

● 高等学校教学用书 ●

# 炼铁机械

(修 订 版)

严允进 主编

GAODENG  
XUEXIAO  
JIAOXUE  
YONGSHU

冶金工业出版社

高等学校教学用书

# 炼铁机械

(修订版)

北京科技大学 严允进 主编

冶金工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

炼铁机械/严允进主编.-2版(修订本).-北京:冶金工业出版社,1990.5(1995重印)

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-0710-3

I.炼… I.严… II.炼铁-机械-高等学校-教材 IV.  
TF31

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第19411号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

北京市东茶坞印刷厂印刷,冶金工业出版社发行

1981年7月第1版,1990年5月第2版,1998年3月第4次印刷

787mm×1092mm 1/16, 21.25印张, 508千字, 332页, 309 01~32900册

26.50元

## 再 版 前 言

《炼铁机械》（第一版）作为有关院校冶金机械专业的教学用书已有十年。这次修订工作，除了考虑到十年来炼铁设备本身的发展外，主要是根据兄弟院校在教学实践中积累的经验 and 提出的建议而进行的。由于“炼铁机械”课程学时有限，为了减轻学生负担，压缩了篇幅。但考虑到一本书的完整体系和反映炼铁机械设备的全貌，原书九章的主要内容仍然保留，删减已经过时的内容，新设备的论述更趋于成熟。此外，纠正了个别图文的差错，书中的计量单位也改为我国法定计量单位。

本书的修订工作曾得到兄弟院校的大力支持，并召开过修订稿的预审和研讨会，在此一并致谢。

编 者

1989.7

## 前 言

《炼铁机械》是冶金机械专业的一门专业课。1961年曾以《炼铁设备》为名出版过一本教学用书。但时隔二十年，炼铁机械设备发生了很大变化。这次重新编写的《炼铁机械》，突出了重点，加强了理论分析，增加了许多有关炼铁机械现代化的内容，如第二章的斗轮式堆取料机和振动给料机、第三章的带式上料机、第四章的钟-阀式炉顶和无料钟炉顶、第五章的炉顶设备液压传动、第九章的煤气余压透平发电等。由于国内大型高炉刚开始兴建，许多现代化的内容我们也是初次接触，加上我们的水平所限，就不可能编写得很满意。

本书是根据1978年冶金部高等院校教材会议制订的《炼铁机械》教学大纲编写的，作为有关院校冶金机械专业的教学用书。

本书第一、四、五章由北京钢铁学院严允进同志编写，第二章由鞍山钢铁学院王书林同志编写，第六、七章由东北工学院罗振才同志编写，第三、八、九章由北京钢铁学院朱允言同志编写，由严允进同志担任主编。

本书初稿完成后，曾召开过《炼铁机械》教材审稿会，除执笔单位外，参加审稿的单位还有重庆大学、马鞍山钢铁学院、广东矿冶学院、江西冶金学院、上海工业大学和上海冶金专科学校等。他们对教材提出了许多宝贵的意见，在此表示感谢。

编 者

1980.4

# 目 录

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第一章 绪论</b> .....              | 1   |
| 第一节 高炉生产的工艺过程、特点及其对机械设备的要求 ..... | 1   |
| 第二节 现代高炉生产技术概况 .....             | 4   |
| 第三节 直接还原炼铁 .....                 | 11  |
| <b>第二章 原料的准备和供应设备</b> .....      | 13  |
| 第一节 原料场机械设备 .....                | 13  |
| 第二节 供料设备 .....                   | 24  |
| 第三节 振动筛基本构造 .....                | 37  |
| 第四节 振动筛筛面物料运动理论 .....            | 42  |
| 第五节 惯性式振动筛动力学基本理论 .....          | 50  |
| 第六节 供料系统的环境保护 .....              | 55  |
| <b>第三章 高炉上料机</b> .....           | 61  |
| 第一节 料车上料机的组成 .....               | 61  |
| 第二节 料车式上料机的生产能力 .....            | 78  |
| 第三节 钢绳静张力的计算 .....               | 82  |
| 第四节 卷扬机卷筒圆周上的动力 .....            | 87  |
| 第五节 卷扬机电动机功率的确定 .....            | 89  |
| 第六节 带式上料机 .....                  | 92  |
| 第七节 带式上料机的有关计算 .....             | 113 |
| <b>第四章 炉顶装料设备</b> .....          | 117 |
| 第一节 一般概念 .....                   | 117 |
| 第二节 布料理论的基本知识 .....              | 119 |
| 第三节 高压操作的概念及其有关设备 .....          | 129 |
| 第四节 双钟炉顶的结构和布料器的功率计算 .....       | 136 |
| 第五节 探料设备的工作特点和基本类型 .....         | 146 |
| 第六节 钟-阀式炉顶 .....                 | 152 |
| 第七节 无料钟炉顶的结构和计算 .....            | 161 |
| 第八节 无料钟炉顶的布料和控制 .....            | 175 |
| 第九节 无料钟炉顶的总体方案 .....             | 183 |
| <b>第五章 炉顶装料设备的传动</b> .....       | 192 |
| 第一节 一般概念 .....                   | 192 |
| 第二节 料钟传动系统的典型结构 .....            | 194 |
| 第三节 料钟卷扬机驱动功率的计算 .....           | 206 |
| 第四节 有料钟炉顶的液压传动 .....             | 213 |
| 第五节 无料钟炉顶的液压传动 .....             | 225 |
| <b>第六章 炉前机械设备</b> .....          | 228 |

