

文章编号:1672-3961(2024)01-0063-11 DOI:10.6040/j.issn.1672-3961.0.2022.366

# 基于 BP-Adaboost 与 TOPSIS 的航空装备供应商评价

顾玉磊<sup>1</sup>, 马晖<sup>2</sup>, 王愚勤<sup>1</sup>, 胡卉<sup>2\*</sup>, 刘富鑫<sup>1</sup>

(1. 长安大学汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学运输工程学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:**为提升航空装备供应商评价标准的适用性及准确性,提出并设计出一种基于逆向传播(back propagation, BP)神经网络-弱分类器(Adaboost)与优劣解距离法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)的航空装备供应商评价方法。运用因子分析理论对供应商评价指标进行筛选,构建适合航空装备行业特点的供应商评价指标体系。在 Adaboost 算法元框架下,将 BP 神经网络作为基分类器,设计基于 BP-Adaboost 强分类器供应商分类模型。针对 BP-Adaboost 算法无法精确计算供应商综合得分的不足,设计基于 TOPSIS 法的供应商评价模型。案例分析结果表明,基于 BP-Adaboost 与 TOPSIS 法的航空装备供应商评价模型具有更高的评价准确度,对企业完善供应商管理体系提供理论和实践指导。

**关键词:**航空装备制造;因子分析;供应商管理;供应商评价指标体系;BP-Adaboost 算法;TOPSIS 法

**中图分类号:**TP183 **文献标志码:**A

**引用格式:**顾玉磊,马晖,王愚勤,等.基于 BP-Adaboost 与 TOPSIS 的航空装备供应商评价[J].山东大学学报(工学版),2024,54(1):63-73.

GU Yulei, MA Hui, WANG Yuqin, et al. Evaluation of aviation equipment supplier based on BP-Adaboost algorithm and TOPSIS[J].

Journal of Shandong University (Engineering Science), 2024, 54(1):63-73.

## Evaluation of aviation equipment supplier based on BP-Adaboost algorithm and TOPSIS

GU Yulei<sup>1</sup>, MA Hui<sup>2</sup>, WANG Yuqin<sup>1</sup>, HU Hui<sup>2\*</sup>, LIU Fuxin<sup>1</sup>

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710074, Shaanxi, China; 2. School of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to improve the applicability and accuracy of the evaluation criteria for aviation equipment suppliers, a supplier evaluation method was proposed and designed based on back propagation (BP) neural network-weak classifier (Adaboost) and technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS). In the process of constructing the evaluation model, the supplier evaluation indexes were selected by factor analysis theory, and a supplier evaluation index system was established which was suitable for the characteristics of the aviation equipment industry. Being taken BP neural network as base classifier, a supplier classification model based on strong classifier of BP-Adaboost was designed under the Adaboost algorithm framework. In view of the supplier's comprehensive score could not be accurately calculated by BP-Adaboost algorithm, a supplier evaluation model was designed based on TOPSIS method. The case results showed that supplier evaluation model based on BP-Adaboost and TOPSIS had higher evaluation accuracy, which provided theoretical and practical guidance for enterprises to perfect supplier management system.

**Keywords:** aviation equipment manufacturing industry; factor analysis; supplier management; supplier evaluation index system; BP-Adaboost algorithm; TOPSIS method

收稿日期:2022-11-01

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2020YFB1713300);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(300102229107);国家级大学生创业实践项目(202210710007)

第一作者简介:顾玉磊(1982—),女,安徽界首人,讲师,硕士生导师,博士,主要研究方向为供应链管理。E-mail: gylei001@chd.edu.cn

\* 通信作者简介:胡卉(1979—),女,辽宁锦州人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向为供应链突发事件建模与优化。

E-mail: huhui@chd.edu.cn

## 0 引言

随着经济和科学技术的快速发展,航空装备制造和生产在国民经济的地位与日俱增,其生产研制一定程度上代表着国家综合实力发展水平。航空制造业属于典型的知识密集、技术复杂性产业,研制过程涉及多领域和多技术的融合,在主制造商-供应商模式下完成整体项目进度<sup>[1]</sup>。在航空装备研制过程中,供应商参与有助于提高产品的市场成功概率,且已经成为企业进行创新活动的重要手段<sup>[2]</sup>。因此,基于供应商视角,规范制定科学可行的评价体系,保证航空装备各领域的资源协调分配,成为航空装备顺利研制生产的关键环节。文献[3-4]认为如何选择供应商是企业中的战略决策,对企业未来发展起着重要的作用。文献[5]证明通过选择合适的供应商评价方法可以实现节约成本和风险最小化。文献[6]通过建立两阶段质量功能展开法(quality function deployment, QFD)模型和供应商选择优化模型,解决了供应商选择过程中指标因素的模糊性和不确定性。因此,供应商选择是一个多属性决策问题<sup>[7]</sup>。此外,文献[8]也强调供应商选择在考虑可持续性和环境因素的绿色供应链管理中非常重要。文献[9]认为可持续供应商选择包括成本、环境和社会标准以及供应商的绩效历史。文献[10]以航空复杂装备“主制造商-供应商”中供应商参与模式为研究对象,基于供应商不同参与模式选择判定条件,研究协同研制过程中供应商实施策略。

在供应商评价体系上,国内外学者做了大量且丰富的研究成果。文献[11-12]分别通过问卷调查和文献研究,对供应商评价指标进行归纳和重要度排序。文献[13-14]基于层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)/网络分析法(analytic network process, ANP),对供应商评价指标从经济、质量及社会和环境因素进行了梳理和分析。文献[15]结合企业调研和文献分析,通过建立质量、交付和服务、业务连续性以及社会影响等四维一级评价指标体系和21个二级指标,对我国某大型电子制造商进行了验证。在供应商评价方法上,主要集中在利用ANP<sup>[16]</sup>、AHP<sup>[17]</sup>、优劣解距离法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)<sup>[18]</sup>等方法综合评判待选供应商风险。如文献[17]针对绿色供应链管理中研究不多的绿色供应商评估和订单分配问题,使用了TOPSIS法和模糊

