

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

Liuti lixue
Beng yu
Fengji

流体力学泵与风机

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

白桦 主编



中国建筑工业出版社
China Architecture & Building Press

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

流体力学泵与风机

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

白桦 主编

刘奇 副主编

汤万龙 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

流体力学泵与风机/白桦主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划
推荐教材. 供热通风与空调工程技术专业适用

ISBN 7-112-06908-4

I. 流... II. 白... 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. ①TH3 ②TH44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 125614 号

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

流体力学泵与风机

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

白 桦 主 编

刘 奇 副主编

汤万龙 主 审

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 14 字数: 338 千字

2005 年 1 月第一版 2006 年 1 月第二次印刷

印数: 3001—4200 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-112-06908-4

TU · 6154 (12862)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本教材是全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材，适用于供热通风与空调工程技术专业。本教材结合专业特点，注重以技能培养为特色，深入浅出地介绍了流体力学泵与风机的基本概念、基本原理及其在工程中的应用，具有一定的针对性和实用性。全书包括：绪论，流体静力学，一元流体动力学，流动阻力与能量损失，管路计算，孔口、管嘴出流和气体射流，离心式泵与风机的构造与理论基础，离心式泵与风机的运行分析与选择，其他常用泵与风机等内容，共八章。

本教材亦可作为建筑设备工程技术等相近专业的高等职业教育教学参考书，并可供有关工程技术人员参考。

* * *

责任编辑：齐庆梅 朱首明
责任设计：郑秋菊
责任校对：刘 梅 王金珠

本教材编审委员会名单

主 任：贺俊杰

副主任：刘春泽 张 健

委 员：陈思仿 范柳先 孙景芝 刘 玲 蔡可键

蒋志良 贾永康 王青山 余 宁 白 桦

杨 婉 吴耀伟 王 丽 马志彪 刘成毅

程广振 丁春静 胡伯书 尚久明 于 英

崔吉福

序 言

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会（原名高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育专业委员会水暖电类专业指导小组）是建设部受教育部委托，并由建设部聘任和管理的专家机构。其主要工作任务是，研究建筑设备类高职高专教育的专业发展方向、专业设置和教育教学改革，按照以能力为本位的教学指导思想，围绕职业岗位范围、知识结构、能力结构、业务规格和素质要求，组织制定并及时修订各专业培养目标、专业教育标准和专业培养方案；组织编写主干课程的教学大纲，以指导全国高职高专院校规范建筑设备类专业办学，达到专业基本标准要求；研究建筑设备类高职高专教材建设，组织教材编审工作；制定专业教育评估标准，协调配合专业教育评估工作的开展；组织开展教学研究活动，构建理论与实践紧密结合的教学内容体系，构筑“校企合作、产学研结合”的人才培养模式，为我国建设事业的健康发展提供智力支持。

在建设部人事教育司和全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，2002年以来，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会的工作取得了多项成果，编制了建筑设备类高职高专教育指导性专业目录；制定了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”等专业的教育标准、人才培养方案、主干课程教学大纲、教材编审原则，深入研究了建筑设备类专业人才培养模式。

为适应高职高专教育人才培养模式，使毕业生成为具备本专业必需的文化基础、专业理论知识和专业技能，能胜任建筑设备类专业设计、施工、监理、运行及物业设施管理的高等技术应用性人才，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会，在总结近几年高职高专教育教学改革与实践经验的基础上，通过开发新课程，整合原有课程，更新课程内容，构建了新的课程体系，并于2004年启动了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业主干课程的教材编写工作。

这套教材的编写坚持贯彻以全面素质为基础，以能力为本位，以实用为主导的指导思想。注意反映国内外最新技术和研究成果，突出高等职业教育的特点，并及时与我国最新技术标准 and 行业规范相结合，充分体现其先进性、创新性、适用性。它是我国近年来工程技术应用研究和教学工作实践的科学总结，本套教材的使用将会进一步推动建筑设备类专业的建设与发展。

“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业教材的编写工作得到了教育部、建设部相关部门的支持，在全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，聘请全国高职高专院校本专业享有盛誉、多年从事“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”专业教学、科研、设计的

