

纺织服装高等教育“十三五”部委级规划教材

化学纤维 设备

© 刘淑强 主编 / 高晓杰 吴改红 副主编

东华大学出版社

纺织服装高等教育“十三五”部委级规划教材

化学纤维 设备

© 刘淑强 主编 / 高晓杰 吴改红 副主编

东华大学出版社

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

化学纤维设备 / 刘淑强主编. —上海: 东华大学出版社, 2019.10

ISBN 978-7-5669-1666-2

I. ①化… II. ①刘… III. ①化学纤维纺织—设备—高等学校—教材 IV. ①TS152

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 236646 号

责任编辑 杜燕峰
封面设计 魏依东

化学纤维设备

刘淑强 主编
高晓杰 吴改红 副主编

出版: 东华大学出版社(地址:上海市延安西路1882号 邮政编码:200051)

本社网址: <http://dhupress.dhu.edu.cn>

天猫旗舰店: <http://dhdx.tmall.com>

营销中心: 021-62193056 62373056 62379558

印刷: 句容市排印厂

开本: 787 mm×1092 mm 1/16

印张: 15

字数: 375 千字

版次: 2019年10月第1版

印次: 2019年10月第1次印刷

书号: ISBN 978-7-5669-1666-2

定价: 42.00 元

前 言

化学纤维是纺织工业的重要原料,约占纺织纤维加工总量的 2/3,化纤工业对我国经济的发展具有举足轻重的影响。化学纤维设备既是化纤工业发展的基础,也是新型化纤推陈出新的助推器。

进入 21 世纪,原有的涤纶、腈纶、锦纶、丙纶、氨纶、维纶、黏胶纤维的加工技术与设备不断改进与创新,新型纤维设备如超细纤维设备、静电纺丝设备、纺黏纺丝设备、熔喷纺丝设备等也在不断进步与完善。为了使教材适应当前化纤设备飞速发展的形势,由太原理工大学主导,联合河北科技大学和河源职业技术学院,编写了《化学纤维设备》新教材,供纺织、材料类专业使用,也可供企事业单位科研技术人员参考。

《化学纤维设备》由刘淑强担任主编并统稿,高晓杰、吴改红任副主编并校稿。全书共分十五章,第一章和第二章由刘淑强编写;第三章由吴改红编写;第四章由张爱琴编写;第五章由李甫编写;第六章由张曼编写;第七章、第八章和第九章由高晓杰编写;第十章和第十一章由郭红霞编写;第十二章和第十三章由吴红艳编写;第十四章和第十五章由王玉栋编写。以上人员中,高晓杰为河源职业技术学院教师,吴红艳为河北科技大学教师,其余人员均为太原理工大学教师。

除了涤纶、腈纶、锦纶、丙纶、氨纶、维纶、黏胶纤维的加工设备之外,本教材还将属于新型纺丝设备的超细纤维设备、静电纺丝设备、纺黏纺丝设备、熔喷纺丝设备囊括在内。教材内容新颖,涵盖面广。建议学时数为 64 学时。

本书在编写过程中参考了大量文献,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中不足或不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2019 年

目 录

第一章 绪言	001
第一节 化学纤维的基本概念	001
一、化学纤维的分类	001
二、化学纤维的品种	001
三、我国化纤设备发展现状	002
第二节 化学纤维的性能指标	003
一、线密度	003
二、断裂强度(强力)	003
三、断裂伸长率	004
四、初始模量	004
五、热性质	004
六、对日光和大气作用的稳定性	004
七、短纤维的附加品质指标	005

第一篇 聚酯纤维设备

第二章 聚酯切片干燥设备	009
第一节 干燥目的	009
一、去除切片水分	009
二、提高软化点	009
第二节 干燥原理	009
第三节 干燥设备	009
一、真空转鼓干燥装置	010
二、沸腾结晶充填干燥设备	011
第四节 干燥辅助装置	013
一、切片输送装置	013
二、空气除湿装置	013
三、废热回收装置	013
四、热管式换热器	013

