

基于响应面法优化环保纸袋制备涂胶工艺参数

吴国环¹, 吴建鑫², 晏小斌², 项筱洁^{1*}, 高小龙², 李林全²

(1.温州职业技术学院, 浙江 温州 325035; 2.浙江正博智能机械有限公司浙江省
正博智能纸袋机装备省级企业研究院, 浙江 瑞安 325200)

摘要: **目的** 降低环保纸袋生产过程中受到的温度、相对湿度等环境因素影响, 同时实现精准的定量涂胶, 为环保纸袋生产线的控制系统提供理论支持; 通过分析温度、相对湿度、胶水涂敷厚度、纸张压合时间与纸袋剥离强度之间的关系, 优化相关工艺参数。**方法** 采用响应面法 (Response Surface Methodology, RSM) 建立温度、胶水涂敷厚度、相对湿度、纸张压合时间对纸袋剥离强度的回归模型, 通过方差分析、拟合精度分析、残差分析以及预测值与实际值的对比, 评估模型的准确性, 并通过三维响应面和等高线图分析各因素对纸张剥离强度的影响及其交互作用的强弱; 利用 Design Expert 软件中的 Numerical 功能获取最优工艺参数, 并通过实验验证模型的可靠性。**结果** 影响纸张剥离强度的因素依次为纸张压合时间、温度、胶水涂敷厚度及相对湿度, 温度与纸张压合时间、胶水涂敷厚度与纸张压合时间之间的交互作用对剥离强度具有显著影响; 优化后的工艺参数: 温度 15.7 °C, 胶水涂敷厚度 12.45 μm, 相对湿度 51.12%, 纸张压合时间 3.38 s。**结论** 通过多次实验验证, 预测值与实际值的误差均在 5% 以内, 证明回归模型具有高度的准确性与可靠性。本研究为环保纸袋生产过程中涂胶工艺的优化提供了可靠的理论依据, 具有重要的实际应用价值。

关键词: 环保纸袋生产; 剥离强度; 响应面法

中图分类号: TB48

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)05-0181-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.05.023

Optimization of Coating Process Parameters for Environmentally Friendly Paper Bag Preparation Based on Response Surface Method

WU Guohuan¹, WU Jianxin², YAN Xiaobin², XIANG Xiaojie^{1*}, GAO Xiaolong², LI Linqun²

(1. Wenzhou Polytechnic, Zhejiang Wenzhou 325035, China; 2. Zhejiang ZENBO Intelligent Machinery Co., Ltd., Zhejiang Zhengbo Intelligent Paper Bag Machine Equipment Provincial Enterprise Research Institute, Zhejiang Ruian 325200, China)

ABSTRACT: The work aims to reduce the influence of environmental factors such as temperature and relative humidity on the production process of eco-friendly paper bags, achieve precise quantitative gluing, and provide theoretical support for the control system of the eco-friendly paper bag production line; and optimize the relevant process parameters by analyzing the relationship between temperature, relative humidity, glue application thickness, paper pressing time and the peel strength of paper bags. The response surface methodology (RSM) was used to establish a regression model of the peel strength of paper bags with respect to temperature, glue application thickness, relative humidity and paper pressing time. The accuracy of the model was evaluated through variance analysis, fitting accuracy analysis, residual analysis and

收稿日期: 2024-10-11

基金项目: 温州职业技术学院重大科研项目 (WZY2023001); 温州市科技局重大攻关项目 (ZG2023017)

*通信作者

comparison of predicted values with actual values. The influence of each factor on the peel strength of paper and the strength of their interaction were analyzed through three-dimensional response surface and contour plots. The numerical function in Design Expert software was used to obtain the optimal process parameters, and the reliability of the model was verified through experiments. The factors affecting the peel strength of paper in order were paper pressing time, temperature, glue application thickness and humidity. The interaction between temperature and paper pressing time, and between glue application thickness and paper pressing time had a significant impact on the peel strength. The optimized process parameters were: temperature 15.7 °C, glue application thickness 12.45 μm, relative humidity 51.12%, and paper pressing time 3.38 s. Through multiple experiments, the error between the predicted values and the actual values is all within 5%, which proves that the regression model has high accuracy and reliability. This study provides a reliable theoretical basis for the optimization of the gluing process in the production of eco-friendly paper bags and has important practical application value.

