

# Study on Quality Evaluation and Inspection Method of Aramid Fiber

Zhonghai Ren<sup>1</sup>, Tianbao Li<sup>2</sup>, Hanzhou Huang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Guangdong Customs Technology Center, Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>Jiangmen Customs Technology Center, Jiangmen Guangdong

Email: tianbaoli@126.com

Received: Jun 6<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 5<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 12<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Aramid fiber is a high-performance fiber with a variety of excellent properties. China is the world's high-performance fiber consumption country. The import of aramid fiber is the first in the world. Aramid fiber has a direct impact on the scientific and technological progress and economic development of our country. This paper summarizes the research progress of the main quality index of aramid fiber and the evaluation method of aramid fiber quality.

## Keywords

Aramid Fibers, Quality, Inspection Method, Evaluation Method

---

# 芳纶纤维品质评价及检验方法探讨

任忠海<sup>1</sup>, 李天宝<sup>2</sup>, 黄汉宙<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广州海关技术中心, 广东 广州

<sup>2</sup>江门海关技术中心, 广东 江门

Email: tianbaoli@126.com

收稿日期: 2018年6月6日; 录用日期: 2018年7月5日; 发布日期: 2018年7月12日

---

## 摘 要

芳纶纤维是集多种优良性能于一身的产业用高性能纤维, 中国是世界高性能纤维消费大国, 芳纶纤维进口量世界第一, 芳纶纤维对于我国的科技进步、经济发展有着直接的影响。本文综述了我国芳纶纤维主要品质指标研究进展和芳纶纤维品质评价方法。

## 关键词

芳纶纤维, 品质, 检验方法, 评价方法

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

芳纶III纤维即对位芳纶纤维的发现, 被认为是材料界一个非常重要的历史进程。它是一种新型高科技合成特种纤维, 具有超高强度、高模量和耐高温、耐酸耐碱、重量轻、绝缘、抗老化、生命周期长等优良性能, 广泛应用于复合材料、防弹制品、建材、特种防护服装、电子设备等领域, 具体用途包括航空航天材料、体育用材料、轮胎骨架材料、传送带材料、高强绳索、防弹衣和头盔材料等[1] [2] [3] [4]。

目前对位芳纶纤维的主要产能都集中在美国、日本、欧盟、俄罗斯和韩国等经济发达的国家和地区[5] [6] [7], 我国芳纶纤维产业起步较晚, 但发展速度较快, 中国芳纶纤维制造业已进入快速发展期。一方面是生产技术进步快, 国内企业不仅成功实现了间位芳纶短纤的产业化, 而且在长丝以及对位芳纶领域取得了突破性进展; 另一方面是国内市场发展快, 年增长速度超过了 30%。目前, 我国已实现了对位芳纶纤维的国产化稳定生产, 初步打破了国外对我国长达 30 年的技术封锁和垄断, 产品可替代进口, 加速国内芳纶纤维产业化进程[8] [9]。

本文从芳纶纤维的材料表征、主要物理性能指标、机械力学性能指标、稳定性指标和稳定生产指标等方面来考察芳纶纤维的品质检验及评价方法。

## 2. 芳纶纤维品质指标

芳纶纤维具有多种独特的优良性能, 其中很多优良性能是其它纤维所不具备的, 这些优良的性能主要体现在机械物理性能和稳定性等方面, 再加上强度离散系数、纤度离散系数、产品得率等稳定生产指标, 构成了评价芳纶纤维品质优劣的标准。

### 2.1. 材料表征

芳纶纤维通常呈现浅棕黄色, 颜色均匀, 有金属光泽, 无明显瑕疵, 纤维丝束较柔软。在材料表征方面, 国产芳纶纤维与进口芳纶纤维并没有什么差别。

### 2.2. 机械物理性能指标

芳纶纤维的机械物理性能特点与其它有机纤维都不同, 其拉伸强度和弹性模量很高, 而延伸率较低, 是有机纤维中力学性能最优异的种类之一。其分子链是由苯环和酰胺基按一定规律排列而成, 酰胺基团的位置又都在苯环的直位上, 故而这种聚合物具有良好的规整性, 致使芳纶纤维具有高度的结晶性。这种刚性的集聚状分子链在纤维轴向是高度定向的, 分子链上的氢原子将和其它分子链上的酰胺对的羰基结合成氢键, 称为高聚物分子间的横向联结。芳纶纤维这种苯环结构使它的分子链难于旋转, 高聚物分子不能折叠, 又是伸展状态, 形成体状结构, 从而使纤维具有很高的模量。聚合物线性结构的分子间排列十分紧密, 在单位体积内可容纳很多聚合物分子, 这种高的密实性使纤维具有较高的强度。此外, 这种苯环结构由于环内电子的共轭作用, 使纤维具有化学稳定性, 又由于苯环结构的刚性, 使高聚物具有

