



## 竹筒锥模受压开纤工艺研究

姚瑶, 姚文斌, 俞伟鹏, 张蔚, 林茂阳, 张逸挺

引用本文:

姚瑶, 姚文斌, 俞伟鹏, 等. 竹筒锥模受压开纤工艺研究[J]. 林业工程学报, 2019, 4(4): 41-46.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2019.04.006>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 分丝方法对竹纤维提取及机械性能的影响

Effect of splitting method on bamboo fiber extraction and its mechanical properties

林业工程学报. 2016, 1(6): 23-28 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2016.06.004>

### PFI磨浆对干湿竹浆制备阳离子纳纤化纤维素物化特性的影响

林业工程学报. 2020, 5(2): 82-89 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.201907036>

### PFI磨浆对干湿竹浆制备阳离子纳纤化纤维素物化特性的影响

The influence of PFI pretreatment on physicochemical characteristics of cationic nanofibrillated cellulose prepared from once-dried and never-dried bamboo pulps

林业工程学报. 2020, 5(2): 82-89 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.201907036>

### 饱和蒸汽热处理对竹束化学成分和结晶度的影响

Effect of saturated steam treatment on the chemical composition and crystallinity properties of bamboo bundles

林业工程学报. 2020, 5(2): 29-35 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.201905014>

### 空心箭竹的纤维形态特征

Morphological characteristics of *Fargesia edulis* fibers

林业工程学报. 2015, 29(2): 73-77 <https://doi.org/10.13360/j.issn.1000-8101.2015.02.018>

# 竹筒锥模受压开纤工艺研究

姚瑶<sup>1</sup>, 姚文斌<sup>2\*</sup>, 俞伟鹏<sup>2</sup>, 张蔚<sup>2</sup>, 林茂阳<sup>1</sup>, 张逸挺<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学工程学院, 杭州 311300; 2. 浙江农林大学暨阳学院, 浙江 诸暨 311800)

**摘要:**以软化后的竹筒作为开纤对象,以竹原纤维得率、细度及纤维长度作为开纤效果的评价指标,研究了开纤速率和模具锥角对该方法开纤效果的影响规律。开纤试验表明:随着开纤速率的减小,竹原纤维得率逐渐提高,且在开纤速率为1 mm/min时趋于稳定,竹原纤维细度逐渐减小,纤维长度呈先增大后减小的变化趋势。当开纤速率为1 mm/min时,竹原纤维得率、细度、长度分别为30.49%, 190.9 dtex和83.66 mm,且纤维细度和长度均匀性均较好。当模具锥角小于160°时,竹原纤维得率随着模具锥角增大而提高,在模具锥角为160°时,竹原纤维得率最高为30.63%;当模具锥角超过160°时,开纤得率逐渐下降。随着模具锥角的增大,竹原纤维细度逐渐减小,纤维长度呈先增大后减小的变化趋势。当模具锥角为160°时,竹原纤维细度和长度分别为190.3 dtex和84.68 mm,且纤维细度及长度均匀性均较好。试验确定了竹筒锥模受压开纤方法最佳的工艺参数:开纤速率为1 mm/min,模具锥角为160°。在此工艺条件下,从竹筒试样提取的竹原纤维平均细度为190 dtex,平均长度为84 mm,竹原纤维得率达30.5%,且竹原纤维细度及长度范围分布也较为均匀。竹筒锥模受压开纤工艺的研究为竹材实现整竹开纤的研究奠定了基础,有望进一步提高竹材的利用率,实现竹原纤维的高效率生产,对竹材资源可持续利用和绿色生态纤维、低碳经济的发展都具有重要的现实意义。

**关键词:**竹筒;锥模成形;轴压开纤;开纤速率;竹纤维

中图分类号:S781.9 文献标志码:A 文章编号:2096-1359(2019)04-0041-06

## Study on compression fiber-splitting technology of conical mold for bamboo culm

YAO Yao<sup>1</sup>, YAO Wenbin<sup>2\*</sup>, YU Weipeng<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, LIN Maoyang<sup>1</sup>, ZHANG Yiting<sup>1</sup>

