

全国煤炭高职高专（成人）“十一五”规划教材

# 流体力学与流体机械

王昌田 主编



*Liuti Lixue Yu Liuti Jixie*

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

# 流体力学与流体机械

主 编 王昌田  
副主编 韩宝坤 鲍惠芳 鲍怀谦  
马存义 姚新兆

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书在简要介绍流体力学基本概念的基础上,着重阐述了流体静力学、流体动力学、黏性流体流动基础,分析了有压管路的水力计算方法和孔口、管嘴、薄壁的工作原理,同时系统阐述了流体机械的基本工作原理、分类、结构形式、安全运行、性能调节等方面的知识。

本书是高职高专及成人专科相关专业的教学用书,亦可供中等职业技术学校相关专业的学生选用。

### 图书在版编目(CIP)数据

流体力学与流体机械/王昌田主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2009. 2

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0262 - 8

I. 流… II. 王… III. ①流体力学—高等数学:技术学校—教材②流体机械—高等学校:技术学校—教材 IV. 035 TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 014323 号

书 名 流体力学与流体机械

主 编 王昌田

责任编辑 何 戈 耿东锋

责任校对 周俊平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 12.25 字数 306 千字

版次印次 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

定 价 22.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 建设委员会成员名单

主 任:李增全

副 主 任:刘咸卫 胡卫民 刘发威 仵自连

委 员:(按姓氏笔画为序)

王廷弼 王自学 王春阁 王宪军

牛耀宏 石 兴 刘卫国 刘景山

杜俊林 李玉文 李式范 李兴业

李学忠 李维安 张 军 张 浩

张贵金 陈润叶 周智仁 郝巨才

荆双喜 贺丰年 高丽玲 唐又驰

彭志刚

秘 书 长:王廷弼 李式范

副秘书长:耿东锋 孙建波

# 煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 矿山机电专业编审委员会成员名单

主 任:刘卫国

副主任:黄小广 陈 标 孙茂林

委 员:(按姓氏笔画为序)

王任远 王昌田 王金国 李虎伟

李福固 张建国 陈官兴 郝虎在

陶 昆 梁南丁

# 前 言

本书是在积累各位作者多年教学经验,经过教学实践并吸收有关教材优点的基础上编写而成。本书通过建立一个既符合学科系统性,又符合教学和认识规律的体系来阐述流体力学及流体机械的基本概念、基本原理和基本方法。内容注重适应科学技术发展的需要,注重加强理论基础和实践能力的培养,力求贯彻理论联系实际、知识与能力辩证统一的原则。

本书共分为两大部分,第一部分是流体力学,第二部分是流体机械。

流体力学根据自身学科的规律,完整而系统地介绍流体力学的基础知识及工程应用。在内容安排上以牛顿第二定律为主线索,采用微元分析的方法构建方程,从自然界最基本的质量、能量与动量守恒出发,由理想流体到黏性流体,由不可压缩流体到可压缩流体,介绍了流体力学的基本概念,着重阐述流体静力学基础、流体动力学基础、黏性流体流动基础;分析有压管路的水力计算方法,介绍孔口、管嘴及薄壁堰的工作原理。

流体机械包括排水机械和通风机械。排水机械和通风机械在矿山、冶金、化工等行业得到广泛应用,该部分系统地阐述了流体机械的基本工作原理、分类、结构形式、安全运行、性能调节等方面的知识。

本书重视理论与工程实际的结合,在例题和习题的选取上,尽量与工程实际相结合。

本书编写分工为:流体力学部分,第一章由平顶山工业职业技术学院姚新兆编写,第二章由山东科技大学韩宝坤编写,第三章、第四章由山东科技大学王昌田编写,第五章由新汶职工大学马存义编写,第六章由山东科技大学鲍怀谦编写;流体机械部分由宁夏工业职业学院鲍惠芳编写。任课教师可以根据实际需要内容进行选择。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,希望读者批评指正。

