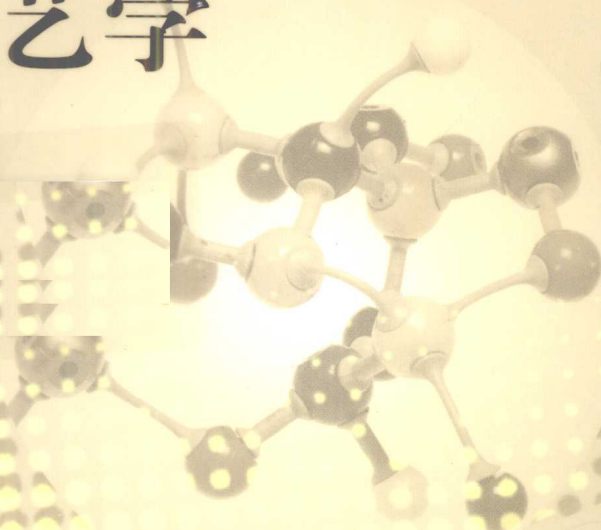




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高分子材料 成形工艺学

应宗荣 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高分子材料成形工艺学

Gaofenzi Cailiao Chengxing Gongyixue

应宗荣 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容摘要

本书系统讲述高分子材料的成形原理及工艺。全书分为绪论、高分子成形基础理论、塑料成形、化学纤维成形、橡胶成形和其他材料成形六个部分。绪论简要介绍高分子材料的种类、应用、品质指标和成形形式及流程。高分子成形基础理论篇阐述高分子材料的成形品质、成形流变学基础和成形过程的结构变化。塑料成形篇从设备、原理和工艺角度详细讨论塑料成形原料及配制、挤出成形、注射成形、压延成形、压制成形和塑性成形,简要介绍塑料特殊成形工艺。化学纤维成形篇详细阐述化学纤维纺丝原理、拉伸原理和热定形原理,系统地介绍熔纺代表品种聚酯纤维和溶液纺代表品种聚丙烯腈纤维及黏胶纤维的成形工艺,简要介绍特殊纺丝方法。橡胶成形篇简要介绍橡胶成形原料,从设备、原理和工艺角度详细讨论橡胶塑炼及混炼配制、橡胶制品成形和橡胶制品硫化。其他材料成形篇简要介绍复合材料、胶黏剂和涂料的原料、成形原理及工艺。

本书可作为高等院校高分子材料与工程专业本科生的专业教材,也可供从事高分子材料研究、开发和生产的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高分子材料成形工艺学/应宗荣编著. —北京: 高等教育出版社, 2010. 7

ISBN 978-7-04-029172-8

I. ①高… II. ①应… III. ①高分子材料-成型-工艺学-高等学校-教材 IV. ①TQ316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 096377 号

策划编辑	庚欣	责任编辑	李京平	封面设计	于涛	责任绘图	尹莉
版式设计	张岚	责任校对	刘莉	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 32.5
字 数 800 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 7 月第 1 版
印 次 2010 年 7 月第 1 次印刷
定 价 46.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29172 - 00

前 言

本书系统讲述高分子材料的成形原理及工艺,旨在帮助高分子材料专业本科生建立系统完整的高分子材料成形知识构架。本书具有以下特点:

(1) 将高分子材料成形涉及的材料特性原理与工艺过程原理分开讨论,有助于学生理清高分子材料成形知识脉络,深入理解和全面掌握高分子材料成形知识体系。

(2) 以高分子材料大类为主线,并根据各大类高分子材料成形工艺之间的相关性,依次讲述塑料成形、化学纤维成形、橡胶成形和其他材料成形的成形理论知识和工艺知识,既可以很好地系统反映各自的成形工艺个性,又保持高分子材料成形问题的连贯性和整体性,以便学生能够整体把握和融会贯通高分子材料成形问题。

(3) 从原料、设备、原理和过程及因素系统讨论高分子材料所涉及的主要成形工艺,同时尽量全面简要介绍高分子材料所涉及的各种特殊成形工艺,力求使成形工艺内容系统、深入、完整和全面,全面简要介绍特殊成形工艺是本教材的重要特色,旨在帮助学生全面了解和掌握高分子材料成形工艺方法,树立和启发学生的创新意识与思维。

(4) 根据高分子材料各类别的成形工艺个性,选择各自适当的工艺实例讨论工艺过程,塑料成形和橡胶成形选择工艺过程具有代表性的典型制品实例,而化学纤维成形则选择工艺过程具有代表性的典型纤维大品种实例,化学纤维成形内容设置是本书最突出的特色,全书的实例选择方式既避免过多实例的琐碎讨论,又利于引导学生通过举一反三从总体上把握高分子材料各类别及具体的成形工艺问题。

全书分为绪论、高分子成形基础理论、塑料成形、化学纤维成形、橡胶成形和其他材料成形六个部分。绪论简要介绍高分子材料种类、应用、品质指标和成形形式及流程。高分子成形基础理论篇阐述高分子材料的成形品质、成形流变学基础和成形过程的结构变化。塑料成形篇从设备、原理和工艺角度详细讨论塑料成形原料及配制、挤出成形、注射成形、压延成形、压制成形和塑性成形,简要介绍塑料特殊成形工艺。化学纤维成形篇详细阐述化学纤维纺丝原理、拉伸原理和热定形原理,系统地介绍熔纺代表品种聚酯纤维和溶液纺代表品种聚丙烯腈纤维及黏胶纤维的成形工艺,简要介绍特殊纺丝方法。橡胶成形篇简要介绍橡胶成形原料,从设备、原理和工艺角度详细讨论橡胶塑炼及混炼配制、橡胶制品成形和橡胶制品硫化。其他材料成形篇简要介绍高分子复合材料、胶黏剂和涂料的原料、成形原理及工艺。

