

# 使用罐采样-大气预浓缩仪结合 Agilent 5977B 单四极杆气质联用系统 通过 Deans Switch 中心切割技术分析 PAMS 和 TO15 物质

## 作者

周志洪  
广州市环境监测中心站

冯爽  
安捷伦科技（中国）有限公司

## 摘要

本文介绍了使用罐采样-大气预浓缩仪结合 Agilent 7890B 气相色谱/5977B 单四极杆气质联用系统，通过 Deans Switch 中心切割技术一针进样分析环境空气中的非甲烷碳氢化合物 (PAMS) 和 TO15 (EPA 方法 TO15) 物质。该方法的检测限、线性和精度均满足 HJ759-2015《环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法》和《2018 年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》的要求。

## 前言

挥发性有机物 (VOC) 是指参与大气光化学反应的有机化合物，包括非甲烷烃类（烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃等）、含氧有机物（醛、酮、醇、醚等）、含氯有机物、含氮有机物、含硫有机物等，是形成臭氧 ( $O_3$ ) 和细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 污染的重要前体物质。

自 2013 年“大气污染防治行动计划”实施以来，全国环境空气质量持续改善，但是以 PM<sub>2.5</sub> 和  $O_3$  为特征污染物的大气复合污染形势依然严峻。为进一步改善环境空气质量，2017 年 9 月，环保部等六部委联合印发《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》，全面加强挥发性有机物污染防治工作。同年 12 月，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》<sup>[1]</sup>，要求于 2018 年 4 月开始在污染严重的京津冀及周边、长三角、珠三角、成渝、关中地区、辽宁中南部、武汉及周边地区开展 VOC 监测工作，19 个直辖市、省会城市和计划单列市监测 117 种物质（57 种原 PAMS 物质、47 种 TO15 物质及 13 种醛、酮类物质），59 个地级城市监测 70 种物质（57 种原 PAMS 物质及 13 种醛、酮类物质）。

VOC 的采样方式有采样罐和采样管两种, PAMS 和 TO15 物质宜使用采样罐进行采样。PAMS 物质是指从 C2 到 C12 的非甲烷碳氢化合物, 种类繁多, 仅使用气相色谱进行保留时间定性容易发生化合物干扰, 而气质联用分析法对 C2-C3 碳氢化合物的灵敏度比较低。一种解决方案是采用中心切割技术与气相色谱-氢离子火焰检测器和质谱仪相结合进行分析。另外, 可依照 HJ 759-2015<sup>[2]</sup> 或 EPA TO15 标准方法<sup>[3]</sup> 对 TO15 化合物进行检测。

本文介绍了使用大气预浓缩结合气相色谱-质谱仪及中心切割技术, 通过一针进样来分析 57 种 PAMS 物质和 47 种 TO15 物质的方法。通过罐采集的样品经冷阱预浓缩, 除去水和惰性气体, 然后进样至气相色谱仪进行分离。采用 Deans Switch 中心切割技术, 用 Agilent HP-Plot Q 色谱柱分离 C2 - C3 的 PAMS 物质, 用 Agilent DB-1 色谱柱分离其他目标化合物, 然后分别用氢火焰离子化检测器 (FID) 和质谱检测器 (MSD) 进行检测。

## 实验部分

在本应用中, 采用大气预浓缩系统配合 Agilent 7890B 气相色谱仪和 Agilent 5977B 单四极杆质谱仪。该仪器系统配备 Deans Switch 中心切割装置、冷柱温箱和 FID。罐采集的样品经冷阱预浓缩, 除去水及惰性气体, 然后进样至气相色谱仪进行分离。C2 和 C3 化合物使用 HP Plot Q 色谱柱与 FID 通道进行分析, 其他化合物通过 DB-1 色谱柱与 MSD 通道进行分析。

### 试剂和样品

标准气: 57 种 PAMS 臭氧前体物标准气体 (1  $\mu\text{mol/mol}$ , 1 L)、65 种 TO15 标准气体 (1  $\mu\text{mol/mol}$ ) 均购自 LINDE 公司。PAMS 标准气和 TO15 标准气中的部分化合物重叠, 本文只讨论《2018 年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》中涉及的 104 种化合物 (见表 1)。

内标标准气: 组分为一溴一氯甲烷、1,2-二氟苯、氯苯-d5、4-溴氟苯 (调谐气), 浓度为 1  $\mu\text{mol/mol}$ , 体积 1 L, 购自 LINDE 公司。

混合标准使用气: 使用气体稀释装置, 将 PAMS 标准气和 TO15 标准气混合, 用高纯氮气 (纯度 > 99.999%) 将其稀释至 10 nmol/mol, 可保存 30 天。

