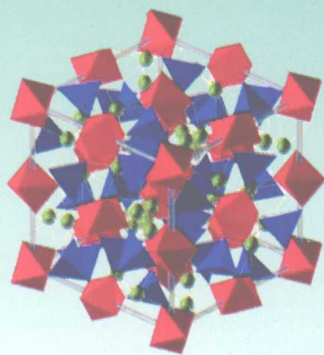




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

材料工程基础

徐德龙 谢峻林 主编



WUTP

武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料工程基础

徐德龙 谢峻林 主 编

武汉理工大学出版社

【内容简介】

“材料工程基础”是高等学校材料科学与工程一级学科专业课程体系中的一门重要的学科基础课程。《材料工程基础》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是为了适应高等学校材料科学与工程类学科发展的需要和新型工程人才的培养而编写的材料科学与工程类专业的本科教材。

本书内容整合了材料工程领域中的共性基础理论——动量、能量和质量传递的基本规律,以及上述理论典型运用的单元过程——物料的干燥和燃料的燃烧。本书既注重逻辑思维的严密性,又强调理论知识与工程实践的有机结合,并试图将材料工程领域的最新科技成果充实到教材内容之中。

本书可作为高等学校材料科学与工程类专业本科生教学的教材,以及研究生的教学参考书。也可供在材料类工业领域中从事科研、设计、生产的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料工程基础/徐德龙,谢峻林主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2008.10
ISBN 978-9-5629-2845-4

I. 材…

II. ① 徐… ② 谢…

III. 工程材料-高等学校-教材

IV. TB 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 150816 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

<http://www.techbook.com.cn>(理工图书网)

E-mail:tiandaoquan@126.com

印 刷:武汉理工大印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:23.25

字 数:600 千字

版 次:2008 年 10 月第 1 版

印 次:2008 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:38.00 元

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。

《材料工程基础》作者简介

徐德龙 男,1952年8月出生,博士,中国工程院院士,现任西安建筑科技大学校长、教授、博士生导师、粉体工程研究所所长,兼任中国硅酸盐学会副理事长、中国颗粒学会副理事长、中国冶金建设协会副理事长、教育部生态水泥工程中心主任、国家保密技术专家组专家、美国化学工程师学会A级会员。

长期从事硅酸盐工程及相关学科的基础理论与工程技术研究、推广和教学工作,在水泥悬浮预热预分解技术、粉体材料与工程、工业固体废弃物资源化技术等方面取得了多项重大成果,先后荣获国家科技进步二等奖1项,国家发明四等奖1项,国家科技成果推广奖1项,省(部)级科技进步和成果一等奖10项、二等奖3项,并先后荣获“全国先进工作者”、“全国优秀留学回国人员”、“国家有突出贡献的中青年专家”等荣誉称号。

谢峻林 女,1965年生,博士,现任武汉理工大学教授、博士生导师、教务处副处长,“材料工程基础”、“无机非金属材料实验”国家级精品课程负责人,湖北省教学名师,享受国务院政府特殊津贴专家,兼任教育部高等学校材料科学与工程专业教学指导委员会无机非金属材料分委员会秘书长、湖北省工程热物理学会理事、湖北省高等学校女高级知识分子科技创新研究会常务理事,湖北省跨世纪学术骨干。

主持参加国家自然科学基金、中国博士后基金、国家“863”计划、“十一五”国家科技支撑计划、教育部世行贷款教改项目等国家级科研、教学研究项目10余项,出版电子教材1部,承担“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”2本,发表论文近80篇。获国家教学成果二等奖1项,湖北省教学成果一等奖3项,省(部)级科技进步奖2项。

普通高等学校材料科学与工程类专业 新编系列教材编审委员会

顾 问：郭景坤 袁润章 范令惠 杨南如

胡道和 王民权 岳文海 曹文聪

主任委员：张联盟

副主任委员：徐德龙 郑治祥 雷绍锋

委 员：(以姓氏笔画为序)

