

基于图像技术的喷墨打印纸表面孔隙分析

张岩^{1,2}, 李仁爱¹, 曹云峰¹

(1. 南京林业大学, 南京 210037; 2. 河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 利用图像技术量化纸张表面孔隙结构, 并分析孔隙与纸张表面性能的关系。 **方法** 使用拉普拉斯算子和中值滤波, 处理喷墨打印纸表面扫描电镜图片(SEM), 提取出喷墨打印纸表面孔隙结构, 对不同粒径分布的SiO₂形成的涂层孔隙进行量化和对比, 得到孔的个数、面积、面积方差及面积分布情况, 探讨了孔面积和分布对纸张表面性能如光泽度、粗糙度、平滑度的影响。 **结果** SiO₂粒径分布影响纸张表面孔隙的个数、面积和均匀程度, 进一步影响纸张的表面性能。SiO₂粒径分布越宽, 形成的孔隙个数越多, 面积越大, 孔隙越不均匀, 所得到的表面越粗糙, 平滑度和光泽度也越低。 **结论** 利用图像技术可以量化涂层表面的孔隙情况, 为喷墨打印纸表面孔隙及表面性能的研究提供了可以借鉴的方法。

关键词: 图像技术; 边缘提取; 中值滤波; 孔隙

中图分类号: TS802 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)09-0129-05

Pore Analysis of Inkjet Paper Surface Based on Image Technology

ZHANG Yan^{1,2}, LI Ren-ai¹, CAO Yun-feng¹

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450011, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to quantify the pore structure and analyze the relationship between pore and surface properties of paper using image technology. Laplacian operator and median filtering algorithm were used to analyze the scanning electron microscope picture (SEM). The information of surface pore structure on the inkjet paper was extracted, and the coating pores formed by SiO₂ with different pore size distribution were quantified and contrasted with each other. The number, area, area variance and area distribution were obtained, and the effects of pore area and distribution on the paper surface properties such as glossiness, roughness and smoothness were investigated. The size distribution of silicon affected the amount, area, and uniformity of pores on the paper surface, and thus affected the surface performance of the paper. The wider the size distribution of silicon, the higher the amount and area of the pores formed, with the increase of the uniformity, the roughness of the surface increased, while the smoothness and glossiness decreased. In conclusion, image technology could be used quantify the pore information on the paper coating surface, which provides reference for the study of pores and properties of the inkjet paper surface.

KEY WORDS: image technology; edge extraction; median filtering; pore

图像技术指的是对光学图像进行捕捉、变换、分析和后期处理的技术, 造纸领域常用的数字图像技术主要是形态学处理, 包括图像的增强、边缘提取、复原和模式识别等。随着显微镜技术的进步和图像分析

软件的开发, 利用高倍扫描电子显微镜对纸页的微观结构进行观察, 对图像数据进行分析日渐成熟, 为纸品和印刷质量的研究提供了帮助。目前, 国内外的研究主要集中在纸面的脏点、纸浆的尘埃、油墨的呈色

收稿日期: 2014-11-13

基金项目: 江苏省高校优势学科建设工程

作者简介: 张岩(1972—), 女, 江苏泰兴人, 南京林业大学博士生、副教授, 主攻材料印刷适性。

通讯作者: 曹云峰(1966—), 男, 江苏南通人, 博士, 南京林业大学教授、博士生导师, 主要研究方向为制浆造纸与清洁生产。

和网点的提取等方面,取得较好效果^[1-2]。涂层的孔隙率和表面粗糙度是影响印刷油墨与纸之间相互作用的主要因素之一,因此,了解这些参数的特征是预测印刷过程中油墨行为的关键^[3]。将量化理论引入到涂层分析中,不仅对涂层微观结构的深入研究具有一定的科学意义,而且对分析和评价涂布彩喷纸的性质及其工业生产也有着明显的指导作用。为此,通过扫描电镜获取喷墨纸张表面的微观结构特征,利用图像分析技术处理纸张涂层表面的SEM图片,提取涂层表面孔隙结构参数,计算孔隙面积、面积分布、方差等参数,对涂布彩喷纸表面微观结构进行量化,建立孔隙结构参数与粗糙度、平滑度和光泽度的关系。

