



# 电弧炉铸钢熔炼

崔更生 编著

41

黑龙江科学技术出版社

TF748.41

4

# 电弧炉铸钢熔炼

DIAN HU LU ZHU GANG RONG LIAN

崔更生 编著



黑龙江科学技术出版社

一九八三年·哈尔滨

B 01001

责任编辑：范震威

封面设计：范庆义

## 电弧炉铸钢熔炼

崔更生 编著

---

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区分部街28号)

依安印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/32·印张 9 4/16·字数 180 千

1983年12月第一版·1983年12月第一次印刷

印数：1—3,000

---

书号：15217·105

定价：0.99元

## 内 容 提 要

本书系统地叙述了现代碱性电弧炉的铸钢熔炼工艺与技术，内容包括：电弧炉炼钢设备；电弧炉炉衬；传统电弧炉熔炼工艺；现代电弧炉熔炼工艺；钢液炉外精炼技术；熔炼事故与排除以及有关安全技术等内容。并介绍了一些国外现代电弧炉炼钢新工艺、新技术和新设备。重点介绍了现代脱氧理论，单渣熔炼新工艺，快速合成渣熔炼新工艺，以及七十年代新兴的喷射冶金—喷粉新技术等。

本书主要对象为机械制造工厂从事铸钢熔炼的工人、技术人员，并可供大专院校师生参考。

9



## 前 言

碱性电弧炉是我国机械制造业的主要铸钢熔炼设备。我国电弧炉铸钢熔炼工艺，自五十年代以来，一直沿用有还原期并在还原渣下扩散脱氧的传统熔炼工艺，即电弧炉“三期操作工艺”。近代的冶金理论与生产实践证实，铸钢传统熔炼工艺，不仅熔炼时间长，能源消耗高，生产效率低，而且在许多情况下，铸钢的质量并不一定高。因此，国外在铸钢生产中，广泛采用单渣熔炼工艺，快速双渣熔炼工艺，以及炉外精炼新技术。所以，随着现代机械制造业的飞速发展，如何积极地采用现代铸钢熔炼新工艺，改进我国传统熔炼工艺，以改善铸钢冶金质量，提高电弧炉的生产效率，降低能源消耗，便成为我国铸钢生产的一项重要任务。

为了适应我国四个现代化建设对铸钢生产日益增长的需要，作者根据二十余年来从事电弧炉熔炼铸钢经验和国内外现代电弧炉炼钢的理论与实践编写了本书。书中系统地叙述了现代碱性电弧炉熔炼铸钢的基本理论与生产工艺，介绍了作者近年来试验成功并用于生产单渣熔炼与碳化钙变质处理新工艺，快速合成渣同炉渣洗与硅钙变质处理新工艺。同时，还介绍了国外近年来碱性电弧炉熔炼铸钢的新工艺、新技术和新设备，以及近年来新兴的喷射冶金—喷粉新技术，以期将我国碱性电弧炉铸钢熔炼工艺提高到一个先进的新水平。

## 目 录

第一章 电弧炉炼钢设备	( 1 )
第一节 炼钢电弧炉系列	( 2 )
第二节 机械设备	( 2 )
一、炉体	( 3 )
二、炉盖圈	( 5 )
三、电极冷却器	( 7 )
四、电极升降装置	( 8 )
五、倾动装置	( 13 )
六、顶装料装置	( 15 )
第三节 电气设备	( 19 )
一、电弧炉的主电路	( 19 )
二、电极自动调节装置	( 25 )
第四节 国外炼钢电弧炉的发展概况	( 27 )
一、大容量电弧炉	( 29 )
二、超高功率电弧炉	( 30 )
第二章 电弧炉炉衬	( 34 )
第一节 炉衬用耐火材料	( 34 )
一、电弧炉对耐火材料性能的要求	( 34 )
二、碱性电弧炉用耐火材料	( 35 )

