

第十九篇

電熱及電熔接

目錄

頁

第一章 總論

1.1	電力熱源	19— 1
1.1.1	電熱之特性	19— 1
1.1.2	電力熱源之應用	19— 3
1.2	電熱之方式	19— 3
1.2.1	電阻加熱	19— 4
1.2.2	電弧加熱	19— 4
1.2.3	磁感應加熱	19— 4
1.2.4	電感應加熱	19— 5
1.3	發熱體	19— 5
1.3.1	發熱體應具備之條件	19— 5
1.3.2	發熱體之種類	19— 6
1.4	絕熱物質與耐熱物質	19— 7
1.4.1	溫度對電氣絕緣之影響	19— 7
1.4.2	絕熱物質	19— 8
1.4.3	耐熱物質	19— 9

第二章 電熱之計算

2.1	熱量單位	19— 11
2.2	比熱與熱容量	19— 11
2.2.1	物體之比熱與熱容量	19— 11
2.2.2	物體之電熱效應	19— 12
2.3	熱之傳播	19— 14
2.3.1	傳導	19— 14
2.3.2	對流	19— 14

2.3.3	輻射	19— 14
2.3.4	反射	19— 15
2.4	電路之熱量計算	19— 15
2.4.1	歐姆法則	19— 15
2.4.2	各種熱流等效回路	19— 15
2.5	照明之熱量計算	19— 16
2.5.1	輻射單位	19— 16
2.5.2	輻射法則	19— 17
2.5.3	輻射分佈	19— 19
2.5.4	照度之計算	19— 19
2.5.5	互反射	19— 20
2.6	發熱體之設計	19— 22
2.6.1	加熱所需電力	19— 22
2.6.2	加熱之等效電路	19— 23
2.6.3	表面電力密度	19— 23
2.6.4	發熱體之尺寸	19— 24

第三章 電氣爐

3.1	電氣爐之分類	19— 27
3.1.1	加熱方式之不同分類	19— 28
3.1.2	構造與電源之不同分類	19— 28
3.1.3	加熱溫度之不同分類	19— 29
3.1.4	用途之不同分類	19— 29
3.2	發熱體爐	19— 29
3.2.1	發熱體爐之構造	19— 29
3.2.2	電阻爐之說明	19— 32
3.2.3	爐容量大小之決定	19— 32
3.2.4	發熱體之選擇	19— 33
3.2.5	特殊高溫爐	19— 35
3.3	鹽浴爐	19— 35
3.4	炭素粒電氣爐	19— 38
3.4.1	炭素粒電氣爐之構造	19— 38
3.4.2	炭素粒之通電特性	19— 38

3.5	三相直熱式電阻爐	19— 39
3.5.1	碳化爐及合金鐵爐	19— 40
3.5.2	製鐵爐	19— 41
3.5.3	其他爐	19— 42
3.6	單相直熱式電阻爐	19— 42
3.6.1	金鋼砂爐	19— 43
3.6.2	黑鉛化爐	19— 43
3.6.3	Girod 爐	19— 43
3.6.4	其他電氣爐	19— 45
3.7	電弧爐	19— 45
3.7.1	電弧爐之分類	19— 45
3.7.2	製鋼用電弧爐	19— 46
3.7.3	間接式電弧爐	19— 48
3.7.4	高壓電弧爐	19— 48
3.7.5	其他電弧爐	19— 49
3.8	電極	19— 50
3.8.1	電極之種類	19— 50
3.8.2	炭素電極	19— 50
3.8.3	連續自燒電極	19— 51
3.8.4	電極調整裝置	19— 51
3.9	大電流母線	19— 52
3.9.1	母線之種類	19— 52
3.9.2	母線之容許電流	19— 52
3.9.3	母線之電感	19— 56
3.10	感應爐	19— 58
3.10.1	有溝式低週感應爐	19— 58
3.10.2	無鐵心式高週感應爐	19— 59
3.11	爐氣控制與真空熔解	19— 60
3.11.1	爐氣控制	19— 60
3.11.2	真空熔解	19— 60
第四章 電熔接		
4.1	電熔接種類	19— 61

