

新版钢铁技术讲座



# 炼铁与炼钢

日本钢铁协会编

上海科学技术出版社

TFV  
2  
3

新版钢铁技术讲座

第 1 卷

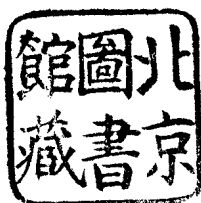
# 炼 铁 与 炼 钢

日 本 钢 铁 协 会 编

上海宝山钢铁总厂资料室翻译组 译

赵禾生 王 喆 校

上海科学技术出版社



A779239

## 内 容 提 要

日本《新版钢铁技术讲座》共五卷: (一)炼铁与炼钢; (二)钢材生产; (三)钢材的性能与试验; (四)钢材加工; (五)铸铁与铸钢。

本书是讲座的第1卷, 是一本介绍钢铁冶炼的专著。内容共分三部分: (一)炼铁法; (二)铁合金生产; (三)炼钢法。

第一部分介绍了高炉炼铁的现状, 讨论了高炉炉内反应、原料、设备和冶炼操作; 此外还探讨了非高炉炼铁的原理, 介绍了各种非高炉炼铁技术。第二部分介绍了铁合金的规格、种类和用途, 从原料、设备、工艺等方面讨论了各种铁合金的生产方法。最后一部分则介绍了氧气转炉、电炉等各种炼钢方法, 铸锭和连续铸钢方法, 以及炉外精炼、电渣重熔等各种钢的特殊处理方法。

本书内容较全, 取材较新, 可供从事钢铁生产和科研的工程技术人员和技术工人, 以及冶金专科院校师生参考。

上海工业大学徐匡迪、倪德林两同志参加了本书译稿的审校工作。

新版钢铁技术讲座

第 1 卷

炼 铁 与 炼 钢

日本钢铁协会 编

上海宝山钢铁总厂资料室翻译组 译

赵禾生 王 喆 校

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 413,000

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数 1—4,500

书号: 15119·2097 定价: (科四) 1.65 元

## 序

日本钢铁协会于1959年(昭和34年)以钢材用户为对象,以讲述材料的正确选择及合理使用为目的,出版了一套钢铁技术讲座,共五卷。在刚出版的时候,日本钢铁工业的粗钢产量仅为1663万吨,勉强达到法国的水平。但1963年则达到了3400万吨,超过英国、西德跃居世界第三位。以后又取得了举世共知的惊异发展,今天日本粗钢产量已超过1亿吨,成为居世界领先地位的钢铁生产国之一。

在这钢铁工业的发展时期,我们认为作为一本珍贵的参考书,本书的出版不仅对钢铁工业的同行们,就是对其他有关企业来说,也是有所裨益的。

然而,如上所述,此后钢铁技术的发展是惊人的,原来讲座的内容在目前已显得陈旧落后了,有关读者也迫切希望能修订讲座内容。因此,为满足读者的要求,现邀请活跃在第一线的科技工作者重新执笔,修订内容,作为新版钢铁技术讲座出版,共五卷。

日本钢铁工业还面临着许多难题,为解决这些难题,今后钢铁产业界及钢铁材料用户仍须共同努力。我们确信,本书的出版对今后钢铁技术的发展和普及对钢铁的新认识,也是大有帮助的。

本书用途广泛,不仅可供从事于钢铁工业的技术工作者参考,而且可供钢材用户及专科学校作教学材料或贵重的参考书使用。若进而能对日本各工业部门的发展有所帮助的话,则更感荣幸了。

最后,在本讲座发行之际,谨向以编辑委员长东京大学松下教授为首的各位编辑委员及作者们致意,对他们的共同努力,表示衷心的感谢!

日本钢铁协会会长 小林佐三郎

1976年9月

## 序

本书为50年代后期出版的五卷《钢铁技术讲座》的新版,是为适应70年代的需要而重新修订出版的。这期间,关于钢铁科学技术的惊人发展暂且不谈,但就我国钢铁工业在世界经济中所起的作用,以及在进入80年代将要承担的责任来说,也许是应该正视的现实。

本书初版的问世,是当时日本钢铁协会会长盐泽正一先生,及钢铁技术讲座编辑委员长伊藤正夫领导有关人士共同努力的结果。我们的先辈为我们树立了关于钢铁材料“实用参考书”的样板。去年以来,由于有关方面的迫切要求,决定对书稿进行修订,但出版宗旨依然不变,即以钢材用户为对象,以讲述材料的正确选择和合理使用为目的,为了适应当前社会节约资源和能源的需要,力求使工业界人士对钢铁加深认识,同时也考虑使本书能作为高等工业专科学校或大学教科书使用。

内容编排方面,第1~4卷的标题与初版相同,但第5卷则根据铸钢、铸铁的现状作了改动。第1卷的重点在于掌握钢铁生产的全貌,叙述炼铁技术的发展、直接炼铁、从平炉到转炉的变迁、连续铸钢、钢的特殊处理等。第2卷叙述钢铁成品化过程中的压延和表面加工。第3卷介绍关于钢铁性能的系统概念。第4卷则以钢材二次加工为中心进行讲述。总之,本书以避免高深的理论,讲述通俗易懂的内容为宗旨。

值得庆幸的是,由于得到各专业委员会主编、编委们的积极协助,以及第一线的各位执笔者的共同努力,本书出版计划进行得很顺利。在本书发行之际,协会编辑及地人书店有关人员,无不感到喜悦。

