

卷烟主流烟气中相关成分含量的快速检测方法

彭晓萌, 王 健, 徐冰霞, 孙丽莉, 朱栋梁, 张亚平, 雷 振, 陈 刚
(安徽中烟工业有限责任公司 技术中心, 安徽 合肥 230088)

摘要: 建立了一种快速测定卷烟主流烟气中相关成分的方法, 其中包括一氧化碳、4-(甲基亚硝氨基)-3-吡啶-1-丁酮(NNK)、苯酚、巴豆醛、氨和氰化氢 6 种相关成分。采用在吸烟机上同时使用溶剂捕集和滤片捕集的方式, 溶剂捕集氨、氰化氢和巴豆醛, 滤片捕集 NNK、氨、氰化氢和苯酚, 样品采集后分别在高效液相色谱、离子色谱和液相色谱/质谱联用仪上检测。一氧化碳使用吸烟机自带的非散射红外检测器检测。试验结果表明, 与检测卷烟烟气中 6 种相关成分的烟草行业标准方法相比, 简化了分析程序, 避免重复抽吸卷烟的捕集步骤, 得到的 NNK 相对标准偏差(RSD)小于 6.0%, 其它检测结果的 RSD 均小于 3.0%, 方法精密度良好, 适合卷烟主流烟气中相关成分含量的测定。

关键词: 快速检测; 主流烟气; 相关成分含量

中图分类号: O657.7

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2021)02-0127-07

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2021.02.008

Rapid Detection of Relevant Components in Mainstream Cigarette Smoke

PENG Xiao-meng, WANG Jian, XU Bing-xia, SUN Li-li, ZHU Dong-liang, ZHANG Ya-ping,
LEI Zhen, CHEN Gang
(Technology Center of Anhui China Tobacco Industry Co., Ltd, Hefei 230088, China)

Abstract: A rapid method for the determination of related components in mainstream cigarette smoke, including carbon monoxide, 4-(methylnitrosamine)-3-pyridine-1-butanone (NNK), phenol, crotonaldehyde, ammonia and hydrogen cyanide, was set up. Solvent trapping and filter trapping methods were used to trap on the smoking machine at the same time. Ammonia, hydrogen cyanide and crotonaldehyde were trapped by the solvent trapping method, and NNK, ammonia, hydrogen cyanide and phenol were trapped by the filter trapping method. Then the samples were detected using high-performance liquid chromatography (HPLC), ion chromatography (IC) and liquid chromatography/mass spectrometry (LC/MS). Carbon monoxide was detected on the non scattering infrared detector of the smoking machine. The test results showed that comparing with the tobacco industry standard method for the detection of 6 related components in cigarette smoke, the relative standard deviation (RSD) of NNK was less than 6.0%, and RSD of other detection results were less than 3.0%, which is suitable for the determination of the content of related components in mainstream cigarette smoke.

Key words: rapid detection; mainstream smoke; content of related components

近年来,吸烟与健康的话题一直引起社会广泛关注,吸烟有害健康已得到人们的普遍认可。针对

收稿日期: 2021-04-01; 修订日期: 2021-05-28.

作者简介: 彭晓萌 (1990-), 女, 中级工程师, 主要从事烟草化学分析方面研究, E-mail: 15209863130@163.com

通信作者: 陈刚 (1977-), 男, 高级工程师, 主要从事烟草化学分析方面研究, E-mail: chahu2000n007@sina.com.

