

新技术炼铁丛书

水煤气竖炉海绵铁

广东省海绵铁试验组编

4
2
广东科技出版社

新技术炼铁丛书

水煤气竖炉海绵铁

广东省海绵铁试验组 编

广东科技出版社

新技术炼铁丛书

水煤气竖炉海绵铁

广东省海绵铁试验组 编

*

广东科技出版社出版

广东省新华书店发行

广东新华印刷厂印刷

187×1092毫米32开本 6.625印张 1插图 144,000字

1978年12月第1版 1978年12月第1次印刷

书号 15182·3 定价 0.50元

前 言

伟大领袖毛主席指出：“一个粮食，一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。”钢铁工业要大治快上，这是全党和全国人民的殷切期望，是贯彻落实以华主席为首的党中央抓纲治国的战略决策，加速实现四个现代化，尽快把我国建设成为伟大的社会主义强国的迫切需要。

广东省有比较丰富的铁矿和无烟煤（或叫白煤）资源。为了迅速扭转“北煤南运”，立足本地资源发展钢铁工业，近年来，我省开展了几种不用焦炭的炼铁新方法的科学试验，水煤气竖炉海绵铁试验是其中较为重要的一种。在中国科学院和冶金工业部的大力支持下，广东省冶金工业局于一九七三年组织成立了广东省海绵铁试验组，以韶关钢铁厂试验车间为基地，经过调查研究，确定了采用无烟煤造水煤气、竖炉冶炼海绵铁的工艺流程，并根据实验室 127 次试验的数据，于一九七五年十一月建成了日产 5 吨水煤气竖炉海绵铁扩大试验装置，投入了试验，到一九七七年八月共进行了 8 次试验。试验证明，此工艺和设备基本上都是可行的。佛山地区西南钢铁厂采用这一工艺，于一九七七年第一季度建成一座日产 100 吨水煤气竖炉海绵铁装置，并于五月一次试产成功。在试炼海绵铁的同时，还进行了海绵铁的压块和应用试验。试验证明，不加任何粘结剂可将海绵铁粉或粉块混合压制成块，压块后的海绵铁可代替废钢作为电弧炉炼钢的原料和顶吹氧气转炉的冷却剂，也可在化铁炉掺用一部分，还

可选择质量较好的制成铁粉用作粉末冶金的原料。根据试验取得的成果，中国科学院和冶金工业部委托广东省冶金工业局和原广东省科学技术局，于一九七七年九月在韶关钢铁厂召开了日产5吨水煤气竖炉海绵铁鉴定会议。与会的代表肯定了这项试验，通过了鉴定书，认为这是我国发展水煤气竖炉海绵铁的一个良好的开端，是缺少焦煤资源和其他煤种含硫较高的地区发展钢铁工业的一条有效途径。

为了适应发展竖炉海绵铁的形势，满足钢铁工人学习的要求和有关人员参考之需要，特请参加本试验组的广东矿冶学院钢铁教研室赵春融、王积俭、王义琪、吴光明和薛新明等五位同志执笔编写了这本《水煤气竖炉海绵铁》。本书的内容主要介绍韶关钢铁厂的试验实践和经验，并吸取了西南钢铁厂试验的有关数据和参加本试验单位提供的资料。由于我们的水平不高，工作还有局限性，错误和欠缺在所难免，诚恳地希望读者给予帮助并提出宝贵的意见。在本书编写和出版过程中，得到领导机关和兄弟单位特别是韶关钢铁厂的大力支持和热情帮助，谨此一并表示感谢。

