

电子烟抽吸模式和参数对烟气总粒相物传输量的影响

金吉琼¹, 张怡春², 张元杰², 郑赛晶², 顾文博^{*2}

1. 上海牡丹香精香料有限公司, 上海市浦东新区孙桥路1067号 201200

2. 上海烟草集团有限责任公司技术中心, 上海市长阳路717号 200082

摘要:为探索不同抽吸参数下电子烟烟气总粒相物(TPM)传输量的变化,考察了ISO和加拿大卫生部深度抽吸(HCI)2种抽吸模式、3种抽吸曲线、2~5 s抽吸时间和1~100口抽吸口数对电子烟主流烟气中TPM传输量的影响。结果表明:①抽吸时间和电子烟TPM的产生速率是影响电子烟传输量的主要因素,其他抽吸参数对电子烟烟气传输量影响的程度较小。②较高的抽吸气流速率易使电子烟电热丝的工作温度低于烟液中主要溶剂之一——甘油的沸点,从而降低烟气传输量。③单口电子烟烟气TPM随抽吸口数序号的增大而明显递减。电子烟应以3~4 s抽吸持续时间、矩形抽吸曲线、55 mL抽吸容量及缓慢平稳的抽吸方式收集抽吸1~30口的TPM进行烟气分析。

关键词:电子烟;抽吸模式;总粒相物;传输量

中图分类号:TS411.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-0861(2016)06-0065-06

Effects of smoking regimen and parameter on e-cigarette TPM delivery of its aerosol

JIN Jiqiong¹, ZHANG Yichun², ZHANG Yuanjie², ZHENG Saijing², GU Wenbo^{*2}

1. Shanghai Peony Flavors and Fragrances Co., Ltd., Shanghai 201200, China

2. Technology Center, Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 200082, China

Abstract: To evaluate the influences of different puffing parameters on TPM delivery in aerosol of e-cigarettes, the TPMs released from e-cigarettes were collected under ISO and Health Canada Intensive (HCI) smoking regimens, using 3 puffing profiles consisting of puffing time of 2–5 s per puff and 1–100 puffs. Three types of e-cigarette were used in this study: two were rechargeable and one was disposable. The results showed that: 1) The major factors affecting the TPM delivery were puff time and the TPM releasing rate of e-cigarettes, while the effects of the other puffing parameters such as puffing duration were slight. 2) Fast puffing air flow tended to decrease the working temperature of electric heating coil in the cartridge of the e-cigarette, sometimes even below the boiling point of glycerol, which resulted in low smoke delivery. 3) The TPM delivery of e-cigarette decreased gradually with the proceeding puffs. Therefore, the appropriate smoking regimen for the aerosol analysis of e-cigarette was puffing time 3–4 s, rectangular puffing profile, puff volume 55 mL and collecting the TPM of 1–30 puffs.

Keywords: E-cigarette; Smoking regimen; Total particulate matter (TPM); Delivery

电子烟^[1](Electronic cigarette, 简称E-cig)是一种烟碱传输装置(Electronic nicotine delivery system, 简称ENDS),主要由电池、雾化器和烟弹等元器件组成。电子烟通过人为抽吸产生的气流

触发电子烟的电池供电,加热电子烟烟弹内的烟液产生气溶胶,以仿真模拟传统卷烟的抽吸行为^[2-3]。由于电子烟在抽吸过程中不燃烧烟丝,也没有燃烧过程,有害成分的释放量低于传统卷烟^[4-5],因

收稿日期: 2015-07-24 修回日期: 2016-02-06

作者简介: 金吉琼(1987—),女,硕士,工程师,主要从事卷烟烟气分析及电子烟抽吸方法的研究。E-mail: tongji_cailiao@163.com; *通讯作者: 顾文博, E-mail: guwb@sh.tobacco.com.cn

引文格式: 金吉琼,张怡春,张元杰,等. 电子烟抽吸模式和参数对烟气总粒相物传输量的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(6): 65–70. (JIN Jiqiong, ZHANG Yichun, ZHANG Yuanjie, et al. Effects of smoking regimen and parameter on e-cigarette TPM delivery of its aerosol[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(6): 65–70.) DOI: 10.16135/j.issn1002-0861.20160610

