

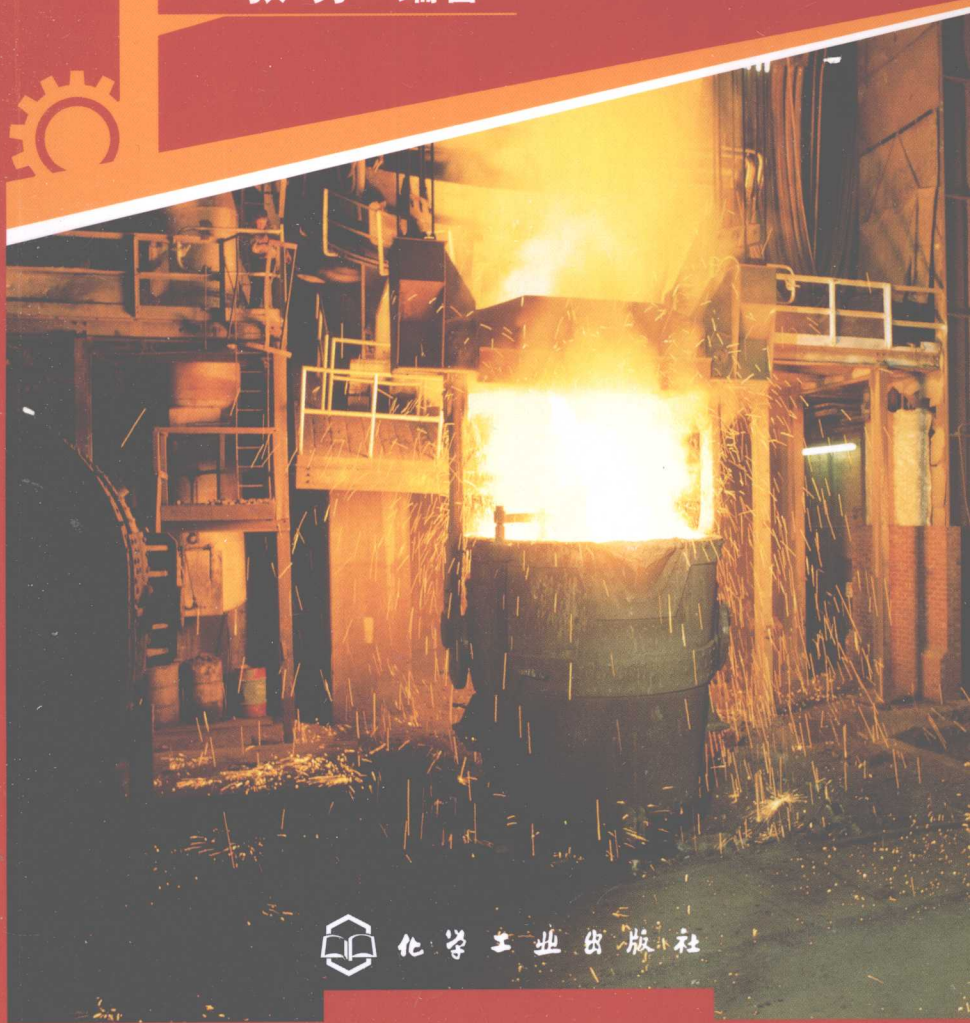


ZHUANLU LIANGANG

钢铁冶金技术培训教材

# 转炉炼钢

张芳 编著

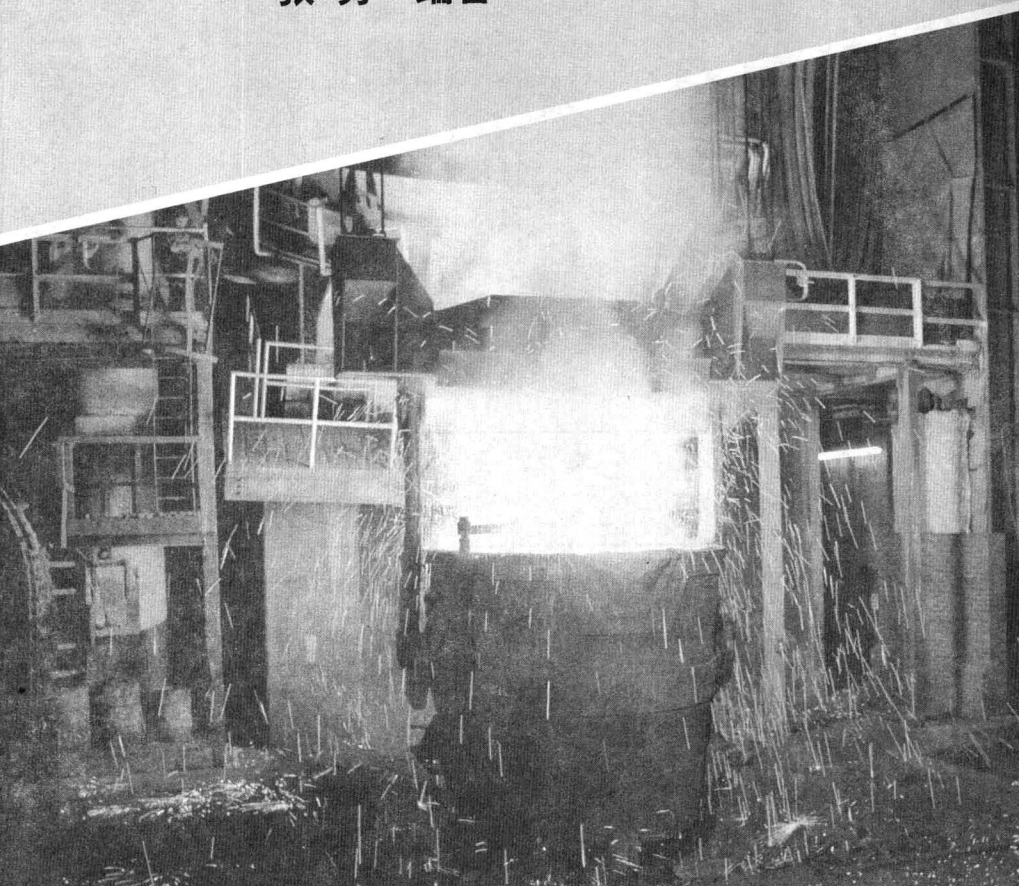


化学工业出版社

钢铁冶金技术培训教材

# 转炉炼钢

张芳 编著



化学工业出版社

北京

**图书在版编目 (CIP) 数据**

转炉炼钢/张芳编著. —北京: 化学工业出版社,  
2008.5

钢铁冶金技术培训教材  
ISBN 978-7-122-02796-2

I. 转… II. 张… III. 转炉炼钢-技术培训-教材  
IV. TF71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 057346 号

---

责任编辑: 丁尚林

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 顾淑云

装帧设计: 刘丽华

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张 10½ 字数 279 千字

