

图文信息技术

基于回归算法的印刷品最佳实地密度研究

郭凌华^{1a,1b,2,3}, 王晶^{1a,1b,2,3}, 孙栗媛^{1a,1b,2,3}, 温蕾^{1a,1b,2,3}, 党玲玉^{1a,1b,2,3}

(1.陕西科技大学 a.轻工科学与工程学院 b.轻化工程国家级实验教学示范中心, 西安 710021;

2.中国轻工业纸基功能材料重点实验室, 西安 710021;

3.陕西省造纸技术及特种纸品开发重点实验室, 西安 710021)

摘要: **目的** 从相对反差最大时密度最佳的角度出发, 结合网点扩大, 构建基于回归算法的数学模型, 确定最佳的实地密度, 从而提高印刷品的质量。**方法** 获取过版样张, 根据测量的实地密度、相对反差和网点扩大值作出三维坐标图, 并基于回归算法建立相对反差 K 、网点扩大与实地密度函数关系的数学模型; 利用该模型找到相对反差最大时, 网点扩大和实地密度的参数匹配算法; 网点扩大在国标范围 (15%~20%) 内, 最终以方差最小原则确定最佳的实地密度。**结果** 基于回归算法找到了当相对反差最大时实地密度和网点扩大的参数匹配符合函数 $y=ax+b$, 确定了 C, M, Y, BK 油墨的最佳实地密度分别为 1.551, 1.612, 0.975, 1.828。**结论** 基于回归算法确定最佳实地密度的方法能够保证相对反差良好, 网点扩大适宜, 提高了印刷品的清晰度和鲜艳程度, 对印刷的质量控制具有一定的指导意义。

关键词: 相对反差 K ; 网点扩大; 实地密度

中图分类号: TS801.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0210-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.033

Best Solid Density of Print Based on Regression Algorithm

GUO Ling-hua^{1a,1b,2,3}, WANG Jing^{1a,1b,2,3}, SUN Li-yuan^{1a,1b,2,3}, WEN Lei^{1a,1b,2,3}, DANG Ling-yu^{1a,1b,2,3}

(1a.College of Bioresources Chemical and Materials Engineering b.National Demonstration Center for Experimental

Light Chemistry Engineering Education, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;

2.Key Laboratory of Paper Based Functional Materials of China National Light Industry, Xi'an 710021, China;

3.Shaanxi Provincial Key Laboratory of Papermaking Technology and Specialty Paper Development, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to construct a mathematical model based on regression algorithm to determine the best solid density by combining with the dot gain, thus improving the quality of print, regarding the fact that the density is the best when the relative contrast is the largest. The three-dimensional coordinate graph was obtained based on the solid density, relative contrast and dot gain value measured according to the proofs; and based on the regression algorithm, a mathematical model of the functional relationship between relative contrast K , dot gain and solid density was established. The model was used to find the parameter matching algorithm of dot gain and solid density when the relative contrast was maximal. When the dot gain was within 15%~20% of the national standard, the best solid density could be finally determined based on the minimum variance principle. The parameter matching of solid density and dot gain found based on the regression algorithm conformed to the function $y=ax+b$ when the relative contrast was maximal, and the best solid densities of C, M, Y, and BK inks were respectively 1.551, 1.612, 0.975 and 1.828. The method to determine the best solid density based on the regression algorithm can ensure good relative contrast and appropriate dot gain, and improve the clarity and vividness of the

收稿日期: 2018-03-19

基金项目: 2017 年陕西省大学生创新创业训练计划 (1306); 2017 年陕西省大学生创新创业训练计划 (109); 西安市科技计划 2017068CGRC031 (SXKD008); 陕西省科技厅工业公关项目 (2016GY-017, 2016GY-079); 宝鸡市科技计划 (16KJHZI-2, 16GYGG4-2); 西安市未央区科技计划 (201825)

作者简介: 郭凌华 (1970—), 女, 博士, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为防伪印刷及颜色科学。

prints. It is of certain guiding significance for the printing quality control.

