

高等学校试用教材



金属材料学

北方交通大学材料系编



中国铁道出版社

TG14

19
3

高等学校试用教材
金属材料学

北方交通大学材料系编

Bx72/29

中国铁道出版社

1982年·北京



A-894578

内 容 提 要

本书内容分为六篇，即：金属材料的生产；金属材料的基础理论；钢的热处理；黑色金属材料；有色金属材料；金属材料的防腐及验收。

本书除供材料专业教学用书外，还可供高等工业学校及物资管理干部等学习参考。

高等学校试用教材

金属材料学

北方交通大学材料系编

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：28.75 字数：717千

1982年4月 第1版 1982年4月 第1次印刷

印数：0001—6,000册 定价：2.95元

前 言

正确的供应金属材料，合理的使用金属材料；提高金属材料的机械强度，改善金属材料的使用性能；节约高价金属材料，选用合适的高价金属材料的代用品；保证对收入的金属材料进行正确可靠的质量检验，对发出的金属材料提出正确而可靠的技术证明文件，使库存的金属材料不致因保管不当而遭受质量上的损失，这些都是材料技术管理人员的光荣职责。归根到底，要想使国家的宝贵金属资源和经过人民辛勤劳动生产的金属材料都能发挥其最大的经济效果，有利于加速社会主义现代化建设，材料技术管理人员和工程技术人员，都必须仔细地研究和掌握供应的和使用的金属材料的性质，以及某些工艺对金属材料性质的影响等科学技术问题。

本书是为高等学校材料系材料管理专业教学需要而编。编写目的是使学生能够比较深入地了解金属材料的性质，以及影响金属材料性质的各种因素，为将来搞好材料技术管理工作打下基础。

本书共分为六篇：第一篇是金属材料的生产，在这篇里主要叙述了金属冶炼的原料、设备、理化过程和产品种类，以及轧制、锻造、铸造等工艺和这些工艺对金属材料性能的影响。第二篇是金属材料的基础理论，在这篇里比较详细地叙述了金属元素及其合金的基本性质。此篇是学习下面四篇共同的理论基础。第三篇是钢的热处理，在这篇里主要叙述了热处理原理及热处理工艺。第四篇是黑色金属材料，主要叙述了钢材的分类、牌号以及铁路常用的钢材，特别是对合金钢进行了比较详细地叙述。第五篇是有色金属材料及粉末合金，叙述了铁路上常用的几种有色金属材料和它们的性能及用途。第六篇包括两部分，即金属材料的腐蚀及保护和金属材料的检验和验收，主要叙述了金属材料的腐蚀原理及其保护方法和金属材料在铁路上常用的检验和验收方法。

如上所述，本书的主要研究对象是金属及合金的基本性质以及外因对金属及合金性质的影响。金属及合金基本性质的研究是从原子构造、结晶构造、结晶类型与金属及合金性质关系的规律开始，逐步深入到金属材料的物理性质、化学性质、机械性质、工艺性质，从而得出各种金属材料的适用范围等结论。影响金属及合金基本性质的外因的研究包括：冶炼、铸造、压力加工和热处理等各种工艺过程，与金属及合金中有益组成、有害杂质等的说明。伴随着这些说明，并引用了各有关合金的状态图与金相显微组织照片等。

本书不包括金属材料的实验内容，关于这部分，另外有实验用教材。

本书是在本专业1962年编写的教材基础上，根据多年的教学实践，以及铁路材料技术管理工作的经验总结，进行重编而成的。它反映了在党的正确领导下，我国在金属材料生产以及材料科学方面所取得的新成就。但因我们水平有限，编写时间短促，其中欠缺和不妥之处在所难免，望各位读者给以指正。

参加本书编写工作的有龚惠芳、陈宝田、张庆颐、祝菊生、詹荷生等同志，铁道部物资局金属处魏惟恒工程师，我校机械系王炳洲同志也参加了本书的编写工作。

本书在编写过程中，得到铁路物资管理部门及有关单位和个人的大力支持和帮助，借此机会，谨向他们致以诚挚的谢意。

北方交通大学材料系

一九八一年二月

目 录

第一篇 金属材料的生产.....	1
第一章 铁的冶炼.....	1
第一节 高炉原料.....	1
第二节 高炉构造及附属设备.....	5
第三节 高炉冶炼的理化过程.....	9
第四节 高炉冶炼铁合金.....	14
第五节 高炉产品.....	15
第六节 高炉技术经济指标.....	17
第二章 铁合金的冶炼.....	18
第一节 概 述.....	18
第二节 硅铁的冶炼.....	19
第三节 锰铁的冶炼.....	22
第四节 其它铁合金.....	25
第三章 钢的冶炼.....	28
第一节 炼钢的基本原理.....	28
第二节 转炉炼钢.....	30
第三节 电炉炼钢.....	37
第四节 平炉炼钢.....	40
第五节 钢 锭.....	43
第六节 炼钢技术的新发展.....	46
第四章 有色金属的冶炼.....	49
第一节 铜的冶炼.....	49
第二节 铝的冶炼.....	55
第五章 钢材的生产.....	58
第一节 概 述.....	58
第二节 轧 制.....	59
第三节 挤压和拉拔.....	71
第四节 锻 造.....	73
第六章 铸造生产.....	76
第一节 制模与造型材料.....	77
第二节 制模与造型过程.....	79
第三节 特种铸造.....	81
第四节 金属的熔化和浇注.....	83
第五节 铸件的常见缺陷及其检验方法.....	89

