

第八篇

流體力學

目 錄 頁

第一章 流體之物理性質

1.1	流體	8— 1
1.2	比重量 γ 與密度 ρ	8— 2
1.3	壓縮率 β	8— 5
1.4	流體中之音速 a	8— 6
1.5	粘性係數 μ	8— 7
1.6	飽和蒸氣壓力 p_s	8— 12
1.7	氣體對水之溶解度	8— 13
1.8	表面張力 H	8— 13

第二章 流體靜力學

2.1	壓力	8— 15
2.2	壓力與液體高度之關係	8— 15
2.3	作用於平面上之液體壓力	8— 16
2.4	作用於曲面上之液體壓力	8— 17
2.5	浮力	8— 18
2.6	運動流體之相對平衡	8— 20
2.7	流體靜力學之基礎方程式	8— 21

第三章 流體運動之基本原理

3.1	流體運動之基本方程式	8— 22
3.2	流體運動之相似律	8— 25
3.3	理想流體之運動	8— 26
3.4	粘性流體之運動	8— 29

第四章 管 流

4.1	管流之基本理論	8— 31
-----	---------	-------

4.2	管流之表面阻抗	8— 33
4.3	圓管之形狀阻抗	8— 37
4.4	彎管流動	8— 43
4.5	管路系統	8— 43

第五章 渠 流

5.1	渠流之定義及分類	8— 48
5.2	渠道之分類及渠道截面之幾何要素	8— 48
5.3	渠道截面及流速爲一定時之渠流	8— 50
5.4	渠道之最佳截面形狀	8— 51
5.5	渠道中之適當流速	8— 52
5.6	渠道中之速度分佈	8— 52
5.7	常流與射流	8— 53
5.8	渠道中格子之阻力	8— 56

第六章 流體中之物體

6.1	流體中運動物體所受之力	8— 57
6.2	流體中運動物體之阻力	8— 57
6.3	管羣之阻力	8— 62
6.4	平板之阻力	8— 64
6.5	旋轉圓盤	8— 66
6.6	機翼	8— 66

第七章 流體之測量

7.1	流體物理性質之測定	8— 69
7.2	液面高度及壓力之測定	8— 70
7.3	流速、流向及流量	8— 73
7.4	溫度之測量	8— 78
7.5	觀察及光學測量法	8— 79

第八章 壓縮性氣體之運動

8.1	音速與馬赫數	8— 80
8.2	一維氣體動力學	8— 83

8•3	超音速流動時之斜震波與馬赫線.....	8— 87
8•4	壓縮氣體之邊界層.....	8— 92
第九章 非牛頓系流體之流動		
9•1	非牛頓系流體之種類.....	8— 95
9•2	非牛頓系流體之流動.....	8— 98
9•3	測定非牛頓系流體性質之方法.....	8—106

第八篇

流體力學

陳義男 劉衿友

第一章 流體之物理性質

1.1 流體

液體與氣體合稱為流體 (fluid)，流體的特徵是受到剪應力時立即發生變形；因此流體不能自己保持一定的形狀，隨着容器而改變形狀。

流體是由分子所構成，流體之各種物理性質與其分子運動有關。通常流體分子間之平均自由行程 (mean free path) 較之分子直徑為大，流體的分子構造在本質上為不連續體 (discontinuous medium)。但因在不連續體中所指的某一點之密度或速度等物理量時，其物理意義不明確，因此在物理上通常假定流體為均質 (homogeneous) 而且是連續 (contineous) 的物質，而不考慮各種流體的分子構造。普通在流體力學上所稱流體中某一點之物理量，是指在以此點為中心之微小體積中之平均值而言，但此微小體積中尚含有甚多之分子。可是也有例外之情況，例如超高空飛行時，流體可視為稀薄氣體 (rarefied gas)，而必需用離散系來處理。

流體之物理性質對於流體運動之影響甚大，其最重要者有粘性 (viscosity)、壓縮性 (compressibility)、密度 (density)、表面張力 (surface tension) 等。但在理論上為了數學分析上之方便，常假定一種無粘性而且無壓縮性的流體，此種流體稱為理想流體 (ideal fluid)。

