

不同结构聚酯纤维的拉伸断裂形态

吴川灵

(中国纺织大学)

【摘要】 本文研究了不同结构的聚酯纤维在不同拉伸条件下的断裂形态。聚酯纤维的拉伸断裂端由纤维断裂源、裂纹扩展区以及快速断裂区组成。不同结构以及不同拉伸条件下的聚酯纤维的拉伸断裂形态是有区别的。断裂裂纹产生于纤维表面，它从纤维表层扩展到纤维的内层，最终引起纤维断裂。

本文在几种条件下，测试了多种聚酯纤维的拉伸断裂形态，分析研究了不同结构聚酯纤维在拉伸条件下其断裂形态与结构的关系。

一、实验材料和方法

为使不同结构的聚酯纤维能够相互比较，选取了普通PET长丝、高强低伸的PET长丝和延伸度很大的PET高速纺预取向丝(POY)。首先在YG001单纤维电子强力仪上拉伸聚酯单丝，获得纤维的拉伸断裂端，然后断裂端经过喷镀，在扫描电镜中观察。其强度-伸长曲线见图1。

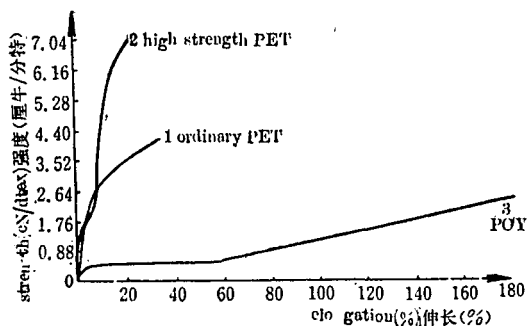


图1 三种聚酯长丝的强度-伸长曲线
Fig. 1 The strength-elongation diagram of three kinds of PET filament
1——普通PET；2——高强PET。

三种类型的纤维分别在三种实验条件下被拉伸，如表所示。每个方案的实验次数为50次。

不同纤维在不同条件下的方案
Schemes for different fibre
under different condition

方案	拉伸时间		拉伸速度	
	20sec	2mm/min	60mm/min	
纤维夹距	10mm	1mm	1mm	
PET	1 (拉伸速度 10mm/min)	2	3	
高强PET	4 (拉伸速度 5mm/min)	5	6	
POY	7 (拉伸速度 60mm/min)	8	9	

二、实验结果与讨论

1. 纤维拉伸断裂的端面形态

根据所得众多纤维断裂端的电镜照片可见，聚酯纤维拉伸断裂端形态基本上由三部分组成(见图2)：第一部分为点状或线状的区域1；第二部分为呈放射线形的区域2；第三部分为由许多高低不平的块状组成的区域3。图3为典型的聚酯纤维拉伸断裂端形态，其中图3(a)是区域1为点状的形态，图3(b)是区域1

为线状的形态。

图 4(1~9) 为不同结构的聚酯纤维在各种条件下的断裂端形态(分别为方案 1 至方案 9 中典型的形态)。

通过上述的电镜照片可见,不同结构的聚酯纤维在各种条件下的拉伸断裂端形态的大致形貌是一致的,都符合上述的断裂端形态的基本概念,皆包含三个不同的区域。但是,在不同条件下的形态还是有所区别的。

