



283891

高等学校试用教科书

水力学水泵

同济大学水力水文教研组编



中国工业出版社

511
73471:1

水
中

高等学校試用教科書



水 力 学 水 泵

同济大学水力水文教研组編

中国工业出版社

本书是作为土木建筑院校给水排水专业水力学水泵课程教材而编写的，也可供有关的工程技术人员参考。

本书共分五篇，即水力学基础、液体运动的阻力和管路的水力计算、明渠水力学、地下水水力学和水泵。本书着重介绍了质点运动的基本形态、伯诺里方程式的应用、某些与专业有关的管路计算、井群的水力计算、离心式水泵等。并对静水力学、水流阻力、明渠稳定非均匀流、其他类型的水泵等方面也作了一般的介绍。

水 力 学 水 泵

同济大学水力水文教研组编

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经营

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $19 \frac{1}{2}$ ·字数462,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—1,337·定价（10-6）2.30元

统一书号：15160·1015（建工—116）

前 言

水力学水泵是给水排水专业的一门重要的技术基础课。本书是在几年来教学实践的基础上,依据1959年给水排水专业的教学计划编写的。在取材、组织 and 问题的叙述等方面,学习了苏联及其他国家的先进经验,参考了兄弟院校现有的讲义,并对1959年给水排水专业的教学计划作了适当的调整。

由于编者水平有限和经验不足,加上编写时间短促,因此难免还有一些缺点和谬误之处,希望读者批评和指正。

本书的第一篇和第三篇由赵焕鑫执笔,第二篇和第四篇由蒋觉先执笔,第五篇由孙良佐执笔。本教研组的其他同志在编写过程中也都参加了很多工作。

同济大学水力水文教研组

1961年5月

目 录

結 論	7	§ 2 本課程的特点及学习方法	7
§ 1 水力学水泵的对象、任务及其与工 程建設的关系	7	§ 3 水力学水泵的发展	8

第一篇 水力学基础

第一章 液体运动的因素及其形式	11	第三章 伯諾里方程式的应用	38
§ 1—1 液体的主要物理性質	11	§ 3—1 应用伯諾里方程式求解問題的 步驟	38
§ 1—2 作用于液体的力	14	§ 3—2 測压、測速及測流的仪器	39
§ 1—3 边界条件和起始条件对水流的 影响、水流的运动形式	16	§ 3—3 孔口出流	41
第二章 水力学的基本方程式及其研究 方法	18	§ 3—4 薄壁堰	44
§ 2—1 实验研究法	18	§ 3—5 管嘴	46
§ 2—2 流体力学方法	18	第四章 靜水(相对平衡)力学	49
§ 2—3 流股平均法、液体总流的伯諾里 方程式	34	§ 4—1 靜水中能量方程式, 靜水压力 分布規律	49
		§ 4—2 平面壁上总压力及压力中心	53
		§ 4—3 曲面壁上总压力及压力中心	57

第二篇 液体运动的阻力和管路的水力計算

第五章 阻力的基本原理	61	§ 7—3 边界层原理与漩渦	80
§ 5—1 液体运动和阻力	61	§ 7—4 水流的突然扩大, 水的汇流	81
§ 5—2 雷諾試驗、层流、紊流	62	§ 7—5 局部阻力計算公式, 突然扩大 損失計算公式	82
§ 5—3 边界条件与水流阻力	66	§ 7—6 水流系阻力系数 ζ	86
第六章 沿程阻力	67	第八章 管路水力計算	88
§ 6—1 沿程阻力的基本特点及其影响 因素	67	§ 8—1 液体运动的能綫及測压管水头 綫	88
§ 6—2 均匀流的基本方程式	67	§ 8—2 管路水力計算基础	89
§ 6—3 阻力系数 λ 值的性質及其确定 方法	70	§ 8—3 用戶間的水力影响問題	94
§ 6—4 沿程阻力計算举例	74	§ 8—4 环形管網的水力計算基础	94
§ 6—5 关于管道水流阻力的几点补充	76	§ 8—5 有压管路中的水击	95
第七章 局部阻力	77	§ 8—6 管路中不可压缩液体的不穩定 流	97
§ 7—1 局部阻力的基本特点及其成因	77	§ 8—7 管路水力分析及計算实用举例	99
§ 7—2 漩渦的水流規律	78		

