

包装印刷

涂布纸水性柔版印刷质量的影响因素综合分析

孙冰¹, 何亮¹, 陈春霞², 柴欣生^{1,2}, 陈润权²

(1.华南理工大学, 广州 510640; 2.广东省东莞市质量监督检测中心, 东莞 523808)

摘要: **目的** 研究涂布纸水性柔版印刷过程中关键参数对印刷效果的影响。**方法** 改变涂布纸水性柔版印刷中的关键过程参数, 并结合统计学分析技术研究其对印刷效果的影响。**结果** 网纹辊加网线数对涂布纸印刷品的密度、色差、印刷光泽度、颜色明度、墨层耐磨性的影响很大; 网纹辊压力、印刷压力和印刷速度在一定范围内对涂布纸印刷品的实地密度、色差、印刷光泽度、明度、墨层耐磨性的影响并不显著。**结论** 在涂布纸柔性版水基油墨印刷过程中, 正确选用网纹辊线数是获得高质量印品的关键。

关键词: 柔性版印刷; 水基油墨; 涂布纸; 统计学分析; 印刷效果

中图分类号: TS801.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)11-0170-06

Comprehensive Analysis on the Factors Affecting the Printing Quality of
Flexographic Water-based Ink Printing of Coated PapersSUN Bing¹, HE Liang¹, CHEN Chun-xia², CHAI Xin-sheng^{1,2}, CHEN Yun-quan²

(1.South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2.Dongguan Quality Testing Center of Guangdong Province, Dongguan 523808, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of key parameters on the printing quality during flexographic water-based ink printing of coated papers. By changing the key process parameters during flexographic water-based ink printing of coated papers and combined with statistical analysis methods, their effects on the printing effect were studied. The screen density of anilox roll had very important effect on the quality indexes of the printed coated papers, such as density, color difference, printing gloss, color brightness and the abrasion resistance of ink layer. However, the pressure of anilox roller, printing pressure and printing speed, to some extent, had little effects on the above-mentioned quality indexes. Correct selection of screen density of anilox roller is critical to obtain printed coated papers with high printing quality during flexographic water-based ink printing of coated papers.

KEY WORDS: flexography printing; water-based ink; coated papers; statistical analysis; printing effect

涂布纸是一种通过原纸上涂覆涂料而获得良好光学性能以及印刷适性的高级印刷纸, 主要用于印刷杂志、书籍等出版物和商品包装、产品目录、商品广告等^[1]。在过去, 涂布纸印刷大多采用胶版印刷^[2], 由于胶版印刷油墨一般含有乙酸乙酯、甲苯等挥发性有机污染物 (VOCs)^[3], 因此基于环保型水基油墨的柔性版印刷现已逐渐取代了部分传统的胶版印刷^[4]。

除了油墨自身特性 (粘度、触变性、细度等), 水性柔版印刷工艺参数 (网纹辊线数、印刷压力、网纹辊压力等) 也是获取高质量印刷品的前提。目前, 国内外

对该印刷方式的研究主要集中在油墨的化学成分、粘度、细度等物化性质参数对印品效果或对印版腐蚀程度来分析其对印刷效果的影响以及通过确定印刷过程中的最大油墨转移率来获得最大印刷压力^[5-8]。以上研究均在单一印刷参数下进行, 而实际上诸多参数之间存在着交互作用并影响印品的各项质量指标 (如密度、色差、光泽度等), 它们之间关系复杂, 因而在实验数据的基础上采用统计学手段对其进行分析是必要的。文中以水性黑墨为标准油墨, 通过柔版印刷工艺参数对涂布水基油墨纸柔版印刷效果进行考察, 并采用统计学手段对参

收稿日期: 2016-12-09

基金项目: 国家自然科学基金 (21576105)