广东省海绵铁试验组

一九七七年十二月

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 第一章 概述 | 1 |
| 第一节 非高炉炼铁法的发展概况..... | 1 |
| 第二节 水煤气竖炉海绵铁的特点及工艺流程..... | 4 |
| 第三节 水煤气竖炉海绵铁的主要原料..... | 7 |
| 第二章 竖炉冶炼基本原理 | 10 |
| 第一节 竖炉炉型结构..... | 10 |
| 第二节 炉内的运动和变化..... | 17 |
| 第三节 水分蒸发和结晶水分解..... | 19 |
| 第四节 碳酸盐的分解..... | 21 |
| 第五节 炉内的还原反应..... | 22 |
| 第六节 还原煤气量..... | 27 |
| 第七节 影响铁矿石还原的因素..... | 34 |
| 第八节 析碳反应和海绵铁渗碳..... | 38 |
| 第九节 冶炼产生海绵铁粉末的原因..... | 42 |
| 第十节 海绵铁的再氧化..... | 43 |
| 第十一节 竖炉的经济技术指标和基本操作..... | 46 |
| 第三章 煤气加热炉基本原理和操作 | 49 |
| 第一节 煤气加热炉类型..... | 49 |
| 第二节 球式煤气加热炉的结构及主要设备..... | 50 |
| 第三节 煤气加热炉燃烧和传热的基本原理..... | 58 |
| 第四节 煤气加热炉操作规程..... | 67 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第四章 竖炉的开炉停炉和事故处理 | 71 |
| 第一节 开炉..... | 71 |
| 第二节 停炉..... | 74 |
| 第三节 竖炉各种事故的处理..... | 76 |
| 第五章 水煤气的制造 | 89 |
| 第一节 水煤气制造的工艺流程..... | 89 |
| 第二节 主要设备的构造原理..... | 91 |
| 第三节 固体燃料的性质及对气化的影响..... | 96 |
| 第四节 气化反应的原理..... | 100 |
| 第五节 固定层间歇式煤气发生炉的工作循环..... | 108 |
| 第六节 造气操作条件的选择..... | 109 |
| 第六章 水煤气脱硫及炉顶气的利用 | 114 |
| 第一节 水煤气脱硫..... | 114 |
| 第二节 干法脱硫..... | 114 |
| 第三节 湿法脱硫..... | 127 |
| 第四节 炉顶煤气的利用..... | 138 |
| 第七章 海绵铁的压块成型 | 145 |
| 第一节 压块成型的目的意义..... | 145 |
| 第二节 压块成型试验概述..... | 146 |
| 第三节 压块成型工艺条件和设备..... | 149 |
| 第八章 海绵铁的应用 | 151 |
| 第一节 海绵铁在电炉炼钢上的应用..... | 152 |
| 第二节 海绵铁在粉末冶金上的应用..... | 175 |
| 附录和附表 | 187 |
| 一 煤气生产使用安全知识..... | 187 |
| 二 常用化学元素表..... | 191 |
| 三 气体的比重及常数 R 值表..... | 192 |

| | | |
|----|--|-----|
| 四 | 常用燃料发热量表 | 192 |
| 五 | 重要燃料发火点表 | 193 |
| 六 | 燃烧中可燃成分热量表 | 193 |
| 七 | 燃料发热量的计算 | 193 |
| 八 | 干煤气的饱和水蒸气含量 | 195 |
| 九 | 饱和状态下空气的含水量 | 196 |
| 十 | 气体在各种温度下的平均比热 | 198 |
| 十一 | 常压下每米 ³ 气体加热至不同温度 所需热量 | 200 |
| 十二 | 气体在各种温度下的比重表 | 202 |
| 十三 | 压力和压强单位换算表 | 202 |

第一章 概 述

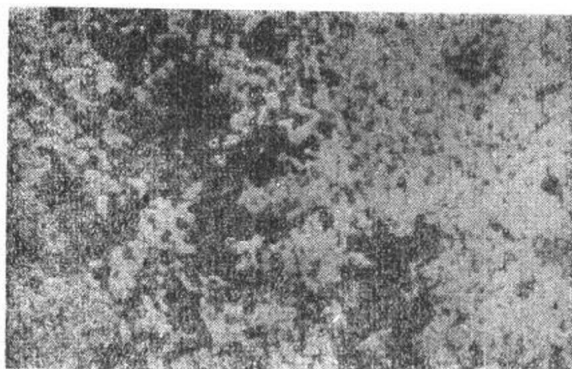
第一节 非高炉炼铁法的发展概况

非高炉炼铁法也叫直接还原炼铁法，广义上指高炉炼铁以外的一切炼铁方法。这种炼铁法，早在十八世纪末期就已经有人提出，并做了尝试性的实验，但因受当时条件的限制而停顿下来。二十世纪初期有人重新开始了这项研究和试验，但直到最近十几年，才在工业生产上推广应用，有了较快的发展。

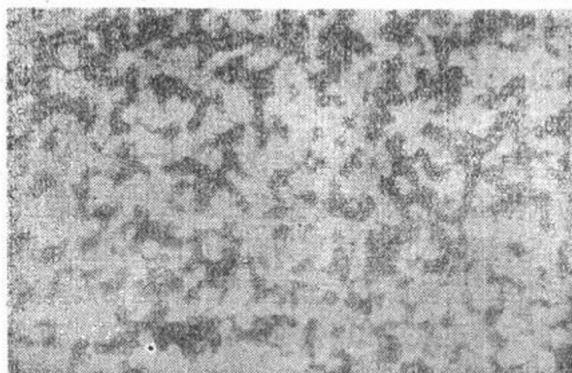
现代，非高炉直接还原炼铁法的种类很多，按使用的还原剂分为气体还原剂法（主要包括竖炉法、反应罐法和流态床法）和固体还原剂法（主要为回转炉法）；按产品的特点分为海绵铁法、粒铁法和液态生铁法。在这两大类的各种方法中，采用气体还原剂比固体还原剂较为普遍，而技术成熟、发展迅速的则是海绵铁法。

