

中等专业学校教学用书



电炉钢及铁合金冶炼

本溪钢铁学院编

中国工业出版社

全书共分三篇廿四章。第一篇叙述炼钢的理论基础，第二篇论述电炉钢的生产工艺，第三篇介绍各种铁合金生产的基本原理和冶炼方法。

本书可作为中等专业学校电炉炼钢及铁合金专业的教材，也可供电炉钢和铁合金冶炼车间的中等技术人员参考。

电炉钢及铁合金冶炼

本溪钢铁学院编

*

中国工业出版社出版（北京编辑室编 10 编）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 110 号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 • 各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ • 印张 $6^{11/16}$ • 字数 175,000

1961 年 8 月北京第一版 • 1961 年 8 月北京第一次印刷

印数 0001—1,037 • 定价（9—4）0.74 元

统一书号：15165 • 201（合 2—73）^{1.28}

序 言

本书修訂本和第一版比較起来，作了如下的变动：

（一）根据冶金工业部1959年制訂的教学計劃，中等专业学校电炉炼鋼及鉄合金专业設有电冶金車間机械設備及电气設備課程，故刪去了书中与該两課程相重复的部份內容。

（二）个别章节的內容作了必要的調整和修改，其目的在于使結構比較緊湊合理，內容比較完善适用。

由于時間非常匆促，修改工作作得很不細致，因此书中內容可能还有不合适的地方，这有待于在教学实践中不断摸索和改进，希望讀者随时指教。

編 者

1961年4月

目 录

緒論.....	5
---------	---

第一篇 炼鋼的理論基础

第一章 鋼的物理化学性质.....	7
第二章 炉渣的物理化学性质.....	17
第三章 炼鋼过程的主要反应.....	34

第二篇 电 炉 炼 鋼

第四章 炼鋼原料及冶炼前炉料的准备.....	70
第五章 碱性电弧炉氧化法炼鋼.....	86
第六章 碱性电弧炉不氧化法炼鋼.....	119
第七章 联合炼鋼法与混合炼鋼法.....	121
第八章 酸性电弧炉炼鋼.....	124
第九章 优质鋼的浇注.....	130
第十章 合金鋼的冶炼特点.....	164
第十一章 无芯感应炉炼鋼.....	186
第十二章 炼鋼电弧炉的計算.....	196
第十三章 电炉炼鋼車間布置及其技術經濟指标.....	213

第三篇 鉄合金的冶炼

第十四章 鉄合金冶炼电炉及其計算.....	226
第十五章 鉄合金冶炼概述.....	234
第十六章 硅鉄的冶炼.....	242
第十七章 锰鉄的冶炼.....	270
第十八章 鉻鉄的冶炼.....	289
第十九章 錳鉄的冶炼.....	316
第二十章 鉬鉄的冶炼.....	324
第二十一章 鈦鉄的冶炼.....	338
第二十二章 钨鉄的冶炼.....	345
第二十三章 鉄合金冶炼車間的布置.....	350
第二十四章 鉄合金冶炼車間的安全技術.....	356

中等专业学校教学用书



电炉钢及铁合金冶炼

本溪钢铁学院编

中国工业出版社

全书共分三篇廿四章。第一篇叙述炼钢的理论基础，第二篇论述电炉钢的生产工艺，第三篇介绍各种铁合金生产的基本原理和冶炼方法。

本书可作为中等专业学校电炉炼钢及铁合金专业的教材，也可供电炉钢和铁合金冶炼车间的中等技术人员参考。

电炉钢及铁合金冶炼

本溪钢铁学院编

*

中国工业出版社出版（北京编辑室编 10 编）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 110 号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 • 各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ • 印张 $6^{11/16}$ • 字数 175,000

