



普通高等教育“十二五”部委级规划教材（本科）

高分子材料 加工原理

第3版

沈新元 主编



中国纺织出版社



普通高等教育“十二五”部委级规划教材(本科)

高分子材料加工原理

(第3版)

沈新元 主编



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书首先阐述了各种高分子材料的基本概念及其成型加工原理中的共性问题,包括聚物流体的制备、混合和聚物流体的流变性。然后分别详细讨论了化学纤维、塑料和橡胶三类重要高分子材料成型加工原理中的个性问题。各章后均附有复习指导及思考题。

本书可作为高等院校高分子材料与工程专业的教材,也可供从事高分子材料科学研究、生产和管理工作的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高分子材料加工原理/沈新元主编. —3版. —北京:中国纺织出版社,2014.12

普通高等教育“十二五”部委级规划教材. 本科

ISBN 978-7-5180-1027-1

I. ①高… II. ①沈… III. ①高分子材料—加工—高等学校—教材 IV. ①TB324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 227007 号

责任编辑:范雨昕 责任校对:梁颖 责任设计:何建
责任印制:何建

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010-67004422 传真:010-87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail: faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 <http://weibo.com/2119887771>

北京云浩印刷有限责任公司印刷 各地新华书店经销

2000年7月第1版 2009年3月第2版

2014年12月第3版 2014年12月第9次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:24.5

字数:492千字 定价:60.00元(附光盘1张)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

本教材编委会

主 编 沈新元
编 委 蔡绪福 沈新元 吴向东 郭 静
周静宜 吉亚丽

《国家中长期教育改革和发展规划纲要》中提出“全面提高高等教育质量”，“提高人才培养质量”。教育部教高[2007]1号文件“关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见”中，明确了“继续推进国家精品课程建设”，“积极推进网络教育资源开发和共享平台建设，建设面向全国高校的精品课程和立体化教材的数字化资源中心”，对高等教育教材的质量和立体化模式都提出了更高、更具体的要求。

“着力培养信念执着、品德优良、知识丰富、本领过硬的高素质专门人才和拔尖创新人才”，已成为当今本科教育的主题。教材建设作为教学的重要组成部分，如何适应新形势下我国教学改革要求，配合教育部“卓越工程师教育培养计划”的实施，满足应用型人才培养的需要，在人才培养中发挥作用，成为院校和出版人共同努力的目标。中国纺织服装教育学会协同中国纺织出版社，认真组织制订“十二五”部委级教材规划，组织专家对各院校上报的“十二五”规划教材选题进行认真评选，力求使教材出版与教学改革和课程建设发展相适应，充分体现教材的适用性、科学性、系统性和新颖性，使教材内容具有以下三个特点：

(1) 围绕一个核心——育人目标。根据教育规律和课程设置特点，从提高学生分析问题、解决问题的能力入手，教材附有课程设置指导，并于章首介绍本章知识点、重点、难点及专业技能，增加相关学科的最新研究理论、研究热点或历史背景，章后附形式多样的思考题等，提高教材的可读性，增加学生学习兴趣和自学能力，提升学生科技素养和人文素养。

(2) 突出一个环节——实践环节。教材出版突出应用性学科的特点，注重理论与生产实践的结合，有针对性地设置教材内容，增加实践、实验内容，并通过多媒体等形式，直观反映生产实践的最新成果。

(3) 实现一个立体——开发立体化教材体系。充分利用现代教育技术手段，构建数字教育资源平台，开发教学课件、音像制品、素材库、试题库等多种立体化的配套教材，以直观的形式和丰富的表达充分展现教学内容。

教材出版是教育发展中的重要组成部分，为出版高质量的教材，出版社严格甄选作者，组织专家评审，并对出版全过程进行跟踪，及时了解教材编写进度、编写质量，力求做到作者权威、编辑专业、审读严格、精品出版。我们愿与院校一起，共同探讨、完善教材出版，不断推出精品教材，以适应我国高等教育的发展要求。

中国纺织出版社
教材出版中心

20世纪90年代中期,纺织高等院校化纤专业教学委员会组织编写了《高分子材料加工原理》,满足了化学纤维专业拓宽为高分子材料与工程专业后教学的急需。《高分子材料加工原理》(第2版)根据高分子材料工业发展对专业人才的要求,对内容进行了大幅度整合和更新,形成了专业面宽、内容丰富,正确处理高分子材料加工原理中共性问题与个性规律之间的关系,强调理顺拓宽专业与保持特色的关系等显著特点,使教材质量进一步提高。该书入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材,2009年被教育部高等教育司评为普通高等教育精品教材,获上海市2011年优秀教材一等奖。

