



高等学校“十二五”精品规划教材

# 流体力学泵与风机

主 编 杨 春 高红斌  
副主编 郭 欢 贾志斌 张华君



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)



高等学校“十二五”精品规划教材

# 流体力学泵与风机

主 编 杨 春 高红斌

副主编 郭 欢 贾志斌 张华君



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书分为流体力学和泵与风机两部分,以基本理论为基础,工程应用为目的,力求以简洁清晰的分析取代复杂的理论推导,以具体实用的实例提高工程实践能力。主要内容包 括流体及其物理性质,流体静力学,流体运动学和动力学基础,黏性流体的管内流动,孔口、管嘴、管路流动与气体射流,不可压缩黏性流体的外部流动,泵与风机的基本参数与分类,常见叶片式泵与风机的主要结构,叶片式泵与风机的理论基础,泵与风机的运行调节。每章均附有例题、小结、习题以供选用。

本书可作为高等院校热能与动力工程、火电厂集控运行、建筑环境与设备、环境工程、供热通风及相近专业的教材,也可供相关专业工程技术人员培训使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

流体力学泵与风机 / 杨春, 高红斌主编. — 北京 :  
中国水利水电出版社, 2011.8  
高等学校“十二五”精品规划教材  
ISBN 978-7-5084-8674-1

I. ①流… II. ①杨… ②高… III. ①流体力学—高等学校—教材②泵—高等学校—教材③鼓风机—高等学校—教材 IV. ①035②TH3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第170672号

|      |                                                                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 高等学校“十二五”精品规划教材<br><b>流体力学泵与风机</b>                                                                                             |
| 作 者  | 主编 杨春 高红斌 副主编 郭欢 贾志斌 张华君                                                                                                       |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                            |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                |
| 印 刷  | 北京市兴怀印刷厂                                                                                                                       |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 16.25印张 386千字                                                                                                 |
| 版 次  | 2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷                                                                                                        |
| 印 数  | 0001—3000册                                                                                                                     |
| 定 价  | <b>32.00元</b>                                                                                                                  |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

本教材是中国水利水电出版社高等学校“十二五”精品规划教材之一。“流体力学泵与风机”是一门重要的专业基础课程，该课程的目的是为学习专业课以及从事技术工作提供必要的基础理论和实践技能。

本教材共十章，分为上、下两篇，上篇为流体力学，下篇为泵与风机。其中第一章至第六章为流体力学基本知识，第七章至第十章为泵与风机基本原理、设备结构、运行调节、理论及其应用。本教材在编写上力求满足工程应用型专业的教学要求，内容的选取和组织体现以实用为目的，以必需、够用为度，尽量删繁就简，理论联系实际，注意与专业课的衔接。为便于学生更好地掌握知识体系的重点内容，在每章开头都有知识目标和能力目标的说明。另外各章均附本章小结及习题，具有针对性，以利于学生复习、巩固所学的理论知识，培养学生运用基本理论解决实际问题的能力。

本教材由山西大学工程学院杨春和高红斌主编，其中杨春编写绪论、第三章、第六章，高红斌编写第二章、第四章、第七章；山西建筑职业技术学院郭欢编写第五章、第九章；太原理工大学贾志斌编写第一章；太原科技大学张华君编写第八章、第十章。

由于编者水平有限，本教材中难免存在不足和错误之处，恳请读者和专家批评指正。

编者

2011年5月

# 目 录

## 前言

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 绪论 .....                   | 1 |
| 第一节 流体力学的任务和发展概况 .....     | 1 |
| 第二节 泵与风机在国民经济中的作用和地位 ..... | 3 |

