

镀陶烟用包装纸保润保香性能研究

刘琪¹, 张华¹, 顾永圣¹, 孙海平¹, 陈松¹, 廖惠云^{1*}, 吴君章^{2*}

(1. 江苏中烟工业有限责任公司, 江苏 南京 210019; 2. 广东中烟工业有限责任公司, 广东 广州 510385)

摘要: 为进一步优化卷烟包装用纸性能, 研究了镀陶包装纸在卷烟烟支保润保香方面的性能。对镀陶内衬纸和镀陶小盒进行表面结构表征, 在常温常湿、高温高湿、干燥条件下, 拆包和不拆包状态下平衡不同时间, 分别考察4种包装组合卷制的成品卷烟的烟支含水率, 同时采用箭型固相微萃取/气相色谱-质谱联用 (SPME-Arrow/GC-MS)测定配方烟丝中挥发半挥发性香味成分的含量。结果表明: 在不拆包情况下, 短期内镀陶包装纸对烟支水分的波动有一定的调控作用; 拆包情况下, 短期内镀陶包装纸对烟支水分的波动有明显的调控作用; 相比于短期烟支水分的波动变化情况, 中长期条件下不同镀陶盒包装纸对烟支水分的调控效果与对照样相差不明显, 而短期内则相差较为明显; 不同镀陶包装纸对烟支样品中挥发物组分的储存效果更好。镀陶包装纸在短期内的防潮保润效果较好, 在各种环境条件下, 与常规包装纸相比, 镀陶包装纸的保香效果更为优良。

关键词: 烟用包装纸; 镀陶; 保润; 保香; 箭型固相微萃取; 气相色谱-质谱

中图分类号: O657.7; TS41.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(2025)12-2546-08

Study on Moisture Retention and Fragrance Retention of Ceramic-plated Tobacco Packaging Paper

LIU Qi¹, ZHANG Hua¹, GU Yong-sheng¹, SUN Hai-ping¹, CHEN Song¹, LIAO Hui-yun^{1*},
WU Jun-zhang^{2*}

(1. China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Nanjing 210019, China; 2. China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510385, China)

Abstract: To further optimize the performance of cigarette packaging paper, the performance of ceramic coated packaging paper in maintaining the moisture and fragrance of cigarettes was studied. Surface structure characterization was carried out on coated ceramic liner paper, and coated ceramic small box. Under normal temperature and humidity, high temperature and high humidity, and dry conditions, the moisture content of finished cigarettes rolled in four packaging combinations was investigated at different equilibrium times under unpacking and non unpacking conditions. Meanwhile, the content of volatile and semi volatile aroma components in the formulated tobacco was determined using arrow shaped solid-phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry (SPME-Arrow/GC-MS). Without unpacking, ceramic coated packaging paper had a certain regulatory effect on the fluctuation of cigarette moisture in the short term; Compared with the short-term fluctuation of cigarette moisture, the control effect of different coated ceramic box packaging papers on cigarette moisture under medium and long-term conditions was not significantly different from the control, while the difference was more significant in the short term. In the case of unpacking, ceramic coated packaging paper had a significant regulatory effect on the fluctuation of different coated ceramic packaging papers have better storage effects on volatile components in cigarette samples. Ceramic coated packaging paper had a good moisture and moisture retention effect in the short term. Compared with conventional packaging paper, ceramic coated packaging paper had a better fragrance retention effect under various environmental conditions.

Key words: tobacco packaging paper; ceramic-plated; moisture retention; fragrance retention; arrow shaped solid-phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry

收稿日期: 2025-03-04; 修回日期: 2025-05-12

基金项目: 中国烟草总公司重点项目(110201902001)

* 通讯作者: 廖惠云, 硕士, 正高级工程师, 研究方向: 烟用化学、烟用香精香料基础及应用研究, E-mail: liaohy@jszygs.com
吴君章, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 烟草化学, E-mail: wujunzhang@gdzygy.com

网络首发时间: 2025-10-22

烟用内衬纸是介于烟支与卷烟小盒之间的纸张材料, 作为与卷烟烟支接触的第一层, 它具有保润、保香、遮光等多重功能, 可有效预防卷烟受潮霉变及香味流失, 并且能增加产品的美观度, 是卷烟包装不可或缺的关键材料之一^[1-4]。随着国内真空喷铝技术和全息模压技术的持续进步, 以及各类新工艺、新技术在内衬纸制造中的广泛采纳与应用, 烟用内衬纸从外观设计、图案、色彩等各方面得到了长足的发展, 从最初的防潮、保香、美观, 逐步向绿色、环保方向发展^[5-8]。

新型内衬纸通过创新的材料和工艺, 在阻隔性能、阻湿性能、防水性能以及上机适应性等方面均表现出色, 为卷烟包装提供了更加环保、高效的解决方案。新型内衬纸通过复合多层材料与功能涂层技术, 显著提升综合性能, 其高阻隔性可有效隔绝氧气、水分及异味, 阻湿性能在潮湿环境下保持稳定; 同时具备高抗张强度与宽热封窗口, 适配高速包装设备, 确保生产效率和材料力学稳定性, 满足多样化包装需求。张莹等^[9-11]基于烟用无铝内衬纸的研发背景, 对现有烟用无铝内衬纸的制备技术进行了对比分析, 烟用无铝内衬纸可以减少铝材质对环境的污染, 已成为内衬纸发展的新方向, 同时对无铝内衬的阻隔能力和防水性能进行了展望。另一方面, 陈宸等^[12-13]针对真空直镀内衬纸、转移镀铝内衬纸以及涂布内衬纸3种新型内衬纸产品, 从生产工艺、阻隔性能、上机适应性、环保卫生以及外观特性等方面进行了分析与对比; 同时对新型涂布内衬纸的阻气性、阻湿性和上机适应性进行了测试, 考察了涂布内衬纸产品的优劣势。

