

78.78
HSZ

78.78
HSZ

流 體 機 械

原著者：橫 山 重 吉
六 角 康 久

譯述者：薩 本 通

科技圖書股份有限公司

流 體 機 械

原著者：橫 山 重 吉
六 角 康 久

譯述者：薩 本 通

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：流體機械

原著者：橫山重吉・六角康久

譯述者：薩本通

發行人：趙國華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市博愛路185號二樓

電話：3110953

郵政劃撥：15697

六十八年五月初版
七十年五月二版

特價新台幣85元

原 序

工業日漸發達，流體機械之應用亦日益廣泛。

本書理論與實際之應用兼顧，可供工業專科學校機械科系及其他科系作教科書或參考書。本書圖表豐富，並隨舉例題，每章均附有習題，以增進對內容之瞭解，故亦可供工程人員參考之用。

傳統流體機械教科書，其重點在泵、水輪機等水力機械，而壓縮機與鼓風機等空氣機械在現代工業上用途亦極廣，本書也有相當篇幅儘量詳細說明。此外本書對於流體式動力傳動機械、流體輸送裝置、流體式控制機構及油壓機等亦作了全盤簡介，為本書之特點。但因篇幅有限，難免有不週詳之處。

本書中，有關水的部分由橫山先生執筆，氣體部分由六角先生執筆。第一～三章及第六章由橫山擔任，由上智大學教授小堀威博士及日立公司機械研究所山岸隆先生仔細教正。六角寫的幾章乃由日立公司川崎工廠技師伊藤茂氏審查並作多種建議。第五章及第八章分別受日立公司機械研究所伊地知幸文及川崎工廠西松昭氏協力之處很多。在此對以上幾位先生及其他對本書有貢獻的先生至表謝忱。另對印刷出版此書的 CORONA 公司編輯部山口先生以及本書內容中引用許多文獻及參考資料之著作者，併此申謝。

筆者才疏學淺，校對亦可能有誤，如蒙指正，亦讀者與筆者之幸也。

橫山 重吉
六角 康久

流體機械

目 錄

第一章 概 說

1.1 流體常識	1
1.1.1 單位與因次	1.1.2 水的物理性質
1.1.3 空氣與氣體之物理性質	
1.2 流體機械分類	16
1.2.1 流體輸送機械	1.2.2 流體原動機械
1.2.3 流體式動力傳導機械	1.2.4 流體控制機械

第二章 泵

2.1 概說	18
2.2 離心泵	18
2.2.1 分類與構造	2.2.2 理論
2.2.3 相似則及比速度	2.2.4 推力平衡裝置與防漏裝置
2.2.5 特性曲線	
2.3 軸流泵及斜流泵	48
2.3.1 構造	2.3.2 理論
2.3.3 特性曲線	
2.4 往復泵	55
2.4.1 構造	2.4.2 理論
2.5 特殊泵	64
2.5.1 再生泵	2.5.2 粘性泵
2.5.3 噴流泵	2.5.4 氣力仰升泵
2.6 泵的各種現象	72
2.6.1 旋渦真空現象	2.6.2 水錘現象

2.6.3 不穩定特性及顫動

習題	93
----------	----

第三章 水輪機

3.1 概說	96
3.2 貝爾登水輪機	99
3.2.1 理論	
3.3 法氏水輪機	102
3.4 軸流水輪機	104
3.5 泵水輪機	107
3.6 水輪機之特性	108
3.7 水輪機中的各種現象	109
3.7.1 旋渦真空現象 3.7.2 水錘現象	
3.8 模型效率換算	113
3.8.1 相似法則	
習題	116

第四章 風機與壓縮機

4.1 概說	117
4.1.1 分類 4.1.2 風量風壓效率及溫度上升	
4.1.3 多段壓縮	
4.2 離心式送風機與壓縮機	127
4.2.1 分類與構造 4.2.2 理論	
4.2.3 特性	
4.3 軸流送風機與壓縮機	149
4.3.1 分類與構造 4.3.2 理論	
4.3.3 特性	
4.4 往復式壓縮機	166
4.4.1 分類與構造 4.4.2 理論	
4.4.3 特性	

