

基于ANP + VIKOR算法的航天企业供应商决策研究

檀甜甜, 李继鹏, 于炳涛, 苏佳佳, 胡婉婷, 于 旻

首都航天机械有限公司, 北京

收稿日期: 2022年6月10日; 录用日期: 2022年6月20日; 发布日期: 2022年6月29日

摘 要

本文在对航天企业供应商的特性进行分析的前提下, 构建了合理化的指标体系, 采用ANP网络分析法进行评价指标的权重确定, 进而采用VIKOR算法进行了供应商决策。实例验证结果表明, 将ANP + VIKOR算法用于航天企业供应商决策具有较强的实用性。

关键词

航天企业, 供应商决策, ANP网络分析法, VIKOR算法

Research on Supplier Decision of Aerospace Enterprises Based on ANP + VIKOR Algorithm

Tiantian Tan, Jipeng Li, Bingtao Yu, Jiajia Su, Wanting Hu, Yang Yu

Aerospace Machinery Corporation Limited, Beijing

Received: Jun. 10th, 2022; accepted: Jun. 20th, 2022; published: Jun. 29th, 2022

Abstract

In this paper, on the premise of analyzing the characteristics of aerospace suppliers, a reasonable index system is constructed. ANP network analysis method is used to determine the weight of evaluation indicators, and VIKOR algorithm is used to make supplier decisions. The example results show that the ANP + VIKOR algorithm has strong practicability in supplier decision of aerospace enterprises.

Keywords

Aerospace Enterprise, Supplier Decision, ANP Network Analysis Method, VIKOR Algorithm

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

航天制造企业针对产品制造过程中每一个需要外协加工的制造任务，从海量的制造资源中匹配出若干具备相应承接能力的制造资源，并进一步锁定合适的制造服务提供方，达到企业的效益最大化和成本最小化，并实现服务增值，是供应商决策的核心所在。

ANP 源于美国运筹学家萨蒂(T. L. Saaty)对传统的 AHP 层次分析法的指标非独立性改进[1]。一方面，ANP 继承了 AHP 定性定量相结合的特点以及系统化的、层次化的属性，使得它用于解决多层次多目标决策问题有着天然优势，另一方面，它改进了 AHP 法不能反映实际问题复杂性的特点，将指标元素之间，指标层次之间的相互依存和反馈影响考虑进来，更加符合工程实际。

VIKOR [2] [3]是一种理想点决策上拓展开来的决策方法，考虑了最佳化妥协解。VIKOR 的理念是，在界定了正理想解和负理想解之后，求解各个候选方案的评估值与理想方案的距离，根据其接近程度来进行排序。其中，正理想解指各个候选方案对各评估准则元素的最佳值；负理想解反之。其特点是考虑了决策者的选择偏好，根据决策主体的意愿，达到最大化群体效益，最小化个别遗憾的目的。

本文运用 ANP 的方法获得各评价指标的权重，采用 VIKOR 算法进行供应商决策，获得了优化的决策方案。通过此 ANP + VIKOR 模型的利用完善航天企业供应商评价系统，能够显著促进航天企业针对供应商评价效率的提高。

2. 基于 ANP 的外协评价指标权重确定

1) 外协评价体系建立

一般来说，对候选企业的评估标准不唯一以及不同企业的定位侧重点也会有所不同。例如，中小型企业可能会以较少投资成本和灵活的生产方式来提升综合竞争力；大型企业可能会通过产品研发和提供产品的增值服务来提升竞争力。产品生命周期较短的企业关注外包活动的精准交付能力，注重长期发展和可持续性改进的企业倾向于考察技术的先进性[4]。根据航天企业供应商决策实际的分析，本文建立了供应商评价体系，形成了目标层和准则层。目标层 G 代表最优制造服务提供方的选择，准则层分为一级准则层和二级准则层，分别包含质量水平 Q 、价格水平 C 、历史评估 H 、技术水平 T 、交付能力 D 、服务水平 S 和低碳指数 LC 等 7 个制造服务需求方所关注的准则。每个一级准则又下分专属的二级准则。其结构如图 1 所示。

