

高等学校教学用书

黑色冶金电炉

上册

H. B. 奥柯罗柯夫著

北京钢铁学院电冶金教研组译



中国工业出版社

作者的話

與第二版比較起來，現在這個第三版曾經根據蘇聯在科學上和電爐製造技術上的巨大發展加以很多修改。

由於最近幾年來學生的培養質量的提高，那些關於一般技術的幾章已從書中除去。同時書中內容曾大加修改，曾增加了有關專門問題方面的材料。這首先是關於電弧煉鋼爐部分，在這一部分中爐子的計算方法曾加了很多材料並且深入得多，而在這一部分中，有些材料，據作者所知，在書中加以說明還是破天荒第一次。

在新版中曾特別注意到改進爐子操作指標的斯達哈諾夫工作方法和由於這種方法所得到的成就。

礦熱爐和感應爐的及電氣設備等部分修改得很少。

作者對書中各部分的篇幅的決定係根據所批准的教學大綱，各種型式的爐子的重要性，並且考慮到電冶金專業學生所學的其他課程的教學大綱。

由於對於主要的讀者——電冶金專業的學生——來說，電氣設備那一部分只有次要意義，有些問題作者儘可能地採用與專門培養電工人材的高等學校比較起來較為簡單的敘述。

前一版的經驗使我們相信，這本書除了它的直接用途，即作為冶金高等工業學校的課本之外，並且對電工及動力方面的高等工業學校中之專攻電爐及冶金企業電氣設備的學生來說，對從事煉鋼電爐的操作與設計之工程師及技術員來說，也是有用的（主要是電弧爐部分）。

上册目錄

作者的話.....	1
緒論.....	1
對作為冶金工具的電爐的要求.....	6
電爐的分類.....	8

第一部分 電弧爐

第一編 煉鋼爐.....	12
第一章 爐子分類及其類型.....	12
近代電弧爐之構造及其發展趨勢.....	14
第二章 電弧煉鋼爐的主要參變數與操作效率間之主 要關係.....	23
電弧煉鋼設備的能量平衡.....	23
決定變壓器電功率與爐子尺寸間關係之基本關係式.....	27
因爐壁厚度發生變化而引起之爐料量的變化.....	38
爐子容積及尺寸(當爐壁厚度不變)對爐子生產率及單位爐料電能耗 費之影響.....	45
電功率 P 對生產率和單位爐料的電能耗費之影響.....	51
最好的經濟的解決方法.....	55
最恰當地使用爐子容積與變壓器功率的斯達哈諾夫的工作法.....	61
第三章 爐子的熔化室內之熱交換、爐子尺寸和熔化 電力使用制度.....	62
爐子熔化室內的熱交換.....	63
爐缸尺寸.....	69
爐子工作室的尺寸.....	75
工作門尺寸.....	80
熔煉能量使用規範.....	82
第四章 電極.....	94
電極直徑與長度的選擇.....	101

第五章 爐襯結構和爐子熱損失的計算	109
爐底構造	112
爐壁構造	114
爐頂構造	119
爐子熱損失的計算	123
第六章 爐氣參變數	136
第七章 改進電弧煉鋼爐操作指標的斯達哈諾夫工作方法	142
第八章 電弧煉鋼爐設計	147
第九章 爐子的機械構造	165
爐殼	165
傾動機構	168
工作門	176
爐頂圈	180
電極冷卻器	182
電極把持器	186
電極升降臂和支柱	191
電極升降機械	198
爐頂裝料式爐	202
爐殼可水平旋轉的爐子	210
第二編 化鐵爐——電爐雙聯法所用之電弧爐	211
第三編 間接電弧爐	214
第二部分 礦熱爐	
第一章 礦熱爐的分類及熱平衡	219
第二章 礦熱爐的計算	223
電力參變數	225
電極	228
爐身直徑	229
爐的熱損失計算	230
第三章 三相開頂式礦熱爐	231
第四章 單相爐	246
第五章 有頂式礦熱爐	250
第六章 改進礦熱爐的斯達哈諾夫工作方法	256

