

周源 艾光华 等编著

铁矿石 选矿与实践

TIEKUANGSHI
XUANKUANG
YU SHIJIAN



化学工业出版社

TIEKUANGSHI XUANKUANG YU SHIJIAN

铁矿石 选矿与实践

本书是编著者在多年从事矿物加工工程教学和科研的基础上，结合近二十年来国内外铁矿选矿的科学发展和技术进步，较系统地阐述了铁矿石选矿的基本理论、工艺过程、设备以及生产实践方法。内容主要包括铁矿资源与生产概况、铁矿石破碎筛分技术、铁矿的磁选、铁矿的重选、铁矿的浮选、铁矿的电选、铁矿选矿实践等。

本书内容丰富，图文并茂，具有较强的系统性和广泛的实用性。既可作为大专院校矿物加工工程专业的教材，也可用于从事铁矿石选矿科研、生产和管理工作的工程技术人员和操作工人参考，也适于化工、环保、废旧物质回收和综合利用等有关领域的科研、设计院所和厂矿企业的工程技术人员阅读。

ISBN 978-7-122-11711-3



9 787122 117113 >

定价：46.00元



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

销售分类建议：矿业

铁矿石选矿与实践

周源 艾光华 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

铁矿石选矿与实践/周源, 艾光华等编著. —北京:
化学工业出版社, 2011. 7
ISBN 978-7-122-11711-3

I. 铁… II. ①周… ②艾… III. 铁矿床-选矿
IV. ①TD951. 1②TD45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 129819 号

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 周梦华

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 247 千字 2011 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究

前 言

目前，我国正处在社会经济建设的高速发展期。国家经济建设的快速发展，有力地促进了钢铁工业的发展，我国已成为世界第一钢铁生产大国。因此，普及铁矿石选矿的基本知识，大力提高我国铁矿选矿技术水平，在当前就显得尤为迫切与重要。

为了适应我国铁矿生产发展的需要，我们编写了本书。本书在总结长期以来铁矿选矿生产的基本理论和生产实践的基础上，综合近二十年来世界铁矿生产技术的革新和发展成就，以及新工艺、新方法、新设备和新药剂的开发应用效果，全面介绍了铁矿选矿的各种方法、生产工艺和具体实践，可供铁矿科研、生产和管理工作的工程技术人员和操作工人参考，也可用作矿物加工有关专业院校的教材。

本书主要由周源、艾光华编著，参加编写工作的还有江西理工大学的余新阳、陈江安和刘亮、田树国、蔡振波、金吉梅等。第1~5章由周源、艾光华编写，第6章由陈江安、刘亮编写，第7章由余新阳、田树国编写，第8章由艾光华、蔡振波、刘龙飞、金吉梅、崔振红编写。全书最后由周源教授统稿、审定。

由于编者水平有限，书中若有不足之处，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 概述	1
1.1 铁及铁矿石简介	1
1.2 铁矿石的性质	1
1.2.1 铁矿石的物理性质	2
1.2.2 铁矿石的化学组成与性质	4
1.3 铁矿石的类型	8
1.4 铁矿的构造和组成	8
1.4.1 矿石构造形式	8
1.4.2 铁矿中的金属矿物	10
1.4.3 铁矿中的非金属矿物	12
1.5 铁矿石的工业要求	14
1.5.1 铁矿石价值评定指标	14
1.5.2 铁矿石常用标准	15
1.5.3 铁矿石产品质量标准	16
第2章 铁矿石的资源与生产概况	19
2.1 国外铁矿资源的分布及类型	19
2.1.1 含铁石英岩矿床	23
2.1.2 沉积岩矿床	24
2.1.3 岩浆型矿床	25
2.1.4 接触交代型矿床	26
2.1.5 热液型矿床	27
2.1.6 风化壳型矿床	28
2.2 中国铁矿资源的分布及类型	29

