

钢铁冶金学讲座 (第二卷)

炼铁技术

冶金工业出版社

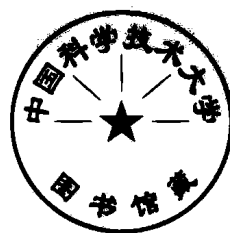
冶金工业

76.2/107

钢铁冶金学讲座 第二卷

炼 铁 技 术

〔日〕三本木贡治 等 著
范 显 玉 等 译



冶金工业出版社

钢铁冶金学讲座 第二卷

炼 铁 技 术

〔日〕三本木贡治 等 著

范 显 玉 等 译

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

山西新华印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 $11\frac{8}{4}$ 字数271千字

1980年9月第一版 1980年9月第一次印刷

印数00,001~4,800册

统一书号: 15062·3487 定价1.25元

译 者 的 话

本书译自日本朝仓书店1977年出版的《钢铁冶金学讲座》第二卷第三版，书名原为《钢铁冶炼技术Ⅰ》，根据内容改为《炼铁技术》。

参加本书翻译的为东北工学院炼铁教研室袁进恩、王惠斌、李永镇、许允元、邓守强、车传仁、陆曙、范显玉等同志，由范显玉负责总校对。

出版序言

钢铁居金属材料的首位，在持续跃进的日本工业发展中，实际上起着重要骨干作用。

既与钢铁的冶炼、压力加工和热处理有关，又同钢铁材料的质量和使用有关的钢铁冶金学，也在惊人地不断向前发展，常常要求有关技术人员、科研人员和学习《钢铁冶金学》的学生，要有丰富的最新的钢铁冶金知识。

为此而计划出版了《钢铁冶金学讲座》。本讲座以青年技术人员和大学生为对象，把最新的比较高深的有关钢铁冶金方面的知识，尽可能论述得浅显易懂。并通过全书，想把作为工业技术基础的科学原理和定律，与实际生产操作技术紧密地结合起来，以便更好地理解科学原理和定律的要点。同时也把过去常常是难懂的钢铁冶金的基础理论，尽量和实际应用联系起来。所以如能使读者在本书各章节中，见到有切身体会的最新的钢铁冶金方面的知识，编者将感到十分荣幸。

《钢铁冶金学讲座》编辑委员 荒木 透
金子秀夫
三本木贡治
桥口隆吉
盛 利贞

1969年9月

书 首 序 言

上次已将《钢铁冶炼基础》作为《钢铁冶金学讲座》（钢铁工学讲座）的第一卷出版了。在这以后，又接着出版了《钢铁冶金学讲座》的第二卷和第三卷。在这两卷中论述了钢铁冶炼的生产工艺。

《钢铁冶金学讲座》的内容，是按第二卷论述铁矿石冶炼法，第三卷论述炼钢法分卷编写的。

各章节的执笔人，在工厂企业或大学中都是他们所写内容方面的权威。将他们的原稿整理后编成了《钢铁冶金学讲座》的第二卷和第三卷。

本书可作为大学生的教科书或参考书，如果同时也能对现场工程技术人员成为有益的参考书，作者将感到荣幸。

第二、三卷主编 三本木贡治

一九七二年一月

目 录

第一章 绪论	1
第1节 绪言	1
第2节 工业用铁	1
第3节 现代钢铁冶炼技术的系统	3
第4节 钢铁冶炼技术的展望	3
第二章 原料及其处理	5
第1节 炼铁原料	5
第2节 铁矿石的预备处理	8
第三章 钢铁工业用燃料和耐火材料	17
第1节 钢铁工业用燃料	17
第2节 钢铁工业用耐火材料	48
第四章 铁矿石冶炼	68
第1节 炼铁化学	68
第2节 高炉炼铁法	96
第3节 电炉炼铁法	130
第4节 特殊炼铁法	140
第5节 直接还原炼铁法	145
第五章 铁合金生产方法	155
第1节 概要	155
第2节 设备	156
第3节 锰铁 (Fe-Mn)	157
第4节 硅锰合金 (Si-Mn)	160
第5节 镜铁 (SP)	160
第6节 硅铁 (Fe-Si)	161
第7节 铬铁 (Fe-Cr)	163
第8节 钨铁 (Fe-W)	166
第9节 钼铁 (Fe-Mo)	167
第10节 磷铁 (Fe-P)	168
第11节 钒铁 (Fe-V)	169
第12节 钛铁 (Fe-Ti)	169
第13节 铌铁 (Fe-Nb)	170
第14节 锆铁 (Fe-Zr)	171
第15节 硼铁 (Fe-B)	171
第16节 钙硅合金 (Ca-Si)	172
第17节 镍铁 (Fe-Ni)	172
第18节 发热、氮化、团块合金熔炼	173
第19节 最近发展趋向	174
参考文献	175
人、地、厂译名对照表	178

