



王鹏飞,李全胜,陈孟起,等. 微波膨胀烟梗制丝关键工艺参数对梗丝加工质量的影响[J]. 轻工学报,2021, 36(6):55-64.

WANG P F, LI Q S, CHEN M Q, et al. Effects of key technological parameters of microwave expanded tobacco stem on the processing quality of stem[J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(6):55-64.

DOI:10.12187/2021.06.007

中图分类号:TS43 文献标识码:A 文章编号:2096-1553(2021)06-0055-10

# 微波膨胀烟梗制丝关键工艺参数对梗丝加工质量的影响

## Effects of key technological parameters of microwave expanded tobacco stem on the processing quality of stem

王鹏飞<sup>1</sup>,李全胜<sup>1</sup>,陈孟起<sup>1</sup>,白俊磊<sup>1</sup>,赵永振<sup>1</sup>,丁美宙<sup>1</sup>,  
李晓<sup>2</sup>,周利军<sup>3</sup>

WANG Pengfei<sup>1</sup>, LI Quansheng<sup>1</sup>, CHEN Mengqi<sup>1</sup>, BAI Junlei<sup>1</sup>, ZHAO Yongzhen<sup>1</sup>,  
DING Meizhou<sup>1</sup>, LI Xiao<sup>2</sup>, ZHOU Lijun<sup>3</sup>

1. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心, 河南 郑州 450000;
2. 郑州轻工业大学 食品科学与工程学院, 河南 郑州 450001;
3. 山东中烟工业有限责任公司 青岛卷烟厂, 山东 青岛 266021

1. Technology Center, China Tobacco He'nan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;
2. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
3. Qingdao Cigarette Factory, China Tobacco Shandong Industrial Co., Ltd., Qingdao 266021, China

**摘要:**为提升烟梗利用率及梗丝加工质量,研究了微波膨胀烟梗制丝加工过程中烟梗分选、蒸汽微波协同膨胀、膨胀烟梗回潮、烟梗复切、气流干燥等关键工序中工艺参数对梗丝加工质量的影响,得到优选的工艺参数为:1)烟梗分选工序中选择长度 $\geq 2$  cm的短梗和直径 $\geq 3.0$  mm的细梗;2)蒸汽微波协同膨胀工序中物料流量240~270 kg/h,过热蒸汽流量950~1050 kg/h,腔体温度148~151 ℃,微波功率36~39 kW;3)膨胀烟梗回潮工序中水洗时间 $> 50$  s,回潮后含水率在30.5%左右,回潮后贮存时间 $\geq 4$  h;4)烟梗复切工序中采用前高后低的组合方式,切片厚度0.60 mm,切丝宽度0.30 mm,刀门压力30~35 kN,刀辊转速400~450 r/min;5)梗丝气流干燥工序中物料流量150 kg/h,工艺气体流量6500 m<sup>3</sup>/h,温度196 ℃.在该制丝工艺条件下加工的梗丝宽度与叶丝更接近,梗丝结构更加均匀,梗丝综合质量较好.

**关键词:**  
微波膨胀烟梗;  
制丝工艺;  
加工质量

**Key words:**  
microwave expanded  
tobacco stem;  
silk-making process;  
processing quality

收稿日期:2021-05-25

基金项目:中国烟草总公司重点实验室项目(110201903005)

作者简介:王鹏飞(1987—),男,河南省中牟县人,河南中烟工业有限责任公司工程师,主要研究方向为卷烟产品设计.

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.

**Abstract:** In order to improve the utilization rate of tobacco stems and the processing quality of stem shreds, the processing parameters of tobacco stems sorting, steam and microwave co-expansion, expanded tobacco stem remoisture, tobacco stem recutting, airflow drying and other key process parameters in the processing of microwave expanded tobacco stem shreds were studied. The optimal process parameters were as follows: tobacco stem sorting process selected short stems with a length of  $\geq 2$  cm and fine stems with a diameter of  $\geq 3.0$  mm. The material flow rate in the steam-microwave co-expansion process was set at 240 ~ 270 kg/h, the superheated steam flow rate was 950 ~ 1050 kg/h, the cavity temperature was 148 ~ 151 °C, and the microwave power was between 36 ~ 39 kW. When the water washing time in the moisture regaining process of expanded tobacco stems was greater than 50 s, the moisture content of Conditions was 30.5% The storage time after conditioning was not less than 4 hours. The combination method of front high and low back was used in the re-cutting process of tobacco stems. The slice thickness was 0.60 mm, the cutting width was 0.30 mm, the knife door pressure was 30 ~ 35 kN, and the knife roller rotation speed was within the range of 400 ~ 450 r/min. The material flow rate was 150 kg/h, the process gas flow rate was 6500 m<sup>3</sup>/h, and the temperature was 196 °C. The width of the stalk processed by the silk-making process was closer to that of the leaf stalk, the stalk structure was more uniform, and the overall quality of the stalk was better.

## 0 引言

烟梗作为卷烟配方中的重要组分,对卷烟的物理指标和感官品质均有显著影响。传统方式制得的梗丝具有较高的填充值和燃烧性,虽然对降低卷烟成本、控制焦油含量、降低危害性非常重要<sup>[1]</sup>,但同时也存在杂气较重、刺激性较强等缺点,在卷烟应用中受到了一定限制<sup>[2]</sup>。微波因其加热效率高、内容可选、过程易控等特点而被广泛应用于纸张、木材等的干燥<sup>[3-5]</sup>,近年来,利用微波对烟梗进行膨胀在卷烟中也得到了广泛应用。李航等<sup>[6]</sup>研究了复切微波膨胀梗丝的吸附特性,发现该法制得的梗丝具有良好的吸附特性,有利于携带水溶性和醇溶性特征风格功能香料进入叶组发挥作用,可作为发烟剂载体应用于生产新型烟草产品。刘洋等<sup>[7]</sup>将微波膨胀烟梗丝直接卷制成滤棒,将其作为卷烟复合滤棒的料棒部分与纯醋纤滤棒进行了应用对比评价,发现微波膨胀烟梗丝对烟气粒相成分具备较强的截留能力,且对卷烟烟气的香气量、协调及舒适性有一定程度的提升。董高峰等<sup>[8]</sup>以某品牌卷烟的烟梗配方模块为对象,对微波膨胀烟梗制丝工艺的 7 种关

