

水 力 学

B.A. 柯 莫 夫 著

水 利 出 版 社

水 力 学

B.A. 柯莫夫 著
陈 肇 和 译

水利出版社
1957年12月

原書系按照苏联水利土壤改良和農村水电站中等專業學校的“水力学”教學大綱所編寫，并由苏联農業部干部培养总局批准作为水利土壤改良中等專業學校的教學參考書。

書內載有大量例題及基本的實驗室作業，并在每章末（除第十三章外）列舉了復習問題與習題。

本書系修正增訂第二版的重譯本。不僅可作中等專業學校學生的教本，而且還可供水利工作者和水利土壤改良工作者在進行水力計算時作為參考書。

本書曾經馬維勤、王志琪二同志校閱。

水 力 学

原 書 名	ГИДРАВЛИКА
原 著 者	В.А. КОМОВ
原 出 版 處	ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
譯 者	陳肇和
出 版 者	水利出版社(北京和平門內北新華街35號) 北京市書刊出版業營業許可証出字第080號
印 刷 者	水利出版社印刷廠(北京西城成方街13號)
發 行 者	新華書店

381千字 850×1168 1/32開 14 9/16印張
1957年8月第一版 1957年12月北京第二次印刷 印數10,001—14,500
統一書號: 15047.81 定價: (10)2.50元

序 言

苏联党和政府的決議規定了苏联國民經濟的新的巨大的高漲，其中也規定了要進行大規模的水工建設和水利土壤改良建設。

党和政府关于水工建設和水利土壤改良建設方面的这些決議，以及随之而來的各种決議之尽快实现，就对培养專門人才——社会主义農業的水利技術工作者及水利土壤改良工作者——方面的工作提出了重大的任务。

由于这个緣故，应当对水利工程的基本課程之一——水力学——的學習，給予很大的注意。

農業中等專業学校的教學質量，又在很大程度上取決于有無專供在中等学校里學習某一課程之用的教學參考書。

有鑒于此，著者編寫了一本水利土壤改良中等專業学校適用的水力学教學參考書，此書已于一九五一年由苏联農業書籍出版社出版。

本書為該書的第二版，是按照水利土壤改良中等專業学校的新教學大綱、參照教師們、生產机关和評閱者的意見與學生們的願望而大大地加以改編、修正和增訂了的。

本書中，教材的敘述和公式的推演，均不應用高等數學。

为了更好地通曉教材起見，書內附有許多例題，以闡明水力学各定律的實際應用。同樣還附有必需的計算圖表。

在每一章之末，列舉了復習用的問題和習題，同樣還列舉了基本的實驗室作業之內容，這些復習題和作業都是學生們所應當完成的。

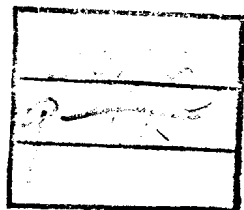
本書中的各種材料，不僅可供學生們在學習水力學時使用，而且還可以在作課程設計和畢業設計時使用。

同時著者還力求達到這樣一個目的，即本書還可以當作水利工程與土壤改良方面的技術人員進行水力計算時的實用參考書。

著者對指出本書內所有可能的缺點的一切同志，將深表謝意。

有關本書的一切意見和批評，請賜寄下列地址：

Ленинград, Невский проспект, 28. Ленинградское отделение Сельхозгиза.



目 錄

第一章 基本概念与定义	(1)
第一節 作为一門科学的水力学	(1)
第二節 液体最重要的物理性質	(4)
第三節 复習問題与習題	(10)

水 靜 力 学

第二章 水靜压力	(12)
第四節 水靜压力及其性質	(12)
第五節 自由面和等压面	(14)
第六節 水靜压力的公式	(17)
第七節 测压管高度与化引高度。真空	(20)
第八節 测量水靜压力的仪器	(26)
第九節 水头的概念	(29)
第十節 連通器	(33)
第十一節 水靜压力的圖解	(35)
第十二節 巴斯加定律、水力机械	(39)
第十三節 复習問題与習題	(43)
第三章 平面和曲面上的液体总压力	(45)
第十四節 平面壁上的液体总压力	(45)
第十五節 压力中心	(48)
第十六節 容器底面上的液体总压力	(53)
第十七節 矩形壁上总压力的圖解分析法	(55)
第十八節 矩形平面壁上液体总压力的典型情况	(58)
第十九節 平面閘門上橫梁的配置	(63)

