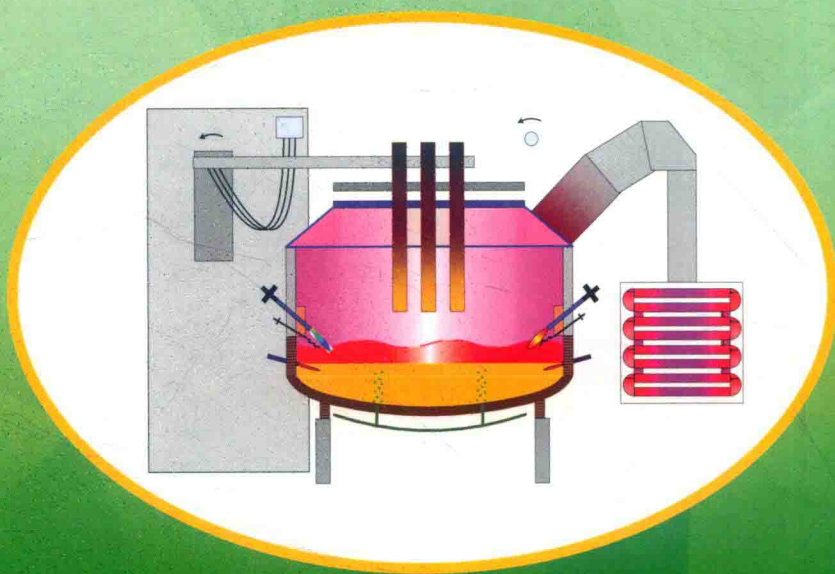


# 电弧炉炼钢技术及装备

Electric Arc Furnace Steelmaking:  
Technology and Equipment

朱荣 刘会林 著



冶金工业出版社  
www.cnmp.com.cn

# 电弧炉炼钢技术及装备

朱 荣 刘会林 著

北 京  
冶金工业出版社  
2018

## 内 容 提 要

本书介绍了电弧炉炼钢的特点、原材料、基本工艺操作、冶炼过程的物料平衡与能量平衡,不同类型的炼钢电弧炉,电弧炉机械设备、电气设备和附属设备,电弧炉用氧技术以及电弧炉炼钢复合吹炼、智能化控制等前沿技术。

本书可供电弧炉炼钢相关技术及设备人员、管理人员阅读,也可供高校师生和广大工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电弧炉炼钢技术及装备/朱荣,刘会林著.—北京:  
冶金工业出版社,2018.4

ISBN 978-7-5024-7772-1

I. ①电… II. ①朱… ②刘… III. ①电弧炉—电炉  
炼钢 IV. ①TF741.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第071945号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 刘小峰 曾 媛 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7772-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2018年4月第1版,2018年4月第1次印刷

169mm×239mm;25.5印张;500千字;398页

160.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougou@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)



# 前 言

炼钢分为转炉炼钢和电弧炉炼钢，电弧炉炼钢是炼钢的主要方法之一。世界钢产量约有30%是由电弧炉生产的，部分发达国家的电炉钢产量已达到50%以上。我国电炉钢比例虽然不足产钢量的10%，但电炉钢产量早已是世界第一，2010年电炉钢产量就已达到6000万吨以上。随着国家对节能环保的重视、废钢资源的增加及加工能力的提升，与转炉流程相比，具有绿色环保特征的电炉流程将有更大发展空间。

2012年作者编写了《电弧炉短流程炼钢设备与技术》一书，受到炼钢工作者的普遍欢迎，同时也收到一些中肯的建议，在此深表感谢。本书以《电弧炉短流程炼钢设备与技术》为基础，删除了其中精炼及连铸等内容，并结合近年电弧炉炼钢的进步及读者的建议，对原书中其他部分内容进行了修改及充实，以便于读者更好地了解电弧炉炼钢技术及装备。

