

大學用書

普通水力學

(上 册)

劉 德 潤 編 著

正中書局印行

大學用書

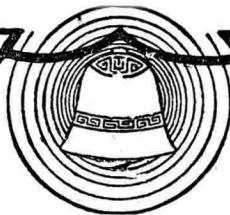
普通水力學

(上册)

劉德潤編著



正中書局印行



版權所有
翻印必究

中華民國三十四年六月初版
中華民國三十六年十月滬四版

普通水力學

(共 二 册)

上 册 定價國幣拾貳元

(精裝本定價另加五元)

(外埠酌加運費匯費)

編	著	者	劉	德	潤
發	行	人	吳	秉	常
印	刷	所	正	中	書
發	行	所	正	中	書

(1608)

序

水利事業，發達極早；而以數理與實驗解答水理之水力學，則爲時甚暫。今日吾國各院校採用之水力學課本，多來自英美，不惟尺制與實用不合，且其內容每偏於實驗，而略於理論；歐陸若德若法之水力學，其尺制雖合乎我採用之十進制，然文字隔膜，亦非多數學者所易領會，故在我國欲求一完善水力學教本或參考書，殊爲難事。

作者積教授水力學、高等水力學十數徧之經驗，集英美德法諸國名著二十餘種，取其長，舍其短，參以自己素日研究之心得，及實驗分析之結果，寫成是書。

本書凡十八章，計三十餘萬言，圖四百十二，表五十七，例題六十八，習題三百四十餘。取材理論實驗並重，詞句力事工整，釋義不厭精詳，譯名務求正確。十進制及英制之公式並列，且闡明其換算法，俾讀者根本了解應用尺制分析之原理。末附以中西名詞對照表，以資參閱。

本書之成，得力於至友杜君鎮福者良多。毛君昶熙、周君芳田、郭君青雲、張君家斌、李君昌榮、田君九昌、張君永福、劉君善健等均曾參預工作，謹此致謝！

劉德潤

國立西北工學院

三十一年七月七日

目 次

<p>第一篇 水靜力學 …… 1</p> <p>第一章 緒論 …… 1</p> <p>1-1. 物體 …… 1</p> <p>1-2. 水力學之定義 …… 2</p> <p>1-3. 水力學之範圍 …… 2</p> <p>1-4. 密度與重率 …… 2</p> <p>1-5. 水之壓縮率 …… 4</p> <p>1-6. 汽壓 …… 6</p> <p>1-7. 表面張力 …… 6</p> <p>1-8. 黏滯性 …… 11</p> <p>1-9. 氣體之壓縮性 …… 15</p> <p>第二章 壓力率 …… 21</p> <p>2-1. 定義 …… 21</p> <p>2-2. 巴斯噶定律 …… 22</p> <p>2-3. 大氣壓 …… 23</p> <p>2-4. 壓力率及壓頭 …… 24</p> <p>2-5. 歐拉流體平衡方程式 …… 25</p> <p>2-6. 歐拉方程式之應用 …… 26</p> <p>2-7. 連通器及水壓機原理 …… 27</p> <p>2-8. 氣壓計 …… 28</p>	<p>2-9. 虹吸 …… 29</p> <p>2-10. 流體壓力計 …… 29</p> <p>2-11. 壓力率原理之應用 …… 38</p> <p>第三章 總壓力 …… 44</p> <p>3-1. 平面上之總壓力 …… 44</p> <p>3-2. 曲面上之總壓力 …… 57</p> <p>3-3. 總壓力之圖解法 …… 60</p> <p>3-4. 水管或圓筒殼內之圈張力 …… 61</p> <p>第四章 重力壩及其安定 …… 71</p> <p>4-1. 概述 …… 71</p> <p>4-2. 重力壩之斷面式樣 …… 72</p> <p>4-3. 作用於重力壩上之力 …… 73</p> <p>4-4. 關於圯工材料之兩種假設 …… 73</p> <p>4-5. 壩趾及壩跟之垂直應力 …… 73</p> <p>4-6. 壩趾之斜壓應力 …… 76</p> <p>4-7. 重力壩之失事 …… 77</p> <p>4-8. 顛覆之安定及需要之壩底寬 …… 77</p> <p>4-9. 滑動之安定及需要之摩擦係數 …… 79</p> <p>4-10. 對於壓潰之安全 …… 80</p> <p>4-11. 重力壩高度之極限 …… 81</p>
---	---

