

凹印机电子轴传动多电机同步控制策略

卫宏, 周国平, 申冬琴

(南京林业大学, 南京 210037)

摘要:目的 各色组版辊独立运转是电子轴传动印刷机的重要特点,其控制系统中多电机的同步是关键,研究多电机同步控制策略,以保证印刷品质。方法 对比了主从式结构和平行式结构,并应用 Matlab 对2种不同结构进行建模和仿真研究。结果 确定了电子轴传动同步控制的平行式结构策略,并对其进行了改进;提出了采用基于模糊PI算法的速度补偿器,取代耦合系数 K_1 和 K_2 的同步控制结构。结论 该策略提高了双电机同步控制系统的同步跟随和抗干扰性能,增强了凹版印刷机电轴传动多电机的同步协调控制。

关键词: 电子轴传动; 多电机同步控制; 主从式结构; 平行式结构

中图分类号: TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)03-0134-06

Multi-motor Synchronous Control Strategy of Electronic Shaft Driving in Gravure Printing Machine

WEI Hong, ZHOU Guo-ping, SHEN Dong-qin

(Nanjing Forest University, Nanjing 210037, China)

ABSTRACT: A group of independent rolling motley is an important feature of the electronic shaft driving printing machine, and the multi-motor synchronization in the control system is the key. This work aimed to study the multi-motor synchronous control strategy to ensure the quality of printing. The master-slave structure and parallel structure were compared. Modeling and simulation were conducted for the two different structures using Matlab. The parallel structure strategy for electronic shaft driving synchronous control was determined and improved. Velocity compensator based on the fuzzy PI algorithm was proposed to replace the synchronous control structure with coupling coefficient of K_1 and K_2 . This strategy improved the synchronous tracking performance and anti-interference ability of the double-motor synchronous control system, and enhanced the synchronous coordination of multi-motor electronic shaft driving gravure printing machine.

KEY WORDS: electronic shaft driving; multi-motor synchronous control; master-slave structure; parallel structure

目前,大部分印刷车间的壁纸生产线均采用传统的机械轴传动方式,随着设备投入运行的时间越来越长,故障率越来越高,有的甚至平均每几天就要停产维修,不仅增加了维护成本,而且降低了生产效率,因此,应着眼于生产线的现状,并综合考虑投入成本和印刷机发展趋势,对现有生产线进行升级改造。通过使用同步传动技术,以相互独立的伺服系统取代原有的机械轴传动,保证各版辊相位严格同步,从而消除机械传动中传动轴扭曲及齿轮间隙带

来的累积误差^[1-3]。

电子轴同步传动控制是对多电机的同步协调运动进行控制,要求各电机的速度和位置在稳态或瞬态时能保持同步。在此,以电子轴传动系统为研究平台,对多电机同步控制策略进行了研究。

1 多电机同步控制策略概述

传统机械轴传动的同步是通过机械齿轮传动实

收稿日期: 2014-06-25

作者简介: 卫宏(1981—),女,山西晋中人,硕士,南京林业大学讲师,主要研究方向为电气工程及其自动化。

现的,而电子轴传动系统中取消了纯机械传动机构,通过软件算法来完成硬件级联的同步工作。目前,常用的两大主流同步控制策略为主从式同步和平行式同步^[4-6],其结构示意图见图1。为方便分析和建模,以2台电机为控制对象分析同步控制策略。

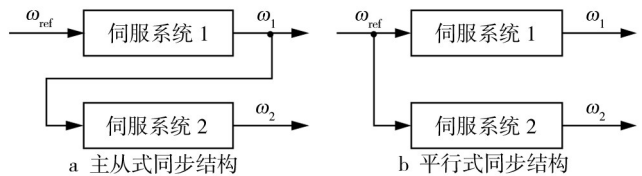


图1 同步结构
Fig.1 Two synchronization structures

主从式同步结构的传动精度只受各从电机跟踪精度的影响,但是从电机跟随主电机的输出信号存在

跟踪滞后,而且当级联越来越多时,系统的累积误差会越来越大。平行式同步结构的传动精度与各电机的稳态精度有关,各电机虽然对相应的指令信号有跟踪滞后,但相互间不存在滞后。

2 交流伺服系统仿真平台

2.1 交流伺服系统仿真平台搭建

电子轴传动控制系统的被控对象是基于永磁同步伺服电动机(PMSM)的交流伺服系统,为验证基于速度差补偿器同步结构的优越性,需要建立被控对象为非线性、参数时变的伺服系统 Matlab 仿真模型,见图2。

