

中等专业学校教学用书

# 炼 钢 学

下 册

冶 金 工 业 出 版 社

TF7  
1  
3-2

中等专业学校教学用书

# 炼 钢 学

下 册

北京钢铁学校 韩至成 主编

2005.10

冶金工业出版社

A752496

中等专业学校教学用书

炼 钢 学

下 册

北京钢铁学校 韩至成 主编

\*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

787×1092 1/16 印张 24 1/4 字数 578 千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

印数 00,001~5,000 册

统一书号: 15062·3648 定价 1.95 元

## 前 言

本书系根据1978年冶金工业部教材会议制订的中等专业学校炼钢专业教学计划编写的。全书分上下两册。本书为下册，主要内容有：平炉炼钢、电炉炼钢、钢的浇注、钢的品种及质量和转炉车间设备及布置。

本书力求反映现代冶金技术理论，介绍先进工艺、先进设备。

本书平炉炼钢及钢的浇注部分由包头钢铁学校游惠玲编写，电炉炼钢部分由太原冶金工业学校张承武编写，钢的品种质量部分由北京钢铁学校韩至成和张成武编写，转炉车间及设备部分由重庆钢铁学校郑沛然编写。最后由韩至成整理定稿，北京钢铁学校朱承平审核。

本书可作为炼钢专业的教材使用，也可供炼钢工人和技术人员参考。

在编写过程中曾得到很多单位的大力支持，在此表示衷心感谢。由于编写时间仓促和编者水平所限，缺点错误之处希读者批评指正。

编 者

一九七九年十一月

# 目 录

## 第三篇 平炉炼钢

第十二章 平炉炼钢概述	1
第一节 平炉的构造	1
第二节 平炉炼钢法的分类及特点	4
第三节 平炉炼钢操作	6
第十三章 平炉的强化和改造	9
第一节 平炉用氧	9
第二节 平炉车间的改建	12

## 第四篇 电炉炼钢

第十四章 电弧炉的炉体构造和机电设备	14
第一节 电弧炉的炉体构造	15
第二节 电弧炉炉衬	17
第三节 电弧炉的机械设备	20
第四节 电弧炉的电弧特性和电气设备	25
第十五章 碱性电弧炉原材料及氧化法冶炼工艺	33
第一节 原材料	33
第二节 扒补炉	37
第三节 装料	38
第四节 熔化期	39
第五节 氧化期	46
第六节 还原期	49
第十六章 碱性电弧炉不氧化法和返回吹氧法冶炼	60
第一节 不氧化法的冶炼特点	60
第二节 返回吹氧法	60
第十七章 电弧炉计算	61
第一节 配料计算	61
第二节 铁合金补加量计算	69
第三节 炉子尺寸计算	75
第十八章 碱性电弧炉的技术经济指标	80
第十九章 其他电冶金方法	81
第一节 感应炉炼钢	81
第二节 真空冶炼	88
第三节 电渣熔炼	92

## 第五篇 钢的浇注

第二十章 钢液的结晶和凝固	104
---------------	-----

第一节	钢液的结晶 .....	104
第二节	钢锭宏观组织的形成机理 .....	112
第三节	结晶过程中的化学不均匀性 .....	115
第四节	钢液凝固、冷却过程中的收缩 .....	119
第五节	钢锭(坯)冷却过程中的相变和应力 .....	120
第二十一章	模 注 .....	124
第一节	浇注设备 .....	125
第二节	镇静钢的浇注 .....	138
第三节	沸腾钢的浇注 .....	158
第四节	半镇静钢的浇注 .....	174
第五节	小型镇静钢和沸腾钢钢锭简介 .....	176
第二十二章	连续铸钢 .....	178
第一节	概 述 .....	178
第二节	弧形连铸机设备 .....	182
第三节	连铸钢坯的结构特点 .....	191
第四节	连铸工艺 .....	192
第五节	连铸坯的质量 .....	195

## 第六篇 钢的品种和质量

第二十三章	钢的分类、质量和检验 .....	201
第一节	钢的分类和钢号 .....	201
第二节	对钢质量的要求和检验方法 .....	204
第二十四章	某些钢种的生产 .....	206
第一节	低合金钢 .....	206
第二节	硅 钢 .....	211
第三节	合金结构钢 .....	219
第四节	滚珠轴承钢 .....	226
第五节	高速工具钢 .....	234
第六节	不锈钢 .....	246
第二十五章	炉外精炼法 .....	259
第一节	真空脱气法 .....	260
第二节	钢包精炼法 .....	263
第三节	氩氧炼钢(AOD法) .....	266
第二十六章	稀土元素在炼钢中的应用 .....	268
第一节	稀土元素在钢中的作用 .....	270
第二节	含稀土元素钢的主要质量问题——稀土夹杂 .....	272
第三节	含稀土元素钢种的冶炼特点 .....	273