4.1.1	電阻熔接	19— 61
4.1.2	交流電阻熔接機	19— 62
4.1.3	低電力電阻熔接機	19— 64
4.1.4	電阻熔接之實例	19— 64
4.2	電弧熔接	19— 66
4.2.1	交流電弧熔接	19— 67
4.2.2	直流電弧熔接	19— 68
4.2.3	電焊條	19— 69
4.2.4	電弧熔接之實例	19— 70
4.2.5	自動電弧熔接法	19— 71
4.2.6	特殊電弧熔接法	19— 71
4.3	電熔接檢驗	19— 72
4.3.1	破壞試驗	19— 72
4.3.2	非破壞試驗	19— 73
第五章 電氣鍋爐		
5.1	電氣鍋爐之分類	19— 74
第六章 電氣乾燥		
6.1	乾燥器之種類	19— 75
6.2	電熱乾燥器	19— 75
6.3	高週波乾燥器	19— 77
6.4	紅外線乾燥器	19— 77
第七章 高週波感應表面加熱		
7.1	表面感應加熱	19— 80
7.1.1	電源裝置	19— 80
第八章 家庭用電熱		
8.1	家庭用電熱器	19— 82
8.1.1	暖氣用電熱器	19— 82
8.1.2	烹飪用電熱器	19— 82
8.1.3	電氣溫水器	19— 83
8.1.4	電燙斗及裁衣電斗	19— 84

第十九篇

電熱及電熔接

陳樹勛

第一章 總論

1.1 電力熱源

1.1.1 電熱之特性

使用電力熱源比較使用其他熱源所具優點甚多，茲就電熱之特性分項說明如下：

(1) 可以獲得極高之溫度：使用普通燃料之燃燒溫度如表 19.1.1 所示，其燃燒溫度常隨燃料之固有發熱量之多寡相應變化。如果在燃料燃燒前預行加熱排除過剩之氧氣，亦能升高燃燒溫度，但所能升高之溫度究竟有限。通常在工業上使用之煤炭、煤氣等之燃燒溫度均以 $1,500^{\circ}\text{C}$ 為準。

若通電流於發熱體使其發熱，只要該發熱體不熔化，則其溫度之上升在理論上來說是無限制的。就一般工業上常見者如 100 瓩電爐有使用 $3,000^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度，又如千瓩以上之大容量電爐亦常使用 $2,000^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度，其使用溫度之高為一般燃料所弗及。

表 19.1.1 普通燃料之燃燒溫度

燃 料 種 類	燃 熱 溫 度 ($^{\circ}\text{C}$)
煤炭、焦炭	1,500
煤氣	1,800
一氧化碳	17,00 (2,600)
氫	1,900 (2,800)
乙炔	2,500 (3,800)
酒精氣體	1,700

(註)：() 內之數字表示使用氧氣吹管時之燃燒溫度

(2) 可自物體內部加熱：使用燃料燃燒時只能自物體表面加熱，因此在熱源與物體之間產生一種熱阻損失，促使物體溫度較熱源溫度為低，結果使熱效率降低。除此之外，更受燃燒爐耐熱程度之限制而必須減低熱源之溫度。採用電氣加熱方式，不論是直接通電流，或應用磁、電感應，均可自物體內部加熱，並具有下列之優點：

- (a) 被加熱物體可以達到其最高溫度。
- (b) 能獲得很高的熱效率。
- (c) 可採用發熱體自襯方法 (self lining method)，其加熱溫度可較燃燒爐耐熱之溫度為高。
- (d) 加熱迅速，熱量分布均勻。
- (e) 可利用通電時所引起的電氣化學效應。

(3) 可獲得很高的熱效率：燃燒燃料時因大部份熱量被過剩氧氣所吸收，或含於不完全燃燒氣體內排出，因此熱損失增多，引致熱效率降低。假如使用電氣加熱，無論直接通入電流或間接感應，均不會產生燃燒氣體，所以熱損失自能減少。此外電氣加熱之密封保溫效果亦佳，故能獲得很高之熱效率。茲將常用燃料與電氣加熱之熱效率作成比較如表 19.1.2 所示。

表 19.1.2 常用燃料與電氣加熱之熱效率比較

熱 源 種 類		熱 效 率 (%)
木	柴	18~25
木	炭	35
焦	炭	30
煤	氣	50
電	熱	65~80

(4) 溫度調節簡單容易：電氣加熱爐之爐內溫度可由熱源的適當配置獲得均一，而其溫度之高低只須調節耗電力之多少，操作方法至為簡單容易。但使用燃料燃燒爐則不然，因為燃燒爐之爐內溫度同時受燃料供給量以及空氣輸入量等條件之限制。由於調節溫度的因素增多，其結果不僅難以得到均一的溫度，而操作方法亦更為複雜。

