

陈 方 著

冲天炉 最低成本 配料法



223

上海科学技术文献出版社

冲天炉最低成本配料法

陈 方 著

上海科学技术文献出版社

前 言

冲天炉最低成本配料法是研究在保证铸铁性能与化学成分的条件下,使配料成本最低的各种配料法。

目前使用的各种配料方法,能够保证铸铁的性能与化学成分要求,这一点已被无数生产实践所证实。其炉料配料成本是根据各种炉料的用量和价格进行换算的。

为提高经济效益、增加竞争能力,对冲天炉配料又提出了新的要求,即既要保证质量,又要使成本最低,这就是配料最优化问题,它是配料技术的一个新领域,也是今后配料技术的发展方向。

本书介绍了分析法最低成本配料计算法,选择法最低成本配料计算法及图解法最低成本配料计算法。为便于读者掌握,每种方法结合工厂实例进行讲解。对于有电子计算机(中型或微型处理机)的,可以用分析法和选择法。以国内市场所能提供的炉料为选择对象,优化程度高,降低成本多。没有电子计算机的,可以用图解法最低成本配料,也可以达到预期的目的。

李皓白、金昌斌、王承库等同志参加了该科研项目的部分研究工作,对编写本书有一定的帮助,在此一并表示感谢。

由于水平所限,不妥之处恳切希望批评指正。

陈 方

一九八三年八月

目 录

第一章 分析法最低成本配料	1
一、分析法配料计算及其修正	1
(一)分析法配料计算	1
(二)分析法配料计算存在的问题	3
(三)分析法的修正	5
(四)分析法配料计算实例	8
二、分析法最低成本配料计算	10
三、分析法最低成本配料应用实例	22
(一)数学模型	22
(二)程序设计和计算	33
(三)计算结果	41
(四)生产使用结果	47
(五)经济效果分析	47
第二章 选择法最低成本配料	48
一、选择法配料	48
(一)配料计算的原始资料	48
(二)配料计算	50
二 选择法最低成本配料法的数学基础	53
(一)线性规化的数学模型	54
(二)单纯形算法	56
(三)逆矩阵形式的单纯形方法	63
三、灰铸铁(HT20-40)选择法最低成本配料(用 ALGOL-60 语言, 采用逆矩阵法, 用平均值计算)	70

(一)数学模型的建立	70
(二)计算方法	76
(三)编制程序	79
(四)最低成本配料方案	91
(五)生产使用结果	92
(六)经济效益	92
四、耐热球铁(RQT5.5)选择法最低成本配料(用 ALGOL-60 语言, 采用逆矩阵法, 用区间值计算)	93
(一)数学模型	93
(二)计算方法	101
(三)编制程序	101
(四)输入数据与计算结果	101
(五)生产使用结果	103
(六)经济效益	105
五、灰铸铁(HT20-40)选择法最低成本配料(用 BASIC 语言, 采用逆矩阵法, 用区间值计算)	105
(一)数学模型	105
(二)计算方法	109
(三)编制程序(BASIC 语言)	109
(四)输入数据与计算结果	118
(五)生产使用情况	119
六、灰铸铁 HT20-40 选择法最低成本配料(用 BASIC 语言, 采用单纯形法, 用区间值计算)	121
(一)数学模型	121
(二)计算方法	124
(三)BASIC 语言程序	125
(四)电子计算机计算最优配料方案	130
(五)生产使用情况	132
七、灰铸铁 HT20-40 选择法最低成本配料(用 FORTRAN 语言, 采用单纯形法, 用区间值计算)	132