第二篇 金属材料的基础理论	91
第七章 金属材料的性能	91
第一节 金属材料的机械性能	91
第二节 金属材料的物理和化学性能	100
第三节 金属材料的工艺性能	102
第八章 金属的晶体结构	103
第一节 金属与金属键	103
第二节 金属的晶体结构	109
第三节 金属的结晶	117
第四节 金属在固态下的转变	121
第九章 合金中相的结构	123
第一节 固溶体	123
第二节 金属化合物	129
第十章 合金状态图	132
第一节 合金状态图的基本概念	133
第二节 二元合金状态图	137
第三节 三元合金系状态图简介	146
第十一章 铁碳合金状态图	155
第一节 铁和碳	155
第二节 铁碳合金状态图的分析	157
第十二章 金属及合金的塑性变形及再结晶	166
第一节 金属及合金的塑性变形	166
第二节 塑性变形对金属及合金组织和性能的影响	171
第三节 冷变形后金属及合金在加热时组织和性能的变化	172
第四节 金属及合金的热塑性变形(热加工)	175
第三篇 钢的热处理	177
第十三章 钢的热处理原理	177
第一节 钢在加热时的转变	177
第二节 钢在冷却时的转变	188
第十四章 钢的热处理工艺	204
第一节 钢的退火与正火	204
第二节 钢的淬火与回火	211
第三节 钢的表面淬火	226
第四节 化学热处理	231
第五节 热处理工艺的新发展	241
第六节 常用的热处理设备	246
第四篇 黑色金属材料	251
第十五章 碳素钢	251
第一节 钢材的分类和牌号	251
第二节 碳素结构钢	263

第三节	碳素工具钢	266
第四节	铁路常用钢材	269
第五节	铸 钢	278
第十六章	合金钢概论	281
第一节	概 述	281
第二节	合金元素在钢中的作用	285
第十七章	合金结构钢	299
第一节	概 述	300
第二节	普通低合金钢	301
第三节	合金渗碳钢	304
第四节	合金调质钢	308
第五节	合金弹簧钢	314
第六节	滚珠轴承钢	318
第七节	合金钢轨	321
第十八章	合金工具钢	323
第一节	概 述	323
第二节	合金刀具钢	324
第三节	合金模具钢	331
第四节	合金量具钢	334
第十九章	特殊性能的合金钢	336
第一节	不锈钢	336
第二节	耐热钢及耐热合金	340
第三节	抗磨钢(高锰钢)	343
第四节	电热合金	345
第五节	磁钢和磁性材料	347
第二十章	铸 铁	352
第一节	概 述	352
第二节	铸铁的石墨化原理	355
第三节	灰口铸铁	359
第四节	孕育铸铁	362
第五节	球墨铸铁	363
第六节	可锻铸铁	367
第七节	特殊性能铸铁	369
第八节	铸铁热处理	371
第五篇	有色金属材料	375
第二十一章	铜及其合金	375
第一节	纯 铜	375
第二节	黄 铜	377
第三节	青 铜	382
第四节	白 铜	386

第二十二章	铝及其合金	387
第一节	纯铝的性质及用途	387
第二节	铝合金	388
第三节	铝合金的分类	393
第四节	铸造铝合金	395
第五节	形变铝合金	397
第二十三章	轴承合金	400
第一节	锡	400
第二节	铅	402
第三节	铟	404
第四节	轴承合金的性能及组织	404
第五节	锡基轴承合金	406
第六节	铅基轴承合金	408
第七节	铝基轴承合金	410
第二十四章	粉末合金	411
第一节	粉末冶金的特点	411
第二节	粉末冶金工艺过程	412
第三节	粉末冶金的应用	415
第六篇	金属材料的防腐及验收	420
第二十五章	金属腐蚀的基本原理	420
第一节	金属腐蚀的分类及其破坏形式	420
第二节	金属的化学腐蚀	422
第三节	金属的电化学腐蚀	422
第二十六章	金属材料的防腐	427
第一节	正确选用金属材料合理地设计金属结构	427
第二节	腐蚀介质的处理	428
第三节	电化学保护法	428
第四节	用覆盖层保护	429
第二十七章	金属材料的验收	432
第一节	检验的依据和内容	432
第二节	金属材料的外观检验	433
第三节	金属材料的质量检验	434
第四节	金属材料的质量检验	435
附 录:		437
一、	国内外钢号对照表	437
二、	钢铁产品和有色金属材料的涂色标记汇总表	443
三、	几种国产内燃机车柴油机主要零部件材料对比表	446
四、	金属材料简易鉴别法	447

第一篇 金属材料的生产

第一章 铁的冶炼

第一节 高炉原料

现代炼铁所用的炉子称为高炉。高炉炼铁所需的主要原料为铁矿石、熔剂和燃料。

一、铁矿石

(一) 铁矿石的工业类型

铁矿石是由一种或几种含铁矿物和脉石所组成。含铁矿物是具有一定化学成分和结晶构造的化合物，脉石也是由各种矿物如石英、长石等组成并以化合物形态存在的。所以，铁矿石实际是由各种化合物所组成的机械混合物。

自然界含铁矿物很多，而具有经济价值的矿床，一般认为有四类：赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿和菱铁矿。这种矿石的分类方法也是采矿、冶金工业中所惯用的。

