

- 288659

高等農業院校試用教材

水力学及水力机械

朱文榮編

农机类各專業用



农业出版社

511
2509

511
2500

高等农业院校試用教材

水力学及水力机械

朱文荣編

农机类各專業用

农业出版社

高等农业院校試用教材
水力学及水力机械
朱文榮 編

农业出版社出版
北京老錢局1号

〔北京市書刊出版業營業許可證出字第106号〕

新华書店科技發行所發行 各地新华書店經售

北京市印刷一厂印刷裝訂

統一書号 15144·295

1961年9月北京制型

1961年9月初版

1961年9月北京第一次印刷

印數 1—3,100册

开本 787×1092毫米
十六分之一

字数 367千字

印張 十七又四分之一

定价 (9) 一元六角

序 言

“水力学及水力机械”对农业生产机械化专业来说，还是一门比较新的课程。1959年全国农业生产机械化专业教材编审委员会委托西北农学院编写本课程的教材。1961年根据中华人民共和国农业部指示，在过去编写的基础上又作了适当修改与补充，以适应农业生产机械化专业的教学需要。

在编写过程中，力求以毛泽东思想为指导，贯彻辩证唯物主义的观点，使理论与实际密切结合，以提高教材质量。但由于我们的理论水平不高，专业知识不足，生产实践经验缺乏，因此，教材质量还不能满足要求，还存在一定的缺点。希望选用这本教材的教师和同学，在教学实践中，多提意见，以便再版时修改。

本讲义共分两篇。

第一篇 水力学：讲述液体平衡和运动的基本规律，并运用这些规律来解决有关水力学与水力机械方面的实际问题。

在静水力学中，讲述静水力学基本方程式及其实际应用，同时，结合专业需要，在应用帕斯卡原理的习题中，介绍了水压机、水力蓄能器等的压力计算；在应用阿基米德原理的习题中，介绍了气化器浮子室浮子断面尺寸的决定。

在动水力学中，理论部分讲述三个基本方程式，即：液体稳定流动时的连续性方程式、伯诺利方程式和动量方程式，并讲述水流阻力和水头损失的理论、实验数据和计算方法，其中以伯诺利方程式为重点，使其能够较完善的应用于实际。实际应用部分讲述管路、明渠、孔口、管嘴和堰等的水力计算，其中以有压管路为重点。

上述内容属于普通水力学范围，对于农业生产机械化的学生来讲，是学习水力机械所必须具备的基本理论知识，同时与其他有关专业课程（如汽车拖拉机）也有紧密联系。

第二篇 水力机械：水力机械包括的内容很广，类型繁多。根据农业生产机械化的需要，主要讲述提水机具的构造、原理、性能和选用，其中以叶片式水泵（着重是离心式水泵）为重点。同时，在我国目前机械化水平还比较低的情况下，提水工具与小型抽水装置占有很大的比重；利用地下水进行灌溉的井灌机械具有远大的发展前途；利用农村小型河流自然水力能的水轮机，在农业电气化中起着重要的作用。所以，这些内容都占了适当的篇幅。

在讲述一般提水机械和水轮机知识的基础上，本讲义对抽水站和水电站全貌、型式、各部分结构作了概括的介绍，使学生能够获得比较全面的知识。

对我国人民大跃进以来在提水机械方面的成就和目前农村广泛用于低水头的木制旋桨式水轮机等，本书也给予了应有的重视。

3/15/71

本書承西北农学院沙玉清教授、熊运章讲师审阅，在编写过程中又得到唐文岐、于志秋、秦鸿志、陈菊清等同志的大力协助，在此表示由衷的感谢。

編者

1961.5.

