


 研究论文

# 干法造纸成型圆筒的动态特性分析

 袁启龙<sup>1</sup> 李春霞<sup>1</sup> 何万龙<sup>1</sup> 李言<sup>1</sup> 严和平<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 陕西西安, 710048; 2. 陕西理工机电科技有限公司, 陕西西安, 710018)

**摘要:** 为提高干法造纸技术生产线的工作效率和纸幅质量, 根据成型布料器的气流铺网成型原理, 运用 ANSYS Workbench 软件对干法造纸成型圆筒的动力学特性进行分析。对成型圆筒在自由状态和约束状态下的固有频率和振型进行研究, 并探讨了成型圆筒转速与圆筒长度对成型圆筒最大应力和最大径向位移的影响规律。结果表明, 成型圆筒在约束模态分析时的一阶临界转速和激励转速分别为 967.38 r/min 和 725.54 r/min, 且工作转速小于激励转速, 因而成型圆筒在运动过程中不会产生共振现象; 在工作转速 300 r/min 时, 成型圆筒与闷头接合处的应力较大, 闷头两端的应力较小, 成型圆筒的中间位置变形最大, 最大变形量为 3.14 mm; 成型圆筒的等效应力和最大径向位移随着成型圆筒转速和圆筒长度的增加而增大。

**关键词:** 干法造纸; 成型圆筒; 动力学分析; 振动

中图分类号: TS75; F407.44

文献标识码: A

DOI: 10.11981/j.issn.1000-6842.2020.04.42

造纸工业是我国国民经济中具有循环经济特征的重要基础原材料产业, 与国民经济发展和社会文明息息相关。纸和纸板消费水平是衡量一个国家现代化和文明程度的重要标志之一, 造纸已成为国民经济中具有循环经济特征的重要基础原材料产业和新的经济增长点<sup>[1-3]</sup>。近年来, 高级无尘纸及其制品在世界范围内使用增长迅速, 以纸代布、替代一次性塑料袋成为日常生活卫生用品的发展趋势。

无尘纸采用干法成型造纸工艺技术生产, 该技术的主要原理是以气流铺网技术来替代传统的水流铺网方式, 用较短的纤维以获取均匀的纤维层, 由于其在生产过程中(主要是成型过程)不需要水资源, 所以称为干法造纸成型技术<sup>[4-5]</sup>; 此技术能耗比传统造纸技术低 2~3 倍, 具有效率高、无水污染、原纸纤维利用率高、设备与生产过程较简单、投资成本低等优点<sup>[6-7]</sup>。目前, 国内干法造纸生产线的最大纸幅宽度可达 2.6 m、最大出纸速度达 160 m/min, 此生产线已在江苏某企业投产应用, 设备运行良好。

干法造纸的主要原料是纸浆纤维, 将纸浆纤维进行多次粉碎后与气流混合, 粉碎后的纸浆纤维在气流中旋转, 随后利用离心力将大小不同的纤维颗粒在成型圆筒中进行筛选分离; 在重力作用下, 使符合要求

的纤维颗粒被甩出并落到成型圆筒下部的成型网上, 经过其他一系列的工艺处理形成所要求的纸幅<sup>[8-10]</sup>。成型圆筒是干法造纸装备中重要的组成部件, 其在筛选分离纤维颗粒过程中产生的振动对纤维在成型网上的均匀成型有很大的影响。本课题探讨了干法造纸成型布料器(生产纸幅宽度为 2.6 m)中成型圆筒在自由状态下的振动特性, 计算成型圆筒的临界转速, 为避免成型圆筒在工作过程中产生共振提供理论基础, 并研究了圆筒转速与长度对成型圆筒等效应力和最大径向位移的影响规律。

## 1 干法造纸工艺简介

干法造纸是一种新型的造纸工艺, 最初起源于欧洲, 由丹麦人 Kroyer 发明。干法造纸的生产过程为: 以绒毛浆为原料, 将绒毛浆打散成纤维状, 利用净化后的空气进行风送; 通过负压风箱低真空的抽吸, 使纤维状的原料均匀地铺在移动的成型网上。由于纸张的强度性能主要与纤维内部的结合力有关, 因此, 干法造纸最初成型的纸幅没有强度, 需通过喷胶、加压和粘合等工艺处理后, 在纤维间形成结合力, 从而使纸张具有一定的强度和柔软性<sup>[11-12]</sup>。

图 1 为干法造纸专用生产线的工艺流程图。由图

收稿日期: 2019-09-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(51475366); 西安市企业技术创新工程计划项目(CX13105)。

