

電 熱

趙富鑫編譯

中國科學院古儀器公司印行

電 工 技 術 叢 書

電 熱

趙 富 鑫 編 譯

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司 印 行

上 海

中國科學社工程叢書

電工技術叢書

電 熱

Electric Heating

中華民國三十四年八月初版

中華民國三十六年四月再版

版權所有 翻印必究

原 著 者	J. C. Woodson
編 譯 者	趙 富 鑫
出 版 者	電工圖書出版社
發 行 者	楊 孝 述
發 行 所	中國科學圖書儀器公司 上海中正中路六四九號
印 刷 所	中國科學圖書儀器公司 上海中正中路六四九號
分 公 司	中國科學圖書儀器公司 南京 廣州 漢口 重慶 北平

凡 例

- (一)本叢書編譯之目的，係為訓練電機工程事業各項中級工程師及高級技工之用；職業學校，函授學校等採作課本，最為適合；即為有志自修者，亦極合用；而大學生備作參考，以補大學教本略於實用之不足，裨益亦非淺鮮。
- (二)本叢書係用美國國際函授學校 (International Correspondence School) 所編之教本為依據，延聘專家，從事編譯；原書優點為 (1) 注重實用，(2) 說理淺顯；(3) 插圖豐富詳明，尤以插圖多經精心繪製，與正文相得益彰，最為特色。
- (三)本叢書一面採用國外已見成效之書籍為藍本，一面力求適合國情，盡量加入國內已有之材料及法規，庶免隔閡之弊。
- (四)本叢書對於原書之優點，力為發揮，惟原書若有舛誤或欠妥，亦不事盲從，而惟求其至是，不憚加以修正，以免遺誤。
- (五)本叢書側重中級電工教育，對於高深精確之理論，大都從略，間有必須牽涉之處，亦祇能取譬於日常切近之事物，出以通俗近似之陳述，精確之度難免犧牲，讀者諒之。
- (六)本叢書中所用各項單位，均取國際制，凡原書用英美制之處，則加註國際制之當量值。

- (七)本叢書在原則上遵用教育部頒之名詞。凡名詞若為部頒所無者，或部頒名詞在實用上有窒礙者，則有編輯會議商定之。
- (八)本叢書各冊名詞力求統一，惟卷帙甚繁，編輯部同人校訂難免疏漏，所望讀者發現矛盾或不一致之處，惠予指正，以期再版時收統一之效。
- (九)本叢書中重要名詞後均附註英文名詞，並於每冊後附英漢對照名詞彙。
- (十)本叢書為普及起見，用語體文撰述。
- (十一)本叢書第一集共二十三冊，電工各門大致俱備，其他門類，如電信等，擬陸續另出第二集補成之。
- (十二)本叢書編輯同人均以業餘之暇從事撰述，疏誤在所難免，所望海內方家，不吝見教，俾於再版時得以更正，不獨同人個人之幸，亦中國電工教育之幸也。

電工技術叢書

第一集

主編者 楊肇燦 裘維裕 楊孝述

電學與磁學	裘維裕
交流電學	裘維裕
直流電動機與發電機	毛啓爽
交流電動機與發電機	丁舜年
電動機運用與電機試驗	胡汝鼎
整流機與換流機	胡汝鼎
變壓器	周琦
發電廠	毛啓爽 吳玉麟
蓄電池	毛啓爽
保護器械器	丁舜年
磁鐵及電磁鐵設計	丁舜年
司路機鍵	壽俊良
電壓調整	壽俊良
電工儀器及量法	楊肇燦
瓦特小時計	莊標文 楊肇燦
電照學	趙富鑫
電熱	趙富鑫
線路傳輸及計算	曹鳳山
實用電工敷線法	莊標文
工用電子管理論	史鍾奇
電燈線路之電子管控制	李志熙
電動升降機 (二冊)	吳沈鈺

譯 者 序

電熱之應用，在吾國尙未普遍。習見者祇有電熨斗，桌用電熱器，電灶，暖室器等各種小型電熱器，是以關於電熱方面之書籍，可云絕無。實則電熱之使用，小至燙髮鉗電烙鐵，大至各種熱處理及熔金屬用電爐，在工業上極爲重要，尤以鋼鐵工業爲然。如製造戰艦飛機及他種機械之各種特種鋼及各種特種合金，均非用電爐煉製不可。是以對於吾國重工業之發展上，各種電熱器之構造及原理，極有研究之必要。本書原著者 J. C. Woodson，係美國衛斯汀豪斯電器製造公司 (Westinghouse Electric and Manufacturing Company) 電熱工程師。是以所述各種電熱器之構造，應有盡有，且每種各舉標準型式詳述，附以圖形。讀此可於電熱之應用，一覽無餘。電熱器原理及計算，亦有簡核之敘述。關於各種質料之性質，列表尤富，可代手冊之用。惟所列質料，類多美國商品名稱，未能詳考其本質及成份，未免美中不足。茲依之譯音，附以原名，尙祈讀者諒察。

民國三十四年八月趙富鑫序於上海

目 錄

第一章 熱之基本計量	1
1.1 熱之理論 1.2 熱能的來源 1.3 溫度 1.4 絕對零度 1.5 溫度的測定 1.6 熱量 1.7 熱容量 1.8 比熱 1.9 熔點 1.10 沸點 1.11 潛熱 1.12 熱量的測定	
第二章 熱之傳播	19
2.1 熱平衡 2.2 熱能傳播方法 2.3 熱傳播的通則 2.4 傳導 2.5 熱導係數與熱阻係數 2.6 透面熱阻 2.7 圓柱形熱絕緣體的傳導熱量 2.8 多層熱絕緣的計算 2.9 熱導係數的數值 2.10 運流 2.11 運流傳熱率和溫度差及傳熱面位置的關係 2.12 運流傳熱率的計算 2.13 輻射 2.14 輻射傳熱的計算 2.15 運流與輻射 2.16 熱量的計算	
第三章 電熱器用材料	46
3.1 總論 3.2 直接和間接加熱 3.3 非金屬電熱元件 3.4 各種用非金屬電熱元件的電熱爐 3.5 金屬電熱元件 3.6 線狀條狀及帶狀電熱元件 3.7 電熱元件接線端 3.8 電熱元件的額定散熱率 3.9 鎳鉻合金的電阻溫度係數 3.10 鎳鉻合金線和帶的規定大小及電阻 3.11 鎳鉻合金的線脹係數 3.12 弛長 3.13 鑄成鎳鉻合金元件 3.14 他種金屬製的電熱元件 3.15 各式電熱元件的使用慣例 3.16 普通耐燬物質 3.17 特種耐燬物質 3.18 熱絕緣質 3.19 各種半熱絕緣耐燬物質 3.20 耐熱金屬	
第四章 電熱器的概論	77

4.1 電熱的定義 4.2 電熱的優點 4.3 電熱器的發展史 4.4 家用電熱器具 4.5 商業用烹飪器具 4.6 小型工業用電熱器 4.7 大型工業用電熱器 4.8 電熱不適合的用途 4.9 結論

第五章 家用電熱器具 86

5.1 定義 5.2 燙髮鉗,美髮機,電熱褥 5.3 杯水加熱器,熱水滅菌器,暖乳器 5.4 餐桌用電熱器 5.5 洗濯用電熱器 5.6 熱水器 5.7 暖室用電熱器 5.8 電灶

第六章 小型工業用電熱器 103

6.1 定義 6.2 熔膠鍋,熔蠟鍋等 6.3 糖果工業電熱器 6.4 橡膠加硫器 6.5 小型鋁鑄鍋,巴比德合金鍋,鋁接用電烙鐵等 6.6 滅菌器與液體加熱器 6.7 獨立使用的電熱器 6.8 用恆溫器的自動溫度控制 6.9 接觸溫度計

第七章 商業用烹飪器 112

7.1 總論 7.2 餐館用電灶 7.3 烹煮臺 7.4 炙肉器 7.5 烤麵包用烘爐 7.6 烘糕餅用烘爐 7.7 烤肉用烘爐 7.8 油煎用鍋 7.9 煮湯用鍋 7.10 煨咖啡用壺 7.11 蒸煮臺 7.12 烤麵包器,烙餅器等

第八章 大型工業用電熱器 120

8.1 總論 8.2 箱式及車架式整批裝卸的烘爐 8.3 半連續裝卸式烘爐 8.4 連續裝卸式烘爐 8.5 各種工業用烘爐的運用溫度 8.6 優點 8.7 熔金屬爐總論 8.8 電阻式金屬熔鍋概論 8.9 各種熔鍋的特殊構造 8.10 熔鍋之改用電熱 8.11 熱水爐及蒸汽發生爐

第九章 熱處理用電爐 134

9.1 熱處理用電爐的發展史 9.2 熱處理用電爐的優點 9.3 熱處理各

種名詞的定義 9.4 熱處理用電爐的分類 9.5 熱處理用電爐的構造
 9.6 爐的效率及濟率 9.7 爐的運用特性 9.8 整批裝卸式電爐概論
 9.9 箱式爐 9.10 悶爐 9.11 坑式爐 9.12 升降機式爐 9.13 鐘式爐
 9.14 車式爐 9.15 直立式爐 9.16 鍋式或池式爐 9.17 連續裝卸式
 電爐概論 9.18 旋轉爐床式爐 9.19 推進器式爐 9.20 步移梁式爐
 9.21 滾動爐床式爐 9.22 運輸帶式爐 9.23 運輸帶式或頂上運輸式
 爐 9.24 烘爐構造的低溫電爐 9.25 煉玻璃爐 9.26 熱處理爐的溫
 度控制 9.27 控制屏和控制方式 9.28 週程控制 9.29 電爐的保護
 設備 9.30 飽和指示器 9.31 氣氛的控制

第十章 熔爐和電化爐 179

10.1 電弧熔爐概論 10.2 直接電弧式熔鋼爐 10.3 熔非金屬用爐
 10.4 排斥電弧式熔爐 10.5 阿甲克斯外亞脫感應爐 10.6 圓環式感
 應爐 10.7 高頻感應爐 10.8 真空感應爐 10.9 特種電化爐

問題及習題 191

英漢名詞對照索引 198

電 熱

第 一 章

熱 之 基 本 計 量

1.1 熱之理論 熱究竟是什麼東西，到現在還沒有確切的論斷。據大多數科學家的意見，熱是物質分子運動時的動能 (kinetic energy)。這種運動，或是分子的單獨運動，或是分子間的相對運動，有時也許是分子內部的運動。分子運動愈劇烈，物質的溫度愈高，其分子動能即所謂熱能也愈大；分子運動愈和緩，物質的溫度愈低，其分子動能即所謂熱能也愈少。到分子停止運動時，物質的溫度就稱爲絕對零度 (absolute zero)，這時其熱能也是零。所以所謂熱能者，就是分子能而已。

這種熱能，也和電能一樣，可以量度，計算，和利用。關於熱能的定律，也有很多和關於電能的定律相似。在這章內所講的，就是量度或計算熱能的各種原理。

1.2 熱能的來源 熱能也可以說，是宇宙間各種能的歸宿，因爲無論那種能，當利用來作功以後，都是化爲熱能。各種化學反應，雖然有時也須吸收熱能，到了歸根結底，都是放出熱能。各

種動的物體，到了運動停止，他們所有的動能，也都化爲熱能；若有摩擦作用，那末所耗的能，也化爲熱能。電流流過導線或各種電器，電能也都化爲熱能。各種可見或不可見的輻射，如光波等，被物質吸收後，也都化爲熱能。

平常熱能的來源，可分爲下列幾種。(一)太陽的輻射能：被地球上各種物質所吸收。這種熱能，也就是地球上各種能的唯一來源，譬如說：發電機的能，是從原動機來的；而原動機的能，是從燃料(如煤，汽油等)發出的化學能，或水源的勢能(potential energy)。而燃料的化學能，是因為物質吸收太陽輻射，發生化學反應而有的；水源的勢能，也是因為河海中的水，吸收太陽輻射，汽化成雲，再成雨下降而發出的。(二)化學反應：這種例很多，不能遍舉，例如各種燃料，像煤，汽油，木柴，煤氣等的燃燒時，也就是氧化時都放出大量的熱能。(三)機械作用：各種機械作用，例如兩手的摩擦，鎚的打擊，機械的旋轉，水的下流等。(四)電流：電能由上面三種來源發生，而當電流流過電阻時，就都化爲熱能。所謂電熱學就是研究怎樣用電流來發熱。

1.3 溫度(temperature) 物體吸熱能，溫度就升高；放出熱能，溫度就降低。溫度，是表示這物質各分子的平均動能的多少。熱能祇能夠自高溫度的物體，流到低溫度的物體。所以溫度并不直接表示熱能的大小，而像水管中的水壓或導線中的電位，祇不過是熱的「壓」或「位」罷了。例如一個 10 瓦特的電燈，放出的熱能，遠比一個 100 瓦特的電燈少，但是牠的溫度，却可以比

較的高。還有「冷」這個字的意義，是物體的熱能減少，而並不是與熱對待的一種物理量。

量度溫度，可用各種不同的溫標 (temperature scale)。通常在科學上，是用百分度標 (centigrade scale) 或稱攝氏標 (Celsius scale) 拿 $^{\circ}C$ 來表示。在這溫標內，水在一個大氣壓下的冰點是 0° ，沸點是 100° 。在英美各國，量度氣溫，是用華氏標 (Fahrenheit scale)，拿 $^{\circ}F$ 來表示。在這溫標內，水在一個大氣壓下的冰點是 32° ，沸點是 212° 。在工業上的熱處理工作或者在氣象觀察上，也常用華氏標。這兩種溫標都是平常用的；用這兩種溫標表示的溫度可以用下面的關係互相換算。

從百分溫度化爲華氏溫度，祇要拿百分溫度乘 $\frac{9}{5}$ ，加上 32；就是 $^{\circ}F = \frac{9}{5}^{\circ}C + 32$ 。例如 $25^{\circ}C$ ，就等於 $\frac{9}{5} \times 25 + 32$ 即 $77^{\circ}F$ 。

從華氏溫度化爲百分溫度，祇要拿華氏溫度減去 32，再乘 $\frac{5}{9}$ ；就是 $^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F - 32)$ 。例如 $86^{\circ}F$ ，就等於 $\frac{5}{9}(86 - 32)$ 即 $30^{\circ}C$ 。

所以表示一溫度，必須留意所用的是那一種溫標，弄錯一種溫標，就能發生很大的錯誤。在這本書，很多地方還是用華氏溫標，讀者若要換算做百分度，就可用上法，或者從各種手冊的換算表檢出。

1.4 絕對零度 在任一種溫標內，總有一個絕對零度，那就是在假定上所能達到的最低溫度。在這溫度，分子的運動完全停

止；也有科學家說，這溫度如果能達到，那末各種物質都要完全解體。但是這個溫度，事實上尚不能達到。在有種計算內，爲便利起見，拿這溫度作爲溫度計量度的起點；這樣表示的溫度，即所謂絕對溫度 (absolute temperature)。在百分度標內，絕對零度是 $-273^{\circ}C$ ，所以絕對溫度是百分溫度加 273；在華氏標內絕對零度是 $-459.6^{\circ}F$ (平常作爲 $-460^{\circ}F$)，所以絕對溫度是華氏溫度加 460。溫度最高值理論上沒有限止，人力所能達到的最高溫度，約爲 $7200^{\circ}F$ ，是利用電弧所得。

1.5 溫度的測定 平常測定溫度，是用汞或酒精的溫度計 (thermometer)。汞溫度計適用於較高的溫度，酒精溫度計則適用於較低的溫度。但是在 $450^{\circ}C$ 以上的溫度，因爲汞也已汽化，所以不能用這種溫度計來測定。一個最早的測定高溫的方法，是用賽格錐體 (Seeger cone)。這方法在製磚工業，製瓷工業，和他種陶瓷工業內仍沿用着。這方法是用各種已知熔解溫度或軟化溫度的陶瓷錐體，置於要測定其溫度的爐膛內，從門上一個小孔去觀察牠們受熱後的情形。通常用三個錐體，一個的熔解溫度爲爐膛的正常運用溫度，其他二個的熔解溫度略高些。等熱到一個已熔解而其他二個方軟化，則爐膛內已達到正常溫度。若是爐膛內有自動控制溫度的裝置 (見第八，九章)，那就不必用這種錐體。各種標準錐體的熔解溫度，見表 1。表內的校正溫度是美國標準局所重定的。

若要更準確的測定爐膛溫度，可用各種高溫計 (pyrome-

表 1 賽格錐體的熔融點

錐體號數	原定熔點 ($^{\circ}F$)	錐體號數	原定熔點 ($^{\circ}F$)	錐體號數	原定熔點 ($^{\circ}F$)	校正熔點 ($^{\circ}F$)
.022	1094	.01	2066	21	2822	} 實際熔點 相同
.021	1148	1	2102	22	2858	
.020	1202	2	2138	23	2894	
.019	1256	3	2174	24	2930	
.018	1310	4	2210	25	2966	
.017	1364	5	2246	26	3002	
.016	1418	6	2282	27	3038	
.015	1472	7	2318	28	3074	
.014	1526	8	2354	29	3110	
.013	1580	9	2390	30	3146		2912
.012	1634	10	2426	31	3182	2948
.011	1688	11	2462	32	3218	2975
.010	1742	12	2498	33	3254	3002
.09	1778	13	2534	34	3290	3038
.08	1814	14	2570	35	3326	3065
.07	1850	15	2606	36	3362	3101
.06	1886	16	2642	37	3398	3128
.05	1922	17	2678	38	3434	3164
.04	1958	18	2714	39	3470	3191
.03	1994	19	2750			
.02	2030	20	2786			

ter)。最簡便的一種是溫差電偶高溫計 (thermocouple pyrometer)，這是用兩種不同金屬組成的一個溫差電偶和一個電流計。溫差電偶的一端兩種金屬互常銲接，如圖 1.1 的 a ，置於爐膛



1.1 溫差電偶

內，他端則接於電流計。電流的大小隨兩端溫度差而增加。在極準確的測定內，溫差電偶的冷端須置於冰塊或真空瓶內，以免其

溫度有變化。所用的金屬隨要測定的溫度高低而不同。大多數電爐內，用的是鉻鎳合金 (Chromel) 和鋁鎳合金 (Alumel)，在 $1500^{\circ}F$ 以下也用鐵和康銅，(鎳銅合金) 在 $1900^{\circ}F$ 以上則應用鉑和鉑銻合金。

除溫差電偶高溫計外，還有電阻溫度計 (resistance thermometer) 和光測高溫計 (optical pyrometer)。前者用一個本來平衡的惠斯登電橋，其中一臂內有一鎳卷置於爐膛內；當爐膛內加熱後，鎳卷電阻增加，電橋失却平衡，電流計的偏度就隨爐膛溫度而增加。後者觀察爐膛內輻射的色，而和一個標準光源發出的輻射比較。

1.6 熱量 熱能也可和水量和電量一樣，用一種單位來量度。平常所用的單位是卡 (calorie)，和英國熱單位，(British thermal unit 或 B.t.u.)。前者屬於厘米克秒制，是使 1 克水的溫度升高 $1^{\circ}C$ 所需的熱，通常叫小卡。大卡等於 1000 小卡。英國熱單位或 B.t.u. 是使 1 磅水的溫度升高 $1^{\circ}F$ 所需的熱。科學上都是用卡，英美工業上却很多用英國熱單位。

$$1 \text{ 英國熱單位} = 252 (251.996) \text{ 小卡} = 0.252 \text{ 大卡}$$

$$1 \text{ 大卡} = 3.968 \text{ B.t.u.} \quad 1 \text{ 小卡} = 0.003968 \text{ 英國熱單位}$$

在這書內，熱量也常用英國熱單位來量度。熱能也可用其他能的單位來計量，如呎磅，呎噸，仟克米，馬力小時，仟瓦特小時，焦爾等。從用一種單位來量度的熱量，換算到另一種單位來量度的熱量，可應用表 2。例如要化 1000 英國熱單位 為仟瓦特

表 2 熱量單位換算表

乘 以

由下化爲右

	英國熱單位	磅百分度單位	大 卡	呎 磅	呎 噸	仟克米	馬 力 時	仟瓦特 時	焦 爾	磅磅數	水磅數
英國熱單位	1.00000	.555556	.251996	778.000	.389001	107.563	.033929	.032931	1055.20	.046876	.001031
磅百分度單位	1.80000	1.00000	.453593	1400.40	.700202	193.613	.037072	.035276	1899.36	.031238	.001855
大 卡	3.96832	2.20462	1.00000	3091.36	1.54368	426.844	.001559	.001163	4187.37	.032729	.004089
呎 磅	.001285	.037141	.033239	1.00000	.000500	.138255	.035050	.033767	1.35625	.078840	.031325
呎 噸	2.57069	1.42816	.647804	2000.00	1.00000	276.511	.001010	.037535	2712.59	.031768	.002649
仟克米	.009297	.005165	.002343	7.23301	.003617	1.00000	.033653	.032725	9.81009	.036394	.039580
馬力小時	2544.99	1413.88	641.327	1980000	990.004	273747	1.00000	.746000	2685473	.175044	2.62261
仟瓦特小時	3411.57	1895.32	859.702	2654200	1327.10	366959	1.34041	1.00000	3599899	.234648	3.51562
焦 爾	.039477	.035265	.032388	.737311	.033687	.101937	.033724	.032778	1.00000	.036518	.039766
磅磅數	14544.0	8080.00	3665.03	1131503	5657.63	1564396	5.71434	4.26285	1534703	1.00000	14.9876
水磅數	970.400	539.111	244.537	754971	377.487	1104.379	.381270	.284424	1023966	.066744	1.00000

小時，祇需在英國熱單位的橫行檢到仟瓦特小時的直行下的數值 .0₃2931 卽 .0002931，再乘 1000，卽知 1000 英國熱單位等於 .2931 仟瓦特小時。在這表內，還有磅百分度單位或 P.C.U. (pound-centigrade unit)，就是使 1 磅水的溫度升高 1°C 所需的熱。還有「碳磅數」，是碳當完全氧化而放出各種單位熱量時的磅數。「水磅數」是 212°F 的水完全汽化而吸收各種單位熱量時的磅數。「呎噸」的噸爲 2000 磅。

1.7 熱容量(thermal capacity) 一個物體的熱容量是使這物體溫度升高 1°C 的卡數，或使其溫度升高 1°F 的英國熱單位數。這數值和物體的質量成正比，而隨物質而不同。在任一溫度水的熱容量約爲同質量的鐵的 9 倍，或同質量的鉛的 31 倍。

1.8 比熱(specific heat) 比熱是使 1 克物質溫度升高 1°C 的卡數，或使 1 磅物質溫度升高 1°F 的英國熱單位數。其數值在厘米克秒制和英制中相同，卽等於單位質量物質的熱容量和單位質量水在同溫同壓時的熱容量之比。例如 1 磅的鐵當溫度自 100°F 升到 105°F 時需熱 0.6 英國熱單位，而 1 磅的水在大氣壓下自 100°F 升到 105°F 時需熱 5 英國熱單位，那末在這溫度時鐵的比熱是 $0.6/5$ 卽 0.12。空氣在平常溫度時的比熱是 .230。

物質的比熱，和溫度有關；而液體和氣體的比熱，更和壓力有關。通常高溫度時的比熱，較低溫度時大。所以使用比熱時，一定要知道適用的溫度或溫度程；否則祇能作爲約略計算。表 3 示

表3 元素和合金的密度及比熱

物 質	密 度 磅/立方呎	比 熱	溫度華氏標
鋁	163	0.2739	932
鎳	419	0.0489	59
錒	.....	0.052	3.92
砷	234	0.086	32—212
銀	234.6	0.068	68
鉍 (固態)	625	0.031	68—212
鉍 (液態)	.....	0.036	535—735
溴 (固態)	.....	0.084	-4
溴 (液態)	194	0.107	55—113
硼	155	0.307	32—212
鎳	536	0.057	212
鉍	117	0.048	32—79
鈣	96.4	0.170	32—358
碳	140—220	0.160	52
碲	.....	0.467	1791
鈾	425	0.0448	32—212
氣 (液態)	94.3	0.226	32—75
銻	436	0.1039	32
銻	.....	0.1872	1112
鈷	533	0.1452	932
鈷	.....	0.204	1832
銅	557	0.0942	212
銅	.....	0.1259	1652
鍍	371	0.080	54—235
鍍	342	0.0737	32—212
鍍	115.8	0.621	.....
金	1208	0.0316	32—212
銻	455	0.057	32—212
碘	309	0.054	48—208
鐵	1396	0.0323	54—212
鐵	450—480	0.125	54—212
鐵	.....	0.1396	32—1112
鐵	.....	0.1989	212—2192
鐵	.....	0.1557	32—1832
錳	385	0.0448	32—212
鉛 (固態)	708	0.0319	61—493
鉛 (液態)	.....	0.041	590—680
鐳	31.5	1.0407	212
鎂	109	0.2492	68—212
錳	499	0.1211	68—212
汞 (固態)	849	0.032	-121—-68
汞 (液態)	.....	0.033	.....
銻	564	0.0647	68—212
銻	550	0.1128	212
銻	.....	0.1299	932
銻	.....	0.1608	1832
銻	1402	0.0311	66—208
鈾	712	0.0714	32—2309
磷 (紅)	137.5	0.1829	32—124

積 前

物 質	密 度 磅/立方呎	比 熱	溫 度 華 氏 標
磷(黃)	114	0.202	55—97
鉛	1344	0.0359	68—2372
鉀	54.5	0.170	-301—-68
銻	755	0.058	50—207
銻	95.8	0.0802	32
鈣	765	0.0611	32—212
鈣	282	0.068	-306—-64
矽	150	0.1833	135
矽	.....	0.2029	450
銀	654	0.0559	32—212
銀	.....	0.05987	63—945
鈉	60.5	0.253	-301—-68
硫(固態)	131	0.137	-306—-64
硫(液態)	.....	0.235	246—297
鉍	1038	0.033	-100—-68
鉍	.....	0.043	2552
銻	.....	0.0483	59—212
鈳	74.2	0.0326	68—212
鈳	71.9	0.0276	32—212
錫(固態)	456	0.0551	70—228
錫(液態)	.....	0.05799	482
鈹	224	0.1125	32—212
鎢	1078	0.0336	32—212
鎢	.....	0.0337	1000
鈾	1170	0.028	32—208
鈾	356	0.1153	32—212
鈾	437	0.0951	212
鋅	.....	0.104	572
鋅	403	0.066	32—212
合金:			
鈹	659	0.045	32—212
鐘	.....	0.086	32—212
黃銅(黃色)	520	0.0883	32—212
黃銅(紅色)	536	0.09	32—212
青銅	503—560	0.104	32—212
康銅	554	0.098	32—212
丁阿拉次合金(D-Arals metal)	.....	0.05	32—212
德銀	525	0.095	32—212
立潑維志合金(Lipowitz metal)	.....	0.040	32—212
羅斯金(Rose's metal)	.....	0.050	32—212
鋅鐵	.....	0.045	32—212
活字合金	.....	0.0388	32—212
武德合金(Wood's metal)	605	0.04	32—212
40%鉛+60%錫合金	639	0.0317	32—212
80%銅+20%錫合金	545	0.086	57—208
88%銅+12%鉛合金	480	0.1043	68—212
37%錫+63%鉛合金	514	0.0388	50—208
鋼(低碳)	490	0.165	0—2600
鋼(工具)	.....	0.175	0—2600

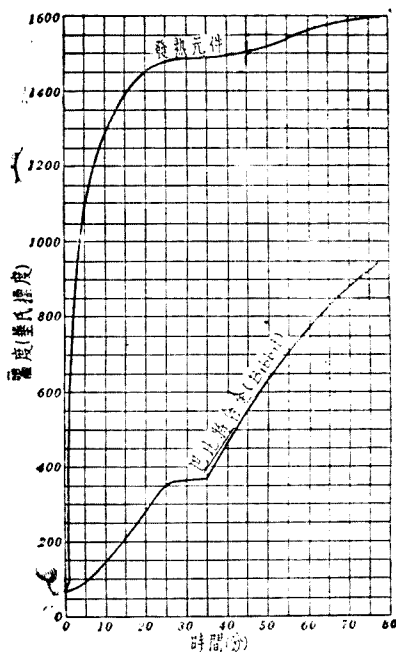
上表內的密度除以 62.4 即得每立方厘米的克數。

表 4 液體的比熱

物 質	比 熱	溫度華氏標
乙酸(醋酸)	0.51	.....
乙醇(純粹)	0.58	.....
乙醇(酒精)	0.648	104
甲醇(木醇)	0.601	59—68
苯胺(阿尼林)	0.514	59
苯胺	0.49	.....
苯(安息油)	0.423	104
氯化鈣溶液(比重1.14)	0.787	104
氯化鈣溶液(比重1.25)	0.676	104
蓖麻油	0.434	.....
三氯甲烷(哥羅仿)	0.23	.....
香樟油	0.438	42
硫酸銅溶液	0.848	53.9—59
乙醇	0.529	32
戊基(雜醇油)(Fusel oil)	0.56	.....
汽油	0.70	.....
甘油	0.576	50—122
鹽酸	0.60	.....
火油	0.50	.....
滑潤油(機器油)	0.40	.....
萘	0.396	176—185
萘	0.31	.....
硝基苯	0.35	57.2
橄欖油	0.40	.....
石蠟油	0.52	.....
石油	0.50	.....
石油	0.511	69.8—136.4
氫氧化鉀溶液($\text{KOH} + 30\text{H}_2\text{O}$)	0.876	64.4
硫酸	0.336	.....
海水(比重1.0043)	0.98	63.5
海水(比重1.0235)	0.938	63.5
海水(比重1.0463)	0.903	63.5
氫氧化鈉溶液($\text{NaOH} + 50\text{H}_2\text{O}$)	0.942	64.4
氯化鈉溶液($\text{NaCl} + 200\text{H}_2\text{O}$)	0.978	64.4
松節油	0.411	32
松節油	0.42	.....
甲苯	0.40	.....
甲苯	0.49	149
硫酸鋅溶液($\text{ZnSO}_4 + 50\text{H}_2\text{O}$)	0.842	68—125.6

各種元素和合金的密度和比熱，和這比熱值所適用的溫度或溫度程。表 4 示幾種液體的比熱。元素的比熱和其原子量約成反比，所以也可以由原子量計算。

1.9 熔點(melting point) 當結晶固態物質加熱時，溫度約與時間成正比地升高，一直到熔解為止。到這時候，物質繼續吸收熱，但是溫度保持不變，而物質逐漸由固態化為液態。等到完全熔解後，液體的溫度再繼續升高。一種物質由固態化為液態的臨界溫度叫做熔點。各種結晶態物質都有一定的熔點，可以供測定溫度時的參考標準。但是非結晶態固體熔解時現象和此不同；物質逐漸軟化，變成液態，而溫度則始終在升高，沒有一個時期保持不變。所以這種物質的熔解溫度是一個溫度程，而不是一個固定溫度。表 5 示各種元素和合金的熔點。表 6 示幾種普通化合物的熔點。表 7 示幾種耐燒物質(refractory material)的熔點。當幾種金屬合成合



1.2 溶解時的溫度變更

各種結晶態物質都有一定的熔點，可以供測定溫度時的參考標準。但是非結晶態固體熔解時現象和此不同；物質逐漸軟化，變成液態，而溫度則始終在升高，沒有一個時期保持不變。所以這種物質的熔解溫度是一個溫度程，而不是一個固定溫度。表 5 示各種元素和合金的熔點。表 6 示幾種普通化合物的熔點。表 7 示幾種耐燒物質(refractory material)的熔點。當幾種金屬合成合

金後，熔點也起很大的變化，通常都是降低。耐燬物質，像磚和瓷等，表面塗上蘇打灰(即碳酸鈉)或硼砂(即硼酸鈉)後，熔點也降低，甚至可以減低 $600^{\circ}F$ 或 $700^{\circ}F$ 。這種作用叫做催熔 (fluxing)。

圖 1.2 表示一種鉛基巴比特合金 (lead base Babbit metal) 加熱熔解時的溫度變化過程，可視為熔解過程的代表型。上面一條曲線表示發熱元件溫度增加過程，所用的元件是三個並聯線卷，接於 220 伏特路線上，耗費 4.5 仟瓦特的電功率。

表 5 元素和合金的熔點

物 質	熔 點 華氏標	物 質	熔 點 華氏標	物 質	熔 點 華氏標
鉛	1217	碘	236	鈉	207.5
錫	1166	鐵	2786	硫	224—235
砷	1562	氮	-276	鉍	5252
鉅	1562	鉛	621	銻	843.6
銻	520	鐳	366.8	銻	575.6
硼	4000—4500	鎂	2246	針	3092
溴	18.8	汞	-37.96	錫	449.6
鋁	609	銅	4595	鈦	3263
鈣	1490	氮	-423	鎢	6152
碳	6332	銀	2646	鉍	3362
氮	-151	鐵	-347.8	鉬	3128
鉻	2939	鐵	4892	氬	-220
鈷	2714	鈮	2822	鉍	2714
銅	1981	磷	111.6	銻	786.9
鎳	86	鉛	3191	銻	3092
鎳	1756	鉀	144.1	<u>巴比特合金</u>	430—490
金	1945—50	銻	3542	黃銅	1570—1980
氫	-456	砂	2588	鎳鉻合金	2597—2624
氫	-434	銀	1760		

1.10 沸點 當物質熔解後繼續加熱，則溫度仍升高，到起沸為止。到了這時候，物質繼續吸收熱，而液體逐漸汽化；但是溫度

表 6 化合物的熔點

物 質	熔 點 華氏標	物 質	熔 點 華氏標	物 質	熔 點 華氏標
乙炔	-112.0	苯酚(石炭酸)	109.4	石蠟(硬)	125—133
乙酸	61.5	三氯甲烷	-85.0	氯酸鉀	674.6
氯化鋁	3722.0	氧化鎢	3514.0	氯化鈉(食鹽)	1472.0
乙醇	-173.2	乙醚	-180.4	碳酸鈉	1565.6
甲醇	-142.6	甘油	68.0	硫酸鈉	1623.2
氮	-193.0	鹽酸	-167.8	鈉蠟	113.0
硫酸鋁	329.0	氫氟酸	-133.6	糖	320.0
苯胺	17.6	氯化亞汞(甘汞)	842.0	二氧化硫	-104.8
蜂蠟	143.6	氯化汞	539.6	硫酸	49.7
苯甲酸(安息香酸)	249.8	苯	176.0	牛羊脂	80—100
苯	41.8	硝基苯	41.0	酒石酸	338.0
硼砂	1365.8	橄欖油	60.0	甲苯	-133.6
氯化鈣	1425.2	乙二酸(草酸)	374.0	氯化鋅	689.0
蠟燭	348.8	石蠟(軟)	100—125	硫酸鋅	122.0

表 7 耐燒物質的熔點

物 質	熔 點 華 氏 標	物 質	熔 點 華 氏 標
鑄上	3722	石灰	4660
鐵鑄土	2910—3300	苦土磚	4082—5072
礮	7964	瓷	2732—2822
亞鉻酸鹽磚	3722	砂土磚	3092—3182
克喇斯妥倫磚(Crystolon brick)	3722	碳化矽	3992
火泥磚	2730—3180	氧化鎢	4560—4712
高嶺土	3164		

又保持不變，祇要壓力固定。這由液態到汽態的臨界溫度叫做沸點。物質在定壓時的沸點也是定值。但若壓力增加，像在汽鍋內，那末沸點也升高。又如在比海平面高的地方，因為氣壓低，沸點也就降低；例如在海平面上 10000 呎的地方，水的沸點祇為 193°F 。還有液體中若有別種物質，沸點也就改變。液體的沸點

可用以校正溫度計或其他指示溫度儀器的差誤。表 8 示水在各種高度的沸點。表 9 示各種液體在一個大氣壓下的沸點。所謂一個大氣壓是海平面上大氣壓力的正常數，其值為每平方厘米 1033.6 克，或每平方吋 14.7 磅（約數為 15 磅），即相當於 76 厘米或 29.92 吋（約數為 30 吋）高的水銀柱的壓力。

表 8 各種高度的水的沸點

沸點 華氏標	海平面上 高度 (呎)	氣壓 磅/平方吋	氣壓計高 度 (32°F) 吋	沸點 華氏標	海平面上 高度(呎)	氣壓 磅/平方吋	氣壓計高 度 (32°F) 吋
184	15221	8.20	16.70	199	6843	11.29	22.99
185	14649	8.38	17.06	200	6304	11.52	23.47
186	14075	8.57	17.45	201	5764	11.76	23.95
187	13498	8.76	17.83	202	5225	12.01	24.45
188	12934	8.95	18.22	203	4697	12.26	24.96
189	12367	9.14	18.61	204	4169	12.51	25.48
190	11799	9.34	19.02	205	3642	12.77	26.00
191	11243	9.54	19.43	206	3115	13.03	26.53
192	10685	9.74	19.85	207	2589	13.30	27.08
193	10127	9.95	20.27	208	2063	13.57	27.63
194	9579	10.17	20.71	209	1539	13.85	28.19
195	9031	10.39	21.15	210	1025	14.13	28.76
196	8481	10.61	21.60	211	512	14.41	29.33
197	7932	10.83	22.05	212	0	14.70	29.92
198	7381	11.06	22.52				

乘 0.323 得米數 乘 70.3 得每平方厘米的克數 乘 2.54 得厘米數

1.11 潛熱 (latent heat) 當物質在熔態或沸態時，溫度雖然不變，但是仍舊吸收大量的熱；同樣物質凝固或液化時，也放出大量的熱。這種熱稱為潛熱。所以一種物質所含的總熱量，是增加溫度時所需的熱再加上潛熱。有時拿汽體或液體冷卻到液化或凝固時，放出的熱，往往可以使另一部分物質的溫度不再繼續降低，甚至於升高。

表 9 一個大氣壓下各種物質沸點

物 質	沸 點 華氏標	物 質	沸 點 華氏標	物 質	沸 點 華氏標
鋁	3272.0	鉍	7070.0	三氣甲烷	142.0
錫	2624.0	鉀	1314.0	乙醚	95.0
砷	680.0	銀	3551.0	乙烷	-135.0
秘	2606.0	鈉	1382.0	乙烯	-157.0
溴	142.0	硫	830.0	汽油	170.0
鎳	1432.0	銻	2534.0	甘油	554.0
鐵	6512.0	銻	2336.0	氯化氫	-117.0
鎳	-27.4	錫	4118.0	氟化氫	67.0
鉻	3992.0	錫	10520.0	亞麻仁油	538.0
鉻	4190.0	銻	-164.0	氯化汞	581.0
銅	-304.0	銻	1695.0	甲烷	-263.0
鎳	-449.0	銻	245.3	萘	424.0
氫	-423.0	乙 酸	-120.0	硝酸	186.8
鐵	4442.0	乙 炔	151.0	氧化氮	-238.0
鎳	-241.0	甲 醇	172.0	氧化亞氮	-134.0
鉛	2777.0	乙 醇	-27.0	橄欖油	572.0
鏷	2552.0	氣	363.0	石蠟(軟)	700.0
鏷	2048.0	苯 胺	-203.0	石蠟(硬)	770.0
錳	3452.0	輕 油 精	176.0	戊 烷	97.0
汞	675.0	苯	176.0	二氧化硫	14.0
鉍	6548.0	苯 甲 酸(安息香酸)	48.2	甲 苯	230.5
氮	-398.0	石 炭 酸	359.6	氯化鋅	1310.0
氧	-320.0	二 氧 化 碳	-110.0	松 節 油	320.0
磷	-297.0	一 氧 化 碳	-310.0	飽 和 氯 化 鈣 溶 液	356.0
	554.0	二 硫 化 碳	115.0	飽 和 氯 化 鈉 溶 液	226.4

一種物質的熔解熱(heat of fusion)是單位質量在熔點熔解時所吸收的熱。凝固熱(heat of freezing)是單位質量在同溫度凝固時所放出的熱。這兩個數值相同。表 10 示幾種物質的熔解熱。

物質的汽化熱(heat of vaporization)或蒸發熱(heat of evaporation)是單位質量在一定溫度汽化時所吸收的熱。液化熱(heat of liquefaction)是單位質量在同溫度液化時所放出

的熱。這兩者數值相同，而隨汽化或液化時溫度而不同。表 11 是幾種物質在沸點時的汽化熱。

汽化熱和熔解熱是拿每磅的英國熱單位數或每克的卡數來計量。每磅的英國熱單位數除以 1.8 即得每克的卡數。

表 10 物質的熔解熱

物質	熔解熱 英國 熱單位/磅	物 質	熔解熱 英國 熱單位/磅	物 質	熔解熱 英國 熱單位/磅
鉛	138.0	鎳	3.35	羅斯合金	12.3
錫	75.0	鈮	65.0	武德合金	14.0
鋇	22.8	鉀	28.09	鋅鎳合金	20—23
銻	24.6	鉑	49.00	30.5% 鉛 69.5% 錫合金	21.0
銅	77.4	鉍	36.2	63.7% 鉛 36.3% 錫合金	21.0
金	29.34	銻	57.1	78.4% 錫 21.6% 鋅合金	42.3
灰	40.0	鈉	16.9	鼓風爐熔渣	90.0
鑄鐵	60.0	硫	25.0	石蠟	63.2
白鑄鐵	10.6	錫	50.6	蜂蠟	26.1
鉛	5.08	鋅	12.3	冰或水	144.0
汞		立發維志合金			

表 11 物質的汽化熱

物 質	汽化熱 英國 熱單位/磅	物 質	汽化熱 英國 熱單位/磅	物 質	汽化熱 英國 熱單位/磅
乙醇	481.0	氫	222.0	氮	81.5
輕油精 (benzine)	172.0	碘	43.1	氧	92.0
苯(benzol)	167.2	火油	107.0	硫	651.0
二硫化碳	152.0	汞	117.0	甲苯 (toluene)	151.0
氯	112.0	氣化甲烷	175.0	松節油	130.0
醚	162.0	汽油 (gasoline)	140.0	水	970.0

1.12 熱量的測定 雖然熱能已經被利用了好多年，並能夠做許多工作，但是到現在我們還不能用一個儀器直接去測定其

量，像電流那樣。一個物體所吸收的熱，和其質量，比熱，和昇高的溫度都成正比，所以我們也不能單從溫度去決定熱量的值。例如一塊 $600^{\circ}F$ 的耐火磚所含有或輻射的熱量，要比 $2000^{\circ}F$ 或更高溫度的一根電燈燈絲大得多。

事實上測定熱量的方法，總是由其他的數量計算而得。譬如測定各種燃料，如煤，汽油，煤氣等在一個爐內燃燒時所放出的熱量，那末先計算燒去的燃料質量；再拿少量的燃料放在一量熱器(calorimeter)裏，讓他完全燃燒，由量熱器內水的質量和其昇高溫度，計算單位質量燃料完全燃燒時放出的熱；然後再乘此數以燃料總質量。又如要測定一個電熱器或電熱爐內所發生的熱，可以在輸電路線內裝一瓦特計，測定耗費的電功率，由此計算耗費的電能，再換算為熱量。但是這種方法祇能測定一個器具所耗費的總熱量，而不能用以測定某一局部所耗費的熱量，例如從爐壁，爐門等處損失的熱等。這種局部熱量數值可以用下面一章裏所講的關於熱的傳播的定律計算得。但是這種計算法不能絕對準確，所以過去關於熱量的數據(data)大都不甚可靠：這是對與熱學的發展很有阻礙的一件事實。

第二章

熱之傳播

2.1 熱平衡(thermal equilibrium or balance) 當加熱於一個物體時，這物體就吸收熱而其溫度升高，一直到牠所吸收的熱和牠在這麼高的溫度時所損失的熱相等而止。例如，一個烘爐(oven)加熱時，裏面的空氣，待烘物件和爐就很快的吸收熱而使溫度升高。但是爐壁到高溫時，一部的熱就因傳到爐外的空氣中而損失。到一個時候，爐壁損失的熱等於發熱元件發出的熱，那末爐壁的溫度就停止升高。同樣爐內各部也可各到達一個相當的末溫度。這時我們就說：爐的各部達到了熱平衡的狀態。在平衡時各部的溫度，大概比熱源低；但若受熱的物體是很小，那末事實上差不多可以達到熱源的溫度。

在裝有自動溫度控制(automatic temperature control)的爐內，溫度往往很快的上升到預定的數值，使控制機件動作，而截斷熱源。熱源斷絕以後，爐壁和待烘物件繼續由爐內空氣吸收熱，因之爐內溫度降落，再使控制機件動作，而接通熱源。所以在這種爐內實際上沒有熱平衡狀態的存在。非到各部溫度都已停止變更不能稱為熱平衡。

2.2 熱能傳播方法 熱總是由高溫度處流到低溫度處。熱傳

播的方法有三種：即傳導(conduction)，運流(convection)，和輻射(radiation)。

傳導是熱能因同一物體中各質點之互相接觸，或鄰近物體之質點互相接觸，而傳播之現象。無論氣體，液體，固體都多少能傳導熱。運流是流體(即液體或氣體)因受熱而流動，熱的部分上昇，冷的部分下降，因而傳播熱能的現象。要有最有效的運流則熱源要放在所熱氣體或液體的底部，而固體中則不能有運流。輻射是物體的熱能變為輻射波能(radiation)而直接射出，不需物質的媒介；所以在真空中也可輻射。這種熱輻射波和光波相似，就是波長比較的長。輻射波到達一種不透熱的物質，就被吸收而再變為熱能，物體在任何溫度都能輻射，也都能吸收。若是兩個溫度不同的物體相對輻射，那末低溫度的這個物體就吸收熱而其溫度升高。

2.3 熱傳播的通則 熱從一個物體傳播到另一個物體，兩者間一定要有一個溫度差，而熱一定從高溫流到低溫。無論用那種方法，我們絕對不能使熱從低溫流向高溫。每單位距離的溫度差叫做溫度梯度(temperature gradient)。溫度差或溫度梯度愈大，熱的傳播愈快。等到各點的溫度相同，那末熱的傳播也就停止，這時候各點都已到達熱平衡狀態。但是各部分所含的熱量却因其質量和比熱的不同而各異。

熱的傳播或是持恆的(steady)，就是其傳播率保持不變；或者是可變的(variable)。前者是在熱平衡狀態，例如一爐一面

由熱源供給熱，一面由爐壁失去等量的熱，而爐各部的溫度却始終保持不變。後者不是在熱平衡狀態，例如在爐中在開始時熱源和待熱物件間各處的溫度梯度很大，所以熱的傳播很快，但當物件溫度逐漸升高，溫度梯度逐漸減小，熱的傳播也愈慢，直至梯度為零時熱的傳播也就停止，而物件也到達熱源的溫度。

2.4 傳導 這現象可以舉一個簡單的例來說明。譬如拿鐵棒的一端置於火爐內，則熱由棒之各分子依次傳至他端而使之發熱。但是，因為熱由運流和輻射傳至室中，所以這端永遠不能熱到和火爐中一端同樣的溫度。當這端溫度增加時，因運流和輻射失去的熱，也隨之增加，直至和由他端傳導來的熱相等，而達到熱平衡。倘用一鋁棒和一等長等粗的鉛棒同時插入火爐，就可知道鉛棒的遠端要比鐵棒遠端熱得快。那就是說鉛的導熱本領比鐵高。所以各種物質的導熱本領，也和導電本領一樣，各各不同。大概金屬的導熱本領，都比非金屬高。導熱本領極小的物質稱為熱絕緣質 (heat insulating material)，可以用來隔絕或減小熱的傳導，和電絕緣質用來隔絕電流一樣。

