

193350

基本館藏

中等專業學校教學用書

鋼與鐵合金的電冶煉

上 冊

B. E. 列依金 П. A. 薩哈魯克 著

重工業部工業教育司 譯校



重工業出版社

12
8

中等專業學校教學用書

鋼與鐵合金的電冶煉

上 冊

В. Е. 列依金, П. А. 薩哈魯克 著

重工業部工業教育司 譯校

重工業出版社

本書係根據蘇聯國立黑色與有色金屬冶金科技書籍出版社(Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии)出版的列依金和薩哈魯克(В. Е. Лейкин и П. А. Сахарук)合著的“鋼與鐵合金的電冶煉”(Электрометаллургия стали и ферросплавов) 1953年版譯出,原書經蘇聯冶金工業部教育司審定為中等專業學校用教科書。也可供電爐煉鋼車間及鐵合金冶煉車間中的中級技術人員應用。

本書中譯本分上、下兩冊出版。上冊內容包括各種電爐的構造,操作,電氣設備,機械設備,信號裝置,測量裝置和冶金過程中的物理化學原理。下冊內容包括鋼和鐵合金的生產,生產組織及電爐煉鐵。

本書上冊由陳略,張煥光兩位同志負責譯校。

В. Е. ЛЕЙКИН, П. А. САХАРУК

ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ И ФЕРРОСПЛАВОВ

Металлургиядат (Москва-1953)

* * *

鋼與鐵合金的電冶煉(上冊)

重工業部工業教育司 譯校

重工業出版社 (北京西直門內大街三官廟口號) 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

* * *

機械工業出版社印刷廠印

一九五四年十二月第一版

一九五四年十二月北京第一次印刷(1—3,130)

787×1092· $\frac{1}{25}$ ·200,000字·印張 $10\frac{1}{2}$ ·定價15,800元

* * *

發行者 新華書店

目 錄

序言.....	1
概論.....	2
熔煉金屬的電爐的分類.....	8

第一篇 電弧爐

第一章 現代電弧爐的機械設備.....	11
現代煉鋼電弧爐的構件.....	11
爐殼.....	11
爐頂牆.....	14
裝料門和出鋼口的框架.....	15
電極夾持器.....	16
升降架和支柱.....	23
電極的移動機構.....	25
電極的冷卻裝置和密封圈.....	26
傾爐機構.....	28
頂裝式電爐的構造.....	31
第二章 爐襯.....	39
對耐火材料的要求.....	39
耐火材料的通性.....	40
絕熱材料.....	47
粘合劑.....	47
碱性電爐爐底和爐牆的砌築和打結，爐頂的砌築.....	48
爐子在爐底打成後和爐牆砌成後的乾燥.....	61
碱性爐襯的壽命.....	61
提高爐襯壽命的方法.....	62
修理爐襯的先進方法.....	68
酸性電爐的爐襯.....	69
第三章 電極.....	71

炭質電極	73
石墨電極	75
自動熔結電極	77
第四章 熔煉室的尺寸和變壓器的功率	79
爐池的形狀和尺寸	79
熔煉室的尺寸	81
爐襯的厚度和爐殼的直徑	82
爐子的容量	83
變壓器的功率和電極的直徑	84
第五章 電弧和煉鋼電弧爐的電氣設備	86
電弧	86
電弧爐的接線圖	89
高壓設備	90
短線路	100
短線路參數的實驗測定法	102
爐子的電氣特性曲線	106
油開關和斷路開關	106
低壓開關裝置	108
保護裝置和信號裝置	110
測量用儀器和測量裝置	112
保護裝置、信號裝置和油開關操縱裝置等的接線圖	114
爐子的操縱裝置	117
電極的自動操縱裝置	118
X9M3 式繼電器—接觸器型調節器	120
電機調節器	124