键工艺进行均匀试验设计,建立了微波膨胀烟梗工艺参数的 BP 神经网络模型,挑选出了不同部位烟梗的最佳工艺参数组合和不同部位烟梗的混配比例。李晓等<sup>[9-10]</sup>研究了微波膨胀功率、洗梗时间及贮梗时间对烟梗综合质量的影响,发现在微波功率为 30 ~ 33 kW、洗梗水温 70 °C、洗梗时间 30 s、贮梗时间 3 h 的条件下,膨胀烟梗综合质量较好。姚二民等<sup>[11]</sup>比较了气流式和滚筒式两种干燥方式对微波膨胀烟梗综合质量的影响,发现采用气流式干燥能够获得更好的加工效果。丁美宙等<sup>[12]</sup>对比研究了丝状梗丝和片状梗丝在加工过程中的混合均匀性,发现丝状梗丝在混丝、卷制工序与叶丝的混合均匀度高,稳定性好。微波膨胀烟梗颗粒的应用研究<sup>[13-16]</sup>时有报道,但对于微波烟梗制丝关键工序的工艺参数研究及其主要工艺品质指标之间的相关性分析鲜有报道。基于此,本文拟就微波膨胀烟梗制丝过程中烟梗分选、蒸汽微波协同膨胀、膨胀烟梗回潮、烟梗复切、气流干燥等关键工序工艺参数对加工质量的影响进行研究,以期确定较为适宜的加工条件,为提高烟梗利用率与梗丝加工质量提供理论参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

烟梗,2015 年产于云南昆明,由河南中烟工业有限责任公司提供.

## 1.2 主要仪器与设备

YQ-2 烟丝振动分选筛,郑州烟草研究院提供;KBF240 型恒温恒湿箱,德国 Binder 公司产;PL203 型电子天平(感量:0.001 g),梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产;DHG-9145A 型电热鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司产;过热蒸汽微波协同烟梗膨胀设备,广东省金叶科技开发有限公司产;中试生产线,河南中烟工业有限责任公司提供.

## 1.3 关键指标计算方法

**1.3.1 烟梗有效膨胀率** 取经微波膨胀处理的烟梗若干(大于 100 根),人工将膨胀起来的烟梗和未膨胀的烟梗分开,分别计数为  $a$  和  $b$ ,根据公式:烟梗有效膨胀率 $=\frac{a}{a+b}\times 100\%$ ,计算烟梗有效膨胀率.

**1.3.2 烟梗膨胀度** 采用烘箱法测定膨胀前后烟梗的含水率,根据干物质量相等的原理,四分法随机称取一定质量的原梗和相应质量的膨胀烟梗.采用液体测体积法测定原梗与膨胀烟梗的体积,根据公式膨胀度 $=\frac{V_{\text{膨}}}{V_{\text{原}}}$ ,可得膨胀烟梗的膨胀度.以上实验重复 3 次求其平均值.

**1.3.3 梗片中含梗头率** 取一次切片后梗丝样品称重(记为  $c$ )(大于 100 g),人工将其中的

梗头、梗块挑出并称重(记为  $d$ ),计算梗头、梗块质量与样品质量的比值:

$$\text{含梗头率} = \frac{d}{c} \times 100\%$$

**1.3.4 烟梗回透率** 回透率的测定参照文献[14],取回潮后烟梗若干(大于 100 根),人工将回透的烟梗和未回透烟梗分开,分别计数为  $e$  和  $f$ ,计算回透个数与总数的比值:

$$\text{烟梗回透率} = \frac{e}{e+f} \times 100\%$$

## 1.4 梗丝加工工艺流程设计

微波膨胀制梗丝过程中,既需要满足烟梗膨胀效果,又要保证烟梗膨胀的均匀性.与传统梗丝加工工艺流程相比,本文从以下 3 点进行了优化:1)烟梗前处理工艺由原来的“两回两贮”变为“烟梗分选+微波膨胀+一回一贮”,核心变化在于增加烟梗微波膨胀工艺,使烟梗在切丝时体积增大,减少两次切丝造碎,提高成丝的质量;另一变化是回潮工艺得到简化,原因是烟梗膨胀后吸湿速率加快,无需再进行多次回潮处理.2)切梗丝处理工艺由原来的“压切”变为“复切”,烟梗先切片,再切丝,梗丝宽度可调控,能够加工符合要求的梗丝.3)梗丝加工工艺流程在一次切片和气流干燥后分别设置了风选和筛分工序,解决两次切丝产生的跑梗和跑片问题,尽可能减少片状梗丝量.优化后的梗微波膨胀成丝工艺流程如图 1 所示.