2.2.1	鞍山式铁矿床	31
2.2.2	镜铁山式铁矿床	32
2.2.3	攀枝花式铁矿床	32
2.2.4	白云鄂博式铁矿床	34
2.2.5	大冶式铁矿床	35
2.2.6	宣龙-宁乡式铁矿床	36
2.2.7	大宝山式铁矿床	37
2.2.8	南山式铁矿床	37
2.2.9	大西沟式铁矿床	38
2.3	铁矿选矿工艺流程和选矿方法	39
2.4	铁矿选矿的经济分析	39
2.4.1	铁矿选矿的经济意义	39
2.4.2	铁矿选矿经济效益确定方法	41
2.4.3	提高铁矿石选矿效益的主要研究方向	43
第3章	铁矿石破碎筛分	44
3.1	铁矿石的破碎技术	44
3.1.1	破碎工艺流程的改造	44
3.1.2	破碎系统设备的改造	46
3.2	铁矿石细粒筛分技术进展	50
3.2.1	高频细筛的研制	50
3.2.2	MVS高频振网筛	53
第4章	铁矿的磁选	55
4.1	磁选的基本原理	55
4.1.1	磁选过程	55
4.1.2	磁选的必要条件	56
4.2	铁矿石的磁性	57
4.2.1	强磁性铁矿石的磁性	58
4.2.2	弱磁性铁矿石的磁性	64
4.3	磁选前的矿石准备	65
4.3.1	磁选前矿石的筛分	65
4.3.2	磁选前矿石的除尘或脱泥	65
4.3.3	磁选前矿石的干燥	66

4.3.4	磁选前弱磁性矿物的磁化焙烧	67
4.4	铁矿石磁选工艺及实践	69
4.4.1	矿石类型及性质	69
4.4.2	选别工艺流程及实践	69
4.5	铁矿石磁选机	75
4.5.1	弱磁场磁选机	75
4.5.2	强磁场磁选机	86
第5章	铁矿的重选	93
5.1	重力选矿概论	93
5.2	重力选矿的基本原理	94
5.3	铁矿石重选工艺及实践	95
5.3.1	单一重选流程	96
5.3.2	重选-磁选流程	100
5.3.3	赤铁矿石的重力预选	100
5.4	铁矿重选设备	103
5.4.1	跳汰机	103
5.4.2	圆锥选矿机	107
5.4.3	螺旋选矿设备	110
5.4.4	离心选矿机	114
5.4.5	离心摇床	117
第6章	铁矿的浮选	118
6.1	浮选的理论基础	118
6.1.1	矿物表面的润湿性	118
6.1.2	接触角与矿物可浮性的关系	119
6.2	铁矿石浮选工艺及实践	121
6.2.1	铁矿石的可浮性	121
6.2.2	铁矿石浮选工艺	121
6.3	铁矿石浮选药剂	125
6.3.1	阴离子捕收剂	126
6.3.2	阳离子捕收剂	133
6.3.3	调整剂	137
6.4	浮选机	140

6.4.1	JJF 型浮选机	140
6.4.2	BF 型浮选机	141
6.4.3	SF 型浮选机	142
6.4.4	CHF-X 型浮选机	142
6.4.5	浮选柱	143
第7章	铁矿的电选	145
7.1	电选的基本理论	145
7.1.1	矿物的电性	145
7.1.2	矿物的带电方式	146
7.1.3	电选过程	148
7.2	电选的影响因素	149
7.2.1	电压	149
7.2.2	电极结构及其相对于鼓筒的位置	150
7.2.3	鼓筒转速	151
7.2.4	分矿板的位置	151
7.3	电选设备	152
7.3.1	圆筒形高压电选机	152
7.3.2	YD 型高压电选机	155
第8章	国内铁矿选矿实践	158
8.1	陕西大西沟有限公司选矿厂	158
8.1.1	选矿厂概况	158
8.1.2	矿石性质	158
8.1.3	选矿	159
8.2	吉林天池矿业有限公司官地铁矿选矿厂	162
8.2.1	选矿厂概况	162
8.2.2	矿石性质	163
8.2.3	选矿	164
8.3	福建马坑铁矿选矿厂	166
8.3.1	选矿厂概况	166
8.3.2	矿石性质	167
8.3.3	选矿工艺	167
8.3.4	工作制度和生产能力	169