## 第七篇 转炉车间设备及布置

第二十七章	转炉系统机械设备 .....	276
第二十八章	供料系统机械设备 .....	283
第一节	铁水供应 .....	283

第二节	废钢供应 .....	286
第三节	散状材料供应 .....	287
第四节	铁合金供应 .....	290
第二十九章	供氧系统机械设备 .....	292
第一节	氧气炼钢车间供氧系统 .....	292
第二节	氧    枪 .....	295
第三节	氧枪提升机构与更换装置 .....	304
第四节	氧枪各操作点的控制位置 .....	306
第三十章	转炉烟气净化与回收系统设备 .....	308
第一节	转炉烟气与烟尘的形成及其特征 .....	308
第二节	烟气处理方法及净化系统设备组成 .....	310
第三节	烟气净化与回收设备 .....	312
第四节	转炉烟尘及污水处理 .....	331
第五节	除尘风机与放散烟囱 .....	332
第六节	烟气净化系统 .....	333
第七节	车间除尘 .....	337
第三十一章	炼钢车间机械化装置 .....	340
第一节	氧气顶吹转炉修炉机械化 .....	340
第二节	机械化修砌钢水罐 .....	344
第三节	扒渣设备 .....	345
第三十二章	氧气顶吹转炉炼钢车间 .....	346
第一节	炼钢车间设计概述 .....	346
第二节	顶吹转炉车间炉子容量及座数的确定 .....	347
第三节	各类型氧气顶吹转炉车间的特点 .....	351
第四节	顶吹转炉车间布置 .....	355
第五节	脱、整模跨 .....	367
第三十三章	三废及综合利用 .....	369
第一节	烟气、烟尘利用 .....	369
第二节	转炉渣的利用 .....	372
第三节	废水的利用 .....	376

# 第三篇 平 炉 炼 钢

## 第十二章 平 炉 炼 钢 概 述

平炉炼钢法出现于1864年，它和1856年出现的酸性底吹转炉炼钢法、1874年出现的碱性底吹转炉炼钢法比较，原料适应性好。如酸性底吹转炉炼钢仅能使用低磷、低硫的生铁；碱性底吹转炉炼钢却要用含磷在1.5%以上的生铁；而平炉炼钢法所使用的生铁成分范围较宽。同时，平炉炼钢法生产的钢品种多、质量高，因而得到迅速发展。直到氧气顶吹转炉出现以前，平炉炼钢法一直在炼钢生产中占主要地位。

近年来，世界各主要产钢国家（苏联除外），氧气顶吹转炉发展非常迅速，有逐渐取代平炉的趋势。

目前，我国平炉钢产量在钢的总产量中还占有较大的比例。对待现有的平炉，一方面应挖掘它们的潜力，使之进一步发挥作用；另一方面应着手进行改造。

### 第一节 平 炉 的 构 造

平炉由熔炼室、炉头、上升道、沉渣室、蓄热室、烟道、换向装置、烟囱以及余热锅炉等部分组成，如图12-1所示。

#### 一、熔炼室

熔炼室由熔池、炉墙及炉顶构成。它是平炉进行热交换和熔炼操作的主要部位。

1. 熔池 熔池是熔炼室炉门坎水平面以下用以盛放钢液和熔渣并进行熔炼操作的部分。熔池的主要尺寸是长、宽和深，它取决于平炉的容量和使用的燃料。炉门坎水平面中心线的长度和宽度通称为熔池长度和宽度；炉底中心线的最低点到炉门坎水平面的垂直距离称为熔池深度。炉底的实际面积很难精确计算，通常用熔池长度和宽度的乘积代替。同样，熔池的容积也很难进行准确的计算，一般采用一个凭经验统计出来的容积系数 $K$ 进行近似的计算，计算公式如下：

$$V = K \cdot L \cdot E \cdot h = K \cdot S \cdot h, \text{米}^3$$

式中  $L$ ——熔池长度，米；  
 $E$ ——熔池宽度，米；  
 $h$ ——熔池深度，米；

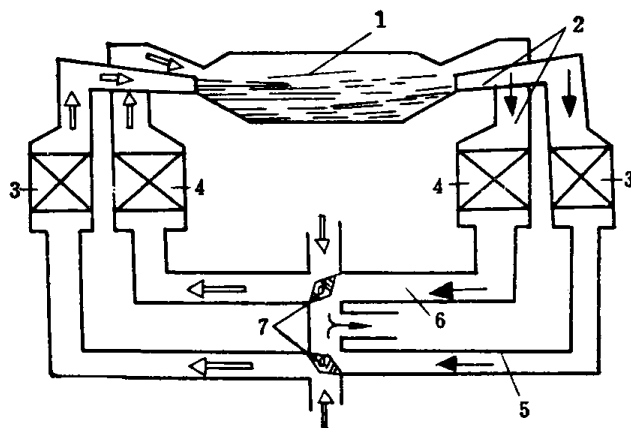


图 12-1 平炉构造示意图

1—熔炼室；2—炉头和上升道；3、4—煤气、空气蓄热室；  
5、6—煤气、空气支烟道；7—换向阀



$S$ ——熔池面积，米<sup>2</sup>；

$K$ ——炉子的容积系数，一般取0.43~0.68， $K$ 值和炉子的容量有关，小炉子取上限，大炉子取下限。

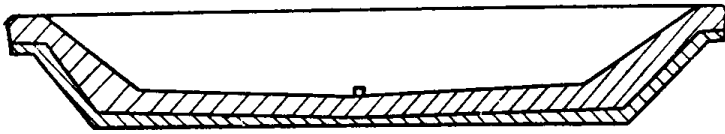


图 12-2 平炉炉底示意图

平炉炉底要承托钢液和熔渣，其砌筑要求极为严格。砌筑时，一般先在钢板上铺上石棉层，然后砌一层轻质粘土砖，其上再砌粘土砖。对于碱性平炉，粘土砖层之上砌筑镁砖。最后，在镁砖层上烧结

