



电子烟灵敏度与抽吸轻松度性能测定方法

何庆^{1,2}, 徐迎波^{1,2}, 宁勇², 周顺^{1,2}, 张亚平^{1,2}, 王孝峰^{1,2}, 田振峰^{1,2}, 陈开波^{1,2}

1 烟草行业燃烧热解研究重点实验室(安徽中烟工业有限责任公司), 安徽合肥 230088;

2 烟草化学安徽省重点实验室(安徽中烟工业有限责任公司), 安徽合肥 230088

摘要: 利用蠕动泵和压力计的结合, 以触发抽吸流量和抽吸真空度两项指标表征电子烟的灵敏度和抽吸轻松度性能。结果表明, 触发抽吸流量可直接反映电子烟的灵敏度性能, 触发抽吸流量越小, 电子烟灵敏度越高。对于不同类型的电子烟, 抽吸真空度与抽吸轻松度关系不同, 整体式电子烟抽吸真空度与抽吸轻松度呈负相关, 而分段式电子烟呈正相关。这与分段式电子烟的打孔稀释有关。此外, 不同规格电子烟以及同一规格的产品之间均存在不同程度的差异。这表明, 目前电子烟的加工均一性还有待改进和提高。

关键词: 电子烟; 灵敏度; 轻松度; 性能

引用本文: 何庆, 徐迎波, 宁勇, 等. 电子烟灵敏度与抽吸轻松度性能测定方法 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23 (1)

电子烟即电子尼古丁传输装置, 它不含烟草, 主要靠将烟液雾化形成气状物吸入口腔^[1]。电子烟一般由烟液、烟棉、雾化器和电池等部分组成。雾化器由电池杆供电, 能够把烟弹中的烟液转变成气雾, 从而让使用者在吸时有一种类似吸烟的感觉。电子烟气雾的产生不经过燃烧, 不产生焦油等有害成分, 没有侧流烟气, 不会形成二手烟危害^[2]。近年来, 电子烟作为一种更加健康的吸烟方式, 越来越受到消费者的青睐^[3]。

从问世至今, 电子烟经过了三代产品更新, 主要包括一次性和可充电两种形式的产品, 其区别在于一次性电子烟电池通常不可充电, 且不能更换烟液。经过近 10 年无序的发展, 目前市场上的电子烟产品花样繁多, 但质量上良莠不齐^[4,5], 特别是在抽吸感受上差异较大。这种差异性不仅体现在不同品牌、不同规格的产品之间, 而且同一品牌、统一规格的电子烟产品之间也存在着不同程度的差异^[6-9]。Trtchounian 等^[6]利用压力计和分光光度计分别监测了电子烟和传统卷烟在抽吸过程的压力及雾化量, 结果表明, 电子烟较传统卷烟需要更大的抽吸真空度, 也就是电子烟比传统卷烟抽吸更费力。而且, 他们还发现, 电子烟的雾化量的稳定性较传统卷烟差, 随着抽吸口数的

增加, 电子烟雾化量下降明显, 这反映了电子烟的尼古丁、香味成分释放都是不均匀的。在这项研究的基础上, Williams 等^[9]比较了不同品牌和规格的电子烟在抽吸性能上的差异, 结果表明, 在不同品牌电子烟之间以及同一品牌电子烟之间, 其抽吸性能均存在不同程度的差异, 这反映了目前电子烟在质量控制上尚有待改进。

除了烟液口味的不同之外, 电子烟抽吸感受的差异主要表现在灵敏度和抽吸轻松度两个方面。这两项指标都与电子烟烟具的结构设计以及材料选择密切相关, 直接影响抽吸感觉。同时, 对于同一品牌、同一规格的产品来说, 这两项指标也反映了产品的加工均一性。目前对于灵敏度和轻松度性能的判断只能通过吸烟者自身感觉进行判断, 因此该判断结果与吸烟者个体有关, 判断结果模糊且不具有客观普遍性。但是现有技术中没有针对电子烟的灵敏度和轻松度性能的测试装置及方法, 因此无法提供反映这两个性能的直观且客观的测试参数。

