

# 热脱附-冷阱捕集-气相色谱-质谱法测定 工作场所空气中 50 种挥发性有机物

唐华民, 席强, 卢文婷

湖南省职业病防治院, 湖南 长沙 410007

**摘要:** **目的** 建立快速测定工作场所空气中 50 种挥发性有机物的分析方法。 **方法** 优化热脱附参数, 采用优化后的热脱附-冷阱捕集-气相色谱-质谱法对工作场所空气中 50 种挥发性有机物进行分析, 验证方法性能指标, 并应用于实际样品的检测。 **结果** 目标化合物在 5~200 ng 范围内线性关系良好, 相关系数  $r > 0.995$ , 方法检出限为  $0.02 \sim 0.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (以采样体积为 2 L 计算), 加标回收率为 81.3%~105.0%, 相对标准偏差为 1.3%~9.8% ( $n=7$ ); 采用该方法对某厂两个工段的场所空气进行了采集与检测, 共检出了 9 种目标化合物, 浓度范围为  $2.2 \sim 50.7 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。 **结论** 该方法处理简单, 线性良好, 灵敏度高, 精密准确, 可实现对工作场所空气中 50 种挥发性有机物的快速准确分析。

**关键词:** 热脱附; 冷阱捕集; 气相色谱-质谱法; 工作场所空气; 挥发性有机物

**中图分类号:** R122.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2023)03-0321-04 **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-3110.2023.03.016

## Determination of 50 volatile organic compounds in workplace air by gas chromatography-mass spectrometry with thermal desorption and cold trap

TANG Hua-min, XI Qiang, LU Wen-ting

Hunan Prevention and Treatment Institute for Occupational Diseases, Changsha, Hunan 410007, China

Corresponding author: LU Wen-ting, E-mail: 28174392@qq.com

**Abstract:** **Objective** To establish an analytical method for rapid determination of 50 volatile organic compounds in workplace air. **Methods** Through the optimization of thermal desorption parameters, we analyzed 50 volatile organic compounds in workplace air by the optimized thermal desorption-cold trap-gas chromatography-mass spectrometry method, verified the performance indexes of the method, and applied them to the detection of actual samples. **Results** The target compounds had a good linear relationship in the range of 5-200 ng, with the correlation coefficient  $r > 0.995$ . The method detection limits were  $0.02 \sim 0.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (based on the sampling volume of 2 L). The recovery rates were in the range of 81.3%-105.0%, and the relative standard deviation ranged between 1.3% and 9.8% ( $n=7$ ). The method was used to collect and detect the air in two sections of a factory, and 9 target compounds were detected, with the concentration range of  $2.2 \sim 50.7 \text{ mg}/\text{m}^3$ . **Conclusion** The method is simple, good linear, highly sensitive, precise and accurate, which can realize the rapid detection of 50 volatile organic compounds in workplace air.

**Keywords:** thermal desorption; cold trap; gas chromatography-mass spectrometry; workplace air; volatile organic compound

挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)是指常温下沸点在  $50 \text{ }^\circ\text{C} \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$  的一类有机化合物<sup>[1]</sup>, 他们通过呼吸道和皮肤侵入劳动者体内, 具有神经毒性、肾脏毒性和肝脏毒性, 可导致人体致癌、致畸及致突变, 诱发免疫系统和内分泌系统等系统性疾病, 对劳动者身心健康产生严重的危害<sup>[2-4]</sup>。

工作场所空气中 VOCs 的检测方法主要有气相色谱法<sup>[5]</sup>和气相色谱-质谱法<sup>[6-8]</sup>, 大多数检测方法采

用活性炭管吸附空气样品, 通过热解吸或者溶剂解吸处理后进行检测, 但热解吸误差较大, 不能重复测定, 溶剂解吸常用的解吸液二硫化碳具有较强的挥发性和毒性, 易污染实验室环境并对检测人员的身体健康造成伤害。热脱附-冷阱捕集-气相色谱-质谱法通过加热和通入惰性气体, 将吸附管中采集的 VOCs 脱附出来, VOCs 被吹扫到电子冷却的聚焦冷阱上重新吸附, 然后通过快速加热冷阱将 VOCs 热脱附出来并注入气相色谱质谱联用仪进行检测。该方法具有分析范围广、灵敏度高、样品兼容性好、分析质量高、环境污染低等优点, 目前已广泛应用于装饰品材料、室内空气及环