(一)数学模型与计算方法	132
(二)FORTRAN 语言程序	132
(三)输入数据与计算结果	136
(四)选择法配料最优化的优点	138
第三章 图解法最低成本配料	140
一、图解法配料计算及其修正	140
(一)图解法配料计算	140
(二)图解法配料计算存在的问题	143
(三)图解法的修正	144
(四)图解法配料计算实例	144
二、图解法最低成本配料	148
(一)图解法最低成本配料的数学表达	148
(二)图解法求 X_1, X_2, X_3 的配比区间	151
(三)图解法求 X_4, X_5, f 的配比区间	155
(四)图解法最低成本配料	157
三、图解法最低成本配料实例 1 (某机械厂)	160
(一)配料原始数据	160
(二)数学表达	161
(三)图解法求 X_1, X_2, X_3 的配比区间	162
(四)图解法求 X_4, X_5, f 的配比区间	164
(五)图解法确定最低成本配料	165
(六)生产使用情况	168
四、图解法最低成本配料实例 2 (某重型厂)	169
(一)配料原始数据	169
(二)图解法求 X_1, X_2, X_3 的配比区间	170
(三)图解法求 X_4, X_5, f 的配比区间	170
(四)图解法确定最低成本配料	172
(五)生产使用情况	174
附录	176
一、各种金属炉料的化学成分标准	176

1. 各种铸造用生铁的化学成分标准	176
2. 废钢、废铁的化学成分	180
3. 各种合金铁的化学成分标准	180
二、各类铸铁件的化学成分标准	184
1. 各种牌号灰铸铁的化学成分标准	184
2. 各种牌号孕育铸铁的化学成分标准	185
3. 稀土灰口铸铁的化学成分标准	185
4. 各种牌号球墨铸铁的化学成分标准	186
5. 各种牌号可锻铸铁的化学成分标准	187
6. 各种牌号耐磨、抗磨铸铁的化学成分标准	188
7. 各种铸铁轧辊的化学成分标准	195
8. 各种牌号耐热铸铁的化学成分标准	196
9. 各种牌号耐蚀铸铁的化学成分标准	198

第一章 分析法最低成本配料

一、分析法配料计算及其修正

分析法配料计算是比较科学的算法，也是其它配料方法的理论基础。

(一) 分析法配料计算

在进行配料之前，首先要知道下列数据。

已知数据：

- 1) 铸件材质牌号，要求的化学成分；
- 2) 仓库中各种牌号生铁锭的化学成分；
- 3) 本厂回炉料的化学成分；
- 4) 外购废铁的化学成分；
- 5) 废钢的化学成分；
- 6) 熔炼时各种化学元素的烧损(见表 1-1)。

碳量计算：

根据铁水要求的含碳量用下式求出炉料之含碳量。

$$C = K + (1 - \alpha)C_m \quad (1-1)$$

式中： C ——铁水中之含碳量；

C_m ——炉料中之平均含碳量；

K ——渗碳系数 1.7~3.0，一般取 1.8；

α ——脱碳系数 0.4~0.6，一般取 0.5。

式中 C 、 K 、 α 为已知数。可由公式(1-1)求出炉料中的含

表 1-1

	烧 损 (%)	
	冲天炉	反射炉
Si	-10~-15	-25~-50
Mn	-15~-20	-30~-60
S	+40~+80	-25~-50
O	+5~+15	-10~-30
P	0	0
Ni	0	
Cr	-20~-30	
Mo	-5	

碳量 O_{m} 。然后再确定废钢的加入量。

设 x ——废钢加入的百分数(%)；

O_{m} ——炉料中之含碳量；

$O_{\text{钢}}$ ——废钢中之含碳量；

$O_{\text{铁}}$ ——铁料中之含碳量。

用下式求废钢加入量 x ，则：

$$O_{\text{钢}} x + (100 - x) O_{\text{铁}} = O_{\text{m}} \cdot 100 \quad (1-2)$$

$$x = \frac{O_{\text{m}} - O_{\text{铁}}}{O_{\text{钢}} - O_{\text{铁}}} \times 100\%$$

其它各元素计算，列元素方程式：

硅量计算：

$$A \cdot \text{Si}_A + B \cdot \text{Si}_B + C \cdot \text{Si}_C + \dots = 100 \cdot \text{Si}_{\text{m}} \quad (1-3)$$

