

制丝工艺参数对卷烟主流烟气中氨释放量的影响

刘如灿^{1,2}, 谭兰兰^{1,2}, 戴亚^{1,2}, 冯广林^{1,2}, 杨文敏^{1,2}, 汪长国^{1,2*}

(1. 卷烟减害降焦四川省重点实验室, 四川 成都 610066; 2. 川渝中烟工业有限责任公司技术研发中心, 四川 成都 610066)

摘 要: 采取均匀设计试验, 运用二次多项式逐步回归方法, 建立卷烟主流烟气中氨释放量与制丝工艺参数的数学模型, 并对模型进行主效应分析、单因素效应分析、双因素交互作用分析、边际效应分析。结果表明: 工艺参数对卷烟主流烟气中 NH_3 释放量影响大小依次为热风风门开度、HT 工作蒸汽压力、筒壁温度、热风温度、筒体转速、切丝宽度, 切丝宽度对 NH_3 释放量影响不显著, NH_3 释放量与 HT 工作蒸汽压力和筒壁温度呈负相关, 与热风风门开度、热风温度和筒体转速呈正相关, HT 蒸汽工作压力和热风温度、HT 工作蒸汽压力和筒壁温度, 存在较强的交互作用。综合分析, 降低热风风门开度、热风温度和筒体转速, 提高 HT 工作蒸汽压力、筒壁温度, 对控制卷烟主流烟气中 NH_3 的释放有积极作用。

关 键 词: 卷烟; 主流烟气; 氨; 制丝工艺; 均匀设计; 数学模型

中图分类号: TS45 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2014)06-0599-05

Effects of parameters in spinning process on NH_3 emission in cigarette mainstream smoke

LIU Ru-can^{1,2}, TAN Lan-lan^{1,2}, DAI Ya^{1,2}, FENG Guang-lin^{1,2}, YANG Wen-min^{1,2}, WANG Chang-guo^{1,2*}

(1. Sichuan Key Laboratory for Harmful Component and Tar Reduction in Cigarette, Chengdu 610066, China; 2. Technical Research Center, Chuanyu Branch of China Tobacco Corporation, Chengdu 610066, China)

Abstract: A mathematical model for spinning processing parameters and NH_3 emission is established using uniform design and quadratic polynomial regression. And principal-factor effect, single-factor effect, marginal effect and double-factor effect of the model were analyzed. The result showed according to the contribution rate, NH_3 emission in cigarette mainstream smoke was most greatly effected by open degree of the door of the hot air, followed by HT operating steam pressure, the temperature of cylinder wall, hot-air temperature, the revolving speed of casing cylinder and tobacco cut width, among which tobacco width was not significantly effected. The NH_3 emission exhibit a negative correlation with HT operating steam pressure and the temperature of cylinder wall, whereas a positive correlation with hot air damper opening, hot-air temperature and the revolving speed of casing cylinder. Strong interactive influence existed between HT operating steam pressure and hot-air temperature, between HT operating steam pressure and the temperature of cylinder wall. Reducing the hot air damper opening, air temperature, or improving HT operating steam pressure, the temperature of cylinder wall will help to control the NH_3 emission in mainstream cigarette smoke.

Key words: cigarette; mainstream smoke; NH_3 ; spinning process; uniform design; mathematical model

卷烟主流烟气中的 NH_3 主要由卷烟叶组配方中的氨基酸、蛋白质、硝酸盐和铵盐等含氮化合物燃烧热解产生^[1]。 NH_3 是霍夫曼44种有害成分^[2]之一,

过量的氨会产生强烈的刺激性, 影响卷烟的吃味, 刺激咽喉, 对人体造成危害^[3]。谢建平等^[4]筛选出 CO 、氢氰酸、 NHK 、 NH_3 、苯并[a]芘、苯酚、巴

收稿日期: 2014-05-10

作者简介: 刘如灿(1986—), 男, 福建永安人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事卷烟产品开发与维护研究, liurucan@126.com;