第二篇 感應電爐

第一章 鐵芯感應電爐	129
第二章 無芯感應電爐	130
現代的無芯感應電爐	135

第三章 真空感應電爐	137
爐架和感應器的構造	139
坩堝的製造和爐襯的維護	140
第四章 高頻率設備及其計算	147
較高頻率和高頻率的電流發生器	147
靜電容器的用途和裝置	149
較高頻率和高頻率的測量儀器	152
無芯感應電爐的標準接線圖	154

第三篇 礦石還原電爐

第一章 礦石還原電爐的機械設備	157
爐殼	157
電極夾持器	161
電極	164
裝料裝置	165
通風裝置和保護裝置	167
排出口的燒穿裝置	167
第二章 鐵合金熔煉電爐的爐襯	169
第三章 礦石還原電爐的主要參數	172
短線路	172
短線路的電阻	172
短線路的電抗	173
單相電爐的導電體	177
爐用變壓器及其裝置	179
爐用變壓器的參數	181
電極的直徑和電極的分佈直徑	186
爐身的尺寸	187

第四篇 物理化學原理和冶金過程的理論基礎

第一章 冶金過程的概要	191
-------------	-----

還原過程.....	191
氧化過程.....	193
第二章 冶金過程的熱力學	194
均一系和不均一系的概念.....	194
化學平衡.....	194
反應的熱效應、格斯定律.....	198
反應熱效應與溫度的關係的計算.....	200
自由能和化合能.....	205
平衡常數的簡單計算法.....	208
平衡移動原理.....	212
複雜系中的平衡.....	213
炭、二氧化碳和一氧化碳之間的平衡.....	214
各種氧化物、碳酸鹽和硫化物的分解.....	217
還原過程中物理化學的實質.....	220
第三章 狀態圖	226
狀態圖的概念.....	226
二成份系狀態圖。第 I 類狀態圖.....	226
第 II 類狀態圖.....	230
第 III 類狀態圖.....	231
第 IV 類狀態圖.....	232
第 V 類狀態圖.....	234
三成份系狀態圖.....	237
第四章 爐渣的一般性質	241
造渣成分.....	241
爐渣系狀態圖.....	243
爐渣熔點的意義.....	245
爐渣的粘度.....	246
爐渣的含熱量.....	249
爐渣的導電性.....	250
固體狀態和液體狀態爐渣的成分.....	251

序 言^①

本書係根據冶金中等專業學校的“鋼與鐵合金的電冶煉”教學大綱編寫而成。概論，電爐的分類和第一、二、五、六等篇是B.E.列依金編寫的；第四和第七篇是П.А.薩哈魯克編寫的；第三、第八兩篇和第一篇第五章中“電弧”一節是С.А.莫爾顧列夫編寫的。

在本書的編寫過程中，採納了講師、科學技術碩士А.Ю.波略科夫和斯大林獎金獲得者、工程師Е.М.阿列克塞夫的寶貴意見。П.А.薩哈魯克所寫的部分文稿在付印之前，工程師Г.В.卡爾薩諾夫和工程師И.С.庫梅上曾給予很大的幫助。著者特向這些同志致以誠摯的謝意。

概 論

在電爐中製煉鋼和鐵合金的理論與實踐稱為電冶金。

把電能變為熱能，能在電爐中獲得在其他冶金爐內不能得到的高溫。因此，許多需要高溫的冶金過程僅在電爐中才能實現。

在十九世紀，鐵和炭素鋼是機器製造業、鐵路和水路運輸業、兵器業等的主要材料。這一時期內的主要發動機是馬力小而且蒸汽壓力不超過10—20計示大氣壓的活塞蒸汽機。在此時期，工業化學和電工學才開始發展。很自然的，沒有其他特別性質的，拉力強度極限為40公斤/毫米²的鐵和拉力強度極限達70公斤/毫米²的結構鋼是完全能夠滿足機器製造業的要求的。