多目标线性规划进行供应商选择评价研究。文献[18]结合AHP以及TOPSIS法,解决了某汽车公司的供应商选择问题。文献[19]使用AHP和双目标整数规划研究了供应商选择和订单分配问题。文献[20]将贝叶斯网络应用于弹性供应商的评估和选择。文献[21]等基于五元联系数熵权法构建风险动态评价模型,对航空公司运行风险进行评估。文献[22]基于航空转包项目特征,利用熵权TOPSIS法对航空转包供应商风险进行评估选择。文献[23]根据专家相似度和评价犹豫度确定专家权重,利用混合改进TOPSIS法对装备供应商进行评价选择。文献[24]结合航空制造业中对外包供应商评价研究不足的现状,运用层次分析法构建了外包供应商评价体系,并结合国内S公司的现状进行案例分析。

由以上分析可知,已有研究主要集中在提出某一个指标体系或选择改进某一评价方法上,综合评判待选供应商的风险排序,进而选择一个或某几个排序靠前的供应商。但是,对供应商进行评估时,忽略了一个重要的前提条件,即待选供应商是否合格。如果有部分待选供应商未达到合格标准,而制造企业此时仅要筛选掉个别供应商时,即使借助较精确的评判排序方法,也有可能选择到不合格供应商的情况。目前,对此问题进行深入研究的学者较少。本研究在文献研究与实地调研的基础上,通过因子分析理论筛选出适用于航空制造业供应商指标评价体系,设计逆向传播(back propagation, BP)神经网络-弱分类器(Ada-boost)算法对供应商进行甄别和分类,应用TOPSIS法对供应商进行综合排序。将两种评价方法融入航空装备供应商评价流程中,帮助主制造商筛选真正合格且表现优异的供应商,并不断对选定的供应商进行跟踪评价,进而保证供应商参与航空装备协同研制的顺利实施,为航空装备供应商管理体系提供指导和借鉴。

## 1 因子分析理论

因子分析又称因素分析,是一种基于相关性分析的统计技术,利用降维思维从研究变量群相关矩阵内部的依赖关系出发,把一些具有错综复杂关系的变量归结为几个少数公共因子。其目的是探索原始变量群之间的相关关系,减少变量数量,验证变量之间的假设关系,在因子分析的基础上还可对变量做深入分析,如指标筛选。本研究将因子分析

用于分析调查问卷调研数据,其数据模型为:

$$\begin{cases} x_1 = \alpha_{11} f_1 + \alpha_{12} f_2 + \dots + \alpha_{1j} f_j + \varepsilon_1 \\ x_2 = \alpha_{21} f_1 + \alpha_{22} f_2 + \dots + \alpha_{2j} f_j + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ x_i = \alpha_{i1} f_1 + \alpha_{i2} f_2 + \dots + \alpha_{ij} f_j + \varepsilon_i \end{cases}, \quad (1)$$

式中: $x_1, x_2 \dots x_i$  为原始变量群中的  $i$  个原始变量; $\alpha_{11}, \alpha_{12} \dots \alpha_{ij}$  为因子载荷; $f_1, f_2 \dots f_j (j \leq i)$  为  $j$  个公共因子变量; $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \dots \varepsilon_i$  为  $i$  个特殊因子变量,是原始变量中不可以被公共因子包含的部分。数学模型(1)用矩阵表示为:

$$X_{i \times 1} = A_{i \times j} X_{j \times 1} + \varepsilon_{i \times 1}, \quad (2)$$

式中, $X_{i \times 1}$  为原始变量矩阵, $A_{i \times j}$  为因子载荷矩阵, $\varepsilon_{i \times 1}$  为特殊因子变量矩阵。

## 2 航空装备供应商评价指标体系构建

### 2.1 航空装备供应商评价指标遴选集

结合航空装备行业特点和实地调研结果,以文献[11-12]构建的指标体系为基础,同时总结归纳国内外 50 余篇相关研究成果,将含义相近的指标进行命名的规范化,统计各指标的选用次数和选用频率,总结出调查文献中出现的供应商评价指标引用频数,如表 1 所示。

表 1 指标引用频数统计表

Table 1 Statistics of index reference frequency

指标名称	频数	指标名称	频数
产品质量保障	12	长期合作计划	2
生产制造能力	11	生产柔性	3
价格水平	18	总资产金额	1
准时交货率	14	资产负债状况	7
价格合理性	2	原材料状况	2
产品使用寿命	2	节能减排能力	4
质量认证体系	11	污染处理能力	2
运输能力	8	安全性	8
服务能力	15	专业技术团队	8
技术交流	3	订单完成率	2
企业业绩	1	降价能力	4
员工状况	1	客户满意度	6
成本控制能力	3	售后服务成本	9
问题处理能力	6	企业管理水平	5
创新能力	11	企业信誉	11
设备验收合格率	8		

在对国内外供应商评价指标进行归纳和总结的基础上,结合航空装备制造业特征,构建了航空装备供应商评价指标遴选集,如表 2 所示。

表 2 航空装备供应商评价指标遴选集

Table 2 Selection of evaluation indicators of aviation equipment suppliers

指标编号	指标名称	指标编号	指标名称
C1	财务状况	C17	专业技术团队
C2	管理水平	C18	团队培训
C3	员工状况	C19	生产制造能力
C4	社会环境	C20	创新能力
C5	企业信誉	C21	服务能力
C6	长期合作计划	C22	问题处理能力
C7	ISO 质量体系认证情况	C23	技术交流频率
C8	质量管理能力	C24	技术配合度
C9	产品合格率	C25	运输能力
C10	品质稳定性	C26	检测周转时间
C11	价格水平	C27	准时交货率
C12	价格合理性	C28	响应速度
C13	售后保障成本	C29	节能减排能力
C14	降价能力	C30	污染处理能力
C15	成本控制能力	C31	客户满意度
C16	配置齐全度	C32	安全性