《新版钢铁技术讲座》编辑委员长 松下幸雄

1976年9月

# 目 录

## 第一篇 炼 铁 法

### 第一章 高炉炼铁法 .....1

新日本钢铁公司 中村直人

#### 一、概述 .....1

##### (一)人造材料与钢铁 .....1

1. 钢铁在人造材料中的地位 .....1

2. 金属材料中的钢铁 .....1

##### (二)钢铁的历史与钢铁联合企业 .....3

1. 钢铁的历史 .....3

2. 钢铁联合企业 .....4

##### (三)钢铁联合企业中的炼铁工程 .....9

1. 炼铁工程的设备和物料流程 .....9

2. 炼铁工艺的技术意义 .....11

##### (四)目前发展炼铁工业的条件 .....13

1. 资源 .....13

2. 厂址的选择 .....16

3. 劳动力 .....16

4. 与炼铁有关的工业 .....17

5. 日本钢铁工业在世界上的地位 .....17

##### (五)高炉炼铁法的技术特点 .....19

1. 高炉炼铁法的特点 .....19

2. 科学探讨 .....19

3. 今后的方向 .....19

#### 二、高炉炉内反应 .....20

##### (一)高炉炉内状况 .....20

1. 概述 .....20

2. 高炉内各区域的功能 .....20

3. 高炉内各区域的状况 .....21

##### (二)高炉内各区域的现象 .....21

1. 相向运动 .....21

2. 热交换 .....25

3. 反应 .....26

4. 炉内纵向分布 .....29

5. 高炉的生产能力 .....29

##### (三)固体炉料和煤气的变化 .....30

1. 固体炉料的变化 .....30

2. 熔融物的性质 .....30

3. 煤气的变化 .....31

4. 特殊元素的动态 .....32

##### (四)物料平衡和热平衡 .....32

1. 高炉整体的平衡 .....32

2. 区域热平衡 .....35

3. 李斯特(Rist)操作线图 .....36

4. 高炉的数学模型 .....37

##### (五)炉内反应与高炉操作 .....37

1. 原料和燃料条件 .....38

2. 设备条件 .....38

3. 高炉操作条件 .....38

#### 三、原料 .....38

##### (一)铁矿石 .....38

1. 铁矿石的种类和储藏状况 .....38

2. 产地的选矿处理 .....42

3. 铁矿石的运输 .....43

4. 铁矿石处理法 .....44

##### (二)辅助原料 .....46

1. 石灰石 .....46

2. 橄榄岩及蛇纹岩 .....46

3. 白云石 .....46

4. 硅石 .....47

5. 锰矿 .....47

##### (三)球团矿 .....47

1. 球团法的发展 .....47

2. 球团矿的生产方法 .....48

##### (四)烧结矿 .....50

1. 烧结矿的特点 .....50

2. 烧结机理 .....51

3. 烧结设备 .....52

4. 烧结操作 .....56

#### 四、焦炭 .....59

##### (一)原煤 .....59

1. 煤的形成 .....59

2. 煤的成分 .....60

3. 原煤的性质 .....61

4. 配煤 .....62

5. 煤的干馏机理 .....63

##### (二)高炉用焦炭 .....64

1. 高炉用焦炭的性质 .....64

2. 灰份和硫 .....64

3. 粒度 .....65

4. 强度 .....65

##### (三)炼焦设备 .....66

## 【 ii 】 目 录

|                                      |     |                         |     |
|--------------------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 1. 炼焦工艺 .....                        | 66  | 3. 热风炉 .....            | 82  |
| 2. 备煤设备 .....                        | 66  | 4. 煤气除尘设备 .....         | 84  |
| 3. 炼焦炉 .....                         | 66  | 5. 炉顶煤气压力控制装置 .....     | 84  |
| (四) 炼焦炉操作 .....                      | 68  | 6. 环境除尘设备 .....         | 84  |
| 1. 备煤操作 .....                        | 68  | 六、高炉操作 .....            | 85  |
| 2. 焦炉操作 .....                        | 69  | (一) 概述 .....            | 85  |
| 3. 焦炭处理操作 .....                      | 69  | (二) 原料、燃料的装料制度 .....    | 86  |
| 4. 副产品回收操作 .....                     | 69  | 1. 原料、燃料的特性 .....       | 86  |
| (五) 新技术研究的动向 .....                   | 69  | 2. 配料计算 .....           | 87  |
| 1. 与原料煤资源有关的工艺技术研究 .....             | 69  | 3. 装料制度 .....           | 87  |
| 2. 有关生产率、节约能量、节省劳动力方面<br>的技术研究 ..... | 71  | 4. 炉内煤气流分布 .....        | 89  |
| 五、高炉设备 .....                         | 71  | (三) 炉前操作制度 .....        | 89  |
| (一) 概述 .....                         | 71  | 1. 炉内贮存的铁、渣的控制 .....    | 89  |
| 1. 高炉设备的组成 .....                     | 71  | 2. 出铁、出渣操作 .....        | 90  |
| 2. 平面布置 .....                        | 72  | (四) 送风制度 .....          | 90  |
| (二) 高炉炉体设备 .....                     | 73  | 1. 生铁产量的控制 .....        | 90  |
| 1. 概述 .....                          | 73  | 2. 鼓风技术 .....           | 90  |
| 2. 高炉内型 .....                        | 73  | (五) 炉顶煤气控制 .....        | 93  |
| 3. 高炉用耐火材料 .....                     | 74  | (六) 休风 .....            | 94  |
| 4. 风口 .....                          | 76  | (七) 炉况失常与事故 .....       | 94  |
| 5. 炉体冷却装置 .....                      | 76  | 1. 相向运动失常 .....         | 94  |
| 6. 炉顶装料设备 .....                      | 78  | 2. 炉温与反应的失常 .....       | 95  |
| 7. 出铁场的炉前设备 .....                    | 78  | 3. 设备事故 .....           | 95  |
| 8. 高炉仪表设备 .....                      | 80  | (八) 高炉技术的进展及其发展趋向 ..... | 95  |
| (三) 附属设备 .....                       | 81  | 1. 节省高炉能量 .....         | 95  |
| 1. 称量上料设备 .....                      | 81  | 2. 今后的技术课题 .....        | 96  |
| 2. 鼓风机 .....                         | 82  |                         |     |
| 第二章 非高炉炼铁法 .....                     | 98  |                         |     |
| 川崎钢铁公司 岡部侠児 浜田尚夫                     |     |                         |     |
| 一、概述 .....                           | 98  | 1. 还原气体的制造 .....        | 105 |
| (一) 非高炉炼铁法发展史 .....                  | 98  | 2. 所需热量 .....           | 105 |
| (二) 直接炼铁法的分类 .....                   | 98  | 三、专论 .....              | 107 |
| 1. 分类 .....                          | 98  | (一) 固定床法 .....          | 107 |
| 2. 炼铁的工艺路线 .....                     | 98  | 1. 特点 .....             | 107 |
| 3. 还原铁的用途 .....                      | 99  | 2. Hôganäs 法 .....      | 107 |
| (三) 现状 .....                         | 99  | 3. HyL 法 .....          | 108 |
| 二、直接还原的基础知识 .....                    | 100 | (二) 回转炉法 .....          | 108 |
| (一) 还原反应 .....                       | 100 | 1. 特点 .....             | 108 |
| 1. 还原反应主要的反应方程式 .....                | 100 | 2. SL-RN 法 .....        | 108 |
| 2. 反应机理 .....                        | 101 | 3. 粉尘处理 .....           | 109 |
| 3. 还原速度 .....                        | 102 | (三) 竖炉法 .....           | 109 |
| (二) 还原操作 .....                       | 103 | 1. 特点 .....             | 109 |
| 1. 还原装置的形式 .....                     | 103 | 2. Wiberg 法 .....       | 110 |
| 2. 操作线 .....                         | 103 | 3. Midrex 法 .....       | 110 |
| 3. 还原气体的流量和生产率 .....                 | 104 | 4. Armco 法 .....        | 110 |
| 4. 多段法 .....                         | 105 | 5. Purofer 法 .....      | 111 |
| (三) 所需热量 .....                       | 105 | (四) 流化床法 .....          | 111 |

