

# 梗签含量和尺寸对卷烟物理指标影响及预测研究

叶政宏<sup>1</sup>, 姬会福<sup>1</sup>, 段鹏<sup>2</sup>, 杨琦<sup>2</sup>, 翁嘉凯<sup>1</sup>, 顾甲甲<sup>2</sup>, 邵惠芳<sup>1</sup>, 丁美宙<sup>2</sup>

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】以常规卷烟为对象, 设置梗签含量组及尺寸组试验梯度, 利用 CT—三维重构量化烟支内部组分含量, 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, 建立极端梯度提升 (XGBoost) 优化模型, 实现卷烟物理指标的预测。【结果】梗签尺寸越大, 卷烟中梗签含量稳定性越低。梗签含量和卷烟单重、硬度和孔隙率呈现极显著正相关, 与圆周呈现显著正相关, 与开放吸阻呈现显著负相关。4%梗签含量, 卷烟机风门全关时卷烟物理指标和稳定性综合最优。XGBoost 优化模型对单重、硬度和孔隙率的预测  $R^2$  分别为 0.953 1、0.950 3 和 0.875 3。【结论】梗签含量与单重, 硬度和孔隙率存在正相关关系, 可通过 XGBoost 模型进行预测, 为卷烟中梗签含量控制提供科学依据。

**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:

## 0 引言

梗签是影响卷烟质量、消耗与生产效率的重要因素之一, 对其高效经济控制一直是行业亟待解决的痛点和难点问题<sup>[1-2]</sup>。为保证卷烟质量, 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<sup>[3]</sup>, 但随着梗签剔除量的增大, 烟丝消耗量急剧上升, 造成烟叶原料消耗过高, 尤其是中高规格卷烟<sup>[4-8]</sup>。近年来, 有关梗签自身的研究成为新研究焦点, 王瑞雪等<sup>[9]</sup>建立了基于梗签分布特征值和均匀性系数的梗签判别函数模型, 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%。祁林等<sup>[10]</sup>研究了中支卷烟中梗签含量对卷烟品质的影响, 指出低比例梗签添加能够改善卷烟烟气指标稳定性。徐大勇等

收稿日期: 2025-08-19; 修回日期: 2025-10-24;

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)

第一作者: 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

[11]分析了刺破烟支梗签粒度分布规律，得出常规烟刺破烟支梗签的宽度主要集中在 1.0~3.0 mm，长度主要集中在 6~9 mm。此外，其他学者在烟丝中梗签识别检测<sup>[12-13]</sup>、梗签及烟丝气力分离<sup>[3,14]</sup>等方面也开展了相关研究。然而，目前在梗签对卷烟质量的综合影响方向研究尚少，且还未建立一种快速有效预测梗签对卷烟质量影响规律的方法。

基于此，本研究以梗签含量和尺寸为变量，深入探究其与常规卷烟物理指标之间的关联性，并建立极端梯度提升（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，为卷烟中梗签含量合理控制和优化提供支撑。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

#### 1.1.1 实验材料

以河南中烟工业有限责任公司旗下帝豪牌常规卷烟为研究对象，收集卷烟机剔除的梗签，经测定常规卷烟正常含签率在 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，并在卷烟机上调节剔梗率控制的导向板高度，按照 100%、50%和 0%三个风门开度梯度进行卷制。各成品烟支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 梗签尺寸处理组。

表 1 各成品卷烟样品制备参数

Table 1 Preparation parameters of each finished cigarette

处理	样品	丝中含签率/%	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
梗签 尺寸 处理组	CG6	10（ $\phi$ 1.0~2.5mm 梗签）	0
	CG7	10（ $\phi$ 2.5~3.35mm 梗签）	0
	CG8	10（ $\phi$ 3.35~5.4mm 梗签）	0

#### 1.1.2 主要仪器

岛津 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，卷烟以  $0.2^\circ$  为步长旋转  $360^\circ$ ，共采集 1800 幅高分辨率二维投影图像，对图像进行去噪预处理，采用 Mask-RCNN 对图像进行分割，获得单独的卷烟区域，构建 U-net 语义分割模型获得卷烟中梗签图像，利用 Avizo 软件对每支烟内部梗签及烟丝进行标记和重构，计算烟丝体积、梗签体积和孔隙体积，其检测方法见图 1。

