

休姆斯題解叢書

1986

流體力學

原理及題解

黃 博 全 譯

含 475 個 問 題 及 解 答

曉 園 出 版 社

流體力學

原理及題解

黃 博 全 譯

曉 園 出 版 社

版權所有・翻印必究

初 版

1987年7月第一次印刷發行

流體力學原理及題解

定價：新臺幣 150 ~~HK~~ \$50

原著者：RANALD V. GILES

譯著者：黃 博 全

發行人：黃 旭 政

發行所：曉園出版社有限公司

HSIAO-YUAN PUBLICATION COMPANY LIMITED

臺北市青田街7巷5號

電話：(02)394-9931 三線

郵撥：1075734-4 號

門市部(1)：臺北市新生南路三段96號之三

電話：3917012・3947375

門市部(2)：臺北市重慶南路一段115號

電話：3313360・3149580

門市部(3)：臺北縣淡水鎮英專路71號

電話：六二一七八四〇

門市部(4)：臺中市西屯區文華路113號

電話：(04)251-2759・254-6663

印刷所：遠大印刷廠

臺北市武成街36巷16弄15號

出版登記：局版臺業字第1244號

著作執照：臺內著字第 號

譯 序

流體力學為工程科學上一重要的基礎理論科目，其涵蓋範圍非常廣泛，舉凡流體機械、水力學、油氣壓學、熱力學、大氣科學等等都和流體力學有關。

本書為美國休姆斯（Schuam）科技精簡叢書系列之一，全書中最大的特色是每一章均清晰地闡述了基本觀念、定理及綱要整理，實例說明，並備有將近五百題習題，以熟稔技巧的解題方法，逐一詳解，可使讀者在學習過程中，能收事半功倍之效。此外每章後並附有補充題，若再加以勤練，則可收「熟能生巧」之功。因此，本書不但適宜初學者按部就班的學習，亦可供學過的人複習之用與各界人士參考。

黃 博 全

1987年3月於台北

原 序

「流體力學和水力學」第二版之SI版本，其出版係受教學和工業界上使用SI國際單位系統的增加而鼓舞。雖然有不少教科書已經以SI單位制出版，但仍需要一本練習題的書。

目前SI單位制仍處於過渡期，而一直以共同用法去修正此系統。有許多數據仍僅用英呎 - 磅為單位，將會持續一段時間。因此，本書包含了一些單位轉換因子，尤其對一些假無因次，例如比速率。

本版實質上是以第二版改編而成，並將所有例題予以保留，並作了必要的轉換，在某些場合中換算的結果已予以捨入成簡便的數字，但仍有許多情況，準確度或慣例卻要求較複雜的數字。吾人相信這個方法具有很大的優點。因為應用工程師在它們出現時須處理數字上的計算值，且這些值很少為整數，我們所作的轉換具有高度的準確性，但對於解答題僅引用計算尺的準確度。本書中已採用此方法因為工程師對他工作真實也必要的準確性須有正確的判斷，而不應被計算機表面上的準確性所迷惑，這是十分重要的。另外許多表格經過轉換以符合課文。此外某些有用的英呎 - 磅單位仍保留著。

謹向McGraw-Hill (UK) 同事們表達我們的謝意，感謝他們的協助與合作。

D. J. POLLARD
E. H. WILSON

Guildford
August 1976

目 錄

第一章 流體之性質 1

流體力學和水力學 1 / 流體的定義 1 / S.I. 單位 1 / 物質之質量密度 2 / 物體之相對密度 2 / 物體之黏性 3 / 蒸氣壓 4 / 表面張力 4 / 毛細現象 4 / 流體壓力 4 / 單位壓力或壓力 5 / 壓力差 5 / 可壓縮流體內之壓力變化 5 / 壓力落差 6 / 容積彈性模數 6 / 氣體之壓縮 6 / 壓力擾動 7 / 習題與解答 7 / 補充題 23

