

技工学校交流讲义

金属工艺学

陕西省电业局技工学校編

学校内部使用



中国工业出版社

本書首先介紹了黑色金屬的冶煉、純金屬及合金的基本性能和內部構造、碳鋼熱處理的基本理論和方法；然後分別介紹了黑色金屬中碳鋼、合金鋼、鑄鐵及有色金屬與合金的種類、性質和應用；同時還具體地分析了鋼性能在高溫作用下的變化、金屬的腐蝕與防腐方法、金屬的焊接與切割技術、鋼的質量鑑別法等內容。

本書是電力技工學校汽機、鍋爐安裝專業的教材，適用於入學程度為初中和高小畢業的學生，同時對發電廠機爐安裝、檢修等技術工人也有一定參考價值。

本書由陝西省電業局技工學校趙鉄成、符光才、石瑩紹、曾緯西、孫志文，北京電力技工學校毛伯勤編寫和修訂。並經水利電力部北京修造廠王愷謀、鄧銳炎、黃希堯、舒伯翔、魏炎興、張增榮、洪修德、陳昭善、史繼道、顧壽生、徐祖輝審查。

金屬工 藝 學

陝西省電業局技工學校編

水利電力部辦公廳圖書編輯部編輯（北京阜外月壇南營房）

中國工業出版社出版（北京修鐵廠路丙10號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

北京市印刷一廠印刷

新華書店北京發行所發行·各地新華書店經售

開本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印張 $6 \frac{5}{8}$ · 字數 138,000

1962年1月北京第一版·1962年1月北京第一次印刷

印數 0001—6,720 · 定價 (7-2) 0.54 元

統一書號: K15165 · 1221 (水電-192)

目 录

緒言	1
第 一 章 黑色金屬的冶煉	3
第一节 生鉄的冶煉	3
第二节 鋼的冶煉	9
第 二 章 金屬及合金的基本性能	15
第一节 金屬的物理性能	15
第二节 金屬的化学性能	21
第三节 金屬的机械性能	22
第 三 章 金屬和合金的内部構造	39
第一节 金屬的結晶結構	39
第二节 純金屬的結晶过程	42
第三节 合金的結構	46
第四节 合金平衡图的基本类型	50
第 四 章 碳鋼的热处理	56
第一节 热处理的理論基础	56
第二节 碳鋼的热处理	63
第三节 化学热处理	72
第 五 章 碳鋼	76
第一节 碳鋼的特点	76
第二节 碳鋼的分类与牌号	80
第三节 碳鋼在汽机和鍋爐上的应用	87
第 六 章 合金鋼	90
第一节 概述	90
第二节 合金元素对鋼性能的影响	92
第三节 合金鋼的分类及其牌号	95
第四节 合金結構鋼和合金工具鋼	98
第五节 特殊性能鋼	103
第六节 合金鋼在鍋爐和汽机上的应用	106
第 七 章 鑄鉄	107

第一节	概述	107
第二节	白口鉄	108
第三节	灰口鉄	108
第四节	变質鑄鉄	110
第五节	球墨鑄鉄	111
第六节	可鍛鑄鉄	113
第七节	合金鑄鉄	115
第八章	有色金屬及其合金	116
第一节	概述	116
第二节	銅合金	119
第三节	軸承合金	124
第九章	在高溫下鋼的性能变化	128
第一节	溫度对鋼机械性能的影响	128
第二节	蠕变現象及影响蠕变的因素	123
第三节	蠕变极限及其表示方法	144
第十章	金屬的腐蝕及防护	146
第一节	金屬的腐蝕	146
第二节	防止腐蝕的方法	152
第十一章	金屬的焊接与切割	156
第一节	焊接的概念	156
第二节	几种簡單的焊接	161
第三节	电弧焊接	166
第四节	气焊	177
第五节	焊縫缺陷	184
第六节	切割	185
第十二章	鋼的質量鑑別	188
第一节	鋼內化学成分的分析	188
第二节	鋼的显微检查	204
第三节	鋼的X射綫和 γ 射綫检查	205
第四节	鋼的探伤	207
主要参考書		210