锰量计算：

$$A \cdot \text{Mn}_A + B \cdot \text{Mn}_B + C \cdot \text{Mn}_C + \dots = 100 \cdot \text{Mn}_{\text{m}} \quad (1-4)$$

磷量计算：

$$A \cdot \text{P}_A + B \cdot \text{P}_B + C \cdot \text{P}_C + \dots = 100 \cdot \text{P}_{\text{m}} \quad (1-5)$$

硫量计算：

$$A \cdot S_A + B \cdot S_B + C \cdot S_C + \dots = 100 \cdot S_w \quad (1-6)$$

$$A + B + C + \dots = 100 \quad (1-7)$$

式中 A 、 B 、 C ……—为各种炉料的百分比；

Si_A 、 Si_B 、 Si_C ……—为各种炉料所对应的含硅量；

Mn_A 、 Mn_B 、 Mn_C ……—为各种炉料所对应的含锰量；

P_A 、 P_B 、 P_C ……—为各种炉料所对应的含磷量；

S_A 、 S_B 、 S_C ……—为各种炉料所对应的含硫量；

Si_w 、 Mn_w 、 P_w 、 S_w ——为炉料配入的硅、锰、磷、硫含量。可用下面公式求得：

$$\vartheta = \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \vartheta_w \quad (1-8)$$

式中 ϑ ——表示铁水中某元素的要求含量 %；

ϑ_w ——表示炉料中某元素应配入的含量 %；

Z ——某元素之烧损。

式中只有 A 、 B 、 C ……是未知数，其余都是已知数。四个元素可以列出五个方程式，解五个未知数。用 n 个元素配料，可列出 $n+1$ 个方程式，解 $n+1$ 个未知数。

假如上面方程组的解，其中有负值，则说明用现有炉料不可能配得所需要的铸铁化学成分。如果解都是正值，则说明可以配制^[1]。

(二) 分析法配料计算存在的问题

分析法配料计算从理论上讲很严密，但是，在生产上不用。有人认为此方法过于繁琐，故用者甚少^[1]。其实不然，仔细分析一下，该法在理论上也存在一定问题。

1. 碳量计算问题

目前碳量计算满足不了炉料碳的要求，见公式(1-2)。当炉

料是 A 、 B 、 O 三种以上时, 假定 A 是钢料, B 、 O 是铁料, 则在 B 、 O 料未定以前, $C_{\text{铁}}$ 是求不出来的。如果先给定 $C_{\text{铁}}$, 求出钢料加入量 X , 即 A 。但用 Si , Mn 列的方程式, 求出的 B 、 O 含量, 又满足不了给定 $C_{\text{铁}}$ 。 $C_{\text{铁}}$ 应该是 $C_{\text{铁}} = \frac{BC_B + OC_C}{B + O}$ 。如果该方程式不能满足时, 则求出的钢料量也就没有真实意义了。

然而, 碳量又必需通过调整钢料与各铁料间的配比来达到要求的含量。不能用其它的方法来调整。因此, 它是必需首先得到满足的。否则, 如果碳量得不到保证, 又无其它补救方法, 这种配料计算就没有意义了。

2. 硅、锰量计算问题

硅、锰量通过调整钢料与各铁料的配比来满足。在生产上有时能满足, 有时满足不了。各种炉料中的含硅量; 如果都小于炉料的含硅量, 则方程(1-3)始终不能满足。其中至少有一种炉料以上的含硅量大于炉料配入硅量, 方程式(1-3)才成立。所以方程式(1-3)(1-4)是有条件的。不是任何时候都成立。锰与硅的道理相同。

3. 磷、硫量计算问题

磷、硫量是铸铁中的有害杂质, 希望愈低愈好。所以在生产上永远要小于规定的含量, 是个不等式。如果按磷、硫等式计算, 那就太危险了。很容易超差, 造成废品。所以计算时这两个方程不能使用。