目 录

第一篇 水 力 学

第一章 緒論	1
§ 1-1 水力学研究的对象、方法及其發展簡史	1
§ 1-2 学习水力学的重要意义	3
§ 1-3 液体的主要力学性質	4
§ 1-4 作用于液体上的力	9
第二章 靜水力学	10
§ 2-1 靜水压力及其特性	10
§ 2-2 液体平衡的基本方程式	12
§ 2-3 非重力液体平衡的几种典型情况	15
§ 2-4 重力液体中的靜水压力, 靜水压力圖	18
§ 2-5 連通器內的液体平衡	21
§ 2-6 水头, 單位势能	23
§ 2-7 测量压力的仪器	26
§ 2-8 巴斯加定律, 簡單水力机械	28
§ 2-9 作用于平面上的靜水总压力及压力中心	33
§ 2-10 作用于曲面上的靜水总压力及压力中心	37
§ 2-11 液体中物体的平衡与稳定	41
第三章 动水力学基本原理	45
§ 3-1 液体的稳定流与不稳定流	45
§ 3-2 流綫、流管、流束、过水断面、流量	46
§ 3-3 一元稳定流动連續性方程式	48
§ 3-4 理想液体元流伯諾利方程式	51
§ 3-5 实际液体元流伯諾利方程式	54
§ 3-6 液体的渐变流动	55
§ 3-7 实际液体总流的伯諾利方程式	56
§ 3-8 实际液体总流伯諾利方程式的应用举例	60
§ 3-9 稳定总流的动量方程式	64
§ 3-10 稳定总流的动量方程式应用举例	66
第四章 液体流动的水流阻力和水头損失	71
§ 4-1 水流阻力和水头損失的两种型式——沿程水头損失和局部水头損失	71

§ 4-2	液体流动的两种状态——层流与紊流	72
§ 4-3	液体均匀流基本方程式	75
§ 4-4	液体的层流运动及其沿程水头损失	77
§ 4-5	液体的紊流运动及其沿程水头损失	80
§ 4-6	确定 λ 与 C 的公式	84
§ 4-7	局部水头损失	89
第五章	液体在有压管路中的流动	94
§ 5-1	概述	94
§ 5-2	长管路的水力计算	95
§ 5-3	短管路的水力计算	110
§ 5-4	虹吸管	115
§ 5-5	管中水锤	117
第六章	孔口与管嘴的液体出流, 堰流	122
§ 6-1	液体经孔口的出流	122
§ 6-2	管嘴出流	131
§ 6-3	堰流	136
第七章	液体在明渠(渠道)中的均匀流动	142
§ 7-1	概述	142
§ 7-2	明渠均匀流的水力计算	144
§ 7-3	明渠水力最佳断面	153
§ 7-4	渠道水流的最大与最小允许流速	158
§ 7-5	灌溉渠系概述	160
第二篇 水力机械		
第八章	绪论	163
§ 8-1	水力机械的定义及其分类	163
§ 8-2	水力机械在我国社会主义建设中的作用	164
§ 8-3	水力机械发展简史和我国水力机械发展概况	165
第九章	提水工具	168
§ 9-1	龙骨水车	168
§ 9-2	管链水车及其电动化	169
§ 9-3	筒车	173
第十章	叶片式水泵	174
§ 10-1	离心泵的工作原理及其主要零件	174
§ 10-2	水泵抽水装置的管路附件	182
§ 10-3	离心泵中液体运动及其基本方程式	183
§ 10-4	离心水泵叶片的型式	186
§ 10-5	水泵的汽蚀现象与允许吸水高度的确定	187

§ 10—6 水泵总水头的确定	191
§ 10—7 水泵的效率与功率	194
§ 10—8 离心泵的性能曲线	196
§ 10—9 相似律及其应用	199
§ 10—10 比速及叶片泵的分型	204
§ 10—11 离心泵的调节	206
§ 10—12 水泵的选择	210
§ 10—13 离心泵的安装、使用和管理	215
§ 10—14 轴流泵	219
§ 10—15 灌溉抽水站概述	221
第十一章 活塞泵、水轮泵	228
§ 11—1 活塞泵	228
§ 11—2 水轮泵	237
第十二章 井灌常用的几种泵	241
§ 12—1 卧式离心泵	241
§ 12—2 浅井泵	242
§ 12—3 深井泵	245
第十三章 水轮机与农村水电站	247
§ 13—1 水能的利用	247
§ 13—2 原始的水力原动机——水轮	251
§ 13—3 水轮机的类型、构造与性能	252
§ 13—4 反击式水轮机的进水和洩水设备	256
§ 13—5 水轮机的选择	261
§ 13—6 木制旋桨式水轮机	266