*通信作者, wgcx@163.com

豆醛7种最具代表性的卷烟烟气有害成分, NH_3 是其中之一, 因此, 降低卷烟主流烟气中的 NH_3 , 对提升卷烟产品质量, 降低卷烟危害性具有重要作用。

卷烟制丝过程中, 切丝宽度、HT工作蒸汽压力、热风温度、热风风门开度、筒壁温度、筒体转速是重要的工艺参数, 这些参数对主流烟气中有害成分的影响已有大量研究^[5-8]。这些研究中, 试验设计上主要采用单因素循环法, 并未对单因素贡献率、双因素交互作用、边际效应等进行综合分析。笔者采用均匀设计法安排试验, 采用二次多项式逐步回归建立数学模型并进行分析, 旨在研究单因素贡献率和边际效应, 以及单因素、双因素交互作用在制丝工艺过程中对卷烟主流烟气 NH_3 释放量的影响, 为制丝工艺参数的进一步优化提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

卷烟为涪陵卷烟厂生产的川渝中烟某牌号3类烟。

主要仪器设备: ICS-300型离子色谱仪(美国戴安公司); SQ313切叶丝机(昆明船舶制造有限责任公司); 直线型吸烟机(英国CERULEAN公司); 旋转振荡器(国华电器有限公司)。

1.2 试验设计

选择制丝工艺中的6个主要参数: 切丝宽度(X_1)、HT工作蒸汽压力(X_2)、热风温度(X_3)、热风风

门开度(X_4)、筒壁温度(X_5)和筒体转速(X_6), 采用均匀设计法^[9]进行试验设计, 共7个组合, 3次重复。以各工艺参数为自变量, 卷烟主流烟气 NH_3 释放量 Y 为因变量, 采用二次多项式逐步回归方法建立模型。通过计算模型中各因子的贡献率来确定各因子对主流烟气 NH_3 释放量的影响程度; 通过单因素效应分析来确定各因素在不同水平时对主流烟气 NH_3 释放量的影响; 采用等高线分析法分析两两因素的交互作用及对卷烟主流烟气 NH_3 释放量的影响; 通过求解并分析各因素的偏导数来确定试验范围内该因素对主流烟气 NH_3 释放量的影响方向及 NH_3 释放量的边际效应。

1.3 试验样品制备与检测

试验样品在相同工艺参数条件下卷制。挑选出烟支圆周、硬度以及单支重符合允差范围内的烟支用于检测, 被测烟支样品在 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(60 \pm 3)\%$ 的环境下平衡48 h。

按照YC/T377—2010^[10], 对样品主流烟气中的 NH_3 进行测定。

2 结果与分析

由于各试验因素的量纲和数量级不同, 为了便于统计分析, 采用极差归一化法, 对试验中的各因素进行变换。极差归一化后的实际参数以及试验结果见表1。

表1 极差归一化后的实际参数及试验结果

Table 1 Actual parameters after poor normalization and the test results

试验序号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	$Y/\mu\text{g}$
1	0.500 0	0.375 0	0.396 7	0.500 0	0.000 0	0.000 0	8.10
2	0.000 0	0.312 5	0.126 7	0.666 7	0.656 0	0.333 3	9.13
3	0.300 1	0.000 1	1.000 0	1.000 0	0.305 7	0.466 7	8.32
4	0.300 1	1.000 0	0.853 5	0.333 3	0.547 9	0.666 7	10.00
5	0.500 0	0.000 1	0.275 1	0.000 0	0.434 3	0.866 7	7.59
6	0.700 0	0.625 0	0.000 0	0.833 3	0.188 8	1.000 0	8.41
7	1.000 0	0.312 5	0.263 0	0.500 0	1.000 0	0.466 7	9.02

NH_3 释放量 Y 指每支样品的释放量。

以极差归一化后的各因素为自变量, NH_3 释放量为因变量, 采用二次多项式逐步回归的方法建立数学模型, 得到 NH_3 释放量的回归方程 $Y=8.31+0.591X_4+1.06X_4^2+1.75X_2X_3-4.80X_2X_5+0.271X_5X_6$ 。