第三章 聚酯纤维熔融纺丝成形设备	015
第一节 聚酯熔体的制备与设备	015
一、熔融	015
二、混合	020
三、过滤	021
第二节 纺丝成形与设备	021
一、保温箱体	021
二、计量泵	022
三、纺丝组件	023
四、喷丝板	026
五、冷却吹风成形	027
第四章 聚酯纤维卷绕设备	031
第一节 长丝纺丝卷绕设备	031
一、给湿上油	032
二、引丝	032
三、卷绕机构	033
第二节 短纤维纺丝卷绕设备	039
一、牵引装置及喂入轮	039
二、圈条机构	040
第五章 聚酯纤维后加工设备	043
第一节 聚酯长丝后加工与设备	043
一、存放	043
二、拉伸加捻工艺及牵伸加捻机	043
三、牵伸卷绕机	048
四、拉伸整经	048
五、假捻变形与变形机构	050
六、空气变形丝	056
第二节 短纤维后加工及设备	057
一、短纤维的存放和集束	058
二、拉伸	059
三、干燥热定形	062
四、卷曲	065
五、切断	068

六、打包	070
第二篇 其他纤维设备	
第六章 聚丙烯腈纤维的生产过程与设备	073
第一节 概述	073
一、聚丙烯腈纤维的性能和用途	073
二、聚丙烯腈纤维的生产工艺路线	073
第二节 丙烯腈的聚合	073
一、均相溶液聚合	074
二、水相沉淀聚合	075
三、影响丙烯腈聚合反应的主要因素	075
第三节 聚丙烯腈纺丝原液的制备	076
一、硫氰酸钠一步法制备纺丝原液	076
二、二甲基甲酰胺二步法制备纺丝原液	079
第四节 聚丙烯腈纤维的湿法成形	081
一、一步法(NaSCN)成形工艺流	081
二、二步法成形工艺流程	082
三、湿法成形的凝固历程	082
四、纺丝机及其主要附件	083
第五节 聚丙烯腈纤维的干法成形	085
一、干法成形的工艺流程	085
二、干法纺丝设备	085
第六节 聚丙烯腈纤维的后处理	086
一、湿法腈纶生产的后处理	086
二、干法腈纶生产的后处理	089
第七章 聚酰胺纤维设备	091
第一节 概述	091
一、聚酰胺纤维的结构与性能	091
二、聚酰胺纤维的用途	094
三、聚酰胺纤维的生产工艺简介	095
第二节 聚酰胺的生产	096
一、聚己二酰己二胺的制备	096
二、聚己内酰胺的制备	101
第三节 聚酰胺纤维的纺丝设备	104

一、纺丝熔体制备设备	104
二、聚酰胺长丝常规纺丝设备	106
三、高速纺丝工艺及设备	108
第四节 聚酰胺纤维的后加工工艺及设备	110
一、聚酰胺短纤维的后加工	110
二、聚酰胺长丝的后加工	111
三、聚酰胺高弹丝的后加工	113
第八章 聚丙烯纤维设备	114
第一节 概述	114
一、聚丙烯纤维的结构和性能	114
二、聚丙烯纤维的用途	115
三、聚丙烯纤维的生产工艺简介	115
第二节 等规聚丙烯的合成	117
一、单体	117
二、催化剂	117
三、丙烯的聚合工艺	119
四、聚丙烯的提纯和精处理	120
第三节 聚丙烯纤维的生产	121
一、常规聚丙烯纤维生产工艺及设备	121
二、聚丙烯短程纺丝工艺及设备	122
三、聚丙烯膨体长丝工艺及设备	123
四、聚丙烯膜裂纤维生产工艺及设备	125
五、纺黏法非织造布生产工艺及设备	126
六、熔喷法非织造布生产工艺及设备	126
第九章 聚氨酯弹性纤维设备	127
第一节 概述	127
一、聚氨酯弹性纤维的结构和性能	127
二、聚氨酯弹性纤维的用途	128
第二节 聚氨酯的合成	129
一、主要单体及合成	129
二、聚氨酯嵌段共聚物的制备	130
第三节 聚氨酯弹性纤维纺丝成形设备	131
一、干法纺丝	132

