



高等学校試用教科书

金属工艺学

JINSHU GONGYIXUE

上册

西安交通大学
哈尔滨工业学院
北京工业学院
等校編

人民教育出版社

高等学校試用教科書



金 屬 工 艺 学

JINSHU GONGYIXUE

上 册

西 安 交 通 大 学
哈 尔 濱 工 业 大 学
北 京 工 业 学 院
南 京 工 学 院
等 校 編

人 民 教 育 出 版 社

本书内容系选自南京工学院、北京工业学院、西安交通大学、哈尔滨工业大学等校的讲义，于1961年3月间，经西安交通大学、哈尔滨工业大学、北京工业学院、清华大学、天津大学、上海交通大学、北京航空学院、华中工学院、西北工业大学等校金属工艺学教研组的有关教师，进行了适当增删选编而成。

全书共六篇分上、中、下三册出版。上册内容为冶炼，金属性质及铸造。中册内容为压力加工及焊接。下册内容为金属切削加工。

上册包括一、二、三篇。第一篇为冶炼。本篇主要内容选自南京工学院的讲义，全篇简要地阐述了炼铁、炼钢和有色金属（铜、铝）的冶炼实质。并适当地介绍了各种不同冶炼方法对金属性能的影响。第二篇为金属性质。本篇主要内容选自西安交通大学的讲义，并参考哈尔滨工业大学的讲义选编而成。全篇扼要地阐述了金属的各种性能，结晶过程，状态图和热处理的概念，以及金属材料分类、牌号及应用等内容。第三篇为铸造生产。本篇主要内容选自北京工业学院的讲义，并参考西安交通大学讲义作了部分补充和删减。本篇全面地叙述了铸型工艺，金属的铸造性能，常用铸造合金及其生产特点，以及特种铸造和铸件设计的工艺性等问题。

本书可作为高等工业学校机械类专业“金属工艺学”课程的试用教科书，也可供其他专业师生及有关工程技术人员参考。

金 属 工 艺 学

上 册

西安交通大学、哈尔滨工业大学、北京工业学院、南京工学院等校编

人民教育出版社出版

高等学校教学用书编辑组
北京宣武门外大街27号

（北京市书刊出版业营业许可出字第2号）

京 华 印 书 局 印 刷

新华书店科技发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 35010·104 开本 787×1092 1/16 印张 9

字数 194,000 印数 00001—22,000 定价（7）¥ 0.90

1961年8月第1版 1961年8月北京第1次印刷

緒 論

1960年，全国人民繼續高举党的总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗，在1958年和1959年偉大跃进的基础上，取得了国民經济持續跃进的胜利。由于連續三年的大跃进，我国工业生产水平已經大大提高。鋼产量已从1957年占世界第九位上升到第六位。煤产量已从第五位上升到第二位。工业的物质技术基础已經大大加强，机床拥有量和工程技术人员都比1957年增长了一倍多。工业总产值过去三年中平均每年的增长速度达到百分之四十以上，比第一个五年計划期間平均每年增长率提高了一倍多。三年的持續大跃进，生动地表明了“国民經济以农业为基础，以工业为主导，使优先发展重工业与迅速发展农业相結合”的方針的无比威力。

在国民經济迅速发展的过程中，机械制造业起着重要的作用。

机械制造业在国民經济的重要地位表现在以下几方面。

第一、农业是国民經济的基础，要高速度地发展农业，就必须逐步实现农业的技术改造，用机器及各种新技术装备农业。在农业的迅速发展中，要充分發揮工业支援农业的作用。另外今天正千方百计地提高国民經济各部門的劳动生产率，以便节约更多的劳动力支援到农业第一綫上去，加强农业战綫，这也就同样要求所有經济部門，不断地提高机械化程度。将来，当农业的机械化程度和生产水平大大提高了，就能够反过来为国民經济所有部門提供充足的劳动力，使我們的事業不断地发展。

第二、要在国民經济中加速积累，扩大再生产，就必须保証生产資料的增长速度高于生活資料的增长速度。机器設備作为生产資料的重要部分，它的产量和质量显然在現代工业中有重要地位。各种工业部門都离不开机器，例如采掘机械、运输机械、化工机械、紡織机械，以及冶金設備、科技仪器等等。只有机器生产能满足各部門的要求了，工业生产的发展才能得到保証。

第三、机械制造业的发展还与国防現代化有密切关系。

当然，机械制造业的发展不是孤立地进行的。而是按照工业以鋼为綱、农业以粮为綱、全面跃进的方針，既是高速度，又是按比例地发展的。机械工业的原料是由冶金工业供給的。机械工人所需要的粮食是由农业供給的，它的大部分劳动力来自农村。此外，与机械制造业的供、产、銷、运有关的部門也非常多。所以机械工业支援其他部門的工农业生产，同样也受到其他許多經济部門的有力支援。

金屬工艺学是一門工艺性质的基础技术課，它的内容与机械制造的整个工艺过程密切相关。学习金屬工艺学的目的之一是使同学获得从金属材料至制成机器的全面的工艺知識与工艺理論，为进一步提高与探索机械設計与制造的某方面專門問題打下良好的基础。所以，金屬工艺学課程中必需包括整个机械制造的一般过程与加工方法，并对机械制造过程的概况和我国当前的情况有所了解。

