

中等专业学校教学用书

炼铁学

上册

冶金工业出版社

TF5
3:1

中等专业学校教学用书

炼 铁 学

(上册)

包头钢铁学校 贺友多 主编

冶金工业出版社

A676603

中等专业学校教学用书

炼 铁 学

(上 册)

包头钢铁学校 贺友多 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京市灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 23 字数 552 千字

1980年1月第一版 1980年1月第一次印刷

印数 00,001~5,500 册

统一书号: 15062·3517 定价 1.85元

前 言

本书是根据1978年冶金中等专业学校教材会议制订的教学计划及大纲编写的，供中等专业学校炼铁专业教学使用，亦可供有关人员参考。

本书包括课堂教学和现场教学的内容，主要有炼铁原、燃料的准备与处理，烧结矿和球团矿的生产，炼铁原理及操作，高炉设备及结构以及铁矿石直接还原等。本书力求内容先进，反映国内外最新成果，注意加强基础理论，理论联系实际。

本书的第一至三章由吉林冶金工业学校李荣绵编写，第四至六章由重庆钢铁学校罗吉璈编写，第七章由长沙冶金工业学校黄成其编写，绪论与第八至十七章由包头钢铁学校贺友多编写，第十八至二十四章由北京钢铁学校张光祖编写。全书由贺友多主编。

本书承邹孝慈同志审阅。在编写中还得到许多院校、厂矿的支持和帮助，谨此致谢。由于编者水平有限，编写时间又很紧迫，谬误之处在所难免，请读者批评指正。

编 者

1979年3月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 高炉冶炼的原料

第一章 矿石和熔剂	7
第一节 铁矿石及其分类	7
第二节 高炉冶炼对铁矿石的要求	13
第三节 我国铁矿资源概况及其特点	21
第四节 锰矿石	23
第五节 熔剂	25
第六节 矿石代用品	27
第二章 原料冶炼前的准备和处理	29
第一节 原料冶炼前准备和处理的意义	29
第二节 整粒	30
第三节 混匀	38
第四节 选矿概述	38
第五节 焙烧	44
第三章 燃料	47
第一节 对燃料质量的要求	47
第二节 焦炭生产	52
第三节 型焦生产及其它代用燃料	57
第四章 铁矿石的烧结理论	61
第一节 铁矿石烧结的意义、方法和发展	61
第二节 烧结过程的物理化学反应	63
第三节 烧结矿的矿物组成、结构及对质量的影响	82
第四节 气流运动对烧结过程的影响	87
第五节 烧结配料与热平衡计算	91
第五章 烧结厂的主要设备	97
第一节 烧结生产流程	97
第二节 熔剂和燃料的破碎筛分设备	99
第三节 配料与混料设备	99
第四节 带式烧结机及其附属设备	101
第五节 烧结矿的破碎筛分和冷却设备	118
第六节 其它烧结方法和设备	124

第六章 烧结生产	126
第一节 烧结原料的准备.....	126
第二节 烧结现场配料计算和混合料准备.....	130
第三节 混合料烧结.....	135
第四节 烧结矿质量要求、鉴定方法和主要技术经济指标.....	141
第五节 强化烧结生产的途径.....	144
第六节 烧结生产自动化.....	149
第七章 球团矿生产	151
第一节 造球.....	152
第二节 生球的干燥和焙烧.....	158
第三节 球团焙烧设备.....	167
第四节 球团矿与烧结矿的比较.....	171
第五节 其它球团方法.....	173

第二篇 冶炼原理和操作

第八章 还原理论	175
第一节 还原反应的基本理论.....	175
第二节 直接还原与间接还原的比较.....	180
第三节 高炉中非铁元素的还原.....	183
第四节 铁矿石还原反应动力学.....	187
第五节 生铁生成与渗碳.....	195
第九章 高炉炉渣	196
第一节 炉渣概述.....	196
第二节 炉渣的物理性能.....	199
第三节 熔融炉渣的结构理论.....	205
第四节 炉内造渣过程及对冶炼的影响.....	212
第五节 生铁去硫.....	214
第六节 实际生产中造渣制度的运用.....	219
第十章 炉料的装入与炉料运动	220
第一节 料批的组成与变料.....	220
第二节 上部调剂.....	226
第三节 炉料运动.....	232
第十一章 煤气运动与调剂	236
第一节 炉缸内燃料的燃烧.....	237
第二节 高炉热交换.....	239
第三节 散料体气体力学分析.....	244
第四节 炉内煤气成分的变化.....	248
第五节 下部调剂.....	250
第六节 送风制度的合理性.....	254

