

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

流体力学泵与风机

邢国清 主编 张清 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

中国工程教育认证合格
教育部备案

流体力学泵与风机

第四版 机械工业出版社

机械工业出版社

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

流体力学泵与风机

主 编 邢国清
副主编 张 清
编 写 邢国清 张 清
杨 濯
主 审 郑年丰



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专“十五”规划教材，是根据五年制高职高专应用型人才培养目标和教学大纲进行编写的。在编写过程中注重以实用为目的，以必须、够用为度，以掌握概念、强化应用为原则，尽量删繁就简、理论联系实际，加强实践与应用型知识内容。全书分两篇。第一篇流体力学：是以一元流动为全书的核心，对一元气体动力学和多元流体动力学作为学生拓宽理论基础，仅作简要的基本概念介绍，略去大量的数理论证。第二篇泵与风机：主要阐述泵与风机的基本原理、构造和性能参数，泵与风机的运行、调节及选择。

本书主要作为供热通风与空调工程专业、给排水工程专业、热能与动力工程专业及其相关专业的教材，也可作为函授和自考辅导教材或供相关专业人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

流体力学泵与风机/邢国清主编. —北京: 中国电力出版社, 2004

高职高专“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2098-0

I. 流... II. 邢... III. ①泵—高等学校: 技术学校—教材②鼓风机—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TH3②TH44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 052364 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 7 月第一版 2004 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 16 印张 366 千字

印数 0001—3000 册 定价 24.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序

随着新世纪的到来,我国进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。新世纪新阶段的新任务,对我国高等职业教育提出了新要求。我国加入世界贸易组织和经济全球化迅速发展的新形势,也要求高等职业教育必须开创新局面。

高职高专教材建设是高等职业教育的重要组成部分,是一项极具重要意义的基础性工作,对高等职业教育培养目标的实现起着举足轻重的作用。为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神,进一步推动高等职业教育的发展,加强高职高专教材建设,根据教育部关于通过多层次的教材建设,逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系的精神,中国电力教育协会会同中国高等职业技术教育研究会和中国电力出版社,组织有关专家对高职高专“十五”教材规划工作进行研究,在广泛征求各方面意见的基础上,制订了反映电力及相关行业特点、体现高等职业教育特色的高职高专“十五”教材规划。同时,为适应电力体制改革和电力高等职业教育发展的需要,中国电力教育协会筹备组建全国电力高等职业教育教材建设指导委员会,以便更好地推动新世纪电力高职高专教材的研究、规划与开发。

高职高专“十五”规划教材紧紧围绕培养高等技术应用性专门人才开展编写工作。基础课程教材注重体现以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点;专业课程教材着重加强针对性和实用性。同时,“十五”规划教材不仅注重内容和体系的改革,还注重方法和手段的改革,以满足科技发展和生产实际的需求。此外,高职高专“十五”规划教材还着力推动高等职业教育人才培养模式改革,促进高等职业教育协调发展。相信通过我们的不断努力,一批内容新、体系新、方法新、手段新,在内容质量上和出版质量上有突破的高水平高职高专教材,很快就能陆续推出,力争尽快形成一纲多本、优化配套,适用于不同地区、不同学校、特色鲜明的高职高专教育教材体系。

在高职高专“十五”教材规划的组织实施过程中,得到了教育部、国家电力公司、中国电力企业联合会、中国高等职业技术教育研究会、中国电力出版社、有关院校和广大教师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务,不可能一蹴而就,需要不断完善。因此,在教材的使用过程中,请大家随时提出宝贵的意见和建议,以便今后修订或增补。(联系方式:100761北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222)

2013/04
中国电力教育协会

前 言

本书是“高职高专十五规划教材”系列教材之一，根据五年制供暖通风与空调工程专业《流体力学 泵与风机》教学大纲编写，为供暖通风与空调工程专业《流体力学 泵与风机》课程使用教材。

本书内容注重以实用为目的，以必须、够用为度，以掌握概念、强化应用为原则，尽量删繁就简。注重以实用选材，理论联系实际，加强实践与应用型知识内容。

本书包括两篇。第一篇流体力学：以一元流动为全书的核心，一元气体动力学和多元流体动力学作为理论基础，仅作简要的基本概念介绍，略去了大量的数理论证；第二篇泵与风机：主要阐述了泵与风机的基本原理、构造和性能参数，以及泵与风机的运行、调节和选择。