万发荣 马保国 王国梅 王培铭 文梓芸

叶卫平 叶枝荣 叶 菁 田道全 曲祖元

刘亚云 刘 军 孙成林 吴建青 陈 文

宋晓岚 林宗寿 杨长辉 姜洪舟 钱觉时

钱春香 高建明 徐秋林 黄佳木 黄学辉

蒋 阳 程晓敏 程 新 谢峻林 曾令可

葛 勇 潘 伟 薛理辉

秘 书 长：田道全

总责任编辑：徐秋林

出版说明

材料是社会文明和科技进步的物质基础和先导,材料科学与能源科学、信息科学一并被列为现代科学技术的三大支柱,其发展水平已成为一个国家综合国力的主要标志之一。教育部颁布重新修订的《普通高等学校本科专业目录》后,为适应 21 世纪人才培养需要,及时组织并实施了面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划、世界银行贷款 21 世纪初高等理工科教育教学改革项目,部分高等学校承担了其中材料科学与工程专业教学改革项目的研究与实践。已经拓宽了专业面的材料科学与工程专业,相应的业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的材料科学与工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。武汉理工大学出版社在教育部高等学校材料科学与工程专业教学指导委员会的指导和帮助下,经过大量的调研,组织国内几十所大学材料科学与工程学科的知名教授组成“普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材编审委员会”,共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问,遵照教育部材料科学与工程专业教学指导委员会的有关会议及文件精神,经过充分研讨,决定首批编写出版 14 种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。本套新编系列教材的编写具有以下特色:

教材体系体现人才培养目标——本套系列教材的编写体现了高等学校材料科学与工程专业的培养目标和教学要求,从整体上考虑材料科学与工程专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合后,组成了一套完整的、各门课程有机联系的系列化教材。本套教材的编写除正文以外,还增加了本章内容提要、本章小结、思考题与习题等内容,以使教材既适合于教学需要,又便于学生自学。

教材内容反映教改成果——本套系列教材的编写坚持“少而精”的原则,紧跟教学内容和课程体系改革的步伐,教材内容注重更新,反映教学改革的阶段性成果,以适应 21 世纪材料科学与工程专业人才的培养要求。本套系列教材的编写中,凡涉及材料科学与工程学科的技术规范与标准,全部采用国家最新颁布实施的技术规范和标准。

教材出版实现立体化——本套教材努力使用和推广现代化的教学手段,实现立体化出版,凡具备条件的课程都将根据教学需要,及时组织编写、制作和出版相应的电子课件或教案,以适应教育方式的变革。

本套教材是在教育部颁布实施重新修订的本科专业目录后,组织全国多所高等学校材料科学与工程学科的具有丰富教学经验的教授们共同编写的一套面向新世纪、适应新专业的全新的系列教材。能够为新世纪我国材料科学与工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为一套开创性的系列教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提宝贵的意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为我国高等教育事业的发展作出贡献。

武汉理工大学出版社

前 言

“材料工程基础”是高等学校材料科学与工程一级学科专业课程体系中一门重要的学科基础课程。《材料工程基础》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是为了适应高等学校材料科学与工程类学科发展的需要和创新型工程人才的培养而编写的材料科学与工程类专业的本科教材。

本书内容整合了材料工程领域中的共性基础理论——动量、能量和质量传递的基本规律,以及上述理论典型运用的单元过程——物料的干燥和燃料的燃烧。本书既注重逻辑思维的严密性,又强调理论知识与工程实践的有机结合,并试图将材料工程领域的最新科技成果充实到教材内容之中。

本书可作为高等学校材料科学与工程类专业本科生教学的教材,以及研究生的教学参考书。也可供在材料类工业领域中从事科研、设计、生产的工程技术人员阅读参考。

本书由西安建筑科技大学徐德龙教授、武汉理工大学谢峻林教授担任主编,由南京工业大学胡道和教授、西安建筑科技大学曾汉侯教授负责审订。西安建筑科技大学徐德龙教授拟订了本教材的编写大纲和编写方案,并撰写了绪论部分;西安建筑科技大学李辉副教授编写了第1章“流体力学基础”第1~3节、第1章思考题和习题,西安建筑科技大学肖国先教授编写了第1章“流体力学基础”第4~9节;西安建筑科技大学陈延信讲师编写了第2章“两相流运动现象”;武汉理工大学姚三九教授和盐城工学院陈景华副教授编写了第3章“能量传递基础”;南京工业大学周勇敏教授编写了第4章“质量传递基础”;武汉理工大学文进副教授编写了第5章“物料干燥”;武汉理工大学谢峻林教授编写了第6章“燃烧及其燃烧”。本书由曾汉侯教授、徐德龙教授、谢峻林教授负责统稿。