|            |                     |            |
|------------|---------------------|------------|
| 第一节        | 炉前概况 .....          | 228        |
| 第二节        | 开铁口机 .....          | 230        |
| 第三节        | 堵出铁口的机器——泥炮 .....   | 238        |
| 第四节        | 泥炮基本参数的确定 .....     | 253        |
| 第五节        | 堵渣口机械 .....         | 254        |
| 第六节        | 换风口机和换弯管机 .....     | 256        |
| <b>第七章</b> | <b>渣铁处理设备 .....</b> | <b>261</b> |
| 第一节        | 高炉炉渣的处理 .....       | 261        |
| 第二节        | 铁水车 .....           | 267        |
| 第三节        | 渣罐车 .....           | 272        |
| 第四节        | 铸铁机 .....           | 275        |
| 第五节        | 倾翻卷扬机 .....         | 280        |
| <b>第八章</b> | <b>送风系统设备 .....</b> | <b>285</b> |
| 第一节        | 热风炉的构造和附属设备 .....   | 285        |
| 第二节        | 热风炉的阀类 .....        | 290        |
| 第三节        | 高炉喷吹设备 .....        | 308        |
| <b>第九章</b> | <b>煤气除尘设备 .....</b> | <b>312</b> |
| 第一节        | 除尘装置 .....          | 315        |
| 第二节        | 脱泥脱水设备 .....        | 326        |
| 第三节        | 煤气透平发电设备 .....      | 328        |

# 第一章 绪 论

## 第一节 高炉生产的工艺过程、特点及其对机械设备的要求

高炉生产是目前获得大量生铁的主要手段。它的原料是富铁矿或人造富矿（烧结矿或球团矿）。由于富铁矿的蕴藏量逐渐减少，目前人造富矿的比例已占主要地位。燃料主要是焦炭，其次是煤粉、重油、天然气等。熔剂是石灰石。

高炉冶炼是还原过程，把氧化铁还原成含有碳硅锰硫磷等杂质的生铁。它为炼钢厂提供炼钢生铁和合金生铁。也为机械制造厂提供铸造生铁。高炉生产的副产品——煤气，可以供给本厂和其它工厂（烧结厂、炼焦厂、炼钢厂和轧钢厂等）作为有价值的燃料，也可以用来发电或城市取暖。高炉渣是制造水泥的好原料。

一座有效容积为 $4000\text{ m}^3$ 的高炉，日产量可达 $10000\text{ t}$ 生铁、 $3000\sim 5000\text{ t}$ 炉渣和 $17\text{ Mm}^3$ 煤气。需要 $16500\text{ t}$ 原料、 $4000\sim 5000\text{ t}$ 燃料。现代化的大型炼铁厂往往具有总数 $10000\text{ m}^3$ 以上的高炉容积，将近5座 $2000\text{ m}^3$ 以上的高炉。目前高炉向大型化发展后，世界上最大的炼铁厂具有4~5座 $4000\text{ m}^3$ 级的高炉（如日本福山厂）。这样的工厂，可以年产生铁 $13000\text{ kt}$ 左右。如果炼钢用的生铁比是0.8（即80%），就可以年产 $16000\text{ kt}$ 粗钢。

现代高炉是长年不间断地工作的，它的一代寿命（从开炉到大修或两次大修之间的工作日）一般为7~8年，个别高炉达20年，而休风或减风操作是很少的。某些先进高炉的平均年休风率在0.5%以下，这说明高炉生产具有高度的连续性。

1. 高炉生产的工艺过程 高炉生产的工艺过程包括以下几个环节：

（1）备料 天然富矿和熔剂一般由铁路车辆或船只运来，卸料机和皮带运输机系统把原料存放在贮矿场，在那里进行分级、混匀并合理地堆积，然后由取料机和皮带机系统运送到高炉车间装入料仓。如果是人造富矿（烧结矿或球团矿），分别由它们的生产厂（烧结厂）用铁路车辆或皮带运到炼铁厂装入料仓。对于焦炭，则由炼焦厂的贮焦塔通过运焦车或皮带机系统运到炼铁厂装入焦炭仓。

（2）上料 国内大部分高炉采用料车式上料系统。今后国内外大型高炉将更多采用带式运输机上料系统。不论哪一种上料方式，原料、燃料和熔剂都是按一定比例一批一批地有程序地装入高炉的。每批料的各种组成都要经过称量（由称量车或称量漏斗进行），烧结矿和焦炭要经过筛分，按质按量卸入料车或带式上料机。上料机把原料送到炉顶，由炉顶装料设备按一定的工作制度装入炉喉。

（3）冶炼 高炉冶炼是连续地进行的。动力厂的鼓风机连续不断地把冷风送到炼铁厂，经热风炉加热到 $1200\sim 1300^\circ\text{C}$ ，通过炉缸周围的风口送入高炉。同时在风口区加入各种喷吹燃料和富氧。焦炭和鼓入的热空气燃烧后产生大量的煤气和热量，使矿石源源不断地熔化、还原。产生的铁水和熔渣贮存在高炉炉缸内，定期地出渣和出铁。

（4）产品处理 对于设有渣口的普通高炉来说，出铁前，先从渣口放出熔渣，用渣罐车把炉渣运到粒化池进行粒化处理。也有许多高炉采用炉前冲水渣的方法。国外有的高

炉设有干渣坑，熔渣在那里浇铸成一块块干渣。1000~2000 m<sup>3</sup>的普通高炉每天需要出铁8~9次。出铁时，用开口机打出铁口，让铁水流入铁水罐车，再运到炼钢车间（国内一般叫炼钢厂），或运到铸铁车间用铸铁机浇铸成铁块。和铁水一起出来的熔渣经撇渣器和渣沟流入渣罐车，它与从渣口出来的上渣同样处理。每次出铁完毕后用泥炮把出铁口堵

