

高等学校教学用书

# 普通炼钢学

重庆大学冶金系炼钢教研组编著

只限学校内部使用



中国工业出版社

248284

高等学校教学用书

# 普通炼钢学

重庆大学冶金系炼钢教研组编著

只限学校内部使用

11  
合



中国工业出版社



原  
书  
缺  
页

原  
书  
缺  
页

# 目 录

第一章 緒論	7	§10. 几种特种鋼的吹炼法	61
§1. 鋼鉄在国民經济中的重大意义	7	§11. 側吹碱性轉炉的富氧吹炼法	62
§2. 炼鋼工业发展史	8	§12. 側吹碱性轉炉的吹損問題	63
§3. 我国鋼工业	9	第七章 側吹酸性轉炉炼鋼法	65
第二章 古 炼鋼法	11	§1. 鉄水成分和温度	65
§1. 低溫轉炉炼鋼法	11	§2. 吹炼过程概述	66
§2. 坩 埚	12	§3. 側吹酸性轉炉鋼的性能及用途	67
§3. 搅 拌 法	12	第八章 底吹酸性轉炉炼鋼法	68
§4. 苏 姆 冶 炼 法	13	§1. 底吹酸性轉炉生鉄	68
§5. 坩 埚 冶 炼 法	14	§2. 吹炼过程及其控制	68
第三章 炼鋼的物理化学基础	15	§3. 底吹酸性轉炉鋼的性能和用途	69
§1. 应用在炼鋼上的主要物理化学規律	15	§4. 底吹酸性轉炉法的近代操作	69
§2. 炼鋼炉渣	19	第九章 底吹碱性轉炉炼鋼法	71
§3. 炼鋼过程的主要反应	22	§1. 吹炼过程概述	71
§4. 脫氧的基本原理	28	§2. 底吹碱性轉炉炼鋼法产品的性能及用途	72
§5. 鋼中夹杂及气体	33	§3. 底吹碱性轉炉法的近代操作	72
第四章 炼鋼生产的原材料及筑炉材料	35	第十章 轉炉氩气炼鋼	74
§1. 金属炉料	35	§1. 純氧頂吹轉炉炼鋼法	74
§2. 熔剂——造渣材料	36	§2. 傾斜式旋轉炉炼鋼法(Kal-Do法)	77
§3. 氧化剂	37	§3. 臥式旋轉炉炼鋼法	78
§4. 脫氧剂和鉄合金	38	第十一章 轉炉的构造及附屬设备	79
§5. 筑炉材料	38	§1. 側吹轉炉的构造	79
第五章 轉炉炼鋼原理	42	§2. 側吹轉炉炉型的計算	81
§1. 轉炉炼鋼法的分类及其发展	42	§3. 側吹轉炉的傾动机构	87
§2. 轉炉吹炼过程中的流体运动	44	§4. 側吹轉炉的送风设备	87
§3. 轉炉中元素的氧化次序	45	§5. 側吹碱性轉炉的炉衬	88
§4. 轉炉炼鋼法的热平衡及温度制度	45	§6. 側吹酸性轉炉的炉衬	91
第六章 側吹碱性轉炉炼鋼法	48	§7. 底吹轉炉的构造	91
§1. 側吹碱性轉炉炼鋼的原材料	48	第十二章 炼鋼車間的化鉄炉	95
§2. 吹炼过程概述	49	§1. 化鉄炉内生鉄熔化的过程	95
§3. 吹炼制度	50	§2. 碱性化鉄炉及其操作	98
§4. 造渣制度	53	§3. 化鉄炉类型及其构造	103
§5. 側吹碱性轉炉内硅、錳及碳的氧化	54	§4. 热风炉及其操作	107
§6. 側吹碱性轉炉的去磷和去硫	56	第十三章 平炉炼鋼法概述	109
§7. 轉炉吹炼的温度問題	58	§1. 平炉炼鋼法的产生及其发展	109
§8. 脫氧和出鋼	59	§2. 平炉炼鋼法的类别	110
§9. 側吹碱性轉炉鋼的质量及品种	60	§3. 平炉的氧化特性	110