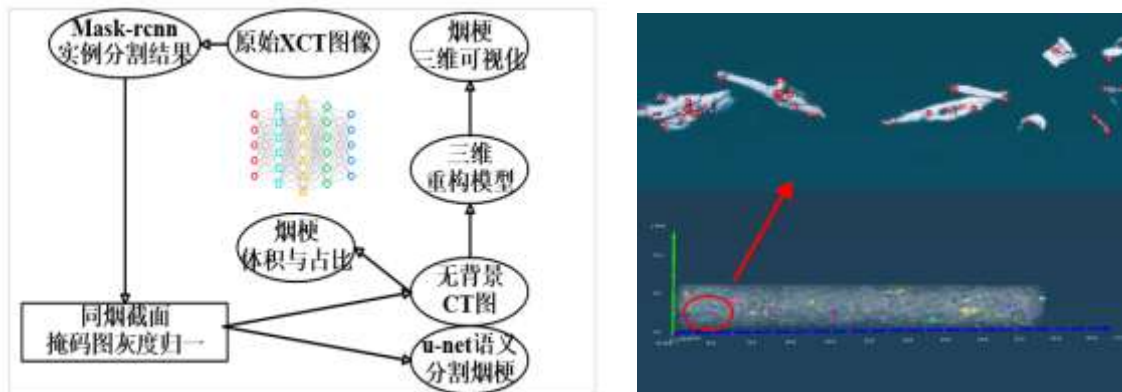


图 1 烟支内梗签体积检测方法

Fig. 1 Volume detection method for inner stem of cigarette

### 1.2.2 卷烟物理指标检测

利用三维重构后计算得到各组份体积数据，根据公式（1）进行卷烟孔隙率计算：

$$\varphi = \frac{V_{\text{孔}}}{V_{\text{总}}} \quad (1)$$

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

本研究选用的卷烟烟支规格为长度 84.00 mm、过滤嘴长度 25.00 mm、直径 7.66 mm，计算得烟丝段体积为  $2\,717.56\text{ mm}^3$ 。

按照样品编号，每组样品随机挑选卷烟 30 支，参照文献[15-19]的方法检测烟支单重、圆周、总通风率、开吸阻和硬度卷烟物理指标。

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出卷烟综合得分<sup>[20]</sup>。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，即越接近平均数值越大，对总通风率、开放吸阻、硬度和卷烟孔隙率进行归一化。

### 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<sup>[21]</sup>。由于 XGBoost 模型采用统一的树深度控制所有 CART 树，而同一组数据中可能存在部分样本特征与目标变量呈强非线性关系或弱非线性关系，这种统一控制可能导致过拟合和运行速度下降等问题。针对这一问题，本研究参考 K-NN 近邻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。当特征与目标的关系非线性强，使用高树深度复杂模型，反之非线性弱，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搜索，得出模型参数以及简单模型和复杂模型的最大树深度。并通过早停算法，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，最终通过  $MSE$ 、 $RMSE$ 、 $MAE$ 、 $R^2$  评估模型精度。