氣體與液體之最大差異是氣體具有較大的壓縮性，但實際壓縮性之顯著效果是在運動速度較大時才會發生，所以空氣在低速運動時，也可視為非壓縮性流體之運動。

當流體中之各點間有相對運動存在時，就會產生粘性效果。物體在流體中運動時，其粘性效果是從物體表面逐漸向外擴展，物體之運動速度增加時，其粘度效果所影響之範圍逐漸減少，而局限於物體表面附近的薄層中，此薄層稱為邊界

層 (boundary layer)，在此層外之流體可視為非粘性流體來處理。

1.2 比重量 γ 及密度 ρ

流體單位體積之重量稱為比重量 (specific weight)，而單位體積之質量則稱為密度 (density)，兩者間之關係為

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1.1)$$

式中 g 為重力加速度 (gravitational acceleration)， g 值因高度及位置而有不同，一般工程應用上以緯度 45° 之海面上的 g 值為標準，因此 $g = 980.665 \text{ cm/s}^2$ 。比重量 γ 之單位為 $[\text{kg/m}^3]$ ，密度 ρ 之單位為 $[\text{kg}^3/\text{m}^3]$ 。

比容積 v (specific volume) 為每單位重量之流體所佔有之體積，故

$$v = \frac{1}{\gamma} \quad (1.2)$$

v 之單位為 $[\text{m}^3/\text{kg}]$ 。

比重 S (specific gravity) 為某物質之比重量與一標準物質之比重量之比值。此項標準物質如無特別指定時，通常係指在溫度 4°C 壓力為 1 atm 時之純水，設 γ_w 為此純水之比重量，某物質之比重量為 γ ，則

$$S = \frac{\gamma}{\gamma_w} \quad (1.3)$$

γ 及 ρ 值一般因溫度及壓力而異，壓力 1 atm 溫度 4°C 純水之比重量為 $\gamma_w = 1,000 \text{ kg/m}^3$ 。表 1.1 所示為 1 atm 下純水在各種不同溫度之 γ 值。表 1.2 及表 1.3 為各種物質之比重。

表 1.1 水之各種物理性質 (壓力為 $1 \text{ atm} = 1.0332 \text{ kg/cm}^2$)

表 1.1 純水之各種物理性質 (1 atm)

溫度 °C	0	5	10	15	20	25	30	40
γ	999.8	1000.0	999.7	999.1	998.2	997.1	995.7	992.2
ρ	101.96	101.97	101.94	101.88	101.79	101.67	101.53	101.18
μ	182.7×10^{-6}	155.0	133.3	116.0	102.2	90.8	81.3	66.6
ν	1.792×10^{-6}	1.520	1.307	1.139	1.004	0.893	0.801	0.658
p_s	62	89	125	174	238	323	432	752

溫度 °C	50	60	70	80	90	100	溫度 °C	p_s
γ	988.1	983.2	977.8	971.8	965.3	958.4	110	14609
ρ	100.75	100.26	99.71	99.10	98.44	97.72	120	20245
μ	55.8×10^{-6}	47.6	41.2	36.2	32.1	28.8	140	36848
ν	0.554×10^{-6}	0.475	0.413	0.365	0.326	0.295	180	102240
p_s	1257	2031	3177	4829	7149	10332	250	405600

表 1-2 各種物質之比重

物 質	溫度 °C	比 重	物 質	溫度 °C	比 重
海 水	15	1.01~1.05	汽 油	15	0.66~0.75
10% 食鹽水	20	1.0707	原 油	15	0.7 ~1.0
20% 食鹽水	20	1.1478	植 物 性 油	15	0.91~0.97
甘 油	15	1.264	動 物 性 油	15	0.86~0.94
甘 油	20	1.261	純 硫 酸	20	1.831
苯	15	0.884	純 硝 酸	20	1.513
苯	20	0.879	純 醋 酸	20	1.049

表 1-3 各種物質在各種溫度下之比重

溫 度 °C	0	10	15	20	30
水 銀	13.5955	13.5708	13.5585	13.5462	13.5216
酒 精					
100%	0.8063	0.7978	0.7936	0.7893	0.7808
90%	0.8354	0.8267	0.8224	0.8180	0.8093
80%	0.8606	0.8520	0.8477	0.8434	0.8348
木 精					
100%	0.8102	0.8009	0.7958	0.7917	
90%	0.8374	0.8287	0.8240	0.8202	
80%	0.8634	0.8551	0.8505	0.8469	
四 氯 化 矽	1.6326	1.6135	1.6039	1.5944	1.5754
四 氯 化 乙 烷	1.6360	1.6200	1.6120	1.6040	1.5880

