



交通类成人高等教育系列教材

水力学与桥涵水文

杨红霞 赵峥嵘 主编



山东大学出版社

Jiaotonglei
Chengren Gaodeng
Jiaoyu Xilie Jiaocai

交通类成人高等教育系列教材

水力学与桥涵水文

杨红霞 赵峥嵘 主编

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水力学与桥涵水文/杨红霞,赵峥嵘主编. —济南:山东大学出版社,2006.7
ISBN 7-5607-3191-0

I. 水...

II. ①杨...②赵...

III. ①水力学②桥涵工程—工程水文学

IV. ①TV13②U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 068076 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

济南铁路局印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 18 印张 413 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—4000 册

定价:27.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

前言

《水力学与桥涵水文》是普通高等学校土木工程专业、成人高等教育、高等教育自学考试土木工程专业使用教材,也可供有关专业技术人员参考。

本书按照土木工程专业《水力学与桥涵水文》课程教学大纲编写,内容精练,重点突出,侧重基本原理、基本方法及其工程应用,同时还考虑了拓宽专业知识面的需要。根据现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)、《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30-2002)的规定,对教材相关内容作了修改、补充和完善。为方便成人高等教育、高等教育自学考试学员业余学习,各章附有考核要求及复习题,书后附有自学进度表,可供学习时参考。

全书分为两部分,上篇“水力学”,下篇“桥涵水文”,共13章。内容包括:绪论、水静力学、水动力学、流动阻力与水头损失、有压管流与孔口、管嘴出流、明渠水流、堰流、河流概论、水文统计的基本原理与方法、桥涵设计流量及水位推算、大中桥位勘测设计、桥梁墩台冲刷计算、小桥涵勘测设计。

本书由山东交通学院杨红霞、赵峥嵘任主编,黄增彦、范大宇任副主编。第一、二、三、五章由山东交通学院杨红霞编写,并负责全书的统稿工作;第四章由山东黄河工程局范大宇编写;第六章由山东交通学院王春生编写;第七章由山东菏泽公路管理局黄增彦编写。第八章至第十三章由山东交通学院赵峥嵘编写;

全书由山东交通学院万德臣教授担任主审。

在教材编写过程中,得到山东交通学院领导和专家的大力支持,山东大学曹升乐教授、青岛理工大学武周虎教授及北京工业大学邓宗才教授提出了许多宝贵的经验和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,如有欠妥之处,敬请广大读者指正。

编 者
2006年6月

目 录

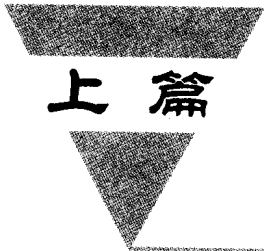
上篇 水力学

第一章 绪 论	(1)
第一节 水力学的任务与研究方法	(3)
第二节 连续介质假设和水力学中主要的力学模型	(4)
第三节 液体的主要物理性质	(5)
第四节 作用在液体上的力	(12)
习 题	(13)
第二章 水静力学	(15)
第一节 静水压强的特性	(15)
第二节 水静力学基本微分方程	(16)
第三节 重力作用下的水静力学基本方程	(18)
第四节 静水压强的测量方法	(20)
第五节 作用在平面壁上的静水总压力	(22)
第六节 作用在曲面壁上的静水总压力	(29)
习 题	(33)
第三章 水动力学	(36)
第一节 描述液体运动的两种方法	(36)
第二节 液体运动的基本概念	(38)
第三节 恒定总流的连续性方程	(40)
第四节 恒定元流的能量方程	(40)
第五节 渐变流过流断面的压强分布规律	(43)
第六节 恒定总流的能量方程	(44)

