



游敏,付金存,王远,等. 烟丝形态特性与细支卷烟填充密度均匀性关系研究[J]. 轻工学报,2025,40(1): 75-81.  
YOU M,FU J C,WANG Y,et al. Study on the relationships between morphological characteristics of cut tobacco and the uniformity of the filling density of slim cigarettes[J]. Journal of Light Industry,2025,40(1):75-81.  
DOI:10.12187/2025.01.009

# 烟丝形态特性与细支卷烟填充密度均匀性关系研究

游敏<sup>1</sup>,付金存<sup>1</sup>,王远<sup>1</sup>,王震<sup>2</sup>,陈思蒙<sup>1</sup>,李斌<sup>3</sup>,邓国栋<sup>3</sup>,吴恺<sup>1</sup>

1. 江苏中烟工业有限责任公司 技术中心,江苏 南京 210019;
2. 江苏中烟工业有限责任公司 淮阴卷烟厂,江苏 淮安 223001;
3. 中国烟草总公司郑州烟草研究院,河南 郑州 450001

**摘要:**为研究烟丝形态特性与细支卷烟填充密度均匀性的关系,测定烟丝的结构分布(长丝率、中丝率、短丝率等)、形态参数(长度、宽度、卷曲度)等指标,并根据前述数值对烟丝总体形态进行表征,采用逐步回归分析法建立烟丝形态特性与烟支填充密度均匀性系数之间的定量关系模型,通过求取模型最优解以寻求烟丝结构的最佳调控方向,并进行生产验证。结果表明:再造梗丝宽度设定为0.8~1.0 mm时,与实际生产符合性较好,且中丝率、短丝率的提高有利于提升再造梗丝的宽度符合性;烟丝的总长度、总宽度、总卷曲度、中丝率、短丝率与细支卷烟填充密度均匀性系数的回归方程系数达到极显著水平( $P<0.01$ ),再造梗丝掺配比例为2%~8%时,模型的线性度较好;依据模型最优解对烟丝结构进行生产调控,烟丝总长度降低了5.9%,总卷曲度降低了4.4%,中短丝率上升了57.9%,烟支填充密度均匀性提高了45.5%。

**关键词:**细支卷烟;填充密度均匀性;形态特性;烟丝结构分布;形态参数;定量关系

**中图分类号:**TS452 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2025)01-0075-07

## 0 引言

近年来,针对细支卷烟普遍存在的燃烧落头率高、空头率高、吸阻波动大等质量问题<sup>[1]</sup>,行业相关研究者基于烟丝形态,在烟丝结构调控及梗丝与叶丝的配伍性等方面进行了大量研究,为细支卷烟物理指标和烟气指标稳定性的提高作出了一定贡献。在烟丝形态参数(长度、宽度、卷曲度)表征方面,中

国烟草总公司郑州烟草研究院等<sup>[2-3]</sup>基于计算机视觉技术提取图像中烟丝的轮廓,使用迭代算法确定图形中的烟丝几何骨架,并结合几何和形态参数等维度实现烟丝长度、宽度、卷曲度的表征,一定程度上解决了人工测量时效偏低的问题。在烟丝形态特性(形状因子)表征方面,李晓等<sup>[4-5]</sup>将梗丝特征宽度与占比最高的梗丝宽度区间两项指标相结合来定义梗丝形状,并通过形态指数对梗丝的成丝状

收稿日期:2024-02-29;修回日期:2024-05-30;出版日期:2025-02-15

基金项目:中国烟草总公司“揭榜挂帅”项目(110202103006);江苏中烟工业有限责任公司科技创新项目(202201,H202421)

作者简介:游敏(1992—),男,江苏省泰州市人,江苏中烟工业有限责任公司工程师,主要研究方向为卷烟加工工艺。E-mail:youminjszygs@163.com

通信作者:吴恺(1989—),男,甘肃省陇南市人,江苏中烟工业有限责任公司工程师,博士,主要研究方向为卷烟加工工艺及数学建模。E-mail:525773457@qq.com

