

基于 RecurDyn 的四辊无芯复卷技术仿真

龚修端¹, 彭彪², 王勇飞³

(1. 东莞职业技术学院, 东莞 523000; 2. 西安航天华阳机电装备有限公司, 西安 710021;
3. 西安交通大学, 西安 710049)

摘要: **目的** 研究四辊无芯复卷技术应用的可行性及适用性。**方法** 首先基于纸张张力原理推导四轴无芯机构复卷的条件, 然后使用 RecurDyn 软件进行仿真试验, 最后设计生产设备并进行调试验证。**结果** 在 RecurDyn 软件的仿真分析中, 0.1~0.25 mm 厚度的纸张可以完成复卷, 厚度 0.05 mm 和 0.3 mm 的纸张在改变张力后, 可以完成复卷。在设备试机过程中, 对不同定量纸张的样品进行了复卷试验, 初始设计设备对于 80~180 g/m² 的纸张均成功复卷, 250 g/m² 的样品在设备改变齿比后成功复卷, 不改变齿比时, 60 g/m² 的样品复卷失败。**结论** 四轴无芯起卷技术可以应用在复卷机上完成无芯复卷作业, 但也有一定的局限性。

关键词: 复卷机; 无芯复卷技术; 张力控制; 卷绕; RecurDyn

中图分类号: TH132 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)15-0165-04

RecurDyn-based Simulation of Rewinding Technology by Four Coreless Rollers

GONG Xiu-duan¹, PENG Biao², WANG Yong-fei³

(1. Dongguan Polytechnic, Dongguan 523000, China; 2. Xi'an Aerospace-Huayang Mechanical & Electrical Equipment Co., Ltd., Xi'an 710021, China; 3. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

ABSTRACT: The paper studies the feasibility and applicability of the technology of rewinding by four coreless rollers. Firstly, conditions for rewinding by four coreless rollers were derived based on the theory of the paper tension principle. Then simulation experiments were done by RecurDyn software. Finally production equipment was designed and then debugged and verified. In the simulation analysis by RecurDyn, 0.1~0.25 mm thick sheet could be rolled up; 0.05 mm and 0.3 mm thick sheets could also be rolled up after tension was changed. During the debugging of equipment, samples with different specifications were rewound. The initially designed equipment enabled 80~180 g/m² sheet to be rolled up, 250 g/m² sheet rolled up after teeth rate was changed, and 60 g/m² sheet failed. In conclusion, the technology of rewinding by four coreless rollers can be used in a rewinder but also has some limitations.

KEY WORDS: rewinder; technology of rewinding by coreless rollers; tension control; winding; RecurDyn

卷筒纸等在完成印刷、涂布、发泡、压花、分切等一系列的工序后, 需要进行复卷操作, 为后续的工段做准备。复卷根据卷大小可以粗略的分为收大卷和收小卷, 收大卷通常使用气胀轴或者夹紧纸芯式收卷; 文中讨论的是复小卷机构, 小卷方便直接销售。在该领域, 应用最多的是抽芯式复卷, 其将料膜绕在芯轴上进行复卷, 在达到设定的料膜米

数后, 裁断料膜, 抽出芯轴完成复卷, 复卷速度仅为每分钟 7~9 卷, 效率相对较低, 而且完成抽芯动作后, 复好的卷的中心存在芯轴直径大小的中空; 另外一种便是无芯收卷^[1-2]。

武吉梅等在《印刷机张力控制系统的建模与仿真》中通过推导纸张的数学模型, 得出纸张在通过有速度差的辊组时, 纸带的张力会有一个增量^[3]。

收稿日期: 2015-11-17

作者简介: 龚修端 (1976—), 男, 贵州贞丰人, 硕士, 东莞职业技术学院讲师, 主要研究方向为印刷图像处理与印刷适性。

李杰超在《复卷机的纸幅张力计算》通过迭代计算和实验验证,认为随着时间的推移,纸带在通过有速度差的两辊组时,张力会趋于一个恒定值^[4]。上海交通大学的刘利教授等人通过对张力原理的研究提出的无芯复卷机构在牵引辊后增加弧形导板,纸张以一定的速度通过弧形导板时,自动复卷,直至到达预设的料膜米数后,完成复卷^[5]。文中提出的无芯复卷机构与之不同,纸带通过牵引辊后,会进入 4 个导辊组成的辊组间,通过四辊的相对运动促使纸带起卷,并完成复卷。