本研究利用蠕动泵和压力计的结合, 表征电子烟的灵敏度和抽吸轻松度性能, 可为电子烟产品设计和质量控制提供参考。

基金项目: 安徽中烟工业有限责任公司科技项目 (2015104)

作者简介: 何庆 (1986—), 硕士, 工程师, 主要从事烟草化学及新型烟草制品研究, Tel: 0551-65738672, Email: qing_he0421@163.com

通讯作者: 周顺 (1982—), 博士, 副研究员, 主要从事烟草燃烧化学及新型烟草制品研究, Tel: 0551-65738664, Email: zhous@mail.ustc.edu.cn

收稿日期: 2015-12-22; **网络出版日期:** 2017-02-03

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

BT 600S 蠕动泵（流量范围 0.006 ~ 2900 mL/min，转速范围 0.1 ~ 600 转/min，转速分辨率 0.1 转/min，保定雷弗流体科技有限公司）；U 形压力计（压力范围 0 ~ 500 mm 水柱，河北红星仪表厂）。

样品选取国内线上销售较好的一次性及可充电电子烟共 5 个品牌、9 个规格，每个规格的样品 10 支（均为气动式“小烟”，网上购买），其中 1~5# 样品为一次性整体式电子烟，电池与烟弹整体式组装，烟弹不可替换；6~9# 样品为可充电分段式电子烟，烟弹可以拆卸更换，具体见表 1。

表 1 电子烟样品规格及类型

Tab. 1 Style and specifications of E-cigarettes samples

品牌	规格	类型
1	1#	一次性整体式
	2#	一次性整体式
	3#	一次性整体式
2	4#	一次性整体式
	5#	一次性整体式
3	6#	可充电分段式
	7#	可充电分段式
4	8#	可充电分段式
	9#	可充电分段式

1.2 方法

1.2.1 电子烟灵敏度及抽吸真空度测试方法

实验设计了一套电子烟灵敏度及抽吸轻松度测试装置（见图 1），装置主要由蠕动泵、U 形压力计（水柱）、夹持器以及玻璃管组成，蠕动泵与 U 形压力计以及电子烟之间通过玻璃管和软管相连。

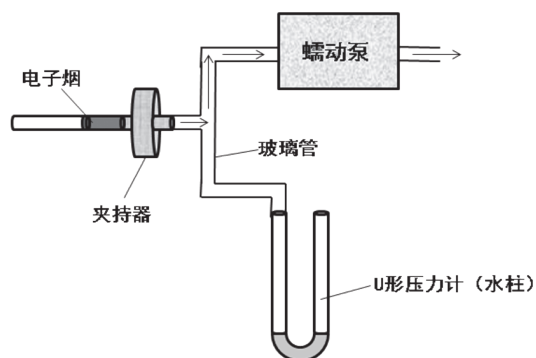


图 1 电子烟抽吸装置示意图

Fig. 1 Experiment smoking device figure of E-cigarettes

实验时，以 10 mL/min 梯度由小到大逐步调整蠕动泵流量，直到电子烟前端 LED 灯不间断亮起，即判定触发了电子烟工作，此时的蠕动泵流量即为电子烟的触发抽吸流量 ($Flow_{min}$, mL/min)；同时，对应的 U 型压力计的压差即为电子烟的抽吸真空度 (Vacuum, mm 水柱)。

1.2.2 电子烟抽吸轻松度评价

不考察雾化量等其他指标，只考察电子烟的抽吸难易程度。按照抽吸难易程度将电子烟抽吸轻松度分为 1~10 分，1 分为最不轻松，10 分为最轻松。感官评价组由 9 位专业评委组成，以传统卷烟作为对照样（10 分），由全体评吸员统一评吸，并确定轻松度指标的分值，最小计分单位为 0.5 分。采用对比评吸的方法进行评价，由每位评吸人员比较试验样品与对照样品抽吸轻松度差异程度，分别进行打分，结果取各评吸人员打分的均值。

