

高等学校試用教科書



金 屬 工 艺 学

JINSHU GONGYIXUE

南京工学院金屬工艺学教研組編

人 民 教



本书系南京工学院金属工艺学教研组教师集体编写的，可作为高等工业学校机械制造类专业“金属工艺学”课程的试用教科书。

本书内容包括六章：第一章为金属的冶炼，在本章中简要地叙述了生铁、钢、铜及铝的冶炼过程；第二章为金属学，在本章中简要地叙述了常用金属及合金的组织性质及热处理方法；第三章为铸造生产，在本章中简要地叙述了铸造生产的过程及铸件设计的工艺性；第四章为压力加工，在本章中简要地叙述了各种压力加工的基本方法；第五章为焊接，在本章中简要地叙述了各种主要的焊接方法及焊接构件设计时应注意的事项；第六章为切削加工，在本章中简要地叙述了各种切削加工方法及基本的钳工工作法。

本书不仅可作为非机械制造类各专业的试用教科书，同时也可作为中等专业学校及有关工程技术人员的参考书。

金 属 工 艺 学

南京工学院金属工艺学教研组编

(北京市书刊出版业营业许可证出字第2号)

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 15010·1030 开本 787×1092 1/16 印数 13 3/8

字数 287,000 印数 21001—46,000 定价(7) 1.30

1961年8月第1版 1961年11月北京第2次印刷

緒 論

金屬工艺学是一門基础技术課，內容是讲授金屬及其合金的冶炼、性质和合理的加工方法。在工程技术人員的培养方面，金屬工艺学有着重要的作用。金屬工艺学可以为其他基础技术課及专业課打下必須的工艺基础。学习本課程之后，学生将初步掌握在設計机械零件时采用合理的結構、制造工艺及材料等知識。这是学习本課程的基本目的。

金屬工艺学包括冶炼、金屬学、鑄造生产、压力加工、焊接及切削加工六章。

冶炼——簡要地介紹生铁、鋼、銅及鋁的冶炼过程。

金屬学——介紹常用金屬及合金的組織、性质及热处理方法的知識。

鑄造生产——讲解关于鑄造生产的过程及鑄件設計的工艺性的問題。

压力加工——介紹各种压力加工的基本方法及鍛造、冲压件設計的工艺性。

焊接——介紹各种主要的焊接方法及焊接构件設計的注意事項。

切削加工——介紹各种切削加工方法，公差和技术測量，以及基本的鉗工工作法。

制造机械零件时可以选择这一种工艺，也可以选择那一种工艺，并不是一成不变的。例如生产毛坯时有时用鑄造，有时用压力加工，有时又用鑄造-焊接、或压力加工-焊接的联合加工法。工艺的选择以經濟合理（多、快、好、省）为原則。

机械制造业在国民經济中占有重要的地位。它担負着装备其他工业、农业的使命。人們常見的汽車、机車、飞机、拖拉机、鍋駝机、汽輪机、紡織机械、化工机械、建筑筑路机械及部分日用品都是在机械制造厂生产的。

金屬工艺学亦是一門古老而又年青的科学。这門科学在古代就存在了。目前由于技术飞速地发展，金屬工艺学的內容也日新月异。

人类在几千年以前就掌握了获得金屬的方法，并能把金屬加工成为猎具、工具、农具和日用品。随着技术的发展，产生了金屬工艺学，然后金屬工艺学的各部分繼續得到发展并出現了新的部分。

我們祖先在金屬冶炼和加工方面有很多光輝的創造。早在商代（公元前 1783—1122 年）便已經开始用金屬制造矢鏃、矛、刀、斧、觚、爵、銅范等生产及生活用具。在殷代已經有青銅器了。在周朝（公元前 1134—771 年）初期，我們的祖先已經使用金屬制造的农具——鑄（短鏃刀）。春秋时代（公元前 841—403 年）制铁工业已經很发达，普遍使用铁制的农具。在战国时代，当时楚、韓两国能炼鋼铁制利劍，可見这时已經掌握了鍛造技术以及渗碳、淬火等热处理技术，而欧洲到 13 世紀才开始用铁。图 0-1 为在安阳发现的司母戊鼎，据考证是商代后期的遺物。鼎高 1375 毫米，寬 755 毫米，长 1100 毫米，重 875 公斤，鼎上的花紋很精致。此鼎除了說明三千年前我国劳动人民的高度技术水平和丰富的創

造能力外, 还说明当时手工业已经相当发达。图 0—2 为汉代铁制齿轮, 在保定发现。它是用单模铸成的, 直径 68 毫米, 厚 14 毫米, 四周有 16 个斜形齿, 中间有贯轴方孔。