第二章 作用於表面上之流體靜力 27

引言 27 / 流體作用於一平面上之力 27 / 周向或圓周張力 27 / 薄壁圓筒上之縱向應力 28 / 習題與解答 28 / 補充題 40

第三章 浮力與漂浮 47

阿基米德原理 47 / 潛體和浮體之穩定 47 / 習題與解答 47 / 補充題 54

第四章 液體之移動與旋轉 57

引言 57 / 水平運動 57 / 垂直運動 57 / 流體的旋轉-開放容器 57 / 流體的旋轉-密度容量 58 / 習題與解答 58 / 補充題 66

第五章 因次分析與水力相似 69

引言 69 / 因次分析 69 / 水力模型 69 / 幾何相似 69 / 運動相似 70 / 動力相似 70 / 慣性力比 70 / 慣性力比-壓力比 70 / 慣性力-黏性力比 71 / 慣性力-重力比 71 / 慣性力-彈性力比 71 / 慣性力-表面張力比 71 / 時間比 72 / 習題與解答 72 / 補充

第六章 流體流動之原理 93

引言 93 / 流體流 93 / 穩定流 94 / 均勻流 94 / 流線 94 /
流線管 94 / 連續方程式 95 / 流網 95 / 能量方程式 95 / 速
度落差 96 / 柏努利理論之應用 96 / 能量線 97 / 水力坡度線
97 / 功率 97 / 習題與解答 97 / 補充題 120

第七章 管內流體之流動 127

引言 127 / 層流 127 / 臨界速度 127 / 雷諾數 127 / 紊流
128 / 管壁上之剪應力 128 / 速度分佈 129 / 層流之損失落差
130 / 達西-韋斯巴哈公式 130 / 摩擦因子 131 / 其他的損失落差
132 / 習題與解答 132 / 補充題 147

第八章 等流、複合、環狀和分叉管路 153

管路系統 153 / 等流管路 153 / 複合、環狀和分叉管路 153 / 解
答法 153 / 海真-威廉公式 154 / 習題與解答 154 / 補充題 171

第九章 流體流動之測量 177

引言 177 / 皮托管 177 / 流量係數 177 / 速度係數 178 / 束縮
係數 178 / 損失落差 178 / 堰 179 / 堰的理論公式 179 / 法蘭
西斯公式 179 / 巴辛公式 179 / 福鐵利及史騰公式 180 / 三角堰
公式 180 / 梯形堰公式 180 / 液槽洩空時間 181 / 習題與解答
181 / 補充題 207

第十章 明渠內之流動 213

明渠 213 / 穩定均勻流 213 / 非均勻或變動流 213 / 層流 213
/ 捷齊公式 214 / 流量 (Q) 214 / 損失落差 214 / 速度的垂直分
佈 215 / 比能量 215 / 臨界深度 215 / 最大單位流量 216 /
非均勻流 216 / 寬頂堰 217 / 水躍 217 / 習題與解答 217

補充題 247

第十一章 運動流體產生動 253

引言 253 / 衡量-動量原理 253 / 動量修正因數 β 253 / 阻力
254 / 升力 254 / 總阻力 254 / 阻力係數 255 / 升力係數
255 / 馬赫數 255 / 邊界層理論 255 / 平板 256 / 水鉋 257
/ 超音速 258 / 習題與解答 258 / 補充題 288

第十二章 流體機械 293

流體機械 293 / 旋轉流道 293 / 水車、輪機、泵和鼓風機 293 /
比速率 295 / 效率 295 / 孔蝕或漩渦真空 296 / 螺旋槳之推進
296 / 螺旋槳係數 296 / 習題與解答 297 / 補充題 315