|                                      |     |                          |     |
|--------------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 1. 流化床的性质 .....                      | 111 | (五) 电炉炼铁法 .....          | 113 |
| 2. 流化床还原的方法 .....                    | 112 | 1. 特点 .....              | 113 |
| 3. H-Iron 法 .....                    | 112 | 2. 炉子和操作 .....           | 113 |
| 4. HIB 法 .....                       | 112 | 3. 现状 .....              | 113 |
| 5. FIOR 法 .....                      | 113 | (六) 利用原子能直接炼铁 .....      | 113 |
| <br><b>第二篇 铁合金生产法</b><br>日本钢管公司 長沢四郎 |     |                          |     |
| <b>一、铁合金的种类、规格和生产</b> .....          | 116 | 1. 高碳锰铁及镜铁 .....         | 126 |
| (一) 种类和规格 .....                      | 116 | 2. 锰硅合金 .....            | 128 |
| (二) 生产 .....                         | 117 | 3. 中碳和低碳锰铁 .....         | 128 |
| 1. 生产概况 .....                        | 117 | 4. 金属锰 .....             | 129 |
| 2. 原料与电力 .....                       | 118 | (二) 铬系铁合金 .....          | 129 |
| <b>二、生产方法</b> .....                  | 119 | 1. 中碳和高碳铬铁 .....         | 129 |
| (一) 生产方法的分类 .....                    | 119 | 2. 硅铬合金 .....            | 130 |
| (二) 电炉法 .....                        | 119 | 3. 低碳铬铁 .....            | 131 |
| (三) 金属热法 .....                       | 119 | 4. 金属铬 .....             | 132 |
| (四) 高炉法 .....                        | 120 | (三) 硅系铁合金 .....          | 132 |
| <b>三、电炉冶炼设备</b> .....                | 120 | 1. 硅铁 .....              | 132 |
| (一) 电炉的种类 .....                      | 120 | 2. 金属硅 .....             | 133 |
| (二) 设备概况 .....                       | 121 | (四) 镍系铁合金 .....          | 133 |
| 1. 电炉的主要参数 .....                     | 121 | 1. 高碳镍铁和粗制镍铁 .....       | 133 |
| 2. 炉用变压器及二次导体 .....                  | 122 | 2. 低碳镍铁 .....            | 134 |
| 3. 电极和把持器 .....                      | 122 | (五) 其他的铁合金和合金元素添加剂 ..... | 134 |
| 4. 电极升降装置及电极压放装置 .....               | 123 | 1. 钼铁和钼添加剂 .....         | 134 |
| 5. 封闭炉和气体回路 .....                    | 123 | 2. 钒铁和钨铁 .....           | 134 |
| 6. 防止公害设备 .....                      | 124 | 3. 钨铁和钨添加剂 .....         | 135 |
| <b>四、冶炼化学及生产工艺</b> .....             | 124 | 4. 钛铁和硼铁 .....           | 135 |
| (一) 冶炼化学原理 .....                     | 124 | 5. 磷铁 .....              | 135 |
| (二) 生产工艺 .....                       | 125 | 6. 锆铁 .....              | 135 |
| (三) 原料的预处理 .....                     | 126 | 7. 钙硅合金和碱土金属类合金 .....    | 135 |
| <b>五、各种铁合金</b> .....                 | 126 | 8. 含氮合金 .....            | 135 |
| (一) 锰系铁合金 .....                      | 126 | 9. 发热铁合金 .....           | 135 |
|                                      |     | 10. 压块铁合金 .....          | 135 |

## 第三篇 炼 钢 法

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第一章 炼钢法</b> .....      | 136 |
| <b>一、纯氧顶吹转炉炼钢法</b> .....  | 136 |
| 日本钢管公司 三好俊吉               |     |
| (一) 纯氧顶吹转炉炼钢法的发展过程 .....  | 136 |
| 1. 纯氧顶吹转炉炼钢法的发展 .....     | 136 |
| 2. 纯氧顶吹转炉炼钢法获得发展的原因 ..... | 137 |
| (二) 设备 .....              | 138 |
| 1. 概述 .....               | 138 |
| 2. 车间布置 .....             | 139 |
| 3. 原料处理设备 .....           | 140 |
| 4. 转炉设备 .....             | 142 |
| 5. 废气处理设备 .....           | 143 |
| 6. 制氧设备 .....             | 144 |
| 7. 转炉用耐火材料 .....          | 144 |
| (三) 原料及铁水的预处理 .....       | 145 |
| 1. 主原料 .....              | 145 |
| 2. 辅助原料 .....             | 147 |
| 3. 铁合金与脱氧剂 .....          | 148 |
| 4. 铁水的预处理 .....           | 148 |
| (四) 操作 .....              | 149 |
| 1. 纯氧顶吹转炉的操作 .....        | 149 |