编者

2008年12月

## 目 录

## 第一篇 流体力学

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第一章 绪论              | 3  |
| 1.1 流体和连续介质假定       | 3  |
| 1.2 流体的主要物理性质       | 4  |
| 1.3 作用在流体上的力        | 7  |
| 1.4 习题              | 8  |
| 第二章 流体静力学           | 9  |
| 2.1 流体静压强的特性        | 9  |
| 2.2 流体平衡微分方程及等压面    | 10 |
| 2.3 流体静压力基本方程       | 12 |
| 2.4 液体测压计工作原理       | 16 |
| 2.5 液体的相对平衡         | 20 |
| 2.6 作用在平面上的流体总压力    | 24 |
| 2.7 习题              | 27 |
| 第三章 流体动力学           | 27 |
| 3.1 基本概念            | 29 |
| 3.2 连续性方程           | 32 |
| 3.3 理想流体的运动微分方程     | 34 |
| 3.4 伯努利方程           | 35 |
| 3.5 黏性流体伯努利方程       | 39 |
| 3.6 定常流动的总流动量方程     | 45 |
| 3.7 定常流动的动量矩定理      | 49 |
| 3.8 习题              | 50 |
| 第四章 黏性流体运动及其阻力计算    | 51 |
| 4.1 流动两种形态          | 51 |
| 4.2 流体运动阻力的两种形式     | 56 |
| 4.3 均匀流动的基本方程       | 57 |
| 4.4 流体在圆管中的层流运动     | 58 |
| 4.5 流体在圆管中的紊流运动     | 62 |
| 4.6 流体在圆管中的紊流沿程水头损失 | 67 |
| 4.7 非圆形截面均匀紊流的阻力计算  | 72 |
| 4.8 局部水头损失          | 74 |
| 4.9 习题              | 79 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第五章 有压管路的水力计算</b> ..... | 81 |
| 5.1 简单管路的水力计算 .....        | 81 |
| 5.2 串联管路水力计算 .....         | 83 |
| 5.3 并联管路水力计算 .....         | 85 |
| 5.4 习题 .....               | 87 |
| <b>第六章 孔口、管嘴及薄壁堰</b> ..... | 88 |
| 6.1 薄壁孔口定常自由出流 .....       | 88 |
| 6.2 收缩系数、流速系数及流量系数 .....   | 90 |
| 6.3 管嘴的定常自由出流 .....        | 91 |
| 6.4 薄壁堰的流量计算 .....         | 94 |
| 6.5 习题 .....               | 96 |

## 第二篇 矿山排水设备

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第一章 绪论</b> .....           | 101 |
| 1.1 矿山涌水 .....                | 101 |
| 1.2 矿井排水的意义及特点 .....          | 101 |
| 1.3 矿井排水方式 .....              | 102 |
| 1.4 对排水设备的要求 .....            | 104 |
| 1.5 矿用水泵的分类 .....             | 104 |
| 1.6 习题 .....                  | 105 |
| <b>第二章 离心式水泵的工作理论</b> .....   | 106 |
| 2.1 离心式水泵的工作参数 .....          | 106 |
| 2.2 流体在叶轮中的运动分析 .....         | 108 |
| 2.3 离心式水泵理论压头与理论流量的关系 .....   | 110 |
| 2.4 叶片角对压头分配的影响 .....         | 110 |
| 2.5 离心式水泵实际特性及工况 .....        | 111 |
| 2.6 管路特性曲线和水泵的工作点 .....       | 112 |
| 2.7 习题 .....                  | 113 |
| <b>第三章 相似理论</b> .....         | 115 |
| 3.1 相似条件 .....                | 115 |
| 3.2 比例定律 .....                | 115 |
| 3.3 类型特性(比转速) .....           | 116 |
| <b>第四章 离心式水泵的工作原理</b> .....   | 117 |
| 4.1 矿井排水设备的主要组成部分及分类 .....    | 117 |
| 4.2 离心式水泵的工作原理 .....          | 118 |
| 4.3 习题 .....                  | 119 |
| <b>第五章 离心式水泵在管路中的工作</b> ..... | 120 |
| 5.1 吸水高度和汽蚀 .....             | 120 |
| 5.2 离心式水泵正常工作条件 .....         | 122 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 5.3 离心式水泵流量和压头的调节 .....               | 123 |
| 5.4 习题 .....                          | 123 |
| <b>第六章 离心式水泵的串并联运转</b> .....          | 124 |
| 6.1 离心式水泵的串联运行 .....                  | 124 |
| 6.2 离心式水泵的并联运行 .....                  | 125 |
| 6.3 习题 .....                          | 125 |
| <b>第七章 离心式水泵的构造</b> .....             | 126 |
| 7.1 D 型离心式水泵的构造 .....                 | 126 |
| 7.2 BA 离心式水泵的构造 .....                 | 130 |
| 7.3 离心式水泵的轴向推力及平衡方法 .....             | 133 |
| 7.4 习题 .....                          | 135 |
| <b>第八章 离心式水泵的运行、检修及性能测定</b> .....     | 136 |
| 8.1 离心式水泵的启动、运转和停止 .....              | 136 |
| 8.2 离心式水泵的无底阀排水原理 .....               | 137 |
| 8.3 离心式水泵的常见故障及处理方法 .....             | 137 |
| 8.4 排水设备完好标准和《煤矿安全规程》对井下排水设备的规定 ..... | 141 |
| 8.5 习题 .....                          | 142 |