## 1.5 实验方法

**1.5.1 烟梗分选工序单因素试验** 不同尺寸烟梗的膨胀度不同,为保证后续工序加工质量

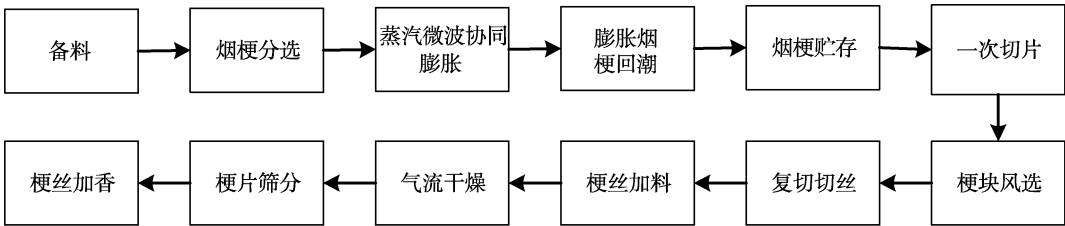


图 1 烟梗微波膨胀成丝工艺流程图

Fig. 1 Process flow chart of tobacco stem microwave expansion into silk

的均匀性,需要对烟梗原料进行筛选. 分别检测长度为 $<2\text{ cm}$ 、 $2\sim 3\text{ cm}$ 、 $3\sim 4\text{ cm}$ 、 $4\sim 5\text{ cm}$ 、 $5\sim 6\text{ cm}$ 、 $>6\text{ cm}$ 的烟梗膨胀效果,以及直径为 $<3.0\text{ mm}$ 、 $3.0\sim 3.5\text{ mm}$ 、 $3.5\sim 4.0\text{ mm}$ 、 $4.0\sim 4.5\text{ mm}$ 、 $>4.5\text{ mm}$ 的烟梗膨胀效果,对烟梗原料进行筛选.

### 1.5.2 蒸汽微波协同膨胀工序单因素试验

蒸汽微波协同膨胀主要工艺参数(物料流量、蒸汽流量、腔体温度及微波功率)对烟梗有效膨胀率、膨胀度影响显著,继而影响烟梗感官品质,研究这些工艺参数对梗丝加工质量的影响,以确定适宜的烟梗膨胀条件.

1)在蒸汽流量  $1000\text{ kg/h}$ 、腔体温度  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  及微波功率  $38\text{ kW}$  的试验条件下,分别检测物料流量为  $180\text{ kg/h}$ 、 $210\text{ kg/h}$ 、 $240\text{ kg/h}$ 、 $270\text{ kg/h}$ 、 $300\text{ kg/h}$ 、 $330\text{ kg/h}$  时烟梗的膨胀质量.

2)在物料流量  $240\text{ kg/h}$ 、腔体温度  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  及微波功率  $38\text{ kW}$  的试验条件下,分别检测蒸汽流量为  $650\text{ kg/h}$ 、 $750\text{ kg/h}$ 、 $850\text{ kg/h}$ 、 $950\text{ kg/h}$ 、 $1050\text{ kg/h}$  时烟梗的膨胀质量.

3)在物料流量  $240\text{ kg/h}$ 、蒸汽流量  $1000\text{ kg/h}$  及微波功率  $38\text{ kW}$  的试验条件下,分别检测腔体温度为  $142\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $148\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $151\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $154\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $157\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  时烟梗的膨胀质量.

4)在物料流量  $240\text{ kg/h}$ 、蒸汽流量  $1000\text{ kg/h}$  及腔体温度  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  的试验条件下,分别检测微波功率为  $27\text{ kW}$ 、 $30\text{ kW}$ 、 $33\text{ kW}$ 、 $36\text{ kW}$ 、 $39\text{ kW}$ 、 $42\text{ kW}$  时烟梗的膨胀质量.

**1.5.3 膨胀烟梗回潮工序单因素试验** 烟梗水洗时间和回潮后贮存时间影响其烟梗回潮含水率和回透率,继而影响切丝质量,研究前述工艺参数对梗丝加工质量的影响,以确定适宜的膨胀烟梗回潮条件.

1)分别考查水洗时间为  $20\text{ s}$ 、 $30\text{ s}$ 、 $40\text{ s}$ 、 $50\text{ s}$  时的烟梗含水率及回透率.

2)分别考查回潮含水率为  $27.88\%$ 、 $29.12\%$ 、 $30.59\%$ 、 $34.77\%$ 、 $35.23\%$ 、 $36.07\%$  这 6 个条件下的梗头率,切丝机粘刀情况及刀门挤压出水情况.

3)分别考查贮存时间为  $2\text{ h}$ 、 $3\text{ h}$ 、 $4\text{ h}$ 、 $8\text{ h}$ 、 $16\text{ h}$ 、 $26\text{ h}$  时的膨胀烟梗回透率.

**1.5.4 烟梗复切工序单因素试验** 切丝宽度组合、刀门压力、刀辊转速对切丝质量有重要影响,通过探究复切工序主要工艺参数对加工质量的影响,确定适宜的复切条件.

1)试验按照前窄后宽和前宽后窄的要求,设计了 8 组不同的切丝宽度组合:切丝宽度分别为  $0.35\text{ mm}$ 、 $0.30\text{ mm}$ 、 $0.25\text{ mm}$ 、 $0.20\text{ mm}$ 、 $0.15\text{ mm}$ 、 $0.60\text{ mm}$ 、 $0.70\text{ mm}$ 、 $0.80\text{ mm}$ ,相应的切片厚度分别为  $0.50\text{ mm}$ 、 $0.60\text{ mm}$ 、 $0.70\text{ mm}$ 、 $0.80\text{ mm}$ 、 $0.90\text{ mm}$ 、 $0.30\text{ mm}$ 、 $0.25\text{ mm}$ 、 $0.20\text{ mm}$ . 在刀门压力  $33\text{ kN}$ 、刀辊转速  $425\text{ r/min}$  条件下,检测 8 组不同切丝宽度的梗丝加工质量.

2)在切片厚度  $0.60\text{ mm}$ 、切丝宽度  $0.30\text{ mm}$ 、刀辊转速  $425\text{ r/min}$  条件下,分别检测刀门压力为  $20\text{ kN}$ 、 $25\text{ kN}$ 、 $30\text{ kN}$ 、 $35\text{ kN}$ 、 $40\text{ kN}$  条件下梗丝加工质量.

3)在切片厚度  $0.60\text{ mm}$ 、切丝宽度  $0.30\text{ mm}$ 、刀门压力  $33\text{ kN}$  条件下,分别检测刀辊转速为  $300\text{ r/min}$ 、 $350\text{ r/min}$ 、 $400\text{ r/min}$ 、 $450\text{ r/min}$ 、 $500\text{ r/min}$  条件下梗丝加工质量.

