

GCMS 结合电子制冷型大气浓缩仪测试环境空气中 64 种挥发性有机物

GCMS-435

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), 采用岛津 GCMS-QP2010 Ultra 结合 UNITY-xr 电子制冷型大气浓缩仪, 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 0.5~20 nmol/mol 浓度范围内标准曲线线性良好, 相关系数均在 0.995 以上。4 nmol/mol 标准使用气连续 6 针测试 RSD% 范围 0.9~8.7%, 表明方法的精密度优良。加标浓度为 0.5 nmol/mol 时, 各组分的回收率在 89.1-129.3% 之间。本方法操作简单, 定量数据准确可靠, 可用于环境空气中多组分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 是具有渗透、脂溶及挥发性等特性, 故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 GCMS-QP2010 Ultra 结合 UNITY-xr 电子制冷型大气浓缩仪, 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-QP2010 Ultra
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 (22 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

采集模式: Scan (35-270 amu)

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 5 nmol/mol 和 40 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 仪器性能检查

按标准要求，在分析 VOCs 样品前，需要检测 GCMS 仪器性能。将 100 nmol/mol 对溴氟苯使用气经大气浓缩仪进样 30 mL 后分析评估。得到的对溴氟苯的关键离子丰度结果见图 1，质量数 50、75、95、96、173、174、175、176 和 177 相对丰度均符合要求。

质谱检查					
• 计数 1					
数据	数据文件路径	样品名称	样品 ID	分析日期	数据文件状态
数据1:	D:\D盘\应用开发\202110-对溴氟苯.qgd			2021/9/6 15:06:22	正常
• 对溴氟苯					
m/z	质谱检查评定标准	相对丰度	状态		
50	15 to 40% of mass 95	22.340756	通过		
75	30 to 60% of mass 95	42.779763	通过		
95	Base Peak, 100% Relative Abundance	100.000000	通过		
96	5 to 9% of mass 95	6.335418	通过		
173	< 2% of mass 174	0.663962	通过		
174	> 50% of mass 95	63.174513	通过		
175	5 to 9% of mass 174	6.812146	通过		
176	> 95% but < 101% of mass 174	96.311090	通过		
177	5 to 9% of mass 176	6.409727	通过		

图 1 对溴氟苯离子相对丰度

3.2 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 2 所示，各化合物信息详见表 1。

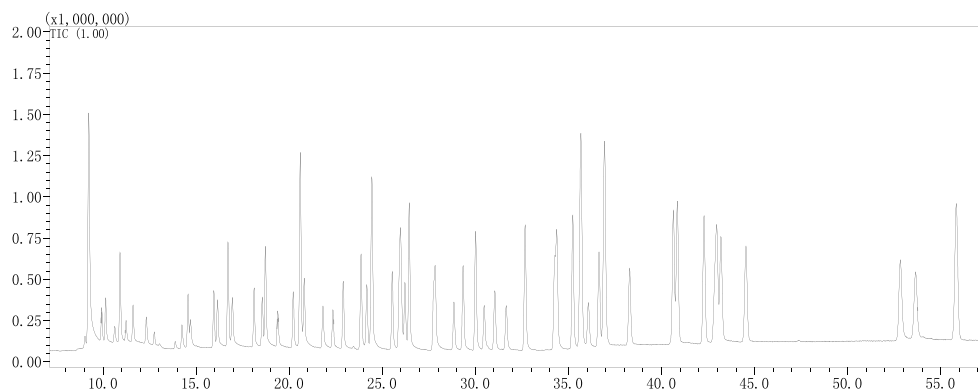


图 2 挥发性有机物色谱图 (10 nmol/mol)

