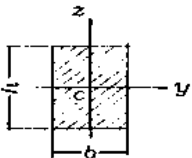
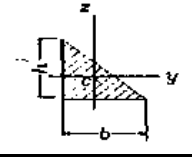
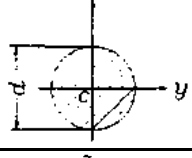
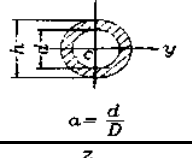
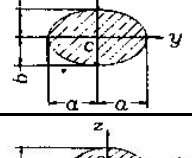
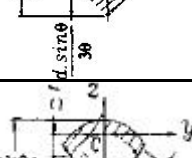
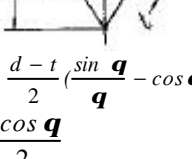


### 第三章 常用公式及數據表

#### 3.1 典型截面形狀慣性矩

在連接器設計力學計算中，常用的典型截面形狀慣性矩如表 3-01。

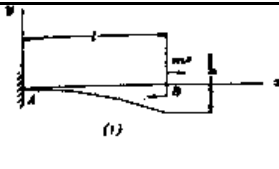
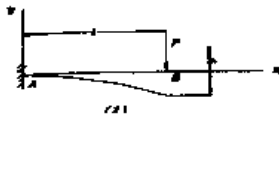
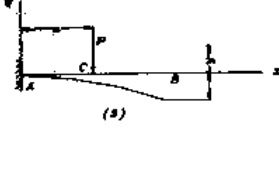
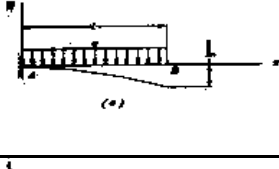

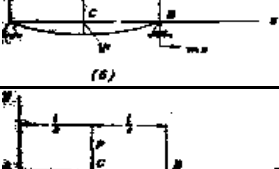
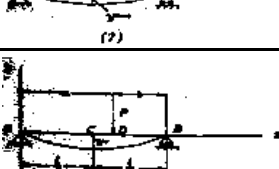
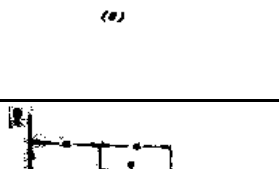
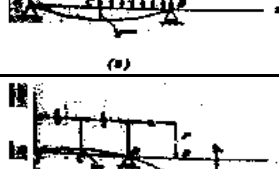
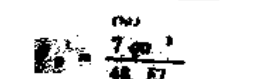
表 3-01 常用截面的幾何性質性算公式

截面形狀和形心軸位置	面積 F	慣性矩		慣性半徑	
		$J_y$	$J_z$	$i_y$	$i_z$
	$bh$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{b^3h}{12}$	$\frac{h}{2\sqrt{3}}$	$\frac{b}{2\sqrt{3}}$
	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{b^3h}{36}$	$\frac{h}{3\sqrt{2}}$	$\frac{h}{3\sqrt{2}}$
	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{d}{4}$	$\frac{d}{4}$
	$\frac{\pi D^2}{4} (1 - a^2)$	$\frac{\pi D^4}{64} (1 - a^4)$	$\frac{\pi D^4}{64} (1 - a^4)$	$\frac{D}{4} \sqrt{1 + a^2}$	$\frac{D}{4} \sqrt{1 + a^2}$
	$\pi ab$	$\frac{\pi}{4} ab^3$	$\frac{\pi}{4} a^3b$	$\frac{b}{2}$	$\frac{a}{2}$
	$\frac{qd^2}{4}$	$\frac{d^4}{64} (q + \sin q \cos q - \frac{16 \sin^2 q}{9q})$	$\frac{d^4}{64} (q - \sin q \cos q)$		
	$Z_1 = \frac{d-t}{2} (\frac{\sin q}{q} - \cos q) + \frac{t \cos q}{2}$	$qd \left[ \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2} - t\right)^2 \right] \approx \frac{\pi(d-t)^3}{2} (a + \sin a \cos a - \frac{2 \sin^2 q}{q}) \approx qd$	$\frac{t(d-t)^3}{8} (q - \sin q \cos q)$		

### 3.2 簡單載荷下梁的彎矩、剪力、撓度和轉角

梁在受力條件下的撓曲線及各力學量如表 3-02，為截面慣性矩。

表 3-02 簡單載荷下梁的彎矩、剪力、撓度和轉角

梁的形式及其載荷	最大彎矩 M <sub>max</sub> (絕對值)	最大剪力 Q <sub>max</sub> (絕對值)	撓曲線方程	最大撓度和梁端轉角(絕對值)
	$m_B$	0	$y = -\frac{m_B c^2}{2EI}$	$q_B = \frac{m_B l}{EI} (\rightarrow)$ $y_{max} = \frac{m_B l^2}{2EI} (\downarrow)$
	$Pl$	$P$	$y = \frac{Pc^2}{6EI} (3l - c)$	$q_B = \frac{Pl^2}{2EI} (\rightarrow)$ $y_{max} = \frac{Pl^3}{3EI} (\downarrow)$
	$Pa$	$P$	$y = \frac{Pc^2}{6EI} (3a - c) \quad (0 \quad a)$ $y = \frac{Pc^2}{6EI} (3c - a) \quad (0 \quad l)$	$q_B = \frac{Pa^2}{2EI} (\rightarrow)$ $y_{max} = \frac{Pa^3}{6EI} (3l - a) (\downarrow)$
	$\frac{ql^2}{2}$	$ql$	$y = \frac{qc^2}{24EI} (c^2 + 6l^2 - 4lc)$	$q_B = \frac{ql^3}{6EI} (\rightarrow)$ $y_{max} = \frac{ql^4}{8EI} (\downarrow)$
	$m_B$	$\frac{m_B}{l}$	$y = \frac{m_B lc}{6EI} (1 - \frac{c^2}{l^2})$	$q_A = \frac{m_B l}{6EI} (\rightarrow) \quad q_B = \frac{m_B l}{3EI} (\leftarrow)$ $y_c = \frac{m_B l^2}{16EI} (\downarrow) \quad y_{max} = \frac{m_B l^2}{9\sqrt{3}EI} (\downarrow) \quad \text{在 } c = \frac{l}{\sqrt{3}}$
	$\frac{ql^2}{8}$	$\frac{ql}{2}$	$y = \frac{qc}{24EI} (l^3 - 2lc^2 + c^3)$	$q_A = \frac{ql^3}{24EI} (\rightarrow) \quad q_B = \frac{ql^3}{24EI} (\leftarrow)$ $y_{max} = \frac{5ql^4}{384EI} (\downarrow)$
	$\frac{Pl}{4}$	$\frac{P}{2}$	$y = \frac{Pc^2}{12EI} (\frac{3}{4}l^2 - c^2) \quad (0 \quad \frac{1}{2})$	$q_A = \frac{Pl^2}{16EI} (\rightarrow) \quad q_B = \frac{Pl^2}{16EI} (\leftarrow)$ $y_{max} = \frac{Pl^3}{48EI} (\downarrow)$
	$\frac{Pab}{l}$	$\frac{Pa}{l}$ (a>b)	$y = \frac{Pbc}{6EI} (l^2 - c^2 - b^2) \quad (0 \quad a)$ $y = \frac{Pb}{6EI} [\frac{1}{b}(c - a)^3 + (l^2 - b^2)c - c^3]$ (a l)	$q_A = \frac{Pab(1+b)}{6EI} (\rightarrow) \quad q_B = \frac{Pab(1+a)}{6EI} (\leftarrow)$ $y_C = \frac{Pb}{48EI} (3l^2 - 4b^2) (\downarrow) (a>b)$ $y_{max} = \frac{Pb\sqrt{(l^2 - b^2)^3}}{9\sqrt{3}EI} (\downarrow) \quad \text{在 } c = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}}$ $y_D = \frac{Pa^2 b^2}{3EI}$
	$\frac{9}{32} qa^2$	$\frac{3}{4} qa$	$y = \frac{qa}{24EI} (\frac{7}{2} a^2 c - c^3) \quad (0 \quad a)$ $y = \frac{q}{24EI} (\frac{7}{2} a^3 c + (c - a)^4 - ac^3) \quad (a \quad 2a)$	$q_A = \frac{7qa^3}{48EI} (\rightarrow) \quad q_B = \frac{3qa^3}{16EI} (\leftarrow)$ $y_{max} \approx y_C = \frac{5qa^4}{48EI} (\downarrow)$
	$Pa$	$P$ (1>a)	$y = \frac{P}{EI} \cdot \frac{l^2 a}{6} (\frac{c^3}{l^3} - \frac{c}{l}) \quad (0 \quad l)$ $y = \frac{P}{6EI} (c - l) [2al + 3a(c - l) - (c - l)^2] \quad (l \quad 1+a)$	$q_A = \frac{Pla}{6EI} (\leftarrow) \quad q_B = \frac{Pla}{6EI} (\rightarrow)$ $\alpha^d = \frac{Pa}{EI} (2l + 3a) (\rightarrow) \quad v_C = \frac{Pl^2 a}{EI} (\uparrow)$ $v^D = \frac{Pa^2}{EI} (1 + a) (\downarrow)$

<p>(11)</p>	$\frac{m_c a}{1}$ $(a > b)$	$\frac{m_c}{1}$	$y = \frac{m_c}{6EI} [c^3 - cl^2 - 3b^2](0 \leq c \leq a)$ $y = \frac{m_c}{6EI} [c^3 - 3(c-a)^2l - cl^2 - 3b^2](a \leq c \leq l)$	$q_A = \frac{m_c}{2EI} (\frac{l^2}{3} - b^2)(\rightarrow)$ , $q_B = \frac{m_c}{2EI} (\frac{l^2}{3} - b^2)(\rightarrow)$ $q_c = \frac{m_c}{3EI} (l^2 - 3la + 3a^2)(\rightarrow)$ , 如 $q_c > 0$ , 則為反時針轉
<p>(12)</p>	$\frac{qa}{4} (1 - \frac{a}{2})$	$\frac{qa}{2}$	$y = \frac{qa}{48EI} [4c^3 - (3l^2 - a^2)c] (0 \leq c \leq \frac{1-a}{2})$ $y = \frac{q}{48EI} [4ac^3 - 2(c - \frac{1-a}{2})^4 - ac(3l^2 - a^2)]$ $(\frac{1-a}{2} \leq c \leq \frac{1+a}{2})$	$q_A = \frac{qa}{48EI} (3l^2 - a^2)(\rightarrow)$ , $q_B = \frac{qa}{48EI} (3l^2 - a^2)(\leftarrow)$ $y_{max} = \frac{qa}{48EI} (l^2 - \frac{a^2l}{2} + \frac{a^3}{8})(\downarrow)$ 在梁中央

備註：表中“ ”表示順時針；“ ”表示逆時針。+

### 3.3 衝壓件模具設計常用公式

3.3.1 衝裁間隙分類見表3-03。

表 3-03 衝裁間隙分類(JB/Z 271-86)

分類依據		類別			
制件剪切面質量	剪切面特徵 				
		塌角深度 a 光亮帶 b 剪裂帶 E 毛刺高度 h 斜度	(4~7)%t (35~55)%t 小 一般 4°~7°	(6~8)%t (25~40)%t 中 小 7°~8°	(8~10)%t (15~25)%t 大 一般 8°~11°
	撓角 f		稍小	小	較大
	尺寸精度	落料件	接近凹模尺寸	稍小於凹模尺寸	小於凹模尺寸
		沖孔件	接近凸模尺寸	稍大於凸模尺寸	大於凸模尺寸
模具壽命		較低	較高	最高	
適用場合		制件剪切面質量、尺寸精度要求高時採用，模具壽命較低	制件剪切面質量、尺寸精度要求一般時採用	制件剪切面質量、尺寸精度要求不高時採用，以提高模具壽命	

3.3.2 衝裁間隙選取(僅供參考)見表3-04。

表 3-04 衝裁間隙比值(單邊間隙) (單位：%)

分類依據	類別		
低碳鋼 08F、10F、10、20、A3、B2	3.0~7.0	7.0~10.0	10.0~12.5
中碳鋼 45 不銹鋼 1Cr18Ni9Ti、4Cr13 可伐合金 4J29	3.5~8.0	8.0~11.0	11.0~15.0
高碳鋼 T8A、T10A、65Mn	8.0~12.0	12.0~15.0	15.0~18.0
純鋁 L <sub>2</sub> 、L <sub>3</sub> 、L <sub>4</sub> 、L <sub>5</sub> 鋁合金(軟態)LF21 黃銅(軟態)H62 紫銅(軟態)T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 、T <sub>3</sub>	2.0~4.0	4.5~6.0	6.5~9.0
黃銅(硬態) 鉛黃銅 紫銅(硬態)	3.0~5.0	5.5~8.0	8.5~11.0
鋁合金(硬態)LY12 錫磷青銅、鋁青銅 鈹青銅	3.5~6.0	7.0~10.0	11.0~13.0
鎂合金	1.5~2.5		
硅鋼	2.5~5.0	5.0~9.0	

(註：1. 本表適用於厚度為 10 mm 以下的金屬材料，厚料間隙比值應取大些；  
2. 凸、凹模的製造偏差和磨損均使間隙變大，故新模具應取最小間隙；  
3. 硬質合金衝模間隙比鋼模大 20% 左右。)

註：衝裁間隙選取應綜合考慮下列因素：

1. 衝床、模具的精度及剛性；
2. 產品的斷面品質、尺寸精度及平整度；
3. 模具壽命；
4. 跳屑；
5. 被加工材料的材質、硬度、供應狀態及厚度；
6. 廢料形狀；
7. 衝子、模仁材質、硬度及表面加工質量。

3.3.3 衝裁力、卸(剝)料力、推件力、頂件力

$$F_{\text{衝}} = 1.3L \cdot t \quad (\text{N}) \quad (\text{公式 3-01})$$

$$F_{\text{卸}} = K_{\text{卸}} \cdot F_{\text{衝}} \quad (\text{N}) \quad (\text{公式 3-02})$$

$$F_{\text{推}} = n \cdot K_{\text{推}} \cdot F_{\text{衝}} \quad (\text{N}) \quad (\text{公式 3-03})$$

$$F_{頂} = K_{頂} \cdot F_{衝} \quad (N) \quad (\text{公式 3-04})$$

其中，

- L - 衝切線長度 (mm)
- t - 材料厚度 (mm)
- 材料抗剪強度 ( $\text{mm}^2$ )
- 1.3 - 安全系數
- $K_{卸}$  - 卸(剝)料力系數
- $K_{推}$  - 推料力系數
- $K_{頂}$  - 頂料力系數
- n - 積存在凹模直刀口部份的廢料個數

$K_{卸}$   $K_{推}$   $K_{頂}$  數值見表 3-05。

表 3-05 卸料力、推件力和頂件力系數

料	厚	$K_{卸}$	$K_{推}$	$K_{頂}$
鋼	0.1	0.065~0.075	0.1	0.14
	> 0.1~0.5	0.045~0.055	0.063	0.08
	> 0.5~2.5	0.04~0.05	0.055	0.06
	> 2.5~6.5	0.03~0.04	0.045	0.05
	> 6.5	0.02~0.03	0.025	0.03
鋁、鋁合金		0.025~0.08	0.03~0.07	
紫銅、黃銅		0.02~0.06	0.03~0.09	

註：卸料力系數  $K_{卸}$  在衝多孔、大搭邊和輪廓複雜時取上限值。

### 3.3.4 中性層彎曲半徑

$$R = r + x \cdot t \quad (\text{mm}) \quad (\text{公式 3-05})$$

其中，

- R - 中性層彎曲半徑 (mm)
- r - 零件內側半徑 (mm)
- x - 中性層系數

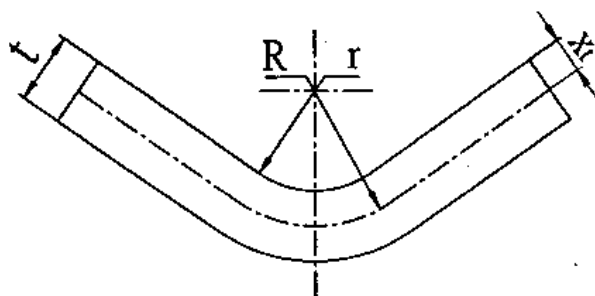


圖 3-01

中性層系數見表 3-06(僅供參考)。

表 3-06 中性層系數 x 值

r / t	0.1	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.8
x	0.23	0.28	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34
r / t	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.5
x	0.35	0.37	0.40	0.43	0.45	0.48	0.5

註：彎曲件中性層系數取值與下列因素有關：

1. 彎曲成形方式；
  2. 彎曲間隙；
  3. 有無壓料；
  4. 材料硬度、延伸率、厚度；
- 故應根據實際狀況精確修正。

3.3.5 材料最小彎曲半徑，見表 3-07。

表 3-07 最小彎曲半徑

材 料	退 火 或 正 火		冷 作 硬 化	
	彎 曲 線 位 置			
	垂 直 於 纖 維	平 行 於 纖 維	垂 直 於 纖 維	平 行 於 纖 維
0.8、10	0.1t	0.4t	0.4t	0.8t
15、20	0.1t	0.5t	0.5t	1t
25、30	0.2t	0.6t	0.6t	1.2t
35、40	0.3t	0.8t	0.8t	1.5t
45、50	0.5t	1.0t	1.0t	1.7t
55、60	0.7t	1.3t	1.3t	2t
65Mn、T7	1t	2t	2t	3t
Cr18Ni9	1t	2t	3t	4t
軟杜拉鋁	1t	1.5t	1.5t	2.5t
硬杜拉鋁	2t	3t	3t	4t
磷 銅	-	-	1t	3t
半硬黃銅	0.1t	0.35t	0.5t	1.2t
軟 黃 銅	0.1t	0.35t	0.35t	0.8t
紫 銅	0.1t	0.35t	1t	2t
鋁	0.1t	0.35t	0.5t	1t
鎂合金	加熱到 300~400		冷 彎	
MB1	2t	3t	6t	8t
MB8	1.5t	2t	5t	6t
鈦合金 BT1	1.5t	2t	3t	4t
BT5	3t	4t	5t	6t
鉬合金	加熱到 400~500		冷 彎	
t 2 mm	2t	3t	4t	5t