### 第三篇 矿井通风设备

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第一章 通风设备工作</b> .....       | 145 |
| 1.1 概述 .....                  | 145 |
| 1.2 矿井通风机的工作原理和参数 .....       | 148 |
| 1.3 通风机的个体特性曲线和类型特性曲线 .....   | 150 |
| 1.4 通风机的工况及工业利用区 .....        | 153 |
| 1.5 通风机工况点的调整 .....           | 156 |
| <b>第二章 通风机的联合工作</b> .....     | 159 |
| 2.1 通风机串联运转 .....             | 159 |
| 2.2 通风机并联运转 .....             | 159 |
| <b>第三章 矿用通风机构造</b> .....      | 161 |
| 3.1 离心式通风机的结构 .....           | 161 |
| 3.2 轴流式通风机的结构 .....           | 164 |
| 3.3 对旋通风机构造 .....             | 169 |
| 3.4 矿井通风机的布置及反风装置 .....       | 170 |
| <b>第四章 通风机的噪声及控制方法</b> .....  | 173 |
| 4.1 通风机噪声产生的原因 .....          | 173 |
| 4.2 通风机噪声控制的一般原理 .....        | 173 |
| 4.3 通风机噪声控制方法 .....           | 174 |
| <b>第五章 矿井通风机装置性能的测定</b> ..... | 176 |
| 5.1 测定原理 .....                | 176 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 5.2 参数测定 .....                      | 176        |
| 5.3 通风机装置实测特性曲线的应用 .....            | 178        |
| <b>第六章 矿井通风机的运转与维修</b> .....        | <b>179</b> |
| 6.1 《煤矿安全规程》关于通风机的规定和通风机的完好标准 ..... | 179        |
| 6.2 通风机运转、维护检修和故障处理 .....           | 181        |
| 6.3 习题 .....                        | 182        |
| <b>参考文献</b> .....                   | <b>183</b> |

# 第一篇

## 流体力学



# 第一章 绪 论

流体力学是研究流体运动和平衡的规律以及流体和固体之间相互作用的一门科学。它和其他科学一样,是在人类长期征服自然中逐步建立和发展起来的,它的发展又进一步有力地推动了科学技术和生产的发展。

煤矿矿山和很多重要部门的生产、工作都是直接或间接地应用流体力学的基础原理进行的。如矿井通风、排水、压气,水力采煤、重力选矿,气力、水力运输,采煤机、支架、机床设备的液压传动,等等,都是流体力学的基本原理在矿山工程中的具体应用。

## 1.1 流体和连续介质假定

### 1.1.1 流体

流体与自然界的一切物质一样,是由分子组成的,那么它有什么特点?这可以用分子间的空隙与分子的活动来表述。在流体中,分子之间的空隙比在固体中的大,分子运动的范围也比在固体中的运动范围大,以分子的移动与转动为其主要的运动形式;在固体中,分子绕固定位置振动则是主要的。

流体是一种受任何微小的拉力和剪力都能产生巨大变形的物体。固体在拉力和剪力的作用下,其变形较小,而且到一定程度后就停止变形,但流体却能继续不断地运动(流动)。

流体可以分为液体和气体两种。

液体具有一定的体积,与盛装液体的容器大小无关,可以有自由面。分子间的空隙大约等于其分子的平均直径。 $1\text{ cm}^3$ 的水中约有 $3.4 \times 10^{22}$ 个分子。在 $0^\circ\text{C}$ 及1个标准大气压时, $1\text{ cm}^3$ 的气体中大约有 $2.7 \times 10^{19}$ 个分子。若把这些分子排列在方格子内,它们将相互间隔 $3.3 \times 10^{-7}\text{ cm}$ 。分子平均直径约为 $3.5 \times 10^{-8}\text{ cm}$ ,它们的平均间隔约为分子平均直径的10倍,即比液体的分子间隔大。所以在正常情况下,气体中的分子是相互远离的,每个分子以定速自由移动。