緒 言

金属工艺学是研究金属的性质、生产及其加工方法的一門科学。它由下列几部分组成：

金属材料 是研究金属性质、成分和組織間关系的一門科学。它包括下列几部分：

(1) 黑色金属：生鉄、鋼——碳素鋼、合金鋼。

(2) 有色金属：鋁合金、鎂合金、鈦合金、銅合金、減摩合金。

热处理 是研究把金属在固态下加热及冷却，以得到某一需要性质的科学。

金属冶炼 是研究把矿石、废料熔炼成金属的科学。

鑄造 是研究把液体金属澆注到鑄型內以得到某一制品的科学。

压力加工 是研究在一定条件下借外力的作用，以得到某一制品的科学。

焊接 是研究利用热或热和压力，把两部分或两部分以上的金属接合起来的科学。

切削加工 是研究利用刀具去掉材料表面的多余金属，以得到某一制品的科学。

由上述可知：金属工艺学是一門綜合性的实用科学。

为了結合机、爐安装专业的实际需要，本教材內容中增加了在高溫下鋼性能的变化等章节；加强了金属的焊接与腐蝕等內容；刪去了与本专业关系不太大的鑄造、压力加工、切削加工等章节。因此，本教材的內容是有五部分組成的：

(1) 黑色金属的冶炼 包括炼鋼和炼鉄。研究从矿石中提炼出生鉄，将生鉄炼成鋼的方法。

(2) 金属学 包括金属性能、碳鋼热处理及金属材料等。研究金属及合金的成分、組織与性能之間的关系，以及

金属材料的应用。

(3) 在高温下钢的性能变化 研究高温对钢性能的影响以及钢的性能随温度的改变而发生变化的规律。

(4) 金属加工 只介绍焊接。研究把金属材料的连结部分加热到熔化或半熔化的状态而使其连结成为一整体的方法。

(5) 钢的质量鉴别 研究鉴别钢材质量的方法。

金属材料是现代工业的物质基础，没有更多的金属材料就满足不了高速度发展的工业的需要。在各项建设事业中，都大量地用着钢铁或有色金属，就以电力工业上材料的应用情况来说：建成一座 2×6000 瓩的汽轮发电机和 2×35 吨的锅炉火力发电厂，就需钢材 903 吨，有色金属 2.3 吨；随着发电容量的增大，钢铁和有色金属的需要量就更大。由此可知，在我们今后的工作中，无不与金属接触，要作到正确合理的使用金属材料，以达到节约原材料、提高质量、降低成本的目的，必须对这些材料的化学成分、机械性能、在生产中的用途、改变材料性能的方法具有一定的了解，才能更好地熟悉和精通安装工艺。

所以学习本课程的目的：了解金属材料的成分、性质和用途，了解金属加工的基本方法，以达到初步合理的选用材料、合理的确定加工方法，为更好的掌握和提高安装技术打下基础。

第一章 黑色金屬的冶煉

第一节 生鐵的冶煉

由于天然状态的純鐵几乎不存在，而且机械性能不好，所以在工业上不使用它。工业上所用的鐵都是生鐵，它是从矿石中提炼出来的。它的成分不仅有鐵，还有碳、硅、錳、硫、磷等杂质，而且所含的碳較多，約2%以上，所以被称为生鐵。