表 2 算法关键参数  
Table 2 Key parameters of the algorithm

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

## 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，Avizo2020.1 软件进

行模型重构及体积计算。

## 2 结果与分析

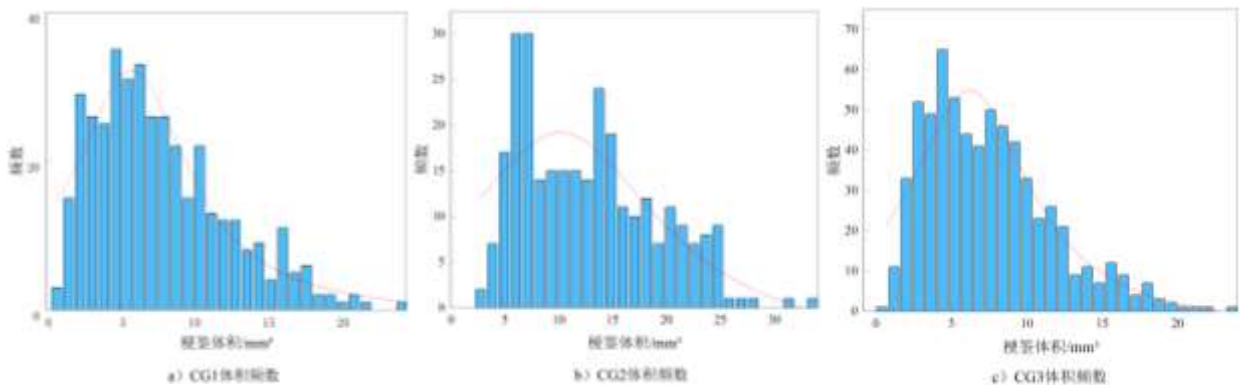
### 2.1 卷烟内梗签含量和尺寸分布规律分析

梗签含量和梗签尺寸处理组卷烟各组分体积及其梗签体积标准偏差见表3。由表3可知，所有处理组烟支样品烟丝段体积波动较小，烟支的一致性较高。梗签含量处理组中梗签体积随风门开度减小及掺配量增多逐步增大，梗签体积标准偏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体积相差较大，是由于烟丝和梗签等物料在烟支卷制时是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<sup>[22]</sup>。基于上述分析，本文重点围绕梗签含量处理组物理指标开展进一步研究。结果表明，不同梗签含量处理中梗签含量呈现梯度上升趋势，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烟支内部梗签含量分布均匀性的重要因素。

表3 卷烟内部梗签含量统计

Table 3 Statistics on the content of tobacco stems inside cigarettes

处理	梗签平均体积 / ( $\text{mm}^3$ )	烟丝段平均体积 / ( $\text{mm}^3$ )	梗签体积标准差 / ( $\text{mm}^3$ )
CG1	7.44	1625.75	4.12
CG2	12.78	1669.96	3.49
CG3	15.78	1668.90	4.06
CG4	16.54	1680.55	5.20
CG5	17.60	1649.44	6.66
CG6	14.92	1679.43	8.77
CG7	48.16	1655.91	19.01
CG8	39.86	1665.48	20.64



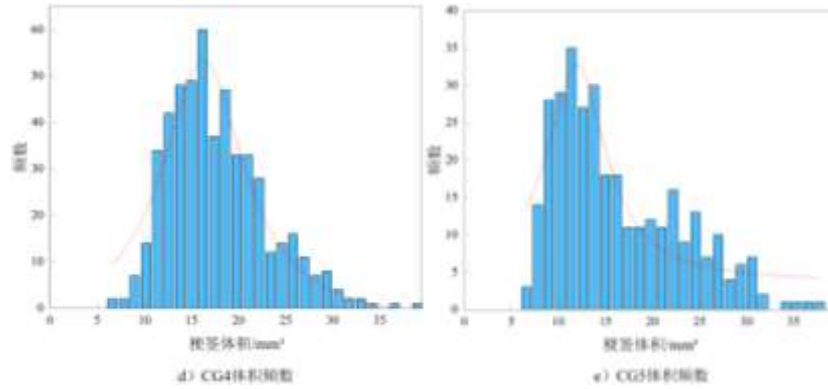


图 2 卷烟内部梗签频数分布图

Fig. 2 Schematic diagram of stem distribution in regular cigarettes

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分布绘制频数分布直方图，如图 2 所示。可以看出，在常规卷烟内部，梗签体积主要分布在 0~25 mm<sup>3</sup>，经计算 CG1~CG5 处理梗签体积分布在 0~25 mm<sup>3</sup> 占比分别为 99.99%、95.33%、100%、89.71% 和 87.70%，且频数基本呈现正态分布特性，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影响提供了数据支撑。随着梗签含量增大，大体积梗签在卷烟中的占比也随之增高，主要原因是随着风门开度减小，大体积梗签无法通过卷烟机风选剔除，使得更多进入烟支内部<sup>[8]</sup>。

## 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

对梗签含量处理组物理指标求平均值、标准偏差及相对极差，如表 4 所示。单重和圆周在 CG4 处理达到最大值 0.931 g 和 24.171 mm；总通风率和开放吸阻在 CG2 处理达到最大值 8.757% 和 1.079 kpa；硬度和孔隙率在 CG5 处理达到最大值 69.467% 和 71.771%。单重、硬度和孔隙率在 CG1 处理值最小，分别为 0.883 g、56.320% 和 57.822%；圆周、总通风率和开放吸阻在 CG5 处理值最小，分别为 23.332 mm、7.861% 和 1.004 kpa。单重、硬度和孔隙率随梗签含量增加总体呈现上升趋势，总通风率和开放吸阻先增后减，圆周无明显变化规律，由此可知物理指标随梗签含量增加而变化。