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	9.927	115-07-1	41	39,42
2	二氟二氯甲烷	Dichlorodifluoromethane	10.139	75-71-8	85	87,50
3	一氯甲烷	Chloromethane	10.632	74-87-3	50	52
4	四氟二氯乙烷	1,2-Dichlorotetrafluoroethane	10.910	76-14-2	135	85,87
5	氯乙烯	Vinyl chloride	11.240	75-01-4	62	64
6	1,3- 丁二烯	1,3-Butadiene	11.609	106-99-0	54	39,53
7	一溴甲烷	Bromomethane	12.327	74-83-9	96	94
8	氯乙烷	Chlorethyl	12.752	75-00-3	64	66,49
9	丙烯醛	Acrolein	13.874	107-02-8	56	55
10	丙酮	Acetone	14.221	67-64-1	58	43
11	一氟三氯甲烷	Trichlorofluoromethane	14.568	75-69-4	101	103,66
12	异丙醇	Isopropyl Alcohol	14.684	67-63-0	45	43,59
13	1,1- 二氯乙烯	1,1-Dichlorethene	15.946	75-35-4	61	96,98
14	二氯甲烷	Methylene chloride	16.150	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	16.719	76-13-1	101	151,103
16	二硫化碳	Carbon disulphide	16.947	75-15-0	76	44,78
17	反 1,2- 二氯乙烯	trans-1,2-Dichloroethene	18.112	156-60-5	61	96,98
18	1,1- 二氯乙烷	1,1-Dichloroethane	18.551	75-34-3	63	65,98
19	甲基叔丁基醚	2-Methoxy-2-methylpropane	18.710	1634-04-4	73	41,57
20	乙酸乙烯酯	Vinyl acetate	18.737	108-05-4	86	42
21	2- 丁酮	2-Butanone	19.372	78-93-3	43	72,57
22	顺 1,2- 二氯乙烯	cis-1,2-Dichloroethene	20.217	156-59-2	61	96,98
23	一溴一氯甲烷	Bromochloromethane	20.566	74-97-5	49	130,51
24	正己烷	n-Hexane	20.600	110-54-3	86	57,56
25	乙酸乙酯	Ethyl acetate	20.585	141-78-6	88	61,70
26	三氯甲烷	Trichloromethane	20.807	67-66-3	83	85,47
27	四氢呋喃	Tetrahydrofuran	21.797	109-99-9	42	41,72
28	1,2- 二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	22.343	107-06-2	62	49
29	1,1,1- 三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	22.904	71-55-6	97	99,61
30	苯	Benzene	23.855	71-43-2	78	77,52
31	四氯化碳	Carbon tetrachloride	24.169	56-23-5	117	119,121
32	1,4- 二氟苯	1,4-Difluorobenzene	24.409	367-11-3	114	88,63
33	环己烷	Cyclohexane	24.450	110-82-7	56	84,41
34	1,2- 二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	25.536	78-87-5	63	62,41
35	一溴二氯甲烷	Bromodichloromethane	25.906	75-27-4	83	85,129
36	三氯乙烯	Trichloroethene	25.976	79-01-6	130	130,95
37	1,4- 二恶烷	1,4-Dioxane	26.023	123-91-1	88	58,43
38	甲基丙烯酸甲酯	Methyl methacrylate	26.214	80-62-6	69	41,39,100
39	正庚烷	n-Heptane	26.445	142-82-5	43	57,71
40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	cis-1,3-Dichloropropene	27.755	10061-02-6	75	39,77

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)
41	4- 甲基 -2- 戊酮	2-Pentanone, 4-methyl-	27.837	108-10-1	43	58,41
42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	trans-1,3-Dichloropropene	28.848	10061-01-5	75	39,110
43	1,1,2- 三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	29.342	79-00-5	97	83,99
44	甲苯	Toluene	30.014	108-88-3	91	92
45	2- 己酮	2-Hexanoen	30.467	591-78-6	43	58,100
46	二溴一氯甲烷	Dibromochloromethane	31.045	124-48-1	129	127,131
47	1,2- 二溴乙烷	Ethylene dibromide	31.659	106-93-4	107	109
48	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	32.674	127-18-4	166	164,129
49	氯苯 -d5	Chlorobenzene-d5	34.255	3114-55-4	117	82,119
50	氯苯	Chlorobenzene	34.369	108-90-7	112	77,114
51	乙苯	Ethylbenzene	35.230	100-41-4	91	106
52	间对二甲苯	m,p-Xylene	35.663	108-38-3 106-42-3	91	106,105
53	三溴甲烷	Bromoform	36.068	75-25-2	173	171,175
54	苯乙烯	Styrene	36.637	100-42-5	104	78,103
55	四氯乙烷	Tetrachloroethene	36.909	79-34-5	83	85,95
56	邻二甲苯	o-Xylene	36.953	95-47-6	105	106
57	1,2,4- 三甲苯	1,2,4-Trimethylbenzene	40.636	95-63-6	105	120,77
58	4- 乙基甲苯	p-Ethyltoluene	40.846	622-96-8	105	120,91
59	1,3,5- 三甲苯	1,3,5-Trimethylbenzene	42.280	108-67-8	105	120,77
60	氯代甲苯	Benzyl chloride	42.853	100-44-7	91	126,65
61	对二氯苯	1,4-Dichlorobenzene	42.963	106-46-7	146	148,111
62	间二氯苯	1,3-Dichlorobenzene	43.188	541-73-1	146	148,111
63	邻二氯苯	1,2-Dichlorobenzene	44.523	95-50-1	146	148,111
64	1,2,4- 三氯苯	1,2,4-Trichlorobenzene	52.835	120-82-1	180	182,145
65	萘	Naphthalene	53.655	465-73-6	128	127,129
66	六氯丁二烯	Hexachloro-1,3-butadiene	55.844	87-68-3	225	223,227

