Advances in Applied Mathematics 应用数学进展, 2016, 5(2), 262-268
Published Online May 2016 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/aam
http://dx.doi.org/10.12677/aam.2016.52033

Logistics Cost Control Model and Optimization of Iron-Making

Hongbiao Duan[1], Yanhui Zhang[1], Hua Wang[1], Jincai Chang[2], Yunhua Qu[3]

[1]Yisheng College, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei
[2]College of Sciences, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei
[3]College of Qian'an, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei
Email: dhb615@qq.com

Received: May 3rd, 2016; accepted: May 23rd, 2016; published: May 26th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

Abstract

The relationship model between the cost of factors and cost of production was established. On the one hand, we need to make a series of analysis from macroscopic big data, digging out the beyond experience's influential factors; on the other hand, based on the theory of interval programming algorithm, model was established from different angles by analysis of microcosmic angle and study of fine model. Finally, using the data of logistics cost from a steel plant, model was integrated in the five aspects of coking, iron-making, pellets, sintering, and lime. At the same time, we have predicted all costs and provided references for iron logistics' management decision.

Keywords

Iron-Making Cost, Interval Programming Algorithm, Logistics Management, Optimization

铁前物流成本控制模型及优化

段红彪[1]，张彦辉[1]，王　华[1]，常锦才[2]，瞿云华[3]

[1]华北理工大学，以升创新教育基地，河北 唐山
[2]华北理工大学理学院，河北 唐山
[3]华北理工大学迁安学院，河北 唐山
Email: dhb615@qq.com

收稿日期：2016年5月3日；录用日期：2016年5月23日；发布日期：2016年5月26日

文章引用：段红彪，张彦辉，王华，常锦才，瞿云华．铁前物流成本控制模型及优化[J]．应用数学进展，2016，5(2): 262-268. http://dx.doi.org/10.12677/aam.2016.52033

摘　要

建立了铁前生产成本因素之间的关系模型，一方面从宏观的大数据角度分析，挖掘出超越人们经验的影响因子；另一方面从微观角度分析，进行了精细模型的研究，应用区间规划算法，建立了不同角度的模型。最后以某钢铁企业的铁前物流成本数据，整合了焦化、炼铁、球团、烧结、石灰五个方面的总模型并进行了成本优化的预测，为铁前物流管理决策提供参考。

关键词

铁前成本，区间规划算法，物流管理，优化

1. 引言

在整个钢铁企业运转过程中，铁前的物流成本占据很大的比重。随着国家对钢铁企业要求压缩过剩产能，钢铁企业竞争力加大，一直处于亏损状态。为了能够改变这个局面，降低铁前的物流成本有很大的成效[1]。本文利用某钢铁企业的铁前物流成本数据，应用区间规划算法，得到区间解，建立了系统科学的物流成本计算体系，为钢铁企业铁前物流管理决策提供理论分析。

2. 方法的选择与模型的建立

2.1. 目标系数和约束系数均含有区间数的线性规划

由于客观事物的复杂性、不确定性及人类思维的模糊性，数学模型中的某些参数并不能精确地量化。在数学规划理论中，常采用随机、模糊以及区间等方法描述这种不确定性并在不确定环境下做出决策。随机规划和模糊规划分别用于处理参数为随机向量和模糊集合的优化问题，并且假定不确定参数的概率分布函数和模糊隶属度函数为已知。但在真实环境中要精确地获得两者往往较困难，而通常情况下只能获得不确定参数的可能变动范围，由此导致了区间线性规划的产生[2]。

2.2. 模型的提出

定义如下的线性规划称为区间线性规划：

$$\begin{aligned} &\max z_1 = \sum\nolimits_{j=1}^{n} c_i x_j \\ &s.t. \sum\nolimits_{j=1}^{n} a_{ij} \cdot x_j \le b_i \quad i = 1, 2, \cdots, m \\ &x_j \ge 0 \end{aligned} \tag{1}$$

其中：$c_j = \left[c_j^-, c_j^+\right]$ $a_{ij} = \left[a_{ij}^-, a_{ij}^+\right]$ $b_i = \left[b_i^-, b_i^+\right]$，均为区间数，因为它们是系数，所以也称为系数为区间数的区间线性规划[3]。

2.3. 模型的求解

(1) 定理如下：在 λ_0 满意度水平下，将参数 $\alpha\left(0 \le \alpha \le 1\right)$ 引入目标函数，模型(1)可转化为如下的线性规划：

$$\begin{aligned} &\max z_2 = \sum_{j=1}^{n}\left[c_j^- + \alpha\left(c_j^+ - c_j^-\right)\right] x_j \\ &s.t. \sum_{j=1}^{n}\left[\left(1-\lambda_0\right) a_{ij}^- + \left(1+\lambda_0\right) a_{ij}^+\right] x_j \le \left(1+\lambda_0\right) b_i^- + \left(1-\lambda_0\right) b_i^+ \quad i = 1, 2, \cdots, m \\ &x_j \ge 0 \end{aligned} \tag{2}$$