以相对极差明确物理指标随梗签含量变化程度，可以看出各组数据随梗签含量变化存在一定波动，其中孔隙率、硬度和总通风率作为相对极差前 3 位，分别为 21.30%、20.53% 和 11.55%。经方差检验事后多重比较可以得出，单重，圆周，硬度和孔隙率具有较明显的显著性差异，其中孔隙率差异最为明显，表明梗签对卷烟单重，圆周，硬度和孔隙率物理指标具有较为显著影响<sup>[23]</sup>。综上，梗签含量一定程度上影响卷烟物理指标，其中卷烟孔隙率、硬度

和总通风率影响较为显著，且随梗签含量增加单重、硬度和孔隙率总体呈现上升趋势。

表 4 卷烟物理指标显著性分析

Table 4 Descriptive statistical analysis of physical indexes of cigarettes

处理	单重/g	圆周/mm	总通风率/%	开吸阻/kPa	硬度/%	孔隙率/%
CG1	0.883±0.012 <sup>c</sup>	24.198±0.042 <sup>a</sup>	8.223±1.080 <sup>b</sup>	1.051±0.036 <sup>b</sup>	56.320±1.943 <sup>b</sup>	57.822±2.202 <sup>c</sup>
CG2	0.904±0.009 <sup>ab</sup>	24.162±0.049 <sup>b</sup>	8.756±0.971 <sup>a</sup>	1.079±0.043 <sup>a</sup>	60.333±1.799 <sup>c</sup>	63.230±2.421 <sup>b</sup>
CG3	0.916±0.011 <sup>c</sup>	24.098±0.040 <sup>d</sup>	8.026±0.962 <sup>b</sup>	1.038±0.036 <sup>b</sup>	65.363±1.611 <sup>a</sup>	65.385±1.732 <sup>a</sup>
CG4	0.931±0.006 <sup>b</sup>	24.171±0.051 <sup>c</sup>	7.816±0.854 <sup>b</sup>	1.056±0.039 <sup>b</sup>	68.693±0.815 <sup>a</sup>	69.204±2.714 <sup>c</sup>
CG5	0.921±0.070 <sup>a</sup>	23.322±0.321 <sup>b</sup>	7.871±1.707 <sup>b</sup>	1.004±0.182 <sup>b</sup>	69.467±1.841 <sup>d</sup>	71.771±3.122 <sup>d</sup>
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

### 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 可知变异系数，随梗签含量增大开放吸阻和圆周呈现波动上升，其他指标虽无一致趋势但均在 CG5 时达到最大值，即当梗签含量增加到一定时，各项物理指标稳定性都会显著降低。总通风率、硬度和单重均在 CG4 时达到最低，开放吸阻、孔隙率和圆周则在 CG3 时达到最低。

整体来看，圆周和单重变异系数均在 2% 以下，稳定性良好，随梗签含量变化变异系数波动较小<sup>[24]</sup>，符合标准卷烟工艺下烟支稳定性良好的结果。此外，考虑到总通风率受卷制工艺、材料特性等多因素影响，因此本研究重点聚焦硬度、开放吸阻和孔隙率 3 个指标稳定性变化，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<sup>[25]</sup>研究梗丝对卷烟硬度稳定性结果一致。综上，随梗签含量增大卷烟物理指标稳定性降低，CG3（4%梗签含量，风门全关）处理卷烟物理指标稳定性较好。