最古老的煉鐵方法是把鐵矿石和木炭放在爐子里，用风箱送风，使木炭燃烧到很高的温度，矿石中的鐵就熔化而流出。

当然，現代的煉鐵方法，就不是那样簡單了。現代的煉鐵方法有二种，即高爐煉鐵和电爐煉鐵。其中应用最广的是高爐煉鐵。

在現代化的鋼鐵联合企业中，应用高爐煉鐵的車間，所包括的设备，除高爐外，还有鼓风机、热风爐、机械化的装料设备，出鐵及除渣设备等。

生鐵的熔煉过程，就在高爐中进行；鼓风机則是用以代替风箱，向高爐送风的设备；而热风爐則是用来提高进入高爐之前的风的温度，以便提高高爐的生产效率。

現在我們就來說明生鐵的冶煉过程。

一、煉鐵用的原料

冶煉生鐵用的原料，包括鐵矿石、燃料和熔剂。

1. 鐵矿石 矿石是一种由鐵的化合物和废石的混合物所組成的岩石。鐵在矿石中是以各种氧化物的状态存在的，

在矿石中除鉄之外，其它所有的物质如石英、粘土、石灰石等都叫废石。废石中常含有各种硫化物和磷化物，这些化合物都会影响生鉄的质量；但废石中也存在一些镍、铬、钒等元素，这些元素却可以改善和提高生鉄的质量。

在冶炼生鉄时只利用含鉄不低于 30% 的鉄矿石。

目前多用下列的矿石冶炼生鉄：

磁鉄矿(Fe_3O_4)：这是一种黑色的矿物，有磁性，含鉄約 72%，同时有害杂质硫和磷的含量很少。

赤鉄矿(Fe_2O_3)：呈紅色，含鉄約 65%，有害的杂质含量也較少。

褐鉄矿($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)：黃褐色，含鉄約 30~40%，在自然界中分布較少。

2. 燃料 要保証生鉄有高的质量，用于高爐生产的燃料具备下列要求：即应有高的发热量，含有較少量的灰分，具有多孔性和高的高温强度，含硫量尽可能的少，因硫自燃料中渗入生鉄，会損害生鉄的质量，在炼鉄时利用两种燃料——焦炭和木炭。

焦炭（是把煤隔絕空气加热而成的，是一种輕而多孔且十分坚硬的燃料）其发热量約为 6500 大卡/公斤，含固定炭約 85%，水分約 6%，灰分約 15%，含硫及揮发分愈少愈好。

木炭（是将木材隔絕空气加热到 350~600° 而得到的产物）其发热量約为 7300 大卡/公斤，并且是炼生鉄最好的燃料，其中含灰分极少（1.0~1.8%），几乎完全不含硫，这是它的极大优点，但他的价格昂貴机械强度低，同时也很稀少。

3. 熔剂 矿石中的废石（石英或粘土）以及燃料中的

灰分，熔点很高約 1600°C 以上，在高爐中不可能熔化，為使它們熔化，必須在礦石中加入一種物質，這種物質能與礦石中的廢石及燃料中的灰分起作用，形成易熔的化合物，而以爐渣形態排出。

促使廢石和灰分熔化的物質叫熔劑。在冶煉鐵時，通常以石灰石作為熔劑。

二、高爐和煉鐵過程

1. 高爐 高爐是將鐵礦煉成各種生鐵用的。其尺寸和形狀對於爐子的生產率和生鐵質量有着很大的影響。高爐是一種立式爐，以木炭熔煉的，其高度可達20米，以焦炭熔煉的，其高度可達32米。高爐由下列各部(圖1-1)組成：爐頸、爐胸、爐腰、爐腹和爐缸。

爐料經爐頸裝入爐內。爐胸為一向下擴大的截錐體形。這種形狀可便於爐料在熔煉時自由下降。生鐵在爐腰爐腹區形成，然後熔化並流入爐缸中，爐腹為一個向上擴大的截錐體形；因此它能夠支持裝在爐腰、爐胸及爐頸內的全部固體爐料。

鐵液聚集在爐缸的爐底7上，爐渣輕於鐵液，因此成為單獨的一層浮於鐵液之上，將爐渣由出渣口5流出，生鐵則經出鐵口1流至澆鑄場，熔煉時所需要的空氣經位於爐缸周圍的風嘴4供給。