1 实验

1.1 材料

实验涂层中使用了3种SiO₂,其性能参数见表1,粒度分布见图1。比表面积和孔隙采用氮气吸附法(BET),使用麦克仪器(上海)公司2010型比表面和孔隙分析仪测得;粒度分布的测量依据米氏散射理论,使用丹东百特仪器有限公司的激光粒度分析仪测得。选择聚乙烯醇(PVA)和乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(VAE)为胶粘剂,PVA醇解度为88%,VAE玻璃化温度为(5±1.0)℃。

表1 3种SiO₂性能参数

Tab.1 Property parameters of three kinds of silicon

SiO ₂ 样品编号	比表面积/ (m ² ·g ⁻¹)	粒径(D50)/ μm	孔体积/ (m ³ ·g ⁻¹)	pH 值
1号	233.3144	17.46	1.1458	6.0~8.5
2号	300.6349	8.438	1.5065	
3号	354.6625	7.140	1.7686	

1.2 涂布

使用国产108 g/m²涂布原纸,涂布和干燥在温度为25℃、相对湿度为60%的室内进行。涂布液质量分数为20%,使用小型电动涂布机,涂布速度为14 m/s,涂布量为6~7 g/m²。将涂布好的纸放入105℃的烘箱中,10 s后取出,平放自然晾干。3种纸样涂层中几种主要原料的质量比 $m(\text{SiO}_2):m(\text{VAE}):m(\text{PVA})=100:36:24$ 。