态进行了划分。在此基础上,何超等<sup>[6]</sup>利用分形维数与形态指数的比值来定量表征梗丝与叶丝形态之间的差异性,为细支卷烟烟丝结构分布及梗丝与叶丝适配性的优化奠定了理论基础。在烟丝结构调控方面,朱文魁等<sup>[7-10]</sup>分别采用定长切丝、柔性断丝、针辊式断丝技术降低叶丝的长度,提高了烟支填充密度分布的均匀性和卷制质量的稳定性。在梗丝配伍性上,许衡等<sup>[11-13]</sup>发现掺配丝状梗丝、降低梗丝的整丝率都有利于提高梗丝与叶丝的混合均匀度、烟支填充密度的均匀性及烟支物理指标和烟气指标的稳定性。中国烟草总公司郑州烟草研究院等<sup>[14]</sup>基于烟支密度呈现两端稠密中间均匀分布的特点,建立了一种全支卷烟烟支密度分布均匀性的评价方法,弥补了利用烟支中段分布均匀的密度数据对整体密度分布均匀性进行评价的不足。上述研究对于烟丝形态的表征及划分、全支卷烟烟支填充密度均匀性的表征都有涉及,并指出降低烟丝的长度或者掺配丝状梗丝,有利于提升烟支的填充密度均匀性,但丝状梗丝或者叶丝形态如何影响烟支填充密度均匀性的研究却鲜有报道。

鉴于此,考虑到实际生产牌号卷烟原料是各类型烟丝(叶丝、梗丝)混合形成的配方烟丝,且各类型烟丝都具备烟丝结构分布这一形态属性,本文拟测定各类型烟丝的结构分布,在准确提取其长度、宽度、卷曲度等形态参数指标的基础上进行总体形态表征,并采用逐步回归分析的方法,研究烟支填充密度均匀性与烟丝形态特性指标的定量关系,以期为细支卷烟生产过程中烟丝结构的调控方向提供支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

主要材料:南京牌细支卷烟配方叶丝、普通梗丝,江苏中烟工业有限责任公司;再造梗丝,江苏鑫源烟草薄片有限公司。普通梗丝的生产工艺采取行业通用流程<sup>[15]</sup>,再造梗丝的生产工艺流程参照文献<sup>[16]</sup>。

主要仪器:YQ-2型烟丝振动分选筛、MW3200型烟支密度检测仪、YDZ430A型填充值测定仪,郑州烟草研究院;CTW200型烟丝宽度测量仪,中国科学院安徽光学精密机械研究所。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 成品烟丝和烟支样品的制备** 制备不同切丝宽度的再造梗丝、普通梗丝、配方叶丝样品,其中梗丝宽度的控制通过调节压梗厚度和切丝厚度实现,压梗厚度代表梗丝的宽度,各成品烟支制备参数见表1。烟支制备所需辅材(三纸一棒)均保持一致,烟支圆周设计值为17 mm。

**1.2.2 烟丝形态特性的表征** 测定烟丝结构分布和形态参数等指标,并根据前述数值对烟丝总体形态进行表征。烟丝总体形态表征的目的在于综合考虑实际生产中一批配方叶丝、普通梗丝、再造梗丝的形态大小,方便寻求其与对应的实际生产烟支填充密度均匀性系数的定量关系。

首先,依据行业标准<sup>[17]</sup>利用烟丝振动分选筛测定烟丝结构分布情况,每个样品平行测试5组数值,求其平均值,获取长丝率( $X_1$ )、中丝率( $X_2$ )、短丝率( $X_3$ )、碎丝率( $X_4$ )的分布值。然后,依据参考文献<sup>[18-19]</sup>的方法,利用烟丝宽度测量仪测定分层筛网对应烟丝(配方叶丝、普通梗丝、再造梗丝)结构的形态参数,每个样品平行测3组数值,每组70根烟丝,求其平均值,获取长度( $l_i$ )、宽度( $d_i$ )、卷曲度( $j_i$ )的分布值。最后,以烟丝结构分布占比为权重,对各类烟丝进行总体形态表征,表征过程中总体形态参数的计算如下式所示:

$$\begin{bmatrix} L_i \\ D_i \\ J_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_i \\ d_i \\ j_i \end{bmatrix} [X_1 X_2 X_3 X_4]$$

表1 各成品烟支制备参数

Table 1 Preparation parameters of each finished cigarette

样品	烟丝类型	工艺条件		烟支单重设计值/g
		压梗厚度/mm	切丝宽度(厚度)/mm	
1 <sup>#</sup>	再造梗丝	0.60	0.10	0.46±0.05
2 <sup>#</sup>	再造梗丝	0.60	0.14	0.46±0.05
3 <sup>#</sup>	再造梗丝	1.00	0.10	0.46±0.05
4 <sup>#</sup>	再造梗丝	1.00	0.14	0.46±0.05
5 <sup>#</sup>	再造梗丝	0.80	0.12	0.46±0.05
6 <sup>#</sup>	普通梗丝	0.80	0.13	0.46±0.05
7 <sup>#</sup>	配方叶丝	—	0.90	0.53±0.05