二十世紀的技術是高壓、高溫和高速度的技術，它要求新的材料來製造機械性質較好和有許多特殊性能的機器、裝備和儀器。優質的和高級優質的炭素鋼和合金鋼就是這樣的材料。

優質炭素鋼和普通鋼不同，它含有害雜質（磷和硫）較少，含炭範圍較窄，並且有優良的機械性質。

高級優質合金鋼就是這樣的一種鋼，它具有良好的機械性質和特殊物理性質，而且硫、磷、氧和其他有害或無用雜質的含量很少。

合金鋼在優質結構鋼當中佔有特殊的地位，由於鋼中含有特別的合金元素（鉻、鎳、錳、矽、鈦、鉬等），因此，它的機械性質比炭素鋼的機械性質好得多。

高級優質合金結構鋼在化學組成和機械性質方面都不同於優質合金結構鋼，其不同之點就是硫和磷的極限含量低，含炭範圍更窄和機械性質較好。

從普通炭素鋼發展到高級優質合金鋼和複雜合金就是現代冶金業發展的特點。

用較貴重的合金鋼來代替普通合金鋼是因為前者具有許多優點，即能使結構的重量減少，壽命延長，經營費用降低。

製造精密的測量儀器和裝備品、現今的大砲、砲彈、鐵甲、複雜的器

械等都需要用合金鋼和合金。

製件加工的準確度大和金屬的切削速度高，僅在高級合金工具鋼和超硬質合金的生產獲得發展後才是可能的。與炭素工具鋼製成的刀具比較起來，鉻鎢工具鋼(1.8% C; 4% Cr 和 8% W)製成的刀具的切削速度能快 2.5 倍，而由高速鋼(18% W; 4% Cr 和 1% V)製成的刀具的切削速度能快 6 倍。

含大量某種合金元素的鋼用於特殊的目的，其所含的合金元素與鋼中其他元素互相結合，就預定了此種鋼的良好性質。例如，在高溫高壓下工作的透平輪葉，須採用能有效抵抗熱蒸汽破壞作用的、含 12—14% Cr 的不銹鋼來製造；含 Si 達 4.5% 的高矽鋼是爲了製造能減少電能損失的變壓器而熔煉的；在易磨損處工作的零件，例如磨碎機和破碎機中的個別部分、電車轉轍器和交叉接頭等均用含 Mn 爲 12—14% 的高錳鋼來製造；化學器械及各種耐酸作用很好的容器和製品都用含 16—20% Cr、8—14% Ni 的耐酸鉻鎳鋼來製造。按工作條件的不同，機器和器械的各部分用各種標號的高溫耐氧化鋼 (2—3% Si; 19—27% Cr; 12—26% Ni) 或高溫強固鋼 (13—19% Cr; 11—15% Ni; 1.75—2.75% W; 4.0% 以下的 Mo; 0.6% 以下的 Ti) 等製成；前者在高溫下對氧化皮的生成有很强的抵抗性，後者在高溫下能保持足夠的強度。

優質鋼生產的增長和種類的增加也引起了鐵合金生產的發展，因而要求增加鐵合金的品種和生產含炭及其他雜質很少的高級優質鐵合金。

在過去很長的一段時期內，都是用坩堝法在小規模上來熔煉優質鋼的。用此法煉鋼時，鋼係在容量爲 30—40 公斤的耐火坩堝中由有害雜質(硫和磷)含量很低的碎鋼片熔煉而成。之所以要用如此純淨的原料來煉鋼，是因爲坩堝煉鋼不可能除去硫和磷。坩堝煉鋼能獲得含非金屬夾雜物很少的優良脫氧鋼，此種鋼是不可能在後來大量生產鋼時廣泛應用的馬丁爐中獲得的。

