

# 流体力学与 传热学基础

Fundamentals of Fluid  
Mechanics and Heat Transfer

次 英/编



科学出版社

# 流体力学与传热学基础

次英编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本教材结合测控技术与仪器专业的培养目标,重点讲解流体力学与热传递过程的理论基础。主要内容包括流体静力学基础、流体动力学基础、黏性流体运动及其阻力计算、热传导、对流传热、辐射传热等理论基础。

本书主要作为高等学校测控技术与仪器、机械工程、环境工程等专业的教学用书,也可供有关专业工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

流体力学与传热学基础 / 次英编. —北京: 科学出版社, 2016.4

ISBN 978-7-03-047995-2

I. ①流… II. ①次… III. ①流体力学 ②传热学 IV. ①O35 ②TK124

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 062238 号

责任编辑: 张 震 杨慎欣 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 无极书装

**科学出版社**出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

**大厂书文印刷有限公司**印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 4 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016 年 4 月第一次印刷 印张: 12

字数: 233 000

**定价: 36.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

本书是测控技术与仪器专业本科生“流体力学与传热学基础”课程的教材，由编者针对课程专业教学基本要求与培养方案，并结合多年来的教学经验编写而成。

本课程属于专业基础课，它是学生学习专业课程的重要基础。本教材基于编者在该专业的多年教学经验以及专业的要求，在使用前人教材的基础上，对课程内容进行了相应的变动。全书分为九章，内容包括流体力学概论，流体静力学基础，流体动力学基础，黏性流体运动及其阻力计算，传热导论，导热基本定律及稳态导热，非稳态导热，对流传热的理论基础，辐射传热理论基础与计算。书中配合了与专业结合的相关内容，便于培养学生积极思考、独立解决工程实际问题的能力。

在编写过程中，编者参考了相关专业的培养方案，考虑到少学时课程的特点，本着加强基础的原则，将书中重点内容放在了基本概念、基本原理和基本方法的讲解上，同时也注重加强学生能力的培养，结合专业实际介绍工程的应用，为学生学习其他专业课程和从事专业工作打好基础。考虑到本书篇幅与课程学时较少的特点，书中并未安排例题及习题。

感谢东北大学教务处和科学出版社对本书出版发行的支持，感谢同事李树伟等为教材的插图、校对等做出的大量工作。

由于编者编写时间和水平有限，书中难免存在不足和疏漏，敬请广大读者批评指正。

次 英

2015年12月

# 主要符号表

## 1. 拉丁字母符号

$A$	面积, $\text{m}^2$
$a$	热扩散率, $\text{m}^2/\text{s}$ ; 加速度, $\text{m}/\text{s}^2$
$B$	宽度, $\text{m}$
$C$	比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$c_p$	比定压热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$c_1$	第一辐射常量, $\text{W}\cdot\text{m}^2$
$c_2$	第二辐射常量, $\text{m}\cdot\text{K}$
$D$	直径, $\text{m}$
$E$	辐射力, $\text{W}/\text{m}^2$ ; 弹性模量, $\text{N}/\text{m}^2$
$E_\lambda$	光谱辐射力, $\text{W}/\text{m}^3$
$F$	力, $\text{N}$
$g$	重力加速度, $\text{m}/\text{s}^2$
$G$	投入辐射, $\text{W}/\text{m}^2$
$h$	对流传热表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; 高度, 淹深, 水头, $\text{m}$
$h'$	比焓, $\text{J}/\text{kg}$
$h_f$	沿程损失, $\text{m}$
$h_j$	局部损失, $\text{m}$
$H$	高度, 深度, $\text{m}$
$I$	电流, $\text{A}$ ; 定向辐射强度, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{sr})$
$j$	传热因子
$J$	有效辐射, $\text{W}/\text{m}^2$ ; 惯性矩, $\text{m}^4$
$k$	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
$l$	长度, $\text{m}$
$M$	质量量纲
$m$	质量, $\text{kg}$