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。

3.3 标准曲线

大气浓缩仪分别抽取 30 mL、75 mL、150 mL 浓度为 5 nmol/mol 的标准使用气和 30 mL、75 mL、150 mL 浓度为 40 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 0.5、1.25、2.5、4、10 和 20 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 3），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	0.9995	34	1,2- 二氯丙烷	0.9998
2	二氟二氯甲烷	0.9998	35	一溴二氯甲烷	0.9998
3	一氯甲烷	0.9993	36	三氯乙烯	0.9999
4	四氟二氯乙烷	0.9996	37	1,4- 二恶烷	0.9992
5	氯乙烯	0.9998	38	甲基丙烯酸甲酯	0.9988
6	1,3- 丁二烯	0.9997	39	正庚烷	0.9997
7	一溴甲烷	0.9996	40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	0.9994
8	氯乙烷	0.9999	41	4- 甲基 -2- 戊酮	0.9992
9	丙烯醛	0.9974	42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	0.9988
10	丙酮	0.9997	43	1,1,2- 三氯乙烷	0.9998
11	一氟三氯甲烷	0.9998	44	甲苯	0.9998
12	异丙醇	0.9989	45	2- 己酮	0.9952
13	1,1- 二氯乙烯	0.9999	46	二溴一氯甲烷	0.9994
14	二氯甲烷	0.9998	47	1,2- 二溴乙烷	0.9994
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	0.9996	48	四氯乙烯	0.9998
16	二硫化碳	0.9996	49	氯苯 -d5	/
17	反 1,2- 二氯乙烯	0.9999	50	氯苯	0.9999
18	1,1- 二氯乙烷	0.9999	51	乙苯	0.9996
19	甲基叔丁基醚	0.9997	52	间对二甲苯	0.9996
20	乙酸乙烯酯	0.9978	53	三溴甲烷	0.9979
21	2- 丁酮	0.9993	54	苯乙烯	0.9989
22	顺 1,2- 二氯乙烷	0.9998	55	四氯乙烷	0.9997
23	一溴一氯甲烷	/	56	邻二甲苯	0.9994
24	正己烷	0.9997	57	1,2,4- 三甲苯	0.9994
25	乙酸乙酯	0.9989	58	4- 乙基甲苯	0.9997
26	三氯甲烷	0.9996	59	1,3,5- 三甲苯	0.9995
27	四氢呋喃	0.9992	60	氯代甲苯	0.9965
28	1,2- 二氯乙烷	0.9999	61	对二氯苯	0.9997
29	1,1,1- 三氯乙烷	0.9998	62	间二氯苯	0.9997
30	苯	0.9999	63	邻二氯苯	0.9999
31	四氯化碳	0.9997	64	1,2,4- 三氯苯	0.9992
32	1,4- 二氟苯	/	65	萘	0.9983
33	环己烷	0.9998	66	六氯丁二烯	0.9999

