

高炉配料计称

郭世昌 編著



上海科学技术出版社

目 录

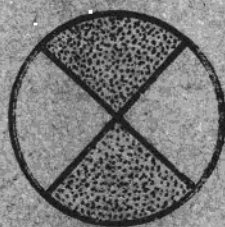
一、配料工作的重要性.....	1
二、配料前对炉料成分的控制	1
三、配料計算时必需的数据	2
四、配料計算的方法与步驟	5
五、各种配料計算方法示例	10
1. 简单混合料計算法.....	10
2. 拉姆計算法.....	13
3. $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO}$ 比值計算法.....	16
4. 简单碱比計算法.....	17
5. 代数法(一)	19
6. 代数法(二)	23
7. 有效容积計算法.....	26
8. 混合料計算法.....	33
9. 物料平衡計算法.....	40
附表 1 用焦炭冶炼各种生鉄的标准炉渣.....	49
附表 2 国家生鉄規格标准.....	50
附表 3 原子量表.....	51

一、配料工作的重要性

高炉炼铁是一种复杂的化学及物理变化过程。为了使高炉操作顺利进行,以获得一定成分的生铁和提高生产率,必须掌握原料的性质、成分及炉渣的渣量和碱比。如果化验不及时或不准确,不能事先采用配料计算的方法进行配料时,就很难达到上述目的,有时甚至会因配料不当,发生炉渣过碱或过酸的情况,以致造成出渣出铁困难、出黑渣^①以及结底等事故。因此配料计算对于高炉冶炼工作是极为重要的。

二、配料前对炉料成分的控制

配料以前应当从炉料中取得具有代表性的样品(矿石、焦炭、石灰石、白云石、锰矿)进行化验。比较正确的取样方法是将已破碎的矿石按层铺匀(厚度一致),铺至一定的高度为止;同时,在每铺好一层矿石的表面上,隔1~2公尺取一份样,每份样品重量不少于2公斤,将各份样品混匀后,按四分法(见图)取其相对的两份,然后将所取的两份样品按四分法再行拾取,根据总的样品数量,直到缩分



四分法示意图

^① 这是由于炉冷,进入炉渣中的氧化铁过多的缘故。有的小高炉进入炉渣中的氧化铁达到10~20%。

至2公斤左右(每次按四分法縮取必須混勻)为止,最后将其碎成粉状,送化验室进行化验,所得到的炉料成分,就是配料計算的根据。

采用四分法鋪料取样的目的,是使各种成分不同的矿石中和均匀,成分一致,这不但能使炉料含鉄成分变化不大,炉况稳定,而且可以使价值較低的貧矿与富矿中和使用,以解决富矿不足的困难。

三、配料計算时必需的数据

在进行配料之前,必須有一定的原始数据,然后才能根据規定的生鉄成分进行配料計算工作。现将配料所必需的数据叙述于下:

1. 各种炉料的全分析

(一) 矿石的分析項目:

全鉄 (TFe)	氧化矽 (SiO_2)
氧化鈣 (CaO)	氧化铝 (Al_2O_3)
氧化鎂 (MgO)	氧化錳 (MnO)
硫 (S)	磷 (P)

(二) 焦炭的分析項目:

灰分	硫 (S)
磷 (P)	灰分中的 SiO_2 、 CaO
揮发分	水分 (H_2O)
气孔率	假比重

(三) 石灰石的分析項目:

氧化鈣 (CaO)	氧化矽 (SiO_2)
----------------------	------------------------

氧化鎂 (MgO)

氧化鋁 (Al_2O_3)

硫 (S)

磷 (P)

2. 焦比的確定 焦比又稱焦鐵比，即每公斤焦炭與所煉出生鐵的比值。冶煉制鋼生鐵的焦比較低，約為0.8，即0.8公斤焦炭能煉出1公斤生鐵；冶煉鑄造灰生鐵的焦比約為1至1.2，即1至1.2公斤焦炭冶煉1公斤生鐵，有的小高爐的焦比高達1.5以上。以上所述焦比的數值是以品質較好的冶金焦（灰分不超過15%）為準的，如果採用品質較差的土焦，則焦比將相對的增高。