### 2.2 调查问卷的设计和发放

针对表 2 的 32 个航空装备供应商遴选评价指标,进行调查问卷以收集高校研究人员及行业相关专家对各个指标的评判数据。通过编制 Likert 七级量表调查问卷,对不同重要度的评价予以量化。该量表用数字 1~7 来量化 7 种评价,其中 7 代表非常重要,6 代表重要,5 代表比较重要,4 代表一般重要,3 代表比较不重要,2 代表不重要,1 代表完全不重要,重要程度随数字减小依次递减<sup>[16]</sup>。本调查问卷通过线上投放和线下访谈相结合的形式对高校相关科研人员及 A 航空公司相关行业从业者进行调研。本次共发放 135 份调查问卷,收回有效问卷 127 份,回收率为 94%。

### 2.3 基于因子分析的航空装备供应商评价指标筛选

对原始变量进行因子分析后可以在一定程度上洞悉数据相关关系,并在此基础上继续做深入分析,基于因子分析的指标筛选方法就是其中一种。通过以上因子分析理论可知, $\alpha_{ij}$  为  $x_i$  与  $f_j$  之间的相关系数,累计方差贡献率  $\omega_j$  为  $f_j$  在原始指标集中的信息含量占比。两个指标均不能单独表示  $x_i$  在原始变量集中的信息含量占比,可用  $\alpha_{ij}$  对  $\omega_j$  的加权平均和来表示  $x_i$  解释原始变量集的程度<sup>[17]</sup>。

(1) 计算加权载荷因子的绝对值

$$\mu_{ij} = \omega_j |\alpha_{ij}|, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (3)$$

(2) 计算  $x_i$  的信息量含量

$$R_i = \max \mu_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad (4)$$

式中,  $R_i$  反映  $x_i$  解释原始变量集的程度, 即  $R_i$  越大,  $x_i$  越能解释原始变量集; 反之, 越不能解释原始变量集。

(3) 构造  $R_i$  降序排列。计算过程为:

$$R_{m1} \geq R_{m2} \geq \dots \geq R_{mm} \quad (5)$$

(4) 利用前  $u$  个指标累计信息含量占比  $H_u$  筛选指标。  $H_u$  计算过程为:

$$H_u = \sum_{j=1}^u H_{mj} \left( \sum_{i=1}^m H_i \right)^{-1} \quad (6)$$

(5)  $H_u$  随着指标数量的增多而变大, 筛选指标

时, 一般设定条件  $H_{u-1} < H_0 \leq H_u$ , 对满足条件的前  $u$  个指标予以保留。在本研究中取  $H_0$  为 80%, 即在  $H_{u-1} < 80\% \leq H_u$  的条件下筛选满足条件的  $u$  个指标<sup>[25]</sup>。

利用 SPSS26 软件输出因子方差解释, 前 6 个因子对原 32 个指标变量的解释程度达到了 67.684%, 解释程度较高, 故选取前 6 个因子作为公共因子。建立因子载荷矩阵, 使各指标向关系最密切的公共因子靠拢, 对航空装备供应商评价指标遴选集进行筛选, 筛选结果如表 3 所示。

表 3 供应商评价指标信息含量及筛选结果  
Table 3 Supplier evaluation indicators, information content and screening results

指标	信息含量	排序结果	排序后对应指标	信息量比/%	筛选结果
C1	0.079	0.102	C14	4.3	保留
C2	0.086	0.101	C7	8.6	保留
C3	0.083	0.091	C12	12.5	保留
C4	0.069	0.091	C21	16.4	保留
C5	0.086	0.088	C9	20.1	保留
C6	0.069	0.088	C20	23.8	保留
C7	0.071	0.086	C19	27.5	保留
C8	0.101	0.086	C2	31.1	保留
C9	0.102	0.086	C1	34.8	保留
C10	0.085	0.085	C11	38.4	保留
C11	0.077	0.085	C15	42.0	保留
C12	0.088	0.083	C6	45.5	保留
C13	0.066	0.079	C23	48.9	保留
C14	0.086	0.079	C8	52.2	保留
C15	0.091	0.077	C3	55.5	保留
C16	0.035	0.074	C32	58.6	保留
C17	0.079	0.074	C13	61.8	保留
C18	0.036	0.072	C31	64.8	保留
C19	0.074	0.071	C17	67.8	保留
C20	0.049	0.069	C30	70.8	保留
C21	0.067	0.069	C22	73.7	保留
C22	0.062	0.067	C26	76.5	保留
C23	0.061	0.066	C27	79.4	保留
C24	0.056	0.065	C29	82.1	保留
C25	0.072	0.063	C18	84.8	筛除
C26	0.085	0.062	C10	87.5	筛除
C27	0.059	0.061	C28	90.1	筛除
C28	0.065	0.059	C24	92.6	筛除
C29	0.074	0.056	C16	94.9	筛除
C30	0.091	0.049	C4	97.0	筛除
C31	0.063	0.036	C25	98.5	筛除
C32	0.088	0.035	C5	100.0	筛除

