

全国技工学校机械类通用教材

# 金属材料与热处理

(第三版)



中国劳动出版社

本书是根据劳动部培训司 1993 年修订的《金属材料与热处理教学大纲》修订的。

本书主要讲述了炼铁和炼钢、金属的性能、金属的结构与结晶、金属的塑性变形和再结晶、铁碳合金、碳素钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金、非金属材料、金属的腐蚀与防腐等。附录中收集了有关金属材料与热处理方面常用的资料与数据。

本书是技工学校机械类冷、热加工工种的教材，也可作机械类中级技术工人的培训教材和职业学校机械类的教材。还可作有关技术人员的参考书。

原书由陈明深、轲景泉、蔡月珍等编写，钟邦彦、刘万远审稿，主编陈明深、主审钟邦彦。第二版由陈明深修订，俞焱、陈成竑审稿。

第三版由蔡月珍、曹聿修订，王有先、曹万正、王庆翔审稿，王有先主审。

## 金属材料与热处理

(第三版)

劳动部培训司组织编写

责任编辑：薛连通

中国劳动出版社出版

(北京市惠新东街 1 号)

北京印刷三厂印刷

新华书店总店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 254 千字

1985 年 4 月北京第 1 版 1990 年 3 月北京第 2 版

1993 年 6 月北京第 3 版 1996 年 2 月北京第 23 次印刷 印数：200000 册

ISBN 7-5045-1111-0/TG·096 (课) 定价：8.20 元

## 第一版 前 言

为了适应技工学校逐步转向以招收初中毕业生为主的教学要求，我局于一九八三年七月委托部分省、市劳动人事厅（劳动局），分别组织编写了适合初中毕业生使用的技工学校机械类通用工种各课程所需的教材。这次组织编写的有语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、金属材料与热处理、电工学、机械制图（配套使用的有机械制图习题集）、车工工艺学（配套使用的有车工工艺学习题集）、车工生产实习、钳工工艺学、钳工生产实习、铸工工艺学、铸工生产实习、铆工工艺学、机械制造工艺基础等十七种。其中语文、数学、物理、化学非机械类工种也可以选用。其他课程的教材，以后将陆续组织编写。

上述十七种教材，是按照党的教育方针，本着改革的精神组织编写的。在内容上，力求做到理论与实际相结合，符合循序渐进的要求，从打好基础入手，突出机械类技工学校生产实习教学的特点，密切联系我国机械工业的生产实际，并且尽量反映工业生产中采用新材料、新设备、新技术、新工艺的成就，以便培养出来的学生，能够具有一定的文化知识，比较系统地掌握专业技术理论和一定操作技能，为今后的进一步提高打下基础。

这次组织编写教材的工作，由于时间比较紧促，经验不足，缺点和错误在所难免，希望使用教材的同志提出批评和改进意见，以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

一九八四年

## 第二版 说明

全国技工学校机械类通用教材和配套使用的习题集，自 1984 年相继问世以来，对技工学校的教学和企业的工人培训发挥了重要作用，受到了广大读者的欢迎。但是通过教学实践，也反映出教材中有些内容偏多、偏深、偏难，联系生产实际不够；教材之间分工、配合与协调不够；还有某些差错。为了进一步提高教学质量，适应技工学校和职业培训的需要，我司会同劳动人事出版社组织原编审人员和有关人员教材进行了修订。

这次修订教材，强调要准确把握培养目标的基本业务技术要求，注意结合实际，精心选材；努力协调各门教材的关系，力争分工更为合理，衔接配合更为紧密；尽量减少差错。

组织修订教材的工作，和前段组织编审教材的工作一样，得到了北京、上海、天津、辽宁、黑龙江、吉林、陕西、四川、山东、江苏、湖南、湖北、广东、广西、新疆等市区劳动局（厅）的大力支持和协助，我们表示感谢。

