

# 气相色谱-质谱法测定食品包装材料中的 VOCs

南洋, 杜悦, 李长兴

(中国包装科研测试中心, 天津 300457)

**摘要:** **目的** 建立同时测定食品包装材料中 32 种挥发性有机化合物 (VOCs) 的气相色谱-质谱检测方法。**方法** 设定平衡温度和时间分别为 100 °C 和 30 min, 色谱柱为 HP-VOC, 载气为氦气, 流速为 2.0 mL/min, 不分流进样, 进样口温度为 250 °C, 柱温为程序升温。质谱采用电子轰击电离方式, 电子轰击能为 70 eV, 定性分析采用 SIM 模式, 定量分析采用外标法。**结果** 方法检出限在 0.01~0.17 mg/m<sup>2</sup> 的范围内, 相关系数 >0.99, 样品加标回收率为 90.3%~109.9%, 相对标准偏差为 1.1%~8.9% (n=6)。**结论** 该方法适用于食品包装材料中挥发性有机化合物的测试。

**关键词:** 食品包装材料; 挥发性有机化合物; 气相-质谱联用仪; 顶空进样

中图分类号: TB484 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)01-0058-06

## Determination of VOCs in Food Packaging Materials by GC-MS

NAN Yang, DU Yue, LI Chang-xing

(China Packaging Research & Test Center, Tianjin 300457, China)

**ABSTRACT:** The work aims to establish a gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) detection method for the simultaneous determination of 32 volatile organic compounds (VOCs) in food packaging materials. The equilibrium temperature and time selected were respectively 100 °C and 30 min. The determination was performed on HP-VOC column at the flow rate of 2.0 mL/min with helium as carrier gas. The sample was splitless sampling. Injector temperature was 250 °C by temperature programming. Electron impact ionization mode was used with electron impact energy of 70 eV. SIM was adopted for qualitative analysis. The ESTD method was used for quantitative analysis. The detection limit of this method was 0.01~0.17 mg/m<sup>2</sup>. The relative coefficient was more than 0.99. The sample added recovery was between 90.3% and 109.9%. RSD was between 1.1% and 8.9% (n=6). The proposed method is suitable for the determination of VOCs in food packaging materials.

**KEY WORDS:** food packaging materials; VOCs; GC-MS; headspace injection

食品包装材料的安全性已成为全世界极为关注的问题之一<sup>[1-6]</sup>。目前, 由于包装材料在生产过程中使用大量的粘合剂、油墨和有机溶剂, 这些辅助材料虽未与产品直接接触, 但在产品包装和储存过程中包装材料中的 VOCs 可能会迁移到产品和环境中, 从而危害人体健康<sup>[7-9]</sup>。目前常见的包装材料以高分子材料为主, 高分子高温裂解或老化产生的某些物质也可能对人体及环境产生影响<sup>[10]</sup>。由此, 食品包装材料中 VOCs 的控制和检测越发受到重视。在有机溶剂残留分析中, 主要采用顶空采样<sup>[11-13]</sup>或固相微萃取采样气相色谱法进行分析<sup>[14-16]</sup>。虽然国内采用顶空采

样气相色谱法测定包装材料中的溶剂残留已有一些研究<sup>[17-19]</sup>, 但由于这些方法的测试种类少、定性难度大, 已不能满足目前对包装材料中 VOCs 的测试要求。文中采用气体采样袋进行 VOCs 采集, 使用气相色谱-质谱法进行检测, 不使用有机溶剂萃取和浓缩, 减少外来溶剂的干扰, 使用气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 进行检测, 增强方法定性能力, 降低假阳性风险, 测定食品包装材料中常见的残留挥发性有机物 (VOCs), 并确定适宜的测定条件, 实验结果可为建立食品包装材料中有害挥发性有机物的限量指标提供支持。

收稿日期: 2017-05-21

作者简介: 南洋 (1988—), 男, 工程师, 主要研究方向为食品包装检测。

## 1 试验

### 1.1 试剂与仪器

主要仪器: Agilent 7890B-5977A GC/MS 气质联用仪, 美国安捷伦公司; 精密鼓风干燥箱 DKM610C, 日本雅玛拓; 5 mL 气密固定针头进样针, 美国 HAMILTON; 气体采样袋, 美国 Seroat Scientific Inc (SRT)。

