



范翔,朱彬,邢伟,等. 烟支滤棒搭口粘接强度影响因素分析及生产贮存工艺优化[J]. 轻工学报,2026,41(4):75-83.
FAN X,ZHU B,XING W,et al. Influencing factors of lap bonding strength of cigarette filter rods and optimization of production and storage processes[J]. Journal of Light Industry,2026,41(4):75-83.
DOI:10.12187/2026.04.007

烟支滤棒搭口粘接强度影响因素分析及生产贮存工艺优化

范翔¹,朱彬¹,邢伟¹,余舟¹,金丽梅²,刘朝斌²,蒲娜娜²,葛英亮³

1. 上海白玉兰烟草材料有限公司,上海 200082;
2. 黑龙江八一农垦大学 食品学院,黑龙江 大庆 163319;
3. 海南热带海洋学院 食品科学与工程学院,海南 三亚 572022

摘要:【目的】解决滤棒贮存期间易出现的爆口问题。【方法】以滤棒搭口粘接强度为指标,通过单因素试验和响应面试验对施胶量、烙铁温度、贮存温度和湿度工艺参数进行优化,获得各因素对滤棒搭口粘接强度衰减率的响应回归方程,分析不同工艺参数下滤棒爆口情况。【结果】对滤棒搭口粘接强度衰减率的影响大小顺序为:贮存温度>贮存湿度>施胶量,烙铁温度的影响较小,保持在 120 ℃ 至 135 ℃ 即可通过提高施胶量到 14.0 g/min,或降低贮存温度<20 ℃,降低滤棒产生爆口。滤棒生产贮存的最佳工艺条件为:施胶量 10.0 g/min、贮存湿度 74 %、贮存温度 12 ℃,在此条件下,滤棒贮存 15 d 后搭口粘接强度衰减率为 32.48%,贮存 180 d 后爆口率为 0。滤棒搭口粘接强度衰减率越小,滤棒爆口率越低,初始爆口时间越长,当施胶量为 12.0 g/min,环境温度 40 ℃、贮存湿度 60%~75%时,滤棒初始爆口时间为 18~25 d,爆口率为 30%~50%。【结论】贮存温度、湿度和施胶量是影响滤棒搭口粘接强度的主要因素,提高施胶量和降低贮存温度都有利于降低爆口产生。

关键词:滤棒;温度;湿度;爆口;粘接强度

中图分类号:TS452.1;R284.2 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2026)04-0075-09

0 引言

滤棒作为烟支的重要组成部分,可有效截留烟气粒相物,降低焦油等有害物质的释放,其加工质量直接影响香烟品质与消费体验^[1]。滤棒品质与原材料、成型设备、工艺参数密切相关^[2-3],同时还受

到空气温度、湿度、光照等环境因素的影响。近年来,国内外围绕滤棒生产和贮存环境对香烟滤棒品质指标的影响做了大量研究,如压降、硬度、吸阻、烟气、感官质量等^[2-7]。爆口作为常见质量问题之一,对滤棒的接装性能和使用寿命有重要影响。因此,研究滤棒搭口粘接强度的影响因素,对稳定接装加

收稿日期:2025-03-19;修回日期:2025-08-15;出版日期:2026-08-15

基金项目:黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2023B019);上海白玉兰烟草材料有限公司 2022—2025 年度滤棒产品维护项目(K2022-YC-006)

作者简介:范翔(1971—),男,浙江省宁波市人,上海白玉兰烟草材料有限公司工程师,主要研究方向为特种滤棒产品开发。
E-mail:fanxiang@sh.tobacco.com.cn

通信作者:金丽梅(1972—),女,吉林省梅河口市人,黑龙江八一农垦大学教授,博士,主要研究方向为聚合物膜制备及其应用。
E-mail:jilinwa@126.com

工质量、预防爆口、提升生产效率、减少资源浪费等均具有重要意义。为提高滤棒搭口粘接强度,刘禹江^[8]提出了一种基于模糊-Smith的控制滤棒成型温度算法,优化了滤棒成型过程并减少了因温度控制不当导致的爆口问题。何屹等^[9]探讨了胶粘剂性能、施胶方式等对特定烟用水基胶粘接强度的影响。

随着滤棒成型机升级及滤棒生产速度提升,复合滤棒和高透气度滤棒大量涌现,对粘接胶体也提出了更高的要求^[10]。滤棒搭口常使用热熔胶进行粘合,特别是含有乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)的热熔胶,因其熔点低、粘接性强等特点应用最为广泛^[10,12]。耿志忠等^[11]通过接触角和表面能测试发现,由高表面能增黏树脂合成的热熔胶粘接性能更优。郭宏伟^[13]分析了KDF2滤棒成型机上胶、成型和开松工序导致爆口的多种原因,并提出针对性的解决方案。然而,研究生产工艺参数与贮存环境对滤棒搭口粘接强度的影响规律,对降低滤棒质量缺陷同样重要,但目前相关研究鲜见报道。鉴于此,本文拟以KDF2成型机生产的滤棒为研究对象,通过单因素试验和响应面试验,考查生产工艺参数及贮存环境对滤棒搭口粘接强度的影响,以期为滤棒生产和贮存过程中减少爆口产生提供一定的参考与借鉴。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

主要材料:滤棒,规格为7.7 mm×120 mm,由上海白玉兰烟草公司提供。其中,滤棒丝束材料为二醋酸纤维素,增塑剂为三醋酸甘油酯,热熔胶的主要成分为EVA、石蜡、季戊四醇松香酸酯等。

