

86.81
NGS

高等学校教学用书

水力学及水文学

南京工学院水力学教研组编



中国工业出版社

高等学校教学用书



水力学及水文学

南京工学院水力学教研组编

中国工业出版社

本书是为“公路与城市道路”、“桥梁与隧道”二专业的“水力学及水文学”一课程的教学需要而编写。

全书内容分二大部分。第一篇为水力学，包括：緒論；水静力学；水动力学的理論基础；水流阻力及水头損失；管道的水力計算；明渠水流及明渠的水力計算；孔口、管嘴、堰流；水工建筑物水流的銜接与消能；渗流；泥砂运动及跨河桥渡的冲刷問題等十章。第二篇为水文学，包括：水文学的概述；水文統計方法的基本知識；水文計算等三章。

本书可作为公路与城市道路”、“桥梁与隧道”二专业的教学用书，亦可供工程技术人员参考之用。

水 力 学 及 水 文 学

南京工学院水力学教研組編

*

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $25^{1/2}$ ·插頁1·字数597,000

1961年11月北京第一版·1961年11月北京第一次印刷

印数0001—2043·定价(10-6)3.05元

統一书号：15165·1045(建工-131)

目 录

前言	5
----------	---

第一篇 水力学

第一章 緒論	6
--------------	---

§ 1-1 水力学的任务	6
--------------------	---

§ 1-2 水力学的发展簡史	8
----------------------	---

§ 1-3 液体的主要物理性质	11
-----------------------	----

§ 1-4 作用在液体上的力	16
----------------------	----

§ 1-5 水流运动的一般分析	18
-----------------------	----

§ 1-6 研究水流运动的方法	21
-----------------------	----

§ 1-7 水流現象的分类	25
---------------------	----

第二章 水靜力学	26
----------------	----

§ 2-1 概述	26
----------------	----

§ 2-2 靜水压力及其特性	26
----------------------	----

§ 2-3 液体平衡的微分方程式及其积分 ..	28
-------------------------	----

§ 2-4 等压面	31
-----------------	----

§ 2-5 重力液体中靜水压力的分布 規律	31
--------------------------------	----

§ 2-6 靜水压力定律的图示、靜水压力 分布图	32
-----------------------------------	----

§ 2-7 巴斯加原理	33
-------------------	----

§ 2-8 連通器內液体的平衡	34
-----------------------	----

§ 2-9 非重力液体中靜水压力的分布情 况	35
---------------------------------	----

§ 2-10 靜水压力的量測	37
----------------------	----

§ 2-11 平面上的靜水总压力	39
------------------------	----

§ 2-12 曲面上的靜水总压力	42
------------------------	----

§ 2-13 浮力、潛体的平衡、浮体的稳定 性	45
----------------------------------	----

第三章 水动力学的理論基础	47
---------------------	----

§ 3-1 概述	47
----------------	----

§ 3-2 流綫和迹綫、織流和总流	48
-------------------------	----

§ 3-3 連續原理	50
------------------	----

§ 3-4 織流的連續性方程式	51
-----------------------	----

§ 3-5 总流的連續性方程式	51
-----------------------	----

§ 3-6 液体的运动方程式	52
----------------------	----

§ 3-7 織流的能量方程、液流机械能的 轉化	54
----------------------------------	----

§ 3-8 总流的能量方程	60
---------------------	----

§ 3-9 流速、流量的量測	64
----------------------	----

§ 3-10 动量定律	66
-------------------	----

§ 3-11 水流的相似原理	70
----------------------	----

§ 3-12 量纲(因次)分析理論	74
-------------------------	----

第四章 水流阻力及水头損失	75
---------------------	----

§ 4-1 概述	75
----------------	----

§ 4-2 液体流动的两种型态——层流和 紊流	76
----------------------------------	----

§ 4-3 沿程阻力和水头損失的关系	81
--------------------------	----

§ 4-4 圓管层流的沿程水头損失	82
-------------------------	----

§ 4-5 紊流特性	84
------------------	----

§ 4-6 紊流阻力	90
------------------	----

§ 4-7 紊流的沿程水头損失	94
-----------------------	----

§ 4-8 計算沿程水头損失的經驗公式 ..	100
------------------------	-----

§ 4-9 水流的局部阻力和局部水头 損失	105
--------------------------------	-----

第五章 管道的水力計算	112
-------------------	-----

§ 5-1 概述	112
----------------	-----

§ 5-2 短管的水力計算	113
---------------------	-----

§ 5-3 虹吸管	116
-----------------	-----

§ 5-4 水泵裝置的水力計算	117
-----------------------	-----

§ 5-5 长管的水力計算	118
---------------------	-----

§ 5-6 給水管网的水力計算基础	123
-------------------------	-----

§ 5-7 有压管道中的水击	128
----------------------	-----

§ 5-8 水击危害的預防和水击的利用 ..	133
------------------------	-----

第六章 明渠水流及明渠的輸水能力	134
---------------------------	-----

§ 6-1 概述	134
----------------	-----

§ 6-2 明渠中的均匀流动及輸水能力計 算	136
---------------------------------	-----

§ 6-3 明渠水流的两种状态及其判別 ..	146
------------------------	-----

§ 6-4 水跃	152
----------------	-----

§ 6-5 明渠非均匀緩变流的基本方程 式	156
--------------------------------	-----

§ 6-6 棱柱体渠道緩变流水面曲綫的分 析	158
---------------------------------	-----

§ 6-7 底坡突变的水工明渠中的水面曲	
----------------------	--

綫	768
§ 6-8 明渠緩變流水面曲綫的計算和繪制	171
§ 6-9 天然河道非均勻流水面曲綫的繪制	180
§ 6-10 橋墩對水流的影响	187
第七章 孔口、管嘴、堰流	217
§ 7-1 概述	217
§ 7-2 薄壁孔口出流	218
§ 7-3 管嘴出流	222
§ 7-4 閘門的過水能力	224
§ 7-5 寬頂堰溢流	228
§ 7-6 薄壁堰溢流	239
§ 7-7 實用剖面堰溢流	241
§ 7-8 側堰	244
第八章 水工建築物水流的銜接與消能	245
§ 8-1 水工建築物下游的水流銜接與消能的概述	245
§ 8-2 水流銜接和消能的一般過程	246
§ 8-3 底流銜接和消能	248
§ 8-4 面流消能和挑流消能的特點簡介	260
§ 8-5 連接建築物的水力計算	262
第九章 滲流	277
§ 9-1 概述	277
§ 9-2 地下水的均勻流動	281
§ 9-3 地下水穩定非均勻緩變流的微分方程式、浸潤曲綫型式和積分	282
§ 9-4 井和集水廊道	288
§ 9-5 土堤(土堤)滲流	296
§ 9-6 滲流問題的流網圖解法	301
第十章 泥沙運動及跨河橋渡的冲刷問題	304