主要试剂: 甲醇 (CA14995000, 纯度为 99.9%), 乙醇 (C13223000, 纯度为 99.9%), 异丙醇 (C16415200, 纯度为 99.9%), 1,1-二氯乙烯 (CA12422400, 纯度为 99.5%), 丙醇 (C16415100, 纯度为 99.5%), 乙酸乙酯 (C13319000, 纯度为 99.9%), 异丁醇 (C15142000, 纯度为 99.9%), 乙酸异丙酯 (CA10016200, 纯度为 99.0%), 丁醇 (C10861500, 纯度为 99.8%), 丙二醇甲醚 (C15083000, 纯度为 99.5%), 乙酸正丙酯 (CA1016500, 纯度为 99.8%), 甲基环己烷 (C15085000, 纯度为 99.8%), 环氧氯丙烷 (CA13175000, 纯度为 99.0%), 异戊醇 (CA15084440, 纯度为 99.6%), 4-甲基-2-戊酮 (C15123000, 纯度为 99.0%), 乙酸异丁酯 (C10016100, 纯度为 99.0%), 乙酸正丁酯 (CA10929000, 纯度为 99.0%), 丙二醇甲醚醋酸酯 (C16527500, 纯度为 99.7%), 乙苯 (CA13320000, 纯度为 99.7%), 苯乙烯 (CA16982000, 纯度为 99.5%), 环己酮 (C11825500, 纯度为 99.5%), 德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司; 丙酮、丁酮, 均为色谱级, 纯度均为 99.9%, 郑州隆祥化工有限公司; 二氯甲烷, 三氯甲烷, 均为色谱级, 纯度均为 99.9%, 天津市彪士奇科技发展有限公司; 正己烷, 色谱级, 纯度为 98.0%, 天津大学科威公司; 苯, 色谱级,

纯度为 99.5%, 天津市光复精细化工研究所; 甲苯, 色谱级, 纯度为 99.5%, 天津市江天化工技术有限公司; 二甲苯, 色谱级, 纯度为 99.0%, 天津市光复科技发展有限公司; 异丙苯, BW900945-1000-A 批号 160004, 质量浓度为 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 国家标准物质中心。

量取 30 种 VOCs 标准物质各 100  $\mu\text{L}$  置于顶空瓶中, 密封混匀, 备用。

### 1.2 仪器工作状态

#### 1.2.1 色谱条件

HP-VOC (60 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 1.80  $\mu\text{m}$ ) 毛细管色谱柱, 载气为高纯氮气, 不分流进样, 气体流速为 2 mL/min, 柱温为 35  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 1 min, 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 180  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 5 min, 汽化室温度为 250  $^{\circ}\text{C}$ , 接口温度为 250  $^{\circ}\text{C}$ , 溶剂延迟 3.5 min。

#### 1.2.2 质谱条件

离子源温度为 230  $^{\circ}\text{C}$ , 四极杆温度为 150  $^{\circ}\text{C}$ , 电离方式为 EI, 电离能量为 70 eV, 质量扫描范围为 50~450 u, 测定方式为 SIM 扫描方式, 标准谱图调谐。

### 1.3 实验方法及相关要求

裁取 1 m<sup>2</sup> 的样品, 将已裁剪的样品立即放入清洁干燥气体采样袋中密封, 送入 (100 $\pm$ 2)  $^{\circ}\text{C}$  烘箱中放置 30 min 后, 使用密封注射器抽取 1 mL 袋中气体, 注入气相色谱-质谱联用仪中进行测定。实验流程见图 1。在裁取样品时, 为确保测试结果满足检出限要求, 裁剪面积不得小于 1 m<sup>2</sup>。将其放入气体采样袋密封前, 无需剪碎。该方案旨在测试食品包装在正常使用状态下的 VOCs 含量, 改变其状态不利于测试结果的准确性。实验中使用的采样袋应提前进行空白试验, 满足测试要求后, 放入干燥器中保存, 备用。

