



韩路,万纪强,黄光富,等.基于接触角的烟用水基胶润湿性能测量方法研究[J].轻工学报,2026,41(4): 113-121.

HAN L, WAN J Q, HUANG G F, et al. A contact angle-based method for measuring the wettability of water-based adhesives for cigarettes[J]. Journal of Light Industry, 2026, 41(4): 113-121. DOI: 10.12187/2026.04.011

基于接触角的烟用水基胶润湿性能测量方法研究

韩路¹, 万纪强¹, 黄光富¹, 陈宸², 郭华诚¹, 牛佳佳², 杨帆¹, 高明奇¹

1. 河南中烟工业有限责任公司, 河南 郑州 450016;
2. 中国烟草标准化研究中心, 河南 郑州 450001

摘要:【目的】建立烟用水基胶接触角的测量方法,实现对烟用水基胶润湿性能的量化表征。【方法】以接触角测量仪测定烟用水基胶在不同基底材料表面形成的接触角,考查基底材料、点胶针头、滴液体积和接触时间对接触角的影响,并验证该方法量化表征烟用水基胶润湿性能的可行性。【结果】以载玻片 A 为基底材料,可反映水基胶在烟用纸张表面接触角的变化;随点胶针头内径尺寸、接触时间增加,接触角逐渐减小;低黏度水基胶的接触角随液滴体积增加逐渐减小,高黏度水基胶的接触角随液滴体积增加呈先增大后降低;测试参数优化:基底为超净载玻片 A,点胶针头内径 1.5 mm,滴液体积 10 μ L,接触时间 10 s,平行测定 5 次,此条件下不同实验室间测量结果相对标准偏差(RSD)为 1.8%~4.1%,重复性标准差(S_r) $\leq$ 1.62°,再现性标准差(S_R) $\leq$ 3.12°。【结论】所建立的基于接触角测量烟用水基胶润湿性能的方法具有良好的稳定性、可操作性,可用于表征烟用水基胶的润湿性能。

关键词: 烟用水基胶;接触角;润湿性能

中图分类号: TS47 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2026)04-0113-09

0 引言

烟用胶粘剂是卷烟生产中的重要辅料之一,而水基胶是以水为分散介质的胶粘剂,广泛应用于卷烟搭口、卷烟接嘴、滤棒中线等^[1]。国内卷烟生产早期所用水基胶主要为淀粉及其衍生物,随着卷烟技术发展与烟机设备的迭代更新,对烟用水基胶的粘接需求不断提高,其逐渐发展为聚醋酸乙烯酯

(PVAc)乳液水基胶、醋酸乙烯-乙烯共聚物(VAE)乳液水基胶及改性淀粉水基胶三大类^[2]。烟用水基胶与被粘材料的粘接过程大致可分为润湿(即浸润)、铺展、成膜和干燥 4 个步骤,其中,润湿是整个粘接过程的第一步。润湿性能是液体在固体表面铺展的能力或倾向性,烟用水基胶对纸质烟用材料的润湿性能直接影响胶液在纸张表面的有效铺展及在纤维内部的渗透,并影响胶液在纸面间及纸张内部的分

收稿日期:2025-09-03;修回日期:2025-10-22;出版日期:2026-08-15

基金项目:中国烟草总公司标准项目(国烟科【2021】55号)

作者简介:韩路(1990—),女,河南省商丘市人,河南中烟工业有限责任公司助理研究员,博士,主要研究方向为烟草及烟草制品分析技术。E-mail: luluatnet@163.com

通信作者:高明奇(1984—),男,河南省新乡市人,河南中烟工业有限责任公司高级工程师,主要研究方向为卷烟材料开发及应用。E-mail: gaomq1984@126.com

配。因此,开发准确可靠的润湿性能测量方法,对于评价烟用水基胶的整体性能具有重要意义。

接触角是衡量液体对固体材料表面润湿性能的重要参数^[3]。接触角指气、液、固三相交界处,气-液界面和固-液界面切线之间的夹角,其值越小,表明液体在固体表面的润湿性能越强,液体越容易渗透至固体中。目前,接触角测量技术是表征润湿性能的唯一有效手段,相关研究人员已就纳米材料、塑料薄膜、陶瓷、油漆、玻璃、纸张等建立了相应接触角测量方法^[4-8]。在烟用材料领域,2011年国家烟草专卖局发布了《烟用纸表面润湿性能的测定 接触角法》(YC/T 424—2011)^[9],通过测定水滴在烟用纸表面形成的接触角来表征烟用纸表面的润湿性能,并详细规定了烟用纸表面接触角的测定流程与计算方法。随后,董浩等^[10]采用接触角测试比较了不同接装纸表面润湿性能的差异,得出对于不同类型接装纸可通过调整其表面接触角改变润湿性能,从而保证接装时接装纸表面有足够的胶粘剂达到卷接需求。鹿洪亮等^[11]采用接触角技术测试了涂布液在基片上的动态吸收效果,确定了涂布液的关键控制指标。汪刚等^[12]用丙二醇或特定比例丙二醇-乙醇混合液作为测试液,以接触角测量技术替代传统耐脂度测试方法,实现了定量评估加热卷烟纸的防渗透性。相关研究均以水、甘油、丙二醇等低黏度液体为测试液评估固体材料表面润湿性能,鲜有针对以烟用水基胶为润湿液测定接触角的研究报道。