與坩堝爐比較起來，電爐是更完善的煉鋼設備，因此電爐煉鋼很快便代替了坩堝爐煉鋼。在電爐中，無須用特別挑選出含硫磷很少的原料也能製煉大量質量等於坩堝鋼的各號鋼。

電爐能够達到高温和能够造成還原氣氛：這就保證了熔煉高級優質鋼和合金（無論這些鋼和合金是用任何量的難熔元素和易氧化元素來熔合的）時所必需的條件。

利用電爐生產鐵合金，大大地擴大了製煉新品種的鐵合金。因而有可能製煉高熔點的合金（例如鎢鐵、鉬鐵）和製煉含炭很低，含基本元素很高的合金（例如低炭錳鐵，鉻鐵，高矽鐵）。在電爐中具有進行還原反應的有利條件，因而能煉出金屬錳，金屬鉻和結晶矽等。

由於生產上述的鐵合金，故熔煉能滿足現代技術要求的各種特殊合金鋼、高級合金鋼和合金的可能性也擴大了。

十九世紀以前，在俄國就已熟知許多煉鋼方法，例如：把鐵礦直接還原成鐵，然後以炭飽和的製鋼法。但是，這些方法不能保證煉出大量的和質量良好的鋼。因此必須研究出冶煉優質鋼的新方法。

偉大的俄羅斯冶金學家、高級優質鑄鋼生產的奠基者巴維爾·彼得羅維奇·阿諾索夫卓越地解決了這個問題。經過十年（1828—1837）的不斷工作之後，П.П.阿諾索夫研究出了在坩堝中冶煉鑄鋼的方法，在這方面，它遠遠超過西歐的冶金學家。П.П.阿諾索夫發明用生鐵煉鋼的方法，比馬丁父子早得多。阿諾索夫關於熔劑、酸性和鹼性爐渣、各種附加物對鋼的影響、鋼—爐渣—坩堝的相互作用等的研究在冶金方面有很大的意義。在1831年П.П.阿諾索夫首先利用顯微鏡來研究鋼的結構（在過去很長的一段時期內，都不正確地認為金屬科學方面的這一功蹟係屬於英國的索爾比）。П.П.阿諾索夫確定了粗視組織與金屬內含炭量的關係以及研究出粗視侵蝕法。

П.П.阿諾索夫培養了許多優秀的俄羅斯冶金學家，其中屬於第一流冶金家的有巴甫爾·馬特維也維奇·奧布霍夫，他在阿諾索夫的領導下在茲拉托烏斯托夫斯克工廠中開始了自己的工作。

1857年，П.М.奧布霍夫獲得了砲鋼製造法的優先權，此法是“藉助於與生鐵熔合在一起的氧化鐵的作用，使生鐵脫炭”。奧布霍夫鋼的質量很好，並且比德國鋼便宜一半，比英國鋼便宜七分之六。

著名的俄羅斯冶金學家德米特里·康斯坦丁諾維奇·契爾諾夫的工作使金屬科學跨上光輝的新時代。經長期不倦的研究大砲發射時常

常破裂的原因之後，Д.К. 契爾諾夫確定破裂的主要原因是金屬熱處理不正確。Д.К. 契爾諾夫關於金屬臨界點的天才發現，為金屬科學打下了基礎；此一發現係在洛別爾特斯·奧斯汀創造第一個鐵炭狀態圖之前 35 年。

Д.К. 契爾諾夫是金相學的奠基者，他研究出鋼液結晶的理論和金屬錠的結構理論，證明了鋼液的冷凝並不會成均一的物質，而形成複雜的結晶系；他作出了鋼錠結構帶的圖解和論證了順序結晶的理論。全世界的冶金學家都認為天才的俄羅斯學者的工作是具有世界意義的。

在發展最先進的現代冶金部門（在電冶金方面）的工作方面，俄羅斯學者也是開路先鋒。早在 1802 年，比英國的德維早 10 年，B.B. 彼得羅夫就發現了電弧現象。

1803 年，B.B. 彼得羅夫發表了“關於利用 4200 塊銅板和鋅板組成的大電池進行加爾文尼-伏打電池實驗的報告”在此書的第六章“關於金屬和許多其他可燃物的熔化和燒失，關於藉加爾文尼-伏打電池液的作用，使某些金屬氧化物轉變於金屬”中，B.B. 彼得羅夫敘述了金屬在電弧焰中熔化的實驗情況和金屬氧化物在電弧作用下還元的實驗情況。

