

實用水力學

丁繩武編

一九五二年五月廿四日

龍門聯合書局印行

實用水力學

版權所有



不准翻印

一九五二年九月

九五

定價人民幣 31,500 元

編者

丁繩武

出版者

龍門聯合書局

上海南京東路六一號一〇一室

電話 一八八一九

總發行所

中國科技圖書聯合發行所

上海中央路二四號三〇四室

電話 一九五六六

電報掛號 二一九六八

分銷處

龍門聯合書局及各地方局

上海總店 河南中 號

上海支店 南京 號

北京分 號

京 場 6 號

路 36 號

局 江漢一路 3 號

浦陽局 太原街 40 號

天津分局 羅斯福路 303 號

西安分局 中山大街 217 號

弁 言

水力學爲工科重要基本學程之一，本國文字教本，當前需要甚切，編者爰不揣譾陋，編寫本書，期能爲各工程專校的適當教本，而有裨於實用。

本書取材以配合專科學校程度，注重工程上實用問題爲主，過偏於理論研究者則從略。全書凡十五章，約三十萬字，插圖二百四十三幅，列表五十一種，例題六十六則，習題二百四十八則。

水力學爲理論與實驗並重的學科，故多經驗公式及實驗係數，今之進步趨勢則爲由基本原理尋求數理公式以代替經驗公式。本書中凡應用公式之能以數理方法推證者，必詳細論證分析，俾讀者能深入了解，並設算例題以明其用。經驗公式則錄其最通用者，並盡量爲有系統的編列，以便比較。各項實用問題中的實驗結果，爲若干科學家多年研究所得，亦爲目前應用準繩，故分別選擇採錄，以備參考。又各種經驗公式的圖解，爲設計工程問題所必需，特擇尤介紹於本書中，使讀者能對此類圖解先有相當認識，庶將來實際運用時不致陌生。

本書各公式均採用公制，習見者則公英制並列，更闡明其換算法，並於書末附列尺制分析及單位換算兩表，俾讀者能瞭然於應用尺制分析的原理。譯名多依據中國水利工程學會印行之水工名詞一書，而參以己意略有出入，書末附有中英名詞對照表，用代索引，以便檢查。

前承龍門聯合書局約爲是編，因經辦工程，僅得於工餘抽暇陸續編寫，且又時作時輟。而工地奔走，缺乏參考書籍，所得隨時參考者，僅有下列各書：

King and Wisler: Hydraulics.

Schodor and Dawsen: Hydraulics.

Daugherty: Hydraulics.

劉德潤編著：普通水力學。

張含英著：水力學。

沼田政矩等編：水理學。

本書編寫校閱均係個人爲之，取材編列難免失當，插圖由小女琪曾於上期寒假兩週中，匆促代爲趕繪完成，如有錯誤及不完善之處，尙希閱者予以指教，俾獲改正爲幸。

一九五一年四月

丁繩武誌於淮河上游潼湖涵閘工次。

通用符號

A, a	橫斷面面積。	h_f	磨擦損失水頭。
A_v	垂直投影面積。	h_L	損失水頭。
A_H	水平投影面積。	h_v	行近流速水頭。
A_m	平均面積。	I	轉動慣量。
B, b	寬度。	K	損失係數。
C	流量係數; 哲瑟氏係數。	L, l	長度。
C_c	收縮係數。	M	質量; 力矩。
C_d	孔口流量係數。	m	邊坡。
C_v	流速係數。	N	轉速。
c	壓應力; 上壓係數。	N_R	雷諾指數。
D, d	直徑。	n	河渠糙率。
d	水深。	P	總壓力; 堰高; 濕周。
d_o	臨界水深。	P_H	水平分力。
d_m	平均水深。	P_v	垂直分力。
E	能量。	P_m	平均濕周。
E_v	體積彈性係數。	p	壓力率或壓力強度。
e	效率; 偏距。	p_a	大氣壓力。
F	力。	p_v	蒸汽壓力。
F_x	OX 方向的分力。	Q	總流量。
F_y	OY 方向的分力。	q	單位寬水道的流量。
f	磨擦係數。	R, r	半徑。
G	功或功率。	R	水力半徑(A/P); 合力。
g	重力加速度。	R_m	平均水力半徑。
H	總水頭。	S	比降或坡度。
h	水頭或高度。	S_e	能線坡度。