考虑到胶粘剂的表面张力、黏度等指标与水有较大差异,不宜采用现有方法测定烟用水基胶的润湿性能,本团队前期研究^[13]测量了不同烟用水基胶在接装纸表面的接触角,证实了接触角测量技术可用于烟用水基胶上机适用性及与新材料适配度评价。然而,影响烟用水基胶接触角测量值的因素较多,目前尚无统一规范标准,不利于该项技术的推广应用及对烟用水基胶质量的管控。基于此,本研究拟系统考查基底材料、点胶针头、滴液体积和接触时间对水基胶接触角测量值的影响,优化测试条件,建立适用于表征烟用水基胶润湿性能的接触角测量方法,为胶粘剂润湿性能评价提供量化标准,

实现烟用胶粘剂的有效质量管控。

1 材料与方法

1.1 主要材料与仪器

主要材料:烟用水基胶样品,包括搭口胶 180 (蒸发剩余物 48.3%、黏度 190 mPa·s、pH 值 4.8),包装胶 800(蒸发剩余物 52.7%、黏度 790 mPa·s、pH 值 4.7),接嘴胶 2000(蒸发剩余物 26.8%、黏度 2010 mPa·s、pH 值 5.5),接嘴胶 4000(蒸发剩余物 51.5%、黏度 3940 mPa·s、pH 值 5.4)和接嘴胶 5400 (蒸发剩余物 52.9%、黏度 5280 mPa·s、pH 值 5.1),长沙乐远化工科技有限公司;显微镜载玻片 A(病理级 80302-0001)、载玻片 B(标准级 80302-0004),江苏世泰实验器材有限公司;显微镜载玻片 C(病理级 7101)、载玻片 D(标准级 7101),江苏汇达医疗器械有限公司;显微镜载玻片 E(7101),海门昌隆仪器有限公司;14 G(内径 1.50 mm、外径 1.85 mm、橄榄色),16 G(内径 1.25 mm、外径 1.65 mm、灰色),18 G(内径 0.84 mm、外径 1.28 mm、绿色),19 G(内径 0.72 mm、外径 1.08 mm、黑色),20 G(内径 0.61 mm、外径 0.91 mm、粉色),21 G(内径 0.52 mm、外径 0.82 mm、紫色),22 G(内径 0.42 mm、外径 0.72 mm、蓝色),23 G(内径 0.34 mm、外径 0.64 mm、橘色),24 G(内径 0.30 mm、外径 0.55 mm、桃红色),25 G(内径 0.26 mm、外径 0.52 mm、红色),26 G(内径 0.25 mm、外径 0.46 mm、浅橘色),27 G(内径 0.21 mm、外径 0.42 mm、透明),30 G(内径 0.16 mm、外径 0.31 mm、浅紫色),32 G(内径 0.11 mm、外径 0.23 mm、黄色)和 34 G(内径 0.06 mm、外径 0.23 mm、雪青色)点胶针头,克吕士科学仪器(上海)有限公司;烟用接装纸,新郑金芒果实业总公司。

主要仪器:DSA25 型视频光学接触角测量仪,德国 KRÜSS GmbH 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 接触角测定 采用视频光学接触角测量仪测定烟用水基胶在不同基底材料表面形成的接触角。1)将注射针管采用抽吸的方式装满烟用水基胶,若针头处存在气泡,需将气泡挤出,将注射针管安装在注射系统装置上;2)将基底材料置于水平样

品台上;3)调节光源、摄像头及样品台,使针头处于图像的中心位置且成像清晰;4)控制滴液系统,产生 10 μL 水基胶液滴,缓慢升高样品台使基底材料表面接触悬挂的烟用水基胶液滴,再缓慢降低样品台使液滴脱离针头,完成水基胶转移;5)当接触时间为 10 s 时,对基底材料及其接触液滴进行拍照,记录接触角数值;6)移动样品台,重复步骤 4)和 5),在基底材料的其他区域进行实验。每个烟用水基胶样品均测试 5 次,并保证相邻测试位置相互不干扰。

1.2.2 测量参数优化 基底材料选择:以去离子水为测试液体,依据《自洁净镀膜玻璃》(JC/T 2168—2003)的方法^[14]测定 1.1 中不同品牌载玻片的接触角,筛选具有超洁净表面的载玻片;选择 3 种常用胶粘剂接嘴胶 2000、接嘴胶 4000 和接嘴胶 5400 为测试液体,点胶针头为 14 G,滴液体积为 10 μL ,接触时间 10 s,分别测定筛选出的载玻片与 9 种烟用接装纸表面的接触角,每个样品测试 10 次。

点胶针头选择:分别以 1.1 中 17 种点胶针头进行接触角测试,胶粘剂为搭口胶 180、包装胶 800 和接嘴胶 2000,测试基底为载玻片 A,滴液体积为 10 μL ,接触时间 10 s,每个样品测试 10 次。

滴液体积选择:滴液体积分别为 5 μL 、10 μL 和 15 μL ,测试胶粘剂为搭口胶 180、包装胶 800 和接嘴胶 2000,测试基底为载玻片 A,点胶针头为 14 G,接触时间 10 s,每个条件测试 10 次。