对接产品创新需要, 国内卷烟工业企业广泛采用的真空镀铝纸和无铝内衬纸在阻隔性能和防潮能力上存在一定的局限性, 它们在保持卷烟香气方面的表现尚有提升空间^[14-18]。真空镀铝纸的铝层较薄, 存在针孔, 导致其对水分和香气的阻隔性能稍差, 会使卷烟香气逸散加快, 水分流失增加; 无铝内衬纸虽通过涂层提高阻隔性, 但涂层较薄, 分子间间隙较大, 水分和香气分子易通过, 卷烟香气保持时间较短, 烟丝含水率变化较快。为提升性能, 可对真空镀铝纸优化镀铝工艺, 减少针孔; 对无铝内衬纸改进涂层材料与工艺, 增加涂层厚度, 提高致密性。因此, 如何在确保内衬纸安全环保的基础上, 提升其保湿、保香及防潮性能, 以更好地满足市场对个性化卷烟产品的需求, 是卷烟包装用纸张材料开发面临的一项难题。镀陶工艺的出现为解决上述难题提供了技术手段, 镀陶技术结合了陶器保存物品的持久保鲜特性与现代环保纸张包装的创新, 显著提升了纸张的比表面积。这一工艺具体包含精选石砂土等原料, 经过高温烧制、冷却处理以及精细研磨成陶土粉末, 再将陶土粉末调制浆状, 最后通过背涂工艺均匀地覆盖在内衬纸的表面。这种镀陶内衬纸不仅能够双向调节湿度, 还具备出色的折叠成型性能, 为企业提供了新的解决方案^[19-21]。但截至目前仍然缺乏镀陶烟用包装纸对卷烟保润保香性能影响的系统研究。

本研究在优化确定的镀陶工艺基础上, 制作镀陶内衬纸以及小盒镀陶包装纸, 系统评价了不同包装纸及其组合对卷烟保润、保香效果的影响, 以期对镀陶烟用包装材料的优选提供技术支持。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

采用构建的镀陶工艺, 分别生产镀陶内衬纸和镀陶盒包装纸(定量分别为53、254 g/m²), 同时采用常规直镀纸和常规盒包装纸作为各自规格纸张的对照样(定量分别为60、226 g/m²)。

proX-100-012 扫描电子显微镜(荷兰 Phenom 公司); FED260 烘箱、KBF720 恒温恒湿箱(德国 Binder 公司); 箭型固相微萃取进样器及 SPME Arrow 萃取头(DVB/CAR/PDMS)、DB-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm)、7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司); ME204 电子天平(感量0.000 1 g, 美国 Mettler Toledo 公司); 57357-U 固相微萃取加热台(美国 Supelco 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 纸张样品表面结构表征

随机抽取不同类型纸张样品, 修剪成尺寸为5 mm×5 mm的样品, 于15.0 kV 电压、高真空模式下观察表面形貌。

1.2.2 卷烟样品卷制

以“南京”品牌某规格细支卷烟配方烟丝为对象, 在同一卷接包装机组上对镀陶内衬纸以及小盒

镀陶包装纸进行上机包装试制, 制得卷烟样品(如表 1)。

表 1 不同包装纸及其组合条件下卷烟卷制情况

Table 1 Rolling situation of cigarettes under different packaging papers and their combinations

Sample name	Sample identification	Liner paper	Packaging paper
对照样	样品 1#	直镀纸	白皮
实验样 1	样品 2#	镀陶纸	白皮
实验样 2	样品 3#	直镀纸	镀陶纸
实验样 3	样品 4#	镀陶纸	镀陶纸

1.2.3 烟支保润效果分析

根据 GB/T 22838.8-2009《卷烟和滤棒物理性能的测定第 8 部分: 含水率》^[22], 陶制包装纸实验样和未镀陶包装纸对照样, 分别放置 3 种不同温湿度环境下: 常温常湿条件, 在温度为 22 °C、相对湿度为 60% 的恒温恒湿箱内平衡; 模拟干燥条件, 在温度为 30 °C、相对湿度为 30% 的恒温恒湿箱内平衡; 模拟潮湿条件, 在温度为 30 °C、相对湿度为 85% 的恒温恒湿箱内平衡。以上各温湿度环境下对应编号分别为 ZC、GZ 和 CS。

1.2.3.1 短期烟支水分波动实验 将卷制好的样品于正常温湿度条件下平衡 48 h, 取平衡好的实验样品(2#~4#)和对照样卷烟(1#), 分为不拆包(即存储环境模拟实验)和拆包(即消费者使用模拟实验)2 种情况, 置于上述 3 种环境温湿度条件下, 分别在 0、6、12、24、36、48、60、72、96 h 等时间节点条件下, 抽取实验样品和对照样卷烟, 对烟支含水率进行测试。

1.2.3.2 中长期烟支水分波动实验 在不拆包状态下, 将卷制好的实验样品于正常温湿度条件下平衡 48 h, 取平衡好的实验样品(2#~4#)和对照样卷烟(1#), 置于上述设定的正常和潮湿环境温湿度条件下, 分别在 0、7、15、30、45、60、75、90 d 等不同天数条件下, 抽取实验样和对照样卷烟进行含水率测试。