### 2.4 航空装备供应商评价指标体系结构

按表 3 筛选结果,前 24 个指标累计信息含量占比已大于 80%,故剔除后 8 个指标。结合因子分析结果

和行业特色,将 6 个公共因子分别命名为质量因素、成本因素、运输及环保因素、企业状况、服务因素和创新因素,构建航空装备供应商评价指标体系,如图 1 所示。

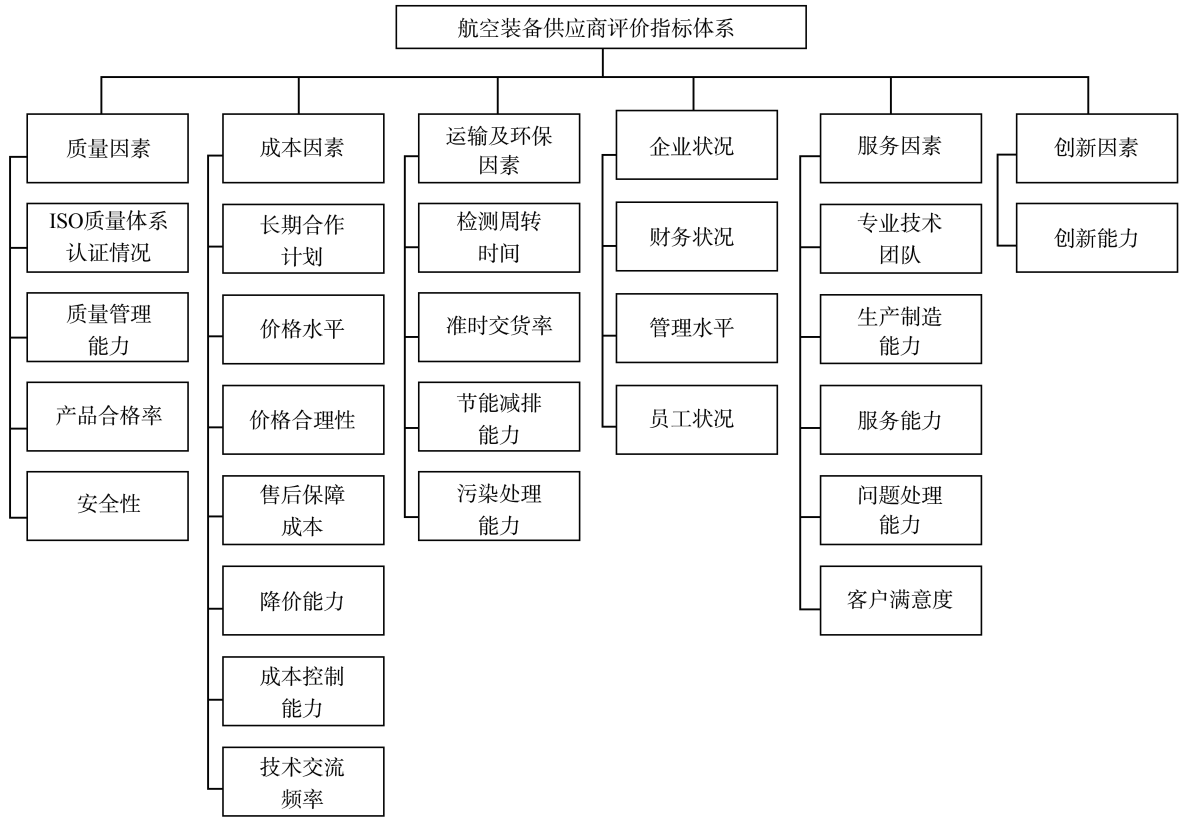


图 1 航空装备供应商评价指标体系  
Fig.1 Evaluation index system of aviation equipment suppliers

## 3 基于 BP-Adaboost 与 TOPSIS 的航空装备供应商评价模型

### 3.1 航空装备供应商评价模型构建方法

航空装备供应商评价体系包含的 24 个评价指标,有定性指标和定量指标两大类,在对航空供应商分类选择时,这些指标与供应商评价结果之间存在复杂关系,具备非线性关系的特点,对模型的非线性映射能力和评价准确性提出了较高要求。BP 神经网络可处理线性不可分问题,内部参数灵活可调整,可实现高复杂度数学建模,故将其作为供应商评价模型的基础。但 BP 神经网络是一种局部搜索算法,易陷入局部最优,且 BP 神经网络的学习能力和泛化能力存在矛盾,可能出现过拟合现象。可利用具备自适应增强特性的机器学习算法——Adaboost 算法将多个弱分类器(BP 神经网络)组合成精度更高的强分类器,一方面可以加强前一个弱分类器分类错误样本的权重,使得下一个弱分类器

对分类不准确的样本重点学习,另一方面组合全部弱分类器对每一个样本的分类结果,使得误差率较低的弱分类器在最终分类器中权重较大,提升强分类器整体的分类准确率。

Adaboost 算法优化的 BP 神经网络算法充分挖掘了基分类器的算法性能,在一定程度上提升了 BP-Adaboost 算法的分类准确率。受限于 Adaboost 元算法框架的限制,该算法适用于分类问题。通过 BP-Adaboost 算法可以对多种类别的供应商分类,在实际的供应商选择评价过程中,可能会出现多个合格供应商竞争一个供应商资质的情况,如能对供应商综合打分量化其整体实力,将提供更为清晰直观的选择依据。TOPSIS 法是一种常见的组内综合评价方法,其核心思想是利用评价对象与理想目标之间的差距以对评价对象进行得分量化排序。基于此,将 BP-Adaboost 算法与 TOPSIS 法相结合以应用于供应商选择评价,其供应商选择评价流程如图 2 所示。