2 结果与分析

2.1 不同电子烟之间灵敏度的差异

电子烟的灵敏度性能表现为触发电子烟工作所需要的最小抽吸流量，触发抽吸流量越大，灵敏度越低。实验选择的电子烟样品均为气动触发的电子烟，这类电子烟的灵敏度不仅与电子烟气动开关的灵敏性有关，而且受电子烟内部结构的影响。

电子烟通过气动开关和智能芯片分别控制工作状态和烟雾输出。在电子烟内部，电子烟烟液通过烟棉和玻纤绳传送到发热丝，吸烟时，气动开关中的气动膜形成压力差，触发气动开关，使电子烟电路连通，进入工作状态。雾化器通过智能芯片控制，根据吸力大小达到不同程度的雾化。不难理解，气动开关的灵敏性直接影响电子烟的性能，由于吸烟时抽吸时间很短，抽吸力度也各有不同，灵敏性差的气动开关在气动传感过程中反应不够快速、灵敏，会导致抽吸时，电子烟难以进入工作状态。

表 2 给出了不同规格电子烟触发抽吸流量和抽吸真空度的变化范围与变异程度，可以看出，实验样品的触发抽吸流量在 130~610 mL/min 之间，同时，分段式电子烟（6~9#）的触发抽吸流量普遍高于整体式电子烟（1~5#），特别是同一品牌的不同规格电子烟，如 1#、2# 之间，差异明显。分析认为，对于同一品牌，可认为其气动开关灵敏度差异不大，其差异主要是由内部结构的不同所导致。分段式电子烟一般在电池与烟弹的连接处会有打孔，影响气流的流动和方向，从而稀释了触发电子烟工作的“有效气流”，表现为触

发抽吸流量高于整体式电子烟。

从表中还可以看出，在灵敏度方面，不仅不同规格电子烟之间差异显著，而且相同品牌、相同规格电子烟的个体也存在差异。不同规格电子烟之间灵敏度

差异最大达到 3.7 倍之多，而相同规格的产品间其偏差最小也有近 10%，这表明，目前市场上的电子烟产品不仅品牌间良莠不齐，而且相同品牌、相同规格产品的均一性也难有保障。

表 2 不同电子烟的触发抽吸流量和抽吸真空度范围与变异
Tab. 2 Ranges and variation in initial flow rate and vacuum of E-cigarettes samples

品牌	触发抽吸流量范围 / (mL/min)	触发抽吸流量均值 ± 标准偏差 / (mL/min)	抽吸真空度范围 /mm 水柱	抽吸真空度均值 ± 标准偏差 /mm 水柱
1	130 ~ 200	164±21.7	7 ~ 14	9.4±1.96
2	170 ~ 240	217±21.1	8 ~ 12	10.2±1.48
3	140 ~ 190	158±15.5	8 ~ 14	10.4±2.32
4	140 ~ 190	166±16.5	8 ~ 14	11.4±2.17
5	140 ~ 310	228±58.8	8 ~ 24	14.6±4.99
6	400 ~ 480	439±29.8	38 ~ 88	53.9±15.84
7	260 ~ 500	361±78.2	10 ~ 38	24.8±8.50
8	200 ~ 320	269±33.5	12 ~ 34	22.2±7.02
9	430 ~ 610	538±57.1	16 ~ 38	23.6±6.02

在所有实验样品中，3# 电子烟的触发抽吸流量均值及偏差都最小（158±15.5 mL/min），表明了该规格电子烟样品在灵敏度以及灵敏度的均一性上都最好。9# 样品触发抽吸流量最大，反映了该品牌产品的灵敏度最差，而 5#、7# 两个规格样品的触发抽吸流量变异最大，产品均一性较差。