我国历代劳动人民对冶金技术和机械制造方法上积累了丰富的經驗，有过輝煌的成就。

根据历史上記載和現今发掘的出土文物証明：我国早在上古新石器时代就已經有了銅。目前的文化遺存中仰韶文化系統和龙山文化系統的遺存，都是汉族祖先在原始公社制社会的开化时代的遺存，这段时期相当于傳說中的“黃帝”到“堯”“舜”时代。而龙山文化已有銅器出土。証明了新石器时代就能冶銅。^① 到殷朝（紀元前 1736—1122 年）我国銅的冶炼、鑄造及其加工等方面已相当发达了。不久前在河南安阳附近殷墟中发掘出大量銅器，其中有銅簇、銅刀、銅鍋、銅戈、銅鼎等，上面刻有花紋，并很精致，此外还有許多甲骨文。在殷墟中还发掘出好多銅冶炼場的遺址，在这些地方，发现有銅器碎块、木炭、將軍盔（即炼銅炉）每次可炼銅达 12.5 公斤。根据出土文物，我們可以断言，我国在紀元前 1700 年左右，冶銅工业就已很发达。

到周、秦、战国时代，我国已大量开始了炼鉄。

中国科学院古物研究所在 1950 到 1952 年三次发掘河南輝县的战国时代古墓中发现了大量的鉄器。在一个大的古墓中就发掘出鉄犁、鉄鏟、鉄鋤、鉄鍬、鉄斧等鉄制工具和兵器共有 140 件，这些鉄器形式完整，銹蝕程度不到本器体的五分之一。又在此墓旁一个大灰坑中发掘出各种鉄器 99 件。这有力地証明，战国时（紀元前 400 年）我国已普遍应用鉄器了。

在河北兴隆还发掘出很多鑄鉄鋤范，銹蝕情况很少，这也証明我国早在战国时代鑄鉄工业就已相当发达。根据这些实物足以証明我国比世界其他国家早一千多年就由銅器时代轉入鉄器时代了。

此外战国时我国制劍技术已很高明，“干将”“莫邪”等名劍是人所周知的。

到汉朝我国已出現了不少简单的机械，并且有了金屬的机件，如湖南衡阳出土的人字齿輪，証明是东汉时的产物，这些人字齿輪，制作已相当精致，彼此咬合很好。

明朝崇禎年間（1611—1644 年）江西奉新人宋应星著“天工开物”一书，內載有冶鉄、炼鋼、鑄钟、鍛鉄、造炮、淬火等各种金屬加工工艺。足以証明我国早在十六、十七世紀时，在金屬冶炼及加工方面均已有了很高的技术成就。^②

但是由于我国长期处于封建社会的制度下及近百年来帝国主义的入侵，生产关系非常落后，从而严重地阻碍着生产力的发展。因此，古代劳动人民的創造沒有得到发揚，生产水平处于极端落后的状态。全国解放时鋼的年产量仅仅有 15.8 万吨，鉄 25.2 万吨。沒有独立的机械制造工业，有些小的机械制造工厂只能做些修修配配的工作，所有的机器设备几乎全賴进口。

可是，解放了的中国人民在中国共产党和毛主席的英明领导下，在苏联及其他兄弟国家的有力支援下，經過十一年的艰苦奋斗，已經在社会主义革命和社会主义建設方面取得了輝煌的成就。到 1960 年底，鋼产量达到了 1845 万吨，較解放时增长了 116 倍。一个以鋼鉄和机械为中心的，大中小型企业相結合的，地区分布比較合理的全国完整的工业体系，正在形成。这些都充分地証明了我国社会主义制度的无比优越性。

机械制造工业和其他工业部門一样。十一年来有了重大的发展。目前，在机械工业中的职

① 本段可参考人民日报 1961 年 4 月 23 日：“从远古文化遺存看我国各民族的历史关系”一篇。

② 有关中国古代劳动人民成就的叙述，是根据北京鋼鉄学院石心圖教授“中国古代冶金”科学报告的資料編写的。

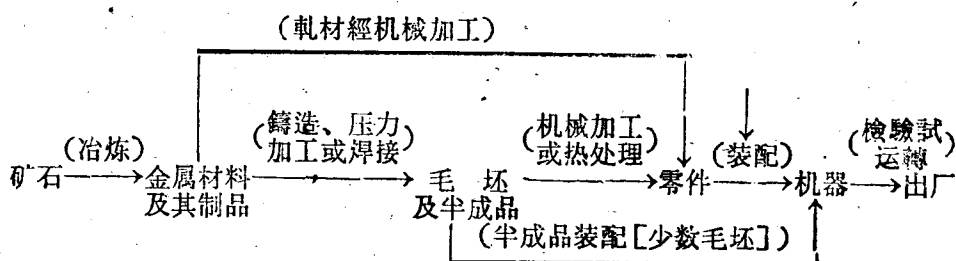
工人数已经从解放时的 30 多万人增长为 1958 年的 300 万人以上。增加了几十个过去没有过的制造行业。到 1959 年底,冶金设备产量达到了 13 万 2 千吨,超过了原定 1962 年 3—4 万吨的指标,动力机械产量达到了 252 万马力,超过了 170 万马力的规定指标。其他如水泥设备,金属切削机床等等,也都提前三年达到或超过了原定在第二个五年计划到 1962 年完成的指标。到 1959 年,机器设备的自给能力达到了百分之八十以上。

在贯彻了大中小企业同时并举的方针以后,机械工业不仅已经建立起来了一系列的具有现代技术水平和装备的大型企业,如长春第一汽车厂,洛阳第一拖拉机厂,武汉重型机床厂等。而且由于各省、市、县及人民公社也都大办工业。中小型的机械工业已经遍地开花。机械工业基本上形成了一个完整的体系。它已经能够担当起进一步发展工农业生产的基础。