2008 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

# 《钢铁冶金技术培训教材》编委会

主任：杨吉春

委员：（按姓名拼音排序）：

董 方 刘宇雁 罗果萍 王艺慈

杨吉春 张 芳

丛书各分册分工：

《炼铁原料》 王艺慈

《高炉炼铁》 罗果萍

《转炉炼钢》 张 芳

《电炉炼钢》 刘宇雁

《炉外精炼》 董 方

《连续铸钢》 杨吉春

# 丛书前言

钢铁工业是国民经济的重要原材料产业。我国钢产量连续十一年居世界首位，已成为世界上最大的钢铁生产国和消费国，为国民经济持续、稳定、健康发展做出了重要贡献。钢铁工业的发展在很大程度上取决于炼铁、炼钢及连铸等工艺技术和进步，为适应日益激烈的市场竞争和可持续发展的需要，企业需要千方百计降低生产成本，提高产品质量，积极推广、采用已有的技术创新成果，针对技术进步中的薄弱环节，开发和应用新的前沿技术。但是也应清醒地认识到，我国高速发展的钢铁工业存在着许多隐忧，许多冶金企业已感觉到高水平工人、技术人才的缺乏，只有提高企业全体职工的技术水平，才能将先进技术转化为现实的生产力，提高生产效率与产品质量。

