

# 驗性電弧爐煉鋼操作法

張 強 編 著

龍門聯合書局出版

## 序

現時國家之強盛，有賴於工業建設，工業之建設，當以重工業為基石，而重工業之發展，視鋼鐵之冶煉事業如何而定。今各種工業突飛猛進，對於質量皆求其精良耐久。在一般煉鋼廠中，以產量而言，當首推平爐，但平爐鋼之質地則遠遜於電爐鋼，且平爐用以煉製合金鋼頗感困難，尤以高速鋼等特殊鋼，以平爐煉製幾不可能。坩堝雖可合用於煉製合金鋼，然其容量過小，熔煉時間過長。以電弧爐煉鋼時，則有兩者之利。各種煉爐之熱效能，亦首推電弧爐。故一般之趨向皆採用電弧爐煉鋼。

我國使用鐵器為時雖久，而鋼鐵之冶煉事業，為歷代封建勢力及帝國主義者與其幫兇的統治所束縛，迄未發達，今束縛既解，生產發展一日千里，故對鋼鐵冶煉之要求已甚迫切，因收集有關電弧爐煉鋼之材料，參以本人工作之經驗，編著此書，以供大眾參考，並希指正。

張 強 1950年10月

# 目 錄

第一章 煉爐佈置及電氣設備	1-17
第一節 煉爐之佈置	1
第二節 電氣設備	2
第二章 爐體	18-39
第一節 電極	18
第二節 爐體	26
第三章 原料	40-72
第一節 耐火材料	40
第二節 廢鋼及生鐵	51
第三節 氧化劑及去氧劑	53
第四節 增炭劑	60
第五節 造渣材料	60
第六節 鐵合金	63
第四章 煉爐熱效率及煉爐使用前應有之準備	73-90
第一節 煉爐熱效率	73
第二節 煉爐使用前應有之準備	78
第五章 操作	91-181
第一節 雙渣冷裝熔煉法	91
第二節 氧化沸騰熔煉法	146

第三節	單渣冷裝熔煉法.....	154
第四節	熱裝熔煉法.....	156
第五節	煉製合金鋼之操作實例.....	160

## 第一章 煉爐佈置及電氣設備

### 第一節 煉爐之佈置

一般說來，電弧爐的廠房佈置，應較裝平爐及轉爐的為慎重，因電氣設備中的絕緣材料不良或操作不慎，容易引起事故，危及工作人員的安全。舊時電爐廠房均將爐體之傾動裝置、電極升降裝置及冷卻設備等，與爐體安放於同一平面，操作時往返工作極感不便，一旦操作有所故障則將更受其影響。同時變電室與煉爐僅一牆之隔，管理員亦在室內，一旦事故發生亦即蒙受損害。因此在電弧爐廠房設置之先，應顧及到安全及操作便利等諸項條件。現今之傾向，將爐體與附屬設備不放於同一平面。如圖1所示， $a$ 為變電室所有設備安置之房間， $b$ 為管理員之工作場所，屋內有操縱

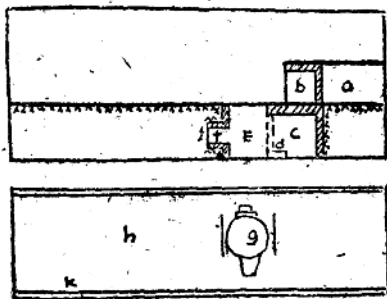


圖 1. 電弧爐廠房佈置圖。

盤，可以明瞭使用電流及電壓之大小以及煉爐操作之情況， $a$  為變壓器， $d$  為電極升降器， $e$  為槽坑，以鋼筋水泥箍成，而備出鋼時盛放鋼水包<sup>(1)</sup>及出渣之用， $f$  為爐體傾動裝置， $g$  為爐體， $h$  為傾鑄場地， $k$  為吊車行駛軌道。

煉爐廠房應保持清潔，以免影響工作人員健康，且材料中亦不致有雜質混入。在廠房附近應有倉庫儲藏煉鋼材料。造洋材料之儲藏室務令乾燥清潔，以免影響鋼質。各項材料應按其類別堆放，不可混雜，以便取用。如為鑄鋼件者，當有乾燥窖及退火窖、軋砂機、儲砂房、模型倉庫等設備。此等設備相距廠房愈近，運輸亦愈方便。

## 第二節 電氣設備

凡從事於電弧爐煉鋼工作者，對煉爐之電氣設備應有正確之認識，如此方可選擇適當之電流與電壓，令煉製鋼材順利進行，操作正常。即令在操作時發生故障或不良情況，亦可及時處理，不致手足無措。

電弧爐所使用者皆為三相變流，因煉鋼熔解時所需要者為低電壓高電流。依據焦耳定律—— $W = I^2RT$ ——電流值愈大，發熱量也愈大，熱量大，方可使鋼材熔解。直流電流不合用，由於一般廠房均無發電設備，其電源皆賴發電廠供給，若輸送高電流之直流，勢必增加導體之斷面積，減低電阻(歐姆定律)以減少輸送之損失，此種方式殊不經濟。輸送交流時則因電壓高電流低，導體之

(1) ladle.