海水之比重量因其所含鹽份之多寡而有不同，在 15°C 時大約為 $\gamma = 1020 \sim 1030 \text{ kg/m}^3$ 。

水銀之比重量在壓力 1 atm 而溫度大於 0°C 之範圍內為

$$\gamma = \frac{13595.46}{1 + (18.182 t + 0.00078 t^2) 10^{-5}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1.4)$$

在上式中 t 為溫度 °C。

油之比重量在 1 atm 而 $t > 20^\circ\text{C}$ 之範圍內為

$$\gamma_t = \gamma_{20} [1 - 0.00065(t - 20)] \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1.5)$$

在上式中 γ_{20} 表示 $t=20^\circ\text{C}$ 時油之比重。

氣體之密度隨溫度及壓力的不同而有很大的變化。理想氣體 (ideal gas) 之狀態方程式 (equation of state) 為

$$pv=RT \quad (1.6)$$

在此 T 為絕對溫度 (absolute temperature), p 為壓力, R 為氣體常數 (gas constant)。各種氣體之氣體常數 R 如表 1.4 所示。

表 1.4 各種氣體之氣體常數

	分子量 M	$R[\text{m}^2/\text{K}]$	比重 $\gamma_{0^\circ\text{C}}/760\text{mm}$
空氣	28.96	29.27	1.293
CO_2	44.01	19.25	1.965
CO	28.01	30.28	1.251
氮	4.003	211.9	0.1785
氫	2.016	420.3	0.0899
沼氣	16.04	52.89	0.716
氧	32.00	26.49	1.429

一般實在氣體雖非理想氣體,但在近似上可用理想氣體之狀態方程式計算其 γ 值及 ρ 值

乾燥空氣之比重可用下式表之

$$\gamma = \frac{1.293}{1 + 0.00366t} \frac{h}{760} \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad (1.7)$$

上式中 h 為壓力,以 0°C 之水銀柱高度 [mm] 而表示, t 為溫度以 $[\text{C}]$ 表示。利用上式可知在溫度 15°C 壓力 760 mm Hg 之狀態下 $\gamma=1.226\text{ kg}/\text{m}^3$, $\rho=0.125\text{ kgs}^2/\text{m}^4$ 。表 1.5 為乾燥空氣之 γ 值及 ρ 值。表 1.5 為各種氣體之 γ 值。

表 1.5 乾燥空氣之物理性質 (表中 ν 值皆需乘以 10^{-3})

$t^\circ\text{C}$	$\gamma\text{ kg}/\text{m}^3$				$\rho\text{ kgs}^2/\text{m}^4$				$\nu\text{ m}^2/\text{s}$			
	720	740	760	780	720	740	760	780	720	740	760	780
-10	1.271	1.307	1.342	1.377	0.1297	0.1333	0.1369	0.1405	1.317	1.281	1.247	1.215
0	1.225	1.259	1.293	1.327	0.1249	0.1284	0.1318	0.1353	1.407	1.369	1.333	1.299
10	1.182	1.215	1.247	1.280	0.1205	0.1238	0.1272	0.1305	1.500	1.460	1.421	1.385
20	1.141	1.173	1.205	1.237	0.1164	0.1196	0.1229	0.1261	1.595	1.552	1.512	1.473
30	1.104	1.134	1.165	1.196	0.1126	0.1157	0.1188	0.1219	1.693	1.647	1.604	1.563
40	1.069	1.098	1.128	1.158	0.1090	0.1120	0.1150	0.1180	1.792	1.744	1.698	1.654

表 1.6 各種氣體之比重量

名 稱	比 重 量	名 稱	比 重 量
電石氣 (乙炔)	1.173	氯 化 氫	1.639
氫	0.771	氫	3.708
二 氧 化 碳	1.977	氮	0.9002
一 氧 化 碳	1.250	氧	1.257
氯	0.1785	氧	1.429
氫	0.08988		

潮濕空氣之比重量 γ_m 可用下式求之

$$\gamma_m = \gamma \left(1 - \frac{0.377 \phi F}{h} \right) \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1.8)$$