内标标准使用气: 使用气体稀释装置, 用高纯氮气 (纯度 > 99.999%) 将内标标准气稀释至 100 nmol/mol, 可保存 30 天。

样品采集和前处理方法参考 HJ 759-2015<sup>[2]</sup>。

### 仪器和设备

Agilent 7890B 气相色谱/5977B 单四极杆气质联用系统, 气相色谱仪配备 SSL 进样口、FID 检测器、液氮冷却柱温箱、Deans Switch 中心切割系统和气动控制模块 (PCM)。

内壁惰性化处理的不锈钢采样罐 (容积 3.2 L 和 6 L), 液氮罐 (容积 100 L)。

### 气相色谱条件

色谱柱	柱 1: Agilent DB-1 毛细管柱, 60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 1.0 $\mu\text{m}$ (部件号 122-1063) 柱 2: Agilent HP-PLOT Q PT 毛细管柱, 30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 20 $\mu\text{m}$ (部件号 19091P-QO4PT)
进样口温度	250 $^{\circ}\text{C}$
载气	氦气, 柱 1: 恒流, 1.0 mL/min; 柱 2: 恒流, 2.3 mL/min
升温程序	-20 $^{\circ}\text{C}$ , 保持 3 min; 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至 150 $^{\circ}\text{C}$ , 以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至 220 $^{\circ}\text{C}$ 并保持 8 min
FID 温度	250 $^{\circ}\text{C}$
H <sub>2</sub> 流速	35 mL/min
空气流速	400 mL/min
尾吹气	氮气, 30 mL/min
中心切割时间	10.45 min

### 质谱仪条件

离子源:	惰性 Plus 离子源
调谐文件	BFB 调谐
溶剂延迟	0 min
离子源温度	250 $^{\circ}\text{C}$
四极杆温度	150 $^{\circ}\text{C}$
传输线温度	250 $^{\circ}\text{C}$
电子倍增管增益因子	1
全扫描质量范围	20-300 amu

表 1. 57 种 PAMS 和 47 种 TO15 目标化合物的保留时间、定性定量离子及对应内标

序号	类型	化合物名称	CAS 号	保留时间 (min)	定量离子 (m/z)	定性离子 1 (m/z)	定性离子 2 (m/z)	对应内标
1	PAMS	乙烯	74-85-1	16.065				
2	PAMS	乙炔	74-86-2	16.926				
3	PAMS	乙烷	74-84-0	17.444				
4	PAMS	丙烯	115-07-1	24.923				
5	PAMS	丙烷	74-98-6	25.553				
6	TO15	二氟二氯甲烷	75-71-8	10.727	85	87	101	一溴一氯甲烷
7	TO15	一氯甲烷	74-87-3	11.736	50	52		一溴一氯甲烷
8	PAMS	异丁烷	75-28-5	12.553	43	41	42	一溴一氯甲烷
9	TO15	1,1,2,2-四氟-1,2-二氯乙烷	76-14-2	12.630	135	85	137	一溴一氯甲烷
10	TO15	氯乙烯	75-01-4	13.100	62	64		一溴一氯甲烷
11	PAMS	1-丁烯	106-98-9	13.707	41	55	56	一溴一氯甲烷
12	TO15	1,3-丁二烯	106-99-0	13.862	54	53	50	一溴一氯甲烷
13	PAMS	正丁烷	106-97-8	14.119	43	58	41	一溴一氯甲烷
14	PAMS	反-2-丁烯	624-64-6	14.649	56	41	39	一溴一氯甲烷
15	TO15	一溴甲烷	74-83-9	14.993	94	96	93	一溴一氯甲烷
16	PAMS	顺-2-丁烯	590-18-1	15.354	56	55	41	一溴一氯甲烷
17	TO15	氯乙烷	75-00-3	15.800	64	49	66	一溴一氯甲烷
18	PAMS	异戊烷	78-78-4	17.974	57	56	43	一溴一氯甲烷
19	TO15	一氟三氯甲烷	75-69-4	18.368	101	103	105	一溴一氯甲烷
20	PAMS	1-戊烯	109-67-1	18.780	55	70	42	一溴一氯甲烷
21	TO15	异丙醇	67-63-0	19.276	45	43		一溴一氯甲烷
22	PAMS	正戊烷	109-66-0	19.391	43	42	41	一溴一氯甲烷
23	PAMS-	异戊二烯	78-79-5	19.651	67	68	53	一溴一氯甲烷
24	PAMS	反-2-戊烯	646-04-8	19.816	55	70	39	一溴一氯甲烷
25	TO15	1,1-二氯乙烯	75-35-4	20.019	61	96	98	一溴一氯甲烷
26	PAMS	顺-2-戊烯	627-20-3	20.238	55	70	42	一溴一氯甲烷
27	TO15	二氯甲烷	75-09-2	20.394	49	84	86	一溴一氯甲烷
28	TO15	二硫化碳	75-15-0	20.846	76	78		一溴一氯甲烷
29	TO15	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	76-13-1	21.021	151	153	101	一溴一氯甲烷
30	PAMS	2,2-二甲基丁烷	75-83-2	21.325	71	56	57	一溴一氯甲烷
31	TO15	反-1,2-二氯乙烯	156-60-5	22.402	96	98	61	一溴一氯甲烷
32	TO15	1,1-二氯乙烷	75-34-3	22.800	63	65		一溴一氯甲烷
33	PAMS	环戊烷	287-92-3	22.871	70	55		一溴一氯甲烷
34	PAMS	2,3-二甲基丁烷	79-29-8	22.942	43	71		一溴一氯甲烷
35	PAMS	2-甲基戊烷	107-83-5	23.144	71	57		一溴一氯甲烷
36	TO15	甲基叔丁基醚	1634-04-4	23.148	73	57	41	一溴一氯甲烷
37	TO15	乙酸乙烯酯	108-05-4	23.148	43	86		一溴一氯甲烷
38	PAMS	3-甲基戊烷	96-14-0	23.904	56	57	41	一溴一氯甲烷
39	PAMS	1-己烯	592-41-6	24.198	56	55	84	一溴一氯甲烷
40	TO15	顺-1,2-二氯乙烯	156-59-2	24.390	96	98	61	一溴一氯甲烷
IS-1	内标	一溴一氯甲烷	74-97-5	24.701	130	128		
41	PAMS	正己烷	110-54-3	24.775	57	56	86	1,4-二氟苯
42	TO15	乙酸乙酯	141-78-6	24.944	43	88	70	1,4-二氟苯
43	TO15	三氯甲烷	67-66-3	24.947	83	85	47	1,4-二氟苯
44	TO15	四氢呋喃	109-99-9	25.892	71	72	42	1,4-二氟苯
45	TO15	1,2-二氯乙烷	107-06-2	26.246	62	64	98	1,4-二氟苯
46	PAMS	甲基环戊烷	96-37-7	26.257	69	84		1,4-二氟苯