1.2.4 烟支保香效果分析

以箭型固相微萃取(SPME-Arrow)为样品前处理萃取手段, 结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)法分析配方烟丝中挥发性、半挥发性成分^[23], 采用内标法半定量, 同时扣除水分, 以干物质重量计算目标化合物含量。具体过程如下:

实验样品卷烟拆包后, 放置于相应环境下。然后准确称取配方烟丝样品 1.0 g, 加入一定体积的正十七碳烷内标溶液, 封盖摇匀, 置于 20 mL 顶空瓶中(配有聚四氟乙烯垫的密封盖, 压紧), 将顶空瓶放在 60 °C 的水浴锅中平衡 20 min, 将已老化的 DVB/CAR/PDMS 箭型固相微萃取头迅速插入样品瓶, 使顶空部分进行热吸附萃取 30 min, 然后将吸附后的萃取头插入气相色谱进样口, 在 260 °C 条件下解吸 7 min, 进行 GC-MS 检测。

色谱条件: 色谱柱: DB-5MS 毛细管柱; 升温程序: 初始 50 °C, 以 5 °C/min 升至 300 °C, 保持 20 min; 载气: 氦气(99.999%); 载气流速: 1.0 mL/min; 进样口温度: 260 °C; 分流比: 10 : 1。质谱条件: 传输线温度: 280 °C; 电离方式: 电子轰击源(EI); 电离能量: 70 eV; 离子源温度: 230 °C; 四极杆温度: 150 °C; 溶剂延迟时间: 3 min; 全扫描监测模式, 扫描范围为 30~500 amu。

1.2.5 数据处理

质谱数据采用仪器自带未知物分析软件(Unknown Analysis)进行定性分析; 采用内标物半定量法进行定量, 以目标物峰面积与内标峰面积的比值计; 使用 Origin 软件绘制折线图; 使用 Chiplot(<https://www.chiplot.online/>)绘制聚类热图; 利用 SIMCA 14.1 软件进行主成分分析(PCA)。

2 结果与讨论

2.1 镀陶烟用包装纸表面形貌分析

通过扫描电镜对常规直镀纸和镀陶内衬纸、常规盒包装纸和镀陶盒包装纸的表面结构进行表征。如图 1、2 所示, 相对于常规包装纸(图 1A 和图 2A), 镀陶内衬纸(图 1B)和镀陶盒包装纸(图 2B)的各纤维面之间呈现显著的差异性, 尽管常规包装纸的纤维面呈现出纤维紧密堆砌的状态, 但这种堆砌是无序的, 纤维之间交织形成的形态以及它们之间的空隙相对较大, 大量空气和水分子可自由通过这些间

隙。相比之下, 镀陶包装纸的纤维之间掺杂了在造纸过程中加入的滑石粉、白土、碳酸钙等添加剂颗粒, 并且其纤维层表面覆盖了一层“陶”质材料, 使得原本的纤维结构变得难以清晰观察, 仅能模糊辨识出纤维的轮廓, 而表面则被致密的陶土层所充实。因此, 从外观特征上可以明显看出, 镀陶包装纸表面的致密结构增强了其阻隔性能, 可以推测在相同条件下其阻隔效率应高于常规包装纸。

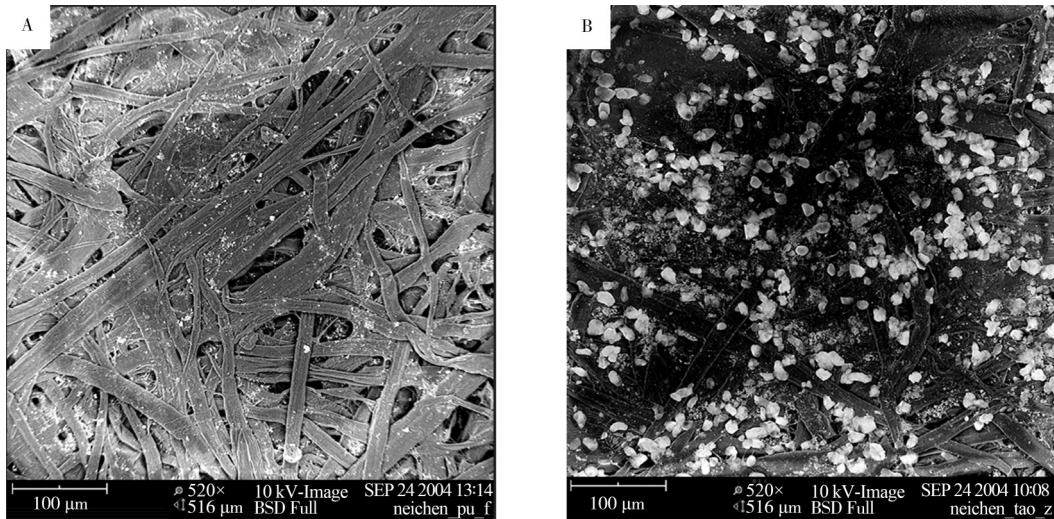


图1 常规直镀纸(A)和镀陶内衬纸(B)表面结构的扫描电镜图

Fig. 1 SEM of conventional direct-plated lining paper(A) and ceramic direct-plated lining paper(B)