本书由南京理工大学应宗荣编著。

在本书的编写过程中,研究生王娟和齐孝勇等参加了大量的资料收集、扫描、整理和校排工作,在此表示衷心的感谢。

高分子材料成形知识内容庞杂,特别是编著者水平和时间所限,书中疏漏和谬误之处难免,恳望专家和读者指正。

应宗荣
2009年10月

教学建议

《高分子材料成形工艺学》是高分子材料与工程专业本科教学必修课。课堂教学应重点讲述高分子材料成形所涉及的材料特性原理和所涉及的重要工艺相关的设备、原理和过程及因素,而高分子材料成形所涉及的原料、特殊工艺以及其他材料成形建议采用课堂概要讲述与课外学生自学相结合的方式,以保证课堂教学有足够的学时系统、深入和完整地讲清高分子材料成形整体内容。本教材教学总学时以 48 学时为宜,教学学时分配建议见下表(供参考)。

教学学时分配建议表

序号	篇名	篇学时	章名	章学时
1	绪论	2	绪论	2
2	第一篇 高分子成形基础理论	9	第一章 高分子材料的成形品质	2~3
			第二章 高分子成形流变学基础	2~3
			第三章 高分子成形的结构变化	3~4
3	第二篇 塑料成形	15	第四章 塑料成形原料及配制	2
			第五章 挤出成形	3~4
			第六章 注射成形	3~4
			第七章 压延及压制成形	3
			第八章 塑性成形	1~2
			第九章 塑料特殊成形	2
4	第三篇 化学纤维成形	13	第十章 化学纤维成形原理	7
			第十一章 聚酯纤维熔纺成形	2
			第十二章 聚丙烯腈及黏胶纤维溶液纺成形	2~3
			第十三章 化学纤维特殊成形	1~2
5	第四篇 橡胶成形	7	第十四章 橡胶成形原料及配制	3
			第十五章 橡胶制品成形	1~2
			第十六章 橡胶制品硫化	2~3
6	第五篇 其他材料成形	2	第十七章 其他材料成形	2
7	总学时	48		48

注:选用本书的授课教师可免费获得 PPT 授课光盘 1 张,需要者请发电子邮件至 gengxin@hep.com.cn 索取,邮件主题请注明“课件索取”。

目 录

绪论	1	0.2.3 橡胶品质指标	8
0.1 高分子材料及其应用	1	0.2.4 胶黏剂品质指标	9
0.1.1 塑料	1	0.2.5 涂料品质指标	10
0.1.2 化学纤维	2	0.3 高分子材料成形概述	11
0.1.3 橡胶	5	0.3.1 高分子材料成形形式	11
0.1.4 胶黏剂	5	0.3.2 高分子材料成形流程	11
0.1.5 涂料	5	0.3.3 原料及工艺选择原则	13
0.2 高分子材料品质指标	6	小结	14
0.2.1 塑料品质指标	6	复习思考题	14
0.2.2 化学纤维品质指标	6	参考文献	15

第一篇 高分子成形基础理论

第一章 高分子材料的成形品质	16	2.1 高分子成形的流动特征	36
1.1 高分子材料的可成形性	16	2.2 高分子成形的剪切流动	37
1.1.1 可挤出性	16	2.2.1 牛顿流体及其流动	38
1.1.2 可纺性	17	2.2.2 非牛顿流体及其流动	38
1.1.3 可模塑性	20	2.2.3 剪切流动的影响因素	42
1.1.4 可延性	22	2.3 高分子成形的拉伸流动	45
1.2 高分子成形的形变学特性	24	2.3.1 拉伸流动情形	45
1.2.1 成形过程与高分子黏弹特性	24	2.3.2 拉伸流变特性	46
1.2.2 成形过程与高分子松弛特性	26	2.4 高分子成形的流动分析	48
1.2.3 成形过程与高分子应力硬化特性	27	2.4.1 基本方程的推导	49
1.3 高分子成形的热学特性	28	2.4.2 基本方程的讨论	51
1.3.1 热膨胀	28	2.4.3 流动的非等温现象	52
1.3.2 热容	30	2.5 高分子成形的流体弹性	53
1.3.3 导热性	30	2.5.1 末端效应	53
1.3.4 相变热焓	32	2.5.2 熔体破裂	55
本章小结	33	2.6 高分子流变性能的测定	58
复习思考题	34	2.6.1 毛细管流变仪	58
第二章 高分子成形流变学基础	36	2.6.2 旋转式流变仪	59
		2.6.3 拉伸流变仪	61
		本章小结	62
		复习思考题	63

第三章 高分子成形的结构变化	65	3.4 高分子成形的降解	79
3.1 高分子成形的固化	65	3.4.1 降解机理	80
3.1.1 冷却固化	65	3.4.2 影响降解的成形因素	81
3.1.2 传质固化	67	3.4.3 降解的控制和利用	82
3.1.3 反应固化	69	3.5 高分子成形的交联	83
3.2 高分子成形的结晶	71	3.5.1 热固性高分子的交联	83
3.2.1 成形结晶过程及特点	71	3.5.2 热塑性高分子的交联	86
3.2.2 影响结晶的成形因素	72	本章小结	89
3.3 高分子成形的取向	74	复习思考题	90
3.3.1 取向方式与规律	74	参考文献	92
3.3.2 影响取向的成形因素	78		

