

# 铁 矿 粉 造 块

冶金工业出版社

# 铁 矿 粉 造 块

中南矿冶学院团矿教研室 编

冶金工业出版社

# 铁 矿 粉 造 块

中南矿冶学院团矿教研室 编

\*

冶金工业出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

850×1168 1/32 印张 15 5/8 插页 1 字数 411 千字

1978年10月第一版 1978年10月第一次印刷

印数00,001~5,600册

统一书号：15062·3353 定价（科三）1.50元

## 前 言

铁矿粉造块（主要是烧结、球团）是为高炉准备“精料”，是高炉高产、优质、低耗的重要保证，是冶炼前原料准备的一种方法。其重要意义在于：

1. 钢铁工业的迅速发展，要求日益扩大对贫矿和多种金属共生复合矿的利用。这些矿石经过处理后得到的精矿粉，以及富矿在破碎过程中产生的富矿粉，都需经过造块，才能进行冶炼。

2. 通过造块过程，可以改进冶炼原料的物理化学性能，如粒度组成，机械强度，还原性能和造渣性能等，从而强化冶炼过程，提高冶炼效果。

3. 通过造块过程，可以除去大部分有害元素，如硫、砷、氟等，并加以回收利用；可以利用工业生产中的副产品，如高炉炉尘、轧钢皮、硫酸渣等，合理利用资源，节约生产成本，扩大冶炼原料的来源，并收到变害为利的效果。

4. 通过造块过程，可以利用非炼焦煤生产铁焦球团和其他综合性团块，为扩大冶炼燃料提供了新途径。

生产实践证明，高炉使用烧结矿、球团矿之后，取得了很好的效果，生产率提高，焦比下降。下表为综合统计的结果。

各种原料对高炉冶炼的影响

指 标	天然矿	天然富矿	烧结矿	球 团 矿		
				普 通	熔剂性	预还原性
含铁，%	51.0	55.4	61.8	61.9	57.2	81.2
焦比，公斤/吨铁	850	670	615	550	500	300
相对生产率，%	100	127	139	155	170	256

为了适应冶金工业发展的需要，我们编写了《铁矿粉造块》

一书，供造块工作者和大专院校有关专业的师生参考。书中着重叙述了烧结、球团的基本原理，工艺条件，以及工艺过程的计算。扼要地介绍了烧结、球团的主要设备以及工艺参数的测定和产品质量的鉴定。此外，还对造块工厂的“三废”处理问题和国外的某些先进技术作了简要的介绍。

本书在资料收集、编审过程中，得到了许多工厂、设计科研单位和有关院校的大力支持和帮助，在此谨致谢意。

由于我们水平有限，书中存在的不足之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

1975年12月

# 目 录

第一章 造块原料及燃料 .....	1
第一节 造块原料、燃料及其特性 .....	1
一、铁矿石 .....	1
二、熔剂 .....	4
三、工业副产品 .....	6
四、燃料 .....	9
第二节 造块原料的准备 .....	12
一、原料的贮存及中和 .....	12
二、破碎、筛分和磨碎 .....	15
三、石灰石的焙烧和生石灰的消化 .....	19
四、原料的干燥 .....	19
第二章 烧结过程的一般原理 .....	21
第一节 抽风烧结过程 .....	21
一、水分冷凝和烧结料过湿带 .....	23
二、烧结料的干燥和预热带 .....	23
三、燃料燃烧带 .....	24
四、烧结矿的固结和冷却带 .....	24
第二节 燃料燃烧和料层中的温度变化 .....	25
一、固体燃料燃烧的一般原理 .....	25
二、烧结料层中的温度变化 .....	28
第三节 水分的蒸发和冷凝 .....	33
一、水分的蒸发 .....	33
二、水汽的冷凝 .....	35
第四节 碳酸盐的分解和氧化钙的化合 .....	38
第五节 烧结过程中氧化物的分解、矿石的氧化与还原 .....	43
第六节 固相之间的反应 .....	47
第七节 烧结过程中液相的生成 .....	53
一、铁-氧 (Fe-O) 体系 .....	53