註：表列數據用於彎曲中心角 90°、斷面質量良好的情況。

### 3.3.6 彎曲回彈半徑及回彈角

$$r_{\text{凸}} = r_0 / (1 + K r_0 / t) \quad (\text{公式 3-06})$$

回彈角的數值為

$$= (180^\circ - \alpha_0)(r_0 / r_{\text{凸}} - 1) \quad (\text{公式 3-07})$$

其中，

$r_{\text{凸}}$  - 凸模的圓角半徑，(mm)

$r_0$  - 工件的圓角半徑，(mm)

$\alpha_0$  - 工件的彎曲角度，(°)

$t$  - 工件材料厚度，(mm)

$K$  - 簡化系數，見表 3-08。

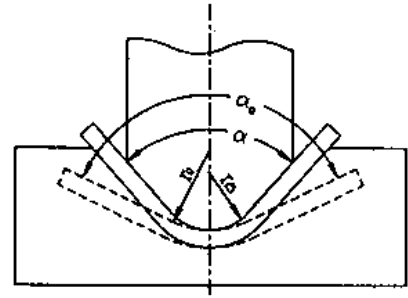


圖 3-02 彎曲半徑較大時  
彈復現象

表 3-08 簡化系數 K 值

名稱	牌號	狀態	K	名稱	牌號	狀態	K
鋁	L4, L6	退火	0.0012	磷青銅	QSn6.5-0.1	硬	0.015
		冷硬	0.0041	鈹青銅	QBe2	軟	0.0064
防銹鋁	LF21	退火	0.0021			硬	0.0265
		冷硬	0.0054	鋁青銅	QA15	硬	0.0047
	LF12	軟	0.0024	碳鋼	08, 10, A2		0.0032
硬鋁	LY11	軟	0.0064		20, A3		0.005
		硬	0.0175		30, 35, A5		0.0068
	LY12	軟	0.007		50		0.015
		硬	0.026	碳工鋼	T8	退火	0.0076
銅	T1, T2, T3	軟	0.0019			冷硬	0.0035
		硬	0.0088	不銹鋼	1Cr18Ni9Ti	退火	0.0044
黃銅	H62	軟	0.0033			冷硬	0.018
		半硬	0.008	彈簧鋼	65Mn	退火	0.0076
	硬	0.015	冷硬			0.015	
	H68	軟	0.0026	60Si2MnA	冷硬	0.021	
硬		0.0148					

### 3.3.7 彎曲力計算

針對“v”型彎曲：

$$F_{\text{彎}} = 0.6kbt_b / (r+t) \quad (\text{N}) \quad (\text{公式 3-08})$$

其中，

$b$  - 彎曲線長度 (mm)

$t$  - 材料厚度 (mm)

$r$  - 內側半徑 (mm)

$b_t$  - 材料極限強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k$  - 安全系數，一般  $k=1.3$

### 3.3.8 拉深(抽引)系數

$$m=d/D \quad (\text{公式 3-09})$$

其中，

d - 拉深(抽引)後工件直徑 (mm)

D - 毛壞直徑 (mm)

1. 無凸緣或有凸緣筒形件用壓邊圈拉深系數見表 3-09。

表 3-09 無凸緣或有凸緣筒形件用壓邊圈拉深的拉深系數(適用 0.8,10 號鋼)

$t/D \times 100$ $m_1$ $r/t$ $d_{\text{凸}}/D$		1.5		1.0		0.6		0.3		0.1	
		10	4	12	5	15	6	18	7	20	8
0.48		<u>0.48</u>									
0.50		0.48	<u>0.50</u>								
0.51		0.48	0.50	<u>0.51</u>							
0.53		0.48	0.50	0.51		<u>0.53</u>					
0.54		0.48	0.50	0.51	<u>0.54</u>	0.53					
0.55		0.48	0.50	0.51	0.54	0.53	<u>0.55</u>	<u>0.55</u>			
0.58		0.48	0.50	0.51	0.54	0.53	0.55	0.55	<u>0.58</u>	<u>0.58</u>	
0.60		0.48	0.50	0.50	0.53	0.53	0.55	0.54	0.58	0.57	<u>0.60</u>
0.65		0.48	0.49	0.49	0.52	0.52	0.54	0.53	0.56	0.55	0.58
0.70		0.47	0.48	0.48	0.51	0.51	0.53	0.52	0.54	0.53	0.56
0.75		0.45	0.47	0.46	0.49	0.49	0.51	0.50	0.52	0.51	0.54
0.80		0.43	0.45	0.45	0.47	0.47	0.49	0.48	0.50	0.49	0.52
0.85		0.41	0.43	0.42	0.45	0.44	0.46	0.45	0.48	0.47	0.49
0.90		0.38	0.39	0.39	0.41	0.41	0.43	0.42	0.44	0.43	0.45
0.95		0.33	0.34	0.35	0.37	0.3	0.38	0.38	0.39	0.38	0.40
0.97		0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.36	0.37	0.36	0.38
0.99		0.30	0.31	0.32	0.33	0.33	0.34	0.33	0.34	0.34	0.35
以後 各次 拉深	$m_2$	0.73	0.75	0.75	0.76	0.76	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80
	$m_3$	0.76	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.810	0.81	0.82
	$m_4$	0.78	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84
	$m_5$	0.80	0.82	0.82	0.84	0.83	0.85	0.84	0.85	0.85	0.86

註：1) 隨材料塑性高低，表中數值應酌情增減；

2) 線上方為直筒件( $d_{\text{凸}}=d_1$ )；

3) 隨  $d_{\text{凸}}/D$  數值增大， $r/t$  值可相應減小，滿  $2r_1 \leq h_1$ ，保證筒部有直壁；

4) 查用時，可用插入法，也可用偏大值；

5) 多次拉深首次形成凸緣時，為考慮多拉入材料， $m_1$  增大 0.02。

2. 帶凸緣筒形件第一次拉深系數見表 3-10。

表 3-10 帶凸緣筒形件第一次拉深時的拉深系數  $m_1$

凸緣相對直徑 $d_{\square}/d_1$	毛 壞 相 對 厚 度 $t/D \times 100$				
	> 0.06~0.2	> 0.2~0.5	> 0.5~1.0	> 1.0~1.5	> 1.5
1.1	0.59	0.57	0.55	0.53	0.50
> 1.1~1.3	0.55	0.54	0.53	0.51	0.49
> 1.3~1.5	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47
> 1.5~1.8	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45
> 1.8~2.0	0.45	0.45	0.44	0.43	0.42
> 2.0~2.2	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40
> 2.2~2.5	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37
> 2.5~2.8	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33
> 2.8~3.0	0.33	0.33	0.32	0.32	0.31

註：適用於 08、10 號鋼

3. 無凸緣筒形件用壓邊圈拉深系數見表 3-11。

表 3-11 無凸緣筒形件用壓邊圈時的拉深系數

拉深 系數	毛 壞 相 對 厚 度 $t/D \times 100$					
	2~1.5	< 1.5~1.0	< 1.0~0.6	< 0.6~0.3	< 0.3~0.15	< 0.15~0.08
$m_1$	0.48~0.50	0.50~0.55	0.53~0.55	0.55~0.58	0.58~0.60	0.60~0.63
$m_2$	0.73~0.75	0.75~0.76	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.82
$m_3$	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.84
$m_4$	0.78~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.83	0.83~0.85	0.85~0.86
$m_5$	0.80~0.82	0.82~0.84	0.84~0.85	0.85~0.86	0.86~0.87	0.87~0.88

註：1. 凹模圓角半徑大時( $r_{\square}=8\sim 15t$ )，拉深系數取小值，凹模圓角半徑小時( $r_{\square}=4\sim 8t$ )，拉深系數取大值。

2. 表中拉深系數適用於 08、10S、15S 鋼與軟黃銅 H62、H68。當拉深塑性更大的金屬時(05、08Z 及 10Z 鋼、鋁等)，應比表中數值減小 1.5-2%。而當拉深塑性較小的金屬時(20、25、A2、A3、酸洗鋼、硬鋁、硬黃銅等)，應比表中數值增大 1.5-2%(符號 S 為深拉深鋼，Z 為最深拉深鋼)。

4. 無凸緣筒形件不用壓邊圈拉深系數見表 3-12。

表 3-12 帶凸緣筒形件不用壓邊圈時的拉深系數

材料相對厚度 $t/D \times 100$	毛壞相對厚度					
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$	$m_6$
0.4	0.90	0.92	-	-	-	-
0.6	0.85	0.90	-	-	-	-
0.8	0.80	0.88	-	-	-	-
1.0	0.75	0.85	0.90	-	-	-
1.5	0.65	0.80	0.84	0.87	0.90	-
2.0	0.60	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
2.5	0.55	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
3.0	0.53	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
3 以上	0.50	0.70	0.75	0.78	0.82	0.85

註：適用於 08、10 以及 15Mn 等材料。

5. 有工藝切口的第一次拉深系數見表 3-13。

表 3-13 有工藝切口的第一次拉深系數  $m_1$  (材料：08、10)

凸緣相對直徑 $d_{\text{凸}}/d_1$	毛壞相對厚度 $t/D \times 100$				
	> 0.06~0.2	> 0.2~0.5	> 0.5~1.0	> 1.0~1.5	> 1.5
1.1	0.64	0.62	0.60	0.58	0.55
> 1.1~1.3	0.60	0.59	0.58	0.56	0.53
> 1.3~1.5	0.57	0.56	0.55	0.53	0.51
> 1.5~1.8	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
> 1.8~2.0	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43
> 2.0~2.2	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41
> 2.2~2.5	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37
> 2.5~2.8	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34
> 2.8~3.0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

6. 有工藝切口的以後各次拉深系數見表 3-14。

表 3-14 有工藝切口的以後各次拉深系數  $m_n$  (材料：08、10)

拉深系數 $m_n$	毛壞相對厚度 $t/D \times 100$				
	> 0.06~0.2	> 0.2~0.5	> 0.5~1.0	> 1.0~1.5	> 1.5
$m_2$	0.80	0.79	0.78	0.76	0.75
$m_3$	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
$m_4$	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80
$m_5$	0.87	0.86	0.85	0.84	0.82

7. 有工藝切口的各次拉深系數見表 3-15。

表 3-15 有工藝切口的各次拉深系數

材 料	拉 深 次 數					
	1	2	3	4	5	6
	拉 深 系 數 m					
黃 銅	0.63	0.76	0.78	0.80	0.82	0.85
軟鋼、鋁	0.67	0.78	0.80	0.82	0.85	0.90

### 3.3.9 拉深(抽引)力

$$F_{抽} = 3(\sigma_b + \sigma_s)(D - d - r_{凹})t \quad (\text{公式 3-10})$$

其中，

- $\sigma_b$  - 材料極限強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_s$  - 材料屈服強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- D - 毛壞直徑 (mm)
- d - 拉深凹模直徑 (mm)
- $r_{凹}$  - 拉深凹模圓角 (mm)
- t - 材料厚度 (mm)

### 3.3.10 孔的翻邊

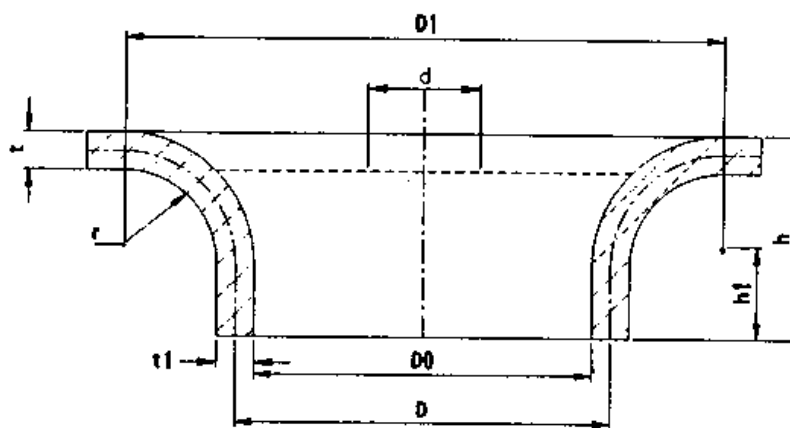


表 3-03 平板圓孔翻邊

翻邊系數

$$K = d/D \quad (\text{公式 3-11})$$

其中，

- d - 預衝孔模直徑 (mm)
- D - 翻邊後平均直徑 (mm)

各種材料極限翻邊系數見表 3-16、表 3-17。

表 3-16 低碳鋼的極限翻邊系數 K

翻邊方法	孔的加工方法	比 值 d/t										
		100	50	35	20	15	10	8	6.5	5	3	1
球形凸模	鑽後去毛刺 用沖孔模沖孔	0.70	0.60	0.52	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.25	0.20
		0.75	0.65	0.75	0.52	0.48	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	-
圓柱形凸模	鑽後去毛刺 用沖孔模中孔	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.42	0.40	0.37	0.35	0.30	0.25
		0.85	0.75	0.65	0.60	0.55	0.52	0.50	0.50	0.48	0.47	-

表 3-17 其它一些材料的翻邊系數

退火的材料	翻 邊 系 數	
	K	Kmin
白鐵皮	0.70	0.65
黃銅 H62、t=0.5~6 mm	0.68	0.62
鋁 t=0.5~5 mm	0.70	0.64
硬 鋁	0.89	0.80

## 2. 預衝孔直徑

$$d = D - 2(h - 0.43r - 0.72t) \quad (\text{公式 3-12})$$

其中，

h - 翻邊高度 (mm)

r - 翻邊圓角 (mm)

t - 材料厚度 (mm)

## 3. 翻邊高度

$$h = 0.5D(1-K) + 0.43r + 0.72t \quad (\text{公式 3-13})$$

## 4. 翻邊口部材料厚度

$$t_1 = t\sqrt{K} \quad (\text{mm}) \quad (\text{公式 3-14})$$

## 5. 翻邊力

$$F = 1.1 t_s (D-d) \quad (\text{公式 3-15})$$

其中，

$t_s$  - 材料屈服強度 (Mpa)

# 3.4 塑膠件模具設計常用公式

## 3.4.1 模具設計理論尺寸計算

$$L = (1 + m) \cdot L_0 \quad (\text{公式 3-16})$$

其中，

- L - 模具理論尺寸
- $\mu$  - 原料各向收縮率
- $L_0$  - 零件設計尺寸

### 3.4.2 模具設計實際尺寸計算

$$\ell = L + a_1 + a_2 + a_3 - a_4 \quad (\text{公式 3-17})$$

其中，

- $\ell$  - 模具實際尺寸
- L - 模具理論尺寸
- $a_1$  - 預置變形量
- $a_2$  - 脫模斜度餘量
- $a_3$  - 塑膠零件熱膨脹量
- $a_4$  - 模具熱膨脹量

### 3.4.3 回位銷及頂出板變形量計算

$$S = (w \cdot \ell^3) / (n \cdot E \cdot I) \quad (\text{公式 3-18})$$

其中，

- S - 最大變形量(cm)
- E - 縱彈性係數(kgf/cm<sup>2</sup>)
- I - 截面 2 次矩(cm<sup>4</sup>)
- 頂出板重量/彈簧輸出力(kg)
- n - 係數(懸臂梁時 n=3)
- $\ell$  - 承受彎曲長度(cm)

### 3.4.4 模具彈簧輸出力計算

$$w = (d^4 \cdot G \cdot S) / (8 \cdot N \cdot D^3) \quad (\text{公式 3-19})$$

其中，

- 輸出力(10<sup>2</sup>kgf)
- N - 線圈的有效圈數
- D - 線圈的中心直徑(mm)
- d - 線徑(mm)
- G - 橫彈性係數(kgf/cm<sup>2</sup>)
- S - 變形量(mm)

### 3.4.5 模具彈簧剪斷力計算

$$= k \cdot (8D \cdot w) / (\rho d^3) \quad (\text{公式 3-20})$$

其中，

- 剪斷應力( $10^2 \text{kgf/cm}^2$ )
- d - 線徑(mm)
- D - 線圈的中心直徑(mm)
- 負荷(kgf)
- k - 依線徑與線圈直徑比  $m=D/d$  而變化的剪應力修正係數

### 3.4.6 塑膠零件脫模力計算

$$R \leq P - nP_1 \quad (\text{公式 3-21})$$

其中，

- R - 最大脫模阻力(kgf)
- P - 頂出力(kgf)
- $P_1$  - 彈簧反作用力(kgf)
- n - 彈簧支數

### 3.4.7 頂針大小及長度計算

$$R = 4p^2(E \cdot I) / \ell^2 \quad (\text{公式 3-22})$$

其中，

- R - 最大脫模阻力(kgf)
- E - 縱彈性係數( $\text{kgf/cm}^2$ )
- I - 截面 2 次矩( $\text{cm}^4$ )
- $\ell$  - 頂針長度(cm)

### 3.4.8 塑化量計算

$$G = ((m_1 + m_2) / T) \cdot h \quad (\text{公式 3-23})$$

其中，

- G - 塑化量(g/min)
- $m_1$  - 零件重量(g)
- $m_2$  - 料頭重量(g)
- T - 成型周期(min)
- h** - 安全係數

### 3.4.9 鎖模力計算

$$C \geq S(P_0 - \Delta P_1 - \Delta P_2 - \Delta P_3) \quad (\text{公式 3-24})$$

其中，

- C - 鎖模力
- S - 零件及料頭投影面積
- P<sub>0</sub> - 注射壓力
- P<sub>1</sub> - 噴嘴壓力降
- P<sub>2</sub> - 流道壓力降
- P<sub>3</sub> - 模腔流動壓力降