(2) 模型(2)的最优解是(1)的有效解。

证明：设 x^* 是模型(2)的最优解，假设 x^* 不是(1)的有效解，则存在 $x^0 \in S$，$x^0 \neq x^*$，使得 $z_1\left(x^*\right) < z_1\left(x^0\right)$，由区间数的运算公式，有

$$z_1\left(x^*\right)\sum_{j=1}^{n}\left[c_j^-,c_j^+\right]x_j^* = \left[\sum_{j=1}^{n}c_j^-x_j^*,\sum_{j=1}^{n}c_j^+x_j^*\right] < z_1\left(x^0\right)\sum_{j=1}^{n}\left[c_j^-,c_j^+\right]x_j^0 = \left[\sum_{j=1}^{n}c_j^-x_j^0,\sum_{j=1}^{n}c_j^+x_j^0\right]$$

由定义可得，有

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^{n}c_j^-x_j^* < \sum_{j=1}^{n}c_j^-x_j^0,\sum_{j=1}^{n}c_j^+x_j^* < \sum_{j=1}^{n}c_j^+x_j^0 \\
&z\left(x^0\right) = \sum_{j=1}^{n}\left[c_j^- + \alpha\left(c_j^+ - c_j^-\right]x_j^0 = (1-\alpha)\sum_{j=1}^{n}c_j^-x_j^0 + \alpha\sum_{j=1}^{n}c_j^+x_j^0 \\
&z_2\left(x^*\right) = \sum_{j=1}^{n}\left[c_j^- + \alpha\left(c_j^+ - c_j^-\right]x_j^* = (1-\alpha)\sum_{j=1}^{n}c_j^-x_j^* + \alpha\sum_{j=1}^{n}c_j^+x_j^*
\end{aligned} \tag{3}$$

由式(3)，又 $0 \le \alpha \le 1$，得到 $z_2\left(x^*\right) < z_2\left(x^0\right)$，这与 x^* 是模型(2)的最优解相矛盾，因此 x^* 是(1)的有效解，得证。这样，只要我们给定 λ_0 和 α 的值，就可以求出模型(2)的最优解，由定理 1，也就得到了(1)的有效解[3]。

2.4. 约束系数含有三角模糊数的区间线性规划

2.4.1. 可以定义如下的线性规划称为混合型的区间线性规划

$$\begin{aligned}
&\max z_3 = \sum_{j=1}^{n}\left[c_j^-,c_j^+\right]x_j \\
&s.t\ \sum_{j=1}^{n}\left[a_{ij}^-,a_{ij}^+\right]x_j \le \left[b_i^-,b_i^+\right] \quad i=1,2,\cdots,p \\
&\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij},a_{ij},a_{ij}\right)_\Delta x_j \le \left(b_i,b_i,b_i\right)_\Delta \quad i=p+1,p+2,\cdots,m \\
&x_j \ge 0
\end{aligned} \tag{4}$$

其中，$\left[c_j^-,c_j^+\right]$、$\left[a_{ij}^-,a_{ij}^+\right]$ 和 $\left[b_j^-,b_j^+\right]$ 是区间数，$\left(a_{ij},a_{ij},a_{ij}\right)_\Delta$ 和 $\left(b_i,b_i,b_i\right)$ 是三角模糊数，$i=1,2,\cdots,m$，$j=1,2,\cdots,n$。

2.4.2. 模型的求解

模型(4)可转化为如下的线性规划：

$$\begin{aligned}
&\max z = \sum_{j=1}^{n}\left[c_j^- + \alpha\left(c_j^+ - c_j^-\right)\right]x_j \\
&s.t.\sum_{j=1}^{n}\left[\left(1-\lambda_0\right)a_{ij}^- + \left(1+\lambda_0\right)a_{ij}^+\right]x_j \le \left(1+\lambda_0\right)b_i^- + \left(1-\lambda_0\right)b_i^+ \quad i=1,2,\cdots,p \\
&\sum_{j=1}^{n}a_{ij}x_j \le b_i \\
&\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij}-a_{ij}\right)x_j \le b_i - b_i \quad i=p+1,p+2,\cdots,m \\
&\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij}+a_{ij}\right)x_j \le b_i + b_i \\
&x_j \ge 0
\end{aligned} \tag{5}$$

2.5. 优化模型的优缺点

优化是在多种决策中挑选最好决策的方法，它被广泛应用于工业、农业、国防、工程、交通等诸多领域，对于系统性能的提高、能耗的降低、资源的合理利用及经济效益的增长均有显著作用[4]。