二、硅酸铁 ( $\text{FeO-SiO}_2$ ) 体系	54
三、硅酸钙 ( $\text{CaO-SiO}_2$ ) 体系	55
四、铁酸钙 ( $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ ) 体系	57
五、 $\text{CaO-FeO-SiO}_2$ 体系	58
六、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-TiO}_2$ 体系	60
第八节 烧结矿的矿物组成及其对质量的影响	64
一、烧结矿的矿物组成及其性质	64
二、影响烧结矿矿物组成的因素	67
第九节 烧结过程中某些有害元素的脱除	73
一、硫的脱除	73
二、砷的脱除	82
三、铅、锌的脱除	84
第三章 烧结生产工艺	86
第一节 烧结料的配料	88
一、配料的目的和要求	88
二、配料方法	88
三、集中配料和分散配料	89
四、配料计算	90
第二节 烧结料的混合与制粒	102
一、混合的目的和要求	102
二、影响物料混匀和制粒的因素	102
三、混匀效率的计算	104
第三节 铺底料的作用及其获得的方法	106
一、铺底料的作用	106
二、获得底料的方法	106
第四节 烧结料的布料	107
第五节 烧结料的点火	107
一、点火的目的是与要求	107
二、点火燃料	108
第六节 烧结料的烧结	109
一、烧结料层的透气性	109
二、矿物原料的特性	111
三、燃料的性质	115

四、熔剂的性质	119
五、烧结料的水分	130
六、烧结料的温度	132
七、返矿的质量和数量	136
八、烧结机工作制度	138
第七节 烧结矿的处理	143
一、烧结矿的破碎和筛分	143
二、烧结矿的冷却	144
第八节 强化烧结过程、改善烧结矿质量的若干措施	154
一、小球烧结	154
二、提高通过料层的风量	158
三、热风烧结及烧结矿的热处理	161
四、加入少量稳定剂及冶金渣	169
第九节 烧结物料平衡与热平衡的计算	173
一、烧结物料平衡的计算与编制	173
二、烧结热平衡的计算与编制	176
第十节 间歇式烧结生产工艺	183
一、烧结盘	183
二、平地吹烧结	188
第四章 球团过程的一般原理	190
第一节 细磨物料的造球机理	190
一、水分在细磨物料中的形态及其作用	190
二、造球过程	195
三、原料对造球过程的影响	198
四、工艺条件对造球过程的影响	203
五、圆盘造球机的工作分析	210
第二节 生球的干燥	215
一、生球的干燥机理	215
二、影响生球干燥的因素	219
三、提高生球“破裂温度”的途径	222
第三节 生球的焙烧固结机理	225
一、磁铁矿球团的固结	225
二、赤铁矿球团的固结	237



第五章 球团矿生产工艺	244
第一节 球团矿生产方法	244
第二节 原料的准备	245
第三节 配料、混合和造球	249
第四节 氧化性球团矿的焙烧	249
一、竖炉焙烧球团矿	250
二、带式机焙烧球团矿	262
三、链篦机-回转窑焙烧球团矿	273
第五节 金属化球团矿	282
一、概述	282
二、金属化球团矿生产工艺	284
第六节 水硬性球团矿	294
一、概述	294
二、水硬性球团矿固结机理	295
三、生产工艺流程	297
第七节 碳酸化固结球团矿	299
一、基本原理	299
二、影响碳酸化固结过程的因素	300
三、碳酸化球团矿生产工艺	302
第八节 造块过程中综合回收铁矿原料中有用金属	304
一、概述	304
二、球团氯化焙烧生产工艺	305
三、氯化焙烧的基本原理	306
四、氯化挥发焙烧竖炉	307
五、金属氯化物烟尘的捕集和分离提取	309
第六章 造块主要工艺设备	311
第一节 原料的破碎筛分设备	311
一、锤式破碎机	311
二、四辊破碎机	315
第二节 配料设备	316
一、圆盘给矿机	316
二、电子皮带秤	320

第三节 混合设备	324
一、双轴搅拌机	324
二、圆筒混合机	324
三、轮式混合机	329
第四节 造球设备	331
一、圆筒造球机	331
二、圆盘造球机	332
第五节 布料设备	334
一、圆辊布料机	335
二、联合布料机	336
三、辊式布料机	338
第六节 点火器	339
第七节 烧结机	345
一、传动装置	347
二、轨道	348
三、密封装置	357
四、台车	362
第八节 竖炉	364
第九节 链篦机-回转窑	370
第十节 热烧结矿的破碎筛分设备	375
一、齿式单辊破碎机	375
二、热矿振动筛	376
第十一节 冷却机	381
一、环式冷却机	381
二、带式冷却机	387
三、塔式振动冷却机	388
四、平式振动冷却机	391
五、盘式冷却机	393
第七章 烧结厂的“三废”处理	395
第一节 烧结厂的除尘	395
一、降尘管	396
二、旋风除尘器	397
三、多管除尘器	401