第十二章 炼铁计算	256
第一节 铁的直接还原度 r_d 计算	256
第二节 配料计算.....	259
第三节 物料平衡.....	263
第四节 热平衡.....	266
第五节 第二总热平衡.....	270
第六节 高温区域热平衡.....	273
第七节 赖斯特 (Rist) 操作线	276
第十三章 热能利用	280
第一节 理论焦比工程计算法.....	280
第二节 影响焦比的各种因素分析.....	282
第三节 综合配料计算法.....	285
第四节 热量分析.....	290
第五节 炉温判断.....	291
第六节 炉温失常与调剂.....	293
第七节 降低焦比的措施.....	294
第十四章 高炉强化冶炼	295
第一节 高炉喷吹燃料.....	295
第二节 富氧鼓风.....	305
第三节 高压操作.....	307
第十五章 特种矿石冶炼	310
第一节 含氟矿石的冶炼.....	310
第二节 钒钛磁铁矿冶炼.....	315
第三节 含钡矿石冶炼.....	320
第十六章 高炉操作	324
第一节 高炉炉况的综合分析.....	324
第二节 炉内操作的计算机控制.....	329
第三节 高炉的开炉.....	336
第四节 高炉检修与停炉.....	342
第五节 炉前操作.....	345
第六节 休风和复风.....	351
第十七章 铁矿石的直接还原法	354
第一节 概述.....	354
第二节 还原气体的制备.....	356
第三节 主要几种直接还原法的介绍.....	357

绪 论

一、钢铁工业在国民经济中的作用

钢铁冶金工业的发展依靠机械制造业提供设备，如高炉向大型化、机械化和自动化方向发展，要求机械制造业生产高效能、大容量的风机、大型制氧机、大型的起重运输设备、发达的电子工业。而机械制造业的发展又需钢铁工业提供原料。从国民经济发展来看，农业是基础。实现农业的现代化，需要大量的钢铁。同样，建设现代化的强大国防工业也离不开钢铁。

钢系由生铁再炼而得。铸铁在机械工业中也应用很广。生铁的少部分（如铸造生铁）以成品出现，大多数则是作为再加工的半成品。

二、我国炼铁史简述

在世界上，用铁最早的国家是中国、埃及和印度。

根据历史资料推测，殷代就出现铁器，至春秋时（公元前六、七世纪），中国人民已经创造出规模较大的冶铁鼓风炉，发明了冶铸生铁的技术，铁的生产率有了提高，在农业上应用铁器逐渐得到推广，社会逐步由铜器社会过渡到铁器社会。

铁的发现可能是偶然的，因为砌炉灶的石头可能有磁铁矿或赤铁矿，它很容易被气体或固体还原剂在并不太高的温度下，还原成海绵铁。把海绵铁反复加热、锻打而得熟铁（低碳钢）。这就是冶炼史上的一步法。以后随炉子的加大，一个炉子使用几个特制的大皮囊鼓风，空气由四周的几个风口鼓入炉内，因此炉内燃烧温度不断提高。当炉温高于铁水熔点时，就获得了液体生铁。液体生铁的获得除提高了生产率外，还使冶炼过程连续化，这是冶炼技术上的一大进步。但液体生铁性能很脆，不能锻打，需要用液体生铁淋炼熟铁而得钢，这就是二步法炼钢的雏型。公元前513年，赵国铸“刑鼎”，没有大量的液体生铁是不可能的。这与我国当时高超的冶铜技术是分不开的。我国的冶铸技术比欧洲早约1700年。欧洲各国至十四世纪发明水力鼓风机以后，才获得液体生铁。

至公元前二百多年的战国时代，在一步法的基础上又发明了“自然钢”的冶炼法，炼出非常坚韧而锋利的钢铁，制得有名的干将、莫邪、龙泉、泰阿宝剑。自然钢冶炼法的关键是采用极其纯净的原料和燃料，古代叫铁精（含铁较高的矿石）和金英（含碳较多的煤和石墨）。

至东汉初期，公元31年南阳地区已经创造出水力鼓风机，发明水力鼓风炉。这是冶铁史上的一大成就，人力大可减少，鼓风可不间断，风量增加，炉温提高。至南北朝后，鼓风机进一步完善，并且开始采用石炭作燃料，比欧洲早约千年。元朝初年意大利人马哥勃罗到中国，看到中国用“黑石”作燃料，诧为奇事。至宋朝使用木风箱鼓风，风量较皮囊大，与水排相结合，效果更显著。至明代，开始使用有活塞和活门的木风箱。但十八世纪以后，我国技术进展就十分迟缓。

十八世纪英国爆发了工业革命，十九世纪英国和俄国首先把高炉鼓风动力改为蒸汽

机，不久英国又用高炉煤气把鼓风预热，高炉就具有了现代高炉的雏型。

在1891年，首先在汉阳建钢铁厂，有两座日产百吨的高炉。以后相继又在大冶、本溪、鞍山、石景山、阳泉等地建起一些高炉。1943年是我国在解放前钢产量最高的一年，生铁产量达到180万吨，钢产量90万吨，占世界第十六位。至解放前，我国年产生铁仅25万吨。

建国以后，1953年我国生铁产量达到190万吨，超过了历史最好水平。至1978年钢产量已超过3000万吨。

三、高炉生产的工艺流程

自然界的铁大多数是以铁的氧化物状态存在于矿石中，如赤铁矿、磁铁矿等。高炉炼铁就是从铁矿石中将铁还原出来，并熔化成生铁。还原铁矿石需有还原剂，为了熔融脉石还需加入石灰石，并且提供足够的热量以熔化渣铁。高炉的还原剂和燃料主要是焦炭，为了节省焦炭，还从风口喷入重油、天然气、煤粉等其它燃料，以代替焦炭。为了提高矿石品位及利用贫矿资源，矿石要经过选矿、烧结、做成烧结矿和球团矿供高炉冶炼。

