

无底纸标签打印机传纸系统的防粘性研究

张国伟, 刘雪宇, 史梦晴, 张雅伟, 刘焯彤, 康星瑜, 张帅
(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: **目的** 为了解决无底纸不干胶标签打印机传纸结构防粘性差导致传纸不畅的问题。**方法** 主要从传纸通道和胶辊的材质入手, 选择硅橡胶、PTFE 板、硅油纸、PP/PE 混合塑料、PE 塑料、玻璃纸、OPP 和 OPC 混合塑料等多种材料, 测试其防粘性能, 从而优选出适用于无底纸热敏打印机传纸系统材质。通过测试常温下材料的接触角、粗糙度及剥离力, 并对比分析与防粘性能的关系, 综合得出材质的防粘性能评价。**结果** 硅橡胶和硅油纸相对于 PTFE 等材质, 其综合防粘性能较好, 接触角都在 110° 以上, 剥离力在 0.16 N 以下。**结论** 考虑到表面强度和使用寿命问题, 硅橡胶材质更适用于无底纸热敏打印机胶辊材质, 而硅橡胶和 PTFE 材质较适合于传纸通道材料。

关键词: 无底纸热敏打印机; 防粘性; 剥离力; 粗糙度; 接触角

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)03-0212-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.032

Anti-sticking Materials for Portable Thermal Printer

ZHANG Guo-wei, LIU Xue-yu, SHI Meng-qing, ZHANG Ya-wei, LIU Zhao-tong,
KANG Xing-yu, ZHANG Shuai
(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the sticky problem caused by the poor anti-sticking properties of paper transferring structure in the bottomless adhesive label printer. Considering the material for the paper passageway and the rubber roll, a variety of materials such as silicone rubber, PTFE, silicon oil paper, PP/PE mixed plastic, PE plastic, glass paper, OPP and OPC mixed plastic were selected and tested for anti stickiness property, so as to select the suitable material for the no backing sheet portable thermal printer. By testing the contact angle, roughness and peeling force of the material at room temperature, and comparing and analyzing the relationship with the anti sticking property, the evaluation of anti sticking performance for these materials was obtained. Silicone rubber and silicone paper had better anti sticking properties, compared with PTFE, and had contact angle above 110° and the peeling force below 0.16 N . However, considering the surface strength and service life, the silicone rubber is more suitable for the paper roller and paper passing material for the no backing sheet portable thermal printer.

KEY WORDS: no backing sheet thermal printer; anti-sticking; peeling force; roughness; contact angle

热敏打印技术广泛地应用于各类标签或条形码^[1-3]。随着我国国民经济持续增长, 国内的不干胶标签市场得到了巨大的发展, 无底纸标签与传统有底

纸标签相比节省了底纸材料的消耗, 降低了生产成本, 绿色环保, 避免了标签底纸任意丢弃对环境造成损害^[4-6]。由于打印过程中无底纸不干胶标签常常会

收稿日期: 2018-06-29

基金项目: 天津科技大学实验室开放基金 (1706A301)

作者简介: 张国伟 (1983—), 男, 博士, 天津科技大学讲师, 主要研究方向为印刷新技术和激光 3D 打印技术。

和胶辊或传纸通道构件粘连在一起, 导致标签纸无法传输前进, 所以长时间以来无底纸标签打印机传纸系统的防粘性问题是目前存在无底纸标签的应用推广面临最关键的问题之一。目前, 有不少制作标签的公司研制实现无底纸的热敏不干胶标签用微型热敏打印机打印的技术, 为此这些公司投入了大量的资金, 但都处于实验室阶段, 相关研究文献较为少见。文中通过测量常温下不同材料的接触角、粗糙度以及剥离力来对比材料的防粘性能, 最终选择出解决无底纸热敏打印机胶辊及传纸通道防粘性的最佳材料。

1 实验材料、设备与方法

接触角测量选用美国 AST 公司的型号 VCA Optima 接触角测量仪; 粗糙度测量选用时代 TR100/TR101 袖珍式表面粗糙度测量仪; 剥离力测试所用的电子万能材料试验机型号为 3369, 美国 Instron 公司生产。