第一篇 水 力 学

第一章 緒 論

§ 1—1 水力学研究的对象、方法及其發展簡史

水力学研究对象 水力学是一門应用科学,是力学的一个部門。它是研究液体平衡与运动的規律,并应用这些規律来解决工程实际問題的方法。它以液体(主要是水)作为研究对象。

許多水利工程和机械等專業学科,都需要水力学的知識作为基础。如农田水利、水能利用、水工結構、管路液体輸送、水力机械(水泵、水輪机、水力傳动及其他)等,都需要广泛地应用水力学的基本原理和計算方法。

水力学是农業机械專業的基础課,它不仅是学习水力机械所必须具备的基础理論知識,同时与机械專業範圍内的其他課程也有紧密的联系,如汽車拖拉机、水力潤滑、水压机及蓄能器、机床制造与水力傳动等。机械工作者对于获得一般水力学知識解决实际問題,都是十分必要的。

水力学中研究液体处于靜止或相对平衡状态下的力学規律部分称为水靜力学。研究液体在管路、渠道、天然河道、孔口、管嘴、堰、水力机械和各种建筑物中的运动規律部分称为水动力学。后者是水力学的主要部分。

水力学研究方法 我們知道,任何一門科学的發展都来源于实践,是决定于生产發展的需要和推动;而实践又必須得到理論的指导,才能有正确的方向。水力学的發展也充分証明了这一点。水力学在开始时,由于研究方法的不同,在很長时期內并存着兩支科学,一支是,流体力学,着重于数学分析,主要是追求問題提出的严格性及問題解答的一般性及精确性,但在解决实际問題中具有局限性,为了簡化复杂的微分方程,往往需要采用一些不合理的假定,而使所得的結果常与实际不符;另一支是实用水力学,着重于对問題的实验研究,其特点是具有生动性与实用性,但是由于缺乏理論概括,所得的一些經驗公式,对水流現象的內在联系缺乏正确闡明,缺乏普遍的指导意义。現代水力学遵循着理論和实际密切結合的这——正确原則,把流体力学和实用水力学很好地結合了起来。既广泛地应用实验研究,又不断对实验資料进行理論概括。这样所得的某些結論虽然是近似的,但对解决实际工程技术問題是足够正确的。

在水力学中并不是像物理学那样詳細地去研究液体內部分子的机械运动,把液体看作

是在分子空間移動着的一些單個分子所組成的，而是把液體看成是由無限多個液體質點連續的、毫無空洞地所組成的“連續介質”。這是一個很重要的前提，它可以使我們在研究液體運動時能夠運用數學分析中的連續函數作為工具，來研究液體連續介質的運動。至於液體質點，則理解為是具有質量而佔有無限小體積的物質點。

水力学發展簡史 水力學的發展是與我國水利事業的發展緊密聯繫着的。我國勞動人民在防止水害與運用水利方面獲得了偉大的成就，積累了豐富的經驗。遠在公元前二千餘年就有了大禹治水的光輝事蹟，他不僅表現出理解水運動規律的卓越才能，同時具有為民治水的崇高品質。如鄭樵的通志上寫着：“禹念前日之非度，傷先人之無成。一朝受命，不敢追遑。勞心焦思，面目黧黑，步不相過。居外十三年，過家，聞其子呱呱而泣，門不入也。非飯食……惡衣服……卑宮室，身執耒耜，以為民先。”其後，歷代都不斷出現傑出的治河專家，特別是明朝潘季訓治理黃河二十七年，對挾砂水流有很深的體會。他主張的“築堤束水、以水攻砂”的理論，從歷史觀點看來都是有一定價值的。

二千多年前中國就已經出現了規模巨大的灌溉工程，如秦惠王時（公元前316年）李冰率其子二郎和四川成都平原人民，在岷江建築了著名的都江堰工程，灌田五百多萬畝。“深淘灘，低作堰”，其工程的規劃佈置無不合乎水力學原理，連續使用二千餘年，至今並無廢棄。成都平原正如益州紀所載：“水旱從人，不知飢饉，時無荒年，天下謂之天府也。”這是我國古代水利科學的光輝成就之一。秦始皇時（公元前246年），鄭國在陝西省張家山鑿石引涇水灌田，建造了鄭國渠，於是關中成為沃野，沒有凶年。此外如引黃河灌田的秦渠、漢渠、唐狹渠等都是我國有名的古代水利工程。

