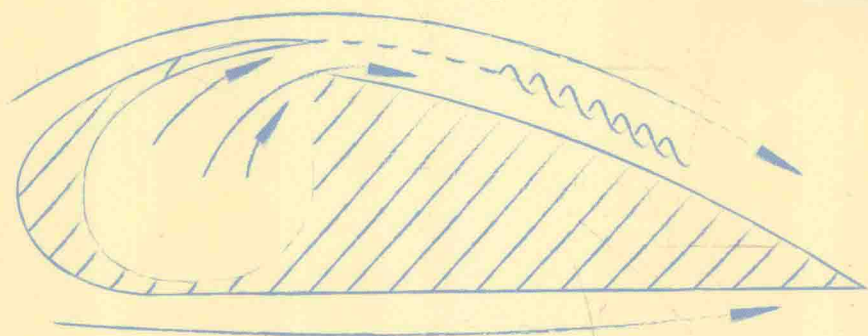


普通高等教育『十二五』规划教材

流体力学

沙毅
编著



中国科学技术大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

流体力学

沙 毅 编著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

流体力学是现代理工科许多专业大学生必备的知识之一.为适应大众教育的要求,在“强化概念、扎实基础,深入浅出、拓宽专业知识面,与时俱进、实用与创新并重”思想指导下,作者编写了本书.全书涵盖了工程流体力学的基本理论及部分测试技术,共9章,内容包括流体的物理性质、流体静力学、流体运动学、流体动力学基础、量纲分析和相似理论、管中流动、边界层和绕流及缝隙流、孔口出流与射流及过滤流、气体的一维流动.

本书可作为大机械类机械制造、车辆、仪器仪表、材料成型、能源动力、船舶轮机等专业
的本科教育教材,也可作为各类工程技术人员的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

流体力学/沙毅编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2016.2
ISBN 978-7-312-03888-4

I. 流… II. 沙… III. 流体力学—高等学校—教材 IV. O35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 292536 号

责任编辑:张善金

出版者:中国科学技术大学出版社

地址:合肥市金寨路96号 邮编:230026

网址:<http://www.press.ustc.edu.cn>

电话:发行部 0551-63603067

印刷者:安徽省瑞隆印务有限公司

发行者:中国科学技术大学出版社

经销者:全国新华书店

开本:710 mm×960 mm 1/16

印张:23.25

字数:443千

版次:2016年2月第1版

印次:2016年2月第1次印刷

定 价:44.00元

前 言

“问渠哪得清如许，为有源头活水来。”为了使流体力学这门古老的学科依然生机勃勃，适应 21 世纪具有创新意识复合型人才培养的需要，教材内容改革和创新势在必行。

流体力学是力学的一个重要分支学科，是以包括液体和气体在内的流体为研究对象的力学，是研究流体平衡和运动规律的一门科学。“流体力学”课程是机械、能源、化工、动力、建筑、生物、航天等专业重要的专业基础课或基础理论课程之一。德国等西方发达国家，普遍将流体力学作为工科机械类、理科力学类及相关专业本科教育的必修课程开设，可见流体力学应当是现代理工科许多专业大学生必备的知识之一，其最大特点是理论性较强，抽象概念多，数学公式演绎推导多。本书内容力求反映大机械类机械制造、车辆、仪器仪表、材料成型、能源动力、船舶轮机等专业学科既要重视理论又要密切联系工程实际应用的特点，比较全面而又细致地阐述了流体力学的基本内容。本教材针对性强，完整性、逻辑性和系统性都较好。

“旧时王谢堂前燕，飞入寻常百姓家。”面对我国高等教育从精英教育向大众教育转型的新形势，一本通俗易懂、深入浅出，强化基础、开拓视野，实用与创新并重的教材呼之欲出，本书正是在这样的背景下诞生的。为了便于消化理解和巩固所学内容，本书配备了较多的例题和大量的习题，并且给出了全部习题参考答案。

本书由浙江科技学院沙毅教授在其多年知识积累和教学、科研成果的基础上撰写而成，得到浙江省自然科学基金项目(Y1110468)和浙江省高等教育教学改革项目(jg2015117)的支持，在此一并表示感谢！限于作

者学识和水平,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正.