海绵铁法是在冶炼过程中，炉料不发生熔化的一种非高炉炼铁法。所谓海绵铁，就是用含杂质较少的高品位铁矿石（块或粉）或球团矿，在不同的还原设备中，在一定的温度范围内，通过固体或气体还原剂的还原作用，成为保持固体状态的金属化球团或块和粉末，在微观下呈多孔的海绵状的铁，如图 1—1 所示。

铁矿石直接还原法中，采用气体还原法的竖炉海绵铁工



龙塘褐铁矿海绵铁(未腐蚀)



龙塘褐铁矿低碳(0.3%)海绵铁(苦味酸腐蚀)

图 1—1 海绵铁

艺，因其生产率高，热效率较高，消耗较低，产品质量好，基建投资少和经济效果较好，近年来发展得比较快，已形成工业生产规模，其设备正朝着大型化的方向发展。

近年来，世界上采用直接还原法炼铁的工厂越来越多，生产能力逐年增高。一九七七年，全世界的直接还原法工厂

有 39 个，正在建设之中的有 25 个，总生产能力到年底可达到 1500 万吨；预计到一九八〇年总生产能力将为 3100 万吨，一九八五年将为 5100 万吨。世界上各种直接还原法工业生产能力的比例，大致是竖炉法占 55%，反应罐法占 33%，流态化法占 3.5%，回转炉法占 8.5%。可见在各种方法中，竖炉法的应用比较广，最有发展前途。

非高炉直接还原法得到发展的主要原因有如下四点：

第一，现代的高炉炼铁法需用高强度的优质焦炭作为还原剂和热源，虽然用喷油和喷煤粉等办法可以节省部分焦炭，但不可能全部代替焦炭。由于生产焦炭所需的炼焦煤，在煤炭资源中所占的比重较小（据国外资料，在世界总煤储量中只占 20% 左右），而钢铁工业的迅速发展，使焦炭需用量急剧增加，因此炼焦煤供应日趋紧张，就促使各国加速研究不用焦炭的直接还原炼铁法。

第二，由于工业生产和科学技术的不断发展，对特殊钢和合金钢的需求量也在不断增长，又由于高效能高功率的大型电炉的出现和完善，大大地促进了电炉炼钢的发展，因而造成了电炉炼钢的主要原料——废钢的供应越来越紧张，市场价格越来越高，有时每吨竟高达一百四十美元。而冶炼海绵铁，用铁矿石作原料，其成分稳定，易于进行自动化生产，用于炼钢时，又可以缩短调整化学成分的时间。因此，海绵铁完全可以代替废钢作为电炉炼钢的原料。

第三，直接还原法自提出至今已有一百多年的历史，通过多年的实践，已摸索了一些规律，解决了许多难题，特别是竖炉海绵铁法近十几年发展较快，已经取得了可喜的成绩，有着不少的突破。故此，竖炉海绵铁法不但在直接还原的各种方法中占着重要的领先地位，而且与同等生产规模的

高炉炼铁法比较，也有生产成本低等许多优点。

第四，国外普遍认为，采用海绵铁——电炉——轧钢这套工艺流程，适合于发展年产钢几十万到一百多万吨的中、小型钢铁厂。有些人还认为这套工艺流程，可以跟现行的高炉——氧气顶吹转炉——轧钢这样的工艺流程进行竞争。事实上，当前世界各国也正在不断增建这套工艺类型的工厂。

通过上述原因，不难理解非高炉直接还原法为什么在世界上受到这样重视，发展这样迅速。对于我国，除上述原因外，还应看到，我国虽以高炉炼铁为主，但我国幅员广大，资源多样复杂、分布不均，单一的高炉生产难以适应千差万别的自然条件和经济状况。例如，广东省炼焦煤的资源比较缺乏，在总煤源中仅占3~4%，而铁矿资源却比较丰富，小而富的矿点比较多，如果只采用高炉法炼铁，炼焦煤绝大部分要从北方调来，对钢铁生产的发展十分不利。因此，为了立足本地资源，加速钢铁工业的发展，在全国特别是在缺少炼焦煤资源的地方，大力开展非高炉炼铁的试验和研究，是一件意义重大的事情。

