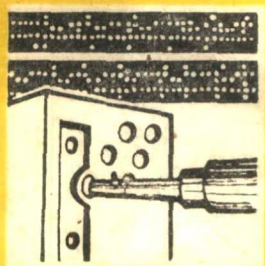
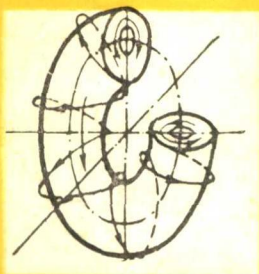


高等学校试用教材



钢铁冶炼工艺

东北重型机械学院付文逵 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

钢铁冶炼工艺

东北重型机械学院付文逵 主编



机械工业出版社

钢铁冶炼工艺

东北重型机械学院付文远 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 17·字数 418 千字

1981 年 1 月北京第一版·1987 年 11 月北京第四次印刷

印数: 9.201-11.300·定价: 2.85 元

*

统一书号: 15033·5034

前 言

为了适应黑色金属冶炼设备发展的需要，不断地改进、提高、设计与制造新型、高效的黑色金属冶炼设备，是机械工业一项光荣而艰巨的任务。为此，根据高等学校一机部对口专业座谈会的决定，我们编写了《钢铁冶炼工艺》一书，以满足我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展大好形势的要求，为国家培养冶炼设备设计人材做出一定贡献。

书中介绍了钢铁冶炼（高炉、转炉、电炉及其它熔炼法）的基本原理、基本工艺及其参数；钢铁冶炼设备如烧结、球团设备和高炉、转炉、电炉设备的概述及其主要参数的确定；炉外精炼法的发展、种类、特点及其工艺分析；对铸锭设备及工艺也做了扼要介绍。书中以钢铁冶炼工艺为主，对设备参数做了一定分析，原理只做简要概述，对近年来获得迅速发展的炉外精炼法也做了重点介绍。

参加本书编写工作的有东北重型机械学院的赵禾生、于秉杰、^{T:}王振祥、付文逵和上海重机厂的蒋梦龙等同志，由付文逵主编。参加第一篇审阅的有鞍山钢铁学院的佟发勇、和丁欣、杜荣山等同志；参加第二篇审阅的有东北工学院的王舒黎、李名俊、刘沛环、王鹤，由李名俊主审。

在本书编写过程中，承一机部教编室高文龙同志大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

由于我们水平低，经验不足，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

《炼铁与炼钢》 上海译。

《普通炼铁学》 中国地质大学。

《炼钢工艺与设备》 冶金部、东北工学院。

目 录

| | | | |
|-----------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 绪论 | 1 | § 5-1 氧气顶吹转炉炼钢的原料 | 136 |
| 第一篇 炼 铁 | | § 5-2 氧气顶吹转炉炼钢供氧 | 138 |
| 第一章 高炉冶炼的原料 | 7 | § 5-3 元素的氧化顺序及硅、锰、 碳的氧化 | 141 |
| § 1-1 铁矿石、锰矿石及熔剂 | 7 | § 5-4 供氧制度 | 145 |
| § 1-2 燃料 | 10 | § 5-5 炉渣制度 | 149 |
| § 1-3 矿石冶炼前的准备 | 12 | § 5-6 温度控制 | 169 |
| § 1-4 粉矿造块 | 16 | § 5-7 脱氧和合金化 | 174 |
| 第二章 高炉冶炼原理 | 38 | § 5-8 氧气顶吹转炉的炉衬寿命 | 181 |
| § 2-1 高炉内的还原反应 | 38 | § 5-9 氧气顶吹转炉的计算机控制 | 185 |
| § 2-2 高炉造渣过程 | 46 | 第六章 其它氧气转炉炼钢 | 193 |
| § 2-3 高炉内燃烧过程 | 54 | § 6-1 氧气底吹转炉炼钢 | 193 |
| § 2-4 高炉内炉料和煤气的机械运动 | 59 | § 6-2 氧气侧吹转炉炼钢 | 197 |
| § 2-5 高炉冶炼的强化 | 66 | 第七章 电炉炼钢法 | 198 |
| § 2-6 高炉操作 | 68 | § 7-1 概述 | 198 |
| 第三章 高炉车间构造和设计 | 69 | § 7-2 电弧炉氧化法熔炼操作 | 201 |
| § 3-1 高炉本体结构 | 69 | § 7-3 电弧炉返回法冶炼特点 | 209 |
| § 3-2 热风炉与风机 | 85 | § 7-4 电弧炉炼钢设备 | 210 |
| § 3-3 高炉除尘设备 | 94 | § 7-5 电炉技术经济指标 | 221 |
| § 3-4 高炉供料系统 | 99 | 第八章 炉外精炼 | 223 |
| § 3-5 炉顶装料设备 | 108 | § 8-1 概述 | 223 |
| § 3-6 渣铁处理设备 | 109 | § 8-2 炉外精炼工艺方法 | 225 |
| § 3-7 高炉车间设计 | 112 | § 8-3 电渣重熔 | 245 |
| 第四章 国内外炼铁技术的发展 | 118 | 第九章 铸锭 | 256 |
| § 4-1 高炉炼铁技术的发展 | 118 | § 9-1 铸锭工艺概述 | 256 |
| § 4-2 非高炉炼铁 | 132 | § 9-2 钢锭的结构 | 261 |
| 第二篇 炼 钢 | | § 9-3 钢锭的偏析 | 263 |
| 第五章 氧气顶吹转炉炼钢 | 134 | § 9-4 钢中气焊及非金属夹杂 | 265 |
| | | § 9-5 钢锭的缺陷 | 267 |
| | | § 9-6 连续铸钢 | 268 |