第一章 绪 论

第1节 绪 言

从构成地壳的各种元素重量百分比看,铁(Fe)在金属元素当中,仅次于铝(Al)居第二位,约有4.2%,它在金属生产中一贯占首位。当今世界的文化及经济的发展,与钢铁生产有非常密切的关系,因此根据钢铁生产方式和钢产量,就可以推测出各国的文化水平和经济水平。表1-1为1970年世界各国钢铁生产情况,表1-2则为日本历年钢铁生产增长情况。在战后日本钢铁增长显著,已成为仅次于苏联、美国而居世界第三位的钢铁生产国。

第2节 工 业 用 铁

工业用铁不是化学纯的铁,而是以铁为主要成分,含有各种其它成分的铁的合金。这些其它成分,可以区分为各种金属成分和非金属成分,也可以区分为普通元素和特殊元素,工业用铁根据所含成分、冶炼方法、原料、断口及用途等方面可以分为若干类。

1. 含有元素

普通元素指C、Si、Mn、P、S五种。一般地说,虽然使用原料和冶炼方法不同,但铁或钢中不可避免地都含有这些元素,它们的含量通常在表1-3所列的范围之内。

所谓特殊元素,是为赋予铁或钢以特殊性质而特意加入的成分,如Ni、Cr、W、Mo等,即使属于普通元素,当为获得特殊性质而使其含量超出一般的含量范围时,也可视为特殊元素。例如,硅钢中的硅,耐摩铸钢中的锰等。

2. 工业用铁的分类和名称

工业用铁可以按上述几个方面进行分类,如以Fe-C系状态图为基础,根据碳素含量大致的分类如表1-4所示。

表1-1 世界各国钢铁生产情况 (1970年)

国 名	生 铁 ($\times 10^6$ 吨)	钢 ($\times 10^6$ 吨)	国 名	生 铁 ($\times 10^6$ 吨)	钢 ($\times 10^6$ 吨)
美 国	83.3	119.3	英 国	17.7	28.3
苏 联	85.9	115.9	法 国	19.1	23.8
日 本	68.0	93.3	中 国	16.0	17.4
西 德	33.6	45.0	比 利 时	11.0	12.6
印 度	7.1	6.3	捷 克	7.5	11.5
加 拿 大	8.3	11.2	波 兰	6.9	11.8
意 大 利	8.4	17.3			

表1-2 日本钢铁生产情况

公 元	生 铁 ($\times 10^6$ 吨)	钢 ($\times 10^6$ 吨)	钢 材 ($\times 10^6$ 吨)	备 注
1911	0.24	0.24		第一次世界大战结束
1929	1.5	2.3	2.0	世界经济好转。包括日本侵占的中国东北和朝鲜
1932	1.5	2.4	2.1	世界经济危机。包括日本侵占的中国东北和朝鲜
1940	3.4	7.0	4.8	第二次世界大战前一年。包括日本侵占的中国东北和朝鲜
1946	0.5	1.1	0.4	第二次世界大战结束。包括日本侵占的中国东北和朝鲜
1950	2.0	5.0	3.7	
1954	4.6	7.7	5.9	
1956	6.0	11.1	9.0	
1958	7.4	12.1	9.8	
1960	11.9	22.1	17.2	
1961	15.8	28.3	21.9	
1962	18.0	27.5	22.3	
1963	19.9	31.5	25.6	
1964	23.8	39.8	31.9	
1965	27.3	41.2	33.4	
1966	32.0	47.8	39.0	
1967	40.1	62.2	50.4	
1968	46.4	66.9	55.7	
1969	58.1	82.2	67.1	
1970	68.0	93.3	75.9	

表1-3 普通元素在生铁和钢中的含量范围

元 素	生铁(铸铁) (%)	钢 (%)	元 素	生铁(铸铁) (%)	钢 (%)
C	3.0~4.5	0.03~1.2	P	0.02~0.5	0.01~0.05
Si	0.5~2.0	0.01~0.3	托马斯生铁	1.7~2.2	
Mn	0.5~2.0	0.3~0.8	S	0.01~0.1	0.01~0.05

表1-4

铁	化学纯铁 (C=0%)	
	工业用铁	工业用纯铁 (C $\approx$ 0~0.05%)
		钢 (C $\approx$ 0.03~1.2%)
		生铁及铸铁 (C $\approx$ 2.5~4.5%)

工业用纯铁和钢主要根据其有无淬透性来区分,过去在半熔融状态下冶炼得到的产品称为熟铁,熟铁含碳量低,仅有可锻性而无淬透性,现在几乎不生产了。但是各种工业用纯铁的生产目前还存在,所以在上述的分类表中列为一项。

钢和生铁的区别,是它们的可锻性与铸造性。含碳量为1.2~2.5%,由于缺乏实用性,一般不进行工业生产。

然而这样的区别方法并不是固定的,可以依据其它共存成分的种类和数量变化,也可以完全从另外的角度出发将原料种类、冶炼方法、产品特性或使用目的及断口等作为分类的根据,使用这些分类法有时也有其方便之处。

