

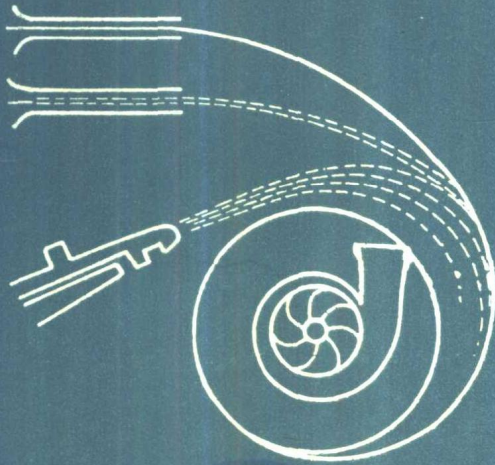
7C0263

511  
7264

高等院校教材

# 水力学及水力机械

刘国喜 编著



吉林人民出版社

511  
7264

高等院校教材

# 水力学及水力机械

刘国喜 编著

吉林人民出版社

高等院校教材  
水力学及水力机械

刘国喜 编著

\*

吉林人民出版社出版 吉林省新华书店发行  
长春市和顺印刷纸箱厂印刷

\*

787×1092毫米16开本 27印张 4插页 614,000字

1983年8月第1版 1983年8月第1次印刷

印数：1—3,020册

统一书号：15091·197 定价：2.85元

## 内 容 提 要

本书是为高等院校农机类专业而编的教材，其它类专业也可参考使用。

全书共三篇（十一章）。第一篇（六章）水力学，主要内容是：液体静止和流动的基本理论，水流阻力和水头损失，液体在管路中与非管路中流动的水力计算。第二篇（四章）排灌机械，主要内容是：农用水泵基本理论、结构、性能、选型、配套、安装和使用，喷灌与滴灌机具的种类、结构、基本参数和性能等。第三篇（一章）其它水力机械，主要内容是介绍往复泵、井用射流泵、空气扬水机、压气泵、旋涡泵、屏蔽泵、吊泵、内燃水泵、罐式泵和水轮机等的一般结构和工作原理。

一至七章，每章内有例题，章末有思考题和习题，书末有附录和各章习题的参考答案。

全书内容主次分明，系统性强，图文并茂，理论阐述清楚，实践知识广阔，编入了国内外先进技术成就。除可作教材用外，还可供科研、工程技术人员参考。

## 前 言

一九八一年四月,原农机部、农业部和农垦部的教育局在北京联合召开了全国农业、农机院校的农业机械化专业会议。会议决定由我承担编写本书的任务。

本书是在我校已有的《水力学及水力机械》讲义基础上编写的。

初稿编成后,经过二十七各单位购用,其中有十三所高等院校农机系做为教材试用后,于一九八二年二月在长春召开了该教材及教学参考大纲审定会议,会后又做了修改。经农牧渔业部教育局和全国农业机械化教育研究网网长单位(北京农业机械化学院)的同意,由吉林人民出版社出版。

本书在编写过程中,得到了原农机部教育局、农牧渔业部教育局、全国农业机械化教育研究网、吉林省教育厅和吉林农业大学等单位的领导和有关同志的大力支持,在此表示感谢。

由于本人水平所限,教材中的缺点与不足之处在所难免,恳切地希望用本书作教材的师生和广大读者给予指正。

刘 国 喜

1982年10月24日

# 目 录

## 第一篇 水 力 学

第一章	绪论	( 1 )
§ 1—1	概论	( 1 )
§ 1—2	国际单位制和工程单位制	( 2 )
§ 1—3	液体的基本特征和主要物理性质	( 3 )
§ 1—4	作用在液体上的力	( 11 )
第二章	水静力学原理	( 13 )
§ 2—1	静水压强及其特性	( 13 )
§ 2—2	液体平衡的微分方程	( 15 )
§ 2—3	水静力学基本方程式	( 17 )
§ 2—4	液体的相对静止	( 18 )
§ 2—5	静水压强表示方法	( 20 )
§ 2—6	静水压强测量仪器	( 24 )
§ 2—7	静水总压力	( 29 )
§ 2—8	巴斯加定律及其应用	( 37 )
§ 2—9	浮力、潜体和浮体	( 40 )
第三章	水动力学基础	( 46 )
§ 3—1	基本定义和概念	( 46 )
§ 3—2	液体流动的分类	( 49 )
§ 3—3	液体流动的连续方程式	( 53 )
§ 3—4	理想液体元流的能量方程式及其意义	( 54 )
§ 3—5	实际液体元流的能量方程式及其意义	( 59 )
§ 3—6	实际液体总流的能量方程式及其意义	( 60 )
§ 3—7	实际液体总流的能量方程式应用举例	( 65 )
§ 3—8	稳定总流的动量方程式	( 71 )
§ 3—9	稳定总流的动量方程式应用举例	( 72 )
第四章	流动型态 水头损失	( 81 )
§ 4—1	流动的两型态	( 81 )
§ 4—2	水头损失的分类	( 85 )
§ 4—3	均匀流动的基本方程式	( 86 )
§ 4—4	层流的沿程水头损失	( 87 )
§ 4—5	紊流的沿程水头损失	( 89 )