全书共分7章。第1章介绍了电弧炉炼钢的特点、原材料、基本工艺操作、冶炼过程的物料平衡与能量平衡等；第2章介绍了超高功率电弧炉、高阻抗交流电弧炉、连续加料电弧炉、直流电弧炉及近年发展的环保型电弧炉等；第3章介绍了电弧炉机械设备，包括炉体炉盖装配、倾炉机构、炉盖提升旋转机构、电极升降机构及常规附属设备等；第4章介绍了电弧炉电气设备，包括电弧炉的主电路、高压供电系统、变压器与电抗器、短网、低压控制与自动化技术、对电网公害的治理等；第5章介绍了电弧炉炼钢附属设备；第6章介绍了电弧炉用氧及相关技术；第7章

介绍了电弧炉炼钢的前沿技术。本书可供电弧炉炼钢相关技术及设备人员、管理人员阅读，也可供高校师生和广大工程技术人员参考。

本书主要是作者多年从事电弧炉炼钢科研、设计及推广的总结。本书在写作过程中得到了北京科技大学董凯老师、田博涵博士、魏光升博士、吴学涛博士等的帮助，在此特向他们表示衷心的感谢。本书出版得到钢铁冶金新技术国家重点实验室的资助，在此表示感谢。

由于作者水平所限，加之涉及内容广泛，书中不足之处，恳请读者批评指正并给予谅解。

作 者

2018年2月于北京

# 目 录

1 电弧炉炼钢技术 .....	1
1.1 电弧炉炼钢特点与流程 .....	1
1.1.1 电弧炉炼钢的特点 .....	1
1.1.2 电弧炉冶炼的常用钢种 .....	3
1.1.3 电弧炉炼钢的常用流程 .....	5
1.2 电弧炉炼钢用原材料 .....	5
1.2.1 含铁原料 .....	5
1.2.2 合金材料 .....	12
1.2.3 造渣材料 .....	14
1.2.4 氧化剂、脱氧剂、增碳剂及其他 .....	15
1.3 现代电炉炼钢的基本工艺操作 .....	19
1.4 电弧炉冶炼过程物料平衡与能量平衡 .....	20
1.4.1 原料供应规模与消耗 .....	21
1.4.2 电弧炉炼钢厂的物料平衡与能量平衡 .....	24
1.5 电弧炉炼钢冶炼过程物理与化学热的利用 .....	41
1.5.1 电弧炉热装铁水工艺的发展 .....	41
1.5.2 铁水加入方式 .....	42
1.5.3 最佳铁水比的确定 .....	45
1.6 电弧炉炼钢生产效率 .....	49
1.6.1 产量和效率 .....	49
1.6.2 炉子容量与座数及选型的确定 .....	50
参考文献 .....	51
2 现代炼钢电弧炉 .....	52
2.1 超高功率电弧炉 .....	52
2.1.1 超高功率电弧炉的技术特点 .....	52
2.1.2 超高功率电弧炉的技术难点及其克服措施 .....	54
2.1.3 超高功率电弧炉配套相关技术的功能和效果 .....	57
2.2 高阻抗交流电弧炉 .....	59

2.2.1	高阻抗交流电弧炉工作原理	59
2.2.2	高阻抗电弧炉的主要工作特点	60
2.2.3	高阻抗电弧炉变压器参数	61
2.2.4	高阻抗电弧炉操作原则	63
2.2.5	高阻抗电弧炉与其他电弧炉各项指标的对比	64
2.3	连续加料电弧炉	66
2.3.1	水平连续加料电弧炉工作原理	66
2.3.2	水平连续加料电弧炉的主要工艺特点	67
2.3.3	水平连续加料电弧炉设备及特点	70
2.3.4	连续加料部分的自动化	81
2.3.5	国内外水平连续加料电弧炉的使用情况和技术经济指标比较	84
2.4	直流电弧炉	87
2.4.1	直流电弧炉的主要特点	87
2.4.2	直流电弧炉设备的底电极	90
2.4.3	直流电弧炉的电气设备	98
2.4.4	直流电弧炉主要电参数	105
2.4.5	直流电弧炉冶炼工艺	107
2.4.6	直流电弧炉的自动化控制	112
2.4.7	国内外直流电弧炉的使用情况和与交流电弧炉 的技术经济指标比较	116
2.5	其他类型电弧炉设备	120
2.5.1	双炉壳电弧炉	121
2.5.2	竖式电弧炉	126
2.5.3	转炉型电弧炉	135
2.5.4	环保型高效电弧炉	138
2.5.5	量子电弧炉	140
	参考文献	144
3	电弧炉机械设备	146
3.1	炉体装配	146
3.1.1	炉体	146
3.1.2	水冷炉壁	148
3.1.3	炉门装配	153
3.1.4	出钢机构	155
3.1.5	炉衬	161