绪 论

一、钢铁在国民经济中的意义

就金属元素而言，铁在自然界中的储藏量仅次于铝，居于第二位。

纯铁不易炼制，而且用途也不广，在工业中广泛应用的是铁与其它元素组成的合金，生铁便是铁、碳（3~4%）和少量硅、锰、硫、磷组成的合金。

生铁的性质硬而且脆，只能用于铸造，不能锻压。因此在工业中应用最广泛的是它的再制品——钢。在世界各国生铁的总产量中，炼钢生铁约占80%，其余部分为铸造生铁及少量的特种生铁。钢具有比生铁更好的综合机械性能，此外钢的可塑性好，可以锻压成各种形状的钢材和机械的部件。若加入不同的合金元素（如硅、锰、铬、镍、钨、钒、钴等），可以得到各种特殊性能，如不锈钢的、耐高温的、耐酸的、高强度和高硬度的钢。此外，用热处理方法，还能在颇大范围内改变同一成分钢的性能，以满足工业中多方面的需要。

钢铁工业在国民经济中占有重要的地位。有了钢铁，机械制造业才能得到发展，才能以各种机械设备供给农业、轻重工业、国防工业、交通运输业等国民经济各个部门。可是钢铁工业的进一步发展，也有赖于国民经济其它部门的有机配合。

二、钢铁工业的发展

人类早就学会炼铁和使用铁了。最初人们在用石头砌筑的地炉中装入矿石和木炭，经吸入空气使木炭燃烧，将矿石还原，生成海绵铁。

随着鼓风设备的发展，炉容量增大，单位时间内燃烧的燃料增加，使炉缸温度上升，渣铁分离，从而得到了液态生铁。

获得生铁的初期，人们把它当作废品，因为它性脆，不能锻打成型。后来发现将生铁与矿石一齐放入炉内再行冶炼，可以使熟铁产量大大提高，人们才开始有意识地冶炼生铁了。这样，便形成了一直沿用到现在的二步冶炼法。

根据对冶金发展史的研究认为，高炉冶炼技术发展过程中，出现了以下几个主要突变：

1. 用焦炭代替木炭；
2. 用蒸汽鼓风机代替水力鼓风；
3. 将冷风预热，并建立了蓄热式热风炉。从这时起，近代高炉的基本形式就确定了。19世纪后半期以来，高炉冶炼技术的发展突飞猛进。主要有以下几个方面：

1. 冶炼前原料准备工作的改善：天然矿石的破碎与分级，自熔性烧结矿和球团矿等人造富矿的应用；

2. 高炉冶炼过程不断强化：使用强而有力的鼓风机，不断提高高炉冶炼强度、富氧鼓风、蒸汽鼓风等；

3. 热风炉的构造和操作不断改善，使高炉鼓风温度不断提高；

4. 高炉构造和附属设备不断地改善。操作过程的机械化、自动化日益提高。

目前炼铁发展趋势有如下几个方面：

1. 大力发展精料。精料是高炉冶炼的基础，是使高炉达到高产、优质、低消耗的重要途径；
2. 大型化。现代大高炉的有效容积已超过 5000 米³，并有进一步增加趋势；
3. 降低焦比，提高利用系数；
4. 提高热风温度；
5. 喷吹粉煤、天然气、重油和焦油等燃料，以降低焦比；
6. 高压操作，国内外高炉生产实践证明，采用高压操作可使高炉增产并降低焦比；
7. 设备上的改进：
 - 1) 采用皮带运输上料；
 - 2) 采用无料钟炉顶；
 - 3) 炉前机械化，如机械化换风口，设置活动主沟等；
 - 4) 在炉前设置除尘、排烟设备；
 - 5) 采用外燃式热风炉。
8. 电子计算机的应用；
9. 有关直接还原的研究与实践，引起广泛重视。

世界炼钢技术的发展，迄今已有 100 多年的历史了。首先出现了产量低、成本高、质量较好的坩埚法（1740 年），随着现代工业的发展，先后出现了几种大规模生产钢的方法：酸性底吹转炉或贝氏麦炉（1856 年），碱性底吹转炉或托马斯炉（1874 年），平炉炼钢（1864 年）和电炉炼钢（1899 年）。

六十年代以前，平炉钢占绝对优势，直到 1955 年仍占世界钢总产量的 80%。

五十年代出现并在六十年代获得迅速发展的一项新的炼钢技术——氧气顶吹转炉炼钢法的出现使平炉相形见绌。这种新的炼钢方法具有生产率高、成本低、质量好、投资少、建厂快等特点。因此，许多国家都新建了氧气顶吹转炉，而平炉却已停建，并有拆除而改建成氧气顶吹转炉或氧气底吹转炉，以及电弧炉的。在此期间电炉钢的生产也获得稳步发展。

炼钢技术今后发展趋势是：

1. 氧气顶吹转炉成为主要炼钢方法。平炉钢产量将进一步降低。电炉钢仍占一定比例，并将获得稳步发展。氧气底吹转炉炼钢法的出现和发展也应给以重视；
2. 采用大容量的炉子并高速度的建设大型钢厂，以提高生产率，降低成本。目前，世界上最大的氧气顶吹转炉容量为 400 吨，平炉为 900 吨，电炉为 400 吨。最大的钢铁厂年产钢 1600 万吨，最大钢铁公司年产钢达 4560 万吨；
3. 炼钢用原料的精选和预处理得到广泛重视，转炉操作采用静态及动态计算机控制。连续铸锭获得迅速发展；
4. 电炉用氧和采用高功率、超高功率，使电弧炉炼钢进入了一个新的发展阶段；
5. 大力推广各种炉外精炼法。近来许多国家对将基本熔炼炉（氧气顶吹转炉、电弧炉、平炉）和炉外精炼设备结合起来的冶炼工艺十分重视，认为是炼钢生产在扩大品种、提高钢材质量方面的最重要途径；
6. 对连续炼钢进一步探讨和实践。