生铁和铸铁实质上是相同的,当其作为钢铁制品或下一步的原料时称为生铁,作为

铸造原料时称为铸铁。

第3节 现代钢铁冶炼技术的系统

1. 操作温度和产品的关系

以铁矿石作原料的钢铁冶炼过程与温度的关系如图 1-1 所示。即铁矿石还原时，随着操作温度的不同，可以获得海绵铁、粒铁、生铁的成分，同时，在生产生铁的温度下，调节还原温度也就能得到钢的成分。另外以生铁为原料进行氧化精炼时，调节操作温度，既可以得到钢液，也可以得到半熔融状态的生铁。在图 1-1 所示的工艺过程中，粗线所表示的过程，铁的利用率高，又具有大规模生产方式，产品的一般性质也符合现代工业要求，因此它成为现代钢铁工业的主流。

由铁矿石首先得到生铁，然后由生铁得到钢的方法称为间接炼钢法，而将铁矿石直接作为炼钢原料或者直接炼成钢的方法叫做直接炼钢法。直接炼钢法，过程短，理论上也是可能的，但由于尚没有被确认为可以大量生产，所以还不可能进行大规模的工业生产。

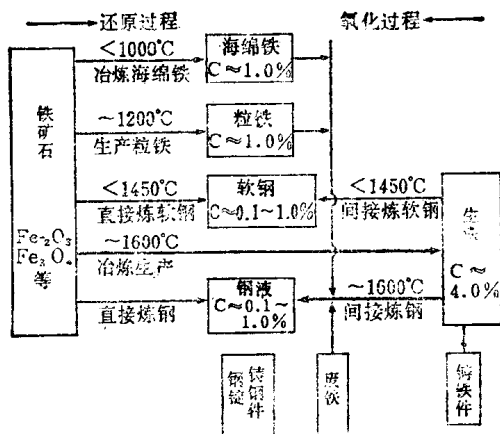


图1-1 钢铁冶炼过程（主要按操作温度分类）

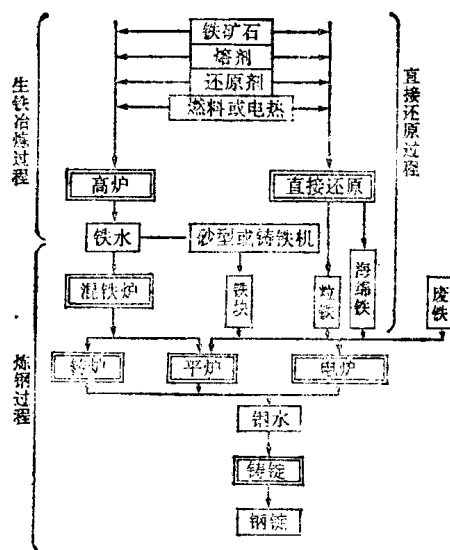


图1-2 现代钢铁冶炼生产流程图

2. 现代钢铁冶炼生产流程图

图 1-2 是现代广泛进行的钢铁冶炼生产流程。含铁原料除铁矿石以外还有市售的或本厂的废钢铁，虽然各厂用量不同，但总的数量还是相当可观的。

第4节 钢铁冶炼技术的展望

人类经过石器时代、青铜器时代而进入铁器时代已经很久了。根据埃及由金字塔中发现铁的碎片等事实，可以认为，大约在公元前3000年已开始使用铁了。看来，当时所用的铁可能是陨石加工得来的。通过铁矿石冶炼而得到铁器，可能是在公元前1400~1500年左右。后来钢铁冶炼技术的发展，经过了以下三个阶段。

①把铁矿石放在火床中冶炼成粘饼状的熟铁或软钢的时代（约13世纪末期）。

②把铁矿石放入高炉中冶炼成熔融状态的生铁，并以此作原料，再炼成软钢的时代（14世纪～19世纪）。

③以生铁为原料冶炼成钢的时代（19世纪末期）。

虽然各国经过的年代不同，但主要产铁国家都经历了这三个阶段。

近代钢铁冶炼技术的开端，虽然可以上溯到1740年哈德曼的坩埚炼钢法，可是真正有普遍意义的还是贝氏麦的酸性转炉法，继而是西门子兄弟，马丁父子发明的平炉法。由于这一系列炼钢法的发明，才使钢产量得以飞跃增长，伴随着产业革命，为满足增产钢铁材料的需要使钢铁工业形成了资本主义产业的形态。

此后，由于出现托马斯碱性炼钢法，使高磷原料能够得到处理，并且可能在炼钢操作中脱磷，同时到本世纪初，由海劳尔特等人倡导的电炉炼钢法，在冶炼特殊钢方面获得了独自的地位。

近年来，钢铁冶炼的进步更是非常惊人，无数新技术得到发展和应用，在整个钢铁冶炼领域内正在引起重大的变化，如果说目前正处在迎接第二次工业革命的到来，那也不算过分。

以炼铁技术为例，高炉容积日趋大型化，出现了4000米³级高炉，而且由于原料整粒，使用自熔性烧结矿和球团矿，加强了原料预处理，以及高风温、富氧鼓风和调湿鼓风等一系列新技术，使高炉操作得到了迅速地提高。特别是从风口吹入煤气和重油等燃料，成为降低焦比和降低成本的积极措施，并已被迅速普及，高压操作也在各国广为实行。