作者简介: 孙冰 (1991—), 男, 华南理工大学硕士生, 主攻纸质印刷品质量分析与检测。

通讯作者: 柴欣生 (1955—), 男, 博士, 华南理工大学教授, 主要研究方向为化工过程分析与检测方法开发。

数之间的交互作用以及对印品质量的影响进行评价,希望为涂布纸水基油墨柔版印刷的实际应用提供参考。

1 实验

1) 原料:铜版纸(定量为 120 g/m^2 ,晨鸣纸业)、水基黑墨(广州三国油墨厂)。

2) 设备:柔版印刷适性仪(F1, IGT Testing System, 荷兰)、分光光度计(X-Rite 528, 爱色丽, 美国)、光泽度计(XGP20°-75°, 信通光达, 天津)、耐摩擦试验仪(MCJ-03, 三泉中石, 济南)。

3) 实验步骤。将待测纸样($50 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$)固定在专用垫板上,在确定印刷参数(如网纹辊线数、网纹辊压力、印刷压力以及印刷速度)后,启动印刷适性仪,油墨经网纹辊匀墨后传墨至印版,再由印版辊和压印辊合压后转移至纸张上,得到印刷样张。

4) 检测方法。印品的油墨密度、颜色、色差、光泽度、耐磨性测试参照 GB/T 17497.1—2012^[9]、色差公式^[10]、GB/T 7705—2008^[11]进行。

5) 实验数据的统计学分析。采用 SIMCA-P 11.5 软件对各印刷工艺参数和印刷质量评价指标进行了统计学分析,分别得到各个印刷参数与印品质量评价指标的相关性和预测模型,定量分析了涂布纸水基油墨柔版印刷参数变化所造成的差异。

2 结果与讨论

2.1 印刷参数对印刷效果的影响

实地密度、色差、印刷光泽度、明度以及墨层耐磨性是柔性版印刷中印品质量评价的重要指标。探索性实验表明,部分印刷参数对有些指标影响并不显著,而平行测定的偏差较大,仅以指标测定的平均值

对印刷参数做单因素关系图可能会产生误导,因此,文中先定性分析这些参数对印品指标的影响,然后在利用统计学方法建立定量评价模型。

2.1.1 实地密度

实地密度是指均匀且无空白地印刷出来的表面颜色密度,即网点面积率为 100% 的区域的密度^[11]。4 种印刷参数对印品实地密度的影响见图 1。可知,随着网纹辊线数从 100 线/cm 增加到 235 线/cm 时,印品实地密度逐渐从 2.08 减小到 1.51。这是因为当网纹辊的网穴形状参数固定时,随着网纹辊线数的增加,其单位面积内的网穴数逐渐增加,而网穴体积逐渐缩小,从而造成传墨量降低,印刷实地密度逐渐下降。其他 3 个印刷参数对实地密度的影响并不显著。

2.1.2 色差

色差是指印刷品与原稿出现色彩不相符的程度^[12]。各印刷参数对色差影响的趋势见图 2。可知一定范围内,4 个印刷参数对色差的影响有一定显著性。其中,可以粗略判断网纹辊线数与色差之间呈正相关关系,而印刷压力则与色差呈负相关关系。其他 2 个工艺参数对色差的影响关系暂不明确。容限之内的色差变化是印刷品与原稿在视觉上颜色一致性的保证。由图 2 可知,在 4 个参数变化区间内,色差均在 0.3~1.2 之间,符合 GB/T 17497.1—2012 的要求。

2.1.3 光泽度

光泽度是指印品在一定的背景和光照条件下,印品表面上的光亮程度以及与各方向上光亮程度分布的对比程度^[10],关系到印刷品印迹色彩的鲜艳程度和图像的立体感。4 种印刷参数对印刷光泽度的影响见图 3。可知,除可判断光泽度与网纹辊线数成正相关关系外,其他参数影响规律暂不能给出。