卷烟烟气中的 4-(甲基亚硝氨基)-3-吡啶-1-丁酮 (NNK)、苯酚、巴豆醛、氨、氰化氢、一氧化碳的检测方法也趋于成熟,并形成了国家标准^[1]和行业标准^[2-6]。目前,无论是分析仪器的研发,还是检测方法的改进,都以节约分析时间和人力物力资源为主要方向。

NNK、苯酚、巴豆醛、氨和氰化氢的检测均形成了一套行业标准方法,除此之外其它一些分析手段也涵盖了对这 5 种成分的检测。比如,烟草及卷烟烟气中 NNK 的主要检测方法有:气相色谱-质谱联用 (GC-MS)、液相色谱-质谱联用法 (LC-MS)^[7-8] 和高效液相色谱串联质谱 (HPLC-MS/MS)^[9-10]。烟气中苯酚的检测一般采取液-液萃取法、柱层析法、衍生化法、GC 法、HPLC 法等^[11-14]。主流烟气中的巴豆醛等羰基化合物的检测普遍采用《YC/T 254—2008 卷烟主流烟气中主要羰基化合物的测定 高效液相色谱法》所规定的高效液相色谱法^[4],且巴豆醛等羰基化合物的检测采用一、二硝基苯肼作为衍生化试剂的报道日益增多^[15-16]。氨的检测,常规的方法是使用离子色谱来测定,国内烟草公司及相关机构都建立了成熟的离子色谱法来测定卷烟主流烟气中的氨^[17-19]。目前,氰化物检测方法主要有比色法、荧光法、离子色谱法、气相色谱法等,其中离子色谱法是检测烟气中氰化氢的主要方法^[20-21]。对于一氧化碳的检测形成了一种国家标准方法,且常用的检测方法有非散射红外法^[1,22]和气相色谱法^[23]。上述诸多成分检测方法,除一氧化碳的检测可以和卷烟烟气烟碱水分同时进行外,其余均存在样品前处理流程较为繁琐,即 5 种成分均需分别在吸烟机上抽吸捕集,只能实现单组分或者部分组分的同时检测。

由于 NNK 和苯酚只存在于烟气颗粒物中,巴豆醛和一氧化碳只存在于烟气气相物中,而氨和氰化氢在烟气的气相和粒相中均有分布^[1-6]。其中,一氧化碳难溶于水,而巴豆醛则易溶于水。本文采用在吸烟机上同时使用溶剂捕集和滤片捕集的方式,建立了一种只需一次抽吸即可对 6 种成分进行快速分析的检测方法,为行业烟气成分的快速检测提供参考和依据。

1 试验部分

1.1 仪器与试剂

ABSciex 4000Qtrap 高效液相色谱-质谱联用仪,

配备电喷雾离子源 (美国 Waters 公司); Ultimate 3600 高效液相色谱仪,配紫外检测器 (美国赛默飞世尔公司); ICS-5000 离子色谱仪,配备电导和电化学检测器 (美国赛默飞世尔公司); 直线式吸烟机或转盘式吸烟机,配备一氧化碳检测仪 (德国伯格瓦特公司); 溶剂捕集瓶 (直径 30 mm, 高 180 mm); AL204-IC 分析天平 (精度 0.000 1 g, 德国 Mettler 公司)。

标准物质: 2%、4%、6% 的一氧化碳/氮气混合气, 巴豆醛-2, 4-二硝基苯肼衍生物, 苯酚/甲醇溶液、NNK/水溶液、NNK-*d*4/水溶液 (NNK 内标, 即氘代-4-(甲基亚硝胺基)-1-(3-吡啶基)-1-丁酮的水溶液)、氨水溶液、氰化氢/水溶液 (质量浓度均为 1 mg/mL, 百灵威);

化学试剂: 盐酸溶液、乙酸 (分析纯, 中国医药集团上海化学试剂公司); 乙腈 (色谱纯, 美国 Fisher 公司); 吡啶、甲醇 (色谱纯, 美国 Fisher 公司); 乙酸铵 (色谱纯, 美国 Fisher 公司); 高氯酸、氢氧化钠 (均为分析纯, 中国医药集团上海化学试剂公司); 2, 4-二硝基苯肼 (DNPH) (分析纯, 中国医药集团上海化学试剂公司, 使用前经乙腈重结晶); 衍生化试剂 (1.0% 的 2, 4-二硝基苯肼/乙腈溶液); 超纯水, 由 Milli-Q50 超纯水仪 (美国 Millipore 公司) 制备, 电导率大于 18.2 MΩ · cm。