接触时间设定:测试胶粘剂为搭口胶 180、包装胶 800 和接嘴胶 2000,测试基底为载玻片 A,点胶针头为 14 G,滴液体积为 10 μL ,记录接触时间 0~60 s 内的接触角测量值变化曲线。

检测次数设定:每个样品分别测试 5 次与 10 次,测试胶粘剂为搭口胶 180,包装胶 800,接嘴胶 2000、4000 和 5000,测试基底为载玻片 A,点胶针头 14 G,滴液体积 10 μL ,接触时间 10 s。

方法可行性检测:开展共同实验检测方法可行性,选取具有较强代表性的 5 种烟用接嘴胶,3 种烟用包装胶胶粘剂,样品主要物理参数见表 1,分发至贵州中烟工业有限责任公司、河南中烟工业有限责任公司、河北中烟工业有限责任公司、安徽中烟工业有限责任公司、湖北中烟工业有限责任公司、长沙乐远化工科技有限公司和北京长润化工有限公司进行测试,测试参数为:基底载玻片 A,点胶针头为 14 G,滴液体积为 10 μL ,接触时间 10 s,每个样品平行测试 5 次,记录测量值。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2023 进行数据预处理;使用 R4.4.3 语言进行 Pearson 相关性、T 检验等分析;使用 ChiPlot 绘制相关性热图(<https://www.chiplot.online/>)。

2 结果与分析

2.1 基底材料选择结果分析

在众多基底材料中,载玻片是一类具有标准尺寸、便于获得的玻璃基底材料。超洁净玻璃与水的接触角理论上可达 10°以下,玻璃与水的接触角越小,其表面受污垢污染越轻,洁净度越高^[15-16]。为确保检测结果的一致性与可比性,本研究选用载玻片作为统一的基底材料,以接触角<10°为标准筛选具有超洁净表面的载玻片,结果如图 1 所示。由图 1 可知,使用去离子水对不同载玻片进行标定,所测

表 1 烟用水基胶样品参数
Table 1 Parameters of water-based adhesive samples for cigarettes

样品名称	样品类别	使用场景	蒸发剩余物/%	黏度/(mPa·s)	pH 值
接嘴胶 A	中高速接嘴胶(辊涂型)	Protos70/Passim/ZJ17 等辊涂机型	45.9	3430	4.8
接嘴胶 B	高速接嘴胶(辊涂型)	Protos90E、ZJ112 等设备	52.4	2550	4.7
接嘴胶 C	超高速接嘴胶(辊涂型)	Protos2-2、ZJ116 等设备	53.2	4900	5.2
接嘴胶 D	超高速接嘴胶(喷涂型)	Protos M5 等设备	26.3	2040	5.0
接嘴胶 E	超高速接嘴胶(喷涂型)	Protos M8 等设备	41.4	1760	6.1
包装胶 A	辊涂型包装胶	辊涂型包装机	53.8	1520	5.0
包装胶 B	喷涂型包装胶	喷涂型包装机	50.1	330	4.5
包装胶 C	软包硬化包装胶	软包硬化、特殊材质包装纸	49.6	340	4.7

注:蒸发剩余物、黏度、pH 值按照《高速卷烟胶》(YC/T 188—2004)的方法测定。

接触角数值具有较大差异,说明不同类型载玻片的洁净度不同。其中,去离子水在载玻片 A 的表面接触角小于 10°,则该载玻片具有超洁净表面,将作为烟用水基胶测试用基底材料。

烟用纸张一般具有多孔性,与载玻片的表面状态存在一定差异。烟用水基胶在纸张表面铺展时有部分胶液可渗入纸张内部,而在载玻片表面仅有铺展过程,因此,需考查表面状态差异对接触角的影响。3 种接嘴胶在载玻片 A 与接装纸上的接触角如图 2 所示。由图 2 可知,3 种接嘴胶在载玻片 A 和烟用接装纸上测得接触角存在一定差异,且随胶液黏度增加,其接触角均呈增大趋势。以接嘴胶 4000 为例,进一步对不同基底材料得到的接触角数据进行相关性分析,计算各组间相关性系数并绘制相关性热图,结果如表 2 和图 3 所示。由表 2 和图 3 可知,使用载玻片 A 所得结果与使用 9 种接装纸所得结果的相关系数为 0.938~0.999,即变化趋势高度一致。因此,选用载玻片 A 为基底材料进行烟用水基胶接触角测试,能够反映烟用水基胶在烟用纸张表面接触角的变化趋势。

2.2 点胶针头对接触角的影响分析

接触角测量通常需要一个尽可能接近完美球冠形的小液滴,针头尺寸直接决定了能形成的最小液滴体积以及液滴的初始形态。粗针头难以形成微升级(μL)的小液滴,形成的液滴体积大,重力作用

会更加明显,液滴会因自身质量而变得扁平,导致测量的接触角偏小。过细的针头会产生较大流动阻力,导致液滴难以排出,甚至堵塞针头。即使能排出,也会因胶体在针头内的剪切变稀和出口后的弹性回复行为,导致液滴形状不稳定或“拉丝”,严重影响测量的准确性和重复性^[17]。前期实验发现,当针头内径<0.84 mm 烟用水基胶黏度>2000 mPa·s 时,黏度较高会堵塞针头,因此本研究选用内径尺寸较大的 14 G、16 G 和 18 G 点胶针头考查内径尺寸对接触角测量结果的影响,结果如图 4 所示。由图 4 可知,随着针头内径的减小,3 种水基胶的接触角逐渐增大,说明点胶针头的尺寸对接触角检测结果有一定影响。为确保检测条件的统一性与实用性,尽可能选择内径较大针头避免测量高黏度烟用水基胶接触角时出现堵塞与“拉丝”问题,故选择 14 G 点胶针头进行烟用水基胶接触角测定。