S_0 河床坡度。
 s 比重;張應力。
 T 表面張力;圈張力。
 t 時間;厚度。
 U 上壓力。
 u 輪周線速度。
 V 速率或流速。
 V_c 臨界流速。
 V_o 行近流速。
 V_m 平均流速。
 v 部分流速;相對流速。
 W 重量。

w 重率或單位體積的重量。
 Z, z 基準面上高度。
 α 流速校正係數;葛氏簡式中的糙率;角度。
 β 巴森氏式中的糙率;角度。
 θ 角度。
 ϕ 速比;壅水曲線函數。
 $\mu (mu)$ 粘滯係數。
 $\rho (rho)$ 密度 (w/g)
 $\omega (omega)$ 角速度。
 $\eta (eta)$ 安全樑。
 $\gamma (tau)$ 剪應力。

目次

通用符號

第一篇 水靜力學

第一章 緒論.....1

- 1-1. 水力學之範圍..... 1
- 1-2. 物體通性..... 1
- 1-3. 重率與密度..... 2
- 1-4. 壓縮率..... 4
- 1-5. 粘滯性..... 5
- 1-6. 表面張力..... 8

第二章 靜水壓力原理..... 11

- 2-1. 壓力率.....11
- 2-2. 壓力的方向.....11
- 2-3. 巴斯加定律.....12
- 2-4. 液體的自由面.....13
- 2-5. 大氣壓.....13
- 2-6. 液體中壓力的變化.....15
- 2-7. 壓力水頭.....16
- 2-8. 壓力的傳達.....17
- 2-9. 汽壓.....21
- 2-10. 氣壓計.....22
- 2-11. 流體壓力計.....23
- 2-12. 虹吸.....26

第三章 總壓力..... 30

- 3-1. 平面上的總壓力.....30
- 3-2. 水平底上的總壓力.....31
- 3-3. 總壓力之水平與垂直分力.....32
- 3-4. 壓力中心.....32

3-5. 弧面上的總壓力.....44

3-6. 管筒的圈張力.....46

第四章 重力壩..... 52

- 4-1. 壩的形式.....52
- 4-2. 作用於重力壩上諸力.....53
- 4-3. 重力壩的安定.....53
- 4-4. 壩趾及壩跟的垂直壓應力.....55
- 4-5. 壩底壓應力的分布.....57
- 4-6. 壩底的靜水上壓力.....59
- 4-7. 壩底的摩擦係數.....60

第五章 浮力與浮體..... 69

- 5-1. 亞基米德氏定理.....69
- 5-2. 物體比重的測定.....70
- 5-3. 浮力中心及平衡.....73
- 5-4. 定傾中心高之計算.....75

第二篇 水流力學

第六章 水流原理..... 81

- 6-1. 概述.....81
- 6-2. 層流與亂流.....81
- 6-3. 流量.....82
- 6-4. 定量流與等速流.....82
- 6-5. 水流的連續性.....83
- 6-6. 能量及水頭.....83
- 6-7. 流速水頭的校正.....85
- 6-8. 伯諾里定理.....86
- 6-9. 能量的損失.....88
- 6-10. 功與功率.....89

6-11. 伯諾里定理的應用.....	92
6-12. 皮托管.....	94
6-13. 文德利水表.....	96

第七章 孔口及短管.....103

7-1. 孔口洩水的基本公式.....	103
7-2. 孔口係數.....	105
7-3. 孔口係數的測定.....	106
7-4. 低水頭的孔口.....	110
7-5. 潛孔口.....	112
7-6. 孔口損失水頭.....	113
7-7. 標準短管.....	114
7-8. 漸細管.....	116
7-9. 管嘴.....	117
7-10. 漸粗管.....	119
7-11. 凹入管——包達管.....	120
7-12. 水門.....	122
7-13. 水頭變化及洩水時間.....	123

