

The Study on the Relationship between the Cut Tobacco Drier Equipment Parameters and the Tobacco Leaf Silk Quality

—Based on the Data of a Brand Leaf Silk in Honghe Cigarette Factory

Cunbo Yuan¹, Peng Yuan^{2*}, Jie Li¹, Yun Dong¹, Ping Li¹

¹Honghe Cigarette Factory, Hong Yun Hong He Group, Honghe Yunnan

²School of Mathematics and Statistics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan

Email: *yuanpengyp@sina.com

Received: Aug. 28th, 2015; accepted: Sep. 12th, 2015; published: Sep. 18th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Cut tobacco drier equipment parameters directly affect the leaf silk physical indicators, the quality of cigarette after drying processing and cigarette inner quality. Using regression design experiment, this paper systematically discusses the relationship of the tobacco moisture content, process flow, steam pressure of HT, the temperature of hot-air and cylinder wall, the opening of the exhausted valve among the tobacco moisture contents, filling power, the proportion of long strands, the proportion of small strands, and chemical component. Statistical model of cut tobacco drier equipment parameters and silk moisture content after drying, filling power, leaf silk chlorogenic acid, and ratios of total sugar to betaine is established. Results show that in order to ensure silk moisture content after drying uniformity, we should focus on the fluctuation of raw silk moisture content; in order to improve the leaf silk filling power, we should reduce the moisture content of raw silk appropriately and increase the steam pressure of HT and the temperature of cylinder wall at the same time.

Keywords

Parameter of Apparatus, Tobacco Leaf Silk Quality, Regression Design, Test Analysis, Lack of Fit Test

*通讯作者。

烘丝机设备参数与叶丝质量关系研究

—以红河卷烟厂某牌号叶丝为例

袁存波¹, 袁 鹏^{2*}, 李 杰¹, 董 云¹, 李 萍¹

¹红河红河烟草(集团)有限责任公司红河卷烟厂, 云南 红河

²云南财经大学统计与数学学院, 云南 昆明

Email: yuanpengyp@sina.com

收稿日期: 2015年8月28日; 录用日期: 2015年9月12日; 发布日期: 2015年9月18日

摘 要

烘丝机设备参数直接影响着烘后叶丝物理指标、卷烟后序加工质量及卷烟内在品质。本文采用回归设计试验, 系统探讨了红河某牌号烟丝生丝含水率、工艺流量、HT蒸湿压力、烘丝机筒壁温度、热风温度、排潮风门开度6个设备参数与烘后叶丝的含水率、填充值、整丝率、碎丝率、化学成分等质量特性的关系, 建立了烘丝机设备参数与烘后叶丝含水率、填充值、叶丝绿原酸和糖碱比的统计模型。结果表明: 为保障烘后叶丝含水率均匀一致, 应重点关注生丝含水率的波动; 为提高叶丝填充值, 可适当降低生丝含水率, 同时增加HT蒸汽压力和筒壁温度。

关键词

设备参数, 叶丝质量, 回归设计, 试验分析, 失拟检验

1. 引言

烘丝机是制丝工艺生产的重要设备, 烘丝过程是制丝生产中通过设备调控烟丝含水率、温度等烟丝质量指标的最后一道关键工序, 其前后分别设有 HT 增温增湿机及冷却机。叶丝通过 HT 增温增湿机得到大量水分, 在经历了烘丝机筒壁、循环热风及排潮系统等工序后水分迅速蒸发, 含水率趋于一致, 从而达到卷烟工艺要求。叶丝在烘丝机滚筒内翻转的过程中, 与高温筒壁和气流充分接触后, 变得松散和卷曲, 从而其填充能力得到提高。同时, 在干燥去湿过程中可以排除叶丝部份杂气, 改善叶丝的吸用品质。因此, 控制好烘丝机设备参数对保障烟丝乃至烟支含水率、填充值、感官评吸等卷烟内在品质有着重要的意义, 对精细化生产和精益管理起到实质性的作用[1]。

目前, 烘丝生产控制对于烘后叶丝含水率、温度等质量指标的控制完全依靠生产人员根据操作经验调整设备参数加以控制。这样的质量控制方法势必会出现因生产人员经验的差异而带来质量波动。在 2014 年 7 月份《制丝质量现状分析报告》中, 阐述了“烘丝机设备参数与烘后含水率不匹配”的问题, 烘丝设备参数控制在标准中心值时, 烘后叶丝含水率并不能调控在其标准中心值。因此, 寻找并建立烘丝机设备参数与烘后叶丝质量指标的模型, 确定符合实际生产的设备参数与质量指标的标准取值, 为烘后叶丝质量的控制提供保障, 是做好工厂内控标准构建的前提条件, 更是工厂夯实精益管理和精细化生产的基石[2]。