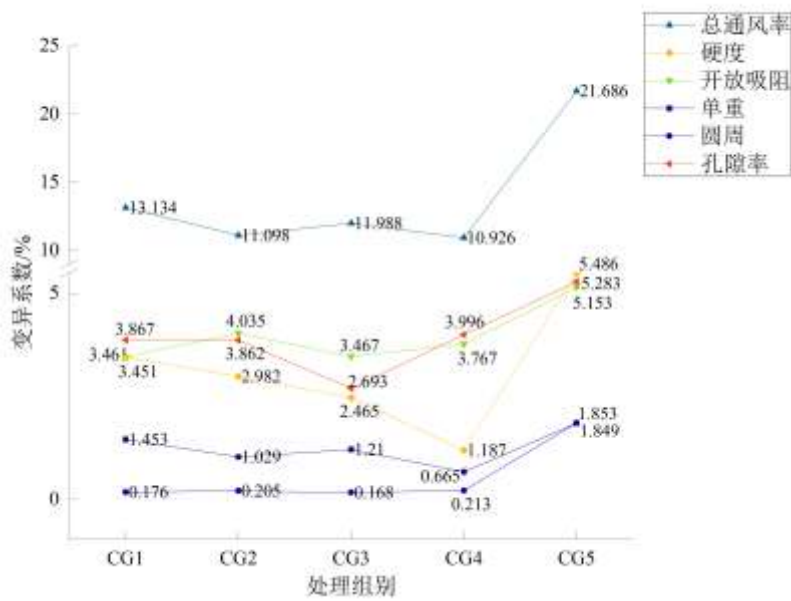


图3 梗签含量与卷烟物理指标变异系数

Fig. 3 The coefficient of variation between stem stick content and physical indexes of cigarettes

### 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见表5。由表5可知，梗签含量和卷烟单重、硬度和孔隙率呈现极显著正相关，与圆周呈现显著正相关，与开放吸阻呈现显著负相关，与总通风率无相关关系。此结论与祁林对梗签影响中支卷烟物理质量研究结论存在差异，祁林<sup>[10]</sup>以会泽卷烟厂生产中支卷烟为研究对象，按质量比例递增梯度将梗签分别添加进无梗烟丝中，探究梗签含量对中支卷烟物理质量影响。而本研究以许昌卷烟厂生产常规卷烟为研究对象，通过算法精确计算梗签的三维体积，进而确定了卷烟内部梗签含量的分布，直接探究梗签含量与常规卷烟物理指标间关系。卷烟规格和实验方法均不同，因此造成部分结论出现差异。同时，卷烟总通风率和开放吸阻相关系数较低，是由于总通风率和开放吸阻除了受梗签含量影响以外，还受烟丝结构、烟丝填充值、滤棒特性、打孔参数等影响较大<sup>[26-27]</sup>。

表5 梗签含量与卷烟物理指标偏相关分析

Table 5 Partial correlation analysis of stem stick content and physical indexes of cigarettes

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

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					
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。

## 2.2.4 基于 CRITIC 法卷烟物理指标分析

为量化物理参数受梗签含量的影响程度，基于 CRITIC 法计算各物理指标权重系数及综合得分见表 6 和表 7。根据 CRITIC 法计算 CG1~CG5 处理原始得分，由于样本基于标准卷烟生产线卷制，因此将设置基准得分为 60，将原始得分映射至[60,100]区间得到综合得分<sup>[20]</sup>，由表 7 可知，各处理得分顺序为：CG4>CG5>CG3>CG2>CG1，CG4（7%梗签含量，风门全关）处理卷烟物理指标综合得分最佳。但由于除 CG1 外各组综合得分相差较小，因此需结合卷烟物理指标稳定性综合评价。虽然 CG4（7%梗签含量，风门全关）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，与中支卷烟中低比例梗签添加可以提高卷烟的品质的结论一致<sup>[10]</sup>，综合物理指标稳定性和综合得分分析，CG3 为最优处理。

表 6 CRITIC 法权重系数

Table 6 Normalized weighting coefficients from CRITIC method

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 physical indexes of cigarettes

处理	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

## 2.3 基于 XGBoost 卷烟物理指标预测

为实现梗签含量对卷烟物理指标的精准预测，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，绘制各指标数值密度预测值与真实值分布如图 4 所示。