KEY WORDS: relative contrast K; dot gain; solid density

在多色胶印中,实地密度是印刷品色彩复制效果至关重要的影响因素,决定着印刷后产品表面油墨墨层的厚度、印刷品图文网点扩大以及印刷品阶调层次再现能力^[1]。实地密度控制失误将直接导致其他参数异常,印刷质量出现问题,因此确定最佳的实地密度对印刷品质量有着至关重要的作用^[2-7]。确定最合理的印刷墨量,传统的方法是通过调整印刷时输出墨量大小,获得墨色深浅不同的印张,检测不同印张上的相对反差,以相对反差最大的印张的密度为最佳实地密度^[8-10],但是在确定最佳实地密度时,仅考虑到相对反差的问题是不充分的,在实际的生产过程中,在利用相对反差确定实地密度的同时也要保证网点扩大在一定范围内^[11-12],因此需要综合考虑印刷反差和阶调还原这 2 个方面来评价印品质量。2012 年张永彬、陈章才等^[1]在确定最佳实地密度时,做了网点扩大和实地密度、相对反差和实地密度的函数关系,通过比较曲线趋势来确定最佳的实地密度,过程复杂,误差较大。文中主要基于回归算法建立相对反差、网点扩大和实地密度三者之间的函数模型并找到网点扩大和实地密度的参数匹配算法来对此问题进行研究,使得在确定最佳实地密度时,能够同时保证相对反差良好,网点扩大适宜,提高印刷品的清晰度和鲜艳程度,对印刷的质量控制具有一定的指导意义。

1 实验

1.1 仪器及材料

仪器和材料包括曼罗兰 700 胶版印刷机、X-Rite 528 分光密度计、157 g/m² 的铜版纸、天津东洋天狮 TGS 亮光不结皮胶印油墨。

1.2 条件

实验条件: 温度 25 °C, 相对湿度 38%; 色序 BK, C, M, Y; 加网线数是 70 线/cm; 印刷速度为 6000 张/h。

1.3 样张

设计实验样张。制作从 0 到 100% 以 5% 为间隔的 21 级 4 色即黄 Y、品 M、青 C、黑 BK 梯尺样张, 见图 1。

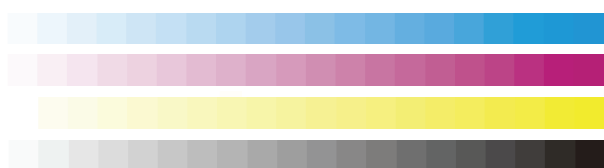


图 1 四色梯尺

Fig.1 Four-color step wedge

1.4 数据采集

从开始印刷到最终达到水墨平衡的整个过程中,每隔 40 张抽取 1 张过版样张,用分光光度计测量每张样张的实地密度、75% 网点密度、50% 实际网点面积,计算相对反差 K 以及网点扩大。

1.5 基于回归算法建立数学模型

在文中,相对反差 K 是根据实地密度和 75% 网点面积处的密度求得的,必定会受到网点扩大的影响,实现三者之间的映射关系可以形式化为二元回归问题,回归问题一般分为学习和预测 2 个过程,具体流程见图 2^[13-15]。

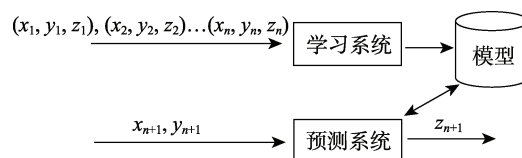


图 2 回归系统

Fig.2 Regression system

在学习系统中首先给定训练数据集:

$$f = \{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)\} \quad (1)$$

式中: x_i, y_i 为输入, 分别代表实地密度和网点扩大; z_i 为输出, 代表相对反差 K, $i=1, 2, \dots$ 。学习系统根据训练数据建立一个模型, 见式 (2)。

$$Z = f(X, Y) \quad (2)$$

在 Origin 数学软件中绘制三维坐标图, 并根据多元线性回归算法 $p = \text{polyfit}(x, y, z, n)$ 语句进行二元回归, 经过多次拟合比较, 发现 4 色油墨都是 $n=2$ 时曲面拟合回归效果最好。即 4 色油墨的回归方程都可描述为:

$$Z = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 Y + \alpha_3 X^2 + \alpha_4 Y^2 + \alpha_5 XY \quad (3)$$

