

供应商选择与订单分配的模型研究

曲子冰¹, 毛银杰¹, 鲁映杰², 李田丰¹, 易映萍¹

(1.上海理工大学机械工程学院, 上海 200093;

2.上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

✉1036499310@qq.com; mbradley@qq.com; 1318306884@qq.com; 374174824@qq.com; yyp@usst.edu.cn



摘要: 为解决企业供应商选择与订单分配的问题, 以某生产企业过去五年400余家供应商的原材料订购与运输数据为基础进行量化分析, 并应用AHP-TOPSIS综合评价模型确定供应商排名, 筛选出一流供应商, 然后应用0—1规划模型确定最少供应商数量21家, 最后利用罚函数粒子群算法得出前21家供应商最优订单分配方案。本项目研究目的是帮助企业制定未来基于保障生产要求的最优订购方案。

关键词: 供应商选择; 粒子群算法; 0—1规划模型; 罚函数

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A

Research on the Model of Supplier Selection and Order Allocation

QU Zibing¹, MAO Yinjie², LU Yingjie¹, LI Tianfeng¹, YI Yingping¹

(1. School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

✉1036499310@qq.com; mbradley@qq.com; 1318306884@qq.com; 374174824@qq.com; yyp@usst.edu.cn

Abstract: In order to solve the problem of enterprise supplier selection and order allocation, this paper proposes to make a quantitative analysis of the raw material ordering and transportation data of more than 400 suppliers of a certain manufacturing enterprise over the past five years. AHP-TOPSIS (Analytic Hierarchy Process-Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) comprehensive evaluation model is used to determine suppliers' ranking, screen out the first-class suppliers. Then, 0-1 planning model is used to determine the minimum number of suppliers, which is 21. Finally, the optimal order allocation solution of the top 21 suppliers is obtained by using the penalty function particle swarm optimization algorithm. The purpose of this study is to help enterprises formulate the optimal ordering solution, which guarantees production requirements in the future.

Keywords: supplier selection; particle swarm optimization; 0-1 planning model; penalty function

1 引言(Introduction)

在当今竞争日益激烈的市场环境下, 企业为了生存需努力降低生产成本, 因而必须对供应商的选择进行优化。尤其对于大型企业, 供应商的选择和订单分配一直以来都是供应链管理领域的重点问题, 所以采用最优订单分配方案对企业的可持续发展意义重大^[1]。

本文基于大量数据分析, 量化供应商的供货能力, 综合考虑企业的实际需求, 科学有效地提供供应商选择和订单分配方法, 同时也能够为其他企业在采购管理中进行供应商选

择和订单分配提供有益的借鉴, 具有一定实际应用价值。

本文创新性地将机器学习算法引入供应商选择与订单分配的模型研究, 结合AHP-TOPSIS综合评价模型确定供应商排名, 筛选出一流供应商。利用0—1规划模型确定最少供应商数量, 继而利用罚函数粒子群算法求解最优订单分配方案。

2 供应商选择(Supplier selection)

供应商选择和订单分配在供应链管理中具有重要作用。通常基于供应商选择和订单分配的问题大致可以分为三类: 第一类是多个产品从单一供应商处采购, 第二类是单一产品

从多处供应商处采购,第三类是多种产品的多重采购。有些供应商每周都能稳定提供商品,但数量有限;有些供应商只能间隔性地提供大量商品,因而有时其供货量无法满足企业所需要的订货量。为避免遇到不可控的情况,企业有必要从众多供应商中筛选出一流供应商,形成发展战略联盟,以保证业务的持续性,这也一定程度上反映了企业对供应商选择的重要程度^[2]。

本文以某生产企业过去五年的原材料订购与运输数据为研究基础,从该企业近五年400余家供应商的订货量和供货量数据中提取信息,定义五个供应商评价指标。比较两指标之间的相对重要性,并应用层次模型计算各指标相对权重,再利用TOPSIS模型,对所有供应商进行打分排名,找出最具有实力的供应商。

2.1 基于AHP-TOPSIS综合评价模型确定供应商优先级

为了更准确地评估供应商优先级,本文采用AHP-TOPSIS综合评价模型。AHP分析法(Analytic Hierarchy Process)为层次分析法,能够通过比较少的定量指标来进行决策,在具有多个供应商评级的研究上具有良好的适用性。得出权重后利用TOPSIS分析法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution),可以针对多个供应商开展最劣及最优供应商的综合性排序,由此评价出最优供应商^[3]。本文针对具体情况进行综合评估及分析,以此提升评估结果的科学有效性。