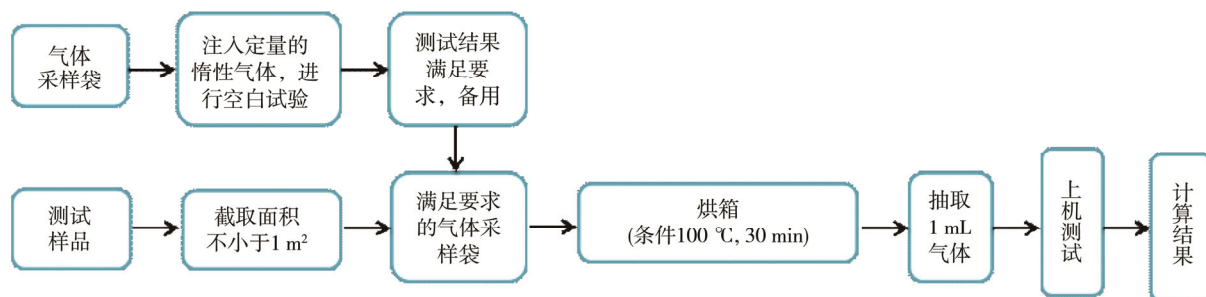


图 1 实验流程

Fig.1 Experiment flow

## 2 结果与讨论

### 2.1 气体采样袋的选择

目前市面上的气体采集袋按材质划分, 可分为聚丙烯 (PP)、聚偏氟乙烯 (PVDF)、氟化乙烯丙烯共

聚物 (FEP)、铝塑复合膜和天然橡胶; 袋体上阀门以聚丙烯、聚四氟乙烯 (PTFE)、金属和天然橡胶为主。选取上述材质的同规格气体采样袋, 分别注入等量的惰性气体 (例如氮气) 进行密封, 将其置于 (100 $\pm$ 2)  $^{\circ}\text{C}$  烘箱中, 放置 30 min 后, 抽取袋中气体

并进行测试。气体采样袋的袋体材质分别为 PP、PVDF、FEP、铝塑复合膜、铝塑复合膜、天然橡胶,其对应的阀门材质分别为 PP、PTFE、PP、金属、PP、天然橡胶,测得的 VOCs 总量均 $<0.01 \text{ mg/m}^2$ 。通过测试结果可知,目前市面上的气体采样袋均满足实验要求。建议对同批次购买的气体采样袋进行空白测试,并将满足使用要求而未被使用的气体采样袋放入通有氮气的干燥器中保存。

## 2.2 平衡温度和平衡时间的选择

该测试方法是待测样品置入气体采样袋中,通过加热升温使 VOCs 组分从样品基体中挥发出来,从而检验样品中 VOCs 组分的成分及含量。为了确保 VOCs 各组分均能挥发并达到平衡,故选取标准物质中沸点最低的二氯甲烷( $39.8 \text{ }^\circ\text{C}$ )和沸点最高的环己酮( $155.6 \text{ }^\circ\text{C}$ )进行测试,来确定平衡温度和平衡时间。

平衡时间为 30 min 条件下,不同的平衡温度(70, 80, 90, 100, 110,  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ )对二氯甲烷和环己酮响应值的影响见表 1。可以看出,不同的温度下,二氯甲烷的响应值缓慢降低,但环己酮的响应值随温度的升高而变大。兼顾 VOCs 组分充分发挥及提高方法灵敏度的要求,将平衡温度设定为  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 。平衡温度为  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  的条件下,不同的时间(30, 35, 40, 45, 50,

55, 60 min)对二氯甲烷和环己酮响应值的影响见表 1,该情况下二氯甲烷和环己酮响应值无明显变化,说明在 30 min 条件下即可达到两相平衡。由于设定的 GC 升温程序为 24 min,考虑到测试效率,故将平衡时间设定为 30 min。

## 2.3 定性分析

32 种 VOCs 标准溶液总离子流见图 2,峰号所对应的化合物名称见表 2。由于标准物质中存在着大量的同分异构体(如乙酸正丙酯、乙酸异丙酯,邻二甲苯、间二甲苯、对二甲苯、乙苯等),统一进样区分难度大,可进行单独进样来确定出峰时间。