2) 建立 ANP 模型

通过建立的供应商评价体系，识别 ANP 算法的控制层和网络层。按照模型的标准构建各层次的关系。

首先定义： G_1, G_2, \dots, G_m 为 ANP 的网络结构的控制层元素， C_1, C_2, \dots, C_N 为网络层元素集， C_i 中的元素为 $e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in_i}$ 。

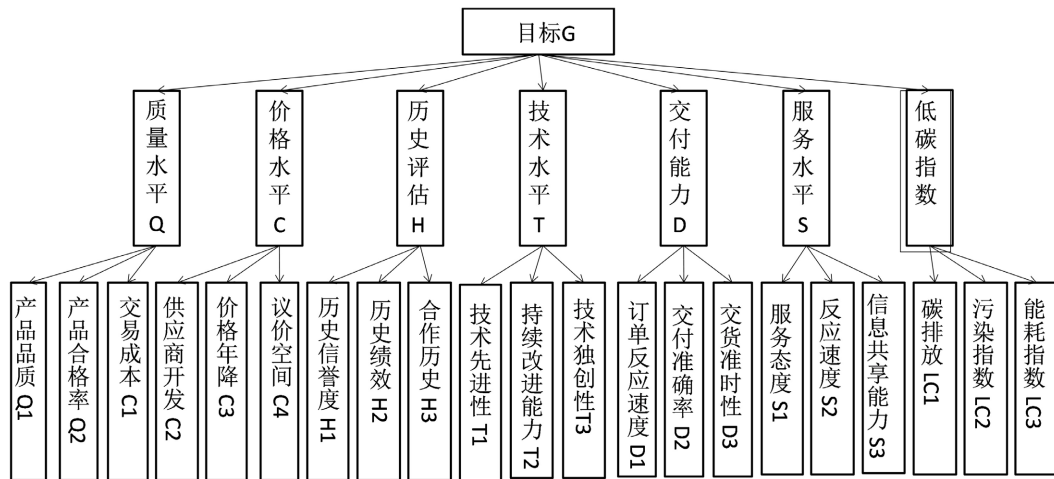


Figure 1. Index evaluation system
图 1. 指标评价体系

本模型中，控制层元素为目标 G ，网络层则形成质量水平 Q ，价格水平 C ，历史评估 H ，技术水平 T ，交付能力 D ，服务水平 S ，低碳指数 LC 等 7 个因素集合，每个因素集添加各自域内的子准则作为元素。例如，价格水平 C 内部又划分了交易价格 $C1$ ，价格年降 $C2$ ，供应商开发成本 $C3$ ，议价空间 $C4$ 等 4 个节点元素。在此基础上，构建元素之间的依赖和反馈关系。如，产品品质 $Q1$ 依赖于技术先进性 $T1$ 和持续改进能力 $T3$ ，而反作用于交易价格 $C1$ ，并能提高历史评价 H 和服务水平 S 。构建的面向候选供应商的 ANP 模型如图 2 所示。