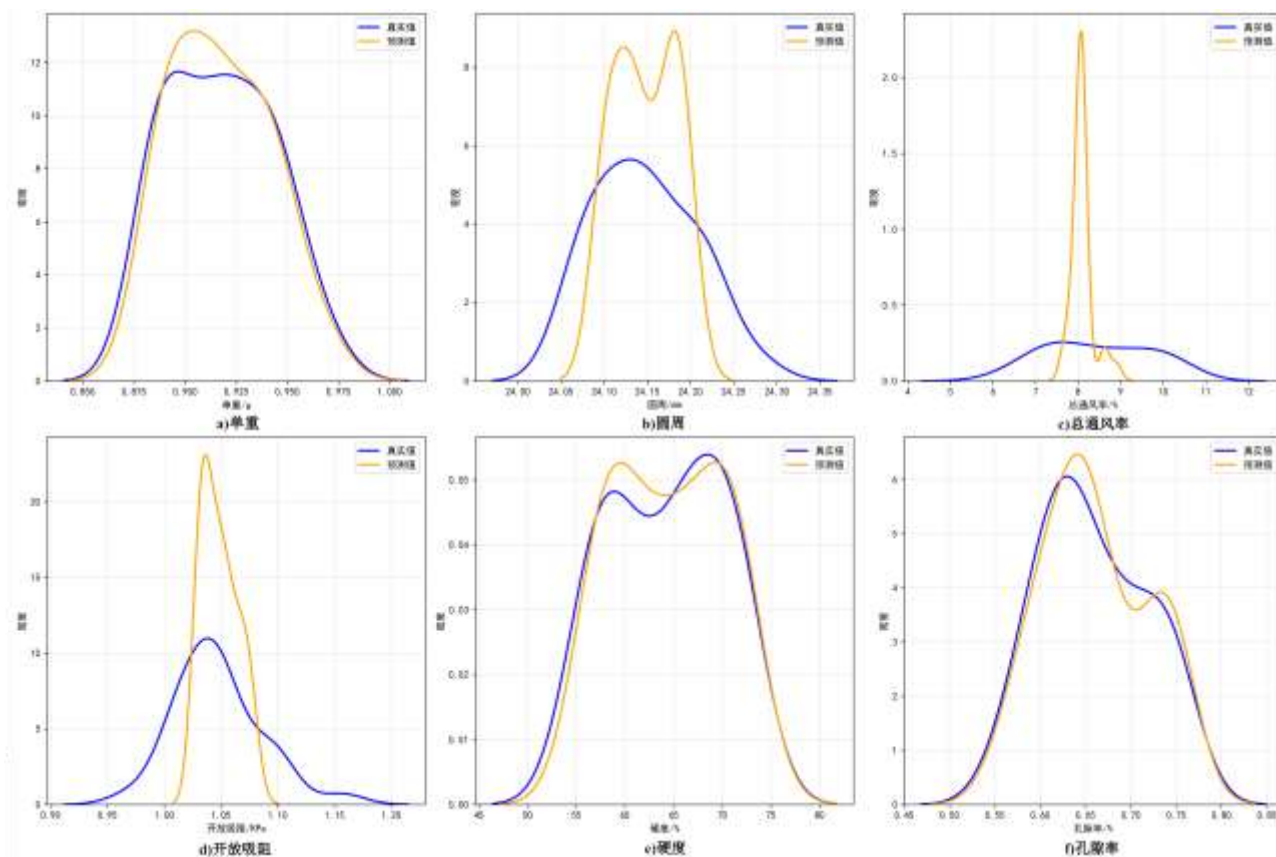


图 4 预测值与真实值密度分布

Fig. 4 Density distribution of predicted values and true values

由图 4 可知，总通风率和开放吸阻预测值与真实值间差异明显，圆周、单重、硬度和孔隙率预测值与真实值分布曲线比较接近，与上述梗签含量对卷烟物理指标相关性分析结果一致，即梗签含量对烟支单重、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。

