

岛津 GC-FID-MS 法离线监测环境空气中 117 种 VOCs 污染物

GCMS-267

摘要: 本文建立了一种离线监测 (苏玛罐采样 + 大气预浓缩进样) 环境空气中 117 种 VOCs 污染物的方法。本方法全面应对《2018 年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》中的 117 种挥发性有机污染物检测, 使用 ENTECH7200 大气预浓缩仪进样, CRG 柱箱制冷, 配合岛津中心切割技术, 将 5 种轻烃切至 PLOT 柱进行分离, 采用 FID 进行检测, 其余 112 种化合物则在聚甲基硅氧烷柱上进行分离, 采用 MS 检测器进行检测。一溴一氯甲烷、1, 2-二氟苯、氯苯-d5 和对溴氟苯 4 种物质作为内标, 采用内标法定量。结果显示: 所有化合物在 1.25 ng/mL 的浓度下, 峰面积 RSD% 均小于 6.5%, 在 0.5~20 ng/mL 的浓度范围内线性相关系数均大于 0.9950。本方法重现性好, 一次能够监测新方案中要求的所有化合物, 可满足用户离线监测 VOCs 需求。

关键词: GC-FID-MS 离线监测 中心切割 环境空气 VOCs

挥发性有机物 (VOCs) 是形成臭氧污染的重要前体物。为了摸清生成臭氧的 VOCs 种类, 有的放矢地开展臭氧防治工作, 2018 年初, 环保部印发了《2018 年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》, 监测城市包括 4 个直辖市, 15 个省会城市及计划单列市, 59 个地级城市, 监测项目范围包括 57 种 PAMS 臭氧前体物、47 种部分 TO-15 标准中物质以及 13 种醛酮化合物, 共计 117 种 VOCs。

本方法采用 ENTECH 公司的 7200 大气预浓缩仪进样系统, 结合岛津气质联用仪卓越的性能, 采用 CRG

柱箱制冷和中心切割技术, 一针进样可以同时实现 117 种 VOCs 的监测。7200 大气预浓缩仪拥有三级冷阱, 第三级冷阱可冷却至 -185°C , 具有良好的冷冻聚焦功能, 可以实现对 VOCs 的有效富集。

由于新方案中监测化合物覆盖 C2~C12 等 117 种挥发性有机物, 在一根色谱柱上很难实现分离, 所以本方法采用中心切割法, 将乙烷、乙烯、乙炔、丙烷和丙烯切至 PLOT 柱进行分离, 其余的 112 种化合物则在聚甲基硅氧烷柱上进行分离。由于需要监测甲醛, 需要较低的柱温, 采用 CRG 柱箱制冷技术从 5°C 开始测试。

实验部分

1.1 仪器

气相色谱质谱联用仪: GCMS-QP2020(配 FID 检测器)

1.2 分析条件

1.2.1 GC-MS 分析条件

色谱柱: DB-1(60 m \times 0.25 mm \times 1 μm);

柱温程序: 5°C (6 min) $_5^{\circ}\text{C}/\text{min}_190^{\circ}\text{C}$ (7 min)

载气控制方式: 恒压

压力程序: 100 kPa(0.5 min) $_4$ kPa/min $_150$ kPa
(1 min) $_5$ kPa/min $_200$ kPa(26 min)

APC 辅助压力: 40 kPa

进样方式: 分流

分流比: 15

离子源温度: 200°C

接口温度: 200°C

采集方式: SCAN

阻尼柱: 0.5 m \times 0.18 mmI.D.

1.2.2 GC-FID 分析条件

 色谱柱: DB-Alumina BOND/Na₂SO₄,
 (25 m×0.32 mm×5 μm)