高炉是一个竖式的圆筒形炉子，其本体包括炉基、炉壳、炉衬及冷却设备和高炉框架或支柱，高炉的内部工作空间叫炉型，一般可分五段：炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸。炉缸部份有风口、渣口和铁口，在高炉上部还有装料设备。

高炉生产除本体外，还有以下几个系统（见图1）：

1. 上料系统 包括原料的贮存、中和、贮矿槽、称量与筛分，最后通过斜桥或皮带机把炉料运至炉顶，经装料设备装入炉内。

2. 送风系统 包括鼓风机、热风炉、热风总管、围管等。

3. 煤气除尘系统 包括煤气管线、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器等，高压高炉还有高压阀组。

4. 渣铁处理系统 包括出铁场、电炮、开口机、堵渣机、炉前吊车、铁水罐、铸铁机、渣罐或冲水渣设备等。

5. 喷吹系统 喷煤有煤粉的制取、运输、收集、喷吹罐及喷枪；喷油有油的卸入、储存、加热、油泵及喷枪。

四、高炉炉内过程概述

1. 高炉内的炉料运动和煤气运动 在高炉内，煤气在自下而上的流动中，把自上而下的炉料加热、还原和熔炼成生铁和炉渣，而这一过程的动力是风口前焦炭的燃烧。如何使下料又快、煤气能量利用又好，维持稳定的料流运动和稳定的能量供求关系，就成为高产（高利用系数）、优质、低耗（低焦比）低成本和长寿的关键。

2. 生铁、炉渣、煤气的生成 在高炉的两大流股运动过程中，相互间发生复杂的化学的和物理的变化，最终生成生铁，伴随着也生成炉渣和高炉煤气。

生铁的生成 铁矿石是铁的氧化物，炼铁过程是将矿石中氧分离后交给煤气（氧交换）的过程，也是煤气把所带的热量交给炉料，从而提高炉料温度（热交换）的过程。铁矿石从炉顶装入后，由于受到上升煤气的供热，首先进行水分的蒸发（ $\sim 100^{\circ}\text{C}$ ），化合水的分解排出（ $200\sim 500^{\circ}\text{C}$ ），变成铁的无水氧化物。在低于 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 时，用CO进行间接还原，在高于此温度时，进行碳的直接还原，最终把所含的氧全部交给煤气，而本身还原成元素Fe。高炉中铁几乎可以全部还原（达99.5%）。生铁中除Fe外，还含有4%左右的碳，及少量的Si和Mn、微量的P和S。生铁的Si含量因所炼的铁种而异，它是在炉缸中

用碳直接从脉石中的 SiO_2 还原而得到的。锰也是在炉缸中用碳直接还原而得的。生铁中的磷除碱性转炉铁外，一般越少越好，P也是在炉缸中用碳直接还原而得。生铁中的硫要求越少越好，最好小于万分之三。它是在炉缸中靠 CaO 和高温的作用，把生铁中的S转入炉渣而脱去。所谓生铁就是其成份以铁为基础，含有4%左右的碳，并含有少量Si、Mn、微量P和S的铁碳合金。

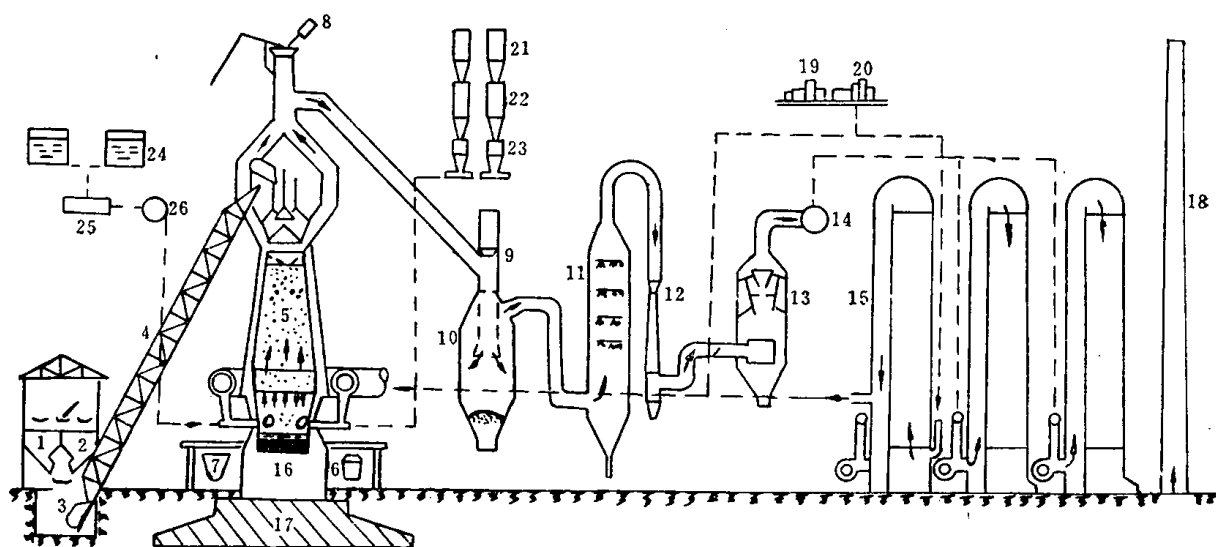


图 1 高炉生产流程简图

- 1—贮矿槽；2—焦仓；3—料车；4—斜桥；5—高炉本体；6—铁水罐；7—渣罐；
8—放散阀；9—切断阀；10—除尘器；11—洗涤塔；12—文氏管；13—脱水器；
14—净煤气总管；15—热风炉（三座）；16—炉基基墩；17—炉基基座；18—烟囱；
19—蒸汽透平；20—鼓风机；21—收集罐（煤粉）；22—储煤罐；23—喷吹罐；
24—储油罐；25—过滤器；26—油加压机