1961 年 8 月北京第一版 • 1961 年 8 月北京第一次印刷

印数 0001—1,037 • 定价（9—4）0.44 元

统一书号：15165 • 201（合 2—73）^{1.28}

序 言

本书修訂本和第一版比較起来，作了如下的变动：

（一）根据冶金工业部1959年制訂的教学計劃，中等专业学校电炉炼鋼及鉄合金专业設有电冶金車間机械設備及电气設備課程，故刪去了书中与該两課程相重复的部份內容。

（二）个别章节的內容作了必要的調整和修改，其目的在于使結構比較緊湊合理，內容比較完善适用。

由于時間非常匆促，修改工作作得很不細致，因此书中內容可能还有不合适的地方，这有待于在教学实践中不断摸索和改进，希望讀者随时指教。

編 者

1961年4月

目 录

緒論.....	5
---------	---

第一篇 炼鋼的理論基础

第一章 鋼的物理化学性质.....	7
第二章 炉渣的物理化学性质.....	17
第三章 炼鋼过程的主要反应.....	34

第二篇 电 炉 炼 鋼

第四章 炼鋼原料及冶炼前炉料的准备.....	70
第五章 碱性电弧炉氧化法炼鋼.....	86
第六章 碱性电弧炉不氧化法炼鋼.....	119
第七章 联合炼鋼法与混合炼鋼法.....	121
第八章 酸性电弧炉炼鋼.....	124
第九章 优质鋼的浇注.....	130
第十章 合金鋼的冶炼特点.....	164
第十一章 无芯感应炉炼鋼.....	186
第十二章 炼鋼电弧炉的計算.....	196
第十三章 电炉炼鋼車間布置及其技術經濟指标.....	213

第三篇 鉄合金的冶炼

第十四章 鉄合金冶炼电炉及其計算.....	226
第十五章 鉄合金冶炼概述.....	234
第十六章 硅鉄的冶炼.....	242
第十七章 锰鉄的冶炼.....	270
第十八章 鉻鉄的冶炼.....	289
第十九章 錳鉄的冶炼.....	316
第二十章 鉬鉄的冶炼.....	324
第二十一章 鈦鉄的冶炼.....	338
第二十二章 钒鉄的冶炼.....	345
第二十三章 鉄合金冶炼車間的布置.....	350
第二十四章 鉄合金冶炼車間的安全技術.....	356

緒 論

鋼有着良好的物理和機械性能，它是現代最主要的工業材料。

在十九世紀，普通炭素鋼在機械強度方面可以滿足當時工業的要求。可是，隨着科學技術的進步和現代工業的發展，就迫切需要大量能耐高壓、高溫、高速和強烈化學作用的新材料來製造機器、裝備和儀器。高級優質鋼就是這種材料。

磷、硫、氧及其他有害成份含量很低、具有高的機械和物理性能的鋼叫做高級優質鋼。

合金鋼由於含有特殊合金元素——鉻、鎳、硅、錳、鎢、鉬、鈮、鈦、鈷、鎢、硼等，所以有着比炭素鋼更好的機械性能和特殊的物理性能，在優質鋼中它占有主要的地位。

從普通炭素鋼到高級優質合金鋼就是現代冶金工業發展的特點。

在十九世紀和二十世紀初期，優質鋼主要是在坩堝爐和酸性平爐中煉制的。以後，隨着電弧爐的出現及其冶煉技術的提高，電爐煉鋼法便代替了坩堝法的生產，限制了酸性平爐的發展，成為現代煉制高級優質鋼的主要方法。

這主要是由於：電爐煉鋼法並不需要經過特別挑選的優質爐料；在電爐中能很容易造成還原氣氛，保證鋼中低硫、低氧的含量和合金廢料、鉄合金的燒損為最少；由於爐中溫度高，可以熔煉任何成份的鋼。

此外，在電爐中溫度的調整和控制較容易和準確。但是與近代大規模生產中的轉爐、平爐煉鋼法相比，電爐鋼的生產成本較高。因此，目前主要利用電爐來煉制轉爐和平爐在技術上困難或不可能煉制的鋼種。

現在，大部份低合金鋼及炭素工具鋼是在電爐中煉制的，而合金工具鋼、所有的不銹鋼、耐熱鋼等都只能在電爐中煉制。

可以預見，隨着電氣化事業的高速發展和現代工業對優質鋼需要的日益增長，電爐鋼在鋼生產中的比重會不斷增加。

要發展鋼的生產，尤其是合金鋼的生產，就必須相應發展鐵合金的生產。

鐵合金是把相應的金屬氧化物還原而得到的。在高爐中只能煉制極少部份的鐵合金（含硅量小於15%的硅鐵和炭素錳鐵）而且，此時的焦比較煉制生鐵時高很多（達1.5倍）。

只有在電爐中才能獲得還原氧化物、熔化難熔金屬及達到足以使金屬和難熔爐渣分開所必需的高溫，從而才能擴大鐵合金新品種的生產，如難熔的鎢鐵、鉬鐵、含炭很低、含基本元素很高的低炭錳鐵和高硅硅鐵等。