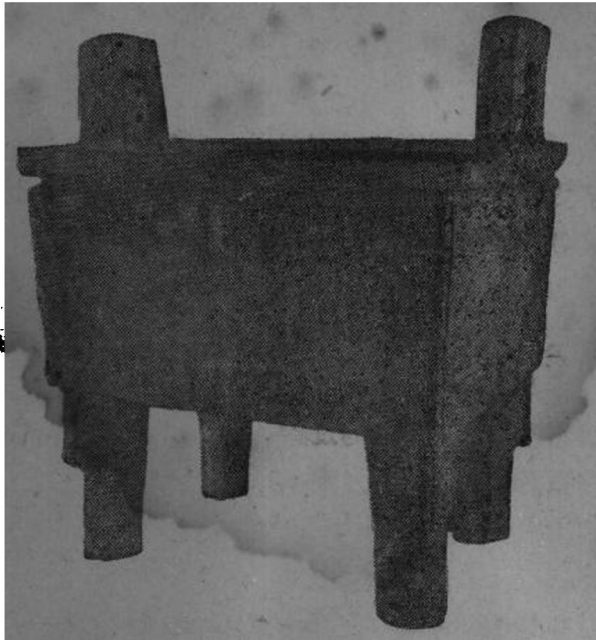


图 0—1 司母戊鼎。

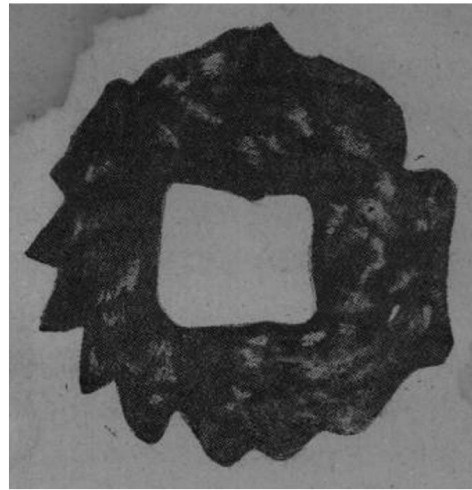


图 0—2 汉代铁制齿轮。

由于中国经历了很长的封建社会时期及半殖民地半封建社会时期, 使得生产力和科学的发展受到了很大的阻碍。从清末到国民党反动派统治时期, 我国的钢铁工业和机械制造业的基础是异常落后和薄弱的。解放前钢铁产量最高的年份是 1943 年, 产生铁 180 万吨, 钢 90 万吨, 其中绝大部分是在日本占领下的东北生产的。1949 年仅产生铁 25.2 万吨, 钢 15.8 万吨。机械制造方面, 只有一些修理厂, 绝大部分机械依靠进口。

解放以后, 党领导全国人民在生产战线上做了巨大的努力, 花了三年时间恢复了在长期战争中受到破坏的经济。接着执行了伟大的社会主义经济建设计划。在落后的工业和农业中进行了技术革命。兴建了包头钢铁公司、武汉钢铁公司等巨大的钢铁联合企业, 以及长春汽车厂、洛阳拖拉机厂等现代化机械制造厂。国民经济得到了飞速发展, 在执行第二个五年计划的头两年中就达到了五年的指标。在 1960 年钢的产量达到了 1845 万吨, 钢材规格达 8000 种。机械制造方面, 目前已能生产重型水压机、轧钢设备, 大型立式车床、电脉冲加工机床等大型的或精密的产品。

在机械制造的各个部门广泛应用了先进的工艺, 例如铸造方面取得了金属压铸的成就; 压力加工方面推广了热轧齿轮的先进方法; 焊接方面采用了电渣焊来实现毛坯制造的“化大为小、以小拼大”; 热处理方面推行了快速加热; 金属切削加工方面普遍采用了小机床加工大部件的“蚂蚁啃骨头”的方法。此外还应用了“积木式”机床和“组合”机床。以上这些成就都是在党的正确领导下广大职工在轰轰烈烈的技术革新和技术革命运动中创造的。

随着社会主义建设不断取得成就, 金属工艺学正在不断地得到充实、丰富和发展。

目 录

緒 論.....	1
第一章 金屬的冶煉.....	1
概述.....	1
§1. 生鐵的冶煉.....	1
§2. 鋼的冶煉.....	6
§3. 有色金屬的冶煉.....	14
第二章 金屬學.....	18
概述.....	18
§1. 金屬的結晶與構造.....	18
§2. 合金.....	21
§3. 熱處理.....	39
§4. 合金鋼及有色金屬.....	46
第三章 鑄造生產.....	53
概述.....	53
§1. 鑄型的製造.....	54
§2. 各種鑄造合金之性質、用途及其熔化和澆注.....	71
§3. 鑄件的清理，鑄件主要缺陷的特征及其產生的原因.....	79
§4. 特殊鑄造.....	79
§5. 鑄件設計的工藝性.....	83
第四章 壓力加工.....	85
概述.....	85
§1. 塑性變形對金屬材料的性能及其組織的影響.....	86
§2. 金屬的加熱.....	87

§3. 原材料生產.....	90
§4. 無型鍛造.....	95
§5. 模型鍛造.....	104
§6. 冷沖壓.....	109
第五章 金屬的焊接.....	117
概述.....	117
§1. 電弧焊.....	129
§2. 氣焊與氣割.....	135
§3. 接觸焊.....	138
§4. 各種金屬的焊接性能.....	140
§5. 焊件的檢驗方法.....	140
§6. 焊接構件設計的某些注意事項.....	140
第六章 金屬切削加工.....	142
概述.....	142
§1. 金屬切削的理論基礎.....	150
§2. 公差與技術測量.....	152
§3. 車削加工.....	164
§4. 鉗銼加工.....	169
§5. 銑削加工.....	179
§6. 刨削加工.....	183
§7. 磨削加工.....	188
§8. 齒輪加工.....	189
§9. 特殊加工的概念.....	191
§10. 零件的結構工藝性、節約性和典型零件的機械加工.....	194
§11. 鉗工.....	194