文中基于 RecurDyn V8 软件完成仿真研究,它是 FuctionBay 公司推出的一款多体动力学仿真软件,采用了相对坐标系运动理论和完全递归算法,计算快速稳定,非常适合求解大规模及复杂接触等多体动力学问题。它的 MTT2D(2D 媒体传输)工具包可以用来高效的解决比较复杂的柔性体在机械系统中运动的问题。MTT2D 的主要建模工具 Sheet(片单元)、Fixed(固定辊)、Movable(浮动辊)、Pair(辊对)都是复卷机械设备中的常见机构,该工具提供了 Sheet 和 Roller(辊)的详细参数设置以及两者间的接触参数设置,使用 MTT2D 可以高效的对简化后的运动机构模型进行仿真模拟,它自带的 Plot(绘图)模块可以查看每个 Roller 和 Sheet 节点在每个时间点的位移、速度和加速度,可以非常方便进行数据的数据后处理^[6-11]。

1 纸幅张力理论

纸张通过辊组的典型过程见图 1,其中辊组 1 以速度 v_1 相对转动,辊组 2 以速度 v_2 相对转动,纸张在两辊组形成的牵引力的作用下往前运动。

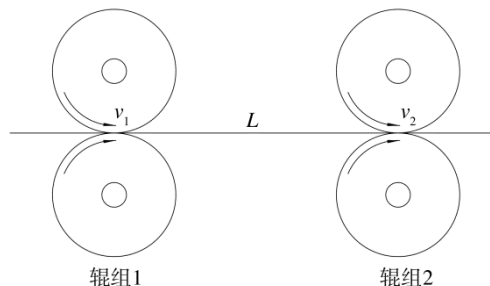


图 1 张力产生原理
Fig.1 Tension principle

纸张的张力由速度差产生,在纸张通过辊组 1 和辊组 2 时,如果辊组 2 速度 v_2 大于辊组速度 v_1 ,那么对于纸张会被拉长,并产生张力^[3]:

$$T = \frac{EA}{L} \int_0^t (v_2 - v_1) dt \quad (1)$$

式(1)中: T 为纸张承受的张力; A 为纸张截面积; E 为纸张弹性模量; L 为两辊组传动点间的距离, t 为纸张运行的时间。

已知线弹性材料伸长后承受拉力的计算公式为:

$$F = \frac{EA}{L} \cdot \Delta L \quad (2)$$

式(2)中: F 为材料承受的拉力; A 为材料截面积; L 为材料原长度; E 为材料弹性模量; ΔL 为伸长长度。

推导可得纸幅的张力公式为^[4]:

$$T = EA \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1} (t \rightarrow \infty) \quad (3)$$

2 四辊无芯复卷结构设计

图 2 中纸张通过牵引辊组 A 和牵引辊组 B 后进入复卷辊,在收卷前使用牵引辊的作用在于保证送料和张力的稳定。复卷的关键在于复卷辊 1、复卷辊 2、复卷辊 3 和复卷辊 4 之间的速度值的匹配,在保证 $v_4 > v_3 > v_2 > v_1$ 的情况下,纸张可以在一定张力作用下,完成复卷动作。下面通过 RecurDyn V8 设置不同辊子、纸张的参数来研究其对无芯复卷成功与否的影响机制^[12-15]。