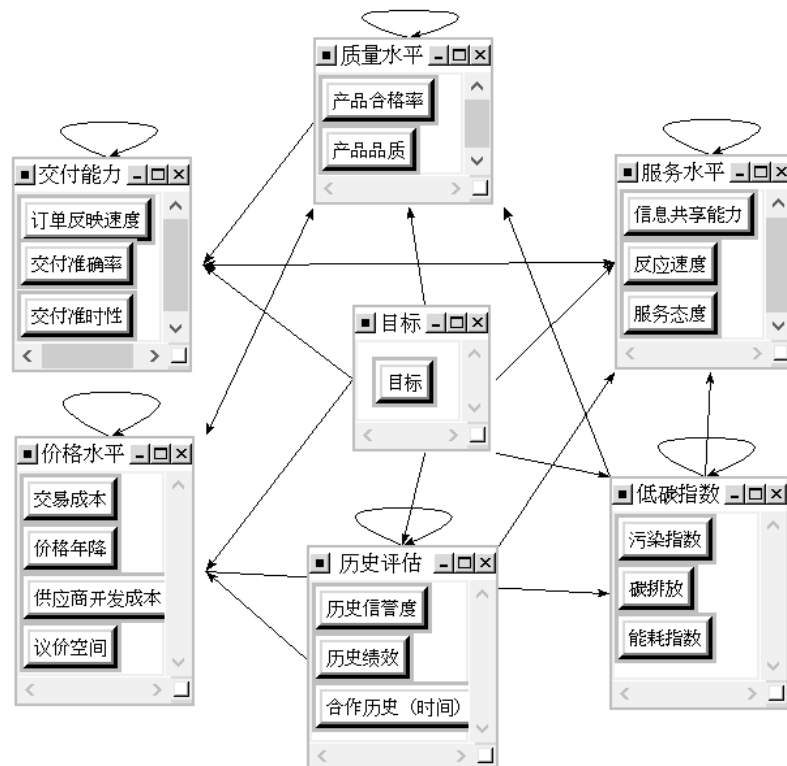


Figure 2. ANP model
图 2. ANP 模型

3) 构建因素超矩阵

Table 1. Index comparison scale
表 1. 指标比较尺度

因素 i 因素 j	标度
i 与 j 同等重要	1
i 比 j 稍微重要	3
i 比 j 较强优	5
i 比 j 强烈占优	7
i 比 j 绝对占优	9
中间值	2, 4, 6, 8

ANP 模型中, 影响供应商决策的各影响元素的权重不同, 对网络层中存在依赖和对比关系的元素, 基于表 1 中 1~9 比较尺度构的两两比较, 构造比较矩阵。

以 G_s 为准则, C_j 的元素 $e_{jl} (l=1, 2, \dots, n_j)$ 为此准则对元素 C_i 的元素进行两两比较。式 2-1 表示了 1~9 的比较尺度。例如相对目标 G , 低碳指标域的污染指数 $LC1$ 比碳排放 $LC3$ 重要很多, 其值设为 5。而技术先进性 $T1$ 对产品品质 $Q1$ 的影响要比对信息共享能力 $S1$ 的影响要大, 设为 2。

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & w_{i1}^{(j2)} & \cdots & w_{i1}^{(jn_j)} \\ w_{i2}^{(j1)} & w_{i2}^{(j2)} & \cdots & w_{i2}^{(jn_j)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{in_i}^{(j1)} & w_{in_i}^{(j2)} & \cdots & w_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \cdots & W_{NN} \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

式中, 超矩阵 W 由 W_{ij} 组成。 W_{ij} 的列向量表示元素集 C_i 中的每个指标元素对 C_j 中的每个指标元素的影响度的排序, 假若 C_i 中元素对 C_j 中的元素无影响, 记 $W_{ij} = 0$ 。

4) 构建加权超矩阵

以控制层元素 G_s 为准则, 通过比较, 获得因素集 C_i 的重要性, 并对结果归一化, 由此可得加权矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \cdots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

对超矩阵 W 元素进行加权计算, 可得到 W 的加权超矩阵 \bar{W} :

$$\bar{W} = A \times W = a_{ij} \times W_{ij} \quad (2-4)$$

式中: A ——加权矩阵; W ——元素超矩阵。

5) 层次一致性检验

计算成对比较矩阵 W_{ij} 的最大特征根及对应特征向量。一致性指标 $CI = (\lambda - n)/(n - 1)$ 用于描述比较矩阵 W_{ij} 的一致性, λ 值越接近于 n , 矩阵 W_{ij} 具有更好的一致性。为了确保检验结果更可靠, 提出了随机一致性指标 RI (表 2) 和一致性比率 CR 做一致性检验。若 $CR < 0.1$, 则矩阵 W_{ij} 的一致性检验通过, 进一步对特征向量归一化处理得到权向量; 若不通过, 需重新调整比较矩阵 W_{ij} 的要素 r_{ij} 。