1.3 纸张表面性能测量

平滑度、粗糙度和光泽度^[4]参照T 479 om-91,T

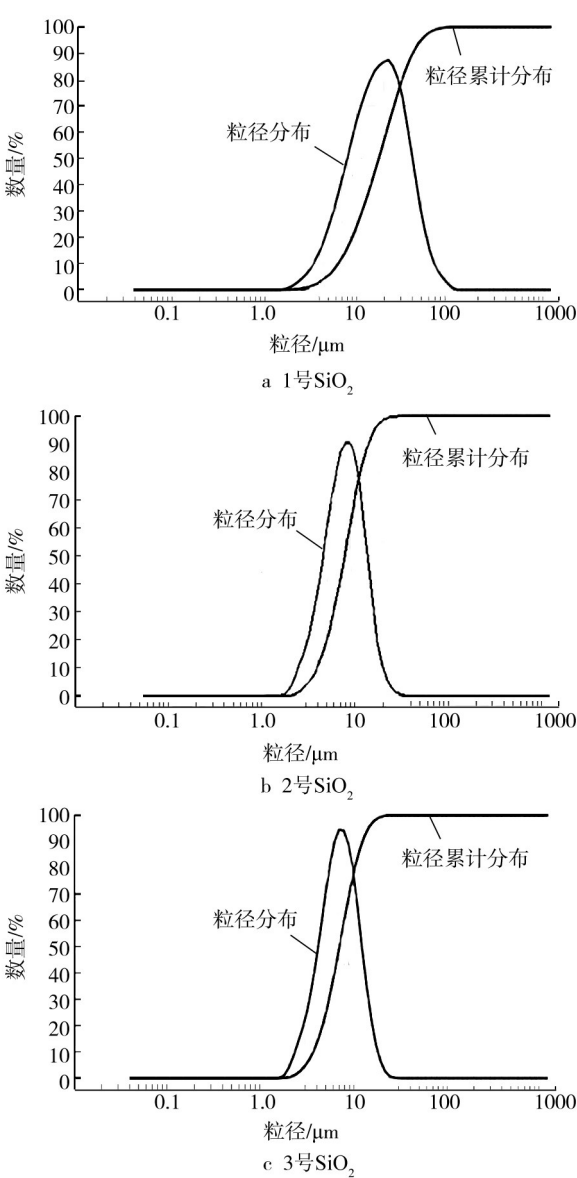


图1 3种SiO₂粒径分布

Fig.1 Particle size distribution of three kinds of silicon

538 om-96和T 480 om-99进行测量。

1.4 图像处理流程

基于扫描电镜的图像分析技术,是对纸张涂层微观结构表征和量化的有利工具,高分辨率图像的获取是该技术实现的前提条件^[5]。使用Quanta 200环境扫描电子显微镜放大1000倍,对3种纸样涂层表面进行扫描,得到表面微观形貌图片。使用Matlab软件对图像进行边缘提取,滤波处理,接着对连通的孔隙进行标记,从而计算出孔隙区域的面积。涂层表面SEM图像处理的流程见图2。

1.5 边缘提取

边缘检测可借助空域微分算子通过卷积完成,导

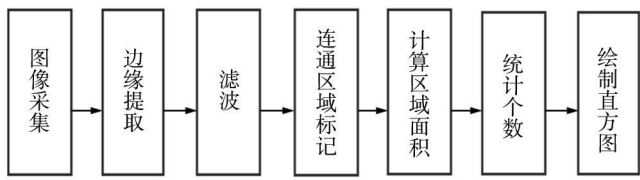


图2 涂层表面SEM图像处理流程

Fig.2 Image processing flowchart of SEM picture on inkjet paper coating surface

数算子具有突出灰度变化的作用^[6-7],对图像运用导数算子,灰度变化较大的点处算出的值较高,因此,可以将这些导数值作为相应点的边界强度,通过设置门限的方法,提取边界点集。常用的微分算子有罗伯特算子(Roberts)、索贝尔算子(Sobel)和拉普拉斯算子(Laplacian)等。

拉普拉斯是一种二阶微分边缘检测方法^[8],是通过寻找图像灰度值中二阶微分中的过零点来检测边缘点,其原理是灰度缓变形成的边缘经过微分算子形成单峰函数,峰值位置对应边缘点;对单峰函数进行微分,峰值处的微分值为0,峰值两侧符号相反,而原先的极值点对应二阶微分中的过零点,通过检测过零点,可以将图像边缘提取出来。拉普拉斯算子被认为是微分法中利用平滑二阶微分检测图像边缘最成功的一种算子。该实验采用拉普拉斯算子为 3×3 模板,即 $h=[0,-1,0;-1,5,-1;0,-1,0]$ 。

1.6 中值滤波

拉普拉斯算子虽然比较精确,但对噪声过于敏感,因此提取图像后必须做滤波处理。中值滤波常用于保护边缘信息,是基于排序统计理论的一种经典的平滑噪声方法,基本原理是把数字图像或数字序列中一点的值,用该点的邻域中各点值的中值代替^[9],让周围的像素值接近真实值,从而消除孤立的噪声点。方法是用某种结构的二维滑动模板,将板内像素按照像素值的大小进行排序,生成单调上升(或下降)的二维数据序列。二维中值滤波输出为 $g(x,y)=\text{med}\{f(x-k,y-l),(k,l\in W)\}$; $f(x,y)$, $g(x,y)$ 分别为原始图像和处理后图像; W 为二维模板。实验采用 3×3 模板经过2次中值滤波,得到了较为理想的涂层表面孔隙结构图。

1.7 查找连通区域并计算孔面积

将滤波后得到的图像变为二值图,孔隙部分为1,其他为0^[10]。采用8邻域方法查找并标记连通区域,模

板为 $[-1,-1;1,0;-1,1;0,-1;0,1;1,-1;1,0;1,1]$,见图3。查找时采用逐行扫描方式,孔洞部分的像素是需要查找出来并做好标记的像素,当扫描到像素值为1的孔洞时,向四周相邻像素继续扫描和判定,若8邻域中有值为1的像素则继续扫描,若值均为0则终止向邻域扫描,并将这些连通像素全部作上标记,采取重新赋值为127的方式作标记。这样,当扫描继续时,遇到值为127的像素,程序可以自动跳过,继续扫描下一个像素,避免重复运算。最后统计黑色连通区域中像素的个数,结合图像的分辨率,可以计算出黑色连通区域,即孔隙的面积。