主要试剂:NaCl、KCl、NaBr,均为分析纯,辽宁全瑞试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

SL102-C1-A1型(4G版)温湿度传感器记录仪,江苏芮捷智能科技有限公司;HS-800A型培养箱,上海和晟仪器科技有限公司;WHS-1100Y型培养箱,宁波科晟实验仪器有限公司;FA2004型分析天平,沈阳拓宇衡器有限公司;DK-98-IIA型电热

恒温水浴锅,天津布泰斯特仪器有限公司;XLW型智能电子拉力试验机,济南兰光机电技术有限公司;BMH-J3型数显薄膜测厚仪,济南三泉中石实验仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 环境温湿度调控 当实验温度 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度和相对湿度由培养箱统一调控;当实验温度 $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,环境相对湿度(Relative Humidity, RH)改用饱和盐溶液控制。根据相对湿度的定义,当滤棒与环境相对湿度达到平衡时,水分活度(Water Activity, A_w)与环境相对湿度数值上相等^[14-15]。NaCl、NaBr和KCl 3种饱和盐溶液在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的水分活度分别为0.75、0.60和0.90^[16]。分别配制3 L NaCl、NaBr和KCl的饱和盐溶液(在水浴中溶解):分别取去离子水3000 mL,加入到3个洁净的容器中,并依次向容器内加入超过溶解量的NaCl 1300 g、NaBr 3250 g、KCl 1220 g,搅拌溶解形成饱和溶液,未溶解的固体盐不露出液面。将上述饱和盐溶液分别倒入密封箱中,控制液位高度为整体密封箱高度的1/3左右,打开内部风机进行空气循环。将密封箱移入设置一定温度的培养箱中,盖上顶盖平衡24 h后,将盛装滤棒的托盘置于密封箱内部的支架上。

1.3.2 样品制备 在上海白玉兰烟草公司滤棒生产车间上机,将KDF2型滤棒成型机调试至稳定运行状态后,将醋纤丝束制成滤棒。固定烙铁温度 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$,调节EVA热熔胶施胶量分别为6.0 g/min、8.0 g/min、10.0 g/min、12.0 g/min、14.0 g/min;再固定EVA热熔胶施胶量为12.0 g/min,调节烙铁温度分别为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。各条件下均制备4600支样品用于后续实验。

1.3.3 单因素试验设计 考查施胶量、烙铁温度、贮存湿度、贮存温度4个因素对滤棒搭口粘接强度的影响。其中贮存湿度设定为30%~90%,温度设定为 $0\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,上述温湿度参数范围基本上涵盖了天津、上海等地的气候条件。

取500支滤棒样品于托盘中,将其平放在温湿度稳定的培养箱或盛有饱和盐水的密封箱中(启动风机)进行贮存。考查施胶量时,烙铁温度为 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$,贮存温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,贮存湿度为60%;考查烙

铁温度时,施胶量为 12.0 g/min,贮存温度为 20 ℃,湿度为 60%;考查贮存湿度时,施胶量为 12.0 g/min,烙铁温度为 135 ℃,贮存温度为 25 ℃;考查贮存温度时,施胶量为 12.0 g/min,烙铁温度为 135 ℃,贮存湿度为 75%。每 24 h 从托盘四角和中心共取 15 支样品用于检测滤棒爆口情况,并在贮存 15 d 时测定搭口粘接强度,其中施胶量和烙铁温度优化以粘接强度为评价指标,贮存温度和湿度则以粘接强度衰减率为评价指标。15 d 后继续取样,直至滤棒出现爆口,记录爆口时间和爆口率。施胶量单因素试验中,还测定了样品成型纸和胶层厚度。

1.3.4 响应面试验设计 在单因素试验基础上,选择对滤棒爆口影响显著的施胶量(A)、贮存湿度(B)、贮存温度(C) 3 个因素为响应变量,以贮存 15 d 滤棒搭口粘接强度衰减率为响应值,设计三因素三水平响应面试验,因素与水平见表 1。15 d 后每组实验继续采样至滤棒出现爆口,记录爆口时间和爆口率。最后将滤棒在响应面法优化条件下贮存 180 d,持续观察并记录其爆口情况。

1.3.5 检测与分析方法 1) 粘接强度。按照《胶粘带剥离强度的试验方法》(GB/T 2792—2014)^[17]测试滤棒搭口剥离强度,首先用刀片将滤棒搭口对侧的成型纸划开,剔除滤芯,沿搭口将成型纸轻轻剥开 15 mm 左右,再将成型纸两端固定在拉力实验机上,以 180°的角度和 10 mm/min 的拉伸速率平行剥离 100 mm 后取各峰值的平均值,即为该样品的剥离强度^[9,18]。每组样品平行测试 3 次,取其平均值。

由于不同制备条件下样品的初始剥离强度不同,因此本实验以粘接强度衰减率为响应指标,其计算方法如下:

表 1 响应面试验因素水平

Table 1 Factors and levels for response surface experiment

水平	因素		
	A/(g·min ⁻¹)	B/%	C/℃
-1	10.0	60	0
0	12.0	75	20
1	14.0	90	40

$$\text{粘接强度衰减率} = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中, F_0 为放进培养箱前滤棒样品搭口处初始剥离强度/N, F_1 为培养箱实验条件下滤棒样品搭口处剥离强度/N。