## 2.4 定量分析

### 2.4.1 标准曲线及检出限

在气体采样袋中加入适量的 32 种 VOCs 标准储备溶液,配成系列标准溶液,在仪器工作条件下进行测定。利用外标法将各组分峰面积与标准系列溶液之间的关系进行定量。由结果可知,VOCs 各组分的标准工作液质量浓度线性范围为  $0.01\sim 10.0 \text{ mg/m}^2$ ,得到线性回归方程和相关系数,逐渐稀释标准溶液含量,以 3 倍信噪比的标准溶液含量作为该方法的检出限,结果见表 2。

表 1 平衡温度和平衡时间对响应值的影响

Tab.1 Effect of equilibrium temperature and time on response values

( $\times 10^5$ )

种类	平衡温度(平衡时间为30 min)/ $^\circ\text{C}$						平衡时间(平衡温度为 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ )/min						
	70	80	90	100	110	120	30	35	40	45	50	55	60
二氯甲烷	4.798	4.786	4.721	4.708	4.688	4.661	8.077	7.92	7.932	7.891	7.911	7.892	7.878
环己酮	5.741	6.213	7.013	9.575	12.012	14.485	4.735	4.735	4.72	4.728	4.723	4.719	4.71

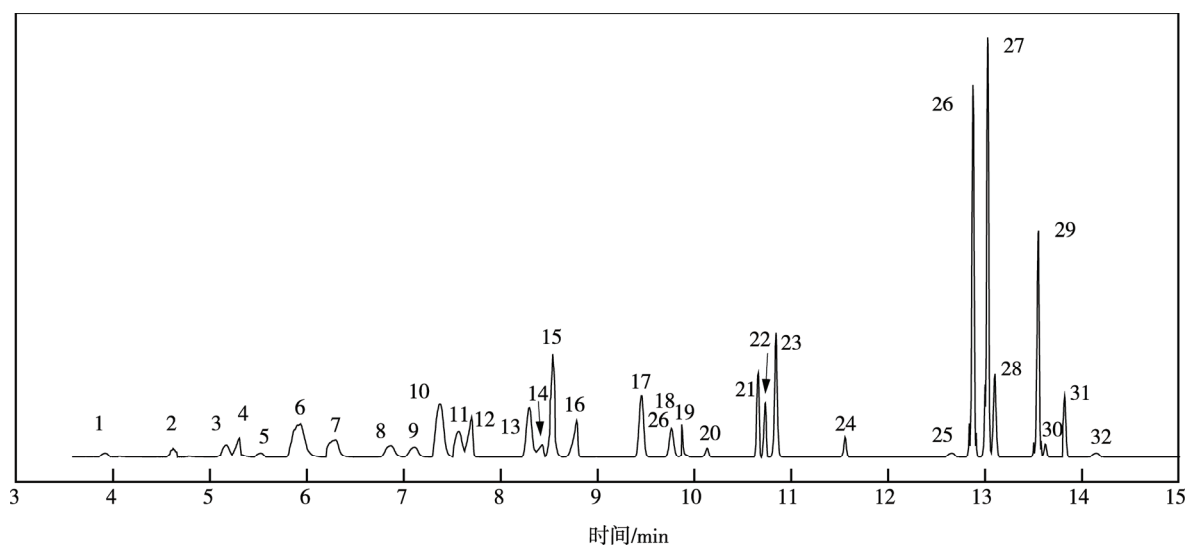


图 2 32 种 VOCs 总离子流  
Fig.2 Total ion current of 32 VOCs

表 2 32 种 VOCs 线性参数及检出限  
Tab.2 Parameters of linearity and limits of detection for the 32 VOCs