自从开展了技术革命的群众运动以后,机械工业的面貌又起了根本的变化。从一般的操作方法和工具设备的局部革新,发展到了整个生产线、生产平面布置的大革新,并向尖端技术进军。据 1960 年初统计,全国已出现了 1300 多条自动生产线及自动流水线,8300 多台单机自动化设备^①。我国工人阶级在大跃进中所创造的土办法、土设备,如泥型铸造,蚂蚁啃骨头,积木式机床等,已经超出了“土”的一般意义而成为我国独特的技术成就。我国已能自制 1513 米³ 的高炉; 72500 瓩的水轮发电机;精密度达 0.005 毫米的坐标镗床;新型汽车、机车;喷气式飞机等。

机械制造业是国民经济的重要组成部分。而且机械制造业本身由于机器种类繁多,大小相差悬殊,精密程度不同而划分成许多部门,在这些部门中机械制造的过程及方法也是很不相同的。可是它们的一般规律是相似的。大概过程也是类同的。

机器设备及其他产品,大部分都是由金属及其合金制成的零件装配而成的,机器制造的过程大体如下图所示:



金属材料及金属合金应用最多的是铸铁、钢、铜、铝及其合金。它们是从天然的化合物——矿石中提炼而成的,从矿石冶炼而成的金属材料经过铸造、压力加工或焊接的方法制成类似零件形状的毛坯或部分零件。所谓铸造是把熔化的金属,浇注到中空铸型内,冷却凝固后而成毛坯;

^① 以上数据摘自红旗1960年第7期赵尔陆著“机械工业技术革命运动的新高潮”。

压力加工则是利用金属在外力作用下产生变形以获得所需的形状；焊接是使局部金属成为熔融或塑性状态后固定连接成为整体的方法。这三种方法都可以使金属材料加工而为毛坯或零件。选用三种方法中的哪一种或哪二种(如鍛焊联合结构)都要考虑到金属材料的工艺性质、机器零件的使用要求(設計要求)以及工艺方法的难易程度。到目前为止，上述三种方法主要地还是作为毛坯制造方法。但随着技术水平的提高，鑄、压、焊的制造精度大大提高了，精密鑄造、精密鍛造后制成的零件可直接作为零件进行装配，当然，它的应用范围是受技术条件和设备的限制的。作为普通的情况，上述三种方法制成的毛坯表面粗糙。尺寸形状都不很准确。因此，大多数零件还需经过金属切削加工，利用切削工具，将毛坯上切下一层多余的金屬(毛坯制造时預先增大了尺寸)，而获得一定尺寸，形状及表面质量的零件。为了改变金属材料的性质，某些重要零件还要经过热处理。最后获得的各种零件经过装配就可成为机器。如果零件制造时达到了設計要求，而且合理地进行装配，那么制成的机器才能符合設計时所預定的质量及性能要求。机器经过檢驗試运转，証明合格后即可出厂。

以上所述系机械制造的大致过程。实际上机械制造的过程与方法是随着很多条件而变化的，发展的。其中差别很大。

首先，随着产品的多样性——产品的大小、形状、性能、精度、作用等，各种工艺方法也随着发生变化，如桥梁是结构件，那么桥梁厂的主要加工方式就是焊接，在这种工厂里几乎很少见到其他金属材料的加工方法。轴承厂生产的轴承由于精度非常高，这种厂里的磨床几乎占了一半。可見，随着产品的不同，机械制造方法的差异很大。

其次，为了不断提高产品质量、提高劳动生产率及降低制造成本。上述制造方法都有重大的发展。目前，一般作为毛坯制造方法的金属加工方法，例如压力加工，已經可以代替一部分机械加工，而获得精确的零件。如以加工螺钉为例。第一种方法是在自动切削机床上用六角棒料切削制螺钉，第二种方法是用圆柱棒料在自动冷墩机上用无屑加工方法(冷墩成六角头后用滚压法滚制螺纹)加工螺钉。結果，无屑加工(压力加工的一种)不仅可节约金属，而且比自动車床还提高生产率18倍(以M10螺钉为例)。当然，从优质高产及低成本三方面出发，各种加工方法都有其本身的巨大发展前途。

但是，不能把各种工艺方法孤立地来看，实际上，各种加工方法不仅紧密地联系着而且可随着一定条件互相转化。例如用无屑加工代替冷加工，用球墨鑄鉄代替鍛件(鋼料)无不在一定的设备及工艺条件等因素的影响下发生变化。

設計与制造机器的技术干部，除了对本門业务应该精通以外，还必须具备金属如何获得，性质如何，通过怎样的方法把金属加工成为零件以及将零件装配成机器的全面的工艺知識。在党的方針政策的指导下，用全面的工艺观点来选择机器的制造方法，在設計机器时正确地考虑制造問題，了解自己专业在整个机器制造业中的地位及与其他部門之間的連系。党对我们技术干部提出的要求是又紅又专，既能动脑又能动手。因此，除了精通本身业务以外，还必须具有广博与巩固的基础理論与基础知識，其中包括工艺基础理論及工艺基础知識。

金属工艺学作为一門工艺性质的基础課，它的任务是使同学对常用金属材料、机械制造过程

和零件的加工方法，具有全面的工艺知識。

本課程由下列几部分組成：

第一篇为冶炼 研究从矿石提炼金属的基本过程；合理地冶炼优质金属的概念；各种不同冶炼方法所炼金属的性质及应用范围。

第二篇为金属性质 讲述在机械制造业中常用金属材料及合金的主要性质；金属及合金的结晶构造及組織，成分和温度与合金組織的关系；以及热处理对合金性质的影响等概念。本篇内容是工艺基础理論，可作为学习“鑄造生产”、“压力加工”和“金属焊接与切割”的基础。