2.5 熱導係數和熱阻係數 關於熱的傳導的定律，和電學內關於電的傳導的歐姆定律一樣。在歐姆定律內 $I = \frac{V}{R}$ ， I 是電流的安培數， V 是電位差的伏特數， R 是電阻的歐姆數。同樣在熱的傳導方面，可以有下式

$$c = \frac{T_1 - T_2}{R} \quad \text{或} \quad R = \frac{T_1 - T_2}{c} \quad (1)(2)$$

在這兩式中， c 是每單位時間從一點流到另一點的熱量，以瓦特數來量度； $T_1 - T_2$ 是兩點間的溫度差，以百分度標來量度； R 是兩點間物質的熱阻 (thermal resistance)，其單位是熱歐姆 (thermal ohm)。所以熱的傳播率和物質兩端溫度差成正比，而和物質的熱阻成反比。

物質的熱阻，也和電阻一樣，和其長度成正比，而和其截面積成反比；那就是

$$R = r \frac{L}{A} = \frac{1}{C} \frac{L}{A} \quad (3)$$

在這式內， R 是物質的熱阻的熱歐姆數， L 是物質長度的厘米數 (或吋數)， A 是物質截面積的平方厘米數 (或平方吋數)； r 叫做熱阻係數 (thermal resistivity or specific thermal resistance)，其量值為每厘米立方 (或每吋立方) 若干熱歐姆； C 叫做熱導係數 (thermal conductivity)，其量值為每厘米立方 (或每吋立方) 每百分度若干瓦特。每厘米立方就是一厘米長一平方厘米截面積的立方體。

拿上面(1)(3)兩式合併，就得

$$c = CA \frac{T_1 - T_2}{L} \circ$$

若 Q 為在時間 t 秒內流過的總熱量 (瓦特秒數)，那末

$$Q = CA t \frac{T_1 - T_2}{L} \circ \quad (4)$$

上面的公式雖然很簡單，但是英美各國的工程師，習慣於

用下列的各單位，如英國熱單位，方呎，吋，華氏度，小時來計算熱量，面積，長度，溫度差和時間，所以用上面這個公式，就有許多繁複的換算。這避免麻煩起見，上式可以改作

$$Q = K A t \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (5)$$

在這式內 Q 為流過總熱量的英國熱單位數， A 為導熱物質面積的平方呎數， L 為導熱物質厚度的吋數， t 為時間的小時數， $T_1 - T_2$ 為溫度差，以華氏標量度， K 也叫做熱導係數，其量值是每小時每平方呎每吋每華氏一度溫度差的英國熱單位數。本書中為保持習慣和便利使用起見，也用(5)式，而下面其他公式也用同樣單位。讀者如要用米制的(4)式，那末祇需求熱阻係數的每平方厘米熱歐姆數的倒數，就是每平方厘米面積每厘米厚每百分度一度溫度差的瓦特數。這個熱導係數也就等於(5)式中的 K 乘以 0.0287。

表 12 示各種建築材料和熱絕緣物質的熱阻係數 r ，以每厘米的立方的熱歐姆數表示，和熱導係數 K ；表內的熱阻係數除以 2.54 即得以每厘米立方的熱歐姆數來表示的熱阻係數。表內也有並非建築材料或熱絕緣物質的質料，是用來作比較用的。表內的數值從各方搜集而來，所以常常同一種物質有幾個不同的數值，這是因為測定者不同或物質成分不同之故。表 13 示幾種金屬的熱導係數 K 。

公式(4)或(5)用以計算扁平的熱絕緣體內傳播的熱，例如方形爐壁所傳播的熱，結果相當的準確；但是面積一定要很大，

表12 各種質料的熱阻和熱導係數

質 料	密 度 磅/立方 呎	比 熱	熱導係數		在溫 度華 氏標
			英 國 熱 單 位 每 平 方 呎 /時 /華 氏 度	熱阻係數 熱歐姆/時 立方	
空氣	0.08	0.230	0.175	1560.0	7
氣胞石棉(air-cel asbestos)	8.8	0.281	0.500	546.0	77
氣胞石棉(air-cel asbestos)	8.8	0.292	0.500	546.0	77
氣胞石棉(air-cel asbestos)	15.6	.....	0.683	392-399	.....
氣胞石棉 (air-cel asbestos, K. & M)	12.5	.....	0.680	402.0	370
石棉胞(asbestocel, J. M.)	.....	0.281	0.549	497.0	400
石棉纖維(asbestos fibre)	12.5-18.7	.....	0.608-0.497	548.0	932
細皺石棉(J. M., fine corrugated asbestos)	15.6	.....	0.538	507.0	470
模成石棉(J. M. molded asbestos)	.....	.....	0.778	351.0	370
海綿氈狀石棉(J. M. sponge felted asbestos)	42.0	.....	0.468	583.0	370
石棉木(asbestos lumber)	123.0	.....	2.710	100.5	.....
石棉紙(asbestos paper)	50-70	0.300	1.250	218.5	150
海綿氈狀石棉 (sponge felted asbestos)	.....	.....	0.509	537.0	400
海綿氈狀石棉 (sponge felted asbestos)	34.4	.....	0.329	830.0	370
無敵高壓塊 (non pareil H. P. block)	27.0	0.20	0.543	502.5	370
無敵高壓塊 (non pareil H. P. block)	22.56	0.20	0.470	581.0	370
硫化氈首塊 (vitrified Monarch block)	40-45	.....	0.842	324.0	400
壓成石棉板 (asbestos mill board)	61.0	.....	0.833	328.0	.....
石態板(lith board)	12.5	0.32	0.379	721.0	77
紙粕板 (pulp board)	.....	.....	0.458	596.0	77
剛鋁磚 (alundum brick)	127-149	.....	4.03-7.26	37.5-67.7	1112
鐵礬土磚(bauxite brick)	118	.....	9.41	29.0	1832
亞鉻酸鹽磚(chromite brick)	218	0.174	7.19-19.5	14.0-38.0	2072
耐火磚 (fire brick)	111-178	0.253	10.1-12.4	22.0-27.0	2072
煤氣甌磚(gas retort brick)	111-178	0.253	10.1-12.4	22.0-27.0	2072
石墨磚 (graphite brick)	112	.....	3.8	71.9	.....
苦土磚(magnesia brick)	125	0.324	17.05	16.0	2072

表12 各種質料的熱阻和熱導係數(續)

質料	密度 磅/立方 呎	比熱	熱導係數		在溫度華氏標
			英國熱單位 /平方呎/時 /小時/華氏 度	熱阻係數 熱歐姆/時 立方	
無敵磚(non pareil brick)	27.0	0.20	1.10	248.0	1600
無敵磚(non pareil brick)	25.8	0.295	0.477	225.0	470
甌磚(retort brick)	116.0	.....	10.95	24.9	2072
矽土磚(silica brick)	98.5	0.29	5.81	47.0	1832
茜羅賽爾磚(silcel brick)	30.0	0.225	0.67	407.0	470
茜羅賽爾磚(silcoe brick)	31.0	0.2089	0.745	366.0	1600
白色建築用磚(white building brick)	118.0	.....	10.90	25.0	1832
卡鮑脫絮(Cabot quilt)	16.0	.....	0.321	851.0	77
卡羅雷克斯(calorex)	4.0	.....	0.221	1235.0	77
金剛砂(carborundum)	128.0	0.212	40.8	6.69	2072
卡雷卡羅賽爾(Carey carocel)	.....	.....	0.540	506.0	370
卡雷度潑雷克斯(Carey duplex)	.....	.....	0.636	429.0	370
卡雷苦土(Carey 85% magnesia)	18.0	.....	0.546	500.0	370
卡雷苦土(Carey 85% magnesia)	18-24	0.312	0.500	546.0	300
卡雷苦土(Carey 85% magnesia)	18-24	0.312	0.585	467.0	600
西雅脫(celite)	10.6	0.289	0.309	883.0	77
混凝土(concrete)	170-180	0.20	6.38	42.8	-77
磨成軟木(ground cork)	9.4	0.48	0.296	923.0	77
分片軟木(laminated cork)	.....	0.48	0.433	631.0	400
岩態軟木(rock cork)	.....	.....	0.350	780.0	77
實質軟木(solid cork)	.....	0.45	0.418	653.0	400
軟木板(corkboard)	6.9	0.44	0.279	979.0	77
無敵軟木板(non pareil cork-board)	34.0	.....	0.916	298.0	77
矽藻土及石棉(diatomaceous-earth & asbestos)	20.7	.....	0.497	549.0-750.0	.....
漂白土(Fuller's earth)	33.0	.....	0.708	386.0	77
矽藻土(inferiorial earth)	43.0	.....	0.583	468.0	77
鴨絨(eiderdown)	0.134	.....	0.438	623.0	212
鴨絨(eiderdown)	6.77	.....	0.1345	2030.0	212
長石(feldspar)	.....	.....	16.05	17.0	212
石棉氈(asbestos felt)	30-40	.....	0.549	497.0	400
石棉耐火氈(asbestos fire felt)	27.6	.....	1.093	249.0	370
毛氈(hair felt)	17.0	0.40	0.246	1110.0	77
基斯通毛氈(Keystone hair felt)	19.0	0.40	0.271	1008.0	77
油毛氈(lino-felt)	11.3	.....	0.300	910.0	77
薩爾莫羊毛氈(Salmo wool felt)	.....	.....	0.510	536.0	370
羊毛氈(wool felt)	21.0	0.39	0.363	752.5	300
纖維氈(fibro felt)	11.3	.....	0.329	830.0	77

表12 各種質料的熱阻和熱導係數(續)

質 料	密 度 磅/立方 呎	比 熱	熱導係數		在溫 度華 氏標
			英 國 熱 單 位 /平 方 呎 / 吋 /小 時 / 華 氏 度	熱 阻 係 數 熱 歐 姆 / 吋 立 方	
耐火氈卷(fire felt roll)	43.0	.....	0.624	438.0	77
耐火氈布(fire felt sheet)	26.0	.....	0.583	468.0	77
吉姆科守麻賴脫(gimco ther- malite)	17.0	0.20	0.272	1013.0	93
玻璃	150-170	0.18	7.00	39.0	.....
玻璃	.....	.....	4.33	63.0	78
石膏灰泥(gypsum plaster)	56.0	0.26	2.250	121.4	77
英色爾勃立克斯(insulbrax)	2.90	.....	0.916	298.0	77
英色爾雷克斯(insulex)	3.0	0.19	6.840	325.0	.....
英色爾賴脫(insulite)	11.9	.....	0.796	923.0	77
鐵	480.0	0.118	420	0.65	.....
卡泡克(kapck)	0.88	.....	0.237	1151.0	77
石灰石(limestone)	170.0	0.217	15.0	18.2	.....
苦土(35% magnesia)	29.8	.....	0.569	480-750	.....
苦土(85% magnesia)	13.5	.....	0.455	600-750	.....
苦土(J.M.85% magnesia)	13-16	0.312	0.507	538.0	370
苦土(J.M.85% magnesia)	19.8	.....	0.444	615.0	470
隨軟性苦土(plastic85% magne- sia)	.....	.....	0.587	465.0	370
礦棉(mineral wool)	12.5	0.198	0.275	993.0	77
礦棉(mineral wool)	26.6	0.198	0.479	570.0	932
佛及尼亞松(Virginia pine)	34.0	.....	0.958	285.0	300
白松(white pine)	32.0	0.67	0.792	345.0	300
泡勃洛克斯(poplox)	1.43	.....	0.384	712.0	572
泡勃洛克斯(poplox)	5.80	.....	0.463	589.0	932
雷曼尼脫(焦絲)(remanit, cha- rred silk)	.....	.....	0.274	996.0	300
砂	110.0	0.195	2.70	101.0	.....
砂土(silica)	106.0	.....	1.775	153.8	932
西羅賽爾粉(silocel powder)	12-15	0.2089	0.300	910.0	77
煤膏紙屋頂蓋被(tar-paper roo- fing)	55.0	.....	0.708	386.0	300
守摩紙(thermo paper)	10.0	0.20	0.320	853.0	200
維脫羅倍斯托斯(vitrobestos J.M.)	21.6	.....	1.087	251.0	370
巴爾撒木(Balsa wood)	7.5	.....	0.350	780.0	77
柏木(cypress wood)	29.0	.....	0.666	410.0	77
硬楓木(hard maple wood)	44.0	.....	1.124	242.3	77
桃花心木(mahogany wood)	10.2	0.50	0.304	898.0	150
油木(oak wood)	38.0	0.57	1.000	273.0	77
棉	7.0	0.362	0.291	938.0	77
羊毛	6.9	.....	0.246	1110.0	300

表13 普通金屬的熱導係數

金 屬	密 度 磅/立方呎	熱導係數 英國熱單位/立 方呎/吋/小時/ 華氏度
鋁	163	1392
44 號阿斯考洛愛(ascology No. 44)	500	118
黃銅	520	725
康銅	525	1600
銅	557	2610
金	1208	2045
鉛	708	232
錐	109	1090
汞	849	46
鉍	564	1000
德銀	528	217
鐳	460	420
鐳	550	400
鑄成鎳鉻合金	505	96
鉑	1344	494
鉑鎳合金	1285	204
銀	654	2900
鋼	480	329
錫	456	435
鎢	1078	1380
武德合金	605	93
「愛克賽特」(xite)(鑄成鎳鉻合金)	505	94
鋅	437	754

那末因在邊棱所失之熱而發生的差誤可以略去不計。

2.6 透面熱阻(surface thermal resistance) 上面(5)式中還沒有計及熱絕緣質暴露在空氣中的表面上因運流和輻射的失熱。這透過表面的失熱率可以一個相當熱阻或熱導表示，稱為透面熱阻或熱導。在下面公式裏 a 就是每平方呎表面的透面熱導， $\frac{1}{a}$ 就是每平方呎表面的透面熱阻。

$$Q = \frac{T - T_a}{\frac{L}{K} + \frac{1}{a}} \quad (6)$$

Q 是每平方呎截面積每小時傳播的熱， T 是熱絕緣質高溫表面的華氏溫度， T_a 是周圍空氣的華氏溫度， L 是熱絕緣質的厚度(吋數)， K 是(5)式中所用的熱導係數，所用的單位也和(6)式中一樣。 a 的數值在各種情形下相差很多，而且也只有少數情形下曾經測定。在普通情形下，倘使周圍空氣不流動，而熱絕緣質相當的良好，溫度也不太高，那末 a 的數值可作為 2。

2.7 圓柱形熱絕緣體傳導的熱量 上面(5)(6)兩式祇能用於扁平的熱絕緣體，例如方形爐的爐壁。若熱絕緣體是空心圓柱形，例如蒸汽管，圓筒，汽鍋等外面的包殼，那末每平方呎管面積每小時傳導的熱可從下式計算：

$$Q = \frac{K(T_1 - T_2)}{2R \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1 + R_2} \right)} A t \quad (7)$$

T_1 是管或筒內的溫度， T_2 是熱絕緣包殼表面的溫度， R_1 是包殼的內半徑(吋數)， R_2 是包殼外半徑(吋數)， R 是管或筒的外半徑(吋數)，通常作為和 R_1 相等， K 就是(5)(6)式中的熱導係數。在這式內透面熱導並沒有計及。表 12 內也有多種供這種用途的熱絕緣質的熱導係數數值。若熱絕緣體外另有帆布或他種布的包皮，那末 T_1 應該是熱絕緣層外面(即帆布層內面)的溫度，但通常就作為包皮外面的溫度，或室內空氣溫度。

2.8 多層熱絕緣的計算 平常高溫或中溫度電熱爐的爐

壁,都用幾種不同的的絕緣質分層裝置。這時每平方呎每小時傳導的熱量 Q 可用下式計算:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \dots} \quad (8)$$

L_1, L_2, L_3 等是各層熱絕緣的厚度; K_1, K_2, K_3 等則是各該層熱絕緣的熱導係數。若計及透面熱導,則可用下列公式

$$Q = \frac{T - T_a}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \dots + \frac{1}{a}} \quad (9)$$

T, T_a 和 a 的意義和(6)式中相同

若是圓柱形面,那末每平方呎包殼面每小時傳導的熱可由下式計算。這公式內透面熱導也已計及:

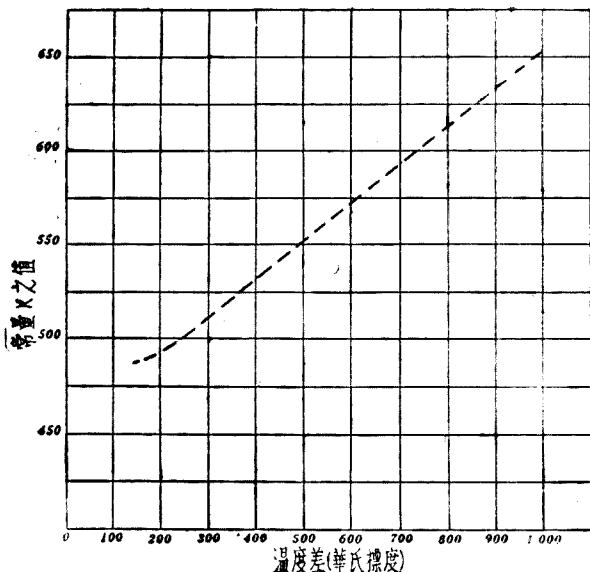
$$Q' = \frac{T - T_a}{2R \left(\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \right) \frac{1}{K_1} + 2R \left(\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \right) \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{a}} \quad (10)$$

T, T_a , 和 a 的意義和(9)式相同, R_1 是筒或管的外半徑, R_2 是 R_1 加第一層熱絕緣厚度, R_3 是 R_2 加第二層熱絕緣厚度, 其餘類推, R 是包殼外半徑, K_1, K_2, \dots 是各層熱絕緣的熱導係數。

◎ 2.9 熱導係數的數值 物質的熱導係數數值和溫度有關,並非一定不變。有的物質當溫度增加時,熱導係數也增加;有的物質則減小。在表 12 中每種物質有幾個不同值的熱導係數,這是因為所適用的溫度不同。據實際的測定,各種物質熱導係數和溫度的關係,可以下式表示。

$$K = a + bT + cT^2 \quad (11)$$

a, b, c 的數值各種物質不同。上式用于多孔性物質；若非多孔性，則 c 為零，而 b 有時為負數。所以在上面(5)至(10)式中的 K ，是熱絕緣各部的熱導係數的平均值。這個平均值隨熱絕緣兩面的溫度差而定。圖 2.1 示這種平均熱導係數和溫度差的關係，所示



2.1 熱導係數和溫度差的關係

的熱絕緣是所謂無敵高壓熱絕緣塊 (non-pareil high pressure block), K 的單位是每小時每平方呎面積每吋厚每華氏一度溫度差的英國熱單位數，溫度差則自 $150^{\circ}F$ 到 $1200^{\circ}F$ 。從這圖可知 K 的平均值隨溫度差而增加，差不多成直線的關係；這

可以說是大多數熱絕緣質的性質。所以在選擇適用的 K 的數值，要注意到實際使用的溫度差。

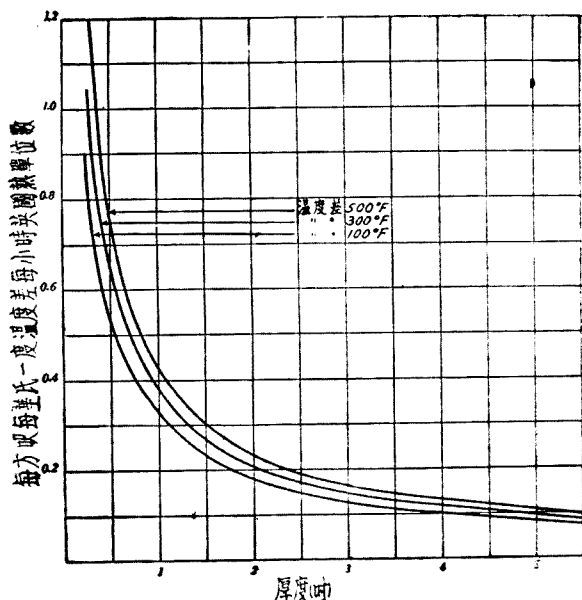
熱絕緣質內的溫度降落並不均勻，所以在各部分的溫度梯度不相同。這種溫度降落的狀況，和熱絕緣的總厚度有關。所以各種不同厚度的熱絕緣在同一溫度差的平均熱導係數也不相同。倘使假定在上面(5)至(10)式中的 K 和熱絕緣厚度無關，是顯然不合理。但是要求出一條定律表示熱絕緣熱導係數和厚度的關係，能夠適用於任一種形狀的熱絕緣的，却是不可能。一般的理論，在空心圓柱形熱絕緣體中，因為截面積向外逐漸增加，失熱面積也逐漸增加，所以厚的熱絕緣的熱導係數 K 的平均值比較薄的熱絕緣的 K 的平均值小。有人曾求出下列關係：

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{t_2}{t_1} \quad (13)$$

就是 K 和厚度成反比，可以適用於 85% 的苦土空心圓柱形熱絕緣體。但是對於扁平的熱絕緣體則上式不能適用，這時 85% 苦土的 K 和厚度的關係如圖 2.2 所示，而且 K 的值在各種溫度差時不同。

總之， K 的值隨熱絕緣的形狀，厚度，溫度，和物質而定；所以 K 與厚度無關或與厚度成反比的說法同樣不能通用。最好是每種熱絕緣質 K 的數值都用像圖 2.2 的曲線表示。但是平常對於圓柱形熱絕緣大都假定 K 與厚度成反比，而在扁平的熱絕緣則再乘以一因數，這因數的值大約自 1.2 到 2.5，隨運用情形而

定。



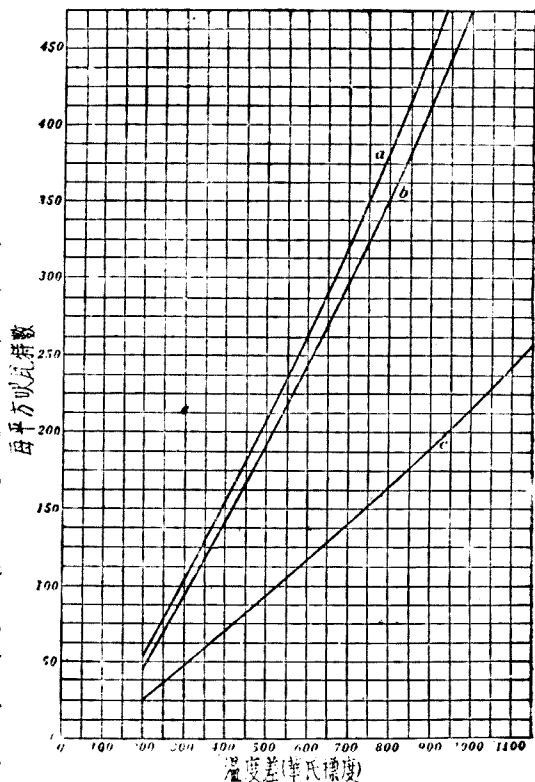
2.2 熱導係數和熱絕緣質厚度的關係

2.10 運流 液體或氣體中的運流是因為物質受熱後膨脹而密度減少因之上升；附近溫度較低的物體就進佔其地位。於是一方熱的上升，一方冷的下降，形成一種氣流或液流，同時將熱源放出的熱傳播開去。這種傳熱方法，在各種加熱工作上很為重要，例如室內空氣加熱，烘爐內氣體的加熱，和各種液體，如油，水等的加熱，大部分是這種現象。當一個烘爐內的空氣因運流加熱時，一部的熱被爐壁傳導到爐外，再因運流傳至室內空氣中。

爐的外殼上的熱實際上是由傳導而到爐外一薄層空氣，這層空氣就發生運流作用而把這熱傳播出去。

若用風扇吹風到烘爐面上，熱的傳播就能加速；這時其傳播率和風的速度有關。這種傳熱稱為強迫運流 (forced convection)。反之若不用吹風的運流稱為自然運流 (natural convection) 強迫運流在烘爐，房屋等加熱時應用得很廣；在爐或爐中取出物件的冷卻時也常利用。

2.11 運流傳熱
 率和溫度差及傳熱面位置的關係 自然運流時熱的傳播率隨傳熱面及周圍物質間的溫度差而增加，而和傳熱面的位置也有關。一個水平傳熱面傳熱



2.3 運流及輻射傳熱率和溫度差的關係

向上時運流傳熱率最大，但傳熱向下時運流傳熱率實際為零。這種關係可由圖 2.3 顯示。在這圖內，縱坐標是每方呎的傳熱率，（以瓦特標示），橫坐標是傳熱面和周圍間溫度差； a 線示水平面向上傳熱時二者之間的關係， b 線示鉛直傳熱面二者之間的關係， c 線示水平面向下傳熱時二者之間的關係。在這圖中傳出的熱也計及輻射作用，所以水平面向下時也有熱傳出。這兩種方法的熱不易分別測定。

2.12 運流傳熱率的計算 運流傳熱的全部計算法太長而繁，但是在這裏可以舉幾個簡單公式。自然運流可以用下式：

$$Q = c(T - T_a)^{5/4} \quad (13)$$

Q 是每方呎傳熱面每小時傳出的英國熱單位數， T 是傳熱面溫度（華氏標）， T_a 是周圍物質溫度（華氏標）， c 是一個常量，和傳熱面位置有關，通常可用平均值 0.33。

若用強迫運流，譬如吹風到傳熱面上，或者用機械攪動傳熱面上的液體，那末上式不能應用。氣體或液體流動愈快，則傳熱愈多。所以在強迫運流時，上式中的 c 應乘以如下的係數：

$$b = \sqrt{\frac{v + 69}{69}} \quad (14)$$

v 為液體或固體的速度，以每分鐘的呎數表示。

在強迫運流時，液體或氣體能傳出的熱是有一定限度的。這限度和其熱容量有關，也和運流空氣或液體本身的溫度有關，就是等於熱容量乘空氣或液體運流前後的溫度差。

$$Q = S(T_2 - T_1)Wt \quad (15)$$

Q 是傳出的熱量的英國熱單位數, S 是空氣的比熱, T_1 是運流冷空氣的溫度 (華氏標), T_2 是運流熱空氣的溫度 (華氏標), W 是運流傳熱空氣的重量的磅數, t 是時間的小時數。若有大量熱要傳出時, 必須顧慮到這點; 換句話說: 就是要用適當的空氣速度, 以免運流熱空氣的溫度太高。下面二例中就須用到上式:

【例一】 一個工廠的走廊中, 每小時要通入 100 仟瓦特小時的熱, 流入風扇的空氣溫度是 $40^\circ F$, 而流入走廊的空氣溫度為 $180^\circ F$, 求每小時流入空氣量。

【解】 在這裏 $T_2 = 180^\circ F$, $T_1 = 40^\circ F$, $S = 0.230$ $t = 1$ 小時。

1 仟瓦特小時等於 3412 英國熱單位, 故 $Q = 3412 \times 100 = 341200$

$$\therefore 341200 = .230 \times (180 - 40) \times W \times 1$$

$$W = \frac{341200}{32.2} = 10596 \text{ 磅}$$

【例二】 一個烘爐內部的尺寸是 20 呎 \times 20 呎 \times 20 呎, 倘使每小時因通風而調換空氣 10 次, 烘爐內溫度調準在 $500^\circ F$, 流入空氣的溫度為 $50^\circ F$, 求因通風每次換氣所致的熱量損失。

【解】 在這例內 $T_2 = 500^\circ F$, $T_1 = 50^\circ F$, $t = \frac{1}{10}$ 小時, $S = 0.230$

烘爐容積 = $20 \times 20 \times 20 = 8000$ 立方呎, 1 立方呎空氣重 0.08 磅, 8000 立方呎重 $8000 \times 0.08 = 640$ 磅

$$\therefore Q = .230 \times (500 - 50) \times 640 \times \frac{1}{10}$$

$$= 6624 \text{ 英國熱單位} = 1.942 \text{ 仟瓦特小時}$$

2.13 輻射 一個物體輻射時, 其所含的熱能就變為向各方

向射出的輻射能。這輻射能在熱源周圍的以太中(ether)發生各種波長的以太波，其中一部我們稱為光波，波長較短，一部分稱為熱波，另外還有紫外波，紅外波等。各種波長的輻射波的速率差不多一樣，在真空中或在空氣中是每秒 3×10^8 米或每秒約 186000 哩，在他種介質如玻璃，水等則速度較小。這種輻射能不能即稱為熱能，通過物質而不被吸收時也不能使物質的溫度增加。但是若輻射波被物質所吸收，則輻射能就變為熱能。真空絕不吸收輻射波，多種氣體，吸收的很少，但是固體物質，如鐵，磚等，就大量吸收輻射能而發熱。自一個點熱源發出的輻射能，均勻散布於各方向；所以在某一點的輻射強度，就是在這一點的一個與輻射方向正交的單位面積上每單位時間內通過的能量，是和這點到輻射源的距離平方成反比。若輻射源不是一點，但是很小，則這平方反比定律也可應用；但若輻射源很大，則在較近的地方這定律就不適用。

2.14 輻射傳熱的計算 一個物體所發出的輻射能總量，和這物體的絕對溫度，輻射面面積都有關。據斯忒藩和波爾茲曼(Stefan and Boltzman)的研究，輻射總量和絕對溫度的四次方成正比。不像連流的情形，輻射總量和輻射面的位置無關，而和輻射面周圍物質的流動也無關。但是輻射總量和輻射面的性質有極大的關係。通常深色而粗糙的面較淺色而光緻的面易於輻射；同時深色粗糙面也較淺色光緻面易吸收而不易反射輻射波。各種性質的面的輻射本領可以發射係數(emission factor)

來比較。所謂「黑輻射體」(black body) 是一個在任何溫度時能發出最大量的輻射的物體，這物體所發的輻射就稱為黑體輻射 (black body radiation)。這種物體也有最大的吸收本領，就是他能完全吸收到達其面上的任何輻射，而絲毫不反射。任何面的發射係數，就是這面能發出的輻射量，和一個等面積的黑體在同溫度時所發出的輻射量的比。黑體是一種理想上的物體，但是一個粗糙的金屬面而塗有烟炭 (lampblack or soot) 的，就和黑體極為相似，所以其發射係數即可作為 1。各種物質的發射係數的值相差很多，光緻的面的發射係數大都很小，同時這種面也吸收極小量的輻射而反射大部，所以也不易因吸收輻射而熱至高溫。表 14 示各種物質面的發射係數，這種數值和溫度的關係很小，所以可適用於各種溫度。

表 14 各種物質的發射係數

物 質	發射係數 K	物 質	發射係數 K	物 質	發射係數 K
「黑體」	1.00	液體鉛(平均值)	0.55	錫(治光面)	0.15
塗烟炭面	極近於 1	鉛漆(鐵面上)	0.50	銅(治光面)	0.14
石綿紙	0.93	蒙銅(氧化面)	0.43	鋅(氧化面)	0.11
玻璃	0.90	銀(氧化面)	0.424	鉛	0.086
鋼(氧化面)	0.79	金色玻璃(鐵面上)	0.37	黃銅(治光面)	0.07
銅(氧化面)	0.72	汞	0.23	金(治光面)	0.05
鑄鐵(氧化面)	0.62	鎳鐵(治光面)	0.22	銀(治光面)	0.03
鉛(氧化面)	0.63	鉛(氧化面)	0.15	黃銅(氧化面)	0.60

一個溫度較周圍為高的物體在輻射時，一方面失去熱能；但是另一方面也吸收由周圍物質發出的輻射而吸收熱能。因為輻

射體的溫度高於周圍，所以失去的熱量大於吸收的熱量；因之熱就由輻射體傳播到周圍。從斯忒藩波爾茲曼定律就得下式：

$$Q = 1740KA t \left[\left(\frac{T}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{1000} \right)^4 \right] \quad (16)$$

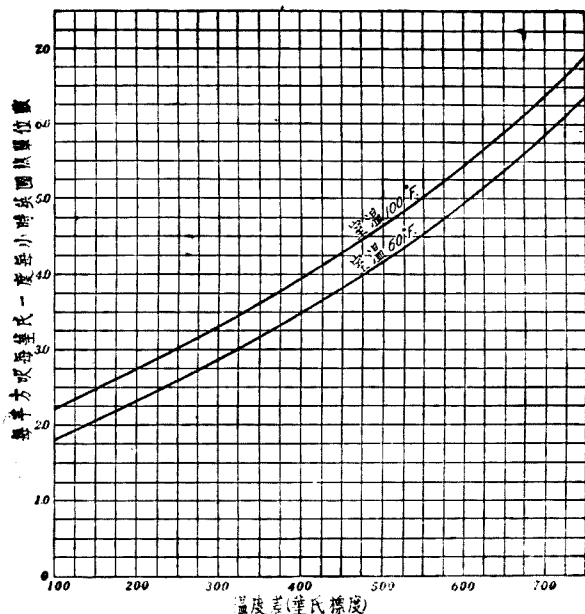
在這式內， Q 為傳出總熱量（英國熱單位數）， T 為輻射面絕對溫度（華氏標）， T_a 為周圍絕對溫度（華氏標）， A 為輻射面面積（方呎數）， t 為時間（小時數）， K 為輻射面的發射係數。

若輻射面絕對溫度為周圍絕對溫度的 3.5 倍以上，則括弧中的後一項可略去，而

$$Q = 1740KA t \times \left(\frac{T}{1000} \right)^4 \quad (17)$$

2.15 運流與輻射 運流與輻射所傳的熱，往往不易分別，所以常常合併計算。在這種計算內可使用象圖 2.4 的曲線圖。圖示黑鋼片傳熱面因運流和輻射作用，每方呎每小時每華氏 1 度溫度差可傳出的熱（英國熱單位數）和傳熱面與周圍物質間溫度差的關係，上面一條曲線是當室內溫度為 $100^\circ F$ 時適用，下面一條曲線則當室內溫度為 $60^\circ F$ 時適用；若室溫為其他溫度時，則傳熱量可從兩線用插入法（interpolation）求得。這種計算祇能用於自然運流，可比用公式(13)和(16)簡單。圖 2.3 所示也是這種曲線的一種。上面 2.6 節內的透面熱導，也就是因傳熱面上運流及輻射作用的相當熱導之值。

2.16 熱量之計算 上面講過，電熱器各部所需要或失去的熱量，不能直接測定，只能從各種其他數值計算。所用的計算法，



2.4 運流及輻射傳熱率和溫度差的關係

就是上面所舉的各個公式。現在舉一個例，使讀者可以知道各種計算的大概。

[例]有一個烘漆件的烘爐，內部爐壁是鋼片，外部爐壁是鍍鋅鋼片，中間襯以4吋厚的礦棉作為熱絕緣質，上下和四邊都是一樣。爐外部的尺寸是10呎×10呎×10呎，爐的鋼製部分重1000磅。這爐是用以烘汽車機件上的漆面的，運用溫度為470°F。爐內每小時調換空氣5次，用強迫運流。每次加入的待烘物件計鋼片重2000磅，汽車骨架重1000磅。每100磅鋼片上需烘

乾漆和漆用的輕油精 6 磅。爐熱後每次所需烘焙時間為 1 小時，室內溫度為 $70^{\circ}F$ 。

「求」(a)加熱爐壁至正常溫度所需的熱量；(b)加熱待烘物件(鋼片及骨架)至正常溫度所需的熱量；(c)調換空氣所失的熱量(包括蒸發漆內輕油精的熱)；(d)爐壁熱至正常溫度時所傳出的熱量；(e)在上面各種條件之下這爐所需的輸入總電功率；(f)爐門旋紐鐵梗傳導的熱，鐵梗的截面積約 1 方吋，由爐內壁直通至外壁；(g)若爐壁完全用鋼製而不用熱絕緣質時，爐面因輻射和運流所失的熱。

又，(g)內所失的熱，是否純粹由於輻射？

又，在這題內的各種失熱總量，用什麼方法可以簡捷的直接測定？

「解」從比熱的定義，可得下列公式來計算一種物質中所含的熱

$$Q = W(T_2 - T_1)C \quad (18)$$

Q 為物質吸收的熱(英國熱單位)， T_1 為這物體的初溫度(華氏標)， T_2 為其末溫度(華氏標)， C 為其比熱， W 為物質質量(磅)。

在下面的計算，為便於和烘爐的電能輸入比較起見，所有熱量都化為仟瓦特小時(KWH)；因 1 仟瓦特小時等於 3412 英國熱單位(表2)，故英國熱單位數除以 3412 即為仟瓦特小時數。

(a) 求加熱爐壁至正常溫度所需熱量 爐壁的鋼製部分重 1000 磅，可以分為相等的兩部，每部重 500 磅。內面一部的溫度

等於爐內溫度 $470^{\circ}F$ ，那就是需要從室溫 $70^{\circ}F$ 加熱到 $470^{\circ}F$ ，即加 $400^{\circ}F$ 。鋼的比熱可從表 3 檢得；表內鋼在 $0^{\circ}-2600^{\circ}F$ 的比熱是 0.165，但因溫度不合，故不適用；所以就拿鐵在 $54^{\circ}-212^{\circ}F$ 的比熱作為鋼的比熱，比較合理。因之使這內面一部鋼壁加熱到正常溫度所需之英國熱單位數為 $500 \times 400 \times .125$ ，其相當的仟瓦特小時數為

$$\frac{500 \times 400 \times .125}{3412} = 7.33$$

外面一部的鋼壁也重 500 磅；其溫度比室溫較高，可以假定為 $120^{\circ}F$ ，那就是比室溫高 $50^{\circ}F$ 。所以使外部鋼壁加熱到正常溫度所需之仟瓦特小時數為

$$\frac{500 \times (120 - 70) \times .125}{3412} = 0.92$$

爐的每一面的面積是 10×10 即 100 方呎，六面總面積為 600 方呎。礦棉熱絕緣質厚 4 吋或 $\frac{1}{3}$ 呎，所以礦棉的體積為 $600 \times \frac{1}{3}$ 即 200 立方呎。這種礦棉每立方呎約重 20 磅(表 3)，故其重量為 200×20 即 4000 磅。其溫度為爐壁內部及外部溫度的平均值，即較室溫高 $\frac{400+50}{2}$ 或 $225^{\circ}F$ 。礦棉的比熱為 0.198(表 3)，故使礦棉加熱到正常溫度所需的仟瓦特小時數為

$$\frac{4000 \times 225 \times .198}{3412} = 52.22$$

所以使全部爐壁熱至正常溫度的熱量為

$$7.33 + 0.92 + 52.22 = 60.47 \text{ 仟瓦特小時}$$

(b) 求加熱待烘物件至正常溫度所需之熱 待烘物件為鋼片 2000 磅，鋼製骨架 1000 磅，共 3000 磅。其所加增之溫度為 $400^{\circ}F$ 。故加熱待烘物件至正常溫度所需之仟瓦特小時數為

$$\frac{3000 \times 400 \times .125}{3412} = 44.00$$

這數並未包括蒸發漆內輕油精所需之熱。

(c) 求調換空氣時所失去的熱 烘爐的內部容積約為 $10 \times 10 \times 10$ 即 1000 立方呎。因 1 小時調換空氣 5 次，空氣之總體積為 5000 立方呎。 $70^{\circ}F$ 之空氣每立方呎重 0.0775 磅，所以空氣的重量為 5000×0.0775 即 387.5 磅。空氣溫度從 $70^{\circ}F$ 加到 $470^{\circ}F$ ，空氣之比熱為 0.23。故每小時內空氣中所失去之熱為：

$$\frac{387.5 \times 400 \times .23}{3412} = 10.45 \text{ 仟瓦特小時}$$

又求蒸發漆中輕油精所需之熱。每鋼片 100 磅上漆內有 6 磅輕油精需蒸發，待烘物件有鋼片 2000 磅，即有輕油精 $\frac{2000}{100} \times 6$ 即 120 磅。需蒸發輕油精的沸點為 $176^{\circ}F$ ，(表 9)，所以需由 $70^{\circ}F$ 熱到 $176^{\circ}F$ ，即加熱 $106^{\circ}F$ 。輕油精的比熱為 0.42 (表 3)，故熱輕油精至沸點所需之仟瓦特小時數為

$$\frac{120 \times 106 \times .42}{3412} = 1.57$$

輕油精的汽化熱為 172 英國熱單位，故使在沸點的輕油精汽化所需之仟瓦特小時數為：

$$\frac{120 \times 172}{3412} = 6.05$$

所以每小時調換空氣而損失之熱(因烘焙時間適為 1 小時)為:

$$10.45 + 1.57 + 6.05 = 18.07 \text{ 仟瓦特小時}$$

(d) 求爐壁在正常溫度每小時傳出之熱 爐面一方因輻射和運流而失去熱, 一方因傳導而從爐內吸收熱, 這樣就保持熱平衡。所以爐面每小時傳出之熱可以由輻射和運流現象計算, 也可以由傳導現象計算。但爐面溫度為 $120^{\circ}F$, 室溫為 $70^{\circ}F$, 溫度差祇有 $50^{\circ}F$, 以致因運流和輻射而失之每方呎每小時之英國熱單位數在圖 2.4 內不能檢得, 所以用(5)式計算由傳導所得之熱。爐每面面積為 100 方呎, 六面總面積為 600 方呎。爐壁厚為 4 吋。礦棉之熱導係數為 0.48 (表 12)。爐內溫度為 $470^{\circ}F$, 爐面溫度為 $120^{\circ}F$, 溫度差為 $350^{\circ}F$ 。代入(5)式, 每小時內傳出之熱為:

$$0.48 \times 600 \times 1 \left(\frac{470 - 120}{4} \right) = 25200 \text{ 英國熱單位}$$

相當於 $\frac{25200}{3412} = 7.38$ 仟瓦特小時。

此數即為爐面因輻射和運流所失之熱。但因爐門等處失熱較多, 故此數應乘以安全因數 2。所以每小時內失去 $7.38 \times 2 = 14.76$ 仟瓦特小時。

(e) 求烘爐的輸入電功率 每 1 小時適烘乾一批待烘物件, 所以每小時內所需的仟瓦特小時總數, 就是上面 (a)(b)(c)(d) 各項的和。但像這種烘爐大約至少需 5 小時, 爐壁方能達正常溫度, 所以每小時加熱爐壁所需之熱, 祇有 (a) 內計算結果的 $\frac{1}{5}$, 即 $60.47 \times \frac{1}{5}$ 即 12.09 仟瓦特小時。故 1 小時內總共所需之熱為

熱待烘物件用	44.00 仟瓦特小時
調換空氣時損失	18.07 仟瓦特小時
輻射及對流損失	14.76 仟瓦特小時
加熱爐壁用	12.09 仟瓦特小時
總輸入	88.92 仟瓦特小時

即電功率輸入為 88.9 仟瓦特或 89 仟瓦特。

(f) 求爐門旋紐鐵梗傳導之熱 鐵梗截面積為 1 方吋即 $\frac{1}{144}$ 方呎，鐵梗穿過爐壁，故至少長 4 吋。兩端溫度差也是 $470^{\circ}F - 120^{\circ}F$ 或 $350^{\circ}F$ 。鐵的熱導係數為 420 (表 13)。代入 (5) 式，則每小時傳出之熱為：

$$\frac{1 \times 420 \times 350}{144 \times 4 \times 3412} = 0.074 \text{ 仟瓦特小時}$$

這數和其他熱量比較，要小得多，故平時這種鐵梗傳出的熱可不必計算。

(g) 求全部用黑鋼片製造而不用熱絕緣質的爐壁因運流和輻射所失之熱 在這種情形下，爐壁內面和外表溫度可作為都是 $470^{\circ}F$ ，所以不能再用公式 (5) 計算。爐壁和周圍空氣間的溫度差是 $470^{\circ} - 70^{\circ}$ 或 $400^{\circ}F$ 。從圖 2.4 當溫度差為 $400^{\circ}F$ ，室溫為 $70^{\circ}F$ 時，每方呎每小時每華氏 1 度溫度差失去之熱為 3.625 英國熱單位。因這種數值往往不甚正確，可以約算為 4。爐面總面積為 600 方呎，故每小時失去：

$$\frac{600 \times 4 \times 400}{3412} = 281.3 \text{ 仟瓦特小時}$$

數較用熱絕緣質爐壁時要大 19 倍，即此可見爐壁之必須用良好熱絕緣質的理由。

又(g)內損失之熱當然包括運流，而非純粹的輻射。

又測定爐內失熱總量之最準確而簡捷的方法，是加適當值的電位差於電熱元件兩端，使爐的各部僅能維持正常的溫度而不昇降，再用一瓦特計測定輸入電功率，則電功率的數量即為爐各部在熱平衡時每小時損失的熱能總量。

第三章

電熱器用材料

3.1 總論 在研究電熱的發生和其利用的時候，最重要也最複雜的是各種應用材料的性質和這種材料受熱後的行爲。而且對於這一方面準確可靠的數據很少，所以從事電熱工程者祇能從其過去經驗來設計，不論其經驗是否豐富得足以使其問題能夠完美解決，這是目前無可如何的情形。本章所提出的各種數據，雖然不多，對於設計電熱器具時選擇材料和其正當用法，也不無少補。

先要講到的是電熱元件 (electric heating elements) 或電阻器，這是電熱器的心臟。電熱元件的適用與否，關係極為重大；因為無論一個電熱器的熱絕緣裝置如何完善，結構如何堅固，形狀如何美觀，價格如何昂貴，倘使其電熱元件不能耐用，或者效率過低，那末這種電熱器是毫無價值的。在下面幾節裏就要討論到各種電阻質料的性質，元件形狀的設計，各種元件的使用處所等等。

3.2 直接和間接電熱 電阻質料因電熱方法而不同，在直接電熱法 (direct heating) 內通電流而發熱的電阻就是要加熱的物件，例如鉚釘，錄，棒或者液體如水等。在間接電熱法 (indi-

rect heating) 內，通電流而發熱的電阻不是所要加熱的物件，而是用另一種質料製的電熱元件。這種元件的質料可以是金屬或是非金屬。在大多數的電熱器內，小至燙髮鉗，大至熱處理爐，都是用這種間接法的。

直接電熱法除了加熱鉚釘，韌鍊銅或鋼鍊，電焊等工作，和少數大的熱水器外，用得很少。待熱物件的兩端直接接到輸電線路，其電位差用一個具有分接頭的變壓器，或一個電阻器來調節。在熱水器內，電位差保持不變，而水的電阻則以升降電極位置或水面高低來調節。