### 1.1.2 连续介质假定

液体和气体都是由分子构成的,流体的性质及运动也都是与分子的状态密切相关的。但是在许多情况下,特别是许多工程实际问题所涉及的装置系统,其尺寸与流体分子距离及分子运动的自由行程相比较,则是非常大的。此时没有必要探讨流体分子的微观性质,而应该研究其大量分子的形态及平均统计的宏观性质。若不考虑个别分子,便可以把流体看成由无数质点组成的连续介质。就是说,质点是组成流体的最小单元,质点与质点之间不存在空隙。包含在一个非常小的范围内的这种连续介质,其质量可以认为是均匀分布在整个体积之中。用精密仪表对微量流体进行测量,就可显示出流体性质的改变是连续的、逐渐地进行的。它证实了流体连续性的假说。

在连续介质力学中,我们假定宏观流体的特性(如平均密度、平均压强和平均黏度)是随

着所观察的流体质点在系统中的位置和时间而连续变化的。表示流体平均特性的质点假定是占据空间位置的一个点,则用流场的方法可表示流体连续的特性。所以反映流体运动特性的各种物理量(如速度、密度、压力等)也应该是空间坐标和时间的连续函数。在此基础上建立方程,研究流体的平衡与运动。因方程与质点分子结构无关,对气体和流体可同样处理。

在流体力学中,不考虑流体内部的分子间隙与分子运动,仅从宏观角度研究流体质点因受外力作用而引起的机械运动,可使复杂的问题大大简化,从而利用数学工具来描述这些运动规律,以解决实际工程问题。这是提出连续介质概念的主要原因。必须指出,上述假定并不适应于一切流体运动,例如稀薄气体的运动就不适应这一假定。

## 1.2 流体的主要物理性质

在研究流体的平衡和运动时,必须知道流体的物理性质,因为决定流体运动状态变化的内因是流体的物理性质。下面就影响流体运动的主要物理性质分别加以介绍。

### 1.2.1 密度

流体与自然界其他物体一样,具有质量。流体的这个性质用密度来表示。均质流体的密度等于质量和体积的比值,即

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

式中  $\rho$ ——密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $V$ ——均质流体的体积,  $\text{m}^3$ ;  
 $M$ ——均质流体的质量,  $\text{kg}$ 。

### 1.2.2 重度

地球上任何物体都受到重力的作用。同一物体在地球上各个地方所受重力,一般是不同的。单位体积的流体重量称为流体的重度,即

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

式中  $\gamma$ ——重度,  $\text{N}/\text{m}^3$ ;  
 $G$ ——流体的重量,  $\text{N}$ ;  
 $V$ ——流体的体积,  $\text{m}^3$ 。

根据牛顿第二定律,流体的重量等于流体的质量与重力加速度的乘积,即

$$G = Mg \quad (1-3)$$

式中  $M$ ——流体的质量,  $\text{kg}$ ;  
 $g$ ——重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ 。

由式(1-1)、式(1-2)和式(1-3)可得

$$\gamma = \rho g \quad (1-4)$$

质量相同的流体可能在不同地方有不同的重量。所以重量与质量是两个相关而不不同的概念,量纲不同,单位不同,不可相混。

注意,重度不应与相对密度相混。相对密度是指物体质量与同体积的  $4^\circ\text{C}$  蒸馏水的质

量相比之值,为无量纲的纯数。表 1-1 为常见流体在大气压(760 mm 水银柱)下的物理性质。

表 1-1 常见流体在大气压(760 mm 水银柱)下的物理性质

| 流体名称 | 温度/℃ | 密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | 重度/ $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$ | 相对密度      |
|------|------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| 蒸馏水  | 4    | 1 000                               | 9 800                              | 1         |
| 矿井水  | 15   | 1 020~1 030                         | 9 996~10 094                       | 1.02~1.03 |
| 普通汽油 | 15   | 700~750                             | 6 860~7 350                        | 0.70~0.75 |
| 润滑油  | 15   | 890~920                             | 8 722~9 010                        | 0.89~0.92 |
| 乙醇   | 15   | 790~800                             | 7 742~7 840                        | 0.79~0.80 |
| 水银   | 0    | 13 600                              | 133 280                            | 13.6      |
| 空气   | 0    | 1.293                               | 12.671                             | 0.001 293 |
| 空气   | 20   | 1.183                               | 11.593                             | 0.001 183 |
| 一氧化碳 | 0    | 1.250                               | 12.25                              |           |
| 二氧化碳 | 0    | 2.927                               | 28.684                             |           |
| 液压油  | 15   | 850~900                             | 8 330~8 820                        | 0.85~0.9  |