式中: $\alpha_0 - \alpha_5$ 为表达式系数。

对于新的输入 x_{n+1}, y_{n+1} , 预测系统根据学习到的模型确定相应的输出 z_{n+1} 。在印刷过程中, 常用相对反差 K 最大来确定最佳实地密度, 在预测系统对模型进行推导变型, 令模型的偏导数为 0, 即 $Z'=0$, 确定输入值 x_i, y_i 之间的参数匹配函数 $X=f(Y)$, 使得在相对反差最大时能够根据其中一个值来预测另一个值, 将这种预测方式定义为网点扩大和实地密度的参数匹配算法, 见式 (4)。

$$X = -\frac{\alpha_5}{2\alpha_3} Y - \frac{\alpha_1}{2\alpha_3} \alpha \quad (4)$$

在预测系统中, 在网点扩大为国标范围 (15%~

20%) 内, 由参数匹配算法计算出的实地密度值 $x(y)$ 与实验测定的实地密度值 x_i 之间存在误差 $e^{[16]}$, 其方差为:

$$\ell^2 = [x_i - x(y_i)]^2, i = 1, 2, \dots \quad (5)$$

以方差最小为原则所对应的实地密度 x_i 最终确定为最佳的实地密度。

1.6 模型的评价与验证

1.6.1 模型的评价

判断模型的优劣需要一套完整的评价体系, 文中使用相关系数 (R)、拟合优度 (R^2) 来评价回归模型^[13]。

相关系数 (R) 在回归分析中主要衡量 2 个变量之间联系的紧密程度, 定义见式 (6)。

$$\text{corr}(x, y, z) = \frac{S_{xyz}}{S_x S_y S_z} \quad (6)$$

式中: $S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$; $S_{xyz} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})(z_i - \bar{z})$; S_y, S_z 同理可得, $i=1, 2, \dots, n$ 。

拟合优度 (R^2) 指的是回归直线对观测值的拟合程度, 其使用确定系数来度量, 是上述相关系数 R 的平方。确定系数介于 0~1 之间, 该值越接近 1, 表示回归效果越好, 一般认为 R^2 超过 0.8 的模型拟合程度比较高。

1.6.2 模型的验证

在印刷工艺中, 实地密度的标准参考数据为 C 墨 1.50~2.00, M 墨 1.30~1.60, Y 墨 0.90~1.10, K 墨 1.6~1.8。文中将在预测系统中利用参数匹配算法确定的最佳实地密度 x_i 与国标实地密度范围的接近程度来对模型进行验证, 以确保基于回归算法建立数学模型来确定最佳实地密度的准确性。

2 结果与分析

2.1 基于回归算法的模型建立

将数据集 $f = \{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)\}$ 在 Origin 数学软件中绘制成三维坐标图, 其中实地密度为 x 轴, 网点扩大为 y 轴, 相对反差 K 为 z 轴, 见图 3。