为进一步推动钢铁企业技术进步，加快培养专业人才和一线操作人员，提高其知识水平和操作技能，满足广大炼铁、炼钢、炉外精炼以及连铸工作者、技术人员和管理人员进一步掌握钢铁冶金的基本技术知识和新的理论、新的装备和新的技术的需要，受化学工业出版社的委托，我们编写了《钢铁冶金技术培训教材》丛书。承担编写本丛书的作者，都是多年从事钢铁冶金实践与教学的具有丰富现场实践经验，同时也是从事钢铁冶金新工艺、新技术及质量性能方面的研究与工发工作的专家。

本丛书在编写过程中，参照了冶金行业职业技能鉴定规范及中、高级技术工人等级考核标准，坚持从实际操作入手，注重应知应会知识及技能的介绍，融基本知识和操作技能于一体，叙述深入浅出、重点突出、通俗易懂，编写力求内容丰富、适应面广，书中内容的理论深度与广度以适中、够用为原则，增强实用性，使企业

# 前 言

炼钢是钢铁生产的重要工序，氧气转炉炼钢法是目前国内外主要的炼钢方法。20世纪50年代初诞生的纯氧从转炉顶部吹炼铁水成钢的转炉炼钢方法，自投入工业生产以来，在世界范围内得到迅速推广，逐步取代空气转炉法和平炉炼钢法，在世界各国都得到广泛的应用，技术不断进步，设备不断更新，工艺不断完善，逐步发展和完善了顶底复合吹炼工艺、溅渣护炉技术、自动控制技术，使氧气转炉法成为现代炼钢的主要方法。氧气转炉炼钢技术的飞速发展，使炼钢生产进入了一个新的发展阶段，钢的产量不断增加，成本逐渐下降，质量不断提高，品种不断扩大。在我国，氧气转炉钢产量已超过全国钢产量的85%，普通碳素钢、低合金钢、优质碳素结构钢、合金结构钢、合金钢以及超低碳钢等品种都能生产，现在已经能够生产1000多个钢号，年产量超过4亿吨，年生产能力近5亿吨。

钢铁市场的繁荣对钢铁产品的质量提出了更高的要求，为了更好地推进企业的工艺改进和技术革新，降低成本，提高效益，适应企业提高整体技术水平、培训技术能手的需要，我们组织编写了本书。

本书在编写的过程中参照了冶金行业的职业技能鉴定规范及中、高级技术工人等级考核标准，主要内容包括：转炉炼钢原辅材料使用技术、转炉冶炼技术、转炉及附属设备的操作与维护技术、转炉炼钢技术经济指标及改进措施、典型钢种的生产等。在内容的组织安排上，力求少而精，通俗易懂，同时又突出了可操作性和先进性的特点，希望对现场从事转炉炼钢工作的技术人员、技术工人及以培养重技能和操作为主要目标的冶金类高职高专师生、技工学

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1	简述 .....	6
1.1 炼钢的基本任务 .....	1	1.2.1 吹炼过程的操作	
1.1.1 去除杂质 .....	1	步骤 .....	6
1.1.2 调整钢的成分 .....	5	1.2.2 吹炼过程中元素变化	
1.1.3 调整钢液温度 .....	6	规律和炉液成分的	
1.2 氧气顶吹转炉炼钢过程		变化特点 .....	7
<b>第 2 章 转炉炼钢原辅材料使用技术</b> .....	9		
2.1 金属料 .....	9	2.3.3 增碳剂 .....	23
2.1.1 铁水 .....	9	2.3.4 脱硫剂 .....	24
2.1.2 废钢 .....	11	2.3.5 脱硅剂 .....	29
2.1.3 铁合金 .....	14	2.3.6 脱磷剂 .....	30
2.2 造渣材料 .....	17	2.3.7 保温剂 .....	30
2.2.1 石灰 .....	17	2.4 炼钢用气体 .....	32
2.2.2 萤石 .....	19	2.5 耐火材料 .....	34
2.2.3 白云石 .....	19	2.5.1 转炉炉衬用耐火	
2.2.4 合成造渣剂 .....	20	材料 .....	34
2.3 其他物料 .....	21	2.5.2 铁水预脱硫用	
2.3.1 氧化剂 .....	21	耐火材料 .....	39
2.3.2 冷却剂 .....	22		
<b>第 3 章 转炉冶炼技术</b> .....	41		
3.1 铁水预处理工艺 .....	41	3.2 装入制度 .....	62
3.1.1 铁水预脱硫工艺 .....	41	3.2.1 装入量的确定 .....	62
3.1.2 铁水预脱硅工艺 .....	49	3.2.2 装入制度的选择 .....	63
3.1.3 铁水预脱磷工艺 .....	52	3.2.3 装料次序 .....	64
3.1.4 铁水预处理提钒 .....	59	3.2.4 装料操作 .....	64
3.1.5 铁水预处理提铌 .....	61	3.3 造渣制度 .....	67