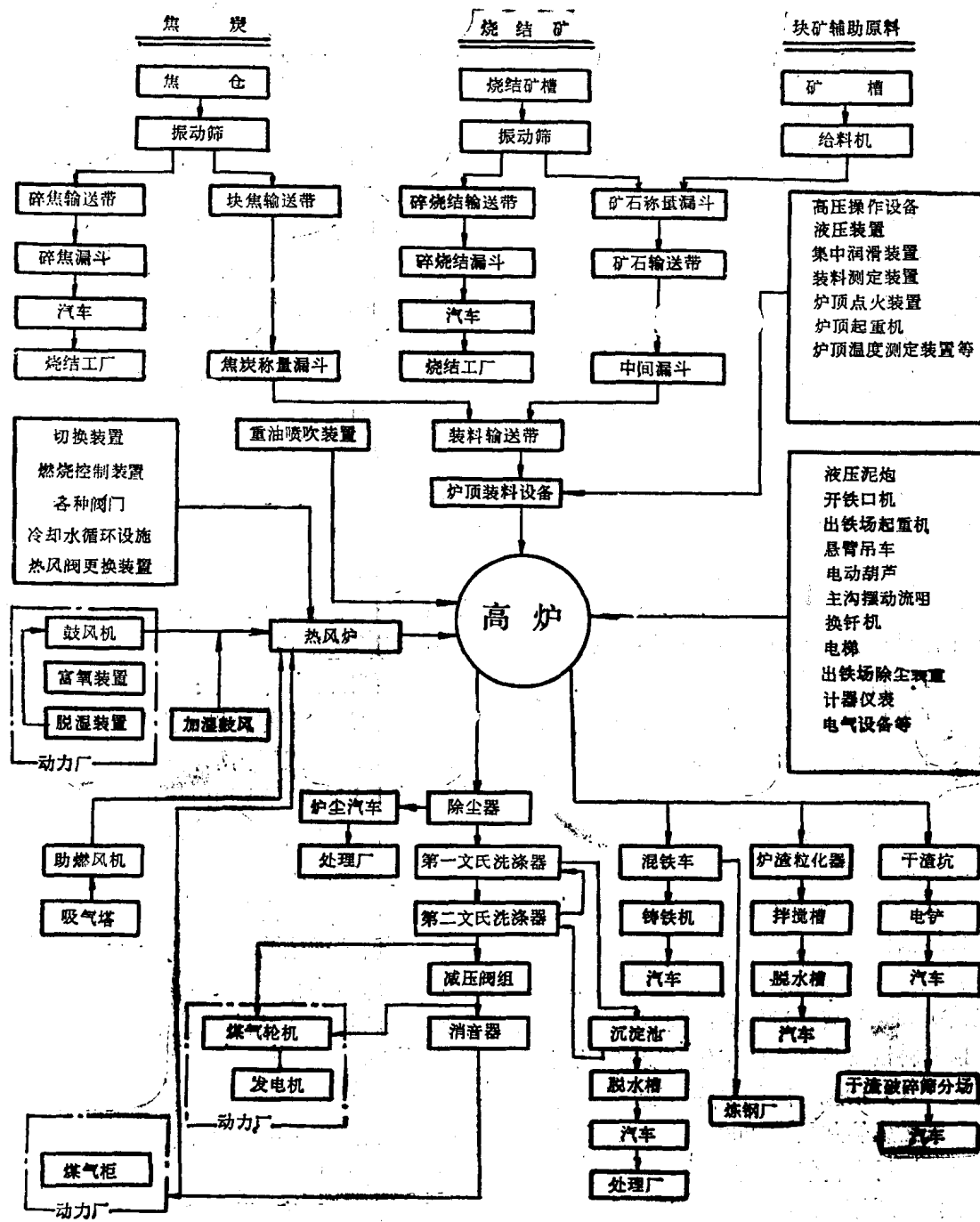


图 1-1 高炉生产工艺流程和主要设备方框图

上。

1000 m<sup>3</sup>级的高炉一般有一个出铁口和两个出渣口。3000 m<sup>3</sup>级的高炉有2~3个出铁口和2个出渣口。目前4000 m<sup>3</sup>级的高炉通常不再设渣口，把铁口增加到4个。为了保护铁口，烘干堵泥，保护炉缸侧壁，几个铁口必须轮流作业。大高炉每天出铁14~16次，因此，对一座炉子来说，基本上可以连续出铁出渣；在铁口交替阶段，甚至有两个铁口同时出铁（渣）的状态。

经高炉导出的煤气通过除尘器、洗涤塔、文氏管清洗除尘后，沿煤气管道输往各用户使用。从除尘器排出的炉尘经车辆运往烧结厂作为烧结原料。从洗涤塔和文氏管系统排出的污水导入沉淀池，回收起来的污泥块可以作为烧结原料。

除上述主要生产过程外，还有辅助材料（如炮泥、砂子、耐火材料等）的卸料、贮存、运输和制备等。

按照上述工艺过程，炼铁的工艺流程和主要设备如图1-1和图1-2所示。

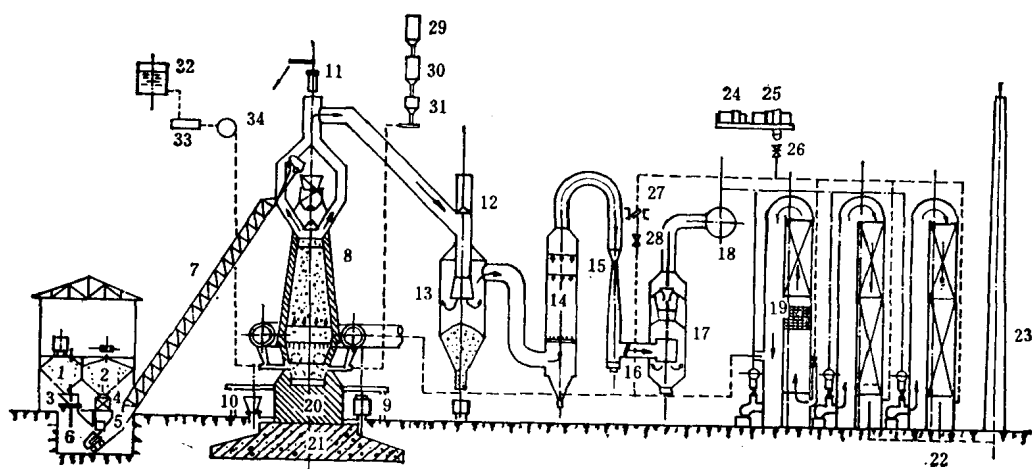


图 1-2 高炉生产流程简图

- 1—贮矿槽；2—焦仓；3—称量车；4—焦炭筛；5—焦炭称量漏斗；6—料车；7—斜桥；8—高炉；9—铁水罐；10—渣罐；11—放散阀；12—切断阀；13—除尘器；14—洗涤塔；15—文氏管；16—高压调节阀组；17—灰泥捕集器（脱水器）；18—净煤气总管；19—热风炉；20—基墩；21—基座；22—热风炉烟道；23—烟囱；24—蒸汽透平；25—鼓风机；26—放风阀；27—混风调节阀；28—混风大闸；29—收集罐；30—储煤罐；31—喷吹罐；32—储油罐；33—过滤器；34—油加压机