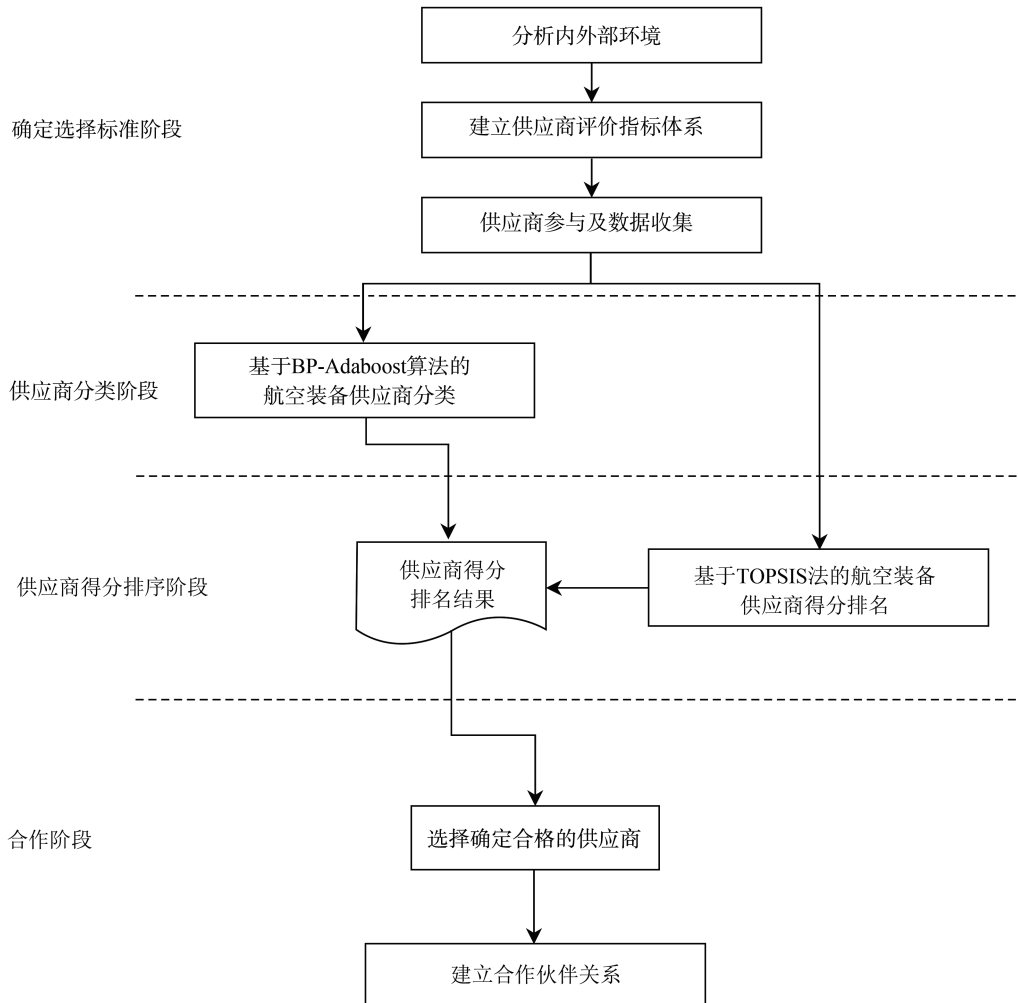


图2 供应商选择评价流程

Fig.2 Supplier selection evaluation process

### 3.2 基于 BP-Adaboost 强分类器的航空装备供应商分类模型

将 BP 神经网络作为基分类器,形成 Adaboost 算法优化的 BP-Adaboost 强分类器,其计算过程的具体步骤如下。

(1) 设置 BP 神经网络弱分类器的网络结构和弱分类器个数  $T$ 。

(2) 确定  $N$  组训练样本集  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$ 。其中  $x_i \in X$ , 为供应商评价指标;  $y_i$  为供应商分类类别,  $y_i \in Y$ ,  $Y = \{-1, 1\}$ ,  $-1$  表示合格供应商,  $1$  表示不合格供应商。

(3) 初始化训练样本权重。计算过程为:

$$D_t(i) = 1/N, \quad (7)$$

式中:  $D_t(i)$  为训练样本权重分布;  $t$  为弱分类器序号,  $t \in T$ ;  $i$  为训练样本序号,  $i \in N$ 。

(4) 用训练样本训练 BP 神经网络, 得到第  $t$  个 BP 弱分类器的预测序列  $g(t)$ , 并计算其预测误差和

$$e_t = \sum D_t(i) (g(t)y), \quad (8)$$

式中  $y$  为期望分类结果。

(5) 根据  $e_t$  计算第  $t$  个 BP 弱分类器的权重

$$a_t = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1-e_t}{e_t} \right), t = 1, 2, \dots, T. \quad (9)$$

(6) 调整训练样本权重进行下一轮迭代

$$D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i)}{B_t} \cdot \exp[-a_t y_i g_t(x_i)], \quad (10)$$

式中,  $B_t$  为归一化因子,  $g_t(x_i)$  为对  $x_i$  进行分类得到的第  $t$  个弱分类器的预测序列。

(7) 返回(4), 直至迭代  $T$  次后停止。

(8) 输出强分类器。将  $T$  组弱分类函数  $f_i(x)$  根据权重分布组合生成强分类函数

$$F(x) = \text{sign} \left[ \sum_{t=1}^T a_t \cdot f_t(x) \right]. \quad (11)$$

BP-Adaboost 算法计算过程如图 3 所示。

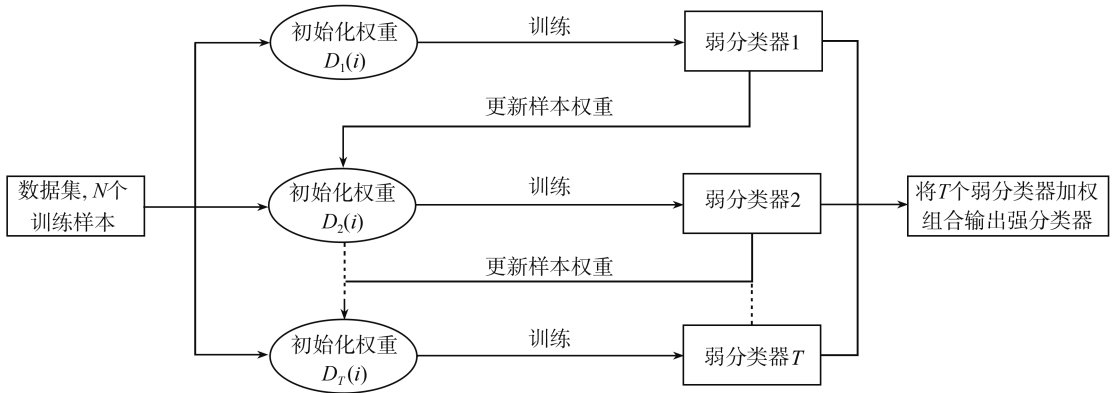


图 3 BP-Adaboost 算法计算过程

Fig.3 BP-Adaboost algorithm calculation process

### 3.3 基于 TOPSIS 法的航空装备供应商得分排序模型

基于 TOPSIS 法的航空装备供应商得分排序模型计算过程如下。

#### (1) 指标正向化

由于供应商评价指标体系中存在极大型指标和极小型指标,在计算各评价对象得分之前需要将所有类型指标转换成极大型指标。本研究仅介绍极小型指标转化方法,计算过程为:

$$x' = M - x,$$

式中,  $M$  为指标的最大值,  $x$  为指标值,  $x'$  为  $x$  转化后的指标值。

#### (2) 指标标准化

指标间的量纲不统一将会引起评价结果的不准确,因此需要对指标进行标准化处理:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}, \quad i \in n, j \in m, \quad (12)$$

建立标准化后的指标矩阵

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nm} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

