

岛津 GCMS 法监测环境空气中 117 种挥发性有机污染物

GCMS-269

摘要：本文建立了一种在线监测环境空气中 117 种 VOCs 污染物的方法。本方法使用先河环保 XHVOC6000 大气挥发性有机物预浓缩仪，配合岛津 GCMS 质谱双柱系统在线监测环境空气中 117 种 VOCs。117 种 VOCs 首先经过聚甲基硅氧烷色谱柱分离，分不开的 C2、C3 化合物通过中心切割方式切至 Plot 柱进行分离，所有组分全部导入同一 MS 检测器进行检测，内标法定量。结果显示，低浓度下化合物峰面积 RSD% 小于 6.5%，在 0.5~20 nmol/mol 的浓度范围内线性相关系数均大于 0.9950，当采样体积为 800 mL 时，目标物检出限均小于 0.5 nmol/mol。本方法重现性好，灵敏度高，一次进样单质谱检测器同时分析 C2-C12 的 117 种 VOCs，满足用户在线监测 VOCs 需求。

关键词：GCMS 在线监测 环境空气 VOCs

挥发性有机物 (VOCs) 是形成 PM2.5 和臭氧重要前体物，其排量不在 SO₂ 和氮氧化物之下，危害也远远高于这两种污染物。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。

本方法采用河北先河环保股份有限公司 XHVOC6000 大气预浓缩仪进样系统，结合岛津气相色谱质谱联用仪、中心切割技术，一针进样单 MS 检测器可以同时检测 C2 到 C12 的 117 种 VOCs。XHVOC6000 大气预浓缩仪进样系统是专为在线分析环境空气中挥发性有机物研制的分析系统，由三级冷阱组成，采用电子制冷结合吸附剂富集环境空气中的 VOCs，无需使用液氮，可以实现对 VOCs 的有效富集。

环境空气中的 VOCs 种类繁多，成分复杂，前期已有的分析方案多采用双柱双检测器系统进行分离分析，轻组分烃类化合物经分离后使用 FID 检测器进行检测，FID 检测器对甲醛没有响应，且定性能力弱，对色谱柱分离要求高，甲醛和 C2 需要柱箱液氮制冷才能满足分离要求，系统配置复杂。岛津 GCMS-QP2020 采用差动排气系统、双涡轮分子泵设计，最高柱流速可达 15 mL/min，基于这一特点，本文提供了一种双柱单 MS 检测器的检测方法，117 种 VOCs 全部使用质谱检测，定性能力远优于原有方案，且不需要液氮柱箱制冷，系统配置简单。由于化合物覆盖 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 5 种轻组分烃类切至 Plot 柱进行分离，其余 112 种化合物使用聚甲基硅氧烷柱分离，分离后的组分全部导入同一质谱检测器进行检测。

实验部分

1.1 仪器

气相色谱质谱联用仪：GCMS-QP2020；

大气挥发性有机物在线监测仪：XHVOC6000（河北先河环保股份有限公司）。

1.2 分析条件

1.2.1 GC-MS 分析条件

色谱柱 1: DB-1(60 m×0.25 mm×1 μm)	APC 辅助压力程序: 80 kPa (15 min)_1.3 kPa/
色谱柱 2: Rt-Alumina BOND/Na ₂ SO ₄ , (30 m×0.32 mm×5 μm)	min_110 kPa (9 min)
阻尼柱: 0.8 m×0.1 mm I.D.	进样口温度: 200 °C
柱温程序: 35 °C (10 min)_5°C /min_100°C (1 min)_10 °C /min_190 °C (15 min)	进样方式: 分流
载气控制方式: 恒压	分流比: 10:1
进样口压力程序: 190 kPa(15 min)_2.5 kPa/min _250 kPa(9 min)	离子源温度: 200°C
	接口温度: 250°C
	采集方式: SIM

1.2.2 XHVOC6000 分析条件

脱水模块: Trap -30°C, Preheat 10°C	捕集脱附时间: 5 min
捕集模块: Trap 5 °C	捕集脱附温度: 300 °C
聚焦模块: Precool -30 °C	聚焦脱附温度: 300 °C
干吹流速: 20 mL/min	聚焦烘焙温度: 310 °C
干吹时间: 8 min	进样时间: 2 min
捕集脱附流速: 40 mL/min	聚焦烘焙时间: 5 min

