

基于线性规划的高合金钢配料数学模型

胡俊辉 林俊

宝钢股份特殊钢分公司制造管理部, 上海 200940

摘 要 基于线性规划方法研究了高合金钢配料成本最小化问题, 以返回料、合金、吨钢料耗、回收率等边界条件建立数学模型, 利用在 EXCEL 中调用商业化软件 MATLAB 中线性规划模块的算法, 建立简单易用的计算软件, 可实现对多元合金钢的最低成本配料。

关键字 线性规划 配料 数学模型

Optimum Burden Mathematical Model of High-alloy-steel Based on Linear Programming

Hu junhui Lin jun

Baoshan Iron&Steel Co., Ltd., Special Steel Branch Manufacturing Management, Shanghai 200940, China

Abstract This article researched the minimum cost control for high-alloy-steel based on linear programming. The mathematical model had simple interface and achieved easy operation using excel and matlab. It can optimum calculated all kinds of high-alloy-steel cost according as thermal fatigue, alloy, reclaiming rate etc.

Keywords linear programming; Optimum Burden; Mathematical Model

1. 前言

近年来, 合金原材料价格出现大幅上涨, 对于合金钢特别是高合金钢来说, 合金价格占钢种售价的 70% 以上, 因此, 如何有效利用合金废钢成为钢厂关注重点。

钢厂一般自产各种切头废钢, 同时还有部分外购合金废钢, 各类废钢具有不同的元素、含量及价格。钢厂配料一般以合金废钢返回法代替纯净合金新料法、多利用本钢种返回料为原则进行, 多为经验配料, 或由于算法欠缺只能对二元合金进行简单计算配料。如某钢种, 含有 Cr、Ni、Mo、V、P 共五个元素限制要求, 现有各自纯净合金, 及 CrNi、CrMo、CrNiV、MoV 等各种合金废钢, 经

验配料采用某个废钢如 CrNi 废钢为主, 配加部分纯净合金进行计算, 废钢的选择全部凭个人的经验与感觉。经验配料具有以下缺点: 一、无法对多种合金废钢进行组合, 且无法达到成本最低; 二、某种情况下易出现目标成分脱格, 特别是 P 元素; 三、配料成本与配料员的经验密切相关, 同时为尽可能降低成本, 即使经验丰富的配料员也需要花费大量的时间。

最优化理论至今已发展了线性规划、非线性规划、整数规划、多目标规划、动态规划等不同分支, 其中, 把目标函数、约束条件均为线性的数学规划称为线性规划, 是工程领域最常见、最基础的一类问题, 也是求解理论最完善的。

2. 模型建立

配料的目标钢种含有的各元素可分为二类状况: 一为残余元素, 如 P, 需要小于等于规定要求, 其二为含有元素, 需要等于目标值。

对目标钢种含有的合金元素:

$$(X_1W_{i1} + X_2W_{i2} + \dots + X_jW_{in}) \eta_i = 1000W_i$$

X_1, X_2, \dots, X_n : 为加入物料 (单位 kg)

i : 为合金元素名, 如 Ni、Cr;

W_i : 为目标钢种中元素 i 的目标成分, 即配料目标;

$W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in}$: 为合金废钢中元素 i 的含量, 如 304 角料中 Cr 含量为 18.1%, 则 $W_{Cr1}=18.1$;

η_i : 电炉铬收得率;

j : 废钢或合金名, 如 304 角料;

X_1, X_2, \dots, X_j : 废钢或合金用量, 如 304 角料用量 30kg, $X_1=30$;

对各残余元素:

$$(X_1 W_{i1} + X_2 W_{i2} + \dots + X_i W_{ii}) \eta_i \leq 1000 W_i$$

W_k : 为目标钢种中残余元素 k 的最大允许含量,

如 $P \leq 0.030\%$, 则 $W_t = 0.030$;

设吨钢金属料耗为 a_0 (单位 kg), 如 1150kg; X_1 、 X_2 …… X_n 为加入物料 (单位 kg), 则有:

$$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n = a_0$$

装料工艺或库存限制单炉装入量要求:

$$w_{\min i} / w_{\text{total}} * a_0 \leq X_i \leq w_{\max i} / w_{\text{total}} * a_0$$

$w_{\min j}$: 废钢或合金名 j 的单炉最小装入量(单位: 吨), 常为 0;