第二节 水煤气竖炉海绵铁的特点及工艺流程

一、水煤气竖炉海绵铁的特点

水煤气竖炉海绵铁的突出特点是用水煤气作为还原气体，起着还原和载热的双重作用。

广东采用水煤气作为还原剂的原因有如下三点：

首先，广东铁矿资源丰富、品位高，是发展钢铁工业的重要条件，但是广东的炼焦煤却十分贫乏，无烟煤所占的比

例则很大，而且目前尚无可靠的天然气源作为还原气。因此，因地制宜采用无烟煤制造水煤气作为还原剂以生产海绵铁，不但是立足本地资源发展钢铁生产的需要，而且有宽广的发展前途。

其次，目前普遍采用的煤气发生炉制造水煤气，是全省各地小氮肥厂比较成熟的工艺，所制造的气体的成分完全符合还原铁矿石的要求。因此，完全可以移植到水煤气竖炉海绵铁生产的还原气体制备工序中。

最后，广东的无烟煤大部分含硫比较高，一般都在1%以上。若是采用回转炉海绵铁法，使用高硫煤在生产上就会产生一定的困难，而采用水煤气竖炉海绵铁法，则使用含硫较高的煤种，也能保证生产正常。目前，已使用含硫1%左右的无烟煤作为造气的原料，获得了符合要求的低硫海绵铁。

二、水煤气竖炉海绵铁的工艺流程

广东韶关钢铁厂5吨/日水煤气竖炉海绵铁工艺流程(如图1—2所示)简介如下：

无烟煤经链式破碎机压碎成粉，配入适量的红泥（或白泥），经筛分，通过斗式提升机送进料仓，由圆盘给料机送给皮带运输机，送落在螺旋混料机上，加入适量的水，经搅拌混料后，进入煤条机压制成直径25毫米的实心煤条，用天车煤斗把煤条装进直径1500毫米的固定床水煤气发生炉制造水煤气，造出的水煤气经水洗，由D36—20罗茨鼓风机加压，经原料气柜压送到脱硫罐，采用褐铁矿干法脱除水煤气中的硫化氢，再送到直径1540毫米的球式煤气加热炉中，加热到所需要的温度，再经环风管喷入竖炉炉膛；