注:—表示无该项指标。

式中, $L_i$ 、 $D_i$ 、 $J_i$ 表示不同烟丝总体长度、总体宽度、总体卷曲度, $i=1,2,3$ 分别代表配方叶丝、普通梗丝、再造梗丝。

总体形态表征中以烟丝总体形态指数(即烟丝面积与外接圆面积比值<sup>[5]</sup>)来描述烟丝的形态,其示意图如图1所示,具体计算过程如下式所示:

$$K = \frac{S_s}{S_c} = \frac{4D_i}{\pi L_i}$$

式中, $K$ 为烟丝总体形态指数,其值越小,表明越接近丝状; $S_s$ 为烟丝面积, $S_c = \pi\left(\frac{l}{2}\right)^2$ ,为烟丝外接圆面积。

**1.2.3 烟支填充密度的测定及其均匀性系数的表征** 利用烟支密度检测仪测量20支烟支轴向填充密度;烟支直径为5.41 mm,长度为97 mm,滤嘴长30 mm,开始位置0 mm,停止位置67 mm,密度校正系数0.87。通过轴向填充密度分布,计算烟支填充密度均匀性系数<sup>[14]</sup>,其计算过程如下式所示:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

式中, $A$ 为烟支填充密度矩阵, $B$ 为 $n$ 个烟支平均填充密度矩阵, $D$ 为烟支填充密度标准化矩阵; $n=20$ ,为烟支数量; $m=68$ ,为单根卷烟烟支密度测量分段的总数目。令 $b_k = \frac{\sum_{j=1}^n a_{kj}}{n}$ ;  $d_{kj} = \frac{a_{kj} - b_k}{b_k}$ ;  $\eta = \frac{\sum_{j=1}^n \eta_j}{m \times n}$ ,  $\eta_j =$

$\frac{\sum_{k=1}^m d_{kj}^2}{m}$ ;  $k=1,2,\dots,m$ ,  $j=1,2,\dots,n$ 。  $a_{kj}$ 为第 $j$ 支卷烟在第 $k$

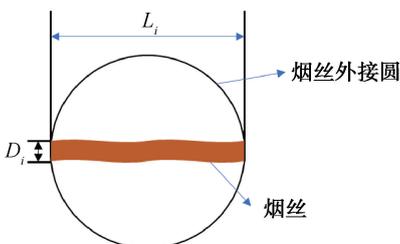


图1 烟丝总体形态指数示意图

Fig. 1 Diagram of cut tobacco morphological index

个单位处的密度值; $b_k$ 为第 $k$ 个单位处 $n$ 个烟支填充密度平均值; $d_{kj}$ 为第 $j$ 支卷烟在第 $k$ 个单位处的填充密度标准化系数值; $\eta_j$ 为第 $j$ 支卷烟的烟支密度分布均匀性系数; $\eta$ 为不同种类烟支填充密度均匀性系数,其值越小,表明烟支的填充密度均匀性越好。

**1.2.4 烟丝形态特性与烟支填充密度均匀性的定量关系模型建立及准确度分析** 1)模型构建。采用MATLAB软件对烟丝形态特性与烟支填充均匀性进行逐步回归分析。将总体形态指数 $x_4$ 及其本构参数(总体宽度 $x_1$ 、总体长度 $x_2$ 、总体卷曲度 $x_3$ )、烟丝结构分布(长丝率 $x_6$ 、中丝率 $x_7$ 、短丝率 $x_8$ 、碎丝率 $x_9$ )、生产工艺重点关注的填充值 $x_5$ 及整丝率 $x_{10}$ 、中短丝率 $x_{11}$ 共计11个指标作为自变量,烟支填充密度均匀性系数 $y$ 作为因变量,经数据标准化处理后,进行逐步回归分析,以建立烟丝总体形态参数与烟支填充密度均匀性系数之间的定量关系模型并确定目标函数。