作者简介: 袁启龙, 男, 1970年生; 副教授; 主要研究方向: 先进制造技术。

E-mail: yuanql@xaut.edu.cn

1 可知, 从原材料到最终的干法纸产品(无尘纸)包含 4 种加工过程; 其中, 成型部是主要的加工部分。在纸幅成型过程中, 利用负压箱抽吸空气在成型网上部形成负压, 使绒毛浆纤维在成型圆筒中完成筛选分离后随着成型圆筒壁上的小孔下落到移动的成型网上。成型圆筒在工作过程中, 受到惯性力、离心力和重力的作用, 容易产生振动, 使成型圆筒发生变形; 同时, 纤维被甩出的过程中容易造成少许纤维堵住成型圆筒壁上小孔的现象, 从而影响纸幅的成型质量, 降低生产效率。

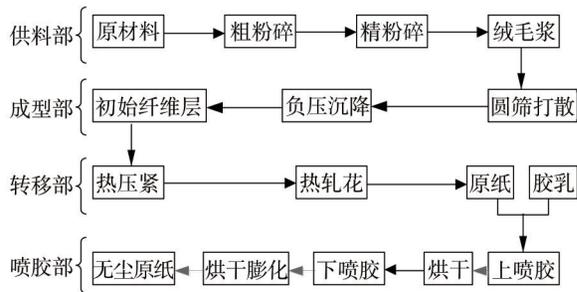
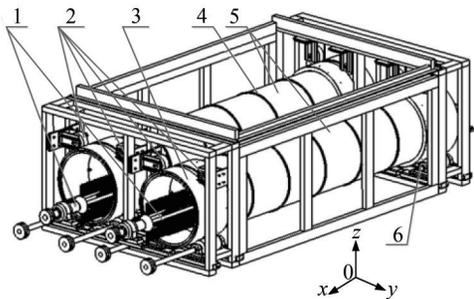


图 1 干法造纸工艺流程图

## 2 几何模型的建立与网格划分

### 2.1 成型圆筒模型的建立

干法造纸成型部件主要由 2 个成型圆筒组(直径为 720 mm 的圆筒、两端焊接闷头、圆筒环向焊接若干加强筋)、2 个打散辊、8 个压轮、8 个托辊体与机架等组成, 每个成型圆筒下方有 4 个托辊体进行支撑, 包括 1 个主动轮和 3 个被动轮, 压轮位于圆筒上部, 用于约束成型圆筒径向跳动, 成型圆筒部件结构如图 2 所示。成型圆筒的工作流程为: 首先, 纤维原料由送风风机送至成型圆筒中, 成型圆筒壁布满一定尺寸的小孔, 经过成型圆筒与打散辊的相互作用, 使输送进来的纤维原料打散后处于漂浮状态, 然后穿过成型圆筒表面上的小孔、经自由落体落到圆筒下部移动的成型网上, 从而完成对纤维原料的筛分过程。



1—打散辊 2—压轮 3—闷头 4—环向加强筋 5—圆筒 6—托辊体

图 2 成型圆筒部件结构示意图

本课题采用 Solidworks 软件建立成型圆筒组(圆筒总长度 3000 mm、加强筋宽度 2 mm、闷头长度 400 mm、闷头直径 800 mm、圆筒内径和外径分别为 718 和 720 mm)的三维模型, 并对模型进行简化, 忽略模型的倒角、圆角和孔等特征, 成型圆筒结构简图如图 3 所示。然后利用 ANSYS Workbench 软件对成型圆筒组进行网格划分, 划分网格的密度越大, 相应的计算精度就越高, 相应的计算时间也就越长, 对硬件的要求也越高<sup>[13-14]</sup>, 故本课题采用映射面法进行网格划分, 成型圆筒的每个网格单元都为六面体, 设置网格尺寸为 25 mm, 模型的节点数为 115332, 单元数为 18648, 成型圆筒网格划分如图 4 所示。

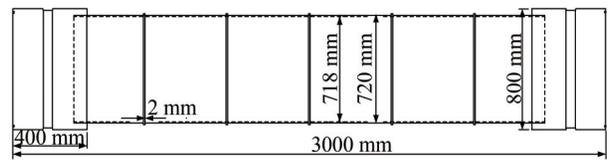
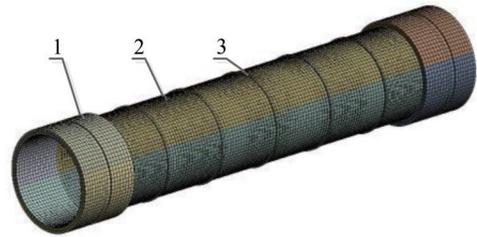


图 3 成型圆筒结构简图



1—闷头 2—圆筒 3—环向加强筋

图 4 成型圆筒网格划分示意图

### 2.2 等效模型的建立与分析

成型圆筒(厚度 2 mm)上开有许多小孔, 开孔直径 4 mm, 开孔率达到 40%。为简化有限元运算时间, 本课题采用不开孔的成型圆筒代替实际开孔的成型圆筒, 利用平板拉伸方式获得不锈钢圆筒材料的等效密度和等效弹性模量进行动态特性分析, 图 5 为开孔平板模型图。