本文在物料配方、烘丝机辊筒转速稳定和冷却机参数不变的条件下, 采用回归设计, 系统探讨了红

河某牌号烟丝丝含水率、工艺流量、HT 蒸湿压力、烘丝机筒壁温度、热风温度、排潮风门开度 6 个设备参数的设置与烘后叶丝的含水率、填充值、整丝率、碎丝率、化学成分等质量特性的关系，构建合适的模型，量化这些指标的关系，为工厂制定内控标准提供决策依据。

2. 数据来源及研究方法

2.1. 数据来源及处理

本文研究分析数据来源于回归设计实验数据。实验材料是红河系列某牌号烟丝；试验设备含：烘丝机、605 恒温干燥箱、DD60AS 填充仪、CA32-13 烟丝振动分选筛等。

由于古典回归分析是被动地处理已有试验数据，且对于试验的安排不做任何要求，因而对提高回归方程的精度研究很少。本文主动把试验的安排、数据的处理和回归方程的精度统一起来考虑，使每一个试验点上获取的数据含有较大的信息量，更好地研究烘丝机质量指标与各因子间的定量规律。即在物料配方、烘丝机滚筒转速稳定和冷却机参数不变的条件下，选择影响烘后叶丝质量的生丝含水率及主要设备参数为试验因子，而烘后叶丝主要质量特性(烘丝机出口含水率、温度和冷却机出口叶丝填充值、整丝率、绿原酸、糖碱比)作为试验指标。根据实际控制经验确定各因子取值范围 $z_{1j} \leq z_j \leq z_{2j}, j=1,2,\dots,p$ (其中， z_{1j} 和 z_{2j} 分别是因子 z_j 下水平和上水平，其零水平 $z_{0j} = (z_{1j} + z_{2j})/2, j=1,2,\dots,p$ ，变化半径 $= (z_{1j} - z_{2j})/2, j=1,2,\dots,p$ 。同时,对所有因子作线性变换，使所有因子的取值范围都转化为中心在原点的一个“立方体”，以消除因子量纲不同的影响，依据影响因子数量选取 $L_8(2^7)$ 为试验表。各试验因子水平取值范围、因子编码水平及试验表分别见表 1~3。

为方便描述，下文中 z_1 表示生丝含水率、 z_2 表示 HT 入口流量、 z_3 表示 HT 蒸汽压力、 z_4 表示筒壁温度、 z_5 表示热风温度、 z_6 表示排潮风门开度、 z_0 表示常数项。 x_1 表示编码水平后的生丝含水率、 x_2 表示编码水平后的 HT 入口流量、 x_3 表示编码水平后的 HT 蒸汽压力、 x_4 表示编码水平后的筒壁温度、 x_5 表示编码水平后的热风温度、 x_6 表示编码水平后的排潮风门开度、 x_0 表示编码水平后的常数项。

2.2. 回归设计

由参考资料[3]可知：一次回归正交设计计算要求在正交表上对试验数据相继完成回归系数估计、回归方程显著性检验、回归系数的显著性检验后才能确定回归方程。

试验因子与试验指标的回归系数按表 4 完成回归系数计算，并用方差分析开展回归方程及其系数检验。在正交回归设计中，当某一变量不显著时，直接将它删除不会影响其他回归系数，也不会改变这些变量的偏回归平方和[3]。因此，在回归系数及方程检验中，把不显著变量的偏回归平方和加到残差平方和中，从而获得方程对应的 σ 估计。

2.3. 失拟检验

用一次回归正交设计方法求得的一次回归方程是否能真实反应实际，需要对显著的回归方程进行失拟检验，以检验通过试验建立模型的参考价值。烘丝设备参数在 $(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ip})$ 上有重复观察时，将数据

记为 $(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ip}, y_{ij}) j=1,2,\dots,m_i; i=1,2,\dots,n; m_i \geq 2$ ，记 $N = \sum_{i=1}^n m_i$ ，此时残差平方和可以进一步分解为

$$s_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2, f_e = \sum (m_i - 1) = N - n \text{ 和 } s_{L_f} = \sum_{i=1}^n m_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, f_{L_f} = n - p - 1 \text{ 其中, } \bar{y}_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij},$$

