

基于 MATLAB 的卷筒纸印刷机张力控制系统的建模与仿真

杨 梅, 续明进

(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: 为了精确研究滚筒印刷的张力特性及控制策略, 建立了一个较精确的开卷张力动力学模型, 利用 MATLAB 强大的建模、仿真功能, 开发了一个开卷张力仿真模型, 采用 PID 对其进行控制, 由此构建了完整的卷筒纸印刷机开卷张力控制仿真系统。对多个张力扰动因素进行了研究与仿真, 并给出了不同扰动占主导时的张力控制系统仿真结果。

关键词: 张力控制; MATLAB; 建模与仿真

中图分类号: TB486⁺.03; TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)07-0022-04

Modeling and Simulation of Tension Control System in Web Press Based on MATLAB

YANG Mei, XU Ming-jin

(Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

Abstract: In order to characterize tension and establish control strategy, a precise dynamical model of unwinding was established. The model was developed by using MATLAB. A complete unwinding tension simulation model of web press was developed using PID as control algorithm. Multi perturbation factors of unwinding tension were simulated and studied. Simulated results were given according to different major perturbation factor of unwinding tension.

Key words: tension control; MATLAB; modeling and simulation

在印刷包装行业中,张力控制是极其重要的一个环节,尤其是对广泛应用的卷筒纸印刷机来说,张力控制效果的好坏,不仅直接影响印刷品的质量,还会影响印刷机运转效率。而卷筒纸印刷机的纸张张力受多种因素影响,如纸卷直径的变化、料卷不圆、纸卷抖动、印刷速度变化等,张力系统具有动力学模型变化大、强耦合性、多干扰等特点^[1]。为了提高印刷品质量,需设计一个涵盖多种扰动因素的较完善的张力控制系统,而最便捷、经济的方法是首先建立卷筒纸印刷机的张力控制系统模型,在此基础上设计张力控制器,优化张力控制器的算法,以便综合考虑张力的各项影响因素,为今后在印刷机上构造智能张力控制系统奠定基础。基于此,笔者以课题组研发的多色卷筒纸印刷机为研究对象,建立纸张开卷张力控制数学模型,构造基于 MATLAB 的仿真模型,并对其进行

仿真与分析。

1 卷筒纸印刷机基本结构

多机组卷筒纸印刷机由开卷、四色印刷单元、收卷等部分组成,见图 1^[2]。

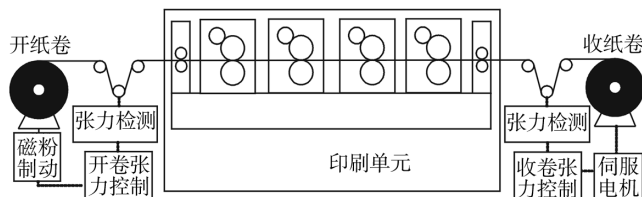


图 1 卷筒印刷机结构

Fig. 1 Structure of web press

收稿日期: 2011-01-10

基金项目: 北京市教委资助项目(KM200910015012)

作者简介: 杨梅(1977—),女,四川人,硕士,北京印刷学院讲师,主要从事计算机控制、印刷机控制系统的教学与研究。

以该卷筒纸印刷机的开卷张力控制系统为主要研究对象。开卷张力控制系统采用张力传感器采集纸带张力信息,根据张力控制器的输出作用于磁粉制动器,以实现开卷的制动,从而控制张力恒定,控制原理见图 2。

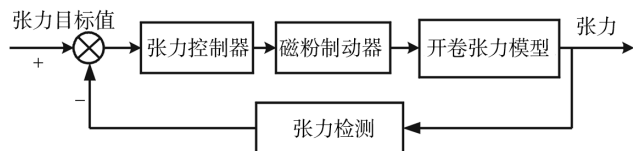


图 2 开卷张力控制原理

Fig. 2 Principle of tension control system of unwinding

2 开卷张力数学模型

开卷张力的动力学模型见图 3。

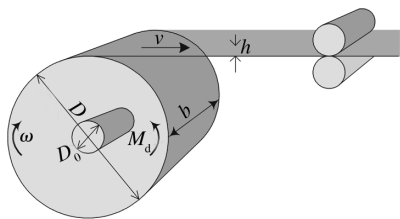


图 3 开卷张力动力学模型原理

Fig. 3 Principle of unwinding dynamical model

图 3 中, M_d 为作用在开卷辊上的等效制动力矩; D 为放卷卷径; D_0 为卷辊直径; ω 为开卷辊的角速度; v 为纸张线速度; b 为纸卷宽度; h 为纸卷厚度。

