

基于网点的喷墨印刷质量评价体系研究

王茜, 王琪

(南京林业大学, 南京 210037)

摘要: **目的** 在构建调频网点微观立体模型的基础上,通过提取微观参数并结合印品宏观质量评价指标,建立基于网点的3阶段印品质量模糊综合评价体系。**方法** 基于3层递阶准则机制,体系第1阶段采用模糊层次法评价各区域的各颜色质量;第2阶段利用模糊综合评判法,对各区域四色喷墨质量进行综合评价;第3阶段根据加权算术平均算法,对喷墨样张进行总体质量评价。**结果** 该质量评价体系全面考虑了影响喷墨印刷品质量的微观与宏观因素及其关联度,客观确定不同影响因子的权重,反映了质量评价的等级。经验证,评价结果与主观相一致。**结论** 该质量评价体系计算步骤明确,评价结果清晰,系统性强,为喷墨印刷品的质量评价提供了参考。

关键词: 网点微观参数;模糊综合评价;层次分析法;最大隶属度

中图分类号: TS853⁺.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)21-0115-07

Evaluation System for Inkjet Printing Quality Based on Micro-dot

WANG Qian, WANG Qi

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

ABSTRACT: Based on the construction of FM micro-dot model, the inkjet printing quality system of 3 levels was established by extracting the micro-parameters with the combination of macro quality indexes for prints. Based on the 3-layer hierarchical criterion mechanism, the first level of the system evaluated the printing quality of every single color using fuzzy AHP; the second level of the system evaluated the quality of four colors in each region by fuzzy comprehensive evaluation method; the third level evaluated the overall quality of the ink jet proof by weighted arithmetic average algorithm. The system fully considered the micro and macro factors which had impacts on the printing quality as well as their correlation. Besides, it determined the weight of different parameters objectively and deduced the quality evaluation scale accurately. The verification showed that the evaluation was consistent with the subjective result. In conclusion, this quality evaluation system had strict theoretical structure with specific calculation steps. The evaluation results were clear and highly systematic. It offers a new method for inkjet printing quality evaluation.

KEY WORDS: micro-parameters of dot; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process (AHP); maximum membership degree

喷墨打印是一种通过压电或热气泡使墨滴喷射出来并附着在承印材料表面,实现高速、高精度的非接触式数字图文印刷技术^[1]。对喷墨印刷品进行科学的质量评价是印刷业探索的重要课题。目前,对于喷

墨印刷品质量进行综合评价,通常是将待评价的印刷品质量影响因素按主、客观方面排序,相关指标直接通过仪器测量求得,但都是基于宏观的图像质量评价方法,并未从网点微观角度,根据喷墨印刷品表面形

收稿日期: 2014-12-19

基金项目: 江苏省普通高校学术学位研究生科研创新计划(KYLX_0881)

作者简介: 王茜(1991—),女,江苏泗洪人,南京林业大学硕士生,主攻图文处理与印品质量控制。

通信作者: 王琪(1971—),女,河南上蔡人,博士,南京林业大学副教授、硕导,主要研究方向为色彩管理与控制。

貌特征来对印品质量进行有效评估。网点作为组成印刷品的最小单元,其转移过程中的传递特性对印品质量有着决定性作用^[2]。如果能从网点在传递过程中形态传递特性这一微观角度去评价图像的复制质量,可以从根本上解决印刷质量的评价问题。

目前,对印刷品质量方面的研究虽然已将模糊数学的理论应用于印刷品质量检测中,但也只是以主观因素为主的简单量化评价,在精准度上还有待提高^[3-4]。到目前为止,没有任何一个数字印刷品质检体系能够结合微观与宏观因素进行综合判断。为对喷墨印刷质量影响的多种因素进行系统、全面的分析,这里引入一种基于模糊数学的、系统的综合评价方法,即模糊综合算法,提出基于网点微观立体模型的喷墨印刷品质量评价方法。该方法通过对目标对象的总体评价来解决各种非确定性问题,尤其适用于受到多种因素制约而难以量化解解决的对象。