4.5 迴轉送風機與壓縮機	183
4.5.1 種類	4.5.2 魯氏鼓風機
4.5.3 螺絲壓縮機	4.5.4 可動翼壓縮機
4.6 真空泵	193
4.6.1 真空泵與壓縮機之不同	4.6.2 往復真空泵
4.6.3 魯氏真空泵	4.6.4 液封真空泵
4.6.5 真空泵	
4.7 送風機及壓縮機之各種現象	198
4.7.1 激動	4.7.2 旋迴失速
4.7.3 阻流	4.7.4 壓縮機管路之共振
習題	202

第五章 風車及空氣輪機

5.1 概說	204
5.2 風車	204
5.2.1 分類及構造	5.2.2 理論
5.2.3 特性	
5.3 空氣輪機	208
5.3.1 構造	5.3.2 理論
5.3.3 特性	

第六章 流體傳動裝置

6.1 概說	226
6.2 流體聯接器	216
6.2.1 構造	6.2.2 理論
6.2.3 負荷特性	
6.3 流體扭力轉化器	223
6.3.1 理論	6.3.2 效率改進

第七章 流體輸送裝置

7.1 概說	229
7.2 水力輸送裝置	229
7.2.1 固體混合液用之各種泵	7.2.2 噴流泵
7.2.3 水力起重機	
7.3 空氣輸送裝置	237
7.3.1 輸送方式	7.3.2 空氣輸送裝置之機具構造與作用
7.3.3 輸送空氣速度與輸送壓力	

第八章 流體控制機構

8.1 概說	250
8.2 油壓泵	250
8.2.1 分類與構造	8.2.2 動力與效率
8.2.3 齒輪泵	8.2.4 葉片泵
8.2.5 柱塞泵	8.2.6 其他泵
8.2.7 油壓泵之選擇	
8.3 油壓致動器	259
8.3.1 分類	8.3.2 油壓缸
8.3.3 油壓傳達	8.3.4 油壓泵與油壓馬達之組合
8.4 控制閥	262
8.4.1 分類	8.4.2 壓力控制閥
8.4.3 流量控制閥	8.4.4 方向控制閥
8.4.5 流體邏輯素子	
8.5 配管及荷號	270
8.5.1 管的種類	8.5.2 配管的選擇
8.5.3 配管工程	
8.6 油壓機的各種現象	275
8.6.1 油之污染	8.6.2 油壓泵的噪音與振動
8.6.3 油壓泵性能低劣原因	8.6.4 管路過熱原因

第一章 概 說

1.1 流體常識

1.1.1 單位與因次

力學上使用之單位有絕對單位與重力單位兩種。工程上多使用重力單位。

絕對單位長度公分 [cm]，質量克 [g']，時間秒 [s]，稱作 cgs 單位制。若長度米 [m]，質量公斤 [kg']，時間秒 [s]，稱作 MKS 單位制。cgs 單位中定 1 g' 的質量作 1 [cm/s²] 加速度時之力為 1 達因 [dyn]，即 1 dyn = 1 g' cm/s²。MKS 單位制力的單位為牛頓 [N]，1 N = 1 kg' m/s² = 10⁵ dyn。

重力單位中力的單位為 1 kg' 質量的重力（即 1 kg' 物體的重量，稱為公斤 [kg]，時間秒 [s]，長度米 [m]）。

兩種單位制的換算如下；（在工程學中 $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ ）

$$1 \text{ kg}' = 1 \text{ kg} \div 9.80665 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ kg} = 1 \text{ kg}' \times 9.80665 \text{ m/s}^2 = 9.80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 0.101972 \text{ kg}$$