- 8.4 四川德胜集团攀枝花矿业有限公司 169
 - 8.4.1 矿石性质 169
 - 8.4.2 设计指标及主要设备的确定 171
 - 8.4.3 选矿工艺 173
- 8.5 广东大顶铁矿选矿厂 174
 - 8.5.1 矿石性质 174
 - 8.5.2 选矿工艺 175
- 8.6 上海梅山矿业有限公司选矿厂 179
 - 8.6.1 选矿厂概况 179
 - 8.6.2 矿石性质 180
 - 8.6.3 选矿工艺 180

参考文献 195

第1章 概 述

1.1 铁及铁矿石简介

铁是地球上分布最广的金属之一，约占地壳质量的 5.10%，居元素分布序列中的第四位，仅次于氧、硅和铝。在自然界，游离态的铁只能从陨石中找到，分布在地壳中的铁都以化合物的状态存在。铁的主要矿石有：赤铁矿 Fe_2O_3 ，含铁量在 50%~60% 之间；磁铁矿 Fe_3O_4 ，含铁量 60% 以上，有亚铁磁性；此外还有褐铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、菱铁矿 FeCO_3 和黄铁矿 FeS_2 ，它们的含铁量低一些，但比较容易冶炼。

铁矿石是钢铁工业的重要原料。此外，铁矿石还用作合成氨的催化剂（纯磁铁矿），天然矿物颜料（赤铁矿、镜铁矿、褐铁矿），饲料添加剂（磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿）和名贵药石（磁石）等。随着我国钢铁工业的高速发展，对铁矿石的需求量快速增长。近年来，国内铁矿石一直处于供不应求的局面，铁矿石进口量逐年增加。因此，必须通过加强国内铁矿资源的开发利用和不断增加供给来缓解国内铁矿石的供需矛盾。

我国铁矿资源具有贫、细、杂的特点，著名的产地有湖北大冶、东北鞍山等。贫矿所占比例高达 97% 左右，绝大多数铁矿必须通过选矿处理后才能被有效利用。而且，只有依靠选矿技术的进步，才能为钢铁冶炼提供优质入炉矿石，为钢铁工业节能降耗、提高经济效益奠定基础。

1.2 铁矿石的性质

铁矿物种类繁多，目前已发现的铁矿物和含铁矿物约 300 余种，其中常见的有 170 余种。但在当前技术条件下，具有工业利用价值的主要是磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、钛铁矿、褐铁矿和菱铁矿等。

1.2.1 铁矿石的物理性质

下面分别说明磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、褐铁矿、钛铁矿、菱铁矿以及黄铁矿等主要铁矿石的物理性质。

(1) 磁铁矿

磁铁矿主要成分为 Fe_3O_4 ，即四氧化三铁，每个 Fe_3O_4 分子中有两个+3价的铁原子和一个+2价的铁原子，氧原子现-2价。 Fe_3O_4 中 Fe 的理论化学组成为 72.4%、O 为 27.6%。其为等轴晶系，单晶体常呈八面体，较少呈菱形十二面体。在菱形十二面体面上，长对角线方向常见条纹。集合体多呈致密块状和粒状。颜色为铁黑色，条痕为黑色，半金属光泽，不透明。莫氏硬度 5.5~6.5，相对密度 4.9~5.2，具强磁性。

磁铁矿中常有相当数量的 Ti^{4+} 以类质同象代替 Fe^{3+} ，还伴随有 Mg^{2+} 和 V^{3+} 等相应地代替 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} ，因而形成一些矿物亚种，即

① 钛磁铁矿。 $\text{Fe}_{(2+x)}^{2+}\text{Fe}_{(2-2x)}^{3+}\text{Ti}_x\text{O}_4$ ($0 < x < 1$)，含 TiO_2 12%~16%。常温下，钛从其中分离成板状和柱状的钛铁矿及布纹状的钛铁晶石。

② 钒磁铁矿。 FeV_2O_4 或 $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+}\text{V})\text{O}_4$ ，含 V_2O_5 有时高达 68.41%~72.04%。