三、我国的钢铁工业

我国是世界钢铁冶金起源最早国家之一。在历史上有着极其光辉的成就。远在战国时代，就创造出很锋利的宝剑以及其它用具。但在漫长的封建社会中，生产力不能发展，始终停留在小规模的手工业生产水平上。

我国近代钢铁工业是在帝国主义侵入中国之后开始的。旧中国的钢铁工业不仅破、旧、小，而且带着深刻的殖民地色彩。

解放前夕（1949年），由于长期战争的破坏，铁的产量（包括土铁在内）仅有25万吨，钢的产量还不到16万吨。

建国以来，在毛主席和党中央的领导下，经过钢铁工人和技术人员创造性的忘我劳动，使我国钢铁工业在第一个五年计划期间获得了飞跃发展。1952年生铁产量达到190万吨，钢产量135万吨。1957年生铁产量达到594万吨，钢产量535万吨。

1978年，钢产量突破了3000万吨，跃居世界第五位。

·'93年 8000万吨

四、冶炼设备与冶炼工艺的关系

黑色金属冶炼设备一般是指从精矿处理、炼铁、炼钢到铸锭整个生产过程所采用的工艺设备。如烧结、球团设备；高炉、平炉、转炉、电炉设备；连续铸钢设备以及各种用来输送原料、铁水、钢水、炉渣等冶金车辆和专用冶金吊车等。

冶炼设备的工作条件是高温、多尘、重载荷，而且工艺性与成套性很强。随着钢铁工业的日益发展，单机生产能力不断提高，对设备的设计、制造、安装、使用与维修等各方面，都提出了更高的要求。要求冶炼设备具有耐高温、耐磨、寿命长、安全可靠、维修与更换易损件方便和具有较高的机械化与自动化水平。

为了实现四个现代化，必须大力发展钢铁工业。而现代化的黑色金属冶炼设备，是发展现代化钢铁工业不可缺少的设备。因此，不断地改进与提高现有黑色金属冶炼设备的水平，设计与制造新型、高效率的黑色金属冶炼设备，是机械工业一项光荣而艰巨的任务。

黑色金属冶炼设备与冶炼工艺有密切关系，两者互相配合以达到优质、高产、低耗的效果。为了改造或创建新型黑色金属冶炼设备，除了具有必要的机械设计理论基础外，冶炼工艺的知识也是必不可少的。

黑色金属冶炼工艺（即钢铁冶炼工艺）是指如下过程，把精选的原材料装入一定的熔炼炉（高炉、平炉、转炉、电炉或其它精炼炉）中，在高温和一定熔渣（碱性渣或酸性渣，氧化渣或还原渣）作用下，发生一系列物理化学反应（对炼钢而言，要实现“五脱一化”，即脱碳、脱磷、脱硫、脱氧、脱气体及夹杂和合金化），从而获得一定成分和一定温度的液态金属，最后浇注成合格的金属锭或铸坯。

黑色金属冶炼设备设计工作者，必须对上述钢铁冶炼过程的任务、方法、特点及基本工艺参数有明确的了解，并有分析、对比能力，以便吸收采纳作为设计依据。每一项黑色金属冶炼设备的设计、改造和创新都与此密切相关。比如：