2)模型准确度分析。将再造梗丝按照质量分数分别为2%、4%、6%、8%、10%的比例与配方叶丝进行掺配,制成烟支样品,编号依次为5-1、5-2、5-3、5-4、5-5,烟支单重设计值(0.53±0.05)g,其他参数同1.2.1,测定各烟支形态特性和烟支填充密度均匀性系数实测值,即将总体形态参数按照再造梗丝与配方叶丝的占比代入目标函数中进行加权计算,得到填充密度均匀性系数的理论计算值,将其与实测值进行比对,分析不同梗丝掺配比例下模型的准确度。

**1.2.5 模型最优解计算及验证** 1)模型最优解计算。对具有普适约束条件的线性目标函数进行最优化求解,即烟支填充密度均匀性系数取最小值时,得出方程理论最优解以寻求烟丝形态结构的最佳调控方向,具体求解过程如下:

$$y = f(x_\alpha) \quad \alpha = 1, 2, 3, \dots$$

$$\text{目标函数: } \min(y)$$

依据回归方程的准确性选择具体指标,约束条件包括物性参数之间固有关系、实际生产及相关行业规范标准等。参考卷烟工艺规范<sup>[15]</sup>,将生产烟丝的宽度范围设定为0.7~1.2 mm;根据物性参数之间的固有关系,中短丝率范围应为0~100%;总体长度范围的选取依据本实验具体情况;根据参考文献<sup>[19]</sup>对卷曲度的定义,其理论计算范围为1~ $\pi$ 。线

性方程的普适约束条件如下:

$$\begin{cases} y \geq 0 \\ 0 \leq x_7 + x_8 \leq 1 \\ 0 \leq x_7, x_8 \leq 1 \\ 1 \leq x_1 \leq 23 \\ 0.7 \leq x_2 \leq 1.2 \\ 1 \leq x_3 \leq \pi \end{cases}$$

2)模型验证。按照目标函数的最优解,采用柔性断丝和常规切丝技术对烟丝结构进行调控<sup>[9]</sup>,制成宽度符合性及填充均匀性较高的再造梗丝,并按一定比例与配方叶丝进行掺配,制成成品烟丝和烟支。测定柔性断丝和常规切丝各烟支的形态特性参数和填充密度均匀性系数,即实测值。将形态特性参数代入目标函数中进行加权计算,得到填充密度均匀性系数的理论计算值,将其与实测值进行对比,以验证模型的可靠性。

## 2 结果与分析

### 2.1 烟丝形态特性及填充密度均匀性系数表征过程与结果

2.1.1 表征过程 烟丝总体形态参数表征过程分析如图2所示。由图2可知,再造梗丝和普通梗丝的形态参数(长度、宽度、卷曲度)随其烟丝结构分布(长丝率、中丝率、短丝率、碎丝率)依次呈现减小趋势,且在中丝率或短丝率附近,与实际生产设定梗丝宽度(为0.8 mm)的符合性最高。对比这两种梗丝总体宽度数值(图中红点分布)和实际生产宽度设定值可知,在实际生产过程中,降低梗丝的长丝率、适当提高中短丝率有助于提高梗丝宽度的符

合性。与梗丝相比,叶丝的宽度符合性较好,除碎丝之外,其他均在±0.1 mm的允差范围之内。

2.1.2 表征结果 不同烟支样品烟丝形态特性及填充密度均匀性系数结果见表2。由表2可知,对比样品1#—5#可知,在再造梗丝实际生产过程中,压梗厚度为0.6 mm时,梗丝实际宽度与设定值差别较大,压梗厚度处于0.8~1.0 mm区间内时,宽度符合性较好。其原因可能是压辊间隙过细,更易破坏烟梗内部的纤维结构<sup>[20]</sup>,在同样经过多次回填、挤压和干燥环节之后,宽度符合性不高。对比样品5#和6#,在宽度控制方面,再造梗丝要优于普通梗丝,与普通梗丝生产(一次压梗和一次干燥环节)工艺相比,再造梗丝生产<sup>[16]</sup>主要经过三次挤压(一次压梗和两次挤压)、四次干燥,在多次回填料、挤压、干燥处理后,其宽度的符合性比普通梗丝好,但造碎程度略高。为进一步加强生产中普通梗丝的宽度控制,业内尝试通过增加辊切工序<sup>[20]</sup>及增加一次压梗和一次切梗等<sup>[21]</sup>手段来优化工艺流程,提高中短丝率,达到提高普通梗丝宽度符合性的目的,这与本文研究结果基本一致。