四、电除尘器	405
五、湿法除尘	419
六、抽风除尘系统灰尘的处理	420
第二节 烧结厂废气的处理	424
一、SO <sub>2</sub> 的回收	424
二、含氟烟气的回收	426
第三节 烧结厂废水中尘泥的回收	430
一、浓缩漏斗	431
二、浓缩机	432
第八章 科学实验及产品质量鉴定	434
第一节 造块实验的一般步骤	434
一、实验的基本内容和范围	434
二、实验计划的制订	435
三、文献资料的收集和分析	436
四、实验试样的准备	437
五、实验室用的主要设备	438
六、实验研究	442
七、实验数据整理和材料的综合	448
八、报告(论文)的编写	451
第二节 烧结工艺的若干测定	452
一、配料精确度的测定	452
二、混合料粒度组成测定	452
三、烧结料层水分再分布的测定	453
四、带式烧结机抽风系统漏风率的测定	454
五、烧结料层内温度、气氛性质及阻力变化的测定	462
第三节 产品质量鉴定	465
一、主要质量指标	465
二、筛分指数和烧结矿粒度组成测定	467
三、转鼓指数测定	468
四、落下强度测定	469
五、抗压强度测定	472
六、还原性测定	473
七、孔隙率测定	477

八、软化温度的测定.....	480
九、还原状态下物理特性的测定.....	485
十、耐湿性测定.....	485

# 第一章 造块原料及燃料

## 第一节 造块原料、燃料及其特性

### 一、铁矿石

自然界中含铁的矿物甚多，已经知道的约有 300 多种。但在目前能够用作炼铁原料的只有 20 多种。其中主要是磁铁矿石、赤铁矿石、褐铁矿石和菱铁矿石四种类型。

#### 1. 磁铁矿石

磁铁矿石的化学式为  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，也可以看作  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ 。理论含铁量为 72.4%，其中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为 69%， $\text{FeO}$  为 31%。磁铁矿石的组织比较致密坚硬，一般呈块状或粒状。比重 4.9~5.2 吨/米<sup>3</sup>，硬度 5.5~6.5，难还原和破碎。它的外表颜色为钢灰色和黑色，黑色条痕，具有磁性。

自然界中纯磁铁矿石很少见到，由于氧化作用部分磁铁矿石被氧化成赤铁矿石，但仍保持磁铁矿的结晶形态，所以这种矿石叫做假象赤铁矿石和半假象赤铁矿石。

为了衡量磁铁矿石的氧化程度，通常以全铁 (TFe) 与氧化亚铁 ( $\text{FeO}$ ) 的比值这一概念来帮助区分。对于纯磁铁矿石，其理论值为 2.33，比值越大，说明铁矿石的氧化程度越高。

当  $\text{TFe}/\text{FeO} < 2.7$  为原生磁铁矿石

$\text{TFe}/\text{FeO} = 2.7 \sim 3.5$  为混合矿石

$\text{TFe}/\text{FeO} > 3.5$  为氧化矿石

应当指出，这种划分只是对于矿物成分简单，铁矿石由较单一的磁铁矿和赤铁矿组成的铁矿床才适用。如果矿石中含有硅酸铁、硫化铁和碳酸铁等，因其中的  $\text{FeO}$  不具有磁性，如计算时把它列入  $\text{FeO}$  内就会出现假象。

磁铁矿石中脉石主要为石英、硅酸盐与碳酸盐，有时有少量粘土。此外，矿石中还含有黄铁矿和磷灰石，有时还含有闪锌矿和黄铜矿。含钛 ( $\text{TiO}_2$ ) 和钒 ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) 较多的磁铁矿叫钛磁铁矿或钒钛磁铁矿石。

