

高等學校教學用書

水 力 學

上 冊

Н. З. ФРЕНКЕЛЬ 著
劉成玉 徐華舫等譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



水 力 學

上 册

II. B. 富蘭凱爾著
劉成玉 徐華舫等譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立動力出版社(Государственное энергетическое издательство)出版的富蘭凱爾(Н. З. Френкель)著“水力學”(Гидравлика)1947年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為機械高等學校和機械系的教科書。

參加譯本前十一章譯校工作的有北京航空學院劉成玉、王寶興、陳克鏘、夏培原、袁幼卿等同志，最後由徐華舫同志負責校訂；後九章由徐華舫同志翻譯。

水 力 學

上 冊

書號32(課29)

富 蘭 凱 爾 著

劉 成 玉 等 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 華 東 總 分 店 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上海天潼港路一九〇號

開本787×1092 1/25 印張10 4/12.5 字數 206,000

一九五四年七月上海第一版 印數 1-4,000

一九五四年七月上海第一次印刷 定價 羊 14,500

上册目錄

緒論	1
第一章 流體主要的物理性質和基本定義	6
§ 1. 實際流體與理想流體, 液體和氣體	6
§ 2. 均質流體和非均質流體的重度	6
§ 3. 均質流體和非均質流體的密度	7
§ 4. 均質混合流體的重度和密度	8
§ 5. 重度和密度的關係	8
§ 6. 用比重計求重度和密度的方法	9
§ 7. 溫度對流體重度和密度的影響, 體積隨溫度的變化, 體積膨脹係數	9
§ 8. 液體的壓縮性, 體積壓縮係數, 彈性係數	10
§ 9. 氣體的壓縮性	11
§ 10. 表面張力與毛細作用	13
§ 11. 流體的黏性, 動力黏性係數和運動黏性係數	14
§ 12. 黏性與溫度及壓強之關係	16
§ 13. 恩格列黏度計和奧斯特瓦爾德黏度計, 各種表示黏性的制度	19
第二章 作用於流體中之諸力, 表面力和質量力	21
§ 14. 表面力, 黏性流體(實際流體)中之摩擦力和水力壓強, 絕對壓強與表 壓強, 真空度	21
§ 15. 質量力	23
第三章 水靜力學	25
§ 16. 水靜力學的研究對象	25
§ 17. 靜態流體中之諸作用力, 一點上的水靜壓強	25
§ 18. 一點上水靜壓強之性質	25
§ 19. 坐標形式下及向量形式下的歐拉平衡微分方程	28
§ 20. 虛功原理	31
§ 21. 水靜壓頭, 僅受重力和壓力作用的不可壓縮流體的水靜力學基本方程 和等壓面	32
§ 22. 不可壓縮性流體中任何一點上之絕對壓強和表壓強的求法	33
§ 23. 水靜壓強圖線	34
§ 24. 巴斯格定律	35
§ 25. 量壓強的液式儀器	36
§ 26. 水靜壓頭之平面, 水靜壓頭的能量含義	40
題 1—7.	42

題 8. 水壓機	44
題 9. 水壓千斤	46
題 10. 水力起重蓄能器	47
題 11. 水力倍壓器	48
§ 27. 平壁上的流體壓力, 水靜力學上之奇談, 壓力體, 面積上的平均水靜壓強	50
§ 28. 平壁上的壓力中心	53
題 12—13.	55
§ 29. 作用於任意曲面上之液體壓力	57
題 14—19.	60
第四章 浮沉原理簡述	63
§ 30. 阿基米德原理, 基本定義	63
§ 31. 歐拉定理	65
§ 32. 靜穩定性, 穩定度的定傾中心公式, 李德曲線圖	66
§ 33. 求定傾中心高度及穩定性力矩的實驗方法	71
§ 34. 動穩定性	72
題 20—22.	73
第五章 相對靜止液	76
§ 35. 相對靜止的微分方程	76
§ 36. 相對靜止液中等壓面之微分方程, 赫利斯奇安—戈根斯定律	77
§ 37. 貯液器作等速直線運動時器內相對靜止液的壓強分佈律和等壓面	77
§ 38. 貯液器沿斜面作加速度 a 運動時器內相對靜止液的等壓面和壓強分佈律	78
§ 39. 貯液器以定值角速度繞鉛直軸作旋轉運動時器內相對靜止液的等壓面 和壓強分佈律	80
題 23—24.	82
題 25. 液體轉速表	83
題 26. 離心式泵中的軸心力	84
題 27. 噴射水輪	86
第六章 水動力學的基本要素	88
§ 40. 水動力學的課題及其研究方法	88
§ 41. 非定型流動	88
§ 42. 定型運動, 當地時均速度	89
§ 43. 流線	90
§ 44. 流管與微流束, 流束的活躍截面, 微元流量	91
§ 45. 流線的微分方程, 流函數	92
題 28.	93
§ 46. 亥姆霍茲—柯西關於流體微團運動和位流的定理	94
§ 47. 作用於運動流體中的摩擦力	98
§ 48. 某點上某指定方向的水動壓強	99