2.2 不同电子烟之间抽吸真空度的差异

从表 2 可以看出，实验样品电子烟的抽吸真空度在 8~88 mm 水柱之间，不同规格电子烟的抽吸真空度差异最大可达 10 倍以上，分段式电子烟的抽吸真空度普遍高于整体式电子烟。分析认为，分段式电子烟电池与烟弹连接处的打孔设计，稀释了抽吸“有效气流”，使得相同雾化效果条件下，抽吸需要更大的真空度，也就是抽吸更费力。

在所有试验样品中，1~4# 样品的抽吸真空度均较小，6# 样品的抽吸真空度最大，2# 样品的抽吸真空度以及触发抽吸流量变异均较小，反应了该规格电子烟在结构与加工上均一性较好。

2.3 电子烟抽吸轻松度与抽吸真空度的关系

与传统卷烟类似，电子烟的抽吸轻松度性能表现在两个方面：一是电子烟抽吸过程所产生的负压，也

就是口腔所需要付出的抽吸真空度；二是表现在抽吸的雾化量。

由于不同品牌 and 不同规格的电子烟之间，产品尺寸、产品材料、产品内部结构上均存在较大的差异，影响感官抽吸的判断。但在同一品牌、同一规格电子烟之间，可以认为其烟液成分、尺寸、材料、结构设计上是一致的，雾化量不会有明显差异。所以，为探索抽吸真空度与抽吸轻松度的关系，实验在整体式和分段式电子烟中，各选择 1 个规格（各 10 支样品），整体式电子烟选择 5#，分段式电子烟选择 7# 样品，以传统卷烟作为对照样（10 分），进行抽吸轻松度评价。

从表 2 可以看出，这两个规格电子烟在同一规格间的抽吸真空度值波动较大，有利于进行抽吸真空度与抽吸轻松度的比较。从表 3 的感官评价结果表中可以看出，电子烟的抽吸轻松度较传统卷烟低，这与前人的研究^[6]一致，前人研究表明，与传统卷烟相比，电子烟气溶胶需要更大的空气流速以及更长的抽吸时间才能产生。此外，7# 分段式电子烟样品的抽吸轻松度普遍低于 5# 整体式电子烟样品。

表 3 抽吸轻松度评价结果表
Tab. 3 Sensory quality of E-cigarettes samples

分值 $\pm$ 标准偏差	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5#	6.9 $\pm 0.22c$	7.7 $\pm 0.26ab$	7.5 $\pm 0.35b$	7.8 $\pm 0.35a$	7.8 $\pm 0.22a$	7.7 $\pm 0.36ab$	7.5 $\pm 0.35b$	7.8 $\pm 0.33a$	7.6 $\pm 0.25ab$	7.2 $\pm 0.36b$
7#	6.0 $\pm 0.43c$	6.3 $\pm 0.36c$	7.2 $\pm 0.35a$	6.6 $\pm 0.44b$	7.1 $\pm 0.39ab$	6.4 $\pm 0.41bc$	6.3 $\pm 0.25c$	6.8 $\pm 0.35ab$	6.6 $\pm 0.41bc$	6.1 $\pm 0.54c$

注：同行不标有相同小写字母表示组间差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。

图 2 为这两个规格电子烟抽吸真空度与抽吸轻松度的关系图。从图中可以看出，不同类型电子烟的抽吸真空度值与抽吸轻松度关系不同，整体式电子烟抽吸真空度与抽吸轻松度呈负相关，而分段式电子烟呈正相关。分析认为，与卷烟打孔稀释类似，分段式电子烟由于也采用了打孔稀释，抽吸真空度越小，说明

打孔稀释越多，在相同的抽吸条件下，烟气浓度随着打孔稀释的增大而降低。也就是说，抽吸需要更费力才能得到相同的雾化量和满足感，感官表现为轻松度越差。相反，整体式电子烟烟杆一般没有打孔，在相同的烟支构造条件下，抽吸真空度越小，说明抽吸越顺畅，感官表现为越轻松。