2. 对机械设备的要求 高炉生产是一个相当庞大而复杂的系统。它所使用的机械设备种类繁多，五花八门，并且在繁重的条件下工作，不仅要承受巨大的载荷，往往还伴随着高温、高压和多灰尘等不利因素，设备零件容易磨损和侵蚀。为了确保高炉生产的顺利进行，它对机械设备提出了越来越高的要求。

(1) 满足生产工艺要求。工艺上的革新都是和设备上的改进分不开的。例如炉顶装料设备不仅要把大量的原料燃料装入高炉，还要符合高炉布料和炉顶密封等工艺要求。当高炉采用高压操作以后，对于炉壳和管道以及炉顶设备都提出了新的要求。又如现代高炉

都要喷吹燃料，必须有相应的新设备需要研制。

(2) 要有高度的可靠性 高炉生产线上的机器一般是有固定的单一的用途的。如果一台机器（不论是上料机或炉顶装料设备或堵铁口的泥炮）发生事故，就会引起整个高炉的休风甚至停炉。因此要求各种机械设备必须安全可靠，动作灵活准确，有足够的强度、刚度和稳定性等。

(3) 要提高寿命并易于维修 冶金设备的许多零件往往不是因为强度不够，而是由于磨损而报废。特别是高炉生产，各种原燃料对金属的磨损作用很大，加上高温高压煤气的吹刷作用，零件的磨损和寿命问题更加突出。机械设备不仅要耐磨，并且损坏后要容易修理，在平时要易于检查和维护。

(4) 要易于实现自动化。所设计的机器都要考虑到易于自动化操作。例如整个上料系统，各种原料按照不同配比从料仓出来，进行筛分和称量，组成料批，经上料机运到炉顶，再由炉顶装料设备进行布料入炉，全部都自动操作，别的系统也是如此。目前，世界上先进的钢铁厂，从原料卸货堆放开始，一直到成品出厂记帐都由几台电子计算机自动控制和管理。

(5) 设备的定型化和标准化 设备的定型化和标准化对于设计、制造和维修管理都有很大的好处。对于已经试验成功的设备，都应该搞标准设计。在各制造工厂和设计部门互相交流经验，取得一致意见的基础上，在一段时间内，高炉建造应该按规定的系列配套进行。表1-1是我国有效容积1500 m<sup>3</sup>以下的高炉某些设备配套的参数。应该指出，设备的标准化并不妨碍对设备进行改进和采用新的设备。实际上，国内外的高炉设备一直处在变动和发展过程中。标准化并不等于一劳永逸，同样要对设备不断改进或进行新的标准化工作。

表 1-1 高炉部分设备配套参数

| 设备名称   | 主要参数名称                 | 主要参数            |     |     |      |      |
|--------|------------------------|-----------------|-----|-----|------|------|
| 高炉     | 有效容积 (m <sup>3</sup> ) | 100             | 300 | 620 | 1000 | 1500 |
| 料车     | 有效容积 (m <sup>3</sup> ) | 1.2             | 2.5 | 4.5 | 6.5  | 10   |
| 炉顶装料设备 | 正常装料量 (t)              | 4.2             | 6   | 10  | 15   | 22.5 |
|        | 最大装料量 (t)              |                 | 8   | 13  | 19   | 25   |
| 称量车    | 装料量 (t)                | 3               | 10  | 25  | 25   |      |
| 泥炮     | 推力 (t)                 | 14 <sup>①</sup> | 50  | 150 | 210  | 300  |

① 电动泥炮，其余为液压泥炮。

## 第二节 现代高炉生产技术概况

### 一、技术经济指标

高炉生产的技术水平和经济效益可用技术经济指标来衡量，其主要指标有：

(1) 高炉有效容积利用系数  $\eta_v$  高炉有效容积利用系数是指每 m<sup>3</sup>高炉有效容积一昼夜生产生铁的吨数，即高炉每昼夜产铁量  $P$  与有效容积  $V_n$  的比值。

$$\eta_v = \frac{P}{V_n}, \text{ t/m}^3 \cdot \text{d}$$

我国先进高炉年平均  $\eta_v$  为2.0左右, 接近世界先进水平。

(2) 焦比  $K$  焦比是指炼一吨生铁所需的焦炭量

$$K = Q_K / P, \text{ kg/t}$$

式中  $Q_K$ ——高炉一昼夜消耗的干焦量, kg。

近代高炉炼铁技术的发展, 除了提高产量以外, 主要是围绕降低焦比和提高单位能耗的生铁产量而展开的。除了高炉大型化和生产高度自动化以外, 炼铁焦比的降低和利用系数的提高程度, 是衡量各国炼铁技术水平高低的重要标志。我国先进高炉的年平均焦比是400多公斤。

(3) 油比  $M$ 、煤比  $V$  和置换比 由于焦炭费用较贵, 为了降低焦比, 高炉生产广泛采用从风口喷吹代用燃料, 如重油、煤粉、天然气或焦炉煤气。每吨生铁消耗的油量为油比, 消耗的煤粉量为煤比。喷吹单位重量或单位体积的燃料所代替的焦炭量为置换比。置换比愈高, 表示喷吹燃料利用率愈好。喷吹燃料不同, 置换比也不同。当喷吹重油时, 置换比为1.0~1.35kg/kg重油, 喷吹煤粉时为0.7~0.9kg/kg煤粉, 喷吹天然气时为0.5~0.7kg/m<sup>3</sup>。

