



全国高等职业教育示范专业规划教材
热能动力类专业

热工基础

REGONG JICHU

张红霞 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

配电子课件



全国高等职业教育示范专业规划教 热能动力类专业



热工基础

张红霞

热力设备运行

谢冬梅 李心刚

热力设备检修

胡月红

电厂锅炉设备及运行维护

冯德群

汽轮机设备及运行维护

王 勇

热交换器

王亚荣

泵与风机运行检修

程俊骥

热平衡与节能技术

陈 军

ISBN 978-7-111-35611-0

策划编辑：王海峰 / 封面设计：鞠杨

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037

网络服务

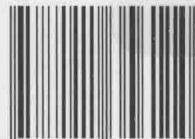
门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

定价：45.00元

ISBN 978-7-111-35611-0



9 787111 356110 >

全国高等职业教育示范专业规划教材
(热能动力类专业)

热 工 基 础

主 编 张红霞
副主编 胡月红
参 编 王玉召



机械工业出版社

本书对“工程流体力学”、“工程热力学”和“传热学”三门课程内容进行整合,既考虑其相对的独立性,又考虑知识之间的联系,力求整体上的协调统一。第一篇工程流体力学包括流体的基本概念和物理性质、流体静力学和流体动力学,共三章,流体动力学部分以一元稳定流动为主;第二篇工程热力学包括热力学基本概念、热力学第一定律、理想气体的性质及热力过程、热力学第二定律、水蒸气及蒸汽动力循环、气体和蒸汽的流动、气体的压缩及制冷循环、湿空气、气体动力循环,共九章;第三篇传热学包括导热、对流换热、辐射换热、传热过程与换热器,共四章。

本书每一篇章前有表示重点内容和知识点之间联系的主要知识框图,每一篇章后面有“复习思考题”、“讨论思考题”和“习题”,书后有附表和附图。

本书可作为高职高专院校热能动力设备与应用专业、供热通风与空调工程技术专业及其相近专业的专业基础课教材,也可作为相关专业的工程技术人员的参考书和培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

热工基础/张红霞主编. —北京:机械工业出版社,
2011.7
全国高等职业教育示范专业规划教材. 热能动力类专业
ISBN 978-7-111-35611-0

I. ①热… II. ①张… III. ①热工学-高等职业教育-教材 IV. ①TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 169455 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王海峰 责任编辑:王海峰

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉

封面设计:鞠 杨 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·24 印张·594 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-35611-0

定价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

能源是社会经济发展的物质基础,热能的转换与传递更是能源利用的主要形式,因此培养出掌握热能转换与利用的理论知识与实践技能的应用型人才,成为我国社会经济发展的必然需求,加强高等职业教育是我国今后一段时期内的教育指导方针。高等职业教育的显著特征是培养学生使其具有运用多种知识和技能解决实际问题的能力,而加强专业基础课程教育是提高专业教育教学质量的重要方面。但目前适用于高等职业教育能源动力类专业的热工基础教材较少,能源动力类专业对实用性和应用性强的热工基础教材的需求很迫切。

承德石油高等专科学校热能动力设备与应用专业是全国示范性高职专业,其热工基础课程根据高职教育的要求进行了改革。本书根据高职高专教育的特点及编者多年的教学经验,以“强化应用”为目的,以“必需、够用”为度,以“实用、好用”为目标,对“工程流体力学”、“工程热力学”、“传热量”三门课程内容进行整合,合并重复的内容,删掉在工程应用中不常见的内容,简化繁冗的推导,增加工程实际应用的实例和例题,既考虑相对的独立性,又考虑知识的先后照应关系,力求整体上的协调统一。每一篇章前有主要知识框图,指出重点内容和知识点之间的关系。主体不但有理论知识及其应用的叙述,而且有“知识拓展”内容,加深知识的深度或引入专业知识或拓宽知识应用的视野。每一篇章后面以“复习思考题”的形式对主要知识点进行总结,以“讨论思考题”引导读者对知识应用的进一步讨论和加深理解,以“习题”巩固知识的应用。为了便于多媒体教学,全书有配套的CAI。

本书可作为高职高专院校热能动力设备与应用专业、供热通风与空调工程技术专业及其相近专业的专业基础课教材,也可作为相关专业的工程技术人员的参考书和培训教材。本书包含的知识点比较全面、丰富,在章节的编排上考虑了不同专业的需求,各专业可以根据实际需要灵活选取教学内容。