1. 赤铁矿石

赤铁矿石中的铁是以不含水的氧化铁 Fe_2O_3 形式存在的。它的理论含铁量为70%。自然界开采的赤铁矿，其实际含铁量一般在30~65%的范围内。

赤铁矿石大多为暗红色，也有浅灰色和黑色的，比重5.0~5.3，质地较松，还原性很好，硫和磷的含量都较少，它是最主要的工业铁矿石。

2. 磁铁矿石

磁铁矿石中的铁是以磁性氧化铁 Fe_3O_4 形式存在的。它的理论含铁量为72.4%。自然界开采的磁铁矿，其含铁量在40~70%之间，矿石中脉石为石英和各种盐类，也有少量的粘土、黄铁矿、磷灰石、黄铜矿等存在，所以它的含硫量和含磷量都比较高。

磁铁矿石最显著的特点是具有磁性。其外表颜色从灰色到黑色，并有较暗的金属光泽。它的比重为4.9~5.2，组织致密，晶粒微小，质地坚实，比较难还原。但破碎时产生粉末较少，因而损失也较少。

3. 褐铁矿石

褐铁矿石中的铁是以含水氧化铁 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 形式存在的。它的理论含铁量为59.8%。在自然界中分布很广，它是由其它铁矿石风化而生成的，很少成为富矿。它常和粘土及石英等杂质混在一起。一般褐铁矿石的含铁量为37~55%，它含有较多的磷，有时还含有硫、砷等杂质。

褐铁矿石呈黄褐色。比重3.0~4.2质地比较松软，易于开采，在高炉中受热后水分蒸发，其组织变得很松。所以它的还原性比磁铁矿石和赤铁矿石都好。

以上三种矿石均为含铁的氧化物，是炼铁的主要矿石，应用最多。

4. 菱铁矿石

菱铁矿石中的铁是以碳酸铁 FeCO_3 形式存在的。它的理论含铁量为48.3%。比重3.9。在自然界中常见的菱铁矿石，坚硬致密，带有黄褐的灰色，含杂质较多，必须经过焙烧才能适用于炼铁。焙烧后的矿石，含铁量增加，气孔度增大，所以还原性好。

(二) 对铁矿石的要求

1. 含铁量愈高愈好

铁矿石中铁的含量高低是决定它的贫富程度的主要条件，也是决定铁矿石对直接冶炼是否经济的主要条件。工业上使用的铁矿石，按其铁量可分为贫矿（含铁量小于45%）和富矿（含铁量大于45%）两种。富矿的含铁量较多，杂质较少，可直接进行冶炼，因而其价值较高。贫矿在冶炼前需要进行选矿，以提高其含铁量，然后制成烧结矿或球团矿，才好进行冶炼，因而其价值较低。

2. 脉石的含量应尽量少

脉石的化学成分在很大程度上决定了熔剂与燃料的消耗量。这是因为大多数矿石中脉石的主要成分为酸性的 SiO_2 和 Al_2O_3 ，所以要求脉石中的 $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$ 的比值愈大愈好，该比值愈接近于1时，炼铁所需的熔剂就愈少。某些不需要熔剂的矿石，其比值在1以上。这种矿石叫自熔性矿石。自熔性矿石在自然界中是很少见的。

3. 杂质含量要少

铁矿石中的有害杂质主要有硫、磷、铅、锌、砷等，它们对铁而后对钢的质量有很不好的影响。硫、磷、砷使钢铁变脆（热脆和冷脆）、铅锌对于高炉结构的破坏作用很大。所以矿石中这些杂质的含量一般作如下的规定： $\text{S} < 0.15\%$ ； $\text{P} < 0.4\%$ ； $\text{As} < 0.1\%$ ； $\text{Zn} < 0.1\%$ 。

此外，在矿石中也常含有某些有益的元素，如锰、镍、铬、钒、钛等。由于它们的存在，能改善钢的性能，但在生铁冶炼过程中，某些元素的含量过多，也会发生不好的作用，如含钛过高（ $\text{TiO}_2 > 10 \sim 20\%$ ），会使炉渣过粘，造成操作困难；含铬过高的生铁（ $\text{Cr} \geq 0.2\%$ ）过于坚硬，难以加工。所以对这些元素的含量也要适当控制。习惯上，当 $\text{Mn} > 5\%$ ， $\text{Ni} > 0.2\%$ ， $\text{Cr} > 0.6\%$ ， $\text{V} > 0.1 \sim 0.15\%$ 时，便视为复合铁矿石。

4. 还原性要好

这是铁矿石质量很重要的一项指标。如果铁矿石的还原性好，则可以减低生产生铁的燃料消耗量（降低焦比），提高生铁的产量和高炉的利用系数。还原性由很多因素决定，其中主要是气孔率、粒度、脉石的成分及其分布等。

气孔率是影响还原性最重要的因素。凡是气孔率大的矿石（如褐铁矿石的气孔率可达40~50%），或者气孔呈开口状多的，而且孔径又较大的矿石，其还原性就好。另外，矿石的软化及熔化温度对气孔率的影响也很大，因为矿石软化以后，会使它的气孔率显著减小，所以矿石从开始软化到完全熔化的温度范围愈小愈好，以避免炉内有大量粘稠物生成。