2.2 AHP确定各指标相对权重

AHP层次分析法将定量分析与定性分析相结合,以解决多目标复杂问题,是一种能够计算决策权重的研究方法。使用AHP确定各指标相对权重,根据研究需要,首先建立层次结构模型。通过深入分析本课题数据的基础上,将决策的目标、考虑的因素和决策对象按相关关系分为最高层、中间层和最低层。其中,最高层为目的层,中间层为因素层,最低层为方案层。

指标权重数值越大,表示该指标越重要,反之则表示该指标越不重要。对 n 个指标进行两两比较,首先,构造一个判断性 n 阶矩阵 $A=[a_{ij}]_{n \times n}$ 。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

其中, a_{ij} 表示第 i 个指标相对于第 j 个指标的重要程度,且 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ 。根据式(1)对判断性矩阵进行一致性检验。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

式(1)中, $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$,为一致性指标,其中 n 为矩阵 A 的阶数大小,为特征值; RI 为平均随机一致性指标。

若判断指标 $CR < 0.1$,则矩阵 A 的一致性水平仍然可以接

受,否则,需要对判断矩阵进行修正。

最后,求出矩阵 A 的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 及其对应的特征向量。对求出的特征向量进行归一化即可得到各供应商综合指标相对权重。根据企业生产规模及订货需求等综合因素,列写供应商综合指标判断矩阵,如表1所示。

表1 供应商综合指标判断矩阵

Tab.1 Supplier comprehensive indicator judgment matrix

供应商综合指标	订货周数	未完成周数	订单总量	供货总量	不契合度
订货周数	1	1/2	1	1/4	1/2
未完成周数	2	1	2	1/4	1
订单总量	1	1/2	1	1/8	1/2
供货总量	4	4	8	1	2
不契合度	2	1	2	1/2	1

通过判断矩阵,根据上述分析方法,计算得到各项指标的权重,如表2所示。

表2 供应商综合指标权重

Tab.2 Comprehensive indicator weight of supplier

供应商综合指标	权重
订货周数	0.08538462
未完成周数	0.17076923
订单总量	0.08538462
供货总量	0.47230769
不契合度	0.18615385

通过表2得出指标间相对权重,将所有指标转化为极大型,再利用后续公式计算得出供应商排名。

2.3 基于TOPSIS模型确定供应商排名

TOPSIS是由C.L.Hwang和K.Yoon于1981年首次提出的对备选方案集进行排序的多目标决策方法,其原理是找出所有方案中的最优方案与最劣方案,当某个可行解方案与最优方案距离最近,且与最劣方案距离最远时,这个方案解的向量集就是最优评价指标。

订单不契合度是指供应商是否能准确地按照企业的订单量供货,若供货量小于订单量,则会影响企业的正常生产;若供货量大于订单量,则会增加存储的费用和压力,因此订单的不契合度是一个极小型指标。

$$C_{\text{error}} = \frac{1}{240} \sum \frac{q_i - r_i}{q_i} \quad (2)$$

式(2)用于订单不契合度的计算,其中, C_{error} :供应商供货量与接收订单量不契合程度; q_i :企业每周对第 i 个供应商的订单量; r_i :第 i 个供应商每周的供货量。

订单的不契合度作为一个极小型指标,通常使用式(3)转化成极大型指标,其中 X 为极大型指标。为弱化不同产品之间的优劣差异,将供货量和订单量转化成对应的产品产能,即将订单总量和供货总量除以每生产单位产品需要的量。 A 、 B 、 C 分别为三种不同的原材料,最终得出 A 的产能为0.6, B

的产能为0.66, C的产能为0.72。

$$X = \max(x) - x \quad (3)$$

整个计算过程包括：首先将原始矩阵正向化，并建立归一化矩阵，同时确立正理想解及负理想解。正理想解为完全符合评价细则的方案，用 Z_j^+ 表示；负理想解为完全违背评价细则的方案，用 Z_j^- 表示。 D_i^+ 表示第 i 个评价对象与最大值的距离， D_i^- 表示第 i 个评价对象与最小值的距离， S_i 表示第 i 个供应商的理想供货量。再利用式(4)与式(5)求各评价指标与 Z_j^+ 和 Z_j^- 的加权欧式距离。最后，利用式(6)计算各指标与 Z_j^+ 的相对接近程度。经计算得出， S_i 越接近1，评价指标越优，即该供应商优先级越高^[4]。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (Z_j^+ - z_{ij})^2} \quad (4)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (Z_j^- - z_{ij})^2} \quad (5)$$

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (6)$$

3 订单分配(Order allocation)