在此 γ 為同溫同壓之乾燥空氣之比重量， ϕ 為相對濕度， F 為含有水蒸汽之最大張力，若 p_s 為蒸汽壓力 S_m 為水銀之比重時， $F = p_s / S_m$ ，其單位為 mm Hg。

1.3 壓縮率 β

壓縮率 β 表示流體在單位壓力變化時所產生之體積變化率，其定義為

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} = -\frac{1}{v} \frac{dv}{dp} \quad (1.9)$$

在此 p 為壓力， V 為流體之體積， v 為流體單位重量之體積。因壓力增加時流體之體積減少，故上式取負號以使 β 為正值。壓縮率之單位為 m^2/kg ， β 值愈大表示流體之壓縮性愈大。

壓縮率之倒數稱為體積彈性模數 K (bulk modulus) 其定義為

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (1.10)$$

氣體在絕熱變化 (adiabatic change) 時 $K = \gamma p$ 。

表 1.7 及表 1.8 為各種流體之 β 值。

表 1.7 各種流體之壓縮率 β cm^2/kg

名 稱	溫 度 $^{\circ}\text{C}$	壓力範圍 (大氣壓)	壓縮率 β cm^2/kg
海 水	10	1~150	4.4×10^{-5}
水	20	1~100	0.393×10^{-5}
酒	14	9~38	10.1×10^{-5}
甘 油	14.8	1~10	2.21×10^{-5}
苯	16	8~37	9×10^{-5}
橄 欖 油	20	1~10	6×10^{-5}

表 8 水壓縮率 β cm²/kg

溫度		0°C	10°C	20°C
壓力範圍	大氣壓			
	1~25	5.08×10^{-5}	4.84×10^{-5}	4.75×10^{-5}
	25~50	4.99	4.76	4.61
	50~75	4.93	4.58	4.41
75~100	4.86	4.55	4.38	

溫度		0°C	10°C	20°C	50°C
壓力範圍	大氣壓				
	100~500	4.60×10^{-5}	4.33×10^{-5}	4.20×10^{-5}	4.03×10^{-5}
	500~1000	4.03	3.82	3.68	3.54
	1000~1500	3.46	3.37	3.27	3.15

1.4 流體中之音速 a

壓力波在流體中之傳播速度稱為音速 a (sonic speed) · 其定義為

$$a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (1.11)$$

在 $t^\circ\text{C}$ 之純水中音速為

$$a = 1404.4 + 4.8215 t - 0.047562 t^2 + 0.00013541 t^3 \text{ [m/s]} \quad (1.13)$$

在 $t^\circ\text{C}$ 之乾燥空氣中音速為

$$a = 331.68 \left(\frac{273+t}{273} \right)^{1/2} \text{ [m/s]} \quad (1.13)$$

表 1.9 為各種流體中之音速。

表 1.9 各種流體中之音速

溫度 °C		0	20	50
物質	乾 燥 空 氣	331.7	343.6	360.8
	水	1404	1483	1544
水 汁 酒 木	銀 油	1460	1451	1437
	油		1923	1869
	精	1242	1163	1067
	精	1187	1121	1024
	苯		1324	1184

1.5 粘性係數 μ

表 1-10 各種流體粘度表

液體名稱	溫度 °C	粘 度 centipoise	氣體名稱	溫度 °C	粘 度 centipoise
氦 水	-12.22	0.213	空 氣	-31.7	0.0154
	- 6.67	0.205		-12.22	0.0162
	15.56	0.165		- 6.67	0.0167
	37.8	0.131		- 1.11	0.0171
	56.7	0.095		4.45	0.0176
	78.9	0.060		15.56	0.0180
	93.4	0.035		26.67	0.0185
	104.4	0.025		37.8	0.0190
蓖 麻 子 油	10	2,420	48.9	0.0194	
	20	986	54.4	0.0196	
	30	451	65.6	0.0201	
	40	231	73.9	0.0210	
	100	17	93.4	0.0215	
			148.9	0.0239	
甘 油	0	12,110	204.5	0.0251	
	6.11	6,260	260.1	0.0282	
	15	2,330	315.6	0.0300	
	20	1,490	371.2	0.0316	
	25	954	426.7	0.0340	
	30	629	482.3	0.0359	
	65.6	70	537.8	0.0374	
木 精	-22.2	1.22	621.1	0.0392	
	0	0.82	636.7	0.0401	
	15	0.62	748.9	0.0426	
	20	0.60	810.0	0.0442	
	25	0.55	921.1	0.0464	
	30	0.51	1035.0	0.0491	
	40	0.46	1135.0	0.0521	
	50	0.40			