(5) 操作運轉簡便：使用燃燒爐必須附設燃料供給裝置、空氣量調節裝置等，因此設備和人員俱備，在管理運用上較為複雜。最近雖然多已採用自動燃燒裝置，但不及電氣加熱方法之簡便。電氣加熱無須燃料供給等繁雜程序，既可減省

人力，且能使用遙控操作之方法。

(6) 安全衛生：電氣加熱因不產生煤煙、臭氣及其他有害之氣體，既清潔且衛生。其構造完密，較一般熱源安全可靠。

(7) 能有效利用輻射熱：燃料燃燒時因火焰上升，結果很難把輻射熱向下方集中使用，故一般燃燒爐之構造，在原則上均以熱源居下而被熱物體在上。如果被加熱物體在爐之下方時，則必須使用反射爐，先把火焰延伸至爐壁，然後利用反射加熱，其程序複雜，同時熱效率大減。若使用電氣加熱，則因本身不產生火焰，而可任意選擇熱源之安置位置與方向，以獲得直接輻射熱能之良好效果。

(8) 爐氣壓力控制容易：燃燒氣體中含有不純物質，往往直接影響被熱物體引起不良反應，因此使用燃料燃燒爐時，在構造上皆把熱源與被熱物體間用特殊保護裝置遮隔。此種方法只能應用於低溫爐，如果溫度升高，縱然使用較佳之保護裝置，亦無法有效運用，且爐氣壓力亦難獲得穩定。若使用電氣加熱爐，因本身不產生燃燒氣體，只要爐體密封，則可在真空狀態或任意氣體壓力下有效運用。

(9) 品質管制容易：利用電氣加熱爐因溫度調節容易，爐內溫度均勻，故成品品質較易獲得均一，不良品因之減少。此外，爐內易於保持清潔，製品不受煙灰污損或變質，乃可進一步改良產品之性能。

1.1.2 電力熱源之應用

前述電熱之特性乃基於經濟觀點加以分析討論，至於在何種場合應用電力熱源比較適宜，茲分項說明之：

(1) 除使用電力外別無其他方法：例如使用碳化爐需要非常高的溫度，或者必須內部加熱、真空加熱及爐氣壓力控制時，應用電力熱源。

(2) 使用電力之綜合條件較佳：在電力和燃料均可使用加熱的場合，綜觀電力之各種條件較好時，例如熱效率高、操作及調節簡易、人力減省、品質控制容易等，可應用電力熱源。

(3) 電力費用特廉：在一般的情況下，因發電成本較高，故使用電力熱源似乎不太經濟，但若電力供應有餘裕或電價甚廉時，宜多應用電力熱源，如電熱鍋爐、電氣製鹽、電氣製造等。

1.2 電熱之方式

常用之電氣加熱方式大別為：電阻加熱、電弧加熱、磁感應加熱、電感應加熱四種。此外如電子加熱、熱氣浦加熱等亦均屬之。

1.2.1 電阻加熱

為利用導體內通過電流時由電阻所引起的電能損失而加熱，通常可分為直接式與間接式二種。

(1) 直接式電阻加熱：通電流於導電性被熱物體，由內部直接加熱，其具有下列優點：

- (a) 熱效率高。
- (b) 溫度上昇快。
- (c) 可得最高溫度加熱之效果。
- (d) 可直接利用電氣化學作用。

(2) 間接式電阻加熱：通電流於發熱物體，利用熱能之傳導、對流、輻射及反射方法加熱被熱物體，其優點為：

- (a) 可適用於任何被熱物體之加熱，不限於導電性物質。
- (b) 構造上容易密封，可採用真空加熱方法。
- (c) 溫度分佈較其他熱源均勻。
- (d) 無燃燒氣體或過剩氧氣之熱量損失，熱效率佳。