第二篇 塑料成形

第四章 塑料成形原料及配制	93	5.2.2 熔融理论	128
4.1 塑料成形原料	93	5.2.3 熔体输送理论	130
4.1.1 塑料树脂	93	5.2.4 螺杆挤出机的生产率	133
4.1.2 塑料添加剂	95	5.3 挤出成形工艺	135
4.2 成形原料预处理	100	5.3.1 挤出工艺流程	135
4.2.1 粉碎	100	5.3.2 管材挤出工艺	137
4.2.2 干燥	101	5.4 挤出成形的发展	141
4.2.3 预热	101	5.4.1 热固性塑料挤出	141
4.3 成形原料混合	102	5.4.2 反应挤出	142
4.3.1 混合类型	102	5.4.3 固态挤出	143
4.3.2 混合原理	103	5.4.4 挤出工艺水平	144
4.3.3 混合状态的评定	106	本章小结	144
4.4 成形物料配制	107	复习思考题	145
4.4.1 固体物料的配制	107	第六章 注射成形	147
4.4.2 聚合物溶胶的配制	110	6.1 注射成形设备	147
4.4.3 聚合物溶液的配制	111	6.1.1 注射机	147
本章小结	114	6.1.2 注射模具	154
复习思考题	115	6.1.3 注射机工作过程	156
第五章 挤出成形	116	6.2 注射成形原理	157
5.1 挤出成形设备	116	6.2.1 塑化过程	157
5.1.1 挤出过程及功能	117	6.2.2 注射充模过程	159
5.1.2 单螺杆挤出机	118	6.2.3 保压过程	161
5.1.3 双螺杆挤出机	125	6.2.4 冷却定形过程	162
5.1.4 特殊辅助设备	126	6.3 注射成形工艺	163
5.2 挤出成形原理	127	6.3.1 注射工艺流程	163
5.2.1 固体输送理论	127	6.3.2 注射工艺条件	164

6.4 注射成型的发展	168	第九章 塑料特殊成形	218
6.4.1 热固性塑料注射成型	168	9.1 浇注成形	218
6.4.2 注射成形新工艺	170	9.1.1 静态浇注	218
本章小结	174	9.1.2 嵌注成形	219
复习思考题	175	9.1.3 离心浇注	220
第七章 压延及压制成形	177	9.1.4 流涎浇注	221
7.1 压延成形	177	9.1.5 搪塑及蘸浸成形	222
7.1.1 压延成形设备	177	9.1.6 滚塑成形	223
7.1.2 压延成形原理	180	9.2 粉末模压烧结成形	224
7.1.3 压延成形工艺	182	9.2.1 模压制坯	224
7.2 压制成形	187	9.2.2 坯件烧结	225
7.2.1 压制成形设备	187	9.2.3 烧结物冷却	226
7.2.2 模压成形	189	9.3 泡沫塑料成形	226
7.2.3 层压成形	198	9.3.1 发泡方法	227
本章小结	201	9.3.2 成形原理	228
复习思考题	202	9.3.3 成形工艺	229
第八章 塑性成形	204	9.4 涂覆成形	230
8.1 热成形	204	9.4.1 直接涂覆	231
8.1.1 工艺方法	204	9.4.2 间接涂覆	232
8.1.2 工艺条件	207	9.5 其他特殊成形	233
8.2 中空吹塑	208	9.5.1 固态成形	233
8.2.1 工艺方法	208	9.5.2 焊接成形	234
8.2.2 工艺条件	211	9.5.3 机械加工	236
8.3 双向拉伸薄膜成形	212	9.5.4 表面整饰	238
8.3.1 平膜法	212	本章小结	242
8.3.2 管膜法	214	复习思考题	243
本章小结	216	参考文献	244
复习思考题	217		

第三篇 化学纤维成形

第十章 化学纤维成形原理	245	10.3 拉伸原理	276
10.1 成形原料及工艺概述	245	10.3.1 拉伸概述	277
10.1.1 成形原料	245	10.3.2 初生纤维的拉伸特性	278
10.1.2 纺丝工艺概述	246	10.3.3 连续拉伸的运动学和动力学	281
10.1.3 后加工工艺概述	249	10.3.4 拉伸过程中纤维结构和性能的变化	283
10.2 纺丝原理	250	10.4 热定形原理	286
10.2.1 熔体纺丝原理	250	10.4.1 热定形概述	286
10.2.2 湿法纺丝原理	265		
10.2.3 干法纺丝原理	273		

10.4.2 热定形过程的物理原理	287	13.1.1 干湿法纺丝原理	353
10.4.3 热定形过程中纤维结构和性能的变化	291	13.1.2 干湿法纺丝的特点与应用	354
本章小结	292	13.1.3 聚丙烯腈长丝干湿法纺丝实例	355
复习思考题	295	13.2 凝胶纺丝	356
第十一章 聚酯纤维熔纺成形	297	13.2.1 凝胶纺丝工艺流程	356
11.1 聚酯原料及纤维	297	13.2.2 凝胶纺丝基本特征	357
11.1.1 聚酯原料	297	13.2.3 凝胶纺丝基本原理	358
11.1.2 聚酯纤维	299	13.2.4 凝胶纺丝的应用现状及实例	359
11.2 聚酯纤维纺丝	300	13.3 液晶纺丝	360
11.2.1 聚酯切片的干燥	301	13.3.1 液晶纺丝类型与过程	360
11.2.2 聚酯纤维纺丝通论	303	13.3.2 刚性链聚合物纺丝溶液的特性	360
11.2.3 聚酯纤维高速纺丝	311	13.3.3 Kevlar 纤维的液晶纺丝	361
11.3 聚酯纤维后加工	315	13.3.4 液晶纤维结构的形成机理	362
11.3.1 聚酯长丝后加工	315	13.3.5 液晶纺丝应用现状及发展	363
11.3.2 聚酯短纤维后加工	320	13.4 纺丝成网	363
本章小结	322	13.4.1 纺粘法	363
复习思考题	323	13.4.2 熔喷法	365
第十二章 聚丙烯腈及黏胶纤维溶液纺成形	324	13.4.3 闪蒸法	367
12.1 聚丙烯腈纤维溶液纺成形	324	13.5 其他特殊纺丝	369
12.1.1 聚丙烯腈原料及纤维	324	13.5.1 膜裂纺丝	369
12.1.2 聚丙烯腈纤维纺丝	326	13.5.2 静电纺丝	371
12.1.3 聚丙烯腈纤维后加工	333	13.5.3 反应纺丝	372
12.2 黏胶纤维湿纺成形	336	13.5.4 相分离纺丝	374
12.2.1 黏胶纤维及成形过程概述	336	13.5.5 分散液纺丝	374
12.2.2 黏胶的制备	337	13.5.6 无喷头纺丝	375
12.2.3 黏胶纤维纺丝	344	本章小结	376
12.2.4 黏胶纤维后处理	349	复习思考题	377
本章小结	350	参考文献	378
复习思考题	351		
第十三章 化学纤维特殊成形	353		
13.1 干湿法纺丝	353		