第五章 加速度液體之相對平

衡 86

5-1. 概述 86

5-2. 等加速度液體之移動運動 88

5-3. 等速度轉動液體 88

5-4. 靜水加速儀 91

第六章 浮力及浮體 99

6-1. 簡液之浮力 99

6-2. 潛體與浮體之安定 100

6-3. 定傾中心高之計算 103

6-4. 盛液盞之船隻 105

6-5. 船隻移動之影響及求浮體重心
與定傾中心之實驗法 1056-6. 船之擺動時間(A)垂直上下擺
動時間(B)船左右擺動時間 1076-7. 加速度或相對平衡液體內之浮
體(A)移動液體內之浮體(B)
轉動液體內之浮體 109

第二篇 水動力學 115

概述 115

第七章 水流原理 115

7-1. 定義 115

7-2. 連續方程式 118

7-3. 能與伯那里式 118

7-4. 歐拉水流式與伯那里式之關係 121

7-5. 能之損失及伯那里式之修正 123

7-6. 伯那里式圖解——能線與水坡

線 124

7-7. 虹吸 125

7-8. 畢托管 126

7-9. 溫都瑞儀 129

7-10. 輻流 132

7-11. 漩渦運動——環流 133

第八章 洩水孔 146

8-1. 小孔洩水 146

8-2. 大孔洩水 149

8-3. 洩水孔係數 152

8-4. 洩水孔係數之數學基礎 154

8-5. 洩水孔係數之實驗測定 158

8-6. 不完全束縮 162

8-7. 孔口水頭損失 165

8-8. 巴達孔口管 165

8-9. 短管 163

8-10. 尖嘴管 170

8-11. 管嘴 171

8-12. 廣口管 172

8-13. 各種洩水孔 173

8-14. 閘門洩水 176

8-15. 鉤尺 178

8-16. 液體之黏滯性及密度對於洩流
速度之影響 179

8-17. 洩水與裝水時間 181

第九章 堰上水流 195

9-1. 定義 195

9-2. 堰流原理... .. 193

9-3. 矩形堰 196

9-4. 標準銳緣堰 204

9-5. 來水流速速頭... .. 205

9-6. 三角形堰... .. 206

9-7. 梯形堰 209

9-8. 拋物線形堰 212

9-9. 相應流量堰 214

9-10. 寬頂堰 217

9-11. 傾背堰 219

9-12. 斜堰,折堰與曲堰... .. 220

9-13. 水舌對流量之影響 222

9-14. 流線形堰面 223

9-15. 潛堰 226

9-16. 環堰 232

9-17. 虹吸溢道 233

9-18. 洩水時間 235

9-19. 包辛內司克另一種堰流理論
... .. 241

9-20. 矩形堰流量係數之研究 242

第十章 水流通性 249

10-1. 雷諾茲實驗 249

10-2. 雷諾茲數... .. 251

10-3. 圓管中之層流與哈根泊謨葉定
律... .. 254

10-4. 圓管中層流之損頭與雷諾茲數
... .. 259

10-5. 圓管中射流原理 260

10-6. 圓管中亂流之損頭及斯坦吞
圖 263

10-7. 光滑圓管中流速之分布——七
次根定律 272

10-8. 兩平行壁間之層流 273

10-9. 河渠中之等速流 275

10-10. 黏滯計... .. 278

第十一章 管中水流 238

11-1. 概述... .. 288

11-2. 摩擦損頭公式... .. 289

11-3. 速頭與平均流速之關係... .. 294

11-4. 零星損頭... .. 298

11-5. 流量遞減之管內水流損頭 ... 317

第十二章 管中水流(續) ... 327

12-1. 等流管路... .. 327

12-2. 順組管路... .. 330

12-3. 平行管路... .. 336

12-4. 分岐管路... .. 342

12-5. 連通水車... .. 345

12-6. 虹吸管 352

12-7. 管嘴中射流速度與管路之最大
功率... .. 356

12-8. 管中變量流——水錘 358

第一篇 水靜力學

第一章 緒 論

1-1. 物體 在通常溫度與大氣壓力下，物體 (substance) 狀態，可概分為固體 (solid) 與流體 (fluid) 二大類。固體各質點間內聚力 (cohesion) 頗大，故能保持固有形狀與恆體積；惟在強大外力下亦能使之變形。若外力不逾彈性極限，其變形之多寡，將與外力之大小成正比。流體則不然，其形狀隨境遇而變更，不需外力。

