

GCMS (SIM) 法结合电子制冷型大气浓缩仪测定环境空气中 64 种挥发性有机物

GCMS-446

摘要: 本方法参考 HJ759-202X 《环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样 / 气相色谱 - 质谱法》(征求意见稿), 使用岛津 GCMS-QP2020 NX 结合 UNITY-xr 电子制冷型大气浓缩仪, 采用 SIM 模式建立了环境空气中 64 种挥发性有机物的测定方法。结果显示: 在 0.10~5.0 nmol/mol 浓度范围内标准曲线线性良好, 相关系数均在 0.997 以上。0.25 nmol/mol 标准使用气连续 6 针测试峰面积 RSD% 范围为 1.4~7.7%, 表明方法的精密度优良。加标浓度为 0.25 nmol/mol 时, 各组分的回收率在 74.8~125.5% 之间。本方法操作简单, 定量数据准确可靠, 可用于环境空气中微量挥发性有机物的检测。

关键词: 气相色谱质谱联用仪 大气浓缩仪 环境空气 挥发性有机物

挥发性有机物 (Volatile Organic Compounds, 简称 VOCs) 指熔点低于室温而沸点在 50-260°C 之间、相对分子质量范围约在 16~250 的一类有机化合物, 其主要成分为烃类、卤代烃、醚类、醛酮类、低沸点的多环芳烃类等有机物。VOCs 具有渗透、脂溶、挥发性等特性, 极易经皮肤接触及呼吸系统对人体造成危害。

近年来, 大气 VOCs 污染防治是环境整治的重点课题, 2018 年出台的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》, 就已经明确提出需大幅减少主要大气污染物 VOCs 的排放总量。2021 年 10 月发布的《2021-2022 年秋冬季大

气污染综合治理攻坚方案》也显示出当前对 VOCs 治理的迫切性。

大气浓缩仪作为环境空气中 VOCs 常用的前处理方式, 具有富集效率高, 受基体干扰小等优点。大气浓缩仪类型包括液氮制冷型、电子制冷型、吸附剂型、低温与吸附剂混合型。本文参考 HJ759-202X 《环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样 / 气相色谱 - 质谱法》(征求意见稿), 使用岛津 GCMS 结合 UNITY-xr 电子制冷型大气浓缩仪, 采用 SIM 模式建立了环境空气中 64 种挥发性有机物的测定方法。

■ 实验部分

1.1 仪器

岛津气相色谱质谱联用仪 GCMS-QP2020 NX
UNITY-xr 大气浓缩仪

1.2 分析条件

大气浓缩仪条件:

采样罐管线温度: 120°C

采样前 / 后样品吹扫时间: 4 min

采样前 / 后样品吹扫流速: 50 mL/min

采样流速: 50 mL/min

GCMS 条件:

色谱柱: SH-Rxi-1 MS (60 m×0.25 mm×1.0 μm)

升温程序: 35°C (6 min) _5°C /min _190°C (21 min)

进样口温度: 200°C

载气控制方式: 恒压

压力: 200 kpa

进样方式: 直接

离子化方式: EI

冷阱低温: -30°C

冷阱高温: 300°C

冷阱解析时间: 3 min

冷阱解析时分流流速: 10 mL/min

离子源温度: 230°C

接口温度: 200°C

检测器电压: 调谐电压 +0.3 kV

采集模式: SIM (各化合物选择离子见表 1)

1.3 标准使用气的配制

使用气体稀释装置，用高纯氮气将挥发性有机物标准气（浓度为 1 $\mu\text{mol/mol}$ ）稀释到不锈钢采样罐中，获得浓度分别为 0.5 nmol/mol 和 5 nmol/mol 的 2 罐标准使用气体。

1.4 内标使用气的配制

使用气体稀释装置，用高纯氮气将内标标准气（浓度为 1 $\mu\text{mol/mol}$ ）稀释到不锈钢采样罐中，获得浓度为 50 nmol/mol 的内标使用气。

■ 样品前处理

使用配套的压力计验收已采样送回实验室的不锈钢采样罐，将不锈钢采样罐安装到自动进样器对应位置，气体浓缩仪取 300 mL 空气样品进行浓缩，同时加入 30 mL 内标使用气，按照 1.2 分析条件进行测定。