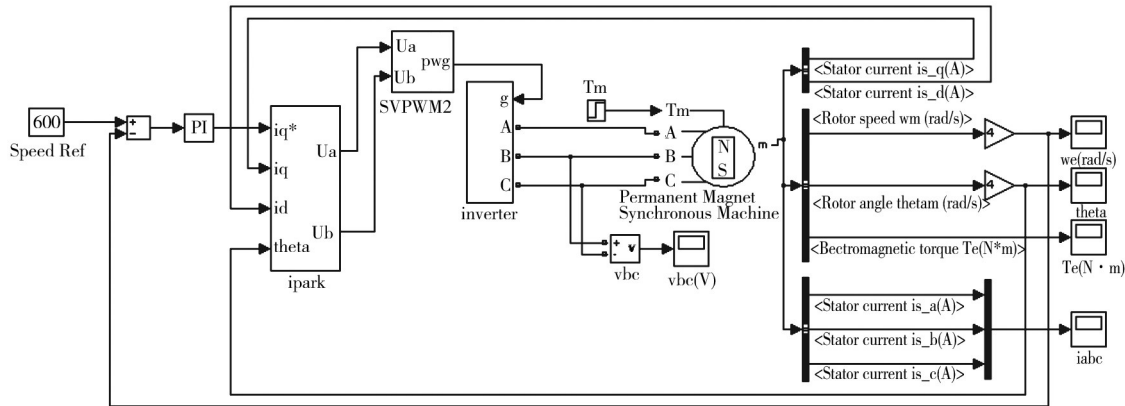


图2 伺服系统仿真模型
Fig.2 Simulation model of the servo system

2.2 交流伺服系统仿真结果

按照图2建立的模型进行仿真,伺服电机的仿真参数见表1。伺服电机给定转速为600 r/min,仿真

时间 t 为0.05 s。 t 为0时,电机空载启动; t 为0.03 s时,给电机突加3 N·m的阶跃扰动,得到伺服系统的定子线电压、转矩、转速和定子相电流的仿真波形,见图3。

表1 伺服电机参数
Tab.1 Parameters of servo motors

电机	定子相绕组电阻 R/Ω	d 轴上 q 轴等效电感 $L_d, L_q/\text{mH}$	转动惯量 $J/(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$	转子极对数 P	永磁体有效磁 ψ_t/W_b
参数数值	2.875	8.5, 8.5	0.008	4	0.175

从图3的仿真结果可以看出,上电以后,电机转速呈直线上升,迅速到达给定值600 r/min。在 $t=0.03$ s时,负载转矩由0突变为3 N·m,转速有微小的震荡后,便又回到给定值,见图4;通电瞬间,电机很快到达最大转矩45 N·m,然后很快回到稳定值,在 $t=0.03$ s,负载转矩发生变化时,输出转矩波形跟随给定,实现了对电机瞬时转矩的控制,见图5;定子相电流在 $t=$