斷面積無須加大；在應用於煉爐時，僅需經過變壓器，降低其電壓增大電流，而以此高電流低電壓之電力送至煉爐即可。且直流最有害者，即在鋼材熔解時，鋼材易起電解作用，而成份變更，此在交流則無此種現象。

通常電弧爐之電氣設備包含下列諸項：

- A. 變壓器。
- B. 抗流器。
- C. 電流自動調節器。
- D. 操縱盤。
- E. 電極升降電動機及爐體傾動電動機。

今將其分別敘述如下：

### 1. 變壓器

變壓器之運用原理，係根據法拉第之電磁感應定律。置二線圈於彼此可以互相感應之位置。當一線圈通有電流時，此電流所產生之磁通量即與第二線圈各匝相鏈。若第一線圈中之電流交替的變更，則第二線圈將因感應而生一電勢；此電勢可以輸送電流通過接於第二線圈之負載。而使用於電弧爐之變壓器即為將發電廠輸送來之高電壓低電流之電力，變為低電壓高電流之電力，以期發生熱能，迅速熔解爐內之鋼材。

變壓器之外形為一波浪形之外壳，此波浪形鐵壳主要目的在於增加熱之輻射面積，散熱容易。其內為矽鋼片所組成之鐵心，原線圈及副線圈即分繞於鐵心相對之二足。每線圈皆有線頭分接於電力來路及去路。此鐵心浸於油內，使線圈不致過熱，此種變壓

器油不但有冷却之作用，亦可增加變壓器之絕緣。如爲氣冷式，則用通風方法，令冷却空氣流過變壓器，以達冷却之目的。

電弧爐使用電力之一次電壓，通常歐美各國皆用 25,000 伏，日本常使用 10,000 伏，我國則多用 6,000—12,000 伏。一次電壓由於使用導體絕緣品質是否精良及耐受高壓，而有所限制；至二次電壓——使用於煉鋼時電力之電壓——當視煉爐之大小而定，日本多使用 80—120 伏，而依據電機手冊則爲 160—235 伏；二次電壓爲導體絕緣及安全起見亦不宜過高，通常以 275 伏爲限。雖二次電壓使用數值愈大電極弧光愈長，功效亦愈大，但由於上述絕緣及安全觀點，二次電壓不宜過大。至於一次電流及二次電流之使用數值以煉爐大小及變壓器之容量作爲參考而決定之。

鋼材在爐內最初熔解時，應以較長之電極弧光 增加電流通過部份之長度，使鋼材受熱面積增加，同時亦可補救鋼材最初熔解時弧光不穩定之缺點。一旦全部熔解後，電極弧光穩定，則電壓使用數值，可予以降低。由於上述原因，故在熔解時所使用之電壓較精煉時爲高。以前不論熔解與精煉，其使用電壓均在 100 伏左右，而最近爲使鋼材迅速熔解及電力經濟起見，提高熔解時之電壓至 200 伏左右。日人谷山巖氏列有下表，表示適當之電壓。更有基立茲 Kritz<sup>(1)</sup> 氏研究關於鹼性電弧爐製鋼熔解與精煉時適當之電壓，由此用爐電壓及煉爐容量作成圖表，如第 2 圖所示：圖中上面一根曲線表示在熔解時之爐電壓，其下之曲線則爲精煉時之爐電壓。自此曲線觀察，以二噸爐爲例，熔解時電壓不足 100 伏；精

(1) Elektrostahlverfahren.