第七节 恒定总流能量方程的应用	(47)
第八节 恒定总流的动量方程	(49)
习 题	(53)
第四章 流动阻力和水头损失	(56)
第一节 流动阻力和水头损失的分类及计算	(56)
第二节 雷诺实验——层流与紊流	(57)
第三节 均匀流基本方程	(60)
第四节 圆管中的层流运动	(61)
第五节 沿程阻力系数的变化规律	(62)
第六节 局部水头损失	(68)
习 题	(71)
第五章 有压管流与孔口、管嘴出流	(74)
第一节 有压管路的类型	(74)
第二节 短管出流	(75)
第三节 长管水力计算	(81)
第四节 孔口出流	(85)
第五节 管嘴出流	(88)
习 题	(89)
第六章 明渠水流	(91)
第一节 明渠的常见类型及水力要素计算	(91)
第二节 明渠均匀流的水力特性和基本公式	(94)
第三节 水力最佳断面和允许流速	(96)
第四节 明渠均匀流的水力计算	(100)
第五节 明渠非均匀流的类型	(108)
第六节 明渠水流的微波干扰特性及水流状态	(109)
第七节 断面比能与水流的临界状态	(110)
第八节 水跃与水跌	(115)
第九节 渐变流水面曲线形状的定性分析	(120)
第十节 恒定渐变流水面曲线的计算	(127)
习 题	(128)
第七章 堰 流	(131)
第一节 堰的类型及流量公式	(131)
第二节 堰的流量系数、侧收缩系数及淹没系数	(135)
第三节 宽顶堰水力计算	(138)

习 题	(143)
下篇 桥涵水文	
第八章 河流概论	(147)
第一节 河川水文现象的特点与桥涵水文的研究方法	(147)
第二节 河流及流域	(149)
第三节 河川径流	(157)
第四节 水文测验	(160)
第五节 河流的泥沙运动	(165)
第六节 河床演变	(166)
习 题	(168)
第九章 水文统计的基本原理与方法	(170)
第一节 水文统计的基本原理	(170)
第二节 水文计算资料的要求	(174)
第三节 经验累积频率曲线	(175)
第四节 统计参数	(179)
第五节 理论累积频率曲线	(184)
第六节 现行频率分析方法	(189)
习 题	(199)
第十章 桥涵设计流量及水位推算	(200)
第一节 根据流量观测资料推算设计流量	(200)
第二节 根据洪水调查资料推算设计流量	(202)
第三节 根据暴雨资料推算设计流量	(206)
习 题	(214)
第十一章 大中桥位勘测设计	(216)
第一节 桥涵分类及一般规定	(216)
第二节 桥位选择	(217)
第三节 桥位勘测	(221)
第四节 大中桥孔径计算	(222)
第五节 桥面设计高程计算	(230)
第六节 调治构造物	(235)
习 题	(238)

第十二章 桥梁墩台冲刷计算	(239)
第一节 墩台冲刷类型	(239)
第二节 桥下断面一般冲刷深度	(240)
第三节 墩台局部冲刷深度	(244)
第四节 桥下河槽最低冲刷线	(249)
习 题	(250)
第十三章 小桥涵勘测设计	(252)
第一节 小桥涵勘测设计内容	(252)
第二节 小桥涵位置选择	(253)
第三节 小桥涵勘测与调查	(256)
第四节 小桥涵类型选择与布置	(259)
第五节 小桥孔径计算	(263)
第六节 涵洞孔径计算	(269)
附 录 自学进度表	(276)
参考文献	(277)



上 篇

水 力 学

第一章

绪 论

考核要求

1. 理解连续介质基本假设,理想液体及实际液体。
2. 掌握液体的密度、重度、黏滞性,牛顿内摩擦定律。
3. 理解作用在液体上的力,质量力和表面力。

第一节 水力学任务与研究方法

水力学是公路与城市道路、桥梁、交通工程专业的一门技术基础课。它是力学学科的一个分支,是以水为模型研究液体宏观机械运动的规律及其在工程中应用的一门科学,广泛应用于水利、土木、环保、化工、机械等领域。

在公路和桥梁工程中,从勘测、设计、施工到维修养护,许多地方都涉及水的问题,公路建筑物经常因洪水造成各种类型的不同程度破坏,如桥梁因洪水的冲击与冲刷而造成破坏,沿河公路及其冲刷防护构造物因洪水的顶冲与淘刷而造成的坍塌与破坏,山区各类小型人工排水建筑物因暴雨洪水而毁坏等。滑坡、崩塌、泥石流、路面翻浆、路基的沉陷与滑动等,尽管属于地质病害,但是关键的因素仍然是水。可见,公路的水毁、水害,均与地表水或地下水的活动有关。为使路基经常处于干燥、坚固和良好的稳定状态,必须修筑相应的截水沟、边沟、排水沟、急流槽等地表水排水沟渠,以及渗水暗沟、盲沟等各类地下排水设施;公路跨越河流、沟、山体,需要修建桥梁、涵洞、倒虹吸管或透水路堤;在山区河流坡陡水流急的地方,为保护路基、桥梁不被水流冲毁,须修建急流槽、跌水和其他消能设施。显然,上述一系列水工设施的有关设计计算,如桥梁涵洞孔径的计算、排水沟渠尺寸的确定、沿河路基防护工程的形式、尺寸的选择以及防护区域的确定等,都必须正确地运用水力学知识来解决。这就要求公路工程技术人员必须掌握有关水力学原理,善于根据工程特点因地制宜地解决相关工程问题。