第三篇 明渠水力学

第九章 明渠中液体运动的基本特色	111	面曲线分析	127
§ 9—1 明渠中液体运动的作用力及其平衡形式	111	§11—2 棱柱形渠道缓变非均匀流动的基本微分方程式及 $i > 0$ 渠道的水面曲线方程式	130
§ 9—2 明渠中液体运动的动力	112	§11—3 天然河道稳定缓变非均匀流的水面曲线推算	134
§ 9—3 明渠中液体运动的阻力	114	第十二章 明渠稳定非缓变流动及水流联结	136
§ 9—4 明渠中液体的比能和水深沿程变化的形态	117	§12—1 非缓变流动的特点	137
第十章 明渠均匀流动	119	§12—2 水跃	138
§10—1 明渠均匀流动的特点	119	§12—3 实用堰及宽顶堰	144
§10—2 明渠均匀流动的基本方程式	120	§12—4 明渠水流的联结	151
§10—3 天然河道中均匀流动的水力计算	125		
第十一章 棱柱形渠道缓变非均匀流动	126		
§11—1 棱柱形渠道缓变非均匀流动的水			

第四篇 地下水水力学

第十三章 地下水运动的基本规律	159	第十五章 单井和井群	176
§13—1 地下水运动的现象及特点	159	§15—1 普通水井	176
§13—2 地下水运动的基本规律	161	§15—2 自流井	182
第十四章 地下水的非均匀流动	164	§15—3 大口井及基坑的水力计算	183
§14—1 地下水的有压缓变非均匀流	164	§15—4 井群及其基本原理	184
§14—2 地下水的无压缓变非均匀流	165	§15—5 普通井群的水力计算	189
§14—3 集水渠的水力计算	168	§15—6 自流干扰井群的水力计算	191
§14—4 流网	173	附: 模型试验基础	196
§14—5 水电比拟法	175		

第五篇 水泵

第十六章 离心式水泵的分类和构造	203	§17—4 叶片的形状对水泵扬程(水头)的影响	217
§16—1 离心式水泵的工作原理	203	§17—5 离心泵产生的水头(扬程)	218
§16—2 离心式水泵的分类	204	§17—6 离心泵的特性曲线	219
§16—3 离心式水泵的主要零件	205	§17—7 离心泵的相似理论	226
§16—4 离心泵装置的附件	209	§17—8 离心泵的比转数 n_s	228
§16—5 轴向推力及其平衡设备	209	第十八章 离心泵工作情况(工况)的确定和调节方法	231
第十七章 离心泵基础	211	§18—1 水泵在管道中工作情况的决定	231
§17—1 液体在离心泵中的相对运动	211	§18—2 离心泵的不稳定工作	232
§17—2 离心泵的基本方程式	212	§18—3 影响离心泵工作情况的因素	233
§17—3 基本方程式的修正、离心泵的流量	215	§18—4 运转数改变对水泵工况的影响	236

§18—5	叶輪外徑切削时水泵特性的变化.....	239	§20—1	給水排水工程中常用的水泵.....	262
§18—6	水泵的串联工作.....	241	§20—2	水泵的选择.....	263
§18—7	水泵的并联工作.....	243	§20—3	訂購水泵的技术資料.....	268
§18—8	离心泵調节流量的一些次要方法.....	248	第廿一章	离心泵的使用和养护	269
§18—9	离心泵的吸水性能及安裝高度的計算.....	249	§21—1	离心泵之使用.....	269
第十九章	立式离心泵、排水水泵和軸流泵	254	§21—2	离心水泵的养护.....	271
§19—1	立式离心泵.....	254	第廿二章	在給水排水工程中应用的一些其他型式的水泵——活塞泵、噴射泵、空气揚水机	272
§19—2	排水水泵.....	258	§22—1	活塞水泵.....	273
§19—3	軸流式水泵.....	259	§22—2	噴射水泵.....	277
第二十章	水泵的选择	262	§22—3	空气揚水机.....	280
			习题		288

緒 論

§ 1. 水力学水泵的对象、任务及其与工程建設的关系

1. 水力学水泵的对象与任务

水力学是应用力学的一个部分，它研究液体运动与相对平衡的规律以及研究在生产实践中运用这些规律的方法。

液体运动的形式是多种多样的，但是液体运动的多种形式都具有共同的本质和规律。因此本书除研究液体运动的具体规律外，还着重介绍液体运动的一般规律。

本书中水力学部分的主要内容是：液体运动的基本原理；水流阻力；管路中的水力计算；明渠稳定流和地下水水力学等部分。同时结合工程实例作一些具体的分析和计算。

水泵是一种水力机械，用来提升和输送液体。水泵学是研究泵体内的液体运动规律、水泵性能以及选择和运用水泵的方法。

本书所述的水泵部分以最常用的离心式水泵为主，并注意到其他各类水泵的一般的介绍。

2. 水力学水泵与工程建設的关系

在很多工程建设的实践中，例如在农业灌溉、排水防涝、治水防洪方面，在水利建设、航运、水力发电方面，在水文地质方面等等，都需要广泛运用水力学和水泵的知识。

在给水排水工程中，应用水力学水泵的知识更是广泛。图 0—1 表示净水厂的工艺过程。从图可知，泵站的设计要用到水泵学的知识，水塔与水管网的设计与布置都要求进行水力学的计算。可以说从进水、净水到配水，无一不运用水力学水泵的知识来进行设计和计算。