本书共有三篇十六章。第一篇工程流体力学包括流体的基本概念和物理性质、流体静力学和流体动力学,共三章,流体动力学部分以一元稳定流动为主;第二篇工程热力学包括热力学基本概念、热力学第一定律、理想气体的性质及热力过程、热力学第二定律、水蒸气及蒸汽动力循环、气体和蒸汽的流动、气体的压缩及制冷循环、湿空气、气体动力循环,共九章;第三篇传热学包括导热、对流换热、辐射换热和传热过程与换热器,共四章。

本书绪论及第一、二、三、四、六、十、十一和十二章由承德石油高等专科学校张红霞编写,第五、七、八、九、十三、十四、十五和十六章由承德石油高等专科学校胡月红编写,全书由张红霞统稿,承德石油高等专科学校王玉召参与了教材编写资料的收集、整理和组稿工作。承德石油高等专科学校热能工程系的领导、老师和学生在教材编

写过程中给予了很多支持和帮助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请同行和读者批评指正。

编 者

目 录

前言	第一节 能量及其利用	1
绪论	第二节 热工基础的研究内容	1

第一篇 工程流体力学

第一章 流体的基本概念和物理性质	复习思考题	46
第一节 流体的定义和连续介质假设	讨论思考题	47
第二节 流体的密度、压缩性和膨胀性	习题	48
第三节 流体的粘性	第三章 流体动力学	52
第四节 作用在流体上的力	第一节 流体运动的研究方法	52
复习思考题	第二节 流体运动的基本概念	53
讨论思考题	第三节 流体稳定流动总流的连续性方程	59
习题	第四节 流体稳定流动总流的能量方程	61
第二章 流体静力学	第五节 流体流动的阻力和能量损失	74
第一节 流体静压强及其性质	第六节 管路水力计算基础	91
第二节 流体静压强的计量	第七节 流体的出流和射流	101
第三节 等压面及其性质	第八节 流动边界层理论基础	110
第四节 流体静力学基本方程及其应用	复习思考题	116
第五节 静止流体对固体壁面的压力	讨论思考题	116
	习题	117

第二篇 工程热力学

第四章 热力学基本概念	习题	135
第一节 热力系统	第五章 热力学第一定律	137
第二节 热力状态及其描述	第一节 闭口系统能量方程式及其应用	137
第三节 过程与可逆过程	第二节 开口系统稳定流动能量方程式及其应用	140
第四节 可逆过程的功和热量	复习思考题	145
第五节 热力循环	讨论思考题	145
复习思考题		
讨论思考题		

习题	145	第九章 气体和蒸汽的流动	204
第六章 理想气体的性质与热力		第一节 喷管和扩压管基本	
过程	147	概念	204
第一节 理想气体的概念及状态		第二节 稳定流动的基本方	
方程式	147	程式	206
第二节 理想气体的比热容	149	第三节 气体和蒸汽在喷管和扩压管	
第三节 理想气体的热力学能、		中的定熵流动	207
焓和熵的变化	153	第四节 喷管的选择和计算	208
第四节 理想气体混合物	154	第五节 绝热节流	215
第五节 理想气体的基本热力		复习思考题	217
过程	156	讨论思考题	217
复习思考题	164	习题	217
讨论思考题	164	第十章 气体压缩及制冷循环	219
习题	165	第一节 气体压缩原理	219
第七章 热力学第二定律	167	第二节 常用的制冷循环	225
第一节 热力学第二定律表述	167	复习思考题	234
第二节 卡诺循环与卡诺定理	169	讨论思考题	235
第三节 克劳修斯积分式	171	习题	235
第四节 不可逆过程熵的变化	174	第十一章 湿空气	237
第五节 孤立系统熵增原理及		第一节 湿空气的性质及其状态	
应用	175	参数	237
复习思考题	178	第二节 湿空气的焓湿图	242
讨论思考题	178	第三节 湿空气的基本热力	
习题	179	过程	246
第八章 水蒸气及蒸汽动力循环	181	复习思考题	252
第一节 水蒸气的基本概念	181	讨论思考题	253
第二节 水蒸气的定压发生		习题	253
过程	184	第十二章 气体动力循环	255
第三节 水蒸气性质表和图	187	第一节 活塞式内燃机的理想	
第四节 水蒸气的基本热力		循环	255
过程	191	第二节 燃气轮机装置的理想	
第五节 蒸汽动力循环	194	循环	262
复习思考题	201	复习思考题	267
讨论思考题	202	讨论思考题	268
习题	202	习题	268