0.03 s时也发生相应变化,见图6。由此可见,该伺服系统模型响应速度快,抗干扰性能好,仿真结果与理论分析基本吻合,可以作为电子轴传动系统中被控对象的仿真模型。

3 主从式同步控制结构的建模与仿真分析

主从式同步结构仿真模型见图7。系统仿真条

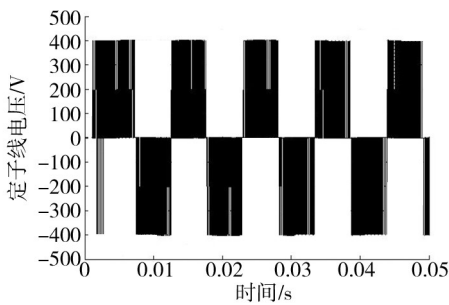


图3 定子线电压仿真波形

Fig.3 Simulation waveform of stator voltage

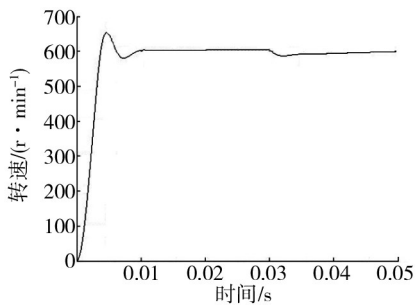


图4 转速仿真波形

Fig.4 Simulation waveform of rotating speed

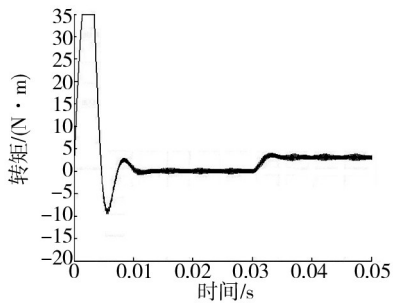


图5 转矩仿真波形

Fig.5 Simulation waveform of torque

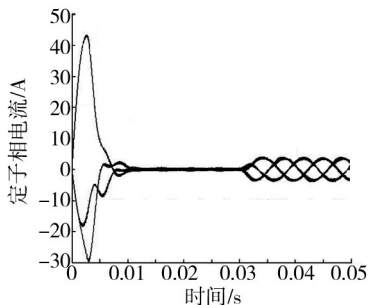


图6 定子相电流仿真波形

Fig.6 Simulation waveform of stator current

件:给定转速相同为600 r/min,带载运行(3 N·m),但在 $t=0.03$ s时,从电机的负载转矩突变为5 N·m,相应的仿真结果见图8。

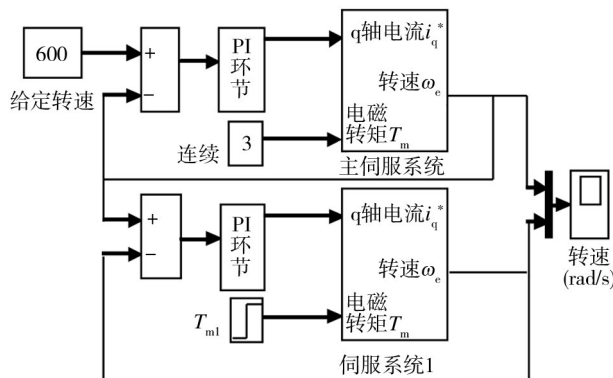


图7 主从式同步仿真模型

Fig.7 Master-slave synchronization simulation model

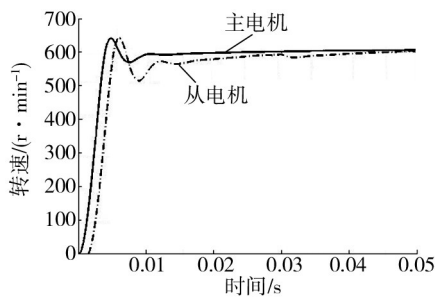


图8 仿真结果

Fig.8 Simulation result

从图8的仿真结果可以看出,主电机和从电机在通电以后,转速均以直线上升,迅速达到给定值600 r/min;在 $t=0.03$ s,从电机的负载转矩发生变化时,转速产生微小震荡后回到给定值,由于2台电机是主从关系,主电机速度指令的变化超前于从电机0.0017 s。在这种同步结构中,从电机以主电机的输出为输入,在理想情况下可以实现很好的速度同步,但从电机的转速响应存在明显滞后^[7-9]。

4 平行式同步控制结构的建模与仿真分析

平行式同步结构的仿真模型见图9,为了与主从同步结构的控制效果进行比较,该模型中的仿真条件与图7设置相同,对应的仿真结果见图10。

从图10可以看出,电机1和电机2在通电以后,转速同时迅速上升到达给定值600 r/min,在 $t=0.03$ s,电机2的负载转矩发生变化时,2台电机的转速存在6 r/min的偏差^[10-12]。从图10还可以看出,2台电机的并行关系使得电机2由于负载突变使转速发生波动时,电机1仍然会继续保持原来的速度。从0.03 s到电机2转速恢复稳定的这段时间里,2台电机的速度明显

