

57583

基本館藏

中等專業學校教學用書

水力學

蘇聯 沃·斯·雅布隆斯基著

047

燃料工業出版社

目 錄

著者初版序言	5
著者再版序言	6
第一章 緒論	7
§1. 水力學研究的對象和方法	7
§2. 簡史概論	8
§3. 流體的基本性質	10
§4. 理想液體與實際液體	22
§5. 例題	22
第二章 水靜力學	23
§1. 水靜壓力	23
§2. 水靜力學基本方程式。巴斯開定律	25
§3. 液壓計高度	32
§4. 液壓計，壓力計以及真空計	34
§5. 平面壁上液體的壓力	38
§6. 曲面壁上液體的壓力	41
§7. 阿基米德定律	46
§8. 例題	47
第三章 水動力學	51
§1. 基本定義	51
§2. 連續方程式	51
§3. 流束與總流的能量	55
§4. 伯諾利方程式	57
§5. 伯諾利方程式的一些說明	59
§6. 基於伯諾利方程式的幾個圖解示例	62
§7. 用於理想液體的伯諾利方程式	67
§8. 液流能量增加的情況。泵的功率	67
§9. 例題	69
第四章 全滿管路中液體的流動	72

§1. 兩種流動狀態.....	72
§2. 水頭損失的一般公式.....	76
§3. 圓形恒截面管路中液體的層流.....	81
§4. 非圓形截面管路中液體的層流.....	86
§5. 液體在加熱或者冷卻情況下的層流.....	86
§5. 管路中的紊流.....	88
§7. 液體在圓形截面管路中紊流時，計算摩擦係數的公式.....	94
§8. 在非圓形截面管路中的紊流.....	104
§9. 局部阻力。一般數據.....	104
§10. 局部阻力係數以及某些管件相當長度的數據.....	106
§11. 例題.....	111
第五章 管路的計算方法.....	116
§1. 一般介紹。關於管路的兩類問題.....	116
§2. 計算流量的公式.....	119
§3. 管徑的選擇.....	121
§4. 恒截面簡單管路中水頭降落的縱剖面圖.....	122
§5. 不同直徑管路的串聯.....	125
§6. 兩種不同直徑管路的並聯.....	129
§7. 輸油幹線管的計算.....	134
§8. 在輸油管路上佈置泵的舒霍夫方法.....	137
§9. 在低於大氣壓下操作的管路。虹吸管。吸水管.....	139
§10. 例題.....	141
第六章 液體從容器中經過孔口，管嘴及水堰的流出.....	150
§1. 在固定液面情形下液體經過底部孔口及側壁小孔的流出。 托里拆利定律.....	150
§2. 流速係數與流量係數一些實驗數據的簡述.....	153
§3. 容器及油槽車的排空.....	153
§4. 水堰.....	158
§5. 例題.....	161
第七章 水在明渠和不滿的無壓管路中的等速流動.....	163
§1. 一般理論.....	163
§2. 明渠的計算公式.....	165

§1. 關於明渠阻力係數一些數據的簡述.....	167
§1. 明渠的計算方法, 最有利的截面, 充水高度.....	170
§5. 例題.....	172
第八章 管路中的水擊	175
§1. 水擊.....	175
§2. 管路中壓力的慣性波動.....	177
§3. 例題.....	178
第九章 氣體、過熱蒸汽以及飽和蒸汽在管路中的流動	179
§1. 氣體在管路中流動的特點.....	179
§2. 氣體等溫流動時, 輸氣管路的計算公式.....	181
§3. 例題.....	184
第十章 泥漿的流動	186
§1. 泥漿的基本性質.....	186
§2. 泥漿流動的特性.....	187
§3. 計算公式.....	189
§4. 藉助於泥漿帶出鑽碎的石塊.....	191
§5. 例題.....	194
第十一章 液體在岩層孔隙中的運動 (地下水力學)	196
§1. 滲流的一般介紹.....	196
§2. 石油, 水及氣體滲流的一些問題.....	201
§3. 例題.....	207
第十二章 液體流量的測定.....	209
§1. 文透里水錶.....	209
§2. 孔板 (隔片)	213
§3. 流速管.....	214
§4. 油錶和水錶.....	216
§5. 例題.....	217
第十三章 水力發動機	219
§1. 作為發動機用的水力透平。透平的不同型式和分類。 水車.....	219
§2. 水力透平中液體能量轉變的分析.....	222
§3. 透平理論的基本方程式。透平的效率.....	224