修订后的教材还可能存在缺点和不足，欢迎使用教材的同志和读者提出意见。

劳动部培训司

1989 年 8 月

## 第三版 说 明

为适应经济建设及技工学校教学改革的需要，我们对全国技工学校机械类通用教材（第二版）陆续进行修订。这次修订工作是在广泛听取有关省市劳动厅（局）教学管理部门及技工学校教师的意见基础上，经过专题分析和研讨，确定每门课程的修订重点的。修订工作按照以中级工的技术等级标准为依据的原则，采取调整课程内容，充实新的技术成果，采用新的技术标准，进一步促进理论与实践的密切结合，突出技能训练，增强教材的适应性和实用性，以便更符合企业对中级技术工人培养目标的要求。

这次修订工作得到了北京、上海、天津、辽宁、黑龙江、陕西、四川、山东、江苏、湖北、湖南、广东、广西、河南、新疆等省、市、自治区劳动局（厅）的大力支持和协助，对此我们表示感谢。

欢迎使用教材的广大师生和读者提出意见。

**劳动部培训司**

1993年5月13日

## 本书常用符号表

- $\sigma$  —— 应力 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_s$  —— 屈服点 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{r0.2}$  —— 规定残余伸长应力 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_b$  —— 抗拉强度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\delta$  —— 伸长率 (%)  
 $\psi$  —— 断面收缩率 (%)  
HBS (W) —— 布氏硬度  
HRC —— 洛氏硬度 C 标  
HV —— 维氏硬度  
 $A_k$  —— 冲击吸收功 (J)  
 $a_k$  —— 冲击韧度 (J/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{-1}$  —— 对称循环疲劳强度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\text{Å}$  —— 埃 (10<sup>-8</sup>cm)  
 $\Delta t$  —— 过冷度 (°C)  
 $L$  —— 液体  
 $F$  —— 铁素体; 外力 (N)  
 $A$  —— 奥氏体  
 $F_{c3}C$  —— 渗碳体 (也用  $C_m$  表示)  
 $P$  —— 珠光体  
 $Ld$  —— 高温莱氏体  
 $L'd$  —— 低温莱氏体  
 $A_{c1}$  —— 铁碳合金加热的下临界点 (°C)  
 $A_{c3}$  —— 亚共析钢加热上临界点 (°C)  
 $A_{cm}$  —— 过共析钢加热上临界点 (°C)  
 $A_{r1}$  —— 铁碳合金冷却的下临界点 (°C)  
 $A_{r3}$  —— 亚共析钢冷却上临界点 (°C)  
 $A_{rcm}$  —— 过共析钢冷却上临界点 (°C)  
 $v$  —— 冷却速度  
 $S$  —— 索氏体; 面积 (mm<sup>2</sup>)  
 $T$  —— 托氏体  
 $B$  —— 贝氏体

$M$  —— 马氏体  
 $M_s$  —— 上马氏体点 ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $M_f$  —— 下马氏体点 ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $d$  —— 天  
 $h$  —— [小] 时  
 $\text{min}$  —— 分  
 $s$  —— 秒  
 $N$  —— 牛 [顿]  
 $J$  —— 焦 [耳]

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 序言                       | (1)  |
| 第一章 炼铁和炼钢                | (3)  |
| § 1. 1 金属材料的分类           | (3)  |
| § 1. 2 钢铁的冶炼             | (4)  |
| 习题一                      | (8)  |
| 第二章 金属的性能                | (9)  |
| § 2. 1 金属的物理性能和化学性能      | (9)  |
| § 2. 2 金属的力学性能           | (12) |
| § 2. 3 金属的工艺性能           | (24) |
| 习题二                      | (25) |
| 第三章 金属的结构与结晶             | (27) |
| § 3. 1 金属的晶体结构           | (27) |
| § 3. 2 纯金属的结晶            | (30) |
| § 3. 3 金属的同素异构转变         | (33) |
| 习题三                      | (35) |
| *第四章 金属的塑性变形和再结晶         | (36) |
| § 4. 1 金属的塑性变形           | (36) |
| § 4. 2 冷塑性变形对金属的性能与组织的影响 | (38) |
| § 4. 3 回复与再结晶            | (40) |
| § 4. 4 金属的热塑性变形          | (42) |
| 习题四                      | (43) |
| 第五章 铁碳合金                 | (44) |
| § 5. 1 合金的组织             | (44) |
| § 5. 2 二元合金相图            | (45) |
| § 5. 3 铁碳合金相图            | (48) |
| 习题五                      | (61) |
| 第六章 碳素钢                  | (63) |