式中,  $n$  为评价对象个数,  $m$  为评价指标个数。

#### (3) 计算得分

首先计算每一个评价对象与最大值和最小值的距离,  $Z^+$  为正理想解,  $Z^-$  为负理想解,并计算此评价对象的得分

$$S_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - Z_{ij})^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^+ - Z_{ij})^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - Z_{ij})^2}}, \quad (14)$$

式中,  $Z_j^+ = \max_j Z_{ij}$ ,  $Z_j^- = \min_j Z_{ij}$ 。

最后将得分排序得到评价结果:

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_m^+) = (\max\{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{n1}\}, \dots, \max\{Z_{1m}, Z_{2m}, \dots, Z_{nm}\}), \quad (15)$$

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_m^-) = (\min\{Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{n1}\}, \dots, \min\{Z_{1m}, Z_{2m}, \dots, Z_{nm}\}). \quad (16)$$

指标类型可分为极大型指标、极小型指标、中间型指标和区间型指标 4 种。利用 TOPSIS 法计算每一个评价对象的得分之前需要确定每一个评价指标的类型以判断其是否需要正向化,每一种类型的指标都需要转换成极大型指标。本研究所构建的 24 个航空装备供应商评价指所属的类型如表 4 所示。

表 4 航空装备供应商评价指标分类

Table 4 Classification of evaluation indicators of aviation equipment suppliers

编号	指标名称	类型	编号	指标名称	类型
C1	财务状况	极小型	C17	专业技术团队	极大型
C2	管理水平	极大型	C19	生产制造能力	极大型
C3	员工状况	极大型	C20	创新能力	极大型
C6	长期合作计划	极大型	C21	服务能力	极大型
C7	ISO 质量体系认证情况	极大型	C22	问题处理能力	极大型
C8	质量管理能力	极大型	C23	技术交流频率	极大型
C9	产品合格率	极大型	C26	检测周转时间	极小型

表4(续)

编号	指标名称	类型	编号	指标名称	类型
C11	价格水平	极小型	C27	准时交货率	极大型
C12	价格合理	极小型	C29	节能减排能力	极大型
C13	售后保障成本	极小型	C30	污染处理能力	极大型
C14	降价能力	极大型	C31	客户满意度	极大型
C15	成本控制能力	极大型	C32	安全性	极大型

## 4 案例分析

### 4.1 案例背景

A公司是一家从事歼击机、教练机和无人机研发及生产的大型企业,是中航工业防务的成员单位,中航工业直管的19家重点主机单位之一。A公司现已建立了较为完整的飞机科研生产体系和完整配套的机场管制中心系统,包括初步建成的无人机制造、试验、试飞和服务基地,数字化异地协同飞机设计制造体系和技术、质量、安全、保密保障等能力。

### 4.2 基于BP-Adaboost与TOPSIS的航空装备供应商评价模型应用

#### 4.2.1 BP-Adaboost算法结构设计

将基于BP-Adaboost算法的航空装备供应商评价模型应用于A公司之前,需要确定适用于模型的网络参数,从A公司的实际情况和模型性能最优的目的出发,以适应A公司的真实需要并尽可能提升运算效率和分类准确率。

##### (1) 基分类器数量的确定

将每一个BP神经网络看作 $T$ 个基分类器中的一个。 $T$ 从 $\{5, 10, 15, 20, 25, 30\}$ 中选取,通过对取值范围内的基分类器个数依次进行多次训练,确定 $T=10$ 时分类准确率最高。

##### (2) BP神经网络参数确定

包括神经网络层数、各层节点数、节点传递函数、训练函数等其他参数。

##### (3) BP神经网络各层节点数的确定

###### ① 输入层节点数

本研究构建的评价指标体系中包括24个维度的输入数据,因此输入层神经元数目为24。

###### ② 输出层节点数

本研究构建的评价模型输出为供应商的分类状况,仅一个维度(合格或者不合格),因此输出层神经元数目为1。

综上所述,基于BP-Adaboost算法的航空供应

商评价模型网络参数如表5所示。

表5 基于BP-Adaboost算法的航空供应商评价模型网络参数

Table 5 Aviation supplier evaluation model network parameters based on BP-Adaboost algorithm

基分类器数	网络层数	输入层节点数	输出层节点数	隐含层节点数	学习率
10	3	24	1	12	0.1

### 4.2.2 基于BP-Adaboost算法的航空供应商分类结果分析

采用BP-Adaboost算法进行A公司供应商预测分类,从分类结果分析BP-Adaboost算法相对于BP神经网络在分类准确率的提升。

将测试训练集的错误分类结果分为第一类错误和第二类错误,其中第一类错误为将不合格供应商判断为合格供应商,第二类错误为将合格供应商判断为不合格供应商。强分类器多次分类结果如表6所示。

表6 强分类器多次分类结果

Table 6 Strong classifier classification results

第一类错误数	第二类错误数	总错误数	准确率/%
1.2	0.3	1.5	90.00

将10个BP神经网络弱分类器的多次分类结果按组展示,如表7所示。

表7 弱分类器多次分类结果

Table 7 Weak classifier classification results

分类器编号	第一类错误数	第二类错误数	总错误数	准确率/%
1	2.0	0.8	2.8	81.30
2	1.7	0.6	2.3	84.67
3	1.5	0.7	2.2	85.33
4	1.1	0.8	1.9	87.33
5	1.7	1.3	3.0	80.00
6	1.1	1.1	2.2	85.33
7	1.2	1.5	2.7	82.00
8	1.4	1.1	2.5	83.33
9	1.6	1.0	2.6	82.67
10	1.5	0.9	2.4	84.00
均值	1.4	0.9	2.4	83.60

从表7可知,BP神经网络弱分类器对测试样本

的准确率在 80.00%~87.33%之间,精度变化较大,平均准确率为 83.60%。而通过 Adaboost 算法将 10 组 BP 神经网络组合成强分类器,对测试样本的准确率为 90%,分类准确率有较大提升。从表 6 和表 7 还可以看出,强分类器和弱分类器发生第一类错误的概率均比发生第二类错误的概率要高。

将 BP 神经网络与 BP-Adaboost 算法分别运行若干次获取其均方误差,如图 4 所示,BP-Adaboost 算法的均方误差明显低于 BP 神经网络,其中 BP-Adaboost 算法的均方误差均值为 0.35,BP 神经网络的均方误差均值为 0.80。