表1 VOCs定量定性离子信息

No.	中文名称	英文名	CAS号	T(m/z)	Ref.1	Ref.2
1	甲醛	Formaldehyde	50-00-0	30	29	
2	二氟二氯甲烷	Dichlorodifluoromethane	75-71-8	85	87	
3	一氯甲烷	Chloromethane	74-87-3	50	52	
4	二氯四氟乙烷	1,2-Dichlorotetrafluoroethane	76-14-2	135	85	101
5	乙醛	Acetaldehyde	75-07-0	43	42	
6	异丁烷	Isobutane	75-28-5	43	41	39
7	乙烷	Ethane	74-84-0	30	26	
8	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4	62	61	
9	正丁烯	1-Butene	106-98-9	41	56	39
10	丁二烯	1,3-Butadiene	106-99-0	54	39	53
11	正丁烷	n-Butane	106-97-8	43	58	
12	乙烯	Ethylene	74-85-1	26	25	
13	反式-2-丁烯	trans-Butene	624-64-6	41	56	55
14	一溴甲烷	Bromomethane	74-83-9	94	96	93
15	顺式-2-丁烯	cis-2-Butene	590-18-1	56	41	39
16	氯乙烷	chloroethane	75-00-3	49	66	
17	丙烯醛	Acrolein	107-02-8	55	56	

18	丙烷	Propane	74-98-6	43	41	
19	丙酮	Acetone	67-64-1	58	43	
20	丙醛	Propionaldehyde	123-38-6	57	30	
21	异戊烷	Isopentane	78-78-4	57	41	
22	一氟三氯甲烷	Trichlorofluoromethane	75-69-4	101	103	66
23	1-戊烯	1-Pentene	109-67-1	55	70	
24	异丙醇	Isopropyl Alcohol	67-63-0	45	27	
25	正戊烷	n-Pentane	109-66-0	43	42	41
26	2-甲基-1,3-丁二烯	Isoprene	78-79-5	67	53	68
27	反式-2-戊烯	trans-2-Pentene	646-04-8	55	70	42
28	1,1-二氯乙烯	1,1-Dichloroethene	75-35-4	61	96	98
29	顺式-2-戊烯	cis-2-Pentene	627-20-3	55	42	70
30	二氯甲烷	Methylene chloride	75-09-2	49	84	86
31	二硫化碳	Carbon disulphide	75-15-0	76	44	78
32	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	153
33	2,2-二甲基丁烷	2,2-Dimethylbutane	75-83-2	57	71	43
34	甲基丙烯醛	Methacrolein	78-85-3	70	41	39
35	反式-1,2-二氯乙烯	trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	61	96	98
36	丙烯	Propylene	115-07-1	41	42	39
37	1,1-二氯乙烷	1,1-Dichloroethane	75-34-3	63	65	
38	甲基叔丁基醚	2-Methoxy-2-methylpropane	1634-04-4	73	57	
39	环戊烷	Cyclopentane	287-92-3	55	70	
40	2,3-二甲基丁烷	2,3-Dimethylbutane	79-29-8	71	42	
41	乙酸乙烯酯	Vinylacetate	108-05-4	43	86	
42	2-甲基戊烷	2-Methylpentane	107-83-5	71	72	43
43	丁醛	Butyraldehyde	123-72-8	72	57	41
44	2-丁酮	2-Butanone	78-93-3	43	72	
45	3-甲基戊烷	3-Methylpentane	96-14-0	57	56	41
46	1-己烯	1-Hexane	592-41-6	56	84	55
47	顺式-1,2-二氯乙烯	cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	61	96	98
48	乙酸乙酯	Ethyl acetate	141-78-6	88	70	61
49	正己烷	n-Hexane	110-54-3	57	86	41
50	三氯甲烷	Trichloromethane	67-66-3	83	85	47
51	乙炔	Acetylene	74-86-2	26	25	
52	四氢呋喃	Tetrahydrofuran	109-99-9	42	71	72
53	丁烯醛	Crotonaldehyde	123-73-9	70	69	
54	1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	107-06-2	62	49	
55	甲基环戊烷	Methylcyclopentane	96-37-7	56	69	41
56	2,4-二甲基戊烷	2,4-Dimethylpentane	108-08-7	43	57	56
57	1,1,1-三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	61	99	97
58	苯	Benzene	71-43-2	78	77	52