注：间对二甲苯共流出，结果合并计算。

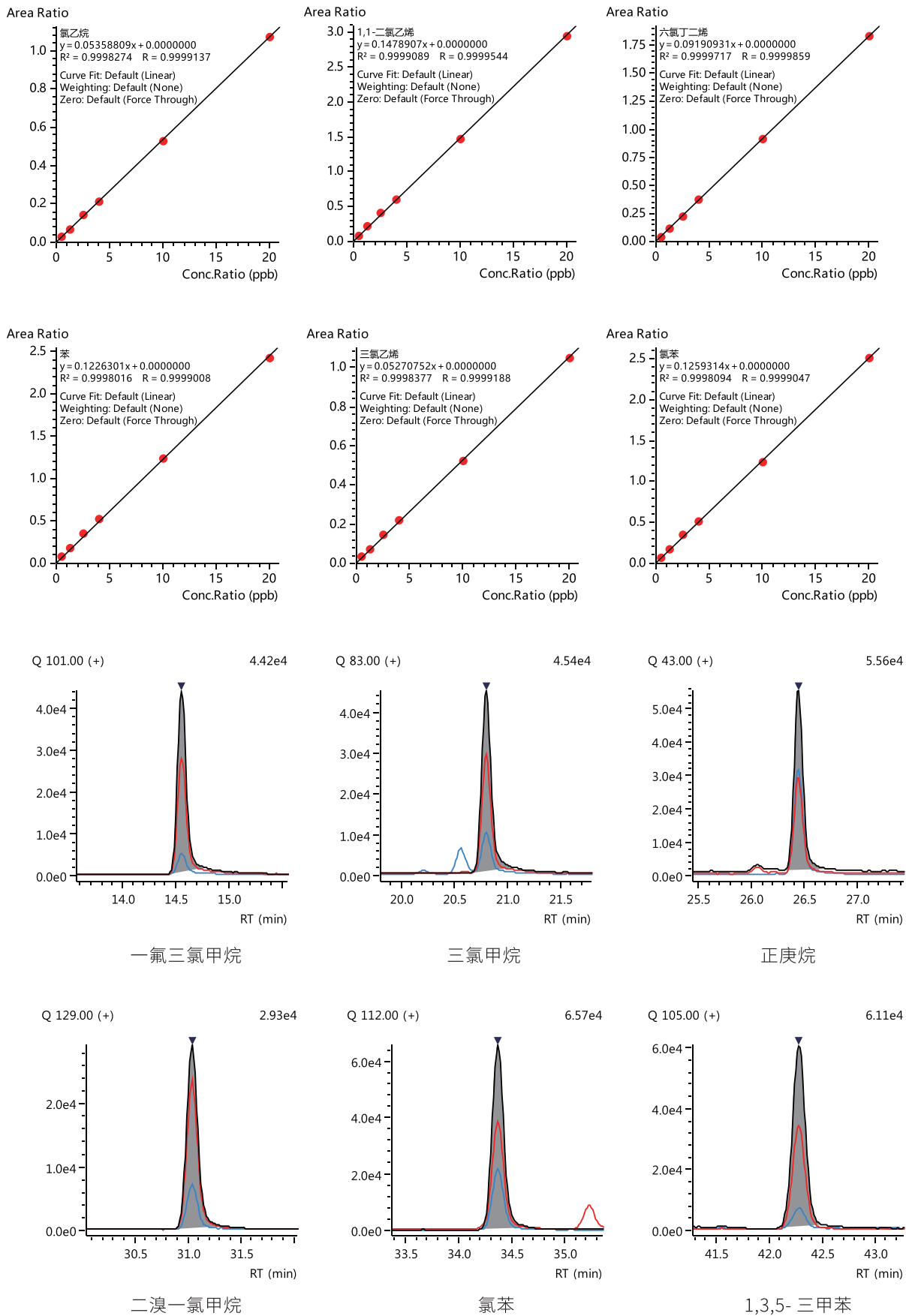


图 3 部分组分标准曲线及质量色谱图 (2.5 nmol/mol)