另外，在炼钢技术方面，氧气转炉已成为普遍的炼钢方法，加之大型电炉的出现，使炼钢方法又发生一次变化。由于氧气顶吹转炉法的采用，使炼钢生产率迅速增长，与平炉比较不仅设备费用低，经济合理，并且解决了历来转炉钢一直存在的P、N、O含量高的质量问题，甚至可能降低到更低水平。电炉也正在向大型化和超高功率操作方向发展。

在铸锭方面，对大型钢锭的浇铸进行了各种研究，确认了在真空或减压下浇铸，对降低钢中氢有很大效果，完全解决了大型钢锭中的白点问题。连续铸锭已普遍推广，适用的钢种正在不断扩大。

综上所述，在整个钢铁工业领域内，由于新技术不断应用，特别是使用电子计算机系统，由高炉、转炉、轧钢等各部门的管理中心进行过程控制，正在使生产率和产品质量迅速提高。另外，能源方面，已逐渐使用低质和不污染环境的燃料；生产方面，连续炼钢法等作为将来的课题，不仅在日本，而且其它各国都在积极研究之中。

（三本木贡治）

第二章 原料及其处理

第1节 炼铁原料

1. 概述

炼铁原料除铁矿石外，为了调节炉渣成分或渣量，还有熔剂和锰矿。作为高炉用燃料或还原剂的焦炭和重油等，也属于炼铁原料，这部分内容放在第三章讨论。

所谓铁矿石是指能够经济地从中提取出铁的含铁矿物。最普通的氧化铁矿有磁铁矿、赤铁矿和褐铁矿等。在西欧还有使用碳酸铁矿的实例。这些铁矿石依据粒度不同可以分高炉用、烧结用或球团用。品位高比重大的块矿也有一部分供给炼钢使用。

在日本，随着钢铁生产的发展，铁矿石的使用量也相应地飞跃增加。1967年钢产量6200万吨，生铁产量4000万吨，铁矿石相应输入量为5700万吨。缺乏铁矿石的日本，在大战前和大战后的初期是由距离较近的中国和东南亚等地输入铁矿石的。后来由于国际形势变化和矿藏枯竭再加上钢铁生产更加迅速发展，使需要的铁矿石量相应增加。从1960年前后开始由南北美洲、印度和果阿，1966年以后又进一步从澳大利亚以及世界其他更广泛的地方寻求比较稳定的供应地。虽然输送距离相应增大，但是由于大型专用船的采用，海外铁矿资源的积极开发，并订立了长期合同，再加上临海建厂的好处，不仅稳定了铁矿石的价格，而且又保证了铁矿石的需要量。

随着高炉生产指标的提高，不仅对大量使用的烧结矿和球团矿等造块矿的质量要求加强了，同时对直接入炉铁矿石的质量也很重视。

2. 铁矿石

铁矿石按其矿物组成可分如下几类：

(1) **磁铁矿**(Fe_3O_4) 呈黑色金属光泽，比重约5.0，是强磁性半导体矿物。坚硬致密，属于等轴晶系，纯磁铁矿中铁含量为72.36%，还原性比赤铁矿差。磁选既容易，效果又好。它与碱性火成岩共存时常含有Ti、Cr等元素。这些不纯物的分离，采用磁选方法往往是困难的。Ti在磁铁矿中与Fe呈固熔体存在，在显微镜下观察有钛铁矿(FeTiO_3)结晶析出。这种岩石经风化和冲刷可堆积成为铁砂。

(2) **赤铁矿**(Fe_2O_3) 它是铁矿石中最重要的一种。在外观上，根据结晶程度的不同，呈红色、灰色、黑色等各种颜色。结晶充分的为镜铁矿和云母铁矿，结晶不充分的为红色赤铁矿和粘土质赤铁矿。纯的赤铁矿铁含量为70%，比重约5.0，属于六方晶系。是弱磁性矿物。虽然作为天然矿存在的纯赤铁矿很少，但是在化学组成上和赤铁矿相同，属于等轴晶系的强磁性矿物，被称为磁赤铁矿或 γ -赤铁矿。在适当的条件下，外观呈灰色或暗红色的磁铁矿被氧化之后，以及纤铁矿($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)脱水之后即可得到。

(3) **褐铁矿**($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 它是含水的铁氧化物。结晶水含量从百分之几到最高达25%左右。呈黄褐色或红褐色。显比重为1.5~4.0，在矿物学中属于针铁矿

($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 与赤铁矿的混合物。纯针铁矿的铁含量为 62.9%，比重 4.3，属于斜方晶系。脱水后成为非磁性赤铁矿。红土铁矿在热带性气候的作用下，由橄榄石或蛇纹石经风化可成为褐铁矿。这种矿贮量很丰富，但是由于含 Ni、Cr、 Al_2O_3 等不纯物较高，现在一般是作为镍矿资源而被利用。