为了强化高炉冶炼过程，设计了喷油、喷粉煤的喷吹系统；设计了适合炉内高压操作的设备阀门系统；设计了外燃式热风炉等；

为了减轻高炉和炼钢炉的脱硫重担，根据脱硫的原理和工艺，设计了炉外脱硫设备，如回转炉、摇包和喷吹气体搅拌器等；

为了加速脱磷反应，设计了氧气斜吹转炉；

为了加速脱碳反应，设计了氧气顶吹转炉；

在国外，成功地用氧气底吹转炉炼钢法取代了平炉炼钢法；在国内，将空气侧吹转炉改造成氧气侧吹转炉等等。

凡此种种，如不具备冶炼工艺知识是很难胜任的。

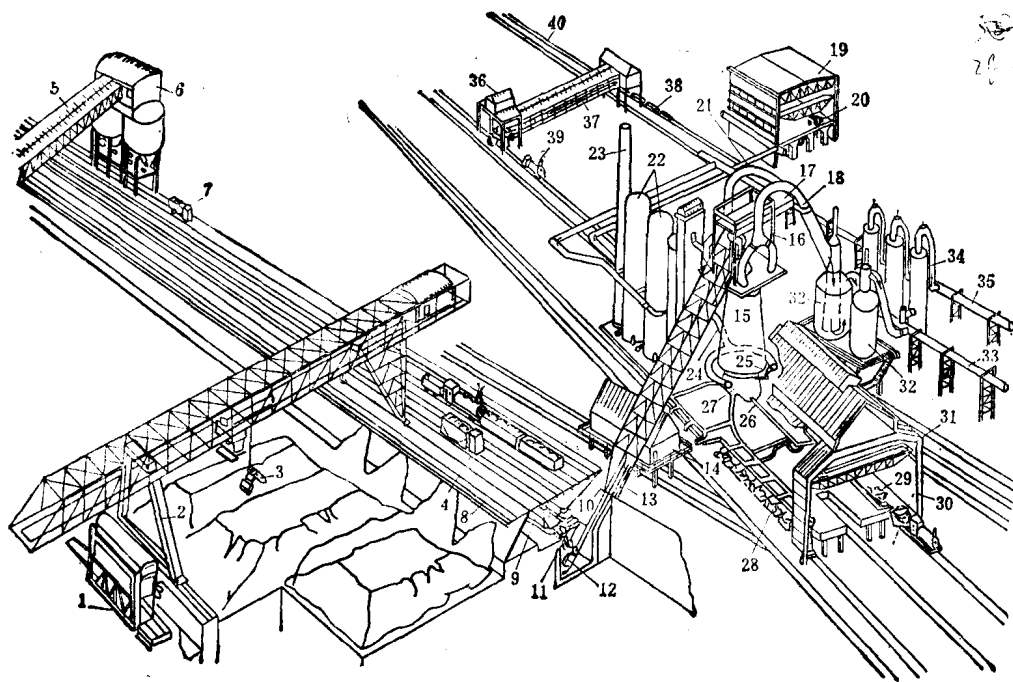
近二十年来，炼钢工艺学的知识已变得十分丰富，特别是炉外精炼法的出现，为大量生产优质钢、合金钢及特殊钢开辟了广阔前景。相继出现了钢流脱气法、钢包脱气法、真空提升除气法、真空循环除气法、真空钢包精炼法等。这些设备不外乎为了实现炼钢的基本任务（即“五脱一化”）中的某项或某几项任务而设计的，它解决了任何一个单体熔炼设备难以达到的目的。在掌握了钢铁冶炼基本原理及必要的工艺参数前提下，今后根据特殊需要把几种精炼机构成功而经济地组合起来的装置将获得广泛应用。

二十多年来，我国不仅设计制造了一批装备中小型钢铁联合企业的冶炼设备，而且还设计制造了较大型的冶炼设备。如 130 米² 烧结机、1200 吨混铁炉、1513 米³ 高炉设备、120 吨氧气转炉设备、250 吨真空浇注设备以及 R5-150×1050 毫米板坯连注机等。但这些还远不能满足我国钢铁工业日益发展的需要，为在本世纪实现四个现代化的宏伟目标尚应继续努力。

第一篇 炼 铁

所谓炼铁，就是通过冶炼铁矿石，从中得到金属铁。把经过处理的铁矿石、熔剂和燃料，按一定的比例分批加到高炉中，为了维持高炉内燃料的不断燃烧，必须用鼓风机向炉内连续地送入空气，这样进行连续不断地熔炼，把得到的液态产物从炉缸中定期放出炉外，即获得产品生铁和副产品炉渣。

高炉炼铁生产是一个连续性很强的生产过程，因此还有很多辅助系统，用以保证高炉能不间断地进行生产。现代高炉车间的生产工艺流程一般都是比较定型的，它是由高炉本体、上料系统、装料系统、送风系统、煤气除尘系统、渣铁处理系统及喷吹系统等组成。下图是现代大型高炉车间的生产工艺流程示意图。



高炉生产工艺流程示意图

- 1—翻车机 2—矿石装卸机 3—抓斗 4—运矿车 5—焦炭运输机 6—贮焦塔 7—运焦车 8—料仓栈桥
 9—称量车 10—焦炭筛 11—焦炭秤 12—高炉料车 13—高炉斜桥 14—卷扬机室 15—高炉 16—炉顶
 钢架 17—安装梁 18—煤气导出管 19—鼓风机室 20—鼓风机 21—冷风管道 22—热风炉 23—烟囱
 24—热风管道 25—风口设备 26—出铁口及铁沟 27—出渣口 28—渣罐 29—铁水罐 30—出铁场房
 31—出铁场起重机 32—收尘器 33—脏煤气管道 34—电除尘器 35—净煤气管道 36—翻罐卷扬机 37—
 铸铁机 38—平板车 39—称量铁水罐车用的轨道秤 40—铁路线

高炉生产的目的在于，使用最低的原料消耗，获得产量最高、质量最好的生铁。在评价高炉的生产情况时，经常用到以下几个技术经济指标：

1. 高炉有效容积利用系数 (n)：即高炉每昼夜产铁量 (P) 与有效容积 (K) 的比

值，是高炉的产量指标。

$$n = \frac{P}{V} \text{ (吨/米}^3 \cdot \text{日)}$$

2. 焦比 (K): 冶炼一吨生铁所消耗的焦炭量，是高炉的消耗指标。

$$K = \frac{Q}{P} \text{ (吨/吨铁或公斤/吨铁)}$$

式中 Q ——昼夜消耗焦炭量。

当高炉喷吹燃料时，分子部分应包括焦炭量及喷吹燃料量，此时称为综合燃料比或简称燃料比。

3. 冶炼强度 (i): 每一立方米高炉有效容积一昼夜烧燃的焦炭量。

$$i = \frac{Q}{V} \text{ (吨/米}^3 \cdot \text{日)}$$

当喷吹燃料时，分子包括焦炭、喷吹燃料在内，此时的冶炼强度称为综合冶炼强度。冶炼强度是高炉强化程度的指标。

4. 休风率: 即休风时间占全部日历生产时间的百分比。降低休风率也是高炉增产的重要措施。

5. 生铁合格率: 即符合国家生铁规格要求的生铁产量占生铁总产量的百分比。它是评价生铁质量的指标。

6. 生铁成本: 生铁的车间成本包括消耗原料成本费 (约占 80%)、冶炼成本费 (包括动力消耗、职工工资、折旧费、运输费等, 约占 18%) 以及车间经费 (约 2%)。副产品回收成本, 目前在一般大型高炉上约占 8~9%, 应从其中扣除。生铁成本是从经济效果上来评价高炉作业的优劣。降低原料消耗, 首先是燃料消耗 (占总成本的 40~50%) 对降低生铁成本有决定的意义。