3.3.1	炉渣的形成	68	3.5.3	温度判断	109
3.3.2	影响石灰溶解速度的因素	69	3.5.4	冷却剂的种类及其特点	111
3.3.3	造渣材料加入量的确定	70	3.5.5	各种冷却剂的冷却效应	112
3.3.4	造渣方法	72	3.5.6	冷却剂加入量及其影响因素	114
3.3.5	造渣料的加入批数和 时间	73	3.5.7	出钢温度的确定	115
3.3.6	炉渣控制	75	3.6	终点控制	119
3.3.7	吹损与喷溅	79	3.6.1	终点的标志	119
3.3.8	造渣过程中的冶炼特征	84	3.6.2	终点控制方法	120
3.4	供氧制度	86	3.7	脱氧与合金化	127
3.4.1	供氧制度中几个重要 工艺参数的确定	87	3.7.1	脱氧原则	127
3.4.2	氧枪操作	92	3.7.2	脱氧方法	131
3.4.3	复合吹炼的底部 供气	98	3.7.3	脱氧操作	132
3.5	温度制度	106	3.7.4	合金化的一般原理	133
3.5.1	热量来源和热量 消耗	106	3.8	出钢操作	138
3.5.2	吹炼过程熔池温度 控制	108	3.8.1	挡渣出钢	138
			3.8.2	下渣的形成原因	138
			3.8.3	挡渣出钢的要求	139
			3.8.4	挡渣出钢技术	139
			3.8.5	其他出钢操作	145

## 第4章 转炉及附属设备的操作与维护技术 151

4.1	转炉炉体	152	4.2.2	废钢供应	178
4.1.1	转炉炉型	152	4.2.3	散状材料供应	179
4.1.2	炉壳	154	4.2.4	铁合金供应	184
4.1.3	炉体支承系统	156	4.3	供氧系统设备	186
4.1.4	倾动机构	159	4.3.1	氧气转炉炼钢车间 供氧系统	186
4.1.5	转炉炉衬与长寿 技术	165	4.3.2	氧枪	188
4.2	原材料供应系统设备	176	4.3.3	氧枪升降和更换 机构	195
4.2.1	铁水供应	176			



4.3.4	氧枪各操作点的控制位置 .....	198	4.5.4	烟气及烟尘的综合利用 .....	222
4.3.5	氧枪刮渣设备 .....	200	4.5.5	烟气净化回收的防爆与防毒 .....	223
4.4	副枪系统 .....	201	4.5.6	净化回收系统简介 .....	225
4.4.1	对副枪的要求 .....	202	4.5.7	二次除尘系统及厂房除尘 .....	226
4.4.2	副枪结构与类型 .....	202	4.5.8	钢渣处理系统 .....	230
4.4.3	测试探头 .....	203	4.5.9	含尘污水处理系统 .....	235
4.4.4	副枪的传动及其控制系统 .....	203	4.6	转炉炼钢辅助设备 .....	236
4.4.5	副枪测温、定碳 .....	206	4.6.1	钢包车及渣罐车 .....	236
4.5	烟气净化及回收处理设备 .....	207	4.6.2	修炉车 .....	237
4.5.1	烟气、烟尘的性质 .....	208	4.6.3	炉底车 .....	240
4.5.2	烟气、烟尘净化回收系统主要设备 .....	210	4.6.4	喷补机 .....	240
4.5.3	风机与放散烟囱 .....	221	4.6.5	拆炉机 .....	242
<b>第5章 转炉炼钢技术经济指标 .....</b>					<b>244</b>
5.1	转炉炼钢技术经济指标 .....	244	应用 .....		
5.1.1	生产率 .....	244	5.2.3	发挥系统节能的作用 .....	254
5.1.2	质量 .....	246	5.3	转炉炼钢工艺改进技术 .....	259
5.1.3	品种 .....	246	5.3.1	少渣冶炼 .....	259
5.1.4	消耗 .....	246	5.3.2	复吹转炉的强化冶炼 .....	265
5.1.5	成本与利润 .....	248	5.3.3	转炉金属炉料的最佳配比 .....	272
5.2	提高技术经济指标的措施 .....	249			
5.2.1	钢铁产业技术创新 .....	249			
5.2.2	转炉炼钢新技术的				
<b>第6章 典型钢种的生产 .....</b>					<b>275</b>
6.1	氧气转炉的特点 .....	275	6.3	钢板用钢 .....	289
6.2	型钢生产 .....	276	6.3.1	供冷轧用钢带卷用钢 .....	290
6.2.1	重轨钢 .....	276	6.3.2	冷成型用热轧高强度	
6.2.2	线材用钢 .....	284			

