

唐小雪,潘连华,黄宇亮,等. 卷烟纸参数对中式卷烟常规烟气成分释放量及其符合度的影响[J]. 轻工学报,2023,38(2):102-109.

TANG X X, PAN L H, HUANG Y L, et al. The influence of cigarette paper parameters on the release of routine smoke components of demi-slim cigarettes and their conformity[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(2): 102-109. DOI: 10. 12187/2023. 02. 013



卷烟纸参数对中式卷烟常规烟气成分释放量及其符合度的影响

唐小雪¹, 潘连华¹, 黄宇亮¹, 宾晖¹, 王弘¹, 王建民², 李峰骁²

1. 广西中烟工业有限责任公司 技术中心, 广西南宁 530001;

2. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001

摘要: 以中式卷烟为研究对象, 采用均匀设计方法研究了卷烟纸灰分含量、透气度、定量、助燃剂添加量和钾钠比对焦油等3种常规烟气成分释放量的影响, 将释放量实测值与盒标值间的相对偏差转换为符合度, 并研究卷烟纸参数对烟气成分释放量符合度的影响。结果表明: 1) 高灰分含量、高定量、高助燃剂添加量、高钾钠比及中高透气度的卷烟纸有利于降低中式卷烟常规烟气成分释放量, 该影响趋势与常规卷烟基本一致; 2) 符合度有利于比较不同盒标值卷烟及不同烟气成分的控制水平; 3) 影响各种烟气成分符合度的因素与释放量基本一致, 但趋势不同, 卷烟纸参数对烟气成分符合度的影响有其独特的规律性。通过符合度设计可以为卷烟纸参数的优化提供一个边界, 能够在保证烟气成分符合度要求的前提下改进卷烟品质。

关键词: 中式卷烟; 卷烟纸参数; 常规烟气成分; 符合度

中图分类号: TS411 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2023)02-0102-08

0 引言

目前, 卷烟纸参数对烟气成分释放量的影响已有较多研究, 涉及的卷烟纸参数包括透气度、定量、助燃剂及其添加量、纤维含麻量、灰分含量等, 烟气成分则包括焦油、烟气烟碱、CO 这3项常规烟气指标, 以及氨等7种有害成分。黄华等^[1-2]研究了透气度对卷烟主流烟气的影响, 发现适度提高透气度可以明显降低焦油等常规烟气成分释放量。田志章等^[3]研究了卷烟纸及烟丝中钾钠比对卷烟主流烟

气的影响, 发现3种常规烟气成分释放量均与卷烟纸钾钠比呈高度相关的幂函数关系。张国强等^[4]研究了卷烟纸设计参数对卷烟主流烟气中氨释放量和焦油含量的影响, 发现提高透气度、助燃剂含量和钾盐含量比例可以在一定程度上选择性降低主流烟气中的氨释放量。谢国勇等^[5]研究了卷烟纸助燃剂、透气度和定量对主流烟气中氨等7种有害成分的影响规律, 发现提高卷烟纸助燃剂含量、透气度和定量有利于降低烟气中7种有害成分释放量。刘光伟等^[6]对比了卷烟纸参数对焦油及7种有害成分释

收稿日期: 2022-05-13

基金项目: 广西科技计划项目(桂科 AB22080001); 广西中烟工业有限责任公司科技创新项目(GXZYCX2021A002)

作者简介: 唐小雪(1977—), 男, 广西壮族自治区全州县人, 广西中烟工业有限责任公司工程师, 主要研究方向为烟用材料及卷烟工艺。E-mail: tangxx2002@163.com

通信作者: 宾晖(1990—), 男, 广西壮族自治区兴安县人, 广西中烟工业有限责任公司工程师, 主要研究方向为烟用材料及卷烟工艺。E-mail: 50459431@qq.com

放量的影响,发现透气度的降焦减害效果最明显,助燃剂添加量次之,定量和含麻比例的降焦效果不明显,但对某些有害成分的释放量有显著影响,黄朝章等^[7]也得出了类似结论。W. Luo 等^[8-9]研究发现增大碳酸钙粒径和增加碳酸钙含量均可增加炭化线附近卷烟纸的微孔数目,且有利于降低卷烟主流烟气 CO 释放量。董艳娟等^[10-11]通过研究卷烟纸参数及组合对常规卷烟和细支卷烟常规烟气成分释放量的影响,发现卷烟纸参数与烟气成分释放量间的相关度与卷烟规格有关。上述卷烟纸参数对卷烟烟气成分释放量影响规律的研究主要针对常规卷烟和细支卷烟,而针对中支卷烟的相关研究鲜有报道。