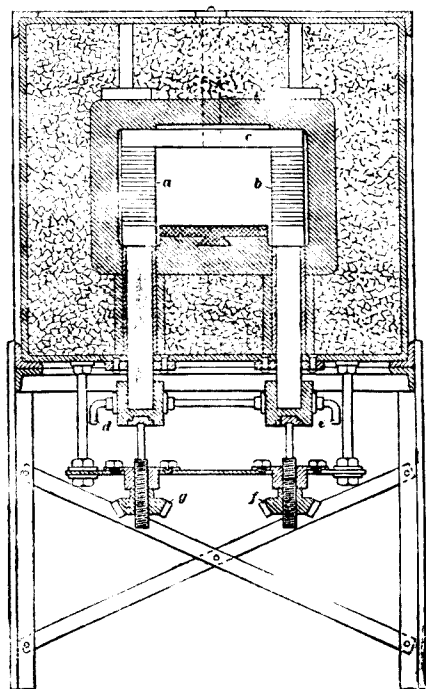
3.3 非金屬電熱元件 最早的工業用電爐都是用石墨(graphite)，或者金剛砂(carborundum) 製的。那時適用的金屬電阻質料還未發現，而這種非金屬可以耐很高的溫度。這種電熱元件的式樣很多，下面祇講可以作為代表的幾種。

工業用電爐最初是用埋在待熱物件中間的石墨棒作為電阻，例如在製金剛砂的電爐內。電流先通過石墨，使其四旁物件溫度升高，也成為導體，並聯於石墨棒，而電流就分流於二者。有時也用石墨棒作為小型烘爐內的電熱元件。石墨的發熱效能很好，其電阻溫度系數也是正數，那就是溫度愈高電阻愈大；但是在發熱時極易為空氣所氧化，所以這種元件壽命很短，這是碳質電熱元件的通病。

碳片或碳棒製的電熱元件也曾在電爐製造業中使用了二三十年。這種電熱元件可以熱到 $3000^{\circ}F$ ($1650^{\circ}C$)，所以有許多電

爐中都用碳質元件。但是同石墨元件一樣，其壽命很短，祇有 100 至 200 小時，依使用情形及爐的構造而不同。所以這種電爐的維持費用很大，不適實用，就逐漸被淘汰了。另外還有一種電熱元件，是用碳板割成鋸齒狀，以增加發熱面積，在某一時間內也會大量使用。

碳還有一個性質，其電阻溫度系數為負，那就是溫度愈高，



3.1 包含碳質電熱元件電熱爐

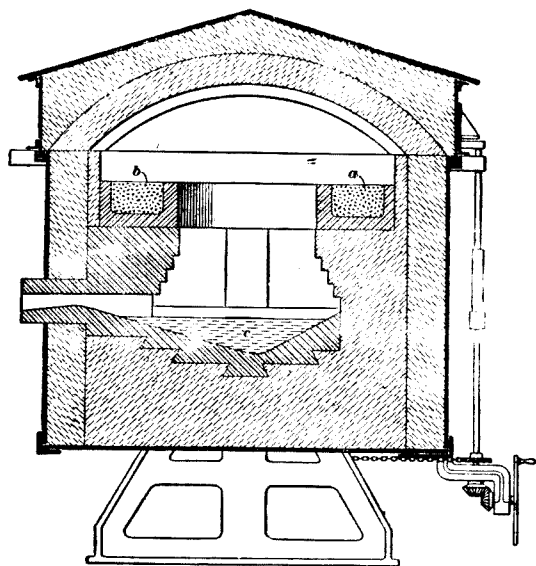
電阻愈小。這種性質對於電熱爐極為不利，因為足以使電爐的發熱不穩定。譬如爐的溫度偶然略高，元件電阻就隨之減少，使電流增加，溫度因之更增，那就是說這種作用是累積的。用碳片或棒的元件，大多數因為這種現象而損壞。

3.4 各式用非金屬電熱元件的電熱爐 為增加碳質元件的壽命起見，會有多種巧妙的設計，例如以碳質電阻埋置於耐燬物質內，使之和空氣隔絕。但

是這種設計，在高溫度下，因為受耐燬物質的缺點之限制，結果不能十分滿意。現在所用的耐燬物質都是多孔的，能容氣體透過，尤以在高溫時更甚；而且包圍元件的耐燬物質甚至於有被熔的可能。圖 3.1 所示，即為此類電熱爐的一種，舉以為例。所用電熱元件，為兩疊碳板 a 及 b ，上端用碳塊 c 連起來，他端則裝有面積很大的碳接頭。電熱元件四周都是耐燬物質，待熱物件則置於中間，爐膛與外面空氣不通，且可裝以他種氣體，以免碳質的氧化。 d 及 e 為用水冷却的電源接頭。 f 及 g 為用以調節碳板間壓力的聯動裝置。所用電源為低壓的交流，由一適當的變壓器副線卷接出。這種爐通用於供特種工作的試驗室內，這種試驗工作需用極高而易調節的溫度，而元件的壽命的長短則不甚重要，所以可用碳質電熱元件。

在多種新奇的設計內，也常以石墨或碳質電阻埋藏於玻璃內，以免除碳質的氧化。但是這種裝置，都各有其特殊的缺點，所以也不適實用。

除碳以外，他種非金屬製的電熱元件也曾試用過。這種元件為棒狀，片狀或磚狀，但都因有種種理由不適於實用。在所謂「倍來」式電爐中 (Bailey furnace)，這種非碳質電阻元件的使用還保留着。「倍來」式電爐在鐵的鍊治，瓷器的燒製，銀的精鍊，和銅的熔融各種工作內略有應用。這種爐內所用的元件是一個以上等耐燬物質如剛鋁 (alumdum) 或克利斯妥倫 (cristolon) 製的槽，槽內容有燃燒很慢的特種粒狀碳或焦炭。兩根碳製電極插於



3.2 倍來式電熱爐

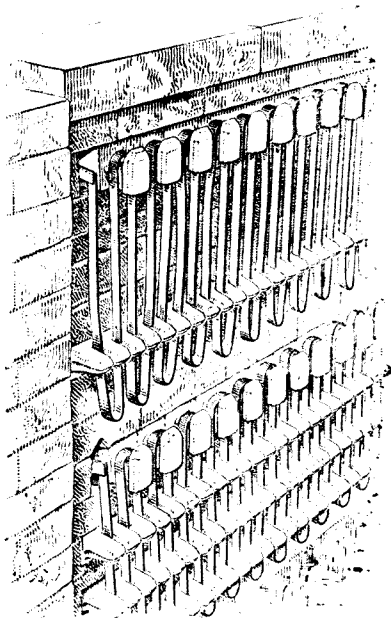
槽中，通電後電流流過粒狀碳而使之發熱，同時一部電流也流過耐燬物質製的槽，因為這種物質也可算是導體。圖 3.2 所示就是這種「倍來」式爐的截面。圖內 a 及 b 為作電阻用的碳粒槽的截面， c 處為待熱

物件，即被熔的金屬。這種爐的優點是槽內碳粒可以隨時更換，所以比用棒狀或片狀電阻便利。其缺點是：(一)電極接頭處因過熱而損壞，(二)耐燬槽因過熱而碎裂，(三)碳粒常須更換，費用太大，(四)所用碳粒須以特種質料製成，製造時亦須用特種方法。

在電爐的使用初發展時，德國和瑞士曾用過一種名為「西利特」(Silit) 的碳化矽作為電阻元件，這種元件製成棒狀，形如碳極弧燈中的碳極。這種元件非但用於電爐內，就在電灶及其他電熱器內也可使用。其主要缺點為：(一)接頭處因過熱而損壞，

(二)電阻溫度系數為正而很大，當爐內溫度增高時，電流逐漸減少，所以需有適當方法逐漸調節電壓，使輸入電功率保持定值。除此以外，這種質料很脆，易於折斷。但是雖有這種缺點，「茜利特」在歐洲使用的結果頗為良好。

在美國某製造公司曾從事於碳化矽電熱元件的改良，費數年心血後產生一種新出品，名叫「格羅巴」(Globar)。「格羅巴」製成各種直徑，長度，和電阻值的圓棒狀。這種質料較「茜利特」為堅強，而其導電性也較為均勻。而且這種元件的兩端浸屢金屬氧化物，使其電阻大為減小；因之兩端溫度也很低，不致因過熱而損壞。通常使用滿意的接頭法，是在爐兩旁裝有以水冷却的金屬接頭，而用彈簧夾於「格羅巴」的兩端。「格羅巴」在 $2400^{\circ} F$ ($1330^{\circ} C$) 時的壽命是 600 小時，在 $2200^{\circ} F$ ($1200^{\circ} C$) 時是 800 小時，溫度再低，壽命更長，即在 $2700^{\circ} F$ ($1480^{\circ} C$) 時也可使用於短時期內。上述裝置還有一個優點，就是在爐膛尚熱的時候，也可

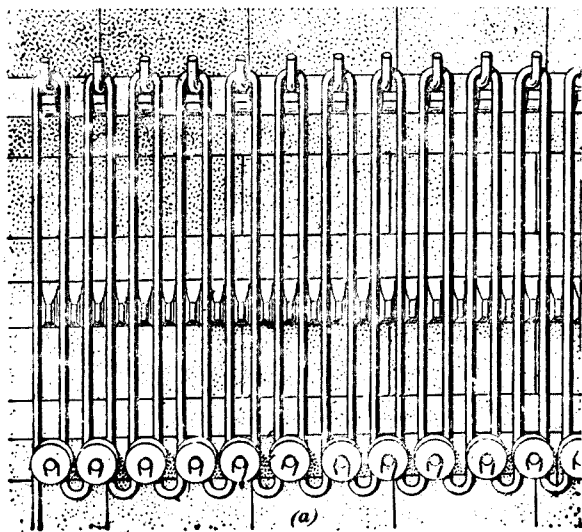


3.3 帶狀電熱元件

調換新元件。

3.5 金屬電熱元件 在電爐發展的初期，即已有鎳鉻鐵合金 (nickel, chromium, and iron alloy) 的發現，一直沿用至今。在這時期以後，也曾有各種其他合金的使用，和種種的商品名稱，其中大部是鎳鐵或鎳銅的合金。這種合金都逐漸被比較耐久的鎳鉻合金所淘汰。

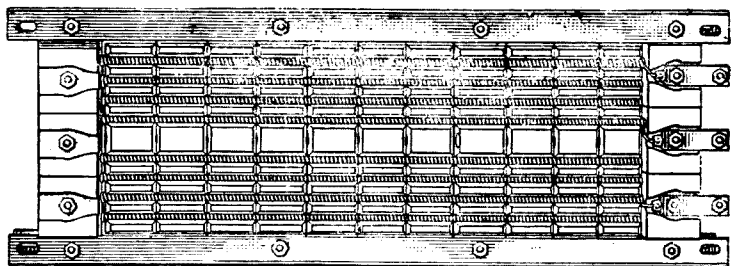
鎳鉻合金的電阻系數很大，其電阻係數為正數而很小。這種合金可以熱至 $1900^{\circ}F$ ($1040^{\circ}C$) 而不致於蝕壞或氧化。這種合金具有延性，可以製成線狀或帶狀。鎳鉻合金因其成分的不同，可分為數類，各有不同的商品名稱。低溫度適用的合金大約含



3.4 條狀電熱元件

50%的鎳,15%的鉻和35%的鐵。這種成分的合金不適於電流較大溫度較高的電熱器,例如工業用電爐等。適用於高溫度的高等合金約含有80%的鎳,20%的鉻和不到1%的鐵,或其他雜質。

3.6 線狀、條狀及帶狀電熱元件 鎳鉻鐵或鎳鉻合金電熱元件,因其使用處所之不同,可製成圓線狀,圓條狀或扁平帶狀。圖 3.3 所示為裝置於電爐內的帶狀元件,圖 3.4 所示為圓條狀元件,圖 3.5 所示為小型中溫電爐內所用線狀元件。線狀合金元件,通常使用於電灶,熔鉚爐器,小型電爐等,因為線狀元件比較



(b)

3.5 線狀電熱元件

帶狀元件易於裝置。帶狀元件則使用於大型烘爐或熱處理爐,因為這種爐內需要較大電流,而且在設計上不需要顧慮到佔據地位的緊縮,和小型電熱器不同。

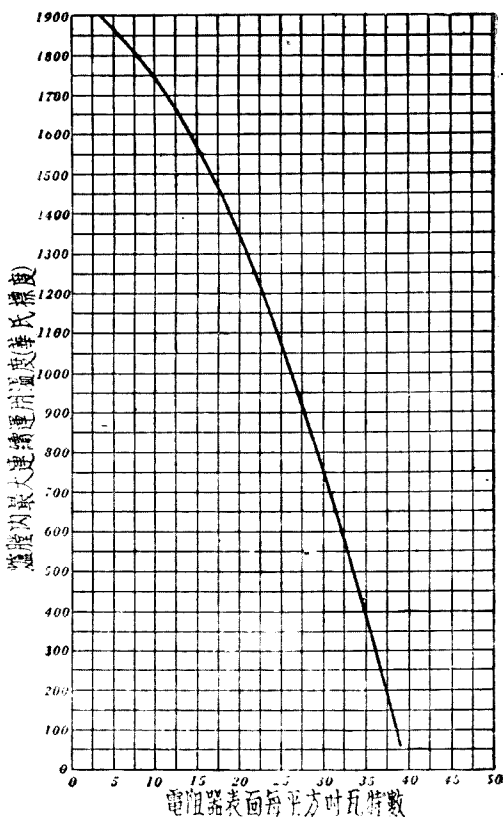
關於圓線狀和扁帶狀兩種元件的比較,各方面的意見大不相同。要比較其優劣,要有兩個觀點:(一)元件的散熱率(見 3.9 節),(二)裝置的便利程度。就第一個觀點講,扁平狀元件較優,因為若截面積相同,則扁平帶狀元件的外表面要比圓線狀的大

數倍。就第二個觀點講，圓線或圓棒狀元件較優，因為這種元件比扁平帶狀的易於彎曲，因之也易於佈列。大概小型的電熱器都用圓線狀，甚至在大型電爐內也可滿意地使用圓棒狀元件。不過在這種裝置內，必須有精密巧妙的設計，使其散熱率雖低而相當安全，尤須注意元件的裝置，使任一部分的散熱，不受元件支架的遮蔽。

3.7 電熱元件接線端 電熱元件損壞的一個重要原因，是因為接線端的裝置或設計不佳。在接線端穿過爐壁的部分，其本身發出的或他部傳來的熱不易失去，這種現象在設計元件時需加注意。若接線端的截面和元件他部相同，則其溫度一定要昇得很高，因之也就易於損壞。所以這部的截面積一定要比元件他部大得多；而電阻則比較小得多。通常截面至少需大五六倍。還有在高溫電爐內，接線端和電熱元件應當鍛接，而不用螺旋，鉗子等接合；否則在這種接合部分容易發生過熱的灼熱點。

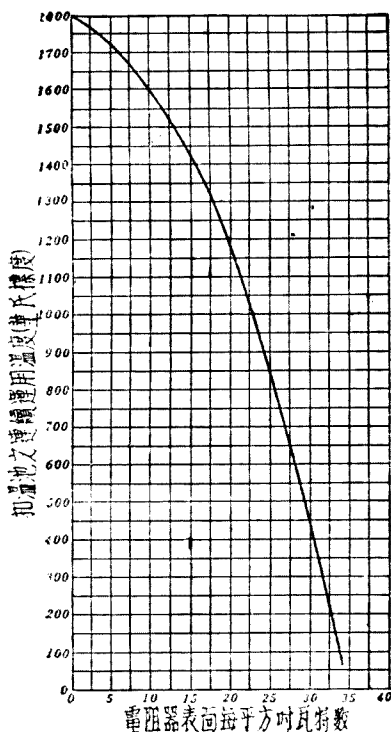
3.8 電熱元件的額定散熱率和溫度 金屬電熱元件的壽命和元件的溫度有極大的關係，溫度愈高，壽命愈短。這溫度是元件本身的溫度，而不是爐膛也不是待熱物件的溫度，因為爐膛的溫度總比元件略低，那末元件上的熱才能發散。元件的溫度和元件的額定散熱率也有關係，所謂額定散熱率(dispersion rate)就是元件外表面每單位面積(平方吋)上所發散的電功率的瓦特數；元件散熱率愈大，溫度也愈高。所以為增加元件壽命起見，散熱率必須維持在可能的最低值。元件散熱率又和爐膛溫度有關，

爐膛溫度愈低，則散熱率愈大，所以爐膛溫度不應和元件溫度差得過多。圖3.6和3.7所示就是散熱率和爐膛溫度的關係，這種曲線在設計電爐時很有用。圖 3.6所示曲線可使用於元件敞露，沒有遮蔽的電爐上，那就是元件上的散熱作用絲毫沒有限制。圖 3.7 所示曲線使用於被遮蔽的元件，例如元件在保護板背後，地板下，或在罐後等各種情形。兩圖比較之下，就可以知道元件被遮蔽時，散熱率要小得多。兩圖內所示的散熱率，都是最大值，設計時不能超過此數。



3.6 敞露元件散熱率和爐膛溫度的關係

按上所述，元件的溫度和元件附近爐膛的溫度也有關係。若



3.7 遮蔽元件散熱率和爐池溫度的關係

度係數 大多數金屬，當電流通過時，電阻即因溫度之升高而增加。這種增加率，可以電阻溫度係數 (temperature coefficient of resistance) 來表示；所謂電阻溫度係數就是溫度每升高 1 度時每單位電阻上所增加的數值。鎳鉻合金的電阻溫度係數頗小，大概 80% 鎳 20% 鉻的合金製的元件在高溫時 (1500—2000°

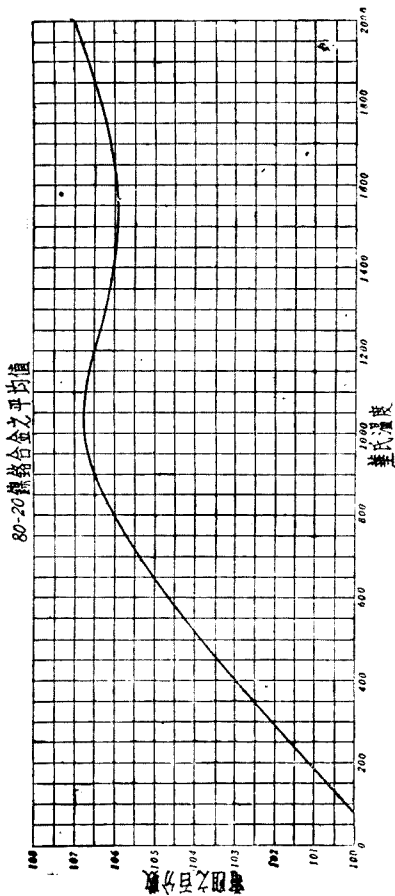
元件的散熱率保持不變，那末元件和元件附近爐膛的溫度差也保持一定，因為散熱率是和這種溫度差成正比的。所以若爐膛溫度增高，那末元件溫度也應增高。若元件前有遮蔽物，則熱不易散去，因之元件附近溫度升高，而元件溫度也隨之加高。又如元件若夾於待熱物件上，例如電熨斗，桌用電熱器等，那末元件上散熱也受遮蔽。所以設計這種器具時就應考慮這種遮蔽物或待熱物件的溫度及散熱率，以決定元件所需的電功率。

3.9 鎳鉻合金的電阻溫度

F) 的電阻不過是常溫電阻的 1.07 倍。但是在各種溫度時電阻的增加率並不均勻，那就是說，電阻溫度係數並非是定值。圖 3.8 示這種合金的電阻當溫度昇高時的變更，這種曲線在設計元件時應當作為參考。

3.10 鎳鉻合金線和帶的規定大小電阻 各種鎳鉻鐵合金線和帶的規定大小和每單位長度的電阻當然隨各製造廠而不同。在設計時可以參考各廠的商品目錄。下面表 15 及 16 所示就是 80% 鎳 20% 鉻合金線和帶的規定號數大小和

電阻，這種合金是由美國各廠所製，其商品名稱爲「耐克羅姆四號」(Nichrome IV)，和「克羅美爾 A 號」(Chromel A)。所用大小號數，也是依據美國制。



3.8 鎳鉻合金電阻和溫度係數的關係

表15 「耐克羅姆」四號線的大小質量和電阻

號數 美國線規	直徑 吋	每呎歐姆數 (20°C或68°F)	每千呎裸線 磅數	每磅裸線 呎數	每磅裸線歐姆數
1	0.289	0.0077	239.0	4.32	0.033
2	0.258	0.0097	190.0	5.40	0.052
3	0.229	0.0123	150.0	6.88	0.085
4	0.204	0.0156	119.0	8.65	0.134
5	0.182	0.0196	95.0	10.9	0.214
6	0.162	0.0247	72.0	13.7	0.363
7	0.144	0.0313	59.0	17.4	0.545
8	0.128	0.0396	47.0	22.0	0.871
9	0.114	0.0501	37.6	27.8	1.39
10	0.102	0.0624	29.2	34.7	2.17
11	0.091	0.0784	23.7	43.6	3.42
12	0.081	0.0990	18.8	55.0	5.45
13	0.072	0.1253	14.8	69.5	8.71
14	0.064	0.1586	11.7	88.0	12.9
15	0.057	0.2000	9.30	111	22.2
16	0.051	0.2499	7.45	139	34.7
17	0.045	0.3209	5.73	178	57.1
18	0.040	0.4062	4.57	225	91.4
19	0.036	0.5015	3.70	279	140
20	0.032	0.6347	2.93	352	223
21	0.0285	0.8002	2.32	444	355
22	0.0253	1.015	1.83	563	571
23	0.0226	1.272	1.46	708	901
24	0.0200	1.625	1.15	903	1511
25	0.0179	2.028	0.91	1130	2291
26	0.0159	2.571	0.72	1425	3663
27	0.0142	3.223	0.58	1790	5769
28	0.0126	4.094	0.46	2280	9334
29	0.0113	5.090	0.365	2830	14400
30	0.0100	6.500	0.286	3600	23400
31	0.0089	8.206	0.226	4550	37330
32	0.0080	10.15	0.183	5630	57140
33	0.0071	12.89	0.144	7150	92160
34	0.0063	16.37	0.113	9100	148960
35	0.0056	20.72	0.090	11500	238000
36	0.0050	26.00	0.071	14400	374400
37	0.0045	32.09	0.058	17800	571000
38	0.0040	40.62	0.046	22500	914000
39	0.0035	53.06	0.035	29500	1565000
40	0.0031	67.63	0.026	37500	2536000

表16 「耐克羅姆」四號帶的每呎歐姆數(20°C或68°F)

厚度		闊 度 (吋)									
號數	吋	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	1
10	0.102				.0212	.0133	.0100	.0080	.0066	.0050	
11	0.091				.0238	.0149	.0112	.0089	.0074	.0056	
12	0.081				.0267	.0167	.0125	.0100	.0083	.0062	
13	0.072				.0301	.0188	.0141	.0113	.0094	.0070	
14	0.064			.0452	.0339	.0212	.0159	.0127	.0106	.0079	
15	0.057			.0507	.0389	.0233	.0179	.0143	.0119	.0089	
16	0.051			.0567	.0425	.0266	.0200	.0160	.0133	.0100	
17	0.045			.0643	.0482	.0302	.0226	.0181	.0151	.0113	
18	0.040		.0108	.0723	.0542	.0340	.0255	.0204	.0170	.0127	
19	0.036		.0120	.0803	.0602	.0377	.0283	.0226	.0188	.0141	
20	0.032		.0135	.0903	.0678	.0425	.0318	.0255	.0212	.0159	
21	0.0285		.0152	.102	.0761	.0477	.0357	.0286	.0238	.0178	
22	0.0253		.0172	.114	.0857	.0537	.0403	.0322	.0268	.0201	
23	0.0226		.0192	.128	.0902	.0601	.0451	.0361	.0300	.0225	
24	0.0200	.0434	.0217	.144	.102	.0680	.0510	.0408	.0340	.0255	
25	0.0179	.0485	.0242	.161	.114	.0759	.0569	.0455	.0379	.0284	
26	0.0159	.0546	.0273	.181	.128	.0855	.0641	.0513	.0427	.0320	
27	0.0142	.0611	.0305	.203	.144	.0957	.0718	.0574	.0478	.0359	
28	0.0126	.0688	.0344	.229	.162	.107	.0809	.0647	.0539	.0404	
29	0.0113	.0768	.0384	.290	.181	.120	.0902	.0722	.0601	.0451	
30	0.0100	1.736	0.868	0.434	.327	.204	.136	.102	.0816	.0680	.0510
31	0.0089	1.950	0.975	0.487	.362	.229	.152	.115	.0916	.0764	.0573
32	0.0080	2.170	1.085	0.614	.409	.255	.170	.127	.102	.0850	.0637
33	0.0071	2.445	1.222	0.692	.461	.287	.191	.143	.114	.0957	.0718
34	0.0063	2.755	1.377	0.780	.520	.324	.215	.161	.129	.108	.080
35	0.0056	3.100	1.550	0.877	.585	.364	.242	.182	.145	.121	.0910
36	0.0050	3.472	1.736	0.983	.655	.408	.272	.204	.163	.136	.1020
37	0.0045	3.858	1.929	1.092	.728	.453	.302	.226	.181	.151	.113
38	0.0040	4.340	2.457	1.228	.819	.510	.340	.255	.204	.170	.127
39	0.0035	4.960	2.808	1.404	.936	.583	.388	.291	.233	.194	.145
40	0.0031	5.600	3.171	1.585	1.057	.658	.439	.329	.263	.210	.164

3.11 鎳鉻合金的線脹係數 鎳鉻合金也和其他金屬一樣，

當溫度加高時能膨脹。這種膨脹率是以線脹係數 (coefficient of linear expansion) 來表示，所謂線脹係數是當溫度加高 1°F 時每單位長度所增加的長度。在 70°F (21°C) 到 300°F (15

0°C)間鎳鉻合金的線脹係數的平均值是 0.00000734。在更高的溫度時線脹係數比這值要大，所以在計算 300°F 以上鎳鉻合金的膨脹時使用上值，結果不能十分準確。

3.12 弛長 差不多所有各種金屬經過屢次的長時期加熱後，其長度都有一種永久性的增加。這種增長和上節所說的膨脹不同，因為上節的膨脹當溫度降低時即消滅，而非永久性的。這種永久性的增長叫做弛長(growth)，大約是因為金屬的分子結構變更的關係，詳情還未知道。在設計和裝置元件時，元件及其支架弛長的影響，再加上上節所述的膨脹，不能輕視。但是關於弛長，沒有可靠的數據以供參考，因為非但各種合金的弛長不同，而且就是同一合金，各批出品的弛長也不同。所以要概計弛長的多少，祇能從豐富可靠的經驗來判定。通常可規定一個定則，則每呎長的合金的弛長為 $\frac{1}{8}$ 吋。合金的質料愈劣，那就是說鐵的成分愈多，弛長也愈甚。在六七十呎長的大爐內，若地板或墊軌(skid rail)用鎳鉻合金製，則其弛長成為很重大的問題。

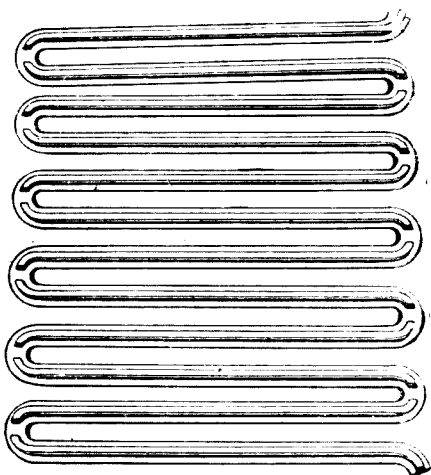
3.13 鑄成的鎳鉻合金元件 上面講的線狀，條狀，和帶狀鎳鉻合金，都是在模中冷軋(cold roll)上硬抽(hard-draw)成的，其大小和電阻都有一定數值。圖 3.9 所示的電熱元件是用合金鑄成的，使用也很滿意。這種鑄成元件的優點是：(一)堅固而不易彎曲，(二)截面積及外表面積很大，(三)不用支架，也不易因熱而翹曲。其劣點是：(一)太重，(二)鑄件的內部結構不^均勻，因之各部電阻不同，易於發生過熱的灼熱點，(三)因截面大而電阻

小，裝置於任何電熱器上時必需用低電壓和強電流，因之須另有降壓變壓器及粗大的司路設備(四)太堅硬，因之配裝於爐壁時，不易吻合散熱的最佳佈置。

3.14 他種金屬製成的電熱元件 除了鎳鉻合金可以使用於大多數電熱器外，另有幾種合金，也常使用，有一述之必要。蒙銅

(monel metal)，阿特凡斯金 (Advance metal)，和鎳鋼 (nickel steel) 有很大的電阻，用於低溫度而電流不大的電熱器上，例如暖氣爐，街車暖氣器等。純鎳也有特種用途。通常凡爐腔溫度在 $1000^{\circ}F$ 左右，而須利用很大的電阻溫度係數時，就可用純鎳，因為用這種金屬，起始加熱時電阻小而電流很大，等到溫度逐漸升高，電阻增加數倍，電流就自動減小數倍。

他種稀有金屬，可以用為電熱元件的很少，祇有鉑被認為可用的一種。鉑價很貴，出產也很稀少。但是用於電熱器上，可使溫度達到 $2500-2600^{\circ}F$ ($1370-1430^{\circ}C$)。這種元件祇用於容量很小而溫度很高的電爐內，例如牙醫用以製造瓷齒的電爐和化



3.9 鑄成合金元件

學試驗需用的電爐。有時陶瓷業也用這種元件的中型電爐，但是因爲鉑價很貴，所以使用並不普遍。

純鉑製的元件，在特種試驗用電爐內也略有採用，其價也很貴。

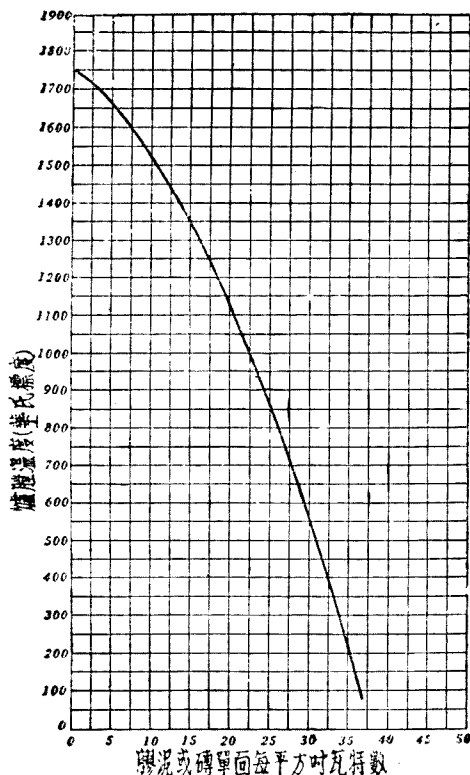
在特種電爐內，例如一種保潔煉爐 (bright annealing furnace)，爐膛內容氫氣；使加熱物件外表仍光亮而不失澤，那末純鐵製元件可有滿意的使用結果。因爲爐膛內無空氣也無氧氣，鐵可熱至高溫而不氧化，又因爲純鐵的熔點比鎳鉻合金爲高，所以這種元件可以熱到 $2300^{\circ}F$ ($1260^{\circ}C$)，這種溫度比鎳鉻合金能受的溫度要高。這種元件的主要缺點是冷時電阻太低，所以所用的變壓器必須具有分接頭，以便始用時用較低的電壓；且因電阻較低，所以也需用較大的電流。等到溫度昇高時，電阻增加很快，所以必須隨時調節電壓，並須特種司路設備。

3.15 各式電熱元件的使用慣例 各種電熱元件的使用慣例，依製造者的造意和設計而異。大概說來，可分爲下列幾種：

(a) 家用及工業用各種器具，例如電熨斗，燙髮鉗，電灶，焗咖啡壺，熔膠鍋，暖氣爐等，都用小號圓鎳或扁帶形元件，前者較普遍。所用合金須爲能適合其特種用途的諸合金中的最佳者。這種元件或爲敞露式，或爲包合式。敞露式元件是拿合金鎳或帶繞於雲母或其他耐燬物質的支板或支架上。這種元件的散熱率大概很大，因爲這種電熱器通常並不連續使用，所以元件的溫度和待熱物件差得相當的大。包合式元件通常以圓鎳繞成鎳卷，再埋

置於氧化鋁(人造剛鋁)氧化鋯，或氧化鎂或其他氧化物等各種耐燬膠泥內。這種膠泥，經過高度壓力而完全乾燥後，就成爲一種電的絕緣體和熱的良導體。這種性質使元件的散熱面積增加，因不祇金屬面上能散熱，而耐燬膠泥面也在散熱；因之散熱率不致於增加到不安全的程度。

圖 3.10 所示的曲線說明用這種包合式元件時耐燬物質表面上散熱率和爐膛內最高運用溫度的關係。散熱率大，那末元件和爐膛間溫度差也須大，所以爲保持定值的散熱率起見，爐膛運用溫度差就不能太高。例如當散熱率爲每平方吋 30 瓦特時，爐膛溫度不能超過 $550^{\circ}F$ ，但若散熱率祇有每平方吋 25 瓦特，則爐膛溫度可以達到 $850^{\circ}F$ 。但是在使用這種曲線時，有



3.10 包合元件散熱率和爐膛溫度的關係

時也須依實際需要而用比曲線所示較高或較低的值。例如浸於水中的電熱元件，因為水的傳熱和蓄熱本領比油大，所以其散熱率就可兩倍於浸於油中的元件。

接錄端的構造，也是很重要的。用錫鑊接合或用軟銅的彈簧夾座接合，或以兩錄絞接等方法，很不高明，應該不用。良好的方法是用銀錒 (silver solder)，或用鐵，鎳，或蒙銅的螺桿連接。因為鎳鉻合金的表面有厚而韌的氧化物層，是不良導電體，所以若祇用錫鑊或夾座等接合，往往易於發生灼熱點，電弧，甚而使整個接錄端燒壞。

(b) 烘爐，熔錫熔鉛爐和溫度在 $1850^{\circ}F$ 以下的熱處理爐，所用的元件必須嚴密的設計和鄭重的裝置，使其正當散熱作用不受什麼阻礙。元件可為錄狀，帶狀或鑄成，也須用能適合用途的最佳合金。這種元件通常裝於爐壁上的耐燬質鈎上，或裝於金屬骨架上的耐燬質上。合金錄或帶的尺寸通常很大，使有相當大的強度和低的散熱率。在設計時，必須顧慮到元件的熱脹冷縮。有時，需另設計保護板或柵以免加熱物件和元件接觸，或則設計裝置方法，使不用護板或柵，而也能得同樣結果。接錄端須鍛接於元件，且其截面須較元件截面大至數倍。設計時更需預備元件裝置地位可以移動，以備裝置後爐中溫度配佈不合需要時，可以再行變更。

(c) 溫度在 $1900^{\circ}F$ 至 $2700^{\circ}F$ 的電爐內不能用鎳鉻合金元件，所以除了少數用稀有金屬如鉑及鈾外，就要用非金屬元件，

如碳片，裝於槽中的粒狀碳，和碳化矽元件如「茵利特」和「格羅巴」等。設計這種電爐時先須考慮到所用的耐燬物質，因為運用溫度已比多數耐燬質的熔點高。例如在爐中溫度較高的部分普通耐火磚已經不能用，必須另用特種物質。其次的是接線端的構造，若使設計不良，則接線端極易燒壞，因為這種爐內電流常常很大。至於散熱率的大小，則依照種種情形而不同，大概地說：散熱率不能高到使元件溫度超過爐膛溫度 $400^{\circ}F$ 以上，不然耐燬質易於熔解。在使用這種電爐和元件以前，也須先接受製造廠商的指導。

3.16 普通耐燬物質 無論那種敞露式電熱元件，都需裝置於一種支架上，這種支架必須是熱和電的絕緣質，而且須能耐高溫而不熔解。包合式原件也須埋置於能導熱而不易熔的電絕緣物質內。這種物質統稱為耐燬物質(refractory materials)。多年來，良好耐燬物質的稀少和關於這種物質的性質的數據的缺乏的確是電熱器製造的進步的一個大障礙。歷來所曾使用過的耐燬物質為數很多，每種多少都有令人滿意的優點。但是真正可用的物質却逐漸地因被淘汰而減少，以致到現在祇剩下面的數種，可以作為標準耐燬物質。

電器用瓷(electric porcelain)

耐火泥範成物(fire clay shapes)

氧化鋯(zirconia)

氧化鎂(magnesium oxide)

電 熱

[克利斯妥倫](Crystolon)

矽土(silica), 即二氧化矽

火山石(lava)

人造剛鋁(alundum) 即氧化鋁

雲母(mica)

皂石(soap stone), 即亞硫酸鎂鋁

耑賽木(transite lumber)

陶器(pottery)

冷模質料(cold-molded material)

纖維質板(fibre)

石棉布(asbestos cloth)

玻璃(glass)

木材(wood)

紙(paper)

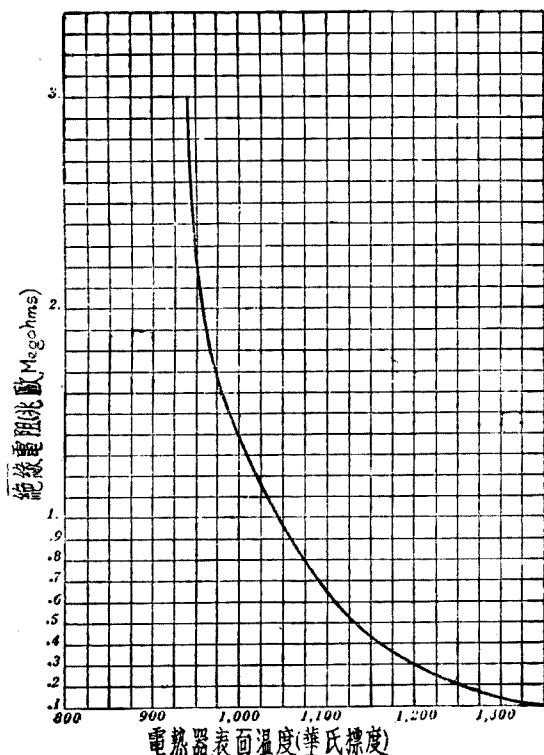
棉布(cotton cloth)

上表內次序差不多依照各種物質一般的適用性排列的，例如電器用瓷是最適用的。但是在特種需要情形下，也許次序完全不同。一般的講，在常用的電熱器內用的耐燬物質，大略如下：(a) 小型電熱器用，雲母，火山石，電器用瓷，剛鋁，氧化鋁，和氧化鎂。(b) 烘爐和熱處理爐用電器用瓷，耐火泥範成物，剛鋁和「克利斯妥倫」。每種耐燬物質也因為等級牌子的不同而性質大有差別，在選擇這種物質時應當加以注意。例如某種白雲母在 $800^{\circ}F$

-900°F 就脫水(dehydrate) 而失其效用,而另一種白雲母和琥珀雲母在 1200°F 還不致損壞。又如電器用瓷的線脹係數也大有高下,有一種瓷當燒熱而驟冷時即行碎裂,也有一種可以燒紅後投於冷水內而絲毫不裂。這種能容受極度溫度變化的性質為良好耐燬物質的要素,就是砌爐用的磚也須有這種性質。

選擇適合於各種用途的耐燬物質時,需考慮到每一種物質在各方面的優點和缺點,例如:高溫下的機械強度,吸收水汽程度,與電熱元件或爐中氣體的化學反應,高溫下的介質強度(dielectric strength) 熱導係數,密度,對於溫度突變的抵抗性,線脹係數,脫水溫度,軟化或熔解溫度,和其他等等。在這許多性質中,也不能一定說那種最重要,因為這是依照物質使用情狀而定。一般的講,電熱器內耐燬物質的必要性質,除了不吸水汽外,是:(一)能在運用溫度連續使用時保持原狀,不起變化,(二)高溫下有相當高的介質強度,(三)能抵抗溫度突變,(四)有良好的熱導係數,和(五)相當高的機械強度或韌度。

大多數電絕緣耐燬物質,在低溫時,具有很高的介質強度。但當溫度升高時,介質強度就逐漸減小,至溫度到軟化或熔解點時,這種物質就變為良導體。耐燬物質的這種特殊性質,常為一般人之所不了解,所以在設計和運用電熱器時,就易於發生弊病了。例如一個電熱元件的溫度若對於耐燬物質太高時,在這耐燬物質內就要有漏電流(leakage current),這種電流若過大,則管理人員易於觸電,甚於於可以損壞電路內的儀器。氧化鎂的介質



3.11 介質強度和溫度的關係

和其他性質同樣重要。

8.17 特種耐燬物質 上述的種種耐燬物質，可以使用於普通的電熱爐內，但是在電弧爐(arc furnace)內却不適用。在電弧爐內，溫度極高，普通的耐燬物質易於熔解，所以必須用特種

強度和溫度間的關係可以圖 3.11 的曲線來表示。

耐火磚之用於砌爐，歷來已久，所以關於其各種性質的考慮，每易為人所忽略。各種等級的火磚的(一)重量，(二)尺寸形狀之準確，(三)溫度突變的抵抗性，(四)割切的難易，和(五)價格，大不相同；在選擇用磚時，這種性質的考慮也

的磚或範成物，例如鉻磚(chrome brick)，苦土磚(magnesia brick)，矽線石磚(silimanite brick)等，方能得良好結果。這種物質在這裏不必細述，而且關於這種物質的性質也無可靠的數據。

3.18 熱絕緣質 電熱器內的熱絕緣質(heat-insulating material)是用以阻絕或限定某種方向的熱流，而使其沿指定方向。所以這種物質的效用非但可以節省熱能，還可以使溫度的配佈更合需要，減低元件和待熱物件間的溫度差，而增加電熱器的效率。

理想的完美的熱絕緣體須能阻止熱的傳導，運流和輻射，但是這種物質是事實上沒有的。良好的熱絕緣質還須重量很輕，比熱很小，使其所蓄的熱量極小。對於傳導和運流講，真空是最好的熱絕緣，其次則是容有二氧化碳或氮等氣體的密閉空間。但是這種熱絕緣裝置都是不適於實用，所以通常使用的熱絕緣質都是有疏鬆的蜂房狀組織的物質，內中含有靜止的空氣的。

空氣在靜止的狀態，是極好的熱絕緣，但如空氣能流動而生運流，就不是熱絕緣了。所以通常用的良好熱絕緣，如礦棉(mineral wool)，「巴爾撒」纖維等(balsa fibre)都是具有纖維組織，使所含的空氣保持靜止狀態。這種物質，若加以壓力，則其熱絕緣本領起先增加到一個最大值時，再逐漸減低。這是因為在初加壓力時，容氣空間逐漸縮小，因之運流的可能也逐漸減小；等到再繼續增加時，空氣漸被擠出，因之熱絕緣本領反而減低。

良好熱絕緣質所須具備的性質是：(一)熱導係數甚低，(二)

密度相當小，(三)比熱相當低，(四)不易燃燒，(五)有相當的強度和耐用性，(六)不易變形，(七)不受水，酸及油等的作用，(八)非良好導電體，(九)與金屬無作用，(十)易於製成需要範式。

現在使用的良好熱絕緣都具有上述性質的大部分，但是在選擇時必須注意到各種物質的性質是否是合於需要。市上所有的熱絕緣等級種類很多，但是合乎一般標準的就比較的為少數。這種熱絕緣可以分為有機(動植物)和無機(礦物)兩種，其分類見表 17。

表 17 熱絕緣質的分類

有 機 物		最高運用溫度 (°F)
動物性	<ul style="list-style-type: none"> 羊毛 羽毛 人髮 絲 	175-200
植物性	<ul style="list-style-type: none"> 棉 軟木 鋸屑 各種木材 纖維板 (fibre) 「卡泡克」(Kapok) 「巴爾撒」纖維 	
無 機 物		
礦物性第一組	<ul style="list-style-type: none"> 氧化鎂 石棉(木, 紙, 布) 礦棉, 氈, 等 泡勃洛克斯 	<ul style="list-style-type: none"> 750 800 1000 1200
	礦物性第二組	<ul style="list-style-type: none"> 矽藻土 漂白土 西羅賽爾 西羅賽爾黏土結合物 (Silocel and clays bonded) 各種砂 各種磚	1000-2000

有機性熱絕緣質。祇能用於低溫，沒有例外。表 15 內所列的各種有機性熱絕緣質不能用於 $250^{\circ}F$ 到 $300^{\circ}F$ 以上，有的甚而不能使用於所示的最高溫度。

無機性的熱絕緣質可使用於遠較為高的運用溫度，但是並非所有的無機性熱絕緣質都能耐高溫。例如 85% 的氧化鎂在作為蒸汽管上或其他低溫度的熱絕緣時，效果很好；但是若用於電熱爐內，就要脫水(dehydrate)而變成完全無用的粉末。無機性熱絕緣通常依照其最高運用溫度而分兩組：第一組的物質能適用於 $1000^{\circ}F$ 以下的溫度，第二組則可以適用於 $2000^{\circ}F$ 以下。但是這兩組的分界並不明顯，因為有種物質也可同時歸入兩組。而且像第二組中的矽藻土，不能直接耐受 $2000^{\circ}F$ 的溫度；在其前面一定要有一種耐燬物質，非但用以支持，也可減低熱絕緣的溫度。但是，若矽藻土和耐火泥混合經燃燒而玻璃化(vitrified)後，就可直接使用於 $2000^{\circ}F$ 以下的電熱爐內，祇要強度能夠對付。

關於各種熱絕緣性質的研究，許多科學團體發表過不少的結果，以供需要這種數據者的檢查。

上述各種熱絕緣質中，通常只有五六種常用於各式的電熱器上，而成爲差不多可以視為標準的慣例。這種慣例雖不一定是絕對準確，但是多年經驗得來的結果。表 18 示各種電熱器在慣例上所用的熱絕緣。

3.19 各種半熱絕緣耐燬物質 耐火磚的熱絕緣性不佳，而

表 18 電熱器慣用的熱絕緣質

電 熱 器	用 途	慣 用 熱 絕 緣
電冰箱 暖室電爐 烘爐, 電灶 熔鐵鍋, 熔鉛鍋, 熔鎢 熱處理鍋 熱處理爐	空氣的冷卻 空氣的加熱 暖氣, 烘焙, 乾燥, 烘 漆, 烹飪, 等 熔融金屬, 熱處理金 屬 熔融金屬, 熱處理金 屬	軟木, [巴爾撒]纖維, 礦棉 礦棉, [賽羅塔克斯](Celotex) 礦棉, 氣胞石棉(air-cel asbestos) 西羅賽爾粉(silocel powder) 礦棉, 石棉, 纖維板, 矽藻土的磚塊 及粉 磚, 黏土製的板及粉, 泥土, 各種矽藻 土混合物 石棉, 纖維板, 紙, 布, 棉, 羊毛等
特種低溫電熱器	在 $250^{\circ}F$ 以下的各種 用途	

且其熱容量很大,重量也大。但是因為其機械強度很高,所以大多數的中型或大型電爐的爐壁內層都用耐火磚來砌造。在這種連續使用的電爐內,蓄熱量高的爐壁是需要的,至少也無妨礙。但在須每天或一天數次加熱和冷卻的小型或中型電爐內,爐壁蓄熱量過大,就有很大的熱能和經濟上的損失。所以就有各種耐種耐燬物質的發明,專供使用於砌造爐壁之用。這種物質的機械強度也不亞於耐火磚,而重量祇有其 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{3}$,其熱絕緣性却比耐火磚要好幾倍。表 19 示這類半熱絕緣耐燬質(semiinsulating refractories)的幾種,表內各種物質的各種性質相差很多,所以也不能說那種物質最好,也不能說各種物質都是同樣適用。