1 喷墨印刷品质量评价体系参数

1.1 网点立体形态构建

实验设置相对湿度为50%、温度为18℃。数码样张采用EPSON St Ylus Pro 7880c数字喷墨打印机及EPSON“世纪彩虹”8色油墨进行输出,调频网点直径为20 μm,然后使用OLYMPUS BX41可旋转带光源读数光学显微镜,对网点数据进行采集和读取,通过CCD摄像头拍摄成像形成二维点阵,并将各点的灰度信息转换成电信号数据,最后经过视频采集卡,将模拟的视频数字图像信号在显示屏中成像。对图像以中值滤波的方式去除噪声之后,通过DT2000V2.0软件得到数值化的网点二维灰度数据^[5]。借助于SFS算法^[6]对调幅及调频网点进行立体形貌恢复,完成D-M的构建。具体网点立体模型构建过程见图1。网点还原结果见图2。

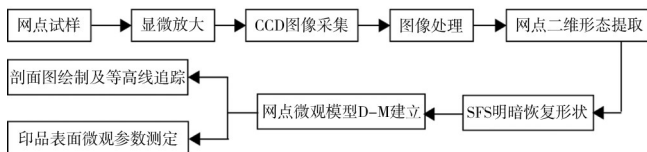


图1 网点立体模型构建流程

Fig.1 Flow Diagram for the construction of the dot model

1.2 网点微观参数建立

为精准评价网点还原情况,引入平均高程、表面

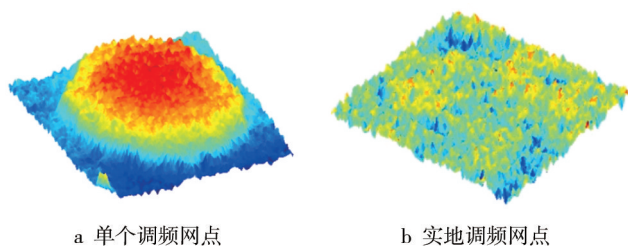


图2 喷墨网点立体图

Fig.2 3D morphology of inkjet dot

形貌的均方根偏差、三维轮廓偏斜度、中心液体滞留指数等微观参数,对恢复的调频网点实地处的立体数据进行量化分析,见式(1)~(4)。

$$S_a = \frac{1}{MN} \iint |z(x,y)| dx dy = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M z(x_i, y_j) \quad (1)$$

式中: S_a 为平均高程,指被测样本表面上各点到基准表面偏距的平均高度,将其作为墨层厚度的量度; M, N 为横、纵方向的像素点数; $i(1 \leq i \leq M)$ 与 $j(1 \leq j \leq N)$ 分别为横、纵方向上像素点的坐标位置; x, y, z 为某像素点的三维坐标值。

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \iint (z(x,y) - \bar{z})^2 dx dy} = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (z(x_i, y_j) - \bar{z})^2} \quad (2)$$

式中: S_q 为表面形貌的均方根偏差,其作为统计幅度参数,被定义为表面粗糙度到参考面的均方根值,这里作为印品颗粒度的量度^[7]; $\bar{z}$ 为基准平面高度。

$$S_{sk} = \frac{1}{MNS_q^3} \iint (z(x,y) - \mu)^3 dy = \frac{1}{MNS_q^3} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (z(x_i, y_j) - \mu)^3 \quad (3)$$

式中: S_{sk} 为三维轮廓偏斜度,是衡量幅度相对于中线对称程度的评定参数。若该参数为0,则幅度分布均匀;若小于0,则可能具有较多凹陷;若大于0,则可能具有较多峰值,基于此,可将它作为墨点规整度的量度。 μ 为参考中性面高度。

$$S_{ci} = \frac{1}{S_q} \frac{A_{i0.05} - A_{i0.8}}{(M-1)(N-1)\Delta x \Delta y} \quad (4)$$

式中: S_{ci} 为中心液体滞留指数,指中心区域单位面积上的空体容积与均方根的比值,反映中心区域承载液体的能力^[8-9],这里将其作为墨容性质的量度; $A_{i0.05}, A_{i0.8}$ 分别为轮廓支承面积5%及80%处的空体容积。

1.3 递阶准则机制构建

在进行印品质量评价之前,首先构建3层递阶准则机制,见图3。印品质量的宏观指标构成了最靠近目标层的第2准则层,该层直接对印刷质量造成影响^[12]。而上述参数均受到印刷的最小单元,即网点的影响。基于此,网点微观影响因子,即墨层厚度、颗粒度、墨点规整度及墨容指数,构成了最底部的影响区域单色综合印品质量的第1准则层,该层是影响喷墨印刷品质量的最本质因素。