$P$	压强合力, N
$p$	压强, Pa
$Q$	体积流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ; 热量, J
$Q_m$	质量流量, $\text{kg}/\text{s}$
$q$	热流密度, $\text{W}/\text{m}^2$
$r$	半径, m
$R$	热阻, $\text{K}/\text{W}$ ; 电阻, $\Omega$
$R_A$	面积热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
$T$	时间量纲; 周期, s; 热力学温度, K
$t$	时间, s; 摄氏温度, $^\circ\text{C}$
$V$	平均流速, $\text{m}/\text{s}$ ; 体积, $\text{m}^3$
$v$	速度, $\text{m}/\text{s}$
$v_x, v_y, v_z$	在 $x, y, z$ 方向的速度分量, $\text{m}/\text{s}$

## 2. 希腊字母符号

$\alpha$	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
$\delta$	厚度, m
$\varepsilon$	发射率
$\varepsilon_\lambda$	光谱发射率
$\mu$	动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$
$\theta$	过剩温度, $^\circ\text{C}$ 或 K; 平面角, rad
$\Theta$	无量纲过剩温度
$\lambda$	波长, m 或 $\mu\text{m}$ ; 导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
$\chi$	湿周, m
$\nu$	运动黏度, $\text{m}^2/\text{s}$
$\rho$	密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 反射比
$\sigma$	斯忒藩-玻尔兹曼常量, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ; 表面张力, $\text{N}/\text{m}$
$\tau$	时间, s; 透射比
$\tau_c$	时间常数, s
$\Phi$	热流量, W
$\Omega$	立体角, sr

## 3. 下标

$f$	流体, 摩擦
$m$	平均, 定性温度
$r$	径向
$w$	壁面
$x$	沿 $x$ 方向
$y$	沿 $y$ 方向
$z$	沿 $z$ 方向
$\infty$	来流

## 4. 特征数

$Bi = \frac{h\delta}{\lambda}$	毕渥数
$Fo = \frac{a\tau}{l^2}$	傅里叶数
$Gr = \frac{g\alpha_v \Delta t l^3}{\nu^2}$	格拉晓夫数
$Nu = \frac{hx}{\lambda}$	努塞尔数
$Pr = \frac{\nu}{a}$	普朗特数
$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu}$	雷诺数

# 目 录

前言

主要符号表

<b>第一章 流体力学概论</b> .....	1
第一节 流体力学的研究对象 .....	1
第二节 流体的主要物理性质 .....	2
一、密度与重度 .....	2
二、可压缩性和热膨胀性 .....	4
三、黏性 .....	4
第三节 静止流体上的作用力 .....	8
一、质量力 .....	8
二、表面力 .....	8
三、表面张力 .....	9
<b>第二章 流体静力学基础</b> .....	11
第一节 平衡状态下流体的应力特征 .....	11
一、表面力 .....	12
二、质量力 .....	12
第二节 流体的平衡微分方程式及其积分 .....	13
一、流体平衡微分方程 .....	13
二、平衡微分方程的积分 .....	14
三、等压面 .....	15
第三节 流体静力学基本方程 .....	17
一、在重力作用下静止液体的压强分布 .....	17
二、静止液体中的压强计算和等压面 .....	18
三、静力学基本方程式的意义 .....	18
四、绝对压强、表压强、真空度 .....	19
第四节 压强的测量 .....	20
一、测压管 .....	20
二、U形测压管 .....	21



三、杯式测压计	22
四、多支组合式 U 形管测压计	23
五、差压计	23
六、金属式测压计	24
第五节 静止流体对物体表面的压强合力	25
一、静止液体作用在平面壁上的压强合力	25
二、静止液体作用在曲面壁上的压强合力	27
<b>第三章 流体动力学基础</b>	<b>29</b>
第一节 描述流体运动的两种方法	29
一、拉格朗日法	29
二、欧拉法	30
三、质点加速度	31
第二节 流体运动的基本概念	32
一、迹线和流线	32
二、定常流动和非定常流动	34
三、流面、流管、流束与总流	34
四、过流断面、流量和断面平均流速	35
第三节 流体运动的连续性方程	36
一、系统与控制体	36
二、直角坐标系中的连续性方程	36
三、微元流束和总流的连续性方程	38
第四节 流体运动微分方程	39
一、无黏性流体运动微分方程式	39
二、黏性流体运动微分方程式	41
第五节 无黏性流体微元流束的伯努利积分	41
第六节 黏性流体总流的伯努利方程	44
一、黏性流体微元流束的伯努利方程	44
二、急变流和缓变流	45
三、平均流速与动能修正系数	45
四、总流的伯努利方程	46
第七节 测量流速和流量的仪器	48
一、皮托管测速原理	48
二、文丘里流量计	49