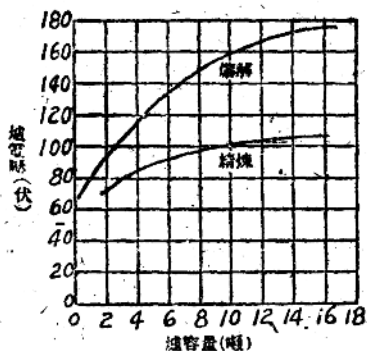


圖 2. 酸性電弧爐使用電壓。

第 1 表 煉爐大小與電壓之關係

煉爐容量(噸)	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16
熔解時電壓(伏)	100	110	125	135	150	165	175	180	185	190
精煉時電壓(伏)	90	95	100	105	110	115	117	118	119	120

煉時不足 80 伏，兩者電壓似均嫌過小。一般電弧爐在熔解及精煉時所採用電壓數值可以第 1 表所示為準，而以此圖作為參考，並考慮所使用煉爐之性能及變壓器之容量，而作最後之決定。

當選用變壓器容量時，應慎重策劃。因容量大時，熱量大，易使爐壁及耐火材料受損，減少其使用壽命。若容量過小則熔煉時間增長，且熱之放射損失大。以前煉爐使用變壓器容量平均每噸約 250 仟伏安，而今則增加至 400 仟伏安左右。第 2 表即為以前煉爐與現今煉爐使用變壓器容量之比較。

第2表 變壓器容量比較表(1)

爐容量 (噸)	以前容量 (仟伏安)	每噸鋼所需 變壓器容量 (仟伏安)	現今容量 (仟伏安)	每噸鋼所需 變壓器容量 (仟伏安)
1	300—400	300—400	450—600	450—600
3	700—900	250—300	1200—1800	450—550
5	1800—2500	180—250	3000—4500	330—550
10	2250—3000	150—200	4500—5500	300—400

自第2表可知，現今之變壓器已較以前為大，以一噸爐而言，變壓器容量增加約50%，三噸以上者皆大約一倍。現今煉爐使用各項材料均日趨精良，故使用變壓器容量宜取大值，以期減短熔解時間，減少熱之發散。美國材料試驗學會金屬手冊<sup>(2)</sup>中所示之變壓器數值又較第2表中所列容量為大，此種關係於第3表中表示之。當選用變壓器時應注意煉爐之冷卻設備及所用之耐火材料，如一切條件皆能滿足，不妨使用相當容量之變壓器。

第2表及第3表均為變壓器實際使用之容量之數值，可供選用變壓器容量之參考。然此數值與熔解時間、裝入重量、每噸鋼材熔解所需電力及煉製鋼材時電力損失等項有關。德國鐵冶金學會<sup>(3)</sup>關於變壓器容量設計立有公式，其式如下：

(1) 電氣製鋼法 谷山巖著 173頁。

(2) Metal Handbook. A. S. T. M. 1948. p. 326.

(3) Stahl u. Eisen. Nr. 44. 1924.

第3表 變壓器之容量

爐容量 (噸)	爐壳直徑 (呎)	變壓器容量 (仟伏安)
1	6	1,000—1,200
3	8	2,000—3,000
6	10	3,000—4,000
10	12	4,000—7,500
15	13	4,000—7,500
25	14½	7,500—10,000
40	16	10,000—13,500
50	18	10,000—13,500
60	19	10,000—15,000
70	20	10,000—15,000

$$N = \frac{LG}{T} + S \cdot \cos \phi$$

式中  $N$  = 變壓器容量(仟伏安)。

$L$  = 每公斤冷裝鋼材熔解所需理論上之電力(仟瓦小時)。

$G$  = 裝入重量(公斤)。

$T$  = 熔解時間(小時)。

$S$  = 煉製鋼材電力損失量(仟瓦小時)。

$\cos \phi$  = 功率。

## 2. 抗流器

當冷鋼材初熔解時，電極四週之鋼材受電極弧光之高熱，而生成許多鋼液小池，同時在廢鋼相互接觸部份，電流發生短路。此種現象當加入廢鋼為大塊及使用電壓高時更為顯著，其結果使

電極弧光不穩定，變壓器超過負荷，電流不均衡，如不加以制止，則變壓器油及線匝之絕緣體溫度增高，劇烈時可燒毀變壓器。通常變壓器設有自動關閉器，一旦短路發生，電流超過負荷時，則自動關閉，使電路成斷路，中斷送電，然此現象在鋼材初熔解時，是不可避免且連續發生，直待鋼材大部熔解後，方慢慢減弱，全部熔解電極弧光始能穩定。在一般電弧爐均附置有抗流器，與變壓器相連，一旦短路發生，抗流器則有平衡電流之功用，使短路現象微弱，而無害於變壓器，以增長變壓器之使用壽命。如為熔材煉鋼或使用容量大的變壓器時，可無須此種設備；唯應注意者，即熔解時使用變壓器可為全負荷，一旦全部熔解後則應用部份負荷，俾使變壓器油及導線絕緣溫度不再受影響而慢慢下降。