附 錄 319

索 引 339

第一章

流體之性質

流體力學和水力學

流體力學和水力學係為處理靜止與運動中的流體行為，應用力學之一分支。在流體力學定理的發展上，某些流體性質扮演主要角色，某些則僅為次要角色或不扮演任何角色。例如，於靜止流體中，重量為主要的性質，然在流動流體中，密度和黏度則為主要的性質，又如有顯著壓縮性發生時，熱力學定律須予考慮。另涉及負（錶）壓力時，蒸汽壓變得很重要，又表面張力會影響小流道內靜止與流動的情形。

流體的定義

流體為能流動並能適從裝填容器外形的物質，當平衡時，流體不能承受切線力或剪力作用，所有流體有某些程度的可壓縮性且對變形產生的阻力很小。

流體可分為液體和氣體，其主要的差別是(a)液體實際上為不可壓縮而氣體為可壓縮體且須經常如此處理，和(b)液體佔有一定的體積且有自由液面存在，而一已知質量的氣體會膨脹至它佔有任何容器的所有部份為止。

S.I.單位

有三個選定的參考因次（基本因次）為質量、長度與時間。本書中所使用相當於此的基本單位，質量為公斤（kg），長度為米（m），時間為秒（s），而其他所有單位可由此導出。例如，由此導出力的單位為牛頓（N），而體積單位為 m^3 ，加速度單位為 m/s^2 ，功的單位為Nm，稱為焦耳（joule）（J），壓力單位為 N/m^2 ，稱做巴斯卡（pascal）（P）。若數據為其他的單位時，則於解題前須算出S.I.單位。

在此單位系統中，力的單位為牛頓，是從質量和加速度單位導得。由牛頓第二定律

$$\text{力 (N)} = \text{質量 (m)} \times \text{加速度 (m/s}^2\text{)} \quad (1)$$

或

2 流體力學原理及題解

一牛頓之力為使 1 公斤之質量以 1 m/s^2 加速

物質之質量密度

物質的密度為單位體積物質的質量。對於液體在常用的壓力變化下其密度可視為常數。水的密度在 4°C 時為 1000 kg/m^3 ，而其他數值可參見附表 1 C 和 2。

氣體密度可用氣體狀況方程式 (equation of state) 計算出，即

$$\frac{pv_s}{T} = R \text{ (波義耳和查禮定律) (Boyle's and Charles' laws)} \quad (2)$$

式中 p 為絕對壓力，以巴斯卡 (pascals) 為單位，比體積 v_s 以 m^3/kg 為單位，溫度 T 為絕對溫度，以 $^\circ\text{K}$ ($273 + ^\circ\text{C}$) 為單位， R 為氣體常數，以 J/kg K 為單位。因 $\rho = 1/v_s$ ，故上式可寫成

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (3)$$

偶而特別是在處理液體時，常用 ρg 乘積值，其中 g 名義上為重力加速度 9.81 m/s^2 。過去，此乘積值稱為比重 (specific weight)，並以符號 w 表示。在 S. I. 單位制中字首 Specific 僅用來說明每單位質量的特性，而比重項不再使用。

物體之相對密度

物體的相對密度是一純數，為物體質量和同體積標準物質質量之比值。固體和液體以水 (4°C) 做標準，而氣體以不含 CO_2 或氫的空氣 (0°C 及 1 大氣壓 $= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下) 做標準。例如

$$\begin{aligned} \text{物質的相對密度} &= \frac{\text{物質質量}}{\text{同體積水的質量}} \\ &= \frac{\text{物質密度}}{\text{水的密度}} \end{aligned} \quad (4)$$

其次若油的相對密度為 0.750，則其密度為 $0.750 (1000 \text{ kg/m}^3) = 750 \text{ kg/m}^3$ 。

水的相對密度為 1.00，水銀為 13.57。在任何測量系統中某一物質的相對密度均相同，參見附表 2。

物體之黏性

流體的黏性為決定流體對抗剪應力阻力大小的特性。黏性主要起因於流體分子間的相互作用而產生。

參考圖 1-1，考慮兩平行之大平板相隔一小距離 y ，於兩平板間充滿液體。現上平板受一定力 F 作用，以定速度 U 移動，與上平板接觸之流體附着在板上並以速度 U 移動，而與固定平板接觸之流體其速度為零。若距離 y 和速度 U 均不太大，則速度變化（梯度 gradient）將呈一直線。由實驗證明作用力 F 與平板的面積和速度 U 成正比，而與距離 y 成反比。因由相似三角形關係 $U/y = dV/dy$ ，得