第二节	炉衬的砌筑	( 42 )
一、	炉底的砌筑	( 42 )
二、	炉墙的砌筑	( 47 )
三、	炉盖的砌筑	( 53 )
第三节	烘炉	( 55 )
一、	烘炉方法	( 55 )
二、	烘炉的电力制度	( 55 )
三、	烘炉质量检查	( 58 )
第四节	补炉和护炉	( 58 )
一、	补炉	( 58 )
二、	护炉	( 62 )
第三章	传统电弧炉熔炼工艺	( 64 )
第一节	传统双渣熔炼工艺	( 64 )
一、	配料与装料	( 64 )
二、	熔化期	( 70 )
三、	氧化期	( 79 )
四、	还原期	( 114 )
五、	铸钢的浇注	( 155 )
第二节	铸造合金钢熔炼工艺	( 163 )
一、	铸造低合金钢熔炼工艺	( 163 )
二、	铸造高锰钢熔炼工艺	( 165 )
三、	铸造不锈钢熔炼工艺	( 171 )
四、	铸造耐热钢熔炼工艺	( 184 )
第四章	现代电弧炉熔炼工艺	( 188 )
第一节	现代脱氧理论	( 188 )

一、钢液中氧的去除·····	( 188 )
二、钢液的二次氧化·····	( 191 )
三、铝对铸钢质量的影响·····	( 196 )
四、铸钢中夹杂物形态的控制·····	( 201 )
第二节 电弧炉熔炼工艺的改进·····	( 204 )
一、熔化期的强化·····	( 205 )
二、氧化期的强化·····	( 206 )
三、还原期工艺的改进·····	( 208 )
四、铸钢的变质处理·····	( 211 )
五、喷粉技术在电弧炉内的应用·····	( 215 )
第三节 单渣熔炼工艺·····	( 217 )
一、单渣熔炼工艺发展简史·····	( 217 )
二、单渣熔炼工艺操作实例·····	( 220 )
三、单渣熔炼新工艺·····	( 225 )
第四节 快速双渣熔炼工艺·····	( 230 )
一、快速双渣熔炼工艺	
应用概况·····	( 230 )
二、快速白渣熔炼工艺·····	( 232 )
三、快速合成渣熔炼新工艺·····	( 234 )
第五节 电弧炉喷粉新技术·····	( 343 )
一、氧化期喷粉增碳工艺·····	( 243 )
二、还原期喷粉强化还原工艺·····	( 247 )
第五章 钢液炉外精炼技术·····	( 250 )
第一节 钢液炉外精炼概述·····	( 250 )
一、炉外精炼发展简史·····	( 250 )



二、炉外精炼在合金钢	
生产中的应用·····	( 252 )
三、钢包喷粉新技术的应用·····	( 253 )
第二节 钢液炉外精炼工艺·····	( 254 )
一、钢包吹氩工艺·····	( 254 )
二、氩—氧精炼工艺 ( AOD法 )·····	( 257 )
三、钢包精炼工艺	
( AESA—SKF 法 )·····	( 261 )
四、钢包喷粉工艺·····	( 265 )
第六章 熔炼事故与安全技术·····	( 273 )
第一节 熔炼事故·····	( 273 )
一、炉底烧穿·····	( 273 )
二、渣线或炉坡烧穿·····	( 274 )
三、炉门坎跑钢·····	( 275 )
四、出钢口跑钢·····	( 276 )
五、炉盖塌落·····	( 277 )
六、冷却系统故障·····	( 278 )
第二节 熔炼安全技术·····	( 279 )

## 第一章 电弧炉炼钢设备

电弧炉炼钢的基本原理，是利用电极与金属料之间放电产生电弧所发出的热量来进行炼钢的。在现代冶金工业中，电弧炉炼钢是出现较晚的一种炼钢方法，迄今只有七十多年的历史。1879年，德国的维尔海姆·西门子公司制造成功了世界上第一台电弧炉。但由于当时电的成本太高，而使电弧炉的发展受到限制。1900年出现了三相交流发电机，1912年又出现了容量为25MW大型发电机组，使电的成本大大降低，因此，电弧炉便迅速发展起来。1906年德国赫洛尔特工厂制造成功了第一台容量为1~1.5t的电弧炉，自此，工业性质的电弧炼钢炉问世。