第八章 堰.....134

8-1. 堰流概述.....	134
8-2. 銳頂矩形堰.....	135
8-3. 堰流基本公式的變化.....	138
8-4. 各家實驗堰流公式.....	139
8-5. 標準銳頂矩形堰.....	142
8-6. 三角形堰.....	143
8-7. 梯形堰——西波利地梯形堰.....	144
8-8. 鈍頂堰與寬頂堰.....	146
8-9. 潛堰.....	149
8-10. 水舌的形狀與流量.....	151
8-11. 堰面的設計.....	153
8-12. 堰的洩水時間.....	155
8-13. 水頭之測量.....	156

第九章 水管.....163

9-1. 水管與河渠.....	163
9-2. 管中的臨界流速.....	164
9-3. 管流速率的分布.....	166

9-4. 管流的能量.....	167
9-5. 管流水頭損失.....	168
9-6. 摩擦損失水頭的基本公式.....	169
9-7. 層流的摩擦損失係數.....	171
9-8. 層流中的動能.....	173
9-9. 亂流的摩擦損失係數.....	175
9-10. 管流公式之另一型.....	178
9-11. 哲瑟氏公式.....	179
9-12. 各家經驗公式.....	179
9-13. 計算水管問題.....	182
9-14. 次要損失水頭.....	187
9-15. 管徑收縮損失水頭.....	189
9-16. 管徑增大損失水頭.....	191
9-17. 管流障礙損失水頭.....	194
9-18. 管路曲折損失水頭.....	195

第十章 管路.....201

10-1. 管路公式的研究.....	201
10-2. 順組管路.....	202
10-3. 並流管路.....	206
10-4. 分枝管路.....	208
10-5. 流量遞減的管路.....	212
10-6. 虹吸管路.....	213
10-7. 管路的最大功率.....	215
10-8. 管路接抽水機.....	217
10-9. 管路連水渦輪.....	218

第十一章 河渠.....224

11-1. 概述.....	224
11-2. 橫斷面速率的分布.....	225
11-3. 濕周及水力半徑.....	227
11-4. 河渠水流的連續.....	228
11-5. 河渠水流的能量.....	228
11-6. 河渠水流損失水頭.....	229
11-7. 哲瑟氏流速公式.....	230
11-8. 剛賈及葛奈二氏公式.....	232
11-9. 巴森氏公式.....	237
11-10. 滿寧及伏希梅指數公式.....	237

11-11. 其他通用流速公式·····	238
11-12. 各家流速公式的比較·····	241
11-13. 水力經濟断面·····	242
11-14. 圓形水道断面·····	245
11-15. 天然河道單式断面·····	247
11-16. 天然河道複式断面·····	248
11-17. 河渠適當流速·····	249
11-18. 河渠適當比降·····	250
11-19. 河渠挾沙·····	252
11-20. 計算河渠問題·····	253
11-21. 流量曲線·····	254

第十二章 河渠變速流·····264

12-1. 概述·····	264
12-2. 臨界水流·····	264
12-3. 加速流與減速流·····	268
12-4. 壅水·····	270
12-5. 壅水曲線·····	272
12-6. 水躍·····	280
12-7. 水躍能量損失·····	282
12-8. 水躍發生地位·····	283

第三篇 水動力學

第十三章 水衝擊原理·····287

13-1. 牛頓定律·····	287
13-2. 向量·····	289
13-3. 相對與絕對速度·····	290
13-4. 射流衝擊固定平面·····	291
13-5. 射流衝擊固定弧面·····	292
13-6. 射流衝擊單運動輪翼·····	294
13-7. 射流衝擊複運動輪翼·····	296
13-8. 射流的絕對與相對路徑·····	298

13-9. 射流衝擊方向偏差的複運動輪翼·····	299
13-10. 水流衝擊彎管·····	300
13-11. 射流的反擊力·····	302
13-12. 旋轉水道·····	304