第一章 金屬的冶煉

概 述

工業用金屬可分為二大類：黑色金屬及有色金屬。

黑色金屬包括鐵及其合金(鋼)。由於鐵礦在地殼中的儲量較大，冶煉也較簡單，同時具有良好的機械性能和工藝性能，因此在工業上獲得了廣泛的應用。在全部金屬的生產中黑色金屬的生產約占 94%。

有色金屬包括除黑色金屬以外的所有金屬。有色金屬一般具有特殊的性能，用在特殊用途的地方，如銅的導電性能很好，廣泛地應用於電機工業中。

所謂冶煉就是從天然的金屬的化合物(礦石)中提煉金屬的過程。其中包括黑色金屬的冶煉(煉鐵、煉鋼)及有色金屬的冶煉(煉銅、煉鋁等)。

§1. 生鐵的冶煉

除隕石外純鐵在地殼中還未見到。鐵容易與其他元素化合，特別是與氧化合，因此鐵礦多以氧化物的形式存在。鐵礦中除鐵的氧化物外還含有其他元素的氧化物 (SiO_2 , MnO , Al_2O_3 等) 這些我們統稱為脈石。煉鐵的任務就是使鐵從鐵的氧化物中還原，並使還原出來的鐵與脈石分離。

生鐵是用礦石和其他原料(燃料、熔劑)在高爐中熔煉而成的。

1. 煉鐵原料及耐火材料

1) 鐵礦石

(1) 種類

含鐵的礦石很多，而實際上用來煉鐵的礦石只有四種，如表 1-1 所示。

表 1-1

名 稱	分 子 式	理論含鐵量 %	實際含鐵量 %	顏 色	特 性
赤 鐵 礦	Fe_2O_3	70	50—60	紅	質松易還原，冶煉方便
磁 鐵 礦	Fe_3O_4	72.4	45—70	黑	有磁性，質堅細密較難還原
菱 鐵 礦	FeCO_3	48.3	30—40	淡 黃	較易還原
褐 鐵 礦	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	60	37—55	褐色或黑色	較易還原

我國具有豐富的鐵礦資源，礦區遍布全國，其中較大的有鞍山、大冶、包頭等地。

(2) 對礦石的要求

a. 礦石的含鐵量要高 由於脈石的存在，含鐵量在很大的範圍內變動，含鐵在 45% 以上的稱為富礦，含鐵小於 45% 的稱為貧礦。貧礦必須經過選礦後才能進行熔煉。

b. 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。褐铁矿、菱铁矿质地都較松, 易还原。磁铁矿則很难还原。

c. 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

a. 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。

貧矿則破碎到 6 毫米以下, 而后进行选矿。

b. 选矿 目的在于提高矿石含铁量, 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铁矿物与脉石分离。

b) 磁选 利用磁力分离含铁矿物与脉石。用于磁铁矿。

c. 燒結或造球 选矿后的精矿粉及矿石破碎后所得的富矿粉, 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圆盘造球机上进行的。

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, 保证充分燃燒。

(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—1.6%)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

能促使矿石中的脉石及燃料中的灰分熔化, 并把它們从生铁中分离出去的材料称熔剂。

(1) 熔剂的作用

a. 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, 造成比重較铁小的渣, 从而使脉石与生铁分离。

b. 去硫 燃料中所带来的硫会熔入铁內而影响铁的质量。現利用硫易与鈣相結合的特性, 使其結合成 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脉石的成分及燃料中的灰分而定。假如脉石的性质是酸性的(如含 SiO_2), 則应该用碱性熔剂(石灰石, 白云石)。如果脉石呈碱性(如含 MgO 、 CaO 等), 則应用酸性熔剂(石英)。一般脉石多为酸性, 故常用碱性熔剂。

4) 耐火材料

金屬熔炼时, 都是在高温下进行的(高炉內局部温度可达 1800°C), 普通材料是不能承受这样高的温度的, 因此必須用耐火材料。耐火材料除了应具有很高的耐火性外, 还必須具

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 91—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，因之是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) 高炉炉体

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，在炉的下部进行燃烧，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，预热过的空气通过环风管经风口 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。

2) 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

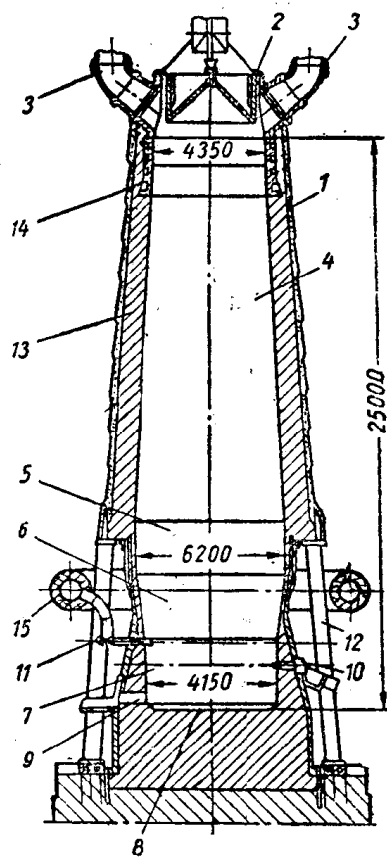


图 1—1 高炉剖面：

1-炉壳； 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-风口； 12-支柱； 13-耐火
砖； 14-铁圈； 15-环风管。