§ 4—6	局部水头损失	(100)
第五章	缝隙流动 管流	(113)
§ 5—1	平行平板间的缝隙流动	(113)
§ 5—2	其它形式的缝隙流动	(118)
§ 5—3	短管路的水力计算	(124)
§ 5—4	长管路的水力计算	(129)
§ 5—5	管中水击	(136)
第六章	孔口出流、管嘴出流、射流、明渠水流	(144)
§ 6—1	孔口的液体出流	(144)
§ 6—2	管嘴的液体出流	(148)
§ 6—3	射流	(153)
§ 6—4	水在明渠中的流动	(156)
§ 6—5	农田灌水方法概述	(165)

## 第二篇 排灌机械

第七章	农用水泵基本理论	(172)
§ 7—1	水泵的工作原理	(172)
§ 7—2	水泵性能的主要参数	(175)
§ 7—3	液体在离心泵叶轮里的流动	(185)
§ 7—4	水泵的相似律和比转数	(191)
§ 7—5	水泵的性能曲线和运转工作点	(199)
§ 7—6	水泵的调节	(206)
第八章	农用水泵的结构和性能	(213)
§ 8—1	离心泵	(213)
§ 8—2	水泵的管路及其附件	(226)
§ 8—3	轴流泵	(231)
§ 8—4	混流泵	(235)
§ 8—5	长轴井泵	(238)
§ 8—6	潜水电泵	(248)
§ 8—7	水轮泵	(256)
§ 8—8	水锤泵	(260)
第九章	农用水泵的选型、配套、安装与使用	(262)
§ 9—1	水泵的选型	(262)
§ 9—2	水泵的配套	(273)
§ 9—3	排灌站的布局与离心泵的安装	(278)
§ 9—4	离心泵的使用	(294)
第十章	喷灌与滴灌机具	(300)
§ 10—1	喷灌概述	(300)



§ 10—2	喷灌系统的类型	( 305 )
§ 10—3	喷灌机的主要参数与喷头的种类	( 311 )
§ 10—4	射流式喷头的水力学原理	( 319 )
§ 10—5	喷头的布置和喷灌机的配套	( 325 )
§ 10—6	滴灌概述	( 331 )
§ 10—7	滴灌设备	( 335 )

### 第三篇 其它水力机械

第十一章	其它水力机械	( 343 )
§ 11—1	往复泵	( 343 )
§ 11—2	井用射流泵、空气扬水机与压气泵	( 353 )
§ 11—3	几种泵简介	( 358 )
§ 11—4	水轮机概述	( 361 )

### 附 录

一、	农用水泵型号规格意义表	( 367 )
二、	常用的几种类型泵的使用范围	( 367 )
三、	离心泵经验公式	( 368 )
四、	离心泵规格性能表	( 369 )
五、	混流泵规格性能表	( 387 )
六、	轴流泵规格性能表	( 391 )
七、	污工泵规格性能表	( 400 )
八、	井泵规格性能表	( 400 )
九、	潜水电泵规格性能表	( 404 )
十、	水轮泵规格性能表	( 409 )
十一、	射流式深井泵规格性能表	( 418 )
十二、	水环式真空泵规格性能表	( 418 )
十三、	拉杆泵规格性能表	( 419 )
十四、	登山牌水锤泵规格性能表	( 419 )
	<b>习题参考答案</b>	( 420 )
	<b>参考文献</b>	( 423 )



# 第一篇 水力学

## 第一章 绪 论

### § 1—1 概 论

农业机械化和农田水利建设在祖国逐步实现“四化”过程中不断地向前发展着。农村机电排灌是农业机械化和农田水利化的重要组成部分，它对战胜旱涝灾害，促进农业高产、稳产起着显著作用。