3.4 重复性和检出限

对浓度为 4 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	4.9	0.27	34	1,2- 二氯丙烷	3.8	0.19
2	二氟二氯甲烷	7.1	0.75	35	一溴二氯甲烷	3.4	0.82
3	一氯甲烷	5.3	0.13	36	三氯乙烯	3.1	0.68
4	四氟二氯乙烷	6.7	0.73	37	1,4- 二恶烷	7.2	0.92
5	氯乙烯	4.3	0.27	38	甲基丙烯酸甲酯	1.9	0.17
6	1,3- 丁二烯	7.2	0.27	39	正庚烷	1.7	0.37
7	一溴甲烷	4.3	0.43	40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	2.8	0.43
8	氯乙烷	5.4	0.45	41	4- 甲基 -2- 戊酮	2.1	0.41
9	丙烯醛	4.8	0.36	42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	3.3	0.30
10	丙酮	4.8	0.34	43	1,1,2- 三氯乙烷	1.8	0.40
11	一氟三氯甲烷	8.6	0.76	44	甲苯	1.3	0.23
12	异丙醇	7.1	0.24	45	2- 己酮	5.4	0.40
13	1,1- 二氯乙烯	6.1	0.42	46	二溴一氯甲烷	2.4	0.71
14	二氯甲烷	6.9	0.32	47	1,2- 二溴乙烷	2.7	0.53
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	6.5	0.65	48	四氯乙烯	2.5	0.24
16	二硫化碳	7.2	0.31	49	氯苯 -d5	/	0.00
17	反 1,2- 二氯乙烯	6.7	0.32	50	氯苯	1.1	0.21
18	1,1- 二氯乙烷	5.7	0.25	51	乙苯	1.3	0.17
19	甲基叔丁基醚	8.7	0.41	52	间对二甲苯	1.6	0.17
20	乙酸乙烯酯	6.9	0.60	53	三溴甲烷	2.1	0.75
21	2- 丁酮	4.7	0.27	54	苯乙烯	1.3	0.35
22	顺 1,2- 二氯乙烯	4.0	0.32	55	四氯乙烷	2.1	0.36
23	一溴一氯甲烷	/	0.00	56	邻二甲苯	1.7	0.50
24	正己烷	5.4	0.32	57	1,2,4- 三甲苯	1.3	0.27
25	乙酸乙酯	4.6	1.36	58	4- 乙基甲苯	1.6	0.33
26	三氯甲烷	3.5	0.33	59	1,3,5- 三甲苯	1.2	0.48
27	四氢呋喃	4.4	0.31	60	氯代甲苯	1.6	0.49
28	1,2- 二氯乙烷	3.7	0.36	61	对二氯苯	1.9	0.24
29	1,1,1- 三氯乙烷	3.0	0.51	62	间二氯苯	2.3	0.38
30	苯	1.8	0.13	63	邻二氯苯	2.0	0.41
31	四氯化碳	3.7	0.49	64	1,2,4- 三氯苯	2.5	1.09
32	1,4- 二氟苯	/	0.00	65	萘	1.6	1.08
33	环己烷	3.5	0.28	66	六氯丁二烯	0.9	0.50