§4. 透平的功率和旋轉矩.....	230
§5. 透平的特性。比轉數.....	231
§3. 例題.....	234
附錄 水力學複習用的圖表.....	236
參考文獻	240
人名索引	241
技術名詞索引.....	244

著者初版序言

作者着手編寫這本中等石油專業學校用的水力學新教材時，抱定宗旨要把這一門宏博科學所包括的各種材料，編寫得儘可能地接近於國家學校管理局 (ГУУЗ) ① 所審定的教學大綱。

同時作者也考慮到這種情況，就是所有各種不同專業的石油工作人員，到處都和流體物質（石油、石油產品、泥漿，最後還和氣體）發生關係。因此，完全有必要從直接研究流體力學的科學領域中，就是說要從水力學中獲得足夠淵深的知識。

爲了要避開引用高深的數學解析方法起見，就使得作者在任務上發生困難。而在很多的情況下，由於不得不採用轉彎抹角的辦法，以致結論的精確性就不得不遭到一定程度的損害。

書內很多的地方把數學上的推演完全省略掉，而祇是引用了一些現成的公式。然而在這種情況下，著者儘可能伴隨着這些公式採用最深刻的分析，幫助學生來通曉這些公式，理解這些公式在物理上的意義，並且找出在實際工作中應用這些公式的範圍。

每章末節，都列有附有解答的例題。同時，著者注意到要使學生熟悉最具有示範性的例題的解答。這是抱着這樣的看法：能够解答複雜題目的學生，就能很容易地來獨立解決任何簡單的問題。這本教科書，是爲了中等石油專業學校進行培養兩種不同專業的學生用的（煉油廠技術人員和油礦技術人員）。顯然，在不同專業的學生學習這門課程的情況下，教師應當向學生指示出在水力學內屬於某些專業性的章節是可以省略的。最後，著者請求所有從事石油專業人員，特別是中等石油專業學校教師和專科大學教授們對於本書所存在的缺點，予以指正，著者對此，極爲感謝。

技術科學碩士，講師 沃·斯·雅布隆斯基 1937年10月

① 作者考慮到國家學校管理局的教學大綱，因而同意於本書內列入「水力發動機」這一章，可是按照專家們的意見，這一章應當是和關於泵的章節在一起列入另外一種教材裏面的。

著者再版序言

於這本教科書準備再版時，著者決意在內容裏面引入一些反映蘇聯水力學專家的成就，作為修正和補充，並使之適合於新訂教學大綱的要求。在本書新的版本裏面，擴充了講述流體物理性質章節的內容；重寫了有關「水擊」的全章；採用一些圖解和例證，作為講述水力學基本方程式——伯諾利方程式——章節的補充；重行審查校正各種不同經驗係數的數值以及其他。

實現改造自然的偉大的斯大林計劃——建築巨大的堤壩，運河，伏爾加河中下游，下德涅泊爾河和克里木，土爾克明尼亞以及裏海沿岸各地區的灌溉和供水系統——都需要大批的專業人員，而在培養這些專業人員當中，水力學專業人員將在這裏面佔着一個主要的地位。

著者認為本書新的版本，不僅可供作中等專業學校學生的教材，並且對於從事偉大共產主義建設的廣大範圍的工程師和技術員們也會有所幫助的。

技術科學博士，教授 沃·斯·雅布隆斯基

1951年1月

第一章 緒 論

§ 1. 水力學研究的對象和方法

水力學或實用流體力學為研究液體和氣體平衡和運動的科學。由於理論科學和實用科學順利地進展，很多科學彼此之間是這樣的接近，以致往往難以確定出這種或那種科學的界限，以及把某種科學納入一定的範圍。水力學就是處於這樣的情況。

一方面有和水力學緊接在一起，也是研究液體和氣體平衡情況的一些科學：如理論流體力學和理論空氣動力學。在這些數學物理部門中，由於理論力學上古典定律的發展，能對現象作出一般性的理論分析，這是進行研究的主要工具。在水力學裏面，實驗和理論的構成都和前二者不同，它是根據液體運動簡化了的公式；相當大範圍內的問題，是按照液流的平均性質（平均速度，平均壓力）來解決的。

水力學這一門課程本身的構成，就具有理論力學的跡象，課程的第一部份——水靜力學——本身包括有關液流的平衡問題；第二部份——水動力學——闡述液流在管子，明渠，孔隙岩層以及其他等等裏面流動的問題。