**作者简介:** 唐华民(1991-), 男, 湖南益阳人, 本科, 主管技师, 主要从事实验室理化检验工作。

**通信作者:** 卢文婷, E-mail: 28174392@qq.com。

境空气<sup>[9-11]</sup>等方面的分析,美国环保署标准 TO-17 方法<sup>[12]</sup>和我国环境标准《环境空气挥发性有机物的测定 吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法(HJ 644-2013)》<sup>[13]</sup>均采用该方法对环境空气中 VOCs 进行分析。

本研究建立了热脱附-冷阱捕集-气相色谱-质谱法用于快速测定工作场所空气中 VOCs,该方法简便、精密、准确,满足我国工作场所空气中 VOCs 检测的要求,可为我国工作场所空气中 VOCs 检测标准的建立和完善提供参考依据。

## 1 实验部分

1.1 仪器与试剂 气相色谱质谱联用仪(Trace1300-TS9000,美国赛默飞);TG35MS 毛细管色谱柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);全自动热脱附仪(TD-100,英国 Markers);不锈钢吸附管:C1-AAXX-5003(填料 Tenax);56种 VOCs 混合标准溶液(1 000 μg/ml,坛墨)。

1.2 吸附管的老化与保存 不锈钢吸附管在使用前均按照使用说明置于热脱附仪中老化,老化完成的空白吸附管采用气相色谱-质谱法进行分析,无杂质峰干扰后,立即密封吸附管两端,包裹铝箔纸后置于装有活性炭硅胶混合物的干燥器内,并将干燥器置于无有机试剂的冰箱,4℃保存,7 d 内使用。

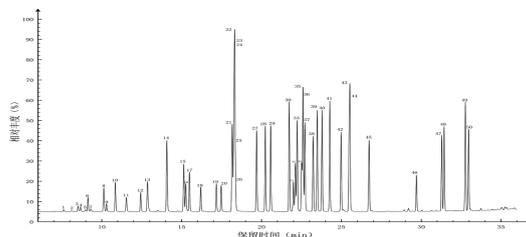
1.3 标准系列管的制备 准确吸取 200 μl 的混合标准溶液于 800 μl 甲醇中,混匀,得到质量浓度为 200 μg/ml 的混合标准中间溶液。用甲醇逐级稀释,得到浓度分别为 5、10、50、100 和 200 μg/ml 的标准工作溶液。使用微量进样针通过标准配置装置向 5 支老化后空白吸附管中分别加入 1 μl 不同浓度的标准工作溶液,用 100 ml/min 的流量通载气 3 min,使目标物被吸附管吸附并去除溶剂甲醇,制备成目标物加入量分别为 5、10、50、100 和 200 ng 的标准系列管。

1.4 热脱附条件 以高纯氦气为载气,流速为 50 ml/min;传输线温度为 200℃;吸附管预脱附时间为 1 min;一级热脱附温度为 280℃,热脱附时间为 3 min;冷阱温度为 -10℃,升温速率为 40℃/min,二级热脱附温度为 300℃,热脱附时间为 3 min;总分流比为 30:1。

1.5 气相色谱-质谱条件 升温程序:起始温度为 35℃,保持 5 min,以 5℃/min 升温至 150℃,再以 10℃/min 升温至 240℃,保持 0 min;进样口温度为 250℃;柱流量为 1.0 ml/min;质谱电离源:电子轰击源,温度为 300℃;传输线温度为 280℃;扫描模式:选择离子模式。

## 2 结果

2.1 通过试验分析了 56 种 VOCs 的吸附情况 发现 6 种极易挥发性有机物(丙酮、二硫化碳、碘甲烷、二氯甲烷、顺-1,2-二氯乙烯和反-1,2-二氯乙烯)在 Tenax 管中基本不吸附。剩余 50 种 VOCs 的标准色谱图如图 1 所示,其中 1,1,2-三氯丙烷、氯苯和 1,1,1,2-四氯乙烷、溴苯和 2-氯甲苯、1,3-二氯苯和正丁基苯等 3 对物质未分离,可通过各物质的特征离子和辅助离子对其进行定性;对二甲苯和间二甲苯由于无法色谱分离且特征离子相同,故将其共同分析;其他物质可完全分离。