本书中带有“*”号的章节为选修部分。

本书第一、二、三、四、五、六章由山东省城市建设学校邢国清编写，第七、八章由江苏省广播电视大学杨濯编写，第九、十、十一章由江西建筑工程学校张清编写。全书由邢国清主编，并负责全书的统稿工作；由山东建筑学院郑年丰教授担任主审。

限于编者水平，书中如有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2004年3月

目 录

序
前言

第一篇 流体力学

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 流体的主要力学性质	2
第三节 作用在流体上的力	11
第四节 流体的力学模型	12
思考题	13
习题	13
第二章 流体静力学	14
第一节 流体静压强及其特性	14
第二节 流体静压强的分布规律	16
第三节 压强的计算基准和计量单位	19
第四节 测压管高度和测压管水头	22
第五节 液体静压强的测量	24
第六节 作用于平面上的液体总压力	27
第七节 作用于曲面上的液体总压力*	34
第八节 液体的相对平衡*	36
思考题	41
习题	42
第三章 不可压缩一元流体动力学	47
第一节 描述流体运动的两种方法	47
第二节 流体运动的基本概念	48
第三节 恒定流连续性方程	52
第四节 流体动压强及其分布规律	54

第五节	恒定流能量方程	56
第六节	能量方程的应用	62
第七节	总水头线和测压管水头线	67
第八节	恒定气流的能量方程	70
第九节	不可压缩流体恒定总流动量方程*	73
思考题	.....	77
习题	.....	77
第四章	流动阻力和能量损失	82
第一节	流动阻力和能量损失	82
第二节	流体流动的两种流态	84
第三节	均匀流基本方程	88
第四节	沿程水头损失的计算公式	90
第五节	沿程阻力系数 λ 的确定	95
第六节	非圆管流沿程损失的计算	101
第七节	局部水头损失的计算	104
思考题	.....	110
习题	.....	110
第五章	管路计算	114
第一节	概述	114
第二节	简单管路的水力计算	114
第三节	复杂管路的水力计算	124
第四节	有压管路中的水击	128
思考题	.....	133
习题	.....	133
第六章	附面层与绕流阻力	136
第一节	绕流运动与附面层基本概念	136
第二节	曲面附面层分离现象与卡门涡街	138
第三节	绕流阻力和升力	140
第四节	悬浮速度	143
思考题	.....	146
习题	.....	146
第七章	孔口、管嘴出流和气体射流	147
第一节	孔口出流	147

第二节	管嘴出流	155
第三节	无限空间淹没紊流射流的特征	159
第四节	圆断面射流的运动分析	164
第五节	平面射流	167
第六节	温差或浓差射流及射流弯曲	168
第七节	有限空间射流简介	172
	思考题	175
	习题	175
第八章	一元气体动力学基础	179
第一节	理想可压缩气体一元恒定流动的运动方程	179
第二节	音速、滞止参数、马赫数	182
第三节	可压缩气体一元恒定流动的连续性方程	187
	思考题	189
	习题	189

第二篇 泵 与 风 机

第九章	离心式泵与风机的构造与理论基础	192
第一节	离心式泵与风机的分类、基本构造及工作原理	192
第二节	离心式泵与风机的性能参数	197
第三节	离心式泵与风机的基本方程	199
第四节	离心式泵与风机的理论性能曲线	201
第五节	离心式泵与风机的实际性能曲线	203
第六节	力学相似原理	205
第七节	相似律与比转数	206
	思考题	210
	习题	211
第十章	离心式泵与风机的运行与调节	212
第一节	离心式泵管路附件与扬程计算	212
第二节	离心式泵的汽蚀与安装高度	213
第三节	管路性能曲线和工作点	216
第四节	泵或风机的联合运行	218
第五节	离心式泵与风机的工况调节	220
第六节	离心式泵或风机选择	224

思考题	234
习题	235
第十一章 其它常用泵与风机*	236
第一节 轴流式泵与风机	236
第二节 管道泵	239
第三节 真空泵与射流泵	241
第四节 往复泵	243
第五节 贯流式风机	243
参考文献	245