第二十節	圆柱形面上的液体压力	(69)
第二十一節	曲面上总压力的典型情况	(75)
第二十二節	复習問題与習題	(80)
第四章	物体在液体中的浮沉	(82)
第二十三節	阿基米德定律和物体的浮性	(82)
第二十四節	浮体的穩定性	(87)
第二十五節	复習問題与習題	(90)

水 动 力 学

第五章	液体运动与伯努利方程式	(91)
第二十六節	液体运动的基本要素和类型	(91)
第二十七節	迹綫、流綫和微小流束	(93)
第二十八節	液流、緩变流	(96)
第二十九節	液流的水力要素、流量和平均流速	(98)
第三十節	穩定流的类型	(101)
第三十一節	液体穩定流的連續性方程式	(102)
第三十二節	液流的伯努利方程式	(104)
第三十三節	伯努利方程式的解釋	(110)
第三十四節	伯努利方程式的应用条件及其实际应用	(114)
第三十五節	研究伯努利方程式的實驗室作業	(118)
第三十六節	复習問題与習題	(119)
第六章	液体运动时的水力摩阻和損头	(122)
第三十七節	摩阻和損头的种类、損头的实验求法	(122)
第三十八節	液体运动的两种状态	(124)
第三十九節	求液流沿程損头的公式	(130)
第四十節	求局部損头的公式、損头系数	(135)
第四十一節	总損头公式。伯努利方程式与損头問題举例	(136)
第四十二節	关于演示層流与紊流状态以及确定損头的实 驗室作業	(141)
第四十三節	复習問題与習題	(143)
第七章	液体的孔口出流。管嘴出流和短管出流	(144)
第四十四節	一般概念、孔口的分类、射流的收縮	(144)

第四十五節	定水頭下，小型薄壁孔口液體出流的流速公式和流量公式	(147)
第四十六節	液體的管嘴出流	(152)
第四十七節	壓力短管出流	(157)
第四十八節	大型孔口液體出流	(160)
第四十九節	水平槽中的閘下出流	(164)
第五十節	變水頭下的液體出流	(172)
第五十一節	棱柱體貯液槽和槽車的泄空與充滿時間的公式	(177)
第五十二節	水力射流、射流的沖擊	(181)
第五十三節	演示液體的孔口出流與管嘴出流和確定流量系數的實驗室作業	(186)
第五十四節	復習問題與習題	(187)
第八章	壓力管中的液體流動	(189)
第五十五節	長管計算的一般概念和基本計算公式	(189)
第五十六節	鑄鐵輸水管和鋼質輸水管的水力計算	(193)
第五十七節	木管、混凝土管、石棉水泥管、鉚接鋼管、消防軟管和石油導管的計算	(198)
第五十八節	複雜管路的計算原理	(204)
第五十九節	離心式水泵的吸水管與壓水管的計算	(210)
第六十節	壓力管路中的水錘	(212)
第六十一節	水錘的型式	(216)
第六十二節	水錘的消除方法和利用示例	(220)
第六十三節	求摩擦係數 λ 和特性流量 K 的實驗室作業	(224)
第六十四節	復習問題與習題	(225)
第九章	明渠等速流	(228)
第六十五節	一般概念、基本計算公式	(228)
第六十六節	流速因數 C 的公式、粗糙係數	(230)
第六十七節	渠道橫斷面的水力要素	(236)
第六十八節	渠道的水力最佳斷面	(239)
第六十九節	最大容許流速和最小容許流速，渠道橫斷面的尺寸	(243)
第七十節	渠道水力計算的基本問題	(245)