由填充密度均匀性系数可知,再造梗丝填充均匀性比普通梗丝好,原因是再造梗丝的总体形态指数比普通梗丝小,其整体丝状效果比普通梗丝好。对比样品5#、6#和7#,发现叶丝更接近丝状,理论上叶丝的烟支填充密度均匀性系数应最低,填充均匀性应最好,但实际上其填充均匀性低于再造梗丝,结合中短丝占比,发现这可能是因为再造梗丝的中短丝率比较高。综上所述,提升掺配梗丝的丝状性,提高梗丝、配方叶丝的中短丝率,有利于增强梗丝的宽度符合性及提高烟丝组分在烟支中的填充均匀性。

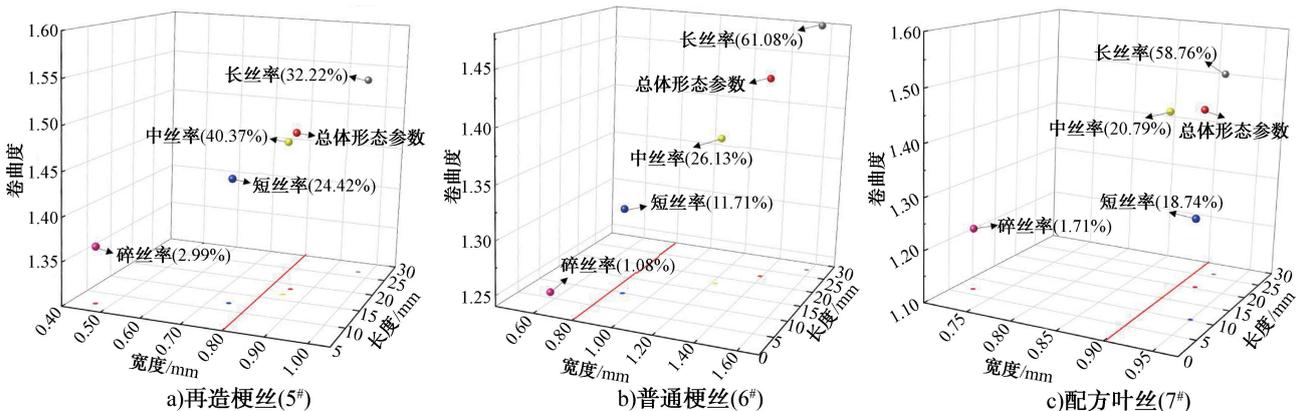


图2 烟丝总体形态参数表征过程分析

Fig. 2 Process analysis of overall morphological parameter characterization of cut tobacco

表2 不同烟支样品烟丝形态特性及填充密度均匀性系数结果  
Table 2 Characterization results of tobacco morphological characteristics and filling density uniformity coefficient of different cigarette samples

样品	结构分布				总体形态参数			宽度偏差/%	总体形态指数	填充密度均匀性系数
	长丝率/%	中丝率/%	短丝率/%	碎丝率/%	总体宽度/mm	总体长度/mm	总体卷曲度			
1 <sup>#</sup>	38.76	28.29	29.38	3.57	0.79	19.70	1.589 2	31.67	0.051 1	0.003 3
2 <sup>#</sup>	39.59	31.21	26.67	2.54	0.98	20.32	1.478 9	63.33	0.061 7	0.003 1
3 <sup>#</sup>	38.74	31.96	26.50	2.80	0.94	19.80	1.484 8	6.00	0.060 7	0.003 3
4 <sup>#</sup>	46.96	30.32	21.30	1.41	1.03	21.98	1.492 9	3.00	0.059 6	0.003 5
5 <sup>#</sup>	32.22	40.37	24.42	2.99	0.85	18.48	1.484 3	6.25	0.058 6	0.003 0
6 <sup>#</sup>	61.08	26.13	11.71	1.08	1.39	22.58	1.432 5	73.75	0.078 4	0.015 3
7 <sup>#</sup>	58.76	20.79	18.74	1.71	0.92	20.46	1.453 4	2.22	0.057 1	0.005 2