第一篇 流体力学

第一章

绪论

第一节 概述

一、流体力学的研究对象和任务

流体力学的研究对象是流体。流体包括液体和气体。

流体力学的任务是研究流体静止和运动时的宏观力学规律，并运用这些规律解决工程技术中的问题。它是力学学科的一个组成部分。

流体力学由两个基本部分组成：一是研究流体静止规律的流体静力学；二是研究流体运动规律的流体动力学。

二、流体力学的应用

流体力学在暖通与空调和燃气工程中得到广泛的应用，是一门重要的专业基础课程。在供热、空气调节、燃气输配、通风除尘等工程中都是以流体作为工作介质、通过流体的各种物理作用对流体的流动有效地加以组织来实现的。因此，学好流体力学，才能对专业中的流体力学现象做出科学的定性分析及精确的定量计算；才能正确地解决工程中所遇到的流体力学方面的设计和计算问题。

学习流体力学，要注意基本理论、基本概念、基本方法的理解和掌握，要学会理论联系实际地解决工程中的各种流体力学问题。

三、单位

本书采用国际单位制，基本单位是：长度用米（m）；时间用秒（s）；质量用千克（kg）；力为导出单位，采用牛顿（N）。1 牛顿（N）= 1 千克·米/秒²（kg·m/s²）。

由于我国长期使用工程单位，实际工作遇到的某些量仍然用工程单位表示，学习应用时注意两种单位的换算。换算的基本关系为 1kgf = 9.807N。

常用的国际单位与工程单位的换算关系见表 1-1。

表 1-1 常用的国际单位与工程单位的换算关系

量的名称	工程单位		国际单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	
长度	米	m	米	m	
时间	秒	s	秒	s	

续表

量的名称	工程单位		国际单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	
质量	公斤力二次方秒每米	$\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$	千克	kg	$1\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m} = 9.807\text{kg}$
力、重量	公斤力	kgf	牛顿	N	$1\text{kgf} = 9.807\text{N}$
压力、压强	公斤力每平方米	kgf/m^2	帕斯卡	Pa	$1\text{kgf}/\text{m}^2 = 9.807\text{Pa}$
	工程大气压	at	帕斯卡	Pa	$1\text{at} = 9.807 \times 10^4\text{Pa}$
	巴	bar	帕斯卡	Pa	$1\text{bar} = 100\text{kPa}$
	毫米水柱	mmH ₂ O	帕斯卡	Pa	$1\text{mmH}_2\text{O} = 9.807\text{Pa}$
	毫米汞柱	mmHg	帕斯卡	Pa	$1\text{mmHg} = 133.32\text{Pa}$
能量、功	公斤力米	$\text{kgf}\cdot\text{m}$	焦耳	J	$1\text{kgf}\cdot\text{m} = 9.807\text{J}$
功率	公斤力米每秒	$\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}$	瓦特	W	$1\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s} = 9.807\text{W}$
	马力		瓦特	W	$1\text{马力} = 735.45\text{W}$
动力粘度	泊	P	帕斯卡秒	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	$1\text{P} = 0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$
运动粘度	二次方米每秒	m^2/s	斯托克斯	m^2/s St	$1\text{St} = 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$

第二节 流体的主要力学性质

为了研究流体的静止和运动规律，首先必须了解流体本身所固有的特征和主要的力学性质。

一、流体的基本特征

流体区别于固体的基本特征是流体具有流动性。这个特性是由于流体静止时不能承受切力作用的力学性质决定的。

液体与固体不同，其分子间的距离较大，引力较小，没有固定的形状，几乎不能承受拉力来抵抗拉伸变形；静止时也不能承受切力来抵抗剪切变形。只要施加微小的切力即可破坏其静止状态而发生流动。

气体分子间的距离更大，引力更小，易于压缩和扩散。而液体则不易压缩，也不易扩散。

流动性使流体的运动具有以下特点：

第一，流体的形状是由约束它的边界形状决定的，不同的边界必将产生不同的流动。因此，流体流动的边界条件是对流体的运动有重要影响的外因。

第二，流体的运动和流体的变形联系在一起。当流体运动时，其内部各质点之间有着复杂的相对运动，所以流体的变形又与其力学性质密切相关。因此，流体的力学性质是对流体运动有直接影响的内因。具有不同力学性质的流体，即使其边界条件相同也会产生不同的运动。

因此，流体的流动是由流体本身的力学性质（内因）和流动所在的外界条件（外因）这两个因素决定的。流体力学所要探讨的流体静止和运动的规律，实际上就是要研究流体的力

学性质和流动的边界条件对流体所产生的作用和影响。

二、流体的主要力学性质

流体的主要力学性质有：惯性和重力特性、粘滞性、压缩性和热胀性、表面张力和毛细管现象等。

(一) 惯性和重力特性

1. 惯性

惯性是物体维持原有静止或运动状态的能力。表征物体惯性大小的是质量，质量愈大惯性就愈大。

质量常以密度表示。单位体积流体所具有的质量称为密度，用 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。任意点上密度相同的流体，称为均质流体。

