

# 叶片结构与叶丝结构关系模型研究

余娜<sup>1</sup>, 夏艺丰<sup>1</sup>, 朱文魁<sup>2</sup>, 罗登炎<sup>3</sup>, 李华杰<sup>3</sup>, 洪伟龄<sup>3</sup>

(1. 上海烟草集团有限责任公司 上海卷烟厂, 上海 200082;

2. 中国烟草总公司 郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001;

3. 福建中烟工业公司 技术中心, 福建 厦门 361004)

**摘要:**采用 PYMJY 叶面积仪测量烟叶叶片面积, 根据叶片结构对叶丝结构的影响规律, 建立了叶片结构与叶丝结构关系模型. 结果表明: 该模型能较好地预测不同结构叶片切后叶丝尺寸分布, 预测自然状态和掺配叶片切后叶丝尺寸分布的计算值与实测值相关系数分别为 0.995 0 和 0.998 1; 利用该模型可为优化打叶过程片烟尺寸分布、提升打叶复烤环节原料保障水平提供有效途径.

**关键词:** 叶片结构; 叶丝结构; 关系模型

**中图分类号:** TS452 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.2095-476X.2013.03.006

## Study on the model of relation of tobacco lamina structure and cut tobacco structure

YU Na<sup>1</sup>, XIA Yi-feng<sup>1</sup>, ZHU Wen-kui<sup>2</sup>, LUO Deng-yan<sup>3</sup>, LI Hua-jie<sup>3</sup>, HONG Wei-ling<sup>3</sup>

(1. Shanghai Cigarette Factory, Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 200082, China;

2. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China;

3. Technology Center of China Tobacco Fujian Industrial Corporation, Xiamen 361004, China)

**Abstract:** Based on equality in area before and after tobacco cutting, using PYMJY platometer to measure tobacco lamina area and according to the law of cut tobacco structure influenced by tobacco lamina structure, the model of relation between tobacco lamina with cut tobacco structure was set up. The results showed: The model could predict preferably cut tobacco distribution from different tobacco lamina, the correlation coefficient of predicted and measured value was respectively 0.995 0 from natural tobacco lamina and 0.998 1 from mixed tobacco lamina. The model could support method conducting on optimizing cut lamina structure in threshing re-drying product.

**Key words:** tobacco lamina structure; cut tobacco structure; model of relation

## 0 引言

打叶复烤是将烟叶的叶、梗进行分离和复烤而

得到一定尺寸分布的片烟原料的工艺. 烟丝结构是影响卷烟物理指标的主要因素, 而烟丝结构与成丝前来料片烟结构密切相关, 因此从打叶复烤环节优

收稿日期: 2013-03-01

基金项目: 国家烟草专卖局标准项目(国烟科[2010]165号)

作者简介: 余娜(1986—), 女, 四川省内江市人, 上海卷烟厂助理工程师, 硕士, 主要研究方向为烟草工艺.

通信作者: 朱文魁(1979—), 男, 河南省永城市人, 郑州烟草研究院工程师, 博士, 主要研究方向为烟草工艺技术.

化输出的原料片烟结构,是提升原料保障水平的有效途径之一.明确叶片结构与叶丝结构的关系,是打后片烟结构优化的关键.近年来,国内外学者对叶片结构与叶丝结构的关系开展了大量研究.W. Jakob Stephen<sup>[1]</sup>发现,3目以上的叶丝主要来源于9.525 mm之上的叶片.Monty White<sup>[2]</sup>发现增加6.35 mm以下叶片的比例会导致1.3 mm以下烟丝比例的增加.袁行思<sup>[3]</sup>发现,当叶片尺寸在5 mm见方以下时,随着尺寸的缩小,产生1.5 mm以下短丝的比例增长极快,当叶片尺寸在10~5 mm见方范围时,增长速度有所减缓,大于15 mm见方以后更加趋于平缓,特别是0.8 mm以下的短丝变化极小.目前,文献所报道关于叶片结构与叶丝结构的关系多为定性研究.本文拟通过实验,在一定切丝条件下,采用图像分析法测量片烟面积,研究单等级片烟结构对叶丝结构的影响规律,建立叶片结构与叶丝结构的关系模型,以期打叶复烤优化叶片结构进而获得良好的卷烟物理指标提供依据.