$w_{\max j}$: 废钢或合金名 j 的单炉最大装入量(单位: 吨):

w_{total} : 单炉装入量, 如装入量为 60 吨单炉, $w_{\text{total}}=60$:

目标函数:

$$\min(X_1 P_1 + X_2 P_2 + X_3 P_3 + \dots + X_i P_i)$$

P_i : 废钢或合金 i 的单价。

综上所述, 高合金钢配料模型属于典型的线性规划问题, 高合金钢配料完整的数学模型可用式(1)及(2)描述, 即为在满足约束(2)的条件下, 求目标函数(1)的最小值, 且此时的 X_1 、 X_2 …… X_n 的值。

目标函数:

$$\min(X_1P_1+X_2P_2+X_3P_3+\dots+X_iP_i) \dots\dots (1)$$

约束条件:

$$\begin{cases} (X_1 W_{i1} + X_2 W_{i2} + \dots + X_j W_{in}) \eta_i = 1000 W_i \\ (X_1 W_{i1} + X_2 W_{i2} + \dots + X_j W_{in}) \eta_i \leq 1000 W_i \\ X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n = a_0 \\ w_{\min} / w_{\text{total}} \times a_0 \leq X_j \leq w_{\max} / w_{\text{total}} \times a_0 \\ \dots \dots (2) \end{cases}$$

传统求解线性规划问题的方法有单纯形法和
大 M 法, 随着商业化软件 MATLAB 的广泛应用,
其线性规划工具箱可以快速求解该问题。

模型首先需对目标钢种中的元素进行判断,判定是合金元素还是残余元素,简单的方法为根据上下限值判定,并以此归类,形成一定数量方程(或不等式),建立系数矩阵,调用线性规划工具箱算法解该模型,编译成 EXCEL 可调用的 DLL 组件和 VB 代码,在 EXCEL 软件中以宏的形式调用,实现可脱离 MATLAB 环境独立运行。

开发的 EXCEL 软件设置不同的维护、使用权限,合金及废钢成分维护及合金元素受得率为相对稳定变量,使用者则输入合金废钢价格和目标钢种成分,采用运行宏的形式即可得到相应的最低成分配料(图 1)。



图 1 模型输入界面

Fig1. The interface of model

3. 算例

某钢种含 Cr、Ni、Mo、V 等元素 (图 1), 输入化学成分计算, 得到各种配料单。(表 1)

“当前最优”是指工艺要求的装入量限制条件下的最低成本配料，如本例中由于模具类废钢块度大，每炉装入量工艺规定最大为 5 吨，在此约束下的最低成本为 20510 元。

“最优配料”为无装入量约束下最低成本，为 19430 元，新料法为 23011 元。

本钢种的人工配料成本为 20961 元, 比最低成本高 451 元。人工配料不可避免存在尽可能利用角料的认识误区, 为此多使用 304 角料。

表 1 不同配料清单

	304 不锈 钢角料	CrNiMo 切头 (模具钢类)	高 Cr	Ni	Mo	V	CrNi 合结角 料 Ni1.5-2.5	低 P 原料	锰铁	硅铁	吨钢配料 价格
当前最优	490.9	95.8	151.3	36.2	4.1	3.3	335.8		12.4	20.1	20510
最优配料	297.8	378.8	197.5	47.9		3.3	193.1		12.4	19.2	19430
新料配料			287.1	81.8	5.5	3.3		685.8	13.9	20.4	23011
人工配料	661.9		114.0	30.2	5.5	3.3		306.6	10.6	18.0	20961

从模型更能发现，在当时的市场条件下，CrNiMo 切头(模具钢类)、CrNi 合结钢(Ni1.5-2.5)相比与 304 角料更具有性价比，应更多采购应用。

4. 结语

(1)、采用数学模型配料，可实现速度快

5. 参考文献

[1] 魏权龄. 广义最优化理论和模型. 科学出版社, 2003.

且准确无误地找到最低成本配料，并使用简洁的 EXCEL 界面，操作简单，每炉可降低成本近万元。

(2)、模型可以根据需要输入不同合金废钢配料，快速找到最具性价比合金废钢，并组织采购，可为企业带来巨大财富，推荐用于企业决策

[2] 张威. MATLAB 基础与编程入门. 西安电子科技大学出版社, 2003.
[3] 孙敬杰. EXCEL VBA 入门与实例演练. 中国青年出版社, 2005