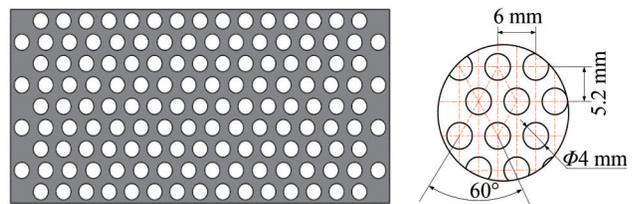


图 5 开孔平板模型图

在平板受拉过程中, 约束面的前后方向和上下方向不会发生收缩, 而左右方向会发生变形; 因此, 对平板左端面采用无摩擦约束, 在右端面施加呈线性递增的加载力, 比较开孔与未开孔平板的拉伸变形情

况, 两种平板拉伸时的等效变形云图如图 6 所示。由图 6 可知, 在 1000 N 拉力作用下, 开孔平板的变形量为 0.233 mm, 通过调整未开孔平板材料的弹性模量, 使两种模型的总位移一致; 当未开孔平板的弹性模量调整为 66 GPa 时, 其变形量为 0.233 mm。计算可获得成型圆筒的等效密度为  $4758 \text{ kg/m}^3$ , 等效弹性模量为 66 GPa, 成型圆筒各部分的材料性能参数如表 1 所示。

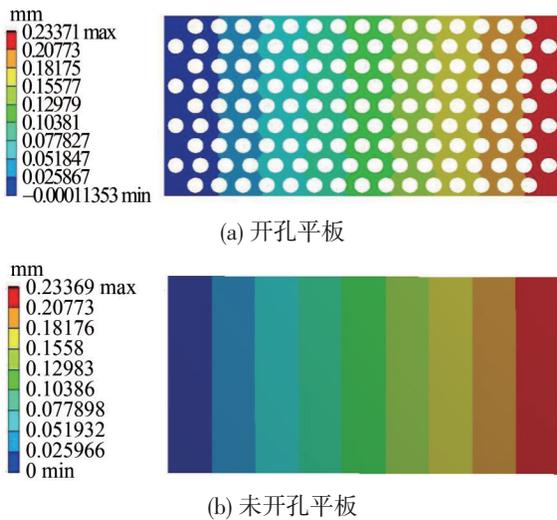


图 6 平板拉伸等效变形云图

表 1 成型圆筒材料性能参数

名称	材料	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	泊松比	弹性模量/GPa
成型圆筒	不锈钢 304 (等效)	4758	0.3	66
加强筋	不锈钢 304	7930	0.3	194
闷头	铸钢	7800	0.3	175

### 3 仿真结果分析

#### 3.1 成型圆筒的自由模态分析

成型圆筒自由模态分析是指在自由状态下, 不对成型圆筒施加任何载荷和约束, 计算成型圆筒的固有振动特性。图 7 为经过求解计算得到的成型圆筒前六阶固有频率及其对应振型云图。由图 7 可知, 第一阶振型为沿着  $x$  方向进行的横向振动, 最大振幅发生在闷头两端; 第二阶振型为沿着  $z$  方向的上下弯曲振动, 振型为弓状, 且成型圆筒的中间部位相对位移最大, 由于受力比较集中, 很容易造成成型圆筒结构的疲劳破坏; 第三阶振型为沿着  $y$  方向进行的左右弯曲振动; 第四阶振型为沿着  $y$  方向和  $z$  方向的复合弯曲振动, 弯曲形状较复杂; 第五阶振型为沿着  $y$  方向比较剧烈的弯曲振动; 第六阶振型为主要沿着  $x$  方向呈 S 型的弯曲振动。随着阶次的提高, 成型圆筒的振型基本不以纯弯曲或纯扭转的振型出现, 大多数为扭转或弯曲为主的复合振型, 表明成型圆筒在高阶频率下振动形式比较复杂。

表 2 为成型圆筒自由模态下的动态特性参数。由表 2 可知, 成型圆筒的一阶振型固有频率为 82.211 Hz, 圆筒的二阶与三阶振型、四阶与五阶振型的固有频率相同; 这是因为成型圆筒为对称结构, 第二阶振型主要为沿  $z$  方向的上下弯曲振动, 第三阶振型为沿  $y$  方向的左右弯曲振动, 二阶与三阶振型呈现正交变化形式, 致使出现重叠频率现象, 四阶和五阶振型的固有频率相同, 其原因同此。