检验统计量为 $F_{L_f} = \frac{s_{L_f}/f_{L_f}}{s_e/f_e}$ ，拒绝域为 $F_{L_f} > F_{1-\alpha}(f_{L_f}, f_e)$ 。

Table 1. The value range of experimental factor levels
表 1. 各试验因子水平取值范围

因子	取值范围	因子	取值范围
生丝含水率(%)	19.65~19.95	筒壁温度(°C)	150~153
HT入口流量(kg/h)	6980~7020	热风温度(°C)	119~121
HT蒸湿压力(bar)	4.9~5.1	排潮风门开度(%)	23~26

Table 2. The encode table of experimental factor levels
表 2. 各试验因子水平编码表

因子	编码值	生丝含水率	HT入口流量	HT蒸湿压力	筒壁温度	热风温度	排潮风门开度
上水平	+1	19.95	7020	5.1	153	121	26.0
下水平	-1	19.65	6980	4.9	150	119	23.0
零水平	0	19.80	7000	5.0	151.5	120	24.5
变化半径		0.15	20	0.1	1.5	1	1.5

Table 3. The experiment table and arrange headers
表 3. $L_8(2^7)$ 试验表及试验表头安排

试验号	x_1 生丝含水率	x_2 HT 入口流量	x_3 HT 蒸汽压力	x_4 筒壁温度	x_5 热风温度	x_6 排潮风门	空白列
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	-1	-1	-1
3	1	-1	-1	1	1	-1	-1
4	1	-1	-1	-1	-1	1	1
5	-1	1	-1	1	-1	1	-1
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1	-1	-1	1
8	-1	-1	1	-1	1	1	-1

注：表中“1”和“-1”分别代表试验因子的上水平和下水平(可参见表 2 的编码值)。

Table 4. A coefficient of regression orthogonal design calculation table
表 4. 一次回归系数正交设计计算表

试验号	x_0	x_1	x_2	...	x_p	y
1	1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1p}	y_1
2	1	x_{21}	x_{22}	...	x_{2p}	y_2
...
n	1	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{np}	y_n
$B_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} y_i$	B_0	B_1	B_2	...	B_p	$S_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 - S_0$
$b_j = B_j/n$	b_0	b_1	b_2	...	b_p	$S_R = \sum_{j=1}^p S_j$
$S_j = b_j B_j$	S_0	S_1	S_2	...	S_p	$S_E = S_T - S_R$

注：表中 y 指试验结果。

3. 试验结果分析

3.1. 试验基础信息

通过试验，得到下表结果：

表 5 可以看出：从各试验组合下的试验指标极差看，试验指标变化大小顺序依次为：烘丝出口温度 > 烘丝出口含水率 > 绿原酸 > 整丝率 > 填充值 > 糖碱比。具体变化趋势、显著性在下文进一步分析。

按照表 4 顺序计算各设备参数与烘后叶丝含水率和温度的回归系数，同时检验各系数及方程的显著性。

3.2. 烘后叶丝含水率(烘丝机出口)

根据表 6 可以写出“烘丝出口含水率”关于各试验因子的回归方程：

$$\text{烘丝出口含水率} = 14.083 + 0.124x_1 + 0.029x_2 + 0.014x_3 - 0.116x_4 - 0.001x_5 - 0.011x_6.$$

在 $\alpha = 0.05$ 水平上， $F = 3196.99 > F_{0.95(6,1)} = 234.0$ ，因此上述求得的回归方程是有意义的。

表 6 中因子 x_1 、 x_2 、 x_4 的 F 值大于 $F_{0.95(1,1)} = 161.4$ ， x_3 、 x_6 的 F 值大于 $F_{0.90(1,1)} = 39.86$ ，说明 x_1 (生丝含水率)、 x_2 (HT 入口流量)、 x_4 (筒壁温度) 在 $\alpha = 0.05$ 水平上对烘丝出口含水率影响显著， x_3 (HT 蒸汽压力)、 x_6 (排潮风门开度) 在 $\alpha = 0.10$ 水平上对烘丝出口含水率影响显著，而 x_5 (热风温度) 对其影响不显著。将不显著因子剔除后得到各显著因子的回归方程：

$$\text{烘丝出口含水率} = 14.083 + 0.124x_1 + 0.029x_2 + 0.014x_3 - 0.116x_4 - 0.011x_6.$$