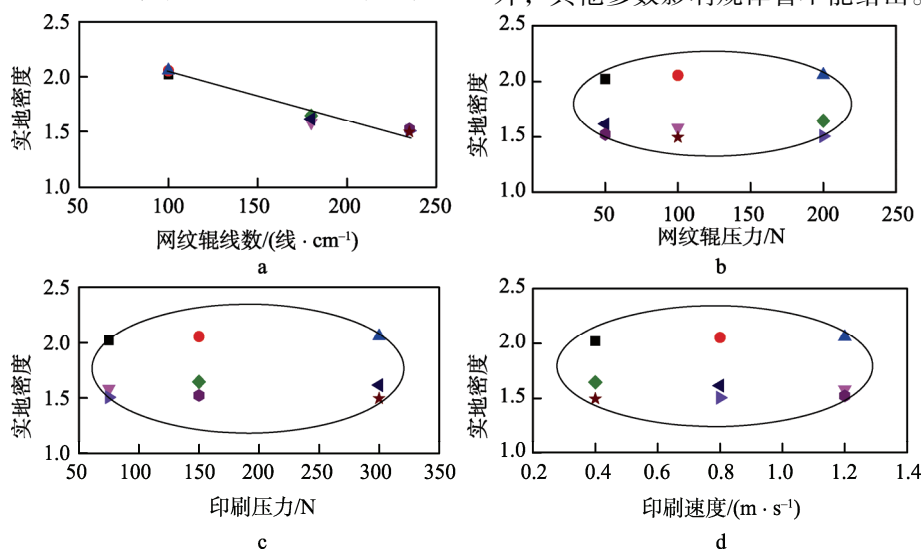


图1 各参数对实地密度的影响

Fig.1 Effect of each parameter on solid density

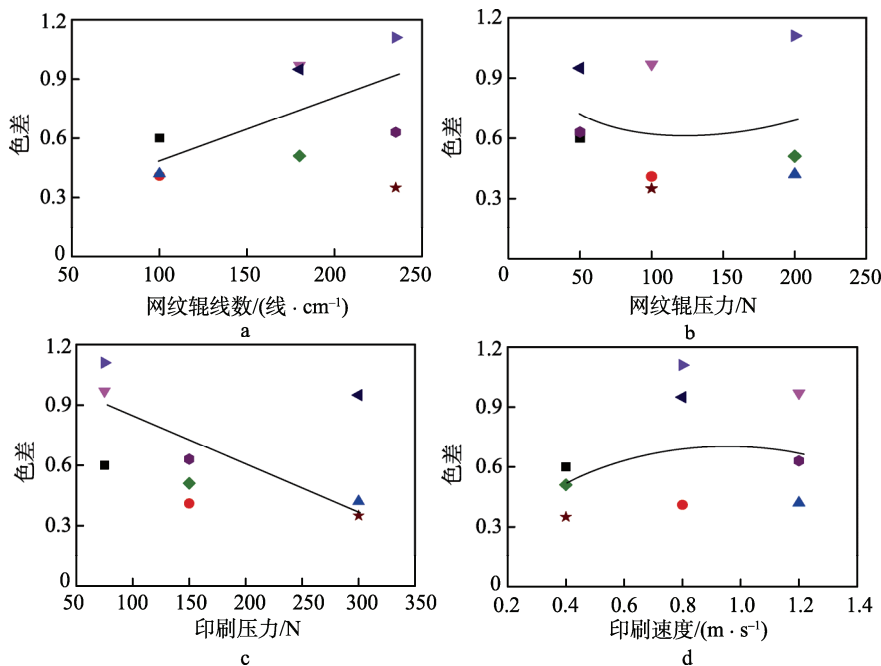


图 2 各参数对色差的影响变化

Fig.2 Effect of each parameter on color difference

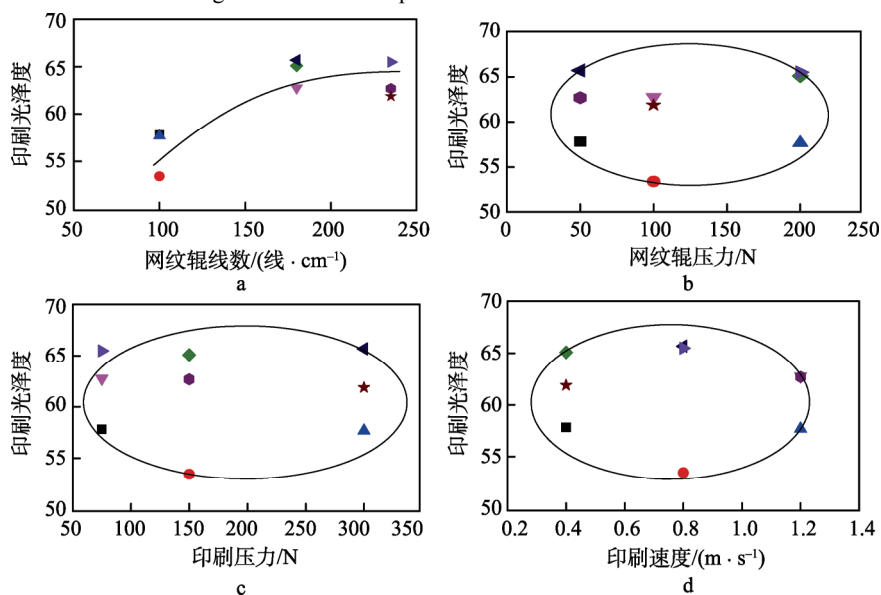


图 3 各参数对印刷光泽度的影响变化

Fig.3 Effect of each parameter on printing gloss

2.1.4 明度

明度是指由光的刺激所产生的视觉明暗程度^[10]。对于非彩色来说,它表示由纯黑色到灰色,再到纯白色的明暗变化,关系到印刷品上不同灰色区域的对比程度。一般而言,明度大会使印品的颜色在视觉上产生亮丽的感觉。4个印刷参数对明度的影响变化见图4。可知,随着网纹辊线数的增加,明度呈先快速增加,后缓慢变大的趋势。其他3个参数对明度均没有显著的影响。

2.1.5 墨层耐磨性

墨层耐磨性是指印刷品上的墨层在与外物发生摩擦时露出底层的程度大小。产品的墨层耐磨性差易造

成在储运、搬运过程中出现墨层脱落而影响其外观^[14]。4个印刷参数变化对墨层耐磨性的影响见图5。由图5可初步判断,在一定范围内,墨层耐磨性与网纹辊线数和压力成正相关关系,而与印刷压力和速度成负相关关系。

2.2 各印刷参数对印刷效果影响的统计学分析评价

鉴于印刷工艺参数交互作用的复杂性及其对印品印刷效果影响的不确定性,这里将上述图中的数据采用统计学方法进行分析,旨在客观数据的基础上,通过主成分分析,找到印刷工艺参数与印品评价指标之间的相关性,建立印品评价指标与印刷过程参数间的关联性