第三篇 传 热 学

第十三章 导热	270	第二节 平壁的稳态导热	275
第一节 导热的基本概念和定律 ..	271	第三节 圆筒壁的稳态导热	280

第四节 导热的增强与削弱	286	习题	354
第五节 非稳态导热简介	287	附录	355
复习思考题	289	附表 1 工程上常用截面的几何 性质	355
讨论思考题	289	附表 2 常用管件的局部阻力 系数	356
习题	290	附表 3 常用理想气体的定值摩尔 热容和定值比热容	358
第十四章 对流换热	291	附表 4 理想气体的平均比定容 热容	358
第一节 对流换热的基本概念	291	附表 5 理想气体的平均比定压 热容	359
第二节 流体无相变的对流 换热	297	附表 6 理想气体的平均比热容 直线关系式	359
第三节 流体有相变的对流 换热	306	附表 7 以温度为序的饱和水与干 饱和蒸汽表 (节选)	360
复习思考题	314	附表 8 以压力为序的饱和水与干 饱和蒸汽表 (节选)	362
讨论思考题	315	附表 9 未饱和水与过热水蒸气表 (节选)	364
习题	315	附表 10 热绝缘材料	368
第十五章 辐射换热	316	附表 11 干空气的热物理性质	369
第一节 热辐射的基本概念	316	附表 12 烟气的热物理性质	370
第二节 热辐射的基本定律	319	附表 13 饱和水的热物理性质	371
第三节 灰体间的辐射换热	322	附图 1 水蒸气的焓熵图	372
第四节 辐射换热的增强与 削弱	328	附图 2 NH_3 的压焓图	374
第五节 气体辐射简介	330	附图 3 R134a 的压焓图	374
复习思考题	331	附图 4 R12 的压焓图	375
讨论思考题	331	附图 5 湿空气的焓湿图	375
习题	332	参考文献	376
第十六章 传热过程与换热器	333		
第一节 传热过程	333		
第二节 传热的增强与削弱	339		
第三节 换热器	342		
复习思考题	353		
讨论思考题	354		

绪 论

第一节 能量及其利用

人们在日常生活和生产过程中需要各种形式的能量。能够提供各种有效能量的物质资源统称为能源。自然界中天然存在的煤、石油、天然气、水力、风力、地热、太阳能、核燃料等能源没有经过加工和转换就可以为人类提供能量，被称为天然能源或一次能源；由一次能源加工转换而获得的热能、电能、机械能及各种石化制品被称为人工能源或二次能源。其中，水能和风能可以直接转换成机械能被利用，其他主要以热能或转换为热能的形式供人们利用。据统计，世界上平均超过 85% 的能量直接或间接以热能的形式被利用，我国则在 90% 以上。可见，热能的开发和利用是能量转换与利用的重点，对人类社会的发展有着重要意义。

热能的利用形式通常有两种：一种是直接利用，即将热能直接用于加热物体，也称热利用，是一种具有几千年历史的古老方式；另一种是间接利用，即通过热力发动机将热能转换成机械能或再通过发电机转换成电能，又称动力利用，自 18 世纪中叶蒸汽机发明以来已有二百多年的历史，是促进社会生产力和科学技术发展的重要方式，开创了热能利用的新纪元。

第二节 热工基础的研究内容

热工基础是研究热能利用的理论基础的学科，主要研究热能热利用和动力利用的基本规律，即研究热量的传递规律和热能与机械能之间的相互转换规律以及实现能量传递和转换所应用的媒介物流体的性质和运动规律，所以本书由工程流体力学、工程热力学和传热学三部分综合组成。

流体力学是一门应用很广的学科，是力学的一个分支。它的应用随着生产的需要和科学的发展不断深化、扩大和更新，从古代农业、水利为主推广到现代的能源、化工、石油、建筑、环保、机械、航运、航空、航天等工程技术领域。流体力学按研究的侧重点不同，分为理论流体力学和工程流体力学。理论流体力学侧重于理论分析，主要采用严密的数学推理方法，力求准确性和严密性。工程流体力学侧重于解决工程实际中出现的问题，采取理论分析与实验研究相结合的方法，具有工程实用性，应用广泛。工程流体力学主要研究流体的宏观机械运动规律及其在工程技术领域中的应用，其基础理论主要包括流体静力学和流体动力学两大部分。流体静力学主要研究作用在处于平衡状态的流体上的力之间的关系。流体动力学主要研究作用于流动状态的流体上的力和流动之间的关系。

