

普通水力學講義

М. П. КОЖЕВНИКОВ 編著

北京地質學院水文地質教研室譯

清華大學水力学教研組校訂

高等教育出版社



普通水力學講義

M. II. 科惹夫尼柯夫編著
北京地質學院水文地質教研室譯
清華大學水力學教研組校訂

高等教育出版社

本書係根據清華大學蘇聯專家科惹夫尼柯夫(М. П. Кожовников)所編“普通水力學講義”(Лекции по общему курсу гидравлики)譯出的。

本書係由北京地質學院水文地質教研室翻譯，並由清華大學水力學教研組校訂。

本講義共分九章，內容包括緒言、靜水力學、動水力學基礎、液體運動的水流阻力和水頭損失、液體在有壓導管中的流動、液體在明槽中的均勻流動、孔口和管嘴的液體出流、堰頂溢流以及液流的力學相似的基本理論等部分。本講義的內容與編排是與蘇聯的多科性工學院水利工程各專業的水力學教學大綱中的普通水力學部分一致的。本講義系統清晰、說理嚴明、圖表精確、而對於概念的確立及物理意義的闡明尤有獨到之處。本書除了適於採用為水利各專業的教材外，並可作為高等工業學校其他專業水力學課程的教學參考書，及有關科學技術工作人員參考之用。

3786/08

普通水力學講義

М. П. 科惹夫尼柯夫編著

北京地質學院水文地質教研室譯

清華大學水力學教研組校訂

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証出字第〇五四號)

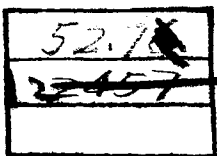
京華印書局印刷 新華書店總經售

書號339(課316) 開本850×1168 1/32 印張11 5/8 字數272,000

一九五五年七月北京第一版

一九五七年二月北京第五次印刷

印數 4,701—8,200 定價 (8) 1.46



52.7
12

這本書是在 1954 年的正月到五月我在北京地質學院爲中國高等學校的青年教師們講普通水力學課程時的講義。

在編寫講稿時，我曾參考了蘇聯水力學方面的現有文獻。

我相信這本講義對於青年教師在他們準備講課以及在他們準備編寫新的教科書時能夠作爲參考書。

有時，當講演的時數較少時，在水力學的講演中是不提到歐拉方程式的。所以，某些問題我用了兩種講法：利用歐拉方程式和不利用歐拉方程式。

爲了使能更精確地譯成中文，對於某些詞句我引用了平行的編寫法。

對於學習水力學的學生們，除講義外還必須有水力學的教科書來補充。這本書不是教科書。在教科書裏，某些問題應該敘述得更詳盡；在教科書裏，應有更多的圖、表、曲線和可能引用的一些照片。在這本書裏所敘述的水力學只包括一般演講的內容。敘述管路計算中某些個別問題的 § 65 是個例外。這些重要問題並沒有原則上的意義。所以在 § 65 中僅指出了相應的參考文獻代替了敘述。

但是，當還沒有與教學大綱相適應的很好的教科書的時候，這本書可以作爲臨時的教學參考書。

感到這本書有益的讀者們應該估計到北京地質學院的翻譯們程慧珠和陳敏英所做的大量的翻譯工作，清華大學教授們夏震寰和李丕濟所做的校訂譯文的工作及清華大學水力學教研組的同事們在出版這本書方面所做的工作。

從我自己這方面，對於所有他們的勞動致以深切的感謝。

米·科惹夫尼柯夫

1954 年 12 月於北京

497764

52.76
2457

目 錄

第一章 緒 論.....	1
§ 1. 一些主要的定義	1
§ 2. 水力學作為一門科學的發展簡史	3
§ 3. “流體”的水力學定義	7
§ 4. 液體的主要力學性質	10
§ 5. 作用於液體的力	12
第二章 靜水力學	15
§ 6. 靜水壓力及其特性	15
§ 7. 液體平衡的微分方程式(歐拉方程式)	19
§ 8. 液體平衡微分方程式的積分	21
§ 9. 巴斯加定律	23
§ 10. 等壓面	24
§ 11. 重力液體中的靜水壓力	27
§ 12. 靜水壓力的圖示。靜水壓力分佈圖	29
§ 13. 連通器裏的液體平衡	33
§ 14. 測管高度和靜力高度	35
§ 15. 靜力水頭及測管水頭	38
§ 16. 真空	40
§ 17. 運動着的器皿中的液體平衡	42
§ 18. 作用在各種形狀的平面體上的靜水總壓力	52
§ 19. 作用在矩形平面體上的靜水總壓力	57
§ 20. 曲面體上的靜水總壓力	61
§ 21. “靜水奇象”	75
§ 22. 阿基米德原理	77
§ 23. 潛體的平衡	80
§ 24. 浮體的平衡	82