二、湿法纺丝	134
三、熔体纺丝	134
四、反应纺丝	135
第四节 聚氨酯弹性纤维后加工设备	135
一、包芯纱的加工	135
二、包覆纱的加工	136
第十章 维纶设备	137
第一节 概述	137
一、维纶的发展	137
二、维纶的产品	138
三、维纶的用途	139
第二节 维纶纺丝原液设备	139
一、纺丝液的制备工艺流程	139
二、纺丝原液设备	139
第三节 维纶的纺丝	142
一、湿法纺丝工艺流程	143
二、湿法纺丝常用设备及组件	143
三、湿法纺丝组件	146
第四节 维纶的热处理过程	147
一、热处理过程的作用	147
二、热处理的分类	147
三、热处理的过程	148
四、热处理设备	148
第五节 维纶切断设备	149
一、切断设备的作用	149
二、切断方式分类	149
三、切断工艺要求	150
四、切断设备	150
第六节 维纶卷缩设备	151
第七节 维纶后处理设备	151
一、后处理的任务	151
二、维纶短纤维后处理	152
三、维纶长丝的后处理设备	155
第八节 维纶牵切纱的制备	156

181	一、牵切纺概述	156
181	二、牵切设备	157
181	三、并条工程与设备	158
181	四、粗纺工程与设备	159
181	五、精纺工程与设备	159
181	六、络筒设备	160
181	第十一章 黏胶纤维设备	161
181	第一节 概述	161
181	一、黏胶纤维的发展状况	161
181	二、黏胶纤维的产品及用途	161
181	第二节 黏胶原液设备	162
181	一、浸压粉联合机	163
181	二、老成设备	165
181	三、黄化设备	166
181	四、溶解混合设备	167
181	五、过滤设备	169
181	六、脱泡	170
181	第三节 黏胶纺丝机	171
181	一、黏胶短纤维纺丝机	171
181	二、黏胶长丝纺丝机	174
181	第四节 黏胶后处理设备	177
181	一、黏胶短纤维后处理设备	178
181	二、黏胶长丝后处理设备	178
181	第十二章 超细纤维加工技术及设备	181
181	第一节 概述	181
181	一、超细纤维的定义	181
181	二、超细纤维的性能和用途	181
181	第二节 超细纤维加工技术	182
181	一、超细纤维加工技术概述	182
181	二、常规纤维碱减量法	182
181	三、直接纺丝法	182
181	四、复合纺丝法	182
181	五、共混纺丝法	183

六、其他加工技术	184
第三节 超细纤维纺丝工艺流程及设备	184
一、复合纺丝工艺流程及设备	184
二、共混纺丝工艺流程及设备	187
第十三章 静电纺丝技术及设备	189
第一节 概述	189
一、静电纺丝的发展历程	189
二、静电纺丝的原理	189
三、静电纺丝的基本过程	189
四、静电纺丝的分类	190
第二节 静电纺丝基本装置	190
一、静电纺丝机的组成	190
二、静电纺丝主要装置介绍	191
第三节 静电纺丝的影响因素	193
一、纺丝液性质	193
二、纺丝工艺参数	194
三、环境因素	194
第四节 静电纺纤维的应用	195
第十四章 纺黏纺丝技术及设备	196
第一节 聚合物原料基本性能	196
一、纺丝成网法聚合物原料的基本性能	196
二、纺丝成网法常用原料	198
第二节 纺丝成网工艺原理与过程	200
一、熔融纺丝成网工艺原理	200
二、纺丝成网工艺过程	200
第三节 典型纺丝成网工艺与设备	208
一、NWT 纺丝成网工艺与设备	208
二、DOCAN 纺丝成网工艺与设备	209
三、Reicofil 纺丝成网工艺与设备	211
第十五章 熔喷纺丝技术及设备	213
第一节 熔喷工艺应用的原料	213
一、熔喷工艺对聚合物熔体性能的要求	213