1.2.2 電弧加熱

將二電極維持適當距離，接上高壓電源，使在電極間放電產生高熱弧光，而利用電弧加熱。亦有直接與間接二種方式。

(1) 直接式電弧加熱：以被熱物體之一端或兩端作為電極通電加熱，或將被熱物體作為兩電極間之媒介物通電加熱均屬之。

(2) 間接式電弧加熱：利用電弧熱能之傳導、對流、輻射及反射加熱被熱物體。

1.2.3 磁感應加熱

將導電性被熱物體放置在感應線圈內，線圈兩端接於交流電源，則在線圈內被熱物體周圍感應一磁場，利用該交變磁場使被熱物體內發生之渦流及磁滯損失予以加熱。磁感應加熱亦有直接式與間接式二種。

(1) 直接式磁感應加熱：利用導電性被熱物體自感應所引起之渦流及磁滯損失而加熱。

(2) 間接式磁感應加熱：將絕緣性被熱物體放置在導電性容器內，利用容器因交變磁場所引起之渦流及磁滯損失熱能，藉熱傳導而加熱。

1.2.4 電感應加熱

將絕緣性被熱物體放置在平行板電極中間，加上高週波電場，藉電感應促使被熱物體內部原子發生運動摩擦生熱，利用該電感應熱能損失直接加熱。一般使用電感應加熱之利弊為：

(1) 優點

- (a) 對電氣絕緣物體及絕熱物體同樣可以感應加熱。
- (b) 因利用電感應熱能損失直接加熱，故不受被熱物體厚度或導熱係數大小之影響。
- (c) 溫度上升迅速並可控制自如。其電源一旦開路立刻停止加熱，不致發生過熱現象。
- (d) 加熱均勻，無局部燒損、龜裂或變形之虞。

(2) 缺點

- (a) 效率較低。
- (b) 建設費用較大。
- (c) 被熱物體之形狀因均一電場而受限制。
- (d) 需加適當遮蔽，否則電波漏洩干擾一般通訊。

1.3 發熱體

間接式電阻加熱所使用之電阻體通稱為發熱體。

1.3.1 發熱體應具備之條件

發熱體必須具備之條件有下列六點，但在實際應用時可視用途目的之不同酌予放寬。

- (1) 耐熱性大，也就是說熔融、軟化及氧化溫度均高，其氧化膜亦非常堅固者。
- (2) 耐蝕性大，也就是說對被熱物體所產生的氣體、灰塵及保溫材料之接觸面所引起的腐蝕有很大的抗耐力。
- (3) 電阻係數值須適中，電阻太小通過電流則大，電阻太大端電壓則高，均有碍正常運用。又電阻溫度係數宜小且為正性。
- (4) 富有展延性，且容易加工。
- (5) 價廉。
- (6) 接頭連接容易。

1.3.2 發熱體之種類

發熱體大別為金屬發熱體和非金屬發熱體二類：

(1) 金屬發熱體

(a) 電熱線：以鎳鉻或鐵鉻為主要成分合成的合金發熱體，通常製成線狀或帶狀使用。電熱線依照成分之不同可分為四種，其最高使用溫度及在常溫之電阻係數值如表 19.1.3 所示。有關高溫度下電阻值之變化，則如圖 19.1.1 所示。

表 19.1.3 電熱線最高使用溫度及在常溫之電阻係數值

種類	成分 (%)							最高使用溫度 (°C)	電阻係數 微歐/厘米 (20°C)
	鎳	鉻	鋁	錳	碳	矽	鐵		
鎳鉻合金第一種	75~79	18~20	—	2.5 以下	0.15 以下	0.5~1.5	1.5 以下	1,100	108±7
鎳鉻合金第二種	57以上	15~18	—	3.0 以下	0.20 以下	0.5~1.5	剩餘部份	900	112±7
鐵鉻合金第一種	—	23~26	3.5~5.5	1.0 以下	0.15 以下	—	剩餘部份	1,200	140±7
鐵鉻合金第二種	—	17~21	2~4	1.0 以下	0.15 以下	—	剩餘部份	1,100	122±7

①鎳鉻合金第一種：強度大，加工容易，在高溫度下少有軟化現象，又經高溫加熱後亦不致脆化。在化學方面除硫酸氣體外，有不受任何氣體侵蝕的特性。在工業用途上如高溫電氣爐之發熱體等應用甚廣。