我国拥有庞大的高分子材料产业,开设“高分子材料与工程”专业的高校已近150个。这些产业众多的研究人员、技术人员、管理人员及高分子材料与工程专业的师生,都需要一些好的教材和参考书。有鉴于此,我们根据叶圣陶先生“铸一柄合用的斧头”的要求,根据在国家精品课程《高分子材料成型原理》建设中积累的经验,编写了《高分子材料加工原理》(第3版)。

本书按基本的工程原理,将不同高分子材料的加工过程分为原料准备、成型和后成型三个阶段。第一至第四章阐述了高分子材料的基本概念及其成型加工原理中的共性问题,包括聚物流体的制备、混合和聚物流体的流变性;第五至第七章分别详细讨论了化学纤维、塑料和橡胶三类重要高分子材料成型加工原理中的个性问题。各章后均附有复习指导与思考题。

《高分子材料加工原理》(第3版)的编写人员分工如下:第一章,第五章第一至第四节、第七节由东华大学沈新元执笔;第二、第四章由大连工业大学郭静执笔;第三章由东华大学吉亚丽执笔;第五章第五、第六节由北京服装学院周静宜执笔;第六章由四川大学蔡绪福执笔;第七章由华南理工大学吴向东执笔。全书由沈新元确立编写大纲并统一整理定稿。

本书获得纤维材料改性国家重点实验室的资助,在此表示诚挚的感谢。由于高分子材料成型加工涉及的学科领域较多,发展速度很快,加之作者的水平及能力有限,因此书中疏误之处在所难免,敬请读者批评指正。

本书为国家“九五”规划教材,由原纺织工业部化学纤维专业教育委员会组织编写,供纺织高等院校高分子材料专业高年级学生学习专业课时使用,并供其他院校的师生参阅。

本书在简要介绍化学纤维、塑料、橡胶、胶黏剂和涂料的基本概念、生产方法和品质指标后,详细讨论了这些高分子材料的生产工艺原理。课堂讲授约需50~70学时。

全书由沈新元统稿,顾利霞审定。参加编写的有中国纺织大学沈新元(第一章、第二章第一节、第三章第一节、第四章第一节、第八章),齐齐哈尔大学王雅珍(第二章第二、三、四节,第三章第二、三、四节,第四章第二、三、四节),大连轻工业学院郭静(第五章、第七章),官玉梅(第六章),北京服装学院李燕立(第九章),华南理工大学吴向东(第十章、第十一章、第十二章)。

由于我们对集体编写教材缺乏经验和水平有限,书中难免有疏漏、缺点和错误,恳请读者予以指正。并对本书中列出的资料的作者以及尚未列入的资料的作者表示感谢。

编者

1999年3月

自从20世纪20年代高分子学科产生以来,高分子科学与技术的发展极为迅速,并导致了材料领域的重大变革,形成了金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料多角共存的局面,并广泛应用于人类的衣食住行和各产业领域。人们已经认识到高分子材料越发成为普遍应用而不可缺少的重要材料,它的广泛应用和不断创新是材料科学现代化的一个重要标志。

高分子材料的主要种类有纤维、塑料、橡胶、涂料和胶黏剂,它们各自形成了庞大的工业体系,并在此基础上形成了具有鲜明特色的专业。在各专业领域,已出版了许多专著和教材,受到广大读者和各校师生的欢迎。

20世纪90年代中期,随着科学技术的飞速发展,特别是我国工科高等院校专业的拓宽,纺织高等院校化学纤维专业教学委员会组织编写了《高分子材料加工原理》,内容覆盖化学纤维、塑料、橡胶、胶黏剂和涂料等高分子材料的基本概念、生产方法、品质指标和成型加工原理。该书满足了一些原开设化学纤维专业的院校专业拓宽为高分子材料与工程专业后的教学急需,并且被其他多所高校作为教材和教学参考书使用,教学效果良好。同时,该书也受到了专家的肯定,获上海市2003年优秀教材三等奖。由沈新元教授主持、采用该书作为教材的《高分子材料成型原理》被评为2008年国家精品课程。