**1.5.5 气流干燥工序单因素试验** 研究气流干燥工序中物料流量及工艺气体流量对梗丝加工质量的影响,确定适宜的干燥条件.

1)在干燥气体流量为  $6500\text{ m}^3/\text{h}$ 、检测物料流量分别为  $110\text{ kg/h}$ 、 $150\text{ kg/h}$ 、 $190\text{ kg/h}$  条件下干燥后膨胀梗丝质量.

2)在物料流量为  $150\text{ kg/h}$ 、检测干燥气体流量分别为  $6000\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $6500\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $7000\text{ m}^3/\text{h}$  条件下干燥后膨胀梗丝质量.



1.6 微波膨胀制丝效果检验

选用优选的微波膨胀梗丝工艺参数进行制丝,以特征宽度、填充值、烟(梗)丝结构(长丝率、中丝率、短丝率、碎丝率)为指标,将微波膨胀梗丝与传统片状梗丝、叶丝的物理质量进行对比.采用文献[17-18]的方法进行烟(梗)丝含水率、填充值、梗丝结构、整丝率变化率的测定.

2 结果与讨论

2.1 烟梗分选结果

不同长度和直径烟梗的膨胀效果见表1.由表1可以看出:随着烟梗长度的增加,烟梗有效膨胀率和膨胀度整体上呈逐渐增大趋势.长度<2 cm 烟梗的有效膨胀率较低(仅为88.23%),长度≥2 cm 烟梗的有效膨胀率均达到了92%以上.随着烟梗直径的增加,烟梗有效膨胀率和膨胀度整体呈逐渐增大趋势.直径<3.0 mm 的烟梗有效膨胀率和膨胀度均偏低,直径>3 mm 的烟梗有效膨胀率达到92%以上、膨胀度达到3以上.综合来看,长度≥2 cm 和直径≥3 mm 的烟梗膨胀质量相对较好.

2.2 蒸汽微波协同膨胀工序

2.2.1 物料流量对烟梗膨胀质量的影响 不同物料流量条件下烟梗膨胀质量检测结果见表2.由表2可知:随着物料流量的不断增加,烟梗膨胀度逐渐降低,其线性关系式为 $y = -0.010\,5x + 4.962\,2$ ,且 $R^2 = 0.933\,8$ ,呈现出较好的线性关系;烟梗有效膨胀率也呈降低趋势,但均在99%

表1 不同长度和直径烟梗的膨胀效果

Table 1 Expansion effect of tobacco stems of different lengths and diameters

| 评价指标 |            | 有效膨胀率/% | 膨胀度  |
|------|------------|---------|------|
| 长度   | <2 mm      | 88.2    | 3.32 |
|      | 2~3 mm     | 92.6    | 3.38 |
|      | 3~4 mm     | 95.8    | 3.64 |
|      | 4~5 mm     | 93.3    | 3.61 |
|      | 5~6 mm     | 94.3    | 3.66 |
|      | >6 mm      | 95.0    | 3.73 |
| 直径   | <3.0 mm    | 91.9    | 2.69 |
|      | 3.0~3.5 mm | 92.5    | 3.66 |
|      | 3.5~4.0 mm | 96.4    | 3.46 |
|      | 4.0~4.5 mm | 97.2    | 3.34 |
|      | >4.5 mm    | 96.4    | 3.35 |

以上.物料流量达到270 kg/h 以上时,烟梗的膨胀度较低,达到2.0 以下;物料流量低于240 kg/h 时,膨胀后烟梗梗芯颜色变深,枯焦气较重,口腔残留感明显,感官品质评价较差.综合来看,物料流量设置在240~270 kg/h 之间为宜.

2.2.2 蒸汽流量对烟梗膨胀质量的影响 不同蒸汽流量条件下烟梗膨胀质量检测结果见表3.由表3 可知:随着蒸汽流量的增加,烟梗膨胀度和有效膨胀率逐渐增大,其中膨胀度与蒸汽流量的线性关系式为 $y = 0.000\,8x + 1.143\,5$ ,且 $R^2 = 0.955\,3$ ,呈较好的线性关系.蒸汽流量低于950 kg/h 时,烟梗膨胀度偏低,且感官品质较差.综合来看,蒸汽流量设置在950 ~1050 kg/h 之间为宜.

2.2.3 腔体温度对烟梗膨胀质量的影响 不同腔体温度条件下烟梗膨胀质量检测结果见表4.

表2 不同物料流量条件下烟梗膨胀质量检测结果

Table 2 Measurement and phenomenon description of expansion degree and effective expansion rate under different material flow

| 编号 | 物料流量/<br>(kg·h <sup>-1</sup> ) | 有效膨<br>胀率/% | 膨胀度  | 烟梗形状、梗芯色泽           | 感官品质        |
|----|--------------------------------|-------------|------|---------------------|-------------|
| 1  | 180                            | 100.0       | 3.28 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯因烤焦变黑   | 枯焦气重,口腔残留明显 |
| 2  | 210                            | 100.0       | 2.60 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯因烤焦颜色加深 | 枯焦气较重,口腔有残留 |
| 3  | 240                            | 99.8        | 2.44 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色正常    | 烤香气息,口腔略残留  |
| 4  | 270                            | 99.8        | 1.96 | 烟梗较为饱满,梗芯颜色正常       | 烘烤香,余味尚可    |
| 5  | 300                            | 99.2        | 1.79 | 烟梗较为饱满,梗芯颜色正常       | 刺激性小,余味干净   |
| 6  | 330                            | 99.1        | 1.66 | 烟梗表面皱缩,梗芯颜色正常       | 刺激较大,口腔有残留  |

由表 4 可知:随着腔体温度的升高,烟梗有效膨胀率变化较小,均在 98% 以上;烟梗膨胀度逐渐增大,其线性关系式为  $y=0.033\ 5x-3.262\ 7$ ,且  $R^2=0.952\ 4$ ,呈现出较好的线性关系.腔体温度低于 148 ℃ 时,烟梗膨胀度偏低,有木质气和口腔残留,感官品质偏差;腔体温度高于 151 ℃ 时,膨胀效果变好,但膨胀后烟梗梗芯颜色明显加深,枯焦气重,口腔残留明显,感官品质较差.综合来看,腔体温度设置在 148~151 ℃ 之间为宜.