(4) 冶炼强度  $I$  冶炼强度是指每 m<sup>3</sup> 高炉有效容积每昼夜所消耗的焦炭量, 即一昼夜内装入高炉的焦炭量  $Q_K$  与高炉有效容积  $V_n$  的比值。

$$I = Q_K / V_n, \text{ t/m}^3 \cdot \text{d}$$

冶炼强度表示高炉冶炼强化程度的高低, 它取决于高炉所能接受的风量。鼓风愈多, 燃烧焦炭也愈多, 高炉利用系数也就愈高。但过高的冶强将使焦比增加和炉况不顺。因此, 冶炼强度的提高应保证在高炉顺行和焦比增加不多的情况下为宜。

高炉有效容积利用系数  $\eta_v$ 、焦比  $K$  和冶炼强度  $I$  有如下的关系

$$\eta_v = \frac{I}{K}, \text{ t/m}^3 \cdot \text{d}$$

(5) 休风率 休风率是休风时间与规定作业时间(即日历时间减去计划进行大、中修的时间)的比值百分数。休风率反映设备维护和高炉操作的水平。休风率降低1%, 高炉产量将提高2%左右。先进高炉的休风率在1%以下。

## 二、工艺上的改进

近二十年来, 围绕着提高高炉产量和降低焦比, 国内外采取了很多措施, 主要有以下几方面。

1. 精料 精料是高炉高产、优质、低耗的基础, 对于大型高炉更是如此。精料的基本内容是提高品位、稳定化学成分、整粒和提高熟料率等几方面。

根据理论计算和生产实践的经验, 入炉矿石品位提高1%, 约可降低焦比1.5~2.0%, 提高产量2.5~3%。美国精矿含铁61~69%, 球团矿含铁65%。日本烧结矿含铁量在60%以下, 天然矿含铁量在63%以上。苏联要求铁精矿品位大于65%。西德矿石品位较低, 1960年为42.5%, 目前也提高到56%以上。我国高炉原料的矿石品位较低, 而且加工质量低。

国外许多国家对稳定原料化学成分很重视。如日本钢铁厂多设在海边, 具有较大的贮矿场, 使用堆料机、取料机和皮带运输系统, 每堆450~500层。尽管矿源繁杂, 仍能保证成分稳定。苏联矿石含铁波动由过去的  $\pm 1\%$  下降到目前的  $\pm 0.2\%$  左右, 产量提高了4~

5%。稳定化学成分对于大型高炉的顺利操作有重要意义。我国高炉原料成分一般波动较大,原因是贮矿场的面积太小,也缺少堆取料机等机械设备。

精料的另一主要内容是提高熟料率并要求采取整粒措施。近年来,烧结、球团和块矿的变化情况如表1-2所示。炉料的粒度不仅影响矿石的还原速度,并且影响料柱的透气性。国外块矿的粒度下限为8~10mm,上限为25~30mm;烧结矿的粒度下限为5~6mm,上限为30~50mm。焦炭粒度下限为25~30mm,上限为60~75mm。烧结矿在运输过程中不可避免地要产生粉碎现象,因此除在烧结机机尾过筛外,应在入炉前进行最后过筛。

表 1-2 世界炼铁原料的变化 (%)

| 年 份 | 1937 | 1957 | 1970 | 1980 |
|-----|------|------|------|------|
| 天然矿 | 99   | 69   | 33   | 27   |
| 烧结矿 | 1    | 29   | 50   | 51   |
| 球团矿 | 0    | 2    | 17   | 22   |

我国高炉炉料的整粒工作各厂不一。由于烧结质量欠佳,粉末多,很多高炉还没有做到入炉前过筛。另外,国内高炉炉料的上限尺寸没有严格控制,应予改进。

2. 综合鼓风 综合鼓风包括喷吹燃料、富氧鼓风、高风温和脱湿鼓风等内容。

高炉喷吹碳氢化合物——天然气、重油、煤粉和裂化气等代替焦炭,是降低焦比的重大措施。喷吹是60年代高炉生产的重要技术。二十多年来,喷吹技术使世界上的高炉焦比平均降低了80~100kg/t。

美国目前有80%的高炉采用喷吹手段,主要使用天然气和重油,但喷吹量不大。苏联高炉主要喷吹天然气,喷吹量为80~100m<sup>3</sup>/t铁。日本和西欧国家主要喷重油,一般喷吹量不超过80kg/t铁。

我国1962年起在鞍钢高炉上开始喷吹重油,1965年起在首钢喷吹煤粉,以后在全国推广。我国喷吹的特点是煤、油联合,喷吹量大。很多厂的喷吹总量都超过了90kg/t铁,有的达150kg/t铁。实践表明,煤粉或重油单独喷吹时,喷吹量受到限制,单喷油时为60~80kg/t铁,单喷煤粉时稍高一点,而煤粉和重油联合喷吹的总量可以加大到120~130kg/t铁,从而大幅度降低焦比。

富氧鼓风一方面可以提高炉缸温度,另一方面可以增加喷吹燃料。因此,富氧与大喷吹量相结合是稳产、高产、降低焦比的有效措施,1966年首钢1号高炉富氧量为3000~3500m<sup>3</sup>/h,富氧率2.5~3.5%,喷煤粉200kg/t铁以上,连续五个月降低焦比到400kg/t以下,创造了月平均焦比336kg,利用系数2.5的先进水平。实践表明,鼓风中增加1%氧,可以提高喷吹率6%,降低焦比5~6%,增加生铁产量5%左右。

富氧鼓风在国外发展较快。苏联1974年每吨铁的平均用氧量为58m<sup>3</sup>。日本1970年5月平均每吨铁用氧25.8m<sup>3</sup>,富氧率为1.7%,1973年达到2.1%,少数达3.5%。