## 2.2 烟丝形态特性与烟支填充密度均匀性的关系分析

**2.2.1 定量关系模型构建结果** 从包含 11 项自变量的回归方程中,每次剔除 1 个最不显著的回归自变量,直至既无不显著变量可以从回归方程中剔除,又无显著变量可引入回归方程时为止<sup>[22]</sup>。最终保留的参数分别是总体长度、总体宽度、总体卷曲度、中丝率及短丝率。方程的拟合优度系数高达 0.99,系数显著性检验水平为 0.009 ( $P < 0.01$ ),表明回归方程具有显著的统计学意义。

将方程中的系数进行数据还原,得到烟支填充密度均匀性系数与烟丝形态特性的关系如下:

$$y = 0.0304x_1 - 0.0025x_2 + 0.0468x_3 - 0.0205x_7 - 0.0447x_8 - 0.0270$$

根据公式可知,烟丝越接近丝状(即烟丝长度越长、宽度越小),越需要提高中短丝率,才有利于提高烟支填充密度的均匀性,这与 2.1.2 中的分析结果相符,表明依据定量关系模型得出的分析结果正确可靠。

**2.2.2 不同梗丝掺配比例下模型的准确度分析** 不同梗丝掺配比例的烟支填充密度均匀性如图 3 所示。由图 3 和表 2 可知,再造梗丝和配方叶丝的烟支填充密度均匀性系数为 0.003 0~0.005 2,随着再造梗丝掺配比例的上升,烟支填充密度均匀性系数呈非线性下降趋势,当再造梗丝掺配比例为 2%~8%时,理论计算值与实测值偏差较小(不超过 10%),但掺配比例超过 8%后,偏差明显变大。其主要原因可能是烟丝总体形态参数、烟丝结构分布与烟支填充

均匀性之间呈一定的非线性关系,且在实际生产过程中,梗丝本身的掺配均匀性也是一个重要影响因素。

## 2.3 线性方程模型的最优解计算及验证结果

**2.3.1 最优解计算结果** 烟丝不同总体形态参数的动态最优解如图 4 所示。当烟丝总体宽度为 0.7 mm、总体长度为 23 mm、总体卷曲度为 2.306 0、中丝率为 0、短丝率为 1 时,烟支填充密度均匀性达到最优,见图 4 黑点分布。调整总体宽度的下限值和总体长度的上限值后,最优解依然取值于边界,见图 4 其余颜色点分布。不同总体形态参数分布下模型的动态最优解结果如下式所示。

$$y_{opt} = 0.0304x_{1,min} - 0.0025x_{2,max} + 0.0468x_{3,opt} - 0.0717$$

由图 4 可知,烟丝宽度越小、烟丝越长,即烟丝越接近丝状,并且卷曲度越大,烟支填充密度均匀

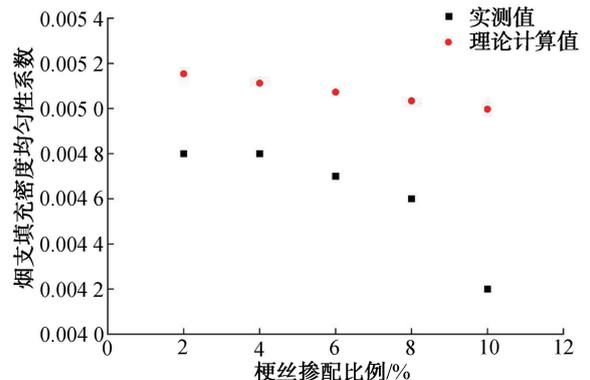


图3 不同梗丝掺配比例的烟支填充密度均匀性分析

Fig. 3 Analysis of the uniformity of filling density of cigarettes with different blending ratios of cut stems

性越高;烟丝越短、宽度不变或者相对变大,卷曲度越小,烟支填充均匀性也越高。上述模型中的理论动态最优解,可为细支卷烟实际生产过程中烟支填充密度均匀性的提高提供烟丝结构调控方向的指导。

**2.3.2 模型验证结果** 依据上述模型的最优解分析,对实际生产过程中的烟丝结构进行调控,对比不同切丝模式下烟支填充密度均匀性的提高程度,以验证本文构建模型的准确性,其结果见表3。由表3可知,与常规切丝相比,经柔性断丝调控烟丝结构后,烟丝的中短丝率得到提高,烟丝长度变短,宽度几乎不变,卷曲度变小,烟支填充均匀性得到提高,即烟丝总体长度降低了5.9%,总体卷曲度降低了4.4%,中短丝率上升了57.9%,烟支填充密度均匀性提高了45.5%。此结论与上述模型理论推导结果一致,且计算结果偏差均不超过