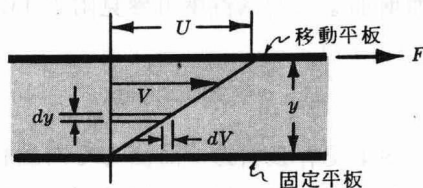


圖 1-1

$$F \propto \frac{AU}{y} = A \frac{dV}{dy} \quad \text{或} \quad \frac{F}{A} = \tau \propto \frac{dV}{dy}$$

式中 $\tau = F/A$ = 剪應力。若引入比例常數 μ (mu)，稱為絕對（動力）黏性（absolute (dynamic) viscosity），則

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \quad \text{或} \quad \mu = \frac{\tau}{dV/dy} \quad (5)$$

μ 的單位為 Pa s，因 $\frac{\text{Pa}}{(\text{m/s})/\text{m}} = \text{Pa s}$ 。遵循(5)式關係之流體稱為牛頓流體 (Newtonian fluids)（參見問題 9）。

其他黏性係數，如運動黏性係數 (Kinematic coefficient of viscosity)，定義為

$$\text{運動黏性係數 } \nu (\text{nu}) = \frac{\text{絕對黏度 } \mu}{\text{質量密度 } \rho}$$

$$\text{或} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

因 $\frac{\text{Pa s}}{\text{kg/m}^3} = \frac{\text{kg/ms}}{\text{kg/m}^3} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ ， ν 的單位為 m^2/s 。

4 流體力學原理及題解

在流力手冊中黏度以泊 (poise) 和史拓克 (stoke) (cgs 單位) 表示。偶而亦用黏性測量計之塞鮑秒 (Saybolt second) 表示。黏性單位換算成 S.I. 單位制在問題 6 ~ 8 中有說明。一些黏性值示於 1 和 2 中。

流體黏度隨溫度增加而減小，但壓力變化對黏性則無明顯的影響，另氣體的絕對黏性會隨溫度增加而增加，但對壓力則無明顯的變化。因氣體密度隨壓力變化而變化（在定溫時），故運動黏性與壓力成反比。又從上式， $\mu = \rho \nu$ 。

蒸氣壓

於一封閉空間中當水蒸發時，由蒸汽分子產生之部份分壓稱為蒸汽壓。蒸汽壓視溫度而定，並隨溫度上升而增加。水的蒸汽壓可參見附表 1 C。

表面張力

液體內部分子在各方向上受有吸引力，而諸力的向量和為零，但在液體表面的分子則受一垂直於液面之淨內附着力作用，因此欲將分子移至液表面須作功以對抗該反向力，且表面分子比內部分子有較多的能量。

液體的表面張力為將足夠分子自液體內部移至表面以形成一新單位面積液面所須作之功 (Nm/m^2)。又此功在數值上等於橫向作用在表面單位長度假想線上之切向收縮力。

在大部份介紹性的流體力學問題中，表面張力並不十分重要。附表 1 C 中列有水和空氣接觸時的表面張力 σ (signa) 值。

毛細現象

液體在一毛細管（或在某些相當的情況，諸如多孔性媒質）內上升或下降係由表面張力造成，由液體內聚力與液體對容器壁附着力之相對大小而定。液體在管內上升則管壁潮濕（附着力 > 內聚力），液體下降則不會潮濕（內聚力 > 附着力）。當所使用的管徑小於約 10mm 時，毛細現象是很重要的。