此外,卷烟纸参数也是影响卷烟感官、包灰性能的重要因素^[12-14],通过卷烟纸参数的优化改进卷烟感官或包灰性能的前提条件是,优化后的卷烟纸参数必须满足烟气成分的符合性要求。随着卷烟产品设计定型,烟气成分控制的重点由如何降低释放量转向稳定性控制,从释放量实测值与盒标值符合性角度研究卷烟纸参数的影响显得更为必要。但以往研究主要以降低有害烟气成分释放量为出发点,以符合性为出发点的研究鲜有报道。

鉴于此,本文拟以中支卷烟研究为对象,采用均匀设计方法研究卷烟纸灰分含量、透气度、定量、助燃剂添加量和钾钠比对焦油、烟气烟碱、CO 这 3 种常规烟气成分释放量的影响,并将释放量实测值与盒标值间的相对偏差转换为烟气成分符合度,研究卷烟纸参数对烟气成分释放量符合性的影响,以期优化卷烟纸参数,进而为实现烟气成分释放量稳定性控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

主要材料:某牌号中支卷烟(其盒标焦油、烟气烟碱和 CO 释放量分别为 8.0 mg/支、0.7 mg/支、8.0 mg/支),12 种同牌号烟丝、不同卷烟纸卷制的相同规格的卷烟样品,由广西中烟工业有限责任公司提供。

主要仪器:ZJ118 卷烟机,常德烟草机械有限责任公司产;RM200A 转盘吸烟机,德国博格瓦特公司

产;7890B 气相色谱仪,美国安捷伦公司产;OM-VL+ 综合测试台,北京欧美利华科技有限公司产。

1.2 实验方法

1.2.1 样品设计与制备 选择灰分含量(19.0%、21.5%、24.0%、26.5%,质量分数,下同)、透气度(40 CU、50 CU、60 CU、70 CU)、定量(26 g/m²、29 g/m²、32 g/m²、34 g/m²)、助燃剂添加量(0.87%、0.92%、0.97%、1.02%,质量分数,下同)和钾钠比(0.5、1.0、2.0、4.0)5 个卷烟纸参数,每个参数设定 4 个水平,利用 U₁₂(12¹²)均匀设计表的第 1、6、8、9、10 列设计 12 种不同参数组合的卷烟纸(见表 1),以 0 号卷烟为参照。使用相同烟丝,在同一台卷烟机上卷制相同规格及质量的卷烟样品。

表 1 卷烟纸参数设计方案

Table 1 Cigarette paper parameter design scheme

编号	灰分含量/%	透气度/ CU	定量/ (g·m ⁻²)	助燃剂 添加量/%	钾钠比
0	21.6	50	29	0.92	9.0
1	19.0	50	26	0.97	4.0
2	19.0	70	32	0.92	2.0
3	19.0	50	34	0.87	1.0
4	21.5	70	29	1.02	0.5
5	21.5	50	32	0.92	4.0
6	21.5	70	26	0.87	2.0
7	24.0	40	29	1.02	1.0
8	24.0	60	34	0.97	0.5
9	24.0	40	26	0.87	4.0
10	26.5	60	32	1.02	2.0
11	26.5	40	34	0.97	1.0
12	26.5	60	29	0.92	0.5

1.2.2 检测项目与方法 参照国家标准检测卷烟抽吸口数及焦油、烟气烟碱、CO 释放量^[15-17];参照国家标准检测卷烟吸阻及总通风率^[18-19]。

1.2.3 符合度计算 卷烟国家标准采用实测值与盒标值的绝对偏差表征烟气成分释放量的符合性,并依据盒标值分段进行控制^[20],即随着盒标值降低,允许的绝对偏差应减小。但在同一标注段内,这种表征及控制方法则无法体现标注值越低偏差越小的要求。此外,由于烟气烟碱释放量与焦油、CO 释放量间存在较大的量纲差异,不利于 3 项指标的综合分析。为此,本文用公式①将相对偏差转换为符合度,用于表征符合性,并取 3 项指标符合度的平均

值表示常规烟气成分的平均符合度,符合度越高表示实测值与盒标值的相对偏差越小。

$$C_i = 100 - \frac{|x_{i0} - x_i|}{x_{i0}} \times 100 \quad \text{①}$$

式中: C_i 为某项烟气指标的符合度/%; x_{i0} 为某项烟气成分释放量的盒标值/($\text{mg}\cdot\text{支}^{-1}$); x_i 为某项烟气成分释放量的实测值/($\text{mg}\cdot\text{支}^{-1}$)。

