

全国煤炭高等教育专升本“十二五”规划教材

Quanguo Meitan Gaodeng Jiaoyu
Zhuanshengben Shierwu Guihua Jiaocai

流体力学 与 流体机械

陈更林 李德玉 主编

Liuti Lixue Yu Liuti Jixie

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国力学学会 中国工程力学学会 中国流体力学学会

流体力学

与

流体机械

第 15 卷 第 1 期 2015 年 1 月

Volume 15 Number 1 January 2015



全国煤炭高等教育专升本“十二五”规划教材

流体力学与流体机械

主 编	陈更林	李德玉
副主编	王利军	杨春敏
参 编	郭楚文	孟凡英
	李嘉薇	苗长新
	孙盛军	

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书有两篇,第一篇是流体力学,介绍了流体力学的基础知识及应用,主要内容有前言、流体的定义与物理性质、流体静力学、流体运动学、流体动力学、层流与紊流、流动阻力与水力计算、相似理论与量纲分析、气体动力学初步。第二篇是流体机械,介绍了泵、风机、压缩机的原理与结构、基本理论、运行、调节、选型等,主要内容有概述、泵与风机的基本理论、相似理论在泵与风机中的应用、空化与空蚀、泵与风机的运行与调节、煤矿主排水系统与设备、煤矿主通风系统与设备、往复式空气压缩机的基本理论与结构、螺杆式空气压缩机的基本理论与结构、煤矿空气压缩系统及设备、煤矿流体机械的监测与监控。

各章均有本章重点、本章难点、学习目标、本章小结、思考题与习题、自学测评测试题,书末还有三套课程考卷,十分便于自学。

本书可作为机械工程及自动化、安全工程、采矿工程等专业本科教材,也可供煤炭成人教育(本科)、干部培训班使用,以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

流体力学与流体机械/陈更林,李德玉主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.6

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1440 - 9

I. ①流… II. ①陈…②李… III. ①流体力学②泵
IV. ①O35②TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 067096 号

书 名 流体力学与流体机械

主 编 陈更林 李德玉

责任编辑 耿东锋 钟 诚

责任校对 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏徐州新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 28.75 字数 716 千字

版次印次 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定 价 39.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤炭高等教育专升本“十二五”规划教材

建设委员会成员名单

主 任:李增全

副主任:于广云 丁三青 王廷弼

委 员:(按姓氏笔画排序)

王宪军 王继华 王德福 刘建中

刘福民 孙茂林 李维安 张吉春

陈学华 周智仁 赵文武 赵济荣

郝虎在 荆双喜 徐国财 廖新宇

秘书长:王廷弼

秘 书:何 戈

全国煤炭高等教育专升本“十二五”规划教材

矿山机电专业编审委员会成员名单

主 任:王宪军

副主任:吕 松

委 员:(按姓氏笔画为序)

王 慧 王春华 刘卫国 孙远敬

李虎伟 张 强 陈更林 周 立

赵丽娟 赵利安 洪晓华 蒲志新

蔡 丽 魏家鹏

前 言

本教材由中国煤炭教育协会组织,根据《全国煤炭成人高等教育专升本教材编写工作会议纪要》的精神,结合当前煤炭成人高校流体力学及流体机械教学大纲及生源现状,精选教学内容,合理谋篇布局,能够满足机电类、安全类、采矿类专业需要,教学时数为48~64学时。编写过程中,力求体现以下编写原则。

(1) 努力体现煤炭成人高等教育专升本教学的要求。介绍了必要的基础理论,着重概念的阐述,努力避开烦琐的数学推导,深入浅出,通俗易懂,理论联系实际,强调应用,反映了煤矿流体机械的新技术。各章均指明了重点、难点、学习目标,均有本章小结、自学测评测试题、较丰富的思考题和习题。

(2) 通用性和针对性相结合的原则。工科类本科教育许多专业均有流体力学与流体机械课程,本教材的第十四、十五、十八、十九章集中体现了当前煤炭行业特色,而其余各章则具有通用性。