§ 10-1 概述	304
§ 10-2 泥沙的幾何特性及水力粗度的概念	305
§ 10-3 泥沙的運動方式及泥沙的起動	308
§ 10-4 水流的挾沙能力	314
§ 10-5 懸移質在垂綫上的分佈	316
§ 10-6 自由河段的河床演變	320
§ 10-7 跨河橋渡的一般冲刷與局部冲刷	330

第二篇 水文學

第一章 水文學的概述	339
§ 1-1 水文學的任務及其發展簡史	339
§ 1-2 水文現象的特點及其研究的基本方法	340
§ 1-3 水文循環及水量平衡	342
§ 1-4 蒸發	344
§ 1-5 降水	347
§ 1-6 河川、河川逕流	349
第二章 水文統計方法的基本知識	355
§ 2-1 概述	355
§ 2-2 統計參數	356
§ 2-3 機率理論與頻率計算	359
§ 2-4 相關分析	373
§ 2-5 抽樣誤差	377
第三章 水文計算	379
§ 3-1 一般概念	379
§ 3-2 有水文資料時河川設計流量之推算	379
§ 3-3 缺乏水文資料時河川設計流量之決定	387
§ 3-4 小匯水面積暴雨逕流計算	391
§ 3-5 人類活動對暴雨逕流的影响	406
主要參考書	409

前 言

本书是我組在院党委的领导下为“公路与城市道路”、“桥梁与隧道”二专业所开设的“水力学及水文学”課程編写的教学用书(教材)。

本书第一篇水力学是以清华大学所編的“工程水力学”上册为主体,并参考其他有关书籍及我們教研組在教学工作中的經驗編写而成。为适合“公路与城市道路”、“桥梁与隧道”二专业的需要,对工程水力学上册的内容进行了适当的增删。在水静力学、明渠水流及明渠的水力計算(非均匀流部分)二章中我們采取了武汉水利电力学院所編的水力学的部分内容;泥沙运动及跨河桥渡的冲刷問題一章,因我們在科学研究时感到这部分内容对国民經济有很大的意义,且对上述二专业甚为重要,因此这次就把这方面的内容选編了进去,主要取材于И.И.阿格罗斯金等合著的“水力学”、华东水利学院所編的“河床演变”的讲义以及其他有关文献。第二篇水文学我們主要取材于武汉水利电力学院所編的“河川水文学”、华东水利学院所編的“逕流”讲义、K.A.米哈依洛夫等合著的“水力学、水文学、水文測驗学”以及其他有关文献。

在教育部所頒发的教学计划中,这門“水力学及水文学”課程原为“水力学、水文学、水文測驗学”。在这次編写教材时考虑到有的学校把水文測驗学的内容放在其他課程中去讲授或結合生产采取現場教学来进行等原因,因此,水文測驗学的内容就沒有編入,如有需要可参考其他有关书籍。应该指出,这三部分的内容对上述二专业都是很需要的。因为过水建筑物(桥、涵、渗水路堤等)以及其他有水通过的建筑物的形式的规划和其中洩水孔口尺寸的决定都要以水力学的理論为根据,而过水量的多少又是根据水文学的理論,并应用水文測驗学的方法进行天然观测而得到的資料来决定的。因此,在讲课时可以举上述例子來說明这三部分内容虽分屬不同的学科,但又是相互联系的,使同学对这門課有較完整的概念。

由于時間較仓促,我們的水平又很低,因此缺点和錯誤都是会有的,希望各兄弟院校的师生在試用过程中提出意見,以便逐步改进,提高质量。

南京工学院水力学教研組

1961.5.26.

第一篇 水 力 学

第一章 緒 論

§ 1-1 水力学的任务

水力学是应用力学的一部分。它是在不断总结生产实践和科学研究经验的基础上发展起来的，是应用实验和理论分析的方法研究液体的机械运动和相对静止的规律，探讨液体和各种边界之间的相互作用，并利用这些规律解决实际工程问题的一门科学。

在水利、土木、机械、化工、电力等许多工程实践中，都与液流现象有着联系，因此，水力学成为许多专业所共同研究的科学。对于公路与城市道路、桥梁与隧道等专业来讲，在道路或桥梁的勘测、设计、施工、养护工作中都需要应用水力学有关的知識。

例如在修建道路时，为了跨越河流，需架设桥梁，设其布置如图 1-1 所示。在修建桥梁之前，我们首先要根据河流的水文、地质、地形等条件恰当地选择桥位；其次要解决桥梁孔径尺寸的有关水力计算问题；再次，由于建桥后河流断面被压缩，在桥前上游河段中

将会引起壅水现象，这会造成两岸（尤其是平原区）土地的被淹没，因此，就需要计算建桥后的壅水高度及其影响范围；另外，亦由于修建桥梁后将会引起上下游河段水流情况的改变和桥下河床的冲刷，因此，亦就要解决导流建筑物，桥基埋置深度以及河床加固型式，尺寸等问题。

又如，道路通过某一山区，为了排除山坡下泄的雨水，就需要修建一系列的排水建筑物，设其布置如图 1-2 所示。我们将根据山坡的

来水量解决排水沟、急流槽、涵洞、渗水路堤等尺寸的有关水力计算问题；由于急流槽下泄的水流流速甚急，会引起下游河床的冲刷，因此，就需要进行消能措施的设计等。在解决以上生产上所提出来的问题时，都需要水力学知识。