### 3.4.10 流體力學及熱力學公式

進入模具的熱量公式：

$$Q_1 = W \cdot S \cdot C_R \cdot \Delta t_1 \quad (\text{公式 3-25})$$

其中，

- W - 射出重量(kg/次)
- S - 每小時射出次數(次/hr)
- C<sub>R</sub> - 樹脂比熱(kcal/kg )
- t<sub>1</sub> - 射出溫度與平均取出溫度的差

水帶走熱量之計算公式：

$$Q_2 = \pi d \cdot l \cdot h \cdot \Delta t_2 \quad (\text{公式 3-26})$$

其中，

- d - 冷卻孔徑
- l - 冷卻孔長
- h - 介膜係數 (kcal/m<sup>2</sup> · hr. )
- t<sub>2</sub> - 模具、水平均溫差 ( )

進入冷卻水的熱量公式：

$$Q_3 = v \cdot c \cdot e \cdot \Delta t_3 \quad (\text{公式 3-27})$$

其中，

- v - 水流量 (m<sup>3</sup>/hr)
- c - 水的比熱 (kcal/kg. )
- e - 水的熱容量(kg/m<sup>2</sup>)
- t<sub>3</sub> - 出水與入水口溫差

### 3.5 電磁學常用公式

表 3-18 電磁學中常用關係式的無理化和有理化形式對照表

關係式名稱	關係式	
	無理制	有理化
庫侖定律	$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon^2}$	$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon^2}$
電場強度定義	$E = \frac{F}{q}$	$E = F / q$
點電荷電場強度	$F = \frac{q}{\epsilon^2}$	$F = q / 4\pi\epsilon^2$
電感應強度定義	$D = \epsilon E$	$D = \epsilon E$
奧斯特洛格拉斯基-高斯定律	$\oint_S D \cdot n dS = 4\pi \sum q_i$	$\oint_S D \cdot n dS = \sum q_i$
平板電容器內電場強度	$E = 4\pi s / \epsilon$	$E = \frac{S}{\epsilon}$
電位定義	$U_a = \int_{\infty}^a E \cdot dl$ $U = q / \epsilon$	$U_a = \int_{\infty}^a E \cdot dl$ $U = q / 4\pi\epsilon$
點電荷場的電位	$A_{ab} = q(U_a - U_b)$	$A_{ab} = q(U_a - U_b)$
功與電位差之間的關係	$E \cdot e = -\frac{\partial u}{\partial l}$	$E \cdot e = -\frac{\partial u}{\partial l}$
電場強度與電位之間的關係	$\bar{E} = \frac{1}{\epsilon_0} (\bar{D} - 4\pi \bar{P})$	$\bar{E} = \frac{1}{\epsilon_0} (\bar{D} - 4\pi \bar{P})$
$\bar{E} \cdot D \cdot P$ 之間的關係		
電容定義	$C = \frac{q}{U_A - U_B}$	$C = \frac{q}{U_A - U_B}$
平板電容器電容	$C = \frac{\epsilon S}{4\pi l}$	$C = \epsilon S / d$
帶電系統的能量	$W = \frac{1}{2} \sum q_i U_i$	$W = \frac{1}{2} \sum q_i U_i$
電場的能量體密度	$W = \frac{\epsilon E^2}{8\pi}$	$W = \frac{\epsilon E^2}{2}$
電流強度的定義	$I = q / t$	$I = q / t$
歐姆定律	$I = \frac{U_A - U_B}{R}$	$I = \frac{U_A - U_B}{R}$
平行直導線間的相互作用力	$\Delta F / \Delta l = 2 \mathbf{m}_1 I_2 / d$	$\Delta F / \Delta l = 2 \mathbf{m}_1 I_2 / 4\pi d$
畢奧-沙伐-拉普接斯定律	$dB = \mathbf{m} dl \sin(dl, r) / r^2$	$dB = \mathbf{m} dl \sin(dl, r) / 4\pi r^2$
定培環路定律	$\oint H \cdot dl = 4\pi \sum I_i$	$\oint H \cdot dl = \sum I_i$

法拉第電磁感應定律	$e = -\frac{dj}{dt}$	$e = -\frac{dj}{dt}$
自感應電動勢	$el = -L\frac{dl}{dt}$	$el = -L\frac{dl}{dt}$
磁場的能量體密長	$W = B^2 / 8\mathbf{pm}$	$W = B^2 / 2\mathbf{m}$
$\bar{B} \cdot \bar{H} \cdot \bar{J}$ 之間的關係	$\bar{B} = \mathbf{m}_0(\bar{H} + 4\mathbf{p}\bar{J})$	$\bar{B} = \mathbf{m}_0(\bar{H} + \bar{J})$
磁動勢定義	$Em = 4\mathbf{p}NI$	$Em = NI$
麥克斯韋方程	$\oint sDndS = 4\mathbf{p}\sum qi$	$\oint sDndS = \sum qi$
麥克斯韋方程	$\oint sDndS = 0$	$\oint sDndS = 0$
麥克斯韋方程	$\oint sHldl = 4\mathbf{p}(I + \frac{1}{4\mathbf{p}} + \frac{d\mathbf{f}\bar{e}}{dt})$	$\oint sHldl = I + \frac{d\mathbf{f}}{dt}$
麥克斯韋方程	$\oint Eldl = -\frac{d\mathbf{f}\bar{e}}{dt}$	$\oint Eldl = -\frac{d\mathbf{f}\bar{e}}{dt}$
球體電容	$C = \mathbf{e}\mathbf{r}$	$C = 4\mathbf{p}\mathbf{e}\mathbf{r}$
平板電容極間作用力	$F = \frac{\mathbf{e}SU^2}{8\mathbf{p}l^2}$	$F = \frac{\mathbf{e}SU^2}{2d^2}$
平板電容器儲能	$W = \mathbf{e}SU^2 / 8\mathbf{p}l$	$W = \mathbf{e}SU^2 / 2d$
螺管線圈中心磁場強度	$H = 4\mathbf{p}nI$	$H = nI$
無分支磁路的磁通量	$\mathbf{f} = \frac{4\mathbf{p}NI}{\frac{l}{\mathbf{n}\mathbf{s}} + \frac{l_0}{\mathbf{n}\mathbf{0}S0}}$	$\mathbf{f} = \frac{NI}{\frac{l}{\mathbf{n}\mathbf{s}} + \frac{l_0}{\mathbf{n}\mathbf{0}S0}}$
螺管線圈自感系數	$L = 4\mathbf{p}\mathbf{m}^2V$	$L = \mathbf{m}^2V$
坡印亭向量	$\bar{S} = \frac{\bar{E}\bar{H}}{4\mathbf{p}}$	$\bar{S} = \bar{E}\bar{H}$

3-19 真空介電常數和磁導率在電磁學各單位制中的對照表

	名稱	CGS $\epsilon_0$	CGS $\mu_0$	CGS	MKSA
無理制	真空介電常數	1	$1.11 \times 10^{-21}$ (電磁單位)	1	$1.11 \times 10^{-10}\text{F/m}$
	真空磁導率	$1.11 \times 10^{-21}$ (靜電單位)	1	1	$10^{-10}\text{H/m}$
有理制	真空介電常數	$7.96 \times 10^{-2}$	$8.85 \times 10^{-23}$ (電磁單位)	$7.96 \times 10^{-2}$	$8.85 \times 10^{-12}\text{F/m}$
	真空磁導率	$1.4 \times 10^{-20}$ (靜電單位)	12.6	12.6	$1.26 \times 10^{-6}\text{H/m}$

### 3.6 常用物理量及換算

#### 3.6.1 常用單位與國際單位換算。

表 3-20 常用單位與國際單位的換算

物理量名稱	單位名稱	單位符號	與國際單位制的關係
長度	微米	$\mu$	$10^{-6}\text{m}$
	埃	$\text{\AA}$	$10^{-10}\text{m}$
	X-單位	X	$10^{-13}\text{m}$
	英寸	in	$25.4 \times 10^{-3}\text{m}$
	英尺	ft	0.3048m
	碼	yd	0.9144m
	英里	mile	$1.6093 \times 10^3\text{m}$
	海里(國際)	n.mile	$1.852 \times 10^3\text{m}$
	英海里		1853.184m
	美海里		1853.27m
	天文單位	AU,UA,AE,a,e,u	$1.496 \times 10^{11}\text{m}$
	光年		$9.4605 \times 10^{15}\text{m}$
	秒差距	Pc	$3.0857 \times 10^{16}\text{m}$
密爾		$2.54 \times 10^{-6}\text{m}$	
面積	靶恩(靶)	barn	$10^{-28}\text{m}^2$
	圓密爾		$5.067 \times 10^{-10}\text{m}^2$
	平方英寸	$\text{in}^2$	$6.4516 \times 10^{-4}\text{m}^2$
	平方英尺	$\text{ft}^2$	0.0929 $\text{m}^2$
	平方碼	$\text{yd}^2$	0.8361 $\text{m}^2$
	英畝	acre	4047 $\text{m}^2$
	公畝	a	100 $\text{m}^2$
	公頃	ha	$10^4 \text{m}^2$
	平方公里	$\text{kM}^2$	$10^6 \text{m}^2$
體積 容積	毫升	ml. c.c.	$10^{-6}\text{m}^3$
	升	l	$10^{-3}\text{m}^3$
	立方英寸	$\text{in}^3$	$1.6387 \times 10^{-5}\text{m}^3$
	立方英尺	$\text{ft}^3$	0.0283 $\text{m}^3$
	立方碼	$\text{yd}^3$	0.7646 $\text{m}^3$
	英加侖	Imp.gal	$4.5461 \times 10^{-3}\text{m}^3$
	美英加侖	U.S.gal	$3.7854 \times 10^{-3}\text{m}^3$
	英蒲式耳	bu	$36.3 \times 10^{-3}\text{m}^3$
	美蒲式耳		$36.2 \times 10^{-3}\text{m}^3$
	英石油桶		$163.65 \times 10^{-3}\text{m}^3$
美石油桶		$158.987 \times 10^{-3}\text{m}^3$	
質量	噸	t	$10^3\text{kg}$
	生特涅爾	q	$10^2\text{kg}$
	克拉	x	$2 \times 10^{-4}\text{kg}$
	原子質量單位	amu	$1.6604 \times 10^{-27}\text{kg}$
	工程質量單位	khf.s <sup>2</sup> /m	9.80665 kg
	英兩(平常)	oz	$28.3495 \times 10^{-3}\text{kg}$

	英兩(金、藥) 磅(平常) 磅(金、藥) 英吨(長吨) 美吨(短吨) 格令 斯拉格 普特	oz Lb Lb tn shn gr slug	$31.1035 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 0.4536 kg 0.3732 kg 1016.05 kg 907.185 kg $0.0648 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 14,5939 kg 16.38 kg
時間	秒 分 時 日 年	s min h d y	60s 3600s 86400s 31553926s
平面角	秒 分 度 周、轉 密位 弧度	" ' ° rad	$4.848 \times 10^{-6} \text{ rad}$ $2.91 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 0.0174532rad 6.28318rad 1 – 00 密位=6 ° 0 – 01 密位=3' 6"
立體角	球面角	Sr	4 sr=12.56637sr
線速度	厘米/秒 米/分 公里/時 英尺/分 英里/時 海里/時	cm/s m/min km/h ft/min mile/h n . mile/h	0.01m/s 0.01667m/s 0.2778m/s 0.00508m/s 0.447m/s 0.514m/s
角速度	轉/分 轉/秒 度/分 度/秒	r/min, r.p.m r/s, r.p.s rad/min rad/s	/30rad/s=0.10472rad/s 2 rad/s=6.28319rad/s 0.00029rad/s 0.01745rad/s
線加速度	厘米/秒 <sup>2</sup> ; 伽 英寸/秒 <sup>2</sup> 英尺/秒 <sup>2</sup> 碼/秒 <sup>2</sup>	cm/s <sup>2</sup> ;gal in/s <sup>2</sup> ft/s <sup>2</sup> yd/s <sup>2</sup>	0.01m/s <sup>2</sup> $25.4 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ 0.3048m/s <sup>2</sup> 0.9144m/s <sup>2</sup>
密度	克/厘米 <sup>3</sup> 公斤/分米 <sup>3</sup> 吨/米 <sup>3</sup> 克/毫升 公斤/升 磅/英尺 <sup>3</sup> 磅/英寸 <sup>3</sup> 英兩/英尺 <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup> kg/dm <sup>3</sup> t/m <sup>3</sup> g/ml kg/l lb./ft <sup>3</sup> lb/in <sup>3</sup> oz/ft <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup> 1000 kg/m <sup>3</sup> 1000 kg/m <sup>3</sup> 1000 kg/m <sup>3</sup> 1000 kg/m <sup>3</sup> 16.0185 kg/m <sup>3</sup> 27680 kg/m <sup>3</sup> 1.00116 kg/m <sup>3</sup>
力	達因 公斤力 吨力 磅力	dyn kgf, kp tf lbf	10 <sup>-5</sup> N 9.80665N 9806.65N 4.44822N

	英磅力 磅達 斯欵	tnf pdl sn	9964.02N 0.1383N 10 <sup>3</sup> N
力矩和轉矩	達因 . 厘米 克力 . 厘米 公斤力 . 厘米 磅力 . 英尺 英兩 . 英寸 磅達 . 英尺	dyd . cm gf . cm kgf . cm lbf . cm oz . in pdl . ft	10 <sup>-7</sup> N . m 9.807 × 10 <sup>-5</sup> N . m 9.807 × 10 <sup>-2</sup> N . m 1.356N . m 7.062 × 10 <sup>-3</sup> N . m 0.04214N . m
壓力和應力	帕斯卡 微巴 毫巴 巴 公斤力/毫米 <sup>2</sup> 工程大氣壓 標準大氣壓 (物理大氣壓) 毫米水柱 毫米汞柱(毛) 磅達/英尺 <sup>2</sup> 磅力/英尺 <sup>2</sup> 磅力/英寸 <sup>2</sup> 英寸水柱 英尺水柱 英寸汞柱 比查	pa μ ba mbar bar kgf/mm <sup>2</sup> at atm  mm H <sub>2</sub> O mm Hg(Torr) pdl/ft <sup>2</sup> lbf/ft <sup>2</sup> lbf/in <sup>2</sup> in H <sub>2</sub> O ft H <sub>2</sub> O inHg pz	1N/m <sup>2</sup> 1dyn/cm(0.1N/m <sup>2</sup> ) 100N/m <sup>2</sup> 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> 9.807 × 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> 98067N/m <sup>2</sup> 101325N/m <sup>2</sup>  9.8067N/m <sup>2</sup> 133.32N/m <sup>2</sup> 10488N/m <sup>2</sup> 47.88N/m <sup>2</sup> 6894.8N/m <sup>2</sup> 249.1N/m <sup>2</sup> 2989.07N/m <sup>2</sup> 3386.39N/m <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup>
轉動慣量	克 . 厘米 <sup>2</sup> 工程質量單位 . 米 <sup>2</sup> 克力 . 厘米 . 秒 <sup>2</sup> 英兩 . 英寸 . 秒 <sup>2</sup>	g . cm <sup>2</sup> kgf . m . s <sup>2</sup> gf . cm . s <sup>2</sup> oz . in . s <sup>2</sup>	10 <sup>-7</sup> kg . m <sup>2</sup> 9.80665 kg . m <sup>2</sup> 9.80665 × 10 <sup>-5</sup> kg . m <sup>2</sup> 72.01 gf . cm . s <sup>2</sup>
動力粘度	達因 . 秒/厘米 <sup>2</sup> (泊) 公斤力 . 秒/米 <sup>2</sup> 公斤力 . 時/米 <sup>2</sup> 磅力 . 秒/英尺 <sup>2</sup>	dyn . s/cm <sup>2</sup> (p) kgf . s/m <sup>2</sup> kgf . h/m <sup>2</sup> lbf . s/ft <sup>2</sup>	0.1N . s/m <sup>2</sup> 9.8067 N . s/m <sup>2</sup> 35.3 × 10 <sup>3</sup> N . s/m <sup>2</sup> 47.88 N . s/m <sup>2</sup>
動運粘度	厘米 <sup>2</sup> /秒 毫米 <sup>2</sup> /秒 米 <sup>2</sup> /時 碼 <sup>2</sup> /秒 英尺 <sup>2</sup> /秒 英尺 <sup>2</sup> /時	St cst m <sup>2</sup> /h yd <sup>2</sup> /s ft <sup>2</sup> /s ft <sup>2</sup> /h	10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s 277.8 × 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s 0.836 m <sup>2</sup> /s 92.9 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s 25.8 × 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
功、能和熱量	爾格 公斤力 . 米 米制馬力 . 時 英制馬力 . 時 千瓦 . 時	erg kgf . m pa . h HP . h kw . h	10 <sup>-7</sup> J 9.807J 2.648 × 10 <sup>6</sup> J 2.685 × 10 <sup>6</sup> J 3.6 × 10 <sup>6</sup> J