我国拥有庞大的高分子材料产业,近年来开设“高分子材料与工程”专业的高校增加到近150个。这些产业众多的研究人员、技术人员、管理人员及高分子材料与工程专业的师生,都需要一些好的教材和参考书。有鉴于此,我们借本书入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材之机,对全书的内容进行了修改与补充。

《高分子材料加工原理》(第2版)按基本的工程原理,将不同高分子材料的加工过程分为原料准备、成型和后成型三个阶段。第一至第四章阐述高分子材料的基本概念及其成型加工原理中的共性问题,包括聚合物流体的制备、混合和聚合物流体的流变性;第五至第七章分别详细讨论化学纤维、塑料和橡胶三类重要高分子材料成型加工原理中的个性问题;第八章简单介绍涂料和胶黏剂的制备和应用原理。各章后均附有复习指导与思考题。

本书的编写人员分工如下:第一章由东华大学沈新元执笔;第二章由大连工业大学郭静执笔;第三章由东华大学吉亚丽、燕山大学李青山执笔;第四章由大连工业大学郭静执笔;第五章第一至第四节及第七节由东华大学沈新元执笔,第五、第六节由北京服装学院周静宜、李燕立执笔;第六章由四川大学蔡绪福执笔;第七章由华南理工大学吴向东执笔;第八章由燕山大学李青山、东华大学吉亚丽执笔。全

书由沈新元确立编写大纲并统一整理定稿。

本书的编写工作得到了东华大学硕士研究生戴蓓蓓的协助,在此表示诚挚感谢。

由于高分子材料品种和成型加工方法繁多,研究日新月异,加之作者学识有限,因此书中疏误之处在所难免,恳请专家和使用本书的师生批评指正。

编者

2009年1月



课程设置指导

一、本教材所授课程的主要任务和教学目标

在 高分子材料科学研究中,合成—结构—加工—性能四要素关系是研究的终极目标,其中加工处于中心位置。

本教材所授课程的主要任务和教学目标是使学生掌握高分子材料成型和后加工的基本原理,熟悉工艺条件与高分子材料结构与性能之间的关系,为学生学习后续专业课程、毕业实践环节及今后在 高分子材料领域的研究和开发打下良好的理论基础。

二、本教材所授课程与有关课程的联系

高分子材料成型加工原理构建于五大化学、高分子物理以及材料科学与工程基础等相关课程的基础上,因此学生应先修《高分子化学》《高分子物理》《材料导论》《材料科学与工程基础》《材料研究方法》等学科基础课程。本课程的后续课程含《高分子材料成型加工工艺》《高分子材料成型加工设备》等,它们与本课程关系极为密切,但又各有侧重。

三、关于本教材所授课程教学观念和教学方法改革的建议

1. 本教材所授课程应贯彻理论联系实际的教学原则

高分子材料成型加工具有很强的实践性,因此本教材所授课程的教学全过程应该特别注重理论联系实际。授课教师应努力学习和积累有关高分子材料成型加工实际知识,能够在讲课中举出生动的生产实例;并可采用播放重要加工过程的动画和有关实际生产的教学录像、展示实物等辅助教学手段,以增加课堂信息量,增强教学效果。同时把握好课堂教学与实践环节之间的关系,将课堂教学与专业实验、实习、课外科技活动、毕业设计(论文)的前期工作等实践教学环节紧密结合。有条件的学校可开设与课程内容相关的设计性、综合性实验,让学生通过动手操作,体验和真正理解高分子材料的成型加工原理;在本课程前安排生产实习,为课堂教学打好基础,在课程结束后安排毕业实习,使学生进一步加深对课堂教学知识的理解;将课程教学内容作为学生的课外科技活动课题,并且与毕业设计(论文)课题紧密结合,使学生通过较长时间的科研训练,提高创新能力。这样既可以提高专业课程的教学效果,又可以培养学生的工程实践能力与创新能力。

2. 本教材所授课程应把握好拓宽专业面与保持特色的关系

高分子材料有化学纤维、橡胶、塑料等多种品种,它们各自形成了庞大的工业体系。在本教材所授课程教学中,应注意把握好拓宽专业面与保持特色的关系,首先使学生掌握高分子材料成型加工的共性原理;同时可根据学校特色确定重点教学内容,以避免“千校一面”。

3. 本教材所授课程应不断补充和更新教学内容

高分子材料科学的研究日新月异,高分子材料成型加工的技术与工艺的发展十分迅速,而教材的内容总是相对滞后。因此本教材所授课程应注意不断补充和更新教学内容。应注意充分利用网络资源,将国家精品课程经常更新的有关学科前沿和科学研究最新进展等资料介绍给学生。有条件的学校应充分发挥科研对教学的促进作用,将学科前沿和最新科研成果及时引入教学内容。