### 1.2.3 黏性

流体运动时其内部质点沿接触面相对运动,产生内摩擦力以抗阻流体变形的性质,就是黏性。

在平行平板间充满流体,如图 1-1 所示。上板以速度  $v$  运动,附着在此板上的薄层流体质点也以速度  $v$  值跟随板运动。下板固定不动,附着于下板的薄层流体质点的速度为零,这就是牛顿流体内摩擦实验。假定流动时分层运动,没有不规则的流体运动及脉动加入其中,则下板到上板之间有许多流体层,其速度由零逐渐增加,

最后一层的速度为  $v$ ,上层流体流动较快,下层流动较慢,上、下流体层中的质点在接触面上发生相对滑动。快层对慢层的作用力与运动同方向,带动慢层加速。慢层对快层也有作用力,与运动方向相反,阻滞快层的运动。这一对作用力,称为流体的内摩擦力。这种摩擦力阻止两相邻的流体层作相对运动,表现为阻止流体的变形,而实质是流体具有黏性的体现。

根据牛顿的总结:流体在运动时,内摩擦力  $T$  与流体运动的速度梯度  $\frac{du}{dz}$  成正比,与接触面积  $A$  成正比,与流体的黏性有关,与流体的内压强无关,其数学表达式为

$$T = \mu A \frac{du}{dz} \quad (1-5)$$

内摩擦力  $T$  除以接触面积  $A$ ,得流体内的切应力  $\tau$

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dz} \quad (1-6)$$

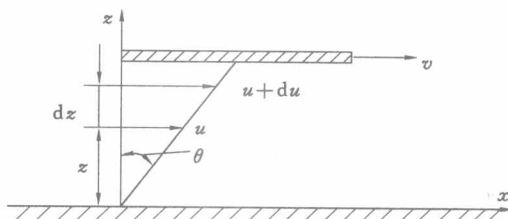


图 1-1 牛顿流体内摩擦实验

这里  $\mu$  是表征流体黏性的比例系数,称为动力黏度,单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

流体的动力黏度  $\mu$  与流体密度  $\rho$  的比值称为运动黏度,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

运动黏度  $\nu$  的单位是  $\text{m}^2/\text{s}$ 。

动力黏度或称动力黏性系数,能反映流体黏性的大小,故常称绝对黏度。由于动力黏度和运动黏度直接测量比较困难,因此在工程上还常用另一种液体黏度的表示方法,即恩氏黏度( $^{\circ}\text{E}$ )。所谓恩氏黏度是指 200 mL 的液体从恩氏黏度计中流出所需的时间  $t_1(\text{s})$  与 200 mL 的  $20^{\circ}\text{C}$  蒸馏水从该恩氏黏度计中流出所需的时间  $t_2(\text{s})$  之比,即

$$^{\circ}\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-8)$$

恩氏黏度与运动黏度的换算关系如下

$$\nu = 0.0731^{\circ}\text{E} - \frac{0.0631}{^{\circ}\text{E}} \quad \text{cm}^2/\text{s} \quad (1-9)$$

温度对于流体的黏度有较大的影响,它对气体和液体的影响却相反,即液体的运动黏度随温度升高而减少;气体的运动黏度随温度的升高而增大。这是由于在液体中,分子间距小,分子相互作用力较强,阻止了质点间相对运动而产生内摩擦力,即表现为黏性,当液体温度升高时,分子间距增大,引力减弱,因而黏性降低;在气体中,分子间距大,引力弱,分子运动的自由行程大,分子间相互掺混,速度快的分子进入慢层中,速度慢的分子进入快层中,两相邻流体层间进行动量交换,从而阻止了质点间相对运动,呈现出黏性,而分子吸引力的作用,相比之下微乎其微,忽略不计,当气体的温度升高时,内能增加,分子运动更加剧烈,动量交换更大,阻止相对运动的内摩擦力增加,所以黏性增大。

目前为了研究分析的方便,使问题简化,在流体力学中提出无黏性流体的概念。所谓无黏性流体就是忽略了黏滞性的流体或称为理想流体,而把具有黏性的真实流体称为黏性流体或称实际流体。研究无黏性流体可大大简化理论分析的过程,容易得出一些结果,然后再对上述结果加以修正补充,使实际问题得到解决。这是流体力学中处理复杂问题的一种方法。