1.2 样品制备

1.2.1 常规检测方法待测样品的制备

在吸烟机上抽吸 20 支卷烟, 采用滤片收集 20 支卷烟的总粒相物。一氧化碳直接由卷烟样品通过吸烟机抽吸得到, 不需要制备待测样品。

NNK 样品溶液的制备: 将滤片置于 250 mL 锥形瓶中, 准确加入 60.0 mL NNK 内标。超声萃取 30 min 后, 静置 5 min。取适量萃取液过 0.22 μm 滤膜后备用。

苯酚样品溶液的制备: 将滤片置于 200 mL 锥形瓶中, 准确加入 50.0 mL 乙酸水溶液。超声萃取 20 min 后, 静置 5 min。取 2.0 mL 萃取液过 0.45 μm 滤膜, 待测。

巴豆醛样品溶液的制备: 将滤片置于 100 mL 锥形瓶中, 准确加入 50.0 mL 吡啶/乙腈溶液。振荡 10 min 后, 静置 2 min。取 2.0 mL 萃取液过 0.45 μm 滤膜, 待测。

氨样品溶液的制备: 主流烟气气相吸收液与粒相萃取液, 分别定量移取 5.0 mL, 合并置入 50 mL 容

量瓶,使用盐酸溶液定容. 摇匀后,经 0.45 μm 水相滤膜过滤,待测.

氰化氢样品溶液的制备:分别量取主流烟气气相吸收液与粒相萃取液 5.0 mL,置于同一 50 mL 容量瓶,使用氢氧化钠-乙二胺溶液定容. 摇匀后,经水相滤膜过滤,待测.

1. 2. 2 快速检测方法待测样品溶液的制备

在吸烟机上抽吸待测卷烟 10 支(卷烟样品由安徽中烟公司卷烟厂提供,均为常规烟支),捕集器内装载空白滤片,吸烟机抽吸单元前连接一个溶剂捕集瓶(如图 1 所示),内装 50 mL 去离子水. 抽吸完毕后,取下溶剂捕集瓶和滤片,滤片放入滤片萃取瓶中. 一氧化碳由吸烟机直接检测得出结果.

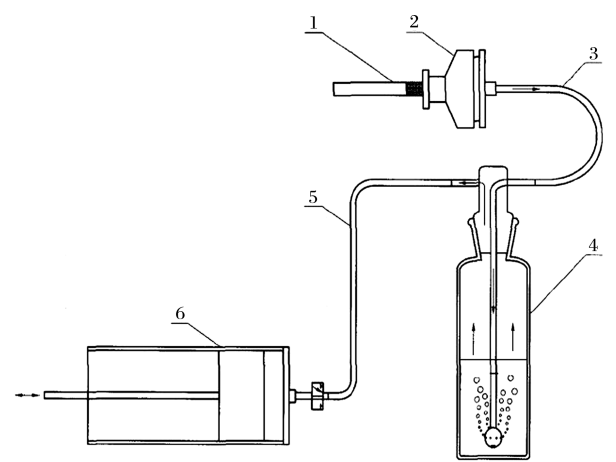


图 1 吸烟系统和溶剂捕集瓶连接示意图
(1)烟支,(2)烟气捕集器,(3)连接管路,(4)溶液捕集瓶,(5)连接管路,(6)抽吸单元
Fig. 1 Schematic diagram of connection between smoking system and solvent supplement bottle
(1) cigarette, (2) smoke catcher, (3) connecting pipeline, (4) solution capture bottle, (5) connecting pipeline, (6) suction unit

NNK 样品溶液的制备:在滤片萃取瓶中加入 50.0 mL 去离子水和 1.0 mL NNK 内标,振荡 45 min 后取 1.0 mL 放入色谱瓶中,待测.