钢板用钢.....	291	6.5.1 纯净钢先进生产	
6.3.3 硅钢.....	294	技术.....	306
6.4 管线钢.....	300	6.5.2 国内外纯净钢的研究和	
6.4.1 对质量的要求.....	301	生产水平.....	309
6.4.2 生产工艺流程.....	302	6.5.3 我国纯净钢生产单项	
6.5 纯净钢生产.....	306	技术进步.....	310
<b>参考文献</b> .....			319

# 第 1 章 概 述

## 1.1 炼钢的基本任务

所谓炼钢，就是将废钢、铁水等炼成具有所要求化学成分的铁，并使钢具有一定的物理、化学性能和力学性能。为此，必须完成下列基本任务。钢和铁的区别见表 1-1。

表 1-1 钢和铁的区别

名称	含碳量/%	熔点/℃	特 性
生铁	2.0~4.5	1100~1200	脆而硬,无韧性,不能锻、轧,铸造特性好
钢	<2.0(工业上实用的钢中一般 $w(C) < 1.4\%$ )	1450~1500	强度高,塑性好,韧性大,可以锻、压、铸

### 1.1.1 去除杂质

去除杂质，一般是指去除钢中硫、磷、氧、氢、氮和夹杂物。

#### (1) 脱硫

硫在钢中以 FeS 的形式存在，FeS 的熔点为 1193℃，Fe 与 FeS 组成的共晶体的熔点只有 985℃。当钢中的硫含量超过 0.020% 时，在 1150~1200℃ 的热加工过程中，钢受压时造成开裂，即发生“热脆”现象。如果钢中的氧含量较高，则产生更低熔点的共晶化合物 FeO-FeS（熔点为 940℃），更加剧了钢的“热脆”现象的发生。

硫除了使钢的热加工性能变坏外，还会明显降低钢的焊接性能，引起高温龟裂，并在金属焊缝中产生许多气孔和疏松，从而降低焊缝的强度。硫含量超过 0.06% 时，会显著恶化钢的耐蚀性。

硫是连铸坯中偏析最为严重的元素。

不同钢种对硫含量有着严格的规定：非合金钢中普通质量级钢要求  $w(S) \leq 0.045\%$ ，优质级钢， $w(S) \leq 0.035\%$ ，特殊质量级钢  $w(S) \leq 0.025\%$ ，超低硫钢  $w(S) \leq 0.001\%$ 。

易切削钢常以 [S] 作为产生硫化物的介质，在切削过程中，含硫化物的钢车削时易断，常作为易加工的螺钉、螺帽、纺织机零件、耐高压零件等的材料。

### (2) 脱磷

一般情况下，磷是钢中有害元素之一。通常，磷使钢的韧性降低，可略微增加钢的强度。P 的突出危害是产生“冷脆”，在低温下， $w(P)$  越高，冲击性能（冲击功  $A_K$ ，单位为 J）降低就越大。

钢中的 P 含量允许范围：非合金钢中普通质量级钢  $w(P) \leq 0.045\%$ ，优质级钢  $w(P) \leq 0.035\%$ ，特殊质量级钢  $w(P) \leq 0.025\%$ 。普通低磷钢  $w(P) \leq 0.010\%$ ，超低磷钢， $w(P) \leq 0.005\%$ ，极低磷钢  $w(P) \leq 0.002\%$ 。但有些钢种如炮弹钢、耐腐蚀钢等，则需要加入磷元素。