我國最早的運河，據其驥的考證，是楚莊王時（公元前六世紀）所開的兩條運河：一條是溝通長江與漢水的運河，一條是溝通長江與淮河的運河。此外，如海塘的修築，深井、水車、水磨、水輪等在我國都有悠久的歷史和輝煌的成就。

所有這些合乎科學理論的水利建設，說明我們祖先在水力學方面早已積累了極其豐富的經驗，給我們留下了寶貴的遺產，對我國古代的經濟、文化發展起了很大的作用。但是，由於封建社會經歷的時間過長，加之近百年來，帝國主義的侵略和國民黨反動派的統治，不但勞動人民的創造沒有得到系統的總結，而且阻礙了近代水利科學的成長和發展。

從水力學發展來看，最早的是希臘學者阿基米得（公元前250年）的論文“論流體”，十五世紀以後L.D. 芬奇的“論水的流動和水的測量”，B. 巴斯加的“靜水力學的傳播定律”，J. 牛頓的“液體內摩擦力定律”等已經解決了水力學上的一些個別問題，但在當時，水力學還不能成為一門獨立的科學。直到十八世紀以後，由於歐洲封建社會的瓦解和資本主義的興起，水力學才得到發展，其中主要的有D. 伯諾里的“流體力學”，L. 歐拉的“理想液體運動微分方程式”等理論，為水力學奠定了基礎，建立了流體力學。水力學從這時開始也就成為一門獨立的科學。其後許多科學家如：D. 雷諾、П. E. 儒可夫斯基、D. 謝才等對水力學的發展都有很大的貢獻。

應該指出，在科學的成長過程中，科學家的創造性勞動是可貴的，但是這種勞動又必須以

整个社会生产力的發展和广大人民的生产实践为基础。在資本主义制度下,由于水利工程技术在实践方面的局限性,在意識形态方面受到了机械唯物主义的影响和資本家利潤的支配,使水力学的进一步發展受到了一定的限制。

偉大的十月革命的胜利,开始了科学上的新紀元。苏联的水利建設以巨大的規模和飞躍的速度向前蓬勃發展,使水力学在宏偉的社会主义、共产主义建設中,遵循理論和实际紧密結合的正确原則,不断地丰富和發展着,并順利地解决了巨大的生产实际問題。毫無疑問,苏联的水力学已經躍居世界第一位。

中华人民共和国的成立,为我国水利建設和水力学的發展开辟了異常优越的条件。回顧十一年来,在党和政府的英明領導以及苏联和各社会主义国家先进經驗帮助下,由于全国人民的努力,使我国水利建設事業飞躍地向前迈进。

早在1950年,就根据毛主席“一定要把淮河修好”的偉大号召,着手淮河的根治工作,几年来在其上、中、下游修筑了一系列的水庫和湖泊窪地蓄洪工程,基本上改变了淮河流域“大雨大災,小雨小災,無雨旱災”的面貌。几年来对我国几条主要的河流也都在开始进行治理和开发,从而大大減輕了洪、澇災害,对我国工农业生产發生了巨大的作用。

我国农田水利事業的發展,更是一日千里。全国农田灌溉面积已由1949年的二亿四千万亩,扩大到1958年的十亿亩以上。在持續躍进的三年中,有效的灌溉面积又增加了三亿多亩,大大減輕了1959年与1960年所遭受的百年未有的严重自然灾害所造成的損失。正在修建的甘肃引洮工程更是史無前例,完成后將大大改变西北干旱地区的面貌。此外,在水电建設、水土保持、排澇等方面都取得了巨大的成績。

所有这些成績的取得是党中央和毛主席英明領導的結果,是毛澤东思想在水利建設事業中的光輝胜利。全国人民正以冲天的干劲,高举总路綫、大躍进、人民公社三面紅旗,在“蓄水为主、小型为主、羣众自办为主”和大、中、小型工程相結合的正确方針指导下,在祖国的河山上繪制着丰富多彩的錦綉圖案,使祖国的水力学在規模宏偉的社会主义建設中飞速地發展。