【例題】1.1 1 瓩 [kW] 換算為重力單位。

$$\begin{aligned} \text{【解】：} 1 \text{ kW} &= 1000 \text{ W} = 1000 \text{ N} \cdot \text{m/s} = 1000 \times 0.101972 \text{ kgm/s} \\ &= 101.972 \text{ kgm/s} \end{aligned}$$

【例題】1.2 用 kW 表出流量為 Q [m³/min]，揚程 H [水頭 m] 的泵的 efficiency，水的比重 $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。

【解】 水動力 $\bar{L} = \gamma QH$

$$L = \eta QH = \frac{1000}{60} QH [\text{kgm/s}] = \frac{1000}{60 \times 101.972} QH [\text{kW}] = 0.163 QH [\text{kW}]$$

2 流體機械

流體機械中常用的量與單位如次：

(a) 壓力的單位與水頭：工程上壓力單位常用 kg/cm^2 ，標準大氣壓 $[\text{atm}]$ 為 760 mmHg (0°C ，重力加速度 $g = 980.665$) 等於 1.03328 kg/cm^2 ，工程上稱為 1 大氣壓 $[\text{atm}]$ 。

$1 \text{ kg/cm}^2 = 735.52 \text{ mmHg}$ 相當於 10 m 水柱高 (4°C) 壓力計通常只能測定大氣壓力與測量壓力之差，此差量稱為表計壓力 (gauge pressure)，絕對壓力 (absolute pressure) 為在絕對真空的基準上量得。表計壓力 p_g ，大氣壓 p_a 與絕對壓力 p_{abs} 的關係為 $p_g = p_{abs} - p_a$ 。

在水深度為 H 處單位面積所承受的壓力等於長度為 H 水柱的重量。此水柱的高度稱為水頭 (head)。壓力與水頭的關係為 $H = p/\gamma$ $[\text{m}]$ ， γ 為水之比重，水頭也可以用來表示能量，即將單位重量的水移動高度為 H 時位能的變化。

(b) 流量：流量的單位為 m^3/s , m^3/min , 或 ℓ/s 。

三個基本物理量，即長度 L ，質量 M ，與時間 T 可以組成一般的物理量 A 。

$$[A] = [L^\alpha M^\beta T^\gamma]$$

α 、 β 、 γ 為 L 、 M 、 T 的因次 (dimension)。例如質量為 $[M]$ ，速度為 $[LT^{-1}]$ ，力為 $[MLT^{-2}]$ 等。

重力單位以力 $[K]$ 取代質量 $[M]$ ，在重力單位制中，質量的因次式為 $[KL^{-1}T^2]$ 。

【例題】1-3 求重力單位制中密度的因次式。

【解】密度的定義為單位體積中的質量，在絕對單位制中，密度的因次式為 $[ML^{-3}]$ ，在重力單位制中以 $[K]$ 取代 M ，則質量的因次式為 $[KL^{-1}T^2]$ 因此密度的因次式為 $[KL^{-4}T^2]$ 。

【例題】1-4 在絕對單位制中，粘性係數 μ 與動粘性係數 ν 之單位分別為 poise $[\text{g}'/\text{cm}\cdot\text{s}]$ 與 stokes $[\text{cm}^2/\text{s}]$ 。試換為重力單位。

$$\text{poise} = \frac{\text{g}'}{\text{cm}\cdot\text{s}} = \frac{1}{\text{g}} \frac{\text{kg}}{1000} \cdot \frac{1}{100\cdot\text{s}} \cdot \frac{1}{9.8} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \frac{1000}{100\cdot\text{s}\cdot\text{s}^2} = \frac{1}{98} (\text{kgs/m}^2)$$

$$\text{stokes} = \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = \frac{1}{10000} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

【問題1】 在 4°C 純水單位體積的重量 $\gamma = 1000[\text{kg}/\text{m}^3]$ ，試換算為磅 $[\text{lb}]$ ，立方呎 $[\text{ft}^3]$ 的單位。