第四篇 橡胶成形

第十四章 橡胶成形原料及配制	379	14.1.1 橡胶	379
14.1 橡胶成形原料	379	14.1.2 配合剂	386

14.1.3 骨架材料	391	15.4.4 普通充气外胎的整体成形	437
14.2 橡胶胶料的配制	393	本章小结	438
14.2.1 炼胶设备	393	复习思考题	440
14.2.2 生胶的塑炼	401	第十六章 橡胶制品硫化	441
14.2.3 胶料的混炼	410	16.1 硫化特征及历程	441
本章小结	415	16.1.1 硫化对橡胶性能的影响	441
复习思考题	418	16.1.2 硫化过程阶段	442
第十五章 橡胶制品成形	419	16.1.3 硫化过程的测定和分析	444
15.1 挤出成形	419	16.2 硫化机理	446
15.1.1 橡胶挤出机	419	16.2.1 硫黄硫化机理	446
15.1.2 挤出工艺	422	16.2.2 非硫黄硫化机理	449
15.2 压延成形	425	16.3 硫化工艺	452
15.2.1 压延前准备	425	16.3.1 硫化条件	453
15.2.2 压延工艺	427	16.3.2 硫化介质	456
15.3 注射成形	431	16.3.3 硫化工序	457
15.3.1 橡胶注射机	432	16.4 硫化方法	459
15.3.2 注射工艺	432	16.4.1 硫化方法分类	459
15.4 橡胶复合制品实例——充气外胎的成形	434	16.4.2 间歇硫化法	460
15.4.1 充气外胎结构及成形工艺流程	434	16.4.3 连续硫化法	461
15.4.2 帘布和帆布的裁断	435	本章小结	463
15.4.3 轮胎部件的制造	436	复习思考题	464
		参考文献	466

第五篇 其他材料成形

第十七章 其他材料成形简介	467	17.2.3 粘接工艺	486
17.1 高分子复合材料成形	467	17.3 高分子涂料涂装	492
17.1.1 高分子复合材料	467	17.3.1 高分子涂料	493
17.1.2 高分子复合材料成形工艺	472	17.3.2 涂装原理	495
17.2 高分子胶黏剂粘接	481	17.3.3 涂装工艺	497
17.2.1 高分子胶黏剂	481	本章小结	503
17.2.2 粘接原理	483	复习思考题	504
		参考文献	505

绪 论

高分子材料通常需要经历成形过程变成特定形状的制品才能实际应用。成形过程不仅赋予制品所需要的形状,还直接影响制品的微观结构和宏观性能。因此,掌握制品成形原理与工艺方法、制品结构的形成过程与规律、制品结构与制品性能的关系、制品成形工艺条件对制品质量的影响规律等,对于在制造特定高分子制品时指导材料及成形工艺的选择、成形工艺过程与条件的确定以及设备与模具的设计和选用等都具有重要的意义。本课程的基本任务就是阐明高分子材料成形的原理和工艺,为开展制品生产打下必要的理论基础。

0.1 高分子材料及其应用

高分子材料亦称聚合物或高聚物。按照来源,有机高分子材料分为有机天然高分子材料和有机合成高分子材料两大类。按照用途,有机高分子材料分为塑料、化学纤维、橡胶、胶黏剂和涂料等。有机合成高分子材料是 20 世纪才真正发展起来的材料,由于综合性能优越、成形工艺简单和成本低廉等优势,应用领域极其广泛,发展非常迅速。合成塑料、合成纤维和合成橡胶产量最大,品种最多,统称为三大合成材料。2006 年,全世界合成塑料产量达 2.45 亿吨,化学纤维产量为 4 080 万吨,合成橡胶产量为 1 257 万吨。目前,仅合成塑料的体积用量就已超过整个金属材料。中国的合成纤维年产量自 1997 年至今连续居世界第一位,目前占全世界合成纤维年产量的一半;合成塑料和合成橡胶的年产量居世界第二位,2007 年产量分别为 3 074 万吨和 222 万吨。

0.1.1 塑料

按照分子结构,塑料可分为热塑性塑料和热固性塑料。热塑性塑料有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)、聚酰胺(PA)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)等。热固性塑料有环氧树脂(EP)、酚醛树脂(PF)、氨基树脂(UF)和不饱和聚酯(UP)等。

