

中等专业学校试用教材

水力学及热工学基础

SHUILIXUE JI RECONGXUEJICHU

南昌铁路机械学校
郑州铁路机械学校 合编
苏州铁路机械学校

中国铁道出版社

中等专业学校试用教材

水力学及热工学基础

南昌铁路机械学校

郑州铁路机械学校 合编

苏州铁路机械学校

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本 787×1092 毫米 印张: 17.5 插页: 1 字数: 432 千

1985年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—10,000册 定价: 2.95元

内 容 提 要

本书是铁路机械类中等专业学校的机车、车辆、机制、空调与制冷及起重与线路机械等专业《水力学及热工学基础》课程的试用教材。

内容包括水力学、工程热力学及传热学三篇，共十九章。注重了基本概念和基本理论的阐述，以及有关专业的实际需要，各章中均有例题和习题，书末附有供计算用的热工学图表。全书采用国际单位制(SI)，并备有国际单位制与工程单位制的对照换算表。

本书除作为机械类中等专业学校教材，也可供机车、车辆等专业的工程技术人员参考。

前 言

本书是根据1983年5月召开的铁路机械类中等专业学校《水力学及热工学基础》教材编写会议通过的编写提纲编写的,适用于蒸汽机车、内燃机车、铁道车辆、空调与制冷、机械制造、起重与线路机械等专业。

全书包括水力学、工程热力学及传热学三部分。编写中根据几年来本课程的教学经验,加强了对基本概念、基本原理的讲述,适当兼顾了有关专业的教学需要。在文字叙述上力求通俗易懂。为有助于理解和巩固所学内容,本书中编入了一定数量的例题,每章之后都附有习题。

本教材共分三篇十九章。其中第一、二、三、四、十六、十七、十八、十九章由南昌铁路机械学校高品楨编写;第五、六、七、八、九章由郑州铁路机械学校王兰如编写;第十、十一、十二、十三、十四、十五章由苏州铁路机械学校顾镶涛编写,南昌铁路机械学校徐汇音和郑州铁路机械学校杨伟军在教材编写中作了些具体工作。全书由高品楨负责统稿,由济南铁路机械学校隋鸿诉主审。参加本书审稿会的有济南、太原、株洲、沈阳、兰州、昆明、苏州、兴州、南昌铁路机械学校和乌鲁木齐铁路运输学校的有关教师。在审稿过程中得到上海铁道学院和华东交通大学有关老师的帮助和指导,谨此表示感谢。

在工作中还得到南昌、郑州铁路机械学校的大力支持,在此致以谢意。

限于编者水平,本书难免有不妥和错误之处,请读者批评指正。

编 者

一九八四年七月

目 录

主要符号表	1
绪 论	5

第一篇 水力学基础

第一章 基本知识	7
§ 1—1 水力学的研究对象	7
§ 1—2 液体的主要物理性质	7
§ 1—3 理想液体的概念	10
§ 1—4 作用在液体上的力	10
习 题	10
第二章 水静力学	11
§ 2—1 静水压力及其特性	11
§ 2—2 水静力学基本方程式	12
§ 2—3 静水压力的表示方法及量测	14
§ 2—4 静水压力分布图	18
§ 2—5 静水总压力	19
习 题	21
第三章 水动力学	23
§ 3—1 基本概念	23
§ 3—2 稳定总流的连续性方程式	26
§ 3—3 稳定流微小流束的伯努利方程式	27
§ 3—4 实际液体稳定总流的伯努利方程式及其意义	29
§ 3—5 伯努利方程的应用示例	32
§ 3—6 稳定液流动量方程式	36
习 题	39
第四章 液流型态及其管内流动	40
§ 4—1 液体的基本流态	40
§ 4—2 雷诺数及临界流速	41
§ 4—3 液流的水头损失	42
§ 4—4 简单管路的水力计算	46
§ 4—5 水锤、气穴和空蚀现象	50
习 题	51