(1. School of Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. Jiyang College of Zhejiang A&F University, Zhuji 311800, Zhejiang, China)

**Abstract:** The softened bamboo culm was used as a fiber-splitting object. Taking the bamboo fiber's yield, fineness and length as the evaluation indexes of the splitting outcomes, the effects of splitting velocities and mold taper angles on the fiber-splitting outcomes of the method were studied. The results showed that as the velocity of fiber-splitting decreased, the yield of bamboo fiber increased gradually, and tended to be stable when the fiber-splitting velocity was 1 mm/min. The fineness of bamboo fiber gradually decreased, and the fiber length showed a trend of increase firstly and then decreased. When the fiber-splitting velocity was 1 mm/min, the bamboo fiber's yield, fineness and length were 30.49%, 190.9 dtex and 83.66 mm, respectively, and the fiber fineness and length uniformity were much better than those of other velocities. The results also showed that when the taper angle of the mold was smaller than 160°, the yield of bamboo fiber increased with the increase of taper angle of the mold. When the taper angle of the mold was 160°, the maximum yield of bamboo fiber was up to 30.6%; when the mold taper angle exceeded 160°, the fiber yield began to decrease. With the increase of the taper angle of the mold, the fineness of the bamboo fiber gradually decreased, and the length of the fiber firstly increased and then decreased. When the taper angle of the mold was 160°, the fineness and length of the bamboo fiber were 190.3 dtex and 84.68 mm, respectively. The optimum technological parameters of the bamboo conical mold under compression were that the splitting velocity and mold taper angle were 1 mm/min and 160°, respectively. Under this process condition, the bamboo fiber extracted from the bamboo culm sample had an average fineness of 190 dtex, an average length of 84 mm, and the bamboo fiber yield of 30.5%. The distribution of fineness and length of bamboo fiber were also more uniform. This research provided the foundation for the future research on the realization of whole bamboo fiber-splitting. It is expected to improve the utilization rate

收稿日期:2018-09-11

修回日期:2018-10-25

基金项目:浙江省自然科学基金(LY16C160012);浙江省公益性项目(2017C32067)。

作者简介:姚瑶,男,研究方向为竹纤维制备及应用。通信作者:姚文斌,男,教授。E-mail: wenbin925@sina.com

of bamboo and achieve high-efficiency production of bamboo fiber. It has important practical significance for the sustainable utilization of bamboo resources, development of green ecological fibers and low-carbon economy.

**Keywords:** bamboo culm; conical mold; axial pressure splitting; splitting velocity; bamboo fiber

竹原纤维是竹子茎秆经物理机械、化学、生物等加工方法制得的束状、丝状或絮状单元,包含竹单根纤维细胞或多个纤维细胞集合体。竹原纤维的开发利用符合绿色可持续发展的战略。由于竹原纤维的诸多优点<sup>[1-2]</sup>,使其备受纺织、家具、汽车、建材等行业的关注<sup>[3-4]</sup>。

目前工业上获取竹原纤维较为成熟的方式包括碾压法和梳解法<sup>[5-6]</sup>。碾压法主要通过碾压方式处理软化后的竹片,使竹材产生龟裂并使纤维剥离。该方法由于碾压时的外载与竹片材性及截面特征难以自适应,导致竹片产生的裂纹分布不均匀,影响竹原纤维的开纤率及分离度。而梳解法通常采用机械梳针将经过软化的竹片梳解成粗竹原纤维,该方法完全破坏了竹材生物结构特性,其作用力对竹原纤维性能损伤较大<sup>[7]</sup>,导致制备的竹原纤维力学性能不佳,竹材利用率较低。

基于以上原因,提出了一种竹纤维提取新方法<sup>[8]</sup>,并依据这一原理设计了一种锥模开纤机具。将竹筒置于锥形模具中<sup>[9]</sup>,对其施加轴向压缩载荷,使竹筒产生轴压脱层开纤分离,从而制备出粗细均匀,长度合适的天然竹纤维。竹筒锥模开纤的试验研究为后期实现竹材整竹开纤的研究奠定了基础,有望进一步提高竹材利用率,实现竹纤维的高效率生产。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料及仪器

