



叶政宏,姬会福,段鹏,等. 梗签含量和尺寸对卷烟物理指标的影响及预测研究[J]. 轻工学报,2026,41(4):94-103.
YE Z H,JI H F,DUAN K,et al. Effects of stem piece content and size on cigarette physical indexes and their prediction[J]. Journal of Light Industry,2026,41(4):94-103.
DOI:10.12187/2026.04.009

梗签含量和尺寸对卷烟物理指标的影响及预测研究

叶政宏¹,姬会福¹,段鹏²,杨琦²,翁嘉凯¹,顾甲甲²,邵惠芳¹,丁美宙²

1. 河南农业大学 烟草学院,河南 郑州 450046;
2. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心,河南 郑州 450003

摘要:【目的】探究梗签含量和尺寸对卷烟物理指标的影响及其内在关联。【方法】以常规卷烟为研究对象,设置梗签含量梯度组及尺寸梯度组,利用三维重构量化卷烟内部组分含量,采用相关性分析、基于指标间相关性的权重确定方法(CRITIC)等评价梗签参数对卷烟物理指标的影响,并建立极端梯度提升(XGBoost)模型预测卷烟物理指标。【结果】梗签尺寸越大,卷烟中梗签含量稳定性越低。梗签含量与卷烟单重、硬度和孔隙率呈极显著正相关,与圆周呈显著正相关,与开放吸阻呈显著负相关。当梗签含量为4%,卷烟机风门全关时,卷烟物理指标稳定性和综合得分最优。卷烟对单重、硬度和孔隙率的XGBoost优化模型 R^2 分别为0.953 1、0.950 3和0.875 3,精度较高且优化效果显著。【结论】梗签含量与卷烟单重、硬度和孔隙率存在正相关关系,并可通过XGBoost模型对三者进行预测。

关键词:梗签含量;梗签尺寸;物理指标;预测模型;XGBoost

中图分类号:TS412 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2026)04-0094-10

0 引言

梗签是影响卷烟品质、烟丝物料消耗与生产效率的重要因素之一,对其进行高效经济的控制一直是行业亟待解决的技术难题^[1-2]。为保证卷烟品质,烟草行业主要采用优化打叶复烤工艺、制丝多级风选、卷烟机剔除二次回收等方式降低卷烟中的梗签含量^[3]。但随着梗签剔除量的增大,烟丝消耗量急剧上升,造成卷烟(尤其是中高规格卷烟)烟叶

原料消耗水平偏高^[4-8]。近年来,有关梗签自身特性的研究较多,例如,王瑞雪等^[9]建立了基于梗签分布特征值和均匀性系数的判别函数模型,对常规和中支卷烟中梗签宽度、长度分布频率及比例进行研究,实现原始分组梗签识别正确率高于90%,交叉个案识别正确率高于85%的目标。祁林等^[10]研究了中支卷烟中梗签含量对卷烟品质的影响,发现添加少量梗签能够改善卷烟烟气指标稳定性。徐大勇等^[11]分析了刺破烟支梗签粒度分布规律,发现

收稿日期:2025-08-19;修回日期:2025-10-24;出版日期:2026-08-15

基金项目:中国烟草总公司重点研发项目(110202202010);河南中烟工业有限责任公司科技项目(AN2023018);河南省研究生教育改革与质量提升工程项目(YJS2026YBGZZ21)

作者简介:叶政宏(2000—),男,江西省九江市人,河南农业大学硕士研究生,主要研究方向为卷烟工艺优化。E-mail:1412872650@qq.com

通信作者:丁美宙(1978—),女,山西省运城市人,河南中烟工业有限责任公司正高级工程师,主要研究方向为卷烟工艺。E-mail:dingmeizhou999@163.com

常规烟支中刺破烟支的梗签宽度主要集中在 1.0~3.0 mm,长度主要集中在 6.0~9.0 mm。此外,烟丝中梗签识别检测^[12-13]、梗签及烟丝气力分离^[3,14]等方面也取得了相关研究成果。然而,目前就梗签对卷烟品质的综合影响研究尚少,且尚未建立一种快速有效预测梗签对卷烟品质影响规律的方法。

基于此,本研究拟以梗签含量和尺寸为变量,研究其与常规卷烟物理指标之间的关联性,建立极端梯度提升(Extreme Gradient Boosting,XGBoost)模型,预测不同梗签含量下卷烟物理指标参数变化,以期为卷烟中梗签含量合理控制和优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 实验材料 卷烟样品,河南中烟工业有限责任公司旗下帝豪牌常规卷烟。收集卷烟机剔除的梗签,经测定常规卷烟正常梗签含量为 4%,为降低风选等环节剔梗过程中烟丝剔除量,采用极限试验方法设定试验梯度,以 3%为递增比例,通过外掺方式提高烟丝中的梗签含量。为强化梗签尺寸差异对卷烟物理指标的影响,通过外掺不同直径的梗签使烟丝中的梗签含量达到 10%。每个处理组均按设定比例将梗签定量掺配至成品烟丝中,并在卷烟机上调节控制剔梗率的导向板高度,按照 100%、50%和 0%这 3 个风门开度梯度进行卷制。各成品卷烟样品制备参数见表 1,设置 CG1—CG5 为梗签含量处理组,CG6—CG8 为梗签尺寸处理组。

表 1 成品卷烟样品制备参数

Table 1 Preparation parameters of finished cigarette samples

组别	样品	梗签含量/%	风门开度/%
梗签含量处理组	CG1	4(全尺寸梗签)	100
	CG2	4(全尺寸梗签)	50
	CG3	4(全尺寸梗签)	0
	CG4	7(全尺寸梗签)	0
	CG5	10(全尺寸梗签)	0
	CG6	10(ϕ 1.00~2.50 mm 梗签)	0
	CG7	10(ϕ 2.50~3.35 mm 梗签)	0
	CG8	10(ϕ 3.35~5.40 mm 梗签)	0