第七十一節	在進行梯形断面渠道的水力計算時，計算表、 曲綫圖和諾謨圖的应用.....	(252)
第七十二節	無压下水管和無压隧洞的水力計算.....	(260)
第七十三節	排水管的水力計算.....	(266)
第七十四節	天然河道水力計算的方法.....	(268)
第七十五節	复習問題与習題.....	(270)
第十章	明渠变速流	(273)
第七十六節	变速流的基本定义和基本概念.....	(273)
第七十七節	断面比能，臨界水深.....	(277)
第七十八節	臨界水深的計算.....	(280)
第七十九節	臨界坡度，緩流和急流.....	(283)
第八十節	棱柱体明渠中緩变的变速流的一般方程式.....	(285)
第八十一節	$i > 0$ 时的水流自由表面形狀的研究.....	(287)
第八十二節	正向底坡棱柱体河槽中的变速流方程式.....	(293)
第八十三節	正向底坡棱柱体河槽中的壅水曲綫和落水曲 綫之計算.....	(298)
第八十四節	$i = 0$ 和 $i < 0$ 时的棱柱体河槽中的变速流方程式.....	(307)
第八十五節	天然河道中壅水曲綫的繪制.....	(312)
第八十六節	演示变速流的實驗室作業.....	(315)
第八十七節	复習問題与習題.....	(316)
第十一章	液体的过堰溢流	(318)
第八十八節	術語、堰的分类、基本公式.....	(318)
第八十九節	通过薄壁堰的溢流.....	(322)
第九十節	实用断面堰.....	(326)
第九十一節	寬頂堰.....	(331)
第九十二節	無底檻的寬頂堰。小桥桥孔和無压涵洞的孔 徑的計算.....	(336)
第九十三節	特殊形式的堰.....	(342)
第九十四節	演示过堰溢流和确定流量系数的實驗室作業.....	(348)
第九十五節	复習問題与習題.....	(349)
第十二章	水躍和上下游的連接	(352)
第九十六節	水躍的基本方程式.....	(352)

第九十七節	水躍函數及其曲綫	(356)
第九十八節	棱柱体河槽中的共軛水深的求法	(358)
第九十九節	矩形河槽中的共軛水深的求法, 水躍長度	(362)
第一百節	水工建築物上下游連接的計算原理	(367)
第一百零一節	收縮斷面的水深及其共軛水深的求法	(371)
第一百零二節	消力池的水力計算	(379)
第一百零三節	池式多級跌水的水力計算	(391)
第一百零四節	陡坡的水力計算	(397)
第一百零五節	演示水躍及確定共軛水深和水躍長度的實驗室作業	(407)
第一百零六節	復習問題與習題	(408)
第十三章	地下水运动底基本概念	(410)
第一百零七節	地下水、滲透定律	(410)
第一百零八節	地下水穩定流时的徑水曲綫和落水曲綫的計算	(413)
第一百零九節	井和廊道入流量的計算	(418)
第一百一十節	土壩滲透和渠道滲漏的計算原理	(422)
附錄(表 I — 表 V)		(426)
計算表索引		(441)
水力学中所用的希臘字母表		(443)
中俄名詞对照表		(444)
中俄人名对照表		(450)

第一章

基本概念与定义

第一節 作为一門科学的水力学

水力学的定义及其实用意义 水力学是一門科学，它研究液体平衡和运动的規律，并探討应用这些規律去解决各种实际問題的方法。

水力学研究各种液体（水、石油、水銀等等）的平衡和运动的規律。但是因为水在國民經濟中所起的作用巨大，所以在水力学中水的研究居于主要地位。

水力学分为两个基本部分：水靜力学和水动力学。

水靜力学是指水力学中研究液体平衡（靜止）規律的那一部分。

水动力学是指水力学中研究液体运动規律的那一部分。

水力学的实用意义是很大的。不論在哪一种工程活动的領域內，很难說其中不应用水力学的定律。在設計和建筑水力發电站、抽水站、貯水池塘、桥梁和內河水道时，人們廣泛地运用水力学的定律。水力机械、水力發动机等等的計算也是以水力学的定律为根据的。

在農田水利和土壤改良方面，水力学有着極為重要的作用。灌溉渠道、引水渠道、排水渠道、排水暗溝系統的設計、施工和运用，各种水工建筑物（壩、泄水閘、節制閘等等）的計算，上水道、下水道和其他水工設施的計算都是以水力学的定律为根据的。