由图 3 可得出纸张开卷的动态力矩平衡方程^[3-9]:

$$\frac{d(J\omega)}{dt} = TD/2 - M_d - B_f(t)\omega \quad (1)$$

式中: T 为纸卷张力; J 为开卷辊的转动惯量; J_k 为开卷辊上纸卷的转动惯量; J_0 为开卷辊芯轴的转动惯量; $B_f(t)$ 为阻尼系数; m 为纸卷质量; D_1 为纸卷初始直径; ρ 为纸卷密度。

推导出张力:

$$T = 2 \left[\frac{d(J\omega)}{dt} + M_d + B_f(t)\omega \right] / D \quad (2)$$

$$J = J_k + J_0 \quad (3)$$

$$J_k = \frac{1}{2} M \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D_0^2}{4} \right) \quad (4)$$

$$m = \rho b \pi \left(\frac{D^2}{4} - \frac{D_0^2}{4} \right) \quad (5)$$

将式(5)代入式(4),得:

$$J_k = \frac{1}{32} \rho b \pi (D^4 - D_0^4) \quad (6)$$

$$\frac{dJ}{dt} = \frac{dJ_k}{dt} = \frac{\rho b \pi D^3}{8} \frac{dD}{dt} \quad (7)$$

单位时间内开卷减少的纸卷截面积等于纸张展开的面积:

$$dS = d\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 = -h dL = -h v dt \quad (8)$$

$$\text{整理得: } \frac{dD}{dt} = -\frac{2h v}{\pi D} \quad (9)$$

$$\text{求解得卷径: } D = \sqrt{D_1^2 - \frac{4h}{\pi} \int v dt} \quad (10)$$

$$\text{角速度: } \omega = \frac{2v}{D} \quad (11)$$

由式(9)和式(11),得:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{2 \left(\frac{dv}{dt} D - \frac{dD}{dt} v \right)}{D^2} = \frac{2}{D} \frac{dv}{dt} - \frac{4h}{\pi D^3} v^2 \quad (12)$$

最后将式(3),(6),(7),(9),(11)和(12)代入式(2),得到张力的表达式:

$$T = \frac{2M_d}{D} + \frac{4B_f}{D^2} v + \left[-\frac{8hJ_0}{D^4 \pi} + \frac{\rho b h \pi}{4} \left(\frac{D_0}{D} \right)^4 - \frac{5}{4} \rho b h \right] v^2 + \left(\frac{4J_0}{D^2} + \frac{\rho b D^2 \pi}{8} - \frac{\rho b D_0^2 \pi}{8 D^2} \right) \frac{dv}{dt} \quad (13)$$

由公式(13)可以得知,开卷张力 T 受多个因素:放卷线速度 v 、卷径 D 、卷筒纸辊转动惯量 J_0 、纸辊直径 D_0 、纸张密度 ρ 、纸张厚度 h 、摩擦系数 B_f 等的影响,张力是线速度、线速度的平方、线速度的导数、卷径的平方、卷径的四次方的多项式,可见张力是一非线性、时变的控制对象。

3 开卷张力仿真模型

MATLAB 软件拥有强大的科学运算能力及完善的工具箱。Simulink 是 MATLAB 中一个实现动态系统建模、仿真的一个集成环境,为用户提供了开放的环境,利用多个标准模块自行建立新的 Subsystem (子系统),并采用 Mask 对新系统封装、编辑,成为一个独立的功能模块^[10]。本研究的仿真基于 MATLAB R2010b/Simulink 7.6。

3.1 仿真系统

开卷张力仿真控制系统见图 4,主要由开卷张力模型、磁粉制动器模型、张力控制器组成。其中张力

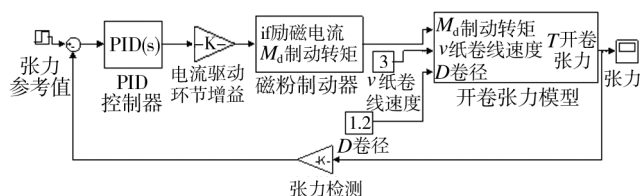


图 4 开卷张力控制系统仿真

Fig. 4 Simulation of unwinding tension control system

控制器采用的是 PID 算法,直接引用 Simulink 中的仿真模型,只需对其中的控制参数进行设置即可。磁粉制动器和开卷张力模型是根据数学模型利用 Simulink 里面模块搭建的子系统。