§ 25. 按照靜水力學原理工作的簡單水力機械	84
第三章 動水力學基礎	89
§ 26. 概述	89
§ 27. 研究液體運動的兩種方法	90
§ 28. 液體的穩定流動和不穩定流動	94
§ 29. 流線・過水斷面・流量	95
§ 30. 纖流的連續性方程式	100
§ 31. 理想液體運動的微分方程式(歐拉方程式)	102
§ 32. 不可壓縮液體連續性的微分方程式	105
§ 33. 理想液體纖流的伯諾里積分	108
§ 34. 理想液體纖流的(沿流線的)伯諾里方程式	111
§ 35. 伯諾里方程式的水力學意義、幾何意義和能量意義(對理想液體 的纖流而言)	115
§ 36. 實際(黏滯)液體的纖流的伯諾里方程式	122
§ 37. 水力坡度和測管水頭線坡度	124
§ 38. 實際液體纖流在相對穩定流動時的伯諾里方程式	126
§ 39. 液體的漸變流動	129
§ 40. 過水斷面上的平均流速	135
§ 41. 總流的連續性水力學方程式	136
§ 42. 關於水力學的三個積分式・係數 α_0 和 α	138
§ 43. 實際液體總流的伯諾里方程式	141
§ 44. 實際液體總流的水力坡度和測管水頭線坡度	147
§ 45. 穩定總流的動量方程式	148
第四章 液體運動的水流阻力和水頭損失	153
§ 46. 液體的均勻流動和不均勻的緩變流動	153
§ 47. 液體的有壓流動和無壓流動	155
§ 48. 過水斷面的水力要素	156
§ 49. 水流阻力的兩種形式	159
§ 50. 均勻流動的基本方程式	161
§ 51. 牛頓的液體內摩擦定律	163
§ 52. 液體流動的兩種類型	169

§ 53. 液體的層流運動	181
§ 54. 液體的紊流運動概述	189
§ 55. 均勻紊流中的摩擦水頭損失・謝才公式	196
§ 56. 尼古拉池及蔡克斯達圖	200
§ 57. 確定係數 λ 和 C 的公式	205
§ 58. 局部水頭損失(局部水流阻力)	210
§ 59. 管中水流驟然放大的水頭損失	211
§ 60. 確定局部水頭損失(局部水流阻力)的普遍公式	215
§ 61. 局部水頭損失的疊加・管系阻力係數	218
第五章 液體在有壓導管中的流動	221
§ 62. 概述・“長”和“短”管	221
§ 63. “長”管的水力計算	222
§ 64. “短”管的水力計算	232
§ 65. 某些特殊情況下管路的水力計算	242
§ 66. 有壓管路中的水擊	243
第六章 液體在明槽中的均勻流動(即液體的無壓均勻流動)	251
§ 67. 概述	251
§ 68. 基本計算公式	253
§ 69. 渠道過水斷面的水力要素(特性)	255
§ 70. 水力最優的梯形過水斷面	257
§ 71. 渠道水力計算問題的基本類型	261
§ 72. 渠道水流的最大與最小的允許流速	264
§ 73. 關於冰蓋渠道及不均質渠道的水力計算的提示	267
§ 74. 關於無壓管(即不滿流的管子)水力計算的提示	269
§ 75. 關於複式斷面渠道的水力計算的補充說明	271
§ 76. 關於天然河道中“均勻”流動的補充說明	272
§ 77. 關於明槽過水斷面上流速分佈性質的補充說明	273
第七章 孔口和管嘴的液體出流	275
§ 78. 概述	275
§ 79. 薄壁非淹沒小孔口的液體穩定出流	278