在我们农业机械化专业里开设水力学及水力机械课，主要目的就是为了使学生对排灌机械的工作原理、结构、选型、使用维护有必备的知识，以便将来在生产实践中能承担起这方面的工作和解决这方面的问题。另外，水力学及水力机械课就其内容与液压技术、农业机械、拖拉机、农业机械修理和运用等课程也有联系，相辅相成，能促进学生对所学专业知识的扩展和深入。

本课程由两部分组成，第一部分是水力学，它是一门应用科学，是力学的一个部门。它是研究液体平衡和运动的规律，并应用这些规律来解决工程实际问题的方法。它以液体（主要是水）作为研究对象。

水力学中研究液体处于静止或相对平衡状态下的力学规律部分称为水静力学。研究液体在管路、缝隙、孔口、管嘴、渠道、天然河道、堰、水力机械和各种水工建筑物中的运动规律部分称为水动力学。后者是水力学的主要部分。

研究水力学要使理论与实践密切结合，既广泛地应用实验研究，又不断对实验资料进行理论概括。这样所得的某些结论虽然是近似的，但对解决实际工程技术问题是足够正确的。

在水力学中并不是像物理学那样详细地去研究液体内部分子的机械运动，把液体看作是在分子空间移动着的一些单个分子所组成的，而是把液体看成是由无限多个液体质点连续地、毫无空洞地所组成的“连续介质”。这是一个很重要的前提，它可以使我们在研究液体运动时能够运用数学分析中的连续函数作为工具，来研究液体连续介质的运动。至于液体质点，则理解为有质量而占有无限小体积的物质点。

学好水力学知识，是学好水力机械、液压技术等课程的基础。而水力学所包括的内容较多，由于本课程在我们农业机械化专业中所占的比例有限，所以不能讲得太多，所学的内容都是必备的基础知识。

本课程的第二部分是水力机械，其中以排灌机械为主，它主要包括离心泵、混流泵、轴流泵、长轴井泵、潜水电泵、水轮泵、喷灌和滴灌设备等。为了较深入地掌握这

部分知识，而编写了一章农用水泵的基本理论，其中以应用最广泛的离心泵为重点。本书最后一部分为其它水力机械，是结构和工作原理的简述，其中水轮机和往复泵内容略多一点。

水力学及水力机械是一门实践性较强的课程，为了掌握和运用所学的知识，学习中除了要进行实验而外，还必须作一些习题，任课教师可从各章的习题中指定一部分让学生作。

本教材的内容分三种情况：第一种情况是教学大纲中规定的内容；第二种情况是教师选讲的内容，在教学大纲中记有“☆”号；第三种情况是教学大纲中没有明确的规定，供学生课外自学或参考的内容。教师在教学过程中应向学生做必要的说明。

## § 1—2 国际单位制和工程单位制

所谓单位制是由选定的基本单位和它们的导出单位组成的一系列量度单位的总称。通常在水力学及水力机械中的基本量有四个，即力（F）、质量（M）、长度（L）和时间（T）。但由于  $F = ML/T^2$  或  $M = FT^2/L$ ，就可把四个基本量化为三个。如果取 L、F、T 为基本量，而以相应的基本单位米（m）、公斤力（kgf）、秒（s）及其导出单位等组成的单位制，就是工程单位制，简称工程制。如果以 L、M、T 为基本量，而以相应的米（m）、公斤（kg）、秒（s）作为基本单位，这种单位制就属于国际单位制，简称国际制。在水力学上，工程制和国际制的重量换算基本关系是：

$$1 \text{ 公斤力} = 9.8 \text{ 牛顿}$$

质量换算基本关系是：

$$1 \text{ 公斤力} \cdot \text{秒}^2 / \text{米} = 9.8 \text{ 公斤}$$

我国水力学及水力机械上以往惯用的单位是工程制，但由于国际制有许多优点，目前已有许多国家积极地推广国际制，为便于国家之间的科学技术交流，本教材也将采用国际制。又基于我国的现状，只好并用工程制。