第4表 電弧爐抗流器容量(1)

爐 容 量 (噸)	變 壓 器 容 量 (仟伏安)	抗流器容量 (%)
1	400—600	30—35
2	750—1,000	25—30
3	1,200—1,500	25—30
5	1,800—2,000	20—25
7	2,500—3,000	20—25
10	3,000—3,500	15—20
15	4,500	10—15
20	6,000	10—15
30	10,000	10—15
40	12,000	10—15
100	2×12,000	10—15

(1) 電氣製鋼法 谷山巖 183頁。

抗流器之容量當視變壓器容量數值而定，在變壓器容量小時，抗流器容量宜大，第4表即表示此種關係。

上表中第三項抗流器容量之單位%，係指抗流器之電抗<sup>(1)</sup>與變壓器電抗之比值。由於抗流器與變壓器在同一線路中，其所經過之電力相同，故抗流器之容量(以%表示)單位亦可為仟伏安。如變壓器容量為1,000仟伏安時，抗流器為30%亦即示抗流器容量為300伏安仟。由上表中可知當變壓器容量大時，抗流器容量反小，在4,500伏安仟以上之變壓器所用之抗流器容量皆為10—15%。一般為安全計皆用較大容量之抗流器，第5表係現今採用者。表中所示各數值皆較第4表中所示為大，實際採用應以此表作為參考，以便令變壓器之溫度不致升高，延長其使用壽命，亦可免去意外之發生。如能以抗流器之容量為40—60%則為最妥。

第5表 抗流器容量<sup>(2)</sup>

變壓器容量 (仟伏安)	抗流器容量 (%)
1,000 以下	35—40
1,001—2,000	30—35
2,001—3,000	25—30
3,001—4,000	20—25
4,001—5,000	10—20

(1) reactance.

(2) Electric Handbook (Electric Heating). p. 495.

抗流器之功用即增加線路中電抗，一旦短路發生，電流超過負荷時，則此有效電抗即阻止此種現象。熟練之技工常於弧光極不穩定時，於電極下方，擱置焦炭數塊，以穩定電極弧光，此理亦同。蓋焦炭為不良導體，與金屬相較，則其導電性能相差甚遠，放置焦炭亦即增加線路中之電阻，而使電流趨於平衡，抗流器與變壓器之原線圈相聯結，外來之電力先經抗流器而後再至變壓器。聯結之方式， $\Delta$ 形及Y形皆可，不過以Y形為理想，其電抗之百分率可大1.73倍。抗流器之構造與變壓器大體相仿，唯無原線圈及副線圈之分，因其僅有阻止短路之能力，而無改變電壓之功效；其外形為一波浪形之鐵壳，其內部為中空之圓形鐵心（以矽鋼片製成）。亦有鐵心為長方形者，但散熱不及前者有效。鐵心上繞有三組線圈，外以絕緣體裹之或夾以雲母片，鐵心浸於油中，每組線圈有線頭，分接於送來電力之導線上與變壓器相連。

### 3. 操縱盤及自動調節器

操縱盤之主要目的在使煉爐之操作正常，並由於操縱盤上之

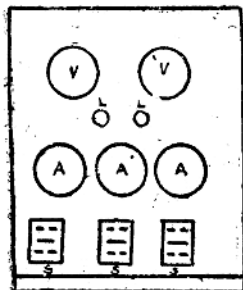


圖 3. 操縱盤。

儀器可以瞭解使用電力之情況、協助其趨於正常，而不致有故障。其構造如圖 3 所示， $L$  為兩只燈泡，如燈明亮則已送電，燈熄即電路中斷。 $V$  為電壓計，由指針指示可知電壓大小，不夠或太大時可通知變電室予以更換電壓。 $A$  為電流計，由指針指示可讀出電流之安數，由電流大小可判斷爐內情形是否正常，電

流不穩定以致數值過大，電流計中指針搖動甚烈，此時應停止送電，於電極下放置焦炭數塊後再送電。S 為電極升降開關，向上推送則電極上升，向下推壓則電極下降，開關手柄立於中間部份不與上下電鈕接觸時，則電流中斷。每一開關分別控制一根電極，以此開關可以任意調節電極之升降於適當之位置。鋼材最初熔解時，即令有抗流器之設置，亦不能免去弧光之不穩定。如果變壓器容量或抗流器容量不夠時，最好不立即引用自動調節器以免意外，宜以人力利用電極開關操縱之。操縱盤放於管理室內，如自室內可以看見爐體則更佳，此可給予在管理之技工操縱上之便利。