炉渣的生成 炉渣的生成与生铁的生成是相伴随的。凡是炼铁过程中未被还原的氧化物都成为炉渣，如 CaO 、 Al_2O_3 、 MgO ，它们在高炉内不还原，则全部进入炉渣。如 MnO 、 FeO 、 TiO_2 …等部分还原，部分进入炉渣。 SiO_2 也大部进入炉渣，除此之外还有 CaS 、 CaF_2 等。综上所述，高炉渣主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 MnO 、 FeO 、 CaS 等七个主要成分所组成，而以碱度 $R = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ 为其成分的特征值。从炉身下部的成渣带开始，到最终从炉缸里放出的终渣，经历了块状带、熔着、滴落到自由流动的过程。为了助熔，加入石灰石，它的高炉内受热分解，提供 CaO ，使炉渣中碱性氧化物（主要是 CaO ）和酸性氧化物（主要是 SiO_2 ）含量之比达到要求值。高炉成渣过程还与炉内温度有关，而炉渣的化学成分则主要取决于物料平衡。

煤气的生成 焦炭自入炉后，直至炉缸仍以固态存在。在风口前由鼓风中的氧燃烧焦炭而产生煤气，所以燃烧带是煤气产生的源泉，也是炉料得以下降的重要条件。炉缸煤气具有很大的热能和化学能，在上升过程中使铁矿石得到加热和还原，而本身的温度、CO含量和压力都有明显的降低。如果煤气的热能和化学能利用得好，高炉的能量利用就越经济，而煤气能量的利用与煤气在炉内的分布密切相关。

3. 基本操作制度综述 高炉的基本操作可归结为四大制度, 即装料制度、送风制度、造渣制度和热制度。只有选用合理的基本操作制度, 高炉才会稳定顺行, 高产优质。

装料制度是指炉料装入炉内的方法, 通过它改变炉料在炉喉断面的分布, 以达到控制炉内煤气分布的效果。在装料制度中将讨论料批组成、上部调剂的方法, 炉料在炉内的运动等。而送风制度是指在一定的冶炼条件下, 保持适宜的鼓风数量、质量和风口进风状态, 达到合理的煤气流初始分布和炉况顺行的效果。在送风制度中将讨论燃烧、炉内煤气运动、下部调剂和合理的送风制度。造渣制度一般指选择适于某冶炼条件下的炉渣成分与碱度, 以使其性能满足炉况顺行, 强的脱硫能力和稳定的炉温等要求。铁种的控制主要表现在生铁含硅量上, 生产中主要的注意力常集中在热制度方面, 即风口所产生的煤气热能与化学能和炉料对热能和化学能之间的供求的平衡关系。根据冶炼条件和铁种, 选择适宜的炉温, 并保持稳定, 热量充足。

送风制度对炉缸工作状态起着决定性的作用, 炉缸内煤气的初始分布会影响炉料运动状况, 而炉料在炉内的分布也会影响煤气在炉内的分布, 所以上下部调剂方法要综合运用。这二制度的合理可以正确地发挥其它二制度的作用, 相反则会引起炉缸工作状态剧烈波动, 最终破坏高炉顺行与稳定。造渣制度对顺行和产品质量影响很大, 不当时会造成破坏炉型及长期生产故障。热制度与前三个制度关系也很密切, 不合理时也会破坏前三个制度的稳定与效能, 引起高炉不顺。

五、高炉产品

1. 生铁 生铁是铁和碳、硅、锰等元素的合金, 并含有少量磷和硫, 一般把此类成分的生铁叫普通生铁。普通生铁按用途分, 有制钢生铁和铸造生铁两大类。制钢生铁是炼钢的原料, 根据各种炼钢方法的不同, 对生铁成分要求也不同, 又分为:

碱性平炉生铁 它的特点是含Si量要低, 这不仅可以缩短炼钢时间, 亦可减少渣量, 减轻炉渣对炉衬的侵蚀。

酸性转炉炼钢生铁 也称贝氏铁。它的特点是要求一定的含Si量, 但含P要低。因为Si在吹炼中被氧化放热, 成为热源, 而P在酸性转炉内不能去除。

碱性转炉炼钢生铁 对于侧吹转炉, 要求Si量低, 而P含量适宜, 因为在吹炼过程中, P氧化是主要热源之一, 而且冶炼中可以去P。而Si对碱性炉衬却有侵蚀作用。

铸造生铁 是供铸造用的, 其特点是Si量较高。含Si高的生铁可以产生大量的游离石墨碳, 铸件的切削性能好, 冷却时体积不变形, 并减少沙眼的形成。根据铸品要求不同, 把铸造生铁分为六类。一般铸造生铁要求Mn含量低, 过多的Mn可促使生成 Mn_3C , 使铸件变脆变硬。但含量太少, 也会降低铸件的机械性能。P的含量可允许较炼钢生铁为略高, 以增加铸造时铁水的流动性, 充满铸型, 特别在铸造比较精细的铸件时, 更是必要, 但磷会使生铁变脆, 因此也应有一定限量。硫的含量一般要求比炼钢生铁低。

