



纺织高等教育“十一五”部委级规划教材

技术纺织品

陈韶娟 马建伟 主编 邱冠雄 主审

JISHUFANGZHIPIN

 中国纺织出版社



纺织高等教育“十一五”部委级规划教材

技术纺织品

陈韶娟 马建伟 主编

邱冠雄 主审



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了芳纶制品、碳纤维制品、抗菌纺织品、医用纺织品、智能纺织品、土工合成材料、建筑用纺织品等 18 种技术纺织品的发展现状、生产方法和加工原理、应用与测试,使读者能概要性地了解技术纺织品的概念、发展前景和常见技术纺织品的结构、性能和用途。

本书可作为纺织院校新型纺织技术、产业用纺织品等课程的教材,也可作为相关专业人员的培训教材,还可供相关科研院所和生产企业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

技术纺织品/陈韶娟,马建伟主编. —北京:中国纺织出版社, 2008. 10

纺织高等教育“十一五”部委级规划教材

ISBN 978-7-5064-5032-4

I. 技… II. ①陈…②马 III. 纺织品—高等学校—教材
IV. TS106

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 127147 号

策划编辑:裘 康 责任编辑:曹昌虹 特约编辑:范雨昕
责任校对:寇晨晨 责任设计:李 然 责任印制:何 艳

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街 6 号 邮政编码:100027

邮购电话:010—64168110 传真:010—64168231

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

E-mail:faxing @ c-textilep.com

中国纺织出版社印刷厂印刷 三河市永成装订厂装订

各地新华书店经销

2008 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.25

字数:312 千字 定价:38.00 元(附光盘 1 张)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社市场营销部调换

全面推进素质教育,着力培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的人才,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,与时俱进,编写出高质量的教材,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。2005年1月,教育部颁发了教高[2005]1号文件“教育部关于印发《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》”(以下简称《意见》),明确指出我国本科教学工作要着眼于国家现代化建设和人的全面发展需要,着力提高大学生的学习能力、实践能力和创新能力。《意见》提出要推进课程改革,不断优化学科专业结构,加强新设置专业建设和管理,把拓宽专业口径与灵活设置专业方向有机结合。要继续推进课程体系、教学内容、教学方法和手段的改革,构建新的课程结构,加大选修课程开设比例,积极推进弹性学习制度建设。要切实改变课堂讲授所占学时过多的状况,为学生提供更多的自主学习的时间和空间。大力加强实践教学,切实提高大学生的实践能力。区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。《意见》强调要加强教材建设,大力锤炼精品教材,并把精品教材作为教材选用的主要目标。对发展迅速和应用性强的课程,要不断更新教材内容,积极开发新教材,并使高质量的新版教材成为教材选用的主体。

随着《意见》出台,教育部组织制订了普通高等教育“十一五”国家级教材规划,并于2006年8月10日正式下发了教材规划,确定了9716种“十一五”国家级教材规划选题,我社共有103种教材被纳入国家级教材规划。在此基础上,中国纺织服装教育学会与我社共同组织各院校制订出“十一五”部委级教材规划。为在“十一五”期间切实做好国家级及部委级本科教材的出版工作,我社主动进行了教材创新型模式的深入策划,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。

(3)实现一个立体——多媒体教材资源包。充分利用现代教育技术手段,将授课知识点制作成教学课件,以直观的形式、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过程跟踪,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

在传统纺织品市场竞争异常激烈的今天,许多国家的纺织业正面临着
一场危机,但与此同时,技术纺织品正处于大发展之中。

所谓技术纺织品,是指非一般性消费的,采用专用技术或具有某种专
门技术特性的织物。这类产品性能各异,如阻燃、耐高温、耐磨损、强度高、
抗菌等。其使用范围十分广泛,包括产业用、装饰用和服装用纺织品,如轮
胎帘子线、汽车用安全气囊、人造器官、防紫外线和防辐射产品等。

技术纺织品属高技术产品,由高性能的合成纤维,如芳纶、碳纤维、高
强聚乙烯纤维等制成,根据不同需要,往往加入其他材料,进行复合或其他
特殊处理。目前,技术纺织品应用这类高性能合成纤维的比重达到38%,超
过了传统的一般消费纺织部门所占的比重(34%)。