梗签含量对卷烟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。

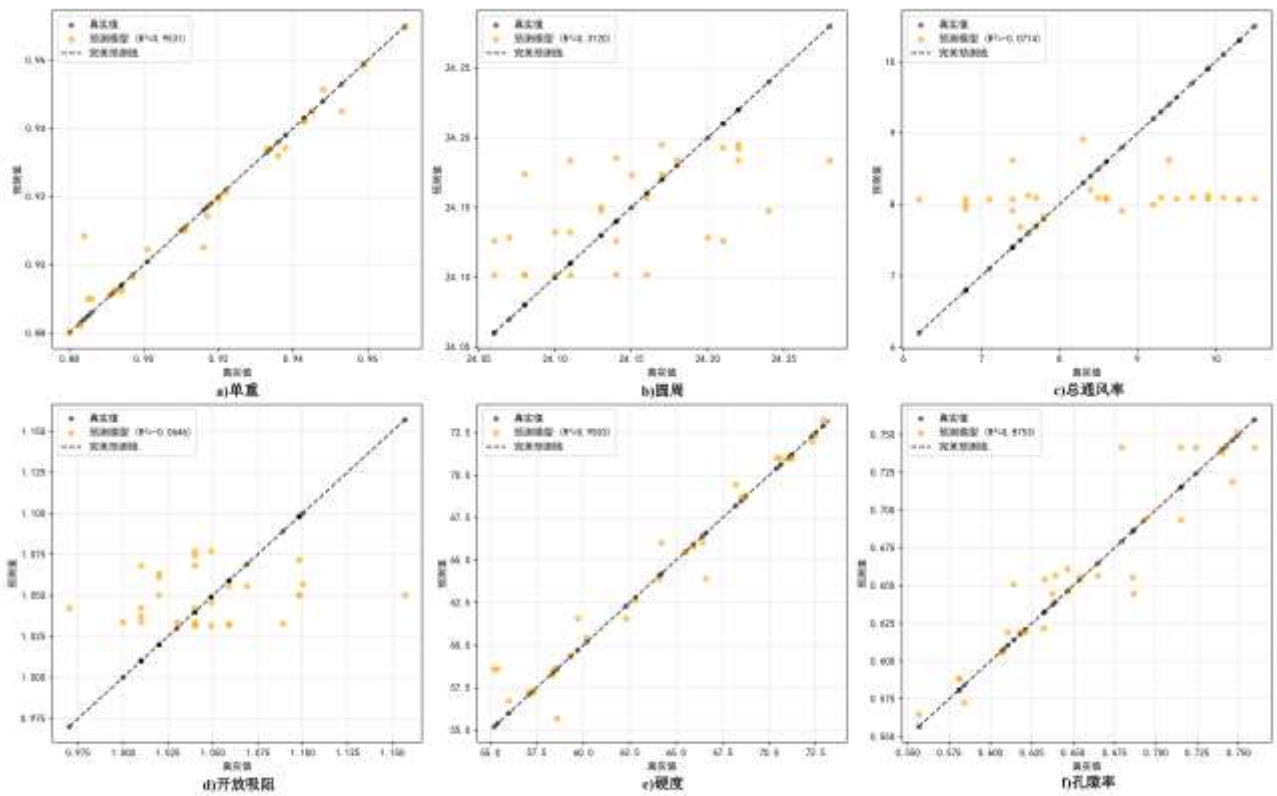


图 5 物理指标真实值和预测值分布

Fig. 5 The distribution of the true and predicted values of the physical indexes

进一步评估模型性能，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 XGBoost 优化模型  $R^2$  分别为 0.953 1、0.950 3 和 0.875 3，对比原始 XGBoost 模型 0.913 5、0.934 4 和 0.848 3， $R^2$  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值，较准确预测卷烟孔隙率，可以为卷烟生产中梗签量化调控提供模型支撑。

表 8 模型性能评估表

Table 8 Model performance evaluation table

评估参数	单重/g	圆周/mm	总通风率/%	开放吸阻/kPa	硬度/%	孔隙率/%	
<i>MSE</i>	0.001 0	0.003 2	2.026 5	0.001 4	2.122 0	0.000 5	
原始	<i>RMSE</i>	0.007 5	0.056 5	1.423 6	0.036 9	1.456 7	0.022 3
模型	<i>MAE</i>	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	<i>MSE</i>	0.001 0	0.002 7	0.965 5	0.001 7	0.815 0	0.000 3
模型	<i>RMSE</i>	0.006 7	0.051 4	0.957 3	0.040 7	0.892 2	0.017 9
	<i>MAE</i>	0.004 3	0.041 2	0.803 6	0.032 8	0.572 5	0.013 5

### 3 结论

本文通过掺配不同含量梯度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烟支内物料各组分体积，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影响。得出结论如下：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。梗签含量和卷烟单重、硬度和孔隙率呈现极显著正相关，与圆周呈现显著正相关，与开放吸阻呈现显著负相关，与总通风率无相关关系。CG3（外掺 4%梗签，风门全关）处理卷烟物理指标稳定性较好，CG4（7%梗签含量，风门全关）处理综合得分最佳；综合物理指标稳定性和综合得分分析，CG3 处理为最佳；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，该模型能够为生产上控制梗签含量及保证卷烟物理指标稳定性提供参考依据。参考陈景云<sup>[28]</sup>在梗丝掺配烟支研究中发现丝状梗丝会提高卷烟指标稳定性结论，未来可以进一步探究不同尺寸和形态梗签对卷烟物理指标和稳定性的影响，且陈士欢等<sup>[29]</sup>已经开发出基于 CT 探测成像的烟支中梗签形态识别方法，为研究提供了理论参考。

#### 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*, 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] 国家烟草专卖局. 卷烟物理性能的测定 重量: YC/T 28—1996[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

State Tobacco Monopoly Administration. Test of cigarettes physical characteristics Weight: YC/T 28-1996 [S]. Beijing: China Standards Press, 2024.