“长风破浪会有时,直挂云帆济沧海.”流体力学的研究领域无限宽广,在科学技术的发展和工程实际应用中发挥着越来越重要的作用.愿有志者携手共勉,为它的发展和进步贡献出我们的智慧和力量.

沙 毅

2015年10月于杭州

目 次

前言	(i)
第 1 章 流体的物理性质与基本概念	(1)
1.1 流体力学及其应用	(1)
1.2 连续介质模型	(8)
1.3 量纲和单位及作用在流体上的力	(11)
1.4 流体的物理性质	(16)
1.5 流体的粘性	(21)
1.6 流体的表面张力与汽化压强	(29)
习题 1	(34)
第 2 章 流体静力学	(39)
2.1 流体的静压强	(39)
2.2 流体平衡微分方程式	(43)
2.3 重力场中的平衡流体	(46)
2.4 静止流体对壁面的作用力	(52)
2.5 流体的相对平衡	(62)
2.6 流体压力测量	(67)
习题 2	(72)
第 3 章 流体运动学	(80)
3.1 研究流体运动的两种方法	(80)
3.2 流体运动的基本概念	(85)
3.3 连续性方程	(94)
3.4 粘性流体的两种流动状态	(98)
3.5 流体微团的运动分析	(101)

3.6 理想流体的旋涡流动	(107)
3.7 平面势流	(111)
习题 3	(120)
第 4 章 流体动力学基础	(125)
4.1 流体运动微分方程	(126)
4.2 伯努利能量方程	(135)
4.3 动量方程和动量矩方程	(148)
习题 4	(158)
第 5 章 量纲分析和相似理论	(165)
5.1 量纲分析	(165)
5.2 π 定理及其应用	(172)
5.3 相似原理	(179)
习题 5	(191)
第 6 章 管中流动	(195)
6.1 平直圆管中的层流	(195)
6.2 平直圆管中的湍流	(203)
6.3 管路中的沿程损失	(213)
6.4 管路的局部损失	(227)
6.5 管路计算	(235)
6.6 泵与风机特性及管网联合运行工况	(241)
习题 6	(247)
第 7 章 边界层、绕流和缝隙流	(255)
7.1 边界层概念	(256)
7.2 流体绕流物体的阻力	(268)
7.3 缝隙流动	(276)
7.4 环形缝隙与平行圆盘缝隙流动	(284)
习题 7	(293)
第 8 章 孔口出流、过滤流和水击	(299)
8.1 孔口出流	(299)
8.2 管嘴出流	(303)
8.3 多孔物质过滤流动	(310)

8.4 水击	(314)
8.5 流体流量测量	(321)
习题 8	(328)
第 9 章 气体的一维流动	(333)
9.1 热力学基础知识	(334)
9.2 声速与马赫数及扰动传播	(340)
9.3 一维定常气流基本方程	(345)
9.4 变截面管道中的等熵气流	(351)
9.5 等截面管道中的绝热粘性气流	(354)
9.6 有热交换的管流	(358)
习题 9	(360)
参考文献	(363)

第 1 章 流体的物理性质与基本概念

气体和液体通称流体. 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活动密切相关的一门科学. 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(包括波浪、潮汐、旋涡、环流等)乃至地球深处熔浆的流动都是流体力学的研究内容.

本章的中心内容是阐述流体的主要物理性质和流体力学的基本知识及基本概念, 分析作用在流体上的力, 连续介质模型和流体的粘性^①是本章的重点.

1.1 流体力学及其应用

1.1.1 流体力学的研究对象、任务和方法

流体力学是以流体为研究对象的力学, 是研究流体平衡和运动规律的一门科学, 是力学的一个重要分支. 流体包括液体和气体.

流体力学的基本任务是建立描述流体运动的基本方程, 确定流体流经各种通道及绕流不同物体时速度、压强的分布规律, 探求能量转换及各种损失的计算方法, 并解决流体与限制其流动的固体壁之间的相互作用问题.

流体力学的应用领域非常广泛, 它是用来解释大气流动、河水流动、龙卷风等自然现象的科学, 也是用来解决众多工程问题的科学. 许多有趣的问题可以用比较

^① “粘性”应为“黏性”, 但本书依据学术界习惯, 采用科学出版社 2004 年出版的《物理学词典》所载词条, 相关表述一律用“粘”, 如“粘弹性”、“粘度”等.

