

17-11-05

1979.12.28

1281



126
3

小电炉炼钢

王德林 著

冶金工业出版社

小电熔炼钢

栾心钦 编著

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 7226工厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.125 字数 150,000

1982年8月第1版 1982年8月第1次印刷

印数 1—2900

统一书号: 15202·47 定价: 0.59元

编者的话

本书是介绍电弧炉炼钢的一本通俗读物。它立足于当前国内电弧炉（小型电弧炉）炼钢的实际，着重讨论了电弧炉炼钢的基础理论和基本工艺；在增产节电方面做了较多的探讨。另外介绍了一些国内外电弧炉炼钢的新工艺、新技术、新动向。

本书力求简明扼要、通俗易懂。它可供电炉炼钢、铸钢车间炉前工人自学之用，也可供从事电炉炼钢的技术人员、管理干部参考使用。

在本书的编写过程中，得到西安市三电办公室、西安地区电炉炼钢协作组、西安市铸造学会和西安冶金建筑学院冶金系的大力支持；胡承昭、王振仓、张瑁、张隆水等许多同志曾给予指导和帮助，在此一并致谢。

由于编者理论水平不高，实践经验有限，本书难免存在缺点、错误，望同志们批评指正。

编者

目 录

| | | |
|-----|-----------------|--------|
| 第一节 | 炼钢的化学基础知识 | (1) |
| 第二节 | 电弧炉炼钢概述 | (32) |
| 第三节 | 电弧炉炉衬及其寿命 | (47) |
| 第四节 | 电弧炉炼钢的原材料 | (83) |
| 第五节 | 补 炉 | (101) |
| 第六节 | 配料与装料 | (105) |
| 第七节 | 熔 化 | (115) |
| 第八节 | 氧化期 | (131) |
| 第九节 | 还原期 | (170) |
| 第十节 | 几种冶炼工艺介绍 | (202) |

第一节 炼钢的化学基础知识

炼钢过程的变化错综复杂，但总的可分为两大类，即物理变化和化学变化。例如，炉料吸收热量温度升高，由固体熔化成液体等，属于物理变化，即物质的原子、分子间的聚集状态的变化；钢液中碳、硅、锰、磷等的氧化或还原反应，则属于化学变化，亦即物质的原子、分子间化合状态的变化。炼钢过程是在高温下进行的，虽有其特殊规律，但基本上都遵循物质变化运动的一般规律。这些规律则是炼钢工艺技术的理论基础。

一、几个基本概念

(一) 元素与元素符号

自然界存在的物质有千千万万种，它们虽然组成不同，但都是由107种最基本的“元素”所组成。例如石墨电极、焦炭主要是由碳组成，石灰主要是由钙与氧组成，铁矿石则主要是由铁与氧组成等等。碳、钙、铁、氧等都是元素，它们分别被称为碳元素、钙元素、铁元素、氧元素等等。

在化学上，为了研究问题方便起见，将每个元素取用一个国际上通用的符号表示，称为元素符号。元素符号的确定，乃是用该元素拉丁文名称的第一个大写字母。当遇到两

个元素第一个字母相同时，就在某些元素第一个字母后面再加上一个小写字母，以示区别。炼钢中一些常见的元素及其相应的符号如：铁 (Fe)、碳 (C)、硅 (Si)、锰 (Mn)、磷 (P)、硫 (S)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、铬 (Cr)、镍 (Ni)、铝 (Al)、铜 (Cu)、钨 (W)、钼 (Mo)、钛 (Ti) 等。

(二) 分子、原子、原子量、分子量

分子就是物质能够独立存在，并保持该物质所具有的一切化学性质的最小微粒。例如，把一杯水分成两份，每半杯水无疑都具有水的性质，如果继续不断地分离下去，一直分到这样的限度，即再分就不再具有水的性质时的微粒就是水分子。分子是由原子组成的。

原子是物质参加化学反应的基本微粒，在化学变化中，原子并不发生变化，只能重新组合。

分子和原子都有一定的质量，即原子量。实验得知，一个碳原子质量为 1.993×10^{-23} 克，一个氢原子的质量为 1.673×10^{-24} 克。可见原子质量是很小很小的。显然，用克作为原子、分子的质量单位，计算起来很不方便，因此，人们考虑采用了相对质量单位。现在国际上统一使用的原子量是以碳做标准，定碳原子的质量为 12，以求出其它各元素原子的相对质量，并通称为元素的原子量。把碳原子量的 $\frac{1}{12}$ 称为一个碳单位。氢原子量是碳的 $\frac{1}{12}$ ，故氢的原子量为 1 碳单位（近似的），氧原子量为氢的 16 倍，故氧的原子量为 16 碳单位。在使用中，通常将“碳单位”三个字省略了。