KEY WORDS: environmentally friendly paper bag production; peel strength; response surface methodology

一次性塑料购物袋普遍采用聚乙烯或聚丙烯塑料薄膜作为制作材料^[1], 其使用便捷, 具有良好的承载能力和相对较低的成本, 应用范围极为广泛。然而, 这类购物袋很难被生物降解, 随意丢弃后容易形成白色污染, 对环境造成不容忽视的负面影响^[2]。环保手提纸袋的材料以铜版纸、特种纸、白卡纸为主, 具有便携性、易于降解回收及设计美观等优点^[3], 在服装、食品、鞋业、礼品、烟酒、药品等多个行业的商品包装领域得到了广泛应用。方底环保手提纸袋制备工艺流程一般为卷筒纸→分切纸张→自动进纸→切口→折口印胶→贴手挽、折上口→压风琴线→上底胶→折筒→拉底(自动打开)→上底胶(糊底)→封底→压实成型, 袋底纸张的黏合牢固程度是决定纸袋承载能力的重要因素之一, 也是评判纸袋品质的一项标准。对于同一种纸张材质, 黏合质量可以通过纸张剥离强度来衡量。

纸张的黏合质量不仅受到胶水性能及上胶量的影响, 还受到纸张性能及设备操作条件等多种因素制约。不同纸张表面的渗透性存在差异, 不同设备操作条件下的纸张黏合效果也不尽相同。若温度过高, 胶水固化过快, 会导致黏合强度不够; 反之, 胶水干得过慢, 胶水初黏力不足, 纸张折筒的反作用力会导致黏合处裂开。同理, 不同湿度环境下也会影响纸张的黏合质量。若设备涂胶过厚, 胶水固化过慢会导致黏合质量差, 且浪费材料; 若涂胶过薄, 也会导致黏合质量差, 在外力作用下纸张将会发生移位, 影响生产效率。综上, 纸张性能及设备操作条件等因素对环保纸袋机生产效率和纸袋生产品质的影响较大。

现有研究主要集中在纸张性能对黏合性能的影响。有学者从纸张结构和特性角度探讨纸张表面的渗透性和吸收性对纸张黏合性能的影响, 证明纸张渗透性越高, 黏合性能越好, 而且上胶开放时间也会影响黏合性能^[4-7]; 柳云雷等^[8]研究补充了固体胶对纸张疏

水性及结构性能的影响, 结果表明固体胶可显著提高纸张的疏水性能; 程金茹等^[9]和张便芝等^[10]从纸张制备的工艺配方角度研究了不同成分配方比例对纸张黏合效果的影响, 进一步优化了制备具有良好黏合性能的纸张的工艺参数; 熊安言等^[11]探讨了涂胶量对纸张黏合质量的影响, 结果表明适宜的施胶量有利于改善卷烟外观质量、感官质量和接装效果。实际工况下, 除了纸张性能, 设备操作条件及生产环境因素对纸张黏合性能也有较大影响。本文结合环保纸袋生产过程, 研究温度、相对湿度、胶水涂敷厚度、纸张压合时间与纸袋剥离强度的关系, 为环保纸袋生产设备高效率、高精度上胶的控制系统提供理论依据。

1 实验

1.1 原料和试剂

主要原料: 环保袋(袋面 190 mm、风琴 80 mm、袋高 225 mm), 浙江正博智能机械有限公司; 牛皮纸(130 g), 浙江正博智能机械有限公司。

主要试剂: 330 边胶(执行标准 Q/HZM 04—2022), 鹤山市知墨印刷粘合材料有限公司。

1.2 仪器

主要仪器: 单张式全动手提袋制袋机部套(ZB1260SF-450)、千分尺、拉力测量仪、温湿度测量仪、砝码等, 浙江正博智能机械有限公司。

1.3 方法

环保手提纸袋底部涂胶(即上底胶环节)工艺流程: 通过印胶辊对纸袋底部进行涂胶, 将上底面与下底面压合完成封底动作, 最后压实封底完成纸袋成型(图 1)。其中, 印胶辊轴为偏心轴, 通过控制偏心量自动调节涂胶厚度。此外, 控制系统能够自动控制压合时间。

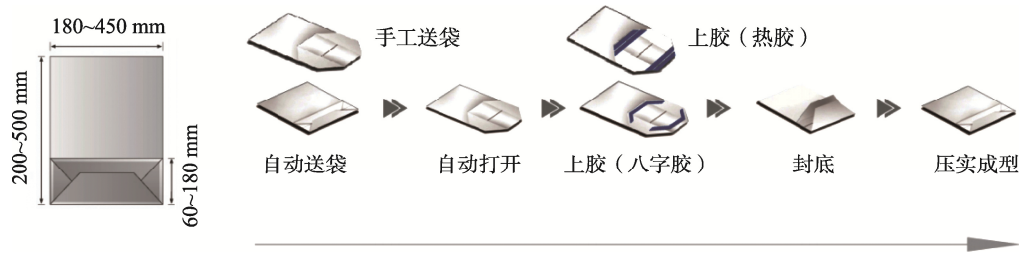


图 1 方底环保手提纸袋机袋底涂胶工艺流程

Fig.1 Machine bag bottom coating process of square bottom environmental friendly portable paper bag