剥离力测试方法为: 每种材料准备长 125 mm, 宽为 50 mm 的试样, 用酒精擦拭表面, 在试样表面粘贴宽为 20 mm, 长为 200 mm 的胶带, 然后用 20 N 的重物在上方反复压 3 次, 并在环境下停放 20 ~ 40 min 后进行实验, 将试样上自由端和试验材料分别夹在上、下夹持器, 试验机开始剥离, 并有自动记录仪绘出剥离曲线。

所测试的防粘材料有硅橡胶^[7]、PTFE^[8-9]板、硅油纸、PP 和 PE 混合塑料、PE 塑料、玻璃纸、OPP 和 OPC 混合塑料等 7 种材料, 其中硅橡胶、PTFE 板、PP 和 PE 混合塑料、PE 塑料、OPP 和 OPC 塑料均为板材, 厚度在 2.5~3.5 mm 之间。玻璃纸为定量 50 g 涂布热封玻璃纸。硅油纸为双面硅油纸(离型纸), 定量 105 g。普通纸和铜版纸定量均为 170 g。不锈钢材料为厚度 2 mm 的热挤压成型 304 不锈钢。测试材料的选择参考便携式热敏打印机机身制造基本材质及防粘领域常用材质, 如 PTFE 及硅橡胶材料。

2 防粘机理

实验所测材料的防粘性机理各有不同。硅橡胶的

防粘机理^[10]主要是与其硅原子相比于碳原子具有更小的电子束缚能力, 以及其相对表面能较小有关。由于硅氧键链段较长, 相对分子之间结合力弱, 分子间作用力小导致其具有较好的防粘性。硅橡胶防粘性恢复机理主要集中为表面小分子物质的迁移理论和硅橡胶分子理论。迁移性理论^[11-12]指小分子迁移过程改变了污秽层的表面特性, 使其表面具有憎水性。硅橡胶分子理论表现为: 硅橡胶生胶主要是由二甲基环硅氧烷混合物(DMC)和少量的乙烯基四环体(VMC)在催化剂作用下开环聚合而成, 其主链结构为 $[\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O}]_n$ ($n=6000 \sim 9000$), 加之聚硅氧烷内聚能低, 分子链易于旋转, 分子间的作用力小, 分子链间易于滑动, 可使硅橡胶分子容易缠绕包裹在固体微粒表面, 从而使其表面具有憎水性。另外, 由于硅橡胶交联密度低, 不仅有未交联的聚硅氧烷分子能移动, 还有大量聚硅氧烷末端分子长链可以旋转、游动^[13], 这些运动能使聚硅氧烷长链浸润和覆盖在污物表面, 并使其具有憎水性。

PTFE 材料的防粘机理主要在于氟分子具有极强的电负性, 可以与其他原子结合形成最外层 8 电子的稳定结构。由于其极强的稳定性, 使其极少与其他物质发生物化反应或物质交换, 范德华力作用极弱, 保证了其防粘性的长期性。另外在宏观磨损机理方面, 接触摩擦过程中, PTFE 材料摩擦表面的一定深度的区域内形成了易变形层, 见图 1a。其与其他接触物进行摩擦时会发生 PTFE 分子链的剪切拉伸, 并在剪切方向上归并成束, 其中较弱的束会产生断裂。在负荷的作用下, 接触界面会产生横向粘连, 并进一步形成附着于 PTFE 试样本体上顺着摩擦方向延伸的薄膜, 见图 1b。成束过程可能就像用棉团纺纱那样在试样变形层内均匀地进行, 在这层薄膜与试样本体的连接处则形成与试样仍有一定牵连的薄带状磨屑, 这使得 PTFE 材料具有较好的抗摩擦性能和防粘性。