§ 80. 薄壁淹没孔口的液体出流	285
§ 81. 薄壁非淹没大孔口的液体稳定出流	287
§ 82. 關於薄壁半淹没孔口的液体稳定出流的补充说明	290
§ 83. 關於由孔口流入大气中的水股形状的补充说明	291
§ 84. 薄壁孔口的液体不稳定出流	293
§ 85. 管嘴的液体出流 • 概述	298
§ 86. 圆柱形外管嘴的液体稳定出流	300
§ 87. 關於水從各種型式的管嘴出流的补充说明	311
第八章 堰頂溢流	316
§ 88. 基本定義 • 堰的分類	316
§ 89. 應用的符號	320
§ 90. 不淹没堰的基本計算方程式	322
§ 91. 薄壁堰	324
§ 92. 寬頂堰	332
§ 93. 實用断面堰	345
第九章 液流的力学相似的基本理論	348

第一章 緒 論

全部水力學課程可以適當地分為下列各部分：

а) 普通水力學，為各種高等工業學校各以不同的份量和不同的角度進行學習的部分；

б) 專門水力學，是研究個別專業的工程師感興趣的問題；

в) 流體力學基礎，為研究某些部分的水力學所必需的知識；

г) 流體力學的滲流理論；

д) 波浪理論(液體的波浪運動)。

本書內容是關於普通水力學的問題。

§ 1. 一些主要的定義

在開始研究本課程的主要章節以前，先解釋一些將引用的概念。

俄文中的水力學一字(гидравлика)是由兩個希臘字結合而得：хюдор(水)和 аулос(管)。由此就會一望而知地得出結論：水力學是主要研究管中水流運動的，但是現在水力學的任務要廣泛得多。像上面所指的水力學的狹窄的含義僅有歷史的意義了。

現代的水力學是一門實用的工程科學，是應用力學的一部分，它研究液體平衡與運動的規律及實際應用這些規律的方法。

從事於液體平衡與運動底研究的還有其他一門科學——流體力學，也是理論力學的一部分。那末水力學和流體力學在研究液體運動的處理方法上的差別究竟何在呢？

流體力學具有嚴密的數學性質。主要追求問題提出的嚴格性和問題解答的一般性及精確性。流體力學在解決實際問題上的因

難，一直到今天大大地限制了可用流體力學來解決的問題的範圍。

水力學依據着流體力學。首先注意到工程實際問題。力求解決這些問題，雖然祇是近似的解決，然而一定要解決到可能實際應用為止。水力學沒有一套完整的嚴密性束縛着，力求能在數量上估計水力現象的主要因素，爲的是要爲技術方面得到雖然是近似的但是對技術是足夠準確的結果。因此，那些理論上得不到的東西，水力學就以實驗資料來補充。水力學和流體力學的區別就在於後者所研究的是充滿了流動液體的空間的流速場，而水力學通常祇研究流動的平均流速。

最近在嘗試把這二門科學接近起來。

任何專業的工程師在自己的工作中在某種程度上按例是必需和水力現象發生關係的。所以普通水力學在或大或小的範圍裏成爲一門每個工程師不論其專業是什麼所必需要研究的科學。問題祇在於研究的範圍和深度的不同而已。

對水文地質學家來講，也必需很好的知道水力學。因爲水力學是水文地質學的最重要的一部分——地下水動力學——的基礎。在普通水力學課程中所敘述的概念，不僅使我們能夠正確的了解與流體力學有關的現象的物理性質，同時也使我們能夠進行工程計算，例如：確定作用在邊界面上的水的總壓力，確定在一定條件下的管中或渠中流動的水量，爲了使一定水量能在管中或渠中流動，確定所必需的圓管或渠道的尺寸，確定從器壁孔口流出的水量以及其他等等。

在學習普通水力學時所得到的這些知識使我們在將來研究地下水動力學時能夠確定下列各項有關的問題：

- a) 在土壤中水作均勻運動和非均勻運動等不同的情形下的自由表面(或測管表面)；
- 6) 土壤中水流的水量；

Б) 流向集水建築物(井,排水設備等等)的水量;

Г) 作用於水工建築物地下部分的地下水壓力和在水工建築物下面及繞着建築物流動的地下水流速,這是在設計建築物時所必需知道的;