§ 49. 連續方程	102
§ 50. 微元流束的連續方程	105
§ 51. 坐標形式下和向量形式下的納維爾-斯道克斯運動微分方程與歐拉運動微分方程	106
§ 52. 定型流動中理想液體微團的動能定律及柏努利方程。水動壓頭和總單位能量	109
§ 53. 定型位流中理想液體的柏努利方程。曲槽中的位流	112
§ 54. 定型流動下實際液體的柏努利方程	114
§ 55. 實際液體微團的柏努利方程圖解	115
§ 56. 庇托-浦朗佗管	117
§ 57. 理想液體微團非定型流動的微分方程(自然形式)	118
§ 58. 非定型流動下理想液體微團和實際液體微團的柏努利方程。慣性頭	119
§ 59. 相對定型流下理想液體微團和實際液體微團的柏努利方程	120
第七章 液流的基本水力要素。水力學基本方程	124
§ 60. 平行流動和緩變運動	124
§ 61. 液流之活躍截面。浸濕周界。水力半徑。有水頭之流動和無水頭之流動 ..	126
§ 62. 流量	127
§ 63. 液流的平均速度	127
§ 64. 液流的連續方程	128
§ 65. 液體平行流之功率。單位液流的功率和水動壓頭	129
§ 66. 實際液體的非定型流與定型流之柏努利方程	131
§ 67. 實際液體定型流的柏努利圖線	134
§ 68. 沿導管長度上的能量損失和局部阻礙中的能量損失。水力坡度和計示壓頭坡度	135
§ 69. 實驗測定阻方法	137
§ 70. 柏努利方程在不計水力阻力的定型流動中和非定型流動中之應用舉例 ..	138
題 29.	139
題 30. 與空氣室相連的導管內,流體之流動規律	141
題 31.	143
第八章 動力相似律。層流與紊流	145
§ 71. 動力相似律。牛頓、雷諾、傅勞德、歐拉等氏之準則	145
§ 72. 柏金安定理	152
題 32—33.	155
§ 73. 層流與紊流	156
§ 74. 臨界雷諾數	160
題 34—36.	161
第九章 層流之解析研究	163
§ 75. 斯道克斯公式。圓管中等溫等速層流橫截面上的速度分佈律	163

§ 76. 圓管內等溫等速層流的流量及平均速度之泊稜葉公式	165
§ 77. 求圓管內等溫等速層流沿導管長度上單位能量損失之達西-外士巴赫公式	168
§ 78. 層流的起始段	169
§ 79. 圓管中不等溫的層流。係數 λ 和單位損失能量的求法	172
§ 80. 環狀空間(環狀導管和環狀孔隙)內流體的層流等溫等速運動	174
§ 81. 平面隙槽中流體的層流等溫等速運動	177
§ 82. 平行壁的平底明渠中流體的層流等溫等速運動	178