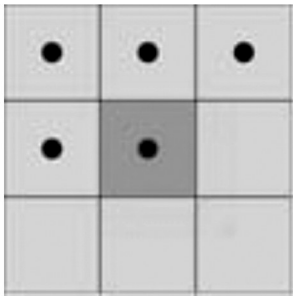


图3 8邻域模板示意

Fig.3 Template of 8 neighborhood

2 结果与讨论

2.1 涂层表面孔隙面积及分布

不同粒径SiO₂涂层表面孔隙提取效果见图4。由图4可以看出,涂层中使用的SiO₂粒径分布不同,其表面孔隙状况有很大差异^[11],Pap1使用的SiO₂粒径分布范围最宽,中位径(D50)最大,其表面连通的大孔最多,Pap2其次,Pap3表面孔最小。

3种纸张表面孔隙个数、面积、平均面积及面积方差等数据见表2。由表2可以发现,随着SiO₂粒径的减小,纸张表面孔隙总面积也减小^[12]。此外,Pap1纸张面积方差最大,说明使用粒径大且分布较宽的SiO₂得到的纸张孔隙大小不均匀,孔隙面积差异大;而使用小粒径且分布窄的SiO₂得到的Pap3产生最小面积方差,说明粒径越小、分布越窄所形成的孔隙越均匀。Pap1纸张表面孔隙面积分布最宽。

2.2 孔隙对表面平滑度、粗糙度和光泽度的影响

孔隙面积与纸张表面平滑度、粗糙度和光泽度的关系见图5。从图5可以看到,纸张孔隙面积对表面平

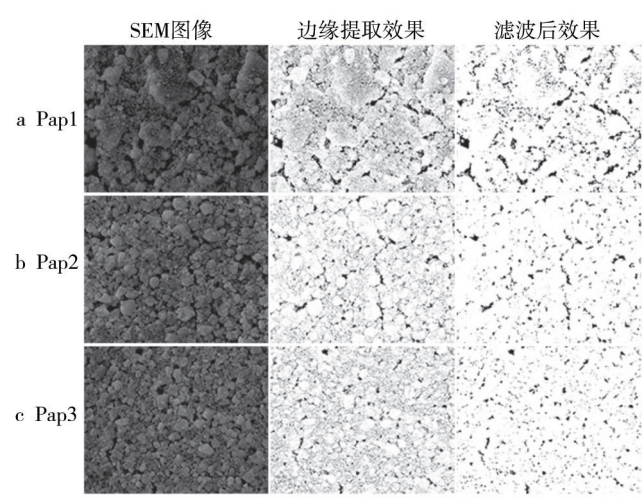


图4 不同粒径二氧化硅涂层表面孔隙提取效果
Fig.4 Pore extraction results of inkjet paper coating with different size of silicon

表2 样品表面孔隙数据分析
Tab.2 Data analysis of pores on the surface of samples

样 品	SiO ₂ 种类	最大孔 面积/mm ²	孔隙总面 积/mm ²	孔数 /个	平均孔面 积/mm ²	面积方差 ($\times 10^{-4}$)
Pap1	1号	0.5279	14.9639	2030	0.007 37	7.3714
Pap2	2号	0.2377	7.0761	1067	0.006 63	3.1941
Pap3	3号	0.1479	6.7360	1486	0.004 53	1.1730

滑度、粗糙度和光泽度影响较大^[13],孔隙面积大的纸张表面平滑度差,粗糙度高,光泽度相应低。尤其是面积方差比较大的纸张,孔大小分布不均匀,更容易形成凹凸不平的表面,使平滑度和光泽度下降^[14]。