尽管我国技术纺织品的起步较晚,但近几年发展很快,成为名副其实的
“朝阳工业”。可以预计,在不久的将来,我国将成为世界技术纺织品的第
一大消费国。

本书主编为陈韶娟和马建伟,副主编为李涛和郭秉臣。其中,第一
章、第二章、第十三章、第十六至第十八章由马建伟编写;第三至第八章、
第十一章、第十二章、第十四章由陈韶娟编写;第九章、第十章、第十六章
和光盘版由李涛编写;第十五章由郭秉臣编写。全书由陈韶娟定稿、校
对,由邱冠雄教授主审。在本书的编写过程中,得到了许多专家的热情帮助
和指导,其中,马千里对第一章、牛建民对第十八章的有关内容做了认真修
改。另外,还有许多专业人员、在读研究生和本科生参与了本书的资料检
索、内容整理、文字录入和绘图工作,他们是王晶、孙磊、王洪燕、车顺花、张
彩玲、张明霞、赵晓东、李达、张昊、孙韵珊、蒲帅、张新雨、李鹏等,在此表示
衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥和争议之处,望广大读者指正。

编 者

2008年3月



课程设置指导

本课程设置意义 技术纺织品是指采用专门技术生产,具有较高技术含量和性能,满足特定技术要求的纺织品。这些性能包括阻燃、耐高温、抗磨损、高强度、防菌、发光等。这类纺织品的应用范围十分广泛,如工业中的液体、气体及粉尘过滤、高强度缆绳等;运输业的管道接头、传动带等;医学上的绷带、敷料、人造韧带和器官等;人体保护方面的劳保服装;体育运动方面的滑雪板、高性能运动装等。

在传统纺织品市场竞争异常激烈的今天,技术纺织品市场正处于大步发展时期。专家们预计,我国将成为世界第一大技术纺织品消费国。许多学校也开设了技术纺织品等相关课程。为此,我们编写了此教材。

本课程教学建议 技术纺织品课程作为纺织工程专业和纺织材料与产品设计专业的主干课程,建议40学时,每2学时讲授一章,教学内容包括本书全部内容。

纺织与计算机、纺织与贸易专业方向、染整技术、服装类、装饰品类等专业作为选修课,建议30学时,选择与专业有关内容教学。

本课程教学目的 通过本课程的学习,学生应掌握高性能纤维及技术纺织品的结构性能、加工方法、测试与评价以及应用等知识。

第一章 芳纶制品	1
第一节 芳纶的发展现状	1
第二节 芳纶的结构和性能	2
第三节 芳纶的加工	6
第四节 芳纶制品及其应用	9
思考题	13
第二章 碳纤维制品	14
第一节 碳纤维的发展现状	14
第二节 碳纤维的结构和性能	15
第三节 碳纤维的加工	17
第四节 碳纤维制品及其应用	19
思考题	26
第三章 抗菌纺织品	27
第一节 概述	27
第二节 抗菌纤维	32
第三节 纺织品常用抗菌剂	36
第四节 抗菌纺织品抗菌性的测试及评价	38
思考题	41
第四章 医用纺织品及纺织人工器官	42
第一节 概述	42
第二节 医用纺织品的性能和要求	43
第三节 医用纺织品的应用	44
第四节 纺织人工器官	48
思考题	57

第五章	远红外材料与远红外纺织品	58
第一节	概述	58
第二节	远红外织物的加工方法	61
第三节	远红外纺织品的性能测试方法	64
	思考题	66
第六章	抗静电纺织品	67
第一节	概述	67
第二节	抗静电纺织品的加工与应用	68
第三节	织物抗静电性能的测试	72
	思考题	74
第七章	防电磁辐射纺织品	75
第一节	概述	75
第二节	防电磁辐射纺织品	78
第三节	防电磁辐射纺织品的测试	82
	思考题	86
第八章	紫外吸收材料与防紫外纺织品	87
第一节	概述	87
第二节	防紫外线整理剂	89
第三节	防紫外整理加工技术	91
第四节	防紫外织物性能评价及防护指标	93
	思考题	97
第九章	相变材料与相变纤维	98
第一节	相变材料的分类	98
第二节	相变材料微胶囊	103