## 上篇 流 体 力 学

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 流体及其物理性质 .....       | 9  |
| 第一节 流体的定义和连续介质模型 .....   | 9  |
| 第二节 流体的主要物理性质 .....      | 10 |
| 第三节 作用在流体上的力 .....       | 19 |
| 本章小结 .....               | 20 |
| 习题 .....                 | 20 |
| 第二章 流体静力学 .....          | 21 |
| 第一节 流体静压强及其特性 .....      | 21 |
| 第二节 流体的平衡方程式 .....       | 23 |
| 第三节 重力作用下的流体平衡 .....     | 24 |
| 第四节 液柱式测压计 .....         | 27 |
| 第五节 平面上的静水总压力 .....      | 31 |
| 第六节 曲面上的流体总压力 .....      | 34 |
| 第七节 液体的相对平衡理论 .....      | 37 |
| 本章小结 .....               | 40 |
| 习题 .....                 | 41 |
| 第三章 流体运动学和动力学基础 .....    | 46 |
| 第一节 描述流体运动的两种方法 .....    | 46 |
| 第二节 描述流体运动的几个基本概念 .....  | 49 |
| 第三节 流体流动的连续性方程 .....     | 53 |
| 第四节 理想流体的运动微分方程 .....    | 55 |
| 第五节 理想流体微元流束的伯努利方程 ..... | 56 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 第六节 伯努利方程的应用 .....               | 58         |
| 第七节 定常流动的动量方程 .....              | 62         |
| 第八节 定常流动的动量矩方程 .....             | 65         |
| 本章小结 .....                       | 66         |
| 习题 .....                         | 67         |
| <b>第四章 黏性流体的管内流动</b> .....       | <b>72</b>  |
| 第一节 管内流动的能量损失 .....              | 72         |
| 第二节 流动阻力和流动损失 .....              | 76         |
| 第三节 黏性流体的两种流动状态 .....            | 78         |
| 第四节 圆管中流体的层流流动 .....             | 80         |
| 第五节 圆管中流体的紊流流动 .....             | 85         |
| 第六节 沿程阻力系数的实验研究 .....            | 90         |
| 第七节 局部损失 .....                   | 94         |
| 第八节 管路性能曲线 .....                 | 98         |
| 本章小结 .....                       | 101        |
| 习题 .....                         | 101        |
| <b>第五章 孔口、管嘴、管路流动与气体射流</b> ..... | <b>105</b> |
| 第一节 孔口出流 .....                   | 105        |
| 第二节 管嘴出流 .....                   | 110        |
| 第三节 简单管路计算 .....                 | 113        |
| 第四节 串联与并联管路计算 .....              | 118        |
| 第五节 管网计算基础 .....                 | 124        |
| 第六节 水击现象 .....                   | 129        |
| 第七节 气体射流 .....                   | 133        |
| 本章小结 .....                       | 143        |
| 习题 .....                         | 144        |
| <b>第六章 不可压缩黏性流体的外部流动</b> .....   | <b>148</b> |
| 第一节 绕流边界层的基本概念 .....             | 148        |
| 第二节 边界层的动量积分方程 .....             | 150        |
| 第三节 绕曲面流动及边界层的分离 .....           | 154        |
| 第四节 绕流阻力及升力 .....                | 156        |
| 本章小结 .....                       | 159        |
| 习题 .....                         | 160        |

**下篇 泵 与 风 机**

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>第七章 泵与风机的基本参数与分类</b> ..... | <b>163</b> |
| 第一节 泵与风机的主要性能参数 .....         | 163        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第二节 泵与风机的分类及其应用·····            | 164 |
| 本章小结·····                       | 169 |
| 习题·····                         | 169 |
| <b>第八章 常见叶片式泵与风机的主要结构</b> ····· | 170 |
| 第一节 离心式泵与风机的主要部件·····           | 170 |
| 第二节 离心式泵与风机的整体结构·····           | 180 |
| 第三节 轴流式泵与风机的主要结构·····           | 185 |
| 本章小结·····                       | 189 |
| 习题·····                         | 189 |
| <b>第九章 叶片式泵与风机的理论基础</b> ·····   | 190 |
| 第一节 离心泵与风机的设计能头·····            | 190 |
| 第二节 泵与风机的实际能头计算·····            | 195 |
| 第三节 离心式泵与风机的性能曲线·····           | 197 |
| 第四节 泵与风机的相似定律与比转数·····          | 201 |
| 第五节 泵的汽蚀与安装高度·····              | 206 |
| 第六节 轴流泵与风机的叶轮理论和性能·····         | 210 |
| 本章小结·····                       | 213 |
| 习题·····                         | 213 |
| <b>第十章 泵与风机的运行调节</b> ·····      | 215 |
| 第一节 泵与风机的工作点·····               | 215 |
| 第二节 运行工况的调节·····                | 216 |
| 第三节 泵与风机的联合运行·····              | 227 |
| 第四节 变速调节的变速方式·····              | 230 |
| 第五节 泵与风机的工作稳定性·····             | 234 |
| 第六节 泵与风机的启动、运行与维护·····          | 236 |
| 第七节 泵与风机的选型·····                | 239 |
| 本章小结·····                       | 242 |
| 习题·····                         | 242 |
| 附录 I 泵系列型谱及风机性能选择曲线·····        | 244 |
| 附录 II 泵与风机的型号编制·····            | 248 |
| 参考文献·····                       | 252 |