将编码式： $x_1 = \frac{z_1 - 19.80}{0.15}$ 、 $x_2 = \frac{z_2 - 7000}{20}$ 、 $x_3 = \frac{z_3 - 5.0}{0.1}$ 、 $x_4 = \frac{z_4 - 151.5}{1.5}$ 、 $x_6 = \frac{z_6 - 24.5}{1.5}$ 代入方程，得到“烘丝出口含水率”关于 z_1 、 z_2 、 z_3 、 z_4 、 z_6 的回归方程：

$$\text{烘丝出口含水率} = -1.24 + 0.827z_1 + 0.0014z_2 + 0.14z_3 - 0.077z_4 - 0.007z_6.$$

在试验范围内，除热风温度，其他试验因子对烘丝出口含水率影响都较大。其中，生丝含水率与烘丝出口含水率成正向相关，在其他因素不变的情况下，当生丝含水率升高或减小 1 个单位时，烘丝出口含水率升高或减小约 0.827 个单位；HT 入口流量与烘丝出口含水率成正向相关，在其他因素不变的情况下，当 HT 入口流量升高或减小 1 kg 时，烘丝出口含水率升高或减小约 0.0014%；HT 蒸汽压力与烘丝出口含水率成正向相关，在其他因素不变的情况下，当 HT 蒸汽压力升高或减小 1 bar 时，烘丝出口含水率升高或减小约 0.14%；筒壁温度与烘丝出口含水率成反向相关，在其他因素不变的情况下，当筒壁温度升高或减小 1℃ 时，烘丝出口含水率减小或升高约 0.077%；排潮风门开度与烘丝出口含水率成反向相关，在其他因素不变的情况下，当排潮风门开度升高或减小 1 个单位时，烘丝出口含水率减小或升高 0.007 个单位[4]。

3.3. 烘后叶丝温度(烘丝机出口)

根据表 7 可以写出“烘丝出口温度”关于各试验因子的回归方程：

$$\text{烘丝出口温度} = 58.775 - 0.153x_1 - 0.182x_2 + 0.105x_3 + 0.108x_4 + 0.050x_5 - 0.060x_6.$$

在 $\alpha = 0.05$ 水平上， $F = 252.574 > F_{0.95(6,1)} = 234.0$ ，因此上述求得的回归方程是有意义的。

表 7 中因子 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 的 F 值大于 $F_{0.95(1,1)} = 161.4$ ， x_5 、 x_6 的 F 值大于 $F_{0.90(1,1)} = 39.86$ ，说明 x_1 (生丝含水率)、 x_2 (HT 入口流量)、 x_3 (HT 蒸汽压力)、 x_4 (筒壁温度) 在 $\alpha = 0.05$ 水平上对烘丝出口温度影响显著， x_5 (热风温度)、 x_6 (排潮风门开度) 在 $\alpha = 0.10$ 水平上对烘丝出口温度影响显著，将编码式：

Table 5. The test resultsof each index
表 5. 各指标试验结果

试验号	烘丝含水率	烘丝温度	填充值	整丝率	绿原酸	糖碱比
1	14.12	58.65	4.15	88.87	8.41	7.31
2	14.38	58.44	4.06	88.78	8.6	7.33
3	14.06	58.91	4.08	89.10	8.66	7.29
4	14.27	58.49	3.89	88.65	8.68	7.43
5	13.85	58.63	4.19	88.67	8.86	7.34
6	14.10	58.65	4.11	88.81	8.87	7.37
7	13.84	59.34	4.33	88.89	8.59	7.35
8	14.05	59.09	4.20	88.82	8.68	7.23
极差	0.54	0.90	0.44	0.45	0.46	0.20

Table 6. Regression coefficient and test of each experimental factor and the tobacco moisture content
表 6. 各试验因子与烘丝出口含水率回归系数及检验

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
B_j	112.67	0.99	0.23	0.11	-0.93	-0.01	-0.09
b_j	14.083	0.124	0.029	0.014	-0.116	-0.001	-0.011
S_j	1586.816	0.1225	0.007	0.002	0.108	1.25E-05	0.001
f_j	1	1	1	1	1	1	1
MS_j	1586.816	0.1225	0.007	0.002	0.108	1.25E-05	0.001
F_j		9800.999	528.999	120.999	8648.999	0.999	80.999
	$S_R = 0.2398$	$f_R = 6$			$MS_R = 0.040$		
	$S_E = 1.25E - 05$	$f_E = 1$			$MS_E = 1.25E - 05$		
	$S_T = 0.2398$	$f_T = 7$			$F = 3196.99$		
	$F_{0.95(6,1)} = 234.0$				$F_{0.95(1,1)} = 161.4$		$F_{0.90(1,1)} = 39.86$