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

2009年龙岩C2F片烟,2009年楚雄C3F片烟.

PYMJY叶面积仪(标偏5.06%),昆明船舶设备集团有限公司产;Retsch AS400筛分仪,德国Retsch公司产,筛网孔径为5.60 mm,4.75 mm,4.00 mm,3.35 mm,2.80 mm,2.00 mm,1.40 mm和0.70 mm,筛分条件<sup>[4]</sup>为处理量100 g,转速230 r/min,时间4 min;PL3001—S型电子天平(感量0.01 g),瑞士Mettler公司产;RH460/GD—710—D恒温恒湿箱,澳大利亚PTY公司产;LC—233烘箱,Espec环境仪器(上海)有限公司产;QS—II微型切丝机,郑州天宏自动化技术有限公司产.

### 1.2 方法

在生产线上取松散回潮后龙岩C2F片烟4 kg,置于恒温恒湿室( $RH = 65\%$ ,  $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ )平衡48 h,待含水率达14%并稳定后用PYMJY叶面积仪测量每片叶片面积,将叶片按面积区间500~1 000 mm<sup>2</sup>,1 000~1 500 mm<sup>2</sup>,1 500~2 000 mm<sup>2</sup>,2 000~2 500 mm<sup>2</sup>,2 500~3 000 mm<sup>2</sup>进行分组,待每个面积区间叶片质量均达到400 g后,每个区间用四分法得到100 g样品,共5个样品,对5个样品分别测量面积后在微型切丝机上进行切丝,切后叶丝置于

恒温恒湿箱( $RH = 60\%$ ,  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )48 h,待含水率达12%并稳定后,进行筛分.

将楚雄C3F片烟400 kg在实验线松散回潮,其中100 kg作为自然状态叶片,用质量控制振动筛对其余300 kg叶片进行筛分,筛分成>25.4 mm的叶片80 kg和<25.4 mm的叶片220 kg 2部分,将<25.4 mm和>25.4 mm叶片分别按1:1和7:3进行掺配,将<25.4 mm叶片、1:1掺配叶片、7:3掺配叶片、自然状态叶片各100 kg分别在实验线上切丝,每次取片烟400 g为1个样品,共3个样品,切后叶丝100 g为1个样品,共3个样品.

## 2 叶片结构与叶丝结构模型推导

以某特定结构的叶丝为例,将该叶丝按尺寸从小到大排列,叶丝频数与其尺寸的对应关系见图1.

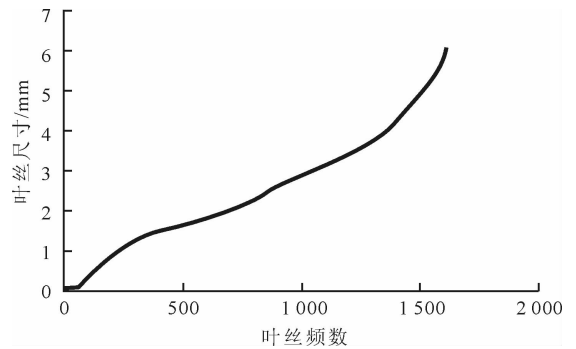


图1 叶丝频数与尺寸关系

由图1可知,叶丝频数与其尺寸的关系曲线近似为幂函数形式,若假定叶丝频数满足

$$r_i = ai^{\frac{1}{m}}$$

式中, $i$ 为频数; $r_i$ 为叶丝对应尺寸; $a, m$ 为常数.采用多批叶丝样品进行检验,结果也表明叶丝频数与尺寸关系可用上述幂函数表示.

对叶丝尺寸进行积分,乘以叶丝宽度(切丝宽度一定),则可得到叶片累积面积

$$S = \frac{ml}{a^m(1+m)} r_i^{1+m}$$

式中, $S$ 为叶丝尺寸为 $r_i$ 的来料叶片累积面积, $l$ 为叶丝宽度.当 $r_i$ 为叶丝最大尺寸时,则来料叶片总面积

$$S_T = \frac{ml}{a^m(1+m)} r_{\max}^{1+m}$$

其中, $r_{\max}$ 为叶丝最大尺寸.