简单的流体力学的原理来阐释,如以下情况:

(1) 为什么将飞机的外表面做成光滑的流线型,而将高尔夫球的球面做成粗糙的表面?

(2) 汽车阻力来自前部还是尾部?

(3) 在没有空气产生反推力的外层空间,火箭是怎样产生推力的?

(4) 如何根据从模型飞机上获得的数据信息来制造实际飞机?

(5) 通过改善汽车的空气动力学设计,消耗每升汽油的行驶里程能够增加多少?

(6) 万吨水压机是根据什么原理而获得巨大的压力?

(7) 叶片泵和容积泵是根据什么原理完成对液体的输送的?

(8) 日常生活中的阀、水表、抽水马桶、电风扇等家用物品的工作原理是什么?自来水是如何输送到千家万户的?

(9) 潜水艇为什么能下沉?又为什么能上浮?

(10) 农业工程中的喷灌、滴灌和渗灌等是怎样控制流量的?

(11) 水电站水力发电是如何实现能量转换的?

在流体力学的发展史上,曾经出现过理论流体力学和工程流体力学这两门性质相近的学科,它们同是研究流体(包括液体和气体)平衡和运动规律及其应用的科学,但在研究内容和方法上却又颇有差异.前者偏重数理分析,是连续介质力学的一个组成部分,属于基础科学范畴;后者着眼于工程应用,是工程力学的一个组成部分,属于应用科学范畴.

工程流体力学是应用力学的一个分科,是属于一门技术科学.工程流体力学是以理论分析和实验研究相结合的方法,来研究流体处于平衡、运动和流体与固体相互作用的力学规律,以及这些规律在实际工程中的应用.

流体包括液体和气体两部分,因而流体力学就包括液体力学及气体力学两部分.液体力学中通常以水作为液体的代表,故称为水力学.

水力学在研究液体运动过程中,认为流场上各点的密度不变,这种等密度流动就是水力学的特点,也是低速气体的特点.因此,水力学是在等密度流动前提下,来研究液体或低速气体流的运动规律,以及确定表征运动状态的参数值.

气体力学是研究气体运动过程中,密度在流场上各点为变数,并且气体在改变密度的同时,还伴随有扰动波的形成,这两个特性就是气体力学的特点.变密度流动与等密度流动规律,是有原则性区别的,其实质就在于气体的可压缩性与液体的不可压缩性.

古典流体力学在研究流体平衡及运动规律时,是从严密的数学推理出发,追求

问题的严密性和精确性,但实际的流体运动现象十分复杂,有时很难用数学方法来表达和解决.而水力学则是从简化的工程角度出发,着重于解决实际问题,因此除了理论分析外,又广泛采用实验数据和经验公式.

现在的工程流体力学,其内容和研究方法是古典流体力学与水力学两者的结合,也就是以理论分析与实验研究相结合的方法来研究流体的力学规律.

在实际工程的许多领域里,流体力学一直起着十分重要的作用,无论是水利工程、动力工程、航空工程,还是化学工程、机械工程等都在日益广泛地应用着流体力学.从某种意义上说,也正是在流体力学的研究工作不断取得成就的前提下,才促进了这些工程领域的知识创新和技术发展.

流体力学研究的是流体中大量分子的宏观平均运动规律,而不是其具体的分子运动.

工程流体力学主要讲述流体力学的基本概念、基本理论及其在工程实际中的应用.本教材是机械类各专业的教学用书,其研究内容以不可压缩流体的流动为主,对可压缩流体,只对其基本理论作必要的阐述.

由于在各种机械动力设备中主要采用水、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,才能真正地了解这些设备的性能和运行规律,才能正确地从事这些设备的设计和运行.所以,工程流体力学是机械类各专业的主要专业基础课程之一.

流体力学作为一门技术科学,研究方法也遵循“实践—理论—实践”的基本规律,其探究过程可以大致分为以下步骤:

(1) 对自然界和生产实践中出现的流体力学现象进行观察,从中抽出共性问题进行研究.

(2) 对自然现象和实践问题进行研究、认识,从中找出主要因素,忽略次要因素,建立抽象的数学模型.

(3) 对数学模型进行理论分析和实验研究,总结并验证基本规律,形成理论.