峰号	VOCs组分	定量离子质荷比	线性回归方程	相关系数 $R^2$	检出限/(mg·m <sup>2</sup> )
1	甲醇	31, 32, 29	$y=27414x-56.5$	0.999	0.02
2	乙醇	46, 45, 31	$y=40455x-72.94$	0.999	0.02
3	丙酮	58, 43, 15	$y=45090x-66.7$	0.993	0.02
4	异丙醇	60, 59, 45	$y=34832x-88.8$	0.998	0.01
5	1,1-二氯乙烯	96, 98, 61	$y=31360x-21.6$	0.994	0.02
6	二氯甲烷	49, 84, 86	$y=209383x-172.2$	0.999	0.06
7	丙醇	31, 59, 60	$y=55294x-69.0$	0.993	0.03
8	正己烷	57, 43, 86	$y=32239x-135.0$	0.992	0.02
9	丁酮	43, 72, 71	$y=28379x-83.6$	0.990	0.03
10	乙酸乙酯	88, 70, 43	$y=110270x-142.0$	0.999	0.02
11	三氯甲烷	118, 85, 87	$y=128090x-76.7$	0.994	0.03
12	异丁醇	50, 44, 43	$y=34606x-54.2$	0.998	0.07
13	乙酸异丙酯	87, 61, 43	$y=243160x-255.0$	0.998	0.02
14	丁醇	56, 43, 31	$y=16182x-37.9$	0.996	0.03
15	苯	78, 52, 39	$y=189942x-499.7$	0.994	0.01
16	丙二醇甲醚	59, 31, 43	$y=43183x-120.1$	0.998	0.03
17	乙酸正丙酯	73, 61, 43	$y=230148x-134.4$	0.995	0.01
18	甲基环己烷	98, 83, 55	$y=110918x-423.1$	0.994	0.02
19	环氧氯丙烷	57, 62, 49	$y=21912x-83.8$	0.990	0.02
20	异戊醇	70, 55, 57	$y=22654x-19$	0.990	0.01
21	4-甲基-2-戊酮	100, 85, 58	$y=564158x-217.3$	0.991	0.09
22	乙酸异丁酯	73, 86, 56	$y=321185x-799$	0.998	0.11
23	甲苯	91, 89, 65	$y=226406x-252.5$	0.990	0.01
24	乙酸正丁酯	73, 87, 61	$y=41984x-50.6$	0.991	0.02
25	丙二醇甲醚醋酸酯	43, 45, 87	$y=14217x-44$	0.991	0.17
26	乙苯	106, 91, 77	$y=904083x-180.8$	0.992	0.02
27	间二甲苯	106, 91, 77	$y=195220x-932.6$	0.992	0.01
28	对二甲苯	106, 91, 77	$y=491648x-481.6$	0.992	0.01
29	苯乙烯	104, 78, 89	$y=1467648x-682$	0.995	0.03
30	邻二甲苯	106, 91, 77	$y=37162x-181.5$	0.994	0.02
31	环己酮	98, 69, 55	$y=110834x-548.5$	0.996	0.02
32	异丙苯	120, 105, 103	$y=170.69x-8.03$	0.991	0.08

#### 2.4.2 精密度与回收率

取食品包装用复合膜(材质为 OPP/VMPET/ CPP, 内装物为饼干)若干份, 分别准确加入低、中、高 3 个不同含量的 VOCs 标准溶液。按试验方法进行处理,

每个浓度平行测定 6 次, 计算相对标准偏差 (RSD), 结果见表 3。由表 3 结果可以看出, 该方法的平均回收率较高。低、中、高 3 种浓度的回收率稳定性较好, 完全能够满足包装材料中 VOCs 检测的要求。

表3 精密度和回收试验结果 (n=6)  
Tab.3 Results of tests for precision and recovery (n=6)