热力学是研究物质的能量、能量的传递和转换以及能量与物质性质之间的普遍关系的科学，工程热力学是它的工程分支。工程热力学着重研究热能与机械能之间的转换规律及其工程应用，在电力、运输、船舶、航空、制冷等行业都有应用。工程热力学主要采用宏观的研

究方法,以热力学第一定律和第二定律为基础,以动力循环和制冷(热泵)循环为核心,以理想气体和实际气体的性质和热力过程为主要研究内容。

传热学主要研究热量的传递规律,在能源、电力、冶金、石油、化工、建筑、航空、航天、环保、电子、生物等技术领域应用广泛。传热学主要采用理论分析、数值模拟和实验研究相结合的方法,以导热、对流换热、辐射换热及其应用的理论基础为主要内容。

动力循环将热能转换为机械能,蒸汽动力循环的主要设备和系统流程如图 0-1 所示。在这个循环中,水在锅炉中吸热而成为蒸汽,蒸汽进入汽轮机做功将其热能转换为机械能在汽轮机轴上输出,乏汽在冷凝器中被循环水冷却成水,给水泵又将凝结水送入锅炉再次吸热。设置这个循环的主要目的是将蒸汽所具有的热能通过汽轮机转换为机械能,蒸汽的循环产生和凝结水的回收利用则通过锅炉、冷凝器这两个换热器及给水泵的工作实现,其中的工质——水和水蒸气作为能量转换和输送的媒介物在循环中扮演了重要角色。从以上分析可知,这是一个典型的热能动力利用的装置,其中涉及了工程热力学、传热学和流体力学的知识。

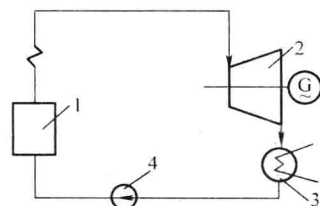


图 0-1 简单蒸汽动力循环系统

1—锅炉 2—汽轮机 3—冷凝器
4—给水泵

制冷循环将热量由低温物体传给高温物体,需要通过消耗机械能实现,最终的结果是机械能转换为热能传向高温物体,蒸汽压缩式制冷系统如图 0-2 所示。在这个循环中,制冷剂在蒸发器中吸热汽化,蒸气在压缩机中被压缩而升压,再进入冷凝器被冷却,通过节流阀降压后又进入蒸发器吸热制冷,工质——制冷剂在 1 状态点为低压蒸气,在 2 状态点是高压蒸气,在 3 状态点成为高压液体,在 4 状态点变为低压液体。蒸发器和冷凝器是换热器,压缩机消耗机械功,节流阀降压,共同作用实现热量从冷库被吸走。热工基础的知识在制冷循环中得到了应用。

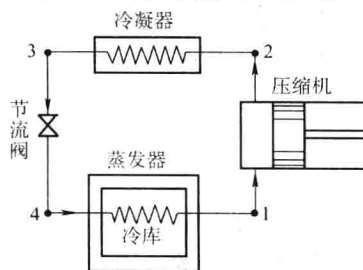


图 0-2 蒸汽压缩式制冷系统

在温差的作用下会进行自发的传热过程。热量的传递有三种基本方式：热传导、热对流、热辐射，大多数情况下是两种或三种方式同时进行。如图 0-3 所示的热水供热管道，热水的温度高于周围环境的温度，在热水流过管道时会存在热量损失，同时存在着三种热量传递方式。内壁面的温度高于外壁面的温度，热量就会由内壁面通过热传导的方式传向外壁面；外壁面的温度高于紧贴壁面的静止空气的温度，热量又会以热传导的方式由外壁面传给空气。流动的热热水与管道内壁之间的热量传递过程，热量首先由流动的热热水以热对流的方式传给紧贴内壁面的静止热热水，再通过热传导的方式传给管道内壁。这种由热对流和热传导共同作用而产生的传热现象称为对流换热。管道的外壁面与周围空气之间也存在着对流换热，所不同的是，空气的流动是由温度差存在而产生的密度不同引起的，热热水的流动是由水泵的作用而产生的，前者称为自然对流换热，后者称为强迫对流换热。由于物体自身温度的原因向外发射辐射能的现象称为热辐射。当物体之间存在温差时，它们之间会以热辐射的方式相互交换