3.2 炉盖装配 .....	164
3.2.1 炉盖圈与电极水冷圈 .....	165
3.2.2 箱式水冷炉盖 .....	167
3.2.3 管式水冷炉盖 .....	168
3.2.4 炉盖的砌筑 .....	168
3.3 倾炉机构 .....	170
3.3.1 倾炉机构的作用与摇架结构形式 .....	170
3.3.2 整体基础式电炉的倾炉机构 .....	173
3.3.3 基础分体式电炉的倾动机构 .....	175
3.3.4 倾炉机构的其他部分 .....	177
3.4 炉盖提升旋转机构 .....	178
3.4.1 炉盖提升旋转机构的概述 .....	178
3.4.2 炉盖提升装置 .....	181
3.4.3 常用的基础分体式炉盖提升旋转式电弧炉 .....	186
3.4.4 旋转架与吊臂 .....	188
3.4.5 炉体开出式电弧炉简介 .....	190
3.5 电极升降机构 .....	193
3.5.1 电极升降机构与其结构形式 .....	193
3.5.2 小车升降导电管式横臂 .....	199
3.5.3 导电横臂 .....	201
3.5.4 电极升降立柱及其固定装置 .....	205
3.6 机械设备的其他部分 .....	208
3.6.1 水冷与气动系统 .....	208
3.6.2 润滑系统 .....	214
参考文献 .....	219
4 电弧炉电气设备 .....	220
4.1 电弧炉的主电路 .....	220
4.1.1 电弧炉主电路的组成 .....	220
4.1.2 主要技术参数 .....	222
4.1.3 电弧炉电气特性 .....	223
4.1.4 电弧炉供电制度的确定与优化 .....	228
4.2 高压供电系统 .....	230
4.2.1 高压柜 .....	230
4.2.2 高阻抗电弧炉的供电主电路与保护措施 .....	233



4.3 电弧炉变压器与电抗器 .....	234
4.3.1 变压器 .....	234
4.3.2 电弧炉变压器功率及电气参数的确定 .....	237
4.3.3 电抗器 .....	240
4.4 电弧炉短网 .....	242
4.4.1 短网的组成及特点 .....	242
4.4.2 功率转移现象 .....	247
4.4.3 短网的优化 .....	248
4.5 电弧炉低压控制与自动化技术 .....	250
4.5.1 炼钢电弧炉低压电控与自动化设备 .....	250
4.5.2 电弧炉炼钢自动化控制对象 .....	255
4.5.3 电弧炉电极升降控制 .....	261
4.5.4 电弧炉排烟除尘系统的操作与控制 .....	266
4.6 对电网公害的治理 .....	272
4.6.1 电弧炉对电网产生的公害与治理 .....	272
4.6.2 电弧炉供电线路的电参数 .....	274
4.6.3 谐波与滤波器 .....	276
4.6.4 TCR 型 SVC 总体说明 .....	279
4.6.5 SVC 装置主要设备简介 .....	282
参考文献 .....	284
5 电弧炉附属设备 .....	286
5.1 钢包 .....	286
5.1.1 包体 .....	286
5.1.2 内衬 .....	287
5.1.3 塞棒控制系统 .....	287
5.2 出钢车 .....	289
5.2.1 出钢车的组成 .....	289
5.2.2 电弧炉与精炼炉出钢车的区别 .....	289
5.2.3 出钢车的驱动方式 .....	291
5.3 加料筐与加料筐平车 .....	291
5.3.1 链条式料筐 .....	291
5.3.2 蛤式料筐 .....	292
5.3.3 加料筐平车 .....	292
5.4 电极接长及出钢口维修平台 .....	293