为了實現苏联共產党第十九次代表大會的決議和苏共中央委員

会全体會議的決議，在苏維埃水利技術工作者和水力学家的面前提出了重大而光荣的任务。

在廣闊的苏联國土上开展着巨大的水工建設；進行着灌溉、引水、排水、开垦处女地各方面的巨大的水利土壤改良工程；建筑着大量的集体農庄联合使用的農村水电站，改善着集体農庄、國营農場和养畜場的供水等等。

所有上述这些巨大任务的解决，都和水力学的問題相关联着。

此外，水力学还作为學習許多水工專業課程时的理論基礎；这些課程有“水利技術建筑物”，“農業土壤改良”，“農業供水”，“抽水站和農村水电站”和水利土壤改良中等專業学校教學計劃內所列的其他課程。

水力学發展簡述 在人类歷史上，水始終起着巨大的作用。它供人类和牲畜飲用，灌溉田地，帶动最簡單的机械等等。

早在公元前 3,000~5,000 年时，就已經有了灌溉渠道和輸水管道。在兩千多年以前，就已經有了最簡單的水力机械——水力發动机。还在古代的时候，人們就已建成了壩、水庫和其他建筑物。

这一切表明：有关水力学的各种現象，早在远古时代就已經是人所共知的了。不过，有关古代建筑物的任何水力計算方面的資料迄今尚未發現。因此，水力学成为一門科学的起始年代通常都推溯至公元前 250 年，那时正是阿基米德發現第一条水力学定律——液体作用在沉沒于其中的物体上的压力的定律——的时候。

此后，水力学的發展是很慢的，只是在十七、十八世紀的时候，由于巴斯加、牛頓、欧勒及其他諸人的研究成果，主要地还是在 П. 伯努利在俄罗斯科学院里所作的研究工作以后，才奠定了水力学的基本的理論基礎。

俄罗斯和苏联科学家們的作用 俄罗斯的，特別是苏联的科学家們，在水力学的發展方面，作出了重大的貢獻。

偉大的俄罗斯科学家 М.В. 罗蒙諾索夫(1711~1765 年)發表了一系列的水力学著作，其中有“論物体的固态和流态”。在这篇論

文中，他闡述了作为現代水力学基礎的質量和能量守恒定律。

М.В. 罗蒙諾索夫和 Д. 伯努利的著作就是水力学的理論基礎。

与此同时，实用水力学也有了進一步的發展。

在 1780 年，著名的俄罗斯水利工程师柯茲馬·費罗洛夫在烏拉尔河上建成了高达十七米的土壩和巨大的水力裝置，这証明他在水力学方面的知識是很丰富的。1791 年，出版了阿列克賽·卡尔梅柯夫所寫的第一本俄文的实用水力学方面的書（書名是：通过管路、孔口或沿坡槽流过的水量，以及在該流速下的水流冲击力的計算手冊）。1836 年，工程师 П.П. 美尔尼柯夫出版了俄罗斯第一本水力学教科書，他名之为“实用水力学原理，或不同情况下水的流动及其冲击和摩擦作用”。

声名卓著的俄罗斯科学家 Д.И. 門德列也夫在 1880 年首次指出自然界中存在着液体运动的兩種状态。俄罗斯物理学家 Н.П. 彼得罗夫(1836~1920 年)發展并且肯定了这种思想。几年之后，英國科学家雷諾茲用实验方法証实了門德列也夫假說和彼得罗夫理論，即自然界中存在着液体运动的層流状态和紊流状态。俄罗斯航空之父 Н.Е. 儒柯夫斯基在水力学的发展上做了重大的貢獻。他第一个研究出管中水錘理論，并且給出水力学中一些很重要的关系式。

苏联的水力学家 Н.Н. 巴甫洛夫斯基(1884~1937 年)的著作乃是現代水力学中最巨大的貢獻。巴甫洛夫斯基院士和他的學生們的劳动創造了对水工实践極為重要的工程水力学。

