

铁矿石贸易与 检验鉴别

丁仕兵 胡顺峰 郭兵 主编



 中国质检出版社
中国标准出版社

铁矿石贸易与检验鉴别

丁仕兵 胡顺峰 郭兵 主编

中国质检出版社

中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

铁矿石贸易与检验鉴别/丁仕兵, 胡顺峰, 郭兵主编. —北京: 中国标准出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-5066-7160-6

I. ①铁… II. ①丁…②胡…③郭… III. ①铁矿物—进口贸易—研究—中国②铁矿物—检验—基本知识 IV. ①F752.654.2②TF521

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 102964 号

中国质检出版社
中国标准出版社 出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)
北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 21.75 字数 442 千字
2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月第一次印刷

定价 65.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话: (010) 68510107

编 委 会

主 编：丁仕兵 胡顺峰 郭兵

副主编：管 嵩 于立洋 鲁雪梅

编 审：周尊英 杜恒清

参加编写人员：（按姓氏笔画排列）

王 仑 史清刚 安丰坤 刘 稚 刘美东

闵国华 宋 飞 张坤明 张庆建 曹玉海

焦 琦 霍春生 薛秋红 薛 妍 鞠 溯

前 言

铁是世界上发现最早、利用最广、用量最多的一种金属，其消耗量占金属总消耗量的 95% 左右。我国铁矿石资源多数是贫铁矿，产量无法满足国内钢铁业的需求，2003 年我国铁矿石进口量就已经超过日本成为世界第一。2009 年以来，中国铁矿石进口量迅速上升，2012 年再创新高，总进口量达 7.44 亿吨，同比增加 8.38%。进口铁矿石的检验一直受到国家质检部门的高度重视。目前山东、河北、江苏、上海、浙江等全国各口岸检验检疫机构承担着进口铁矿的检验任务，他们认真实检、严格把关，有效地维护了国家利益，赢得了国内外贸易方的信任和认可。

本书是山东出入境检验检疫局铁矿检测重点实验室在多年实践经验的基础上，组织编写的关于铁矿石贸易与检验的参考书。全书共分 9 章，主要介绍铁矿的基础知识、铁矿石贸易知识及相关法规政策、铁矿石检验基础知识、铁矿石检验流程、散装矿石海运规则及适运水极限测定、进口铁矿石的主要物理化学特征、可用于炼铁的冶炼渣的特征及鉴别、实验室质量控制、进口铁矿石检验典型案例等知识。本书内容丰富、重点突出、实用及针对性强，某些技术的介绍具有前瞻性，也考虑了进口铁矿石贸易的新情况、新问题，既有进口铁矿的贸易政策、标准方法、科技文献报道、经典案例的提炼，又有编者多年的检验经历与经验的总结。通过本书，铁矿贸易商可以研究借鉴，以更好地规范自己的贸易行为以及规避贸易风险，铁矿检验的工作人员以及贸易相关人员，尤其是新接触该项工作的人员可以更全面深入地了解铁矿石贸易与检验。

编者力图结合多年的学习和实践经验将本书写好，但由于编者水平和时间的限制，加之检验技术新成果不断涌现、贸易新问题不断发生，难免存在不当和错误之处，敬请读者批评指正。

编者

2013 年 04 月

目 录

第 1 章 铁矿的基础知识	1
1.1 概述	1
1.2 铁矿的形成及资源状况	3
1.3 铁矿的分类、特征及用途	5
1.4 钢铁行业对铁矿的要求	12
1.5 铁矿的质量评价	14
参考文献	19
第 2 章 铁矿石贸易知识及相关法规政策	21
2.1 铁矿石贸易术语	21
2.2 铁矿石贸易基本知识	25
2.3 我国主要铁矿石运输港和世界主要铁矿石运输港	37
2.4 铁矿石贸易状况	55
2.5 我国铁矿石贸易主要法规政策	63
2.6 可用于炼铁的冶炼渣的监管	75
参考文献	76
第 3 章 铁矿石检验基础知识	78
3.1 铁矿石检验有关术语及其定义	78
3.2 铁矿石的检验标准	87
3.3 进口铁矿石检验基本规定及流程	93
第 4 章 铁矿石检验	96
4.1 铁矿石取样	96
4.2 铁矿样品制样	121
4.3 水分检验	123
4.4 粒度测定	128
4.5 化学品质化验	133