重力加速度 $g = 9.8[\text{m}/\text{s}^2]$ ，試換算成 $[\text{ft}/\text{s}^2]$ 的單位。

表 1.1 中列出常用量的單位與因次式

表 1.1 常用量的單位

量	絕 對 單 位 制		重 力 單 位 制	
	單 位	因 次	單 位	因 次
長度	cm	L	m	L
面積	cm^2	L^2	m^2	L^2
體積	cm^3	L^3	m^3	L^3
時間	s	T	s	T
速度	cm/s	LT^{-1}	m/s	LT^{-1}
加速度	cm/s^2	LT^{-2}	m/s^2	LT^{-2}
角速度	s^{-1}	T^{-1}	s^{-1}	T^{-1}
質量	g	M	kg	M
密度	g/cm^3	ML^{-3}	kg/m^3	ML^{-3}
單位體積的重量	$g/\text{cm}^2 \cdot \text{s}^2$	$ML^{-2}T^{-2}$	$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^2$	$ML^{-2}T^{-2}$
動量	$g \cdot \text{cm}/\text{s}$	MLT^{-1}	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}$	MLT^{-1}
力	$g \cdot \text{cm}/\text{s}^2$	MLT^{-2}	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$	MLT^{-2}
力矩	$g \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2$	ML^2T^{-2}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	ML^2T^{-2}
慣性力	$g \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2$	ML^2T^{-2}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	ML^2T^{-2}
力 (重量)	g	M	kg	M
扭力 (能量)	$g \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2$	ML^2T^{-2}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	ML^2T^{-2}
動壓	$g/\text{cm} \cdot \text{s}^2$	$ML^{-1}T^{-2}$	$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$	$ML^{-1}T^{-2}$
應力	$g/\text{cm} \cdot \text{s}^2$	$ML^{-1}T^{-2}$	$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$	$ML^{-1}T^{-2}$
彈性模數	$g/\text{cm} \cdot \text{s}^2$	$ML^{-1}T^{-2}$	$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$	$ML^{-1}T^{-2}$
壓縮率	$\text{cm} \cdot \text{s}^2/g$	$M^{-1}LT^2$	m^2/kg	$M^{-1}L^2T^2$
粘性係數	$g/\text{cm} \cdot \text{s}$	$ML^{-1}T^2$	$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$	$ML^{-1}T^2$
運動粘性係數	cm^2/s	L^2T^{-2}	m^2/s	L^2T^{-2}
表面張力	g/s^2	MT^{-2}	kg/m	MT^{-2}
水頭	cm	L	m	L
振動頻率	c/s	T^{-1}	c/s	T^{-1}
流量	cm^3/s	L^3T^{-1}	m^3/s	L^3T^{-1}

4 流體機械

1.1.2 水的物理性質

(1)單位體積之重量：1大氣壓4°C 狀態下，水單位體積的重量（比重）為 $\gamma = 1000$ [kg/m³]，隨溫度變化。 γ 之變化量參下表1.2。水的密度 $\rho = \frac{\gamma}{g}$ 。

表 1.2 水的比重與飽和蒸汽壓與溫度關係

溫度 [°C]	比重量 [kg/m ³]	飽和蒸汽壓 [kg/cm ² abs]	溫度 [°C]	比重量 [kg/m ³]	飽和蒸汽壓 [kg/cm ² abs]
0	999	0.0062	145	922	4.24
10	999	0.013	150	917	4.85
20	998	0.024	155	912	5.54
30	996	0.043	160	907	6.30
40	992	0.075	165	903	7.15
50	988	0.126	170	898	8.08
60	983	0.203	175	893	9.10
70	978	0.318	180	887	10.2
75	975	0.393	185	882	11.5
80	972	0.483	190	876	12.8
85	969	0.589	195	870	14.3
90	965	0.715	200	865	15.9
95	962	0.862	205	859	17.6
100	958	1.03	210	853	19.5
105	955	1.23	215	847	21.5
110	951	1.46	220	840	23.7
115	947	1.72	225	834	26.0
120	943	2.02	230	828	28.5
125	939	2.37	235	821	31.3
130	935	2.75	240	814	34.2
135	930	3.19	245	806	37.3
140	926	3.68	250	799	40.6