§ 1—2 學習水力学的重要意义

农业机械工作者在农村和工厂的实际工作中,將会碰到若干不同类型的問題:例如,各种輸水管路的佈置与計算,抽水站和水电站的明渠水力計算,各种孔口、管嘴、堰的水力計算等,这都需要运用丰富的水力学知識来加以解决。此外,对各种农用水力机械的正确选择与使用,不仅需要具备一定的机械知識,还在極大程度上决定于对水力学知識的掌握程度。

水力学的基本規律已經广泛地应用在叶片式水泵和水輪机的理論中。例如:伯諾利方程式用于研究叶片式水泵和水輪机的工作原理;水流对叶輪的反作用是反击式水輪机的工作原理。应用在叶片式水力机械的相似原理是解决制造新型水力机械,以及改进其他旧有構造与改变其性能的最有力工具。

水压机、水力起重机、水力联轴器、水力制动器以及类似这些装置，都是以静水压力在液体内部传递的规律为基础的。在这个规律上还建立了用以调整现代机床工作的传动理论。气化器浮子室的浮子装置是建筑在物体浮沉原理基础上的。

此外确定油槽和油槽车的槽壁压力，输油管及水冷却系统的主要尺寸、各种喷射器及射流泵、气化器等都需要应用水力学的基本规律和方法。

上面所列举的仅是实际问题的一部分，但足以看出学习水力学对机械工作者的重大意义。加之我国目前农村机械化水平较低，技术力量比较缺乏，因此更有必要掌握水力学的基本知识，以便为实现农业水利化、机械化、电气化而贡献出一定的力量。

§ 1—3 液体的主要力学性质

液体与气体同属于流体。液体是介于固体与气体之间的物体，兼有固体和气体的某些性质。它与固体的主要区别是容易流动，它与气体的主要区别是不容易压缩。

固体分子间作用力很强，要改变固体形状需要显著的力，如果变形不大时，外力取消，固体能恢复原状。液体分子间凝聚力很小，对变形的抵抗不大，变形停止，抵抗也就消失，不能恢复原状。因此液体的基本特征是容易流动，不具一定形状，这与气体有些相似。

气体不具一定的形状和体积，在外力作用下可以缩小，或者膨胀以充满全部容器空间，具有可压缩性和弹性。

液体却有十分确定的体积，当容器的体积大于它的体积时，它不能充满容器，而形成一自由面。液体的压缩性较小，要把液体压缩一半是不可能的，这与固体又有些相似。下面研究液体的几个主要力学性质，

一、液体的重率和密度

均匀液体单位体积重量，叫做重率，用 γ 表示：

$$\gamma = \frac{G}{W} \text{ (公斤/米}^3\text{)} \quad (1-1)$$

式中： γ ——液体的重率，公斤； W ——液体的体积，米³。

所谓均匀液体是指在固定温度与不变压力下，液体微小部分的体积的重率，都具有相同的数值，一般所指的液体，都是均匀液体，如果重率分布不均匀时，(1-1)式表示的是平均重率。

与自然界其他物体一样，液体具有质量。均匀液体单位体积的质量叫做密度，用 ρ 表示

$$\rho = \frac{M}{W} \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4 \quad (1-2)$$

式中： M ——液体的质量，公斤·米³/秒。

当密度分布不均匀时，公式(1-2)表示为平均密度。

液体的質量 M 与重力加速度 g 的乘积,即为液体的重量 G 。

$$G = M \cdot g$$

將等式兩边除以液体体积 W ,即得重率 γ 与密度 ρ 的关系式为

$$\frac{G}{W} = \frac{M}{W} \cdot \rho$$

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-3)$$

液体的重率和密度都随溫度的改变而变化。在标准大气压力下,水的重率和密度在溫度为 4°C 时,达到最大值,这时,重率 $\gamma = 1,000$ 公斤/米³; 密度 $\rho = 102$ 公斤·秒²/米⁴。表(1-1)所示为重率 γ 随溫度变化的情况,从表中可以看出,这个变化是很小的。因此在設計計算中一般常忽略不計。

表 1-1 水在不同溫度时的重率 γ

溫 度 ($^{\circ}\text{C}$)	0	4	10	20	40	60	80	100
重 率 公斤/米 ³	999.87	1000	999.75	998.26	992.35	983.38	971.94	958.65