②鎳鉻合金第二種：加工容易，但一般而論其耐熱性、耐氣體性略遜於鎳鉻合金第一種，適用於 500~900°C 溫度之電氣爐和電熱器等。

③鐵鉻合金第一種：適用於高溫度，其耐酸性特強，但加工稍感困難，較複雜形體之加工需先行預熱，對高溫使用後的再加工頗感困難。此種合金在高溫度時的強度略遜於鎳鉻合金。

④鐵鉻合金第二種：較第一種鐵鉻合金易於加工，且能施行低溫加工，但對高溫使用後的再加工仍然有很多困難，且須注意該合金在高溫時軟化的影響，此種合金通常通用為電熱器、電氣爐之發熱體。

(b) 其他金屬發熱體：專供特殊用途者，有下列數種：

①鐵絲、鎳絲：用在赤熱以下之低溫度。

②白金絲：使用在 $1,400^{\circ}\text{C}$ 左右之溫度，以實驗室使用最廣。

③鎢絲、鉬絲：使用在 $1,500^{\circ}\text{C}$ 之高溫真空中或氬氣中。

(c) 封閉形發熱體：此種發熱體以浸入液體中使用為目的而設計，有用雲母絕緣電熱線套裝金屬管的空間加熱器 (space heater)，和用石灰、礬土、氧化鎂粉等絕緣的電熱線套裝金屬管的護套線 (sheath wire)、calrod 線、alumica 電熱器等。

(2) 非金屬發熱體：耐蝕性大，電阻係數高，其使用溫度較金屬發熱體為高，惟因電阻之溫度係數為負性，故在加工及接頭連結方面均有困難。

(a) 金剛砂質發熱體：為以碳化矽 (SiC) 為主要成分製成的發熱體，可維持 $1,400^{\circ}\text{C}$ 左右之溫度經長時間使用，有附柄型及棒型兩種形狀。

(b) 碳：有製成棒狀、管狀、螺旋狀使用在 $1,000\sim 3,000^{\circ}\text{C}$ 高溫度者，亦有混合碳和粘土製成 $3\sim 8$ 毫米直徑之粒狀，利用其接觸電阻使用在 $2,000^{\circ}\text{C}$ 以下溫度者，通稱為 Kryptol，兩者在空氣中之氧化情形都很顯著。

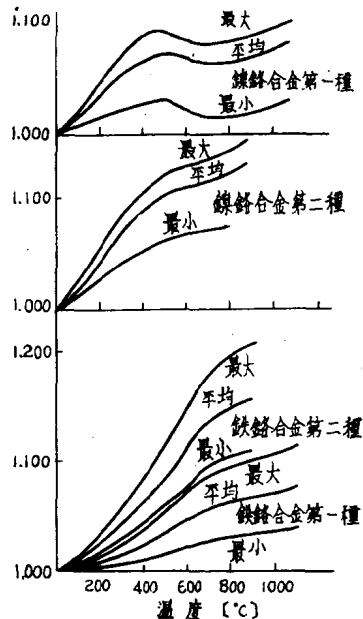


圖 19-1.1

1.4 絕熱物質與耐熱物質

1.4.1 溫度對電氣絕緣之影響

(1) Wiedemann—Franz's 定律：Wiedemann—Franz's 定律係謂：一般金屬如為電氣的良導體亦常為熱的良導體，如為電氣的絕緣體亦將為熱的絕緣體。簡言之，金屬之導電恰與熱之傳導係數成正比。然而實際上熱絕緣要比電氣絕緣困難，先就電氣方面來說，因導體的電阻係數單位為微歐厘米 $\mu\Omega\text{cm}$ ($10^{-6}\Omega\text{cm}$)；絕緣體的電阻係數單位為百萬歐厘米 $\text{M}\Omega\text{cm}$ ($10^6\Omega\text{cm}$)，二者比價為 10^{12} ，再就熱方面來說，因導體的熱傳導係數值為 10^2 瓦特/米 $^{\circ}\text{C}$ ，絕緣體的熱傳導係數值為 10^{-1} 瓦特/米 $^{\circ}\text{C}$ ，二者比值僅為 10^3 ，約為導電比值

之 10^{-9} 倍。由此可知熱絕緣比電氣絕緣困難得多，而電氣絕緣之效果又常因熱傳導係數的增大而減低。

(2) 電氣絕緣體在高溫時所呈性質：前述電的良導體亦為熱的良導體，電氣的絕緣體又為熱的絕緣體，係對某一特定溫度而言。一般而論，電氣絕緣體之溫度增高時，其絕緣性能則隨而降低，如表 19.1.4 所示，為各種電氣絕緣體在高溫時所呈性質。