表 1·10 各種流體粘度表 (續)

液體名稱	溫度 °C	粘 度 centipoise	氣 體 名 稱	溫 度 °C	粘 度 centipoise
酒 精	-32	3.84	氮	0	0.00918
	-17.55	2.68		20	0.00982
	0	1.77		50	0.0109
	10	1.47		100	0.0128
	20	1.20		150	0.0146
	30	1.00		200	0.0165
	40	0.834		250	0.0181
	50	0.702		300	0.0199
	60	0.592			
	70	0.504			
水 銀	-20	1.855	二氧化碳	0	0.0140
	-10	1.764		15	0.0146
	0	1.685		20	0.0148
	10	1.615		30	0.0153
	20	1.554		40	0.0157
	30	1.499		104.4	0.0189
	40	1.450		235	0.0241
	50	1.407		302.2	0.0268
	60	1.367	1504.4	0.0478	
	70	1.331	酒 精 (氣化)	100	0.0108
	80	1.298		131.1	0.0117
	90	1.268		170.6	0.0129
	100	1.240		191.7	0.0135
	150	1.310		212.2	0.0140
	200	1.052		251.6	0.0152
	250	0.995		308.3	0.0167
	300	0.950		木 精 (氣化)	66.7
	340	0.921	111.1		0.0126
			216.7		0.0162
			311.1		0.0192

表 1·10 各種流體粘度表 (續)

液體名稱	溫度 °C	粘 度 centipoise	氣 體 名 稱	溫 度 °C	粘 度 centipoise
醋	15	3.38	一氧化 碳 CO	0	0.0166
	25	3.07		氦 氫 He	0
苯	20	0.647	H ₂	0	0.00842
			氫 Kr	0	0.0232
四 氯 化 碳	0	1.35	氖 Ne	0	0.0297
			氮 N ₂	23	0.0177
	20	0.904	氧 O ₂	23	0.0204

在二平行平板間之流體若為平行之層流時，相距 dy 之兩面間之相對速度為 du ，作用於單位面積上之剪應力 τ (shear stress) 由實驗得知剪應力與速度梯度 (velocity gradient) 成正比可用下式表之

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.14)$$

其中 μ 為比例常數稱為粘性係數 (viscosity coefficient)。此式被稱為牛頓粘性方程式。一般流體之粘性係數受溫度之影響較大，而壓力之影響較小。氣體在溫度增加時 μ 值增大，而液體之趨勢則相反，當液體之溫度上昇時其 μ 值減少。

粘性係數之工程單位為 kgs/m^2 ，其絕對單位稱為 poise, $1 \text{ poise} = 1 \text{ g/cm}\cdot\text{s} = \frac{1}{98} \text{ kgs/m}^2$ ，一般 poise 簡寫為 P 其百分之一值稱為 1 CP (centipoise)

表 1·10 為各種流體之粘度。

動粘性係數 (kinematic viscosity coefficient) $\nu = \mu/\rho$ ，其工程單位為 m^2/s ，其絕對單位為 stokes, $1 \text{ stokes} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$ ，符號為 st，其百分之一值稱為 centistokes，略號為 cst。

水之粘性係數 meyer 以下式表之

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + C_1 t + C_2 t^2} \quad (1.15)$$

氣體之粘性係數 Sutherland 以下式表之

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C}{273 + t + C} \left(\frac{273 + t}{273} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1.15)$$