(4) 其他 菱铁矿(FeCO_3) 又称为碳酸铁矿，其中铁的一部分被 Ca 或 Mg 等置换，多成为自溶性矿物存在。还有硫酸渣，它是焙烧黄铁矿(FeS_2)、白铁矿(FeS_2)、磁黄铁矿($\text{Fe}_x\text{S}_{x+1}$) 等硫化铁矿，制取硫酸后残存的矿渣。一般含 S、Cu、Zn 等不纯物较高。钢铁厂内部产生的轧钢屑、平炉和转炉渣、平炉和转炉尘、高炉炉尘等，虽然不是天然矿石，但也作为炼铁原料使用。

天然矿石的矿床有多种分类方法。表 2-1 是联合国采用的具有代表性(根据矿床形态)的分类²⁾。其中苏必利尔湖型矿床的规模大，矿石品位高，约占全世界铁矿石藏量的 60%。

表2-1 铁矿床的分类(依据世界有名的矿山)

		矿 石	主要产出国(括号内是矿山名或贮藏地名)
层 成 矿 床	苏必利尔湖型	赤铁矿、磁铁矿 S、P、Cu 等含量低	加拿大(拉布拉多与魁北克)，美国 (苏必利尔湖)，巴西(依塔比腊)委内 瑞拉(塞罗·博利瓦尔)，苏联(克里沃 罗格)，印度(拜拉迪拉，基里布鲁)， 果阿，中国(大冶，鞍山，本溪)，朝鲜 (茂山)，澳大利亚(扬珀·松达，哈默 斯利，纽曼山)
	鲕状褐铁矿型	赤铁矿，褐铁矿，菱铁矿， 鲕状褐铁矿，多为鱼卵状， CaO、P 含量高	法国(鲁爱纳)，卢森堡，比利时，英 国(弗罗丁汉，北安普敦)
	其它	沼铁矿，菱铁矿，泥铁矿	比利时，西德(萨茨吉托)，南斯拉夫， 日本(俱知安)，英国(克利福兰)
块 状 矿 床	毕尔巴鄂型	上部褐铁矿，赤铁矿，上部 菱铁矿，一般含 P 少	西班牙(毕尔巴鄂)，英国(坎伯兰)， 朝鲜(殷栗，载宁)
	马格尼托型	磁铁矿，赤铁矿，Sharn 与 硫化物共存的多	苏联(马格尼特)，加拿大，美国(鹰 山，得克萨德)，秘鲁(马科纳)，中国 (大冶)，马来亚(栋温)，菲律宾(拉 拉普)日本(釜石)
	基鲁那型	磁铁矿，一般含 P 高	瑞典(基鲁那，格兰耶斯贝里)，美国， 智利(阿尔加罗沃)，澳大利亚(塔斯马 尼亚)
	塔贝格型	磁铁矿，含 Ti 多	瑞典(塔贝格)，挪威，芬兰，美国 (阿迪龙达克，阿拉斯加)，南非
	红土矿型	褐铁矿，赤铁矿，含少量 Ni、Cr、 Al_2O_3 和水分高	古巴(马亚里)，几内亚(科纳克里)， 印度尼西亚(拉罗纳，双溪杜瓦)，菲律 宾(苏里高)，尼日利亚
其它 矿床		硫化铁风化产生的褐铁矿， 赤铁矿，硫化铁矿，铁砂	芬兰，新西兰，日本

铁矿石使用价值的评价是根据对生铁质量、高炉生产率和生铁成本的影响而定。

作为化学成分是含铁越高越好。脉石成分以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主时超过某一定限度是不利的。但如为 CaO 和 MgO 时由于可作造渣剂，是有用的。炉渣中 Al_2O_3 超过15%时炉渣流动性将恶化，使炉况不顺。最近随着澳大利亚等南方矿石的增多， Al_2O_3 有增高的倾向。铁砂中多含有 TiO_2 ，其中一部分还原后将形成碳氮化物，而使炉渣流动性恶化，因此它的使用量也受到限制。矿石中水分分为吸附水和结晶水，这两种水分都是越少越好。矿石中的有害元素是 S、P、As、Cu、Ni、Cr、Sn、Zn 等。

除化学成分外，粒度、气孔率、常温强度、还原性³⁾和热态性质等也很重要。这些性质的测定方法正相继列入日本工业标准 (JIS) 中。还原性依据矿物组成不同有显著差异，但粒度和气孔率也有很大影响。在热态性能方面，由于矿石在空气中或还原气氛中，急热时的粉化而引起热裂现象正在受到重视。

表2-2是近年日本使用的主要矿石的化学分析。

表2-2 日本使用矿石的化学成分 (%)