③ 钒钛磁铁矿。成分更为复杂的上述两种矿物的固溶体产物。

④ 铬磁铁矿。含 Cr_2O_3 可达百分之几。

⑤ 镁磁铁矿。含 MgO 可达 6.01%。

磁铁矿是岩浆成因铁矿床、接触交代-热液铁矿床、沉积变质铁矿床，以及一系列与火山作用有关的铁矿床中铁矿石的主要矿物，此外也常见于砂矿床中。磁铁矿氧化后可变成赤铁矿（假象赤铁矿及褐铁矿），但仍能保持其原来的晶形。

(2) 赤铁矿

赤铁矿中主要成分为 Fe_2O_3 ，即氧化铁。自然界中 Fe_2O_3 的同质多象变种已知有两种，即 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ，其中 Fe 的理论化学组成为 69.94%、O 为 30.06%。前者在自然条件下稳定，称为赤铁矿；后者在自然条件下不如 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 稳定，处于亚稳定状态，称之为磁赤铁矿。

常含类质同象混入物 Ti、Al、Mn、 Fe^{2+} 、Ca、Mg 及少量 Ga 和 Co。三方晶系，完好晶体少见。结晶赤铁矿为钢灰色，隐晶质；土状赤铁矿呈红色。条痕为樱桃红色或鲜猪肝色。金属至半金属光泽，有时光泽暗淡。莫氏硬度 5~6，相对密度 5~5.3，具弱磁性。

赤铁矿的集合体有各种形态，形成一些矿物亚种。

① 镜铁矿。为具金属光泽的玫瑰花状或片状赤铁矿的集合体。

② 云母赤铁矿。具金属光泽的晶质细鳞状赤铁矿。

③ 鲕状或肾状赤铁矿。形态呈鲕状或肾状的赤铁矿。

赤铁矿是自然界中分布很广的铁矿物之一，可形成于各种地质作用，但以热液作用、沉积作用和区域变质作用为主。在氧化带里，赤铁矿可由褐铁矿或纤铁矿、针铁矿经脱水作用形成，但也可以变成针铁矿和水赤铁矿等。在还原条件下，赤铁矿可转变为磁铁矿，称假象磁铁矿。

(3) 磁赤铁矿

$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ，其化学组成中常含有 Mg、Ti 和 Mn 等混入物。等轴晶系，五角三四面体晶类，多呈粒状集合体，致密块状，常具磁铁矿假象。颜色及条痕均为褐色，莫氏硬度 5，相对密度 4.88，强磁性。

磁赤铁矿主要是磁铁矿在氧化条件下经次生变化作用形成的。磁铁矿中的 Fe^{2+} 完全为 Fe^{3+} 所代替 ($3\text{Fe}^{2+} \longrightarrow 2\text{Fe}^{3+}$)，所以由 $1/3 \text{Fe}^{2+}$ 所占据的八面体位置产生了空位。另外，磁赤铁矿可由纤铁矿失水而形成，亦有由铁的氧化物经有机作用而形成的。

(4) 褐铁矿

褐铁矿实际上并不是一个矿物种，而是针铁矿、纤铁矿、水针铁矿、水纤铁矿以及含水氧化硅、泥质等的混合物。化学成分变化大，含水量变化也大。

① 针铁矿。α- $\text{FeO}(\text{OH})$ ，含 Fe 62.9%。含不定量的吸附水者，称水针铁矿 $\text{HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。斜方晶系，形态有针状、柱状、薄板状或鳞片状。通常呈豆状、肾状或钟乳状。切面具平行或放射纤维状构造。有时成致密块状、土状，也有呈鲕状。颜色红褐、暗褐至黑褐。经风化而成的粉末状、赭石状褐铁矿则呈黄褐色。针铁矿条痕为红褐色，莫氏硬度 5~5.5，相对密度 4~4.3。而褐铁矿条痕则一般为淡褐或黄褐色，莫氏硬度 1~4，相对密度 3.3~4。

② 纤铁矿。γ- $\text{FeO}(\text{OH})$ ，含 Fe 62.9%。含不定量的吸附水者，称水纤铁矿 $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。斜方晶系，常见鳞片状或纤维状集合体。颜色暗红至黑红色，条痕为橘红色或砖红色。莫氏硬度 4~5，相对密度 4.01~4.1。

