

# 在线激光打孔卷烟通风率与 卷烟理化指标的关系

解晓翠

(上海烟草集团有限责任公司技术中心 北京工作站, 北京 101121)

**摘要:**利用在线激光打孔设备制作通风率不同的混合型卷烟和烤烟型卷烟,考察通风率对两种卷烟物理指标、常规烟气释放量的影响.结果表明:两种卷烟的总通风率、滤嘴通风率均与卷烟质量呈正相关,与吸阻呈负相关,且通风率越高,滤嘴通风率对总通风率的贡献越大;两种卷烟的总通风率、滤嘴通风率均与烟气烟碱、焦油和CO释放量呈显著负相关,影响大小依次为CO释放量>焦油释放量>烟碱释放量.根据卷烟烟气指标设计,可先计算总通风率,再通过调整在线激光打孔参数来满足卷烟产品设计要求.

**关键词:**在线激光打孔;混合型卷烟;烤烟型卷烟;通风率;理化指标

**中图分类号:**TS426 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.3/4.012

## The relationship between ventilation rate and physicochemical indicator of cigarette made by online laser punching

XIE Xiao-cui

(Beijing Working Station, Technical Center of Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Beijing 101121, China)

**Abstract:** In order to observe the effect of ventilation on cigarette physical and chemical properties, blended type and Virginia type cigarettes were made by online laser punching equipment. The results showed that ventilation rate of the two types of cigarettes was positively related with cigarette weight, and negatively related with cigarette resistance. The higher the ventilation rate was, the more the filter ventilation rate contributed to the total ventilation rate. The two types of cigarettes ventilation rate and filter ventilation rate had negative correlation with the release of nicotine, tar and carbon monoxide. Carbon monoxide was most affected, followed by tar, and nicotine was least affected. Once the cigarette properties were fixed, ventilation rate could be calculated firstly, then through adjusting the laser perforation parameters online, cigarette design demands could be met.

**Key words:** online laser punching; blended type cigarette; virginia type cigarette; ventilation rate; physicochemical indicator

## 0 引言

通风稀释技术是国际上广泛采用的最有效的

减焦降害技术手段之一<sup>[1-4]</sup>.传统的滤嘴通风是通过预打孔接装纸配合高透气度成型纸来实现的,在线激光打孔使用的是普通接装纸和普通透气度成

收稿日期:2015-01-05

作者简介:解晓翠(1985—),女,山东省青岛市人,上海烟草集团有限责任公司助理工程师,硕士,主要研究方向为卷烟工艺和卷烟辅助材料.

型纸,与预打孔相比,在线激光打孔具有投资少、见效快、可靠性高等特点.通风率是水松纸打孔卷烟的重要物理指标之一,其对卷烟其他物理指标及卷烟烟气指标均有重要影响.目前国内有关打孔卷烟的研究主要集中在辅材设计对预打孔卷烟通风率及烟气指标的影响研究<sup>[5-10]</sup>,对在线激光打孔卷烟的相关研究则较少.本文拟用在线激光打孔设备制备通风率不同的混合型卷烟和烤烟型卷烟,分析不同卷烟的总通风率、滤嘴通风率与卷烟其他物理指标、常规烟气成分释放量的关系,以期为在线激光打孔技术在低焦低害卷烟生产中的应用提供理论依据和数据支撑.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

材料:混合型卷烟 A 配方烟丝,烤烟型卷烟 B 配方烟丝,北京卷烟厂产;接装纸,潍坊华港包装材料有限公司产;滤棒,牡丹江卷烟材料厂产;卷烟纸,牡丹江恒丰纸业股份有限公司产.

仪器:PROTOS70 卷烟机,常德烟草机械有限责任公司产;在线激光打孔设备,南京瑞驰电子技术工程实业有限公司产;OM-I 综合测试台,北京欧美利华科技有限公司产;SM450 直线型吸烟机,英国 Cerulean 公司产.