第十章 紊流的解析研究

§ 83. 紊流研究中之新概念。紊流之內在機構。卡門的滲混長度。紊流中之摩擦力。摩擦應力之直線分佈律。層流層。剪應力速度	180
§ 84. 等溫紊流橫截面上的速度分佈律。卡門和浦朗佗方程。巴辛公式	183
§ 85. 圓管內等溫等速紊流沿導管長度的單位損失能量及其損失功率之算法。尼古拉茨之實驗。係數 λ	186
§ 86. 剪應力速度對係數 λ 的影響	196
§ 87. 光滑管之卡門半經驗公式	197
§ 88. 粗糙管的尼古拉茨半經驗公式	198
§ 89. 其他求紊流係數 λ 的經驗公式	202
§ 90. 非圓截面管子中紊流的單位損失能量公式	204
§ 91. 流量 Q 和直徑 D 以及黏性 ν 對層流與紊流的功率損失值之影響	205
§ 92. 圓管中非等溫的紊流運動。係數 λ 和單位損失能量的求法	206

第十一章 局部阻力。損失相加原則。節流儀

§ 93. 局部阻礙中的單位損失能量和損失功率的求法。當量長度	207
§ 94. 局部阻力係數之實驗確定法	213
§ 95. 包達-卡諾定理。圓導管橫截面面積突然擴大而引起的能量損失	215
§ 96. 因逐漸擴大而損失的能量	221
§ 97. 突然收縮時的能量損失	224
§ 98. 逐漸收縮時的能量損失	226
§ 99. 進入管口時的能量損失	226
§ 100. 液流在彎管中改變方向時的能量損失。包達-卡諾定理之向量形式	227
§ 101. 分支管路中之能量損失	229
§ 102. 彎管中之能量損失	230
§ 103. 開栓及龍頭中之能量損失	231
§ 104. 有止回活門及無止回活門的吸水網之能量損失	233
§ 105. 活門上的能量損失	234
§ 106. 損失相加原則	235
§ 107. 流體作定型流時測量流量用的節流儀。文氏量水表。噴管及隔片孔	240
§ 108. 伏特曼量水表	245

水 力 學

緒 論

現代水力學乃是一門研究支配靜態流體及動態流體的各種力學定律的工程課程，其目的在於運用這些定律以便解決各種工程上的問題。例如，各種管系之水力計算，水力工程中各種構件，水力機械等等的計算。

水力學(гидравлика)一字原由兩個希臘字， $\upsilon\delta\omega\rho$ (休道爾)——水的意思，和 $\alpha\upsilon\lambda\acute{o}\varsigma$ (奧烏洛斯)——管子的意思，所組成的。按這兩個字顧名思義就可以知道，最初產生水力學的目的，主要是研究流體沿管子的運動規律的。不過，這樣理解水力學之含意，只是一個歷史的概念而已，因為現代水力學所研究的問題範圍，正如上面所說的，已經寬廣多了；雖然，關於流體在管中的運動規律這一問題，在目前，仍不失為水力學的基本問題之一。

人類的周圍環境和生產的需要，迫使許多先進的人和學者早在紀元前數世紀就已開始研究關於水力學的問題。雖然過去許多世紀中甚至數千年來的研究，都只是根據一些經驗的數據，但是，至少那時候他們在這方面，已獲得了很大的成就。關於這一點當時已有的船隻，以及在埃及、亞述、巴比倫、羅馬、希臘和中亞細亞的各種水力工程，就是明證。著名的沙赫魯德的灌溉系統之遺跡是中亞細亞最古老的一種灌溉系統，它的建造距今大約已有一千多年。不久前蘇聯農業人民委員會，水力建築總局之勘察隊，又在中亞細亞南部發現了古代灌溉系統的遺跡。