|              |                         |              |
|--------------|-------------------------|--------------|
| § 6. 1       | 钢中的常存元素 .....           | (63)         |
| § 6. 2       | 碳素钢的分类 .....            | (64)         |
| § 6. 3       | 碳素钢的牌号及用途 .....         | (64)         |
| * § 6. 4     | 钢的火花鉴别 .....            | (68)         |
| 习题六 .....    |                         | (71)         |
| <b>第七章</b>   | <b>钢的热处理 .....</b>      | <b>(72)</b>  |
| § 7. 1       | 钢在加热时的转变 .....          | (72)         |
| § 7. 2       | 钢在冷却时的转变 .....          | (74)         |
| § 7. 3       | 退火与正火 .....             | (78)         |
| § 7. 4       | 钢的淬火 .....              | (81)         |
| § 7. 5       | 钢的回火 .....              | (85)         |
| § 7. 6       | 钢的表面热处理 .....           | (87)         |
| § 7. 7       | 零件的热处理分析 .....          | (91)         |
| 习题七 .....    |                         | (93)         |
| <b>第八章</b>   | <b>合金钢 .....</b>        | <b>(95)</b>  |
| § 8. 1       | 合金元素在钢中的作用 .....        | (95)         |
| § 8. 2       | 合金钢的分类和牌号 .....         | (96)         |
| § 8. 3       | 合金结构钢 .....             | (97)         |
| § 8. 4       | 合金工具钢 .....             | (101)        |
| § 8. 5       | 特殊性能钢 .....             | (104)        |
| 习题八 .....    |                         | (106)        |
| <b>第九章</b>   | <b>铸铁 .....</b>         | <b>(107)</b> |
| § 9. 1       | 铸铁的石墨化 .....            | (107)        |
| § 9. 2       | 灰铸铁 .....               | (108)        |
| § 9. 3       | 可锻铸铁 .....              | (110)        |
| § 9. 4       | 球墨铸铁 .....              | (112)        |
| § 9. 5       | 蠕墨铸铁 .....              | (114)        |
| 习题九 .....    |                         | (115)        |
| <b>第十章</b>   | <b>有色金属及硬质合金 .....</b>  | <b>(116)</b> |
| § 10. 1      | 铜及其合金 .....             | (116)        |
| § 10. 2      | 铝及其合金 .....             | (120)        |
| * § 10. 3    | 钛及其合金 .....             | (124)        |
| § 10. 4      | 轴承合金 .....              | (126)        |
| § 10. 5      | 硬质合金 .....              | (128)        |
| 习题十 .....    |                         | (130)        |
| <b>*第十一章</b> | <b>金属的腐蚀及防腐方法 .....</b> | <b>(131)</b> |
| § 11. 1      | 金属的腐蚀 .....             | (131)        |
| § 11. 2      | 金属的防腐方法 .....           | (133)        |
| 习题十一 .....   |                         | (134)        |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| <b>第十二章 非金属材料</b> .....   | (135) |
| § 12. 1 高分子材料 .....       | (135) |
| § 12. 2 陶瓷材料 .....        | (140) |
| § 12. 3 复合材料 .....        | (142) |
| <b>附录</b> .....           | (144) |
| 附录 I 金属热处理工艺的分类及代号 .....  | (144) |
| 附录 II 压痕直径与布氏硬度对照表 .....  | (147) |
| 附录 III 黑色金属硬度及强度换算表 ..... | (149) |
| 附录 IV 常用钢的临界点 .....       | (150) |
| 附录 V 钢铁产品涂色标志表 .....      | (152) |

# 序 言

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料。它之所以能获得广泛的应用，不仅是由于它的来源丰富，而且还由于它具有优良的性能。此外，金属材料品种多，性能各异，可以通过不同的加工方法（例如热处理），使金属材料的某些性能获得进一步的改善，从而扩大其使用范围。