%

VOCs组分	加标0.05 mg/m <sup>2</sup>		加标0.5 mg/m <sup>2</sup>		加标5 mg/m <sup>2</sup>	
	回收率	RSD	回收率	RSD	回收率	RSD
甲醇	92.1~109.0	1.5	98.3~100.3	8.1	93.9~100.7	6.5
乙醇	93.7~101.4	5.5	99.5~109.5	7.3	91.3~109.6	7.8
丙酮	92.1~100.7	2.1	95.7~106.3	2.8	97.4~104.7	2.0
异丙醇	98.6~106.0	3.7	92.5~104.7	1.5	95.6~108.7	3.8
1,1-二氯乙烯	97.4~104.1	1.4	94.7~100.5	8.1	99.7~109.4	7.1
二氯甲烷	93.2~107.1	4.9	91.2~104.8	4.1	90.8~109.5	7.6
丙醇	93.2~110.0	2.4	94.4~103.5	2.4	93.8~104.8	8.5
正己烷	97.1~106.5	7.4	91.6~106.3	8.0	95.4~104.4	5.2
丁酮	98.2~101.3	3.8	99.7~104.6	5.5	92.3~103.1	2.7
乙酸乙酯	92.9~107.4	5.8	92.3~103.1	1.6	91.9~105.6	4.4
三氯甲烷	95.1~109.8	2.1	94.2~101.1	6.7	97.2~102.3	6.4
异丁醇	90.9~106.9	2.7	96.5~100.1	3.3	90.8~103.0	6.1
乙酸异丙酯	93.2~105.9	8.2	97.1~104.6	6.8	92.6~101.5	8.8
丁醇	95.5~107.4	6.7	96.6~104.1	3.8	93.6~100.8	2.1
苯	99.0~107.5	6.9	97.7~106.3	7.8	91.6~107.8	8.9
丙二醇甲醚	95.9~109.7	2.2	93.2~103.4	1.4	96.3~101.5	6.7
乙酸正丙酯	97.0~100.8	2.2	98.2~103.9	1.8	96.9~105.8	7.6
甲基环己烷	94.0~106.6	3.3	93.9~103.4	2.0	95.5~102.8	4.0
环氧氯丙烷	94.5~107.2	3.7	97.0~100.0	6.1	93.5~109.0	1.9
异戊醇	94.8~107.6	7.9	99.8~103.4	3.6	92.0~101.9	4.5
4-甲基-2-戊酮	97.2~108.3	3.3	95.5~109.8	5.3	92.4~103.8	3.2
乙酸异丁酯	94.1~106.9	1.1	93.9~104.3	6.8	94.7~100.3	3.8
甲苯	96.1~103.8	4.6	97.1~102.2	7.7	90.6~102.0	3.7
乙酸正丁酯	99.8~105.6	3.1	96.1~100.7	3.4	90.3~109.7	2.0
丙二醇甲醚醋酸酯	94.8~107.0	6.3	92.4~108.9	6.4	99.5~100.6	1.3
乙苯	93.8~102.3	8.3	94.5~102.1	3.7	96.7~105.8	7.8
间二甲苯	92.3~104.5	1.6	94.0~103.0	5.3	97.7~105.3	1.1
对二甲苯	92.7~102.0	3.2	92.7~103.9	3.5	96.6~105.0	7.6
苯乙烯	97.8~100.4	2.1	97.1~105.9	8.3	92.4~105.7	4.1
邻二甲苯	91.6~109.1	3.9	93.7~107.9	2.5	94.6~104.6	1.1
环己酮	91.5~104.5	4.9	95.6~102.9	6.4	98.1~109.9	4.5
异丙苯	98.5~106.8	5.0	96.2~107.1	8.1	94.9~100.8	3.3

### 3 结语

采用气体采样袋进行样品前处理,使用气相色谱-质谱联用仪进行检测,并增加了测试种类。在试验条件下,该方法检出限在0.01~0.17 mg/m<sup>2</sup>,线性良好,回收率上下波动小于±10%,可以满足VOCs检测要求。该方法操作简单、快速、抗干扰能力强,且定性、定量准确,适用于市面上常见的食品包装材料的检测。

#### 参考文献:

[1] 吴永宁. 现代食品安全科学[M]. 北京: 化学工业出

版社, 2003.

WU Yong-ning. Present Knowledge in Food Safety [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.

[2] 夏卫红, 高峰. 突发性环境污染事故及应急监测[J]. 上海应用技术学院学报, 2005, 5(3): 239—241.

XIA Wei-hong, GAO Feng. The Emergency Pollution Accidents and Its Emergency Monitoring[J]. Journal of Shanghai Institute of Technology, 2005, 5(3): 239—241.

[3] 解光武, 王焕香. 便携式顶空/气相色谱/质谱联用法快速测定水中苯系物[J]. 中国环境监测, 2009, 25(5): 17—19.