59	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	117	119	121
60	环己烷	Cyclohexane	110-82-7	56	84	41
61	2-甲基己烷	2-Methylhexane	591-76-4	42	85	43
62	2,3-二甲基戊烷	2,3-Dimethylpentane	565-59-3	56	71	57
63	戊醛	Valeraldehyde	110-62-3	58	57	
64	3-甲基己烷	3-Methylhexane	589-34-4	71	57	70
65	1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	78-87-5	63	62	76
66	一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	75-27-4	85	83	
67	1,4-二氧六环	1,4-Dioxane	123-91-1	88	58	
68	三氯乙烯	Trichloroethene	79-01-6	132	130	95
69	2,2,4-三甲基戊烷	2,2,4-Trimethylpentane	540-84-1	57	56	41
70	甲基丙烯酸甲酯	Methyl methacrylate	80-62-6	41	69	100
71	正庚烷	n-Heptane	142-82-5	100	71	57
72	反式-1,3-二氯-1-丙烯	cis-1,3-Dichloropropene	10061-01-5	75	77	
73	4-甲基-2-戊酮	4-methyl-2-Pentanone	108-10-1	43	58	57
74	1,1-二溴乙烷	1,1-Dibromoethane	557-91-5	107	109	
75	甲基环己烷	Cyclohexylmethane	108-87-2	98	55	83
76	顺式-1,3-二氯-1-丙烯	trans-1,3-Dichloropropene	10061-02-6	75	110	
77	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	97	99	
78	2,3,4-三甲基戊烷	2,3,4-Trimethylpentane	565-75-3	71	57	70
79	甲苯	Toluene	108-88-3	91	92	
80	2-甲基庚烷	2-Methylheptane	592-27-8	43	57	
81	2-己酮	2-Hexanone	591-78-6	58	100	
82	3-甲基庚烷	3-Methylheptane	589-81-1	57	56	85
83	二溴一氯甲烷	Dibromochloromethane	124-48-1	129	127	131
84	己醛	Hexanal	66-25-1	56	57	72
85	1,2-二溴乙烷	Ethylene dibromide	106-93-4	107	109	
86	正辛烷	n-Octane	111-65-9	85	57	
87	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	127-18-4	166	129	164
88	氯苯	Chlorobenzene	108-90-7	112	77	114
89	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4	91	106	51
90	间/对二甲苯	m,p-Xylene	106-42-3 108-38-3	91	106	105
91	三溴甲烷	Bromoform	75-25-4	173	171	175
92	苯乙烯	Styrene	100-42-5	104	78	103
93	四氯乙烷	Tetrachloroethane	79-34-5	83	85	87
94	邻二甲苯	o-Xylene	95-47-6	91	106	105
95	正壬烷	n-Nonane	111-84-2	57	128	85
96	异丙苯	Isopropylbenzene	98-82-8	105	120	79
97	苯甲醛	Benzaldehyde	100-52-7	105	106	77
98	正丙苯	n-Propylbenzene	103-65-1	120	92	

99	间乙基甲苯	m-Ethyltoluene	620-14-4	105	120	
100	对乙基甲苯	p-Ethyltoluene	622-96-8	105	120	
101	1,3,5-三甲苯	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	105	120	
102	邻乙基甲苯	o-Ethyltoluene	611-14-3	105	120	
103	1,2,4-三甲苯	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	105	120	119
104	癸烷	n-Decane	124-18-5	57	142	71
105	氯代甲苯	Benzyl chloride	100-44-7	65	126	91
106	对二氯苯	1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	146	148	111
107	间二氯苯	1,3-Dichlorobenzene	541-73-1	146	148	111
108	1,2,3-三甲苯	1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8	105	120	
109	邻二氯苯	1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	146	148	111
110	间二乙基苯	m-Diethylbenzene	141-93-5	105	119	134
111	对二乙基苯	p-Diethylbenzene	105-05-5	119	105	134
112	间甲基苯甲醛	m-Tolualdehyde	620-23-5	120	91	65
113	十一烷	n-Undecane	1120-21-4	57	156	71
114	1,2,4-三氯苯	1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	180	182	145
115	十二烷	n-Dodecane	112-40-3	57	170	71
116	萘	Naphthalene	91-20-3	128	127	129
117	六氯丁二烯	Hexachloro-1,3-butadiene	87-68-3	225	223	227
118	一溴一氯甲烷	Bromochloromethane	74-97-5	130	128	
119	1,4-二氟苯	1,2-Difluorobenzene	540-36-3	114	63	
120	氯苯-d5	Chlorobenzene-d5	3114-55-4	117	119	
121	对溴氟苯	p-Bromofluorobenzene	460-00-4	174	95	

1.3 校准曲线绘制

1.3.1 配置 20 nmol/mol 的 116 种 VOCs 混合气体、200 nmol/mol 的甲醛标气于苏玛罐待用。

1.3.2 通过改变标气采集体积绘制标准曲线。依次采集 20、40、100、200、400、800 mL 的 20 nmol/mol 的 116 种 VOCs 混合标气，对应浓度为 0.50、1.0、2.0、5.0、10、20 nmol/mol；采集 10、20、40、80、160、320 mL 的 200 nmol/mol 的甲醛标气，对应甲醛浓度为 2.5、5.0、10、20、40、80 nmol/mol，采集内标 40 mL，浓度为 5 nmol/mol，以浓度比为横坐标，峰面积比为纵坐标建立校准曲线。