|                                  |     |                         |     |
|----------------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 2. 炉内反应 .....                    | 154 | 2. 补炉操作 .....           | 180 |
| 3. 纯氧顶吹转炉的热平衡计算和物料平衡<br>计算 ..... | 157 | 3. 装料操作 .....           | 180 |
| (五) 顶吹转炉的特殊冶炼方法 .....            | 159 | 4. 熔化期操作 .....          | 181 |
| 1. LD-AC 法 .....                 | 159 | 5. 氧化精炼操作 .....         | 181 |
| 2. 纯氧顶吹转炉外加燃料的操作法 .....          | 160 | 6. 扒渣操作 .....           | 183 |
| 3. 添加合金剂吹炼法 .....                | 161 | 7. 还原期操作 .....          | 184 |
| (六) 最近转炉技术的发展趋向 .....            | 164 | 8. 出钢操作 .....           | 187 |
| 1. 转炉设备的大型化和机械化 .....            | 164 | 9. 总结 .....             | 187 |
| 2. 操作的自动化 .....                  | 165 | (五) 最近的动向和发展远景 .....    | 188 |
| 二、电炉炼钢法 .....                    | 167 | 1. 提高生产率 .....          | 188 |
| 公司日本钢厂 前田健次                      |     | 2. 耐火材料和电极的问题 .....     | 188 |
| (一) 炼钢电炉的发展过程 .....              | 167 | 3. 原料问题 .....           | 189 |
| 1. 概述 .....                      | 167 | 4. 辅助燃料助熔法 .....        | 189 |
| 2. 电炉种类与发展过程 .....               | 167 | 5. 炉外精炼 .....           | 189 |
| (二) 原材料 .....                    | 169 | 6. 机械化与节省劳动力 .....      | 189 |
| 1. 主原料 .....                     | 169 | 7. 环境问题 .....           | 189 |
| 2. 造渣材料与增碳剂 .....                | 171 | 8. 计算机控制 .....          | 190 |
| 3. 电极 .....                      | 172 | 三、其他炼钢法 .....           | 191 |
| 4. 耐火材料 .....                    | 172 | 日本钢管公司 宫下芳雄             |     |
| (三) 设备 .....                     | 175 | (一) 概述 .....            | 191 |
| 1. 概述 .....                      | 175 | (二) 平炉炼钢法 .....         | 193 |
| 2. 炉体 .....                      | 176 | 1. 酸性平炉法 .....          | 194 |
| 3. 炉用变压器 .....                   | 177 | 2. 碱性平炉法 .....          | 194 |
| 4. 电极夹持器和升降机构 .....              | 177 | (三) 底吹转炉法 .....         | 195 |
| 5. 装料方式 .....                    | 178 | 1. 酸性底吹转炉法 .....        | 196 |
| 6. 除尘装置 .....                    | 178 | 2. 碱性底吹转炉法 .....        | 197 |
| 7. 电炉的发展前景 .....                 | 178 | (四) 卡尔多法和旋转式转炉炼钢法 ..... | 198 |
| (四) 操作 .....                     | 179 | (五) 纯氧底吹转炉法 .....       | 199 |
| 1. 概述 .....                      | 179 | (六) 连续炼钢法 .....         | 200 |
| 第二章 铸锭法和连续铸钢法 .....              | 201 |                         |     |
| 一、铸锭法 .....                      | 201 | 二、连续铸钢法 .....           | 211 |
| 新日本钢铁公司 古垣一成                     |     | 新日本钢铁公司 大日方 達一          |     |
| (一) 概述 .....                     | 201 | (一) 连续铸钢的发展过程 .....     | 211 |
| (二) 铸锭设备 .....                   | 202 | (二) 设备 .....            | 215 |
| 1. 盛钢桶 .....                     | 202 | 1. 盛钢桶 .....            | 215 |
| 2. 钢锭模 .....                     | 202 | 2. 中间包 .....            | 215 |
| 3. 钢锭模的准备 .....                  | 203 | 3. 结晶器 .....            | 216 |
| (三) 浇铸操作 .....                   | 203 | 4. 二次冷却 .....           | 220 |
| 1. 上铸法和下铸法 .....                 | 203 | 5. 辊子 .....             | 221 |
| 2. 浇铸温度和浇铸速度 .....               | 204 | 6. 切断装置 .....           | 223 |
| (四) 钢锭的特性和缺陷 .....               | 204 | 7. 引锭杆 .....            | 223 |
| 1. 钢锭的特性 .....                   | 204 | (三) 工艺 .....            | 224 |
| 2. 钢锭的缺陷 .....                   | 207 | 1. 浇铸温度 .....           | 225 |
| (五) 最近的技术展望 .....                | 207 | 2. 多炉连铸和连铸生产能力 .....    | 225 |
| 1. 铸锭操作的机械化和节省劳动力 .....          | 207 | (四) 质量 .....            | 227 |
| 2. 钢锭的大型化 .....                  | 208 | 1. 适宜于连铸的钢种 .....       | 227 |
| 3. 钢锭质量的改善 .....                 | 210 | 2. 连铸坯的质量缺陷 .....       | 228 |

|                          |            |                        |     |
|--------------------------|------------|------------------------|-----|
| (五)今后的发展方向.....          | 235        | 2. 特殊连铸法 .....         | 237 |
| 1. 自动化与节省劳动力 .....       | 235        | 3. 今后的展望 .....         | 238 |
| <b>第三章 钢的特殊处理法 .....</b> | <b>239</b> |                        |     |
| 大同钢铁公司 岸田寿夫              |            |                        |     |
| <b>一、炉外精炼法.....</b>      | <b>239</b> | 1. 特殊熔炼法发展的背景 .....    | 257 |
| (一)概述.....               | 239        | 2. 特殊熔炼法的种类 .....      | 257 |
| 1. 炉外精炼法的种类 .....        | 239        | 3. 特殊熔炼炉的设置状况 .....    | 257 |
| (二)真空脱气法.....            | 241        | 4. 各种特殊熔炼炉的特性和比较 ..... | 258 |
| 1. RH 真空脱气法 .....        | 241        | (二)真空感应熔炼法.....        | 258 |
| 2. DH 真空脱气法 .....        | 243        | 1. 概述 .....            | 258 |
| 3. 盛钢桶脱气法 .....          | 245        | 2. 设备 .....            | 259 |
| 4. 真空脱气处理的质量水平 .....     | 246        | 3. 操作法 .....           | 259 |
| (三)盛钢桶精炼法.....           | 247        | 4. 质量特点和用途 .....       | 260 |
| 1. ASEA-SKF 法 .....      | 248        | (三)真空电弧熔炼法.....        | 261 |
| 2. VAD 法 .....           | 249        | 1. 概述 .....            | 261 |
| 3. LF 法 .....            | 250        | 2. 设备 .....            | 261 |
| 4. M-VO D 法 .....        | 250        | 3. 操作法 .....           | 262 |
| 5. VOD 法 .....           | 251        | 4. 质量特点和用途 .....       | 263 |
| 6. RH-OB 法 .....         | 252        | (四)电渣重熔法.....          | 264 |
| 7. 盛钢桶精炼法的效果 .....       | 252        | 1. 概述 .....            | 264 |
| (四)AOD 法 .....           | 253        | 2. 设备 .....            | 264 |
| 1. AOD 法 .....           | 253        | 3. 操作法 .....           | 265 |
| 2. GLU 法 .....           | 254        | 4. 质量特点和用途 .....       | 266 |
| 3. AOD 炉钢材的质量 .....      | 255        | 5. 电渣重熔法最近的进展与今后的发展方   |     |
| 4. AOD 法与 VOD 法的比较 ..... | 256        | 向 .....                | 267 |
| (五)小结.....               | 256        | (五)其他特殊熔炼法.....        | 267 |
| <b>二、特殊熔炼法.....</b>      | <b>257</b> | 1. 等离子弧熔炼法 .....       | 268 |
| (一)概述.....               | 257        | 2. 电子束熔炼法 .....        | 269 |
|                          |            | 3. 其他的特殊熔炼法 .....      | 269 |