[16] 国家烟草专卖局. 卷烟和滤棒物理性能的测定 硬度: GB/T 22838—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.

State Tobacco Monopoly Administration. Determination of physical properties of cigarettes and filter rods Hardness: GB/T 22838—2024[S]. Beijing: China Standards Press, 2024.

[17] 国家烟草专卖局. 卷烟和滤棒物理性能的测定 圆周激光法: GB/T 22838—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

State Tobacco Monopoly Administration. Determination of physical properties of cigarettes and filter rods cigarette circumference laser method: GB/T 22838—2009[S]. Beijing: China Standards Press, 2009.

[18] 国家烟草专卖局. 卷烟和滤棒物理性能的测定 卷烟吸阻和滤棒压降: GB/T 22838—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.

State Tobacco Monopoly Administration. Determination of physical properties of cigarettes and filter rods cigarette resistance to draw and filter rod pressure drop: GB/T 22838—2024[S]. Beijing: China Standards Press, 2024.

[19] 国家烟草专卖局. 卷烟和滤棒物理性能的测定 卷烟通风的测定定义和测量原理: GB/T 22838—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

State Tobacco Monopoly Administration. Determination of physical properties of cigarettes and filter rods determination of cigarette ventilation—definitions and measurement principles: GB/T 22838—2009[S]. Beijing: China Standards Press, 2009.

- 
- [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, GUESTRIN 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.
- [28] 陈景云, 李东亮, 夏莺莺, 等. 梗丝分布形态对其掺配均匀度的影响[J]. 烟草科技, 2004, 37(8): 8-10.

---

CHEN J Y, LI D L, XIA Y Y, et al. Effects of cut stem size distribution on its blending uniformity in cigarette[J]. Tobacco Science & Technology, 2004, 37(8): 8-10.

[29] 陈士欢, 叶超, 罗登炎, 等. 基于 CT 探测成像的烟支中梗签形态识别及参数分析方法[J]. 烟草科技, 2026, 59(2): 44-55.

CHEN S H, YE C, LUO D Y, et al. Morphological identification and parameter analysis of tobacco stems in cigarettes based on CT detection and imaging[J]. Tobacco Science & Technology, 2026, 59(2): 44-55.

## Research on the influence and prediction of stem stick content and size on physical indexes of cigarettes

YE Zhenghong<sup>1</sup>, JI Huifu<sup>1</sup>, DUAN Kun<sup>2</sup>, YANG Qi<sup>2</sup>, WENG Jiakai<sup>1</sup>,

Gu Jiajia<sup>2</sup>, SHAO Huifang<sup>1</sup>, DING Meizhou<sup>2</sup>

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

2. Technology Center, China Tobacco He'nan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China

**Abstract:** [Objective] To investigate the effects of stem stick content and size on cigarette physical indicators and their intrinsic correlations. [Methods] Conventional cigarettes were used as research objects, and experimental gradients were set for stem stick content groups and size groups. The internal component content of cigarette samples was quantified by CT three-dimensional reconstruction technology. Correlation analysis and the weight determination method based on inter-criterion correlation (CRITIC) were employed to evaluate the influences of stem stick parameters on cigarette physical indicators, and an optimized eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) model was established to predict cigarette physical indicators. [Result] Larger stem stick size led to greater fluctuation in stem stick content in cigarettes. Stem stick content exhibited extremely significant positive correlations with cigarette weight, hardness and porosity, a significant positive correlation with circumference, and a significant negative correlation with open resistance. The physical indicators and stability of cigarettes were comprehensively optimal at a stem stick content of 4% when the air damper of the cigarette maker was fully closed. The optimized XGBoost model achieved coefficient of determination ( $R^2$ ) values of 0.9531, 0.9503 and 0.8753 for the prediction of weight, hardness and porosity, respectively. [Conclusion] A positive correlation exists between stem stick content and cigarette weight, hardness and porosity, which can be accurately predicted by the XGBoost

---

model. This study provides a scientific basis for the control of stem stick content in cigarettes.

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