图1 XHVOC6000+岛津GCMS检测系统

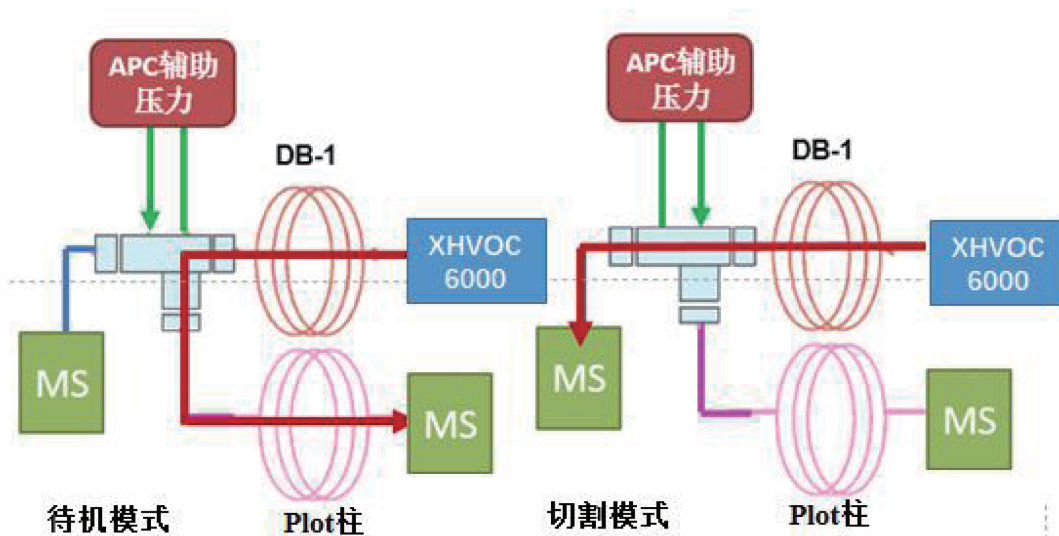


图2 岛津GCMS中心切割流路图

■ 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C2组分、C3组分切割进入Plot柱分离，其余组分经聚甲基硅氧烷柱分离，所有组分全部导入MS检测器检测。分离色谱图如下图3。

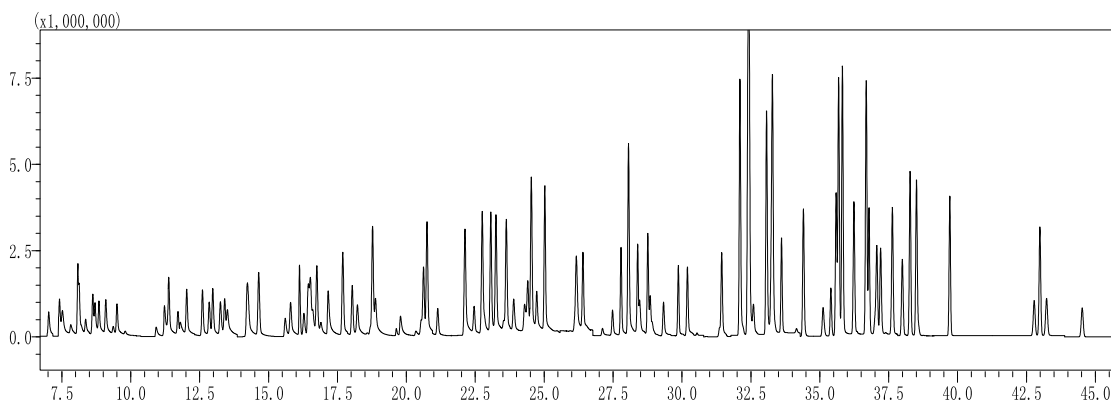


图3 117种VOCs TIC图

2.2 标准曲线

采集40 ml的20 nmol/mol的116种VOCs标气、20 ml的200 nmol/mol的甲醛标气，重复进样6次，测试重复性；以3倍信噪比计算检出限；116种VOCs以0.50、1.0、2.5、5.0、10、15和20 nmol/mol浓度点建立内标校准曲线，甲醛2.5、5.0、10、20、40、80 nmol/mol浓度点建立内标校准曲线；VOCs重复性、检出限及相关系数R请参见表2，图4所示为10.0 nmol/mol化合物质量色谱图（篇幅有限，仅列出部分组分）。