7. 高炉一代寿命: 就是高炉从点火开始到停炉大修为止的时间。一般大型高炉可达八年以上, 中型高炉四至五年, 小高炉二至三年。高炉强化冶炼后, 虽然其一代寿命可能缩短, 但由于利用系数的提高, 故总出铁量往往还是增加的。

第一章 高炉冶炼的原料

高炉炼铁的主要原料是铁矿石、熔剂和燃料。一般冶炼一吨生铁需要：1.5~2.0吨铁矿石，0.4~0.6吨焦炭，0.2~0.4吨熔剂。这是一个相当大的数字。为了实现高炉的高产、优质和低消耗，应尽可能为高炉提供品位高，强度好，粒度适宜，有害杂质少以及性能稳定和数量足够的原料，才能保证高炉正常而有效的生产。

§ 1-1 铁矿石、锰矿石及熔剂

一、铁矿石

地壳中铁元素含量很多，大约占各种元素总重量的5.1%。含铁元素的矿物也很多，大约有三百余种，但并不是所有含铁矿物都能用于炼铁。在现代技术条件下，能够从中炼出铁而且又经济的岩石，称为铁矿石。

炼铁常用的铁矿石有以下四种：

赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿和菱铁矿。它们的特征见表1-1。

表1-1 铁矿石的矿物组成及特征

| 矿物名称 | 化学式 | 比重 | 理论含铁量% | 颜色 | 工业最低品位(%) |
|------|--|---------|-----------|--------|-----------|
| 磁铁矿 | Fe_3O_4 | 5.2 | 72.4 | 黑色 | 20~25 |
| 赤铁矿 | Fe_2O_3 | 5.0~5.3 | 70.0 | 红色 | 30 |
| 褐铁矿 | $nFe_2O_3 \cdot mH_2O$ $n=1\sim3, m=1\sim4$ | 2.5~5.0 | 55.2~66.1 | 黄褐色 | 30 |
| 菱铁矿 | $FeCO_3$ | 3.8 | 48.2 | 灰色或带黄色 | 25 |

一般矿石中的实际含铁量都低于矿物的理论含铁量，因为矿石中还含有相当数量的脉石。其中绝大多数的脉石是酸性的，如 SiO_2 。

铁矿石质量的好坏对高炉生产影响极大为了使高炉生产获得良好的技术经济效果，必须对矿石提出一定的质量要求。

1. 含铁量（矿石品位）

矿石含铁量愈高，则含脉石愈少，炼铁时渣量相应就少，随之燃料消耗量也少，高炉产量就愈高，冶炼愈经济。所以矿石含铁量愈高愈好。

铁矿石依其含铁量的多少分为富矿和贫矿。富矿只要加以破碎和筛分就可以入炉冶炼。而贫矿则必须先经过选矿提高品位后，再经造块方可使用。

2. 脉石成分

铁矿石中除铁矿物外的物质都称为脉石。脉石中常见的成分是： SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO ，其中 SiO_2 为最多。当铁矿石中的碱性氧化物（ $CaO+MgO$ ）与酸性氧化物（ $SiO_2+Al_2O_3$ ）的比值跟炉渣中的这一比值相近时，冶炼这种矿石就可以在炉料中不加熔剂或少加熔剂，此种矿石称为自熔性矿石。当矿石含铁低，含酸性氧化物高时，就需加入大量的碱性熔剂，随之渣量增加，焦比升高。所以希望铁矿石中的酸性氧化物愈少愈好，

碱性氧化物愈高愈好。

3. 有害元素和有益元素

铁矿石中还常含有以下元素：硫、磷、砷、铅、锌、铜、钛、氟、钠、锰、镍、钒等。

硫 (S)：是对钢材最有害的元素。含硫高的钢材在高温时强度低，轧制和锻压时会断裂，即所谓钢材具有的“热脆性”。因此，各种钢材都有最高含硫量的限制。冶金部颁发的生铁标准规定，硫的含量不能大于0.07%。一般矿石中含硫大于0.3%，称为高硫矿石。对于富矿如果含硫量太高，则应考虑先用焙烧的方法，使矿石含硫量降低后，再进行冶炼。

磷 (P)：也是钢铁中的有害元素。它使钢铁具有“冷脆性”。除少数高磷铸造生铁允许有较高的含磷量外，一般生铁含磷量愈低愈好。

铜 (Cu)：在钢材中不超过0.2~0.3%时能增加钢材的抗腐蚀性，超过0.3%时，则使钢材的焊接性能降低并产生脆性。

砷 (As)：能降低钢材的焊接性能，增加钢材的冷脆性。

铅 (Pb)：比重大，熔点低，冶炼时破坏炉底。

锌 (Zn)：在冶炼中能损坏炉衬和促使炉瘤生成。

氟 (F)：以萤石的形态存在，氟能增加炉渣的流动性，对脱硫有利。但含氟的炉渣对炉衬有很大的侵蚀作用。

锰 (Mn)：在钢中是有益的合金元素。能改善钢的机械性能，锰在高炉冶炼中有助于脱硫。

镍 (Ni)、铬 (Cr)、钒 (V) 和钛 (Ti) 等都是很宝贵的合金元素，能改善钢的机械性能。

4. 铁矿石的还原性

还原性是指铁矿石中与铁结合的氧被还原剂 (CO、H₂) 夺取的能力。炼铁希望这种能力高，有利于降低焦比。铁矿石还原性的好坏取决于很多因素。如矿物类型、孔隙度大小、脉石的分布、粒度大小、热力作用下的稳定性等。常用的四种矿石还原性由好到坏的顺序是：菱铁矿→褐铁矿→赤铁矿→磁铁矿。人造富矿一般比天然富矿具有较好的还原性。目前人造富矿一般是用 FeO 的含量多少来表示其还原性，FeO 含量高的其还原性不好。