(2) 粘性係數 μ 與動粘性係數 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ② 值列在表 1.3

表 1.3 粘性係數及動粘性係數

溫度 [°C]	粘 性 係 數 [kgs/m ²]	動粘性係數 [m ² /s]	溫度 [°C]	粘 性 係 數 [kgs/m ²]	動粘性係數 [m ² /s]
0	182.7 × 10 ⁻⁶	1.792 × 10 ⁻⁶	40	66.6 × 10 ⁻⁶	0.658 × 10 ⁻⁶
5	155.0 "	1.520 "	50	55.9 "	0.554 "
10	133.3 "	1.307 "	60	47.6 "	0.475 "
15	116.0 "	1.139 "	70	41.2 "	0.413 "
20	102.2 "	1.004 "	80	36.2 "	0.365 "
25	90.8 "	0.893 "	90	32.1 "	0.326 "
30	81.3 "	0.801 "	100	28.8 "	0.295 "

(3) 水的飽和蒸汽壓 隨溫度的不同而異。變化情形見表 1.2

(4) 壓縮率 β ，與比容 v 。

壓縮率 β 之定義為 $\beta = \frac{\Delta V}{V \Delta P}$ V 為容積 [m³]， ΔV 為在壓力增加 Δp 時容積減少 (被壓縮) 之量。也有寫成 $\beta = \Delta v / v \Delta p$ ， v 為單位重量的體積，稱為比容。 $v = \frac{1}{\rho}$ 。水的壓縮率隨壓力與溫度的變化而變。壓力在 1 ~ 2.5 atm，溫度 0°C 時， β 為 $5.08 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kg}$ 。比容在 1 氣壓，4°C 時為 1。50 kg/cm² 壓力下為 0.9977。

1.1.3 空氣與氣體的物理性質

(a) 標準大氣：大氣的溫度，壓力與密度隨距離海平面的高度而異。可用下列公式略算。 Z [km] 為距離海平面的垂直高度。

當： $z \leq 11$ [km] (對流圈)

$$\left. \begin{aligned} t &= t_0 - 6.5 z \text{ [°C]} \\ H &= H_0 (1 - 0.02257 z)^{5.256} \text{ [mmHg]} \\ \rho &= \rho_0 (1 - 0.02257 z)^{4.256} \text{ [kgs/m}^3\text{]} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

式中 t 為溫度， H 為壓力， ρ 為密度， t_0, H_0, ρ_0 為在海平面上

6 流體機械

各值，分別為

$$t_0 = 15 [^{\circ}\text{C}], H_0 = 760 [\text{mmHg}] (= 1.03328 [\text{kg/cm}^2]),$$

$$\rho_0 = 0.125 [\text{kgs}^2/\text{m}^4]$$

當 $Z > 11 [\text{km}]$ (成層圈) 時，可使用下式：

$$\left. \begin{aligned} t &= -56.5 [^{\circ}\text{C}] \\ H &= 760 \times 1.266 e^{-0.1878 Z} [\text{mmHg}] \\ \rho &= \rho_0 \times 1.684 e^{-0.1878 Z} [\text{kgs}^2/\text{m}^4] \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

能滿足上式的大氣情況，稱為標準大氣。

標準狀態 (0°C , 760mmHg , $g = 980.665$) 下乾燥空氣的成份列如下表：

表 4.1 乾燥空氣的標準成份

	氮 N_2	氧 O_2	氬 Ar	二氧化碳 CO_2
體積組成 [%]	78.09	20.95	0.93	0.03
重量組成 [%]	75.53	23.14	1.28	0.05

