

水 力 学

上 册

(1965 年修订本)

唐山铁道学院水力学教研组编

高等学校教材



水 力 学

上 册

(1965年修订本)

唐山铁道学院水力学教研组编

高等教育出版社

本书系由唐山铁道学院水力学教研组编写。初版于1961年1月由人民铁道出版社出版，同年7月略加修订后改由人民教育出版社出版，1962年2月曾重新修订再版。1965年根据1962年5月审订的高等工业学校本科五年制给水排水、铁道建筑、公路与城市道路、桥梁与隧道等专业适用的“水力学教学大纲(试行草案)”的要求并结合编者在教学实践中的经验和当前教学改革的精神重新进行了编写，在内容和全书的安排上都作了很多的变动，篇幅也作了较大的压缩，每章均附有一定数量的例题和习题。

本书分上、下两册出版，上册除绪论外还包括水静力学、水动力学理论基础、水流阻力和水头损失、管流、孔口和管嘴出流、明渠均匀流等六章。下册包括明渠非均匀流、堰闸出流及水流衔接、渗流等三章。

本书可作为高等工业学校土建、地质等相关专业水力学课程的试用教科书，也可供有关工程技术人员参考。

水 力 学

(1965年修订本)

上 册

唐山铁道学院水力学教研组编

北京市书刊出版业营业许可证出字第119号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 K15010·1026 开本 856×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 7 $\frac{1}{16}$ 插页 1

字数 177,000 印数 15,501 订价(7) 4.06

1961年7月第1版 1965年7月第2版 1965年7月北京第7次印刷

序

本书系根据 1962 年 5 月审訂的高等工业学校本科五年制給水排水、铁道建筑、公路与城市道路、桥梁与隧道等专业适用的“水力学教学大綱(試行草案)”的要求、并結合当前教学改革的精神进行修訂的。

修訂时力求体现大綱的基本要求，努力貫徹教学改革的精神和少而精的原则，突出了重点，同时也照顾了大綱的一般要求。与初版比較修訂本虽然增加了习题和某些按大綱規定要求的内容，但篇幅仍有很大的压缩。

在精选内容的基础上，对水力指数积分法等内容，在闡述上作了改进；將閘堰出流及水流衔接等内容作了合并；把水面曲綫的分析作了更为集中的安排；等等。

为了巩固理論、联系实际和培养計算能力各章配备了一定的例题和习题，便于精讲多练。

本书分上下两册出版，全书分大小字排印，便于进一步精选内容和因材施教。

本书所用字符下角，除国际通用者外，試行采用汉语拼音字母。

参加本书修訂工作的有范治綸(兼主編)、金学易、荣深濤、黄寬淵、曹景風、任云和黄儒欽等同志。还有李文輝、姜兴华、郑維光、呂明华和尤善继等同志参加了部分計算、繪图和抄写工作。

本书是由吳之治同志审閱的，在修訂过程中，天津大学等兄弟院校的水力学教研室提出了很多宝贵的意見和建議，在此一并致謝。

由于我們的水平不高，缺点和不妥之处在所难免，希望讀者批評指正，以便进一步修訂。

唐山铁道学院水力学教研組

一九六五年四月

字符表

(汉语拼音字母为下标)