将 ZB1260SF-450 单张式全自动手提袋制袋机部套 (图 2) 放置在密闭实验室内, 放入牛皮纸进行制袋实验。实验室内温度控制为 4~30 °C, 相对湿度控制为 40%~60%, 胶水涂敷厚度控制为 10~30 μm, 纸袋压合时间控制为 2~6 s。考虑到实验设备的局限性以及纸袋实际应用中承载能力的需求, 采用纸袋所能承载的最大质量代替其剥离强度, 测试步骤如下。首先, 将已封底成型的纸袋垂直悬挂于拉力测量仪的挂钩上; 其次, 在纸袋内部放置底卡以确保加载砝码时袋底受力均匀; 最后, 逐步向纸袋内增加砝码, 直至纸袋袋底两底面发生分离, 此时所有砝码的总质量即为该纸袋的最大承载能力。剥离强度测试如图 3 所示。

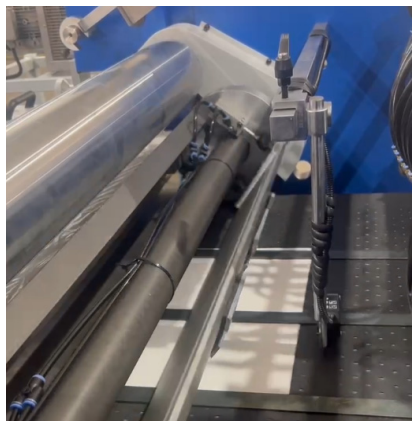


图 2 单张式全自动手提袋制袋机部套

Fig.2 Single sheet fully automatic handbag making machine



图 3 剥离强度测试

Fig.3 Peel strength test

2 结果与分析

根据响应面法 (Response Surface Methodology, RSM) 中的 Box-Behnken 实验设计原理, 以温度、胶水涂敷厚度、相对湿度与纸张压合时间为自变量, 纸张剥离强度为响应值, 进行 4 因素 3 水平 RSM 实验, 对纸张剥离强度涉及变量进行参数优化。实验参数及水平编码见表 1, 实验结果见表 2。由表 2 可知, 纸张剥离强度随着温度和相对湿度的增加呈先增大后减小趋势, 随胶水涂敷厚度的增加, 其变化趋势相对平稳。

2.1 模型及方差分析

为进一步分析实验中 4 个因素对纸张剥离强度的影响, 将测试结果输入 Design Expert 软件进行响应分析, 获得工艺参数 (温度、胶水涂敷厚度、相对湿度及纸张压合时间) 对纸张剥离强度的二次多项式回归方程见式 (1)。

$$\sigma = -14.78 + 0.2329A - 0.0608B + 1.0485C + 0.593D - 0.006869A^2 - 0.000358B^2 - 0.010358C^2 - 0.2465D^2 - 0.000385AB - 0.002115AC + 0.02596AD + 0.01750BD + 0.00875CD \quad (1)$$

式中: A、B、C、D 分别为温度、胶水涂敷厚度、相对湿度和纸张压合时间; “+”表示“协同作用”, “-”表示“阻碍作用”。

为了进一步确认拟合模型的可靠性及各因素对纸张剥离强度的影响, 对该模型进行方差分析, 结果见表 3。由表 3 可知, 模型的 $P < 0.001$, 失拟项的 $P > 0.05$, 表明该模型可靠; D 的 P 均 < 0.05 , A、B、C 的 $P > 0.05$, 结合 F 和 P, 对剥离强度影响程度由大