序号	类型	化合物名称	CAS 号	保留时间 (min)	定量离子 (m/z)	定性离子 1 (m/z)	定性离子 2 (m/z)	对应内标
47	PAMS	2,4-二甲基戊烷	108-08-7	26.344	85	57	43	1,4-二氟苯
48	TO15	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	26.699	97	99	61	1,4-二氟苯
49	PAMS	苯	71-43-2	27.509	78	77	52	1,4-二氟苯
50	TO15	四氯化碳	56-23-5	27.765	117	119	121	1,4-二氟苯
51	PAMS	环己烷	110-82-7	27.988	84	56		1,4-二氟苯
IS-2	内标	1,4-二氟苯	540-36-3	28.066	114	88		
52	PAMS	2-甲基己烷	591-76-4	28.197	85	56		氯苯-d5
53	PAMS	2,3-二甲基戊烷	565-59-3	28.356	56	71	57	氯苯-d5
54	PAMS	3-甲基己烷	589-34-4	28.636	71	70	56	氯苯-d5
55	TO15	1,2-二氯丙烷	78-87-5	28.923	63	62	76	氯苯-d5
56	TO15	一溴二氯甲烷	75-27-4	29.250	83	85		氯苯-d5
57	TO15	三氯乙烯	79-01-6	29.308	132	95	130	氯苯-d5
58	PAMS	2,2,4-三甲基戊烷	540-84-1	29.365	57	41	56	氯苯-d5
59	TO15	1,4-二氧六烷	123-91-1	29.473	88	58		氯苯-d5
60	TO15	甲基丙烯酸甲酯	80-62-6	29.632	69	100	99	氯苯-d5
61	PAMS	正庚烷	142-82-5	29.757	71	56	70	氯苯-d5
62	TO15	顺-1,3-二氯-1-丙烯	10061-01-5	30.786	75	110	77	氯苯-d5
63	TO15	4-甲基-2-戊酮	108-10-1	30.928	58	85	100	氯苯-d5
64	PAMS	甲基环己烷	108-87-2	31.036	83	98	55	氯苯-d5
65	TO15	反-1,3-二氯-1-丙烯	10061-02-6	31.694	75	110	39	氯苯-d5
66	TO15	1,1,2-三氯乙烷	79-00-5	32.059	97	83	99	氯苯-d5
67	PAMS	2,3,4-三甲基戊烷	565-75-3	32.278	71	70	55	氯苯-d5
68	PAMS	甲苯	108-88-3	32.589	91	92	65	氯苯-d5
69	PAMS	2-甲基庚烷	592-27-8	32.818	57	70	99	氯苯-d5
70	TO15	2-己酮	591-78-6	33.075	58	43	100	氯苯-d5
71	PAMS	3-甲基庚烷	589-81-1	33.186	85	84	56	氯苯-d5
72	TO15	二溴一氯甲烷	124-48-1	33.392	129	127	131	氯苯-d5
73	TO15	1,2-二溴乙烷	106-93-4	33.878	109	107		氯苯-d5
74	PAMS	正辛烷	111-65-9	34.290	85	71	57	氯苯-d5
75	TO15	四氯乙烯	127-18-4	34.708	166	164	129	氯苯-d5
IS-3	内标	氯苯-d5	3114-55-4	35.961	117	82		
76	TO15	氯苯	108-90-7	36.052	112	77	114	氯苯-d5
77	PAMS	乙苯	100-41-4	36.764	91	106	105	氯苯-d5
78,79	PAMS	对+间二甲苯	106-42-3	37.118	91	106	105	氯苯-d5
80	TO15	三溴甲烷	75-25-2	37.355	173	171	175	氯苯-d5
81	PAMS	苯乙烯	100-42-5	37.844	104	103	78	氯苯-d5
82	TO15	1,1,2,2-四氯乙烷	79-34-5	38.036	83	85	95	氯苯-d5
83	PAMS	邻二甲苯	95-47-6	38.070	91	106		氯苯-d5
84	PAMS	正壬烷	111-84-2	38.364	57	71	85	氯苯-d5
IS-4	内标	4-溴氟苯	460-00-4	38.958	194	176	95	
85	PAMS	异丙苯	98-82-8	39.197	105	120		4-溴氟苯
86	PAMS	正丙苯	103-65-1	40.186	91	120		4-溴氟苯
87	PAMS	间乙基甲苯	620-14-4	40.375	105	120		4-溴氟苯
88	PAMS	对乙基甲苯	622-96-8	40.463	105	120		4-溴氟苯
89	PAMS	1,3,5-三甲基苯	108-67-8	40.602	105	120		4-溴氟苯
90	PAMS	邻乙基甲苯	611-14-3	40.996	105	120		4-溴氟苯