富氧的效果是肯定的,目前的情况是制氧机的生产仍然满足不了高炉的需要。高炉只需要低纯度(60~90%)的制氧机,这种制氧机的成本仅为常规制氧机的三分之二。西德在1972年为配合4080m<sup>3</sup>大高炉新建了70000m<sup>3</sup>/h,纯度为60%的制氧机。日本川崎公司

已建成 $47000\text{m}^3/\text{h}$ 的制氧机，水岛厂1971年10月建成 $103000\text{m}^3/\text{h}$ 高炉用制氧机。我国目前还缺乏这类低纯度的制氧机，这是今后需加快研制的设备之一。

高风温是降低焦比提高产量的有效措施，特别是采用喷吹手段时，更可收到为改善喷吹提供补偿热和提高置换比的效果。近二十多年来，各国都在千方百计地提高风温。

1972年4月鞍钢5号高炉风温由原来的 $1050^\circ\text{C}$ 提高到 $1170^\circ\text{C}$ ，喷吹重油量从 $60\text{kg}/\text{t}$ 提高到 $90\text{kg}/\text{t}$ ，焦比从 $560\text{kg}/\text{t}$ 降到 $480\text{kg}/\text{t}$ ，平均约降低 $80\text{kg}/\text{t}$ 。除风温提高本身节约焦炭 $30\text{kg}$ 外，其余 $50\text{kg}$ 是增加喷油量及提高重油置换比的结果。

日本、西德、法国都有年平均达 $1300^\circ\text{C}$ 风温的高炉在生产，而新设计的高炉风温多数为 $1350^\circ\text{C}$ ，甚至有 $1400^\circ\text{C}$ 或 $1500^\circ\text{C}$ 的。

每提高风温 $100^\circ\text{C}$ 可以降低焦比 $20\text{kg}/\text{t}$ 铁以上(原有风温低的效果更好些)，增加产量约5%。

设计高风温热风炉的关键有三：一是热风炉上部高温区的耐火材料；二是合理的热风炉结构；三是高发热值煤气。

目前适合 $1300\sim 1350^\circ\text{C}$ 风温的耐火材料是硅砖，它的荷重软化点高( $1620\sim 1650^\circ\text{C}$ )，高温蠕变小，膨胀率小。它的缺点是在 $117\sim 270^\circ\text{C}$ 和 $573^\circ\text{C}$ 时有晶体转变，体积膨胀，在该温度下耐急冷急热性能差。

大型高炉普遍地采用外燃式热风炉，它可以克服过去常用的内燃式热风炉隔墙温差大，易损坏，产生短路，使气流分布不均等缺点。关于热风炉的座数，大高炉多数用4座，也有采用3座的。

对内燃式热风炉也在结构上进行改进，并取得较好效果。西德、荷兰等国改造后的内燃式热风炉风温达 $1250^\circ\text{C}$ 和 $1300\sim 1320^\circ\text{C}$ 。采取的措施有硅砖炉顶，外壳用蘑菇式的炉顶代替球形炉顶，将炉顶负荷直接传到炉壳，燃烧室与蓄热室间加密封板以消除短路等。内燃式的优点是比外燃式热风炉投资少。

为提高拱顶温度就要提高燃烧的火焰温度。一般都在高炉煤气中配合加入高发热值的焦炉煤气或天然气。另外应使助燃空气和煤气预热。在预热方法上，日本加古川厂用不锈钢管在槽式顺流换热器中将空气预热到 $400\sim 450^\circ\text{C}$ 。日本也有的采用耐热铸铁做热风炉支柱，提高废气温度达 $450^\circ\text{C}$ ，并用这种废气来预热助燃空气。

为适合高风温，热风管道砌砖普遍加厚约 $100\text{mm}$ ，这样既可以保温又可以降低外壳的温度。

综合鼓风的另一项新技术是脱湿鼓风。大气中所含湿分因地因时而异，冬季干燥季节为 $5\sim 6\text{g}/\text{m}^3$ ，夏季可达 $30\text{g}/\text{m}^3$ 。水分变化会引起炉况变化，过去曾用加湿鼓风办法以固定鼓风湿度。但风中水分在炉内分解吸热将导致燃料消耗增加。每增加 $1\text{g}/\text{m}^3$ 水分，要提高 $6^\circ\text{C}$ 风温才能补偿。所以脱去鼓风中的水分就相当于提高风温，降低燃料消耗，同时又能稳定高炉操作。脱湿后鼓风湿度经常控制在 $5\sim 10\text{g}/\text{m}^3$ 。据报导，新日铁1974年在广畑4号高炉安装了湿式脱湿装置，1976年在大分厂1号高炉安装了干式脱湿装置，每立方米鼓风脱湿 $10\text{g}$ ，焦比降低了 $8\text{kg}/\text{t}$ ，而且有利于增加喷油量。设备费在3~4年内收回。

新日铁所使用的方法是用氯化锂做脱湿剂，有干法湿法之分。氯化锂吸湿后加热再生，循环使用。缺点是加热再生要耗很多热量，而且氯化锂对金属有强烈的腐蚀作用。

神户加古川厂利用大型螺旋冷冻机作脱湿装置，于1976年6月在1号高炉使用。这是

采用冷冻方式在热交换器中将鼓风降温，使低于露点，除去饱和水。这样做，由于空气温度低可以增加风机出力，而且不要再生耗热，所以运转费用低。

脱湿鼓风目前仅在日本使用，看来有推广价值。

3. 高压操作 高压操作是改善高炉冶炼过程的有效措施，可以延长煤气在炉内的停留时间，改善煤气热能和化学能的利用，有利于稳定操作，允许加大鼓风量提高冶炼强度，提高产量，降低焦比，同时可以减少炉尘吹出量。据统计，炉顶压力每增加0.01MPa，可增产1.3~1.5%，焦比降低0.5%。