### (3) 脱氧

炼钢是氧化还原过程。在吹炼过程中，向熔池吹入了大量的氧气，到吹炼终点，钢水中含有过量的氧，如果不进行脱氧，将影响其后的浇注操作。而且在钢的凝固过程中，氧以氧化物的形式大量析出，钢中也将产生氧化物非金属夹杂，降低钢的塑性和冲击韧性，使钢变脆。为此，要将钢水按不同钢种要求脱氧。

### (4) 去气（氮、氮）

① 钢中氢 炼钢炉料带有水分或由于空气潮湿，都会使钢中的含氢量增加。氢是钢中有害的元素。在钢的热加工过程中，钢中含有氢气的气孔会沿着加工方向被拉长而形成发裂，从而引起钢材的强度、塑性以及冲击韧性降低。这种现象称为氢脆。在钢的各类标准中，对氢一般不作数量上规定，但氢会使钢产生白点（发裂）、疏松和气泡缺陷。

白点是钢的致命缺陷，标准中规定有白点的钢材不准交货。在

100mm 的坯上取样打断口样，在纵断口上呈圆形或椭圆形的白色亮点（ $F=1\sim 10\text{mm}$  不等）称为白点，实为交错的细小裂纹。

因此，冶炼易产生白点等缺陷的钢种时，要特别注意原材料（尤其是石灰）的干燥清洁，冶炼时间要短，要求严格的钢种应充分发挥炉内脱碳的去气作用，再经炉外吹 Ar 或真空处理，甚至采用真空熔炼的方法，使钢中氢降到很低的水平。

② 钢中氮 氮由炉气进入钢中。当钢材由高温较快冷却时，将会发生氮化物的析出，使钢的强度、硬度上升，塑性大大降低。这种现象称之为蓝脆。钢中的氮以氮化物的形式存在，氮化物的析出速度很慢，逐渐改变着钢的性能。氮含量高的钢种，若长时间放置，将会变脆。这一现象称为“老化”或“时效”。

降低钢中 N 的方法靠脱碳沸腾，吹氢搅拌去气，真空下去气。由于氮的原子半径比较大，在铁液中扩散较慢，所以不如 H 的去除效果好。钢中残余的 N 可用 Ti、Nb、V、Al 结合生成氮化物，以消除影响。细小的氮化物有调整晶粒、改善钢质的作用。

#### (5) 控制残余有害元素

Cu、Sn、As、Sb 等残余有害元素对钢的质量和性能所造成的危害主要有：恶化钢坯及钢材的表面质量，增加热脆倾向；使低合金钢发生回火脆性；降低连铸坯的热塑性，在含氢气氛中引起应力腐蚀；严重降低耐热钢持久寿命及引起热应力腐蚀；严重恶化 IF 钢深冲性能等。国内外一些钢厂对钢中残存有害元素含量的限制“标准”见表 1-2。

表 1-2 钢中残存元素的实际含量和允许含量（质量分数） %

元素	“工业纯”钢 实际含量	“高纯”钢 实际含量	允许含量	
			一般用途钢	深冲和特殊用途钢
Cu	0.08~0.21	0.018	0.250	0.100
Sn	0.010~0.021	0.001	0.050	0.015
Sb	0.002~0.004	0.001		0.005
As	0.010~0.033	0.002	0.045	0.010
Pb			0.0014~0.0021	
Bi			0.0001~0.00015	
Ni	<0.06			0.100