按照用途和性能,塑料可分为通用塑料和工程塑料,它们的部分品种见表 0.1。通用塑料是指生产量大、用途广、价格低廉且成形性能良好的一类塑料品种,它们约占塑料总产量的 80%。PE 和 PP 是产量最大的塑料品种,产量分别约占塑料总产量的 30% 和 20%,其次是 PVC、PS 和 ABS。通用塑料的综合力学性能和耐热性不高,通常不用做结构零件和耐热件。工程塑料是指那些拉伸强度大于 50 MPa、冲击强度大于 6 kJ/m^2 、长期耐热温度超过 100°C 、耐腐蚀性及电绝缘性优良、可代替金属材料在工程环境中用做承载结构零件的塑料。

塑料可用做饮水杯、椅子、手提箱包、购物袋等日常用品,还可用于做塑料门窗、给排水管道、农用薄膜、家用电器外壳、绝缘构件、开关、齿轮、轴承、电线电缆、仪器仪表盘等,特别是由于其质轻节

能,现广泛用做汽车、火车、飞机、轮船、兵器、航空航天飞船等零部件,此外,还可作为军事上的防弹隐身材料等。据预测,在 21 世纪期间,塑料及其复合材料在航空航天和兵器工业等领域将成为主导材料。

表 0.1 常见塑料品种

类 型	部 分 品 种
通用塑料	PE、PP、PVC、PS、ABS、PF、UF、PMMA、EP、UP 等
工程塑料	PA、PET、聚碳酸酯(PC)、聚甲醛(POM)、聚苯醚(PPO)、聚酰亚胺(PI)等

0.1.2 化学纤维

纺织纤维有天然纤维和化学纤维两大类。天然纤维包括棉、麻等植物纤维和羊毛、蚕丝等动物纤维两类。化学纤维是指采用天然的或合成的有机高聚物为原料纺丝而成的纤维。2006 年化学纤维产量占纺织纤维的近 60%。

一、化学纤维分类及品种

按照分子结构,化学纤维分为热塑性纤维和热固性纤维两类。化学纤维 99% 以上是热塑性纤维;热固性纤维产量很小,品种有酚醛纤维、氨基纤维(如三聚氰胺甲醛纤维)等,仅用于特殊领域。

按原料来源,化学纤维分为人造纤维和合成纤维两大类。人造纤维(或称再生纤维)是指采用天然有机原料(如天然纤维素和蛋白质等),经化学改性或处理后再纺丝而成的纤维。人造纤维的代表品种是黏胶纤维和醋酸纤维素酯纤维(简称醋酯纤维)。合成纤维是指采用化学合成的有机高分子材料通过纺丝而成的纤维。化学纤维分类及品种见图 0.1。

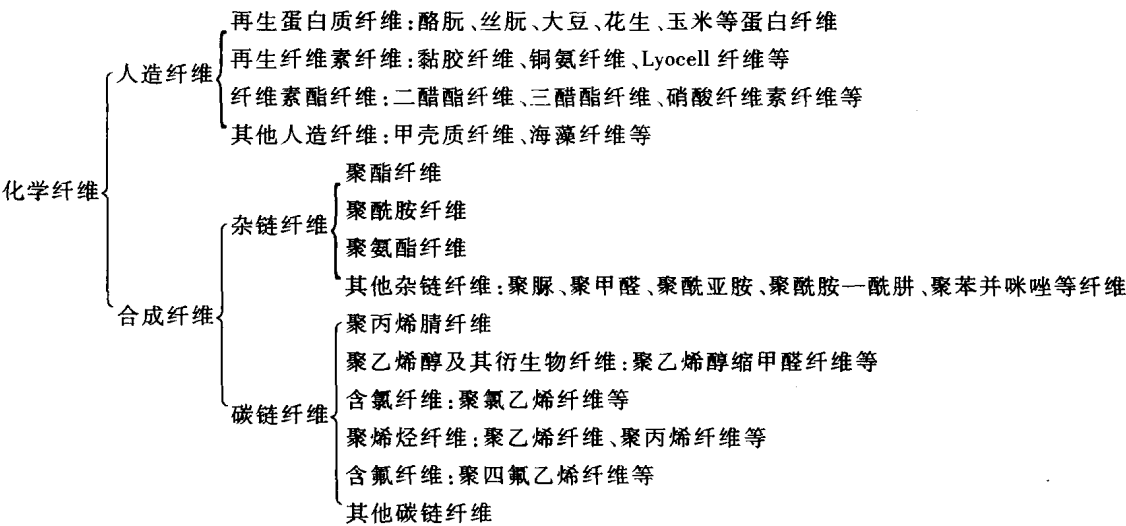


图 0.1 化学纤维分类及品种

涤纶(聚对苯二甲酸乙二醇酯纤维)和锦纶(聚酰胺纤维,或称尼龙)是化学纤维的两个大品种,产量分别约占整个化学纤维产量的 65% 和 12%,其次是丙纶(聚丙烯纤维)、腈纶(聚丙烯腈

纤维)和黏胶纤维,产量分别约占整个化学纤维产量的8%、7%和5.5%,再次是维尼纶(聚乙烯醇缩甲醛纤维)、氯纶(聚氯乙烯纤维)和醋酯纤维等, Lyocell纤维和氨纶(聚氨酯纤维)近年发展较迅速,产量上升较快。另外,特种纤维尽管产量不大,但在高技术领域占有重要的地位,如氟纶(聚四氟乙烯纤维)、芳纶(聚对苯二甲酰对苯二胺纤维)、聚苯并咪唑纤维和聚酰亚胺纤维等高性能纤维。

按纤维长度,化学纤维可分为长丝和短纤维两大类。目前,全世界化学纤维中长丝和短纤维的产量约各占一半。长丝是连续不断的很长纤维,主要用于机织和针织,长丝包括单丝和复丝。单丝是指采用单孔喷丝头纺成的一根单纤维的连续丝条。复丝是指由数十根(一般8根以上)单纤维组成的丝条。用于制造轮胎帘子线的复丝俗称帘线丝,帘线丝一般是一百多根到几百根单纤维组成的丝条。