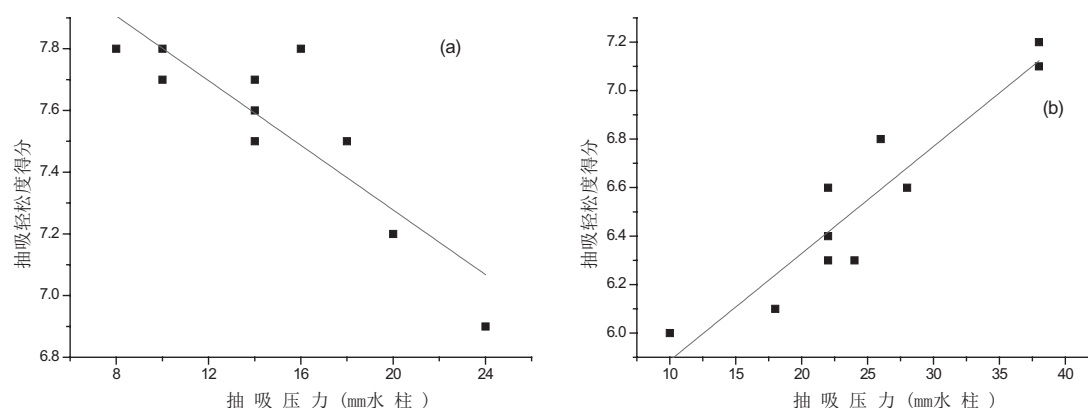


图 2 电子烟抽吸真空度与抽吸轻松度的关系图 (a:5# 样品; b:7# 样品)

Fig. 2 Relation of sensory quality and pressure drop of E-cigarettes samples (a:5#, b:7#)

3 结论

实验设计的电子烟抽吸装置，可通过数据反应电子烟的灵敏度和抽吸轻松度两项指标，并且可以判断电子烟产品的加工均一性。

触发抽吸流量能够直接反映电子烟灵敏度，触发抽吸流量越小，电子烟灵敏度越高。

电子烟的抽吸轻松度明显低于传统卷烟，对于不同类型的电子烟，抽吸真空度与抽吸轻松度关系不同，整体式电子烟抽吸真空度与抽吸轻松度呈负相关，而分段式电子烟呈正相关，这与分段式电子烟的打孔稀释有关。

不同规格电子烟的灵敏度和抽吸轻松度差异明

显，同一规格电子烟之间也存在较大差异，说明电子烟产品的加工均一性还有待提高和改进。

参考文献:

- [1] Rachel G, Neal B, Stanton A. E-Cigarettes: A Scientific Review[J]. Circulation. 2014, 129: 1972-1986.
- [2] Cahn Z, Siegel M. Electronic cigarettes as a harm reduction strategy for tobacco control: A step forward or a repeat of past mistakes[J]? Journal of Public Health Policy, 2010, 32: 16-31.
- [3] Ayers J, Ribisl K M., Brownstein J. Tracking the rise in popularity of electronic nicotine delivery systems (electronic cigarettes) using search query surveillance[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2011, 40: 448-453.

- [4] Bullen C, McRobbie H., Thornley S, et al. Effect of an electronic nicotine delivery device (e-cigarette) on desire to smoke and withdrawal, user preferences and nicotine delivery: Randomised cross-over trial[J]. Tobacco Control, 2010, 19: 98-103.
- [5] Goniewicz M, Kuma T, Gawron M, et al. Nicotine levels in electronic cigarettes[J]. Nicotine & Tobacco Research, 2013, 15: 158-166.
- [6] Trtchounian A, Williams M, Talbot P. Conventional and electronic cigarettes (e-cigarettes) have different smoking characteristics[J]. Nicotine & Tobacco Research, 2010, 12: 905-912.
- [7] Zhang Y, Sumner W, Chen D. In vitro particle size distributions in electronic and conventional cigarette aerosols suggest comparable deposition patterns[J]. Nicotine & Tobacco Research, 2013, 15: 501-508.
- [8] Trehy M, Ye W, Hadwiger M, et al. Analysis of electronic cigarette cartridges, refill solutions, and smoke for nicotine and nicotine related impurities[J]. Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 2011, 34: 1442-1458.
- [9] Williams M, Talbot P. Variability Among Electronic Cigarettes in the Pressure Drop, AirRate, and Aerosol Production [J]. Nicotine & Tobacco Research, 2011, 13: 1276-1283.