黑色冶金电炉

緒 論

現在各種用電加熱的設備和裝置，從一瓩以下的廚房裏烹飪用的鐵竈與燒開水的鍋到 30000—34000 瓩的煉鋼電爐設備，需要使用為量很大的電能。這種爐子的功率要等於三十萬盞一百瓦燈泡所需的功率，也就是說相等於一個大城市照明所需的功率。

一如很多其他部門，在電熱工業方面俄國科學家也曾是開拓者。

有時曾被誤稱為“伏特弧光”的電弧應稱為“彼特羅夫弧光”，因為俄國的 B. B. 彼得羅夫院士曾在 1802 年發明電弧，要比西歐早發現八年。彼得羅夫也是進行把電弧用於照明、電焊、金屬的熔煉及其氧化物還元等方面的試驗的第一個人。

俄國工程師雅布洛其可夫所發明被叫做“電光”之弧光燈曾聞名於全世界。電弧在金屬焊接方面曾得到廣泛應用。在這一領域俄國學者 И. И. 彭納多士與 И. Г. 斯拉維揚諾夫也曾是領先者。

假如沒有強力發電機發出大量廉價的電能，假如沒有變壓器解決大量電能遠距離的經濟輸送問題，則使用三相電流的近代電熱工業便是不可能的。這一科學領域的發展也是首先與俄國科學家分不開的。И. И. 雅布洛其可夫曾製造第一個感應線圈（為弧光燈而做）。線圈有二個繞組，每個繞組有不同數目的匝數而導線斷面的尺寸也不同。這樣就使得可以用改變初級繞組上的匝數來改

變次級繞組上所發生的電壓和電流。

因此這些線圈是最早的變壓器。俄國科學家И. Ф. 烏沙金在1882年首先製造我們現在所理解那樣的變壓器。在採用交流電方面雅布洛其可夫曾作重要貢獻。現時應用得最廣的三相電流是與多里沃-多布羅沃爾斯基工程師分不開的，他曾比其他人更早地指出三相電流超過單相電流的優點。他曾建造第一部三相發電機、電動機和變壓器，他曾於1891年在全世界首先實現了用三相電流作175公里的遠距離電能輸送。

A. H. 羅德金曾致力於感應爐的研究，並於1908年發表了他的研究總結。

B. Ф. 米特凱維奇院士曾於1904—1905年詳細地研究電弧，並製訂出電弧的理論。

俄國工程師希坦恩柏格和格拉莫林曾設計和建造了第一個煉鋼用炭質電極電阻爐。

後來外國廠家便仿造了這種爐子。

因此，還在革命以前，俄國科學家在電爐的發展上也曾作過很大的貢獻。

然而在革命以前由於外國資本的侵略以及沙皇俄國統治者對俄國工業的不關心，俄國學者的工作在任何時候都不能得到應有的評價，因而不可能獲得應有的成就。

只是在偉大的十月社會主義革命勝利之後，在蘇聯才建立了使用電熱，發展電冶金和電爐製造的全部條件。這種可能性主要是由於列寧-斯大林的天才的國家電氣化計劃——ГОЭЛРО計劃。電熱工業與電爐製造工業在斯大林五年計劃的年代中，在實現天才的國家工業化的過程中，曾得到了飛躍的發展。冶金在國家工業上曾起了巨大作用。

在1929年7月聯共（布）中央委員會曾通過關於在列寧格勒

發展優質金屬冶金以滿足列寧格勒機器製造工業之需要的決議，但是國家的需要不僅限於列寧格勒的工廠。

沒有優質特殊鋼，就不可能保證汽車、拖拉機、航空、滾珠、軸承及工具等工業的發展，優質特殊鋼工業與這些工業一樣是必須從頭建立的工業部門之一。

蘇聯共產黨和政府號召冶金、建築及機械製造工作者為建立蘇聯自己的優質特殊金屬冶金工業而鬥爭。而這為爭取獲得優質鋼生產的高度技術的堅持鬥爭得到了成功。

在第一次全蘇優質鋼會議上奧爾忠尼啓則同志已經說：“沒任何金屬，沒有任何型鋼我們不能軋製，也沒有任何鋼種我們不能冶煉”。

可以從下列數字很明顯地看出蘇聯電冶金工業發展迅速的規模。

電爐鋼在1927—1928年為11500噸，佔鋼的總產量的0.28%；在1937年為860000噸，佔鋼的總產量的4.8%。因此在10年之內增加了電爐鋼75倍，而在鋼的總產量的百分數方面增加了17倍。