第三节	相变材料对人体的作用功能	107
第四节	相变材料的应用	109
第五节	相变纤维加工	112
思考题		117
第十章	智能纺织品	118
第一节	概述	118
第二节	智能纺织品的分类及其简介	120
第三节	几种主要的智能纺织品	124
第四节	电子信息智能纺织品的发展	127
思考题		130
第十一章	阻燃纤维与阻燃纺织品	131
第一节	概述	131
第二节	阻燃纤维	133
第三节	织物阻燃整理	136
第四节	阻燃纺织品的测试	138
思考题		142
第十二章	合成革	143
第一节	概述	143
第二节	合成革生产技术	144
第三节	合成革的应用及其性能要求	151
第四节	合成革性能检验	153
思考题		155
第十三章	用于建筑的膜结构材料	157
第一节	概述	157

第二节	膜材料的结构与性能要求	160
第三节	膜材料的加工工艺与应用	164
思考题		168
第十四章	车辆安全气囊及气囊用织物	169
第一节	概述	169
第二节	车辆安全气囊系统的组成及工作原理	173
第三节	车辆安全气囊用材料及其织物的性能检测	174
思考题		178
第十五章	浆粕气流成网产品	179
第一节	概述	179
第二节	浆粕气流成网方法	182
第三节	加固方法	185
第四节	浆粕气流成网产品的应用	186
思考题		190
第十六章	造纸毛毯	191
第一节	概述	191
第二节	造纸毛毯的加工制造	193
第三节	造纸毛毯的性能及测试	201
思考题		202
第十七章	土工合成材料	203
第一节	概述	203
第二节	土工合成材料的种类	205
第三节	土工合成材料的性能表征	210

思考题	212
第十八章 轮胎用帘子线与帘子布	213
第一节 概述	213
第二节 帘子布的基本知识	214
第三节 几种常用帘子线的性能	217
第四节 帘子布的生产工艺	219
思考题	222
参考文献	223

第一章 芳纶制品

● 本章知识点 ●

1. 了解芳纶的发展现状。
2. 掌握芳纶的结构和性能。
3. 熟悉芳纶的加工与制备。
4. 了解芳纶制品及应用。

芳纶是高性能纤维的主要品种之一,它具有优良的化学稳定性、热稳定性及高强度、高模量等特性,被广泛应用于高温过滤材料、电绝缘纸、橡胶补强材料、防弹材料、个体防护服等方面,并不断在高新产业领域得到应用。

第一节 芳纶的发展现状

一、国外发展现状

芳纶是芳香族聚酰胺纤维的通称。1974年,美国联邦贸易委员会(FTC)采用如下定义来描述芳香族聚酰胺纤维:一种人造纤维,其呈现物质是长链合成聚酰胺,其中至少85%的酰胺键被直接连到两个芳香环上。根据酰胺键连接在苯环上的位置不同,主要分为对位芳纶和间位芳纶两大类。其中,对位芳纶纤维的主要品种有聚对苯甲酰胺纤维(芳纶Ⅰ型)、聚对苯二甲酰对苯二胺纤维(芳纶Ⅱ型,缩写为PPTA,国内商品名称为芳纶1414,国外商品名称为凯夫拉)和共聚改性芳纶,其中以芳纶1414性能最优,用途最广,发展最快。间位芳纶主要有间苯二甲酰间苯二胺(PMIA)纤维,国内商品名称为芳纶1313。

自从美国杜邦公司的凯夫拉(Kevlar)问世以来,芳纶无论是品种、生产规模、技术水平、产品性能和市场开拓等方面均有很大发展,成为特种合成纤维中产量最高、用途最广的重要品种。芳纶的总生产能力有可能超过维纶和氯纶而跃居仅次于“四大纶”(即涤纶、腈纶、锦纶和丙纶)的合成纤维大品种,其发展速度举世瞩目。

二、国内发展概况

长期以来,由于芳纶生产投资成本高、技术难度大,世界上仅美国、日本和前苏联有能力进行生产,工艺技术属于绝密,产品被视为战略物资而严加管制。尽管我国芳纶的研发起步较早,从1973年开始研究,“六五”和“七五”期间均被列为国家重大攻关项目,先后经历了实验室探索、小试、工业化小试和中试几个阶段,并取得了一系列的科研成果,开发了普通

型、高伸长型、中高强度型和高强高模型产品,纤维主要性能达到或接近 Kevlar49 T965 型的水平,其主要性能已接近国际同类产品水平。我国芳纶 I 型的研究始于 1976 年,采用的工艺路线为直接缩聚湿法纺丝。1981 年上海树脂所和上海合纤所分别完成了树脂和纤维的小试研究,1990 年 5 月又分别完成了中试研究,通过了鉴定。芳纶 I 型的性能与 Kevlar149 相当接近,目前国内只有一种型号(中强高模型),代号为 FLI—I 型。