5.4.1	电极接长及存放装置 .....	293
5.4.2	出钢口维修平台 .....	295
5.5	散装料供应系统 .....	296
5.5.1	低位料仓 .....	297
5.5.2	从低位料仓向炉上高位料仓供料 .....	297
5.5.3	高位料仓 .....	298
5.5.4	下料装置 .....	301
5.5.5	铁合金供应系统 .....	302
5.6	补炉机 .....	302
5.6.1	离心补炉机 .....	302
5.6.2	喷补机 .....	303
5.7	电弧炉底吹装置 .....	304
5.7.1	电弧炉底吹气体搅拌技术 .....	304
5.7.2	电弧炉底吹装置类型 .....	306
5.7.3	底吹装置用耐火材料 .....	307
5.7.4	底吹氩系统 .....	309
5.8	其他附属设备 .....	310
5.8.1	渣罐与渣盘 .....	310
5.8.2	出渣车 .....	310
5.8.3	风动送样设备 .....	311
5.9	炼钢过程检测仪表 .....	311
5.9.1	钢(铁)水温度测量传感器与检测仪表 .....	311
5.9.2	钢(铁)水等质量检测 .....	314
5.9.3	钢(铁)水成分检测 .....	315
	参考文献 .....	317
6	电弧炉炼钢用氧技术 .....	319
6.1	强化用氧工艺与设备 .....	319
6.1.1	炉门吹氧工艺与设备 .....	319
6.1.2	氧燃助熔供氧工艺与设备 .....	323
6.1.3	电弧炉炼钢集束射流氧枪 .....	330
6.1.4	二次燃烧 .....	337
6.2	电弧炉氧枪的技术基础 .....	345
6.2.1	电弧炉氧枪设计 .....	345
6.2.2	氧枪冷热态实验 .....	350

6.2.3 数值模拟 .....	354
6.3 泡沫渣工艺 .....	355
6.3.1 泡沫渣形成机理及作用 .....	356
6.3.2 泡沫渣工艺操作 .....	359
参考文献 .....	361
<b>7 电弧炉炼钢前沿技术 .....</b>	<b>363</b>
7.1 电弧炉炼钢复合吹炼技术 .....	363
7.1.1 发展现状 .....	363
7.1.2 技术概况 .....	364
7.1.3 技术方案 .....	365
7.1.4 实施效果 .....	386
7.2 电弧炉炼钢智能化技术 .....	387
7.2.1 电弧炉智能化供电 .....	387
7.2.2 电弧炉炼钢炉况实时监控技术 .....	389
参考文献 .....	397

# 1 电弧炉炼钢技术

世界各国采用的炼钢方法主要有转炉炼钢和电炉炼钢两种方式。随着世界钢铁生产的发展，废钢的积蓄量不断增加，电炉钢的比例在不断地提高。目前约占世界钢产量的30%左右，部分发达国家达到50%以上<sup>[1]</sup>，尤其以电炉—连铸—连轧为特点的电炉短流程工艺的确立，使电炉钢生产水平取得了重大进步<sup>[2]</sup>。

## 1.1 电弧炉炼钢特点与流程

常用的电炉有电弧炉和感应炉两种，由于电弧炉炼钢占电炉钢产量的绝大部分，而感应炉主要作为铸造及合金熔化使用，所以一般所说电炉炼钢是指电弧炉炼钢。

### 1.1.1 电弧炉炼钢的特点

电炉炼钢是利用电能为主要热源、以废钢铁为主要原料来进行冶炼的，也可采用直接还原铁及铁水进行补充<sup>[3]</sup>。由于金属原料更加清洁，电炉可冶炼力学性能和化学成分要求严格的钢，如特殊工具钢、航空用钢等。国内目前主要用碱性电炉炼钢，这种炉衬的电炉可以有效地去除钢中的硫，这是其他炼钢方法所不及的<sup>[4]</sup>。