在本书的编写和出版过程中,西安建筑科技大学的冯绍航、范金禾、刘文欢和徐晶晶等老师,做了大量的资料整理和编排校对工作,在此表示感谢。

鉴于本教材的体系比较庞大,编者工作单位比较分散,经历和水平有限,尚存在不少错误和缺点,恳请读者批评指正。

编 者

2008.10

目 录

0 绪论	(1)
0.1 材料工程学的由来	(1)
0.2 材料工程基础	(2)
0.3 关于材料工程基础的教学	(3)
1 流体力学基础	(4)
1.1 流体力学概述	(4)
1.1.1 流体的概念	(4)
1.1.2 流体力学的研究内容	(5)
1.1.3 流体力学研究的意义	(5)
1.1.4 流体力学的研究方法	(6)
1.1.5 单位与量纲	(14)
1.2 流体的性质	(14)
1.2.1 流体的基本物理性质	(14)
1.2.2 流体的连续性——连续介质模型	(15)
1.2.3 流体的可压缩性与热膨胀性	(16)
1.2.4 流体的传递性质	(16)
1.2.5 流体的状态参数与状态方程	(20)
1.2.6 作用在流体上的力	(20)
1.3 流体运动的微分方程	(26)
1.3.1 质量守恒定律——连续性方程	(26)
1.3.2 动量定理——运动方程(纳维-斯托克斯方程)	(28)
1.3.3 能量守恒定律——能量方程	(30)
1.3.4 定解条件	(34)
1.3.5 相似理论和量纲分析	(36)
1.3.6 三种传递过程的类比分析	(38)
1.4 流体静力学	(40)
1.4.1 重力场中静止流体中的压强分布	(40)
1.4.2 非惯性系中均质流体的相对平衡	(43)
1.5 理想流体流动	(44)
1.5.1 欧拉方程	(44)
1.5.2 流体的旋度	(44)
1.5.3 流函数	(46)
1.5.4 不可压缩理想流体圆柱绕流	(46)
1.6 不可压缩粘性流体的流动	(48)
1.6.1 层流与湍流	(48)

1.6.2	边界层理论简介	(49)
1.6.3	不可压缩粘性流体的层流运动	(52)
1.6.4	湍流运动的雷诺方程组	(54)
1.6.5	混合长理论	(56)
1.6.6	光滑管中的湍流流动	(59)
1.6.7	粗糙管中的湍流流动	(60)
1.7	流体流动的伯努利方程式	(61)
1.7.1	流体沿流线流动的伯努利方程式	(61)
1.7.2	流体沿管道流动的伯努利方程式	(63)
1.7.3	流体流动的阻力	(65)
1.7.4	伯努利方程式的应用	(65)
1.8	气体动力学基础	(68)
1.8.1	可压缩气流的一些基本概念	(68)
1.8.2	理想气体一元恒定流动的基本方程	(70)
1.8.3	气体在管道中的运动	(75)
1.9	离心式风机	(79)
1.9.1	离心式风机的基本结构和工作原理	(79)
1.9.2	离心式风机的性能参数与性能曲线	(79)
1.9.3	离心式风机性能参数的换算	(81)
1.9.4	离心式风机的工作点及流量调节	(82)
1.9.5	离心式风机的并联和串联操作	(84)
1.9.6	离心式风机的选择	(85)
	思考题	(89)
	习题	(89)
2	两相运动现象	(94)
2.1	绪论	(94)
2.2	两相与多相流的专用术语和基本特性参数	(97)
2.3	粒子-流体的相互作用	(98)
2.3.1	单粒子在流体中的受力分析	(98)
2.3.2	单粒子的运动方程	(102)
2.3.3	粒子云与流体的相互作用	(103)
2.4	连续相方程	(103)
2.4.1	流场的统计平均方法	(104)
2.4.2	边界粒子的影响	(105)
2.4.3	准一维两相流的守恒方程	(106)
2.5	流体-固体两相流的数值模拟	(112)
2.5.1	不可压缩流体流动过程数值求解的困难及解决的办法	(113)
2.5.2	原始变量法求解管道内准一维流动问题举例	(115)
2.5.3	湍流流动数值模拟的主要方法	(117)
2.5.4	数值模拟的基本程序	(119)