粒度直接影响着还原的快慢，太大的粒度，由于与还原气体的接触面较小，因而还原所需的时间就长。所以矿石的粒度愈小愈好，但是也不能没有限制，因为太小的粒度又会使高炉的透气性变坏。我国高炉会议规定大中高炉的矿石粒度应在8~50毫米范围内，小高炉的矿石粒度在5~25毫米范围内。

脉石的数量对还原性影响并不大，影响比较大的是分布比较均匀的细小的脉石晶粒，它会阻碍还原气体与氧化铁接触。

另外，矿石还应具有一定的强度，使它在高炉中不易被炉料压碎，或被炉气吹走。这些

性质都在不同程度上影响着高炉的产量、焦比、成本及其它技术经济指标。为了保证高炉冶炼过程的顺利进行，矿石的这些性质的稳定是十分重要的。因为这些性质的波动，都会引起炉况的波动。全国高炉会议规定，矿石在入炉前必须混匀，使含铁量的波动不超过 $\pm 1\%$ 。

（三）冶炼前铁矿石的处理

自然开采的矿石，无论在化学成分、物理状态等各方面，都很难满足高炉冶炼的要求，必须经过各种准备和处理工作才能更经济更合理的用于高炉生产。矿石的混匀是矿石冶炼前很重要的准备作业。矿石在冶炼前的处理，常为机械处理和热处理两种：机械处理包括破碎、筛分及选矿；热处理包括焙烧和烧结造块等。

1. 破碎和筛分

如前所述，高炉冶炼要求矿石具有一定的粒度，所有开采以后的大块矿石，都要用各种破碎机进行破碎，而后进行筛分，并按其大小进行分类。粒度小的富矿石，应将其磨成粉料，烧结成块然后再用。贫矿石要全部破碎并磨成粉料，经过选矿烧结后才能使用。

2. 矿石的焙烧

焙烧是在矿石破碎和精选之前的一种处理作业，它是在矿石加热到比熔点低 200°C 左右的温度下进行的。通过焙烧可使矿石变得疏松多孔，改善其还原性，也可以除去一部分矿石中的硫、磷、砷等有害杂质，以及改善矿石的透磁性，以便进行磁选。

3. 选 矿

用含铁量很低的贫矿直接冶炼是非常不经济的，因为需要消耗大量的熔剂，和生成大量的熔渣，使高炉产量降低，焦比增高，这就产生了贫矿富选问题。

现代炼铁工业中，常采用两种选矿方法：水选和磁选。水选基本是利用矿石中含铁矿物和脉石比重不同的特点，用水将含铁矿物和脉石分离开。磁选是利用磁铁矿的透磁性将铁矿用电磁铁吸住而与脉石分离开。至于无磁性矿石，可先进行磁化焙烧，然后再进行磁选。

4. 精矿粉的造块

由前面所述已经知道，经过选矿处理的精矿粒度很小，必须经过造块后才能装入高炉。当然在造块过程中，对于精矿的脱硫和碳酸盐的分解也是有利的，所以说精矿粉的造块，是冶炼前矿石处理中的一个极重要的环节。

造块的方法主要有两种：烧结和团矿。

（1）烧结到目前为止仍占主要地位。它是先将磨成细粉的矿石与炉尘加以精选，然后把精矿、煤粉、石灰粉及水混合起来，在专门的烧结机或烧结炉中进行烧结。煤粉燃烧发生热量，在 $1,000\sim 1,100^{\circ}\text{C}$ 温度下，精矿中的部分脉石熔融与石灰结合成硅酸盐，将精矿粘合在一起，而形成坚固和疏松多孔的烧结矿。目前高碱度的自熔性烧结矿，正在大力推广，它是以不同量的石灰石加到烧结料中烧结而成的。

（2）球团矿是一种人造球形块矿。它是把加水湿润的精矿或精矿和熔剂的混合物，在圆盘（或圆筒）内滚成直径 $10\sim 30$ 毫米的球，经过干燥焙烧而制成的。球团矿的硬度很高，在冶炼过程中，即使温度在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 以上，它仍能保持着球状。它的还原性好，软化温度范围小，堆比重大，生产率高，所以是一种很有前途的造块方法。

二、熔 剂

矿石中的脉石和燃料中的灰分，都含有一些熔点很高的化合物（如 SiO_2 熔点为 $1,625^{\circ}\text{C}$ ，

Al_2O_3 熔点为 $2,050^\circ\text{C}$ ），它们在高炉冶炼的温度下，不能熔化成液体，因而使它们不能很好的与金属分离，同时也使炉子的操作发生困难。加入熔剂的目的在于与这些高熔点的化合物组成低熔点的炉渣，以便在高炉冶炼温度下完全液化，并保持相当的流动性，以达到很好地与金属分离之目的，保证生铁的质量。

根据熔剂的性质，可分为碱性熔剂和酸性熔剂。采用那一种熔剂要根据矿石中脉石和燃料中灰分的性质来决定。由于自然界矿石中脉石大多数为酸性，焦炭灰分也都是酸性的，所以通常都使用碱性熔剂石灰石。酸性熔剂很少使用。