第三篇为鑄造生产 讲述現代鑄造的各种合理方法；所用的设备及設計鑄件的原則等知識。并且适当地作了工艺分析比較。

第四篇为压力加工 讲述金属的变形；金属的加热、輾軋、拉絲和冷冲压等制造坯料的概念；鍛件及冲压件的合理的加工方法；所用的设备及工具以及用压力加工制造零件的設計原則等知識。

第五篇为金属焊接与切割 讲述焊接的基本方法；焊接工艺；焊縫的缺陷及其消除方法；焊接所用机器设备和工具以及設計焊接件的原則。同时讲述金属的切割方法。

第六篇为金属切削加工 讲述金属材料切削加工的各种合理方法；金属切削机床的构造；刀具、量具、夹具的结构及其与工艺的关系。各种加工方法的选择、分析与比較。零件加工过程及机器装配方法。以及切削加工零件的設計原則。

以上各篇內容有其相对的独立性，但在机械制造过程中又是互相紧密地联系着的。

由于本課程是工艺性质的課程，它的工艺方法与內容、设备与工具等是和当前的生产实际密切相联系的。因此課程內容上应尽可能地反映当前国内的生产水平，及时地反映大跃进的成就。

教育革命的主要成果之一是教育与生产劳动相結合。低年級同学的工业劳动除了为实现知識分子劳动化的目的以外，也为金属工艺学的学习創造了理論联系实际的良好条件。金属工艺学在学习过程中，同学们應該将現場劳动所获得的感性知識加以系统化，总结，加深、提高。并且运用金属工艺学所学到的知識以指导生产劳动，培养和提高解决实际問題的能力。

总之，机械制造业在国民經济中有着重要的地位。作为将来从事于机械設計与制造方面的技术干部，應該具备工艺方面的全面的基础知識，并且培养自己具有一定的运用这些知識以解决实际問題的能力。学习方法必須是理論联系实际的。并且尽可能与生产劳动結合起来。金属工艺学作为工艺性质的基础技术課，担负着上述这些光荣任务。

目 录

緒論	v
----------	---

第一篇 冶煉

概述	1
----------	---

第一章 炼鉄	1
--------------	---

§ 1. 炼鉄原料及耐火材料	1
§ 2. 高炉及其附属设备	3
§ 3. 高炉中的物理化学变化	5
§ 4. 高炉产品	6
§ 5. 高炉冶炼的技术经济指标	7

第二章 炼鋼	7
--------------	---

§ 1. 轉炉炼鋼法	7
§ 2. 平炉炼鋼法	10
§ 3. 电炉炼鋼法	13
§ 4. 联合炼鋼法及混合炼鋼法概念	15
§ 5. 鋼的浇注	16

第三章 有色金屬的冶炼	18
-------------------	----

§ 1. 炼銅	18
§ 2. 炼鋁	19

第二篇 金屬性质

概述	22
----------	----

第一章 金屬及合金的性能	23
--------------------	----

§ 1. 金屬及合金的物理和化学性能	23
§ 2. 金屬及合金的机械性能	24
§ 3. 金屬及合金的工艺性能	25

第二章 金屬的結晶构造及結晶过程	23
------------------------	----

§ 1. 金屬的結晶构造	23
§ 2. 金屬的結晶过程及鑄錠构造	26
§ 3. 合金的构造	30
§ 4. 二元合金状态图	31

第三章 鉄-碳合金	33
-----------------	----

§ 1. 鉄-碳合金状态图	33
§ 2. 碳素鋼的性能及用途	36
§ 3. 灰口鑄鉄	37

第四章 鋼的热处理	33
-----------------	----

§ 1. 鋼的退火和正火	39
§ 2. 鋼的淬火	40

§ 3. 鋼的回火	41
-----------------	----

§ 4. 鋼的化学热处理	42
--------------------	----

第五章 常用的金屬材料	43
-------------------	----

§ 1. 碳素鋼及合金鋼	43
§ 2. 鑄鉄	48
§ 3. 有色金屬及其合金	50

第三篇 鑄造生产

概述	55
----------	----

第一章 砂型鑄造	57
----------------	----

§ 1. 制造模型及芯盒的材料	57
§ 2. 模型和芯盒的设计原理	57
§ 3. 木模制造工艺	60
§ 4. 金屬模及模型板的制造概念	62
§ 5. 型砂及芯砂应具备的性能	63
§ 6. 原始造型材料的性质	64
§ 7. 型砂及芯砂的分类及成分	66
§ 8. 型砂及芯砂的制配及所使用的设备	67
§ 9. 鑄型的制造工艺	69
§ 10. 造型机及其工作原理	73
§ 11. 浇注系統	75
§ 12. 型芯的制造	76
§ 13. 鑄型及型芯的烘干	76
§ 14. 合箱	78

第二章 合金的鑄造性能	79
-------------------	----

§ 1. 流动性	79
§ 2. 收縮	80
§ 3. 偏析	81

第三章 鑄鉄件的制造	82
------------------	----

§ 1. 灰鑄鉄的性能及牌号	82
§ 2. 鑄鉄的显微结构及其影响因素	83
§ 3. 高强度的灰鑄鉄	85
§ 4. 鑄鉄作用的熔化工料及配料計算	89
§ 5. 鑄鉄的熔炉及其熔化	89
§ 6. 白口鉄变灰口鉄	92
§ 7. 鑄型的浇注	94