据一般的统计，这些工程约占道路总造价的 10—20%，而且数量很多，如以小型排水构造物（1—3 米的涵洞）为例，在平原区每公里约 0.5 个，在山岭区则为 2 个。所以，正

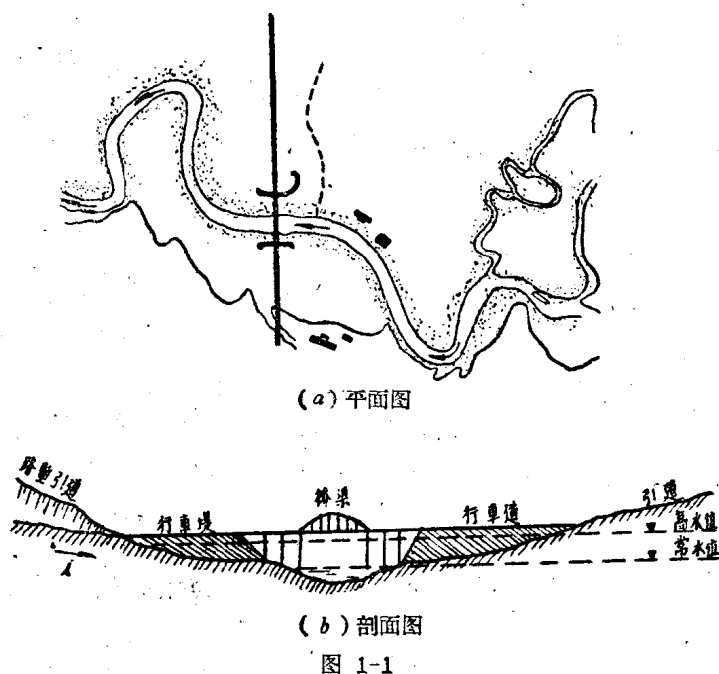
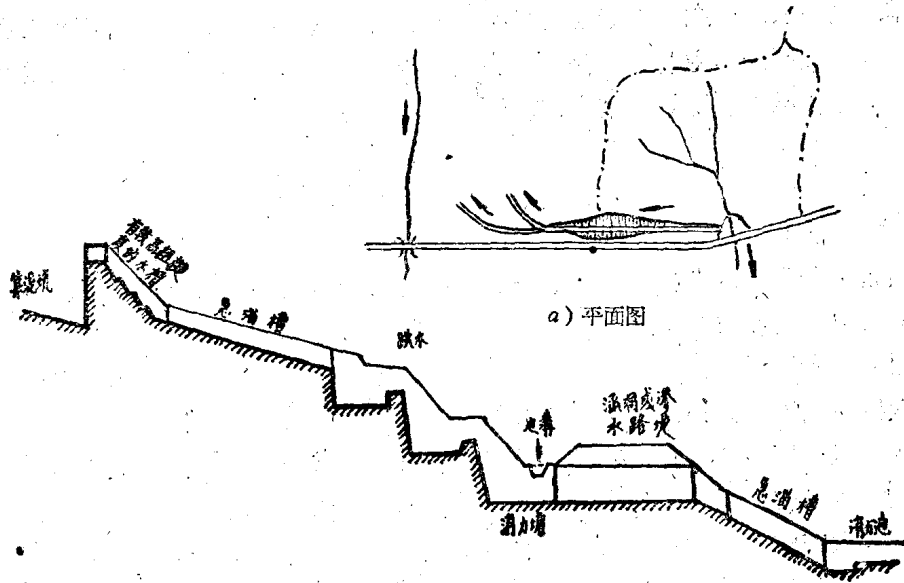


图 1-1



b) 剖面图

图 1-2

确地解决这些问题，对多、快、好、省地进行道路和桥梁工程的建设有着密切的关系。

从以上所提出的一些有关水力学的问题来看，我们可以概括地说：水力学的具体任务就是分析工程中的各种水流现象，研究其运动规律，根据所求得的结果来阐明、预计、并改进水流与建筑物之间相互的力学作用，以便更好地控制和利用水流，以达到多、快、好、省地建设社会主义和为人民造福的目的。

无数的事实都说明，要学习好水力学，要解决好实际工程所提出的有关水力学问题，必须以毛泽东思想为指导思想，努力学习和自觉地运用唯物辩证法，采取调查研究的方法，按照党的方针政策办事。

例如，在决定桥梁孔径时，我们可以按在计算水位条件下，河流水流断面不受压缩和受压缩二种原则来设计。前者，水流情况改变较小，单从水力计算方面来看，这样是允许的，但是一般来讲（尤其是对有滩地的河流），采取这样的方案，桥梁造价是比较贵的，因此，不宜采用。后者，水流情况改变较大，在决定桥孔尺寸时就不能单从水力计算方面去考虑问题了，必须考虑到桥梁的上部构造、下部构造、桥墩埋置深度、调治建筑物、壅水高度及两岸淹没程度等一系列因素，必须总观全体，采取对具体问题具体分析的方法，经过周密调查研究后按照党的方针、政策妥善地解决这些因素间的关系，只有这样才能设计出合适的桥孔尺寸。由此可见，在解决生产上所提出来的问题时，亦就不单纯是一个水力计算的问题了。因此，我们必须坚持政治挂帅。

在前面已经提到，在解决生产上所提出的有关水力学问题时，必须要总观全体，全面考虑问题。过去我们习惯于把研究的对象分割开来加以研究，这样往往容易看不到事物的联系和把握不了事物的整体，这是应当避免的。另外，由于科学和课程的分工，对某一对象的各个方面，各个部分分别地进行研究和学习，亦是必要的。因此，水力学研究的对象主要是水流及其运动的规律。

水力学的内容大体上包括两部分：第一部分是水力学基础，主要是研究液体在运动时

的普遍規律，为深入地研究某些运动的特殊規律奠定基础；第二部分是各种工程服务的专门水力学，对我们来讲主要是环绕道路跨越水流障碍和排水构造物所提出来的有关水力学问题（如桥梁、涵管、明渠、消力池、渗水路堤、泥砂等）。