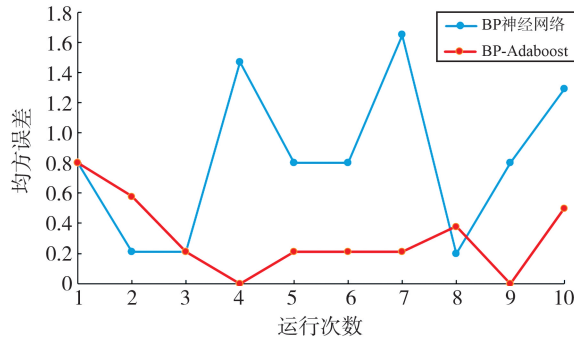


图 4 BP 神经网络与 BP-Adaboost 算法均方误差曲线  
Fig.4 Mean squared error curves of BP neural network and BP-Adaboost algorithm

### 4.2.3 基于 TOPSIS 法的航空装备供应商排序结果分析

通过以上基于 BP-Adaboost 算法将航空装备供应商进行分类后,受限于 BP-Adaboost 算法的特性,无法精准地量化出每一个供应商的综合得分情况。基于 3.3 节中的 TOPSIS 法的航空装备供应商评价模型设计,利用 TOPSIS 法计算每个供应商的综合得分情况,可以弥补 BP-Adaboost 算法的不足,更能适应 A 公司供应商管理过程中的实际场景。TOPSIS 法对供应商排序的部分结果如表 8 所示。

通过表 8 可以看出,TOPSIS 法在对供应商进行综合得分排序时基本做到了合格供应商排名靠前,不合格供应商排名靠后。TOPSIS 法供应商排序相关指标如表 9 所示。

从表 9 可以看出,TOPSIS 法对计算供应商综合得分并进行排序后,合格供应商平均得分为 0.52,高于全体供应商平均得分 0.50,也高于不合格供应商平均得分 0.49;合格供应商平均排名为 67,高于不合格供应商平均排名 91。考虑到供应商的整体差距并不大,且合格供应商占全体供应商的 66.7%,故排序结果较能反映供应商的合格状况。

表 8 TOPSIS 法供应商排序结果(部分)

Table 8 TOPSIS supplier ranking results (partial)

供应商编号	正理想解距离	负理想解距离	综合得分	排序	实际结果
1	0.36	0.43	0.54	28	合格
2	0.35	0.44	0.56	9	合格
3	0.37	0.38	0.51	80	合格
4	0.41	0.36	0.47	124	合格
5	0.37	0.41	0.52	57	不合格
6	0.37	0.43	0.54	41	合格
7	0.36	0.36	0.50	101	不合格
8	0.39	0.40	0.50	89	合格
9	0.38	0.38	0.50	99	不合格
10	0.39	0.42	0.52	68	合格
11	0.37	0.38	0.51	82	合格
12	0.37	0.40	0.52	65	合格
13	0.39	0.46	0.54	30	合格
14	0.37	0.39	0.51	74	不合格
15	0.40	0.37	0.48	112	不合格

表 9 TOPSIS 法供应商排序相关指标

Table 9 TOPSIS method supplier ranking related indicators

供应商总数	合格供应商数	不合格供应商数	全体供应商平均得分	合格供应商平均得分	不合格供应商平均得分	合格供应商平均排名	不合格供应商平均排名
150	100	50	0.50	0.52	0.49	67	91

### 4.2.4 基于 BP-Adaboost 与 TOPSIS 的航空装备供应商评价结果分析

将 BP-Adaboost 算法应用于供应商评价,结果

发现 BP-Adaboost 算法在区分合格和不合格供多的供应商样本数据进行训练,否则拟合度差。

TOPSIS 法在实际应用中易于接受,排序结果

清晰明确,决策成本低。但是对影响较大的指标权重考虑不足,需结合其他方法确定权重。且在应用中,仅计算得分,缺乏对比标准,区分不出合格供应商,即不合格供应商会有得分靠前的可能性。正是由于 BP-Adaboost 算法与 TOPSIS 法在进行供应商选择评价时都存在一定的缺陷,将两种方法结合起来应用于供应商选择评价全流程,可在很大程度上帮助 A 公司做好供应商管理工作。

### 4.3 企业建议

(1) A 公司在对供应商进行分类过程中,第一类错误造成的损失要高于第二类错误。通过以上结果分析可以发现, BP-Adaboost 算法在对供应商进行分类的过程中发生第一类错误的概率比较高,这就需要 A 公司在应用此模型甄别供应商时,对已经判定为合格的供应商进行再识别,加大审核力度,规避风险。

(2) A 公司作为中航工业直管的 19 家重点主机单位之一,周围供应商多达上千家,这些供应商重要程度和性质各不相同,本研究的供应商评价方法提供了一种评价范式,对不同性质的供应商实施不同的评价管理方法十分必要,具有重要意义。

(3) BP-Adaboost 算法和 TOPSIS 法作为两种相互独立的供应商选择评价方法各有其优缺点,将两种方法结合起来才能更好地帮助 A 公司做好供应商管理工作。

(4) A 公司作为航空装备供应链的主制造商,可与重要供应商建立起深层次的战略合作伙伴关系,实现资源共享、利润共享、风险同担、全程合作。

## 5 结语

本研究主要对航空装备供应商选择评价问题进行研究。在充分结合航空装备制造业行业特色的基础上,以 32 个初始航空装备供应商评价指标集为基础设计了调查问卷,运用基于因子分析的指标筛选原理对指标进行筛选,最终保留 24 个评价指标,使得评价指标体系充分适应航空装备制造业的行业需求。分别设计了 BP-Adaboost 算法和 TOPSIS 法以求解供应商分类模型。以国内某家航空装备企业 A 公司作为案例进行分析,应用 BP-Adaboost 算法进行供应商分类,应用 TOPSIS 法进行供应商得分排序。将 BP 神经网络由 Adaboost 算法组合成强分类器相对于 BP 神经网络弱分类器的运行结果做了比较,并设计了 BP-Adaboost 算法