从分析中看出: 不能无条件的利用 n 种元素, 列 $n+1$ 个方程, 解 $n+1$ 个未知数。最多只能列四个方程式; 即碳、硅、锰和百分比方程式。解四个未知数。所以分析法必须进行修正。

(三) 分析法的修正

已知的配料数据与前面分析法同。

碳量计算

由公式 $C = K + (1 - \alpha)C_m$ 计算出 C_m 。因为 K 、 α 、 C 为已知数。然后列碳的平衡方程式：

$$A \cdot C_A + B \cdot C_B + C \cdot C_C + \dots = 100 \cdot C_m \quad (1-9)$$

用硅、锰等方程式联立求解之 A 、 B 、 C ... 必须满足(1-9)。也就是说：用 A 、 B 、 C ... 炉料，调正其配比得到铁水所要求之含碳量。克服了原分析法碳量不能保证的弱点。

硅、锰量计算

当炉料中各炉料的含硅量 Si_A 、 Si_B 、 Si_C ... 皆小于炉料配料要求的含硅量 Si_m 时，方程式(1-3)为矛盾方程。即无论什么情况下。

$$A \cdot Si_A + B \cdot Si_B + C \cdot Si_C + \dots \neq 100 \cdot Si_m$$

如果用方程式：

$$A \cdot Si_A + B \cdot Si_B + C \cdot Si_C + \dots = 100 \cdot Si_m$$

求解，则无解。因为它永远是一个不等式。即：

$$A \cdot Si_A + B \cdot Si_B + C \cdot Si_C + \dots < 100 \cdot Si_m \quad (1-10)$$

同理，当炉料中各炉料的含锰量 Mn_A 、 Mn_B 、 Mn_C ... 皆小于 Mn_m 时，则：

$$A \cdot Mn_A + B \cdot Mn_B + C \cdot Mn_C + \dots < 100 \cdot Mn_m \quad (1-11)$$

只有当 Si_A 、 Si_B 、 Si_C ... 中，至少有一个以上大于 Si_m 时，才能有平衡方程式。

$$A \cdot Si_A + B \cdot Si_B + C \cdot Si_C + \dots = 100 \cdot Si_m$$

同理，当 Mn_A 、 Mn_B 、 Mn_C ... 中，至少有一个以上大于 Mn_m 时，才能有平衡方程式。

$$A \cdot \text{Mn}_A + B \cdot \text{Mn}_B + C \cdot \text{Mn}_C + \dots = 100 \cdot \text{Mn}_m$$

如果 $\text{Si}_A, \text{Si}_B, \text{Si}_C \dots$ 皆 $< \text{Si}_m$, 必须外加硅铁补足硅量。

如果 $\text{Mn}_A, \text{Mn}_B, \text{Mn}_C \dots$ 皆 $< \text{Mn}_m$, 必须外加锰铁补足锰量。

磷、硫量计算

磷、硫是铸铁中的有害杂质, 配入量应小于铁水规定之含磷、硫量。所以必须满足下面二个不等式:

$$A \cdot P_A + B \cdot P_B + C \cdot P_C + \dots < 100 P_m \quad (1-12)$$

$$A \cdot S_A + B \cdot S_B + C \cdot S_C + \dots < 100 \cdot S_m \quad (1-13)$$

不能用 (1-12) (1-13) 求解 $A, B, C \dots$, 只能复核 $A, B, C \dots$ 是否合理。如果不能满足 (1-12) (1-13), 炉料配比不能使用。

最后有一个始终要保证的平衡方程式:

$$A + B + C + \dots = 100$$

根据上面分析, 最多能列出碳、硅、锰和百分组成四个方程式, 解四种炉料, 如果多于四种炉料无法求解。只有在给出某种炉料配比时, 才能解多于四种以上的炉料配比。但当少于四种炉料时可解。