(5) 钛铁矿

主要成分为 FeTiO_3 ，即钛酸亚铁，其中 Fe 的理论化学组成为 36.8%，Ti 36.6%，O 31.6%。三方晶系，菱面体晶类。常呈不规则粒状、鳞片状或厚板状。在 950℃ 以上钛铁矿与赤铁矿形成完全类质同象。当温度降低时，即发生熔离，故钛铁矿中常含有细小鳞片状赤铁矿包体。钛铁矿颜色为铁黑色或钢灰色。条痕为钢灰色或黑色。含赤铁矿包体时呈褐色或带褐的红色条痕。金属光泽或半金属光泽，不透明，无解理。莫氏硬度 5~6.5，相对密度 4~5，弱磁性。钛铁矿主要出现在超基性岩、基性岩、碱性岩、酸性岩及变质岩中。我国攀枝花钒钛磁铁矿床中，钛铁矿呈粒状或片状分布于钛磁铁矿等矿物颗粒之间，或沿钛磁铁矿裂开面成定向片晶。

(6) 菱铁矿

主要成分为 FeCO_3 ，即碳酸亚铁，理论化学组成为 FeO 62.01%、 CO_2 37.99%，常含 Mg 和 Mn 。三方晶系，常见菱面体，晶面常弯曲。其集合体成粗粒状至细粒状。亦有呈结核状、葡萄状、土状者。黄色、浅褐黄色（风化后为深褐色），玻璃光泽。莫氏硬度 3.5~4.5，相对密度 3.96 左右，因 Mg 和 Mn 的含量不同而有所变化。

(7) 黄铁矿

主要成分为 FeS_2 ，即过硫化亚铁，理论化学组成为 Fe 46.55% S 53.45%，常有 Co 、 Ni 以类质同象形式存在。黄铁矿因其浅黄铜的颜色和明亮的金属光泽，常被误认为是黄金，故又称为“愚人金”。晶体属等轴晶系的硫化物矿物。成分中通常含钴、镍和硒，具有 NaCl 型晶体结构。常有完好的晶形，呈立方体、八面体、五角十二面体。立方体晶面上有与晶棱平行的条纹，各晶面上的条纹相互垂直。集合体呈致密块状、粒状或结核状。浅黄（铜黄）色，条痕绿黑色，强金属光泽，不透明，无解理，参差状断口。莫氏硬度较大，达 6~6.5，小刀刻不动。相对密度 4.9~5.2。在地表条件下易风化为褐铁矿。

黄铁矿是铁的二硫化物。一般将黄铁矿作为生产硫黄和硫酸的原料，而不是用作提炼铁的原料，因为提炼铁有更好的铁矿石，且黄铁矿炼制过程当中会产生大量 SO_2 ，造成空气污染。黄铁矿分布广泛，在很多矿石和岩石中，包括煤中都可以见到它的影子，一般为黄铜色立方体样子。黄铁矿风化后会变成褐铁矿或黄钾铁矾。

以上几种铁矿石中，作为炼铁原料的主要是磁铁矿和赤铁矿，其次为褐铁矿和菱铁矿。钛铁矿主要用于提炼金属钛或生产 TiO_2 ，黄铁矿则主要用于生产硫黄和硫酸，但随着选矿技术及冶金技术的发展，目前已有将硫酸烧渣用于冶炼铁的相关报道。

1.2.2 铁矿石的化学组成与性质

1.2.2.1 铁的化学组成

在其他条件相同的情况下，矿石中铁品位越高，高炉冶炼指标越好。对进行冶金处理的原料，主要要求其质量稳定，特别是铁品位，高炉冶炼的指标与矿石中的铁品位有关。另外，矿石的有害杂质含 S 、 P 、 As 、 Zn 和 Pb 。这些元素的存在都会影响生铁、钢的质量或生产效率。对直接入炉冶炼的富矿，需限制有害杂质的含量。当有害杂质超过要求时，矿石需经选矿后方能使用或供作配矿用料。铁矿原料有害杂质的允许含量如表 1-1 所示。铁矿石和生铁的有害杂质如表 1-2 所示。