(4) 以得到的基本理论去指导和预言实践,并在实践中检验、修正理论使其完善.

1.1.2 流体力学发展简史

人类为了生存,自远古以来一直持续不断地与自然界进行着不懈的斗争.流体力学同其他自然科学一样,是在长期的生产实践和科学研究中逐渐被人们认识和总结,发展成为自然科学的一个重要分支的,正如奥地利物理学家汉斯·蒂林格所

言：“每一门科学都是用世世代代的研究者无数努力的代价建立起来的大厦。”古今中外许许多多从事流体力学问题的研究者，如同卓越的建筑师，用自己的聪明才智和辛勤劳动的汗水筑成了完整的流体力学“大厦”。人们最早对于有关流体知识的认知是从治水、灌溉、航行等方面开始的。

1. 流体力学在中国

在中国，劳动人民对流动的认识可以追溯到 4 000 多年前的禹治水，记载说明我国古代已有大规模的治河工程。在秦代，公元前 256 年至公元前 210 年间便修建了都江堰、郑国渠、灵渠三大水利工程，说明我们的祖先当时对明渠水流和堰流流动规律的认识已经达到了相当高的水平。西汉武帝时期，为引洛水灌溉农田，他们在黄土高原上修建了龙首渠，创造性地采用了井渠法，即用竖井沟通长十余里的穿山隧道，有效地防止了黄土的塌方。北宋(960~1126)时期，在运河上修建的真州船闸与 14 世纪末荷兰的同类船闸相比，早了 300 多年。明朝的水利家潘季顺(1521~1595)提出了“筑堤防溢，建坝减水，以堤束水，以水攻沙”和“借清刷黄”的治黄原则，并著有《两河管见》《两河经略》和《河防一览》等典籍。

在古代，以水为动力的简单机械也有了长足的发展，例如用水轮提水，或通过简单的机械传动去碾米、磨面等。东汉杜诗任南阳太守时(公元 37 年)曾创造水排(水力鼓风机)，即利用水力，通过传动机械，使皮制鼓风囊连续开合，将空气送入冶金炉，较西欧约早了 1 100 年。

清朝雍正年间，何梦瑶在《算迪》一书中提出流量等于过水断面面积乘以断面平均流速的计算方法。

必须指出的是，从 14 世纪欧洲文艺复兴时期开始，西方涌现出一大批学者，他们对流体力学理论的形成做出了重要贡献，但是我国在科学技术方面已经逐渐落后了。

进入 20 世纪，我国出现了几位重要的科学家，他们对流体力学的发展做出了贡献。钱学森(1911~2009)在火箭、导弹、航天器等领域为中国火箭、导弹和航天事业的创建与发展做出了杰出的贡献。周培源(1902~1993)在流体力学中的湍流理论方面取得了出色的成果。吴仲华在 1952 年发表的《在轴流式、径流式和混流式亚声速和超声速叶轮机中的三元流普遍理论》和在 1975 年发表的《使用非正交曲线坐标的叶轮机三元流动的基本方程及其解法》两篇论文中所建立的叶轮机三元流理论，至今仍是国内外许多优良叶轮机设计计算的主要依据。

2. 流体力学的西方发展史

在西方最早从事流体力学现象研究的学者是希腊哲学家阿基米德(Archimedes, 公元前 287 年至公元前 212 年),他在公元前 250 年写成的《论浮体》一书中提出了流体静力学的基本定律,这是人类历史上最早的水力学著作.正是从这时起,流体流动才开始发展成为一门独立的学科.

直到 15 世纪末,著名的物理学家和艺术家列奥纳德·达·芬奇(Leonardo Da Vinci, 1452~1519)在米兰附近设计和建造了世界上第一个小型水渠.同时,他还比较系统的研究了沉浮问题、孔口出流、物体运动阻力、流体在管路和水渠中的流动等问题,从而为水利工程和流体力学问题的研究开辟了一个新的时代.

达·芬奇时代以后,流体力学得到了飞速的发展,斯蒂文(S. Stevin, 1548~1620)在其《流体静力学基础》中对固体排水的阿基米德原理给出了一个自然的解释,是自阿基米德以后流体力学方面的第一篇系统的著述.1612 年伽利略(G. Galileo, 1564~1642)在他的论文中建立了沉浮的基本理论.1643 年托里拆利(E. Torricelli, 1608~1647)论证了孔口出流的基本规律.1650 年帕斯卡(B. Pascal, 1623~1662)建立了流体中压力传递的基本定律.整个流体静力学部分就是由斯蒂芬、伽利略和帕斯卡等人在这段时期建立的.