字符	代表内容	拼音字	备注
F_z	质量力	zhi liang li(质量力)	绪论
F_b	表面力	biao mian li(表面力)	绪论
p_k	真空压强	zhen kong(真空)	第一章
h_k	真空水头	zhen kong(真空)	第一章
J_n	总能坡度	neng po(能坡)	第二章
h_{zs}	总水头损失	zong sun(总损)	第二章
ω_y	原型面积	yuan xing	第二章
ω_m	模型面积	mu xing	第二章
v_y	原型流速	yuan xing	第二章
v_m	模型流速	mu xing	第二章
P_y	原型总压力	yuan xing	第二章
P_m	模型总压力	mu xing	第二章
h_{zs}	拦污栅水头损失	shan sun(栅损)	第三章
h_{cs}	沿程损失	cheng sun(程损)	第三章
h_{bs}	局部损失	bu sun(部损)	第三章
h_{ts}	突然缩小损失	tu suo sun(突缩损)	第三章
h_{jd}	渐大管损失	jian da sun(渐大损)	第三章
ζ_w	弯管阻力系数	wan guan(弯管)	第三章
ζ_{js}	明渠逐渐收缩系数	jian shou(渐收)	第三章
ζ_{td}	管路突然扩大损失系数	tu da(突大)	第三章
ζ'_{td}	明渠土壤扩大系数	tu da(突大)	第三章
Re_{lj}	临界雷诺数	lin jie(临界)	第三章
Re_{lj}	下临界雷诺数	lin jie(临界)	第三章
h_z	自由水头	zi you(自由)	第四章
ζ_{gx}	管系阻力系数	guan xi(管系)	第四章
v_j	经济流速	jing ji(经济)	第四章
H_t	水塔高度	ta(塔)	第四章
H_g	管段数	guan(管)	第四章
H_h	环数	huan(环)	第四章
H_j	节点数	jie(节)	第四章
ζ_k	孔口局部水头损失	kou kou(孔口)	第五章
h_{lj}	临界水深	lin jie(临界)	第七章

字符	代 表 内 容	拼 音 字	备注
\bar{h}_{lj}	平均临界水深	lin jie(临界)	第七章
i_{lj}	渠道临界底坡	lin jie(临界)	第七章
i_s	摩擦损失坡度	sun pō(损坡)	第七章
i_{sa}	均匀流的摩擦损失坡度	sun pō(损坡)	第七章
l_y	水跃段长度	yue chang(跃长)	第七章
h_s	收缩水深	shōu suo(收缩)	第七章
v_{lj}	临界流速	lin jie(临界)	第七章
Fr_{lj}	临界水深佛汝德数	lin jie(临界)	第七章
E_y	水跃能量损失	yué(跃)	第七章
l_{lj}	从 l_c 到 l_k 的O型曲线临界长度	lin jie(临界)	第八章
h_y	淹没水深	yan mo(淹没)	第八章
m_s	具有侧向收缩的堰流	shōu suo(收缩)	第八章
b_s	堰流收缩宽度	shōu suo(收缩)	第八章
E_b	能量损失	sun shi(损失)	第八章
v_k	孔隙流速	kong xi(孔隙)	第九章
ω_k	孔隙面积	kong xi mian(孔隙面)	第九章
ω_t	土壤颗粒所占过水断面面积	tu(土)	第九章

上册目录

序	vi
字符表(汉语拼音字母为下标)	vii
緒論	1
一、概述	1
1. 水力学的应用	1
2. 水力学问题的分类	2
3. 水力学理论基础	3
4. 液体的某些力学特性	5
5. 作用在液体上的力	9
6. 水力学的两种基本研究方法	10
二、水力学发展简史	12
第一章 水静力学	17
§ 1-1. 静水压强及其特性	17
§ 1-2. 液体的平衡微分方程及其积分	20
§ 1-3. 重力和惯性力联合作用下液体的相对平衡	24
§ 1-4. 重力作用下静水压强的分布规律	28
§ 1-5. 用液柱高表示静水压强, 测压管水头、真空度	31
§ 1-6. 测量压强的仪器	34
§ 1-7. 作用在平面壁上的静水总压力, 压力作用点	38
§ 1-8. 作用在曲面壁上的静水总压力	45
§ 1-9. 阿基米德原理、潜体、浮体的平衡和稳定	51
第二章 水动力学理论基础	55
§ 2-1. 表征液体机械运动的基本特征量及描述液体机械运动的两种方法	55
§ 2-2. 理想液体的运动微分方程(欧拉方程)	58
§ 2-3. 液体连续性微分方程	59
§ 2-4. 欧拉法的几个基本概念	61
§ 2-5. 连续性方程	65
§ 2-6. 理想液体运动微分方程的伯努利积分	68
§ 2-7. 重力作用下理想液体元流的伯努利方程	69