同时得到回归方程的统计学指标。决定系数

$R^2=0.999\ 8$, $F=9\ 999.85$, $Df=(5,1)$, $P=0.002\ 4<0.05$, Durbin-Watson统计量 $d=1.72$ 。该模型拟合良好, 能够较为准确地反映各工艺参数与 NH_3 释放量之间的关系, 可靠性较高。

如果仅以 NH_3 释放量为参考指标, 则由数学模

型可以得到在试验范围内该3类卷烟的最佳工艺参数为 $X_1=1, X_2=0, X_3=0, X_4=1, X_5=0$ ，将所得参数进行反归一化处理，可得最佳工艺参数为：HT工作蒸汽压力0.2 MPa，热风温度80 ℃，热风风门开度30%，筒壁温度130 ℃，筒体转速25 r/min。

2.1 因子主效分析

统计结果得出，主流烟气中NH₃释放量的贡献率分别为： $X_1=0, X_2=0.990, X_3=0.495, X_4=1.913, X_5=0.935, X_6=0.439$ ，表明各因子对NH₃释放量的影

响程度大小依次是热风风门开度、HT工作蒸汽压力、筒壁温度、热风温度、筒体转速、切丝宽度。切丝宽度的贡献率为0，表明切丝宽度对NH₃释放量无影响。

2.2 单因素效应分析

将其他因素固定在高、中、低水平(1、0.5、0)下，考查单因素对主流烟气中NH₃释放量的影响，得到3组一元一次方程(表2)。

表2 单因素效应方程
Table 2 Single-factor effect equation

因素	效应方程		
	X=1	X=0.5	X=0
X_1	$Y=7.18$	$Y=8.17$	$Y=8.31$
X_2	$Y=10.23-3.05X_2$	$Y=8.94-1.525X_2$	$Y=8.31$
X_3	$Y=5.431+1.75X_3$	$Y=7.74+0.875X_3$	$Y=8.31$
X_4	$Y=5.53+0.591X_4+1.06X_4^2$	$Y=7.62+0.591X_4+1.06X_4^2$	$Y=8.31+0.591X_4+1.06X_4^2$
X_5	$Y=11.711-4.529X_5$	$Y=9.31-2.264X_5$	$Y=8.31$
X_6	$Y=6.911+0.271X_6$	$Y=8.108+0.136X_6$	$Y=8.31$

X 代表除考查因素自身外的其他因素。

从表2可知，在其他因素处于高、中、低3个水平时，切丝宽度与氨的释放量无关。当其他因素处于高、中水平时，HT工作蒸汽压力、热风温度、筒壁温度、筒体转速4个因素的效应方程都为一次方程，表明其与NH₃释放量呈线性关系，其中，HT工作蒸汽压力和筒壁温度呈负相关，热风温度和筒体转速呈正相关。随着其他因素所处水平的降低，这4个效应方程斜率的绝对值变小，当其他因素水平减少到0时，斜率为0，表明随着其他因素所处水平的降低，HT工作蒸汽压力、热风温度、筒壁温度、筒体转速对NH₃释放量的影响逐渐降低，最终消失。

当其他因素处于高、中、低水平时，NH₃释放量变化趋势和变化速率相同，都是先慢后快，表明热风风门开度对NH₃释放量的影响只与自身所处的水平有关，水平越高，影响越大。结合因子主效分析和单因素效应分析，可知热风风门开度对卷烟主流烟气中NH₃的影响最为显著，可能是烟丝中的铵盐等受热分解为NH₃，随水蒸气一起排出，热风风门开度和排潮开度是决定水蒸气和NH₃排出的2个重要因素，为保证试验烟丝的出口水分一致，其他因素固定不变的情况下，提高热风风门开度会降低

排潮开度，从而阻碍水分和NH₃的顺利排出，进而提高卷烟主流烟气中的NH₃。

2.3 双因素效应分析

由数学模型得出的回归方程中只有 X_2X_3, X_2X_5, X_5X_6 3个交互项，进一步对回归模型中的回归系数进行T检验，结果3个交互项的P值均小于0.05，表明其交互作用显著，因此，HT工作蒸汽压力和热风温度、HT蒸汽工作压力和筒壁温度、筒壁温度和筒体转速3对因素存在交互作用。分别保留这3对因素，将其其他因素分别置于高、中、低3个水平，分析交互作用对卷烟主流烟气中NH₃释放量的影响。

