

# 纤维截面异形度的研究

王府梅 赵林 裴豫明 姚穆

(西北纺织学院)

**【摘要】** 本文汇总研究了一百多种异形纤维截面，归纳出决定异形截面形态的三大互不相关的特征。在对近 50 种典型截面反复试算的基础上，制订了表示纤维异形程度的一组三方面四个指标：1. 凸叶高变  $D$ ；2. 椭圆度  $T$ ；3. 截面折曲角  $\theta$ ；4. 空隙率  $K$ 。各类异形纤维实际所需要的指标数不大于 4，如圆中空纤维只需空隙率一个指标。实验证明，这组指标的物理概念明确、数值分布合理，同时还能满足灵敏度和稳定性两方面的要求。这组指标可确定出统计平均意义下的纤维截面形态。

异形度是指纤维截面的非圆形程度。下面简单剖析几种常见<sup>[1,2]</sup>的异形度指标。

$$1. \text{圆系数} = \frac{\text{异形纤维断面积}}{\text{异形纤维断面外接圆面积}} \quad (1)$$

$$2. \text{周长系数} = (\text{异形纤维断面积}) / \text{异形纤维圆面积} \quad (2)$$

这两个指标很类似，其理论概念较适用于多边形、多叶形截面纤维，但不适用于鞋底形、柞蚕丝、“L”形等条状截面纤维，最大的缺陷是无论任何种类的纤维都涉及到求异形截面积；甚至周长，这项工作量大，精度很低，很难实施。

$$3. \text{异形度} = (\text{异形断面外接圆周长} - \text{内接圆周长}) / \text{外接圆周长} \quad (3)$$

该指标适用的纤维种类与前两个指标相同，在理论上解决了前两个指标中面积与周长的测量困难，但实际上绝大多数纤维的内、外包络线为扁圆，很难作出所谓的内、外接圆。

$$4. \text{形状系数} = (\text{断面周长})^2 / \text{异形面积} \quad (4)$$

$$5. \text{表面系数} = \text{断面周长} / \text{纤度} \quad (5)$$

这两个指标的最大缺点是周长测量难度大，精度低。从形式上看，它们适用于任何种类纤维，实际上该两个指标的分辨能力很低，很容易作出几种指标数值相同、截面形态完全不同的截面，如图 1 中两种截面的形状系数或表面系数可完全相同。



图 1 具相同形态系数的两种截面

## 一、异形截面特征分析及分类

异形截面的三大特征为：

1. 轮廓线多次凹凸变化，形成叶片或凸起的粗糙小块。凹凸的深度(叶长)及频次是两个非常重要的因素。凹凸块或叶的形态，由于受凹凸深度、频次、纤维细度、喷丝板成形等多种因素制约并不十分重要。

2. 外轮廓线的内包络线形态。内包络线的形态反应着截面的大致形态或者说忽略边缘高频波动后的形态，称为截面的主体形态。现有异形纤维主体形态有扁圆和折曲条形两种。

3. 截面内有否空隙及其大小。

这三大特征之间基本上是相互独立的。用数学语言讲，它的本身就构成一个三维以上的空间。不可能用一维向量(单一指标)表达这个多维空间的事物。所以，我们确定用多指标表达纤维的异形程度。

异形纤维可分成实心纤维和中空纤维两大类。实心纤维又可分成叶状截面纤维和折曲条形截面纤维。叶状截面是指截面的轮廓线相对于扁圆形内包络线多次凹凸变化，使截面显示为多叶形或多边形。叶状截面主要包括三、四

五、六叶各种多边形，双十形、三十字形、鞋底形和不规则叶状的粘胶、腈纶、醋酸纤维截面等。折曲条状截面是指截面的主体形态为有弯折的条形。条状截面轮廓线的凹凸变化，使条的宽度非单调地变化。条状截面主要包括L形、弧形、桥式、维纶和一些改性腈纶等。类似地中空纤维又可分为叶状、圆和折曲条状中空纤维三类。

## 二、异形度指标

针对异形纤维的三大特征，选定了三方面共四个指标：

### 1. 凸叶高度：

$$\text{叶状中空截面纤维 } D = 20e/n\sqrt{ab} \quad (6)$$

折曲条状中空截面纤维：

$$D = 4 \cdot [(b_{\max}/b_{\min}) - 1] \quad (7)$$

### 2. 椭圆度： $T = (a/b) - 1$ (8)

3. 截面折曲角： $\theta =$  条形截面中位线的初矢量与终矢量的夹角 (9)