如果四种炉料为 A, B, C, D 。它们的含碳、硅、锰量, 分别为 $C_A, C_B, C_C, C_D, \text{Si}_A, \text{Si}_B, \text{Si}_C, \text{Si}_D, \text{Mn}_A, \text{Mn}_B, \text{Mn}_C, \text{Mn}_D$ 。并且知道各元素的烧损 Z 。用公式 (1-8) 求出炉料应含元素 $C_m, \text{Si}_m, \text{Mn}_m$ 。然后, 列出方程组:

$$A + B + C + D = 100$$

$$AC_A + EC_B + CC_C + DC_D = 100 \cdot C_m$$

$$A\text{Si}_A + B\text{Si}_B + C\text{Si}_C + D\text{Si}_D = 100 \cdot \text{Si}_m$$

$$A\text{Mn}_A + B\text{Mn}_B + C\text{Mn}_C + D\text{Mn}_D = 100 \cdot \text{Mn}_m$$

解: 用行列式解法, 解线性方程组。

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ C_A & C_B & C_C & C_D \\ Si_A & Si_B & Si_C & Si_D \\ Mn_A & Mn_B & Mn_C & Mn_D \end{vmatrix}$$

$$\Delta A = \begin{vmatrix} 100 & 1 & 1 & 1 \\ 100 \cdot C_{III} & C_B & C_C & C_D \\ 100 \cdot Si_{III} & Si_B & Si_C & Si_D \\ 100 \cdot Mn_{III} & Mn_B & Mn_C & Mn_D \end{vmatrix}$$

$$\Delta B = \begin{vmatrix} 1 & 100 & 1 & 1 \\ C_A & 100 \cdot C_{III} & C_C & C_D \\ Si_A & 100 \cdot Si_{III} & Si_C & Si_D \\ Mn_A & 100 \cdot Mn_{III} & Mn_C & Mn_D \end{vmatrix}$$

$$\Delta C = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 100 & 1 \\ C_A & C_B & 100 \cdot C_{III} & C_D \\ Si_A & Si_B & 100 \cdot Si_{III} & Si_D \\ Mn_A & Mn_B & 100 \cdot Mn_{III} & Mn_D \end{vmatrix}$$

$$\Delta D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 100 \\ C_A & C_B & C_C & 100 \cdot C_{III} \\ Si_A & Si_B & Si_C & 100 \cdot Si_{III} \\ Mn_A & Mn_B & Mn_C & 100 \cdot Mn_{III} \end{vmatrix}$$

则方程组的解为:

$$A = \frac{\Delta A}{\Delta}, \quad B = \frac{\Delta B}{\Delta}, \quad C = \frac{\Delta C}{\Delta}, \quad D = \frac{\Delta D}{\Delta}.$$

方程组解的讨论:

1) 若 $\Delta \neq 0$, 则方程组有唯一确定解。但是 A 、 B 、 C 、 D 皆为正值时, 在生产上可以使用。如果 A 、 B 、 C 、 D 中有一个以上为负值, 虽然数学上有解, 但在工程上无解; 无法配制。

2) 若 $\Delta=0$, 而 ΔA 、 ΔB 、 ΔC 、 ΔD 中, 至少有一个不等于零, 则方程组无解。

3) 若 $\Delta=0$, 同时 $\Delta A=\Delta B=\Delta C=\Delta D=0$ 。方程组有无穷多组解。

(四) 分析法配料计算实例

已知工厂所有金属炉料的化学成分、各元素的熔炼烧损和要求配制的灰口铸铁 HT20-40 的化学成分(见表 1-2), 采用 40% 的回炉料, 计算废钢、生铁锭及硅铁、锰铁的加入量。

表 1-2

名 称	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
回 炉 料	3.3	2.0	0.6	0.15	0.12
生 铁 锭	4.24	1.71	0.82	0.063	0.027
废 钢	0.4	0.3	0.5	0.03	0.02
硅 铁		45			
锰 铁			60		
HT20-40	2.9~3.1	1.4~1.63	0.6~1.0	<0.2	<0.12
烧 损	+5~+10		-20~-30	0	+40~+80