2) 爆口率。参照《卷烟和滤棒物理性能的测定》(GB/T 22838. 10—2009)^[19]第 10 部分的标准和相关检验规程测定滤棒爆口率。用两手拇指与食指分别捏住滤棒两端,轻扭 90°一次,搭口爆开长度≥1/6 滤棒长度,即判为爆口。

$$\text{爆口率} = \frac{N_1}{N_0} \times 100\%$$

式中, N_1 为爆口滤棒个数/支, N_0 为本批次滤棒取样个数/支。

3) 初始爆口时间。自样品放入贮存装置起到首次检出滤棒爆口的时间间隔,即为初始爆口时间。

4) 成型纸和胶层厚度测定。参考 1.3.5 的方法将滤棒与成型纸分开,并剔除滤芯;沿搭口将成型纸轻轻剥开,用厚度测量仪测量成型纸与胶层的总厚度及未涂胶处成型纸厚度。每个样品平行测量 3 个点,取平均值。

$$\text{胶层厚度} = \delta_1 - \delta_2$$

式中, δ_1 为成型纸与胶层的总厚度/mm, δ_2 为未涂胶处成型纸的厚度/mm。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理,利用 Design-Expert 13 软件进行响应面试验设计和数据分析,使用 Origin Pro 9.1 制图。实验结果取 3 次平行实验的平均值。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 施胶量的影响 施胶量对滤棒搭口粘接强度的影响如图 1 所示。由图 1 可知,粘接强度随施胶量增加基本呈升高趋势,当施胶量为 14.0 g/min 时粘接强度最高,为 0.44 N。这是由于较高的施胶量有利于增大热熔胶与成型纸之间的接触面积,增加有效结合位点,使粘接界面更加牢固,同时也能在一定程度上弥补成型纸表面的微小缺陷,从而提高

粘接效果^[20]。

热熔胶粘接强度与胶层厚度也有一定的关联。施胶量对胶层厚度的影响如图 2 所示。由图 2 可知,胶层厚度随施加量的增加而升高,施胶量达最大值 14.0 g/min 时所对应的胶层厚度仅为 0.034 mm。陈征辉等^[21]研究表明,胶层厚度在 0.3 mm 以下时,粘接强度随胶层厚度增加呈逐渐增大的趋势。另外,本研究结果也与文献[21]的研究结果较一致,即热熔胶厚度增加,粘接强度增大。

2.1.2 烙铁温度的影响 烙铁温度对滤棒搭口粘接强度的影响如图 3 所示。由图 3 可知,当烙铁温度在 100~135 ℃内变化时,粘接强度虽呈一定程度的波动,但始终处于 0.37~0.39 N 之间。当烙铁温度从 135 ℃上升到 145 ℃时,粘接强度从 0.39 N 轻微下降

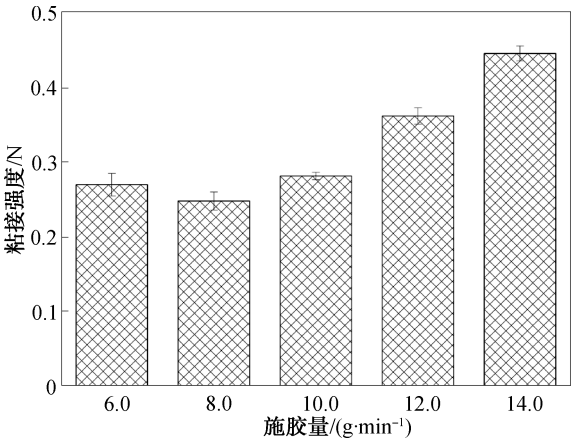


图 1 施胶量对滤棒搭口粘接强度的影响
Fig. 1 Effect of adhesive application amount on lap bonding strength of filter rods

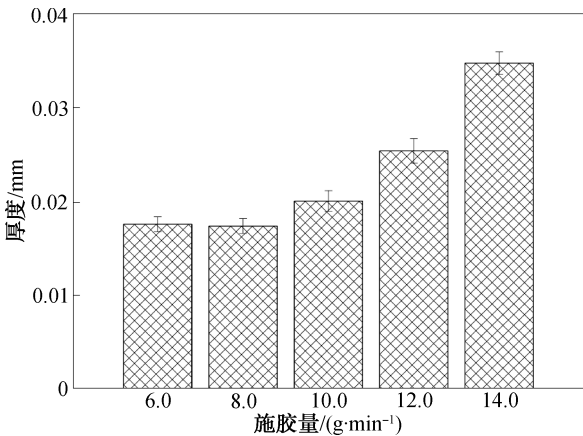


图 2 施胶量对胶层厚度的影响
Fig. 2 Effect of adhesive consumption amount on adhesive layer thickness

到 0.36 N。烙铁温度过高易使烙铁与烟条接触面变形,加速烙铁性能衰减,并给卷烟品质带来负面影响^[22]。因此,烙铁温度保持在 120 ℃至 135 ℃即可满足要求。

2.1.3 贮存湿度的影响 贮存温度、贮存湿度、光照等均会影响胶粘剂性能,其中贮存温度和湿度是主要影响因素^[23]。贮存湿度对滤棒搭口粘接强度衰减率的影响如图 4 所示。由图 4 可知,当贮存湿度从 30%增加到 60%时,滤棒的高透成型纸优先吸附水汽,胶层吸水量较少,粘接强度衰减率稳定在 45%左右。贮存湿度继续增加到 75%时,成型纸通过毛细作用吸附大量水分,延缓在胶-纸界面形成连续水膜,同时纸张吸湿膨胀后会产生微压应力,促使胶层与基材贴合更紧密,纤维交织点摩擦力增大,

