{3V} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{nI} & M_{nII} & M_{nIII} & M_{nIV} & M_{nV} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: M_{ij} 表示第 i 个专家对第 j 个风险等级的基本概率分配。

(2) 为融合来自专家 1 和专家 2 的判断,将 M_1 的转置与 M_2 相乘得到新的矩阵 R_1 [见式(4)]。两位专家的评分意见汇总后, R_1 中所有非对角线上元素之和为冲突程度 K 。为进一步整合专家 3 与专家 1、专家 2 的评判结果,提取 R_1 的主对角线元素作为列向量,将其与 M_3 相乘得到矩阵 R_2 [见式(5)],完成 3 位专家的评估结果融合。此时冲突程度 K 为原始矩阵 R_1 和更新后矩阵 R_2 中所有非对角线元素的总和。以此类推,迭代过程一直持续到来自 n 个专家的所有意见都融合在一起,得到矩阵 $R_{(n-1)}$,冲突程度 K 为融合过程中所有矩阵 R 的非对角线元素之和。

$$R_1 = M_1^T \times M_2 = \begin{pmatrix} M_{1I} \\ M_{1II} \\ M_{1III} \\ M_{1IV} \\ M_{1V} \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} M_{2I} & M_{2II} & M_{2III} & M_{2IV} & M_{2V} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} M_{1I} \times M_{2I} \\ M_{1II} \times M_{2II} \\ M_{1III} \times M_{2III} \\ M_{1IV} \times M_{2IV} \\ M_{1V} \times M_{2V} \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} M_{3I} & M_{3II} & M_{3III} & M_{3IV} & M_{3V} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} M_{1I} \times M_{2I} \times M_{3I} & \cdots & M_{1I} \times M_{2I} \times M_{3V} \\ \vdots & & \vdots \\ M_{1V} \times M_{2V} \times M_{3I} & \cdots & M_{1V} \times M_{2V} \times M_{3V} \end{bmatrix} \quad (5)$$

(3) 改进后的计算公式见式(6)。

$$m(A) = \begin{cases} 0, A = \emptyset \\ \sum M_1(A_1)M_2(A_2)\cdots M_n(A_n) + \\ K \frac{\sum_{i=1}^n m_i(A)}{n}, A \neq \emptyset \end{cases} \quad (6)$$

构造 n 个专家概率分配的和矩阵 $M' = M_1 + M_2 + \cdots + M_n$,则基于矩阵分析和权值分配的 D-S 合成算法为:

$$M_j = R_{(n-1)jj} + K \frac{M'}{n} \quad (7)$$

2.3 基于 AHP 法的评估指标权重确定

权重确定是风险评估的重要步骤。AHP 法是一种定性和定量相结合、系统化、层次化的分析方法^[21]。利用 AHP 法将全面风险(目标层)分解为 5 个准则层,再将每个准则层分解为若干个因素层,共计 17 个因素。通过两个元素之间的两两比较构造判断矩阵,计算每层因素的权重并进行一致性检验,得到所有评估指标的权重。

3 高速公路运营企业全面风险评估实例分析

某高速公路运营公司为国家级高新技术企业,公司创新团队于 2008 年成立,目前主要经营业务为筹划、设计、建设、经营、管理广州绕城高速公路东段项目及其配套设施,研究开发与公路建设和运营相关及衍生的技术产品等。该公司的组织结构偏重扁平化,共有 7 个管理部门,其中综合事务部、计划财务部和党建工作部属于职能部门,路产经营部、路产管理部、路产养护部和运营安全部属于业务部门,各部门按照“一岗五责”的原则对负责管理业务的计划、质量、安全、廉政、效能负责。公司对管理人员和技术人员设置有严格的招聘制度,具备高水平的管理能力和科研能力。公司发展趋势自成立以来一直稳中向好,但近年来受国家政策和经济形势的影响面临风险。