B.B. 彼得羅夫也首先發現了用電從礦石中提取金屬的可能性。優秀的俄羅斯物理學家 B.B. 彼得羅夫根據這些實驗奠定了在冶金過程中利用電能的基礎。

波里斯·西門諾維奇·亞科比首先在世界上建造了功率為 1 馬力的電動機，並把它安裝在汽艇上。此電動機用 69 個電池組成的加爾文尼電池組來供電，使小艇沿聶瓦河逆流前進。

B.C. 亞科比和另一個俄羅斯學者 Э.Х. 楞茨奠定了電機的理論基礎。他們首先確定了“電機可逆性”的原理，即電機能作發電機又能作電動機使用的特性。

俄羅斯電工學家 А.Н. 洛迪京研究出電爐的獨特結構，這結構與現在電冶金所用爐子的結構差別不大。А.Н. 洛迪京的著作以後就作為蘇聯煉鋼高週波電爐的研究基礎。偉大的十月社會主義革命後，“電氣工人”大學和工廠的全體人員在 В.П. 沃洛格金教授領導下，建造了第一批

煉鋼感應爐和用於鋼表面淬火的高週波加熱爐並把它們運用在我國的工業中。

俄羅斯學者H.H.別爾納多斯和H.Г.斯拉威諾夫首先把電弧用於銲接上，在工業方面，他們是採用電弧進行煉鋼的先鋒。

1904—1905年，俄羅斯科學院士B.Φ.密特克維奇曾研究出電弧的理論。

俄羅斯的電工學家在工業用電事業方面有巨大的貢獻。電冶金所需的一切裝備（電弧爐，發電機，變壓器，電動機）都被研究和製造出來了。

但是，在專制俄羅斯時代的情況下，電冶金業不可能廣泛地發展。沒有國家的電氣化，發展電冶金業也是不可能的。那時，機器製造業（俄羅斯優質鋼的主要消費者）並不發達，甚至國內所需的少量機器也依靠外國輸入裝好的機器或機器的裝配零件來滿足。那時，俄羅斯實際上幾乎沒有優質鋼的生產。

在革命以前，俄羅斯的煉鋼電弧爐很少，不超過十座，而且容量也很小。鐵合金的生產是優質鋼冶煉的基礎，可是那時也很少。在1914—1918年的第一次世界大戰時期，戰爭要求增加優質鋼的生產，但是在俄國僅在烏拉爾的薩特卡城附近才有一個小小的工廠，廠內僅設有兩座每座為280瓩的單相電爐。這個工廠每年約生產500噸45%的矽鐵。

僅在偉大的十月社會主義革命之後，才具備了發展電冶金和電爐建造的全部條件。特別是由於執行英明的列寧國家電氣化（ГОЭЛРО）計劃的結果，這種發展更成為可能的了。

共產黨提出把落後的農業國變為先進的工業強國這一任務，在五年計劃的年代裏已經勝利地解決了。要建立起自已的高度發展的機器製造業，就需要發展所有的冶金業，而特別是優質鋼冶金業。在全蘇優質鋼第一次會議上（1933），Г.К.奧爾忠尼啓則在演說中指出了發展優質鋼冶金的成就。

蘇聯共產黨（布）第十八次代表大會在擬定進一步發展優質鋼冶金時規定：“優質鋼材的產量增加一倍並保證迅速增加下列特殊鋼的產量：硬質合金，不銹鋼，耐酸和耐熱鋼，工具鋼，精密儀器鋼，變壓器鋼和

鐵合金”^①

鐵合金生產的高度發展是建立優質鋼冶金的基础，因此，我們國家已建立起自己的強大的鐵合金工業。在第一個五年計劃(1931年)時期開工生產的第一個冶金工廠是齊略賓斯克鐵合金工廠。在以後幾年隨着開工生產的有兩個同等規模的鐵合金工廠，一個在捷斯塔豐城格魯吉亞，另外一個在查坡洛什城。從那時起，鐵合金生產的發展隨冶金工業的發展同時並進，並能完全滿足國家需要鐵合金各部門的要求。