（一）石灰石熔剂

这是最常用的碱性熔剂，对它的要求是：

1. 含碱性氧化物（ CaO 及 MgO ）要高，含酸性氧化物（ SiO_2 及 Al_2O_3 ）要低。
2. 杂质硫、磷等的含量要少。

3. 要有较大的强度和一定的粒度。石灰石的粒度对冶炼的影响很大，太碎的石灰石含不熔杂质较多，而太大的粒度则不能在 $800\sim 900^\circ\text{C}$ 时完全分解，一部分石灰石将移到更高的温度 $1,000^\circ\text{C}$ 以上进行。此时分解出来的 CO_2 将与 C 作用，更多消耗焦炭。所以石灰石适当的粒度应在 900°C 以下能完全分解为标准。一般大中型高炉粒度在 $25\sim 75$ 毫米，小高炉最好在 $10\sim 30$ 毫米。

（二）白云石和生石灰熔剂

在高氧化铝及高氧化钙炉渣内含有 $6\sim 8\%$ 的氧化镁可以增加炉渣的流动性，以利于脱硫。所以白云石仅作附加熔剂。

用生石灰代替石灰石，可以避免 CaCO_3 在炉内分解放出大量 CO_2 而影响煤气的还原能力和增加焦炭的消耗。生石灰在空气中贮存时容易潮解，而且强度低，所以它适合于小高炉使用。

三、燃 料

高炉冶炼所需要的热量，主要是依靠燃料的燃烧而获得，同时燃料在燃烧过程中，还起着还原剂的作用，所以燃料是高炉冶炼的主要原料之一。

用于高炉的燃料应满足以下几条要求：

1. 含碳量要高，以保证它有高的发热量和燃烧温度。
2. 有害杂质硫、磷及水分、灰分、挥发分的含量要低，以保证生铁的质量，减少不必要的燃料消耗。
3. 在常温及高温下有足够的机械强度。
4. 气孔率要大，粒度要均匀，以保证高炉有良好的透气性。
5. 价格便宜。

常用的燃料主要是焦炭，还有无烟煤和半焦等。

（一）焦 炭

焦炭是高炉冶炼的主要燃料，它是把炼焦的煤粉或几种煤粉的混合物装在炼焦炉内，隔绝空气加热到 $950\sim 1,000^\circ\text{C}$ ，干馏后留下的多孔块状产物。它的优点是强度大，发热量高，价廉；缺点是灰分较多（冶金焦中含灰分 $7\sim 15\%$ ，一般焦含灰分大于 20% ），杂质硫、磷的含量较多。对焦炭的一般要求如表1—1所列。

对焦炭的一般要求

表 1—1

成 分 %					物 理 性 质			
挥发物	硫	磷	水 分	灰 分	发 热 量	抗压强度	气 孔 率	粒 度 (直径)
<1.5	0.5~1.0	≤0.05	2~6	7~13	6,000~7,000 卡/公斤	>100 公斤/厘米 ²	49~53%	25~80毫米

(二) 无烟煤和半焦

无烟煤是一种价格低廉的燃料，它的化学成分并不亚于焦炭（个别含硫稍高），而且它的低温强度大，可以远距离运输。储量丰富，分布较广，又不需另行加工。与冶金焦比较，它的透气性、易燃性和热稳定性都比较差。

半焦是人造石油工业的副产品，半焦其化学成分与冶金焦比较，主要是水分和挥发分的含量较高。但是经过高温焖焦处理（800~900℃）后，水分和挥发分大大降低，可以达到与冶金焦相同的成分。半焦的主要缺点是强度较低。

无烟煤和半焦只能作为小高炉的燃料。

第二节 高炉构造及附属设备

一、高 炉 炉 体

高炉是近似于圆柱形的炉子，它的外面包以钢板，内壁砌以耐火砖，整个炉子建筑在很深的混凝土基础上。它是由炉喉、炉身、炉腰、炉腹、炉缸五部分组成的（图 1—1）。

炉料自炉喉处加入，其上部设有炉顶加料机构，两侧有煤气导出管。炉身为一向下扩大的正截锥体，这样形状可使受热膨胀后的炉料容易下降，它是高炉最长的部分，铁矿石在其中逐渐还原。生铁和渣在炉腰和炉腹区域形成并熔化，炉腰是很矮的圆柱体，它砌在铁制圆环上（圆环系架在若干个支柱上）；炉腹为一向上扩大的倒截锥体，因此它能支持其上面所有炉料的重量，炉腹上部包围着环形风管，它能把热风通过风咀送入炉内。炉缸是积聚液体的铁水和炉渣的地方，其上部有 6~20 个风口向炉内送进热风，风口下面有一、二个出渣口，炉底面上有一、二个出铁口。

高炉内壁的各种材料的炉衬，组成了高炉工作空间，它担负着减少炉热损失及保护炉壳免受变形与其它的侵蚀作用。所以对各种炉衬材料的基本要求是：有高的耐火度及荷重软化点，以抵抗高温与温度变化的作用；有高的机械强度，以抵抗机械磨损；有良好的化学稳定性，包括低的 Fe_2O_3 含量，以防止 CO 在炉衬内分解。

高炉内所砌的耐火砖厚约 1,000~1,500 毫米，由于各部分工作状况的不同，对耐火砖质量的要求也不一样。炉腰、炉腹和炉缸是温度最高的部分，应该采用一级耐火砖；炉缸底部，经常承受着铁水、熔渣、高温和高压等的侵蚀和其它作用逐渐变薄，因而常常发生冶炼中析出的铅（矿石中含铅时）液渗入砖缝，引起砖缝扩大，炉缸烧穿等事故。所以炉缸底部（约厚 2,000~4,000 毫米）应该采用强度高、耐热稳定性好的碳素砖。炉子上部温度较低，可用二级耐火砖，但为了减少拆炉，炉腰以上的炉墙应该砌得较厚。炉喉处主要是受着炉料的摩擦和打击，所以常用钢砖或铸铁砖砌成圆环。为了加强炉腹和炉缸的冷却，在炉腹和部分炉缸的炉壁内镶砌空心铸铁砖，砖内用冷水循环冷却。风口部分也需要用冷水管冷却。