### 1.2 方法

将在线激光打孔设备与卷烟机连接,通过调整打孔时间和打孔数量等参数,制作通风率不同的混合型卷烟样品和烤烟型卷烟样品.同一卷烟样品使用的配方烟丝、卷烟纸、接装纸和滤棒均一致.按照国标及行业推荐标准<sup>[11-14]</sup>对样品的物理指标和常规烟气指标进行检测.

## 2 结果与分析

### 2.1 通风率与卷烟物理指标间的关系

**2.1.1 混合型卷烟总通风率、滤嘴通风率与卷烟其他物理指标的关系** 对混合型卷烟样品的总通风率、质量、圆周、吸阻、硬度等物理指标进行相关性分析,结果显示:总通风率与吸阻和硬度呈显著负相关,相关系数分别为  $-0.980$  和  $-0.782$ ;质量与圆周呈显著正相关,相关系数为  $0.824$ ;吸阻与硬度呈显著正相关,相关系数为  $0.805$ .以总通风率为因变量,质量、圆周、吸阻和硬度为自变量,采用 SPSS 全模型法对混合型卷烟物理指标进行回归分析得

模型 I<sup>[15-16]</sup>.结果显示,自变量的方差膨胀因子较大 ( $>5$ ),说明自变量之间可能存在共线性的问题.

对各变量进行共线性检验,结果见表 1.由表 1 可知,大部分特征根都接近 0,且多数自变量条件指数大于 100,表明自变量之间高度线性相关,自变量的微小变动可能导致回归系数估计值的较大改变.

表 1 模型 I 的共线性检验

维度	特征根	条件指数	方差比例				
			常数	质量	圆周	吸阻	硬度
1	4.986	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.014	18.69	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00
3	8.448E-5	242.93	0.00	0.22	0.00	0.10	0.17
4	5.334E-5	305.74	0.00	0.03	0.00	0.47	0.55
5	5.025E-7	3 149.92	0.99	0.74	1.00	0.09	0.27

逐步回归分析可以克服自变量间的共线性,在模型中只保留对因变量有显著影响的变量.采用 SPSS 逐步回归法对混合型卷烟样品的总通风率、质量和圆周等物理指标进行回归分析.SPSS 逐步回归法给出了两个拟合方程,方程①:总通风率 =  $-0.096 \times \text{吸阻} + 134.3$ ,  $R_{V1}^2 = 0.960$ ;方程②:总通风率 =  $-0.097 \times \text{吸阻} + 224.4 \times \text{质量} - 59.5$ ,  $R_{V2}^2 = 0.983$ .方程②的决定系数  $R_{V2}^2$  大于方程①的决定系数  $R_{V1}^2$ ,说明方程②的建模效果优于方程①.但是方程②中常数项的显著性为  $0.324$ ,没有达到统计显著水平,因此拟合方程中不应该含有常数项.去掉常数项再次拟合,结果显示,总通风率 =  $166 \times \text{质量} - 0.106 \times \text{吸阻}$ ,总通风率与质量呈正相关,与吸阻呈负相关.模型中各变量回归系数均达到统计显著水平,  $R_{V2}^2 = 0.999$ .由该方程得到的总通风率拟合值与实测值接近(见表 2),方程拟合效果良好.

用 SPSS 逐步回归法对混合型卷烟滤嘴通风率与质量、圆周、吸阻、硬度等指标的相关性进行分析,结果显示,滤嘴通风率 =  $168 \times \text{质量} - 0.113 \times \text{吸阻}$ ,  $R_{FV}^2 = 0.998$ .与总通风率一样,滤嘴通风率与质量呈正相关,与吸阻呈负相关.滤嘴通风率拟合结果见表 3,拟合值与实测值接近,方程拟合效果良好.