注:1:1,1-二氯乙烷;2:1,1-二氯乙烯;3:丁酮;4:氯仿;5:1,1,1-三氯乙烷;6:1,1-二氯乙烯;7:四氯化碳;8:苯;9:1,2-二氯乙烷;10:三氯乙烯;11:1,2-二氯丙烷;12:一溴二氯甲烷;13:二溴甲烷;14:甲苯;15:四氯乙烯;16:己酮;17:1,1,2-三氯乙烷;18:1,3-二氯丙烷;19:二溴氯甲烷;20:1,2-二溴乙烷;21:乙苯;22、23:间二甲苯和对二甲苯;24:1,1,2-三氯丙烷;25:氯苯;26:1,1,1,2-四氯乙烷;27:邻-二甲苯;28:苯乙烯;29:异丙苯;30:正丙苯;31:溴仿;32:1,1,2,2-四氯乙烷;33:1,2,4-三甲苯;34:1,2,3-三氯丙烷;35:溴苯;36:2-氯甲苯;37:4-氯甲苯;38:叔丁基苯;39:1,3,5-三甲苯;40:仲丁基苯;41:4-异丙基苯;42:1,2-二氯苯;43:1,3-二氯苯;44:正丁基苯;45:1,4-二氯苯;46:1,2-二溴-3-氯丙烷;47:六氯丁二烯;48:1,2,4-三氯苯;49:萘;50:1,2,3-三氯苯。

图 1 50 种 VOCs 标准色谱图

2.2 热脱附条件的优化 影响 VOCs 检测结果的热脱附参数主要有一级热脱附温度及热脱附时间、冷阱温度、二级热脱附温度及热脱附时间。参照 1.3 的加标方法制备目标物加入量为 50 ng 的加标管,以目标物响应为指标,对热脱附参数进行优化。

2.2.1 一级热脱附温度及热脱附时间 其他条件不变,分析一级热脱附温度为 280℃、300℃和 330℃以及热脱附时间为 3、5 和 10 min 时的脱附效果。实验发现,一级脱附温度及热脱附时间对目标物响应没有显著影响,因此选择一级热脱附温度为 280℃,热脱附时间为 3 min。

2.2.2 冷阱温度 其他条件不变,分析冷阱捕集管温度分别为 5℃、0℃、-5℃、-10℃和 -20℃时冷阱对目标物的富集效果。实验结果表明,冷阱温度明显影响富集效果,目标物响应随着冷阱温度降低显著增大,但当冷阱温度低于 -10℃时,目标物响应反而降低,因

此选择冷阱温度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.3 二级热脱附温度及热脱附时间 其他条件不变,分析二级热脱附温度为 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及热脱附时间为 2、3 和 5 min 时的脱附效果。实验结果表明,二级热脱附温度及热脱附时间对脱附效果影响不大,但二级热脱附时间过短和温度过低可能导致有部分目标物残留在冷阱内,而温度过高可能会损伤冷

阱,因此选择二级热脱附温度为 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,热脱附时间为 3 min。

2.3 线性方程和检测限 标准管按照优化后的仪器条件进行检测,以目标物质量为横坐标,以目标物定量离子峰面积为纵坐标,绘制标准曲线。在目标物质量为 $5\sim 200\text{ ng}$ 范围内,相关系数 $r>0.995$ ,各目标物线性关系良好,见表 1。