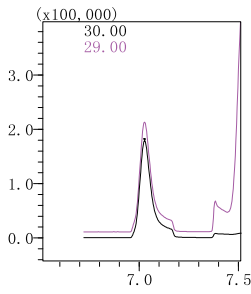
表2 检测组分重复性 (n=6)、检出限及相关系数表

No.	中文名称	保留时间 (min)	峰面积 RSD (%)	检出限 (nmol/mol)	相关系数 R
1	甲醛	7.015	4.08	0.1534	0.9994
2	二氟二氯甲烷	7.417	1.72	0.0099	0.9996
3	一氯甲烷	7.825	4.12	0.0661	0.9998
4	二氯四氟乙烷	8.083	0.95	0.0050	0.9992
5	乙醛	8.097	3.00	0.0114	0.9997
6	异丁烷	8.131	3.00	0.0114	0.9993
7	乙烷	8.201	6.36	0.1332	0.9998
8	氯乙烯	8.365	3.31	0.0127	0.9997
9	1-丁烯	8.624	2.75	0.0799	0.9997
10	1,3-丁二烯	8.706	5.68	0.0650	0.9995
11	正丁烷	8.847	4.40	0.0262	0.9999
12	乙烯	9.071	4.85	0.2392	0.9994
13	反式-2-丁烯	9.093	1.82	0.1626	0.9997
14	溴甲烷	9.366	1.88	0.0280	0.9997
15	顺式-2-丁烯	9.501	4.79	0.0190	0.9996
16	氯乙烷	9.802	6.36	0.1319	0.9997
17	丙烯醛	10.927	5.76	0.0321	0.9996
18	丙烷	11.148	1.34	0.0685	0.9999
19	丙酮	11.244	5.63	0.0200	0.9999
20	丙醛	11.34	2.06	0.0152	0.9997
21	异戊烷	11.38	2.84	0.0182	0.9997
22	一氟三氯甲烷	11.715	2.40	0.0099	0.9994
23	异丙醇	11.803	4.16	0.0667	0.9994
24	1-戊烯	12.032	1.61	0.0137	0.9996
25	戊烷	12.604	5.17	0.0119	0.9998
26	2-甲基-1,3-丁二烯	12.848	1.04	0.0225	0.9999
27	反式-2-戊烯	12.979	2.45	0.0163	0.9997
28	1,1-二氯乙烯	13.254	2.89	0.0306	0.9998
29	顺式-2-戊烯	13.411	1.16	0.0079	0.9990
30	二氯甲烷	13.508	1.21	0.0162	0.9997
31	1,2,2-三氟-1,1,2-三氯乙烷	14.223	0.79	0.0016	0.9992
32	二硫化碳	14.272	1.82	0.0033	0.9996
33	2,2-二甲基丁烷	14.646	0.85	0.0035	0.9997
34	甲基丙烯醛	15.614	2.43	0.0499	0.9996
35	反式-1,2-二氯乙烯	15.803	2.13	0.0142	0.9993
36	丙烯	15.96	0.70	0.2132	0.9999
37	1,1-二氯乙烷	16.287	1.62	0.1020	0.9998

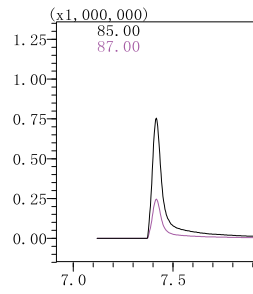
38	甲基叔丁基醚	16.436	1.84	0.0091	0.9993
39	环戊烷	16.46	0.90	0.0256	0.9997
40	2,3-二甲基丁烷	16.525	0.88	0.0130	0.9996
41	乙酸乙烯酯	16.607	2.23	0.0204	0.9997
42	2-甲基戊烷	16.758	1.92	0.0208	0.9997
43	丁醛	16.91	2.04	0.1046	0.9994
44	2-丁酮	17.18	1.00	0.3171	0.9996
45	3-甲基戊烷	17.699	1.21	0.0285	0.9994
46	1-己烯	18.041	5.03	0.0185	0.9996
47	顺式-1,2-二氯乙烯	18.229	3.04	0.2463	0.9997
48	乙酸乙酯	18.695	1.37	0.1291	0.9997
49	正己烷	18.779	0.92	0.0044	0.9998
50	三氯甲烷	18.887	0.88	0.0120	0.9990
51	乙炔	19.298	0.81	0.0993	0.9983
52	四氢呋喃	19.792	3.45	0.0446	0.9994
53	2-丁烯醛	20.358	6.01	0.4271	0.9993
54	1,2-二氯乙烷	20.541	2.72	0.0107	0.9991
55	甲基环戊烷	20.628	0.83	0.0073	0.9995
56	2,4-二甲基戊烷	20.753	2.22	0.0064	0.9998
57	1,1,1-三氯乙烷	21.143	3.65	0.0329	0.9997
58	苯	22.13	5.70	0.0018	0.9999
59	四氯化碳	22.464	3.01	0.0142	0.9993
60	环己烷	22.758	1.00	0.1640	0.9989
61	2-甲基己烷	23.07	1.74	0.0635	0.9994
62	2,3-二甲基戊烷	23.257	0.49	0.0596	0.9994
63	戊醛	23.542	3.93	0.2219	0.9991
64	3-甲基己烷	23.633	2.53	0.0299	0.9990
65	1,2-二氯丙烷	23.905	3.36	0.0270	0.9998
66	一溴二氯甲烷	24.291	3.67	0.0684	0.9999
67	1,4-二氧六环	24.352	5.92	0.2274	0.9994
68	三氯乙烯	24.413	1.99	0.0068	0.9996
69	2,2,4-三甲基戊烷	24.539	0.48	0.0991	0.9996
70	甲基丙烯酸甲酯	24.735	3.80	0.0490	0.9997
71	正庚烷	25.032	2.79	0.0390	0.9998
72	反式-1,3-二氯-1-丙烯	26.119	4.32	0.2076	0.9998
73	4-甲基-2-戊酮	26.167	5.40	0.3963	0.9996
74	1,1-二溴乙烷	26.194	3.04	0.0325	0.9995
75	甲基环己烷	26.414	5.85	0.0491	0.9995
76	顺式-1,3-二氯-1-丙烯	27.123	4.84	0.1193	0.9996
77	1,1,2-三氯乙烷	27.488	6.44	0.0784	0.9996
78	2,3,4-三甲基戊烷	27.796	0.55	0.0078	0.9996