2.3 液滴体积对接触角的影响分析

载玻片不是理想的固体表面,具有粗糙度、化学非均匀性和渗透性,这些特性使得液滴体积对接触角的影响变得至关重要。在接触角测量过程中,液滴体积过大会引入重力效应,使接触角测量值偏小;液滴体积过小则会由于渗透效应过快而导致测量不稳定或偏大^[18]。因此,选择一个适中、标准化的液滴体积,是获得可靠、可比较接触角的关键。

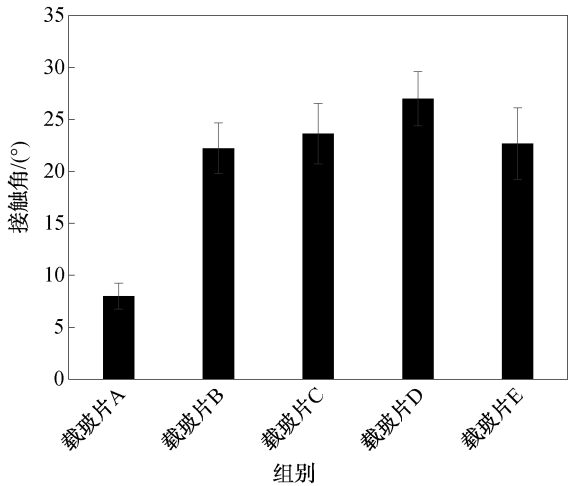


图 1 去离子水在不同载玻片上的接触角
Fig. 1 Contact angles of deionized water on different glass slides

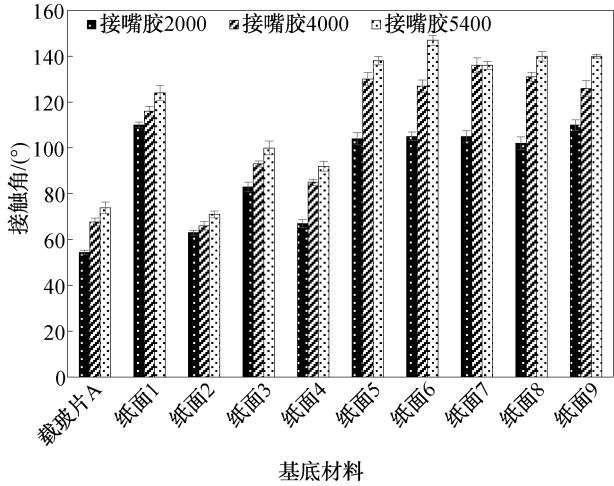


图 2 3 种接嘴胶在载玻片 A 与接装纸上的接触角
Fig. 2 Contact angles of three tipping adhesives on glass slides A and tipping papers

表 2 接嘴胶 4000 在不同基底材料测得的接触角相关性系数

Table 2 Correlation coefficients of contact angle for tipping adhesive 4000 on different substrates

	载玻片 A	纸面 1	纸面 2	纸面 3	纸面 4	纸面 5	纸面 6	纸面 7	纸面 8	纸面 9
载玻片 A	1	0.958 *	0.938 *	0.994 *	0.999 *	0.996 *	0.983 *	0.951 *	0.996 *	0.985 *
纸面 1	—	1.000	0.998 *	0.983	0.946	0.929	0.994	0.822	0.930	0.993
纸面 2	—	—	1.000	0.970	0.924	0.905	0.985	0.786	0.905	0.984
纸面 3	—	—	—	1.000	0.989	0.981	0.997 *	0.912	0.981	0.998 *
纸面 4	—	—	—	—	1.000	0.999 *	0.976	0.962	0.999 *	0.978
纸面 5	—	—	—	—	—	1.000	0.964	0.974	1.000 **	0.967
纸面 6	—	—	—	—	—	—	1.000	0.879	0.964	1.000 **
纸面 7	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.974	0.885
纸面 8	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000	0.967
纸面 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.000

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关,—表示省去重复数据。

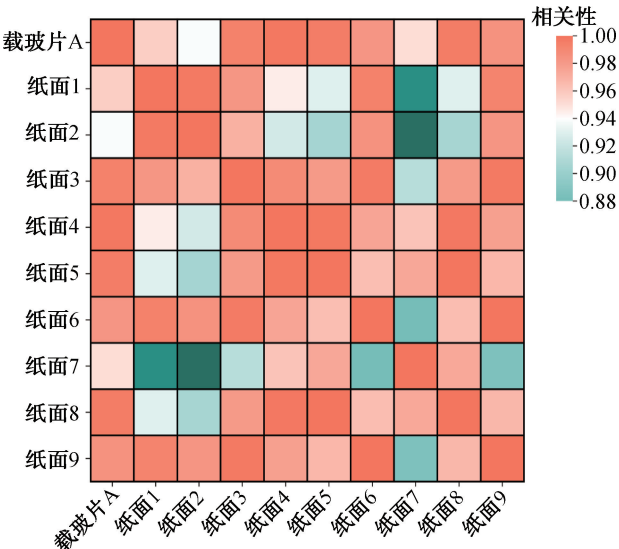


图 3 接嘴胶 4000 在不同基底材料测得的接触角相关性热图

Fig. 3 Correlation heatmap for contact angles of tipping adhesive 4000 on different substrates