合金生铁 我国高炉生产的合金生铁主要是硅铁和锰铁, 作炼钢时的脱氧剂。由于在高炉中Si不可能得到大量还原, 因此高炉硅铁的硅含量不超过15%。生铁中锰含量的不同又可分为镜铁和锰铁, 前者含锰量为10~25%, 后则含锰在50%以上。表1、2是冶金部颁布的国家生铁标准。

2. 炉渣 炉渣在工业上有广泛的用途: (1) 液体炉渣用水急冷, 可粒化成水渣, 作为水泥原料。(2) 用蒸汽或压缩空气将液体炉渣吹成渣棉, 作绝热材料。(3) 炉渣经过处

理，可以作建筑或铺路材料。

3. 高炉煤气 高炉煤气的化学成分一般为 CO_2 14~19%， CO 21~27%， H_2 1~4%， CH_4 0.6~1.0%， N_2 56%左右。每吨生铁可产2000~3000米³煤气，煤气的发热值为850~1050千卡/米³，可作燃料用。除供热风炉外，还可供炼钢、焦炉、烧结点火等用途。

4. 炉尘 炉尘是煤气上升时带出的细颗粒固体炉料，它含碳5~15%，含铁30~50%，炉尘回收后可作烧结厂原料用。

冶金工业部颁布的国家生铁标准 (GB717—65)

表 1

铁 种		碱性平炉炼钢生铁		酸性转炉炼钢生铁		碱性转炉炼钢生铁		
铁 号	牌 代 号	碱平08 P08	碱平10 P10	酸转10 S10	酸转15 S15	碱转08 J08	碱转13 J13	
化学成分 %	硅		≤0.85	>0.85~1.25	0.75~1.25	>1.25~1.75	0.60~1.10	>1.10~1.60
	锰	1 组	不 规 定		0.5~1.00		>0.50~1.50 ≤0.50	
		2 组						
	磷	1 级	≤0.15		≤0.07		≤0.04	
		2 级	≤0.20				>0.04~0.08>0.04~0.08	
		3 级	≤0.40				>0.80~1.60—	
	硫	1 类	≤0.03		≤0.04		≤0.04	
		2 类	≤0.05		≤0.05		≤0.06	
3 类		≤0.07		≤0.06		≤0.07		

冶金工业部颁布的国家生铁标准 (GB718—65)

表 2

铁 种			普 通 铸 造 生 铁					冷铸车轮生铁		
铁 号	牌 号 代 号		铸35 Z35	铸30 Z30	铸25 Z25	铸20 Z20	铸15 Z15	冷08 L08		
化学成分 %	硅		>3.25~3.75	>2.75~3.25	>2.25~2.75	>1.75~2.25	1.25~1.75	0.50~1.00		
	锰	1 组	≤0.50						0.50~1.00	
		2 组	>0.50~0.90							
		3 组	>0.90~1.30							
	磷	1 级	低 普 通 磷	≤0.10						
		2 级		>0.10~0.20						
		3 级		>0.20~0.40						
		4 级	高 磷	>0.40~0.70						
		5 级		>0.70~1.00						
	硫	1 类	≤0.03					≤0.04	≤0.07	
		2 类	≤0.04					≤0.05		
		3 类	≤0.05					≤0.06		

六、高炉技术经济指标

主要技术经济指标有：

1. 利用系数 每立方米高炉有效容积一昼夜生产的生铁吨数。

$$\eta_v = \frac{\text{日产量}}{\text{有效容积}}, \text{吨/米}^3 \cdot \text{日} \quad (1)$$

2. 焦比 每炼一吨生铁所需的焦炭量。

$$K = \frac{\text{每日燃烧焦炭量}}{\text{日产铁量}}, \text{吨/吨, 或公斤/吨} \quad (2)$$

油比 每炼一吨生铁所用的油量。

$$Y = \frac{\text{日燃烧油量}}{\text{日产铁量}}, \text{公斤/吨} \quad (3)$$

煤比 每炼一吨生铁所用的煤粉量。

$$M = \frac{\text{日燃烧煤粉量}}{\text{日产铁量}}, \text{公斤/吨} \quad (4)$$

综合燃料比 每炼一吨生铁所需的焦炭、重油和煤粉的总量, 所以综合燃料比 = $K + Y + M$ (5)

3. 冶炼强度 每昼夜工作时间内, 在一立方米高炉有效容积内燃烧的焦炭量(吨)。

$$I = \frac{\text{每日燃烧的焦炭量} \times 1440}{\text{有效容积} \times (1440 - \text{休风时间, 分})}, \text{吨/米}^3 \cdot \text{日} \quad (6)$$