表 1 实验参数及水平编码
Tab.1 Experimental parameters and horizontal coding

水平编码	温度/°C	胶水涂敷厚度/μm	相对湿度/%	纸张压合时间/s
-1	4	10	40	2
1	30	30	60	6
0	17	20	50	4

表2 实验结果
Tab.2 Test results

编号	温度/ ℃	胶水涂敷 厚度/ μm	相对 湿度/%	纸张压合 时间/s	剥离 强度/kg
1	30	20	50	6	11.6
2	17	20	50	4	13.9
3	17	30	50	2	12.7
4	17	30	60	4	12.8
5	30	10	50	4	12.6
6	17	20	50	4	13.8
7	17	10	50	2	13.6
8	17	20	50	4	13.8
9	30	20	40	4	12.0
10	17	20	50	4	13.5
11	30	30	50	4	12.1
12	17	20	40	2	11.8
13	17	20	40	6	11.1
14	4	10	50	4	12.8
15	17	20	60	6	11.9
16	17	10	40	4	12.6
17	30	20	50	2	11.1
18	4	20	50	6	10.8
19	17	20	50	4	13.9
20	17	30	50	6	12.8
21	4	20	50	2	13.0
22	4	30	50	4	12.5
23	4	20	60	4	11.9
24	17	10	60	4	12.9
25	30	20	60	4	11.4
26	17	10	50	6	12.3
27	4	20	40	4	11.4
28	17	30	40	4	12.5
29	17	20	60	2	11.9

到小依次为 D 、 A 、 B 、 C 。在这些工艺参数的二次关系因素中, AD 和 BD 交互作用、 A^2 、 C^2 、 D^2 作用的 $P < 0.05$, AB 、 AC 、 BC 及 CD 交互作用、 B^2 作用的 $P > 0.05$, 表明 AD 和 BD 交互作用、 A^2 、 C^2 、 D^2 作用对纸张剥离强度影响显著^[12]。

表3 回归方程模型方差分析
Tab.3 Analysis of variance of regression model

方差来源	自由度	平方和	均方差	F	P
模型	14	21.516 1	1.536 86	30.04	0.000 00
A	1	0.213 3	0.213 33	4.17	0.060 47
B	1	0.163 3	0.163 33	3.19	0.095 66
C	1	0.163 3	0.163 33	3.19	0.095 66
D	1	1.080 0	1.080 00	21.11	0.000 42
A^2	1	8.740 8	8.740 76	170.83	0.000 01
B^2	1	0.008 3	0.008 33	0.16	0.692 71
C^2	1	6.959 7	6.959 68	136.02	0.000 01
D^2	1	6.304 0	6.304 00	123.21	0.000 01
AB	1	0.010 0	0.010 00	0.20	0.665 18
AC	1	0.302 5	0.302 50	5.91	0.029 06
AD	1	1.822 5	1.822 50	35.62	0.000 03
BC	1	0.000 0	0.000 00	0.00	1.000 00
BD	1	0.490 0	0.490 00	9.58	0.007 92
CD	1	0.122 5	0.122 50	2.39	0.144 09
残差	14	0.716 3	0.051 17	—	—
失拟项	10	0.608 3	0.060 83	2.25	0.225 32
纯误差	4	0.108 0	0.027 00	—	—
总离差	28	22.232 4	—	—	—

RSM 回归模型的拟合精度分析结果见表 4。由表 4 可知, 回归模型的复相关系数为 0.968, 说明该模型的拟合效果较好, 能够很好地解释各响应值, 证明利用 RSM 优化剥离强度在模型选用上可行; 校正相关系数和预测相关系数的差值为 $0.101 < 0.2$, 变异系数为 $1.82\% < 10\%$, 信噪比为 18.369, $\gg 4$, 表明该模型拟合精度高, 可靠性强^[13]。

2.2 残差分析

RSM 模型的预测值与实际值之间的接近程度, 是衡量回归模型预测准确性的重要指标, 预测值与实际值越接近, 说明该模型对数据的拟合效果越好, 得到的模型越合理。纸张剥离强度响应模型的预测值与残差值分析如图 4 所示。由图 4a 可知, 实际值与预测值之间存在微小误差, 有 2 组数据超过残差的水平

表4 回归模型的拟合精度分析
Tab.4 Analysis of fitting accuracy of regression model

标准差	平均值	变异系数/%	复相关系数	校正相关系数	预测相关系数	信噪比
0.23	12.45	1.82	0.967 8	0.935 6	0.834 8	18.369