液滴体积对烟用水基胶接触角的影响如图 5 所示,由图 5 可知,对于不同黏度烟用水基胶,液滴体积对接触角的影响规律不同:对于较低黏度水基胶,接触角随液滴体积增加逐渐减小;对于较高黏度水基胶,接触角随液滴体积增加先增大后降低;对同一种水基胶,接触角随液滴体积增加的标准偏差逐渐减小,表明液滴体积增大,测量方法的稳定性提升。此外,随水基胶的黏度增加,其最大可悬挂液滴的体积逐渐减小,如接嘴胶 5400 的最大可悬挂液滴体积仅为 13 μL 。因此,为兼顾检测方法的适用性与检测结果的准确性,可将滴液体积设定为 10 μL 。

2.4 接触时间对接触角的影响分析

在测定烟用水基胶的接触角时,接触时间是至关重要的影响因素,其作用机制主要源于纸张的多孔、渗透性基底特性与水基胶的复杂组分^[19]。必须精确规定并报告图像捕获的具体时间点(如沉积后 1 s),否则数据将缺乏重现性和可比性。本研究考查了接触时间对接触角的影响,结果如图 6 所示。由图 6 可知,以液滴完全脱离针头开始计时,对于 3 种不同的水基胶,其接触角随着接触时间增加均呈降低趋势;当接触时间大于 10 s 后,接触角趋于稳定,整体变化幅度不超过 1°。这是因为液滴沉积后,会立即发生快速的纵向渗透(吸收)和横向铺展,导致表观接触角在初始几秒内随时间呈急剧下降趋势;随后,由于胶体中高分子聚合物的表面富集、吸附成膜及溶剂的持续蒸发,接触角的变化速率减缓并可能趋于一个相对平稳的值,甚至因表面能变化而出现略微回升^[15]。因此,所测得的接触角并非一个固定值,

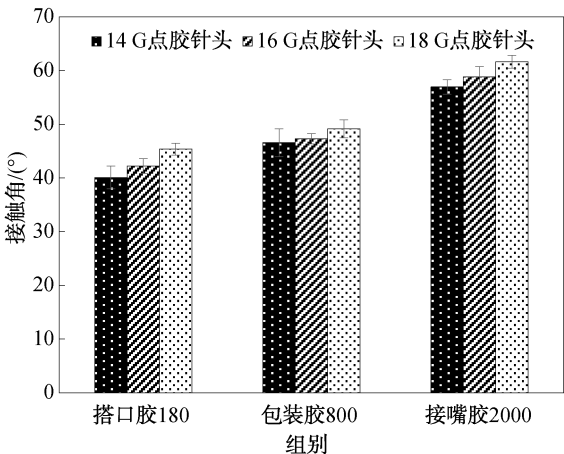


图 4 不同规格点胶针头的接触角

Fig. 4 Contact angles measured with dispensing needles of different sizes

而是一个动态演变过程的瞬时表现。综上,兼顾检测效率与结果准确性,接触时间选择 10 s。

2.5 检测次数优化结果分析

在测定烟用水基胶于载玻片 A 上的接触角时,若在不同位置进行多次检测,其结果是否存在差异主要源于水基胶样品自身的性质而非基底材料变化。水基胶作为一种复杂的胶体分散体系,其均匀性、稳定性及可能存在的微观相分离会导致不同液滴间的理化性质存在微幅波动,进而使接触角测量结果呈现统计性分布特征^[20]。此外,操作过程中难以完全避免的微小变量,如每次点胶的瞬时体积差异、针头可能携带的微量残留物对后续样品的污染及环境温湿度波动导致的溶剂蒸发速率变化也会引入随机误差^[21]。需通过足够多的平行测量(通常 ≥ 5 次)并计算平均值和标准差,才能准确表征水基胶的整体润湿性能。

检测次数对接触角的影响见表 3。由表 3 可知,

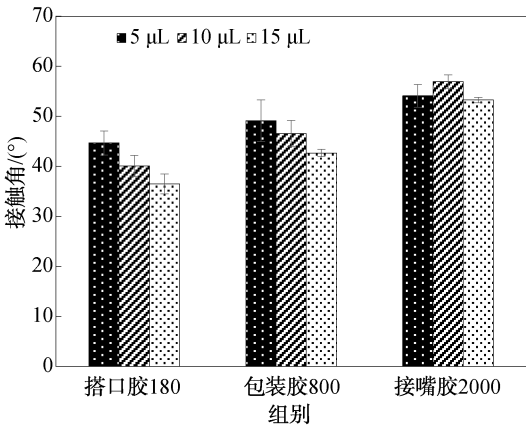


图 5 液滴体积对烟用水基胶接触角的影响
Fig. 5 Influence of droplet volume on the contact angles of water-based adhesives