聯共(布)第十八次黨代表大會曾議決第三個五年計劃為特殊鋼的五年計劃。

“黨代表大會議決要提高質量鋼軋軋品二倍，並保證大大增加特殊鋼的產量：硬質合金、不銹、耐酸、耐熱、工具、精密儀器、變壓器等特殊鋼以及鐵合金”^①。

與電冶金發展的同時也相應地發展電爐製造與在這一方面的科學研究工作。

在第一個五年計劃的過程中，曾建立了電爐製造工業，這一方

① 聯共(布)十八次黨代表大會記錄 Госполитиздат, 1939, 655 頁。

面的發展曾得到這種程度的成功，以致在 1935—1937 年能熟練地製造各種主要的型式的電爐——電阻、電弧及感應爐——及那時的大型設備：容量為 40 噸的煉鋼電弧爐及 4 噸的無心感應爐。

“電工廠”曾主要生產電弧爐及鐵心感應爐，“電氣”廠則生產電阻及無心感應熔煉爐。以後隨着電爐生產的發展，這種組織發生了變化。現在所有各種電爐的生產都集中在全蘇托拉斯“電爐”工廠中。

在電爐製造的發展事業中，蘇聯科學家曾作重要貢獻。

首先必須指出的就是中央無線電實驗室及其領導人福羅格金教授在感應加熱的一般方面，及特別在無心感應熔煉爐方面，曾作過主要的及巨大的貢獻。

且魯奴易教授和他的學生在電弧及電弧爐的電力使用規範方面的研究，對掌握電弧熔煉爐來說曾起了很重要的作用。

馬克希孟柯教授曾奠定了電熱的理論基礎，並研究了很多磁熱爐理論方面的問題。

在這一領域內由於所有蘇聯科學家所作的努力，一如在其他領域，蘇聯在這一方面大大地超過了外國，而具有最高的水平，這是由於蘇聯的社會制度比資本主義國家優越，這是由於蘇聯科學家是以完善的、唯一科學的馬克思-列寧主義理論為他們工作基礎的原因。

偉大的衛國戰爭說明斯大林同志對評定冶金工業不僅對國民經濟的發展，而且對於蘇聯的獨立也具有很重要意義之正確，蘇聯冶金工作者在偉大的衛國戰爭年代裏曾光榮地完成了它的任務。

在偉大的衛國戰爭勝利地結束以後，蘇聯冶金工作者面前有新的任務。蘇聯恢復與發展國民經濟的五年計劃中規定在 1946—1950 年中要把鋼生產增加到比戰前增加 35%。在新的斯大林五年計劃中要建造 165 座馬丁爐、15 座吹爐和 90 座電爐，其總生產

率為 16200000 噸。

在 1946 年 2 月 9 日，斯大林同志曾在他的具有歷史性的演說中向蘇聯人民提出了新的偉大的任務：“我們必須做到我們的工業可以每年生產生鐵達五千萬噸，鋼達六千萬噸，煤達五萬萬噸，石油達六千萬噸。只有做到這點，才可以認為我們可以免除意外。要做到這點，大約需要三個五年計劃，也許還要長些。但我們可以做到這點，而且也必須做到這點”。

我們領袖所給我們的這一任務是所有蘇聯冶金工作者的戰鬥綱領。

在最近的年代裏將展開電冶金新的廣闊的發展遠景，因此電爐製造工業的發展前途也將是廣闊的。

1950 年由於斯大林同志的提議，蘇聯政府作出了在伏爾加河建設古比雪夫及斯大林格勒水電站，在德涅爾河建造卡霍夫斯克水電站，建造土庫曼運河、南烏克蘭運河及北克里木運河這一歷史性決議。