2.2.4 微波功率对烟梗膨胀质量的影响 不

同微波功率条件下烟梗膨胀质量检测结果见表 5.由表 5 可知:随着微波功率的增加,烟梗膨胀度呈逐渐增大趋势,其线性关系式为  $y=0.055\ 2x-0.049\ 0$ ,且  $R^2=0.951\ 8$ ,呈现出较好的线性关系;烟梗有效膨胀率变化较小,均在 98% 以上.微波功率低于 36 kW 时,烟梗膨胀度偏低,有木质气和口腔残留,感官品质较差;微波功率高于 39 kW 时,梗芯颜色明显加深,有枯焦气,感官品质偏差.综合来看,微波功率设置在 36~39 kW 之间为宜.

表 3 不同蒸汽流量条件下烟梗膨胀质量检测结果

Table 3 Measurement and sensory evaluation of expansion degree and effective expansion rate under different steam flow

| 编号 | 蒸汽流量/<br>(kg·h <sup>-1</sup> ) | 有效膨胀<br>率/% | 膨胀度  | 烟梗形状、梗芯色泽        | 感官品质              |
|----|--------------------------------|-------------|------|------------------|-------------------|
| 1  | 650                            | 98.8        | 1.68 | 烟梗表面皱缩,梗芯颜色正常    | 木质气有,刺激性大         |
| 2  | 750                            | 99.2        | 1.72 | 烟梗较为饱满,梗芯颜色正常    | 木质气销,刺激较大,口腔有残留   |
| 3  | 850                            | 99.4        | 1.84 | 烟梗较为饱满,梗芯颜色正常    | 木质气稍有,刺激有,余味尚可    |
| 4  | 950                            | 99.6        | 1.95 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色正常 | 木质气轻,刺激小,余味舒适     |
| 5  | 1050                           | 99.7        | 1.97 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色正常 | 杂气轻,刺激小,润感较好,余味舒适 |

表 4 不同腔体温度条件下烟梗膨胀质量检测结果

Table 4 Measurement and phenomenon description of expansion degree and effective expansion rate at different cavity temperatures

| 编号 | 腔体温度/℃ | 有效膨胀<br>率/% | 膨胀度  | 烟梗形状、梗芯色泽           | 感官品质              |
|----|--------|-------------|------|---------------------|-------------------|
| 1  | 142    | 98.4        | 1.46 | 烟梗表面皱缩,梗芯颜色正常       | 木质气息明显,刺激偏大,口腔有残留 |
| 2  | 145    | 98.1        | 1.55 | 烟梗表面皱缩,梗芯颜色正常       | 有木质气,略有刺激,口腔稍有残留  |
| 3  | 148    | 98.6        | 1.77 | 烟梗较为饱满,梗芯颜色正常       | 烤香气息好,枯焦气稍有,余味较干净 |
| 4  | 151    | 98.5        | 1.82 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色正常    | 烤香气息好,有枯焦气,口腔有残留  |
| 5  | 154    | 98.4        | 1.84 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯因烤焦颜色加深 | 枯焦气较重,口腔有残留       |
| 6  | 157    | 99.1        | 2.02 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯因烤焦颜色变深 | 枯焦气重,口腔残留明显       |
| 7  | 160    | 99.4        | 2.06 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色变黑    | 枯焦气重,口腔残留明显       |

表 5 不同微波功率条件下烟梗膨胀质量检测结果

Table 5 Measurement and phenomenon description of expansion degree and effective expansion rate under different microwave power

| 编号 | 微波功率/kW | 有效膨胀<br>率/% | 膨胀度  | 烟梗形状、梗芯色泽         | 感官品质             |
|----|---------|-------------|------|-------------------|------------------|
| 1  | 27      | 98.2        | 1.52 | 烟梗表面皱缩,梗芯颜色正常     | 木质气重,刺激较大,口腔残留明显 |
| 2  | 30      | 98.5        | 1.58 | 烟梗表面皱缩,梗芯颜色正常     | 木质气较重,刺激较大,口腔有残留 |
| 3  | 33      | 98.6        | 1.65 | 烟梗较饱满,表面光滑,梗芯颜色正常 | 木质气稍重,刺激有,口腔有残留  |
| 4  | 36      | 99.7        | 1.97 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色正常  | 木质气轻,刺激较小,余味干净   |
| 5  | 39      | 99.8        | 2.14 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色加深  | 枯焦气有,余味较干净       |
| 6  | 42      | 100.0       | 2.28 | 烟梗饱满,表面光滑,梗芯颜色变黑  | 枯焦气稍重,余味尚可       |

综上所述,在试验条件范围内,物料流量、腔体温度对膨胀度的影响较为显著,而对有效膨胀率的影响不明显;蒸汽流量对膨胀度、有效膨胀率的影响均不明显;微波功率对烟梗膨胀度、有效膨胀率影响均较为显著. 各因素对烟梗的膨胀度和有效膨胀率影响因素大小排序为:微波功率>物料流量≈腔体温度>蒸汽流量.

2.3 膨胀烟梗回潮工序

2.3.1 水洗时间对膨胀烟梗回潮质量的影响 水洗时间对烟梗回潮含水率和回透率的影响分别如图 2 和图 3 所示. 由图 2 和图 3 可以看出:在试验范围内,随着水洗时间的增加,膨胀烟梗回潮含水率和回透率逐渐增加;未回透的烟梗主要是梗头和未膨胀的烟梗;水洗时间大于 50 s 时,含水率增加不明显,膨胀烟梗回透率趋于稳定. 综合来看,膨胀烟梗较适宜的水洗时间应大于 50 s.