1.1.2 主要仪器 InspeXio SMX-225 型微焦点 X 射线 CT 系统,岛津(中国)有限公司;ZJ17 型卷烟机,秦皇岛烟草机械有限责任公司;YQ-2 型烟丝振动分选筛,郑州嘉德机电科技有限公司;Quantum Neo 型综合测试台,英国 Cerulean 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 烟支内部梗签体积检测 随机选取 CG1—CG8 各 200 支卷烟样品进行 CT 探测成像扫描,以 0.2°为步长旋转卷烟 360°,共采集 1800 幅高分辨率二维投影图像并进行去噪预处理,采用 Mask-RCNN 分割模型对图像进行分割,获得单独的卷烟区域,构建 U-Net 语义分割模型以获得卷烟梗签图像,利用 Avizo 软件对每支卷烟内部梗签及烟丝进行标记和三维重构,计算烟丝平均体积、梗签平均体积和孔隙平均体积,具体检测方法见图 1。

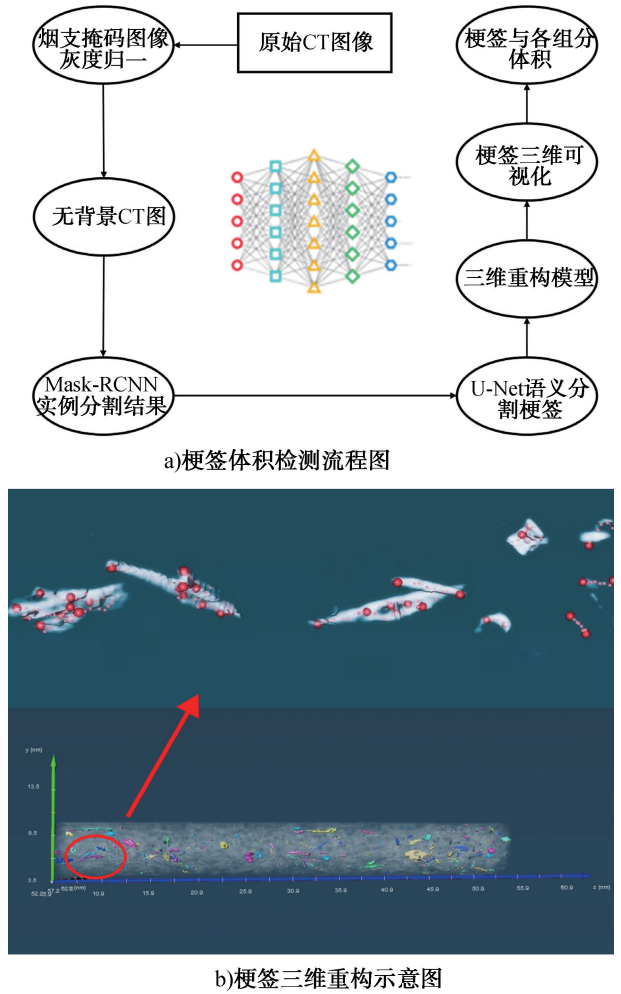


图 1 卷烟内部梗签体积检测方法

Fig. 1 Method for measuring the volume of internal stem pieces in cigarettes

1.2.2 卷烟物理指标检测 利用三维重构所得各组分体积数据,根据下式计算卷烟孔隙率。

$$n = \frac{V_{\text{孔}}}{V_{\text{总}}}$$

其中, n 为卷烟孔隙率/%, $V_{\text{孔}}$ 为卷烟内孔隙体积/ mm^3 , $V_{\text{总}}$ 为烟丝段物料总体积/ mm^3 。

本研究选用的卷烟样品规格为长度 84.00 mm、过滤嘴长度 25.00 mm、直径 7.66 mm,计算所得烟丝段体积为 2 717.56 mm^3 。

按照样品编号,每组样品随机挑选 30 支卷烟,参照文献[15–19]的方法检测烟支单重、圆周、总通风率、开放吸阻和硬度这 5 个重要物理指标。

基于指标间相关性的权重确定方法(Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation,CRITIC)是一种基于内在特性数据特征的客观赋权方法,根据权重和指标可计算卷烟综合得分^[20]。由于单重和圆周为标准化指标,总通风率、开放吸阻、硬度和卷烟孔隙率为正向化指标,因此在无量纲化过程中需对单重和圆周进行固定值化处理,即越接近平均值越大,对总通风率、开放吸阻、硬度和卷烟孔隙率进行归一化处理。

1.2.3 XGBoost 模型原理与设计 XGBoost 是一种基于梯度提升框架的高效、可扩展的机器学习算法^[21]。XGBoost 模型采用统一的树深度控制所有 CART 树,而同一组数据中,部分样本特征与目标变量可能呈强非线性关系,也可能呈弱非线性关系,采用统一控制就可能导致过拟合、运行速度下降等问题。因此,本研究参考 k -近邻(KNN)算法计算卷烟物理指标训练集得分中位数以确定阈值,评估线性程度,再结合超参数搜索和早停策略,对模型结构进行合理优化。若特征与目标的关系非线性强,使用高树深度复杂模型;若非线性弱,使用低树深度简单模型。具体模型设计步骤如下:

- 1)以梗签含量为输入,卷烟物理指标为期望输出,为每个物理指标单独构建基于 XGBoost 的预测模型,利用贪婪算法累计各决策树局部最优解以构建强拟合能力树模型。
- 2)针对每个样本进行不同的线性评估,结合贝叶斯优化进行超参数搜索,得出模型参数及简单模型和复杂模型的最大树深度。通过早停策略,自动终止性能差的超参数试验,减少无效计算,提升自

动化效率。使用五折交叉验证,计算多轮性能指标的平均值,确保超参数优化结果更可靠。

3)以 7 : 2 : 1 的比例将数据集划分为训练集、验证集和测试集,通过均方误差(Mean Squared Error, MSE)、均方根误差(Root Mean Squared Error, $RMSE$)、平均绝对误差(Mean Absolute Error, MAE)、决定系数(Coefficient of Determination, R^2)评估模型精度,具体模型参数见表 2。