§4. 铁矿石的作用.....	111	§3. 平炉内气体流动的特征.....	155
§5. 废钢法中生铁的作用.....	112	§4. 平炉熔炼室内的热交换.....	156
§6. 熔炼中氧的消耗.....	113	§5. 平炉的热平衡和燃料消耗.....	158
§7. 平炉熔炼过程的化学反应.....	113	§6. 平炉的热工制度.....	159
§8. 平炉炉渣.....	117	§7. 强化平炉热工的措施.....	162
<b>第十四章 碱性平炉炼钢法</b> .....	122	§8. 平炉热工的控制和自动调节.....	164
§1. 碱性平炉炼钢的原材料.....	122	<b>第十九章 平炉构造及其附属设备</b> ...	167
§2. 补炉.....	125	§1. 平炉上部结构.....	167
§3. 炉料的装入及加热.....	126	§2. 平炉下部结构.....	177
§4. 炉料的熔化.....	128	§3. 平炉的附属设备及余热锅炉.....	180
§5. 精炼.....	130	§4. 可倾式平炉.....	187
§6. 脱氧和出钢.....	133	§5. 平炉改进的趋势.....	188
§7. 碱性平炉各种熔炼法的操作特点...	136	<b>第二十章 钢的浇注及钢锭的结构</b> ...	189
§8. 氧在平炉熔炼上的应用.....	137	§1. 钢的结晶.....	189
§9. 向熔池吹压缩空气强化熔炼.....	140	§2. 钢锭的偏析.....	193
<b>第十五章 酸性平炉炼钢法</b> .....	141	§3. 钢中气体及非金属夹杂.....	196
§1. 酸性平炉炉底.....	141	§4. 钢锭的缺陷及防止措施.....	199
§2. 酸性平炉的熔炼法.....	142	§5. 浇注的方法和浇注的设备.....	201
<b>第十六章 复合炼钢法和混合炼钢法</b> .....	144	§6. 浇注前的准备工作.....	207
§1. 转炉——平炉双联法.....	144	§7. 浇钢的工艺过程.....	211
§2. 碱性平炉——酸性平炉双联法.....	145	§8. 小钢锭的浇法.....	213
§3. 转炉——电炉双联法.....	145	§9. 连续铸锭.....	215
§4. 含钒生铁回收钒的复合熔炼法.....	146	§10. 真空处理.....	217
§5. 混合炼钢.....	146	§11. 钢锭的修整和钢锭质量的检查.....	220
<b>第十七章 特殊钢及合金钢的熔炼</b> ...	148	<b>第二十一章 炼钢车间的设备和布置</b> .....	222
§1. 电工用硅钢的熔炼.....	148	§1. 平炉炼钢车间.....	222
§2. 工业纯铁的熔炼.....	149	§2. 转炉炼钢车间.....	230
§3. 高锰钢的熔炼.....	149	<b>附录</b> .....	235
§4. 含铬合金钢的熔炼.....	150	§1. 侧吹碱性转炉炼钢的物料及热平衡计算.....	235
<b>第十八章 平炉燃料及其热工</b> .....	151	§2. 碱性平炉炼钢的配料计算及物料平衡.....	245
§1. 平炉燃料.....	151		
§2. 平炉内的燃料燃烧.....	153		

# 第一章 緒 論

鋼鐵是工業的“糧食”。世界各國工業發展的历史表明，一個國家經濟力量的水平及其增長，在很大程度上首先是由金屬生產的水平所決定的，而鋼和鐵在世界的金屬生產中又占了主要的地位，約占金屬生產總量的 95% 左右。

1880 年全世界鋼的年產量僅為 424.7 萬噸，而現在已達三億多噸。鋼鐵工業所以能獲得如此巨大的發展，這是因為鋼具有作為工程材料的寶貴性能：高的強度、良好的韌性、塑性及加工性；可以利用改變化學成分及熱處理的方法，在較大範圍內變更其性能；加入不同的合金元素，可以使鋼具有特殊性能，如超高強度、不銹、耐酸、耐熱、耐磨等性能，以滿足工業上的特殊需要。此外，鋼鐵冶金所用原料資源豐富，生產過程較簡單，適於大規模生產，這些因素也促進了鋼鐵工業的發展。

鋼鐵是包括熟鐵、鋼和生鐵的總稱。它們都是含有一定量的硅、錳等元素的鐵碳合金。由於含碳量的不同，使金屬性能發生顯著的變化。金屬中含碳量愈低，在高溫或低溫下的塑性就愈好；相反地，含碳量高時，其塑性就很差。因此，常以含碳量來劃分熟鐵、鋼和生鐵的界限。一般將含碳量小於 0.05% 的稱為熟鐵（極軟鋼），小於 1.7%（實際不大於 1.2%）的稱為鋼，大於 1.7% 的稱為生鐵。現將它們的化學成分列於表 1-1。

熟鐵、鋼及生鐵的化學成分

表 1-1

類 別	碳 c%	硅 Si%	錳 Mn%	硫 S%	磷 P%
熟 鐵	0.02~0.05	—	0.06	0.05	0.05
鋼(碳鋼)	< 1.7	< 0.5	< 1.0	≤ 0.05	≤ 0.05
生 鐵	3.4~4.5	1.0 ±	1.0 ±	< 0.06	< 0.3

从上表可見，除含碳量外，鋼和生鐵所含其它元素量也不相同。為了使生鐵轉變成鋼，必須除去生鐵中過多的元素，而這些元素主要是通過氧化反應除去的。因此，煉鋼過程主要是氧化過程。此外，熔煉所得的鋼水，必須注成鋼錠，才能軋製成鋼材。

