

喷墨印制的 RFID 标签识别性能的影响因素分析

沈丽燕, 钱军浩

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 结合喷墨印刷原理分析了影响 RFID 标签识别性能的因素, 进而研究了叠印率及底基温度对 RFID 标签天线识别性能的影响。实验证明: 随着叠印率的增大, 导体的连续性增强, 墨层增厚, 线宽变大, 标签识别性能也得以提高, 而且提高操作温度对导体连续性起着正作用, 表面更为光滑, 线宽先增大后减小。

关键词: 喷墨印刷; 识别性能; 墨层厚度; 叠印率; 温度

中图分类号: TS807; TS853+.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)17-0126-04

Influencing Factor Analysis of Inkjet Printed RFID Tag's Identification Performance

SHEN Li-yan, QIAN Jun-hao

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Influencing factors of RFID tag's identification performance were analyzed with inkjet principles. The influence of trapping rate and substrate temperature on RFID tag's identification performance was studied. Experiments showed that with increase of trapping rate, the continuity of the conductor is improved, the line thickness and width become larger, and the identification performance is also improved; as temperature increases, the continuity of conductor is also enhanced, the surface is more smooth, and the line width first increases and then decreases.

Key words: inkjet; identification performance; ink thickness; trapping rate; temperature

在 RFID 电子标签的生产中, 喷墨印刷比传统印刷方式更具优势, 相同的墨层厚度, 标签表面粗糙度最低, 面阻率最低, 导电性最好, 识别距离最大^[1]。该技术生产过程数字化, 简化了生产流程, 节省材料及生产周期, 而且该技术适用于各种基质, 包括纸基、聚合有机材料等低廉底基, 从而有效降低生产成本。

对于提高喷墨印制的 RFID 标签识别性能, J. Virtanen 等人^[2-5]研究墨层厚度与辐射效率之间的关系, 发现增加墨层厚度能有效提高标签的辐射性能, 特别是增加表面电流密度较高区域的厚度, 而且油墨耗用总量与辐射性能密切相关, 成正函数关系。Toni Bjrninen 等人研究了运用于不同实物的印制标签的识别性能^[6], 并进一步研究了塑料瓶上直接印制标签的结构尺寸及印制位置与辐射效率的关系^[7]。Juha Virtanen 等人对线宽与识别性能之间的关系进行了研究, 证实了线宽 200 μm 的标签识别最大, 在一

定范围内, 线宽与识别距离成正相关^[8]。

笔者结合喷墨印刷原理分析影响 RFID 标签识别性能的因素, 研究叠印率及底基温度对其性能的影响。

1 RFID 标签识别性能与墨层厚度的关系

RFID 标签的等效电路见图 1^[9]。图 1 中 Z_a 和

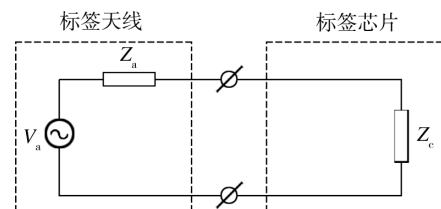


图 1 RFID 标签的等效电路

Fig. 1 Equivalent circuit diagram of RFID antenna

收稿日期: 2012-06-05

作者简介: 沈丽燕(1987—), 女, 江苏人, 江南大学硕士生, 主攻 RFID 标签天线印刷技术。

Z_a 分别为标签芯片和天线的复阻抗,一般情况下,芯片阻抗表现为容性,天线阻抗表现为感性。只有印制组件的品质得到保证后,标签才能具有较大的识别性能,而对于天线而言,印制高品质电感的关键是降低其面阻率,因为电阻是能量损耗的主要方面,由(1)式可知,墨层厚度是影响标签天线辐射效率的关键因素,只有墨层得以加厚后,标签的能量损耗才能降低,从而提高反射能量,进而增大识别距离。

$$\begin{cases} P_{\text{loss}} = I^2 R_{\text{loss}} \\ R_{\text{loss}} = R_s \frac{L}{W} \\ R_s = \frac{\rho}{H} \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_{loss} 是指导体和绝缘体的损耗功率; I 为标签中的电流; R_{loss} 是指损耗阻抗; R_s 为面阻率; L, W, H 分别为导体的长、宽、高,见图 2。