早期的电弧炉比较笨重，1926年前，电弧炉的炉盖是固定式的，通过炉门人工装料。1926年，德国制造成功两台炉盖移动式电弧炉，容量为6t，这是世界上第一批顶装料电弧炉。1936年，德国又制造成功欧洲第一批炉盖旋转式电弧炉，容量为18t，直至1960年才基本上完善到现在的炉盖旋转式电弧炉的形貌。

最近十余年来，电弧炉已发展成为冶金工厂最重要的炼钢设备之一。对铸钢车间而言，亦为一种最常用的理想的熔炼设备。它可以按铸件的要求熔炼各种铸钢。而且由于电弧炉是以废钢为原料，可以充分利用工厂的废机件和返回料，

故国内外绝大多数的铸钢车间，皆装有熔炼铸钢用的电弧炉。

## 第一节 炼钢电弧炉系列

我国炼钢电弧炉的设计与制造发展十分迅速，目前，已形成设备系列。表1—1为长春电炉厂生产的HX系列炼钢电弧炉主要技术参数。

HX系列炼钢电弧炉主要技术参数 表1-1

型 号	主要 参数	额定 容量 〔t〕	最大 装料 量 〔t〕	变压器额 定容量 〔KVA〕	变压器低 压侧电压 〔V〕	变压器低 压侧电 流 〔A〕	电 投 直 径 〔mm〕	电 极 最 大 升 度 〔m/ min〕	炉 壳 直 径 〔mm〕	冷却水 消耗量 〔t/h〕
HX-0.5		0.5	0.75	650	200~98 (4)	1875	150	≥2.5	1600	12
HX-1.5		1.5	2	1250	210~104 (4)	3430	200	≥2.5	2100	15
HX-3		3	4	2200	210~110 (4)	5800	250	≥3	2500	20
HX-5		5	7	3200	240~121 (4)	7700	300	≥3	3000	30
HX <sub>1</sub> -10		10	12	5500	260~139 (4)	10700	350	≥3.5	3500	40
HX <sub>1</sub> -20		20	24	9000	300~140 (15)	17340	400	≥4.5	4200	70
HX <sub>1</sub> -50		50	60	18000	380) 160 (13)	27500	500	≥6	5400	90