煉鋼學的主要任務是研究熔煉及鑄錠的方法、工藝過程的物理化學本質及煉鋼設備的構造和車間布置等。

## § 1. 鋼鐵在發展國民經濟中的重大意義

人類發展的历史，經過漫長的石器時代之後，進入了銅器和鐵器時代。直到今天，鋼鐵仍然是人類製造勞動工具的最主要材料。

鋼鐵工業是一切工業發展的基礎，沒有鋼鐵工業，就不能發展國民經濟的各個部門；同時，也就不可能有強大的國防力量。根據我國建設的經驗，每一億元的基本建設投資需鋼材 22000 噸；大型鋼鐵聯合企業的建設需鋼材 35 萬噸和設備 20 萬噸；每一億元的機械工業產值需鋼材 15000 噸；鋪設一公里鐵路所需的鋼材達 100 多噸；一台五十



四匹馬力的拖拉机需鋼材 2.3 吨。

現代鋼鐵工业是一个庞大而又是有機結合的整体，是与其他若干巨大工业部門有着各种形式和不同程度的关联，这些相關部門的規模、技术水平和工作进程都是鋼鐵工业建設和发展的前提条件。

1958年，在农业生产大跃进的形势下，党中央提出的“以鋼为綱、全面跃进”的方針，促进了整个国民經济高速度、有計劃、按比例地发展。出現了一个“一馬当先、万馬奔騰”的全面大跃进局面，并为 1959 年及 1960 年的持續大跃进奠定了物质基础。

綜上所述，就可以完全理解，鋼的生产水平标志着一个国家整个国民經济的发展水平，并对巩固国防起着非常重要的作用。

## § 2. 炼鋼工业发展史

人类用鉄的历史已經很久远了。我国是世界上使用鉄最早的国家之一。根据地下发掘的材料証明，我国在战国时代（公元前 403—222 年）已經广泛地使用了鑄鉄器具，这说明在 2300 多年前，中国的炼鉄技术已經相当发达。根据古代文献記載，我国远在战国之前就开始使用鉄器，例如詩經中就有关于“鉄”的文字。而欧洲用鉄还是十世紀以后的事情。

由矿石炼鉄最早的方法是原始炼毛鉄法。这种方法是利用矿石在低温下还原，得到毛鉄块。由于产品含碳低，可塑性大，能直接鍛打成为工具。

由于人們对鉄的需要日益增加，因而采取加高炉身，改进鼓风設備来提高产量。但是由于冶炼温度的提高，渗碳反应加强，产品不再是毛鉄而是生鉄了。生鉄含碳很高，性質很脆，不能鍛打。为了得到可鍛的鋼，于是将生鉄进行炒炼，从此产生了二步法。由矿石冶炼成生鉄，再由生鉄轉变成鋼的二步法的出現，开辟了鋼鐵冶金发展历史上的新紀元。

生鉄炼成鋼的最早方法是炒炼法，产品为半液体状。我国早在战国时代就已出現炒炼法，到南北朝时代（公元 550 年左右）灌鋼法就已盛行于世。河南商城的低温炼鋼法，也是炒炼法的一种。重庆北碚苏鋼厂的苏鋼法，实际上是繼承并发展了古代的灌鋼法。

由于木材不足，炒炼法受到限制。于是出現了以烟煤为燃料的攪拌法。

无论炒炼法或攪拌法，規模都很小，而且消耗燃料很多，产品为半流动状态，不能鑄造。于是在 1740 年，出現了得到液体产品的坩埚炼鋼法。

坩埚炼鋼法在当时是以熟鉄作原料，渗以炭粉在坩埚內熔化而得到液体鋼的最早方法，但此法产量小而成本高。1856 年又发明了底吹酸性轉炉炼鋼法。

底吹酸性轉炉炼鋼法是近代炼鋼方法的开端。它为人类生产了大量的廉价鋼，促进了欧洲的工业革命。但由于此法不能去除硫及磷，因而其发展受到資源的限制。

为了使用含磷較高的生鉄来炼鋼，于是在 1879 年出現了底吹碱性轉炉炼鋼法。这种方法使用碱性炉衬的轉炉来处理高磷生鉄。

虽然轉炉法可以大量生产鋼，但它对生鉄成分有較严格的要求，而且一般不能多用废鋼。随着工业的进一步发展，废鋼越来越多。所以在底吹酸性轉炉法发明后不到十年，法国人馬丁利用蓄热原理，在 1864 年創立了平炉炼鋼法。最初的平炉也是酸性的，1880

年后才有碱性平炉出现。平炉炼钢法对所用原料的要求不是那样严格，容量大，生产的品种多，所以不到廿年它就成为世界上主要的炼钢方法。现代世界的产钢量中，85%左右是平炉炼出来的。