4.6 冶金物理性能试验	154
4.7 重量鉴定	159
参考文献	170
第5章 散装矿石海运规则及适运水极限测定	174
5.1 散装矿石海运规则	174
5.2 适运水的测定	178
第6章 进口铁矿石的主要物理化学特征	184
6.1 概述	184
6.2 澳大利亚铁矿	185
6.3 印度铁矿	191
6.4 朝鲜铁矿	194
6.5 马来西亚铁矿	196
6.6 南非铁矿	198
6.7 印度尼西亚铁矿	201
6.8 巴西铁矿	203
6.9 墨西哥铁矿	208
6.10 伊朗铁矿	210
6.11 阿联酋铁矿	216
6.12 土耳其铁矿	217
6.13 委内瑞拉铁矿	218
6.14 毛里塔尼亚、美国、秘鲁等铁矿	219
6.15 俄罗斯、乌克兰铁矿	226
第7章 可用于炼铁的冶炼渣的特征及鉴别	230
7.1 铬矿冶炼渣	230
7.2 锌矿冶炼渣	232
7.3 铅矿冶炼渣	235
7.4 铜矿冶炼渣	235
7.5 氧化皮	237
7.6 铝土矿冶炼渣（赤泥）	240
7.7 硫酸渣	244
7.8 鉴别特征	245
7.9 鉴别方法	247
7.10 鉴别程序	248
参考文献	251

第 8 章 实验室质量控制	253
8.1 质量管理体系	253
8.2 实验误差理论简介	254
8.3 实验室内部质量控制	261
8.4 外部质量控制	268
8.5 不确定度评定	268
8.6 检测结果符合性核查	288
8.7 相关性分析	288
第 9 章 进口铁矿石检验典型案例	291
9.1 以次充好案例	291
9.2 短重案例	294
9.3 有害元素异常案例	296
9.4 夹杂废物案例	297
附录 A 铁矿石外贸合同范例	300
附录 B REVIEW OF THE BC CODE, INCLUDING EVALUATION OF PROPERTIES OF SOLID BULK CARGOES	318

第 1 章 铁矿的基础知识

1.1 概述

铁是世界上发现最早、利用最广、用量也是最多的一种金属，其消耗量占金属总消耗量的 95% 左右。铁矿石主要用于冶炼含碳量不同的生铁（含碳量一般在 2% 以上）和钢（含碳量一般在 2% 以下）。生铁通常按用途不同分为炼钢生铁、铸造生铁、合金生铁。钢按组成元素不同分为碳素钢、合金钢。合金钢是在碳素钢的基础上，为改善或获得某些性能而有意加入适量的一种或多种元素的钢，加入钢中的元素种类很多，主要有铬、锰、钒、钛、镍、钼、硅。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，但用量很少。钢铁制品广泛用于国民经济各部门和人民生活各个方面，是社会生产和公众生活所必需的基本材料。自从 19 世纪中期发明转炉炼钢法逐步形成钢铁工业大生产以来，钢铁一直是最重要的结构材料，在国民经济中占有极重要的地位，是社会发展的主要支柱产业，是现代化工业最重要和应用最多的金属材料。所以，人们常把钢、钢材的产量、品种、质量作为衡量一个国家工业、农业、国防和科学技术发展水平的重要标志。

中国是世界上利用铁最早的国家之一。早在 19000 年前，周口店“山顶洞人”就开始使用赤铁矿粉作为赭红色颜料，涂于装饰品上或者随葬撒在尸体周围。这是人类利用天然矿物颜料的开始。到新石器时代（距今 10000 年~4000 年），兴起了制陶业，并发明绘制各种风格的彩陶，绘制赭红色彩陶的原料就是赭石（赤铁矿）。

人类使用铁器制品至少有 5000 多年历史，开始是用铁陨石中的天然铁制成铁器。最早的陨铁器是在尼罗河流域的格泽（Gerzeh）和幼发拉底河流域乌尔（Ur）出土于公元前 4000 多年前的铁珠和匕首。目前中国最早的陨铁文物是 1972 年在河北藁城台西村商代中期（公元前 13 世纪中期）遗址中发现的铁刃青铜钺。这件古兵器，经全面的科学考查，确定刃部是陨铁加热锻造成的。它表明我国商代人们已掌握一定水平的锻造技术和对铁的认识，熟悉铁加工性能，并认识铁与青铜在性质上的差别。但那时人们还不会利用铁矿石炼铁，而铁陨石又很少，所以当时的铁制品是十分珍贵的物品。