從下列數字可以看出蘇聯這種建設規範在全世界是無比的。

頭二個水電站的總指標為：

	古比雪夫水電站	斯大林水電站	總
發電能力, 1000 瓩(單位)	1000	1700	3700
平均一年所發出之電能, 1000000 瓩-時(單位)	10000	10000	20000

可以一年得二百萬萬瓩-時的電能。這一數量比蘇聯在第二次世界大戰前夜的 1938 年蘇聯全年所發電能的一半，比意大利全年所發的電能要多，比瑞典和瑞士兩國相加起來的年產量要多。

每一個伏爾加水電站所發之電功率都超過蘇聯第一個水電站 10 倍——伏爾霍夫斯克水電站——比德涅爾水電站所發電力要大幾倍，而德涅爾河水電站是歐洲最大的水電站。

國家電氣化的進一步發展密切有關於電冶金工業及工業上電

熱使用得到更大的發展速度。新的無限廣闊的發展遠景呈現在蘇聯電爐製造工業面前。

對作為冶金工具的電爐的要求

熔煉電爐應保證能得到對金屬所要求之質量，高的生產率及最小的熔煉成本。

對金屬質量之保證是主要要求，其餘一切應服從於它。

黑色金屬之電冶金分成：

- a) 鋼的冶煉及
- б) 從礦石中冶煉鐵合金及生鐵。

鋼的電冶金又分成：

- a) 鋼錠生產及
- б) 鑄鋼。

在每一上列熔煉方法及熔煉種類中，對金屬及爐子之要求可能很不同，但是其中有很多要求也是它們所共同的。

這些要求如下：

1. 應保證所規定的熔煉操作溫度規範和適當的熔煉能量制度。這所以很重要，因為除純粹技術之因素外（原料及輔助材料的成分與質量、熔煉的一般方法、所用爐渣等），金屬的質量在很大程度上決定於熔煉溫度及能量制度。

從操作經驗中大家都很知道在熔煉的全部時間內，溫度制度所給予的影響是非常大的。

化學反應的速度、方向及其完全的程度都決定於溫度。

當着在固體爐料熔化期中所輸入爐內之電功率小時，熔化的時間就會延長，這就會使金屬的氧化增加，金屬中之氣體量增高，此外，還會使爐子的生產率降低。氧化期中溫度的不夠會使錳的氧化強烈，使炭的燃燒困難。

在還元期中冷的爐渣及金屬會使硫的除去與非金屬夾雜物的浮昇發生困難，這即是降低金屬的質量，同時由於精煉時間的增長生產率會降低。

而另一方面如輸入爐中之電功率過大，則會引起金屬的過熱及金屬強烈的吸收氣體，爐襯的熔化，爐渣的變壞，液體金屬在爐中保持時間的增長，生產率的降低及單位電能耗費的增大。

金屬從爐子傾出的溫度對澆鑄成品的質量及澆鑄操作本身都有很大影響。

在鐵合金爐中所輸入爐內之電力的不夠使生產率降低，耗費係數增加。

2. 採用冶金過程所需之適當的爐襯及能保證冶金過程順利進行之爐子構造。

例如，在酸性爐襯的煉鋼爐中不可能除去硫磷，但是在這同一爐中，當爐襯為鹼性材料所砌時，則可把硫磷除去。由於在電弧爐中是從上面加熱，所以爐渣的溫度比感應爐中高（後者爐渣之熱取自金屬），因此在電弧爐中金屬之除硫能比在感應爐中進行得較好。

在爐襯為炭質之鐵合金爐中不可能得到低炭或無炭銻鐵。

3. 採用主要尺寸間之比例最適合於所需要之操作過程進行的爐子。

在爐缸深而窄之電弧爐中，對熔化速度來說，比爐缸寬而淺者有利，但相反地，對金屬之精煉速度及精煉完全程度來說，則不及後者，因此，當採用鹼性方法對須經過長而複雜之精煉過程的高級優質鋼來說，爐缸應比用於鑄鋼生產之酸性爐要比較寬而且要比較淺。