对于单等级片烟,片烟密度 $\rho$ 与厚度 $h$ 视为常量,则叶丝某一尺寸 $r_i$ 下的累积质量百分比为

$$y = \frac{M}{M_T} = \frac{S\rho h}{S_T\rho h} = \left(\frac{r_i}{r_{\max}}\right)^{1+m}$$

化为对数形式,有

$$\lg y = n \lg r_i - n \lg r_{\max} \quad (1)$$

其中,  $n, r_{\max}$  可定义为叶丝结构特性参数.

B. Mandelbrot 等<sup>[5]</sup> 根据分形理论指出,多分散破碎颗粒系统的粒度分布如果是分形的,则应满足

$$N(>x) = Cx^{-D}$$

式中,  $D$  为分维数,  $N$  代表颗粒等效直径  $> x$  的个数,  $x$  为某一确定的等效直径,  $C$  为比例常数.

那么,颗粒密度函数为

$$n(x) = \lim_{\delta x \rightarrow 0} - \frac{\Delta N(>x)}{\Delta x} = - \frac{dN(>x)}{dx}$$

其中,  $n(x)$  是粒度在  $x$  到  $x + dx$  区间的颗粒数.

假定打后烟叶的片烟某一确定的等效直径为  $x$ , 面积形状系数为  $C_s$ , 则等效直径  $> x$  的累积面积为

$$F(>x) = \int_r^{R_{\max}} C_s x^2 n(x) dx = C_s C \frac{D}{2-D} (X_{\max}^{2-D} - x^{2-D})$$

式中,  $X_{\max}$  为最大尺寸.

片烟累积总面积为

$$F_T = C_s C \frac{D}{2-D} X_{\max}^{2-D}$$

等效直径小于尺寸  $x$  的累积面积百分比

$$f = \frac{F(<x)}{F_T} = \left(\frac{x}{X_{\max}}\right)^{2-D} = \left(\frac{s_i}{s_{\max}}\right)^{\frac{2-D}{2}} \quad (2)$$

将式(2)用对数形式表示为

$$\lg f = v \lg s_i - v \lg s_{\max} \quad (3)$$

式中,  $F(<x)$  为小于面积  $x$  的累积面积;  $s_i$  为等效直径  $x$  所对应的片烟面积;  $f$  为片烟面积小于  $s_i$  的累积百分比;  $s_{\max}$  为片烟最大面积;  $v, s_{\max}$  可定义为

片烟结构特性参数.

由于片烟形态的不规则,且成丝过程存在造碎及折叠、跑片等诸多因素影响,难以直接从几何学角度进一步推导出片烟结构与成丝后叶丝结构的关系,因此,本文拟通过关联叶丝、片烟结构特性参数  $n, r_{\max}, v, s_{\max}$  建立片烟结构与成丝后叶丝结构的相关关系.

### 3 结果与讨论

#### 3.1 叶片结构与叶丝结构关系模型建立

C2F 的 5 个区间叶片结构分别在微型切丝机切丝,叶丝测试结果见表 1.

将各面积区间叶片测试结果带入方程(3)求出  $v, s_{\max}$ , 根据式(1)可求出对应叶丝结构特性参数  $n, r_{\max}$ , 结果见表 2. 对表 2 的数据进行分析, 结果如图 2 所示.