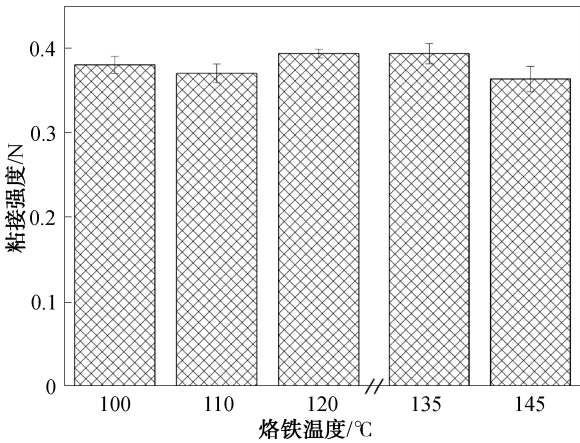


图 3 烙铁温度对滤棒搭口粘接强度的影响
Fig. 3 Effect of soldering iron temperature on lap bonding strength of filter rods

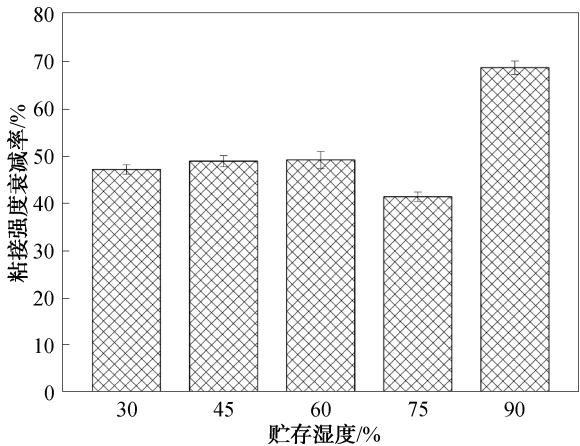


图 4 贮存湿度对滤棒搭口粘接强度衰减率的影响
Fig. 4 Effect of storage humidity on attenuation rate of lap bonding strength of filter rods

形成临时三维锁定结构,粘接强度衰减率下降至41.13%。当贮存湿度为90%时,基材表面形成连续水膜,水汽穿透粘接层并在热熔胶内部扩散,导致胶粘剂层塑化并伴随氢键、酯键等界面化学键水解,破坏热熔胶本身分子间作用力,进而造成键能衰减率大幅增长^[24],同时成型纸的纤维软化塌陷,应力集中于已劣化的胶层,使粘接强度衰减率上升到66.4%。因此,贮存湿度应在60%、75%和90%之间进一步筛选。

2.1.4 贮存温度的影响 贮存温度对粘接强度衰减率的影响如图5所示。由图5可知,滤棒搭口粘接强度衰减率随贮存温度的升高基本呈上升趋势,这是由于当贮存温度逐渐升高,EVA热熔胶中的分子热运动加剧,分子间距增大,分子间作用力减弱,导致EVA热熔胶的内聚强度降低。当贮存温度为40℃时,水分子与EVA酯基的水解速率加快,直接破坏聚合物的主链及界面化学键,导致滤棒搭口粘接力骤降,粘接强度衰减率升高至41.66%^[25]。因此,贮存温度应在0℃、20℃和40℃之间进一步筛选。

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 响应面试验结果 响应面试验结果见表2,回归模型方差分析结果见表3。利用Design-Expert 13对表2的实验数据进行方程拟合分析,得到各因素对滤棒搭口粘接强度衰减率(*Y*)的响应回归方程为

$$Y = 0.346\,8 + 0.019\,6A + 0.027\,2B + 0.042\,1C - 0.008\,4AB - 0.073\,5AC - 0.052\,9BC - 0.015\,8A^2 + 0.160\,1B^2 + 0.118\,3C^2$$

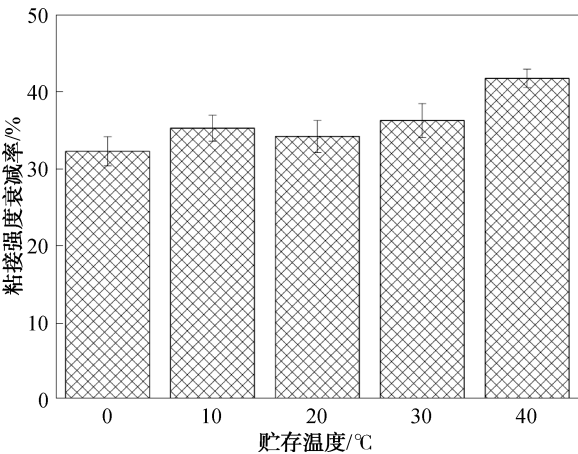


图5 贮存温度对滤棒搭口粘接强度衰减率的影响
Fig. 5 Effect of storage temperature on attenuation rate of lap bonding strength of filter rods

该回归模型 $P<0.01$,模型极显著,失拟项 $P>0.05$,失拟项不显著,说明该模型用于滤棒生产和贮存工艺优化具有可靠性。由表3可知,因素*B*、*C*、*AC*、*BC*、 B^2 、 C^2 对滤棒搭口粘接强度衰减率影响极显著,因素*A*对粘接强度衰减率影响显著, AB 、 A^2 对粘接强度衰减率影响不显著,因此各因素对滤棒搭口粘接强度衰减率的影响排序为:贮存温度>贮存