181	二、常用原料	214
181	第二节 熔喷非织造工艺原理与过程	216
181	一、熔喷非织造工艺的特点	216
181	二、熔喷工艺原理与过程	216
181	第三节 熔喷设备	218
181	一、熔喷系统组成	218
181	二、典型熔喷设备介绍	222
181	第四节 熔喷非织造产品	224
181	一、熔喷法非织造布的结构与性能	224
181	二、影响熔喷法非织造布产品性能的因素	224
181	主要参考文献	226

第一章 绪 言

第一节 化学纤维的基本概念

一、化学纤维的分类

化学纤维可分为三大类:再生纤维、合成纤维和人造无机纤维。再生纤维指以天然高分子化合物为原料,经化学或物理方法再生而得到的纤维。合成纤维指以石油、天然气、煤或农副产品等低分子化合物为原料,经化学反应合成高分子化合物,再经纺丝制成的纤维。人造无机纤维指以矿物质或者有机纤维为原料,经过化学或物理处理加工而成的无机材质纤维。

根据大分子的化学结构,再生纤维又可分为纤维素再生纤维、蛋白质再生纤维。合成纤维又可分为杂链纤维和碳链纤维两类。杂链纤维的大分子主链中,除碳原子以外,还含有氮、氧等其他原子。碳链纤维的大分子主链则由碳原子所组成。化学纤维的分类见图 1-1。本书主要介绍再生纤维和合成纤维的加工设备。

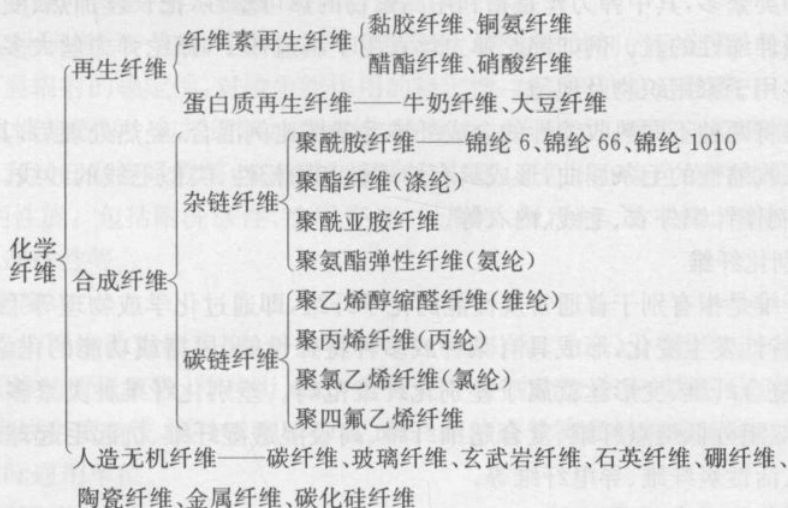


图 1-1 化学纤维的分类

二、化学纤维的品种

(一) 长丝

在化学纤维生产过程中,将纺丝熔体或溶液从喷丝孔挤出,经过空气冷却或在凝固浴中凝固成形,再经牵伸等后加工,得到的连续细丝称为长丝。

长丝包括单丝和复丝,单丝指一根连续纤维。复丝指由数十根单纤维组成的丝束,化学纤维的复丝一般由 8~100 根单纤维组成,用于制造轮胎帘子线的复丝俗称帘子线,由一百多根到几百根单纤维组成。

(二) 短纤维

长丝化纤产品被切成几厘米至十几厘米长的短段,这种短切纤维通常称为短纤维。短纤维类型又可分为棉型、中长型和毛型,棉型短纤维长度为 25~38 mm,毛型短纤维长度为 75~150 mm,中长型短纤维长度介于棉型和毛型之间。