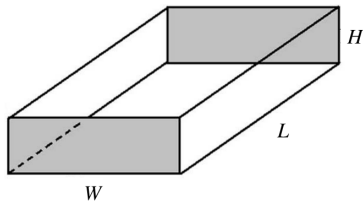


图 2 矩形导体的几何结构

Fig. 2 Structure of rectangular conductor

2 影响墨层厚度的因素

墨层由液滴堆积而成,见图 3,单滴液滴沉积时

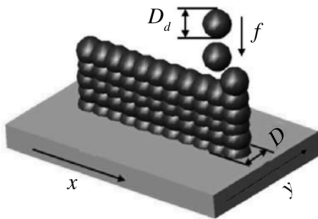


图 3 z 向的油墨叠加

Fig. 3 Ink trapping in z direction

成一球缺,见图 4,其体积如式(3),由式(6)可知,液滴铺展直径与液滴直径及接触角息息相关。

沉积前液滴体积为:

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D_d}{2} \right)^3 \quad (2)$$

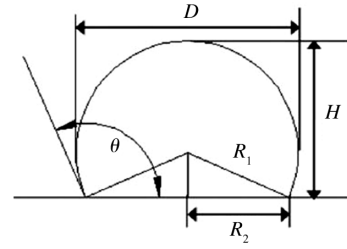


图 4 铺展后的液滴几何结构

Fig. 4 Geometric structure of droplet after spreading

沉积后液滴体积为:

$$V_0 = \frac{\pi}{6} H [3(R_2)^2 + H^2]$$

$$V_0 = \frac{\pi}{6} \left[R_1 \cdot \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) + R_1 \right] \cdot$$

$$\left\{ 3R_2^2 + \left[R_1 \cdot \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) + R_1 \right]^2 \right\} \quad (3)$$

所以:

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{D_d}{2} \right)^3 = \frac{\pi}{6} \left[R_1 \cdot \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) + R_1 \right] \cdot$$

$$\left\{ 3R_2^2 + \left[R_1 \cdot \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) + R_1 \right]^2 \right\} \quad (4)$$

$$\text{即: } \frac{R_1}{D_d} = \left\{ \frac{1}{(1 - \cos \theta) [4(\cos \theta)^2 - 2\cos \theta + 1]} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

$$D \approx 2R_1 = 2D_d \left\{ \frac{1}{(1 - \cos \theta) [4(\cos \theta)^2 - 2\cos \theta + 1]} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

式中: V_0 为每滴液滴的体积; D 为液滴沉积后的铺展直径; D_d 为液滴沉积前的直径,近似于喷嘴直径; R_1 为液滴沉积后的半径; θ 为接触角。

喷墨印刷过程是墨滴之间的叠加的加法过程,见图 5,当相邻两液滴之间的距离越小,印刷精度就越

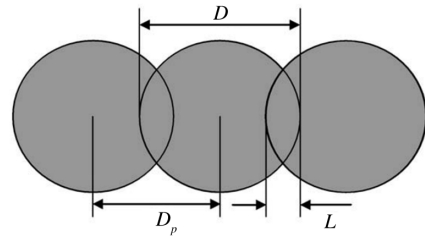


图 5 油墨叠印

Fig. 5 Ink trapping

高,叠印率越大,见式(7):

$$D_p = \frac{2.54}{DPI} = D - L = D \left(1 - \frac{L}{D} \right) = D(1 - \delta) \quad (7)$$