5. 铁矿石的软化性

是指矿石开始变形时的温度和从开始变形到变形终了的区间大小。矿石软化变形后，阻止煤气通过。软化温度愈低、矿石软化区间愈大，影响料柱透气性愈严重。因此，铁矿石软化温度高，软化区间小对高炉冶炼有利，可使初渣形成的位置降低，塑性层减薄，改善料柱的透气性。

6. 矿石的强度和粒度组成

矿石的强度和粒度对高炉冶炼过程影响很大。粒度过小或粒度不均将恶化高炉内料柱的透气性，导致炉况不顺。但粒度过大又使煤气能量利用不好，降低还原速度，增加焦比。因此，一般规定小于5毫米的矿石不能入炉。粒度的上限与矿石的还原性有关。对于难还原的磁铁矿不大于40毫米，较易还原的赤铁矿和褐铁矿可以不大于50毫米。对于中小型高炉一般不大于25~30毫米，粒度不符合要求的不能入炉。

希望铁矿石在高炉内受挤压、摩擦的情况下不易破碎，要求铁矿石有一定的机械强度，且愈高愈好。

7. 铁矿石的化学成分稳定性

要保证高炉炉况的稳定，首先要保证矿石化学成分的稳定。化学成分的波动，会引起炉温、炉渣碱度和生铁质量的波动，破坏炉况的顺行，使焦比升高，产量降低。为了稳定化学成分，应当在矿石破碎筛分后，进行混匀处理。

二、其它含铁原料的利用

在钢铁工业和其它工业部门的生产中产生一些废弃物料，它们含有一定数量的铁，可做高炉矿石的代用品。利用这类物料，不仅扩大了资源，而且还可以减少公害和降低成本。这些矿石代用品有：高炉炉尘、转炉炉尘、轧钢皮、硫酸渣、废铁以及一些有色金属矿经选矿后剩下的高铁尾矿和炉渣等。它们的成分见表1-2。

表1-2 高炉炉尘等含铁原料的化学成分(%)

| 物料名称 | TFe | FeO | CaO | MgO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | S | P | MnO | Cu | Pb | Zn | As | Au | Ag | C |
|------|-------|-----------------------|------|-------------|------------------|--------------------------------|-------------|-------|-------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|------|
| 高炉炉尘 | 40 | | 10 | 2.0 | 15 | 1.8 | 0.2 | 0.09 | 0.2 | — | — | — | — | — | — | 10 |
| 硫酸渣 | 54~47 | 1.26~4.8~ 0.64 1.0 | 4.8~ | 0.3~ 2.8 | 14~10 | 2.5~ 1.0 | 2.7~ 1.3 | — | — | 0.53~ 0.22 | 0.42~ 0.22 | 0.83~ 0.12 | 0.06~ 0.18 | 0.76 (克/吨) | 2.8 (克/吨) | |
| 转炉炉尘 | 68.6 | 67.5 | 7.17 | 0.72 | 2.08 | — | 0.07 | 0.04 | 0.187 | Fe ₂ O ₃ 23.09 | — | — | — | — | — | 0.37 |
| 轧钢皮 | 61.6 | 66.4 | 0.34 | 0.32 | 15.4 | 3.29 | 0.15 | 0.014 | 0.82 | — | — | — | — | — | — | |

三、锰矿石

锰矿石在冶金工业中也占有很重要的地位。锰是重要的合金元素，它可改善钢的机械性能，如增加钢的强度和耐磨性。锰也是炼钢过程的脱氧剂。

在我国生铁规格中，除碱性平炉炼钢生铁对锰没有要求外，其他生铁对锰都有一定的要求。当高炉冶炼含锰1~2.5%的生铁时，往往需要锰矿石作补充铁矿石含锰不足的辅助原料；当冶炼含锰10~20%的镜铁和硅铁及含锰80%的锰铁时，锰矿石则为主要原料。

锰矿石的种类很多，主要的锰矿及其特征见表1-3。锰矿中最主要的是软锰矿和褐锰矿。一般锰矿石含锰达到30%就为富锰矿。

表1-3 各种锰矿及其特征

| 名称 | 化学分子式 | 理论含锰量(%) | 主要特性 |
|-----|---|----------|-------------|
| 软锰矿 | MnO ₂ | 63.2 | 黑色或钢灰色、多为粉矿 |
| 硬锰矿 | KRO-mMnO ₂ ·nH ₂ O (RO为MnO, CaO, MgO等) | 47~69 | 钢灰色到黑色、块状 |
| 沼锰矿 | 疏松状的硬锰矿 | 47~69 | 钢灰色到黑色 |
| 水锰矿 | Mn ₂ O ₃ ·H ₂ O | 62.5 | 钢灰色到黑色 |
| 褐锰矿 | Mn ₂ O ₃ | 69.6 | 褐色或浅褐色，硬度大 |
| 黑锰矿 | Mn ₃ O ₄ | 72.6 | 浅褐色，硬度大 |
| 菱锰矿 | MnCO ₃ ·CaCO ₃ | 25.6 | 粉红色 |