<b>第四章 黏性流体运动及其阻力计算</b> .....	51
<b>第一节 流动运动的两种状态——层流与湍流</b> .....	51
一、雷诺实验 .....	51
二、不同流动状态的水头损失规律 .....	52
三、流动状态的判别标准——雷诺数 .....	54
四、湍流运动的基本特征 .....	55
<b>第二节 管内流动阻力的两种类型</b> .....	56
一、过流断面与水力半径 .....	56
二、流体运动与流动阻力的两种形式 .....	57
<b>第三节 圆管定常层流流动</b> .....	58
一、圆管层流的运动常微分方程 .....	58
二、圆管层流的速度分布和切应力分布 .....	59
三、圆管层流流量和平均流速 .....	60
四、圆管层流的沿程损失 .....	61
<b>第四节 圆管定常湍流流动</b> .....	62
一、圆管湍流的速度分布 .....	62
二、水力光滑管与水力粗糙管 .....	62
三、圆管湍流的沿程损失 .....	63
<b>第五节 圆管流动沿程损失系数的确定</b> .....	64
一、尼古拉兹实验 .....	64
二、莫迪图 .....	65
<b>第六节 管路中的局部水头损失</b> .....	66
一、管径突然扩大的局部损失 .....	66
二、计算局部损失的普遍公式 .....	68
三、水头损失的叠加原则 .....	68
<b>第五章 传热导论</b> .....	70
<b>第一节 概论</b> .....	70
<b>第二节 热量传递的三种基本方式和基本定律</b> .....	70
一、热传导 .....	71
二、热对流 .....	71
三、热辐射 .....	71
四、导热基本定律——傅里叶定律 .....	72
五、对流传热基本定律——牛顿冷却公式 .....	73

六、热辐射的基本规律 .....	74
第三节 基本概念与定义 .....	74
一、温度场 .....	74
二、等温面与等温线 .....	75
三、温度梯度 .....	76
第四节 传热过程和传热系数 .....	77
一、传热过程的计算与传热系数 .....	77
二、传热热阻 .....	78
<b>第六章 导热基本定律及稳态导热</b> .....	<b>80</b>
第一节 导热基本定律——傅里叶定律 .....	80
一、导热机理 .....	80
二、导热基本定律 .....	80
三、导热系数 .....	81
第二节 导热微分方程式及定解条件 .....	83
一、导热微分方程 .....	83
二、定解条件 .....	86
第三节 典型一维稳态导热问题的分析解 .....	87
一、通过平壁的导热 .....	87
二、通过圆筒壁的稳态导热 .....	91
<b>第七章 非稳态导热</b> .....	<b>94</b>
第一节 非稳态导热的基本概念 .....	94
第二节 非稳态导热的数学模型 .....	96
第三节 集中参数法的简化分析 .....	98
第四节 典型一维物体非稳态导热的分析解 .....	102
一、三种几何形状物体的温度场分析解 .....	102
二、非稳态导热的正规状况分析解的简化以及工程计算方法 .....	104
<b>第八章 对流传热的理论基础</b> .....	<b>111</b>
第一节 对流传热概论 .....	111
一、对流传热的影响因素 .....	111
二、对流传热现象的分类 .....	113
三、对流传热的研究方法 .....	113