2.3.1 HT 工作蒸汽压力与热风温度交互作用对NH₃释放量的影响

由 X_2X_3 的等高线图(图1)可知，当其他因素固定于高、中水平(1、0.5)， X_2 处于高水平(0.5< r <1)， X_3 处于低水平(0< r <0.5)时， X_2 与 X_3 交互作用较强；当其他因素固定于低水平(0)， X_2 与 X_3 处于高水平(0.5< r <1)时， X_2 与 X_3 交互作用较强； X_2 较大、 X_3 较小时，主流烟气中的NH₃释放量较小。

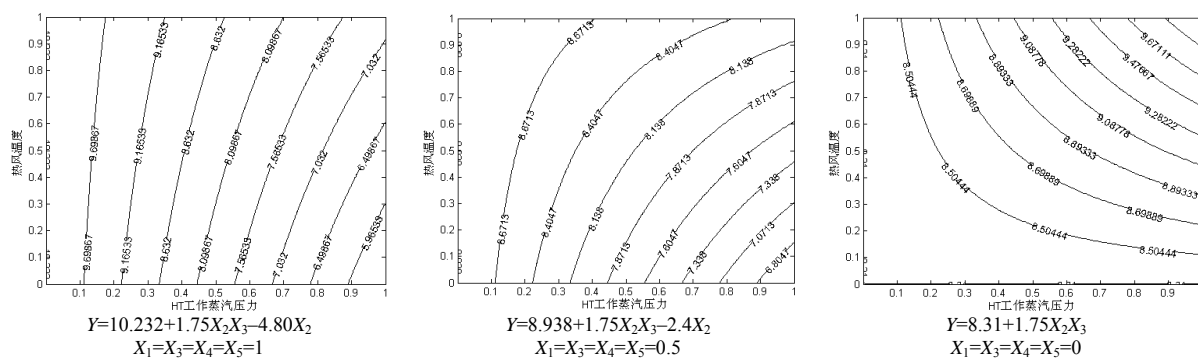


图1 HT 工作蒸汽压力与热风温度交互作用

Fig.1 Interaction between HT operating steam pressure and hot-air temperature

2.3.2 HT 工作蒸汽压力与筒壁温度交互作用对 NH_3 释放量的影响

由 X_2X_5 的等高线图(图2)可知,当其他因素固定于高、中水平(1、0.5), X_2 处于高水平(0.5)时,

X_2 与 X_5 的交互作用较强;当其他因素固定于低水平(0), X_2 与 X_5 处于高水平(0.5)时, X_2 与 X_5 交互作用较强;当 X_2X_5 较大时,主流烟气中的 NH_3 释放量较小。