采用上述方法对该公司运营全面风险进行评估。邀请 10 位专家根据风险等级、量化值(x)和不

确定度(σ)对 17 个风险因素进行打分,这 10 位专家主要是高速公路运营企业的高管、部门负责人及相关业务流程骨干负责人。限于篇幅,仅列出部分专

家的打分结果(见表 2)。

3.1 隶属度矩阵

表 3~5 为利用模糊集构造的隶属度矩阵。

表 2 3 位专家的赋值结果

专家编号	项目	S ₁	S ₂	S ₃	M ₁	M ₂	M ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	F ₁	F ₂	F ₃	L ₁	L ₂	L ₃
专家一	等级	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
	x	0.7	0.7	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5
	σ	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
专家二	等级	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
	x	0.5	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5
	σ	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
专家三	等级	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
	x	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5
	σ	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1

注:风险严重程度等级为 I(极小)、II(小)、III(中等)、IV(大)、V(极大),对应量化值分别为 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9,不确定度范围为 0.0~0.2。

表 3 专家一的基本概率分配

因素	I	II	III	IV	V	因素	I	II	III	IV	V
S ₁	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8	O ₄	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8
S ₂	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8	O ₅	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8
S ₃	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	F ₁	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0
M ₁	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0	F ₂	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0
M ₂	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0	F ₃	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0
M ₃	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	L ₁	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0
O ₁	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	L ₂	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0
O ₂	0.021 9	0.228 5	0.499 1	0.228 5	0.021 9	L ₃	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0
O ₃	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0						

表 4 专家二的基本概率分配

因素	I	II	III	IV	V	因素	I	II	III	IV	V
S ₁	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	O ₄	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8
S ₂	0.001 1	0.040 1	0.306 0	0.489 0	0.163 8	O ₅	0.001 1	0.040 1	0.306 0	0.489 0	0.163 8
S ₃	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0	F ₁	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8
M ₁	0.163 8	0.489 0	0.306 0	0.040 1	0.001 1	F ₂	0.021 9	0.228 5	0.499 1	0.228 5	0.021 9
M ₂	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	F ₃	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0
M ₃	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	L ₁	0.021 9	0.228 5	0.499 1	0.228 5	0.021 9
O ₁	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0	L ₂	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0
O ₂	0.021 9	0.228 5	0.499 1	0.228 5	0.021 9	L ₃	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0
O ₃	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0						

表 5 专家三的基本概率分配

因素	I	II	III	IV	V	因素	I	II	III	IV	V
S_1	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	O_4	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8
S_2	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	O_5	0.001 1	0.040 1	0.306 0	0.489 0	0.163 8
S_3	0.163 8	0.489 0	0.306 0	0.040 1	0.001 1	F_1	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8
M_1	0.163 8	0.489 0	0.306 0	0.040 1	0.001 1	F_2	0.021 9	0.228 5	0.499 1	0.228 5	0.021 9
M_2	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	F_3	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0
M_3	0.010 8	0.857 6	0.131 6	0.000 0	0.000 0	L_1	0.021 9	0.228 5	0.499 1	0.228 5	0.021 9
O_1	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0	L_2	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0
O_2	0.000 0	0.000 0	0.131 6	0.857 6	0.010 8	L_3	0.000 0	0.040 4	0.919 2	0.040 4	0.000 0
O_3	0.021 9	0.228 5	0.499 1	0.228 5	0.021 9						