式中: D_p 为点距, 即两液滴圆心之间的距离; DPI 为印刷精度; δ 为叠印率。

由长方体体积计算公式可知, 导体固化后的厚度等于油墨的体积量除以横截面积。设印刷方向上印制了 x 个像素, 而宽度方向印制了 y 个像素, 则墨层厚度为^[10]:

$$H = \frac{V_0 xy}{[D + (x-1) \cdot D_{px}][D + (y-1)D_{py}]} \gamma \quad (8)$$

式中: γ 为油墨的体积固含量; D_{px}, D_{py} 为 x 和 y 方向上的点距, 即两液滴圆心之间的距离。由式(8)绘制出图 6, 可知在导体的印制长度给定的情况下,

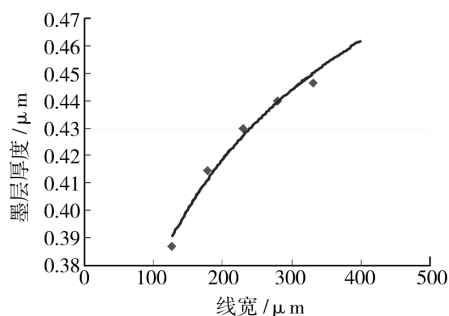


图 6 线宽与墨层厚度之间的关系

Fig. 6 Relationship between line width and line thickness

随着线宽的增加, 油墨用量的增长率明显大于油墨覆盖面积的增长率, 所以墨层厚度显然随着宽度的增加而增加。

由式(2)、(6)、(7)和(8)可得:

$$H = \frac{\pi D_d xy \{ (1 - \cos \theta) [4(\cos \theta)^2 - 2\cos \theta + 1] \}^{\frac{2}{3}}}{24 [1 + (x-1)(1-\delta_x)] [1 + (y-1)(1-\delta_y)]} \gamma$$

由此可见, 影响墨层厚度的因素有: 喷嘴直径、印刷精度、接触角、叠印率及油墨固含量。除接触角以外, 其他因素与墨层厚度成正相关, 为了获得较厚的墨层就必须增大上述因素的参数值, 从而获得高辐射性能的天线。

提高印刷精度或油墨的固含量、增加印刷线宽或叠印率均能增加膜层厚度。虽然提高印刷精度、增加印刷线宽这 2 种方法能有效地提高膜层厚度, 但是印刷品质会骤降, 不适合精细印刷, 而提高固含量易导致喷嘴堵塞, 并间接提高了印制成本, 有悖于广泛运用的初衷。由图 5 可知, 提高叠印率以增大膜层厚度是个切实可行的方法。

3 实验验证

3.1 等离子表面处理

实验以杜邦公司 Kapton 200HN 聚酰亚胺(PI)为基底, 厚度为 $51 \mu\text{m}$, 渗透性为 3.5, 损失正切为 0.002, 使用温度为 $269 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$ 。首先用氧离子和氩离子对 PI 表面进行 1 min 的净化处理, 然后用 C_4F_8 离子配以少量的氧离子进行氟化处理, 提高其亲水性。氟化处理中两者不同的配比使表面的润湿性不同, 与液滴作用时的接触角也有所不同, 由式(6)可知液滴的铺展半径也会随之而变化。实验采用 1:1 的比例进行氟化处理, 此时铺展直径为 $76.28 \mu\text{m}$ 。

3.2 喷墨印刷

实验采用 Dimatix DMP-2800 的喷墨印刷机, 其喷射的液滴体积可达 10 pl , 重复印刷精度可达 $\pm 25 \mu\text{m}$ 。油墨采用 Harima 公司的 NPS-JL 纳米银油墨^[11], 印制长度为 50 mm 的导体, 其参数见表 1。

表 1 纳米银油墨的参数

Tab. 2 Nano-silver ink parameters

型号	固含量/%		导电性 /(MS/m)	银颗粒		平均电阻 率/ $(\mu\Omega \cdot \text{cm})$
	体积 分数	质量 分数		直径 /nm	粘度 ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) /(Pa·s)	
NPS-JL	12.5	57.3	20	5	8.4×10^{-3}	5