副教授以上的专家担任主编和主审，同时吸收工程一线具有丰富实践经验的高级工程师及优秀中青年教师参加编写。可以说，该系列教材的出版凝聚了全国各高职高专院校“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业同行的心血，也是他们多年来教学工作的结晶和精诚协作的体现。

各门教材的主编和主审在教材编写过程中认真负责，工作严谨，值此教材出版之际，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会谨向他们致以崇高的敬意。此外，对大力支持这套教材出版的中国建筑工业出版社表示衷心的感谢，向在编写、审稿、出版过程中给予关心和帮助的单位 and 同仁致以诚挚的谢意。衷心希望“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”这三个专业教材的面世，能够受到各高职高专院校和从事本专业工程技术人员的欢迎，能够对高职高专教学改革以及高职高专教育的发展起到积极的推动作用。

**全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会
建筑设备类专业指导分委员会**

2004年9月

前 言

本书是全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐的系列教材之一，它是根据《高等职业教育供热通风与空调工程技术专业教育标准和培养方案及主干课程教学大纲》中《流体力学泵与风机》课程教学基本要求，按 75 学时编写的。

本书的特点是：在编写中按照“以应用为目的，以必须够用为度，以讲清概念，强化应用为教学重点”的原则，精选教学内容，全书注意减少数理论证，着重于基本概念的理解和基本原理的应用，不追求体系完整和内容全面，注重应用能力和工程素质教育，密切结合专业特点，理论联系实际，加强了实际应用及工程实例的介绍。在基本理论的论述上，主要采用了一元流动的分析方法，因为在本专业大多数实际工程中的流动问题均可简化为一元流动问题处理；在泵与风机构造部分，图文对照，插图多使用结构示意图，简明易懂，各章均附有思考题与习题，便于学生思考和练习，从而加深对课程内容的理解，同时，为便于自学，书末附有各章习题的参考答案。

全书由白桦主编，刘奇任副主编。其中绪论、第六、七、八章由徐州建筑职业技术学院白桦编写，第一、四章由内蒙古建筑职业技术学院郭雪梅编写，第二章由内蒙古建筑职业技术学院包松琴编写，第三、五章由内蒙古建筑职业技术学院刘奇编写。本书由新疆建设职业技术学院汤万龙主审。

由于时间仓促加之编者能力有限，不妥之处在所难免，甚至会有错误之处，希望读者，特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见。

目 录

绪论	1
第一节 流体的主要力学性质	1
第二节 作用在流体上的力	7
第三节 流体的力学模型	8
思考题与习题	9
第一章 流体静力学	11
第一节 流体静压强及其特性	11
第二节 流体静压强的分布规律	14
第三节 压强的表示方法	18
第四节 液柱式测压计	20
第五节 作用于平面上的液体总压力	23
第六节 作用于曲面上的液体总压力	29
思考题与习题	33
第二章 一元流体动力学	37
第一节 描述流体运动的基本概念	38
第二节 恒定流连续性方程式	42
第三节 恒定流能量方程式	43
第四节 能量方程的应用	50
第五节 气流的能量方程	55
第六节 恒定流动量方程式	56
思考题与习题	60
第三章 流动阻力与能量损失	63
第一节 流动阻力与能量损失的两种形式	63
第二节 两种流态与雷诺数	64
第三节 均匀流的基本方程式	67
第四节 圆管中的层流运动	69
第五节 圆管中的紊流运动	72
第六节 紊流沿程阻力系数	75
第七节 非圆管流的沿程损失	81
第八节 局部损失的计算与减阻措施	83
第九节 绕流阻力与升力	91
思考题与习题	94
第四章 管路计算	97