此已成为新型烟草制品的主流产品之一。

传统卷烟烟气释放量和抽吸模式的相关研究开展较早,研究认为抽吸参数将显著影响烟气的释放量^[6-8]。目前国际烟草权威机构还未公布电子烟的标准抽吸模式,且抽吸参数是否影响电子烟烟气传输效率的相关研究也较少^[9-10]。Taylor^[11]研究表明 ISO 和加拿大深度抽吸(HCI)两种抽吸模式下,电子烟烟气中烟碱和总粒相物(TPM)的变化量远小于传统卷烟的检测结果。由于市售电子烟品牌众多,其内部结构、电池强度和烟液成分都不尽相同,因此亟待建立科学统一的电子烟抽吸标准,以有效质控和评价电子烟相关产品。因此,基于电子烟的工作原理,探索了抽吸模式、抽吸持续时间和抽吸口数对电子烟烟气传输量的影响,揭示了影响电子烟传输量的关键因素,旨在为电子烟的产品设计和质控方法提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂和仪器

选用 A、B、C 3 种电子烟样品(表 1),A、C 为国内产品,B 为国外产品。所有样品在检测前都经吸阻分选,保证实验样品的吸阻值一致,确保检测数据的稳定性。所有可续充电池在实验前确保充电已满。

表 1 电子烟产品信息

Tab.1 Information on the three e-cigarette products tested

电子烟样品	产品类型
A	烟弹可更换、电池可续充
B	一次性
C	烟弹可填充、电池可续充

异丙醇(色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司);反式茴香脑(内标,>98.5%,日本 TCI 公司)。

SM450 直线型 20 通道吸烟机(英国 Cerulean 公司);热电偶温度传感器(自制);DX208 温度显示仪(日本理化 RKC 公司);XP205 电子天平(感量 0.000 01 g,瑞士 Mettler 公司);D63 吸阻分选仪(法国 Sodim 公司);7890A 气相色谱仪(美国 Agilent 公司); $\varnothing 44$ mm 剑桥滤片(德国 GE 公司)。

1.2 方法

1.2.1 电子烟主流烟气粒相物的捕集

电子烟的抽吸环境条件参考 ISO 3402^[12]的方法,实验测试环境的温度和相对湿度分别控制为 $(22\pm 2)^\circ\text{C}$ 、 $(60\pm 5)\%$,大气压为 (96 ± 10) kPa。参考 ISO 3308^[13]及 HCI^[14]规定的条件抽吸电子烟样品 A,参考 ISO 4387^[15]的方法采用单片剑桥滤片

捕集电子烟共抽吸 10 口所释放的主流烟气粒相物。

1.2.2 电子烟烟液和烟气中烟碱的检测

参考 ISO 10315^[16]的方法测定电子烟 TPM 和烟液中烟碱的量,将捕集有电子烟烟气粒相物的剑桥滤片和电子烟烟液分别转移至 100 mL 圆底烧瓶中,并加入 20 mL 含内标的异丙醇溶液,振荡萃取 30 min,取 1 mL 溶液进行 GC 分析。GC 分析条件为:

色谱柱:DB-WAX 毛细管色谱柱($30\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.25\text{ }\mu\text{m}$);进样口温度: 250°C ;检测器温度: 250°C ;载气:高纯氦气;氦气流量: 40 mL/min ;进样量: $1\text{ }\mu\text{L}$;恒流模式,不分流进样;柱温箱升温程序:初始温度 170°C ,保持 6 min。

1.2.3 电子烟抽吸模式

为探究电子烟的较佳抽吸方式,参考卷烟的 ISO^[13]和 HCI^[14]抽吸模式,考察了该两种抽吸模式下抽吸电子烟的可行性。两种抽吸模式的具体参数见表 2。

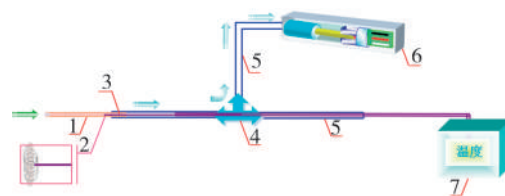
表 2 ISO 及 HCI 抽吸模式的抽吸参数

Tab.2 Puffing parameters of ISO and HCI smoking regimens

抽吸模式	抽吸容量/mL	抽吸频率/s	抽吸持续时间/s
ISO	35 ± 0.3	60 ± 0.5	2 ± 0.02
HCI	55 ± 0.5	30 ± 0.5	2 ± 0.02