3.20 耐熱金屬 在電熱器內很多地方要用到金屬製的支架,以承置待熱物件,和各種保護柵,蓋板等等。這種支持用或保護用的物質是各種耐熱合金(heat resisting alloy),和電熱元件差不多,但是其品質不必如用於元件者的良好。這種金屬的種

類和等級很多，這裏祇能論其大概，在下面的表內也祇略示幾種合金的性質。

表19 各種半熱絕緣耐燬質磚性質

物質名稱	密度 磅/立方呎	熱導係數 英國熱單位 /平方呎/吋 /小時/華氏 度	比熱 英國熱 單位/ 華氏 度	相對 強度	最大適用 溫度 °F
耐火磚(firebrick)	124.3	7.5—10.7	0.253	1.0	2500
剛鋁磚(alundum)	240—250	20—28	0.198	1.7	3000
卡薄弗啦克斯磚(carbofrax)	210—225	60—70	0.212	1.7	3000
克利斯安倫磚(crystolon)	204	60—70	0.198	1.6	3000
氧化鋁磚(zirconia)	260—300	10—18	0.167	1.5	2500
麻西倫磚(RI 43 Massillon refr- actories)	80.6	2.18	0.240	0.7	2200
茜羅賽爾 C-22 號磚(Silocel C-22)	40.85	1.75	0.190	0.4	1850
無敵磚(Non-pareil)	31.10	0.92	0.230	0.2	1300
阿姆斯脫郎磚(Armstrong Insul- ating brick)	37.50	1.58	0.240	0.18	1300
英塞弗啦克斯磚(Insulfrax)	60.50	1.98	0.190	0.19	1300
茜羅賽爾 C-3 號磚(Silocel C-3)	59.60	2.35	0.220	0.2	1300
天然產茜羅賽爾磚(Silocel brick)	34.60	0.73	0.209	0.17	1000
茜羅賽爾粉磚(Silocel powder)	13.48	0.64	0.209	—	1000
素潑啦克斯磚(Superex)	24.20	0.73	0.270	0.3	1000
礦棉磚(Mineral wool brick)	13.28	0.60	0.198	0.2	1000

這種耐熱金屬大都可輾成片，管或其他形狀，也可鑄成各種形狀。表 20 示幾種輾成片狀的耐熱合金的成分及適用溫度，所舉的數值不過是約數。最大適用溫度是就使用結果而得，並非是各製造廠所定的數值，因為這種數值各廠並不一律。除了表中所示的性質以外，其他各種性質，如線脹係數，弛長度，翹曲可能性等，各種貨品也相差很大。所以選擇適合某種用途的合金時，也

須詳細考慮各種性質。很特殊而不易解釋的一點是：輓件在加熱後比較同樣或相似成分的鑄件容易翹曲，弛長，而不易保持原狀和原位。所以，在有幾種用途上，必須使用鑄件。鑄件也比同截面積的輓件更堅硬，而能負擔較大的載重。表 21 示幾種鑄件用合金的成分和運用溫度。所示成分也是約數，因為製造廠的出品的成分不同。最大運用溫度也是在普通使用情形下就平時經驗所得。這兩表所舉物質不過是可作為代表的幾種，並不包括全體。

表 20 耐熱合金輓片性質

組別	物質名	商品名稱	主要成分	最大運用溫度 °F
I (a)	純鐵	Armco-Swedish	純粹鐵	750°F
	(b) 低級合金鐵	Toncan 等	鉬, 銅, 大部份鐵	750°F
II (a)	純粹他種金屬	Nickel-Monel	鎳, 或鎳銅合金	1250°F
	(b) 不銹鋼	Ascoloy, Enduro, Rezistal, 等	鎳 10-15%, 餘為鐵	1250°F
III	低級鎳鉻鐵合金	Ascoloy No. 44, Rezistal No. 4, Nichrome No. III, 等	鎳 10-25%, 鉻 10-30%, 餘為鐵	1600°F
IV	高級鎳鉻鐵合金	Chromel C, Nichrome II, Chromel A, Nichrome IV	鎳 55-62%, 鉻 10-12%, 餘為鐵 鎳 75-80%, 鉻 18-21%	2000°F

各種耐熱金屬的使用成績和使用時的各方面情形，及金屬的製成形狀很有關係，沒有一定的規則可遵循。所以在初事設計時，須詳細考慮各種性質的數據，更須預設相當大的安全因數。等到經驗逐漸充足，然後方可逐漸減小安全因數，而得較為準確的設計。表 22 略舉幾種合金的各種性質，這種數值不過供一般

表 21 耐熱合金鑄件性質

組別	物質名	商品名稱	約計成分	最大運用溫度 °F
I	低級鑄鐵		鉻3-5%, 矽1.5-3%, 餘為鐵, 成分不一律	1000°F
II	高級含鉻鑄鐵	Cast Ascology No. 44 Cast Rezistal No. 2	鉻10-13%, 鉍22-25%, 餘為鐵, 成分不一律	1500°F
III	中級鎳鉻鐵合金	X-ite, Chromax No. 502	鉍25-35%, 鉻12-22%, 餘為鐵	1650°F
IV	高級鎳鉻合金	Fire Armour, Q-alloy. Nichrome	鉍58-70%, 鉻10-22%, 餘為鐵	2000°F

表 22 鐵, 鎳及三種不同合金的性質

物質名稱	約計成分	線脹係數	熱導係數 K 英 國熱單位 / 平方 呎 / 吋 / 小時 / 華氏度	比重
鐵	純鐵	.0000063	420.0	7.63
鎳	純鎳	.0000057	406.0	8.90
Ascology No. 44	鉻23%, 鎳12%, 鐵63%	.0000112	113.0	8.00
X-ite	鉻13%, 鎳39%, 鐵47%	.0000098	41.0	8.02
Nichrome (鑄)	鉻20%, 鎳60%, 鐵16%	.0000091	42.0	8.06

的參考, 因為成分不同的各種貨品, 性質固然不同, 就是同一貨品的各批出貨, 性質上就有不同的地方。

物質的機械強度都因溫度升高而減小。金屬強度的變化更是劇烈, 而且不易捉摸, 就是在同一溫度時強度的減小也不一律, 而和載重時間有關。例如, 某一種支架可以在 1600°F 時支持 500 磅的載重 1 小時, 但是若載重至 36 小時或以上, 那末就

是祇有 100 磅，也已足以使其弛垂(sag)而不能使用。所以在使用這種金屬強度的數據時，需有極為鄭重的考慮。表 23 示一種合金的各種溫度時的強度和脅變數值，這種數值是用強度測定機(testing machine) 在短時期內所測定，所以祇可作相對的比較用，而沒有絕對的價值。所示的合金就是表 21 內第四組的高級鎳鉻合金鑄件。

表 23 鎳鉻合金強度和溫度的關係

測定時溫度 °F	極限張脅強度 磅/方吋	2 吋內之延長	截面積之減小
68	64000	3.5%	2%
392	59500	微	微
572	56000	微	微
752	52000	微	微
932	48000	微	微
1112	43000	微	微
1292	38500	微	微
1472	30000	2.5%	4%
1652	20000	7.5%	9%
1832	12000	15%	16%
2012	6000	20%	18%

合金鑄件的截面積應當儘可能的均勻，而無忽大忽小的現象。還有鑄件的厚度不可太小，通常最小的厚度須為 $\frac{1}{4}$ 或 $\frac{3}{8}$ 吋。在使用這種鑄件時，須留意勿使各部所受溫度不同，因為這樣足以發生內部應脅，引起彎曲等現象，且在多次使用後，甚至發現裂紋。同樣理由，下裝有肋骨(rib)的爐底板每比未裝肋骨的易於翹曲，因為肋骨的溫度也許高於或低於底板，以致增加翹曲的可能性而使底板與肋骨脫離。若在構造理論上，必須用肋骨或凸緣(flange)，那末必須用轄條和轄槽(key and slot) 固定於底板上。

第四章

電熱器的概論

4.1 電熱的定理 所謂電熱，是以電流通於一種電阻物質中，使之發熱，因而再加熱他種物件的意思。用電流發熱的方法有下列幾種：*(a)* 所要加熱的物件即作為電阻物質，就是直接加熱法，*(b)* 另用金屬或非金屬製的電熱元件，就是間接加熱法，*(c)* 感應加熱法(*inductive heating*)，利用感應作用，發生電流，*(d)* 電弧加熱(*arc heating*)，利用電弧以發熱。在這幾種方法之中，以第二種為最普通；每種方法之中，再可分為各種型式，以供各種用途之用。

4.2 電熱的優點 電熱的研究，對於無論工程師，實業家，製造家和商人都很重要，因為這種加熱方法差不多在各種工作裏面，小至家庭或餐館中的烹飪食物，大至工廠中的製造各種貨品，尤其是鋼鐵工業上，都有很廣的用途。單從這家庭或工業上電熱應用的日以增多，和各製造廠的各式電熱器的產量的急速增加；我們就可知道，雖然電熱制度的設備費用，甚至其運用費用，比他種加熱方法大；但其種種優點，却可以使費用方面的考慮，成為次要。

電熱制度的確鑿不移的幾個一般優點如下所列。除此以外，

電熱在每一種用途上，都有其特殊優點，在這裏不再一一舉出。所謂一般的優點是：(1)使用情形可以任意，例如待熱物件的形狀大小位置和加熱時間的長短，(2)選定的運用境況可以維持不變，(3)運用結果可以確切地重演，(4)發熱元件與待熱物件間的溫度差比他種加熱方法小，(5)溫度及加熱時間的控制比較容易而可靠，(6)煤烟，油脂，灰燼，塵埃，雜氣等的免除，(7)運用境況變更時溫度極易調節，(8)加熱效率的增進，(9)無燃料供給，貯藏，運輸等問題，(10)出貨品質的優良，(11)勞工狀況的改善，使效能增進而工潮減少，(12)損壞或不合格產品的減少，(13)佔據地位的減少，(14)修理或維持費用的減少，(15)因運用週程較短，產量增加，(16)過熱及失熱的減少，(17)在供電方面功率因數及負載因數的增進，(18)因上述兩種原因，使工廠的總效率增加，(19)適用於不能使用他種加熱方法的特種工作。

4.3 電熱器的發展史 自從發現電流通過導線可以發生熱效應後，就有許多發明家從事於各種電熱器具之試驗和製造，雖然這種器具大都是拙劣的。但是真正電熱器具工業的急速發展，却是在用作電熱元件的鎳鉻合金的發明以後。所以鎳鉻合金的發明，是奠定電熱工業的基礎。

最早電熱方法，祇是使用於家用器具，如電熨斗，燙髮鉗，餐桌用電熱器等。工業上的應用的發展，比較的慢，一則因為他種燃料價廉，二則電熱的優點尚未為人所了解。所以初期在工業上的應用，不過是小型試驗室用爐，熔膠爐，暖氣器等。自1915至

1920年家庭和工業方面電熱器的應用都急速的進展，而尤以家庭方面爲甚。自1920年到現在新的應用的發展沒有上一時期多，但是在這時間內所有各種電熱器具都曾重行設計而予以改良。

在家用電熱器方面，各種器具都設計得更爲美觀，耐用和堅固，而且大部分都有自動的溫度和時間控制，所以運用不得法，溫度不合和發生火災的可能性都可免除。像電灶，烤麵包器，烙餅器等都有這種自動控制。同時，製造用料也加以改良，例如元件用合金的品質較良好而均勻，氧化鎂或氧化鋯用作熱絕緣質，和不銹鋼及鍍鉻面金屬的使用等。

在工業方面，小型電熱器具，也和家用器具一樣，使用自動控制及改用良好質料。像熔鑪鍋，熔巴比特合金鍋等的容量已予增加；高溫的熔鉛鍋及氟化物鍋也已使用。大型各式烘爐或熱處理爐之需用500至3000仟瓦特電功率者，已很普遍。這種爐的溫度和運用時間都用自動控制，而且有種種設計使爐中裝卸物件不必再用人力。電弧發熱的熔爐也重行設計，予以改良。感應式電爐的使用更爲推廣，而且製造特種合金時幾完全用此法。同時以前視爲不可能的頻率爲每秒60週的交流的使用於感應爐也已實現。

所以就現在講來，大多數的加熱工作都能用電熱來解決，而且使用成績都能滿意而有經濟上的利益。下面幾節裏所舉的各種用途，不過是普通的幾種，在這幾種用途裏電熱的長處是顯然無疑的。

4.4 家用電熱器具 下表示近日家庭中常用的電熱器具：

修飾用器：

燙髮鉗(curling iron)

美髮機(marcel waver)

電熱褥(warming pad)

洗衣用器：

重型電熨斗(sad iron)

熨衣機(mangles)

壓衣機(clothes pressers)

熱水桶(hot tub)

熱水器(hot-water heater)

暖室用器：

浴室用小型暖室電熱器(bath room heater)

中型暖室電熱器輻射式 (radiant type) 及運流式 (convection type)

熱水輻射暖室電熱器(water radiator)

集中式熱空氣或熱水裝置(central system,air or water)

烹飪用器：

電灶(range), 自動或非自動

兩用電灶(combination range)

無火烹煮器(fireless cooker)

桌用電熱器(table stove)

烤麵包器(toaster)

燉茶壺(teapot)

煨咖啡壺(coffee percolator)

烙餅器(waffle iron)

自溫茶壺(samovar)

暖乳暖食器(milk and food warmer)

熱水滅菌器(sterizer)

杯水加熱器(tumbler water heater)

4.5 商業用烹飪器具 下表示旅館或餐館內所用的各種烹飪用器具，都可用電熱。這類器具型式很多，不能遍舉：

電灶(range)

烘麵包用烘爐(bread-baking oven)

烘糕餅用烘爐(pastry oven)

烤肉用烘爐(meat roasting oven)

烹煮臺(cooking top)

灸肉器(broiler)

煮湯用鍋(stock kettle)

油煎用鍋(frying kettle)

烘架(griddle)

烙餅器(waffle baker)

煨咖啡用壺(coffee urns)

烤麵包器(toaster)

煮蛋器(egg cooker)

烘夾心麵包器(sandwich baker)

蒸煮臺(steam table)

熱水爐(water heater)

熱臺(hot tables)

4.6 小型工業用電熱器 這類器具的運用溫度頗低。下表略舉幾種有規定標準型式的電熱器：

熔膠鍋(glue pot)

熔蠟鍋(wax and combination pot)

熔錫鑄鍋(solder pot)

電烙鐵(solder iron)

暖氣爐(air heater)

滅菌器(sterilizer)

液體加熱器(liquid heater)

橡膠加硫器(vulcanizer)

製糖果用電熱器，例如朱古力加暖器(chocolate warmer)，熔糖果鍋(candy kettle)等

試驗室用電爐(laboratory furnace)

另外還有幾種獨立使用的電熱器，如浸入式電熱器(immersion heater)，兩端插管式電熱器(cartridge heater)，鋼殼式電熱器(steel-clad heater)，也都有標準的型式。這種或及其他式樣的電熱器可以裝置於其他機件上，以供上表未述的各種用

途：例如汽車引擎的保暖，鐵道軌鍵的保暖，衣服和布疋的熨壓，牙醫的製牙工作，各種醫學治療工作，糖果飲料的製造等等。這種工作內電熱並不是主要部分，而且在各種機件上電熱器和其自動控制的設計和裝置方法也各各不同，所以沒有標準型式可言。

4.7 大型工業用電熱器 這類器具的運用溫度很高，大概包括下列數種：

烘焙及乾燥用烘爐(baking and drying ovens)例如：

模心烘焙爐(core baking oven)

烘漆爐(japanning oven)

大型熔鍋(melting pots)：例如

巴比特金鍋(babbit pot)

活字金鍋(stereotype pot)

熱處理用熔鉛鍋(lead treating pot)

熔鋁鍋(aluminum melting and holding pot)

熔鹽類及氰化物鍋(salt and cyanide pot)

鋼鐵或他金屬之熱處理爐(heat treating furnace)：分

整批裝卸式(batch type)

連續裝卸式(continuous type)

熔爐(melting furnace)：分

電阻式(Resistance type)

電弧式(arc type)，直接或間接

傳導式(conduction type)

感應式(induction type)低頻或高頻

蒸汽發生鍋及熱水鍋(steam and hot-water boiler)

電化爐(electro-chemical furnace)

上面各種中還可細為分類，而且供特種用途的電爐隨時在增加。所以上表所舉的祇能說是已有標準型式的，其餘沒有標準式的還很多。還有上面講的熱處理爐的分類，並非依照熱處理方法的類別，例如煉治 (annealing)，硬健 (hardening)，碳化 (carburizing)，等因為差不多任何一個熱處理爐內可使行任何一種熱處理方法。這各種熱處理的方法當於下面第九章內細述。

4.8 電熱不適合的用途 若使我們以為任何加熱工作都可使用電熱，那是錯誤的。因為在特種情形下，他種加熱方法可以比電熱良好。所以一個電熱工程師在使用電熱於某種用途之前，必須從經濟方面詳細考慮電熱的可能與否。但是，在幾種大規模而極普遍的用途內(例如動力廠內的發生水蒸汽)電熱是顯而易見的不能適用。在另外幾種用途內，電熱代替他種加熱方法之適合與否還是個問題。在下面表內舉示幾種電熱不適合或成問題的用途，以供參考。

磚窯，石灰窯；

玻璃的熔融，冰的割切，油類的分裂，等

出品比較低劣的製鋼工作（如貝蒞墨法，西門子馬丁法），

大量溶液的蒸發，(如鹽類，硫黃等之製造)，

廠房之普通暖氣工作，
低劣鑄件的煉治，
室外長管的加熱，
普通工業內的發生蒸汽，
各種加熱工作，祇須求廉價的熱量供給，而不必考慮其他因素者。

老式低效率的用燃料的爐而欲改裝電熱器，在經濟上講起來也不合算，因為爐本身構造太劣，使用電熱後也不會怎樣良好。還有特種電熱器具的使用，而實際上只須拿標準器具略為改變也可使用的；和為一個設備而特別設計的電熱器的使用；在經濟觀點上的適合性也成為問題。

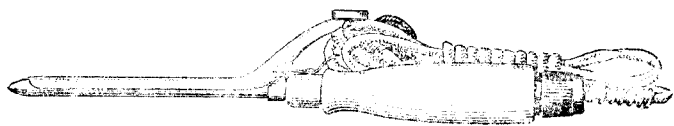
4.9 結論 上面不過略述電熱器各種應用的大概。在下面幾章裏我們就要拿各種用途的電熱器具詳細的敘述。這種器具的型式和用途，當然是隨着設計和用料的改進而日新月異。但是下面所講的都是使用多年，有良好成績，可以視為目今電熱工業內的**最佳代表出品**。

第五章

家用電熱器具

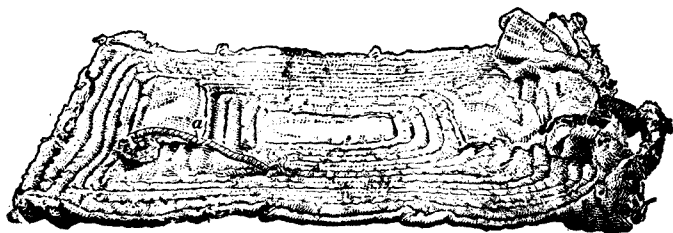
5.1 定義 所謂家用電熱器具，是指一切適用於家庭的電熱器具，不論其大小型式和用途。這類器具和用途相同的工業用電熱器具有所區別，主要的是設計這種器具時外表的美觀也是一個要素，而且對運用者必須有相當安全的保障，所以這類器具大都有溫度和時間的自動控制。

5.2 燙髮鉗，美髮機，電熱襪 燙髮鉗，美髮機，電熱襪，和相類的器具是公認為必須電熱的，事實上像美髮機和電熱襪除了電熱外也沒有其他加熱方法。在電熱襪內常用兩個或以上的恆溫器來控制溫度，以免因遮蔽部分過熱而發生的危險。這種器具



5.1 燙髮鉗

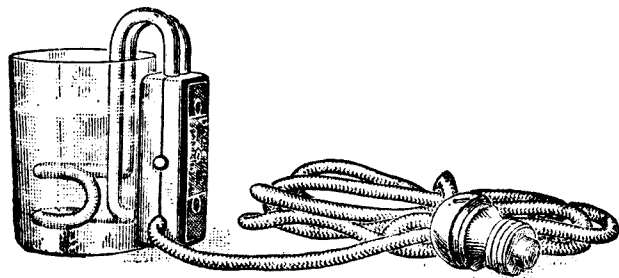
內都用雲母或石棉為熱絕緣質，電熱元件則用小號圓線。裸在外面的金屬部分都鍍銀或鍍鉻，以增美觀而免失澤。最要注意的是絕對避免電流漏洩至地的可能，不然使用者就要受到電震。通至外面的線纜和開關是最易毀壞的部分，要設計適當須有相當的技



5.2 電熱褥

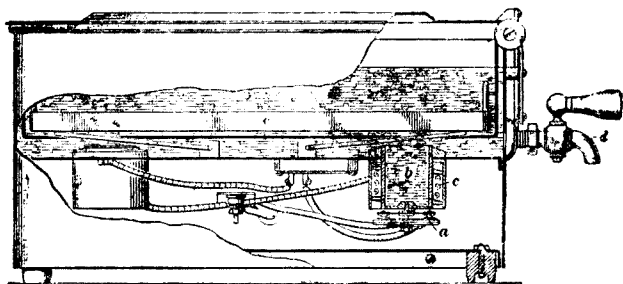
能，圖 5.1 示一燙髮鉗及附屬的電纜。圖 5.2 示一電熱褥，*a* 示其所用的電熱元件形狀。

5.3 杯水加熱器，熱水滅菌器，暖乳器 杯水加熱器，滅菌器，暖乳器和其他病室用器也是公認為除電熱外不能用其他方法的，尤其當用於小兒或病人臥室內。這類器具必須經久耐用，而外觀整潔；而且更要能迅速的加熱和有良好的電絕緣性。關於



5.3 杯水加熱器

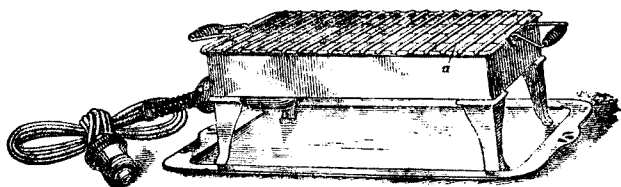
裸露金屬面，線纜和開關的設計條件也和 5.2 節所述的器具相同。圖 5.3 示通常習見的杯水加熱器，圖 5.4 示醫生用大型滅菌器的截面，圖內 *a* 為自動控制溫度用的恆溫器，*b* 為熱水室，*c* 為



5.4 滅菌器

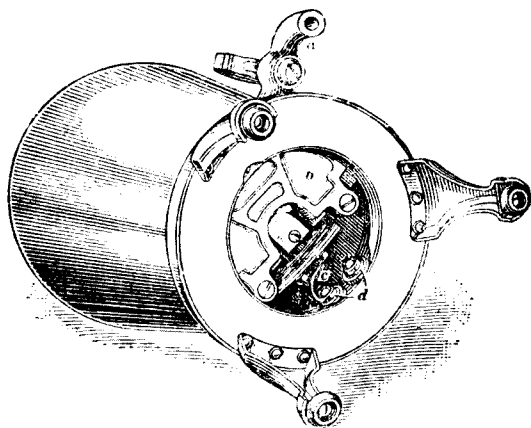
繞於熱水室外的包合式電熱元件，*d* 為出水閥，*e* 為用以提物出水的盤。

5.4 餐桌用電熱器 餐桌用電熱器，如烤麵包器，桌用電熱器，自溫茶壺，烙餅器，燉茶壺，煨咖啡壺等，是使用得最早的電熱器，也是一般人所熟悉的。這種器具置於餐桌上，以便一面進



5.5 小型烘架

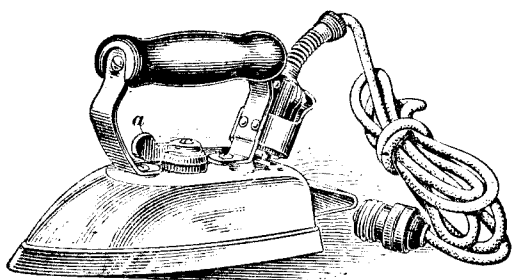
餐，一面烹煮食物。所以這種器具必須外狀美觀，使用簡便，而且需有相當大的瓦特數使加熱得以迅速。這類器具的種類型式很多，有的附有溫度自動控制，有



5.6 電熱機咖啡壺

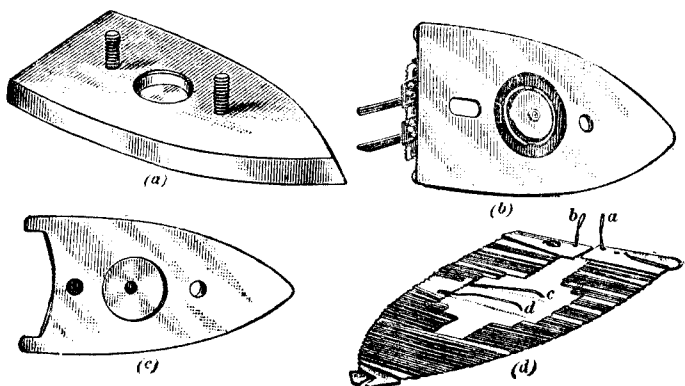
的沒有。也有兼附自動時間控制的。這種自動控制使不論何人運用這種器具時，能得良好結果。開關，電纜和接線端的設計需特別留意，使能耐受劇烈的使用而不易損壞。圖 5.5(a) 示餐桌用的小型烘架和其附屬電纜，所用電熱元件即裝於 *a* 處橫條下。5.5 (b) 示置於烘架上的金屬盤，所欲加熱的食物置於盤內。圖 5.6 示一煨咖啡壺的底部，圖內 *a* 為放出液體的閥，*b* 為在電熱元件底下的夾板，*c* 為控制溫度的恆溫器，*d* 為接線端。

5.5 洗濯用電熱器 洗濯用電熱器，如各式電熨斗，熨衣機，壓衣機也是日用必需的器具。電熨斗的使用已經很久，但直到近年方才有在壽命及運用成績方面可稱滿意的設計。近來的趨向是在用溫度調節和自動的溫度控制，相當大的瓦特數使加熱迅速，鍍鉻的外表，和埋置於氧化鋅或氧化鎂內使能耐受高熱和粗



5.7 自動控制電熨斗

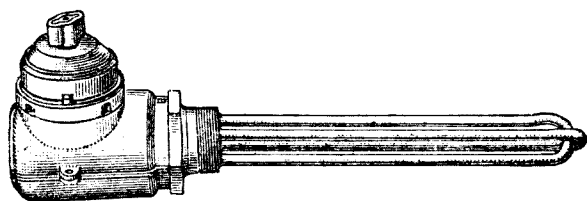
用的電熱元件。電纜，插頭，開關等的設計也大加改進，使歷年來這種部分發生的弊病可以免除。這種自動控制而瓦特數較高的電熨斗比起十數年前的老式而瓦特數較低的電熨斗來，發生火災的危險性減少得多了。熨衣機及壓衣機所用的電熱元件通常是鋼殼式，而用鎢來固於熨板上，有的具自動控制，有的沒有，通常趨向前者，這種熨衣機大型的電功率可達 5 或 6 仟瓦特，通常所用的則係 1300 到 2600 瓦特而有自動控制的。圖 5.7 示一自動控制溫度的電熨斗及附屬電纜，*a* 處的調節開關是用以調節溫



5.8 電熨斗的熨板

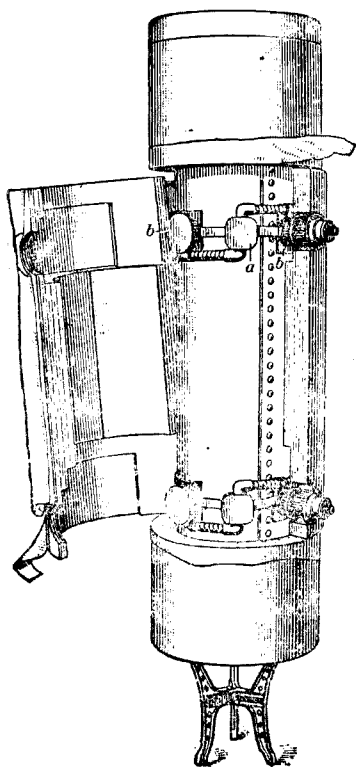
度到高熱，中熱，或低熱三種熱度的。這熨斗內的熨板是由圖 5.8 (a),(b),(c)所示的三部組成。(a)為底板，(b)為電熱元件和控制溫度的恆溫器，這部是用鎢夾夾在底板及 (c)所示的蓋板間的。(d)示用帶狀合金繞於雲母片上的電熱元件，其中 a 及 b 為主接線端，c 及 d 為分接線端，這幾個接線端分接於熱度調節開關上。

5.6 熱水器 新式家庭中，每有自動控制溫度的熱水器，以供加熱於洗濯用水。圖 5.9 示此種熱水器的一種式樣，就是直接



5.9 自動控制熱水器

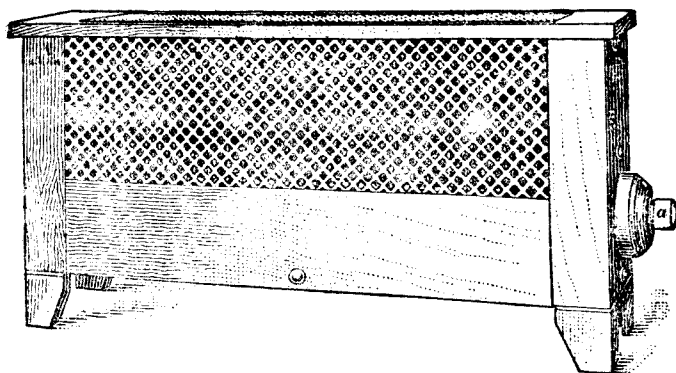
浸於水中的浸入式。這種式樣的熱水器，可以用於普通水箱內，使水流過時受熱；也可用於具有熱絕緣裝置和自動溫度控制的特種水箱內。後者比較新式，往往有塗珐瑯質或鍍鉻的外表面，裝在廚房中電灶的旁邊。還有一種電熱器，可以夾於水箱外面，而不是浸於水內。這一種電熱器也可夾置於洗衣機底部，而使機內的水常保溫熱。除此以外，還有一種熱水箱，是拿電熱元件裝於箱壁內的，如圖 5.10 所示。這種水箱的容量約為 30 加侖，足供普通家庭之用。圖內一部分的箱壁熱絕緣特為略去，使電熱元



5.10 裝有電熱器的熱水箱

件和溫度控制裝置得以顯露。箱壁內有兩個電熱元件，一在底部，一在頂部，圖內 *a* 是恆溫器，*b* 是接線端匣。

5.7 暖室用電熱器 電熱器用於暖室方面的進步，是很慢的。在1890年街車裏面都用電熱器暖室，許多年來這差不多是電熱暖室的唯一應用處所。平常辦公室，工廠和家庭裏的暖室設備都不用電熱，因為電價貴而煤，油，煤氣等燃料價賤。雖然也有小型的輕便電熱器，以供臥室和其他沒有暖室設備的房室內，但是需要較少。這種電熱器都是具有反射裝置的輻射式 (radiation type)。近來有連流式電熱器 (convection type)，以供冬天不甚酷寒的地方的用。輻射式內大部的熱都由輻射，加上反射裝置可以增加輻射；連流式則利用空氣被電熱元件加熱後所發生的連流。圖5.11 示這種連流式電熱器，電熱元件隱藏在金屬柵格板後面，這柵格板也作為保護元件之用。圖內 *a* 是三熱度開關，可以調節熱量，使可得三種不同的溫度。另



5.11 運流式暖室電熱器

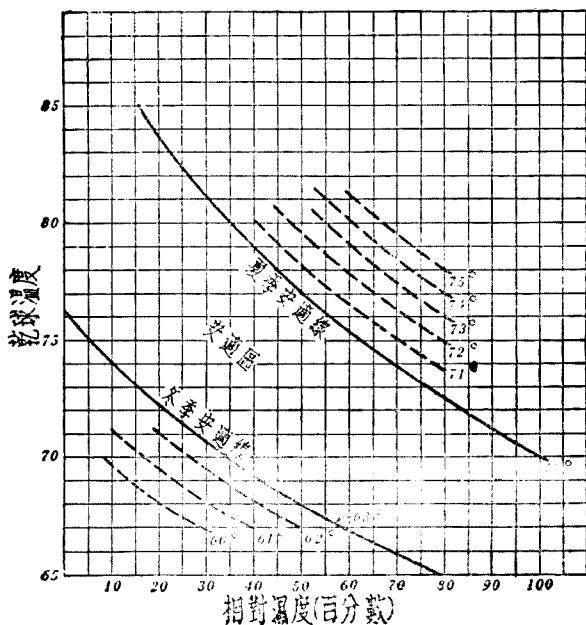
外還有專用於浴室內裝於牆上的輻射式電熱器。這種電熱器的電熱元件也隱藏於美觀的柵格板後面，開關則裝置於柵格板上。

用熱水或蒸汽的輻射式暖室裝置也有用浸入式電熱器加熱的。這種裝置不能稱為純粹電熱暖室裝置，而且除了不用燃料和沒有烟灰之外，也沒有其他優點。

近來利用電熱的集中式暖室設備方始萌芽，將來也許可以盛行。這種電熱暖室設備裝於地下層，而可用以溫暖全所房屋。這種設備有幾種不同的制度。一種制度是在大型水箱中裝置浸入式電熱器，利用夜間不用電燈時的多餘電力使水加熱，另用時鐘控制的開關以開閉電路。所用的水箱或者是熱絕緣的，白天就拿水箱內的熱水週流各室，以供暖室之用。或者水箱非熱絕緣而裝置於熱絕緣室內，白天則拿吹過水箱的熱空氣週流各室。無論用熱水或熱空氣週流，室內都可裝置恆溫器以控制流入熱量。運

種利用夜間多餘電力的制度，對於電力廠方面，頗為經濟合算；所以在有種城市內，夜間電費也比較低廉。另一種制度內則不是用夜間多餘電力，而祇在地下層的熱絕緣箱內，裝置成排的電熱器，吹過這箱的空氣即週流各室內。

這幾種用週流熱空氣的集中式暖室設備，也可兼用來調節室內的濕度。空氣若祇加熱，而不加入水蒸汽，那末室內相對濕度過低，使人覺得不舒適，所以同時必須加入水蒸汽，使濕度適



5.12 溫度與濕度的關係

當。要通入各室的空氣，先應通過水，一方可使空氣清潔，一方也可帶入適當分量的水蒸汽。加入水蒸汽的量可用自動濕度控制來調節。圖 5.12 的曲線圖表示溫度與濕度的關係。圖內橫坐標為相對濕度，縱坐標為乾濕球溫度計的乾球溫度，曲線旁的數值是濕球溫度。從乾球溫度和濕球溫度的數值就可由圖推測相對濕度。溫度和濕度的數值若在兩根安適線間，那末人就感覺舒適。夏季舒適溫度是 $70^{\circ}F$ ，冬季舒適溫度是 $63^{\circ}F$ 。由圖可知溫度愈高，則需要的濕度愈低。

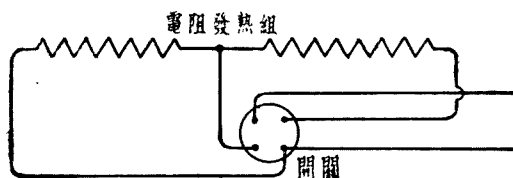
在歐洲某部市政當局往往在各處裝設大規模的熱絕緣井或地下井。這種井內的水在夜間以電加熱，日間則以壓水機拿熱水輸送至各家，按量收費，好像普通城市裏供水一樣。在德國普通房屋內都裝置長方形的大型蓄熱爐，這種爐內滿貯砂或皂石等吸熱物質，於夜間用電加熱至高溫。日間則開放氣門，使空氣流過這種蓄熱物質，以供暖室以用。這種爐以模成陶質厚板砌成，外面上釉，使和熱絕緣質彷彿。

總之，當煤，煤氣，油等價格日貴，而夜間電力價日賤之時，用電暖室，當可以日益發展；因為電熱暖室非但簡易清潔，而且自動控制溫度，時間，濕度等也比較容易。現代房屋牆壁和屋頂內都設有熱絕緣料，所以比舊式房屋易於加熱，所以就是用電熱，費用也不會比其他方法貴。

5.8 電灶 最早用的家用烹煮電熱器，是一種所謂無火烹煮器。這種電熱器，是一個箱，有熱絕緣的外壁，內裝一個功率較小

的電熱元件，可直接於電燈插座上，箱內貯有多量的吸熱物質，如皂石等。通電後這種吸熱物質就熱到高溫，以後就可拿電流啓斷，箱內仍可保持相當時間的高溫，用以烹煮物用。這種無火烹煮器式樣很多，最普通的是可保持蒸汽不洩，所以食物實際上是由蒸汽蒸熟的。但是蒸熟的方法，對於各種食物，並非都是正當的。這種無火烹煮器，在現在仍有製造，大都加以不銹的襯裏和自動溫度控制。

後來對於可以烹煮各種食物的烹飪用電熱器的需要日甚，所以在 1915 年就有現在通常用的電灶出現。這種電灶包含一個烘箱(oven)和幾種電熱熱板(hot plate)，前者用以烘焙，後者



A
全熱度



B
半熱度



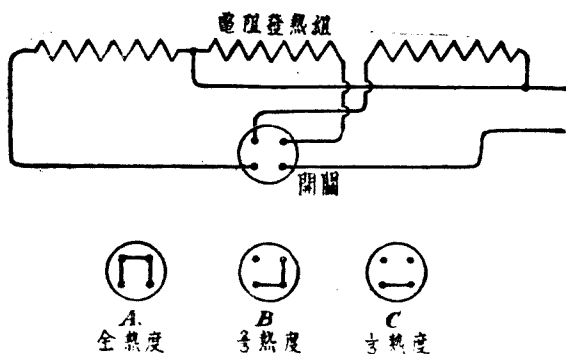
C
半熱度

5.13 三熱度開關連接法

用以烹煮。這種電灶全用金屬製成，但是也有用木製構架，裝以金屬烘箱和熱板。所用電熱元件是鎳鉻合金所製的螺線形鎳

卷，鑲嵌於耐熱瓷板內。每個元件都是兩個或三個鎳卷組成，而用特種開關連成各種的串聯或並聯組合，使可得幾種不同的溫度。圖 5.13 表示一種連接方法，用兩個鎳卷和一個三熱度開關。開關在 A 位時兩鎳卷是並聯，在 B 位時祇用一鎳卷，在 C

位時兩錄卷串聯。在這 A, B, C 三個位置時功率的比是 $4:2:1$ ，所以熱量的比也是 $4:2:1$ ，那就是 A 為全熱位置， B 為 $\frac{1}{2}$ 熱位置， C 為 $\frac{1}{4}$ 熱位置。圖 5.14 示另一種連接方法，用三個錄卷。開關在 A 位時，三錄卷並聯，在 B 位，兩錄卷並聯而另一錄卷不用，在 C 位時祇用一錄卷。功率的比是 $3:2:1$ ，所以 A 是全熱位置， B 是 $\frac{2}{3}$ 熱位置， C 是 $\frac{1}{3}$ 熱位置。

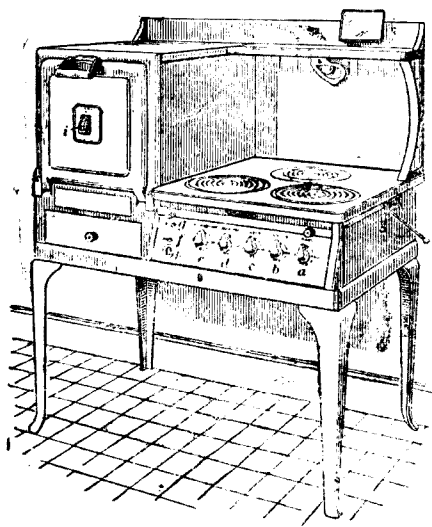


5.14 三熱度開關連接法

電灶的烘箱內，都有自動時間和溫度控制，這種控制有兩種制度。一種制度內用時鐘的控制使在預定時間自動連通電路，使烘箱內部加熱。等到溫度到達一預定值後，烘箱內的恆溫器就自動掣動一個小斷路器 (circuit-breaker)，啓斷電流。烘箱溫度逐漸下降，但在幾小時內仍可保持相當熱度，使食物可以繼續烘焙，從烘焙食物的觀點，這個制度是較好的辦法，因為食物不致於烘焙過甚。另一種制度也是用時鐘與恆溫器，但是等到斷流以

後，箱中溫度下降時，恆溫器又可自動連通電流，使箱內溫度可以無限期的維持在一個指定溫度上下，一直等到運用者啓斷電流爲止。就溫度的控制而論，固然比較準確，但是若是運用者忘記啓斷電流，食物就要烘焦。

新式的這種電灶的外狀，如圖 5.15 所示，左邊是一個烘箱，



5.15 電灶外形

右邊是三個電熱熱板。圖內 *a, b, c* 是控制熱板下元件的三熱度開關，*d* 和 *e* 則是控制烘箱內兩個元件的三熱度開關，所示位置都是斷路位置，每個開關另有三個位置，指示高熱，中熱和低熱。*f* 是一個總開關，用以通斷全部電流。*g* 是一個開關，用以啓斷烘箱內的斷路器。這個斷路器是和烘箱內元件串聯，以便到達指定溫度時將恆溫器可以掣動斷路器而啓斷電流。*h* 是一個領示電燈，用以指示電路是通的或是斷的。*i* 爲指示和控制溫度的恆溫器，其溫度程是 $100^{\circ}F$ 到 $600^{\circ}F$ 。

關於電灶各部分的詳細設計，因製造廠家和年代而不同，但其構造和運用的大要沒有顯著的分別。熱板下的電熱元件都是

用高等的鎳鉻合金繞成螺線卷，有敞露式和包合式兩種。前者鎳卷嵌於電器用瓷板的槽內，如圖5.16所示。圖內

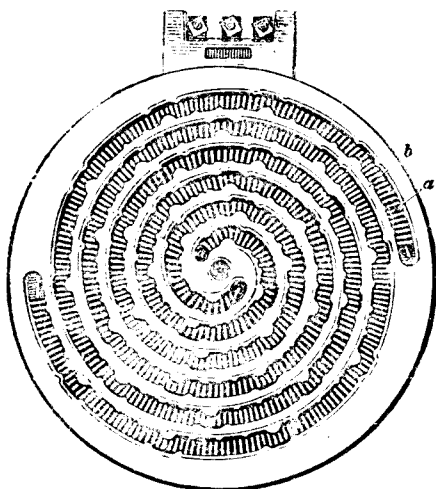
a 是鎳鉻合金鎳卷，*b* 是瓷板。

包合式原件也用和敞露式相同的鎳卷，

不過是埋置於熱絕緣質氧化鎂內。圖 5.17 示這種元件的截面，*a* 為鎳卷，*b* 為熱絕緣質氧化鎂，*c* 為石棉板，*d* 為夾板，*e* 為熱板的頂部。電

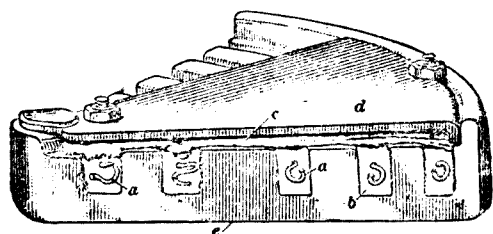
熱元件也有用鋼製盤香管，直接作為熱板之用，管內則埋置鎳卷。這種實為包合式，不過所用金屬分量較少，所以加熱也比較迅速。電熱熱板往往須熱至紅熱，可以接線端必須設計得能耐受

這種高溫。這種熱板也須構造堅固，而可以除下，以便修理或加以潔淨。普通的尺寸是 8 吋直徑，配以 1000 瓦特，1500 瓦特或 2250 瓦特的元件，也有 6 吋或 10 吋直徑的。熱板下置有盤，



5.16 電灶用敞露式元件

這種高溫。這種熱板也須構造堅固，而可以除下，以便修理或加以潔淨。普通的尺寸是 8 吋直徑，配以 1000 瓦特，1500 瓦特或 2250 瓦特的元件，也有 6 吋或 10 吋直徑的。熱板下置有盤，



5.17 電灶用包合式元件截面

或 2250 瓦特的元件，也有 6 吋或 10 吋直徑的。熱板下置有盤，

這種高溫。這種熱板也須構造堅固，而可以除下，以便修理或加以潔淨。普通的尺寸是 8 吋直徑，配以 1000 瓦特，1500 瓦特

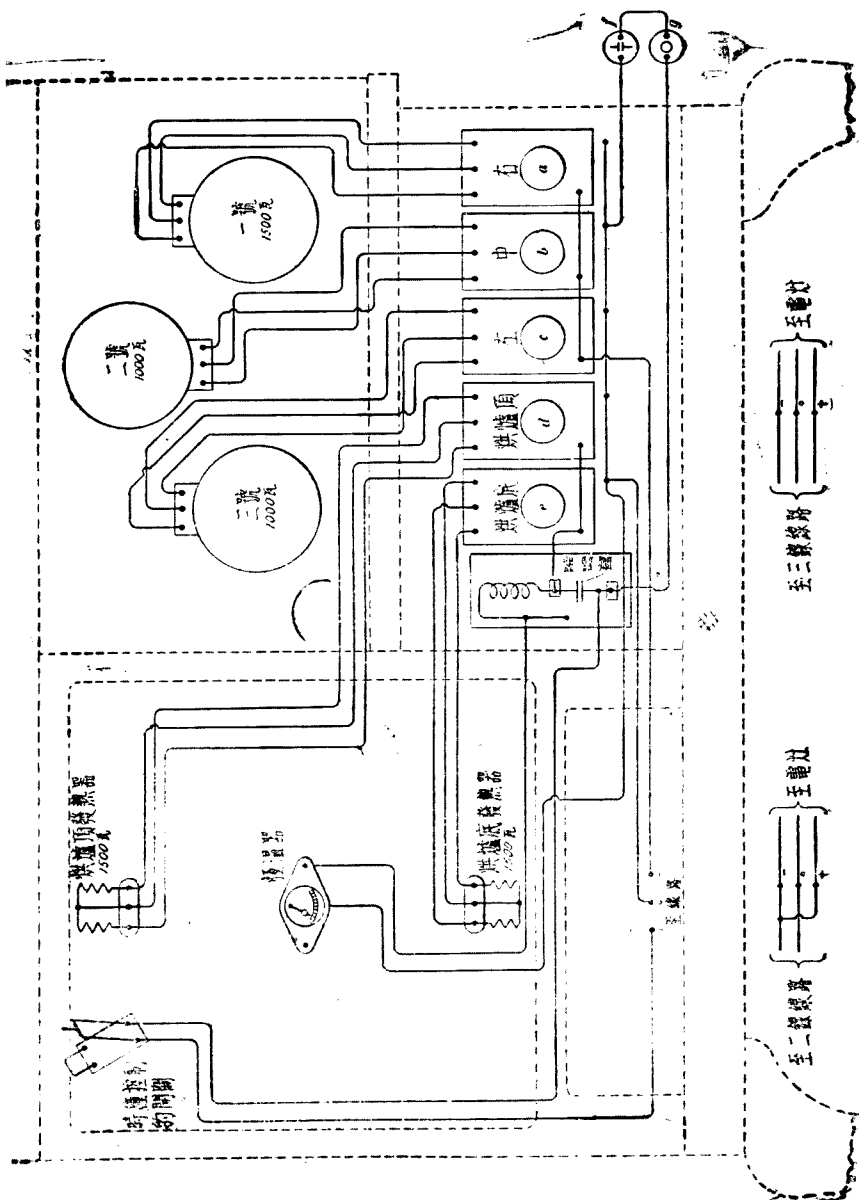
用以承受濺出的食物碎屑，這種盤也可以拆下加以清潔。

電灶上烘箱都有良好熱絕緣質如礦棉等的箱壁。在頂部和底部各裝一個元件，每個元件可調節到三種溫度。箱內並有時鐘控制的開關和恆溫器控制的斷路器。用時鐘控制可以在指定時間自動連通和啓斷電路。用恆溫器控制可以在加熱時期內維持溫度於指定數值。烘箱頂部設有汽門以便內部的蒸汽或其他氣體洩出。箱壁的襯層需用防銹物質，通常用珉質或不銹鋼。箱內電熱元件可用敞露式或包合式，以前者為較普通。箱內裝有隔熱板，可以移動，調節箱內的溫度配佈，使適合各種烘焙工作之用。箱門及門框用銑鐵製成，以防加熱後的翹曲，而且比較堅固而緊密。其他部分則用鋼片壓成。