思考题	(123)
3 传热学基础	(124)
3.1 概述	(124)
3.1.1 传热及其应用	(124)
3.1.2 热量传递的基本方式与热流速率方程	(125)
3.1.3 传热热阻	(127)
3.2 传导传热	(128)
3.2.1 导热的基本概念	(128)
3.2.2 导热微分方程与定解条件	(130)
3.2.3 稳态态导热的分析与计算	(132)
3.2.4 非稳态态导热	(139)
3.3 对流换热	(146)
3.3.1 对流换热概述	(146)
3.3.2 对流换热过程的数学描述	(147)
3.3.3 强制流动时的对流换热	(151)
3.3.4 自然对流时的对流换热	(160)
3.3.5 流体有相变时的对流换热	(162)
3.4 辐射换热	(167)
3.4.1 热辐射的基本概念	(167)
3.4.2 黑体辐射定律	(171)
3.4.3 实际物体和灰体的辐射	(174)
3.4.4 角系数	(178)
3.4.5 两个灰体之间的辐射换热	(181)
3.4.6 多个灰体表面组成封闭系统时的辐射传热	(184)
3.4.7 辐射换热的强化与削弱	(186)
3.4.8 气体辐射	(187)
3.5 传热过程与换热器	(193)
3.5.1 传热过程与复合传热	(193)
3.5.2 换热器	(196)
思考题	(205)
习题	(206)
4 质量传递基础	(209)
4.1 传质基本概念	(210)
4.1.1 浓度	(210)
4.1.2 分数表示法	(210)
4.1.3 速度	(211)
4.2 分子扩散传质	(213)
4.2.1 斐克(Fick)定律	(213)
4.2.2 分子扩散系数	(213)
4.2.3 流体中的分子扩散	(217)

4.2.4	固体中的分子扩散	(222)
4.2.5	非稳态扩散	(225)
4.3	对流传质	(225)
4.3.1	浓度边界层与对流传质系数	(226)
4.3.2	对流传质准数方程	(227)
4.4	传质与化学反应	(228)
4.4.1	非均匀化学反应与扩散传质	(229)
4.4.2	均匀化学反应与扩散传质	(230)
4.4.3	球形颗粒的缩核反应与传质	(230)
	思考题	(234)
	习题	(235)
5	物料干燥	(236)
5.1	概述	(236)
5.1.1	固体物料的去湿方法	(236)
5.1.2	物料的干燥方法	(236)
5.2	干燥静力学	(237)
5.2.1	湿空气的性质	(237)
5.2.2	湿空气状态的变化过程	(245)
5.2.3	水分在气-固两相间的平衡	(248)
5.3	干燥速率和干燥过程	(249)
5.3.1	恒定干燥条件下的干燥速率	(249)
5.3.2	影响干燥速率的因素	(252)
5.3.3	间歇干燥过程的干燥时间计算	(255)
5.3.4	连续干燥过程	(257)
5.4	干燥技术	(261)
5.4.1	对流干燥	(261)
5.4.2	传导干燥	(262)
5.4.3	辐射干燥	(263)
5.4.4	场干燥技术	(264)
	思考题	(267)
	习题	(268)
6	燃料及其燃烧	(269)
6.1	燃料的种类及其组成	(269)
6.1.1	燃料的种类	(269)
6.1.2	固体燃料和燃料油的组成	(271)
6.1.3	气体燃料	(274)
6.2	燃料的性质	(275)
6.2.1	燃料的发热量	(275)
6.2.2	煤的特性	(278)
6.2.3	燃料油特性	(280)

6.2.4 气体燃料特性	(282)
6.3 燃烧计算	(283)
6.3.1 燃料燃烧所需空气量的计算	(283)
6.3.2 烟气量及烟气组成计算	(285)
6.3.3 生产中烟气量、空气量及过剩空气系数的计算	(291)
6.3.4 燃烧温度计算	(294)
6.3.5 影响理论燃烧温度的各因素	(296)
6.4 燃料的燃烧理论及过程	(298)
6.4.1 燃烧理论	(299)
6.4.2 不同燃料的燃烧过程	(303)
6.5 洁净燃烧技术	(310)
6.5.1 燃烧污染与防治	(310)
6.5.2 材料生产中的燃烧新技术	(313)
思考题	(320)
习题	(320)
附录 A 场论初步	(322)
附录 B 某些常见流体的热物理性质	(331)
附录 C 法向应力与应变率之间关系的推导	(342)
附录 D 常用物理量的量纲与单位(SI制)	(343)
附录 E 部分材料的密度、导热系数、比热容和蓄热系数	(344)
附录 F 某些材料在法线方向上的黑度	(345)
附录 G 计算辐射系数和核算面积的公式和图	(346)
附录 H 无限大平板的 θ_m/θ_0 、 θ/θ_m 及 θ/θ_0 的计算图	(352)
附录 I CO_2 和水蒸气辐射率的计算图	(354)
参考文献	(357)