均质流体密度可表示为

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

式中 m ——流体的质量， kg ；

V ——该质量流体的体积， m^3 。

各点密度不完全相同的流体称为非均质流体。非均质流体中某点的密度用极限表示为

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (1-2)$$

式中 Δm ——微小体积 ΔV 内的流体质量， kg ；

ΔV ——包含该点在内的流体体积， m^3 。

2. 重力特性

流体受地球引力作用的特性，称为重力特性。流体的重力特性用容重表示。对于均质流体，作用于单位体积流体的重力称为容重，用 γ 表示，单位为 N/m^3 。

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

式中 G ——体积为 V 的流体所受的重力， N ；

V ——重力为 G 的流体体积， m^3 。

对于非均质流体，任意一点的容重为

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} \quad (1-4)$$

式中 ΔG ——微小体积 ΔV 的流体重力， N ；

ΔV ——包含该点在内的流体体积， m^3 。

重力（或称重量）是质量和重力加速度 g 的乘积，即

$$G = mg \quad (1-5)$$

两端同除以体积 V ，则得容重和密度的关系为

$$\gamma = \rho g \quad (1-6)$$

这个关系对均质和非均质流体都适用。

常见流体的密度及容重见表 1-2。

表 1-2 常见流体的密度及容重

流体名称		密度 (kg/m^3)	容重 (N/m^3)	测定条件	
				温度 ($^{\circ}\text{C}$)	气压
液 体	煤油	800 ~ 850	7848 ~ 8338	15	760mmHg
	纯乙醇	790	7745	15	
	水	1000	9807	4	
	水银	13590	133318	0	
气 体	氮	1.2505	12.2674	0	760mmHg
	氧	1.4290	14.0185		
	空气	1.2920	12.6824		
	一氧化碳	1.9768	19.3924		

(二) 粘滞性

流体内部质点或流层间，如有相对运动则产生内摩擦力以抵抗相对运动的性质，称为粘滞性。此内摩擦力称为粘滞力。在流体力学研究中，流体的粘滞性十分重要。

1. 流体粘滞性分析

图 1-1 为流体在圆管中流动时的管内流速分布图（以液体为例）。

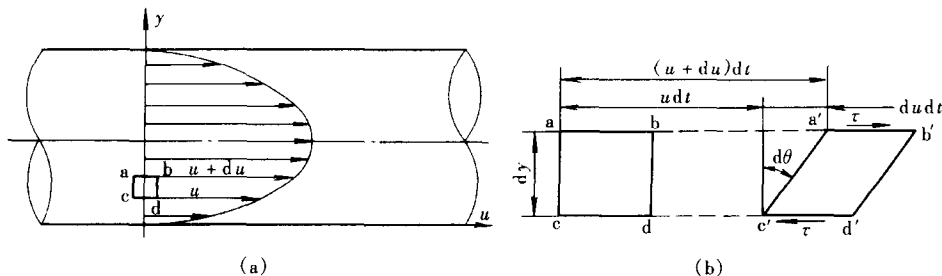


图 1-1 管内流速分布

易流动是流体的一个重要特征。不同流体流动的难易程度不同，其原因是：在不同流动内部抗拒因流动而发生的切向变形的程度各不相同（如图 1-1 中 $abcd$ 变至 $a'b'c'd'$ ）。而液体的粘滞性就是抗拒切向变形的一种力学性质。例如水比石油易于流动，这说明水比石油抗拒切向变形的能力小，因此其粘滞性亦小。粘滞性是运动流体产生流动阻力的内因，这种阻力是因质点的相对运动而产生的一种切力，亦称内摩擦力。

当流体在管道内流动时，紧贴管壁的极薄一层流体，因附着在壁面上不动，其流速为零；该流层又通过粘滞作用，使紧邻该流层的流体流动受到牵制；如此逐层牵制，距壁面愈远，牵制力愈弱，流速愈大。结果在过流断面上形成了如图 1-1 所示的流速分布不均匀状态，管壁处流速为零，而管轴处流速最大。这证明固体边壁是通过粘滞性对液流起阻滞作用的，它是运动流体产生流动阻力的外因。在静止流体中各层没有相对运动，因此就不存在使其变形的切力，只有流体在流动时才产生切力，亦即粘滞力。