序号	类型	化合物名称	CAS 号	保留时间 (min)	定量离子 (m/z)	定性离子 1 (m/z)	定性离子 2 (m/z)	对应内标
91	PAMS	1,2,4-三甲基苯	95-63-6	41.422	105	120		4-溴氟苯
92	PAMS	正癸烷	124-18-5	41.530	57	85	71	4-溴氟苯
93	TO15	氯代甲苯	100-44-7	41.715	91	126		4-溴氟苯
94	TO15	1,3-二氯苯	54-17-31	41.759	146	148	111	4-溴氟苯
95	TO15	1,4-二氯苯	106-46-7	41.891	146	148	111	4-溴氟苯
96	PAMS	1,2,3-三甲基苯	526-73-8	42.293	105	120		4-溴氟苯
97	TO15	1,2-二氯苯	95-50-1	42.596	146	148	111	4-溴氟苯
98	PAMS	间二乙基苯	141-93-5	42.877	105	119	134	4-溴氟苯
99	PAMS	对二乙基苯	105-05-5	43.076	119	105	134	4-溴氟苯
100	PAMS	正十一烷	1120-21-4	44.115	57	85	71	4-溴氟苯
101	TO15	1,2,4-三氯苯	120-82-1	46.373	182	180	109	4-溴氟苯
102	PAMS	正十二烷	112-40-3	46.508	57	71	85	4-溴氟苯
103	TO15	萘	91-20-3	46.691	128	129	127	4-溴氟苯
104	TO15	六氯丁二烯	87-68-3	47.524	225	223	262	4-溴氟苯

## 结果与讨论

### Deans Switch 中心切割

中心切割是指在色谱运行过程中某一特定的时刻或特定的时间段内，将一根色谱柱的流出物转移到第二根具有不同固定相的色谱柱上。利用这一技术，可在同一仪器上的同一次分析运行中，使用两根不同的色谱柱来提高 GC 的分离性能。

Agilent Deans Switch 采用微板流路控制技术实现中心切割，该装置有极低的死体积，且惰性高，不易泄漏，即使在柱温箱大幅升温 and 降温的反复循环中也是如此。Deans Switch 安装在柱温箱侧面（见图 1），便于安装色谱柱。

如图 1 所示，60 m × 0.25mm × 1.0 μm DB-1 色谱柱连接在进样口和 Deans Switch 之间。一根短的脱活熔融石英毛细管将 Deans Switch 连接到 MS。第二根色谱柱选用对低碳氢化合物具有很好分离效果的 HP-Plot Q PT 毛细管柱（30 m × 0.32 mm × 20 μm）。