苯酚样品溶液的制备:取振荡后的滤片萃取溶液 1.0 mL 放入色谱瓶中,待测.

巴豆醛样品溶液的制备:准确移取 5.0 mL 溶剂捕集液于 50 mL 具塞三角瓶中,再加入 15.0 mL 衍生化试剂,充分混匀,放置 1 h 后取 1.0 mL 放入色谱瓶中,待测.

氨样品溶液的制备:分别准确移取 2.5 mL 溶剂捕集液、2.5 mL 滤片萃取溶液于 25 mL 容量瓶中,去离子水定容,待测.

氰化氢样品溶液的制备:分别准确移取 2.5 mL 溶剂捕集液、2.5 mL 滤片萃取溶液于 25 mL 容量瓶中,去离子水定容,待测.

1. 2. 3 仪器条件

NNK 样品的液-质联用仪器条件依据文献[2]设置. 苯酚样品的高效液相色谱条件依据文献[3]设置. 巴豆醛样品的高效液相色谱条件依据文献[4]设置. 氨样品的离子色谱条件依据文献[5]设置. 氰化氢样品的离子色谱条件依据文献[6]设置.

2 结果与讨论

2. 1 两种检测方法对比

2. 1. 1 一氧化碳结果对比

对两种检测一氧化碳的方法所得到的结果进行对比,其中每种卷烟样品均测定三次,结果如表 1 所列.

2. 1. 2 NNK 结果对比

对两种检测 NNK 的方法所得到的结果进行对比,其中每种卷烟样品均测定三次,结果如表 2 所列.

表 1 GB/T 23356—2009 检测方法与本检测方法检测一氧化碳结果比较							
Table 1 Comparison of carbon monoxide detection results between GB/T 23356—2009 method and this method							
样品 编号	GB/T 23356—2009 检测结果/(mg/支)			本方法检测结果/(mg/支)			RSD /%
	1	2	3	1	2	3	
样品 1	10.3	10.5	10.2	10.6	10.4	10.9	2.4
样品 5	10.6	10.2	10.5	10.7	10.3	10.7	2.2
样品 10	8.6	8.4	8.3	8.5	8.2	8.1	2.5

表 2 YQ/T 17—2012 检测方法与本检测方法检测 NNK 结果比较

Table 2 Comparison of NNK detection results between YQ/T 17—2012 and this method

样品编号	YQ/T 17—2012 检测结果/(ng/支)			本方法检测结果/(ng/支)			RSD /%
	1	2	3	1	2	3	
样品 1	3.2	3.5	3.3	3.6	3.3	3.7	5.9
样品 5	4.2	4.5	4.7	4.1	4.6	4.4	5.8
样品 10	3.7	3.4	3.7	3.9	3.6	3.5	5.7

2. 1. 3 苯酚结果对比

比,其中每种卷烟样品均测定三次,结果如表 3

对两种检测苯酚的方法所得到的结果进行对

所列.

表 3 YC/T 255—2008 检测方法与本检测方法检测苯酚结果比较

Table 3 Comparison of phenol detection results between YC/T255—2008 and this method

样品 编号	YC/T 255—2008 检测结果/(μg/支)			本方法检测结果/(μg/支)			RSD /%
	1	2	3	1	2	3	
样品 1	15.4	15.0	15.7	15.2	15.7	15.0	2.4
样品 5	16.2	17.0	16.6	16.2	16.5	15.8	2.2
样品 10	10.6	11.0	10.7	10.3	10.8	10.4	2.5

2. 1. 4 巴豆醛结果对比

比,其中每种卷烟样品均测定三次,结果如表 4

对两种检测巴豆醛的方法所得到的结果进行对

所列.