#### 1.1.1 试验材料及预处理

1年生新鲜毛竹(*Phyllostachys heterocycla*),采自浙江省诸暨市。取胸径差异不大的新鲜毛竹材,在距地面约1.5 m的整竹节处向上截取约2.0 m长的一个竹筒段,在整竹节处截断并编号,作为试件原料。分别从胸径差异不大的5根竹材的同一部位截取 $D \times 100 \text{ mm} \times t$ (直径 $\times$ 长 $\times$ 厚)的竹筒段,称量并记录各试件的质量。本次试验中,竹筒的直径为80~92 mm,厚6.1~7.2 mm。将同一高度截取的竹筒均分在每组试验中,并对试件进行碱液蒸煮软化处理。软化工艺为:将试件在清水中浸泡12 h后,置于8%质量分数的NaOH溶液中高温常压蒸煮软化90 min,最后将软化处理后得到的完整竹筒作为锥模受压开纤试验的试件。

#### 1.1.2 试验仪器

WDW-200C万能力学试验机,上海华龙测试仪器有限公司;J1G-WRT-355型材切割机,武汉锐特工具有限公司;RSD-090Z真空干燥箱,昆山荣仕达电子设备有限公司;YG0002型纤维细度仪,温州百恩仪器有限公司;Y111A型纤维长度测量仪,河北慧采科技有限公司;蒸煮锅;电磁炉;游标卡尺;记号笔;240#砂纸等。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 开纤速率对竹筒锥模受压开纤效果的测定

将软化后的竹筒分别在5个不同的开纤速率下进行受压开纤试验。开纤速率分别设置为0.25, 0.5, 1, 2和4 mm/min,进行5个水平单因素试验,模具锥角取160°。将开纤完成后的试件清洗整理,剔除未开纤部分后烘至绝干,再称量所得竹原纤维的质量,统计竹原纤维得率,然后测定竹原纤维的细度和长度。试验重复5次,测试结果取均值。根据竹原纤维的产品标准并结合试验条件,本研究以竹原纤维得率和纤维细度作为开纤速率对竹筒锥模受压开纤效果的评价指标。

#### 1.2.2 模具锥角对竹筒锥模受压开纤效果的测定

设置模具锥角分别为130°,140°,150°,160°和170°,进行5个水平单因素试验。将软化后的竹筒分别在5个不同锥角的锥形模具上进行受压开纤试验,控制试验机的开纤速率为1 mm/min。开纤后,统计竹原纤维得率并测量竹原纤维的细度和长度。试验重复5次,测试结果取均值。根据竹原纤维产品标准并结合试验条件,本研究以竹原纤维得率、纤维细度及纤维长度作为模具锥角对竹筒锥模受压开纤效果的评价指标。

### 1.3 测试指标

#### 1.3.1 纤维得率测试

参照GB/T 15780—1995《竹材物理力学性质试验方法》测定竹材含水率。对截取的新鲜竹筒上方2 cm处尺寸为10 mm $\times$ 10 mm $\times$ t的小竹块进行含水率测试。取10个小竹块称质量后放入80℃烘箱中恒温干燥至绝干,并记录绝干竹块的质量。竹材含水率( $w$ )计算公式为:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $m_1$ 为试件的初始质量,g; $m_0$ 为绝干试件的质

量, g。

根据各组新鲜竹筒的质量和含水率,以及开纤获得的竹原纤维的绝干质量,可得竹原纤维得率( $M$ )的计算公式为:

$$M = \frac{m_3}{m_2(1-w)} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $m_3$ 为竹原纤维的绝干质量, g; $m_2$ 为新鲜竹筒的质量, g。

### 1.3.2 纤维长度测试

在不损伤和不散失纤维的情况下,将竹纤维反复梳理和理齐,再将整理好的纤维放入纤维长度测量仪中测定纤维长度,每组随机抽取纤维测试样本100根。竹原纤维的平均长度( $l$ )为:

$$l = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{100}}{100} \quad (3)$$