流體壓力

流體以相同的壓力強度向四面八方傳達，且垂直作用在任何平面上。在液體中，同一水平面的壓力強度均相等。要測量單位壓力，可用不同形式的壓力標準來完成。除非另有說明，錶或相對壓力 (gage or relative pressure) 將用於全書中。又錶壓力表示高於或低於大氣壓力之值。

單位壓力或壓力

單位壓力或壓力 (unit pressure or pressure) 以作用力除以面積表示。一般為

$$p \text{ (N/m}^2 \text{ 或 Pa)} = \frac{dP \text{ (N)}}{dA \text{ (m}^2\text{)}}$$

當作用力 P 均勻分佈在整個面積上時，

$$p \text{ (Pa)} = \frac{P \text{ (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \quad \text{且} \quad p' \text{ (bar)} = \frac{P \text{ (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \times 10^{-5}$$

壓力差

液體中不同高度的任意兩點間之壓力差為

$$p_2 - p_1 = \rho g(h_2 - h_1) \text{ (Pa)} \quad (7)$$

其中 ρg = 液體的單位重量 (N/m^3)， $h_2 - h_1$ = 高度差 (m)。

若點 1 在液體的自由表面上且 h 向下為正，則上式成為

$$p = \rho g h \text{ (Pa)}，\text{為一錶壓力} \quad (8)$$

如欲獲得 bar 的壓力單位，須利用

$$\text{錶壓力 } p' = \frac{p}{10^5} = \frac{\rho g h}{10^5} \text{ (bar)} \quad (9)$$

只要 ρ 為定值（或隨 h 做微小的變化而在結果上不致引起顯著的誤差時），上列諸式皆可使用。

可壓縮流體內之壓力變化

可壓縮流體內壓力的變化一般來說非常小，因其單位重量小，且在水力計算上所需考慮的高度差很小。此處對於小高度變化 dh 之壓力差須予考慮時，壓力變化之定理可寫成

$$dp = -\rho g dh \quad (10)$$

式中負號表示隨溫度的增加壓力減小， h 向上為正。其應用可參見問題 29～31。

6 流體力學原理及題解

壓力落差

壓力落差為產生某一壓力強度之均質流體柱的高度，即

$$h \text{ (流體柱高 m)} = \frac{p \text{ (Pa)}}{\rho g \text{ (N/m}^3\text{)}} \quad (11)$$

容積彈性模數

容積彈性模數，係指流體的可壓縮性 (compressibility)，為單位壓力變化對每單位體積變化的比值。

$$E = \frac{dp'}{-dv/v} = \frac{\text{Pa}}{\text{m}^3/\text{m}^3} = \text{Pa (N/m}^2\text{)} \quad (12)$$

氣體之壓縮

根據不同的熱力學定律，氣體的壓縮是可能發生的。對相同質量的氣體在兩種不同狀態時，

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = MR \quad \text{且} \quad \frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2} = R \quad (13)$$

式中， p = 絕對壓力 (Pa)， v = 體積 (m^3)， M = 質量 (kg)， ρ = 密度 (kg/m^3)， R = 氣體常數 (J/kg K)， T = 絕對溫度 ($^\circ\text{K}$) ($273 + ^\circ\text{C}$)。

於等溫狀態 (isothermal condition) (定溫) 時，上式 (13) 成為

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \quad \text{且} \quad \frac{\rho_1}{p_2} = \frac{p_1}{\rho_2} = \text{常數} \quad (14)$$

同時，

$$\text{容積模數 } E = p \text{ (Pa)} \quad (15)$$

於可逆絕熱或等熵狀態

(無熱量交換) 時，上式 (13) 成為

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k \quad \text{且} \quad \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^k = \frac{p_1}{p_2} = \text{常數} \quad (16)$$