## (6) 控制非金属夹杂

钢中非金属夹杂物来源如下。

a. 脱氧脱硫产物，特别是一些颗粒小或密度大的夹杂物没有及时排除。

b. 随着温度降低，硫、氧、氮等杂质元素的降解度相应下降，而以非金属夹杂物形式出现的生成物。

c. 凝固过程中因溶解度降低、偏析而发生反应的产物。

d. 固态钢相变溶解度变化生成的产物。

e. 带入钢液中的炉渣和耐火材料。

f. 钢液被大气氧化所形成的氧化物。

根据化学成分的不同，夹杂物可以分为如下几种。

a. 氧化物夹杂，即  $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  等简单的氧化物， $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$  等尖晶石类和各种钙铝的复杂氧化物，以及  $2\text{FeO-SiO}_2$ 、 $2\text{MnO-SiO}_2$ 、 $3\text{MnO-Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2$  等硅酸盐。

b. 硫化物夹杂，如  $\text{FeS}$ 、 $\text{MnS}$ 、 $\text{CaS}$  等。

c. 氮化物夹杂，如  $\text{AlN}$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{ZrN}$ 、 $\text{VN}$ 、 $\text{BN}$  等。

按照加工性能区分，夹杂物可分为以下几种。

a. 塑性夹杂，它在热加工时沿加工方向延伸成条带状，如  $\text{Fe}$ 、 $\text{MnS}$  等。

b. 脆性夹杂，它是完全不具有塑性的夹杂物，如尖晶石类型夹杂物，熔点高的氮化物。

c. 点状不变性夹杂，如  $\text{SiO}_2$  含量超过 70% 的硅酸盐、 $\text{CaS}$ 、钙的铝硅酸盐等。

① 改变夹杂物类别 通过向钢中喷吹适量的  $\text{Si-Ca}$  粉剂或喂入适量的  $\text{Si-Ca}$  线，产生液态脱氧产物 ( $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  熔点  $1550^\circ\text{C}$ )，可避免  $\text{Al}_2\text{O}_3$  产生的水口结瘤。钙处理可将带状硫化物 ( $\text{MnS}$ ) 部分或全部改性成球形硫化物 ( $\text{CaS}$ )，提高了横向性能。

稀土处理可改变夹杂物的变形能力，提高疲劳寿命。稀土处理还可控制硫化物的形态，在钢中加入适量的稀土，能使氧化物、硫

化物夹杂转变成细小分散的球状夹杂，热加工时也不会变形，从而消除了 MnS 等夹杂的危害性。

② 改变夹杂物颗粒尺寸和分布 经过合金元素的变质作用后，钢中大而集中的夹杂物转变成尺寸小且分布均匀的夹杂物，就能改善性能。

### 1.1.2 调整钢的成分

为保证钢的各种物理、化学性能，应将钢的成分调整到规定的范围之内。

#### (1) 碳

炼钢过程中要氧化脱除多余的碳，达到规定的要求。用生铁炼钢时脱碳量大 ( $>3\%$ )，这些碳被氧化成 CO，通过钢液的 CO 有较好的脱气作用。所以，在大气下炼钢时，脱碳也作为脱气的一种手段。

从钢的性质看，碳也是重要的合金元素之一，它可增加钢的强度、硬度。在不同的热处理条件下，C 改变了钢中各组织的比例，使强度增加的同时略微降低韧性指标。

#### (2) 锰

锰的冶金作用主要是消除 MnS 的热脆倾向，改变硫化物的形态和分布以提高钢质。钢中 Mn 是一种非常弱的脱氧元素，只有在 C 含量非常低、O 含量很高时才有脱氧作用，主要是协助 Si、Al 脱氧，提高它们的脱氧能力和脱氧量。锰可略微提高钢的强度。

#### (3) 硅

硅是钢中最基本的脱氧元素。普通钢中含硅  $0.17\% \sim 0.37\%$ ，是冶炼镇静钢的合适成分。该脱氧剂便宜。硅还能提高钢的力学性能，在  $w(\text{Si}) \leq 1\%$  时，每增加  $0.1\%$ ，约使  $\sigma_b$  提高  $9\text{MPa}$ 。

#### (4) 铝

炼钢生产中，铝是强脱氧元素，大部分钢均采用铝或含铝的复合脱氧剂脱氧。它与氧、氮有很大的亲和力，首先表现为固氮作用；其次，当铝加入钢中时，能细化晶粒，抑制碳钢的时效，提高钢在低温下的韧性。

### 1.1.3 调整钢液温度

铁水温度一般只有 1300℃ 左右，而钢水温度必须高于 1500℃ 才不至于凝固。钢水脱碳、脱磷、脱硫、脱氧、去气、去非金属夹杂等过程都需在液态条件下进行。此外，为了将钢水浇注为铸坯（或钢锭），也要求出钢温度在 1600℃ 以上，才能顺利进行。为此，在炼钢过程中，需对金属料和其他原料加热升温，使钢液温度达到出钢要求。