表 1-1 铁矿原料有害杂质的允许含量

单位：%

数据	高炉熔炼的块状原料			炼钢的块状原料		烧结矿原料
	矿石和精矿		烧结矿	矿石和精矿	烧结矿	矿石/精矿
	一般	优质				
$S \leq$	0.1~0.6	0.05~0.2	0.07~0.16	0.15	0.05~0.07	不限制
在 1% 的铁中	0.005~0.008	0.001~0.0025	—	0.0025	—	不限量
$P \leq$	0.08~0.2	0.017~0.04	0.2	0.05~0.15	—	0.08~0.15
在 1% 的铁中	0.003~0.004	0.00016~0.00035	—	0.0015~0.003	—	—
$As \leq$	0.1	0.1	0.1	—	—	—
$Zn \leq$	0.08~0.1	0.08~0.1	0.08~0.1	—	—	—
在强化高炉冶炼过程条件下	0.05	0.05	0.05	—	—	—
$Pb \leq$	0.01~0.015	0.01~0.015	0.01~0.015	—	—	—

表 1-2 铁矿石和生铁有害杂质

单位：%

有害杂质	矿 石			生 铁		
	有害杂质的影响			冶炼方法	有害杂质允许(或要求)含量	有害杂质转化程度
	高炉冶炼指标	金属质量	高炉和生产工人的工作条件			
S	焦炭和溶剂的消耗量增加;高炉的生产能力降低	热脆性	—	冶炼 酸性转炉炼钢法 一般平炉 磷-平炉 氧-转炉 优特钢 铸造	0.04~0.06 0.02~0.06 0.05~0.07 0.04 0.015~0.025 0.02~0.06	不重要,绝大部分的硫与石灰作用而以 CaS 的形式转移到渣中,10%~15%的硫挥发
P	—	冷脆性	—	冶炼 酸性转炉 一般平炉 磷-平炉 氧-转炉 优特钢 铸造 赤生铁 一般铸铁 磷铁	0.06~0.07 0.15~0.3 1~2 不规定 0.02~0.05 0.12 0.13~0.3 0.3~1.2	对低磷生铁为 100%,对高磷生铁为 92%~96%
As	—	热脆性和冷脆性,可焊性差	—	生铁炼钢和铸造	不超过 0.1~0.2	100%
Zn	—	炉料的配比变坏,破坏炉衬和炉外壳	生铁炼钢和铸造	—	0	—
Pb	—	—	破坏炉底	生铁炼钢和铸造	—	0

矿石中的有用成分包括 Mn、Ni、Co、V、Cu、Cr 和 Ti。铜、铬和钛除了具有好的性质外还具有不良的作用,使冶金过程复杂化。铁矿石和熔炼产品中的有用

成分见表 1-3。

表 1-3 铁矿石和熔炼产品中的有用成分

单位：%

有用成分	矿 石		制铁方法	冶 炼 产 品			制钢方法(对高炉中的钛)对存在的成分的转化和控制
	有用成分的影响			有用成分在生铁中的要求含量	在金属或其他熔炼产品中,有用成分允许的最高含量	在生铁中的转化程度	
	好的	不良的					
Mn	增加了硬度和黏性,减少了硫的有害影响,改善了钢的力学性能	无	冶炼 酸性转炉 一般平炉 磷-平炉 优特钢 氧-转炉 铸造 赤铁矿 一般铸铁及磷铁	0.30~0.70 0.15~1.50 1~2 0.5~1.5 0.4~1.2 0~1.5 平均 1.7 0~1.5 平均 0.6~0.8	—	55~75 (转) 65~68 (铸造)	—
Ni	改善了生铁和钢的力学性能	无		0.5~0.7	—	90	—
V	改善了生铁和钢的力学性能	无		0.2~0.3	—	85~94	对于双联法(转炉-平炉或转炉-转炉)钒转移到炉渣中,供以后回收(化学方法)
Cu	改善了钢的防锈性能	轧制困难引起热脆性		—	在钢中不超过 0.3	100	
Cr	改善了钢的力学性能	有黏性,减少了钢渣的流动性		—	在单过程的炼钢条件下,生铁中不超过 0.4~0.5	92~98	在双联法转炉-平炉中其生铁含铁不超过 0.4%~0.5%,以便转化铬至炉渣中,并获得低含量铬的半成品
Ti	改善了钢的力学性能	有黏性,高炉渣,难熔		在高炉渣中二氧化钛不超过 17%~18%,(实际上是达不到这个极限范围,一般要求二氧化钛不超过 10%)	3~15		在钛含量高的情况下,推荐使用两段过程,在管状炉中预先还原,以后在电炉中熔炼,使绝大部分的钛转化到炉渣中,从炉渣中用硫酸浸出法回收钛