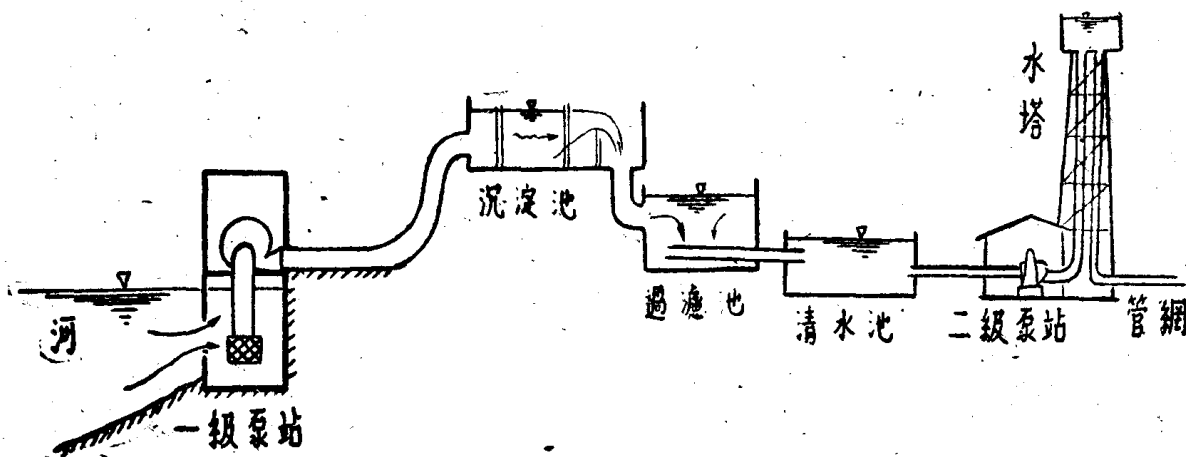


图0—1

§ 2. 本课程的特点及学习方法

研究液体运动和相对平衡的学科还有流体力学，它是理论力学的一部分。流体力学具

有严密的数学分析,力求问题解决的严格性和完整性。但流体力学在解决液体运动的实际问题方面,还存在着局限性。

水力学根据物理学、力学的基本原理,力求在满足工程精度的条件下,解决实际问题。为了解决实际问题,水力学有时在某些近似的假定条件下,抓住水流运动的主要因素来研究各种水力现象。同时也依靠实验来补充理论上的不足。

科学的发展已逐渐把水力学和流体力学这二门学科联系起来。因此,在研究过程中也必须注意到这个情况。

在本课程中,有相当多的数学计算和推理,也有不少复杂的经验公式和数据。在学习时,必须正确地对待这些材料。经验公式和数据来自实践,一般是能够正确地反映客观现象和本质的。轻视经验公式,忽视对它的分析和研究,满足于公式的结论,忽视公式建立的前提是错误的。同样也必须反对把思想束缚于经验公式和系数的圈子里和放弃对具有相对独立意义的公式的作法。

§ 3. 水力学水泵的发展

人类活动不可避免地要与水发生关系。人类在与水作斗争和利用水的同时,逐步地掌握了水的知识。

在原始社会,人类已开始利用河、湖作为交通运输途径。而远在数千年以前,在中国、埃及、罗马等国已创造了最简单的水力机械。修建了水工建筑物和灌溉系统等工程。其中有些灌溉系统尚遗留至今。但是这些生产技能和科学知识没有能得到总结,祇是以口授的方式流传下来。

距今约 2200 多年以前,阿基米德发表了论文“论浮体”,该文是已被证实的最早的水力学著作,文中论述了物体的浮游和稳定性的基本定理。

在阿基米德之后,约有十七个世纪之久,在当时的封建社会水力学方面无突出的成就。

十五世纪到十七世纪,水力学的某些方面有一定的发展,如牛顿提出了关于液体内部摩擦力的定律;辽奥纳多·达·芬奇研究了浮游理论、液体的孔口出流、河渠水流情况等问题。但是从事研究的人不多,也没有能使水力学形成一门独立的学科。

十八世纪和十九世纪,封建制度的瓦解和工程技术的进步,促进了水力学的迅速发展。例如,当时航运、城市给水和水利建设的发展,推动了对河道水流的研究工作。其中谢才提出了液体均匀流动的计算公式,该公式沿用至今,并在实践中为测定该公式中的系数累积了极其丰富的资料。又例如,与机器制造和使用相关的有润滑剂的运动问题。彼得洛夫提出了润滑剂的动水力学理论。十九世纪九十年代,雷诺通过他的试验,证实了液体运动有二种类型:成层状运动的层流和紊乱运动的紊流。