我国用铁矿石直接炼铁，早期的方法是块炼铁，后来用竖炉炼铁。在春秋时代晚期（公元前 6 世纪）已炼出可供浇铸的液态生铁，铸成铁器，应用于生产，并发明了铸铁柔化术。这一发明加快了铁器取代铜器等生产工具的历史进程。战国时期冶铁业兴盛，生产的铁器制品以农具、手工工具为主，兵器则青铜、钢、铁兼而有之。据记载，今山东临淄和河北邯郸等地铁矿，春秋战国时期都已进行开采。

我国铁矿石资源多数是贫铁矿，原矿品位低并且伴生矿物多，而且多数情况要地下开采，产量无法满足国内钢铁业的需求，所以我国钢铁业主要依赖进口铁矿。近年来，由于我国经济的快速增长，国内钢材需求不断扩大，导致一些地方不顾一切地增加钢材产能。而原料采购方面，由于无序的竞争，导致这几年国际铁矿价格逐年上涨，甚至到了疯狂的地步，钢铁厂的利润率逐年下降。而过多的高能耗产业，也导致资源匮乏矛盾更加突出，环境污染严重，生态破坏加剧。有些钢铁厂为了降低成本，甚至不惜牺牲环境，采用一些品质极差，有害元素超标的低劣铁矿。近年来发现，在进口的铁矿中，有很多属于低劣产品，铁矿品位很低，甚至掺杂了工业废料、垃圾等，使得一些含有高含量有害元素的铁矿进入国门，对我国的环境造成严重污染。铁矿中的有害元素主要是指磷、硫、砷、镉、铅、铜、钾、钠、锌、钛、氟等。铁矿中有害元素含量越高，其冶炼价值越低，并且对环境的危害越大。其中硫会使生铁或钢材发生热脆性，一般一级矿硫含量小于 0.06%，大于 0.3% 的为高硫矿，冶炼中需增加熔剂的用量，使渣量增加，产量降低；磷会使生铁或钢材发生冷脆性，并且在烧结过程中不易去除，在冶炼中又会全部还原进入生铁，因此，冶炼中要求磷含量越低越好；锌在冶炼中被还原后会引引起炉衬膨胀和炉壳破坏；铅在冶炼中会不断沉积于炉内，渗入砖缝而损坏炉衬，铅蒸气还会污染环境，冶炼中要求铅、锌含量越低越好，应小于 0.1%；铁矿石中的砷同各种硫化物矿石伴生，以 As_2O_3 和 AsS 形式出现，铁矿石在烧结过程中，部分砷随烟尘排出，但大部分砷与碱性氧化物 CaO 结合成稳定的盐类矿物，在高炉冶炼中，砷化物被碳或一氧化碳所还原，部分砷将随煤气或炉尘外排，但大部分砷将进入铁水中，炼钢过程中，除少部分砷随烟尘排出外，绝大部分砷残留于钢液中，砷能使钢材冷脆性增加、焊接性能降低，高炉逸出的砷蒸气污染环境，对人体造成伤害，一般要求砷含量小于 0.07%；铜在冶炼中会全部进入生铁，在炼钢中进入钢材，铁矿石中铜含量不允许超过 0.2%，否则，容易造成钢材热脆现象；钾、钠易挥发，在炉内循环累积，会破坏焦炭强度并引起高炉内结瘤等；钛会降低钢的耐磨性和耐腐蚀性，使炉渣变黏，易起泡沫，含 TiO_2 过高的铁矿应作为宝贵的钛矿资源；氟在高温下气化，腐蚀金属，危害农作物和人体，侵蚀破坏炉衬。除对钢铁冶炼及冶炼设备有害的杂质元素外，铁矿石中还存在对人体健康及环境有影响的有害元素，主要有铅、砷、汞、镉、铬。这些元素时刻威胁着人们的健康，如砷，其氧化物（ As_2O_3 ）有剧毒；铬三价无毒而铬六价却有毒；铅会沉积在人体组织中，特别是骨骼、牙齿、肾脏和大脑，血铅和儿童的