4. 採用在熔煉過程中金屬被外來雜質所損污之程度為最小的爐子。這個要求是由於爐子本身常常因為構造的不完善的結

果,使爐子本身成為金屬中雜質物的來源。例如,由於爐襯及電極的破壞與在電弧區中金屬的強烈吸收氣體。

5. 保證能得到技術過程所必須之氣氛。

這個要求之提出是由於進行某些冶金過程時,爐子中必須有一種特別氣氛。例如當爐中為氧化氣氛時,則不可能在電弧爐中造成電石渣;當着在真空中進行熔煉時,鋼中所吸收之氣體量就會顯著地降低。

對不同的操作過程來說,上述要求有不同意義。此外,在不同類型的爐子中,及在爐子類型的範圍內,在構造及尺寸不同的爐子中,這些要求能夠不同程度的實現,所以對每種指定的操作過程,能夠也必須選擇從技術的觀點來說尺寸最合適、構造最合理的爐子。

電爐的分類

電爐熱工及冶金質量之好壞,首先決定於電能變成熱能的方法,所以最合理的分類方法是按這種特徵。

電氣加熱設備分成下列種類:

1. 電弧爐,在這種爐子中電能是在弧光中轉變成熟能,——這種類型的爐子最廣泛地用於金屬的熔煉。

2. 電阻爐,在這種爐子中電能是用傳導方法輸入的,當它通過導體(發熱體)時,是按楞次-焦耳定律轉變成熟能。這類爐子又分成下列二種。

a) 直接加熱電阻爐,在這種爐子中被加熱物質的本身就是發熱體;由於構造上的困難這種爐子用得不多。

b) 間接加熱電阻爐,在這種爐子中,電流通過特別的用作發熱的導體,在發熱體中所發生之熱藉輻射或對流作用或其他方法,傳給被加熱之物體。這種爐子主要用於金屬的熱處理,輕金屬