晶体的本质,使纤维具有高温状态下尺寸稳定性[10]。

### 2.2.1. 线密度

纤维的粗细程度也称细度,是其重要的物理指标之一,直接指标一般用纤维的直径和截面积表示,但由于纤维截面积不规则,且不易测量,很难用直接指标表示纤维的粗细,通常采用间接指标即线密度来表示。线密度也称纤度,通常指单位长度的纤维所具有的质量,是衡量纤维粗细程度(即细度)间接指标。线密度的国际单位制(即法定计量单位)通常以特(tex)或分特(dtex)表示。1000米长的纤维的重量克数称为特,特(tex)的十分之一即为分特。由于纤维用特数表示线密度时数值较小,因此,通常以分特表示纤维的线密度。

### 2.2.2. 断裂强度

纤维的断裂强度是指每特—tex (或者每旦 Denier)纤维所能承受的最大拉力,单位为 N/tex (或 N/D)。拉伸强度是判断纤维物理性能最重要的指标之一,拉伸强度越大,代表试样的物理性能越好。根据材料的材质及粗细不同,其测定设备也相应有所变化,但总的原理不变。在规定条件下用强伸仪拉伸试样,直至断裂,得出断裂强力和伸长值,由断裂强力和线密度计算出断裂强度。纤维的强度是指纤维抵抗外力破坏的能力,它在很大程度上决定了纺织商品的耐用程度。纤维的强度可用纤维的绝对强度来表示,它是指纤维在连续增加负荷的作用下,直至断裂时所能承受的最大负荷。由于纤维强度的与纤维的粗细有关,所以对不同粗细的纤维,绝对强度无可比性,因此,常用相对强度来表示纤维的强度。相对强度是指单位线密度(每特或每旦)纤维所能承受的最大拉力。美国杜邦公司的高强高模芳纶纤维 kevlar-49 的断裂强度约 3.53 Gpa,而部分性能较优秀的国产芳纶III纤维的断裂强度为 4.78~5.32 Gpa [1],已经达到国际最优秀产品的水平了。

### 2.2.3. 弹性模量

弹性模量是描述物质弹性的一个物理量,纤维的弹性模量也称“初始模量”,它是指纤维拉伸曲线上开始一段直线部分的应力-应变比值。一般地讲,对弹性体施加一个外界作用力,弹性体会发生形状的改变,即应变,弹性模量的一般定义是:单向应力状态下应力除以该方向的应变。材料在弹性变形阶段,其应力和应变成正比例关系(即符合胡克定律),其比例系数称为弹性模量。在实际计算中,一般可取负荷伸长曲线上伸长率为 1%时的一点来求得纤维的弹性模量。纤维弹性模量的大小表示纤维在小负荷作用下变形的难易程度,它反映了纤维的刚性,并与织物的性能关系密切。当其他条件相同时,纤维的弹性模量大,则织物硬挺;反之,则织物柔软,易变性。织物的抗皱性决定于纤维弹性模量的大小,弹性模量越大,抗皱性越好;弹性模量越小,抗皱性越差。部分优秀的国产芳纶III纤维的弹性模量可以达到 123.71~129.26 Gpa 之间[1],美国杜邦公司的高强高模芳纶纤维 kevlar-49 的弹性模量为 131 Gpa 左右,可见,在弹性模量这个参数方面,部分优秀的国产芳纶纤维已经达到了国际先进水平。