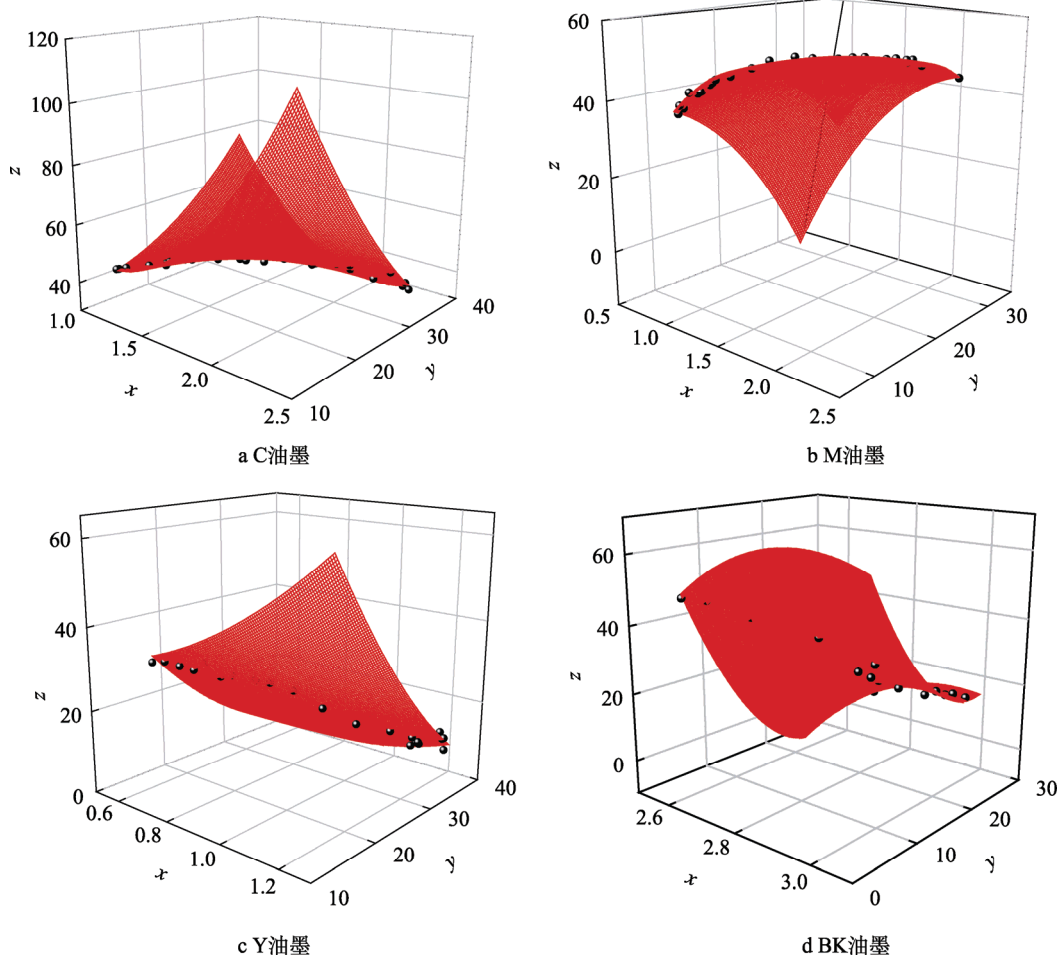


图 3 CMYBK 油墨的实地密度、网点扩大、相对反差的三维坐标

Fig.3 Three-dimensional coordinates of solid density, dot gain and relative contrast of C, M, Y, BK inks

利用曲面回归算法进行二元回归，确定实地密度、相对反差和网点扩大的函数模型为：

C 油墨： $Z = 44.8186 - 58.348X + 5.78055Y + 59.6199X^2 + 0.18698Y^2 - 7.6987XY$

M 油墨： $Z = 14.45418 + 46.4364X - 0.42964Y - 22.39096X^2 - 0.08155Y^2 + 1.87907XY$

Y 油墨： $Z = 54.7728 + 2.96797X - 2.7062Y + 13.3601X^2 + 0.03656Y^2 - 0.5295XY$

BK 油墨： $Z = -2142.91702 + 3204.32937X - 121.8916Y - 1166.13X^2 - 1.79Y^2 + 89.90846XY$

令模型的偏导数为 0，即 $Z'=0$ ，确定输入值 x_i, y_i 之间的参数匹配函数 $X=f(Y)$ ，使得在相对反差最大的情况下形成关于实地密度与网点扩大的参数匹配算法：

C 油墨： $X = 0.06456485 Y + 0.48933326$

M 油墨： $X = 0.04196046 Y + 1.0369408$

Y 油墨： $X = 0.028191201 Y + 0.49014002$

BK 油墨： $X = 0.00537289 Y + 1.75953576$

该算法的意义在于只有当实地密度和网点扩大满足该函数关系时，才能用相对反差值最大来确定最佳的实地密度。预测系统中，在网点扩大为国标范围（15%~20%）内，由参数匹配算法计算出的实地密度值 $x(y)$ 与实验测定的实地密度值 x_i 之间存在误差 e ，以方差 e^2 最小时的实地密度为最佳实地密度。

从表 1 中数据可知方差 e^2 最小分别为 C 油墨 0.001 444，M 油墨 0.008 836，Y 油墨 0.000 004，BK 油墨 0.000 625，因此 C, M, Y, BK 油墨的最佳实地密度分别为 1.551, 1.612, 0.975, 1.828。

表 1 网点扩大为 15%~20% 范围内实地密度计算值和测量值的比较

Tab.1 The comparison of calculated and measured values of solid density in the range of 15% ~ 20% for dot gain