一、水力学的任务

水力学分为水静力学和水动力学两大部分。前者研究液体在平衡状态下,作用于液体上各种力之间的关系;后者研究液体处于运动状态时,作用于液体上的各种力与运动要素(如水流速度、加速度等)之间的关系、液体的运动特性以及能量转换规律等,同时,研究探讨工程实际中的有关水力计算问题,例如管流、明渠流、堰流的水力计算等。水力学的任务包括三个方面:①研究液体宏观机械运动的基本规律(包括静止平衡状态);②研究产生上述宏观机械运动的原因;③研究液体与建筑物之间的相互作用。

二、水力学的研究方法

在研究和解决水力学问题时,通常选用理论分析、数值计算和实验分析三种方法。

1. 理论分析方法

理论分析方法是建立在一般的力学原理及在连续介质的基本假设前提下,用数学分析方法,建立液体运动过程中的各种物理量的基本关系式(基本方程组),然后根据具体问题进行求解,并对其解进行分析。由于液体的基本方程组具有很强的非线性,对于一般问题较难求解,只有很少的问题才能求得其完整的理论解。

2. 数值计算方法

随着电子计算机技术和数值计算方法的发展,产生了广泛应用于实际工程中的研究方法—数值计算方法。该方法就是通过数学近似解的方法,使理论解无法求得的问题能用近似的方法进行表达,使水力学基本理论在实际工程中得到应用。数值方法一般包括有限基本解法、有限元法和有限差分法。

3. 实验方法

水力学问题如从基本运动方程的属性来分析,属于强非线性偏微分方程范畴,一般用理论是无法求得,有时用数值计算方法也很困难,解决问题的唯一方法就是实验方法。常用的实验方法有原型观测和模型试验,实验是水力学中不可缺少的一种常用方法。水力学是一门经验性的学科,通过实验或模型实验,解决工程实际问题,同时能充分了解液体运动的规律,使基本方程得以简化,如普朗特的边界层理论。

在解决实际工程问题过程中,现代水力学经常将上述三种方法同时应用,使工程问题得以较为完整的解决。

第二节 连续介质假设和水力学中主要的力学模型

客观上存在的实际流动及其物质结构和物理性质是非常复杂的。如果考虑所有因素,将很难推导出它的力学关系式。因此在分析水力学问题中,对液体加以科学的抽象,以便列出液体运动规律的数学方程式。这种研究问题的方法,在固体力学中也常采用,例如刚体、弹性体等。下面介绍连续介质基本假设和几个主要的水力学模型。

一、连续介质基本假设

水力学研究对象是液体。从微观角度分析,液体是由大量分子构成的,分子与分子间存在空隙,用数学观点分析,液体的物理量在空间上的分布是不连续的,加上分子的随机无规律的热运动,也导致物理量在时间坐标轴上的不连续。然而,水力学是研究液体的宏观运动规律,从宏观角度来看,几乎观察不到分子间的空隙,在标准状态下,每 1cm^3 的水中,约有 3.34×10^{22} 个水分子,相邻分子间的距离约为 $3 \times 10^{-8}\text{cm}$,分子间的间距从宏观角度来讲完全可以忽略不计。因此,对于液体的宏观运动而言,可以把液体视为由无数质点组成的、没有空隙的连续体,并认为液体的各物理量的变化也是连续的。这种假设的连续体称为连续介质。

把液体视为连续介质,可应用高等数学中的连续函数来表达液体中各种物理量随空间、时间的变化关系。

二、理想液体和实际液体

古典水力学是以理想液体作为研究对象。所谓理想液体,是指没有黏滞性的液体,而黏滞性是液体最突出、最重要的物理特性,因此理想液体实际上是不存在的,是一种为简化理论分析的假想物理模型。现代水力学是在经典水力学理论的基础上,以实际液体作为研究对象(实际液体是指具有黏滞性的一切真实液体),运用理论分析与实验研究相结合的方法,对有黏滞性实际液体进行实验、验证或补充理论分析,在水力学的理论公式中,列入一些由实验得到的系数,使理论公式更具有实用性。