由于工业发展，对钢的品种要求愈来愈多，对钢的质量要求愈来愈高；而电力工业的发展，大型的发电机及变压器相继制成，故于1899年出现了电炉炼钢法。

综上所述，近代大规模生产的炼钢方法，按热能来源的不同，可分为三大类，即转炉炼钢法、平炉炼钢法和电炉炼钢法。

转炉炼钢法是利用空气或氧气来把铁水吹炼成钢的方法，它是产量很高的一种炼钢方法。按供风部位的不同，可分为侧吹、顶吹及底吹三种。

平炉炼钢法是使用燃料燃烧供给热能并以生铁和废钢作原料的一种熔炼方法，它是近代生产钢的主要方法之一。

电炉炼钢法是利用电能转变为热能的一种熔炼方法，它是生产优质合金钢的主要方法。

目前世界上大型钢铁联合企业的规模是相当大的，就其炼钢能力而言，年产量可达500万吨，炼钢炉均有向大容量发展的趋势。而生产过程则朝着操作机械化和自动化的方向发展；此外广泛采用了各种新技术，如氧气炼钢、连续铸锭及真空处理等，以强化工艺过程，提高生产率，扩大品种，改进产品质量及降低原材料消耗。

近代的两步炼钢法经过了近百年的发展，生产达到相当巨大的规模，并且有很高的技术经济指标，但两步法毕竟是不合理的。这是因为在高炉炼铁时，不仅有矿石的还原反应，同时也出现了铁的渗碳过程，而在炼钢时又必须去除生铁中过多的碳。这样看来，两步冶炼法中高炉的大量渗碳是多余的，这就引起了冶金工作者去探索由矿石直接炼钢的新方法的兴趣。

一步法已出现了魏比尔(Wiberg)法和迴转窑炼制海绵铁等，近年来已将流态化技术应用于一歩法炼钢的试验研究方面。

到目前为止，虽然还未能创造出从矿石一步得到钢（特别是液体钢）的工业性生产方法，但已能通过某些方法得到含铁很高而含碳及磷、硫低的半成品。用它作炼钢原料，就能大大地简化炼钢过程，显著地提高产量。

现有的一步法在技术上和设备上均存在某些困难，尚不能与二歩法相竞争，但这种方法是有发展前途的。

### § 3. 我国的炼钢工业

我国是世界钢铁冶金起源最早的国家之一。我国的古代冶金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他用具。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。清朝光绪年间（1890年）建立了我国第一个钢铁厂——汉阳钢铁厂，其后相继建立了上海钢厂、鞍山钢厂及太原钢厂等。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。绝大多数炼钢厂都操纵在帝国主义和少数官僚买办阶级手里。他们掠夺我国资源，把大量铁矿石和生

鉄运往国外，炼鋼和軋鋼能力則极为薄弱，而且 85% 以上的鋼鉄厂都集中在靠近沿海地区。

1943年是旧中国历史上产鋼最多的一年，包括当时为日寇侵占的东北地区在内，产量也不过只有 90 多万吨。但这也仅是曇花一現，到了全国解放前夕的 1949 年，由于在长期战争中，国民党反动派的无耻卖国和瘋狂破坏，鋼的产量只有 15.82 万吨，而国民党統治区的产鋼量仅四万多吨，絕大部分鋼鉄厂均处于停頓状态。

建国以来，党和政政对于发展鋼鉄工业給予了极大的重視。由于党的正确領導，工人阶级創造性的忘我劳动，十余年来，我国炼鋼工业取得了巨大的成就。

我国的鋼鉄工业经历了短短三年的恢复时期，到 1952 年就使鋼的年产量达到 135 万吨，大大超过了解放前的最高年产水平。

1953年开始的第一个五年計劃，以发展重工业为中心，对鋼鉄工业进行了大規模有計劃的建設，除充分利用原有企业設備挖掘生产潛力外，国家集中了較大力量进行重点建設。这些基本建設，無論在規模上和技术装备上，都是世界第一流的。由于扩建和新建了一批現代化鋼鉄企业，我国新的作为骨干的鋼鉄基地已經基本建成，1957年的鋼产量达到了 535 万吨。

1958年，我国开始了第二个五年計劃，在党的鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，連續三年大跃进，工业生产水平已大大提高，鋼鉄工业的建設規模和发展速度是史无前例的。1960年鋼产量已达 1845 万吨，在世界鋼产量名列中，已由 1949 年的第二十六位上升到 1957 年的第九位，1960 年又跃居世界的第六位。

1958 年的鋼产量等于 1949 年的七十倍，每年平均增长速度为 60.5%（包括土鋼在内）。这是世界炼鋼工业历史上从未有过的，更是資本主义国家所望尘莫及的。例如在上述时期内，主要資本主义国家鋼产量的每年平均增长速度为：美国 1%，英国 2.6%，法国 5.4%，西德 10.2%。

我国鋼鉄工业体系已經初步形成。除了一批新的現代化的大型鋼鉄联合企业已相繼成长并分布于东北、华北、华东、华中和西南等广大地区外，全国建立了数以千計的小型鋼鉄厂，全国各省区都已能生产鋼鉄。它将对我国今后国民經济的不断高涨产生深远的影响。此外，鋼鉄工业体系的逐漸形成还表現在：鋼鉄工业生产系統殘缺不全的状况已起了根本的变化，从矿石的采掘到鋼材的軋制之間的相对平衡及比例关系，已經逐步走向合理；我国国民經济各部門发展所需各种鋼材的自給率也大大地提高。