油墨	网点扩大	计算实地密度 $x(y)$	测量实地密度 x_i	方差 e^2
C 油墨	14.47	1.361	1.444	0.006 889
	15.16	1.513	1.551	0.001 444
	16.50	1.547	1.649	0.010 404
	16.52	1.556	1.701	0.021 025
	17.17	1.598	1.787	0.035 721
M 油墨	16.00	1.709	1.523	0.034 596
	17.04	1.706	1.612	0.008 836
	19.49	1.855	1.694	0.025 921
	20.03	1.898	1.784	0.012 996
Y 油墨	16.39	0.884	0.814	0.0049
	16.52	0.888	0.869	0.000 361
	16.90	0.927	0.916	0.000 121
	17.18	0.977	0.975	0.000 004
	19.12	1.074	1.032	0.001 764
BK 油墨	15.41	1.845	1.812	0.001 089
	17.59	1.853	1.828	0.000 625
	18.12	1.854	1.891	0.001 369
	18.52	1.856	1.829	0.000 729

2.2 模型评价与验证

文中基于回归算法在学习系统中建立数学模型，在预测系统中确定了相对反差最大时网点扩大和实地密度的参数匹配算法。用相关系数（ R ）、拟合优度（ R^2 ）对模型进行评价，结果见表 2。当网点扩大

在国标范围 15% ~ 20% 时，依据参数匹配算法，计算出最佳实地密度的范围与国标实地密度范围进行比较，同时将确定的最佳实地密度也与国标实地密度范围进行比较，根据数值的接近程度来检验模型的准确性，完成模型的验证，见表 3。

表 2 模型评价指标值

Tab.2 Evaluation index values of the model

油墨	相关系数（ R ）	拟合优度（ R^2 ）
C 油墨	0.974 074	0.948 82
M 油墨	0.995 219	0.990 46
Y 油墨	0.986 225	0.972 64
BK 油墨	0.981 738	0.963 81

表 3 计算实地密度与标准实地密度的比较

Tab.3 Comparisons of calculated solid density values and standard solid density values

油墨	最佳实地密度	计算密度范围	国标范围
C	1.551	1.458 ~ 1.781	1.5 ~ 2.0
M	1.612	1.605 ~ 1.806	1.3 ~ 1.6
Y	0.975	0.844 ~ 0.986	0.9 ~ 1.1
K	1.828	1.827 ~ 1.861	1.6 ~ 1.8

从上述模型评价中可以看出,评价指数相关系数(R)、拟合优度(R^2)值都比较高,说明模型的拟合度比较高,回归效果较好。从验证结果可以看出,所确定的 C 油墨和 Y 油墨的最佳实地密度都在国标规定的标准范围内,M 和 BK 油墨稍微超出标准范围;当网点扩大在(15%~20%)范围内时,C、Y 油墨的实地密度范围都基本符合国标标准范围,而 M 油墨和 BK 油墨的实地密度范围稍微高于标准实地密度范围。分析其原因可能是由于所使用的油墨与国标规定的油墨色度上存在差异,导致油墨色相所引起的实地密度偏大。也有可能是所使用的纸张造成的,纸张平滑度高,纸与纸张的接触面积大,密度上升快,因此油墨覆盖率大。

2.3 结果分析

分析文中实验机理,在印刷过程中,墨层较薄时,印刷反差小,网点扩大较小,图像饱和度不够,色彩不鲜艳;随着实地密度的增加,图像的相对反差 K 逐渐增大,当实地密度达到某一数值后, K 值开始从某一峰值向下跌落,网点扩大严重,图像开始变得浓重,层次减少,反差降低。由此可知,三者之间必定存在着相互联系,在用相对反差最大来确定最佳实地密度时,网点扩大和实地密度也一定存在着匹配关系,文中基于回归算法对这种匹配关系进行量化,形成参数匹配算法,最终确定了最佳的实地密度。由实验结果可知,文中确定的最佳实地密度基本符合国标规定的实地密度的范围,充分证明了此方法的正确性和有效性,能够实现在确定最佳实地密度时同时考虑印刷反差和阶调还原。