第四章 鑄鋼件的制造	96
------------------	----

§ 1. 鑄鋼的分类及应用	96
§ 2. 鑄鋼熔炼设备的選擇	97
§ 3. 鑄鋼件的造型特点	98
§ 4. 鑄鋼件的热处理	100

第五章 有色金屬合金鑄件的制造	101	§ 4. 压力鑄造	111
§ 1. 銅合金	101	§ 5. 离心鑄造	113
§ 2. 銅合金的熔化原料和配料計算	102	§ 6. 熔模(精密)鑄造	115
§ 3. 銅合金的熔炉及其熔炼	102	§ 7. 其他特种鑄造方法	116
§ 4. 銅合金鑄件的造型特点	103	§ 8. 鑄件生产方法的选择	119
§ 5. 鋁合金	103	第七章 鑄件的清理和檢驗	120
§ 6. 鋁合金的熔化原料	104	§ 1. 鑄件的取出和清理	120
§ 7. 鋁合金的熔炉及其熔炼	104	§ 2. 鑄造生产的技术檢驗	124
§ 8. 鋁合金鑄件的造型特点	105	§ 3. 鑄件的缺陷及其产生的原因	125
§ 9. 鎂合金及其鑄造特点	106	§ 4. 鑄件缺陷的修补	127
§ 10. 鋅合金及其鑄造特点	106	第八章 鑄件設計的工艺性	128
第六章 特种鑄造方法	107	§ 1. 鑄件設計的原則	128
§ 1. 金屬型鑄造	107	§ 2. 鑄造合金对鑄件設計的影响	131
§ 2. 石墨型鑄造	110	§ 3. 鑄造方法对鑄件形状的影响	133
§ 3. 冷硬鑄造	110		

第一篇 冶煉

概 述

金屬的冶煉是从天然的矿石中提炼金屬以及进一步的加工,使其具有一定的机械、工艺及物理性质。

在工业上应用的金属分为两大类:黑色金属及有色金属。黑色金属主要是鋼和鉄。由于鉄矿在地壳中儲藏量丰富,冶煉也較方便,且鋼鉄具有許多良好的性能,因此在近代工业上应用广泛。有色金属在工业上应用最多的是銅、鋁及其合金。

冶金工业在整个国民經济中有着重要的地位。工业的核心是鋼鉄和机械的生产,而机械工业的发展在很大程度上依赖于鋼鉄工业的发展。

我国是使用金属最早的国家之一,有些生产方法直到今天还有着极其重要的价值。

我国現代鋼鉄工业的发展始于1890年創办的汉阳煉鉄厂。但直到解放前夕,鋼鉄年产量一直是很少的。在解放前这一段約60年時間內,开采的鉄矿大部被运往国外。鉄的产量很低,鋼的产量很少。旧中国从1890年到1949年半世紀多的時間內一共約生产760万吨鋼。

解放后在党的英明领导下,广大的劳动人民都发挥了极大的积极性和創造性。

1960年,不但在鋼的产量上比解放初增加了百余倍,并且一个完整的鋼鉄工业体系也初步建成了,在技术水平上也有了极大的提高。这样就为我国机械工业高速度的发展提供了有利的物质条件。

与此同时,我国的有色金属冶煉工业原为极端薄弱的一环,12年来也有着相应較快的发展,但从我国現代工业的要求来看尚未能完全滿足,还須作更进一步的努力。

第一章 煉鉄

除隕石外,純鉄在地壳中还未見到。鉄容易与其他元素化合,特别是与氧化合,因此鉄矿多以氧化物的形式存在。鉄矿中除鉄的氧化物外还含有其他元素的氧化物(SiO_2 , MnO , Al_2O_3 等)这些我們統称为脉石。煉鉄的任务就是使鉄从鉄的氧化物中还原,并使还原出来的鉄与脉石分离。

生鉄是用矿石和其他原料(燃料、熔剂)在高炉中熔煉而成的。

§1. 煉鉄原料及耐火材料

1. 鉄矿石

1) 种类

含鉄的矿石很多,而实际上用来煉鉄的矿石有四种。如表1-1所示。

我国具有丰富的鉄矿資源,矿区遍布全国,其中較大的有鞍山、大冶、包头等地。

表 1-1.

名 称	分 子 式	純 矿 含 鉄 量 %	实 际 含 鉄 量 %	顏 色	特 性
赤 鉄 矿	Fe_2O_3	70	50—60	紅	质松易还原, 冶炼方便
磁 鉄 矿	Fe_3O_4	72.4	45—70	黑	有磁性, 质坚細密較难还原
菱 鉄 矿	FeCO_3	48.3	30—40	淡 黄	較易还原
褐 鉄 矿	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	60	37—55	褐色或黑色	較易还原

2) 对矿石的要求

(1) 矿石的含鉄量要高 由于廢石的存在, 含鉄量在很大的范围内变动, 含鉄在 45% 以上的称为富矿, 含鉄小于 45% 的称为貧矿。貧矿必須經過选矿后才能进行熔炼。

(2) 矿石的还原性要好 影响还原性的最大因素是它的孔隙度, 孔隙度愈大, 还原性愈好。褐鉄矿、菱鉄矿质地都較松, 易还原。磁鉄矿則很难还原。

(3) 有害杂质含量要少 硫及磷都是有害杂质, 要除掉这些杂质必須消耗更多的燃料与熔剂, 占去很多炉子的容积, 因此必須要少。

3) 矿石在熔炼前的处理

(1) 破碎 矿石大小必須适中, 太大难还原, 因之必須用破碎机破碎。但破碎后的块度亦不宜过小, 否则会阻碍气体的通行, 并且随着炉气逸出。一般破碎到 15—100 毫米。

貧矿要先破碎, 而后进行选矿。

(2) 选矿 目的在于提高矿石含鉄量, 一般用下列二种方法:

a. 湿选, 用水或其他溶液使矿石中的含純矿物与脉石分离。

b. 磁选, 利用磁力分离含鉄矿物与脉石。用于磁鉄矿。

(3) 燒結或造球 选矿后的精矿粉及矿石破碎后所得的富粉矿, 必須进行燒結, 或造球。目的在于使粉矿造块, 以便于熔炼。燒結或造球是在專門的燒結机或圓盘造球机上进行的。