十八世纪中叶,丹尼尔·伯诺里建立了反映液体运动领域中能量不灭原理的伯诺里方程式。欧拉导出了某种想象液体(即所谓不存在内部摩擦力的理想液体)的运动微分方程式。此后,葛罗米柯等人又发展了这些理论。十九世纪,那维埃和司笃克斯根据牛顿关于液体内部摩擦力的定律导得了实际液体的运动微分方程。

基本理论方面的成就,加上研究各种具体场合下液体运动的结果,逐步使水力学发展成为一门独立的学科。

十月社会主义革命以后,在苏联修建了许多规模宏大的水工建筑、航运系统、灌溉系

统、给水排水工程等等，迅速发展了水力学各个方面的科学研究，例如桥涵水力学、挟沙的液体运动、地下水水力学、水轮机、水泵及其他水力机械中液体的运动等，并已在许多方面跃居世界的前导，例如巴夫洛夫斯基发展了土壤中液体渗流的理论，并根据在一定条件下，水-电运动具有模拟的关系，创造了研究土壤中液体运动的电模拟；维立加诺夫、古尔仁柯等人对紊流运动和河渠水力学作出了宝贵的贡献等。

水泵作为提升液体的工具来看，早在远古时期已有所发展。中国的戽斗、龙骨水车等是世界上最早的提水工具。

最初的活塞水泵出现在纪元前数百年，主要是用木头制成的，用人力、畜力或其他动力来带动。

到十八世纪，由于机器制造、铸铁、炼钢等事业的发展，使活塞式水泵的材料、结构向前发展了一大步。蒸汽机问世后，十九世纪出现了构造上成熟的蒸汽活塞水泵。

公元1700年左右，发明了离心式水泵，但当时的离心式水泵不完善，效率低，所以没有被推广。1754年，欧拉研究出了离心式机械的基本原理。以后，儒柯夫斯基和恰普雷金创立了离心式水泵工作轮叶片和导流器的理论。

直到十九世纪末叶，电动机出现后，才解决了离心式水泵的高速驱动问题。与此同时，改进了离心式水泵的构造，为广泛采用离心式水泵奠定了基础。

廿世纪以来，工程技术的迅速发展推动了水泵事业的发展，水泵种类日益增多，应用范围也愈加广泛。有用来输送鱼类的、有用来作水力采煤的、有用来输送泥浆的水泵等等。每秒输送量有大到数十吨甚至百吨以上的。

我国劳动人民在与水作斗争和利用水的方面，创造了不少突出的事迹。据记载，在数千年前，我国劳动人民已创造了多种简单的水力机械。在三千年前，洪水泛滥，灾情很重，传说当时夏禹根据水流规律用“疏雍导滞”的方法将水引入河道。

二千年前，四川成都平原的人民，在李冰的领导下兴修了著名的都江堰灌溉工程，灌地数百万亩。该工程沿用至今，不仅没有湮废，而且还有所发展。当时还总结了“深掏滩，低作堰”的水流规律和制定了合理的岁修、管理制度。

公元1363年，我国劳动人民利用孔口出流的水流规律，制成了可以精确计算时间的铜壶滴漏。

十八、十九世纪，我国仍处于封建统治之下，以后又遭受国民党的反动统治，我国的水利事业在这段时期没有很大的发展。

解放以后，我国人民在中国共产党和毛泽东主席的英明领导下，修建了和正在修建着许多水利工程，如著名的治淮工程、官厅水库工程、三门峡水库工程等等；建造了很多水泵厂，改变了旧中国水泵依赖进口的局面；兴建了许多给水排水工程；等等。经济建设中提出了很多有关水力学水泵的新课题，如与水利工程紧密相关的有高速水流、挟沙水流、地下水渗流等问题；与农业有关的有排灌用水泵问题；等等。党和政府对科学水利事业极为重视，设立了许多高等院校和科学研究机构，发动了广大的群众进行科学研究工作，使我国水力科学的水平迅速提高，并在解决上述课题中，已获得了很大的成就，今后我国在水力学水泵方面，一定能够赶上世界的先进水平。

第一篇 水力学基础

第一章 液体运动的因素及其形式

任何形式的液体运动都是由液体本身的属性所决定的，液体运动是作用力和反作用力矛盾统一的反映，因此研究液体运动的规律与形式，必须充分地研究与分析有关运动的一切因素，从而进一步发现运动的规律性。外界条件的变化能够改变液体的运动形式，但是这种改变都是通过矛盾的双方（作用力和反作用力）的变化来实现的。各种场合下液体运动的具体规律是液体运动一般规律具体生动的表现。