3.2 开卷张力模型

根据式(13),搭建开卷张力仿真模型,见图 5。

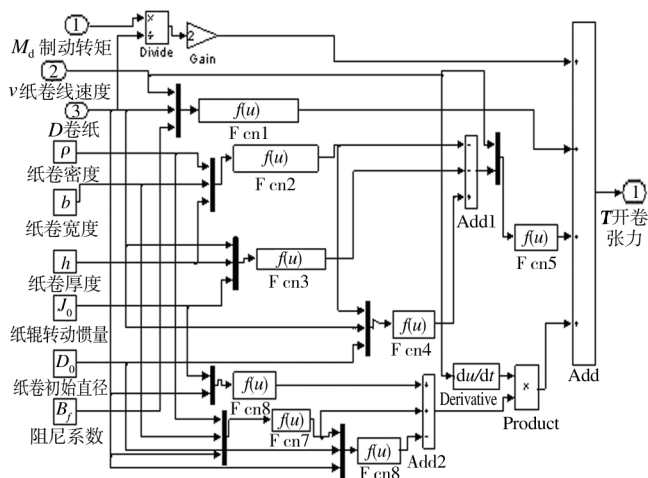


图 5 开卷张力仿真模型

Fig. 5 Simulation model of unwinding tension control

仿真系统的参数设置见图 6。这些参数的设置便于将影响张力的因素考虑进来,利于各种变量值的更改。

3.3 磁粉制动器模型

磁粉制动的数学模型参照文献[7]建立,仿真系统见图 7,磁粉制动器参数:磁粉制动器增益 $K_m = 1$, 惯性时间常数 $T_m = 1.2 \text{ s}$, 滞后时间 $\tau = 0.5 \text{ s}$ 。

3.4 仿真与分析

采用四/五阶龙格-库塔法,对图 4 进行仿真实验,调节 PID 参数,当 $k_p = 1.5, k_i = 0.7, k_d = 0.005$, 得到较稳定的张力曲线,见图 8。此系统输入是张力的阶跃信号给定。假定影响张力的两大主要因素卷径、线速度为恒定值,忽略它们对系统的影响。印刷

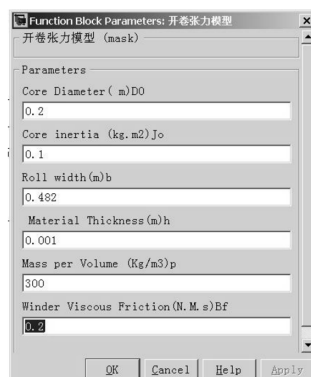


图 6 开卷张力子模型参数界面

Fig. 6 Parameters menu of unwinding tension control model

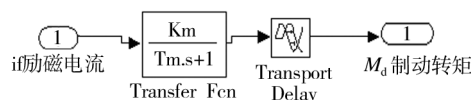


图 7 磁粉制动器仿真模型

Fig. 7 Simulation model of magnetic powder brake

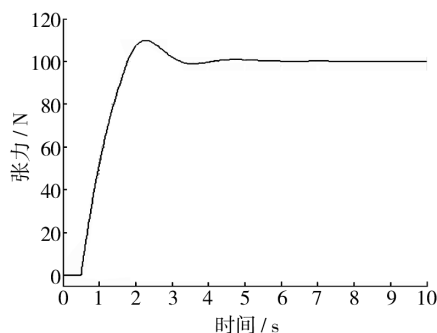


图 8 张力仿真曲线

Fig. 8 Simulation curve of tension

机在平稳运行中可以认为线速度为恒定值,而卷筒绕完一周需要一定的时间,可以在一段时间内将卷径看为定值^[1]。

为了研究线速度对张力的影响,假设卷径和仿真系统其他参数不变,得到仿真图见图 9,分别是张力、线速度和卷径的曲线,由图可知线速度变化对张力的影响较大,张力的波动远大于线速度稳定的情况,超调量、稳定时间都大于图 8。

为了研究卷径对张力的影响,假设线速度和仿真系统其他参数不变,得到的仿真图见图 10。其中卷径的变化趋势是根据式(10)而得到的,由图可知开卷时卷径的变化趋势。卷径变化对张力调节也有不可