表 19.1.4 各種電氣絕緣體在高溫時所呈性質

種 類	電 阻 係 數 (歐姆厘米)		
	20°C	1,000°C	1,500°C
SiO ₂	1.25×10^8	3×10^5	8,420
SiO ₂	2×10^{12} (230°C)	6.69×10^4	1,620
SiC	1.27×10^8	1.97×10^5	8,590
Al ₂ O ₃	—	7.9×10^5	14,300
Al ₂ O ₃	—	1.2×10^6	—
CaO	—	5.4×10^5	2,500
MgO	1.37×10^8	7.08×10^5	2,500
MgO·SiO ₂	10^{10} (300°C)	2×10^7 (600°C)	—
—	1.37×10^8	1.08×10^4	890
SiO ₂ ·Al ₂ O ₃ ·K ₂ O	$3.4 \times 10^{11} - 2 \times 10^{17}$ 600°C 止可以使用		
SiO ₂ ·MgO·FeO	1.6×10^{11} 300~400°C 止可以使用		

1.4.2 絕熱物質

欲提高熱效率須從改善熱絕緣着手，表 19.1.5 舉示各種固體絕熱物質的熱傳導係數，一般而言，氣體的熱傳導係數比固體為小，因此具有較佳的熱絕緣性能。但若氣體內產生熱對流時，熱傳播立即增大而絕緣效果大降，故必需防止氣體的熱對流。如果為改善熱絕緣，只加厚絕熱物質而不求改進物質本身的特性，其結果反因被絕熱物質熱容量之增加，吸收大量熱能而降低熱效率。表 19.1.5 同時表示各種固體絕熱物質的單位體積熱容量亦即體積比熱。選擇絕熱物質時以熱傳導係數 λ (瓦特/米°C) 及體積比熱 C 焦耳/°C 米³ $\times 10^6$ (J/°C · m³ $\times 10^6$) 愈小者愈佳。

表 19-1.5 各種固體絕熱物質的熱傳導係數

種 類	視比重	溫 度 (°C)							
		30		400		850		1,450	
		λ	c	λ	c	λ	c	λ	c
鑲渣棉1級	0.861	0.304	1.53	0.342	1.59	0.464	1.81	—	—
鑲渣棉2級	0.372	0.173	0.71	0.224	0.79	0.384	1.01	—	—
石 棉	0.834	0.869	0.85	0.751	1.00	0.443	1.30	—	—
石 棉	0.386	0.604	0.71	0.523	0.79	0.481	0.92	—	—
玻 璃 絨	0.624	0.203	1.19	0.291	1.46	—	—	—	—
玻 璃 絨	0.288	0.198	0.52	0.346	0.72	—	—	—	—
砂 土	0.748	0.283	1.82	0.312	0.87	0.477	1.22	—	—
耐 火 磚	0.662	0.274	0.95	0.325	1.08	0.430	1.34	—	—
耐 火 石	0.755	0.304	0.80	0.519	1.06	1.300	1.57	—	—
砂 石 火 磚	1.80	1.604	1.70	1.54	1.41	1.900	1.65	2.654	2.14
燒 粉 磚	1.87	0.802	1.43	1.148	1.68	1.583	2.09	1.819	2.14
蠟 火 磚	1.83	1.393	1.90	1.464	2.00	1.933	2.30	2.237	2.56
氧 化 鎂 磚	2.65	9.968	2.91	4.212	2.55	4.005	2.92	3.034	3.12
鉻 質 磚	2.79	1.637	2.03	2.220	2.67	2.156	2.94	2.160	3.02
純 鉻 磚	2.94	1.633	1.99	2.190	2.44	2.389	2.85	2.245	2.85
金 剛 砂 磚	2.015	2.975	2.25	6.300	3.11	2.271	3.28	—	—
硬 煤 磚	3.126	8.833	3.59	5.007	3.13	4.887	3.07	—	—
剛 鋁 石 磚	2.309	1.625	2.57	2.503	2.38	2.414	2.52	2.376	2.64
氧 化 鋁 磚	3.456	0.924	1.13	1.452	1.73	1.392	1.86	1.359	2.25
混 凝 土	2.366	2.566	2.61	1.840	2.48	1.80	2.56	—	—
紅 磚	1.749	1.055	1.70	1.101	1.80	1.397	2.06	—	—
石 棉 板	1.884	0.979	2.38	0.815	2.29	0.684	2.04	—	—
土 磚 牆	1.834	1.321	2.28	0.840	0.01	—	—	—	—
木 炭 粉	0.67	0.464	0.996	1.485	1.22	—	—	—	—
焦 煤	1.174	0.971	1.02	1.70	1.55	2.524	2.02	—	—