蘇維埃冶金學者對發展鐵合金冶煉起很大的作用，他們研究了電力熔煉、電熱(用電加熱)等許多主要的理論問題，也研究了以電熱法進行生產的電爐的理論問題。

蘇聯在改進現有技術和創製新的鐵合金方面進行着大量的研究工作。學者與實際生產者都投入這一工作。理論與實際的結合具體表現在科學與生產間的創造性的關係上。除了國家給予發展優質鋼冶煉以巨大注意力之外，這種創造性的關係也促使發展鐵合金工業方面有很大的成就。

偉大的衛國戰爭勝利結束以後，在冶金業的面前提出了新的任務。1946—1950年恢復與發展蘇聯國民經濟的五年計劃規定鋼的熔煉比戰前增加35%。在戰後五年計劃期間，有165座馬丁爐、15座轉爐和90座電爐投入生產，總容量為1620萬噸鋼。

戰後五年計劃的任務已超額完成了。

1950年下半年，蘇聯部長會議作出了有歷史意義的決定，在伏爾加河上建築古比雪夫和斯大林格勒兩個巨大的水力發電站，前者的容量大約是兩百萬瓩，後者的容量也不小於一百七十萬瓩；在第聶伯河上建築卡霍夫卡水力發電站，容量為25萬瓩。

勝利地完成這些巨大水電站的建築就能保證發出巨大的電量，並為進一步發展和增加電爐鋼生產創造了條件。

黨第十九次代表大會在1951—1955年發展蘇聯的第五個五年計劃中在冶金業方面規定了巨大的任務。規定大量增加機器製造業用的特殊鋼和合金的生產，並改進它們的質量。

① 見蘇聯共產黨(布)的決議和決定，第二部分，第六版，732頁。

爲了勝利執行黨第十九次代表大會的指示，在增加特殊鋼及合金的生產和改進它們的質量方面，必須廣泛地運用先進的技術，必須研究和採用先進的工作方法，必須竭力提高技術水平和改進生產技術。

熔煉金屬的電爐的分類

熔煉金屬的電爐按電能轉爲熱能的方法不同而分爲下列四類：

- (1) 電弧爐——在此爐中，電能在電弧中轉爲熱能；
- (2) 電阻爐——在此爐中，電能在電流流過爐料本身或特別元件（導體）時轉化爲熱能；
- (3) 複合式電爐——它既可作電弧爐使用又可作電阻爐使用；
- (4) 感應爐——在此爐中，由於電磁感應而在金屬中發生的電流把金屬加熱。

電 弧 爐

按加熱方法的不同，電弧爐分爲三類。

(1) 間接加熱電弧爐——在此爐中，電弧在金屬和爐渣上面的各個炭質電極之間燃燒（圖 1, a）。在此情形下，係依靠電弧的熱輻射來進行加熱的。此種電爐用於熔煉有色金屬和可鍛鑄鐵，即在溫度較低的情形下熔煉金屬。

(2) 直接加熱電弧爐（圖 1, b）——在此爐中，一個電弧（或幾個電弧）在一個電極（或幾個電極）和被加熱金屬之間燃燒。此種電爐用於煉鋼。

(3) 封閉電弧式電爐——在此爐中，電弧在電極周圍的固體爐料層下面燃燒（圖 1, c）。在用於熔煉鐵合金的這種電爐中，爐料由兩種熱來加熱，一是電弧的熱，一是電流由一個電極經爐料通至另一電極時所產生的熱。