§ 1-2 水力学的发展簡史

水力学是随着生产的发展而发展起来的，特别是与水利事业的发展有着密切的关系。远在四千多年以前，我国劳动人民为抗御洪水灾害，曾与水进行了不懈的斗争。大禹治水的傳說說明了当时人民用疏导方法使黄河輸流入海，从而战胜了严重的洪水灾害的情况，显示出了我国古代人民勤劳、智慧、勇敢和与洪水作斗争的頑强精神。

在春秋战国和秦朝的时代，社会生产力得到巨大的发展，我国古代水利工程在这时也获得了发展，著名的郑国渠、都江堰和灵渠三大工程就是在这时兴建的。以后则有汉渠、唐徕渠等，大大的发展了灌溉事业。公元前485年，开始修筑南北运河，至隋朝最后完成了从杭州至北京长达1,782公里的大运河，沟通了江、淮、黄、海四大水系，改善了我国南北运输的条件。在运河上大量使用了船閘，这表现出我国劳动人民的高度智慧。在历代防止黄河泛滥的斗争中，从疏导分流到筑堤束水，黄河两岸修起了上千公里的堤防，这些偉大的工程和史迹，使我们看到了正是这些英勇的劳动人民創造了历史，推动了生产和科学的发展。

随着水利建設工程的发展，人们对水流运动的規律逐渐从不了解到了解，并逐渐懂得了如何去运用这些規律。都江堰工程中設置的平水池和飞砂堰，目的在于分内、外水量为4与6之比，以满足灌溉的需要，这說明当时对一定水头下就会通过一定流量的堰流已有了相当的認識。这种滾水坝在黄河的治理中往往被用作减坝，以便分流，前人著作上对滾水坝的尺寸、水头均作了詳細的描述。

关于历代治河經驗，見之于文字記載的有“水經”和“水經注”，这二部书对我国水系作了系統的叙述。关于黄河的治河思想，則由汉朝的“不与水爭地”到明朝的“筑堤束水”，“以水攻砂”，从而得到“砂刷則河深”的比較稳定的河道断面，反映了对泥沙运动認識已具有很高的水平。到清朝陈瓚所著“河防述言”，总结了历代的治水經驗，提出“順其性而利导之”，并系統地闡述了对河性、河势的認識，綜述了許多治河的技术措施，解决了計算河道泄水能力的方法，对水流运动規律的掌握达到了古代历史上极高的水平。

我国用水力为原动力的发明，在很早就有記載。公元前31年，因为当时鑄造鉄农具的任务很大，用人力鼓风費人力过多，杜詩就創造了一种用水力为原动力的“水排”来鼓风，用力很小，收效很大。在东汉光武帝时，桓譚著“新論”上記載了“役水而舂，其利百倍”，亦說明了用水力当原动力的情况。

另外，現在尚存在的“延祐銅壺”（公元1363年造）就是利用孔口出流、水位随時間变化的規律制成的計时机械，它极巧妙地利用了一系列的銅壺——日天壺、夜天壺、平水壺和受水壺等的孔口的出流来精确地計算時間。

然而，在階級社会里，这些亿万人民創建的雄偉业绩，多被当时統治階級擡之以为勒索和剝削人民的工具。郑国渠和都江堰的修建，大大加强了秦国的經济实力，为进行統一

全国的战争提供了物质基础，而灵渠则为运输兵员之通道。

都江堰兴建后，成都平原的农业受到很大的效益，从而使四川成为“天府之国”，但也是统治者对农民剥削最残酷的地方。史载“自秦汉迄南宋，四川赋税，常为全国第一”。而黄河的治理和运河的修筑根本的目的在于保证漕运的畅通，以利统治阶级搜刮民脂民膏豢养其皇族。

在国民党反动统治时期，对劳动人民的压迫和剥削更是穷凶极恶。1938年，在黄河花园口决堤，使黄河人为地改道，造成莫大灾害，直接死于洪水者达89万人，这是国民党反动派对人民欠下的一笔血债。

正因为长期的反动统治，阻碍了我国的水利科学的发展。

与我国情况相似，早在几千年前，在埃及、巴比伦、希腊和印度等地区，为了发展农业已修建了灌溉渠系，发展了航运，在这些生产活动中，人们也认识了一些水流运动的规律。公元前三世纪，希腊哲学家阿基米德总结了这些经验，第一次发表了阐述水流运动规律的文献“论浮体”。以后，欧洲长期处于封建统治黑暗时期，在水力学方面没有什么新的成就。

直到中世纪农奴制度解体，资本主义制度代之而兴，这在当时就促进了很多科学，例如数学、力学的发展，其中亦包括了水力学的发展。在当时科学所以能够有高速度的发展，恩格斯亦是把它归功于生产。他在“自然辩证法”科学历史摘要一节中写着“如果说，在中世纪的漫长黑夜之后，科学以梦想不到的力量一下子重新兴起，并且以神奇的速度发展起来，那末我们也得把这个奇迹归功于生产”^①，“十六世纪和十七世纪的流体静力学，就是为了防治意大利山洪而创立起来的”^②。

十六世纪初叶，意大利学者列昂纳德·达·芬奇总结了实践的经验，写了“论水的流动和水的测量”的论文，探讨了孔口泄流、流体在管中的运动以及物体的浮沉等问题。1612年，伽利略更进一步建立了物体浮沉的基本定理。1650年巴斯加建立了液体中压力传递的定律——巴斯加定理。当时没有掌握数学分析，这些基本定理是利用几何概念的简单方法来证明的，但表述得很正确，直到现在仍然没有改变。

1643年托利西里发表了孔口的液体出流定律。1685年牛顿建立了液体内部摩擦定理的假说，并且决定了力学相似的基本原则。他在固体力学方面的著作为流体力学的创立准备了先决条件。