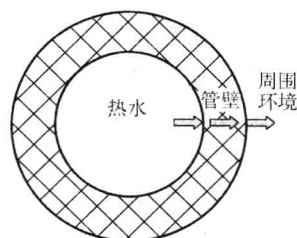


图 0-3 热水供热管道

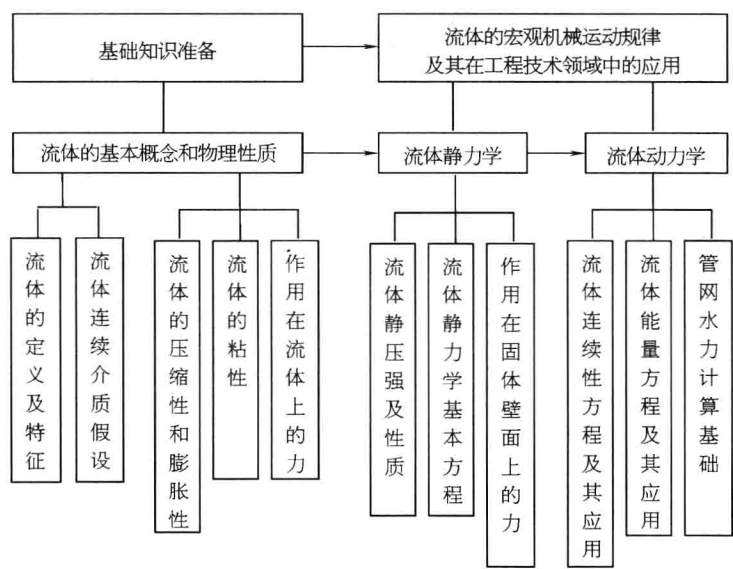
热量，这种热量传递现象称为辐射换热。管道的内外壁面分别与热水和环境空气之间进行着辐射换热。

工程上经常遇到如图 0-3 所示的固体壁面两侧流体之间的热量交换，在传热学中这种过程有特定的称谓——传热过程，它是指热量从固体壁面一侧的流体通过固体壁面传递到另一侧流体的过程。在一个实际的传热过程中，往往同时存在着多种热量传递方式。如暖气片的散热过程与图 0-3 所示的热量由热水传递到周围环境的情况类似：暖气片内的热水与内壁面的对流换热和辐射换热（以对流换热为主，辐射换热往往可忽略），暖气片内、外壁面的热传导，暖气片与周围空气的对流换热以及与房间内墙壁、物体之间的辐射换热。又如锅炉炉膛内的传热过程，高温烟气以辐射和对流方式（辐射为主，对流换热量约占 5%）把热量传给水冷壁和过热器管（小型锅炉为锅炉管束），管壁将热量导向内壁，再通过对流换热传给管内的汽、水混合物，不断把水加热成蒸气。

图 0-3 中的由热源产生的热水输送到换热站，再由换热站输送到热用户，最后回收再利用，需要一个供热管道系统，系统的设计和运行需要工程流体力学的知识。

第一篇 工程流体力学

流体是实现能量输送、传递和转换的媒介物，流体的性质和运动规律是“热工基础”的基础，所以我们首先来学习“工程流体力学”。静止是一种特殊的运动形式，在这一篇中，我们主要学习流体的主要物理性质、流体静力学和流体动力学三方面的基础知识，主要知识点之间的关系表示如下：



静力学部分的核心问题是压强[⊙]，动力学部分的重点是连续性方程和能量方程的应用，核心问题是管网水力计算基础。

第一章 流体的基本概念和物理性质

流体的平衡和运动规律，与其性质和受力有直接联系，因此在这一章中，我们要学习流体的定义和特征、连续介质假设等基本理论，压缩性、膨胀性、粘性等主要物理性质和作用在流体上的力，重点是流体的压缩性、膨胀性和粘性。本章主要内容和知识点之间的联系如图 1-1 所示。