作为机械制造业的技术工人，无论从事机械制造或维修工作，都会遇到金属材料的选用及热处理问题。在生产中，如果选材不当，或者零件的热处理工艺选得不合理，将使零件不能满足使用要求，而使设备过早地损坏，造成很大的经济损失。为此，我们必须掌握常用金属材料的成分、加工方法、组织、性能、用途之间相互联系的基本知识，并运用这些知识去解决实际生产中遇到的具体问题。这就是我们学习本课程的目的。

《金属材料与热处理》是一门技术基础课，它的内容主要包含以下几个部分：

## 1. 钢铁材料的冶炼

介绍金属材料的概念、分类及其生产过程。重点放在钢铁材料的生产过程。

## 2. 金属的性能

介绍金属的物理、化学、力学及工艺等性能。

## 3. 金属学的基础知识

介绍金属和合金的晶体构造及其结晶过程，以及金属的成分、温度和组织之间的相互关系及变化规律。

## 4. 钢的热处理

介绍热处理的基本理论及各种热处理工艺的目的和方法。

## 5. 常用的金属材料

介绍碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金等金属材料的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途。

另外还简单介绍常用的非金属材料、金属的腐蚀和防蚀方法及钢的火花鉴别等。

金属材料的使用在我国具有悠久的历史。根据大量出土文物的考证，表明我国在公元前16世纪以前就开始使用金属材料。殷商时代（公元前16世纪～前1066年），在生产工具、武器、生活用具及礼器等方面已大量使用了青铜。如重达875kg的司母戊大鼎，此鼎不仅体积庞大，而且花纹精巧，造型美观，说明当时已具有高超的冶铸技术和精湛的艺术造诣。我国是生产铸铁最早的国家，公元前4～5世纪，春秋战国时期已出现人工冶铁和铸铁的铸造。在

战国后期，铸铁件生产得到了迅速发展。与国外相比，我国铸铁生产比欧洲约早一千多年。

在热处理技术方面，根据历史资料，远在西汉时就有“水与火合为粹”<sup>①</sup>。东汉时有“清水淬其锋”等有关热处理技术的记载。出土的文物有西汉的钢剑、书刀等。经金相检验，发现其内部组织接近于淬火马氏体及渗碳组织。这说明我国在西汉时已相继采用各种热处理方法，并已具有相当高的水平。

总之，在世界金属材料的发展使用中，我国古代劳动人民具有极大的创造力和智慧，写下了光辉的篇章。

人类社会的发展，除石器时代外，与金属材料的应用与发展有密切关系。尤其近数十年来，金属材料等工程材料，已成为生产和现代科学技术发展的重要物质基础。例如能源开发，深井和海上钻井以及产生能量的核反应堆，都和现代材料密切相关。在建筑工业、摩天大楼和高速公路的巨大网络中都可看到现代金属材料的应用；在生物医药领域，金属材料的应用，使机体修复和器官再造，达到了新的水平。毫无疑问，材料的重要性已渗透到国民经济的各个领域，在许多场合，科学和技术的继续发展都依赖于金属等现代材料的发展。

《金属材料与热处理》是一门与生产实践联系比较密切的课程，也是学习各专门工艺学与生产实习课的基础。因此在学习时，不但要努力学好基础理论知识，而且还要重视理论联系实际，重视生产实习、试验和参观，不断培养分析和解决有关生产实际问题的能力。