### 1.3.3 纤维细度测试

每组随机抽100根竹原纤维作为测试样本,则

竹原纤维细度( $N_t$ )的计算公式为:

$$N_t = \frac{10\,000G}{L} \quad (4)$$

式中: $G$ 为100根竹原纤维的绝干质量, g; $L$ 为100根竹原纤维的总长度, m。

随机抽取100根竹原纤维,并以10 dtex作为一个细度区间,分别以150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240和250 dtex作为区间中心值,共11个区间范围对试验获得的竹原纤维细度进行计数统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 开纤速率对竹筒锥模受压开纤效果的影响

#### 2.1.1 开纤速率对试件开纤形态的影响

软化处理后的竹筒在开纤试验机中以开纤速率为单一变量进行锥模受压开纤试验,各试件的开纤形态如图1所示。



图1 不同开纤速率下锥模受压开纤试件的开纤形态

Fig. 1 Fiber-splitting morphology of the conical mold compression fiber-splitting specimens at different fiber-splitting velocities

#### 2.1.2 开纤速率对竹原纤维得率的影响

将不同开纤速率下完成锥模受压开纤试验的试件清洗整理,去除未开纤部分,烘干后计算竹原纤维得率,测量并统计竹原纤维细度。不同开纤速率下竹原纤维的得率见表1,从表1中可以看出,当开纤速率分别为0.25 mm/min时,竹原纤维平均得率达到最大值30.52%。开纤速率对竹原纤维得率有明显影响,主要体现在:随着开纤速率的不断减小,竹原纤维得率从27.42%逐渐增大到30.52%。开纤速率从4 mm/min减小到1 mm/min时,竹原纤维得率明显增加,增加量为3.07%;而当开纤速率从1 mm/min降低到0.25 mm/min时,竹原纤维得率仅增加了0.03%。

当开纤速率控制在4 mm/min及以下时,竹原纤维得率发生变化可能是因为开纤速率影响了微裂纹在竹筒扩口变形区延伸的速率和裂纹扩展的方向<sup>[10]</sup>。随着开纤速率的不断增大,竹筒端部发生扩口变形时微裂纹产生的速率逐渐加快,数量有

所增加,且裂纹扩展的方向也愈发不可控制,导致竹筒竹青部位致密纤维间的分离效果不佳,开纤不充分,产生的片状体较大。而在统计竹原纤维得率时,剔除了开纤不充分的片状粗纤维,因此就会出现开纤速率越高的竹原纤维平均纤维得率越低的情况。

表1 开纤速率对竹原纤维得率的影响  
Table 1 Effect of fiber-splitting velocity on yield of bamboo fiber

开纤速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	新鲜竹筒 平均初始 质量/g	新鲜竹筒 平均含水 率/%	竹原纤维 平均绝干 质量/g	竹原纤维 平均得 率/%
0.25	260.77	78.62	17.02	30.52
0.5	263.43	76.93	18.54	30.51
1	258.96	80.38	15.49	30.49
2	266.54	77.68	17.63	29.64
4	269.81	81.23	13.89	27.42

#### 2.1.3 开纤速率对竹原纤维细度的影响

不同开纤速率下竹筒锥模受压开纤方法获得的竹原纤维的细度频数统计见图2。结果表明,不

同开纤速率下获得的竹原纤维细度范围区别较大;开纤速率从 0.25 mm/min 增大到 4 mm/min 过程中,竹原纤维细度范围依次为 150~220,150~230,160~220,160~230 和 190~250 dtex。

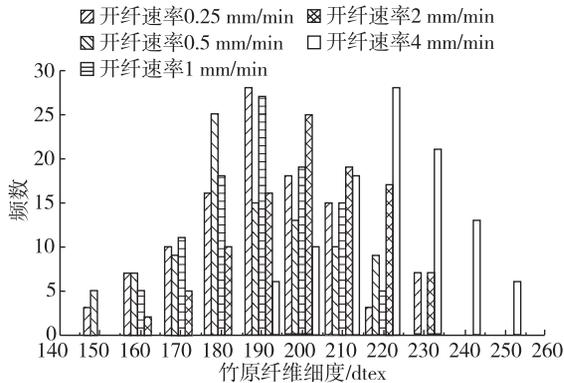


图2 开纤速率对竹原纤维细度频数分布的影响

Fig. 2 Effect of fiber-splitting velocity on the frequency distribution of bamboo fiber