一层镁砂作为工作层。

2. 炉墙 炉墙分为前墙和后墙。前墙由炉门、炉门框和垛墙组成。根据平炉吨位的不同，在前墙上布置有3~5个炉门，作为补炉、加料之用。前墙受到高温火焰与炉渣的冲刷和侵蚀，为了提高它的寿命并便于修补，前墙要向外倾斜10~15°。

为了提高后墙的使用寿命和方便修补，后墙内侧与水平面成50~52°的倾斜角。

碱性平炉的炉墙一般用镁砖砌筑。炉墙砌砖要有足够的厚度，以减少散热损失并保护炉体的钢结构。

3. 炉顶 通过燃料燃烧产生的火焰从熔池上方对炉料进行加热和熔炼，因此炉顶也受到高温火焰的作用，同时，还受到熔渣飞溅的侵蚀，再加上炉顶所处的位置很难维护，故炉顶必须用质量最好的耐火材料砌筑。过去平炉采用硅砖炉顶，后来发展为铬镁砖炉顶。根据国内资源情况，我国创造了铝镁砖炉顶，提高了炉顶使用寿命。为了减轻炉顶所承受的炉顶砖的重量，而将它吊挂在炉顶横梁（钢梁）上。

## 二、炉头和上升道

炉头的作用是向熔炼室引入燃料和空气，形成高温火焰，并使火焰具有良好的刚性（火焰保持一定方向的能力）和铺展性（火焰铺盖熔池的能力），还要能顺利地排出废气。

在烧煤气的平炉上，炉头组织火焰的作用更显得重要。由于煤气也需要预热，故采用两个空气上升道和一个煤气上升道的三个上升道炉头，构造比较复杂。

采用高发热值燃料（如重油）时，燃料不需要预热，而是用喷嘴将燃料引入炉内。因此，炉头构造比较简单，一般为单上升道（空气上升道）炉头。

碱性平炉的炉头和上升道全用镁砖砌筑。

## 三、沉渣室

沉渣室是用来沉积废气中渣灰，以减少废气进入蓄热室时渣灰对格子孔的堵塞。当废气从炉头排出经过上升道进入沉渣室时，由于沉渣室截面的突然扩大（见图12-3），废气速度大为降低，加上流动方向的改变，使大量粗颗粒的渣灰沉降下来。

沉渣室容积一般应能容纳300~400炉钢的渣灰量。在平炉用氧强化冶炼以后，由于渣灰量的增加，而采用了渣车清渣、机械清渣、蒸汽吹渣、水冲渣等较好的除渣方法。

## 四、蓄热室

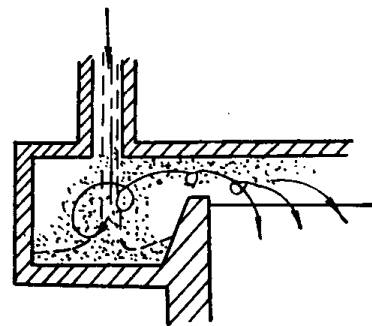


图 12-3 沉渣室沉积渣灰示意图

蓄热室是一个换热器，它利用从熔炼室排出的高温废气预热将要进入炉内的空气和燃料。

蓄热室内设有格子砖，高温废气通过格子砖时，将一部分热量传递给格子砖，对格子砖进行加热。加热一定时间后，废气和燃料、空气变换方向（简称换向），即原来的燃料和空气进入端改为排出废气端，而原来排废气端则变成燃料和空气的进入端。冷空气和煤气进入经过预热的格子砖而被加热进入炉内。如此周期往复进行。蓄热室内冷热气体流动情况如图12-4所示。

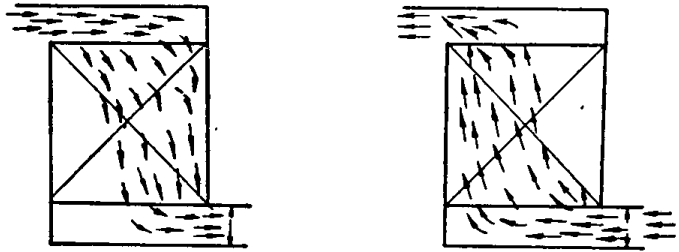


图 12-4 蓄热室内冷热气体流动示意图

格子砖的型式有互通式和直通式两种。互通式格子砖的上下左右都相通，加热面积大，若发生局部堵塞时，对气流分布的均匀性影响不大；而直通式只有上下相通，一旦发生堵塞，对气流分布的影响很大。