作为液体和气体机械运动学说的水力学的理论基础——流体力学，则是在很久以后，由俄国彼得堡科学院的一些学者所奠定的，曾在彼得堡科学院工作了八年（1725—1732）的荷兰物理学家丹尼尔·伯诺利，应用伽利略-牛顿力学和流体质力的概念，于1738年创立了流体运动的能量方程式——伯诺里方程式。这个方程式是首先由罗蒙诺索夫所提出的能量守恒定律的表示式中的一种。与此同时，瑞士学者俄国科学院院士列昂纳德·欧拉在1755年发表了论文“流体运动的一般原理”，第一次最完善地阐述了理想流体运动方程式——欧拉方程式，从而奠定了古典流体力学的基础。对于粘性流体的运动微分方程式则为纳维·圣维南和斯托克斯等人所建立。

在这段时期中，流体力学主要是应用严格的数学逻辑为工具而发展的，具有严密的数

① 恩格斯：自然辩证法，中译本149页，人民出版社，1955年。

② 尤金编：简明哲学辞典，中译本354页，人民出版社，1955年。

学性质。它主要追求問題提出的严格性和問題解答的一般性及精确性。由于流体力学在解决实际問題上的困难，一直到今天还大大地限制了可用流体力学来解决問題的范围。由于十八世紀迅速发展的工程技术要求毫不迟緩地解决有关水力学問題，因此和古典流体力学同时，实验的和实用的水力学亦有了发展。人們进行了大量的实验和实地观测来确定渠道、管路和孔口的泄水能力。1755年法国工程师謝才从工程实践中归纳出了渠道均匀流的阻力公式，該公式目前尚被广泛地应用着。

应该指出的，在十八世紀和十九世紀初叶，由于对自然界的机械观点的普遍化，而引起了对待自然科学上的机械論特点，强烈地影响着水力学理論基础的进一步发展。显然，要克服这种局限性，只有克服十八世紀整个自然科学上的机械論的片面性之后才有可能。

近半世紀来，实用水力学与流体力学两者逐渐接近起来了。

十九世紀九十年代，雷諾发表了液流在管中流动的实验結果，发现了流动的两种类型——层流和紊流，并导出了液流相似准則——雷諾准則，使用来研究液流运动的两种方法——实验和理論的方法得以結合。在航空工业，船舶制造业和河渠治理的推动下，促成了系統地从实验上和理論上研究紊流的迅速发展。

在近代水力学的发展上，俄国学者作出了卓越的贡献。H. П. 彼得洛夫在1883年——1885年将牛頓的关于流体粘滯性的假說变为粘滯性定律——牛頓內摩擦定律。在这定律的基础上創立了机械中水动摩擦的著名理論。他把自己的理論同仔細进行的实验結合起来，同最重要的生产需要結合起来，并且把他的理論运用到俄国铁路和紡織业的实践中去。被列宁誉为“俄罗斯航空之父”的H. E. 茹柯夫斯基，結合莫斯科新建上水道进行渗流和水击現象的研究，并把所得的理論在莫斯科上水道中加以验证。另外，他亦解决了一系列的其他有关促进水力学中理論和实践方面相接近的問題。茹柯夫斯基的全部科学性质，是和他把力学理解为自然科学的一部分，以及与工程密切联系的看法是有关的。在这里应该指出，茹柯夫斯基的力学研究的嶄新方向是和俄国当时的唯物主义思想和十九世紀六十年代的先进思想是联系着的。

偉大的十月革命以后，人类历史上出现了第一个社会主义国家——苏联，社会主义制度保证了水利事业和水利科学高速度的发展。在苏联共产党和列宁的领导下，制定了全国电气化計劃，建設了一系列的水电站，如沃尔霍夫、德涅泊等。这些巨大水工建筑物的兴建，促进了水力学理論的发展。在巴甫洛夫斯基领导下，苏联学者对苏联水工实践方面的水力学問題进行了系統的总结和深入研究，从而形成了与水利工程紧密相联而又能很好为之服务的工程水力学。关于水流消能、明渠水流及地下渗流等方面的研究成績尤为巨大。在苏联共产党和政府的关怀下，成立了数以百計的水利科学研究机构，培养了大量的专家队伍。目前，苏联人民在党和政府的领导下，正满怀信心地跨入了全面的建設共产主义的偉大时代，正設計和建造着世界上最大的水电站。同时，还从事于改造整个东部地区自然面貌的宏偉計劃，将把资本主义世界远远地抛在后面。

自中华人民共和国成立之日起，十多年来，在中国共产党和毛主席的领导和关怀下，我国水利事业和水利科学得到了飞跃的发展。

从1950年开始的根治淮河的工程，是我国全面治理河道的一个偉大开端，毛主席的“一定要把淮河修好”的指示，表现了党和政府对人民所受水旱災害的深切关怀和向大自然作斗争的偉大决心。经过几年来的艰苦奋斗，淮河上先后建成了一系列的山谷水庫和注

池蓄洪工程，使上千万亩的农田得到了灌溉，随着河网化的修建，淮河流域将成为我国富庶的地区之一。

十多年来我国的其他几条大河亦都在不同程度上开始进行了治理和开发。另外，在农田水利、水能利用、水力机械、水利电力等方面都进行了许多工作。水利事业的发展对农业的发展发挥了很大的影响。

大规模的水利工程的实践，有力地推动了水利科学事业的迅速发展。例如：为了修建大量的中小型闸坝的需要，对中、小型工程闸下消能问题作了大量的试验研究，对于闸下消能方式，水流的衔接和冲刷有了系统深入的掌握。同时，也提出了中、高水头水工建筑物的复杂水力学问题（例如：掺气的基本理论，气蚀现象，动水压力脉动和高水头建筑物下游消能等问题），无论就其实践或理论上来看这些都是新的问题。又如，为了控制黄河及其他多砂河流，在泥砂运动的规律探求方面亦有了可喜的成就。随着工农业的迅速发展，交通运输事业亦得到了发展，有关桥渡水力学的工作亦在积极展开。

在这里必须指出，广大群众在党的领导下，在总路线、大跃进和人民公社三面红旗的照耀下，形成了群众性的兴修水利工程的高潮，创造了极其丰富的水利建设的经验，这些经验无疑地将给水力学的发展开辟广阔的天地。同时亦形成了群众性的向水利科学进军的热潮。劳动人民的这些丰富创造，必将迅速提高本门科学的水平。