• 为新产品。

## 第二节 机械 设 备

炼钢电弧炉的机械设 备，主要由炉体，倾炉机构和电极升降装置等部分组成。图1—1为炼钢电弧炉示意图。

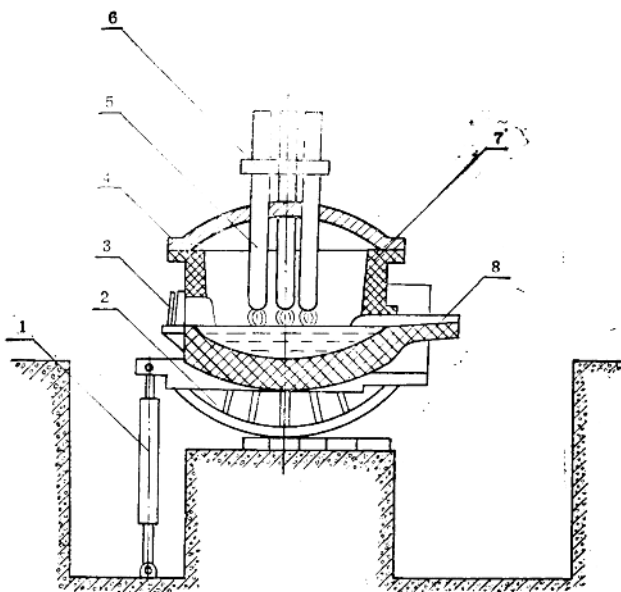


图 1-1 炼钢电弧炉示意图

1—倾炉液压缸；2—倾炉摇架；3—炉门；4—炉盖；  
5—电极；6—电极夹持器；7—炉体；8—出钢槽

## 一、炉体

电弧炉的炉体主要由炉壳、炉衬、炉门和出钢槽等部分组成。

### (一) 炉壳

炉壳应具有足够的强度，因其除了要承受炉衬和金属的重量外，还要抵抗部分炉衬砖在加热膨胀时产生的膨胀力，

以及装料时的强大的冲击力。

炼钢厂为了减少修炉时间，提高电弧炉的作业率，多采用备用炉壳交替进行熔炼，而铸钢车间则多采用固定炉壳。

炉壳包括圆筒形炉身、炉底以及上部加固圈三部分，通常用厚度 $10\sim 30\text{ mm}$ 的钢板焊接而成。

为使烘炉时产生的废气、焦油、沥青和卤水之类的废液顺利排出炉外，在炉壳上每隔一定间距钻有直径 $15\sim 20\text{ mm}$ 的孔洞。

目前，常用的炉壳形状有球形和圆锥形二种，如图1-2所示。

球形炉底坚固，无死角，耐火材料少，但制造较困难，小型电弧炉采用球形炉底较多。

圆锥形炉底的坚固性较球形炉底稍差，但亦无死角，耐火材料消耗亦较少，且制造方便，故应用最广。

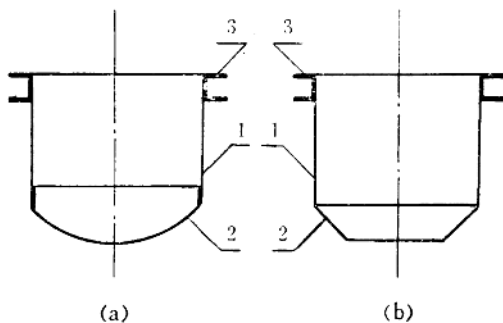


图 1-2 炉壳

(a) 球形炉底壳；(b) 锥形炉底壳  
1—圆筒形炉身；2—炉壳底；3—加固圈

球形炉底和圆锥形炉底的高度，一般为炉壳外径的十分之一左右。

炉壳上部加固圈的作用是增加炉壳的刚度，防止炉壳由于受热而变形，以保持较准确的圆筒形状。加固圈内部一般皆通水冷却。

### （二） 炉门

炉门部分由炉门、炉门框和炉门升降机构等组成。

炉门的宽度，一般为熔池直径的0.25~0.30倍。炉门高度约为炉门宽度的0.8倍。

炉门和炉门框均用钢板焊成，并通水冷却。炉门框采用“口”形，固定在炉壳上，其上部深入炉内，用以支承炉门上部的炉墙。

炉门应升降灵活，稳重，不被卡住。容量3 t以下的小型电弧炉的炉门一般采用手动，中型和大型电弧炉则多采用气动、电动和液压传动等炉门升降机构。

### （三） 出钢槽

出钢槽一般皆由钢板和角钢焊成，固定在炉壳上。出钢口开在炉体后身和炉门相对的中心位置，一般较炉门口高100~150 mm。出钢槽的长度，应在保证与钢包很好的配合并能将钢液全部倒清的前提下，愈短愈好，这样可减少出钢时钢液的二次氧化。为防止出钢口打开后钢液自动流出，出钢槽一般应向上倾斜 $8^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。