古代從事研究水力學問題的一些學者中，首先應該指出的是艾夫克里德的學生希臘哲學家阿基米德(生於紀元前 287 年卒於紀元前 212

年),他提出了水靜力學的一條基本定律。由阿基米德起,水力學作為一門科學,開始了它的發展史。但在阿基米德以後的整整十七個世紀裏,水力學一直沒有什麼重要的發展。一直到紀元後十六世紀末葉以後,關於水力學方面的知識才被許多學者作了深入的研究。列昂納爾德-達-芬奇(1452—1519年)研究過浮沉問題,孔口洩水,流體對於運動物體之阻力,流體在管中和水渠中之運動等問題。1585年時,佛拉曼學者西門·斯蒂芬(1548—1620年)的著作更進一步發展了水靜力學。1612年,伽利略(1564—1642年)曾寫於一篇論放入水中的物體的論文。在該文中他樹立了浮沉的基本原理。1643年伽利略的學生托里折利(1608—1647年)初次確立了孔口洩水之定律。1650年巴斯格證明了關於流體中壓力傳遞的定律。1686年牛頓又闡明了流體中內摩擦力的基本定律。

在歐洲,封建制度崩潰,由此而引起生產力發展,這種社會經濟的因素,大大的促進了水力學的發展。但是,十七世紀末在水力學方面雖然已經獲得了許多成就,而流體力學理論基礎的完成卻要到十八世紀,所以說十八世紀才創立了水力學底可靠的理論基礎。俄國科學院院士列昂納爾德·歐拉(1707—1783年)應該算是古典流體力學的創始人。他第一次給流體中壓力的觀念下了一個明確的定義,並根據這一定義,他在1755年導出了流體運動的基本方程,該方程後來即以歐拉為名。在流體力學底理論基礎的發展史中,約瑟夫·路易·拉格蘭日(1736—1813年)之功績亦很大。

繼歐拉和拉格蘭日之後,理論流體力學主要在數學方面發展起來了,所研究的是沒有摩擦力的所謂理想流體。從事研究關於這方面的學者在俄羅斯有葛羅米柯,儒可夫斯基,恰普雷金,外國有亥姆霍茲,蘭姆,瑞雷等,但是到了十九世紀,由於技術急劇的發展,曾給水力學提出了許多用理想流體力學無法解決的新問題。

直到1823年,納維才提出黏性流體運動之微分方程,包含有黏性

影響項在內的方程，也就是說包含有運動流體內所產生的摩擦力。稍遲，從事研究黏性流體力學的有波依嵩(1831年)，聖·維南(1843年)，和斯道克斯(1845年)。但是，納維，波依嵩，聖·維南，斯道克斯等人的微分方程，只能應用於極簡單的運動形式，若把這一方程式用於較複雜的運動，就會發生許多難以克服的數學困難。在這種情況下，遂使工程人員無法運用流體力學的推演而不得不乞救於實驗。純根據實驗資料脫離理論的結果，遂使實用水力學便成爲一門實驗的科學而發展起來。在創立這一實用科學的過程中，起大作用的要算是1725—1733年在彼得堡擔任俄羅斯科學研究院院士的達尼爾·柏努利(1700—1782年)。至於進一步發展了實用水力學的要歸功於羅蒙諾索夫，舍季，杜邦，艾鐵里維納，外士巴赫，哈根，杜平，達西，巴辛，布森聶斯克，等人。由於實用水力學中實驗傾向佔優勢的關係，遂更加深了它與古典流體力學間的脫節。因而也就阻滯了流體運動科學之發展。

近半世紀來，這兩種派別逐漸趨於接近，並相互結合。在這兒因定律和相似原理所起的作用非常大。說到這兒，不能不提出奧斯本·雷諾(1883年)來，他曾指出有兩種運動形態，層流與紊流，同時他又發展了用於流體運動的相似原理。所有這些，都使現代實用水力學的科學基礎更加鞏固，因而也就有可能把無數實驗的數據加以歸納，作出有用的結論來。

俄國學者在水力學的理論基礎上和實用基礎上都有很卓越的貢獻：H. II. 彼得洛夫(1836—1920年)是現代潤滑水動力學原理的奠基者，H. E. 儒可夫斯基曾大大地發展了理論流體力學，並提出許多大有成效的方法。用流體力學解決許多實際問題，從而更促進了理論與實驗兩派的結合。儒可夫斯基所作的關於導管中的水錘的研究，潤滑水動力學原理，以及其他研究都是經典的學問。在流體力學的發展中，現代空氣動力學的創始者 C. A. 恰普雷金所起的作用也不小；同時也應該指出 B. A. 巴赫米切夫關於明河床中不等速運動原理的偉大貢獻和