二、液体的压缩性

液体不容易压缩,但不是绝对不可压缩。液体的体积随压力的增大而减小的这种性质,叫做压缩性。液体的压缩性可用体积压缩系数 β_w 表示,它表示当压力增加一个单位时,单位体积液体所引起的体积压缩量,即

$$\beta_w = -\frac{dW}{W \cdot dp} \text{米}^3/\text{公斤} \quad (1-4)$$

式中: dW ——体积压缩量,米³

dp ——压力的增量,公斤/米²。

公式(1-4)右项的负号是为了使 β_w 取正值,因为体积压缩量 dW 总是负值。 β_w 值越大,表示液体越容易压缩。习惯上常用体积压缩系数的倒数 E 来表示液体的压缩性,叫做体积弹性系数

$$E = \frac{1}{\beta_w} = -\frac{W dp}{dW} \text{公斤/米}^3 \quad (1-5)$$

淡水的体积弹性系数可取 $E = 21,000$ 公斤/厘米²,石油可取 $E = 13,500$ 公斤/厘米²。体积弹性系数越大,说明液体越不易压缩。

下面我们用一个简单例子来说明水的压缩性是很小的。例如体积为一升的水,压力从原来的大气压力(1公斤/厘米²)增加到 211 公斤/厘米² 的高压,这时水的体积压缩量:

$$dW = -\frac{W \cdot dp}{E} = -\frac{1000 \cdot 210}{21000} = -10 \text{ 厘米}^3$$

可见,在巨大的压力变化下,水体积只缩小 1%,而通常压力的变化只有几个或几十个大气

压。因此在实用上除个别情况(如管中水锤)外,可以将液体认为是不可压缩的。这样一来,就大大简化了理论研究和实际运算工作,所得结果对实际应用是足够准确的。

根据以上分析,液体体积随温度和压力变化都很微小,因此在水力学的一般问题中都把液体的重率和密度视为常数。令水的重率 γ 为

$$\begin{aligned}\gamma &= 1 \text{ 吨/米}^3 = 1,000 \text{ kg/米}^3 \\ &= 1 \text{ 公斤/升} = 1 \text{ 克/厘米}^3\end{aligned}$$

令水的密度 ρ 为

$$\rho = 102 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4 = 0.00102 \text{ 克} \cdot \text{秒}^2 / \text{厘米}^4$$

三、液体的表面张力

液体的表面张力即是液体能承受微小的拉应力。这种拉应力产生在液体与气体相接触的

周界面上,或液体与固体、另一种液体相接触的周界面上。这是由于表面周界的分子上的分子力不相平衡而产生的。

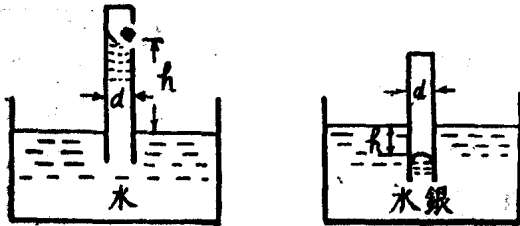


圖 1-1

由于表面张力的结果,使液体在细管中上升或下降并形成“弯月面”的这种现象叫做“毛细管现象”。如图(1-1)所示。细玻璃管插入水与汞两容器内,液体在分子力的

作用下沿着玻璃管上升和下降,并形成弯月面。

当温度为 20°C , 水在玻璃管上升的高度为

$$h \approx \frac{30}{d} \quad (1-6)$$

汞的下降高度为

$$* h \approx \frac{10.15}{d} \quad (1-7)$$

此处 h 与 d 都以毫米为单位。

在水力学所研究的问题中,由于表面张力所产生的影响很小,故可忽略不计。

四、液体的粘性

粘性在水力学的研究中是一个很重要的特性。液体虽然容易流动,但其对流动不是绝对无抵抗的。液体因它的一部分对另一部分发生相对运动而产生内摩擦力(切应力)的性质(也即是液体内部抗拒各层之间相对运动的性质)叫做粘性。液体的粘性对液体的流动起着重要的作用。例如,一充满水的圆柱形容器绕其中心垂直轴旋转,由于液体有粘性,经过一定时间后,容器内各层液体均绕该轴旋转,旋转速度由器壁到中心逐渐减小。如果忽视这种粘性的存在,容器内液体应该仍然保持静止,显然是不符合实际的。