综合冶炼强度与冶炼强度的不同点是燃烧的燃料量中, 包括焦炭、油和煤粉等。

4. 焦炭负荷 每批料中矿批重与焦炭批重之比值。

$$\text{负荷} = \frac{\text{每一批料中铁矿石加上锰矿石重量(吨)}}{\text{焦炭批重(吨)}} \quad (7)$$

5. 休风率 高炉休风时间占全部日历时间的百分数。

6. 生铁合格率 生铁的成份符合国家规定要求的数量占全部生产量的百分比。

7. 生铁成本 每吨生铁各项费用的总和。元/吨

在各个技术经济指标中, 当高炉休风率为零时, 则 $\eta_v = I/K$ 。

七、炼铁技术发展方向

炼铁技术近二十年来发展很快, 主要进展有: (1) 高炉容积向大型化方向发展, 目前已有5000米³以上的高炉投产。由于高炉大型化, 增加了生铁产量, 降低了焦比, 效率高, 成本低, 易于机械化和自动化, 所以这个趋向是肯定的。我国的高炉亦在向大型化发展, 至1980年将有4000米³高炉投产。(2) 继续改善原料条件, 使用精料, 它包括高品位、熟料、小粒度、筛去粉末、减少成分与粒度波动等内容, 这是改善高炉生产的基础条件。

(3) 采用喷吹技术, 以其它燃料来代替焦炭, 降低生铁成本, 同时用富氧和高风温配合喷吹。(4) 采用高压操作, 改用轴流风机强化冶炼, 利用煤气压力能进行发电。(5) 用电子计算机闭路控制高炉生产, 走向全面自动化与机械化。为了掌握炉内变化规律, 通过实验室研究和高炉解剖, 对冶炼理论的研究加强了, 实现炉内过程指标化和定量化, 配合检测手段的完善, 计算机闭路控制高炉冶炼当能早日实现, 目前各国都在积极研究控制炉况的数学模型。(6) 作为辅助手段, 开展非高炉炼铁的工艺研究, 以适应各地资源不同的要求。随着科学技术的发展, 还将实现原子能炼铁、炼钢的理想。

第一篇 高炉冶炼的原料

第一章 矿石和熔剂

第一节 铁矿石及其分类

一、矿物、矿石和岩石的区别

矿物是地壳中天然产出的天然元素或天然化合物，它们具有均一的化学成分和内部结晶构造，具有一定的物理性质和化学性质。除少数为天然元素外（如自然金 Au、自然铜 Cu 等）绝大多数都是天然化合物（如黄铜矿 CuFeS_2 、黄铁矿 FeS_2 等）。矿物在自然界中多呈固态存在。各种含铁矿物在地壳中贮量很大，其存在状态皆属于固体状态的天然化合物，如氧化物：磁铁矿（ Fe_3O_4 ）、硫化物：黄铁矿（ FeS_2 ）、碳酸盐：菱铁矿（ FeCO_3 ）等。

矿石和岩石都是矿物的集合体，它可由单一矿物或多种矿物所组成。但是，矿石是在现在的经济技术条件下能从中提取金属、金属化合物或有用矿物的物质总称，因此矿石的概念是相对的。铁元素在地壳中约有 5% 的数量，并广泛地、程度不同地分布在岩石和土壤中，但并不是所有的含铁岩石都是矿石，因为从岩石中提取金属铁，目前在经济上是不合算的。随着科学技术的发展，有许多过去被人们认为不能冶炼的矿石（如钒钛磁铁矿、贫矿），今天已成为炼铁的重要原料。

必须指出，有用矿物和矿石的种类是随着工业和科学技术的发展，特别是大搞综合利用而不断扩大的。矿石按所含有用成分可分为二种，简单矿石和复合矿石。简单矿石是从中提取一种有用成分的矿石，如磁铁矿矿石只从中提取铁。复合矿石是从中同时提取数种有用成分的矿石，如钒钛磁铁矿矿石从中同时提取钒、钛和铁。

在矿石中用来提取金属和金属化合物的矿物称为有用矿物。而那些在工业上没有经济价值的不能利用的矿物称为脉石矿物，通常在矿石处理过程中被废弃掉，如磁铁矿矿石中的石英就是该矿石中的脉石矿物。

二、矿物的形态和物理性质

矿石是工业的原料，而矿石又是由矿物组成的，因此，要了解矿石的种类和特性，就必须从认识矿物着手。

自然界矿物的形态是多种多样的，这是由于矿物的化学成分、内部结晶构造以及生成环境不同所造成的。由于各种不同的矿物具有各种独特的形状，因此矿物不同的外表形态可作为鉴定矿物的重要特征之一。矿物的形态一般可分为单体形态和集合体形态。常见到的石英及磁铁矿常为多面体状态的固体，这种多面体形态的固体就叫做矿物的晶体，如立方体（黄铁矿）、八面体（磁铁矿、金刚石）、菱形十二面体（石榴子石）等单体形态。