电弧炉炼钢的优点<sup>[5]</sup>：

(1) 电弧炉炼钢的设备比较简单，工艺布置紧凑、占地面积小，投资少、基建速度以及资金回收快。尤其是廉价的水力发电的普及与核能发电的发展，使电炉炼钢得到了迅猛的发展。

(2) 因电弧炉炼钢的热源来自于电弧，温度高达4000~6000℃，并直接作用于炉料，所以热效率较高，现在已达到70%以上。此外，在冶炼过程中，能灵活提高钢液温度，容易冶炼含有难熔元素钨、钼等的高合金钢。

(3) 电弧炉炼钢不仅可去除钢中的有害气体与夹杂物，还可脱氧、去硫、合金化等，故能冶炼出高质量的特殊钢，但为提高冶炼节奏及脱硫效率，电弧炉通常取消了脱硫等还原工艺。此外，电炉钢的成分易于调整与控制，也能熔炼成分复杂的钢种，如不锈钢、耐热钢及其他高温合金等。

(4) 电弧炉炼钢可采用冷装或热装金属料，不受炉料的限制，并可用较次的炉料熔炼出较好的高级优质钢或合金。目前，社会上的板边、车屑等废钢量增

加,“吃掉”这些东西最理想的办法就是用电弧炉炼钢。电弧炉还能将高合金废料进行重熔或返回冶炼,从而可回收大量的贵重合金元素。

(5) 电弧炉炼钢适应性强,既可连续生产,也可间断生产,就是经过长期停产后恢复生产也快。

电弧炉炼钢的缺点<sup>[6]</sup>:

(1) 电弧是点热源,炉内温度分布不均匀,熔池各部位的温差较大。

(2) 炉气或水分在电弧的作用下能解离出大量的氢、氮,而使钢中的气体含量增高。电炉钢一般氢含量约为 3~5ppm,氮含量为 40~100ppm (1ppm =  $10^{-6}$ )。

(3) 社会废钢来源复杂,通常含残余有色元素(铜、铅、锌、锡、镍、砷、铬、钨等),难以去除,须有效处理后,才能冶炼优质钢,如配加清洁的废钢返回料、直接还原铁、生铁或热铁水等。

目前,由于炼钢电炉的大型化、超高功率化及冶炼工艺的强化,并与不断发展完善的炉外精炼和连铸连轧技术相配套,已形成了自动化、机械化水平高而能耗低的现代电炉炼钢生产体系,电弧炉仅作为熔化炉来使用,而将钢的精炼转移到炉外精炼中进行,使得它在钢的生产中更具有竞争能力<sup>[7]</sup>。现代电炉炼钢的特点如下:

(1) 电弧炉的大型化和单位功率的高功率化。现代电炉炼钢的电弧炉的大型化、超高功率化,在节能降耗上已经取得了明显的经济效益。新建电弧炉多数在 70~150t,电炉变压器功率从 300~400kV·A/t 发展到近 1000kV·A/t,冶炼周期也从几个小时降到 1h 以内。

(2) 辅助能源多。炉门氧枪、炉壁烧嘴、多功能集束氧枪的使用,不仅使吹氧量增加到 30m<sup>3</sup>/t 以上,而且还使用了天然气、轻油、炭粉等多项辅助能源。

(3) 冶炼周期短。由于采用了多种现代炼钢技术,电弧炉的主要功能是快速熔化废钢,控制钢水中碳、磷含量,满足所需要的出钢温度,出钢过程粗调成分,按工序质量控制要求,向炉外精炼工位提供合格的钢水,因而使得冶炼周期极大缩短。有资料报道,国外全废钢冶炼的电弧炉最短冶炼周期达 27min。这一成果相当于同容量的顶底复吹转炉的水平,而多数电炉冶炼周期在 50~70min 之间。

(4) 冶金反应速率加快,传统三期冶炼的界限不再明显。现代电炉炼钢过程中的脱磷、脱碳速度比普通功率的电弧炉有了成倍的提高。冶炼过程中熔化期与氧化期界限不再明显,有时候成为熔氧合一,各阶段的冶金反应在不同阶段都在同时进行。