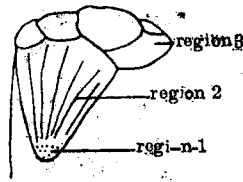


图 2 聚酯纤维的拉伸断裂形态示意图
Fig.2 The stretch-breaking form of PET fibre

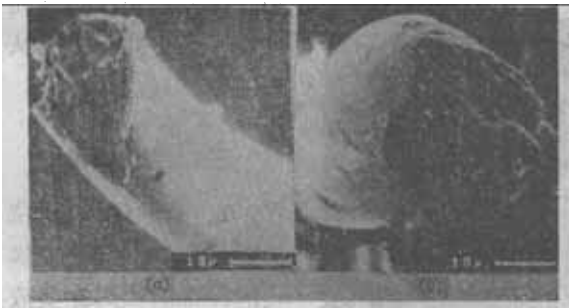


图 3 典型的聚酯纤维拉伸断裂端形态
Fig.3 The typical form of stretch-breaking end of PET fibre

就不同结构的聚酯纤维之间的差异来说,在 POY 的断裂形态中,区域 1 多为点状,呈放射线的区域 2 较宽且线条间距较宽,区域 3 的块状较大且较为平坦;在 PET 的断裂形态中,区域 1 时为点状时为线状,区域 2 的放射线条纹较密,区域 3 的块状较小但仍较为平坦;在高强 PET 的断裂形态中,区域 1 也时为点状时为线状,而区域 2 的放射线条纹很密,最显著的不同是区域 3 的块状既小又有较大的起伏。

就不同的纤维形变速率来说,拉伸速度越高,纤维夹距越短,意味着纤维的形变速率越大。当形变速率较小时,区域 2 的范围较大,而区域 3 较小;而当形变速率较大时,区域 2 变小,而区域 3 增大。另外,随着纤维的形变速

率增加,纤维的断裂形态会表现出局部的熔融现象。从电镜照片来看,在拉伸速度为 60mm/min、纤维夹距为 1mm 时,纤维断裂面上已有局部的圆形熔融现象,而在其它条件下没有这种情况。

除了上述占很大优势的纤维断裂端形态外,还有较少部分的纤维呈现出较为特殊的端面形态。这可能是由于纤维在制造过程中成形不良,或在后加工过程中处理不当,引起较大的内部结构不均匀,造成了区别于一般的断裂端形态^[1]。

2. 端面断裂形态的解释

聚酯纤维产生其所具有的断裂端形态,这是由纤维结构、纤维所受应力状况所决定。根据电镜照片,聚酯纤维的断裂端形态分为三个部分。区域 1 为纤维断裂产生裂纹的起始点,称纤维断裂源;区域 2 为纤维断裂裂纹逐步扩展的部分,称纤维的裂纹扩展区;区域 3 为纤维最终快速断裂的区域,称纤维的快速断裂区。裂纹扩展区是在裂纹产生以后的过程中逐渐形成的,可以认为,纤维材料在产生断裂裂纹以后仍有较大的塑性变形。在纤维的断裂中,延性断裂占有相当大的成分。

裂纹扩展区中放射线条纹越多,快速断裂区的块状组合越小越密集,说明纤维内部径向结构的不均匀程度越深。POY 纤维中的大分子链排列较为紊乱和疏松,各向异性现象相对较弱,造成内部结构较均匀,因而在断裂面上表现为放射线条纹稀疏和块状少而大。高强 PET 纤维中的分子排列较紧密,取向好,各向异性现象严重,纵向的高强度使径向纤维间显得相对薄弱,并显露出径向结构较大的不均匀性,故在断裂面上表现为放射线条纹密集和块状多而小。PET 纤维的结构居于两者之间,所以其断裂端形态也表现为处于 POY 和高强 PET 之间,放射线条纹和块状较 POY 多而比高强 PET 少。