本教材采用了我国法定计量单位，也应用了到1992年为止出版的最新国家标准及有关专业术语。

最后要感谢给予编者帮助的许多老师和朋友们，他们对修订本教材提供了许多宝贵的修改意见及建议，使本教材在使用中逐步得到完善和提高。

---

<sup>①</sup>“粹”与“淬”为同义字。现都用“淬”。

# 第一章 炼铁和炼钢

钢铁是现代工农业生产中使用最广的金属材料。对机械制造工作者来说，了解钢铁材料的生产过程具有非常重要的意义。

## § 1. 1 金属材料的分类

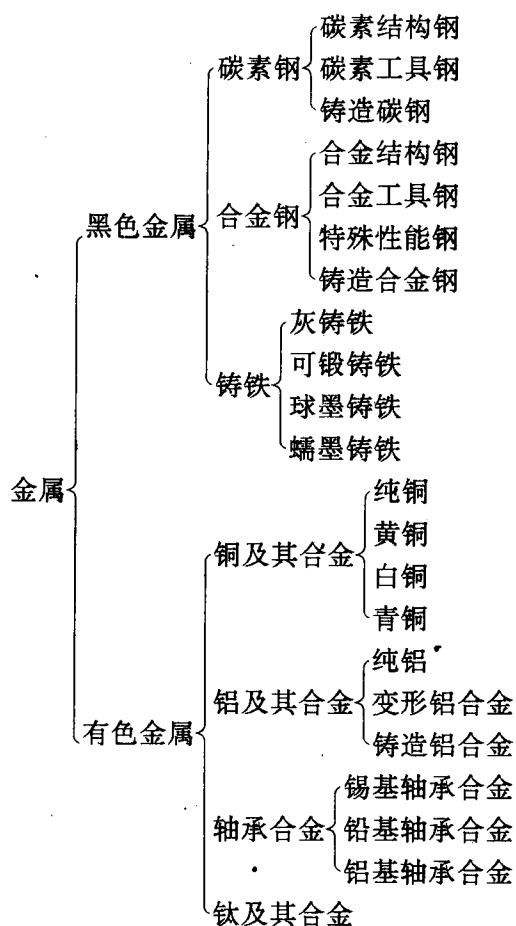
金属是指具有良好的导电性和导热性、有一定的强度和塑性、并具有光泽的物质，如铁、铝和铜等。金属材料是由金属元素或以金属元素为主要材料、并具有金属特性的工程材料。它包括纯金属和合金。

金属材料，尤其是钢铁材料在国民经济及其它方面都有重要作用，这是由于它具有比其它材料优越的性能，如物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能。它能够适应生产和科学技术发展的需要。

金属（或金属材料）通常分为黑色金属和有色金属两大类：

1. 黑色金属 以铁或以它为主而形成的物质，称为黑色金属，如钢和生铁。
2. 有色金属 除黑色金属以外的其它金属，称为有色金属，如铜、铝和镁等。

在机械制造工业中，常用的金属材料如下表所列。



## § 1. 2 钢铁的冶炼

钢和铁都是主要由铁和碳两种元素组成的合金，其区别只在于含碳量的多少，理论上将含碳量在 2.11% 以下的合金称为钢，以上的称为铁。

生铁由铁矿石经高炉冶炼而得，它是炼钢和铸造的原材料。

现代的炼钢方法是以生铁为主要原料，装入高温的炼钢炉中，通过氧化作用降低生铁中的含碳量而炼成钢水，铸成钢锭后，再经轧制成钢材供应。少数钢锭经锻造成锻件后供应。

图 1—1 为钢铁材料生产过程示意图。

### 一、炼铁

铁的化学性质活泼，自然界中的铁，都是以含铁化合物形式存在，如  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{FeCO}_3$  等。炼铁用的多数是铁的氧化物。含铁比较多并且具有冶炼价值的矿物称为铁矿石。炼铁就是从铁矿石中提取铁及其有用元素形成生铁的过程。

现代钢铁工业产生铁的主要方法是高炉炼铁。

1. 高炉炼铁的炉料 高炉炼铁的炉料主要是铁矿石、燃料和熔剂。

(1) 铁矿石 铁矿石的作用是提供生铁的主要成分——铁元素。常用的铁矿石有磁铁矿 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、赤铁矿 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、褐铁矿 ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) 和菱铁矿 ( $\text{FeCO}_3$ ) 等。铁矿石中除含