FID 温度: 200°C

氢气流量: 40 mL/min

空气流量: 400 mL/min

尾吹流量: 25 mL/min

1.2.3 ENTECH7200 分析条件

Mod1: Trap -40°C, Preheat 10°C

Mod2: Trap -60°C

Mod2: Precool -185°C

Trap flush: 50 cc

M1 to M2 volume: 50 cc

Ttappingflow rate: 60 cc/min

M3focusing: 2 min

Inject time: 1 min

System bake: 10 min

表1 VOCs定量定性离子信息

No.	化合物	英文名称	CAS 号	T(m/z)	Ref.1	Ref.2
1	甲醛	Methanal	50-00-0	29	30	
2	二氟二氯甲烷	Dichlorodifluoromethane	75-71-8	85	87	50
3	一氯甲烷	Chloromethane	74-87-3	50	52	
4	异丁烷	Isobutane	75-28-5	27	57	58
5	乙醛	Ethanal	75-07-0	29	42	
6	二氯四氟乙烷	1,2-Dichlorotetrafluoroethane	76-14-2	135	85	87
7	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4	62	64	27
8	正丁烯	1-Butene	106-98-9	41	56	
9	丁二烯	1,3-Butadiene	106-99-0	54	39	
10	正丁烷	n-Butane	106-97-8	43	41	29
11	反式-2-丁烯	trans-Butene	624-64-6	41	56	39
12	一溴甲烷	Bromomethane	74-83-9	96	94	
13	顺式-2-丁烯	cis-2-Butene	590-18-1	41	56	39
14	氯乙烷	chloroethane	75-00-3	64	66	49
15	丙烯醛	Acrolein	107-02-8	56	27	55
16	丙酮	Acetone	67-64-1	58	43	
17	异戊烷	Isopentane	78-78-4	72	71	
18	丙醛	Propanal	123-38-6	30	31	
19	一氟三氯甲烷	Trichlorofluoromethane	75-69-4	101	103	66
20	1-戊烯	1-Pentene	109-67-1	42	55	70
21	异丙醇	Isopropyl Alcohol	67-63-0	45	43	31
22	正戊烷	n-Pentane	109-66-0	43	42	41
23	2-甲基-1,3-丁二烯	Isoprene	78-79-5	67	53	68
24	反式-2-戊烯	trans-2-Pentene	646-04-8	55	70	42
25	1,1-二氯乙烯	1,1-Dichlorethene	75-35-4	61	96	98
26	顺式-2-戊烯	cis-2-Pentene	627-20-3	55	42	70

27	二氯甲烷	Methylene chloride	75-09-2	49	84	86
28	二硫化碳	Carbon disulphide	75-15-0	76	44	78
29	1,2,2-三氟-1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane	76-13-1	101	151	103
30	2,2-二甲基丁烷	2,2-Dimethylbutane	75-83-2	43	71	57
31	甲基丙烯醛	Methacrolein	78-85-3	41	70	39
32	反式-1,2-二氯乙烯	trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	61	96	98
33	1,1-二氯乙烷	1,1-Dichloroethane	75-34-3	63	65	27
34	环戊烷	Cyclopentane	287-92-3	55	70	
35	甲基叔丁基醚	2-Methoxy-2-methylpropane	1634-04-4	73	57	
36	乙酸乙烯酯	Vinyl acetate	108-05-4	86	26	
37	2,3-二甲基丁烷	2,3-Dimethylbutane	79-29-8	71	42	
38	2-甲基戊烷	2-Methylpentane	107-83-5	42	71	
39	正丁醛	Butanal	123-72-8	44	72	41
40	2-丁酮	2-Butanone	78-93-3	43	72	29
41	3-甲基戊烷	3-Methylpentane	96-14-0	57	56	41
42	1-己烯	1-Hexene	592-41-6	41	56	42
43	顺式-1,2-二氯乙烯	cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	61	96	98
44	正己烷	n-Hexane	110-54-3	86	56	57
45	乙酸乙酯	Ethyl acetate	141-78-6	88	70	61
46	三氯甲烷	Trichloromethane	67-66-3	83	85	47
47	四氢呋喃	Tetrahydrofuran	109-99-9	42	41	72
48	丁烯醛	Crotonaldehyde	123-73-9	70	41	39
49	1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	107-06-2	62	49	
50	甲基环戊烷	Methylcyclopentane	96-37-7	56	69	41
51	2,4-二甲基戊烷	2,4-Dimethylpentane	108-08-7	43	57	41
52	1,1,1-三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	97	99	61
53	苯	Benzene	71-43-2	78	77	52
54	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	117	119	121
55	环己烷	Cyclohexane	110-82-7	56	84	41
56	2-甲基己烷	2-Methylhexane	591-76-4	43	85	42
57	2,3-二甲基戊烷	2,3-Dimethylpentane	565-59-3	56	43	41
58	戊醛	Pentanal	110-62-3	44	58	
59	3-甲基己烷	3-Methylhexane	589-34-4	43	71	70
60	1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	78-87-5	63	62	41
61	一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	75-27-4	83	85	129
62	1,4-二氧六环	1,4-Dioxane	123-91-1	88	31	
63	三氯乙烯	Trichloroethene	79-01-6	130	132	95
64	2,2,4-三甲基戊烷	2,2,4-Trimethylpentane	540-84-1	57	56	
65	甲基丙烯酸甲酯	Methyl methacrylate	80-62-6	41	69	39
66	正庚烷	n-Heptane	142-82-5	43	71	41
67	反式-1,3-二氯-1-丙烯	cis-1,3-Dichloropropene	10061-01-5	75	39	77