### 2.2.4. 断裂伸长率

断裂伸长是指在拉力作用下试样断裂时所产生的试样长度的增量,以长度单位表示。纤维拉伸时产生的伸长占原来长度的百分率称为伸长率。纤维拉伸至断裂时的伸长率称为断裂伸长率,它表示纤维承受拉伸变形的能力,以百分比表示。断裂伸长率大的纤维手感比较柔软,在纺织加工时,可以缓冲所受到的力,毛丝、断头较少;但断裂伸长率也不宜过大,否则织物容易变形。普通纺织纤维的断裂伸长率在 10%~30%范围内比较合适。但对于工业用强力丝,则一般要求断裂强度高、断裂伸长率低,使其产品不易变形。美国杜邦公司的高强高模芳纶纤维 kevlar-29 的断裂延伸率为 3.6%,国产芳纶III纤维的断裂延伸率可以达到 3.87%~4.20%之间,可以看出,国产芳纶纤维的相对强度较高,具有较好的机械物理性能[1]。

### 2.3. 稳定性指标

芳纶纤维是一种极其稳定的纤维，高温和低温的稳定性很好，对位芳纶纤维通常能在不高于 560℃ 的高温下不分解、不融化、保持相对稳定，在-170℃ 的低温下不变脆，保持其物理性能不变。芳纶纤维对化学试剂、微生物作用的稳定性等方面均非常好。芳纶纤维对光 - 大气的稳定性稍差，耐候性是其最大的缺点。

### 2.4. 稳定生产指标

离散系数又称变异系数，是统计学中的常用统计指标，主要用于比较不同水平的变量数列的离散程度及平均数的代表性。断裂强度离散系数和纤度离散系数及产品得率是考察芳纶纤维稳定生产的三个重要指标。在这方面，国产芳纶纤维与国外高质量产品还存在着较大差距。

## 3. 芳纶纤维性能主要指标检验方法

### 3.1. 线密度

化学纤维细度的测定方法有直接和间接法两种。直接法用得最广的是中段切取称重法。间接法利用振动仪或气流仪测定纤维的细度。国际上推荐采用振动法来测量单根化学纤维的线密度。由于振动法是在单根纤维上施加规定张力使其伸直的情况下测量其线密度的，故测量结果比较准确，特别是卷曲较大的纤维以及需要测试单纤维相对强度时，采用振动法更具优越性。

在化纤生产中，因原材料、设备运转状态和工艺条件的波动都会使未拉伸丝、拉伸丝的条干不均匀。因此，测定纤维沿长度方向的条干均匀度是衡量纤维质量的变化的重要指标，它影响纤维的物理 - 机械性能与染色性能，还影响纤维的纺织加工性能及织物外观。一般采用乌斯特(Uster)条干均匀度仪进行测定，测定结果以平均差系数 U%、均方差系数 CV%、极差系数 R 表示。

#### 3.1.1. 仪器设备

缕纱测长器：周长 1 m (精度 0.001 m)，装有避免丝条集聚的横动导丝装置和能控制丝张力的喂入系统。热风式电烘箱：附有最小分度值 0.01 g 天平的箱内称重设备和恒温控制装置。天平：最小分度值为 0.01 g。

#### 3.1.2. 试验条件

线密度检验须在试验用标准大气条件下进行。

#### 3.1.3. 试验步骤

将已剥去约 1/100 表层丝的第一个试验样品按规定的卷绕张力，摇取规定的测试长度。每个试验样品摇取试样二绞。卷绕张力为名义线密度  $0.5 \pm 0.1$  cN/tex。测长长度分两种情况：线密度小于 100 tex 的样品，长度为 30 m；线密度大于 100 tex 的样品，长度为 15 m。在天平上逐一称得丝绞的重量，称好后，将全部试样在  $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  烘箱内烘干至恒重。

#### 3.1.4. 计算

##### 1) 实测线密度

$$M_d = \frac{\sum G_i}{n_1 - L} \times 1000 \quad (1)$$

式(1)中：

$M_d$ ——实测线密度, tex;

$G_i$ ——每绞丝的重量, g;

$n_1$ ——测试绞数;

$L$ ——每绞丝的长度, m。

计算值修约至小数点后一位。

## 2) 公称线密度

$$M_s = \frac{G(100+R)}{100-n_2-L_1} \times 1000 \quad (2)$$

式(2)中:

$M_s$ ——实测线密度, tex;

$G$ ——每绞丝的重量, g;

$R$ ——公定回潮率, %;

$N_2$ ——测试绞数;