2. 流体的切应力及粘滞系数

在图 1-1 中任意流层上取厚度为 dy 的一个流层 $abcd$ ， ab 面上部邻层流体因为速度快，对该面施加了沿流向的拉力； cd 面下部邻层流体因为速度慢，对该面施加了向后的拖力，这样就形成了一切力（内摩擦力） T 。

设与流层 $abcd$ 相邻的两个流层的速度差为 du 。由试验证明：内摩擦力 T 的大小与流体的性质有关，与流层的接触面积 A 成正比，与相邻流层的速度差 du 成正比，与流层间的距离 dy 成反比。其表达式为

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

单位接触面积上的内摩擦力称为切应力，可表示为

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

式中： τ 为流体的切应力， N/m^2 ，简称 Pa（帕）。该式称为牛顿内摩擦定律。

切应力 τ 不仅有大小，还有方向。现以图 1-1 中流层 $abcd$ 变形后的 $a'b'c'd'$ 来说明 τ 的方向的确定：上表面 $a'b'$ 上的切应力是由运动较快的流层产生的，其方向与 u 的方向相同；下表面 $c'd'$ 上的切应力是由运动较慢的流层产生的，因而其方向与 u 的方向相反。流体运动时，切应力总是成对出现的，它们大小相等、方向相反。需要指出的是：流体内产生的切应力是阻碍流体相对运动的，但它不能从根本上制止流动的发生，因此流体才具有流动性。流体静止时， $\frac{du}{dy} = 0$ ，也就不产生切应力，但流体仍有粘滞性。

$\frac{du}{dy}$ 为速度梯度。表示沿垂直流动方向的相邻流层的流速变化率，单位是 s^{-1} 。为了解速度梯度的意义，我们在图 1-1 (a) 中垂直于速度方向上的 y 轴，任取一边长为 dy 的小正方体 $abcd$ 。为清楚起见，将它放大成图 1-1 (b)。由于小正方体下表面的速度 u 小于上表面速度 $(u + du)$ ，经过 dt 实践后，下表面移动的距离 $u dt$ 小于上表面移动的距离 $(u + du) dt$ ，因而小方块 $abcd$ 变形为 $a'b'c'd'$ 。即 ac 及 bd 在 dt 时间内发生了角变形 $d\theta$ 。由于 dt 很小， $d\theta$ 也很小，则

$$d\theta = \tan(d\theta) = \frac{du \cdot dt}{dy}$$

$$\text{故} \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dy} \quad (1-9)$$

可见，速度梯度就是直角变形速度。这个直角变形速度是在切应力的作用下发生的，所以也称剪切变形速度。

μ 是与流体物理性能有关的比例系数，称动力粘度，亦称动力粘滞系数。单位为 $\frac{N}{m^2} \cdot s$ ，也可表示为 $Pa \cdot s$ 。它是衡量流体粘滞性大小的量， μ 值越大，流体的粘滞性越强。

在流体力学中常用动力粘度 μ 与密度 ρ 的比值来衡量流体粘滞性的大小，用符号 ν 表示

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-10)$$

ν 的单位为 m^2/s , 还常用 cm^2/s , 称斯托克斯, 简写 St。由于单位中只有运动学要素, 故称为运动粘度, 亦称为运动粘滞系数。

表 1-3 列出了水和空气在一个大气压、不同温度下的粘度。

表 1-3 水和空气 (一个大气压下) 的粘度

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	水		空气		温度 ($^{\circ}\text{C}$)	水		空气	
	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)		$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)
0	1.792	1.792	0.0172	13.7	80	0.357	0.367	0.0210	21.7
5	1.519	1.519			90	0.317	0.328	0.0216	22.9
10	1.308	1.308	0.0178	14.7	100	0.248	0.296	0.0218	23.6
15	1.140	1.140			120			0.0228	26.2
20	1.005	1.007	0.0183	15.7	140			0.0236	28.5
25	0.894	0.897			160			0.0242	30.6
30	0.801	0.804	0.0187	16.6	180			0.0251	33.2
35	0.723	0.727			200			0.0259	35.8
40	0.656	0.661	0.0192	17.6	250			0.0280	42.8
45	0.599	0.605			300			0.0298	49.9
50	0.549	0.556	0.0196	18.6					
60	0.469	0.477	0.0201	19.6					
70	0.406	0.415	0.0204	20.5					