(三) 丝束

丝束是由几百根至百万根单丝条汇成一束,用来切断成短纤维,或经牵切而制成条子(称牵切丝束)。牵切丝束的线密度通常为 $(2.2\sim 5.5)\times 10^4$ tex(20 万~50 万旦)。

(四) 异形截面纤维

在化学纤维纺制过程中,采用非圆形喷丝孔纺制的非圆形截面形状的纤维或中空纤维,称为异形截面纤维(简称异形纤维)。纤维截面形状的异形化可以改善纤维的手感、起毛球性、弹性、吸湿性、保暖性、光泽等。

(五) 复合纤维

将两种或两种以上不同的成纤高聚物的熔体或溶液,分别输入同一个纺丝组件,从同一纺丝孔中喷出而成为一根纤维,这种纤维称为复合纤维。

(六) 变形丝

化纤的外观、几何形状、内部结构与性能可以用各种变形加工方法进行改变,所形成的纤维称为变形丝。

变形丝种类繁多,其中弹力丝是指利用高聚物的热可塑性,把长丝加热、变形,经冷却后制成的有相当伸缩性的丝。例如锦纶弹力丝宜用于制造袜子,涤纶弹力丝大多用于外衣,丙纶弹力丝大多用于家用织物及地毯。

膨体纱是将两种不同热收缩性的合成纤维毛条按比例混合,经热处理后,其中高收缩性的毛条迫使低收缩性的毛条屈曲,形成具有伸缩性和蓬松性、类似毛线的纱线。膨体纱多用腈纶生产,可制作针织外衣、毛线、内衣等。

(七) 差别化纤维

差别化纤维是指有别于普通常规性能的化学纤维,即通过化学或物理等手段处理后,其结构、形态等特性发生变化,形成具有某种或多种特殊性能、风格或功能的化学纤维。上述的异形纤维、复合纤维、变形丝就属于差别化纤维范畴。差别化纤维种类繁多,例如阳离子高收缩纤维、双组分低熔点纤维、复合超细纤维、高吸湿透湿纤维、抗起毛起球纤维、有色纤维、光导纤维、活性炭纤维、导电纤维等。

三、我国化纤设备发展现状

化学纤维传统设备一般可分为湿法纺丝设备和熔融纺丝设备,但随着科学技术的发展,新型加工技术和设备不断出现,例如超细纤维、静电纺丝、纺黏纺丝、熔喷纺丝等新技术及设备。

湿法纺丝设备因纤维品种不同而不同,即使同一纤维品种,由于溶剂的腐蚀性不同,设备使用的材料也不相同。湿法纺丝工艺路线长、设备复杂,因而湿法纺丝的应用发展受到影

响,其产量比熔融纺丝少很多。

熔融纺丝设备一般可以通用,纺制的纤维性能优良,且产量大、速度高。我国最早的熔融纺丝设备是锦纶设备,20世纪60年代中期自行设计了螺杆式涤纶纺丝机。70年代初期为解决原料问题,引进了许多大型装置,生产能力得到很大提高。随着改革开放政策的实施,我国化纤设备的研制能力也飞速发展。例如,熔融纺丝机已实现高压高速纺丝,整套沸腾预结晶充填式切片干燥设备达到了高速纺丝对切片干燥的要求,螺杆挤压机、计量泵和喷丝板已有多家专业厂生产,行星式一进多出口熔融纺丝计量泵已批量生产。在复合纺丝方面,我国早已能生产腈纶复合喷丝头、丙纶复合喷丝头和锦涤纶复合喷丝头,为生产差别化纤维打下了基础。

近年来,新型加工技术和设备发展较快,如超细纤维、静电纺丝、纺黏纺丝、熔喷纺丝等新技术及设备也在不断改进和完善。

第二节 化学纤维的性能指标

化学纤维品质优劣是由许多性能指标进行评价的。化学纤维的主要性能指标可分为几大类:

(1) 物理性能指标。包括纤维线密度或纤度、切断长度、卷曲度、吸湿性、密度、光泽、热性能、电性能等。

(2) 力学性能指标。也可将力学性能包含在物理性能指标中,称为物理力学性能。包括断裂强度、断裂伸长率、初始模量、断裂功、弹性等。

(3) 稳定性性能指标。包括对光和大气稳定性,对化学试剂的稳定性,对高温和低温的稳定性,对高温辐射的稳定性,对微生物作用的稳定性,对时间的稳定性等。

(4) 加工性能指标。包括纺织加工性能、染色性。纺织加工性能包括纤维的起静电性、抱合性、静态和动态摩擦系数等;染色性包括染色牢度、上色率和染色均匀性等。

(5) 使用性能。包括耐洗涤性、洗可穿性、保形性、吸汗性、透气性、导热性、保温性、抗沾污性、起毛起球性等。

一、线密度

线密度是指纤维的粗细程度,单位是特(tex)或分特(dtex)。“特”指在公定回潮率下1000m长纤维的质量克数,符号为tex。十分之一特则称为分特,符号为dtex。化纤界还常用“旦”作为线密度单位,其中1旦 \approx 0.11tex。用特或分特表示纤维的线密度便于简化计算,已成为国际通用单位。

二、断裂强度(强力)

断裂强度是指单位线密度的纤维在受到恒速连续增加的负荷作用下,直至断裂时所能承受的最大负荷。单位有N/tex、cN/dtex。

纤维在干燥状态下测定的强度称为干强度;在湿润状态下测定的强度则称为湿强度。一般情况下,纤维湿强度比干强度低,如普通黏胶纤维湿强度要比干强度低30%~50%;合成纤维的吸湿性普遍较差,湿强度比干强度降低很小或没有降低;棉纤维和麻纤维的湿强度

要大于干强度。

三、断裂伸长率

断裂伸长率是表达纤维延伸性的指标之一,它是纤维伸长至断裂时的长度比原来长度增加的百分数,其计算方法见公式(1-2)。

$$\text{断裂伸长率 } Y = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_0 ——纤维原来的长度,mm; L ——纤维伸长至断裂时的长度,mm。

在强度试验机上可以同时测定纤维的强度和断裂伸长率。断裂伸长率较大的纤维在纺织加工时,可以缓和所受到的力,但不宜过大,普通纺织用纤维的断裂伸长率在10%~30%范围内较合适。

四、初始模量

模量是指应力与相应的应变之比。初始模量是指纤维延伸至原长1%时所需的负荷。初始模量表示纤维在一定负荷作用下变形的难易程度,初始模量越大,表示在同样负荷作用下纤维的变形越小,其尺寸稳定性较好,挺括性越好。

五、热性质

纤维及其制品在加工过程中有时会经受高温作用,如染整、烘干等,在使用过程中也经常会接触到高温,如熨烫。某些工业和技术用纤维会受到长时间的高温作用。

耐热性是指在纤维内在质量、外观形态及色泽等不被损坏的前提下所能承受的最高温度,它代表了纤维的使用温度。

天然纤维素纤维和再生纤维素纤维的耐热性很高。合成纤维在升温下强度的下降程度比纤维素纤维大。碳链类纤维的热稳定性不够高,在80~90℃就会发生变形,甚至发生水解,如氯纶。腈纶和维纶的耐热性相对比较好,在150~180℃下短时间受热几乎不发生形变,但其耐热性比纤维素纤维稍差。锦纶6在120℃下强度损失约50%。

热稳定性是指纤维结构被破坏时的温度。图1-2所示表示各种纤维在150℃高温下,各时段内纤维强度的变化情况,图中曲线表明在化学纤维中涤纶的热稳定性最好,而其他纤维的热稳定性较差,一般在200~300h即可分解。