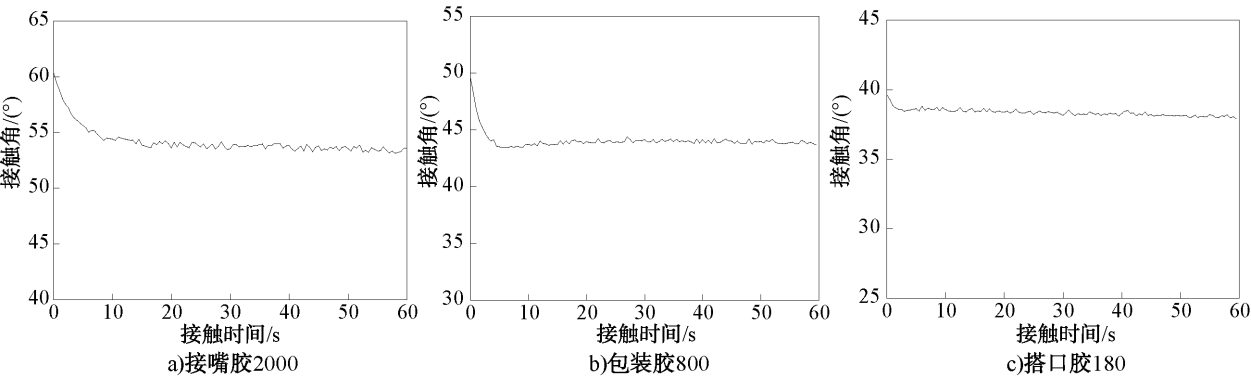


图 6 接触时间对烟用水基胶接触角的影响
Fig. 6 Influence of contact time on the contact angles of water-based adhesives

2 种测试次数下,5 种胶粘剂的接触角平均值、标准差、变异系数的差异均较小。进一步通过配对样本 T 检验进行验证,置信水平 95%,假设差分为 0,结果见表 4。由表 4 可知,Shapiro-Wilk 正态检验统计量和 P 值显示 2 组数据符合正态分布;且 t 检验统计量 $t = -0.78$, P 为 0.478 小于常用的检验水准 0.05,表明两组数据差异无统计学意义,可认为 5 次与 10 次平行测量所得接触角无显著差异。为提升检测效率,每个样品平行测定 5 次。

2.6 方法可行性分析

在 7 家实验室测试了所建立接触角测量方法的可靠性和重现性,通过系统性比对与统计分析,验证测量程序的标准化程度和结果的可靠性。由于各实验室在仪器型号(如相机分辨率、注射泵精度)、环境控制(温湿度)、操作细节(点胶速度、体积、液滴沉积后图像捕获的精确时间点)、人员判断(软件拟合方法)等方面存在不可避免的差异,因此,开展共同实验能够有效量化这些变量对最终接触角的影响程度,识别出方法流程中可能存在的关键偏差源,为建立一套严格、统一、可跨实验室移植的标准测得方法提供坚实的数据支撑^[21]。其结果见表 5。由表 5 可知,7 家实验室对 8 个实验样品接触角测定结果的相对标准偏差(RSD)为 1.8%~4.1%,四分位距(IQR) $\leq 5.47^\circ$;测定结果重复性标准差(S_r) $\leq 1.62^\circ$ ($S_r/\text{平均值} \leq 3.8\%$),再现性标准差(S_R) $\leq 3.12^\circ$ ($S_R/\text{平均值} \leq 4.6\%$),表明各实验室测定结果重复性、再现性均较好。因此,利用本研究建立的接触角测量方法对烟用水基胶润湿性能进行表征,具有较强的可行性。

表 3 检测次数对接触角的影响
Table 3 Influence of the number of tests on contact angle

样品	5 次			10 次		
	平均值/(°)	标准差/(°)	变异系数/%	平均值/(°)	标准差/(°)	变异系数/%
搭口胶 180	38.11	1.46	3.83	37.91	1.65	4.35
包装胶 800	45.09	2.20	4.89	45.22	1.99	4.40
接嘴胶 2000	54.65	1.57	2.86	54.36	1.33	2.45
接嘴胶 4000	67.28	1.41	2.10	67.69	1.72	2.54
接嘴胶 5400	73.19	1.46	1.99	73.83	1.45	1.96

表 4 配对样本 t 检验结果
Table 4 Results of paired-samples t-test

组别	均值/(°)	标准差/(°)	Shapiro-Wilk	正态检验	平均差的 95% 置信区间		t 值	P 值
			统计量	P 值	下限	上限		
5 次测量	55.560	14.690	0.985	>0.100				
10 次测量	55.800	15.000	0.986	>0.100	-0.628	0.352	-0.78	0.478
差值	-0.138	0.395						

表 5 7 家实验室检测结果
Table 5 Results from 7 laboratories

样品	平均值/(°)	RSD/%	IQR/(°)	S _r /(°)	S _R /(°)
接嘴胶 A	67.79	4.1	5.47	1.62	3.12
接嘴胶 B	66.88	3.3	4.38	1.27	2.47
接嘴胶 C	76.92	1.8	2.38	1.21	2.44
接嘴胶 D	58.04	2.7	2.73	1.17	1.88
接嘴胶 E	58.90	2.6	2.50	1.18	1.85
包装胶 A	61.31	2.6	3.22	1.19	1.92
包装胶 B	43.92	2.7	1.92	1.25	1.65
包装胶 C	38.80	3.1	1.82	1.49	1.80