现将本教材中涉及到的一些国际制单位与工程制单位的换算关系列于表1—1中。

表 1—1

物理量 (因次)	国际制单位和符号	工程制等单位 and 符号	换 算 关 系
质量 (M)	千克、公斤 (kg)	公斤力·秒 <sup>2</sup> /米 (kgf·s <sup>2</sup> /m)	1kgf·s <sup>2</sup> /m = 9.8kg 1kg = 0.102kgf·s <sup>2</sup> /m
密度 (L <sup>-3</sup> M)	公斤每立方米 (kg/m <sup>3</sup> )	公斤力·秒 <sup>2</sup> /米 <sup>4</sup> (kgf·s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	1kgf·s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> = 9.8kg/m <sup>3</sup> 1kg/m <sup>3</sup> = 0.102kgf·s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
动量 (LMT <sup>-1</sup> )	公斤米每秒 (kg·m/s)	公斤力·秒 (kgf·s)	1kgf·s = 9.8kg·m/s
力、重量 (LMT <sup>-2</sup> )	牛顿·牛 (N)	公斤力 (kgf)	1kgf = 9.8N 1N = 0.102kgf
力矩 (L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup> )	牛顿米 (N·m)	公斤力·米 (kgf·m)	1kgf·m = 9.8Nm

表 1-1

物理量 (因次)	国际制单位和符号	工程制等单位 and 符号	换算关系
压力(压强)( $L^{-1}MT^{-2}$ )	帕斯卡 (pa) 1千帕 (kpa)=1000pa 牛顿每平方米( $N/m^2$ ) 1pa=1 $N/m^2$	公斤力/米 <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) 公斤力/厘米 <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	1kgf/cm <sup>2</sup> =9.8kpa 1kgf/cm <sup>2</sup> =9.8N/cm <sup>2</sup>
功 (L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup> )	焦耳 (J) 牛顿米 (N·m) 1J=1N·m	千瓦小时 (kwh)	1kwh=3600kJ 1kwh=3600kN·m
功率 (L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup> )	瓦 (w) 1千瓦 (kw) =1000w 1焦耳每秒 (J/s)=1w	公斤力·米/秒(kgf·m/s) 马力 (HP)	1kgf·m/s=9.8w 1kw=102kgf·m/s 1HP=75kgf·m/s
动力粘度 (L <sup>-1</sup> MT <sup>-1</sup> )	帕斯卡秒 (pa·s) 1pa·s=1N·s/m <sup>2</sup>	泊 (P) 公斤力·秒/米 <sup>2</sup> (kgf·s/m <sup>2</sup> )	1p=10 <sup>-1</sup> Pa·s 1kgf·s/m <sup>2</sup> =9.80665pa·s
运动粘度 (L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> )	平方米每秒 (m <sup>2</sup> /s)	斯托克斯、斯 (St) 平方厘米每秒(cm <sup>2</sup> /s) 1St=1cm <sup>2</sup> /s	1St=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s

注: 长度、面积、速度、加速度、(体积) 流量等不涉及重量或质量的单位, 国际制和工程制单位都相同, 表中没列。

### § 1-3 液体的基本特征和主要物理性质

#### 一、液体的基本特征

液体的一个重要特征是具有易流动性, 这是基于液体与固体的不同特征而言的。液体与气体一样, 几乎不能承受拉力和抵抗拉伸变形, 静止时也不能承受切力和抵抗剪切变形, 因此不象固体那样自己能保持一定的形状, 而是很容易流动的。但另一方面, 液体与气体又有所不同, 液体与固体一样能承受压力, 很不容易被压缩, 而气体就很容易被压缩。液体的体积有一定大小, 不象气体那样能充满任何容器, 液体一般具有自由表面。

液体的真实结构是由彼此之间有空隙存在并进行着复杂的微观运动的大量液体分子所组成的。但是水力学所注意的不是研究液体分子的微观运动, 而是研究工程实际所关心的液流的宏观机械运动。所以在水力学中引入了液体具有连续性的概念和假设: 认为液体是彼此之间没有空隙存在, 完全充满所占空间, 并且由假设没有微观运动的无数液体质点所组成的连续介质, 其物理性质和运动要素都是连续变化的。这样就能充分利用数学上的连续函数这一有利工具, 应用上既很方便又有足够的精确性。

当然, 连续性的假设也有其应用的范围, 当液体性质有局部突变时, 连续性的假设即不再合适。例如, 液流中局部地区的压力很低发生汽化现象形成气穴时, 就会破坏液体的连续性。