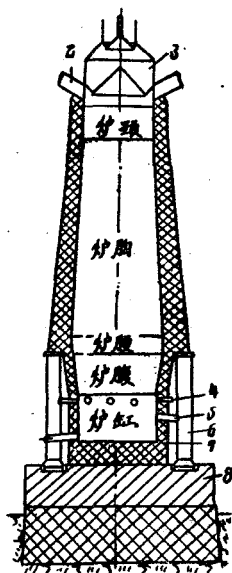


圖 1-1 高爐

爐頸上部有一裝料裝置 3 和用以排出爐內煤氣的排氣孔 2，爐子上部的重量經支柱 6 傳于爐基 8 上。

煉鐵原料先運至運料場然後倒入漏斗 3 中，再用料車沿傾斜升降機送到裝料裝置上，升降機和裝料裝置的操作完全是自動的（圖 1-2）。

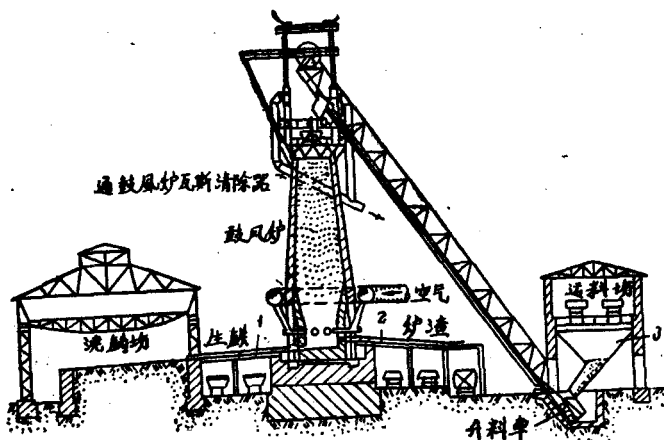
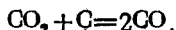


圖 1-2 高爐車間剖面圖

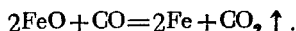
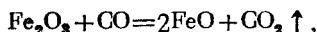
2. 煉鐵過程 煉鐵的實質就是將礦石中鐵的氧化物還原成鐵，並把廢石變成爐渣。

進入爐內之空氣中的氧與燃料中的碳產生反應，其方程式為： $C + O_2 = CO_2 \uparrow$ 。結果就發生大量的熱量，使風口處的溫度可達 $1700 \sim 1800^\circ C$ 。

二氧化碳(CO_2)向上升起與赤熱的燃料相接觸，並同燃料中的碳發生作用生成一氧化碳其反應如下：



在一氧化碳(CO)中每一份碳占有一份氧，而在二氧化碳(CO₂)中，每一份碳占有两份氧，这就是說一氧化碳是一种不稳定的化合物随时都可能从其它的氧化物中(包括氧化铁在内)夺取氧，而使氧化铁还原。例如赤铁矿的还原：



铁矿石还原后所获得的純铁溶解了碳、硅、錳、磷、硫之后就成为生铁。其在高爐中的溶炼过程簡述如下：先将焦炭、鉄矿及石灰石装入爐内。由于爐缸中风口附近的燃料烧掉，以及爐子下部鉄水及爐渣的生成及放出，爐内的原料不断下沉。燃料的燃烧是依靠吹入空气中的氧进行的。在溫度較低的高爐上部，原料开始預热，并蒸发而除去水分。在下一层溫度較高处，焦炭不完全燃烧形成一氧化碳夺去了矿石中的氧而获得了純鉄，下降到溫度更高处，其它杂质(硅、錳、硫、磷等)剧烈的溶于鉄内成液体生鉄而滴到爐缸。由于熔剂的作用，废石和燃料中的灰分，已变为液态的爐渣，浮于鉄水的表面。經一定時間后即可由出鉄口放出鉄水(1400~1450°C)由出渣口放出爐渣(1450~1500°C)。