短纤维是被切断成一定规格长度(如25~150 mm)的纤维,主要用于混纺。长度25~38 mm、线密度1.3~1.7 dtex、类似棉花的化学短纤维称为棉型纤维;长度70~150 mm、线密度3.3~7.7 dtex、类似羊毛的化学短纤维称为毛型纤维;长度51~76 mm、线密度2.1~3.3 dtex、介于棉型和毛型之间的化学短纤维称为中长纤维。此外,也有根据用户要求切成不等长(如分布在51~114 mm范围)的短纤维,或者直接生产长丝束再经牵切成条。

长丝经变形加工可制成变形纱。变形纱是具有(或潜在地具有)卷曲、螺旋、环圈等外观特性而呈现蓬松性、伸缩性的单根或多根长丝纱。变形纱的主要品种为弹力丝和膨体纱。弹力丝即变形长丝,可分为高弹丝和低弹丝两种。弹力丝伸缩性、蓬松性好,其织物在厚度、重量、不透明性、覆盖性和外观特征等方面接近毛织品、丝织品或棉织品。膨体纱是具有伸缩性和蓬松性、类似毛线的变形纱,用于制作针织外衣、内衣、毛线、毛毯等。

不采用织造加工而利用纤维间的摩擦力、自身黏合力、外加黏合剂的黏着力或两种及以上的力将规则或杂乱的纤维网结合在一起而制造成的布状物称为非织造布(或称无纺布、土工布)。非织造布可以采用长丝和短纤维通过水刺法、气流法、热黏合法、化学黏合法、针刺法、湿法、缝编法等加工而制成,也可以通过纺粘法、熔喷法等直接纺丝成网而制成。

二、化学纤维的部分术语

差别化纤维是最常见的化学纤维术语,是指采用化学或物理手段使服用性能改善或被赋予某些特性的化学纤维,比如,通过分子结构的化学改性,得到染色性、吸湿性、抗静电性、防污性、高收缩性或阻燃性等性能明显改善的纤维;采用改变纤维形态结构的物理手段,获得易染色、阻燃、高吸湿、抗静电(导电)或高卷曲性(类似羊毛)的化学纤维,改善纤维的蜡状感、透气性、吸湿性、光泽;等等。差别化纤维目前已成为服用化学纤维的重要组成部分,许多品种已广泛应用,如异形纤维、复合纤维和超细纤维等。

1. 异形纤维

异形纤维是指采用非圆形的特殊几何形状喷丝孔纺制的具有特殊横截面形状(如十字形、三叶瓣形、五叶瓣形、中空形等)的化学纤维。异形纤维具有特殊的光泽,蓬松性、耐污性和抗起球性好,回弹性与覆盖性得到改善。比如,五叶瓣形横截面的涤纶长丝具有类似真丝的光泽,抗起球、手感和覆盖性良好。

2. 复合纤维

复合纤维是指在纤维横截面上存在两种及以上聚合物、按照特定方式排布的双(多)组分纤

维,亦称双组分纤维或多组分纤维。复合纤维是将两种及以上聚合物纺丝液按照特定组合方式从同一喷丝孔组合喷出形成一根纤维而纺制的纤维,这种纺丝方法称为复合纺丝。复合纤维品种很多,有并列型、皮芯型、海岛型和裂离型等。复合纤维典型横截面形状如图 0.2 所示。通过不同聚合物间的组合及其在纤维横截面上的不同组合方式,可以得到性质和用途不同的各种复合纤维。比如,并列型复合纤维和偏心皮芯型复合纤维,利用两种聚合物的热收缩差异,可以使纤维产生三维螺旋状卷曲,获得类似羊毛的弹性和蓬松性。

3. 超细纤维

超细纤维尚无统一的定义,一般把线密度在 0.55 ~ 1.11 dtex 的纤维称为微细纤维,线密度低于 0.55 dtex 的纤维称为超细纤维。目前,超细纤维以其独特的美学特性和服用卫生性而风靡国际市场。复合纺丝法是超细纤维的重要纺丝方法,通常采用复合裂离法和复合海岛法。复合裂离法纺制的复合纤维经化学或机械方法剥离后使一根复合纤维分裂成为独立的几十根而得到超细纤维。复合海岛法是将目标成纤聚合物作为岛组分、可溶性聚合物作为海组分进行复合纺丝制成海岛型复合纤维,然后用溶剂溶去海组分(可溶性聚合物)使一根复合纤维散开成为独立的几十根而得到超细纤维。图 0.3 所示为复合裂离法和复合海岛法纺制超细纤维的过程。目前,采用复合纺丝法纺制的超细纤维最细可达 0.05 dtex(截面直径约为 50 nm)。