表2 响应面试验结果

Table 2 Results of response surface experiment

试验号	A	B	C	粘接强度衰减率/%
1	0	1	-1	66.72±0.70
2	0	0	0	36.19±0.40
3	-1	1	0	56.04±0.50
4	-1	-1	0	47.95±0.40
5	-1	0	1	58.40±0.50
6	0	0	0	35.17±0.30
7	0	-1	-1	51.67±0.50
8	1	0	-1	46.16±0.40
9	1	1	0	48.59±0.30
10	0	-1	1	68.89±0.60
11	1	-1	0	43.84±0.50
12	-1	0	-1	33.51±0.20
13	1	0	1	41.66±0.30
14	0	0	0	32.67±0.30
15	0	1	1	62.78±0.50

表3 回归模型方差分析结果

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) for the quadratic polynomial regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	0.193	9	0.0219	50.385	0.0002	**
A	0.0030	1	0.0030	7.036	0.0453	*
B	0.0059	1	0.0059	13.628	0.0141	**
C	0.0141	1	0.0140	32.568	0.0023	**
AB	0.0003	1	0.0003	0.641	0.4597	
AC	0.0216	1	0.0216	49.63	0.0009	**
BC	0.0111	1	0.0111	25.726	0.0039	**
A ²	0.0009	1	0.0009	2.111	0.2060	
B ²	0.0946	1	0.0946	217.385	0.0000	**
C ²	0.0517	1	0.0517	118.817	0.0001	**
残差	0.0021	5	0.0004			
失拟项	0.0015	3	0.0005	1.544	0.4163	
纯误差	0.0007	2	0.0003			
总离差	0.1995	14				
R ²	0.9891					

注:*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$)。

湿度>施胶量。

2.2.2 各因素交互作用分析 各因素交互作用对滤棒搭口粘接强度衰减率影响的响应曲面图和等高线图如图 6 所示。一般而言,等高线图越趋近椭圆、响应曲面图倾斜度越高,两因素交互作用越显著。由图 6 可知,B 与 C 的交互作用等高线图呈明显椭圆特征,且响应曲面图倾斜度最大,故二者交互作用对滤棒搭口粘接强度衰减率变化的影响较为显著。

2.2.3 最优方案验证 为验证响应面试验的预测结果,并考虑实际工艺条件,得到滤棒生产、贮存的最佳工艺条件为:施胶量 10.0 g/min、贮存湿度 74%、贮存温度 12 ℃,在此条件下将滤棒存储 15 d,滤棒搭口粘接强度衰减率为 32.48%,与预测值 32.30%接近,表明该模型对预测滤棒搭口热熔胶的粘接性能具有可靠性。在上述条件下滤棒继续贮存 180 d,未发现滤棒出现爆口问题。

2.3 滤棒搭口粘接强度衰减预测

基于上海白玉兰烟草公司 2024 年下半年滤棒贮存库房的平均温湿度,应用上述模型对滤棒搭口粘接强度衰减情况进行预测,结果见表 4。由表 4

可知,提高施胶量有利于缓解滤棒搭口粘接强度衰减,特别是 7~9 月份空气温湿度较高时,提高施胶量到 14.0 g/min,可将滤棒搭口粘接强度衰减率控制在 34%左右。

2.4 滤棒搭口粘接强度与爆口率关系分析

不同生产贮存条件对滤棒粘接强度及爆口率的影响见表 5。由表 5 可知,当贮存温度为 40 ℃、贮存湿度从 60%增大到 75%,滤棒搭口粘接强度衰减率呈先下降后上升的趋势,相应地,爆口率由 43.3%下降到 33.3%,初始爆口时间也从 23 d 延长到 25 d。当贮存湿度进一步提高到 90%时,粘接强度衰减率进一步升高到 62.78%,爆口率则增大到 46.6%,初始爆口时间也减至 18 d。因此,滤棒搭口粘接强度衰减率越小,滤棒爆口率越低,初始爆口时间越长。

在施胶量 10.0 g/min、贮存湿度 75%条件下,当贮存温度从 0 ℃升高到 40 ℃时,滤棒搭口粘接强度从 0.180 N 逐渐下降到 0.117 N,当贮存温度为 40 ℃时,粘接强度衰减率达 58.4%,20 d 滤棒即开始爆口,且爆口率达 70.0%。贮存温度较低(低于 20 ℃)时,滤棒不容易产生爆口。