解：根据铁水含碳量及碳的变化规律，计算出炉料中含碳量。

$$C_{\text{炉料}} = \frac{C_{\text{铁水}}}{1+5\%} = \frac{3.0\%}{1.05} = 2.8\%$$

冲天炉工厂渗碳率取 5%。以此碳量来列方程式。令废钢量为 A、生铁锭为 B。则得：

$$\begin{cases} A+B+40\% = 100\% \\ 0.4A+4.14B+3.3\times0.4=2.86 \end{cases}$$

整理后得：

$$A + B = 1 - 0.4 = 0.6$$

$$0.4A + 4.14B = 2.86 - 1.32 = 1.54$$

用行列式求解:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0.4 & 4.14 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} = 3.74$$

$$\Delta A = \begin{vmatrix} 1.54 & 4.14 \\ 0.6 & 1 \end{vmatrix} = 0.944$$

$$\Delta B = \begin{vmatrix} 0.4 & 1.54 \\ 1 & 0.6 \end{vmatrix} = 1.3$$

则得:

$$A = \frac{\Delta A}{\Delta} = \frac{0.944}{3.74} \approx 0.25$$

$$B = \frac{\Delta B}{\Delta} = \frac{1.3}{3.74} \approx 0.35$$

核算硅量: 各种炉料实际带入之硅量为 $Si_{\text{实带}}$ 。

$$\begin{aligned} Si_{\text{实带}} &= 2.0\% \times 40\% + 1.71\% \times 35\% + 0.3\% \times 25\% \\ &= 1.48\% \end{aligned}$$

根据 HT20-40 要求的含硅量为 1.4~1.63%, 取 1.5% 烧损 15% 则炉料硅为:

$$Si_w = \frac{1.5\%}{1 - 0.15} = 1.765\%$$

补加 45 号硅铁, 含硅量为 45%, 加入硅铁量为:

$$\frac{1.765 - 1.48}{45\%} = 0.633$$

炉料批量为 100 公斤时, 应补加硅铁 0.63 公斤。

锰铁的补加量计算方法与硅铁完全相同。

$$\text{锰铁补加量} = \frac{\text{炉料应有含锰量} - \text{各种炉料带入锰量}}{\text{锰铁中含锰量的百分数}}$$

炉料中应含锰量为 Mn_w , 用公式 (1-8) 计算, 得出:

$$Mn_{\text{带}} = \frac{Mn}{1-Z} = \frac{0.8\%}{1-0.2} = 1\%$$

代入上式

$$\begin{aligned} \text{锰铁补加量} &= \frac{1 - (0.6 \times 40\% + 0.83 \times 35\% + 0.5 \times 25\%)}{60} \\ &= 0.575\% \end{aligned}$$

补加锰铁为 0.575 公斤。

P、S 一般不进行计算，只复核一下，不超过允许的范围即可。带入磷量 $P_{\text{带入}}$ 为：

$$\begin{aligned} P_{\text{带入}} &= 0.15\% \times 40\% + 0.063\% \times 35\% + 0.03\% \times 25\% \\ &= 0.09\% \end{aligned}$$

带入硫量 $S_{\text{带入}}$ 为：

$$\begin{aligned} S_{\text{带入}} &= (0.12\% \times 40\% + 0.027\% \times 35\% \\ &\quad + 0.02\% \times 25\%) \times 1.5 \\ &= 0.06\% \times 1.5 = 0.09\% \end{aligned}$$

渗硫率取 +50%，带入硫量为 0.09%。S、P 含量皆小于 HT20-40 要求的允许含量。如果批料量是 200 公斤，以上计算结果都需乘以 2。

二、分析法最低成本配料计算

目前使用的各种配料算法都能满足铸铁化学成分与性能要求。这一点，已被无数生产实践所证实。但是，随着工业生产的不断发展，对铸造行业的要求愈来愈高。特别是现在，各工厂企业都实行经济核算，努力提高产品质量，降低成本，讲求经济效益。因此对配料技术又提出了新的要求。不但要求配料能满足铸铁化学成分与性能的要求，而且又要成本最低。这也就是