(5) 对环境污染加剧。现代电炉炼钢的超高功率化及大量辅助能源的使用,既极大地缩短了电弧炉冶炼周期,又带来了噪声和烟气量的增大,而且也加大了

谐波的产生，对电网的冲击更加严重。因此对环境的污染的治理，也是现代电炉炼钢一项艰巨的任务。

世界上近年来发展的新型电弧炉主要有超高功率电弧炉、高阻抗电弧炉、直流电弧炉、旋转式双炉壳电弧炉、竖式电弧炉、连续加料电弧炉等。

### 1.1.2 电弧炉冶炼的常用钢种

**碳素钢：**碳素钢是指钢中除含有一定量为了脱氧而加入的硅（一般不超过 0.40%）和锰（一般不超过 0.80%，较高含量可到 1.20%）等合金元素外，不含其他合金元素（残余元素除外）的钢。根据碳含量的高低又大致可分成低碳钢（碳含量一般小于 0.25%）、中碳钢（碳含量一般在 0.25%~0.60%之间）和高碳钢（碳含量一般大于 0.60%），但它们之间并没有很严格的界限。

**合金钢：**合金钢是指钢中除含硅和锰作为合金元素或脱氧元素外，还含有其他合金元素（如铬、镍、钼、钒、钛、铜、钨、铝、钴、铌、锆和稀土元素等），有的还含有非金属元素（如硼、氮等）的钢。根据钢中合金元素含量的多少，又可分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。

**碳素结构钢：**碳素结构钢是指用来制造工程构件和机械零件用的钢，其硫、磷等杂质含量比优质钢高些，但一般硫不超过 0.055%，磷不超过 0.045%（优质碳素结构钢一般硫和磷均不超过 0.040%）。在各类钢中，碳素结构钢的产量最大，工艺性能良好，用途广泛，多轧制成板材和型材，用于厂房、桥梁和船舶等建筑结构。这类钢材一般不需经热处理即可直接使用。

**合金结构钢：**合金结构钢是在优质碳素结构钢的基础上，适当地加入一种或数种合金元素，用来提高钢的强度、韧性和淬透性。合金结构钢根据化学成分（主要是碳含量）、热处理工艺和用途的不同，又可分为渗碳钢、调质钢和氮化钢。

**渗碳钢**是指用低碳结构钢（碳含量一般不高于 0.25%）制成零部件，经过表面化学热处理（渗碳或氰化），淬火并低温回火（200℃左右）后，使零部件表面硬度高（一般为 HRC60 以上）而心部韧性好，具有既耐磨又能承受高的交变负荷或冲击负荷的性能。

**调质钢**的碳含量一般在 0.25%以上，所制成的零件经淬火和高温回火（500~650℃）调质处理后，可以得到适当的高强度与良好的韧性，即得到较良好的综合力学性能。

**氮化钢**一般是以中碳合金结构钢制成零件，先经过调质或表面火焰淬火、高频淬火处理，获得所需要的力学性能，并经过切削精加工，最后再进行氮化处理，以进一步改善钢表面的耐磨性能。通常铝可以和氮化形成氮化铝（在高温下也比较稳定），增加表面硬度和耐磨性。因此，在合金结构钢中含铝的钢（如

38CrMoAl、38CrAl 等) 均属氮化钢。

工具钢: 凡是用于制造各种工具 (例如刀具、模具、量具及其他工具等) 用的钢, 均称为工具钢。这类钢当制成工具经热处理后, 要求有很高的硬度和耐磨性, 因此对表面脱碳层的程度要求比较严格。工具钢中又分为碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢。

碳素工具钢的硬度主要以碳元素含量的高低来调整。其最低的碳含量也有 0.65%, 最高可达 1.35%。为了提高钢的综合性能, 有的钢中加入 0.35% ~ 0.60% 的锰。这类钢主要用于制造一般切削速度的、加工硬度和强度不太高的材料用的工具, 如车刀、锉刀、刨刀、锯条等, 以及形状简单精度较低的量具、刀具等。