三、不可压缩液体

不可压缩液体不计压缩性和热胀性,是对液体物理性质的简化。液体的压缩性和热胀性均很小,密度可视为常数,通常用不可压缩模型。气体在大多数情况下,也可采用不可压缩模型,只有在某些情况下,比如气流速度很大,接近或超过音速,或者在流动过程中其密度变化很大,这时必须用可压缩模型来处理。本课程主要讨论的是不可压缩液体。

第三节 液体的主要物理性质

在研究液体的物理性质时,须首先了解液体的基本特征。自然界的物质通常以三种形态存在,即固体、液体和气体,而液体和气体统称为流体。在一定的条件下,液体具有一定大小的体积,其形状随容器形状而变化,并能形成自由表面。从力学分析的意义上看,以水为代表的液体,在其运动的过程中,表现出与固体不同的特点,其主要差别在于它们对外力的抵抗能力不同。由于固体分子间距离很小,内聚力很大,所以可以保持一定的形状和体积,能抵抗一定的拉力、压力和剪切力;而液体则由于分子间距离较大,内聚力很小而几乎不能承受拉力。运动的液体具有一定的抗剪切能力,但静止的液体则不能抵抗剪切力,即使在很小的剪切力作用下,静止液体都将发生连续不断的变形运动,直到剪切力消失为止,所以水是一种极易流动的物质,这个性质称为液体的易流动性。液体与气体的

主要差别在于液体分子内聚力比气体分子内聚力大得多,因此气体易于压缩,而液体难于压缩。但是,当所研究的气流运动速度远远小于音速时,气体的密度变化很小,气体的运动规律与水流相同,因而水力学的基本原理在一定条件下也适用于气体。

工程实际中的液流运动形式是多样化的,但无论液体运动状态如何变化,其影响因素不外乎液体本身的物理性质和外界的作用力。从宏观角度看,液体的主要物理性质有:

一、质量和密度

物体中所含物质数量称为质量,常用符号 m 表示;单位体积内所含液体的质量称为液体的密度,常用符号 ρ 表示。按定义有:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{均质液体} & \rho = \frac{m}{V} \\ \text{非均质液体} & \rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \\ \text{一般} & \rho = \rho(x, y, z, t) \end{array} \right\} \quad (1-1)$$

式中: V 为液体体积(m^3); t 为时间(s)。

上式表明,液体的密度是空间坐标(x, y, z)的函数,而且可随时间过程而变化。一般情况下,压强和温度对 ρ 的影响极小,而且不随时间变化。在理论分析和工程应用中都把液体看成是均质体,并认为 ρ 为常数。在一个标准大气压下,水的密度见表 1-1,水力计算中常取水的密度 $\rho = 1\text{g}/\text{cm}^3 = 1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

由表 1-1 可见,在标准大气压下,水在 $t = 4^\circ\text{C}$ 时密度最大, $\rho = 1000\text{kg}/\text{m}^3$; $t = 0^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 时,密度变化很小,其密度只减小了 0.4%;但当 $t = 80^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 时,其密度比 4°C 时的密度减小可达 2.8%~4%。因此,在温差较大的热水循环系统中,应设膨胀接头或膨胀水箱以防管道或容器被水胀裂。此外, $t = 0^\circ\text{C}$ 时,冰的密度和水的密度不同。冰的密度 $\rho_{\text{冰}} = 916.7\text{kg}/\text{m}^3$, 水的密度 $\rho_{\text{水}} = 999.87\text{kg}/\text{m}^3$, 因此有:

$$\frac{V_{\text{冰}}}{V_{\text{水}}} = \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{冰}}} = \frac{999.87}{916.7} = 1.0907$$

可见在 $t = 0^\circ\text{C}$ 时,冰的体积比水约大 9%,故路基、水管、水泵及盛水容器等在冬季均需采用防冰冻破坏措施。

二、重量和重度

液体所受地球的引力称为重量,常用符号 G 表示;单位体积中的液体重量称为重度,又称容重、重率,常用符号 γ 表示。按定义有:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{均质液体} & \gamma = \frac{G}{V} \\ \text{非均质液体} & \gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} = \frac{dG}{dV} \\ \text{一般} & \gamma = \gamma(x, y, z, t) \end{array} \right\} \quad (1-2)$$