自動調節器之原理，為當電弧爐電路中電流有變動時可使電弧之電力變化，藉電弧長度之改變而改變使用電壓，令電流穩定。當爐料加入後，一根電極電弧之電流可改變他兩根電極弧光之電流。因之，每相雖為獨立者，然在三相電路而言，其他兩相係受其影響。自動調節器之功用即為平衡三相之電流，使之均等。

自動調節器含有一電流計、一變流器及每相電極回逆接觸器。

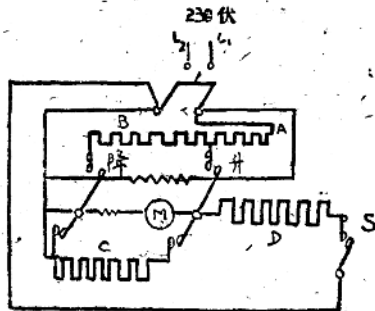


圖 4. 自動調節器。

此每相回逆接觸器，當連續調整每相之弧光後，至一適當長度即可得一適當之電流。在電弧線內置一可變電阻如圖4所示，並聯於電流計，以增其作用。圖4所示為自動調節器線路連接圖，圖中  $M$  為一直流分路線匝電動機<sup>(1)</sup>或合路線匝電動機<sup>(2)</sup>，通常之連接如圖所示。 $A$ 及 $B$ 為變阻器，使電極升或降之速率有別。（有時僅用一變阻器即可。）電極升降之速率依煉爐大小及操作方法而定，通常其速率為每分鐘移動20至30吋（50至76公分），一般情形上升之速率應較下降為快，當電極升降電動機開啓將電極升起或降落時，制止其動力而設有變阻器 $C$ 連結於升降電動機。當電極為新安裝者，使其升降或使三根電極同時上升時，以人力開啓接觸器 $D$ （此變阻器有時置於電極升降電動機內）並使用移動開關<sup>(3)</sup> $S$ 使成通路，蓋此時電極可有較高之速率。自動調節器除去因電極消耗而下降電極至適當位置外，並可由於電極與爐料接觸，而減少一部份之短路。

#### 4. 爐體傾斜及電極升降電動機

電弧爐爐體一般皆承於半圓齒板上，以便傾斜。爐底以下為中空之坑槽，爐前為出鋼時鋼水放置之處，爐之後方為出渣時使用。為求出鋼及除渣之便利，故有設置爐體傾斜裝置之必要。現時已廢除齒板不用，使爐體承於定置軸上，如圖5中 $E$ 。當電動機轉動時（圖中 $A$ 為電動機）經過一組變速齒輪 $F$ 。帶動齒輪 $B$

(1) shunt-wound motors.

(2) compound-wound motors.

(3) transfer switch.



而推動聯桿 *D*，此聯桿聯結於爐體，當聯桿受力時，則架於定置軸上之爐體，亦由聯桿之推拉而前後傾斜。由電動機轉動之方向不同，齒輪 *B* 之轉動方向隨之改變，令聯桿作用於爐體之力之方向不同，使爐體前後傾斜。圖中 *C* 為鈞合重錘，為平衡爐體傾斜時所生動力而用。

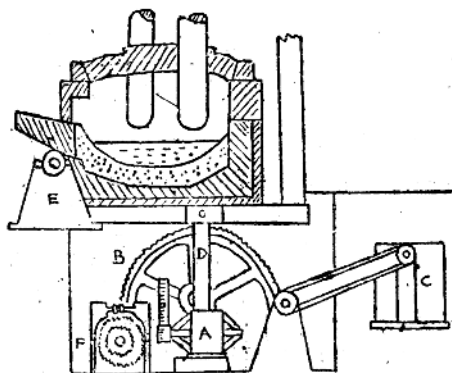


圖 5. 爐體傾斜裝置圖。

爐體前傾之度數較大，通常為 40—45 度。蓋前傾出鋼時度數須大，方可令爐內鋼液流盡，不使爐內剩有鋼液及鋼渣，而保護爐內耐火材料不受損害，延長其使用壽命，且便於下一爐之操作。爐體後傾之度數不宜過大，僅足夠鋼渣流出之需要為度，過大時則有鋼液流出之虞，通常爐體向後傾斜之度數為 17 度左右。

用於爐體傾斜電動機多為直流，電壓 230 伏，轉速每分鐘 500—700 轉者為宜。其馬力大小當視爐體大小而定，下表所列為一般使用之數值。