### 二、 炉盖圈

生产中常用的有垂直形炉盖圈，直角形水冷炉盖圈和斜形水冷炉盖圈，如图1—3所示，斜形水冷炉盖圈可不

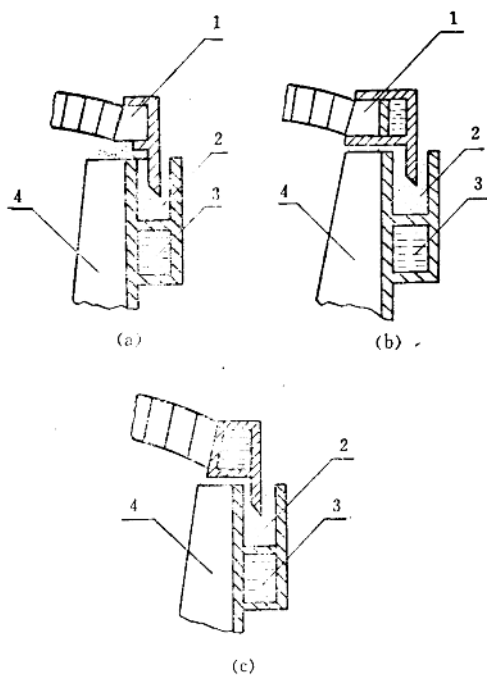


图 1-3 炉盖圈

(a) 垂直形炉盖圈；(b) 直角形水冷炉盖圈；(c) 斜形水冷炉盖圈  
1—拱角砖；2—砂封圈；3—水冷加固圈；4—炉墙

用拱脚砖。

炉盖圈的外径尺寸应与炉壳外径相仿或稍大些，以使整个炉盖重量支承在炉壳上部的砂封加固圈内，而不压在炉墙上。炉盖圈与炉壳必须有良好的密封，否则高温炉气外逸，不仅增加电弧炉的热损失，使熔炼时造渣困难，而且易烧坏

炉壳上部和炉盖圈，故在炉盖圈外沿下部设有刀口，使炉盖圈很好的插入砂封中。

在高温下，炉盖圈要承受全部炉盖砖的重量，为防止变形，一般炉盖圈皆采用水冷却。实践证明，斜形水冷炉盖圈容易烧坏漏水，不如直角形水冷炉盖圈好。

### 三、电极冷却器

早期的电弧炉，无电极冷却器，炉盖电极孔和电极之间有很大的间隙，熔炼时大量高温炉气外逸，使炉盖上部的电极温度升高，激烈氧化，最后变细而折断。同时由于高温炉气的逸出，而增加了电能的消耗。采用电极冷却器的作用是：

- ① 防止高温炉气大量逸出，减少热损失，节约电能。
- ② 冷却电极，减少电极表面氧化。
- ③ 冷却电极孔周围炉盖砖，延长炉盖寿命。

电极冷却器用5~8 mm厚的钢板或无缝钢管冷弯焊接而成。

电极冷却器的外径为电极直径的1.5~2倍，内径较电极直径大40~50 mm，不宜过小，否则易使电极卡住，致使电极冷却器烧坏。

电极冷却器的高度约为电极直径的0.4~1倍。

电极冷却器的形式甚多，常用者有蛇形管式，环式和箱式三种冷却器，如图1—4所示。

蛇形管式制造简单，用无缝钢管弯成，对电极冷却作用好，但密封性差，易烧穿，目前在小容量电弧炉上尚有采用。

环式冷却作用较差。箱式是在环式基础上改进的，嵌入炉盖80~100 mm，冷却和密封效果均较好，故目前应用广泛。



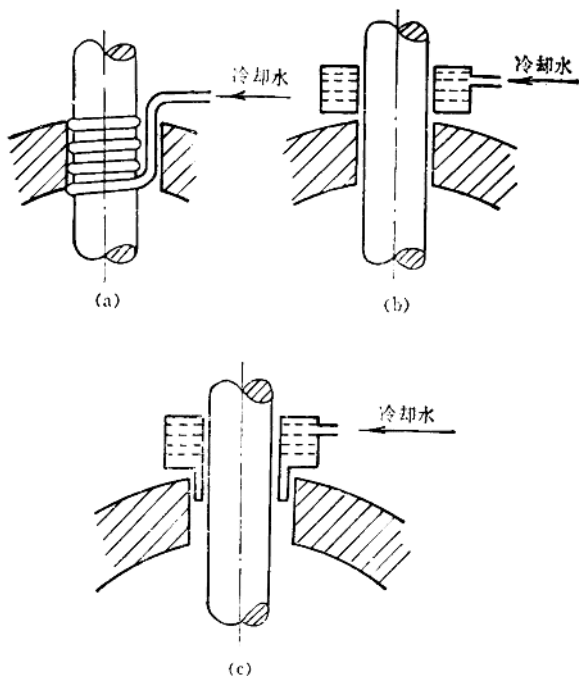


图 1-4 电极冷却器  
(a) 蛇形管式；(b) 环式；(c) 箱式

#### 四、电极升降装置

电极升降装置由电极夹持器，横臂和立柱，平衡锤，直流电动机，减速器和钢丝绳等组成，亦有采用液压传动的。

##### (一) 电极夹持器

电极夹持器的作用，一是作为电极的支架而将电极支持