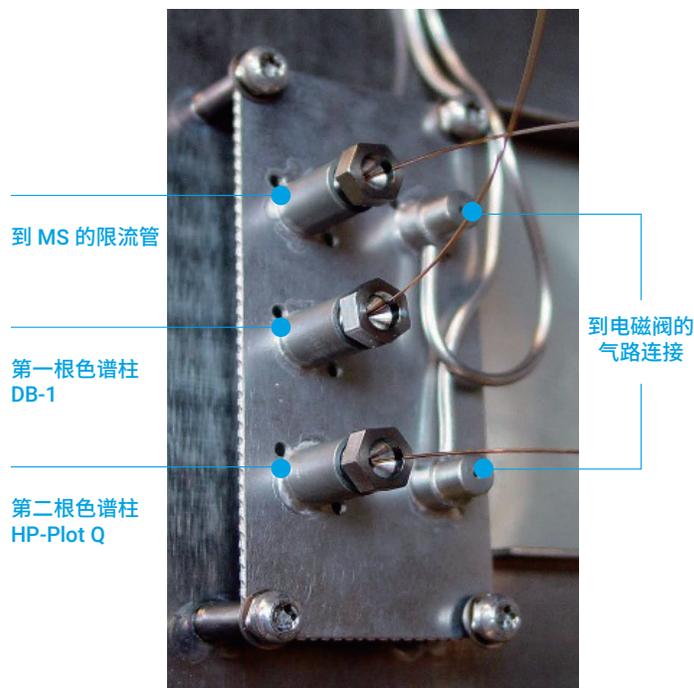


图 1. 安装在 7890B GC 柱温箱侧面的 Deans Switch

图 2 和图 3 显示了 Deans Switch 如何将第一根色谱柱流出物可靠地转移到第二根色谱柱上，从而实现目标化合物的分离。图 2 所示为处于“切割”模式下的 Deans Switch，此时电磁阀处于打开状态，5 种 C2-C3 碳氢化合物从 DB-1 色谱柱流出，进入 HP-Plot Q 色谱柱进行分离，然后进入 FID 进行检测（结果见图 4）。然后将电磁阀关闭（如图 3 所示），Deans Switch 处于“非切割”模式下，此时其他 PAMS 和 TO15 物质从 DB-1 色谱柱流出后直接通过限流管进入 MS（检测结果见图 5）。从图 4 中可以看出，五种 C2-C3 化合物在 HP-Plot Q 色谱柱上获得了很好的分离。图 5 则示出除五种 C2-C3 化合物以外的其他 PAMS 和 TO15 物质及内标的总离子流色谱图。