常见的集合体形态有：

葡萄状集合体 由许多圆球状矿物聚集而成，形似葡萄，如硬锰矿；

鲕状集合体 由许多像鱼子一样的颗粒聚集而成，如鲕状赤铁矿；

肾状集合体 由放射状晶群密集而成的外表光滑如肾脏的块体，如肾状赤铁矿；

豆状集合体 由大小像豆样的球形颗粒聚集而成，如铬铁矿粒状集合体，由许多大小一致的矿物晶粒结合在一起而成的块体；

致密块状集合体 由极细小的矿物颗粒组成的致密块体；

土状、粉末状集合体 由均匀而细小的物质组成的疏松块体，外形和土壤相似；

针状及柱状集合体 由细长状的矿物组成；

叶片状集合体 由许多片状晶体所组成的集合体；

结核状集合体 是球形或瘤形的矿物聚集体；

树枝状集合体 是形如树枝的矿物聚集体。

由于不同的矿物具有不同的化学成分和内部构造，因此不同的矿物必然反映出不同的物理性质，所以就可以根据这些不同的物理性质来鉴定矿物。

1. 矿物的光学性质 矿物的光学性质是矿物对光线吸收、折射和反射所表现的各种性质。

(1) 颜色。很多矿物都具有特殊的颜色，矿物颜色产生的原因是由于矿物的组成成分中，含有某种色素离子（即具有颜色的化学元素）所引起的。在化学元素中最主要的色素是在元素周期表中第四周期的Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co和Ni等。如色素离子 Fe^{2+} 为绿色、 Fe^{3+} 为褐色、红色。由此可见磁铁矿的铁黑色，赤铁矿的砖红色，以及褐铁矿的褐色都是由于不同形态的铁元素是组成它们的基本成分所造成的。当矿物中含杂质时，由于杂质的影响，矿物的颜色也会改变。

(2) 条痕。矿物的条痕就是矿物粉末的颜色。一般试验矿物的条痕可在瓷板上或粗瓷碗底上刻划一下，就可看到矿物粉末的颜色。矿物的颜色常有变化，但矿物的条痕色则较为固定。因此矿物的条痕颜色也是可靠的鉴定矿物特征的方法之一。条痕有的与矿物的颜色相同，有的与矿物的颜色不同。如磁铁矿的颜色与其条痕是一致的，均为铁黑色。结晶的赤铁矿为钢灰色，不结晶的则为红色，但其条痕则均为砖红色。又如闪锌矿中常含有铁，其颜色和条痕色均随含铁量增加而变深。由此可见，条痕色（结合颜色一起观察）除了用来鉴定矿物外，对某些矿物来说也可用来粗略地推断化学成分。应该指出，条痕色对于浅色的透明矿物则没有意义，因为它们的条痕都是白色或近于无色的，难以作为鉴定矿物的依据。

(3) 光泽。光线照射到矿物表面时，一部分光被矿物折射和吸收，而另一部分光则从其表面反射，这种反射光就构成了矿物的光泽。一般根据光泽的强弱可分为：

金属光泽。光泽极强，好象新的金属制品那样的光亮，如自然金、方铅矿等。

半金属光泽。比金属光泽稍弱一些，如磁铁矿、赤铁矿。

非金属光泽。反光能力最弱，具有此种光泽的矿物多为透明和半透明矿物。

(4) 透明度。矿物透光的能力叫透明度。一般根据矿物透光的能力不同可分为：

透明矿物，如水晶等。

半透明矿物，如金红石(TiO_2)等。

不透明矿物，如磁铁矿、硬锰矿等。

2. 矿物的力学性质 矿物在外力作用下（如刻划、敲打……等）所呈现的性质为矿

物的力学性质。

(1) 解理与断口。矿物被敲打后，如果沿着一定的方向有规则地裂开成光滑平面的性质叫解理，如方解石打碎后呈菱面体小块，云母裂开后成薄片状。另外也有一些矿物敲打后没有规则的裂开，就叫断口，如石英被打碎后，其破碎面有一圈一圈的条纹，很象贝壳，这就叫贝壳状断口。

(2) 硬度。矿物的软硬程度叫硬度。普通测定矿物硬度的方法为刻划法，即用两种矿物在一起互相刻划，被刻出沟痕的矿物就说明它的硬度比较小。用这种互相刻划法，经过反复地实践挑选了十种矿物作为标准，用来比较矿物的相对硬度，叫做硬度计。这十种矿物按硬度低高顺序排列如下：

1) 滑石，2) 石膏，3) 方解石，4) 萤石，5) 磷灰石，6) 正长石，7) 石英，8) 黄玉，9) 刚玉，10) 金刚石。

一般矿物的硬度多在2~6度之间，6度以上的就比较少见了。

(3) 比重。比重是矿物的重量与同体积水的重量的比值。如磁铁矿的比重是5.2。根据矿物比重的不同把矿物分成：

重矿物，比重大于4。

中等矿物，比重在2.5~4。

轻矿物，比重小于2.5。

在这三类中，以中等比重的矿物分布最广。利用矿物比重的大小，不仅可以鉴定矿物，同时还可以利用矿物的比重不同进行重力选矿。

3. 矿物的磁学性质 矿物的磁性是矿物可被磁铁吸引或排斥的性质。由于磁性是含Fe、Co、Ni、Mn和Cr等元素的少数矿物所特有的性质，因此也是鉴定矿物的重要特征。按磁性一般可分为两类，一类称为顺磁性矿物，它们能为磁石所吸引，如磁铁矿、磁黄铁矿等。一类抗磁性矿物，它们为磁石所排斥，如自然银、自然硫等。