Table 2. Random consistency indicators
表 2. 随机一致性指标

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

6) 对上一步的加权超矩阵以及极限超矩阵进行计算处理

对加权超矩阵 \bar{W} 进行稳定性处理, 通过极限超矩阵的收敛条件计算可以得到最终元素的权值。

$$W^\infty = \lim_{x \rightarrow \infty} W^x \tag{2-5}$$

3. 基于 VIKOR 的外包关系决策

1) 构建评估矩阵

依照前文设立的对供应商评价的各项指标元素 i , 对候选供应商进行评价 j , 得到评价值 x_{ij} , 评价指标来源分为专家评分和有关部门提供两种方式, 如产品合格率, 价格水平等需由质检部门提供, 产品研发能力, 由专家组评分确定。对于多源评价指标, 由于其量纲和数量级的差异性, 需进行归一化处理。

对于效益型指标, 如历史绩效和产品合格率, 归一化方法如下:

$$f_{ij} = \min_i (x_{ij}) / x_{ij} \tag{3-1}$$

对于成本型指标, 如运输成本和交易价格。归一化方法如下:

$$f_{ij} = x_{ij} / \max_i (x_{ij}) \tag{3-2}$$

最后得到方案针对各个指标的评估矩阵, 如下:

$$R = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & f_{nm} \end{bmatrix} \tag{3-3}$$

式中: $\min_i (x_{ij})$ ——指标元素评价值的极小值; $\max_i (x_{ij})$ ——指标元素评价值的极大值; f_{ij} ——供应商 j 对应 i 指标的评价值; n ——评价指标数; m ——参与候选供应商数目。

2) 求解各指标的理想解

针对每个指标, 计算出所有方案中的最大值和最小值, 即正负理想解。计算方法如下:

$$\begin{aligned} f_j^* &= \max_i f_{ij} \\ f_j^- &= \min_i f_{ij} \end{aligned} \tag{3-4}$$

式中: f_j^* ——指标 j 的正理想解; f_j^- ——指标 j 的负理想解。

3) 求解最大群体效益和个别遗憾

$$S(i) = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad \forall i \tag{3-5}$$

$$R(i) = \max_i \left[w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \right] \quad \forall i \quad (3-6)$$

式中： $S(i)$ ——候选供应商 i 的群体效益，其值越小，代表该候选供应商的群体效益越大； $R(i)$ ——候选供应商 i 的个别遗憾值，其值越小，代表该候选供应商的遗憾越小； w_i ——指标权重，由上文的 ANP 法获得。

4) 求解利益比率

$$\begin{cases} S^* = \min_j S(j) \\ S^- = \max_j S(j) \\ R^* = \min_j R(j) \\ R^- = \max_j R(j) \\ Q_j = u(S(j) - S^*) / (S^- - S^*) + (1-u)(R(j) - R^*) / (R^- - R^*) \end{cases} \quad (3-7)$$

式中： $Q(j)$ ——候选供应商 j 的利益比率； S^* ——所有指标群体效益的最小值； S^- ——所有指标群体效益的最大值； R^* ——所有指标个别遗憾的最小值； R^- ——所有指标个别遗憾的最大值； u ——决策系数，取 0~1 之间的值，一般定义 $u = 0.5$ ，表示决策偏好。

5) 对候选供应商进行可靠性验证

设置可靠性条件判断排序最优的方案是否明显优于次优方案，以便更准确地做出决策，VIKOR 方法设计了两道可靠性判断的标准，同时满足才可以判定为明显的优势。标准如下：

1、最优方案和次优方案的差距大于阈值，其计算方法为：

$$\begin{cases} |Q(A_1) - Q(A_2)| \geq Dis(Q) \\ Dis(Q) = \begin{cases} 1/(N-1) \\ 0.25, N < 5 \end{cases} \end{cases} \quad (3-8)$$