智力呈高度负相关；汞无论是有机汞还是无机汞对人体皆有害，尤其是甲基汞的毒性更强；在镉含量高的环境中人们往往会中毒，轻者恶心、呕吐、腹泻，严重时头疼、胃疼、脊柱畸形和骨质疏松等症，重者导致死亡。另外，矿产品中常有放射性元素存在，它们发出的射性射线严重危害人体健康。由于目前我国相应的强制性标准不健全，无法将这些涉嫌欺诈和危害我们环境的矿物挡在国门之外，国家也在加紧制定相关的铁矿石安全卫生检验技术规范，以规范进口铁矿的贸易秩序，保护我们的环境和企业利益不受有害物质的侵害。只有在加强监督机制、同时国内进口商也要自律的情况下，才不会让我们的国土成了其他国家倾斜垃圾的垃圾场，给我们的后代留下一寸干净的土地，一片蔚蓝的天空。关于如何辨别工业尾矿，后面的章节中会有详细介绍，这里不再过多讨论。

1.2 铁矿的形成及资源状况

1.2.1 铁矿的形成

地球上分散在各处含有铁的岩石，风化崩解，里面的铁也被氧化，这些氧化铁溶解或悬浮在水中，随着水的流动，逐渐沉淀堆积在水下，成为铁比较集中的矿层。在整个聚集过程中，许多生物起着积极的作用。铁矿层形成后，再经过多次变化，譬如地壳中的高温高压作用，有时还有含矿物质多的热液参加进来，使这些沉积而成的铁矿或含铁较多的岩石变质，造成规模很大的铁矿；这些经过变质的铁矿或含铁较多的岩石，还可以再经过风化，把铁进一步集中起来，造成含铁量很高的富铁矿。

还有些铁矿是岩浆活动造成的。岩浆在地下或地面附近冷却凝结时，可以分离出铁矿物，并在一定的部位集中起来；岩浆与周围岩石接触时，也可以相互作用，形成铁矿。在理论上来说，凡是含有铁元素或铁化合物的矿石都可以叫做铁矿石，但是，在工业上或者商业上来说，铁矿石不但是要含有铁的成分，而且必须有利用的价值才行。

1.2.2 铁矿的资源状况

1.2.2.1 中国铁矿资源状况

我国铁矿资源具有分布广泛，矿床类型齐全，贫矿多富矿少，矿石类型复杂，伴（共）生组分多等特点。

（1）东北地区铁矿

东北地区铁矿主要是鞍山矿区，它是目前我国储量开采量最大的矿区，大型矿体主要分布在辽宁省的鞍山（包括大孤山、樱桃园、东西鞍山、弓长岭等）、本溪（南芬、歪头



山、通远堡等)，部分矿床分布在吉林省通化附近。鞍山矿区是鞍钢、本钢的主要原料基地。

鞍山矿区矿石的主要特点：

①除极少富矿外，约占储量的 98% 为贫矿，含铁量 20%~40%，平均 30% 左右。必须经过选矿处理，精选后含铁量可达 60% 以上。

②矿石矿物以磁铁矿和赤铁矿为主，部分为假象赤铁矿和半假象赤铁矿。其结构致密坚硬，脉石分布均匀而致密，选矿比较困难，矿石的还原性较差。

③脉石矿物绝大部分是由石英石组成的， SiO_2 在 40%~50%。但本溪通远堡铁矿为自溶性矿石，其碱度 $[(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2]$ 在 1 以上，且含锰 1.29%~7.5% 可代替锰矿使用。

④矿石含硫、磷杂质很少，本溪南芬铁矿含磷很低，是冶炼优质生铁的好原料。

(2) 华北地区铁矿

主要分布在河北省宣化、迁安和邯郸、邢台地区的武安、矿山村等的地区以及内蒙和山西各地。是首钢、包钢、太钢和邯郸、宣化及阳泉等钢铁厂的原料基地。

迁滦矿区矿石为鞍山式贫磁铁矿，含酸性脉石，硫、磷杂质少，矿石的可选性好。

邯邢矿区主要是赤铁矿和磁铁矿，矿石含铁量在 40%~55%，脉石中含有一定的碱性氧化物，部分矿石硫高。

(3) 中南地区铁矿

中南地区铁矿以湖北大冶铁矿为主，其他如湖南的湘潭，河南省的安阳、舞阳，江西和海南等地都有相当规模的储量，这些矿区分别成为武钢、湘钢及本地区各大中型高炉的原料供应基地。