(3) 科学性和实用性相结合的原则。本教材编写过程中,遵循科学的基本原理,尊重基本事实,准确地表达基本概念和原理,清楚地阐述基本理论,较详细地介绍了流体力学与流体机械在工程实际中的应用,如管路的水力计算、流体机械的运行调节、选型设计等,使读者能够解决工作中的实际问题。

(4) 系统性和灵活性相结合的原则。本教材在编写过程中,注重知识的连贯性,循序渐进,详略得当,既有必备的基本理论,又紧密结合工程实际。

(5) 经典性和先进性相结合的原则。精选了经典性的内容,参阅了最新的规范 and 规定,努力反映科学和技术的发展和进步。

(6) 名词术语、各物理量的符号均执行相应的国家标准。

本书由陈更林编写第三、十一、十三、十七章、附录,郭楚文编写第一、二、九章,李德玉编写第七、十二、十四章,孟凡英编写第六、十章,孟凡英、陈更林编写第十六章,王利军编写第四、五章,杨春敏编写第十五、十九章,李嘉薇编写第八、十八章,苗长新编写第二十章,山东省烟台市教育局孙盛军参与第十七章和附录的编写工作。全书由陈更林、李德玉担任主编,王利军、杨春敏担任副主编,陈更林、郭楚文担任主审。

由于编者水平有限,书中有不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2011年8月

目 录

第一篇 流体力学

第一章 绪论	3
本章小结	5
第二章 流体的定义与物理性质	6
第一节 流体的定义	6
第二节 连续介质假说	7
第三节 流体的物理性质	8
本章小结	11
思考题与习题	13
自学测评测试题	14
第三章 流体静力学	16
第一节 作用在流体上的力	16
第二节 流体静压强及特性	17
第三节 流体静力学基本方程	18
第四节 压强的测量	21
第五节 液体的相对平衡	24
第六节 静止液体对固体表面的作用力	27
本章小结	31
思考题与习题	32
自学测评测试题	34
第四章 流体运动学	36
第一节 研究流体运动的两种方法	36
第二节 流体运动的一些基本概念	38
第三节 有旋运动与无旋运动的基本概念	43
本章小结	44

思考题与习题	44
自学测评测试题	44
第五章 流体动力学	46
第一节 理想流体运动微分方程	46
第二节 黏性流体运动微分方程	47
第三节 连续性方程	48
第四节 伯努利方程	50
第五节 动量方程	56
第六节 动量矩方程	59
第七节 流体力学基本方程在工程中的应用	61
本章小结	64
思考题与习题	64
自学测评测试题	67
第六章 层流与紊流	69
第一节 流体的两种流动状态	69
第二节 均匀流基本方程	72
第三节 黏性流体的层流运动	74
第四节 缝隙流*	75
第五节 黏性流体的紊流运动	79
第六节 水力光滑与水力粗糙	83
第七节 边界层的概念	84
本章小结	86
思考题与习题	87
自学测评测试题	87
第七章 流动阻力与水力计算	89
第一节 流动阻力与能量损失的分类	89
第二节 沿程损失的实验研究	90
第三节 局部损失	94
第四节 管路水力计算	98
第五节 液体的出流	107
第六节 水击现象	110
本章小结	113
思考题与习题	114
自学测评测试题	116

第八章 相似理论与量纲分析	117
第一节 相似条件	117
第二节 动力相似准则	120
第三节 量纲分析与 π 定理	123
本章小结	128
思考题与习题	128
自学测评测试题	129
第九章 气体动力学初步	130
第一节 热力学基础	130
第二节 一元定常等熵气流的基本方程	131
第三节 微弱扰动的传播	133
第四节 气流的特定状态	135
第五节 激波	138
第六节 变截面管流	144
本章小结	147
思考题与习题	152
自学测评测试题	154

第二篇 流体机械

第十章 概述	157
第一节 流体机械的定义与分类	157
第二节 流体机械在工程中的应用	159
第三节 泵与风机的工作原理	161
第四节 泵与风机的性能参数	165
第五节 泵与风机的主要零部件	166
本章小结	172
思考题与习题	173
自学测评测试题	173
第十一章 泵与风机的基本理论	174
第一节 离心式泵与风机的基本理论	174
第二节 轴流式泵与风机的基本理论	190
第三节 轴向力及平衡	199
本章小结	203
思考题与习题	204
自学测评测试题	205