随着经济的飞速发展,芳纶逐渐被国内市场认识和接受。2001 年,中国市场芳纶的用量为 2000t,全部依赖进口。多年来,我国一直致力于芳纶国产化、规模化的技术开发,但由于种种因素的制约,在关键技术上始终没能突破。2000 年,只有 30 吨/年聚合和 10 吨/年纺丝的生产能力。我国芳纶的需求量完全依赖进口,严重受制于人。

2003 年 3 月,年产 500t 芳纶 1313 的项目在烟台氨纶高新技术工业园区开工建设。2004 年 5 月,投资 1.5 亿元的芳纶首期工程胜利建成,并一次投料试车成功。经过两次扩建,目前年产能达到 2500t,仅次于美国杜邦公司,列居世界第二位,2008 年产将达到 4000t。在扩大规模的同时,烟台氨纶股份有限公司还加大了产品品种的开发力度,先后开发出不同细度、长度以及有色纤维,满足了国内防护领域的需求,其应用领域已拓展到过滤材料、音响弹波等领域。目前,烟台氨纶股份有限公司正在加快延伸芳纶 1313 的产业链,优化芳纶产品结构,芳纶 1313 长丝中试生产线也已投产,同时着手间位芳纶纸产业化项目和对位芳纶中试项目的建设。该公司计划 2008 年使芳纶的生产能力达到 6000 吨/年芳纶 1313 和 3000 吨/年芳纶 1414 的规模,合计 9000 吨/年。

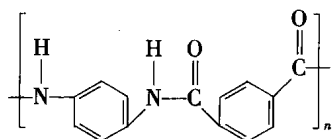
我国对芳纶聚合体制备技术的研究也获得了重大突破。2007 年 3 月 28 日,中国纺织工业协会在常熟市召开了“100 吨/年对位芳纶聚合体制备中试研究”项目鉴定会。鉴定组认为,聚合和溶剂回收工艺技术及装备具有独创性和先进性,总体技术达到了国际先进水平。具有完整的自主知识产权,共申请国家发明专利 10 项,其中已授权 5 项。并将进一步优化工艺和装备,稳定产品质量,早日实现 1000~2000 吨/年的产业化规模。

第二节 芳纶的结构和性能

一、芳纶 1414 的结构和性能

芳纶 1414 由对苯二胺(PPD)和对苯二酰氯(TPC)这两种单体聚合而成。在缩聚反应中,TPC 和 PPD 反应生成聚合物聚对苯二甲酰对苯二胺,也就是 PPTA。

1. 芳纶 1414 的结构 芳纶 1414 分子结构式为:



芳纶 1414 大分子中的酰氨基与对位苯基相连接,结构特点可归纳为以下几点。

(1) 分子链沿纤维轴向高度结晶排列。

(2) 纤维含有氢键系,这种氢键系沿其轴线有规则地折叠,并沿径向分布。

(3) 皮芯结构不同,芯层的微晶不如皮层取向度高。因此,一些专家根据芳纶 1414 的变形、断裂过程和物理结构关系,建立了以下几种结构模型。

① 折叠模型。当纤维凝固时,纤维表层首先形成,纺丝应力衰减,则纤维中心层松弛,同时在结晶过程中,均匀的周期性形成折叠,如图 1-1 所示。

② 链端模型。Morgan 认为,PPTA 结晶区内大分子的氢键平面受应力后将产生多大的应变引起大分子链剪切而没有滑移这一点还不清楚,因而提出了芳纶 1414 的链端模型。他认为纤维内链端的集中和分布是影响芳纶 1414 变形、断裂过程和强度的主要结构因素。假设棒状的 PPTA 大分子平行于纤维轴排列;在纤维皮层,链端基本上随机排列,纤维芯层以群体型排列,导致沿纤维轴每隔 200 nm (PPTA 大分子平均长度) 形成周期性横向弱平面,而链端群体处于这些弱平面附近,使纤维皮层比芯层结晶少,如图 1-2 所示。芳纶 1414 大分子链端的假设模型意味着整个纤维而不是皮层含有随机的链端分布,纤维强度就会增大,而这与纤维制造过程密切相关。