1.3 数据分析

采用 Excel 2021 进行数据分析,利用 Python3.8 进行算法模型构建,通过 Avizo2020.1 软件进行模型重构及体积计算。

2 结果与分析

2.1 卷烟内梗签含量和尺寸分布规律分析
卷烟内部梗签体积检测结果见表 3。由表 3 可知,所有处理组卷烟样品烟丝段平均体积波动较小,卷烟的一致性较高。梗签含量处理组中,梗签平均体积随风门开度减小及掺配量增多逐步增大,梗签体积标准差随梗签尺寸增加逐渐增大。需要注意的是,梗签尺寸处理组中梗签平均体积相差较大,这可能是由于烟丝、梗签等物料在卷烟卷制时

表 2 模型关键参数

Table 2 Key parameters of the model		
参数名	取值范围	步长
分类器最大迭代次数	[100,1000]	100
学习率	[0.01,0.30]	0.01
高树深度	[2,5]	1
低树深度	[6,12]	1
子采样	[0.6,1.0]	0.1
每一级采样占比	[0.6,1.0]	0.1

表 3 卷烟内部梗签体积检测结果

Table 3 Measurement results of internal stem piece volume in cigarettes			
样品	梗签平均 体积/ mm^3	烟丝段平均 体积/ mm^3	梗签体积 标准差/ mm^3
CG1	7.44	1 625.75	4.12
CG2	12.78	1 669.96	3.49
CG3	15.78	1 668.90	4.06
CG4	16.54	1 680.55	5.20
CG5	17.60	1 649.44	6.66
CG6	14.92	1 679.43	8.77
CG7	48.16	1 655.91	19.01
CG8	39.86	1 665.48	20.64

通过风送管道的气流形成烟丝束,在此过程中无法精确控制每支卷烟内部梗签含量一致^[22]。因此,本文重点围绕梗签含量处理组的物理指标开展进一步研究。结果发现,CG1—CG5 处理组梗签含量呈梯度上升趋势,且梗签含量稳定性随梗签尺寸增大而降低,表明梗签尺寸是影响卷烟内部梗签含量分布均匀性的重要因素。

统计梗签含量处理组所有样品内部不同体积梗签数量,将全部卷烟梗签体积频数绘制分布直方图,如图 2 所示。由图 2 可知,在常规卷烟内部,梗签体积主要分布在 0~25 mm³,CG1—CG5 样品梗签体积分布在 0~25 mm³ 的占比分别为 99.99%、95.33%、100%、89.71% 和 87.70%,且频数基本呈正态分布特性,符合统计学规律,可以验证掺配梗签尺寸的均匀性,为后续分析梗签含量对物理指标的影响提供数据支撑。随着梗签含量增大,大体积梗签在卷烟中的占比也随之升高,这可能是由于随着风门开度减小,大体积梗签无法经卷烟机风选被剔除,使得更多梗签进入烟支内部^[8]。

2.2 梗签含量对卷烟物理指标的影响

2.2.1 卷烟物理指标显著性分析 卷烟物理指标检测结果见表 4。由表 4 可知,CG4 的单重和圆周最大,为 0.931 g 和 24.171 mm;CG2 总通风率和开放吸阻最大,为 8.757% 和 1.079 kPa;CG5 的硬度和孔隙率最大,为 69.467% 和 71.771%。CG1 的单重、硬度和孔隙率最小,分别为 0.883 g、56.320% 和 57.822%;CG5 的圆周、总通风率和开放吸阻最小,分别为 23.332 mm、7.861% 和 1.004 kPa。随梗签含量增加,单重、硬度和孔隙率总体呈上升趋势,总通风率和开放吸阻先增加后减小,圆周无明显变化。因此,物理指标随梗签含量增加而变化。

本文以相对极差表征物理指标随梗签含量的变化程度,由表 2 可知,各组数据随梗签含量变化存在一定波动,其中孔隙率、硬度和总通风率为相对极差前 3 位,分别为 21.30%、20.53% 和 11.55%。经方差检验及多重比较可知,样品间单重、圆周、硬度和孔隙率差异显著,其中孔隙率差异最显著,表明