H. H. 巴甫洛夫斯基(1920年)關於多孔介質中流體的不等速運動原理的貢獻。巴甫洛夫斯基還曾創立了運用電位比擬法(ЭГДА)來研究水力學。這是解決水力工程設計中某些問題的唯一方法。同時還須指出 J. C. 列義賓卓對於石油工業水力學和潤滑水動力學原理的寶貴貢獻和 M. A. 威力卡諾夫對水渠中液流動力學以及 A. Я. 米洛維赤對固體與流體間互相作用問題的偉大貢獻。

到了二十世紀,理論流體力學和實驗水力學之關係更加接近。爲了綜合豐富的實驗資料起見,現代水力學廣泛地運用因次定律和動力相似原理,這些方法和古典流體力學一起使水力學者——實驗家們在解決許多重要問題上,得到很大的進展。但理論上最巨大的困難是所謂“紊流問題”在很長的一個時期內,紊流運動一直被認爲是“使人悲觀失望的一個謎”(布森聶斯克語),但是近十餘年來,紊流運動的理論研究與實踐都表現了輝煌的成就,因而使紊流的內在機構成爲完全可以理解的東西了。在這方面功績最大的,要算卡門和浦朗侖。說到這裏不能不提到葛維德·馬特交爾和蘇聯中央空液動力學研究院——儒可夫斯基研究院在這方面的各種文獻(如 П. А. 古爾仁科的著作),研究院的一切文獻都是向前發展了一步的新的理論,按其效果來說,自然要比卡門和浦朗侖的理論更能說明紊流運動的內在機構。

十月革命後,水力學在蘇聯的發展成績特別大。列寧,斯大林的偉大理想之實現——即全國電氣化,工業農業的改造及新運河和新城市的建築等計劃的實現,完全改變了蘇聯的面貌。僅在第一個斯大林五年計劃的年代裏,就建築了許多規模宏大的運河和數十座巨大的和中等的水力發電站。而在 1946 到 1950 年中還要建築相當數量的,新型的,更強大的水力發電站,航行建築,灌溉系統和給水工程等。蘇聯的水力學者及其水力工程學者們利用廣佈蘇聯各地的規模宏大的設備,週全的水力實驗室,和水力工程實驗室,這些有利條件,有一切可能實現偉大斯大林的指示。

雖然，我們在流體運動規律的研究中，無論是在理論方面還是實踐方面均已有了很大的成績，但由於運動流體所產生的過程非常複雜以致在目前依然是困難重重，而且尚有許多無法解決的問題存在。但目前我們所獲得的成績證明，這些在水力學上非常重要的問題，不久的將來一定會全部解決的，完備的理論基礎和完善的實驗設備，保證我們在流體運動規律上進一步獲得科學成就。

第一章 流體主要的物理性質和基本定義

§1. 實際流體與理想流體，液體和氣體

水力學係從事研究支配靜態流體和動態流體的各種力學定律的科學，其研究目的在於運用這些定律來解決各種工程上所遇到的實際問題。

凡不能像固體一樣保持其一定形狀的物理物體稱作流體。任何微小的力都可以使流體的形狀發生顯著的變化。祇要有流動的可能，甚至在其本身重量的作用下亦會流動。不過每種實際流體的流動性都是有一定限度的。流體的流動性是受其黏性的限制，也就是說，受流體之抗剪力和抗拉力之限制。無黏性的流體我們稱它為理想流體，而固體都具有最大之黏性。但實際物體按其性質來說，都是介於理想流體和絕對固體之間的物體。故流體按其性質來說是接近理想流體的物體，而固體則按其性質和絕對固體近似。水力學中研究其運動規律和平衡定律的流體，可以分為下列兩大類。