流體更依體積之壓縮性 (compressibility) 分為氣體 (gas) 與液體 (liquid)。少量氣體放入極大容器內，亦能彌漫均勻，佔據全器；反之，若藉外力減縮容器體積，則其中氣體亦隨之收縮。此氣體之特性也。液體則不然，其體積甚恆定，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 (incompressibility)。

各種液體，質點與質點間之黏滯性 (viscosity) 有大有小，大者曰黏滯液體 (viscous liquid)，幾與固體難分。例如取瀝青一塊，以錘猛擊之，立碎，呈固體；然若於滿盛瀝青桶之側面開一小孔，則瀝青將徐徐自動流出，如是則呈流體矣。黏滯性之小者曰薄液體 (thin liquid)，若黏滯性小至可視為等於零者，曰理想液體 (ideal liquid) 或稱完全液體 (perfect liquid)。故理想液體為黏滯性等於零，且具不

能壓縮性之流體。然事實上無液體不可壓縮及無黏滯性者。此蓋純爲發揚理論及數學論證之方便而設之二假定也。本書即基於上述二假定以研究水之靜止與流動；其黏滯性或壓縮性不能略而不計時，則隨時註明之。

1-2. 水力学之定義 水力学英文名爲 *Hydraulics*，源於兩希臘字， $\nu\delta\omega\rho$ 及 $\alpha\lambda\omicron\sigma\varsigma$ ，前者爲“水”，後者指“管”，意即研究管內水流之學也。故水力学原僅研究水流現象，今則兼及靜止之水。故可予以定義曰：“水力学者，研究水之平衡與流動，並闡明其定律而臻應用之學也”。

1-3. 水力学之範圍 水力学定義既如上述，茲爲便於研究起見，可分爲下列二部：(一)水靜力学 (hydrostatics)，研究水在靜止時之性能與定律，兼及其作用於物體上之力。(二)水動力学 (hydrokinetics)，研究流水之現象，性能與定律，兼及其作用於物體上之力。

1-4. 密度與重率 在某溫度與壓力下，物質單位體積內所含有之質量 (mass) 曰密度 (density)。例如在標準大氣壓 (standard atmospheric pressure, 760 mm Hg) 與溫度 4°C 時，每一立方厘米之水，恰含質量一克 (gram 簡寫爲 gm)，故水之密度爲 1。

重率 (specific weight) 者，乃一物質在某溫度與壓力下，單位體積內所含有之重量也。

設 $\rho =$ 某物質之密度 $w =$ 某物質之重率

$g =$ 重力加速度 $= 9.81\text{m}/\text{sec}^2$ 。

則
$$\rho = \frac{w}{g} \quad (1-1)$$

$$\text{或} \quad w = \rho g \quad (1-2)$$

單位重量之物質所佔有之體積曰容度(specific volume), 若以

$$v \text{ 代表之, 則} \quad v = \frac{1}{w} \quad (1-3)$$

設基本單位 F = 重量 (weight), L = 長度 (length), T = 時間 (time), 則 w, ρ 及 v 之單位為

$$w \approx FL^{-3} \quad (1-4)$$

$$\rho \approx FL^{-3}L^{-1}T^0 \approx FL^{-4}T^2 \quad (1-5)$$

$$v \approx L^3F^{-1} \quad (1-6)$$

以上各式中之符號 \approx 示尺度恆等 (dimensional equality)。

水之重率與密度依溫度及壓力而變, 在大氣中, 溫度 4°C 時, 其密度最大, 表 1-1 示水之重率及密度與溫度之關係。

表 1-1. 水之重率及密度 (氣壓 = 760 mm)

溫 度 $^\circ\text{C}$	0	10	20	40	60	80	100
$w, \text{ kg/m}^3$	1000	1000	998	992	983	972	958
$\rho, \text{ kg-sec}^2/\text{m}^4$	101.9	101.9	101.7	101.1	100.2	99.1	97.8

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:

$$w = 1 \text{ gm/cc} = 1 \text{ kg/l} = 1 \text{ T/m}^3 = 62.5 \text{ lb/ft}^3.$$

海水因溶鹽過多, 其比重約為 1.025, 故重率為 $1025 \text{ kg/m}^3 = 64.0 \text{ lb/ft}^3$ 。

空氣之重率與密度如表 1-2.