与密度情况类似,在水力计算中常把液体看成均质体,并认为 γ 为常数,且有:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-3)$$

式中： g 为一重力加速度，一般取 $g=9.80\text{m/s}^2$ 。

在国际单位制中，质量单位为千克(kg)，长度单位为米(m)，时间单位为秒(s)，力的单位为牛顿(N)；在工程单位制中，质量单位为公斤力·秒²/米(kgf·s²/m)，长度单位为米(m)，时间单位为秒(s)，力的单位为公斤力(kgf)。即有：

$$\begin{aligned} 1\text{N} &= 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \\ 1\text{kgf} &= 9.8\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = 9.8\text{N} \end{aligned}$$

按国际单位制，重度单位为 N/m³，对于工程单位制，重度单位为 kgf/m³ 或 tf/m³。一般情况下，压强和温度对重度的影响极小，而且不随时间变化，理论分析和工程应用中，都把水看成为均质体，因而取 $\gamma = \text{常数}$ ，水力计算中，常取水的重度 $\gamma = 9800\text{N/m}^3 = 9.8\text{kN/m}^3$ ，水银的重度 $\gamma_p = 133.28\text{kN/m}^3$ ；按工程单位制，水的重度为 $\gamma = 1000\text{kgf/m}^3 = 1\text{tf/m}^3$ 。在一个标准大气压下，不同温度时纯水的重度见表 1-1，几种常见液体的重度见表 1-2。

表 1-1 不同温度下纯水的物理特性

t (℃)	γ (kN/m ³)	ρ (kg/m ³)	$\mu \times 10^3$ (Pa·s)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	p_s (kPa)	σ (N/m)	$E \times 10^{-6}$ (kPa)
0	9.805	999.9	1.781	1.785	0.61	0.0756	2.02
4	9.800	1000.0	1.567	1.567	—	—	—
10	9.804	999.7	1.307	1.306	1.23	0.0742	2.1
15	9.798	999.1	1.139	1.139	1.70	0.0735	2.15
20	9.789	998.2	1.002	1.003	2.34	0.0728	2.18
25	9.777	997.0	0.890	0.893	3.17	0.0720	2.22
30	9.746	995.7	0.798	0.800	4.24	0.0712	2.25
40	9.730	992.2	0.653	0.658	7.38	0.0696	2.28
50	9.689	988.0	0.547	0.553	12.33	0.0679	2.29
60	9.642	983.2	0.466	0.474	19.92	0.0662	2.28
70	9.589	977.8	0.404	0.413	31.16	0.0644	2.25
80	9.530	971.8	0.354	0.364	47.34	0.0626	2.20
90	9.466	965.3	0.315	0.326	70.10	0.0608	2.14
100	9.399	958.4	0.282	0.294	101.33	0.0589	2.07

注： t 为水温； γ 为重度； ρ 为密度； μ 为动力黏度； ν 为运动黏度； p_s 为汽化压强； σ 为表面张力； E 为体积弹性模量。

表 1-2 几种常见液体的重度

名称	空气	水银	汽油	酒精	四氯化碳	海水
$t(^{\circ}\text{C})$	20	0	15	15	20	15
$\gamma(\text{kN/m}^3)$	0.01182	133.28	6.664~7.35	7.7783	15.6	9.996~10.084

三、易流动性与黏滞性

静止的液体不能承受切力、抵抗剪切变形的特性称为易流动性,在运动状态下,液体所具有抵抗剪切变形的能力称为黏滞性。在剪切变形过程中,液体质点间存在着相对运动,使液体不但在与固体接触的界面上存在切力,而且使液体内部的流层间也会出现成对的切力,称为液体内摩擦力。它是液体分子间动量交换和内聚力作用的结果。当温度增高时,液体分子间距增大,内聚力小,而动量交换对,液体的黏性作用不大,因此液体的黏滞性随温度升高而减小。气体也有黏滞性,当温度升高时动量加剧,因而黏滞性将随温度升高而增大。通常压强对黏滞性的影响不大,可以忽略不计。由于液体中存在黏滞性,运动液体需要克服内摩擦力做功,因此它也是运动液体机械能损失的根源。