	千卡 英熱單位 英尺.磅力 英尺.磅達 電子伏特 升.大氣壓 斯坦.米 百度熱量單位	kcal Btu ft.lbf ft.pdl eV l.atm sn.m chu(pcu)	4186.8J 1055.8J 1.356J 0.04214J $1.6021 \times 10^{-19}J$ 101.325J $10^3J$ 1899.1J
功率	爾格/秒 公斤力.米/秒 米制馬力 英制馬力 卡/秒 千卡./時 英尺.磅力/秒 英熱單位/秒 百度熱量單位/秒	erg/s kgf.m/s PS HP cal/s kcal/h ft.lbf/s Btu/s chu/s	$10^{-7}W$ 9.80665W 735.5W 745.7W 4.1868W 1.163W 1.356W 1055.56W 1899.1W
溫度	華氏度 攝氏度 蘭金度	$^{\circ}R$	$\frac{5}{9}(F - 32) \cdot C = \frac{5}{9}(F + 459.67)K$ $(C + 273.15)K$ $\frac{5}{9}(R)K$
比熱	千卡/公斤. 卡/(克. ) 爾格/(克. ) 英熱單位/(磅. ) 百度熱量單位/(磅. )	kcal/(kg. ) cal/(g. ) erg/(g. ) Btu/(lb. ) chu/(lb. )	4186.8J/(kg. ) 4186.8 J/(kg. ) $10^{-4}J/(kg. )$ 4186.8 J/(kg. ) 4186.8 J/(kg. )
傳熱系數	千卡/(米 <sup>2</sup> .時. ) 卡/(厘米 <sup>2</sup> .秒. ) 焦耳/(厘米 <sup>2</sup> .秒. ) 英熱單位/(英尺 <sup>2</sup> .時. )	kcal/(m <sup>2</sup> .h. ) cal/(cm <sup>2</sup> .s. ) J/(cm <sup>2</sup> .s. ) Btu/(ft <sup>2</sup> .h. )	1.1630W/(m <sup>2</sup> . ) 41838W/(m <sup>2</sup> . ) $10^4W/(m^2. )$ 5.68W/(m <sup>2</sup> . )
熱導率	千卡/(米.時. ) 卡/(厘米.秒. ) 焦耳/(厘米.秒. ) 英熱單位/(英尺.時. )	kcal/(m.h. ) cal/(cm.s. ) J/(cm.s. ) Btu/(ft.h. )	1.16W/(m. ) 418.68W/(m. ) 100W/(m. ) 1.73W/(m. )
電磁量	伏特.秒 伏特.時 伏特/厘米 安培.時 麥克斯韋 高斯 吉伯 奧斯特 歐姆(磁阻) 馬格	V.s V.h V/cm A.h Mx G Gb Oe	1Wb 3600Wb 100V/m 3600C $10^{-8}Wb$ $10^{-4}Wb/m^2=10^{-4}T$ (10/4 )A ( $10^3/4$ )A/m ( $10^9/4$ )A/Wb 1Hm

### 3.6.2 熱力學單位

表 3-21 各單位制中熱力學單位對照表

物理量	符號	定義公式	量綱	單位名稱及符號		
				SI	MKS 制	CGS 制
熱力學溫度	T			開爾文 K		
攝氏溫度	(t, )			開爾文 K 攝氏度	攝氏度( )	攝氏度( )
熱量	Q	$H = U + P_V$	$L^2MT^{-2}$	焦耳 J	千卡(kcal)	卡(kcal)
焓	H			(焦耳 J)	千卡/公斤 kcal/kg	卡/克(cal/g)
熱容	C			焦耳/開爾文 J/K	千卡/度 kcal/	爾格/度(erg/ ) 卡/度(cal/ )
熵	S			焦耳/開爾文 J/K	千卡/度 kcal/	卡/度(cal/ )
比熱容	c	$c = C/m$	$L^2T^{-2}q^{-1}$	焦爾/(公斤.開爾文) J/(kg .K)	千卡/(公斤.度) kcal/(kg . )	爾格/(克.度) erg/ 卡/(克.度) cal/(g. )
比熵	s				千卡/(公斤.度) kcal/(kg . )	卡/(克.度) cal/(g. )
熱流		$f = \frac{Q}{t}$	$L^2MT^{-3}$	瓦特 W	千卡/秒 kcal/s	爾格/秒(erg/s) 卡/秒(cal/s)
傳熱系數	k		$MT^{-3}q^{-1}$	瓦/(米 <sup>2</sup> .開爾文) W/(m <sup>2</sup> .K)	千卡/(米 <sup>2</sup> .秒.度) kcal/(m <sup>2</sup> .s. )	爾格/(厘米 <sup>2</sup> .秒.度) erg/(cm <sup>2</sup> .s. ) 卡/(厘米 <sup>2</sup> .秒.度) cal/(cm <sup>2</sup> .s. )
熱導率, 導熱系數		$I = q / (\frac{dT}{de})$	$LMT^{-3}q^{-1}$	瓦/(米.開爾文) W/(m.K)	千卡/(米.秒.度) kcal/(m.s. )	爾格/(厘米.秒.度) erg/(cm.s. ) 卡/(厘米.秒.度) cal/(cm.s. )
熱擴散率 導溫系數	a,(a)	$a = I / pc$	$L^2T^{-1}$	米 <sup>2</sup> /秒(m <sup>2</sup> /s)	米/秒(m <sup>2</sup> /s)	厘米 <sup>2</sup> /秒(cm <sup>2</sup> /s)
溫度梯度 線脹系數	a	$t/l$ $a = dl / ldT$	$L^{-1}q$	開爾文/米(K/m)	度/米( /m)	度/厘米( /cm)
體脹系數	,( )	$g = dV/VdT$	$q^{-1}$	1/開爾文(1/K)	1/度(1/ )	1/度(1/ )

註：表中 MKS 制各單位，也適用於 MKfS 制中公斤力(kgf)應與 MKS 制中的質量單位公斤kg一致 (即在標準重力加速度的地方或一般應用時，重量 1 公斤力物體有 1 公斤質量，不另換算)。

### 3.6.3 力學單位

表 3-22 各單位制中力學單位對照表

物理量	符號	定義公式	量綱及各制的單位和符號				MKfS 制			
			量綱	SI, MKS 制		CGS 制		量綱	單位和符號	
長度	$l$		L	米	m	厘米	cm	L	米	m
質量	$m$		M	千克(公斤)	kg	克	g	L <sup>1</sup> FT <sup>2</sup>	(工程質量單位) 公斤力·秒 <sup>2</sup> /米	kgf·g <sup>2</sup> /m
時間	$t, (t)$		T	秒	s	秒	s	T	秒	s
平面角	$a, b,$			弧度	rad	弧度	rad		弧度	rad
立體角	$\Omega, (w)$			球面度	sr	球面度	sr		球面度	sr
面積	$A, S$	$A = b\mathbf{i}$	L <sup>2</sup>	米 <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	厘米 <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	L <sup>2</sup>	米 <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
體積	$V$	$V = b\mathbf{i}h$	L <sup>3</sup>	米 <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	厘米 <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	L <sup>3</sup>	米 <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
速度	$\mathbf{u}, \mathbf{m}, w$	$u = ds/dt$	LT <sup>-1</sup>	米/秒	m/s	厘米/秒	cm/s	LT <sup>-1</sup>	米/秒	m/s
角速度	$\mathbf{w}$	$\mathbf{w} = d\mathbf{q}/dt$	T <sup>-1</sup>	弧度/秒	rad/s	弧度/秒	rad/s	T <sup>-1</sup>	弧度/秒	rad/s
加速度	$a$	$a = d\mathbf{n}/dt$	LT <sup>-2</sup>	米/秒 <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	厘米/秒 <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	LT <sup>-2</sup>	米/秒 <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>
角加速度	$a, (\mathbf{e})$	$a = d\mathbf{w}/dt$	T <sup>-2</sup>	弧度/秒 <sup>2</sup>	rad/s <sup>2</sup>	弧度/秒 <sup>2</sup>	rad/s <sup>2</sup>	T <sup>-2</sup>	弧度/秒 <sup>2</sup>	rad/s <sup>2</sup>
頻率	$\mathbf{u}, f$	$f = 1/t$	T <sup>-1</sup>	赫茲	Hz	赫茲	Hz	T <sup>-1</sup>	赫茲	Hz
密度	$\rho$	$\rho = m/V$	L <sup>-3</sup> M	公斤/米 <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	克/厘米 <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	L <sup>-4</sup> FT <sup>2</sup>	公斤力·秒 <sup>2</sup> /米 <sup>4</sup>	kg·s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
力	$F, (f)$	$F = ma$	LMT <sup>-2</sup>	牛頓=公斤 米/秒 <sup>2</sup>	N=kg·m/s <sup>2</sup>	克·厘米/ 秒 <sup>2</sup> =達因	g·cm/s <sup>2</sup> =dyn	F	公斤力	kgf
重量	$G, (P, W)$	$G = mg$	LMT <sup>-2</sup>			克·厘米/ 秒 <sup>2</sup>	g·cm/s <sup>2</sup>	F	公斤力	kgf
重度	$\mathbf{g}$	$\mathbf{g} = G/V$	L <sup>-2</sup> MT <sup>-2</sup>	牛頓/米 <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>	克/(秒 <sup>2</sup> ·厘 米 <sup>2</sup> )	g/(s <sup>2</sup> ·cm <sup>2</sup> )	FL <sup>-3</sup>	公斤力/米 <sup>3</sup>	kgf/m <sup>3</sup>
衝量	$I$	$I = Pt$	LMT <sup>-1</sup>	牛頓·秒	N·s	克·厘米/ 秒	g·cm/s	FT	公斤力·秒	kgf·s
動量	$p$	$p = m\mathbf{n}$	LMT <sup>-1</sup>	公斤·米/秒	kg·m/s	克·厘米/ 秒	g·cm/s	FT	公斤力·秒	kgf·s
轉動慣量	$I, (J)$	$I = \int mr^2 dm$	LM <sup>2</sup>	公斤·米 <sup>2</sup>	kg·m <sup>2</sup>	克·厘米 <sup>2</sup>	g·cm <sup>2</sup>	LFT <sup>2</sup>	公斤力·米·秒 <sup>2</sup>	kgf·m·s <sup>2</sup>
力矩	$M$	$M = Fl$	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup>	牛頓·米	N·m	達因·厘米	dyn·cm	LF	公斤力·米	kgf·m
轉矩	$T$	$T = Fl$	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup>	牛頓·米	N·m	達因·厘米	dyn·cm	LF	公斤力·米	kgf·m
壓力(壓強), 應力	$p$	$p = F/A$	L <sup>-1</sup> MT <sup>-2</sup>	牛頓/米 <sup>2</sup> = 帕斯卡	N/m <sup>2</sup> =Pa	達因/厘米 <sup>2</sup>	dyn/cm <sup>2</sup>	L <sup>-2</sup> F	公斤力/米 <sup>2</sup>	kgf/m <sup>2</sup>
(動力粘度)	$\mathbf{h}, (\mathbf{m})$	$\mathbf{h} = \frac{Fh}{A\mathbf{u}}$	L <sup>1</sup> MT <sup>-1</sup>	帕·秒	Pa·s	達因·秒/ 厘米 <sup>2</sup> =泊	dyn·s/ cm <sup>2</sup> =P	L <sup>-2</sup> F	公斤力·秒/米 <sup>2</sup>	kgf·s/m <sup>2</sup>
運動粘度	$\mathbf{n}$	$\mathbf{n} = \mathbf{h}/\mathbf{r}$	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>	米 <sup>2</sup> /秒	m <sup>2</sup> /s	厘米 <sup>2</sup> /秒= 斯插克斯	cm <sup>2</sup> /s=St	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>	米 <sup>2</sup> /秒	m <sup>2</sup> /s
功	$W, (A)$	$W = Fl$	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup>	焦耳	J	達因·厘米 =爾格	dyn·cm =erg	LF	公斤力·米	kgf·m
功率	$p, (N)$	$p = W/t$	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup>	瓦特	W	爾格/秒	erg/s	LFT <sup>-1</sup>	公斤力·米/秒	kgf·m/s

註： 1.在 MKfS 制中，工程質量單位是從公式  $m=G/gn$  導出的。1 工程質量單位=1kgf·s<sup>2</sup>/m=9.80665 公斤(質量)；  
2.在力學方面，SI 與 MKS 制是一致的。

### 3.6.4 電磁學單位

表 3-23 各單位制中電磁學單位對照表

物理量	符號	定義公式	SI,MKSA 制			習用單位		備註
			量綱	單位	符號	名稱	符號	
電流	$I$		I	安培(安)	A			
頻率	$n, f$	$f = 1/t$	T <sup>-1</sup>	赫茲(赫)	Hz			
力	$F, (f)$	$F = ma$	LMT <sup>-2</sup>	牛頓	N			
功	$W, (A)$	$W = FI$	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup>	焦耳	J			
功率	$P, (N)$	$P = W/t$	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup>	瓦特(瓦)	W			
有功功率	$P$	$P = UI \cos \mathbf{j}$	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup>	瓦特(瓦)	W			
無功功率	$Q, (Pq)$	$Q = UI \sin \mathbf{j}$	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup>	乏	var			
表觀功率	$S, (Ps)$	$S = UI$	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup>	伏安	VA			
電量, 電荷	$Q$	$Q = It$	TI	庫侖(庫)	CC			
電通量	$\mathbf{f}, (\Phi_s)$	$\mathbf{f} = Q$	TI	庫侖(庫)	C			
電位移(電通密度)	$D$	$D = Q/S$	L <sup>2</sup> TI	庫/米 <sup>2</sup>	C/m <sup>2</sup>			
電動勢	$E$	$E(\text{或}U) = P/I$	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup> I <sup>-1</sup>	伏特(伏)	V			
電勢差(電位差)電壓	$U, (V)$							
電場強度	$E$	$E = U/\mathbf{i}$	LMT <sup>3</sup> I <sup>-1</sup>	伏/米	V/m			
電阻	$R, r$	$R = U/I$	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup> I <sup>-2</sup>	歐姆(歐)	.ohm	歐·毫米 <sup>2</sup> /米	.mm <sup>2</sup> /m	
電阻率	$\mathbf{r}$	$\mathbf{r} = RS/\mathbf{i}$	L <sup>3</sup> MT <sup>-3</sup> I <sup>-2</sup>	歐·米	.m	歐·厘米	.cm	
電導	$G$	$G = I/R$	L <sup>2</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>3</sup> I <sup>2</sup>	西門子(西)	S	姆	.mho	
電導率	$\mathbf{g}$	$\mathbf{g} = G/\mathbf{i}$	L <sup>3</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>3</sup> I <sup>2</sup>	西/米	S/m	姆/厘米	/cm	
電容	$C$	$C = Q/U$	L <sup>2</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>3</sup> I <sup>2</sup>	法拉(法)	F			
電容率(介電常數)	$\mathbf{e}$	$\mathbf{e} = D/E$	L <sup>3</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>4</sup> I <sup>2</sup>	法/米	F/m			
真空電容率(真空介電常數)	$\mathbf{e}_0$	$\mathbf{e}_0 = 1/(c^2 \mathbf{m}^0)$ $\mathbf{e}_0 = 8.854 \times 10^{-12} F/m$	L <sup>3</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>4</sup> I <sup>2</sup>	法/米	F/m			c 為真空中電磁波傳播系數, 等於 2.9779 × 10 <sup>8</sup> m/s
磁通(量)	$\Phi$	$E = -d\Phi/dt$	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup>	韋伯	Wb	麥克斯韋(麥)	Mx	1Wb=10 <sup>8</sup> Mx

磁感應強度 磁通密度	$B$	$B = \Phi m / S$	$MT^{-2}I^{-1}$	韋伯/米 <sup>2</sup> = 特斯拉	$Wb/m^2 = T$	麥/厘米 <sup>2</sup> = 高斯(高)	$Mx/cm^2$ = G	$1T = 10^4 G$ $1G = 10^{-4} Wb/m^2$ $1G = 1Mx/cm^2$
電感, 自感	$L$	$L = -W\Phi / I$ $e = Ldi / dt$	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	亨利(亨)	H			
互感	$M, L_{12}$	$(e_2 = Mdi_1 / dt)$	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	亨利(亨)	H			
磁場強度	$H$	$H = Fm / i$ $= 2I / i$	$L^{-1}I$	安/米	A/m	安/厘米 奧 斯特	A/cm Oe	$1Oe = (10^5/4)$ A/cm
磁通勢	$F, Fm$	$Fm = WI$	I	安或安匝	A 或 At	吉伯 安或安匝	Gb A, At	$1Gb = (10/4)$ A
磁阻	$Rm$	$Rm = Fm / \Phi$	$\frac{L^{-2}M}{I^2I}$	1/亨利	1/H			
磁導率	$m$	$m = B / H$	$LMT^{-2}I^{-2}$	亨/米	H/m			$\mu$ 為相對 磁導率 $\mu \mu_0$
真空磁導率	$m_0$	$m_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.257 \times 10^{-6} H / m$	$LMT^{-2}I^{-2}$	亨/米	H/m			$\mu = 4 \times 10^{-7} = 1.257$

註：1.在電磁學方面，SI與MKSA制是一致的。

2.習用單位是工程上沿用著舊的CGSM制中的幾個磁的單位，這些單位與MKSA(有理化)混合使用時，應按備註欄中的換算關係先行折算。

### 3.6.5 光學單位

表 3-24 各單位制中光學單位對照表

物理量	符號	定義公式	量綱	單位名稱及符號		備註
				SI	CGS 制	
光強度	$I, I_u$		I	坎德拉 cd		
輻[射]能	$Q, W, Q_c$		$L^2MT^{-2}$	焦耳 J		
輻[射]通量	$\Phi, \Phi_e$	$\Phi_e = dQ_e / dt$	$L^2MT^{-3}$	瓦特 W	爾格/秒	
光通[量]	$\Phi, (F)$	$\Phi = I_w$	I	流明 lm		1lm=1cd, sr
光量	$Q, Q_u$	$Q = \Phi t$	TI	流明·秒 lm·s		
[面]發光度	$M$	$M = d\Phi / dS$	$M^{-2}I$	流明/米 <sup>2</sup> lm/m <sup>2</sup>		
光亮度	$L$	$L = dI / (dS \cos \theta)$	$M^{-2}I$	坎德拉/米 <sup>2</sup> cd/m <sup>2</sup>	熙提 sb,(坎 德拉/厘米 <sup>2</sup> ) (cd/cm <sup>2</sup> )	
光照度	$E$	$E = d\Phi / dS$	$M^{-2}I$	勒克司 lx	輻透 ph,(流 明/厘米 <sup>2</sup> ) (lm/cm <sup>2</sup> )	1lx=1lm/m <sup>2</sup> 1ph=1lm/cm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> lx
曝光量	$H$	$H = Et$	$M^{-2}TI$	勒克司·秒 lx·s		
波長	$\lambda$			米 埃 (m) (Å)		1 Å=10 <sup>-10</sup> m