§ 2-8. 伯努利方程各项的水力学的和能量的意义	72
§ 2-9. 实际液体元流的伯努利方程、总水头綫、测压管水头綫及其坡度	76
§ 2-10. 实际液体总流的伯努利方程	78
§ 2-11. 恒定流动时实际液体总流的动量方程	85
§ 2-12. 恒定流动时, 液体流经叶片式水力机械叶轮的动量矩方程	90
§ 2-13. 液体运动的力学相似理論基础	93
第三章 水流阻力和水头损失	103
§ 3-1. 水流阻力与水头损失的两种形式	103
§ 3-2. 液体均匀流的沿程水头损失和基本方程	105
§ 3-3. 液体流动的两种状态——层流和紊流	107
§ 3-4. 圆管中液体的层流运动	112
§ 3-5. 液体的紊流运动	115
§ 3-6. 紊流的沿程水头损失	123
§ 3-7. 确定沿程阻力系数 λ 的實驗及計算公式	125
§ 3-8. 局部水头损失	134
第四章 管流	141
§ 4-1. 概述	141
§ 4-2. 短管的水力計算	141
§ 4-3. 长管的水力計算	152
§ 4-4. 給水管网的水力計算基础	161
§ 4-5. 管网中調节水塔的水力計算	167
§ 4-6. 有压管路中的水击	168
第五章 孔口和管嘴出流	176
§ 5-1. 液体經薄壁孔口的恒定出流	176
§ 5-2. 液体經管嘴的恒定出流	180
§ 5-3. 孔口(或管嘴)的非恒定出流	183
§ 5-4. 自由射流及淹没射流	186
第六章 明渠均匀流	192
§ 6-1. 概述	192
§ 6-2. 明渠均匀流的条件、特征和計算公式	194
§ 6-3. 水力最佳的梯形过水断面	197
§ 6-4. 渠道水流的最大和最小許可流速	199
§ 6-5. 渠道水力計算問題的基本类型	201
§ 6-6. 有关渠道水力計算的补充問題	205
附录 6-1. 各种不同粗糙面的粗糙系数 n	211

附录 6-2. 謝才系数 C 的数值表	212
附录 6-3a. 梯形渠道水力計算用的諸謨图	214
附录 6-3b. 梯形渠道水力計算用的諸謨图	215
附录 6-3c. 梯形渠道水力計算用的諸謨图	216
附录 6-3d. 梯形渠道水力計算用的諸謨图	217

緒 論

一、概述

水力学是研究液体机械运动的規律及其应用的一門科学。在系統地学习水力学以前，最好能对它有一个概括的了解，下面先从水力学的应用談起。

1. 水力学的应用 人的生活离不开水，农业生产离不开水，这是大家所熟知的。近代工业也离不开水和那些与水具有相同力学特性的其他液体。液体在工业上可用来作为燃料、潤滑剂、冷却剂以及作为傳遞机械能的媒介。所以必須研究如何控制水和液体的运动并利用它們来为人类的生活和生产服务。

近代城市的生活和工业用水，一般都是由水厂或供水站集中供应的，水厂和供水站利用水泵把河、湖或井中的水抽上来，經過淨化和消毒处理之后，再用水泵通过管路系統把水輸送給各个用戶。有时为了均衡水泵的負荷，还需要修建水塔。为此需要建設水厂、打井修渠、修建水塔、鋪設管路和安装水泵等工程。这样就必須解决一系列的水力学問題，例如管路的布置，水管直徑和水塔高度的設計，水泵容量和井的产水量的計算等等。

随着社会主义建設的发展，我国农业也愈来愈多地采用水力机械和人工排灌。农业用水較多地采用人工渠道輸送，为此需要兴修渠道、建設排灌站和水力发电站、鋪設管路和安装水泵等工程，因而也必須解决一系列的水力学問題。例如渠道断面尺寸和底坡的設計，水力机械容量的計算等等。

为了与我国社会主义工农业的发展相适应，需要日益发展交

通運輸事業，為此必須開闢航道、隧道，建築港口、站場，架設橋梁和修建涵洞等，為此必須解決一系列的水力學問題。例如橋涵孔徑的設計，站場給排水的設計，隧道的通風與排水的設計等等。

江河湖海的水流，必須加以控制，這樣不僅可以免除洪水泛濫成災，而且還可把水蓄存起來以濟乾旱，並利用它來發電和開拓航運，從而促進我國工農業生產的發展。為此需要修築堤壩、開闢隧道、興建船閘、修建灌溉系統和水力發電站等工程。要做好這些工作，也必須解決一系列的水力學問題。例如壩體本身穩定性的計算，壩上游水庫淹沒土地範圍的計算，壩下游的消能和保護措施的設計等等。