芳纶 1414 聚合物的分子量大小、分布及纤维的结晶度等直接影响其性能,特别是强度。通过提高纺丝原液中聚合物的浓度,就可以在湿纺加工过程中提高纤维中链状分子的取向度,从而使纤维获得较高的强度。原则上,较高的分子量也可以提高纤维的强度。目前芳纶 1414 的聚合度一般为 75~80,其相对分子质量为 18000~19000,均为高结晶性纤维。

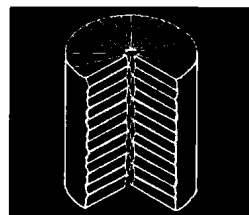


图 1-1 折叠模型

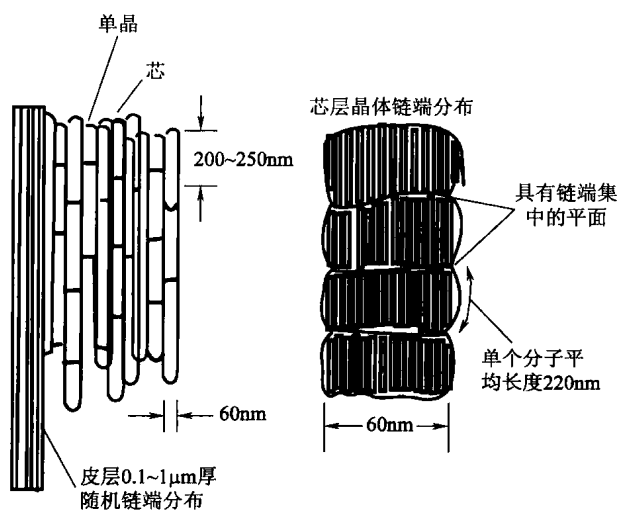


图 1-2 链端模型

2. 芳纶 1414 的性能 芳纶 1414 是一种液晶高分子材料,因为聚合物具有线型结构,所以它是一种高强度、高模量纤维,同时还具有密度低、韧性较好、耐热性优良、耐酸碱性好、

耐化学溶剂等优点。其强度是一般高分子材料的几十倍,比强度(抗拉强度与密度之比)为钢丝的 6~7 倍,比模量(弹性模量与密度之比)为钢丝的 2~3 倍,密度只有钢丝的 1/5,在 1.45g/cm³ 左右,故在宇航、轮胎帘子线、电缆及体育用品方面得到广泛的应用。然而由于结构的原因,芳纶 1414 也存在一些不足,如溶解性、耐疲劳性以及韧性还不够好,耐光性较差,横向压缩模量较低,这些缺点也限制了它的进一步应用。

芳纶 1414 轴向强度很大(强共价键),而横向上的强度较小,其轴向抗压强度仅为其抗拉强度的 1/5,其拉伸模量非常高。图 1-3 比较了各种纤维的比强度和比模量数值,说明芳纶 1414 是一种性能极好的轻型增强材料。由于芳纶 1414 的横向结合力较弱,因此耐磨性能较差,当纤维之间或纤维与金属表面摩擦,易原纤化,特别是在纤维表面区域,纤维易原纤化或劈裂,以至断裂。芳纶 1414 的断裂伸长率比各种传统的有机纤维小,但比钢纤维、玻璃纤维和碳纤维的要大,该特点有时是优点,有时则是缺点,与用途有关。另外,由于这种纤维具有较高的各向异性,故剪切性能较低。

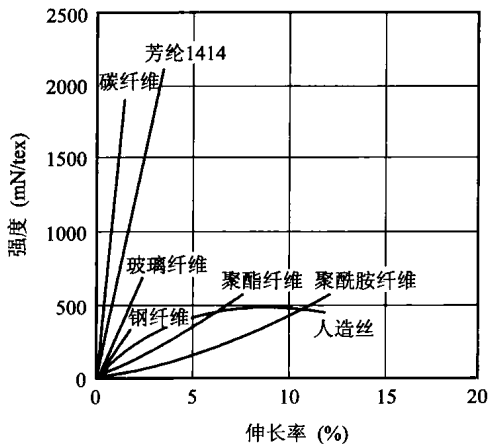


图 1-3 芳纶 1414 与各种增强纤维的性能比较

芳纶 1414 具有良好的散热和绝热性能。在相同的重量下,芳纶 1414 比玻璃纤维和石棉织物的绝热性好,强度受温度的影响很小。高温下不膨胀,略有收缩,热稳定性显著地优于一般纤维。而且,这种纤维的阻燃性能好,无后燃烧,且在燃烧时放出的毒气较少。芳纶 1414 的缺点是防紫外线照射能力较差,在户外应用需进行防紫外线保护。