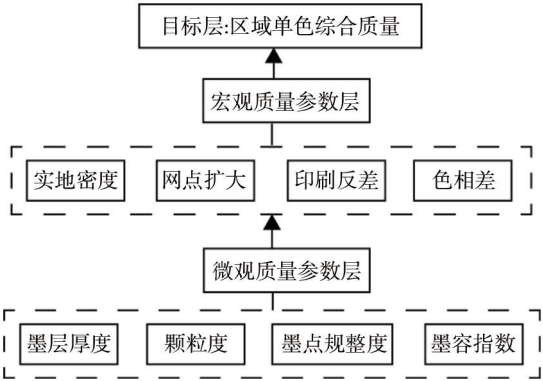


图3 递阶准则机制
Fig.3 Hierarchical criterion mechanism

将实地密度、网点扩大增大、印刷反差及色相误差分别记为 T_1, T_2, T_3, T_4 ;墨层厚度、颗粒度、墨点规整度、墨容指数分别记为 X_1, X_2, X_3, X_4 。随机抽取喷墨过程中质量差别较大的5个样本作为数据分析源,以确立相关微观参数因素变量对喷墨样张宏观质量的影响程度。具体检测数据见表1,其中,宏观质量指标为Spectro-eye分光光度计检测得到的品色色块数据,网点微观参数则以喷墨立体模型为基础,以数理统计的方式通过归一化计算得出。

为研究印品宏观与微观质量因子的关联度,通过斯皮尔曼相关系数分析法对相关参数进行分析,见表2。

由相关系数可以看出,墨点规整度与各因素之间几乎无相关性,即单个墨点的还原程度对喷墨质量没有影响。用 ε 表示由灰色相关度算法得到的相关系数的绝对值。对于实地密度及色相误差来说, $\varepsilon(x_1) > \varepsilon(x_2) > \varepsilon(x_4)$,即微观参数对二者的影响程度排序依次为墨层厚度、颗粒度、墨容性能。其中,实地密度与墨层厚度及墨容性能正相关,与颗粒度负相关;色相误差与颗粒度正相关,与墨层厚度及墨容性能负相关。对于网点扩大值和印刷反差来说, $\varepsilon(x_2) > \varepsilon(x_4) > \varepsilon(x_1)$,即微观参数对二者的影响程度排序依次为颗粒

表1 样张检测数据

Tab.1 Test data of inkjet proofs

样本	宏观因素				微观因素			
	T_1	T_2	T_3	T_4	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1.43	18.27	35.45	20.03	0.76	0.061	-0.016	0.64
2	1.47	15.36	40.73	20.78	0.81	0.036	-0.032	1.129
3	1.73	17.12	40.48	19.13	0.97	0.032	0.045	1.249
4	1.69	14.25	41.56	20.89	0.83	0.037	0.031	1.035
5	1.28	20.78	29.27	30.91	0.63	0.075	0.038	0.527

表2 灰色相关性
Tab.2 Gray correlation

参数	X_1	X_2	X_3	X_4
T_1	0.921	-0.863	-0.176	0.835
T_2	-0.607	0.865	0.422	-0.764
T_3	0.732	-0.972	-0.180	0.807
T_4	-0.819	0.792	-0.248	-0.704

度、墨容性能、墨层厚度。其中,网点扩大与颗粒度正相关,与墨层厚度及墨容性能负相关;印刷反差与墨容性能及墨层厚度正相关,与颗粒度负相关。又因为

$$\sum_{j=1}^4 \varepsilon_{1j} > \sum_{j=1}^4 \varepsilon_{2j} > \sum_{j=1}^4 \varepsilon_{3j} > \sum_{j=1}^4 \varepsilon_{4j}$$
,说明各宏观因素

对喷墨质量影响程度大小依次为实地密度、网点扩大、印刷反差、色相差。

2 模糊层次分析系统

模糊层次分析系统,顾名思义,是一个对模糊判断和层次分析进行结合的数理统计系统^[10]。模糊综合评判法,在全面考虑印刷品质量宏观及微观影响因素及其相互关系的基础上,根据模糊数学的最大隶属度原理,确定了不同因素的模糊度量。此外,层次分析法针对各影响因素对印品质量存在不同的模糊影响程度问题,对评定对象进行分级、分层次考虑,将复杂