还应指出，在完成炼钢基本任务的同时，也应注意维护炉体，提高炉子寿命，全面完成炼钢的各项技术经济指标。

炼钢的基本任务也可以归纳为“四脱”（脱碳、氧、磷和硫）、“二去”（去气和去夹杂）、“二调整”（调整成分和温度）。采用的主要技术手段为：供氧、造渣、升温、加脱氧剂和合金化操作。

## 1.2 氧气顶吹转炉炼钢过程简述

### 1.2.1 吹炼过程的操作步骤

上炉钢出完并倒出炉渣后，检查炉体正常，堵好出钢口，然后进行下一炉操作。

把转炉向加料一侧倾动 30°~45°，用起重机将铁水和废钢装入炉内，装料顺序一般是先装废钢后兑铁水，防止因废钢含有水分而可能引起的爆炸，也可以先兑铁水后加废钢，减缓废钢对炉底的撞击。摇正炉体开始降枪吹氧，与此同时从炉口上方的散状料系统加入第一批造渣材料（石灰、白云石、萤石、铁皮或铁矿石等），加入量约为全部造渣料的 1/2~1/3，为了迅速化渣，应采用高枪位操作，增加渣中的氧化铁含量，约 3~4min，第一批渣料熔化以后，加入第二批渣料，加入量为剩余料的 1/3~1/2。第二批料也可以视炉渣熔化情况分成几小批加入，视炉渣熔化情况决定每小批加入量，每次不宜加入太多，维持炉温均匀上升，防止产生爆发性碳、氧反应引起喷溅。根据判断确定钢水含碳量和温度同时到达终点时，立即提枪停止吹氧，当氧枪提出炉口后倒炉测温，取样，进



行炉前化学成分快速分析。钢水温度用装有铂-铑快速热电偶的测温枪插入钢液内测量，也可以通过秒表测量样模内钢水的结膜时间确定。炉前化验室主要分析钢水中的磷、硫含量，含碳量通过钢花的分叉多少凭经验判断确定。当钢水温度和成分合格后便组织出钢。出钢过程中向钢包内加入铁合金进行脱氧和合金化操作，然后镇静或送去炉外精炼，之后进行连铸。

### 1.2.2 吹炼过程中元素变化规律和炉液成分的变化特点

氧氣頂吹轉爐煉鋼的一個顯著特點是熔池攪拌激烈，反應速度快，一般吹氧時間只需十分鐘，在這短短的十分鐘內完成脫碳、脫磷、脫硫、去氣、去夾雜物、硅、錳氧化和升溫等全部冶金反應。金屬液中各種元素的氧化順序取決於各種元素與氧的親和力大小，親和力隨溫度而變化：

1400℃以下時氧化順序為：Si、V、Mn、C、P、Fe；

1400~1530℃時氧化順序為：Si、C、V、Mn、P、Fe；

1530℃以上時為：C、Si、V、Mn、P、Fe。

一般根據脫碳速度的變化規律將吹煉過程分為三期。

#### (1) 吹煉前期，也稱硅錳氧化期

開吹後的3~4min內，熔池平均溫度通常低於1400℃，此期主要是硅、錳氧化，但是由於在一次反應區溫度很高，因此碳也會被少量氧化。

由於硅、錳的迅速氧化，初期渣中二氧化硅和氧化錳含量較高，爐渣鹼度較低。鐵的氧化及廢鋼帶入的鐵銹等使渣中氧化鐵含量很快達到最高值。隨著加入的石灰逐漸熔化和硅逐漸氧化完了，渣中CaO含量不斷增加，SiO<sub>2</sub>含量相應降低，因而爐渣鹼度逐漸升高。

由於前期熔池溫度比較低和鹼性氧化渣的迅速形成，正好符合脫磷反應的熱力學條件，所以前期渣具有較強的脫磷能力，鐵水中的磷在前期能被大量氧化，因此應採用高槍位操作，以增加渣中氧化鐵含量，快速成渣，提高前期脫磷率。

#### (2) 吹煉中期，也稱碳氧化期