三、高爐产品

高爐生产的产品主要有以下三項：

1. 生鉄 由炼鉄过程可知，高爐炼的生鉄，包含有以下成分：鉄、碳、硅、錳、磷、硫等，其中每种杂质的含量如表 1-1 所示。

在这些杂质中，影响生鉄性质最大的是碳，如果含碳量愈多，則生鉄愈硬愈脆。

2. 高爐煤气 高爐煤气是高爐的副产品之一，其成分

表 1-1

碳 (C)	硅 (Si)	锰 (Mn)	磷 (P)	硫 (S)
2~6%	0.5~3.5%	0.5~1%	0.1~1%	0.08~0.12%

大概如下:

CO_2 : 8~12%, H_2 : 2.5~3%, CH_4 : 0.2~0.4%,

CO : 25~28%, N_2 : 57~58%.

其中的 CO , H_2 , CH_4 全是可燃气体, 因此高爐煤气可作为工业上的燃料。

3. 爐渣 爐渣也是高爐的副产品之一, 根据爐渣的化学成分不同, 可以制造出不同的水泥, 渣砖, 矿物棉等, 这些都是现代工业建設中不可缺少的原料。同时, 爐渣还可以作为鋪路的材料。

虽然, 应用高爐炼铁时, 优点很多, 不仅是产量高、效率高, 而且产品的质量也比较高; 但是, 建造一台高爐不仅要化很大的投資, 而且需要的時間也很长, 由于高爐的产量高, 只适宜建造在铁矿儲藏量較丰富的地方; 这所有的条件, 都限制了鋼鐵工业的迅速发展。所以我国在大跃进以来, 由群众的智慧, 創造了许多土高爐, 用土办法来炼铁, 从而弥补了“洋高爐”的不足, 使我国鋼鐵工业迅速发展起来, 促进了国家工业化, 并促进了整个国民經济的大跃进, 大大縮短了我国在工业生产方面, 赶上和超过英国的进程。

所謂土高爐, 就是用簡單的方法建造起来的小高爐, 其中有許多設備都大大簡化了, 而且沒有热风爐、装料設備等等, 在沒有鼓风机的時候, 就用大型的风箱来代替。

目前, 这些“土高爐”都已加裝了許多設備, 逐漸过渡到

了小洋群，它所炼生铁的质量已基本接近“洋高爐”，因此，它的前途是非常廣闊的。

第二节 鋼的冶煉

含碳在 2 % 以下的鉄碳合金就叫做鋼。

鋼的生产是为了提高生鉄的性能而进行的，在第一节中已經指出，生鉄的含碳量較高，所以硬而且脆，不宜用来制造机器零件。如果将它繼續熔煉，使其含碳量达到 2 % 以下，則便成了鋼。所以鋼比生鉄有更好的物理性能和机械性能，能进行各种加工（如軋制、鍛造、焊接、淬火等），当鋼水溫度足够高时还有較好的流动性，这样，就便于鑄造成各种零件。

鋼里面所含的元素与生鉄相同，所不同的只是元素的含量不一样，鋼中含有的各种杂质均比生鉄要少。炼鋼一般以生鉄为原料，炼鋼的主要任务，就在于减少其中的含碳量，为此，炼鋼是采用氧化的方法来进行的。

当生鉄中的碳与氧化合时变成一氧化碳(CO)而揮发，其他的杂质变成液体氧化物(SiO_2 、 MnO 等等)，这些液体氧化物由于比重小，浮于金属液表面形成爐渣而排出，因此炼鋼与炼鉄不同：炼鋼是氧化过程而炼鉄是还原过程。最古老的炼鋼方法叫精炼法，它是把生鉄放在爐缸的赤热木炭上，生鉄受热漸溶化而流入爐缸的底部，同时与进入爐缸內的空气气流相混合，这时生鉄中的碳及杂质和空气中的氧气化合，发生燃烧而减少，生鉄就变成了可鍛的金属，經錘鍛打后就得到精炼鉄，这种方法成本高精炼慢。