高压操作的关键问题是要有足够的风机能力，炉顶设备的密封性好，寿命要长。这两项在国外已经获得解决。现在设计的大型高炉普遍将炉顶压力由过去的0.1~0.15MPa提高到0.25~0.3MPa，即所谓超高压。

大高炉的鼓风机是建设大型高压高炉的关键设备，目前我国大高炉用的鼓风机主要靠进口，这是今后需要研制的重要设备之一。表1-3是国外部分大高炉所用鼓风机的主要参数。

为了满足高压操作的要求，最近十多年来，出现了许多种新型炉顶，特别是无料钟炉顶，使炉顶布料和密封都获得较满意的解决。

表 1-3 国外部分大高炉鼓风机的主要参数

| 厂 名    | 炉号 | 有效容积<br>m <sup>3</sup> | 炉顶压力<br>MPa | 单位容积<br>风量<br>m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·d | 理论治强<br>t/(m <sup>3</sup> ·d) | 风机型式 | 最大风量<br>m <sup>3</sup> /min | 传动方式 | 最大风压<br>N/Fa | 功率<br>kW | 开炉日期<br>年.月 |
|--------|----|------------------------|-------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|------|-----------------------------|------|--------------|----------|-------------|
| 日本福山厂  | 1  | 2004                   | 0.10        | 2.20                                            | 1.22                          | 轴流式  | 4400                        | 同步电机 | 0.55         | 18000    | 1966.8      |
|        | 2  | 2626                   | 0.15        | 2.40                                            | 1.34                          | 轴流式  | 6330                        | 同步电机 | 0.57         | 28000    | 1968.2      |
|        | 3  | 3016                   | 0.20        | 2.48                                            | 1.33                          | 轴流式  | 7250                        | 同步电机 | 0.45         | 37000    | 1969.7      |
|        | 4  | 4197                   | 0.25        | 2.08                                            | 1.15                          | 轴流式  | 8700                        | 同步电机 | 0.52         | 52000    | 1971.4      |
|        | 5  | 4500                   | 0.25        | 2.10                                            | 1.15                          | 轴流式  | 9300                        | 同步电机 | 0.55         | —        | 1973.7      |
| 日本水岛厂  | 1  | 2156                   | 0.15        | 2.10                                            | 1.15                          | 轴流式  | 4500                        | 汽轮机  | 0.55         | 19500    | 1967.4      |
|        | 2  | 2857                   | —           | —                                               | —                             | 轴流式  | 6300                        | 汽轮机  | 0.47         | 34000    | —           |
|        | 3  | 3363                   | 0.25        | 2.23                                            | 1.22                          | 轴流式  | 7500                        | 汽轮机  | 0.57         | 43800    | 1970.10     |
|        | 4  | 4323                   | 0.25        | 2.31                                            | 1.28                          | 轴流式  | 10000                       | 汽轮机  | 0.70         | 70000    | 1973.4      |
| 日本大分厂  | 1  | 4158                   | 0.25        | 2.41                                            | 1.33                          | 轴流式  | 10000                       | 同步电机 | 0.57         | 60000    | 1972.4      |
| 英国兰伟思  | 3  | 2653                   | 0.18        | 2.11                                            |                               | 轴流式  | 5600                        | 汽轮机  | 0.36         | —        | 1976.2      |
| 法国敦克尔克 | 4  | 4615                   | 0.25        |                                                 |                               | —    | 3×5000                      | 电动机  | 0.46         | 3×27000  |             |
| 苏联定型设计 |    | 2700                   | 0.17        | 1.85                                            |                               | 离心式  | 5000                        | 汽轮机  | 0.35         | 22000    |             |
| 美国格里厂  | 13 | 2832                   | 0.21        |                                                 |                               | 轴流式  | 4240                        |      | 0.46         |          |             |

### 三、高炉大型化

直至七十年代中期，世界生铁产量仍在增长，但高炉的数目却在减少。这除了高炉有效容积利用系数不断提高外，主要与高炉的大型化分不开。1900年，世界最大高炉的生铁日产量仅500 t，1930年为1000 t，1950年为2000 t，现在竟达12000 t。

采用大型高炉，在经济上是有利的，其单位产量的投资及所需劳动力都少。因此，近代世界上新建高炉，其容积大都在2500~5000 m<sup>3</sup>之间。尤其是七十年代以来，世界高炉

容积进入了4000 m<sup>3</sup>级, 有的已超过5000 m<sup>3</sup>。到目前为止, 据不完全统计, 世界上已投产的4000 m<sup>3</sup>以上的大高炉有20多座(表1-4)。

大型高炉的缺点是当有某种事故停炉或大修时, 牵涉到其它工厂的原、燃料平衡问题, 如高炉煤气和生铁的供应等。目前看来, 大型高炉以4000 m<sup>3</sup>级的居多, 我国宝钢一、二号高炉均属4000 m<sup>3</sup>级的高炉。