§ 1—1 液体的主要物理性质

I. 密度和重率

1. 密度：均质液体中单位体积的质量称为密度，在水力学中密度常用 ρ 来表示

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{\text{公斤秒}^2}{\text{米}^4} \quad (1-1)$$

式中：M为液体质量，单位为 $\frac{\text{公斤秒}^2}{\text{米}}$ ；

V为液体体积，单位为 米^3 。

如果液体的质量分布是不均匀的，则由(1—1)式所决定的密度只是液体的平均密度。

2. 重率：均质液体中单位体积的重量称为重率，在水力学中重率常用 γ 来表示。

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{\text{公斤}}{\text{米}^3} \quad (1-2)$$

式中：W为液体重量，单位为公斤或吨等。

如果液体重量分布是不均匀的，则由(1—2)式所决定的重率只是液体的平均重率。

3. 根据牛顿第二定律，物体的重量W等于质量M与重力加速度g之乘积，即

$$W = Mg$$

式中：g为重力加速度，其单位为 $\frac{\text{米}}{\text{秒}^2}$ ，在工程问题中重力加速度常采用平均值，即 $g =$

$$9.81 \frac{\text{米}}{\text{秒}^2}。$$

按照上述定律，很容易获得密度与重率之间的表达式

$$\frac{M}{\rho} = \frac{W}{\gamma} = \frac{Mg}{\gamma} \quad \therefore \gamma = \rho g \quad (1-3)$$

4. 严格地说，液体的重率和密度都不是常数，液体的重率和密度值随着液体的种类、

所在地点的纬度、温度和外界的压力而发生变化。

1) 液体的重率和密度都不是常数, 温度的变迁对重率和密度均将发生改变。以水而言, 水的重率和密度以 4°C 时为最大, 温度增高或降低, 重率和密度均将变小。重率和密度的变化在大多数工程问题中是可以不予考虑的, 这是因为一方面温度变化对重率和密度的影响是不大的; 另一方面在一般给排水工程实际问题中, 水的温度变迁是不会很大的 (大致在 0°C 到 30°C 之间), 所以有可能把重率和密度视作为常数, 在实用上重率值可采用 $\gamma = 1000 \frac{\text{公斤}}{\text{米}^3}$ (或 $\gamma = 1 \text{ 吨/米}^3$), 密度值可采用 $\rho = 101.9 \frac{\text{公斤秒}^2}{\text{米}^4}$ 。

2) 液体的重率和密度也随着液体的种类而发生变化, 如果液体是含盐的海水, 则重率可能变化在 $\gamma = (1020 \sim 1030) \frac{\text{公斤}}{\text{米}^3}$ 之间, 含有泥砂或其他悬移物的水, 它们的重率随着泥砂和悬移物含量的增加而相应有所增递。其他各类液体也有各自的重率值, 如水银的重率一般等于 $13600 \frac{\text{公斤}}{\text{米}^3}$ 。

纬度对重率的影响极小, 在工程上可以忽略不计, 压力对重率的影响将在第Ⅲ段中加以讨论。

II. 液体的粘滞性: 外力对于固体作用时, 往往因为固体具有强烈的分子吸引力, 因此很难使它本身改变形状。但是液体的凝聚力是比较微弱的, 所以在外力作用下, 液体具有很大的流动性。液体的运动非常容易使液体本身发生变形, 随着运动和变形出现的同时, 液体由于它本身特性所决定; 因而产生了阻抗运动和变形的反作用力, 这种特性称为粘滞性。液体各层间发生相对移动, 由于粘性因而引起液体中的摩擦力。粘滞性恒存在于液体内部, 即使在相对速度等于零的相对平衡 (静止) 情况下, 粘滞性也存在, 但是由于此时不存在相对运动, 因而它不显示出来; 液体发生相对运动时, 粘滞性就使液体产生抵抗运动的应力, 但是只要液体变形一停止, 液体对于变形的抵抗也就同时消失, 所以液体不可能具有象固体那样在消除发生拉伸和剪切的因素后恢复原状的能力。粘滞性所决定的阻抗是与相对运动同时产生的, 因此这种阻抗只能改变液体变形发展的速度, 它不能终止液体的变形。