按電流通入金屬方法的不同，電弧爐分爲爐底不導電的電爐和爐底導電的兩種（圖 2）。

在爐底導電的電爐中，電流一方面以水平方向從一個電弧流到另一個電弧，同時電流也以垂直方向從上面的電極經過金屬而流到爐底

電極，或流到埋於導電爐底下面並連接於供電變壓器的爐底電極。

圖1 使用不同加熱方法的電弧爐

a—間接加熱電弧爐；*b*—直接加熱電弧爐；*в*—封閉電弧式電爐

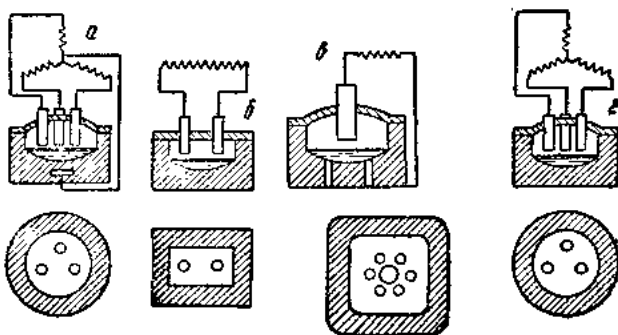
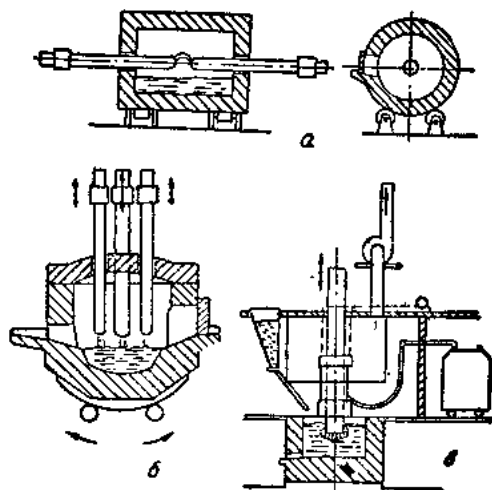


圖2 電弧爐略圖

*a*和*б*—爐底導電的電爐；*в*和*г*—爐底不導電的電爐

創造煉鋼電爐的初期，電弧爐的結構是爐底導電的。但是實踐證明，在爐底導電的電爐中，爐底耐火襯料會強烈過熱，而且損壞很快。

現代煉鋼電弧爐是爐底不導電的，爐內電流經過電弧、金屬和爐渣在各電極之間形成密閉回路。這些電爐是靠電弧的熱來進行加熱的。在金屬和爐渣中直接放出的熱是不多的。

熔煉鐵合金和生鐵的現代礦石還元電爐是複合式電弧爐，它的工作既像電弧爐又像電阻爐。在直接加熱的情況下，這些電爐中電流的主

要電路與煉鋼電弧爐的電路相似。甚至爲了提高爐底的堅固性而用導電性良好的炭磚來製造鐵合金煉爐的爐底時，也僅有一小部分電流經過爐底而閉合。此爐不同於煉鋼電爐的地方就是在爐渣中放出的功率和熱很多，並且有時超過電弧放出的功率。這是因爲在礦石還元過程中，爐渣的數量和它的電阻都相當大。在個別情況下，當沉沒在渣液的電極很長時，幾乎全部熱量都在爐渣中放出。

電阻爐

電阻爐主要用於鋼的熱處理（淬火、回火）和有色金屬的冶煉方面。在爲此目的而建造的爐子中，熱是由裝在爐體上的特殊加熱元件放出的。加熱元件由歐姆電阻很高的導線或帶做成。

第一批電阻爐已由俄羅斯學者什切依別爾格和格羅莫夫設計建造出來了。這些爐子的加熱元件是石墨條（電極）。

這些爐子之所以未被廣泛使用是因爲有下列缺點：生產力小，能量消耗大，經常損壞並需更換電極，且會使熔融的金屬摻炭。

感應電爐

在感應電爐中，熱是在感應電動勢的作用下從被加熱的金屬中發出的。

在本世紀的二十年當中，感應電爐已被用於工業範圍之內了。