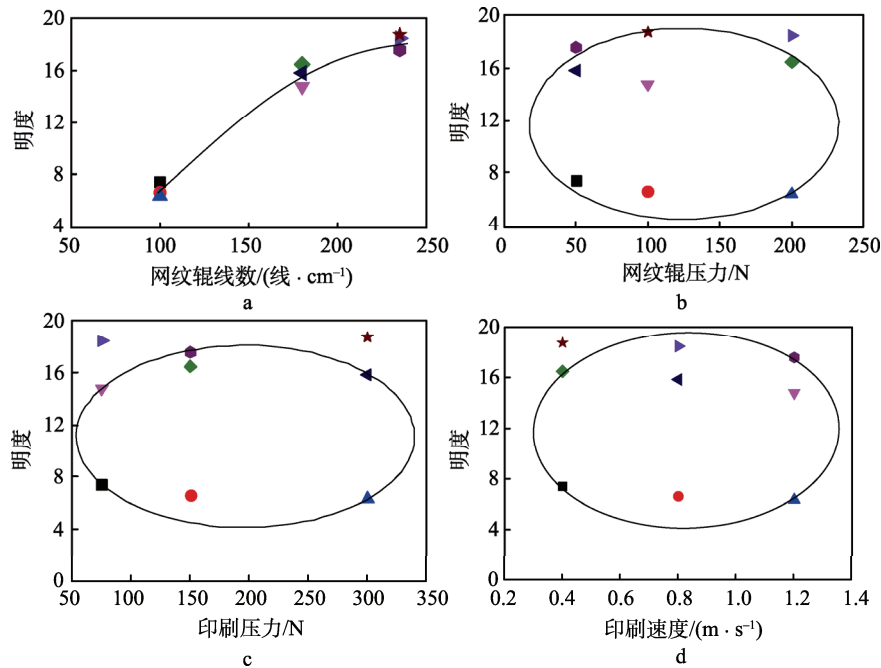


图 4 各参数对明度的影响变化
Fig.4 Effect of each parameter on brightness

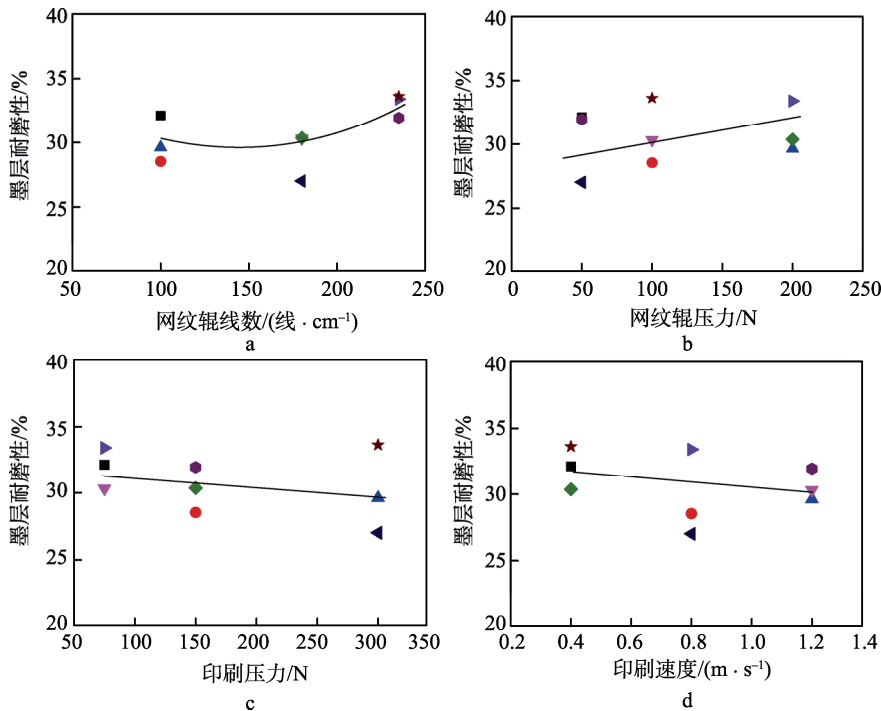


图 5 各参数对墨层耐磨性的影响变化
Fig.5 Effect of each parameter on the abrasion resistance of ink layer

定量模型，为实际生产工艺参数的选择提供指导。

2.2.1 主成分分析

在主成分分析中，主成分载荷系数反映出原变量在形成该主成分时的权重，并显示出变量之间的关联结构。主成分载荷系数的正负决定了原变量影响该主成分方向的正负，绝对值的大小表示原变量影响该主成分的程度大小。通过对试验测得的数据进行主成分分析，所得到的载荷见图 6。

由图 6 可知，在第 1 主成分中，网纹辊线数与色差、印刷光泽度、明度呈正相关，而与实地密度呈负相关；网纹辊压力、印刷压力以及印刷速度均与色差、印刷光泽度、明度呈负相关。在第 2 主成分中，网纹辊线数与墨层耐磨性呈负相关，网纹辊压力、印刷压力以及印刷速度与实地密度呈负相关。就 2 个主成分解释说明原变量变化的能力（即 40.47%和 23.18%）而言，印刷参数与评价指标间的相关性应该以第 1 个主成分为主。