对不同开纤速率下获得的竹原纤维细度分布做了均匀性分析,以竹原纤维细度的标准差为评价依据,结果如表2所示。由表2可知,竹原纤维平均细度随着开纤速率的增大而增大,当开纤速率在 0.25,0.5 和 1 mm/min 时,竹原纤维平均细度都在 190 dtex 左右;此后随着开纤速率的增加,竹原纤维细度明显增大,最大为 220.9 dtex。从竹原纤维细度的均匀性来看,当开纤速率分别为 1,2 和 4 mm/min 时,获得的竹原纤维细度分布较为均匀;而开纤速率为 0.25 和 0.5 mm/min 时获得的竹原纤维细度均匀性稍差。综合考虑竹原纤维的细度及细度的均匀性,开纤速率为 1 mm/min 时获得的竹原纤维在细度水平上最佳。

表2 开纤速率对竹原纤维细度分布均匀性的影响

Table 2 Effects of fiber-splitting velocity on the uniformity of fineness distribution of bamboo fiber

开纤速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	细度范围/ dtex	平均细度/ dtex	标准差/ dtex
0.25	150~220	188.8	23.23
0.5	150~230	190.4	25.82
1	160~220	190.9	20.29
2	160~230	196.8	20.25
4	190~250	220.9	20.02

#### 2.1.4 开纤速率对竹原纤维长度的影响

随机抽取 2.1.2 中获得的竹原纤维 100 根,分别测量长度后得到竹原纤维平均长度和标准差,如表3所示。由表3可知,竹原纤维平均长度随着开纤速率的不断增大,呈先增大后减小的变化趋势。开纤速率为 1 mm/min 时,竹原纤维平均长度最大

为 83.66 mm;开纤速率为 4 mm/min 时,竹原纤维平均长度最小为 52.87 mm。开纤速率越大,竹原纤维发生断裂的概率就越大;而在过小的开纤速率下,竹原纤维分层分离后又会出现密实化现象<sup>[11]</sup>,容易在纤维表面施加过大的弯曲挤压力,对纤维造成二次损伤。此外,不同开纤速率下获得的竹原纤维长度分布的离散程度差异较大,当开纤速率为 1 mm/min 时,纤维长度的离散性最好,均匀性最佳。

表3 开纤速率对竹原纤维长度的影响

Table 3 Effects of fiber-splitting velocity on the length of bamboo fiber

开纤速率/(mm·min <sup>-1</sup> )	竹原纤维平均长度/mm	标准差/mm
0.25	65.64	33.65
0.5	76.35	36.61
1	83.66	23.41
2	66.81	37.81
4	52.87	44.23

## 2.2 模具锥角对竹筒锥模受压开纤效果的影响

### 2.2.1 模具锥角对竹原纤维得率的影响

模具锥角对竹原纤维得率的影响见表4。由表4可知,模具锥角从 130°增大到 160°的过程中,竹原纤维得率呈现不断升高的趋势;当模具锥角为 160°时,竹原纤维得率达到最大值 30.63%;当模具锥角从 160°增大到 170°时,竹原纤维得率下降了 0.22%。这主要是因为模具锥角越小,竹筒端部产生扩口变形时周向变形能增量越大<sup>[12]</sup>,越有利于竹筒端部扩口变形的发生,但是越小的模具锥角,越不利于竹筒端部产生卷曲,越不利于层状纤维<sup>[13-14]</sup>的产生和层间纤维的径向滑移,更不利于层间微裂纹的扩展;模具锥角越大,竹筒端部发生初始扩口变形就越困难,从而影响层状纤维间的分离。