PP/PE 混合塑料及 OPP/OPC 混合塑料材料表现出的防粘性主要是与其成膜过程中形成的较高的表面粗糙度有关。

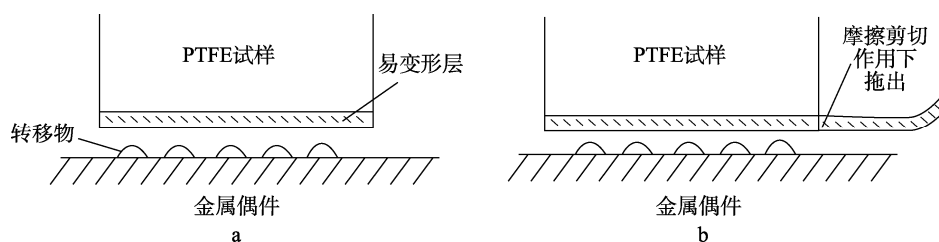


图 1 PTFE 材料防粘性机理示意

Fig.1 Illustration of anti-sticking mechanism of PTFE materials

3 实验结果及分析

3.1 接触角测定结果

通过接触角测量仪型号 VCA Optima 测得硅橡胶、PTFE 板、硅油纸、PP 和 PE 混合塑料、PE 塑料、玻璃纸、OPP 和 OPC 混合塑料 7 种材料的接触角, 其中增加了普通纸、铜版纸及不锈钢材质作为对比材料。

3.1.1 静态接触角实验数据分析

根据测得的 10 种材料的静态接触角平均值绘制柱状图, 见图 2。

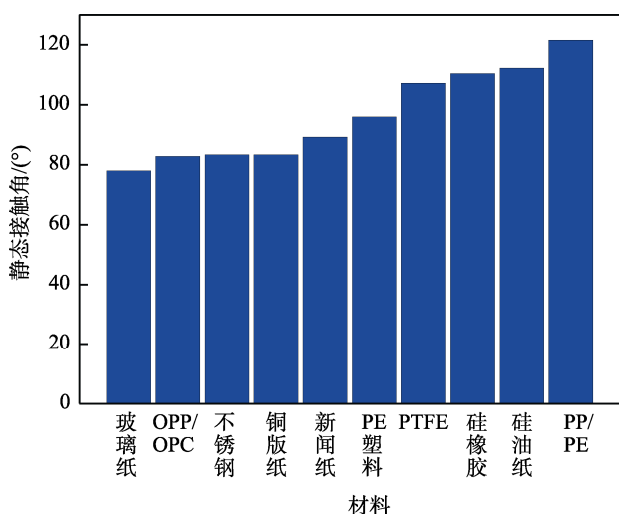


图2 原材料静态接触角平均值大小比较
Fig.2 Comparison of the average value of the static contact angle of raw materials

由实验结果可知, PTFE 材料、硅橡胶、硅油纸及 PP/PE 材料接触角较大, 其他材料相对较小。其中, PTFE 板、硅胶、硅油纸、PP 和 PE 混合塑料的静态接触角平均值都大于 100° , 表现出较强的疏水性, 而玻璃纸、OPP 和 OPC 混合塑料、不锈钢及铜版纸的静态接触角平均值都小于 90° , 相比之下, 这些材料在一定程度上表现出亲水性。

3.1.2 动态接触角变化趋势实验数据分析

根据材料接触角的动态变化趋势可以判断出材料是否具有较好的疏水性能, 见图 3。10 种材料划分为 3 个水平, 第 1 类为接触角表现较好的有硅橡胶、PTFE 板、硅油纸、PP 和 PE 混合塑料 4 种材料, 它们的接触角较大全部都大于 100° , 疏水性能良好基本处于平稳状态。第 2 类是 PE 塑料和普通纸, 它们的疏水性能一般, 随着时间的延长, 普通纸的接触角成下降趋势。PE 塑料接触角的平均值可能由于材料表面不均匀导致液滴渗透到材料中的量有多有少, 所以

接触角的平均值在 $85^\circ \sim 95^\circ$ 之间波动。第 3 类是玻璃纸、铜版纸、OPP 和 OPC 混合塑料、不锈钢 4 种材料, 它们的接触角平均值都小于 90° , 除玻璃纸接触角动态变化相对较小外, 其余材料动态接触角呈下降趋势, 即液滴会逐渐渗透到材料中, 疏水性能较差。