同時，

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{(k-1)/k} \quad (17)$$

且

$$\text{容積模數 } E = k p \text{ (Pa)} \quad (18)$$

式中 k 為定壓比熱對定容比熱之比值，它是著名的等熵指數 (isentropic exponent)。

附表 1 A 中列有某些典型的 R 和 k 值。對許多氣體， R 乘以分子量約等於 8314。

壓力擾動

壓力擾動會壓迫流體以波動方式行進。這些壓力波以等於聲音的速度，在流體內移動，此速度或傳播速度 (celerity)，以 m/s 為單位可表為

$$c = \sqrt{E/\rho} \quad (19)$$

式中 E 以 Pa 為單位。對於氣體，音速為

$$c = \sqrt{kp/\rho} = \sqrt{kRT} \quad (20)$$

習題與解答

1. 在 40°C 和絕對壓力 8.3 bar 時，試計算甲烷的密度 ρ 和比容 v_s 。

圖 由附表 1 A，甲烷的氣體常數 $R = 96.3 \times 5.38 = 518$

$$\text{密度 } \rho = \frac{p}{RT} = \frac{8.3 \times 10^5}{518 (273 + 40)} = 5.1 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{比容 } v_s = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{5.1} = 0.196 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2. 若 5.6 m^3 之油重 46800 N，試計算油的密度 ρ 和相對密度。

圖

因

$$\text{油單位體積之重量} = \rho g = \frac{46800}{5.6} = 8360 \text{ N/m}^3$$

故

$$\text{油之密度 } \rho = \frac{\rho g}{g} = \frac{8360}{9.81} = 852 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{相對密度} = \frac{\rho_{\text{oil}}}{\rho_{\text{water}}} = \frac{852}{1000} = 0.852$$

3. 在 32°C 和絕對壓力 2 bar 時某氣體之比容 v_s 為 $0.74 \text{ m}^3/\text{kg}$ 。試決定該氣體常數 R 和密度 ρ 。

8 流體力學原理及題解

圖

$$\text{因 } \rho = \frac{p}{RT}, \text{ 故 } R = \frac{p}{\rho T} = \frac{pv_s}{T} = \frac{(2 \times 10^5)(0.74)}{(273 + 32)} = 485.2$$

$$\text{密度 } \rho = \frac{1}{v_s} = \frac{1}{0.74} = 1.35 \text{ kg/m}^3$$

4. (a) 1.00 m^3 之水於 26.7°C 時，受到 20 bar 之壓力增加量，求水的體積變化量。(b) 試由下列測試數據決定水的容積彈性模數：在 35 bar 時，水的體積為 1.000 m^3 ，而在 240 bar 時，體積為 0.990 m^3 。

圖 (a)由附表 1 C 中，於 26.7°C 時水的 E 值為 $2.24 \times 10^9 \text{ Pa}$ 。利用公式(12)

$$dv = -\frac{v dp'}{E} = -\frac{1.00 \times 20 \times 10^5}{2.24 \times 10^9} = -0.00089 \text{ m}^3$$

(b)依據公式(12)之定義此時須考慮壓力和體積的相對變化量，這裏壓力增加相當於體積減少。

$$E = -\frac{dp'}{dv/v} = -\frac{(240 - 35)10^5}{(0.990 - 1.000)/1.000} = 2.05 \times 10^9 \text{ Pa} = 2.05 \text{ GPa}$$

5. 某氣缸於 50°C 和絕對壓力 2.76 bar 時裝有 0.35 m^3 之空氣。空氣被壓縮至 0.071 m^3 ，(a)假設為等溫壓縮過程，試求在新體積下的壓力和容積彈性模數。(b)假設為等熵壓縮過程。試求最終壓力，溫度和容積彈性模數。

圖 (a)於等溫狀態時，

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

則

$$(2.76 \times 10^5)0.35 = p'_2 \times 10^5)(0.071 \quad \text{得 } p'_2 = 13.6 \text{ bar}$$

容積彈性模數 $E = p' = 13.6 \text{ bar}$ 。

(b)於等熵狀態時， $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$ ，又由附表 1 A 中查得 $k = 1.40$ 。

$$\text{則 } (2.76 \times 10^5)(0.35)^{1.40} = (p'_2 \times 10^5)(0.071)^{1.40} \quad \text{得 } p'_2 = 25.8 \text{ bar}$$