从图 2 中可发现,通过对 C2F 叶片切丝数据进行拟合,满足以下关系

$$r_{\max} = a_1 s_{\max}^{b_1} \quad (4)$$

$$n = a_2 (s_{\max} v)^{b_2} \quad (5)$$

式中,  $a_1, a_2, b_1, b_2$  为反映片烟与叶丝结构特性参数关系的公共参量,在特性片烟原料及特定切丝条件下,其为定值.

$$\begin{cases} \lg y = n \lg r_i - n \lg r_{\max} \\ \lg f = v \lg s_i - v \lg s_{\max} \\ r_{\max} = a_1 s_{\max}^{b_1} \\ n = a_2 (s_{\max} v)^{b_2} \end{cases}$$

对特定片烟原料,通过测定该原料 2 个面积区间片烟(由于试验条件和设备的限制,上述 2 个区间定为  $> 25.4 \text{ mm}$  和  $< 25.4 \text{ mm}$ ) 的  $s_{\max}, v$  及 2 个区间切丝后叶丝的  $r_{\max}, n$ , 由式(4)(5)可确定公共参数

表 1 各面积区间片烟切后叶丝筛下累积质量百分比

%

筛网孔径/mm	500 ~ 1 000 mm <sup>2</sup>	500 ~ 1 500 mm <sup>2</sup>	500 ~ 2 000 mm <sup>2</sup>	500 ~ 2 500 mm <sup>2</sup>	500 ~ 3 000 mm <sup>2</sup>
5.60	95.07	91.54	88.51	84.63	80.65
4.75	90.48	84.21	77.11	72.96	69.19
4.00	74.79	67.16	60.04	56.17	52.57
3.35	71.58	63.76	57.00	53.03	49.46
2.80	64.11	56.52	50.40	46.71	43.33
2.00	44.83	38.60	34.15	31.23	28.76
1.40	20.27	17.55	15.65	14.28	13.02
0.70	2.36	1.92	1.85	1.73	1.51

表2 C2F 不同面积区间切丝特性参数

面积区间 /mm <sup>2</sup>	<i>v</i>	<i>S</i> <sub>max</sub> /mm <sup>2</sup>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>n</i>	<i>R</i> <sub>max</sub> /mm	<i>R</i> <sup>2</sup>
500 ~ 1 000	2.956 8	965.79	0.926 2	0.73	6.00	1
500 ~ 1 500	2.471 3	1 350.01	0.991 9	0.84	6.22	1
500 ~ 2 000	1.946 9	1 882.54	0.994 5	0.92	6.39	1
500 ~ 2 500	1.813 8	2 307.89	0.996 5	0.97	6.65	1
500 ~ 3 000	1.708 8	2 847.55	0.998 2	1.00	6.94	1

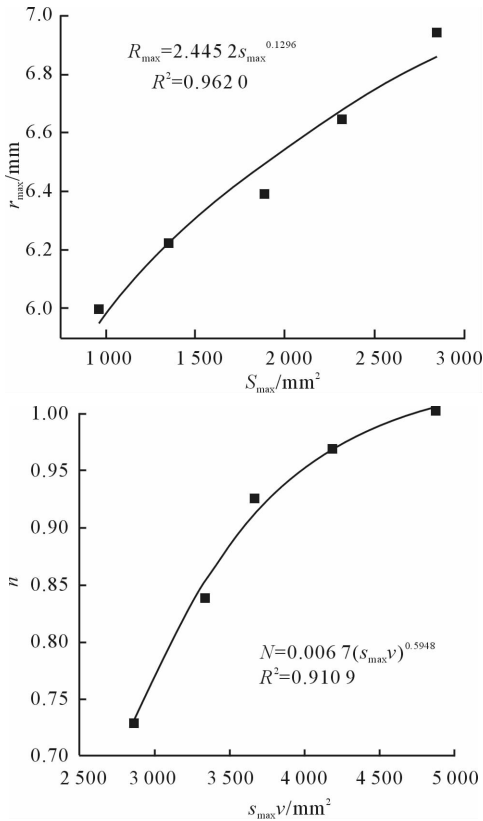


图2 C2F 各面积区间叶片切丝特性参数之间关系

$a_1, a_2, b_1, b_2$ ; 对该原料其他任意区间片烟, 可以根据其片烟结构特征参数, 求取叶丝结构特征参数, 进而确定其尺寸分布.