表 4 YC/T 254—2008 检测方法与本检测方法检测巴豆醛结果比较

Table 4 Comparison of detection results of crotonaldehyde between YC/T 254—2008 and this method

样品 编号	YC/T 254—2008 检测结果/(μg/支)			本方法检测结果/(μg/支)			RSD /%
	1	2	3	1	2	3	
样品 1	18.8	18.5	18.2	18.6	18.1	18.3	1.4
样品 5	18.6	18.7	18.2	18.9	18.3	18.5	1.6
样品 10	12.9	12.7	12.3	12.5	12.8	12.2	2.4

2. 1. 5 氨结果对比

比,其中每种卷烟样品均测定三次,结果如表 5

对两种检测氨的方法所得到的结果进行对

所列.

表 5 YC/T 377—2010 检测方法与本检测方法检测氨结果比较

Table 5 Comparison of ammonia detection results between YC/T 377—2010 and this method

样品 编号	YC/T 377—2010 检测结果/(μg/支)			本方法检测结果/(μg/支)			RSD /%
	1	2	3	1	2	3	
样品 1	6.1	6.4	6.2	6.3	6.6	6.4	2.4
样品 5	6.8	6.5	6.5	6.7	6.4	6.6	2.3
样品 10	6.4	6.6	6.7	6.5	6.4	6.7	2.3

2. 1. 6 氰化氢结果对比分析

对两种检测氰化氢的方法所得到的结果进行对比,其中每种卷烟样品均测定三次,结果如表 6 所列.

表 6 YC/T 403—2011 检测方法与本检测方法检测氰化氢结果比较
Table 6 Comparison of hydrogen cyanide detection results between YC/T 403—2011 and this method

样品 编号	YC/T 403—2011 检测结果/($\mu\text{g}/\text{支}$)			本方法检测结果/($\mu\text{g}/\text{支}$)			RSD /%
	1	2	3	1	2	3	
样品 1	101.4	99.8	97.2	98.5	100.3	97.1	1.6
样品 5	113.5	110.7	109.3	114.8	112.2	110.0	2.1
样品 10	118.6	114.4	115.3	117.8	115.2	114.1	1.6

从表 1~6 中得出的数据可以看出,本文研究的检测方法和传统的检测方法得出的结果相比较,痕量级($\text{ng}/\text{支}$)NNK 的 RSD 均小于 6.0%,其它检测结果的 RSD 均小于 3.0%,表明本文方法精密度均良好.

2. 2 *t* 检验

为比较使用标准方法和本方法的结果有无系统误差,对试验数据采用“*t* 检验:双样本等方差假设”.根据显著性水平 α 为 0.05,以样品 1 中的一氧化碳为例,使用两种方法进行试验比较.

由检验结果可知,双尾 *P* 值 0.152 大于 0.05,所以使用两种方法测定样品 1 中一氧化碳,得到的两个平均值无显著差异.同样的 *t* 检验方法,对 1~10 号样品中一氧化碳、NNK、苯酚、巴豆醛、氨和氰化氢等 6 种成分,使用两种方法测得的结果进行检验,双尾 *P* 值均大于 0.05,可以认为两种检测方法的平均值无显著差异.

3 结论

本研究基于一氧化碳、NNK、苯酚、巴豆醛、氨和氰化氢独立的检测方法,建立了一种只需一次抽吸即可对卷烟主流烟气中 6 种有害成分进行快速测定的方法,实现了卷烟主流烟气中的一氧化碳、NNK、苯酚、巴豆醛、氨和氰化氢含量的快速测定.本方法检测结果与行业标准方法相比,无显著差异,填补了相关领域的技术空白,为相关部门的产品质量监督检验工作提供了一种快速简便的检测方法.同时,该方法前处理简单,不需净化,操作简便,测定快速.