另一方面接近於水力學的，還有氣體動力學（研究高速氣流的科學），熱力學（有關蒸汽流動部份），熱傳導學（液流在非等溫流動部份），水力工程學（液流通過特種水力建築工程的部份），泵的課程（液體流經泵的部份），給水，排水以及通風等課程（都是基於水力學建立起來的）。最後，在最近期間地下水力學——關於液體和氣體在有孔隙岩層中流動的科學——作為水力學的一個獨立而豐富的部門成功地發展起來了。所有這些，都對於水力學在作為許多工程學科的基礎上，增加了重要的意義。

研究水力學對於石油工作者來說尤其具有特殊的重要性。石油工作者所採得的最可寶貴的產品：石油和天然氣都是流體（不

可壓縮的和可壓縮的)，油和天然氣在油層中必須被迫使之流到井底附近而上升到井口，然後用管子輸送到煉油廠，最後再從煉油廠用管子輸送到消費者手裏。

§ 2. 簡 史 概 論

有人類存在的初期，就碰到有關水力學的一些問題。那時人類已經嘗試使自然水力和風力爲自己服務了。於是水力學上第一個課題就是有關浮力及航行問題。在古代的偉大數學家和力學家阿基米德（Архимед，公元前250年）的著作中，已得到首先的解決，並不是偶然的。

後來隨着文化的增長，出現了許多工程上的建築——運河，溝渠道，水管線。但是斯蒂芬（Стевин），加里略（Галилей）和托里拆利（Торичелль）等的個別著名的工作，並不意味着水力學作爲一門科學而誕生。

彼得堡（俄國）的科學院院士丹尼爾·伯諾利（Даниил Бернулли，1700—1782）被公認爲是水力學——關於流體平衡和運動的科學——的奠基者。

丹尼爾·伯諾利創立了水力學上的基本方程式，過了二百多年一直到今天，這個基本方程式仍舊是解決幾乎所有水力學問題的基礎。如果沒有伯諾利方程式，水力學就不可能成爲嚴整理論的工程學科。

伯諾利在水力學中地位之高，和另一位彼得堡（俄國）的科學院院士里雷納多·歐拉（Леонард Эйлер，1707—1783）在創立理論力學上，特別是在理論流體力學上的地位是一樣的，同時也正和偉大的俄國學者和工程師尼古拉·耶可羅維奇·儒可夫斯基（Николай Егорович Жуковский，1847—1921）在創立關於空氣浮力的科學——理論空氣動力學——事業中的地位也是一樣的。儒可夫斯基還在水力學方面解決了有關管路中的水擊問題，並在流體力學的領域裏作了一系列的其他獨創工作。彼得羅夫（Н. П. Петров）有力地鞏固了俄國科學在研究潤滑摩擦理論這方面的優越

地位。

奧斯特羅格拉德斯基 (М. В. Остроградский), 波貝列夫 (Д. К. Бобылев), 克雷洛夫 (А. Н. Крылов) 以及其他等人的工作, 對於水力學和流體力學, 也有極大的貢獻。

偉大的俄國學者, 工程師, 院士舒霍夫 (В. Г. Шухов) 的工作, 在水力學方面是很知名的。他第一個給出了計算石油管路, 煤油管路和重油管路的公式, 同時也研究出了在管線上佈置泵站的方法。

十月社會主義革命以後, 水力學也和其他科學一樣, 發展到了空前未有的規模。1918年12月15日按照列寧的倡議實現了儒可夫斯基多年的理想——建立中央流體動力學研究所 (ЦАГИ)——研究流體動力學的巨大中心。繼之建立了很多保證俄國科學在這一領域中佔有先進地位的研究所和實驗室。儒可夫斯基學派以及他的繼承者——查普雷金 (С. А. Чаплыгин) 和列賓宗 (Л. С. Лейбензон)——都在水力學方面, 創立了很多卓越的貢獻。

很長一段時期裏, 水力學在其研究中主要依賴關於水的試驗。水力學的這一個方向, 可以完全由那個時候工程上的需要來說明。不久以前, 基於水力學定律的那些工程建築, 祇是些水管, 運河, 堤壩等等。當然, 在進行水的實驗工作中, 從水力學的觀點來看, 是看不出不同流體在物理性質上的差別, 因而在此種實驗的基礎上所得到的公式, 在應用範圍上遭到了限制。如此, 不久以前的水力學主要是水的水力學; 很多公式, 都帶有經驗色彩, 而祇能在水流上應用。