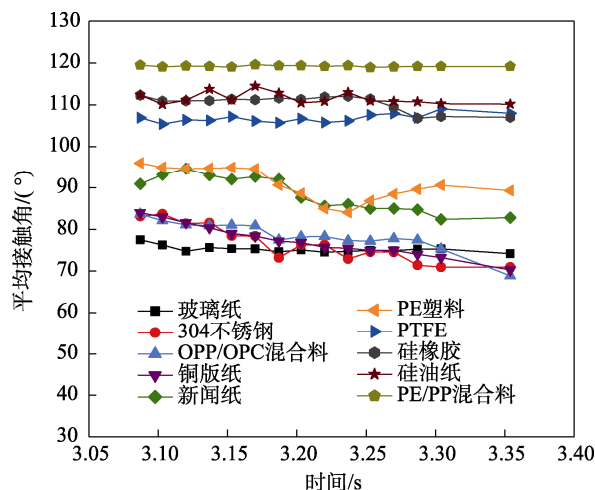


图3 原材料接触角动态变化趋势
Fig.3 Dynamic change trend of contact angle of raw materials

3.2 粗糙度测定

通过使用时代 TR100/TR101 袖珍式表面粗糙度测量仪测得硅橡胶、PTFE 板、硅油纸、PP 和 PE 混合塑料、PE 塑料、玻璃纸、铜版纸、OPP 和 OPC 混合塑料、不锈钢、普通纸的 R_a 值 (微观表面轮廓算术平均偏差) 和 R_z 值 (微观表面不平度平均高度)。

在 10 种材料中 (见图 4 和图 5), 硅油纸的粗糙度 R_a 值和 R_z 值都最大, 硅橡胶、铜版纸和普通纸的 R_z 值相差较小, 都处于 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ 之间, 但它们的 R_a 值却相差较大 (其中硅橡胶 R_a 值在 $0.2 \mu\text{m}$ 左右,

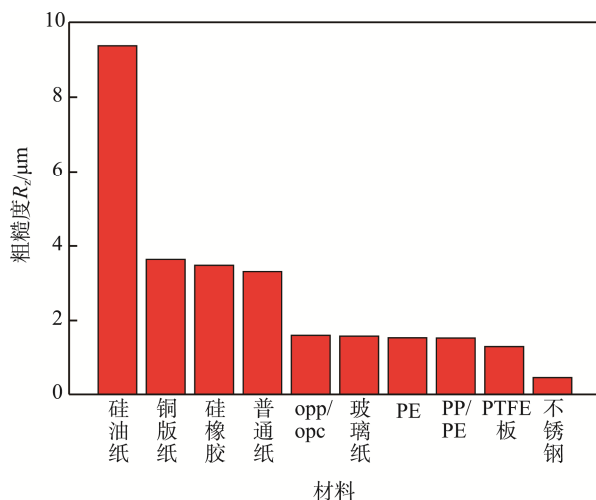
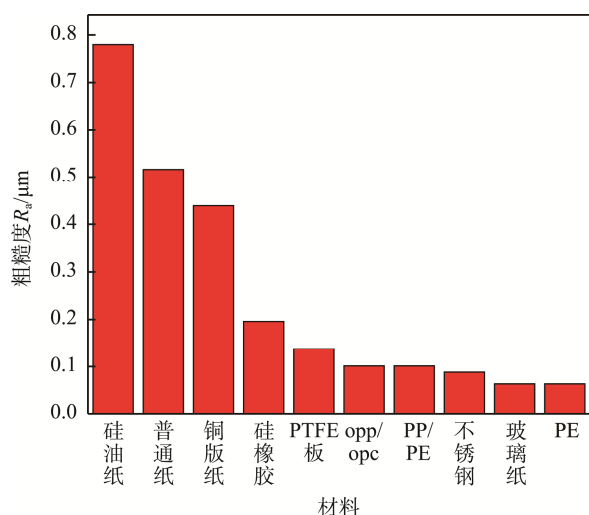


图4 原材料粗糙度 R_z 值大小比较
Fig.4 Comparison of the R_z value of raw material roughness

图5 原材料粗糙度 R_a 值大小比较Fig.5 Comparison of the R_a value of raw material roughness

其余2种的 R_z 值都在 $0.4 \mu\text{m}$ 以上)。玻璃纸、OPP 和 OPC 混合塑料、PTFE 板、PP 和 PE 混合塑料、PE 塑料的 R_z 值在 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 之间, 不锈钢的 R_z 值最小。PE 塑料、玻璃纸、不锈钢、PP 和 PE 混合塑料、OPP 和 OPC 混合塑料及 PTFE 板的 R_a 值相对较小。粗糙度 R_z 值和 R_a 值, 都是硅油纸最大, PTFE、PE 和不锈钢等材料粗糙度较小, 具有较小粗糙度的材料其后期通过增大粗糙度提高其疏水性的潜力更大。