表 1-4 世界各国4000m<sup>3</sup>以上高炉统计表

| 国 别   | 公司和厂名      | 炉 号 | 有效容积(m <sup>3</sup> ) | 投产年份 |
|-------|------------|-----|-----------------------|------|
| 日 本   | 钢管公司 福山厂   | 4   | 4197                  | 1971 |
|       | 新日铁 君津厂    | 3   | 4063                  | 1971 |
|       | 新日铁 大分厂    | 1   | 4158                  | 1972 |
|       | 钢管公司 福山厂   | 5   | 4617                  | 1973 |
|       | 住友公司 鹿岛厂   | 2   | 4082                  | 1973 |
|       | 川崎公司 水岛厂   | 4   | 4323                  | 1973 |
|       | 新日铁 广畑厂    | 1   | 4140                  | 1975 |
|       | 新日铁 君津厂    | 4   | 4930                  | 1975 |
|       | 住友公司 鹿岛厂   | 3   | 5050                  | 1976 |
|       | 新日铁 大分厂    | 2   | 5070                  | 1976 |
|       | 钢管公司 扇岛厂   | 1   | 4052                  | 1976 |
|       | 川崎公司 千叶厂   | 6   | 4500                  | 1976 |
|       | 新日铁 名古屋厂   | 1   | 4000                  | 1979 |
| 苏 联   | 新里别茨克      | 5   | 4900                  |      |
|       | 克里沃罗格      | 9   | 5026                  | 1974 |
|       | 切利波维茨克     |     | 5580                  | 1980 |
| 美 国   | 伯利恒公司 麻雀点厂 | L   | 4385                  | 1978 |
|       | 内陆公司 印第安娜厂 | 7   | 4420                  | 1978 |
| 西 德   | 奥古斯特·蒂森    | 7   | 4084                  | 1972 |
|       | 士威尔格林      | 1   | 4238                  | 1976 |
| 比 利 时 | 艾莫伊登       | 7   | 4227                  | 1976 |
| 英 国   | 雷特卡        | 1   | 4570                  | 1978 |
| 法 国   | 敦刻尔克       | 4   | 4580                  | 1975 |
| 意 大 利 | 塔兰托        | 5   | 4128                  | 1974 |
| 中 国   | 宝山钢铁总厂     | 1   | 4063                  | 1985 |

#### 四、电子计算机的应用

随着电子技术的发展, 人们从六十年代开始研究把计算机用到高炉上, 目前比较成功的是装料、配料和热风炉控制。

在炼铁厂, 可以用计算机控制调度管理, 其中包括原料输送系统, 产品(铁、渣、煤气)的运输分配系统, 生产任务的分配和日报等。

在高炉上, 计算机的配置和使用有两种形式: 一种是整个高炉设一台控制机控制全部变量; 另一种是设置几台“卫星”计算机分别控制原料和热风系统等, 然后由一台热工用计算机集中控制各现场小型计算机, 组成计算机网络。前者计算机台数较少, 但要求容量大, 可靠性高; 后者是分机工作, 当某一台机故障时, 其余部分照常工作。(一般认为, 从

经济效果考虑后者为佳。

高炉计算机控制的最终目标是实现高炉总体的全部自动控制,包括冶炼过程,供料,上料和热风系统的综合控制。但限于目前的技术水平,要实现上述控制,特别是热工控制,还有一些困难。因此,多数国家是首先实行某一局部控制,然后逐步扩大控制范围。

高炉实现计算机控制后,可以使原料条件稳定和重量准确,热风炉可以实现最佳燃烧,有利于提高风温和减少热耗。通过控制高炉送风及喷吹燃料等来控制高炉热制度,从而达到提高产量,降低焦比和成本的目的。

冶炼数学模型的准确和完善是计算机控制的核心。高精度的测量仪表是高炉计算机控制的关键。稳定的原料性质,准确灵敏的执行机构,如原料系统的给料机、称量设备,送风系统的阀门,炉喉可调挡料板或无料钟炉顶设备等,则是计算机控制的必要条件。由于高炉冶炼过程复杂,数学模型不易精确,加上检测元件不能完全满足要求,所以高炉计算机控制目前还未能实现闭环控制。

## 五、综合利用和环境保护

1. 高炉渣的利用 日产万t生铁的现代化大高炉,一般每日排渣量约为3000~5000t,一年排渣量达1~1.5Mt。在国外,已取消了高炉的弃渣场而全部加以利用。国外高炉渣的处理和利用是制成渣块或水淬处理。如美、英和西德等国,高炉渣主要制成渣块,用于筑路和作为混凝土骨料。苏联的高炉渣主要是水淬处理,用于制造水泥和建筑等方面。法国和日本则是制成渣块和水淬处理并举。现在,国外高炉大都取消渣罐车,采用干渣坑,把熔渣导入铸模中干冷后,大块渣作建筑材料和铺路材料,小块渣作炉渣水泥或肥料。有的高炉在干渣坑旁还有水渣池,制一部分水渣,用于制造水泥和建筑材料。

2. 高炉炉尘和泥浆的利用 由于世界钢铁工业的迅速发展,钢铁厂的粉尘和矿泥排放量很大。据1974年西德资料统计,每吨生铁的粉尘排放量为7.1kg,转炉炼钢为14.7kg,再加上电炉炼钢的粉尘一起,西德一年粉尘的排放总量达1000kt(生铁和钢的产量各约40Mt)。如果把这些粉尘加以回收利用,可回收450kt铁,24kt锌,7000t铅等。为了解决变废为利,世界各国都在进行研究和利用。例如,日本川崎公司千叶钢铁厂和水岛钢铁厂,把从矿石堆放场、烧结机、高炉和转炉等产生的粉尘和泥浆,先制成球团,在预热器内进行干燥和预热,然后在回转窑内制成金属化球团,给高炉作精料使用。试验表明,高炉配用10%的这种金属化球团,焦炭单耗降低50kg,并提高了生铁产量。日本还有几种处理炉尘的方法,如住友烟尘还原法、住友预还原法、钢管公司的回转窑处理法,均取得了较好效果。通过各种方法对钢铁厂烟尘和泥浆进行回收处理,这不仅对资源的充分利用,而且对环境保护有重要意义。

3. 高压高炉煤气余压的利用 近年来,高炉广泛采用高压操作,炉顶排出煤气的压力达0.15~0.25MPa。这种高压状态的煤气,很小一部分压力消耗在除尘系统内,然后经过压力调节阀组减压后引入煤气塔或用户。这不但浪费了大量的能量,并且在减压过程要产生很大的噪音,影响环境。

为了充分利用这种煤气压力能,世界上已有许多国家进行了研究和利用。其方法是高压状态的高炉煤气通过涡轮机变为机械能,然后带动发电机发电。目前,法国、日本和苏联都有类似的装置。1974年11月日本水岛厂2号高炉安装了高炉煤气余压发电装置,20个月的发电量的价值相当于整套设备的投资费用。1976年新日铁公司名古屋3号高炉采用