79	甲苯	28.067	1.01	0.0030	0.9996
80	2-甲基庚烷	28.4	5.09	0.0298	0.9996
81	2-己酮	28.473	3.35	0.2742	0.9973
82	3-甲基庚烷	28.768	3.36	0.0340	0.9995
83	二溴一氯甲烷	28.855	1.08	0.0150	0.9998
84	己醛	28.927	6.01	0.1482	0.9996
85	1,2-二溴乙烷	29.338	1.07	0.0129	0.9997
86	正辛烷	29.874	0.45	0.0192	0.9995
87	四氯乙烯	30.204	0.98	0.0048	0.9995
88	氯苯	31.45	0.37	0.0027	0.9996
89	乙苯	32.112	0.53	0.0012	0.9996
90	间/对-二甲苯	32.433	0.33	0.0033	0.9996
91	三溴甲烷	32.601	2.19	0.0261	0.9996
92	苯乙烯	33.078	1.39	0.0159	0.9995
93	1,1,2,2-四氯乙烯	33.247	2.46	0.0417	0.9997
94	邻二甲苯	33.292	0.50	0.0065	0.9996
95	正壬烷	33.62	2.15	0.0347	0.9996
96	异丙苯	34.414	0.59	0.0052	0.9996
97	苯甲醛	35.122	2.69	0.1510	0.9993
98	正丙苯	35.414	0.25	0.0048	0.9996
99	间乙基甲苯	35.602	0.35	0.0248	0.9997
100	对乙基甲苯	35.693	0.43	0.2110	0.9996
101	1,3,5-三甲苯	35.83	0.25	0.0122	0.9996
102	邻乙基甲苯	36.249	1.02	0.0281	0.9997
103	1,2,4-三甲苯	36.696	0.26	0.0063	0.9996
104	正癸烷	36.796	1.38	0.0252	0.9996
105	苄基氯	37.011	3.19	0.0967	0.9998
106	1,4-二氯苯	37.08	0.48	0.0041	0.9996
107	1,3-二氯苯	37.219	0.70	0.0048	0.9996
108	1,2,3-三甲苯	37.646	0.40	0.0046	0.9996
109	邻二氯苯	38.007	0.72	0.0043	0.9995
110	间二乙基苯	38.287	0.66	0.0065	0.9996
111	对二乙基苯	38.52	1.17	0.0101	0.9996
112	间甲基苯甲醛	38.581	4.17	0.0557	0.9994
113	十一烷	39.73	1.30	0.0077	0.9996
114	1,2,4-三氯苯	42.796	3.06	0.0056	0.9990
115	十二烷	43.003	5.45	0.0278	0.9998
116	萘	43.244	4.49	0.0062	0.9994
117	六氯丁二烯	44.538	1.28	0.0021	0.9994