- XIE Guang-wu, WANG Huan-xiang. Fast Determination of BTEX in Water by the Portable Headspace/GC/MS[J]. *Environmental Monitoring of China*, 2009, 25(5): 17—19
- [4] 李国刚. 环境化学污染事故应急监测技术与装备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.  
LI Guo-gang. *Emergency Monitoring Technology and Equipment for Environmental Chemical Pollution Accidents*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [5] 罗明泉, 俞平. 常见有毒和危险化学品手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1992.  
LUO Ming-quan, YU Ping. *Common Toxic and Hazardous Chemicals Manual*[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1992.
- [6] 叶芬, 罗春荣, 许国旺. 气相色谱法测定塑料食品包装袋中甲苯残留[J]. *色谱*, 1997, 15(1): 89—90.  
YE Fen, LUO Chun-rong, XU Guo-wang. Gas Chromatographic Determination of Residual Toluene in Plastic Packing Bags[J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 1997, 15(1): 89—90.
- [7] AURELA B, OHRA-AHO T. Migration of Alkylbenzenes from Packaging into Food and Tenax[J]. *Packaging Technology & Science*, 2001, 14(2): 71—77.
- [8] NERÍN C, ASENSIO E. Behavior of Organic Pollutants in Paper and Board Samples Intended to be in Contact with Food[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004(2): 185—191.
- [9] LEE M R, LEE J S, HSIANG W S, et al. Purge-and-trap Gas Chromatography-mass Spectrometry in the Analysis of Volatile Organochlorine Compounds in Water[J]. *Journal of Chromatography A*, 1997(1): 267—274.
- [10] 张天龙, 沈晓明, 张复康. 应用裂解/毛细柱气相色谱技术对食品包装材料鉴定的研究[J]. *中国包装*, 2012(12): 45—49.  
ZHANG Tian-long, SHEN Xiao-ming, ZHANG Fu-kang. The Research on the Identification of Food Packaging Materials by Pyrolysis/Capillary Column Gas Chromatography[J]. *China Packaging*, 2012(12): 45—49.
- [11] 王小珍. 顶空-气相色谱法分析水中的挥发性苯系物[J]. *石油化工*, 2001, 30(1): 48—50.  
WANG Xiao-zhen. Analysis of Volatile Benzene Series Compounds in Water Sample by Headspace-gas Chromatography[J]. *Petrochemical Technology*, 2001, 30(1): 48—50.
- [12] GACA J, WEJNEROWSKA G. Determination of Propane Chloroderivatives in Environmental Samples[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005(1): 55—60.
- [13] 徐辉, 张昌豹. 顶空-气相色谱法测定食品纸盒包装材料中挥发性有机物[J]. *山东化工*, 2015, 44(7): 91—94.  
XU Hui, ZHANG Chang-bao. HS-GC Determination of Volatile Organic Compounds in Food Carton Packaging Material[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2015, 44(7): 91—94.
- [14] 张红, 赖永忠. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法同时测定饮用水源水中24种VOCs[J]. *化学分析计量*, 2012(9): 54—57.  
ZHANG Hong, LAI Yong-zhong. Simultaneous Determination of 24 VOCs in Drinking Source Water by Head Space Solid Phase Microextraction Method Coupled with Gas Chromatography and Mass Spectrometry[J]. *Chemical Analysis and Meterage*, 2012(9): 54—57.
- [15] WEJNEROWSKA G, GACA J. Application of Headspace Solid-phase Microextraction for Determination of Chloroorganic Compounds in Sewage Samples[J]. *Toxicology Mechanisms & Methods*, 2008, 18(6): 543.
- [16] PEÑALVER A, POCURULL E, BORRULL F, et al. Trends in Solid-phase Microextraction for Determining Organic Pollutants in Environmental Samples[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 1999, 18(8): 557—568.
- [17] 郭紫明, 李艳春, 董道竹. 卷烟包装材料中残留的挥发性有机物[J]. *烟草科技*, 2007(2): 35—37.  
GUO Zi-ming, LI Yan-chun, DONG Dao-zhu. Chromatographic Determination of VOC Residues in Cigarette Packing Material[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2007(2): 35—37.
- [18] 张承明, 徐若飞, 孔维松. 顶空气相色谱法测定卷烟包装材料中的溶剂残留[J]. *理化检验-化学分册*, 2007, 43(5): 397—399.  
ZHANG Cheng-ming, XU Ruo-fei, KONG Wei-song. Determination of Residual Organic Solvents in Cigarette Packing Materials by Head-Space Gas Chromatography[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, 2007, 43(5): 397—399.
- [19] GB/T 10004—2008, 包装用塑料复合膜、袋干法复合、挤出复合[S].  
GB/T 10004—2008, Plastic Laminated Films and Pounds for Packaging: Dry Lamination and Extrusion Lamination[S].