在此 μ_0 為 0°C 時之 μ 值， C 、 C_1 、 C_2 各為實驗係數。

油類之粘性係數大致可用下表之

$$\frac{\mu_p}{\mu_1} = a^p \quad (1.17)$$

在此 μ_p 及 μ_1 各為壓力 p 時及單位壓力時之 μ 值，而係數 $a=1.001\sim 1.003$

圖 1.1、圖 1.2、圖 1.3、圖 1.4 為各種流體之 μ 值及 ν 值，圖中無特別標示者皆為壓力 1 atm 之值。在各圖中之號碼 1 為酒精，2 為木精，3 為甘油，4 為海水 (1.025)，5 為 10% 食鹽水，6 為 20% 食鹽水，7 為汽油 (0.694)，8 為汽油 (0.717)，9 為煤油 (0.813)，10 為原油 (0.855)，11 為原油 (0.925)，12 為原油 (0.96)，13 為渣油 (0.968)，14 為汽缸油 (0.89)，15 為汽缸油 (0.928)，16 為機械油 (0.904)，17 為機械油 (0.91)，18 為錠子油 (0.88)，19 為潤滑油 SAE-30 Western，20 為潤滑油 SAE-30 Eastetn，21 為汽車油 BB，22 為苯，23 為松脂油，24 為蓖麻子油，(0.964)，25 為花生油 (0.918)，26 為橄欖油 (0.913)。括號中之數字則表示對於 4°C 純水之比重。

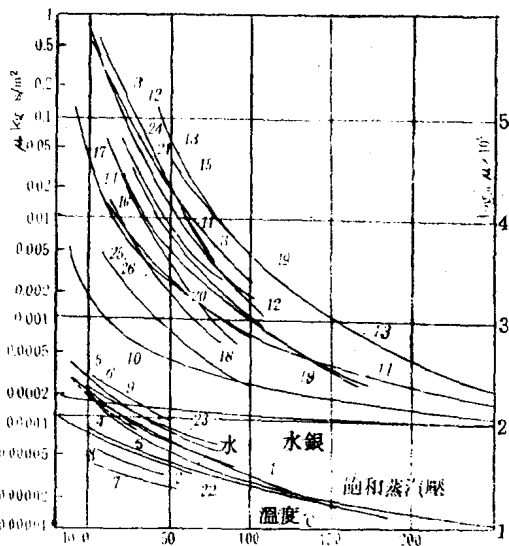


圖 1.1

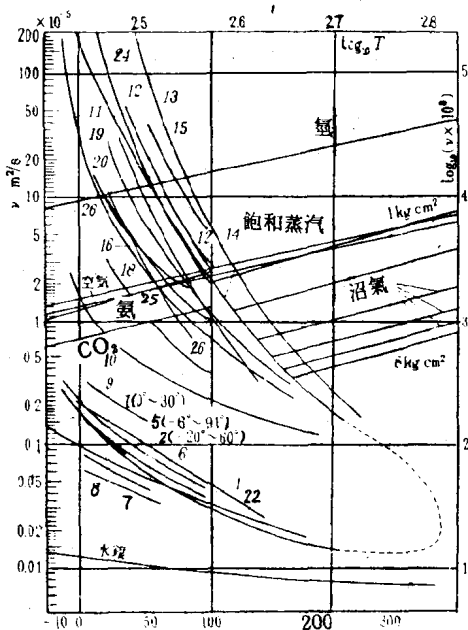


圖 1.2

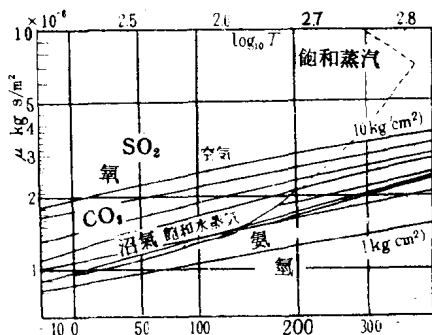


圖 1.3

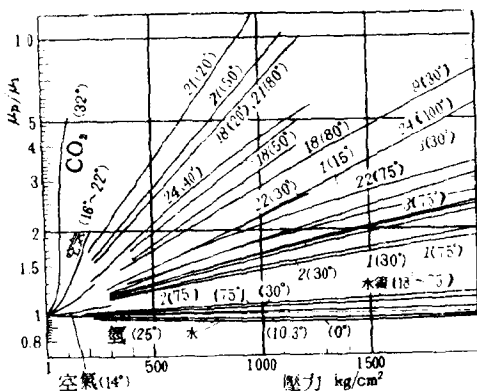


圖 1.4

在工業上對於粘性係數之表示有 Redwood 粘度 R 、Engler 粘度 E ，以及 Saybolt universal second S ，各種粘度表示法相互間之換算可用下式表之

$$\nu(\text{m}^2/\text{s}) = 0.245 \times 10^{-6} R = 7.60 \times 10^{-6} E = 0.220 \times 10^{-6} S \quad (1.18)$$