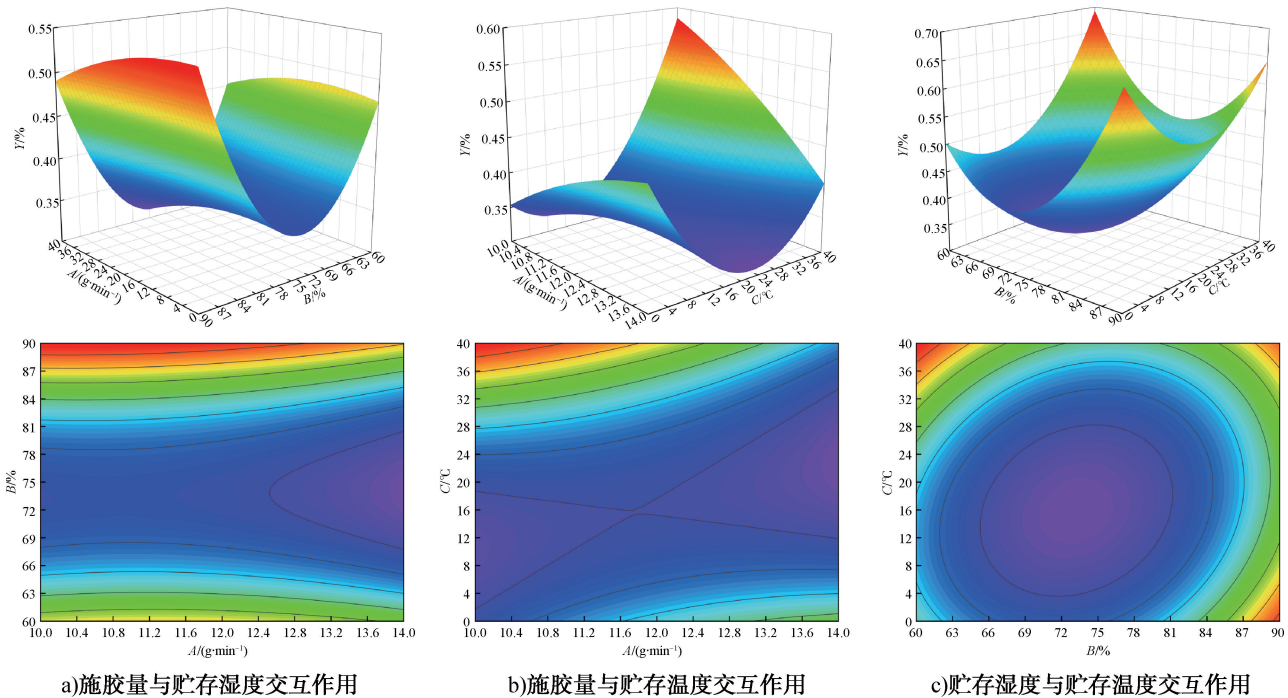


图 6 各因素交互作用对滤棒搭口粘接强度衰减率影响的响应曲面图和等高线图

Fig. 6 Response surface and contour plots showing interactive effects of factors on attenuation rate of lap bonding strength of filter rods

表 4 模型预测结果
Table 4 Model prediction results

月份	平均湿度/%	平均温度/℃	施胶量/ (g·min ⁻¹)	粘接强度 衰减率/%
6	58.40	26.6	14.0	51.7
			12.0	55.9
			10.0	57.9
7	80.26	28.0	14.0	35.2
			12.0	40.7
			10.0	43.9
8	77.65	29.5	14.0	34.2
			12.0	40.2
			10.0	43.9
9	80.57	27.0	14.0	35.2
			12.0	40.4
			10.0	43.2
10	69.19	22.9	14.0	34.5
			12.0	37.8
			10.0	38.8

表 5 不同生产贮存条件对滤棒粘接强度及爆口率的影响

Table 5 Effects of different production and storage conditions on lap bonding strength and bursting rate of filter rods

滤棒生产 贮存条件	粘接强度/N	粘接强度 衰减率/%	初始爆口 时间/d	爆口率/ %
贮存湿度/% (贮存温度 40℃, 施胶量 12.0 g/min)	60 0.112±0.005	68.89	23	43.3
	75 0.259±0.007	41.66	25	33.3
	90 0.134±0.003	62.78	18	46.6
贮存温度/℃ (施胶量 10.0 g/min, 贮存湿度 75%)	0 0.180±0.002	33.51	—	0
	20 0.143±0.002	32.67	—	0
	40 0.117±0.003	58.40	20	70.0
施胶量/(g·min ⁻¹) (贮存温度 40℃, 贮存湿度 75%)	10.0 0.117±0.003	58.40	20	70.0
	12.0 0.259±0.007	41.66	25	33.3
	14.0 0.263±0.003	40.62	—	0

注:—表示未检测到。

在贮存温度 40℃、贮存湿度 75%条件下,当施胶量从 10.0 g/min 提高到 14.0 g/min 时,滤棒搭口粘接强度从 0.117 N 提高到 0.263 N,施胶量越大,滤棒搭口粘接强度衰减越慢。施胶量为 10.0 g/min 时,初始爆口时间为 20 d,爆口率高达 70.0%,而当施胶量提高到 14.0 g/min,滤棒爆口率为 0。

由此可知,低温时滤棒搭口粘接强度衰减较慢,当贮存温度为 40℃时,特别是在高温高湿组合条件下,EVA 热熔胶的粘接力相较于常温常湿环境下降幅度明显增大,爆口现象严重,但适当提高施胶量可缓解爆口问题。

3 结论

本文通过单因素试验和响应面试验考查了施胶量、烙铁温度、贮存温度和贮存湿度对滤棒搭口粘接强度的影响,并对生产贮存工艺进行优化,得到如下结论:

1)滤棒在生产贮存过程中,可保持在 120℃至 135℃即可,贮存温度、湿度和施胶量是引起滤棒搭口粘接强度衰减的主要因素。

2)滤棒生产贮存的最佳工艺条件为:施胶量 10.0 g/min、贮存湿度 74%、温度 12℃,在此条件下,滤棒存储 15 d 后搭口粘接强度衰减率为 32.48%,存储 180 d 后滤棒爆口率为 0。

3)滤棒搭口粘接强度衰减率越小,滤棒爆口率越低,初始爆口时间越长。提高施胶量和降低贮存温度,都有利于降低滤棒搭口的粘接强度衰减率,提高施胶量到 14.0 g/min,贮存温度降低到 20℃,滤棒不易产生爆口。

滤棒爆口的影响因素十分复杂,后续将进一步结合热熔胶及高透成型纸的特性,开展热熔胶失效力学相关研究,明确滤棒爆口的产生机理,尤其要深入探究高透成型纸与热熔胶界面在不同贮存温度、贮存湿度条件下的失效过程,为滤棒工艺的环境适应性调控,进而为稳定滤棒质量提供参考。

参考文献:

[1] 李昕昕,刘强,陈从鑫,等. 纸质滤嘴棒的研究进展[J]. 造纸科学与技术,2025,44(4):12-15,27.
LI X X,LIU Q,CHEN C X,et al. Progress in the study of paper filter sticks[J]. Paper Science & Technology, 2025,44(4):12-15,27.