■ 结果与讨论

3.1 标准溶液色谱图

64 种挥发性有机物和 3 种内标的混合标气色谱图如图 1 所示，各化合物信息详见表 1。

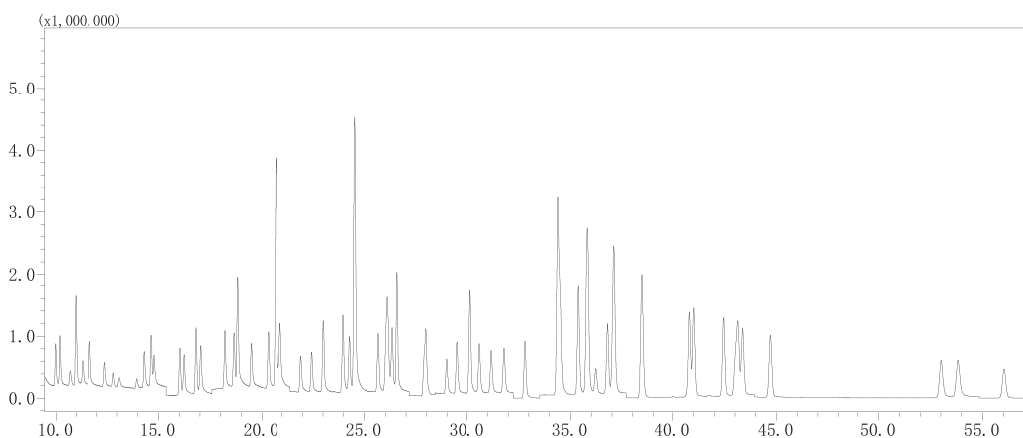


图 1 挥发性有机物色谱图 (2.5 nmol/mol)

表 1 64 种挥发性有机物和 3 种内标化合物信息

No.	化合物名称	英文名称	保留时间 (min)	CAS 号	定量离子 (m/z)	定性离子 (m/z)
1	丙烯	Propene	9.980	115-07-1	41	39,42
2	二氟二氯甲烷	Dichlorodifluoromethane	10.188	75-71-8	85	87,101
3	一氯甲烷	Chloromethane	10.687	74-87-3	50	52
4	四氟二氯乙烷	1,2-Dichlorotetrafluoroethane	10.962	76-14-2	135	85,87,137
5	氯乙烯	Vinyl chloride	11.298	75-01-4	62	64,63
6	1,3-丁二烯	1,3-Butadiene	11.670	106-99-0	54	39,53
7	一溴甲烷	Bromomethane	12.401	74-83-9	96	93,91
8	氯乙烷	Chlorethyl	12.825	75-00-3	64	66,49
9	丙烯醛	Acrolein	13.956	107-02-8	56	55
10	丙酮	Acetone	14.319	67-64-1	58	43
11	一氟三氯甲烷	Trichlorofluoromethane	14.651	75-69-4	101	103,105
12	异丙醇	Isopropyl Alcohol	14.791	67-63-0	45	43,59
13	1,1-二氯乙烯	1,1-Dichlorethene	16.035	75-35-4	61	96,98