# 第一篇 炼铁法

## 第一章 高炉炼铁法

### 一、概 述

#### (一)人造材料与钢铁

##### 1. 钢铁在人造材料中的地位

人造材料在现代文明社会的物质生活中起着重要的作用,从住宅、交通运输设备、被服乃至粮食、药品等都同它有关。

然而,在人们所见到的各种人造材料中,这十几年来钢铁的产量始终占居首位。如表1-1所示,在近几年内,它的产量是水泥的1.5倍,木材的4.5倍,并达到铜的120倍。由此可见,较之其他材料,钢铁是何等地重要。

表1-1 日本主要材料的生产量(1974年)

| 材 料       | 钢 铁    | 铜   | 铝    | 水 泥   | 玻璃板  | 塑 料  | 纸     | 纤 维  | 制 材   | 合 计    |
|-----------|--------|-----|------|-------|------|------|-------|------|-------|--------|
| 吨数(1000吨) | 117131 | 996 | 1642 | 73112 | 1591 | 6635 | 15646 | 2005 | 25618 | 244376 |

##### 2. 金属材料中的钢铁

金属材料中的钢铁是以单质铁或添加若干种合金元素的形式存在,然而钢铁获得大量生产的原因又何在呢?

表1-2示出了地壳中各主要元素所占的比例。由表可见铁是地壳中大量存在的元素,这就是钢铁获得大量生产的重要原因之一。

表1-2 地壳中各元素的比例<sup>[1]</sup>

| 元 素 | 符 号 | 比 例 (%) | 元 素 | 符 号 | 比 例 (%) |
|-----|-----|---------|-----|-----|---------|
| 氧   | O   | 46.6    | 锰   | Mn  | 0.10    |
| 硅   | Si  | 27.7    | 钡   | Ba  | 0.10    |
| 铝   | Al  | 8.13    | 氟   | F   | 0.07    |
| 铁   | Fe  | 5.0     | 硫   | S   | 0.052   |
| 钙   | Ca  | 3.63    | 锶   | Sr  | 0.045   |
| 钠   | Na  | 2.83    | 碳   | C   | 0.032   |
| 钾   | K   | 2.59    | 锆   | Zr  | 0.016   |
| 镁   | Mg  | 2.09    | 氯   | Cl  | 0.015   |
| 钛   | Ti  | 0.44    | 钒   | V   | 0.012   |
| 磷   | P   | 0.118   | 铷   | Rb  | 0.012   |

此外,钢铁的性能优良,通过一定的方法还能进一步提高其各种性能。这也是使它获得大量生产的另一重要原因。

铁呈黑灰色,它的主要优点是:与其他金属相比,具有较高的抗拉强度和韧性。而且在铁中加入碳及其他合金元素后,除普通钢以外还能炼制成硬质合金钢、不锈钢等。

琴弦钢丝等经过特殊处理的钢,其抗拉强度可达 300 公斤/毫米<sup>2</sup> 以上;而含碳量较高的铸铁,则具有良好的铸造性能,并且是单位体积价格最便宜的金属材料。表 1-3 列出了各种人造材料性能的对比。

钢铁的另一个特点是加工性能良好。钢铁经过铸造、轧制、锻造、热弯、冷弯、拉拔等加工处理,可制成各种线材、棒材、板材和型钢等,或者进一步加工成圆筒形、杯形或其他特殊形状的钢材,获得了极其广泛的应用。

表 1-4 示例地说明了钢铁材料应用于现代工业各领域中的情况。

表 1-3 各种材料的性能

|                                | 人 造 材 料            |                          |                   |       |                     |                     |                             |                   | 天 然 材 料 |         |
|--------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|-------|---------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|---------|---------|
|                                | 金 属 材 料            |                          |                   |       |                     | 非 金 属 材 料           |                             |                   |         |         |
| 材 料                            | 钢                  | 铸 铁                      | 铝                 | 青 铜   | 金                   | 塑 料                 | 橡 胶                         | 水 泥               | 石       | 木 材     |
| 备 注                            | 普通钢                | 灰口铁                      | 纯 铝               | —     | 纯 金                 | 聚氯乙稀                | 天然橡胶                        | 普通水泥              | 花岗岩     | 红 松     |
| 抗拉强度<br>(公斤/毫米 <sup>2</sup> )  | 30~80              | 10~35                    | 7~13              | 22~32 | 13.3                | 1~6                 | 1.5~3.5                     | 0.1~0.2           | 0.1~0.2 | 9~20    |
| 抗压强度<br>(公斤/毫米 <sup>2</sup> )  |                    | 40~120                   |                   |       |                     | 6~8                 | 7~11                        | 1.5~2.5           | 1.7     | 3.5~5.5 |
| 弯曲强度                           |                    | 30~68                    |                   |       |                     | 8~11                |                             | 0.2~0.8           |         |         |
| 布氏硬度                           | 85~200             | 130~240                  | 17~27             | 57~73 | 25                  |                     |                             |                   |         |         |
| 冲击值<br>(公斤·米/厘米 <sup>2</sup> ) | 2~15               | 0.1~1.1                  |                   |       |                     | 0.03~0.08           |                             |                   |         |         |
| 弹性模数<br>(公斤/毫米 <sup>2</sup> )  | 21×10 <sup>3</sup> | 6~15<br>×10 <sup>3</sup> | 7×10 <sup>3</sup> |       | 8.2×10 <sup>3</sup> | 1.6×10 <sup>3</sup> | 0.2~0.4<br>×10 <sup>3</sup> | 2×10 <sup>3</sup> |         |         |
| 使用最高温度<br>(°C)                 | 450                |                          | 200               | 240   |                     | 60~240              | 90                          | 250               |         | 250     |
| 熔点 (°C)                        | 1400~<br>1500      | 1145~<br>1275            | 660               | 1020  | 1063                |                     |                             | 700               |         |         |
| 比 重                            | 7.8                | 6.8~7.5                  | 2.7               | 8.8   | 19.3                | 1.3~1.4             | 0.9~1.2                     | 2.3               | 2.7     | 0.4~0.6 |
| 方向性                            | 无                  | 无                        | 无                 | 无     | 无                   | 无                   | 无                           | 无                 | 有       | 有       |
| 延展性                            | 有                  | 无                        | 有                 | 无     | 有                   | 有                   | 无                           | 无                 | 无       | 无       |