四、如何从解得的温度场来计算表面传热系数	114
第二节 对流传热问题的数学描写	115
第三节 边界层的概念及边界层换热微分方程组	116
一、流动边界层	116
二、热边界层	119
三、边界层换热微分方程组	119
四、流体外掠等温平板传热的层流分析解	121
五、普朗特数的物理意义	121
第四节 相似原理与量纲分析	122
一、相似原理的基本内容	123
二、方程分析法	124
三、量纲分析法	125
四、相似原理的应用	126
第五节 圆管内湍流强制对流传热关联式	128
第六节 大空间自然对流传热的实验关联式	130
一、自然对流传热的特点	130
二、大空间自然对流传热的实验关联式	131
<b>第九章 辐射传热理论基础与计算</b>	<b>133</b>
第一节 热辐射的基本概念	133
第二节 黑体辐射基本定律	136
一、普朗克定律	137
二、维恩位移定律	138
三、斯忒藩-玻尔兹曼定律	138
四、兰贝特定律	141
第三节 实际固体和液体的辐射特性	143
一、实际物体的辐射力	144
二、实际物体的光谱辐射力	144
三、实际物体的定向辐射强度	145
第四节 实际物体的吸收比与基尔霍夫定律	148
一、实际物体的吸收比	148
二、灰体的概念	151
三、吸收比与发射率的关系——基尔霍夫定律	151
第五节 黑体面的辐射传热及角系数	153
一、两黑体表面的辐射传热计算	153

二、代数分析法求解角系数	157
第六节 组成封闭空间的两灰体间辐射传热	160
一、有效辐射	161
二、封闭空间内两灰体间的辐射传热	162
第七节 辐射传热的强化与削弱	164
第八节 气体的辐射特性和吸收特性	167
一、气体辐射的特点	167
二、气体的吸收定律——贝尔定律	168
参考文献	171
附录	172

# 第一章 流体力学概论

## 第一节 流体力学的研究对象

流体力学是研究流体的平衡和运动规律的科学，它属于力学的一个分支，其基本原理与固体力学相同但也更为复杂。

在常温常压下，物质可存在固态、液态和气态三种聚集状态，它们分别称为固体、液体和气体。其中，液体和气体统称为流体。流体力学的研究对象就是流体。在力学中，常根据应力理论来给流体下定义：在静力平衡时，不能承受拉力或剪力的物体就是流体。

流体的基本特征为流体质点间的凝聚力极小，以致在实际上它对张力、对形状的缓慢改变都不显示阻力。流体的这种性质也称为易流动性，它是区别流体与固体的主要特征。至于液体和气体的主要差别则在于液体具有一定的体积，在容器中能够形成一定的自由表面，不易被压缩，而气体则没有一定的体积，总是充满容纳它的整个容积，很容易被压缩。

从物理学知道，流体是由大量的流体分子组成的，分子不断地运动并且相互碰撞。如果追踪每一个分子，详细地去研究分子的微观运动是非常困难的。但是对于研究流体宏观规律的流体力学来说，通常不考虑流体分子的微观结构，而是把流体的物理实体加以模型化，这种物质模型就是连续介质。连续介质假设认为流体是流体分子之间没有任何空隙存在，完全充满所占空间，并且由没有微观运动的无数流体质点所组成的连续介质。而流体质点是指流体中宏观尺寸非常小而微观尺寸又足够大的任意一个物理实体。既然流体质点在宏观上是充分小的，它又连续地占满它所占有的空间，那么质点在它所在的空间也就相当于一个空间点。于是质点的物理量也被认为是流体所在空间上空间点的连续函数，同理也是时间的连续函数。引入连续介质这一概念的目的也在于此。实验和实践表明，基于连续介质假设而建立起来的流体力学理论，是正确的。

此外，引入连续介质的模型可以大大简化流体的平衡和运动的研究，它使得流体介质的力学特性，如密度、压强、速度等，都可作为时间和空间位置的连续函数，使我们有可能用数学分析来讨论和解决流体力学中的问题。

值得指出的是：连续介质模型在一些特殊问题（宏观特征尺寸与流体分子的平均自由程相近或同量级）的分析中不能采用，例如在研究高空稀薄气体中的物

体运动时不能视稀薄气体为连续介质，同样，血液在微血管中的运动，也不能把血液视为连续介质考虑。这些内容已经超出了本书讨论的范围。

## 第二节 流体的主要物理性质

在研究流体的平衡和运动规律时，需要了解流体的物理性质。

### 一、密度与重度

#### (一) 密度

流体的密度是单位体积流体所具有的质量。在均质流体中，流体的密度等于其质量和体积的比值，即

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

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

对于非均质流体，各点的密度不相同，密度的定义为

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

这里  $\Delta V \rightarrow 0$  只是趋于含有足够多个分子的流体质点（或微团）的体积，而不是趋于严格数学意义上的零。

#### (二) 重度

流体的重度  $\gamma$  是单位体积流体所受的重力，对于均质流体：

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

对于非均质流体，则

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

式中， $\gamma$  为重度，单位为  $\text{N}/\text{m}^3$ 。

不同流体的密度和重度各不相同，同一种流体的密度和重度则随着温度和压强而变化。常见流体的物理性质见表 1.1，水在压强为  $0.1\text{MPa}$ 、不同温度时的物理性质见表 1.2。