由此可知：鋼及鐵合金的電冶金是一個新的、重要的工業生產部門，它有着廣闊的發展前途。

舊中國的鋼鐵工業很落后，1949年鋼的總產量僅有158000多噸，其中電爐鋼的產量就更是微不足道了。解放後，我國開始建立和逐步發展電冶金工業。十年來，由於黨的正確領導，由於蘇聯的無私援助和我國工人階級的積極努力，我國的電冶金事業取得了輝煌的成就：產量提高了，品種增加了。在1958年的大躍進年代里，更創造出了驚人的成績：電爐鋼的產量較1957年提高了87%，品種增加了一倍多，鐵合金的產量和品種也較1957年翻了一番。同時，我國電冶金工業的主要技術經濟指標，由於不斷進行技術革新的結果，已達到了較高的水平。

在黨的鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社會主義總路線的光輝照耀下，我國的電冶金事業正在乘風破浪地繼續躍進。

第一篇 炼鋼的理論基础

第一章 鋼液的物理化学性质

§ 1—1 液体鉄的結構

鋼液的主要組成是鉄，所以首先了解一下鉄的性质。

液体状态是介于固体状态与气体状态的中間状态，在不同的条件下，它的性质接近于固体或接近于气体状态的性质。随着温度升高，液体与气体相似的性质增加，达到临界温度时，液态性质与气态趋近一致。

炼鋼过程中，鋼液的温度接近于结晶温度，在熔点的温度范围，所以它的性质应该接近于固体的性质而不是与气体相似。这种观点有下列事实作为根据：

1. 金属熔化时液体体积比原来固态体积仅稍稍增大，一般不超过 3%，这表明液体的密度与固体状态相接近，而气体的密度則要比它們小得多。

2. 原子与原子間有相互作用力，当原子距离变化时作用力也随着变化。金属熔化时体积变化不多，即原子移动距离不大，所以熔化时质点間相互作用力减少不多，质点間相互作用能量也沒有显著的变化。表 1 的数字說明由固态变为液态时所需要的能

表 1—1

金 属	热 效 应, 卡/克原子		
	熔 化 热	蒸 发 热	升 华 热
Fe	3560	90440	94000
Cr	3930	84070	88000
Mn	3450	70550	74000

量仅是成为气态所需能量的5~10%，反映出固态与液态二相中质点間相互作用的能量差别是不大的，质点間的距离也相似，所以熔化时的液体金属结构与固态的结构相似。

3. 液体金属与固体金属的克分子热容相差不大，但与气态比較則相差很大。溫度在熔点附近的液体鉄克分子热容为8.15，固体克分子热容为10.0，而单原子气体一般为5。这表明液体与固体中质点的热运动性质相似。

4. 在机械性能方面，液体的压缩性很小，与固体相似而与气体相反。

5. 用X光分析表明，液体的结构非气体似的杂乱无章，而是由固体结构有一定程度相似。

以上的事实証明，在炼鋼溫度下，液体鉄的构造与固体相近。在固体內，质点間的距离很小，有相互吸引和相互排斥的力，形成在空間上有一定次序的，排列成一定方向的空間格子位置，质点在格子上作微弱的振动；在熔点附近的液体结构，根据流动集团的理論，它并非像气体似的杂乱无章的不断地作直綫运动。液体的质点在平衡位置上振动，就像固体质点的热运动一样，它振动几千次，几万次或更多次后，取得足够的能量，就离开原来的平衡位置，跑到一个新的位置上，再振动，再轉移，在平衡位置上停留的时间很长，比轉移的时间多得多，这是在质点热运动上表示出液体接近于固体的特征。

液体与固体不同的是具有較大的扩散和流动。根据流动集团理論，金属熔成液态时的膨胀不仅是简单的质点距离的增加，而且还要产生空的结点（漏洞），扩散就是靠这些漏洞来进行，在液体內产生了局部的断裂，形成了許多小集团，集团內的结构与固体相同。裂縫与空穴由于液体质点的热运动，位置不停的在改变，具有动的性质，已經出現的空穴和裂縫不断的消失，而新的又不断形成，先前属于某一集团的质点，現在轉入另一个重新产生的集团中，流动集团內部不断进行着质点的更新，质点数目及相互排列的变化，在两集团的交界，一般存在着稍为无規律的