我国在炼鋼技术方面也取得了一些巨大成就，一些重要技术經济指标有了显著的提高并跃居世界先进水平。

## 第二章 古代炼鋼法

炼鋼方法的发展和社会的发展有着密切的联系。由于社会生产力的不断提高，需要数量更多、质量更好的鋼鉄材料，因而对鋼鉄工业不断地提出新的要求，促进了炼鋼方法不断地改进和向前发展。

以現代的技术水平来衡量古代的一些炼鋼方法，自然有某些缺点。例如，生产能力低，原材料和燃料消耗量大，鋼的质量也較差。但在不同的历史阶段，古代炼鋼法对生产力的发展，均起了一定的作用，同时也具有一些特点：如冶炼的温度低；对原材料和耐火材料要求不高；炉子結構简单；产品为糊状物，不需加脱氧剂等。同时，产品还能满足一般民用鋼的要求。

在1958年全民办鋼鉄的伟大运动中，在兴办小土高炉的同时，各地建成了成千上万座土法炼鋼炉，土鋼的产量达到300多万吨，满足了农业大跃进的需要。同时，通过炼鋼运动，使这些古代炼鋼法在生产設備及技术上有了很大的改进和发展，并且促进了我国鋼鉄工业的大跃进。

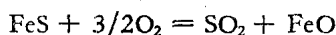
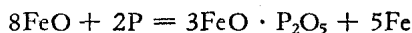
土法炼鋼在我国分布很广。在近代炼鋼法未采用以前，我国民間所需鋼材全由这些方法生产。就是近代炼鋼法在我国建立以后，农村所用的鋼也大半是由土法炼鋼供給的。

在土洋并举的方針指导下，今后在农村中，特别是在尚未兴建近代炼鋼工业的地方，因地制宜采用土法炼鋼，仍可以满足农业发展的部分需要。

### § 1. 低温反射炉炼鋼法

低温反射炉炼鋼法在我国西南民間又称为鸡窝炉炼鋼法。它发生于战国时代，广泛地流传于农村中，是我国历代农村所采用的主要炼鋼方法。

低温反射炉炼鋼法的基本原理是：由燃烧室内产生的火焰进入炉膛，将生鉄加热到白热，然后用鉄棒捣碎成粉状，并极力搅拌，以增大其与炉内氧化性炉渣及氧化性气氛的接触面积，使生鉄所含的杂质(硅、<sup>Si</sup>锰、<sup>Mn</sup>碳及<sup>C</sup>硫、<sup>S</sup>磷)能够大量氧化。由于炉渣含的氧化鉄很高，通过氧化作用能除去大量的磷及少部分硫，其反应如下：



经过炒拌和成团后，取出鍛打，除去大量夹渣而得到熟鉄。

炉子由燃烧室和炉膛构成。图2-1为四川某地低温反射炉构造图。

在1958年的全民炼鋼运动中，此法得到了进一步的发展和改进。在炉子結構上出现了一炉二膛及一炉多膛的类型。

操作时，先将烟煤或木柴加入燃烧室内，再把土生鉄放入炉膛，加热到1250°C左右时，用鉄棒将鉄块尽力捣碎，还可加鉄矿石或氧化鉄皮来強化杂质的氧化，使炒炼时间縮短。当杂质氧化到一定程度后，将鉄拨至炉内高温处成堆，渣液流去后，鉄粒焊合成

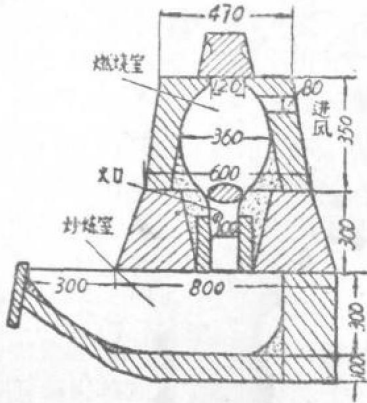


图 2-1 四川的反射炉结构图

闭，然后取出锻打去渣，得到熟铁。

产品成分为： $C 0.04 \sim 0.12\%$ ； $Mn, Si 0.02 \sim 0.05\%$ ； $P, S 0.05 \sim 0.15\%$ （与原料含硫和含磷量有关）。熟铁的质量比低碳钢差些，因其成分不均匀及组织不紧密，但可作农具及手工业用钢。

### § 2. 炒 炼 法

炒炼法是我国流传已久的一种炼钢方法，流行于河南商城及湖北、安徽等地区。炉子结构如图 2-2 所示。通常是两个炉子修建在一起，轮流使用。

操作时，先在炉缸内加木柴（或木炭），鼓风后，再加入第二批木柴和生铁块，俟铁块发白时，经过搅炒、锻打等过程即得到熟铁块，其与前述低温反射炉法不同之点，仅是它的燃料和生铁一起放在炉缸中进行炒炼。这种炉子还可直接用铁水作原料，以节约木柴用量及缩短炒铁时间。

