

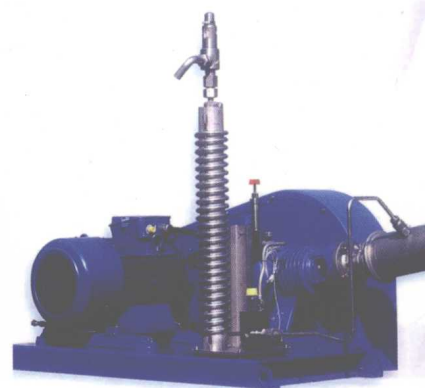
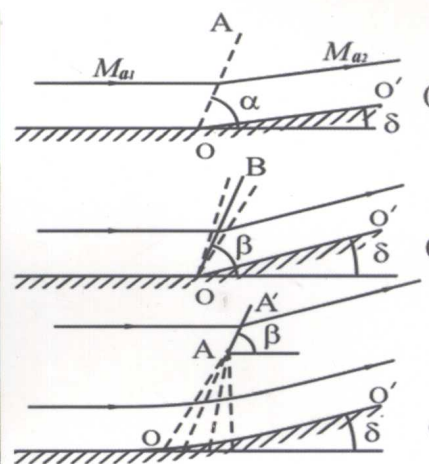


高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

流体力学 泵与风机

LIUTI LIXUE BENG YU FENGJI

主 编 白 桦 鲍东杰
副主编 赵云鹏 王 京
主 审 刘家春



Wuhan University of Technology Press
武汉理工大学出版社

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

流体力学 泵与风机

主 编 白 桦 鲍东杰
副主编 赵云鹏 王 京
主 审 刘家春

武汉理工大学出版社
· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书为高等职业技术教育建筑设备专业规划教材之一。全书共 12 章,主要内容有:流体静力学,一元流体动力学,流动阻力与能量损失,管路计算,孔口、管嘴出流和气体射流,流体测量,明渠流动、堰流和渗流,泵与风机的构造及工作原理,泵与风机的基本理论,泵与风机的运行、选型与使用管理,其他常用泵与风机等。

本教材适用于高职高专院校建筑环境与设备工程技术、供热通风与空调工程技术、制冷工程技术、给排水工程技术等专业,也可供相关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学 泵与风机/白桦,鲍东杰主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2008.8

·高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

ISBN 978-7-5629-2813-3

I. 流… II. ①白… ②鲍… 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. 035 TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 130797 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

E-mail:yangxuezh@whut.edu.cn

ruozhang1122@163.com

印 刷 者:湖北地矿印业有限公司

经 销 者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.5

字 数:409 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版

印 次:2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3000 册

定 价:28.00 元

凡使用本教材的老师,可拨打 13971389897 索取电子教案。

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

出版说明

随着教学改革不断深化和社会发展对人才的现实需求,根据教育部“高等职业教育应以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”的办学方向和“要加强学生实践能力、技术运用能力的培养,充分反映新兴技术、新兴产业对技能培养的要求,满足经济结构战略性调整、技术结构优化升级和高科技产业迅速发展对人才培养的要求”的职业技术教育培养目标,以及职业技术教育“要逐步建立以能力培养为基础的、特色鲜明的专业教材和实训指导教材”的教材建设要求,武汉理工大学出版社经过广泛的调查研究,与全国 20 多所高等专科学校、高等职业技术学院的建筑设备和建筑电气工程技术方面的教育专家、学者共同探讨,组织编写了一套适应高等职业教育建筑设备相关专业人才培养和教学要求的、

具有鲜明职业教育特色的实用性教材《高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材》。

本套教材是根据教育部、建设部高职高专建筑设备类专业教学指导委员会制定的培养方案和各课程教学大纲组织编写的,具有如下特点:

(1)教材的编写坚持“以应用为目的,专业理论知识以必需、够用为度”的原则,着重培养学生从事工程设计、施工和管理等方面的专项能力,体现能力本位的教育思想。

(2)教材的理论体系、组织结构、编写方法,以突出实践性教学和使学生容易掌握为准则,同时全面体现本领域的新法规、新规范、新方法、新成果,与施工企业与机构的生产、工作实际紧密结合,力求达到学以致用目的。