68	4-甲基-2-戊酮	2-Pentanone, 4-methyl-	108-10-1	43	58	41
69	甲基环己烷	Cyclohexylmethane	108-87-2	83	55	98
70	顺式-1,3-二氯-1-丙烯	trans-1,3-Dichloropropene	10061-02-6	75	39	110
71	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	97	83	99
72	2,3,4-三甲基戊烷	2,3,4-Trimethylpentane	565-75-3	43	71	70
73	甲苯	Toluene	108-88-3	91	92	65
74	2-甲基庚烷	2-Methylheptane	592-27-8	99	70	71
75	2-己酮	2-Hexanone	591-78-6	100	58	-
76	3-甲基庚烷	3-Methylheptane	589-81-1	43	57	85
77	二溴一氯甲烷	Dibromochloromethane	124-48-1	129	127	131
78	己醛	Hexanal	66-25-1	44	56	41
79	1,2-二溴乙烷	Ethylene dibromide	106-93-4	107	109	27
80	正辛烷	n-Octane	111-65-9	43	85	41
81	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	127-18-4	166	129	164
82	氯苯	Chlorobenzene	108-90-7	112	77	114
83	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4	91	106	65
84	间/对二甲苯	m,p-Xylene	106-42-3 108-38-3	91	106	105
85	三溴甲烷	Bromoform	75-25-4	173	171	175
86	苯乙烯	Styrene	100-42-5	104	78	103
87	四氯乙烷	Tetrachloroethane	79-34-5	83	85	95
88	邻二甲苯	o-Xylene	95-47-6	91	106	105
89	正壬烷	n-Nonane	111-84-2	43	57	41
90	异丙苯	Isopropylbenzene	98-82-8	105	120	79
91	苯甲醛	Benzaldehyde	100-52-7	106	105	77
92	正丙苯	n-Propylbenzene	103-65-1	91	120	65
93	间乙基甲苯	m-Ethyltoluene	620-14-4	105	120	77
94	对乙基甲苯	p-Ethyltoluene	622-96-8	105	120	77
95	1,3,5-三甲苯	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	105	120	119
96	邻乙基甲苯	o-Ethyltoluene	611-14-3	105	120	79
97	1,2,4-三甲苯	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	105	120	119
98	癸烷	n-Decane	124-18-5	57	43	71
99	氯代甲苯	Benzyl chloride	100-44-7	91	126	65
100	对二氯苯	1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	146	148.	111
101	间二氯苯	1,3-Dichlorobenzene	541-73-1	146	148	111
102	1,2,3-三甲苯	1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8	105	120	119
103	邻二氯苯	1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	146	148	111
104	间二乙基苯	m-Diethylbenzene	141-93-5	105	119	134
105	间甲基苯甲醛	m-Tolualdehyde	620-23-5	121	89	
106	对二乙基苯	p-Diethylbenzene	105-05-5	134	135	133
107	十一烷	n-Undecane	1120-21-4	57	43	71

108	1,2,4-三氯苯	1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	180	182	145
109	萘	Naphthalene	91-20-3	128	127	129
110	十二烷	n-Dodecane	112-40-3	57	43	71
111	六氯丁二烯	Hexachloro-1,3-butadiene	87-68-3	225	223	227
112	一溴一氯甲烷	Bromochloromethane	74-97-5	49	130	51
113	1,2-二氟苯	1,2-Difluorobenzene	367-11-3	114	88	63
114	氯苯-d5	Chlorobenzene-d5	3114-55-4	117	82	119
115	对溴氟苯	p-Bromofluorobenzene	460-00-4	95	174	176

1.3 标准气体和内标气体的配置

1.3.1 配置一定浓度的 117 种 VOCs 混合气体置于苏玛罐中待用，配置一定浓度的 4 种内标（一溴一氯甲烷、1, 2- 二氟苯、氯苯 -d5 和对溴氟苯）混合气体置于苏玛罐中待用。

1.3.2 通过控制 ENTECH 7200 的采样体积，使进入到系统的 VOCs 浓度分别为 0.5、1.25、2.5、5、10、15 和 20 ng/mL，4 种内标的浓度为 12.5 ng/mL，以浓度比为横坐标，峰面积比为纵坐标建立校准曲线。