1686 年,牛顿(Newton)通过著名的平板实验,发现了流体的黏滞性,提出了牛顿内摩擦定律。

牛顿的平板实验装置如图 1-1(a)所示。它由两平行平板组成,其间距为 h ,两板间充满了液体,上板可作平行滑动,下板固定不动。当上板受力 F 作用出现匀速运动时,应有 $F=T$,此处 T 为液层间的内摩擦力,其隔离体如图 1-1(b)所示,因此液体的内摩擦力 T 可以通过外加力 F 的大小测得。当上板以匀速 U 作水平滑动时,紧贴板面的液体将随板作同样速度运动。实验得出,当 U 不大时,沿 y 轴方向液体中各点流速 u 一般呈线性分布,如图 1-1(c)所示。因此有:

$$\left. \begin{aligned} u(y) &= \frac{u}{h}y \\ \frac{du}{dy} &= \frac{U}{h} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

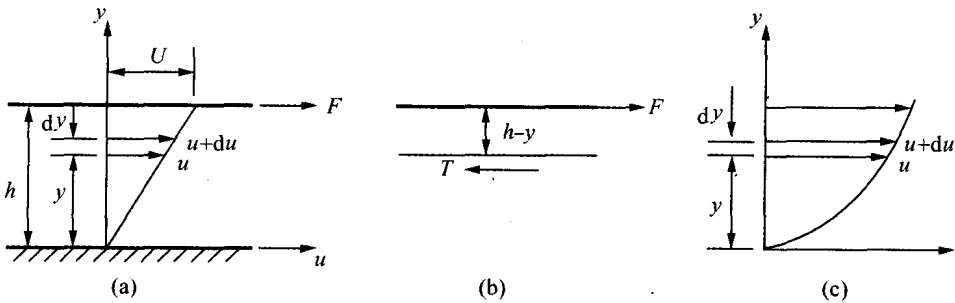


图 1-1

设平板面积为 A , 牛顿实验得出液体内摩擦力关系为:

$$\left. \begin{aligned} T &\propto \frac{AU}{h} \\ T &= \mu \frac{AU}{h} = \mu A \frac{du}{dy} \\ \tau &= \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U}{h} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中: τ 为液体内摩擦切应力(Pa); $\frac{du}{dy}$ 为流速梯度, 即流速沿 y 方向的变化率; μ 为动力黏度, 又称绝对黏度或动力黏滞系数, 其单位为帕斯卡·秒, 即 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10$ 泊。

公式(1-5)即牛顿内摩擦定律。在分析黏性液体运动规律中, 动力黏滞系数与密度 ρ 的比值称为运动黏滞系数, 用 ν 表示, 即

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

式中: ν 为液体的运动黏度, 又称运动黏滞系数, 其单位为米²/秒(m^2/s)。

水的运动黏度可按泊肃叶(Poiseuille)公式计算:

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

式中: t 为水温($^{\circ}\text{C}$); ν 为运动黏度(m^2/s)。

由公式(1-5)可知, 当 $u=0$ (静止液体) 或 $u=\text{常数}$ (无相对运动液体) 时, $\frac{du}{dy}=0$, $\tau=0$ 。凡 τ 与 $\frac{du}{dy}$ 成过原点的正比例关系的液体, 称为牛顿液体; 凡与牛顿内摩擦定律不相符的液体, 称为非牛顿液体。一些多分子结构简单的液体, 如水、酒精、苯、各种油类、水银和一般气体, 多属于牛顿液体。泥浆、血浆、重水中悬浮核燃料颗粒而形成的流体, 胶溶液、橡胶、纸浆、血液、牛奶、水泥浆、石膏溶液、油漆、高分子聚合物溶液等, 均属非牛顿流体。本书所讨论的液体仅限于牛顿流体。

【例 1-1】 如图 1-2 所示, 其轴承的直径 $D=10\text{cm}$, 长 $L=8\text{cm}$, 转轴外径 $d=9.96\text{cm}$, 轴间润滑油的动力黏度 $\mu=0.16\text{Pa} \cdot \text{s}$, 转速 $n=1000\text{r}/\text{min}$ 。求转轴所受的扭矩 M 。

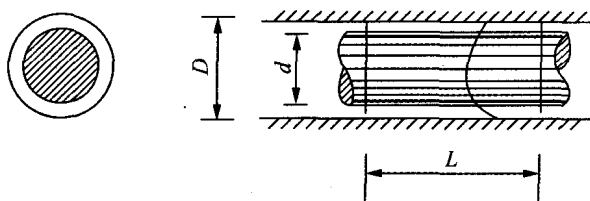


图 1-2

解 转轴与轴承的间隙很小, 可认为流速近似直线分布。