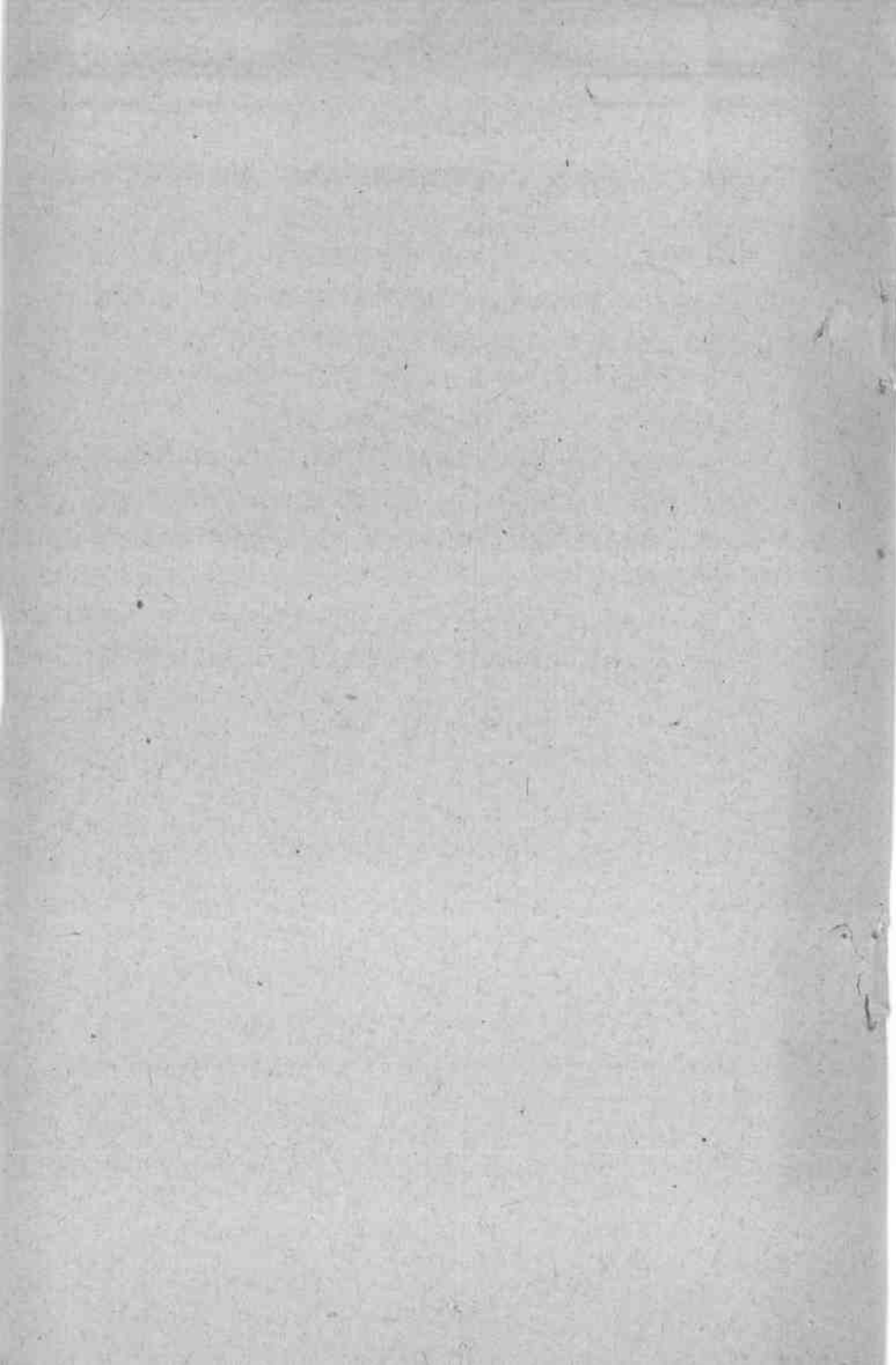
之熔煉，及日常生活上。使用這種爐子的數量最大，構造式樣很多。

3. 感應爐，在這類爐子中，電能之輸到需被加熱物體中是藉電磁感應作用，在被加熱物體中發生使其加熱的電流。這類爐子用於熔煉有色及黑色金屬，近年來在熱處理方面曾得到大的發展。

在這本書中主要是研究上列類型中用於黑色金屬冶煉之電弧爐及感應爐；只有不多的篇幅用於敘述電阻爐。

上列幾種類型的爐子，按其在黑色冶金企業上所用數量之多少依次排列如下（遞降的次序）：1) 煉鋼電弧爐及熔煉可鍛鑄鐵之電弧爐；2) 無心感應電爐；3) 鐵合金爐；4) 煉生鐵高爐式電爐；5) 鐵心感應爐及 6) 電阻爐。

第一個用於做試驗的電弧爐，建立於上世紀之八十年代，其容量為幾公斤，現在有容量高達 50—80 噸，甚至 120 噸之煉鋼電弧爐。



第一部分 電弧爐

電弧爐可以分成三類：

1. 間接電弧爐，在這種爐子中電弧發生在與金屬面相距某些距離之電極間，同時電流不經過金屬，如把熱之對流忽略，則可以說爐中金屬的加熱完全靠電弧的輻射。

2. 直接電弧爐或直接加熱爐，在這種爐子中弧光是發生在電極與正要加熱之金屬間（經過爐渣），此金屬好像第二個電極；電流通過金屬。

3. 閉弧式爐子，在這種爐子中，電弧發生於包圍着電極的固體爐料層下面，於爐渣或溶化物之上，而電流通過電極至電極間之弧光時，可能經過爐料。這種爐子工作起來多少有些像電阻爐^①。

間接電弧爐在熔煉有色金屬方面較為普遍，直接電弧爐，主要用於熔煉鋼及生鐵，閉弧式爐子則用於鐵合金之熔煉。

在這本書中電弧爐係按其用途分類，因為爐子的用途決定着它的構造，這樣的分類對電冶工作者較方便，因為他們都是專門從事於一種生產，而不是專門從事於爐子構造。

① 因此關於它的敘述放在本書的第二部分。

第一編 煉鋼爐

第一章 爐子分類及其類型

需要使用很大電流的電弧煉鋼爐總是使用專用降壓變壓器來供給電能，這種變壓器乃是設備的不可分割的一部分。爐子工作的效率首先決定於爐子尺寸與變壓器功率間的正確關係，所以電弧爐煉鋼設備應認為是爐子-變壓器的組合。