### 3.6.6 聲學單位

表 3-25 各單位制中聲學單位對照表

物理量	符號	定義公式	量綱	單位名稱及符號		備註
				SI	CGS 制	
聲壓	$p$	$p = F / S$	$L^{-1}MT^{-2}$	帕斯卡 Pa	微巴 $\mu$ bar 達因/厘米 <sup>2</sup> dyn/cm <sup>2</sup>	1dyn/cm <sup>2</sup> =10 <sup>-1</sup> N/m <sup>2</sup> =10 <sup>-1</sup> Pa
聲能密度	$E$		$L^{-1}MT^{-2}$	焦耳/米 <sup>3</sup> J/m <sup>3</sup>	爾格/厘米 <sup>3</sup> erg/cm <sup>3</sup>	1J/m <sup>3</sup> =10erg/ cm <sup>3</sup>
聲功率	$p_a$		$L^2MT^{-3}$	瓦特 W	爾格/秒 erg/s	1erg/s= 10 <sup>-7</sup> W
聲強(度)	$I$		$MT^{-3}$	瓦/米 <sup>2</sup> W/m <sup>2</sup>	爾格/(秒·厘米 <sup>2</sup> ) erg/(s·cm <sup>2</sup> )	1erg/(s·cm <sup>2</sup> ) =10 <sup>-3</sup> W/m <sup>2</sup>
聲阻抗	$Z_s$		$L^{-4}MT^{-1}$	帕斯卡·秒/米 <sup>3</sup> Pa·s/m <sup>3</sup>	達因·秒/厘米 <sup>5</sup> dyn·s/cm <sup>5</sup> (聲歐)	1dyn·s/cm <sup>5</sup> =10 <sup>5</sup> N·s/m <sup>5</sup>

註：聲強(度)習慣上常用聲壓級  $L_p$  來規定。聲壓級用聲音的聲壓  $p$  和基準聲壓  $p_0$  之比值的常用對數的 20 倍來表示時，單位為分貝(dB)，即

$$L_p = 20 \lg(p / p_0) \text{dB}$$

聲壓級用聲音的聲壓  $p$  和基準聲壓  $p_0$  之比值的自然對數來表示時，單位為奈培(Np)，即

$$L_p = \ln(p / p_0) \text{Np}$$

1 奈培土 (Np)=8.686 分貝(dB)

1 分貝(dB)=0.115 奈培(Np)=0.1 貝(B)

通常取  $P_0=2 \times 10^{-4}$  微巴( $\mu$  bar)

聲音的響度是聽覺判斷聲音強弱的屬性。響度等級是表示聲音響度的一個相對量，單位是方(phon)。一個聲音以方為單位的響度級，其數值等於等響的(根據入耳判斷)1000 赫純音的聲壓級的分貝數。

### 3.6.7 放射性單位

表 3-26 各單位制中放射性單位對照表

物理量	單位用符號		備註
	MKS 制	CGS 制	
射線和射線的輻射(照射)劑量	倫琴 R	倫琴 R	某點輻射(照射)劑量為 1 倫琴時，則在該點周圍 1 立方米，即 $1.293 \times 10^{-6}$ 公斤(或 1 立方厘米即 0.001293 克)空氣中，射線(或 射線)所形成的致電離粒子(次級電子)在空氣中產生的陰陽離子各帶有 $1/(10 \times C_0)$ 庫侖(或一個靜電單位 esu)的總電量
輻射劑量率	倫琴/秒 R/s	倫琴/秒 R/s	$1R=2.58 \times 10^{-4}C/kg$ (MKS 制) $=2.58 \times 10^{-7}C/g$ (CGS 制)
輻射吸收劑量	拉特 rad	拉特 rad	1 拉特等於 1 公斤(或 1 克)被照射物質 0.10 焦耳(或 100erg)致電離粒子的能量 $1rad=10^{-2}J/kg$ (MKS 制) $=100erg/g$ (CGS 制)
放射性強度	居里 Ci	居里 Ci	$1Ci=3.7 \times 10^{10}$ 原子核衰變數/秒
輻射強度	瓦特/米 <sup>2</sup> W/m <sup>2</sup>	爾格/(秒·厘米 <sup>2</sup> ) erg/(s·cm <sup>2</sup> )	$1W/m^2=10^3erg/(s \cdot cm^2)$

### 3.6.8 物理化學單位

表 3-27 國際單位制中的物理化學單位表

物理量	SI		備註
	單位	符號	
物質的量	摩爾	mol	習用上，化學中物質的量現仍用克分子(mole)來計算。濃度仍採用克分子濃度(M)和當量濃度(N) 物質的當量，即物質起反應時彼此相當的質量，即能用 1.008 克氫起作用，或含有 1.008 克可被置換的氫的相當的化合物的質量
摩爾質量	千克/摩爾	kg/mol	
摩爾容積	米 <sup>3</sup> /摩爾	m <sup>3</sup> /mol	
摩爾內能	焦耳/摩爾	J/mol	
摩爾熱容量	焦耳/(摩爾·開爾文)	J/(mol·K)	
摩爾熵	焦耳/(摩爾·開爾文)	J/(mol·K)	
摩爾波度	摩爾/米 <sup>3</sup>	Mol/m <sup>3</sup>	
質量摩爾濃度	摩爾/千克	Mol/kg	
擴散系數	米 <sup>2</sup> /秒	m <sup>2</sup> /s	
熱擴散系數	米 <sup>2</sup> /秒	m <sup>2</sup> /s	

### 3.7 常用線規號

表 3-28 中國線徑與英、美、德線規對照表

中國線規			英 SWG		美 AWG		德 DIN*		
線徑(mm)	實際截面(mm <sup>2</sup> )	標準截面(mm <sup>2</sup> )	線號	線徑(mm)	線號	線徑(mm)	線徑(mm)		
11.2	98.52	100.00	7/0	12.70	4/0	11.684	12.50		
			6/0	11.785				3/0	10.404
			5/0	10.973					
10.00	78.54	80.00	4/0	10.160	2/0	9.266	10.00		
9.00	63.62	63.00	3/0	9.449					
			2/0	8.839					
8.00	50.27	50.00	0	8.230	0	8.253	8.00		
7.10	39.59	40.00	1	7.620	1	7.348			
6.30	31.17	31.50	2	7.010	2	6.544	6.30		
			3	6.401					
5.60	24.63	25.00	4	5.893	3	5.827	5.60		
			5	5.385					
5.00	19.64	20.00	6	4.877	5	4.620	5.00		
4.50	15.90	16.00	7	4.470					
4.00	12.57	12.50	8	4.064	6	4.115	4.50		
					7	3.665	4.00		
3.55	9.898	10.00	9	3.658	8	3.264	3.55		
3.15	7.793	8.00	10	3.251					
			11	2.946					
2.80	6.158	6.30	12	2.642	10	2.588	2.80		
2.50	4.909	5.00	13	2.337	11	2.305			
2.24	3.941	4.00					2.50		
2.00	3.142	3.15	14	2.032	12	2.053	2.24		
1.80	2.545	2.50	15	1.829	13	1.829	2.00		
1.60	2.011	2.00	16	1.6269	14	1.628	1.80		
					15	1.450	1.60		
1.40	1.539	1.60	17	1.422	16	1.291	1.40		
1.25	1.227	1.25	18	1.219	17	1.150	1.25		
1.12	0.985	1.00					1.12		
1.00	0.7854	0.80	19	1.016	18	1.024	1.00		
0.90	0.6362	0.63	20	0.914	19	0.912			
0.80	0.5027	0.50	21	0.813	20	0.812	0.90		
0.71	0.3959	0.40	22	0.711	21	0.723	0.80		
					22	0.644	0.71		
0.63	0.3117	0.315	23	0.610			0.63		
0.56	0.2463	0.250	24	0.559	23	0.573	0.56		
0.50	0.1964	0.20	25	0.508	24	0.511			
0.45	0.1590	0.16	26	0.457	25	0.455	0.50		
							0.45		
0.40	0.1257	0.125	27	0.4166	26	0.405	0.40		
			28	0.3759					
0.355	0.0990	0.100	29	0.3454	27	0.361	0.40		
							0.36		
0.315	0.0779	0.08	30	0.3510	28	0.321	0.32		
0.28	0.06158	0.063	31	0.2946					
			32	0.2743	29	0.286	0.28		
0.25	0.04909	0.050	33	0.2540	30	0.255	0.25		
0.224	0.03941	0.040	34	0.2337	31	0.227			
0.20	0.03142	0.032	35	0.2134					0.22
							0.20		
0.18	0.02545	0.025	36	0.1930	32	0.202	0.18		
			37	0.1727	33	0.180			
0.16	0.02011	0.020	38	0.1524	34	0.160	0.18		
							0.16		
0.14	0.01539	0.016	39	0.1321	35	0.143	0.14		
0.125	0.01228	0.012	40	0.1219	36	0.127			
0.112	0.009849	0.010	41	0.1118	37	0.113	0.12		
							0.11		
0.100	0.007854	0.008	42	0.1016	38	0.101	0.100		
0.09	0.006362	0.0063	43	0.091	39	0.090			
					40	0.080			

\*DIN177-1971.

### 3.8 純金屬特性

#### 3.8.1 金屬在常溫下的機械性能

表 3-29 純金屬在常溫下的機械性能

符號	名稱	抗拉強度 <sup>b</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	強性級極限 <sup>e</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	屈服點 <sup>s</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	伸長率 (%)	斷面收縮率 (%)	布氏硬度 HB (kg/mm <sup>2</sup> )
Ag	銀	18	3	3.5	50	90	25
Al	鋁	8~11	3.0	3~7	40	85	20~35
Au	金	14	1~2	3~4	30~50	90	18
Be	鈹	14	6	-	-	-	100
Bi	鉍	0.5~2.0	-	-	-	-	9
Ca	鈣	6	0.4	38	50	-	20~30
Cd	鎘	64	0.3	1	20	50	20
Ce	鈰	85	0.25	-	-	-	21
Co	鈷	24	-	-	5	-	140
Cr	鉻	20~28	-	-	9~17	9-23	220
Cu	銅	22	1.5	68	60	75	35
Fe	鐵	25~33	12	12.5	25~55	70~85	50
In	銦	1~15	-	0.5	50	95	1
Ir	銱	23	-	-	2	-	170
Mg	鎂	17~20	1.2	2~6	15	20	25
Mo	鉬	70	-	-	30	60	125
Zn	鋅	30	-	20	28	80	-
Ni	鎳	40~50	8	12	40	70	60~80
Os	銱	-	-	-	-	-	400
Pb	鉛	15	0.25	0.5~1	50	100	4~6
Pt	鉑	20	-	-	55	90	30
Pt	鉑	15	-	-	50	90	25
Rh	銠	50	-	-	7	-	130
Sb	銻	0.5~1	-	-	-	-	30
Si	矽	-	-	-	-	-	240
Sn	錫	2~4	0.15	-	40	75	5
Ta	鉭	35~45	-	25	25~50	-	70
Te	碲	0.9	-	-	35	100	3
Th	釷	56	-	-	-	-	70
Ti	鈦	20~30	-	-	-	50~70	100
Tl	鉍	0.9	-	-	35	100	3
W	鎢	100~120	-	75	0	-	350
Zn	鋅	11~15	-	9~10	5~20	70	30~42
Zr	鈷	30~50	-	20~30	15~30	-	120

### 3.8.2 有色純金屬的高溫和低溫機械性能

表 3-29 純金屬在常溫下的機械性能表

金屬名稱	試驗溫度 (kg/mm <sup>2</sup> )	真實抗拉應力 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗拉強度極限 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	斷面收縮率 (%)	布氏硬度 HB (kg/mm <sup>2</sup> )
銅，變形並在 600 退火的	20	33.50	22.00	32~60	65~75	41
	160	26.60	18.40	32	71	-
	300	18.70	13.20	30	50	37
	410	10.50	8.50	19	24	-
	500	-	-	-	-	35
	555	5.65	4.85	-	-	-
	650	3.90	3.30	-	-	-
	790	2.20	1.90	-	-	-
	970	0.80	0.80	-	-	-
鎳，變形並在 900 退火的	20	66.50	49.30	26~40	70	60
	195	60.20	44.80	26	66	-
	300	64.60	44.80	31	67	-
	455	37.70	30.20	-	-	-
	593	24.40	20.60	-	-	-
	800	10.30	9.20	-	-	-
	1000	4.50	4.00	-	-	-
	1100	2.80	2.50	-	-	-
鉛，變形並在 100 退火的	20	1.95	1.35~1.80	35~50	100	5.00
	82	1.05	0.80	24	100	3.00
	150	0.75	0.50	33	100	1.44
	195	0.50	0.40	20	100	1.20
	265	0.25	0.20	20	100	0.70
鋅，變形並在 200 退火的	20	11.90	11.30	-	-	42.0
	112	7.85	7.25	-	-	25.0
	150	5.35	5.00	-	-	-
錫，變形並在 50 退火的	20	4.55	2.75	40	74	7.6
	50	3.20	1.75	45	72	6.0
	100	1.90	1.05	45	82	4.1
	150	1.10	0.65	41	97	2.5
	180	0.50	0.45	10	12	1.8
	207	0.25	0.25	0	0	1.4
鎬，變形並在 100 退火的	20	7.75	6.40	20	20	20
	130	3.70	2.45	35	59	6.5
	237	1.00	0.55	45	44	2.7

表 3-31 重有色純金屬的低溫機械性能表

金屬名稱	試驗溫度 ( )	抗拉強度 <sup>b</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	屈服點 <sup>s</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	比例極限 <sup>p</sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	伸長率 (%)	斷面收縮率 (%)	衝擊韌性 <sup>a<sub>k</sub></sup> (kg/mm <sup>2</sup> )	布氏硬度 HB (kg/mm <sup>2</sup> )
銅,變形的	+20	30.0	29.3	24.7	18.2	70.6	10.95	89
	-40	33.5	31.6	28.8	23.3	68.5	12.33	96
	-70	43.5	32.2	28.8	23.7	69.2	12.73	100
	-100	-	-	-	-	-	14.03	-
	-183	41.3	35.0	-	63.5	-	15.20	105
	-253	46.0	-	-	48.0	74	12.80	-
鎳,電解的,退火的	+20	50	19.5	15	26~40	70	18~32	100
	-183	88	-	-	42	62	22.70	159
	-253	79	-	-	48	69	22.10	-
鉛,退火的	+20	1.8~2.1	-	-	33~50	100	0.6~2.3	4.3~5.0
	-183	4.4	-	-	40.3	-	3.7	9.0
	-253	7.1	-	-	36.0	-	4.4	-
鋅,變形的	+20	11~13	10.6	8.9	5~9	14.2	0.52	42
	-40	14.2	12.8	11.1	1.8	5.8	0.02	-
	-70	15.0	13.2	11.7	2.0	-	0.16	-
	-100	-	-	-	-	-	0.16	-
	-195	-	-	-	-	-	0.12	-
錫,鑄造的	+17	3.6	-	-	29	91	-	-
	-196	7.1	-	-	4	4	-	-
	-253	7.3	-	-	0.6	0	-	-
鎘,退火的	+20	3.4~6.0	-	-	20~46	50	10.40	20
	-40	6.30	-	-	42.6	-	7.49	-
	-70	7.50	-	-	37.9	-	-	-
	-100	-	-	-	-	-	3.83	-
	-195	-	-	-	-	-	0.84	-

### 3.8.3 幾種金屬的電阻溫度系數

表 3-32 幾種金屬的電阻溫度系數

名稱	測量時的溫度( )	(1/ )	名稱	測量時的溫度( )	(1/ )
康銅	25	0.000002	青銅(88%Cu+12%Sn)	20	0.0005
德銀	18	0.0003	鋁青銅(97% Cu+3% Al)	---	0.00102
高鎳銅	0	0.003	鋁青銅(90%Cu+10%Al)	---	0.00320
鎳錳銅合金	18	0.000001	黃銅(60% Cu+40% Al)	15	0.0010
黃銅(66% Cu+34% Al)	15	0.0020	銅圓線,扁線,母線	20	0.00395
鎳鋁合金	20	0.0004	工業用銅	20	0.00433
武德合金	20	0.0037	H <sub>62</sub> 黃銅	20	0.0017
CuMn 合金 (96.5% Cu+3.5% Mn)	---	0.00022	Hpb59 - 黃銅	20	0.0026
安裝電線的銅線芯	20	0.00395	安裝電線的鋁線芯	20	0.0041
			鋁圓線,扁線,母線	20	0.0041

註：金屬的電阻與溫度的關係為  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ ，其中  $R_t$  和  $R_0$  分別是  $t$  和  $0$  時金屬的電阻值。

### 3.9 常用材料的物理常數

#### 3.9.1 幾種材料的介電系數

表 3-33 幾種材料的介電系數

名稱	測量時的溫度( )	介電系數	名稱	測量時的溫度( )	介電系數
電木	18	3~5	瓷器	18	5.0~6.8
水	18	80.4	虫膠	18	3.1~3.7
膠紙板	18	3.5~5.0	硬橡膠	18	2.5~2.8
甘油	15	39.1	氫氣	0	1.000264
變壓器油	18	2.2~2.5	空氣	0	1.000590
石油、煤油	21	2.1		19	1.000576
石蠟	20	2.0~2.5	氧	0	1.000524
云母	18	5.7~7.0	一氧化碳	0	1.000690
鈦酸鋇	20	1200	二氧化碳	0	1.000946
			聚苯乙烯	20	2.6