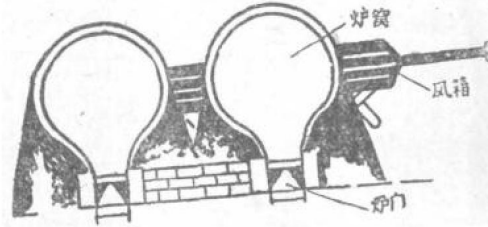


图 2-2 商城低温炒钢炉

### § 3. 搅 拌 法

炒炼法消耗大量木柴，而木柴来源是有限的，于是产生了使用烟煤来代替木柴作燃

料的新炒铁方法。这就是 1784 年出现的所谓搅拌法，又称为普德林法，是 18~19 世纪欧洲生产钢的一个主要方法。

普德林法用烟煤作燃料，为了避免燃烧时燃料中的灰分及硫进入金属中，因此炉子结构的特点是：燃料的燃烧是在与熔炼室分离的火箱中进行，燃烧形成的火焰由于低矮炉顶的反射作用，把热能传给金属。

炉子结构如图 2-3 所示。炉底一般用含氧化铁较高的铁矿石烧结而成。

操作时，加入的生铁块被火焰加热熔化时，在氧化

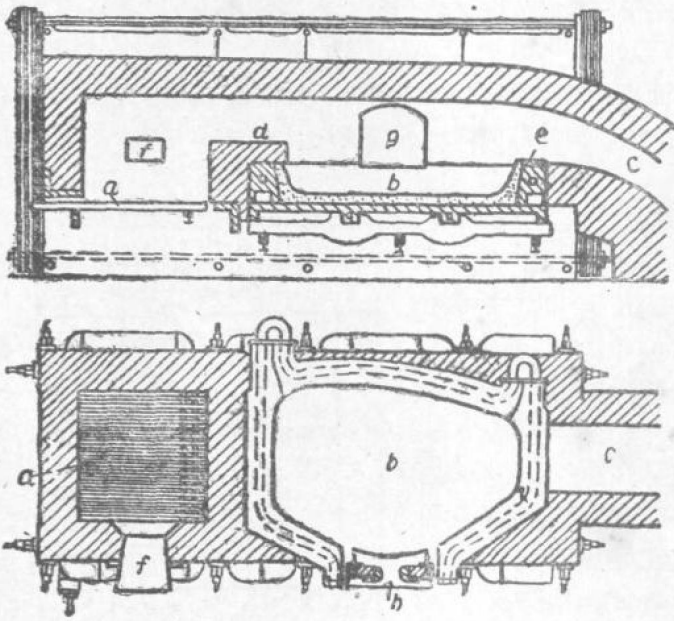


图 2-3 普德林炉的结构图

a—炉条；b—熔炼室；c—烟道；d—火桥；e—翻火墙；f—火口；g—装料门；h—装料门。

性炉气的作用下，硅、锰及磷等元素首先被氧化，形成炉渣。可加入少量矿石或氧化铁皮来加速元素的氧化。随着温度的升高，碳进行氧化。在碳氧化过程中，由于反应产物CO气泡的大量放出，熔池发生强烈沸腾。随着金属含碳量的下降，金属的熔点超过了炉子所能达到的最高温度(约1400℃左右)，于是有铁结晶析出。此时必须用铁杆不断搅拌金属，并用铁杆将分散的铁晶粒粘合成团。然后取出，经挤压、锻打后成为熟铁。

搅拌法的特点可以大量去P，因为炉底由铁矿石烧结而成；炉渣中又含有大量的氧化铁，能够满足磷的氧化及与生成的 $P_2O_5$ 结合成磷酸铁所需的氧化铁；同时炉子温度较低(在1400℃以下)，磷酸铁不易分解。

此法的生产率低，整个冶炼都需繁重的体力劳动，同时燃料消耗量也大，产品中含渣又多。但熟铁具有较好的塑性、焊接性和抗腐蚀性，特别适于制造铆钉、链条等需要韧性大的零件。因此，熟铁在工业上仍有它的应用范围。但是原有的搅拌法又不适用于现代生产，于是产生了近代生产熟铁的方法，这就是1927年出现的爱斯顿法。

爱斯顿法实质上是一种人工合成熟铁法。从化铁炉出来的铁水在转炉或平炉中炼成低碳钢，然后出钢于盛钢桶中，桶内装有预先配制好的氧化铁渣(其成分与熟铁渣相当)，当钢液与渣液在桶中相混时，钢液中的杂质能进一步降低；同时，由于温度下降，铁成品析出，得到含渣的铁，经取出、挤压和锻打而得到熟铁。

#### §4. 苏钢冶炼法

苏钢冶炼法约在公元550年流行于我国江苏一带。明代宋应星所著“天工开物”一书内，有关于苏钢冶炼的记载：“凡铁分生熟，出炉未炒则生，既炒则熟，生熟相合，炼而成钢。”当时称为灌钢冶炼法。现在重庆北碚及四川威远等处有苏钢冶炼厂，用以生产工具用的土钢。