第二篇 工程热力学

概 述	53
第五章 工质及气体状态方程式	53
§ 5—1 工质和热力系统	53
§ 5—2 工质的热力状态及其基本状态参数	55
§ 5—3 理想气体状态方程式	58
§ 5—4 实际气体状态方程——范德瓦尔方程式	61
习 题	62
第六章 混合气体	63
§ 6—1 混合气体的概念	63
§ 6—2 混合气体的成分表示法	64
§ 6—3 混合气体的平均分子量和气体常数	67
§ 6—4 混合气体的密度、比容和组成气体的分压力	69
习 题	70
第七章 热力学第一定律	71
§ 7—1 热力学第一定律的实质	71
§ 7—2 工质的状态变化过程	72
§ 7—3 功量与热量	75
§ 7—4 熵	79
§ 7—5 内能	80
§ 7—6 热力学第一定律的能量方程式	82
§ 7—7 焓	88
习 题	90
第八章 气体的比热	91
§ 8—1 比热的概念	91
§ 8—2 利用比热计算热量	93
§ 8—3 混合气体的比热	97
习 题	99
第九章 气体的热力过程	99
§ 9—1 分析热力过程的目的、方法及内容	99
§ 9—2 定容过程	100
§ 9—3 定压过程	105
§ 9—4 定温过程	109
§ 9—5 绝热过程	112
§ 9—6 多变过程	117
习 题	125
第十章 热力学第二定律	126
§ 10—1 热力循环及其热效率	126
§ 10—2 热力学第二定律	130

§ 10—3	孤立系统的熵增原理	131
§ 10—4	卡诺循环	132
习 题		135
第十一章	活塞式内燃机动力循环	136
§ 11—1	概 说	136
§ 11—2	定容加热循环	137
§ 11—3	定压加热循环	141
§ 11—4	混合加热循环	143
§ 11—5	活塞式内燃机理论循环的比较	146
习 题		147
第十二章	水蒸气及朗肯循环	148
§ 12—1	基本概念	148
§ 12—2	定压下水蒸气的产生过程	150
§ 12—3	水蒸气表及其应用	154
§ 12—4	水蒸气 $h-s$ 图及其应用	156
§ 12—5	水蒸气的热力过程	158
§ 12—6	朗肯循环	160
§ 12—7	蒸汽参数对朗肯循环热效率的影响	163
习 题		164
第十三章	气体和蒸汽的流动	166
§ 13—1	稳定流动的基本方程	166
§ 13—2	管内气流参数变化和管道截面变化的关系	168
§ 13—3	气体流经喷管的流速和流量计算	171
§ 13—4	绝热节流	177
习 题		179
第十四章	气体的压缩和制冷循环	180
§ 14—1	气体压缩的基本原理	180
§ 14—2	蒸汽压缩式制冷循环	187
习 题		195
第十五章	湿 空 气	196
§ 15—1	湿空气的性质及其状态参数	196
§ 15—2	湿空气的焓湿图	201
§ 15—3	湿空气的焓湿图的应用	203
习 题		208

第三篇 传热学基础

概 述	211
第十六章 稳定导热	211
§ 16—1 温度场	212
§ 16—2 导热基本定律——傅立叶定律	213

§ 16—3	平壁稳定导热	214
§ 16—4	圆筒壁稳定导热	217
习 题		220
第十七章	对流换热	221
§ 17—1	对流换热的特性和影响对流换热的因素	221
§ 17—2	相似原理及其在对流换热中的应用	223
§ 17—3	流体自由流动时的放热	227
§ 17—4	流体受迫运动时的放热	228
习 题		231
第十八章	热 辐 射	232
§ 18—1	热辐射的基本概念	232
§ 18—2	热辐射的基本定律	234
§ 18—3	物体间的辐射换热	236
§ 18—4	防辐射遮热板的应用	239
习 题		240
第十九章	传热和换热器	241
§ 19—1	复合换热	241
§ 19—2	通过平壁的传热	242
§ 19—3	通过圆筒壁的传热	245
§ 19—4	换热器的种类	247
§ 19—5	间壁式换热器的热计算原理	249
习 题		251
附 录		
附表 1	单位换算表	253
附表 2	常用气体的热力性质	254
附表 3	几种气体的平均定压质量比热	255
附表 4	几种气体的平均定压容积比热	255
附表 5	几种气体的平均定压千摩尔比热	256
附表 6	几种气体的平均比热 (与温度成直线关系)	256
附表 7	饱和水与干饱和水蒸气的热力性质表 (按温度排列)	257
附表 8	饱和水与干饱和水蒸气的热力性质表 (按压力排列)	259
附表 9	未饱和水与过热水蒸气的热力性质表	261
附表 10	干空气在标准大气压下热物性表	266
附表 11	各种材料的辐射黑度	267
附表 12	各种材料的密度、导热系数、比热及蓄热系数表	268
附录图 I	水蒸气 $h-s$ 图	268后
附录图 II	氨 (NH_3) 的压焓图	269
附录图 III	湿空气 $H-d$ 图	270