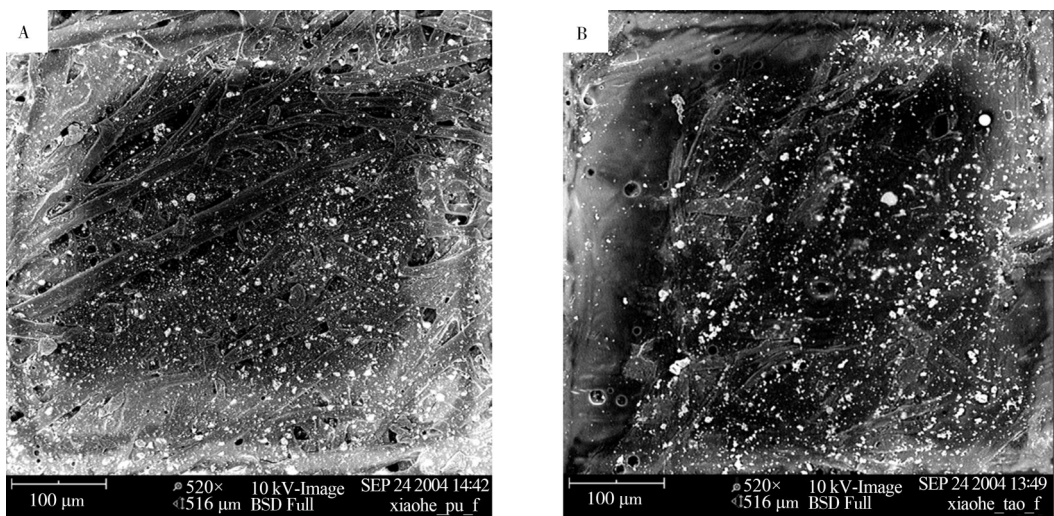


图2 常规盒包装纸(A)和镀陶盒包装纸(B)表面结构的扫描电镜图

Fig. 2 SEM of conventional box packaging paper(A) and ceramic direct-plated box packaging paper(B)

2.2 镀陶烟用包装纸保润效果研究

2.2.1 短期烟支水分波动变化情况

2.2.1.1 不拆包保润性能检测 为有效验证镀陶烟用包装纸的阻隔性能, 在不拆包情况下, 通过常温常湿、干燥和高温高湿等存储环境模拟, 考察短期内小盒镀陶包装纸对卷烟保润性能的影响。不同存储环境下不同包装纸及其组合下烟支的含水率变化如图3所示。从图3A中可以看出, 常温常湿条件下, 随着储存时间延长, 不同包装纸及其组合下烟支的含水率波动整体较小, 其中1#~4#样品烟支的含水率大多在11.5%~12.0%之间, 各样品含水率的相对标准偏差(RSD)分别1.8%、1.4%、1.4%和1.4%, 极差(即最大含水率与最小含水率之差)分别为0.61%、0.51%、0.49%和0.47%, 可见相比于对照样品1#, 实验样品2#~4#的水分波动较小。从图3B中可以看出, 干燥条件下, 随着储存时间延长, 不同包装纸及其组合下烟支的含水率整体呈降低趋势, 其中1#~4#样品的烟支含水率大多在11.0%~12.0%之间, 各样品含水率的RSD分别为2.1%、1.7%、1.6%和1.3%, 极差分别为0.71%、0.61%、0.61%和0.50%, 可见相比于对照样品1#, 实验样品2#~4#的水分波动略小, 且整体上均高于常温常湿

状态下对应样品的波动幅度。从图 3C 中可以看出, 潮湿条件下, 随着储存时间延长, 不同包装纸及其组合下烟支的含水率整体呈升高趋势, 其中 1#~4# 样品烟支的含水率大多在 11.5%~12.5% 之间, 各样品含水率的 RSD 分别为 2.5%、1.9%、1.6% 和 2.0%, 极差分别为 0.83%、0.66%、0.60% 和 0.74%, 可见相比于对照样品 1#, 实验样品 2#~4# 的水分波动略小, 且整体上均高于常温常湿和干燥条件下对应样品的波动幅度。结果表明, 在不拆包条件下, 相比于对照样品, 短期内镀陶包装纸对烟支水分的波动有一定的调控作用。

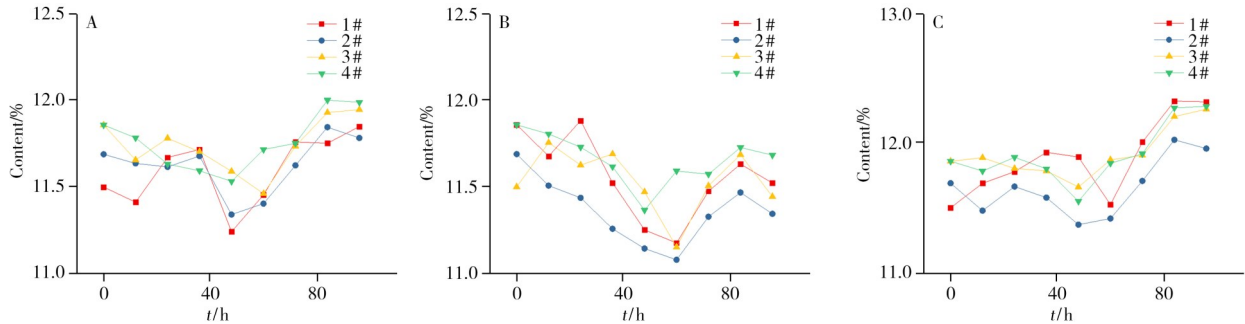


图 3 不拆包常温常湿(A)、干燥(B)和潮湿(C)条件下不同包装纸及其组合下烟支含水率的变化情况

Fig. 3 Changes in moisture content of cigarettes under different packaging papers and their combinations under normal temperature and humidity conditions(A), drying conditions(B) and humid conditions(C) without unpacking