“表面”层。所以，每一瞬間流动集团的中心与固体相似，外层則缺少固体晶格结构的严格对称性。

对鉄液的结构有了初步的了解后，对于另一部份人的观点是不能同意的。他們认为，液体是高密度气体，因此气体的定律只要作某些修改就可适用于液体。

§ 1—2 鉄的溶解能力

液体鉄能溶解許多金属元素及非金属元素。按着各种元素溶解的情况分列于表 1—2 中。

表 1—2 在炼鋼温度下各元素在鉄液中的溶解度

在液体鉄中 完全溶解者	部份溶解 的金属	几乎不溶 的金属	部份溶解的 非金属	炼鋼温度下呈气态 的金属（在鉄中 溶解度不詳）
Al	Cr	Pb	O	Na
Cu	V	Ag	S	Li
Mn	Mo	Bi	P	Mg
Ni	W		C	Ca
Co	Sn		H	Zn
Si			N	Cd
Sb			As	Hg
Ce			Se	

各种元素在鉄中的溶解形式各不相同，有的成分子状态，有的成原子状态，有的成离子状态，有些則成化合物存在。

鉄中溶解的这些元素对鋼质量有很大影响。Al、Mn、Si、Cr等溶于鋼液中，当鋼液凝固时它們总是要与氧結合而析出夹杂，影响鋼的性质及质量。Pb不溶于鋼中，比重比鉄大得多（Pb比重为11.34，Fe为7.86），若炼鋼的原料中混入鉛，則在炼鋼时会沉入炉底，使炉底遭到破坏。Ca、Mg的脫氧能力很强，用作脫氧剂是很合适的，但它們却以气态存在，实际应用很困难，用Ca脫氧时須要以合金的形式来加入鋼中。

§ 1—3 溶入鉄中的元素对鉄熔点的影响

鉄的熔点因溶入其他元素而降低。不同的元素影响程度不同。

熔点降低的数值决定于溶入元素的浓度、原子量、铁的熔化热以及在熔点温度下成平衡时溶入元素在固体及液体中的分配情况。

在二元体系中，当合金元素浓度很小时，合金元素使铁熔点下降的度数可以通过下式来计算：

$$N_{\text{B}}(\text{液}) - N_{\text{B}}(\text{固}) = -\frac{\Delta H}{RT^2} \Delta T$$

式中 $N_{\text{B}}(\text{液})$ 和 $N_{\text{B}}(\text{固})$ 表示合金元素在液相及固相铁中的分子分数。

T_{A} ——纯铁熔点。

ΔH ——铁的熔化热。

R ——通用气体常数。

表 5—3 列出一些元素溶入铁中对铁熔点的影响，表中数值是用上式计算出的。

铁中溶解 1% 合金元素使 Fe 的熔点降低的度数如表 1—3。

表 1—3

元 素	Al	B	C	Cr	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	P	Si	S	Ti	V
$\Delta T^{\circ}\text{C}$	3	90	73	1	1.8	7	3	2	3.5	2.8	12	30	18	2

合金元素对铁熔点的影响直接关系到炼钢操作。例如低碳钢的出钢温度要比高碳钢高。而出钢温度的高低由浇注温度的高低而定，浇注温度要与熔点保持一定的温度差，一般高于熔点 80~100°C。浇注温度过高或过低，都将影响熔炼操作以及钢的质量、产量。

§ 1—4 钢液的粘度

粘度是钢的重要性质之一，它不仅会影响炼钢过程的反应速度；而且粘度的大小对钢中非金属夹杂的上浮、气体的排除、钢液结晶过程中的缩孔和疏松也有重大影响。尽管粘度如此重要，但是目前关于钢液粘度方面的研究还不够，知道得还不彻底。

俄国巴钦斯基首先找到了液体粘度与比容的关系式，式子如

下:

$$\eta = \frac{C}{V - W}$$

式中: C, W——常数;

V——液体的比容;

η ——粘度。

因为液体的比容是温度的函数,所以上式实质上是表示了粘度与温度的关系,温度越高,比容越大,于是液体的粘度愈少。弗兰克尔对这个公式作了许多研究,指出它与实验结果符合。

在高温下,钢的粘度比较小,表1—4列出几种物质的粘度。

表1—4

液 体	温 度, °C	粘 度, 泊
水.....	25°	0.0089
甘油.....	25°	5.000
蓖麻子油.....	25°	8.000
机器油.....	25°	0.800
钢水.....	1595°	0.0250
生铁水.....	1425°	0.0150
普通正常液.....	1595°	0.020
中等渣.....	1595°	0.200
粘渣.....	1595°	2以上

从表中知钢液的粘度比渣小得多,所以在熔炼中影响扩散反应速度的主要是炉渣粘度,并非钢液粘度。钢液的粘度比油类粘度还小,测定困难且复杂,但测定粘度的倒数流动性($1/\eta$)比较简单,在生产中可以采用测定流动性的方法。

钢液粘度很重要,那么它受那些因素影响呢?