1.2.4 电子烟工作温度测量

参考郑赛晶等^[17]采用温敏型热电偶检测卷烟内部动态温度的方法,使用该设备检测电子烟在工作状态下电热线圈的温度,检测方法示意图如图 1 所示。



1.电子烟烟支 2.热电偶探针检测电子烟烟弹内部电热线工作温度局部放大图 3.热电偶探针 4.三通阀 5.橡胶软管 6.吸烟机的抽吸引擎 7.热电偶温度显示仪

图 1 检测电子烟电热线圈温度方法示意图

Fig.1 Schematic diagram for measuring temperature of electric heating coil inside the cartridge of e-cigarette

2 结果与讨论

2.1 抽吸模式对电子烟传输量的影响

ISO 和 HCI 两种抽吸模式下,剑桥滤片对电子烟主流烟气粒相物捕集效率的考察结果如表 3 所

示。在两种抽吸模式下,滤片的捕集率均可达 97%以上。考虑到电子烟抽吸过程中,滤片可能会吸附气流中水分从而增加捕集效率,实验分别比较了滤片水分在烟气 TPM 中的质量百分比以及烟液中水分的质量百分比。由表 3 可知,HCI 模式下烟气的含水率为 1.97%,近似于电子烟烟液的含水率 1.95%;而 ISO 抽吸模式下烟气含水率为 2.34%,高于电子烟烟液的含水率 0.39 百分点。因此,采用单片剑桥滤片捕集 TPM 可能存在吸附过多水分的现象,但其增量不足以较大程度地影响捕集效率的实验结果。因此,实验中均采用单片剑桥滤片捕集电子烟主流烟气粒相物。

表 3 剑桥滤片对主流烟气粒相物的捕集效率及滤片中水的质量分数^①

Tab.3 Collection efficacy of Cambridge filter pads for TPM in mainstream aerosol and moisture contents in the pads					
样品	抽吸模式	电子烟质量减少值/mg	捕集器质量增加值/mg	捕集效率/%	滤片中水的质量分数/%
A	ISO	17.1	16.7	97.7	2.34
	HCI	7.3	7.1	97.3	1.97

注:①参考 ISO 4387^[15]的方法测定电子烟主流烟气中的粒相物,抽吸前后捕集器质量差计为滤片捕集的 TPM 的质量;烟液中水的质量分数为 1.95%。

还比较了电子烟以 ISO 抽吸模式抽吸 1~10 口后,烟气和烟液中烟碱的质量百分比,结果见表 4。3 种电子烟烟液与烟气中烟碱的质量百分比近似一致,且烟气中烟碱量随 TPM 释放量的增加而上升,两者的变化呈正相关性。说明烟气中烟碱传输量决定于烟液中的烟碱浓度。因此,以 TPM 释放量表征电子烟烟气传输量具有可行性和代表性,其研究结论也适用于烟气中烟碱传输过程。

抽吸曲线是抽吸模式中的重要参数之一,是监测抽吸过程中单位时间内通过烟蒂后端的气流量,以该气流量对应时间绘制的曲线图形^[13];通常包括矩形、钟形及三角形 3 种抽吸曲线,其中,矩形和钟形 2 种抽吸曲线已被广泛研究^[14,18]。国内外针对电子烟使用者的抽吸行为研究发现,相比于传统卷烟,抽吸电子烟有慢速的抽吸速率、较长的抽吸时间和较短的抽吸频率等特点^[19]。因此,分别考察了样品 A 在矩形、钟形及三角形抽吸曲线下,以 ISO 和 HCI 2 种抽吸模式抽吸 1~10 口的 TPM,结果如表 5 所示。两种抽吸模式下,电子烟以矩形曲线抽吸时的 TPM 释放量均高于钟形和三角形曲线下 TPM 的释放量。基于电子烟的工作原理,启动电子烟正常工作需通过其内部的抽吸气流达到阈值流速后方可触发电子烟电池内的气敏