(註): λ 之單位為瓦特/米°C, c 之單位為焦耳/°C·米²×10⁴

1.4.3 耐熱物質

(1) 耐熱物質應具備之條件: 一般耐熱物質所要求的條件包括下列六點, 但

可觀使用條件酌減之。

- (a) 能耐得使用溫度。
- (b) 能耐得高熱下的重荷。
- (c) 耐蝕性大。
- (d) 能耐得急熱急冷之變化。
- (e) 容易維護。
- (f) 價廉。

(2) 耐火磚的特性：熱源與被熱物體的支座、容器及爐體所使用的耐熱物質有氧化物、碳化物、氮化物等多種，一般以耐火磚為最常用。表 19.1.6 表示各種耐火磚的化學、物理特性，如果熔解物質為酸性時應採用酸性耐火磚，鹽基性熔解物質採用鹽基性耐火磚，則可獲得較佳的防蝕效果。

表 19.1.6 各種耐火磚的化學與物理特性

種 類	化 學 性 質	主 要 成 分	耐火溫度(°C)
矽 石 火 磚	酸 性	SiO_2	1,700
燒 粉 磚	酸 性	$\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	1,700
白 鈦 磚	中 性	Al_2O_3	1,800
黑 鈦 磚	中 性	Al_2O_3	1,850
鎂 礬 土 磚	中 性	Al_2O_3	1,600~1,800
金 剛 砂 磚	中 性	SiC	1,770
碳 素 磚	中 性	C	2,000
鉻 質 磚	中 性	Cr_2O_3	1,800
氧 化 鎂 磚	鹽 基 性	MgO	1,900

第二章 電熱之計算

2.1 熱量單位

熱量的常用單位為仱卡 (kilocalorie 簡寫為 Kcal.)，標準之 1 仱卡係規定為 1 仱克質量之純水自 14.5°C 升高至 15.5°C 時所需要的熱量。

亦有以焦耳 (Joule 簡寫為 J) 作為熱量單位，該單位熱量之大小是相當於作功 1 焦耳所需要的能量。

仱卡、焦耳及瓩時 (K.W.H.) 之互相關係列述如下：

$$1 \text{ 仱卡} = 4,186.05 \text{ 焦耳}$$

$$1 \text{ 瓩時} = 860 \text{ 仱卡}$$

$$\text{亦即 } 1 \text{ 仱卡} = \frac{1 \text{ 瓩時}}{860} = \frac{1,000 \times 3,600 \text{ 瓦} \cdot \text{秒}}{860} = 4,186.05 \text{ 焦耳}$$

2.2 比熱與熱容量

2.2.1 物體之比熱與熱容量

質量 m 仱克之物體使昇高溫度 $\theta(^{\circ}\text{C})$ 所需要的熱量 Q 焦耳為：

$$Q = cm\theta = C\theta \text{ 焦耳}$$

式中小寫 c 表示該物體之比熱 (specific heat)，即 1 仱克物體使昇高溫度 1°C 所需要之熱量，其單位為焦耳/ $^{\circ}\text{C} \cdot$ 仱克，而大寫 $C = cm = Q/\theta$ 表示該物體之熱容量 (thermal capacity)，其單位為焦耳/ $^{\circ}\text{C}$ 。