3.3 剥离力测定

实验中以 90° , 120° , 135° , 150° , 180° 等 5 种剥离角度模拟出纸时纸张和胶辊的相对角度, 通过测试胶带从试样上分离需要的剥离力大小来表征材料的粘附性能。由图 6 可知, 硅橡胶、PTFE 板、硅油纸、PP 和 PE 混合塑料、PE 塑料、玻璃纸、OPP 和 OPC 混合塑料、不锈钢和普通纸 9 种材料, 对于同一种材料在不同角度下剥离力大小不同。其中硅油纸、PP/PE 混合塑料、PTFE 板、OPP/OPC 混合塑料、玻璃纸和普通纸在剥离角度为 135° 时, 相比其他剥离角度其剥离力最小; 不锈钢材料在剥离角度为 150° 时, 相较其他剥离角度其剥离力最小; 硅橡胶和 PE 塑料在在剥离角度为 180° 时所需剥离力最小。综合对比可知, 硅橡胶和硅油纸所需剥离力处于 1 N 以下且差值很小, 出纸角度对它们的粘附性影响很小, 表现最好; PP/PE 混合塑料、PTFE 板、OPP/OPC 混合塑料和 PE 塑料的剥离力处于 $1 \sim 3 \text{ N}$ 之间且有一定的差值, 不同的出纸角度对它们的粘附性具有一定的影响; 不锈钢、玻璃纸和普通纸的剥离力处于 $3 \sim 7 \text{ N}$ 之间且剥离力在不同剥离角度下波动较大, 出纸角度不同时显著影响其粘附性。按照不同材料相对于测试胶带的剥离力值比较, 硅橡胶和硅油纸的剥离力较小, 其对粘性物质的防粘性能较好, 可适用于制备无底纸标签

打印机中的防粘结构材料。

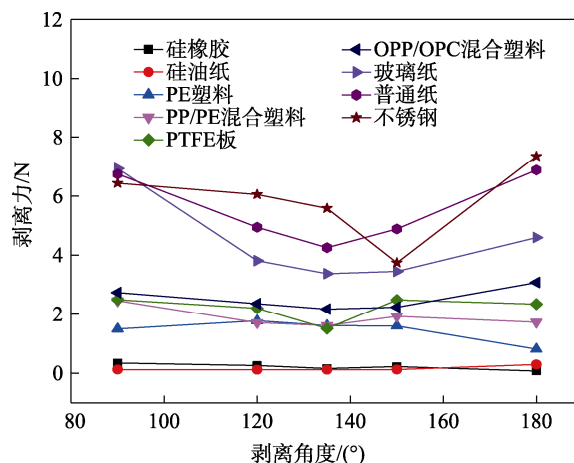


图6 原材料在5种不同角度下剥离力大小比较

Fig.6 Comparison of the stripping force of raw materials under 5 different angles

4 结果分析与讨论

4.1 接触角、粗糙度以及剥离力与材料防粘性的关系

材料表面相对于粘性物质的防粘性涉及到材料的很多方面, 与材料本身的表面接触角、表面粗糙度及与粘性材料的剥离机制都有关系。目前还无法用一种方法或物理量来表征材料表面的防粘性, 常常结合表面接触角、表面粗糙度及与粘性材料的剥离机制等几种特性综合评价, 而这三者之间也有相关联系。根据 Young 式方程, 当 $\theta < 90^\circ$ 时, 液滴能够润湿固体, 表面润湿性较好; 当 $\theta > 90^\circ$ 时, 固体不能被液滴润湿^[14-15]。粗糙度是指加工表面具有的较小间距和微小峰谷的不平度。其两波峰或两波谷之间的距离 (波距) 很小 (在 1 mm 以下), 它属于微观几何形状误差。因表面疏水性不同将材料分为亲水性材料和疏水性材料, 疏水材料呈现越粗糙、接触角越大、疏水性能较好的规律, 而亲水性材料呈现表面越粗糙表面接触角越小、越亲水的特性, 因此理论上提高材料相对于粘性物质的防粘性, 可以选择增大疏水材料的粗糙度或者减小亲水材料的粗糙度。剥离力为粘贴在一起的材料从接触面进行单位宽度剥离时所需要的最大力。当剥离速度一定时, 剥离角度影响着剥离力的大小。剥离力的大小反映材料的粘结强度, 即剥离力越大粘结强度越大, 剥离力越小粘结强度越小。剥离力的大小可在一定程度上反应出材料相对于粘性物质防粘性的优劣, 但由于剥离测试中使用特定的粘性材料、剥离角度及剥离速度, 其不能完全涵盖材料防粘性的全部内涵, 需要结合表面接触角及粗糙度等方面综合考量评价。