优点：由于客观事物的复杂性、不确定性及人类思维的模糊性，数学模型中的某些参数并不能精确地量化。之前所采取的随机规划、模糊规划等算法，都不能很好地确定模型的相关系数，在规划问题的研究中，逐渐形成了一种以区间数为目标的区间线性规划。从而能够把目标函数的最优解确定在一个区间范围内。区间解体现了区间线性规划的不确定性，可方便决策者根据主观判断和实际情况从区间解中选取在不同情况下满足要求的解区间线性规划[5]。

缺点：区间规划是一个比较新的研究领域，还存在很多需要解决的问题，例如如何定义目标函数的区间数序关系，如何定义约束条件满足的满意度标准等等，如何有效地解决这类问题还需要进一步的研究和探讨[6]。

3. 模型的建立与计算

在对整体做利润最优分析中，先控制原材料的成本价，设定其为不变量，对生产过程中的焦化、炼铁、球团、烧结、石灰进行成本分析，通过假设合适幂与系数建立函数方程组，依次分析系数对函数值的影响大小，进而找到在成本决定因素上的可控因素，降低成本[7]。

从钢厂所给的数据表中，我们可以总结出在焦化、炼铁、球团、烧结、石灰这五个过程中日计划和日实际的装卸搬运费、汽车费、临时用车费。结果见表 1~5。

根据所求得的平均值和实际值，在所有计算总花费过程中，都按照天计算(单位为万元)，可以做这样的花费计算：

计算①：总花费(除去原料成本费) $M = k_1a + k_2b + k_3c + k_4d + k_5e$

其中 k_i 为系数，a,b,c,d,e 表示各项花费。

限制各项流程中每日花费的波动范围不超过日实际平均值的二分之一，进而可以得到如下的条件函数：

Table 1. Coking part
表 1. 焦化部分

焦化	装卸搬运费	汽车费	临时用车费	总花费
日计划平均(万元)	0.70	0.45	0.12	1.27
日实际平均(万元)	0.86	1.11	0.03	2

Table 2. Iron making part
表 2. 炼铁部分

炼铁	装卸搬运费	汽车费	临时用车费	总花费
日计划平均(万元)	0.24	1.88	0.16	2.28
日实际平均(万元)	0.26	1.53	0.03	1.82

Table 3. Pellet part
表 3. 球团部分

球团	装卸搬运费	汽车费	临时用车费	总花费
日计划平均(万元)	0.26	0	0.17	0.43
日实际平均(万元)	0.33	0.065	0.10	0.10

Table 4. Sintering part
表 4. 烧结部分

烧结	装卸搬运费	汽车费	临时用车费	总花费
日计划平均(万元)	1.4	0.92	0.26	2.58
日实际平均(万元)	0.86	1.11	0.03	2.5

Table 5. Lime part
表 5. 石灰部分

石灰	装卸搬运费	汽车费	临时用车费	总花费
日计划平均(万元)	0.13	0	0.01	0.14
日实际平均(万元)	0.12	0	0.01	0.13

$$
s.t.\begin{cases}
\max\sum_{i=1}^{30}\left(k_1a_i+k_2b_i+k_3c_i+k_4d_i+k_5e_i\right)\le M\\
k_i\ne 0\\
\sum_{i=1}^{5}k_i\ge 5\\
\left|k_1a_i-0.7\right|<0.35\\
\left|k_2b_i-0.24\right|<0.12\\
\left|k_3c_i-0.26\right|<0.13\\
\left|k_4d_i-1.4\right|<0.7\\
\left|k_5e_i-0.13\right|<0.06
\end{cases}
$$

解方程组可以得到：

$$
\begin{cases}
2k_1+1.82k_2+0.495k_3+2.5k_4+0.13k_5<7.4057\\
0.5\le k_1\le 1.5\\
0.5\le k_2\le 1.5\\
0.5\le k_3\le 1.5\\
0.5\le k_4\le 1.5\\
0.5\le k_5\le 1.5\\
\sum_{i=1}^{5}k_i\ge 5
\end{cases}
$$

由此可以得出，对于方程最优的解：

$$k_1=0.5,\quad k_2=1,\quad k_3=1.5,\quad k_4=0.5,\quad k_5=1.5$$

由所得的数值，可以建立方程：

$$y=k_1x_1+k_2x_2+k_3x_3+k_4x_4+k_5x_5$$

其中 k_i 为已知数，即：

$$y=0.5x_1+x_2+1.5x_3+0.5x_4+1.5x_5$$

则可以设置限制控制实际花费与计划花费的差值，将 30 组数据分别代入上述数据中，结果见表 6、表 7：(单位：万元)