**2.1.2 烤烟型卷烟总通风率、滤嘴通风率与卷烟其他物理指标的关系** 用 SPSS 逐步回归法对烤烟型卷烟总通风率与质量、圆周、吸阻、硬度等指标的相关性进行分析,得到烤烟型卷烟总通风率 =  $154 \times \text{质量} - 0.105 \times \text{吸阻}$ ,  $R_{V1}^2 = 0.994$ ;滤嘴通风率 =  $163 \times \text{质量} - 0.120 \times \text{吸阻}$ ,  $R_{FV}^2 = 0.991$ .与混合型卷

烟一样,烤烟型卷烟总通风率、滤嘴通风率与质量呈正相关,与吸阻呈负相关。

**2.1.3 总通风率与滤嘴通风率的关系** 混合型卷烟和烤烟型卷烟的总通风率与滤嘴通风率的散点图如图 1 和图 2 所示. 由图 1 和图 2 可以看出,不论是混合型卷烟还是烤烟型卷烟,随着通风率的增大,

表 2 混合型卷烟总通风率拟合值与置信区间 %

实测值	拟合值	标准误	95% 置信区间	95% 预测区间
17.4	20.0	0.68	(18.4,21.5)	(16.2,23.7)
21.2	21.5	0.64	(20.0,23.0)	(17.8,25.3)
24.9	23.1	0.63	(21.6,24.5)	(19.3,26.8)
30.3	31.1	0.49	(29.9,32.2)	(27.5,34.7)
36.7	37.2	0.49	(36.1,38.3)	(33.6,40.8)
21.9	20.2	0.66	(18.7,21.7)	(16.4,24.0)
32.4	31.4	0.48	(30.3,32.5)	(27.8,35.0)
41.1	41.6	0.55	(40.3,42.9)	(37.9,45.3)
50.7	51.8	0.81	(49.9,53.7)	(47.9,55.7)
60.8	59.6	1.04	(57.2,62.0)	(55.4,63.8)

表 3 混合型卷烟滤嘴通风率拟合值与置信区间 %

实测值	拟合值	标准误	95% 置信区间	95% 预测区间
11.6	12.9	0.773	(11.1,14.7)	(8.5,17.2)
14.6	14.5	0.733	(12.8,16.2)	(10.2,18.8)
19.1	16.0	0.725	(14.3,17.6)	(11.7,20.3)
23.6	24.6	0.561	(23.4,25.9)	(20.5,28.8)
30.1	31.4	0.556	(30.1,32.7)	(27.3,35.6)
14.1	13.2	0.759	(11.4,15.0)	(8.9,17.5)
24.8	25.0	0.548	(23.8,26.3)	(20.9,29.2)
33.6	35.9	0.627	(34.4,37.4)	(31.7,40.1)
47.9	47.0	0.927	(44.8,49.1)	(42.5,51.5)
56.5	55.2	1.185	(52.4,57.9)	(50.4,60.0)

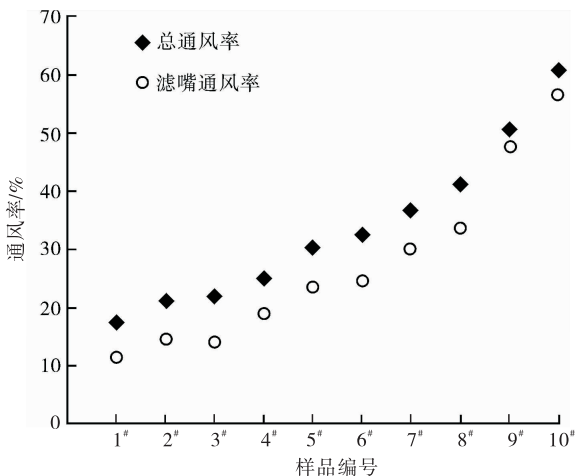


图 1 混合型卷烟总通风率与滤嘴通风率散点图

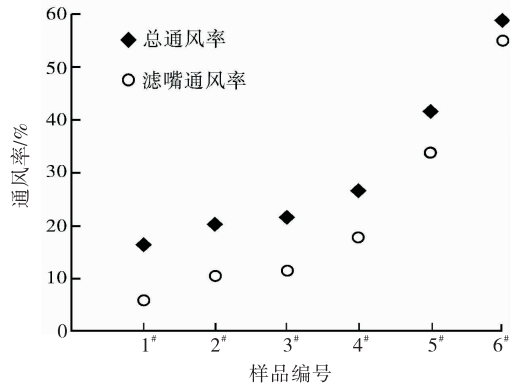


图 2 烤烟型卷烟总通风率与滤嘴通风率散点图

总通风率与滤嘴通风率越来越接近. 说明通风率越高,滤嘴通风率对总通风率的贡献越大. 由总通风率极差和滤嘴通风率极差可知,打孔稀释对滤嘴通风率的影响大于其对总通风率的影响. 这是由于总通风由滤嘴通风和纸通风两部分组成,标准条件下,从烟蒂端流入的总气流量是固定的,为 17.5 mL/s,激光打孔后,由滤嘴端进入的空气量增大,导致纸通风减少.