分子量根据组成分子的原子数目和原子量计算。例如，氧分子是由 2 个氧原子组成的，所以氧的分子量为：

$$16 \times 2 = 32$$

又如， MnO 分子是由 1 个锰原子和 1 个氧原子组成的，所以 MnO 的分子量为：

$$54.9 + 16 = 70.9 \approx 71$$

(54.9 为锰的原子量)

(三) 分子式

各种物质都具有一定的化学组成，为研究方便，通常用分子式表示其化学组成。用元素符号表示物质分子组成的式子叫做分子式。各种物质的分子式，是用实验方法测定其分子组成后确定的，并非凭空臆造。

写单质分子式的时候，先把元素符号写出来，然后在元素符号的右下角写一个小小的数字，表示这种单质的一个分子里所含原子的个数。如氧气、氢气、氮气等气体的分子里各含有两个原子，故它们的分子式分别是 O_2 、 H_2 、 N_2 。金属和碳、硅、磷、硫等物质的分子式，习惯上就用它们的元素符号来表示。如铁、锰、铝、碳、硅、磷、硫的分子式分别为 Fe 、 Mn 、 Al 、 C 、 Si 、 P 、 S 。要书写化合物的分子式，只要知道化合物的组成，即化合物含有哪几种元素，以及各种元素的原子数目，便可按规定（如氧化物的分子式是金属或非金属写在前面，氧元素写在后面，原子数目的标注与单质的分子式相同）写出。如一氧化碳的分子式为 CO ，二氧化硅的分子式为 SiO_2 ，三氧化二铝、四氧化三铁的分子式分别为 Al_2O_3 和 Fe_3O_4 等。

分子式前面的阿拉伯数字是表示该分子个数的，例如 2O_2 和 $3\text{P}_2\text{O}_5$ 分别表示两个氧分子和三个五氧化二磷分子。

(四) 克原子、克分子、克分子体积

一元素的质量，在数值上等于它的原子量，其单位用克表示时，这一质量称为该元素的 1 克原子。例如，从元素周期表中查得，氢的原子量为 1.008（一般近似地视为 1），那么 1.008 克氢即为 1 克原子氢，而 2 克原子氢即为 $1.008 \times 2 = 2.016$ 克。氧的原子量为 16，16 克氧即为 1 克原子氧。

同样，某一物质的质量在数值上等于它的分子量，其单位用克表示时，则该质量称为这一物质的 1 克分子。例如，氧的分子量是 32，1 克分子氧重为 32 克。 MnO 的分子量是 70.9，故 1 克分子 MnO 重为 70.9 克（一般可视作 71）。

实际生产中的计算问题，常常用到公斤原子或公斤分子。公斤原子（或公斤分子）与克原子（或克分子）的概念相同，即把某一元素的质量在数值上等于它的原子量（或分子量），其单位用公斤表示。显然，

$$1 \text{ 公斤原子} = 1000 \text{ 克原子}$$

$$1 \text{ 公斤分子} = 1000 \text{ 克分子}$$

克原子、克分子、公斤原子、公斤分子都是质量单位。

一克分子气体所占有的体积叫做克分子体积。例如，氧气的克分子体积，即 32 克氧所占有的体积。氢气的克分子体积是 2 克氢气所占有的体积。

实验证明，任何气体在相同的温度、压力条件下，其克分子体积相等，在标准状态下（ 0°C ，一个大气压），一克分子任何气体都占有 22.4 升的体积。

(五) 化学式量、摩尔

一种物质的化学式中，所有原子的原子量总和，就是这种物质的化学式量。

例如，Fe 的原子总量为 $1 \times 55.85 = 55.85$ ，则 Fe 的式量为 55.85； O_2 的原子总量为 $2 \times 16.00 = 32.00$ ，则 O_2 的式量为 32.00；NaCl 的原子总量为 $1 \times 22.99 + 1 \times 35.45 = 58.44$ ，则 NaCl 的式量为 58.44。