#### 3.2 成型圆筒的约束模态分析

成型圆筒在自由状态下的固有频率较大, 临界转

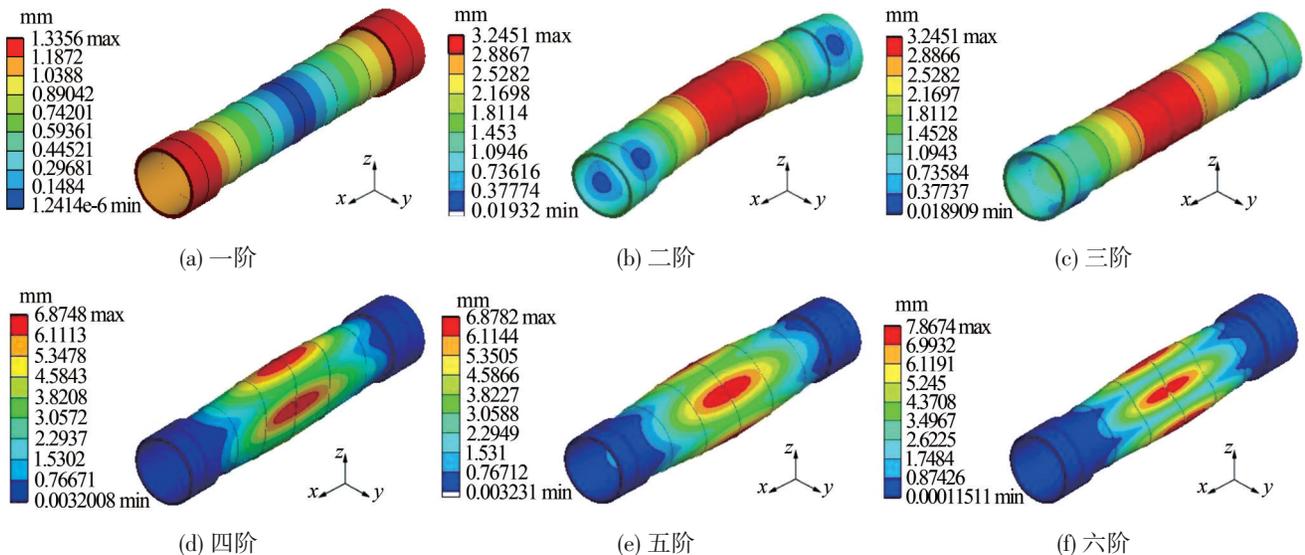


图 7 成型圆筒自由模态下的前六阶振型固有频率及对应振型云图

表2 成型圆筒自由模态下的动态特性参数

阶次	固有频率/Hz	临界转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$
一	82.211	4932.66
二	87.121	5227.26
三	87.121	5227.26
四	96.427	5785.62
五	96.427	5785.62
六	99.910	5994.60

速远大于工作转速，这是因为忽略了托辊体、压轮、机架等对成型圆筒运转时的约束影响。为了进一步确保成型圆筒在工作转速范围内不发生共振，对成型圆筒进行约束模态分析。

成型圆筒约束模态分析的边界条件有：压轮对成型圆筒的径向约束，防止成型圆筒在工作时发生跳动；托辊体的支撑约束，通过电机驱动托辊体的主动轮，从而传动力矩；机架底面施加固定约束。将建立的成型圆筒在约束状态下的模型导入 ANSYS Workbench 软件划分网格，其有限元模型如图8所示。约束模态分析时，成型圆筒材料为不锈钢304，托辊组材料为橡胶，压轮材料为尼龙66，闷头材料为铸钢，其余材料为Q235。

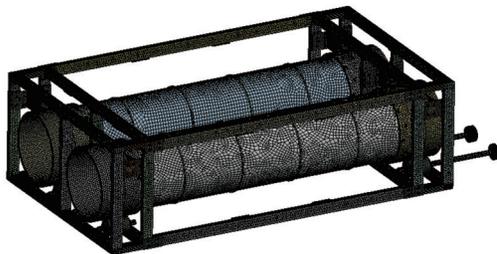


图8 成型圆筒约束模态分析的有限元模型

为确保成型圆筒在工作转速（300 r/min）范围内不发生共振，成型圆筒的工作转速应小于临界转速的75%，即工作转速小于激励转速。根据约束模态分析结果，参考式(1)和式(2)，可计算出成型圆筒的各阶临界转速和激励转速，获得成型圆筒在约束模态下的动态特性参数，结果如表3所示。

$$n_c = 60f \quad (1)$$

$$n = (1 - 25\%)n_c \quad (2)$$

其中， $f$ 为成型圆筒固有频率， $n_c$ 为成型圆筒的临界转速， $n$ 为成型圆筒的激励转速。

由表3可知，成型圆筒在约束模态下的固有频率远小于自由模态下的固有频率。成型圆筒的一阶振型固有频率为16.123 Hz，根据式(1)和式(2)计算可知，其临界转速为967.38 r/min，激励转速为725.54 r/min，在实际工作过程中，成型圆筒转速为300 r/min，其工