(3)本套教材努力使用和推广现代化教学手段,将分步组织编写、制作和出版与教材配套的案例、实训教材、模拟试题、教学大纲及电子教案。

教材建设是我们全体编写者、出版者共同的事业和追求,出版高质量的教材是我们共同的责任和义务,我们诚挚地希望有关专家、学者和广大读者在使用这套教材的过程中提出宝贵意见和建议,以便今后不断地修订和完善。

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材编委会

2008年2月

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

编委会名单

顾问:杜国城 刘春泽

主任委员:高文安 雷绍锋

副主任委员:(按姓氏笔画为序)

王蒙田 朱向军 危道军 李宏魁 李高斗 何 辉

胡兴福 范柳先 季 翔 贺俊杰 黄珍珍 杨学忠

委员:(按姓氏笔画为序)

丁文华 弓中伟 王 丽 王庆良 王国平 王晓燕

白 桦 孙 毅 孙景芝 冯光灿 李 文 李仁全

李庆武 李绍军 刘 兵 刘 玲 刘子林 刘华斌

汤延庆 邢玉林 苏 娟 张风琴 张宝军 张贵芳

张铁东 张思忠 张毅敏 陈旭平 陈宏振 陈志佳

陈思荣 吴建敏 余增元 郑 云 赵 亮 赵岐华

郭自灿 胡联红 贾永康 徐红梅 黄奕云 龚明树

谢社初 喻建华 鲍东杰 裴 涛 熊德敏 黎福梅

戴安全

总责任编辑:张淑芳

前 言

本教材从培养高素质技能型人才的目标出发,以工学结合为主线,以学生的实际水平和职业要求为出发点,本着理论知识“以必需、够用”的原则,精选教学内容,着重于基本概念的理解和基本原理的应用,不追求体系完整和内容全面,突出实用性和实践性。

内容叙述力求结构合理,层次分明,深入浅出,通俗易懂。各章除配有“知识点”、“能力目标”外,还配有“小结”、“思考题与习题”。同时,为便于自学,书末附有部分习题的参考答案。

本教材流体力学引言、第 1、7 章由徐州建筑职业技术学院白桦编写,第 4、8 章由邢台职业技术学院鲍东杰编写,第 2、3、6 章由徐州建筑职业技术学院刘红侠编写,第 5 章由广西建设职业技术学院周舟编写,泵与风机引言、第 9、10 章由黑龙江建筑职业技术学院赵云鹏编写,第 11、12 章由邯郸职业技术学院王京编写。

本书由白桦、鲍东杰担任主编,赵云鹏、王京担任副主编,由徐州建筑职业技术学院刘家春教授担任主审。全书由白桦统编定稿。

本教材编写过程中,参考引用了有关院校编写的教材和生产科研单位的技术资料及研究成果,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 5 月

目 录

第一部分 流体力学

1 流体的物理性质	(6)
1.1 流体的惯性和重力特性	(6)
1.1.1 流体的惯性	(6)
1.1.2 流体的重力特性	(7)
1.2 流体的压缩性和热胀性	(8)
1.2.1 液体的压缩性和热胀性	(8)
1.2.2 气体的压缩性和热胀性	(9)
1.3 流体的黏性	(10)
1.4 表面张力	(13)
1.5 汽化压强	(14)
思考题与习题	(15)
2 流体静力学	(16)
2.1 作用在流体上的力	(16)
2.1.1 表面力	(16)
2.1.2 质量力	(17)
2.2 流体静压强及其特性	(17)
2.2.1 流体静压强的定义	(17)
2.2.2 流体静压强的特性	(18)
2.3 流体静压强的分布规律	(19)
2.3.1 流体静压强基本方程式	(19)
2.3.2 静压强基本方程式的意义	(21)
2.3.3 等压面 连通器 帕斯卡定律	(22)
2.4 压强的测量	(24)
2.4.1 压强的两种计量基准	(24)
2.4.2 压强的计量单位	(25)
2.4.3 液柱式测压计	(27)
2.5 作用于平面上的液体总压力	(30)
2.5.1 总压力的大小和方向	(30)
2.5.2 总压力的作用点	(32)
2.6 作用于曲面上的液体总压力	(34)