0 绪 论

0.1 材料工程学的由来

自 1949 年新中国成立以来,随着经济体制的变革,我国教育体制、学科和专业的设置、课程体系的构建都在不断地发生着巨大的变化。1953 年前,全国设立的本科专业共 215 个,其中工科类专业 15 个。1953 年开始,中国全面向苏联学习,实行高度集中的计划经济体制,取消了民办高等教育,由政府 and 部门举办高等教育。到 1963 年经国务院批准的专业数为 510 个,其中工科专业剧增到 164 个,增加了 10 倍多。截至 1982 年,我国本科专业数增加到 1450 个,增加后的工科专业数达 255 个。工科类专业经历了由大类学科设置专业到由行业设置专业再到由产品(或工序)设置专业的巨大变化,如图 0.1 所示。仅材料科学与工程类的专业就多达 30 多个。这种窄口径的专才教育无疑对我国在短期内奠定工业基础起到了巨大的支撑作用。但窄口径的专才教育自成封闭体系,缺乏人文素质培养,使得学生视野狭小、知识面有限,很难获得奇想和创新的灵感,不具备借他山之石以攻玉的能力和气魄,缺乏与人协作共事的能力和素养。这些缺陷从某种意义上讲,阻碍着材料科学与工程学的进步。

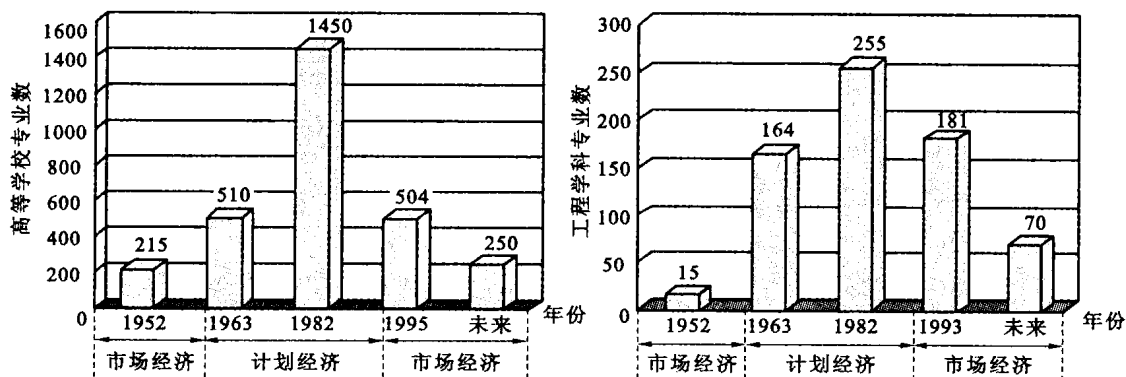


图 0.1 我国高等学校专业数和工程学科专业数的变化情况

从 1983 年开始,我国经济体制开始从高度集中的计划经济转向社会主义市场经济。招生制度、就业制度、教育经费承担制度都发生了深刻的变化,窄口径的专才教育再也不能满足市场经济对人才资源配置的需求。从 1983 年到 1999 年,我国对本科专业设置进行了三次大规模的调整。材料科学与工程类专业由原来 30 多个在 1993 年调整到 12 个,1999 年又压缩到了 5 个。按照引导型专业目录,未来将逐步归并为一个,即材料科学与工程专业。学科与专业设置的大幅度调整必然导致课程体系和教学内容的巨大变化。调整是相对容易的,但要改变几十年形成的课程体系和教学内容却十分艰难,且师资的思想和知识结构还无法适应这种调整,短期内快速的转向与传统的惯性形成明显的反差,于是我国材料科学与工程类专业在一段时期内形成了众花齐放、多家争鸣的格局。那么,究竟该如何划定材料科学与工程学的研究领