图1 ENTECH 7200+岛津GCMS离线检测系统

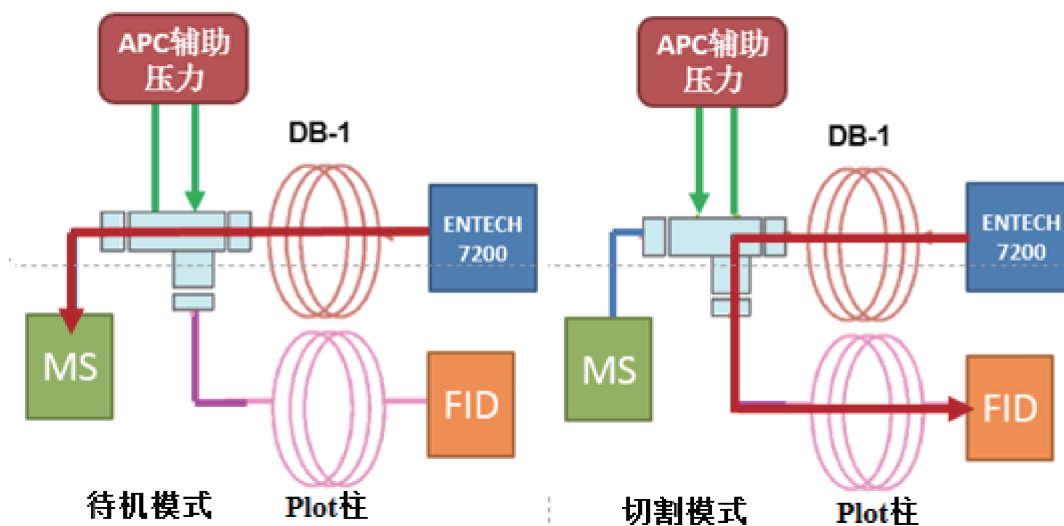


图2 岛津GCMS中心切割流路图

结果与讨论

2.1 分离色谱图

以甲醛、二氟二氯甲烷作为切割点，将甲醛之前流出的 C2 组分、甲醛之后和二氟二氯甲烷之前流出的 C3 组分切割进入 FID 进行检测，其余组分进入 MS 检测器检测。分离色谱图如下图 3、图 4 所示。

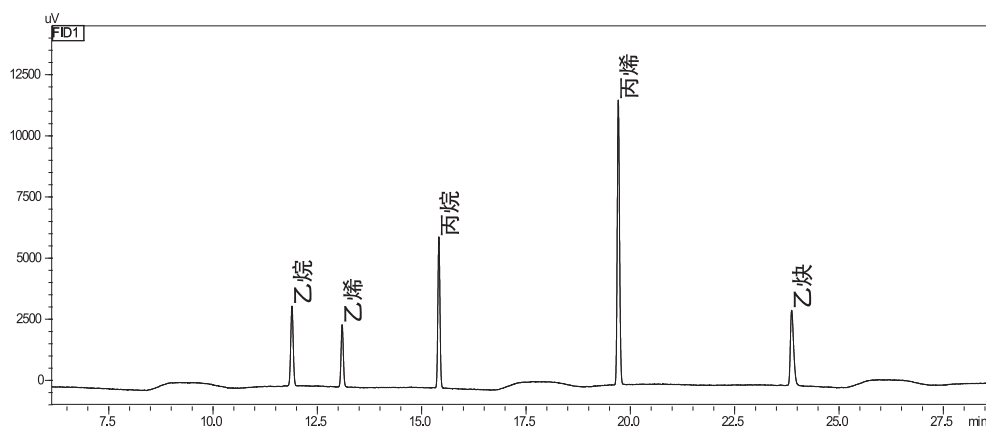


图3 C2和C3在Plot柱色谱图(FID检测)

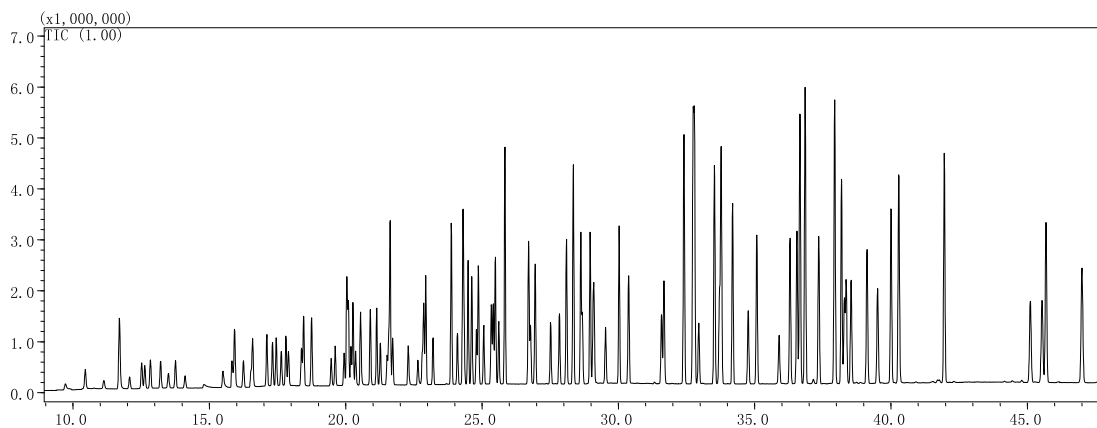


图4 112种化合物在聚甲基硅氧烷柱上TIC图(MS检测)