3 结语

文中提出一种确定最佳实地密度的方法,基于回归算法建立相对反差、网点扩大和实地密度之间的数学模型,找到当相对反差最大时实地密度和网点扩大之间的参数匹配算法,当网点扩大在国标(15%~20%)范围时,最终以方差最小原则确定最佳的实地密度。结果显示,相对反差最大时网点扩大和实地密度的参数匹配符合函数 $y=ax+b$, C, M, Y, BK 油墨的最佳实地密度确定为: 1.551, 1.612, 0.975, 1.828。文中实现了在确定最佳的实地密度时可以同时保证相对反差良好,网点扩大适宜,可提高印刷品的清晰度和鲜艳程度,对印刷的质量控制具有很大的指导意义。

参考文献:

- [1] 张永彬, 陈章才, 张兵. 商业轮转胶印最佳实地密度研究与应用[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 104—106.
ZHANG Yong-bin, CHEN Zhang-cai, ZHANG Bing.

- Research and Application of Optimum Solid Density for Commercial Rotary Offset[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 104—106.
- [2] 刘浩学. 印刷色彩学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.
LIU Hao-xue. Color Science and Technology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014.
- [3] 汪兆良. 印刷色彩学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1991.
WANG Zhao-liang. Printing Color Science[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1991.
- [4] 郑元林. 印刷品质量检测与控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
ZHENG Yuan-lin. Quality Inspection and Control Technology of Presswork[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [5] 赵伟立. 印刷品质量检测[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
ZHAO Wei-li. Testing the Presswork Quality[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [6] 刘世昌. 印刷品质量检测与控制[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2000.
LIU Shi-chang. Controlling and Testing the Presswork Quality[M]. Beijing: Printing Industry Publishing House, 2000.
- [7] 何晓辉. 印刷质量控制与检测[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008.
HE Xiao-hui. Controlling and Testing the Presswork Quality[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2008.
- [8] 郑允, 吕新广, 宋兵. 包装印刷墨层厚度和实地密度之间的关系[J]. 包装工程, 2004, 25(3): 161—163.
ZHENG Yun, LYU Xin-guang, SONG Bing. Study on the Relationship Between Printing Ink Thickness and Density[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3): 161—163.
- [9] 王学美, 唐万有, 陈婧. 墨层厚度和实地密度关系的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 93—95.
WANG Xue-mei, TANG Wan-you, CHEN Jing. Study of the Relationship Between Ink Thickness and Solid Density[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 93—95.
- [10] 胡更生. 对调频加网印刷相对反差计算的分析[J]. 印刷质量标准化, 1997(3): 18—20.
HU Geng-sheng. Analysis of Relative Contrast in FM Screen Printing[J]. Printing Quality Standardization, 1997(3): 18—20.
- [11] 张治军. 利用相对反差确定最佳实地密度[J]. 科技展望, 2016(35): 252.
ZHANG Zhi-jun. Determination of Solid Density by Relative Contrast[J]. Science and Technology, 2016(35): 252.

- [12] 王雪方. 网点增大和相对反差的控制原理与方法研究[J]. 湖北职业技术学院学报, 2008, 11(4): 78—81.
WANG Xue-fang. Study on Controlling Principles and Methods of Halftone Dot Accretion and Relative Contrast Control[J]. Journal of Hubei Polytechnic Institute, 2008, 11(4): 78—81.
- [13] 赵延杰. 基于多元回归算法的非介入式压力检测技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
ZHAO Yan-jie. Research on Non-intrusive Pressure Measurement Technology Based on Multiple Regressing Algorithms[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [14] HETSRONI G. Handbook of Multiphase Systems[M]. New York: Hemisphere Publishing Corporation, Me G Raw-hill Book Company, 1982.
- [15] CARE W P, YEE S S. Calibration of No-linear Solid-state Sensor Arrays Using Multivariate Regression Models Techniques[J]. Sensor & Actuators, B Chemical, 1992, 9(2): 113—122.
- [16] 王娟. 基于多元回归和支持向量机的霍尔位移传感器测量精度的研究[D]. 上海: 东华大学, 2017.
WANG Juan. The Research of the Hall Displacement Sensor Base on the Multiple Regressing and Support Vector Machine (SVM)[D]. Shanghai: Donghua University, 2017.