通常電灶需用的總功率是 4000 到 8000 瓦特，所以需用特種配電線路。所用線路大都是三線制，可適用於 110 伏特或 220 伏特的電壓。這線路通常接於另一瓦特小時計，與電燈線路分開，因為普通電力廠對於電灶用電力都有一種特價，使用電灶時的費用與用煤氣灶的不相上下，有種地方也許更廉。

圖 5.18 示電灶內的線路。*a, b, c* 是控制一號，二號，三號熱板的三個三熱度開關。*d, e* 是控制烘箱內頂部和底部元件的兩個三熱度開關。其館的機件都如圖 5.15 內所述。*g* 是通斷全部電流的總開關。*f* 是一個插座，以便有時可以拿別種用電器具，如真空除塵器等，接於電灶路線上。

另有一種家用電灶，稱為兩用電灶。這種電灶具有煤氣加



5.18 電灶線路

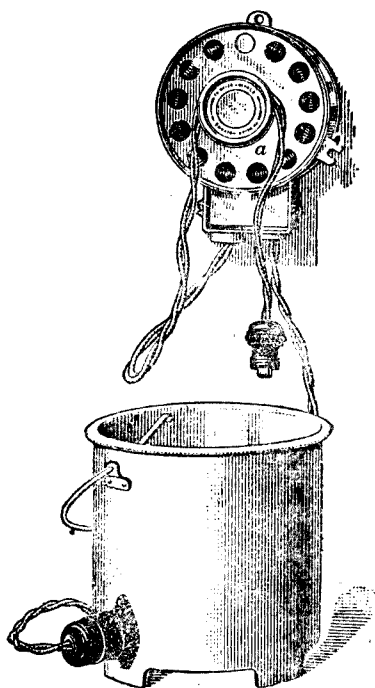
熱的熱板和自動控制的電熱烘箱，或則是一個完全用電的灶，而另有燒柴或油的部分。後面一種型式是用於很寒冷而有供電設備的鄉村中。燒柴或油的部分往往用以暖室或熱水，而烹飪的工作則全部用電。

第六章

小型工業用電熱器

6.1 定義 所謂小型工業用電熱器，是一般工業上用電熱的小型器具。這種電熱器有好幾百種，但是大都是特殊的型式，或是各種標準型式電熱器的特殊用途。所以下面祇拿幾種標準或半標準型式來講。

6.2 熔膠鍋，熔蠟鍋等 這種熔膠鍋，和熔他種相似物質的鍋可分乾式和濕式兩類。乾式為一通常銅製的容器，外有包殼，容器底部或側壁裝有電熱元件，另附開關，自動控制或變阻器以調節電流和溫度。運用溫度大約為 $120^{\circ}F$ ($49^{\circ}C$) 到 $300^{\circ}F$ ($149^{\circ}C$)，依欲加熱的物質而定。圖 6.1 示一乾式熔膠鍋， α 為分別裝置的變阻器。濕式則在容器和包殼間，另隔有



6.1 乾式熔膠鍋

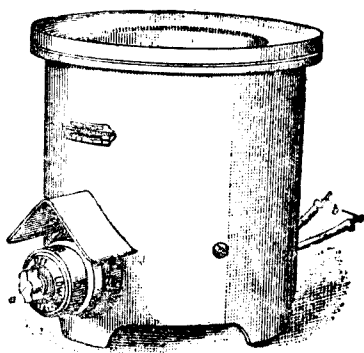
一層水。電熱元件加熱於這隔水層，而間接加熱於容器中的物質，使容器中溫度比較均勻而穩定。濕式比較難於加熱，所耗功率也較大，但是運用方面却有幾個優點，溫度的均勻而穩定即是其一。乾式和濕式所用的元件都用小號鎳或帶繞於雲母卷胎上，而夾於鋼板中間；但是也有用氧化鋅或氧化鎂等電絕緣質包含的元件，像上章所述電灶用元件一樣。

6.3 糖果工業用電熱器 糖果工業所用的電熱器大都有特殊型式，但是像煖糖果鍋，浸酪鍋，朱古力加暖鍋也有一種規定的標準式樣。朱古力加暖鍋包含半球形的外容器和內容器，外容器置於桌上圓孔中。內容器內置待熔物質，兩容器間則隔水或空氣層以求溫度之均勻穩定。所用元件也以鎳或帶繞於雲母，石棉布或石棉紙等卷胎上，因其運用溫度不甚高。這種鍋可使內容物質保持 $100^{\circ}F$ ($38^{\circ}C$) 或 $110^{\circ}F$ ($43^{\circ}C$) 之溫度。調節溫度用三熱度開關或變阻器。

6.4 橡膠加硫器 車輛（俗名車胎）或其他橡膠製品加硫器的式樣極多，通常都以鐵或鉻鑄成適當形狀，其中則夾有繞於雲母上之元件，元件須適當配列，以求溫度之均勻。這種器具必需用恆溫器自動控制，因為處理橡膠時溫度變遷的影響很大，溫度稍為不當，橡膠就很易毀壞。

6.5 小型鐸蠟鍋，巴比德合金鍋，銲接用電烙鐵等 小型鐸蠟鍋和巴比德合金鍋如圖 6.2 所示。這種器具對於無鎳電收音機，電話和他種小電器製造或修理工作極為適用，因為每個工人

可使用一具，就放在工作桌上。這種鍋的容量自 5 到 30 磅，元件用插頭接於電燈線路。有時也用自動溫度控制；但以三熱度開關為較普通；因為自動控制的製造費，也許是鍋本身製造費的數倍，而且這種鍋終日放在工人面前，常在工人之注意下。圖中 *a* 示三熱度開關，*b* 示元件的接線端。



6.2 烙銲鐵鍋

銲接用電烙鐵之製造業已有年。這種烙鐵都是用銅為卷胎心，外包雲母，再繞元件線卷。電烙鐵的最大弊病是：為求大宗銲接工作可以迅速做成，功率必須相當的高；但是在停用時節，烙鐵往往因過熱而不能耐久用。同時連接所用的線纜，引入線，或接線端也極易損壞。但是因為電烙鐵的使用便利很為顯著，所以普通工廠也願於負擔較大的修理費用。

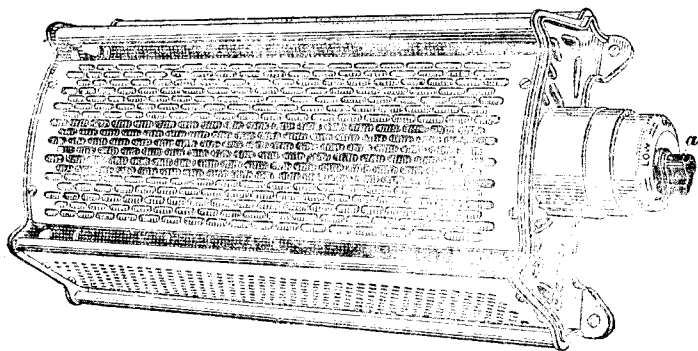
6.6 滅菌器與液體加熱器 醫生或醫院用的滅菌器和熱水器銷路也很廣大。這種器具使用便利，裝費低廉，不生烟燄，可



6.3 鋼殼式電熱器

以自動控制，而不易發生火災。這種器具的形式和圖 5.3 和圖 5.9 所示家庭用式相似，不過容量較大而已。桌用小型滅菌器的電熱元件大都裝於容器底部，而用恆溫器來控制。功率大都很大，以求加熱迅速，而免醫生等待之勞。圖 5.9 所示的浸入式電熱器也可通用於加熱液體，如油類及各種溶液等。所應注意者是液體必需與電熱器外包金屬管無化學反應，以致發生侵蝕，例如電鍍池的酸性液體和浸洗金屬的酸性溶液中就不能用浸入式電熱器。

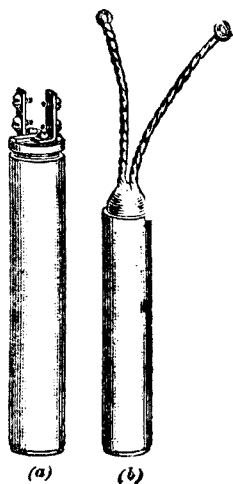
6.7 獨立使用的電熱器 有幾種獨立使用的電熱器，可以適用於種種的不同用途。一種比較通用的式樣是所謂鋼殼式，或叫插空式，或叫狹條式，如圖 6.3 所示。電熱元件夾於兩片鋼片間，通常 $1\frac{1}{2}$ 吋闊， $\frac{1}{4}$ 吋厚，長度不等，而以 24 吋為最多。元件或係雲母片上繞的鎳或帶，而以雲母與鋼片隔離；或係埋置於氧化鋯或氧化鎂中的鎳卷或帶卷。後者可以長時期熱至暗紅色而不損壞。功率大概為 500 瓦特，也有他種瓦特數的額定值。這種電熱器應



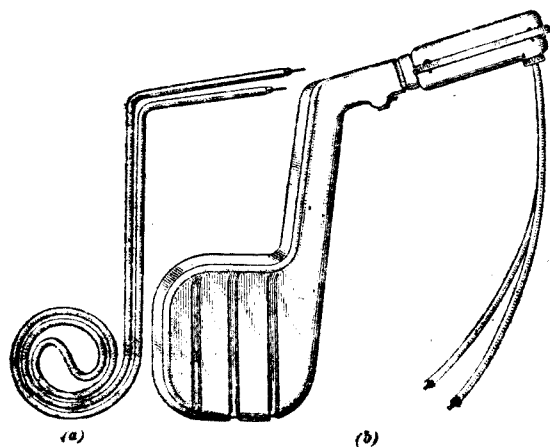
6.4 暖氣電熱器

用處所極多，主要的是暖氣。圖 6.4 就是用這種電熱器裝成的一個工業用暖氣器。溫度可用三熱度開關 *a* 調節至高熱，中熱或低熱。熨燙機，壓平機，模壓機，模心乾燥器，電熱烹飪器等也可裝置這種電熱器。

另有一種很為適用的型式是所謂兩端插管式，如圖 6.5 所示，*a* 為連包管的形狀，*b* 為包管除去後的形狀。電熱原件是繞於一個圓形卷胎的錄卷，而以剛鋁或氧化鎂與外面包管隔離。這種電熱器適合於插入所熱機件或器具的圓孔內。小型熔膠鍋，熔



6.5 兩端插入式電熱器

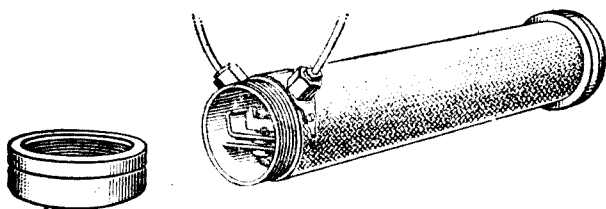


6.6 浸入式電熱器

錫蠟鍋等最宜於用這種電熱器。通常包管用黃銅製，運用溫度不可超過 $600^{\circ}F$ ($316^{\circ}C$)。若運用溫度較高，須用他種金屬為包管。

除圖 5.9

所示的浸入式電熱器外另有一種像圖 6.6 所示的。電熱元件係管狀，埋置於如圖 a 的鋼管內氧化鎂電絕緣中，然後再鑄在如圖 b 的鐵塊內。這種電熱器可直接浸於熔鉛鍋，活字金鍋，熔鋅鍋和熔鋁鍋內。功率可分 5 仟瓦特，10 仟瓦特和 15 仟瓦特三種。這種電熱器的優點是浸於鉛鍋或活字金鍋內後不受絲毫變化。大報館熔融活字金都用這種電熱器。



6.7 包管式元件

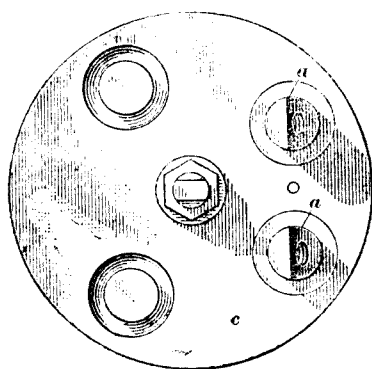
另有一種包管式的電熱器可置於鐵路轉轍器底下，使該器免於冰凍，即在冰雪之下也能運用靈活。圖 6.7 示這種電熱器形狀，包管一端的管器已除去，以顯露內部的電熱元件。在美國北部地區這種電熱器應用很廣，可以節省不少費用，而且免除因轉轍不當而發生的事變。這種電熱器功率為 1250 瓦特，電壓為 55 伏特。12 只串聯，可接於 600 伏特線路上，所以這種電熱器的電絕緣必需能耐受 600 伏特的電壓，而且包管需絕不漏水，因為這種電熱器常須浸於冰雪內。電熱器的這種應用是不能用其他方法代替的。

用以保暖汽車引擎，使在冬天也能開動的電熱器的種類很

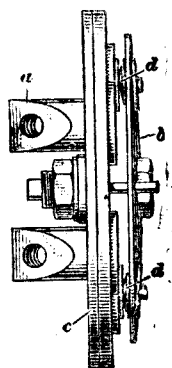
多。底下講的兩種方法都很適用。一種方法用接於電燈線路的一個小暖氣器置於汽車頭下，當車停於車房時接通電流，使引擎及輻射器可以保暖。另一個方法在化汽器旁和其他部分裝置電熱器，開車前由蓄電池通電數分鐘，等到引擎開動後，電熱器電流即自動截斷。

6.8 用恆溫器的自動溫度控制 上面已經講過，小型電熱器製造方面的一個重要改進，是使用可靠的自動溫度控制。自動溫度控制通常都是用恆溫器。恆溫器的要件是兩片線脹係數不同的金屬，鍛接在一起，就是所謂雙金屬(bimetal)。這種金屬片加熱時，就向線

脹係數較小的金屬方面彎曲。這種金屬片用於自動溫度控制已經多年，但是因為動作很慢，常常有接觸處發生電弧因而引



(a)

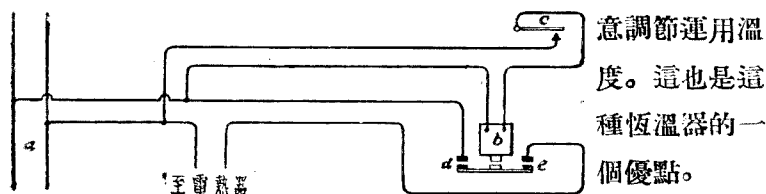


(b)

6.8 斯賓塞恆溫器

起燃燒的弊病，所以這種自動控制方法不能普遍使用。等到斯賓塞恆溫器(Spencer thermostat)發明以後，方纔可以避免這種弊病。

斯賓塞恆溫器的形狀如圖 6.8 (a)及(b)所示。這種恆溫器所用雙金屬片是圓形，式樣設計得可以有迅速的啓斷電流的動作，而且可以經久耐用。圓片用兩種金屬製成，具有凹如蕈狀的截面。圓片中心固定於一根螺桿，外緣則和兩個接觸端相觸而可以展動。圖內 a 是接線端， b 是雙金屬圓片， c 是底板， d 是接觸端。平時圓片凹面向下，和接觸端相觸，並加以很大的壓力。加熱時，圓片就逐漸向上平展，至溫度升到預定的運用溫度時，圓片突然向上彎曲，使接觸處很迅速地分開。同樣，若溫度略低數度，圓片又突然向下彎曲，使接觸處也迅速地觸合。這種迅速的開合動作，使這恆溫器可以普用於各種家庭用或工業用的電熱器上。電熨斗，煨咖啡壺，烙餅器，熱水器，熔膠鍋和熔鋸鐵鍋，暖氣爐，加硫器，滅菌器和其他相類電熱器上都裝置這種恆溫器。用各種不同的金屬組合，可以得到不同的運用溫度，而且每一種圓片，也可因安放位置的高低而可以得到不同的運用溫度。現在所用的這種恆溫器內圓片位置，可以由旋轉螺桿來變更，以便可以隨



6.9 單點控制線路

圖 6.9 示

使用這種自動控制的一種簡單線路，即所謂單點控制 (single point control)。 a 為供電路線， b 為一個用直流的電磁鐵， c 為

恆溫器內的圓片，用以接通或斷絕 b 內電流。圓片向下時， b 就磁化，因之接觸點 d 和 e 處觸合，使電流通至電熱器。圓片向上，則 d 和 e 處分開，而電熱器內斷流。這種線路適用於小量電流及小型恆溫器。若控制較大電流，則需用雙點式控制 (two point control)，其線路較為繁複。同時在這種線路，恆溫器並不斷絕電熱器內電流，而是隨溫度的上升和下降，使電流通至低熱或高熱的電熱元件。在需連續加熱的電熱器內，這種控制比單點式要好得多。

6.9 接觸溫度計 暖氣器常用接觸溫度計 (contact-making thermometer)。這是一個用汞的溫度計，內有高溫和低溫兩個接觸端。汞柱與這兩接觸端相觸時，就感動靈敏的替續器，再因之接通或斷絕電熱器內電流。還有用布爾董管式 (Bourdon tube type) 接觸溫度計來控制電流的，這種布爾董式溫度計的形狀和原理在下面第九章裏要講到。

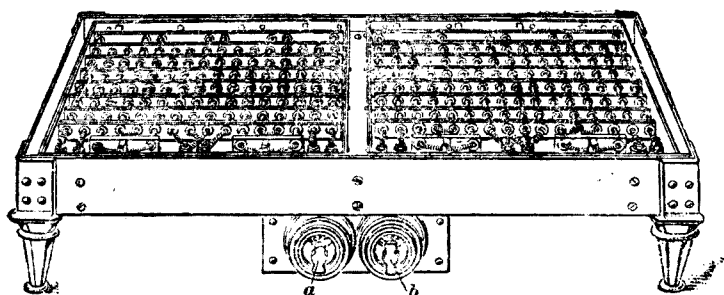
第七章

商業用烹飪器

7.1 總論 新式旅館餐館往往喜用電熱烹飪器具，因為這種方法非但清潔衛生，經濟安全，形狀也很整潔，而沒有烟焰和雜聲。這種旅館或餐館用的烹飪器具，設計和家用烹飪器具不同，因為其容量和速度都比較的大。最顯著的不同點，是粗重的構造和堅強的外狀。所用構架，爐門等都以鋼製造，堅固異常。電熱元件也須保護完好，且功率必需很大，以求加熱迅速。所有各種烘爐必須完全自動控制，以保安全，而有良好的運用特性。

7.2 餐館用電灶 新式旅館用電灶的構造和家用電灶相似，不過比較鉅大而粗重。電灶的尺寸有多種。標準的大型有4呎長，上面有5仟瓦特功率的電熱熱板兩個，和4仟瓦特的兩個。這種熱板的尺寸是12吋闊，18吋長，以實心銑鐵製成，底面槽內嵌有電熱元件，埋置於氧化鎂熱絕緣中，底下並有一層熱絕緣，使熱完全向上。在全熱時這種熱板往往達於紅熱。烘箱也很鉅大，頂部與底部都裝置電熱元件，每個元件功率為3仟瓦特。溫度都用三熱度開關調節，烘箱則具有自動溫度控制。

7.3 烹煮臺 上述標準型電灶若沒有烘箱，就稱為烹煮臺 (cooking top)，在烘箱的地位置有安放碗碟等的架。這種烹煮

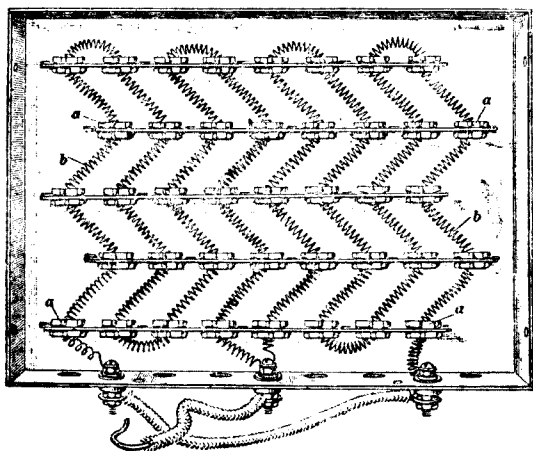


7.1 烘架

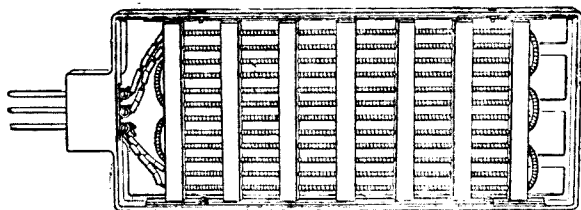
臺祇用於烹煮工作，烘烤工作則用單獨的烘爐。圖 7.1 所示的烘架 (griddle) 裝有短腳，可以置於桌上，也可視為烹煮臺的一種。這種烘架用以煎炒，炙烤，烙餅等。*a* 和 *b* 為用以調節溫度的三熱度開關。圖 7.2 為這種烘架所用的電熱元件，*a* 是作為元件支架的電絕緣，*b* 是元件。

7.4 炙肉器

肉類的炙烤，現在很為風行，所以也有幾種特製的炙肉用電熱器。這種炙肉器的尺寸大小不等，所用電熱元件為敞露式，置



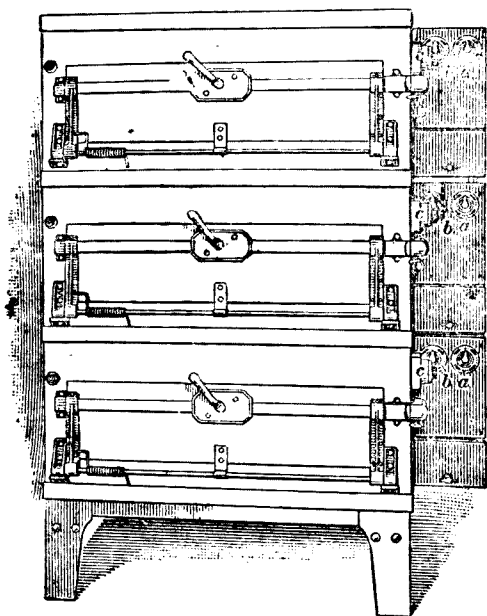
7.2 烘架用電熱元件



7.3 炙肉器

於肉類上方，使熱向下輻射。這種器具上方可另置箱櫃，使碗碟和菜蔬可以保暖。圖 7.3 即是一種炙肉器的形狀。

7.5 烘麵包用烘爐 專供製麵包的電熱烘爐，分做三種：(a)



7.4 小型桌用分層式烘麵包爐

小型桌用分層式，(b) 中型落地分層式，(c) 大型連續運輸式。三式中，以小型桌用分層式為最普通。圖 7.4 所示就是這種式樣的一種，分為三層，每層可烘麵包 40 只。每層頂部和底部都裝有電熱元件，各用三熱度開關調節熱度。每層各有自動溫度控制，爐門也各層分開，所以各層可以疊列，像

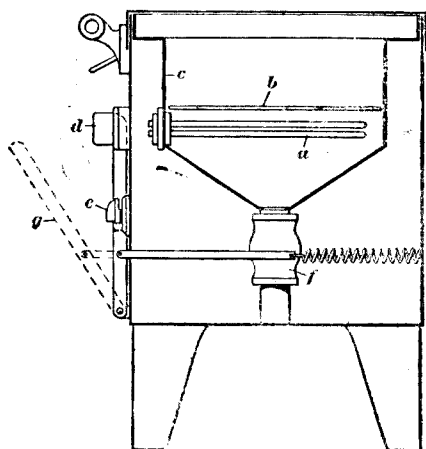
書櫥一樣。通常最多用三層，每層的容量則為 10 只麵包，20 只，40 只，60 只或 100 只。在每層容 40 只麵包以上的爐內，設有電燈，於爐門開啓後發光，以便檢視，爐門關閉後即自動熄滅。各層的爐床用特製耐火泥磚砌於鐵框內，磚面需磨光，以便烘硬麵包時，麵包可直接置於爐床上而不必另外用盤。所用電熱元件均勻排列於爐頂部及底部，所以爐中溫度很勻，爐內麵包可不必移動，而於同時烘好。各元件分別設有三熱度開關，而且在任一熱度時都可以用自動溫度控制。圖 7.4 中 *a* 及 *b* 是三熱度開關，*c* 是自動溫度控制器。各層關有汽門，用以排洩爐中蒸汽，可以遮板調節。爐內溫度約自 $250^{\circ}F$ ($121C^{\circ}$) 到 $500^{\circ}F$ ($260C^{\circ}$)，所以爐壁內須用幾吋厚的礦棉作熱絕緣。內壁須用不銹金屬製成，因為非但麵包在烘焙時要發生蒸汽，而在製造法國式軟麵包時還須通入蒸汽。同樣，內壁須絕不漏水或汽，以免熱絕緣受潮。外壁則為鋼片，塗有灰色珐瑯質，治光蒙銅，阿列蓋尼金 (Allegbeny metal)，或白色琉態珐瑯，以保整潔而增美觀。

中型落地分層式烘爐具有一層或二層，每層容量為 190 至 450 只麵包。構架用鋼，內裝金屬內壁，周圍砌以 10 吋或 20 吋厚之熱絕緣牆。爐外面塗白色琉態珐瑯或砌白瓷磚。麵包另置於盤中，每四、五或六盤另以鋼帶縛在一起，以便搬運。加入或卸出麵包時用長柄木鏟。

大型連續運輸式烘爐為隧道形，頂部及底部裝設電熱元件。麵包則置於連續帶形移動爐床，在隧道中徐徐前進。這種烘爐每

小時可烘麵包 2000 至 10000 只，適合大麵包廠之用。爐用鋼質構架，外砌磚牆。運輸帶用特種鐵製。爐內電熱元件分區設置，每區溫度可分別調節，使爐內溫度有適當的配佈。每區各有自動溫度控制，其運輸溫度可任意調整。有時溫度的增加率有規定速度，所以運輸帶的速率也需和溫度配佈狀況配合。在美國和坎拿大這種烘爐用得很多。

7.6 烘糕餅用烘爐 烘糕餅用烘爐的構造和上面所述小型分層式麵包爐差不多。這種爐可用以烘各種大酥餅，糕餅等。有時，烘某種糕餅時需用特種瓦特數的電熱器，或和標準式樣略異的構造，但一般的講，同一烘爐可供烘麵包和糕餅之用。中型和



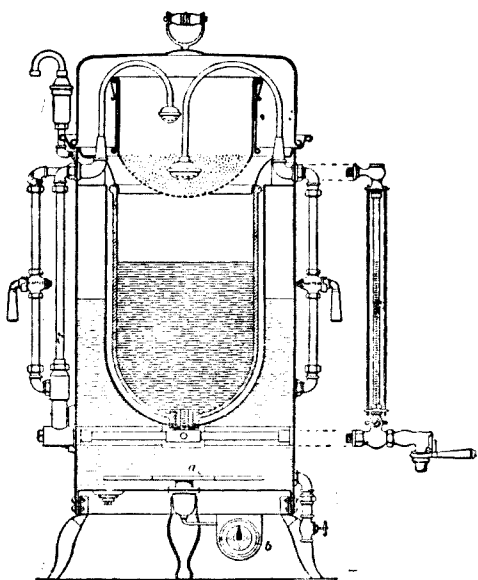
7.5 油煎用鍋

大型的麵包爐通常不適於烘糕餅。

7.7 烤肉用烘爐 烤肉用烘爐也和小型烘麵包爐和烘糕餅爐相同，但內部較高，門也較高，以備烘烤大件之用。這種烘爐，在需同時烘烤大量肉類時，很為適用。

7.8 滷煎用鍋 電熱的油煎用鍋是用以煎炒馬鈴薯，蘋果，油煎餅和各種肉類。這種鍋是一種以金屬板鍛接成

的一種容器，下裝有腳，使和桌同高。鍋的一面，裝有刺插式 (bayonet type) 電熱器兩只，浸入油內。兩個電熱器都具有三熱度開關和自動溫度控制。電熱器外裝有保護柵，另有裝煎件的鍍鋅鍍製的籃。油鍋底部有可以迅速開啓的油閥，以便放油和清淨。圖7.5 爲這種

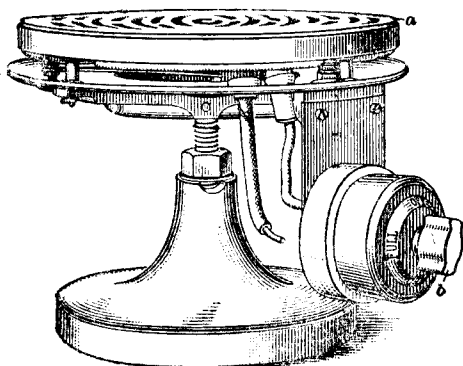


7.6 電熱煨咖啡用壺

鍋的截面，*a* 爲電熱器，*b* 爲保護柵，*c* 爲油鍋，*d* 爲恆溫器，*e* 爲三熱度開關，*f* 爲油閥，*g* 爲控制油閥的桿。

7.9 煮湯用鍋 電熱的煮湯鍋是半球形的容器，以供烹煮湯類之用。鍋內電熱器的裝置和上面所述的油煎用鍋相仿，下面也裝有腳。

7.10 煨咖啡用壺 通常煨咖啡壺分爲三部，底下一部放水，上面一部放乾咖啡。熱水由下部通入上部，經過咖啡後成爲咖啡液，再漏到中部。電熱的咖啡壺的形狀如圖 7.6 所示，構造和用煤氣的咖啡壺相同，不過多裝置一個電熱器。圖中 *a* 是電熱器，

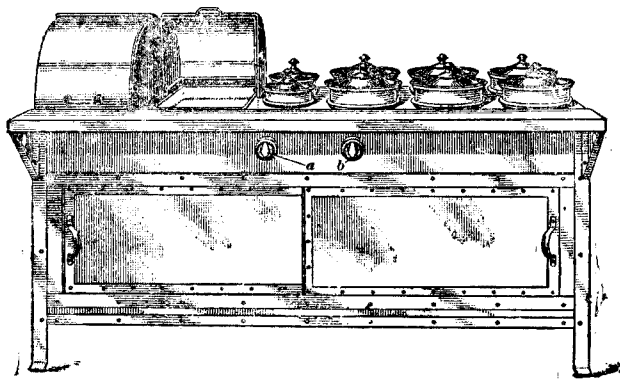


7.7 根咖啡壺用電熱器

b 是控制用的開關。電熱器為浸入式，置於容水器的底部，用三熱度開關來控制。壺內各部的功用很容易在圖中看出，不必細講。小餐館用的咖啡壺構造比這種簡單。用煤氣的咖啡壺，

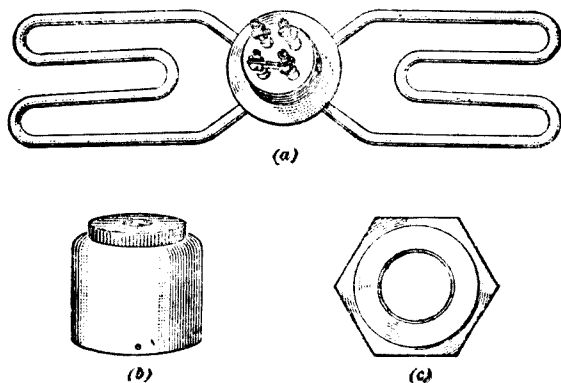
若另用一個像圖 7.7 的電熱器，也可用電發熱，圖中 *a* 為電熱元件，*b* 為三熱度開關。

7.11 蒸 煮 臺 這種蒸煮臺是一個桌狀的熱水箱，緊密不洩水。箱面有下凹處，以備放置菜碟，或其他烹就菜肴湯類，熱水經



7.8 蒸 煮 臺

流其下，可免冷卻。所用電熱器或為鋼殼式，裝置於熱水箱底下，或為浸入式，浸於熱水中。圖 7.8 示這種蒸餾臺的形狀，*a* 和 *b* 為調節熱度的三熱度開關。圖 7.9 示浸入式電熱器的一種，(a) 為除去蓋帽的電熱器，(b) 為蓋帽，(c) 為蓋帽下的襯環。



7.9 浸入式電熱器

7.12 烤麵包器，烙餅器等 餐館用的小型電熱器如烤麵包器，烙餅器，烤夾心麵包器，煮蛋器等形狀和家用的相似，不過比較功率高而堅固，因為這種器具需烘煮迅速而能耐粗忽的使用。這種電熱器大都具有自動的溫度和時間控制。

第八章

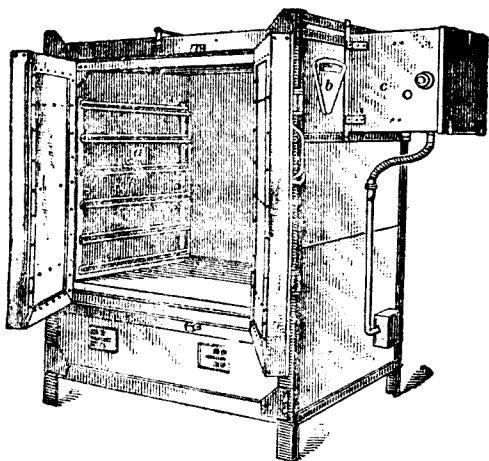
大型工業用電熱器

8.1 總論 大工業用的電熱器，計分烘焙漆件或琺瑯等用的烘爐，鋼鐵等金屬熱處理用的熱處理爐，用以熔融各種金屬的電阻式，電弧式及感應式各種熔爐，蒸汽發生鍋及熱水鍋等。本章裏所述的，是各式烘爐，用電阻元件的熔鍋，和熱水鍋，這種器具裏的電熱元件與上面幾章裏所講的相仿。鋼鐵熱處理的原理，和各種熱處理爐的詳情，因為所佔篇幅較多，所以在第九章裏專論。電弧式和感應式熔爐，因為發熱原理和其他電熱器不同，另在第十章裏專論。

工業上用的烘爐是一個熱絕緣的箱形或其他形式的爐，以電熱元件發熱，以供烘焙漆件，琺瑯件，模心等，有時也可用以預熱，氣媒馴服 (air tempering)，鋼鐵及其他金屬或玻璃等。運用溫度可自 $100^{\circ}F$ ($40^{\circ}C$) 至 $800^{\circ}F$ ($430^{\circ}C$)，大部分則祇運用於 $250^{\circ}F$ ($120^{\circ}C$) 至 $500^{\circ}F$ ($260^{\circ}C$) 之間。這種烘爐的式樣很多，大概分為整批裝卸式 (batch type)，半連續裝卸式 (semi-continuous type)，和連續裝卸式 (continuous type) 三類。下面所講的不過是普通的幾種。

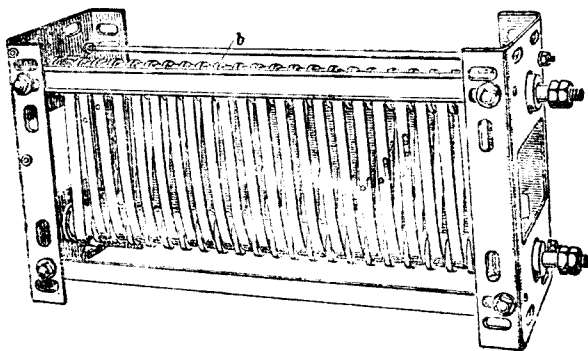
8.2 箱式及車架式整批裝卸的烘爐 整批裝卸的箱式烘爐

(box-type oven) 的形狀也有幾種，圖 8.1 即示其一種。a 示電熱元件，b 是控制溫度的恆溫器或高溫計，c 是裝控制器的箱。爐牆外用光亮的鍍鋅鋼片，內用不銹鋼片，中間則襯以 2 至 6 吋厚的礦棉熱絕緣。構架用角鋼條構造，使極堅固。鋼條連接處必須緊密，且襯以熱絕緣，尤需儘量減少由



8.1 箱式烘爐

內壁直通外壁的鋼件，以免此種鋼件的傳熱至外。爐膛內裝隔板



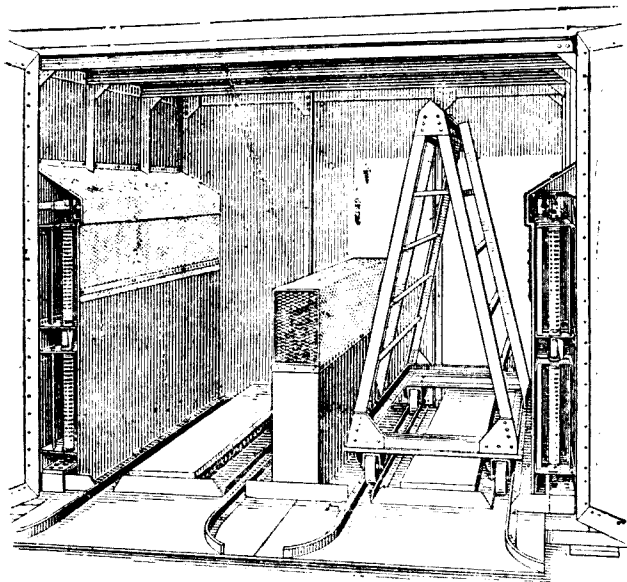
8.2 標準烘爐用電熱器

或抽屜，以便安放烘件。所用元件或為如圖 6.3 的鋼殼式電熱

器，或為如圖 8.2 的標準烘爐用電熱器。在這種電熱器內帶狀的電熱元件 a 繞於瓷質的熱絕緣體 b 上。電熱器裝於爐的側部，或底部，或兩處都有，隨爐之用途而定。

烘爐內必須具有通風設備，所以有入氣口和出氣口。在大型烘爐內，再須裝設通風扇，使烘件蒸發氣體得以迅速排除，空氣亦得充分流通。這種通風設備對於油漆和噴漆的烘焙頗為重要，因為漆內蒸發的氣體大都是萘、苯和其他受熱後有爆炸性氣體。通風的適當空氣調換速率隨運用情形而定。烘焙漆件時約每小時轉換空氣 10 次。為求避免不適當之通風起見，電熱元件控制線路需與通風器電動機控制線路連接，使通風器電動機萬一停止效用時，電熱元件電流即自動斷絕。烘焙模心時，因須利用空氣的氧化作用，每小時的空氣調換次數須為 30 至 40 次。但是這種工作內，排出空氣中水蒸汽和可爆氣體很少，所以可再通入使用，因之也可節省一部熱量損失。

若爐身過大，不便裝設隔板等，則另設可移動之車架以安放待烘物件，而便裝卸。這就是所謂車架式烘爐 (truck-type oven)。箱式和車架式烘爐統稱為整批裝卸式。爐的構造也和箱式相同，用鋼製構架，鋼片內壁及外壁，間以良好熱絕緣。由內直通至外的鋼件也必須儘量減少，以免熱的損失過大。車架的重量往往不亞於烘件，所以設計時也需儘量減少，因為加熱車架所須的熱是虛耗的。圖 8.3 示這種車架式烘爐的一種。爐內可容車架兩具，電熱元件則裝於爐側及中間，如圖所示。



8.3 車架式烘爐

8.3 半連續裝卸式烘爐 所謂半連續式烘爐的裝卸方法，也和整批裝卸式相同，不過烘件的裝卸極為迅速，可以使爐內所蓄的熱量不致散失，而且爐內的氣體也不致逃逸。所用的運輸軌或運輸帶貫穿爐的兩端。裝油漆的浸池(dip tank)裝於運輸軌的一端。第一批漆件先用浸入法或噴射法塗漆，懸於運輸軌的一端。等烘爐加熱後，爐門開啓，運輸電動機開動，漆件即極迅速的運入爐中，然後爐門關閉，開始烘焙。第一批漆件烘焙時，第二批即塗漆而懸於運輸軌上，第一批烘好後，運出烘爐而至運輸軌他端，第二批則運至爐中。第二批在烘焙時，第三批在運輸軌一端

塗漆，而第一批則在他端卸貨，如此周而復始，可以節省不少時間和熱量。

若工廠的產量較大，整批裝卸式烘爐的使用太覺麻煩，而用連續式烘爐，費用又未免太貴，那末這種半連續式烘爐最為適用。這種烘爐也用鋼構架，外釘鋼片，和整批裝卸式相似。爐壁側部和底部裝設標準式烘爐用電熱器。底部電熱器上須裝承漆盤，以免由漆件滴下之漆或瑣瑣質落於電熱器上。側部電熱器前須裝置熱後可以延展的金屬柵，以為保護之用。這種半連續式烘爐必須裝有強迫通風設備。

為求保持安全起見，整批裝卸或半連續裝卸式烘爐的頂部往往可以活動，以便內部略起爆炸而壓力增加時，頂部可被壓起而洩氣外出。這種爐頂需有特殊構造，使平時可以不漏氣，但出事時可以易於舉起。在半連續式烘爐上用的漆池，裝於滾輪和鐵軌上，於塗漆時可將漆池推至爐旁，而於卸貨時可將漆池推離爐旁，至軌道他端。

8.4 連續裝卸式烘爐 連續裝卸式烘爐內有運輸軌或運輸帶，以等速度連續運行。烘件以鍊鈎懸於運輸軌上。運輸軌的速率需使烘件在爐內的時期，恰為適當的烘焙時期，若同一烘爐需供各種不同的烘焙工作之用，則運輸軌速率必須能夠調節。這種爐的式樣很多，以供各種特殊需要和各種場所佈置情形之用，但是在現代最通用的祇有兩種：就是隧道式或直通式 (tunnel type or straight through type) 和 A 字式 (A type)。

隧道式可以直置，斜置或橫置，亦可分為單端式 (single end) 和雙端式 (double end)，更可分為迴熱式 (recuperative oven) 和非迴熱式 (non-recuperative oven)。單端式爐祇一端開有爐門，烘件自開端運入，經過隧道底發熱室，仍循原路退回，由爐門運出。雙端式爐則兩端均開爐門，烘件自一端運入，而自他端運出。雙端迴熱式爐具有兩根平行的運輸軌，行動方向相反，所以烘件烘熱後出爐時，適與入爐未烘的冷件相傍而過，因之熱件上的一部熱量即傳至冷件，使其在進入發熱室以前，先行預熱。雙端非迴熱式爐中祇有一個方向的行動，熱件的熱無從傳至冷件。所以迴熱式爐比非迴熱式爐效率要大得多，因為大量的熱可以節省。在單端式烘爐裏面，入爐的冷件和出爐的熱件也是相傍而過，熱也可以從熱件傳至冷件，所以單端式爐也是迴熱式。通常運輸軌先經過漆池，再經一承漆的盤，然後通過烘爐，出爐再通至他處，以備他種工作之用。有時同一運輸軌可運漆件使經兩三次的塗漆工作，然後運至裝配工場。連續運輸式烘爐的構造，也和小型的整批裝卸式一樣，是用鋼製構架，加上熱絕緣爐壁。電熱器通常裝置於爐側和爐底。因為爐門常開，所以通風制度必須加意設計，不使爐中熱量損失過大。

A 字式烘爐形如 A 字，烘件自底部運入，而自頂部運出。在頂部裝有風扇，以吸引空氣經過熱件而上升。在爐門也須裝有風扇，利用氣流封閉爐門，不使熱空氣洩出。在這種爐及其附屬漆池內通常有滅火設備。當發生火災時，兩個易熔機鍵熔斷，漆池

中之漆即流至地下之預備池內，而爐內之滅火器也開始噴射滅火物質。

8.5 各種工業用烘爐的運用溫度 烘爐使用於烘乾各種假漆，噴漆或油漆等件，也可使用於其他烘焙工作。各種工作的運用溫度大不相同，下面表 24 內舉示通常使用的溫度。

表24 工業用烘爐的運用溫度

烘 焙 物 質	運用溫度 °F
假漆 (varnish)	100—140
噴漆 (lacquers)	80—120
有色油漆 (paints)	120—150
日本樹脂漆和珐瑯 (japans and enamels)	(a) 白色用珐瑯或日本樹脂漆 140—160 (b) 淺藍，灰綠和黃色用日本樹脂漆或珐瑯 160—175 (c) 大紅，綠，深黃，藍，攪鐵綠，深紅和棕色用日本樹脂漆或珐瑯 225—275 (d) 黑色用日本樹脂漆或珐瑯 (溫度隨各種質料而定) 300—475
烘乾皮革，布疋，靴鞋，木材等	80—150
烘焙模心	350—550
烘焙電樞及變壓器線卷	225—250
烘焙模型	350—450
鋁和鋁基合金的煉治	400—650
金屬的抽細，著藍和馴服 (drawing, blueing, tempering)	500—800

8.6 優點 烘爐使用電熱的主要優點如下：

- (a) 發熱室內溫度的配佈均勻。
- (b) 加熱率均勻。
- (c) 加熱時間和溫度易於調節，且可自動控制。

- (d) 工作場所和周圍空氣甚為清潔。
- (e) 同樣工作地位的產量較大。
- (f) 出品良好，而不合格出品減少。
- (g) 對於工作人員較為安全，且火災較少。
- (h) 工作情況較為良好，因之工作效率增加。
- (i) 出品之總費用(包括設備費及維持費)往往較低。

8.7 熔金屬爐總論 熔解金屬用的電爐非但包括熔鋼和鐵的爐，而且熔各種低熔點金屬用的熔鍋，例如鉛，鋅，黃銅和其他合金等，也應包括在內。這種熔爐可以分為四類：(1)電阻式(resistance type)，(2)傳導式(conduction type)，(3)電弧式(arc type)，和(4)感應式(induction type)。每類中還有許多不同的式樣。

電阻式熔鍋用鎳鉻合金的電熱元件，和上面幾章所述的各種電熱器相似。這種熔鍋是用以熔解熔點很低的金屬，如鉛，鋅，鋁，巴比德合金等等。也有用倍來式粒狀碳的電熱元件，以熔解熔點較高的金屬如銅，黃銅，鎳，銀等。還有用鉑鎳繞的電熱元件，以熔解各種貴金屬如金，銀，和他種貴重合金。下面幾節裏就要細述電阻式熔鍋的構造。