蓄热室格子砖的下层，一般用粘土砖砌筑，上层用高铝砖、铝镁砖或铬镁砖砌筑。蓄热室的墙和顶用硅砖，也有用镁质耐火砖砌筑的。

## 五、烟道

烟道分为支烟道和总烟道，烧煤气的平炉有煤气支烟道和空气支烟道。烧重油的平炉则仅有空气支烟道。

支烟道的作用是引入空气和煤气，同时排出废气。总烟道的作用是把废气引入烟囱或余热锅炉。

烟道通常设置在地面以下，以便地面能够充分利用，并可减少漏气及散热。

## 六、换向装置

平炉利用蓄热原理进行工作，因此必须按时更换火焰的方向。更换火焰方向的设备叫换向装置。通常采用的换向装置有蝶形阀、罩式阀、闸板阀和圆盘阀等。平炉使用高发热值燃料，特别是用氧强化冶炼以后，换向阀一般改为闸板阀，这种阀的阻力较小。对于单上升道平炉，其下部仅有空气支烟道和空气换向阀，设备得到简化，使进气和排气的阻力大为减少，为平炉的进一步强化冶炼创造了条件。

## 七、烟囱和余热锅炉

为了使平炉冶炼中产生的废气随时排出，保证炉内气体的流动，必须造成一定的抽力，克服废气通道上的一切阻力。废气排出有两种方式：一种是利用烟囱的自然抽力使废气排出；另一种是安装排烟机，强制废气经过余热锅炉后排出。利用烟囱排气时，烟囱的高度取决于所需的抽力和燃料的种类。采用高发热值燃料时，由于废气量少，烟囱高度可以降低。利用余热锅炉时，由于有排烟机，烟囱高度同样也可以低些。

由于废气离开蓄热室进入烟囱前的温度通常在 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的范围内，为了利用这部分废气的热量，以及调节烟道吸力，一般都装有余热锅炉。这既能获得大量蒸汽，又提高了平炉的生产率。

现将平炉各部位的功能和使用的耐火材料列于表12-1。

表 12-1 碱性平炉各主要部位的功用、最高温度和耐火材料

各部名称	功用	温度 (°C)	耐火材料
熔炼室	燃料燃烧、热交换、熔炼操作	1700~1750	镁砖、铝镁砖等
炉头	供给熔炼室燃料和空气，使燃料和空气混合并燃烧；组织火焰、排除废气	1650	镁砖、铝镁砖等
上升道	将来自蓄热室的空气或煤气引入炉头；将废气引入沉渣室	1600	镁砖
沉渣室	沉积废气中的渣灰、将空气或煤气引入上升道；将废气引入蓄热室	1550	镁砖、硅砖
蓄热室	回收废气热量、预热空气或煤气、将废气引入支烟道	1450~1500	硅砖、粘土砖
支烟道	将换向阀中的空气或煤气引入蓄热室；将废气引入换向阀	700~800	粘土砖
换向阀	将空气或煤气引入支烟道；将废气排向总烟道	700~800	粘土砖
总烟道	将废气引入烟囱或余热锅炉	600~700	粘土砖

## 第二节 平炉炼钢法的分类及特点

### 一、平炉炼钢法分类

平炉按筑炉材料不同，有酸性平炉和碱性平炉之分。如按操作方法不同，则可分为矿石法、废钢矿石法、废钢法和增碳法四种。

矿石法的金属料全部使用生铁。由于原料中杂质含量高，要加入大量矿石，故称此法为矿石法。

废钢矿石法的金属料主要为生铁，还有部分废钢。生铁的比例一般为80%。因此装料中要加一部分铁矿石，以补充炉气供氧之不足。

废钢法的金属料主要是废钢，有少部分生铁起增碳作用。生铁的比例一般占30~40%。故装料中不加铁矿石。

增碳法的金属料全部为废钢。为了提高金属料中含碳量，必须加入增碳剂。一般用焦炭或烟煤增碳。

### 二、平炉炼钢法的特点

1. 多种供氧方式 平炉炼钢中所需的氧量可根据不同情况由炉气、铁矿石或氧气提供。

(1) 炉气供氧。平炉炉气中的燃烧产物 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 以及过剩空气中的氧使炉气自始至终都是氧化性的。据研究，平炉在燃料完全燃烧时，熔池上的氧的分压力一般不低于 $10^{-2}$ 大气压，这比在纯铁中饱和了的 $\text{FeO}$ 的分解压力（ $10^{-8}$ 大气压）要高得多，比熔池含碳时的 $\text{FeO}$ 的分解压力 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ 大气压高出更多。在这种情况下，炉气中的氧能不断地通过炉渣进入金属。对于不用氧的平炉，采用废钢矿石法操作时，炉气供氧可达需氧总量的30~50%。