Table 7. Regression coefficient and test of each experimental factor and the temperature of the drying silk
表 7. 各试验因子与烘丝出口温度回归系数及检验

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
B_j	470.200	-1.220	-1.460	0.840	0.860	0.400	-0.480
b_j	58.775	-0.153	-0.182	0.105	0.108	0.050	-0.060
S_j	27636.0050	0.1861	0.2664	0.0882	0.0925	0.0200	0.0288
f_j	1	1	1	1	1	1	1
MS_j	27636.0050	0.1861	0.2664	0.0882	0.0925	0.0200	0.0288
F_j		413.444	592.111	196.00	205.44	44.45	64.00
	$S_R = 0.682$	$f_R = 6$			$MS_R = 0.1137$		
	$S_E = 0.0004$	$f_E = 1$			$MS_E = 0.0004$		
	$S_T = 0.6824$	$f_T = 7$			$F = 252.574$		
	$F_{0.95(6,1)} = 234.0$	$F_{0.95(1,1)} = 161.4$			$F_{0.90(1,1)} = 39.86$		

$x_1 = \frac{z_1 - 19.80}{0.15}$ 、 $x_2 = \frac{z_2 - 7000}{20}$ 、 $x_3 = \frac{z_3 - 5.0}{0.1}$ 、 $x_4 = \frac{z_4 - 151.5}{1.5}$ 、 $x_6 = \frac{z_6 - 24.5}{1.5}$ 代入方程, 得到“烘丝出口含水率”关于 z_1 、 z_2 、 z_3 、 z_4 、 z_5 、 z_6 的回归方程:

$$\text{烘丝出口温度} = 121.361 - 1.013z_1 - 0.0091z_2 + 1.05z_3 + 0.072z_4 + 0.05z_5 - 0.04z_6.$$

各试验因子对烘丝出口温度影响都显著。其中, 生丝含水率与烘丝出口温度成反向相关, 在其他因素不变的情况下, 当生丝含水率升高或减小 1% 时, 烘丝出口温度减小或升高约 1.013℃; HT 入口流量与烘丝出口温度成反向相关, 在其他因素不变的情况下, 当 HT 入口流量升高或减小 1 kg 时, 烘丝出口温度减小或升高约 0.0091℃; HT 蒸汽压力与烘丝出口温度成正向相关, 在其他因素不变的情况下, 当 HT 蒸汽压力升高或减小 1 bar 时, 烘丝出口温度升高或减小约 1.05℃; 筒壁温度与烘丝出口温度成正向相关, 在其他因素不变的情况下, 当筒壁温度升高或减小 1℃ 时, 烘丝出口温度升高或减小约 0.072℃; 热风温度与烘丝出口温度成正向相关, 在其他因素不变的情况下, 当热风温度升高或减小 1℃ 时, 烘丝出口温度升高或减小约 0.05℃; 排潮风门开度与烘丝出口温度成反向相关, 在其他因素不变的情况下, 当排潮风门开度升高或减小 1% 时, 烘丝出口温度减小或升高约 0.04℃。

3.4. 烘后叶丝填充值

根据表 8 可以写出“叶丝填充值”关于各试验因子的回归方程:

$$\text{填充值} = 4.126 - 0.081x_1 + 0.001x_2 + 0.059x_3 + 0.061x_4 + 0.009x_5 - 0.019x_6.$$

在 $\alpha = 0.10$ 水平上, $F = 60.733 > F_{0.90(6,1)} = 58.2$, 因此上述求得的回归方程在 $\alpha = 0.10$ 水平上显著, 具有一定的参考意义。

表 8 中因子 x_1 的 F 值大于 $F_{0.95(1,1)} = 161.4$, 因子 x_2 、 x_4 的 F 值大于 $F_{0.90(1,1)} = 39.86$, 说明 x_1 (生丝含水率) 在 $\alpha = 0.05$ 水平上, 对烘后叶丝填充值影响显著, x_3 (HT 蒸汽压力)、 x_4 (筒壁温度) 在 $\alpha = 0.10$ 水平上, 对烘后叶丝填充值影响显著, x_2 (HT 入口流量)、 x_5 (热风温度) 和 x_6 (排潮风门开度) 对其影响不显著。将对填充值影响不显著的因子从回归方程中删除, 最后得到各显著因子的回归方程:

填充值 = 4.126 - 0.081 x_1 + 0.059 x_3 + 0.061 x_4 , 将编码式: $x_1 = \frac{z_1 - 19.80}{0.15}$ 、 $x_2 = \frac{z_2 - 7000}{20}$ 、 $x_4 = \frac{z_4 - 151.5}{1.5}$ 代入方程, 得到“填充值”关于 z_1 、 z_2 、 z_4 的回归方程: 填充值 = 5.71 - 0.54 z_1 + 0.59 z_3 + 0.041 z_4 。

HT 入口流量、热风温度、排潮风门开度对烘后叶丝填充值影响不显著, 生丝含水率、HT 蒸汽压力、筒壁温度对烘后叶丝填充值影响显著。其中, 生丝含水率与烘后叶丝填充值成反向相关, 在其他因素不变的情况下, 生丝含水率升高或减小 1%, 烘后叶丝填充值减小或增加约 0.54 g/cm³; HT 蒸汽压力与烘后叶丝填充值成正向相关, 在其他因素不变的情况下, HT 蒸汽压力升高或减小 1 bar, 烘后叶丝填充值增加或减小 0.59 g/cm³; 筒壁温度与烘后叶丝填充值成正向相关, 在其他因素不变的情况下, 筒壁温度升高或减小 1℃, 烘后叶丝填充值增加或减小约 0.041 g/cm³。

3.5. 烘后叶丝整丝率

根据表 9 可以写出“叶丝整丝率”关于各试验因子的回归方程:

$$\text{整丝率} = 88.824 + 0.026x_1 - 0.041x_2 + 0.016x_3 + 0.059x_4 + 0.076x_5 - 0.071x_6.$$

在 $\alpha = 0.10$ 水平上, $F = 8.06 < F_{0.90(6,1)} = 58.20$, 因此上述求得的回归方程没有太多参考的意义。

表 9 中所有试验因子 F 值均小于 $F_{0.90(1,1)} = 39.86$, 说明各试验因子对烘后叶丝整丝率影响不显著。从各试验因子回归系数看其对烘后整丝率的影响趋势: 在试验范围内, 生丝含水率、HT 蒸汽压力、筒壁温

Table 8. Regression coefficient and test of each experimental factor and filling power
表 8. 各试验因子与填充值回归系数及检验

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
B_j	33.010	-0.650	0.010	0.470	0.490	0.070	-0.150
b_j	4.126	-0.081	0.001	0.059	0.061	0.009	-0.019
S_j	136.207	0.0528	0.000013	0.0276	0.03001	0.0006	0.0028
f_j	1	1	1	1	1	1	1
MS_j	136.207	0.0528	0.000013	0.0276	0.03001	0.0006	0.0028
F_j		169.00	0.040	88.360	96.040	1.960	9.000
$S_R = 0.1139$		$f_R = 6$		$MS_R = 0.0190$			
$S_E = 0.0003$		$f_E = 1$		$MS_E = 0.0003$			
$S_T = 0.1142$		$f_T = 7$		$F = 60.733$			
$F_{0.95(6,1)} = 234.0$		$F_{0.95(1,1)} = 161.4$		$F_{0.90(6,1)} = 58.20$		$F_{0.90(1,1)} = 39.86$	

Table 9. Regression coefficient and test of each experimental factor and the proportion of long strands
表 9. 各试验因子与整丝率回归系数及检验

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
B_j	710.590	0.210	-0.330	0.130	0.470	0.610	-0.570
b_j	88.824	0.026	-0.041	0.016	0.059	0.076	-0.071
S_j	63,117.268512	0.005512	0.013612	0.002113	0.027612	0.046512	0.040612
f_j	1	1	1	1	1	1	1
MS_j	63,117.268512	0.005512	0.013612	0.002113	0.027612	0.046512	0.040612
F_j		1.960	4.840	0.751	9.818	16.538	14.440
$S_R = 0.136$		$f_R = 6$		$MS_R = 0.023$			
$S_E = 0.003$		$f_E = 1$		$MS_E = 0.003$			
$S_T = 0.139$		$f_T = 7$		$F = 8.06$			
$F_{0.95(6,1)} = 234.0$		$F_{0.95(1,1)} = 161.4$		$F_{0.90(6,1)} = 58.20$		$F_{0.90(1,1)} = 39.86$	