[⊙] 物理、力学上称为压强，工程上称为压力。

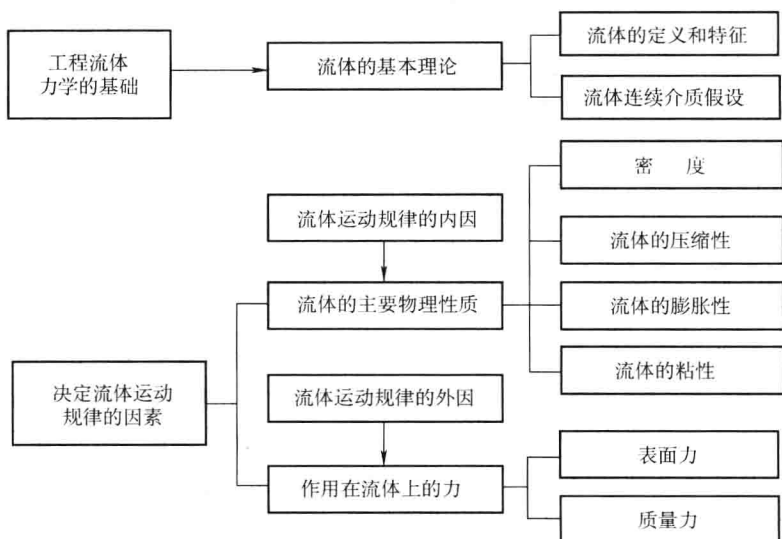


图 1-1 本章主要内容和知识点之间的联系

第一节 流体的定义和连续介质假设

一、流体的定义和特征

所谓流体，通俗地说，就是指能流动的物质。物质常见的存在状态是固态、液态和气态，处在这三种状态下的物质分别被称为固体、液体和气体，其中液体和气体能流动，统称为流体。严格地说，用力学语言定义流体应为：在任何微小剪切力的持续作用下能够连续不断变形的物质称为流体。由流体的定义可知，流体区别于固体的基本特征是具有流动性。流动性可理解为流体在静止时不能承受切向力的性质。另外，流体没有固定的形状，它的运动和变形联系在一起。常见的流体工作介质有空气、水、油等。

同为流体的液体和气体，还具有不同的性质：气体比液体易压缩；液体有一定的体积，存在一个自由表面，而气体能充满容纳它的容器，没有自由表面；气体比液体易变形。

知识拓展：流体与固体、气体与液体性质不同的原因

造成流体与固体、气体与液体性质不同的主要原因是集态不同决定分子间的作用力不同。集态不同，微观结构就不同，主要是分子间距有差别。在相同体积的固体和流体中，流体所含的分子数目比固体少得多，分子间的空隙就大得多，分子间的作用力就小得多，分子运动就剧烈，所以流体具有流动性和不能保持一定的形状。在相同的外界条件下，气体分子和液体分子大小无显著差别，而分子间距却相差很多，如在标准状态下，液体的分子间距大约与分子平均直径相当，而气体的分子间距约是分子平均直径的 10 倍，这样气体分子间的空隙很大，分子间主要存在微弱的引力，分子热运动起决定性的作用，所以气体没有一定的体积，比液体更容易压缩和变形。

二、流体连续介质假设

从微观角度看，流体是由大量做无规则运动的分子组成的，分子之间存在空隙。在标准

状态下, 1mm^3 气体含有 2.7×10^{16} 个左右的分子, 分子间距离是 $3.3 \times 10^{-6}\text{mm}$ 。但工程流体力学并不研究个别分子的微观运动, 而是研究由大量分子组成的宏观流体在外力作用下的宏观运动。从宏观角度, 我们看不到分子之间的空隙, 感觉组成流体的分子是连续分布的, 因为工程上所采用的一切特征尺度都比分子距离大得多。因此, 在研究流体的宏观运动时, 可以忽略流体分子间的空隙, 把流体看成是由无限多连续分布的流体微团组成的无空隙的连续介质, 这称为流体连续介质假设。流体微团是人为选取的一块体积为无穷小的含有众多分子的微量流体, 可看做一个质点。在流体力学中, 将流体微团作为研究流体的基本单元, 可根据具体情况取成任意形状。

流体连续介质假设为流体力学的研究奠定了基础, 具有重要意义。把流体看做连续介质后, 描述流体宏观特性的物理量都可看做是空间坐标和时间的连续函数, 从而可用连续函数的解析方法等数学工具来研究流体的运动规律。流体连续介质假设对大部分工程技术问题都是适用的, 但对某些特殊问题具有局限性: 当所研究问题的特征尺寸小于或相当于分子间距离时, 此假设不适用。如火箭在高空非常稀薄的气体中飞行、高真空技术等。本书只研究连续介质假设适用的流体力学问题。