No.	化合物名称	英文名称	保留时间 (min)	CAS 号	定量离子 (m/z)	定性离子 (m/z)
14	二氯甲烷	Methylene chloride	16.239	75-09-2	49	84,86
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane	16.809	76-13-1	101	151,103
16	二硫化碳	Carbon disulphide	17.038	75-15-0	76	77,78
17	反 1,2- 二氯乙烯	trans-1,2-Dichloroethene	18.208	156-60-5	61	96,98
18	1,1- 二氯乙烷	1,1-Dichloroethane	18.650	75-34-3	63	65,98
19	甲基叔丁基醚	2-Methoxy-2-methylpropane	18.820	1634-04-4	73	41,57
20	乙酸乙烯酯	Vinyl acetate	18.837	108-05-4	86	42
21	2- 丁酮	2-Butanone	19.490	78-93-3	43	72,57
22	顺 1,2- 二氯乙烯	cis-1,2-Dichloroethene	20.320	156-59-2	61	96,98
23	一溴一氯甲烷	Bromochloromethane	20.673	74-97-5	130	128,93
24	正己烷	n-Hexane	20.706	110-54-3	86	57,56
25	乙酸乙酯	Ethyl acetate	20.696	141-78-6	70	61,88
26	三氯甲烷	Trichloromethane	20.912	67-66-3	83	85,47
27	四氢呋喃	Tetrahydrofuran	21.918	109-99-9	42	41,72
28	1,2- 二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	22.453	107-06-2	62	49,64
29	1,1,1- 三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	23.017	71-55-6	97	99,61
30	苯	Benzene	23.970	71-43-2	78	77,52
31	四氯化碳	Carbon tetrachloride	24.286	56-23-5	117	119,121
32	1,4- 二氟苯	1,4-Difluorobenzene	24.528	367-11-3	114	88,63
33	环己烷	Cyclohexane	24.563	110-82-7	56	84,41
34	1,2- 二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	25.653	78-87-5	63	62,41
35	一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	26.024	75-27-4	83	85,129
36	三氯乙烯	Trichloroethene	26.099	79-01-6	130	132,95,60
37	1,4- 二恶烷	1,4-Dioxane	26.160	123-91-1	88	58,43
38	甲基丙烯酸甲酯	Methyl methacrylate	26.330	80-62-6	69	41,39,100
39	正庚烷	n-Heptane	26.562	142-82-5	43	57,71
40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	cis-1,3-Dichloropropene	27.876	10061-02-6	75	77,110
41	4- 甲基 -2- 戊酮	2-Pentanone, 4-methyl-	27.963	108-10-1	43	58,85,100
42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	trans-1,3-Dichloropropene	28.971	10061-01-5	75	39,110
43	1,1,2- 三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	29.469	79-00-5	97	83,99
44	甲苯	Toluene	30.142	108-88-3	91	92
45	2- 己酮	2-Hexanone	30.598	591-78-6	43	58,100
46	二溴一氯甲烷	Dibromochloromethane	31.178	124-48-1	129	127,131
47	1,2- 二溴乙烷	Ethylene dibromide	31.796	106-93-4	107	109
48	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	32.814	127-18-4	166	164,129
49	氯苯 -d5	Chlorobenzene-d5	34.398	3114-55-4	117	82,119
50	氯苯	Chlorobenzene	34.514	108-90-7	112	77,114
51	乙苯	Ethylbenzene	35.372	100-41-4	91	106

No.	化合物名称	英文名称	保留时间 (min)	CAS 号	定量离子 (m/z)	定性离子 (m/z)
52	间二甲苯 / 对二甲苯	m-Xylene/ p-Xylene	35.807	108-38-3 106-42-3	91	106,105
53	三溴甲烷	Bromoform	36.216	75-25-2	173	171,175
54	苯乙烯	Styrene	36.784	100-42-5	104	78,103
55	四氯乙烷	Tetrachloroethene	37.058	79-34-5	83	85,95
56	邻二甲苯	o-Xylene	37.105	95-47-6	105	106
57	1,2,4- 三甲苯	1,2,4-Trimethylbenzene	40.805	95-63-6	105	120,77
58	4- 乙基甲苯	p-Ethyltoluene	41.014	622-96-8	105	120,91
59	1,3,5- 三甲苯	1,3,5-Trimethylbenzene	42.451	108-67-8	105	120,77
60	氯代甲苯	Benzyl chloride	43.021	100-44-7	91	126,65
61	对二氯苯	1,4-Dichlorobenzene	43.142	106-46-7	146	148,111
62	间二氯苯	1,3-Dichlorobenzene	43.366	541-73-1	146	148,111
63	邻二氯苯	1,2-Dichlorobenzene	44.708	95-50-1	146	148,111
64	1,2,4- 三氯苯	1,2,4-Trichlorobenzene	53.012	120-82-1	180	182,145
65	萘	Naphthalene	53.831	465-73-6	128	127,129
66	六氯丁二烯	Hexachloro-1,3-butadiene	56.034	87-68-3	225	227,260