表3 成型圆筒约束模态下的动态特性参数

阶次	固有频率 $f$ /Hz	临界转速 $n_c$ / $r \cdot \text{min}^{-1}$	激励转速 $n$ / $r \cdot \text{min}^{-1}$	振型
一	16.123	967.38	725.54	沿 $z$ 方向振动
二	17.671	1060.26	795.20	沿 $x$ 方向振动
三	19.009	1140.54	855.41	扭转振动
四	25.912	1554.72	1166.04	沿 $y$ 方向左右振动
五	29.028	1740.68	1305.51	沿 $x$ 方向和 $z$ 方向 复合振动
六	30.921	1855.26	1391.45	左右摆振

作转速小于激励转速，故成型圆筒在工作转速内不会发生共振现象<sup>[15-16]</sup>。

根据振动理论可知，低阶振型和固有频率对成型圆筒结构动力响应较大，高阶振型和固有频率对其影响较小<sup>[17]</sup>。成型圆筒的低阶振型主要表现为径向弯曲振动，成型圆筒中间的振幅较大；因此，在成型圆筒设计过程中，应适当增大圆筒中间位置的刚度，可通过增加环向加强筋等方式来减少成型圆筒的弯曲振动。

### 3.3 成型圆筒的瞬态动力学分析

#### 3.3.1 工作时的成型圆筒动力学分析

对成型圆筒进行瞬态动力学分析，在工作转速300 r/min、 $t=2.99$  s时刻获得的成型圆筒等效应力、应变和变形分布云图如图9所示。从图9可以看出，闷头两端的等效应力较小，闷头和圆筒的接触位置等效应力最大，最大等效应力为1.41 MPa，最大应变为 $1.58 \times 10^{-5}$ ，表明成型圆筒在运动过程中出现损坏及发生变形的可能性较小；而成型圆筒的中间位置变形最大，最大变形为3.14 mm，这是由重力和离心力等载荷作用于成型圆筒而导致的。

选取圆筒表面上的最大应力节点20917进行等效应力分析，该节点等效应力随时间变化的曲线如图10所示。由图10可知，0~1 s为成型圆筒运转的启动阶段，应力很小；1~2 s为成型圆筒运转的加速阶段，等效应力变化范围较大；当时间超过2 s后，成型圆筒运转逐步趋于稳定，等效应力波动范围小，曲线变化呈正弦形式；这是因为成型圆筒转动过程中，在启动、加速与稳定阶段的转速改变引起惯性载荷的变化，导致成型圆筒上节点应力发生变化。

成型圆筒中间位置的径向位移随时间的变化曲线如图11所示。从图11可以看出，成型圆筒中间位置的径向位移随时间的延长呈有规律性的波动，最大径向位移可达3.1 mm，这是由于在两端铰接的约束条件下，成型圆筒在重力和离心力作用下易产生偏心，使得圆筒在旋转运动时振动较大。

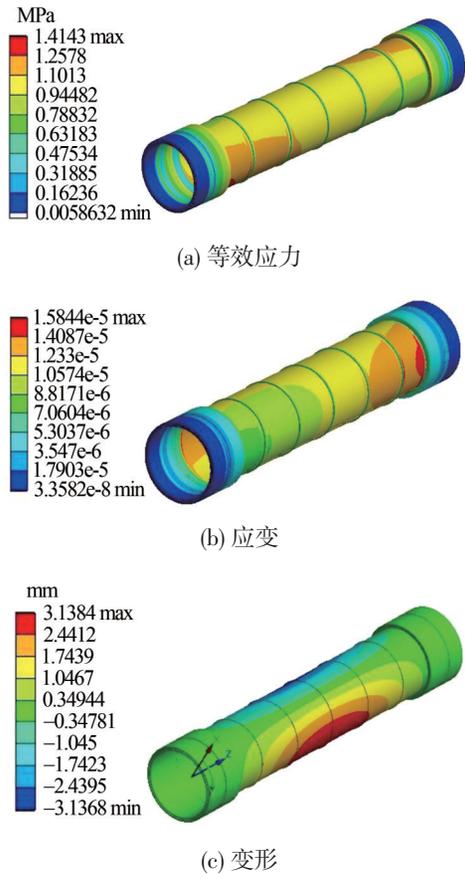


图9 成型圆筒等效应力、应变与变形分布云图

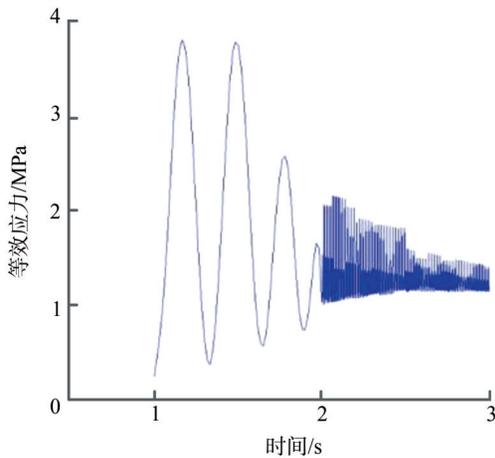


图10 节点20917处等效应力随时间变化曲线

### 3.3.2 不同转速下的成型圆筒动力学分析

图12为转速对成型圆筒最大等效应力和最大径向位移的影响。由图12可知，成型圆筒的最大等效应力随着转速的增加而增大，当成型圆筒转速为100 r/min时，最大等效应力为0.28 MPa，而转速达到600 r/min时，最大等效应力可达4.49 MPa，此时的最大等效应力远小于成型圆筒的许用应力，因此不会发生结构失效。成型圆筒的最大径向位移也随着转速的