2.2 标准曲线

1.25 ng/mL VOCs 标准气体重复进样 6 次，测试色谱峰面积重复性；并以 0.5、1.25、2.5、5、10、15 和 20 ng/mL 建立内标标准曲线；VOCs 峰面积重复性与相关系数 R 请参见表 2 和表 3，图 5 所示为 Plot 柱分析化合物校准曲线图，图 6 所示为 0.5 ng/mL 化合物质量色谱图（篇幅有限，仅列出部分组分）。

表2 FID检测组分信息与重复性(n=6)

No.	化合物	英文名称	保留时间(min)	CAS 号	峰面积 RSD%	相关系数 R
1	乙烷	Ethane	11.906	74-84-0	5.25	0.9980
2	乙烯	Ethylene	13.110	74-85-1	5.69	0.9958
3	丙烷	Propane	15.426	74-98-6	3.91	0.9992
4	丙烯	Propene	19.732	115-07-1	1.37	0.9995
5	乙炔	Acetylene	23.905	74-86-2	4.68	0.9999

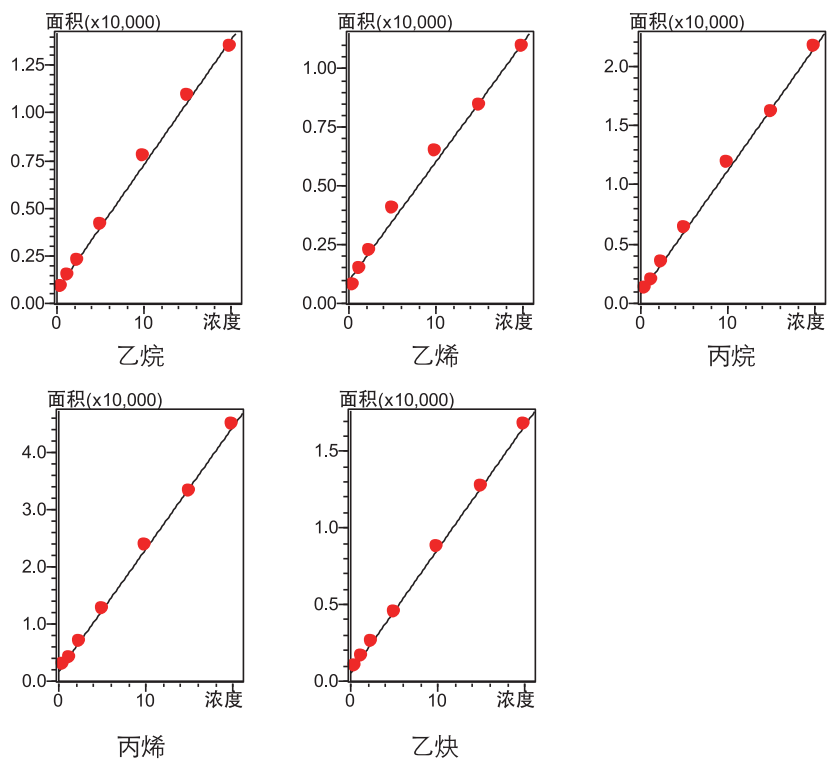


图5 PLOT柱分析化合物校准曲线

表3 MS检测组分信息与重复性(n=6)

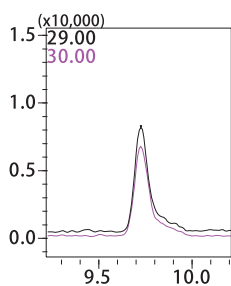
No.	化合物	保留时间 (min)	峰面积 RSD%	相关系数 R
1	甲醛	9.724	4.41	0.9992
2	二氟二氯甲烷	10.451	2.12	0.9997
3	一氯甲烷	11.133	1.00	0.9999
4	异丁烷	11.704	4.75	0.9995
5	乙醛	11.732	5.43	0.9998
6	二氯四氟乙烷	11.699	1.71	0.9997
7	氯乙烯	12.077	4.03	0.9996
8	正丁烯	12.52	2.21	0.9997
9	丁二烯	12.633	1.81	0.9998
10	正丁烷	12.838	4.38	0.9990
11	反式-2-丁烯	13.214	1.54	0.9996
12	一溴甲烷	13.5	1.98	0.9999
13	顺式-2-丁烯	13.76	2.14	0.9996
14	氯乙烷	14.111	4.25	0.9997
15	丙烯醛	15.499	5.10	0.9990
16	丙酮	15.83	5.45	0.9964
17	异戊烷	15.926	3.24	0.9990