问题简化^[11]。

这里基于喷墨调频网点微观立体模型,建立了3阶段印品质量评价体系。第1阶段采用模糊层次综合法评判样张各区域的颜色质量,并引入了递阶准则机制,在斯皮尔曼相关系数法确定各因素间的相对关联度基础上,借助层次分析法中的saaty1-9标度法获得各因素的权重,最后由隶属度法则得出具体的印刷品质量评价等级;第2阶段采用加权算术平均法和模糊综合评判法,对各区域四色喷墨质量进行综合评价;第3阶段采用加权算术平均法对整体样张的喷墨质量进行评价。具体情见图4。

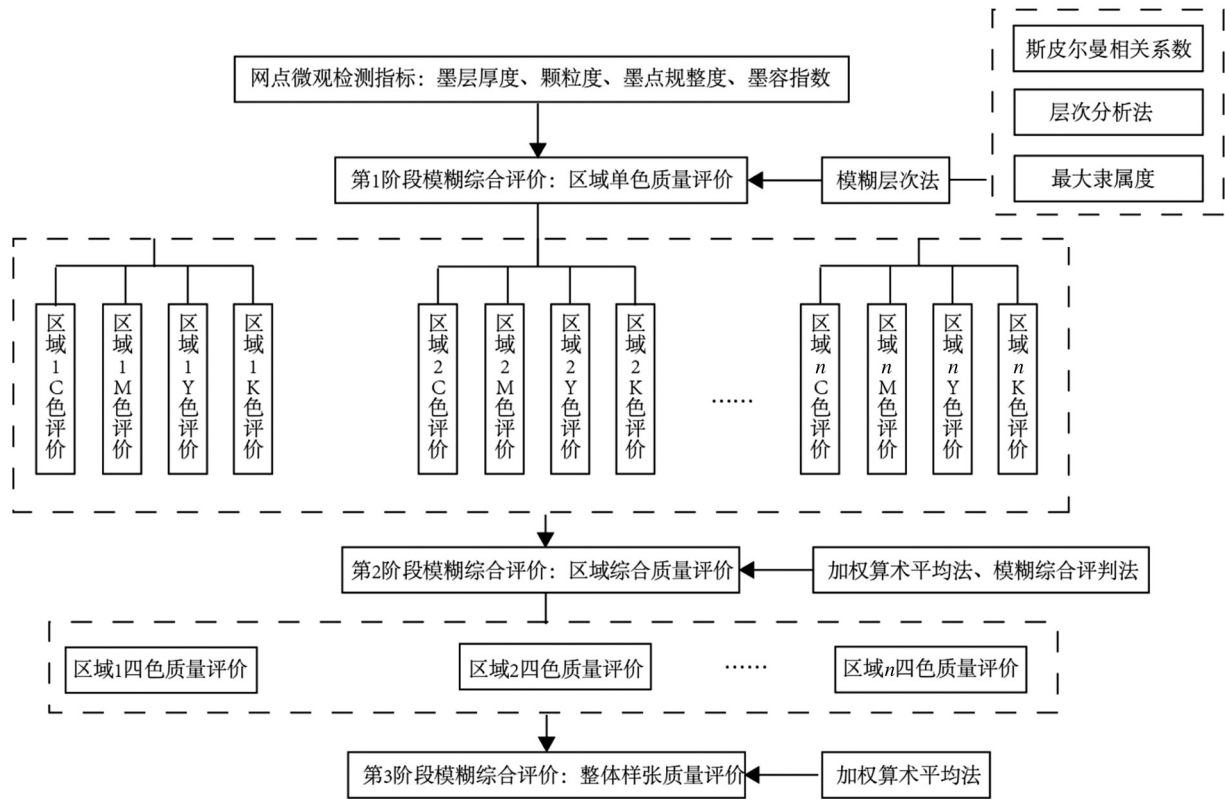


图4 模糊层次分析系统

Fig.4 Fuzzy hierarchy analysis system

2.1 区域单色质量评价

采用层次分析理论中的1~9标度数构造出判断表矩阵,见表3—7,其中,判断矩阵元素 a_{ij} 表示第 i 个因素对第 j 个因素的影响程度^[13—14]。1,3,5,7,9依次表示逐渐加深的影响程度;2,4,6,8则表示相邻判断指标的中间度量^[15]。