第二节 流体的密度、压缩性和膨胀性

由于流体分子间存在空隙, 当流体的压强和温度发生变化时, 分子间的距离会发生变化。对于一定质量的流体, 压强增加可使分子间距离减小, 体积随之减小, 密度增加; 温度升高可使分子间距离增大, 体积随之增大, 密度减小。流体的体积和密度随压强和温度的改变而变化的性质分别称为流体的压缩性和膨胀性, 在生活和生产中经常遇到体现这些性质的现象。例如, 自行车胎在烈日下暴晒会爆裂, 热水膨胀会使换热器的连接件松动, 温度计内的液柱高度随温度的升高而增长, 烟囱能抽烟等体现了流体的膨胀性; 充气筒能给车胎充气, 注射器进行注射, 水管阀门突然关闭引起水击现象等体现了流体的压缩性。流体密度的变化是压缩性和膨胀性的直接体现。

一、流体的密度

密度是流体的重要物理参数之一, 用它来表示物质质量在空间的分布状况。不相容的流体互相掺混, 密度大的流体总是自然分布在下面, 由于密度差会形成自然循环、热对流和自然对流换热等现象。常用的密度有两种, 即密度和相对密度, 前者一般直接用于工程计算, 后者便于密度的比较。

1. 密度

密度指单位体积流体所具有的质量。它表征流体在空间某点的质量密集程度, 一般用符号 ρ 表示。对于各点质量密集程度相同的均质流体, 其密度为

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

式中 ρ ——流体的密度, 单位为 kg/m^3 ;

m ——流体的质量, 单位为 kg ;

V ——流体的体积, 单位为 m^3 。

对于各点质量密集程度不相同的非均质流体，在流体空间中取包含某点的体积为 ΔV 的流体微团，其质量为 Δm ，则该点的密度为

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

2. 相对密度

相对密度指某种流体的密度与 4℃ 时纯水的密度的比值，用符号 d 来表示。

$$d = \frac{\rho_f}{\rho_{H_2O}}$$
 (1-3)

式中 ρ_f ——流体的密度，单位为 kg/m^3 ；

ρ_{H_2O} ——4℃ 时纯水的密度（水在 4℃ 时密度最大）， $\rho_{H_2O} = 1000kg/m^3$ 。

表 1-1 列出了标准大气压下一一些常用液体的主要物理参数，表 1-2 列出了一些常用气体在标准大气压和 20℃ 下的主要物理参数。

表 1-1 在标准大气压下常用液体的主要物理参数

液体种类	温度 $t/^\circ C$	密度 $\rho/(kg/m^3)$	相对密度 d	动力粘度 $\mu/10^4 Pa \cdot s$
纯水	20	998	1.00	10.1
海水	20	1026	1.03	10.6
20% 盐水	20	1149	1.15	—
乙醇(酒精)	20	789	0.79	11.6
苯	20	895	0.90	6.5
四氯化碳	20	1588	1.59	9.7
氟利昂—12	20	1335	1.34	—
甘油	20	1258	1.26	14900
汽油	20	678	0.68	2.9
煤油	20	808	0.81	19.2
原油	20	850 ~ 928	0.85 ~ 0.93	72
润滑油	20	918	0.92	—
氢	-257	72	0.072	0.21
氧	-195	1206	1.21	2.8
汞	20	13555	13.58	15.6

表 1-2 在标准大气压和 20℃ 下常用气体的主要物理参数

气体种类	密度 $\rho/(kg/m^3)$	动力粘度 $\mu/(10^5 Pa \cdot s)$	气体常数 $R_g/[J/(kg \cdot K)]$	气体种类	密度 $\rho/(kg/m^3)$	动力粘度 $\mu/(10^5 Pa \cdot s)$	气体常数 $R_g/[J/(kg \cdot K)]$
空气	1.205	1.80	287	氮	1.16	1.76	297
二氧化碳	1.84	1.48	188	氧	1.33	2.00	260
一氧化碳	1.16	1.82	297	甲烷	0.688	1.34	520
氢	0.166	1.97	2077	氢	0.0839	0.90	4120