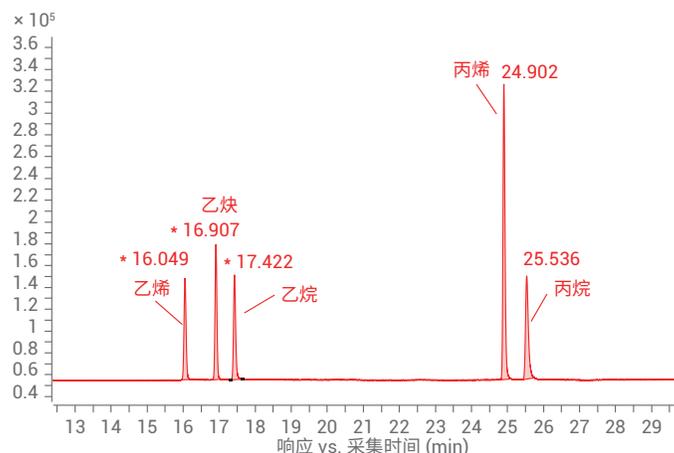


图 4. 当 Deans Switch 处于“切割”模式时，得到的五种 C2-C3 化合物的色谱图

### 切割

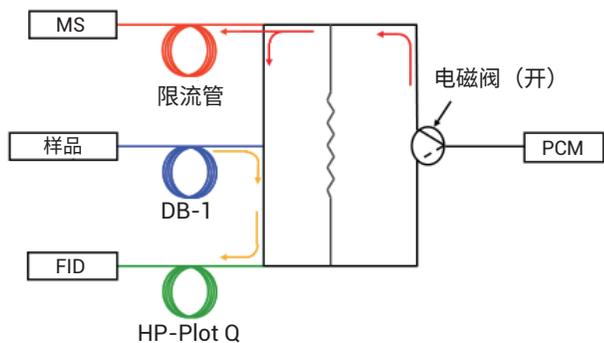


图 2. Deans Switch 处于“Cut”（切割）模式下，来自 DB-1 色谱柱的流出物进入 HP-Plot Q 色谱柱，然后进入 FID

### 非切割

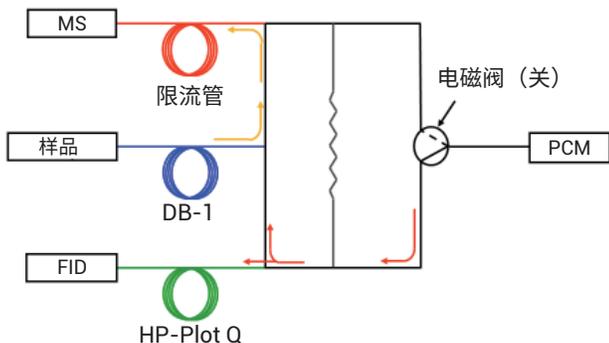


图 3. Deans Switch 处于“no Cut”（非切割）模式下，来自 DB-1 色谱柱的流出物经过短限流管直接进入 MS

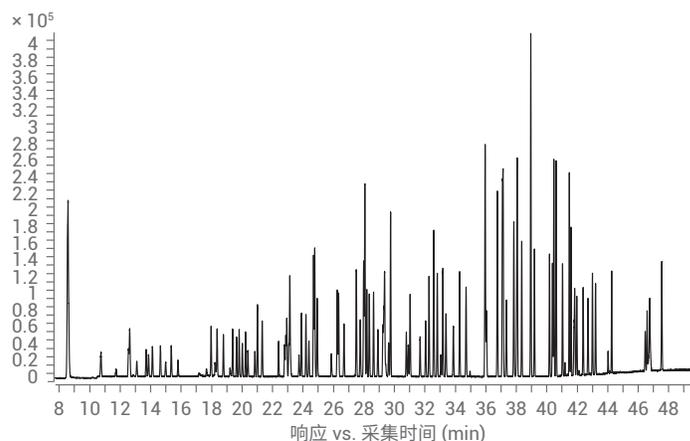


图 5. 当 Deans Switch 处于“非切割”模式时，得到的除图 3a 所示的五种化合物以外的其他 PAMS 和 TO15 物质及内标的总离子流色谱图

### 升温程序优化

在建立 PAMS 分析方法时，首先使用常规升温程序：在 35 °C 下保持 5 min，以 5 °C/min 的速率升至 150 °C，然后以 5 °C/min 的速率升至 220 °C 并保持 7 min。该程序仅适用于分析 PAMS 化合物。在分析 TO15 化合物时，发现丙烯和二氟二氯甲烷接连出峰。如果使用 PAMS 化合物的中心切割时间 (8.67 min)，这两种化合物都会被切到 FID 上（见图 6），但是二氟二氯甲烷在 FID 上没有响应。最终优化的方法采用液氮冷却的柱温箱，升温程序从低温开始：在 -20 °C 下保持 3 min，以 5 °C/min 的速率升至 150 °C，然后以 15 °C/min 的速率升至 220 °C 并保持 8 min。结果如图 7 所示，丙烯和二氟二氯甲烷之间获得了足够的时间窗口，因此将中心切割时间设定为 10.45 min，通过一针进样即可同时完成对 PAMS 和 TO15 化合物的分析。