# 绪 论

## 第一节 流体力学的任务和发展概况

### 一、流体力学的研究内容

流体力学是以流体为研究对象，研究流体平衡、运动规律及应用的学科，是力学的一个重要分支。流体是气体和液体的总称，在人们的生活和生产活动中随时随地都可遇到流体，所以流体力学是与人类日常生活和生产事业密切相关的。大气和水是最常见的两种流体，大气包围着整个地球，地球表面的 70% 是水面。大气运动、海水运动乃至地球深处熔浆的流动都是流体力学的研究内容，而且随着生产的需要与科学的发展在不断地更新、深化和扩大。

流体力学既包含自然科学的基础理论，又涉及工程技术科学方面的应用。流体力学基础理论从流体作用力的角度可分为三部分：静力学、运动学、动力学。静力学主要研究在外力作用下，流体平衡条件及压强分布规律；运动学主要研究在给定条件下流体运动的特征和规律；动力学研究在外力作用下流体有压、无压流动及绕流时的运动规律，分析其速度分布、压强分布、能量损失以及流体与固体间的相互作用力。流体力学的研究范畴是将流体流动作为宏观机械运动进行研究，而不是研究流体的微观分子运动，因而在流体动力学部分主要研究流体的质量守恒、动量守恒和能量守恒及转换等基本规律。

### 二、流体力学在各个领域的应用

流体力学作为一门专业基础课程，是一门应用性很广的学科，在实际工程技术中流体力学都有着广泛的应用。目前，已经很难找出一个技术部门与流体力学没有或多或少的联系。无论是水利工程、动力工程、航天工程，还是化学工程、机械工程等方面都涉及到流体力学问题。例如：①由于在各种热能动力和许多机械设备中采用水、汽、空气、油、烟气等流体作为工作介质，因此，只有掌握了流体的基本运动规律才能真正了解这些设备的功能和运行规律；②水利工程的建设，河流的治理及利用，水库、大型水利枢纽的设计与建造，洪峰预报，环境污染预报，河流泥沙的预测（例如黄河的泥沙）都与流体力学紧密相联；③气象科学中的天气预报也绝对离不开流体力学，天文学中，有研究组成星云的气状物质运动的宇宙流体力学；④在工业部门，石油化工、冶金、土建甚至于像粮食加工、面粉输运都离不开流体力学；⑤在医学部门，又出现了一门新的科学——生物流体力学（这是一门边缘科学），研究人体内血液的流动，研制人工心脏等都要根据流体力学的基本原理；⑥近年来发展的磁流体力学等。就某种意义而言，也正是在流体力学的研究工作不断取得成就的前提下，才促进了这些领域的大力发展。

### 三、流体力学的发展历史

流体力学同其他自然科学一样,也是人类为了满足自身生活和生产的需要,经过长期的生产实践和科学研究才逐渐发展成为自然科学的一个重要分支的。

流体力学的发展在时间上可以追溯到很久以前,尤其是我国水利事业的历史十分悠久。4000多年前的“大禹治水”,就已认识到治水必须顺水之性,应引导疏通;公元前256~前210年三大水利工程都江堰、郑国渠、灵渠,表明当时对明渠水流和堰流的认识都已经达到了相当高的水平,尤其是都江堰,为世界著名治水工程的历史典范,颂扬至今。大约与此同时,古罗马人建成了大规模的供水管道系统等。