当坩埚炼钢法未发明以前，世界上的钢铁冶炼技术还停留在低温冶炼，即所谓炼熟铁的阶段，钢与渣在冶炼时不易分离，而我国的劳动人民就以苏钢冶炼法解决了冶炼时铁与渣相互分离的问题。

苏钢冶炼法的基本原理是：将液态生铁在炉内的高温下淋入未经锻打去渣的毛铁，即所谓料铁内，铁水与其中的氧化铁渣相遇，发生作用，产生的气泡(CO)冲走了部分渣子，同时铁水对料铁发生增碳作用，得到含碳在0.6~0.9%的钢。

生产苏钢的过程一般分为三步。首先，用生铁块在低温反射炉中炒成料铁。其次，将这种料铁放入抹钢炉内，加热到高温时，在料铁上约200~300毫米处放置小块生铁板。生铁熔化后，铁液成滴地滴入料铁中，与料铁中熔化了的高氧化铁渣发生作用，铁水中的杂质为熔渣中的FeO所氧化，杂质含量降低。同时，铁水又对料铁块进行增碳，得到较致密的钢团。最后，将钢团放在锻造炉中加热到一定温度，锻打成钢条，趁热投入水中进行淬火。

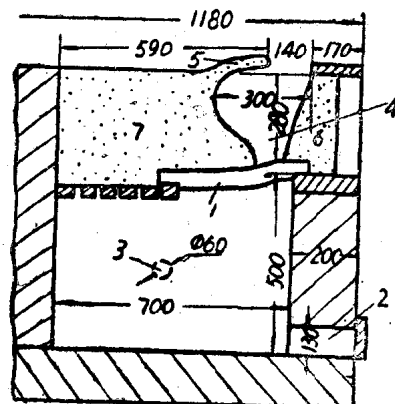


图 2-4 抹钢炉结构图

1—铁炉条； 2—清渣门； 3—进风口；  
4—抹钢室；5—顶盖；6—前墙；7—后墙。

图2-4 是抹鋼炉。产品含碳 0.6~0.9%；硅、錳均为 0.02~0.05%。除硅及錳較低外，其它成分与一般工具鋼相同。产品可作刀具及农具等。产品的缺点是成分不均匀，特别是碳的含量相差較大，个别地方尚出現較大裂紋。此外，成本高，成分也难以控制。但因做成的刀具較鋒利，目前仍为西南一带广大农民所欢迎。

## § 5. 坩埚炼鋼法

上面所述的各种古代炼鋼法所得产品大都是糊状的而无鑄造性。因此，产生了制取液体鋼的坩埚炼鋼法。

我国的鑄鋼工人很早就用粘土做的坩埚来熔化生鉄，热补生鉄鍋，可以說是坩埚在熔化上的最早应用，但未用以炼鋼。

坩埚炼鋼法是在石墨坩埚或粘土坩埚中放入废鋼或熟鉄，并配合炭粉及合金元素等，在火焰炉中加热、熔化而得液体鋼。

坩埚的容量一般在 10~60 公斤。

坩埚炼鋼法的熔炼可分三个阶段：

1. 熔化期：一般約需 2~4 小时。
2. 沸騰期：当炉料熔化后，坩埚内的温度上升到 1450~1500°C 时，由于其内碳的氧化，发生沸騰。
3. 鎮靜期：俟沸騰停止后，須在炉中停留一段时间才能出炉，这主要在于提温及使鋼中气体及夹杂排出。当温度达到規定时，即可出鋼，浇成小鋼錠。

坩埚法的特点是其中元素的氧化反应微弱，原料要求严格，配料必須准确，其成分与产品成分相差不多。由于坩埚内的炉料不和氧化性气氛接触，坩埚壁上的  $\text{SiO}_2$  能发生还原，还原而得的硅进入鋼中有自动脱氧的作用，因此可得到质量較高的鋼。坩埚炼鋼法宜于炼高炭鋼和合金鋼。

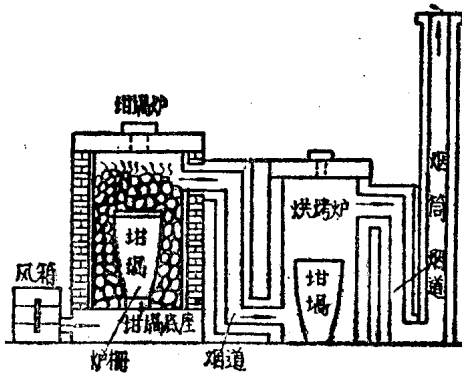


图 2-5 坩埚炉示意图

小規模生产的坩埚炉一般多用焦炭作燃料，此种炉子如图 2-5 所示。用煤气作燃料、設置有蓄热室的煤气坩埚炉，可用来大量生产坩埚鋼。这种炉子一次可装 48~72 个坩埚。