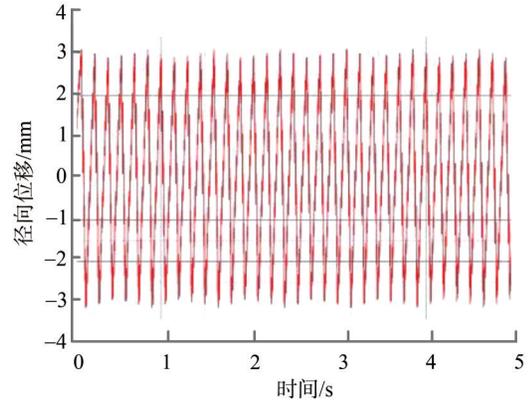


图11 成型圆筒中间位置径向位移随时间的变化曲线

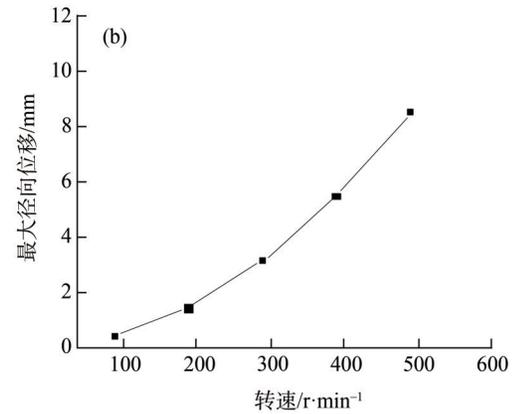
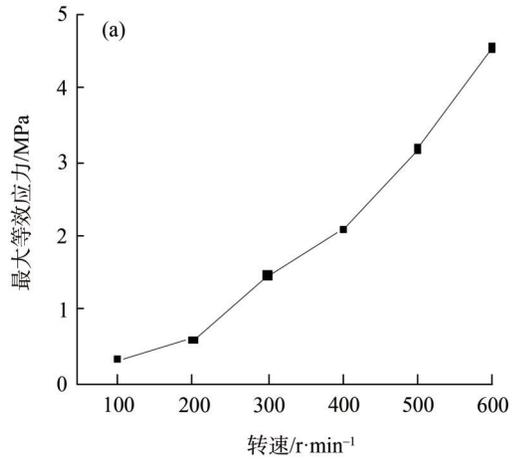


图12 转速对成型圆筒最大等效应力(a)与最大径向位移(b)的影响

增加而增大，当转速为300 r/min时，成型圆筒的最大径向位移为3.1 mm，当转速为500 r/min时，成型圆筒的最大径向位移可达8.54 mm，此时成型圆筒振动较大；这是由于在高转速下，压轮对成型圆筒的径向约束有限，成型圆筒发生偏心而导致圆筒振动较大，导致掉落到成型网上的纤维分布不均匀，无尘纸成型效果差。工程实际中，成型圆筒的最大径向位移一般不超过5 mm；因此，本课题研究的干法造纸成型圆

筒转速可提高至350 r/min, 此时成型圆筒的最大等效应力为1.57 MPa, 最大径向位移为4.23 mm。

### 3.3.3 不同长度的成型圆筒动力学分析

固定成型圆筒转速为300 r/min, 其余结构参数一定, 探讨成型圆筒长度对其最大等效应力和最大径向位移的影响, 结果如图13所示。由图13可知, 随着圆筒长度的增加, 成型圆筒的最大等效应力和最大径向位移相应增大; 当长度为3000 mm时, 成型圆筒的最大应力和最大径向位移分别为1.15 MPa和3.57 mm; 当长度为3800 mm时, 成型圆筒的最大应力为1.25 MPa, 最大径向位移为5.76 mm, 此时成型圆筒振动剧烈, 使纸幅的成型质量降低, 易引发造纸设备故障。因此在实际工程中, 成型圆筒设计长度不应超过3500 mm, 此时的最大径向位移为4.82 mm。