### 3.2 模型验证

楚雄 C3F 片烟自然状态叶片结构测量结果如图 3 所示. 1:1 掺配叶片是指由叶片结构 < 25.4 mm 与 > 25.4 mm 的叶片组成, 其比例为 1:1. 其中 7:3 掺配叶片指由叶片结构 < 25.4 mm 与 > 25.4 mm 的叶片组成, 其比例为 7:3. 不同叶片结构切丝后测试结果见表 3.

将 < 25.4 mm, 1:1 掺配叶片求解得相关参数, 将 7:3 掺配叶片与自然状态叶片作为验证样品. < 25.4 mm, 1:1 掺配叶片样品的测试数据带入相关方程式, 求出 C3F 切丝特性参数(见表 4).

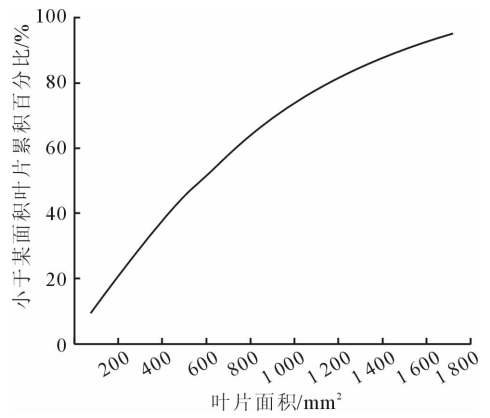


图3 C3F 叶片面积分布

表3 不同叶片结构切后叶丝筛下

筛网孔径/mm	累积质量百分比			自然状态叶片 %
	< 25.4 mm	1:1 掺配叶片	7:3 掺配叶片	
5.60	90.97	79.63	89.16	77.08
4.75	84.91	71.54	82.69	68.49
4.00	74.55	60.34	73.29	57.93
3.35	65.67	51.58	63.89	48.41
2.80	56.46	43.79	53.23	40.10
2.00	37.95	28.29	35.72	25.80
1.40	16.87	12.23	15.11	10.98
0.70	1.73	1.37	1.51	1.36

表4 C3F 不同面积区间对应叶丝特性参数

不同结构片烟	<i>v</i>	<i>s</i> <sub>max</sub>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>n</i>	<i>r</i> <sub>max</sub>	<i>R</i> <sup>2</sup>
< 25.4 mm	0.843 8	901.25	0.972 4	0.647 6	6.33	0.986 9
1:1 掺配片烟	0.827 6	1 600.31	0.961 2	0.820 2	7.31	0.991 8

由自然状态叶片、7:3 掺配叶片可求出对应叶丝尺寸分布, 将计算值与实测值进行比较, 结果如图 4 所示. 从图中可看到, 用模型求出的自然状态叶片和掺配叶片切后叶丝尺寸分布计算值与实测值吻合程度较好, 相关系数分别为 0.995 0 和 0.998 1, 表明模型能较好地预测不同结构叶片切后叶丝尺寸分布.

## 4 实例分析

利用该模型, 可解析得各范围尺寸片烟成丝后叶丝尺寸分布. 以 C3F 1:1 掺配叶片原料为例, 根据所测叶片面积, 将叶片按质量比划分为 5 个区间, 计算分析 5 个不同面积区间片烟切后叶丝筛下累积质量分布, 结果见表 5.