钢中所含的元素对钢液粘度有很大影响,用实验测得的一些结果列于下表中。表1—5表明,含碳量增加,粘度下降;表1—6、1—7说明锰和硅也同样具有此性质。但是硫及锰含量增加时却相反。

表 1-5

次序	加热温度 °C	合 金 性 质					
		%C	粘度, 泊	%C	粘度, 泊	%C	粘度, 泊
1	1250	—	—	—	—	4.0	0.0225
2	1300	—	—	3.0	0.0284	4.0	0.0186
3	1350	2.5	0.0266	3.0	0.0236	4.0	0.0156
4	1400	2.5	0.0226	3.0	0.0202	4.0	0.0133

表 1-6 含硅量对貝氏生鉄粘度的影响

次序	温 度	生 鉄 性 质				注
		%Si	粘度, 泊	%Si	粘度, 泊	
1	1250	1.0	0.0964	1.5	0.0958	C=3.5%
2	1300	1.0	0.0847	1.5	0.0842	
3	1350	1.0	0.0757	1.5	0.0751	
4	1400	1.0	0.0678	1.5	0.0673	

表 1-7 含锰量对平炉生鉄粘度的影响

次序	温 度 °C	生 鉄 性 质						注
		%Mn	生鉄粘度 泊	%Mn	粘 度	%Mn	粘度, 泊	
1	1250	1.5	0.0867	2.0	0.0862	2.5	0.0858	C=4.0%
2	1300	1.5	0.0770	2.0	0.0766	2.5	0.0762	
3	1350	1.5	0.0665	2.0	0.0661	2.5	0.0658	
4	1400	1.5	0.0530	2.0	0.0525	2.5	0.0520	

由表可見, 当鋼中所含元素不变时, 随着温度的增加, 粘度变小。用巴欽斯基公式可以說明这点。

当鋼液中存在固体粒子时, 会使其粘度大大增加。鋼液中存在固体粒子的情况可能有两种, 一种是当温度降低, 达到結晶温度, 有固态的晶粒析出, 而使鋼液粘度变大。譬如鋼液在模内冷却时就会产生这种情况, 这时模内鋼液中的气泡和非金属夹杂很难浮出鋼液, 而在鋼中形成气孔及非金属夹杂; 同时因为鋼液粘度增加, 凝固时补縮困难, 使鋼錠的疏松增多。另一种情况是鋼液中含有固态夹杂物的粒子, 它同样会使鋼液粘度增大, 因此脱

氧时应该特别注意，避免过多的夹杂形成。

总的来说，钢液的粘度随温度的升高而降低。并且随不同的合金元素而异，有的元素会使粘度增大，有的则相反。固体粒子的存在会使钢液粘度猛增。此外，粘度尚受其他因素的影响，但有关这方面的研究尚欠完整，有待继续深入。

§ 1—5 钢液的表面现象

炼钢科学虽然已有了很大的发展，并发现了许多炼钢过程的物理化学规律。但是，对高温下渣和钢的本性到目前为止还了解得不够，例如对钢液的表面现象即是如此。

钢液的表面现象对多相反应速度有很大影响，它决定着新相生成的速度，而且对钢中非金属夹杂的上浮、气泡的形成、炉底的侵蚀等都有影响。

在沒有談到鋼的表面現象以前，先了解一下一般的液体表面现象。

由图1—1可以看出，液体表面和内部分子的状态是不同的，因此它们的性质也不相同。液体内部的分子受到各方面均衡的吸引力，而表面上的分子只受到内部分子的作用力，处于不平衡状态。

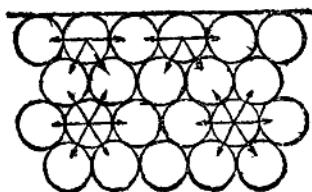


图 1—1 液体的表面层

液体表面分子具有以下特性：

1. 表面的分子被内部分子拉紧，产生了缩减表面的自发趋势。因而要增大表面时，必须要用一定的能量，这就是表面能或称为表面张力。

2. 表面分子受力情况处于不平衡状态，即有一部份键能未能与内部分子成平衡，因此可将其他分子吸附在表面上，以饱和这部份键能。这就是产生表面吸附的原因。

3. 根据表面张力的观点，液体表面膜好像一个拉紧的弹性膜，任何具有弯曲表面的液体，表面对液体内部必施以附加压