

凹印机PID算法实现

彭燕

(渭南师范学院, 渭南 714000)

摘要: **目的** 论述基于PLC工业控制器的多闭环回路的PID算法实现,改进印刷机上的PID控制过程。**方法** 针对陕西西北人机组式凹版印刷机的张力控制系统,采用PLC编程实现速度和张力调节器的算法;在经典PID和数字PID算法基础上,采用试凑法对PID控制器进行参数整定,并在凹版印刷机上进行验证实验。**结果** 速度环实验表明:在500 r/min的情况下,电机很快达到设定值,当外部扰动出现时,大约经过6 s电机重新进入稳定状态;张力环实验表明:当卷径为92~800 mm时,所整定的PID参数能够满足4个阶段收卷的不同任务要求,正常运行时系统运行速度为100~200 m/min,且系统出现外部干扰时能够很快调节摆辊位置,使其恢复到垂直位置。**结论** 多级PID控制方式和参数整定能满足当前国产凹印机的收卷需求,但当卷径不断变化超出800 mm时,或者印刷速度大于200 m/min时,整定好的PID参数会使系统性能变坏,仍不能满足高效高速凹印机的生产任务要求,需不断改进张力控制方案。

关键词: 凹版印刷机; 张力控制; 速度控制; 数字PID控制; PID参数整定

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)17-0131-03

Implementation of Control Rule PID in Gravure Printing Machine

PENG Yan

(Weinan Normal University, Weinan 714000, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to improve the PID control system of the printer based on the implementation of PID algorithm of the multi-loop circuit of the PLC industrial controller. A multi-loop control system for tension and velocity was introduced by PLC program based on the tension control system of gravure printing machine from Shaanxi Beiren Printing Co. Ltd., then the method of trial and error was adopted to adjust parameters of the PID controller in loops based on traditional PID and digital PID principles and the verification test of the algorithm was conducted on the gravure printer. The velocity loop test showed that the motor reached the set value in a rapid manner at 500 r/min and returned to stable status in about 6 s in external disturbance. The tension ring test showed that the set PID parameters can fulfill different task requirements of winding in 4 stages when the rolling diameter was 92~800 mm. The operation velocity was 100~200 m/min at normal conditions and the roller could be quickly adjusted to vertical position when external disturbance occurred. Multistage PID control and methods of parameter setting can satisfy requirements of domestic gravure machines. However, when the rolling diameter exceeds 800 mm or the linear velocity is greater than 200 m/min, PID controller would deteriorate the system performance, which fails to fulfill the production requirements of the high-efficient and high-speed gravure printer. Therefore, continuous improvement is needed for the tension control scheme.

KEY WORDS: gravure printing machine; tension controlling system; velocity control; digital multi-loop PID control; setting of PID parameter

近年来,由于包装印刷工业的发展,国内对凹版印刷设备的需求猛增,陕西西北人印刷机械有限公司是

收稿日期: 2014-12-22

基金项目: 渭南师范学院学科建设重点项目(14TSXK07)

作者简介: 彭燕(1984—),女,陕西宝鸡人,硕士,渭南师范学院讲师,主要研究方向为电气工程、自动控制。

国内较大的凹版印刷设备生产厂家,生产的系列凹印机每年产值1亿多元。该厂引进日本凹印机制造技术,借鉴欧洲凹印先进技术,开发出宽度为700~1300 mm、印刷速度可达200 m/min的凹版印刷设备。张力控制是凹版印刷设备的核心,该公司采用国际上先进的7电机张力控制系统^[1],其张力检测、反馈使用灵敏度较高的摆辊机构,调整系统采用多级PID调整参数。这里,针对该公司7电机张力控制系统,论述基于PLC工业控制器的多闭环回路的PID算法实现,旨在对印刷机上的PID控制过程进行改进,保证凹印机上张力控制系统的高效可靠运行。