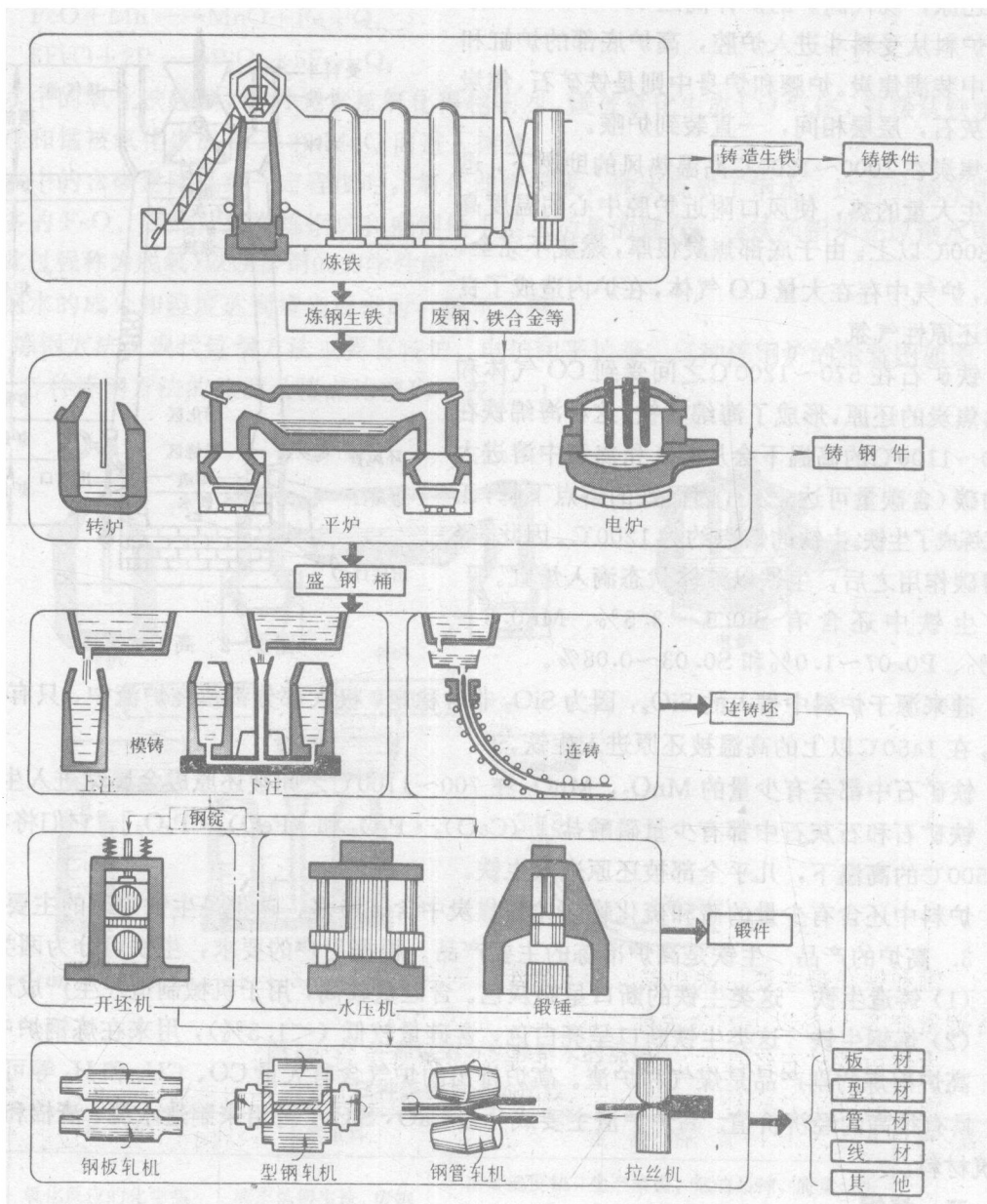


图 1-1 钢铁材料生产过程示意图

铁的氧化物外，还有脉石（ $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ ）等。

(2) 燃料 炼铁的主要燃料是焦炭。焦炭在炼铁过程起着双重作用：一方面，焦炭燃烧为炼铁过程的物理、化学反应提供热量。另一方面，焦炭中的碳及其燃烧产物——CO 是铁及其它元素还原的还原剂。

(3) 熔剂 矿石中的脉石及燃料中的灰分（主要含  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）熔点高，加入熔剂使它组成熔点低、流动性好的熔渣，并浮在铁水表面，与铁水分离。