Д) 從水庫和渠道流出的水的滲流耗損量。

很好的水力學知識對建築工程師也是必須的,尤其是水工建築工程師,他們是水工建築物、灌溉系統和排水系統的建設者。

機械工程師,主要是水力機械和氣體機械方面以及在生產中要消費巨大水量的造紙工業的專家和冶金工程師,也應當很好的了解水力學。冶金工程師在熔煉一噸鋼鐵時要消費幾十噸的水,同時還與熔鐵爐裏氣體運動的複雜過程有關係。這是大家所知道的,大規模的冶金聯合工廠需要大量的水來保證生產上和日常生活上的需要,並有自己的給水水源和附有複雜的水工建築物,如水壩、水泵站,導管。

§ 2. 水力學作為一門科學的發展簡史

現在我們來簡略的了解一下水力學發展的主要歷史階段。

還在太古時代,當人們與自然界的天然力量作鬥爭及在力求改造自然以符合人們需要的同時,已經開始建築了水工建築物和創造了最簡單的水力機械。我們都知道在中國,中亞細亞美索不達米亞和埃及在紀元前的10—20世紀時期裏就有了大規模的灌溉渠道和通航運河及水壩。我們也知道在紀元前最後十世紀的時期裏,在古代世界的城市裏就有了相當複雜的導管和下水系統。

這些以及其他許多建築物都是由當時具有水力學的實際知識的天才的人們所建造的。然而那時還沒有把這些知識進行科學的總結,同時這些知識大概祇是口頭的一代傳到一代。

我們所知道的初次嘗試來構成水力學的規律的是亞理斯多德

(紀元前四世紀)和阿基米德(紀元前三世紀)的著作。然而亞里斯多德的著作裏有錯誤的論斷。所以常認為水力學作為一門科學是從阿基米德所寫的一篇論文“論浮體”開始的。在這篇論文內他精確的給出了著名的“阿基米德原理”，從而奠定了物體平衡和沉浮的理論基礎。

中世紀時代在科學上毫無新的成就。

祇有在阿基米德時代以後經過了十七個世紀，由於實際生活上的需要就開始了科學上的新進步。

達奧納爾多·達·芬奇(15—16世紀)第一個確定了在液體介質中運動着的固體所遭遇到的阻力以及提出了許多在水力學方面有價值的觀念。

16—17世紀時，斯戴維、迦里列依和巴斯加在靜水力學方面做了很多工作，也可以說是他們創立了水力學中這個重要的章節。同時我們要注意，那時的學者還沒有掌握數學分析而純粹利用幾何的概念。

17—18世紀時牛頓構成了現在以他名字命名的關於液體中內摩擦力的定律，並且確定了力學相似的基本原則。他在固體力學方面的著作是為流體力學的創立準備了先決條件。

現代理論流體力學的基礎是十八世紀在俄羅斯科學院中被兩位院士——列奧那爾德·歐拉和達尼爾·伯諾里所奠定的。

伯諾里出生於荷蘭，在俄羅斯科學院開始了自己的科學活動，在那裏担任了八年的力學講座的工作。在1738年，創作了自己的著作“流體力學”。在這個著作裏他初次有系統地表述了動水力學的一些基本原理，並得出了著名的並以他的名字命名的方程式，這是水力學的基本方程式中之一。這個方程式是首先由羅蒙諾索夫所提出的能量守恆定律的表示式中的一種。

在流體力學的發展中起特別作用的是生在瑞士的歐拉。他也在俄羅斯科學院開始了自己的科學活動。他在 20 歲時來到了俄羅斯，在此地工作到 76 歲，直到他逝世為止。除了在黑暗的“皮隆”^①時代的數年以外，當時他雖保持着與科學院的聯繫曾暫時離開俄羅斯。

歐拉第一個提出了理想液體平衡和運動的普遍微分方程式（1755 年），得出了它們的積分，給出了連續性的微分方程式，證明了連續介質的動量定理和許多其他等等。

十八世紀的偉大數學家歐拉在流體力學中應用了數學分析，他不但嚴整地形成了自己的思想，同時也形成了同時代的伯諾里及其他人的思想。

從歐拉和伯諾里那時起理論流體力學開始了發展，在這發展中，俄國和蘇聯的學者們作出了重大的貢獻。嘉桑大學的教授格羅密卡給了歐拉方程式以新的形式；儒柯夫斯基證明了作用在機翼上的昇力定理，製定了螺旋槳（推進器）的流體力學理論，水擊的理論和許多其他的理論；他的繼承者恰普雷庚在機翼的理論與氣體力學方面有許多的成就；彼脫洛夫提出了流體力學的滑潤理論以及其他等等。1880 年門傑列也夫首先就提出了有環繞流的物體表面上的所謂“邊層”的觀念，但直到二十世紀，俄國和外國的學者們的著作中對這個才有進一步的研究。