1 基于PLC的数字PID算法

比例(Proportion)-积分(Integral)-微分(differential)控制,简称PID控制,是传统的工业控制算法^[1-2],其系统传递函数 $D(s)$:

$$D(s) = k_p \left(1 + \frac{k_i}{s} + k_d s \right) \quad (1)$$

式中: k_p , k_i 和 k_d 分别为比例、积分和微分系数。

PLC是数字器件,采用差分原理对控制算法进行离散化,整理得PID增量式控制算法^[2]:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = Ae(k) + Be(k-1) + Ce(k-2) \quad (2)$$

式中: $A = k_p(1 + k_i T + \frac{k_d}{T})$, $B = k_p(1 + \frac{2k_d}{T})$,

$C = k_p(\frac{k_d}{T})$, T 为系统恒定的采样周期。

增量型算法的优点是不做累加,误差不累计,计算精度高,且误动作影响小,必要时通过逻辑判断限制或禁止本次输出,不会影响系统的工作,因此在凹印机中选择增量式来实现PLC程序。

2 基于PID的张力控制系统

陕西北人印刷机械有限公司生产的设备大多采用4段张力配置形式,即放卷、放卷牵引、收卷牵引和收卷^[3],各环节的张力控制过程大致相同。这里以收卷张力控制系统为例论述PID控制器,张力控制部分模型见图1。张力控制系统由内环速度环和外环张力环等2个反馈控制环组成,内层采用交流矢量变频调速系统,外层完成张力调节。转速调节器ASR与张力调节器均采用PID调节。

从图1可看出,收卷辊速度主要由电机的给定速

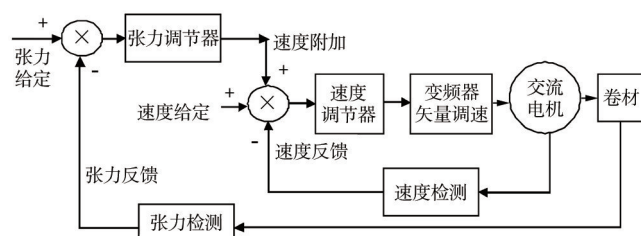


图1 凹印机收卷张力系统

Fig.1 Diagram of winding tension system in gravure printing machine

度决定,实际速度等于给定速度、PID调节附加和张力调节器输出之和;而张力控制以衡张力控制为主要目标,张力给定值受张力闭环反馈调节。张力和速度控制耦合,由于设备运行过程中卷径不断变化,系统具有典型的非线性特点^[3-4]。

3 PID参数整定及验证实验

3.1 PID参数整定

控制器参数的工程整定方法^[5]有试凑法、临界比例法、衰减曲线法和反应曲线法等,整定方法一般不要求知道对象特性,而是直接在闭合的控制回路中对控制器参数进行整定。北人印机的大部分调试工人常采用的是试凑法,即根据控制器的 k_p , k_i 和 k_d 对系统性能的影响程度,边观察运行状况,边修改系统的 k_p , k_i 和 k_d 参数,直到满意为止。其过程可以总结为先比例、再积分、最后微分的步骤进行整定,具体步骤如下所述。

1) 比例系数 k_p 整定。将积分系数 k_i 和微分系数 k_d 取0,采用纯比例控制,将 k_p 从小到大变化,观察系统的响应,直至动态响应速度快且出现超调位置。若满足要求,则不再增加积分和微分控制。

2) 积分系数 k_i 整定。当纯比例控制不能满足控制要求时,加入积分作用,使 k_i 由小逐渐增大,反复试验几次,直至静差减小到满足控制要求为止。

3) 若PI反复调整仍然达不到控制要求,则加入微分作用,使 k_d 由小逐渐增大,反复调试直至系统的动态和稳态性能达到控制要求。

4) 内环(速度环)参数整定。在速度环整定时,假设给定值为定值,抛开外环对内环的影响,设收放料环节的卷径为定值(即不考虑收放料卷径的变化),在这种情况下单独整定速度环,先比例、再积分、再微分。4段张力控制即放料、引入、引出和收料控制,分