在装料期炉气与金属料直接接触，金属料表面被氧化。在熔池被炉渣覆盖以后，炉气中的氧只有通过炉渣才能传入钢液，因而传氧速度大为减慢。

氧的传递过程如图12-5所示。

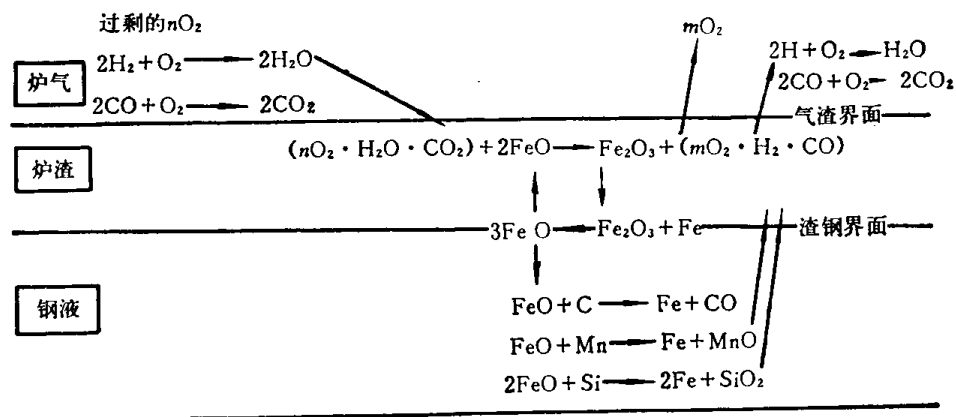


图 12-5 炉气供氧示意图

根据图12-5可将平炉炉气供氧过程描述如下：

1) 在气—渣界面上，炉气中的氧熔入渣中，将界面上的 (FeO) 氧化成 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)，使界面上 (FeO) 浓度下降，(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 浓度增加。

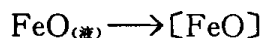
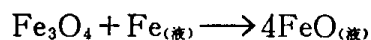
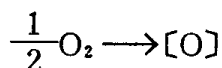
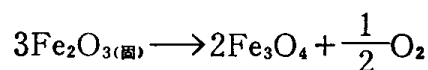
2) 在炉渣内，气—渣界面的 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 向渣钢界面扩散。

3) 达到渣—钢界面的 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 被 [Fe] 还原，生成 (FeO)，使渣—钢界面的 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 浓度减小，(FeO) 浓度增加。

4) 在渣—钢界面上，一部分 (FeO) 向钢中熔解，生成 [FeO]，即将氧传入钢中。另一部分由渣—钢界面向气—渣界面扩散，到达气—渣界面后重新被炉气氧化，继续进行传氧。

(2) 矿石供氧。炉气供氧速度较慢，为了加速金属中杂质的氧化，还采用矿石供氧。在使用废钢矿石法的平炉中矿石的加入量占金属料的20%以上。随着炉料中生铁比重的增加，矿石将成为主要供氧者。

矿石加入金属熔池时，其传氧过程大致如下：



用矿石供氧时，矿石熔化和分解要吸收大量的热。因此，精炼期向熔池加矿应特别考虑要与平炉的加热能力相配合：应在温度足够高时进行加矿，并应分批加，避免造成熔池降温过多。

(3) 用氧气供氧。用氧气代替矿石向平炉供氧是强化冶炼的重要措施，是改造平炉的方向。这个问题将在第二章讨论。

2. 需外来热源供热·除矿石法外,炉料中均配有大量废钢,并使用大量铁矿石作为氧化剂。此外,炉体庞大,水冷构件多。因此,单靠铁水中元素氧化放出的热量不足以供给所需的全部热量,需要利用外来热源供热。

### 第三节 平炉炼钢操作

通常,平炉炼钢操作划分为补炉、加料、熔化、精炼、脱氧及出钢等几个阶段。在实际操作中,特别是平炉用氧强化冶炼以后,各阶段是互相联系、互相影响、互相交错的。为了研究问题的方便,下面以碱性废钢矿石法操作为例进行讨论。

#### 一、补炉

平炉在熔炼过程中受到机械冲击、炉渣浸蚀和高温火焰的作用,炉体各部位遭受不同程度的损坏。为了提高炉体寿命,保证熔炼操作的正常进行,每次出钢后,装料前要进行必要的修补。

补炉材料有镁砂、镁砂粉、白云石、铁皮、卤水、焦油等。一般用熟白云石或熟白云石和镁砂的混合材料补后墙渣线和袖墙。前墙用卤水调合镁砂粉贴补。

为缩短补炉时间,通常在出钢过程中就开始补炉;补炉尚未完毕就开始装料,边装边补,交叉作业。

#### 二、装料

废钢矿石法大约要装入20%的废钢和一定数量的矿石、石灰等。冷料的装入顺序、装入速度、加热时间,对熔化速度、成渣速度和冶炼时间有很大的影响。

选择冷料的装入顺序主要应考虑以下原则:

1. 加快熔化速度。
2. 易于造渣。促使熔化期熔池中物理化学反应按预定的要求进行。

根据长期操作的经验,各厂通常采用散状料→废钢→生铁的装料顺序。散状料的导热性最差,若把散状料装在金属料之上,会严重阻碍火焰向炉料传热。此外,散状料装在炉底,对炉底有保护作用,避免装入的大块废钢直接冲击炉底。石灰和矿石虽然装在炉底,熔末仍能形成有一定碱度的强氧化性炉渣,以满足熔炼的需要。