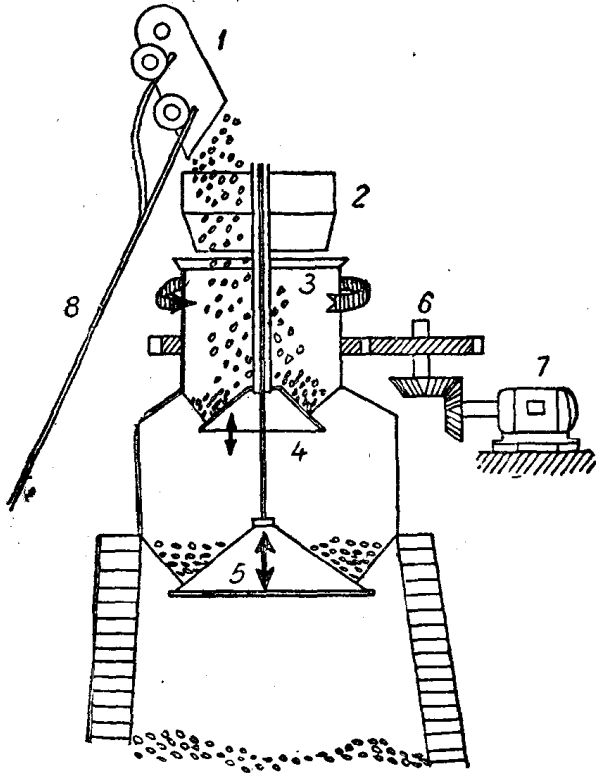


图 1-2 高炉装料布料设备。

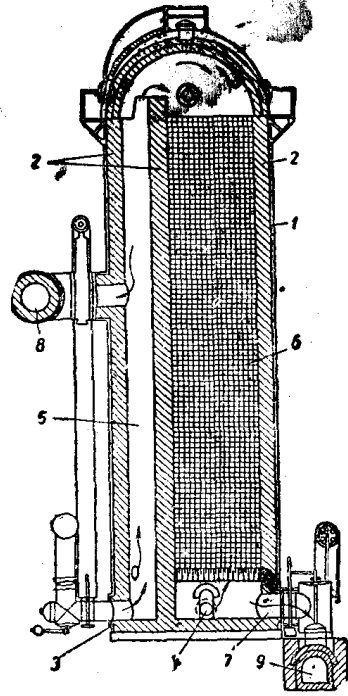


图 1-3 热风炉。

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。

3) 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，需要预先把送入高炉的空气加热到 $600-900^\circ\text{C}$ 。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。

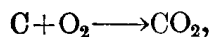
冷空气流经格子房约 1 小时后，格子房便须重新加热，而加热一次格子房则须 2 小时，因此每个高炉至少要有 3 个热风炉。当其中一个正在加热空气时，其余 2 个则用煤气加热格子房，每隔 1 小时轮换一次。

3. 高炉中的物理化学变化

高炉炼鉄的主要变化是炉料的燃烧,鉄以及其他元素的还原,鉄的增碳和造渣等。

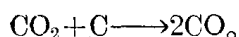
1) 燃料的燃烧

当紅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°C 的高温。

CO₂ 上升遇到赤热的焦炭則碳素把 CO₂ 还原成 CO:

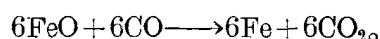
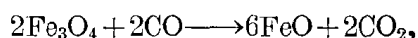
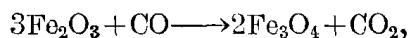


CO 的熾热气体上升与矿石接触,发生还原反应。

2) 鉄的还原

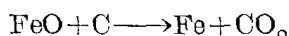
氧化鉄的还原可籍 CO 及固体碳来还原,前者称間接还原,后者称直接还原。

(1) 間接还原 还原不是从氧化鉄中立即发生,而是依次地由含氧較多的氧化物还原成含氧較少的氧化物。其反应式如下:

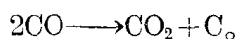


間接还原是在 250—350°C 下开始的,約到 950°C 为止。

(2) 直接还原 在 950°C 以上,是靠固体碳来进行的,



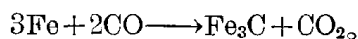
在这个过程中,因下列反应而得到的碳起了很大的作用:



这种碳成烟状,它能进入到矿石的所有空隙中。

3) 鉄的增碳

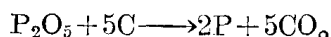
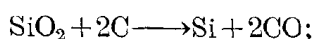
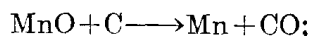
已还原的鉄下落时,吸收一部分碳,碳渗入金属内后,降低了金属的熔点。其反应式如下:



在低温区或中温区已增碳的鉄,进入高温区,即开始熔化,熔化后的鉄液进入炉缸。

4) 其他元素的还原

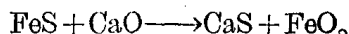
矿石中所含的錳、硅、磷按下列反应式还原:



还原后之錳、硅及磷的絕大部分进入生鉄内。

5) 去硫

生鉄中的硫以硫化鉄(FeS)的形式存在,FeS 很易溶于生鉄中,而降低了生鉄的质量。为了限制生鉄中的含硫量,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

造渣是矿石中的脉石, 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 和 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合金钢时的附加材料。

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。高炉煤气可以用来加热热风炉、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、砖或铺路用的人造石。