Table 6. Cost of each group
表 6. 各组花费

组数	1	2	3	4	5	6
花费	6.39	4.37	4.23	4.85	6.38	6.78
组数	7	8	9	10	11	12
花费	6.19	5.20	6.65	5.71	6.35	5.27
组数	15	16	17	18	19	20
花费	6.13	4.03	4.54	6.12	5.64	5.13
组数	23	24	25	26	27	28
花费	6.58	5.89	5.66	4.58	4.56	4.41

Table 7. Various cost of the sixteenth group
表 7. 第 16 组各项花费

项目	焦化				炼铁				球团				烧结				石灰			
	装卸搬运费	汽运费	临时用车费	固定费用	装卸搬运费	汽运费	临时用车费	固定费用	装卸搬运费	汽运费	临时用车费	固定费用	装卸搬运费	汽运费	临时用车费	固定费用	装卸搬运费	汽运费	临时用车费	固定费用
花费(万元)	0.46	0	0	0.04	0.05	1.28	0	0.33	0.25	0.05	0.18	0.003	1.47	0.88	0.15	0.10	0.07	0	0	0

由上述 30 组数据可以得知：当取第 16 组数据时花费最少，此时各项花费见表 7。

计算②：

总花费(除去原料成本费) $M = k_1a + k_2b + k_3c + k_4d + k_5e$

其中 k_i 为系数，a,b,c,d,e 表示各项花费。

限制各项流程中每日花费的波动范围不超过日实际平均值的二分之一，进而可以得到如下的条件函数：

$$
s.t.\begin{cases}
\max \sum_{i=1}^{30}\left(k_1^2a_i + k_2^2b_i + k_3^2c_i + k_4^2d_i + k_5^2e_i\right) \le M \\
k_i \ne 0 \\
\sum_{i=1}^{5} k_i^2 \ge 5 \\
\left|k_1^2a_i - 0.7\right| < 0.35 \\
\left|k_2^2b_i - 0.24\right| < 0.12 \\
\left|k_3^2c_i - 0.26\right| < 0.13 \\
\left|k_4^2d_i - 1.4\right| < 0.7 \\
\left|k_5^2e_i - 0.13\right| < 0.06
\end{cases}
$$

解方程组：

$$\begin{cases} 2k_1^2 + 1.82k_2^2 + 0.495k_3^2 + 2.5k_4^2 + 0.13k_5^2 < 7.4057 \\ 0.5 < k_1^2 < 1.5 \\ 0.5 < k_2^2 < 1.5 \\ 0.5 < k_3^2 < 1.5 \\ 0.5 < k_4^2 < 1.5 \\ 0.5 < k_5^2 < 1.5 \\ \sum_{i=1}^{5} k_i^2 \geq 5 \end{cases}$$

可以解得：

$$k_1 = 0.5，k_2 = 1，k_3 = 1.5，k_4 = 0.5，k_5 = 1.5$$

由所得的数值，可以建立方程：

$$y = k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_3 + k_4x_4 + k_5x_5$$

明显结果与第一组数据吻合，所以成本计算可以按照第一组来计算即可。

4. 结论

通过分别对炼铁、焦化、球团、烧结、石灰数据的分析，利用控制变量的方法，预测出各项对收益的影响曲线。由于两种假设所得的结果相同，所以认定这组数据为最优解，同时也是花费最少的方案，即将炼铁、焦化、球团、烧结、石灰等五部分的花费标准设置为表 7 中的数值时，算法有最优解，即效益会达到峰值。

致　谢

本项目得到河北省自然基金项目(编号：A2013209295，E2016209304)，华北理工大学创新创业计划项目支持(编号：X2015255)，感谢常锦才，瞿云华两位老师的指导。

参考文献 (References)

[1] 韩珍堂．中国钢铁工业竞争力提升战略研究[D]：[博士学位论文]．北京：中国社会科学院研究生院，2014: 82-116.

[2] 姜潮．基于区间的不确定性理论优化计算法[D]: [博士学位论文]．长沙：湖南大学, 2008.

[3] 何尔雅．关于区间优化模型的算法研究[D]: [硕士学位论文]．武汉：武汉大学, 2005: 10-20.

[4] 房少纯．区间优化算法的研究及应用[D]: [硕士学位论文]．沈阳：东北大学, 2012: 15-16.

[5] 李为相．基于区间数的不确定决策理论与方法研究[D]: [博士学位论文]．南京：南京航天航空大学, 2010: 13-19.

[6] 孙靖．用于区间参数多目标优化问题的遗传算法[D]: [博士学位论文]．徐州：中国矿业大学, 2012: 115-116.

[7] 苏天森．冶金工程技术学科的研究现状与发展前景[C]．冶金工程技术学科发展报告, 2009: 5-17.