别校正4个环节速度环的PID参数。

5) 张力环参数整定。凹版印刷机主要运行阶段包括初始张力建立、加减速、印刷和切换过程。印刷机组张力又被分成4段进行控制。针对每个运行阶段中的每段,假设张力给定为定值、卷径为定值,分别进行PID参数整定,采用先比例、再积分、再微分的试凑法整定。

由于运行过程中卷径的变化,对于耦合、时变的非线性系统,实时调整PID参数显然不太现实,且考虑料膜厚度对1圈和2圈之间卷径的变化影响不是很大,故控制器将卷径从90~800 mm分成为若干区间,当卷径处于某区间时,认为卷径不变,先整定1组PID参数,当卷径变化到下个区间后,再重新整定1组PID参数。

3.2 验证实验及结果

针对张力双闭环控制系统,分别进行验证实验。假设速度环不受张力环影响,对速度环进行PID实验,设速度给定值为阶跃输入,不考虑卷径变化的影响。认为卷径在一定范围内变化为系统扰动;对于张力环的张力建立、加减速、印刷、切换过程的收卷环节等4个运行阶段的验证,设张力给定值为阶跃输入,不考虑卷径变化的影响,认为摆辊位置变化是系统扰动。

速度环实验表明:在500 r/min的情况下,电机很快达到设定值,当外部扰动出现时,大约经过6 s电机重新进入稳定状态;张力环实验表明:当卷径为92~800 mm时,所整定的PID参数能够满足4个阶段收卷段的不同任务要求,正常运行时系统运行速度为100~200 m/min,且系统出现外部干扰时能够很快调节摆辊位置,使其恢复到垂直位置。

4 结语

采用PLC编程实现速度和张力调节器的算法,并用参数整定方法实现各卷径区间的分段PID参数。在凹版印刷机上实验,实验结果表明:当收卷卷径在92~800 mm范围内变化、整机运行速度在100~200 m/min时,该PID控制方案和参数整定能够满足印刷机启动、加减速、印刷和切换料的生产任务要求,张力控制效果较好,能实现整机恒张力控制。但是当运行速度超过200 m/min或卷径大于800 mm时,分段的PID参数整定会使系统控制效果变坏。整个张力控制精度仍然不适用于许多超高精度的凹版印刷设备,需要进一步改进和优化。

参考文献:

- [1] 肖超. 凹版印刷机张力控制系统的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- XIAO Chao. Study Tension Control System of Gravure Printing Machine[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.
- [2] 何克忠, 李伟. 计算机控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- HE Ke-zhong, LI Wei. The Computer Control System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [3] 王淑华. 现代凹版印刷机使用与调节[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- WANG Su-hua. Use and Regulation of Modern Gravure Printing Machine[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [4] 孙玉秋. 卷筒纸印刷机张力控制研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 90—92.
- SUN Yu-qiu. Research on Tension Control of web fed Printing Machine[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 90—92.
- [5] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- JIN Yi-hui. Process Control[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.
- [6] MUHAMMAD Z, GANESHTHANGARAJ P. Web Tension Regulation of Multi-span roll-to-roll System using Integrated active Dancer and Load Cells for Printed Electronics Applications[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2014, 27(2): 229—239.
- [7] TRAN T T, CHOI K H. A Backstepping-based Control Algorithm for Multi-span Roll-to-roll web System[J]. The International of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 70(1-4): 45—61.
- [8] CHOI K H, THANH T, TRAN, et al. Back-stepping Controller Based Web Tension Control for Roll-to-roll Web Printed Electronics System[J]. Journal of Advanced Mechanical Design, 2011, 5(1): 7—21.
- [9] PONNIAH G, ZUBAIR M. Fuzzy Decoupling to Reduce Propagation of Tension Disturbances in Roll-to-roll System[J]. The International of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 71: 153—163.
- [10] TRAN T T, CHOI K H. Web Tension and Velocity Control of Two-span Roll-to-roll System for Printed Electronics[J]. J Adv Mech Des Syst, 2011, 5(4): 329—346.
- [11] SONG S H, SUL S K. Design and Control of Multi-span Tension Simulator[J]. IEEE Ind Appl, 2000, 36(2): 640—648.
- [12] CHOI K H, TRAN T T. A Precise Control Algorithm for Single-span Roll-to-roll web System using the Back-stepping