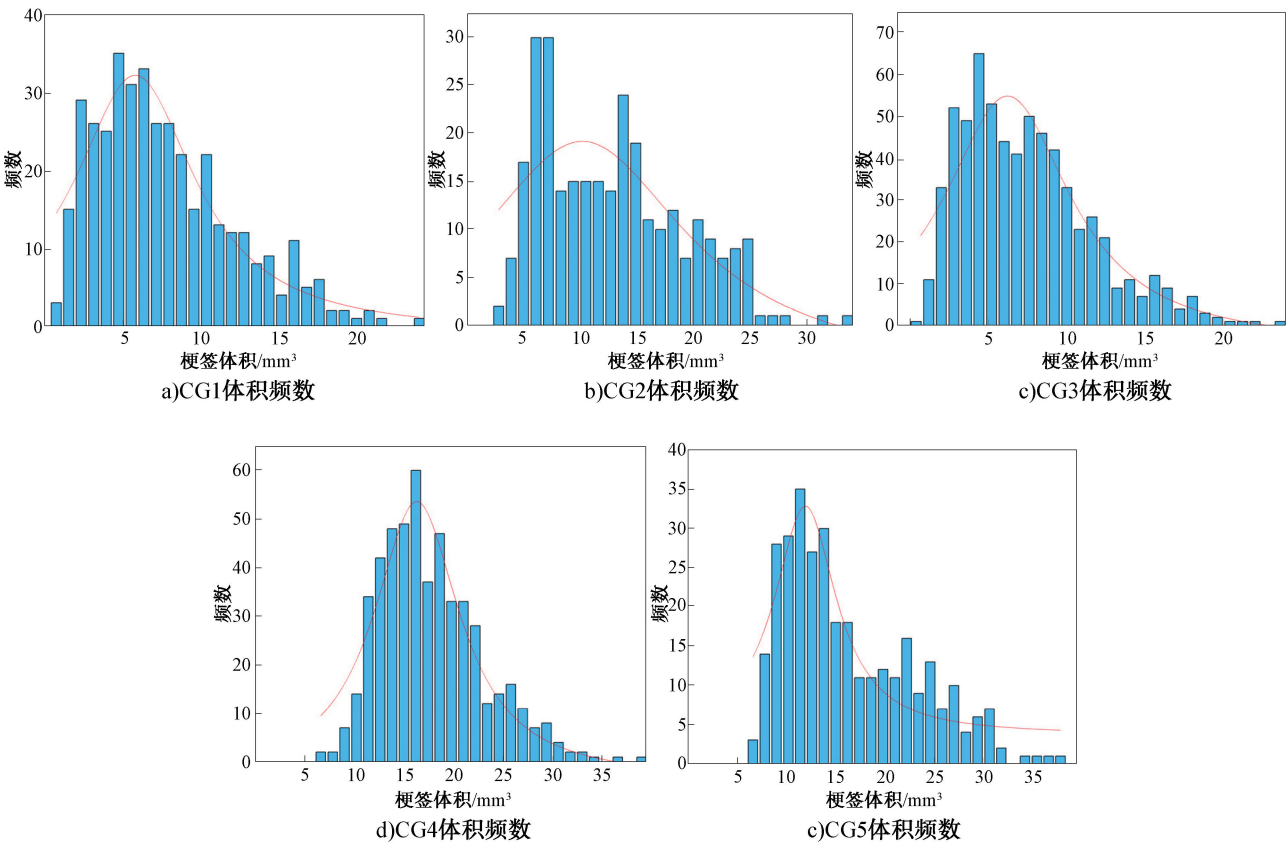


图 2 卷烟内部梗签体积频数分布直方图

Fig. 2 Histogram of the frequency distribution of internal stem piece volume in cigarettes

表 4 卷烟物理指标检测结果
Table 4 Measured physical indexes of cigarettes

样品	单重/g	圆周/mm	总通风率/%	开吸阻/kPa	硬度/%	孔隙率/%
CG1	0.883±0.012 ^c	24.198±0.042 ^a	8.223±1.080 ^b	1.051±0.036 ^b	56.320±1.943 ^b	57.822±2.202 ^e
CG2	0.904±0.009 ^{ab}	24.162±0.049 ^b	8.756±0.971 ^a	1.079±0.043 ^a	60.333±1.799 ^c	63.230±2.421 ^b
CG3	0.916±0.011 ^c	24.098±0.040 ^d	8.026±0.962 ^b	1.038±0.036 ^b	65.363±1.611 ^a	65.385±1.732 ^a
CG4	0.931±0.006 ^b	24.171±0.051 ^c	7.816±0.854 ^b	1.056±0.039 ^b	68.693±0.815 ^a	69.204±2.714 ^c
CG5	0.921±0.070 ^a	23.322±0.321 ^b	7.871±1.707 ^b	1.004±0.182 ^b	69.467±1.841 ^d	71.771±3.122 ^d
相对极差/%	5.281	3.653	11.552	7.144	20.531	21.300
平均值	0.911	23.991	8.139	1.046	64.035	65.482

梗签含量对卷烟单重、圆周、硬度和孔隙率具有较为显著的影响^[23]。综上,梗签含量在一定程度上会影响卷烟物理指标,其中对孔隙率、硬度和总通风率的影响较为显著,且单重、硬度和孔隙率随梗签含量增加总体呈上升趋势。

2.2.2 卷烟物理指标稳定性分析 梗签含量与卷烟物理指标变异系数如图 3 所示。由图 3 可知,开放吸阻和圆周随梗签含量增加呈波动上升趋势,其他指标虽无稳定变化趋势但均在 CG5 时达到最大值,即当梗签含量增加到一定值时,各物理指标稳定性均会显著降低。总通风率、硬度和单重均在 CG4 时达到最小值,开放吸阻、孔隙率和圆周则在 CG3 时达到最小值。

整体来看,圆周和单重的变异系数均在 2% 以下,稳定性良好,随梗签含量增加波动较小,符合标准卷烟工艺下稳定性良好的结果^[24]。此外,考虑到总通风率受卷制工艺、材料特性等因素影响,本研究重点聚焦硬度、开放吸阻和孔隙率 3 个指标的稳定性变化,而硬度、开放吸阻和孔隙率总体上随梗签含量增加稳定性降低,与汪涛等^[25]研究结果较一致。综上,卷烟物理指标稳定性随梗签含量增加而降低,其中 CG3 (4% 梗签含量,风门全关) 的物理

指标稳定性较好。

2.2.3 梗签含量与卷烟物理指标间的相关性 梗签含量与卷烟物理指标偏相关分析结果见表 5。由表 5 可知,梗签含量和卷烟单重、硬度和孔隙率呈极显著正相关,与圆周呈显著正相关,与开放吸阻呈显著负相关,与总通风率无相关性。此结果与祁林等^[10]对梗签影响中支卷烟物理指标研究结果存在

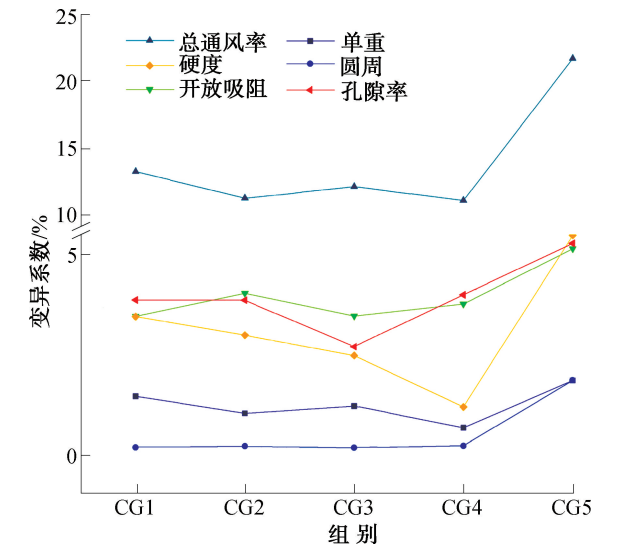


图 3 梗签含量与卷烟物理指标变异系数
Fig. 3 Coefficients of variation of cigarette physical indexes versus stem piece content