注：一溴一氯甲烷、1,4 二氯苯和氯苯 -d5 是内标，间对二甲苯记作一个峰。

3.2 标准曲线

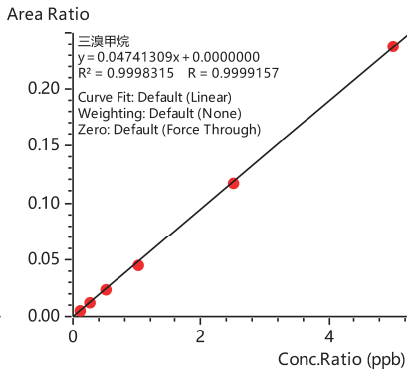
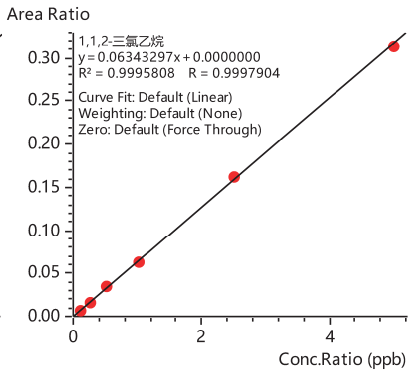
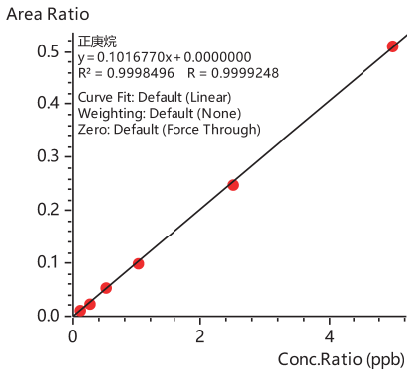
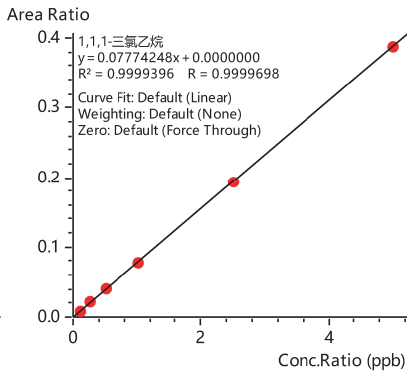
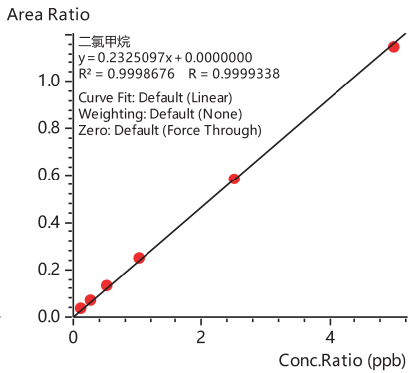
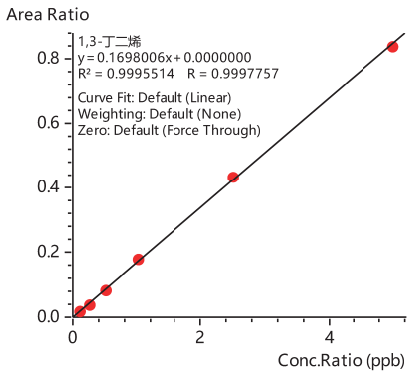
大气浓缩仪分别抽取 60 mL、150 mL、300 mL 浓度为 0.5 nmol/mol 的标准使用气和 60 mL、150 mL、300 mL 浓度为 5 nmol/mol 标准使用气，同时加入 30 mL 浓度为 50 nmol/mol 内标使用气，配制目标物浓度分别为 0.10、0.25、0.50、1.0、2.5 和 5.0 nmol/mol 的 VOCs 标准系列，内标浓度为 5 nmol/mol，以浓度比为横坐标，峰面积比为纵坐标建立标准曲线（图 2），表 2 给出了各 VOCs 的标准曲线的线性相关系数。

表 2 VOCs 组分标准曲线信息

No.	化合物名称	相关系数	No.	化合物名称	相关系数
1	丙烯	0.9990	34	1,2- 二氯丙烷	0.9996
2	二氟二氯甲烷	0.9989	35	一溴二氯甲烷	0.9998
3	一氯甲烷	0.9985	36	三氯乙烯	0.9992
4	四氟二氯乙烷	0.9997	37	1,4- 二恶烷	0.9977
5	氯乙烯	0.9988	38	甲基丙烯酸甲酯	0.9998
6	1,3- 丁二烯	0.9997	39	正庚烷	0.9999
7	一溴甲烷	0.9985	40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	0.9998
8	氯乙烷	0.9994	41	4- 甲基 -2- 戊酮	0.9994
9	丙烯醛	0.9996	42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	0.9997
10	丙酮	0.9996	43	1,1,2- 三氯乙烷	0.9997
11	一氟三氯甲烷	0.9993	44	甲苯	0.9998
12	异丙醇	0.9986	45	2- 己酮	0.9986
13	1,1- 二氯乙烯	0.9996	46	二溴一氯甲烷	0.9996
14	二氯甲烷	0.9999	47	1,2- 二溴乙烷	0.9999