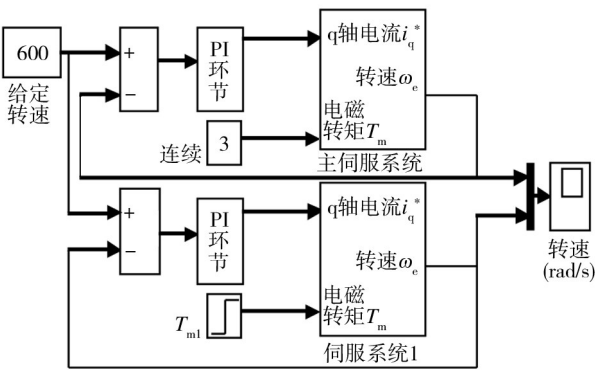


图9 平行式同步仿真模型

Fig.9 Simulation model of the parallel synchronous system

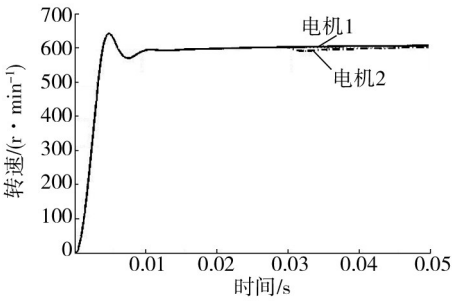


图10 仿真结果

Fig.10 Simulation result

不同步。虽然时间较短,但是在一些对同步精度要求较高的场合,这种短时间的不同步也是不允许的。造成这种短暂不同步的原因在于2台电机之间互不影响,因此,需要在这种同步结构中设置速度补偿或校准单元^[13—14]。

5 同步控制策略确定

综合图8和图9的仿真结果可知,平行式同步结构采用定值控制,控制结构简单,而且各电机同时响应给定速度指令的要求。为此,结合印刷机的实际要求,系统的同步控制策略采用平行式同步结构控制方式。

文献[15—17]在平行式同步结构的基础上,提出了交叉耦合的控制策略,将2电机的速度偏差通过耦合系数 K_1 和 K_2 分别引入到其对应的控制器中,对速度偏差进行补偿,这在一定程度上会改善系统的同步性能。但在这种控制策略中耦合系数的选择直接影响系统的同步性能。而在实际工程应用中,将耦合系数调整到最佳值的难度较大。若耦合系数选得过小,则不能消除同步误差;反之,耦合系数过大时,虽然能有

效地减小系统的同步误差,但容易造成系统振荡。

在这里,提出采用速度补偿器取代耦合系数 K_1 和 K_2 的同步控制结构,2台电机都以固定值作为给定速度,同时将它们的速度偏差引出,经过补偿器产生补偿速度之后,输入至各自的速度控制系统。当某台电机的转速发生波动时,补偿器会将这种波动反馈给另一台电机,调整之后又能重新回到同步,结构图见图11。

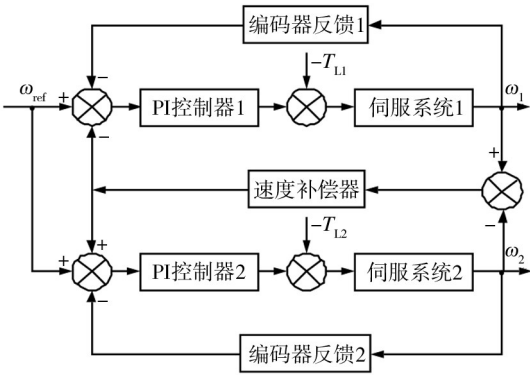


图11 基于速度补偿的同步控制结构

Fig.11 Synchronous control structure based on speed compensation

引入速度补偿器的同步控制结构,能很好地改善系统的同步性能,但最终决定同步精度的是补偿器的控制算法。传统PID算法是常用的控制算法,能使2台电机达到一定程度的同步精度,可满足一般场合的使用。但对于同步精度要求较高的场合,需要一种更好的控制算法才能达到预期的效果。鉴于此,采用模糊PI算法实现系统的同步性。

6 模糊PI补偿器同步系统的建模与仿真分析

在 Matlab/Simulink 图形化建模环境下,利用仿真模块搭建了模糊PID控制器的仿真模型,同时搭建了常规PID控制器的仿真模型,可以在同一运行环境中得到2种控制算法的仿真结果,并将其进行比对。其中,被控对象的传递函数为:

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 1}$$

(1)

基于模糊PI补偿器结构的系统仿真模型见图12,系统仿真条件为:给定转速相同(600 r/min),带载运行(3 N·m),但电机2在 $t=0.03$ s时负载转矩突变为5 N·m,对应的仿真结果见图13。