可見，水力學的应用是相當廣泛的。學習水力學的目的，就是根據各個有關專業的需要，獲得解決與本專業有關的水力學問題的能力。

2. 水力學問題的分類 在工程實踐中常遇到的水力學問題雖然比較廣泛，但若按照問題的性質(主要是液體的固體邊界條件)歸納起來，大致可以分為以下四類。

(1)管流(有壓流)——這類問題的特點是液體的側面均為固體所包圍。由於液體不能穿透固體，只能順所限的邊界流動，所以過水的面積是一個常量。管流水力學主要研究與液體輸送有關的問題，例如管路的合理布置，輸液量的計算，管徑和水塔高度的設計，水泵揚程的計算，等等；此外還研究液體在管路輸送中由於流速變化而引起的壓強突變，這個現象稱為水擊。水擊問題主要包括水擊增壓和水擊波傳遞速度的計算。

(2)明流(無壓流)——這類問題的特點是液體的側面有一個自由表面，只有部分側面為固體所包圍，液體在自由表面上的漲落是不受限制的，因此過水的面積可以變化。明流水力學主要研究在重力作用下與水流輸送和控制有關的問題，例如渠道輸水量的

計算，渠道断面尺寸和底坡的設計，壅水和跌水的范围以及桥梁涵洞孔徑的計算和設計，等等。

(3) 滲流——这类問題的特点是液体只能通过土壤的縫隙流动，而不像明流那样能占滿全部的流动空間，因此它有一个不同于明流的阻力規律。此外，滲流的側面可以都为不透水层所包围(有压流)，也可以有一个自由表面(无压流)。滲流水力学主要研究在重力作用下与地下水的輸送和控制有关的問題，例如滲流流速和滲流輸水量的計算，井、廊道和暗沟尺寸的設計，滲流对不透水或半透水建筑物的作用力(这个作用力是使建筑物丧失稳定性的因素之一)的計算，等等。

(4) 水力机械——这类問題的特点是液体流經固体边界时(如水泵和水輪机的叶片)发生了机械能的交換，此时，不仅液体而且固体也处于运动之中。水力机械水力学主要研究各类水力机械的性能、設計、选择以至安装和使用，等等。

当然，有关水力学的問題不只以上四类，这里所指的只是一般工程上所最常見的問題，按大綱的規定，本书主要討論前三类問題。

3. 水力学理論基础 我們把最常見到的水力学問題，作了以上的分类，是由于它們各具有一定的固体边界条件以及一定的理論和实践上的特点，同时也是为了学习和研究上的方便。但是从液体流动最基本的規律看来，它們又都具有相同的性质，这是由于無論管流、明流、滲流或通过水力机械的液流，在流动过程中都要发生位置的移动以及速度和能量的变化的緣故。从力学的观点看来，液体的机械运动就是液体在外力作用下发生了质量、动量和能量的迁移和轉換，因此液体的流动应当服从反映上述諸量迁移和轉換的普遍定律：即万有引力定律，牛頓三定律，质量和能量守恒定律等。所以这些定律是建立水力学这一学科的理論基础，可

見水力学是与理論力学和物理学中的經典力学紧密联系的。

建立水力学理論除了上述几个定律之外还需要引用一个基本假定，这就是把液体的流动看作是一种連續介质的流动，认为液体連續地充滿所占空間，沒有間隙，而且那些与水力学有关的諸特征量，例如液体的密度、流速、压强和切应力等的空間分布也都是連續的。这个假定是否正确要看所研究問題的范围才能决定。如果研究范围是与液体分子活动范围同一数量級的問題，連續介质的理論是不能成立的，因为分子之間存在着間隙，而且分子运动又是极不規則的。如果所研究的范围远比分子活动范围为大，連續介质的假定則是可以成立的。因为此时我們已无需去一一考查个别分子的微观运动，而只需着眼于大量分子所表現出的宏观的力学特征量就可以了。分子不規則运动的結果，又会把它們所携带的动量和能量彼此交換，从而使那些宏观的特征量获得連續变化的性质。在我們所研究的範圍內，即使是最小的工程单位，例如一立方毫米体积，在标准状态下就平均包含有約 2.7×10^{16} 个空气分子，更不用說比空气分子密集得多的液体了，这样多分子所表現出的宏观的力学特征量是完全确定的，并且可以通过仪器把它們量測出来。实践也表明，根据連續介质流动所建立起来的一切水力学理論都是正确的。采用这个假定，可以大大簡化問題的研究，更重要的是，这样才可以把数学分析方法引入到水力学中来，使已掌握的数学知識，成为研究水力学的有力工具。