No.	化合物名称	相关系数	No.	化合物名称	相关系数
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	0.9992	48	四氯乙烯	0.9999
16	二硫化碳	0.9997	49	氯苯 -d5	/
17	反 1,2- 二氯乙烯	0.9978	50	氯苯	0.9999
18	1,1- 二氯乙烷	0.9988	51	乙苯	0.9999
19	甲基叔丁基醚	0.9996	52	间二甲苯 / 对二甲苯	0.9999
20	乙酸乙烯酯	0.9996	53	三溴甲烷	0.9999
21	2- 丁酮	0.9978	54	苯乙烯	0.9997
22	顺 1,2- 二氯乙烯	0.9995	55	四氯乙烷	0.9999
23	一溴一氯甲烷	/	56	邻二甲苯	0.9999
24	正己烷	0.9994	57	1,2,4- 三甲苯	0.9997
25	乙酸乙酯	0.9998	58	4- 乙基甲苯	0.9997
26	三氯甲烷	0.9986	59	1,3,5- 三甲苯	0.9997
27	四氢呋喃	0.9987	60	氯代甲苯	0.9993
28	1,2- 二氯乙烷	0.9992	61	对二氯苯	0.9998
29	1,1,1- 三氯乙烷	0.9999	62	间二氯苯	0.9998
30	苯	0.9998	63	邻二氯苯	0.9999
31	四氯化碳	0.9999	64	1,2,4- 三氯苯	0.9997
32	1,4- 二氟苯	/	65	萘	0.9988
33	环己烷	0.9998	66	六氯丁二烯	0.9999