表 1-2. 空氣之重率與密度(氣壓 760mm)

溫度 °C	-20	-10	0	10	20	40	60	80	100
w , kg/m ³	1.39	1.34	1.29	1.24	1.20	1.12	1.06	0.99	0.94
ρ , kg-sec ² /m ⁴	0.142	0.137	0.132	0.127	0.123	0.114	0.108	0.101	0.093

1-5. 水之壓縮率 水之壓縮率 (compressibility) 依其溫度, 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, 每增加一大氣壓即 1.033 kg/cm², 其縮減之體積約為原體積二萬分之一, 即壓縮率等於 0.05%. 但當壓力增至 70 大氣壓後, 則此壓縮率漸減. 海特 (Hite) 氏曾以 65,000 lb/in² (約為 4420 大氣壓) 之高壓施於水而僅縮減其原體積之 1/10, 壓縮率約為 0.022%. 然普通水工上所遇之水壓力每小於 70 大氣壓, 故採 0.05% 為壓縮率尚屬準確.

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也. 三者之關係見下表:

表 1-3. 水之溫度及其壓縮率之關係

溫度 °F	32	40	60	90	150
水含空氣飽和時之體積百分率	2.88	2.56	2.10	1.78	1.49
壓縮率(格拉西實驗)	0.052%	0.050%	0.047%	0.044%	—

由上表可知溫度之影響甚微, 可略而不計.

容積彈性係數 (Bulk modulus)

設 V = 原容積, ∂V = 容積之縮減, 由於壓力率 ∂p 之增加;

則得容積彈性係數 $E_V = - \left(\frac{\partial p}{\frac{\partial V}{V}} \right)$ (1-7)

式內負號示 ∂p 與 ∂V 之變化相反，即 ∂p 遞增時， ∂V 遞減。

若 $\partial p = 1.0333 \text{ kg/cm}^2$ ， $\frac{\partial V}{V} = -0.00005$ ，則

$E_V = 21,000 \text{ kg/cm}^2$ ，為水之容積彈性係數。

例題 1-1. 設海面上水之重率為 1025 kg/m^3 。問其在海面下 100 m 深處之重率為何？

解 設 $\partial V = 1 \text{ m}^3$ 海面上之水置於 100 m 深處所縮減之體積， w 為該處海水之重率，則

$$\partial V = 0.00005 \times \frac{100}{10.333} = 0.000484 \text{ m}^3.$$

$$\therefore w = \frac{1025 \times 1}{1 - \partial V} = 1025.50 \text{ kg./m}^3.$$

例題 1-2. 若水之體積絕對不能壓縮，則高 150 m 水柱，下端之 100 m 應高若干？

解 設 $e =$ 水柱下端 100 m 之總壓縮量， $A =$ 水柱端面 = 常數。由圖 1-1，知

$$e \cdot A = - \int_{50}^{150} 0.00005 \times \frac{h}{10.333} \times dh \cdot A$$

$$= -0.048 A,$$

$$\therefore e = -0.048 \text{ m}.$$

故下端 100 m 水柱應高 99.952 m。

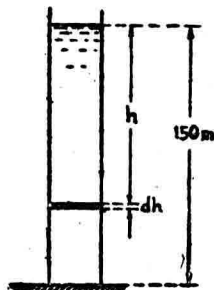


圖 1-1

1-6. 汽壓 靜止液體之分子亦時在運動中，其近於自由液面者，且易離液體而逸至空中，此種現象曰蒸發 (evaporation)。若液面空間緊閉，則由液內逸出之分子，至一定限度後，雖仍不斷逸出，然一部之汽又轉回液中而二者適相平衡。此時空間之液分子不再增多，是所謂飽和狀態。汽壓力 (vapor pressure) 恰與汽張力 (vapor tension) 相等，且隨溫度之增高而加大。溫度升至沸點時，汽壓亦增至與大氣壓力相等。