一般开采出来的磁铁矿石含铁量为30~60%，当含铁量大于45%，粒度大于5或8毫米时，可直接供炼铁用；小于5或8毫米则作为烧结原料。当含铁量低于45%，或有害杂质超过规定，不能直接利用，必须经过选矿处理。通常采用磁选法得到高品位的磁铁精矿，是造块的主要原料。

## 2. 赤铁矿石

赤铁矿俗称“红矿”，化学式为  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。理论含铁量70%，含氧30%。

赤铁矿由非常致密的结晶组织到很分散的粉状。晶形多为片状和板状。片状表面有金属光泽，明亮如镜的叫镜铁矿，细小片状的叫云母片状赤铁矿。铁赭石（或叫红土状赤铁矿）为红色粉末状，没有光泽。

此外，还有胶体沉积形成的鲕状、豆状和肾形集合体赤铁矿，结晶的赤铁矿外表颜色为钢灰色和铁黑色，其他为暗红色，但条纹均为暗红色。

赤铁矿的比重为4.8~5.3吨/米<sup>3</sup>，硬度则不一样。结晶赤铁矿硬度为5.5~6，土状、粉末状硬度很低。一般较磁铁矿石易还原和破碎。

赤铁矿石所含的杂质（硫、磷、砷）较磁铁矿石、褐铁矿石少，冶炼性能也比它们优越。赤铁矿石的主要脉石成分为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$  和  $\text{MgO}$  等。

赤铁矿石在自然界中大量存在，但纯净的较少，常与磁铁矿、褐铁矿等共生。

实际开采出来的赤铁矿石含铁在40~60%，含铁量大于40%，粒度小于5~8毫米的粉矿作为烧结原料。当含铁小于40%或含有有害杂质过多时，须经选矿处理。因天然的赤铁矿石不带磁性，所

以在进行选矿时一般采用重选法、磁化焙烧-磁选法、浮选法或采用联合流程来处理。获得的高品位赤铁精矿作为造块原料。

### 3. 褐铁矿石

褐铁矿是含结晶水的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，化学式可用  $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  表示，它实际上是由针铁矿 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )、水针铁矿 ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )、氢氧化铁和泥质物的混合物所组成。自然界中褐铁矿绝大部分以  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  形态存在。其外表颜色为黄褐色、暗褐色和黑色。黄褐色条痕。比重  $3.0 \sim 4.2$  吨/米<sup>3</sup>。硬度  $1 \sim 4$ 。无磁性。

由于褐铁矿石是由其他铁矿石风化后生成的，所以结构松软，比重较小，含水量大。

自然界中褐铁矿石的富矿很少，一般含铁量为  $37 \sim 55\%$ ，其脉石主要为粘土及石英等。含硫、磷、砷等一般较高。

当褐铁矿石的品位低于  $35\%$  时，需要进行选矿。目前主要采用重力选矿法和磁化焙烧-磁选法两种。

重选法投资省、上马快，但其精矿产品往往含水量高，且矿石中的结晶水没有排除，因此给烧结厂（特别是球团厂）生产带来很大的困难。

焙烧-磁选法设有焙烧工序，故其产品中不含结晶水，机械夹带的水分也较低，因此，对烧结、球团厂生产也较有利。

### 4. 菱铁矿石

菱铁矿石的化学式为  $\text{FeCO}_3$ ，理论含铁量为  $48.2\%$ ， $\text{FeO}$  为  $62.1\%$ ， $\text{CO}_2$  为  $37.9\%$ 。

自然界中常见的是坚硬致密的菱铁矿，外表颜色为灰色和黄褐色，风化后变为深褐色，条痕为灰色或带黄色，玻璃光泽。比重  $3.8$  吨/米<sup>3</sup>。硬度为  $3.5 \sim 4$ 。无磁性。