域,怎样构建新的课程体系和教学内容,自然成为人们讨论的焦点。

在人类进入 21 世纪的时刻,这一问题也同时引起了各国科学和工程界的高度关注。美国和日本等国的政府、相关部门及学术团体曾就这一问题进行了长达数年的研究和调查,尽管各国对这个问题的认识至今仍不完全一致,但大致已形成共识。材料科学与工程应该由三大支柱支撑,一是材料的成分、结构和性质(即材料科学),二是材料的制备和加工(即材料工程),三是材料的性能和应用(即材料的使用)。因而,材料工程学自然成为材料领域的一个主要方面,如图 0.2 所示。

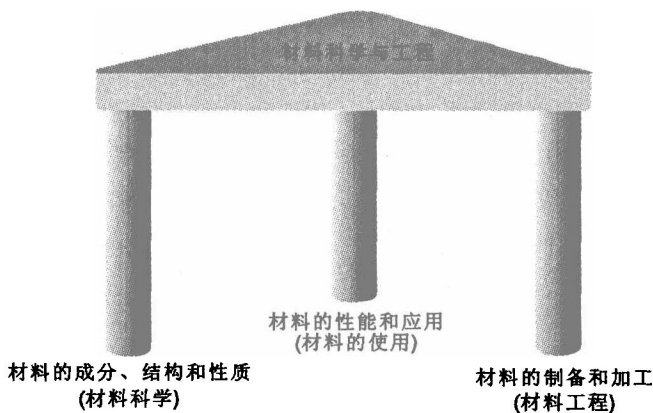


图 0.2 材料科学与工程学科的基本构成要素

任何材料的制造和加工都是一个不可逆的过程,尤其是矿物材料的制造。人们在向大自然索取精华的同时,也制造了糟粕。材料的制造和加工过程大量消耗着不可再生的矿物资源和能源,排放着诸如 CO_2 、 SO_2 和 NO_x 等有害气体,严重污染着环境,使得生态破坏、气候变暖、人和自然失去和谐。因而材料工程学不但要为某些新材料的制备提供科学合理的生产工艺,而且肩负着为传统材料的制造提供更为先进科学的、向可逆过程不断逼近的革命性新技术,以及为工业废弃物的资源化提供支撑技术和工艺的使命。否则,建设资源节约型、环境友好型的社会,通过循环经济范式实现人类社会可持续发展就会变成一句空话。因此,科学合理地构建材料工程学对材料学科的建设、对人类社会的进步、对和谐社会的建立都具有重要的现实意义和深远的历史意义。

0.2 材料工程基础

任何材料的制造和加工都是由一系列单元操作所组成的一个复杂过程。而每一个单元操作都具有其特殊的原理和特有的技术(或装备),如材料的破碎、粉磨、分选、干燥、烧成、冶炼、分离、成型、蒸馏、存贮、输送、包装等。材料是五花八门的,各种材料的制造和加工过程及其组成单元也是变化无穷的。然而,各种单元过程所涉及的基本理论却有惊人的共同性,它们无非是动量的传递(力学)、能量的传递(热学)、质量的传递(传质学)、化学反应动力学和涉及过程与效率的热力学。

材料工程学是研究材料制造和加工的一门学问。材料工程基础是探讨材料制造和加工所依据的基本理论和基础知识的课程,主要突出的是三种传递现象(动量、能量和质量的传递现

象)的研究及典型运用实例(也是具有普遍意义单元操作),如物料的干燥和燃料的燃烧。

尽管三种传递现象的传递内容不同(动量、能量、质量),特征参数的表征不同[如力(向量)、温度(标量)、浓度(标量)],传递的途径不同(接触或非接触),但它们却有相似的传递动力(压力差、温度差、浓度差)、相似的传递系数、相似的传递形式(分子传递、微涡传递、非接触传递)、相似的边界层现象、相似的范定方程和定解条件的表达式,甚至有相似的解。故三种不同的传递现象,在数学上往往被抽象为同一类问题——输运问题。因而可以用相似分析的方法、类比的方法、量纲分析的方法对三种现象进行比较、研究和理解,从而收到事半功倍的效果。