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国

[2] 中国烟草总公司.中国烟草总公司企业标准:卷烟主流烟气总粒相物中烟草特有 N-亚硝胺的测定 高效液相色谱/串联质谱联用法:YQ/T 17—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.[China National Tobacco Corporation. Enterprise standard of China National Tobacco Corporation; Determination of tobacco specific N-nitrosamines in total particulate matter of mainstream cigarette smoke by high performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry: YQ/T 17—2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.]

[3] 国家烟草专卖局.中华人民共和国烟草行业标准:卷烟主流烟气中主要酚类化合物的测定高效液相色谱法:YC/T 255—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.[State Tobacco Monopoly Bureau of the People’s Republic of China. Tobacco Standard of the People’s Republic of China: Cigarettes-Determination of major phenolic compounds in mainstream cigarette smoke-High performance liquid chromatographic method: YC/T 255—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]

[4] 国家烟草专卖局.中华人民共和国烟草行业标准:

国家标准化管理委员会.中华人民共和国推荐性国家标准: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.[General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China, Standardization Administration of the People’s Republic of China. National Standard (Recommended) of the People’s Republic of China: Cigarettes-Determination of carbon monoxide in the vapour phase of cigarette smoke-NDIR method: GB/T 23356—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.]

- 卷烟主流烟气中主要羰基化合物的测定高效液相色谱法: YC/T 254—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [State Tobacco Monopoly Bureau of the People's Republic of China. Tobacco Standard of the People's Republic of China; Cigarettes-Determination of major carbonyls in mainstream cigarette smoke-High performance liquid chromatographic method: YC/T 254—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [5] 国家烟草专卖局. 中华人民共和国烟草行业标准: 卷烟 主流烟气中氨的测定 离子色谱法: YC/T 377—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. [State Tobacco Monopoly Bureau of the People's Republic of China. Tobacco Standard of the People's Republic of China; Cigarettes-Determination of ammonia in mainstream cigarette smoke-Ion chromatography method: YC/T 377—2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.]
- [6] 国家烟草专卖局. 中华人民共和国烟草行业标准: 卷烟 主流烟气中氰化氢的测定 离子色谱法: YC/T 403—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. [State Tobacco Monopoly Bureau of the People's Republic of China. Tobacco Standard of the People's Republic of China; Cigarettes-Determination of hydrogen cyanide in mainstream smoke-Ion chromatographic method: YC/T 403—2011 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.]