**例 1-1** 已知 50 号机油在  $50^{\circ}\text{C}$  时恩氏黏度为  $6.97^{\circ}\text{E}$ ,试求它的运动黏度。

**解** 运动黏度

$$\begin{aligned} \nu &= 0.0731^{\circ}\text{E} - \frac{0.0631}{^{\circ}\text{E}} = 0.0731 \times 6.97 - \frac{0.0631}{6.97} \\ &= 0.5 \text{ cm}^2/\text{s} = 0.0005 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

**例 1-2** 如图 1-2 所示轴和轴套,间隙  $a = 1 \text{ mm}$ ,轴的转速  $n = 180 \text{ r/min}$ ,轴直径  $D = 15 \text{ cm}$ ,轴套宽度  $b = 25 \text{ cm}$ ,试求轴在套内等速旋转时的摩擦功率(润滑油的  $\mu = 0.245 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ )。

**解** 轴面速度  $v = \frac{\pi n D}{60} = \frac{\pi \times 180 \times 0.15}{60} = 1.415 \text{ (m/s)}$

因油层很薄,故可取

$$\frac{du}{dz} = \frac{v}{a} = \frac{1.415}{0.001} = 1415 \quad (\text{L/s})$$

摩擦力  $T = \mu A \frac{du}{dz} = 0.245 \times \pi \times 0.15 \times 0.25 \times 1415 = 40.8 \text{ (N)}$

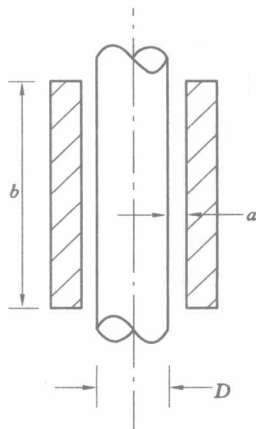


图 1-2

$$\text{功率} \quad N = M\omega = T \times \frac{D}{2} \times \frac{2\pi n}{60} = 40.8 \times \frac{0.15}{2} \times \frac{2\pi \times 180}{60} = 57.7 \text{ (W)}$$

#### 1.2.4 压缩性和膨胀性

在一定温度下,流体体积随压强增加而减少的性质称为流体的压缩性。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,即

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-10)$$

式中  $\beta$ ——流体体积压缩系数,  $\text{m}^3/\text{N}$ ;

$V$ ——流体的体积,  $\text{m}^3$ ;

$dV$ ——流体体积的缩小量,  $\text{m}^3$ ;

$dp$ ——流体压强的增量,  $\text{N}/\text{m}^2$ 。

为使  $\beta$  值恒为正值,当压力增加时,体积减小,故在方程前冠以“—”号。

液体的体积压缩系数很小,当压力在 1~500 大气压以内,温度在 0~20 °C 范围时,水的体积压缩系数约为  $2 \times 10^9$  分之一。

在一定压力下,液体体积随温度升高而增大的性质称为流体的膨胀性。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加量,即

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \quad (1-11)$$

式中  $\alpha$ ——流体体积膨胀系数,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$V$ ——流体的体积,  $\text{m}^3$ ;

$dV$ ——流体体积的增量,  $\text{m}^3$ ;

$dt$ ——流体温度的增量,  $^\circ\text{C}$ 。

根据流体的密度或体积随温度和压力变化的不同程度,通常把流体分为不可压缩流体和可压缩流体两种。对于液体,由于其密度随温度和压强变化量很少,所以实际情况当温度和压强变化不大时,可以认为其体积不发生变化,密度为常量,即看做不可压缩流体。气体的密度随温度和压强变化较大,是可压缩流体。但是,在许多实际问题中也可以把气体作为不可压缩流体看待。可以证明,在气体相对于固体的流动时,以及物体在静止气体内运动的过程中,只要速度远小于音速,密度变化很小。例如,在标准状态下,当速度为 50 m/s 时,空气在地球表面附近的密度变化相差不过比 1% 稍大些。因此,这时可把气体看成不可压缩的流体。

### 1.3 作用在流体上的力

作用于流体上的力按其作用形式的不同可以分为表面力和质量力两类。

#### 1.3.1 表面力

表面力是作用在所研究流体体积表面上,并与表面积成比例的力。

在流场中取出一块体积,如图 1-3 所示,该体积四周的流体必然有力作用在它的表面上,在表面上围绕  $a$

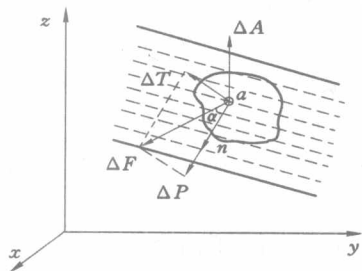


图 1-3