如依據物體之比熱計算其熱容量時，須先知道該物體之質量。如以熱阻之方法計算時，則僅需知該物體之體積即可，故較為方便。設物體之密度為 d 仱克/ 米^3 ，體積為 v 米^3 ，則物體的質量 $m = dv$ 仱克，熱容量 $C = cdv$ 焦耳/ $^{\circ}\text{C}$ ，故物體昇高溫度 $\theta(^{\circ}\text{C})$ 所需要的熱公式可寫成

$$Q = cdv\theta \text{ 焦耳}$$

式中之 cd 為比熱與密度之乘積，亦即單位體積的熱容量焦耳/ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{米}^3$ 。總言之，單位質量物體的熱容量稱為比熱，而單位體積物體的熱容量稱為體積比熱，其相互關係如下：

$$\text{體積比熱} = \text{密度} \times \text{比熱}$$

2.2.2 物體之電熱效應

依照公式

$$\theta = \frac{Q}{dvc} = \frac{\text{熱量}}{\text{熱容量}} (^{\circ}\text{C})$$

得知物體之溫度上昇與外加熱量成正比，與該物體之熱容量成反比。這種效應正如電容器之充電，其電壓之上昇與外加電量成正比，與該電容器之電容量成反比相似，即

$$V = \frac{Q}{C}$$

V = 電 壓 (單位為伏特)

Q = 電 量 (單位為庫侖)

C = 電容量 (單位為法拉)

(1) 物體之加熱：設熱容量為 C 焦耳/ $^{\circ}\text{C}$ ，熱流為 I 瓦特，則溫度上昇 $\theta (^{\circ}\text{C})$

應為：

$$\theta = \frac{\int I dt}{C}$$

完全與電容器充電時電壓上昇之情形相同，如圖 19.2.1 所示。實際上物加熱時常有部份熱量洩漏，其多少則隨溫度之上昇或下降而增減。由此察知溫度之上昇與外加熱量之變化並不完全成正比。此種洩漏現象在電氣方面亦同樣發生，如圖 19.2.2 所示，與電容器 C 並聯接一洩漏電阻 R ，假設 R 為熱阻，則能直接測知物體之電熱效應，其相互關係如下：

$$I = i_1 + i_2$$

$$\theta = \frac{\int i_1 dt}{C} = Ri_2$$

亦即

$$\theta = RI \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

此式表示以一定熱流 I 加熱時溫度上昇之變化情形，如圖 19.2.3 所示。

(2) 物體之冷卻：茲討論在一定溫度

下物體之冷卻情形。設物體之熱容量為 C ，儲熱量為 Q ，則物體之溫度 θ 。應為

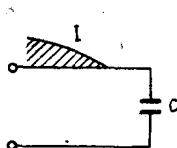


圖 19.2.1

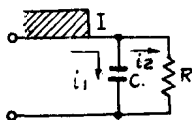


圖 19.2.2

$$\theta_0 = -\frac{Q}{C} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

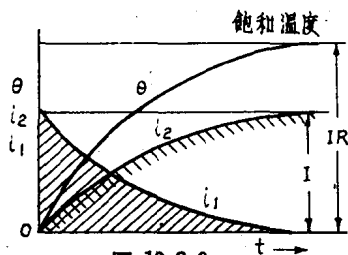


圖 19.2.3

如果物體能絕熱完善而無熱量之洩漏，則該物體必將永恒保持溫度之不變。但通常物體之溫度必將因熱量之洩漏而慢慢降低迨至常溫，此種現象與 RC 電路之放電效應完全相同。如圖 19.2.4 所示，當 RC 電路閉路時，電容器之容電量

即通過電阻器放電，而電位亦相應下降，如式 $V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ 。物體之溫度下降如同電容器之電位下降，可列式如下：

$$\theta = \theta_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

式中溫度之變化與時間之關係如圖 19.2.5 所示，該曲線恰好和物體加熱時溫度上昇之曲線相反。

設 θ_0 為以 I 熱流加熱後的飽和溫度，

即

$$\theta_0 = RI \text{ (}^\circ\text{C)}$$

當加熱停止，亦即熱流 $I=0$ ，換言之，則在原熱流 I 上另加 $-I$ 熱流，結果溫度變化成為

$$-\theta = -RI \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

由於

$$\theta_0 - \theta = RI - RI \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$= \theta_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

因此

$$\theta = \theta_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

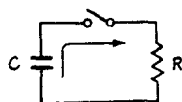


圖 19.2.4

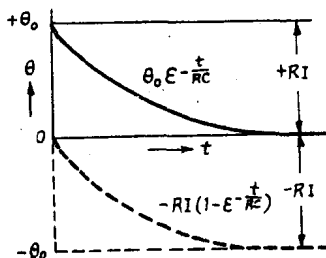


圖 19.2.5