第十四章 水渦輪·····318

14-1. 概述·····	318
14-2. 水輪·····	318
14-3. 水渦輪·····	319
14-4. 水流在渦輪中的作用·····	320
14-5. 水渦輪的有效水頭·····	322
14-6. 水渦輪的速比·····	323
14-7. 衝擊水渦輪(皮爾登式)·····	324
14-8. 反擊水渦輪(佛蘭西式)·····	329
14-9. 水渦輪的特性速·····	335
14-10. 水渦輪的功率與效率·····	341
14-11. 水錘與緩衝室·····	343

第十五章 離心抽水機·····349

15-1. 抽水機之分類·····	349
15-2. 離心抽水機·····	350
15-3. 抽水機所發生的水頭·····	351
15-4. 推行輪及包圍箱的作用·····	353
15-5. 抽水機各因數的關係·····	354
15-6. 抽水機的效率·····	355
15-7. 複級抽水機·····	356
15-8. 抽水機之應用·····	357

附錄一 尺制分析·····359

附錄二 單位換算·····360

附錄三 中英名詞對照·····361

第一篇 水靜力學

第一章 緒論

1-1. 水力學之範圍

水力學(hydraulics)為研究水在靜止,流動與衝擊時的各種現象,性能,定律及其效果,可分為三部分:水靜力學(hydrostatics)討論靜止之水,水流力學(hydrokinetics)討論水之流動,祇限於流動情形和速度流量的作用,水動力學(hydrodynamics)則討論及於水流的動量變化,因而發生衝擊力以作功。

水之各種現象及性質,關係複雜,有尚未為吾人所能具體明瞭者,難於全憑數學理論以函數公式表之。必有賴於若干試驗的結果。故水力學一科之應用,實包含數學理論,經驗公式及實驗係數三項。惟最近趨勢,則有許多科學家正努力於由基本原理尋求理論公式,以替代單純經驗公式,期能應用於較廣的範圍。

1-2. 物體通性

在通常溫度與大氣壓力下,物體狀態分為固體(solid)與流體(fluid)二大類;固體各質點間內凝聚力頗大,故常保持固有形狀與恆體積。流體對於割斷剪散無阻力,摩擦係數為零,各部分易於移動,形狀隨器皿而異。固體受強大外力亦能變形,若外力不逾彈性極限,其變形之多寡將與外力之大小成比例。亦有多數固體因受高溫而變態,至堅如鋼,能熔化為流體。工用瀝青多呈固體狀態,一經高溫熔化,則立具流體

之性質。

流體更依體積之壓縮性 (compressibility) 分爲氣體 (gas) 與液體 (liquid)。氣體能爲無限之膨脹，受外力亦能收縮。液體體積甚恆定，即使予以極大壓力，其壓縮量仍屬甚小。故通常多假定液體具有不能壓縮性。

各種液體質點與質點間雖無顯著之凝聚力，但在流動時亦有相當的粘滯性 (viscosity)，如水之凝結爲兩滴爲露珠，即其一例。粘滯性有大有小，粘滯性之小者曰稀液體，若小至可視爲等於零者曰完全液體或理想液體。通常多假定水爲理想液體，即無粘滯性又不可壓縮。事實上液體無絕對不可壓縮及無粘滯性者，此蓋純爲闡明原理及數學論證上之方便而設之兩種假定。

1-3. 重 率 與 密 度

在某溫度與壓力下，物質單位體積之重量謂之重率 (specific weight)。物質單位體積內所含之質量謂之密度 (density)

設 w = 某物質之重率， $\rho_{(rho)}$ = 某物質之密度

g = 重力加速度 (gravitation)

$$\text{則} \quad \rho = \frac{w}{g} \quad (1-1)$$

如用萬國公制 (C. G. S. system)，長度單位爲公尺，公分，或公厘 (meter, centimeter 或 millimeter 簡寫爲 m , cm , 或 mm)。重量單位爲克或公斤 (gram 或 kilogram 簡寫爲 gm . 或 kg)。時間單位爲秒 (second 簡寫爲 sec)。再以 F 表重量， L 表長度， T 表時間則重率單位爲

$$\frac{gm}{cm^3} \text{ 或 } \frac{kg}{m^3} \approx FL^{-3}$$

$$\text{重力加速度 } g = 981 \frac{cm}{sec^2} = 9.81 \frac{m}{sec^2} \approx LT^{-2}$$

$$\text{於是密度單位爲 } \frac{gm \times sec^2}{cm^4} \text{ 或 } \frac{kg \times sec^2}{m^4} \approx FT^{-2}L^{-4}$$