5. 高炉的冶炼技术经济指标

高炉的冶炼技术经济指标是用高炉利用系数 K 来表示的, 高炉利用系数 K 为每昼夜产量(T)与有效容积之比

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

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。

§ 2. 钢的冶炼

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—

般鋼中这些杂质的含量比生铁中要少得多。它們在生铁与鋼中的含量大致如下：

	生铁	碳素鋼
C	2—5%	<2%
Si	1.5%	0.8%
Mn	1%	0.5%
P	0.2%	0.03%
S	0.05%	0.03%

比較它們的成分可以看出，如果要把生铁炼成鋼，必須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，而后使之与鋼分离去除。由此可見炼鋼的过程与炼铁过程是完全不相同的。炼铁主要是还原过程，而炼鋼主要是氧化过程。

鋼与生铁在性能上也有很大的区别。鋼具有良好的塑性，故可进行鍛造；生铁塑性很差，不能鍛造。鋼还可以用热处理的方法在較大的範圍内改变它的性能。此外鋼的耐冲击性及可焊性均較生铁为高。因此鋼在工业上应用很广。

现代炼鋼方法主要有：轉炉炼鋼法、平炉炼鋼法和电炉炼鋼法三种。

1. 轉炉炼鋼法

轉炉炼鋼的实质是：把空气吹入液体生铁内，使生铁内的杂质如碳、硅、錳、磷等元素被氧化除去而得到鋼。由于这些元素与氧化合时可放出大量的热，从而使液体金屬温度提高，因此不須任何燃料。

1) 轉炉构造

轉炉按鼓入空气的形式可分为底吹、側吹及頂吹三种。图1—4为底吹式轉炉的构造。它是一个可以旋轉的梨形容器，内砌

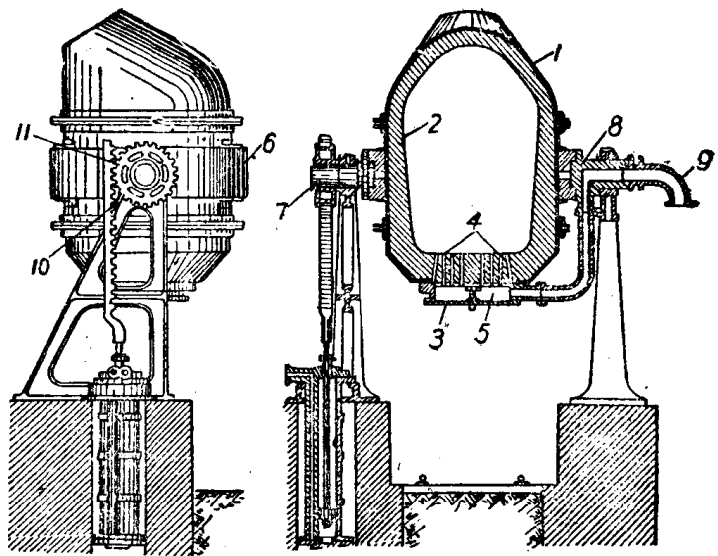


图1—4 轉炉构造。

以耐火材料2，外包以铁壳1。外部中間部分有鋼环6，鋼环上有二个軸頸7和8，分别支持在左右支架上。其中軸頸8为空心。空气則由鼓風机經过管9和空心軸頸8，进入固定于轉炉底部3的風箱5中，再經过嵌在炉底的風口4而进入炉中。

轉炉的旋轉是通过装于軸頸7上的齿輪11与齿条10来实现的。齿条可用电动机或液压使其运动。

轉炉的容量是以注入铁水重量来决定的。一般容量为3—15吨，大的轉炉可达100吨。

根据砌筑炉衬的耐火材料不同，轉炉可分为酸性轉炉和碱性轉炉；前者用酸性耐火材料砌筑炉衬，后者則用碱性耐火材料。

2) 轉爐(底吹式)的熔煉過程

液体生鐵由盛鐵桶注入轉爐中時，須預先將轉爐傾斜成一定的角度(圖1-5.a)使生鐵液不致從爐口及爐底風口流出。生鐵注入後即開始鼓風，同時將轉爐轉到冶煉時的垂直位置(圖1-5.b)。鼓入的風量根據生鐵的成分及容量來調節。

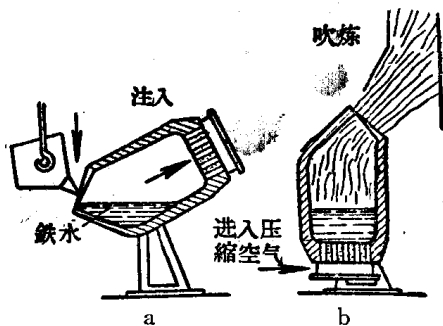
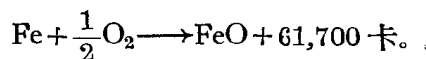


圖1-5 轉爐倒入鐵水及吹煉時的位置。

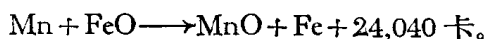
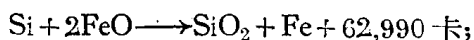
轉爐煉鋼又分為酸性法(貝塞麥法)和鹼性法(托馬斯法)。酸性轉爐的冶煉過程可分下面三個時期。