設液面緊閉之空間內，空氣壓力為 p_a ，汽壓力為 p_v ，則空間內之壓力率為 $p = p_a + p_v$ 。此理論曰道爾頓 (Dalton) 定律。下表為水之汽壓與溫度之關係。

表 1-4. 水之蒸汽壓力

溫度 °C	P_v/w 水柱高以 m 計	溫度 °C	P_v/w 水柱高以 m 計
-20	0.013	50	1.248
-10	0.029	60	2.02
0	0.062	70	3.165
10	0.124	80	4.692
20	0.236	90	7.135
30	0.429	100	10.353
40	0.747		

1-7. 表面張力 (surface tension) 物質各分子間之引力曰內聚力。由牛頓 (Newton) 定律，知引力之大小與分子間距離平方成反比，故若此距離超過一定值 r 時，則引力甚小，可略而不計。以 r 為半徑所作之球曰影響圈 (influence sphere)， r 曰影響半徑 (influence

radius). 若某分子距自由液面等於或遠於 r , 則其周圍分子之引力, 方向相反, 大小相等, 此分子必平衡; 反之, 設分子 m 距液面 NN 為 a , 而 a 小於 r (圖 1-2(a)), 作對稱面 $N'N'$, 介 NN 與 $N'N'$ 間之分

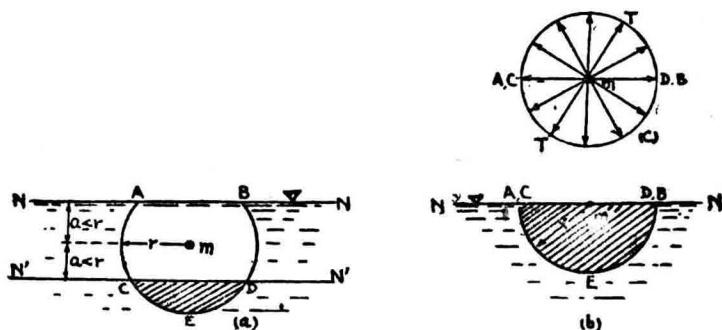


圖 1-2

子對 m 引力抵消, 而影響圈內 $N'N'$ 下之分子均有拉 m 向下之作用。

圖 1-2 (b) 示 m 在水面時, 受半影響圈 CDE 內各分子之引力, (c) 示其作用。引力之切分力生一種張力於水面, 此種張力作用於垂直方向之單位長, 名曰表面張力或毛細常數 (capillary constant), 以 T 表之, 單位為 F/L , 液面往往以之而形成最小, 曰滴 (drop)。其特性如下:

- (1) 液面上各方向 T 值相等;
- (2) 液面上任一線所受之 T , 必垂直該線;
- (3) T 值與液面彎度無關;
- (4) 液溫增高, 則 T 值減小;
- (5) 液溫不變, 則液體與氣體或二液體間之 T 值為常數;

- (6) 液體與固體在空氣中相接觸，則接觸面之傾斜角 (angle of inclination) α 必為常數。例如在 20°C 時，
 水對玻璃之傾斜角 $\alpha = 25^{\circ}32'$ ，
 汞對玻璃之傾斜角 $\alpha = 128^{\circ}52'$ 。

各重要流體間之表面張力 T 見表 1-5。

表 1-5. 表面張力 T 值

流體	T ($\frac{\text{gm-wt}}{\text{cm}}$)
水——空氣	0.0770
汞——空氣	0.4700
酒精——空氣	0.0258
橄欖油——空氣	0.0327
橄欖油——水	0.0210
酒精——水	0.0023

毛細現象 液體與固體接觸後，若液體分子之內聚力小於其與固體之附着力時，則液面彎曲向上，此現象曰溼 (wet)；若液體分子之內聚力大於與固體之附着力，則液面彎曲向下，此現象曰不溼 (not wet)。是故若以微細之管插入可溼之液體內，則因附着力作用，近管緣處之液體上升 (圖 1-3 a)。此曲面上表面張力之垂直分力將拉液體再向上行，曲面上之液體密度因而減小，下部液體上行彌補，如是則管內水柱將上升至其拉力與水柱重力相等時為止。若以細管插入不溼之液體內，其作用完全相反 (圖 1-3 b)。此種現象曰毛細現象 (capillarity)。