表 1 工作场所空气中 50 种 VOCs 方法验证结果

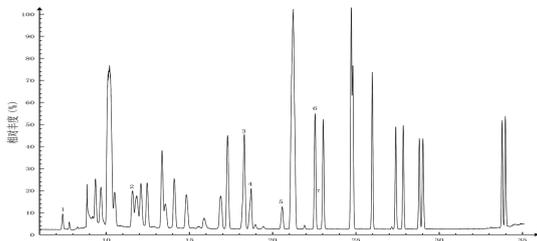
编号	化合物名称	保留时间 (min)	线性方程	相关系数 ( $r$ )	检出限 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	RSD (%)	回收率(%)		
							10 ng	50 ng	100 ng
1	1,1-二氯乙烷	7.61	$Y=1.236e5X+1.332e6$	0.9999	0.45	9.8	92.6	99.0	88.2
2	1,1-二氯乙烯	8.48	$Y=8.437e4X-4.711e5$	0.9984	0.53	8.6	88.4	83.3	86.2
3	2-丁酮	8.52	$Y=1.958e5X-2.235e5$	0.9990	0.02	4.8	93.9	100.5	93.0
4	氯仿	8.65	$Y=2.553e5X-6.688e5$	0.9986	0.56	8.0	97.0	93.3	88.2
5	1,1,1-三氯乙烷	8.96	$Y=5.430e4X+2.216e6$	0.9991	0.36	7.0	82.8	93.7	93.9
6	1,1-二氯丙烯	9.13	$Y=4.078e4X-2.252e6$	0.9987	0.35	6.2	81.4	93.2	84.0
7	四氯化碳	9.30	$Y=7.009e4X+3.675e5$	0.9986	0.29	8.5	85.6	90.6	92.8
8	苯	10.11	$Y=1.030e6X-8.872e4$	0.9988	0.16	4.2	82.3	84.6	99.0
9	1,2-二氯乙烷	10.27	$Y=3.114e5X+1.116e6$	0.9987	0.14	9.3	89.7	99.7	87.7
10	三氯乙烯	10.84	$Y=4.326e5X-2.067e6$	0.9992	0.34	7.3	91.1	92.2	82.5
11	1,2-二氯丙烷	11.53	$Y=3.114e5X+1.116e6$	0.9987	0.56	8.3	93.3	99.6	84.6
12	一溴二氯甲烷	12.42	$Y=5.543e5X-1.681e6$	0.9997	0.44	4.6	99.4	96.6	81.3
13	二溴甲烷	12.84	$Y=2.762e5X-1.225e6$	0.9995	0.31	7.6	88.9	93.6	97.5
14	甲苯	14.06	$Y=9.954e5X-1.844e6$	0.9983	0.65	7.6	94.6	86.8	85.9
15	四氯乙烯	15.12	$Y=4.116e5X-2.327e6$	0.9985	0.17	2.9	95.8	89.8	84.6
16	2-己酮	15.23	$Y=5.306e5X+2.232e6$	0.9992	0.10	6.6	100.4	102.7	94.4
17	1,1,2-三氯乙烷	15.46	$Y=4.607e5X-2.782e6$	0.9983	0.22	3.8	102.2	86.8	86.4
18	1,3-二氯丙烷	16.17	$Y=8.499e5X-3.867e6$	0.9985	0.21	5.2	94.2	88.5	90.6
19	二溴氯甲烷	17.15	$Y=6.019e5X-2.721e6$	0.9991	0.24	5.6	94.3	89.6	87.5
20	1,2-二溴乙烷	17.45	$Y=6.208e5X-3.838e6$	0.9983	0.20	3.3	93.6	86.3	89.3
21	乙苯	18.14	$Y=7.872e5X-4.292e6$	0.9980	0.34	5.9	103.4	84.8	90.6
22/23	间/对-二甲苯	18.26	$Y=1.907e6X-8.103e6$	0.9978	0.18	4.4	95.3	84.6	90.1
24	1,1,2-三氯丙烷	18.28	$Y=7.965e5X+5.818e5$	0.9985	0.20	7.1	86.5	101.9	89.7
25	氯苯	18.29	$Y=1.513e6X-8.809e6$	0.9984	0.54	4.3	89.3	95.1	103.5
26	1,1,1,2-四氯乙烷	18.33	$Y=3.439e5X-6.126e5$	0.9998	0.34	6.3	103.1	97.6	82.0
27	邻-二甲苯	19.66	$Y=8.498e5X-3.399e6$	0.9982	0.36	8.8	105.0	86.1	87.6
28	苯乙烯	20.21	$Y=1.451e6X-8.155e6$	0.9979	0.07	1.3	103.2	83.0	94.8
29	异丙苯	20.53	$Y=2.366e6X-1.037e7$	0.9989	0.16	4.2	100.7	90.5	88.5
30	正丙苯	21.70	$Y=3.275e6X-1.655e7$	0.9979	0.31	1.7	91.1	85.9	93.3
31	溴仿	21.97	$Y=5.308e5X-1.996e6$	0.9987	0.13	3.9	96.8	89.4	92.8
32	1,1,2,2-四氯乙烷	22.08	$Y=9.867e5X-5.047e6$	0.9980	0.14	3.0	91.9	83.7	92.5
33	1,2,4-三甲基苯	22.20	$Y=2.465e6X-1.216e7$	0.9984	0.45	2.4	94.5	87.3	90.5
34	1,2,3-三氯丙烷	22.48	$Y=1.059e6X-3.822e6$	0.9977	0.48	3.9	91.3	88.4	94.7
35	溴苯	22.55	$Y=7.098e5X-4.143e6$	0.9979	0.47	2.1	89.0	83.8	94.0
36	2-氯甲苯	22.56	$Y=2.168e6X-1.100e7$	0.9981	0.31	1.7	92.2	85.8	96.5
37	4-氯甲苯	22.67	$Y=2.179e6X-1.099e7$	0.9982	0.32	1.8	92.1	85.8	96.5
38	叔丁基苯	23.19	$Y=1.816e6X-6.873e6$	0.9989	0.15	4.4	95.6	91.6	87.8
39	1,3,5-三甲基苯	23.45	$Y=2.560e6X-1.178e7$	0.9982	0.40	2.3	99.0	87.4	92.8
40	仲丁基苯	23.75	$Y=2.907e6X-1.334e7$	0.9985	0.12	2.8	99.7	88.7	90.5
41	4-异丙基甲苯	24.23	$Y=2.543e6X-1.350e7$	0.9984	0.09	1.8	85.5	88.6	92.6
42	1,2-二氯苯	24.45	$Y=1.290e6X-7.996e6$	0.9982	0.09	1.4	102.3	84.6	99.0
43	1,3-二氯苯	24.94	$Y=1.319e6X-7.282e6$	0.9982	0.07	1.4	101.4	84.1	101.4
44	正丁基苯	25.49	$Y=2.698e6X-1.292e7$	0.9979	0.06	1.4	100.5	87.2	97.7
45	1,4-二氯苯	26.68	$Y=1.228e6X-6.729e6$	0.9985	0.10	1.9	102.8	85.8	98.4
46	1,2-二溴-3-氯丙烷	29.65	$Y=5.103e5X-2.145e6$	0.9977	0.08	2.1	96.3	90.7	97.4
47	六氯丁二烯	31.23	$Y=5.899e5X-2.027e6$	0.9984	0.16	5.1	96.8	95.5	95.2
48	1,2,4-三氯苯	31.37	$Y=9.923e5X-3.950e6$	0.9986	0.13	3.5	101.0	92.4	104.1
49	萘	32.70	$Y=3.317e6X-1.648e7$	0.9987	0.17	3.1	102.6	91.0	101.8
50	1,2,3-三氯苯	32.90	$Y=9.877e5X-3.177e6$	0.9992	0.13	4.3	89.3	95.1	103.5