在標準大氣壓 (760 mm 水銀柱) 與溫度 4°C 時, 每一立方公分 (cubic centimeter 簡寫為 c.c.) 之水恰重一克, 其重率為一。其他物體之重率, 則均以水為標準, 即該物體比同體積之水輕或重若干倍, 謂之比重 (specific gravity)。例如在溫度 4°C 時, 一立方公分水銀重 13.6 克, 即其比重為 13.6。

水之重率與密度, 依溫度及壓力而變。又因水中含有其他溶解物質, 亦能使密度變化, 故更依其純粹度而異。在溫度 4°C 時, 水的密度為最大, 高於此或低於此者, 體積均漲大, 密度均減小。清水在攝氏表四度時其比重為一, 在一百度則降為 0.9586。水凝為冰, 體積漲大約十分之一, 密度大減。至結冰後, 則依溫度之下降, 復收縮其體積。主要流體中, 除水以外, 空氣與水銀的重率和密度均隨溫度而有變化, 茲彙列各流體的重率於第(1-1)表。

第(1-1)表 流體重率(氣壓=760 mm 水銀柱)

流體	溫度 $^{\circ}\text{C}$. 重率	0°	10°	20°	40°	60°	80°	100°
水	$w, \text{kg/m}^3$	1000	1000	998	992	983	972	958
空氣	$w_1, \text{kg/m}^3$	1.29	1.24	1.20	1.12	1.03	0.99	0.94
水銀	$w', \text{kg/m}^3$	13600	13570	13550	13500	13450	13400	13350

第(1-2)表示一公斤水在三態過程中, 其體積及比重之變化。

第(1-2)表 水之體積及比重(一公斤水量)

溫度	體積 (立升, $\text{liter} = \frac{1}{1000} \text{m}^3$)	比重
0°C { 冰	1.09	0.9174
{ 水	1.00013	0.9998
4°C 水	1.0	1.0
100°C { 水	1.04315	0.9586
{ 蒸氣	1650	0.0006

在通常大氣壓力與溫度時，如水含雜質不多，其重率可採用下列數值：

$$w = 1 \text{ gm/c.c.} = 1 \text{ kg/l} = 1 \text{ T/m}^3 = 26.4 \text{ lb/ft}^3$$

泉水比重約為 1.005，海水因溶鹽較多，其比重約為 1.025，即重率為

$$1025 \text{ kg/m}^3 = 64.0 \text{ lb/ft}^3$$

1-4. 壓 縮 率

水非絕對不能壓縮者，惟與氣體相比較，則其壓縮率甚小耳。在一個大氣壓之下，氣體壓縮率為水之兩萬倍；至二十個大氣壓左右，仍復大於水者約一千倍。但另一方面，水之壓縮率則大於熔鋼約一百倍。

水之壓縮率，依溫度壓力及所含空氣之多寡而微異，壓力增大，則體積縮小。按格拉西 (Grassi) 實驗結果，知水在 0°C 時，每增加一個大氣壓即 1.033 kg/cm^2 (10.33 m 水柱，參閱第 2-5 節)，其縮減之體積，約為原體積二萬分之一，即壓縮率等於 0.05%。

水受壓力，體積縮減，其關係可列式如下：

$$E_v = - \frac{\Delta P}{\left(\frac{\Delta V}{V} \right)} \quad (1-2)$$

式中 E_v 為體積彈性係數 (bulk modulus)， V 為原體積， Δp 為壓力之增加， ΔV 為體積之縮減， $\Delta V/V$ 為壓縮率。負號示 Δp 與 ΔV 之變化相反，即 Δp 遞增時， ΔV 遞減。