从图13的仿真结果可以看出,2台电机的速度变化基本保持一致。上电以后,转速同时呈直线上升至

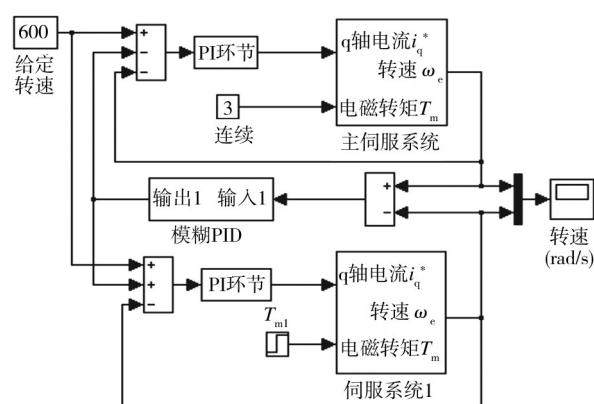


图12 模糊PI补偿器系统仿真模型

Fig.12 Simulation model of the fuzzy PI compensator system

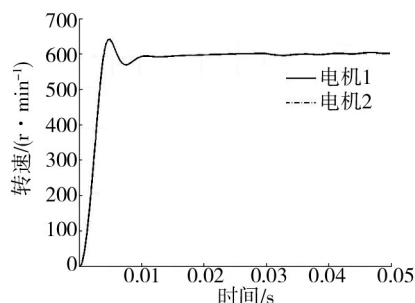


图13 仿真结果

Fig.13 Simulation result

给定值 600 r/min。在 $t=0.03$ s、电机2的负载转矩发生变化时,其转速仅下降了 3.8 r/min,这说明模糊PI控制器进一步提高了电机速度抗负载扰动的能力。此时,2台电机的速度差降为 1.2 r/min,速度的同步性能得到了明显提高。当 $t=0.035$ s时,2台电机的速度重新回到同步,因此采用该同步策略的系统实现了较好的同步。

7 结语

深入研究了多电机同步控制策略,通过对比主从式结构和平行式结构,并借助 Matlab 软件对 2 种不同结构进行了建模和仿真研究。最终确定了采用速度补偿器的平行式同步结构,同时在速度补偿器中采用模糊PI控制算法,提高了双电机同步控制系统的同步跟随性能和抗干扰能力,可以为凹版印刷机电轴传动多电机的同步协调起到更好的控制作用。

参考文献:

[1] 朱火美,蒲洪彬,李伟光. 数控瓦楞纸板印刷模切机伺服配

置设计与评价研究[J]. 包装工程,2012,33(3):85—88.

ZHU Huo-mei, PU Hong-bing, LI Wei-guang. Servo Configuration and Evaluation of Numerical Printing and Die-cutting Machinery of Corrugated Board[J]. Packaging Engineering, 2012,33(3):85—88.

[2] REXROTH. Modular System Solution for Shaftless Printing and Converting Machines[J]. Electric Drives and Controls, 2004(7):6—7.

[3] LORENZ R, SCHMIDT P. Synchronized Motion Control for Process Automation[C]// IEEE-IAS Annual Meeting. San Diego CA, 1989:1693—1698.

[4] YOUNGSEOK C, JAEHYUN P, HANS H, et al. Development of a Web-based Survey System for Evaluating Affective Satisfaction[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2011(41):247—254.

[5] 张海燕,王伟,赵庆海. 无轴传动控制策略及仿真分析[J]. 自动化技术与应用,2007(3):105—108.

ZHANG Hai-yan, WANG Wei, ZHAO Qing-hai. Simulation Analysis of the Control Strategy of Shaftless Dries[J]. Techniques of Automation and Applications, 2007(3):105—108.

[6] YONG Xiao, ZHUA Kuan-yi, LIAWHC. Generalized Synchronization Control of Multi-axis Motion Systems[J]. Control Engineering Practice, 2005(13):809—819.

[7] 黄灵阁,王雪,陈惠兰,等. 凹版印刷中刀线和套印不准的分析[J]. 包装工程,2010,31(19):77—79.

HUANG Ling-ge, WANG Xue, CHEN Hui-lan, et al. Analysis of Knife Line and Register Difference in the Intaglio Printing[J]. Packaging Engineering, 2010,31(19):77—79.

[8] 杨梅. 滑模变结构在收卷张力控制系统中的应用与仿真[J]. 包装工程,2013,34(3):44—48.

YANG Mei. Application and Simulation of Sliding Mode Control in Winding Tension Control System[J]. Packaging Engineering, 2013,34(3):44—48.

[9] 马膺峻. 无轴套印控制系统综合控制策略的研究[D]. 沈阳:东北大学,2010.

MA Ying-jun. Research on Synthentic Control Strategy of Shaftless Chromatography System[D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.

[10] 张婧. 无轴传动印刷机同步控制系统的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2012.

ZHANG Jing. Research on Strateless Drive Printing Machine Synchronization Control System[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2012.

[11] 马晶. 印刷无轴传动控制算法的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2013.