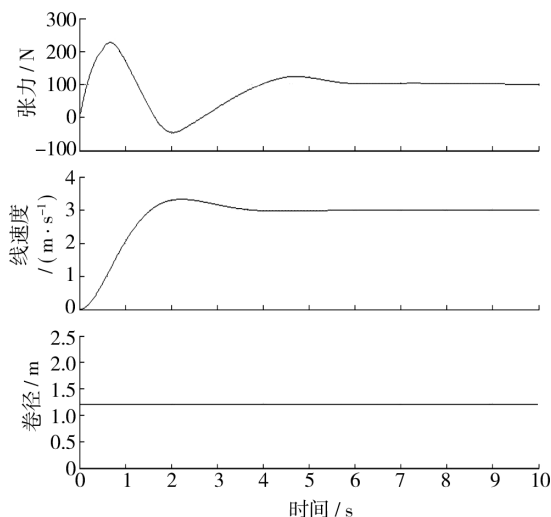


图 9 卷径不变、线速度变化时张力仿真曲线
Fig. 9 Simulation curve of tension when diameter is constant and line speed is variable

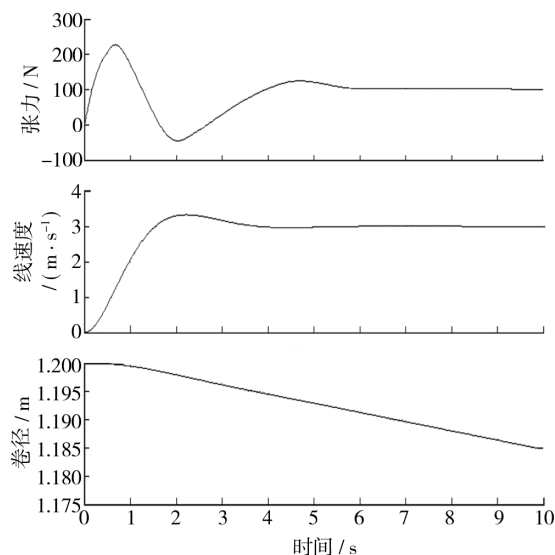


图 11 线速度变化、卷径变化时张力仿真曲线
Fig. 11 Simulation curve of tension when both diameter and line speed are constants

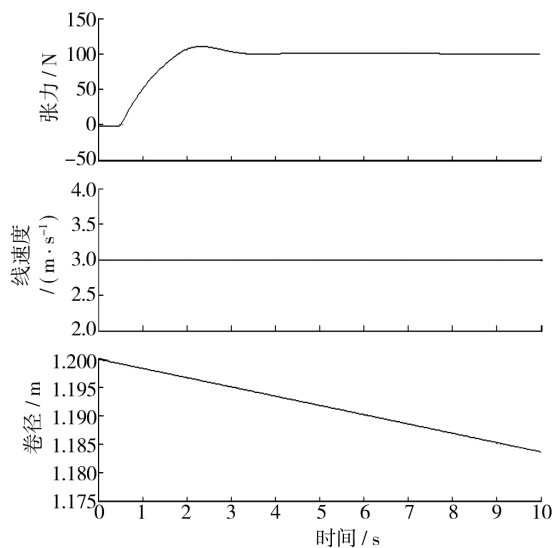


图 10 线速度不变、卷径变化时张力仿真曲线
Fig. 10 Simulation curve of tension when diameter is variable and line speed is constant

忽视的影响,它使张力的调节变缓慢,系统响应出现明显的滞后。

综合卷径变化、纸卷线速度变化对张力调节的影响,见图 11。

二者同时作用时,线速度的变化对张力的影响起主导作用,微小的速度变化就会引起张力较大的波动,张力在线速度稳定后才稳定,二者存在强耦合关系。卷径的变化也是张力调节的一个主要扰动,所以

设计张力控制器时要主要克服这 2 个扰动量。

4 结语

借助 MATLAB 软件构建了开卷张力模型,并针对影响张力的两大主要因素进行了仿真与讨论。该仿真模型的建立综合考虑了多个张力扰动因素,更加接近实际印刷机系统,充分利用了 MATLAB 强大的数据、图像处理功能,为今后将先进的控制理论引入印刷机开卷张力系统,搭建了经济、便捷、更完善的仿真平台。

参考文献:

- [1] 纪铜钊. 凹印机收放卷张力控制系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [2] 常瑞, 郭庆云, 续明进. 无轴传动柔印机的张力控制实现与研究[J]. 制浆业自动化, 2010(6): 73.
- [3] GASSMANN V, KNITTEL D. Modeling of a Winding Machine Using Genetic Programming[C]. Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation, 2000: 398-402.
- [4] BASTOGNE T, NOURA H. Application of Subspace Methods to the Identification of a Winding Process[C]. Proceedings of the 4th European Control Conference, Brussels, 2002.