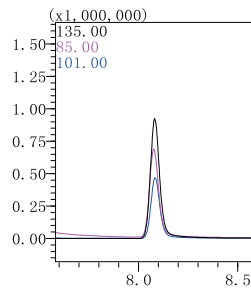
注：间二甲苯、对二甲苯计作一个峰。



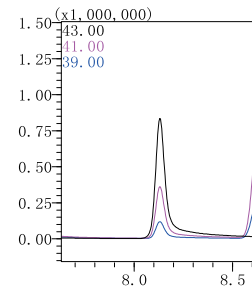
甲醛



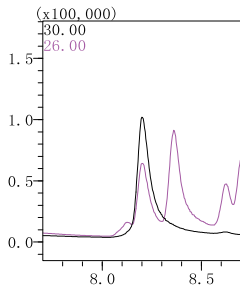
二氟二氯甲烷



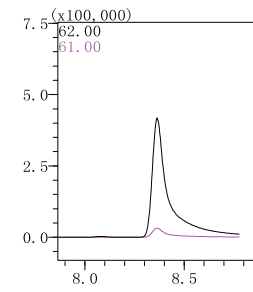
二氯四氟乙烷



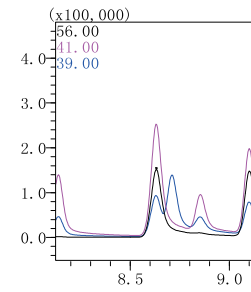
异丁烷



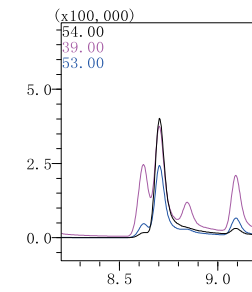
乙烷



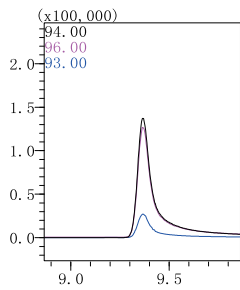
氯乙烯



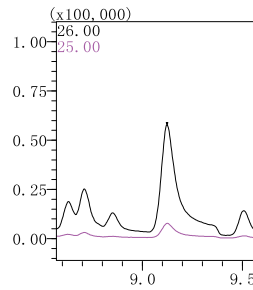
1-丁烯



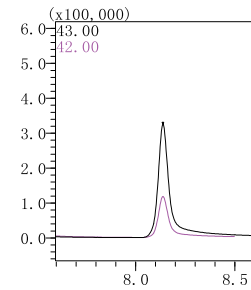
丁二烯



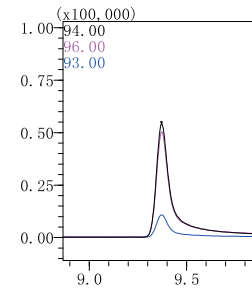
正丁烷



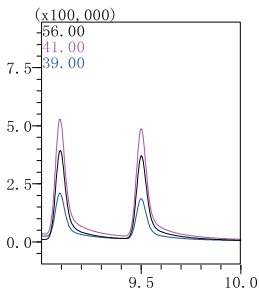
乙烯



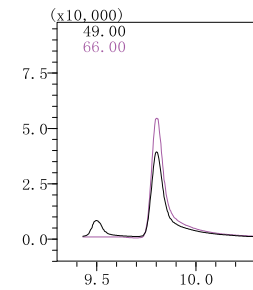
乙醛



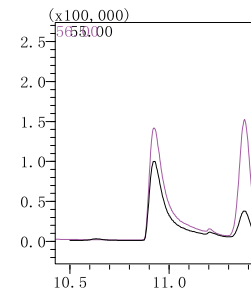
溴甲烷



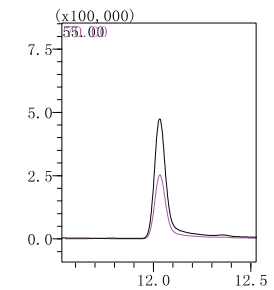
顺式-2-丁烯



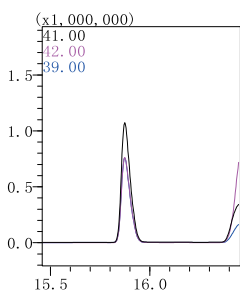
氯乙烷



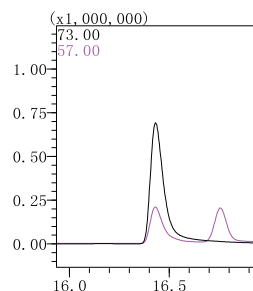
丙烯醛



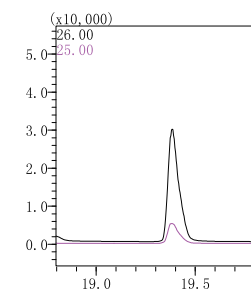
1-戊烯



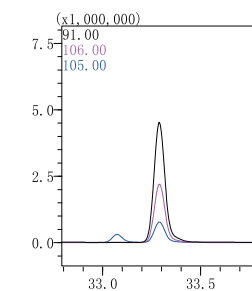
丙烯



甲基叔丁基醚



乙炔



邻二甲苯

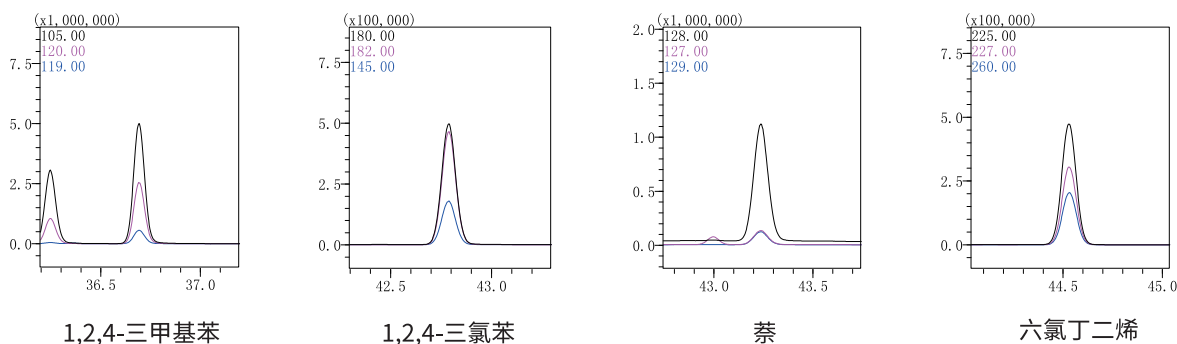


图4 10 nmol/mol标准气体质量色谱图（部分组分）

2.3 空气样品测试结果

采用 XHVOC6000 自动监测系统对实验场地进行自动监测，自动采集空气样品 800 mL，测试结果如表 4 所示：

表4 空气样品测试结果(浓度：(nmol/mol))