表 1-4 普通钢材的实际销售量 (千吨)

|             |         | 1973 年 | 1974 年 |
|-------------|---------|--------|--------|
| 建 筑 业       |         | 7340   | 5661   |
| 机 械 制 造 业   | 钢 铁     | 12059  | 10161  |
|             | 金 属 制 品 | 4499   | 3694   |
|             | 一 般 机 械 | 1705   | 1388   |
|             | 电 气 机 械 | 1524   | 1171   |
|             | 汽 车     | 4025   | 3724   |
|             | 船 舶     | 5554   | 5753   |
|             | 其 他     | 1615   | 1452   |
| 小 计         |         | 30981  | 27343  |
| 运 输 通 讯 业   |         | 595    | 374    |
| 电 气、煤 气、水 管 |         | 217    | 189    |
| 调查对象以外的商业需求 |         | 27539  | 19967  |
| 其 他         |         | 2060   | 1596   |
| 日 本 国 内 计   |         | 68731  | 55130  |
| 输 出         |         | 22827  | 29849  |
| 合 计         |         | 91558  | 84979  |

## (二) 钢铁的历史与钢铁联合企业

### 1. 钢铁的历史

1) 古代 传说在王朝以前的古埃及(公元前 3400 年前后)曾以陨铁做项圈珠子当作装饰品使用。进入茨坦迦曼(ツタンカーメン)时代以后(公元前 1500 年前后)铁制的工具就开始使用了。希腊诗人荷梅卢斯(ホメロス)的伊利亚斯史诗中就记述了阿基里斯获得铁块作为奖品的故事,此时(公元前 700 年前后)铁制工具的使用似乎已经达到了某种程度<sup>[2]</sup>。

因此铁在青铜器时代结束以后才开始使用的说法未必是有根据的,传说在很早以前人类就发现并使用铁了。

2) 中世纪以前 在希腊时代,就建立了从事生产钢铁的冶坊,虽然规模极小,但也开始进行了稳定的生产。在此以后的 2000 年间,其规模逐渐扩大。在这期间,炼铁在世界各地都发展起来了,其共同特点是铁矿石仅经过还原制成还原铁,不经过熔化就加工成产品<sup>[3]</sup>。

当时,一般认为铁是“不熔化的金属”,是一种又黑又硬而且具有韧性的材料。当时的炼铁法为:将铁矿石装入地窖内,并装入木炭进行燃烧,炼制成小块的还原铁;再用锤连续地锤打去掉还原铁中的夹杂,从而生产出成品。

当时,铁专用于制造农具、工具、武器和建筑物的小零件等。

3) 近代 十五世纪末,其他各部门的发展推动了炼铁工业的进一步发展,出现了与现代炼铁法的重要设备“高炉”相似的设备。

这是一种用石头或耐火粘土砌成的内部空间近似于圆筒形的竖炉。从炉顶装入木炭和少量的铁矿石作为炉料,并使炉内始终充满着炉料,从炉子下部鼓入空气,并在下部进行排出“铁水”的作业。这是由于进一步使用了风箱,使木炭燃烧的强度增高,提高了铁的温度,增加了铁中的渗碳量,大大降低了熔点,从而使生产“铁水”成为可能。

此后,炼铁工业就在拥有矿石、森林(作为木炭来源)及河流(作为动力源)的地区发展起

来。在欧洲高炉炼铁以奥地利的施蒂里亚,即多瑙河流域的中心区域最为发达,然后推向西北,由莱茵河流域进一步向英国发展。

“高炉”这个名称是由于其炉身高而获得的。德语、法语、意大利语也采用“高炉”这一名称。在英语里高炉称为 Blast Furnace, 如果直译意为鼓风炉,即鼓入风的炉子。

在日本也有采用熔矿炉这一名称的,但是这不是根据炉子的形状而是根据炉子的功能而命名的。

高炉炼制的生铁,由于很脆只能用作铸件,因此使用范围受到一定的限制。然而随着炼钢的发展,高炉生铁经过进一步的炼钢处理,即经过脱碳处理,可以制成大量的各种钢材,从而使其用途大大增加。

到近世纪,钢铁制品的用途日益增大,已用于制造先进的蒸汽机的汽缸,大炮的炮身等大型结构件和零件。

在这以前炼铁技术一直是通过经验积累而发展起来的,从这时起才开始了技术试验和科学调查等工作。

18 世纪初,由于英国国内森林资源不足,德比 (A. Derby) 成功地试用了焦炭炼铁<sup>[4]</sup>。1828 年,尼尔森 (James Beaumont Neilson) 提出了预先加热送入高炉的鼓风,以节约高炉燃料消耗的专利。1832 年,法贝 (Faber) 利用高炉炉顶放出的煤气进行加热鼓风获得成功。1857 年考伯 (E. Cowper) 获得了将砖砌的热风炉用于加热鼓风的专利。考伯式热风炉直到目前为止仍是日本的热风炉的主要形式。而在法语中,“考伯” (Coupre) 这个词就是“预热送风的高炉”的意思。1838 年本生 (R. W. Bunsen) 对实际高炉炉内的气体进行了分析,查明了在高炉内分别存在着矿石预热区、还原区和燃料燃烧区<sup>[5]</sup>。

美国钢铁工业当时已发展到了使用苏必利尔湖 (Lake Superior) 西岸的密沙比 (Mesabi) (印第安语意为无名的巨人) 矿床的铁矿,及使用位于阿巴拉契亚山脉 (Appalachians) 的煤层,不过在当时,即十九世纪后叶,美国钢铁工业还是较落后的。

## 2. 钢铁联合企业

1) 生铁与钢 1850 年同时出现了目前已成为基本炼钢方法的转炉法和不久以前仍作为主要炼钢方法的平炉法。从此,可以用生铁制造两种类型的成品,即铸造性能良好的脆性的“铸铁”和韧性较好的“钢”。铸铁和钢材的特性如表 1-3 所示。

19 世纪末,开始形成了以现代钢铁企业的三大主要部门为基础的生产体系,即对铁矿石进行还原和熔化、制成含碳量高的生铁的高炉,以生铁为原料炼制成含碳量低的钢的炼钢炉和将钢锭加工成棒材、板材等产品的轧钢厂。