水力学在苏联的發展 苏联工程水力学論証了先進的理論，并且創立了進行各种水工建筑物水力計算的一系列的方法。

有关水力学的理論和实践方面的新建議一个跟着一个地出現了，这些新建議乃是苏联的科学家們 Н.Н. 巴甫洛夫斯基，М.Д. 切尔陀烏索夫，А.Н. 拉赫曼諾夫，И.И. 阿格罗斯金，Е.А. 薩馬林，Ф.И. 彼卡洛夫和其他許多人提出來的。

在苏維埃政权的年代里，在苏联出版了水力学問題方面的許多重要書籍。Н.Н. 巴甫洛夫斯基、А.Н. 阿胡慶、В.Д. 儒林、В.Н.

叶夫列依諾夫、И.Г.叶西曼、В.М.馬卡威也夫、М.Д.切尔陀烏索夫、И.И.阿格罗斯金和其他諸人的水力学教科書不僅在苏联并且在國外也是享有盛譽的。

在最初几个五年計劃的年代里兴建的大規模的水工建設，和現在正在進行着的宏偉建設，保證了苏維埃水力学的不断發展。研究水力学問題的科學研究所、水力實驗室和水工實驗室等更是遍布全國。

理論和實驗在水力学中的作用 水力学奠基于物理学和理論力学的諸定律。不过，有許多水力学問題是很複雜的，因而并非經常能得到它們的理論解答。因此，除了理論研究之外，還要廣泛地利用實驗方法，即進行科學的實驗。

在水力学中，實驗方法第一是用來確定許多理論公式中的系數和改正數；第二是用來推求新的經驗公式，即根据實驗觀測得出的公式。實驗方法補充着理論研究，並且在實用上能解決許多最複雜的水力学問題。反過來，對經驗公式進行理論分析又可以綜合實驗研究的成果，而把它們推廣到其他一些場合。

水力学在很長一段時間內都是沿着兩條道路發展的，一條是附有各種假設的純理論道路，另一條就是實驗的道路。只有在苏維埃時代（在最初几个五年計劃的年代里）才企圖使這兩條道路合流而為一。

在水力学的發展過程中，苏联科學家Н.Н.巴甫洛夫斯基，М.Д.切尔陀烏索夫，Е.А.薩馬林等人起了巨大的作用。

在苏联，理論與實驗在正確而廣泛組織的科學研究工作的基礎上的密切聯系，保證了水力学日益獲得重大的成就。這些成就將使苏联國民經濟許多部門中的重要問題得到科學的解決。

第二節 液体最重要的物理性質

液体的一般特性 液体是一种具有流動性質，同时还具有取得所在容器形狀性質的物質。流動性是液体基本的外在特征。

液体和固体的基本区别在于：液体各質点間僅有很小的內聚力和液体的易流动性。同时，液体具有保持其体積几乎不变的性質，它对企圖改变其体積的力表現極大的反抗。

这样一來，可見液体的一般特性应当認為是：質点的易流动性和体積变化極小性。

除了液体之外，气体也具有質点易流动性，但是气体不同于液体的地方是：气体易于压縮，并且力求占据尽可能大的容積，也就是說它的特点是体積的易变性。

因为質点的易流动性是液体和气体所共有的通性，所以有时把这两类物体統称为流体。在这种情形下，为了彼此有所区别起見，把液体（实际上是不可压縮的）叫做滴态流体，而把气体叫做气态流体。