常用的熔剂是石灰石。

2. 高炉熔铁过程 炼铁所用的主要设备是高炉，如图 1—2 所示。为了使铁矿石在炉内充分还原，现代高炉的炉体高达 30~40m 以上。

炉料从受料斗进入炉腔，高炉底部的炉缸和炉腹中装满焦炭。炉腰和炉身中则是铁矿石、焦炭和石灰石，层层相间，一直装到炉喉。

焦炭在 1000~1200℃ 高温热风的助燃下，迅速产生大量的热，使风口附近炉腔中心的温度高达 1800℃ 以上。由于底部焦炭很厚，燃烧不完全。因此，炉气中存在大量 CO 气体，在炉内造成了良好的还原性气氛。

铁矿石在 570~1200℃ 之间受到 CO 气体和红热焦炭的还原，形成了海绵状铁。这种海绵铁在 1000~1100℃ 的高温下会从 CO 和焦炭中溶进大量的碳（含碳量可达 4%），因而铁的熔点下降，于是就炼成了生铁。生铁的熔点约为 1200℃。因此，经过溶碳作用之后，生铁以液体状态滴入炉缸。

生铁中还含有 Si 0.5~3.5%、Mn 0.5~1.5%、P 0.07~1.0% 和 S 0.03~0.08%。

硅来源于炉料中带入的 SiO<sub>2</sub>，因为 SiO<sub>2</sub> 非常稳定，极大部分都留在炉渣中，只有少量的 SiO<sub>2</sub> 在 1450℃ 以上的高温被还原进入生铁。

铁矿石中都会有少量的 MnO<sub>2</sub>，MnO<sub>2</sub> 在 700~1100℃ 之间被还原成金属锰进入生铁。

铁矿石和石灰石中都有少量磷酸盐 [ (CaO)<sub>3</sub> · P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 (FeO)<sub>3</sub> · P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ]，它们将在 1200~1500℃ 的高温下，几乎全部被还原进入生铁。

炉料中还含有少量的硫和硫化物，尤其焦炭中含硫最多，这也是生铁中硫的主要来源。

3. 高炉的产品 生铁是高炉冶炼的主要产品。根据用户的要求，生铁可分为两类：

(1) 铸造生铁 这类生铁的断口呈暗灰色。含硅量较高，用于机械制造厂生产成形铸件。

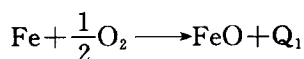
(2) 炼钢生铁 这类生铁断口呈亮白色，含硅量较低 (<1.5%)，用来在炼钢炉中炼钢。

高炉冶炼的副产品是煤气和炉渣。高炉排出的炉气含有大量 CO、CH<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub> 等可燃性气体，具有很高的经济价值。高炉炉渣主要成分是 CaO、SiO<sub>2</sub>，可用来制造水泥、渣棉和渣砖等建筑材料。

## 二、炼钢

现代炼钢方法是以生铁为主要原料，首先把生铁熔化成液体，将它倾入高温的炼钢炉中，利用氧化作用将碳及其它元素去除到规定范围之内，就得到了钢。

1. 炼钢过程 炼钢的基本过程是氧化。向铁水中吹入纯氧或加入铁矿石，在炼钢炉内铁与氧相互作用，铁被氧化。



生成的 FeO 溶解在铁水中，FeO 与铁水中其它元素产生一系列氧化反应：

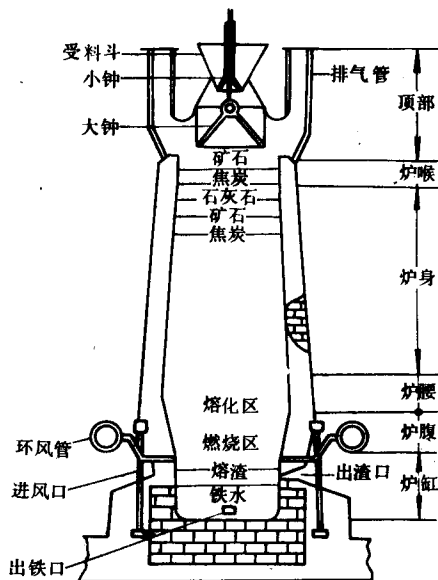
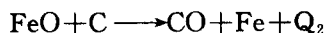
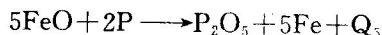
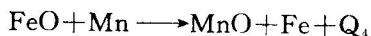
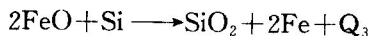