在流體力學方面有許多成就的外國學者中應該提出的有：達拉姆貝爾、拉格蘭什、蓋耳姆高耳次、柯希、斯多克斯、納維埃、雷諾以及其他學者。

我們已經指出過用流體力學來解決實際問題的巨大困難性。但是在某些方面，即是在航空的空氣動力學方面，在地下水運動方面（換句話說，在滲流方面），以及在水力機械的流體力學計算方

① 皮隆時代係指龍臣皮隆統治國家的時代——譯者註。

面，流體力學不僅在理論方面而在實用方面也能作出許多寶貴的貢獻。但在其餘的流體流動的範圍內能為流體力學所解決的問題是有限的。

因此從十八世紀開始，迅速發展的工程技術引起了水力學的迅速發展。

如果水力學要給實際生活的需要以毫不遲緩的回答，就不得不放棄初等的數學分析而運用伯諾里方程式，動量方程式作為基本的有效方法，並廣泛地依據實驗。

1755 年謝才提出了能滿足在邊牆(管牆，河床邊界)控制下的液體均勻流動的定律。直到今天我們仍運用着謝才公式。在二百年的運用中我們已為測定謝才公式中的實驗係數累積了大量的實驗材料。

十九世紀的九十年代中明確了液體流動有兩種類型——層流和紊流的可能性。從那時起在水力學家面前產生了最困難的紊流問題。

到現在，在解決專門問題方面如關於液體的孔口出流、管嘴流、水堰溢流、關於水流對障壁的作用以及其他等等方面成就很大。

許多水力學上的問題是由於大規模水工建築的發展而產生的，這些水工建築是為實現灌溉和排水系統，運河以及利用水能的目的而進行的。這裏，除去地面水流的水力學外還產生了地下水流(滲流)的水力學方面的問題。這類的問題就組成了工程水力學與滲流理論(地下水動力學)。這些科目通常在專門課程裏講述。

從伯諾里和歐拉時代起到二十世紀初期以前，水力學在俄羅斯的發展與外國幾乎是一樣。

但是在二十世紀初期，俄羅斯的水力學逐漸地擺脫了西方的影響而走上一條新的發展道路。並且在一個較短的時期裏，特別

是在偉大的十月革命之後，得到了巨大的成就，大大的超過了國外的水力學。

俄羅斯是有巨大水工建築可能性的國家。有巨大的河流，遼闊的領土，在那裏可能建造巨大的水電站、航運系統和土壤改良（灌溉和排水）的系統，給國民經濟帶來極大的利益，尤其是在社會主義經濟條件之下。由於這種情況，在第一次世界大戰前不久，在俄羅斯彼得堡工業大學裏為俄羅斯水力學出現了新的工程水力學的方向。在工程水力學的發展中蘇聯水力學家起着主導的作用。

工程水力學的奠基者為科學院院士巴甫洛夫斯基以及契爾托烏索夫、薩巴聶也夫、拉赫曼諾夫、列維諾教授以及其他等人。他們在蓬勃發展着的蘇聯的水工建築與科學研究所及其實驗室的條件下將蘇聯的水力學提到世界的首位。

如果在十月革命後最早的幾年裏我們建設了我們的初生子——伏爾霍夫水力發電站，那末現在我們在同時能建造一系列偉大的建築物——已建築了以列寧為名的伏爾加-頓通航運河，正在建造古別雪夫、斯大林格勒、卡霍夫水力發電站以及許多其他宏偉的建築物。所有這些巨大的建築是我們在空前未有的短時期內不需要外來的幫助下建造起來並以機械裝備起來的。