在连续性假设的基础上, 水力学中一般都认为液体具有均匀等向性: 液体是均质的, 各部分和各方向的物理性质是一样的。

总之，水力学中的主要研究对象液体，就是容易流动的、不易压缩的、均匀等向的连续介质。水力学中的研究成果可以应用于以水为代表的一般液体和可以忽略压缩性影响的气体。

## 二、液体的主要物理性质

在研究液体的平衡和运动时，必须知道液体具有哪些主要物理性质。下面就影响液体平衡和运动的主要物理性质分别加以介绍。

### 1. 密度和重度

密度是表示液体具有质量特性，其定义：液体单位体积内所具有的质量叫做密度，用 $\rho$ 来表示。

假定均质液体的体积为 $V$ ，所含有的质量是 $M$ ，则密度为

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

重度是表示液体具有重量特性，其定义：液体单位体积内所含有的重量叫做重度（也叫做重率或容重），用 $\gamma$ 来表示，即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

式中  $\gamma$ ——重度；  
 $V$ ——均质液体的体积；  
 $G$ ——均质液体的重量。

因为重量 $G$ 等于质量 $M$ 与重力加速度 $g$ 的乘积，即

$$G = M g$$

上式两边同除以体积 $V$ ，则得

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

该式表示了重度 $\gamma$ 和密度 $\rho$ 的关系，式中重力加速度 $g = 9.81$ 米/秒<sup>2</sup>。

值得说明的是，液体的密度和重度是随温度的变化而改变的，在标准大气压下，当温度为4℃时，水的密度和重度具有最大值。

但是应当指出，当温度变化时液体的密度和重度的变化是很小的，因此在一般工程上认为水的密度和重度不随温度变化而改变，而采用4℃时蒸馏水的密度和重度作为水的计算标准。

在工程上，经常遇到液体的比重这一概念，它是指液体的重量与同体积、温度为4℃时蒸馏水的重量比值。比重无单位，重度有单位。两者的概念不能混淆。

对于纯净水，在标准气压下，4℃时的密度 $\rho = 1000$ 公斤/米<sup>3</sup>，若采用 $g = 9.8$ 米/秒<sup>2</sup>，则其重度 $\gamma = 9800$ 牛/米<sup>3</sup>。海水，由于含盐量较高，在常温下（15~20℃），其重度为 $\gamma' = 10000 \sim 10100$ 牛/米<sup>3</sup>。

现将水在标准大气压下，不同温度时的重度和密度列于表1—2和表1—3中。

表1-2 国际单位制

t/°C	0	4	10	20	40	60	80	100
$\gamma$ (牛/米 <sup>3</sup> )	9798.73	9800.00	9797.54	9782.95	9725.03	9637.12	9525.01	9394.77
$\rho$ (公斤/米 <sup>3</sup> )	999.87	1000	999.75	998.26	992.35	983.38	971.94	958.65

表1-3 工程单位制

t/°C	0	4	10	20	40	60	80	100
$\gamma$ (公斤力/米 <sup>3</sup> )	999.87	1000	999.75	998.26	992.35	983.38	971.94	958.65
$\rho$ (公斤力·秒 <sup>2</sup> /米 <sup>4</sup> )	101.82	102	101.91	101.75	101.15	100.24	99.08	97.72

表1-4中列举了几种常见的液体和空气在一个工程大气压作用下,温度为20°C时的重度(国际制用千牛/米<sup>3</sup>,工程制用公斤力/米<sup>3</sup>表示)。

表1-4

流体名称	清水	海水	汞	四氯化碳	空气	汽油	酒精	原油	甘油	煤油
千牛/米 <sup>3</sup>	9.8	10.0~10.1	133	15.6	0.0118	6.6	7.76	8.6	12.3	7.9
公斤力/米 <sup>3</sup>	1000	1020~1030	13600	1600	1.205	670	790	880	1250	810

**例1-1** 利用表1-4的数据,求清水和汞的密度,分别用国际制和工程制表示(单位用符号代表)。

**解:** 按式(1-3)分别计算如下:

$$(a) \quad \rho_{\text{水}} = \frac{9.8 \text{ kN/m}^3}{9.8 \text{ m/s}^2} = 1 \frac{\text{kN} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4} = 1000 \frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{国际制})$$

$$\left( \because 1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$\rho_{\text{水}} = \frac{1000 \text{ kgf/m}^3}{9.8 \text{ m/s}^2} = 102 \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4} \quad (\text{工程制})$$

$$(b) \quad \rho_{\text{汞}} = \frac{133 \text{ kN/m}^3}{9.8 \text{ m/s}^2} = 13.6 \frac{\text{kN} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4} = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{国际制})$$

$$\rho_{\text{汞}} = \frac{13600 \text{ kgf/m}^3}{9.8 \text{ m/s}^2} = 1390 \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4} \quad (\text{工程制})$$