(b) 氣體狀態方程式：絕對壓力 p [kg/cm^2], 絕對溫度 T [$^{\circ}\text{K}$], ($= 273 + t^{\circ}\text{C}$) 的情況下，理想氣體 (perfect gas) 的比容 v [m^3/kg] 可由 Boyel-Charle's 公式計算。

$$pv = RT \quad (1.3)$$

若氣體的體積 V [m^3] 重量 G [kg], 則上式寫成

$$pV = GRT \quad (1.4)$$

R 為氣體常數。若氣體的分子量為 m 時，則 $R = \frac{848}{m}$, 乾燥空氣的 $R = 29.27 [\text{kg}_w/\text{kg}^{\circ}\text{K}]$ 。各種氣體的 R 值列在表 1.5。實際氣體並不完全遵守以上的公式，因此，另加上一個修正係數 k

$$pv = kRT \quad (1.5)$$

k 稱為壓縮係數，隨溫度與壓力而變。空氣在不同壓力與溫度下的 k 值，列如表 1.6 中。

表 1.5 空氣與各氣體的物理的性質

氣 體		分 子 量 m	氣體常數 $\frac{\text{kg}_w}{\text{kg}^\circ\text{K}}$	比 容 積 v [m ³ /kg]		比重量 γ [kg/m ³]
名 稱	分子式			lata 15°C	706mmHg 0°C	lata 150°C
乾燥空氣	—	28.968	29.27	0.843	0.773	1.186
氧	O ²	32.000	26.50	0.763	0.700	1.310
氮	N ²	28.020	30.26	0.871	0.799	1.147
氫	Ar	39.94	21.25	0.61	0.561	1.64
氫	H ₂	2.016	420.6	12.110	11.110	0.0826
二氧化碳	CO ₂	44.000	19.27	0.555	0.509	1.802
氨	NH ₃	17.034	49.78	1.433	1.315	0.698
水 蒸 汽	H ₂ O	18.016	47.07	—	100°C 1.674	—

氣體		比重量 γ [Kg/m ³]	比重	比熱 [kcal/Kg°C]		$c_p/c_v=R$
名稱	分子式	760mmHg 0°C	(對空氣)	c_p	c_v	
				15°C	150°C	
乾燥空氣	—	1.293	1.000	0.241	0.172	1.401
氧	O ₂	1.429	1.105	0.281	0.156	1.400
氮	N ₂	1.251	0.967	0.249	0.178	1.401
氫	Ar	1.781	1.380	0.125	0.748	1.67
氫	H ₂	0.0899	0.0691	3.408	2.42	1.407
二氧化碳	CO ₂	1.964	1.538	16°C 0.200	16°C 0.153	1.302
氨	NH ₃	0.760	0.588	14°C 0.514	14°C 0.393	1.309
水蒸氣	H ₂ O	100°C 0.598	0.463	100°C 0.490	100°C 0.368	1.33

8 流體機械

表 1.6 空氣的壓縮係數 k

$P[\text{atm}]$ $T[^\circ\text{K}]$	1	4	10	40	100
100	0.98090	—	—	—	—
200	0.99767	0.99067	0.97666	0.9080	0.8105
300	0.99970	0.99879	0.99717	0.99135	0.9933
500	1.00034	1.00137	1.00348	1.01454	1.0393
1000	1.00033	1.00132	1.00331	1.01325	1.0333

(c) 空氣的比重與密度：重力加速度為 980.665cm/s^2 ，溫度 0°C ，壓力為 760mmHg 。含 0.04% 二氧化碳的乾燥空氣每立方米重 1.2931 公斤。將 (1.3) 式移項後得 $\gamma = \frac{P}{RT}$ ，可以看出比重 γ 與壓力成正比，與絕對溫度成反比。在壓力為 H [mmHg] (0°C 的水銀柱) 的情況下，乾燥空氣的比重可用下式計算：

$$\gamma = 1.2931 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{H}{760} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1.6)$$