主 要 符 号 表

符 号	在水力学基础中		在热工学基础中	
	名 称	单 位	名 称	单 位
A	面积	m^2	吸收率	
a			流体导温系数	m^2/h
B			大气压力	Pa, kPa, MPa, bar
C	系数		辐射系数	$kW/(m^2 \cdot K^4)$
			平均流速	m/s
C_0			音速, 当地音速	m/s
C_{cr}			临界流速	m/s
C_0			绝对黑体辐射系数	$kW/(m^2 \cdot K^4)$
c			质量比热 (容)	$J/(kg \cdot K)$, $kJ/(kg \cdot K)$
c'			容积比热 (容)	$J/(Nm^3 \cdot K)$, $kJ/(Nm^3 \cdot K)$
c_m			摩尔比热 (容)	$J/(mol \cdot K)$
			千摩尔比热 (容)	$kJ/(kmol \cdot K)$
D			穿透率	
d	直径	m	直径	m
			含湿量	$g/kgDA$, $kg/kgDA$
d_i			耗气率	$kg/(kW \cdot h)$
E	比势能	m	总能量	kJ
			辐射力	W/m^2 , kW/m^2
E_0			绝对黑体的辐射力	W/m^2 , kW/m^2
e			比总能量	J/kg , kJ/kg
F	力	N	面积	m^2
G	重量	N	重量	N , kN
g	重力加速度	m/s^2	重力加速度	m/s^2
g_i			质量成分	
H	高度; 水位差; 总水头; 作用水头	m	焓	J , kJ
			湿空气的焓	$kJ/kgDA$
H_p	测压管水头	m		
h	高度; 深度; 水头	m	比焓	J/kg , kJ/kg
h_w	水头损失	m		
h_l	沿程水头损失	m		
h_j	局部水头损失	m		
h_v	真空高度	m		
i		$\frac{s}{m^2}$	气缸数	
K	仪器常数	$\frac{s}{m^2}$	传热系数	$W/(m^2 \cdot K)$
			临界点	
l	长度; 距离	m	长度; 距离	m
M	质量	kg	质量	kg
M			质量流量	kg/s
N			功率	W , kW

续上表

符 号	在水力学基础中		在热工学基础中	
	名 称	单 位	名 称	单 位
n	管壁粗糙系数		千摩尔数	
P	力; 总压力	N	多变指数	
p	相对压力	Pa, kPa	力; 总压力	N, kN
p'	绝对压力	Pa, kPa	绝对压力	Pa, kPa, MPa, bar
p_b	大气压力	Pa		
p_g			大气压力	Pa, kPa, MPa
p_v	真空压力; 真空度	Pa	表压力; 相对压力	Pa, kPa, MPa
p_s			真空压力	Pa, kPa
p_{cr}			饱和压力	Pa, MPa, bar
Q	流量	m^3/s	临界压力	Pa, MPa, bar
			热量	J, kJ
			传热量; 放热量	W, kW, kJ/h
q			制冷量	W, kW, kJ/h
			单位质量的热交换量	J/kg, kJ/kg
			单位制冷量	kJ/kg, kJ/m ³
			热流量	W/m ² , kW/m ²
q_D			过热热量	kJ/kg
R	水力半径	m	气体常数	J/(kg·K), kJ/(kg·K)
			反射率	
			热阻	m ² ·K/kW
R_0			通用气体常数	J/(kmol·K), kJ/(kmol·K)
r			半径	m
			汽化潜热	kJ/kg
r_i			容积成分	
S			熵	J/K, kJ/K
s			比熵	J/(kg·K), kJ/(kg·K)
			蓄热系数	J/(m ² ·s·K)
T			绝对温度	K
T_s			饱和温度	K
T_{cr}			临界温度	K
t	摄氏温度	°C	摄氏温度	°C
	时间	s		
t_s			饱和温度	°C
t_{cr}			临界温度	°C
U			内能	J, kJ
u	点流速	m/s	比内能	J/kg, kJ/kg
V	体积	m ³	容积	m ³ , l
V_s			容积流量	m ³ /s, l/s
V_m			摩尔容积	m ³ /mol
			千摩尔容积	m ³ /mol
v	平均流速	m/s	比容	m ³ /kg