一种物质的式量用克表示时，称为一克式量。克式量也叫做该物质的一摩尔。上例中，Fe 的式量为 55.85，Fe 的克式量（亦即一摩尔 Fe）为 55.85 克 Fe； O_2 的式量为 32.00， O_2 的克式量，即一摩尔 O_2 为 32.00 克 O_2 ；NaCl 的式量为 58.44，它的克式量，亦即一摩尔 NaCl 为 58.44 克 NaCl。

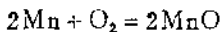
可见，当一种物质由单个原子（如 Fe 等）组成时，摩尔和克原子量具有相同的质量并代表相同的粒子数目（ 6.02×10^{23} ）；对于分子型物质（如 O_2 等），摩尔和克分子量具有相同的质量并代表相同的粒子数目（ 6.02×10^{23} ）。然而，摩尔是一个比克原子量、克分子量更广义的物理量，对于任何物质，只要知道它的化学式，都可用摩尔来表示它的质量。

二、化学方程式及其计算

物质发生化学变化，生成了新的物质，其性质完全改变了，重量是否也改变了呢？实验证明，参加反应的各物质的

总重量等于反应后生成的各物质的总重量。这就是著名的物质不灭定律。因为化学反应的实质可以一般地解释为原子的分解和化合过程，反应前后的原子数目和重量都没有改变，只是它们重新组成了别的物质，所以反应前后物质的重量也一定不变。

根据物质不灭定律，用元素符号和分子式表示物质化学反应的式子，称为化学方程式。如：



一个配平的化学方程式具有下列意义：

① 表示哪些物质参加反应，结果生成了什么物质。如上述锰的氧化反应方程式，表示反应物是锰和氧气，生成物为氧化锰。

② 表示了反应物和生成物之间的分子（或原子）数量关系。

上述锰的氧化反应式中表示出 2 个锰原子与 1 个氧分子发生作用，生成 2 个氧化锰分子，亦即反应前后锰和氧的原子数目都没有变化。

③ 表示出反应物和生成物之间的重量关系。

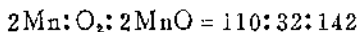
仍以上述锰的氧化反应为例，分析其反应过程的数量关系。

2 个 Mn 的原子量为： $54.9 \times 2 = 109.8 \approx 110$

1 个 O_2 的分子量为：32

2 个 MnO 的分子量为： $71 \times 2 = 142$

可见，每 110 份重的锰与 32 份重的 O_2 作用，生成 142 份重的 MnO。即其重量比为：



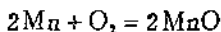
弄清了化学方程式的含义后，就可以进行有关的计算。

例 1 氧化 1 公斤锰需要多少公斤氧气？

解：① 写出配平的化学反应方程式：

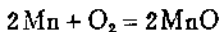


② 写出有关物质的重量比：



$$110 \quad 32$$

③ 标出已知物质的重量，并设待求物质的重量为 x ：



$$110 \quad 32$$

$$1 \text{ 公斤} \quad x \text{ 公斤}$$

④ 列出比例式，求出未知数：

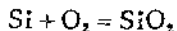
$$110:32 = 1:x$$

$$x = \frac{32 \times 1}{110} = 0.29 \text{ (公斤)}$$

则氧化 1 公斤锰需要 0.29 公斤氧气。

例 2 吹氧助熔时，氧化 1 公斤硅需要多少立方米氧气？

解：① 列出配平的化学反应方程式：

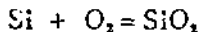


② 用克分子、克原子解法求出有关物质重量比：



$$1 \text{ 克原子} \quad 1 \text{ 克分子}$$

③ 求出 1 公斤硅所需要的克分子氧数：



$$28 \text{ 克} \quad 1 \text{ 克分子}$$

$$1000 \text{ 克} \quad x$$

$$x = \frac{1000 \times 1}{28} = 35.7 \text{ (克分子)}$$

则 1 公斤硅氧化时需要 35.7 克分子氧气。

④ 将所需氧气重量换算为体积：

$$22.4 \text{ 升} \times 35.7 \approx 800 \text{ 升} = 0.8 \text{ 标米}^3$$

即 氧化 1 公斤硅需要 0.8 标米³的氧气

三、溶液、溶液浓度及其计算

溶液可以定义为两种或两种以上物质的均相混合物。不能把溶液理解为象铁粉与砂子相混合那样的机械混合物，它也不同与化合物。溶液各部分的性质相同，其组成可在一定范围内连续变化。比如盐水、糖水就是溶液，它是由盐（或糖）和水组成的。钢液和炉渣也是溶液，前者是由铁、碳、硅、锰、磷、硫等组成，后者则是由氧化钙（CaO）、二氧化硅（SiO₂）、氧化铁（FeO）、硫化钙（CaS）、三氧化二铝（Al₂O₃）、氧化镁（MgO）、五氧化二磷（P₂O₅）等氧化物所组成。