水工技術在最近幾年中在蘇聯將要繼續順利地發展。

中華人民共和國國民經濟發展的無限可能性也同樣迫切地要求科學和技術的全面發展，因此蘇聯與中華人民共和國之間的生產經驗和科學知識的友誼交換有着極重大的意義。

§ 3. “流體”的水力學定義

這樣，流體的平衡與運動將是我們研究的科目。流體在科學上的定義究竟是什麼呢？在水力學中理解流體為一種物體，基本特徵為它的質點間的凝聚力極小，以致在實際上它對張力、對形狀的

緩慢改變都不顯示阻力，而僅能抵抗對它壓縮的力量。這裏所以必須說明關於形狀的緩慢改變是因為流體形狀的迅速改變會遇到由液體的質量所形成的慣性阻力。以上所述的流體基本特徵有時稱為“易動性”，這可瞭解為流體和固體不同，其質點的相互移動與其形狀的改變有極大的自由性。

流體通常分為液體與氣體兩種。

在重力場裏能有邊界（自由）液面並在實用的意義上是不可壓縮的流體稱為液體（水、石油、酒精以及其他）。液體注入器皿後具有器皿的形狀，而在其上面有自由液面為邊界。

氣體也不對張力和形狀的緩慢改變顯示阻力。但是它與液體的區別在於可壓縮和具有彈性，並完全地充滿容納它的器皿（空氣以及其他）。

水力学是從事於液體運動的研究。但同時我們指出，當氣體密度在實際上沒有改變或當流速較音速為小的條件下，氣體的流動與液體的運動可用相似的關係來表示。而當速度接近於音速和超過音速時，液體和氣體的流動彼此間就有了根本的不同。

自然界中的液體具有非常重要的特性——黏滯性或內部質點間的摩擦力。以後我們將深入研究這種性質。現在祇須指出液體黏滯性，在外表上表現在液體沿着固定表面運動時的阻力程度或表現在液體中的固體運動所遭受的阻力大小。由於液體的流動（運動）可以看作為液體的變形，因此可以講，如果有變形發生則液體的黏滯性表現在對液體質點變形的阻抗（使變形緩慢）。但是液體的黏滯性僅能使液體變形緩慢（使流動緩慢）而不能停止其變形（液體流動）。關於這個液體普遍特性的例外將在以後敘述。

在靜止液體中（當沒有液體變形的存在）黏滯性的特性是不顯示出來的，內摩擦力也不會產生。

不同的液體有不同的黏滯性。這樣的液體如甘油、濃的油類，

可以列爲帶有高度黏滯性的液體類，而像水、汽油、酒精這樣的液體是屬於帶有微小黏滯性的液體類的。

黏滯性是使液體流動的研究變得非常複雜的一種特性。因此，特別在流體力學中，被稱爲理想的流體起很大作用。所謂理想流體即是一種絕對不可壓縮、當溫度改變時也不改變自己的體積和完全失去黏滯性的流體。要更確切的談到沒有黏滯性的理想流體，最好說，理想流體是實際有黏滯性的流體當無窮減低其黏滯性時所達到的一種極限。但研究這種想像的理想流體的流動，也同樣像在理論力學中研究絕對剛體的力學一樣，使研究能夠簡化並有徹底解決流體力學中某些問題的可能性。然後如果在該水力現象中黏滯性現象可以忽略，則可將所得結果轉用到實際流體的流動上去。

因此，我們從黏滯性的觀點來看，有兩種流體：一方面是實際流體或黏滯流體，與另一方面是理想流體或無黏滯性的流體。

但是，怎樣來研究液體的運動才適當呢？近代物理學指出，任何物質是由最小質點——分子的總和所組成的。但是，詳細地去研究分子的機械運動是不可能的。流體力學避免了這個困難而認爲物質的流體介質不是由在分子空間移動着的一些單個分子所組成的，而是無間隙的填滿着該體積外形中所有的空間其中沒有任何空隙存在的連續體。即是，液體是連續的介質。因此，我們要把液體流動當作連續介質的流動來研究。這是完全合理的，並會給予我們很大的好處。首先，分子和分子之間的距離是如此之小，不論我們取如何小的體積（一立方公尺，一立方公分，一立方公厘），其特性將是一樣的。因爲其中有龐大數量的分子。其次，研究連續介質的流動，使我們能擺脫研究分子運動的必要性，使有可能僅研究爲外力所引起並爲我們所關心的運動。同時，這也是非常重要的，使我們在研究液體流動中能夠完全地利用全部數學分析的