英国伟大的数学家、物理学家、天文学家和自然哲学家牛顿(I. Newton, 1642~1727)于 1686 年建立了牛顿内摩擦定律.瑞士科学家、数学家伯努利(D. Bernoulli, 1700~1782)在 1738 年出版的名著《流体动力学》中,建立了流体位势能、压强势能和动能之间的能量转换关系——伯努利方程.瑞士数学家欧拉(L. Euler, 1707~1783)于 1755 年发表了《流体运动的一般原理》,他提出了流体的连续介质模型,建立了连续性微分方程和理想流体的运动微分方程,给出了不可压缩理想流体运动的一般解析方法,提出了研究流体运动的两种不同方法及速度势的概念,并论证了速度势应当满足的运动条件和方程,他被称为经典流体力学的奠基人.1744 年法国著名的物理学家、数学家和天文学家达朗伯(J. Le R. D'Alembert, 1717~1786)提出了达朗伯疑题(又称达朗伯佯谬, D'Alembert paradox),即在理想流体中运动的物体既没有升力也没有阻力,他从反面说明了理想流体假定的局限性.基本在同一时期,法国数学家、物理学家拉格朗日(I. L. Lagrange, 1736~1813)提出了新的流体动力学微分方程,使流体动力学的解析方法有了进一步发展,他严格地论证了速度势的存在,并提出了流函数的概念,为应用复变函数去解析流体定常的和非定常的平面无旋运动开辟了道路.这些学者的突出贡献为流体动力学的建立准备了先决条件.

1821年法国科学家纳维(C. L. M. H. Navier, 1785~1836)首先提出了不可压缩粘性流体的运动微分方程组, 该方程在1845年由英国数学家、物理学家斯托克斯(G. G. Stokes, 1819~1903)严格地导出, 并把流体质点的运动分解为平动、转动、均匀膨胀或压缩及由剪切所引起的变形运动. 后来引用时, 人们便统称该方程为纳维—斯托克斯方程, 纳维—斯托克斯方程奠定了粘性流体动力学的基础.

从19世纪开始, 实验研究在流体力学发展中的作用得到了显现, 并取得了许多成果. 弗劳德(W. Froude, 1810~1879)通过对船舶阻力和摇摆的研究, 提出了船模试验的相似准则数——弗劳德数, 建立了现代船模试验技术的基础. 雷诺(O. Reynolds, 1842~1912)在1883年用实验证实了粘性流体的两种流动状态——层流和湍流的客观存在, 找到了实验研究粘性流体流动规律的相似准则数——雷诺数, 以及判别层流和湍流的临界雷诺数, 为流动阻力的研究奠定了基础. 英国学者瑞利(L. J. W. Reyleigh)在相似原理的基础上, 提出了实验研究的量纲分析法中的一种方法——瑞利法. 另外在19世纪, 对流动阻力的研究也取得了显著的进展, 亥姆霍兹(H. von Helmholtz, 1821~1894)和基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824~1887)通过对旋涡运动和分离流动的大量理论分析和实验研究, 取得了表征旋涡基本性质的旋涡定理、带射流的物体绕流阻力等学术成就.

进入20世纪, 对流动阻力的深入研究使空气动力学的理论日臻完善, 并促进了航空和航天科技的发展. 1902年库塔(M. W. Kutta, 1867~1944)提出了绕流物体上的升力理论. 1906年以后茹科夫斯基(ZhuKouskg, 1847~1921)发表了《论依附涡流》等论文, 找到了翼型升力和绕翼型的环流之间的关系, 建立了二维升力理论的数学基础, 他的研究成果对空气动力学的理论和实验研究都有重要贡献, 也为近代高效能飞机设计奠定了基础. 1904年德国物理学家普朗特(L. Prandtl, 1875~1953)建立了边界层理论, 解释了阻力产生的机制, 此后他又针对航空技术和其他工程技术中出现的湍流边界层提出混合长度理论, 并于1918~1919年间, 论述了大展弦比的有限翼展机翼理论, 由于这些理论成果的重要贡献, 普朗特被称为现代流体力学之父.