2.2.1.2 拆包保润性能检测 在拆包情况下, 通过常温常湿、干燥和高温高湿等消费者使用场景模拟, 考察短期内小盒镀陶包装纸对卷烟保润的影响。不同存储环境下不同包装纸及其组合下烟支的含水率变化如图 4 所示。从图 4A 中可以看出, 常温常湿条件下, 随着储存时间延长, 不同包装纸及其组合下烟支含水率均呈升高趋势, 其中 1#~4# 样品烟支的含水率整体在 11.5%~13.5% 之间, 各样品含水率的 RSD 分别为 4.7%、4.5%、2.2% 和 2.9%, 极差分别为 1.7%、1.8%、0.73% 和 0.88%, 可见相比于对照样品 1#, 实验样品 2# 的水分波动幅度相差不大, 3# 和 4# 的水分波动幅度有一定降低。从图 4B 中可以看出, 干燥条件下, 随着储存时间延长, 不同包装纸及其组合下烟支含水率均呈现明显的降低趋势, 其中 1#~4# 样品烟支的含水率整体在 5.5%~12.0% 之间, 各样品含水率的 RSD 分别为 29%、29%、21% 和 23%, 极差分别为 6.2%、6.0%、5.3% 和 5.4%, 可见相比于对照样品 1#, 实验样品 2# 的水分波动幅度相差不大, 3# 和 4# 的水分波动幅度有一定降低, 且整体上均高于常温常湿状态下对应样品的波动幅度。从图 4C 中可以看出, 潮湿条件下, 随着储存时间延长, 不同包装纸及其组合下烟支含水率均呈现明显的增加趋势, 其中 1#~4# 样品烟支的含水率整体在 12.0%~23.0% 之间, 各样品含水率的 RSD 分别为 21%、20%、14% 和 13%, 极差分别为 11%、11%、6.0% 和 5.2%, 可见相比于对照样品 1#, 实验样品 2# 的水分波动幅度相差不大, 3# 和 4# 的水分波动幅度有一定降低, 且整体上均高于常温常湿状态下对应样品的波动幅度。结果表明, 相比于不拆包状态, 拆包后不同样品中水分含量波动均呈现显著增加趋势; 进一步地, 在拆包条件下, 相比于对照样品, 短期内镀陶包装纸对烟支水分的波动有明显的调控作用。

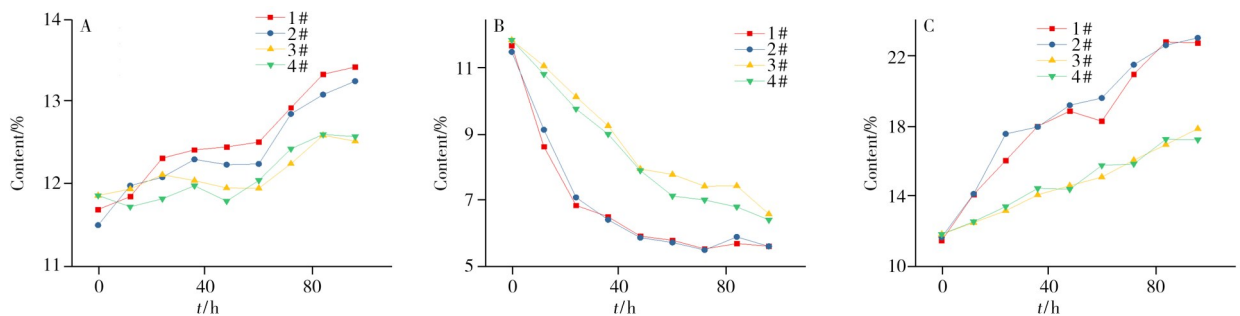


图 4 拆包常温常湿(A)、干燥(B)和潮湿(C)条件下不同包装纸及其组合下烟支的含水率变化情况

Fig. 4 Changes in moisture content of cigarettes under different packaging papers and their combinations under normal temperature and humidity conditions(A), drying conditions(B) and humid conditions(C) under unpacking

2.2.2 中长期烟支水分波动变化情况

为表征极限条件下小盒镀陶包装纸对卷烟保润的影响,在不拆包的情况下,通过中长期烟支水分波动实验,考察和评价小盒镀陶包装纸及其组合下烟支的含水率变化情况(如图5)。从图5A中可以看出,常温常湿条件下,随着储存时间延长,不同包装纸及其组合下烟支含水率均呈现一定的升高趋势,其中1#~4#样品烟支的含水率整体在11.5%~12.5%之间,各样品含水率的RSD分别为5.5%、1.9%、1.8%和1.9%,极差分别为0.91%、0.57%、0.52%和0.60%,可见相比于对照样品1#,实验样品2#~4#的水分波动幅度略小;从图5B中可以看出,潮湿条件下,随着储存时间延长,不同包装纸及其组合下烟支的含水率均呈现显著的升高趋势,其中1#~4#样品烟支的含水率整体在11.5%~15.5%之间,各样品含水率的RSD分别为10%、9.9%、9.8%和8.6%,极差分别为3.8%、3.2%、3.5%和3.0%,可见相比于对照样品1#,实验样品2#~4#的水分波动幅度略小,但没有显著性差异。结果表明,相比于短期烟支水分波动变化情况,中长期条件下不同镀陶盒包装纸对烟支水分的调控效果与对照样品相差不明显,而短期内则相差较为明显。