## 2. 压缩性和膨胀性

在一定温度下,液体体积随压力增加而缩小的性质称为液体的压缩性。压缩性的大小用体积压缩系数 $\beta$ 来度量,它表示增加一个单位压力时所引起的体积相对缩小量。现以 $dp$ 表示压力变值,以 $dV/V$ 表示体积相对改变量,则体积压缩系数可写为

$$\beta = - \frac{\frac{dV}{V}}{dp} = - \frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-4)$$

式中  $\beta$ ——液体体积压缩系数；  
 $V$ ——液体的体积；  
 $dV$ ——液体体积的缩小量；  
 $dp$ ——液体压力的增量。

式中的负号表示压力增加时，体积要缩小。体积压缩系数的倒数，称为体积弹性系数  $K$ ，即：

$$K = \frac{1}{\beta} = - \frac{dp}{\frac{dV}{V}} \quad (1-5)$$

液体对于压缩的抵抗能力很强，可以承受极大的压力。

所以在工程上可以近似地把液体当作不可压缩的流体看待，常对压缩性不加考虑。但是在一些特殊问题（如水锤现象）中，却必须考虑。否则液体的压缩性所起的影响，将会引起一定程度的误差。

在一定条件下，液体体积随温度升高而增大的性质称为液体的膨胀性。膨胀性的大小用体积膨胀系数  $\alpha$  来度量，它表示增加一个单位温度时所引起的体积相对增量。现以  $dt$  表示温度变值，以  $dV/V$  表示体积相对改变量，则体积膨胀系数可写为

$$\alpha = \frac{\frac{dV}{V}}{dt} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \quad (1-6)$$

式中  $\alpha$ ——液体体积膨胀系数；  
 $V$ ——液体的体积；  
 $dV$ ——液体体积的增量；  
 $dt$ ——液体温度的增量。

液体的体积膨胀系数很小。在大气压力作用下，温度在  $0 \sim 10^\circ\text{C}$  范围内，水的体积膨胀系数  $\alpha = 14 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ ，而当温度在  $10 \sim 20^\circ\text{C}$  范围时， $\alpha = 150 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ 。

液体的体积膨胀系数还决定于压力，但是这个关系较小。水的膨胀系数随压力的增加而稍为增大，但是，对其它大多数液体来说，膨胀系数则随压力的增加而稍为减小。

在国际单位制中，体积压缩系数  $\beta$  的单位是厘米<sup>2</sup>/牛顿，体积弹性系数  $K$  的单位是牛顿/厘米<sup>2</sup>，温度的单位是  $^\circ\text{C}$ ，体积膨胀系数  $\alpha$  的单位是  $1/^\circ\text{C}$ 。

现将几种常用数值分别列于表1—5、表1—6和表1—7。

表1—5 不同温度时水的体积弹性系数  $K$  值

温 度 $t^\circ\text{C}$	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$
k牛顿/厘米 <sup>2</sup>	$1.952 \times 10^5$	$2.031 \times 10^5$	$2.109 \times 10^5$	$2.148 \times 10^5$

表1—6 20℃时, 几种液体在常压下的体积膨胀系数 $\alpha \times 10^5 / ^\circ\text{C}$

液体	甲醇	乙醇	汽油	甲苯	乙醚	甘油	醋酸	硫酸	水银	矿物油	蓖麻油
$\alpha \times 10^5$	122	110	124	109	163	53	107	55	18	95	65

表1—7 水的体积膨胀系数 $\alpha \times 10^6 / ^\circ\text{C}$

压力 (工程大气压)	温度 $^\circ\text{C}$				
	0~10	10~20	20~50	60~70	90~100
1	14	150	422	556	719
100	43	163	422	548	—
200	72	183	426	539	—
500	149	236	429	523	661
900	229	289	437	514	661

**解1—2** 当锅炉内水温在 $t_1 = 70^\circ\text{C}$ 时, 注入50立方米的水。问当锅炉内水温升到 $t_2 = 90^\circ\text{C}$ 时, 能从锅炉排送出的水量为多少? 水的膨胀系数 $\alpha = 0.00064 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ 。