Determination of vaping sensibility and easiness of e-cigarettes

HE Qing^{1,2}, XU Yingbo^{1,2}, NING Yong², ZHOU Shun^{1,2*}, ZHANG Yaping^{1,2}, WANG Xiaofeng^{1,2}, TIAN Zhenfeng^{1,2}, CHEN Kaibo^{1,2}

1 Combustion & Pyrolysis Study of Key Laboratory of China Tobacco, China Tobacco Anhui Industrial Co., Ltd., Hefei 230088, China;

2 Anhui Key Laboratory of Tobacco Chemistry, China Tobacco Anhui Industrial Co., Ltd., Hefei 230088, China

Abstract: The vaping sensibility and easiness of e-cigarettes (ECs) were analyzed by peristaltic pump and U-shaped water manometer. Results showed that initial flow rate parameters could directly reflect sensibility property. The less initial flow rate needed, the better sensibility performed. Different relation appeared between pressure drop and sensory ease feeling for different EC types. A positive correlation was proved for rechargeable type, while negative correlation for disposable ones. The difference was correlated with air hole area in EC device. These results also showed that difference in sensibility and ease feeling property existed in different specifications of EC, and in products of same specification. The homogeneity of E-cigarettes production needs to be improved.

Keywords: e-cigarette; sensibility; easiness; performance

Citation: HE Qing, XU Yingbo, NING Yong, et al. Determination of vaping sensibility and easiness of e-cigarettes [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017,23(1)

*Corresponding author. Email: zhous@mail.ustc.edu.cn

《烟草科技》2017年第1期目次

• 烟草农学

- 烟草 *NtGGPPS4* 基因的克隆和功能初步分析
.....李 锋, 孟利军, 史艳梅, 等
- 烤烟和白肋烟烟苗氮代谢的差异分析
.....李亚飞, 常 栋, 孙军伟, 等
- 试验土壤中烟草青枯病菌的 RT-qPCR 检测分析
.....程 承, 李石力, 刘 颖, 等
- 津巴布韦烤烟杂交种的利用与启示 曹景林, 余 君
- 运用模糊矩阵预测延安地区烟草生长期烟粉虱的发生量
.....徐世才, 陈邦凯, 陈雅梅

• 烟草化学

- 二氯甲烷提取物致香成分 GC/MS 指纹图谱在烤烟香型鉴别中的应用
.....许洪庆, 吕大树, 张亚恒, 等
- 卷烟主流烟气烟熏香成分的感官导向分析
.....朱 浩, 柴国璧, 迟广俊, 等
- 微透析-HPLC-ECD 联用在线测定烟碱暴露大鼠脑内单胺神经

- 递质的动态变化徐 妍, 毛 健, 庆 宏
- 分散液液微萃取-GC/MS/MS 法测定卷烟主流烟气气相物中的农药残留
.....陈晓水, 杨 洋, 汤晓东, 等

• 烟草工艺

- 基于视觉形态特征检测的烟梗切丝质量分析
.....张超凡, 董 浩, 刘 勇, 等
- 叶丝加料和片烟加料对一、二、三类卷烟感官质量的影响
.....孙志涛, 魏明杰, 王 东, 等

• 设备与仪器

- 基于多元分析法的卷烟物理指标综合测试系统的能力评价
.....施亮星, 邢 波, 范胜兴
- 基于伺服精密驱动的滤棒装盒控制系统
.....倪 敏, 堵 俊, 吴 晓, 等
- YB618 型硬条提升及条外透明纸美容装置的改进
.....马万杰, 施忠兵, 张志盛, 等