2.6.1	总压力的大小	(34)
2.6.2	总压力的方向	(36)
2.6.3	总压力的作用点	(36)
	思考题与习题	(37)
3	一元流体动力学	(41)
3.1	研究流体运动的两种方法	(41)
3.1.1	拉格朗日法	(42)
3.1.2	欧拉法	(42)
3.2	描述流体运动的基本概念	(42)
3.2.1	压力流与无压流	(42)
3.2.2	恒定流与非恒定流	(43)
3.2.3	流线与迹线	(43)
3.2.4	一元流、二元流和三元流	(44)
3.2.5	元流与总流	(44)
3.2.6	过流断面、流量和断面平均流速	(45)
3.2.7	均匀流与非均匀流、渐变流与急变流	(46)
3.3	恒定流连续性方程式	(46)
3.4	恒定流能量方程式	(48)
3.4.1	元流能量方程	(49)
3.4.2	总流能量方程	(50)
3.4.3	能量方程式的意义及总水头线和测压管水头线的绘制	(52)
3.4.4	能量方程的应用条件、解题的一般步骤及注意事项	(54)
3.4.5	气流的能量方程	(56)
3.5	流体动力学基本方程的应用	(58)
	思考题与习题	(63)
4	流动阻力与能量损失	(66)
4.1	流动阻力与能量损失的两种形式	(66)
4.1.1	沿程阻力与沿程损失	(66)
4.1.2	局部阻力与局部损失	(67)
4.1.3	能量损失的计算公式	(67)
4.2	两种流态与雷诺数	(68)
4.2.1	流态实验	(68)
4.2.2	流动形态与沿程损失的关系	(69)
4.2.3	流动形态的判别标准——雷诺数	(69)
4.3	均匀流动的沿程水头损失和基本方程式	(72)
4.3.1	均匀流动的沿程水头损失	(72)
4.3.2	均匀流基本方程	(73)

4.3.3 圆管均匀流过流断面上切应力分布·····	(74)
4.4 圆管中的层流运动·····	(74)
4.4.1 圆管层流运动的特征·····	(74)
4.4.2 圆管层流运动的流速分布·····	(75)
4.4.3 圆管层流水头损失的计算·····	(76)
4.5 紊流运动·····	(76)
4.5.1 紊流特性与时均化·····	(76)
4.5.2 黏性底层与紊流核心区·····	(78)
4.6 尼古拉兹实验与莫迪图·····	(78)
4.6.1 沿程阻力系数及其影响因素的分析·····	(78)
4.6.2 尼古拉兹实验·····	(79)
4.6.3 莫迪图·····	(80)
4.7 局部损失·····	(82)
4.7.1 局部损失的原因·····	(82)
4.7.2 局部损失的计算·····	(84)
4.7.3 减小阻力的措施·····	(89)
4.8 绕流阻力与升力·····	(91)
4.8.1 绕流运动与边界层的基本概念·····	(91)
4.8.2 绕流阻力与升力·····	(92)
思考题与习题·····	(94)
5 管路计算·····	(97)
5.1 简单管路的计算·····	(97)
5.2 管路的计算·····	(101)
5.2.1 串联管路·····	(101)
5.2.2 并联管路·····	(101)
5.2.3 分支管路·····	(103)
5.3 有压管路中的水击·····	(103)
5.3.1 水击现象·····	(103)
5.3.2 防止水击危害的措施·····	(106)
5.4 沿途均匀流管路的计算·····	(106)
思考题与习题·····	(108)
6 孔口、管嘴出流和气体射流·····	(110)
6.1 孔口出流·····	(110)
6.1.1 孔口自由出流·····	(111)
6.1.2 孔口淹没出流·····	(111)
6.1.3 孔口出流的应用·····	(113)
6.2 管嘴出流·····	(114)

6.2.1	圆柱形外管嘴的恒定出流	(114)
6.2.2	其他形式的管嘴	(116)
6.3	无限空间淹没紊流射流	(118)
6.3.1	气体紊流射流的基本特性	(118)
6.3.2	射流主体段运动参数的计算	(120)
6.4	温差或浓差射流及射流弯曲	(122)
6.4.1	温差或浓差射流	(123)
6.4.2	射流弯曲	(125)
	思考题与习题	(127)
7	流体测量	(129)
7.1	静压测量	(129)
7.2	毕托管测量流速	(130)
7.3	测量速度的其他方法	(132)
7.3.1	热线测速仪	(132)
7.3.2	激光多普勒测速仪(LDV)	(132)
7.3.3	粒子图像测速仪(PIV)	(132)
7.3.4	水流计和风速仪	(133)
7.3.5	漂浮测量	(133)
7.3.6	照相和光学测量	(133)
7.3.7	其他测速仪器与方法	(133)
7.4	流量测量	(133)
7.4.1	文丘里(Venturi)流量计	(134)
7.4.2	喷嘴流量计	(136)
7.4.3	孔板流量计	(137)
7.5	测量流量的其他方法	(138)
7.5.1	差压流量计(DP)	(138)
7.5.2	容积流量计(PD)	(138)
7.5.3	变面积流量计	(139)
7.5.4	涡轮流量计	(139)
7.5.5	电磁流量计	(139)
7.5.6	超声(波)流量计	(140)
7.5.7	涡街流量计	(140)
7.5.8	质量流量计	(141)
7.5.9	科里奥利流量计	(141)
7.5.10	新型流量计	(141)
	思考题与习题	(142)