第一个对流体力学学科的形成作出贡献的是古希腊的阿基米德,他建立了包括物理浮力定律和浮体稳定性在内的液体平衡理论,奠定了流体静力学的基础。直到15世纪,意大利达·芬奇的著作才谈到水波、管流、水力机械、鸟的飞翔原理等问题;17世纪,帕斯卡阐明了静止流体中压力的概念。但流体力学尤其是流体动力学作为一门严密的科学,却是随经典力学建立了速度、加速度、力、流场等概念,以及质量、动量、能量三个守恒定律的奠定之后才逐步形成的。

17世纪,力学奠基人牛顿研究了在流体中运动的物体所受到的阻力,得到阻力与流体密度、物体迎流截面积以及运动速度的平方成正比的关系。他针对黏性流体运动时的内摩擦力也提出了牛顿黏性定律。但是,牛顿还没有建立起流体动力学的理论基础,他提出的许多力学模型和结论同实际情形还有较大的差别。之后,法国的皮托发明了测量流速的皮托管;达朗贝尔对运河中船只的阻力进行了许多实验工作,证实了阻力同物体运动速度之间的平方关系;瑞士的欧拉采用了连续介质的概念,把静力学中压力的概念推广到运动流体中,建立了欧拉方程,正确地用微分方程组描述了无黏流体的运动;伯努利从经典力学的能量守恒出发,研究供水管道中水的流动,精心地安排了实验并加以分析,得到了流体定常运动下的流速、压力、管道高程之间的关系——伯努利方程。欧拉方程和伯努利方程的建立,是流体动力学作为一个分支学科建立的标志,从此开始了用微分方程和实验测量进行流体运动定量研究的阶段。

1822年,纳维建立了黏性流体的基本运动方程;1845年,斯托克斯又以更合理的基础导出了这个方程,这组方程就是沿用至今的纳维-斯托克斯方程(简称N-S方程)。普朗特学派于1904~1921年逐步将N-S方程做了简化,从推理、数学论证和实验测量等各个角度,建立了边界层理论,能实际计算简单情形下,边界层内流动状态和流体同固体间的黏性力,同时普朗克又提出了许多新概念,并广泛地应用到飞机和汽轮机的设计中。

20世纪初,飞机的出现极大地促进了空气动力学的发展。航空事业的发展,期望能够揭示飞行器周围的压力分布、飞行器的受力状况和阻力等问题,这就促进了流体力学在实验和理论分析方面的发展。20世纪40年代以后,由于喷气推进和火箭技术的应用,飞行器速度超过声速,进而实现了航天飞行,使气体高速流动的研究进展迅速,形成了气体动力学等分支学科。从20世纪60年代起,流体力学开始了流体力学和其他学科的互相交叉渗透,形成新的交叉学科或边缘学科,流体力学不断地得到了完善与提高。

## 第二节 泵与风机在国民经济中的作用和地位

### 一、泵与风机的作用

泵与风机是能将原动机（电动机、汽轮机等）的机械能转换成被输送流体的压力势能和动能的流体机械，如图 0-1 所示。如果输送的流体是液体，则称为泵；输送的流体为气体，则称为风机。泵与风机是日常生活中及工程实际上用途非常广泛的流体机械。从学科角度来看，则是流体力学的应用和发展。

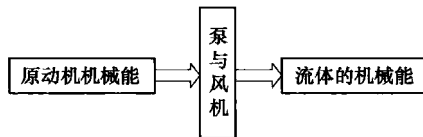


图 0-1 泵与风机能量转化示意图

### 二、泵与风机在国民经济建设中的地位

随着现代工业的蓬勃发展，泵与风机作为通用机械而广泛应用于它们在国民经济的各个部门。在采矿、冶金、电力、石油、化工、市政以及农业等部门中，用到各种形式的泵与风机。据统计，泵与风机耗电约占全国总用电量的百分比逐步从原 30% 增至 40%。由此可见，泵与风机在我国国民经济建设中数量之多、应用之广及地位之重。