度、热风温度升高，烘后叶丝整丝率有增加趋势，HT 入口流量和排潮风门开度作用强度增加，烘后叶丝整丝率有减小趋势。

各试验因子对叶丝整丝率的影响较小，均未达到显著水平。从各试验因子回归系数看其对烘后整丝率的影响趋势：在试验范围内，生丝含水率、HT 蒸汽压力、筒壁温度、热风温度升高，烘后叶丝整丝率有增加趋势，HT 入口流量和排潮风门开度作用强度增加，烘后叶丝整丝率有减小趋势。

3.6. 烘后叶丝绿原酸含量

根据表 10 可以写出“叶丝绿原酸含量”关于各试验因子的回归方程：

$$\text{绿原酸} = 8.669 - 0.081x_1 + 0.016x_2 - 0.099x_3 - 0.019x_4 - 0.014x_5 - 0.011x_6$$

在 $\alpha = 0.10$ 水平上， $F = 3.146 < F_{0.90(6,1)} = 58.20$ ，因此上述求得的回归方程没有太多参考的意义。

表 10 中所有试验因子 F 值均小于 $F_{0.90(1,1)} = 39.86$ ，说明各试验因子对烘后叶丝绿原酸含量影响不显

Table 10. Regression coefficient and test of each experimental factor and ratios of chlorogenic acid
表 10. 各试验因子与绿原酸回归系数及检验

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
B_j	69.35	-0.65	0.13	-0.79	-0.15	-0.11	-0.09
b_j	8.6688	-0.0812	0.0160	-0.0988	-0.0188	-0.0138	-0.0112
S_j	601.178	0.0528	0.002	0.078	0.0028	0.0015	0.001
f_j	1	1	1	1	1	1	1
MS_j	601.178	0.0528	0.002	0.078	0.0028	0.0015	0.001
F_j		6.76	0.27	9.986	0.36	0.194	0.129
$S_R = 0.147$		$f_R = 6$		$MS_R = 0.024$			
$S_E = 0.008$		$f_E = 1$		$MS_E = 0.008$			
$S_T = 0.155$		$f_T = 7$		$F = 3.146$			
$F_{0.95(6,1)} = 234.0$		$F_{0.95(1,1)} = 161.4$		$F_{0.90(6,1)} = 58.20$		$F_{0.90(1,1)} = 39.86$	

著。但从各试验因子回归系数看其对烘后叶丝绿原酸含量的影响趋势：在试验范围内，在其他因子不变的情况下，除 HT 入口流量升高，烘后叶丝绿原酸含量有升高趋势外，其他试验因子作用强度升高时，烘后叶丝绿原酸含量均有减小趋势。

在试验范围内，HT 蒸汽压力、筒壁温度、热风温度对烘后叶丝绿原酸影响较大，生丝含水率对绿原酸也有影响，生丝含水率增加时，绿原酸有降低趋势。

3.7. 烘后叶丝糖碱比

根据表 11 可以写出“叶丝糖碱比”关于各试验因子的回归方程：

$$\text{糖碱比} = 7.331 + 0.009x_1 + 0.006x_2 - 0.026x_3 - 0.009x_4 - 0.031x_5 + 0.004x_6$$

在 $\alpha = 0.10$ 水平上， $F = 0.274 < F_{0.90(6,1)} = 58.20$ ，因此上述求得的回归方程没有多少的意义。

表 11 中所有试验因子 F 值均小于 $F_{0.90(1,1)} = 39.86$ ，说明各试验因子对烘后叶丝糖碱比影响不显著。从各试验因子回归系数看其对烘后叶丝糖碱比的影响趋势，生丝含水率、HT 入口流量升高，烘后叶丝糖碱比有增加趋势，HT 蒸汽压力、筒壁温度、热风温度和排潮风门开度作用强度增加，烘后叶丝糖碱比有减小趋势。

试验范围内，HT 蒸汽压力、筒壁温度、热风温度对糖碱比致香致醇物质影响较大，当 HT 蒸汽压力、筒壁温度、热风温度增加时，叶丝致香致醇物质有减小趋势。实际生产中，当设备加工强度及生丝含水率增加时，叶丝将出现不同程度的棕色化反应而色泽变褐色，进而造成叶丝致香致醇物质减少。