8 明渠流动、堰流和渗流	(144)
8.1 明渠流动概述	(144)
8.1.1 明渠的几何性质	(144)
8.1.2 明渠流动的特点	(146)
8.2 明渠均匀流	(147)
8.2.1 水力特征和形成条件	(147)
8.2.2 过水断面的几何要素	(148)
8.2.3 明渠均匀流基本公式及水力计算	(149)
8.2.4 水力最优断面和允许流速	(150)
8.3 明渠非均匀流基本概念	(151)
8.3.1 明渠非均匀流的定义、形成及特征.....	(151)
8.3.2 断面单位能量、临界水深及临界底坡.....	(151)
8.3.3 明渠的流动状态	(154)
8.3.4 水跃和水跌	(155)
8.4 棱柱形明渠非均匀渐变流水面曲线分析	(156)
8.4.1 微分方程	(156)
8.4.2 水面曲线分析	(157)
8.5 堰流基础	(160)
8.5.1 堰流定义和特征	(160)
8.5.2 堰与堰流分类	(161)
8.5.3 堰流基本公式	(163)
8.6 渗流概述	(164)
8.6.1 渗流基本概念	(164)
8.6.2 渗流简化模型	(164)
8.6.3 达西定律与裘皮依公式	(164)
8.6.4 井和井群	(165)
思考题与习题.....	(168)

第二部分 泵与风机

9 泵与风机的构造及工作原理	(173)
9.1 离心泵的基本构造及工作原理	(173)
9.1.1 离心泵的主要零件	(173)
9.1.2 离心式泵的管路及附件	(178)
9.1.3 离心泵的工作原理	(179)
9.1.4 常用离心泵	(179)
9.2 离心风机的基本构造及工作原理	(180)
9.2.1 离心风机的主要零件	(180)

9.2.2	离心风机的工作原理	(183)
9.2.3	离心风机的结构形式	(183)
9.3	轴流泵与风机的基本构造及工作原理	(186)
9.3.1	轴流泵与风机的基本构造	(186)
9.3.2	轴流式泵与风机的工作原理	(187)
	思考题与习题	(188)
10	泵与风机的基本理论	(189)
10.1	泵与风机的基本性能参数	(189)
10.2	离心式泵与风机的基本理论	(190)
10.2.1	速度三角形	(190)
10.2.2	离心泵与风机的基本方程式	(191)
10.3	泵与风机的性能曲线	(196)
10.3.1	离心式泵与风机的性能曲线	(196)
10.3.2	轴流式泵与风机的性能曲线	(199)
10.4	相似定律及比转数	(200)
10.4.1	相似律	(200)
10.4.2	比例律	(202)
10.4.3	比转数	(202)
10.4.4	相似律、比例律及比转数的实际应用	(204)
	思考题与习题	(206)
11	泵与风机的运行和选型与使用管理	(207)
11.1	管路特性曲线与工作点	(207)
11.1.1	管路特性曲线	(207)
11.1.2	泵或风机的工作点	(208)
11.1.3	运行工况的稳定性	(209)
11.2	泵的气蚀与安装高度	(210)
11.2.1	气蚀及其危害	(210)
11.2.2	泵的安装高度	(211)
11.2.3	气蚀余量	(212)
11.3	泵与风机的联合运行	(214)
11.3.1	并联工作	(214)
11.3.2	串联工作	(216)
11.4	泵与风机的工况调节	(217)
11.4.1	节流调节	(217)
11.4.2	变速调节	(218)
11.4.3	变角调节	(219)
11.4.4	变径调节	(220)