印刷过程中叠印率设定范围为 $10\% \sim 60\%$, 针对每个叠印率, 印制 10 次, 相邻导线之间的间距为 $300 \mu\text{m}$ 。底基的加热温度由 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 逐渐增至 $75 \text{ }^\circ\text{C}$ 。每次印后将印品静置 10 min, 然后再进行测量观察。

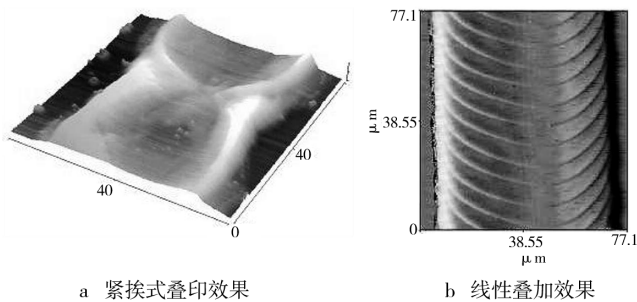
3.3 实验结果与分析

液滴的叠加方式有紧挨式和线性叠加 2 种。

1) 紧挨式。各液滴紧挨着, 但并没有接触点, 叠印率为 0, 为了使线条更厚实可以在底层墨膜上印制多层, 但由于液滴与基底两者的表面能有差异, 致使油墨分布不均匀, 某些区域表面比较粗糙, 见图 7a。

2) 线性叠加。这种方法使液滴以一定比例重叠, 因此横截面积各处都不同, 与前者相比较, 印刷速度稍慢, 因为其印刷头需往复运动, 运动路程比较长, 但表面粗糙度较前者低, 见图 7b。

见图 8, 当底基温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 随着叠印率的增大, 导线的连续性得以改善, 但是液滴膨胀的几率变大, 印刷效果不佳。底基温度为 $45 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 叠印率较小时, 断裂的情况时有发生, 但随着叠印率的增加, 发生



a 紧挨式叠印效果

b 线性叠加效果

图 7 液滴的叠加效果

Fig. 7 Trapping effect of droplet

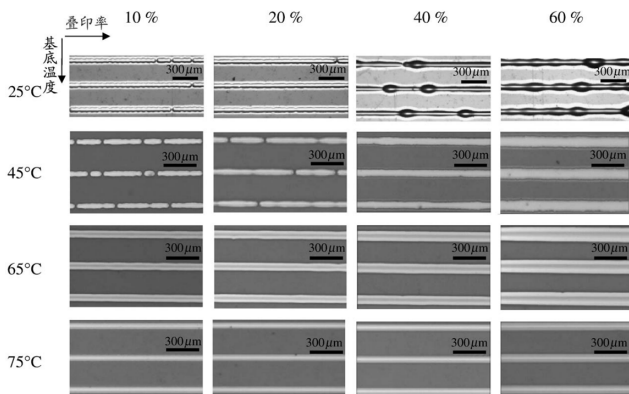


图 8 各操作温度下不同叠印率的印品效果

Fig. 8 Print effect under different trapping rate and operation temperature

几率在减小,当叠印率达 40% 时,连续性良好,而且线宽逐渐变大。当底基温度大于 65 °C 时,导线不再出现裂痕,导体表面更光滑,而且线宽也随着叠印率的提高而增大,而且在相同叠印率的情况下,65 °C 时的线宽大于 45 °C,75 °C 的线宽与 45 °C 时的相当,见图 9。

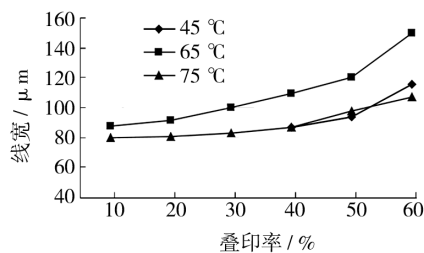


图 9 各操作温度下线宽与叠印率的关系

Fig. 9 Relationship between line width and trapping rate under different operation temperature