注：间二甲苯、对二甲苯共流出，结果合并计算。



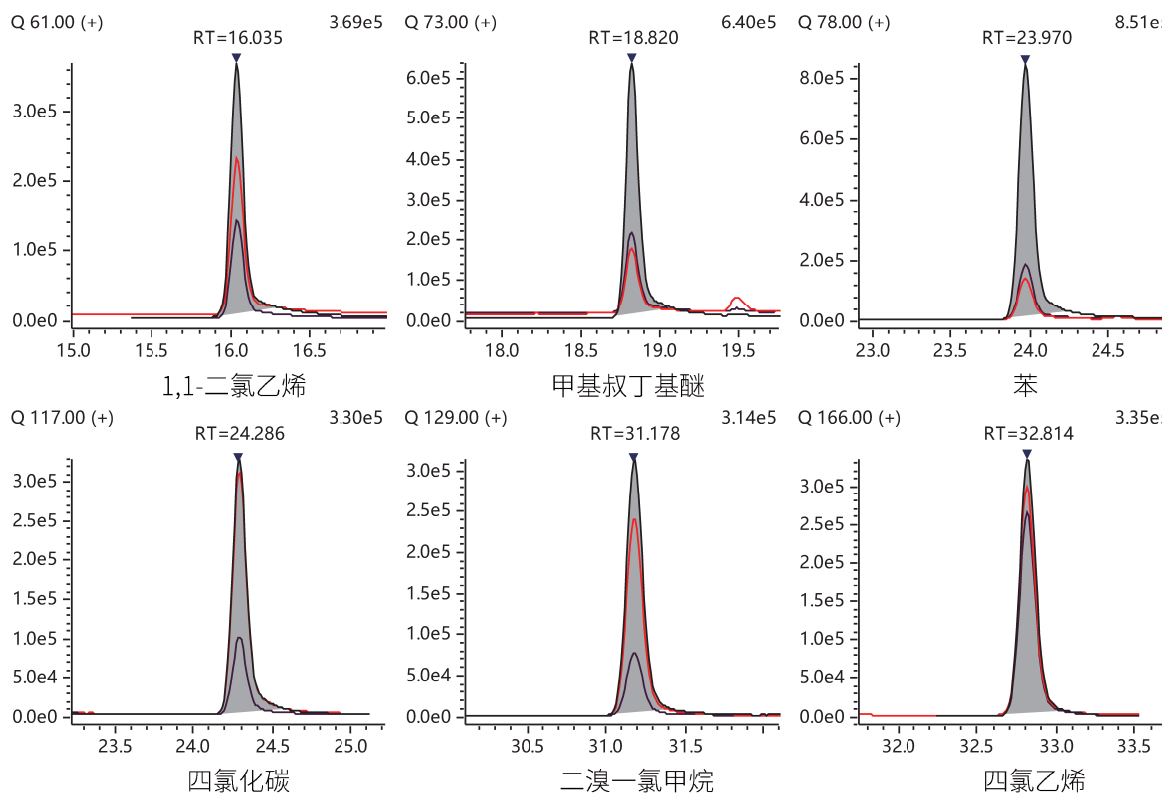


图 2 部分组分标准曲线及质量色谱图 (2.5 nmol/mol)

3.3 重复性和检出限

对浓度为 0.25 nmol/mol 标准使用气重复进行 6 次分析，得到的峰面积重复性数据如表 3 所示。对最低浓度点 0.5 nmol/mol 标准使用气进行 7 次重复测定，计算 7 次浓度测定值的标准偏差 (SD)，按公式 $MDL=t_{(n-1, 0.99)} \times SD$ ($n=7$, $t_{(6, 0.99)}=3.143$) 计算方法检出限，结果见表 3。

表 3 VOCs 组分重复性 (n=6) 和检出限

No.	化合物名称	RSD (%)	检出限 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	No.	化合物名称	RSD (%)	检出限 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	丙烯	3.8	0.06	34	1,2- 二氯丙烷	2.5	0.15
2	二氟二氯甲烷	2.6	0.11	35	一溴二氯甲烷	2.1	0.04
3	一氯甲烷	5.0	0.05	36	二氯乙烯	1.4	0.07
4	四氟二氯乙烷	4.8	0.10	37	1,4- 二恶烷	4.7	0.11
5	氯乙烯	4.4	0.07	38	甲基丙烯酸甲酯	4.8	0.05
6	1,3- 丁二烯	7.7	0.04	39	正庚烷	2.0	0.02
7	一溴甲烷	5.9	0.12	40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	2.8	0.07
8	氯乙烷	3.4	0.04	41	4- 甲基 -2- 戊酮	5.0	0.05
9	丙烯醛	3.9	0.06	42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	3.9	0.12
10	丙酮	4.1	0.06	43	1,1,2- 三氯乙烷	4.0	0.05
11	一氟三氯甲烷	4.6	0.05	44	甲苯	2.6	0.03
12	异丙醇	5.3	0.10	45	2- 己酮	6.9	0.16
13	1,1- 二氯乙烯	2.8	0.05	46	一溴一氯甲烷	2.7	0.08
14	二氯甲烷	1.6	0.03	47	1,2- 二溴乙烷	3.7	0.13
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	2.1	0.06	48	四氯乙烯	2.7	0.04

No.	化合物名称	RSD (%)	检出限 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	No.	化合物名称	RSD (%)	检出限 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
16	二硫化碳	4.3	0.01	49	氯苯-d5	/	/
17	反 1,2- 二氯乙烯	2.5	0.06	50	氯苯	3.1	0.07
18	1,1- 二氯乙烷	7.6	0.04	51	乙苯	4.3	0.06
19	甲基叔丁基醚	4.1	0.05	52	间二甲苯 / 对二甲苯	4.2	0.06
20	乙酸乙烯酯	7.3	0.10	53	三溴甲烷	2.0	0.13
21	2- 丁酮	3.6	0.07	54	苯乙烯	3.5	0.04
22	顺 1,2- 二氯乙烯	1.8	0.03	55	四氯乙烷	3.1	0.07
23	一溴一氯甲烷	/	/	56	邻二甲苯	4.6	0.15
24	正己烷	5.9	0.12	57	1,2,4- 三甲苯	1.5	0.04
25	乙酸乙酯	3.5	0.08	58	4- 乙基甲苯	3.1	0.07
26	三氯甲烷	2.4	0.06	59	1,3,5- 三甲苯	3.8	0.05
27	四氢呋喃	4.6	0.05	60	氯代甲苯	2.9	0.06
28	1,2- 二氯乙烷	2.5	0.06	61	对二氯苯	2.6	0.06
29	1,1,1- 三氯乙烷	2.0	0.05	62	间二氯苯	5.3	0.04
30	苯	2.2	0.02	63	邻二氯苯	3.0	0.08
31	四氯化碳	2.3	0.05	64	1,2,4- 三氯苯	2.3	0.06
32	1,4- 二氟苯	/	/	65	萘	2.7	0.05
33	环己烷	1.6	0.02	66	六氯丁二烯	2.4	0.09