2 结果与分析

2.1 卷烟纸参数对样品烟气成分释放量的影响

不同卷烟样品的烟气成分释放量见表2。由表2可知,焦油、烟气烟碱、CO 释放量分别为 7.9~9.5 $\text{mg}/\text{支}$ 、0.68~0.84 $\text{mg}/\text{支}$ 、6.7~7.4 $\text{mg}/\text{支}$ 。以卷烟样品和烟气成分种类为因素、释放量为变量进行双因素方差分析,结果表明,样品间差异显著($P=0.037$),说明卷烟纸参数组合对烟气成分释放量的影响具有统计学意义。

2.1.1 不同卷烟参数对同一烟气成分释放量的影响规律

分别以焦油、烟气烟碱、CO 释放量为因变量,卷烟纸灰分含量(X_1)、透气度(X_2)、定量(X_3)、助燃剂添加量(X_4)和钾钠比(X_5)为自变量进行二次多项式逐步回归分析,烟气成分释放量回归模型概述及 F 检验结果见表3,烟气成分释放量回归模型的 T 检验结果见表4。由表3可知,3个回归模型均在 $P=0.01$ 水平上显著,且 R^2 均在 0.96 以上,说明卷烟纸参数对3种烟气成分释放量的影响均具有高度统计学意义,所建回归模型能够较好地反映其

规律性。由表4可知:1)焦油释放量主要受灰分含量、透气度、定量的影响,其随着灰分含量和定量升高而降低,随着透气度升高先降低后升高;2)烟气烟碱释放量主要受灰分含量、定量、钾钠比的影响,

表2 不同卷烟样品的烟气成分释放量

Table 2 The amount of flue gas component released from different cigarette samples

样品编号	抽吸口数/ ($\text{口}\cdot\text{支}^{-1}$)	焦油释放量/ ($\text{mg}\cdot\text{支}^{-1}$)	烟气烟碱释放量/ ($\text{mg}\cdot\text{支}^{-1}$)	CO 释放量/ ($\text{mg}\cdot\text{支}^{-1}$)
0	5.0	8.2	0.74	6.3
1	5.2	9.1	0.81	6.9
2	4.8	8.4	0.72	7.0
3	4.6	8.0	0.70	7.0
4	5.0	8.9	0.78	7.1
5	4.8	8.3	0.72	6.8
6	5.5	9.5	0.84	7.4
7	5.1	8.6	0.76	7.0
8	4.6	7.9	0.68	6.7
9	5.5	9.2	0.84	7.1
10	4.6	8.1	0.71	6.7
11	4.5	7.9	0.68	7.1
12	4.9	8.3	0.72	6.8

表3 烟气成分释放量回归模型概述及 F 检验结果

Table 3 Overview of flue gas component release regression model and F-test results

指标	模型概述				F 检验结果	
	相关系数	R^2	调整决定系数	回归标准差	F 值	P 值
焦油释放量	0.981	0.963	0.942	0.130 3	45.89	0.000
烟气烟碱释放量	0.981	0.963	0.942	0.013 4	45.88	0.000
CO 释放量	0.982	0.964	0.935	0.051 4	32.57	0.000

表4 烟气成分释放量回归模型的 T 检验结果

Table 4 T-test results of flue gas component release regression model

模型	焦油释放量			烟气烟碱释放量			CO 释放量		
	回归系数	标准回归系数	P 值	回归系数	标准回归系数	P 值	回归系数	标准回归系数	P 值
常数	16.453	—	0.000	1.295	—	0.000	9.117	—	0.000
X_1	-0.036	-0.195	0.037	-0.007	-0.369	0.013	—	—	—
X_2	-0.106	-2.280	0.045	—	—	—	-0.059	-3.399	0.048
X_3	-0.146	-0.853	0.000	-0.013	-0.693	0.000	—	—	—
X_1X_4	—	—	—	—	—	—	-0.019	-0.321	0.007
X_1X_5	—	—	—	0.003	1.423	0.027	—	—	—
X_2X_2	0.001	2.362	0.040	—	—	—	0.001	7.891	0.000
X_2X_3	—	—	—	—	—	—	-0.003	-4.884	0.001
X_3X_3	—	—	—	—	—	—	0.002	1.954	0.002
X_3X_5	—	—	—	-0.002	-1.335	0.033	—	—	—