		TFe	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	P	S	Mn	Cu	C.W.	其 他
印 度	印度(基本范围)	64.2	2.9	2.4	0.11	0.11	0.04	0.009	0.11	0.006	2.4	
	果阿	59.4	1.8	5.6	0.07	0.12	0.06	0.031	0.37	0.004	6.4	
北 美	得克萨斯(粉)	64.6	3.7	0.9	2.2	0.99	0.01	0.39	0.12	0.047	0.5	
	麻 山(粉)	57.4	8.5	1.3	1.1	3.71	0.04	0.65	0.04	0.039	1.0	
南 美	巴 西	67.4	1.7	1.0	0.12	0.08	0.04	0.006	0.03	0.002	0.8	
	森 搭 麦	62.9	5.5	1.0	1.24	0.83	0.23	0.14	0.07	0.017	1.4	
	马尔康纳(粉)	61.3	6.1	0.9	1.08	1.65	0.05	1.02	0.03	0.050	0.8	
澳大 利亚	哈默斯利	65.8	2.8	1.4	0.07	0.12	0.03	0.008	0.05	0.004	1.6	
	瓦依雅拉	63.8	2.7	2.1	0.14	0.36	0.04	0.034	0.78	0.011	1.8	
亚 洲	西 贡(粉)	58.9	8.8	2.3	0.30	0.29	0.03	0.49	0.15	0.015	1.8	As0.04, Sn0.03
	香 港(粉)	56.0	9.7	1.0	2.74	6.59	0.006	0.097	0.45	0.005	0.7	Sn0.05
	茂 山(粉)	59.4	15.3	0.5	0.76	0.54	0.047	0.038	0.03	0.003	0.3	
日 本	釜 石(粉)	61.1	6.8	1.6	4.49	0.94	0.031	0.64	0.16	0.04	2.1	
	铁 砂	59.3	3.1	2.5	0.93	—	0.096	0.030	0.50	—	0.6	TiO_2 8.5
	硫 酸 渣	56.8	12.2	1.2	0.31	0.61	0.016	1.04	0.09	0.27	0.1	Zn0.26, As0.08
球 团 矿	马尔康纳	65.8	3.5	0.6	0.65	0.97	0.02	0.012	0.03	0.022	0.1	
	克依赛金	64.7	3.8	0.6	0.39	2.49	0.01	0.010	0.05	0.019	0.2	

3. 熔剂

高炉冶炼是使铁矿石中的脉石成分和焦炭中的灰分等成为炉渣，从铁水中分离出去。为了调节炉渣碱度，有时也为了调节渣量，改善炉渣流动性和脱硫能力，需要使用熔剂。由于铁矿石中的脉石成分多是酸性物，另外焦炭中的灰分也是酸性，因此熔剂是使用石灰石 (CaCO_3) 和白云石 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) 等碱性物。当炉渣中 Al_2O_3 高时也有使用硅石、硅砂、橄榄石、蛇纹石和碎砖等的情况。

石灰石的主要成分是 CaCO_3 ，呈白色或灰黑色，比重为 2.6~2.8。质量好的石灰石含 CaO 可达55%左右。对于高炉最好使用致密的石灰石。日本的石灰石分布很广，

不仅埋藏量丰富而且质量好的也很多。主要产地有福岡、大分、岡山、岐阜、东京、埼玉、岩手和青森等县。白云石是作为石灰石的一部分代用品使用的。特别在 Al_2O_3 高的时候，使用白云石可以改善炉渣流动性促进脱硫。

冶炼普通生铁时，为使生铁含有1%左右的Mn，还需向高炉装入一些锰矿。一般使用的锰矿有硬锰矿($MnO_2 \cdot MnO \cdot nH_2O$)、软锰矿(MnO_2)和菱锰矿($MnCO_3$)，其Mn含量为30~55%。

第2节 铁矿石的预备处理

1. 概述

铁矿石的预备处理包括：①选矿，②破碎、筛分与混匀，③造块。

选矿是对贫矿进行处理，使之达到提高含铁品位和去除有害成分的目的，通常是在矿山或装运港口进行。选矿方法一般是利用不同矿物的外观、比重、磁性和表面性质等的差异，作为机械选别的方法。为此，首先必须对矿石按矿物组成进行单质分离，或者为适应选矿过程的需要破碎到一定的粒度。破碎机大体分为三类：20~300毫米的粗碎采用颚式破碎机或圆锥破碎机；2~50毫米的中碎采用锥式破碎机或辊式破碎机；2毫米以下的粉碎采用棒磨机或球磨机。破碎后的分级是1~3毫米的采用振动筛，在这以下的采用湿●式分级机（如湿式旋流器）。经过整粒之后即可用于选矿。破碎费用与被破碎的粒度成指数关系而增加或降低。精矿如果必须进行烧结和造球等造块生产时，由于存在着各种技术或经济方面的问题，把破碎的粒度与选矿效果结合起来考虑是很重要的。此外，由于铁矿石价格低廉，处理量又大，因此可以采用对铁矿特有的合理而又经济的选矿方法。