四、知识模块顺序及对应的学时建议

知识模块	章数	讲授内容	学时分配
高分子材料概论	第一章	绪论	2~4
高分子材料成型原理中的共性问题	第二章	聚物流体的制备	2~3
	第三章	混合	2~3
	第四章	聚物流体的流变性	6
高分子材料成型原理中的个性问题	第五章	化学纤维成型加工原理	6~18。纤维特色学校取18~20学时,其他学校取6学时
	第六章	塑料成型加工原理	6~18。塑料特色学校取18~20学时,其他学校取6学时
	第七章	橡胶成型加工原理	6~18。橡胶特色学校取18~20学时,其他学校取6学时
合计			42~48

第一章 绪论	1
第一节 高分子材料的基本概念和主要品种	1
一、概述	1
二、通用高分子材料的主要种类和概念	1
三、新型高分子材料的主要种类和概念	4
第二节 高分子材料在国民经济中的地位和作用	7
一、材料的重要性	7
二、高分子材料在国民经济和科学技术中的地位和作用	9
第三节 高分子材料加工的学科分类	11
一、高分子材料加工的基础阶段	12
二、高分子材料的成型方法	13
复习指导	13
思考题	14
参考文献	15
第二章 聚物流体的制备	16
第一节 聚合物的熔融	16
一、聚合物的熔融方法	16
二、聚合物熔融机理	18
三、聚合物的熔融热力学	20
四、聚合物熔融的影响因素	21
第二节 聚合物的溶解	22
一、聚合物溶解过程的特点及其热力学解释	22
二、影响溶解度的结构因素	24
三、溶剂的选择	25
四、聚合物—溶剂体系的相平衡	30
五、聚合物溶解过程的动力学	33
复习指导	34
思考题	35
参考文献	35

第三章 混合	36
第一节 混合的基本概念和原理	36
一、混合的定义	36
二、混合机理	37
三、混合过程发生的主要作用	38
第二节 高分子材料混合加工的原料配方设计	40
一、添加剂的属性	41
二、添加剂之间的相互作用	42
三、添加剂与聚合物的关系	43
第三节 高分子材料混合加工的基本过程	44
一、非分散混合	45
二、分散混合	48
复习指导	51
思考题	52
参考文献	52
第四章 聚物流体的流变性	53
第一节 聚物流体的非牛顿剪切黏性	53
一、聚物流体的流动类型	53
二、非牛顿流体的剪切黏性表征	55
三、影响聚物流体剪切黏性的因素	59
四、研究剪切黏性对聚合物加工的意义	72
第二节 聚物流体的拉伸黏性	75
一、拉伸黏性的表征	75
二、影响聚物流体拉伸黏度的因素	76
三、研究拉伸黏性对聚合物加工的意义	79
第三节 聚物流体的弹性	79
一、聚物流体的弹性表现	79
二、聚物流体弹性的本质及表征	83
三、影响聚物流体弹性的因素	83
四、聚物流体的动态黏弹性	89
复习指导	90
思考题	90
参考文献	91

第五章 化学纤维成型加工原理	93
第一节 概述	93
一、化学纤维成型加工的基本过程	93
二、化学纤维的品质指标	95
三、纺丝过程基本原理	96
第二节 熔体纺丝原理	103
一、熔体纺丝的运动学和动力学	104
二、熔体纺丝中的传热	110
三、熔体纺丝中纤维结构的形成	115
四、熔体纺丝的工程解析	125
第三节 湿法纺丝原理	127
一、湿法纺丝的运动学和动力学	127
二、湿法纺丝中的传质和相转变	133
三、湿法纺丝中纤维结构的形成	138
第四节 干法纺丝原理	145
一、干法纺丝的运动学和动力学	145
二、干法纺丝中的传热和传质	147
三、干法纺丝中纤维结构的形成	149
第五节 化学纤维拉伸原理	152
一、概述	152
二、拉伸流变学	155
三、连续拉伸的运动学和动力学	162
四、拉伸过程中应力—应变性质的变化	166
五、拉伸中纤维结构和性能的变化	178
第六节 化学纤维热定型原理	182
一、概述	182
二、纤维在热定型中的力学松弛	183
三、热定型过程中纤维结构和性能的变化	188
四、热定型机理	192
第七节 化学纤维新型成型加工方法	196
一、干湿法纺丝	196
二、冻胶纺丝	198
三、液晶纺丝	199
四、静电纺丝	200
五、固态挤出	200