对锰矿石的质量要求大致与铁矿石的质量要求相同；含锰量一定要高；含SiO₂愈少

愈好；有害杂质愈少愈好；粒度合适而均匀；冶炼高锰合金时含铁量愈少愈好。

四、熔剂

高炉炼铁除了用铁矿石和焦炭外，通常还加入石灰石，后者称为熔剂。其作用主要是为了使还原出的铁与脉石实现良好的分离。矿石中有一定数量的脉石，焦炭中有一定数量的灰分，脉石和灰分的主要成分为酸性氧化物。如 SiO_2 、 Al_2O_3 等。它们的熔点都比较高（ SiO_2 1625°C； Al_2O_3 2050°C）。高炉生产是连续的，因此，必须使还原出的铁与脉石在炉内完全分离，才能保证生产的连续性。在炉内完全分离的条件是：还原出的铁和脉石都必须熔融成液体，然后借铁水与熔渣比重的不同而实现分离。在高炉条件下，单独使 SiO_2 、 Al_2O_3 熔化是不可能的，如果加入适量的碱性氧化物，如 CaO 、 MgO 等，则这些碱性氧化物与酸性氧化物之间相互形成许多低熔点的化合物和形成共熔体即熔渣，这种熔渣在高炉的温度条件下可以完全熔化为液体，且具有良好的流动性。自然界中这种自熔性矿石是不多见的，所以大多数矿石都需要加熔剂来冶炼。

石灰石是最常用的熔剂。如果矿石中的脉石为碱性时，也可用酸性熔剂，如石英或铁矾土（硅铝盐熔剂）。在不特别说明时，所谓熔剂都是指碱性熔剂。

对碱性熔剂的质量要求如下：

- 1) 有效熔剂性要高；
- 2) 有害杂质（主要是硫、磷）要少；
- 3) 粒度均匀，强度高、粉末要少。

熔剂中碱性氧化物扣除熔剂中 SiO_2 造渣消耗碱性氧化物的余量，称为有效熔剂性，用下式计算：

$$\text{有效熔剂性} = (\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{熔剂}} - \text{SiO}_{2\text{熔剂}} \cdot \left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} \right)_{\text{渣}}$$

石灰石的粒度上限以其在炉内 900°C 温度区全部分解为标准。因此，目前石灰石的粒度：对大高炉来说是 25~50 毫米；中小型高炉是 10~30 毫米。

我国石灰石的质量标准见表 1-4。

表 1-4 石灰石的技术条件

| 级 别 | 化 学 成 分 (%) | | | | |
|---------|-------------|------|--|------------------------|---------------|
| | CaO | MgO | $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ | P_2O_5 | SO_3 |
| I | ≥52 | ≤3.5 | ≤2.0 | ≤0.02 | ≤0.25 |
| II | ≥50 | ≤3.5 | ≤3.0 | ≤0.04 | ≤0.25 |
| III | ≥49 | ≤3.5 | ≤3.5 | ≤0.06 | ≤0.35 |
| 白云石化石灰石 | 35~44 | 6~10 | ≤5 | — | — |

炉渣中含一定量的 MgO ，能改善炉渣的流动性，有利于脱硫和高炉顺行。一般炉渣中含 MgO 6~8% 较为适宜。

§ 1-2 燃 料

燃料是高炉冶炼的能量。它在冶炼过程中起三个方面的作用：发热剂、还原剂和料柱的骨架作用。高炉冶炼所消耗的热量中，70~80% 来自燃料的燃烧，铁矿石还原所需要的还原剂又几乎全部由燃料所供给。焦炭既能供给热量，供给还原剂，还能起到疏松料柱的

作用。所以目前高炉冶炼最“理想”的燃料就是焦炭。

一、高炉冶炼对焦炭的要求

在高炉的料柱中，大约有二分之一的体积是焦炭，因此它对料柱的透气性影响很大。特别是高炉下部，矿石已经造渣，只有焦炭未熔融和软化，因此高炉下部料柱的透气性同焦炭的质量有很大的关系。焦炭的质量好坏直接影响高炉的产量、质量和焦比。

高炉生产对焦炭质量的要求是：焦炭的强度要好；粒度要合适而均匀；性能要稳定，波动小，焦炭的含硫量要少；灰分要低。

焦炭的部颁质量标准见表1-5。

表1-5 冶金焦炭技术条件部颁标准

| 焦炭种类 | 牌号 | 灰分(%) | 硫分 (%) | | | 机械强度(公斤) | | | | 挥发分 (%) | 水分 (%) | 焦未含量 (%) |
|---------|-----|-----------|-----------|---------|---------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|---------|--------|----------|
| | | | I类 不大于 | II类 | III类 | 一 级 | | 二 级 | | | | |
| | | | | | | 鼓内大于 25毫米 不小于 | 鼓外小于 10毫米 不大于 | 鼓内大于 25毫米 | 鼓外小于 10毫米 | | | |
| >40毫米 | I | 不大于12.0 | | | | | | | | | | |
| | II | 12.1~13.5 | 0.6 | 0.7~0.8 | 0.9~1.0 | 325 | 40 | 310~324 | 41~50 | 1.2 | 3~5 | 4 |
| | III | 13.6~15.0 | | | | | | | | | | |
| >25毫米 | I | 不大于12.0 | | | | | | | | | | |
| | II | 12.1~13.5 | 0.6 | 0.7~0.8 | 0.9~1.0 | 310 | 40 | 295~309 | 41~50 | 1.2 | 3~7 | 5 |
| | III | 13.6~15.0 | | | | | | | | | | |
| 25~40毫米 | I | 不大于12.0 | | | | | | | | | | |
| | II | 12.1~13.5 | 0.6 | 0.7~0.8 | 0.9~1.0 | | | | | | 不大于12 | 12 |
| | III | 13.6~15.0 | | | | | | | | | | |