型开关,矩形抽吸曲线可使抽吸气流速率瞬间达到触发开关的需求;但钟形及三角形抽吸曲线下,气流流速则缓慢升至最大值后逐渐下降。因此,钟形和三角形抽吸曲线在抽吸初始和终止的气流速率不能达到启动电子烟的最低要求,矩形曲线由于瞬时流速可达到极值而使电子烟的有效工作时间理论上大于其余 2 种抽吸曲线,相应的 TPM 释放量的测定值较高。

表 4 电子烟烟液中烟碱的质量分数和主流烟气烟碱的释放量

Tab.4 Nicotine content in e-liquid and nicotine release from mainstream aerosol of e-cigarette

样品	TPM/mg	烟碱释放量/mg	TPM 中烟碱质量百分比/%	烟液中烟碱的质量百分比/%
A	16.7	0.256	1.53	1.50
B	5.1	0.024	0.47	0.50
C	20.0	0.543	2.72	2.80

表 5 电子烟在不同抽吸参数下的总粒相物

Tab.5 TPM of e-cigarette under different puffing parameters

抽吸容量/mL	抽吸间隔/s	抽吸时间/s	抽吸曲线	总粒相物/mg
35	60	2	钟形	16.7
			三角形	13.0
			矩形	18.8
55	30	2	钟形	7.1
			三角形	5.7
			矩形	8.8

值得注意的是,电子烟在 ISO 抽吸模式下 TPM 的释放量均为 HCI 抽吸模式下的 2~3 倍。对于传统卷烟,由于 HCI 模式的抽吸容量更大、抽吸频率更快,改变了卷烟的燃烧过程和燃烧温度,使该模式下传统卷烟 TPM 释放量远高于 ISO 抽吸模式^[20]。电子烟与传统卷烟截然相反的实验结果与两者烟气的产生机理不同有关,电子烟依靠其端部电池提供电能进而转化为热能加热烟弹内烟液,因此,理论上抽吸容量的变化不会影响电池能量供给,然而增大抽吸容量加快了气流速率,进而可能降低抽吸过程中电子烟烟弹内电热线圈加热烟液的温度,并进一步减少电子烟的烟气传输量。因此,实验中以矩形抽吸曲线,35 和 55 mL 抽吸容量,2、3、4 和 5 s 抽吸持续时间,采用温敏型热电偶测量电子烟在上述抽吸参数下电热线圈的工作温度,研究了各抽吸参数下产生的不同气流速率对电子烟工作温度的影响,结果如表 6 所示。

表 6 显示,随着抽吸持续时间的增加,电子烟

工作温度逐渐上升。在 2 s 抽吸持续时间下,35 和 55 mL 抽吸容量产生的气流速率为 17.5 和 27.5 mL/s,对应工作温度分别为 336.4 ℃和 270.3 ℃,两者相差 66.1 ℃,说明较快的气流速率一定程度上消耗了电热丝产生的热能,降低了电热丝的工作温度。而电子烟烟液的主要溶剂为甘油和丙二醇^[21],其沸点分别为 290 ℃和 188 ℃;HCl 模式下电热线圈的最高工作温度为 270.3 ℃,低于烟液中主要溶剂之一——甘油的沸点,可能导致了烟液中的甘油未完全挥发,从而在 HCl 模式下电子烟 TPM 的释放量低于 ISO 抽吸模式。随抽吸持续时间的增加,不同抽吸容量下电子烟的工作温差也随着气流速率差的逐渐减小而不断降低,但工作温度都高于烟液溶剂的沸点温度。因此,电子烟工作温度需达到烟液溶剂的沸点后才能获得较高的烟气传输量。

表 6 不同抽吸容量下气流速率对电子烟工作温度的影响
Tab.6 Effects of puffing air flow rate on working temperature of e-cigarette under different puff volumes

抽吸持续 时间/s	35 mL		55 mL	
	气流速率/ (mL·s ⁻¹)	温度/ ℃	气流速率/ (mL·s ⁻¹)	温度/ ℃
2	17.50	336.4	27.50	270.3
3	11.70	367.1	18.33	348.2
4	8.75	426.3	13.75	379.4
5	7.00	459.9	11.00	424.3