制备 10 个目标物添加量为 5 ng 的样品管,参照 《职业卫生标准制定指南第 4 部分:工作场所空气中化

学物质测定方法(GBZ/T 210.4-2008)》<sup>[14]</sup>,用优化后的条件进行测定,按照公式计算检出限,当采样体积为2 L时检出限为0.02~0.65 mg/m<sup>3</sup>,见表1。

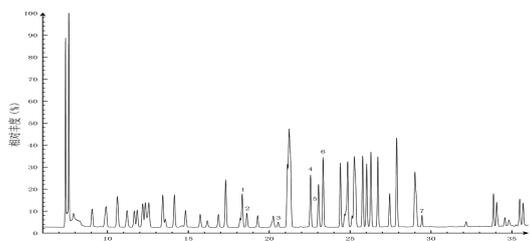
2.4 精密度和准确度 制备目标物添加量分别为10、50和100 ng的样品管,每个浓度分别取7个样品管,用优化后的条件进行测定,计算各目标物的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)及回收率。目标物RSD为1.3%~9.8%,回收率为81.3%~105.0%,该方法精密度和准确度较好,见表1。

2.5 实际样品分析 使用Tenax吸附管对某厂两个工段的场所空气进行采集,标准状态下采样体积为2 L,按照优化后的条件进行检测,总离子流图如图2和图3所示,样品中共检出9种目标物,检测结果如表2所示,9种目标物的浓度为2.2~50.7 mg/m<sup>3</sup>。