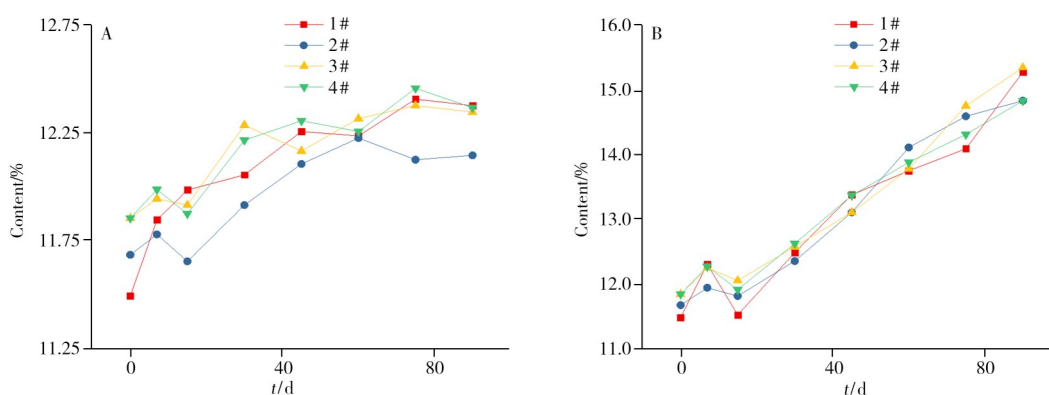


图5 中长期常温常湿(A)和潮湿(B)条件下不同镀陶包装纸及其组合下烟支的含水率变化情况

Fig. 5 Changes in moisture content of cigarettes under different ceramic coated packaging papers and their combinations under medium to long term under normal temperature and humidity conditions(A) and humid conditions(B)

2.3 镀陶烟用包装纸保香效果研究

2.3.1 方法学评价

采用SPME-Arrow/GC-MS方法对配方烟丝的挥发性、半挥发性成分进行采集,并运用NIST20和FLAVOR2数据库进行检索(匹配度大于85%),对挥发性、半挥发性化合物进行定性分析,共识别出108个色谱峰,其中既包含苯甲醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、2-乙酰基吡咯、二氢大马酮、大马酮、茄酮、香叶基丙酮、紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮、植酮、新植二烯、法尼基丙酮、棕榈酸甲酯、棕榈酸乙酯等常见挥发性、半挥发性组分,也含有烟碱、二烯烟碱、麦斯明等生物碱,亦包含麦芽酚、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮、乙基麦芽酚、藏红花醛、柠檬醛、长叶烯、苯甲酸苄酯等外源性施加的香味成分。

对各样品中目标物的RSD进行统计分析,其中101个色谱峰的峰面积日内RSD小于10%,7个色谱峰的RSD在10%~20%之间;除少部分组分的日间RSD在10%~20%之外,大部分组分的RSD均小于10%。表明该方法对于微量目标组分的量化分析展现出良好的重复性,适用于后续样品中挥发性及半挥发性化合物的差异分析。

2.3.2 保香性能评价

将卷烟样品拆包,于不同储存环境下放置96h后,对不同镀陶包装纸及其组合下烟支挥发性、半挥发性成分的变化进行考察,进而评价小盒镀陶包装纸对卷烟保香性能的影响。考虑到本研究为非靶向鉴定,采用内标法进行半定量分析,为比较不同包装材料对烟支保香效果的影响,从挥发物组整体变化情况进行分析。样品的分析结果如图6~8所示,其中样品编号以字母-数字表示,01~04分别表示样品1#~4#。从聚类热图(图6)分析结果可以看出,不同储存条件下,不同镀陶包装纸及其组合下烟支的挥发性、半挥发性成分有显著变化,其中ZC、GZ和CS组内的样品大多数呈现一致性分布。相比于

对照样品 1#, 实验样品 2#~4# 中挥发性、半挥发性组分的损失有所提升, 其中 ZC 条件下提升幅度分别为 10.74%、33.74% 和 40.15%, GZ 条件下提升幅度分别为 38.78%、41.38% 和 47.61%, CS 条件下提升幅度分别为 2.66%、5.99% 和 26.40%。结果表明, 相比于采用常规包装纸的对照样, 采用镀陶包装纸卷烟烟支中的挥发物组含量整体上有不同程度的改善, 其中在 GZ 条件下改善效果更佳。进一步, 结合样品的层次聚类分析(HCA)图(图 7)和 PCA 图(图 8)可知, 相比于 ZC 条件, GZ 条件下样品组分分布更为接近, 而 CS 条件下样品的组分分布稍远, 说明相比于 ZC 条件, CS 条件下样品烟支的挥发物组变化情况甚于 GZ 条件。由此可得, 与对照样相比, 不同镀陶包装纸对烟支样品中挥发物组分的储存(即防散失)效果和保香效果更好。