铁矿石经破碎和筛分，用斜桥料车从炉顶加入竖炉内并向下移动，在下降移动的过程中，与从环风管喷入炉膛的高

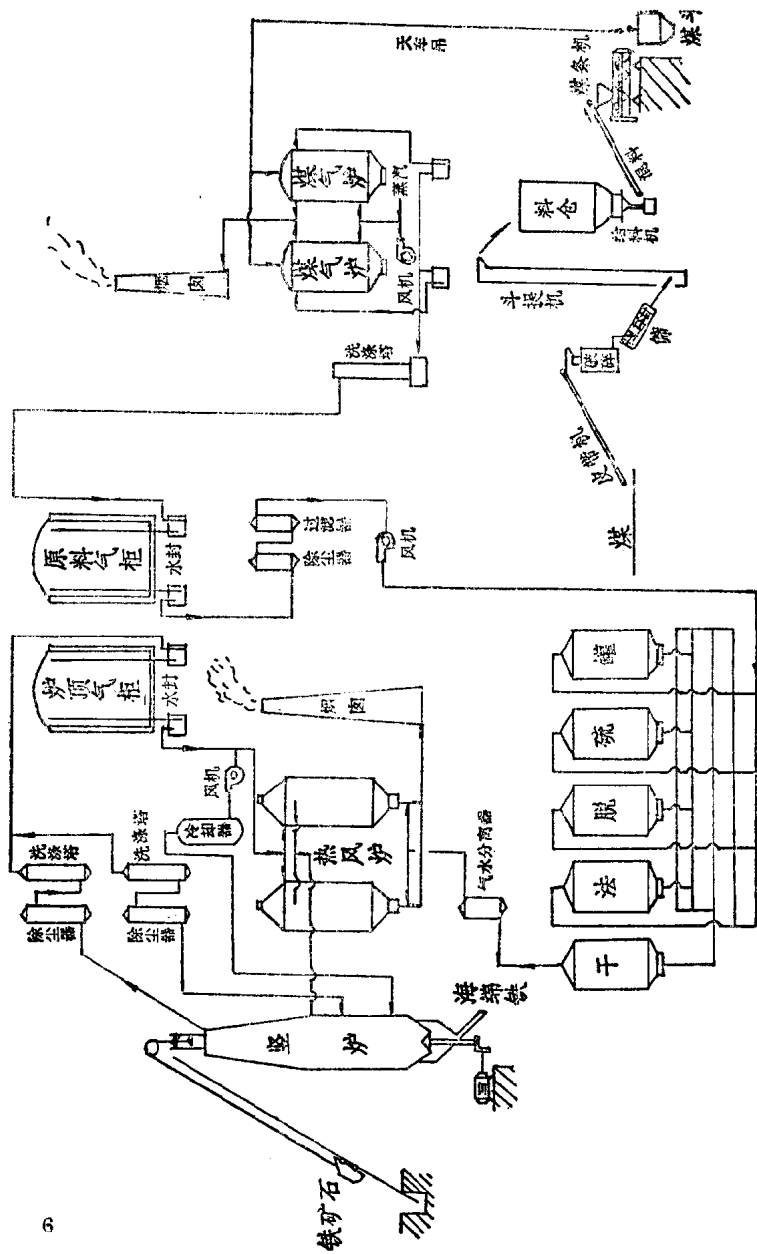


图1-2 5吨/日水煤气竖炉海绵铁工艺流程示意图

温水煤气相遇，发生还原反应，铁矿石失去氧分被还原成海绵状的铁，接着，海绵铁进行了部分渗碳反应，并在炉膛下部被冷却煤气所冷却，最后排出炉外；

参与还原反应后的水煤气，从竖炉上部引出，经洗涤除尘，导入炉顶气柜，供球式煤气加热炉燃烧、竖炉内海绵铁冷却和兑入原料气循环之用。

第三节 水煤气竖炉海绵铁的主要原料

水煤气竖炉海绵铁的主要原料是铁矿石(块矿或球团矿)和水煤气。

一、铁矿石

铁是组成地球壳体的重要元素之一。在含铁的岩石中，有一些含铁量较为丰富，它们在目前的技术条件下能够炼出铁，并且在经济上是合理可行的，这类岩石便称为铁矿石。

现代作为炼铁原料的铁矿石有二十多种，根据其主要的性质指标，通常可分为四种类型，即赤铁矿(Fe_2O_3)、磁铁矿(Fe_3O_4)、褐铁矿($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)和菱铁矿(FeCO_3)。

1. 赤铁矿

赤铁矿是最常见的储量大的铁矿石。它的理论含铁量为70%，一般含铁量为35~68%，比重为4.8~5.3吨/米³。赤铁矿是磁铁矿在风化过程中被氧化而生成的。它含二氧化硅(SiO_2)较多，还原性能较好，接近于褐铁矿的还原性，并且矿石的组织比较松软。赤铁矿在白瓷板上的划痕呈暗红色。

2. 磁铁矿

磁铁矿的理论含铁量为72.4%，比重为4.9~5.2吨/米³，具有金属光泽和磁性，组织致密，比较坚硬，较难还原。

石外表呈灰或灰黑色，在白瓷板上的划痕为深灰或黑色。广东的海南矿和怀集矿就属于此种。

3. 褐铁矿

褐铁矿为含水的三氧化二铁 (Fe_2O_3)，其化学组成是 $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，多以 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 形式存在。理论含铁量为55~66%，比重为3.6~4.0吨/米³，结构松软，易于还原。矿石一般呈黄、褐黄或黄棕等色，在白瓷板上的划痕为棕褐色。广东的大宝山矿和英德龙塘矿就属于此种。

4. 菱铁矿

菱铁矿的理论含铁量为48.2%，其组织致密坚固，颜色黄褐，有灰或淡黄色条痕。该矿石与他种矿石的鉴别方法是对矿石滴上稀盐酸 (HCl)，便会产生二氧化碳 (CO_2) 的气泡。菱铁矿经焙烧处理，含铁量可大大提高，且组织变得疏松，易于还原。

上述的几种矿石中，由于磁、褐铁矿在广东的矿源较多，部分矿种符合炼海绵铁的要求，所以韶关钢铁厂的5吨/日竖炉与西南钢铁厂的100吨/日竖炉均采用这两种矿石作为试验和生产的原料。特别是采用褐铁矿，更是试验效果好，生产产量高。

竖炉海绵铁可以用块状铁矿石，也可用由铁精矿粉制成的球团矿，或者块矿与球团矿掺合使用。根据竖炉生产工艺的特点，对铁矿石和球团矿的粒度、机械强度、还原性能、还原温度、软化温度及化学成分等，均有一定的要求，这些将在第二章中介绍。

二、水煤气

水煤气竖炉海绵铁的另一主要原料——水煤气，是由无烟煤块或粉煤成型后，经煤气发生炉制造而成的。为了满足

竖炉生产工艺的需求，对水煤气的成分，对造气用煤种的固定碳含量、灰分、热稳定性、硫分等，都有一定的要求，这些将在第五章中介绍。