在实际工程或具体单元操作中,每一种传递现象又绝非孤立偶然地出现,往往是多种传递现象耦合发生。如以传热为主的现象往往伴随有质量的交换或流体的运动。如果以描述某一传输现象为主的方程不与其他传输方程耦合联立,则方程组就不完备,自然也就无法求解。因而,将三种现象放在一起研究和讲述,无疑使问题更具有系统性和完备性。

通过干燥和燃料燃烧的单元剖析,可使我们领略如何使用传输理论来研究和理解一个复杂的具体实际过程,训练我们举一反三地用传输理论解决实际问题的能力。

本书物理量的单位采用国际单位制。对于工程上的传统习惯单位,大家可通过不同单位制中的换算因子严格换算,具体内容不再赘述。

0.3 关于材料工程基础的教学

动量、能量和质量的传输现象是我们日常生活和工业生产中普遍存在的现象,可谓无处不在,无时不在。因而,我们要密切联系实际地学习、认识和研究传输现象的主要特征和基本规律。教师在授课过程中要密切结合学生所熟悉的生活和生产的实际,深入浅出地进行讲解。学生在自学或听课中也要处处自觉地与现实实际相联系,从而使认识得到升华,使理解更加透彻。

本课程的教学必须有相应的实验室试验和演示来配合完成。由于受篇幅的限制,具体实验指导书不含在本教材之中。

为了巩固和发展学生在基础课学习中已掌握的数学、物理方面的知识,本教程比较充分地应用了数学和物理分析方法,故在教与学的过程中,要温习已学过的知识,从而达到温故而知新、循序渐进的目的。

严格意义上讲,三大传输方程至今无法得到完全的解析解。所给出的某些解析解,都是针对一些具体情况简化定解问题后的解析结果。学习这些求解过程,对提高我们分析问题和解决问题的能力无疑有很大的帮助。然而,随着计算机的迅速发展,通过数字模拟计算的方法来求解三大传输方程,进而实现对过程或单元子系统的虚拟理论研究已成为现实,此任务将由后续的“计算机在材料科学与工程中的应用”课程来完成,本课程的学习只是奠定一个基础。

在本课程的教学尤其要高度重视学生观察事物现象、分析现象本质及其各影响因素之间的相互关系,抓住主要矛盾并简化定解问题,灵活运用解析解、数值分析法、相似法、类比法等分析和处理问题的思路和能力的培养。要强调一些具体结论的适用条件和范围,绝不能将结论当作教条去灌输和学习。否则,我们就无法培养出一代具有创新精神和实践能力的可靠接班人和建设者,提高我国的自主创新能力和建设创新型国家的宏伟蓝图也将无法实现。

如绪论开头所述,材料工程基础是一个新的课程体系,其内容尚不够完整,各部分的关系也欠和谐,完善该课程体系的任務还任重道远。

1 流体力学基础

本章提要

流体力学是求解材料工程领域流体运动和流体与周围物体间相互作用和运动规律的科学,是帮助人们在工程实践中掌握流体动力学特性、充分发挥流体作用的理论工具。本章在介绍流体力学的研究方法、描述流体运动的基本方法和流体基本性质的基础上,分析流体的受力,建立了描述流体运动的微分方程(连续性方程、运动方程和能量方程),给出了求解具体流体力学问题的定解条件;阐述了实验研究方法的理论依据(相似理论和量纲分析法);对流体运动过程中所发生的三种传递现象(动量、能量和质量传递过程)进行了类比分析;并针对一些特殊的流体流动情况,如惯性系和非惯性系中流体的压强分布、不可压缩理想流体、不可压缩粘性流体和管道内流体的流动等进行求解;最后从工程应用的角度出发,介绍了流体输送过程中最常用的机械设备——离心式风机的基本结构、工作原理和操作特性。

掌握的内容

描述流体运动的两种方法——拉格朗日法和欧拉法;流体的性质;流体力学的基本概念;流体运动的描述及定解条件;相似理论和量纲分析;重力场中静止流体压强分布的求解;边界层的概念;伯努利方程在求解管道流动问题中的应用;离心式风机的工作原理、性能参数和流量调节。

熟悉和了解的内容

流体力学的一般研究方法;流体运动微分方程的推导;三种传递过程的类比分析;不可压缩粘性流体的流动。

1.1 流体力学概述

流体力学是研究流体及流体与周围物体之间相互作用和运动规律的科学。人类流体力学知识的起源可以上溯至数千年前,是人类为满足自身生活和生产的需要,在认识、改造自然的过程中,随着实践经验的不断积累和技术水平的日渐提高,逐步形成、发展起来的。迄今为止,流体力学已发展成为一门具有众多分支学科的大学科门类。

1.1.1 流体的概念

流体力学现象在我们的生活中几乎无处不在,譬如天空中云的漂浮,大气中鸟的飞行以及溪流中水的流动等。那么究竟什么是流体呢?