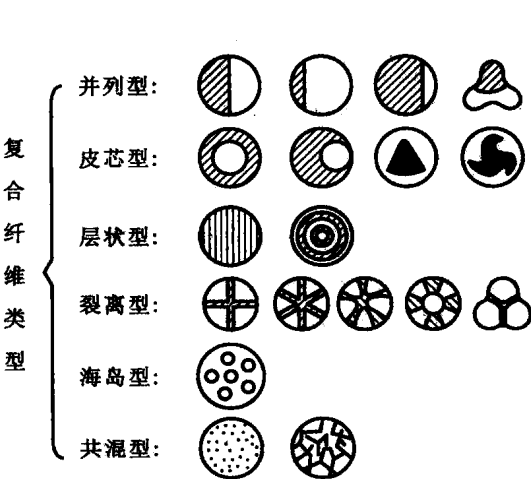


图 0.2 复合纤维典型横截面形状示意图

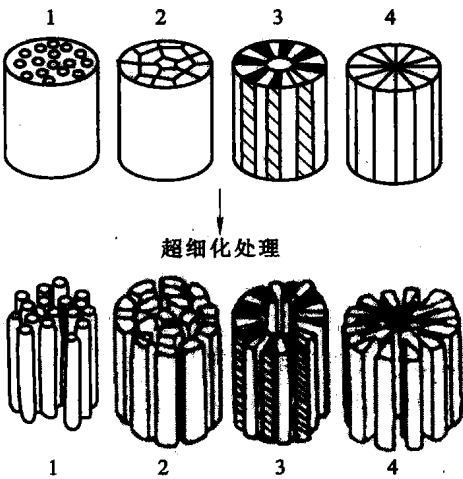


图 0.3 复合裂离法和复合海岛法纺制超细纤维

1—海岛型复合纤维; 2—花卉型复合纤维;
3—中空辐射型复合纤维; 4—横瓣形复合纤维

三、化学纤维的应用

化学纤维广泛用于替代棉、麻、蚕丝、羊毛等天然纤维制造各种织物,目前其产量已超过天然纤维。化学纤维除用于民用领域外,还广泛用于交通运输、建筑、道路、化工等工业领域,如作为绳索、轮胎帘子线、土工布、过滤材料等,而芳纶纤维等耐热高性能纤维还在航空航天、军事等领域获得应用,如各种零部件、防弹衣、防弹装甲等。

0.1.3 橡胶

橡胶是一类在较宽的温度范围内(通常在 $-50 \sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间)表现出优异弹性的高分子材料的总称。按来源橡胶可分为天然橡胶和合成橡胶两大类,天然橡胶是橡树上流出的胶乳经凝聚、干燥等工序制成的橡胶,合成橡胶是化学合成的高分子化合物。2006年,全世界橡胶产量为2 169万吨,其中天然橡胶产量为912万吨。

按用途和性能合成橡胶可分为通用合成橡胶和特种合成橡胶,但两者并无严格的界限,它们的部分品种见表0.2。力学性能与天然橡胶相近、成形性能较好、能广泛用于普通橡胶制品的橡胶称为通用合成橡胶,专用于耐热、耐寒、耐化学物质腐蚀、耐溶剂及耐辐射等特定场合的、具有特殊性能的橡胶称为特种合成橡胶。最大的合成橡胶品种依次是顺丁橡胶(BR)、丁苯橡胶(SBR)、丁基橡胶(IIR)和乙丙橡胶(EPR),它们的产量2006年分别占合成橡胶的21.4%、18%、8.4%和8.3%。通用橡胶广泛用做轮胎、胶鞋、胶辊、胶管、输送带、减振部件等。特种橡胶主要用于制作油槽、输油管、耐高温电线电缆、化工设备、飞机和宇航用密封件等特殊条件下使用的橡胶制品。

表 0.2 常见合成橡胶品种

类 型	部 分 品 种
通用合成橡胶	BR、SBR、IIR、EPR、异戊橡胶(IR)、氯丁橡胶(CR)等
特种合成橡胶	丁腈橡胶(NBR)、硅橡胶、氟橡胶(FPM)、聚氨酯橡胶、聚丙烯酸酯橡胶、聚硫橡胶、氯醇橡胶、氯(磺)化聚乙烯橡胶等

0.1.4 胶黏剂

胶黏剂(或称黏结剂、黏合剂等)是指可以把同种或异种固体件黏合起来形成一体的高分子物质。按照黏合组分来源,胶黏剂可分为天然高分子胶黏剂和合成高分子胶黏剂。天然高分子胶黏剂包括动物胶黏剂(如皮胶、骨胶)、植物胶黏剂(如淀粉)和矿物胶黏剂(如沥青)。合成高分子胶黏剂分为热固性树脂胶黏剂、热塑性树脂胶黏剂和橡胶胶黏剂。按照粘接强度,高分子胶黏剂可分为非结构胶黏剂和结构胶黏剂。非结构胶黏剂的粘接强度较差,主要用于胶接不重要的非结构件或用于临时固定。结构胶黏剂用于结构件的粘接,粘接强度高,接头抗剪切强度可达7 MPa,能长时间承受振动、疲劳和冲击等载荷,同时具有一定耐热性和耐候性。对此17.2.1小节将进一步详细介绍。

胶黏剂主要用于木材加工、汽车及车辆制造、电子电器、航空、宇航、医学等领域。如用于胶合板、木屑板、装饰板、家具、办公用品、太阳能电池、印制电路板、磁带、箔式电容器、牙科修补、皮肤移植固定等。

0.1.5 涂料

涂料是指能在物体表面形成坚韧保护膜的高分子物质的总称。按照来源,涂料可分为天然

涂料和合成涂料两类。天然涂料是指采用植物油和天然树脂熬炼而成的涂料,通常叫做油漆。按照涂膜分子结构,合成涂料可分为热塑性涂料和热固性涂料。热塑性涂料有聚丙烯酸树脂涂料、聚酯酸乙烯酯涂料、聚(过)氯乙烯涂料等。热固性涂料有环氧树脂涂料、酚醛树脂涂料、氨基树脂涂料和醇酸树脂涂料等。按涂膜功能分类,涂料有防锈漆、防腐漆、绝缘漆、防污漆、美术漆、耐高温涂料、导电涂料等。按施工方法分类,涂料有喷漆、浸渍漆、电泳漆、烘漆等。对此 17.3.1 小节将进一步详细介绍。