**2.2 通风率与常规烟气成分释放量的关系**

**2.2.1 混合型卷烟总通风率、滤嘴通风率与常规烟气成分释放量的关系** 混合型卷烟不同通风率下常规烟气成分释放量见表 4. 对混合型卷烟总通风率与常规烟气成分释放量进行相关性分析,结果显示,通风率与烟碱、焦油、CO 释放量等烟气指标呈显著负相关,相关系数分别为 -0.931, -0.973, -0.992. 线性回归分析结果显示,焦油释放量 =  $9.99 - 0.0952 \times$  总通风率,  $R^2_{TAR} = 0.946$ ; 烟碱释放量 =  $0.867 - 0.00508 \times$  总通风率,  $R^2_{NIC} = 0.866$ ; CO 释放量 =  $12.7 - 0.130 \times$  总通风率,  $R^2_{CO} = 0.983$ . 由回归方程系数可以看出,总通风率对常规烟气成分释放量的降低程度由高到低依次为:CO 释放量 > 焦油释放量 > 烟碱释放量. 混合型卷烟烟碱、焦油、CO 释放量的降低比例为 1 : 19 : 26.

对混合型卷烟滤嘴通风率与常规烟气成分释放量进行相关性分析,结果表明,滤嘴通风率与烟气烟碱、焦油、CO 释放量呈显著负相关,相关系数分别为 -0.937, -0.980, -0.994. 线性回归分析结果显示,焦油释放量 =  $9.17 - 0.0877 \times$  滤嘴通风率,  $R^2_{TAR} = 0.949$ ; 烟碱释放量 =  $0.820 - 0.00458 \times$  滤嘴通风率,  $R^2_{NIC} = 0.893$ ; CO 释放量 =  $11.6 - 0.122 \times$  滤嘴通风率,  $R^2_{CO} = 0.986$ . 由回归方程系数可以看出,滤嘴通风率对常规烟气成分释放量的降

低程度由高到低依次为:CO 释放量 > 焦油释放量 > 烟碱释放量. 混合型卷烟烟碱、焦油、CO 释放量的降低比例为 1 : 19 : 26.

表 4 混合型卷烟不同通风率下常规烟气成分释放量

滤嘴通风率/%	总通风率/%	抽吸口数	烟碱 / (mg · 支 <sup>-1</sup> )	焦油 / (mg · 支 <sup>-1</sup> )	CO / (mg · 支 <sup>-1</sup> )
11.60	17.40	6.02	0.76	8.33	10.29
14.60	21.20	6.20	0.77	8.02	9.94
14.10	21.90	6.22	0.71	8.00	9.59
19.10	24.90	6.12	0.74	7.05	9.32
23.60	30.30	6.38	0.72	7.07	8.95
24.80	32.40	6.35	0.72	6.93	8.50
30.10	36.70	6.42	0.72	6.61	7.80
33.60	41.10	6.58	0.69	6.75	7.86
47.90	50.70	6.62	0.61	5.15	5.90
56.50	60.80	6.62	0.52	3.89	4.55

从以上分析可以看出,总通风率和滤嘴通风率对烟气成分释放量的影响趋势完全一致,总通风率与滤嘴通风率反映的烟碱、焦油和 CO 释放量的降低比例也基本相同. 比较通风率与各烟气成分的回归方程可以看出,滤嘴通风率与烟碱、焦油、CO 三种成分的拟合系数小于总通风率与各成分的拟合系数,说明滤嘴通风率对烟气成分释放量的影响小于总通风率对烟气成分释放量的影响.