大冶矿区是我国开采最早的矿区之一，主要包括铁山、金山店、成潮、灵乡等矿山，储量比较丰富。矿石主要是铁铜共生矿，铁矿物主要为磁铁矿，其次是赤铁矿，其他还有黄铜矿和黄铁矿等。矿石含铁量 40%~50%，高的达 54%~60%。脉石矿物有方解石、石英等，脉石中含 SiO_2 为 8% 左右，有一定的溶剂性 (CaO/SiO_2 为 0.3 左右)，矿石含磷低，(一般为 0.027%)，含硫高且波动很大 (0.01%~1.2%)，并含有铜 (0.2%~1.0%) 和钴 (0.013%~0.025%) 等含有色金属。矿石的还原性较差，矿石经烧结、球团造块后入高炉冶炼。

(4) 华东地区铁矿

华东地区铁矿产区主要是自安徽省芜湖至江苏南京一带的凹山、南山、姑山、桃冲、梅山、凤凰山等矿山。此外还有山东的金岭镇等地也有相当丰富的铁矿资源，是马鞍山钢铁公司及其他一些钢铁企业原料供应基地。

芜宁矿区铁矿石主要是赤铁矿，其次是磁铁矿，也有部分硫黄铜矿和黄铁矿。铁矿石

品位较高，一部分富矿（含铁 50%~60%）可直接入炉冶炼，一部分贫矿要经选矿精选、烧结造块后供高炉使用。矿石的还原性较好。脉石矿物为石英、方解石、磷灰石和金红石等，矿石中含硫、磷杂质较高（含磷一般为 0.5%，最高可达 1.6%，梅山铁矿含硫平均可达 2%~3%），矿石有一定的溶剂性（如凹山及梅山的富矿中平均碱度可达 0.7~0.9），部分矿石含钒、钛及铜等有色金属。

（5）其他地区铁矿

除上述各地区铁矿外，我国西南地区、西北地区各省，如四川、云南、贵州、甘肃、新疆、宁夏等地都有丰富的不同类型的铁矿资源，分别为攀钢、重钢和昆钢等大中型钢铁厂高炉生产的原料基地。

1.2.2.2 世界铁矿资源状况

世界铁矿总资源，按含铁量计算为 1964 亿吨，其中工业储量 930 亿吨。其中北半球总资源 1237 亿吨，工业储量 600 亿吨，分别占世界总储量的 63%和工业储量的 64.5%；南半球总资源 725.6 亿吨，工业储量 330 亿吨，分别占世界总储量的 37%和工业储量的 35.5%。

欧洲铁矿资源最丰富，总资源量 622 亿吨，工业储量 350 亿吨。南美洲铁矿总资源量 462.4 亿吨，工业储量 188.7 亿吨。北美洲资源总量 444.4 亿吨，工业储量 149 亿吨。大洋洲资源总量 191 亿吨，工业储量 109 亿吨。亚洲资源总量 171 亿吨，工业储量 102 亿吨，倒数第 2 位，相当贫乏。非洲铁矿资源是最贫乏的，资源总量 73 亿吨，工业储量 33 亿吨。

按国家划分主要分布在澳大利亚、巴西、俄罗斯、乌克兰、哈萨克斯坦、印度、美国、加拿大、南非等国家。

1.3 铁矿的分类、特征及用途

铁矿石是指岩石（或矿物）中全铁（T Fe）含量达到最低工业品位要求者。

1.3.1 铁矿石分类

按照矿物组分、结构、构造和采、选、冶及工艺流程等特点，可将铁矿石分为自然类型和工业类型两大类。

（1）自然类型

根据含铁矿物种类可分为：磁铁矿石、赤铁矿石、假象或半假象赤铁矿石、钒钛磁铁矿石、褐铁矿石、菱铁矿石以及由其中两种或两种以上含铁矿物组成的混合矿石。



按有害杂质 (S、P、Cu、Pb、Zn、V、Ti、Co、Ni、Sn、F、As) 含量的高低, 可分为高硫铁矿石、低硫铁矿石、高磷铁矿石、低磷铁矿石等。

按结构、构造可分为浸染状矿石、网脉浸染状矿石、条纹状矿石、条带状矿石、致密块状矿石、角砾状矿石, 以及鲕状、豆状、肾状、蜂窝状、粉状、土状矿石等。

按脉石矿物可分为石英型、闪石型、辉石型、斜长石型、绢云母绿泥石型、夕卡岩型、阳起石型、蛇纹石型、铁白云石型和碧玉型铁矿石等。

(2) 工业类型

工业上能利用的铁矿石, 包括炼钢用铁矿石、炼铁用铁矿石、需选铁矿石。

工业上暂不能利用的铁矿石, 矿石含铁量介于最低工业品位与边界品位之间。

1.3.2 铁矿石的主要品种及特征

铁矿物种类繁多, 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。目前, 能直接开采并能直接入料的铁矿石资源已十分有限, 因为进入炼铁高炉或用于直接还原的铁矿石需要具有满足炼铁生产要求的特性, 并要求具有较高的品位和一定的冶金性能, 目前世界上开采出来的铁矿石除部分块矿外大都需要深度加工, 主要有烧结矿、球团矿、直接还原铁等。