MA Jing. Research on Control Algorithm of Shaftless Driven

- in Printing Machine[D]. Xi'an: Xidian University, 2013.
- [12] ELMARAGHY H A, ALGEDDAWY T, AZAB A, et al. Change in Manufacturing—research and Industrial Challenges[C]// Proceedings of 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV), Montreal, Canada, 2011.
- [13] 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.
- [14] 陈文革, 蒋文燕, 黄学林. 我国凹版印刷机的现状及发展方向[J]. 包装工程, 2008, 29(4): 169—171.
CHEN Wen-ge, JIANG Wen-yan, HUANG Xue-lin. Present Situation and Development Direction of Gravure Press in Our Country[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(4): 169—171.
- [15] 张家硕. 凹版印刷机无轴套印系统控制策略的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2011.
ZHANG Jia-shuo. Research on Control Strategy of Gravure Printing Machine Shaftless Chromatography System[D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.
- [16] 朱剑. 自动套印伺服控制系统的设计与实现[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2012.
ZHU Jian. Study and Design on Auto-register Servo Control System[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2012.
- [17] 康芳芳. 无轴传动控制器的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
KANG Fang-fang. Research on Shaftless Drive Controller[D]. Xi'an: Xidian University, 2009.

(上接第 106 页)

- Its Effects[R]. 1997.
- [5] RUCKDESCHEL F R, HAUSER O G. Yule-Nielsen Effect in Printing: a Physical Analysis[J]. Appl Opt, 1978, 17(21): 3376—3383.
- [6] YULE J A C, NIELSEN W J. The Penetration of Light into Paper and Its Effect on Halftone Reproduction[C]// Proc TAGA, 1951: 65—76.
- [7] PEARSON M. Value for General Conditions[C]// Proc TAGA, 1980: 415—425.
- [8] WILLIAM W P. A Practical Approach to N-Value[C]// Proc TAGA, 1989: 142—151.
- [9] ANSI: CGATS.4—1993, Graphic Technology—graphic Arts Reflection Densitometry Measurements—terminology, Equations, Image Elements and Procedures Reston[S].
- [10] 赵晨飞, 韩卿, 邹晨, 等. 尤尔-尼尔森光谱介堡模型中修正指数的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 113—115.
ZHAO Chen-fei, HAN Qing, ZOU Chen, et al. Research on Correction Factor of Yule-Nielsen Spectral Neugebauer Model [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 113—115.
- [11] 徐军飞, 徐锦林. 光学网点增大研究综述及网点面积率探讨[J]. 中国印刷与包装研究, 2012, 4(1): 1—6.
XU Jun-fei, XU Jin-lin. Review of Optical Dot Gain and Discussion of Dot Percentage[J]. China Printing and Packaging Study, 2012, 4(1): 1—6.
- [12] 江月松, 邱志伟, 李铮. 点扩散函数的一维数值计算及其 Matlab 实现[J]. 红外与激光工程, 2004(8): 405—408.
JIANG Yue-song, QIU Zhi-wei, LI Zheng. One-dimensional Digital Computation and Realization on Matlab of Point Spread Function[J]. Infrared Laser Engineering, 2004(8): 405—408.
- [13] ROGERS G. Optical Dot Gain: Lateral Scattering Probabilities [J]. J Imaging Sci Technol, 1998(42): 341—345.
- [14] YANG L, LENZ R, KRUSE B. Light Scattering and Ink Penetration Effects on Tone Reproduction[J]. J Opt Soc Am A, 2001(18): 360—366.
- [15] KOOPIPAT C, TSUMURA N, FUJINO M. Effect of Ink Spread and Optical Dot Gain on the MTF of Ink Jet Image[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2007, 46(4): 321—325.
- [16] HUNTSMAN J. A New Model of Dot Gain and Its Application to a Multilayer Color Proof[J]. J Imaging Sci Technol, 1987(13): 136—145.
- [17] ARNEY J. A Probability Description of the Yule-Nielsen Effect[J]. J Imaging Sci Technol, 1997(41): 633—636.
- [18] 徐咏驰, 周世生, 徐锦林. 单色实地印刷品颜色预测模型[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2014, 41(3): 56—60.
XU Yong-chi, ZHOU Shi-sheng, XU Jin-lin. Color Prediction Model for Single Color Solid Prints[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2014, 41(3): 56—60.
- [19] SHARMA G, DALAL E N. The CIEDE2000 Color-difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations[J]. Color Res Appl, 2005, 30(1): 21—30.