矿物磁性的强弱，以磁化系数的大小来表示，按磁化系数的大小可以把矿物分为下列四类：

(1) 强磁性矿物。磁化系数大于 3000×10^{-6} 。此类矿物在较弱的磁场中(900~1200奥斯特)就容易与其它矿物分选，如磁铁矿、磁黄铁矿等。它们的粉末或颗粒能被普通的马蹄铁吸引。

(2) 中磁性矿物。磁化系数自 300×10^{-6} 至 3000×10^{-6} 。要选出此类矿物磁场需要1600~4000奥斯特，这类矿物有钛铁矿(FeTiO_3)、铬铁矿等。它们的颗粒或粉末马蹄铁是难以吸引的。

(3) 弱磁性矿物。磁化系数自 25×10^{-6} 至 300×10^{-6} 。要选出这类矿物，磁场需要增高至16000奥斯特，如赤铁矿、褐铁矿、软锰矿、菱锰矿、菱铁矿和黄铁矿等。

(4) 非磁性矿物。磁化系数低于 25×10^{-6} 。这类矿物包括石英、方解石、磷灰石、重晶石及萤石等。

利用矿物的磁性不仅可以鉴定矿物，同时利用矿物的磁性可以进行磁力选矿和磁力探矿。

三、矿石的形成和我国铁矿石的主要矿床类型

矿物由于形成的地质条件不同，则可反映出不同的形态和物理性质，同时与其共同或

伴生的矿物也不同。在自然界里根据生成矿物的地质作用不同，可将矿物矿石分为内生成矿作用形成的、外生成矿作用形成的及变质作用形成的三种类型：

1. 内生成矿作用形成的铁矿床：内生成矿作用是指在地壳内部与岩浆活动有关的成矿作用。内生成矿作用由于成矿阶段不同又可分为：

(1) 岩浆作用形成的铁矿床——钒钛磁铁矿矿床。岩浆是一种成分复杂的存在于地壳深处的熔融体，其成分以硅酸盐为主，并含有各种挥发物质与金属硫化物和氧化物。在岩浆向地壳侵入的过程中，则矿物可有规律地依次从岩浆的熔融体中结晶出来，由于有用矿物的大量聚集因而形成岩浆矿床，岩浆矿床有用矿物主要为氧化物和硫化物矿物。

钒钛磁铁矿矿石中有用矿物主要有磁铁矿、钛铁矿、赤铁矿、钛铁晶石、金红石，硫化物矿物中有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿等。矿石中有少量的钒为类质同象混入物存在于磁铁矿中。脉石矿物有辉石、绿泥石、斜长石、磷灰石等，矿石多为致密块状。在大多数情况下含铁35~45%（有时高达50~60%）， TiO_2 为6~15%（当有独立的钛铁矿时， TiO_2 还会增高）， V_2O_5 为0.3~1%，高者可达2%以上， P_2O_5 为0.07~0.2%，另外还有Co、Ni、Cu和铂族元素。

此种矿床具有巨大的工业价值，分布较普遍，如河北大庙、四川攀枝花、云南北部以及内蒙、新疆、河南等地。

(2) 岩浆后期成矿作用。在岩浆本身结晶的最后阶段，由岩浆分泌出来的含矿气体和液体，沿着岩石的裂隙上升，在适当的环境下，气水溶液中的有用矿物沉淀富集。由于岩浆后期形成矿物的温度和地质条件不同，因而又分为接触交代作用和热液作用两种成因类型。

1) 接触交代作用形成的铁矿床——矽卡岩型铜铁矿床。这类矿床主要产生在中酸性花岗岩类岩石与石灰质岩石接触带附近，主要是由于岩浆中分泌的气体在高温下与其周围的石灰质岩石发生化学交代作用，结果产生一些新矿物，组成矽卡岩，如石榴石、透辉石、绿帘石等。与它们同时生成的有用矿物有磁铁矿、其次为赤铁矿及假象赤铁矿、黄铜矿、黄铁矿。形成矽卡岩型铜铁矿床。

矽卡岩型铜铁矿石，为致密块状，以磁铁矿为主，其次有赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿等。脉石矿物有石英、方解石、石榴石、透辉石等，氧化带矿石有假象赤铁矿。矿石中一般含铁较高为25~70%（常为40~50%），含S一般在0.01~1.2%，有时高达2%。P不高（0.027%），矿石中含有大量的铜和钴。

此种类型的大矿床如湖北大冶、河北武安及寿王坟等。

2) 热液作用形成的铁矿床。在岩浆结晶的晚期，岩浆中的气体物质逐渐液化成热水溶液，这种溶液穿流于各种不同深度的岩石裂缝及孔隙间，在有利条件下，就可形成热液矿床。根据热液矿床生成的温度、压力及其矿物成分的不同，可分为高温和中温两类型铁矿床。

特种高温热液铁矿床——含稀土矿物铁矿床。矿石中的铁矿物有磁铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿、镜铁矿。有少量的铜铅锌的硫化物矿物。脉石矿物有萤石、钠辉石、钠闪石、云母、方解石、白云石等。按铁的品位可将此类矿石分为高（Fe：45%）、中（Fe：30~45%），低（Fe：20~30%）矿石，此类矿石含萤石较多，一般含F：4~11%；S：0.08~1.3%；P：0.08~0.6%，铁矿物的晶粒较细，是一种细粒嵌布的矿石，如规模巨大的内