续上表

符 号	在水力学基础中		在热工学基础中	
	名 称	单 位	名 称	单 位
v_{cr}			临界比容	m^3/kg
W			功量	J, kJ
w			单位质量的功交换量	J/kg; kJ/kg
x			干度	
x_i			摩尔成分	
y			湿度	
z	高度	m	高度	m
α	动能修正系数		放热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
β			体积膨胀系数	
β_c			喷管出口与进口压力比	
γ	重度	N/m^3	临界压力比	
δ	厚度	m	重度	N/m^3
ε	收缩系数		厚度	m
			制冷系数;	
			黑度	
			内燃机的压缩比	
			压气机的增压比	
ε'			供热系数	
ε_K			逆卡诺循环的制冷系数	
ξ	局部阻力系数			
ξ_c	管道阻力系数			
ξ_s	管系阻力系数			
η	动力粘度	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	动力粘度	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
η_i			循环热效率	
η_{iK}			卡诺循环的热效率	
η_v			容积效率	
θ	角度	°	角度	°
κ			比热比或绝热指数	
λ	沿程阻力系数		导热系数	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; $\text{kW}/(\text{m} \cdot \text{K})$
μ	流量系数		内燃机的定容升压比	
	毕托管修正系数		气体分子量	
ν	运动粘度	m^2/s	运动粘度	m^2/s
ρ	密度	kg/m^3	密度	kg/m^3
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$			内燃机的定压预胀比	
τ	粘滞切应力	N/m^2	绝对湿度	kg/m^3
φ	流速系数		时间	s
ω	过水断面	m^2	相对湿度	kg/m^3
Δ	绝对粗糙度	m		
Gr			格拉晓夫准则	

续上表

符 号	在水力学基础中		在热工学基础中	
	名 称	单 位	名 称	单 位
<i>Ma</i>			马赫数	
<i>Nu</i>			努谢尔特准则	
<i>Pr</i>			普朗特准则	
<i>Re</i>	雷诺数, 雷诺准则		雷诺准则, 雷诺数	

绪 论

水力学及热工学基础是一门重要的技术基础课。它是物理、力学等课程有关内容的深化与发展。

本课程包括水力学、工程热力学和传热学三门基础学科。

水力学是力学的一个分支，它是研究液体（主要是水）的平衡和机械运动规律及其在生产实践中的应用。水力学所研究的液体运动，是指在外力作用下的宏观机械运动，而不包括微观的分子运动。

工程热力学是热力学最早的一个分支。热力学是研究热能与其它各种能量（如机械能、电能、化学能等等）相互转换规律的科学。工程热力学仅限于研究热能与机械能（功）相互转换的规律、方法，及提高转换效率的途径。

传热学是研究热能传递规律的科学。在现代科学技术领域里，传热学在工程上的应用范围是很广泛的，特别是与能源、宇航、动力机械、化工、制冷等部门的关系尤为密切。然而归纳起来，它所要解决的实际问题不外乎两种类型：一是满足设备所要求的传热速度；二是确定设备所需要的温度分布，以保证设备的正常使用。

在铁道运输上所使用的蒸汽机车、内燃机车及起重、工程、养路等机械中，广泛地用内燃机、蒸汽机作原动机，它们都是实现热变功的热力发动机，简称为热机。除此之外，还有些热力设备，如制冷、取暖、空调等装置（其中包括压气机），也都涉及到热能与机械能之间的转换和热能的传递问题。另外，在铁路上的一些机械设备中，还广泛地使用着水力机械及液力传动。它们又都涉及到液体的受力与运动。这就要求铁路工程技术人员必须了解水工理论和水力分析；必须了解在热力设备中热能与机械能相互转换的规律，及影响热效率或能量转换效率的因素；必须了解热能各种热力设备中进行传递的规律及影响其传递的因素，并从中找出主要影响因素及解决问题的方法。本课程为此提供了有关的基础理论及计算方法。因此，这门课程不仅为学习有关专业课奠定必要的理论基础，同时通过这门课程的学习，可以直接提高读者分析和解决有关水力学及热工学方面的实际问题的能力。

人类很早在与洪水作斗争中，就逐步认识了水的一些性质，懂得可以应用水力机械代替人力工作。水力能的应用曾经在人类生活上长期占据过重要地位，从而形成了水力学的理论系统。这些理论又促进了现代水力和液压技术的发展。

随着生产力的发展，对创造不受地区和时间限制的发动机的要求，促成了蒸汽机的出现。蒸汽机的发展推动了热学的研究，从而又促进了内燃机、汽轮机等热机的相继产生，使热能的利用日益广泛。