图 1—2 高炉示意图





铁水中的氧化铁越多，各种元素被氧化得越剧烈。碳被氧化生成 CO 气体，直接从铁水中逸出；硅和锰被氧化生成 SiO<sub>2</sub> 和 MnO 而进入熔渣。

铁水中的含碳量降低到一定程度时，氧化即告完成，铁水炼成了钢水。这时的钢水中剩余相当多的 FeO。因此，要在炼钢炉和盛钢桶中加入适量的锰铁、硅铁和铝来还原钢水中的 FeO，(此过程称为脱氧)以改善钢的力学性能。

当钢水的成分和温度达到规定要求时，便可出钢。

2. 炼钢方法 现代炼钢方法主要有转炉、电炉和平炉等。三种炼钢炉的示意图如图 1—3 所示。各种炼钢方法的热源及特点比较列于表 1—1。

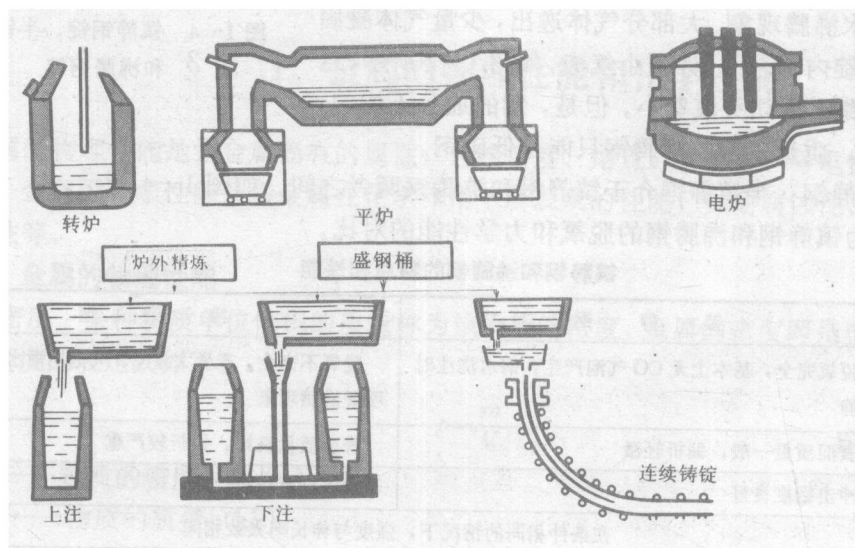


图 1—3 各种炼钢方法和钢水的浇铸

表 1-1

三种炼钢方法的比较

| 炼钢方法 | 热 源       | 主要原料      | 主 要 特 点                                   | 产 品      |
|------|-----------|-----------|---|----------|
| 氧气转炉 | 氧化反应的化学热  | 液态炼钢生铁、废钢 | 冶炼速度快，生产率高。钢的品种、质量与平炉大致相当                 | 碳素钢和低合金钢 |
| 平 炉  | 煤气、天然气、重油 | 炼钢生铁、废钢   | 容量大，炉料中废钢比例大，冶炼时间长。工艺过程容易控制               |          |
| 电弧炉  | 电 能       | 废钢        | 炉料通用性大。炉内气氛可以控制，脱氧良好，能冶炼难熔合金钢。钢的质量优良，品种多样 | 合金钢      |

炼钢炉根据炉衬耐火材料性质的不同，可分为酸性炉（炉衬主要成分为 SiO<sub>2</sub>）和碱性炉（炉衬主要成分为 MgO、CaO）等两种。现在大多采用碱性炉炼钢。