2.2 抽吸持续时间对电子烟烟气传输量的影响
由于电子烟抽吸持续时间会影响电热线圈的工作温度,进而可能影响电子烟的烟气传输量。因此,以电子烟 TPM 为对象,研究了抽吸持续时间对电子烟烟气传输量的影响。

35 和 55 mL 抽吸容量下,3 种电子烟在 2~5 s 的抽吸时间内,主流烟气 TPM 随抽吸持续时间的变化趋势如图 2 所示。电子烟样品在 2~5 s 的抽吸时间内,TPM 的量随抽吸时间的增加而逐步上升,两者呈强正相关性,相关系数 > 0.94,表明抽吸持续时间显著影响电子烟 TPM 的传输量。其中,当抽吸时间为 5 s 时,35 mL 抽吸容量产生的气流速率仅为 7 mL/s,部分 A、B 样品、所有 C 样品已无法正常启动,说明 7 mL/s 已界于启动电子烟的气流速率阈值;当抽吸时间为 2 s,55 mL 抽吸容量产生的气流速率为 27.5 mL/s,高流速下电子烟烟液未完全挥发导致 TPM 传输量总体偏低。因此上述两种条件下,电子烟烟气传输量的可靠性和重复性较差,在图 2 中未纳入分析。

表 7 为不同抽吸持续时间下电子烟样品 TPM

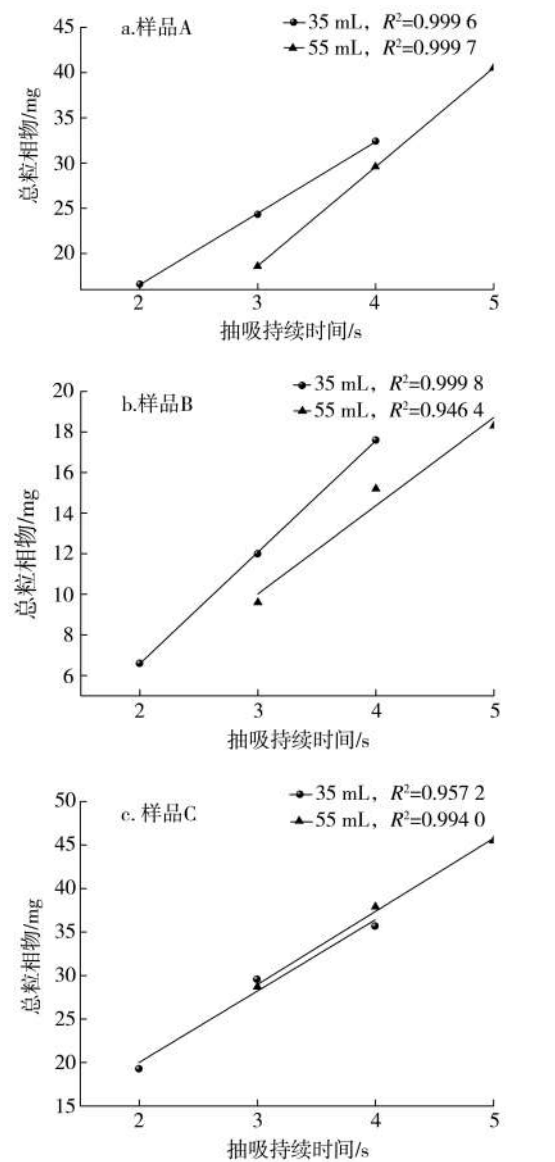


图 2 电子烟抽吸持续时间与总颗粒物传输量的关系
Fig.2 Relationship of puffing time with TPM delivery from e-cigarette

表 7 不同抽吸持续时间下电子烟样品总颗粒物的产生速率^①
Tab.7 TPM delivery rates of e-cigarette under different puffing time (mg·s⁻¹)

抽吸持续 时间/s	样品 A		样品 B		样品 C	
	35 mL	55 mL	35 mL	55 mL	35 mL	55 mL
2	0.83		0.33		0.96	
3	0.81	0.62	0.40	0.32	0.98	0.96
4	0.81	0.74	0.44	0.38	0.89	0.95
5		0.81		0.37		0.91