壓力在 70 kg/cm^2 範圍內，體積壓縮與壓力成比例，即水之壓縮率為恆定者。惟增大至 70 個大氣壓後，壓縮率則漸減。普通土工上所遇到的水壓力，皆小於 70 個大氣壓，故採用 0.05% 為水之壓縮率，尚屬確當。

$$\text{若 } \Delta p = 1.033 \text{ kg./cm}^2, \quad \frac{\Delta V}{V} = -0.00005,$$

則 $E_v = 21,000 \text{ kg./cm}^2$ 為水之體積彈性係數。

若壓力恆定，溫度愈高，壓縮率愈小。蓋低溫時水中所含空氣較

多，易於壓縮之故。第 1-3 表為水在各溫度及各壓力時之壓縮率。

第 1-3 表 水之壓縮率

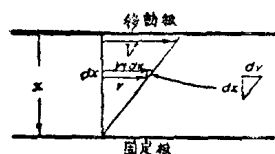
壓 力 (p)	溫 度 ($^{\circ}\text{C}$)	壓 縮 率 ($\Delta V/V$)
$\cong 70 \text{ kg./cm}^2$	0°	$\frac{1}{20000}$
$\cong 70 \text{ kg./cm}^2$	25°	$\frac{1}{22500}$
$\cong 70 \text{ kg./cm}^2$	100°	$\frac{1}{25000}$
4500 kg./cm^2	0°	$\frac{1}{45000}$

由上表可知溫度影響水之壓縮甚微。

1-5. 粘 滯 性

理想液體乃假定其內部各層間之內在力量，均為垂直於各層斷面，僅為單純壓力。層與層之間毫無剪應力，移動變形均易。實際各種液體在流動時即發生一部分剪應力，其作用為阻止液體各質點之相互滑動，所以水流有摩擦阻力。此剪應力之發生，則由於液體有相當的粘滯性。液體中以水之粘滯性為最小，氣體之粘滯性更小於液體。

粘滯性的數學理論，可用第 1-1 圖以解釋之。設兩平行板相距為 x ，其間充滿流體，上板以速率 V 移動與下板平行，而下板則不動，因而有三項假定：



第 1-1 圖

(1) 流體分子與移動面接觸者，其速率與移動面同。

(2) 與移動方向垂直之方向中，其速率變化有規律。

(3) 流體的剪應力與速率變化成比例。

由假定(2)及圖中相似三角形，

$$\frac{V}{x} = \frac{dv}{dx} \quad (a)$$

由假定(3),其單位剪應力(unit shearing stress)

$$\gamma(\text{tan}) = \mu \frac{dv}{dx} \quad (\text{b})$$

(b)式中 $\mu(mu)$ 爲一常數,名曰粘滯係數,由(a)式及(b)式,

$$\frac{V}{x} = \frac{\gamma}{\mu}$$

及
$$\mu = \frac{\gamma x}{V} \quad (1-3)$$

倘兩板相距爲單位距離,其移動亦爲單位相對速度,則

$$\mu = \gamma$$

在此情形之下, μ 爲絕對粘滯係數 (absolute viscosity), 即爲移動一單位面積之平面, 以單位相對速度平行於相距單位距離之另一平面, (兩平面間充滿流體)所需之力。

設用公制剪應力 γ 單位爲 gm/cm^2 , 距離 x 單位爲 cm , 速度 V 單位爲 cm/sec , 則由第(1-3)式,

$$\mu = \frac{gm \times sec}{cm} \approx FTL^{-2}$$

若於公制中取力之單位爲達因(dyne), 則

$$\mu = \frac{dyne \times sec}{cm^2} = poise(\text{泊})$$

此乃由泊叔立(Poisuille)氏所首創。

由實驗,知水在 $20^\circ C (68^\circ F)$ 時之絕對粘滯係數爲百分之一泊(0.01 泊爲 centipoise), 其他流體之粘滯係數, 則均以 $20^\circ C$ 之水爲標準。故各流體之絕對粘滯係數與其對於 $20^\circ C$ 之水的相對粘滯係數(relative viscosity), 如以 centipoise 爲單位, 則數字相等。