复习指导	201
思考题	202
参考文献	204
28	
第六章 塑料成型加工原理	206
第一节 概述	206
一、塑料的基本概念	206
二、塑料成型加工的基本过程及分类	206
三、塑料的品质指标	207
第二节 口模成型	208
一、螺杆挤出机	209
二、挤出成型原理	214
三、挤出成型的工艺过程及影响因素	223
四、几种塑料制品的挤出成型	226
第三节 模塑和铸塑	237
一、注射成型	237
二、反应注射成型	249
三、压缩模塑	252
四、铸塑成型	258
第四节 压延成型	260
一、概述	260
二、压延成型设备	261
三、压延成型工艺	264
四、影响压延制品质量的因素	267
第五节 塑料的二次成型	269
一、二次成型的黏弹性原理	269
二、拉幅薄膜的成型	272
三、中空吹塑成型	276
四、热成型	282
第六节 塑料新型成型技术	288
一、气体辅助注射成型技术	288
二、塑料成型加工中的振动技术	290
三、塑料加工中的 CAE 技术	294
复习指导	295
思考题	296

参考文献	297
第七章 橡胶成型加工原理	298
第一节 概述	298
一、橡胶的基本概念及成型加工方法	298
二、橡胶的品质指标	298
第二节 生胶和配合剂	301
一、生胶	301
二、硫化体系配合剂及交联原理	302
三、补强填充体系	310
四、软化剂和增塑剂	324
五、防护体系	328
第三节 橡胶配方设计	338
一、配方设计方法	338
二、橡胶配方设计原理	340
三、特性橡胶配方设计原理	352
第四节 橡胶胶料的加工	355
一、生胶的塑炼	356
二、混炼	359
三、压延	363
四、挤出	367
五、橡胶的硫化工艺	368
复习指导	372
思考题	372
参考文献	373

第一章 绪论

第一节 高分子材料的基本概念和主要品种

一、概述^[1-3]

高分子材料又称聚合物材料。所谓聚合物(polymer)或高分子化合物(macromolecule compound, macromolecule),系指那些由众多原子或原子团主要以共价键结合而成的相对分子质量在1万以上的化合物。高分子材料(polymer materials)是以高分子化合物为基体组分的材料。虽然一些高分子材料仅由高分子化合物组成,但大多数高分子材料,除基本组分高分子化合物之外,为获得具有各种实用性能或改善其成型加工性能,一般还有各种添加剂。严格地讲,高分子材料与高分子化合物的含义是有区别的。

高分子材料的分类是个比较复杂的问题。按高分子的来源,可分为天然高分子材料(natural polymer materials)和合成高分子材料(synthetic polymer materials)。按化学组成,可分为有机高分子材料(organic polymer materials)和无机高分子材料(inorganic polymer materials)。按照材料的性能,可分为通用高分子材料(general purpose polymer materials)和新型高分子材料(advanced polymer materials)。通用高分子材料是指量大、产值高、涉及面广泛、性能一般的高分子材料。它们属于传统材料,并广泛应用于人类的衣食住行,是很多支柱产业的基础,所以又称为基础材料。新型高分子材料也称先进高分子材料,是指那些正在发展,且具有通用高分子材料所不具备的优异性能和应用前景的一类高分子材料。这些材料用量少,具专一性,附加价值高,已经成为能源、生物、医药、信息和国防等高新技术发展与进步不可或缺的基石,正影响和改变着人类的生活质量和生活方式。

以下简单介绍通用高分子材料和新型高分子材料的主要种类和基本概念。

二、通用高分子材料的主要种类和概念^[2-12]

通用高分子材料包括纤维(fiber)、塑料(plastics)、橡胶(rubber)、胶黏剂(adhesive)和涂料(coating)等几大类。

1. 纤维 一般认为,纤维是一种细长形状的物体,其长度对其最大平均横向尺寸比,至少为10:1,其截面积小于 0.05mm^2 ,宽度小于 0.25mm 。作为组成织物的基本单元,纺织用纤维的直径一般为几微米至几十微米,长度与直径之比一般大于 $1000:1$ ^①,还应具有一定的柔曲

① 印度棉的纤维较短,其长度与直径之比为 $850:1$ 。