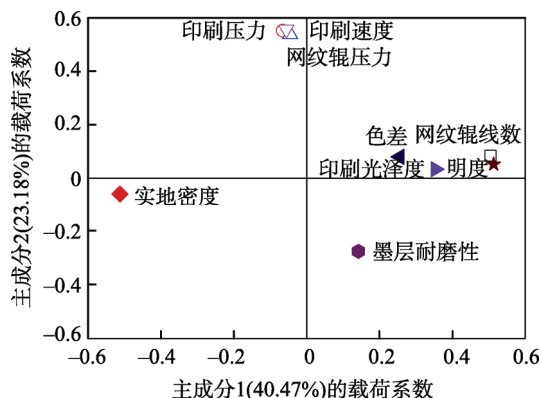


图6 主成分载荷

Fig.6 The load of principal components

2.2.2 偏最小二乘法

为了进一步研究自变量(印刷工艺参数)与因变量(印品质量指标)之间的关系,并建立其相关性模型,需要用到统计学分析中的偏最小二乘法。根据偏最小二乘法的原理,印品质量评价指标与柔性版印刷工艺参数之间的偏最小二乘法回归方程为:

$$y_i = b_i + a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + a_{i4}x_4 \quad (1)$$

式中: y_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$) 分别为实地密度、色差、印刷光泽度、明度、墨层耐磨性 5 个评价指标; x_1, x_2, x_3, x_4 分别为网纹辊线数、印刷压力、网纹辊压力、印刷速度等 4 个印刷工艺参数; $a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}$ ($i=1, 2, 3, 4, 5$) 分别为这 4 个印刷参数在方程中的系数; b_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$) 为每个回归方程的常数项。各评价指标偏最小二乘回归方程和决定系数 R^2 见表 1。

回归方程的决定系数 R^2 越接近 1, 表明预测值与实际值的变化趋势一致性越好, 见表 1。可知, 该模型可对实地密度和明度 2 个指标进行很好的预测。色差、印刷光泽度以及墨层耐磨性的回归模型精度明显

过低, 即关联性极差。由此可见, 对于色差、印刷光泽度以及墨层耐磨性, 施印的其他参数影响可能是很显著的, 如对于色差来说, 可能是纸张和水性油墨自身性能的影响要远远大于柔性版印刷工艺参数; 对于光泽度来说, 油墨光学性质、颜料结构性性质、颗粒大小以及分布, 颜料在连结料中的分散程度及连结料自身性能均会影响到油墨在承印物表面成膜干燥后的光泽度; 对于墨层耐磨性来说, 纸张的孔隙率等结构性性能对墨层耐磨性的影响较为显著。这些都是有待进一步研究。

表 1 各评价指标偏最小二乘回归方程和决定系数 R^2 Tab.1 Partial least squares regression equations of each evaluation index and the determinant coefficients R^2

评价指标 y_i	回归方程	R^2
实地密度(y_1)	$y_1 = 7.15 - 0.98x_1 + 0.039x_2 + 0.009x_3 + 0.010x_4$	0.966
色差(y_2)	$y_2 = 1.40 + 0.42x_1 + 0.008x_2 + 0.014x_3 + 0.025x_4$	0.162
印刷光泽度(y_3)	$y_3 = 10.53 + 0.54x_1 - 0.041x_2 - 0.019x_3 + 0.030x_4$	0.278
明度(y_4)	$y_4 = 1.90 + 0.97x_1 - 0.050x_2 - 0.017x_3 - 0.024x_4$	0.949
墨层耐磨性(y_5)	$y_5 = 7.52 + 0.25x_1 - 0.118x_2 + 0.081x_3 - 0.133x_4$	0.119

为了更直观地观察各个印刷工艺参数在解释 y_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$) 时的边际作用, 文中给出了回归系数直方图见图 7。由图 7 可知, 网纹辊线数在解释 5 个回归方程时起到极为重要的作用。然而, 网纹辊压力、印刷压力以及印刷速度 3 个印刷参数对 5 个回归方程的解释能力均很低。与图 1—5 中的变化趋势的不确定性相比, 图 7 中这 3 个次要参数对相关印品指标的正负相关性也非常明确。