3. 各種生鐵成分的確定 各種品種生鐵所含的元素成分極不一致，根據我國冶金部1956年的部頒生鐵規格標準，將生鐵分為鹼性平爐生鐵、酸性轉爐生鐵、鹼性轉爐生鐵、鑄造生鐵、矽鐵和錳鐵等幾種，各種生鐵所含的元素成分各不相同（詳見附表2）。在進行配料計算時，應先確定所冶煉的生鐵種類，然後查閱附表2中該種生鐵所含的元素成分，作為配料計算時的原始數據。

4. 爐渣鹼度的確定 一般配料計算中，以二氧化矽(SiO_2)為酸性物質；氧化鈣(CaO)和氧化鎂(MgO)為鹼性物質；而三氧化二鋁(Al_2O_3)為可酸可鹼的物質（亦有作為酸性物質的）。確定鹼比一般可以採用以下的公式：

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} = \text{鹼比。}$$

上列公式不把 Al_2O_3 計算在內的意圖是：當所配爐料中的鹼比不適當時， Al_2O_3 可以起一種自由調節鹼比的作用。爐料中酸性與鹼性成分之差，最多不超過4%。在酸性成分中，如氧化矽(SiO_2)增加，則氧化鋁(Al_2O_3 做為酸性成分)

必然会相对地减少；在碱性成分中，如氧化钙（CaO）增加，则氧化镁（MgO）必然相对地减少。确定碱比的公式可以

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} \text{ 或 } \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \text{ 来表示。若其比值等于 1}$$

$$\left(\text{即 } \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} = 1 \right), \text{ 则碱比适中；若其比值大于 1, 则为}$$

碱性；若其比值小于 1, 则为酸性。上述酸与碱比值的计算方法，叫做化合量算法。

碱比是由所冶炼的生铁品种来决定的，在使用焦炭冶炼铸造生铁进行配料时，一般确定碱比为 0.923，即 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 48/52$ （RO 为 CaO + MgO）；但为了获得含砂量较高和含硫较少的铸造生铁，亦可将碱比确定为 1.1~1.2。在使用焦炭冶炼制钢生铁时，碱比应确定在 1 左右，即 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) : \text{RO} = 52/48$ 。

配料时确定碱比是为了获得易熔而流动性较好的炉渣，换言之，就是为了得到比较合宜的炉渣成分。根据实际配料所得的结果，理想的炉渣成分为： $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 48\%$ （ Al_2O_3 常在 10~15% 范围内）； $\text{CaO} + \text{MgO} = 48\%$ （MgO 常低于 10%）； FeS 及 $\text{MnO} = 4\sim 5\%$ （S 约在 1~2%）。因此理想的碱比即炉渣中 ΣCaO （包括 CaO、MgO、MnO、FeO 等）、 SiO_2 及 Al_2O_3 三者的比值为

$$\Sigma \text{CaO} : \text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 56 : 32 : 12.$$

5. 原料中主要元素的还原率 原料（铁矿石、锰矿石、焦炭、石灰石）中各种元素的含量不一致，在炉温不变的情况下，那一种元素的含量比较多，则还原进入生铁的数量也多；反之，则还原进入生铁的数量就少。采用不同的炉渣碱度操作

时，炉渣碱度高 $\left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} > 1.2 \sim 1.4\right)$ ，则矽(Si)、錳(Mn)和碳(C)等元素还原进入生鉄的数量較多，而硫(硫是有害的杂质，高碱度炉渣容易脱硫，使其变为硫化鈣轉入炉渣)进入生鉄的数量很少；在炉温很高的情况下，亦能产生同样的結果。

在炉渣碱度較低 $\left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} < 1\right)$ 或采用低风温操作时(有时是炉温降低)，则矽、錳还原进入生鉄的数量就会相应地减少，而生鉄中的含硫量却相应地增多。