事实上，上述基本假定，不仅可用来研究液体的机械运动，同样也可用来研究固体和气体的机械运动和热运动。所以应当說它是研究一切經典力学問題的基本假定。

但是液体不同于固体和气体，有它独特的力学特性，这些特性决定着諸特征量的力学性质。以后会看到，也正是由于这些特性，才使上述几个基本定律在水力学中具有独特的表現形式，从而使

得水力学有必要形成为一門独立的学科，若不熟练掌握这些形式的特点，也就不可能着手来处理各种有关水力学的问题。为此，下面将阐述液体的几个重要的力学特性。

4. 液体的某些力学特性 这里不拟论述液体的所有的力学特性，因为有些力学特性是一切物体所共有的，例如液体具有质量和重量等，我們已在物理和理論力学中学习和应用过了，以下只限于着重指出液体所不同于固体和气体的并与一般工程有关的某些力学特性。

(1) 流动性 液体与固体不同，它在处于相对静止时，从工程的观点看来，几乎不能抵抗拉力和切力，在任意拉力和切力的作用下，将破坏其原来的静止状态，产生无限制的变形，这种现象称为流动，而液体的这个力学特性，就称为流动性。在自然界中，除液体之外，还有气体也具有这种特性，故液体与气体又統称为流体。

(2) 粘滯性 流体在流动时，流体与流体間以及流体与固体間呈現粘滯力的这个力学特性，称为粘滯性。粘滯力的大小与流速的分布有一确定的关系，可以通过以下实验來說明：若两个平置的平行平板相距为 h ，上板以均速 U 运动(图 0-1)。如果板速与板距

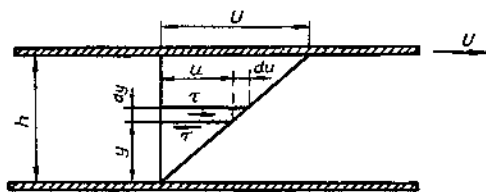


图 0-1. 流体的粘滯力实验。

均較小而且板間运动着的流体的压强保持常量，則两板間流体的流速是作直綫分布的，且正比于距下平板的距离 y ，即

$$u(y) = \frac{y}{h}U. \quad (0-1)$$

为維持这样一种运动，必需对上平板施加一与 U 方向相同的力(拖力)，很容易证明这个力能通过流体传递到任意的流动平面上去。設通过 y 处作一平面，将流体分为上下两部分，現分析上部流体沿水平方向的受力情况。由于流体是均速流动的，流体中压强不变，重力又垂直于水平方向，故上部流体只受上平板对它的拖力(方向与 U 同)与下部流体对它的阻力(方向与 U 相反)，說明这两个力是大小相等方向相反的。根据牛頓第三定律，下部流体亦应受上部流体同样大小而方向相反的拖力。上下部流体相互作用在 y 平面上的这一对力(即拖力和阻力)，就称为粘滯力。由于 y 可以任取，所以粘滯力在整个流动中沿 y 軸的分布都是相同的。

实验表明，单位面积的粘滯力(又称为切应力) τ 与 U 成正比，与 h 成反比，即正比于 $\frac{U}{h}$ 。又由于流速是按直綫分布的，故有

$$\frac{U}{h} = \frac{du}{dy},$$

因此
$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dy}, \quad (0-2)$$

式中： μ ——比例常数，称为动力粘滯性系数，其值与流体的性质(气体、油、水)以及温度有关。由上式可以导出它的工程制单位为[公斤·秒/米²]；物理制单位为[克/厘米·秒]，称为泊。