第一期——造渣期或火花期 在這一期內主要是鐵、硅和錳的氧化。碳的氧化很少，或完全不氧化。

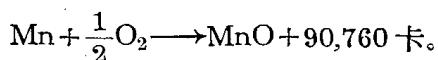
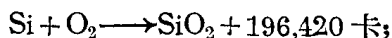
當空氣通過液体生鐵時，鐵首先氧化，並放出大量的熱量，使金屬溫度提高。



部分 FeO 溶于生鐵中，而把本身的氧傳給生鐵中的硅和錳，使它們氧化而自身還原。

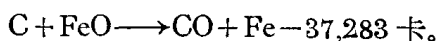
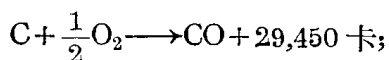


另外，硅、錳尚能被空氣中的氧直接氧化。



這些反應都是放熱反應，因此在熔煉過程中，溫度不斷升高到 1600°C 以上。這一時期的特征是從爐口噴出大量的火花，並在爐中生成大量的爐渣，其主要成分是 FeO、SiO₂、MnO。這一期的時間約為 3—5 分鐘。

第二期——明亮火焰期 這一期內主要是碳的劇烈氧化。

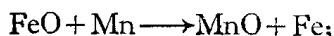


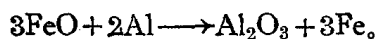
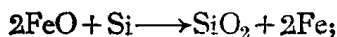
由於碳的氧化，產生大量 CO，當 CO 從爐口噴出時，與空氣中的氧化合而在爐口形成長達數米的火焰。第二期的溫度為 1600—1650°C，時間約為 6—10 分鐘。

第三期——煙塵期 因其他元素幾全被去除，這時主要是鐵的氧化。含有 FeO 的褐色煙塵從爐口排出。這一期為時約 1 分鐘。此後停止送風，將轉爐傾斜，準備出鋼。

吹煉後的鋼液中溶解有大量的 FeO，若不除去，冷卻後會使鋼變得很脆，而不能應用。因此要進行脫氧。同時脫氧可使鐵回收。

鋼的脫氧是依靠對氧的化學親和力比鐵大的金屬來完成的。這些金屬我們稱之為脫氧劑，通常用硅鐵、錳鐵和鋁作為脫氧劑。脫氧作用可由下列反應式表示之：

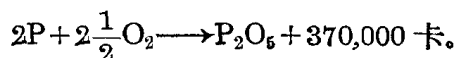




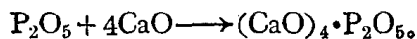
脱氧产物 ($\text{SiO}_2, \text{MnO}, \text{Al}_2\text{O}_3$) 由于它们的比重較鋼水为輕, 因此便进入渣內。

酸性轉炉的缺点是不能去除有害杂质磷和硫。故要炼成合格的鋼, 原料內含硫、磷必須是最少量。而在碱性轉炉內可以去硫、磷, 因碱性轉炉內在吹炼前能加入碱性熔剂, 使炉渣成为碱性, 而与硫、磷結成稳定的炉渣。但酸性轉炉因原料本身含硫、磷低且有自动的脱氧作用, 故质量較高。

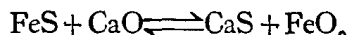
碱性轉炉的熔炼过程(第一及第二期)大致和酸性轉炉相同, 但在第三期磷与氧化合成 P_2O_5 , 同时放出大量的热量。



P_2O_5 随即与石灰化合成磷酸鈣而留存于炉渣。



一部分硫可以 CaS 形式除去



3) 側吹碱性轉炉炼鋼法

酸性轉炉炼鋼法要求生铁中硫、磷含量很低(硫 0.025—0.045%; 磷 0.05—0.07%)。这样的生铁来源日漸缺乏, 因此用这种方法的鋼产量也逐年在减少; 底吹碱性轉炉炼鋼法要求生铁中磷含量很高(磷 1.65—2.2%), 因它是以磷作为主要的发热元素。这样的生铁, 只在西欧一些国家較多。我国生铁含磷量大都在 0.05—1.2% 范圍內, 使用前两种方法来炼这种生铁都不合适, 如何能創造一种利用含发热元素(如硅、錳、磷)較低的生铁吹炼, 仍能达到必須的炼鋼温度的炼鋼炉就显得特別重要。我国炼鋼工作者經過了多次的研究, 在 1952 年創造了側吹碱性轉炉炼鋼法。这种方法的特点是: 能使用含磷波动范围很大的生铁; 炉子有較高的热效率。这一創举是有世界意义的, 获得了各国冶金工作者們的称赞, 并給予很高的評价。

側吹碱性轉炉的結構如图 1—6 所示。炼鋼时空气从炉子側面与金屬表面成 $18-20^\circ$ 的風口吹入。吹入的空气, 一部分进入金屬中氧化其杂质, 产生 CO 气体自金屬液逸出, 另一部分空气是側吹到金屬表面上, 遇到上升的 CO , 产生燃燒并发出大量的热。这些热量可使金屬加热至高温。較之底吹碱性轉炉它有以下的优点: 可得到較高的温度, 对原料的含磷量要求較不严格; 鋼中含氮少; 去硫磷也較底吹碱性轉炉好, 故鋼的质量好。缺点是: 铁的吹損較大及炉衬寿命較短。针对此一缺点又作了許多改进, 如改用渦鼓型側吹, 改用三排風口, ……等。