注:1:1,1-二氯乙烷;2:1,2-二氯丙烷;3:氯苯;4:1,1,1,2-四氯乙烷;5:异丙苯;6:1,2,3-三氯丙烷;7:4-氯甲苯。

图2 工段一空气样品色谱图



注:1:氯苯;2:1,1,1,2-四氯乙烷;3:异丙苯;4:1,2,3,-三氯丙烷;5:4-氯甲苯;6:1,3,5-三甲基苯;7:1,2-二溴-3-氯丙烷。

图3 工段二空气样品色谱图

表2 工作场所空气样品中VOCs检测结果

工段一		工段二	
化合物名称	浓度(mg/m <sup>3</sup> )	化合物名称	浓度(mg/m <sup>3</sup> )
1,1-二氯乙烷	25.4	氯苯	3.5
1,2-二氯丙烷	32.7	1,1,1,2-四氯乙烷	24.1
氯苯	6.0	异丙苯	2.3
1,1,1,2-四氯乙烷	50.7	1,2,3-三氯丙烷	2.2
异丙苯	2.5	4-氯甲苯	18.4
1,2,3-三氯丙烷	2.7	1,3,5-三甲基苯	20.0
4-氯甲苯	40.1	1,2-二溴-3-氯丙烷	2.6

### 3 讨论

本研究通过优化热脱附温度、热脱附时间、冷阱捕集管温度等条件参数,建立了快速测定工作场所空气

中VOCs多组分的热脱附-冷阱捕集-气相色谱-质谱法。本方法中50种VOCs的分离效果、线性、准确度和精密度均满足要求,检出限均优于国家标准。应用本方法对企业进行采样和检测,结合职业卫生现场调查情况,检测结果与职业危害因素识别实际情况相符合,证明本方法满足VOCs快速检测的要求,可以实现对工作场所空气中50种VOCs的定性定量分析。

### 参考文献

- [1] 吴丽. 固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法测定废气中挥发性有机物的方法研究[J]. 干旱环境监测, 2019, 33(2): 59-66.
- [2] Zhao Q, Wang Q, Li YJ, et al. Influence of volatile organic compounds (VOCs) on pulmonary surfactant monolayers at air-water interface: implication for the pulmonary health [J]. Colloids Surface A, 2019, 562: 402-408.
- [3] Akif A, Pelin EA, Serpil YK, et al. Source characterization and risk assessment of occupational exposure to volatile organic compounds (VOCs) in a barbecue restaurant [J]. Build Environ, 2020, 174: 106791.
- [4] 周常侠, 彭建梅, 马争, 等. 东莞市2014—2019年制鞋业胶粘剂挥发性有机物分析[J]. 实用预防医学, 2021, 28(11): 1353-1355.
- [5] 唐斯, 彭建梅, 蔡小璇, 等. 溶剂解吸-气相色谱法同时快速测定工作场所空气中21种挥发性有机物[J]. 中国卫生检验杂志, 2019, 29(15): 1815-1820.
- [6] 于劭成, 胡晓宇, 秦振平, 等. 工作场所空气中16种多环芳烃的气相色谱-三重四级杆质谱测定法[J]. 职业与健康, 2021, 37(16): 2188-2193.
- [7] 何嘉恒, 余媛媛, 陈冠林, 等. 便携式气相色谱-质谱联用法同时测定工作场所空气中3种氯苯类化合物[J]. 中国职业医学, 2020, 47(3): 339-342.
- [8] 国家卫生和计划生育委员会. 工作场所空气有毒物质测定(第59部分): 挥发性有机化合物: GBZ/T 300.59-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [9] Sabrina R, Andrea C, Arianna F, et al. VOCs measurements in residential buildings: quantification via thermal desorption and assessment of indoor concentrations in a case-study [J]. Atmosphere, 2019, 10(2): 57.
- [10] 黄璐璐, 覃仁港, 莫达松, 等. 热脱附/冷阱捕集-气相色谱法同时测定空气中多种挥发性有机物[J]. 化学分析计量, 2018, 27(3): 48-51.
- [11] 曲晶明, 叶能胜, 元学奎, 等. 热脱附/气相色谱-质谱法测定环境空气中的挥发性有机物[J]. 分析仪器, 2021, 52(4): 58-65.
- [12] Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development. Compendium method TO-17, determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes [S]. U.S. Environmental Protection Agency: Cincinnati, 1999.
- [13] 中华人民共和国环境保护部. 环境空气挥发性有机物的测定吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法: HJ644-2013 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [14] 中华人民共和国卫生部. 职业卫生标准制定指南(第4部分): 工作场所空气中化学物质测定方法: GBZ/T 210.4-2008 [S]. 北京: 人民卫生出版社, 2009.

收稿日期: 2022-04-03