4.2 防粘材料的选择

测试材料的防粘性大小旨在对无底纸打印机传纸系统材质选择优化,尤其是在打印机胶辊及传纸通道材料的筛选方面。打印机胶辊主要作用是压印并传递纸张,需要对胶粘剂具有一定的防粘性但又要有有一定的摩擦力使纸张顺利传送^[16]。传纸通道是打印机的纸卷到胶辊部分的标签纸传送机构,与无底纸不干胶标签直接接触,当传纸通道材料防粘性较差,剥离力较大时,就会造成纸张传输受阻,影响打印^[17-18]。

结合图3来看,PP/PE混合塑料、硅油纸、硅橡胶、PTFE板的整体接触角较大且动态接触角变化较小,稳定性较好,而其他几种材料接触角较小且稳定性不理想。粗糙度 R_z 值和 R_a 值,都是硅油纸最大,PTFE、PE和不锈钢等材料粗糙度较小,具有较小粗糙度的材料其后期通过增大粗糙度提高其疏水性的潜力更大。由图6可知,硅油纸、硅橡胶、PE塑料、PTFE板材料具有较小的剥离力值且在不同剥离角度下表现稳定。综上所述,防粘材料采用硅橡胶与硅油纸最优,但考虑到表面强度和使用寿命等问题,硅橡胶材质更适用于无底纸热敏打印机胶辊材质。从三方面综合来看除硅橡胶与硅油纸外,PTFE材质各方面表现较为均衡,考虑加工难度及成本方面,硅橡胶与PTFE材料较适合无底纸热敏标签打印机传纸通道材料。

5 结语

针对无底纸热敏打印机存在传纸不畅的问题,以选择无底纸热敏打印机胶辊及传纸通道防粘材料为切入点,文中进行了一系列材料基础性能测试研究。主要从传纸通道及胶辊的材质入手,选择硅橡胶、PTFE板、硅油纸、PP/PE混合塑料、PE塑料、玻璃纸、OPP和OPC混合塑料等多种材料,测试其表面接触角、剥离力等参数,从而优选出适用于无底纸热敏打印机传纸系统材质,结论如下所述。

1) 接触角方面表现较好的有硅橡胶、PTFE板、硅油纸、PP和PE混合塑料4种材料,它们的接触角全部大于 100° ,且具有较好的稳定性。PTFE、PE和不锈钢等材料相比粗糙度较小,其通过增大粗糙度提高其疏水性的潜力较大。

2) 在5种不同剥离角度测试条件下,硅橡胶和硅油纸表现最好,其所需剥离力均处于1N以下,且出纸角度对它们的剥离力影响很小。

3) 对实验结果进行对比分析,硅橡胶与硅油纸综合防粘性能较好,接触角都在 110° 以上,剥离力在0.16N以下,但考虑到表面强度和使用寿命问题,硅橡胶材质更适用于无底纸热敏打印机胶辊材质,而硅橡胶与PTFE材质较适合传纸通道材料。

参考文献:

- [1] 李月娟. 热打印技术及其发展趋势[J]. 中国高新技术企业, 2011(18): 24—26.
LI Yue-juan. Thermal Printing Technology and Its Development Trend[J]. China High Technology Enterprises, 2011(18): 24—26.
- [2] 郭双华, 管彩云. 打印机送纸胶辊胶料的研制[J]. 橡胶工业, 2010, 57(4): 235—237.
GUO Shuang-hua, GUAN Cai-yun. The Development of the Adhesive for the Paper Feed Roll of the Printer[J]. Rubber Industry, 2010, 57(4): 235—237.
- [3] 姚海根. 热打印技术方兴未艾[J]. 出版与印刷, 2011(1): 26—30.
YAO Hai-gen. Hot Print Technology is in the Ascendant[J]. Publishing and Printing, 2011(1): 26—30.
- [4] 李臻. 热敏纸市场概况[J]. 中国造纸, 2015(1): 56—60.
LI Zhen. A Survey of the Hot Paper Market[J]. China Pulp & Paper, 2015(1): 56—60.
- [5] 周强. 热敏打印机控制系统的设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
ZHOU Qiang. The Design and Implementation of the Control System for the Thermal Printer[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.
- [6] 佚名. 迷你节能颜值高!热敏标签机 TD-2020 全新上市[J]. 个人电脑, 2016(1): 56.
ANON. Mini Energy-saving Face Value High! Thermal Label Machine TD-2020 New Listing[J]. Personal Computer, 2016(1): 56.
- [7] 黄巍, 袁宏达. 橡胶材料材质成分分析中标准的应用分析[J]. 航空标准化与质量, 2012(2): 29—31.
HUANG Wei, YUAN Hong-da. Analysis of Standard Application of Rubber Material Composition Analysis[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2012(2): 29—31.
- [8] OCHOA I, HATZIKIRIAKOS S G. Paste Extrusion of Polytetrafluoroethylene (PTFE): Surface Tension and Viscosity Effects[J]. Powder Technology, 2005, 153(2): 108.
- [9] OCHOA I, HATZIKIRIAKOS S G. Polytetrafluoroethylene Paste Preforming: Viscosity and Surface Tension Effects[J]. Powder Technology, 2004, 146: 1—2.
- [10] 管东波, 蔡中义. 弹性加成型硅胶涂层的制备及防冻粘性能研究[J]. 功能材料, 2016(8): 8008—8012.
GUAN Dong-bo, CAI Zhong-yi. Preparation and Anti-freeze Properties of Elastomeric Addition Silica Gel Coating[J]. Functional Materials, 2016(8): 8008—8012.
- [11] GORUR R S, KARADY G G, JAGOTA A, et al. Aging in Silicone Rubber Used for Outdoor Insulation[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7(2): 525—531.
- [12] KIM S H, CHEMEY E A, HACKAM R. Suppression Mechanism of Leakage Current on RTV Coated Por-

- celain and Silicone Rubber Insulators[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1991, 6(4): 1549—1556.
- [13] 张福林. 复合绝缘子外绝缘基材硅橡胶表面的憎水性和憎水迁移性机理分析[J]. 华北电力技术, 1999, 29(1): 19—21.
- ZHANG Fu-lin. Analysis of Hydrophobicity and Hydrophobicity Migration Mechanism of Silicone Insulators on External Insulators of Composite Insulators[J]. North China Electric Power, 1999, 29(1): 19—21.
- [14] OCHOA I. Paste Extrusion of Polytetrafluoroethylene (PTFE) Fine Powder Resin: The Effects of Processing Aid Physical Properties[D]. Vancouver: The University of British Columbia, 2006.
- [15] KAYOKO Y. Adhesion of Dental Silicone Rubber Material to Thermoplastic Material to Thermoplastic Material for Mouthguards[J]. Kokubyo Gakkai Zasshi, 2010, 77(1): 46—52.
- [16] 翟所强. 便携式无底纸标签打印机：中国, 202702884U[P]. 2013.
- ZHAI Suo-qiang. Portable Paper Free Paper Label Printer: China, 202702884U[P]. 2013.
- [17] 张平. 橡胶辊及其使用橡胶材料的选择[J]. 天津橡胶, 1998(3): 19—25.
- ZHANG Ping. Rubber Roll and Selection of Rubber Material[J]. Tianjin Rubber, 1998(3): 19—25.
- [18] 王玥. 送纸胶辊用橡胶材料的开发[J]. 世界橡胶工业, 2006, 33(12): 24—28.
- WANG Yue. Development of Rubber Material for Paper Feeding Roller[J]. World Rubber Industry, 2006, 33(12): 24—28.