#### 3.9.2 幾種材料的線膨脹系數

表 3-34 幾種材料的線膨脹系數

名稱	測量時的溫度( )	( $10^{-4}/$ )	名稱	測量時的溫度( )	( $10^{-4}/$ )
銅(1.5%C)	0~100	0.105	德銀	0~100	0.184
軟鐵	0~100	0.114	鎳鉻合金	18	0.123
殷鐵(36.1% Ni)	17~100	0.008	石英玻璃	0~80	0.004
鋁青銅 (95% Cu, 5% Al)	20~99	0.142	冰	-10~0	0.507
康銅(60% Cu, 40% Ni)	0~16	0.122	石墨	50	0.08
黃銅(62% Cu, 38% Zn)	10~16	0.189	陶瓷	0~100	0.03
錳鎳銅合金 (84% Cu, 4% Ni, 12% Mn)	18	0.181	鎂鋁合金 (85.9% Al, 14.1% Mg)	22~39	0.238
硬橡膠	17~25	0.77			

### 3.9.3 幾種材料的電阻率

表 3-35 幾種材料的電阻率表

名稱	(歐·毫米 <sup>2</sup> /米)	名稱	(歐·毫米 <sup>2</sup> /米)
硬鋁	0.0355	高鎳鋼(62%Cu,15%Ni,22%Zn)	0.45
黃銅(88%Cu,12%Sn)	0.08	武德和金 (50%Si,25%Pb,12.5%Sn,12.5%Cd)	0.52(0 )
青銅	0.18	安裝電線的銅芯線	0.184
康銅	0.49	石腊	$3 \times 10^{22}$
銅鎳合金	0.33	石棉	$10^2$
白銅	0.42	電木	$10^{15}$
錳鎳合金	0.43	云母片	$10^{19}$
殷鋼	0.81	圓銅線,扁線(硬)	0.0179~0.0182
工業用鋁 99.5%Al	0.027~0.030	圓銅線,扁線(軟)	0.01754
瓷	$2 \times 10^{11}$	工業用銅(硬棒)	0.0179
火漆	$5 \times 10^{19}$	工業用銅(軟棒)	0.01748
虫膠	$10^{20}$	H <sub>62</sub> 黃銅(鑄造)	0.072
松香	$10^{20}$	H <sub>62</sub> 黃銅(軟的)	0.065
聚苯乙烯	$10^{21}$	安裝導線的鋁線芯	0.0310
硬橡膠	$10^{22}$	鋁圓線,扁線	0.0295

### 3.9.4 幾種材料的密度

表 3-36 幾種材料的密度表(1)

名稱	密度(g/cm <sup>3</sup> )	名稱	密度(g/cm <sup>3</sup> )	名稱	密度(g/cm <sup>3</sup> )
結構鋼	7.85	聚氯乙烯塑料	1.3~1.5	鎢鈷合金	14.4~15.3
鑄鋼	7.8	氨基塑料	1.45~1.55	石英玻璃	2.2
鉻鋼	7.5~7.8	石棉塑料	2	石英	2.5~2.8
鉻鎳鋼	7.9~7.95	聚苯乙烯	0.92~0.95	金剛砂	4.0
鉬鋼	8.1	聚乙烯泡沫塑料	0.2	金剛石	3.52
工具鋼	8.25	玻璃纖維塑料	1.8	碳化硅	3.10
高速鋼	8.4~9	卡普隆	2.1~2.3	石墨	1.9~2.3
不銹鋼	7.75	石棉板	2~1.3	沙	1.44~1.76
灰口鑄鐵	6.8~7.2	石棉	2.1~2.8	膠和板	0.56
白口鑄鐵	7.4~7.7	有機玻璃	1.18	竹材	0.9
高級鑄鐵	6.7~7.0	純橡膠	0.93	馬尾松	0.533
鎢鈷鈦合金	11~13.2	可鍛鑄鐵	7.2~7.4	杉木	0.376
鋅白銅	8.6	黃銅,青銅	8.45~8.9	楠木	0.610
錳白鋼	8.9	鋁青銅	7.5~8.2	汽油	0.7~0.8
硅鋼片	7.55~7.8	鈹青銅	8.23	石蠟	0.9
無錫青銅	7.5~8.2	硬鋁	2.73~2.8	煤油	0.8~0.82
錫青銅	8.7~8.9	鍛鋁	2.69~2.8	松香	1.07~1.1
夾紙膠木	1.3~1.4	鑄鋁	2.55~2.95	二甲苯	0.88
夾布膠木	1.3~1.4	鋅合金	5.57~6.68	聚氯乙烯	1.35~1.4
木質膠木	1.25~1.3	錫鉛合金	9.7	橡膠	1.3~1.8
賽璐珞	1.35~1.4	巴氏合金	7.6~10.5	平板玻璃	2.5

表 3-37 幾種材料的密度表(2)

名稱	密度(克/升)	名稱	密度(克/升)	名稱	密度(克/升)
二氧化硫 SO <sub>2</sub>	2.92655	氟化氫 HF	0.921	丙烷(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> OH <sub>2</sub>	2.0096
硫化氫 H <sub>2</sub> S	1.538	HCL	1.6392	乙炔 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.1747
二氧化碳 CO <sub>2</sub>	1.977	氰化氫 HCN	0.901	丁烷 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2.7032
乙烷 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.356	空氣(無 CO <sub>2</sub> )	1.293	一氧化碳 CO	1.250
氨 NH <sub>3</sub>	0.77140	甲烷 CH <sub>4</sub>	0.71682		
乙烯 C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1.26035	一氧化氮 NO	1.34		

### 3.9.5 幾種材料的熔點及沸點

表 3-38 幾種材料的熔點及沸點

名稱	熔點	沸點( )	名稱	熔點	沸點( )
丙酮	-95	56.5	甲醇	-93.9	64.6
氯化氫	-112	-83.7	乙醇	-117	78.5
苯	5.5	80.1	甲苯	-95	110.6
甘油	20	290	乙烷	-183.3	88.6
無水醋酸	16.7	118	乙烯	-169.2	-103.7
二甲苯	-47.4	139	乙醚	-116	-34.6
甲烷	-182.5	-161.5	水	0	100
一氧化氮	-163.5	-151.8	石英玻璃	1725	2230
一氧化碳	-207	-192	石蠟	50~60	350~430

### 3.9.6 幾種材料的比熱

表 3-39 幾種材料的比熱

名稱	測量時溫度範圍( )	比熱 (cal/g.)	名稱	測量時溫度範圍( )	比熱( cal/g.)
鋼 (1.25%C)	10~13	0.12	汞	60	1.000
黃銅	20~100	0.09		80	1.0033
青銅	14~98	0.09		100	1.0073
康銅	0	0.098		0	0.0334
陶瓷	15~950	0.25		20	0.0332
石墨	20~85	0.174		40	0.0331
玻璃	10~50	0.16~0.20		60	0.0330
石英玻璃	0~100	0.18		80	0.0328
二硫化碳	0~30	0.24	氨(蒸汽)	24~200	0.536
丙酮	3~23	0.52	乙炔	18	0.383
苯	6~60	0.41	丙酮(蒸汽)	26~110	0.374
甘油	15~50	0.58	苯(蒸汽)	80	0.26
煤油	18~99	0.50	空氣	0~100	0.237

醋酸	1~8	0.62	甲烷	18~208	0.593
冰	-10	0.53	一氧化氮	13~172	0.231
	-20	0.48	一氧化碳	26~198	0.248
甲醇	15~20	0.57	二氧化硫	16~202	0.134
乙醇	12~30	0.60	硫化氫	16~206	0.245
甲苯	0	0.386	二氧化碳	15	0.199
水	0	1.0094	乙烷	15	0.403
	20	1.000	乙烯	15~100	0.399
	40	0.9982			

### 3.10 表面粗糙度與光潔度

表 3-40 表面粗糙度 Ra、Rz 參數值與表面光潔度等級對照表

GB1031-68 表面光潔度 級別及代號	輪廓算術平均偏差 Ra(μm)			輪廓微觀不平度+點高度 Rz(μm)		
	GB1031-68	GB1031-83		GB1031-68	GB1031-83	
		第一系列	第二系列		第一系列	第二系列
1	> 40~80	100 50	80 63	> 160~320	400 200	320 250
2	> 20~40	50 25	40 32	> 80~160	200 100	160 126
3	> 10~20	25.0 12.5	20 16	> 40~80	100 50	80 63
4	> 5~10	12.5 6.3	10 8	> 20~40	50 25	40 32
5	> 2.5~5	6.3 3.2	5 4	> 10~20	25.0 12.5	20 16
6	> 1.25~2.5	3.2 1.6	2.5 2.0	> 6.3~10	12.5 6.3	10 8
7	> 0.63~1.25	1.6 0.8	1.25 1.00	> 3.2~6.3	6.3 3.2	
8	> 0.32~0.63	0.8 0.4	0.63 0.50	> 1.6~3.2	3.2 1.6	
9	> 0.16~0.32	0.4 0.2	0.32 0.25	> 0.8~1.6	1.6 0.8	
10	> 0.08~0.16	0.2 0.1	0.160 0.125	> 0.4~0.8	0.8 0.4	
11	> 0.04~0.08	0.1 0.05	0.080 0.063	> 0.2~0.4	0.4 0.2	
12	> 0.02~0.04	0.050 0.025	0.040 0.032	> 0.1~0.2	0.2 0.1	
13	> 0.01~0.02	0.025 0.012	0.020 0.016	> 0.05~0.1	0.10 0.05	
14	0.01	0.012	0.010 0.008	0.05	0.050 0.25	

### 3.11 硬度對照

表 3-41 硬度對照表(1)

洛氏硬度(HR)金 剛石錐體負荷kg HRC150 HRA60		布氏硬度(HB)							維氏硬 度(HV)	邵氏硬 度(HS)	鋼的抗 拉強度 kg/cm <sup>2</sup>
		壓痕直 徑(mm)	鋼球 10			鋼球 0.5					
			3000 kg	1000 kg	500 kg	750 kg	250 kg	187.5 kg			
-	-	2.00	946	316	158	229	76.3	57.3	-	-	-
-	-	2.05	898	298	150	217	72.4	54.3	-	-	-
-	-	2.10	875	286	143	207	68.8	51.6	-	-	-
-	-	2.15	817	273	136	196	65.5	49.3	-	-	-
72	89	2.20	782	261	130	187	62.4	46.8	1220	107	-
69	87	2.25	744	248	124	178	59.5	44.5	1114	100	-
67	85	2.30	713	238	119	170	56.8	42.6	1021	96	-
65	84	2.35	683	227	114	162	54.2	40.8	940	92	-
63	83	2.40	652	218	109	156	51.9	39.0	867	88	-
61	82	2.45	627	209	105	149	49.6	36.3	803	85	-
59	81	2.50	600	200	100	143	47.5	35.7	746	81	230
58	80	2.55	578	193	96	137	45.5	34.2	694	78	222
56	79	2.60	555	185	93	131	43.6	32.7	649	75	208
54	78	2.65	532	178	89	126	41.8	31.5	606	72	196
52	77	2.70	512	171	86	121	40.2	30.3	587	70	184
51	76	2.75	495	166	83	116	38.6	29.1	551	68	178
49	76	2.80	477	159	80	111	37.1	27.9	534	66	168
48	75	2.85	460	153	77	107	35.7	26.8	502	64	163
47	74	2.90	444	148	74	103	34.3	25.8	474	61	158
45	73	2.95	430	144	73	99.1	33.0	24.9	460	59	149
44	73	3.00	418	140	70	96.5	31.8	24.0	435	57	145
43	72	3.05	402	134	67	92.0	30.6	22.9	423	55	141
41	71	3.10	387	129	65	88.7	29.6	22.1	401	53	134
40	71	3.15	375	125	63	85.5	28.5	21.4	390	52	131
39	70	3.20	364	121	61	82.4	27.5	20.7	380	50	127
38	69	3.25	351	117	59	79.5	26.5	19.9	361	49	124
37	69	3.30	340	114	57	76.8	25.6	19.2	344	47	121
36	68	3.35	332	111	55	74.1	24.7	18.5	335	46	118
35	68	3.40	321	107	54	71.6	23.9	18.0	320	45	115
34	67	3.45	311	104	52	69.1	23.0	17.2	312	44	112
33	67	3.50	302	101	50	66.8	22.3	16.8	305	42	108
31	66	3.55	293	98	49	-	-	-	291	41	103
30	66	3.60	286	95	48	-	-	-	285	40	100
29	65	3.65	277	92	46	-	-	-	278	39	97
28	65	3.70	269	90	45	-	-	-	272	38	94
27	64	3.75	262	88	44	-	-	-	261	37	92
26	64	3.80	255	85	43	-	-	-	255	36	88
25	63	3.85	248	83	41	-	-	-	250	35	87

表 3-42 硬度對照表(2)

洛氏硬度(HR)			布氏硬度(HB)				維氏硬度 (HV)	邵氏硬度 (HS)	鋼的抗拉 強度 kg/cm <sup>2</sup>
鋼球 1 150.8 mm 負荷 100 kg HKB	金鋼石錐體負荷kg		壓痕直徑 (mm)	鋼球 10					
	HRC150	HRA60		3000 kg	1000 kg	500 kg			
100	24	63	3.90	242	81	40	240	35	83
99	23	62	3.95	235	78	39	235	34	81
98	22	62	4.00	228	76	38	226	33	78
97	21	61	4.05	223	75	37	221	33	76
97	20	61	4.10	217	73	36	217	32	74
96	19	60	4.15	212	71	35	213	31	72
95	18	60	4.20	207	69	34.5	209	30	70
94	-	59	4.25	202	67	33.5	201	30	69
93	-	58	4.30	196	65	32.5	197	29	67
92	-	57	4.35	192	64	32.0	190	29	65
91	-	56	4.40	187	63	31.2	186	28	63
89	-	56	4.45	183	61	30.4	183	28	62
88	-	55	4.50	179	60	29.7	177	27	61
87	-	-	4.55	174	58	29.1	174	27	60
86	-	-	4.60	170	57	28.4	170	26	58
85	-	-	4.65	166	56	27.8	166	26	57
84	-	-	4.70	163	54	27.2	163	25	56
83	-	-	4.75	159	53	26.5	159	25	54
82	-	-	4.80	156	52	25.9	156	24	53
81	-	-	4.85	153	51	25.4	153	24	52
80	-	-	4.95	149	50	24.9	149	23	51
79	-	-	4.95	146	49	24.4	146	23	50.5
78	-	-	5.00	143	48	23.8	143	22	50
77	-	-	5.05	140	47	23.3	140	21	48
75	-	-	5.10	137	46	22.8	137	21	47
74	-	-	5.15	134	45	22.3	134	19	46.5
73	-	-	5.20	131	44	21.8	131	19	46
72	-	-	5.25	128	43	21.5	128	19	45
71	-	-	5.30	126	42	21.0	126	19	44
70	-	-	5.35	124	41	20.6	124	19	43
68	-	-	5.40	121	40	20.1	121	19	42
67	-	-	5.45	118	39	19.7	118	19	41.5
65	-	-	5.50	116	38.5	19.3	116	19	41
64	-	-	5.55	114	38	19.0	114	18	40
63	-	-	5.60	112	37	18.6	112	18	39
61	-	-	5.65	109	36	18.2	109	18	-
60	-	-	5.70	107	35.5	17.8	107	18	-
58	-	-	5.75	105	35	17.5	105	18	-
57	-	-	5.80	103	34	17.2	103	18	-
56	-	-	5.85	101	33.5	16.9	101	17	-
55	-	-	5.90	99	33	16.6	99	17	-
53	-	-	5.95	97	32.5	16.2	97	17	-
51	-	-	6.00	95	32	15.9	95	17	-