例如，在农业生产中，农田的灌溉与排涝；在工业生产中，矿山的坑道用泵排除矿内的积水，用风机排除矿山坑道产生的瓦斯气体；在石油、化工部门中，使用大量的多种类型的泵输送有腐蚀性的化工原料和成品，向地层注水；在冶金工业中，各种冶炼炉的鼓风以及气体和液体的输送；其他工业和人们日常生活中的采暖、通风、空调等都应用到泵与风机。

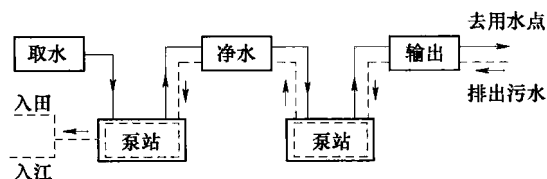


图 0-2 城市给水排水系统基本流程

在市政建设中，水泵是给水排水工程必要的组成部分，是给水排水系统正常运转的枢纽。如图 0-2 所示，在给水中，原水由取水泵站从水源取水并输送到水厂，净化后再由加压泵站输送到室外管网，对于高层建筑还需要水泵进一步加压。在排水系统中，水泵站也是保证系统正常运转的必要枢纽。城市排出的污水或废水，经排水管渠系统汇集后流入集水井，需要用水泵站抽送到污水处理厂，处理后的废水有时需要用水泵站排入水体。从用电量角度看，城市给水中 95%~98% 是用来维持水泵的运转，一般城镇水厂中制水成本的 40%~70% 是水泵消耗的电费。

在火力发电厂中，泵与风机是实现动力循环的重要组成部分，是重要的辅机之一。其电能的生产是依靠汽（气）、水、油等流体介质在泵与风机同其他热力设备用管道连接组成的系统（如热力系统和一些辅助生产系统）中流动，进而安全经济地实现热功的转换，为发电机提供足够的机械能，实现机械能与电能间的转换。在热力发电厂中，泵与风机起着全厂水、气输送的作用。图 0-3 是火力发电厂的系统简图，由此可看出，向锅炉送水有给水泵；向汽轮机凝汽器送冷却水有循环水泵；排送凝汽器中凝结水有凝结水泵；排送

热力系统中各处输水有输水泵；为了补充管路系统的汽水损失，又设有补给水泵；排除锅炉燃烧后的灰渣设有灰渣泵和冲灰渣水泵；另外，还要供给汽轮机各轴承润滑用油的润滑油泵；供各水泵、风机轴承冷却用水的工业水泵等。此外，炉膛燃烧需要煤粉和空气，为此设有排粉风机、送风机，为排除锅炉燃烧后的烟气，设有引风机。由上述泵与风机中不难看出，用泵输送的介质有给水、凝结水、冷却水、润滑油等；用风机输送的介质有空气、烟气以及煤粉与空气的混合物和水与灰渣的混合物等。