1.3.2.1 磁铁矿

主要含铁矿物为磁铁矿, 其化学式为 Fe_3O_4 , 其中 FeO 占 31%, Fe_2O_3 占 69%, 理论含铁量为 72.4%。在自然界中纯磁铁矿矿石很少遇到, 常常由于地表氧化作用使部分磁铁矿氧化转变为半假象赤铁矿和假象赤铁矿。所谓假象赤铁矿就是磁铁矿 (Fe_3O_4) 氧化成赤铁矿 (Fe_2O_3), 但它仍保留原来磁铁矿的外形, 所以叫做假象赤铁矿。

磁铁矿具有强磁性, 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, 长对角线方向常现条纹。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。硬度 5.5~6.5。密度 (4.9~5.2) g/cm^3 , 无解理, 脉石主要是石英及硅酸盐。还原性差, 一般含有害杂质硫和磷较高。

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, 新西兰和印度尼西亚的海砂矿即是含钽钛磁铁矿。

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。

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。

钒磁铁矿： FeV_2O_4 或 $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+}, \text{V})\text{O}_4$ ，含 V_2O_5 一般在 5% 以下。

钒钛磁铁矿：为成分更为复杂的上述两种矿物的固溶体产物。

铬磁铁矿：含 Cr_2O_3 可达百分之几。

镁磁铁矿：含 MgO 可达 6.01%。

1.3.2.2 赤铁矿

赤铁矿为无水氧化铁矿石，理论含铁量为 70%。这种矿石在自然界中经常形成巨大的矿床，从埋藏和开采量来说，它都是工业生产的主要矿石。赤铁矿含铁量一般为 50%~60%，含有害杂质硫和磷比较少，还原较磁铁矿好，是一种比较优良的炼铁原料。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。赤铁矿具有半金属光泽，结晶者硬度为 5.5~6，土状赤铁矿硬度很低，无解理，密度 $(4.9\sim 5.3) \text{ g/cm}^3$ ，仅有弱磁性，脉石为硅酸盐。

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。赤铁矿有原生的，也有再生的，再生的赤铁矿为磁铁矿经过氧化以后失去磁性，但仍保存着磁铁矿的结晶形状的假象赤铁矿，在假象赤铁矿中经常含有一些残余的磁铁矿。有时赤铁矿中也含有一些赤铁矿的风化产物，如褐铁矿 $(2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ 。赤铁矿的集合体有各种形态，形成一些矿物亚种。

镜铁矿：为具金属光泽的玫瑰花状或片状赤铁矿的集合体。

云母赤铁矿：具金属光泽的晶质细鳞状赤铁矿。

鲕状或肾状赤铁矿：形态呈鲕状或肾状的赤铁矿。

1.3.2.3 磁赤铁矿

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。磁铁矿中的 Fe^{2+} 完全为 Fe^{3+} 所代替 $(3\text{Fe}^{2+} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+})$ ，所以有 $1/3 \text{ Fe}^{2+}$ 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。其化学组成中常含有镁、钛和锰等混入物。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，硬度 5，密度 4.88 g/cm^3 ，强磁性。

1.3.2.4 褐铁矿

褐铁矿是含水氧化铁矿石，是由其他矿石风化后生成的，在自然界中分布的最广泛，但矿床埋藏量大的并不多见。其化学式为 $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ($n=1\sim 3, m=1\sim 4$)。



一般褐铁矿石含铁量为 37%~55%，有时含磷较高。褐铁矿的吸水性很强，一般都附着大量的水分，在焙烧或入高炉受热后去掉游离水和结晶水，矿石气孔率因而增加，大大改善了矿石的还原性。所以褐铁矿比赤铁矿和磁铁矿的还原性都要好。同时，由于去掉了水分相应地提高了矿石的含铁量。