### 4. 空隙率： $K = (A_1/A_0) \cdot 100\%$ (10)

式中： $a$  为叶状截面内接圆的长径或条状截面的中位线长； $b$  为叶状截面内接扁圆的短径或条状截面的平均宽度； $n$  为叶数； $e$  为叶总高（为各叶高之和）； $b_{\max}$  和  $b_{\min}$  分别为折曲条状（中空）截面的最大宽和最小宽； $A_0$  为异形截面外轮廓线围成的面积； $A_1$  为中空部分的面积。中位线是指处在折曲条形截面宽度的中央，显示纤维截面弯折大趋势的折曲线。过中位线的起点和终点作切线，并将中位线由始到终的方向规定为二切线的方向，则构成两个矢量，分别称为中位线的初、终矢量。

凸叶高度  $D$  表示叶的相对高度，即截面轮廓线凹凸变化的平均深度。(6)式效果很好，常见异形纤维的  $D$  值分布在  $0 \sim 25$  之间，同时满足灵敏度和稳定形两方面的要求。从原理上讲，折曲条状截面纤维也可用类似(6)式的凸叶高度指标，但由于条状截面宽度方向尺寸较小，截面外轮廓线相对于内包络线的凹凸深度往往很小，作内包络线和测凹凸深度既费时又会带

来较大误差。故确定选用(7)式。截面轮廓线单调变化时规定  $D = 0$ 。

椭圆度  $T$  和截面弯折角  $\theta$  用于表示截面的大致形态，叶状截面的  $\theta = 0$ 。空隙率  $K$  用于表示纤维中空度的大小。

上述指标可能在某些种类的纤维中数值恒定为零，即许多种的纤维实际所需的指标数小于 4，如圆中空纤维的  $D = T = \theta = 0$ ，只需空隙  $K$  一个指标就足够了。各类异形纤维实际所需的指标见表 1。

表 1 异形纤维分类及指标

大类	亚 类	异形度指标
实 心	叶状截面纤维	$D、T$
	折曲条状截面纤维	$D、T、\theta$
中 空	圆中空纤维	$K$
	叶状中空纤维	$D、T、K$
	折曲条状中空纤维	$D、T、\theta、K$

注： $D$ ：凸叶高度； $T$ ：椭圆度； $K$ ：空隙率； $\theta$ ：折曲角。

这四个指标能较全面地反映异形截面的主要特征，从理论上讲，不可能用有限维数组（有限个指标）确定任意的纤维截面形态。因为，只有圆才能用一个指标（半径）表达；椭圆则需长、短轴两个指标；三边形需三个指标；四边形需 5 个指标；确定其他复杂图形所需的指标数更多。有些图形只可用曲线或函数表示，不存在表达它的有限维数组。与其他形式相比，异形截面图是精确表达纤维截面的简单方法，故有很大的应用价值。从纺织工程实用角度出发，很需要一组比较少的几个指标表达异形截面的主要特征，并要求这组指标便于测量计算。目前，这组指标能较好地满足上述要求，它们可确定纤维在统计平均意义下的截面形态。

## 三、实验证明

### 1. 实验方法与步骤

(1) 取样：化纤长丝取同一喷丝头喷出的一整束纤维切片；化纤短纤按正在审定的化纤

短纤取样标准取大样，混匀后取小样切片；天然纤维按各大类天然纤维取样标准取样，混匀后取小样切片。

(2) 显微投影放大：用显微投影放大500或800倍，并将投影放大的纤维截面图摄制在黑白像纸上或描绘下来。

(3) 复印放大：用复印机放大2~4倍，以获得平均截面积大于3cm<sup>2</sup>的纤维截面图。

(4) 测量，

A. 叶状(中空)截面纤维(图2)的测量：

(a) 作截面的内接扁圆(内包络线)，

即图中的虚线；

(b) 测量内接扁圆的长径 $a$ 、短径 $b$ 、

叶数 $n$ 、各叶长 $e_{01}$ 、

$e_{02}$ 、 $e_{03}$ 、 $e_{04}$ ，用剪

纸称重法测截面外

包轮廓面积 $A_0$ 、中

空部分面积 $A_1$ 。

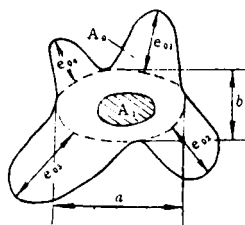


图2 叶状中空纤维的截面

B. 折曲条状纤维截面的测量：

(a) 作截面中位

线(点划线)，并用软尺测其长 $a = \widehat{AB}$ ；(b)