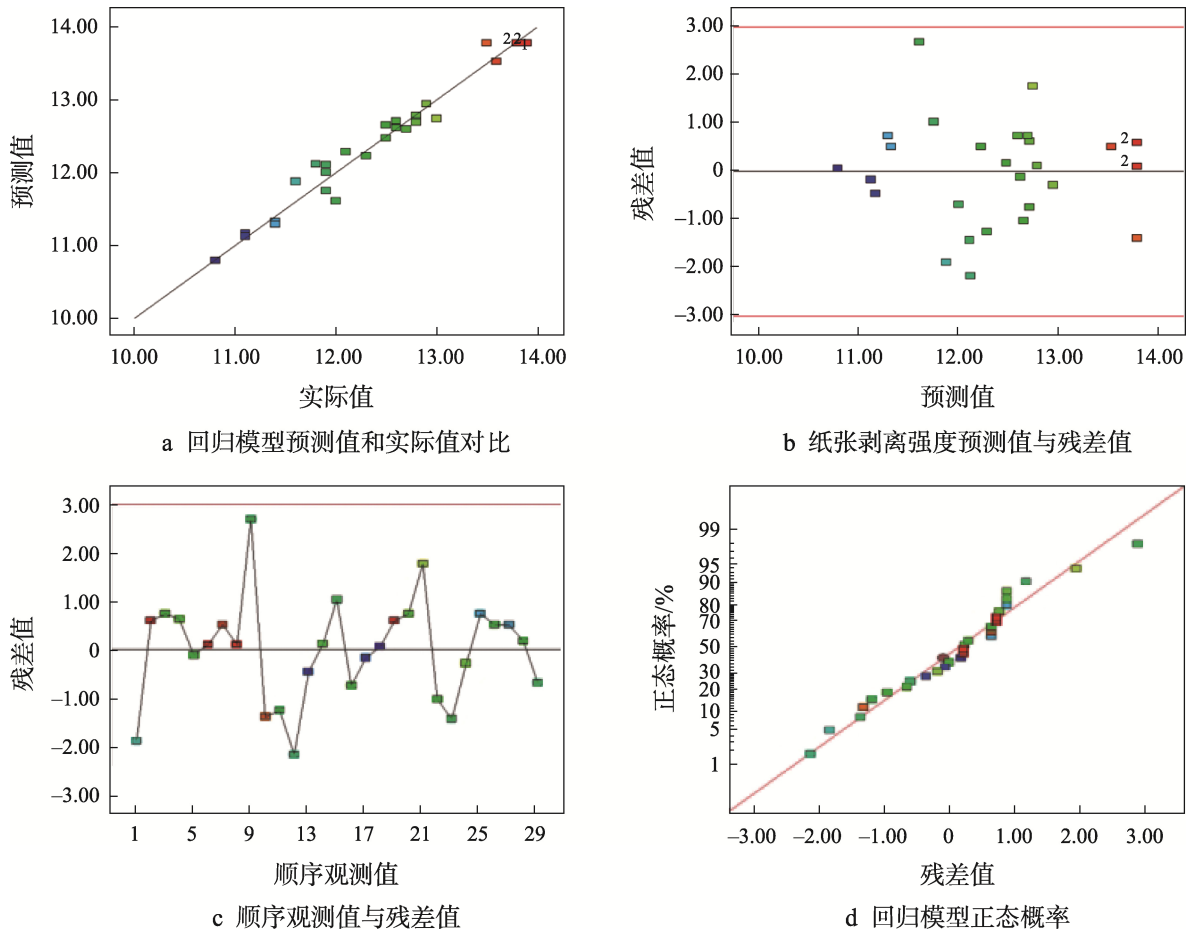


图 4 回归模型预测值与残差值分析
Fig.4 Regression model prediction and residual analysis

值,但整体数据紧凑分布在拟合函数的两边,并呈线性分布,总体拟合效果良好;由图 4b 可知,各残差值无规则随机分布在水平线两侧;由图 4c 可知,实验纸张剥离强度模型方程的残差值在中心线附近上下随机波动,表明各残差之间无相关性,进一步表明实验的有效性与其可行性;由图 4d 可知,纸张剥离强度响应模型的残差正态性良好,正态残差图的正态概率接近 97%,服从正态分布,表明该模型的误差主要来源于系统误差,并在允许误差范围内。综合以上分析,本模型可以在减少实验成本的基础上有效表达和预测温度、胶水涂敷厚度、相对湿度及纸张压合时间等因素对纸张剥离强度的影响^[14]。

2.3 响应面分析

响应面图能较为直观地反映温度、胶水涂敷厚度、相对湿度及纸张压合时间交互作用与纸张剥离强度响应值的关系。当等高线呈现椭圆形或马鞍形的形态时,表明该组影响因子之间存在显著的交互作用;若等高线表现为圆形,则表明这些影响因子之间的交互作用较弱。通过 Design Expert 软件获得各因素交互作用对纸张剥离强度的 3D 响应面图,如图 5 所示。