式中： $Q(A_1)$ ——根据利益比率排序得到的最优供应商的利益比率； $Q(A_2)$ ——根据利益比率排序得到的次优供应商的利益比率； $Dis(Q)$ ——利益优势阈值； N ——候选承接企业数目。

2、一致性原则

即按利益比率排序第一的候选企业的满足 $S(A_1)$ 或最小遗憾 $R(A_1)$ 应优于排序第二的候选供应商的群体效益 $S(A_2)$ 或最小遗憾 $R(A_2)$ 。

4. 算例及算法分析

以调研的重点航天企业的某舱段为例，其进行制造任务分解之后对某型号的某链轮进行外协，初步匹配到配套企业集中 SMS1, SMS2, SMS3 和 SMS4 具备该制造能力，采用 ANP + VIKOR 法选择最优供应商的选择。

1) 求解权值矩阵

构建各指标的评估矩阵，并归一化处理得到权值，结果如表 3 所示。

Table 3. Weight of each indicator

表 3. 各指标权值

		因素权重		
一级指标	一级指标权重	二级指标	全局权重	极限权重
质量水平 Q	0.45075	产品品质 $Q1$	0.298713	0.96974
		产品合格率 $Q2$	0.009321	0.03026

Continued

价格水平 <i>C</i>	0.18028	交易成本 <i>C1</i>	0.191461	0.98445
		供应商开发成本 <i>C2</i>	0.001663	0.00855
		价格年降 <i>C3</i>	0.000727	0.00374
		议价空间 <i>C4</i>	0.000634	0.00326
历史评价 <i>H</i>	0.048641	历史信誉度 <i>H1</i>	0.028649	0.25524
		历史绩效 <i>H2</i>	0.081236	0.72374
		合作历史(时间) <i>H3</i>	0.002359	0.02102
技术水平 <i>T</i>	0.085947	技术先进性 <i>T1</i>	0.128679	0.4926
		持续改进能力 <i>T2</i>	0.024542	0.09395
		技术独创性 <i>T3</i>	0.108002	0.41345
交付能力 <i>D</i>	0.0019	订单反映速度 <i>D1</i>	0.003303	0.16342
		交付准确率 <i>D2</i>	0.010907	0.53963
		交付准时性 <i>D3</i>	0.006002	0.29695
服务水平 <i>S</i>	0.132483	服务态度 <i>S1</i>	0.007694	0.4433
		反应速度 <i>S2</i>	0.005428	0.31274
		信息共享能力 <i>S3</i>	0.004234	0.24395
低碳指数 <i>LC</i>	0.069046	碳排放指数 <i>LC1</i>	0.029476	0.34098
		污染指数 <i>LC2</i>	0.035358	0.40902
		能耗指数 <i>LC3</i>	0.021611	0.25

2) 构建评价矩阵

对采用专家打分和从部门获取的方式得到针对每个指标的各个候选供应商的评价矩阵，并归一化后如表 4 所示。

Table 4. Evaluation value matrix of candidate manufacturing service providers

表 4. 候选制造服务提供方评价矩阵

指标	初始评价				<i>max</i>	<i>min</i>	归一化评价			
	<i>SMS1</i>	<i>SMS2</i>	<i>SMS3</i>	<i>SMS4</i>			<i>SMS1</i>	<i>SMS2</i>	<i>SMS3</i>	<i>SMS4</i>
<i>Q1</i>	8	7	7	6	8	6	1	0.875	0.875	0.75
<i>Q2</i>	0.98	0.97	0.96	0.95	0.98	0.95	1	1	0.9796	0.9694
<i>C1</i>	330	325	330	320	330	320	0.9696	0.9846	0.9697	1
<i>C2</i>	5	7	5	3	7	3	0.6	0.4285	0.6	1
<i>C3</i>	6	5	7	6	7	5	0.8571	0.7143	1	0.8571
<i>C4</i>	7	8	7	8	8	7	0.875	1	0.875	1
<i>H1</i>	7	7	5	6	7	5	1	1	0.7143	0.8571
<i>H2</i>	8	7	6	8	8	6	1	0.875	0.75	1
<i>H3</i>	2	4	7	8	8	2	0.25	0.5	0.875	1
<i>T1</i>	8	6	7	7	8	6	1	0.75	0.875	0.875