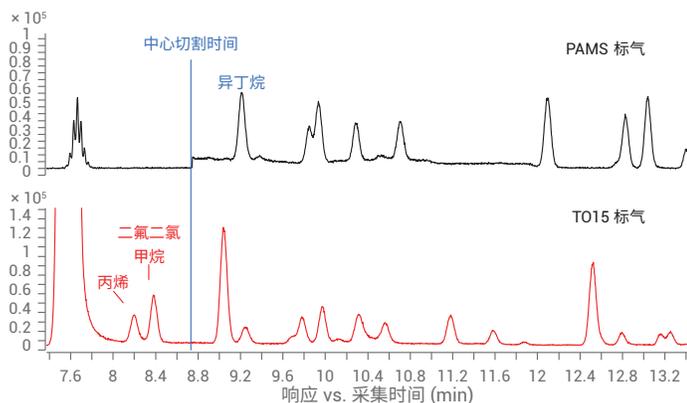


图 6. 采用以 35 °C 作为起始温度的升温程序分析 TO15 化合物，丙烯和二氟二氯甲烷之间没有足够的时间窗口

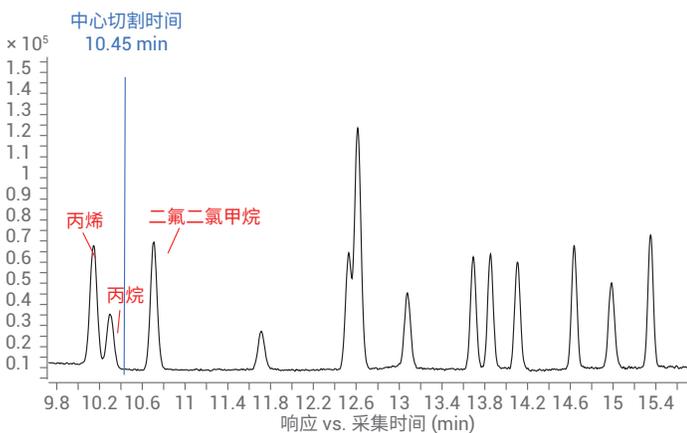


图 7. 采用以 -20 °C 作为起始温度的升温程序，二氟二氯甲烷和丙烯之间具有足够的时间窗口进行中心切割

### 三级冷阱温度

本应用对三级冷阱温度进行了优化。图 8 分别显示了冷阱温度为 -180 °C 和 -190 °C 时 C2-C3 化合物在 FID 上的出峰结果。从图中可以看出，在 -180 °C 下，乙烯在 FID 上出现两个色谱峰（保留时间分别为 15.379 min 和 16.086 min），原因在于温度不够低，乙烯在从二级冷阱向三级冷阱转移的过程中，一部分乙烯没有被三级冷阱捕集，而是直接进入色谱柱。当三级冷阱温度为 -190 °C 时，所有乙烯在从二级冷阱向三级冷阱转移时可全部被捕集，最终在保留时间 16.907 min 处得到单个色谱峰。因此，最终采用的三级冷阱温度为 -190 °C。

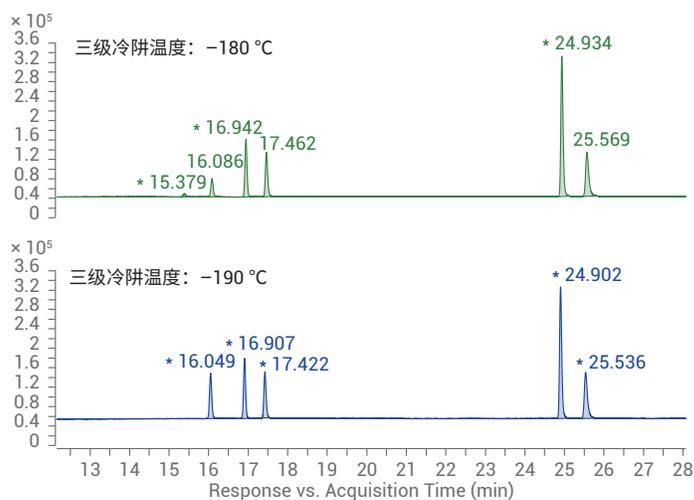


图 8. 三级冷阱温度为 -180 °C 和 -190 °C 时，C2-C3 化合物在 FID 上得到的色谱图的比较

### BFB 调谐与评价

5977B 气质联用系统具有 BFB 自动调谐功能。在样品分析之前执行该调谐，完成调谐后对一个 BFB 标样进行分析。在 Masshunter 环境版软件中调用该数据，自动对样品中的 BFB（4-溴氟苯）质谱图进行调谐评估，结果列于表 2 中。从表中可以看出，BFB 关键离子丰度完全满足 HJ 759-2015 的要求<sup>[2]</sup>。

表 2. 4-溴氟苯 (BFB) 离子丰度评估结果

质量	离子丰度标准 <sup>[2]</sup>	丰度值	通过与否	质量	离子丰度标准 <sup>[2]</sup>	丰度值	通过与否
50	质量 95 的 15%–40%	20.8	通过	174	大于质量 95 的 50%	93.9	通过
95	基峰, 100% 相对丰度	100.0	通过	175	质量 174 的 5%–9%	7.9	通过
96	质量 95 的 5%–9%	6.8	通过	176	质量 174 的 95%–105%	97.2	通过
173	小于质量 174 的 2%	1.5	通过	177	质量 176 的 5%–10%	6.6	通过

## 绘制校准曲线

分别抽取 50.0、100、200、400、600 和 800 mL 混合标准使用气, 同时加入 50.0 mL 内标标准使用气绘制六点校准曲线, 相当于各校准点浓度分别为 1.25、2.5、5.0、10.0、15.0 和 20.0 nmol/mol, 内标物浓度为 12.5 nmol/mol。使用仪器条件, 依次从低浓度到高浓度进行测定。对于在 FID 上出峰的 C2–C3 化合物, 采用外标法进行校准, 所有化合物的线性回归系数  $R^2 > 0.997$ 。对于其他化合物, 采用内标法进行校准, 计算各种化合物的平均相对响应因子以及相对响应因子的相对标准偏差 (RSD), 结果列于表 3 中。从中可以看出, 除 1,4-二氧六烷以外的所有化合物的相对响应因子的相对标准偏差均小于 30%, 满足 HJ 759-2015 的要求<sup>[2]</sup>。