表3 宏观因素集对于目标层判断

Tab.3 Judge table for macro-parameters level to goal level

T	T_1	T_2	T_3	T_4
T_1	1	3	2	5
T_2	1/3	1	2	6
T_3	1/2	1/2	1	3
T_4	1/5	1/6	1/3	1

根据判断表矩阵计算其特征向量值,经归一化处

表4 微观因素集对实地密度判断

Tab.4 Judge table for micro-parameters level to D

T_1	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	1	3	9	3
X_2	1/3	1	6	2
X_3	1/9	1/6	1	1/5
X_4	1/3	1/2	5	1

表5 微观因素集对网点扩大判断

Tab.5 Judge table for micro-parameters level to DG

T_2	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	1	1/4	2	3
X_2	4	1	6	2
X_3	1/2	1/6	1	3
X_4	1/3	1/2	1/3	1

表6 微观因素集对印刷反差判断
Tab.6 Judge table for micro-parameters level to K

T_3	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	1	1/3	7	1/2
X_2	3	1	8	1
X_3	1/7	1/8	1	6
X_4	2	1	1/6	1

表7 微观因素对色相误差判断
Tab.7 Judge table for micro-parameters level to H

T_4	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	1	1/2	7	3
X_2	2	1	5	2
X_3	1/7	1/5	1	1/4
X_4	1/3	1/2	4	1

理后^[16]得到各宏观因素的相对权重 $A=(0.307\ 0.259\ 0.221\ 0.213)$ 。每个微观因素对上级宏观因素的相对权重为:

$$A_i = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.395 & 0.321 & 0.148 & 0.172 \\ 0.288 & 0.360 & 0.114 & 0.238 \\ 0.254 & 0.454 & 0.019 & 0.273 \\ 0.322 & 0.279 & 0.0186 & 0.213 \end{pmatrix}$$

以表1中5个样本的品红色检测情况为例,经过大量数据测验后,根据不同质量的喷墨印刷样张品红色各性能参数,确定隶属度函数特征值,见表8。其中, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 分别为喷墨样张质量优、良、中、差、较差等5个等级的平均值,分别对应于判断集 $U=(u_1\ u_2\ u_3\ u_4\ u_5)$ 。将表1和表8中的参数数值代入到正态隶属度函数 $f(x, \sigma, m) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$ 中^[17-18],构成宏观单因素评判矩阵 P_i 。

表8 品红色隶属特征参数
Tab.8 Degree of membership for M

参数	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
X_1	0.95	0.85	0.75	0.65	0.55
X_2	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
X_3	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09
X_4	1.20	1.00	0.80	0.60	0.40

$$P_1=P_2=P_3=P_4=\begin{pmatrix} 0.9324 & 0.1428 & 0.3512 & 0.0013 & 0.0004 \\ 0.4920 & 0.6394 & 0.2563 & 0.1529 & 0.1123 \\ 0.8526 & 0.2603 & 0.4794 & 0.0436 & 0.0021 \\ 0.9326 & 0.5963 & 0.1429 & 0.0035 & 0.0005 \end{pmatrix}$$

通过模糊变换,得到宏观因素集的评判结果 $D_i=A_i \circ P_i(i=1, 2, 3, 4)$, A_i 为前面得到的微观因素集中各因素的相对权重,“ $\circ$ ”为模糊算子^[19]。由 D_i 可以构成微观因素模糊综合判断矩阵 $D=(D_1D_2D_3D_4)^T$ 。 D 同时也是2级模糊综合评判的评判矩阵,即 $P=D$ 。

$$D=\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0.9356 & 0.4659 & 0.1425 & 0.0740 & 0.0041 \\ 0.9342 & 0.4653 & 0.1251 & 0.0721 & 0.0040 \\ 0.9326 & 0.4527 & 0.1220 & 0.0688 & 0.0034 \\ 0.9219 & 0.4123 & 0.1025 & 0.0606 & 0.0029 \end{pmatrix}$$