11.5 泵与风机的选用	(221)
11.5.1 选用原则	(221)
11.5.2 选用程序及注意事项	(221)
11.5.3 水泵的选择方法及步骤	(222)
11.5.4 风机的选择方法及步骤	(224)
11.5.5 泵与风机选择实例	(229)
11.6 常见故障的分析与排除	(231)
11.6.1 离心式泵的使用、维护及其故障分析	(231)
11.6.2 离心风机的安装、使用及其故障分析	(233)
思考题与习题	(236)
12 其他常用泵与风机	(238)
12.1 往复泵	(238)
12.2 管道泵	(240)
12.3 水环式真空泵	(241)
12.4 旋涡泵	(241)
12.5 潜水泵	(242)
12.6 深井泵	(243)
12.7 贯流式风机	(244)
思考题与习题	(246)
部分习题答案	(247)
参考文献	(250)

第一部分 流体力学

1. 流体力学及其研究对象

流体力学是一门应用性广、基础性强的学科,它研究的对象主要是流体的内部及其与相邻固体和其他流体之间的动量、热量及质量的传递和交换规律,这个问题不仅广泛存在于自然界和各种工程技术中,而且随着生产的发展,科学技术的进步和人民生活的改善,不断扩大、充实、更新和提高。

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(包括波浪、潮汐、中尺度涡旋、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。

除水和空气以外,流体还包括作为汽轮机工作介质的水蒸气、润滑油、地下石油、含泥沙的江水、血液、超高压作用下的金属和燃烧后产生复杂成分的气体、高温条件下的等离子体等。气象、水利的研究,船舶、飞行器、叶轮机械和核电站的设计及其运行,可燃气体或炸药的爆炸,以及天体物理的若干问题等,都广泛地用到流体力学的知识。许多现代科学技术所关心的问题既受流体力学的指导,又促进了它不断地发展。1950年后,电子计算机的发展又给予流体力学以极大的推动。

流体力学是力学的基本原理在液体和气体中的应用。力学原理包括质量守恒、能量守恒和牛顿运动定律。流体力学的基本内容可以分为:研究流体处于平衡状态时的压力分布和对固体壁面作用的流体静力学;研究不考虑流体受力和能量损失时的流体运动速度和流线的流体运动学;研究流体运动过程中产生和施加在流体上的力和流体运动速度与加速度之间关系的流体动力学。

2. 流体力学的发展

流体力学是人类同自然界作斗争和在生产实践中逐步发展起来的。古时中国有大禹治水疏通江河的传说;秦朝李冰父子带领劳动人民修建的都江堰,至今还在发挥着作用;大约与此同时,古罗马人建成了大规模的供水管道系统等等。对流体力学学科的形成作出第一个贡献的是古希腊的阿基米德,他建立了包括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。

到了17世纪前后,由于资本主义制度兴起,生产迅速发展,对流体力学的发展需要也就更为迫切。这个时期的流体力学研究出现了两条途径,在当时这两条发展途径互不联系,各有各的特色。一条是古典流体力学途径,它运用严密的数学分析,建立流体运动的基本方程,并力图求其解答,此途径的奠基人是伯努利(Bernoulli)和欧拉(Euler)。其他对古典流体力学的形

成和发展有重大贡献的还有拉格朗日(Lagrange)、斯托克斯(Stokes)、纳维尔(Navier)和雷诺(Reynolds)等人,他们多是数学家和物理学家。由于古典流体力学中某些理论的假设与实际有出入,或者由于对基本方程的求解遇到了数学上的困难,所以古典流体力学无法用于解决实际问题。为了适应当时工程技术迅速发展的需要,应运而生了另一条水力学途径,它采用实验手段用于解决实际工程问题,如管流、堰流、明渠流、渗流等等问题。在水力学上有卓越成就的都是工程师,其中包括毕托(Pitot)、谢才(Chezy)、文丘里(Venturi)、达西(Darcy)、曼宁(Manning)、巴赞(Bazin)、弗劳德(Froude)等人,但是这一时期的水力学由于理论指导不足,仅仅依靠实验,故在应用上有一定的局限性,难以解决复杂的工程问题。

20世纪以来,现代工业发展突飞猛进,新技术不断涌现,推动着古典流体力学和水力学也进入了新的发展时期,并走上了融合为一体的道路。1904年,德国工程师普朗特(Prandtl)提出了边界层理论,即低黏性流体的流场可以分为两个区域,黏性起主要作用的边界层区域和边界层之外的无黏性作用的外部区域,使纯理论的古典流体力学开始与工程实际相结合,逐渐形成了理论与实际并重的现代流体力学。