[2] 杨彩虹,潘昱亭,朱开林,等. 基于光电和吸阻综合检测的卷烟二元复合滤棒残缺检测装置[J]. 机电工程技术,2025,54(11):170-174.
YANG C H,PAN Y T,ZHU K L,et al. Defect detection device of cigarette binary composite filter rod based on photo-electric and suction resistance comprehensive detection[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology,2025,54(11):170-174.

[3] 李国智,朱雪峰,龙雨蛟,等. 不同卷烟机用低温快干搭口胶的工艺参数优化及应用[J]. 中国胶粘剂,2017,26(12):4-7.

- LI G Z, ZHU X F, LONG Y J, et al. Optimization and application of technological parameters of low-temperature fast-drying cigarette lap adhesive for different cigarette rolling machines[J]. China Adhesives, 2017, 26(12): 4-7.
- [4] 杨琛琛, 郭素芳, 熊亚妹, 等. 卷烟吸阻和硬度稳定性影响因素研究[J]. 云南化工, 2021, 48(9): 42-44.
- YANG C C, GUO S F, XIONG Y M, et al. Study on factors affecting cigarette smoking resistance and hardness stability[J]. Yunnan Chemical Technology, 2021, 48(9): 42-44.
- [5] 王瀚乐, 杨荣超, 张鹏飞, 等. 基于大气压力补偿的卷烟吸阻检测仪器校准方法[J]. 烟草科技, 2024, 57(6): 85-91.
- WANG H L, YANG R C, ZHANG P F, et al. Calibration method for cigarette draw resistance tester based on atmospheric pressure compensation[J]. Tobacco Science & Technology, 2024, 57(6): 85-91.
- [6] 崔春, 孟祥士, 纪朋, 等. 陈皮爆珠对卷烟常规理化指标和感官品质的影响[J]. 轻工学报, 2019, 34(5): 40-46.
- CUI C, MENG X S, JI P, et al. Effect of tangerine essence breakable capsule on regular physicochemical characteristics and sensory quantity of cigarettes[J]. Journal of Light Industry, 2019, 34(5): 40-46.
- [7] 喻森, 杨涛, 徐兴阳, 等. 环境湿度对卷烟抽吸品质的影响研究[J]. 轻工学报, 2020, 35(5): 33-40.
- YU S, YANG T, XU X Y, et al. Study on the influence of environmental humidity on smoking quality of cigarettes[J]. Journal of Light Industry, 2020, 35(5): 33-40.
- [8] 刘禹江. 基于模糊-Smith 的滤棒成型温度控制算法研究[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2013, 30(6): 44-47.
- LIU Y J. On temperature control algorithm for filter rods based on Fuzzy-Smith control[J]. Journal of Shenyang Aerospace University, 2013, 30(6): 44-47.
- [9] 何屹, 杨本刚, 蔡持, 等. 聚乙烯醇水基胶对卷烟中空滤棒的粘接强度影响因素研究[J]. 塑料工业, 2024, 52(1): 129-135.
- HE Y, YANG B G, CAI C, et al. Study on influence factors of polyvinyl alcohol water-based adhesives on the bonding strength of cigarette hollow filter rod[J]. China Plastics Industry, 2024, 52(1): 129-135.
- [10] 曹贵昌, 刘文富, 董彦林, 等. 卷烟胶的发展概况[J]. 轻工科技, 2019, 35(1): 18-19.
- CAO G C, LIU W F, DONG Y L, et al. Development of cigarette gum[J]. Light Industry Science and Technology, 2019, 35(1): 18-19.
- [11] 耿志忠, 刁立翔, 杨帆, 等. 烟用热熔胶及其粘接材料表面性能的研究[J]. 粘接, 2022, 43(1): 46-50.
- GENG Z Z, DIAO L X, YANG F, et al. Research on the surface properties of hot melt adhesive and packing materials in the cigarette industry[J]. Adhesion, 2022, 43(1): 46-50.
- [12] KOSTYUK A V, SMIRNOVA N M, ANTONOV S V, et al. Rheological and adhesion properties of hot-melt adhesives based on hydrocarbon resins and poly(ethylene-vinyl acetate)[J]. Polymer Science, Series A, 2021, 63(3): 283-295.
- [13] 郭宏伟. 浅析 KDF2 滤棒成型机滤棒爆口故障及改进方法[J]. 企业导报, 2011(22): 207.
- GUO H W. Brief analysis on the failure of filter rod burst of KDF2 filter rod forming machine and its improvement method[J]. Guide to Business, 2011(22): 207.
- [14] SHI Q L, FANG Z X, BHANDARI B. Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material[J]. Drying Technology, 2013, 31(13/14): 1681-1692.
- [15] 古丽米热·如苏力, 李莎, 王昆银, 等. 谷朊粉对冻干枣粉抑制吸湿作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(11): 3602-3610.
- GULIMIRE R S L, LI S, WANG K Y, et al. Study of wheat gluten on hygroscopicity inhibition of freeze-dried jujube powder[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(11): 3602-3610.
- [16] 郝光宗, 邢丽缘, 梁强威. 饱和盐水溶液湿度固定点(2): 数据来源与盐溶液选择[J]. 传感器世界, 1999, 5(12): 10-14.
- HAO G Z, XING L Y, LIANG Q W. Humidity fixed points of saturated aqueous solutions of salts(2): data sources and salt solution selection[J]. Sensor World, 1999, 5(12): 10-14.
- [17] GB/T 2792—2014 胶粘带剥离强度的试验方法[S]. GB/T 2792—2014 Test method for peel strength of adhesive tapes[S].
- [18] 王勇, 缪华丽, 乐翔, 等. 涂层功能整理织物剥离强度方法建立及影响因素探究[J]. 印染助剂, 2024, 41(8): 53-57.
- WANG Y, MIAO H L, LE X, et al. Establishment of peel strength method for coating functional finishing fabrics and study of influencing factors[J]. Textile Auxiliaries, 2024, 41(8): 53-57.
- [19] GB/T 22838. 10—2009 卷烟和滤棒物理性能的测定 第 10 部分: 爆口[S]. GB/T 22838. 10—2009 Determination of physical characteristics for cigarettes and filter rods—Part 10: open seam[S].
- [20] 陈征辉, 赵宏飞, 钟进, 等. 影响胶粘剂粘接性能的因素分析[J]. 高科技纤维与应用, 2020, 45(2): 37-40.
- CHEN Z H, ZHAO H F, ZHONG J, et al. Factor analysis for bonding strength of the adhesive[J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2020, 45(2): 37-40.
- [21] 刘金宝, 杜飞, 刘韶霞, 等. 使用环境对高分子自粘胶膜防水卷材自粘搭接边剥离强度的影响研究[J]. 中国建筑防水, 2021(8): 9-13.