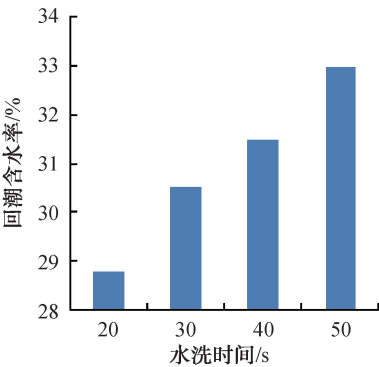


图 2 水洗时间对烟梗回潮含水率的影响  
Fig. 2 Effect of washing time on the moisture content of Conditions of tobacco stems

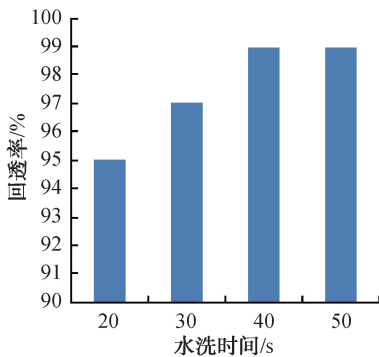


图 3 水洗时间对烟梗回透率的影响  
Fig. 3 Effect of washing time on return permeability of tobacco stems

2.3.2 回潮含水率对膨胀烟梗切片质量的影响 不同回潮含水率条件下膨胀烟梗切片质量检测结果见表 6. 从表 6 可以看出:烟梗回潮含水率在 30%左右时,切后梗片中含梗头率相对较低;烟梗回潮含水率过大或过小,含梗头率均明显升高;烟梗回潮含水率达到 34.77%时,切丝机出现粘刀情况,达到 36.07%时,切丝机刀门处出现挤压出水情况. 综合来看,膨胀烟梗较适宜的回潮含水率为 30.59%左右.

2.3.3 贮存时间对膨胀烟梗回透率的影响 不同贮存时间条件下膨胀烟梗回透率的变化见图 4. 从图 4 可以看出:在试验考察范围内,随着贮存时间的增加,膨胀烟梗回透率呈现先增大后稳定的趋势;贮存时间为 2 h、3 h 时,膨胀烟梗回透率为 92%、93%,明显偏低,贮存时间达到 4 h 以上时,回透率稳定在 96%~98%. 综合来看,膨胀烟梗较适宜的贮存时间为 4 h 以上.

表 6 不同回潮含水率条件下膨胀烟梗切片质量检测结果

| Table 6 Slice quality of expanded tobacco stems under different moisture content of Conditions |        |         |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|
| 回潮含水率/%                                                                                        | 含梗头率/% | 切丝机粘刀情况 | 切丝机刀门情况 |
| 27.88                                                                                          | 8.36   | 正常      | 正常      |
| 29.12                                                                                          | 6.02   | 正常      | 正常      |
| 30.59                                                                                          | 2.18   | 正常      | 正常      |
| 34.77                                                                                          | 5.59   | 轻微粘刀    | 正常      |
| 35.23                                                                                          | 5.63   | 粘刀      | 正常      |
| 36.07                                                                                          | 10.06  | 严重粘刀    | 出水      |

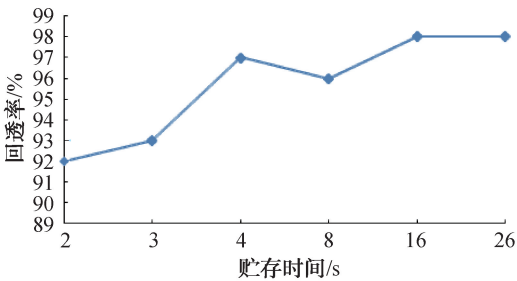


图 4 不同贮存时间条件下膨胀烟梗回透率的变化  
Fig. 4 Return permeability of expanded tobacco stems for different storage time

2.4 烟梗复切工序

**2.4.1 切丝宽度对梗丝质量的影响** 不同切丝宽度条件下膨胀梗丝质量检测结果见表 7。由表 7 可以看出:采用前宽后窄的组合切丝方式,随着切片厚度的增加和切丝宽度的减小,干燥后梗丝填充值、整丝率整体呈下降趋势,短丝率和碎丝率整体呈升高趋势,中丝率呈现先升高后降低的趋势;当切丝宽度为 0.60 mm、切片厚度为 0.30 mm 时,梗丝填充值、中丝率、整丝率均最高,碎丝率最低。与前宽后窄方式相比,采用前窄后宽的组合切丝方式的梗丝填充值变化不明显,整丝率下降较多,短丝率和碎丝率明显增加。综合来看,微波膨胀烟梗适宜采用前宽后窄的切丝组合方式,较适宜的切丝条件为:切片厚度 0.60 mm,切丝宽度 0.30 mm。

**2.4.2 刀门压力对梗丝质量的影响** 不同刀门压力条件下膨胀梗丝含梗头率变化见图 5。从图 5 可以看出:在试验范围内,膨胀烟梗切丝后梗丝含梗头率随刀门压力的增大呈减小趋势;刀门压力低于 25 kN 时,梗丝含梗头率明显增高,主要是膨胀烟梗未压实而导致跑梗问题发生;刀门压力达到 40 kN 时,梗丝中出现较多较薄的透明状梗片,可能是膨胀烟梗压得过实,铜排链输送时打滑导致物料向前位移不足所致。综合来看,膨胀烟梗切丝时较适宜的刀门压力范围为 30~35 kN。