注:①抽吸时间为 5 s、抽吸容量 35 mL 和抽吸时间为 2 s、抽吸容量 55 mL 2 种条件下,电子烟烟气传输量的可靠性和重复性较差,未纳入分析。

的产生速率。不同抽吸容量和抽吸时间下,各电子烟样品每秒 TPM 传输量却较接近,说明当电子

烟的工作温度达到烟液溶剂沸点、气流速率足以触发电池供电时,即使抽吸容量和抽吸时间不同,各电子烟样品每秒 TPM 传输量的波动也较小,稳定于某一水平内。但不同电子烟样品每秒 TPM 传输量的差异却较大,范围为 0.25~0.96 mg/s。因此,电子烟烟气传输速率可能与内部电器元件的设计和电池功率等性能有关。

综合表 6、表 7 及图 2 可知,电子烟正常工作需满足 2 个条件:①气流速率为 10~20 mL/s,即抽吸速率足以触发电池稳定工作;②电子烟工作温度高于烟液溶剂沸点温度。满足上述条件时,电子烟的烟气传输量较大幅度上由抽吸时间和 TPM 的传输速率决定。CORESTA《2015 年电子烟技术报告》^[22]中也指出,13.8~23.3 mL/s 的气流速率是激活电子烟电池正常工作的适宜流速,且抽吸时间对传输量的影响显著大于抽吸容量。因此建议电子烟应以 3~4 s 抽吸时间,缓慢平稳的矩形抽吸曲线抽吸以获得更好的烟气传输效率和更高的烟气传输量。

2.3 抽吸口数对电子烟烟气传输量的影响

鉴于电子烟满电后一般可抽吸 100~150 口,因此考察了 3 种电子烟以 55 mL 抽吸容量、3 s 抽吸持续时间分段抽吸 1~100 口的 TPM 变化,结果如表 8 所示。随抽吸口数序数的增加,电子烟 TPM 的释放量逐渐减小。当电子烟抽吸至 91~100 口时,TPM 传输量仅为抽吸 1~10 口时传输量的约 30%~60%。3 种电子烟抽吸 1~30 口时 TPM 的传输量较稳定,占累积 TPM 的 35%~45%。因此,捕集电子烟抽吸 1~30 口后的 TPM 用于烟气成分分析比较可行。

表 8 电子烟抽吸 1~100 口时每抽吸 10 口的总粒相物传输量
Tab.8 TPM deliveries per 10 puffs within 1~100 puffs of e-cigarette

测试 序号	抽吸口数 序数	总粒相物/mg		
		样品 A	样品 B	样品 C
1	1~10	20.4	10.2	29.7
2	11~20	19.7	9.8	29.3
3	21~30	18.9	9.6	28.3
4	31~40	15.6	8.6	27.4
5	41~50	13.0	7.7	27.1
6	51~60	10.5	7.4	25.4
7	61~70	10.1	6.8	24.8
8	71~80	8.4	5.5	22.4
9	81~90	7.9	5.2	20.0
10	91~100	6.0	5.0	19.8

3 结论

考察抽吸模式和参数对电子烟总粒相物传输量影响的结果表明:①矩形抽吸曲线使电子烟的有效工作时间更长,有利于增加电子烟烟气的传输量;②较高的气流速率导致电子烟电热线圈的工作温度过低,降低了烟气的传输量;③电子烟在正常工作状态下,抽吸参数变化对电子烟传输量的影响较小,抽吸持续时间和 TPM 传输速率是影响传输量的关键因素;④电子烟应以 3~4 s 抽吸持续时间、30 s 抽吸间隔时间、矩形抽吸曲线、55 mL 抽吸容量,以缓慢平稳的抽吸方式收集 1~30 口的烟气 TPM 进行烟气分析。

参考文献

[1] Trtchounian A, Williams M, Talbot P. Conventional and electronic cigarettes(e-cigarettes) have different smoking characteristics[J]. Nicotine and Tobacco Research, 2010, 12(9):905-912.

[2] Esther M, Joan O G. A rapid method for the chromatographic analysis of volatile organic compounds in exhaled breath of tobacco cigarette and electronic cigarette smokers[J]. Journal of Chromatography A, 2015, 1410:51-59.

[3] Cressey D. Regulation stacks up for e-cigarettes[J]. Nature, 2013, 501(7468):473.