表4 模具锥角对竹原纤维得率的影响

Table 4 Effects of the mold cone angle on the yield of bamboo fiber

模具锥角/ (°)	新鲜竹筒 平均初始 质量/g	新鲜竹筒 平均含水 率/%	竹原纤维 平均绝干 质量/g	竹原纤维 平均得 率/%
130	280.71	78.52	16.35	27.12
140	266.82	76.44	18.17	28.91
150	270.56	80.62	15.64	29.83
160	262.33	80.59	15.60	30.63
170	278.73	81.68	15.53	30.41

### 2.2.2 模具锥角对竹原纤维细度的影响

不同模具锥角下竹筒锥模受压开纤获得的竹原纤维细度频数统计见图3。随机抽取 100 根竹

原纤维,并以 10 dtex 作为一个细度区间,分别以 160,170,180,190,200,210 和 220 dtex 作为区间中心值,共 7 个区间范围对试验获得的竹原纤维细度进行计数统计。结果表明,不同模具锥角下获得的竹原纤维细度主要分布在 180,190,200 dtex 3 个区间范围内,该范围内竹原纤维的频数占总体的 70%左右。随着模具锥角从 130°增大到 170°,细度在 160 和 170 dtex 区间内的竹原纤维频数呈逐渐增多的趋势,从总体上看,竹原纤维细度都在 160~220 dtex 之间。

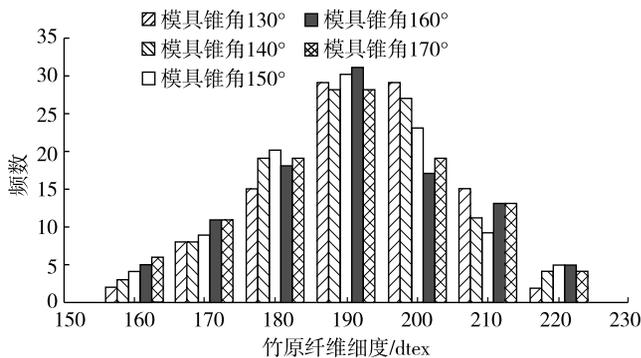


图3 模具锥角对竹原纤维细度频数分布的影响  
Fig. 3 Effect of mold taper angle on the frequency distribution of bamboo fiber

对不同模具锥角下获得的竹原纤维细度分布做了均匀性分析,结果如表 5 所示。由表 5 可知,竹原纤维平均细度随着模具锥角的增大呈逐渐减小的趋势。整体而言,不同模具锥角开纤后得到的竹原纤维平均细度都在 190 dtex 左右;不同模具锥角下,竹原纤维细度的离散程度区别不大,即模具锥角对竹原纤维细度的均匀性影响不大。

表5 模具锥角对竹原纤维细度分布均匀性的影响

Table 5 Effect of mold taper angle on the uniformity of fineness distribution of bamboo fiber

模具锥角/(°)	竹原纤维平均细度/dtex	标准差/dtex
130	192.8	20.195
140	191.7	20.072
150	190.6	20.009
160	190.3	20.002
170	189.8	20.001

2.2.3 模具锥角对竹原纤维长度的影响

随机抽取 2.2.1 中获得的竹原纤维 100 根,分别测量长度后得到模具锥角对竹原纤维长度的影响,如表 6 所示。由表 6 可知,竹原纤维平均长度随着模具锥角的增大呈现先增大后减小的变化趋势。其中,当模具锥角为 130°时,竹原纤维平均长度最小为 77.60 mm;模具锥角为 160°时,竹原纤维

平均长度最大为 84.68 mm,比模具锥角为 170°时增大了 2.08 mm。不同模具锥角下获得的竹原纤维长度分布的离散程度差异很大,当模具锥角为 160°时,纤维长度的离散性最好,均匀性最佳。

表6 模具锥角对竹原纤维长度的影响

Table 6 Effect of mold taper angle on bamboo fiber length

模具锥角/(°)	竹原纤维平均长度/mm	标准差/mm
130	77.60	68.27
140	79.94	43.25
150	82.06	33.37
160	84.68	21.76
170	82.60	29.17