第一节	简单管路的计算	97
第二节	串联与并联管路的计算	103
第三节	管网计算基础	106
第四节	有压管中的水击	111
第五节	无压均匀流的计算	114
	思考题与习题	119
第五章	孔口、管嘴出流和气体射流	122
第一节	孔口出流	122
第二节	管嘴出流	126
第三节	无限空间淹没紊流射流特性	129
第四节	圆截面射流的速度与流量变化规律	132
第五节	平面射流	134
第六节	温差或浓差射流及射流弯曲	135
第七节	有限空间射流简介	139
	思考题与习题	143
第六章	离心式泵与风机的构造与理论基础	145
第一节	泵与风机的分类和应用	145
第二节	离心式泵与风机的基本构造、工作原理	145
第三节	离心式泵与风机的基本性能参数	151
第四节	离心式泵与风机的基本方程	153
第五节	泵与风机的性能曲线	157
第六节	离心泵的气蚀与安装高度	160
第七节	力学相似性原理	165
第八节	相似律与比转数	166
	思考题与习题	172
第七章	离心式泵与风机运行分析与选择	174
第一节	管路性能曲线与工作点	174
第二节	泵与风机的联合运行	177
第三节	泵与风机的工况调节	180
第四节	泵与风机的选用	184
第五节	常见故障的分析与排除	190
	思考题与习题	195
第八章	其他常用泵与风机	198
第一节	轴流式泵与风机	198
第二节	真空泵与空压机	204
第三节	管道泵	204
第四节	贯流式风机	205
第五节	往复式泵	207
	思考题与习题	208
	部分习题参考答案	209
	主要参考文献	213

绪 论

流体包括气体和液体，其中空气和水是最典型并广泛存在的流体。

流体力学是力学的一个分支，它是研究流体静止和运动的力学规律，及其在工程技术中应用的一门科学。

流体力学是力学的基本原理在液体和气体中的应用。力学原理包括质量守恒、能量守恒和牛顿运动定律。流体力学的基本内容可以分为：研究流体处于平衡状态时的压力分布和对固体壁面作用的流体静力学；研究不考虑流体受力和能量损失时的流体运动速度和流线的流体运动学；研究流体运动过程中产生和施加在流体上的力和流体运动速度与加速度之间关系的流体动力学。

流体及流体力学现象充斥在我们生活的各个方面，如云彩的飘浮、鸟的飞翔、水的流动、天气变化、管道内液体的流动、风道内气体的流动、空气阻力和升力、建筑物上风力的作用、土壤内水分的运动、石油通过地质结构的运动等，都存在于我们日常生活及生产各个方面。它是动力工程、城市建筑工程、环境工程、水利工程、机械工程、石油和化学工程、航空航天工程等诸多领域研究和应用的最基础的知识之一。因此从事与流体流动相关的研究和工程应用的技术人员都应该或必须了解流体力学的基本原理及应用。

在供热通风与空调及燃气工程技术专业中，流体力学是一门重要的专业基础课。专业中的供热、供冷、通风除尘、空气调节、给水排水及燃气输配等，都是以流体作为工作介质，应用它们的物理特性、平衡和运动规律，将它们有效组织起来应用于这些技术工程中的。因此，只有学好流体力学才能对专业中的流体力学现象作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测试、运行、管理及设计计算等问题。

在学习流体力学中，要注意基本概念、基本原理和基本方法的理解与掌握，注重水力计算和实验研究基本技能的培养，将流体力学理论应用到工程实际中解决工程实际中遇到的各种流动问题。

本书采用国际单位制。学习和应用时，应注意与工程单位制的换算。掌握换算的基本关系—— $1\text{kgf} = 9.807\text{N}$ 。

第一节 流体的主要力学性质

流体与固体不同，固体分子通常比较紧密，由于分子间吸引力很大而使其保持形状。而流体分子间吸引力小，分子间粘附力小，不能够将流体的不同部分保持住，因此流体没有一定的形状。流体在非常微小的切向力作用下将会流动，并且只要切向力存在流动必将持续，因此流动性是流体最基本的特性。这是它便于用管道、渠道进行输送，适宜作供热、供冷等工作介质的主要原因。

流体中气体分子间距比液体大，气体容易压缩，当外部压力去除时，气体将不断膨胀，因此，气体只有在完全封闭时才能保持平衡。液体相比较而言是不可压缩的，如果去除所有的压力，除了其自身具有的蒸汽压力外，分子间的粘附力使其保持在一起，因此，液体不是无限地膨胀。液体有自由表面，即有其蒸汽压力的表面。