10%,进一步表明此模型具有较高的准确性,能够为卷烟制丝生产中烟丝结构调控提供支持。

### 3 结论

本文在提取各类型烟丝形态参数(宽度、长度、卷曲度)的基础上,结合烟丝结构分布特性对烟丝总体形态进行表征,通过表征过程及烟支填充均匀性的影响因素分析,建立了烟丝总体宽度、总体长度、总体卷曲度、中丝率、短丝率与烟支填充密度均匀性系数之间的定量关系模型,并进行模型最优解计算和生产实践验证。结果表明,再造梗丝宽度在0.8~1.0 mm范围内符合性更好,且与现有普通梗丝生产工艺相比,再造梗丝生产工艺更有利于提高梗丝的中短丝率及增强其宽度的符合性;烟丝的总体长度、总体宽度、总体卷曲度、中丝率、短丝率与细支卷烟填充密度均匀性系数的回归方程系数达到极显著水平( $P < 0.01$ ),再造梗丝掺配比例为2%~8%时,模型的线性度较好;依据模型最优解对烟丝结构进行生产调控,发现烟丝总体长度降低了5.9%,总体卷曲度降低了4.4%,中短丝率上升了57.9%,烟支填充密度均匀性提高了45.5%。本研究结果为细支卷烟生产中烟丝结构的调控提供了依据,后续研究中将结合烟支卷制物理指标和烟气化学指标进行多目标函数优化,进一步细化模型中烟丝结构分布区间,为细支卷烟精细化生产提供理论支持。

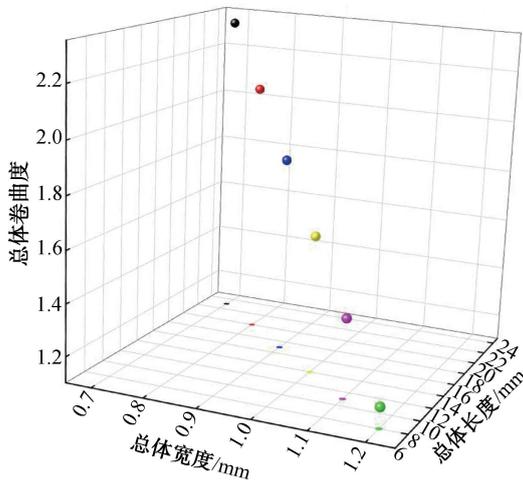


图4 烟丝不同总体形态参数的动态最优解

Fig. 4 Dynamic optimal solutions for different overall morphological parameters of cut tobacco

表3 不同切丝模式下烟支填充密度均匀性结果

Table 3 Analysis of the results of the uniformity of filling density of cigarettes under different cutting modes

切丝模式	总体宽度/ mm	总体长度/ mm	总体卷 曲度	中丝率/ %
常规切丝	0.92	21.70	1.520 8	12.17
柔性断丝	0.92	20.42	1.454 0	21.17
烟支填充密度均匀性系数				
切丝模式	短丝率/%	实测值	理论计算值	偏差/%
常规切丝	13.18	0.008 8	0.009 5	7.954 6
柔性断丝	18.85	0.004 8	0.005 2	8.333 3

### 参考文献:

[1] 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.

[2] 中国烟草总公司郑州烟草研究院. 一种卷烟烟丝卷曲度的定量表征方法;201810448701. X[P]. 2020-06-30.

[3] 张超凡,董浩,刘勇,等. 基于视觉形态特征检测的烟梗切丝质量分析[J]. 烟草科技,2017,50(1):67-73.

[4] 李晓,郑力文,何超,等. 基于计算机视觉技术的梗丝形态表征方法[J]. 烟草科技,2016,49(7):84-90.

[5] 李晓,何超,郑力文,等. 基于图像处理梗丝形态指数模型的建立[J]. 烟草科技,2017,50(9):76-83.

[6] 何超,李晓,晋照普,等. 基于分形维数的梗丝形态差异性评价方法[J]. 中国烟草学报,2019,25(2):21-28.