在傳導式熔爐內電流直接流過所要熔解的金屬。在老式的這種爐內，有幾根電極插入爐池內，與爐池中的待熔金屬接觸，電流就由電極流過待熔金屬而至另一電極，因之金屬就被熱而熔解。現在有幾種鹽類熔池，仍用這種原理發熱，有電極插入鹽

池，電流流過鹽類而使其熔解。這種已熔的鹽類，作為熱處理金屬用的物質，受熱處理的鋼鐵等件如工具等就浸入熔鹽內。下面講到的感應式熔爐中用變壓器的一種，實際也是傳導式。

在電弧式熔點內，熔解是靠一個或幾個電弧的作用。電流在一個電極和另一個電極，或在電極和待熔金屬間，發生電弧。

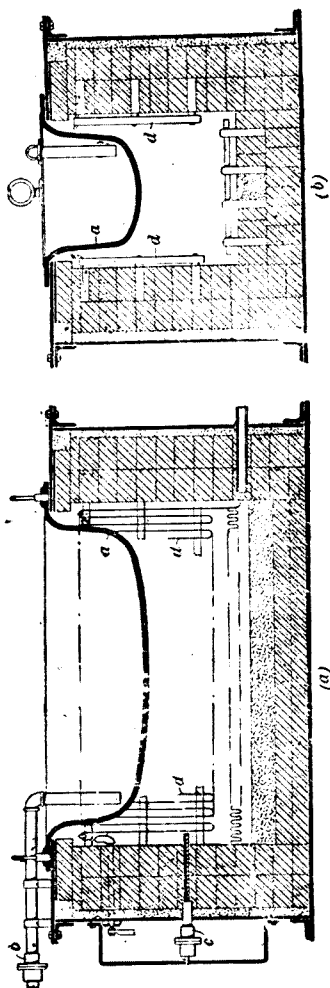
感應式電爐亦可分為兩種：(a)一種是用變壓器原理而以待熔金屬作為一個通路的副卷，適用於低頻率，(b)另一種是用高頻率電流，而用渦電流來發熱。電弧式和感應式電爐的構造，留待下面第十章裏再講。

8.8 電阻式金屬熔鍋概論 各種低熔點金屬熔鍋，如巴比德合金鍋，熔鋅鍋，熔鉛鍋，熱處理用熔鉛鍋，熔鹽類和氰化物鍋等，構造上大致相同。這種爐外面為一鋼板外殼，裝有鋼條製的支柱，以使其堅強；內襯幾吋厚的熱絕緣粉末，內再砌幾吋厚的熱絕緣磚牆和一層半熱絕緣耐燬磚，再內為線狀或條狀的電熱元件，最內面為一個合金鑄成的鍋。圖 8.4 示這種長方形爐的兩個截面，(a)為縱截面，(b)為橫截面。圖內 *a* 為放待熔金屬的熔鍋，*b* 為一個溫差電偶，用以指示或控制溫度，*c* 為一個限制溫度的易熔線，*d* 為電熱元件。

圖 8.5 示這種熔鍋用的一種電熱元件，圖內 *a* 是電熱元件的支架，*b* 是電熱線，*c* 是支持電熱線的瓷質柱。

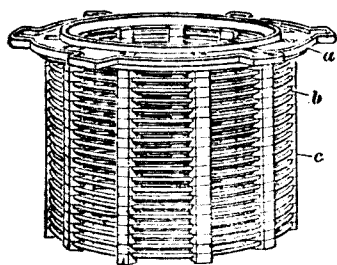
為避免過熱而使電熱元件燒壞起見，熔爐和熔鍋內通常用一個限制溫度易熔線 (temperature-limit fuse)。這種易熔線

的形狀如圖8.6所示，左端為易熔線，外面軟鐵套圈已除去，右端則為接線端。這種易熔線和電熱元件串聯，置於爐內適當處所；當這處溫度到達易熔線熔點時，易熔線即熔斷，使電路斷絕。這種易熔線用純金，純銀，或其他在熔爐運用溫度下不致氧化之合金製成，其熔點需為爐中足以發生危險情形的最低溫度。高溫熔鍋通常用純金易熔線，其熔點為 $1940^{\circ}F$ ($1060^{\circ}C$) 至 $1950^{\circ}F$ ($1066^{\circ}C$)，在這個溫度電熱元件和爐中其他部分尚可不致因過熱而燒壞。若溫度超出此值，則易熔線就熔斷而斷絕電流。高溫熔鍋內常常用兩個易熔線，一個置於熔池內，其熔點略高於熔池的正常運用溫度，另一個置於爐膛內電熱元件旁，其熔點為



8.4 低溫阻電式熔鍋

$1850^{\circ}F$ ($1010^{\circ}C$) 到 $1900^{\circ}F$ ($1040^{\circ}C$)。這是因為在加熱時間，電

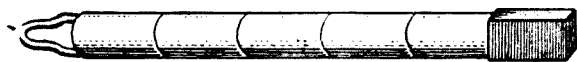


8.5 熔鍋用電熱元件

熱元件的溫度，遠超過熔他的溫度，所以用兩個易熔錄，以便任何一面溫度超過安全值時，電流可以斷絕。

8.9 各種熔鍋的特殊構造

各種金屬的熔鍋各有其需要的特殊構造，所以對於熔解某一種金屬所設計的熔鍋不能用於熔解他種金屬。例如熔巴比德合金的熔鍋往往可以傾側，或則底部開有傾注閥，以便傾注熔金屬時可以迅速，而不致使鑄件發生接縫。容器須以特種合金製，因為像巴比德合金這類錫基合金的侵蝕性頗大。鍍鋅用熔鍋通常以 1 吋至 1½ 吋厚純鋼板製成，因為純鋼對於鋅的侵蝕的抵抗力比他種金屬好。熔鋁極易侵蝕容器，所以非在每次熔解以前容器內先塗有一層保護物質不可。用一種石灰和耐火泥的混合物塗於容器內，可使容器耐用，而且因為電熱不易使容器外表面發生熾熱



8.6 限止溫度易熔錄

點，所以若使用得法，電熱熔鍋可比用他種方法加熱的熔鍋要耐久得多。通常為避免鋁的侵蝕起見，上述的金屬製的熔鍋祇用於保暖熔鋁之用。熔解時另用粘土或石墨坩鍋，以煤或煤油加熱，熔後轉注於電熱鍋內，再熱到需要溫度，並維持溫度於此數值。

熱處理用的熔鉛鍋的構造也和其他相同，其運用溫度得高至 $1650^{\circ}F$ ($900^{\circ}C$)。在這種溫度，鉛很易氧化，所以在熔鉛上面必須鋪有 2—3 吋厚的炭或焦煤，以阻止鉛之氧化，同時因炭是熱絕緣質，也可以阻止熔鉛面上的失熱。熔鉛面上的泡沫需隨時撇去，鍋側所積的渣滓和氧化物也需常常括去，以免堆積而侵蝕熔鍋。電熱元件的散熱率必須相當低，因為熔鍋常常阻止熱的傳播而使元件過熱。這種熔鍋內往往裝兩個易熔鎳，如上節所述，很大的熔鋅鍋或熔鉛鍋因為重量太大，不能全由爐牆和鍋絲支持，所以在鍋底下必須另砌支持的磚墩。

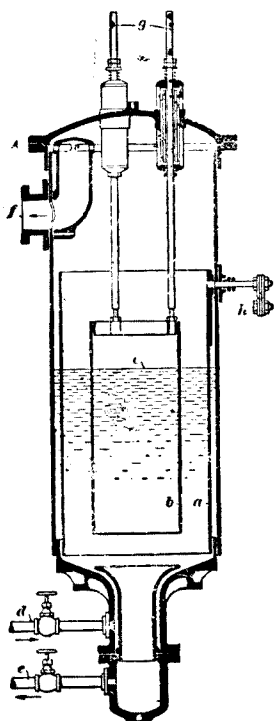
鹽類和氰化物熔鍋的構造也和其他一樣，就是設計時要注意勿使鹽類或其蒸汽浸入鍋下的爐膛內。這種鹽類在高溫時化合力極強，能與熱磚料及瓷料合成一種易熔物質，而且也能侵蝕電熱元件和容器。這種熔鍋內也需用二根易熔鎳，以控制電流。鍋上需有通風櫥，以便鍋中蒸發的有毒而有害的氣體可以排去。這種鹽類用以熱處理金屬時，往往有化學反應，因為一部鹽類和金屬作用，一部因熱分解。反應後的產品可比原有鹽類更富侵蝕性，所以應該常常加入原有鹽類，使鍋中成分差不多保持不變，至少一天一次。

8.10 熔鍋之改用電熱 大型用燃料之熔鍋，如活字金鍋等，改用電熱之最簡法，為用如圖 6.6 之浸入式電熱器。這種電熱器可以裝置於熔鍋頂部邊緣上，使其垂於鍋中，而大部浸於待熔金屬中。用燃料的熔鍋大都對於熱絕緣設備不甚注意，所以改用電

熱時，容器和外殼中間，應加熱絕緣質料。若熔鍋容量甚大，則在熔金屬表面鋪一層熱絕緣粉末，以阻止失熱，較為合算。這種用燃料的熔鍋改用電熱後，可以免除燃料灰燼烟焰，且可避免爆炸火災，也可減少維持溫度於正常值所需的人工管理費用。同時，所發的熱可以集中於鍋內。

8.11 熱水爐及蒸汽發生爐 用電熱的蒸汽發生鍋和熱水鍋

可分下列三式。(a)一種用浸入式電熱器浸於水鍋內。所用電熱器或為如圖 5.9 的浸入式，或為如圖 6.5 的兩端插管式。這種水鍋大都容量很小，以供家用，廚房，洗濯，糖果製造和其他工作之用。(b)一種為大型火管式橫置汽鍋，火管內裝有大號鑄製的電熱元件。此種元件通常為鋼殼式，而以瓷質套圈和管壁隔絕。這種汽鍋的功率往往至數百仟瓦特，可供任何需用熱水或蒸汽的工作之用。(c)一種為大型高壓電極式。這種鍋內發熱是利用水本身的電阻。電極伸至水內，電流或由此種電極流至水鍋外殼，或則用三個電極間的三相電流。這種熱水鍋的容量往往很大；而且因為純水或近於純粹的水



8.7 高壓電極式蒸汽發生器

的電阻極大，所以必須用高電壓，平常為自 5000 伏特至 20000 伏特。調節電流的方法通常是升降電極位置，升降電極外面的電絕緣屏的位置，升降水面位置，或是兼用這幾種方法。圖 8.7 卽示一種新式蒸汽發生鍋的形狀。圖內 *a* 為通地的容器內殼，*b* 為電極，*c* 為水面，*d* 為入水閥，*e* 為出水閥，*f* 為蒸汽出口，*g* 為連至電源的接線端，*h* 為連接至地的接線端。

前面已經講過，現在在大多數地區燃料的價格都比電能低廉，所以用電熱水發生蒸汽，除了幾種特殊用途外，並不值得。但是在美國加拿大和歐洲有幾個地區利用水力發電，電費極為低廉，同時他種燃料則較貴，那末用電熱發生蒸汽是合算而可靠的。

第九章

熱處理用電爐

9.1 熱處理用電爐的發展史 歷史上的記錄顯示熱處理爐的使用，在三千多年前已經有了。我國周代就有好幾個善於製劍或製刀的工匠，這種刀劍當然是經過熱處理的，其他兵器的製造，也非用熱處理爐不可。歐洲在四千年前，已有人鑄製刀盾，其後希臘和羅馬人更用熱處理爐製造家用器具和建築用的鐵柱和鐵條等。

但是自那時到五十年前為止，這種熱處理爐的設計和構造，實在進步得很少。這種爐都是用磚砌造，具有爐膛，煙通，爐門等，而直接用煤炭等燃料燃燒。溫度的控制和熱量的配佈都尙未知悉，祇能由管理者調節爐火的強弱。這種爐用於那時的熱處理工作，多少可以適任。但是自從人類文化轉入機械時代後，工業上的高速度發展，顯然需要效能較佳而效率較大的熱處理爐。因此在最近五十年來燃煤炭煤油或煤氣的熱處理爐都已大事改進，而在這時期的後半更有用電的熱處理爐的發現和完成。

9.2 熱處理用電爐的優點 熱處理用電爐的形狀和運用和用燃料的新式爐沒有重大的分別，不過是爐內裝置電熱元件，用電發熱，而不是由燃燒燃料發熱罷了。這種電爐有很重要的優

點，例如：效率通常較大；溫度控制較嚴密；熱量的配佈可以均勻；氣體，煤烟，灰燼等的免除；歷次產品性質的一律；較佳良的產品，和不合格產品的減少等。這種優點對於大多數工業極為重要，所以能夠完全抵過較高的電熱費用，而使實際上的綜合運用費用反而較低。

關於電熱費用較用燃料時為高的一點，很多人曾提出而討論過。這是一個相當複雜的問題，所以有略述而加以澄清的必要。電爐的費用與用燃料的費用的比較，不能以每個熱單位的發熱量來講。譬如用電來發 1000 英國熱單位的熱的費用，確比用煤炭，煤油，或煤氣來發同量熱的費用要大得多。然而這種費用不過是最小的一個因素，因為這因素內完全沒有考慮到爐的效率。在用燃料的爐內，百分的七十或八十的熱也許失去，一部是用以預熱通入爐中的空氣，一部則自烟通中上升；而在電爐內則決不能有這樣大的失熱。而且運用費用還須包括爐及他種機件的修理費和維持費，物料的轉運費，不合格產品的價格，以及種種其他費用，然後可以得到正確的綜合運用費用。所以我們切不可每熱單位的電熱費和燃料費來比較而因之誤解，必須考慮其他種種費用，才能得正確的比較。

9.3 熱處理各種名詞的定義 近數年來電爐的發展極為迅速而廣大，無論用於熱處理工作上或熔解工作上。尤其是在汽車或飛機製造內必需用在電爐內熱處理的金屬，因為這種金屬具有佳良的質地，和完善的製造技術。熱處理用電爐的設計，必須

適合特定的工作情形和運用方法，所以種類很多；在本章內祇能述及多少可以作為標準型式的幾種。同時可以在電爐內進行的熱處理工作，也有許多種數，本章內也祇能述及較為普遍的幾種。

下面列述各種熱處理名詞的定義，俾以下述及各種熱處理爐的用途時，可以有明確的認識。這種定義，除了少數略有改動外，都是經美國鋼鐵處理學會 (American Society of Steel Treaters or A.S.S.T.) 所規定。

熱處理(heat treating): 一種金屬或一種合金在固態時加熱後再冷卻之一個手續或幾個手續的組合。這種加熱和冷卻是用以得到所需要的性質或境遇。所以祇就機械加工(mechanical working)上的需要而加熱及冷卻，並不包括在熱處理內。

淬浸(quenching): 浸於他物體內的冷卻。淬浸的手續可於氣體，液體或固體中進行。

健硬(hardening): 鐵基合金之加熱到臨界溫度程(critical temperature range)內或以上，而後再繼之以淬浸。

所謂臨界溫度程是合金的內部組織和晶粒狀態發生變化的一個溫度程。普通的鐵基合金即各種鋼的臨界溫度程大約是從 $1300^{\circ}F$ ($700^{\circ}C$) 到 $1800^{\circ}F$ ($1000^{\circ}C$)。至於在這溫度程的變化情狀，則甚為繁複，且屬於晶態學(crystallography)的專門範圍，這裏不必詳述。

煉治(annealing): 金屬或合金在固態時的加熱及冷卻，通

常是相當慢的冷卻而不是淬浸。煉治是一個包含極廣的名詞，其目的是下列的一種或數種：(a) 去除氣體，(b) 去除應脅，(c) 增加軟性，(d) 更變延性，展性，韌性，或其他電磁，或物理性質，(e) 使晶質結構較為細緻。煉治的手續內加熱所達到的溫度和冷卻的速率隨所煉的物質和處理的目的而定。下面的幾種特殊熱處理手續可包含於煉治的範圍內。

(A) 完煉 (full annealing)：鐵基合金之加熱到臨界溫度程之上，在這溫度之相當時期之停留，繼之以退經臨界溫度程的緩冷。完煉的溫度大都在臨界溫度程上限以上 $100^{\circ}F$ ($55^{\circ}C$)，在這溫度的停留時期是每一吋的物體最大厚度不小於一小時。物體通常就在爐內逐漸冷卻，但也可以放在其他物質中冷卻，使其冷卻時期可比在空氣中之無阻礙冷卻時期較長。

(B) 歷煉 (process annealing)：鐵基合金之加熱到臨界溫度程下限之上或附近，繼之以所需要之冷卻。這種處理通常使用於鋼鐵片或鎳的製造工業上，溫度大概為 $1020^{\circ}F$ 到 $1200^{\circ}F$ ($560^{\circ}C - 650^{\circ}C$)。

(C) 正煉 (normalizing)：鐵基合金之加熱到臨界溫度程之上，而繼之以在靜止空氣中之冷卻到臨界溫度程之下。

(D) 寵煉 (patenting)：鐵基合金之加熱到臨界溫度程之上，而繼之以在維持於 $700^{\circ}F$ ($370^{\circ}C$) 之熔鉛中之冷卻到臨界溫度程之下。這種處理通常使用於製鎳工業內，或作為收工處理，或在某種鋼製品上作為抽鎳前的一個處理。

(E)球態化(Spheroidizing):鐵基合金在近於臨界溫度程而通常稍在其下之溫度經延長之加熱,而通常繼之以相當慢的冷卻。在使用於高碳鋼小件時,延長的在臨界溫度程內及略在其下之溫度二者間更替加熱,球態化作用可以較速。

(F)馴服(tempering or drawing):健硬後在臨界溫度程下之某一溫度之重行加熱,繼之以任何速率之冷卻。健硬和此項重加熱手續,有時也合稱為馴服,在目前情狀下乃不合理之名詞,以不用為宜。

(G)展舒化(malleabilizing):白銑鐵之一種煉治的手續以緩慢的冷卻使鑄鐵內之化合狀碳變為馴碳,有時可完全由鐵內去除碳質。

(H)石墨化(graphitizing):銑鐵之一種煉治的手續,使一部或全部的化合狀碳變為自由狀碳。

(I)氮化(nitriding):金屬在氮中之歷煉,使表面不起化學變化,而保持其光澤。

下列各名詞則可系屬於熱處理的總範圍下。

碳化(carburizing)或膠結(cementation):鐵基合金與含碳物質接觸下之加熱到其熔點之下,用以加入碳質於合金之外表面。

包健(case hardening):碳化後繼以適當熱處理使鐵基合金外表一部或全部健硬。

上述兩種手續內,碳化鐵基合金物件之外部,其所含碳質經

大量增加者，稱為包(case)；物件之內部，其所含碳質未經大量增加者，稱為核(core)。

氰化(cyaniding)：鐵基合金全部或一部在與氰化物接觸下之加熱至一適當溫度，繼之以淬浸，因而使加熱部分包健。

上述各種熱處理大都使用於鐵基合金，即各種鋼類。通常金屬之熱處理工作，也以鋼類為最多；但他種金屬如銅，黃銅等，也可加以煉治，健硬等熱處理。

表25 熱處理用電爐分類

第一類	低溫電爐 ($700^{\circ}\text{--}1300^{\circ}\text{F}$) ($370^{\circ}\text{--}700^{\circ}\text{C}$)	馴服爐 氮化爐 低溫煉爐(鋼, 玻璃, 黃銅等)
第二類	中溫電爐—整批裝卸及連續裝卸式 ($1350^{\circ}\text{--}1950^{\circ}\text{F}$) ($730^{\circ}\text{--}1030^{\circ}\text{C}$)	健硬爐 碳化爐 正火爐 高溫煉爐 硫璃狀法耶爐
第二類(a)	中溫電爐—鉗式 ($1100^{\circ}\text{--}1650^{\circ}\text{F}$) ($590^{\circ}\text{--}900^{\circ}\text{C}$)	熔鉛爐 氮化爐
第三類	高溫電爐 ($1900^{\circ}\text{--}2500^{\circ}\text{F}$) ($1040^{\circ}\text{--}1370^{\circ}\text{C}$)	鍛鐵爐(forging furnace) 高速鋼健硬爐 陶業用爐

9.4 熱處理用電爐的分類 上面已經說過，熱處理用電爐，因所適合之熱處理種類而有種種不同的形式，大小，和運用方法。而且大型的爐往往就所需要的產品種類和運用方法而特別設計。但就其裝卸所處理之物件的方法而講，可以分為整批裝卸式(batch type)和連續裝卸式(continuous type)兩種。這兩

種的區別和上面第八章裏講的烘爐的分類一樣。熱處理爐也可因其運用溫度，分爲三類，如表 25 所示。這表內所分各類，雖然包含很廣，也絕不能包括所有熱處理的全部。

上表內的第一類低溫電爐，實際上和第八章裏講的烘爐相似，而第二類(a)的鍋式電爐，也就是第八章內所述的熔鉛鍋和氰化物鍋。此外還有用電熱的浸漬池(soaking pit)，煤氣發生爐(gas producer)，鐵條加熱爐(billet-heating furnace)，製管廠用電爐 (tube-mill furnaces)，油類分裂鍋 (cracking stills) 等等，在各種工業上也有使用，但是這些還不能視爲有完滿成績的電爐，所以本書內也不述及。

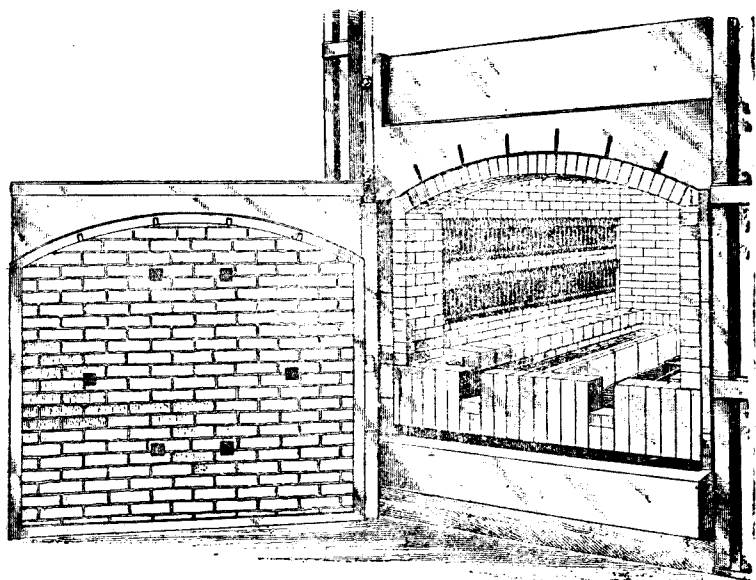
9.5 熱處理電爐的構造 各式電爐的形式雖大有不同，但一般說來，其構造都是相似的。外殼通常用堅強鋼板製成，其厚度爲 $\frac{3}{16}$ 吋(4.8 毫米)或 $\frac{1}{4}$ 吋(6.3 毫米)。外殼釘於以角形或槽形鋼條等構成之骨架上，使之更行堅固。殼內爲一層軟的高級塊狀或粉狀熱絕緣質，厚約數吋。其內爲一層中級熱絕緣質，再內爲一道半耐燬性的磚牆，最內爲一層耐火泥磚作爲爐膛的牆壁。

高級鎳鉻合金製的電熱元件徧裝於爐膛的頂部，底部和四壁。許多大型爐的電熱元件大都祇裝於側壁和底部，在特種電爐內四壁和頂底都有電熱元件，有時連門上都有。

通常在四壁的電熱元件前另有鑄成的鎳鉻合金保護柵，而在底部的電熱原件上則遮有鑄成的鎳鉻合金板，以防污屑或鐵件上的鱗片落於電熱原件上，而使之成捷路。這種爐內需用的耐

燬質熱絕緣，和合金種類，在上面第三章裏都已講過。

圖 9.1 所示為一種新式箱式電爐的內部，這種爐是烘普通火爐上所塗珐瑯質所用。圖內門尚未裝上。各種爐壁的截面則散見本章內下面諸圖。爐壁的厚度和熱絕緣等級則依爐的運用溫度，運用週程(time cycle)，和其他情形而定。例如大多數含碳鋼的健硬爐，運用溫度約為 $1550^{\circ}F(840^{\circ}C)$ ，所用爐壁厚度大約自 12 吋至 16 吋，而大型爐則平均用 16 吋厚壁。



9.1 新式熱處理爐的構造

爐門大都附有平衡重物(counterweight)以便開啓；開門機件則用電動機，氣壓機(air hoist)，水壓機(hydraulic cy-

linder), 或人工運轉。門旁之熱量損失不能避免, 所以常例於門旁多裝電熱元件, 有時或於門上裝元件以補償熱量, 而得均勻之熱量配佈。這種補償方法也是電爐的一個顯著優點。

在大而長的連續裝卸式電爐內, 常將爐長分為幾區, 各區有不同的運用溫度。在這種爐內, 爐壁也須依溫度之高低而用各種不同的厚度。有時在爐壁內或壁上須裝置冷卻管使空氣, 他種氣體或水等週流, 爐內物件因而冷卻較速。

9.6 爐的效率及濟率 現在逐漸發展的傾向, 是在電爐運用上停止使用效率 (efficiency) 這個名詞。其理由是效率大小依額定輸入功率而定。例如有一個輸入功率為 100 仟瓦特的電爐, 若其熱損失為 20 仟瓦特, 則其效率為 80%。但若輸入功率加倍, 其熱損失並不加倍, 而祇所增無幾。譬如假定熱損失仍為 20 仟瓦特, 則當輸入功率為 200 仟瓦特時, 效率為 90%。所以, 與其用效率, 還不如直接以用每單位電能能得到的產品量來表示這爐的效能。這數值可以稱為濟率 (economy), 因為牠是表單位電能的濟用程度, 通常以每仟瓦特小時所得的產品磅數來表示。講到濟率, 先要知道所要的是綜合濟率, 還是運用濟率。前者包含開始加熱爐室時所費的電能, 和在爐內並無物件的空間時期所費的電能; 後者祇需計算爐實際使用時期, 即爐內有待烘或待熱物件時所費的電能。

各種電爐的濟率的數值大不相同, 依爐之型式, 爐的工作之種類及性質, 運用週程, 溫度週程等等而定。表 26 示幾種熱處

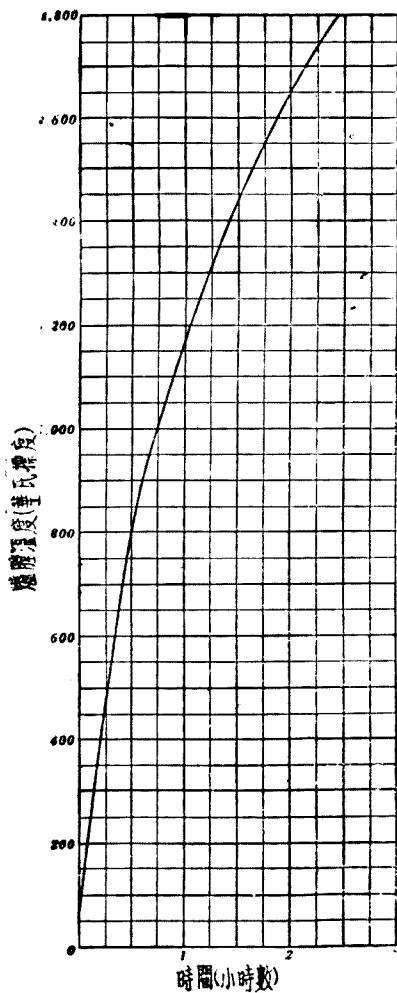
理用電爐的平均濟率值。

表26 電爐連續運用時的綜合濟率值

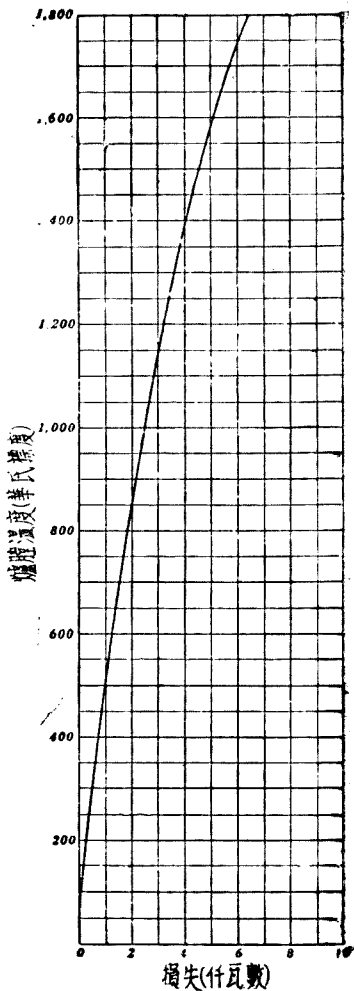
工作性質	平均溫度		平均濟率 磅/ 仟瓦特小時
	°F	°C	
含碳鋼的健硬	1550	840	8—11
含碳鋼的馴服	600	320	20—25
含碳鋼的碳化	1700	930	1.5—3 淨
含碳鋼的氮化	1500	820	3—5 淨
含碳鋼的煉治	1000	540	2—4
鋼片的煉治	1400	760	11—14
鋼片的正煉	1800	980	8—10
琉璃狀珪瑯質的烘乾(箱式爐)	1600	870	} 6—8 淨 9—12 淨
琉璃狀珪瑯質的烘乾(連續式爐)	1600	870	
鋼的鍛製	2200	1200	2.5—5
黃銅的煉治	1300	700	18—22
銅的煉治	1100	600	20—23
鋁的煉治	1000	540	12—16
鋼鑄件的煉治	1600	870	10—12
鋼鍛件的煉治	1600	870	10—12

計算爐內熱量損失和濟率的方法，因為地位所限，這裏不能加以敘述；不過這種計算的原理可以從第二章裏講的各個公式和例題內可以看出。讀者祇須參考這一章，那末對於理論上的計算可以熟悉。

9.7 爐的運用特性 電爐也和電動機一樣，有其運用特性。通常表示這種特性是用損失曲線 (loss curve)，和開始加熱時期 (starting-up time) 內的溫度曲線等來表示，前者顯示失熱量和溫度的關係，後者顯示溫度和時間的關係。這種曲線形狀依爐的設計及建築質料而定。從曲線的形狀可以對爐的工作情況

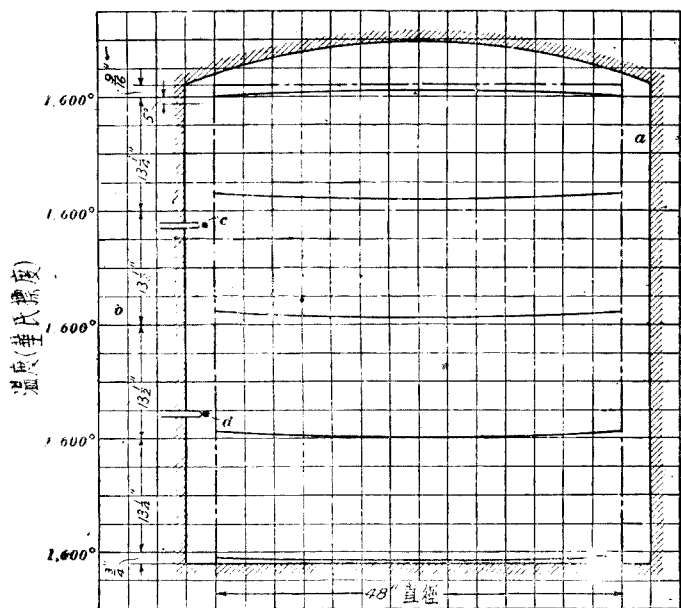


9.2 電爐開始加熱時溫度與時間的關係



9.3 電爐內熱損失與時間的關係

是否滿意作正確的判語。也可從曲線形狀來探尋工作不滿意的原因，和需要的改善方法。圖 9.2 示一個代表型式的工具室用箱式爐的開始加熱時期內的溫度曲線；圖 9.3 則示其損失曲線。這個爐的爐膛的大小是 18 吋闊，36 吋深。



9.4 電爐爐膛內溫度配佈

圖 9.4 顯示一個中型坑式爐爐膛內的溫度配佈情形。 a 為爐膛的周界， b 為鉛直方向的尺寸，至於 $\frac{3}{8}$ 吋， $13\frac{1}{2}$ 吋等，這種尺吋指示測定溫度的平面的地位， c 及 d 則為爐上部及下部裝置的分部溫度控制用的溫差電偶。這爐的輸入功率是 80 仟瓦特，用

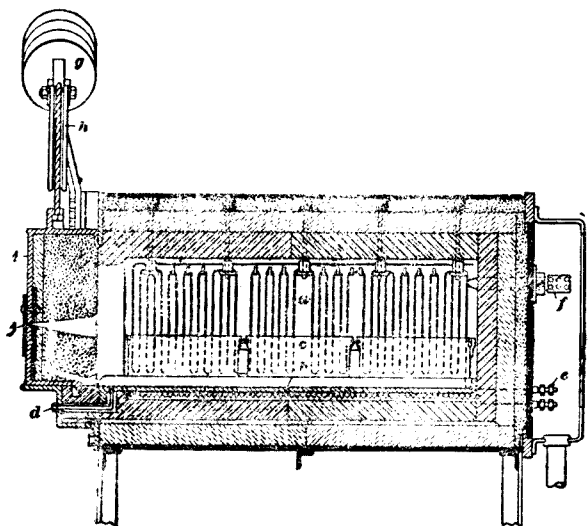
單相 220 伏特電源。在圖內就可看出爐膛中的溫度是如何的均勻。

9.8 整批裝卸式電爐概論 下面幾節裏略述普通用的各式電爐的形狀和運用法，使讀者對於各種式樣略有觀念。因為種類很多，所以這種敘述，大都是很簡略。

裝批裝卸式電爐包括下列各種箱式(box form)，坑式(pit form)，升降機式(elevator form)，鐘式(bell form)，車式(car form)，直立式(vertical)和鍋式或池式(pot or bath type)。一般的講，所謂整批裝卸式者，指爐內待熱物件整批放入爐中，熱至相當溫度，再整批卸出的各種電爐。物件並不連續的通過爐膛，雖然裝卸物件時也可用機械工作。物件可在熱時卸出，也可留置爐中，聽其冷卻。

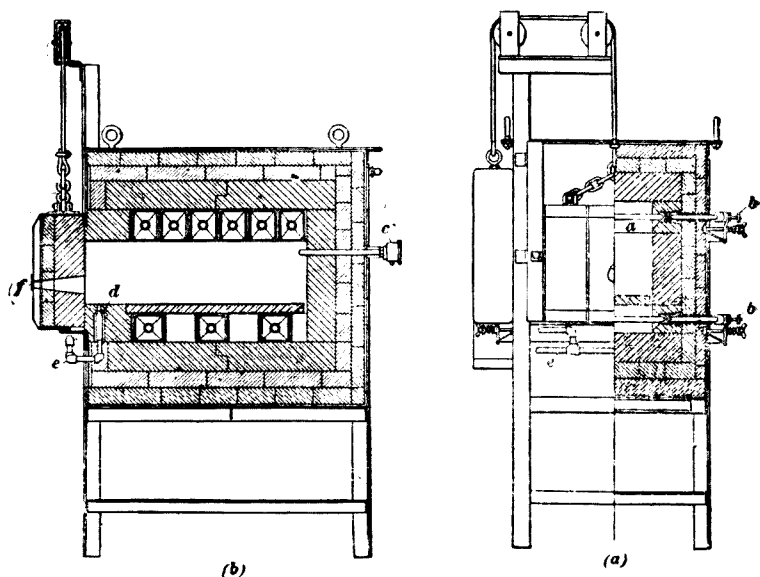
9.9 箱式爐 箱式爐包括一切小型及中型的長方形而在一端或兩端開有門的電爐。爐內電熱元件位置隨設計而定。有時祇在側壁，有時祇在頂部或底部，有時則側壁，頂部，底部，端壁和門上都有。元件用適當合金，製成棒形或帶形，依設計而定。試驗室和工具室用的小型箱式爐通常間續使用，所以熱絕緣設備不必像較大型的連續使用的爐內的好。爐底的保護板和爐壁前的保護柵，在運用溫度為 $1300^{\circ} - 1850^{\circ}F$ ($700^{\circ} - 1000^{\circ}C$) 的爐內，可用一種高級鎳鉻合金。溫度在 $1300^{\circ}F$ ($700^{\circ}C$) 以下，用較低級的合金已足；若溫度在 $1850^{\circ}F$ ($1000^{\circ}C$) 以上，則需用一種以碳化矽等組成的耐燬質板，這種耐燬質有多種的商業名稱。

圖 9.5 顯示一個箱式爐的截面， a 為側壁上的電熱元件， b 為爐底上電熱元件， c 為保護柵， d 為底上保護板接地之端， e 為電熱元件接線端， f 為控制溫度用熱電偶， g 為爐門的平衡重物， h 為開門用的槓桿， i 為爐門， j 為門上之窺視穴。



9.5 箱式電爐

若待熱物件需要 $2000^{\circ}F$ ($1090^{\circ}C$) 以上的運用溫度，例如高速工具鋼，那末箱式爐內很多用「格羅巴」電熱元件。圖 9.6 示一個用「格羅巴」的小型電爐的形狀，運用溫度可到 $2500^{\circ}F$ ($1370^{\circ}C$)。(a) 為由前看的圖形，一半為截面，(b) 為側截面。因為格羅巴的電阻隨其使用年代而異，所以必須用適當的變壓器，以調節電壓。圖中 a 為格羅巴電熱元件， b 為接線端，因為溫度過高



9.6 用格羅巴的箱式電爐

必須用水冷却。*c* 為控制溫度的溫差電偶，*d* 為煤氣燃燒器，*e* 為煤氣入管，*f* 為門上的窺視穴。有時須在爐內燃燒煤氣，使發生一種沒在氧化性和除碳性的氣氛，以便使用於某種待熱物質。這種氣氛在門口成一氣幕，在較低溫度也可用於健硬爐上。

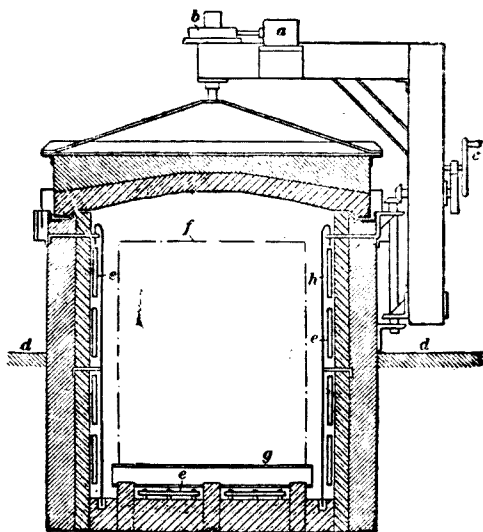
有幾種工業上，這種大型高溫格羅巴電爐也逐漸使用於鍛鋼工作。在美國某一工廠裝有這種電爐六十多只，平均功率為250 仟瓦特。所鍛之件為1—3 吋徑圓形長鋼棒，一端置於爐膛內。熱至適當溫度後，取出鍛製，切去鍛成物件後仍將棒端置於爐中。爐中同時可熱幾根棒，以便連續工作。在美國西部及其他

名國有堅硬石層地方的採礦用鑽也用這種電爐鍛製。

陶業內有時也用這種電爐燒製瓷質物件。製造彩色瓦用這種爐很為有利，因為爐內沒有具沾污性的氣體，因之能夠正確地配合顏色。加熱時期也可從幾天減到 18—24 小時，這又是一個好處。

9.10 悶爐 悶爐(muffle)這個名詞，原來是用於燒燃料的爐，指燃燒時所生火焰和氣體並不直接進入發熱室的一種爐，以與普通火焰進入發熱室內的爐區別。在這種爐內，爐膛外另有一圈陶質圍牆，所以火焰和高熱氣體在牆外直接升至烟通，並不浸入爐膛，而熱則能透過圍牆而入爐膛。

後來這個名詞，也應用於電爐上，指一種小型電爐，其中電熱元件是纏繞或裝於一包管外面，待熱物件則置於管內。這種爐也稱為間接加熱電爐 (indirect heat

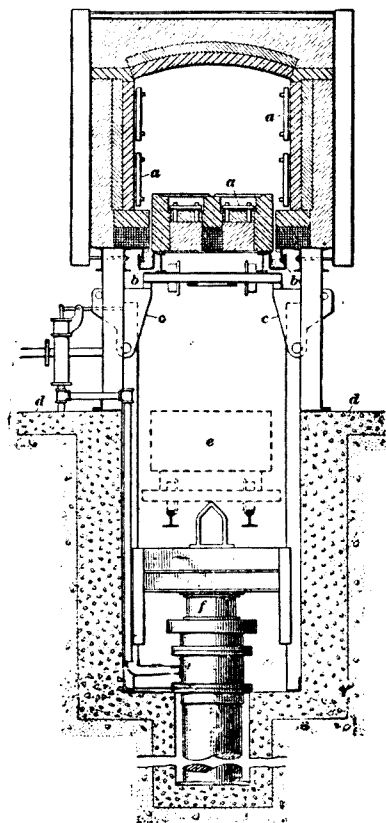


9.7 坑式電爐

furnace)，因為元件所發的熱並不直接傳至待熱物件，而必須

透過包管。

9.11 坑式爐 坑式爐實際上是門在頂部的箱式爐，形狀如圖 9.7 所示。爐為圓形或長方形，通常裝於廠房地平下的坑內。頂上之門或蓋可用起重機舉起，或像砲身一樣的可繞着裝在架



9.8 升降機式電爐

上的樞軸迴轉。爐中待熱物件的裝卸也用起重機。大型的坑式爐上面有特裝的起重機，以舉起很重大的爐蓋。圖中 *a* 為電動機，*b* 為一套齒輪，由電動機轉動，用以舉起爐蓋，*c* 為一個用手旋轉的輪，也用齒輪組合以迴轉爐蓋，*d* 為廠房地平。爐內 *e* 為電熱元件，*f* 為待熱物件，*g* 為用以支持物件的保護板，*h* 為側壁前的保護柵。

9.12 升降機式爐 升降機式爐是一個倒立的坑式爐，其截面如圖 9.8 所示。爐身裝於直立空中之足上。待熱物件裝於一車上，沿着軌道行至爐下，然後被推升至爐身內，而車即作為爐底。車的升降，或用電動

機，或用水壓裝置。一批物件加熱時，另一批物件可先裝於第二車上，等第一車降下後，第二車可立刻升上，使爐中貯熱不致有多大損失。車周與爐身接觸處，可以砂或液體封函，使爐膛密不洩氣，以便在爐中使用任何需要的氣氛。這種爐的主要功用是熱處理鋼片或煉治鋼鑄件。為適合特種用途和手續起見，這種爐也可和上述一般的形狀略有變異。

在圖中 *a* 為裝於爐膛四壁和爐底上的電熱元件，*b* 為用砂的封函，*c* 為用水力起動的牢鎖裝置，以牢鎖爐底於爐身上，*d* 為廠房地平，*e* 為在軌道上的另一車，*f* 為用水壓的起重裝置，用以舉車入爐身。其他構造也在圖中示明。

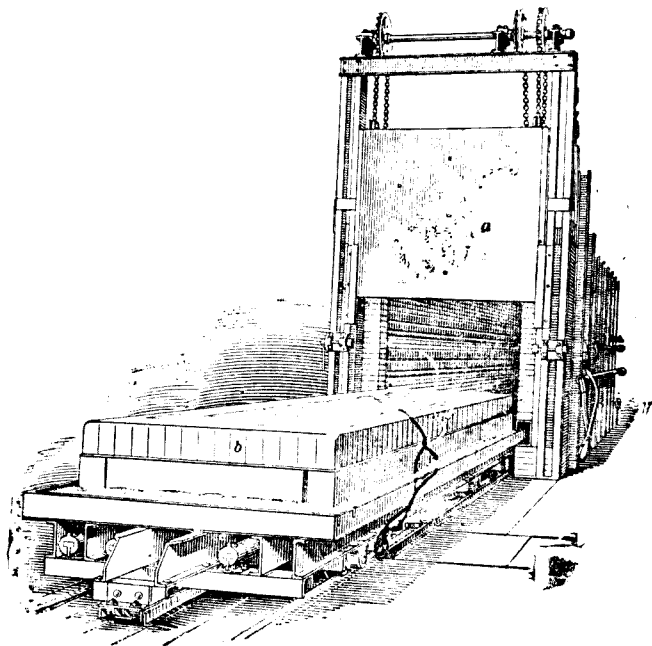
9.13 鐘式爐 鐘式爐與升降機式爐相似，不過爐底和所載物件留置地上，而鐘形的爐身則可用鉅大的起重機吊起。若用二個以上的爐底，則同一爐身可迅速地從一批物件移至另一批物件，而不致有多大的熱量損失。電熱元件通常裝於爐身四壁和爐底上。爐身的重往往至數萬磅，所以其構架必需極鄭重的設計。若廠中有鉅大的起重機，那末用鐘式爐比升降機式要經濟得多，因為前者不需構造複雜的升降裝置。

這種爐的主要功用是用以煉治大宗成疊的鋼片或成捲的鋼線，因為這種工作需要嚴密迅速的時間和溫度控制。爐的式樣或為圓形，或為長方形。一般的習慣是煉成疊鋼片的大型爐用長方形，煉大宗成捲的鋼線或鋼條的小型爐用圓形。

這種爐極適合於一種通常不易做到的熱處理工作，所謂保

澤煉治(bright annealing)。這是在人工氣氛中行煉治的手續，使金屬表面不起化學變化，而仍保存明亮的光澤。

9.14 車式爐 車式爐是一種電爐，另用車座裝載待熱物件運入爐中。車座的軌道可直通入爐中；但是通常軌道祇通至爐



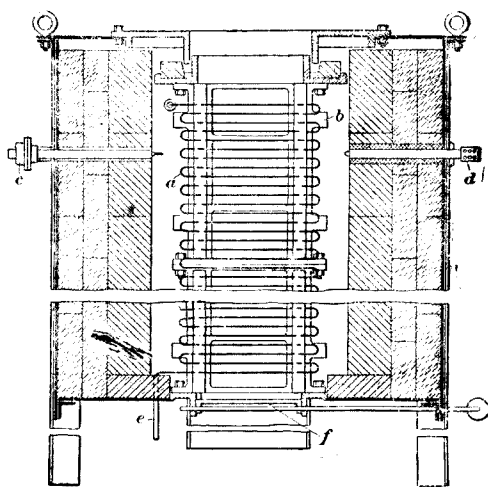
9.9 車式電爐

下，所以等車駛至爐下時，車面正好作為爐底，車輪，車軸等都露在爐外，這樣可以減少爐的失熱。車座可用絞盤，曳引車，或裝於車座中或車座下地穴內的電動機曳引。這種爐能夠容納大件，如

成疊的鋼片或鑄件等。圖9.9 示這種車式爐的形狀。*a* 為用鋼架上所裝電動機曳動的爐門，當裝載物件的車座，*b* 駛進爐內後，爐門即關閉。電熱元件非但裝於爐身側壁，也裝於車座上裝載物件的車面下。車面和爐身接觸處也用砂來封函。