由图 5a~b 可知,温度和胶水涂敷厚度等高线、胶水涂敷厚度和相对湿度等高线均呈斜线,说明温度和胶水涂敷厚度交互作用、胶水涂敷厚度和相对湿度交互作用对纸张剥离强度影响均不显著,且纸张剥离强度受胶水涂敷厚度的影响较弱,而受温度、相对湿度的影响较为明显,表明在该交互作用中应主要控制温度和相对湿度条件;纸张剥离强度的最大值分布在温度为 17 °C,相对湿度为 50%附近区域。由图 5c 可知,温度与相对湿度等高线均呈近似圆形,表明温度与相对湿度交互作用对纸张剥离强度影响较弱;在该交互作用中,剥离强度随着温度与相对湿度的增大呈现先增加后减小趋势。由图 5d 可知,温度和纸张压合时间等高线呈椭圆形,表明温度和纸张压合时间交互作用对纸张剥离强度影响显著,温度和纸张压合时间都是该交互作用中的重点控制参数;在温度最低和纸张压合时间最长时,纸张剥离强度最大值在曲面中心点附近。由图 5e 可知,胶水涂敷厚度和纸张压合时间等高线呈斜线,表明胶水涂敷厚度和纸张压合时间交互作用对纸张剥离强度影响不显著;低纸张压合时间和高纸张压合时间下,剥离强度与胶水涂敷厚度之间的变化趋势不同,在低纸张压合时间时,剥离强度与胶水涂敷厚度呈正相关,在