几年来在党和政府的关怀下先后建立了许多大型的水利、水电科学研究机构，新办了許多高等水利院校，形成了全国水利科学研究网，并兴建了设备完善，规模宏大的实验基地。为了满足日益复杂的研究任务，现代水工测量技术在苏联专家的帮助下得到了普遍的应用。完全可以相信，在党的正确领导下，虚心学习苏联先进经验，理论联系实际为生产建设服务，坚决走群众路线，必将使我国水利科学和水力学的水平得到飞跃的发展。

从以上所叙述的水力学发展简史中，可以说明：水力学作为一门科学，它的发展是随着生产的发展而发展起来的；水力学的发展和当时的社会存在（尤其是社会制度）、社会意识有关；水力学来自于实践，来自于劳动人民。我们的党总结了科学的发展规律，并且制定了一系列有关发展教育、文化、科学、技术方面的方针、政策，指导着我们的的工作。从水力学的发展史中，我们可以进一步体会到党的领导的正确、英明、伟大。我们只有听党的话，自觉地贯彻执行党的各项方针政策，在党的领导下明确我们水力学的性质、目的、任务和道路，这样才能把水力学迅速地引向新的高峰。

§ 1-3 液体的主要物理性质

在 § 1-1 中已经提到：水力学主要是研究液体的机械运动规律，以及液体和建筑物之间的相互作用。这些规律和作用，一方面和作用于液体的外部因素及条件有关，但更主要的是决定于液体本身的内在物理性质。因此本节将讨论液体的几种主要物理性质。

在讨论液体的主要物理性质之前，我们应先明确液体这个概念。根据近代物理学的知识，任何物质都是由微小的分子构成，这些分子在不断地运动着，彼此之间有一定的空隙和相互作用的力。液体亦是由微小的分子构成，分子与分子之间的内聚力较固体为小，所以它不能和固体一样，自己保持一定的形状，只要在微小的力作用下便很容易流动而变形。因此，从力学观点上来说，液体的基本特征对于缓慢的变形没有阻力。或者说在平

衡状态下不能抵抗任何切力变形。至于对快速的变形，液体是能显示出一定的阻力的，这将在以后讨论。另外，液体亦不能抵抗张力，而只能抵抗对它的压力。液体的上述特征即是认为液体是具有“易动性”。

其次，我们对液体进行研究时尚有一个很重要的规定，即是把液体看作是一种由比分子大很多的质点所组成，彼此之间没有空隙存在的连续介质。虽然这和实际情况是不一致的，但是，由于水力学所研究的液体运动，都是具有较大的尺度，所要解决的绝大多数问题，乃是液体与固体相互间力学作用的统计学上的总效应。因此，就没有必要对液体进行以分子为单元的微观研究。

由于我们把液体看作是连续介质，因此，亦就可以把液体的流动当作连续介质的流动来处理。这样，我们就可以认为液体质点或其他任何小的体积的性质是跟液体的整体性质是一样的；其次，可以摆脱研究分子运动的复杂性，而只研究外力所引起的质点的运动；再次，由于液体是连续的使我们在研究液体运动时，在方法上就有可能应用数学的连续函数来表示质点的各种特性在液体内的变化。上述的规定即是认为液体是“均匀的连续介质”。

下面我们来讨论液体的几个主要物理性质。

1. 液体的质量 和许多其他物质一样，液体的第一个特征是具有质量，因此对于任何改变它运动状态的作用都显示出惯性，这点对于研究液体的运动起着重要的意义。

地球表面上的一切液体都是处在地球引力的作用之下，因此具有质量的液体也必具有重量。这个特征以液体单位体积的重量 γ （简称容重或单位重）来表示。设体积为 V 的均质液体具有的重量为 G ，则

$$\gamma = \frac{G}{V}。 \quad (1-1)$$

用工程单位表示， γ 的单位为公斤/米³。

液体单位体积内所具有的质量称为密度，以 ρ 表示。对于均质的液体来说，设体积为 V 的液体具有的质量为 M ，则密度 ρ 为

$$\rho = \frac{M}{V}。 \quad (1-2)$$

根据运动定律，有

$$G = Mg \quad (1-3)$$

式中 g 为重力加速度。由公式 (1-1) 及 (1-2)，显然有下列关系

$$\gamma = \rho g$$

或

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

因此，密度 ρ 的单位为公斤-秒²/米⁴。

各种不同液体其密度及单位重是不同的。对于同一种液体来说，密度及单位重是和压力及温度有关。不过由于它的变化很小，在实用上往往可以认为是个常数。

对于水来说，大家知道，在大气压力下，当温度为 4°C 时水具有最大的密度，此时单位重 $\gamma = 1,000$ 公斤/米³。在其他温度下，水的 γ 值如表 1-1 所示。

在水工建筑物的工作条件下，水的温度通常在 0—35°C 范围内，因此实用上可认为 γ 是常数，取它等于 1,000 公斤/米³。以 $g = 9.80$ 米/秒² 计算，相应的密度 $\rho = 102$ 公斤-秒²/米⁴。

表 1-1 水的单位重

$t(^{\circ}\text{C})$	0	10	20	30	40	60	100
$\gamma(\text{公斤/米}^3)$	999.9	999.4	998.2	995.7	992.2	983.2	958.4

2. 液体的粘滯性 它是由液体内部分子运动所引起的，它表现在当某些液层对其邻层发生相对位移引起体积变形时，在液体中具有阻抗剪切变形的特性，在液体中产生摩擦阻力，这种性质称为液体的粘滯性。