2.3 竹筒锥模受压开纤最佳工艺确定

模具锥角、开纤速率对竹原纤维得率的影响见图 4。由图 4 可知,竹原纤维得率随着开纤速率的降低而不断增加,当开纤速率降低到 1 mm/min 时,竹原纤维得率趋于稳定,可达 30.49%;当开纤速率从 1 mm/min 降至 0.25 mm/min 时,竹原纤维得率只增加了 0.03%。按照图 4 的变化规律,若开纤速率继续减小,竹原纤维得率还会继续增加,但增幅不明显,且选择过小的开纤速率会严重影响开纤效率。结合开纤速率对竹原纤维细度及长度的影响可知:开纤速率为 1 mm/min 时,竹原纤维平均细度为 190.9 dtex,且均匀性较好;竹原纤维平均长度最大为 83.66 mm,且均匀性最好。因此,开纤速率为 1 mm/min 时,竹原纤维的开纤效果最佳。

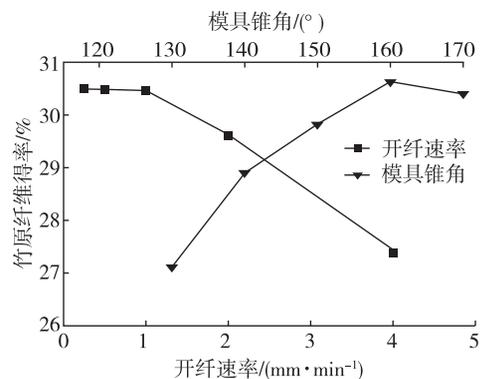


图4 不同模具锥角和开纤速率对竹原纤维得率的影响  
Fig. 4 Effects of cone angles and splitting velocities of different molds on yield of bamboo fiber

竹原纤维得率随着模具锥角的增大呈先增加后下降的变化趋势,当模具锥角为 160°时,竹原纤维得率最大为 30.63%。结合模具锥角对竹原纤维细度及长度的影响可知:模具锥角为 160°时,竹原纤维平均细度为 190.3 dtex;竹原纤维平均长度最大为 84.68 mm,且均匀性最好。因此,模具锥角为 160°时,竹原纤维的开纤效果最佳。

综合考虑开纤速率和模具锥角对开纤效果的影响,确定竹筒锥模受压开纤最佳的开纤工艺参数为:开纤速率 1 mm/min,模具锥角 160°。在此工艺条件下,竹筒试样提取的竹原纤维平均细度为 190 dtex,平均长度为 84 mm,竹原纤维得率达 30.5%,且竹原纤维细度及长度范围分布也较为均匀。

### 3 结 论

竹筒锥模受压开纤方法具有较好的开纤效果,在开纤过程中,开纤速率和模具锥角是影响开纤效果的 2 个重要因素。随着开纤速率的降低,竹原纤维的得率逐渐提高;当开纤速率为 1 mm/min 时,竹原纤维的得率趋于稳定,为 30.49%。此时,竹原纤维平均细度为 190.9 dtex,平均长度为 83.66 mm,且竹原纤维细度及长度分布均匀性均较好。随着模具锥角的增大,竹原纤维得率先升高后下降,在模具锥角为 160°时,竹原纤维得率最大为 30.63%。此时,竹原纤维平均细度为 190.3 dtex,平均长度为 84.68 mm,竹原纤维细度及长度均匀性均较好。在开纤速率 1 mm/min,模具锥角 160°的工艺条件下,100 mm 长的竹筒试件能获得平均长度为 84 mm,平均细度为 190 dtex 的竹原纤维,其纤维得率为 30.5%,且竹原纤维细度及长度分布均匀性均较好。