3.8. 失拟检验结果

上述用一次回归正交设计方法求得的一次回归方程是否能真实反应实际，需要对显著的回归方程进行失拟检验，以检验通过试验建立模型的参考价值。

表 12 显示，烘丝机设备参数与烘后叶丝含水率和填充值回归模型均在 $\alpha = 0.05$ 水平上显著，说明其拟合度相对较好。但烘丝机设备参数与烘后叶丝温度回归模型拟合度不好。实际生产过程中，生产车间环境温度差大，对烘后叶丝温度受外界环境温度影响也较大，且该影响暂不能消除(本文中建立的回归模型是 1 月份的试验结果，而失拟检验数据为 5 月份生产结果)。因此，须考虑环境温湿度的因素方能建立起贴合实际的烘丝机设备参数与烘后叶丝温度回归模型。

Table 11. Regression coefficient and test of each experimental factor and ratios of total sugar to betaine
表 11. 各试验因子与叶丝糖碱比回归系数及检验

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
B_j	58.65	0.07	0.05	-0.21	-0.07	-0.25	-0.03
b_j	7.3312	0.0088	0.0062	-0.0262	-0.0088	-0.0312	-0.0038
S_j	429.978	0.0006	0.0003	0.0055	0.0006	0.0078	0.0001
f_j	1	1	1	1	1	1	1
MS_j	429.978	0.0006	0.0003	0.0055	0.0006	0.0078	0.0001
F_j		0.067	0.034	0.605	0.067	0.857	0.012
$S_R = 0.015$		$f_R = 6$		$MS_R = 0.0025$			
$S_E = 0.009$		$f_E = 1$		$MS_E = 0.009$			
$S_T = 0.024$		$f_T = 7$		$F = 0.274$			
$F_{0.95(6,1)} = 234.0$		$F_{0.95(1,1)} = 161.4$		$F_{0.90(6,1)} = 58.20$		$F_{0.90(1,1)} = 39.86$	

Table 12. The lack of fit test results of significant equation
表 12. 显著方程失拟检验结果

回归模型	F_{L_f}	备注
烘丝含水率 = $-1.24 + 0.827z_1 + 0.0014z_2 + 0.14z_3 - 0.077z_4 - 0.007z_6$	3.39	接受
烘丝温度 = $121.361 - 1.013z_1 - 0.0091z_2 + 1.05z_3 + 0.072z_4 + 0.05z_5 - 0.04z_6$	206.9	拒绝
填充值 = $5.71 - 0.54z_1 + 0.59z_3 + 0.041z_4$	4.41	接受
$F_{0.975(2,16)} = 4.69$		

4. 结论

通过回归设计试验较为系统地研究了烘丝机设备参数与烘后叶丝质量的关系, 结果表明: 基于回归设计试验建立的烘丝机设备参数关于烘后叶丝含水率和填充值的数学模型具有较好的参考价值, 关于叶丝绿原酸和糖碱比的数学模型拟合不是太好, 但也呈现了烘丝设备参数对绿原酸和糖碱比的影响趋势, 也有一定的参考价值。

烘后叶丝质量指标中, 绿原酸、糖碱比属于致香、致醇物质, 而含水率、温度、填充值、整丝率则与卷烟其他物理指标有着重要的相关关系, 直接影响着后序卷烟制造的其他物理指标的好坏。在制定制丝质量内控标准时, 在考虑烘丝设备参数与烘后叶丝含水率、温度、填充值等物理指标的匹配性时, 还应充分考虑烘丝设备参数对绿原酸、糖碱比等致香致醇物质的影响趋势, 不宜采用过强加工参数, 应充分保证叶丝色泽, 以保障卷烟内在质量及物理指标质量的稳定。在实际生产中, 为保障烘后叶丝含水率均匀一致, 实现精准控制, 应加强关注生丝含水率的波动情况, 及时调整烘丝机关键参数, 以保障烘后叶丝含水率均匀稳定。其次, 为提高叶丝填充值, 可适当降低生丝含水率, 同时增加 HT 蒸汽压力和筒壁温度, 但不能调整过高, 因过高的蒸汽压力和烘丝温度会造成叶丝致香致醇物质的减少。

基金项目

红河卷烟厂质量内控标准系统的构建研究, 项目编号 1013-KY04030。

参考文献 (References)

- [1] 陈良元 (2002) 卷烟生产工艺技术. 河南科学技术出版社, 郑州.
- [2] 张本甫 (2002) 卷烟工艺规范. 中央文献出版社, 北京.
- [3] 茆诗松, 周纪芴, 陈颖 (2004) 试验设计. 中国统计出版社, 北京.
- [4] 韩富根 (2010) 烟草化学. 第2版, 中国农业出版社, 北京.