合金工具钢不仅含有很高的碳 (有的高达 2.30%), 而且含有较高的铬 (有的高达 13%)、钨 (有的高达 9%)、钼、钒等合金元素。这类钢主要用于制造锻造、冲压等冷热变形用的各种模具, 以及制造各式量具 (量块、卡尺等) 和刀具 (冷、热剪切机用剪刀等)。

高速工具钢除含有较高的碳 (1% 左右) 外, 还含有很高的钨 (有的高达 19%) 和铬、钒、钼等合金元素, 具有较好的赤热硬性。这类钢主要用于制造生产率高、耐磨性大, 并且在高温下 (高达 600℃) 能保持其切削性能的工具。

滚珠轴承钢: 滚珠轴承钢是指用于制造各种环境中工作的各类滚动轴承圈和滚动体用钢。这类钢虽然化学成分不复杂 (碳含量为 1% 左右, 铬含量最高 1.65%), 但由于滚珠轴承是在高速度的转动和滑动的条件下工作, 相互间产生极大的摩擦, 因此要求具有高而均匀的硬度和耐磨性。这样, 对钢的内部组织和化学成分的均匀性, 所含非金属夹杂物和碳化物的数量与分布以及钢的脱碳程度等, 比其他一般工业用钢都有更高的要求。轴承钢分为高碳铬轴承钢、无铬轴承钢、渗碳轴承钢、不锈钢轴承钢及中、高温轴承钢五大类。

弹簧钢: 这类钢主要含硅、锰、铬合金元素, 专门用于制造螺旋簧、扭簧及其他形状的弹簧。弹簧主要是工作在冲击、振动或受长期均匀的周期性交变应力的条件下, 要求钢具有高的弹性极限、高的疲劳强度以及高的冲击韧性和塑性。用于制造电器仪表和精密仪器中的弹簧, 还要求它具有较高的导电性、耐高温性和耐腐蚀性等。因此, 对钢的表面性能及脱碳性能的要求比一般钢较为严格。

不锈钢耐酸钢: 根据工业上主要用途, 不锈钢耐酸钢分为不锈钢和耐酸钢两种。在空气中能抵抗腐蚀的钢称为不锈钢; 在各种侵蚀性强烈的介质中能抵抗腐蚀作用的钢称为耐酸钢。不锈钢并不一定耐酸, 而耐酸钢一般却有良好的不锈性能。这类钢主要含铬、镍等合金元素, 有的还含有少量的钼、钒、铜、锰、氮或其他元素。铬含量有的高达 25% 左右 (铬含量在 13% 以下的钢, 只有在腐蚀不强烈

的情况下才是耐蚀的), 镍含量高达 20% 左右。这类钢主要用于制造化工设备、医疗器械、食品工业设备以及其他要求不锈的器件等。

### 1.1.3 电弧炉炼钢的常用流程

电弧炉炼钢是目前世界各国生产特殊钢的主要方法。典型电弧炉炼钢生产工艺流程是根据冶炼不同钢种, 有不同的工艺流程<sup>[8]</sup>。目前, 主要有以下几种方式:

(1) 普通钢棒材型。代表流程为: 电弧炉—LF 炉—小方坯连铸机。

(2) 电弧炉板材型。生产板材的电弧炉吨位一般比较大 (一般在 100t 以上), 通过板坯连铸机生产中板或薄板。精炼设备多采用 LF(VD) 炉。代表流程为: 电弧炉—LF(VD) 炉—板坯 (薄板坯) 连铸机。

(3) 电弧炉无缝管型。代表流程为: 电弧炉—LF 炉+VD 炉精炼—圆坯连铸机。

(4) 电弧炉合金钢长材型。代表流程为: 电弧炉—LF(V) 炉精炼—合金钢方坯连铸机。

(5) 电弧炉不锈钢棒、板材型。代表流程为:

一步法: 电弧炉—AOD(VOD) 炉—(LF) 炉—连铸机/电弧炉—GOR 炉—(LF) 炉—连铸机。

二步法: 电弧炉—AOD 炉—VOD 炉—(LF 炉) —连铸机。

(6) 高碳铬轴承钢。生产工艺流程为: 电弧炉—LF 炉+VD 炉精炼—连铸机。

## 1.2 电弧炉炼钢用原材料

### 1.2.1 含铁原料

#### 1.2.1.1 废钢

废钢分为普通废钢和返回废钢两大类。废钢是电炉炼钢的主要原料, 废钢的质量好坏直接影响到电炉的各项技术经济指标, 因此必须重视对废钢的管理和使用前的加工处理工作。

普通废钢: 普通废钢来源很广, 成分和规格较复杂。主要包括各种废旧设备, 如报废的车辆、船舶、机械结构件和建筑结构件等; 有来自机械加工的废钢, 如冲压件的边角料、车屑、料头等; 还有部分城乡生活用品废钢, 如罐头盒、食品盒、各种包装装潢废钢铁料等。生活用品废钢和大部分机械加工废钢属于低质轻薄废钢, 需要专门加工处理。

返回废钢: 主要来自钢铁厂的冶炼和加工车间。包括废钢锭、汤道、注余、废钢坯、切头、切尾、废铸件和钢材废品等。这类废钢质量较好, 形状较规则,



大都能直接入炉冶炼。

为了使废钢高效而安全地冶炼成合格产品，对废钢有下列要求：

(1) 废钢表面清洁少锈。因为铁锈严重影响钢的质量，锈蚀严重的废钢会降低钢水和合金元素的收得率，对钢液质量和成分估计不准。废钢中应力求少粘油污、棉丝、橡胶塑料制品以及泥沙、炉渣、耐火材料和混凝土块等物。油污、棉丝和橡胶塑料制品会增加钢中氢气，造成钢锭内产生白点、气孔等缺陷。泥沙、炉渣和耐火材料等一般属酸性氧化物，会侵蚀炉衬，降低炉渣碱度，增大造渣材料消耗并延长冶炼时间。

(2) 废钢中不得混有铜、铅、锌、锡、锑、砷等有色金属，特别是镀锡、镀锌等废钢。锌在熔化期挥发，在炉气中氧化成氧化锌使炉盖易损坏；砷、锡、铜使钢产生热脆，而这些元素在冶炼中又难以去除；铅密度大，熔点低，不熔于钢水，易沉积炉底造成炉底熔穿事故。

(3) 废钢中不得混有爆炸物、易燃物、密封容器和毒品，以保证安全生产。

(4) 废钢要有明确的化学成分。废钢中有用的合金元素，应尽可能在冶炼过程中回收利用。对有害元素含量应限制在一定范围以内，如磷、硫含量应小于 0.06%。

(5) 废钢要有合适的块度和外形尺寸。过小的炉料，会增加装料次数，延长冶炼时间；过大、过重的炉料不能顺利装料，且因传热不好而延长冶炼时间，废钢堆密度与熔化时间的关系如图 1-1 所示。

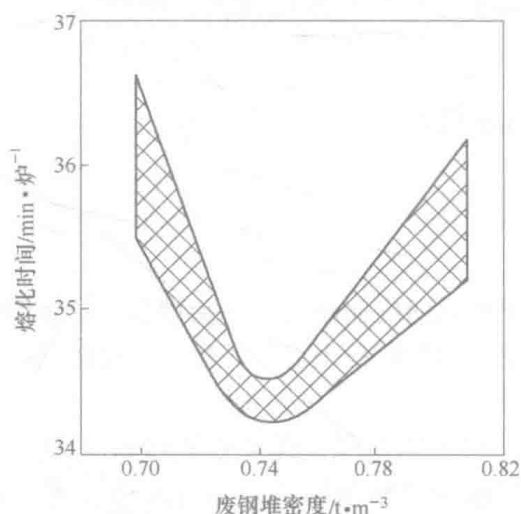


图 1-1 废钢堆密度与熔化时间的关系

从图 1-1 中可以看出，废钢堆密度在  $0.74 t/m^3$  左右熔化速率最快，而过低或过高的堆密度都会使熔化速度减慢。为此，应对废钢进行必要的加工处理。一种是将过大的废钢铁料解体分小；另一种是将钢屑及轻薄料等打包压块，使压块