碳素耐火材料是比较新型的耐火材料。它是由低灰分（含量 6~7%）的焦炭粉、无烟

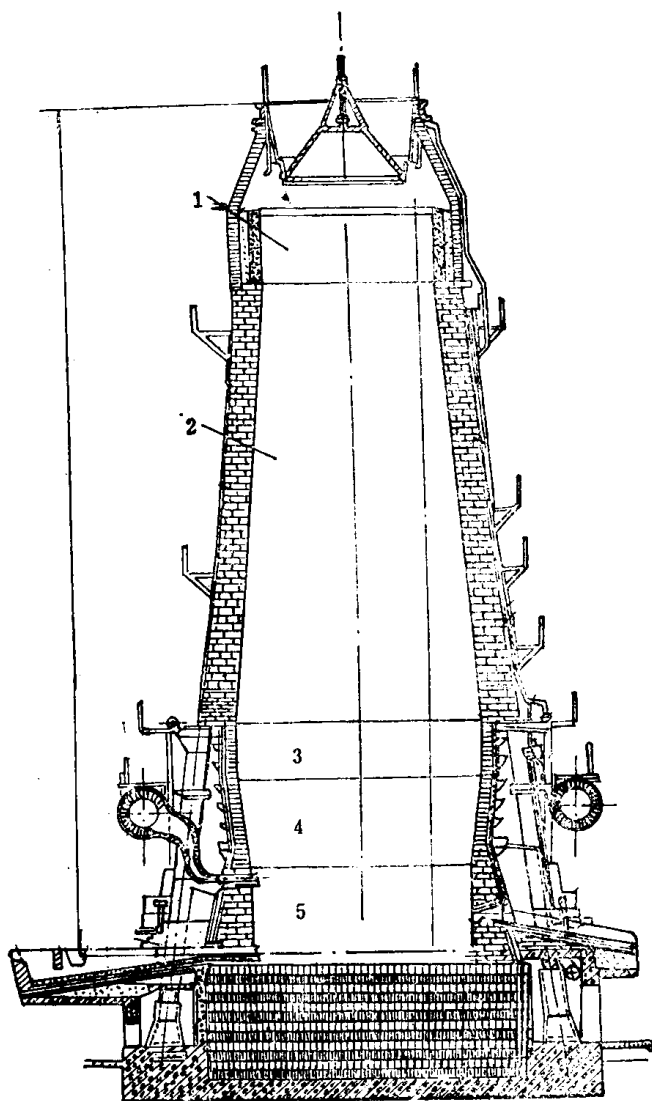


图 1—1 高炉结构

1 —— 炉喉； 2 —— 炉身； 3 —— 炉腰； 4 —— 炉腹； 5 —— 炉缸。

焦粉%	脱水焦油%	软沥青%	硬沥青%
80~85	12~15	3~6	—
82~86	4~5	0~5	8~10

使用硬沥青后，碳捣料的强度和裂纹都有改善，但使用量大时，则必须提高捣固时的温度。碳素捣固炉衬在打结后，用 $1,000^{\circ}\text{C}$ 的温度进行焙烧，其体积密度可降低 $8\sim 10\%$ ，气孔率为 $25\sim 30\%$ ，线收缩率为 $0.3\sim 0.7\%$ ，抗压强度为 $150\sim 250$ 公斤/厘米²。

碳捣料的价格便宜，故很适宜于普遍使用。

二、高炉附属设备

(一) 装料设备

现代高炉，装料都采用机械化和自动化，大大减轻装料工作的体力劳动。我国新建的包钢和攀钢，改建扩建的武钢、首钢和鞍钢所有的高炉，都采用了机械化和自动化的装料机构。

装料机构有几种，目前采用较多的一种是双料钟式，如图 1—2 所示。炉料首先由料车

煤粉、石墨粉、粘结剂（煤焦油、沥青等）组成的。

碳素耐火材料具有以下几个优点：

(1) 耐火度高，可达 $3,900^{\circ}\text{C}$ （而一般粘土耐火砖仅 $1,700^{\circ}\text{C}$ ）。

(2) 荷重软化点高达 $2,000^{\circ}\text{C}$ 以上。

(3) 抗渣性好，不沾铁渣，使炉渣侵蚀与结痕减少，适用于侵蚀性高的矿石冶炼。

(4) 导热性好，即使在使用发生局部裂纹时，铁水和熔渣也会冷凝于裂缝中，消除了炉缸烧穿的危险。

在使用时，可将碳素耐火材料制成各种尺寸的耐火砖，但我国也常采用碳素捣固炉衬，尤其是用在修补炉衬时，既快速又方便，它的缺点是，只有在使用中经过加热强度才能提高，但由于加热收缩又容易引起开裂。