註：(1)各種硬度下的鋼的抗拉強度為近似值，僅供參考。

(2)布氏硬度(HB)習慣上均以鋼球 10，負荷 3000 kg下測定的數值表示。

### 3.12 電鍍常用數據表

#### 3.12.1 有關電鍍的平衡常數

表 3-43 電鍍平衡常數

有關電鍍的平衡常數表			
$\text{AgBr}=\text{Ag}^++\text{Br}^-$	$5.0 \times 10^{-13}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}=\text{Cu}^++2\text{NH}_3(\text{aq})$	$1.35 \times 10^{-11}$
$\text{AgCl}=\text{Ag}^++\text{Cl}^-$	$2.8 \times 10^{-10}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_5^{2+}=\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}+\text{NH}_3(\text{aq})$	2.8
$\text{AgCN}=\text{Ag}^++\text{CN}^-$	$1.6 \times 10^{-14}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}=\text{Cu}^++4\text{NH}_3(\text{aq})$	$4.7 \times 10^{-15}$
$\text{Ag}(\text{CN})_2=\text{Ag}^++2(\text{CN})^-$	$1.8 \times 10^{-19}$	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}=\text{Fe}^{3+}+6\text{CN}^-$	ca. $10^{-35}$
$\text{AgFe}(\text{CN})_6=4\text{Ag}^++\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	$1.55 \times 10^{-41}$	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}=\text{Fe}^{2+}+6\text{CN}^-$	ca. $10^{-42}$
$\text{AgI}=\text{Ag}^++\text{I}^-$	$8.5 \times 10^{-17}$	$\text{Fe}_2(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5)_3(\text{aq})=2\text{Fe}^{3+}+3\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5^{3-}$	$10^{-39}$
$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+=\text{Ag}^++2\text{NH}_3(\text{aq})^-$	$5.9 \times 10^{-8}$	$\text{In}^{3+}+\text{H}_2\text{O}=\text{m}(\text{OH})^{2+}+\text{H}^+$	$2 \times 10^{-4}$
$\text{AuCl}_4^-=\text{Au}^{3+}+4\text{Cl}^-$	$5 \times 10^{-22}$	$\text{Mn}(\text{OH})_2=\text{Mn}^{2+}+2\text{OH}^-$	$2 \times 10^{-13}$
$\text{Au}(\text{CN})_2^-=\text{Au}^++2(\text{CN})^-$	ca. $5 \times 10^{-39}$	$\text{Ni}(\text{CN})_2^{2-}=\text{Ni}^{2+}+4\text{CN}^-$	$1 \times 10^{-22}$
$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}=\text{Cd}^{2+}+4\text{CN}^-$	$1.4 \times 10^{-19}$	$\text{Ni}(\text{NH}_3)_4^{2+}=\text{Ni}^{2+}+4\text{NH}_3(\text{aq})$	$1 \times 10^{-8}$
$\text{CdI}_4^{2-}=\text{Cd}^{2+}+4\text{I}^-$	ca. $5 \times 10^{-7}$	$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}=\text{Ni}^{2+}+6\text{NH}_3(\text{aq})$	$1.8 \times 10^{-9}$
$\text{Cd}(\text{NH}_3)_2^{2+}=\text{Cd}^{2+}+4\text{NH}_3(\text{aq})$	$7.5 \times 10^{-8}$	$\text{PbBr}_2=\text{Pb}^{2+}+2\text{Br}^-$	$4.6 \times 10^{-6}$
$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+}=\text{Cd}^{2+}+6\text{NH}_3(\text{aq})$	$1.25 \times 10^{-5}$	$\text{PbBr}^+=\text{Pb}^{2+}+\text{Br}^-$	$7.1 \times 10^{-2}$
$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+}=\text{Cd}^{3+}+6\text{NH}_3(\text{aq})$	$2.2 \times 10^{-34}$	$\text{PbCl}_2=\text{Pb}^{2+}+2\text{Cl}^-$	$1.6 \times 10^{-5}$
$\text{Co}(\text{NH}_3)_5 \cdot \text{H}_2\text{O}=\text{Co}^{3+}+5\text{NH}_3(\text{aq})+\text{H}_2\text{O}$	$1.6 \times 10^{-35}$	$\text{PbF}_2=\text{Pb}^{2+}+2\text{F}^-$	$4 \times 10^{-8}$
$\text{CrCl}_2=\text{Cr}^{3+}+2\text{Cl}^-$	$1.26 \times 10^{-2}$	$\text{PbI}_2=\text{Pb}^{2+}+2\text{I}^-$	$8.3 \times 10^{-9}$
$\text{HCrO}_4=\text{H}^++\text{CrO}_4^{2-}$	$3.2 \times 10^{-7}$	$\text{PbI}^+=\text{Pb}^{2+}+\text{I}^-$	$3.45 \times 10^{-2}$
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}+\text{H}_2\text{O}=2\text{HCrO}_4^-$	$2.3 \times 10^{-2}$	$\text{PdCl}_4^{2-}=\text{Pb}^{2+}+4\text{Cl}^-$	$5 \times 10^{-13}$
$\text{Cu}+\text{Cu}^{2+}=2\text{Cu}^+$	$6.3 \times 10^{-7}$	$\text{PtCl}_4^{2-}=\text{Pt}^{2+}+4\text{Cl}^-$	ca. $1 \times 10^{-16}$
$\text{Cu}(\text{CN})_2^-=\text{Cu}^++2\text{CN}^-$	$1 \times 10^{-16}$	$\text{PtBr}_4^{2-}=\text{Pt}^{2+}+4\text{Br}^-$	ca. $3 \times 10^{-21}$
$\text{Cu}(\text{CN})_3^-=\text{Cu}^{2+}+3\text{CN}^-$	$5.6 \times 10^{-28^*}$	$\text{Sn}(\text{OH})_4^{2-}=\text{Sn}^{4+}+4\text{OH}^-$	ca. $1 \times 10^{-57}$
$\text{Cu}(\text{CNS})=\text{Cu}^++\text{CNS}^-$	$4 \times 10^{-14}$	$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}=\text{Zn}^{2+}+4\text{CN}^-$	$1.3 \times 10^{-17}$
		$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}=\text{Zn}^{2+}+4\text{NH}(\text{aq})$	$3.4 \times 10^{-10}$

註：這些數值取自《元素的氧化態及其水溶液中的電勢》一書 Wendell M.Latimer.Prentice-Hall.1952年第二版。

\*Ernst和Mann，電化學學會學報 61.363(1952)。

### 3.12.2 電鍍金屬用的電化當量和有關數據\*

表 3-44 電鍍金屬用的電化當量和有關數據

元素	符號	原子量 (1971)	化合價	密度 (克/厘米 <sup>3</sup> )	電化當量		厚 1 微米 時(克/米 <sup>2</sup> )	每平方米 沉積 2 微 米需要的 安·時
					(毫克/庫侖)	(克/安·時)		
鋁	Al	26.9815	3	2.7	0.0932	0.3355	2.702	8.078
銻	Sb	121.75	5	6.62	0.2524	0.9086	6.618	7.294
			3		0.4207	1.515		4.372
砷	As	74.9216	5	5.73	0.1553	0.5591	5.729	10.26
			3		0.2588	0.9317		6.142
鉍	Bi	208.980	5	9.78	0.4332	1.560	9.788	6.278
			3		0.7220	2.599		3.766
鎘	Cd	112.40	2	8.65	0.5825	2.097	8.659	4.126
鉻	Cr	51.996	6	7.14	0.08981	0.3234	7.146	22.11
			3		0.1796	0.6466		11.06
鈷	Co	58.9332	2	8.71	0.3054	1.090	8.719	7.926
銅	Cu	63.546	2	8.93	0.3293	1.185	8.935	7.540
			1		0.6586	2.371		3.770
金	Au	196.967	3	19.32	0.6804	2.449	19.32	7.837
			2		1.021	3.676		5.257
			1		2.041	7.348		2.631
氫	H	1.0079	1	0.08375 × 10 <sup>-3</sup>	0.01045	0.03762		
銦	In	114.82	3	7.28	0.3967	1.428	7.278	5.092
鐵	Fe	55.847	3	7.86	0.1929	0.6944	7.867	11.32
			2		0.2894	1.042		7.540
鉛	Pb	207.2	4	11.34	0.5363	1.932	11.35	5.880
			2		1.074	3.866		2.936
錳	Mn	54.9380	2	7.3	0.2847	1.025	7.302	7.116
鉬	Mo	95.94	6	10.2	0.1657	0.5965	10.21	17.11
鎳	Ni	58.70	2	8.8	0.3043	1.095	8.803	8.044
鈀	Pd	106.4	4	12.16	0.2758	0.9929	12.17	12.26
			2		0.5515	1.985		6.129
鉑	Pt	195.09	4	21.37	0.5055	1.820	21.38	11.75
			2		1.011	3.640		5.871
銲	Rh	102.905	4	12.44	0.2666	0.9598	12.44	12.95
			3		0.3555	1.280		9.730
			2		0.5332	1.920		6.481
銀	Ag	107.868	1	10.49	1.118	4.025	10.50	2.605
錫	Sn	118.69	4	7.3	0.3075	1.107	9.302	6.604
			2		0.6150	2.214		3.300
鋅	Zn	65.38	2	7.14	0.3387	1.219	7.146	5.863

註：所有數值都是按 100% 的電流效率和絕對電單位。

### 3.12.3 直接法測得氫超電壓值

表 3-45 氫超電壓值\*

物質 電流密度 (安/厘米 <sup>2</sup> )	在 2NH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 中 16 ± 1 時的超電壓(V)			
	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1
鎘	0.98	1.13	1.22	1.25
汞	0.90	1.04	1.07	1.12
錫	0.86	1.08	1.22	1.23
鈹	0.78	1.05	1.14	1.23
鋅	0.72	0.75	1.06	1.23
石墨	0.60	0.78	0.98	1.22
鋁	0.56	0.83	1.0	1.29
鎳	0.56	0.75	1.05	1.21
鉛	0.52	1.09	1.18	1.26
黃銅	0.50	0.65	0.91	1.25
銅	0.48	0.58	0.8	1.25
銀	0.47	0.76	0.88	1.09
鐵	0.40	0.56	0.82	1.29
莫涅耳合金	0.28	0.38	0.62	1.07
金	0.24	0.39	0.59	0.80
硅鐵	0.20	0.29	0.61	1.02
鈳	0.12	0.3	0.7	1.0
鉑	0.024	0.07	0.29	0.68
鉑(鍍鉑的)	0.015	0.03	0.04	0.05

\*本表所列各數值，摘自 M.Knobel 制的“國際臨界常數表” 6.329，超電壓值是用直接方法得到的，當然包括電阻壓降和濃差極化。

### 3.12.4 常用的電鍍用鹽中金屬的百分含量

表 3-46 常用電鍍用鹽中金屬的百分含量(純度按 100%)

名稱	分子式	分子量	金屬%	名稱	分子式	分子量	金屬%
三氯化銻	SbCl <sub>3</sub>	228.1	53.4	硫酸錳	MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	169.0	32.5
氧化銻	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	291.5	83.5	硫酸鎳銨	NiSO <sub>4</sub> · (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	395.1	14.9
氧化鉍	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	466.0	89.7	式碳酸鎳	2NiCO <sub>3</sub> · 3Ni(OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	587.6	49.9
氰化鎘	Cd(CN) <sub>2</sub>	164.4	68.4	氯化鎳	NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	237.7	24.7
氧化鎘	CdO	128.4	87.5	硫酸鎳	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	280.9	20.9
鉻酐	CrO <sub>3</sub>	100.0	52.0	結晶氯鉑酸	H <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub> ·6H <sub>2</sub> O	518.1	37.7
硫酸鈷銨	CoSO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	395.2	14.9	錫酸鉀	K <sub>2</sub> Sn(OH) <sub>6</sub>	298.9	39.7
氯化鈷	CoCl <sub>2</sub>	129.8	45.4	磷酸銲	RhPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	251.9	40.8
硫酸鈷	CoSO <sub>4</sub>	155.0	38.0	硫酸銲	Rh <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 12H <sub>2</sub> O	710.2	29.0
硫酸鈷	CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	281.1	21.0	氯化銀	AgCl	143.3	75.3
式碳酸銅	2CuO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	344.7	55.3	氰化銀	AgCN	133.9	80.6
氰化銅	CuCN	89.6	70.9	銀氰化鉀	KAg(CN) <sub>2</sub>	199.0	54.2
氟硼酸銅*	Cu(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	237.2	26.8	銀氰化鈉	NaAg(CN) <sub>2</sub>	182.9	59.0
硫酸銅	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	249.7	25.4	硝酸銀	AgNO <sub>3</sub>	169.9	63.5
氯化亞鐵	FeCl <sub>2</sub>	126.8	44.0	錫酸鈉	Na <sub>2</sub> SnO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	266.7	44.5
硫酸亞鐵銨	FeSO <sub>4</sub> ·(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O	392.0	14.2	無水氯化亞錫	SnCl <sub>2</sub>	189.6	62.6
三氯化金	AuCl <sub>3</sub>	303.6	65.0	氟硼酸錫*	Sn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	292.3	40.6
結晶三氯化金	AuCl <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	339.6	58.1	氟硼酸錫*	Sn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	400.4	29.6
一氯化金(亞)	AuCl	232.7	84.7	硫酸亞錫	SnSO <sub>4</sub>	214.8	55.3
氰化金	AuCN	223.2	88.4	鎢酸	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	249.9	73.6
金氯化鉀	KAu(CN) <sub>2</sub>	288.3	68.4	氧化鎢	WO <sub>3</sub>	213.9	79.3
結晶金氯化鉀	KAu(CN) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	324.4	60.8	碳酸鋅	ZnCO <sub>3</sub>	125.4	52.2
金氰化鈉	NaAu(CN) <sub>2</sub>	272.2	72.4	氰化鋅	Zn(CN) <sub>2</sub>	117.4	55.7
氰化銦	In(CN) <sub>3</sub>	192.8	59.5	氟硼酸鋅*	Zn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	239.0	27.4
式碳酸鉛	2PbCO <sub>3</sub> ·Pb(OH) <sub>2</sub>	775.7	80.1	氟硼酸鋅*	Zn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	347.1	18.8
氟硼酸鉛	Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	380.9	54.4	氧化鋅	ZnO	81.4	80.3
二氯化錳	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	197.9	27.7	硫酸鋅	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	287.6	22.7

\*這些鹽通常不指直接在市場上買到的。

### 3.12.5 比重與波美度換算

表 3-47 比重與波美度換算表

比重	波美度	比重	波美度	比重	波美度
1.00	0.00	1.34	36.79	1.68	58.69
1.01	1.44	1.35	39.59	1.69	59.20
1.02	2.84	1.36	38.38	1.70	59.71
1.03	4.22	1.37	39.16	1.71	60.20
1.04	5.58	1.38	39.93	1.72	60.70
1.05	6.91	1.39	40.68	1.73	61.18
1.06	8.21	1.40	41.43	1.74	61.67
1.07	9.49	1.41	42.16	1.75	62.14
1.08	10.78	1.42	42.89	1.76	62.61
1.09	11.97	1.43	43.00	1.77	63.08
1.10	13.18	1.44	44.31	1.78	63.54
1.11	14.37	1.45	45.00	1.79	63.99
1.12	15.54	1.46	45.68	1.80	64.44
1.13	16.68	1.47	46.36	1.81	64.89
1.14	17.81	1.48	47.03	1.82	65.31
1.15	18.91	1.49	47.68	1.83	65.77
1.16	20.00	1.50	48.33	1.84	66.20
1.17	21.09	1.51	48.97	1.85	66.62
1.18	22.12	1.52	49.60	1.86	67.04
1.19	23.15	1.53	50.23	1.87	67.46
1.20	24.17	1.54	50.84	1.88	67.87
1.21	25.16	1.55	51.45	1.89	68.28
1.22	26.15	1.56	52.05	1.90	68.68
1.23	27.11	1.57	52.64	1.97	69.08
1.24	28.06	1.58	53.23	1.92	69.48
1.25	29.00	1.59	53.80	1.93	69.87
1.26	29.92	1.60	54.38	1.94	70.26
1.27	30.83	1.61	54.94	1.95	70.64
1.28	31.72	1.62	55.49	1.96	71.02
1.29	32.60	1.63	56.04	1.97	71.40
1.30	33.46	1.64	56.58	1.98	71.77
1.31	34.31	1.65	57.12	1.99	72.14
1.32	35.15	1.66	57.65	2.00	72.50
1.33	35.98	1.67	58.17		

### 3.12.6 鹽酸溶液的比重與波美度換算

表 3-48 鹽酸溶液的比重與波美度換算表

比重 20/4	波美度	HCl(%)	(克/升)	(盎司/加侖)
1.0032	0.5	1	10.03	1.34
1.0082	1.2	2	20.16	2.68
1.0181	2.6	4	40.72	5.43
1.0279	3.9	6	61.67	8.23
1.0376	5.3	8	83.01	11.08
1.0474	6.6	10	104.7	13.95
1.0574	7.9	12	126.9	16.9
1.0675	9.2	14	149.5	19.9
1.0776	10.4	16	172.4	23.0
1.0878	11.7	18	195.8	26.1
1.0980	12.9	20	219.6	29.25
1.1083	14.2	22	243.8	32.5
1.1187	15.4	24	268.5	35.8
1.1290	16.6	26	293.5	39.1
1.1392	17.7	28	319.0	42.5
1.1493	18.8	30	344.8	46.0
1.1593	19.9	32	371.0	49.5
1.1691	21.0	34	397.5	53.0
1.1789	22.0	36	424.4	56.6
1.1885	23.0	38	451.6	60.2
1.1980	24.0	40	479.2	64.0

### 3.12.7 硫酸溶液的比重與波美度換算

表 3-49 硫酸溶液的比重與波美度換算表

比重 20/4	波美度	(%)H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(克/升)	(盎司/加侖)
1.0051	0.7	1	10.05	1.4
1.0184	2.6	3	30.55	4.07
1.0317	4.5	5	51.59	6.88
1.0453	6.3	7	73.17	9.76
1.0591	8.1	9	95.32	12.7
1.0731	9.9	11	118.0	15.73
1.0874	11.7	13	141.4	18.85
1.1020	13.4	15	165.3	22.05
1.1168	15.2	17	189.9	25.3
1.1318	16.9	19	215.0	28.7
1.1471	18.6	21	240.9	32.1
1.1626	20.3	23	267.4	35.6
1.1783	21.9	25	294.6	39.3
1.1942	23.6	27	322.4	43.0
1.2104	25.2	29	351.0	46.8
1.2267	26.8	31	330.3	51.0
1.2432	28.4	33	410.3	54.7
1.2599	29.9	35	441.0	58.8
1.2769	31.4	37	472.5	62.9
1.2941	33.0	39	504.7	67.3
1.3116	34.5	41	537.8	71.6
1.3294	35.9	43	571.6	76.1
1.3476	37.4	45	606.4	80.8
1.3663	38.9	47	642.2	85.5
1.3854	40.3	49	678.8	90.5
1.4049	41.8	51	716.5	95.5
1.4248	43.2	53	755.1	100.8
1.4153	44.7	55	794.9	106.0
1.4662	46.1	57	835.7	111.5
1.4875	47.5	59	877.6	117.0
1.5091	48.9	61	920.6	122.7
1.5310	50.3	63	964.5	128.7
1.5533	51.7	65	1010	134.8
1.5760	53.0	67	1056	141.0
1.5989	54.3	69	1103	147.0
1.6221	55.6	71	1152	153.8
1.6456	56.9	73	1201	160.0
1.6692	58.1	75	1252	167.0
1.6927	59.3	77	1303	174.0
1.7158	60.5	79	1355	181.0
1.7383	61.6	81	1408	188.0
1.7594	62.6	83	1460	195.0
1.7786	63.5	85	1512	201.6
1.7951	64.2	87	1562	208.4
1.8087	64.8	89	1610	214.6
1.8195	65.3	91	1656	220.6
1.8279	65.7	93	1700	226.5
1.8337	65.9	95	1742	232.5
1.8364	66.0	97	1781	237.5
1.8342	65.9	99	1816	242.0
1.8305	65.8	100	1831	244.5