铁矿石经过整粒达到适当的粒度之后入炉，能使高炉生产指标提高的问题，很早就被引起注意。日本从1953年确认这个效果之后，便积极加强破碎和筛分工作。最近，正在增设10~25毫米的整粒车间。所以破碎与筛分这一环节，不仅是选矿过程而且也是钢铁厂内炼铁原料系统中的重要工序。另外，在日本使用铁矿石种类很多的情况下，为使高炉装入物的成分和质量尽量稳定，必须对铁矿石进行混匀。这种混匀多在分层堆放料场进行。

10毫米以下的粉矿不能直接装入高炉，需要进行造块。造块方法有烧结、球团和团矿等。但团矿现在几乎不采用了。烧结方法在初期只被用于炉尘等废弃物的造块，近年来已确认，使用烧结矿和球团矿，对提高高炉生产指标很有效。随着精矿粉的增加和由强化整粒所产生的筛下粉矿的增加，使烧结矿和球团矿在高炉的使用比率达到60~70%，所以对于努力提高它们的质量正在给予高度重视。作为烧结矿的原料使用6毫米~65网目的比较合适。作为球团矿的原料使用200网目以下的细粉比较合适。球团矿适于远距离运输。日本球团矿的输入量正在迅速增加。烧结矿容易破碎，因此都在钢铁厂内生产。

2. 选矿

铁矿石的选矿和其他矿石一样，适用于各种选矿方法。现就其主要的叙述如下。

(1) 水洗法 铁矿石破碎之后，65网目以下的细粒部分普遍存在硅酸质和粘土质的脉石成分，尤其对粘性软质的铁矿是如此，一般都结合粉碎采用洗矿槽或道尔洗矿机等

●译注：原书误为湿式分级机。

洗去泥土提高品位。

(2) **比重选矿法** 比重选矿的效果取决于被选矿物与脉石的比重之差和矿石的粒度。一般情况是以比重减去1的差值之比($\rho_{\text{矿}}^{-1}$)/($\rho_{\text{脉}}^{-1}$)称为精选准则,比值在2.5以上时无论粒度大小用比重选矿法都是容易进行的,这个比值在1.75时粒度应为10~100网目,比值为1.5时粒度应在10网目以上。如果比值 <1.25 时采用这种方法是困难的。因为铁矿石一般都比脉石的比重大,这种方法又简单易行,所以应用得比较广泛。比重选矿的设备有跳汰机、摇床、汉弗莱型螺旋选矿机和重液选矿等。汉弗莱型螺旋选矿机如图2-1所示。它是由半圆形的半径约600毫米的螺旋状铸铁槽构成的。由上部给矿,矿浆在流下过程中,比重大的矿粒聚在中心部位,轻的脉石移至外侧。精矿从水槽内侧的导出口排出。重液选矿是用含硅~15%的硅铁合金配制成的重悬浮液进行的选矿方法。近年来湿式旋流器也被应用于重液选矿方面,如图2-2表示,它不仅能使10毫米~65网目的细粒达到选别的效果,而且具有选矿能力很大的特点。

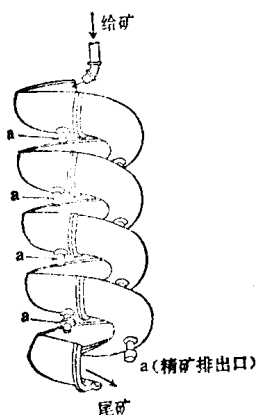


图2-1 汉弗莱型螺旋选矿机

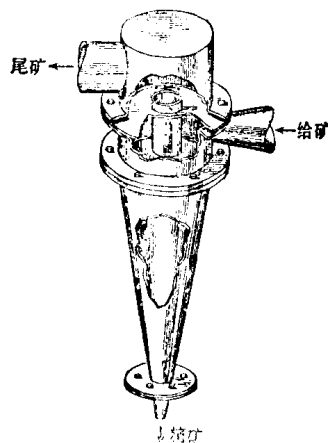


图2-2 湿式旋流器

(3) **浮游选矿法** 它是将粉碎后的矿粉与大量水搅拌,然后加入油质浮选剂,使之有选择地被吸附在矿粒表面,造成矿粒表面的疏水性,当有气泡吹入时矿粒即随气泡一起浮起而与脉石分离。对于硫化铁矿,众所周知,是同有色金属的浮选一起进行。近年来氧化铁矿的选矿也成功地使用了这种方法。只要改变试剂和溶液的pH值或其他条件,就能使各种矿物分离,使矿石品位提高并去除有害成分。由于需要将矿石磨碎到65网目以下,精矿必须进行造块。目前使用的浮选机有丹佛A型和法格古伦型等。

(4) **磁力选矿法** 对磁铁矿和铁砂等强磁性矿物广泛采用磁力选矿法。其它赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿等非磁性矿石经过还原焙烧,使之成为磁铁矿、磁赤铁矿或金属之后,也适用于磁力选矿法。对磁选效果影响较大的是磁性和非磁性部分的单质分离程度。例如,脉石中即使按体积有5~10%左右的磁铁矿,如进入精矿将影响品位的提高。磁选机有各种形式的设计,对于比较粗粒的如6网目以上的粗矿一般采用干式磁选法,粒度在这以下的粉矿则采用湿式磁选法。广泛使用的干式磁选有鲍尔-诺顿圆筒型和威载瑞尔传送皮带型等。湿式磁选有格林达耳圆筒型和克劳凯特传送皮带型等。另外,根据使用目的,磁铁有永久磁铁和电磁铁两种。由于磁选精矿中存在有剩磁,特别在有细微粒的情况下互相凝集,影响分级和混进来的脉石的再磁选或浮选的去尾效果。关