9.15 直立式爐 直立式爐是一個作隧道形的爐身，直立於一端。這種爐內可以懸掛長的待熱物件，例如長管，長棒，鎢管等，因為這種物件在熱處理時，必須鉛直地懸掛，以免受熱後發生彎曲變形現象。平常在爐的下面有一個淬池，以便爐內物件可依鉛直方向落於池內，也可免除冷卻時發生彎曲，還可得到均勻的健硬。

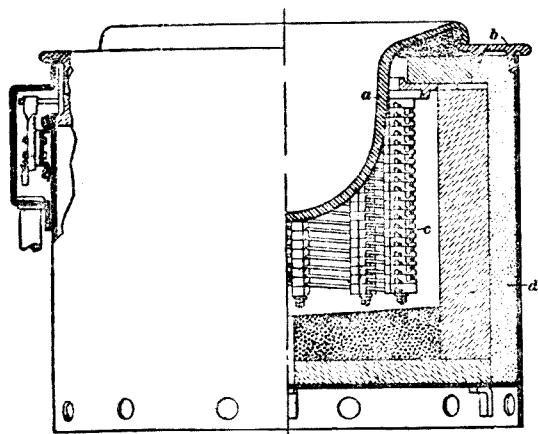
圖9.10 示一個直立式爐的截面。*a* 為在爐四壁自頂直至底部的電熱元件，*b* 為合金製的包管，用以隔絕由元件直接傳熱至物件，*c* 為控制溫度的溫差電偶，*d* 為限制電流的易熔鎂，*e* 為電熱元件的接線端，*f* 為在爐底的爐門。



9.10 直立式電爐

9.16 鍋式或池式爐 這種爐就是第八章裏講到的熔鉛鍋和

熔鹽類的鍋，所以平常也許不當牠是熱處理用電爐，但是實際上也是熱處理爐的一種。這種爐的形狀如圖 9.11 所示，通常和坑式爐相似，不過爐膛中裝着一只鍋，圖中 *a* 就是這鍋，*b* 是支持鍋的圓環，*c* 為電熱元件，*d* 為爐壁的熱絕緣。



9.11 鍋式電爐

鍋中置鉛或各種鹽類，當加熱熔融後，待熱處理之物件，如工具等，就浸於熔池內。若處理的目的在健硬時，鍋內祇須用熔鉛或中性鹽類；但若係包健時，則池中須含有氰化鈉，因為這種熔融的氰化物能使物件外包部有幾千分之一厚的極硬的含碳層。這種鍋式爐的一個優點是在熱處理時物件完全和空氣隔絕，因之物件表面絕無或極少發生鱗片，銳利的工具於健硬後可以不必重磨。還有一個優點是可以祇浸物件的一部，或工具的刃口於池中，而使其健硬，例如斧鉞等刃口的健硬就用此法。因為這種優點，所以這種爐的應用很廣。

池式爐在較低的運用溫度，也可用作馴服爐之用。這時池內通常用油或硝酸鹽類。這種爐大都是整批裝卸式，雖然在熱處理

中須含有氰化

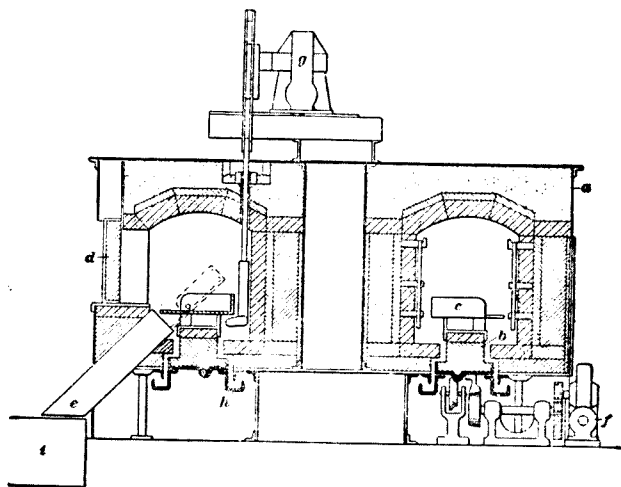
鋼錠，鋼條等也有用連續裝卸法的。

9.17 連續裝卸式電爐概論 連續裝卸式電爐利用一種機械裝置使待熱物體多少可以連續進行通過爐內。爐身通常是一種相當長的隧道，以便物件逐漸進行至發熱室時，溫度可以逐漸增高而因之預熱。同樣物件逐漸離開發熱室時，也在隧道中逐漸冷卻；但有時却不是這樣，因為有種熱處理工作需要物件熱至適當溫度後即落在一個淬池內。冷的物體進行至發熱室的行動方向和熱的物體離開發熱室的行動方向相反的這種爐稱為迴熱爐 (recuperative furnace) 或再生爐 (regenerative furnace)，因為熱的物件可以放熱於冷的物件而使之預熱。這種迴熱爐很為經濟，但是祇有幾種熱處理工作可用，因為這種爐內物件必需在爐內冷卻。連續裝卸式爐內物件可以等速進行，不稍停歇，例如運輸帶式爐；也可作間緩運動，例如在推進器式爐內物件每半小時或一小時推前一次，但是這種動作是自動而有連續性的。連續運輸式爐可有下列幾種：旋轉爐床式 (rotary-hearth form) 推進器式 (pusher form)，步移梁式 (walking-beam form)，滾動爐床式 (roller-hearth form)，運輸帶式 (belt-conveyer form) 和運輸鍊式或頂上運輸式 (chain-conveyer or overhead form)。

9.18 旋轉爐床式爐 旋轉爐床式爐是連續裝卸式爐中的最簡單的。爐身固定，但爐床則作圓環形，下裝滾棍，能夠繞一鉛直軸旋轉。待熱物件自一門中裝入，等爐床在爐膛中旋轉一周後，

即在前一門旁的另一門中卸出。爐床的轉動可為連續的，也可為間續的。

這種爐內，也可於爐床上裝有卸貨盤。待熱物件裝於盤內，爐床旋轉一周，到達適當地位時，即自動停止；於是有一舉重桿提起盤的後端，盤內物件即由一槽中落至爐外的淬池。舉重桿再放下，盤恢復原位，以便裝貨。這種作用，都是自動的。圖 9.12 所



9.12 旋轉爐床式電爐

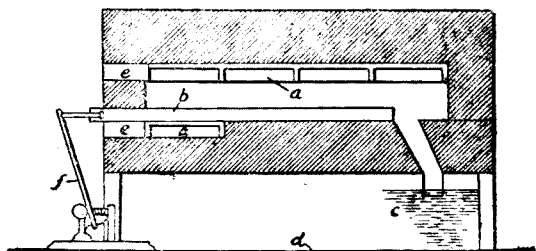
示就是這種爐的截面。*a* 為固定的爐牆和爐頂，*b* 為圓環形旋轉爐床，*c* 為卸貨盤，*d* 為裝貨或卸貨的爐門，*e* 為卸貨入淬池的槽，*f* 為旋轉爐床的電動機及齒輪組合，*h* 為旋轉爐床和爐身接觸處以防止熱損失的砂封函，*i* 為淬池。

9.19 推進器式爐 推進器式爐也有種種不同的形狀。一般

是一個隧道形的爐，爐膛內裝有滾軌或滑軌；待熱物件或裝載物件的盤可用電動機或水壓機運使的推進器沿軌道推進。物件可於隧道兩端相反方向各自逕直通過隧道；或自爐門沿一方向進至爐底，然後轉身沿相反方向退至原門。這兩種都是迴熱式。或則物件沿一方向進入爐中，至適當溫度後，即落於淬池內。

推進器式爐的大概形狀如圖 9.13。 a 為電熱元件， b 為合金製的裝貨爐床， c 為淬池， d 為廠房地平， e 為門口可移動之磚，以便窺視爐中， f 為用電動機或水壓機運使的推進器。

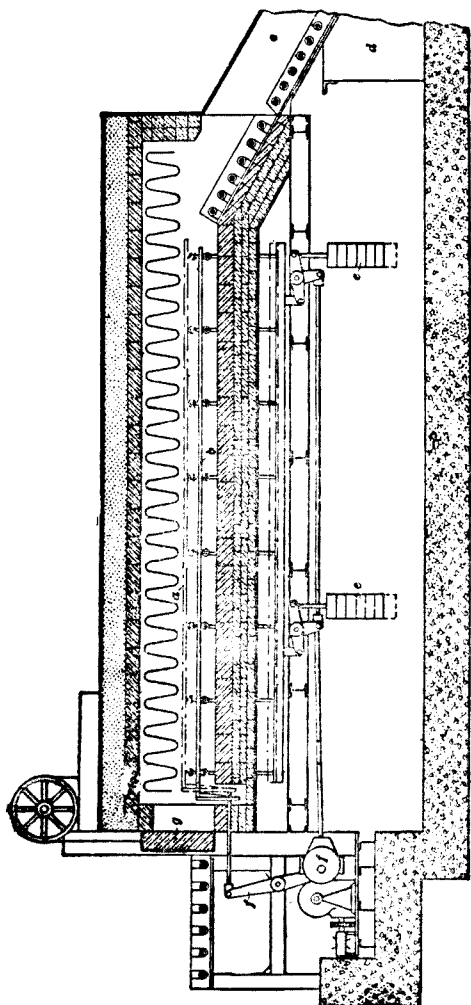
9.20 步移梁式爐 步移梁式爐也是一個隧道形的爐，直貫隧道裝有合金製的梁兩副，一副是固定的，另一副則裝於一個用範動輪運使的機構上，待熱物件就放於這兩副梁



9.13 推進器式電爐

上。這種機構先使移動梁舉起物件，比固定梁略高，然後前移一定距離，再行降下，使物體再置於固定梁上，而移動梁則再降下而後退至原來位置。這樣週而復始，物件就像人步行一樣，一步一步通過爐膛。這種移動機構也有多種不同式樣。

圖 9.14 所示是這種爐的截面。 a 為移動梁前移位置， b 為後退位置。物件到爐底後經卸貨槽 c 而到淬池 d 。 e 為移動梁的平



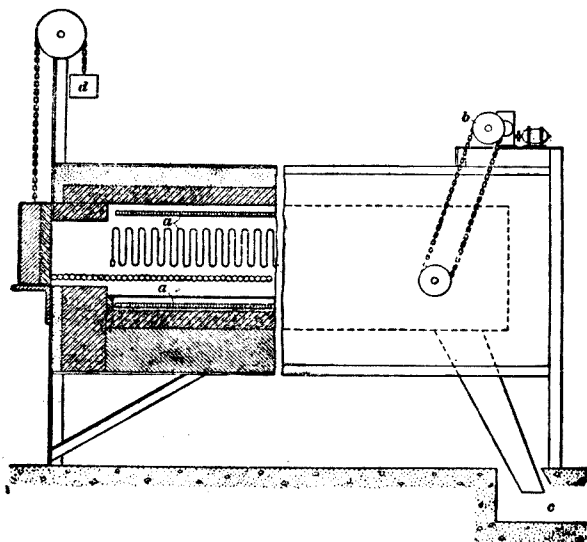
電 爐 式 梁 移 步 式 滾 動 爐 床

衡重物， f 爲使梁移動的機構。 g 爲人工裝貨或進入爐中以便察視的爐門，爐門也有平衡重物，圖中沒有示出。

9.21 滾動爐床式爐 滾動爐床或爐的使用於各種工業，特別是鋼片製造，已經有年；大都用於燒燃料的爐上。電爐內現在也已設計採用這種爐床，結果很爲滿意。這種爐也是隧道形，在一端都開門；若門祇在兩端，則另一端具有卸貨槽，以便直接卸貨入淬池。爐床用合

金製的滾棍構成，各棍係橫鋪於爐膛中，相互間隔極近。各棍都用裝於爐門的電動機運轉，使置於爐床上的物件逐漸移入爐內。這種滾棍設計時必需極為審慎，因為棍若略有彎曲，爐床就有損壞的可能。滾棍軸承和運轉機構製造時也需具有技巧，以謀減少摩擦而免運轉時有阻礙。

圖 9.15 示滾動爐床式爐的截面。 a 為電熱元件， b 為用以轉

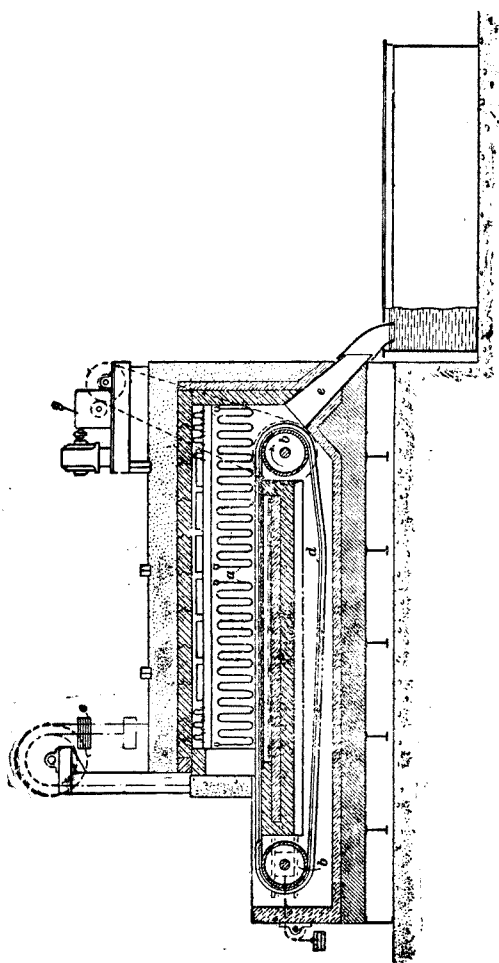


9.15 滾動爐床式電爐

動滾棍的電動機和變速機構， c 為淬池， d 為爐門的平衡重物。

9.22 運輸帶式爐 運輸帶式爐之有滿意設計，使其效用能抵得較貴的設備費用，還不過是最近期內的事。現在使用滿意的有三種運輸帶式爐，都是隧道形。一種用鋼片製成或鋼線織成的

運輸帶，繞過爐端的轉筒，而由爐下回至爐門處。一種是用合金



電 爐 帶 輸 運 式 帶 輸 運 9.16

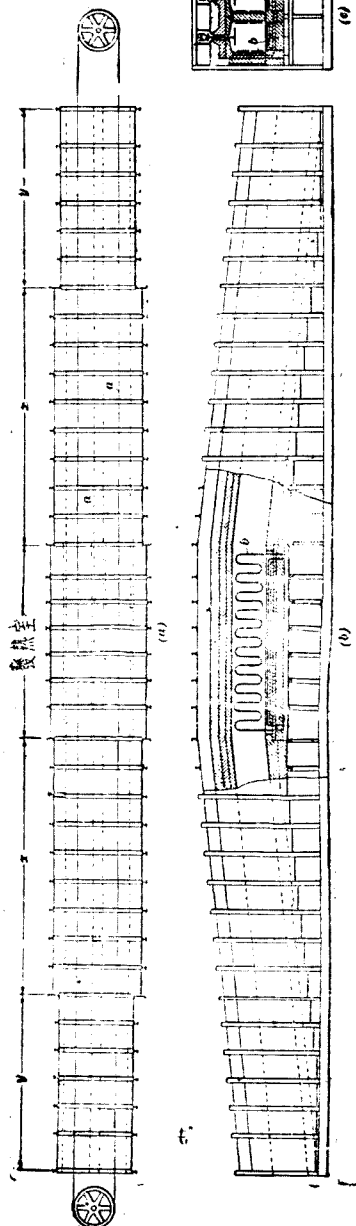
鑄成特別設計的鍊，組成帶狀。這種帶也繞過爐端的轉筒或齒輪而由爐下繞回。第三種是壓成或鑄成的合金板，橫舖於爐膛內，而由合金製的鍊移動。這種運輸帶極適合於加熱大量小件之用。運輸帶式爐的平常維持費用很大，因為運輸帶在高溫要比在常溫易於損壞碎裂。這種運輸機構可以使物件一直貫通爐膛，也可使在爐內卸至淬池。

圖 9.16 示這種運輸帶式爐的截面。 a 是電熱元件， b 是用電動機連轉的齒輪，上繞運輸帶， c 是爐門的平衡重物， d 是運輸帶， e 是卸貨槽， f 是淬池， g 是電動機和連轉機構。

9.23 運輸鍊式或頂上運輸式爐 運輸鍊式爐在上面第八章也曾講過；這種爐相當新式，但是對某幾種工作極為有利。這種爐也可以使用於好幾種熱處理工作，但是最適合的工作是在鋼片上燒附玻璃性的琺瑯質。這種爐的一般形狀，是具有兩條平行的隧道。在馬蹄式(horse shoe type)或 U 式即單端式中，兩隧道的一端接連，他端開門，物件由一隧道入內，轉至他隧道，依反對方向出爐。在雙端式內，兩端都開有門，物件分別沿兩隧道以相反方向進行。這兩種都是所謂迴熱式。隧道上面有運輸鍊一根沿隧道進行，鍊上每隔三四呎裝有懸物棒一根，通過隧道頂上的槽縫而垂於隧道中。棒上裝有懸物架，待熱物件就置於架上。

這種隧道或為平臥式 (horizontal)，或為升高式 (elevated)，後者隧道中段的發熱室比隧道端略高數呎。在這種升高式爐內熱量可保留於中段發熱室，而免除因運流而使熱流至隧道口。在平臥式內，則爐口必須裝有電動機連轉之鼓風機，鼓氣向內，使隧道中不致有運流。因為爐頂沿隧道全長開有槽縫，所以必須有特別之設計，使能夠支持爐頂的凸懸部分。懸物棒和懸物架必須用耐熱合金製成，但也須輕便，因為這一部分吸收之熱是一種損失。

在 U 式爐內，發熱室在兩隧道接連的一端，電熱元件裝於



9.17 電式運輸帶式爐

兩外壁和中間夾壁上。在雙端式爐內，則中間一段隧道為發熱室，元件裝於兩側壁上。電熱元件往往分區裝置，以便各區溫度可以分別控制。當物件進入發熱室時，溫度逐漸增加，使物件預熱；自發熱室往外行時，則溫度逐漸下降，使物件逐漸冷卻。

這種運輸帶式爐的隧道中，裝有懸門，以便於星期日等停工日期內，將門關閉，使隧道中部的熱不致外洩。隧道兩端，也可裝門，以供同一作用。

圖 9.17 (a) 示一升高雙端式的運輸帶式爐的俯視圖。a 為發熱室，x 為第一熱量調換段，y 為第二熱量調換段。(b) 為側視圖，b 為發熱元件。(c) 為發熱室的截面

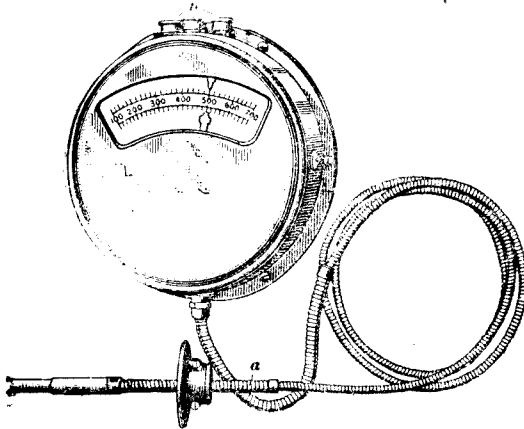
圖, a 為運輸鍊 b 為電熱元件。

9.24 烘爐構造式的低溫電爐 第一類的低溫熱處理爐的運用溫度很低, 祇為 $700-1300^{\circ}F$ ($370^{\circ}-700^{\circ}C$), 所以爐身構造較為輕便, 而爐壁內的熱絕緣質也可較薄。在 $700-800^{\circ}F$ ($370^{\circ}-430^{\circ}C$) 的運用溫度內, 用烘爐構造 (oven construction) 通常很為滿意。所謂烘爐構造是爐壁內外都用 $\frac{1}{32}$ 吋厚鋼片, 中間則為高級的熱絕緣。這種爐壁的厚度通常為 6 吋。這種爐壁內也需用鋼構架, 使能支持爐身和待熱物件的重。直貫爐壁的螺釘或他種金屬件必需力求減少, 以阻止熱的損失。上章中圖 8.3 所示的爐, 就屬於這種式樣, 用以馴服或健硬鋼斧等件, 這種物件即掛於車架上。電熱元件裝於爐兩側和中間。在爐頂往往裝置一個電動機運轉的鼓風器或風扇, 以便使爐內空氣流動而熱量配佈得以均勻。

9.25 煉玻璃爐 低溫電爐在工業上的一個很大用途是作為鍊玻璃爐 (glass lehr, or annealing oven)。這種煉玻璃的爐通常是連續運輸式, 待熱玻璃件在裝於爐頂及爐底的電熱元件間慢慢進行, 這樣才能使溫度可以調節到很近似之限程, 以免玻璃件發生碎裂或內部發生脅變。通常玻璃件入爐時的溫度大約為 $1000^{\circ}F$ ($540^{\circ}C$), 玻璃件逐漸前進, 溫度逐漸減低, 以至室溫。以便玻璃件依照規定程序慢慢冷卻。在有幾種工作程序內需要將玻璃件重行加熱及冷卻一次或二次。

9.26 熱處理爐的溫度控制 電爐的一個優點是溫度能夠自

動控制。溫度控制器在低溫爐上用布爾董管發動，在高溫爐上則用溫差電偶和替續器(relay)發動。用布爾董管的控制器也是屬於恆溫器式的一種控制設備。布爾董壓力管控制器的形狀如圖 9.18 所示， a 為管本身，用適當的合金製成，內裝汞或氣體。管置



9.18 布爾董壓力管溫度控制器

於爐中待熱物件旁，當爐內溫度增加時，汞或氣體膨脹，因之可隨溫度的升降而使控制器內的接觸開關觸合或分開，以接通或啓斷控制屏上替續器內的電流。圖

內 b 就是這接觸開關的接線端，同時爐內溫度也可以控制器指針的位置來指示。控制屏上替續器的動作再由另一控制屏所裝的各種和開關替續器來控制爐內的電流。這種布爾董管式控制器或為非指示式，或為指示式，或為記錄式。這種控制器大都用於烘爐上，而溫度不到 $1000^{\circ}F$ ($500^{\circ}C$) 的時候。

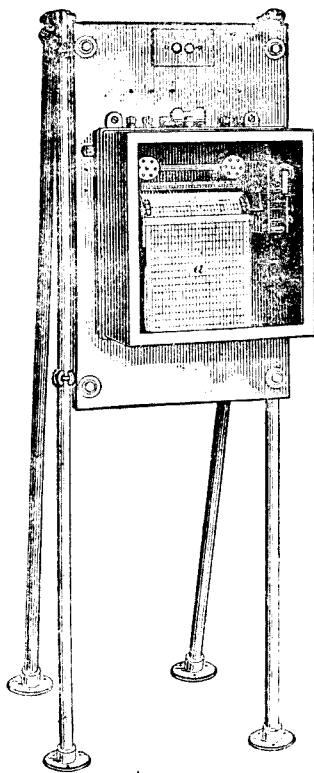
倘使溫度在 $1000^{\circ}F$ 以上，就要用溫差電偶高溫計式的控制器。溫差電偶的形狀見第一章圖 1.1，所用的控制器則見圖 9.19。溫差電偶由兩種金屬組合，一端銲接，而裝於爐內；其他端則用

引線接於控制器內的動圈元件上。有時爲求準確測定起見，冷端需置於冰塊內或真空的保溫瓶內，以免其溫度有所變動。大多數電爐內所用的溫差電偶是鉻鎳合金 (chromel) 和鋁鎳合金 (alumel) 所製，若溫度在 $1900^{\circ}F$ ($1040^{\circ}C$) 以上，則用鉑和鉑鎳合金，在 $1500^{\circ}F$ ($820^{\circ}C$) 以下則用鐵和康銅。

當爐內溫度增加時，溫差電偶內電流也隨之增加；控制器內的動圈元件就依電流之大小而移動一個指針，使控制器接觸開關觸合或分開，同時這指針的動作也可在圖 9.19 內的記錄紙 *a* 上記錄爐中溫度。

接觸開關有兩個，都可先行校準，一個校準使於自動控制溫度的上限溫度時動作，一個則在下限溫度時動作。

這接觸開關的開合作用也用以啓斷或接通控制屏上替續器內的電流，再因之隨溫度的高下而分別啓斷或接通爐中電流。控制器必須與其在校準時所用的溫差電偶並用，因爲若用另一溫差電偶，那末所生的電流也不同，所以已校準的溫度限程也就不適用。

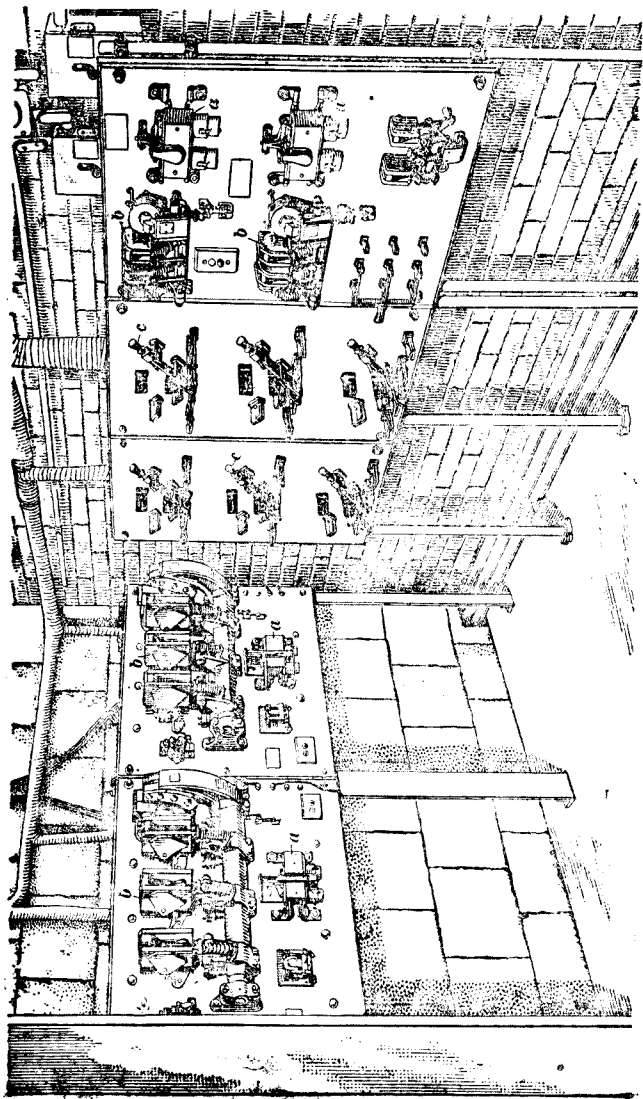


9.19 熱電偶度控制器

這種溫差電偶高溫計式控制器也可為非指示式，指示式，或記錄式。這種儀器很為靈敏，所以裝置之處必須儘可能地隔絕各種振動。這種控制器也絕對不能裝於爐上，或與控制屏裝於同一支架上。

控制用的高溫計和控制器必須裝在另一室，而不在裝置電爐的室內。但是電爐室內的管理員最好能夠知道爐的溫度與控制器內校準的正常運用溫度間的差異，以便可以增減運入爐中的物件，使爐的溫度常為正常運用值，而且得着最大的出產額。那就是說，當爐中溫度高於正常溫度時，便可以增加運入爐中的物件，使爐中溫度降低；反之則減少運入爐中物件，使爐中溫度升高。要適合這種需要時，可以在控制高溫計內另裝一種附件，接到電爐室中所裝指示溫度差異的儀器上。這種儀器也是一種電計；指針在標尺中間零字處，表示爐中溫度和正常運用溫度沒有差異，指針向一方偏轉則爐中溫度較高，若取反向偏轉則爐中溫度較低。

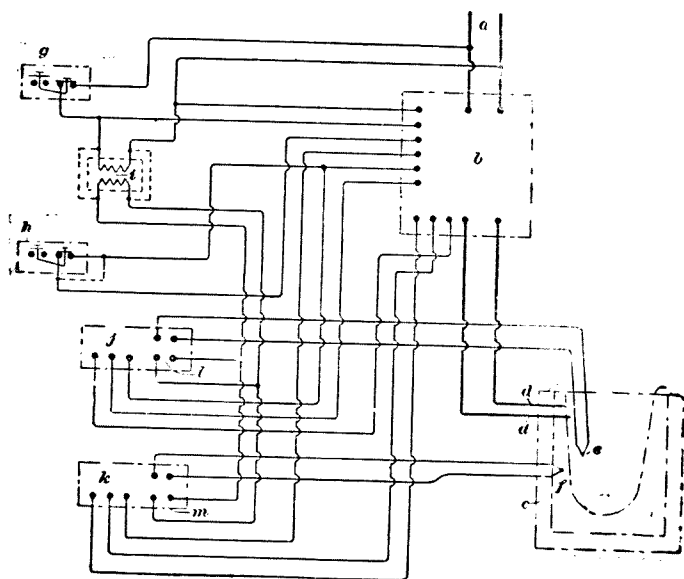
9.27 控制屏和控制方法 溫差電偶發生的電流固然極小，就是高溫計控制器內接觸開關所能直接管理的電流也是很小。所以在控制器和電爐主電路間必須裝有替續器，使控制器內的弱小電流可以控制主電路內的開關。這種替續器及其所控制的主電路開關，或其他機件，都裝置於一個控制屏（control panel）上。最適合的用替續器控制的主電路開關，是氣掣磁體式（air-brake magnetic type），因為這種控制開關可以時常開



屏 制 控 9.20

閉，不致損壞，而電爐電路內的電流則常須斷絕或接通。油開關 (oil circuit-breaker) 也很常使用，但是油開關易於磨損，而且油也易於氧化和燃燒，所以運用時弊病較多。圖 9.20 即示一種裝氣掣磁體式開關和其他機件的控制屏的形狀，可作為電爐用控制屏的代表式。圖中 *a* 是替續器，*b* 是自動氣掣磁體式開關，*c* 是用手開動的開關。

至於控制的方式，有好幾種。一種最簡單的控制方式，是溫度高於正常運用溫度時完全斷絕電路內的電流，等到降至比正常溫度為低時，再行接通電流。圖 9.21 示用兩個高溫計的這種



9.21 控制線路

方式的控制線路內控制屏和其他各器具間的接線方法。這種用兩個高溫計的控制制度，稱為二點控制 (two point control)。圖中 a 為單相 220 伏特交流電源線路， b 為控制屏的後景， c 為電爐， d 為爐內電熱元件的兩端， e 為裝置於爐池內的溫差電偶， f 為爐膛內的溫差電偶。這兩個溫差電偶分別接於 j 及 k 兩個高溫計控制器，再分別接到控制屏上的替續器，使每個控制器可以單獨控制主電路開關。 g 和 h 則為兩個按鈕 (push button)，用以分別接通兩個控制線路。 l 和 m 則是高溫計內用以移動記錄紙的電動機的接線端，都接於儀器用變流器 (current transformer) i 。若這種電動機用 220 伏特電源，則變流器可以不用，而線路依旁邊虛線所示的方式連接。

除了上面所述完全接通或斷絕主電路電流的控制方式外，常用的還有下列幾種：

(a) 具二個主電路，一個用控制器自動控制，一個則連續的通電流。

(b) 用三相交流電源，控制開關使三相由 Δ 接法變為 Y 接法。這時線路電流依 1.732 (即 $\sqrt{3}$) 比 1 之比而變，而每相電壓也依同比而變，所以 Δ 接法和 Y 接法內功率之比為 3 比 1。

(c) 控制器作用於一個電壓調整器 (voltage regulator) 或一個具有分接頭的變壓器 (tap-changing transformer)，以更變電壓。這兩種更變電壓的方法都可使用。

(d) 用自動控動器以控制主電路電流，同時另用具有分接

頭的變壓器以供人工調節電壓之用。

中型或小型電爐內，裝置一個溫差電偶已足，這個電偶通常裝於爐頂或後壁，與待熱物件愈近愈好。這種制度，稱為單點控制(single point control)。這種制度祇能使一處的溫度維持正常值。在大型爐內，爐膛和電熱元件每分幾區，每區有獨立的溫差電偶和控制器以控制本區的電流。這樣則爐中的溫度配佈可以有嚴密的控制。而且也可以用這種制度使各區溫度控制於不同的數值；例如在隧道形爐內，這種溫度配佈法極為需要，因為物件入爐時需在低溫加熱，逐漸進行至隧道中段則溫度逐區加高，然後再逐區減低。這種制度稱為分區控制(zone control)。

9.28 週程控制 週程控制(cycle control or programme control) 用以控制電爐內的加熱，冷卻和其他手續使依照一種指定秩序進行，而且加熱和冷卻率也可以依照所規定的值，這種控制方式比較專門，所以這裏不加詳述，但是這種控制可以應用於任何樣的秩序和任何樣的溫度與時間之間的關係。

最簡單的週程控制是用一個循時開關 (time switch)。這種開關有多種式樣，可用以在指定時刻或指定時刻後啓發或停止運輸物件入爐機構的動作，和接通或斷絕爐內電流。例如這種開關，可以使爐中工作依照下列週程做成：先接通電流，再啓發運輸機構動作，歷一指定時期後，斷絕爐內電流，停止運輸機構動作，和開動冷卻風扇；各種手續都能在預定秩序相符的時刻實現。

9.29 電爐的保護設備 因為自動溫度控制總有一旦損壞，因而不能照常作用的可能，所以電爐內最好需有保護設備，以為溫度控制器損壞時自動斷絕電流之用。若沒有這種保護設備，則溫度勢必升高到毀壞電熱元件為止。現在用的這種保護設備有二種：

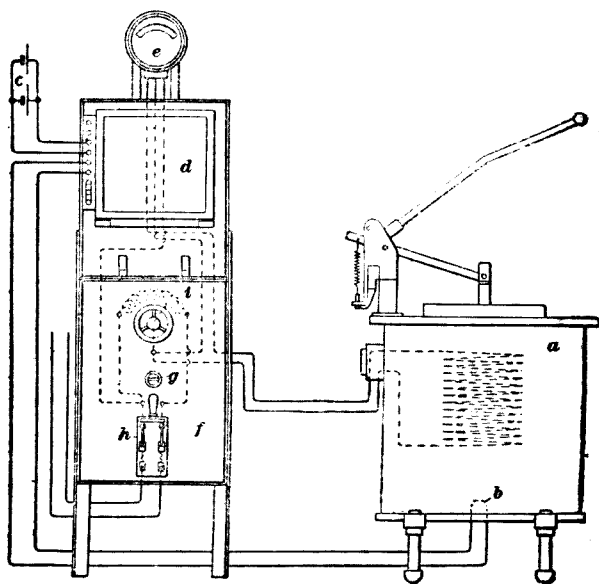
(a) 在在電路內裝入一個純金熔鍊，其作用溫度為 $1940^{\circ}F$ ($1060^{\circ}C$)，就是金的熔點。這熔鍊和吸持主電路開關的鍊卷串聯，當溫度到達 $1940^{\circ}F$ 時，熔鍊熔解，因而主電路開關斷絕電流。

(b) 在爐內另用一個高溫計控制器，其作用溫度比爐的正常運用溫度稍高。若平常的高溫計控制器因損壞而不起作用，則爐中溫度繼續上升，因之這另裝的控制器就起作用而斷絕主電路電流。

9.30 飽和指示器 飽和指示器(saturation indicator)是用以指示電爐中的待熱物件已到達臨界溫度程，或即所謂已達飽和狀態的儀器。這種儀器常用而很滿意的有三種式樣：(a) 李次諾斯嘮潑陡變指示器 (Leeds and Northrup hump apparatus)，(b) 外爾德巴斐爾特磁效指示器 (Wild-Barfield magnetic indicator)，(c) 咯克威爾膨脹指示器 (Rockwell dilatometer)。這三種指示器通常祇有小型的。另外有一種方法指示臨界溫度程，也可以用以控制溫度的，是應用具光感作用的光電真空管(photo-electric cell)，就是所謂電眼(electric eye)的

指示器。下面細述各種指示器的構造和原理。

(a) 李次諾斯嘮潑溫度陡變指示器乃各方法內最早使用的，也許是使用最普遍的。這方法內將待熱物件在一個小電爐內慢慢加熱，物件溫度由一個記錄式的溫差電偶高溫計顯示。當溫度到達臨界溫度上限，記錄紙上的曲線上就現出陡變。這是因為物件內部結構在這溫度有一種變化，所以祇吸收熱而不增加其溫度。所以管理員看見溫度曲線發現陡變後，就可立即將物件浸於淬池了。

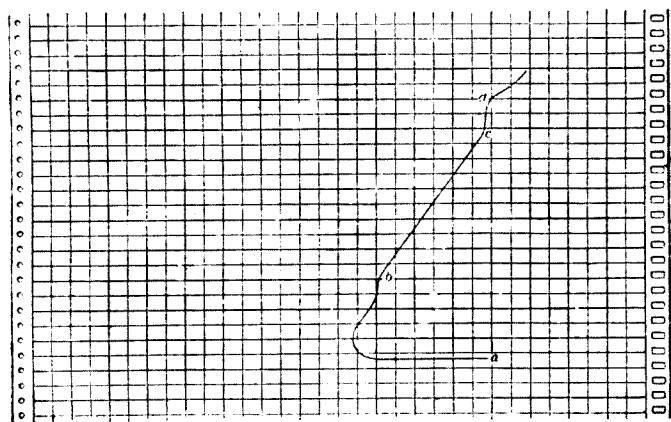


9.22 溫度陡變指示器

這種指示器的簡單線路圖見圖 9.22。圖中 *a* 為電爐，*b* 為電

爐內所裝溫差電偶, c 為並聯的兩只乾電池, d 為記錄高溫計, e 為一個瓦特計, f 為控制屏, g 為一個領示燈(pilot lamp), h 為主電路開關和易熔錄, i 為一個自耦變壓器, 具有更變電壓用的旋轉開關。

記錄高溫計內的溫度記錄曲線形狀如圖 9.23, 在 c 處曲線忽然屈折而非直線狀, 這就是所謂陡變。曲線形狀依待熱物件性質而不同, 但是大體和此圖相似。圖中 a 處示在室溫的物件開始置入爐中, 與溫差電偶接觸, 電偶之原溫度約為 $1400^{\circ}F$ (760°

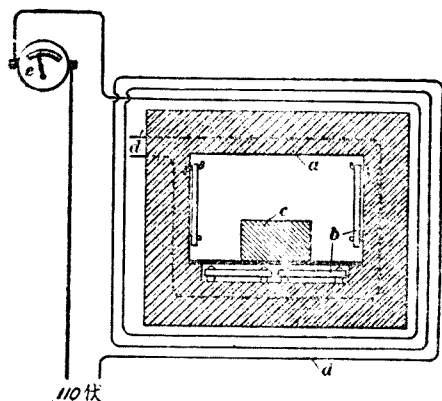


9.23 溫度記錄曲線

C)。此時爐中電流尚未接通, 物件開始自爐中吸收熱量, 因之電偶溫度銳降, 約至 $1100^{\circ}F$ ($590^{\circ}C$), 然後再略增加而至 b 點之略彎曲處, 此彎曲處為平衡點, 指示爐中物件與電偶已達同一溫度而成熱平衡。於是電流開始接通, 使爐中物件和電偶的溫度以

同率上升。至 c 點時因物件吸收熱量以從事內部結構的變化，因之溫度不升高而成曲線陡變。至 d 點時內部結構變化完竣，然後溫度繼續升高。這 cd 一段就顯示到達臨界溫度程上限時的溫度及時間。

(b) 外爾德巴斐爾特磁效指示器通常用於試驗室或工具室內。這種指示器的線路圖見圖 9.24。圖中 a 為電爐爐壁截面， b 為電熱元件， c 為待熱物件， d 為繞於爐外之錄卷，有時也埋置於爐壁內如 d' ， e 為用以測定錄卷 d 中電流的毫安培計。錄卷 d 接



9.24 磁效指示器

於 110 伏特交流電源線路上。當待熱物件置於爐內後，磁通增加，因之錄圈 d 的電抗也增加，而安培計 e 內的電流隨之減低。當爐中物件到達其臨界溫度程上限時，其磁性失去，而磁通亦減少。因之錄卷電抗

就減至未置入物件前的初值，而電流也增至初值。管理員看見安培計偏轉增加後，即可將物件浸入淬池。

(c) 咯克威爾膨脹指示器是一個很精細的機構，裝於小電爐頂，用以測定爐中物件當加熱時的線膨脹。當物件到達其臨界溫度上限時，膨脹係數突然減小，甚至停止膨脹，這種膨脹的長

度就被指示器記錄在記錄紙，因之管理員可以於適當時間淬浸物件。指示器的作用是因一根接觸於爐中物件而通出外面的棒當物件膨脹時推動一個槓桿的臂，而槓桿的另一臂即使指示器指針移動。

(d) 用為控制溫度的電眼是一種像無線電收音器用的真空管一樣的真空管，而由輻射的強度來控制管內電流。當輻射照於電眼的柵極時，鉍極電路內發生的電流，和輻射量成正比，而當輻射停止時電流也停止。這種電流再經靈敏的替續器來控制其他電路。

這種電眼使用於加熱金屬的電爐上時，必須使加熱金屬所發的輻射直接照於電眼的柵上。最便使用這個方法的待熱金屬件是鉚釘，汽車引擎上的閥，和其他相類物件等，用直接通過這種物件的電流來加熱。電眼置於適當位置，使由這種物件發出的輻射直照於其柵上。當輻射量到達一相當於適當溫度的預定值，鉍極電路電流就增加到能作用替續器而將電爐內電流斷絕，同時由爐中將物件卸出。

這種原理在工業上可以有許多的利用，因為用法簡單便利。但是，加熱物件的輻射必需直照於電眼上，而且有時溫度的控制程度不十分嚴密。

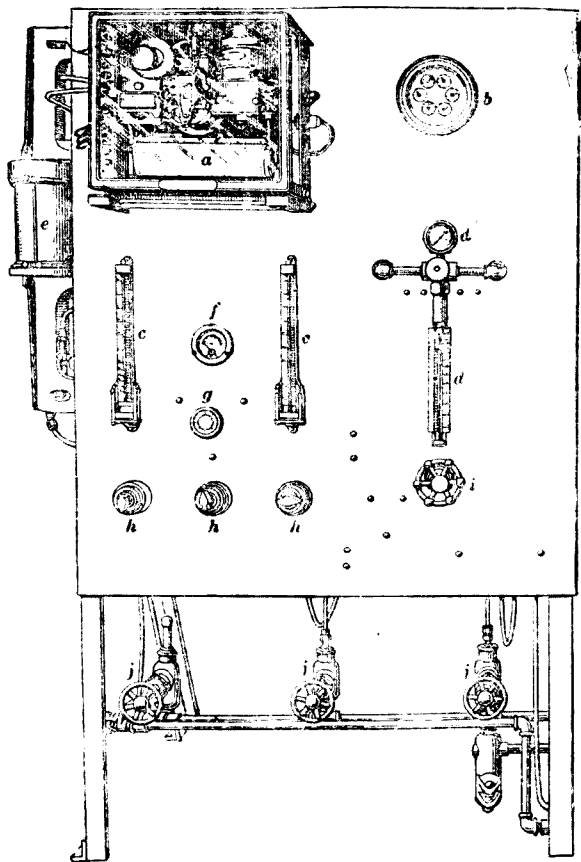
9.31 氣氛的控制 關於電爐中應用的氣氛 (atmosphere) 的問題，現在注意的人很多；因為反對用電爐的人所持的理由是：電爐中加熱的物件，比較燒燃料的爐中加熱易於氧化，易於

發生鱗片(scaling),也易於發生表面退碳現象(decarburization)。但是這些都不是事實。在各方面屢次的試驗顯示大多數的發生鱗片現象是發原於燒燃料的爐內,而其原因是燃料中水分太多,或燃燒後所得氣體中二氧化碳太多。在電爐中這兩種有氧化性的物質都不存在,而且在 $1500^{\circ}F$ ($800^{\circ}C$) 溫度的空氣極為稀薄,每單位體積所含的氧的量也極少;所以電爐中發生鱗片的現象實際上比燒燃料的爐中少。

至於表面退碳的問題極為複雜,不在本書範圍之內,不過據近日試驗的結果,這種現象,與其視為因外來原素而發生,不如視為因為合金本身各種成分的性質而發生。那就是說:在同樣情形之下,某幾種鋼在熱處理時易於發生這種現象,而其他鋼類則不然。某幾種鋼就是拿牠埋置在含碳物質內,在熱處理中也要發生退碳現象。還有,試驗結果明顯地指示,發生鱗片或氧化現象對於表面退碳現象沒有影響,這兩種是截然不相關而不同的現象。關於這種現象的數據,可以從美國鋼鐵處理學會的刊物裏找到。

要得到特殊結果的人工氣氛(artificial atmosphere),在設計於這種用途的電爐內極易做到。通常是將爐外殼的接縫處銲合,使其密不透氣;或則在待熱物件外面裝一個密不透氣的罩或箱。人工氣氛可用種種氣體,如氫氣,氮氣,煤氣,天然煤氣,焦煤爐氣(發生爐氣)化鐵爐氣,和其他氣體等,以防止發生鱗片現象而能夠做到保潔煉治的工作。不過,在用這幾種氣體時,需要

特別的設計和留意，因為若用氫氣和煤氣，而運用方法不適當時，發生爆炸的危險性極大。



9.25 氫氣分裂設備控制屏

用來保澤煉治冷軋鋼(cold-rolled steel) 的一個滿意的新的

法是用分裂的氨氣(cracked ammonia)爲爐中氣氛之用。這裏分裂的意思,是把氨加熱分解爲氫和氮兩種氣體。液體氨先蒸發爲壓縮的氨氣,再通入熱分解器(thermal dissociator)即分裂器(cracker),在被控制的溫度下,利用適當的觸媒,就分解爲氫氣和氮氣。所謂觸媒是一種物質,可以促進一個化學反應,而其本身則在這化學反應完竣後不發生變化。分裂後的氣體經過乾燥後,在物件加熱及冷卻時通於電爐內。用這種方法煉過的鋼,出爐時極爲明亮光潔。圖 9.25 示一個新式爐及其分裂氨氣設備的指示屏。圖中 *a* 是一個溫度記錄器, *b* 是一個氣體流量計, *c* 是分裂氣體壓力指示器, *d* 是一個流率指示器, *d'* 是一個後方壓力指示器, *e* 是一個分裂爐, *f* 是分裂爐溫度指示器, *g* 是調節分裂爐溫度用的可變電阻, *h* 是分裂爐,蒸發器,和分解裝置的各個電路內的開關, *i* 是控制氣體流入爐內的氣閥, *j* 是接於液體氨筒上的管上所裝的氣閥。

因爲受熱處理的物質的不同,和所需要的結果的不同,可以滿意的用爲人工氣氛的氣體也各異。這個問題的詳細討論太繁,不在本書範圍之內,因爲要明瞭這個問題,必須要自高等冶金學裏的理論和數據。