18	丙醛	15.924	4.99	0.9974
19	一氟三氯甲烷	16.251	2.09	0.9998
20	1-戊烯	16.59	0.57	0.9998
21	异丙醇	16.526	2.72	0.9998
22	正戊烷	17.111	6.25	0.9998
23	2-甲基-1,3-丁二烯	17.317	2.39	0.9999
24	反式-2-戊烯	17.454	2.47	0.9997
25	1,1-二氯乙烯	17.64	1.23	0.9998
26	顺式-2-戊烯	17.809	3.79	0.9996
27	二氯甲烷	17.902	1.47	0.9999
28	二硫化碳	18.382	3.28	0.9997
29	1,2,2-三氟-1,1,2-三氯乙烷	18.459	1.48	0.9998
30	2,2-二甲基丁烷	18.751	2.39	0.9999
31	甲基丙烯醛	19.47	2.60	0.9998
32	反式-1,2-二氯乙烯	19.618	2.39	0.9999
33	1,1-二氯乙烷	19.944	0.96	0.9998
34	环戊烷	20.048	1.91	0.9998
35	甲基叔丁基醚	20.04	1.72	0.9999
36	乙酸乙烯酯	20.195	4.50	0.9998
37	2,3-二甲基丁烷	20.1	5.39	0.9998
38	2-甲基戊烷	20.269	1.27	0.9999
39	正丁醛	20.366	4.78	0.9997
40	2-丁酮	20.547	1.35	0.9998
41	3-甲基戊烷	20.904	1.83	0.9999
42	1-己烯	21.14	1.85	0.9999
43	顺式-1,2-二氯乙烯	21.274	1.50	0.9999
44	正己烷	21.63	3.16	0.9998
45	乙酸乙酯	21.579	5.97	0.9997
46	三氯甲烷	21.724	2.18	0.9999
47	四氢呋喃	22.296	2.89	0.9999
48	丁烯醛	22.65	2.68	0.9996
49	1,2-二氯乙烷	22.809	1.62	0.9999
50	甲基环戊烷	22.863	1.09	0.9999
51	2,4-二甲基戊烷	22.938	4.34	0.9999
52	1,1,1-三氯乙烷	23.205	1.36	0.9998
53	苯	23.875	0.95	0.9999
54	四氯化碳	24.1	2.40	0.9998
55	环己烷	24.302	1.81	0.9999

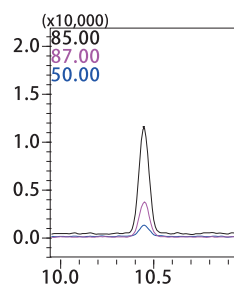
56	2-甲基己烷	24.491	1.46	0.9998
57	2,3-二甲基戊烷	24.625	3.35	0.9977
58	戊醛	24.797	2.16	0.9999
59	3-甲基己烷	24.868	2.17	0.9961
60	1,2-二氯丙烷	25.065	1.95	0.9999
61	一溴二氯甲烷	25.341	1.49	0.9999
62	1,4-二氧六环	25.35	4.45	0.9999
63	三氯乙烯	25.413	1.26	0.9999
64	2,2,4-三甲基戊烷	25.49	1.07	0.9999
65	甲基丙烯酸甲酯	25.616	1.98	0.9999
66	正庚烷	25.841	1.21	0.9999
67	反式-1,3-二氯-1-丙烯	26.704	1.76	0.9999
68	4-甲基-2-戊酮	26.714	1.99	0.9999
69	甲基环己烷	26.95	1.29	0.9999
70	顺式-1,3-二氯-1-丙烯	27.518	1.80	0.9999
71	1,1,2-三氯乙烷	27.839	1.70	0.9999
72	2,3,4-三甲基戊烷	28.099	1.80	0.9999
73	甲苯	28.349	1.59	0.9999
74	2-甲基庚烷	28.623	1.78	0.9999
75	2-己酮	28.68	5.87	0.9996
76	3-甲基庚烷	28.967	2.04	0.9991
77	二溴一氯甲烷	29.076	0.94	0.9998
78	己醛	29.11	3.20	0.9999
79	1,2-二溴乙烷	29.532	1.26	0.9999
80	正辛烷	30.032	1.17	0.9992
81	四氯乙烯	30.378	2.34	0.9997
82	氯苯	31.674	1.63	0.9999
83	乙苯	32.408	1.11	0.9999
84	间/对二甲苯	32.76	1.49	0.9999
85	三溴甲烷	32.95	0.29	0.9996
86	苯乙烯	33.525	1.03	0.9998
87	四氯乙烷	33.71	0.80	0.9997
88	邻-二甲苯	33.772	0.95	0.9998
89	正壬烷	34.192	1.10	0.9999
90	异丙苯	35.079	1.09	0.9998
91	苯甲醛	35.896	3.60	0.9993
92	正丙苯	36.299	1.44	0.9999
93	间乙基甲苯	36.552	1.66	0.9999