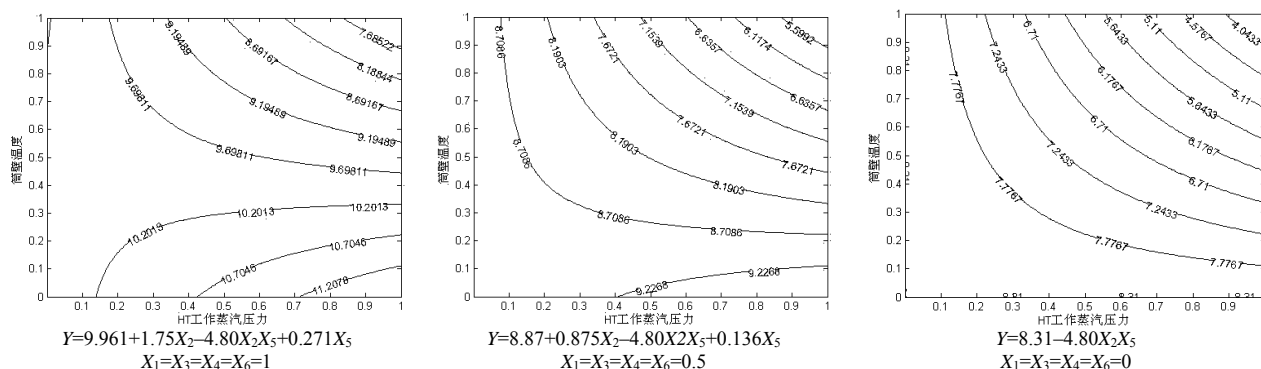


图2 HT 工作蒸汽压力与筒壁温度交互作用

Fig.2 Interaction between HT operating steam pressure and the temperature of cylinder wall

2.3.3 筒壁温度与筒体转速交互作用对 NH_3 释放量的影响

由 X_5 与 X_6 的等高线图(图3)可知,当其他因素固

定于高、中水平(1、0.5)时, X_5 与 X_6 交互作用不明显;当其他因素固定于低水平(0)时, X_5 和 X_6 处于高水平(0.5)时, X_5 与 X_6 交互作用较明显,但效果一般。

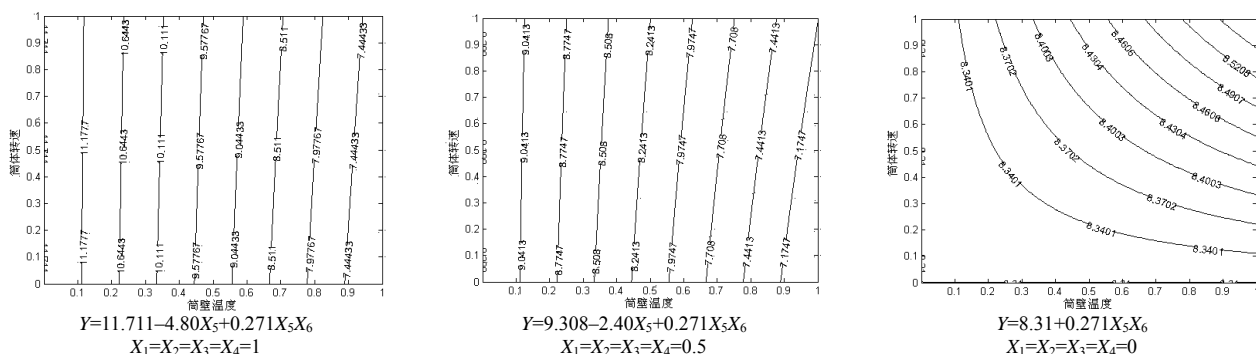


图3 筒壁温度与筒体转速交互作用

Fig.3 Interaction between the temperature of cylinder wall and the revolving speed of casing cylinder

2.4 边际 NH_3 的释放效应

为进一步明确 NH_3 释放量随各因素水平的变化速率,对 NH_3 释放量模型求一阶偏导方程(表3)。

由表3可知,无论各因素处于何种水平, X_1 的

边际 NH_3 释放量均为0,表明切丝宽度对主流烟气中 NH_3 释放量影响不显著,这与主效分析和单因素效应分析的结果一致。 X_4 的边际 NH_3 释放量只与自身所处的水平有关,且为随 X_4 水平的升高而升高的正

数,表明热风风门开度的边际 NH_3 释放为正效应。 X_3 、 X_6 的边际 NH_3 释放量则分别取决于 X_2 、 X_5 所处的水平,随着 X_2 、 X_5 水平的提高而升高为正效应。 X_2 的边际 NH_3 释放效应与 X_3 和 X_5 的水平有关, X_5 的边际 NH_3 释放效应与 X_2 和 X_6 的水平有关(相关因素处于非0水平)。当 $X_3 < 2.75 X_5$, $X_6 < 17.72 X_2$ 时, X_2 和 X_5 的边际 NH_3 释放效应为负效应,因此升高 X_2 和 X_5 ,降低 X_3 和 X_6 ,有利于减少主流烟气中 NH_3 的释放,这与双因素效应分析的结果一致。