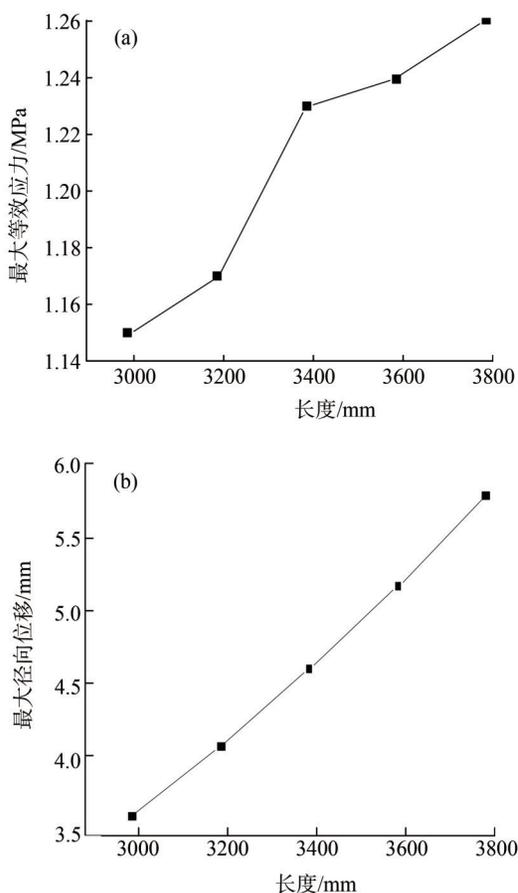


图13 长度对成型圆筒最大等效应力(a)和最大径向位移(b)的影响

## 4 结论

对干法造纸成型布料器中的成型圆筒进行动力学分析, 主要结论如下。

**4.1** 利用ANSYS Workbench软件对成型圆筒进行自由模态分析得到其在自由状态下的固有频率和振型。求解发现, 成型圆筒临界转速远大于其工作转速, 故对成型圆筒进行了约束模态分析, 通过求解得到成型圆筒在约束模态分析的一阶固有频率和临界转速分别为16.123 Hz和967.38 r/min, 激励转速为725.54 r/min, 成型圆筒的工作转速小于其激励转速, 故成型圆筒在工作转速内不会发生共振。

**4.2** 成型圆筒在工作转速300 r/min下, 闷头两端的等效应力较小, 闷头和圆筒的接触位置应力最大, 表明成型圆筒在运动过程中出现损坏及发生变形的可能性较小; 而成型圆筒的中间位置变形最大, 最大变形为3.14 mm, 这是由重力和离心力等载荷作用于成型圆筒导致的。

**4.3** 随着圆筒转速的增加, 成型圆筒的最大等效应力和最大径向位移相应增大, 综合考虑后可将成型圆筒转速提高至350 r/min, 此时成型圆筒最大等效应力为1.57 MPa, 最大径向位移为4.23 mm。

**4.4** 随着圆筒长度的增加, 成型圆筒的最大等效应力和最大径向位移相应增大; 综合动力学分析结果, 在实际工程中, 成型圆筒的设计长度不应超过3500 mm, 此时, 其最大径向位移为4.82 mm。

## 参考文献

- [1] Wang Haigang, Wang Yongqiang, Zhou Yixuan. Understanding and Thinking of the Development of Paper Industry under the New Normal [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2015, 30(3): 57.  
王海刚, 王永强, 周一瑄. 新常态下对造纸工业发展的认识和思考[J]. 中国造纸学报, 2015, 30(3): 57.
- [2] Lyu Zeyu, Jiang Bin, Sun Hui, et al. Current Status of Carbon Emissions in China's Paper Industry and Ways to Reduce Emissions [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2017, 32(3): 64.  
吕泽瑜, 蒋彬, 孙慧, 等. 我国造纸行业碳排放现状及减排途径[J]. 中国造纸学报, 2017, 32(3): 64.
- [3] China Paper Association. China Paper Association's opinion on the development of the paper industry during the "13th Five-Year Plan" [J]. China Pulp & Paper, 2017, 36(7): 64.  
中国造纸协会. 中国造纸协会关于造纸工业“十三五”发展的意见[J]. 中国造纸, 2017, 36(7): 64.
- [4] Cao Linrui. Factors Affecting Dry Papermaking Air Forming Technology [J]. Paper and Paper Making, 2001, 1(2): 18.  
曹琳瑞. 影响干法造纸空气成型技术的因素[J]. 纸和造纸, 2001, 1(2): 18.
- [5] Yan Heping. Dry-formed Paper Technology and its Application [J]. Nonwovens, 2000, 8(3): 18.  
严和平. 干法造纸技术及其产品应用[J]. 非织造布, 2000, 8(3): 18.