94	对乙基甲苯	36.662	1.49	0.9999
95	1,3,5-三甲苯	36.852	2.97	0.9998
96	邻乙基甲苯	37.351	1.33	0.9998
97	1,2,4-三甲苯	37.935	0.88	0.9998
98	癸烷	38.187	1.45	0.9998
99	氯代甲苯	38.291	1.79	0.9992
100	对二氯苯	38.356	2.28	0.9998
101	间二氯苯	38.537	1.23	0.9997
102	1,2,3-三甲苯	39.123	1.62	0.9995
103	邻二氯苯	39.509	1.09	0.9989
104	间二乙基苯	40.004	1.66	0.9989
105	间甲基苯甲醛	40.288	6.26	0.9953
106	对二乙基苯	40.285	1.64	0.9982
107	十一烷	41.957	1.88	0.9981
108	1,2,4-三氯苯	45.111	1.20	0.9986
109	萘	45.541	1.20	0.9986
110	十二烷	45.688	1.18	0.9998
111	六氯丁二烯	47.004	1.48	0.9992

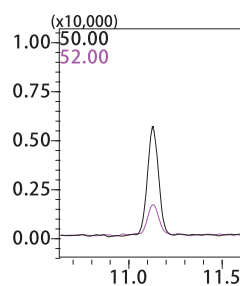
注：间二甲苯、对二甲苯计作一个峰。



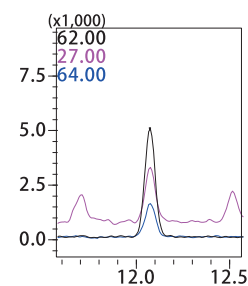
甲醛



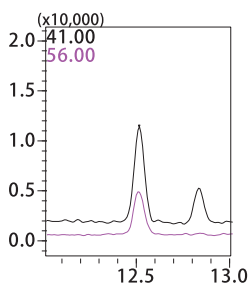
二氟二氯甲烷



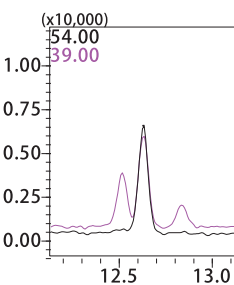
一氯甲烷



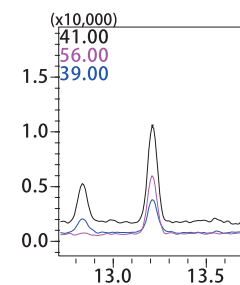
氯乙烯



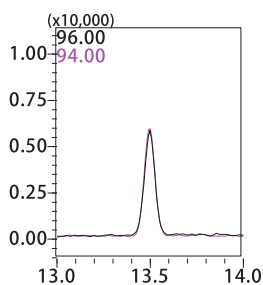
正丁烯



丁二烯



反式-2-丁烯



一氯甲烷

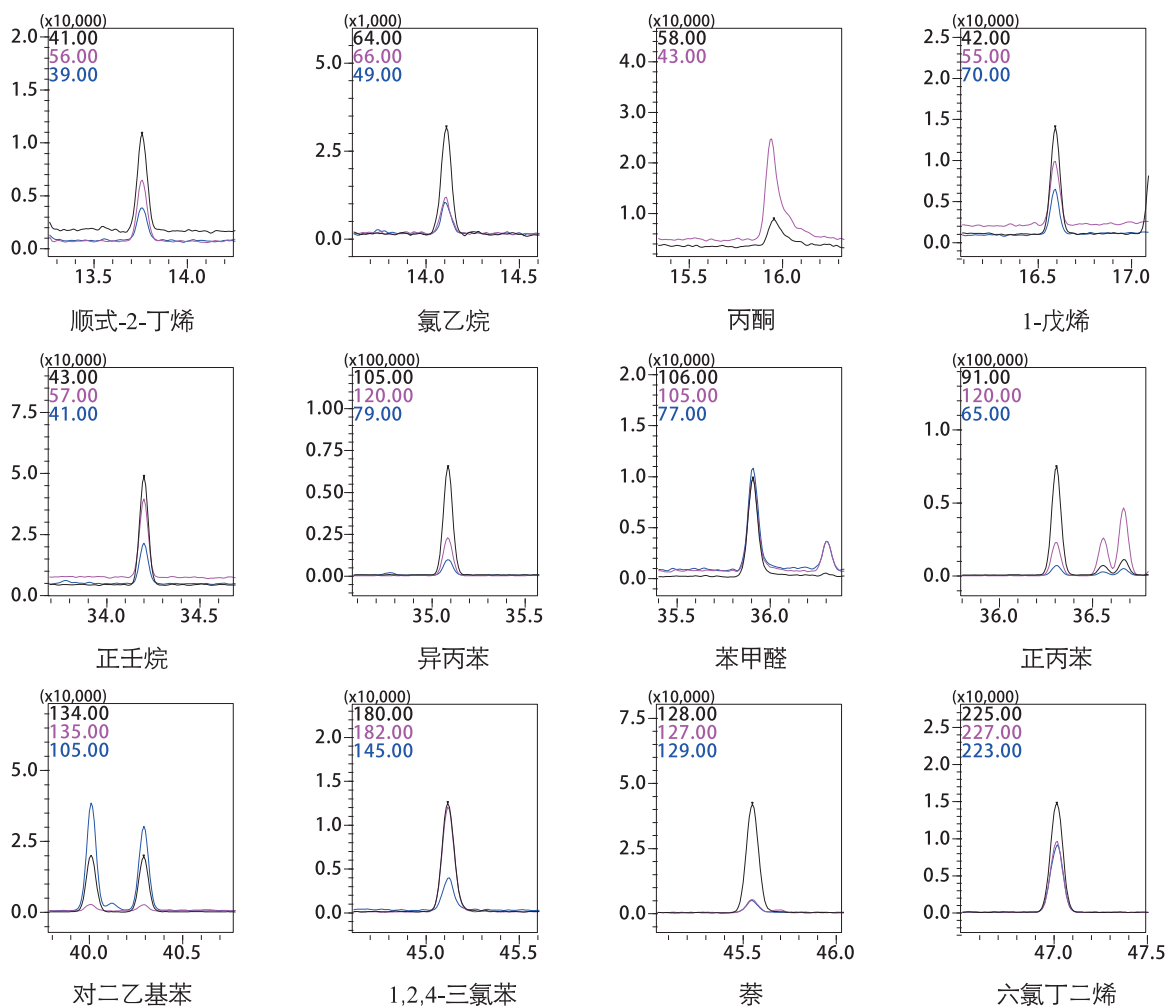