目前用的焦粉与粘结剂的配比有两种：

倒入可以旋转的小料钟内，每倒一次小料钟旋转 60° 并自动地向下开启，使炉料落入大料钟内，然后关闭，这样装料六次以后，大料钟开放，炉料便均匀地落到炉内四周。

目前世界上先进的是无料钟炉顶（我国首钢新二高炉就采用自己设计的无料钟炉顶装置）。双料钟式尚存一些缺点。一个大钟一般重几十吨，使用寿命短而且密封性差，限制了炉顶压力的提高，提高炉顶压力是增加高炉产铁量的重要因素。1972年西德第一个无料钟装置建成投产到现在已有十几个国家采用了这项新技术。

我国首钢设计的无料钟炉顶装置，采用积木式结构，易拆易装，传动系统中采用“首钢71型”蜗轮副。新二高炉无料钟炉顶布料方式灵活，可改善高炉煤气利用，炉顶压力提高，设备重量比双料钟炉顶轻，节省了建设投资，还为高炉增产提供了有利条件。

（二）热风炉

在高炉冶炼中，为了使高炉能得到更高的温度和热量，节省燃料的消耗，以及充分利用煤气的热量，常利用高炉煤气在热风炉中将空气加热到 $900\sim 1,200^{\circ}\text{C}$ ，而后再鼓入高炉。

热风炉有几种，目前采用较多的一种是蓄热式热风炉，如图1—3所示。蓄热式热风炉是一个圆柱形的炉体，外面是钢板外壳，内部用耐火砖砌成二间，一间为燃烧室，一间为蓄热室，炉顶为圆形。煤气混合空气后在燃烧室内燃烧，废气经蓄热室通到下部烟道，再由烟囱排出。燃烧所产生的热量加热了蓄热室，当它被加热到 $1,300^{\circ}\text{C}$ 左右时，从蓄热室下部通入冷风。冷风经过蓄热室时取得热量而变成热风。热风从燃烧室鼓出，通过环形风管进入高炉。

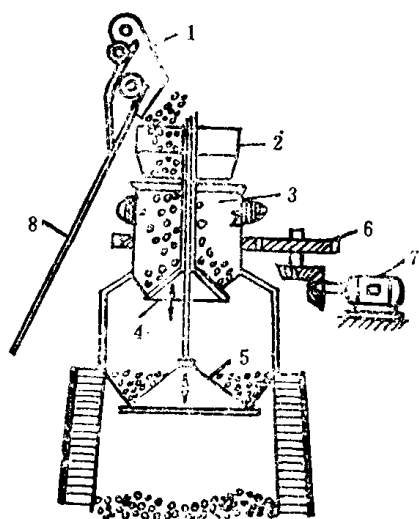


图1—2 高炉装料机构示意图

1——料车；2——料斗；3——漏斗；4——小料钟；
5——大料钟；6——传动机构；7——电动机；8——斜桥。

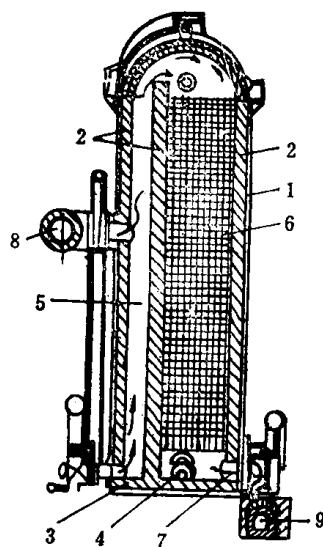


图1—3 热风炉剖面图

1——炉壳；2——耐火炉衬；3——煤气管；
4——空气管；5——燃烧管；6——格子房；
7——废气管；8——热风管；9——烟道。

由于蓄热室加热到 $1,300^{\circ}\text{C}$ 左右，需要2小时左右，而冷空气加热工作只需1小时，所以一般高炉需要三个热风炉同时工作，两个加热一个用来供应热风，轮流交替，这样才能保证热风的不断供应。

顶燃式热风炉（旧式为内燃式），结构均匀对称，适合于高温高压，在相同炉壳直径条件下，可增加蓄热面积三分之一，有利于提高热风温度。

（三）其它附属设备

1. 铸铁机和混铁炉

高炉铁水可以送到铸锭车间，在铸铁机上铸成生铁锭，也可以直接送到炼钢车间炼钢，或送到铸造车间铸造。

铸铁机（图 1—4）为一条循环移动的金属传送链，链上装有很多金属模型。从铸铁机的一端，把铁水注入金属模中，传送链带着注满铁水的金属模向前移动，铸锭逐渐冷却，同时喷射出冷水使其加速冷却。当注满铁水的金属模移到铸铁机另一端时，已凝固的生铁锭便自动的倾出，落入运铁车内送到存储地点。为防止铁水与金属模发生粘结，使生铁锭不能自动倾出，空的金属模在返回过程中须先经过喷射石灰水处理，然后才能重新浇注。

送到炼钢车间的生铁水，由于与炼钢炉的工作可能产生不协调的情况，因而需要利用混铁炉将它暂存起来。混铁炉如图 1—5 所示，具有很大容积，其容量大者可达 1,500 吨。它需要高炉煤气或焦炉煤气进行加热。高炉每次放出的不同温度，不同成分的铁水在混铁炉中混合后，可使其温度和成分趋于一致。同时，由于高温铁水的长时间存放，使铁水中所含的硫逐渐变成硫化钙而进入渣中，因而利用混铁炉还可以减少铁水中的含硫量。