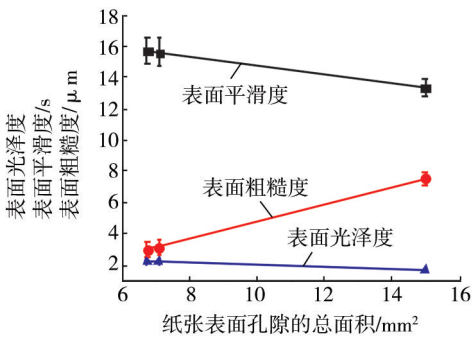


图5 孔隙面积与纸张表面平滑度、粗糙度、光泽度的关系
Fig.5 The relationship between area of pores and smoothness, roughness and glossiness of paper

3 结语

计算机图像分析法在纸张分析中已经实现了可

视化、微观化、自动化和准确化。利用拉普拉斯算子和中值滤波,可以比较准确地提取涂层表面孔洞结构,查找连通区域后可以计算出每个孔的面积,进一步可以得到孔隙的总面积、面积方差及面积分布情况,对纸张表面电镜照片孔隙状况进行量化。纸张表面孔隙面积及其分布对表面平滑度、粗糙度、光泽度影响很大,孔隙面积越大、分布越不均匀,得到的表面越粗糙,平滑度和光泽度也越低。

参考文献:

[1] SHUICHI M, TORU N. Development of Paper Having Micro-porous Layer for Digital Printing[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2000, 44: 410—417.

[2] 殷燕屏. 基于图像阈值分割及分形特征的纸病识别算法研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.

YIN Yan-ping. Identification Algorithm of Paper Defects Base on Threshold Segmentation and Fractal Characteristics [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012.

[3] ZHU Yu-chuan, CHEN Yun-zhi. Influence of Inkjet Paper Coating Structure on Paper Properties and Print Performance [C]// 2nd China Academic Conference on Printing and Packaging. Beijing, 2013: 269—272.

[4] 冷彩凤, 郭凌华, 刘国栋. 纸包装印刷中的光泽度处理技术研究[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 112—114.

LENG Cai-feng, GUO Ling-hua, LIU Guo-dong. Research of Gloss Enhancing Treatment Technology in Paper Packaging and Printing[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 112—114.

[5] CHEN D, ODOBEZ J M. Text Detection and Recognition in Images and Video Frames[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(3): 595—608.

[6] YE Q, HUANG Q, GAO W, et al. Fast and Robust Text Detection in Images and Video Frames[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(6): 565—576.

[7] VERIKAS A, BACAUSKIENE M. Estimating Ink Density from Colour Camera RGB Values by the Local Kernel Ridge Regression[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2008, 21(1): 35—42.

[8] STRÖM G, ENGLUND A, KARATHANASIS M. Effect of Coating Structure on Print Gloss after Sheet-fed Offset Printing[J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2003, 18(1): 108—115.

[9] 王晓红, 衣永政. 印刷网点图像模糊聚类分割方法的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 54—56.

WANG Xiao-hong, YI Yong-zheng. Research of Printing Dot Image Segmentation Using Fuzzy Cluster Method[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 54—56.

[10] 赵丹, 丁金华. 基于计算机图像处理的印刷品缺陷检测[J].