流体,就是在切应力作用下能够产生连续变形的物体。由这个定义可得出一个重要推论,即流体在静止状态时不存在切应力。气体和液体都是流体。

流体与固体的区别在于:固体具有一定的形状,不易变形,而流体无一定的形状,且易于变形,具有一定的流动性。

流体和固体所表现出来的这些外部宏观性质的差别是由其内部微观结构、分子热运动和分子间的作用力决定的。近代物理学研究表明,任何物质都由大量分子构成,这些分子处于永不停息的随机热运动和相互碰撞之中。同时各分子间还存在着一种相互作用力(图 1.1)。当分子之间距离较近时,作用力以吸引为主;当分子非常接近时,作用力以排斥为主;当两分子相距较远时,分子间相互作用力很小,可忽略。在常温常压条件下,气体分子间的平均距离约为 $3.3 \times 10^{-7} \text{ cm}$ (为分子线尺度的 10 倍);液体分子间的平均距离较小,为 10^{-8} cm ;固体分子的平均距离则更小。因此气体分子之间的作用力很小,分子近似做自由与无规则的运动,以致气体无一定的形状,易于压缩,并呈各向同性。而固体,由于分子间的距离最小,作用力也就最大,分子几乎呈有规则排列,形成远程有序晶格,成为各向异性的晶体。但若晶格远程排列无序,就成为各向同性的非晶体。固体分子的热运动仅表现为在其平衡位置附近振荡,故固体具有一定的形状和体积,且不易变形。至于液体,由于其分子间的距离比固体分子的稍大(大 $1/3$ 左右),其作用力也就比固体的稍小,分子排列则与非晶体的相似,因而液体有一定的体积,难以压缩,且各向同性。

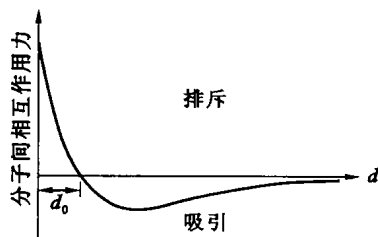


图 1.1 物质分子间的相互作用力与分子间距的关系

1.1.2 流体力学的研究内容

流体力学的研究内容可分为三部分:① 流体静力学(fluid statics),即对静止状态下流体的力学分析;② 流体运动学(kinematics),即在不考虑受力和能量传递的前提下对流体运动的描述(求得流体的加速度、速度场分布和流线);③ 流体动力学(fluid dynamics),即研究运动流体的速度和加速度与其受力之间的关系。近十年来,流体力学开始与其他相邻学科相结合,发展形成了许多新的交叉学科,如电磁流体力学、化学流体力学、爆炸力学、生物流体力学以及地球流体力学等,大大丰富了流体力学的研究内容。

1.1.3 流体力学研究的意义

流体力学研究在国计民生中起着非常重要的作用。例如,研究大气和海水的运动指导天气与海洋预报(图 1.2),为农业、渔业、航空、航海、国防和人民生活服务;研究飞机、人造卫星和导弹等各种空间飞行物和舰船、潜艇、鱼雷等水下、水上运动物体的运动及其与周围流体的相互作用力,从而设计出阻力小、稳定性高的合理外形;研究河流、渠道和各种管路系统内流体的流动,特别是流动流体与各种界壁之间的作用力,从而获得节能、安全的工程设计;研究核反应堆、动力设备的冷却系统和热交换器、水暖系统以及材料工业生产所用各种设备(如窑炉、烟道、风管等)中的流体流动,不仅可了解流体的运动规律,还可以掌握流体在这些设备壁面处的传热、传质规律,从而获得最优的系统设计和最佳的工作效率。此外,油田、气田的开发,地下水的利用和机械设备的润滑等无不与流体力学密切相关。