**2.4.3 刀辊转速对梗丝质量的影响** 不同刀

辊转速条件下膨胀梗丝含梗头率变化见图 6。从图 6 可以看出:在试验范围内,膨胀烟梗切丝后梗丝含梗头率随刀辊转速的增大呈先减小后增大趋势;刀辊转速低于 350 r/min 时,梗丝含梗头率较高,原因分析是转速较低时竖向切割力偏低,导致部分膨胀烟梗未被切断便被横向拉出;刀辊转速达到 500 r/min 时,梗丝含梗头率也较高,可能是转速偏高致使需求的物料流量过大,供料不足导致膨胀烟梗未被压实而造成跑梗问题发生。综合来看,膨胀烟梗切丝时较适宜的刀辊转速范围在 400~450 r/min 之间。

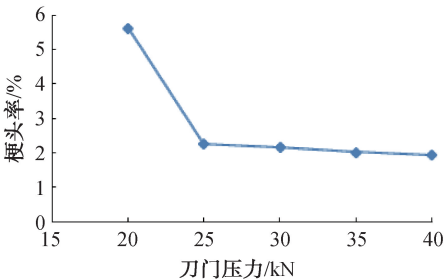


图 5 不同刀门压力条件下梗丝含梗头率变化  
Fig. 5 Change of stem head content in cut stem under different knife pressure conditions

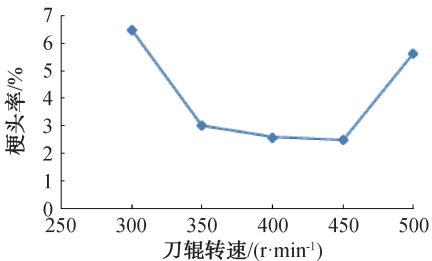


图 6 不同刀辊转速条件下梗丝含梗头率变化  
Fig. 6 Change of stem head content in cut stem under different knife roller speeds

表 7 不同切丝宽度条件下膨胀梗丝质量检测结果

Table 7 The quality of stems under the combined conditions of different cutting widths

| 切丝宽度/<br>mm | 切片厚度/<br>mm | 烘前水<br>分/% | 烘后水<br>分/% | 填充值/<br>(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ) | 整丝率/<br>% | 长丝率/<br>% | 中丝率/<br>% | 短丝率/<br>% | 碎丝率/<br>% |
|-------------|-------------|------------|------------|---------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.35        | 0.50        | 34.00      | 12.63      | 9.73                                        | 60.83     | 15.97     | 44.86     | 35.78     | 3.39      |
| 0.30        | 0.60        | 34.00      | 12.88      | 9.75                                        | 61.38     | 15.26     | 46.12     | 35.62     | 3.00      |
| 0.25        | 0.70        | 34.00      | 12.51      | 9.64                                        | 59.09     | 14.01     | 45.08     | 36.35     | 4.56      |
| 0.20        | 0.80        | 32.00      | 12.55      | 9.66                                        | 56.62     | 18.18     | 38.44     | 37.89     | 5.49      |
| 0.15        | 0.90        | 33.00      | 12.79      | 9.62                                        | 57.06     | 19.77     | 37.29     | 37.52     | 5.42      |
| 0.60        | 0.30        | 43.00      | 13.19      | 9.72                                        | 52.38     | 15.26     | 37.12     | 39.57     | 8.05      |
| 0.70        | 0.25        | 43.00      | 19.06      | 9.65                                        | 50.87     | 16.87     | 34.00     | 40.77     | 8.36      |
| 0.80        | 0.20        | 42.00      | 21.28      | 9.63                                        | 49.01     | 15.56     | 33.45     | 41.92     | 9.07      |



2.5 气流干燥工序

2.5.1 物料流量对梗丝干燥质量的影响 物料流量对梗丝干燥质量的影响见表 8。由表 8 可以看出:在试验范围内,随着物料流量增加,干燥气流温度逐渐升高;随着物料流量增加,干燥后梗丝填充值呈先增大后减小趋势,150 kg/h 流量条件下梗丝填充值相对较高;随着物料流量增加,干燥后梗丝长丝率和碎丝率呈下降趋势,而中丝率和短丝率呈明显上升趋势。综合来看,物料流量设置为 150 kg/h 较适宜,整丝率(长丝率和中丝率之和)为 52.82%。

2.5.2 干燥强度对梗丝干燥质量的影响 干燥强度(干燥气体流量)对梗丝干燥质量的影响见表 9。由表 9 可以看出:随着气体流量增加,干燥气流温度逐渐增大;随着气体流量增加,干燥后梗丝填充值呈先减小后增大趋势,6500 m<sup>3</sup>/h 流量条件下梗丝填充值相对较低;随着气体流量增加,干燥后梗丝长丝率呈先升高后下降趋势,中丝率呈明显升高趋势,短丝率

和碎丝率呈先下降后升高趋势。综合来看,干燥气体流量设置为 6500 m<sup>3</sup>/h,干燥气体温度 196 ℃ 时,填充值为 8.81 m<sup>3</sup>/g,整丝率为 56.26%,综合干燥质量较好。

2.6 优选微波膨胀梗丝工艺参数制丝效果

微波膨胀梗丝与传统片状梗丝、叶丝物理质量对比结果见表 10。由表 10 可知,与传统片状梗丝相比,微波膨胀梗丝填充值变化不明显,长丝率降低明显,而中丝率和短丝率分别升高了 21.94% 和 26.06%;与传统叶丝相比,微波膨胀梗丝特征宽度与叶丝较为接近,但长丝率明显降低,主要原因是微波膨胀梗丝经过二次切丝,加工强度大,过程造碎明显,故梗丝整体尺寸偏小,但结构更加均匀。

3 结论

本文研究了微波膨胀烟梗制丝加工过程中烟梗分选、蒸汽微波协同膨胀、膨胀烟梗回潮、烟梗复切、气流干燥等关键工序工艺参数对加

表 8 物料流量对梗丝干燥质量的影响

Table 8 The influence of material flow on the drying quality of shreds

| 物料流量/(kg·h <sup>-1</sup> ) | 气体温度/℃ | 填充值/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ) | 长丝率/% | 中丝率/% | 短丝率/% | 碎丝率/% |
|----------------------------|--------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 110                        | 190    | 9.19                                    | 17.37 | 35.47 | 40.53 | 6.63  |
| 150                        | 192    | 9.44                                    | 16.34 | 36.48 | 41.50 | 5.68  |
| 190                        | 202    | 8.95                                    | 15.46 | 37.20 | 41.70 | 5.64  |