$L_1$ ——每绞丝的长度, m。

计算值修约至小数点后一位。

## 3.2. 拉伸性能测试方法

### 3.2.1. 仪器设备

等速伸长型强力机(CRE); 秒表; 分析天平, 感量 0.01 mg。

### 3.2.2. 试验条件

断裂强力 and 伸长率试验须在试验用标准大气条件下进行。上下夹持器间距为 $(250 \pm 1)$  mm。断裂时间范围为 $(20 \pm 3)$  s。下降速度  $195 \pm 5$  米/分, 试样两端允许不粘结。预加强力张力为名义线密度  $0.5 \pm 0.1$  cN/tex。

### 3.2.3. 试验步骤

把剥去约 1/100 表层丝的每个试验样品放入试验用标准大气条件下调湿平衡。将试样用强力机逐一测得断裂强力 and 伸长率。每个试验样品测试六次, 试样之间应间隔 1 m 以上。

### 3.2.4. 计算

#### 1) 断裂强力、伸长率和断裂强度计算。

$$\begin{aligned} F &= \frac{\sum f_i}{n_3} \\ E &= \frac{\sum e_i}{n_3} \\ S &= \frac{F}{M_s} \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中:

$F$ ——平均断裂强力, cN;

$f_i$ ——每根试样之断裂强力, cN;

$E$ ——平均断裂伸长率, %;

$e_l$ ——每根试样之断裂伸长率，%；

$n_3$ ——试验次数；

$S$ ——断裂强度，cN/tex；

$M_s$ ——公称线密度，tex。

计算断裂强度和断裂强力值修约至小数点后第二位；断裂伸长率值修约至小数点后第一位。

### 3.3. 断裂强度离散系数和纤维纤度离散系数计算方法

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (4)$$

式(4)中：

$C$  表示离散系数；

$\Sigma$  表示平均标准偏差；

$\mu$  表示平均数。

## 4. 结论

目前，我国芳纶纤维产业取得了长足的进步，间位芳纶纤维已经具备了较强的技术实力与生产能力，已基本可以满足国内需求；在对位芳纶纤维方面，我国的部分优质芳纶单束纱纤维拉伸强度可达 4.60 Gpa 以上，拉伸弹性模量在 120 Gpa 左右，断裂延伸率在 3.60 以上，离散系数小于 5%，但其品质与美国、日本、韩国、欧盟等国家和地区的产品相比还有很大差距，特别是在断裂伸长率、断裂强度和弹性模量等机械物理性能方面，在强度离散系数、纤度离散系数及产品得率方面也有很大不足。在产能方面，国产对位芳纶纤维还远远不能满足国内需求，大部分需要进口，因此，我国芳纶纤维产业的发展道路还任重而道远。

## 基金项目

广东检验检疫局科技计划项目(2017GDK30)。

## 参考文献

- [1] 任忠海, 李天宝. 国产高强高模芳纶III纤维的拉伸性能测定[J]. 合成纤维, 2018, 47(1): 33-36.
- [2] 赵东瑾. 芳纶与聚苯硫醚纤维[J]. 纺织科学研究, 2017, 147(2): 72-76.
- [3] 孙晓婷, 郭亚. 高性能纤维的性能及应用[J]. 成都纺织高等专科学校学报, 2017, 34(2): 216-219.
- [4] 王怀颖, 彭涛, 王煦怡. 芳纶III材料在防弹装备领域的应用[J]. 警察技术, 2017, 160(1): 64-71.
- [5] 刘义鹤, 江洪. 高性能纤维产业发展现状[J]. 新材料产业, 2016, 268(3): 5-9.
- [6] 罗益锋. 全球高新技术纤维的最新进展[J]. 纺织导报, 2016, 866(1): 58-66.
- [7] 张蓓. 我国芳纶纤维的发展概况[J]. 精细与专用化学品, 2010, 18(10): 6-9.
- [8] 陈超峰, 王煦怡, 彭涛, 王凤德. 国产对位芳纶的挑战和机遇[J]. 高科技纤维与应用, 2015, 40(4): 11-14.
- [9] 中华人民共和国工业和信息化部. 纺织工业“十二五”发展规划[J]. 江苏纺织, 2012, 340(2): 1-13 + 66.
- [10] 沃西源, 涂彬, 夏英伟. 芳纶纤维及其复合材料性能与应用研究[J]. 航天返回与遥感, 2005(2): 50-55.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7613，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)