过 $A$ 、 $B$ 两点作中位线的初矢量和终矢量，并

测量它们的夹角 $\theta$ ；(c)测取最大宽 $b_{max}$ ，最

小宽 $b_{min}$ ，并测取三个以上有代表性的宽度，

计算它们的平均宽 $b$ ；(d)如截面内有空隙，

用剪纸称重法测取外轮廓面积 $A_0$ 和中空部分面

积 $A_1$ 。

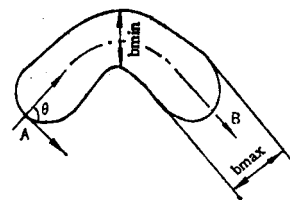


图3 折曲条状纤维的截面

(5) 计算：用(6)~(10)式计算各类纤维所需的指标。

(6) 测算纤维截面个数 $N$ 。各种异形纤维截面的离散性不同，在同信度、同误差条件下，各种纤维所需的测试根数差别很大。表2为9种异形纤维在信度95%条件下，相对误差为5%和10%时所需的测试截面数 $N_1$ 和 $N_2$ 。

从表2可见，要满足误差<5%所需的测试根数很多，许多情况下也不必要(长丝束中

表2 9种异形纤维在相同条件下所需的测试根数

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N_2$	4	20	71	30	137	150	58	26	120
$N_1$	14	82	282	120	546	642	230	105	486

单纤维头数往往小于100)。故规定各个指标的最大随机误差不得超过10%，即 $N \geq 384 C_{max}$ ， $C_{max}$ 为各项指标的最大变异系数，且 $N \geq 30$ 。

空隙率指标 $K$ 涉及到求面积问题，较费时，对于规整的圆中空和椭圆中空纤维，有可能通过测长、短轴计算面积。

### 2. 实验结果分析

在对50多种典型截面反复试算的基础上筛选出了式(6)~(10)定义的指标，而后又批量试套过20多种纤维。图4~16给出部分实验结果。图中 $\bar{D}$ 、 $\bar{T}$ 、 $\bar{\theta}$ 、 $\bar{K}$ 分别代表凸叶高

度、椭圆度、截面弯折角和空隙率的平均值。

图4汇总

了21种典型截

面，其中11、

17号截面的叶

片伸出最长、

它们的凸叶高

度最大，前者

为15，后者为

13.5。1~4、

6、8、21号

的叶都很长，

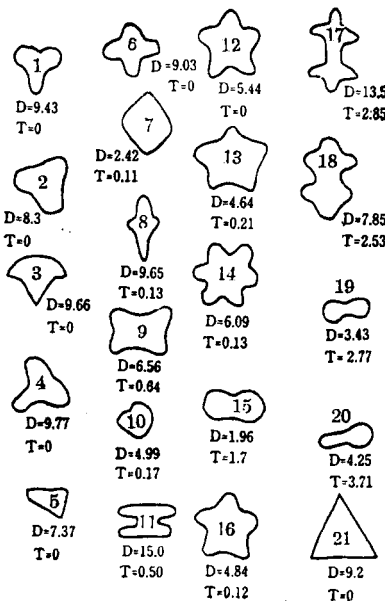


图4 典型截面的异形度指标

它们的凸叶高度指标 $D$ 都在8~10之间，数值也是很大的；5、9、14、17号截面的凸叶高度指标 $D$ 在6~8之间，它的叶片比前面列举的截面稍短，但比剩余的其他截面都长；15号截面的凸叶最短，它的凸叶高度指标也最小。5、7~10、17号截面上有个别叶较长，但同时存在着一些较短的叶。凸叶高度 $D$ 反应叶的

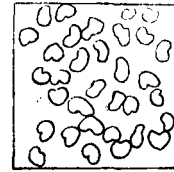
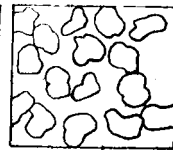
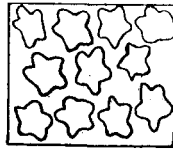
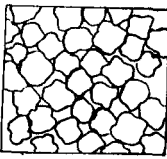
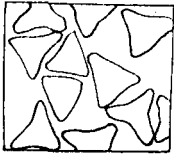