由微观模糊判断矩阵即可得出宏观因素评判结果: $M=A \circ P=(m_1\ m_2\ m_3\ m_4)$ 。其中, A 为各宏观因素的相对权重。根据隶属度算法, M 选取其与最大判断指标相对应的等级 u_i 作为结果,即最终的目标层。样本1基于微观角度的单区域评判结果为 $M_1=(0.9351\ 0.4652\ 0.1418\ 0.0727\ 0.0033)$,其最大隶属度值为0.9351,对应判断集的质量为优。其他样本的最大隶属度值依次为0.6291,0.8146,0.5248,0.8805,即样本2—5的质量分别为差、中等、较差、良。

2.2 区域综合质量评价

基于第1阶段模糊综合评价,对各个区域的4色印刷质量进行评价,即第2阶段模糊综合评价。此时的评价指标为该区域4种单色的质量,因此,取指标集 $z'=(z_1\ z_2\ z_3\ z_4)=(\text{青}\ \text{品}\ \text{黄}\ \text{黑})$ 。由于各颜色评价结果的重要程度没有明显界限,确定4色权重 $A'=(0.25\ 0.25\ 0.25\ 0.25)$ 。由宏观因素评判矩阵 M_j 构成评价矩阵 P' ,即 $M_j=P'$,通过模糊变换 $D'=A' \circ P'$ 得出评判结果。具体算法为:根据样本1依次求出同一区域四色评判矩阵 $M_{1j}=(m_{1j1}\ m_{1j2}\ m_{1j3}\ m_{1j4})$,其中 $j=1, 2, 3, 4$,分别表示C,M,Y,K,判断矩阵为:

$$D'_1=\begin{pmatrix} M_{11} \\ M_{12} \\ M_{13} \\ M_{14} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0.9131 & 0.4119 & 0.1347 & 0.0660 & 0.0062 \\ 0.9351 & 0.4652 & 0.1418 & 0.0727 & 0.0033 \\ 0.7492 & 0.5856 & 0.1563 & 0.5238 & 0.0031 \\ 0.9694 & 0.5628 & 1.9360 & 0.8321 & 0.0068 \end{pmatrix}$$

通过模糊变换得到 $D'_1=(0.9031\ 0.6328\ 0.2812\ 0.0936\ 0.0049)$,即其最大隶属度为0.9031。对应于判断集质量为优,该区域的印刷质量为优。

2.3 整体样张质量评价

在评价整幅喷墨样张质量之前,必须将第2阶段的评价结果(优、良、中、差、较差)转化为具体数值(0.90,0.75,0.60,0.45,0.30)才便于该级评价的计算。计算每个区域的质量结果 $x_i=(0.90\ 0.90\ 0.30\ 0.60\ 0.45$

0.45 0.45 0.90 0.90 0.75 0.60 0.90 0.45 0.60 0.75 0.75 0.90 0.90 0.30 0.60),最后运用加权算数平均算法得出结果,见式(5)。

$$y = \sum_{i=1}^n x_i \omega_i \quad (5)$$

式中: n 为喷墨样张的不同区域。由于各指标间重要程度没有差异,且各指标评价价值间也没有差异,且该实验共有15个参评区域,因此权重值 $\omega_i=1/15$ 。

而由于评价结果 $y \in (0, 1)$,因此把 $(0, 1)$ 分成对应于差、较差、中、良、优等5个区间,即 $(0, 0.2)$, $[0.2, 0.4)$, $[0.4, 0.6)$, $[0.6, 0.8)$ 和 $[0.8, 1)$ 。由式(5)得 $y=0.6225$,该结果位于区间 $[0.6, 0.8)$,因而整幅喷墨样张的质量为良。经验证,该评价结果与主观评价结果相一致,具有一定的可行性。

3 结语

通过建立调频网点微观立体模型,借助墨点平均高程、表面形貌的均方根差、三维轮廓的偏斜度、中心液体的滞留指数,分别表征墨层厚度、粗糙度、墨点规整度及印品的墨容指数,并建立了3阶印品质量评价体系。该体系全面考虑了影响喷墨印品质量的微观与宏观因素及其相互关系,确定了各因素的权重值,得出的评价结果与主观相符合,能够客观、细致的划分印品等级。

参考文献:

- [1] 陈双莲,陈广学,屈贞财,等. 喷墨打印纸印刷适性预测模型的研究[J]. 中国造纸学报,2011,26(4):9—12.
CHEN Shuang-lian, CHEN Guang-xue, QU Zhen-cai, et al. Study on the Prediction Model of Paper Printability in Ink-jet Printing[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2011, 26(4):9—12.
- [2] 张旭亮. 网点微观结构解析[J]. 测绘通报,2007(12):21—23.
ZHANG Xu-liang. Analysis of Dot Microstructure[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007(12):21—23.
- [3] 陈永义,刘云丰,汪培庄. 综合评判的数学模型[J]. 模糊数学,1983,4(1):61—71.
CHEN Yong-yi, LIU Yun-feng, WANG Pei-zhuang. The Mathematical Model of Comprehensive Evaluation[J]. Fuzzy Mathematics, 1983, 4(1):61—71.
- [4] 赵燕. 印刷品质量的模糊综合评价研究[D]. 西安:西安理工大学,2011.
ZHAO Yan. Fuzzy Comprehensive Evaluation Research on Printing quality[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2011.
- [5] 王琪. 基于网点结构形态的图像信息印刷复制研究[D]. 南京:南京林业大学,2013.
WANG Qi. Research on the Quality of Image Replication Based on Dot Microscopic Structure[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [6] 何理想. 基于SFS方法的单幅图像的三维原型重建的研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2009.
HE Li-xiang. Research on 3D Reconstruction of A Single Image Based on SFS Methods[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2009.
- [7] 杨洁. 基于多层序列图像的三维粗糙度测量方法的研究[D]. 西安:西安理工大学,2010.
YANG Jie. Research on the 3d Roughness Measurement Method Based on Multilayer Sequences Image[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2010.
- [8] 李伯奎,李年莲,刘远伟,等. 表面粗糙度功能参数及其三维量值的实验研究[J]. 机械设计与制造,2011(9):179—181.
LI Bo-kui, LI Nian-lian, LIU Yuan-wei, et al. Research on the Experiment of the Surface Roughness Function Parameters and Their 3d Measurement Value[J]. Machinery Design and Manufacture, 2011(9):179—181.
- [9] 陈国强,张维强,彭文静. 研磨表面微观形貌的三维检测及Areal表征[J]. 机械设计与研究,2009(2):19—22.
CHEN Guo-qiang, ZHANG Wei-qiang, PENG Wen-jing. 3d Detection of the Grinding Surface Microstructure and Areal Characterization[J]. Machine Design and Research, 2009(2):19—22.
- [10] 张春英,尹守峰,刘保相. 双枝模糊层次分析与分析模型[J]. 山东大学学报,2005(1):119—124.
ZHANG Chun-ying, YIN Shou-feng, LIU Bao-xiang. Both-branch Fuzzy Hierarchical Analysis and Analysis Model[J]. Journal of Shandong University, 2005(1):119—124.
- [11] 刘冲. GATF测试标版的工业应用研究[D]. 曲阜:曲阜师范大学,2009.
LIU Chong. Industrial Application Study on GATF Sheetfed Test Form[D]. Qufu: Qufu Normal University, 2009.
- [12] 占济舟. 关于层次分析法中标度问题的研究[D]. 南宁:广西大学,2005.
ZHAN Ji-zhou. Research on the Scale Problem in the Process of Analytic Hierarchy Method[D]. Nanning: Guangxi University, 2005.
- [13] 初红艳,秦合营,蔡力钢. 印刷品色彩质量评价体系结构及算法[J]. 北京工业大学学报,2012,38(6):801—806.
CHU Hong-yan, QIN He-ying, CAI Li-gang. Evaluation Structure and Algorithm for Printing Color Quality[J]. Journal of Beijing Technology University, 2012, 38(6):801—806.
- [14] 陈娟. 基于多层次模糊综合评判模型的跨国工程项目风险