LIU J B,DU F,LIU S X,et al. Study on effect of service environment on peel strength of self-adhesive overlap edge of self-adhesive polymer film reinforced waterproofing membrane[J]. China Building Waterproofing, 2021(8): 9-13.

[22] 徐淑浩,李国智,朱雪峰,等. 低温快干卷烟搭口胶的制备与应用[J]. 粘接,2018,45(3):48-52,47.

XU S H,LI G Z,ZHU X F,et al. Preparation and application of low-temperature and fast-drying cigarette lap adhesive[J]. Adhesion,2018,45(3):48-52,47.

[23] 吴艾林,邓化清,李铭. 胶粘剂粘接性能受环境因素的相关影响研究[J]. 粘接,2020,47(1):33-36,44.

WU A L,DENG H Q,LI M. Study on the influence of environmental factors on the bonding properties of adhesives[J]. Adhesion,2020,47(1):33-36,44.

[24] QIN C X,MA Y F,ZHANG Z Z,et al. Water-assisted strong underwater adhesion *via* interfacial water removal and self-adaptive gelation[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2023,120(31):e2301364120.

[25] WU Z J,SHANGGUAN Y G,ZHANG C H,et al. Effects of crosslinking and silicone coupling agent on properties of EVA composite hot melt adhesive[J]. Polymers,2021,13(23):4101-4111.

Influencing factors of lap bonding strength of cigarette filter rods and optimization of production and storage processes

FAN Xiang¹,ZHU Bin¹,XING Wei¹,YU Zhou¹,JIN Limei²,LIU Chaobin²,PU Nana²,GE Yingliang³

1. Shanghai Baiyulan Tobacco Materials Co.,Ltd.,Shanghai 200082,China;
2. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University,Daqing 163319,China;
3. College of Food Science and Engineering,Hainan Tropical Ocean University,Sanya 572022,China

Abstract: [Objective] To solve the problem of filter rod seam bursting during storage. **[Methods]** Using the lap bonding strength of filter rods as the indicator, single-factor experiments and response surface methodology were employed to optimize the process parameters including adhesive application rate, soldering iron temperature, storage temperature, and humidity. The regression equation relating the attenuation rate of lap bonding strength to each factor was established, and the bursting behavior of filter rods under different process conditions was analyzed. **[Results]** The order of factors affecting the attenuation rate of lap bonding strength was: storage temperature> storage humidity>adhesive application rate. The effect of soldering iron temperature was minor, provided it was kept between 120 ℃ and 135 ℃. Filter rod bursting could be reduced by increasing the adhesive application rate to 14.0 g/min or lowering the storage temperature to below 20 ℃. The optimal conditions for filter rod production and storage were: adhesive application rate 10.0 g/min, storage humidity 74%, storage temperature 12 ℃. Under these conditions, the attenuation rate of lap bonding strength after 15 days of storage was 32.48%, and the burst rate after 180 days of storage was 0. The smaller the attenuation rate of lap bonding strength, the lower the burst rate of the filter rods and the longer the time to initial bursting. When the adhesive application rate was 12.0 g/min, the ambient temperature was 40 ℃, and the storage humidity was 60%~75%, the initial burst time was 18~25 d and the burst rate was 30%~50%. **[Conclusion]** Storage temperature, humidity, and adhesive application rate are the main factors influencing the lap bonding strength of filter rods. Increasing the adhesive application rate and lowering the storage temperature are beneficial for reducing the occurrence of bursting.

Key words: filter rod; temperature; humidity; bursting; lap bonding strength

[责任编辑:王晓波 刘春奎]