化合物名称	浓度	化合物名称	浓度	化合物名称	浓度
甲醛	24.00	2,3-二甲基丁烷	N.D	甲苯	0.74
二氟二氯甲烷	0.12	乙酸乙烯酯	0.63	2-甲基庚烷	N.D
氯甲烷	0.47	2-甲基戊烷	0.37	2-己酮	1.31
二氯四氯乙烷	N.D	丁醛	0.52	3-甲基庚烷	N.D
乙醛	16.10	2-丁酮	N.D	二溴一氯甲烷	0.13
异丁烷	18.48	3-甲基戊烷	N.D	己醛	2.43
乙烷	18.76	1-己烯	N.D	1,2-二溴乙烷	N.D
氯乙烯	N.D	顺式-1,2-二氯乙烯	N.D	正辛烷	N.D
1-丁烯	N.D	乙酸乙酯	3.02	四氯乙烯	N.D
1,3-丁二烯	N.D	正己烷	N.D	氯苯	N.D
正丁烷	0.95	三氯甲烷	N.D	乙苯	0.32
乙烯	N.D	乙炔	N.D	间/对-二甲苯	0.58
反式-2-丁烯	N.D	四氢呋喃	N.D	三溴甲烷	N.D
溴甲烷	N.D	2-丁烯醛	N.D	苯乙烯	0.20
顺式-2-丁烯	N.D	1,2-二氯乙烷	1.88	1,1,2,2-四氯乙烷	N.D
氯乙烷	N.D	甲基环戊烷	N.D	邻二甲苯	0.37
丙烯醛	N.D	2,4-二甲基戊烷	N.D	正壬烷	N.D
丙烷	2.94	1,1,1-三氯乙烷	0.14	异丙苯	N.D
丙酮	11.94	苯	0.27	苯甲醛	1.70
丙醛	2.99	四氯化碳	0.12	正丙苯	N.D
异戊烷	2.98	环己烷	N.D	间乙基甲苯	N.D
三氯氟甲烷	N.D	2-甲基己烷	N.D	对乙基甲苯	N.D

异丙醇	1.40	2,3-二甲基戊烷	N.D	1,3,5-三甲苯	N.D
1-戊烯	N.D	戊醛	N.D	邻乙基甲苯	N.D
戊烷	1.18	3-甲基己烷	0.13	1,2,4-三甲苯	N.D
2-甲基-1,3-丁二烯	0.99	1,2-二氯丙烷	0.25	正癸烷	N.D
反式-2-戊烯	N.D	一溴二氯甲烷	N.D	苜基氯	N.D
1,1-二氯乙烯	N.D	1,4-二氧六环	N.D	1,4-二氯苯	N.D
顺式-2-戊烯	N.D	三氯乙烯	1.83	1,3-二氯苯	N.D
二氯甲烷	2.25	2,2,4-三甲基戊烷	N.D	1,2,3-三甲苯	N.D
三氯三氟乙烷	N.D	甲基丙烯酸甲酯	N.D	邻二氯苯	N.D
二硫化碳	N.D	庚烷	N.D	间二乙基苯	N.D
2,2-二甲基丁烷	N.D	反式-1,3-二氯-1-丙烯	N.D	对二乙基苯	N.D
甲基丙烯醛	0.27	甲基异丁基酮	N.D	间甲基苯甲醛	N.D
反式-1,2-二氯乙烯	N.D	1,1-二溴乙烷	N.D	十一烷	N.D
丙烯	N.D	甲基环己烷	N.D	1,2,4-三氯苯	N.D
1,1-二氯乙烷	N.D	顺式-1,3-二氯-1-丙烯	N.D	十二烷	0.64
甲基叔丁基醚	0.21	1,1,2-三氯乙烷	N.D	萘	0.31

注：N.D 表示检测结果低于检出限，检出限数据见表 2。

结论

本方法采用岛津 GCMS-QP2020 气质联用仪和中心切割单元，结合 XHVOC6000 大气挥发性有机物在线监测系统，使用单一质谱检测器一针进样可同时分析 117 种 VOCs。本方法无需使用 FID 检测器和液氮制冷，系统配置及维护简单，更适用于无人值守的在线监测；所有物质均用质谱检测器检测，保留时间和特征离子双重定性，有效避免假阳性结果。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。