芳纶 1414 可耐大部分有机溶剂和盐溶剂。但强酸或强碱,在高温或高浓度下会降低芳纶 1414 的强度。在氧化环境下,芳纶 1414 有极好的稳定性,强度损失很小。几种对位芳纶的主要特性见表 1-1。

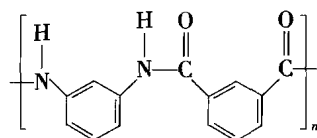
可见,Kevlar49 的拉伸模量约比 Kevlar29 高了近一倍,而其断裂伸长率则降低了近 30%。Kevlar49 纤维具有低密度、高强度、高模量和低蠕变性的特点,在静负荷及高温条件下仍有优良的尺寸稳定性。特别适合于用作复合材料的增强纤维,目前已在宇航和航空工业、体育用品等方面应用。Kevlar29 的伸长度高,耐冲击优于 Kevlar49,已用于制造防弹衣和各种规格的高强缆绳。

表 1-1 几种对位芳纶的主要特性

商品牌号	应用特性	密度 (g/cm ³)	拉伸强度 (cN/dtex)	拉伸模量 (cN/dtex)	断裂伸长率 (%)	极限氧指数 LOI(%)	分解温度 (℃)	吸湿率 (%)
Kevlar 29	标准	1.44	20.3	490	3.6	29	500	7
Kevlar 49	高模	1.45	20.8	780	2.4	29	500	3.5
Kevlar 119	高伸	1.44	21.2	380	4.4	29	500	7
Kevlar 129	高强	1.44	23.4	670	3.3	29	500	7
Kevlar 149	高模	1.47	16.8	1150	1.3	29	500	1.2
Twaron Reg	标准	1.44	21	500	4.4	29	500	6.5
Twaron HM	高模	1.45	21	750	2.5	29	500	3.5
Technora	高强	1.39	24.7	520	4.6	25	500	2
Armos	高强高模	1.43	35~39	1050	3.5~4.0	39~42	575	2.0~3.5
Rusar C	高强高模	1.46	36.3	1074	2.6	35	575	2.25
Rusar HT	高强高模	1.47	34.7	1200	2.6	45	575	1.35

二、芳纶 1313 的结构和性能

1. 芳纶 1313 的结构 芳纶 1313 分子结构式为：



芳纶 1313 大分子中的酰氨基与间位苯基相连接,其共价键没有共轭效应,内旋转位能相对芳纶 1414 低一些,大分子链呈现柔性结构。其弹性模量的数量级和其他柔性大分子处于相同水平。

芳纶 1313 的结晶结构为三斜晶系,亚苯基环的两面角从酰氨基平面测量为 30° ,这是分子内相互作用力下最稳定的结构。晶格参数为: $a = 0.527\text{nm}$, $b = 0.525\text{nm}$, $c = 1.13\text{nm}$ (纤维轴向), $\alpha = 111.5^\circ$, $\beta = 111.4^\circ$, $\gamma = 88.0^\circ$, $Z = 1$ 。微细结构为较明显的原纤结构。 c 轴的长度表明它比完全伸直链短 9%。亚苯基、酰氨基之间和 C—N 键旋转的高能垒阻碍分子链成为完全伸直链的构象。在其结晶结构中,氢键在晶体的两个平面上以格子状排列,氢键的强烈作用使其化学结构非常稳定,并具有优越的耐热性、阻燃性和耐化学腐蚀性。

2. 芳纶 1313 的性能

(1)耐热性好。芳纶 1313 的玻璃化转变温度 T_g 大约为 275°C , 375°C 开始伴随着热降解,具有很不明确的熔点,热分解温度为 $400 \sim 430^\circ\text{C}$ 。无论是在氮气或空气环境中, 400°C 时纤维失重小于 10%,在 427°C 以上时开始快速分解。在火焰中不发生熔滴,而且如果在熔滴的化学纤维中混入少量芳纶 1313 就能够防止熔滴现象的发生。在 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ 下长期使用不会熔融;