3.4 回收率实验

在空白样品中添加 VOCs 混合标气，添加浓度为 0.25 nmol/mol，各 VOCs 加标回收率结果见表 4。

表 4 VOCs 组分样品加标回收率

No.	化合物名称	回收率 (%)	No.	化合物名称	回收率 (%)
1	丙烯	106.4	34	1,2- 二氯丙烷	104.0
2	一氟一氯甲烷	99.9	35	一溴一氯甲烷	107.3
3	一氯甲烷	92.9	36	三氯乙烯	109.8
4	四氟二氯乙烷	97.4	37	1,4- 二恶烷	101.0
5	氯乙烯	93.4	38	甲基丙烯酸甲酯	95.6
6	1,3- 丁二烯	85.5	39	正庚烷	101.1
7	一溴甲烷	95.3	40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	103.5
8	氯乙烷	86.2	41	4- 甲基 -2- 戊酮	96.9
9	丙烯醛	112.4	42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	92.6
10	丙酮	79.8	43	1,1,2- 三氯乙烷	102.0
11	一氟三氯甲烷	95.8	44	甲苯	104.7
12	异丙醇	86.5	45	2- 己酮	85.4
13	1,1- 二氯乙烯	97.1	46	二溴一氯甲烷	107.8
14	二氯甲烷	101.0	47	1,2- 二溴乙烷	100.7
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	96.7	48	四氯乙烯	125.5
16	二硫化碳	98.9	49	氯苯-d5	/

No.	化合物名称	回收率 (%)	No.	化合物名称	回收率 (%)
17	反 1,2- 二氯乙烯	97.0	50	氯苯	98.4
18	1,1- 二氯乙烷	81.4	51	乙苯	94.1
19	甲基叔丁基醚	87.4	52	间二甲苯 / 对二甲苯	94.8
20	乙酸乙烯酯	80.1	53	三溴甲烷	106.7
21	2- 丁酮	79.2	54	苯乙烯	90.7
22	顺 1,2- 二氯乙烯	88.2	55	四氯乙烷	100.9
23	一溴一氯甲烷	/	56	邻二甲苯	91.9
24	正己烷	74.8	57	1,2,4- 三甲苯	101.7
25	乙酸乙酯	74.9	58	4- 乙基甲苯	94.1
26	三氯甲烷	98.6	59	1,3,5- 三甲苯	99.3
27	四氢呋喃	77.1	60	氯代甲苯	105.1
28	1,2- 二氯乙烷	90.9	61	对二氯苯	102.9
29	1,1,1- 三氯乙烷	110.1	62	间二氯苯	104.0
30	苯	108.8	63	邻二氯苯	109.9
31	四氯化碳	111.0	64	1,2,4- 三氯苯	116.2
32	1,4- 二氟苯	/	65	萘	110.5
33	环己烷	107.1	66	六氯丁二烯	114.8