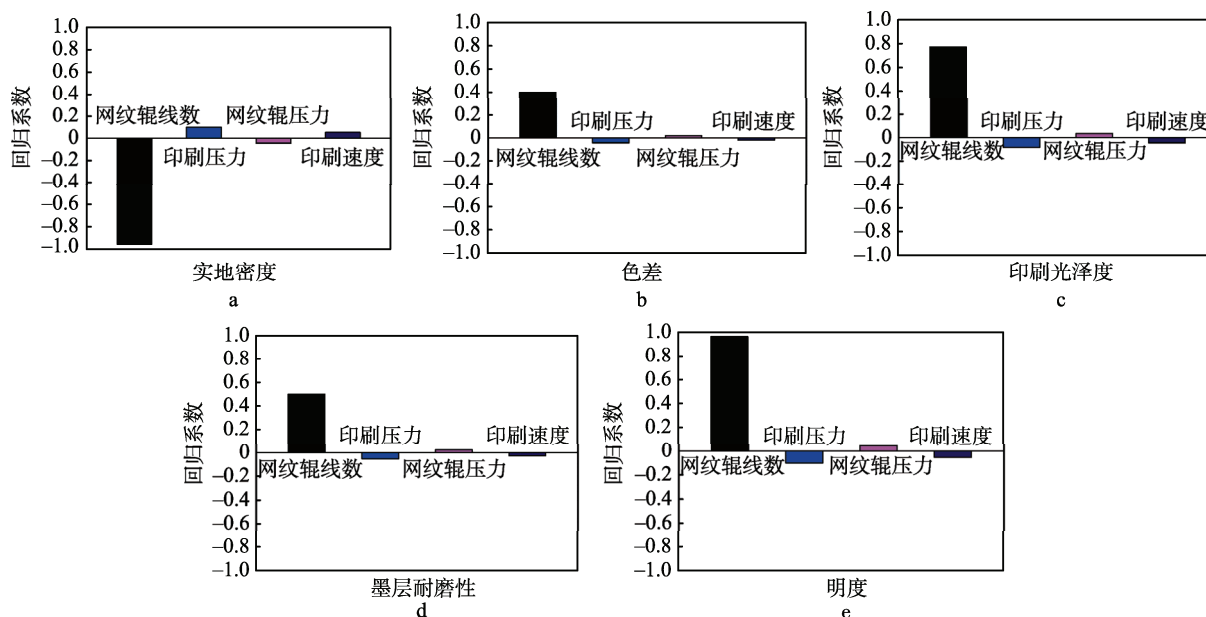


图7 各参数对各评价指标的回归系数

Fig.7 The regression coefficients of each parameter on each evaluation index

另外,印刷参数的重要性也可用变量投影重要性指标来衡量^[15]。各印刷参数影响印品质量的重要性程度见图8,可知网纹辊加网线数对印品整体质量的重要程度比其他3个印刷参数大得多。印刷压力和网纹辊压力对印品整体质量的重要程度相当,而印刷速度的影响最小。

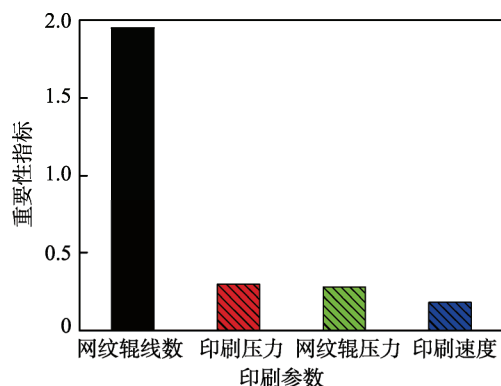


图8 各印刷参数影响印品质量的重要程度

Fig.8 Variable importance of each printing parameter for print quality

3 结语

结合统计学分析手段全面分析了水性柔版印刷涂布纸过程中各工艺参数(网纹辊线数、印刷压力、网纹辊压力以及印刷速度)与印刷品的密度、色差、印刷光泽度、明度及墨层耐磨性等质量评价指标的相关性及重要程度,并建立了各印品质量评价指标偏最小二乘回归预测模型。结果表明,网纹辊线数对涂布纸柔性版水性油墨印刷质量起着非常重要的作用,而印刷压力、网纹辊压力以及印刷速度在一定范围内表现的作用不显著。另外,印刷品的实地密度和明度的回归模型有较好的预测能力。