不同种性质的液体它们具有不同的粘滞性, 浓度较高的污水具有较大的粘滞性, 清水的粘滞性则比较小。粘滞性不仅由液体种类这一最重要的因素所决定, 而且也与液体所处的条件有关, 条件改变, 则对于同一种液体来说, 粘滞性也会变化: 在研究液体运动时, 温度通过粘滞性从而对液体运动发生影响的事实是不可抹煞的, 对于各类液体, 一般温度增高, 它的流动性更大, 粘滞性会下降; 液体所受压力增加, 它的粘滞性将略有所提高, 但是这种改变的数值是非常微小的, 所以在工程问题中, 一般可以忽略压力对粘滞性的影响。

液体的粘滞力是和液体运动有联系的: 如果液体流动时, 上下两层液体质点的速度不等, 则运动得比较快的液体质点, 将迫使运动得比较慢的质点改变速度, 流动得慢的液体质点获得了曳引力, 而流动得较快的质点则受到了阻力, 这种阻力以内摩擦的形式呈现出来。内摩擦阻力的大小取决于液体的性质和两液层间相对速度差, 可用牛顿内摩擦定律表达为:

$$\tau = \pm \eta \frac{du}{dn} \quad (1-4)$$

式中: τ 为液体之切应力, 其单位为公斤/厘米²;

η 为粘滞性动力系数, 它和液体种类、温度等因素有关其单位为 $\frac{\text{公斤秒}}{\text{米}^2}$;

$\frac{du}{dn}$ 为液体二层间的速度差 (微分量) 与距离 (微分量) 之比值, 称为流速梯度。

8. 液体的粘滞性动力系数值和液体性质及温度等因素有关, 因而它是一个变数。对于水而言, 温度上升, 粘滞性动力系数将下降; 当压力增加时, 系数值也略有增加, 但是这种增加并不大, 因而在工程中可不考虑压力的影响。在水力学中, 为了实用上方便起见, 常使粘滞系数采用另一种表达式。如果将粘滞性动力系数除以密度, 则获得与质量无关的系数, 称为粘滞性运动系数:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \frac{\text{米}^2}{\text{秒}} \quad (\text{或} \quad \frac{\text{厘米}^2}{\text{秒}}) \quad (1-5)$$

粘滞性运动系数与 μ 值一样是随着液体性质及温度而变的, 对于水来说, 粘滞性运动系数随着水温改变有下列变化 (表 1-1)。

水的运动粘滞系数 ν (厘米²/秒)

表 1-1

温 度(t°C)	ν	温 度(t°C)	ν	温 度(t°C)	ν
0	0.0173	12	0.0124	30	0.0081
5	0.0152	15	0.0114	40	0.0066
10	0.0131	20	0.0101	50	0.0055

Ⅲ. 液体与固体比较起来, 具有不同之处, 亦有相似之处。在外力作用下, 就固体而言, 开始阶段它只发生弹性变形, 形变的大小与外力的大小成正比。如果外力一旦消失, 那么固体会恢复原有形态, 只有当外力超过固体材料的弹性极限时, 固体才可能发生永久的残留变形。但是外力对液体作用时: 在拉力和切力作用下, 液体极易变形, 不显示出和固体相似的弹性; 而在承受压力能力方面, 液体具有和固体的相似的性能, 它对压缩有强烈的抵抗, 在极大的压力下, 液体的体积改变也是十分微小的。

1. 在一般情况下把水作为不可压缩的流体来处理, 可以得到在工程精度范围内的正确解答, 但严格地说, 水是一种弹性体, 当压力作用时, 液体的体积将受压缩, 压力和液体体积变化之间的关系可以利用表示固体压缩性能的虎克定律来表达: 当应力发生一个增量 ΔP 时, 体积的减小值为 ΔV , 形变和应力呈正比, 即 $\Delta P = E \left(-\frac{\Delta V}{V} \right)$

$$E = \frac{\Delta P}{\left(-\frac{\Delta V}{V} \right)} \quad \frac{\text{公斤}}{\text{厘米}^2} \quad (1-6)$$

式中: E 称为水的弹性系数, 实际上水的弹性系数不是常数, 它是受压力和温度影响的, 压力和温度增高时, 弹性系数值均将增大, 但是在工程问题中, 这种影响是可以忽

略的，因而实用上常采用 $E = 21000$ 公斤/厘米²。

弹性系数的倒数称为压缩系数，并以 B_p 表达之

$$B_p = \frac{1}{E} = -\frac{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)}{\Delta P} \quad \frac{\text{厘米}^3}{\text{公斤}} \quad (1-7)$$

利用压缩系数可以直接推求得液体的压缩率，水的压缩系数也不是常数，但是在工程问题中常作为定值处理，水的压缩系数常采用 $B_p = 47.6 \times 10^{-6}$ 厘米³/公斤。

2. 在绝大多数场合下，水的压缩性是可以不予考虑的，当温度为 0°C 时，每增加 1 大气压力，其体积压缩仅为原体积之二万分之一（即 0.005%），因此在大多数工程问题中水可以被认为是不压缩的，这种假定除了在计算压力管道中的水击现象外，一般可认为是正确的。