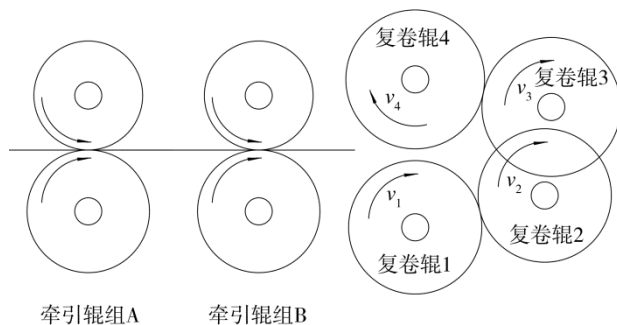


图 2 四辊无芯复卷简化图

Fig.2 Simplified diagram of rewinding by four coreless rollers

3 四辊无芯复卷仿真试验

使用 RecurDyn V8 进行仿真试验的步骤与常规分析软件相似,主要包括以下 4 个步骤:建立模型、设定边界条件、计算、后处理。以图 2 中四轴无芯复卷机构为基础,通过软件中的 Sheet(片单元)、Fixed(固定辊)、Movable(浮动辊)、Pair(辊对)等工具,建立模型见图 3。

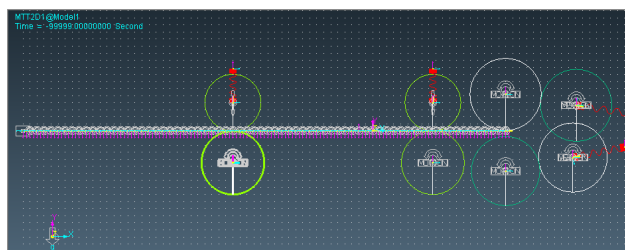
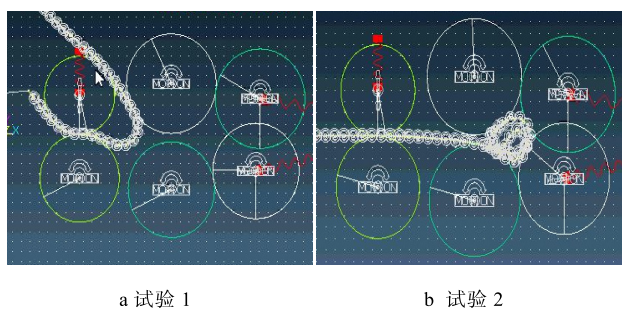


图 3 四辊无芯复卷建模

Fig.3 Model diagram of rewinding by four coreless rollers

参数设置: 纸张密度为 800 kg/m^3 , 弹性模量为 4238 MPa , 阻尼比为 32, 纸张弯曲半径为 0.01 mm ; 纸张与滚轮之间接触刚度为 1.2 N/mm , 最大阻尼为 $1.2 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s/mm}$, 压痕系数为 2, 摩擦因数为 1.2。网格化中, 将纸张分成 70 个单元, 每个单元 $10 \text{ mm}^{[16]}$ 。试验分为 2 组, 试验 1 中, 牵引辊组 A 的速度为 20 m/s , 牵引辊组 B 的速度为 21 m/s , 复卷辊 1—4 的速度均为 21 m/s ; 试验 2 中, 牵引辊组 A 和牵引辊组 B 的速度与试验 1 相同, 复卷辊 1—4 的速度分别为 $21, 21.3, 21.6, 22 \text{ m/s}$ 。分别查看 2 种条件下该机构的复卷结果, 结果见图 4。



a 试验 1

b 试验 2

图 4 试验 1 和试验 2 成卷结果对比

Fig.4 Rewinding results of the first test and the second test

由图 4 可知, 试验 1 复卷失败, 试验 2 复卷成功, 四辊间的速差确实是无芯复卷的关键之一。下面通过选择不同厚度的纸张进行对比, 试验 3 至试验 8 中纸张厚度分别为 $0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 \text{ mm}$, 其他条件与试验 2 相同。完成仿真试验, 得到除了试验 3 和试验 8 复卷未成功外, 其他试验均复卷成功。

试验 2 中, 料膜厚度在 $0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$ 之间的材料成功复卷, 其他厚度的材料复卷失败, 可以看出同样的材料, 在同样工况下, 厚度是复卷成功与否的重要条件。