3.2 基于改进 D-S 证据理论的数据融合

利用改进 D-S 证据理论进行数据融合,融合结

果见表 6。融合结果表征每个风险因素对应不同风险等级的隶属度。

表 6 数据融合后的基本概率分配

因素	I	II	III	IV	V	因素	I	II	III	IV	V
S_1	0.000 0	0.023 9	0.693 9	0.279 0	0.003 2	O_4	0.000 0	0.000 0	0.050 6	0.945 5	0.003 9
S_2	0.000 3	0.025 4	0.464 8	0.454 3	0.055 1	O_5	0.000 6	0.020 9	0.206 3	0.683 7	0.088 5
S_3	0.055 1	0.454 3	0.464 9	0.025 4	0.000 3	F_1	0.000 0	0.012 9	0.392 1	0.588 2	0.006 8
M_1	0.088 5	0.683 7	0.206 3	0.020 9	0.000 6	F_2	0.011 3	0.129 2	0.719 0	0.129 2	0.011 3
M_2	0.003 2	0.279 0	0.693 9	0.023 9	0.000 0	F_3	0.004 0	0.945 5	0.050 5	0.000 0	0.000 0
M_3	0.003 2	0.279 0	0.693 9	0.023 9	0.000 0	L_1	0.017 5	0.426 2	0.395 4	0.146 7	0.014 2
O_1	0.003 2	0.279 0	0.693 9	0.023 9	0.000 0	L_2	0.003 2	0.279 0	0.693 9	0.023 9	0.000 0
O_2	0.013 5	0.140 5	0.380 1	0.448 9	0.017 0	L_3	0.000 0	0.009 1	0.981 8	0.009 1	0.000 0
O_3	0.004 2	0.059 9	0.871 6	0.059 9	0.004 4						

3.3 基于 AHP 法的权重确定

运用 AHP 法得到各评估指标的权重(见表 7),表示各风险因素对于全面风险评估目标的重要程度。根据权重分配结果,宏观经济风险是高速公路运营企业全面风险的主要来源,这主要是由于国内外经济下滑、经济活动和物价水平波动、汇率波动、利率变化等给企业生产经营带来不确定性,可能造成企业利润损失。其次是政策风险,原因是国际和国家宏观政策(如行业政策、地区发展政策等)发生变化,导致市场价格波动,尤其是 2020 年 1 月新型冠状病毒感染疫情在全国范围内暴发,疫情防控期间及节假日期间高速公路免费通行,加上逐步取消高速公路省界收费站等国家产业政策的变化,可能导致企业遭受损失。另外,行业政策、地区发展政策(如 ETC 收费系统普及、收费公路制度改革、鲜活农产品绿色通道免费政策等)发生变化,也会导致企

业陷入被动。对于这种风险,一般来说企业比较被动,拥有较少话语权。企业须把握好政策方向,不断进行调整以适应政策变化,才能最大程度减少政策因素带来的不确定性。

表 7 高速公路运营企业各风险指标的权重分配

目标层	准则层	权重		总权重
		(准则层→目标层)	(因素层→准则层)	
高速公路运营企业全面风险	S		S_1 0.443 7	0.160 4
			S_2 0.306 2	0.110 7
			S_3 0.250 1	0.090 5
	M		M_1 0.338 0	0.077 6
			M_2 0.282 4	0.064 9
			M_3 0.379 6	0.087 2

续表 7

目标层	准则层	权重 (准则层→ 目标层)	因素层	权重 (因素层→ 准则层)	总权重
高速公路运营企业全面风险	O	0.116 9	O_1	0.210 1	0.024 6
			O_2	0.202 9	0.023 7
			O_3	0.138 4	0.016 2
			O_4	0.219 2	0.025 6
			O_5	0.229 4	0.026 8
	F	0.166 8	F_1	0.357 4	0.059 6
			F_2	0.347 7	0.058 0
			F_3	0.294 9	0.049 2
	L	0.124 9	L_1	0.360 2	0.045 0
			L_2	0.170 6	0.021 3
			L_3	0.469 2	0.058 6

3.4 风险分析及应对措施

企业全面风险综合指标处于 5 个风险等级的概率 P 是表 6 中数据融合后基本概率分配矩阵与表 7 中权重分配矩阵的乘积,即 $P = W_{1 \times 17} \times N_{17 \times 5} = (0.014 6, 0.235 4, 0.531 1, 0.207 6, 0.011 3)$, 该公司风险等级为Ⅲ级(中等)的概率最大。采用加权法得到该公司的风险值为 $0.014 6 \times 0.1 + 0.235 4 \times 0.3 + 0.531 1 \times 0.5 + 0.207 6 \times 0.7 + 0.011 3 \times 0.9 = 0.493 1$, 处于中等风险等级。同理得到战略风险、运营风险、市场风险、财务风险、法律风险的风险值分别为 0.191 4、0.068 0、0.093 9、0.081 1、0.058 7, 战略风险 > 市场风险 > 财务风险 > 运营风险 > 法律风险。