组成溶液的各种物质，称为溶液的成分。按照习惯，常把溶液中含量较多的成分叫做溶剂，含量较少的成分叫做溶质。溶剂和溶质是相对而言的。在钢水中因为铁的成分最多，故通常是把铁视为溶剂，而把含量较少的 C、Si、Mn、P、S 等成分视为溶质。

在实际应用中，常需要知道一定量的溶液中究竟含有多少溶质，这在生产中是十分重要的。一定量的溶液中所含溶质的数量，叫做溶液的浓度（炼钢中习惯叫做“含量”）。

表示浓度的方法很多，炼钢生产中最常用的是重量百分比浓度（也叫百分含量）。所谓重量百分比浓度，就是溶质的重量占全部溶液重量的百分比。例如，一百公斤铁水中含碳4公斤，则铁水中碳的浓度为4%；如一吨钢水中含碳量是4.5公斤，则钢液中碳的浓度为0.45%；再如，炉渣中含有氧化钙的浓度为47%，则表明每一百公斤炉渣中含有氧化钙47公斤。

浓度的计算在炼钢中应用颇多，下面举几个例子。

例1 在实际装入量为5吨的电弧炉中配加平均含碳量为0.20%的废钢4.0吨，含碳量为4.0%的生铁1.0吨，如不考虑熔化期元素的烧损，求熔毕后钢中碳的浓度。

解：首先求出进入钢中碳的总量为：

$$4.0\text{吨} \times 0.20\% + 1.0\text{吨} \times 4.0\% = 0.048\text{吨}$$

钢液的总重量（不计烧损）为：

$$4.0\text{吨} + 1.0\text{吨} = 5.0\text{吨}$$

则 熔毕后钢液中碳的重量百分浓度（即百分含量）为：

$$\frac{0.048\text{吨}}{5\text{吨}} \times 100\% = 0.96\%$$

例2 实际装入量为3吨的某电炉，使用含碳量为4.0%的生铁作为增碳剂。若碳的收得率按100%计算，问加入50公斤生铁会使钢液增碳多少？

解：生铁和钢水的总重量为：

$$3000\text{公斤} + 50\text{公斤} = 3050\text{公斤}$$

50公斤生铁中的含碳总量为：

$$50\text{公斤} \times 4.0\% = 2\text{公斤}$$

故 加入50公斤生铁将使钢液增碳:

$$\frac{2}{3050} \times 100\% \approx 0.065\%$$

例 3 1.5吨电弧炉内冶炼45钢,实际钢液为3吨,还原期造薄渣后取样分析,钢中含Mn为0.15%,现需将Mn调至0.65%,如锰铁的回收率按95%考虑,问需要加入含锰63%、含碳6.5%的高碳锰铁多少公斤?

解: 设锰铁的加入量为x公斤,则锰铁加入后钢中所含Mn的总量应为:

$$\text{Mn的总重} = 3000 \text{ 公斤} \times 0.15\% + x \text{ 公斤} \times 63\% \times 95\%$$

由于不是高合金钢,铁合金的加入量不大,它对钢水总量的影响可以忽略不计,故有下列方程式:

$$0.65\% = \frac{3000 \text{ 公斤} \times 0.15\% + x \text{ 公斤} \times 63\% \times 95\%}{3000 \text{ 公斤}} \times 100\%$$

解方程得锰铁加入量为:

$$x = \frac{3000 \times (0.65\% - 0.15\%)}{63\% \times 95\%} \approx 25 \text{ (公斤)}$$

锰铁加入后对钢水的增碳量为:

$$\frac{25 \times 6.5\%}{3000} \times 100\% = 0.054\%$$

通过上述计算,可得出还原期铁合金加入量的一般计算公式:

铁合金加入量 =

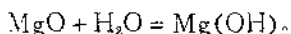
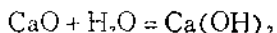
$$\frac{\text{钢水量} \times (\text{控制的合金成分} - \text{该合金在钢中的残余量})}{\text{铁合金中合金元素含量} \times \text{该合金元素的回收率}}$$

四、氧化物

由两种元素组成的化合物，其中一种是氧元素，则这种化合物叫做氧化物。例如 MgO ，叫做氧化镁。还经常用分子中所含元素的原子数目来区别地称某些氧化物，例如 CO ，叫做一氧化碳， P_2O_5 叫做五氧化二磷等。