微分放大系数, $K_D = \frac{K_P T_D}{T_S}$ 。

式(4)即数字 PID 算法的非递推形式,称全量算法。

3 PID 控制实例

利用 PID 控制充填量,按照控制对象不同可以分为:控制气阀的开度;控制传送带转速(即控制充填时间);控制气泵转速。对杭椒与切片莲藕进行充臭氧包装,臭氧充填量采用不同的控制方法,其货架寿命见表 1。

表 1 杭椒与切片莲藕在不同 O₃ 充填量控制下的保质期
Tab. 1 The shelf-life of Hangzhou pepper and sliced lotus root by different O₃ filling quantity control

包装物	包装材料	质量/g	常规充填保质期/d	控制气阀开度保质期/d	控制传输带转速保质期/d	控制气泵转速/d
杭椒	PA/PE	52	22.5	23.5	24	23.5
		51	23	23.5	24	24
		50	24	24	24	24
		49	22	24	24	24
		48	21	24	23.5	23.5
切片莲藕	PA/PE	72	17.5	19	19	19.5
		71	18	19	20	19.5
		70	20	20	20	20
		69	18	21	20	20
		68	16	19	19.5	20

表 1 表明杭椒与切片莲藕的包装材料为 PA/PE^[7-9],进行充气包装时无论采用哪种控制方式,都比常规充填量控制组的寿命期长,其主要原因是常规充填时,杭椒与切片莲藕充填量是分别按照质量 50 g 和 70 g 设定的,没有考虑单件质量差异。而其他调节均考虑了单件质量差异。从而表明采用 PID 控制充填量可以极大提高充填精确度。

(上接第 25 页)

[5] BENLATRECHE A,KNITTEL D,OSTERTAG E. State Feedback Controllers Synthesis Using BMI Optimization for Large Scale Web Handling Systems[C]. 16th IFAC World Congress,Prague, Czech Republic. (余不详)

[6] 侯和平,张海燕,赵庆海,等. 基于无轴试验平台的张力控制系统数学建模与仿真研究[J]. 包装工程,2010,31(8):122—123.

[7] 许建中. 凹版机张力-速度自适应解耦控制的研究[D].

4 结论

- 1) 气体充填量精确度的控制是影响充气包装质量的重要因素之一。
- 2) 利用 PID 控制方法对充填量进行控制,可提高充填精度。
- 3) 采用 PID 控制杭椒和切片莲藕充气包装的臭氧充填量,能有效延长货架寿命期。

参考文献:

[1] HARLANDER S K. Safety Assessments and Public Concern for Genetically Modified Food Products:The American View[J]. Toxicologic Pathology, 2002,30(1):132—134.

[2] 张长峰. 参数估算法在气调包装果蔬呼吸速率测定中的应用[J]. 农业工程学报,2006(2):176—179.

[3] 李兴友. 关于薄膜气调包装数学模型的探讨[J]. 制冷, 2006,25(1):1—4.

[4] 雷桥,徐文达. 新鲜番茄主动气调包装[J]. 上海水产大学学报,2002,11(4):357—361.

[5] NATHALIE Perrot,IRINA Ioannou,GILLES Mauris,et al. Experiences about Operator/technology Cooperation Using a Fuzzy Symbolic Approach to Decision Support System Design in Food Processes[J]. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics,2002,1:94—99.

[6] 王述彦,师宇,冯忠绪. 基于模糊 PID 控制器的控制方法研究[J]. 机械科学与技术,2011,30(1):166—172.

[7] 郝玉龙,徐伟民,杨福馨. 基于臭氧生鲜切片莲藕保鲜包装的试验研究[J]. 包装工程,2008,29(10):55—57.

[8] 郝玉龙,徐伟民. 切片莲藕臭氧保鲜呼吸模型的研究[J]. 农业工程学报,2009,25(10):324—327.

[9] 赵紫明,徐伟民,杨福馨. 基于臭氧及其酶钝化作用的果蔬保鲜包装试验研究[J]. 包装工程,2007,28(10):4—6.

长沙:中南大学,2008.

[8] 汤国强. 壁纸印刷机控制系统的研究与应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.

[9] 肖超. 凹版印刷机张力控制系统[D]. 武汉:武汉理工大学,2010.

[10] 薛定宇,陈阳泉. 基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.