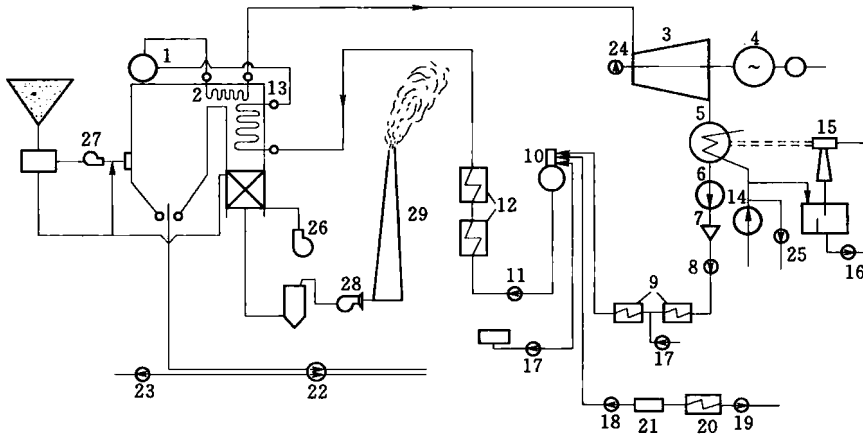


图 0-3 火力发电厂系统简图

- 1—锅炉汽包；2—过热器；3—汽轮机；4—发电机；5—凝汽器；6—凝结水泵；7—除盐装置；  
8—升压泵；9—低压加热器；10—除氧器；11—锅炉给水泵；12—高压加热器；13—省煤器；  
14—循环水泵；15—射水抽气器；16—射水泵；17—输水泵；18—补给水泵；19—生水泵；  
20—生水预热器；21—化学水处理设备；22—灰渣泵；23—冲灰水泵；24—液泵；  
25—工业水泵；26—送风机；27—排粉风机；28—引风机；29—烟囱

泵与风机是电厂的耗电大户，特别是给水泵素有“电老虎”之称。据统计，各种泵与风机的耗电量约占厂用电的 70%~80%（采用汽动给水泵除外），约为机组容量的 5%~10%；其中泵约占 50%，风机约占 30%。另外，从安全角度来说，在发电厂的电力生产过程中，由于泵与风机发生故障而引起停机、停炉，发不出电的例子很多，并由此造成巨大的经济损失。实践证明，提高泵和风机的安全可靠性是尤为重要的。如有两台循环水泵的汽轮机，其中一台循环水泵发生故障，汽轮发电机就要降低出力。又如现代的大型锅炉，容量大、汽包的水容积相对较小，如果锅炉给水泵发生故障而中断给水，则汽包在极短的时间内“干锅”迫使停炉，甚至停机。因此，泵与风机的安全经济运行是与电厂的安全经济运行密切相关的。

### 三、泵与风机的历史发展

泵与风机的快速发展始于 18 世纪，由于蒸汽机的发明和采矿、钢铁工业的需要，出现了一种比较完善的以蒸汽机为动力的往复式泵与风机。之后又发明了离心式和轴流式泵与风机。与此同时欧拉和儒可夫斯基分别研究出叶片式泵与风机的基本方程式和升力公式，为泵与风机的设计提供了理论依据。到 19 世纪末，由于电动机的发明，泵与风机在工农业生产中得到了广泛的应用。

随着科学技术的不断进步，泵与风机正向着大容量、高转速、高效率及自动化等方向发展。但从我国泵与风机的目前使用情况来看，仍存在设备陈旧、调节方式相对落后等问题，所以提高泵与风机的技术指标，节约能耗，提高其运行的经济性和可靠性，则无疑是我们学习这门课程的主要目的和任务。



上 篇

流 / 体 / 力 / 学



# 第一章 流体及其物理性质

知识目标：

- 掌握流体的定义、特征、主要物理性质、三个假设物理模型
- 掌握不可压缩流体的特点
- 了解表面张力和毛细现象的成因
- 理解黏性的成因及影响因素和作用在流体上的力的种类及特点

能力目标：

- 能够运用牛顿内摩擦定律进行简单的工程计算

本章主要讲述流体的定义、特征和主要的物理性质及作用在流体上的力。流体的易流动性决定了它与固体的明显区别。流体的可压缩性和黏性是流体常用的物理性质，也是研究流体其他物理量的基础。牛顿内摩擦定律给出了牛顿流体中相关参数的计算方法，也是后续内容中的必备基础知识。

## 第一节 流体的定义和连续介质模型

### 一、流体的定义和特征

一般常将液体和气体统称为流体，因为相对于固体而言，它们具有共同的特征——易流动性。固体在外力（拉力、压力、剪切力）作用下能够产生一定的变形，变形程度随外力的变化而变化，但变形一般随着外力的消失而恢复。而流体可以承受很大的压力，但往往几乎不能承受拉力，更不能承受剪切力。因此从力学来定义，流体是一种受任何微小剪切力都会发生连续变形的物质，直到不存在剪切力为止。当剪切力停止作用时，流体也不会作任何恢复变形。因此，一般情况下流体没有固定的形状，而且在一定条件下流体内部可形成各种各样的复杂结构。