影响纸张复卷成功的因素有纸张的特性, 也有纸张的张力。通过改变 4 个复卷辊的速度来改变纸张通过各复卷辊时的张力, 以分别试验 0.05 mm 和

0.3 mm 厚度的纸张能否成功复卷。试验 9 中牵引辊组 A 和牵引辊组 B 的速度与试验 1 的相同, 复卷辊 1—4 的速度分别为 $21, 21.1, 21.2, 21.3 \text{ m/s}$, 材料厚度为 0.05 mm ; 试验 10 中辊组速度与试验 9 相同, 材料厚度为 0.3 mm ; 试验 11 中牵引辊组 A 和牵引辊组 B 的速度与试验 1 的相同, 复卷辊 1—4 的速度分别为 $21, 21.5, 22, 22.5 \text{ m/s}$, 材料厚度为 0.05 mm ; 试验 12 中辊组速度与试验 11 相同, 材料厚度为 0.3 mm 。

分别完成上述 4 组仿真试验后, 得到试验 9 和试验 12 复卷成功, 另外 2 组试验复卷失败。由此可以看到, 相对较软的纸张需要降低速差和张力来完成复卷, 相对较硬的纸张需要提高速差和张力来完成复卷。

4 四辊无芯复卷机调试验证

基于上述四辊无芯复卷技术的仿真试验结果, 设计生产了四辊无芯复卷试验机, 试验机装配完成后的照片见图 5, 途中左边是试验机牵引部, 右边为四辊无芯复卷部。

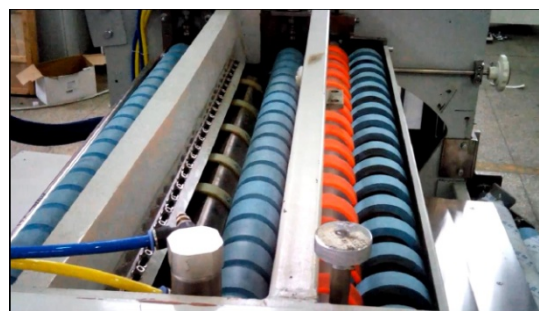


图 5 设备调试

Fig.5 Equipment debugging

设备调试时, 设备参数与试验 2 参数一致, 从相关厂家找来了一些常规纸卷样品, 然后对不同定量的样品进行了复卷试验, 验证试验结果与试验 2 中的仿真试验结果是否相符, 同时可以检验设计的理论基础是否正确。四辊无芯复卷试验机调试结果见表 1。

由表 1 可知, 机器调试结果与仿真分析结果相符, 样品定量在 80 g/m^2 到 180 g/m^2 时, 可正常完成复卷。根据试验 9—12 的仿真试验结果, 对试验机复卷辊的传动齿轮进行了更换, 达到了试验 10 和试验 12 的试验环境, 250 g/m^2 的样品也成功复卷, 因市场上对 60 g/m^2 的纸张无芯复小卷的需求较小, 并未完成试验 9 和试验 11 环境下的复卷试验。

表 1 机器调试结果
Tab.1 Results of equipment debugging

	材料定量/(g·m ⁻²)	材料厚度/mm	是否复卷成功
测试 1	60	0.05	否
测试 2	80	0.1	是
测试 3	120	0.15	是
测试 4	150	0.2	是
测试 5	180	0.25	是
测试 6	250	0.3	否

5 结语

文中从纸张的张力模型出发,建立了四轴无芯复卷技术的设计模型,并使用 Recurdyn 多体动力学软件对设计模型进行了仿真试验,为设备的设计提供了丰富的理论基础,高效地完成了试验机的设计任务,并在后续的设备调试中,验证了仿真试验结果的正确性。

参考文献:

- [1] 陈中明. 复卷机无芯轴卷曲机构的设计及其卷曲策略[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
CHEN Zhong-ming. Research and Implementation of Automatic Coreless Rewinding Machine[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2011.
- [2] 吕剑, 许秦蓉. 基于试验模态方法的递纸机构优化设计[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 90—94.
LYU Jian, XU Qin-rong. Design Optimization of Paper-feeding Mechanism Based on Experimental Modal Analysis[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 90—94.
- [3] 武吉梅, 王伟鹏, 王月英. 印刷机张力控制系统的建模与仿真[J]. 包装工程, 2007, 28(6): 66—68.
WU Ji-mei, WANG Wei-peng, WANG Yue-ying. Modeling and Simulating of the Tension Control System of Printing Press[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6): 66—68.
- [4] 李杰超. 复卷机的纸幅张力计算[J]. 中国造纸学报, 2015, 30(1): 50—55.
LI Jie-chao. Web Tension Calculation of Rewinder[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2015, 30(1): 50—55.
- [5] 甘志德, 莫志翔, 刘利. 基于 Recurdyn 的纸张无芯起卷影响因素研究[J]. 机械与电子, 2013(3): 32—35.
GAN Zhi-de, MO Zhi-xiang, LIU Li. Study on the Factors Affecting the Beginning of Coreless Rewinding Based on Recurdyn[J]. Machinery & Electronics, 2013(3): 32—35.
- [6] 王冰, 杨继全. 纸张无约束动态变形在 Recurdyn 中的仿真研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2015, 29(6): 27—31.
WANG Bing, YANG Ji-quan. Simulation Study of Un-
- constrained Motion Problem for Paper in Recurdyn [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2015, 29(6): 27—31.
- [7] 黄铁球, 果琳丽, 曾海波. 基于 Recurdyn 的动力学与控制一体化仿真模式研究[J]. 航天控制, 2010, 28(3): 60—64.
HUANG Tie-qiu, GUO Lin-li, ZENG Hai-bo. Integrated Simulation Modes Study of Dynamics and Control Based on Recurdyn[J]. Aerospace Control, 2010, 28(3): 60—64.
- [8] 陈安成, 穆希辉, 杜峰坡, 等. 基于 Recurdyn 的小型履带车的建模与仿真[J]. 机械设计, 2013, 10(30): 36—39.
CHEN An-cheng, MU Xi-hui, DU Feng-po, et al. Modeling and Simulation of Small Tracked Vehicle Base on Recurdyn[J]. Journal of Machine Design, 2013, 10(30): 36—39.
- [9] 孙立秋. 卷筒纸印刷机张力控制研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 90—92.
SUN Li-qiu. Research of Web Press Tension Control[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 90—92.
- [10] CAI C L. Modeling and Simulation of the Tracked Pipe Duct Cleaning Robot Based on the Pro/Engineer and Recurdyn[J]. International Journal of Plant Engineering and Management, 2014, 19(3): 180—185.
- [11] HUANG Wen-qian, XU Fei-jun, GE Ji-shuai, et al. Simulated Analysis of a Wheeled Tractor on Soft Soil based on Recurdyn[C]// Computer and Computing Technologies in Agriculture V——Proceedings of 5th IFIP TC 5/SIG 5.1 Conference(CCTA 2011) Part III, 2011, 11.
- [12] 李钢, 孙宇. 摩擦收卷中柔幅材料力学建模及张力控制策略研究[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 90—92.
LI Gang, SUN Yu. Study of Mechanical Model and Tension Control Strategy of Soft and Wide Sheet in New Surface Winder[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 90—92.
- [13] 吴德会, 谭针祥, 杨华群. 玻璃布包装中锥度收卷的内张力分布及其参数确定[J]. 包装工程, 2005, 26(6): 8—11.
WU De-hui, TAN Zhen-xiang, YANG Hua-qun. Taper Rolling-up and Parameter Determination in Glass Fabric Packaging[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6): 8—11.
- [14] 李迪. 卷绕系统中的张力控制研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2007.
LI Di. Research on Tension Control for Winding System [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2007.
- [15] 孟彦京, 赵丹, 朱纳. 再复卷机纸幅张力控制分析与应用[J]. 纸和造纸, 2014, 33(12): 7—9.
MENG Yan-jing, ZHAO Dan, ZHU Na. Analysis and Application of Tension Control of the Paper in Re- Rewinder [J]. Paper and Paper Making, 2014, 33(12): 7—9.
- [16] 孙文霞. 胶辊材料对分纸效果影响的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
SUN Wen-xia. Study on The Influence of Rubber Roller's Material on Paper Sorting Result[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.