根据风险评估结果,提出以下风险缓释方案:

(1) 开展中长期战略规划。基于当前经营形势对可持续经营能力和经营业绩产生的重大不利影响,考虑高速公路收费期限届满后企业的经营范围,及时开展中长期战略规划。

(2) 合理进行人力资源规划。随着新一代移动支付技术的发展,高速公路无人收费的趋势愈加明显。移动支付可自动完成车型识别、费用计算及收费放行等,今后在车道工作的收费员会逐步减少,而收费员普遍学历不高且技能单一。因此,企业须合理进行人力资源规划,适度控制人员进出标准和规模,把握收费人员分流情况,承担企业担负的社会责任。

(3) 拓宽业务发展空间。拓展多种业务模式,打造竞争亮点。利用客流、货流在路产/路网的边界

内探索变现可能,开启围绕高速公路的品牌化商业及广告、物流装卸场站及园区等模式,突破既有路产边界,与大消费、大商贸及大物流进行深度融合。

(4) 开展精益运营。高速公路运营企业应基于日常精益运营,积极寻求创新技术手段以实现高级别降本增效,采取数据化手段提高日常养护效率,利用各类技术手段进行修缮,延长公路可使用周期,进行精细化作业以实现综合降本。

(5) 跟进最新政策法规。现行法律法规对高速公路收费的规定不明晰、对保障高速公路经营的政策不确定,已经影响到高速公路运营企业的经营。企业应积极规划不停车收费技术配套机电设备的升级方案,在确保满足高速公路运营的情况下,紧跟政策方向,推广最新收费技术,使用技术手段结合政策有效降低人工成本,提高车辆通行效率。

(6) 全面推进数智化运营。在数字经济时代,高速公路利用新一代信息与通信技术提升运营效率已成为交通建设的发展趋势^[22]。高速公路运营企业应不断提升智慧高速公路系统的主流应用技术,开展数智化运营,打造智慧高速公路。

4 结语

本文基于《Enterprise Risk Management—Integrated Framework》和《中央企业全面风险管理指引》,分析高速公路运营企业的全面风险,运用文献分析、实地调研座谈等方法提炼出战略风险、运营风险、市场风险、财务风险、法律风险五类风险,建立高速公路运营企业全面风险评估指标体系。基于专家打分,利用模糊集构造隶属度矩阵,运用改进 D-S 证据理论融合不同专家的评判结果,消除专家打分的主观性导致的不确定性、冲突和偏差,结合 AHP 法建立风险评估方法。以广东省某高速公路运营公司为例,分析其经营期内主要风险来源为宏观经济风险和政策风险,全面风险等级处于中等水平且不容忽视,须建立并尽快实施相应风险缓释方案。

本文建立的风险评估指标体系仅列出广州某高速公路运营公司的代表性因素,而不同高速公路运营企业的风险因素可能存在差别,其他企业在参考本文进行风险评估时须结合实际情况进行修正,使评估结果更精准。

参考文献:

[1] 张靖.基于结构方程的高速公路企业风险传导研

- 究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [2] 陈哲.广东高速公路运营风险管理研究[D].广州:华南理工大学,2015.
- [3] 李然.高速公路运营安全风险评价研究[J].交通运输研究,2019,5(1):48-56.
- [4] 王毅.基于 AHP-模糊评价的高速公路经营企业风险评估研究[J].公路交通科技,2017,34(4):154-158.
- [5] 房瑞伟,王长曦,李素兰,等.后疫情时代临空高速公路通行费变化研究[J].公路与汽运,2024,40(6):29-35.
- [6] 陈舞,王浩,张国华,等.基于 T-S 模糊故障树和贝叶斯网络的隧道坍塌易发性评价[J].上海交通大学学报,2020,54(8):820-830.
- [7] 胡圣武,王育红.基于事件树和模糊理论的 GIS 动态地质灾害评估[J].武汉大学学报(信息科学版),2015,40(7):983-989.
- [8] KHAKZAD N, KHAN F, AMYOTTE P. Safety analysis in process facilities: comparison of fault tree and Bayesian network approaches[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2011, 96(8): 925-932.
- [9] 王瑜,李勇.基于模糊综合评价的 HOV 车道综合效益分析[J].公路交通科技,2020,37(9):148-158.
- [10] 范峻恺,徐建刚.基于神经网络综合建模的区域城市群发展脆弱性评价:以滇中城市群为例[J].自然资源学报,2020,35(12):2875-2887.
- [11] 吕楠,赵敬源.基于贝叶斯概率理论的物流园区选址优化研究[J].中国公路学报,2020,33(9):251-260.
- [12] Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. Enterprise risk management: integrated framework[M]. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, 2004.
- [13] 国务院国有资产监督管理委员会.中央企业全面风险管理指引:国资发改革[2006]108号[A/OL].(2006-06-06)[2024-07-02].<http://www.sasac.gov.cn/gzjg/qygg/200606200105.htm>.
- [14] XU X B, ZHANG Z, XU D L, et al. Interval-valued evidence updating with reliability and sensitivity analysis for fault diagnosis[J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2016, 9(3): 396-415.
- [15] BUSTINCE H, BARRENECHEA E, PAGOLA M, et al. A historical account of types of fuzzy sets and their relationships[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2016, 24(1): 179-94.
- [16] SANZ J A, FERNANDEZ A, BUSTINCE H, et al. IVTURS: A linguistic fuzzy rule-based classification system based on a new interval-valued fuzzy reasoning method with tuning and rule selection[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2013, 21(3): 399-411.
- [17] ZHANG L M, WU X G, QIN Y W, et al. Towards a fuzzy Bayesian network based approach for safety risk analysis of tunnel-induced pipeline damage[J]. Risk Analysis, 2016, 36(2): 278-301.
- [18] HUANG Y, LI T, LUO C, et al. Dynamic fusion of multi-source interval-valued data by fuzzy granulation[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2018, 26(6): 3403-3417.
- [19] JIAO Z, GONG H, WANG Y. A D-S evidence theory-based relay protection system hidden failures detection method in smart grid[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2018, 9(3): 2118-2126.
- [20] 徐建民,王恺霖,吴树芳.基于改进 D-S 证据理论的微博不可信用户识别研究[J].数据分析与知识发现,2022,6(12):99-112.
- [21] 袁志涛,李敏,何子英,等.“平安海区”建设评价指标体系研究:以浙江省为例[J].安全与环境学报,2019,19(6):1884-1891.
- [22] 赵祥模,高赢,徐志刚,等.IntelliWay-变耦合模块化智慧高速公路系统一体化架构及测评体系[J].中国公路学报,2023,36(1):176-201.

收稿日期:2024-07-05

(上接第 53 页)

- [9] 唐文卿,贺劲松,张树生.抗滑桩-桩板式挡土墙设计浅析[J].工程建设,2011,43(5):16-20.
- [10] 王洪英.截面形状对桩板墙支护体系受力与变形的影响分析[J].公路与汽运,2021(3):74-77.
- [11] 重庆市城乡建设委员会.建筑边坡工程技术规范:GB 50330—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [12] 中国建筑科学研究院.建筑桩基技术规范:JGJ 94—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [13] 中国建筑科学研究院.建筑工程抗震设防分类标准:GB 50223—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [14] 中国建筑科学研究院.建筑抗震设计规范(2016 版):GB 50011—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

收稿日期:2023-07-25