随着各种热机的使用和工程热力学的理论研究，人们进一步意识到要减少热能损失、提高热机效率，必须掌握热能的传递规律。联系到其它技术领域里也广泛存在着传热问题，这就促成了本世纪传热学的形成。这对当代的能源利用将起着重要的指导作用。

自然界蕴藏有无穷无尽的不同形式的能，如燃料的化学能、水能、风能、原子能、太阳

能等，都是可被利用的能源。但有的还没有被开发利用，有的尚未被人们所认识。就我国而言，目前耗量最大的能源是矿物燃料（煤、石油等）的化学能。虽然，我国矿物燃料资源很丰富，但目前的开采量仍不能完全满足生产和生活中的需要。要解决能源的供需平衡问题，在大力开发能源的同时，还必须合理地利用能源，节约能源。

在铁路上，热工设备到处可见，它们消耗着大量的煤炭和燃油。而这些燃料又是发展塑料、合成纤维、人造食品等现代化学工业的重要原料。因此，铁路上的能源节约又显得特别重要。这就要求工程技术人员对热能的有效利用具备必要的基本知识，只有这样才能面对本部门的现实，不断挖潜，采取技术上可行、经济效益显著的有效节能措施，以促进我国国民经济的发展和加速实现四化的进程。因此，节约能源，提高经济效益，也对本课程提出了更高的要求；这也将有力地推动这一学科进一步发展。总之，掌握水力学及热工学的基本理论是实现四化的需要。

第一篇 水力学基础

第一章 基本知识

§ 1—1 水力学的研究对象

水力学是一门工程技术基础学科，它研究液体机械运动的规律，以及如何运用这些规律来解决实际问题。

水力学的研究对象是以水为代表的液体，故通常称为水力学。但水力学的基本理论不仅适用于水，也适用于各种液体和可忽略压缩性影响的气体。

液体的特征介于气体与固体之间。一方面，液体象固体一样能保持一定的体积，很不容易被压缩；而另一方面，液体又与气体一样，没有固体那种保持自身形状的能力，而具有流动性。

液体与其他物质一样，是由彼此之间有空隙的大量分子组成的，而且这些分子永恒不息地进行着复杂的微观运动，即使一般所谓静止液体，其分子也处于不停的运动中。但水力学不研究微观的分子运动，而是从宏观的角度来研究液体的机械运动。因此在水力学中，常将液体视为连续介质，即把液体看作由完全充满所占空间的、内部无任何空隙的无数液体质点所组成的连续体。这样，我们就可运用数学中的连续函数，作为分析水力学问题的有效工具。

在连续介质的基础上，一般还认为液体具有均匀等向性，即液体是均质的，各部分和各方向的物理性质是一样的。

总之，水力学的研究对象是这样的液体，即它的基本特征是容易流动的、不易压缩的、均匀等向的连续介质。

§ 1—2 液体的主要物理性质

液体的物理性质是决定液体平衡和运动的内部因素。在水力学中，和液体运动有关的液体的主要物理性质有如下几点。

一、液体的密度与容重

与自然界其他物质一样，液体具有质量。均质液体的质量 M 与体积 V 的比值，即液体单位体积内所具有的质量，叫做密度 ρ ，故

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{kg/m}^3 \quad (1-1)$$

液体处于重力场中，会受到地球对它的引力，说明液体具有重量。若液体的质量为 M ，重力加速度为 g ，则液体的重量为

$$G = M \cdot g \quad \text{N} \quad (1-2)$$

单位体积内液体所具有的重量，叫做容重 γ （或称重度）。对于均质液体，若其体积为 V ，重量为 G ，则容重

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{N/m}^3 \quad (1-3)$$

将式（1—2）的两边同除以体积 V ，可得密度与容重的关系式

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

式中重力加速度 g 通常可看作常数，其常数值为 9.81m/s^2 。

不同的液体，其密度和容重是不同的。同种液体的密度和容重又随温度和压力而变化，但变化微小，一般可看作常数。水在不同温度下的容重和密度，见表1—1。

不同温度下水的物理性质的数值表

表1—1

温 度 ℃	容 重 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	密 度 $\rho(\text{kg/m}^3)$	动力粘滞系数 $\eta(10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s})$	运动粘滞系数 $\nu(10^{-6}\text{m}^2/\text{s})$	体积弹性系数 $K(10^9\text{Pa})$
0	9.805	999.9	1.781	1.785	2.02
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	2.06
10	9.804	999.7	1.307	1.306	2.10
15	9.798	999.1	1.139	1.139	2.15
20	9.789	998.2	1.002	1.003	2.18
25	9.777	997.0	0.890	0.893	2.22
30	9.764	995.7	0.798	0.800	2.25
40	9.730	992.2	0.653	0.658	2.28
50	9.689	988.0	0.547	0.553	2.29
60	9.642	983.2	0.466	0.474	2.28
70	9.589	977.8	0.404	0.413	2.25
80	9.530	971.8	0.354	0.364	2.20
90	9.466	965.3	0.315	0.326	2.14
100	9.399	958.4	0.282	0.294	2.07