涂料的作用通常是保护和装饰物体表面,提高被涂物的使用寿命和使用效能。有时主要是标志作用,比如,道路画线和交通标志以表示警告、危险、安全、前进、停止等信号,化工储罐或管路采用涂覆不同颜色用于标知物质等。特种涂料还可能具有防污、温控、导电、导磁、伪装、隐形等特殊性能。涂料的用途十分广泛,比如,房屋、家具、交通工具、日用品、交通标志、工厂装备、管线、宇宙飞船、洲际导弹、海轮船体等都会用到涂料。

0.2 高分子材料品质指标

0.2.1 塑料品质指标

塑料的品质指标涉及物理性能、力学性能、稳定性能和特殊功能等方面,其大部分品质指标属于高分子材料共同的品质指标。下面仅介绍塑料的主要特定品质指标。

一、力学强度

塑料实际使用时,涉及拉伸、压缩、弯曲、剪切和冲击等受力情况,因此塑料力学强度指标包括拉伸强度、压缩强度、弯曲强度、剪切强度和冲击强度。前四者的法定计量单位均为 Pa(帕)或 MPa(兆帕),冲击强度的法定计量单位为 J/m^2 。

二、弹性模量

塑料涉及的弹性模量有拉伸弹性模量、压缩弹性模量和弯曲弹性模量。它们的法定计量单位均为 Pa 或 MPa。

三、硬度

硬度是表征塑料抵抗其他较硬物体压入的能力。根据测定方法不同,表示硬度的指标主要有洛氏硬度、布氏硬度和邵氏硬度。邵氏硬度分邵氏 A 硬度和邵氏 D 硬度两种。

四、光学性能

用于透镜、窗、灯、大棚等的塑料制品涉及光学性能。透光率和雾度是两个表征塑料光学性能常用的直观指标。透光率是光透射时无偏离的百分数。雾度是入射光由于向前散射以大于某一规定角度(如 2.5°)偏离的透射光的百分数。

0.2.2 化学纤维品质指标

化学纤维涉及物理性能、力学性能、稳定性能和使用性能等方面的品质指标。下面仅介绍化学纤维的部分特异性指标。

一、线密度

由于化学纤维直径和截面积测量不便,因此,通常采用线密度表示纤维的粗细程度(过去称

细度或纤度)。线密度是指单位长度的纤维质量,线密度的法定计量单位是 tex(特)或 dtex(分特)。1 000 m 长的纤维的质量克数称为特,10 000 m 长的纤维的质量克数称为分特。比如,1 000 m 长的纤维的质量为 2 g,则该纤维的线密度为 2 tex 或 20 dtex。常规纤维的线密度通常为 2~4 dtex,截面直径为 2~5 μm 。

表示纤维细度的非法定计量单位有 D(旦)和 Nm(公支)等。9 000 m 长的纤维的质量克数称为旦。1 g 纤维的长度米数称为公支。它们可以与法定计量单位特或分特之间相互换算。

$$1 \text{ tex} = 10 \text{ dtex}, \quad 1 \text{ D} \approx 1.111 \text{ dtex}$$

化学纤维生产中,化学纤维规格通常采用线密度/单丝根数表示,比如规格 167 dtex/64 F,表示该纤维产品是由 64 根单丝组成、总线密度为 167 dtex 的复丝。

二、断裂强度

化学纤维的断裂强度可以采用化学纤维断裂时单位原始截面积上承受的力值(称为强度极限)表示,法定计量单位为 Pa 或 MPa。但是,由于化学纤维直径和截面积测量不便,因此通常采用相对强度表示。相对强度是指单位线密度的纤维或纱线的断裂力值,法定计量单位为 N/tex 或 cN/dtex。比如,对于线密度为 167 dtex 的复丝,如果其断裂力值为 334 cN,则其相对强度为 2 cN/dtex。强度极限与纤维密度有关,而相对强度与纤维密度无关,利用纤维密度可以将强度极限与相对强度之间进行相互换算。比如,对于密度为 1 g/cm³ 的纤维,1 cN/dtex $\approx$ 100 MPa。过去相对强度常用的非法定计量单位是 g/D。

$$1 \text{ g/D} = 0.0882 \text{ N/tex} = 8.82 \text{ cN/tex} = 0.882 \text{ cN/dtex}$$

常规纤维的相对强度一般为 1.0~3.0 cN/dtex。由于化学纤维应用时通常不可避免会涉及干态(如在空气环境下使用)和湿态(如洗涤时浸于冷热水中),因此其断裂强度还分为干态强度和湿态强度两种。

纺织纤维拉伸断裂的常用指标还有打结强度(结节强度)和钩接强度(对拉强度)。前者是将一根纤维在中央打结后测得的断裂强度,后者是指两根纤维互套成环状后测得的断裂强度,均采用干态强度的百分数或相对强度来表示。渔网线等特种用品涉及打结强度指标,而针织物和机织物则需要反映纤维抗弯性能的钩接强度。

三、断裂伸长率

断裂伸长率是决定纤维纺织加工及制品使用性能的重要指标,它是指化学纤维拉伸至完全断裂的伸长率。纤维断裂伸长率大,则手感比较柔软,纺织加工时可以缓冲所受到的力,毛丝、断头较少,但断裂伸长率不宜过大,否则织物容易变形。普通纺织纤维的断裂伸长率在 10%~20% 范围内比较合适,工业用强力丝则要求断裂伸长率低,以保证其产品不易变形。

四、初始模量

初始模量亦称弹性模量或杨氏模量,反映纤维在小负荷下变形的难易程度(即刚性)。普通纤维的初始模量通常通过测量其伸长 1% 时的负荷求出。湿模量则是在湿态下伸长 1% 时所需的负荷。它们的法定计量单位为 N/tex 或 cN/dtex。初始模量大,因而织物挺括,不易起皱;反之,则易起皱,保形性差。