在这种形式的生产系统中,高炉放出的熔融铁水直接送往炼钢炉,以有效地利用铁水的显热 (300000 千卡/吨),同时在钢铁企业的各轧钢厂内,利用高炉放出的大量煤气进行各种加热操作。这种生产方式称为钢铁联合企业。

## 2) 炼铁工程的发展

(1) 高炉的大型化和装备重型化: 目前的高炉,其内型在本世纪初就基本上定型了,图 1-1 是过去一个世纪内高炉炉型剖面轮廓的演变图。图中奥地利施蒂里亚的木炭生铁高炉,其炉缸下部直筒形部分的直径为 1.7 米,日产生铁约 34 吨。瑞典木炭生铁高炉生铁最高日产量为 50 吨左右。苏联南乌拉尔高炉日产生铁 140 吨左右。英国的高炉日产量略低于 400 吨,而德国的高炉日产量达到 750 吨。美国在第二次世界大战期间由乔奈普 (ジェネーブ) 钢

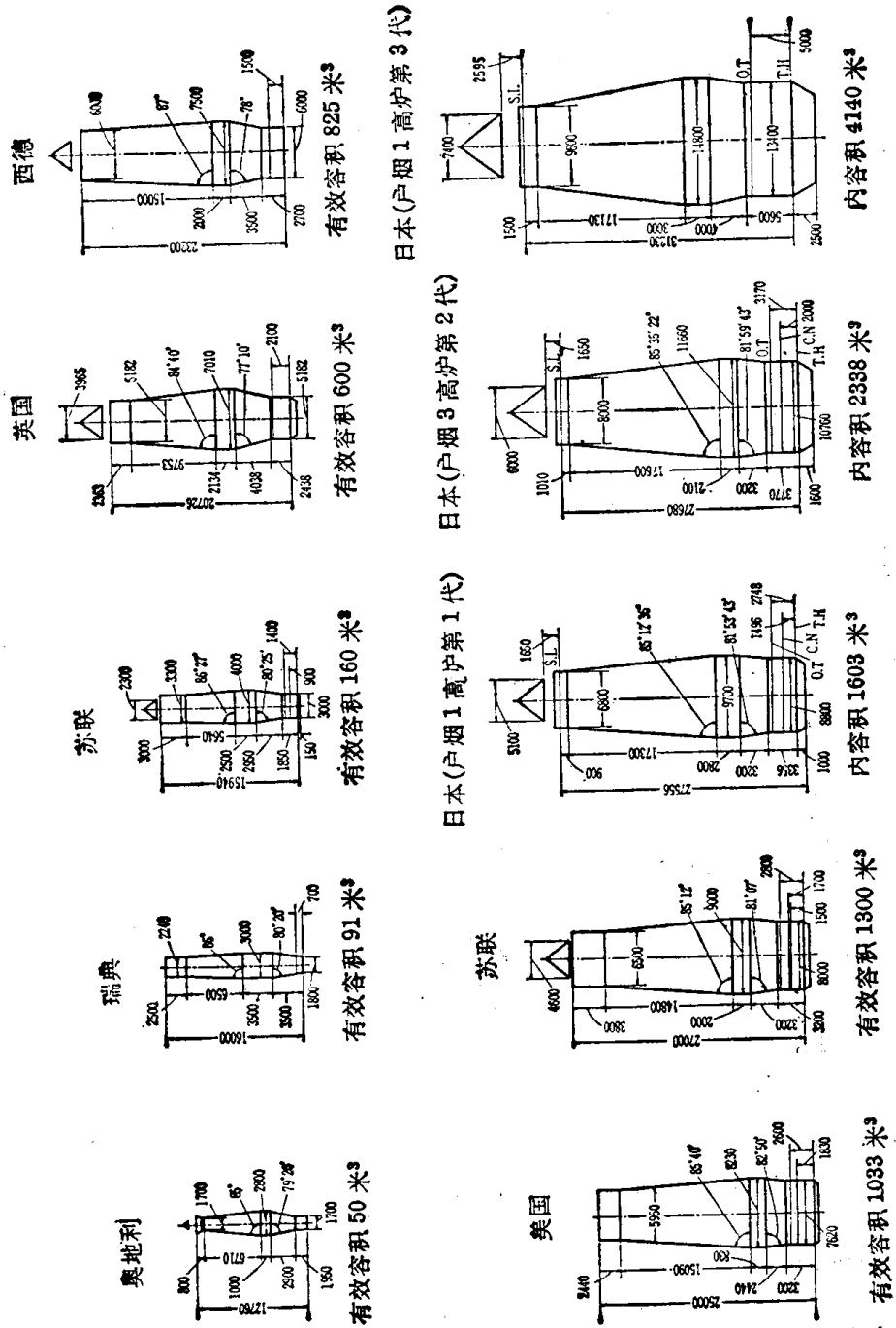


图 1-1 过去一个世纪内高炉炉型的变化

铁厂建立的高炉,最高日产量为1100吨。苏联在1943年由乌拉尔的马格尼托哥尔斯克炼铁厂建立的按苏联国家标准(GIPROMEZ)为1300米<sup>3</sup>级的高炉,其公称能力为日产1500吨<sup>[6]</sup>。

日本户畑1号高炉是战后日本钢铁工业复兴期建立的大型高炉,于1959年建成,最高日产量大约为2400吨。户畑3号高炉的第二代是1961年大修后建成的高压操作高炉,最高日产量约为5500吨。此外,户畑1号高炉的第三代是上述的1号高炉拆除后在原址上于1975年建成的,这是目前大型高炉的典型,能进行一个月间日产10000吨的稳定生产。

目前最大的高炉,其炉缸直径为13.5~14.5米,日产生铁10000~12000吨。

世界各国都在稳步地实现高炉大型化。在苏联按国家标准设计的10000吨高炉已投入生产,而英、美、德、法、意等国也都参照日本的设计建成了大型高炉,目前是英国大型高炉之一的莱德卡尔钢铁厂1号高炉就是其中的一个例子<sup>[7]</sup>。

随着高炉向大型化发展,其附属设备也相应地增大,而设备的重型化,又进一步提高了炉内反应的效率。

在大型高炉上,主要采用皮带上料机将铁矿石和焦炭交替地送入炉顶装料装置中。

过去处理高炉铁水的方法是在炉前的出铁场内设置沙床,直接将铁水铸成铁块。所以虽然大部分的铁水是以高温液态直接送往炼钢厂的,但在世界各国的语言中,“铸床”的名称仍沿用至今。目前由于环境保护上的要求,已在出铁场建立大型厂房,设置吸尘装置,并使用各种建筑机械处理残渣。