流体和固体在流动性上的差异是由于分子间的作用力不同造成的。在相同体积的固体和流体中，固体所含的分子数目最多，液体次之，气体最少。因此固体分子彼此间的吸引力最大，分子只能在固定的区域内做热运动；而液体和气体分子间的距离就大得多，分子间的作用力也小得多，分子运动强烈，从而决定了流体具有流动性和不能保持一定形状的特性。

液体和气体虽然都是流体，但其性质亦有很多差别。在相同外界条件下，气体分子与液体分子大小差异不大，但是气体分子之间的间距比液体大的多。例如在  $0^{\circ}\text{C}$ 、1 个标准大气压下，气体的平均分子距约为  $3.3 \times 10^{-9} \text{ m}$ ，而其分子平均直径约为  $2.5 \times 10^{-10} \text{ m}$ ，分子距比分子平均直径超过 10 倍。因此气体分子间作用力非常小，不足以相互间的约束，无规则的热运动比较剧烈，使得气体流动性大，没有一定形状，也没有一定的体积，故它总是能均匀

充满容纳它的容器，并且不形成自由表面。同时，因为间距比较大，所以气体可以表现出很大的可压缩性。而液体的分子间距较小，彼此的吸引力较大，使得液体的分子之间有一定的约束力。因此液体具有一定的体积；因为具有流动性，它的形状取决于容器的形状，当容器的容积大于液体的体积时，液体只占据容器体积的一部分，不能充满容器；在重力的作用下，液体总是只保持一个自由表面（液面）；当对液体加压时，只要分子距稍有缩小，分子间的斥力就会增大以抵抗外压力，所以，液体的分子距很难缩小，即液体不易被压缩。

## 二、流体的连续介质模型

如上所述，从微观角度来看，流体也是由大量分子组成的，这些分子总是不停地做杂乱无章的运动，并且分子之间必定存在着间隙。因此，流体实际上并非是连续充满空间的物质。但是一般流体力学只研究由大量分子组成的流体的宏观机械运动，并不研究个别分子的微观运动，即研究的实际尺寸要比分子间距大很多。虽然单个分子的运动是杂乱无章的，但随着分子数目的增多，统计平均的运动还是有规律的，因此流体力学中所研究的流体的宏观运动特征亦是大量分子的平均行为。为了研究方便，引入流体微元的概念，即将实际的由分子组成的结构用一种假象的流体模型——流体微元来代替。流体微元是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，简单说就是“宏观无穷小，微观无穷大”。因此在流体微元中包含了无数的流体分子，具有一定的体积和质量，由足够数量的分子组成，连续充满它所占据的空间，彼此间无任何间隙。所以，不考虑分子之间的间隙，宏观的流体就可以认为是由无数连续分布的流体微元所组成的连续介质，这就是流体的连续性假设。

连续介质假设模型是对物质分子结构的宏观数学抽象，就像认为一个几何图像是由若干段线段组成，而不去考虑组成每条线段的点之间的间距一样。这样，就不再去研究流体分子的运动，而是去研究模型化了的连续流体介质。研究对象的转变，可以将描述流体流动的一系列参数，如压强、速度、加速度、密度等在绝大多数情况下看成是连续分布的。从而可以把它们看做是坐标和时间的连续可微函数，从而可以引用连续函数的解析方法等数学工具来研究流体的平衡和运动规律。整个流体力学研究的飞速发展与引入连续介质模型是密切相关的，而从所建立的流体力学基本理论与实际工程应用结果来看，引入连续介质模型是完全合理的，也是完全必要的。

需要注意，并不是在所有的场合都可以把流体当做是连续介质，在某些特殊流动的研究中，它并不适用。当所研究的实际尺寸与分子的自由行程为相同或接近的数量级时，就不能应用连续介质模型假设了。例如，火箭在空气稀薄的高空中飞行的计算，就必须从微观着手进行研究，此时大气就不能作为连续介质来处理。本书所讨论的流体全部都可以使用连续介质模型。

## 第二节 流体的主要物理性质

### 一、流体的密度

#### （一）流体的密度

流体同其他物体一样，具有质量、密度及惯性。流体的密度是流体的重要属性之一。