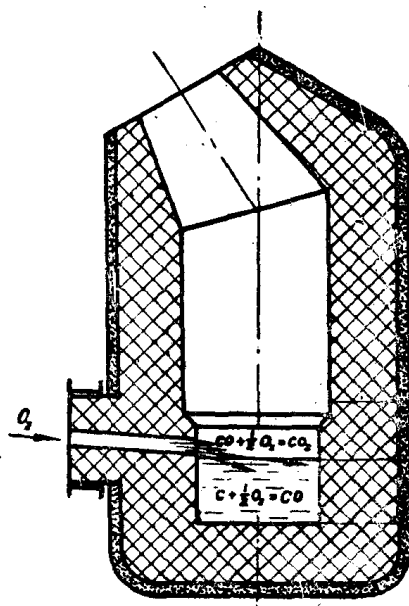


图 1—6 側吹轉炉簡图。

4) 轉爐煉鋼的优缺点

优点：生产率高；設備簡單，建厂快，投資較少；不需外加燃料，生产成本低。因此它对迅速发展工业，具有很重大的意义。

缺点：不能大量回用廢鋼；鋼的化学成分較难控制，因之鋼的质量較差(含氮量較高)；再之鉄的损失也較大。

2. 平爐煉鋼法

平爐又称馬丁爐。平爐煉鋼法是現代煉鋼法中最主要的一种。它是在蓄热室火焰爐中进行熔煉的，一般是用煤氣作为燃料。

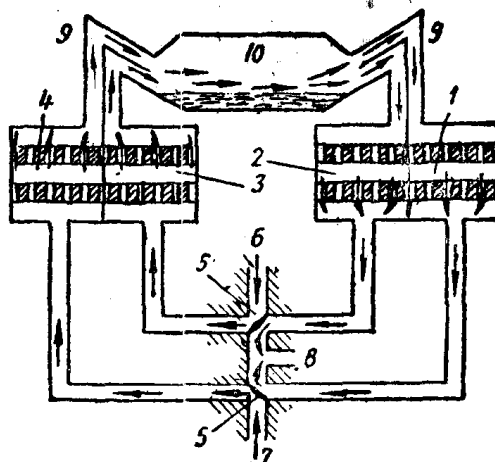


图 1—7 平爐結構示意图。

1) 平爐构造 (图 1—7)

熔煉室 10 由爐頂、爐底和前后牆所构成。在前牆上有加料口 3—5 个，后牆上有出鋼口，爐頂两端由氣道 9 与蓄热室 1、2、3、4 相通。

蓄热室是用耐火材料砌成的格子房，用来預热空气和煤氣。

空气和煤氣分別从通道 6 和 7 进入，經過蓄热室 3、4 加热后，通过氣道 9 再进入爐膛燃燒，造成熔煉室的高温。燃燒后的高温廢气則經氣道 9 进入蓄热室 1、2，而将蓄热室加热后从烟道 8 排出。

在工作过程中每隔一定時間轉換閥 5，以改变空气和煤氣的运动方向，而使二組蓄热室交替使用，保证空气和煤氣永远通过預先被廢气加热过的蓄热室而預热到 1000—1200°C。

平爐熔煉時間与爐子容量、原料的成分以及所須鋼的化学成分有关。一般为 6—15 小时。爐子最常用的容量为 50—220 吨，最大可达 660 吨。

平爐煉鋼也根据爐衬耐火材料的不同而分为碱性平爐煉鋼法及酸性平爐煉鋼法。

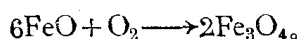
2) 碱性平爐煉鋼法

爐底是用碱性耐火材料——白云石和鎂砂燒結而成。所用原料为廢鋼、液体生鉄、石灰石及少量矿石 (Fe_2O_3)。加入矿石的目的是为了氧化杂质。

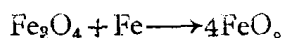
加料时先加矿石及石灰石，再加入廢鋼。原料加热到即将熔化时，倒入鉄水。此时矿石和鉄水中之杂质产生强烈的作用，造成初渣，同时渣面上漲，部分爐渣自行流出。到料料完全熔化后，在爐膛中分上下二层；下层为金屬，上层为杂质的氧化物所組成的渣。以后的熔煉过程則在渣层之下的液体金屬中进行。

这个时期中，氧化性的爐气、渣和金屬互相作用，依照下列方式进行。

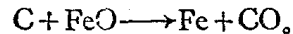
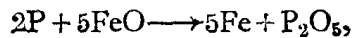
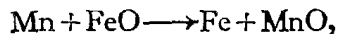
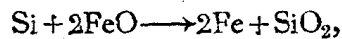
首先爐气与渣中的 FeO 作用



生成的 Fe_3O_4 与下层的金屬相接触，金屬中的鉄被氧化，

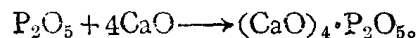
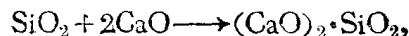


形成的氧化铁一部分进入炉渣上升到表面,被氧化成高价氧化物,一部分溶于金属,氧化杂质。



从金属内放出的 CO 引起液体金属沸腾,沸腾是炼钢的必要过程。由于它的搅拌作用,可促进杂质的氧化,以及带出金属中残存气体和非金属杂质,同时可使金属熔池的温度趋向均匀。