于静电选矿和强磁力选矿虽然在经济上和技术上还存在问题，但是近年来对铁矿已有一部分实用化。

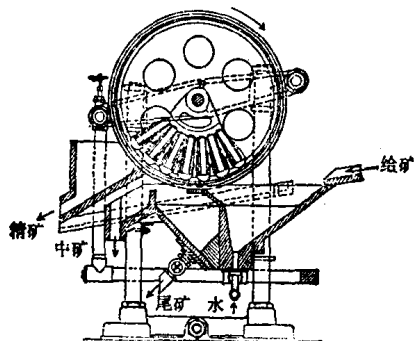


图2-3 格林达耳型湿式磁选机

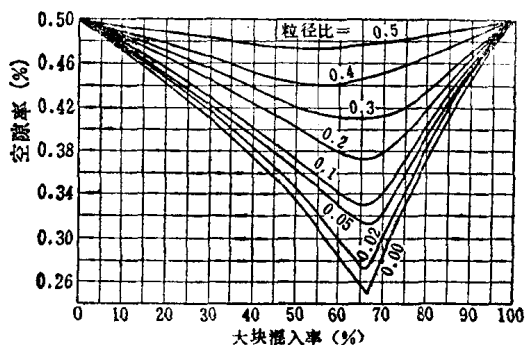


图2-4 粒径对空隙率的影响

3. 破碎、筛分和混匀

整粒对于高炉过程的效果，除提高入炉矿石还原率外，炉内透气性也有改善。图2-4表示出两种不同粒度的物质混合之后，其空隙率将减少。图2-5说明，将9毫米以下的粉末去除之后，其透气性显著改善⁵⁾。

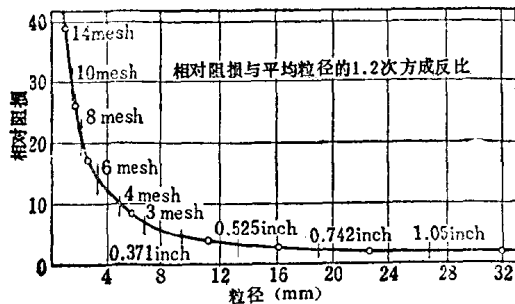


图2-5 粒径与阻力的关系

填充塔中的气体阻力可用下式表示。可以看出，装入物的空隙率和平均粒度对气体阻力的影响很大。

$$\frac{dp}{dL} = 4.67 \times 10^{-3} \times \frac{\{(1-\epsilon)/\epsilon^3\} \rho U^2}{D_p}$$

式中 ϵ ——装入物的空隙率；

D_p ——平均粒径；

ρ ——气体密度；

U ——气体的表观速度。

应用上式结合高炉情况，从算出的透气性指数与利用系数增长的关系中，也看出了整粒的效果⁵⁾。

图2-6表示矿石自船上卸下后，在钢铁厂内的破碎筛分系统图。

随着加强整粒而强化了筛分，并且在尽可能去除粉矿的同时，除掉超出规定要求的大块矿，采用循环方式将其大块矿送回二次破碎机破碎。一般使用的破碎机：粗碎（一次破碎）是圆锥破碎机；中碎（二次破碎）是锥式破碎机。

在筛分方面，以前是用固定筛（格筛）和滚筒筛，最近是用振动筛。筛分存在的主要问题是粘性矿石的处理。虽然也设计了电热筛等，但是还未能根本解决问题。粘性矿石的筛分效率，除受矿石种类

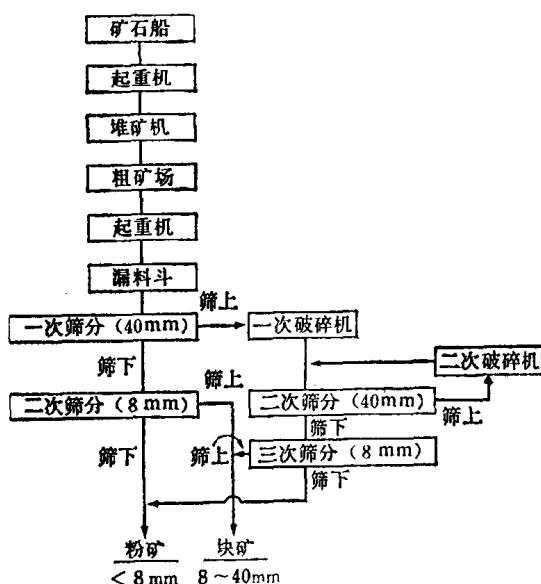


图2-6 矿石破碎、筛分系统图