图6 0.5 ng/mL标准气体质量色谱图(部分组分)

2.3 空气样品测试结果

采用 ENTECH-1900 自动采样系统 (见图 7) 控制采样流速将空气样品采集到苏玛罐中, 通过 ENTECH-7016D(见图 8) 自动进样装置从苏玛罐抽取 400 mL 空气样品进入 ENTECH 7200+ 岛津 GC-FID-MS 离线检测系统进行测试, 空气样品测试结果如表 4 所示:

表4 空气样品测试结果

化合物	含量(ng/mL)	化合物	含量(ppb)	化合物	含量(ng/mL)
乙烷	4.85	一氟三氯甲烷	0.46	环己烷	0.51
丙烷	>20	异丙醇	4.05	1,2-二氯丙烷	1.66
乙炔	1.05	正戊烷	1.67	4-甲基-2-戊酮	1.92
一氯甲烷	0.38	二氯甲烷	17.80	甲苯	>20
异丁烷	>20	二硫化碳	0.80	己醛	1.72
乙醛	>20	1,1-二氯乙烷	4.96	乙苯	0.21
氯乙烯	0.62	乙酸乙烯酯	0.16	间/对二甲苯	0.16
正丁烯	3.97	正丁醛	0.26	癸烷	2.13
正丁烷	>20	2-丁酮	7.85	十一烷	0.23
丙酮	10.93	乙酸乙酯	14.60	1,2,4-三氯苯	0.41
异戊烷	13.88	三氯甲烷	2.12	萘	0.73
丙醛	0.18	1,2-二氯乙烷	0.59	十二烷	0.29



图7 ENTECH-1900自动采样系统



图8 ENTECH-7016D自动进样装置

■ 结论

本方法采用岛津 GCMS-QP2020 气质联用仪配置 FID 检测器、CRG 柱箱制冷和中心切割单元，结合 ENTECH 7200 大气预浓缩仪离线采样系统，一针进样可以同时监测 117 种 VOCs 污染物，避免了采用不同方法分别监测 117 种 VOCs 的耗时耗力。该方法重复性好，灵敏度高，仪器线性好，可以监测环境空气中 ppb 级的 VOCs 污染物，满足《2018 年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》的要求。