利用(17)式，最終溫度為

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{(k-1)/k}, \quad \frac{T_2}{(273 + 50)} = \left(\frac{25.8}{2.76}\right)^{0.40/1.40}, \quad T_2 = 612^\circ\text{K} = 339^\circ\text{C}$$

$$\text{容積彈性模數 } E = kp' = 1.40 \times 25.8 \times 10^5 = 3.61 \text{ MPa.}$$

6. 由國際臨界表 (Internation critical table) 水在 20°C 時的黏性為 0.01008 泊，試求(a)絕對黏性，以 Pa s 為單位，(b)若 20°C 水的相對密度為 0.998 ，求運動黏性，以 m^2/s 為單位。

圖

泊的測量單位為 dyne sec/cm^2 ，因 $1 \text{ dyne} = 1 \text{ g cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$ ，故

$$1 \text{ 泊} = \frac{10^{-5} \text{ N s}}{(10^{-2})^2 \text{ m}^2} = 10^{-1} \text{ Pa s}$$

(a) 以 Pa s 為單位之 $\mu = 0.01008 / 10 = 1.008 \times 10^{-3}$ Pa s

(b) 以 m^2/s 為單位之 $\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1.008 \times 10^{-3}}{0.998 \times 1000} = 1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

7. 若某液體的相對密度為 0.964，試換算 15.14 泊為以 m^2/s 為單位之運動黏性。

圖

本題可用問題 6 之步驟或由 $\frac{1}{10} \times \frac{1}{1000} = 10^{-4}$ 對水建立一額外之換算因子來

解題。因此，以 m^2/s 為單位之 $\nu = \frac{15.14 \times 10^{-4}}{\text{相對密度} = 0.964} = 1.57 \times 10^{-3}$ 。

8. 試換算某 60°F ，510 塞鮑秒之黏性為以 m^2/s 做單位之運動黏性。

圖 當使用塞鮑萬有黏性計時，有兩組公式可應用

(a) 於 $t \leq 100$ ， μ (poise) = $(0.00226 t - 1.95/t) \times \text{相對密度}$

於 $t > 100$ ， μ (poise) = $(0.00220 t - 1.35/t) \times \text{相對密度}$

(b) 於 $t \leq 100$ ， ν (poise) = $(0.00226 t - 1.95/t)$

於 $t > 100$ ， ν (poise) = $(0.00220 t - 1.35/t)$

式中 t = 塞鮑秒單位。欲換算單位 stoke (cm^2/s) 為 m^2/s ，除以 100^2 或 10^4 即可

因 $t > 100$ ，故利用 (b) 組， $\nu = \left(0.00220 \times 510 - \frac{1.35}{510}\right) \times 10^{-4} = 11.19 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

9. 試討論圖 1-2 曲線所示流體的剪力特性。

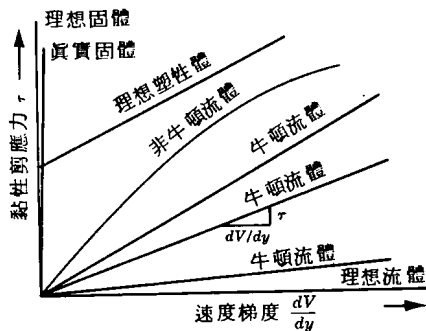


圖 1-2

圖 (a) 凡牛頓流體的行為依 $\tau = \mu (dV/dy)$ 之定律，即剪應力正比於速度梯度或剪應變率。對於這類的流體剪應力對速度梯度之圖形為通過原點的一直線，且該直線之斜率決定了流體的黏性。

(b) 對理想流體，抵抗剪變形之阻力為零，因此其圖形與 X 軸一致。雖然並無理想流體存在，但於某些分析中理想流體的假設十分有用，且很妥當。