**2.2.2 烤烟型卷烟总通风率、滤嘴通风率与常规烟气成分释放量的关系** 烤烟型卷烟不同通风率下常规烟气成分释放量见表 5. 对烤烟型卷烟总通风率、滤嘴通风率与常规烟气成分释放量进行相关性分析,结果表明,总通风率、滤嘴通风率与常规烟气成分释放量呈显著负相关. 总通风率与烟碱、焦油、CO 释放量的相关系数分别为: -0.916, -0.986, -0.989, 滤嘴通风率与烟碱、焦油、CO 释放量的相关系数分别为 -0.924, -0.983, -0.988. 回归分析结果显示,焦油释放量 = 13.0 - 0.135 × 总通风率,  $R_{TAR}^2 = 0.973$ ; 烟碱释放量 = 1.16 - 0.008 38 × 总通风率,  $R_{NIC}^2 = 0.839$ ; CO 释放量 = 14.7 - 0.161 × 总通风率,  $R_{CO}^2 = 0.979$ . 焦油释放量 = 11.5 - 0.117 × 滤嘴通风率,  $R_{TAR}^2 = 0.966$ ; 烟碱释放量 = 1.06 - 0.007 33 × 滤嘴通风率,  $R_{NIC}^2 = 0.853$ ; CO 释放量 = 12.9 - 0.139 × 滤嘴通风率,  $R_{CO}^2 = 0.977$ .

与混合型卷烟一样,通风率对烤烟型卷烟不同烟气成分释放量的降低程度由高到低依次是 CO 释放量 > 焦油释放量 > 烟碱释放量. 烤烟型卷烟的滤

嘴通风率的决定系数小于总通风率的决定系数,滤嘴通风率对烤烟型卷烟烟气成分释放量的影响小于总通风率对烤烟型卷烟烟气成分释放量的影响. 回归方程显示,烤烟型卷烟的烟碱、焦油、CO 释放量的降低比例为 1 : 16 : 19,与混合型卷烟相比,减少相同的焦油量,烤烟型卷烟的烟碱降低量比混合型卷烟多. 此外,烤烟型卷烟总通风率、滤嘴通风率与常规烟气释放量的拟合系数大于混合型卷烟总通风率、滤嘴通风率与常规烟气释放量的拟合系数,说明单位通风率对烤烟型卷烟烟气释放量的影响大于其对混合型卷烟烟气释放量的影响,这可能与烤烟型卷烟的烟气初始释放量较高有关. 通风率相同的情况下,初始烟气成分释放量高的卷烟,由小孔散失的烟气量更多.

表 5 烤烟型卷烟不同通风率下常规烟气成分释放量

滤嘴通风率/%	总通风率/%	抽吸口数	烟碱 / (mg · 支 <sup>-1</sup> )	焦油 / (mg · 支 <sup>-1</sup> )	CO / (mg · 支 <sup>-1</sup> )
5.80	16.50	6.65	0.99	10.38	11.92
10.60	20.30	6.95	0.99	10.45	11.65
11.50	21.70	6.38	0.96	9.94	10.69
17.90	26.50	6.98	0.92	10.03	10.94
34.00	41.60	7.18	0.92	7.07	8.36
55.10	58.90	7.70	0.60	5.07	5.03

**2.2.3 总通风率与烟气成分释放量关系在实际生产中的应用** 由总通风率与常规烟气成分释放量的回归方程可知,要生产焦油量为 7 mg 的混合型卷烟,总通风率理论值为 31.4%; 要生产焦油量为 9 mg 的烤烟型卷烟,总通风率理论值为 29.5%. 对总通风率数据进行修约,并综合考虑其他烟气成分释放量,最终两者总通风率分别定为 32% 和 30%. 通过调整在线激光打孔设备的打孔孔数和打孔时间,使烟支总通风率满足 32% 和 30% 的标准要求. 该两个牌号卷烟的烟气月检数据分别见表 6 和表 7,烟气月检得分均为 100 分,满足标准要求. 可见,卷烟烟气指标确定后,根据总通风率与烟气指标回归方程计算出总通风率,再通过调整在线激光打孔的工艺参数,可优化卷烟产品的设计.