和 TOPSIS 法相结合的 A 公司供应商选择评价流程,结合 A 实际情况和算法运行结果给出了企业建议。

本研究将供应商分为合格供应商和不合格供应商,颗粒度较粗,以后的研究中如果可以在更加细致的供应商分层体系下优化 BP-Adaboost 算法以解决多分类问题,将可以帮助企业建立配套的供应商储备管理体系,精细化运营。本研究在利用 TOPSIS 法对供应商进行综合得分评价时,24 个指标权重均等考虑,以后的研究中如果能融合 AHP 法、模糊多目标线性规划等方法确定各评价指标的权重,得分排序结果更能符合航空装备制造业行业要求。

### 参考文献:

- [1] 程永波,陈洪转,何丽芳,等. 复杂装备主制造商-供应商主从合作激励协调 Stackelberg 模型[J]. 中国管理科学, 2016, 1(1): 91-96.  
CHENG Yongbo, CHEN Hongzhan, HE Lifang, et al. Stackelberg model for manufacturer-supplier cooperative incentive coordination of complex equipment manufacturer [J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 1(1): 91-96.
- [2] WAGNER S. Tapping supplier innovation[J]. Journal of Supply Chain Management, 2012, 48(2): 37-52.
- [3] REZAEI A, RAHIMINEZHAD G M, MANSOORZADEH S, et al. Supplier selection and order allocation with lean manufacturing criteria: an integrated MCDM and bi-objective modelling approach[J]. Engineering Management Journal, 2020, 32(4): 253-271.
- [4] BOHNER C, MINNER S. Supplier selection under failure risk, quantity and business volume discounts[J]. Computers and Industrial Engineering, 2017, 104: 145-155.
- [5] ARABSHEYBANI A, PAYDAR M M, SAFAEI A S. An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 190: 577-591.
- [6] BABBAR C, AMINSH A. Multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy QFD in beverages industry[J]. Expert Systems with Applications, 2018, 92: 27-38.
- [7] MOHEB-ALIZADEH H, HANDFIELD R. Sustainable supplier selection and order allocation: a novel multi-objective programming model with a hybrid solution approach [J]. Computers and Industrial Engineering, 2019, 129: 192-209.

- [8] HAMDAN S, CHEAITOU A. Dynamic green supplier selection and order allocation with quantity discounts and varying supplier availability[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2017, 110: 573-589.
- [9] GHADIMI P, TOOSI F G, HEAVEY C. A multi-agent systems approach for sustainable supplier selection and order allocation in a partnership supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2018, 269(1): 286-301.
- [10] 程永波. 供应商参与航空复杂装备协同研制的实施策略[J]. *系统工程理论与实践*, 2017(6): 1568-1580.  
CHENG Yongbo. Implementation strategy of suppliers participating in the collaborative development of aviation complex equipment [J]. *Systems Engineering-Theory and Practice*, 2017(6): 1568-1580.
- [11] DICKSON G W. An analysis of vendor selection systems and decision[J]. *Journal of Purchasing*, 1966, 2(1): 5-17.
- [12] WEBER C A, CURRENT J R. Vendor selection criteria and methods[J]. *European Journal of Operational Research*, 1991, 50(1): 2-18.
- [13] KELLNER F, LIENLAND B, UTZ S. An a posteriori decision support methodology for solving the multi-criteria supplier selection problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 272: 505-522.
- [14] AZIMIFARD A, MOOSAVIRAD S H, ARIAFAR S. Selecting sustainable supplier countries for Iran's steel industry at three levels by using AHP and TOPSIS methods[J]. *Resources Policy*, 2018, 57: 30-44.
- [15] WANG C, YANG Q, DAI S. Supplier selection and order allocation under a carbon emission trading scheme: a case study from China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 111(17): 1-19.
- [16] AOUADNI S, AOUADNI I, REBAÏ A. A systematic review on supplier selection and order allocation problems [J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2019, 15(1): 267-289.
- [17] LO H W, LIOU J J H, WANG H S, et al. An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 190: 339-352.
- [18] JAIN V, SANGAIAH A K, SAKHUJA S, et al. Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry[J]. *Neural Computation*, 2018, 29: 555-564.
- [19] HAMDAN S, CHEAITOU A. Supplier selection and order allocation with green criteria: an MCDM and multi-objective optimization approach [J]. *Computers and Operations Research*, 2017, 81: 282-304.
- [20] HOSSEINI S, BARKER K A. Bayesian network model for resilience-based supplier selection [J]. *International Journal of Production Economics*, 2016(180): 68-87.
- [21] 赵焱飞, 万俊强. 五元联系数-熵权法的航空公司风险评价[J]. *科学技术与工程*, 2018(5): 347-352.  
ZHAO Yifei, WAN Junqiang. Risk evaluation of airlines by five-element linkage-entropy weight method[J]. *Science Technology and Engineering*, 2018(5): 347-352.
- [22] 祝思佳, 邱苑华. 基于熵权 TOPSIS 的航空转包生产供应商风险评估[J]. *系统工程*, 2020, 38(1): 154-158.  
ZHU Sijia, QIU Wanhua. Risk assessment of suppliers in aviation subcontracting production based on entropy weight TOPSIS [J]. *Systems Engineering*, 2020, 38(1): 154-158.
- [23] 林原, 战仁军, 吴虎胜. 基于混合改进 TOPSIS 的装备供应商选择方法[J]. *工业工程与管理*, 2021, 26(2): 75-82.  
LIN Yuan, ZHAN Renjun, WU Husheng. Equipment supplier selection method based on hybrid improved TOPSIS [J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(2): 75-82.
- [24] 陈晓东. S 航空制造公司外包供应商的评价体系研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.  
CHEN Xiaodong. Research on evaluation system of outsourcing suppliers of S aviation manufacturing company [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2020.
- [25] 陈洪海, 迟国泰. 基于主要信息含量的指标筛选方法 [J]. *系统工程学报*, 2016, 31(2): 268-273.  
CHEN Honghai, CHI Guotai. Index screening method based on main information content [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2016, 31(2): 268-273.

(编辑:孙亚彤)