[4] Rana T, Gearld A L. Comparison of select analytes in aerosol from e-cigarettes with smoke from conventional cigarettes and with ambient air[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2014, 70(3):704-710.

[5] Laugesen M. Ruyan® e-cigarette bench-top tests [C]. Dublin: Society for Research on Nicotine and Tobacco, 2009.

[6] Cheng T R. Chemical evaluation of electronic cigarettes [J]. Tobacco Control, 2014, 23(2):11-17.

[7] Raymond B B, Judy G C, Janice W H, et al. Puffing topography as a determinant of smoke exposure[J]. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 1990, 37(1):29-39.

[8] 于宏晓,赵砚棠,徐海涛,等. 不同抽吸模式卷烟主流烟气中常规成分和某些有害成分释放研究[J]. 中国烟草科学, 2012, 10(5):90-92.

YU Hongxiao, ZHAO Yantang, XU Haitao, et al. Yield of chemical components in the mainstream smoke under two smoking methods[J]. Chinese Tobacco Science, 2012, 10(5):90-92.

[9] Cooperation Center for Scientific Research Relative to Tobacco. Electronic cigarettes: Assessment of analytical literature from 55 studies published worldwide on

- commercial E-cigarettes. E-cigarette task force reference report[R]. Quebec: CORESTA, 2014.
- [10] Maciej L G, Ribhav G, Yong H L, et al. Nicotine levels in electronic cigarette refill solutions: A comparative analysis of products from the US, Korea, and Poland [J]. Drug Policy, 2015, 26(6): 583–588.
- [11] Taylor M J. The effect of puff profile and volume on the yields of E-cigarettes. 2013 CORESTA joint study groups meeting: smoke science and product technology [R]. Seville: CORESTA, 2013.
- [12] ISO 3402:1999 Tobacco and tobacco products—Atmosphere for conditioning and testing[S].
- [13] ISO 3308:2000 Routine analytical cigarette-smoking machine—Definitions and standard conditions[S].
- [14] World Health Organization. WHO tobacco lab net official method SOP 01: Standard operating procedure for intense smoking of cigarettes[R]. Geneva: WHO, 2012.
- [15] ISO 4387:2000 Cigarette—Determination of total and nicotine-free dry particulate matter using a routine analytical smoking machine[S].
- [16] ISO 10315:2000 Cigarettes—Determination of nicotine in smoke condensates—Gas chromatographic method [S].
- [17] 郑赛晶, 顾文博, 张建平, 等. 电偶法测量卷烟内部动态温度[J]. 烟草科技, 2006(1): 5–9.
- ZHENG Saijing, GU Wenbo, ZHANG Jianping, et al. Measurement of dynamic temperature profile inside a cigarette combustion coal with a thermocouple[J]. Tobacco Science & Technology, 2006(1): 5–9.
- [18] 胡启秀, 蒋锦锋, 赵继俊, 等. 卷烟抽吸模式研究现状概述[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(3): 98–102.
- HU Qixiu, JIANG Jinfeng, ZHAO Jijun, et al. An overview of current situation in research in cigarette smoking regimes [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2013, 19(3): 98–102.
- [19] Yong H L, Gawron M, Goniewicz M L, et al. Changes in puffing behavior among smokers who switched from tobacco to electronic cigarettes[J]. Addictive Behaviors, 2015, 48: 1–4.
- [20] 王芳, 温东奇, 陈再根, 等. 深度吸烟对卷烟焦油、烟碱和CO释放量测定结果的影响[J]. 烟草科技, 2006(3): 24–29.
- WANG Fang, WEN Dongqi, CHEN Zaigen, et al. Tar, nicotine and CO yields in mainstream smoke under different smoking regimes[J]. Tobacco Science & Technology, 2006(3): 24–29.
- [21] Christoph H, Meike P, Svetlana K, et al. Chemical hazards present in liquids and vapors of electronic cigarettes [J]. Archives of Toxicology, 2014, 88(7): 1295–1308.
- [22] Cooperation Center for Scientific Research Relative to Tobacco. CORESTA 2014 electronic cigarette aerosol parameters study[R]. Jeju Island: CORESTA, 2015.

责任编辑 茹呈杰