从以上分析结果可以看出,升高HT工作蒸汽压力和筒壁温度,增加了热风温度和筒体转速的边际 NH_3 释放量,同时减少了筒壁温度和HT工作蒸汽压力的边际 NH_3 释放量。进一步分析偏导方程,可得提高HT工作蒸汽压力,筒壁温度对HT工作蒸汽压力的边际 NH_3 释放量的减少程度要大于对热风温度、筒体转速边际 NH_3 释放量的增加程度,因此,提高HT工作蒸汽压力、筒壁温度有利于减少主流烟气中 NH_3 的释放量,这与单因素效应分析的结果一致。

表3 模型中各因子的偏导方程

Table 3 Partial derivative analysis of each factor	
因子	偏导方程
X_1	$\partial Y / \partial x_1 = 0$
X_2	$\partial Y / \partial x_2 = 1.75X_3 - 4.80X_5$
X_3	$\partial Y / \partial x_3 = 1.75X_2$
X_4	$\partial Y / \partial x_4 = 0.591 + 2.12X_4$
X_5	$\partial Y / \partial x_5 = -4.80X_2 + 0.271X_6$
X_6	$\partial Y / \partial x_6 = 0.271X_5$

3 结果与讨论

通过均匀设计试验,采用二次多项式逐步回归的方法,得到了卷烟主流烟气中 NH_3 释放量的数学模型,模型拟合良好,能够较好地反映制丝工艺参数与卷烟主流烟气中 NH_3 释放量的关系。制丝工艺参数对卷烟主流烟气中 NH_3 释放量影响大小依次为热风风门开度、HT工作蒸汽压力、筒壁温度、热风温度、筒体转速、切丝宽度。 NH_3 释放量与HT工作蒸汽压力和筒壁温度呈负相关,与热风风门开度、热风温度和筒体转速呈正相关。HT蒸汽工作压力和热风温度、HT工作蒸汽压力和筒壁温度存在较强的

交互作用。得到了以主流烟气中氨释放量为控制指标的最佳工艺参数为:HT工作蒸汽压力0.2 MPa,热风温度80℃,热风风门开度30%,筒壁温度130℃,筒体转速25 r/min。

试验虽然在降低卷烟主流烟气中 NH_3 的释放量方面得到了较为满意的结果,但在实际生产中还应该综合考虑工艺参数对产品外观及感官质量的影响,在降低卷烟危害性的同时保证卷烟的内在质量。

参考文献:

- [1] Huang Chong B, Ron Bassfield, Bettie Dabney, et al. Determination of total ammonia in mainstream smoke[J]. Beitr^{3/4} zur Tabakforschung International, 2003, 20(6): 383-389.
- [2] Hoffmann I, Hoffmann D. The Changing Cigarette: Chemical Studies and Bioassays[M]. New York: Oxford University Press, 2001.
- [3] Thomas D H, Rey M, Jackson P E. Determination of inorganic cations and ammonium in environmental waters by ion chromatography with a high-capacity cation-exchange column[J]. Journal of Chromatography A, 2002, 956(1/2): 181-186.
- [4] 谢剑平, 刘惠民, 朱茂祥, 等. 卷烟烟气危害性指数研究[J]. 烟草科技, 2009(2): 5-15.
- [5] 王鹏, 刘华, 曾建, 等. 制丝工艺参数对主流烟气中氢氰酸含量影响研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(2): 365-367.
- [6] 陈昆燕, 薛芳, 曾建, 等. 重点工序工艺参数与卷烟主流烟气中巴豆醛释放量的关系研究[J]. 江西农业学报, 2009, 21(12): 40-42.
- [7] 谭兰兰, 施丰成, 薛芳, 等. 卷烟制丝工艺参数对主流烟气中苯并[a]芘释放量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 165-167.
- [8] 唐士军, 陈昆燕, 曾建, 等. 重点工序工艺参数与卷烟主流烟气中CO量的关系研究[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2010(4): 20-22.
- [9] 方开泰. 均匀设计与均匀设计表[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 35-47.
- [10] YC/T377—2010, 卷烟主流烟气中氨的测定 离子色谱法[S].

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维