形成的 SiO_2 及 P_2O_5 与 CaO 作用生成稳定的渣。



同时 CaO 与 FeS 作用而去硫。



为了防止硫转入金属,必须增加渣的碱度,即适当地增加石灰或石灰石的用量。

当钢水的成分和温度都达到要求时,即停止熔炼,而进行出钢。此时还必须进行必要的脱氧操作。

酸性平炉的熔炼过程与碱性平炉大致相同,故不再详述。

3) 平炉炼钢的优缺点:

- (1) 优点: a. 可熔炼废钢,对生铁原料无特殊要求;
 b. 钢的质量比转炉好。因为在熔炼时有炉渣保护,所以钢中氧化铁和气体较少;成分也比转炉容易控制;
 c. 铁的烧损少;
 d. 容量大,生产率高。
- (2) 缺点: a. 设备复杂,投资较大;
 b. 不能炼高合金钢。

3. 电炉炼钢法

炼制高级优质钢及高合金钢是在电炉内进行的。用来炼钢的电炉有二种:感应炉和电弧炉,其中应用最广的是电弧炉。电炉炼钢亦可分为碱性法与酸性法二种;前者多用以生产特殊用途的合金钢如高速钢、不锈钢等,而后者则多用以生产铸钢。

1) 电弧炉构造(图 1-8)

电弧炉内金属的熔化是利用电极 5 与金属之间形成的电弧所产生的热量来熔化和提高金属的温度的。

炉子分炉顶、炉墙、炉底三部分,均用高级耐火材料砌成,外部用钢板焊成。炉顶 6 上有三孔,以便穿入三根电极 5。电极用石墨或炭精制成,电极的上下由升降机操纵。炉子一侧有装料口,用以装入炉料、排渣和观测炉内情况,在其相对的一面有出钢口。电炉出钢时的倾

斜有专门倾斜机构。

电炉用电流经变压器 1 使其变成低电压大电流，而送入电极。

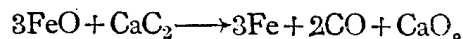
电炉容量一般在 3—20 吨，最高达 200 吨。

2) 碱性电炉的熔炼过程

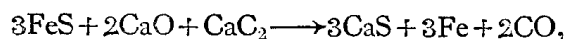
电炉熔炼时可装入液体炉料，也可装入固体炉料。炉料大部分为废钢并有部分的石灰石、生铁和矿石。石灰石用以造碱性渣；生铁用以使钢增碳，以保持一定的熔炼时间；矿石用以氧化杂质。

在熔炼第一阶段中，是靠矿石与废钢中的 FeO 来氧化硅、锰、磷、碳等杂质，氧化后的产物进入炉渣。为了防止磷从渣中还原，炉渣必须有足够的碱度。并在形成初渣后，及时扒掉，继续加入石灰，这是熔炼的氧化期。

氧化期结束后，则开始还原期。在这个时期内除脱氧外并进行去硫，将焦炭粉和电极粉加入，并加新熔剂 CaO。在高温下碳与氧化钙作用生成电石 (CaC₂)，而电石是强烈的还原剂，使金属还原，



与此同时，将进行金属的去硫作用，



生成的 CaS 进入渣内。去硫后可以加上特殊合金元素，以炼制合金钢。

3) 电炉炼钢的优缺点

- (1) 优点：
- 熔炼温度高，可熔炼含难熔元素的合金钢；
 - 用电加热，不会从燃料带进杂质；
 - 可任意控制炉内的气氛(氧化性或还原性)；
 - 碱性炉可以很好地除去硫和磷；
 - 操作方便，温度容易控制。

(2) 缺点：需要消耗大量的电力。

4. 联合炼钢法及混合炼钢法

转炉、平炉及电炉均各有优缺点，如欲生产率高，则质量差；如欲质量好，则生产率低，成本高。因此有必要采用联合炼钢法及混合炼钢法，这样才能快速地炼出大量的优质钢及合金钢。

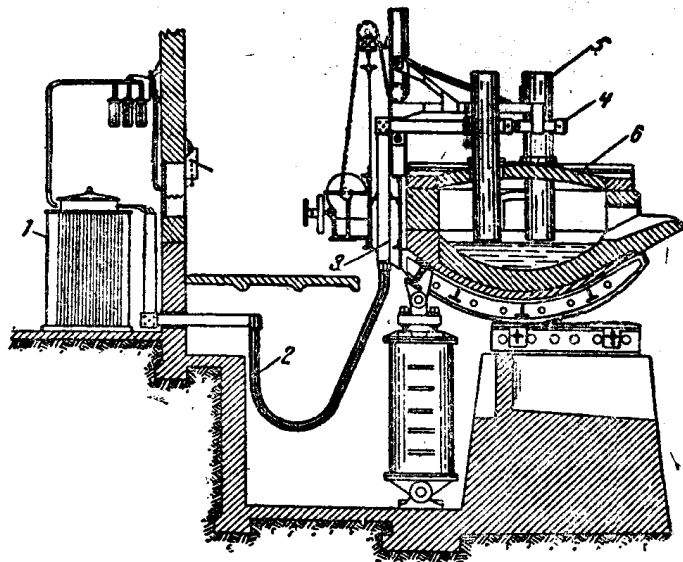


图 1—8 电炉构造：

1—变压器； 2—电缆； 3—支架； 4—电极夹持器；
5—电极； 6—炉顶。