第十二章 相似理论在泵与风机中的应用	207
第一节 相似条件	207
第二节 相似定律	208
第三节 相似定律的特例	210
第四节 比转数与无因次性能参数	212
本章小结	214
思考题与习题	216
自学测评测试题	216
第十三章 泵的空化与空蚀	218
第一节 空化与空蚀的机理及影响	218
第二节 泵的空化参数与安装高度	222
第三节 空化相似定律及热力学影响	228
第四节 提高泵抗空化与空蚀性能的措施	229
本章小结	230
思考题与习题	231
自学测评测试题	231
第十四章 泵与风机的运行与调节	232
第一节 管路特性与工况点	232
第二节 泵与风机的联合运行	235
第三节 泵与风机的调节	236
第四节 失速与喘振	242
第五节 泵与风机的性能试验	244
本章小结	254
思考题与习题	254
自学测评测试题	255
第十五章 煤矿主排水系统与设备	257
第一节 概述	257
第二节 煤矿常用水泵结构	265
第三节 煤矿主排水设备的选型设计	272
本章小结	285
思考题与习题	286
自学测评测试题	286
第十六章 煤矿主通风系统与设备	288
第一节 井下气体及通风系统	288
第二节 通风阻力	290

第三节 煤矿主通风设备	293
第四节 煤矿主通风设备的选型设计	304
本章小结	315
思考题与习题	316
自学测评测试题	317
第十七章 往复式活塞式空气压缩机的基本理论和结构	318
第一节 往复式空压机的工作原理与主要性能参数	318
第二节 气体的热力过程	320
第三节 往复式空压机的工作循环	322
第四节 多级压缩	329
第五节 往复式空压机的热力性能	331
第六节 空压机的性能试验	333
第七节 往复式活塞式空压机结构	341
本章小结	353
思考题与习题	355
自学测评测试题	356
第十八章 螺杆式空气压缩机的基本理论与结构	357
第一节 螺杆式空压机的基本结构与工作原理	357
第二节 转子型线	359
第三节 基元容积与吸排气孔口	362
第四节 螺杆式空压机的工作循环	364
第五节 螺杆式空压机的热力性能	366
第六节 螺杆式空压机的结构	368
第七节 单螺杆式压缩机简介	376
本章小结	378
思考题与习题	378
自学测评测试题	379
第十九章 煤矿压缩空气系统及设备	380
第一节 煤矿压缩空气系统	380
第二节 煤矿压缩空气设备	382
第三节 压缩空气管网	390
第四节 压缩空气设备选型设计及设备布置	395
本章小结	405
思考题与习题	406
自学测评测试题	408

第二十章 煤矿流体机械的监测与监控	409
第一节 监测监控系统	409
第二节 监测监控系统的设计	412
第三节 煤矿流体机械的监测监控系统	415
本章小结	427
思考题与习题	427
自学测评测试题	428
附录	429
附录 I 泵与风机的型号编制	429
附录 II 泵系列型谱及风机性能曲线	432
附录 III 各种钢管规格	437
《流体力学与流体机械》试卷一	439
《流体力学与流体机械》试卷二	442
《流体力学与流体机械》试卷三	444
参考文献	446

第一篇

流体力学

第一章 绪 论

【本章重点】 重点了解流体力学的学科特点。

【本章难点】 理解流体力学的工程应用范围。

【学习目标】 了解流体力学的研究对象、研究方法及其工程应用。

一、流体力学的研究内容和方法

流体力学是一门基础性很强,应用性很广的学科。它的研究对象随着生产的需要与科学的发展而不断地更新、深化和扩大。虽然人们对流体的特性和规律早就有所认识,并将其大量地应用于生产和生活中,如农业灌溉、水利工程、浮力定律等,但直到 17 世纪下半叶才逐步建立和发展了解决流体力学问题的理论与实验方法。

流体力学是宏观地研究流体受力和运动的规律的科学,是力学的一个重要分支,是许多工业技术部门必须应用和研究的一门重要的基础学科。流体的流动概括起来主要有三种形式:一是管流,如流体在管道和明渠中的流动;二是绕流,如流体在流体机械中绕过翼型的流动;三是射流,如流体从孔口或管嘴喷出的流动。流体力学研究流体的速度分布、压力分布、能量损失,以及流体同固体之间的相互作用,同时也研究流体平衡的条件。