阻燃性能也是纤维热性质指标,在很多情况下都要求具有难燃性,特别是儿童及老年人睡衣和室内用布及消防员服装、飞机座舱内装饰和船舶用品等,都要求纤维不易燃烧。具体阻燃指标有极限氧指数、燃烧时间或阴燃时间(水平或垂直或45°角燃烧法测定)等。

六、对日光和大气作用的稳定性

许多纺织产品如帐篷、渔网、旗帜、窗帘及炮衣等经常受到日光及大气的作用,这就要求纤维具有一定的对日光和大气作用的稳定性。图1-3所示为几种纤维经日光和大气作用后的强度变化。

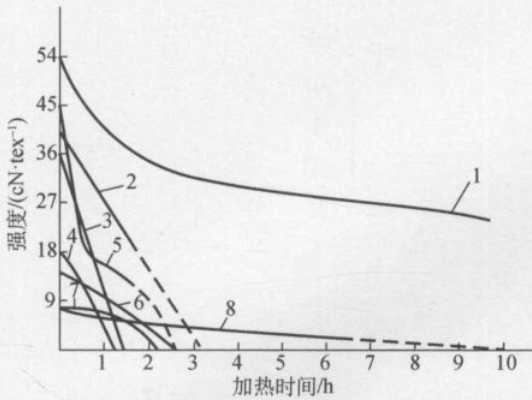


图 1-2 150 °C 不同时间纤维强度的变化

1—涤纶 2—腈纶 3—蚕丝 4—棉 5—锦纶
6—黏胶纤维 7—醋纤 8—羊毛

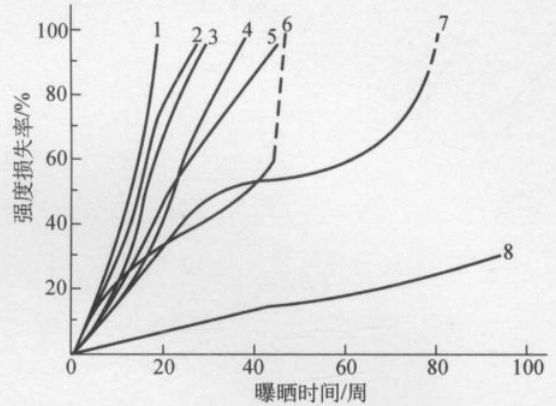


图 1-3 各种纤维在日光和大气作用下强度的变化

1—蚕丝 2—锦纶66 3—普通黏纤 4—经稳定处理的锦纶66
5—亚麻 6—棉 7—黏胶强力丝 8—腈纶

由图 1-3 可知,在日光及大气作用下,腈纶的稳定性最高,经过一年时间,大多数纤维都损失原强度的 90% 以上,而腈纶纤维强度仅下降 20% 左右。

七、短纤维的附加品质指标

短纤维的品质指标与长丝大部分相同,另外有一些特有的指标,例如纤维长度及其均匀性、卷曲度、卷曲稳定性和疵点(硬头丝和黏合丝)数量等。

(一) 切断长度

不同形式的纺纱设备和不同的纺织产品,需要选择适宜的切断长度,例如棉型化纤产品要求长度在 40 mm 以下,要严格控制倍长纤维和超长纤维。毛型产品要求纤维较长,一般粗梳产品纤维长度在 64~76 mm,精梳产品纤维长度在 89~114 mm。对纤维长度的整齐度则无严格要求,反而希望纤维的长度能形成与羊毛的长度分布图相似的长度分布曲线,以便于获得较好质量的纱线。中长型纤维的长度介于毛型和棉型纤维之间,一般为 51~76 mm,可在棉纺设备上加工仿毛型产品,要求切断长度差异不能太大。

(二) 卷曲度

合成纤维的表面通常比较光滑,造成纤维之间抱合力比较小,不利于纺纱。为了改善这一性能,需要将合成纤维进行卷曲加工。

棉型短纤维通常要求高卷曲度(4~5.5 个/cm),毛型短纤维及制膨体毛条的长纤维要求中等卷曲度(3.5~5 个/cm)。