20世纪对流动阻力的深入研究, 还催生了一系列流动阻力的计算理论, 并促进了流体机械, 动力机械等领域理论的发展. 卡门(T. von Karman, 1881~1963)在1911~1912年连续发表的论文中, 提出了分析带旋涡尾流及其所产生的阻力的理论, 人们称这种尾涡的排列为卡门涡街, 他在1930年的论文中还提出了计算湍流粗糙管阻力系数的理论公式. 布拉休斯(H. Blasius)在1913年发表的论文中, 提出了计算湍流光滑管阻力系数的经验公式. 尼古拉兹(J. Nikuradze)在1933年发表的论文中, 公布了他对砂砾粗糙管内水流阻力系数的实测结果——尼古拉兹曲线,

据此他还给湍流光滑管和湍流粗糙管的理论公式选定了应有的系数。科勒布茹克(C. F. Colebrook)在1939年发表的论文中,提出了把湍流光滑管区和湍流粗糙管区联系在一起的过渡区阻力系数计算公式。莫迪(L. F. Moody)在1944年发表的论文中,给出了他绘制的实用管道的当量粗糙阻力系数图——莫迪图,至此,有压管流的水力计算已渐趋成熟。另外,伯金汉(E. Buckingham)在1914年发表的《在物理的相似系统中量纲方程应用的说明》论文中,提出了著名的 π 定理,进一步完善了量纲分析法。

从20世纪中叶以后的科学技术发展来看,各工业部门的种类日趋复杂,技术问题更趋向于专门化,因此,流体力学必将分离出一系列的独立科学。目前已逐步形成的有电磁流体力学,两相流体力学,流变流体力学,高、超声速气体动力学和稀薄气体动力学等。

现代流体力学的发展趋向于更为宽广的范围,尤其是数值计算和计算机技术的引入,使以前因过于繁杂的计算而影响进一步探讨流体力学问题的困难逐步得以解决,并形成了流体力学的一个新分支——计算流体力学,使流体力学成为医学、气象学、海洋学、宇宙航行以及各种工程技术的重要组成部分。

1.1.3 流体力学在机械工程中的应用

从内容上来说,学科之间的分工可能越来越细,但从方法上来说,随着计算机的推广和应用,原来存在于理论流体力学和工程流体力学之间的差异已在逐步消失,现在是综合运用一切理论、实验和计算手段来促进流体力学发展及应用的时期。

在机械类专业教学计划中,工程流体力学是一门技术基础课,它的任务是为学生学习后续课程及从事专业工作奠定初步的流体力学理论基础。

机械制造行业中涉及流体力学知识的技术问题很多,例如:水轮机、燃气轮机、蒸汽轮机、喷气发动机、液体燃料火箭、内燃机等都是以流体能量作为原动力的动力机械;机床、汽车、拖拉机、坦克、飞机、船舶、工程机械、矿山机械等广泛采用的液压传动,液力传动和气动传动都是以流体作为工作介质的传动机械;水压机、油压机、水泵、油泵、风扇、通风机、压气机等都是以流体为对象的工作机械,流体机械的工作原理、性能、使用和试验都是以流体力学作为理论基础的。

机械工程中还有许多与流体力学有关的问题,例如:测试计量中的测压计、流量计、水力制动器、水力测功计;铸造中的锻压设备、水力清砂、水力震捣、离心浇注;焊接中的喷枪气流、金属流动;机床中的冷却通风、润滑密封、减震加载、静压支

承、动压支承、射流原件、气动夹具；燃烧室中的燃料雾化、吹氧、燃烧、反应；发动机中的燃料供给系、冷却系、润滑系、增压系；车间中的供气供油、旋风除尘、机械手、自动生产线等等均或多或少地与流体力学知识有关。