圖(1-2)所示為液體沿圓管流動的情形。各平行圓柱層的速度 u 都具有相同的方向^①，曲線所示為各層液體的速度分佈圖，由於液體內部相鄰兩層有相對運動，則兩層的鄰接面上就產生內摩擦力或切力。

根據1686年牛頓的液體內摩擦力定律及以後的實驗證明：液體的內摩擦力 F 與交界面面積 S 和相鄰兩層液體的相對速度 $\frac{du}{dn}$ 成正比，與液體的性質有關，與壓力的大小無關。即：

$$F = \pm \mu S \frac{du}{dn} \quad (1-8)$$

或

$$\tau = \frac{F}{S} = \pm \mu \frac{du}{dn} \quad (1-9)$$

式中： τ ——切應力；

du ——相鄰兩層液體的相對速度；

dn ——兩層液體間距離；

μ ——粘性係數，與液體性質有關。

公式(1-9)右項的 \pm 號的選擇以便 τ 取正值為原則，即為 $\frac{du}{dn}$ 為負時取負號； $\frac{du}{dn}$ 為正時取正號。因為切應力 τ 總是成對出現，大小相等，方向相反。運動較快的液體層所加於運動較慢液體層接觸面上的切應力，總是順着流動方向的；反之，則與流動方向相反。如圖(1-2)所示。也就是說：切應力方向表現為對液層間相對運動的抗阻。

由公式(1-9)可以看出：粘性係數 μ 實質上是代表液體的粘性大小。它表示相距為一個單位的兩層液體，當其相對速度為一個單位時所產生的切應力。此切應力越大，標幟着液體的粘性越大。

在工程單位制中，粘性係數的單位為

$$|\mu| = \frac{|\tau|}{\left| \frac{du}{dn} \right|} = \frac{\text{公斤/厘米}^2}{\text{厘米/秒} \cdot \text{厘米}} = \text{公斤} \cdot \text{秒/厘米}^2$$

如用物理單位制，力的表示單位為達因，則粘性係數的單位是達因·秒·厘米²(或稱泊)。

在水力學中，粘性係數 μ 與密度 ρ 常以比值形式出現，為此，用

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{厘米}^2/\text{秒} \quad (1-10)$$

表示此比值。由於 ν 的單位是厘米²/秒，只含長度與時間的因次，是個運動量，故把 ν 稱為運動粘性係數；而 μ 則含有力的因次，故稱為動力粘性係數。

液體的粘性係數與壓力的關係很小，與溫度的關係較大。水的運動粘性係數可用下式計算：

^① 指的是“層流”，由於紊流運動的複雜性，這裡將不予以研究。

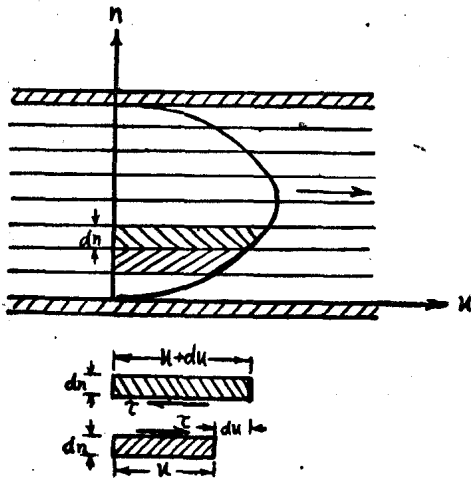


圖 1-2

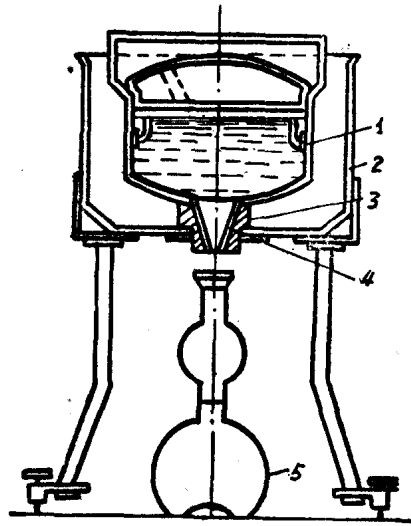


圖 1-3

$$\nu = \frac{0.0178}{1 + 0.0337 t + 0.000221 t^2} \text{ 厘米}^2/\text{秒} \quad (1-11)$$