其他几种常见液体的容重 γ 值见表1—2。

几种常见液体的容重 γ 值（大气压力下）

表1—2

液 体 名 称	汽 油	纯 酒 精	蒸 馏 水	海 水	水 银
容重 $\gamma(\text{N/m}^3)$	6664~7350	7778.3	9800	9996~10084	133280
测定温度℃	15	15	4	15	0

二、液体的压缩性

液体的体积随压力增大而减小（也就是容重和密度随压力的增大而加大），这种性质叫做压缩性。液体可压缩程度，一般用体积压缩系数 β 来表示。 β 是液体体积的相对压缩值 $\frac{dV}{V}$ 与压力增值 dp 的比值，即

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

式中加一负号的原因是：压力增加（ dp 为正值），体积被压缩（即 dV 为负值），两者符号相反，要使 β 以正数表达，式（1—5）就应加一负号。

由于体积随压力增加而减小，同时还伴随着密度的增加，所以式（1—5）又可写为

$$\beta = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dp} \quad (1-6)$$

β 的倒数叫做体积弹性系数 K ，即

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (1-7)$$

β 的单位为 m^2/N ， K 的单位为 N/m^2 。

β 和 K 都是液体压缩性的度量。显然， K 值越大或 β 值越小，说明液体不易压缩。液体种类不同，其 β 和 K 值也就不一样。同一种液体的 β 和 K 值也随温度和压力而变化，但变化不大，一般可看作常数。

水的 K 值一般可采用 $2.02 \times 10^9 \text{N}/\text{m}^2$ 。水在不同温度下的 K 值见表 1—1。

当压力每增加 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ ，水的体积大致只减小十万分之五，即

$$-\frac{dV}{V} = \beta \cdot dp = \frac{dp}{K} = \frac{1.013 \times 10^5}{2.02 \times 10^9} \approx 5 \times 10^{-5}$$

可见，以水为代表的一般液体，其压缩性是很小的，通常可以忽略不计。

但需注意，水力学中的某些特殊问题，如水锤现象等，由于压力变化很大，就必须考虑水体的压缩性，不然就会导致很大的误差。

三、液体的粘滞性

当液体处在运动状态时，若液体内的液层之间存在着相对运动，则液层间要产生一种切向力来抵抗其相对运动，这种性质称为液体的粘滞性，此切向力称粘滞力或内摩擦力。

如图 1—1 所示，液体沿着一个固体平面壁作平行的直线流动，且液体是有规则的呈一层一层地向前运动，不会互相穿插（这种各液层间互不干扰的向前运动称为“层流运动”，以后我们将详细讨论这种运动的特性）。由于液体的粘滞性，贴附在固体边壁上的液层流速为零，靠近固体壁面的液层的流速较小，而远离壁面的液层的流速较大，因而各个不同液层的流速是不同的。设在离壁面为 y 处的液层的流速为 u ，其相邻液层即离壁面为 $y+dy$ 处的液层的流速为 $u+du$ ，由于两相邻液层的流速不同（也就存在着相对运动），在其接触面上要产生切向力来阻止其相对运动，所以这切向力又称为内摩擦力。

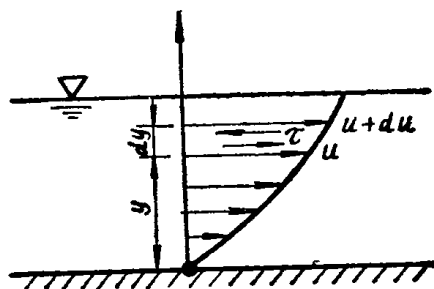


图 1—1

根据科学实验证明，相邻液层接触面的单位面积上所产生的内摩擦力 τ 的大小，与两液层之间的速度差 du 成正比，与两液层之间的距离 dy 成反比，同时与液体的性质有关。将此试验结果写成表达式，即

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

或

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (1-8)$$