- [7] 刘欣, 梁梦洁, 张承明, 王晋, 黄海涛, 陈建华, 李雪梅, 孔维松, 杨叶昆, 许永, 杨光宇, 李晶. 在线固相萃取-气相色谱/质谱法测定卷烟主流烟气中烟草特有亚硝胺[J]. 分析科学学报, 2019, 35(5): 597-601. [LIU Xin, LIANG Meng-jie, ZHANG Cheng-ming, WANG Jin, HUANG Hai-tao, CHEN Jian-hua, LI Xue-mei, KONG Wei-song, YANG Ye-kun, XU Yong, YANG Guang-yu, LI Jing. Determination of tobacco specific N-nitrosamines in mainstream cigarette smoke by gas chromatography/mass spectrometry using on-line solid phase extraction[J]. Journal of Analytical Science, 2019, 35(5): 597-601.]
- [8] 顾文博, 周宛虹, 陆怡峰, 林华清, 吴达. 气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定卷烟烟气中的烟草特有亚硝胺[J]. 烟草科技, 2013, 46(10): 40-43, 48. [GU Wen-bo, ZHOU Wan-hong, LU Yi-feng, LIN Hua-qing, WU Da. Determination of tobacco-specific nitrosamines in mainstream cigarette smoke by gas chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. Tobacco Science & Technology, 2013, 46(10): 40-43, 48.]
- [9] 蔡洁云, 金永灿, 李俊文, 姜黎, 陈新瑞, 刘巍, 焦俊, 王惠平. 过滤型色谱瓶在 LC-MS/MS 法测定卷烟主流烟气中烟草特有 N-亚硝胺含量中的应用[J]. 云南化工, 2018, 45(10): 82-85. [CAI Jie-yun, JIN Yong-can, LI Jun-wen, JIANG Li, CHEN Xin-rui, LIU Wei, JIAO Jun, WANG Hui-ping. Usage of novel filter chromatic bottles in determination of TSNAs in mainstream cigarette smoke by LC-MS/MS[J]. Yunnan Chemical Technology, 2018, 45(10): 82-85.]
- [10] 李韵, 汪宏毅, 张一楠, 廖晓玲, 肖少红. 超高效液相色谱-串联质谱快速测定卷烟主流烟气中特有亚硝胺[J]. 分析科学学报, 2013, 29(6): 847-850. [LI Yun, WANG Hong-yi, ZHANG Yi-nan, LIAO Xiao-ling, XIAO Shao-hong. Rapid determination of tobacco-specific nitrosamines in mainstream cigarette smoke use ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Analytical Science, 2013, 29(6): 847-850.]
- [11] 张婕, 周淑平, 耿召良, 张长云, 向章敏, 李卫红, 许冬青, 赵瑞娟. 超高效液相色谱快速测定卷烟主流烟气中酚类化合物的研究[J]. 化学工程师, 2010, 24(12): 29-31, 38. [ZHANG Jie, ZHOU Shu-ping, GENG Zhao-liang, ZHANG Chang-yun, XIANG Zhang-min, LI Wei-hong, XU Dong-qing, ZHAO Rui-juan. An experimental study on rapid analysis of phenolic compounds in mainstream cigarette smoke by ultra performance liquid chromatography[J]. Chemical Engineer, 2010, 24(12): 29-31, 38.]
- [12] 吴永良, 李燕垣, 彭云铁. 气相色谱-串联质谱法测定卷烟主流烟气中 7 种酚类化合物[J]. 质谱学报, 2018, 39(3): 376-384. [WU Yong-liang, LI Yan-yuan, PENG Yun-tie. Determination of seven phenolic compounds in mainstream cigarette smoke by gas chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2018, 39(3): 376-384.]
- [13] 高川川, 张洪非, 朱文静, 史训瑶, 巴金莎, 楼小华, 姜兴益, 赵银杰, 庞永强. 基于加液滤片捕集技术快速测定卷烟主流烟气中主要酚类化合物和氨[J]. 理化检验-化学分册, 2018, 54(3): 264-268. [GAO Chuan-chuan, ZHANG Hong-fei, ZHU Wen-jing, SHI Xun-yao, BA Jin-sha, LOU Xiao-hua, JIANG Xing-yi, ZHAO Yin-jie, PANG Yong-qiang. Rapid determination of major phenolic compounds and ammonia in mainstream of cigarette smoke base on capture with infiltrated Cambridge filter[J]. Physical

- Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2018, 54(3):264-268.]
- [14] 肖志翔, 杨翠清, 丁时超, 银董红. 卷烟主流烟气中酚类化合物的 LC-MS/MS 法测定[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2009, 32(4):72-76. [XIAO Zhi-xiang, YANG Cui-qing, DING Shi-chao, YIN Dong-hong. LC-MS/MS determination of major phenolic compounds in mainstream cigarette smoke[J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2009, 32(4):72-76.]
- [15] 张洪非, 吴帅宾, 姜兴益, 李中皓, 唐纲岭. UPC²法测定卷烟主流烟气中 8 种羰基化合物[J]. 烟草科技, 2014, 47(7):51-55. [ZHANG Hong-fei, WU Shuai-bin, JIANG Xing-yi, LI Zhong-hao, TANG Gang-ling. Determination of eight carbonyls in cigarette smoke by UPC²[J]. Tobacco Science & Technology, 2014, 47(7):51-55.]
- [16] 张洪非, 侯宏卫, 庞永强, 姜兴益, 唐纲岭. 溶液捕集-高效液相色谱法测定卷烟主流烟气中主要羰基化合物[J]. 理化检验-化学分册, 2013, 49(1):19-22. [ZHANG Hong-fei, HOU Hong-wei, PANG Yong-qiang, JIANG Xing-yi, TANG Gang-ling. HPLC determination of major carbonyl compounds in mainstream of cigarette smoke with solvent trapping[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2013, 49(1):19-22.]
- [17] 王希琴, 蔡继宝, 杨艳, 苏庆德. 卷烟主流烟气中氨的捕集及其离子色谱法测定[J]. 分析测试学报, 2005, 24(6):81-84. [WANG Xi-qin, CAI Ji-bao, YANG Yan, SU Qing-de. Trapping of ammonia in mainstream cigarette smoke and its determination by ion chromatography[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2005, 24(6):81-84.]
- [18] 马雁军, 易小丽, 李娜, 周骏. 改进的离子色谱法用于卷烟主流烟气中氨的测定[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(4):1-9. [MA Yan-jun, YI Xiao-li, LI Na, ZHOU Jun. Determination of ammonia in mainstream cigarette smoke by an improved method of ion chromatography[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2012, 18(4):1-9.]
- [19] 徐祎然, 薛景娇, 贺宾, 金永灿, 杨光宇, 胡秋芬. 离子色谱法测定卷烟烟气中氨[J]. 理化检验-化学分册, 2010, 46(10):1152-1154, 1157. [XU Yi-ran, XUE Jing-jiao, HE Bin, JIN Yong-can, YANG Guang-yu, HU Qiu-fen. Determination of ammonia in mainstream of cigarette smoke by ion-chromatography[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2010, 46(10):1152-1154, 1157.]
- [20] 陈伟华, 鲍峰伟, 苏国岁, 郝红玲, 程倩, 张晓静, 段海涛, 阎瑾, 牛丽娜. 顶空-气相色谱法测定卷烟主流烟气中的氰化氢[J]. 烟草科技, 2013, 46(7):51-54. [CHEN Wei-hua, BAO Feng-wei, SU Guo-sui, HAO Hong-ling, CHENG Qian, ZHANG Xiao-jing, DUAN Hai-tao, YAN Jin, NIU Li-na. Determination of hydrogen cyanide in mainstream cigarette smoke by headspace-gas chromatography[J]. Tobacco Science & Technology, 2013, 46(7):51-54.]
- [21] 朱友, 蔚亦沛, 别振英, 陈玉松, 任呼博, 罗旭, 纪立顺. 金属络合衍生-高效液相色谱法测定卷烟主流烟气中的氰化氢[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(5):74-78, 84. [ZHU You, WEI Yi-pei, BIE Zhen-ying, CHEN Yu-song, REN Hu-bo, LUO Xu, JI Li-shun. Determination of hydrogen cyanide in cigarette mainstream smoke using metal-complexing derivatization and high performance liquid chromatography[J]. Chinese Tobacco Science, 2015, 36(5):74-78, 84.]
- [22] 袁汝红, 张承明, 陈章玉, 牟定荣, 杨卫花, 张承聪. 气相色谱法测定卷烟主流烟气的相物中氧、氮、甲烷和一氧化碳的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2010, 46(6):626-629. [YUAN Ru-hong, ZHANG Cheng-ming, CHEN Zhang-yu, MOU Ding-rong, YANG Wei-hua, ZHANG Cheng-cong. GC determination of oxygen, nitrogen, methane and carbon monoxide in gaseous phase of mainstream smoke of cigarettes[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2010, 46(6):626-629.]
- [23] 詹建波. 卷烟主流烟气中一氧化碳的研究[J]. 食品工业, 2011, 32(5):92-95. [ZHAN Jian-bo. Analysis of smoke carbon monoxide in cigarette mainstream[J]. The Food Industry, 2011, 32(5):92-95.]