液体在承受压缩时，其质量(M)并未发生改变，体积减小则密度增加，从承压过程中质量不变这一原理出发，可以推得不考虑压缩性时所需的理论条件。

由于承压过程中质量不变，故 $dM = 0$

$$dM = d(\rho V) = \rho dV + V d\rho = 0$$

$$\therefore \frac{dV}{V} = -\frac{d\rho}{\rho}; \quad d\rho = -\rho \frac{dV}{V} = \rho \frac{dP}{E} = \frac{dP}{C^2} \quad (1-8)$$

式中： $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ ，C 为均匀介质中之声速。

由式(1-8)可知，当不考虑压缩性时（即 $d\rho = 0$ ），必须使声速 $C = \infty$ （即压力变化的传播速度）。从理论上来讲，这种条件只可能在下列情况中实现：或者是液体本身体积极小；或者是施压时间（压力从 P 值增递到 $P + \Delta P$ 值所进行的时间）大大超过传递压力至液体最远点所需之时间。

IV. 液体的含气性能：

液体具有吸收和溶解与它接触的气体的能力，在常温和一个标准大气压作用下，液体中空气的溶解量约为液体体积的 2%。如果液体的含气度已达饱和状态，则当减低压力时，气体就将从液体中散发出来，这时液体将成为和原来机械物理性质大不相同的压缩性很大的乳液。

液体的含气现象对给排水工程很多实际问题有关，例如河流的自净能力与河水的含气性有关，而河水的含气性与河水的流速、河面宽度、水面起伏情况及含气的饱和度等因素有关，研究河流中的含气现象，可以帮助我们掌握污水稀释规律。含气现象的研究到目前为止还是进行得不够的，但是，十分清楚，这是水流的一种重要特性，必将成为今后研究的一个重要内容。

§ 1-2 作用于液体的力

液体的机械运动的形式（以后所指的运动均系指机械运动）都是作用力与反作用力在某种特定条件下处于平衡状态的表现，任何液体运动都存在作用力与反作用力：作用力是促使液体运动的力，反作用力则表现为液体运动的阻抗力或使液体维持原状的能力，因此研究液体运动的规律及其形式时，必须要知道作用于液体上的力的情况和特性。

I. 作用在液体上的力有重力、惯性力、摩擦阻力、离心力等，它们可能同时出现在某一液流中；某些运动也可能主要受二个方面力的影响，由于这些力的错综复杂的作用，液体运动具有质的多样性。例如水泵中的水流运动不仅有重力、惯性力，而且主要受离心力的作用；而象渠道中的水流有时就只受重力和摩擦阻力的影响。通过深入的对各力的关系的分析，可以清晰地解释一系列的水力现象，因而建立上述观点是考察液体运动时十分重要的关键。

II. 在研究液体运动规律时，为了研究方便，常常把作用在液体上的力分成三类：即内力、表面力与质量力。内力是指液体内部质点间的相互作用力，它们是成对出现，大小相等，方向相反，所以内力的合力等于零，它们在液体运动过程中并不做功；表面力是作用于所研究的液体表面上的力，按其作用方向与表面的关系可以分为压力和切力，象大气压力，活塞压力均系压力，它们的作用线垂直于表面，摩擦力则表现为切力，它的作用线平行于表面；质量力是分布在每一质点上的，质量力的大小和液体质点的质量成正比，对于密度均匀的液体，各质点的质量和体积呈正比，因此质量力的大小也可以用体积的大小来衡量，故又称体积力，重力和惯性力都是质量力。任意物体的质量力可由质量与加速度的乘积来表达，即 $F = Ma$ (a 为加速度)。

在直角坐标 x, y, z 中，质量力在各轴上的投影分别为 F_x, F_y, F_z 。

质量力在 x 方向之分力为 F_x ， x 方向的单位质量力为 $X = \frac{F_x}{M}$ 米/秒²；

质量力在 y 方向之分力为 F_y ， y 方向的单位质量力为 $Y = \frac{F_y}{M}$ 米/秒²；

质量力在 z 方向之分力为 F_z ， z 方向的单位质量力为 $Z = \frac{F_z}{M}$ 米/秒²。

显然单位质量力 X, Y, Z 具有加速度之因次，因而亦可把 X, Y, Z 视作质量力的加速度在各坐标上的分量，即

$$a_x = X = \frac{F_x}{M}; \quad a_y = Y = \frac{F_y}{M}; \quad a_z = Z = \frac{F_z}{M}. \quad (1-9)$$