隨着工程方面技術的增長, 大量石油和石油產品的出現以及化學工業的發展, 水力學問題的範圍擴大了。產生出創立一般性關係式的要求, 以便這些公式能夠同樣地適用於輸水管, 輸油管, 輸氣管等等的計算。

現代的水力學, 已經在很大的程度上, 從一直束縛它到十九世紀末的經驗主義中解放出來了。二十世紀的水力學上所用的經驗公式, 是和構成理論的體系相互補充的。

現代工程技術範圍內的許多問題是和水力學有着不可分割的聯繫，這種聯繫正在不斷地增長，而且繼續地加深着；水力學裏面的許多方法更趨於完備，而計算公式在應用上也就更加準確了。

§ 3. 流體的基本性質

流體這個名詞廣義上包括液體與氣體，它們與固體的區別，就是在於流體不具有保持自己固定形狀的能力。液體與氣體的區別，在於液體的壓縮性很小而重率很大。可是液體實際上是不可壓縮的，而氣體則是很容易改變它的體積的。大部份液體的重率接近於水的重率（1公噸/米³=1000 仟克/米³）；氣體的重率則很小（例如，空氣——各種氣體的混合物——在 0 °C 及 760 毫米水銀柱時，重率為 1.29 仟克/米³）。

此後我們將稱所有的液體為不可壓縮（體積穩定的）的流體，而氣體則稱為可壓縮的流體。

在各種現象中，液體的表現是直接與它的物理性質（密度、重率、比容、粘度以及壓縮性）有關。正確的決定液體的物理性質，量度單位的選擇，從一種單位系統到另一單位系統不同數據上的換算——所有這些，都是對於水力學作有系統研究必要的先決條件。

a) 密 度

液體的密度通常是指單位體積內所包含物質的質量。用希臘字母 ρ (po) 來表示。密度的因次為①：

$$[\rho] = \frac{M}{L^3} = M \times L^{-3}.$$

密度量度的單位要靠所選用的單位系統來決定。例如在物理單位系統中——厘米，克—質量，秒——其量度單位為②：

$$[\rho]_{\text{物}} = \text{克/厘米}^3.$$

① 此處及以後 M 都表示質量的因次， L ——長度的因次， T ——時間的因次。

② 此處及以後克（黑體字——譯者）表示克—質量，克——克—力，仟克——仟克—質量，仟克——仟克—力。

同時，在工程單位系統中——米，千克(力)，秒：

$$[e]_{\text{工}} = \text{岑}/\text{米}^3 \textcircled{1}.$$

由於 1 岑 = 9810 克，1 米³ = 1 000 000 厘米³，這兩種系統所表示密度量度單位之間，可建立以下的比例關係：

$$[e]_{\text{物}} = \frac{1\,000\,000}{9810} [e]_{\text{工}} = 102 [e]_{\text{工}}.$$

由此等式可知，物理系統密度的單位，要比和它相當的工程系統的單位大 102 倍。然而，如果我們用這兩種單位來量度同一數量，則用較大單位所量度的，將得到較小的讀數。因此，任何物質密度的數值用兩種單位系統來表示的比較，我們可以寫出：

$$e_{\text{物}} = \frac{1}{102} e_{\text{工}}.$$

以上所指量度單位大小和讀數之間的相互關係，對於任何其他單位，都屬正確。由以下的例子，就很容易明瞭這一點。

物理系統量度長度的單位——厘米——小於工程系統量度長度的單位——米——100 倍，即

$$[L]_{\text{物}} = 0.01 [L]_{\text{工}}.$$

但若某一段長度用米量度(工程單位)，然後同樣一段長度再用厘米量度，則該段米數小於厘米數的倍數，就和米單位大於厘米單位的倍數相同。用兩種單位量度的長度，有以下的相互關係：

$$L_{\text{物}} = 100 L_{\text{工}}.$$

6) 重 率

重率^①(水力學中常稱為單位體積重量)是指物質單位體積的

① 岑——質量的工程單位；1 千克(力)能使此質量產生 1 米/秒²的加速度；此單位等於 $1 \frac{\text{千克} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}} = 9.81$ 千克。