高炉生产的发展在一定程度上受到鼓风机(古代采用水力风箱)性能的限制。目前大型高炉已采用出口压力为4~5公斤/厘米<sup>2</sup>,出口风量为每分钟8000标米<sup>3</sup>的电动或汽轮机驱动的轴流式鼓风机。由这种鼓风机送出的高压冷风,在热风炉中加热,其最高温度可达1350°C,然后从高炉下部的“风口”送入炉内。高炉炉顶逸出的炉气中含有大量一氧化碳,早在120年前,就对它进行了回收。而为了回收煤气,炉顶结构也改成为密封形式。最近,还在煤气管道上设置了高压调节阀,以提高炉顶煤气压力。因此目前除利用炉顶煤气燃烧产生的热量外,还设置了透平机,利用煤气的高压使发电机转动发电。在大型高炉操作中,成套的测试控制设备,从温度、压力检测等记录调节仪表直到大型电子计算机这类最新发展的电子设备,已经是必不可少的重要装备。这对连续掌握炉况,把冶金反应理论应用于实际高炉操作,就更为方便了。

(2) 原料处理的发展:原料处理发展是高炉高效率生产的基础。自从进入本世纪以来,矿山的采掘、选矿、运输,大块矿石的破碎,筛除粉末,以及粉矿造块等一系列的准备处理方法已被广泛应用。可以认为这方面已改变了世界钢铁工业的面貌,形成了日本钢铁工业的现状。

矿区开采的规模更大了。以新大陆和西伯利亚为中心,可供开采的矿区储量达10亿吨级,并已先后开始开采。随着破碎磨矿技术和磁力选矿技术的发展,尽管开采出来的铁矿石的品位逐年下降,但提供使用的铁矿石的品位却逐年上升。

运矿船的大型化,降低了每吨矿石的运输费用,使铁矿石能够在世界范围内进行贸易,从而为钢铁工业发展成全球性规模的生产打下了牢固的基础。

缩小铁矿石粒度可以使高炉内各矿粒的反应速度趋于均匀一致,所以目前广泛采用大块铁矿石破碎法进行整粒。现在日本高炉的入炉矿石粒度最大为25~30毫米。改善料柱

透气性使上升煤气在炉内畅通的最好方法是消除容易堵塞大块间空隙的粉末。因此对入炉前的矿石普遍都采用筛分法进行整粒,以消除粉末。在日本,采用筛分法来消除粉末已经成为一种标准作业方法。

本世纪初开始采用烧结法,即将粉矿和由高炉炉顶煤气吹出的炉尘以及焦炭粉的混合物烧结成块状料。烧结矿是一种高级人造原料,得到很高的评价。其生产方法有带式抽风烧结法和盘式烧结法,而日本只采用带式抽风烧结法。

由于在矿山进行就地选矿,部分粉矿就必然要在当地造块,因此发展了球团矿的生产方法,即制成直径 10 毫米左右的球形含铁块,经  $1200^{\circ}\text{C}$  以上的高温烧结成球团矿。

因此,现代高炉已经不是对天然铁矿进行高温处理的原始高炉了,而是对上述烧结矿和球团矿之类的人造熟料进行还原熔炼处理的化学反应设备了。

(3) 燃料的变化: 进入高炉的燃料,在从高炉下部进入炉内的鼓风作用下进行燃烧而放出大量热量,同时产生以一氧化碳为主的还原气体。此外,燃料在高炉下部还起着料柱骨架的作用,使熔融状态的铁水和炉渣在料柱空隙之间顺利下降。

高炉燃料以前曾使用过木炭,后来被焦炭所替代,直到现在仍然是以焦炭为主。

焦炭是将烟煤进行加热干馏,除去挥发物而获得的一种残留固体物质。从炼焦煤中可以炼出强度好的优质焦炭,但炼焦用煤的产地在整个烟煤产地中仅占一部分。所以英国、德国、美国等历史较久的钢铁基地大多设在优质焦煤产地的附近。日本也不例外,如在近代钢铁工业兴起的初期发展起来的八幡钢铁厂,就是考虑利用附近筑丰煤田的煤进行炼焦而选择厂址的。但是这种煤单独使用并不太适合于做炼焦煤,因此在初期,高炉本身作业很不稳定。目前,日本高炉用的焦炭,是用美国、澳大利亚等国供应的原煤,经过配煤后,在大型室式炼焦炉中干馏炼制而成的。

在煤的干馏过程中,除可生产焦炭外,还可生产高发热值的焦炉煤气及氨、轻油和焦油等副产品。这些副产品的回收和利用在石油化学工业问世以前,在有机合成化学工业、肥料工业等方面占有很重要的地位。设有副产品回收装置的室式炼焦炉随着高炉的进步也不断发展。

焦炭制造技术的进展虽因各国厂矿所处地区而异,但是降低原煤的灰份含量的洗煤工程、海上运输、原煤粉碎和配煤工序、加热干馏工序、以及焦炭的筛分分级和原料运至高炉的输送方法等方面的改进是与原料准备处理方面的发展一致的。

为了解决作为高炉燃料的优质炼焦原煤不足的问题,进行了大量的研究工作。这些工作主要分成两个方面:一是研究炼焦技术,以有效地利用难以成焦的“一般煤”;二是利用其他燃料取代焦炭,即将炼焦时所产生的焦油、石油液体燃料(主要是重油)、天然气等直接喷入高炉。由于冶金技术的发展,目前在高炉炼铁过程中每吨生铁所消耗的炼焦原煤量(原煤比)已大大降低,约为 700 公斤左右。

3) 在联合企业中的现代炼铁工业 现代的钢铁联合企业是由以高炉、烧结机、炼焦炉为一组元的炼铁厂,以转炉为中心的炼钢厂,把钢最后加工成各种成品钢材的轧钢厂,以及对部分成品钢材进行表面处理的钢材表面加工厂等四个部门组成。此外还常常包括供应全企业动力的发电厂。图 1-2 是现代钢铁联合企业的生产流程图。

在钢铁联合企业中,炼铁厂消耗几乎全部的铁矿石、石灰石、炼焦原煤以及一半以上的重油,以生产作为炼钢原料的铁水。在日本,最近十年以来,大规模生产普通钢几乎全都采