表 9 气体流量对膨胀梗丝率的影响

Table 9 The influence of gas flow on the rate of expanded stems

| 气体流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 气体温度/℃ | 填充值/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ) | 长丝率/% | 中丝率/% | 短丝率/% | 碎丝率/% |
|-----------------------------------------|--------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 6000                                    | 191    | 8.93                                    | 18.02 | 36.15 | 39.92 | 5.91  |
| 6500                                    | 196    | 8.81                                    | 19.69 | 36.57 | 38.28 | 5.46  |
| 7000                                    | 202    | 8.95                                    | 15.46 | 37.20 | 41.70 | 5.64  |

表 10 微波膨胀梗丝与传统片状梗丝、叶丝物理质量对比

Table 10 Comparison of processing quality between microwave expanded stems and traditional sliced stems and cut tobacco

| 类型     | 特征宽度/mm | 填充值/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ) | 烟(梗)丝结构 |       |       |       |
|--------|---------|-----------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
|        |         |                                         | 长丝率/%   | 中丝率/% | 短丝率/% | 碎丝率/% |
| 微波膨胀梗丝 | 1.04    | 7.68                                    | 15.26   | 46.12 | 35.62 | 3.00  |
| 传统片状梗丝 | 2.35    | 7.57                                    | 65.34   | 24.18 | 9.56  | 0.92  |
| 传统叶丝   | 1.01    | 4.52                                    | 68.23   | 14.29 | 12.58 | 4.90  |

工质量的影响,得到如下结论.

1) 烟梗分选工序选择长度 $\geq 2$  cm 的短梗和直径 $\geq 3.0$  mm 的细梗,可提高烟梗有效膨胀率及膨胀度,改善膨胀后烟梗尺寸的一致性.

2) 蒸汽微波协同膨胀工序中,物料流量设置在 240 ~ 270 kg/h,过热蒸汽流量 950 ~ 1050 kg/h,腔体温度 148 ~ 151  $^{\circ}\text{C}$ ,微波功率 36 ~ 39 kW 之间,膨胀后的烟梗具有较高的膨胀度及有效膨胀率,且膨胀效果较好,杂气较小.各因素对烟梗的膨胀度及有效膨胀率影响因素大小排序为:微波功率>物料流量 $\approx$ 腔体温度>蒸汽流量.

3) 膨胀梗回潮工序中水洗时间大于 50 s 时,回潮后含水率在 30.5%左右,回潮后贮存时间不低于 4 h,可以保证回潮后膨胀烟梗含水率均匀稳定.

4) 烟梗复切工序中采用前高后低的组合方式,切片厚度 0.60 mm,切丝宽度 0.30 mm,刀门压力 30 ~ 35 kN,刀辊转速 400 ~ 450 r/min 范围内,梗丝干燥后填充值高,结构较好.

5) 梗丝气流干燥工序中物料流量设定为 150 kg/h,工艺气体流量 6500  $\text{m}^3/\text{h}$ ,温度 196  $^{\circ}\text{C}$  条件下,梗丝干燥后整丝率较高.

使用上述微波膨胀制梗丝工艺加工的梗丝特征宽度与叶丝更接近,梗丝结构更加均匀合理.

## 参考文献:

- [1] 于建军. 卷烟工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [2] 陈良元. 卷烟生产工艺技术[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2002.
- [3] LINT M, DURANCE T D, SCAMAN C H. Characterization of vacuum microwave, air and freeze-dried carrots lily[J]. Food Research International, 1998, 31(2): 111.
- [4] DECAREAU R U. The microwave sterilization process[J]. Microwave World, 1994, 15(2): 12.
- [5] PATERSON J L, CRAMSTON O M, LOH W H. Extending the storage life of chilling beef: microwave processing[J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 1995, 30(2): 97.
- [6] 李航, 夏非, 张兴涛, 等. 复切微波膨胀梗丝的吸附特性[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(4): 118.
- [7] 刘洋, 徐兰兰, 尧珍玉, 等. 微波膨胀烟梗丝在卷烟滤棒中的应用研究[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(S2): 180.
- [8] 董高峰, 殷沛沛, 和智君, 等. 微波膨胀梗制丝关键工艺参数的优化[J]. 中国农学通报, 2014, 30(30): 302.
- [9] 李晓, 景天, 姚二民, 等. 微波膨胀功率对烟梗质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 141.
- [10] 李晓, 赵子龙, 景天, 等. 洗梗时间及贮梗时间对微波膨胀烟梗吸湿性的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(1): 195.
- [11] 姚二民, 周利军, 李晓, 等. 干燥方式对微波膨胀烟梗梗丝综合质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 145.
- [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.
- [13] 温东奇, 黄宪忠, 尧珍玉, 等. 微波膨胀烟梗颗粒的顶空-SPME-GC-MS 分析[J]. 应用化工, 2010, 39(5): 775.
- [14] 尧珍玉, 马涛, 温东奇, 等. 微波膨胀烟梗颗粒在卷烟滤嘴中的应用[J]. 应用化工, 2010, 39(9): 1432.
- [15] 王慧, 曾晓鹰, 杨涛, 等. 微波膨胀烟梗制备颗粒应用于卷烟的效果评价[J]. 烟草科技, 2008(10): 5.
- [16] 杨涛, 李敏, 李姗姗, 等. 微波膨胀过程中烟梗及其制备的颗粒的物理化学变化[J]. 烟草科技, 2008(2): 33.
- [17] 国家烟草专卖局. 卷烟 烟丝填充值的测定: YC/T 152—2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [18] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[M]. 北京: 中央文献出版社, 2003.