表 5 梗签含量与卷烟物理指标偏相关分析

指标	梗签含量	硬度/%	开放吸阻/kPa	总通风率/%	圆周/mm	单重/g
梗签含量	1					
单重/g	0.836 **	1				
圆周/mm	0.544 *	-0.161	1			
总通风率/%	-0.103	0.248 *	0.191	1		
开放吸阻/kPa	-0.288 *	-0.068	0.233 *	0.292 **	1	
硬度/%	0.792 **	-0.132	0.538 **	0.436 **	0.621 **	1
孔隙率/%	0.733 **	0.696 **	-0.120	-0.117	0.025	0.743 **

注: * 表示在 $P=0.05$ 水平上显著; ** 表示在 $P=0.01$ 水平上显著。

差异,这可能是两研究的卷烟规格和实验方法均不同所致。同时,卷烟总通风率和开放吸阻相关系数较低,这可能是由于二者除了受梗签含量影响,还受烟丝结构和填充值、滤棒特性、打孔参数等的影响^[26-27]。

2.2.4 基于 CRITIC 法的卷烟物理指标分析 为量化物理参数受梗签含量的影响程度,基于 CRITIC 法确定物理指标权重系数及综合得分,见表 6 和表 7。由于样品基于标准卷烟生产线卷制,因此设置基准得分为 60 分,将原始得分映射至[60,100]区间得到综合得分^[20]。由表 7 可知,综合得分顺序为:CG4>CG5>CG3>CG2>CG1,CG4(7%梗签含量,风门全关)的物理指标综合得分最佳。但除 CG1 之外各样品综合得分相差较小,因此需结合卷烟物理指标稳定性综合评价。虽然 CG4 综合得分最佳,但与 CG3(4%梗签含量,风门全关)得分接近,且 CG3 稳定性更优,与中支卷烟中添加少量梗签可以提高其品质的结论一致^[10],因此 CG3 的制备参数最优。

2.3 基于 XGBoost 的卷烟物理指标预测

为实现梗签含量对卷烟物理指标的影响的精准预测,通过贝叶斯搜索找到各物理指标最优参数组合,分别构建 XGBoost 优化模型并进行测试,绘制各物理指标预测值与真实值密度分布如图 4 所示。

表 6 CRITIC 法权重系数

Table 6 CRITIC-derived weighting coefficients

指标	指标变异性	指标冲突性	权重/%
单重/g	0.21	5.01	18.09
圆周/mm	0.19	5.15	16.30
总通风率/%	0.20	5.05	16.88
开放吸阻/kPa	0.18	5.12	15.62
硬度/%	0.24	4.34	17.17
孔隙率/%	0.22	4.34	15.93

表 7 卷烟物理指标平均及综合得分

Table 7 Average and comprehensive scores of cigarette physical indicators

组别	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5
原始得分	42.35	57.60	58.22	62.38	60.89
综合得分	76.94	83.04	83.29	84.95	84.35

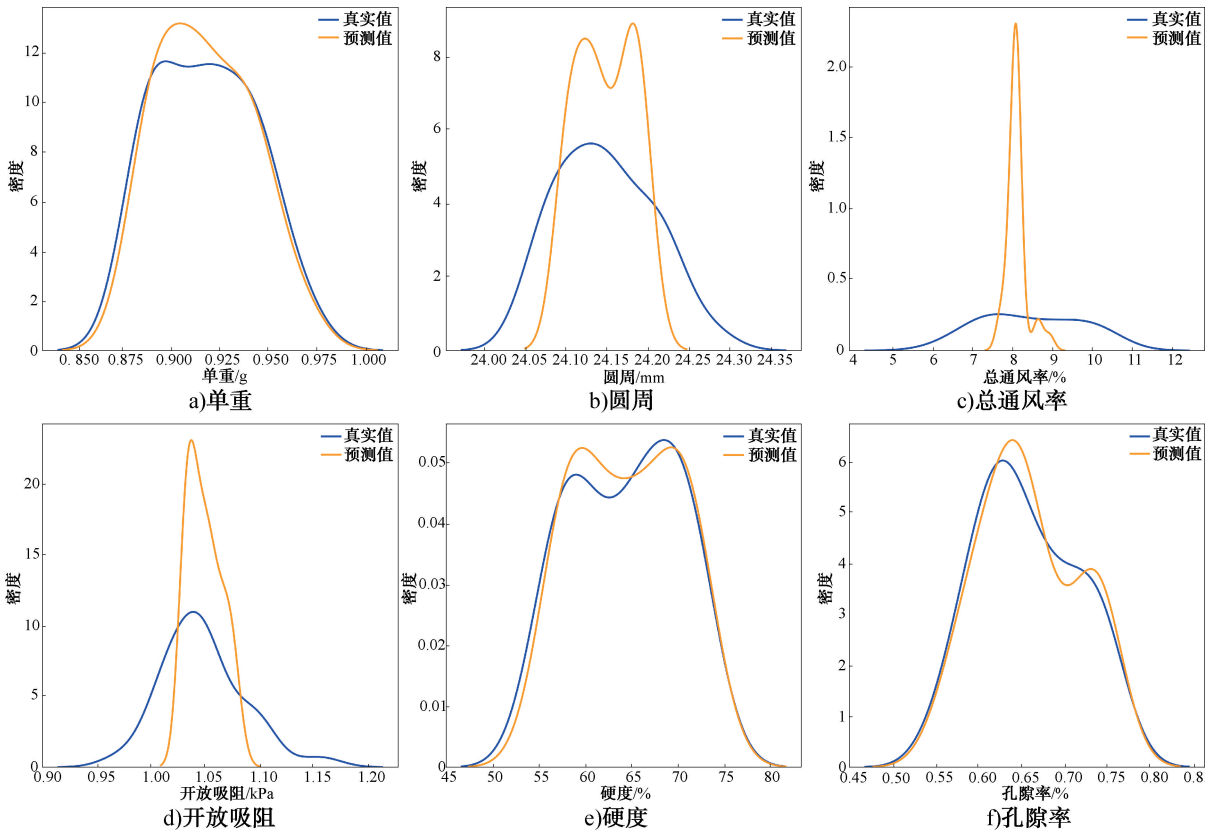


图 4 物理指标预测值与真实值密度分布
Fig. 4 Density distribution of predicted and measured values for physical indicators