以下，我們用一个简单試驗來說明有关液体的粘滯性問題。取两个具有同一軸綫而直径不等的内外两圆筒，两圆筒间的距离很小，中間充滿待試驗的液体（如图 1-3）。内圆筒被一扭絲悬挂着，在不同力矩作用下扭絲的轉角是不同的，它事先經過了校正。外圆筒可按各种速度旋轉。通过試驗得知，当外圆筒以一定速度旋轉时，轉动力矩通过液体内部的傳遞而至内圆筒，使扭絲扭轉一定角度后才达到平衡并处于靜止。紧邻外圆筒内面的液体，其运动速度和外圆筒的周速相等，而紧邻内圆筒外面的液体則和内圆筒一样，其速度为零。也就是說液体在固体表面上沒有滑动。至于液体其他部分的速度則是由内而外递增，按直接变化由零增至外圆筒周速 u_c 。如沿筒周取一小段液体放大，因曲率半径相对于两筒間距甚大，故可看作是平行平板間的流动，如图 1-4 所示。由于流速分布的不均匀，任意取一块液体如图中 $abcd$ 来考虑，因下面部分速度小，上面部分速度大，經過微小時間后这块液体必然发生剪切变形为 $a'b'c'd'$ 所示，上面流动較快的液体有拖动下面流动較慢

的液体的作用；反之，下面流动較慢的液体，則有阻滞上面流动較快的液体的作用。这样各层液体之間便发生剪切应力（或称为內摩擦力）以反抗剪切的变形。上述外面圆筒轉动的力矩，便是通过液体的內摩擦力作用逐层傳遞至内面圆筒，而和扭絲的反抗力矩平衡的。

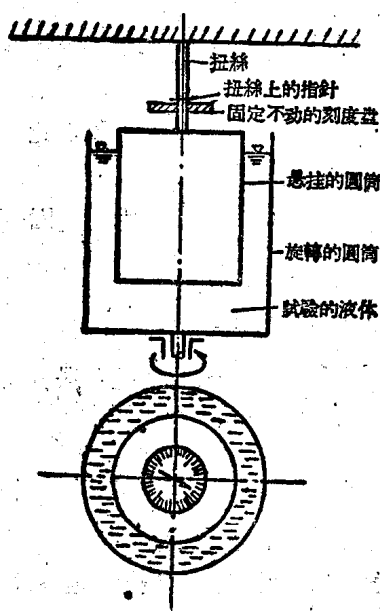


图 1-3 液体滯性測定仪

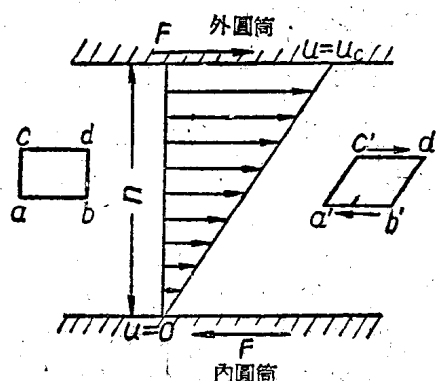


图 1-4 筒壁之間液体的阻力

这样，液体在运动状态下具有阻抗剪切变形的特性，这个特性就为液体的粘滯性。

由上面試驗得知，外圆筒的轉速愈快，扭絲指示的力矩愈大，亦即液体变形速度愈快，或流速沿圆筒半径方向变率愈大，內摩擦力也愈大。另一方面，內摩擦力也和作用面

积 S 成比例, 即

$$F \propto S \frac{u_c}{n}$$

式中 n ——两圆筒的距离。

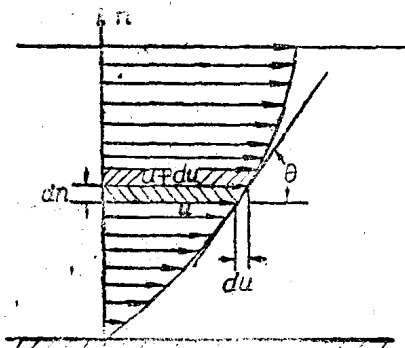


图 1-5 粘滞力计算图

推广至液体內流速分布不是直线而是曲线的普遍情形, 如图1-5所示, 则任意两液层間的内摩擦力和該相应位置的流速梯度成比例。所谓流速梯度即沿垂直于流动方向 n 的流速变率 $\frac{du}{dn}$ 因此

$$F = \pm \mu S \frac{du}{dn} \quad (1-4)$$

而单位面积上的内摩擦力

$$\tau = \frac{F}{S} = \pm \mu \frac{du}{dn} \quad (1-5)$$

这个关系式称为液体的内摩擦定律, 式中的比例系数 μ 称为液体的粘滞性动力系数或简称粘滞系数, 它可以衡量液体的粘滞性。

公式(1-4)和(1-5)的“ $\pm$ ”号是这样规定的, 把 τ 永远看作正值, 如 $\frac{du}{dn}$ 是正值则在前面用正号, 如 $\frac{du}{dn}$ 是负值则在前面用负号。至于 τ 的方向则看对那一部分液体作用而定, 如运动較快的液层对較慢的液层作用, 则 τ 的方向和运动方向相同; 反之, 如运动較慢的液层对較快的液层作用, 则 τ 的方向和运动方向相反。

由公式(1-4)可以看出: 液体的内摩擦力与該位移的相对速度成正比; 与这些层的接触面的大小成正比; 与液体的性质有关; 与压力无关。

显然, 这和固体間的摩擦力不同, 在固体的情况下, 摩擦力与正向压力成正比; 与接触面积、摩擦物体的相对运动速度几乎无关; 与相摩擦物体的性质有关。

粘滞系数 μ 的单位在工程单位制中用(公斤-秒/米²), 在绝对单位制中用达因-秒/厘米², 称为泊。两者的关系是

$$1 \text{ 泊} = \frac{10^4}{980 \times 10^3} \text{ 公斤-秒/米}^2 = 0.0102 \text{ 公斤-秒/米}^2。$$

在以后的讨论中, 经常会遇到另外一个表示液体粘滞性的常数 ν , 它是粘滞性动力系数和密度之比

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

它的单位是厘米²/秒, 只具有运动学的要素, 因此称为粘滞性运动系数。

液体的两个粘滞系数既然表示液体的粘滞性, 对于不同种类的液体显然不会相同。对同一种液体, 粘滞系数随温度改变而改变, 一般当温度升高时液体的粘滞系数值减小。至于压力对液体粘滞系数的影响很小, 实用上可以忽略。

水的粘滞性运动系数和温度的关系可用下式表示(或如表1-2所示)。

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \text{ 厘米}^2/\text{秒}, \quad (1-7)$$