- 评估[J]. 统计与决策, 2008(5):168—170.
- CHEN Juan. Risk Assessment Based on Multi-level Fuzzy Comprehensive Evaluation Model of International Engineering Project [J]. Statistics and Decision, 2008(5):168—170.
- [15] 吴春英. 基于层次算法的客户满意度算法的研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2007(1):86—89.
- WU Chun-ying. Research on Customer Satisfaction Algorithm Based on Hierarchical Algorithm Journal of Sichuan Institute of Technology: Natural Science Edition, 2007(1):86—89.
- [16] 但斌, 姚玲, 经有国, 等. 基于本体映射面向模糊客户需求的产品配置研究[J]. 计算机集成制造系统, 2010(2):225—232.
- DAN Bin, YAO Ling, JINHG You-guo, et al. Research on Product Configuration Based on Ontology Mapping for Fuzzy Customer Requirements[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010(2):225—232.
- [17] 胡小梅, 朱文华, 俞涛. 基于模糊粗糙集的并行装配序列规划方法[J]. 机械工程学报, 2010(15):130—135.
- HU Xiao-mei, ZHU Wen-hua, Yu Tao. Planning Method of Parallel Assembly Sequence Based on Fuzzy Rough Sets[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2010(15):130—135.
- [18] 王双华, 张恒. 机械功能微晶玻璃可加工性能的模糊综合评价[J]. 材料导报, 2009(20):115—117.
- WANG Shuang-hua, ZHANG Heng. Fuzzy Comprehensive Evaluation on Machinable Property of Glass-ceramics with Mechanical Function[J]. Materials Review, 2009(20):115—117.
-
- (上接第78页)
- [3] 曾晓红, 刘春辉, 郝喜海. 包装机械产品绿色设计评价体系及方法研究[J]. 包装工程, 2007, 28(4):71—73.
- ZENG Xiao-hong, LIU Chun-hui, HAO Xi-hai. Packaging Machinery Product Green Design Evaluation System and Method Research[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(4):71—73.
- [4] 洪波, 包能胜. 包装机械的概念设计方案评选方法的研究[J]. 包装工程, 2010, 31(11):80—83.
- HONG Bo, BAO Neng-sheng. Research of Scheme Optimization Method for Packaging Machinery Conceptual Design[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11):80—83.
- [5] 唐晓青. 产品设计质量保证理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- TANG Xiao-qing. Product Design Quality Assurance Theory and Method[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [6] 孙智慧, 晏祖根. 包装机械概论[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
- SUN Zhi-hui, YAN Zu-gen. Introduction to Packaging Machinery[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [7] 高德. 包装机械设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- GAO De. Packaging Machinery Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [8] 商建东, 陈康宁. 生命周期产品设计质量评价及方案决策模型研究[J]. 机械设计, 2000(7):6—9.
- SHANG Jian-dong, CHEN Jiang-kang. The Life Cycle of Product Design Quality Evaluation and Scheme Decision-making Model Study[J]. Mechanical Design, 2000(7):6—9.
- [9] 张在房, 褚学宁. 面向生命周期的完整产品总体设计方案决策研究[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(5):833—841.
- ZHANG Zai-fang, ZHU Xue-ning. Decision-making for Overall Design Alternative of Full Product under Life Cycle[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2009, 15(5):833—841.
- [10] 姜兴宇, 王贵和, 张新敏, 等. 面向全生命周期的产品质量综合评价方法研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(20):5581—5584.
- JIANG Xing-yu, WANG Gui-he, ZHANG Xin-min, et al. Research on Comprehensive Quality Evaluation Method of Oriented-product Life Cycle[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(20):5581—5584.
- [11] SATTY T L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting[M]. New York: Mcgraw Hill, 1998.
- [12] 钟欣. 基于层次分析法的电子产品概念设计评价研究[J]. 包装工程, 2008, 29(11):108—111.
- ZHONG Xin. Research on AHP-based Evaluation of Electronic Product Conceptual Design[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(11):108—111.
- [13] 荆洪英, 张利, 闻邦椿. 基于层次分析法的产品设计质量权重分配[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2009, 30(5):712—715.
- JING Hong-ying, ZHANG Li, WEN Bang-chun. AHP-based Assignment of Weight in Product Design Quality[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science Edition), 2009, 30(5):712—715.
- [14] LI Guang-fan, CHEN Chao-he, JIANG Bi-feng, et al. Research of Shaanxi Province Urbanization Development Quality Evaluation Based on the Entropy Value Method[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 587/589:155—160.
- [15] LI Fei. Comprehensive Evaluation Research on Cyclic Economy Based on Entropy Value Method[C]// Proceedings of 2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. Xi'an: ICIII, 2013.