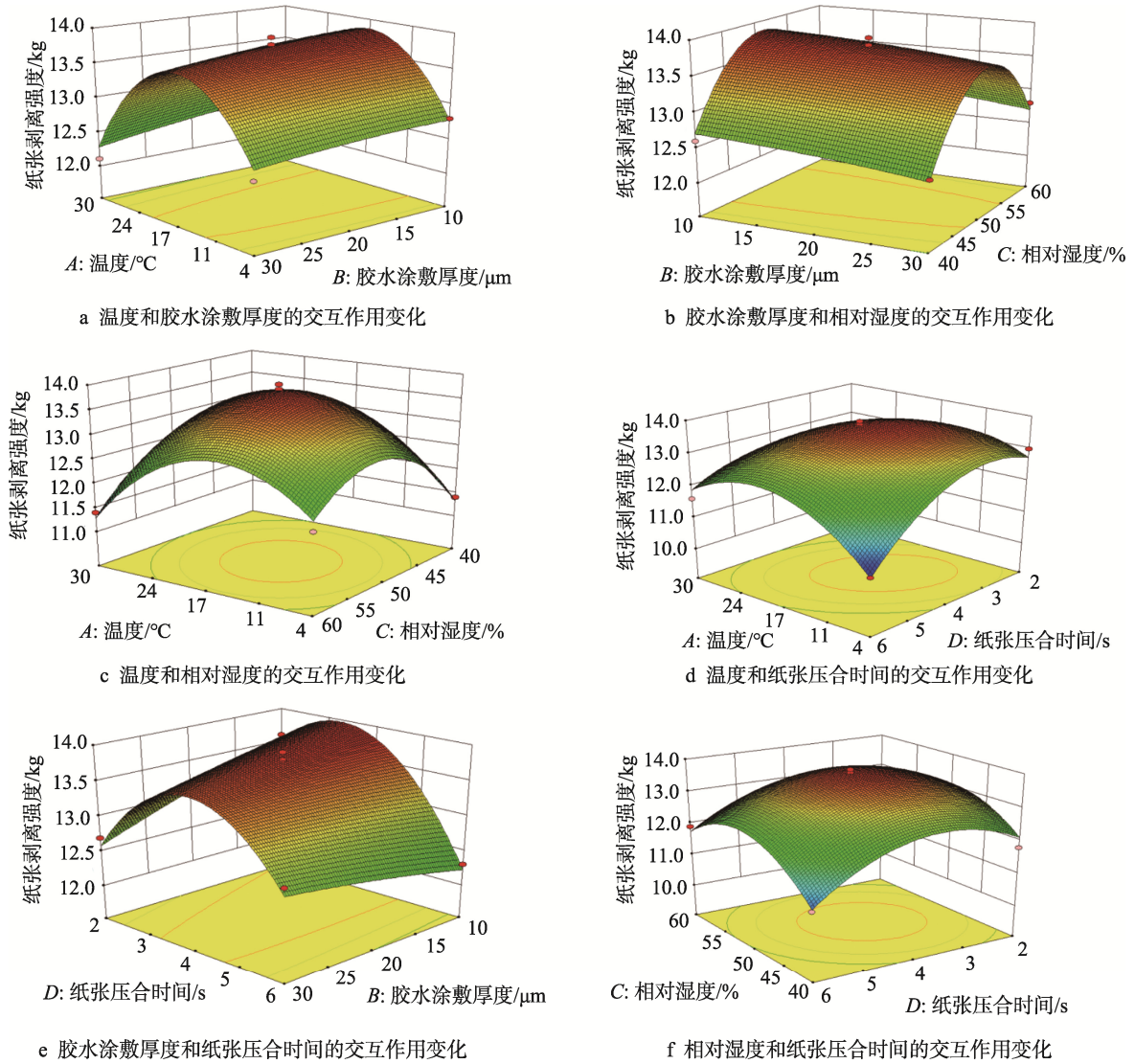


图5 各因素对纸张剥离强度的响应面

Fig.5 Response surface of influence of each factor on index

高纸张压合时间时,剥离强度与胶水涂敷厚度呈负相关,胶水涂敷厚度和纸张压合时间的交互作用明显。由图 5f 可知,相对湿度和纸张压合时间等高线呈椭圆形,表明相对湿度和纸张压合时间交互作用对纸张剥离强度影响显著,剥离强度的最低值分布在四周角点,剥离强度的最高值分布在曲面中心区域^[15]。

2.4 优化和实验验证

利用 Design Experts V8.0.6.1 软件对建立的回归模型进行优化求解,求得纸张剥离强度最大时的最佳工艺参数组合。为了验证预测模型的正确性,利用最佳工艺参数组合进行环保纸袋剥离强度实验。考虑到实际操作便利,对变量进行修正,进行 3 次实验并对其结果做均值处理。RSM 优化结果和实验结果对比见表 5。由表 5 可知,温度、胶水涂敷厚度、相对湿度、纸张压合时间和纸张剥离强度的预测值与实际值的误差均在 5% 以内,说明预测模型精度高。因此,所建立的模型可用于纸张剥离强度优化实验,具有实际应用价值。

表 5 RSM 优化结果和实验结果对比
Tab.5 Comparison between RSM optimization result and test results

参数	预测值	实际值	误差/%
温度/°C	15.7	16	1.875
胶水涂敷厚度/ μm	12.45	12	3.750
相对湿度/%	51.12	51	0.235
纸张压合时间/s	3.38	3.4	0.588
剥离强度/kg	13.951 2	13.922	0.272

3 结论

1) 基于 RSM 中的 Box-Behnken 的实验设计法,构建温度、胶水涂敷厚度、相对湿度、纸张压合时间和纸张剥离强度的回归模型,模型的复相关系数为 0.968,校正相关系数和预测相关系数差值为 0.101,表明所构建的模型预测精度高,拟合效果好。

2)研究基于RSM的各因素间交互作用对纸张剥离强度的影响,发现温度与纸张压合时间的交互作用、胶水涂敷厚度与纸张压合时间的交互作用对剥离强度有显著影响,表明这些因素的交互对工艺优化至关重要。

3)利用Design Expert的Numerical优化功能,以温度、胶水涂敷厚度、相对湿度和纸张压合时间为多目标进行优化,获得最优配比:温度15.7℃,胶水涂敷厚度12.45 μm,相对湿度51.12%,纸张压合时间3.38 s。经过3次平行实验,各项性能误差均在5%以内,证明模型预测具有可靠性和准确性,为优化环保纸袋涂胶工艺提供了理论依据。

参考文献:

- [1] NAUENDORF A, KRAUSE S, BIGALKE N K, et al. Microbial Colonization and Degradation of Polyethylene and Biodegradable Plastic Bags Intemperate Fine-Grained Organic-Rich Marine Sediments[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016,103(1-2):168-178.
- [2] ALAM O, BILLAH M, DING Y J. Characteristics of Plastic Bags and Their Potential Environmental Hazards[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 132: 121-129.
- [3] 朱和平. 中国包装工业的发展: 价值、历程与成就[J]. 湖南包装, 2021, 36(4): 88-92.
ZHU H P. The Development of China's Packaging Industry: Values, History and Achievements[J]. Hunan Packaging, 2021, 36(4): 88-92.
- [4] 吕萱, 李自娟, 王佳, 等. 高透成型纸的表面渗透性及对中线胶粘合性能的影响[J]. 中国造纸, 2024, 43(5): 104-108.
LYU X, LI Z J, WANG J, et al. Surface Permeability of High Porosity Plug Wrap Paper and Its Effect on Adhesive Property of Central Line Adhesive[J]. China Pulp & Paper, 2024, 43(5): 104-108.
- [5] 吕萱, 李自娟, 苏巧, 等. 卷烟接装胶的吸收性及对粘合性能的影响[J]. 中国造纸, 2023, 42(11): 96-102.
LYU X, LI Z J, SU Q, et al. Effect of the Absorbency of Cigarette Tip Adhesive on Adhesion Properties[J]. China Pulp & Paper, 2023, 42(11): 96-102.
- [6] 胡恒峰, 冯年捷, 曹欢. 胶黏剂渗透性对瓦楞纸板粘合强度的影响[J]. 纤维素科学与技术, 2020, 28(3): 26-31.
HU H F, FENG N J, CAO H. Effect of Adhesives Permeability on Bonding Strength of Corrugated Board[J]. Journal of Cellulose Science and Technology, 2020, 28(3): 26-31.
- [7] 吕萱, 李自娟, 李洁, 等. 烟用商标纸与胶黏剂的相互作用及其对粘合强度影响[J]. 中国造纸, 2024, 43(2): 72-81.
LYU X, LI Z J, LI J, et al. Interaction between Printed Cigarette Packet Packaging Paper and Adhesive and Its Influence on Adhesion Strength[J]. China Pulp & Paper, 2024, 43(2): 72-81.
- [8] 柳云雷, 王立军, 陈南男, 等. 固体胶对瓦楞原纸结构和疏水性能的影响[J]. 中国造纸, 2023, 42(6): 48-55.
LIU Y L, WANG L J, CHEN N N, et al. Effect of Solid Sizing Agent on the Structure and Hydrophobicity of Corrugated Base Paper[J]. China Pulp & Paper, 2023, 42(6): 48-55.
- [9] 程金茹, 胡建全, 杨乾, 等. 一种热封纸袋用胶的制备研究[J]. 中国造纸, 2022, 41(9): 46-53.
CHENG J R, HU J Q, YANG Q, et al. Research on Preparation of a Heat-Sealing Sack Paper[J]. China Pulp & Paper, 2022, 41(9): 46-53.
- [10] 张便芝, 刘忠, 惠岚峰, 等. 聚乙烯醇纤维对纸纱原纸性能的影响[J]. 中国造纸, 2021, 40(1): 27-33.
ZHANG B Z, LIU Z, HUI L F, et al. Study on the Effects of Polyvinyl Alcohol Fiber on the Properties of Paper Yarn[J]. China Pulp & Paper, 2021, 40(1): 27-33.
- [11] 熊安言, 纪晓楠, 鲁平, 等. 接嘴胶施胶量对卷烟卷接质量的影响[J]. 中国胶粘剂, 2020, 29(6): 41-44.
XIONG A Y, JI X N, LU P, et al. Effect of Sizing Amount of Cigarette Tipping Adhesive on Cigarette Crimping Quality[J]. China Adhesives, 2020, 29(6): 41-44.
- [12] 刘树龙, 王发刚, 李公成, 等. 基于响应面法的复合充填料浆配比优化及微观结构影响机制[J]. 复合材料学报, 2021, 38(8): 2724-2736.
LIU S L, WANG F G, LI G C, et al. Optimization of Mixture Ratio and Microstructure Influence Mechanism of Composite Filling Slurry Based on Response Surface Method[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2021, 38(8): 2724-2736.
- [13] 王峙力, 王鑫, 韩焯, 等. 甜玉米芯硒多糖的制备及其对淀粉酶抑制作用[J]. 包装工程, 2021, 42(21): 33-41.
WANG Z L, WANG X, HAN Y, et al. Preparation of Selenium Polysaccharide from Sweet Corn cob and Its Inhibitory Effect on Amylase[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(21): 33-41.
- [14] 朱祐增, 刘浩, 黄锐, 等. 基于响应面法的可控低强度材料配合比优化研究[J]. 硅酸盐通报, 2021, 40(8): 2670-2679.
ZHU Y Z, LIU H, HUANG R, et al. Optimization of Mixture Ratio Research of Controlled Low Strength Materials Based on Response Surface Methodology[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2021, 40(8): 2670-2679.
- [15] 董玉杰, 邓志吉, 梁奕昆, 等. 基于自动化设备的薄膜紧固包装黏合工艺分析与优化[J]. 包装工程, 2024, 45(15): 241-249.
DONG Y J, DENG Z J, LIANG Y K, et al. Analysis and Optimization of Film Fastening Packaging Bonding Process Based on Automation Equipment[J]. Packaging Engineering, 2024, 45(15): 241-249.