表 6 混合型卷烟月检数据

序号	焦油含量 / (mg · 支 <sup>-1</sup> )	烟碱含量 / (mg · 支 <sup>-1</sup> )	CO 含量 / (mg · 支 <sup>-1</sup> )
1	6.9	0.73	8.3
2	6.9	0.75	8.5
3	6.5	0.70	8.6
4	6.6	0.68	7.9

表7 烤烟型卷烟月检数据

序号	焦油含量 /(mg·支 <sup>-1</sup> )	烟碱含量 /(mg·支 <sup>-1</sup> )	CO含量 /(mg·支 <sup>-1</sup> )
1	9.3	0.90	9.5
2	8.9	0.91	9.3
3	9.1	0.92	9.1
4	9.3	0.94	9.7

### 3 结论

本文通过对混合型卷烟和烤烟型卷烟的总通风率、滤嘴通风率与卷烟物理指标、常规烟气释放量的关系的分析发现:1)两种卷烟的总通风率、滤嘴通风率均与卷烟质量呈正相关,与吸阻呈负相关,且通风率越高,滤嘴通风率对总通风率的贡献越大;2)不论是烤烟型卷烟还是混合型卷烟,通风率对常规烟气成分释放量均有显著负影响,影响大小依次为CO释放量>焦油释放量>烟碱释放量.混合型卷烟烟碱、焦油、CO释放量的降低幅度比为1:19:26,烤烟型卷烟三者的降低幅度比为1:16:19.

根据卷烟设计需求,计算出总通风率,再通过调整在线激光打孔的工艺参数,可实现卷烟产品设计的技术要求.

#### 参考文献:

- [1] 赵威,庞天河,刘艳芳,等.卷烟降焦减害技术研究进展[J].安徽农业科学,2006,34(22):5897.
- [2] 王理珉,马静,胡群,等.通风技术对卷烟性能的影响研究[C].中国烟草学会工业专业委员会烟草化学学术研讨会论文集,海南[s.n.]:2005,11:158.
- [3] 云南烟草科学研究院.“三纸一棒”的科学选用和设计

在卷烟降焦减害中的应用研究[J].云南烟草,2003(2):14.

- [4] 杨国荣,李忠任,许健,等.卷烟减害降焦技术的研究进展[J].云南化工,2009,36(2):44.
- [5] 赵乐,彭斌,于川芳,等.辅助材料设计参数对卷烟7种烟气有害成分释放量的影响[J].烟草科技,2012(10):46.
- [6] 彭斌,孙学辉,尚平平,等.辅助材料设计参数对烤烟型卷烟烟气焦油、烟碱和CO释放量的影响[J].烟草科技,2012(2):61.
- [7] 黄晓飞,姚二民.烟支通风率控制参数研究[J].郑州轻工业学院学报:自然科学版,2013,28(5):43.
- [8] 于川芳,罗登山,王芳,等.卷烟“三纸一棒”对烟气特征及感官质量的影响(一)[J].中国烟草学报,2001,7(2):1.
- [9] 魏玉玲,胡群,王建,等.材料多因素对30mm滤嘴长卷烟通风率的影响[J].郑州轻工业学院学报:自然科学版,2008,23(4):19.
- [10] 江威,李斌,于川芳.卷烟纸透气度对卷烟年燃烧温度分布的影响[J].烟草科技,2007(9):5.
- [11] GB/T 22838.15—2009,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[S].
- [12] GB/T 19609—2004,卷烟·用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油[S].
- [13] YC/T 156—2001,卷烟·总粒相物中烟碱的测定·气相色谱法[S].
- [14] GB/T3356—2009,卷烟烟气气相中CO的测定·非散射红外法[S].
- [15] 罗凤明,邱劲飏,李明华,等.如何使用统计软件SPSS进行回归分析[J].电脑知识与技术,2008(2):293.
- [16] 张文彤.SPSS统计分析高级教程[M].北京:高等教育出版社,2004.