由图 4 可知,总通风率和开放吸阻的预测值与真实值间差异明显,圆周、单重、硬度和孔隙率的预测值与真实值密度分布曲线较接近,与上述梗签含量对卷烟物理指标相关性分析结果一致,即梗签含量对卷烟单重、硬度和孔隙率影响较大,相关性较强,开放吸阻和总通风率基本不受梗签含量的影响。

物理指标预测模型真实值和预测值分布如图 5 所示。由图 5 可知,卷烟单重、硬度和孔隙率的拟合

效果良好,表明 XGBoost 模型对梗签含量与卷烟单重、硬度和孔隙率训练效果良好。

模型性能评估表见表 8。由表 8 可知,卷烟单重、硬度和孔隙率的 XGBoost 优化模型 R^2 分别为 0.953 1、0.950 3 和 0.875 3,较原始 XGBoost 模型分别提高了约 0.4、0.2 和 0.3,优化效果明显,且精度较高,说明本模型可以根据梗签含量准确预测卷烟单重和硬度,较准确预测卷烟孔隙率,可为卷烟生产中梗签量化调控提供模型支撑。

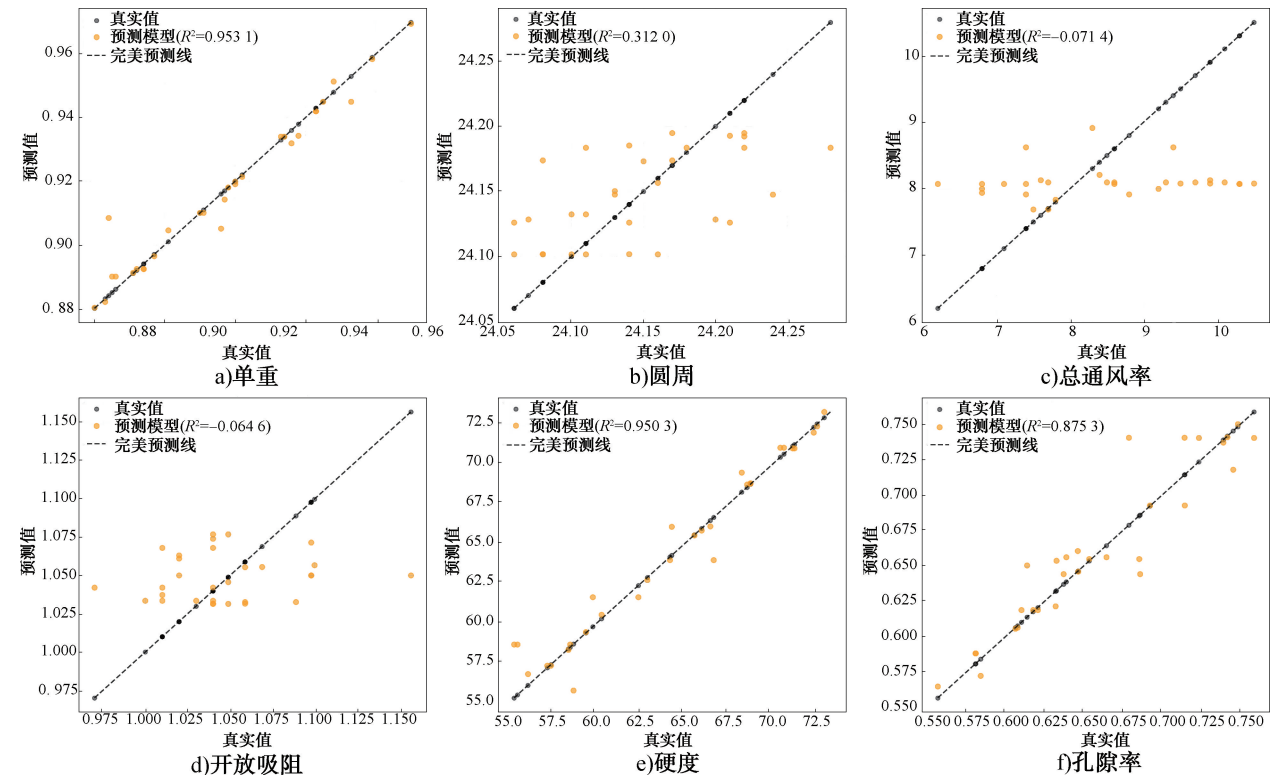


图 5 物理指标预测模型真实值与预测值分布

Fig. 5 Distribution of measured and predicted values for the physical index prediction models

表 8 模型性能评估表

Table 8 Model performance evaluation

组别	评估参数	单重/g	圆周/mm	总通风率/%	开放吸阻/kPa	硬度/%	孔隙率/%
原始模型	MSE	0.001 0	0.003 2	2.026 5	0.001 4	2.122 0	0.000 5
	$RMSE$	0.007 5	0.056 5	1.423 6	0.036 9	1.456 7	0.022 3
	MAE	0.003 9	0.043 5	1.227 8	0.027 7	0.994 6	0.017 7
	R^2	0.913 5	0.037 1	0.364 5	0.025 8	0.934 4	0.848 3
优化模型	MSE	0.001 0	0.002 7	0.965 5	0.001 7	0.815 0	0.000 3
	$RMSE$	0.0067	0.051 4	0.957 3	0.040 7	0.892 2	0.017 9
	MAE	0.004 3	0.041 2	0.803 6	0.032 8	0.572 5	0.013 5
	R^2	0.953 1	0.193 7	0.001 2	0.071 6	0.950 3	0.875 3

3 结论

本文通过掺配不同含量和尺寸梯度的梗签生产常规卷烟,每个处理随机选取 200 支卷烟,利用三维重构及算法计算卷烟内物料各组分体积,并随机选取其中 30 支结合相关性分析、CRITIC 法等探究梗签含量对卷烟物理指标的影响。得出如下结论:梗签尺寸越大,卷烟中梗签含量波动越大;卷烟孔隙率、硬度和总通风率受梗签含量变化影响明显。梗签含量与卷烟单重、硬度和孔隙率呈极显著正相关,与圆周呈显著正相关,与开放吸阻呈显著负相关,与总通风率无相关性。综合物理指标稳定性和综合得分分析,CG3(外掺 4%梗签,风门全关)的物理指标稳定性较好,且制备参数最优;通过线性程度评估和贝叶斯搜索优化 XGBoost 模型并结合五折交叉验证,实现了根据梗签含量预测卷烟单重、硬度和孔隙率, R^2 分别为 0.953 1、0.950 3 和 0.875 3,该模型能够为实际生产中控制梗签含量及保证卷烟物理指标稳定性提供参考。

参考文献:

[1] 张晖,张果,侯佩,等.打叶复烤过程中片烟品质变化研究进展[J].农产品加工(下半月),2017(4):49-52,57.
ZHANG H,ZHANG G,HOU P,et al. Advances in quality changes of *Lamina* of flue-cured tobacco during threshing and redrying process[J]. Aem Roducts Rocessing (Second Half Month),2017(4):49-52,57.