参考文献:

- [1] 陈正伟,唐裕标.印刷材料(第2版)[M].北京:印刷工业出版社,2005.
CHEN Zheng-wei, TANG Yu-biao. Printing Material (Second Edition)[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2005.
- [2] 李洒.铜版纸平版胶印印刷适性的研究[D].天津:天津科技大学,2011.
LI Sa. Study on Lithographic Offset Printability of Coated Fine Papers[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011.
- [3] 蔡宗平,蔡慧华.印刷行业VOCs排放特征研究[J].环境科学与管理,2013(8):166—172.
CAI Zong-ping, CAI Hui-hua. Study on Characteristics of VOCs Emission from Printing Industry [J]. Environmental Science and Management, 2013(8): 166—172.
- [4] 辛秀兰,魏亚娜.水性油墨研究进展[J].中国印刷与包装研究,2011(3):1—8.
XIN Xiu-lan, WEI Ya-na. Research Progress of Water-based Ink[J]. China Printing and Packaging Study, 2011(3): 1—8.
- [5] RENTZHOG M, FOGDEN A. Print Quality and Resistance for Water-based Flexography on Polymer-coated Boards: Dependence on Ink Formulation and Substrate Pretreatment[J]. Progress in Organic Coatings, 2006, 57(3): 183—194.
- [6] JOHNSON J, RÄTTÖ P, LESTELIUS M, et al. Measuring the Dynamic Pressure in a Flexographic Central Impression Printing Press[J]. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2004, 19(1): 84—88.
- [7] JOHNSON J, ANDERSON C, LESTELIUS M, et al. Degradation of Flexographic Printing Plates and Aspects of Print Quality[J]. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2008, 62(5): 371—378.
- [8] TRAUTENBACH U, MAHFOUZ I A. Using Sound and Vibration Signals to Monitor Cell Wear on Anilox Rolls[J]. Nondestructive Testing & Evaluation, 2003, 19(4): 187—198.
- [9] GB/T 17497.1—2012, 柔性版装潢印刷品 第1部分:纸张类[S].
GB/T 17497.1—2012, Decorative Products by Flexographic Printing—Part 1: Paper[S].
- [10] 刘浩学.印刷色彩学[M].北京:中国轻工业出版社,2008.
LIU Hao-xue. Graphic Arts Chromatology[M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 2008.
- [11] GB/T 7705—2008, 平版装潢印刷品[S].
GB/T 7705—2008, The Offset Lithographic Prints for Decorating[S].
- [12] 郑元林.印刷品质量检测与控制技术[M].北京:化工出版社,2010.
ZHENG Yuan-lin. The Quality Test and Control Technology of Prints[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [13] 刘美聪,陈妮,戴俊萍.标准化——轻松解决印刷色差之路[J].印刷质量与标准化,2012(9):10—13.
LIU Mei-cong, CHEN Ni, DAI Jun-ping. Standardization—Easily Solving the Path of Color Difference in Printing[J]. Printing Quality and Standardization, 2012(9): 10—13.
- [14] 张红普.墨层耐磨性检测在印刷生产中的应用[J].广东印刷,2002(1):63—64.
ZHANG Hong-pu. The Abrasion Resistance Test of Ink Layer in the Application of Printing Product[J]. Guangdong Printing, 2002(1): 63—64.
- [15] 李江华,范叶飞,刘文锋.偏最小二乘法(PLS)在体育科研中的应用与实践[J].中国体育科技,2010,46(6):138—141.
LI Jiang-hua, FAN Ye-fei, LIU Wen-feng. Partial Least Squares (PLS) in the Application and Practice of Scientific Research about Sports[J]. China Sports Technology, 2010, 46(6): 138—141.