3.1 基于0—1规划模型的最少供应商数量的确定

为减少转运成本，企业需确定最少供应商数量。分析供应商供应数据可知，供货量很小的周数不足以表征该供应商的供货特征，将小于五年中供货量最高一周的供货量的1/6的数据视为无效数据。

设本文的研究目标为获取最小供应商数量 $f(x)$ ，则

$$f(x) = \min \left\{ \sum_{i=1}^n x_i \right\} \quad (7)$$

其中， $x_i = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 个供应商供货} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 个供应商不供货} \end{cases}$

基于式(7)的目标函数通过Python进行相关计算后，将有效值进行运算即可通过式(8)近似得到该供应商的理想供货量 S_i ，其中 R_i 为供货有效值。

$$S_i = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (8)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i x_i \geq 28200 \\ \sum_{i=1}^n S_i x_i \geq 28200 \times 2 \end{cases} \quad (9)$$

引入0—1变量，建立0—1规划模型，目标函数是最少供应商数量，式(9)为约束条件。企业每周的生产能力是2.82万平方米的原材料，而且企业需要预留至少两周的原材料储备量，即仓库的存货量应该为5.64万平方米的原材料。

限制条件一为决策供应商的供货之和应该满足其两周的供货量。同时，考虑到每周供应商都存在几乎相同的商家，无法进行筛选和求值，所以增加限制条件二，将供应商过去五年总和的均值作为每个供应商的供货特征值，同时满足供应商每周供货量大于等于28,200，其中 P_i 为过去五年供应商的供货平均值，计算得出该企业至少需要21家供应商才能满足

生产需求。

3.2 基于粒子群算法的最优订单分配

3.2.1 传统粒子群算法

粒子群算法是从鸟类的群居特性中得到启发的优化算法。每个个体称为粒子，粒子在候选解中通过位置与速度的不断更新与迭代搜索最优解。其核心公式为式(10)和式(11)。

$$v_{id}^{t+1} = wv_{id}^t + c_1 \text{rand}_1(p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 \text{rand}_2(p_{gd}^t - x_{id}^t) \quad (10)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (11)$$

假设第 i 个粒子在 D 维空间中的位置 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ ，该粒子经历过的最优位置记为 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$ ，粒子的速度 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ ， v_{id}^{t+1} 表示第 $t+1$ 次迭代时第 i 个粒子的速度， x_{id}^{t+1} 表示第 $t+1$ 次迭代时第 i 个粒子的位置。 w 为惯性因子，其值较大时利于全局最优解搜索，较小时利于局部最优解搜索。 c_1 和 c_2 是个体和社会学习因子， rand_1 和 rand_2 是[0,1]范围内的随机函数。 p_{id}^t 表示第 t 次迭代为止，第 i 个粒子经过的最好位置； p_{gd}^t 表示第 t 次迭代为止，粒子群体经过的最好位置。这种算法具有容易实现、精度高、收敛快等优点^[5]。

3.2.2 罚函数粒子群算法求解

粒子群算法适合搜索最优解，但实际上，如果粒子当前速度过大，粒子的位置会远离搜索空间范围，所以需要将粒子的速度和位置约束在一定可行区间内。因此，此处运用罚函数对粒子群算法进行适当的约束^[6]。

罚函数是在目标函数式(12)上加入一种带有惩罚性质的函数，其约束条件为式(13)，若迭代点满足约束条件，则不被惩罚，从而使迭代点能够保持在可行域内或者无限趋向于可行域，直到寻到问题最优解，从而将非线性约束条件优化问题转化为无约束优化问题^[7]。本模型中提出了一种罚函数形式如式(14)所示，通过减小罚因子来进行无约束搜索，避免粒子跑出搜索区域，从而逐步接近最佳位置。

目标函数：

$$f(x) = \min \left\{ \sum k_i \cdot x_i \right\} \quad (12)$$

约束条件：

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n c_i x_i > 28200 \\ 0 < x < \text{avr} \end{cases} \quad (13)$$

罚函数形式：

$$f(x) = k_i \cdot x_i + a \sum_{i=1}^n (c_i \cdot m(x_i)) + b \cdot g(x_i) \quad (14)$$

其中， x_i 为第 i 个供应商平均每周订购原材料对应的产量， k_i 为第 i 个供应商订购对应每单位产量的原材料所需的成本^[8]。

本模型中首先对变量进行初始化，设置粒子的维度为21，粒子种群为500，粒子的最大速度为500，粒子的最大数为供应商平均供应的最大数。在本次模型中每个维度的位置表示对相应供应商的订货量。个体学习因子、社会学习因子和惯性权重为默认值，即 $c_1=2$ ， $c_2=2$ ， $w=1$ 。经过多次迭