式中: t ——以攝氏計。

表(1-2)列出了水的运动粘性系数随温度而变化的情况。

汽油在温度为 18°C 时, $\nu = 0.0065$ 厘米²/秒; 煤油在 18°C 时 $\nu = 0.0250$ 厘米²/秒; 潤滑油在 20°C 时 $\nu = 1.72$ 厘米²/秒。

表 1-2 水的运动粘性系数

攝 氏 t°	ν 厘米 ² /秒	攝 氏 t°	ν 厘米 ² /秒	攝 氏 t°	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

由公式(1-11)与表(1-2)可見, 液体的粘性系数随温度的增加而减小。由于压力的变化对粘性影响很小, 故可忽略不計。

粘性仪 粘性仪有几种型式, 下面介紹一种比較普遍采用的恩格勒型粘性仪, 如图(1-3)所示。这种粘性仪是用来测量粘性較水为高的液体。它是由一球状底圆桶 1 及焊接在底部出口的圆管 3 所構成, 圆桶 1 置于水桶 2 中。圆管孔内插入一圓錐形短管 4, 直徑为 3 毫米, 用一特殊圓閥开閉。試驗前將需要測定液体 200 厘米³ 注入, 圓閥关闭。圆桶 与水桶应保持相同的温度, 在到达需要測定的温度时, 开启短管 4 的孔口, 并測定流出 至量筒 5 被試

驗液体 200 厘米³ 所需的時間 t_1 。同樣再測定放空圓桶 1 中溫度為 20°C 時, 200 厘米³ 蒸餾水所需的時間 t_2 (此時間約為 50 秒)。時間 t_1 與 t_2 的比值叫做恩格勒度數, 用符號 $^\circ E$ 表示, 即

$$^\circ E = \frac{t_1}{t_2}$$

由已知的恩格勒度數 $^\circ E$, 即可由下式求得液体的運動粘性係數:

$$\nu = 0.0731^\circ E - \frac{0.0631}{^\circ E} \text{ 厘米}^2/\text{秒} \quad (1-12)$$

理想液体 由以上液体的主要力學性質分析來看, 在一般情況下可以把液体當作均勻的連續介質, 沒有壓縮性和表面張力。有意義的僅是液体具有質量、重量和粘性。但是由於液体粘性作用的複雜性, 水力學的研究一開始常不考慮液体粘性的存在, 而採用實際上並不存在的“理想液体”這一概念。理想液体與实际液体的主要區別是理想液体是當作沒有粘性的。採用這一概念就可以使水力學的研究從開始比較簡單的情況着手, 以便將理想液体的結論在考慮到液体粘性後, 進一步運用到实际液体的運動中去。

§ 1-4 作用于液体上的力

作用于液体的力按作用力所作用的範圍來分, 有質量力與面積力兩類:

質量力 作用于所研究液体的全部體積上, 並與該體積所含的質量成比例。屬於質量力的有重力、慣性力等。質量力以單位質量所受的力來計算比較方便, 其單位是米/秒²。質量力通常用 F 表示, 其在 x 、 y 、 z 軸上的投影用 X 、 Y 、 Z 表示。以重力為例, 取 x 軸與 y 軸水平, z 軸向上, 則:

$$X=0; Y=0; Z=-g。$$

面積力 作用于所研究液体的表面上。屬於面積力的有大气壓力、活塞壓力、水壓力、內摩擦力等。面積力以單位面積所受的力來計算比較方便, 其單位是公斤/厘米²。

面積力又可分為正應力與切應力兩種, 在水力學中由於不受拉力, 正應力常為壓力, 用 P 表示, 切應力用 τ 表示。

作用于液体的力按作用力的來源來分, 有外力與內力兩類:

外力 是其他物體對所研究物體作用的力。例如重力、大气壓力、活塞壓力、以及另一部分液体對所研究液体作用着的壓力與切力等。

內力 是所研究液体內部物質相互間的作用力, 例如液体內部任一切面, 二側液体物質相互間作用着的壓力和切力。

內力總是成對出現, 大小相等, 方向相反, 因此互相抵消。而作用在所研究液体上的外力, 是單個出現的, 其反作用力呈現於其他物體上。自然, 外力與內力的區分不是絕對的。