(下转第138页)

- 2005, 26(6): 121—123.
- [4] KUMAR M, VRAT P, SHANKAR R. A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain[J]. Production Economics, 2006, 101: 273—285.
- [5] 罗如学, 张悟移. 基于 MATLAB 运算的粗糙集和层次分析法供应商选择研究[J]. 包装工程, 2010, 31(9): 117—121.
- LUO Ru-xue, ZHANG Wu-yi. Rough Sets and AHP Research on Supplier Selection Based on MATLAB[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(9): 117—121.
- [6] CHEN Zhi-ping, YANG Wei. An MAGDM Based on Constrained FAHP and FTOPSIS and Its Application to Supplier Selection[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54: 2802—2815.
- [7] DOGAN I, AYDIN N. Combining Bayesian Networks and Total Cost of Ownership Method for Supplier Selection Analysis[J]. Computers & Industrial Engineering, 2011, 61: 1072—1085.
- [8] LIAO C N, KAO H P. An Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP Approach to Supplier Selection in Supply Chain Management[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38: 10803—10811.
- [9] LI Lei, ZELDA B. Incorporating Uncertainty into a Supplier Selection Problem[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 134: 344—356.
- [10] 吴坚, 曹清玮. 不确定决策环境下绿色供应商选择方法研究[J]. 运筹与管理, 2012, 21(1): 220—225.
- WU Jian, CAO Qing-wei. A Method for Choosing Green Supplier under Decision-Making[J]. Operations Research and Management Science, 2012, 21(1): 220—225.
- [11] MENDOZA A, JOSE A V. Modeling Actual Transportation Costs in Supplier Selection and Order Quantity Allocation Decisions[J]. Operational Research, 2013, 13: 5—25.
- [12] ALIABADI D E, KAAZEMI A, POURGHANNAD B. A Two-level GA to Solve an Integrated Multi-item Supplier Selection Model[J]. Applied Mathematics and Computation, 2013, 219: 7600—7615.
- [13] DURSUN M, KARSAK E E. A QFD-based Fuzzy MCDM Approach for Supplier Selection[J]. Applied Mathematical Modelling, 2013, 37: 5864—5875.
- [14] CHOUDHARY D, SHANKAR R. A Goal Programming Model for Joint Decision Making of Inventory Lot-size, Supplier Selection and Carrier Selection[J]. Computer & Industrial Engineering, 2014, 71: 1—9.
- [15] KARSAK E E, DURSUN M. An Integrated Supplier Selection Methodology Incorporating QFD and DEA With Imprecise Data[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41: 6995—7004.

(上接第 133 页)

- Controller[C]// IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE, 2009: 1709—1714.
- [13] LIU Shan-hui, MEI Xue-song. A Decoupling Control Algorithm for Unwinding Tension System based on Active Disturbance Rejection Control[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013(13): 18.
- [14] KANG C G, LEE B J. Stability Analysis for Design Parameters of a Roll-to-roll Printing machine[C]// International Conference on Control, Automation and Systems, 2007.
- [15] HYUNKYOO K, REINHARD R B. Mathematical Modeling and Simulations for Machine Directional Register in Hybrid roll-to-roll Printing Systems[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2014, 15 (10) : 2109—2116.

欢迎订阅 欢迎投稿