纤维断裂过程经历的时间与纤维的形变速率密切相关。当形变速率较小时,纤维断裂有

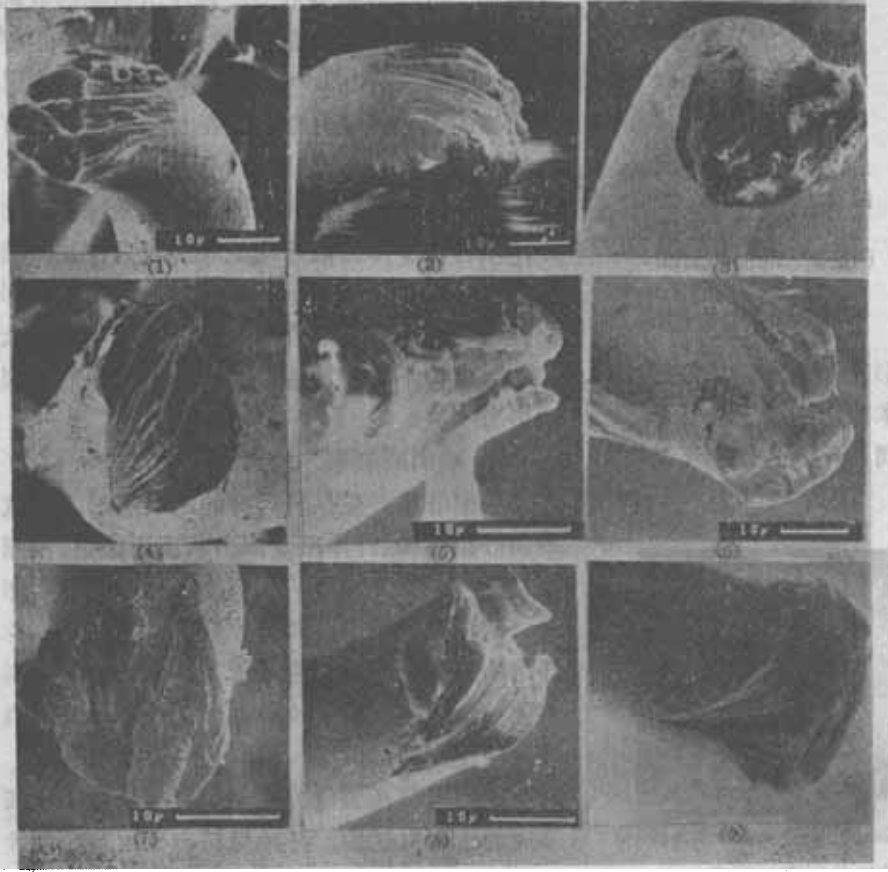


图4 各种条件下纤维断裂端的典型形态
Fig 4 The typical forms of fibre stretch-breaking end under various conditions

相对充裕的时间，从而在断裂面上表现为裂纹扩展区域较大；但当形变速率较大时，纤维的断裂过程相对较快，裂纹没有足够的时间进行充分的扩展，在扩展后的很短时间内形成瞬时断裂，从而使裂纹扩展区域较小，而快速断裂区域较大。

在聚酯纤维的其它断裂端形态中，有些纤维在断裂发展时，某些纵向区域显得薄弱，因而纤维在快速断裂时沿这些方向撕裂。有些纤维中的某些纵向联结特别脆弱，在裂纹扩展区就已明显地沿纤维轴向撕裂，快速断裂区也呈明显的阶梯状。有些纤维的断裂可能同时从两个薄弱区开始。有些纤维在快速断裂时呈不规

则的剥离状。

3. 纤维裂纹断裂的趋向

根据聚酯纤维断裂端形态分为三个区域的分析，可以从断裂端形态来推测纤维断裂时的趋向。实验结果表明：尽管PET纤维的裂纹产生位置和数目各不相同，扩展方式亦不一样，但其裂纹产生的位置都在纤维的表面，裂纹的扩展由外层趋向内层，没有发现裂纹从里向外扩展的现象。

三、结 论

1. 聚酯纤维的拉伸断裂端由呈点状或线状的纤维断裂源、呈放射线形状的裂纹扩展区以及呈块状的快速断裂区三部分组成。

2. 不同结构和不同拉伸条件的聚酯纤维的拉伸断裂形态是有区别的。其主要表现在裂纹扩展区中放射线条纹的多少，快速断裂区中块状的多少和大小，以及上述两个区域的范围大小。

3. 断裂裂纹产生于聚酯纤维的表面，它从纤维表层扩展到纤维的内层，最终引起纤维断裂。

本文工作是在严灏景教授、杨序纲副教授的指导下进行的，谨致谢忱。

参 考 资 料

- (1) 吴川灵，中国纺织大学硕士研究生论文，1986。