从表 1-3 中可以看出: 不同种类的流体其粘度不同, 水和空气的粘度随温度变化的规律是不同的, 水的粘度随温度升高而减小, 空气的粘度随温度的升高而增大。这是因为流体的粘滞性是分子间的吸引力和分子不规则的热运动产生动量交换的结果。温度升高, 分子间吸引力降低, 动量增大; 反之, 温度降低, 分子间吸引力增大, 动量减小。对于液体, 分子间的吸引力是决定性的因素, 所以液体的粘度随温度升高而减小; 对于气体, 分子间的热运动产生动量交换是决定性的因素, 所以气体的粘度随温度升高而增大。

最后需指出: 牛顿内摩擦定律只适用于一般流体, 它对某些特殊流体是不适用的。为此, 将满足牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿流体, 如水、油和空气等; 而将特殊流体称为非牛顿流体, 如血浆、泥浆、污水、油漆等。本课程仅涉及牛顿流体力学问题。

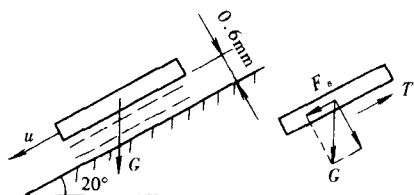


图 1-2 例 1-1 附图

【例 1-1】 有一底面为 $60\text{cm} \times 40\text{cm}$ 的木板, 质量为 5kg , 沿一与水平面成 20° 角的斜面下滑 (图 1-2)。木板与斜面间的油层厚度为 0.6mm 。如以等速 0.84m/s 下滑时, 求油层的动力粘度 μ 。

解 木板沿斜面等速下滑, 作用在木板上的重力 G 在平行于斜面方向的分力为 F_s , F_s 应与油层间因相对运动产生的粘滞力 T 平衡

$$T = F_s = G \sin 20^{\circ} = 5 \times 9.81 \times 0.342 = 16.78\text{N}$$

根据牛顿内摩擦定律

$$T = \mu A \frac{du}{dy}$$

油层厚度很薄，可以认为木板与斜面间速度按直线分布

$$\frac{du}{dy} = \frac{0.84 - 0}{0.0006} = 1400\text{s}^{-1}$$

因此

$$\mu = T / \left(A \frac{du}{dy} \right) = \frac{16.78}{0.6 \times 0.4 \times 1400} = 0.05 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$$

(三) 压缩性和热胀性

在温度不变条件下，流体受压，体积减小，密度增大的性质，称为流体的压缩性。

在一定的压力下，流体受热，体积增大，密度减小的性质，称为流体的热胀性。

1. 液体的压缩性和热胀性

(1) 液体的压缩性。液体的压缩性通常以压缩系数 β 表示，它表示压强每增加 1 帕 (N/m^2) 时，液体体积或密度的相对变化率。用公式表示为

$$\beta = - \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (1-11)$$

或

$$\beta = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta p} \quad (1-12)$$

式中 β ——压缩系数， m^2/N ；

V ——液体原体积， m^3 ；

ΔV ——液体体积变化量， m^3 ；

Δp ——作用在液体上的压强增量，Pa；

ρ ——液体原密度， kg/m^3 ；

$\Delta \rho$ ——液体密度变化量， kg/m^3 。

β 值愈大，则液体的压缩性愈大。

压缩系数的倒数为液体的弹性模量，用 E 表示，单位为 N/m^2 。即

$$E = \frac{1}{\beta} = \rho \frac{\Delta p}{\Delta \rho} = - \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (1-13)$$

表 1-4 列举了水在温度为 0°C 时，不同压强下的压缩系数。

表 1-4 水的压缩系数

压强 (Pa)	49.35	98.7	197.4	394.8	789.6
β (m^2/N)	0.538×10^{-9}	0.536×10^{-9}	0.531×10^{-9}	0.528×10^{-9}	0.515×10^{-9}

从表 1-4 中可看出：水在常温下的压缩系数值很小。所以在工程中，除特殊情况（如有压管路中的水击现象）外，水的压缩性可以忽略不计。这一结论也适应于其它液体。通常把忽略了压缩性的液体，称为不可压缩液体。

(2) 液体的热胀性。液体的热胀性，一般用热胀系数 α 表示，它表示温度每增加 1 度 (K) 时，液体体积或密度的相对变化率，用公式表示为

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (1-14)$$