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。褐铁矿条痕则一般为淡褐或黄褐色，硬度 1~4，密度 (3.3~4) g/cm³。

针铁矿： $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$ ，含 Fe 62.9%。含不定量的吸附水者，称为水针铁矿 $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。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，硬度 5~5.5，密度 (4~4.3) g/cm³。

纤铁矿： $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$ ，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。条痕为桔红色或砖红色。硬度 4~5，密度 (4.01~4.1) g/cm³。

1.3.2.5 钛铁矿

化学式为 FeTiO_3 ，Fe 为 36.8%，Ti 为 31.6%，O 为 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-半金属光泽，不透明，无解理。硬度 5~6.5，密度 (4~5) g/cm³，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。

1.3.2.6 菱铁矿

化学式为 FeCO_3 ，为碳酸盐铁矿石，理论含铁量 48.2%，常含镁和锰。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。硬度 3.5~4.5，密度 3.96 g/cm³ 左右，因镁和锰的含量不同而有所变化。在自然界中，有工业开采价值的菱铁矿比其他三种矿石都少。菱铁矿很容易被分解氧化成褐铁矿。一般含铁量不高，但受热分解出 CO_2 以后，不仅含铁量显著提高，而且也变得多孔，还原性很好。

1.3.2.7 烧结矿

烧结矿的原理是将各种粉状含铁原料，配入适量的燃料和熔剂，加入适量的水，经混

合和造球后在烧结设备上使物料发生一系列物理化学变化,将矿粉颗粒黏结成块,是人造矿石的一种。

含铁原料主要是含铁量较高且粒度小于5mm的矿粉、铁精矿、高炉炉尘、轧钢皮以及钢渣等。一般要求含铁原料品位高、成分稳定、杂质少,熔剂中有效氧化钙含量高、杂质少、成分稳定,含水3%左右,粒度小于3mm的占90%以上。在烧结料中加入一定量的白云石,使烧结矿含有适当的氧化镁,对烧结过程有良好的作用,可以提高烧结矿的质量。燃料主要为焦粉和无烟煤。对燃料的要求是固定碳含量高、灰分低、挥发分低、含硫低,成分稳定,含水小于10%、粒度小于3mm的占95%以上。

原料经过烧结不仅可以满足冶炼对原料粒度的要求,而且在造块过程中加入熔剂可以使原料得到自熔,高炉炼铁就可以少加或不加石灰石。另外造块的焙烧过程可以除去原料中的有害杂质硫,对原料的其他有害元素也可以进行综合回收。

1.3.2.8 球团矿

球团矿是把细磨铁精矿粉或其他含铁粉料添加少量添加剂混合后,在加水润湿的条件下,通过造球机滚动成(10~25)mm的球状,再经过干燥焙烧,固结成为具有一定强度和冶金性能的球型含铁原料,也是人造矿石的一种。

球团生产与烧结生产一样,是为高炉提供“糖料”的一种加工方法,是将细磨精矿或粉状物料制成能满足高炉冶炼要求的原料的一个加工过程。将准备好的原料(细磨精矿或其他细磨粉状物料、添加剂等),按一定比例经过配料、混匀,制成一定尺寸的小球,然后采用干燥焙烧或其他方法使其发生一系列的物理化学变化而硬化固结,这一过程即为球团生产过程,其产品即为球团矿。球团矿分酸性球团矿和碱性球团矿。酸性球团矿生产操作较易控制,且品位高、强度好,同时,高炉冶炼也需要酸性球团与高碱度烧结矿配合使用。

球团矿比烧结矿有以下优点:①粒度小而均匀,有利于高炉料柱透气性的改善和气流的均匀分布;②冷态强度(抗压和抗磨)高,便于运输、装卸和贮存,粉末少;③含铁量高和堆密度大,有利于增加高炉料柱的有效重量,提高产量和降低焦比;④还原性好,有利于改善煤气化学能的利用。

1.3.2.9 直接还原铁

直接还原铁是铁矿在固态条件下直接还原为铁,可以用来作为冶炼优质钢、特殊钢的纯净原料,也可作为铸造、铁合金、粉末冶金等工艺的含铁原料。这种工艺是不用焦炭炼铁,原料可以用块矿,球团矿或粉矿,是一种优质、低耗、低污染的炼铁新工艺,也是全世界钢铁冶金的前沿技术之一。

直接还原炼铁工艺有气基法和煤基法两种,按主体设备可分为竖炉法、回转窑法、转