产生上述现象的原因是,叠印率的增大意味着在 50 mm 的长度内包含将更多的像素点、导线的连续性增强,线宽和墨层厚度均有所增大,而且随着温度的升高,油墨溶剂加速蒸发,粘度增大,流动性降低,

有效防止了液滴膨胀及液滴之间合并现象的发生,而也因此线宽随温度的升高而变窄。

见图 10,墨层厚度小于 0.5 μm ,和文献[12—13]

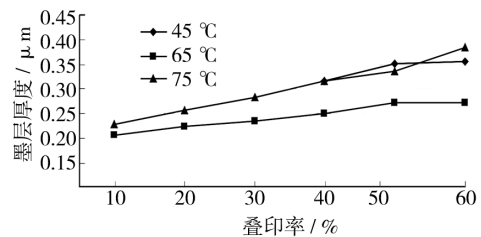


图 10 墨层厚度与叠印率之间的关系

Fig. 10 Relationship between ink layer thickness and tapping rate

的实验结果相似,而且随着叠印率的增加而变大,其中底基温度为 75 °C 时,其变化率最大,厚度和 45 °C 时的差不多,比 65 °C 时的大,在体积和长度一定的情况下,宽度大了,厚度自然就小。

4 结论

随着叠印率的增大,墨层增厚,进而标签识别性能也得以提高;随着叠印率的增大,导体的连续性增强,墨层增厚,线宽变大,标签识别性能也得以提高,那么实际生产中可利用这一准则以减少油墨的耗用量,降低生产成本,而且实验证实底基温度的高低对墨层线宽大小的影响不容忽视,随着温度的提高,对导体连续性起着正作用,表面更为光滑。当温度小于 65 °C 时,线宽随其增大而增大,墨层厚度则渐减,当温度大于 65 °C 时,线宽随其增大而减小,墨层厚度则渐增。难点就是找到临界温度值,过高的温度会使喷嘴中溶剂过早地蒸发,从而导致喷嘴堵塞。在实际应用中不能一味追求高叠印率,因为在墨层厚度增加的同时,线宽也在增大,尤其是在线圈型标签的印制时,应考虑到相邻线圈的合理间距,进而选择适当的叠印率。

参考文献:

- [1] SIDÉN J, NILSSON Hans-Erik. Line Width Limitations of Flexographic Screen and Inkjet Printed RFID Antennas[C]. IEEE Antennas and Propagation Symposium, Honolulu, HI, 2007: 1745—1748.

(下转第 140 页)

- Packaging Engineering, 2012, 33(7): 140—145.
- [4] 李云, 陈斌. 构建发电企业碳排放统计指标体系[J]. 中国电力企业管理, 2010(12): 22—24.
LI Yun, CHEN Bin. System of Statistical Indicators to Build Power Generation Companies Carbon Emissions [J]. China Power Enterprise Management, 2010(12): 22—24.
- [5] 陈希荣. 低碳包装实践方法与应对策略——包装碳足迹的理论与实践[EB/OL]. 科印网, <http://www.keyin.cn/plus/view.php?aid=753268&type=mj>.
CHEN Xi-rong. Practices and Coping Strategies of Low-carbon Packing—the Theory and Practice of Packaging Carbon Footprint[EB/OL]. [www.keyin.cn, http://www.keyin.cn/plus/view.php?aid=753268&type=mj](http://www.keyin.cn/plus/view.php?aid=753268&type=mj).
- [6] 崔嘉. "低碳包装"大势所趋[J]. 中国包装工业, 2010(4): 102—103.
CUI Jia. The general Trend on Low-carbon Packing[J]. China Packaging Industry, 2010(4): 102—103.
- [7] 刘华. 关于加强林业统计工作与低碳经济指标的思考[J]. 中国管理信息化, 2011(1): 43—44.
LIU Hua. Thoughts on the Strengthening of the Forestry Statistical Work and Low-carbon Economic Indicators[J]. China Management Informationization, 2011(1): 43—44.
- [8] 李云, 陈斌. 构建发电企业碳排放统计指标体系[J]. 中国电力企业管理, 2010(12): 22—24.
LI Yun, CHEN Bin. System of Statistical Indicators of Carbon Emissions to Build Power Generation Companies [J]. China Power Enterprise Management, 2010(12): 22—24.
- [9] 魏革军. 标准化是加强和改进金融统计的有效手段——访中国人民银行副行长杜金富[J]. 中国金融, 2010(15): 12—14.
WEI Ge-jun. Standardization is an Effective Means to Strengthen and Improve Financial Statistics——Interview to the Vice Governor of People's Bank of China Du Jinfu[J]. China Finance, 2010(15): 12—14.
- [10] 刘克利, 钟志华. 两型社会干部读本[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 2010.
LIU Ke-li, ZHONG Zhi-hua. Reader on Construction of Two-oriented Society [M]. Changsha: Hunan People Press, 2010.