今試就圖 1-2(b) 觀之，上半影響圈內氣體分子對 m 亦有引力，

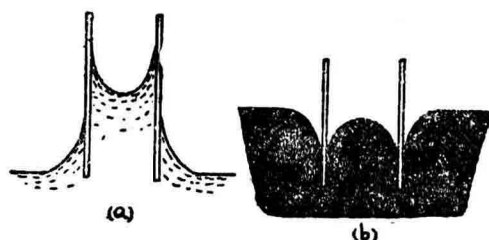


圖 1-3

惟較小耳。故毛細現象亦可以下列理論申釋之：

圖 1-4 (a) 及 (b) 示溼與不溼兩種液體與固體及氣體相接觸。三

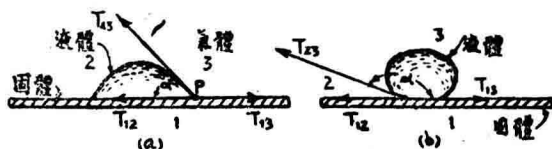


圖 1-4

者之交線經過 P 點，則此 P 點上共受三種表面張力，固體與液體間者為 T_{12} ，固體與氣體間者為 T_{13} ，液體與氣體間者為 T_{23} 。若 P 點呈平衡，則

$$T_{13} = T_{12} + T_{23} \cdot \cos \alpha \quad (1-8)$$

若 $T_{13} = T_{12} + T_{23}$ ，則 $\alpha = 0$ ，是時液體將被拉四散，覆蓋於固體上。若 $(T_{13} - T_{12})$ 值為負數，則 $\cos \alpha$ 為負， α 為鈍角。然若 $T_{12} - T_{13} = T_{23}$ ，則 $\alpha = 180^\circ$ ，倘液體不多，即呈球狀立於固體上。

毛細管內液柱上升高度 如圖 1-5 設液柱升高為 h (由槽中液面量至液柱上端曲面之重心處)，管之內直徑為 d ，液體與管之傾斜角為 α 。液

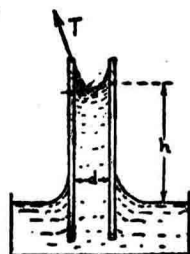


圖 1-5

體重率為 w 。先依第一理論，即上升液體之重力完全為曲液面上之

張力 T 所擔負，因得 $\pi d \cdot T \cdot \cos \alpha = w \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$

$$\therefore h = \frac{4T \cdot \cos \alpha}{wd} \quad (1-9)$$

若易毛細管為距離 d 之二平行板，取其單位寬，得

$$2 \cdot T \cdot \cos \alpha = wd h$$

$$\therefore h = \frac{2T \cdot \cos \alpha}{wd} \quad (1-10)$$

茲再依第二理論（圖1-6）， h 為自槽中水面量至曲面之最低部分， V 為 h 以上水之體積。依虛功原理（principle of virtual work），假定水柱在垂直方向移動 ∂x 之極短距離，再使重力與各張力所作之功恆等，則得 $(T_{12} - T_{13})\pi d \cdot \partial x + w \cdot \partial x \left(\frac{\pi d^2 h}{4} + V \right) = 0$

$$\therefore h = - \frac{4}{wd} (T_{12} - T_{13}) - \frac{4V}{\pi d^2}$$

$$\therefore T_{12} - T_{13} = -T_{23} \cdot \cos \alpha$$

$$\therefore h = \frac{4T_{23} \cdot \cos \alpha}{wd} - \frac{4V}{\pi d^2} \quad (1-11)$$

普通以 V 之值極小，故可使

$$h = \frac{4T_{23} \cdot \cos \alpha}{wd} \quad (1-11a)$$

式中之 T_{23} 與公式(1-9)中之 T 相等，故式(1-11a)與式(1-9)完全相同。

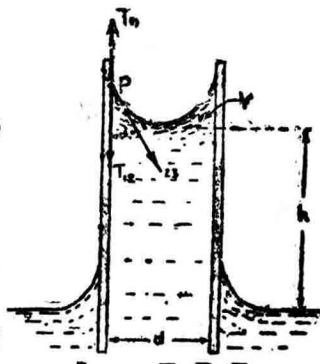


圖 1-6