送入铸造车间的生铁水，直接浇注于铸型中铸成生铁配件。

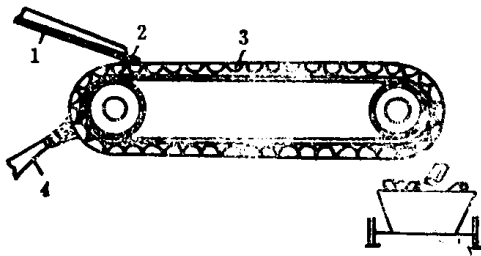


图 1—4 铸铁机

1 —— 槽； 2 —— 铁水；
3 —— 金属模； 4 —— 喷洒机。

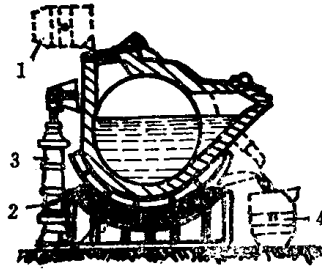


图 1—5 混铁炉

1 —— 往混铁炉注入液体生铁的盛铁桶； 2 —— 支持炉身的回转轴； 3 —— 转动炉体的机构；
4 —— 将液体生铁送去炼钢的盛铁桶。

2. 除尘设备

高炉煤气（发热量一般为 800~900 千卡/标准米³）可作热风炉、锅炉、炼焦炉和各种加热炉的燃料。但是从高炉引出的煤气，含有大量炉尘，一般为 10~40 克/标准米³。煤气中的炉尘会把管道、燃烧设备等堵塞，使热风炉的格子砖和加热炉的耐火砖衬渣化和导热性恶化。因此，高炉煤气必须除尘。高炉煤气的除尘可分为粗除尘、半精细除尘和精细除尘，它们是依次进行的。

粗除尘的设备包括重力式除尘器（第一除尘器）和离心式除尘器（第二除尘器）。粗除尘后，煤气含尘量可降低到 1~4 克/米³。除尘率可达 80~90%。

重力式除尘器（如图 1—6）为一圆筒形容器，除尘原理是在煤气流速度降低和方向改变的情况下，炉尘因重力的作用即脱离气流，而沉降于除尘器的底部。

离心式除尘器（如图 1—7）构造与重力式除尘器大致相同，但煤气系沿切线方向进入，并在器内作回旋运动，因而使炉尘具有离心力。当炉尘与器壁碰撞时便失去了动能。又因重力作用而落到底部。

半精细除尘的设备为洗涤塔，它是一个圆柱形高塔，内部常装有许多层木格子，各层木格上设有许多喷水龙头，将水不断地喷成细滴。煤气由塔的下部导入，在上升过程中，炉尘被水湿润而随水流下，经塔底的水封排出。经过洗涤塔后，煤气含尘量可降低到 0.5~1.0

克/标准米³。

精细除尘的设备还有洗涤机，文式管，静电除尘器和袋式过滤器。最近我国采用先进的脉冲袋式除尘器除尘。

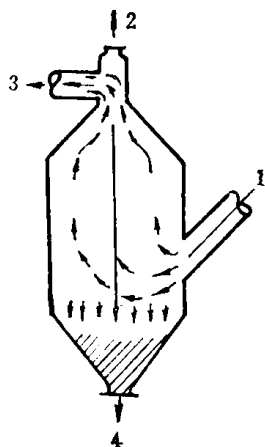


图 1-6 重力式除尘器

1 —— 高炉来的煤气；
3 —— 送往精细除尘之煤气；

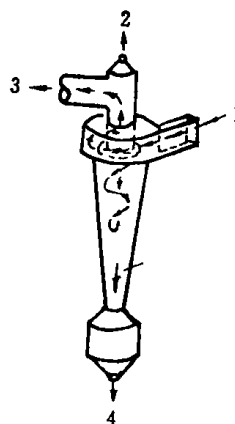


图 1-7 离心式除尘器

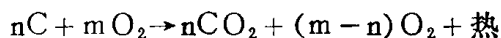
2 —— 煤气放入大气；
4 —— 炉尘卸入车箱。

第三节 高炉冶炼的理化过程

高炉冶炼的目的，就是要把铁从铁矿石中还原出来，同时去除其中所含的杂质。所以整个冶炼过程中，最主要的是进行铁的还原反应以及造渣反应。除此之外，还伴随着其它一系列复杂的物理化学反应，如：水分及挥发分的蒸发，碳酸盐的分解，铁的碳化和熔化，以及其它各种元素的还原等，而这一系列的反应，都只有在一定的温度下才能实现。因此冶炼过程还需要有燃料的燃烧来作为必要的条件。

一、燃料的燃烧

燃料的燃烧是高炉冶炼所需要的热能的主要来源，它集中在炉缸及风口区域（即氧化区）内进行。即赤热的焦炭降落到炉缸区域风口附近时，遇到鼓入热风中的氧，便迅速发生燃烧，使炉温升高：



简易式： $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 97,650 \text{ 千卡}$

反应产物中的氧气系反应过剩的，这部分氧气随着炉气的上升而逐渐地减少，最后将完全消失。随着 O_2 的减少和消失， CO_2 也逐渐地消失，因此大约在 $1,000^\circ\text{C}$ 以上的区域内， CO_2 便要赤热的C还原：



反应所生成的炽热的CO炉气，逆着下降的炉料而上升，一面加热炉料，一面还原炉料中的铁矿石。

图 1-8 中表示了高炉内温度的分布情况。从图中可以看出，由于风口附近燃料燃烧的