本书中，除了特殊情况外，一般不严格区分液体和气体，统称为流体。因为它们具有相同的行为和现象。现在介绍与流体运动密切相关的主要的流体性质。

一、密度和容重

单位体积流体的质量称为流体密度，以符号 ρ 表示，单位是 kg/m^3 。对于均质流体，其密度的定义为：

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ kg/m}^3$$

式中 V ——流体的体积， m^3 ；

M ——流体的质量， kg 。

密度对流体的影响主要体现在单位体积流体的惯性力和加速度的大小。低密度流体，如气体，惯性力小，达到相同加速度时需要的力小，因此，物体在空气中的运动比在液体（如水）中的运动要容易，同样提升相同容积的空气比水要容易的多。

单位体积流体的重量称为流体的容重，以符号 γ 表示，单位是 N/m^3 ，对于均质流体，其容重的定义为：

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ N/m}^3$$

式中 V ——流体的体积， m^3 ；

G ——流体的重量， N 。

流体处在地球引力场中，所受引力即重力为 $G = mg$ ，故密度与容重的关系为：

$$\gamma = \rho g$$

流体常用的密度和容重见表 0-1。

常用流体的密度和容重（标准大气压下）

表 0-1

名 称	水	水 银	纯乙醇	煤 油	空 气	氧	氮
密度 (kg/m^3)	1000	13590	790	800 ~ 850	1.2	1.43	1.25
容重 (N/m^3)	9807	133318	7745	7848 ~ 8338	11.77	14.02	12.27
测定温度 ($^{\circ}\text{C}$)	4	0	15	15	20	0	0

二、压缩性和热胀性

压缩性是指流体在压力的作用下，改变自身体积的特性。

热胀性是指由于温度的变化，流体改变自身体积的特性。

1. 液体的压缩性和热胀性

液体的压缩性用压缩系数 β 表示。在一定温度下，液体原有的体积为 V ，在压强增量 dp 作用下，体积改变了 dV ，则压缩系数为：

$$\beta = - \frac{dV/V}{dp} \text{ m}^2/\text{N}$$

或

$$\beta = \frac{d\rho/\rho}{dp}$$

式中的负号是由于 $dp > 0$, $dV < 0$, 为使压缩系数为正值而加的。

压缩系数的倒数为液体弹性模量, 用 E 表示。即

$$E = \frac{1}{\beta} = \rho \frac{dp}{d\rho} = -V \frac{dp}{dV} \quad \text{N/m}^2$$

β 值愈大或 E 愈小, 则液体的压缩性也愈大。

表 0-2 为 0°C 时水在不同压强下的压缩系数。

水在不同压强下的压缩系数 表 0-2

压强 (kPa)	500	1000	2000	4000	8000
压缩系数 (m^2/N)	0.538×10^{-9}	0.536×10^{-9}	0.531×10^{-9}	0.528×10^{-9}	0.515×10^{-9}

从表中可以看出, 水的压缩系数是很小的。如压强为 4000kPa 增加到 8000kPa 时相对体积的变化为:

$$-\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta p = 0.515 \times 10^{-9} \times (8000 - 4000) \times 10^3 = 0.21 \times 10^{-2}$$

该数值表明, 此时水的相对体积的变化大约为 0.2% 。所以工程上一般可将液体视为不可压缩的, 即认为液体的体积 (或密度) 与压力无关。但在瞬间压强变化很大的特殊场合 (如第五章讨论的水击问题), 则必须考虑水的压缩性。

液体的热胀性可用热胀系数 α 来表示。在一定的压力下, 液体原有的体积为 V , 当温度升高 ΔT 时, 体积变化为 dV , 则热胀系数为:

$$\alpha = \frac{dV/V}{dT} \quad 1/\text{K}$$

或

$$\alpha = -\frac{d\rho/\rho}{dT}$$

式中的负号是由于 $dT > 0$, $d\rho < 0$, 为使热胀系数为正值而加的。

表 0-3 列举了水在一个大气压下, 不同温度时的容重及密度。

一个大气压下水的容重及密度 表 0-3

温 度 ($^\circ\text{C}$)	容 重 (N/m^3)	密 度 (kg/m^3)	温 度 ($^\circ\text{C}$)	容 重 (N/m^3)	密 度 (kg/m^3)	温 度 ($^\circ\text{C}$)	容 重 (N/m^3)	密 度 (kg/m^3)
0	9806	999.9	20	9790	998.2	60	9645	983.2
1	9806	999.9	25	9778	997.1	65	9617	980.6
2	9807	1000	30	9755	995.7	70	9590	977.8
3	9807	1000	35	9749	994.1	75	9561	974.9
4	9807	1000	40	9731	992.2	80	9529	971.8
5	9807	1000	45	9710	990.2	85	9500	968.7
10	9805	999.7	50	9690	988.1	90	9467	965.3
15	9799	999.1	55	9657	985.7	100	9399	958.4

水的密度在 4°C 时具有最大值, 高于 4°C 后, 水的密度随温度升高而下降, 液体热胀

性非常小，表 0-3 中，温度升高 1℃时，水的密度降低仅为万分之几。因此，一般工程中也不考虑液体的热胀性。但在热水采暖工程中，需考虑水的热胀性，在采暖系统中设置膨胀水箱。

2. 气体的压缩性和热胀性

压强和温度的改变对气体密度的影响很大，当实际气体远离其液态时，这些气体可以近视地看作理想气体。理想气体的压力、温度、密度间的关系应服从理想气体状态方程。

$$\frac{p}{\rho} = RT$$

式中 p ——绝对压强，Pa；

T ——绝对温度，K；

ρ ——密度，kg/m³；

R ——气体常数，其值取决于不同的气体， $R = \frac{8314}{n}$ ， n 为气体的分子量，对于空气 R 为 287，N·m/（kg·K）。

理想气体从一个状态到另一个状态下的压强、温度和密度间的关系为：

$$\frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2}$$

对压强不变的定压情况，则 $p_1 = p_2$ ，状态方程为：

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 \tag{0-1}$$

式（0-1）表明，气体的密度与温度成反比关系。即温度增加，体积增大，密度减小；反之，温度降低，体积缩小，密度增大。这里应指出，当气体的温度降低到气体液化温度时，式（0-1）的规律就不能再适用了。

表 0-4 中，列举了标准大气压（760mmHg）下，空气在不同温度时的容重及密度。

标准大气压下空气的容重及密度

表 0-4

温 度 (℃)	容 重 (N/m ³)	密 度 (kg/m ³)	温 度 (℃)	容 重 (N/m ³)	密 度 (kg/m ³)	温 度 (℃)	容 重 (N/m ³)	密 度 (kg/m ³)
0	12.70	1.293	25	11.62	1.185	60	10.40	1.060
5	12.47	1.270	30	11.43	1.165	70	10.10	1.029
10	12.24	1.248	35	11.23	1.146	80	9.81	1.000
15	12.02	1.226	40	11.05	1.128	90	9.55	0.973
20	11.80	1.205	50	10.72	1.093	100	9.30	0.947

对温度不变的等温情况，则 $T_1 = T_2$ ，状态方程为：

$$\frac{p_1}{\rho_1} = \frac{p_2}{\rho_2} \tag{0-2}$$

式（0-2）表明，气体的密度与压强成正比关系。即压强增加，体积缩小，密度增大。根据这个关系，如果使气体密度增大一倍，则需使压强也增大一倍。但是，气体密度存在一个极限值，当压强增加到使气体密度增大到这个极限值时，若再增大压强，气体的密度也不会再增加，这时，式（0-2）不再适用。对应极限密度下的压强为极限压强。

气体虽然是可以压缩和热胀的，但是，具体问题也要具体分析，对于气体速度较低（远小于音速）的情况，在流动过程中压强和温度的变化较小，密度仍可以看作常数，这种气体称不可压缩气体。在供热通风工程中，所遇到的大多数气体流动，都可当作不可压缩流体看待。

三、黏滞性

黏滞性是流体固有的，是有别于固体的主要物理性质。当流体相对于物体运动时，流体内部质点间或流层间因相对运动而产生内摩擦力（切向力或剪切力）以反抗相对运动，从而产生了摩擦阻力。这种在流体内部产生内摩擦力以阻抗流体运动的性质称为流体的黏滞性，简称黏性。