注: 间对二甲苯共流出, 结果合并计算。

3.5 回收率实验

在空白样品中添加 VOCs 混合标气，添加浓度为 0.5 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	113.9	34	1,2- 二氯丙烷	94.8
2	二氟二氯甲烷	101.8	35	一溴二氯甲烷	94.8
3	一氯甲烷	106.0	36	三氯乙烯	93.9
4	四氟二氯乙烷	112.8	37	1,4- 二恶烷	128.2
5	氯乙烯	106.7	38	甲基丙烯酸甲酯	110.5
6	1,3- 丁二烯	111.0	39	正庚烷	103.8
7	一溴甲烷	97.2	40	反式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	95.7
8	氯乙烷	102.3	41	4- 甲基 -2- 戊酮	97.7
9	丙烯醛	116.0	42	顺式 -1,3- 二氯 -1- 丙烯	104.3
10	丙酮	111.1	43	1,1,2- 三氯乙烷	100.7
11	一氟三氯甲烷	108.4	44	甲苯	104.1
12	异丙醇	119.4	45	2- 己酮	105.7
13	1,1- 二氯乙烯	111.4	46	二溴一氯甲烷	93.4
14	二氯甲烷	116.7	47	1,2- 二溴乙烷	106.6
15	1,2,2- 三氟 -1,1,2- 三氯乙烷	108.2	48	四氯乙烯	99.1
16	二硫化碳	115.2	49	氯苯 -d5	/
17	反 1,2- 二氯乙烯	108.7	50	氯苯	101.2
18	1,1- 二氯乙烷	108.5	51	乙苯	104.4
19	甲基叔丁基醚	114.8	52	间对二甲苯	106.6
20	乙酸乙烯酯	129.3	53	三溴甲烷	94.2
21	2- 丁酮	109.5	54	苯乙烯	112.2
22	顺 1,2- 二氯乙烷	113.2	55	四氯乙烷	97.5
23	一溴一氯甲烷	/	56	邻二甲苯	106.0
24	正己烷	111.4	57	1,2,4- 三甲苯	105.7
25	乙酸乙酯	118.6	58	4- 乙基甲苯	106.2
26	三氯甲烷	102.0	59	1,3,5- 三甲苯	106.3
27	四氢呋喃	93.8	60	氯代甲苯	106.3
28	1,2- 二氯乙烷	107.7	61	对二氯苯	98.8
29	1,1,1- 三氯乙烷	95.5	62	间二氯苯	93.0
30	苯	100.1	63	邻二氯苯	95.0
31	四氯化碳	97.5	64	1,2,4- 三氯苯	108.3
32	1,4- 二氟苯	/	65	萘	106.2
33	环己烷	102.7	66	六氯丁二烯	89.1

注：间对二甲苯共流出，结果合并计算

3.6 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 4，测试结果如表 5 所示。

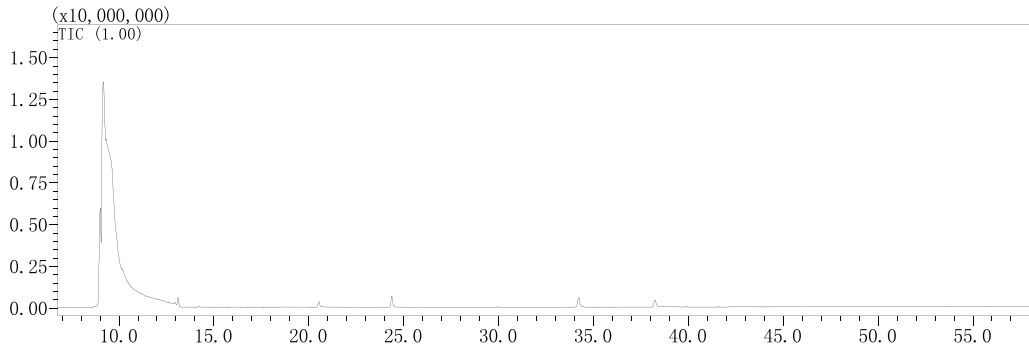


图 4 环境空气样品的 VOCs 色谱图

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	0.53	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	N.D.	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.
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	N.D.	44	甲苯	1.54
12	异丙醇	N.D.	45	2- 己酮	N.D.
13	1,1- 二氯乙烯	N.D.	46	二溴一氯甲烷	N.D.
14	二氯甲烷	0.39	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	0.77	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	N.D.
19	甲基叔丁基醚	N.D.	52	间对二甲苯	N.D.
20	乙酸乙烯酯	N.D.	53	三溴甲烷	N.D.
21	2- 丁酮	N.D.	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	N.D.
24	正己烷	N.D.	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.

No.	化合物名称	含量 (µg/m ³)	No.	化合物名称	含量 (µg/m ³)
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	0.44	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	2.23

注： N.D 表示未检出。

■ 结论

本方法采用岛津 GCMS-QP2010 Ultra 气质联用仪结合 UNITY-xr 电子制冷型大气浓缩仪分析环境空气中 64 种挥发性有机物的含量，在 0.5~20 nmol/mol 浓度范围内标准曲线线性良好，相关系数均在 0.995 以上。连续 6 针标样测试 RSD% 范围为 0.9~8.7%，方法精密度优良。加标浓度为 0.5 nmol/mol 时，各组分的回收率在 89.1-129.3% 之间。该方法操作简单，定量数据准确可靠，可用于环境空气中多组分挥发性有机物的检测。

岛津应用云