随着生产和技术的发展以及在不同行业和场合下的应用,现代流体力学产生了许多新的分支,如非牛顿流体力学、生物流体力学、化学工程流体力学、稀薄气体流体力学、磁流体力学和物理-化学流体力学等。随着计算机的发展,计算流体力学也已经成为流体力学研究和应用中一个最活跃的新的分支。尽管如此,应用最广泛的仍然是工程流体力学。

3. 流体力学的应用

流体及流体力学现象充斥在我们生活的各个方面,如云彩的漂浮、鸟的飞翔、水的流动、天气变化、管道内液体的流动、风道内气体的流动、空气阻力和升力、建筑物上风力的作用、土壤内水分的运动、石油通过地质结构的运动等,都存在于我们日常生活及生产各个方面;血液在血管中的流动,心、肺、肾中的生理流体运动和植物中营养液的输送等使流体力学与生物工程和生命科学相联系;将水从地下、湖泊或河流中用泵输送到每家每户的供水系统,再进入废水的排放系统,将液体和气体燃料送到炉膛内燃烧产生热水或蒸汽用于供热的供热系统或产生动力的动力系统(提供流体携带热量从低温送到高温空气中的制冷系统),在炎热的夏季将室内热量送到室外的制冷与空调系统,废液和废气的处理与排放系统等,使流体力学现象与日常生活密切相关;城市水处理厂、发电厂以及家用电器等等都表明了流体力学及现象无处不在;飞机、船舶和汽车的设计不仅要求它们能够在流体中保持平衡,即使在恶劣的天气下也不会损坏,而且还要求消耗最小的能量以获得最快的速度,所有这些都说明流体力学在工程技术及高技术领域得到广泛应用。所以说流体力学是动力工程、城市建筑工程、环境工程、水利工程、机械工程、石油和化学工程、航空航天工程以及生物工程等诸多领域研究和应用的最基础的学科之一。因此,从事与流体流动相关的研究和工程应用的技术人员都应该或必须了解流体力学的基本原理及应用。

4. 流体的力学模型

客观上存在的流体的流动及其物质结构和物理性质是非常复杂的。如果考虑所有因素,将很难推导出它的力学关系式,为此,在分析研究流体力学问题时,要对流体加以科学的抽象,建立力学模型,以便列出流体运动规律的数学方程式。下面介绍几个主要的流体力学模型。

(1) 连续介质与非连续介质模型

我们知道,流体是由大量的分子构成的,分子与分子间存在空隙。用数学观点分析,流体的物理量在空间上的分布是不连续的,加上分子的随机无规律的热运动,也导致物理量在时间坐标轴上的不连续。但是,流体力学是研究宏观的机械运动(无数分子总体的力学效果),而不是研究微观的分子运动。作为研究单元的质点,也是由无数的分子所组成,并且有一定的体积和质量。因此,可以把流体视为由无数质点组成的没有空隙的连续体,并认为流体的各物理量的变化也是连续的,这种假设的连续体称为连续介质。

把流体视为连续介质,可应用高等数学中的连续函数来表达流体中各种物理量随空间、时间的变化关系。

一般情况下,连续介质假设是合理的。在某些特殊问题中,当所研究问题的尺寸小于或相当于流体分子间距离时,流体就不能看作连续介质。

本专业所涉及的流体力学问题,都是连续介质模型。

(2) 不可压缩流体与可压缩流体的力学模型

流体通常可以处理成密度随压力变化而变化的可压缩流体和不随压力变化密度恒定的不可压缩流体。虽然没有绝对的不可压缩流体,但是当密度随压力变化很小,密度变化可以忽略不计时,可将流体处理成不可压缩流体。

液体通常认为是不可压缩流体。但是当声波即压力波在液体内传递时,液体是可压缩的,如水锤现象需要考虑液体的压缩性。

当压力变化很小时,气体也可以处理成不可压缩流体。如空气在通风管道内的流动,压力变化很小,密度变化也微不足道,故可视为不可压缩流体。但是当气体或蒸汽以很高的速度在长管内流动时压力降可能非常大,此时不能忽略压力降引起的密度变化,故可视为可压缩流体。