### 3.12.8 在規定的比重中硫酸銅加硫酸的總濃度

表 3-50 在給出比重的溶液中，硫酸銅加硫酸的總濃度

比重 25/4	硫酸銅加硫酸		比重 25/4	硫酸銅加硫酸	
	(克/升)	(盎司/加侖)		(克/升)	(盎司/加侖)
1.01	20	2.7	1.13	217	29.1
1.02	36	4.8	1.14	234	31.3
1.03	52	7.0	1.15	251	33.6
1.04	68	9.1	1.16	268	35.9
1.05	84	11.3	1.17	286	38.3
1.06	100	13.4	1.18	303	40.6
1.07	117	15.7	1.19	321	43.0
1.08	133	17.8	1.20	339	45.4
1.09	150	20.0	1.21	357	47.8
1.10	166	22.3	1.22	375	50.2
1.11	183	24.5	1.23	393	52.6
1.12	200	26.8			

### 3.12.9 金屬元素的電極電位

表 3-51 金屬和合金在海水中的電極電位\*

金屬	電極電位(V)	金屬	電極電位(V)
鎂	-1.45	鎳銅鑄鐵(Ni12~15%,Cu5~7%)	-0.30
鎂合金(Al6%,Zn3%,Mn0.5%)	-1.20	錫	-0.25
錳	-0.91	鈹	-0.18
鋅	-0.80	鎳	-0.12
鋁合金(Mg10%)	-0.74	黃銅(Zn30%)	-0.11
鋁合金(Zn10%)	-0.70	黃銅(Zn5~10%)	-0.10
鋁	-0.53	青銅(Al5~10%)	-0.10
銅	-0.52	銻	-0.09
硬鋁	-0.50	銅	-0.08
鐵	-0.50	鎳白銅(Ni30%)	-0.02
鈷	-0.45	鈦(工業用)	+0.10
碳鋼	-0.40	銀	+0.12
灰鑄鐵	-0.36	鈦(碘化法)	+0.15
Cr13 和 Cr17 不鏽鋼	-0.32	蒙乃爾合金	+0.17
鋁	-0.30	鉑	+0.40

\*所列金屬電位是參比標準氫電極測定的數值。由於金屬的純度和表面狀態不同，以及海水的成分和充氣程度不同，金屬的電位可在一定範圍內變化。

表 3-52 元素在 25 時的標準電極電位(電動序)

元素	電極反應	標準電位(伏)	元素	電極反應	標準電位(伏)
Li	$\text{Li}^+ + e \rightarrow \text{Li}$	-3.045	Ga	$\text{Ga}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Ga}$	-0.560
Rb	$\text{Rb}^+ + e \rightarrow \text{Rb}$	-2.925	S	$\text{S} + 2e \rightarrow \text{S}^{2-}$	-0.508
K	$\text{K}^+ + e \rightarrow \text{K}$	-2.924	Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Fe}$	-0.409
Cs	$\text{Cs}^+ + e \rightarrow \text{Cs}$	-2.923	Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cd}$	-0.403
Ba	$\text{Ba}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ba}$	-2.90	In	$\text{In}^{3+} + 3e \rightarrow \text{In}$	-0.338
Sr	$\text{Sr}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Sr}$	-2.89	Tl	$\text{Tl}^+ + e \rightarrow \text{Tl}$	-0.3363
Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ca}$	-2.76	Co	$\text{Co}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Co}$	-0.277
Na	$\text{Na}^+ + e \rightarrow \text{Na}$	-2.714	Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ni}$	-0.23
Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mg}$	-2.375	Mo	$\text{Mo}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Mo}$	-0.2
La	$\text{La}^{3+} + 3e \rightarrow \text{La}$	-2.37	Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Sn}$	-0.1364
Y	$\text{Y}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Y}$	-2.37	Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pb}$	-0.1263
Ce	$\text{Ce}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Ce}$	-2.335	H	$2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$	0.0000
Nd	$\text{Nd}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Nd}$	-2.246	Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$	+0.3402
Sc	$\text{Sc}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Sc}$	-2.08	Cu	$\text{Cu}^+ + e \rightarrow \text{Cu}$	+0.522
Th	$\text{Th}^{4+} + 4e \rightarrow \text{Th}$	-1.90	I	$\text{I}_2 + 2e \rightarrow 2\text{I}^-$	+0.535
Be	$\text{Be}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Be}$	-1.85	Hg	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e \rightarrow 2\text{Hg}$	+0.7961
U	$\text{U}^{3+} + 3e \rightarrow \text{U}$	-1.80	Ag	$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	+0.79965
Hf	$\text{Hf}^{4+} + 4e \rightarrow \text{Hf}$	-1.70	Pd	$\text{Pd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pd}$	+0.83
Al	$\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$	-1.66	Hg	$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Hg}$	+0.851
Ti	$\text{Ti}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ti}$	-1.63	Br	$\text{Br}(\text{液}) + 2e \rightarrow 2\text{Br}^-$	+1.065
Zr	$\text{Zr}^{4+} + 4e \rightarrow \text{Zr}$	-1.53	Pt	$\text{Pt}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pt}$	+1.2
V	$\text{V}^{3+} + 3e \rightarrow \text{V}$	-1.2	Cl	$\text{Cl}_2 + 2e \rightarrow 2\text{Cl}^-$	+1.358
	$\text{V}^{5+} + 5e \rightarrow \text{V}$	-0.255	Au	$\text{Au}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Au}$	+1.42
Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mn}$	-1.029	F	$\text{F}_2 + 2e \rightarrow 2\text{F}^-$	+2.87
Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	-0.763			
Cr	$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Cr}$	-0.74			

### 3.13 元素的物理性能

表 3-53 元素的物理性能表

符號	名稱	原子序號	密度 (20 ) (g/cm <sup>3</sup> )	熔點 (760mmHg) ( )	沸點 (760mmHg) ( )	比熱 c (20 ) (cal/g. )	比潛熱 (cal/g)	導熱系數 (20 ) (cal/cm.s. )	線脹系數 (0~100 ) (10 <sup>-6</sup> / )	電阻率 (0 ) (10 <sup>-2</sup> . mm <sup>2</sup> /m)	電阻溫度系數 (0 ) (10 <sup>-3</sup> / )
Ac	銻	89	10.07	1050	3200						4.23
Ag	銀	47	10.49	960.8	2210	0.0559	25	1.0	19.7	1.59	4.29
Al	鋁	13	2.6984	660.1	2500		94.6	0.53	23.6	2.655	4.23
Am		95	11.7	1200	2500				50.8	145	
Ar		18	1.784 × 10 <sup>-3</sup>	-189.2	-185.7	0.125	6.7	0.406 × 10 <sup>-3</sup>			
As	砷	33	5.73	814(36atm)	613(升華)	0.082	88.5		4.7	35.0	3.9
Au	金	79	19.32	1063	2966	0.0312	16.1	0.71 1.	14.2	2.065	3.5
B	硼	5	2.34	2300	3675	0.309			8.3(40 )	1.8 × 10 <sup>12</sup>	
Ba	鋇	56	3.5	710	1640	0.068			19.0	50	
Be	鈹	4	1.84	1283	2970	0.45	260	0.35	11.6(20~60 )	6.6	6.7
Bi	鉍	83	9.80	271.2	1420	0.0294	12.5	0.020	13.4	106.8	4.2
Br	溴	35	3.12(液態)	-7.1	58.4	0.070	16.2			6.7 × 10 <sup>7</sup>	
C	碳	6	2.25(石墨)	3727(高純度)	4830	0.165		0.057	0.6~4.3	1375	0.6~1.2
Ca	鈣	20	1.55	850	1440	0.155	52	0.3	22.3	3.6	3.33
Cd	鎘	48	8.65	321.03	765	0.055	13.2	0.22	4.3	7.51	4.24
Ce	鈰	58	6.77	804	3468	0.042	8.5	0.026	1.19	75.3(25 )	0.87
Cl	氯	17	3.214 × 10 <sup>-3</sup>	-101	-33.9	0.116	21.6	0.172 × 10 <sup>-3</sup>	2.01	10 × 10 <sup>9</sup>	
Co	鈷	27	3.9	1492	2870	0.099	58.4	0.165	12.4	5.06(a)	6.6
Cr	鉻	24	7.19	1903	2642	0.11	96	0.16	6.2	12.9	2.5
Cs	銫	55	1.90	28.6	685	0.052	3.8		97	19.0	4.96
Cu	銅	29	8.96	1083	2580	0.092	50.6	0.94	17.0	1.67~1.68(20 )	4.3
Dy	鐳	66	8.56	1407	2300	0.041	25.2	0.024	7.7	56.0	1.19
Er	鉕	68	9.16	1500	2600	0.04	24.5	0.023	10.0	107	2.01

續表

符號	名稱	原子序號	密度 (20 ) (g/cm <sup>3</sup> )	熔點 (760mmHg) ( )	沸點 (760mmHg) ( )	比熱 c (20 ) (cal/g. )	比潛熱 (cal/g)	導熱系數 (20 ) (cal/cm.s. )	線脹系數 (0~100 ) (10 <sup>-6</sup> / )	電阻率 (0 ) (10 <sup>-2</sup> . mm <sup>2</sup> /m)	電阻溫度系數 (0 ) (10 <sup>-3</sup> / )
Eu	鎔	63	5.30	830	1430	0.039	16.5			81.3	4.30
F	氟	9	1.696 × 10 <sup>-3</sup>	-219.6	-188.2	0.18	10.1				
Fe	鐵	26	7.87	1537	2930	0.11	65.5	0.18	11.76	9.7(20 )	6.0
Ga	鎔	31	5.91	29.8	2260	0.079	19.16	0.07	18.3	13.7	3.9
Gd	釷	64	7.87	1312	2700	0.0574	23.5	0.021	0.0~10.0	134.5	1.76
Ge	鍺	32	5.323	958	2880	0.073	7.3	0.14	5.92	0.86 × 10 <sup>6</sup> ~52 × 10 <sup>6</sup>	1.4
H	氫	1	0.0899 × 10 <sup>-3</sup>	-259.04	-252.61	3.45	15.0	4.06 × 10 <sup>-4</sup>			
He	氦	2	0.1785 × 10 <sup>-3</sup>	-269.5(103atm)	-268.9		0.825	3.32 × 10 <sup>-4</sup>			10 <sup>21</sup> (20 )
Hf	鈦	72	13.28	2225	5400	0.0351		0.223	5.9	32.7~43.9	4.43
Hg	汞	80	13.546(液態)	-38.87	356.58	0.033	2.8	0.0196	182	94.07	0.99
Ho	釹	67	8.8	1461	2300	0.039	24.9			87.0	1.71
I	碘	53	4.93	113.8	183	0.052	14.2	10.4 × 10 <sup>-4</sup>	93	1.3 × 10 <sup>15</sup>	
In	銦	49	7.31	156.61	2050	0.057	6.8	0.057	33.0	8.2	4.9
Ir	銱	77	22.4	2454	5300	0.0323		0.14	6.5	4.85	4.1
K	鉀	19	0.87	63.2	765	0.177	14.5	0.24	83	6.55	5.4
Kr	氪	36	3.743 × 10 <sup>-3</sup>	-157.1	-153.25			0.21 × 10 <sup>-4</sup>			-0.39
La	鐳	57	6.18	920	3470	0.048	17.3	0.033	5.1	56.8(20 )	2.18
Li	鋰	3	0.531	180	1347	0.79	104.2	0.17	56	8.55	4.6
Lu		71	9.74	1730	1930	0.037	26.29			79.0	2.40
Mg	鎂	12	1.74	650	1108	0.245	88 ± 2	0.367	24.3	4.47	4.1
Mn	錳	25	7.43	1244	2150	0.115	63.7	0.0119(-192 )	37	185(20 )	1.7
Mo	鉬	42	10.22	2625	4800	0.066	69.8	0.34	4.9	5.17	4.71
N	氮	7	1.25 × 10 <sup>-3</sup>	-210	-195.8	0.247	6.2	6 × 10 <sup>-5</sup>			
Na	鈉	11	0.9712	97.8	892	0.295	27.5	0.32	71	4.27	5.47

續表

符號	名稱	原子序號	密度 (20 ) (g/cm <sup>3</sup> )	熔點 (760mmHg) ( )	沸點 (760mmHg) ( )	比熱 c (20 ) (cal/g. )	比潛熱 (cal/g)	導熱系數 (20 ) (cal/cm.s. )	線脹系數 (0~100 ) (10 <sup>-6</sup> / )	電阻率 (0 ) (10 <sup>-2</sup> . mm <sup>2</sup> /m)	電阻溫度系數 (0 ) (10 <sup>-3</sup> / )
Nb	鈮	41	8.57	2468	5136	0.065	69	0.125~0.13	7.1	13.1~15.22	3.95
Nd	釷	60	7.00	1024	3180	0.045	11.78	0.031	7.4	64.3(25 )	1.64
Ne	氖	10	0.8999 × 10 <sup>-3</sup>	-248.6	-246.0			0.00011			
Ni	鎳	28	8.90	1453	2732	0.105	73.8	0.22	13.4	6.84	5.0~6.0
Np		93	20.25	637					50.8	145(20 )	
O	氧	8	1.429 × 10 <sup>-3</sup>	-218.83	-182.97	0.218	3.3	59 × 10 <sup>-6</sup>			
Os	銱	76	22.5	2700	5500	0.031			5.7~6.57	9.66	4.2
P	磷(白)	15	1.83	44.1	280	0.177	5.0		125	1 × 10 <sup>17</sup>	-0.456
Pa	釷	91	15.4	1230	4000						
Pb	鉛	82	11.34	323.7	1750	0.0306	6.26	0.083	29.3	18.8	4.2
Pd	鈀	46	12.16	1552	3980	0.0584	34.2	0.168	11.8	9.1	3.76
Pm	鉅	61		1000	2700						
Po	釷	84	9.4	254	960				24.4	42 ± 10( ), 44 ± 10( )	4.6( ), 7.0( )
Pr	鐳	59	6.77	935	3020	0.045	11.71	0.028	5.4	68(25 )	1.71
Pt	鉑	78	21.45	1769	4530	0.0324	26.9	0.165	8.9	9.2~9.6	3.99
Pu	鐳	94	19.0~19.8	639.5	3235	0.032		0.020	50.8	145(28 )	-0.21
Ra	鐳	88	5.0	700	1500						
Rb	銣	37	1.53	38.8	680	0.080	6.5		90.0	11	4.81
Re	銩	75	21.03	3180	5900	0.033		0.17	6.7	19.5	1.73
Rh	銩	45	12.44	1960	4500	0.59(0 )		0.21	8.3	6.02	4.35
Rn	氡	86	9.960 × 10 <sup>-3</sup>	-71	-61.8						
Ru	鈷	44	12.2	2400	4900	0.057			9.1	7.157	4.49
S	硫	16	2.07	115	444.6	0.175	9.3	6.31 × 10 <sup>-4</sup>	64	2 × 10 <sup>23</sup> (20 )	
Sb	銻	51	6.68	630.5	1440	0.049	38.3	0.045	8.5~10.8	39.0	5.1

續表

符號	名稱	原子序號	密度 (20 ) (g/cm <sup>3</sup> )	熔點 (760mmHg) ( )	沸點 (760mmHg) ( )	比熱 c (20 ) (cal/g. )	比潛熱 (cal/g)	導熱系數 (20 ) (cal/cm.s. )	線脹系數 (0~100 ) (10 <sup>-6</sup> / )	電阻率 (0 ) (10 <sup>-2</sup> . mm <sup>2</sup> /m)	電阻溫度系數 (0 ) (10 <sup>-3</sup> / )
Sc	鈦	21	2.992	1539	2730	0.134	84.52			61(22 )	
Se	硒	34	4.808	220	685	0.077	16.4	7~18.3 × 10 <sup>-4</sup>	37	12	4.45
Si	硅	14	2.329	1412	3310	0.162(0 )	432	0.20	2.8~7.2	10	0.8~1.8
Sm	釷	62	7.53	1052	1630	0.042	17.29			88.0	1.48
Sn	錫	50	7.298	231.91	2690	0.054	14.5	0.150	23	11.5	4.4
Sr	鋇	38	2.60	770	1460	0.176	25			30.7	3.83
Ta	鉭	73	16.67	2980	5400	0.034	38	0.130	6.55	13.1	3.85
Tb	鐳	65	8.267	1356	2530	0.044	24.54				
Tc		43	11.46	2100	4600						
Te	碲	52	6.24	450	990	0.047	32	0.014	17.0	1 × 10 <sup>5</sup> ~2 × 10 <sup>5</sup>	
Th	釷	90	11.724	1695	4200	0.034	<19.82	0.090	11.3~11.6	19.1	2.26
Ti	鈦	22	4.508	1677	3260	0.124	104	0.036(a)	8.2	42.1~47.8	3.97
Tl	鉍	81	11.85	304	1457	0.031	5.04	0.093	28.0	15~18.1	5.2
Tm	釹	69	9.325	1545	1700	0.038	26.04				
U	鈾	92	19.05	1132	3930	0.0275		0.071	6.8~14.1	79.0	1.95
V	釩	23	6.1	1910	3400	0.127		0.074	8.3	29.0	2.18~2.76
W	鎢	74	19.3	3380	5900	0.034	44	0.397	4.6(20 )	24.8~26	2.8
Xe	氙	54	5.495 × 10 <sup>-3</sup>	-112	-108			1.24 × 10 <sup>-4</sup>		5.1	4.82
Y	鈮	39	4.475	1509	3200	0.071	46	0.035			
Yb	鐳	70	6.966	824	1530	0.035	12.71		25	30.3	1.30
Zn	鋅	30	7.134(25 )	419.505	907	0.0925	24.09	0.27	39.5	5.75	4.2
Zr	鈷	40	6.507	1852 ± 20	3580	0.068	60	0.211(25 )	5.85	39.7~40.5	4.35

註：1.數據旁括號內的溫度指該數據的特定溫度。

2.對液體元素，線脹系數欄的數據為體脹系數。