[2] 唐军,何邦华,易斌,等.国内卷烟加工过程烟草异物除杂技术研究进展[J].轻工学报,2022,37(2):94-101.
TANG J,HE B H,YI B,et al. Research progress of tobacco foreign material eliminating technology for cigarette processing in China [J]. Journal of Light Industry,2022,37(2):94-101.

[3] 唐习书,田德兴,方瑞萍,等.卷烟制造过程梗签分离工艺及装备研究进展[J].轻工学报,2024,39(4):109-117.
TANG X S,TIAN D X,FANG R P,et al. Research progress on stem sliver separation process and equipment in cigarette manufacturing[J]. Journal of Light Industry,2024,39(4):109-117.

[4] 张大波,孔臻,吴硕,等.国内细支卷烟加工工艺现状[J].烟草科技,2018,51(1):79-84.
ZHANG D B,KONG Z,WU S,et al. Current situation of slim cigarette manufacturing technology in China [J].

Tobacco Science & Technology,2018,51(1):79-84.

[5] 曾静,李斌,冯志斌,等.卷烟机剔除梗签物中含丝量的检测[J].烟草科技,2012,45(8):5-7,11.
ZENG J,LI B,FENG Z B,et al. Determination of tobacco shred content in rejects from cigarette maker[J]. Tobacco Science & Technology,2012,45(8):5-7,11.

[6] 秦前浩.卷烟工艺测试与分析大纲[M].成都:四川大学出版社,2004.
QIN Q H. Outline for cigarette process testing and analysis[M]. Chengdu:Sichuan University Press,2004.

[7] 彭永刚,刘德凯,杨华伦,等.降低卷烟机剔除梗签中含丝量[J].齐鲁工业大学学报(自然科学版),2015,29(1):50-55.
PENG Y G,LIU D K,YANG H L,et al. Reduce cigarette-rolling machines remove stalks silk content[J]. Journal of Qilu University of Technology (Natural Science Edition),2015,29(1):50-55.

[8] 胡中军,李江,陈智鸣,等.优化 ZJ17 卷接机参数降低烟支中梗签含量研究[J].科技创新导报,2017,14(8):79-80.
HU Z J,LI J,CHEN Z M,et al. Study on optimizing parameters of ZJ17 cigarette splicer to reduce stem label content in cigarettes [J]. Science and Technology Innovation Herald,2017,14(8):79-80.

[9] 王瑞雪,朱强强,唐习书,等.基于特征分布和判别分析的卷烟梗签识别方法建立与评价[J].热带农业科学,2024,44(11):104-110.
WANG R X,ZHU Q Q,TANG X S,et al. Establishment and evaluation of a cigarette stick identification method based on characteristic value distribution and discriminant analysis [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture,2024,44(11):104-110.

[10] 祁林,刘兵,王瑞雪,等.不同梗签含量对中支卷烟品质的影响[J].生物化工,2024,10(2):97-99,107.
QI L,LIU B,WANG R X,et al. Effect of different sticks content on quality of tobacco products [J]. Biological Chemical Engineering,2024,10(2):97-99,107.

[11] 徐大勇,邓国栋,刘朝贤,等.烟支刺破梗签粒度分析[J].中国烟草学报,2021,27(1):37-42.
XU D Y,DENG G D,LIU C X,et al. Particle size analysis of cigarette-puncturing slivers[J]. Acta Tabacaria Sinica,2021,27(1):37-42.

[12] 陶发展,杨栋,洪伟龄,等.基于高光谱成像的烟丝中梗签分类识别研究[J].河南科技大学学报(自然科学版),2024,45(3):32-42,5.
TAO F Z,YANG D,HONG W L,et al. Research on classification and recognition of stem sticks in shredded cut tobacco based on hyperspectral imaging[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science),2024,45(3):32-42,5.