此處 9.81 米/秒²——重力加速度。

① 此處所給重率的概念，不要與物理中常用的比重——無因次的，抽象的數值——的概念相混淆。而比重則為指某物質單位體積重量和相同體積水在 4°C 時的重量之比而言。

重量。重率用希臘字母 γ (gamma) 表示，其因次規定如下：

$$[\gamma] = \frac{[G]}{[V]} = \frac{ML}{T^2} : L^3 = ML^{-2}T^{-2},$$

式中 $[G] = M \times \frac{L}{T^2}$ —— 力的因次，一般重量就是質量和加速度的乘積。

在物理單位系統中，重率量度的單位為：

$$[\gamma]_{\text{物}} = \frac{\text{達因}}{\text{厘米}^3} = \frac{\text{克}}{\text{厘米}^2 \times \text{秒}^2} \quad ①$$

同時，在工程單位系統中：

$$[\gamma]_{\text{工}} = \frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} = \frac{\text{岑}}{\text{米}^2 \times \text{秒}^2}.$$

注意到 1 仟克 = 981 000 達因，兩種系統量度單位之間的比例關係，可容易得出：

$$[\gamma]_{\text{物}} = 1.02 [\gamma]_{\text{工}}.$$

由上所述單位大小和讀數之間的相互關係，可以得出把重率從工程單位變換為物理單位的公式：

$$\gamma_{\text{物}} = 0.981 \gamma_{\text{工}}.$$

物質密度和重率之間的關係，就像質量和重量之間的關係一樣。因之，如果 V —— 物質的單位體積， M —— 物質的質量， G —— 物質的重量，則物質的密度為

$$\rho = \frac{M}{V}.$$

而重率為

$$\gamma = \frac{G}{V}.$$

① 此處達因——物理系統中力的單位，相當於使 1 克質量的物質產生 1 厘米/秒²加速度的力，即 1 達因 = 1 $\frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}^2}$ 。當重力加速度等於 981 厘米/秒²時，則得到 1 克 = 981 達因，而 1 仟克 = 981 000 達因。

但也可列爲下式：

$$G = Mg,$$

式中 $g = 981$ 厘米/秒² = 9.81 米/秒²——重力加速度。

如果將最後一式除以體積，並採用前面所列的比例關係，則得

$$\gamma = \rho g \quad (1)$$

此密度和重率之間的比例關係，用同一系統的單位表示，例如

$$\gamma_{\text{工}} = \rho_{\text{工}} g_{\text{工}}.$$

但

$$\rho_{\text{工}} = 102 \rho_{\text{物}}.$$

因此

$$\gamma_{\text{工}} = 9.81 \times 102 \rho_{\text{物}} = 1000 \rho_{\text{物}}.$$

由上可知，用工程單位(仟克/米³)所表示的重率，比用物理單位所表示的密度(克/厘米³)在數字上要大 1000 倍。

例如，

設

$$\rho = 0.89 \text{ 克/厘米}^3,$$

則

$$\gamma = 890 \text{ 仟克/米}^3.$$

如果重率以每立升的仟克數，或者每立方米的公噸數，或者每立方厘米的克數來表示，則

$$\gamma = 890 \text{ 仟克/米}^3 = 0.89 \text{ 仟克/立升} = 0.89 \text{ 公噸/米}^3 = 0.89 \text{ 克/厘米}^3.$$

由上可見，用物理單位所表示的密度，在數字上，是和用工程單位公噸/米³，仟克/立升，或克/厘米³所表示的重率相同。由於這個原因，常使密度與重率的概念相混淆。然而僅須注意在解題時，如使用關係式(1)，所有的數量就永遠都要採用一致的單位系統來表示。

B) 比 容

比容是指單位重量物質所佔的容量。因此，比容和重率為相反的數值，即

$$v = \frac{1}{\gamma}, \quad (2)$$

式中 v ——比容。

由此，比容的因次和量度的單位，顯然也是重率的倒數：

$$[v]_{\text{物}} = \frac{\text{厘米}^3}{\text{達因}} = \frac{\text{厘米}^2 \times \text{秒}^2}{\text{克}};$$

$$[v]_{\text{工}} = \frac{\text{米}^3}{\text{仟克}} = \frac{\text{米}^2 \times \text{秒}^2}{\text{岑}}.$$

因此

$$v_{\text{物}} = 1.02 v_{\text{工}}.$$

Г) 壓 縮 性

如以前所指出，液體可以認為是不可壓縮的，也就是在壓力的作用下，液體的體積並不改變。實際上，當壓力不太大時，在大部份水力學的問題中，液體的壓縮性，是可以忽略的。但是在某些情況下，却不能這樣做。表示壓縮性的體積壓縮係數，是指當壓力改變一個單位大小时，液體體積的相對減小。