3 结论

本研究以接触角表征烟用水基胶的润湿性能,系统考查了基底材料、点胶针头、滴液体积和接触时间对烟用水基胶接触角的影响,建立了适用于表征烟用水基胶润湿性能的接触角测量方法。结果表明:基底材料表面性能对水基胶接触角测量结果有较大影响,载玻片 A 以去离子水为测试液的接触角<10°且与烟用纸张相关性系数为 0.938~0.999,变化趋势高度一致,可替代烟用纸张为基底进行接触角测定;随点胶针头内径减小,烟用水基胶接触角逐渐增大;对较低黏度的烟用水基胶,液滴体积增加会降低接触角,滴胶体积优选 10 μL;接触角随接触时间增加呈降低趋势,10 s 后趋于稳定。因此,烟用水基胶测量方法为测试基底载玻片 A,平行测定 5 次,点

胶针头内径为 1.5 mm,滴液体积为 10 μL,接触时间为 10 s;可行性验证结果表明,不同实验室间测量结果 RSD 为 1.8%~4.1%,S_r≤1.62°,S_R≤3.12°,方法的重复性、再现性良好。因此,以在特定固体材料表面的接触角表征烟用水基胶润湿性能,具有较好的可操作性,可推动烟用水基胶润湿性能测量方法的规范化,实现对烟用水基胶质量的量化表征。

参考文献:

[1] 胡少东,李国政,杨帆,等. 国内烟用水基胶改性研制进展[J]. 烟草科技,2020,53(8):105-112.
HU S D,LI G Z,YANG F,et al. Advances in modification of water-based adhesives for cigarette manufacturing in China[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(8): 105-112.

[2] PATTHAVONGSA P. 烟用水基胶质量控制指标体系建立与配套检测技术研究[D]. 长沙:湖南大学,2018.
PATTHAVONGSA P. Technology of quality control index system for smoke water base glue [D]. Changsha: Hunan University, 2018.

[3] 倪冰选,魏纯香,方方. 接触角表征医用纺织品表面润湿性试验研究[J]. 天津纺织科技,2022(3):1-3.
NI B X,WEI C X,FANG F. Experimental study on surface wettability of medical textiles based on contact angle[J]. Tianjin Textile Science & Technology, 2022(3):1-3.

[4] 钱宇程. 纳米二氧化硅/溶聚丁苯橡胶复合材料的界面结构与纳米/宏观粘弹性关系[D]. 北京:北京化工大学,2025.
QIAN Y C. Interfacial structure and nano/macro viscoelasticity

- relationship of nanosilica/SSBR composites [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2025.
- [5] GB/T 30693—2014 塑料薄膜与水接触角的测量[S]. GB/T 30693—2014 Measurement of water-contact angle of plastic films[S].
- [6] 李波,樊磊,白洁,等.用于玻璃绝缘子的超疏水防冰涂层的制备及其性能研究[J].广东化工,2025,52(13):1-3,24.
- LI B, FAN L, BAI J, et al. Preparation and performance study of superhydrophobic anti-icing coatings for glass insulators [J]. Guangdong Chemical Industry, 2025, 52 (13): 1-3, 24.
- [7] 陈娟宁.纸基仿生特殊润湿性表面的构筑及其性能研究[D].兰州:兰州交通大学,2021.
- CHEN J N. Preparation and properties of paper-based special wettability surfaces [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2021.
- [8] 张绪.新型建筑用钢水性丙烯酸防腐涂料的开发与应用[D].武汉:武汉轻工大学,2024.
- ZHANG X. Development and application of a new type of steel based acrylic anti-corrosion coating for construction [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2024.
- [9] YC/T 424—2011 烟用纸表面润湿性能的测定 接触角法[S].
- YC/T 424—2011 Determination of surface wettability of paper for cigarette—Contact angle method[S].
- [10] 董浩,刘锋,荆熠,等.不同类型烟用接装纸表面性能及其对卷接效果的影响[J].烟草科技,2011,44(4):10-13,22.
- DONG H, LIU F, JING Y, et al. Surface properties of different tipping paper and their influences on tipping effects[J]. Tobacco Science & Technology, 2011, 44(4): 10-13, 22.
- [11] 鹿洪亮,李跃锋,李易非,等.应用接触角技术评价再造烟叶涂布液的动态吸收性能[J].烟草科技,2019,52(9):96-101.
- LU H L, LI Y F, LI Y F, et al. Evaluation of dynamic absorption of reconstituted tobacco by contact angle technology [J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52 (9): 96-101.
- [12] 汪刚,王雨青,肖翠翠,等.基于接触角法的加热卷烟纸防渗透能力评价研究[J].轻工学报,2023,38(3):112-118.
- WANG G, WANG Y Q, XIAO C C, et al. Evaluation method for impermeability of heated tobacco paper based on contact angle method[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(3): 112-118.
- [13] 高明奇,纪朋,顾亮,等.湿润性能对水基胶与烟用纸张适用性影响的应用研究[J].中国胶粘剂,2016,25(5):56-58.
- GAO M Q, JI P, GU L, et al. Application research on the influence of wettability on the applicability of water-based adhesive and cigarette paper [J]. China Adhesives, 2016, 25(5): 56-58.
- [14] JC/T 2168—2013 自洁净镀膜玻璃[S].
- JC/T 2168—2013 Self-cleaning coated glass[S].
- [15] 刘程,米裕民.表面活性剂性质理论与应用[M].北京:北京工业大学出版社,2003.
- LIU C, MI Y M. Theory and application of surfactant properties [M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2003.
- [16] 李伟,刘方方,张浩,等.接触角法在测定固体表面洁净度方面的应用[J].日用化学工业,2006,36(1):34-37,58.
- LI W, LIU F F, ZHANG H, et al. Application of contact angle method for measuring cleanness of solid surface[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2006, 36(1): 34-37, 58.
- [17] TAYLOR M, URQUHART A J, ZELZER M, et al. Picoliter water contact angle measurement on polymers [J]. Langmuir, 2007, 23(13): 6875-6878.
- [18] KRAINER S, HIRN U. Contact angle measurement on porous substrates: effect of liquid absorption and drop size [J]. Colloids and Surfaces A (Physicochemical and Engineering Aspects), 2021, 619: 126503.
- [19] The effect of drop (bubble) size on contact angle at solid surfaces [J]. The Journal of Adhesion, 1997, 63 (1/3): 31-51.
- [20] VUCKOVAC M, LATIKKA M, LIU K, et al. Uncertainties in contact angle goniometry [J]. Soft Matter, 2019, 15 (35): 7089-7096.
- [21] DRELICH J. Guidelines to measurements of reproducible contact angles using a sessile-drop technique [J]. Surface Innovations, 2013, 1(4): 248-254.