现代炼鋼方法有：轉爐炼鋼法、平爐炼鋼法和电爐炼鋼法。

一、轉爐煉鋼法

轉爐煉鋼法在1856年第一次被应用，它是进行大量炼钢的最早的一种方法。

轉爐煉鋼法的实质是吹送空气通过注于轉爐中的生鉄液，生鉄中的碳及杂质与空气中的氧发生氧化作用而燃烧，因而使鉄水变为鋼水。

轉爐的構造如图1-3所示。轉爐是由梨形鋼壳1构成，內砌耐火材料2，装在由齿条5带动的可以旋轉的机架上，压缩空气經通风管4爐底3进入爐內。常用轉爐的容量为15~25吨，最高可达60吨。

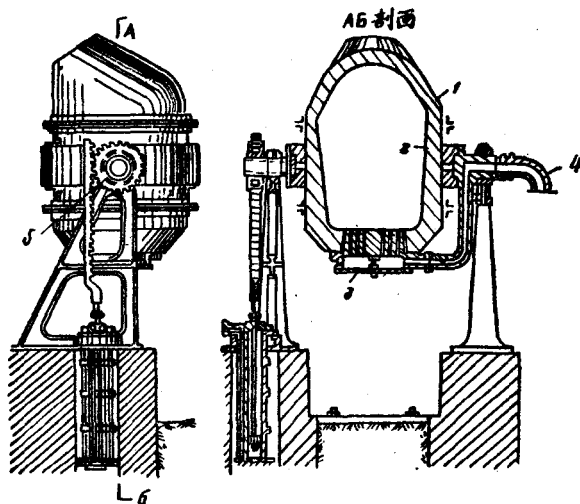


图 1-3 轉爐構造图

工作时，將轉爐轉成适当角度，注入生鉄时把轉爐迴轉到水平的位置（图1-4中的a）。生鉄液是由轉爐的开口处

(爐口) 注入的, 生鉄注入后便开始鼓风, 同时把轉爐慢慢轉到垂直的位置 (图 1-4 中的 *б*), 此时开始了轉爐的炼鋼过程。炼制好以后, 將鋼水倒出 (图 1-4 中的 *в*)。

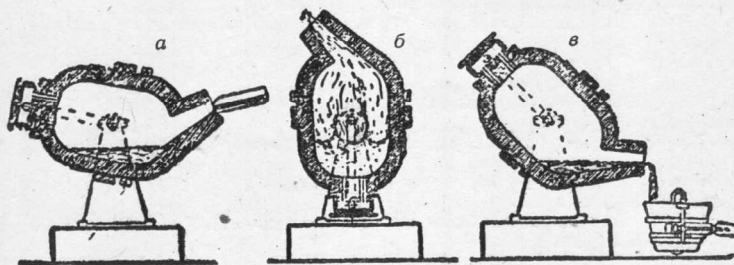
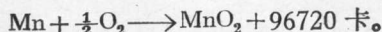
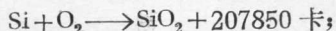
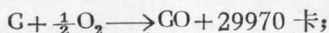
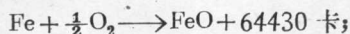
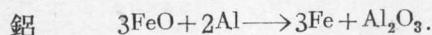
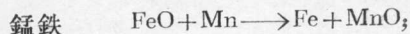
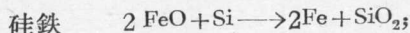


图 1-4 轉爐

当空气穿过生鉄液时, 空气中的氧与生鉄中的各元素发生反应, 而放出大量的热量, 这些热量提高了鋼的温度。



轉爐吹炼完毕后, 鋼液中溶有大量的一氧化鉄, 影响鋼的质量, 因此要加入脫氧剂, 以夺取一氧化鉄中的氧。常用的脫氧剂如硅鉄, 錳鉄和鋁等。脫氧按下列反应进行:



脫氧后形成的氧化物上浮成为爐渣, 脫氧后即可进行澆注。

轉爐炼鋼有两种不同的炼法: 一种是用酸性爐炼制。爐衬用的是酸性耐火材料, 主要是石英砂, 它不能把鉄中的磷

和硫去除，因而煉制出來的鋼含磷、硫較高，所以所使用的原料含磷應該少些。另一種是用鹼性爐煉制，用鎂砂和白云石做耐火材料，熔煉時又加入石灰石，這樣磷就會和石灰石起作用而變成浮渣去除掉。所以它可以用含磷較高的生鐵做原料。

轉爐煉鋼法的優點是：1) 生產率高（整個操作過程僅 15~20 分鐘），例如上海某煉鋼廠，每天曾吹煉 140 次之多，2) 設備簡單，操作方便，3) 不需供給燃料；但它也具有很多缺點，主要的有：1) 金屬的燃燒損失大（10~15%），2) 增加了鋼內的氮氣與一氧化鐵的成分，使鋼的性能變壞，3) 因為轉爐煉鋼速度快，故調整熔煉過程困難，不易控制鋼的成分。

由於這些缺點，所以轉爐煉鋼法的应用不如平爐煉鋼法廣泛。

二、平爐煉鋼法

所謂平爐就是如圖 1-5 所示的一種煉鋼爐。熔煉過程在爐膛中進行，其原料是從前牆上的數個裝料口用機械裝置裝入，煉得的鋼則從後牆的出鋼口流出，在熔煉過程中，出鋼口是用耐火材料堵住的。

平爐所用的燃料是高爐煤氣和煉焦爐煤氣的混合氣體，有時也採用液體燃料（重油）這些燃料是由外部供給的，不像轉爐煉鋼是依靠金屬內雜質的氧化來供給熱量，因此爐中的火焰溫度很高，生鐵可以液體狀態或固體狀態裝入爐內，並可採用各種成分的生鐵和廢鋼為爐料。

根據採用的耐火材料的性質所煉制出來的鋼分成鹼性平爐鋼或酸性平爐鋼。

常用的平爐容量為 30~200 噸，最大的可達 660 噸。

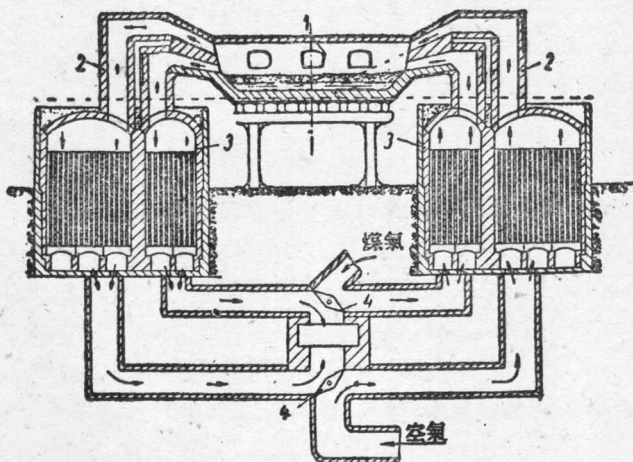


图 1-5 平爐構造示意图

1—爐壁；2—垂直孔道；3—蓄熱室；4—閥。

平爐煉鋼能够大量生产而且成本較低，应用平爐煉鋼能对鋼的品质加以較精确的控制，可以得到足够精确的、含碳 0.05% 和 0.05% 以下的最軟的結構鋼，以及用来做重要的切削工具的最硬的鋼，所以这种煉鋼方法适用于大型的鋼鐵联合企业。实际上目前世界各国鋼的产量中，大多数都是用平爐煉鋼的方法生产的。然而，要获得成分均匀，紧密性高，不含无用杂质及磷和硫含量极低的那种高級鋼，只有用电爐才能炼出。

三、电弧爐煉鋼法

电爐煉鋼法是以1802年俄国学者彼得洛夫所发现的电弧为基础的。爐中之热是由电极与金属液槽間形成的电弧所发生的，其温度可达 3500°C 以上。

图 1-6 是电弧爐構造簡图，三个炭精电极或石墨电极，