因此

$$\beta = \frac{1}{V} \times \frac{\Delta V}{\Delta p}, \quad (3)$$

式中 β ——體積壓縮係數；

ΔV ——相應於壓力增大 Δp 時，體積 V 的減小。

此處壓力，是指作用於單位液體表面上的力，故其單位若用物理單位表示：

$$[\Delta p]_{\text{物}} = \frac{\text{達因}}{\text{厘米}^2} = \frac{\text{克}}{\text{厘米} \times \text{秒}^2}.$$

以工程單位表示：

$$[\Delta p]_{\text{工}} = \frac{\text{仟克}}{\text{米}^2}.$$

體積壓縮係數的因次適與壓力的因次相反。 $\frac{1}{\beta} = k_0$ 稱為可壓縮性液體的體積彈性係數。其因次顯然與壓力相同。水的 $k_0 \cong 20\,000$ 仟克/米²，石油產品的平均 k_0 等於 13 500 仟克/米²。氣體的體積彈性係數，按照波以耳(Бойль)定律， $pV = \text{常數}$ ，因此 $\frac{\Delta V}{\Delta p} = \frac{\dot{V}}{p}$ ，而 $k_0 = \frac{1}{\beta} = p$ 。

Д) 粘 滯 性

粘滯性是液體與氣體都具有的一種性質。流體祇有在運動時才表現出這種性質，在靜止時並不能夠發現。液體的粘滯性，是指液體沿管道，明渠以及其他河床中運動或者其他物體在液體中運動時所產生的摩擦力。

牛頓(Ньютон 1723年)首先將粘滯性與內摩擦現象聯係起來。設平板 A(圖 1)與平板 B 作平行的相對運動，其相對速度為 Δw 。這兩塊板之間被液體所充滿。如實驗所指出，附着在平板下的液體和平板以同一速度流動。

如此假定平板 B 的速度等於 w ，平板 A 的絕對速度就相當於 $w + \Delta w$ 。兩板的相對速度等於 Δw 。兩板間的距離用 Δx 表示。板間每一層

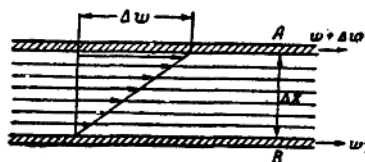


圖 1 粘性液流中相對速度的變化

液體的相對速度，從零(在 B 板處)漸增到 Δw (在 A 板處)。要使 A 板以相對速度 Δw 移動，必須施加力 T ，此力是與板的面積成正比。每單位面積上的力， $\tau(\text{ray})$ ：

$$\tau = \frac{T}{F},$$

稱為內摩擦力。

由於摩擦力的作用，平板A的相對速度，帶動所有的液體都作相對的移動，但是由於存在有相互的阻滯作用，各層的速度，並不相同。

按牛頓所得出的公式

$$\tau = \mu \frac{\Delta w}{\Delta x}, \quad (4)$$

即內摩擦力與速度梯度 $\frac{\Delta w}{\Delta x}$ ① 成正比。比例係數 μ (МЮ) 稱為動力粘滯係數。

由式(4)可見，當A,B兩板的相對速度等於1米/秒，板間的距離等於1米時(即 $\frac{\Delta w}{\Delta x} = 1 \text{ 秒}^{-1}$)內摩擦力，即與動力粘滯係數相等。

動力粘滯係數的因次，可由式(4)導出。應力 τ 是作用在單位面積上的力，其因次為：

$$[\tau] = \frac{ML}{T^2}; L^2 = ML^{-1}T^{-2}.$$

速度梯度的因次：

$$\left[\frac{\Delta w}{\Delta x} \right] = \frac{L}{T}; L = T^{-1}.$$

於是，動力粘滯係數的因次為：

$$\mu = \frac{[\tau]}{\left[\frac{\Delta w}{\Delta x} \right]} = \frac{ML^{-1}T^{-2}}{T^{-1}} = ML^{-1}T^{-1}.$$

如此，量度動力粘滯係數的單位，若用物理單位系統表示，則為：

$$[\mu]_{\text{物}} = \frac{\text{克}}{\text{厘米} \times \text{秒}} = \frac{\text{達因} \times \text{秒}}{\text{厘米}^2}.$$

① 速度梯度是指沿液流垂直方向速度的相對變化，即速度在每單位長度上的增加。