凡是和酸起反应生成盐和水的氧化物叫做碱性氧化物，金属氧化物多数是碱性氧化物。例如 CaO 、 MgO 、 FeO 、 MnO 是炼钢炉渣中主要的碱性氧化物。

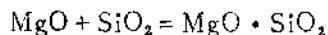
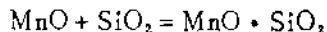
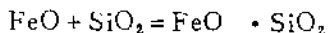
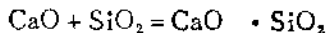
碱性氧化物与水作用生成碱。如作为炼钢渣料的石灰 (CaO) 和炉衬材料镁砂 (MgO)，很容易发生水化现象导致材料变质，其与水的反应如下：



凡是能和碱起反应生成盐和水的氧化物叫做酸性氧化物。非金属氧化物大多是酸性氧化物。例如二氧化碳 (CO_2)、二氧化硅 (SiO_2)、二氧化硫 (SO_2)、五氧化二磷 (P_2O_5) 等。

酸性氧化物与碱性氧化物反应，生成含氧酸盐。

炼钢过程中常有这样一些反应发生，例如：



中性氧化物也叫做两性氧化物，其主要标志是与酸和碱

都能形成盐。如 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 、 V_2O_5 等就属此类氧化物。

五、扩 散

在很远的地方就可闻到香水的气味，樟脑球放进箱子，时间一久就不见了，这些都是物质分子不断运动迁移的结果。物质分子这种从一处迁移到另一处的现象叫做扩散。

扩散，在炼钢过程中是大量的、普遍的现象。例如，向炉内加入氧化铁皮，使渣面氧化铁浓度增高，而造成炉渣上、下层之间氧化铁的浓度差，于是氧化铁分子便会由高浓度的渣面向低浓度的炉渣下层扩散，直至趋于平衡。

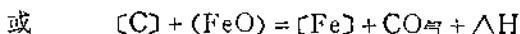
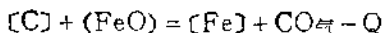
分子的扩散速度与下列因素有关：

- ① 如果两个相邻地区某一物质的浓度差愈大，则扩散速度愈快；
- ② 温度高时，分子动能大，则扩散速度快；
- ③ 液体的粘性愈小，即流动性愈好，扩散速度愈快。

六、热 效 应

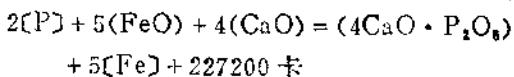
把石灰 (CaO) 放进水里，水会变热，这是因为石灰与水发生化学作用时放出了热量。自然界中许多变化常常伴随着放热或吸热。如炉料熔化是吸热的，硅、锰、磷等的氧化则是放热的。在一定条件下，物质发生化学反应或物理变化时，放出或吸收的热量叫做这个过程的热效应。表示化学反应与热效应关系的方程式叫做热化学方程式。

化学反应的热效应可以在热化学方程式中用符号表示出来，这个符号通常取用 Q (或 ΔH)，如果化学反应是放热的，则 Q 规定为正 (+)；吸热时，则 Q 规定为负 (-)。 ΔH 则与 Q 的符号相反。按照习惯， Q (或 ΔH) 要写在热化学方程式的右边。例如，钢中碳与炉渣里的氧化铁所发生的总反应为一吸热反应，则其热化学方程式可写成：



上面二式都表明，在炼钢温度下，钢中 C 与渣中 FeO 反应，生成 Fe ，放出 CO 气体，反应是吸热的。

表示热量的单位是焦耳、千焦或卡、千卡，本书一律使用卡 (或千卡)。如果已经测出化学反应热效应的具体数值时，则可在方程式中用数字直接表示以代替 Q 。例如，电弧炉冶炼脱磷总反应的放热量为 227200 卡 (或写做 227.20 千卡)，则其总反应式连同总的热效应可作如下表示：



七、分配定律

如果某物质能够同时溶解于两种互相接触但又互不混合的液体中，则该物质在两种液体中的浓度之比，在一定温度下是一常数。这就是分配定律。认识这一客观规律，对于能动地把握炼钢过程的若干物理化学变化条件，促进反应过程，是十分重要的。如电弧炉冶炼的氧化期，渣中 FeO 向钢中的扩散，还原期钢中 FeO 向渣中的扩散等，均照从分