废钢的导热性比散状料好,故装在散状料之上。生铁的熔点比较低,导热性强,生铁液滴滴在废钢上可使废钢增碳,使废钢的熔点降低,加速其熔化。所以把生铁装在废钢之上。

合理的装料方法很重要,各厂都有自己的好经验,有的厂采用“高温快装、铺平散开、分层烧透”的方法,收到了好的效果。

冷料加完以后,必须保持一定的加热时间,然后兑入铁水,使熔池产生活跃的沸腾,使渣面升高,以便迅速放出大量初期渣。但加热时间不可过长,否则兑铁水后引起强烈的沸腾,会造成大量跑渣、跑铁事故。实践证明,废钢加热到表面黑点消失和发生熔滴,炉料稍稍下沉时,兑入铁水最为合适。

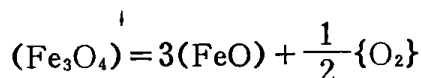
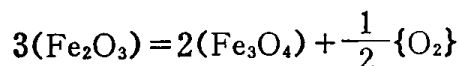
#### 三、熔化

从兑完铁水起到炉料全部熔化完毕止,这段时间称为熔化期。熔化期是整个熔炼过程中最长的一个阶段,一般占总熔炼时间的40~50%,甚至更多。因此,缩短熔化期对提高平炉生产率具有重要意义。

熔化期的任务是将炉料全部化完，并加热到一定的温度。熔毕时，要求熔池金属有一个合适的含碳量；此外，熔化期除了放好初期渣以外，熔毕渣的成分和碱度也要达到一定的要求，为精炼期创造好条件。

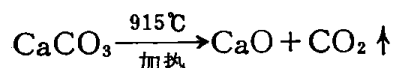
1. 炉料的熔化 在装料的同时，炉料就开始被加热。在熔池温度低于废钢熔点的情况下，铁水中的碳渗入废钢表面，使其熔点降低而逐渐熔化；当熔池温度超过废钢熔点时，废钢熔化速度加快，直至全部熔化。

在熔化期矿石的分解是和炉料熔化一起进行的。矿石的分解反应为：



当矿石加热到1383°C时， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 全部分解完毕。分解出的FeO以及气态氧，都可与铁水中杂质起作用，生成各种氧化物，形成初期渣。

使用石灰石造渣时，石灰石达到分解温度后，将发生以下分解反应：



分解出的 $\text{CO}_2$ 气体，对熔池有很好的搅动作用，能促进熔池的加热和有害气体的排除。

## 2. 熔化期金属成分的变化和炉渣的控制

(1) 金属成分的变化。总的来说，对不用氧的平炉各元素氧化反应的速度要比氧气顶吹转炉慢得多。降碳速度约为氧气顶吹转炉的十分之一。但两者元素氧化反应的基本规律仍大致相同。

通常在炉料完全熔化时，金属中的硅差不多已完全氧化，锰氧化了60~80%；磷氧化约60%（有时更多）；碳氧化约25~30%，在供热能力高的平炉中，有时碳可氧化40~50%，其余的碳将在精炼期去除。

### (2) 炉渣的控制

1) 初期渣。当铁水兑入炉内，金属熔池形成以后，由于各元素的迅速氧化，立即形成大量初期渣覆盖在金属表面上，影响火焰对金属的加热。熔化初期主要是硅、锰、磷、铁的大量氧化，此时，装料中的石灰尚未完全溶解，故初期渣中CaO不高，FeO、MnO和 $\text{SiO}_2$ 较高，呈发泡状的酸性渣。为了加速炉料的熔化、传氧，有利于造渣和减少酸性渣对碱性炉衬的侵蚀，必须及时地大量地放出初期渣。在温度较低时，FeO高的初期渣对去磷有一定作用。磷氧化生成的 $\text{P}_2\text{O}_5$ 与FeO形成 $(\text{FeO})_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 进入初渣。因此，在原料含磷

表 12-2 熔炼各期炉渣成分的变化

炉 渣	类 别	化 学 成 分 (%)					碱度 $\left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}\right)$
		$\text{SiO}_2$	CaO	FeO	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	
熔化初期	1	19.21	13.50	23.93	6.95	3.27	0.70
熔 毕	2	19.20	37.60	13.70	7.72	2.74	1.90
脱 氧 前	3	19.00	42.80	10.15	6.18	4.24	2.26

较高的情况下，应选择适当的放初期渣的时间，以提高去磷效率。

2) 提前造渣。初期渣放出以后，随着炉温的升高、石灰石的分解，炉渣的碱度逐渐提高。为了给精炼期创造良好条件，熔化末期视炉内情况，可加入适量的石灰、铁矾土等造渣材料，将熔毕时的炉渣调整到具有一定的碱度和良好的流动性。

熔炼过程中炉渣成分的变化见表12-2。

3. 熔毕碳的控制 根据冶炼钢种的不同和熔毕时熔池的温度状况，要求熔毕时钢液含碳量在一定的范围内。若金属料熔化完后，熔池实际含碳量低于规定的熔毕碳称为软熔；而高于规定的熔毕碳，称为硬熔。软熔不能保证熔池有足够长的时间的强烈沸腾，也不能保证去除磷、硫等的精炼时间；硬熔则使精炼期拖长。因而，在出现硬熔或软熔时，应及时采取措施进行处理。