[7] 朱文魁,张永川,向光,等. 片烟成丝模式对烟丝结构与

- 卷制质量的影响[J].烟草科技,2012,45(5):10-12.
- [8] 朱成文,郝喜良,沈晓晨,等.定长切丝技术在细支卷烟生产中的应用[J].烟草科技,2019,52(3):86-91.
- [9] 王震,游敏,李青,等.柔性断丝技术在细支卷烟生产中的应用[J].烟草科技,2021,54(10):63-69.
- [10] 郭华诚,胡仙妹,高尊华,等.针辊式烟丝结构调控设备参数变化对细支烟卷制品质的影响[J].轻工学报,2024,39(2):122-126.
- [11] 许衡,姚二民.丝状梗丝在卷烟中的应用效果研究[J].轻工科技,2016,32(5):119-121.
- [12] 丁美宙,刘欢,刘强,等.梗丝形态对细支卷烟加工及综合质量的影响[J].食品与机械,2017,33(9):197-202.
- [13] 廖晓祥,赵云川,邹泉,等.梗丝形态对细支卷烟品质稳定性的影响[J].烟草科技,2016,49(10):74-80.
- [14] 中国烟草总公司郑州烟草研究院,河南中烟工业有限责任公司.一种烟支密度分布均匀性的定量评价方法:201710350791.4[P].2017-08-22.
- [15] 徐维华,罗登山,雷樟泉,等.卷烟工艺规范[M].北京:中国轻工业出版社,2016:57.
- [16] 姚政,盛世杰,殷瑜东,等.再造梗丝回填工艺参数对加料均匀性的影响[J].造纸科学与技术,2023,42(6):24-27.
- [17] 国家烟草专卖局.烟草整丝率、碎丝率的测定方法:YC/T 178—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [18] LIU J, CHEN Z H, ZHAO J J, et al. Measurement method of the width of the strands of cut tobacco based on digital image processing [J]. Beiträge Zur Tabakforschung International, 2019, 28(6): 278-285.
- [19] 李旭.烟丝冷却物理特性变化规律研究[D].郑州:中国烟草总公司郑州烟草研究院,2018.
- [20] 朱波,单凯,关欣,等.辊切梗丝成丝工艺研究[J].烟草科技,2022,55(1):84-90.
- [21] 刘民昌,刘洋,文武,等.成丝工艺对梗丝物理质量的影响[J].烟草科技,2019,52(10):79-84.
- [22] 刘泽,何邦华,林文强,等.片烟形态、结构与烟丝结构的关系[J].烟草科技,2020,53(11):83-88,102.

## Study on the relationships between morphological characteristics of cut tobacco and the uniformity of the filling density of slim cigarettes

YOU Min<sup>1</sup>, FU Jincun<sup>1</sup>, WANG Yuan<sup>1</sup>, WANG Zhen<sup>2</sup>, CHEN Simeng<sup>1</sup>, LI Bin<sup>3</sup>, DENG Guodong<sup>3</sup>, WU Kai<sup>1</sup>

1. Technology Center, China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Nanjing 210019, China;

2. Huaiyin Cigarette Factory, China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Huai'an 223001, China;

3. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China

**Abstract:** In order to study the relationship between the morphological characteristics of cut tobacco and the filling density uniformity of slim cigarettes, the structural distribution (long-filament ratio, medium-filament ratio, short-filament ratio, etc.) and morphological parameters (length, width, curl) of cut tobacco were measured. The overall morphology of cut tobacco was characterized based on the above-mentioned values. A quantitative relationship model between the morphological characteristics of cut tobacco and the filling density uniformity coefficient of cigarettes was established using stepwise regression analysis. The optimal solution of the model was obtained to seek the best control direction of the cut tobacco structure, and production verification was carried out. The results showed that when the width of the reconstituted cut stems was 0.8~1.0 mm, it was in good conformity with the actual production, and the increase of the short and medium cut tobacco rate was conducive to improving the width conformity of the reconstituted cut stem. The significance of the multiple stepwise regression equation of the overall length, overall width, overall curl, medium cut rate, short cut rate and thin cigarette filling density uniformity coefficient index reached an extremely significant level ( $P < 0.01$ ), when the proportion of reconstituted cut stems was between 2% and 8%, the linearity of the model was better. The cut tobacco structure was adjusted in production based on the optimal solution of the model, the overall length of the cut tobacco was reduced by 5.9%, the overall curl was reduced by 4.4%, the rate of medium and short tobacco threads increased by 57.9%, and the uniformity of cigarette filling density was improved by 45.5%.

**Key words:** slim cigarette; fill density uniformity; morphological characteristic; tobacco structure distribution; morphological parameter; quantitative relationship