代，求解出企业最佳的订货方案。

4 计算结果及分析(Calculation results and analysis)

本次研究所用数据集包含两部分内容，即某企业近五年来400余家供应商每周供货量和企业每周订货量。为了数据分析的准确性及结果表述清晰，对供应商依据序号进行排序。根据表2的指标间相对权重，将所有指标转化为极大值，利用式(4)、式(5)、式(6)打分，计算得出前15名供应商，如表3所示。

表3 供应商排名

Tab.3 Rank of suppliers

供应 商ID	订货 周数	未完成订 单数	订货 总量/m ³	供货 总量/m ³	订单不 契合度	得分	排名
S229	240	0	599,808	591,478	0.0122	0.93562	1
S140	220	1	728,944	457,647	0.3273	0.79445	2
S361	240	0	463,128	455,667	0.0144	0.75256	3
S108	240	0	411,280	365,076	0.0274	0.61904	4
S151	240	0	370,153	270,136	0.0309	0.48164	5
S282	240	0	280,885	282,233	0.0151	0.48125	6
S275	240	0	263,583	264,255	0.0096	0.45413	7
S329	240	0	260,583	260,863	0.0117	0.44903	8
S340	240	0	260,606	259,736	0.0134	0.4475	9
S139	224	2	269,315	230,094	0.2921	0.40261	10
S308	240	0	282,239	207,573	0.0449	0.38232	11
S330	240	0	262,091	207,048	0.0356	0.37814	12
S131	240	0	211,183	208,352	0.0274	0.37103	13
S201	49	21	581,165	136,648	0.4693	0.34841	14
S356	240	0	184,183	180,982	0.025	0.33079	15

利用粒子群算法结合罚函数约束，限制粒子搜索的空间范围，经过多次迭代，得到前21家供应商的最优订单分配情况，如表4所示。

表4 最优订单分配情况

Tab.4 Optimal order allocation

供应 商ID	订单量/m ³	供应 商ID	订单量/m ³
S108	4.079633	S307	6.601299
S126	42.22156	S308	5.218869
S131	2,143.18	S329	202.0394
S139	5.067649	S330	1.48296
S140	16.59668	S340	1,033.597
S151	6.728478	S348	1.944241
S194	1.668124	S352	268.2188
S201	8.790814	S356	170.2593
S229	3,842.686	S361	0.604261
S275	7,557.545	S395	5,680.167
S282	7,252.625		

5 结论(Conclusion)

本研究通过对某企业近五年400余家供应商每周供货量和企业每周订货量等数据进行研究，得出五个评价指标，利用AHP确定各指标相对权重，再利用TOPSIS确定供应商排名，筛选出一流供应商。利用0—1规划模型确定最少供应商数量为21家，继而利用罚函数粒子群算法求解企业对21家供应商的最优订单分配量。通过本文研究，能够从理论上优化企业供应商的选择，更具有科学性、可靠性，达到企业精细化管理，有益于企业可持续性发展。

参考文献(References)

[1] 张洋.项目型制造企业的供应商选择与订单分配研究[D].成都:西南交通大学,2020.

[2] 罗奕灵.C公司供应商管理改善研究[D].广州:华南理工大学,2020.

[3] SAATY T L, OZDEMIR M S. How many judges should there be in a group[J]. Annals of Data Science, 2015, 1(4):359-368.

[4] 唐润,田京京,马永翔.基于改进TOPSIS灰色关联投影法的优质电力量化评价[J].陕西理工大学学报,2021,37(15):25-30.

[5] 贾善坡,伍国军,陈卫忠.基于粒子群算法与混合罚函数法的有限元优化反演模型及应用[J].岩土力学,2011,32(12):598-603.

[6] CHEN Z H, MING X G. Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty: An integrated rough-fuzzy approach[J]. Applied Soft Computing Journal, 2020, 2(12):87-90.

[7] FIROUZI F, JADIDI O. Multi-objective model for supplier selection and order allocation problem with fuzzy parameters[J]. Expert Systems with Applications, 2021, 5(11):180-186.

[8] 姜艳.基于层次分析法的危化品供应商选择研究[J].皮革与化工,2021,38(05):28-35.

作者简介:

曲子冰(2001—),女,本科生.研究领域:机器学习.

毛银杰(2001—),男,本科生.研究领域:电气工程及其自动化.

鲁映杰(2000—),男,本科生.研究领域:智能科学与技术.

李田丰(1995—),女,硕士,助理实验师.研究领域:电池管理,物联网.

易映萍(1967—),女,硕士,副教授.研究领域:电力电子技术,人工智能.