**例** 由公式(1—6)可知:

$$dV = \alpha V dt = 0.00064 \times 50 \times (90 - 70) = 0.64 \text{ (米}^3\text{)}$$

排送出的水量为  $V + dV = 50 + 0.64 = 50.64 \text{ (米}^3\text{)}$

### 3. 粘滞性

#### (1) 粘滞性的物理意义

流动着的液体, 如果各流层的速度不相等, 那末相邻的两个流层之间的接触面上, 将形成一对阻碍两流层相对运动的等值而反向的摩擦力, 叫做内摩擦力。液体的这种性质, 叫做粘滞性。

设有两块平行平板, 其间充满液体, 如图1—1所示。假定下板固定, 上板以某一速度 $V$ 向右移动。可以认为, 由于液体与板间的附着力, 紧贴板的液体将附着在板上, 具有与板相同的速度。因此, 紧贴在上板的一层液体, 将以速度 $V$ 随上板向右运动, 而紧贴在下板的一层液体将和下板一样静止不动。介于两板之间的各层液体, 将以自上而下逐层递减的速度向右运动。流动较快的流层带动流动较慢的流层; 反之流动较慢的流层却又阻滞运动较快的流层, 从而在流层之间产生内摩擦力。

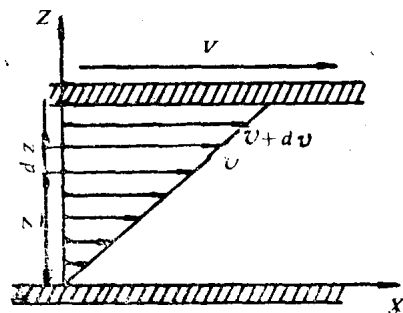


图 1—1

根据牛顿研究的结果, 液体运动所产生的内摩擦力与沿接触面法线方向的速度梯度成正比, 与接触面的面积成正比, 与液体的物理性质有关, 而与接触面上的压力无关。这个关系称为牛顿内摩擦定律。数学式为

$$T = \mu A \frac{dv}{dz} \quad (1-7)$$



式中  $T$  —— 流层接触面上的内摩擦力；  
 $A$  —— 流层之间的接触面积；  
 $\frac{dv}{dz}$  —— 沿接触面法线方向的速度梯度；

$\mu$  —— 表示液体物理性质的一个比例系数，叫做动力粘度（粘性动力系数）。单位面积上的内摩擦力  $\tau$ （切应力）可表示为

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{dv}{dz} \quad (1-8)$$

在运动液体中，内摩擦力或切应力总是成对出现的，它们的大小相等、方向相反。

液体静止时，速度梯度  $\frac{dv}{dz} = 0$ ，所以不呈现切应力。

在水力学中还常用动力粘度和密度的比值来表示粘性的大小，这个比值称为运动粘度（粘性运动系数），用符号  $\nu$  表示，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-9)$$

## （2）液体粘度的表示方法

下面介绍液体粘度的单位及其测量方法。

### 1) 动力粘度 $\mu$

动力粘度又称绝对粘度。它的单位：国际制——牛顿·秒/米<sup>2</sup>或帕·秒；工程制——公斤力·秒/米<sup>2</sup>；物理制——达因·秒/厘米<sup>2</sup>，叫作泊。它们的换算关系为：

$$1 \text{ 帕} \cdot \text{秒} = 1 \text{ 牛顿} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 = 1000 \text{ 厘泊} = 0.102 \text{ 公斤力} \cdot \text{秒} / \text{米}^2$$

$$1 \text{ 公斤力} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 = 10000 \text{ 厘泊} \approx 10 \text{ 帕} \cdot \text{秒}$$

$$1 \text{ 厘泊} = 0.000102 \text{ 公斤} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 = 0.001 \text{ 帕} \cdot \text{秒}$$

### 2) 运动粘度 $\nu$

运动粘度的单位：国际制——米<sup>2</sup>/秒，工程制中的单位与它相同；物理制——厘米<sup>2</sup>/秒，叫作沱或斯。它们的换算关系为：

$$1 \text{ 米}^2 / \text{秒} = 10000 \text{ 厘米}^2 / \text{秒} = 10^6 \text{ 厘沱} = 10^4 \text{ 沱}$$

$$1 \text{ 厘沱} = 10^{-6} \text{ 米}^2 / \text{秒} = 10^{-2} \text{ 厘米}^2 / \text{秒}$$