工程流体力学在工程技术中占有重要地位，铸造及材料成型工业与流体力学的关系，同样是十分密切的，例如，在铸造原理方面，浇注系统的计算，表面张力及其附加压头、抬箱力的计算等；在合金熔化方面，冲天炉供风量及风压的测定、管道、局部装置、炉胆以及炉料层的阻力计算等；在造型工艺方面，震实机构的耗气量，吹砂机紧实过程的气体动力学分析等；在铸造车间设备方面，造型材料气力输送有关悬浮速度的计算，水力清砂的高压水枪和水力提升机原理，以及通风除尘的计算等；在液压和气压传动方面，油缸和气缸的工作流量，气垫缓冲的气体力学基础以及贮压罐容积的确定等，都分别涉及到流体静力学，流体动力学，能量损失和气体动力学等基本理论，特别是经常用到伯努利(Bernoulli)方程、连续性方程和动量方程这三个流体力学的基本方程。

生产和输送流体的动力，主要是来源于流体机械的机械能，例如水力输送的动力靠水泵；化铁炉的通风和气力输送的动力靠鼓风机或高压通风机等。为了掌握定型设备的选择，学习和了解专业生产常用的泵与风机的构造、工作原理及其主要性能参数，也是重要的。

流体的物理性质，是决定流体平衡和运动规律的内部原因。因此，在没有讨论流体的力学规律之前，应首先了解流体的概念和流体的主要物理性质。

1.2 连续介质模型

1.2.1 流体的基本特征

地球上的物质存在的主要形式有固体、液体和气体。流体最基本的特征是在切应力作用下，会发生连续变形，因为流体可看作为连续介质。

流体与固体是物质的不同表现形式，都有下述三个物质基本特性：第一，由大量分子组成；第二，分子不断做随机热运动；第三，分子与分子之间存在着分子力的作用。

不过这三个物质基本特性表现在气体、液体与固体方面却有量和质的差别. 同样体积内的分子数目, 气体少于液体, 液体又少于固体; 同样分子距上的分子力, 气体小于液体, 液体小于固体. 于是气体的分子运动有较大的自由程和随机性, 液体则较小, 而固体分子却只能围绕自身位置做微小的振动.

这些微观的差异导致的宏观表象为: 第一, 固体有一定的体积和一定的形状; 第二, 液体有一定的体积而无一定的形状; 第三, 气体既无一定的体积也无一定的形状.

微观结构、宏观表象归根到底使得流体在力学性能上表现出两个基本特点: 第一, 流体不能承受拉力, 因而流体内部不存在抵抗拉伸变形的拉应力; 第二, 液体在宏观平衡状态下不能承受剪切力, 任何微小的剪切力都会导致流体连续变形、平衡破坏、产生流动. 固体显然没有这两个特点, 它能承受拉力、压力和剪切力, 内部相应产生拉应力、压应力和切应力以抵抗变形, 外力或应力不大到一定数值, 固体形状不会被破坏.

流体的这两个特点简称为流体的易流动性, 易流动性既是流体命名的由来, 也是流体区别于固体的根本标志, 正因为流体具有流动性, 才能实现在外力作用下, 通过管道或孔道连续地将流体输送到指定地点. 例如熔融金属在静压头作用下, 经浇铸系统流入铸型中; 生活中的自来水也是用泵连续地输送到千家万户的.

1.2.2 流体质点与连续介质

从微观结构上来看, 流体分子自然有一定的形状, 因而分子与分子之间必然存在着一定的间隙, 因此流体的物理量在空间上不是连续分布的. 根据阿伏加德罗 (Avogadro) 定律推算, 在标准状况 ($t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 101325\text{ Pa}$) 下, 每 1 mm^3 体积中的气体分子有 2.69×10^{16} 个, 分子之间在 10^{-6} s 内碰撞 10^{20} 次. 液体分子排列更加紧密, 每 1 mm^3 体积中的液体分子数目为 3×10^{21} 个. 由此可见, 分子间的间隙虽然很小, 但毕竟是存在的. 这是分子物理学研究物质属性及流体物理性质的出发点, 否则无从解释物理性质中的许多现象. 但是对于研究宏观规律的流体力学来说, 一般不需要探讨分子的微观结构, 因而必须对流体的物理实体加以模型化, 使之更适于研究大量分子的统计平均特性、更利于找出流体运动或平衡的宏观规律.

流体质点和连续介质的概念就是流体力学学科中必需引用的理论模型. 所谓流体质点就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, 流体质点具有下述 4 层含义:

(1) 流体质点的宏观尺寸非常小, 甚至小到仪器无法测量的程度, 用数学术语