[13] 郑新虎.梗签分离装置中气流的流动分析及仿真研究

- 型[D]. 昆明:昆明理工大学,2018.
- ZHENG X H. Flow analysis and simulation of air flow in a stems separation unit[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology,2018.
- [14] 王胜枝,肖伟忠,蔡培良,等. 卷烟生产中梗签二次分离装置的设计[J]. 机械制造,2018,56(11):64-66,70.
- WANG S Z, XIAO W Z, CAI P L, et al. Design of secondary separation device for stem in cigarette production[J]. Machinery,2018,56(11):64-66,70.
- [15] YC/T 22838.4—2009 卷烟和滤棒物理性能的测定 第4部分:卷烟质量[S].
- YC/T 22838.4—2009 Determination of physical characteristics for cigarettes and filter rods—Part 4: cigarettes weight[S].
- [16] GB/T 22838.6—2024 卷烟和滤棒物理性能的测定 第6部分:硬度[S].
- GB/T 22838.6—2024 Determination of physical characteristics for cigarettes and filter rods—Part 6: hardness[S].
- [17] GB/T 22838.3—2025 卷烟和滤棒物理性能的测定 第3部分:圆周非接触光学法[S].
- GB/T 22838.3—2025 Determination of physical characteristics for cigarettes and filter rods—Part 3: circumference—Non-contact optical method[S].
- [18] GB/T 22838.5—2024 卷烟和滤棒物理性能的测定 第5部分:卷烟吸阻和滤棒压降[S].
- GB/T 22838.5—2024 Determination of physical characteristics for cigarettes and filter rods—Part 5: cigarettes draw resistance and filter rods pressure drop[S].
- [19] GB/T 22838.15—2025 卷烟和滤棒物理性能的测定 第15部分:卷烟通风的测定 定义和测量原理[S].
- GB/T 22838.15—2025 Determination of physical characteristics for cigarettes and filter rods—Part 15: cigarettes—Determination of ventilation—Definitions and measurement principles[S].
- [20] 周沅桢,和小娟,王泽宇,等. 基于CRITIC赋权法的细支烟物理指标综合质量评价研究[J]. 包装工程,2022,43(9):176-183.
- ZHOU Y Z, HE X J, WANG Z Y, et al. Comprehensive quality assessment for physical indexes of slim cigarette based on CRITIC weighting approach [J]. Packaging Engineering,2022,43(9):176-183.
- [21] CHEN T Q, GUESTIN C. XGBoost: a scalable tree boosting system [C] // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. San Francisco, California USA. ACM, 2016:785-794.
- [22] 金彩洪,刘松,刘亚男. ZJ17卷接机组防止烟丝泄漏堵塞装置的设计与应用[J]. 现代制造技术与装备,2021,57(2):31-32.
- JIN C H, LIU S, LIU Y N. Design and application of device for preventing leakage and blockage of cut tobacco in ZJ17 cigarette making machine [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment,2021,57(2):31-32.
- [23] 姚二民,邵宁,李晓,等. 基于回归分析方法的烟丝结构与卷烟物理指标关系研究[J]. 食品工业科技,2017,38(20):21-24,29.
- YAO E M, SHAO N, LI X, et al. Study on the relationship of cut tobacco structure and physical indexes of cigarette based on regression analysis[J]. Science and Technology of Food Industry,2017,38(20):21-24,29.
- [24] 毛福利,邓长其,高华,等. 卷烟烟支重量的综合评价[J]. 轻工科技,2019,35(8):128-129.
- MAO F L, DENG C Q, GAO H, et al. Comprehensive evaluation of cigarette weight[J]. Light Industry Science and Technology,2019,35(8):128-129.
- [25] 汪涛,张灵辉,叶宏音. 不同形态梗丝对卷烟在制品及成品质量的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(32):12724-12726.
- WANG T, ZHANG L H, YE H Y. Effects of different forms stem on quality of flue-cured products and finished products [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013,41(32):12724-12726.
- [26] 张莉强,李宇飞,刘浩,等. 在线打孔中支卷烟通风率稳定性的研究[J]. 中国新技术新产品,2023(5):70-73.
- ZHANG L Q, LI Y F, LIU H, et al. Study on the stability of ventilation rate of medium cigarette in on-line punching [J]. New Technology & New Products of China,2023(5):70-73.
- [27] 赵汉文,赵晓梅. 卷烟机平整器对卷烟质量稳定性的影响[J]. 烟草科技,2007,40(12):22-23,62.
- ZHAO H W, ZHAO X M. Influence of ecreteur disc in cigarette maker on cigarette quality stability[J]. Tobacco Science & Technology,2007,40(12):22-23,62.

Effects of stem piece content and size on cigarette physical indexes and their prediction

YE Zhenghong¹, JI Huifu¹, DUAN Kun², YANG Qi², WENG Jiakai¹,

GU Jiajia², SHAO Huifang¹, DING Meizhou²

1. College of Tobacco, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China;

2. Technology Center, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China

Abstract: [Objective]To investigate the effects of stem piece content and size on cigarette physical indicators and their underlying relationships. **[Methods]** Conventional cigarettes were used as the research object, and gradient groups varying in stem piece content and size were prepared. Three-dimensional reconstruction was employed to quantify the internal component content. Correlation analysis and the CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) weighting method were applied to evaluate the effects of stem piece parameters on cigarette physical indicators. Additionally, an extreme gradient boosting (XGBoost) model was constructed to predict these indicators. **[Results]** Larger stem piece size resulted in lower stability of stem piece content in cigarettes. Stem piece content exhibited highly significant positive correlations with cigarette weight, hardness, and porosity, a significant positive correlation with circumference, and a significant negative correlation with open draw resistance. When the stem piece content was 4% and the air damper of the cigarette maker was fully closed, the cigarette physical indicators showed optimal stability and comprehensive scores. The coefficients of determination (R^2) of the optimized XGBoost models for cigarette weight, hardness, and porosity were 0.953 1, 0.950 3, and 0.875 3, respectively, indicating high predictive accuracy and significant model improvement. **[Conclusion]** Stem piece content was positively correlated with cigarette weight, hardness, and porosity, and these three indicators could be accurately predicted using the XGBoost model.

Key words:stem piece content;stem piece size;physical indexes;predictive model;XGBoost

[责任编辑:杨晓娟 刘春奎]

(上接第 65 页)

rods for flavoring, followed by mainstream smoke analysis and sensory evaluation. **[Results]**The formulated black plum compound flavor exhibited rich aromatic notes, featuring prominent sweet and sour notes along with floral, fruity, and balsamic notes. The optimal addition amount of the compound flavor was 300 mg/g, at which the inclusion complex achieved the maximum loading rate and the highest flavor utilization rate. The black plum compound flavor-loaded granules were light-yellow spherical particles approximately 0.6 mm in diameter, with an angle of repose of 31.81°, a bulk density of 0.814 3 g/cm³, and an average moisture content of 20.63%. A total of 39 volatile aroma compounds, including phenethyl alcohol and benzaldehyde, were identified in the granules, imparting composite notes such as floral, fruity, and creamy aromas. After 30 days of storage, the total residual content of aroma compounds in the granules was 60.82%, significantly higher than that of the black plum compound flavor (23.01%). The addition of 10 mg of these granules to the filter rod significantly improved aroma quality and intensity, reduced irritation and off-flavor, and resulted in good overall harmony. **[Conclusion]**The developed compound flavor-loaded granules of black plum can effectively load and stabilize volatile aroma compounds, thereby significantly improving the sensory quality of cigarettes.

Key words:inclusion complex;black plum;compound flavor-loaded granules;filter rod flavoring

[责任编辑:刘丹丹]