本课程研究的流体力学问题,大多是不考虑流体的压缩性,所用模型是不可压缩流体力学模型。

(3) 理想流体与黏性流体(实际流体)的力学模型

一切流体都具有黏性。理想流体通常定义为没有摩擦的流体,也称为无黏性流体。

理想流体内部,即使流体处于运动时,任意一个界面处的力总是与界面垂直,这些力称为压力,即理想流体中只有压力。虽然实际工程中理想流体并不存在,但是许多流体在远离固体表面时可近似地处理成无摩擦的流动。所以假设为理想流体可以更方便地分析流体的流动。如果在某些问题中黏性影响较大,不能忽略摩擦的流体,这就是实际的流体,称黏性流体。

对于实际流体的研究,往往是当做无黏性流体分析,得出主要结论,然后采用实验的方法考虑黏性的影响,加以补充或修正。这种方法在以后的学习中会看到。

以上提出的是三个主要的流体力学模型,以后在分析具体问题时,还会提出一些模型。

5. 流体力学的研究方法

目前,解决流体力学问题的方法有现场观测、实验室模拟、理论分析、数值计算四种。

(1) 现场观测

现场观测是对自然界固有的流动现象或已有工程的全尺寸流动现象,利用各种仪器进行系统观测,从而总结出流体运动的规律,并借以预测流动现象的演变。过去对天气的观测和预

报,基本上就是这样进行的。

现场观测的优点是:能直接观察到实际的流动现象。其缺点是:现场流动现象的发生往往不能控制,发生条件几乎不可能完全重复出现,影响到对流动现象和规律的研究,现场观测还要花费大量物力、财力和人力。

(2) 实验室模拟

同物理学、化学等学科一样,流体力学离不开实验,尤其是对新的流体运动现象的研究。实验能显示运动特点及其主要趋势,有助于形成概念,检验理论的正确性。二百年来的流体力学发展史中每一项重大进展都离不开实验。

模型实验在流体力学中占有重要地位。这里所说的模型是指借助理论指导,把研究对象的尺度改变(放大或缩小)以便能安排实验。有些流动现象难以靠理论计算解决,有的则不可能做原型实验(成本太高或规模太大)。这时,根据模型实验所得的数据可以用像换算单位制那样的简单算法求出原型的数据。

实验室模拟的优点是:能解决生产中的复杂问题,可以对还没有出现的事物、没有发生的现象(如待设计的工程、机械等)进行观察,使之得到改进。它的结果可以作为检验其他方法是否正确的依据。因此,实验室模拟是研究流体力学的重要方法。这种方法的缺点是:对不同情况,需做不同的实验,即所得结果的普适性较差。

(3) 理论分析

理论分析是根据流体运动的普遍规律如质量守恒、动量守恒、能量守恒等,利用数学分析的手段,研究流体的运动,解释已知的现象,预测可能发生的结果。应用理论分析方法首先根据所给问题的特点,作出合理的假定,建立简化的数学模型;然后根据初始条件与边界条件求出初值问题或边值问题的分析解;最后还必须选取适当的算例,用分析解进行具体的数值计算,以检验简化模型的合理性。

理论分析的优点是:能明确给出各种参数之间的变化关系,具有普遍规律性。其缺点是:数学上的困难很大,只有极少数流动问题能获得分析解:

(4) 数值计算

用计算机进行数值计算是20世纪中叶才出现的一种方法,这种方法是把一般的流体运动方程进行离散化,转化为高阶线性方程组,选用适当的数值方法,利用计算机的速度与容量,进行具体计算,并将计算结果绘制成图表。

数值计算方法的优点是:许多用分析方法无法求解的问题,用此法可以求得它们的数值解。其缺点是对复杂而又缺乏完善数学模型的问题,仍无能为力。

解决流体力学问题时,现场观测、实验室模拟、理论分析和数值计算几种方法是相辅相成的。实验需要理论指导,才能从分散的、表面上无联系的现象和实验数据中得出规律性的结论。反之,理论分析和数值计算也要依靠现场观测和实验室模拟给出物理图案或数据,以建立流动的力学模型和数学模式;最后,还须依靠实验来检验这些模型和模式的完善程度。此外,实际流动往往异常复杂(例如湍流),理论分析和数值计算会遇到巨大的数学和计算方面的困难,得不到具体结果,只能通过现场观测和实验室模拟进行研究。

6. 流体力学的学习

首先,流体力学包含很多内容,在分析和讨论时必须对内容作一定限定,分清研究对象和