注:—表示该表格中无对应数据。

且灰分含量、定量均与钾钠比间存在交互作用;3) CO 释放量主要受透气度的影响,且受灰分含量与助燃剂添加量、透气度与定量间的交互作用的影响。卷烟纸参数交互作用对烟气烟碱量、CO 释放量的影响分别如图 1—2 所示。由图 1—2 可知,烟气烟碱释放量随着定量升高而降低、且降低的程度随钾钠比升高而增大,灰分含量对烟气烟碱释放量的影响趋势则因钾钠比不同而异;CO 释放量随着透气度和定量升高先降低后升高,随着灰分含量和助燃剂添加量升高而降低。

2.1.2 同一卷烟纸参数对不同烟气成分释放量的影响规律 利用回归模型对 5 个参数的 1024 个组合进行预测,并统计全组合范围内各项烟气成分释放量的最小值和最大值及对应的卷烟纸参数水平,结合回归方程可以从总体上分析同一卷烟纸参数对不同烟气成分释放量的影响趋势,统计结果见表 5。由表 5 可知,随着定量升高,焦油、烟气烟碱、CO 释放量均降低,这与文献[5]的结论一致。随着灰分含量升高,焦油、CO 释放量均降低,这与文献[9]的结论一致;烟气烟碱释放量则随着灰分含量升高而

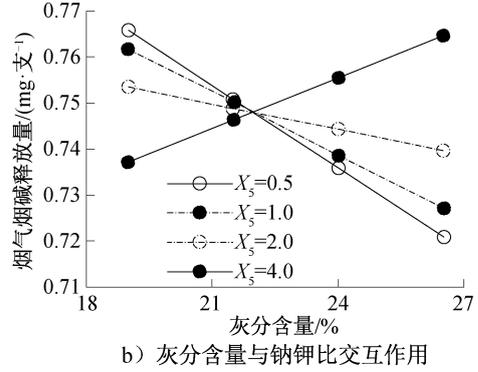
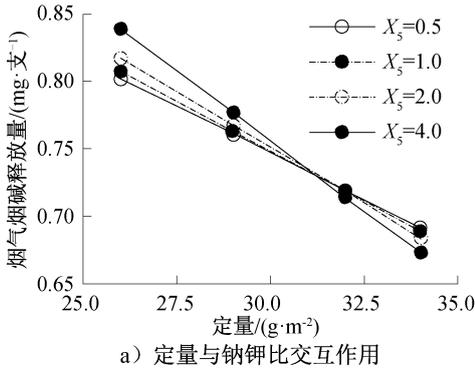


图 1 卷烟纸参数交互作用对烟气烟碱释放量的影响

Fig. 1 Effect of cigarette paper parameters on the amount of flue gas nicotine release

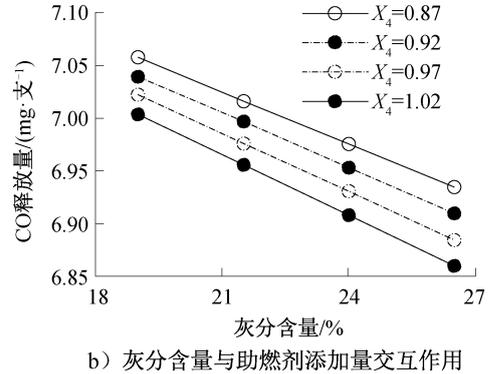
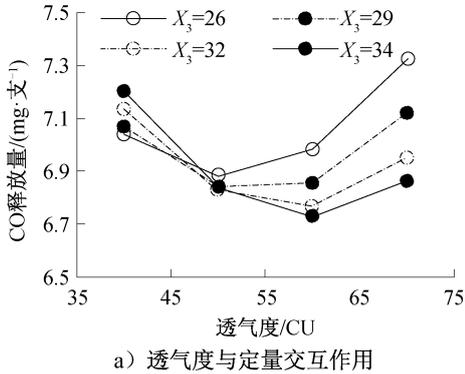


图 2 卷烟纸参数交互作用对 CO 释放量的影响

Fig. 2 Effect of cigarette paper parameters on the amount of carbon monoxide release

表 5 同一卷烟纸参数对不同烟气成分释放量的影响

Table 5 Effect of the same cigarette paper parameters on the release of different smoke components

指标	统计量	预测值/ (mg·支 ⁻¹)	卷烟纸参数组合				
			灰分/%	透气度/CU	定量/(g·m ⁻²)	助燃剂添加量/%	钾钠比
焦油释放量	最小值	7.716	26.5	50	34	—	—
	最大值	9.425	19.0	70	26	—	—
烟气烟碱释放量	最小值	0.659	19.0	—	34	—	4.0
	最大值	0.853	26.5	—	26	—	4.0
CO 释放量	最小值	6.625	26.5	60	34	1.02	—
	最大值	7.416	19.0	70	26	0.87	—