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度，即流速沿 y 軸的变化率，式(0-2)之所以写为与流速梯度成正比的形式，是为了把它推广到流速非直綫分布的情况中去，此时各点的流速梯度不同，切应力 τ 沿 y 軸的分布也就不相等了。

式(0-2)具有双重符号，目的是使它在所选的坐标系中永得正值，即当 $\frac{du}{dy}$ 为正时取正号， $\frac{du}{dy}$ 为负时取负号。至于它的方向則

要看指的是哪一个切应力才能决定，如果指下部流体对上部流体的切应力，则 τ 与流速反向，如果指上部流体对下部流体的切应力，则 τ 与流速同向。

在水力学的计算公式中，常常出现动力粘滞性系数 μ 和流体密度 ρ [公斤·秒²/米⁴] 的比值，定名为运动粘滞性系数，记作 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ，它的工程制单位为 [米²/秒]；物理制单位为 [厘米²/秒]，称为斯。

水在一般工程常见气压之下的运动粘滞性系数与摄氏温度 $t^{\circ}\text{C}$ 的关系，可按以下经验公式计算：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \text{ [厘米}^2\text{/秒]。} \quad (0-3)$$

其他流体的粘滞性系数与温度的关系，可查有关手册的图表。

式(0-2)通称为牛頓內摩擦阻力定律，是水力学中的重要定律之一。

(3)压缩性与膨胀性 液体在静止时虽不能承受拉力和切力，但却可以承受压力，在受压时和固体一样近似地服从于弹性体的虎克定律。液体的弹性虽比一般固体(如钢、铁)为大，但仍属于不易压缩的物体。例如，当压强从 1 大气压增大到 100 大气压时，水的密度不过约增加 0.5%。

液体还与固体一样，受热时有微量的膨胀。例如温度从 4°C 增大到 50°C 时，水的密度约减少 1%。

由于在一般工程范围内，液体的温度和压力的变化很少超过上述范围，故允许把它看作是一种不可压缩流体，即密度为常量，这样可以简化对液体运动的研究。但在研究有关水击现象时，不能忽略液体的即使是很小的压缩性。

气体则一般具有不能忽略的压缩性和膨胀性，故气体又称为

可壓縮流体。但在常溫情況下遠低於音速(例如在100米/秒以下)流動的氣體，也可以看作是不可壓縮流体。這是由於氣體本身的密度遠比液體為小，形成100米/秒以下的流速不需要很大的壓強差從而相對密度變化很小($<4\%$)的緣故。

由於液體的密度可視為常量，所以像固體一樣，能保持一定的體積；又由於具有與氣體一樣的流動性，將其置於容器中，在重力的作用下就會形成容器的形狀，如果容器的體積大於液體的體積，還會形成一個與空氣相接觸的自由表面。

(4)表面張力現象 液體的自由表面由於分子力的作用產生張力，這種張力在物理學中稱為表面張力。如果自由表面的曲率很大(例如小雨滴、毛細管的表面)，可以引起不可忽略的內壓強。但毛細管現象只是一個局部現象，通常對液體的機械運動的影響是不大的，常可以忽略(由於表面張力而引起的毛細管現象，在研究滲流和液體測壓儀中，應予考慮)。

上面所論述的四點，就是液體所獨具的力學特性(其中的某些力學特性也是氣體所具備的)，可以把它概括為：從力學的观点看來，液體是一種易于流動的、具有粘滯性的、不易壓縮的介質。在日常生活當中可以看到，施同樣力於不同物體(如固體，液體和氣體)却可能發生不同的機械運動，這就是各物體具有不同的力學特性的緣故，上述液體的這些特性就是構成液體機械運動的根據(內因)將反映到以後要建立的控制液體機械運動的幾個基本方程中去，因此要很好地理解掌握。

粘滯性的客觀存在，往往使得對液體流動的分析變得十分困難，故在水力學中常引出所謂理想液體的概念來以簡化問題的研究。所謂理想液體就是它絕對不可壓縮，而且在運動時不呈現粘滯性。分析理想液體流動所獲得的結論，只要經過實驗的檢驗與修正，還是可以用到實際液體中去的。