III. 1. 作用在物体表面上（或物体上）的合力，称为总压力，总压力常用 P （公斤或吨）表示之。

总压力除以作用面积，则得作用于物体表面的平均点压力（或称平均压应力）：

$$p_{cp} = \frac{P}{\omega} \text{ 公斤/厘米}^2 \text{ 或 公斤/米}^2. \quad (1-10a)$$

式中： ω 为总压力作用面积。

如果将总压力的作用面积缩小成一微分面积，则比值 $\frac{P}{\omega}$ 将表示物体表面实际所受的点压力，俗称压强或压应力。

$$p = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{P}{\omega} \text{ 公斤/厘米}^2 \text{ 或 公斤/米}^2. \quad (1-10b)$$

总压力、点的平均压力及压应力这三者是具有原则区别的，例如图1—1所示水池，池底总压力为 P ，点的平均压力则均匀地分布在池底。由平均压应力表示的点压力一般不是该

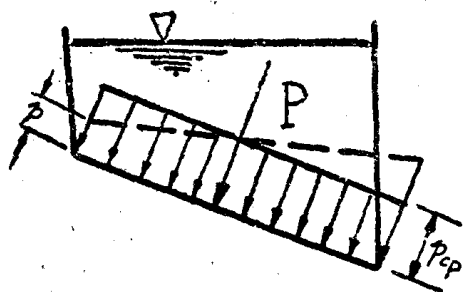


图1-1

点的真正压力，压应力则真实地反映了各点所受压力的情况(在图1-1中压应力分布图由虚线所示)。

2. 在表达点压力和总压力值时，可以采用不同的表达方法。

1) 如果在所考虑的压力中，计及大气压力 p_a (在工程上，一标准大气常采用平均值 10 吨/米² 或 1 公斤/厘米²) 时，则称为绝对压力。

2) 在很多工程实际问题中，往往各个方面都作用有大气压力，它们对于某一具体物件(如水池壁面)的作用合力等于零，因此实用上在考虑压力时，常常用扣掉大气压力的数据来表达压力的大小，此值在水力学中称为相对压力。

$$P_{\text{相对}} = P_{\text{绝对}} - P_a \quad (1-11a)$$

式中： $P_{\text{相对}}$ 系指扣掉大气压力后的压应力，在本课本中，以后除非特别提及，否则均以压应力(P)来表达相对压应力($P_{\text{相对}}$)以免文字之烦琐。

3) 在当绝对压力小于大气压力时(即 $P_{\text{绝对}} < P_a$)，则由式(1-11a)算得之相对压力将为负值，在水力学习惯中，我们不常采用负值来表示相对压力值，而常采用真空值来表示该时的压力，真空值可由下式计算

$$P_{\text{真空}} = P_a - P_{\text{绝对}} \quad (1-11b)$$

显然真空是指实际压力比大气压力缺少的数值，如果某点的相对压力为负值时，则该点真空值即为该点相对压力之绝对值。例如某点绝对压力为 0.7 公斤/厘米²，则相对压力为 -0.3 公斤/厘米²，而真空值则为 0.3 公斤/公分²。

§1-3 边界条件和起始条件对水流的影响，水流的运动形式

液体的运动取决于它们的基本因素，但是边界条件和起始条件对水流运动的形式均将产生影响。

I. 液体运动固然受其本身特性的支配，但是在外界条件影响下，运动往往会发生某些改变：例如原先在水管中流动得较快的液体，由于控制闸门关小，因而水流受阻，管中平均流速就将减小。外界条件可以改变液体运动的形态，但是决定液体运动的根本原因是液体本身的特性，外界条件必须通过其本身方始能起作用。

研究边界条件的影响，对正确处理给排水工程建筑物具有深切的意义，例如图1-2所示之沉淀池，由于它们的边界条件不同，水流运动状态有很大的差异，设置有导流板的沉淀池，由于水流进入池子后迅速地均匀扩散，因而沉淀效率高，而无导流板的沉淀池，虽

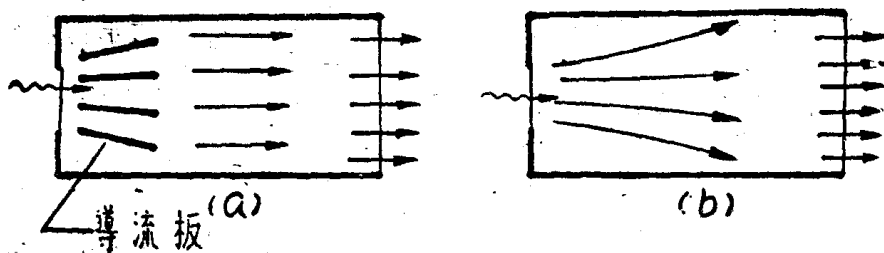


图1-2