注:—表示该因素影响不显著。

升高,这可能是由灰分含量与钾钠比间交互作用造成的。随着透气度升高,焦油、CO 释放量先降低后升高,转折点在 50~60 CU 附近,这与文献[1-2]的结论基本一致。随着助燃剂添加量增加,CO 释放量降低,影响趋势与已有研究^[4-7]结论一致。钾钠比对烟气烟碱释放量有显著影响,但影响趋势与文献[3]的结论不一致,其原因可能是该研究为单因素试验,且钾钠比的调节范围更宽泛。总体来看,灰分含量、定量和透气度对烟气成分释放量的综合影响较大,高灰分含量、高定量、中高透气度的卷烟纸有利于降低常规烟气成分释放量。

综上所述,对于中支卷烟而言,灰分含量、透气度、定量、助燃剂添加量和钾钠比依然是影响常规烟气成分释放量的主要卷烟纸参数。受卷烟纸与烟丝间匹配性及卷烟纸参数间交互作用的影响,随着研究对象(烟丝)及卷烟纸参数设计范围的不同,各项参数的相对重要性甚至对烟气成分释放量的影响趋势可能会发生一定变化,但总体上与常规卷烟呈现出的趋势一致。

2.1.3 常规烟气成分释放量与物理特性间的相关性分析 不同卷烟样品物理指标的描述性统计结果见表 6。由表 6 可知,随着卷烟纸参数组合的变化,卷烟样品物理指标也发生了一定程度的变化。卷烟样品物理指标与烟气成分释放量间的相关性见表 7。由表 7 可知,抽吸口数与焦油和烟气烟碱释放量间均呈极显著正相关,与 CO 释放量间呈显著正相关,吸阻、总通风率与 3 种烟气成分释放量间的相关性则均不显著。可见,与常规卷烟一致,卷烟纸参数对中支卷烟烟气成分释放量的影响主要是通过改变卷烟自由燃烧速度^[21]进而改变抽吸口数产生的,其中对焦油和烟气烟碱释放量的影响尤为突出, R^2 分别达到 0.935 和 0.943,对 CO 释放量的影响机理则更为复杂^[5,8-9]。

2.2 卷烟纸参数对烟气成分释放量符合度的研究结果

2.2.1 符合度计算结果 符合度阈值是根据企业或国标规定的与盒标值的绝对偏差计算的最低符合度,低于该值定为不合格。以盒标焦油、烟气烟碱、CO 释放量分别为 8.0 mg/支、0.7 mg/支、8.0 mg/支

表 6 不同卷烟样品物理指标的描述性统计结果
Table 6 Description statistis of physical indicators of different cigarette samples

指标	极小值	极大值	均值	标准差
吸阻/Pa	923.00	1 045.00	995.92	29.877
总通风率/%	28.78	35.06	32.11	1.973
抽吸口数/(口·支 ⁻¹)	4.50	5.50	4.92	0.344

表 7 卷烟样品物理指标与烟气成分释放量间的相关性
Table 7 Correlation between cigarette physical indicators and flue gas component release of cigarette samples

指标	焦油	烟气烟碱	CO	抽吸口数	总通风率	吸阻
焦油释放量	1.000	0.987**	0.646*	0.962**	-0.012	0.248
烟气烟碱释放量	0.987**	1.000	0.610*	0.971**	-0.052	0.296
CO 释放量	0.646**	0.610*	1.000	0.590*	0.034	0.292

注:**表示相关性在 $P=0.01$ 水平(双尾)极显著,*表示相关性在 $P=0.05$ 水平(双尾)显著。

的卷烟为例,按照国标规定的允差要求(分别为 ± 1.5 mg/支、 ± 0.20 mg/支、 ± 2.0 mg/支),经公式①计算得到 3 项指标的符合度阈值分别为 81.25%、71.42%、75.00%;按照企业标准规定的允差要求(± 1.2 mg/支、 ± 0.14 mg/支、 ± 1.6 mg/支),3 项指标的符合度阈值分别为 85.00%、80.00%、80.00%。显然,本文方法能够更直观地反映烟气成分的符合性,也便于比较不同标注值卷烟及不同烟气成分释放量间的稳定性控制水平。