2.4 镀陶烟用包装纸表面形貌与保润保香性能的关联分析

镀陶包装纸的表面形貌特征与其保润和保香性能密切相关, 具体表现为微观结构对阻隔效能的直接影响。通过 SEM 分析发现, 镀陶层表面呈现均匀的纳米级晶粒结构(粒径约 50~100 nm), 且通过沉积形成的复合镀层(如 SiO₂/Al₂O₃)具有显著优化的致密性, 相较于传统真空镀铝纸, 其阻隔性能大幅提升。如图 1、2 所示, 镀陶层表面通过纳米颗粒堆叠形成连续屏障, 平均孔径由传统镀铝纸的 1.5 μm 降至 0.3 μm 以下。在高温高湿(CS)条件下, 镀陶层因热膨胀系数低, 微孔扩张率仅为 1.2%, 显著抑制了水分子渗透, 烟丝含水率波动控制在±0.5%以内, 可避免美拉德反应过度引发的香气劣化, 致密纳米结构抑制了水汽渗透。进一步, 镀陶层的亚微米级孔隙(<0.3 μm)有效拦截低分子量挥发性成分(如乙酸乙酯, 分子尺寸 0.6 nm), 30 d 储存后关键香气成分(如β-大马酮)的保留率大幅提升, 孔径限制了香气分子的流失。SEM 分析显示, 镀陶层表面粗糙度较传统材料大幅降低, 减少了香气分子在材料界面的物理吸附, 延缓了扩散逸散, 使得保香性能得到有效提升。

3 结论

以镀陶包装纸为研究对象, 从短期和中长期两个时间周期出发, 系统考察了镀陶包装纸对卷烟烟支保润效果的影响。在不拆包情况下, 相比于对照样品, 短期内镀陶包装纸对烟支水分的波动有一定的调控作用; 在拆包情况下, 拆包后不同样品中水分含量波动呈显著增加趋势; 拆包情况下, 相比于对照样品, 短期内镀陶包装纸对烟支水分的波动有明显的调控作用; 相比于短期烟支水分波动变化情

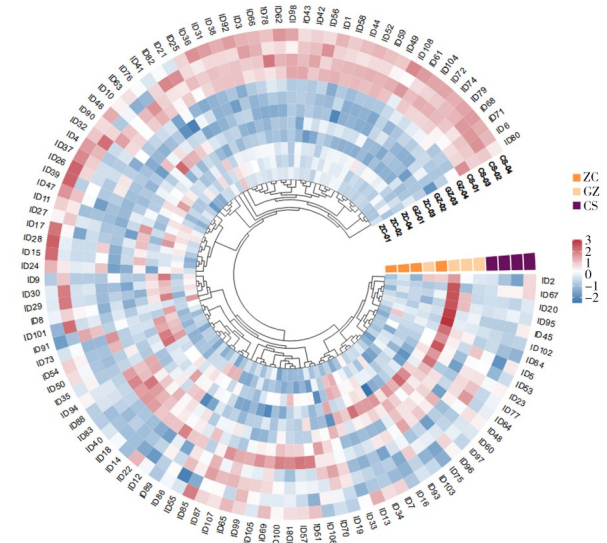


图 6 不同样品挥发物组的聚类热图
Fig. 6 Clustering heat map of volatile matter groups of different samples

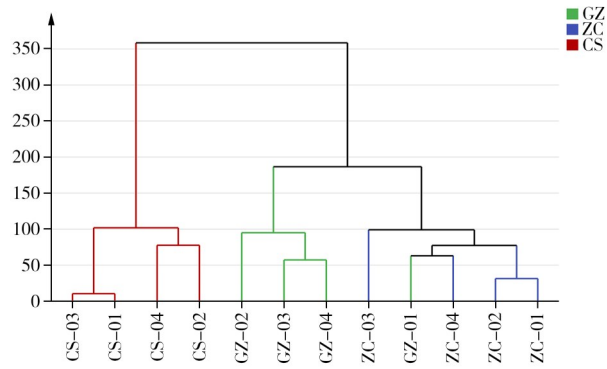


图 7 烟包在不同封闭状态、不同温湿度条件下、不同包装纸及其组合下的 HCA 图
Fig. 7 HCA diagram of cigarette packs under different sealing conditions, temperature/humidity levels, and packaging paper combinations

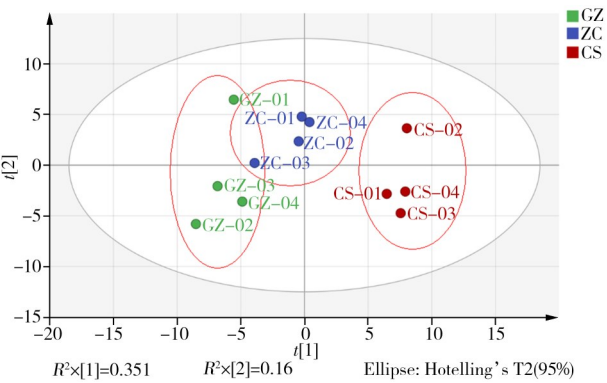


图 8 烟包在不同封闭状态、不同温湿度条件下、不同包装纸及其组合下的 PCA 得分图
Fig. 8 PCA score scatter plot of cigarette packs under different sealing conditions, temperature/humidity levels, and packaging paper combinations

况, 中长期条件下不同镀陶盒包装纸对烟支水分的调控效果与对照样品则相差不明显。进一步, 通过分析配方烟丝中挥发性、半挥发性成分, 系统评价了拆包后不同储存环境下镀陶包装纸组合对烟支配方烟丝中香味成分的影响, 与对照样品相比, 不同镀陶包装纸对烟支样品中挥发物组分的储存效果更好, 意味着保香效果更为优良, 为其成为新型绿色卷烟包装材料提供了技术支撑。

参考文献:

- [1] Wang J, Wang F, Zhou J F, Zou X, Gao T Z. *China Pulp & Paper Ind.* (王镜, 王飞, 周军锋, 邹鑫, 高天柱. 中华纸业), **2013**, 18: 81-84.
- [2] Rong X Y. *China Packag. Ind.* (容秀英. 中国包装工业), **2015**, 10: 146-148.
- [3] Shang W, Xie Y M, Liu B Q, Wang Q C, Yang H T. *Paper and Paper Making*(尚尉, 谢益民, 刘宝强, 王起成, 杨海涛. 纸和造纸), **2009**, 28(9): 13-15.
- [4] Wang L M, Wei J, Hu Q. *Packag. Eng.* (王理珉, 魏杰, 胡群. 包装工程), **2004**, (6): 168-170.
- [5] Yuxi Dayingjie Aluminum Foil Paper Co., Ltd. China Patent (玉溪市大营街铝箔纸有限责任公司. 中国专利), 112522993A. [2021-03-19].
- [6] Nanjing Jinling Gold Foil Co., Ltd. China Patent (南京金陵金箔股份有限公司. 中国专利), 103522723B. [2015-07-29].
- [7] Shandong Jiangjun Kaiyuan Paper Industry Co., Ltd. China Patent (山东将军开元纸业有限责任公司. 中国专利), 110700014B. [2022-05-20].
- [8] Wu C M, Weng C Z, Li Q, Lu Z X, Shu F Y, Huang Z Z, Zhang G Q. *Packag. Eng.* (吴春梅, 翁聪泽, 李茜, 鲁仲学, 舒芳誉, 黄朝章, 张国强. 包装工程), **2024**, 45(5): 118-125.
- [9] Zhang Y, Zhan J B, Zheng H, Yu Z H, Wang H, Yu Y, Cheng L, Yu J, Ding H Y, Li W L, Ding W. *J. New Ind.* (张莹, 詹建波, 郑晗, 余振华, 王浩, 余耀, 程量, 余江, 丁海燕, 李利伟, 丁卫. 新型工业化), **2017**, (8): 50-53.
- [10] Zhang Y, Zhan J B, Zheng H, Yu Z H, Wang H, Yu Y, Cheng L, Yu J, Ding H Y, Li W L, Ding W. *China Pulp & Paper*(张莹, 詹建波, 郑晗, 余振华, 王浩, 余耀, 程量, 余江, 丁海燕, 李利伟, 丁卫. 中国造纸), **2016**, (11): 58-62.
- [11] Yang Z Y. *Commod. Qual.* (杨振宇. 商品与质量), **2018**, (43): 97.
- [12] Chen C, Yang G T, Ye C W, Niu J J, Li Q C, He C, Li D, Chen L F. *China Pulp & Paper*(陈宸, 杨国涛, 叶长文, 牛佳佳, 李青常, 贺琛, 李栋, 陈连芳. 中国造纸), **2016**, 35(7): 70-74.
- [13] Chen C, Gao T, Yu Z, Wang X H, Wang T, Chen L F. *Acta Tab. Sin.* (陈宸, 高韬, 余赞, 王晓辉, 王涛, 陈连芳. 中国烟草学报), **2014**, 20(6): 41-48.
- [14] Liu R C, He X F, Chen W, Zhang Y, Ma T, Wen G H, Yao Z Y. *Packag. Eng.* (刘润昌, 何雪峰, 陈婉, 张勇, 马涛, 温光和, 尧珍玉. 包装工程), **2013**, 34(7): 43-47.
- [15] Tang D F, Ding W, Li S P, Wang H, Du F Q. *Packag. Eng.* (汤德芳, 丁蔚, 李淑萍, 王辉, 杜芳琪. 包装工程), **2015**, 36(21): 57-61.
- [16] Fan J. *Shanghai Packag.* (范珺. 上海包装), **2016**, (12): 66-68.
- [17] Lou J Y, Zhang Q, Zhang W, Hua Q, Wu D, Fei T, Lu J. *Packag. Eng.* (楼佳颖, 张乾, 张玮, 华青, 吴达, 费婷, 陆捷. 包装工程), **2023**, 44(3): 217-223.
- [18] Deng J Y, Peng Q, Lin W L, Zhou D, Li Y H, Xie A, Lai J C. *Packag. Eng.* (邓加云, 彭强, 林文龙, 周笛, 李益华, 谢安, 赖嘉诚. 包装工程), **2024**, 45(17): 105-110.
- [19] Wang R N, Han L, Hui F Q, Chen Y L. *Packag. Eng.* (王睿娜, 韩磊, 惠非琼, 陈友林. 包装工程), **2019**, 40(15): 130-135.
- [20] Jin C, Chen Z F, Gao Y. *Paper Technol. Appl.* (金成, 陈振芬, 高媛. 黑龙江造纸), **2022**, 50(3): 7-9.
- [21] Zhang H W, Li X, Zhang R T. *China Pulp & Paper Ind.* (张恒伟, 李雪, 张瑞婷. 中华纸业), **2022**, 43(2): 20-23.
- [22] GB/T 22838. 8-2009. Determination of Physical Characteristics for Cigarettes and Filter Rods-Part 8: Moisture. National Standards of the People's Republic of China (卷烟和滤棒物理性能的测定 第8部分: 含水率. 中华人民共和国国家标准).
- [23] Yu G J, Xie W Y, Wu B Y, Wu X J, Li J J. *Packag. Eng.* (虞桂君, 谢雯燕, 吴秉宇, 吴晓炯, 李俊杰. 包装工程), **2023**, 44(15): 276-281.

(责任编辑: 丁岩)