为了说明流体的黏滞性，现分析两块忽略边缘影响的无限大平板间的流体。如图0-1示，平板间距离为 δ ，中间充满了流体，下平板静止，上平板在力 F 的作用下以速度 u 作平行移动，平板面积为 A 。在平板壁面上，流体质点因黏性作用而粘附在壁面上，壁面处流体质点相对于壁面的速度为 0，称为黏性流体的不滑移边界条件。因此，上平板处流体质点的速度为 u ，下平板处流体质点的速度为 0，两平板间流体质点速度的变化称为速度分布。如果平板间距离不是很大，速度不是很高，而且没有流体流入和流出，则平板间的速度分布是线性的。

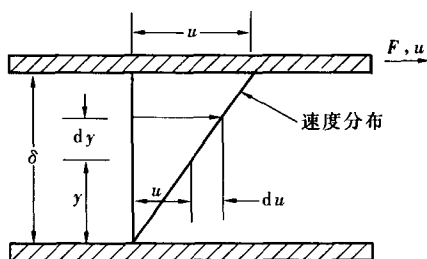


图 0-1 平板间速度分布

对于大多数流体，实验结果表明：平板拉力 F 与平板面积 A 、平板平移速度 u 成正比，与平板间距离 δ 成反比，即

$$F \propto \frac{Au}{\delta}$$

根据相似三角形，可以用速度梯度 du/dy 代替 u/δ ，并引入与流体性质有关的比例系数 μ ，可以得到任意两个薄平板间的切向应力为：

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{u}{\delta} = \mu \frac{du}{dy} \quad (0-3)$$

式 (0-3) 称为牛顿内摩擦定律，是常用的黏滞力的计算公式。式中， μ 称为流体动力黏性系数，一般又称为动力黏度，其单位为 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。不同的流体有不同的 μ 值， μ 值愈大，表明其黏性愈强。

$\frac{du}{dy}$ 项，是流体在垂直其流速方向上的速度梯度，实际上是流体微团的角变形速率。

表明黏滞性也具有抵抗角变形速率的能力。

工程问题中还经常用到动力黏度与密度的比值来表示流体的黏滞性，其单位是 m^2/s ，具有运动学的量纲，故称为运动黏滞系数以符号 ν 表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

实际使用中 μ 或 ν 都是反映流体黏滞性的参数。 μ 或 ν 值愈大，表明流体的黏滞性愈强。但两个黏滞系数也是有差别的，主要表现在：工程中遇到的大多数流体的动力黏性系

数与压力变化无关，只是在较高的压力下，其值略高一些。但是气体的运动黏度随压力显著变化，因为其密度随压力变化。因此，如果要确定非标准状态下的运动黏度可先查得与压力无关的动力黏度，再通过计算得到运动黏度。气体的密度可以由状态方程得到。温度则是影响 μ 和 ν 的主要因素，图 0-2 反映了一般流体的黏性取决于温度的情况。当温度升高时，所有液体的黏性是下降的，而所有气体的黏性是上升的。原因是黏性取决于分子间的引力和分子间的动量交换。因此，随温度升高，分子间的引力减小而动量交换加剧。液体的黏滞力主要取决于分子间的引力，而气体的黏滞力则取决于分子间的动量交换。所以，液体与气体产生黏滞力的主要原因不同，造成截然相反的变化规律。

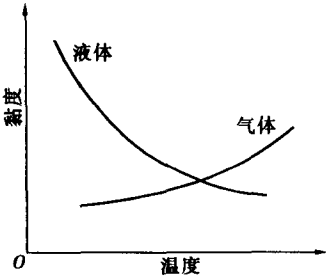


图 0-2 黏度随温度变化趋势

表 0-5 列出了水在（一个大气压下）不同温度下的黏性系数。

表 0-6 列出了空气在（一个大气压下）不同温度下的黏性系数。

水的黏滞系数（一个大气压下）表 0-5

温 度 (℃)	μ (kPa·s)	ν (10 ⁶ m ² /s)	温 度 (℃)	μ (kPa·s)	ν (10 ⁶ m ² /s)
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	45	0.599	0.605
10	1.308	1.308	50	0.549	0.556
15	1.140	1.140	60	0.469	0.477
20	1.005	1.007	70	0.406	0.415
25	0.894	0.877	80	0.357	0.367
30	0.801	0.804	90	0.317	0.328
35	0.723	0.727	100	0.284	0.296