第一類為可壓縮流體——氣體；第二類為幾乎是不可壓縮的流體——液體。可壓縮流體——即充滿容器之氣體，在外力之作用（壓縮或膨脹）下，其容積之變化非常顯著。

但液體，簡直不因外力的作用而改變其容積。

§2. 均質流體和非均質流體的重度

均質物體之重量對其所佔據的容積之比叫作均質物體之重度：

$$\gamma = \frac{G}{V} \frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \quad \text{或} \quad \frac{\text{克} \textcircled{1}}{\text{厘米}^2 \text{秒}^2}, \quad (1)$$

式中之 G 為該均質體之重量，其單位為仟克或達因；

V 為該均質體之體積，其單位為米³或厘米³。

① 因次中如遇克則表示為力的單位，而克（黑粗體）則表示質量單位。

第一章 流體主要的物理性質和基本定義

若為非均質體時，則(1)式只能求出該物體的平均重量。欲求非均質體中某點之重量時，應該依照下式：

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} = \frac{dG}{dV} \quad \frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \quad \text{或} \quad \frac{\text{克}}{\text{厘米}^3 \text{秒}^2}, \quad (2)$$

式中之 ΔG 為無限小物體的重量，即趨近於一點時該物體容積中之重量。

這裏需要指明，假設可以把重量作 $\frac{dG}{dV}$ 來求的話，那麼我們也就可以把它當作是能以其質量連續充滿容積的物體。這樣一來，我們就可以把流體當作是一種連續質。這一假定之所以能夠成立，是由於我們研討的流體範圍的大小通常總是比流體分子的平均自由行距之長度大得多。

下面表 1 中所列舉的各值為某些均質體之重量。

表 1 某些流體的重量

次序	流 體 之 名 稱	γ (仟克/米 ³)	t (°C)
1	蒸溜水	1000	4
2	海水	1020—1030	15
	汽油(按全蘇標準規格來分):		
3	格羅茲涅輕汽油	730	15
4	格羅茲涅重汽油	750	15
5	巴庫汽油	755	15
6	巴庫石油	790—950	15
7	煤油	760	15
8	空氣	1.293	0
9	空氣	1.183	20
10	礦質潤滑油	900—930	15
11	水銀	13600	0
12	無水甘油	1260	0
13	50%甘油	1130	0
14	熔化生鐵	7000	1200
15	燃燒產物(平均成份)	1.25—0.0027 t^0	t

§3. 均質流體和非均質流體的密度

均質流體的質量對其所佔有的容積之比叫作均質流體之密度(單位容積之質量)：

$$\rho = \frac{m}{V} \frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \text{ 或 } \frac{\text{克}}{\text{厘米}^3}, \quad (3)$$

式中之 m 爲該均質體之質量，其單位爲 $\frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}}$ 或克；

V 爲該均質體之體積，其單位爲 米^3 或 厘米^3 。

若爲非均質體時，則(3)式只能求出該物體之平均密度，欲求得某定點中之密度時，應該運用下一公式：

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \text{ 或 } \frac{\text{克}}{\text{厘米}^3}, \quad (4)$$