在水力学中，只研討滴态流体。至于气态流体或气体，則由热力学和气体动力学來研究。

在本書以后的叙述中，当說到“液体”时，即指滴态流体，而首先又是指土壤改良和水利工程中最常遇到的水。

液体具有固定的物理性質，其中在研究水力学时最关重要的是：容重、密度、压縮性和粘滯性。

容重 液体單位体積的重量叫做容重。容重用希臘字母 γ （見書末附錄：希臘字母表）來表示。由上述定义可知：液体的容重等于液体的重量与其体積之比，即

$$\gamma = \frac{G}{w} \quad (I, 1)$$

式中 G ——液体重量； w ——液体体積。

由公式 (I, 1) 亦可看出容重的因次如下：

$$[\gamma] = \left(\frac{\text{重量}}{\text{体積}} \right)。$$

液体的容重通常以克/立方厘米，仟克/立方米，噸/立方米計。

由公式 (I, 1) 得出

$$G = \gamma w \quad (I, 1')$$

即液体的重量等于液体的容重与其体积的乘积。

对液体的这一性质——容重——的研究表明：对液体加压和加热只引起液体容重的极微小的变化。1 立方分米纯净的淡水，在温度为 $+4^{\circ}\text{C}$ ，压力为一个大气压时，重为 1 仟克，亦即淡水的容重 $\gamma = 1$ 仟克/立方分米，或 $\gamma = 1,000$ 仟克/立方米。

纯净的淡水，在大气压力下其容重因温度而生的变化，载于表 1 内。

表 1 在大气压力和各种温度下的淡水的容重

温度	容 重 (仟克/立方米)	温度	容 重 (仟克/立方米)	温度	容 重 (仟克/立方米)	温度	容 重 (仟克/立方米)
0°	999.87	10°	999.75	30°	995.76	70°	977.94
3	999.99	15	999.15	40	992.35	80	971.94
4	1000.00	20	998.26	50	988.20	90	965.56
5	999.99	25	997.12	60	983.38	100	958.65

由表 1 可见：当温度由 0°C 变到 30°C 时，水的容重的变化小于 0.5%。因此在这一温度范围内，解决实际问题时， γ 值的这种变化是不予考虑的。当温度变化从 30°C 到 100°C 时， γ 值的变化则为 0.5%~4%，而这种变化只有在解决热工技术中的热液流动的问题时才被考虑。

由上所述可知：对处于常温常压下的液体来讲，在进行水力计算时，完全可以采用固定不变的容重值。对于淡水，可以采用

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 \text{ 克/立方厘米} = 0.001 \text{ 仟克/立方厘米} \\ &= 1 \text{ 仟克/立方分米} = 1 \text{ 仟克/公升} \\ &= 1,000 \text{ 仟克/立方米} = 1 \text{ 公吨/立方米。} \end{aligned} \quad (I, 2)$$

其他一些液体的容重平均计算值载于表 2 内。

表 2

幾 种 液 体 的 容 重

液 体 名 称	容 重 (公噸/立方米)	附 注
水銀(溫度为0°C时)	13.6	除括号內特別說明溫度者外, 其他各容重均系在溫度 15°C ~20°C間測定的。
甘油(溫度为0°C时)	1.26	
牛奶	1.03	
海水	1.02~1.03	
潤滑油、重油	0.89~0.92	
煤油	0.80~0.82	
石油	0.86~0.93	
汽油	0.70~0.75	

例題 試求充滿容積为 1.5 立方米的油槽內的汽油重量。

解 根据表 2 取汽油的容重 $\gamma_6 = 0.70$ 公噸/立方米。因此, 根据公式 (I, 1'), 汽油的重量將为:

$$G = \gamma_6 W = 0.70 \times 1.5 = 1.05 \text{ 公噸。}$$

密度 液体單位体積內的質量, 或液体質量与其体積之比, 叫做液体的密度。密度系用字母 ρ 來表示, 并按下列公式來求:

$$\rho = \frac{m}{w}, \quad (\text{I}, 3)$$

式中 m ——液体的質量; w ——該質量所占的体積。

由物理学知道: 物体重量 G , 物体質量 m 和重力加速度 g 三者之間存在着这样的关系, 即 $G = mg$ 。因此, 物体質量的数值可以按下列关系式來确定:

$$m = \frac{G}{g}, \quad (\text{I}, 4)$$

式中 g ——重力加速度, 計算时可采用平均值 $g = 9.81$ 米/秒²。

把关系式 (I, 4) 中的 m 值代入公式 (I, 3) 內, 乃得:

$$\rho = \frac{G}{gw}$$

用公式 (I, 1') 的 $G = \gamma w$ 代替上式中的 G , 將得:

$$\rho = \frac{\gamma w}{gw} = \frac{\gamma}{g}. \quad (\text{I}, 5)$$