第十章

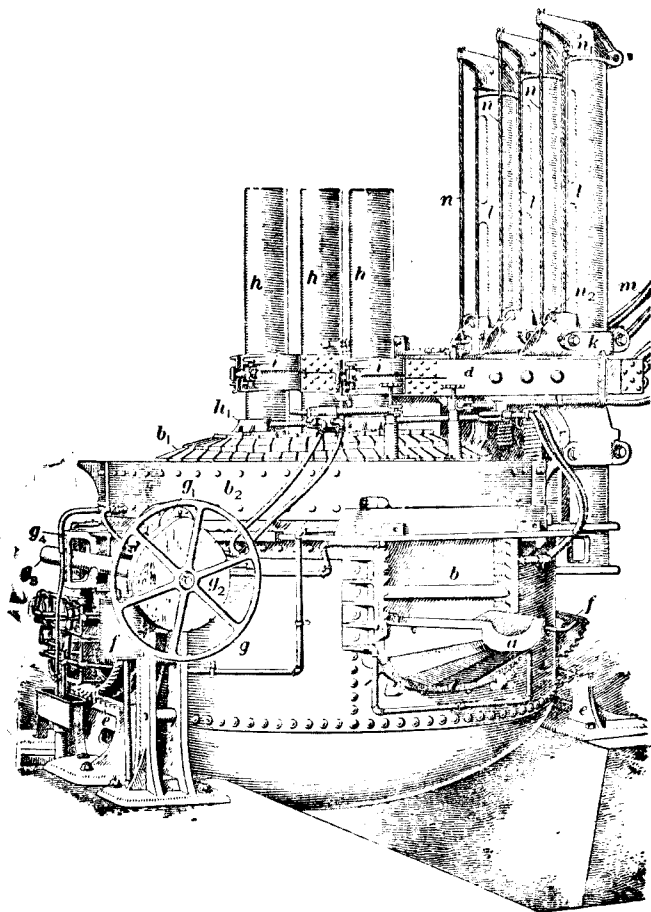
熔爐和電化爐

10.1 電弧熔爐概論 上面所講的各種電爐，都是使用金屬或非金屬的電熱元件的電阻式爐。這種爐雖也用以熔解金屬，但是熔解鋼鐵的爐却不是電阻式，而是電弧式或感應式，這章裏所要講的，就是這幾種不同電熱元件的電爐。

電弧熔爐的使用，已經有了好多年。差不多所有熔鋼或其他鐵基合金的電熱熔爐，都是屬於電弧式，曾在市上流行過或流行着的電弧，有好幾十種不同的設計和式樣。但是現在通常使用的祇有下列幾種：*(a)*匹茨堡式 (Pittsburgh type) 或摩爾式 (Moore type)，*(b)*赫囉而脫式 (Heroult type)，*(c)*斯溫代而式 (Swindell type)，*(d)*方姆包爾式 (Vom Baur)，*(e)*盧德倫式 (Ludlum type)，*(f)*伏爾他 (Volta type)。其餘式樣雖然尚在使用，但大多已經不製造了。這各種式樣的構造大概相似，都是鋼的爐殼，內襯耐燬物質，而爐內裝有電極，通出爐外。電源或用單相交流，或用三相；電弧或在電極間，或自電極到爐池，或自電極至爐池而再回至另一電極。

電弧爐中之電弧在由電極至爐池間者，稱為直接電弧爐 (direct-arc furnace)，電弧祇在電極間者，稱為間接電弧爐

(indirect-arc furnace)。有幾種爐中同時用直接電弧和間接



10.1 三相直接電弧式熔鋼爐

電弧加熱。

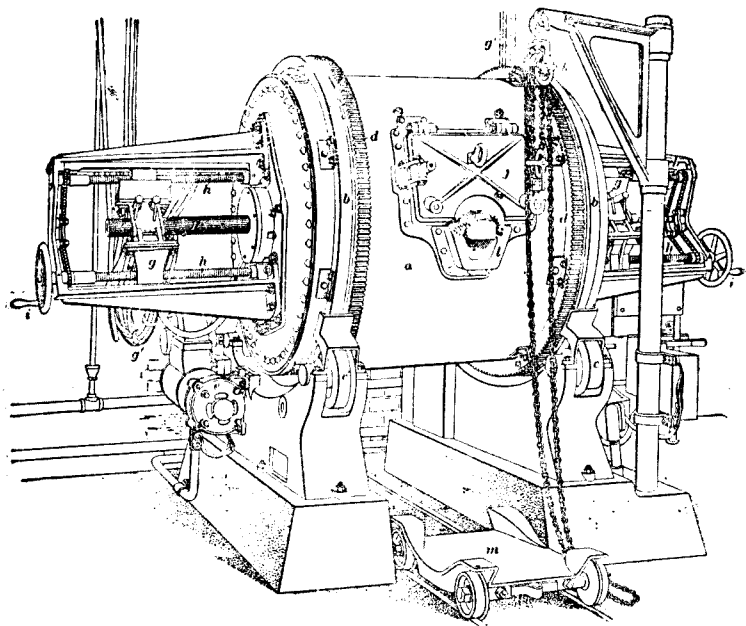
這種爐通常使用於鋼鐵工業內以製各種鐵基合金和高等鋼，非但用以熔解，也用於精提(refining)工作。這種爐的容量小至可裝貨幾百鎊，大至五六十噸；其輸入功率則自 100 仟瓦特起，到 20000 仟瓦特止。

10.2 直接電弧式熔鋼爐 圖 10.1 示一種習見的三相(三電極)直接電弧式熔爐的構造，就是所謂斯溫代而式。圖中所示是灌注熔鋼的一面， a 是短而有厚的耐燬襯層的灌注嘴(spout)，其上面有闊大而重的爐門 b ，待熔鋼件由此加入。爐門具有起動槓桿，使之上落；在爐的另一面，則有用以平衡爐門的平衡重物。爐內渣滓也由爐門 b 倒出。爐身則為用厚的汽鍋板製的圓筒，中裝半球形爐底。爐內襯有厚層的熱絕緣耐燬質，使成盂形的爐床，以裝載待熔鋼件。爐頂作穹形，由數層的耐燬塊 b_1 組成，而支於爐身上面的圓環 b_2 上。整個爐門可以除去，以便修理爐內襯層時之需要。爐跨置於長坑上，而能夠用齒軌 e 和半圓齒輪 f 的組合，使之向前或向後傾倒。在灌注熔鋼時需向前傾，在倒出渣滓時則需向後傾。在較小的爐上，傾側機構用輪 g 轉動；在大型爐上則用電動機 g_1 以轉動 g_2 匣內裝於輪 g 之軸上的齒輪。輪 g 的軸由螺旋嚙合於支承在爐身上支架 g_4 內的管 g_3 內，所以當 g 轉動時， g_4 管及爐身即被推而傾側。有幾種爐上管 g_3 即為輪 g 的軸，而有螺紋的部分，則支承於爐架上。

三個等距的粗大碳極 h 穿過爐頂，電流由電極和爐內金屬間的直接接觸，或電極與金屬間的電弧，而通至金屬，於是金屬

即受熱而逐漸熔解。電極夾置於臂 d 上之銅箍 i 內，臂 d 則裝於能在鋼柱 l 滑動之滑節 k 上。電流由銅電纜 m 通至電極。滑節 k 則由繞過滑輪 n_1 及 n_2 之鋼纜 n 曳動上落，以調節電極之位置；在 n 纜之另一端，則有用以平衡滑節 k 之重物。鋼纜 n 繞於用電動機旋轉之圓鼓上，電動機則由一精密之控制機件自動控制，使電極常在適當位置。電極箍 i ，電極穿過爐頂處之墊環 h_1 ，爐頂支環 b_2 ，爐門 b ，及門框都用流水裝置冷卻。爐底坑上平常裝有遮板，以保安全和便利。灌注熔鋼時，則將遮板卸去，而以長柄杓置於坑內。

10.3 熔非鐵金屬用爐 上面所述的各式電弧熔爐差不多完全使用於熔解或精提鋼類或其他種鐵基合金，對於熔解黃銅，銅，和其他非鐵金屬不能適用。設計而適用於熔解這種低熔點金屬的電弧爐很少，其中一種式樣，就是所謂迪特囉愛搖動式電爐 (Detroit rocking furnace) 的構造，如圖 10.2 所示。爐身是水平圓筒狀，置於滾棍上，以電動機運轉，使其先向一方搖動，然後向對方搖動。圓筒兩端各有一個電極，伸於爐中。待熔金屬置於爐內後，電流就從一電極經金屬而至另一電極。金屬開始熔解，同時爐也開始向兩方搖動，一直到熔解完竣為止。這種搖動使在熔解的金屬不至有局部過熱的情事，可以避免金屬中或有的鋅，錫或鉛等因氧化而燒去。這種搖動也可使爐中襯層的磚牆免於過熱，所以這種耐燬磚可以比較耐久。這種爐用單相交流電源，大多是小型的，其容量約可裝 250 磅到 2000 磅。



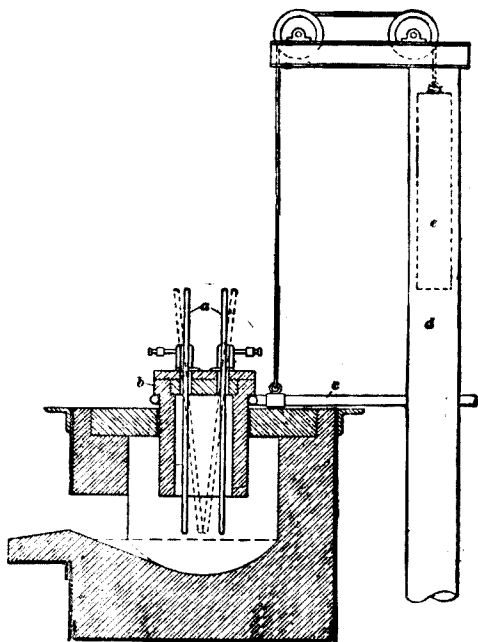
10.2 搖動式電弧熔爐

圖10.2中 *a* 為內有厚的耐燒襯層的鋼製水平圓筒。筒兩端有環形鋼軌兩條，能夠在四個具有突緣的輪 *c* 上滾動。筒上還有齒軌 *d* 兩條，以齒輪和在圖內爐後的一根軸腳接，這個軸是由電動機 *e* 來運轉的。用這種機構和一個自動反向機構能夠使爐身在熔解時期內，作在一周的任意一部分內的搖動。這種搖動使熔金屬在受熱的襯層面上行動，以便熔解較速，而且可避免襯層受熱不勻或過熱的現象。同時這種搖動也可以使熔金屬攪合，而避免分凝現象。

這種爐也可用為間接電弧式，這時金屬因兩電極所生之電弧而受熱熔解。無論是直接式或間接式，電極的裝置方法是一樣的。這兩根粗大的碳極 f 由爐端中心伸於爐內。每根碳極夾置於電絕緣的滑節 g 內， g 則由用輪 i 轉動的螺旋桿 g' 在水平方向移動。電流則用粗大的電纜 g' 通至電極。當爐內電弧使電極內端逐漸耗去時，需轉動 i 輪以逐漸將電極餵進爐內。爐身旁有一個闊大而有厚的耐燬襯層的門 j ，以便加入待熔金屬錠和廢金屬，也可供工人在修理爐內襯層時的出入；這門可用起重滑輪組合 h 來開閉。在門下有一只灌注嘴，嘴很短，因為承受熔金屬的枱是放於車 m 上，而車至爐下的。在需要的時候，灌注嘴可以用一塊磚來塞住，免得熱量或蒸發的金屬有損失，而且也可用以隔絕空氣進入爐內。有時在熔解時期內灌注嘴上也需留一小穴，以便爐內的氣體洩出。這種氣體都是由加入的廢金屬上的雜質蒸發而成，例如鑄床上鑄下的黃銅屑上的油類等，在熔解的初期就發現。這種式樣的爐也有少數用於熔解鋼和半鋼性合金。

10.4 排斥電弧式熔爐 另有一種小型電弧爐，專為熔解黃銅和其他非鐵合金的，就是封希勒格爾式 (Von Schlegel) 的排斥電弧爐 (repel-arc furnace)，這爐的形狀如圖 10.3 所示。這種爐用三相交流電源，有三隻小電極，懸於爐頂上。圖中所示電極 a ，祇有兩個，另一個沒有畫出。 b 為電極由之穿過的墊管， c 為用以支持 b 的管狀支架， d 為支柱， e 為用以平衡 b, c 等的重物。

電極支持於刀口式的夾子內，極上附有平衡物，使平時極的下端互相接觸。當電流通過電極時，各極下端的電流互相排斥，因而發生電弧。更動電極上平衡物的位置，可以調節電流大小，因為電流一定要自動調整到適當值，使各極下端間的斥力適能平衡電極上的平衡物。因為這種爐有自動調整電流大小的



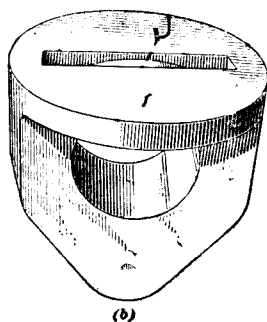
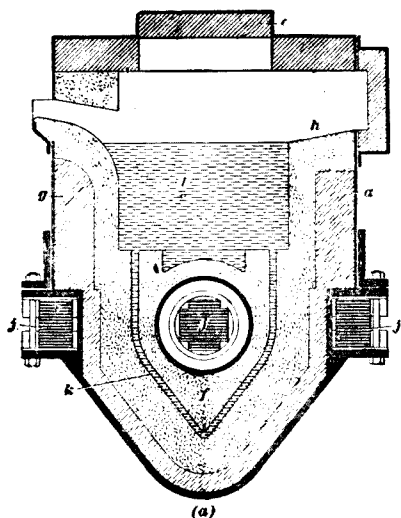
10.3 排斥電弧熔爐

作用，所以輸電路線上的負擔可以維持不變；對於電力廠，這是一個利益。還有這種爐可以用三相交流，對於電力廠方面，也有一個便利；像上節所述的爐，就不能接於三相路線了。

10.5 阿甲克斯外亞脫感應爐 其次所要講到的，是感應爐。感應爐分兩種：一種是以待熔金屬作為通路副線卷而用變壓器原理的，一種是使用高頻交流而利用渦電流發熱的。用變壓器原理的感應爐中最著名的是阿甲克斯外亞脫爐 (Ajax-Wyatt

furnace), 圖 10.4(a) 即示其截面, 其中具有 V 形底的耐燬爐心 f 的形狀另見圖 1.04(b)。原鋸卷內的電流使爐中的一個金屬環路 k 內生感應電流, 這個金屬環路 k 連屬於待熔金屬, 而是待熔金屬的一部。金屬環路 k 內的金屬因發熱而熔解, 同時發生電磁運流 (electromagnetic convection current), 而使全部金

屬熔解, 且可均勻的攪合。這樣, 待熔金屬是爐內最熱的部分, 所以因過熱和氧化的金屬損耗可以減至



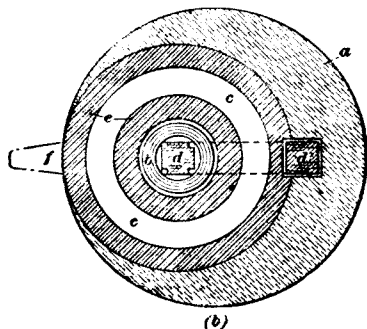
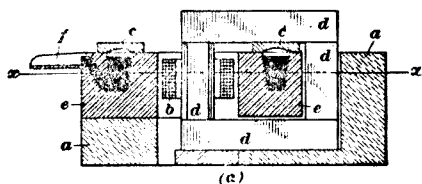
10.4 阿甲克斯外亞脫熔爐

極少量。這個優點對於含鋅及錫多量的黃銅的熔解很為重要。圖中 c 為可以除去的爐頂, a 為爐身外殼, 內襯有雙層的耐燬質 g 和 h 。原鋸卷裝於耐燬爐心 f 的圓孔內, 使穿過圓孔和環繞爐外的分片鐵心 j 磁化。環繞爐心 f 外面的金屬環路 k 內就發生很大的感應電流。這感應電流的作用非但使金屬熔解, 而且發生所

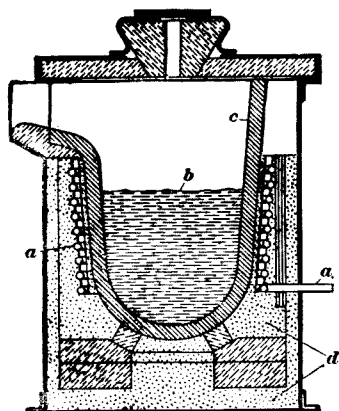
謂電磁運流，使環路內金屬劇烈的週流，因之熔池內的金屬 l 也就逐漸熔解而混和。所以這種爐不需再加以搖動。同時這種爐內的熔解可以絕無聲音。但是在運用期內爐心外面必須常有熔金屬，所以電路必須常通，而且，在開始用這爐的時候，必須先灌注熔金屬於爐心外環路內。若使爐中仍有金屬存在時，電路偶然斷絕，則爐心外的金屬凝結。那時必須將爐拆開，就要損壞耐燬襯層，所以要設法避免電流的斷絕。

10.6 圓環式感應爐 上節所述的感應爐很少用於熔解鋼或鐵基合金。但是有一種圓環式感應爐 (ring induction furnace) 可以適用於製造高級鋼類，而是其他爐類所不能勝任的。這種圓環式感應爐使用特殊低頻交流，其頻率約為每秒 10 到 15 週，歐洲各國用的洛歇林洛登好塞 (Rochlin-Rodenhauser) 爐，和美國用的奇異 (General Electric) 式爐都是這種圓環式感應爐中的良好者。

這種圓環式熔鋼爐的形狀見圖 10.5(a) 及 (b)。熔池成一完整的圓環狀。



10.5 圓環式感應爐



10.6 高頻感應熔爐

原錄卷內的電流在這圓環狀熔池內發生感應電流，使熔池內金屬熱至所需溫度。這種爐用以製造特種高級鋼，和其他難以製造的鋼類合金。有時這種爐裝置於真空室內，以使金屬中所含氣體可以除淨。(b)圖就是(a)圖內沿線 xx 的截面。在圖中， a 為爐壁的耐燬襯層， b 為原錄卷， c 為熔池上的蓋， d 為在原錄卷內的分片鐵心， e 為裝納待熔金屬的特種高級耐燬質的槽， f 為灌注熔金的嘴。

10.7 高頻感應爐 高頻感應爐或無鐵心感應爐可舉諾斯勒灑式(Northrup type)為例。爐為一個粘土或石墨製的坩鍋，外繞有一個用水冷却的原錄卷，卷外有熱絕緣。爐的外殼通常是以纖維板，雲母板(micarta)或其他非磁性物質製成。圖10.6示一個高溫無鐵心感應爐之組織。 a 為用水冷却的原錄卷， a 中電流在待熔金屬 b 中感應渦電流，待熔金屬因之受熱而熔解。 c 為容納金屬的坩鍋， d 為熱絕緣。

高頻感應爐在最早試用時，使用極高的頻率，最低為每秒100000週。現在的趨向則是遠較為低的頻率。某一製造廠的出品通常使用每秒480或960週的低頻，甚至可以使用於頻率每

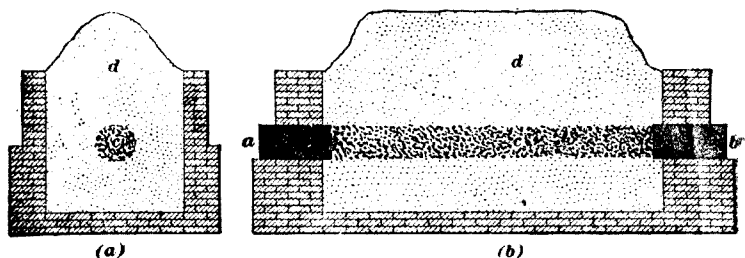
秒 60 週的普通商業電路上的感應爐，也已在發展中。這種爐對於熔解某幾種金屬很為適用，但是，使用過低的頻率如每秒 60 或 120 週等，似可發現爐中耐燬質襯層之超常而迅速的衰壞。而且低頻也使熔金屬有極劇烈的振動，因之金屬在熔解時易於氧化和吸收他種氣體。所以在要使用低頻時，必需詳細考慮到這些問題。若在真空或其他人造氣氛中熔解，那末金屬氧化和吸收氣體的現象就可避免。

高頻感應爐本身的功率因數極低，大約祇有 10% 或 20%。所以電路內必需裝有容電器，使功率因數可以調整到 80%。這容電器是感應爐的設備費中重要的一項。

這種無鐵心感應爐能夠在短時期內熱到很高的溫度，所以最不易熔的金屬，也可以迅速熔解而金屬也不致於像在燒燃料的爐內時的易於為氣體，坩鍋或其他物質所沾污。

10.8 真空感應爐 真空爐用以製煉極純粹的金屬或合金，或絕對不能有氣體和氣孔等的堅固金屬。這種真空爐有各種不同式樣，都具有自爐腔中抽去氣體的設備。這種爐大都為小型，而通常祇使用於試驗室內。但是，也有幾種工業上用的大型爐，全部裝置於真空箱內；在熔解時所發生的各種氣體都盡行抽去。所得的金屬可以十分純粹，而完全不含氣體。像含鉻多量的合金，平時極硬而脆；但若是在真空爐熔解的，可以像純鎳一樣的軟而具延性。

10.9 特種電化爐 特種電化爐(electrochemical furnace)



10.7 製碳化矽用電化爐

在工業上使用最早，用以製造碳化矽和其他碳化物。這種爐的組織如圖 10.7 所示，(a) 為縱截面，(b) 為橫截面。電極 a, b 係碳質大塊製成，夾置於銅板或鐵板間，通電流的電纜則接於銅板或鐵板上。電熱元件 c 為碳質碎塊，利用碳塊之電阻和碳塊間的接觸電阻，使溫度到達 $7000^{\circ}F - 7500^{\circ}F (3900^{\circ} - 4200^{\circ}C)$ 。製造原料的混合物，例如焦煤和砂，則堆置於電熱元件周圍 d 處。

這種爐實在不能稱為電爐。一般的構造，爐身是以磚砌成的牆，每面牆內裝一個或幾個石墨製的粗大電極。待熱原料堆置於電極間，電流由碳質通過。溫度愈高，則碳質的電導愈大，因之溫度升至極高，而發生化學反應。至反應完成後，通常必須將爐壁拆開，方能取出爐中產品。所以這爐不過是一堆的磚罷了。工業化學上之使用這種爐，是顯示電熱的一種優點，那就是能夠使用於其他方法所不能加熱的用途。

這種爐在開始使用時需要高電壓，因為爐中物質在冷時是很不良的導電體。當溫度升高後，電導也增加，因之電壓必需減低。至爐中物質到達適當溫度後，就需用低電壓和大量的電流。

問題和習題

第一章

一 用賽格錐體和溫差電偶測定高溫度各有什麼優點和劣點?

二 在什麼溫度時，華氏標溫度為百分標溫度的兩倍?華氏標溫度與百分標溫度同值?

三 使物體冷卻時，用 0°C 之水與用 0°C 之冰，那種有效?說明理由。又 100°C 之沸水與 100°C 之水蒸氣所灼之火傷，那種較烈?何故?

四 下雪前的溫度，往往升高，說明理由。又下雪後就是溫度高於 0°C 雪也不能一時熔盡，說明理由。

五 說明為何煮飯和煮肉類時必須將鍋蓋密閉，不然就不易煮熟。

六 重 250 克的銅塊熱到 100°C ，然後投入一重 90 克的銅杯中，杯中有 9°C 的水 100 克，混合後的溫度為 23°C 。求銅的比熱。

七 一熱氣爐有 8 個氣門，每門每分鐘放出熱空氣 15 磅，進入爐中的空氣溫度為 20°F ，放出空氣溫度為 80°F ，爐的效率為 60%，每磅煤所發出的熱為 14000 B.t.u. 問每星期需煤多少?

八 若將 150 克的冰，置入溫度 90°C 的水 150 克中，混合後溫度多少?

九 燃燒木醇時每克發出熱 6000 卡。今用效率為 60% 的木醇爐，使 0°C 的冰溶解為 20°C 的水。如要溶解冰 10 仟克，需燃燒木醇若干克?

十 100°C 的水蒸汽 20 克，通入重 90 克的銅器內，器內有 5°C 的水

400 克，混合後溫度為 34.6°C ，求水的汽化熱。

十一 某熱水器在 1 小時內可將 26 加侖水（每加侖水重 8.3 磅）自 60°F 熱到 120°F 。若用去 30 立方呎煤氣，每立方呎煤氣可發出熱量 580 B.t.u.，求爐的效率。

十二 在第七、九和十一題內若用電熱，而電熱的效率為 95%，求所需仟瓦特小時數。

第 二 章

一 說明下列事實：(a) 保熱水壺能阻止熱的散失；(b) 果園內冬夜放濃烟，以免果子凍傷；(c) 在北極區，身體埋於雪內，較為溫暖；(d) 房屋裝雙層窗，或鉛漆之板壁，可以冬暖夏涼；(e) 魔術家將燒紅的鐵放於舌上，不感痛苦；(f) 飛機上升愈高，離日愈近，但溫度愈低。

二 烟囱為何能够通烟？為何大工廠的烟囱必須極高？在大風時，烟囱通洩力一般增加，但有時也使烟不能通洩，各說明其理由。

三 一蒸汽箱之頂用石板製，長 60 厘米，闊 50 厘米，厚 10 厘米。箱內為在大氣壓力下之水蒸汽，頂上置冰。在 39 分鐘內可使冰 4.8 仟克熔解為 0°C 之水。求石板之熱導係數。

四 一圓筒形爐之內直徑為 5 呎，高為 10 呎，壁厚 6 吋，用礦棉為熱絕緣。爐內溫度為 1000°F ，爐外溫度為 50°F 。求每小時爐側壁及爐端失去的熱。

五 上題中爐壁內用 3 吋厚礦棉，外用 3 吋厚耐火磚，求在同溫度差時每小時爐側壁失去的熱量。若透面熱導之值假定為 1.5，求每小時失去的熱。

六 室內玻璃窗面積為 3 方米，玻璃厚 3 毫米，室內溫度為 25°C ，室

外溫度為 -20°C 。若祇就玻璃傳導而失之熱計，室中每日需燃燒煤若干磅？此題中尙未計及之重要失熱為何？

七 爐壁因運流及輻射之失熱是否應當限制？用什麼方法？但若此種失熱過少時，則爐壁發生何種現象？然則極度的限制運流及輻射失熱，是否必要？

八 爐內電熱元件與待熱物件間之熱的傳播是因何種現象？若爐內有適當通風時，對於此種傳熱率有何影響？但若通風不適當時，則發生何種現象？

九 一黑色之輻射爐之面積為 20 方呎，置於室中，室內溫度為 65°F 。若輻射爐溫度為 212°F ，則爐之失熱率為何？若爐之溫度為 800°F ，則其失熱率為何？

十 上題內若并計運流之失熱，則當爐溫為 800°F 時，其總失熱率為何？此數與由圖 2.4 檢得之數是否符合？何故？

十一 一爐之壁上有 1 平方厘米之孔，孔內輻射之熱用以加熱置於孔前之 100 克之水，使在 1 分鐘內水之溫度升高 13°C 。若假定射出之熱全部被水所吸收，而略去由水射回之熱，求爐之溫度。

十二 在 2.16 節的例題內，求每仟瓦特時所能烘焙的鋼件重量，若 (a) 烘爐全日使用，而爐中常裝滿烘件；(b) 爐每日祇使用 10 小時，而開始 5 小時內爐身尙未達正常運用溫度時，爐中無烘件。

第 三 章

一 比較金屬電熱元件和非金屬電熱元件的優劣。

二 比較線狀，帶狀和條狀電熱元件的優劣。

三 一電爐的最大連續運用溫度為 1000°F ，其功率為 10 仟瓦特，電

壓爲 220 伏特。由此計算電阻器表面面積和其電阻。設元件爲條狀鎳鉻合金，而電阻器表面面積即爲電熱條之表面面積，求條之直徑及長度（導電係數爲 670 歐姆每米爾呎）。

四 上題中若元件外裝有保護柵，使元件之散熱率有部分的阻礙，則在同樣溫度，功率及電壓時，電熱條之長度應增加或減少？

五 第三題內之元件當溫度升至 $1000^{\circ}F$ 時之膨脹長度爲若干？此項膨脹是否尚可容許？在佈置條形元件時應在何方注意，使此項膨脹無多大影響？

六 各種特種金屬之電熱元件有何優點及劣點？

七 略述各種通常用耐燬質的優點及劣點。

八 試就第二章表 12 內各種熱絕緣質的性質來說明本章表 18 內所列各種電熱器慣例所指定的幾種熱絕緣質的理由。

九 用半熱絕緣耐燬質磚砌爐壁有何優點？試就表 19 內各種半熱絕緣磚的性質說明其優點及應用處所。

十 爐內電熱元件設計不適當時，有那幾種弊病？耐燬質選擇不適當時，有何種弊病？熱絕緣質選擇不當時有何弊病？耐熱金屬選擇不當時有何弊病？

第 四 章

一 家用電熱器具及商業用烹飪電熱器具內，電熱那幾個優點最重要？說明理由。

二 工業用電熱器內電熱的那幾個優點最重要？說明理由。

三 說明 4.8 節內列舉的用途內，電熱爲何不適合？

四 據你自己的意見，試討論在我國目前電熱工業的發展內，以那一

類的電熱器具最重要。

第五章

一 說明某幾種電熱器，如燙髮機，電熱褥，滅菌器等，不能用他種方法加熱的理由。

二 略述你所曾見各種烹飪用電熱器的構造和優點。在這種用途上費用的大小是否重要因素？

三 就一般情形講 在我國大城市內，電熱暖室是否較他種方法為佳？在鄉村內那種方法較佳？又電熱熱水器就我國一般情形講是否需要？

四 暖室設備內何以必需同時調節空氣濕度？若濕度太高，則人身有何感覺？太低時有何感覺？溫度升高而空氣中不加入水蒸汽，則濕度如何變化？

五 據你自己的意見，比較電灶，煤氣灶，和煤灶（或柴灶）三者的優劣。

六 計算兩種三熱度開關在各個位置時電熱元件的電阻之比，電流之比，及功率之比。

第六章

一 試述小型工業用電熱器內用電熱較其他方法為優的各點。

二 比較各種獨立使用的電熱器的適用處所。

三 據你的意見在何種器具上（書中講過的除外）可以裝置電熱器。

四 試設計一個使用雙點制控制的簡單線路。

第七章

一 比較各種烹飪用電熱器內電熱元件之裝置，并說明為何需這樣裝

置。

二 試推測爲何在歐美各國商業用烹飪電熱器極爲發達的原因。

三 說明圖 7.6 的燉咖啡壺內液體週流的途徑，及各部的功用。

四 本章內所述，都是歐美各國用的烹飪器用。這種器具是否可適用於我國？試設計幾種專供烹煮我國飯菜的電熱器。

第 八 章

一 烘爐，熱處理爐，熔爐三者的運用情形有何重要的區別？其構造有何種不同處以適應上述的區別？在我國工業發展上何種電爐最便於使用？

二 比較整批裝卸式和連續運輸式烘爐的優劣？半連續運輸式有何特殊優點？

三 爲何烘爐中需裝置滅火設備，而下述的熱處理爐和熔爐中則不需要？又烘爐中的通風設備比較重要，何故？

四 比較低溫電阻熔鍋和高溫電阻熔鍋的異點。

五 一般的講，用電熱發生蒸汽是否經濟合算？那末大型電熱蒸汽發生器適用於何種特種情形？

六 電熱熔鍋的熱絕緣設備，何以必須良好？在用燃料的熔鍋內，熱絕緣設備何以通常較劣？設欲裝置同樣良好的熱絕緣設備，是否可能？是否需要？

第 九 章

一 比較整批裝卸式和連續運輸式熱處理爐的優劣和適用所在。

二 比較各種整批裝卸式熱處理爐的優劣及適用所在。

三 比較各種連續運輸式熱處理爐的優劣及適用所在。

四 爲何熱處理爐壁的構造通常較烘爐壁爲堅重，而且其熱絕緣設備較爲良好？

五 試設計一個簡單線路，可以用一在爾董管高溫控制器及繼流器，控制電爐主電路的完全啓閉。

六 試設計一種簡單線路，可以用一溫差電偶高溫計控制器及替續器，控制電爐主電路內電流的增減（主電路電流并不完全斷絕）。若主電路需由 Δ 接法變爲 Y 接路，那末主電路開關應怎樣裝置？

七 比較各種飽和指示器的優劣。

八 各種人造氣氛較天然氣氛有何優點？略述各種供人造氣氛的氣體的適用情形。若用真空爐，則還有何種優點？

第 十 章

一 爲何高溫熔鋼用爐必需用電弧式或感應式，而低溫熔鍋則可用電阻式？

二 列述 10.2 及 10.3 節所述兩種電弧爐的異點。

三 感應電爐有何特殊優點？然則何以這種電爐的使用不及電弧爐爲普遍？

四 比較高頻感應爐和低頻感應爐的優劣。

英漢名詞對照索引

Absolute temperature 絕對溫度	4	Batch type oven 整批裝卸式烘爐	120
Absolute zero 絕對零度	1	Bath room heater 浴室用暖室電熱器	92
Advance metal 阿特凡斯金	61	Bath form furnace 池式爐	154
Air brake magnetic type switch 氣掣磁體式開關	168	Bauxite brick 鐵礬土磚	24
Air heater 暖氣器	107	Bayonet heater 刺插式電熱器	117
Ajax-Wyatt furnace 阿甲克斯外亞脫爐	186	Bell form furnace 鐘式爐	151
Alumel 鋁鎳合金	6,16	Belt-conveyer form furnace 運輸帶式爐	159
Aluminium melting and holding pot 熔鋁鍋	128,131	Billet-heating furnace 鐵條加熱爐	140
Alundum brick 鋼鋁磚	73	Boiling point 沸點	13
Armstrong insulating brick 阿姆斯脫朗磚	73	Bourdon tube type controller 布爾董管式控制器	164
Annealing 煉治	137	Box form furnace 箱式爐	146
Arc heating 電弧電熱	77	Box-type oven 箱式烘爐	121
Arc type melting furnace 電弧式熔爐	128,179	Bread-baking oven 烘麵包用烘爐	114
Asbestos 石棉	24,66,70	Bright annealing 保澤煉治	152
Artificial atmosphere 人工氣氛	176	British thermal unit (B.T.U.) 英國熱單位	6
Atmosphere 氣氛	175	Broiler 炙肉器	113
A type oven A式烘爐	125	Cabot 卡鮑脫絮	25
Automatic temperature control 自動溫度控制	109,163	Calorex 卡羅雷克斯	25
Automatic time control 自動時間控制		Calorie 卡	6
Babbit pot 巴比特金鍋	104,128,130	Calorimeter 量熱器	18
Bailey furnace 倍來式爐	49	Candy kettle 熔糖果鍋	104
Baking and drying oven 烘焙及乾燥用烘爐	120	Carbofrax 卡薄弗啞克斯	
Balsa fibre 巴爾撒纖維	70	Carbon resistor 碳質電熱元件	47
Balsa wood 巴爾撒木	26	Carborundum 金剛砂	25,190
Batch type furnace 整批裝卸式爐	139	Carburizing 碳化	138
		Carey carocel 卡雷卡羅賽爾	25
		Carey duplex 卡雷度潑雷克斯	25
		Carey magnesia 卡雷苦土	25
		Car form furnace 車式爐	152

Cartridge heater 兩端插管式電熱器	107	暖室電熱器	91
Case 包	139	Cooking top 烹煮台	113
Case hardening 包健	138	Core 核	139
Cast resistor 鑄成元件	60	Core-baking oven 模心烘焙爐	107,126
Celite 茜賴脫	25	Cork 軟木	25
Celsius' scale 攝氏標	3	Crack ammonia 分裂氨氣	178
Cementation 膠結	138	Cracking still 油類分裂器	140
Centigrade scale 百分度標	3	Cream dipping pot 浸酪鍋	104
Central system, air or water 集中式熱空氣或熱水裝置	92	Critical temperature range 臨界溫度程	136
Chain-conveyer form furnace 運輸鍊式爐	161	Crystolon 克列斯妥倫	66,73
Chocolate warmer 朱古力保暖器	104	Curling iron 燙髮鉗	86
Chromel 克羅美爾	6,57,165	Cycle control 週程控制	170
Chromite 亞鉻鐵鹽磚	24,60	Cylindrical insulator 圓柱形絕緣體	28
Clothes presser 壓衣機	89	Cynide pot 熔氰化物鍋	128,132,154
Coefficient of linear expansion 線脹系數	52	Cynidizing 氰化	139
Coffee percolator or urn 煨咖啡壺	88,117	Decarburization 退碳現象	176
Cold-molded material 冷模質料	66	Detroit rocking furnace 迪特囉愛搖動式爐	182
Combination range 兩用電灶	102	Diamatoceous earth 矽藻土	25
Conduction 傳導	21	Direct arc furnace 直接電弧爐	181
Conduction type melting furnace 傳導式熔爐	127	Direct heating 直接電熱	47,77
Contact making thermometer 接觸溫度計	111	Dispersion rate 額定散熱率	54,63
Continuous type furnace 連續鑄卸式爐	155	Double end type 雙端式	161
Continuous type oven 連續裝卸式烘爐	124	Economy 濟率	142
Control panel 控制屏	166	Efficiency 效率	142
Constantum 康鋼	6,165	Egg cooker 煮蛋器	113
Convection 運流	21,32,38	Eiderdown 鴨絨	25
Convection type heater 運流式		Electric eye 電眼	175
		Electric heating element 電熱元件	46,62
		Electric porcelain 電器用瓷	65
		Electro-chemical furnace 電化爐	190
		Elevator form furnace 升降機	

式爐	150	Heat of liquefaction 液化熱	16
Emission factor 發射係數	36	Heat of vaporization 汽化熱	16
Enclosed resistor 包合式 元件	62,99	Heat resisting alloy 耐熱合金	72
Fahrenheit scale 華氏標	3	Heat treatment 熱處理	136
Fe dspar 長石	25	Heat treatment furnace 熱處 理爐	139
Felt 氈	25	Heat quantity 熱量	6
Fibre 纖維質板	70	Heroult type furnace 赫囉而脫 式爐	179
Fibra felt 纖維氈	25	Horse shoe type 馬蹄式	125
Fire brick 耐火磚	73	Hot plate 電熱板	96,99
Fire clay shapes 耐火泥範成物	65	Hot table 熱台	82
Fireless cooker 無火烹煮器	96	Hot tub 熱水櫃	81
Flat insulator 扁平熱絕緣體	23	Hot water boiler 熱水鍋	132
Forced convection 強迫運流	33	Hot water heater 熱水器	91
Frying kettle 油煎用鍋	116	Immersion heater 浸入式電 熱器	91,106,108,119
Full annealing 完煉	137	Indirect arc furnace 間接式電 弧爐	181
Fuller's earth 漂白土	25	Indirect heating 間接電熱	47,77
Gas producer 煤氣發生器	140	Indirect heat furnace 間接加熱 電爐	154
Gas retort brick 煤氣甑磚	24	Induction heating 感應電熱	77
Gimco thermolite 吉姆科守麻 賴脫	26	Induction type melting furnace 感應式熔爐	128,185
Glass 玻璃	24	Infusorial earth 矽藻土	25
Glass lehr 煉玻璃爐	163	Insulbrick 英色爾勃立克斯	26
Glue pot 熔膠鍋	103	Insulex 英色爾雷克斯	26
Globalar 格羅巴	51,147	Insulite 英色爾賴脫	26
Graphite brick 石墨磚	24	Iron resistor 純鐵元件	62
Graphite resistor 石墨元件	47	Japaning oven 烘漆爐	126
Graphitizing 石墨化	138	Kapok 卡泡克	70
Griddle 烘架	113	Laboratory furnace 試驗室用 電爐	82
Growth 弛長	60	Latent heat 潛熱	15
Hardening 健硬	136	Lava 火山石	66
Heat energy 熱能	1	Lead pot 熔鉛鍋	128,154
Heat insulating material 熱絕 緣質	21,24,69		
Heat of evaporation 蒸發熱	16		
Heat of freezing 凝固熱	16		
Heat of fusion 熔解熱	16		

Leeds and Northrup hump apparatus 李次諾斯勒滯陡變指示器	172	Non-metallic heating element or resistor 非金屬電熱元件	47,49
Limestone 石灰石	26	Non-pareil brick 無敵磚	25,73
Lithboard 石態板	24	Non-pareil H. P. block 無敵高壓塊	24,30
Liquid heater 液體加熱器	105	Non-recuperative 非迴熱式	125
Loss curve 損失曲線	143	Normal zing 正煉	137
Ludlum furnace 威德倫式爐	179	Northrup high frequency furnace 諾斯勒滯高頻爐	188
Magnesia 苦土	25,66	Oil circuit breaker 油開關	168
Magnesia brick 苦土磚	24,69	Open type resistor 敞露式元件	62,99
Malleablizing 展舒化	138	Optical pyrometer 光差高溫計	6
Mangles 熨衣機	89	Oven (on range) 烘箱	96,100
Marcel waver 美髮機	86	Oven 烘爐	120
Massillon refractories 麻西倫磚	73	Oven-construction low temperature 烘爐構造式	163
Meat roasting oven 烤肉用烘爐	116	Over-head form furnace 頂上運輸式爐	161
Melting furnace 熔爐	127,179	Pastry-baking over 烘餅用烘爐	116
Melting point 熔點	12	Patenting 籠煉	13
Melting pot 熔鍋	127	Photo-electric cell indicator 光電真空管指示器	173
Metallic heating element or resistor 金屬電熱元件	52,61	Pittsburg type furnace 匹次堡式爐	179
Mica 雲母	66	Pit form furnace 坑式爐	150
Milk and food warmer 暖乳暖食器	86	Platinum resistor 鉑元件	61
Mineral wool 礦棉	26,70,73	Platinum-rhodium alloy 鉑銻合金	6,165
Molybdenum resistor 鉬元件	66	Pound-centigrade unit 磅百分度單位	8
Monel metal 蒙銅	61	Poplox 泡勃洛克斯	70
Moore type furnace 摩爾式爐	179	Pottery 陶器	66
Muffle 悶爐	149	Pot type furnace 池式爐	154
Multi-layer insulator 多層絕緣體	29	Process annealing 歷煉	137
Natural convection 自然運流	33	Program cycle 週程控制	170
Nickel-chromium alloys 鎳鉻合金	52,56,59		
Nickel-steel 鎳鋼	61		
Nichromel 耐克羅姆	57		
Nitriding 氮化	138		

Pulp board 紙粕板	24	Scaling 發生鱗片現象	176
Pusher form furnace 推進 器式	157	Segeer cone 賽格錐體	4
Pyrometer 高溫計	5	Semicontinuous type oven 半連 續運輸式烘爐	123
Quenching 淬浸	136	Semi-insulating refractories 半絕緣耐燬物質	71
Radiant type heater 輻射式暖 室器	91	Silica brick 砂土磚	25,66
Radiation 輻射	20,36,38	Silit 茜利特	50
Range 電灶	96,112	Sillimanite brick 矽線石磚	69
Recuperative furnace 迴熱 式爐	125,155	Silocel brick 茜羅賽爾磚	25,70
Refracting material 耐燬 物質	14,24,65,68	Single end type 單端式	125,161
Regenerative furnace 再生爐	155	Single point control 單點 控制	110,170
Relative humidity 相對濕度	95	Soap stone 皂石	66
Remanit (charred silk) 雷曼尼脫 (焦絲)	26	Soaking pot 電熱浸漬池	140
Resistance thermometer 電阻溫 度計	6	Solder iron 電焊烙鐵	104
Resistance type melting furnace 電阻式熔爐	127	Solder pot 熔銲鐵鍋	104
Ribbon resistor 帶狀電熱元件	53,59	Specific heat 比熱	8
Ring induction furnace 圓環式 感應爐	187	Specific thermal resistance 熱阻 係數	22,24
Rockwell dilatometer 洛克威爾 膨脹指示器	174	Spencer thermostat 斯賓塞 恆溫器	109
Rod resistor 條狀電熱元件	53	Spheroidizing 球態化	138
Roller-hearth form furnace 滾動爐床式爐	158	Standard oven heater 標準式 烘爐電熱器	122
Rotary-hearth form furnace 旋轉爐床式爐	155	Starting-up time temperature curve 開始加熱時間溫度曲線	143
Sad iron 電熨斗	89	Steam boiler 蒸汽發生鍋	132
Salt pot 熔鹽鍋	128,132,154	Steam table 蒸餾台	118
Samovar 自溫茶壺	88	Steel-clad (space or strip) heater 鋼殼式(插空式或狹條式)電熱器	106
Sand-wich baker 烘夾心麵包器	113	Stereotype pot 活字金鍋	108,131
Saturation indicator 飽和指 示器	171	Stilizer 熱水滅菌器	86,105
		Stock kettle 煮湯用鍋	117
		Straight-through type 直通式	125
		Suprex 素潑啞克斯	73
		Surface thermal resistance	

透面熱阻	27	Truck-type over 車架式烘爐	122
Swindell arc furnace 斯溫台而		Tube-mill furnace 製管廠用	
電弧爐	181	電爐	140
Table stove 桌用電熱器	88	Tumbler water heater 杯水加	
Tea pot 燉茶壺	81	熱器	86
Temperature 溫度	2	Tunnel type 隧道式	125
Temperature coefficient of resistance 電阻溫度係數	56	Two-tube control 雙點控制	111,169
Temperature difference 溫度差	20	U type U式	125,161
Temperature gradient 溫度梯度	20	Vacuum induction furnace 真空感應爐	189
Temperature-limit fuse 限制溫度易熔線	128,171	Vertical form furnace 直立式爐	153
Temperature scale 溫標	3	Vitrified monarch block 無敵魁首塊	24
Tempering 馴服	138	Vitrobestose 維脫羅倍斯託斯	26
Thermal capacity 熱容量	8	Volta type furnace 伏爾他式爐	179
Thermal conductivity 熱導係數	22,24,29	Vom Baur 方姆包爾式爐	179
Thermal equilibrium 熱平衡	19	Von Schlegel repel arc furnace 封希勒格爾排斥電弧爐	184
Thermal ohm 熱歐姆	22	Vulcanizer 橡膠加硫器	104
Thermal resistance 熱阻	22	Waffel iron or baker 烙餅器	88,113
Thermal resistivity 熱阻係數	22,24	Walking beam form furnace 步移梁式爐	157
Thermocouple pyrometer 溫差電偶高溫計	5,164	Warming pad 電熱褥	86
Thermocouple pyrometer type controller 溫差電偶高溫計式控制器	109,163,170	Water radiator 熱水輻射暖室器	92
Thermometer 溫度計	4	Wax and combination pot 熔蠟器	103
Three-heat switch 三熱度開關	96	Wild-Bradford magnetic indicator 外爾德巴斐爾特磁效指示器	174
Time cycle 運用週程	141	Wire resistor 線狀電熱元件	53,53
Time switch 循時開關	170	Zinc pot 熔鋅鍋	128,130
Toaster 烤麵包器	88,119	Zirconia 氧化鋯	73
Transite lumber 崙賽木	66	Zone control 分段控制	170