2. 燃料

高炉燃料应具备如下要求:

1) 发热量高。

2) 足够的强度, 否則在高炉中将被压碎, 而妨碍熔炼。

3) 足够的孔隙度, 保証充分燃燒。

4) 有害杂质硫、磷要少。

現代高炉均用焦炭为燃料。焦炭是碎烟煤在炼焦炉內隔絕空气加热到 1000—1100°C 而得到的。它的发热量为 6000—7000 大卡/公斤。其缺点为含灰分(7—13%)和含硫(0.4—1.3%)較高, 但其抗压强度可达 100 公斤/厘米², 能在高炉中支持料柱的压力而不破碎。

3. 熔剂

能促使矿石中的廢石及燃料中的灰分熔化, 并把它們从生鉄中分离出去的材料称熔剂。

1) 熔剂的作用

(1) 降低脉石熔点 脉石中的 SiO_2 及 Al_2O_3 的熔点都很高, 不易熔化。加入熔剂后可生成低熔点的化合物, 造成比重較鉄小的渣, 从而使脉石与生鉄相分离。

(2) 去硫 燃料中所带来的硫会熔入铁内而影响铁的质量。现利用硫易与钙相结合的特性,使其结合成 CaS 而进入渣中,从而将硫除去。

2). 熔剂种类

熔剂的种类与数量要看矿石中废石的成分及燃料中的灰分而定。假如废石的性质是酸性的(如含 SiO_2), 则应用碱性熔剂(石灰石, 白云石)。如果废石呈碱性(如含 MgO CaO 等), 则应用酸性熔剂(石英)。一般废石多为酸性, 故常用碱性熔剂。

4. 耐火材料

金属熔炼时, 都是在高温下进行的(高炉内局部温度可达 1800°C), 普通材料是不能承受这样高的温度的, 因此必须用耐火材料。耐火材料除了应具有很高的耐火性外, 还必须具有抵抗液体金属、炉渣、炉气对它的侵蚀的作用, 以及高温机械强度、热稳定性等。

耐火材料按其化学成分可分为酸性、碱性和中性三种。

酸性耐火材料有硅砖(含 SiO_2 94—96%)、石英砂等。

碱性耐火材料有镁砖、镁砂(含 MgO 81—94%)、白云石($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)、铬镁砖、铝镁砖等。

中性耐火材料有铬砖、高铝砖、耐火粘土砖及碳素材料等。耐火粘土砖由于产量丰富价格便宜, 因之为目前应用最广的耐火材料。耐火粘土砖的成分为 SiO_2 (50—60%)、 Al_2O_3 (42%) 及少量的 Fe_2O_3 , 按其耐火性可分为三级, 甲级熔点为 1730°C , 乙级为 1670°C , 丙级为 1580°C , 分别用于不同要求的地方。

§ 2. 高炉及其附属设备

1. 高炉构造

高炉是上下部较小, 中间较大的圆形竖炉, 内用耐火材料砌成, 外部包以钢壳。高炉是以对流方式进行工作的。燃料、矿石、熔剂从炉顶装入后, 逐渐下落, 在炉之下部进行燃烧, 所生成的废气逆着炉料上升。

图 1-1 是高炉剖面图, 主要部分有:

炉喉位于高炉最上部, 其上有加料设备 2, 另有排气管 3, 炉气由此排出。

炉胸 4 炉喉下部体积最大部分, 形状为上小下大的圆锥形, 便于炉料的下落。在此处完成熔化前的准备过程, 以及大部分氧化铁的还原。

炉腰 5 位于高炉中部, 为圆筒形。在此处完成铁的熔化及脉石的造渣。

炉腹 6 成圆锥形, 有支持炉料的作用。是焦炭燃烧的地带。

炉缸 7 其功用为集存铁水和炉渣。在炉缸上部有风口 8—12 个, 风口周围有环风管 15, 预

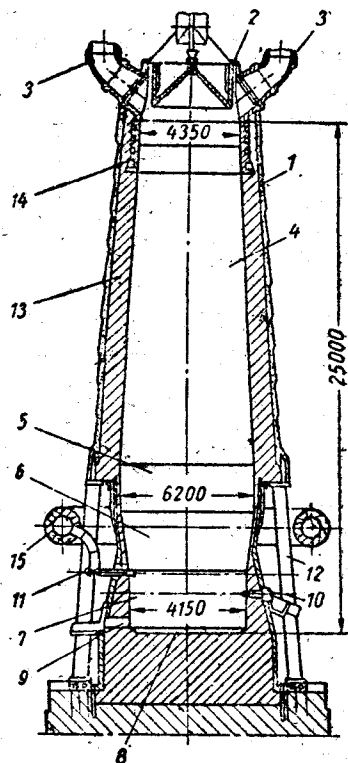


图 1-1 高炉剖面:

1—炉顶; 2—加料设备; 3—排气管; 4—炉胸; 5—炉腰; 6—炉腹; 7—炉缸; 8—炉底; 9—出铁口; 10—出渣口; 11—风嘴; 12—支柱; 13—炉壳; 14—铁圈; 15—环风管。

热过的空气通过环形风管经风口 11 进入高炉。风口下面有出渣口 10，在炉缸最下部有出铁口 9。

高炉的大小是按有效容积来计算的。有效容积指高炉大料钟下缘至出铁口中心线间的空间的体积。我国目前最大的高炉为 1513 米³ (有效容积)。苏联正在设计有效容积为 2700 米³ 的世界上最大的高炉。