表 1.1 压强为 0.1MPa 时常见流体的物理性质

流体名称	温度 $t/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	重度 $\gamma/(\text{N}/\text{m}^3)$	动力黏度 $\mu/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	运动黏度 $\nu/(\text{m}^2/\text{s})$
蒸馏水	4	1 000	9 800	$1.52\times 10^{-3}$	$1.52\times 10^{-6}$
海水	20	1 025	10 045	$1.08\times 10^{-3}$	$1.05\times 10^{-6}$
四氯化碳	20	1 588	15 562	$0.97\times 10^{-3}$	$0.61\times 10^{-6}$
汽油	20	678	6 644	$0.29\times 10^{-3}$	$0.43\times 10^{-6}$
石油	20	856	8 389	$7.2\times 10^{-3}$	$8.4\times 10^{-6}$
润滑油	20	918	8 996	$440\times 10^{-3}$	$479\times 10^{-6}$
煤油	20	808	7 918	$1.92\times 10^{-3}$	$2.4\times 10^{-6}$
酒精(乙醇)	20	789	7 732	$1.19\times 10^{-3}$	$1.5\times 10^{-6}$
甘油	20	1 258	12 328	$1490\times 10^{-3}$	$1 184\times 10^{-6}$
松节油	20	862	8 448	$1.49\times 10^{-3}$	$1.73\times 10^{-6}$
蓖麻油	20	960	9 408	$0.961\times 10^{-3}$	$1.00\times 10^{-6}$
苯	20	895	8 771	$0.65\times 10^{-3}$	$0.73\times 10^{-6}$
水银	0	13 600	133 280	$1.70\times 10^{-3}$	$0.125\times 10^{-6}$
液氢	-257	72	705.6	$0.021\times 10^{-3}$	$0.29\times 10^{-6}$
液氧	-195	1 206	11 819	$82\times 10^{-3}$	$68\times 10^{-6}$
空气	20	1.2	11.76	$1.83\times 10^{-5}$	$1.53\times 10^{-5}$
氧	20	1.33	13.03	$2.0\times 10^{-5}$	$1.5\times 10^{-5}$
氢	20	0.083 9	0.822 2	$0.9\times 10^{-5}$	$10.7\times 10^{-5}$
氮	20	1.16	11.37	$1.76\times 10^{-5}$	$1.52\times 10^{-5}$
一氧化碳	20	1.16	11.37	$1.82\times 10^{-5}$	$1.57\times 10^{-5}$
二氧化碳	20	1.84	18.03	$1.48\times 10^{-5}$	$0.8\times 10^{-5}$
氨	20	0.166	1.627	$1.97\times 10^{-5}$	$11.8\times 10^{-5}$
沼气	20	0.668	6.546	$1.34\times 10^{-5}$	$2.0\times 10^{-5}$