图 5 三叶涤  
 $\bar{D}=10.63$   
 $\bar{T}=0$

图 6 四叶涤  
 $\bar{D}=2.68$   
 $\bar{T}=0.116$

图 7 五叶涤  
 $\bar{D}=4.89$   
 $\bar{T}=0.18$

图 8 双组分纤维  
 $\bar{D}=4.39$   
 $\bar{T}=0.59$

图 9 腈纶  
 $\bar{D}=4.61$   
 $\bar{T}=0.42$

图 10 粘胶  
 $\bar{D}=4.88$   
 $\bar{T}=0.29$

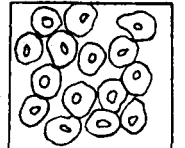
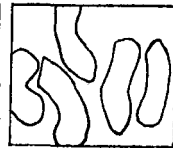
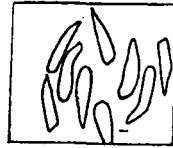
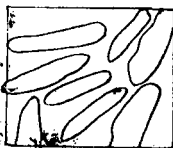
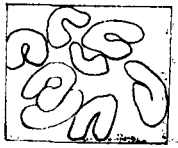


图 11 改性腈纶  
 $\bar{D}=1.62$   
 $\bar{T}=3.9$   
 $\bar{\theta}=187^\circ$

图 12  
 $\bar{D}=0$   
 $\bar{T}=2.6$   
 $\bar{\theta}=0$

图 13 柞蚕丝  
 $\bar{D}=\bar{\theta}\approx 0$   
 $\bar{T}=4.6$

图 14  
 $\bar{D}=1.22$   
 $\bar{T}=2.45$   
 $\bar{\theta}=56^\circ$

图 15 涤纶  
 $\bar{K}=8.62$   
 $\bar{T}=0.55$

图 16 涤纶  
 $\bar{K}=10.36$   
 $\bar{T}=0$

平均相对高度。另外，15、17~20号截面的长宽尺寸差异较大，其椭圆度较大(>1.5)；9、11号截面的长宽尺寸也有明显差异，椭圆度在0.5~1之间；7、8、10、13、14、16号截面都略有压扁的情形，它们的椭圆度指标不足0.25。其余内包络为圆的截面椭圆度都为零。可见，凸叶高度和椭圆度都是非常有效的。前者可灵敏地区分开边轮廓线的不同凹凸深度，数值在0~20。后者可很好地反应截面长宽尺寸的相对大小，数值在0~10。

图5~10是6种叶状纤维的平均凸叶高度、平均椭圆度和部分实测截面图。这一组结果是对凸叶高度和椭圆度的更加有力的证明。

图11~14是4种折曲条状纤维的部分截面图和相应的异形度指标，这组截面的边轮廓线相对内包络线的凹凸变化不大，所以凸叶高度都比较小。柞蚕丝边轮廓是单调变化的， $D=0$ 。椭圆度与其他截面类似，同样是长宽尺寸的相对大小，对照图可见，表达既直观又灵敏。截面弯折角是截面弯折程度的直接度量。 $D$ 、 $T$ 、 $\theta$ 基本可将条状截面形态确定下来。

图15、16是两种中空试样，前者基本上是椭圆中空( $\bar{T}=0.55$ ,  $\bar{K}=8.62$ )，后者近似为圆中空( $\bar{T}\approx 0$ ,  $\bar{K}=10.36$ )。大量实验证明，这

些指标数值与纤维截面的实际情况非常吻合。

#### 四、结 论

从总的情况看，这套指标能较好地表达异形截面的主要特征，指标的物理概念明确，计算公式和数值分布合理，同时能满足灵敏度和稳定性两方面的要求，对实际纤维试样套效果良好。对绝大多数品种的异形纤维来讲，这套指标的测量是较方便的，仅空隙率涉及的测量略为复杂一些(一份试样需两人工作3~5小时)。

在这套指标的帮助下，有可能把异形纤维的性能和截面特征更好地联系起来，可能用异形度指标评价纤维的弯曲、扭转、摩擦抱合性能、光学性能、抗起毛起球性能，以及织成织物的蓬松、活络、透气性。也有可能在这套指标的指导下，更有效地进行化学纤维仿天然纤维的工作。同时，有可能给异形纤维其他性能的测试提供一些修正的手段。

#### 参 考 资 料

- [1] 《纺织材料学》，纺织工业出版社。
- [2] 《纺织纤维的结构和性能》，纺织工业出版社。
- [3] 《图说纤维的形态》，(日文)。
- [4] 《纤维图册》。