矽(Si)和錳(Mn)是比較难还原的元素，在一般情况下，錳的还原率約为 40~70%；矽的还原率約为 1~3%；鉄的还原率約为 99.5%，0.5% 的鉄进入炉渣。在配料計算中所采用的純鉄数量，由生鉄的成分中减去其他元素得出，即

純鉄量 = 鉄 - (碳 + 矽 + 錳 + 硫 + 磷)。

四、配料計算的方法与步驟

配料計算的方法很多，但其計算的步驟却大同小异，即：

1. 先从各种炉料(矿石、焦炭、石灰石等)取出具有代表性的样品送交化验室进行化验分析，将炉料中的元素列表，作为配料計算的原始数据。

2. 根据准备冶炼的生鉄品种，确定所炼生鉄中各种元素的含量(如矽、錳、硫，其他元素一般不予計算)。

3. 确定焦比，即焦炭与生鉄的比值。

4. 确定炉渣碱度，即酸($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$)与碱($\text{CaO} + \text{MgO}$)的比值。

下面举例叙述一般的配料计算方法，只要根据炉料化验的成分计算出每批炉料中的熔剂(石灰石)重量，即可得每批正常炉料的批重。

- 〔例1〕设：(1)确定冶炼制钢生铁的含砂量为 1.5%；
 (2)确定炉渣碱比($\text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2$)为1.2；
 (3)确定焦比为 1.4；
 (4)原料的成分：

石灰石的化学成分(%)

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3
0.36	0.4	52.8	0.74	1.56

焦炭的化学成分(灰分为15.4%)

元 素	灰 分 成 分 (%)	折合焦炭的成分(%)
Fe	4.2	0.647
SiO_2	36.8	5.66
Al_2O_3	32.1	4.94
CaO	2.5	0.39
MgO	2	0.308
S	0.42	0.065

铁矿石的化学成分(%)

TFe	SiO_2	CaO	MgO	Mn	S
50.2	10.4	6.8	1.6	0.072	0.013

求各种炉料用量。

解：(1)求石灰石的碱化效率：

$$\begin{aligned}\text{石灰石的有效氧化钙(CaO)} &= 52.8 - (1.2 \times 0.36) + 0.74 \\ &= 53.1\%,\end{aligned}$$

则碱化效率为

$$100 \div 53.1 = 1.88,$$

即在 1.88 公斤的石灰石中，只有 1 公斤的氧化钙(CaO)起着碱性(中和 SiO_2)化合的效用。

(2)求 100 公斤焦炭需用的熔剂(石灰石)数量：

每 100 公斤焦炭需用的熔剂(石灰石)为

$$[(5.66 \times 1.2) - 0.39] \times 1.88 = 12.04 \text{ 公斤。}$$

(3)求每 100 公斤铁矿石需用的熔剂数量：

中和 100 公斤铁矿石中的 SiO_2 需用的 CaO 数量为

$$10.4 \times 1.2 = 12.48 \text{ 公斤，}$$

除去矿石本身含有的 CaO，尚需的 CaO 数量为

$$12.48 - 6.8 = 5.68 \text{ 公斤，}$$

因石灰石的碱化效率为 1.88，故 5.68 公斤 CaO 折合石灰石的数量为

$$5.68 \times 1.88 = 10.68 \text{ 公斤。}$$

根据以上计算得出的数据，可以焦炭为主来确定料批的重量。因焦比确定为 1.4，如焦炭为 50 公斤，则需用的铁矿石数量计算如下：

50 公斤焦炭应出铁的数量为

$$50 \div 1.4 = 35.71 \text{ 公斤。}$$

设生铁中的纯铁量为 95%，则需用的铁矿石数量为

$$(35.71 \times 0.95) \div 0.502 = 67.5 \text{ 公斤。}$$

每 100 公斤焦炭需用 12.04 公斤石灰石, 50 公斤 焦炭需用石灰石为

$$12.04 \div 2 = 6.02 \text{ 公斤。}$$

每 100 公斤铁矿石需用 10.68 公斤石灰石, 67.5 公斤铁矿石需用石灰石为

$$67.5 \times 10.68 / 100 = 7.16 \text{ 公斤。}$$

综合以上计算得出料批为:

焦炭 50 公斤;

矿石 67.5 公斤;

石灰石 $= 6.02 + 7.16 = 13.18$ 公斤。

〔例 2〕 仍以上边的焦炭、铁矿石和石灰石的化学成分举正常料批的计算示例如下:

(1) 以焦炭 60 公斤为基准料批数, 则 60 公斤焦炭需用石灰石为

$$60 \times 12.04 / 100 = 7.224 \text{ 公斤。}$$

(2) 铁矿石的批重:

设生铁中的纯铁为 95%, 上面已确定焦比为 1.4, 所以 60 公斤焦炭应出生铁的数量为

$$60 \div 1.4 = 42.85 \text{ 公斤,}$$

冶炼 42.85 公斤生铁所需铁矿石为

$$(42.85 \times 0.95) \div 0.502 = 81.09 \text{ 公斤。}$$

(3) 需用熔剂的数量:

生铁含砂量为 $42.85 \times 1.5\%$, 折合成二氧化矽(SiO_2)得

$$42.85 \times 0.015 \times \frac{60}{28} = 1.38 \text{ 公斤,}$$

① 矽的原子量为 28, 二氧化矽的原子量为 60, $\frac{\text{SiO}_2}{81} = \frac{60}{28}$ 。

矿石中含有的 SiO_2 中应当除去 1.38，尚余需用 CaO 中和的 SiO_2 数量为

$$(81.09 \times 0.104) - 1.38 = 8.433 \text{ 公斤。}$$

铁矿石含 CaO 数量为

$$81.09 \times 0.068 = 5.514 \text{ 公斤，}$$

与中和 SiO_2 需用的 CaO 抵消后，尚需 CaO 的数量为

$$(8.433 \times 1.2) - 5.514 = 4.605 \text{ 公斤。}$$

4.605 公斤 CaO 折合石灰石的数量为

$$4.605 \times 1.88 = 8.657 \text{ 公斤。}$$

焦炭和铁矿石共需石灰石的数量为

$$7.224 + 8.657 = 15.88 \text{ 公斤。}$$

(4) 验证：

原 料	公 斤	SiO_2	CaO	MgO
矿 石	81.09	8.430	5.515	
焦 炭	60.00	3.36	0.235	
石 灰 石	15.88	0.057	8.385	0.117
共 计		11.85	14.135	0.117

将数据代入公式 $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} = 1.2$ ，得

$$\text{炉渣碱度} = \frac{14.135 + 0.117}{11.85} = 1.2。$$

五、各种配料计算方法示例

1. 简单混合料计算方法

(一) 数据

(1) 炉料及燃料的化学成分：

化学成分分析表

原 料	化 学 成 分 (%)					备 注
	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mn	
赤 铁 矿	56	10	—	3	—	赤铁矿50%
燒 結 矿	52	12	—	7	—	燒結矿50%
赤铁矿与燒結矿 混 合 成 分	54	11	—	5	—	
錳 矿	10	16	—	—	36	
石 灰 石	—	1.1	—	53	—	
焦炭(灰分14%)	10	41	—	5	—	S=1.2%

(2) 生鉄的种类及其成分：

冶炼鑄造生鉄，化学成分如下：

C	Si	Mn	S	Fe
3.9%	1.5%	0.8%	0.05%	93%

(3) 炉渣碱度： $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1.2$ ；

(4) 焦比为 0.8。

(二) 计算

(1) 冶炼 1000 公斤生铁所需铁矿石及锰矿的数量:

$$\text{Si} = 1000 \times \frac{1.5}{100} = 15 \text{ 公斤},$$

$$\text{Mn} = 1000 \times \frac{0.8}{100} = 8 \text{ 公斤},$$

$$\text{S} = 1000 \times \frac{0.05}{100} = 0.5 \text{ 公斤},$$

$$\text{Fe} = 1000 \times \frac{93}{100} = 930 \text{ 公斤},$$

每冶炼 1000 公斤生铁需用焦炭为

$$1000 \times 0.8 = 800 \text{ 公斤},$$

焦炭中含 Fe 为

$$800 \times \frac{14}{100} \times \frac{10}{100} = 11.2 \text{ 公斤},$$

来自铁矿石的 Fe 为

$$930 - 11.2 = 918.8 \text{ 公斤},$$

设锰 45% 还原进入生铁中, 则来自锰矿中的 Mn 为

$$\frac{8}{45\%} = 8 \div \frac{45}{100} = 17.7 \text{ 公斤},$$

则需用锰矿石数量为

$$\frac{17.7}{0.36} = 49.1 \text{ 公斤 (铁矿石中的锰不计在内)}.$$

49.1 公斤锰矿中含 Fe 为

$$49.1 \times 10\% = 4.91 \text{ 公斤},$$

故来自铁矿石的 Fe 为

$$918.8 - 4.91 = 913.89 \text{ 公斤},$$

需用铁矿石的数量为

$$913.89 + 0.54 = 1692.3 \text{ 公斤。}$$

(2) 冶炼 1000 公斤生铁需用石灰石的数量:

$$\text{锰矿石含 SiO}_2 = 49.1 \times 16\% = 7.856 \text{ 公斤,}$$

$$\text{铁矿石含 SiO}_2 = 1692 \times 11\% = 186.12 \text{ 公斤,}$$

$$\text{焦炭含 SiO}_2 = 800 \times 14\% \times 41\% = 45.92 \text{ 公斤,}$$

$$\text{合计 SiO}_2 = 239.896 \text{ 公斤。}$$

1000 公斤生铁中含 Si 为 15 公斤, 折合为 SiO_2 为

$$15 \times \frac{60}{28} = 32.1 \text{ 公斤,}$$

因此进入炉渣中的 SiO_2 为

$$239.896 - 32.1 = 207.796 \text{ 公斤,}$$

因渣碱度 (CaO/SiO_2) 为 1.2, 故中和 SiO_2 需用的 CaO 为

$$207.796 \times 1.2 = 249.36 \text{ 公斤,}$$

$$\text{铁矿石中含 CaO} = 1692 \times 5\% = 84.6 \text{ 公斤,}$$

$$\text{焦炭中含 CaO} = 800 \times 14\% \times 5\% = 5.6 \text{ 公斤,}$$

$$\text{共 含 CaO} = 84.6 + 5.6 = 90.2 \text{ 公斤,}$$

故中和 SiO_2 尚需使用的 CaO 为

$$249.36 - 90.2 = 159.16 \text{ 公斤,}$$

因石灰石的熔剂性能为

$$100 \div (53 - 1.1 \times 1.2) = 100 \div 51.68 = 1.93,$$

故需用的石灰石数量为

$$159.16 \times 1.93 = 307.18 \text{ 公斤。}$$

综合以上计算得出冶炼 1000 公斤生铁料批数量为:

$$\text{赤铁矿} = 1692.3 \times 50\% = 846.1 \text{ 公斤,}$$

$$\text{烧结矿} = 1692.3 \times 50\% = 846.1 \text{ 公斤,}$$

$$\text{锰矿石} = 49.1 \text{ 公斤,}$$

石灰石=307.18 公斤。

若每批炉料中的焦炭为 400 公斤,则可得料批的重量为:

$$\text{赤铁矿} = 400 \times \frac{846.1}{800} = 423 \text{ 公斤},$$

$$\text{烧结矿} = 400 \times \frac{846.1}{800} = 423 \text{ 公斤},$$

$$\text{锰矿石} = 400 \times \frac{49.1}{800} = 24.55 \text{ 公斤},$$

$$\text{石灰石} = 400 \times \frac{307.18}{800} = 153.59 \text{ 公斤}.$$

2. 拉姆算法

计算公式:

$$n = \frac{T\text{Fe} \times \text{Fe} + T\text{Mn} \times \text{Mn} + T\text{P} \times \text{P}}{100 - (\text{C} + \text{Si} + \text{S})},$$