### 3) 相对粘度

动力粘度与运动粘度难以直接测量，一般只用于理论分析和计算。实际应用中，常用特定的粘度计在规定的条件下，来测量液体的粘度。按照测量仪器和条件的不同，有各种相对粘度单位，但基本原理是相同的。我国常采用恩格勒粘度计来测定液体的粘度，其结构如图1—2所示。这种粘性仪用来测量粘性较水为高的液体。它由以下几个主要部分组成：球状底圆桶1置于水桶2中，圆桶1底部圆管3中插入一锥形短管4，其出口直径为3毫米，用一圆阀开闭。圆桶2中水的温度可以调节和控制。测量粘度时应使圆桶1中的被测液体与水桶2中的水保持相同的温度，在到达需要测定的温度时，开启短管4的孔口，并测定流出至量筒5被试验液体200厘米<sup>3</sup>所需的时间 $t_1$ 。同样再测定放空圆

桶1中温度为20℃时200厘米<sup>3</sup>蒸馏水所需的时间t<sub>2</sub>（此时间约为50秒）。时间t<sub>1</sub>与t<sub>2</sub>的比值叫做恩格勒度数，用符号°E表示，即

$$°E = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-10)$$

由已知的恩格勒度数°E，即可由下式求得液体的运动粘性系数：

$$\nu = 7.31°E - \frac{6.31}{°E} \text{ (厘沲)} \quad (1-11)$$

上式适用于°E > 2 的情况。如果°E ≤ 2 时，则

$$\nu = 7.31°E - \frac{C}{°E} \text{ (厘沲)} \quad (1-12)$$

上式中的C可从表1—8查出。

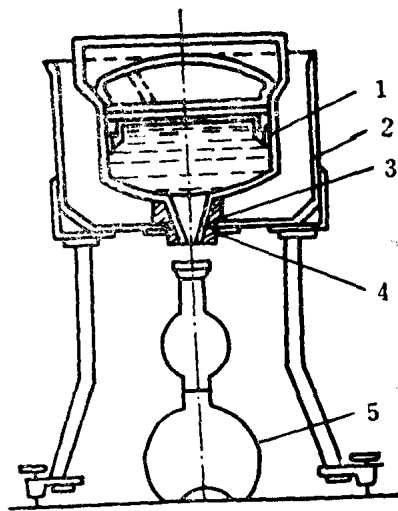


图1—2

表1—8 C值

°E	2.0	1.8	1.6	1.4	1.15
C	0.062	0.059	0.057	0.056	0.055

### (3) 液体的粘性与压力和温度之间的关系

由于液体的粘性主要取决于分子间的相互作用力，当压力增加时，体积变小，分子间的距离也减小，相互作用力增大，因而粘性也增大。以润滑油等油液为例，压力在50个大气压以下时，其粘性变化很小，可以忽略不计。但在压力超过200个大气压时，粘性就明显地增加。所以讨论这个问题，对于高压的液压系统具有重要的意义。当压力改变时，矿物油粘性的增加程度比植物油和动物油为大。

在计算时，液体的运动粘度与压力之间的关系可表示为

$$\nu = \nu_0 e^{bp} \quad (1-13)$$

式中  $\nu$ ——压力为P（公斤力/厘米<sup>2</sup>）时液体的运动粘度；

$\nu_0$ ——1工程大气压时液体的运动粘度；

b——指数。其值因液体的种类而异。对于普通液压油  $b = 0.002 \sim 0.003$  厘米<sup>2</sup>/公斤力。

液体的粘性随温度变化而改变的程度远比随压力变化大得多。在液体温度升高以后，其体积要加大，液体分子间的吸引力则要减小，也就是随着温度的增加，粘性要降低。对于气体则其变化与液体不

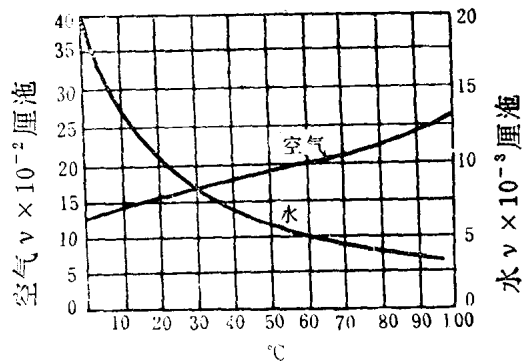


图1—3 水和空气的粘性与温度的关系