Continued

<i>T2</i>	8	6	7	6	8	6	1	0.75	0.875	0.75
<i>T3</i>	8	6	6	7	8	6	1	0.75	0.75	0.875
<i>D1</i>	7	7	8	7	8	7	0.875	0.875	1	0.875
<i>D2</i>	0.98	0.96	0.97	0.95	0.98	0.95	1	0.9796	0.9898	0.9694
<i>D3</i>	8	7	6	8	8	6	1	0.875	0.75	1
<i>S1</i>	7	8	7	7	8	7	0.875	1	0.875	0.875
<i>S2</i>	8	8	7	7	8	7	1	1	0.875	0.875
<i>S3</i>	7	6	7	7	7	6	1	0.8571	1	1
<i>LC1</i>	7	6	8	6	8	6	0.8571	0.75	1	0.75
<i>LC2</i>	5	7	8	7	8	5	1	0.875	1	0.875
<i>LC3</i>	6	5	8	6	8	5	0.8333	0.625	1	0.75

3) 求解计算

用 Java 编程语言实现算法的编写，导入算法输入变量，计算其各指标的最大效益，最大遗憾和最大效益比率并排序，结果如表 5。

Table 5. *S*, *R*, *Q* value and sorting表 5. *S*, *R*, *Q* 值及排序

排序	<i>S</i>		<i>R</i>		<i>Q</i>	
	SCORE	RANK	SCORE	RANK	SCORE	RANK
<i>SMS1</i>	0.1897	1.0000	0.1481	4.0000	0.0000	1.0000
<i>SMS2</i>	0.5594	3.0000	0.1494	3.0000	0.3526	2.0000
<i>SMS3</i>	0.5174	2.0000	0.1915	2.0000	0.4527	3.0000
<i>SMS4</i>	0.7204	4.0000	0.2987	1.0000	1.0000	4.0000

从表中结果可知，个方案优越度顺序为 $Q(SMS1) > Q(SMS3) > Q(SMS4)$ ，计算其门槛条件 $Q(SMS2) - Q(SMS1) = 0.3526 \geq DQ = 0.25$ ，且 $S(SMS1) < S(SMS2)$ ，因此评价结果有效，方案 *SMS1* 为最优方案。

5. 结论

本文根据航天企业的特点，针对配套服务的种类建立了一种基于 ANP + VIKOR 算法供应商评价体系的模型。首先构建了合理化的指标体系，并采用 ANP 网络分析法进行评价指标的权重确定，进而采用 VIKOR 算法进行供应商决策，并以某舱段零件的外协过程为例，对模型的有效性进行了验证。航天企业的供应商选择模型在供应商的评价和选择上提供了理论和实际指导。

针对具体航天企业的供应商选择，其评价体系由于产品的特殊性和组织管理模式限制有一些特殊性，在实际生产中，对供应商的评价结果受到需求方决策方偏好影响。因此希望今后对各品类的供应商更加细化研究，以便得出更精确的决策结果，完善供应商的选择和评价体系，使研究结果的针对性更强。

参考文献

- [1] 唐小丽, 冯俊文. ANP 原理及其运用展望[J]. 统计与决策, 2006(12): 138-140.
- [2] Opricovic, S. and Tzeng, G.H. (2007) Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, **178**, 514-529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>
- [3] Opricovic, S. and Tzeng, G. (2002) Multicriteria Planning of Post-Earthquake Sustainable Reconstruction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **17**, 211-220. <https://doi.org/10.1111/1467-8667.00269>
- [4] 李梅英. 制造业低碳经济指标的构建[J]. 现代管理科学, 2013(2): 88-90.