其密度則為：

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad [\text{kgs}^2/\text{m}^4] \quad (1.7)$$

(d) 濕空氣的比重：每公斤乾燥空氣中含有 x 公斤水蒸汽時，則 x [kg/kg] 稱為絕對濕度 (absolute humidity)。溫度 $t^\circ\text{C}$ 下。每 m^3 的空氣中含有的水蒸汽重量 γ_w [kg/m^3] 為同溫度下飽和水蒸汽的重量 γ_s [kg/m^3] 的分數。

$$\phi = \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \times 100 \approx \frac{p_w}{p_s} \times 100 \quad [\%] \quad (1.8)$$

稱為相對濕度 (relative humidity)。式 (1.8) 中 p_w 為濕空氣中水蒸汽的部份壓力 (partial pressure)， $p - p_w = p - \phi p_s$ 。若乾燥空氣的氣體常數為 R ，則濕空氣的比重 $\gamma_a = (p - \phi p_s) / R_a T$ ，水蒸汽的氣體常數為 R_s 。則含在濕空氣中水蒸汽的比重為：

$$\gamma_w = \frac{p_w}{R_s T} = \frac{\phi p_s}{R_s T} \quad [\text{kg/m}^3]$$

由此可算出濕空氣的比重爲：

$$r = r_a + r_w = \frac{p - \phi p_s}{R_a T} + \frac{\phi p_s}{R_s T} = \frac{p - \phi p_s (1 - R_a/R_s)}{R_a T}$$

上式中以 $R_a = 29.27$, $R_s = 47.07$ 代入得；

$$r = \frac{p - 0.378 \phi p_s}{R_a T} \quad (1.9)$$

若 $t^\circ\text{C}$ 時水蒸汽飽和蒸汽壓 p_s [kg/cm²] 爲 F [mmHg] , 濕空氣的壓力 p [kg/cm²] 爲 H [mmHg] , 則溫度爲 $t^\circ\text{C}$, 相對濕度爲 ϕ 的濕空氣比重可以類似 (1.6) 式的式子表示；

$$r = 1.2931 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{H - 0.378 \phi F}{760} \quad (1.10)$$

濕度計上讀出乾球與濕球的溫度分別爲 $t^\circ\text{C}$ 與 $t_f^\circ\text{C}$, 查蒸汽表可得相當此等溫度的 p_s 與 p_{sf} , 再從氣壓計上讀出 H [mmHg] , 則相對濕度 ϕ 可以下式計算；

$$\phi = \frac{p_{sf} - 0.00066 H(t - t_f)}{p_s} \quad (1.11)$$

濕空氣自原有狀態 $p \cdot t \cdot p_s \cdot \phi$, 轉變成新的狀態 $p' \cdot t' \cdot p'_s \cdot \phi'$, 其間的關係可由下式略算之。

$$\frac{\phi'}{\phi} = \frac{p_s p'}{p'_s p} \quad (1.12)$$

【例題】1.5 求溫度 20°C , 壓力 750mmHg 乾燥空氣與濕度 75 % 濕空氣的比重。

【解】：乾燥空氣的比重，應用 (1.6) 式，得：

$$r = 1.2931 \times \frac{273}{273 + 20} \times \frac{750}{760} = 1.189 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

濕空氣在 20°C 時飽和蒸汽壓爲：

$$F = 0.024 \text{ [kg/cm}^2\text{abs]} = \frac{0.024}{1.03328} \times 760 = 17.64 \text{ [mmHg]}$$

由 (1.10) 式

$$r = 1.2931 \times \frac{273}{273 + 20} \times \frac{750 - 0.378 \times 0.75 \times 17.64}{760} = 1.181 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$