式中: n = 出铁率; $T\text{Fe}$ = 铁的还原度;

$T\text{Mn}$ = 锰的还原度; $T\text{P}$ = 磷的还原度。

(一)数据

(1) 生铁中含 0.5% Si、3.85% C、0.06% S;

(2) 铁的还原度取 99.5%, 锰的还原度取 60%;

(3) 原料的成分:

原料成分表 (%)

原料名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	P	S
矿石	12.4	2.8	1.2	0.6	58	1.8	0.11	0.08
烧结	2.2	1.2	52	1.5	0.75	0.24	0.05	—
焦炭	4.5	2.4	0.5	0.4	1.9	—	0.02	1.4

(二) 計算

矿石的出鉄率

$$\begin{aligned}(n) &= \frac{0.995 \times 58 + 0.6 \times 1.8 + 1 \times 0.11}{100 - (3.85 + 0.5 + 0.05)} \\ &= \frac{58.9}{95.6} = 0.616;\end{aligned}$$

熔剂的出鉄率

$$\begin{aligned}(n) &= \frac{0.995 \times 0.75 + 0.6 \times 0.24 + 1 \times 0.05}{95.6} \\ &= \frac{0.94}{95.6} = 0.0098;\end{aligned}$$

焦炭的出鉄率

$$(n) = \frac{0.995 \times 1.9 + 1 \times 0.02}{95.6} = \frac{1.91}{95.6} = 0.019。$$

計算炉料的成分时，采用以下計算原料中“游离”碱量的

公式：

$$\begin{aligned}RO \textcircled{\bullet} &= CaO + MgO - SiO_2 - 0.5 \times Al_2O_3 - 6.5S + 1.285 \\ &\quad (1 - TFe) \times Fe + 1.29 \times (1 - TMn) \times Mn + n \times (2.73 \\ &\quad [Si] + 66.5 [S])。 \end{aligned}$$

炉料中的游离氧化物质：

矿石的 RO 为

$$\begin{aligned}&1.2 + 0.6 - 12.4 - 0.5 \times 2.8 - 6.5 \times 0.08 + 1.285 \times \\ &0.005 \times 58 + 1.29 \times 0.4 \times 1.8 + 0.616 \times (2.73 \times 0.5 \\ &+ 66.5 \times 0.08) = -8.1\%；\end{aligned}$$

熔剂的 RO 为

① RO 系 $CaO + MgO$ 的缩写符号。

$$52+1.5-2.2-0.5 \times 1.2+1.285 \times 0.005 \times 0.75+1.29 \times 0.4 \times 0.24+0.0098 \times 5.36=50.881\%;$$

焦炭的 RO 为

$$0.5+0.4-45-0.5 \times 2.4-6.5 \times 1.4+1.285 \times 0.005 \times 1.9+0.02+5.36=-13.787\%.$$

设冶炼每一公斤生铁的矿石消耗量为 x , 石灰石的消耗量为 y , 则得:

$$\begin{aligned} 0.616x+0.0098y+0.019 \times 0.8 &= 1, \\ 50.88y &= 8.1x+13.787 \times 0.8, \end{aligned}$$

化简, 得:

$$\begin{cases} 0.616x+0.0098y=0.984 & \cdots \cdots (1) \\ -8.1x+50.88y=11 & \cdots \cdots (2) \end{cases}$$

解(1)式与(2)式, 得:

$$\begin{cases} 4.99x+0.0793y=7.97 & \cdots \cdots (3) \\ -4.99x+31.342y=6.77 & \cdots \cdots (4) \end{cases}$$

将(3)式与(4)式相加, 得:

$$31.421y=14.74,$$

$$\therefore y = \frac{14.74}{31.421} = 0.469 \text{ 公斤},$$

将 y 值代入(3)式, 得:

$$4.99x+0.0371=7.97,$$

$$\therefore x = \frac{7.97-0.0371}{4.99} = 1.59 \text{ 公斤}.$$

每冶炼 100 公斤生铁(消耗焦炭 80 公斤) 所需的炉料如下表。