在煉鋼爐中採用直接加熱：所謂直接電弧爐的電弧燃燒於垂直地懸放着的電極和爐料之間。這種情況使金屬的熔化與加熱得以加快，同時由於弧光被電極所遮隔及弧光與爐蓋及爐壁之間的距離較大，使爐壁與爐蓋之工作條件得以減輕。電極的垂直位置使產生於電極中之應力最小，並使電極之昇降運動容易進行得多。這一點在操作大爐子時特別重要。因為在大爐子上不能裝設水平地放着的大電極。

由於高溫及電弧電力的集中而可能發生位於電極下的金屬的過熱，經過正確計算之爐子中，每相電力達於 4000—5000 瓩之爐子中都不會發生。

電流在爐液本身所發生之熱（按楞次-焦耳定律）與電弧所發生之熱相比較，則小得很，可以認為完全是靠電弧加熱。

電流通過爐料可以有兩種方法：它可以僅僅通過上面二根電極的電弧之間的爐料，在這種情況下，它實際上僅在距爐液面不深之處通過爐液，這種爐子叫做爐底不導電式爐子。

此外，電流可以通過爐底，為此目的，爐底應具有良好的導電性，同時應用中性線來把它與爐子變壓器的次級線圈相聯。這種

爐子就是爐底導電式爐子。

爐底導電式爐子建造於電弧煉鋼爐發展的初期。當時企圖藉此促進爐液加熱均勻。然而實踐指出，在爐底不導電式爐子中熔煉也能進行得令人滿意，同時爐底導電式爐子又比較複雜得多，在製造上費用較貴而壽命較短。在爐底導電式爐子中必須在爐底上垂直安裝很多幾乎到達爐缸之底的金屬棒，或者必須安設穿通全部爐底的用水冷卻的鋼質電極。這些電極如果熔化會使金屬穿過爐底而流出，並會引起爆炸。由於這一原因，爐底不導電式煉鋼電弧爐在現在是唯一用得普遍的爐子。爐底導電式爐子現在已經不再製造。介紹這種爐子純粹是從爐子發展歷史的意義出發，我們以後不再討論它。

圖 1 所示為直接加熱煉鋼電弧爐與變壓器間的可能聯接之最簡單的略圖，略圖 a, b, c, z, d 及 e 所示為爐底導電式爐子；略圖 x 及 3 為爐底不導電式爐子。當着按 a, b, c, z 及 d 聯接時，電流必然不斷地通過爐底。同時當按略圖 e 聯接時，電流僅可能於爐液面上面的三電極上的負荷不平衡時才通過爐底，三電極上的負荷的不平衡主要是發生在熔化期。

爐底不導電式爐子聯接簡圖中最常用的聯接法是略圖 3 所示的聯接法。

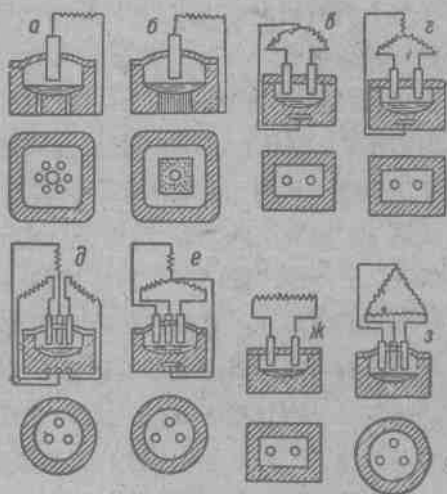


圖 1. 直接加熱煉鋼電弧爐與變壓器聯接略圖：

a, b, c, z, d 及 e —爐底導電式爐子；

x 及 3 —爐底不導電式爐子。