- [6] Tang Renwang. The origin and current status of dry papermaking [J]. *China Pulp & Paper*, 2001, 20(4): 57.  
汤人望. 干法造纸的由来与现状[J]. *中国造纸*, 2001, 20(4): 57.
- [7] McDonald J D, Kerekes R J, Zhao R H. Wet Pressing Models to Reduce Energy Consumption in Papermaking [J]. *Paper and Biomaterials*, 2019, 4(1): 1.
- [8] Guo Bingchen. Overview of Pulp Airflow Networking Technology [J]. *China Textile Leader*, 2006(5): 36.  
郭秉臣. 浆粕气流成网技术综述[J]. *纺织导报*, 2006(5): 36.
- [9] Wan Tuzhe. Influencing Factors of Air-laid Paper Production [J]. *East China Pulp & Paper Industry*, 2002, 33(1): 18.  
万土哲. 干法造纸生产的影响因素[J]. *华东纸业*, 2002, 33(1): 18.
- [10] Li Shengli, Huang Jianling. Introduction of Domestic Dry Paper Machine [J]. *Paper and Paper Making*, 2000(2): 30.  
李胜利, 黄建玲. 国产干法造纸机简介[J]. *纸和造纸*, 2000(2): 30.
- [11] Zhang Xue. The Impact of Cellulose Fibre Surface Modification on Some Physico-chemical Properties of the Ensuing Papers [J]. *World Pulp and Paper*, 2013, 32(5): 75.  
张雪. 纤维表面改性对纸张性能的影响[J]. *国际造纸*, 2013, 32(5): 73.
- [12] Liu Renqing. A Longitudinal Discussion on Dryformed Paper [J]. *Paper and Paper Making*, 2005(5): 89.  
刘仁庆. 干法造纸纵横谈[J]. *纸和造纸*, 2005(5): 89.
- [13] Tang Qiang, Zhou Liqun, Song Wentao, et al. Finite element simulation of single abrasive particles on milling burr collision [J]. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2019, 38(10): 1555.  
汤强, 周里群, 宋文韬, 等. 单颗磨粒对铣削毛刺碰撞作用的有限元仿真研究[J]. *机械科学与技术*, 2019, 38(10): 1555.
- [14] Cao Huajun, Shu Linsen, Xu Lei, et al. A hexahedral finite element mesh generation method for complex mechanical parts [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2014, 50(15): 113.  
曹华军, 舒林森, 许磊, 等. 复杂机械零件的六面体有限元网格生成方法[J]. *机械工程学报*, 2014, 50(15): 113.
- [15] Liu Jianya, Li Shunming, Zhang Yuanyuan. Analysis of Lateral Swing of a Truck's Cab [J]. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2011, 30(4): 578.  
刘建娅, 李舜酪, 张袁元. 某型卡车驾驶室横向摆动的分析研究[J]. *机械科学与技术*, 2011, 30(4): 578.
- [16] Gao Zhifu, Zhang Feng, Jiao Wei. Finite Element Analysis of Influence of Different Structural Parameters and Working Conditions on Dynamic Characteristics of Roller [J]. *China Pulp & Paper*, 2015, 34(5): 50.  
高致富, 张锋, 焦伟. 基于不同结构参数及工况对辊筒动力学特性影响的有限元分析[J]. *中国造纸*, 2015, 34(5): 50.
- [17] Shen Rongsheng, Wang Shengchun, Wang Jiyong. Vibration Modal Analysis of Tower Crane Based on Ansys [J]. *Hoisting and Transport Machinery*, 2011(9): 68.  
沈荣胜, 王胜春, 王积永. 基于 Ansys 的塔式起重机振动模态分析[J]. *起重运输机械*, 2011(9): 68.

### Analysis on Dynamic Characteristics of Air-laid Paper Cylinder

YUAN Qilong<sup>1,\*</sup> LI Chunxia<sup>1</sup> HE Wanlong<sup>1</sup> LI Yan<sup>1</sup> YAN Heping<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi Province, 710048; 2. Shaanxi Technology Mechanical and Electrical Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi Province, 710018)

(\*E-mail: yuanql@xaut.edu.cn)

**Abstract:** In order to improve the operation efficiency and paper quality of the air-laid paper production line, the dynamic characteristics of the air-laid paper forming cylinder were analyzed by ANSYS workbench software according to the airflow forming principle of the forming distributor. The natural frequency and vibration mode of the forming cylinder in free state and constrained condition were studied, and effects of rotating speed and length of the cylinder on the maximum stress and radial displacement of the forming cylinder were discussed. The results showed that the first-order critical rotational speed and excitation speed in the constrained modal analysis were 967.38 and 725.54 r/min, respectively, and the working speed was less than the excitation speed, indicating the forming cylinder does not generate resonance in the high-speed motion. When the working speed was at 300 r/min, the stress at the joint between the cylinder and the bulkhead was large, and stressed at the ends of the bulkhead was small, the deformation of the middle position of the cylinder was the largest, and the maximum deformation was 3.14 mm, and the equivalent stress and the maximum radial displacement of the forming cylinder increase as the cylinder speed and length increased.

**Keywords:** air-laid paper; forming cylinder; dynamics analysis; vibration

(责任编辑:杨 艳)