空气的黏性系数（一个大气压下）表 0-6

温 度 (℃)	μ (kPa·s)	ν (10 ⁶ m ² /s)	温 度 (℃)	μ (kPa·s)	ν (10 ⁶ m ² /s)
0	0.0172	13.7	90	0.0216	22.9
10	0.0178	14.7	100	0.0218	23.6
20	0.0183	15.7	120	0.0228	26.2
30	0.0187	16.6	140	0.0236	28.5
40	0.0192	17.6	160	0.0242	30.6
50	0.0196	18.6	180	0.0251	33.2
60	0.0201	19.6	200	0.0259	35.8
70	0.0204	20.5	250	0.0280	42.8
80	0.0210	21.7	300	0.0298	49.9

最后需指出：牛顿内摩擦定律不是对所有流体都适用，有些特殊的流体不满足牛顿内摩擦定律，如人体中的血液、油漆、黏土和水的混合溶液等。对这些流体称为非牛顿型流

体。能满足牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿型流体，如水、空气和许多润滑油等。本课程仅涉及牛顿型流体的力学问题。

【例 0-1】 如图 0-3 所示，在两块相距 20mm 的平板间充满动力黏度为 $0.065\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 的油，如果以 $1\text{m}/\text{s}$ 速度拉动距上平板 5mm 处，面积为 0.5m^2 的薄板，求所需要的拉力。

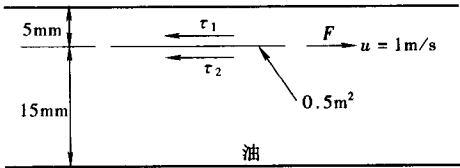


图 0-3 平板间薄板受力

【解】

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \approx \mu \frac{u}{\delta}$$

$$\tau_1 = 0.065 \times 1/0.005 = 13\text{N}/\text{m}^2$$

$$\tau_2 = 0.065 \times 1/0.015 = 4.33\text{N}/\text{m}^2$$

$$F = (\tau_1 + \tau_2)A = (13 + 4.33) \times 0.5 = 8.665\text{N}$$

四、汽化压强

所有液体都会蒸发或沸腾，将它们的分子释放到表面外的空间中。这样宏观上，在液体的自由表面就会存在一种向外扩张的压强（压力），即使液体沸腾或汽化的压强，这种压强就称为汽化压强（或汽化压力）。因为液体在某一温度下的汽化压强与液体在该温度下的饱和蒸汽压所具有的压强对应相等，所以液体的汽化压强又称为液体的饱和蒸汽压强。

分子的活动能力随温度升高而升高，随压力升高而减小，汽化压强也随温度升高而增大。水的汽化压强与温度的关系见表 0-7。

水在不同温度下的汽化压强				表 0-7	
温 度 (℃)	汽化压强 (kPa)	温 度 (℃)	汽化压强 (kPa)	温 度 (℃)	汽化压强 (kPa)
0	0.61	30	4.24	70	31.16
5	0.87	40	7.38	80	47.34
10	1.23	50	12.33	90	70.10
20	2.34	60	19.92	100	101.33

在任意给定的温度下，如果液面的压力降低到低于饱和蒸汽压时，蒸发速率迅速增加，称为沸腾。因此，在给定温度下，饱和蒸汽压力又称为沸腾压力，在涉及液体的工程中非常重要。

液体在流动过程中，当液体与固体的接触面处于低压区，并低于汽化压强时，液体产生汽化，在固体的表面产生很多气泡；若气泡随液体的流动进入高压区，气泡中的气体便液化，这时，液化过程产生的液体将冲击固体表面。如这种运动是周期性的，将对固体表面造成疲劳并使其剥落，这种现象称为汽蚀。汽蚀是非常有害的，在工程应用时必须避免汽蚀（参见第六章第六节）。

第二节 作用在流体上的力

我们研究流体的平衡和运动规律，除了要了解流体的主要物理性质外，还必须分析作