卷烟样品烟气成分释放量的符合度见表 8。由表 8 可知,参照样的焦油、烟气烟碱、CO 释放量符合度分别为 97.5%、94.29%、78.75%,平均符合度为 90.20%,虽然 3 种烟气成分的平均符合度达到了 90%以上,但 CO 释放量符合度明显偏低且低于企业标准规定的阈值。12 个卷烟样品的焦油、烟气烟碱、CO 释放量的平均符合度范围为 84.58%~95.83%,其中 2 号、3 号、11 号样品的 3 种烟气成分及平均符合度均较高,说明通过卷烟纸参数的优化可以提升烟气成分释放量符合度的整体控制水平。

2.2.2 卷烟纸参数对烟气成分释放量符合度的影响 焦油、烟气烟碱、CO 释放量符合度的标准差分别为 6.32%、7.37%、2.52%,说明随着卷烟纸参数

组合的变化,3种烟气成分释放量符合度变化的程度不同;简单相关分析结果表明,焦油与烟气烟碱释放量符合度间呈极显著正相关($R=0.976^{**}$),CO与焦油、烟气烟碱释放量符合度间则呈极显著负相关($R=-0.669^{**}$ 、 -0.641^{**}),这与表7所示3种烟气成分释放量间的相关性不同,说明卷烟纸参数对烟气成分释放量符合度的影响有其独特的规律性,对卷烟纸参数进行优化时需要综合考虑3项指标的要求。

分别以3种烟气成分释放量符合度为因变量,以 X_1-X_5 为自变量进行二次多项式逐步回归分析,

表8 卷烟样品烟气成分释放量的符合度

Table 8 Conformity of the amount for flue gas component release in cigarette samples %

样品编号	焦油释放量符合度	烟气烟碱释放量符合度	CO释放量符合度	平均符合度
0	97.50	94.29	78.75	90.20
1	86.25	84.29	86.25	85.90
2	95.00	97.14	87.50	93.21
3	100.00	100.00	87.50	95.83
4	88.75	88.57	88.75	88.69
5	96.25	97.14	85.00	92.79
6	81.25	80.00	92.50	84.58
7	92.50	91.43	87.50	90.48
8	98.75	97.14	83.75	93.21
9	85.00	80.00	88.75	84.58
10	98.75	98.57	83.75	93.69
11	98.75	97.14	88.75	94.88
12	96.25	97.14	85.00	92.80

烟气成分释放量符合度回归模型概述及F检验结果见表9,烟气成分符合度回归模型的T检验结果见表10。由表9可知,所建回归模型同样具有统计学意义及较高的拟合效果。对比表4和表10的分析结果可知,影响各种烟气成分释放量符合度的因素与释放量基本一致,但影响趋势不同,进一步证明卷烟纸参数对烟气成分释放量符合度的影响有其独特的规律性。

2.2.3 满足符合度要求的卷烟纸参数组合设计

利用回归模型对5个参数的全部组合进行预测,则3项烟气成分释放量符合度的预测值,分别为81.62%~101.18%、80.39%~99.34%、76.71%~97.75%。按照3项指标符合度均大于90%的标准可以遴选出117个组合,占全部组合的11.43%,其中灰分含量为19.0%~26.5%、透气度为40~70 CU、钾钠比为0.5~4.0,与初始设计范围一致;定量为29~34 g/m²、助燃剂添加量为0.87%~0.92%,较初始

表9 烟气成分释放量符合度回归模型概述及F检验结果

Table 9 Overview of flue gas composition release conformity regression model and F-test results

指标	模型概述				F检验结果	
	相关系数	R^2	调整决定系数	回归标准差	F值	P值
焦油释放量	0.994	0.988	0.974	1.020	69.51	0.000
烟气烟碱释放量	0.977	0.955	0.930	1.952	37.45	0.000
CO释放量	0.990	0.980	0.925	0.689	17.98	0.018

表10 烟气成分释放量符合度回归模型的T检验结果

Table 10 T-test result of flue gas composition release conformity regression model

指标	焦油			烟气烟碱			CO		
	回归系数	标准回归系数	P值	回归系数	标准回归系数	P值	回归系数	标准回归系数	P值
常数	-83.406	—	0.157	-113.270	—	0.238	604.520	—	0.010
X_1	-6.326	-2.923	0.042	-12.062	-4.779	0.027	-5.080	-5.887	0.044
X_2	1.261	2.331	0.016	—	—	—	—	—	—
X_3	12.744	6.386	0.006	20.920	8.988	0.004	—	—	—
X_4	—	—	—	—	—	—	-921.710	-21.365	0.018
X_5	—	—	—	—	—	—	-0.794	-0.441	0.039
X_1X_1	0.144	3.038	0.037	0.267	4.815	0.026	—	—	—
X_1X_2	—	—	—	—	—	—	-0.028	-3.085	0.008
X_1X_3	—	—	—	—	—	—	0.209	10.151	0.021
X_2X_2	-0.012	-2.477	0.013	—	—	—	0.006	2.837	0.010
X_3X_3	-0.186	-5.593	0.011	-0.317	-8.168	0.007	-0.082	-6.148	0.018
X_4X_4	—	—	—	—	—	—	468.508	20.531	0.020