竹筒锥模开纤法获得的竹原纤维细度完全能满足纤维毡、纤维垫的制作要求,但用于纺织纤维材料时,还需进一步精细化处理。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 郭豫吉,邓首哲. 竹纤维性能及发展展望[J]. 中国麻业科学, 2008, 30(6): 321-325. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3532.2008.06.008.  
GUO Y J, DENG S Z. Bamboo fiber properties and the prospect of its market[J]. Plant Fiber Sciences in China, 2008, 30(6): 321-325.
- [ 2 ] 王戈,王越平,程海涛,等. 我国纺织用竹纤维的研究与开发[J]. 木材工业, 2010, 24(4): 18-21. DOI:10.3969/j.issn.1001-8654.2010.04.006.  
WANG G, WANG Y P, CHENG H T, et al. Research and development of bamboo fiber for textiles applications in China[J]. China Wood Industry, 2010, 24(4): 18-21.
- [ 3 ] 陈复明,王戈,程海涛,等. 新型竹纤维复合材料的研发[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(2): 80-85. DOI:10.3969/j.issn.1000-5382.2016.02.019.  
CHEN F M, WANG G, CHENG H T, et al. Development of advanced bamboo fiber based composites material[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2016, 44(2): 80-85.
- [ 4 ] 王春红,刘胜凯. 碱处理对竹纤维及竹纤维增强聚丙烯复合材料性能的影响[J]. 复合材料学报, 2015, 32(3): 683-690. DOI:10.13801/j.cnki.fhclxb.20141105.003.  
WANG C H, LIU S K. Effects of alkali treatment on properties of bamboo fiber and bamboo fiber reinforced polypropylene composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(3): 683-690.
- [ 5 ] 张蔚,姚文斌,李文彬. 竹纤维加工技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 308-312. DOI:10.3321/j.issn.1002-6819.2008.10.062.  
ZHANG W, YAO W B, LI W B. Research and development of technology for processing bamboo fiber[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(10): 308-312.
- [ 6 ] 张蔚,姚文斌,李文彬. 梳解法制备竹纤维的力学模型[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 66-69, 117. DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.09.013.  
ZHANG W, YAO W B, LI W B. Mechanical model of processing bamboo fiber with combing method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 66-69, 117.
- [ 7 ] 高路. 物理法竹材分离成纤机理研究及工艺优化[D]. 北京:北京服装学院, 2010.  
GAO L. Studies on mechanism of bamboo separating into fiber and process optimization by physical method[D]. Beijing: Beijing Institute of Clothing Technology, 2010.
- [ 8 ] 浙江农林大学暨阳学院. 竹筒锥模开纤机:207130377U[P]. 2018-03-23.  
Jiyang College of Zhejiang A&F University. Bamboo culm conical mold opener:207130377U[P]. 2018-03-23.
- [ 9 ] 黄早文,俞彦勤. 轴压外翻管通用模[J]. 金属成形工艺, 1994, 12(3):134-136.  
HUANG Z W, YU Y Q. Outer inversion tube universal die with axial pressure[J]. Metal Forming Technology, 1994, 12(3): 134-136.
- [ 10 ] 宋克飞. 翻管工艺的理论及实验研究[D]. 重庆:重庆大学, 2008.  
SONG K F. Experimental and theoretical investigation of external inversion of tubes[D]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [ 11 ] 沈亮亮. 竹材密实化及其密实机理的研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2007.  
SHEN L L. Studies on the compressive mechanism and compression of bamboo[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2007.
- [ 12 ] 罗云华,黄早文,张祥林. 管材向外翻卷变形机理的研究[J]. 锻压技术, 2003, 28(5): 54-57. DOI:10.3969/j.issn.1000-3940.2003.05.018.  
LUO Y H, HUANG Z W, ZHANG X L. Study on deforming mechanism of circular tube outside inversion under pressed axially[J]. Forging & Stamping Technology, 2003, 28(5): 54-57.
- [ 13 ] 陈静芬. 基于弹性损伤本构模型的复合材料层合板破坏荷载预测[J]. 复合材料学报, 2017, 34(4): 773-785. DOI:10.13801/j.cnki.fhclxb.20160721.001.  
CHEN J F. Failure loads prediction of composite laminates using a combined elastoplastic damage model[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2017, 34(4): 773-785.
- [ 14 ] 李晖,朱一辛,杨志斌,等. 我国竹材微观构造及竹纤维应用研究综述[J]. 林业科技开发, 2013, 27(3): 1-5. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8101.2013.03.001.  
LI H, ZHU Y X, YANG Z B, et al. Review on bamboo microscopic structure and bamboo fiber application in China[J]. China Forestry Science and Technology, 2013, 27(3): 1-5.

(责任编辑 莫弦丰)