圖 1.5 為各種粘度之簡易換算表。

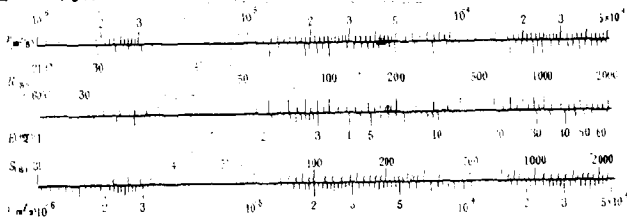


圖 1.5

1.6 飽和蒸氣壓力 p_s

液體分子由其表面逸出稱為蒸發。其逸出之分子是為蒸氣。若液面上之空間為密閉時，在此空間內氣體壓力之一部份係由蒸氣分子所施者，稱為蒸氣之部份壓力 (partial pressure)。達到平衡狀態時，蒸發之分子與再凝結之分子相等

，此時之蒸氣壓力稱為飽和蒸氣壓力 (saturated vapor pressure) 液體之蒸發為分子運動之一種，故與溫度有密切之關係。表 1.1 為水在各種溫度時之 p_s 值。

1.7 氣體對水之溶解度

氣體對水之溶解是指在 1 atm 之壓力下，氣體溶解於 1 m³ 之水中之體積，換算為 0°C 及 1 atm 狀態之體積而表示之。其單位為 m³。表 1.11 為各種氣體對水之溶解度。

表 1.11

氣體		溫度 °C					
		0	20	40	60	80	100
空	氣	0.0288	0.0187	0.0142	0.0122	0.0113	0.0111
	氮 N ₂	0.0235	0.0155	0.0118	0.0102	0.0096	0.0095
	氧 O ₂	0.0489	0.0310	0.0230	0.0195	0.0176	0.0170
	CO ₂	1.7010	0.878	0.530	0.359		
	氨 NH ₃	1.299	710				

1.8 表面張力 H

二種不同之液體或一液體及一氣體相接觸時，其接觸表面因分子凝聚力之作用，而形成類似薄膜之張力，在此表面上單位長度所作用之張力稱為表面張力 H (surface tension)。H 之單位為 kg/m。一般 H 隨溫度之增加而減少，同時也隨表面形成後之時間而減少。表 1.12 為各種液體之表面張力。

表 1.12 a

物質	表面流體	0°C	10°C	20°C	40°C	70°C	100°C
水	空氣	0.0771	0.0757	0.0742	0.0709	0.0657	0.0600
	飽和蒸氣	0.0747	0.0734	0.0720	0.0688	0.0638	0.0583
水銀	真空	0.483	0.482	0.481	0.477	0.472	0.465
酒精	空氣	0.0245	0.0236	0.0227	0.0210	0.0186	
	酒精蒸氣		0.0241	0.0232	0.0214	0.0187	0.0158

表 1.12 b

水		銀	0.485
水	銀	(水)	0.380
木		精	0.023 0
煤		油	0.023~0.033
原		油	0.024~0.039
醚			0.016 8
苯			0.029 5
橄	橄	油	0.033
10%	食 鹽	水	0.076 9
錠	子	油	0.031 7

在內半徑 R 之細管中之液體，因表面張力之作用，其液面會升高或下降。此現象稱為毛细管現象。其平均之升降高度 h 可用下式表之

$$h = \frac{2 H \cos \theta}{(\gamma - \gamma')R} \quad (1.19)$$

在此 γ 及 γ' 各為液體及其表面上流體之比重量，而 θ 為接觸角（如圖 1.6 所示）

一般 θ 因接觸壁面狀態之不同，而有若干之差異。若液體為水，表面上為空氣，接觸管壁為清淨玻璃時在常溫之下 $\theta \approx 0^\circ$ 。若為水銀與空氣及清淨玻璃之常溫接觸時 $\theta = 130^\circ \sim 150^\circ$ 。

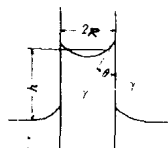


圖 1.6