(上接第 129 页)

- [2] VIRTANEN J, BJRNINEN T, UKKONEN L, et al. The Effect of Conductor Thickness in Passive Inkjet Printed RFID Tags[C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2010: 1—4.
- [3] SIDEN J, OLSSON T, KOPTIOUG A, et al. Reduced Amount of Conductive Ink with Gridded Printed Antennas, Polytronic 2005[C]. 5th International Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, Polytronic, 2005: 86—89.
- [4] 曹丽娜, 钱军浩. 导电油墨厚度对 RFID 标签天线辐射效率的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 122—125.
CAO Li-na, QIAN Jun-hao. Influence of Conductive Ink Thickness on Radiation Efficiency of RFID Tag Antenna [J]. Package Engineering, 2012, 33(5): 122—125.
- [5] 吴光远, 钱军浩, 唐铖. 基于电子标签导电油墨厚度的研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 119—121.
WU Guang-yuan, QIAN Jun-hao. Research on Electrically Conductive Ink Thickness Based on RFID[J]. Package Engineering, 2012, 33(5): 119—121.
- [6] KOSKI E, KOSKI K, UKKONEN L, et al. Performance of Inkjet-printed Narrow-line Passive UHF RFID Tags on Different Objects. 2011: 537—540. (余不详)
- [7] BJRNINEN T, ELSHERBENI A Z, UKKONEN L. Low-profile Conformal UHF RFID Tag Antenna for Integration With Water Bottles[C]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011, 10: 1147—1150.
- [8] VIRTANEN J, BJRNINEN T, UKKONEN L, et al. Passive UHF Inkjet-printed Narrow-line RFID Tags [C]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, 9: 440—443.
- [9] RAO K V S, NIKITIN Pavel V, LAM Sander F. Impedance Matching Concepts in RFID Transponder Design [C]. Automatic Identification Advanced Technologies, 2005: 39—42.
- [10] 董海荣, 唐正宁. 喷墨印刷膜层宽度和厚度的分析计算[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 89—90.
DONG Hai-rong, TANG Zheng-ning. Analysis and Calculation of the Width and Thickness of Ink-jet Printing Film[J]. Package Engineering, 2009, 30(1): 89—90.
- [11] 纳米银油墨. Harima NPS-JL 的介[ED/OL]. (2012-03-12). http://www.harima.co.jp/cn/randd/products/new_materials.html. (余不详)
- [12] PYNTTARI V, MAKINEN R, LILJA J, et al. Significance of Conductivity and Thickness of Thin Inkjet Printed Microstrip Lines[C]. 12th IEEE Workshop on Signal Propagation on Interconnects, 2008: 1—4.
- [13] MANTYSAALO M, MANSIKKAMAKI P, MIETTINEN J, et al. Evaluation of Inkjet Technology for Electronic Packaging and System Integration[C]. Electronic Components and Technology Conference, 2007: 89—94.