- 包装工程, 2009, 30(12): 120—121.
- ZHAO Dan, DING Jing-hua. Inspection of Defects in Printed Matter Based on Computer Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 120—121.
- [11] 赖兴强, 张育川. 吸墨剂二氧化硅的制备及其在喷墨打印中吸墨性能的研究[J]. 北京化工大学学报, 2003, 30(3): 51—54.
- LAI Xing-qiang, ZHANG Yu-chuan. Preparation of Ink Absorbent Silica and Its Ink Absorbing Properties in Inkjet Printing[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2003, 30(3): 51—54.
- [12] 王秋双. 不同粒径二氧化硅对彩喷纸涂层微观结构的影响[J]. 轻工科技, 2012(3): 32—34.
- WANG Qiu-shuang. The Effect on Microstructure of Inkjet Paper Coating in Silicon with Different Particle Size[J]. Light Industry Science and Technology, 2012(3): 32—34.
- [13] 韩雨彤, 张正健, 陈蕴智. 沉淀碳酸钙与二氧化硅复配对彩喷纸物理和打印性能的影响[J]. 造纸科学与技术, 2013(3): 17—21.
- HAN Yu-tong, ZHANG Zheng-jian, CHEN Yun-zhi. Influence of the Compound Coating with PCC and SiO₂ on the Physical and Printing Properties of Ink-jet Paper[J]. Paper Science & Technology, 2013(3): 17—21.
- [14] 冀俊杰. SiO₂颗粒性质对彩喷纸涂层结构和打印性能的影响[D]. 天津: 天津科技大学, 2008.
- JI Jun-jie. Influence of Silica Particle Properties on Coating Structure and Print Quality of Inkjet Papers[D]. Tianjing: Tianjin University of Science & Technology, 2008.
- [15] 张莹, 陈蕴智, 胡开堂. 图像分析技术在纸张结构分析中的应用[J]. 国际造纸, 2005, 23(5): 36—40.
- ZHANG ying, CHEN Yun-zhi, HU Kai-tang. The Application of Image Process Technology on Analyzing Paper Structure[J]. International Paper, 2005, 23(5): 36—40.
- (上接第76页)
- Holland Amsterdam: Elsevier, 2013: 71—92.
- [12] 林晶, 傅鹏飞, 钱锋, 等. 辉光弧光协同共放电方式制备TiN薄膜的研究[J]. 真空科学与技术学报, 2013, 33(8): 818—822.
- LIN Jing, FU Peng-fei, QIAN Feng, et al. Study of the TiN Film Plated by Arc Discharge and Glow Cement Deposition (APSCD)[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2013, 33(8): 818—822.
- [13] LIU Z, SUN Z H, MA X X, et al. Characterization of Composite SiO_x/Polymer Barrier Films[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 26: 70—79.
- [14] SOCRATES G. Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies[M]. Weinheim: Wiley, 1980.
- [15] G LVEZ de la P G, GUERRA T J A, ERLNBACH O, et al. Determination of the Sputter Rate Variation Pattern of a Silicon Carbide Target for Radio Frequency Magnetron Sputtering Using Optical Transmission Measurements[J]. Materials Science and Engineering B, 2010, 174: 127—131.
- [16] WEI L I, CHEN J F. Growth of TiN Films at Low Temperature [J]. Applied Surface Science, 2007, 253: 7019—7023.
- [17] DEVIA D, OSPINA R, BENAVIDES V, et al. Study of TiN/BN Bilayers Produced by Pulsed Arc Plasma[J]. Vacuum, 2005, 78: 67—71.
- [18] CHU K, SHEN Y G. Mechanical and Tribological Properties of Nanostructured TiN/TiBN Multilayer Films[J]. Wear, 2008, 265: 516—524.
- [19] T TARD F, DJEMIA P, BESLAND M P, et al. Characterizations of CN_x Thin Films Made by Ionized Physical Vapor Deposition[J]. Thin Solid Films, 2005, 482: 192—196.
- [20] YUKI Togashi, YUKO Hirohata, TOMOAKI Hino. Characterization of CN_x Films Prepared by Reactive Magnetron Sputtering[J]. Vacuum, 2002, 66: 391—395.
- [21] DRABIKA M, KOUSALA J, PIHOSH Y, et al. Composite SiO_x/hydrocarbon Plasma Polymer Films Prepared by RF Magnetron Sputtering of SiO₂ and Polyimide[J]. Vacuum, 2007, 81: 920—927.
- [22] PIHOSH Y, BIEDERMAN H, SLAVINSKA D, et al. Composite SiO_x/fluorocarbon Plasma Polymer Films Prepared by r.f. Magnetron Sputtering of SiO₂ and PTFE[J]. Vacuum, 2006, 81: 38—44.