式中之 Δm 爲物體之容積無限小時，即 dV 趨於一點時，該物體之質量。

在 CGS 制中常把溫度在 3.98°C 的蒸餾水之密度，作爲密度的單位。其數值等於 1 厘米^3 蒸溜水的質量。

§4. 均質混合流體的重度和密度

依照下一公式，就可以求得由數種均質流體所組成的均質混合物十分精確的重度和密度：

$$\gamma_{cm} = \frac{\sum \gamma_i V_i}{V_{cm}}, \quad (5)$$

$$\rho_{cm} = \frac{\sum \rho_i V_i}{V_{cm}}; \quad (6)$$

式中之 γ_{cm} 和 ρ_{cm} 爲混合物的重度和密度；

γ_i 和 ρ_i 爲各參加混合的流體之重度和密度；

V_i 爲參加混合的流體之體積；

V_{cm} 爲混合物的體積。

但不應忘記，由非均質流體所組成的混合物，其容積並不等於各個參加混合的流體容積之和。

§5. 重度和密度的關係

根據物體之重量 G 爲物體之質量 m 和重力加速度 g 之乘積這一定律，即 $G = mg$ 仟克，若以容積 V 除上式之左右兩次，則不難求出其重度

$$\gamma = \rho g. \quad (7)$$

§6. 用比重計求重度和密度的方法

測定流體重度 γ 及密度 ρ 最簡單之方法，就是用一種叫作比重計之儀器。

如圖 1 中所示的就是一個石油比重計(全蘇標準規格 OCT 4989)。

重量和密度通常都用度數來表示，如用波姆度(n)。

欲把度數換算為分別表示重度和密度的單位時，依其所用之比重計之類型之不同，有好幾個公式(關於比重計之類型及換算法，希參閱 Hütte 1934 年第一版之 951 頁)；例如，波姆比重計之換算須依下面(合理地)公式：

$$\rho \text{ 克/厘米}^3 = \gamma \text{ 克/厘米}^3 = \frac{144.3}{144.3 \pm n}, \quad (8)$$

式中之 \pm 號表示，若流體輕於水時，則用加號“+”，反之重於水時，則用減號“-”。

§7. 溫度對流體重度和密度的影響。體積

隨溫度的變化。體積膨脹係數

若溫度發生波動時，則流體的重度和密度都必然亦隨之而發生變化。

體積隨溫度的變化可以用體積膨脹係數

$\beta_t \frac{1}{^\circ\text{C}}$ 來表示。體積膨脹係數是表示每當溫度 t 增高 1° 度時，體積 V 的相對變化，可由下式求之。

$$\beta_t = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \frac{1}{^\circ\text{C}}. \quad (9)$$

欲求流體在溫度 $t^\circ\text{C}$ 時之密度或重度時，可用下列各公式：

用於石油或石油產品之公式：

$$\rho_t = \frac{\rho_{15^\circ}}{1 + \beta_t(t - 15^\circ)}, \quad (10)$$

式中之 ρ_t —欲求之密度；

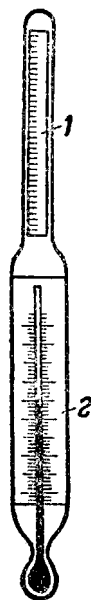


圖 1. 石油比重計。

1. 比重計之刻度；
2. 溫度計之刻度。

ρ_{15° —在溫度 $t=15^\circ\text{C}$ 時已知之密度；

β_t —石油之體積膨脹係數，其值依其石油產品之種類而定（見表 2）。

表 2 隨石油產品種類而定的石油產品體積膨脹係數值

ρ_{15°	0.70	0.80	0.85	0.90	0.92
β_t	0.00082	0.00077	0.00072	0.00064	0.00060

水銀之公式

$$\gamma_t = \frac{\gamma_0}{1 + 0.0001815t}, \quad (11)$$

式中之 γ_t —欲求之重度；

γ_0 —當 $t=0^\circ$ 時；水銀之重度。

§8. 液體的壓縮性. 體積壓縮係數. 彈性係數

液體的壓縮性，可用體積壓縮係數 β_p 厘米²/仟克來表示。體積壓縮係數是表示每當壓強 p 增加 1 仟克/厘米²時，體積 V 的相對變化。其求法依下式：

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \text{ 厘米}^2/\text{仟克}. \quad (12)$$

液體之體積壓縮係數非常的小，故在實際上往往可以把液體當作是不可壓縮的流體。例如，水之體積壓縮係數，當壓力：

由 1 到 500 氣壓時，其平均值 $\beta_p = 47.5 \times 10^{-6}$

由 1000 到 1500 氣壓時，其平均值 $\beta_p = 35.8 \times 10^{-6}$

由 2500 到 3000 氣壓時，其平均值， $\beta_p = 26.1 \times 10^{-6}$

但是，在某些水力現象中，則不能把它的壓縮性略而不計。這在 §115 中研究水錘現象時，還要詳細地加以討論。

體積壓縮係數的倒數 $E_0 = \frac{1}{\beta_p}$ 仟克/厘米² 叫作彈性係數。

表 3 中所列舉的是根據亞馬格和蘭道爾特(Амаг и Ландольт)之實