脉石为造渣成分,一般分碱性和酸性两种。氧化钙和氧化镁属于碱性的;二氧

化硅和三氧化二铝属于酸性的。矿石中碱性成分总量与酸性成分总量的比值越高，越能减少主要溶剂的消耗。属于造渣组分的还有 K_2O 、 Na_2O 、 TiO_2 和 BaO 等。对提供直接入炉使用的矿石，需查明造渣组分的含量。当矿石中含 MgO 、 Al_2O_3 都很少时，可以直接采用 CaO/SiO_2 来确定酸碱度。

1.2.2.2 铁矿石的化学性质

铁矿石的化学性质主要可以分为氧化性、还原性和软化性能。

(1) 氧化性

利用氧或氯等强氧化剂来分离提取金属化合物的反应过程叫做氧化反应。冶金过程常见的氧化反应有如下几种。

① 氧化焙烧（包括烧结）。冶金实例如，利用空气或富氧空气对硫化矿或其精矿粉焙烧去硫，形成金属氧化物或硫酸盐。对于黄铁矿则只能采用氧化磁化焙烧法，在氧化气氛下，经短时间焙烧可将黄铁矿氧化为磁黄铁矿，长时间焙烧则被进一步氧化为磁铁矿。

② 氯化焙烧。利用氯化剂在氧化气氛下对硫化矿焙烧去硫，得到金属氯化物。

③ 氧化吹炼。以纯氧气顶吹、底吹或顶底复合吹在转炉内将生铁中硅、锰、碳、磷氧化成氧化物从而降低生铁中这些元素的含量进而炼成钢。

④ 氧化精炼。利用氧化性炉渣或铁矿石作为氧化剂，在火炉或电炉内炼钢，脱去杂质。在反射炉内粗铜吹氧，脱去粗铜中的铁、锌、钴、锡、铅、硅等杂质。

(2) 还原性

还原性系指铁的氧化物被还原气体（ CO 、 H_2 ）还原时所表现出来的各种物理化学特性。还原性是评价铁矿石冶炼性质的一个十分重要的指标，它在很大程度上决定了生铁的质量和 high 炉的生产技术经济指标。还原性的影响因素很多，主要有矿物的生成环境和结晶构造、脉石的含量与分布、矿石的物理性能（如粒度、强度、气孔率等）及矿石的热性能（如软化温度、热强度、化学稳定性等）。

铁矿石的还原性，主要是应用在弱磁性贫铁矿的还原焙烧上。我国生产中常用还原度 R 来衡量磁化焙烧产品的质量。还原度为还原磁化焙烧矿中氧化亚铁含量与全铁含量的比值百分数。磁铁矿的还原度为 42.8%。我国鞍钢烧结总厂根据所处理的矿石性质和烧结条件，认为 $R=42\% \sim 52\%$ 时，烧结矿的磁性最好，选别指标最高。但须指出，还原度指标不能真实反映焙烧矿的质量，不过此法简单易行，有一定的实用价值。影响还原焙烧矿质量的主要因素为矿石性质（矿物组成、构造、粒度组成）、焙烧温度、气相组成及还原剂类型等。一般认为层状构造的矿石较致密块状，鲕状及结核状的易还原，脉石以石英为主的铁矿石易还原，矿块粒度小的易还原，矿块粒级范围不宜过宽，认为 75~20mm 较理想。还原焙烧的温度下限常为 450℃，最高温度宜低于 700~800℃。对气孔率小，粒度大的难还原矿石或采用固体还原剂时，还原温度一般为 850~900℃。温度过高易生成弱磁性的硅