菱铁矿石在氧化带不稳定，易分解氧化成褐铁矿石，覆盖在菱铁矿矿层的表面。在自然界中分布较广的为粘土质菱铁矿石，它的夹杂物为粘土和泥沙。

菱铁矿常夹杂有镁、锰和钙等碳酸盐，菱铁矿石一般含铁在

30~40%之间, 但经焙烧后, 因分解放出 CO<sub>2</sub>, 使其含铁量显著增加, 矿石也变得多孔, 易破碎以及还原性良好。

铁矿石的分类及其特性见表 1-1。

铁矿石的分类及特性

表 1-1

矿石名称	含铁矿物名称和 化学式	矿物中 的理论 含铁量 %	矿石 比重 吨/米 <sup>3</sup>	颜色	条痕	冶炼性能		
						实际 含铁量%	有害 杂质	强度及 还原性
磁铁矿 (磁性氧化铁矿石)	磁性氧化铁 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	72.4	5.2	黑色或 灰色	黑色	45~70	S、P 高	坚硬、致密、 难还原
赤铁矿 (无水氧化铁矿石)	赤铁矿 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70.0	4.9~ 5.3	红色至 淡灰色 甚至黑 色	红色	55~60	少	较易破碎、 软、易还原
褐铁矿 (含水氧化铁矿石)	水赤铁矿 2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	66.1	4.0~ 5.0	黄褐 色、暗 褐色至 绒黑色	黄褐色	37~55	P高	疏松、大部 分属软矿 石、易还原
	针赤铁矿 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	62.9	4.0~ 4.5					
	水针铁矿 3Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·4H <sub>2</sub> O	60.9	3.0~ 4.4					
	褐铁矿 2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	60.0	3.0~ 4.2					
	黄针铁矿 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	57.2	3.0~ 4.0					
	黄赭石 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	55.2	2.5~ 4.0					
菱铁矿 (碳酸盐 铁矿石)	碳酸铁 FeCO <sub>3</sub>	48.2	3.8	灰色带 黄褐色	灰色或 带黄色	30~40	少	易破碎最易 还原 (焙烧后)

在生产上除了根据矿物组分划分外, 还根据脉石成分中 (CaO + MgO)/(SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 的比值 R 划分为酸性矿石 (R < 1)、自溶性矿石 (R = 1~1.3) 及碱性矿石 (R > 1.3)。还根据含铁品位划分为富矿 (直接冶炼) 和贫矿 (需经选矿), 富矿又分为平炉富矿和高炉富矿。铁矿石划分为贫、富矿通常随矿石种类、脉石性质以及选矿和冶炼技术条件而定。

二、熔剂

在烧结、球团厂的配合料中添加部分碱性熔剂有利于降低焦



比和提高烧结、球团矿的强度，改善冶炼性能。

将高炉冶炼时必须添加的一部分或大部分熔剂以及部分高炉炉料的化学反应移到烧结和球团焙烧过程来完成，这有利于进一步提高高炉冶炼强度和降低焦比。

碱性熔剂中的CaO和MgO与烧结料中铁的氧化物以及酸性脉石在高温作用下，能生成比单种物质的熔化温度为低、还原性良好的低熔点物质，从而使烧结料在燃料消耗较低的情况下获得足够数量的液相，以改善烧结、球团矿的强度和冶炼性能。

熔剂按其性质来分有碱性熔剂、中性熔剂和酸性熔剂三类。因矿石原料的脉石多为酸性，所以铁矿烧结、球团厂很少采用酸性熔剂和中性熔剂。

含CaO和MgO高的矿物原料为碱性熔剂。烧结、球团厂对碱性熔剂总的要求是：碱性氧化物（CaO+MgO）的含量要高，酸性氧化物（SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）的含量愈低愈好。因酸性氧化物的增加将使熔剂的有效熔剂性能降低。另外，硫、磷等有害杂质含量要少，一般硫含量不超过0.08%，磷含量不超过0.03%。粒度不宜过大，一般应不大于40~80毫米。因为烧结、球团生产所要求的粒度通常为3毫米以下，因此，过大的粒度会增加破碎费用并使生产过程复杂化。

常用的碱性熔剂有石灰石（CaCO<sub>3</sub>）、消石灰〔Ca(OH)<sub>2</sub>〕、生石灰（CaO）和白云石〔Ca·Mg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>〕等。

### 1. 石灰石

纯石灰石（方解石CaCO<sub>3</sub>）理论CaO含量为56%，CO<sub>2</sub>为44%。但自然界中石灰石都含有镁、铁、锰等杂质，所以工业上的石灰石含CaO量比理论含量低，一般含CaO为50~55%。石灰石呈致密块状，性脆易破碎。颜色有灰白色和青黑色两种，灰白色的质量较好。

我国石灰石技术条件见表1-2。

### 2. 白云石

纯白云石的理论组成为CaCO<sub>3</sub>54.2%（CaO30.41%）和