A contact angle-based method for measuring the wettability of water-based adhesives for cigarettes

HAN Lu¹, WAN Jiqiang¹, HUANG Guangfu¹, CHEN Chen², GUO Huacheng¹,
NIU Jiajia², YANG Fan¹, GAO Mingqi¹

1. China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450016, China;

2. China National Tobacco Standardization Research Center, Zhengzhou 450001, China

Abstract: [Objective] To establish a contact angle measurement method for water-based adhesives used in cigarettes, and to quantitatively characterize their wettability. **[Methods]** A contact angle meter was used to measure the contact angles of water-based adhesives on different substrates. The effects of substrate material, dispensing needle size, droplet volume, and contact time on the contact angle were investigated, and the feasibility of using this method to characterize the wettability of water-based adhesives was examined. **[Results]** Glass slide A could be used as the substrate to reflect the contact angle behavior of water-based adhesives on cigarette papers. As the inner diameter of the dispensing needle or the contact time increased, the contact angles gradually decreased. For low-viscosity adhesives, the contact angle decreased gradually with increasing droplet volume, whereas for high-viscosity adhesives, the contact angle initially increased and then decreased with increasing droplet volume. The optimized test conditions were as follows: ultra-clean glass slide A as the substrate, a dispensing needle with an inner diameter of 1.5 mm, a droplet volume of 10 μL , and a contact time of 10 s. Based on five replicate measurements, the relative standard deviation (*RSD*) between different laboratories ranged from 1.8% to 4.1%, with a repeatability standard deviation (S_r) $\leq 1.62^\circ$ and a reproducibility standard deviation (S_R) $\leq 3.12^\circ$. **[Conclusion]** The established contact angle-based method for measuring the wettability of water-based cigarette adhesives demonstrated satisfactory stability and operability, and can be reliably used for this purpose.

Key words: water-based adhesive for cigarette; contact angle; wettability

[责任编辑:刘丹丹 贾学伟]

(上接第 112 页)

Abstract: [Objective] To investigate the material basis and causes of non-water-soluble yellow spots on cigarette paper. **[Methods]** Liquid chromatography coupled with a diode array detector (LC-DAD) was used to qualitatively and quantitatively analyze the yellow substances in non-water-soluble yellow spots, and their sources were investigated through the determination of yellow substances in different tobacco materials combined with solvent leaching experiments. **[Results]** The result showed that the yellow substances in the non-water-soluble spots were soluble in organic solvents such as ethanol but insoluble in water, and their color faded upon sunlight exposure. Such spots can be distinguished by testing their water solubility and light fading behavior. With ethanol as the extraction solvent, vortex extraction was applied to cigarette paper and matrix disruption extraction to tobacco materials, achieving complete extraction of the lipophilic yellow pigments. Based on their retention times and absorption spectral profiles obtained by two-dimensional absorption spectroscopy, the yellow substances in the non-water-soluble spots were identified as lutein and β -carotene. The contents of lutein and β -carotene in eight cigarette paper samples with non-water-soluble yellow spots were determined to be in the range of 1.07 ~ 7.00 $\mu\text{g/g}$ and 0.64 ~ 13.37 $\mu\text{g/g}$, respectively. Trace amounts of lutein and β -carotene were also detected in oily spots on cigarette paper caused by ester solvent contamination. Lutein and β -carotene mainly originated from the blended cut tobacco, and their contents in different materials followed the order of cut tobacco > reconstituted tobacco sheet > cut stem. Dichloromethane leaching experiments showed that among these materials, reconstituted tobacco sheet released the largest amount of lipophilic yellow pigments, whereas cut stem exhibited the highest leachable proportion. **[Conclusion]** The established method can be used for the identification and source tracing of non-water-soluble yellow spots on cigarette paper, providing a reference for the scientific prevention and control of spotted cigarettes.

Key words: cigarette paper; non-water-soluble yellow spots; pigment; source

[责任编辑:刘丹丹 贾学伟]