表 1.2 压强为 0.1MPa 时, 水在不同温度下的物理性质

温度 $t/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	重度 $\gamma/(\text{N}/\text{m}^3)$	动力黏度 $\mu/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	运动黏度 $\nu/(\text{m}^2/\text{s})$	弹性模量 $E/(\text{N}/\text{m}^2)$	表面张力 $\sigma/(\text{N}/\text{m})$
0	999.9	9 805	$1.792\times 10^{-3}$	$1.792\times 10^{-6}$	$2.04\times 10^9$	0.076 2
5	1 000	9 806	$1.519\times 10^{-3}$	$1.519\times 10^{-6}$	$2.06\times 10^9$	0.075 4
10	999.7	9 803	$1.308\times 10^{-3}$	$1.308\times 10^{-6}$	$2.11\times 10^9$	0.074 8
15	999.1	9 798	$1.140\times 10^{-3}$	$1.141\times 10^{-6}$	$2.14\times 10^9$	0.074 1
20	998.2	9 789	$1.005\times 10^{-3}$	$1.007\times 10^{-6}$	$2.20\times 10^9$	0.073 1
25	997.1	9 779	$0.894\times 10^{-3}$	$0.897\times 10^{-6}$	$2.22\times 10^9$	0.072 6
30	995.7	9 767	$0.801\times 10^{-3}$	$0.804\times 10^{-6}$	$2.23\times 10^9$	0.071 8
35	994.1	9 752	$0.723\times 10^{-3}$	$0.727\times 10^{-6}$	$2.24\times 10^9$	0.071
40	992.2	9 737	$0.656\times 10^{-3}$	$0.661\times 10^{-6}$	$2.27\times 10^9$	0.070 1
45	990.2	9 720	$0.599\times 10^{-3}$	$0.650\times 10^{-6}$	$2.29\times 10^9$	0.069 2
50	988.1	9 697	$0.549\times 10^{-3}$	$0.556\times 10^{-6}$	$2.30\times 10^9$	0.068 2
55	985.7	9 679	$0.506\times 10^{-3}$	$0.513\times 10^{-6}$	$2.31\times 10^9$	0.067 4
60	983.2	9 658	$0.469\times 10^{-3}$	$0.477\times 10^{-6}$	$2.28\times 10^9$	0.066 8
70	977.8	9 600	$0.406\times 10^{-3}$	$0.415\times 10^{-6}$	$2.25\times 10^9$	0.065
80	971.8	9 557	$0.357\times 10^{-3}$	$0.367\times 10^{-6}$	$2.21\times 10^9$	0.063
90	965.3	9 499	$0.317\times 10^{-3}$	$0.328\times 10^{-6}$	$2.16\times 10^9$	0.061 2
100	958.4	9 438	$0.284\times 10^{-3}$	$0.296\times 10^{-6}$	$2.07\times 10^9$	0.059 4



## 二、可压缩性和热膨胀性

### (一) 可压缩性

流体在外力作用下，其体积或密度可以改变的性质称为流体的可压缩性。可压缩性的 $\beta$ 大小用体积压缩系数 $\beta$ 来度量，它表示增加一个单位压强时所引起的体积的相对缩小量，即

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

式中， $\beta$ 为流体体积压缩系数，单位为 $\text{m}^2/\text{N}$ ； $V$ 为流体的体积，单位为 $\text{m}^3$ ； $dV$ 为流体体积的缩小量，单位为 $\text{m}^3$ ； $dp$ 为流体压强的增量，单位为 $\text{N}/\text{m}^2$ 。

液体的体积压缩系数很小。当压强在 $1\sim 500$ 大气压以及温度在 $0\sim 20^\circ\text{C}$ 的范围内时，水的体积压缩系数约为二万分之一。

气体的情况比液体复杂得多，压强和温度的变化对气体密度的影响很大。详细可参考相关文献。

### (二) 热膨胀性

流体在温度改变时，其体积或密度可以改变的性质称为流体的热膨胀性。热膨胀性的 $\alpha$ 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大量，即

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

式中， $\alpha$ 为流体体积膨胀系数，单位为 $1/^\circ\text{C}$ ； $V$ 为流体的体积，单位为 $\text{m}^3$ ； $dV$ 为流体体积的增量，单位为 $\text{m}^3$ ； $dt$ 为流体温度的增量，单位为 $^\circ\text{C}$ 。

流体的体积膨胀系数还决定于压强，但是这个影响较小。水的膨胀系数随压强的增加而稍微增大，但是对于其他大多数的液体来说，膨胀系数则随压强的增加而稍微减小。

根据流体的密度和体积随温度和压强而变化的不同程度，通常可把流体分为不可压缩流体和可压缩流体两类。在通常情况下，由于液体其密度随温度和压强的变化量相对较小，可以作为不可压缩流体来处理。而气体的密度随温度和压强的变化很大，在很多的 $\text{情况}$ 下都要作为可压缩流体来处理。但对于少数特殊情况，例如在水下爆炸波的传播问题中必须把水作为可压缩流体来考虑，在气体低速流动问题中气体可作为不可压缩流体来处理。

## 三、黏性

流体在平衡时不能抵抗剪切力，因而在平衡流体内部不存在切应力，可是在