二、喷吹用燃料

从高炉风口向高炉内喷吹燃料可以代替焦炭，降低焦比。目前喷吹用燃料有固体、液体和气体等燃料。

固体燃料多为无烟煤粉，表1-6是阳泉无烟煤的理化性能。

液体燃料为重油、焦油、原油等，喷吹用的液体燃料，常见的是重油，见表1-7。

气体燃料主要是天然气和焦炉煤气，见表1-8。

表1-6 阳泉无烟煤理化性能

| 灰分 | 水分 | 挥发分 | 硫 | 发热值 (千卡/公斤) | 比重 | 固定碳 | 灰 分 分 析 (%) | | | | | |
|-------|------|------|------|----------------|------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|
| | | | | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₂ |
| 18.93 | 0.81 | 9.71 | 0.84 | 8190 | 1.60 | 73.04 | 53.88 | 36.70 | 5.62 | 2.11 | 0.23 | 1.43 |

表1-7 重油理化性能

| 化 学 成 分 (%) | | | | | | 发热值(千卡/公斤) | 粘度(帕·秒) | 比重(吨/米 ³) |
|-------------|----------------|----------------|------|----------------|------------------|------------|---------|-----------------------|
| C | H ₂ | N ₂ | S | O ₂ | H ₂ O | | | |
| 86 | 11.5 | 0.56 | 0.19 | 1.0 | 0.25 | 9800 | 0.658 | 0.918 |

表1-8 天然气理化性能

| CH ₄ | 化 学 成 分 (%) | | | | | 发热值 (千卡/米 ³) | 比 重 (公斤/米 ³) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | H ₂ | N ₂ | CO ₂ | | |
| 93.87 | 1.41 | 0.41 | 3.25 | 0.66 | 0.40 | 8395 | 0.716 |

§ 1-3 矿石冶炼前的准备

从矿山开采出来的矿石，为了在质量上满足高炉冶炼的要求，就必须经过一系列的加工。如破碎、筛分、混均、焙烧等。对贫矿需要进行选矿，然后再造块。

一、破碎和筛分

高炉冶炼用的矿石需要有合适的粒度。粒度大不利于还原，太小又不利于透气性。因此高炉对矿石的粒度要求是矛盾的。确定入炉粒度的原则是在保证透气性的前提下，照顾还原性。

在具体确定入炉矿石粒度时，要根据高炉大小和矿石本身的还原性。大高炉粒度可以大些；小高炉可以小些。易还原矿石粒度可以大些；难还原矿石粒度应该小些。

当矿石粒度很大时，破碎作业应分几步进行，不能一次完成。通常分以下几步：

粗碎：由 1000 毫米破碎到 100 毫米；

中碎：由 100 毫米破碎到 30 毫米；

细碎：由 30 毫米破碎到 5 毫米；

粉碎：破碎范围由 5 毫米破碎到 1 毫米以下。

破碎比是物料破碎前后最大尺寸比，它是破碎机性能的一项指标。

破碎天然矿石的设备，通常有五种形式，其破碎原理如图 1-1 所示。

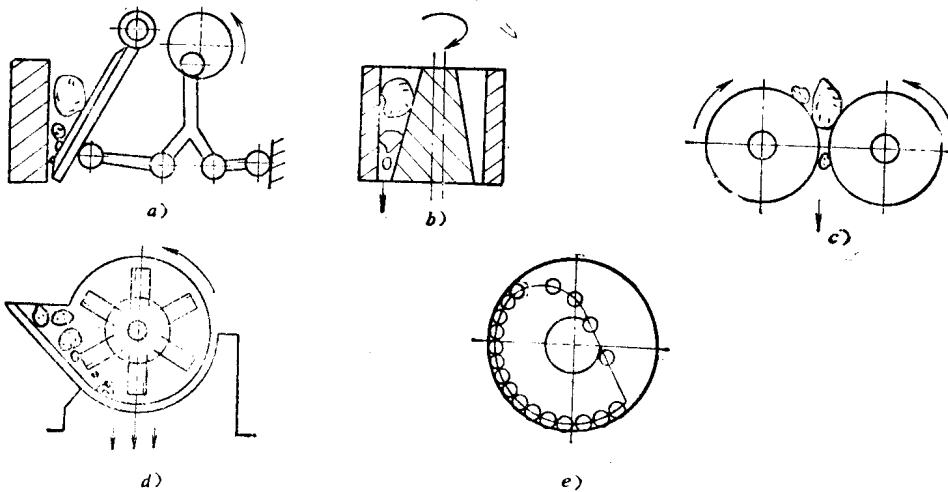


图1-1 各种破碎机的破碎原理

a) 颚式破碎机； b) 圆锥式破碎机； c) 辊式破碎机； d) 锤式破碎机； e) 球磨机

1. 颚式破碎机如图 1-1 a

颚式破碎机都是用于粗碎作业，也有用于中碎作业的。矿石的破碎在可动颚和固定颚