3.5 样品测试

采集某地区环境空气样品，采用以上方法进行 VOCs 化合物的检测，样品的色谱图见图 3，测试结果如表 5 所示。

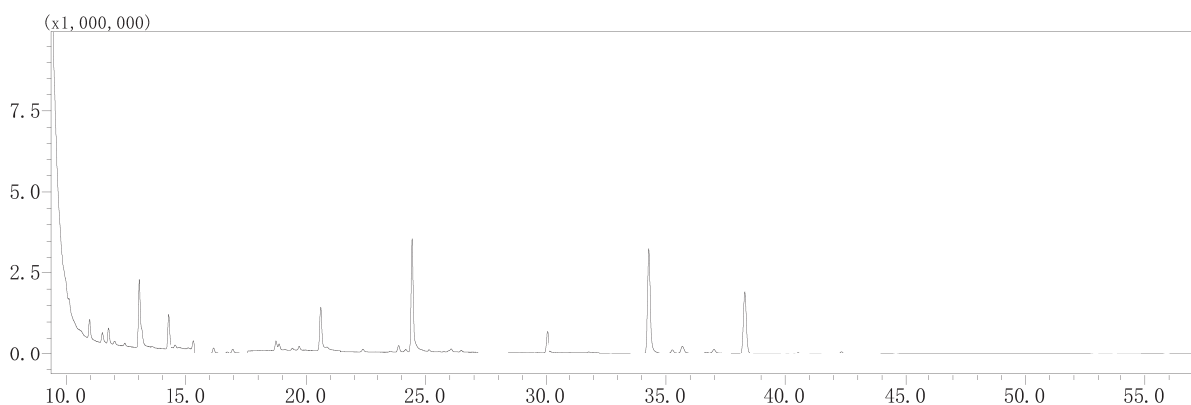


图 3 环境空气样品的 VOCs 色谱图

表 5 环境空气样品中的 VOCs 含量

No.	化合物名称	含量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	No.	化合物名称	含量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	丙烯	N.D.	34	1,2- 二氯丙烷	N.D.
2	二氟二氯甲烷	N.D.	35	一溴二氯甲烷	N.D.
3	一氯甲烷	1.37	36	三氯乙烯	N.D.
4	四氟二氯乙烷	N.D.	37	1,4- 二恶烷	N.D.
5	氯乙烯	N.D.	38	甲基丙烯酸甲酯	N.D.
6	1,3- 丁二烯	N.D.	39	正庚烷	N.D.
7	一溴甲烷	N.D.	40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	N.D.

No.	化合物名称	含量 (µg/m ³)	No.	化合物名称	含量 (µg/m ³)
8	氯乙烷	N.D.	41	4- 甲基 -2- 戊酮	N.D.
9	丙烯醛	N.D.	42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	N.D.
10	丙酮	N.D.	43	1,1,2- 三氯乙烷	N.D.
11	一氟三氯甲烷	1.64	44	甲苯	4.41
12	异丙醇	N.D.	45	2- 己酮	N.D.
13	1,1- 二氯乙烷	N.D.	46	二溴一氯甲烷	N.D.
14	二氯甲烷	2.38	47	1,2- 二溴乙烷	N.D.
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	N.D.	48	四氯乙烯	N.D.
16	二硫化碳	1.45	49	氯苯 -d5	N.D.
17	反 1,2- 二氯乙烯	N.D.	50	氯苯	N.D.
18	1,1- 二氯乙烷	N.D.	51	乙苯	0.65
19	甲基叔丁基醚	N.D.	52	间二甲苯 / 对二甲苯	1.68
20	乙酸乙烯酯	N.D.	53	三溴甲烷	N.D.
21	2- 丁酮	0.60	54	苯乙烯	N.D.
22	顺 1,2- 二氯乙烯	N.D.	55	四氯乙烷	N.D.
23	一溴一氯甲烷	/	56	邻二甲苯	0.77
24	正己烷	0.93	57	1,2,4- 三甲苯	N.D.
25	乙酸乙酯	N.D.	58	4- 乙基甲苯	N.D.
26	三氯甲烷	N.D.	59	1,3,5- 三甲苯	N.D.
27	四氢呋喃	N.D.	60	氯代甲苯	N.D.
28	1,2- 二氯乙烷	N.D.	61	对二氯苯	N.D.
29	1,1,1- 三氯乙烷	N.D.	62	间二氯苯	N.D.
30	苯	1.57	63	邻二氯苯	N.D.
31	四氯化碳	N.D.	64	1,2,4- 三氯苯	N.D.
32	1,4- 二氟苯	/	65	萘	N.D.
33	环己烷	N.D.	66	六氯丁二烯	1.91

注：N.D. 表示未检出。

■ 结论

本方法采用岛津 GCMS-QP2020 NX 气质联用仪结合 UNITY-xr 电子制冷型大气浓缩仪，SIM 采集模式分析了环境空气中 64 种挥发性有机物的含量，在 0.10~5.0 nmol/mol 浓度范围内标准曲线线性良好，相关系数均在 0.997 以上。连续 6 针标样测试峰面积 RSD% 范围为 1.4~7.7%，方法精密度优良。加标浓度为 0.25 nmol/mol 时，各组分的回收率在 74.8~125.5% 之间。该方法操作简单，定量数据准确可靠，可用于环境空气中微量挥发性有机物的检测。

岛津应用云