目前,流体力学已发展成为基础科学体系的一部分,同时又在工业、农业、交通运输、天文学、地学、生物学、医学等方面得到广泛应用。工业生产和尖端技术的发展需要,促使流体力学和其他学科相互浸透,形成了许多边缘学科,使这一古老的学科发展成包括多个学科分支的全新的学科体系,焕发出强盛的生机与活力。这一全新的学科体系,目前已包括(普通)流体力学、黏性流体力学、计算流体力学、气体动力学、稀薄气体动力学、水动力学、渗流力学、非牛顿流体力学、多相流体力学、磁流体力学、化学流体力学、生物流体力学、流变学、地球流体力学,等等。

解决流体力学问题、进行流体力学研究的方法可以分为现场观测、实验室模拟、理论分析和数值计算四个方面。

(一) 现场观测

现场观测是对自然界固有流动现象或已有工程的实际流动现象,利用各种仪器进行系统观测,进而总结出流体运动的规律,并以此预测流动现象的演变。例如,16 世纪以前,人们只能根据肉眼观测到的天象物象来判断天气或气候的变化,一些有预示性的云天现象被编成谚语流传,如“朝霞不出门,晚霞行千里”、“东虹日头西虹雨”等。时至今日,这些谚语在我国农村仍然广为流传。17 世纪中叶,意大利人托里拆利发明了气压表,气象观测进入到应用仪器阶段。随着气象站的建立和气象理论的发展,出现了根据当地气象资料演变规律来预测未来天气的单站预报方法。

现场观测的优点是能够直接对真实的流动进行观测,容易发现新的流动现象。但是,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,影响到对流动现象的研究和规律的总结;现场观测还要花费大量物力、财力和人力。

(二) 实验室模拟

在流体力学的发展过程中,实验方法是最先使用的一种,对流体力学的发展做出过巨大贡献。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。二百多年来流体力学发展史中每一项重大进展都离不开实验。

应用实验方法的主要步骤是:① 对所给定的问题,选择适当的无量纲相似参数,并确定其大小范围;② 准备试验条件,其中包括模型的设计制造与设备仪器的选择使用等;③ 制订试验方案并进行试验;④ 整理和分析实验结果,并与其他方法所得的结果进行比较。

实验方法的优点是:能直接解决生产中的复杂问题,能发现流动中的新现象和新原理,它的结果可以作为检验其他方法是否正确的依据。这种方法的缺点是:对不同情况,需作不同的实验,即所得结果的普适性较差。

(三) 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。

应用理论分析方法的主要步骤是:① 首先根据所给流动问题的特点,作出合理的假定,建立简化的数学力学模型;② 根据实际流动情况,给定流动的初始条件与边界条件;③ 求出方程组的解析解,并结合具体流动,解释这些解的物理含义和流动机理;④ 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。

理论分析方法的优点是能明确给出各种参量之间的变化关系,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。

(四) 数值计算

流体力学的基本方程组非常复杂,如果不利用计算机,就只能对比较简单的情形进行计算。计算机技术的不断进步以及流体力学各种计算方法的发明,使许多原来无法用理论分析求解的复杂流体力学问题可用数值方法求解。

应用数值计算方法的主要步骤是:① 选择适当的数学力学模型;② 将流体运动方程进行离散化,转化为高阶线性方程组;③ 选用适当的数值方法,利用计算机的速度与容量,进行具体的数值计算,并将所得结果绘制成图表。

数值方法的优点是许多用分析法无法求解的问题,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四种方法是相辅相成的。实验需要理论指导,才能从大量分散的、表面上毫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以现场观测和实验室模拟结果为基础,建立流动的数学力学模型,并通过实验来检验这些模型的完善程度。此外,很多实际流动往往异常复杂,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,难以得到具体结果,只能通过现场观测和实验室模拟进行研究。

二、流体力学在工程中的应用

流体力学研究并解决工程上遇到的各种流动问题,它是一门专业基础性课程,其应用领