式中 t ——摄氏表的温度。

表 1-2

水温 $t(^{\circ}\text{C})$	ν (厘米 ² /秒)	水温 $t(^{\circ}\text{C})$	ν (厘米 ² /秒)	水温 $t(^{\circ}\text{C})$	ν (厘米 ² /秒)
0	0.0178	12	0.0124	30	0.0081
5	0.0152	15	0.0114	40	0.0066
10	0.0131	20	0.0101	50	0.0055

液体的粘滞性虽然是客观存在的一种性质，但只在运动状态下才显现出来，当液体处于静止状态时，因为没有变形就不会显现出它的粘滞性作用。

粘滞性对液体运动的作用是极为重要的，它是产生阻力的根源，因而也是液体运动时能量损失的原因，在实际工程中占很重要的地位。许多水力学的问题如不考虑粘滞性的作用往往会得出不符合实际情况的结果。但是由于考虑了粘滞性，则使水力学问题的分析研究复杂得多。为了简化工作，人们常常忽略粘滞性，没有粘滞性的液体我们称它为理想液体，而具有粘滞性的真实液体称它为实际液体。进行理想液体研究的目的是，一方面是为了简化分析工作，使容易得出一些主要的结论，然后再对粘滞性的作用专门研究来加以修正补充；另一方面在许多问题中，粘滞性的影响不是很大的，通过理想液体的研究可以得出实际有用的结果。

3. 液体的压缩性 液体在外界压力的作用下，其体积是会有微略变化的，这个性质称为液体的压缩性。压缩性的大小一般用体积压缩系数 α 来衡量。所谓体积压缩系数是单位面积上的压力增加一单位时，液体体积的相对减少值。以 dp 表示压力的增值， dV 表示体积的缩减； V 表示原体积，则

$$\alpha = -\frac{\frac{dV}{V}}{dp} \quad (1-8)$$

有时液体的压缩性也用 α 的倒数 K 来表示，称为体积弹性系数

$$K = \frac{1}{\alpha} \quad (1-9)$$

由此可见体积弹性系数的单位和压力的单位相同。

水在不同温度时的 α 和 K 值如表 1-3 所示。

表 1-3

$t(^{\circ}\text{C})$	0	10	20	30
α (米 ² /公斤)	50.2×10^{-10}	48.2×10^{-10}	46.5×10^{-10}	45.6×10^{-10}
K (公斤/米 ²)	1.99×10^8	2.07×10^8	2.15×10^8	2.19×10^8

由表可见，水的体积压缩系数很小，在实际工程问题中可以把它忽略，认为液体是不可压缩的。这样做使问题的分析研究大为简化，而得出来的结果在大多数问题上是完全可以满足要求的。但要注意在某些特殊问题上，例如在研究水击时，就要考虑液体体积的

改变, 否则得出的结果便会和实际完全不符。

4. 液体的表面张力 在液体与周围气体交界的自由面上, 液体处于均等的表面张力的状态中, 这种表面张力的产生是由于表面液层分子相互吸引作用的结果。

当液体表面有较大的曲率时, 表面张力的存在就产生作用在液面上的附加压力, 造成大家熟知的毛细管现象。在 20°C 时细管中毛细管作用产生的水面上升 h (以毫米计) 和管子直径 d (以毫米计) 的关系近似为:

$$h = \frac{30}{d} \quad (1-10)$$

在水银液的毛细管中, 液面下降数值为:

$$h = \frac{10.15}{d} \quad (1-11)$$

液体的表面张力在某些水力量测仪器的使用中应加以估计, 液体在地下的渗流情形及在某些尺度很小的试验工作中也要加以注意。至于一般水力现象中, 表面张力的作用很小, 可以略去不计。

上面我们较全面地分析了液体的各种物理性质, 但一般说来大多数水力学问题中最主要的液体性质是质量、重量和粘滞性, 对这三个特性的作用必须有较深入的研究。

归纳一下, 这一节对液体的讨论, 我们可以得到有关液体的水力学概念, 即在水力学中所称的液体系指易动的、连续的、均匀的、具有质量、粘滞性和不可压缩性的介质。在以后, 讨论液体运动规律时如没有特别指明, 即认为是对上述所称的液体而言。

§ 1-4 作用在液体上的力

在§ 1-3节中所分析的液体的各种物理性质, 在一定的条件下都产生相应的力, 如惯性力、重力、粘性阻力、弹性力、表面张力等。具有一定物理性质的液体, 在外力的作用下, 就产生一定的运动形态 (包括作为特殊状态的静止在内)。同时, 液体内部各质点之间也以一定的应力相互作用着。水力学任务之一便是对这些力和运动关系进行分析研究。为了便于分析力的作用, 我们把作用在液体上的力分为两类:

第一类力称为质量力或体积力。它作用于液体的每一个质点上, 和质量成比例, 故称为质量力, 在均质的液体中它和体积成比例, 故又称体积力。水力学中最常遇到的质量力有两种: 一为重力, 是地球对于液体每一质点吸引作用的结果, 它等于质量和重力加速度的乘积; 另一为惯性力, 是液体作加速运动时由于惯性而使各质点所受到的作用力, 它等于质量和相应加速度的乘积。

在工程上对于这类力的研究很重要, 河道及许多水工建筑物中的水流都是在重力作用下流动的; 而滚水坝上的水流及弯道中的水流等便都受到离心惯性力的作用。

单位质量液体所受的质量力, 称为单位质量力或单位体积力。设在坐标 x, y, z 系统中 (图1-6), 作用在体积为 V , 质量为 M 的液体上的质量力为 G , 那么单位质量力便为

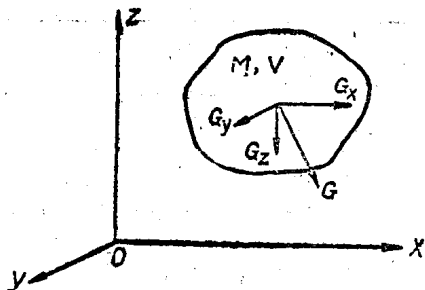


图 1-6 作用在液体上力之一——质量力