出现硬熔时，应立即追加矿石或向熔池吹压缩空气，以加速降碳。也有的工厂向熔池加入适量的干燥铁皮或小块矿石。

出现软熔时，应立即向炉内兑入适量的铁水或加入生铁块，以增加熔池的含碳量。当炉内不允许多装时，只能加入一定量的焦炭粉增碳。有时也可以改变原计划冶炼的钢种。

合格的熔毕碳对提高钢的质量、缩短冶炼时间、提高平炉生产率有很大关系。准确的炉料计算、良好的装料制度和掌握好加热时间能提高熔毕碳的合格率。

#### 四、精炼

从熔化完毕到脱氧出钢这段时间称为精炼期。精炼期按操作特点又分为矿石沸腾期和纯沸腾期。矿石沸腾期是熔毕后加矿沸腾的阶段，纯沸腾期是最末批矿和造渣材料加完到出钢以前的阶段。

精炼期的主要任务是：1) 调整钢中所含的碳、硫、磷等成分，使之达到脱氧前的要求；2) 将钢液加热到必须的出钢温度；3) 去除钢中有害气体与夹杂。

##### 1. 钢液成分的控制

(1) 含碳量的控制 控制平炉熔池中碳—氧反应，是实现精炼期任务的最重要手段。碳—氧反应生成的{CO}排出时搅动熔池，加速了熔池的传热，加速了反应物和生成物的转移，从而促进了熔池的化学反应和成渣速度。{CO}从熔池排出，还有利于气体和非金属夹杂的去除和熔池内钢液成分与温度的均匀化。

精炼期碳的氧化除了由炉气供氧以外，还要靠加入矿石供氧。矿石的加入数量对熔池降碳速度影响很大。因此，应根据平炉的加热能力、熔池温度和熔渣性质控制好矿石加入量。若控制得当，则能加快精炼期的降碳速度、增大熔池沸腾强度、加速钢液的升温和提高钢的质量。

(2) 去磷 使用低磷生铁冶炼一般在熔毕时就基本上完成了去磷任务。而生铁含磷高时，则要在精炼期继续去磷。精炼期去磷和熔化期去磷有很大区别，熔化期是在温度比较低的情况下，通过放出高FeO的酸性渣（初期渣）去磷。精炼期温度较高，渣中FeO较低，碱度高磷氧化后形成 $3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ 被去除。在操作中可以采取向熔池加入氧化铁皮后放渣，并加石灰造新渣，提高炉渣碱度，增大渣量的方法来去磷。

(3) 去硫 去硫主要是在精炼期进行。碱度高、量大、流动性好的炉渣，沸腾活跃的熔池，高的炉温等都有利于去硫。由去硫反应 $[\text{FeS}] + (\text{CaO}) = (\text{CaS}) + (\text{FeO})$ 可知，提高炉渣碱度和降低(FeO)含量有利于去硫。但一定的(FeO)含量，有助于石灰的熔解，有利于

去碳和熔池的活跃沸腾。从这个意义上说，(FeO)对去硫也会起到一定的促进作用。

2. 钢液温度的控制 在精炼期为了降碳、去磷、去硫，熔池需要有一定的温度；为保证钢液浇注的顺利进行，熔池要达到一定的出钢温度。因此，调整好熔池的温度是精炼期的一项重要任务。

温度的调整要和熔池的降碳、去硫、去磷等操作紧密配合，只有当钢液中碳、硫、磷的含量和温度等同时达到规定时才能出钢。

3. 脱氧和出钢 平炉常采用炉内脱氧和炉外脱氧两种脱氧方式。炉内脱氧是在出钢前将脱氧剂加入炉内。这种方法有充分时间排除脱氧产物，脱氧后钢液的成分比较均匀，对钢液温度的影响也比较小。但脱氧剂收得率低。

炉外脱氧是在出钢过程中将脱氧剂加入盛钢桶内。这种方法可以缩短熔炼时间（10~15分钟以上），减少回磷的可能性，另外脱氧剂收得率较高。

钢液的成分和温度达到出钢要求时必须及时打开出钢口出钢。这对保证钢的质量和提提高炉体寿命是很重要的。若打出钢口时间过长，不仅钢液成分会发生变化，而且高温钢液和炉渣会浸坏炉体。因此，必须加强出钢口的日常维护和正确掌握出钢口的开、堵操作，在出钢前还要准备好必要的设备如烧氧管、氧气等，以备出钢口打不开时使用。

## 第十三章 平炉的强化和改造

平炉炼钢法已有一百多年的历史。一百多年来平炉炼钢在工艺上、设备上均有不少改进，生产率也在逐步提高，但和日益增长的炼钢需要相比，这些改进和提高仍不能满足要求。自五十年代氧气顶吹转炉出现以来，其技术经济指标迅速赶上和超过了平炉。目前已不再建设新的平炉，旧的平炉如果在钢生产中占的比例不大，有的国家就把它们拆了，对于一些平炉比例较高的国家来说，则正在设法对平炉进行强化和改造。