1) 装料设备

现代高炉装料已全部机械化。图 1-2 即是现代高炉中的装料设备。炉料装在小车 1 内，小车由卷扬机使其沿轨道 8 运行到炉顶，把料倾入布料器内。布料器的作用是使得炉料均匀布置在炉内，并且防止炉气逸出。其运动过程是：炉料首先由小车 1 中被倾入接受料斗 2 内，再从料斗落到布料斗 3 中。在每倾入一次料之后，布料斗连同小料钟 4 转动 60°、120°、180° 等。然后小料钟下落，炉料就落到大料钟 5 上。当大料钟周围都布满了炉料后，使大料钟下落，炉料便落到高炉内。为了转动布料斗，而装置了电动机 7，和传动机构 6。

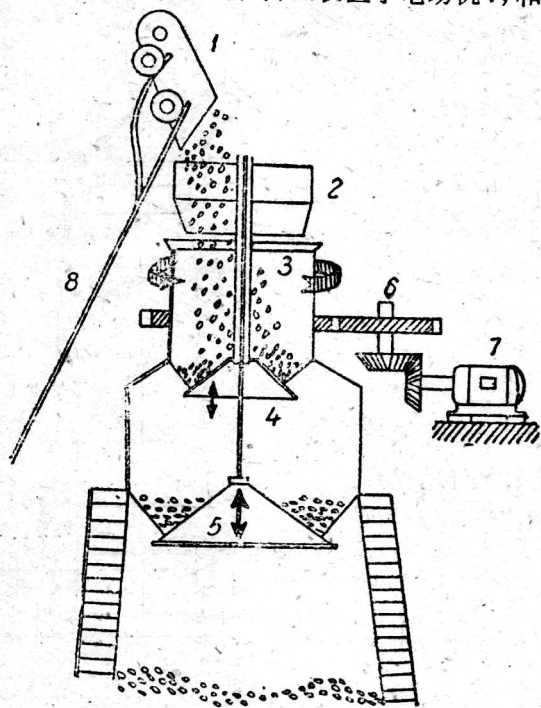


图 1-2 高炉装料布料设备。

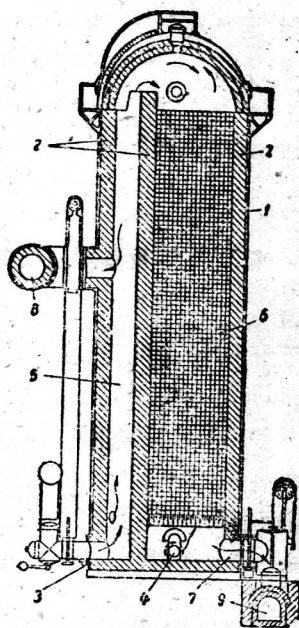


图 1-3 热风炉。

2) 热风炉

为了保证得到炼铁时所须的高温，改善高炉熔炼过程和节省燃料，因此预先把送入高炉的空气加热到 600—1200°C。加热空气的炉子叫热风炉。热风炉所用的燃料为高炉煤气。热风炉的构造如图 1-3 所示。

炉的内部是用耐火砖砌成的炉衬 2，外部是用钢板焊成的圆筒外壳 1。

煤气由煤气进口 3 进入到燃烧室 5 内进行燃烧，燃烧后的高温气体通过格子房 6 而使格子房温度升高。燃烧后之废气经通道 7 由烟道 9 排出。

燃烧 2 小时后, 格子房被加热到 $800-1200^{\circ}\text{C}$; 于是关上进口 3 和烟道 9。打开空气管 4 送入冷空气, 冷空气沿着格子房 6 上升, 吸收格子砖的热量, 被加热到 $600-900^{\circ}\text{C}$ 进入热风管 8, 然后被送到环风管中, 经风口进入高炉。

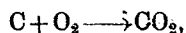
冷空气流经格子房约 1 小时后, 格子房便须重新加热, 而加热一次格子房则须 2 小时, 因此每个高炉至少要有 3 个热风炉。当其中一个正在加热空气时, 其余 2 个则用煤气加热格子房, 每隔 1 小时轮换一次。

§ 3. 高炉中的物理化学变化

高炉炼铁的主要变化是炉料的燃烧, 铁以及其他元素的还原, 铁的增碳和造渣等。

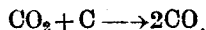
1. 燃料的燃烧

当红热的焦炭从上部落到风口附近时, 与风口吹入的热空气按下列反应进行燃烧:



同时产生 $1600-1750^{\circ}\text{C}$ 的高温。

CO_2 上升遇到赤热的焦炭则碳素把 CO_2 还原成 CO :

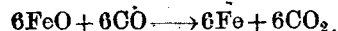
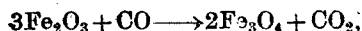


CO 的炽热气体上升与矿石接触, 发生还原反应。

2. 铁的还原

氧化铁的还原可借 CO 及固体碳来还原, 前者称间接还原, 后者称直接还原。

1) 间接还原时还原不是从氧化铁中立即发生, 而是依次地由含氧较多的氧化物还原成含氧较少的氧化物。其反应式如下:

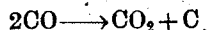


间接还原是在 $250-350^{\circ}\text{C}$ 下开始的, 约到 950°C 为止。

2) 直接还原在 950°C 以上, 是靠固体碳来进行的,



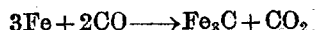
在这个过程中, 因下列反应而得到的碳起了很大的作用:



这种碳成烟状, 它能进入到矿石的所有空隙中。

3. 铁的增碳

已还原的铁称为海绵铁当其继续下落时, 吸收一部分碳, 碳渗入金属内后, 降低了金属的熔点。其反应式如下:



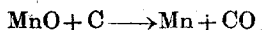
在低温区或中温区已增碳的铁, 进入高温区, 即开始熔化, 熔化后的铁液流入炉缸。

4. 其他元素的还原

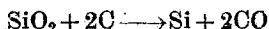
锰、硅、磷还原情况分述如下: 锰一般以 MnO_2 存在, 锰的还原过程和铁相似也是顺序由高价氧化物还原成低价氧化物, 最后还原成金属锰。



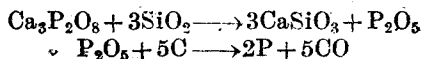
MnO 很稳定还原时要吸收大量的热, 仅在 1100°C 以上温度才能被固体 C 还原。反应如下,



硅以 SiO_2 形式存在于脉石中, 当 $>1450^{\circ}\text{C}$ 时部分可直接被固体碳还原, 但要消耗大量的热



磷是以磷酸钙形式存在于矿石中。在 $1200-1500^{\circ}\text{C}$ 可被固体碳还原, 其反应为:



这个反应也要消耗大量的热, 因此磷的还原主要是在炉身下部和炉腰区域中进行的。高炉冶炼时磷几乎全部被还原, 并完全溶解于生铁中。

还原后之锰、硅及磷的绝大部分进入生铁内。

5. 去硫

生铁中的硫以硫化铁(FeS)的型式存在, FeS 很易溶于生铁中, 而降低了生铁的质量。为了限制生铁中的含硫量, 可在炉料中加入石灰石, 使其起下列反应:



生成的 CaS 进入炉渣, 因此炉渣中含过量的 CaO 时, 则能去较多的硫。

6. 造渣

造渣是矿石中的废石, 燃料中的灰分与熔剂的熔合过程。熔合后的产物就是渣。高炉炉渣主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 同 CaO 组成, 并含少量的 MgO 、 MnO 、 FeO 、 CaS 等。

高炉熔炼中炉渣起着很大的作用, 对生铁质量的影响也很大。我们也可根据炉渣的颜色和成分判断高炉熔炼是否正常。因此要正确的配料, 以控制炉渣成分。使得炉渣的物理性质和化学成分能促使有害杂质进入渣内。

§ 4. 高炉产品

高炉产品中主要是生铁, 副产品是炉气和炉渣。

1. 生铁

生铁是铁与碳、硅、锰、磷、硫等元素组成的合金。其中含碳量大于 2%。生铁为了适应工业上的需要分为下列三类:

1) 铸造生铁 它是铸造车间的原料, 有很好的铸造性能, 性软, 断面呈灰色, 故又称灰口生铁(或简称灰口铁)。含硅较多, 其中含的碳主要是以自由的石墨状态存在。

2) 炼钢生铁 这种生铁作为炼钢的原料。性硬且脆, 断面呈银白色, 故又称白口生铁(或简称白口铁)。其中含碳是以 Fe_3C 的形式存在的。

3) 特种生铁 这种生铁包括高锰、高硅生铁, 在炼钢时作为脱氧剂或用来作为炼制合金钢时附加材料。

2. 高炉煤气

在高炉煤气中含有 CO 、 CH_4 、 H_2 等可燃气体, 因此可作为工业上的燃料。高炉煤气经除尘后

可用来加热的热风炉、炼焦炉、平炉和日常生活的需要。

3. 炉渣

高炉炉渣可用来制造水泥、造砖或铺路用的人造石。

§ 5. 高炉冶炼的技术经济指标

高炉的技术经济指标是用高炉利用系数 K 和焦比来表示的。高炉利用系数 K 为每昼夜产量 (T) 与有效容积 (V) 之比,

$$K = \frac{T(\text{吨})}{V(\text{米}^3)}.$$

K 愈大就表示生产率愈高,也就说明高炉的工作情况愈好。

我国解放以后高炉利用系数是逐年提高的,目前已跃进为世界先进的水平。如 1958 年全国重点钢铁企业的 K 平均达到了 1.49,比 1957 年增 12%。1959 年又有所增长,其中本溪第一炼铁厂 1959 年 5 月达到 2.436,鞍钢亦由 1.498 增至 1.64。

在炼铁的成本中焦炭的消耗所占比重甚大,所以在生产过程中降低焦比是有着重要意义的,焦比以每炼一吨生铁所耗焦炭的公斤数计算,焦比数字愈小愈好。

第二章 炼钢

含碳低于 2.0% 的铁碳合金称为钢。除碳之外钢中还含有硅、锰、磷、硫等杂质,但在一般钢中这些杂质的含量比生铁中要少得多。它们在生铁与钢中的含量大致如下:

生 铁	碳 素 钢
C 2—5%	<2%
Si 1.5%	0.8%
Mn 1%	0.5%
P 0.2%	0.03%
S 0.05%	0.03%

比较它们的成分可以看出,如果要把生铁炼成钢,必须减少生铁中各种杂质的含量。减少杂质含量的方法是把这些杂质氧化成气体或炉渣,而后使之与钢分离去除。由此可见炼钢的过程与炼铁过程是完全不相同的。炼铁主要是还原过程,而炼钢主要是氧化过程。

钢与生铁在性能上也有很大的区别。钢具有良好的塑性,故可进行锻造;生铁塑性很差,不能锻造。钢还可以用热处理的方法在较大的范围内改变它的性能。此外钢的耐冲击性及可焊性均较生铁为高。因此钢在工业上应用很广。

现代炼钢方法主要有:转炉炼钢法、平炉炼钢法和电炉炼钢法三种。

§ 1. 转炉炼钢法

转炉炼钢的实质是:把空气吹入液体生铁内,使生铁内的杂质如碳、硅、锰等元素被氧化除去