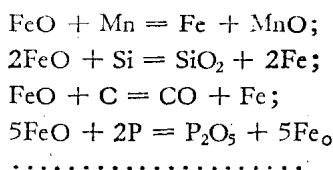
坩埚炼鋼法的燃料消耗量大，生产率低，成本高，因此它已为电炉炼鋼法所代替。

### 第三章 炼钢的物理化学基础

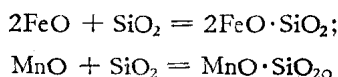
钢是碳、硅、锰及其它元素在铁中的固溶体。钢中存在的元素可大致分为两大类：如碳、锰、硅等是用以改善钢的性能、以满足工程材料要求的有益元素；另一类，如磷、硫、氧、氢及氮等，是从炉料或从大气中进入的，它们的存在会使钢的性能变坏，是有害元素。因此，必须按工程材料性能的要求，规定这些元素在钢中允许的最大含量。

炼钢的任务在于通过化学反应，除去原材料中的杂质，并调整钢水的成分和温度，达到规定的要求，最后铸成合格的钢锭。

炉料装入炉内后，在氧化剂（空气、矿石或氧）的作用下，铁首先氧化，形成一氧化铁。因为铁的浓度最大，按质量作用定律应先氧化。形成的一氧化铁与炉料中能被氧化的元素，如硅、锰、碳等发生作用。其反应如下：



形成的氧化物从金属中排除，上浮于金属层之上形成炉渣，其反应如下：



生成的CO以气泡状自金属中排除，使熔池发生搅拌。

为了除去炉料中的有害杂质，如磷及硫，必须向炉内加入造渣剂。

随着氧化过程的进行，金属中溶解了较多的氧，必须在浇注以前，加入能除去氧的还原剂（称为脱氧剂），将其中氧量降低到符合钢种规定的要求，这就是脱氧。

脱氧后，钢中有害元素的含量已降到规定限度。最后，按钢种的规格补加各种合金元素，调整其成分。实际上，脱氧和调整钢液的最后成分是同时进行的。

钢水浇入钢锭模后，凝固时发生化学及物理的不均匀性，因而产生某些缺陷，使钢的性能变坏。

为了获得良好的钢锭，在熔炼及浇注过程中，必须创立能促进有利反应发展，并限制不利反应进行的条件。因此，应先了解炼钢反应的特征及外界条件变化对它的影响。

现在从两方面来研究这些反应。从化学热力学上来分析反应进行的方向、条件及其限度；从动力学上来分析反应进行的速度及其机构。影响反应速度的主要因素是物质的浓度、扩散速度、温度、压力及表面能量等。但现在尚不能得出这些因素对反应速度的定量关系，仅能在某些方面对影响速度的因素作出定性的说明。

#### § 1. 应用在炼钢上的主要物理化学规律

##### 化 学 平 衡

炼钢炉内进行的反应是多相性的，它包括金属、炉渣、炉气及炉衬。由这些相所组



成的体系力求达到平衡状态。应该指出，平衡状态并不是静止的状态，而是正反应及逆反应的速度相等，体系的自由能变化趋近于零。

利用反应的平衡关系，可以了解炉内化学反应进行的方向及达到平衡时具有的特性，以便控制反应进行的条件。

任一反应的平衡常数与其体系自由能的变化之间存在一定的关系。因此，可利用此关系来确定反应的平衡常数。

反应的方程式一般表示如下：



它的平衡常数为：

$$K_p = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

反应自由能的变化与平衡常数  $K_p$  之间有如下关系：

$$\Delta F^0 = RT \ln K_p。$$

自由能变化与热函和熵的变化之间的关系如下：

$$\Delta F^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$$

合并上面二式得下式：

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H^0}{4.575T} + \frac{\Delta S^0}{4.575},$$

式中： $\Delta F^0$ ——体系自由能的变化；

$\Delta H^0$ ——体系热函的变化；

$\Delta S^0$ ——体系熵的变化。

由于炼钢温度变化的范围不大， $\Delta H^0$  及  $\Delta S^0$  和温度的关系很小，可认为是不变的。于是，将上式写成：

$$\lg K_p = \frac{A}{T} + b,$$

式中：

$$A = \frac{-\Delta H^0}{4.575},$$

$$b = \frac{\Delta S^0}{4.575}。$$

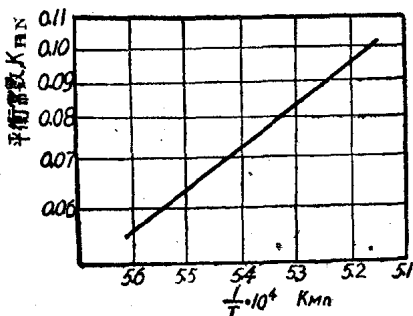
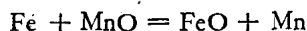


图 3-1 锰氧化的平衡常数与温度的关系

由上式可见，反应的平衡常数和温度的关系能用  $\lg K_p$  及  $\frac{1}{T}$  的直线关系表示。

例如：



的平衡常数和温度的关系如图 3-1 所示。

在平衡常数的式中，反应物的浓度常用重量百分数表示，而气体物质的浓度一般用分压力表示。对于实际溶液的溶解物，其平衡常数应用物质的活度来表示。