流體之絕對粘滯係數與其密度之比, 是爲動粘滯係數 (kinematic viscosity), 以 μ' 表之

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-4)$$

其單位爲

$$\mu' \approx \frac{FTL^{-2}}{FT^2L^{-4}} \approx L^2T^{-1}$$

於公制中 $\mu' = \frac{cm^2}{sec} = stoke$ ，乃由斯托克(Stoke)氏所首創。

茲擇錄一部分主要流體之絕對粘滯係數及動粘滯係數於下表：

第 1-4 表 流體之粘滯係數

物 質	μ (poise)	μ' (stoke)
空氣 (15°C 760 mm 水銀柱)	0.0001783	0.1455
水 (15°C 760 mm 水銀柱)	0.01144	0.01145
汽油 20°C (±)	0.003—0.006	—
石油	0.02	—

液體之粘滯性依溫度之增加而減少，蓋升高溫度能破壞一部液體分子間之內聚力，因而變形較易。氣體之粘滯性則依溫度之增高而加大，蓋氣體之分子運動速度因溫度升高而顯著活躍，致使氣體層與層間分子之交換率頻繁，終而使層與層間之相對運動滯緩。故水與空氣均因溫度變化而有不同的粘滯係數，第 1-5 表爲其實測結果。

第 1-5 表 水與空氣之粘滯係數

溫度 °C	水		空 氣
	μ (poise)	ρ (gm/cm ³)	μ (poise)
0	0.01793	0.9998	0.0001709
20	0.01008	0.9982	0.0001808
40	0.00653	0.9922	0.0001904
60	0.00469	0.9832	0.0001997
80	0.00357	0.9716	0.0002088
100	0.00283	0.9584	0.0002175
300	—	—	0.0002946
500	—	—	0.0003583

海姆霍斯 (Helmholtz) 依泊叔立之實驗得水粘滯係數依溫度而變的經驗公式爲

$$\mu = \frac{0.0178}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1-5)$$

格林德里 (Grinley) 及吉卜生 (Gibson) 二氏得空氣粘滯係數依溫度而變的經驗公式爲

$$\mu = 0.00017(1 + 0.0033t + 0.000007t^2) \quad (1-6)$$

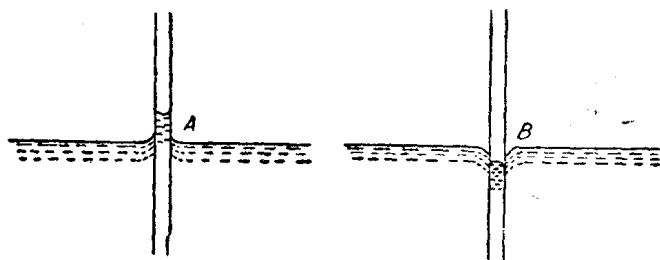
上二式中之 t 爲攝氏表的度數即 $^{\circ}\text{C}$ ，粘滯係數 μ 以 *poise* 計。

壓力對粘滯性的影響甚小，可略而不計。

1-6. 表面張力

在液體表面些微距離以下，各分子互相吸引，接近表面各分子亦爲所吸聚，致形成表面之薄膜或表皮，細鋼針或極薄刀片能浮於水面者，均由於此表面張力 (surface tension)。但膜皮一破，張力消失，則立即下沉。露珠兩滴之成球形，亦由於水之表面張力。對於自由液面之液體流動時，表面張力之影響甚微。

毛細管 (capillary) 現象爲表面張力及附着力 (adhesion) 之合併作用。第 1-2 圖示細管 A 插入水中或其他能濕管壁之液體中，因水分子間內聚力 (cohesion) 小於其與管壁之附着力，故管內液體沿壁上升，成一彎曲向上的弧面。又 B 管插入水銀中或其他不能濕管壁之液體



第 1-2 圖