近年来，为强化平炉冶炼，提高平炉炼钢的生产率，较普遍地使用了氧气。1964年世界用氧吹炼的平炉钢占平炉钢总产量的36%，1965年为52%，1970年则达到70%。

### 第一节 平炉用氧

#### 一、火焰富氧

火焰富氧即从炉头插入吹氧管，将氧气送入燃料中。1964年以前，平炉用氧的主要方式是火焰富氧。火焰富氧增加了燃料与空气（和氧气）的混合速度和燃烧速度，加强了炉内热交换。火焰富氧后炉气的氧化性增强，加速了杂质的氧化，同时也减少了燃烧产物量，在抽力一定的情况下，可以增加燃料供给量，提高供热能力，从而缩短冶炼时间。提高生产率10~20%。

#### 二、熔池吹氧

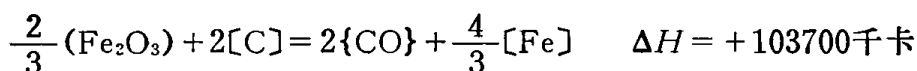
1965年以后，平炉普遍实行熔池吹氧。

向熔池吹氧时，氧气代替了大量矿石。氧气供氧和矿石供氧比较，有以下不同点：

第一，矿石降碳为吸热反应，而熔池吹氧降碳为放热反应。

加入冷矿石的降碳反应为：





熔池吹氧的反应为：



由于加矿石降碳吸热太多，引起熔池温度下降。实践表明，加矿石每降碳0.01%，熔池温度下降2.2°C；而吹氧每降碳0.01%使熔池温度升高1.7°C。因此，向熔池吹氧不但可以减少加矿量缩短装料时间，而且还可以大大减少燃料的供给量。吹氧强度大时，可以停止供给燃料。吹氧加速炉料的熔化和杂质的氧化，加速成渣过程，强化脱碳，因而缩短熔化期和精炼期。

第二，向熔池加矿石时，矿石带入大量杂质，使渣量增加。用氧代替矿石，可以减少渣量。

第三，熔池吹氧使平炉寿命降低并显著增加废气的含尘量。因此，平炉结构要作相应的改变，并增加除尘设施。

熔池吹氧的方法很多，有炉门吹氧、炉顶吹氧和埋入式吹氧等。

1. 炉门吹氧 炉门吹氧是将吹氧管直接从炉门窥视孔插入熔池，这是一种最简单的熔池吹氧方法，为减少吹氧钢管消耗量目前广泛采用渗铝钢管。

根据国内100~300吨平炉的实践，炉门吹氧时，氧气消耗量在10米<sup>3</sup>/吨钢的情况下，小时产钢量可以提高12~16%，燃料消耗和矿石用量都得到减少。这种方法的缺点是，1) 吹氧管损耗太大，渗铝钢管消耗约为30~50毫米/分。2) 吹氧过程中由于吹氧管不断烧损，插入深度和角度不易控制，影响效果。3) 影响车间运输和组织工作。

2. 炉顶吹氧 由平炉炉顶插入1~5根水冷(铜头)喷枪向熔池吹氧，已成为强化平炉冶炼的重要措施。这种方法克服了炉门吹氧的缺点，结构简单，使用安全，还便于遥控操作，喷枪寿命大大提高。特别是这种方法为大幅度增加供氧提供了可能。

按照供氧强度的不同，炉顶吹氧分为三类：

- (1) 低供氧强度：6~9米<sup>3</sup>/吨、小时；
- (2) 中等供氧强度：10~15米<sup>3</sup>/吨、小时；
- (3) 高供氧强度：≥18<sup>3</sup>/吨、小时。

吹氧一般在兑完铁水后到脱氧以前这段时间进行。平炉炉顶吹氧以后，操作工艺发生了明显的变化。杂质氧化速度成倍增加(例如降碳速度达到2.5~2.75%/时)，升温速度大为提高，燃料消耗大大减少，甚至在吹氧时可不供燃料。由于各种反应的加速，冶炼时间大幅度减少。例如加拿大希尔顿的500吨平炉在高供氧强度下，平均冶炼时间4小时，产量达到120吨/时。美国的300吨平炉在耗氧量为52.1米<sup>3</sup>/吨时，冶炼周期为6.75小时，产钢量达到50.16吨/时。总之，平炉在高供氧强度下，某些生产指标已接近氧气转炉，可以说是转炉化的平炉。

炉顶吹氧用的氧枪基本上与顶吹转炉用氧枪相同。它由喷头和枪身组成，枪身也是三层同心钢管结构，中间为氧气通道，第二层和外层为冷却水的进出水通道。喷头部分通常采用与轴线成20~45°的四孔或六孔喷头。据研究，六孔氧枪的喷溅量最小。喷孔角度在45°时产生的炉气较分散，喷溅变化不大。故认为六孔45°喷枪在渣—钢界面吹氧效果最好。

将炉顶吹氧和火焰富氧相比较，在耗氧量相差不多的情况下，前者效果要好得多。炉