注:—表示无对应数据。

设计范围略有减小。上述组合的参数变化范围较宽泛,一方面说明满足烟气成分释放量符合度要求的卷烟纸参数组合不是唯一的,只要参数间配合得当就能达到殊途同归之目的;另一方面,随着卷烟纸参数组合的变化,卷烟的感官品质必然也会发生变化,满足烟气成分释放量符合度要求的组合未必都能同时满足感官符合度要求。因此,上述组合从烟气成分释放量符合度角度为卷烟纸参数优化提供了一个范围,在此范围内进一步遴选,可以在保证烟气成分释放量满足符合度要求的前提下,实现卷烟感官、包灰性能等品质的改进。

在上述组合中,卷烟纸灰分含量、透气度、定量、助燃剂添加量、钾钠比分别取 26.5%、40 CU、34 g/m²、0.87%、1.0 时,卷烟焦油、烟气烟碱、CO 释放量的整体符合度最高,分别为 99.50%、99.34%、94.58%。由表 1、表 8 可知,除了助燃剂添加量(0.92%)略有差别外,该组合的其他参数水平与 11 号样品一致,11 号样品的焦油、烟气烟碱、CO 释放量符合度分别为 98.75%、97.14%、88.75%,各项指标较参照样改进明显,因此认为该卷烟纸参数组合可以满足设计要求。

以烟气成分释放量为变量建立回归模型并寻求释放量接近盒标值的卷烟纸参数组合,也可以达到符合性设计的目的。但本文以烟气成分符合度为变量进行符合性设计具有以下优势:一是产品设计定型后,烟气成分控制的重点便转向了稳定性控制,因此,对特定产品而言,从符合度角度研究烟气成分释放量的变化规律更具现实意义。二是在进行符合性设计时,烟气成分释放量为望目型变量,烟气成分释放量符合度则为望大型变量,而对望大或望小型变量进行优化时,适用的试验设计及数据分析方法更多,如正交设计、因子设计、响应曲面设计等。

3 结论

本文以中支卷烟为研究对象,采用均匀设计方法研究了卷烟纸灰分含量、透气度、定量、助燃剂添加量、钾钠比 5 项参数对卷烟焦油、烟气烟碱、CO 释放量及其与盒标值间符合度的影响规律,提出了表征 3 项烟气指标综合符合性的方法,研究能够满足烟气成分释放量符合度要求的卷烟纸参数设计。结

果表明:1)上述 5 项参数依然是影响中支卷烟常规烟气成分释放量的主要卷烟纸参数,且主要机理依然是影响卷烟燃烧速度、进而影响抽吸口数,高灰分含量、高定量、高助燃剂添加量、高钾钠比及中高透气度的卷烟纸有利于降低常规烟气成分释放量。2)将释放量实测值与盒标值的相对偏差转换为烟气成分释放量的符合度,不仅更加直观,且有利于不同盒标值卷烟及不同烟气成分间符合度控制水平的比较。3)相较于烟气成分释放量,卷烟纸参数对烟气成分释放量符合度的影响有其独特的规律性。较之释放量,3 种烟气成分释放量符合度间的相关性发生了变化,卷烟纸参数对其影响的趋势也发生了变化。

对特定卷烟产品而言,能够满足烟气指标符合度要求的卷烟纸参数设计方案有许多,通过符合度设计找出这些组合,不仅有利于提升烟气成分释放量的符合度,也可以为卷烟纸参数优化提供一个边界,在保证满足烟气成分释放量符合度要求的前提下,更加高效地实现对卷烟感官、包灰性能等品质的进一步改进,为此,需要深入研究、掌握卷烟纸参数对卷烟感官品质、包灰性能的影响规律。

参考文献:

- [1] 黄华,戴路,周炜,等.水松纸透气度对中支卷烟主流烟气及燃烧温度的影响[J/OL].华东理工大学学报(自然科学版)[2022-09-20].<http://doi.org/10.14135/j.cnki.1006-3080.20220126001>.
- [2] 杨金龙,王文婷,朱萍,等.接装纸透气度对卷烟烟气及感官质量影响的 PLS 回归分析[J].湖南文理学院学报(自然科学版),2021,33(3):86-90.
- [3] 田志章,李海霞,张春涛,等.卷烟纸及烟丝钾钠比差异对卷烟主流烟气影响[J].食品工业,2019,40(9):170-173.
- [4] 张国强,黄朝章.卷烟纸的透气度等设计参数对卷烟主流烟气中氨释放量及焦油含量的影响[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2014,29(5):39-43.
- [5] 谢国勇,李斌,颜水明,等.卷烟纸特性对卷烟烟气 7 种有害成分的影响[J].湖南师范大学自然科学学报,2013,36(5):51-58.
- [6] 刘光伟,郭磊,李山,等.卷烟材料对焦油及危害性指数影响研究[J].中国农业文摘:农业工程,2021,33(3):38-42.
- [7] 黄朝章,李桂珍,连芬燕,等.卷烟纸特性对卷烟主流

- 烟气7种有害成分释放量的影响[J].烟草科技,2011(4):29-32.
- [8] LUO W, YIN D H, DING D, et al. Effect of pore structure of cigarette paper on the yield of carbon monoxide in mainstream smoke during cigarette burning[J]. Contributions to Tobacco Research, 2015, 26(6):284-292.
- [9] 陈泽亮,罗玮,刘又年,等.碳酸钙粒径与含量对卷烟纸微孔结构及主流烟气CO释放量的影响[J].烟草科技,2015,48(5):41-46.
- [10] 董艳娟,田海英,高明奇,等.卷烟纸参数对细支卷烟烟气常规成分释放量的影响[J].烟草科技,2018,51(6):51-57.
- [11] 张亚平,张晓宇,周顺,等.卷烟纸组分对常规和细支卷烟烟气释放量及感官质量的影响[J].烟草科技,2017,50(11):48-57.
- [12] 郑丰,肖翠翠,王小平,等.卷烟纸特性对卷烟静态包灰性能的影响[J].烟草科技,2020,53(3):82-88.
- [13] 李欢,王建民,王豪礼,等.卷烟纸参数对卷烟持灰能力的影响[J].食品与机械,2021,37(6):207-212.
- [14] 李桂珍,王平军.卷烟纸添加剂对卷烟包灰性能影响的研究[J].造纸化学品,2011,23(4):17-21.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.卷烟用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油:GB/T 19609—2004[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.卷烟总粒相物中烟碱的测定气相色谱法:GB/T 23355—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.卷烟烟气气相中一氧化碳的测定非散射红外法:GB/T 23356—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.卷烟和滤棒物理性能的测定第5部分 卷烟吸阻和滤棒压降:GB/T 22838.5—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.卷烟和滤棒物理性能的测定第15部分 卷烟通风的测定 定义和测量原理:GB/T 22838.15—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.卷烟第5部分:主流烟气:GB 5606.5—2005[S].北京:中国标准出版社,2005.
- [21] 彭钰涵,帖金鑫,沈羽东,等.烟用材料对卷烟燃烧特性和烟气特征的影响机制[J].农产品加工,2021(11):16-21,25.

The influence of cigarette paper parameters on the release of routine smoke components of demi-slim cigarettes and their conformity

TANG Xiaoxue¹, PAN Lianhua¹, HUANG Yuliang¹, BIN Hui¹, WANG Hong¹, WANG Jianmin², LI Fengxiao²

1. Technology Center, China Tobacco Guangxi Industrial Company Limited, Nanning 530001, China;

2. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Taking demi-slim cigarettes as the research object, the effects of ash content, air permeability, quantity, the content of combustion aids and the ratio of potassium to sodium on the release of tar and other two routine smoke components from cigarette paper were studied by uniform design method. The relative deviation between the measured release and the box standard value was converted into the coincidence degree and the influence of cigarette paper parameters on the coincidence degree of smoke composition was studied. The results showed that the cigarette paper with high ash content, high quantity, high content of combustion-supporting agent, high ratio of potassium to sodium, and medium and high permeability was beneficial to reduce the release of components of conventional cigarette smoke, and the influence trend was basically consistent with that of conventional cigarette. The conformity degree was beneficial to comparing the control level of different box-marked cigarettes and different components of cigarette smoke. The factors affecting the conformity degree of various components of cigarette smoke were basically consistent with the release amount, but the trend was different, and the influence of cigarette paper parameters on the conformity degree of components of cigarette smoke had its unique regularity. It could provide a boundary for the optimization of cigarette paper parameters and improve other cigarette qualities more efficiently while ensuring the conformity of cigarette components.

Key words: demi-slim cigarette; cigarette paper parameter; routine smoke component; conformity

(责任编辑:吴晓亭)