由模型计算得到的累积分布, 进一步分析了每

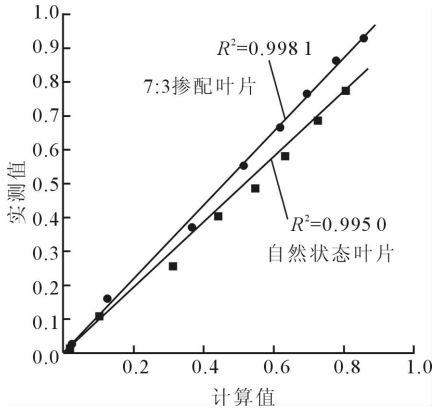


图4 C3F 自然状态叶片、7:3 掺配叶片切后叶丝尺寸分布计算值与实测值比较

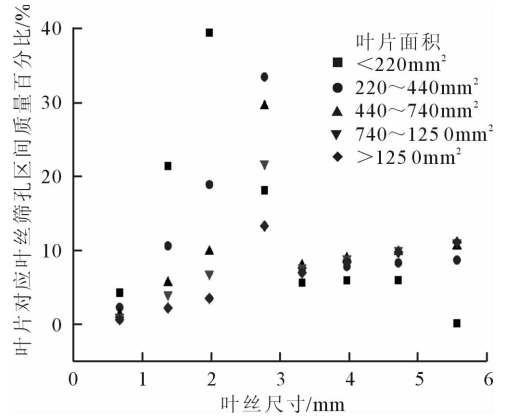


图5 叶丝尺寸分布与叶片面积的关系

一面积区间叶片切后叶丝的分布情况,结果如图5所示.从图5可见叶片结构对叶丝结构的影响规律.叶丝结构分布在2.00 ~ 4.75 mm 有利于获得理想的卷烟物理指标及稳定性<sup>[6]</sup>,由表5及图5可知,可适当增加220 ~ 740 mm<sup>2</sup>的叶片比例以获得在此尺寸范围较大的叶丝比例;< 1.4 mm 的叶丝比例越大,端部落丝量和空头率也越大<sup>[7]</sup>,因此,可适当减少 < 220 mm<sup>2</sup>的叶片比例.

表5 1:1 掺配叶片各部分所对应切后叶丝累积质量百分比 %

筛网孔径 /mm	< 220 /mm <sup>2</sup>	220 ~ 440 /mm <sup>2</sup>	440 ~ 740 /mm <sup>2</sup>	740 ~ 1 250 /mm <sup>2</sup>	> 1250 /mm <sup>2</sup>
5.60	100.00	96.24	82.69	70.11	54.80
4.75	100.00	87.70	72.22	59.17	43.82
4.00	94.16	79.53	62.52	49.29	34.21
3.35	88.35	71.84	53.68	40.54	25.97
2.80	82.84	64.77	45.83	32.98	19.12
2.00	64.81	31.41	16.40	11.39	5.93
1.40	25.46	12.61	6.66	4.72	2.55
0.70	4.14	2.14	1.16	0.85	0.49

通过对叶片面积的测量,利用叶片结构与叶丝结构关系模型预测叶片对应叶丝的尺寸分布,可为制定在线叶片结构检测标准提供依据.监测叶片结构的波动情况,对保证成丝到卷包过程中叶丝结构所涉及物理指标合格具有重要意义,可根据一定尺寸范围的叶丝含量选择增减相应大小叶片比例,为打叶复烤优化叶片结构提供依据.

### 5 结论

本文采用PYMJY叶面积仪测量烟叶叶片面积,根据叶片结构对叶丝结构的影响规律,建立了叶片结构与叶丝结构关系模型.该模型能较好预测不同结构叶片切后叶丝尺寸分布,预测自然状态和掺配叶片切后叶丝尺寸分布计算值与实测值相关系数分别为0.995 0和0.998 1.该模型可得到完整叶片各部分所产生的叶丝尺寸分布,从而建立了叶片结构与叶丝结构的定量关系,为打叶复烤上优化叶片结构以获得良好的卷烟物理指标提供依据.

### 参考文献:

- [1] Jakob Stephen W. Strip cut filler optimization program [EB/OL]. (2002-02-01) [2013-02-05]. <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/lww69a00>.
- [2] Monty White. Translation of uncut to cut particle size [EB/OL]. (2002-02-01) [2013-02-05]. <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/cac14d00>.
- [3] 袁行思.关于卷烟生产原料消耗问题的解析[J].烟草科技,1991(2):7.
- [4] 申晓锋,李华杰,李善莲,等.烟丝结构表征方法研究[J].中国烟草学报,2010,16(2):20.
- [5] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature [M]. New York:W H Freeman and Company,1982.
- [6] 堵劲松,申晓锋,李跃锋,等.烟丝结构对卷烟物理指标的影响[J].烟草科技,2008(8):8.
- [7] 李善莲,申晓锋,李华杰,等.烟丝结构对卷烟端部落丝量的影响[J].烟草科技,2010(2):5.