表 3. 57 种 PAMS 和 47 种 TO15 目标化合物的平均相对响应因子、相对标准偏差和线性方程

序号	化合物名称	CAS 号	保留时间 (min)	线性方程	线性系数 $R^2$
1	乙烯	74-85-1	16.049	$y = 61463 * x + 42266$	0.997
2	乙炔	74-86-2	16.907	$y = 91831 * x - 5196$	0.999
3	乙烷	74-84-0	17.422	$y = 72032 * x + 23767$	0.999
4	丙烯	115-07-1	24.902	$y = 109382 * x - 24504$	0.999
5	丙烷	74-98-6	25.536	$y = 111973 * x - 57270$	0.998
序号	化合物名称	CAS 号	保留时间 (min)	平均相对响应因子	相对响应因子的相对标准偏差 (%)
6	二氟二氯甲烷	75-71-8	10.737	2.267	11.318
7	一氯甲烷	74-87-3	11.733	0.821	11.449
8	异丁烷	75-28-5	12.546	1.854	11.800
9	1,1,2,2-四氟-1,2-二氯乙烷	76-14-2	12.624	1.546	10.574
10	氯乙烯	75-01-4	13.089	0.860	11.192
11	1-丁烯	106-98-9	13.700	1.322	11.793
12	1,3-丁二烯	106-99-0	13.859	0.690	11.852
13	正丁烷	106-97-8	14.116	1.656	10.985
14	反-2-丁烯	624-64-6	14.639	0.721	11.553
15	一溴甲烷	74-83-9	14.976	0.800	9.570
16	顺-2-丁烯	590-18-1	15.354	0.749	9.875
17	氯乙烷	75-00-3	15.793	0.457	8.144
18	异戊烷	78-78-4	17.970	0.696	9.537
19	一氟三氯甲烷	75-69-4	18.358	2.081	9.857
20	1-戊烯	109-67-1	18.773	0.869	8.133
21	异丙醇	67-63-0	19.209	0.859	29.361
22	正戊烷	109-66-0	19.381	1.760	7.943
23	异戊二烯	78-79-5	19.641	1.013	4.771
24	反-2-戊烯	646-04-8	19.806	1.804	4.604

序号	化合物名称	CAS号	保留时间 (min)	平均相对响应因子	相对响应因子的相对标准偏差 (%)
25	1,1-二氯乙烯	75-35-4	20.016	1.283	5.376
26	顺-2-戊烯	627-20-3	20.228	1.648	4.043
27	二氯甲烷	75-09-2	20.377	1.103	7.923
28	二硫化碳	75-15-0	20.839	2.178	5.469
29	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	76-13-1	21.008	1.416	5.495
30	2,2-二甲基丁烷	75-83-2	21.322	1.236	4.883
31	反-1,2-二氯乙烯	156-60-5	22.395	0.793	5.201
32	1,1-二氯乙烷	75-34-3	22.790	1.487	7.327
33	环戊烷	287-92-3	22.868	0.573	5.441
34	2,3-二甲基丁烷	79-29-8	22.932	2.350	3.983
35	甲基叔丁基醚	1634-04-4	23.124	2.051	6.717
36	乙酸乙烯酯	108-05-4	23.134	4.335	5.061
37	2-甲基戊烷	107-83-5	23.138	0.871	5.326
38	3-甲基戊烷	96-14-0	23.894	1.680	3.741
39	1-己烯	592-41-6	24.191	1.087	4.721
40	顺-1,2-二氯乙烯	156-59-2	24.383	0.905	3.052
41	正己烷	110-54-3	24.768	0.408	5.633
42	乙酸乙酯	141-78-6	24.923	0.682	6.826
43	三氯甲烷	67-66-3	24.933	0.489	3.830
44	四氢呋喃	109-99-9	25.858	0.077	5.871
45	1,2-二氯乙烷	107-06-2	26.236	0.318	4.695
46	甲基环戊烷	96-37-7	26.246	0.202	5.223
47	2,4-二甲基戊烷	108-08-7	26.337	0.137	3.493
48	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	26.689	0.485	3.745
49	苯	71-43-2	27.495	0.810	4.733
50	四氯化碳	56-23-5	27.755	0.517	3.550
51	环己烷	110-82-7	27.981	0.332	3.942
52	2-甲基己烷	591-76-4	28.187	0.335	4.170
53	2,3-二甲基戊烷	565-59-3	28.349	0.574	4.242
54	3-甲基己烷	589-34-4	28.629	0.318	3.953
55	1,2-二氯丙烷	78-87-5	28.916	0.295	6.032
56	一溴二氯甲烷	75-27-4	29.240	0.579	4.913
57	三氯乙烯	79-01-6	29.301	0.337	5.046
58	2,2,4-三甲基戊烷	540-84-1	29.355	1.528	4.535
59	1,4-二氧六烷	123-91-1	29.429	0.079	31.264
60	甲基丙烯酸甲酯	80-62-6	29.618	0.223	7.168
61	庚烷	142-82-5	29.747	0.301	5.887
62	顺-1,3-二氯-1-丙烯	10061-01-5	30.779	0.435	3.867
63	4-甲基-2-戊酮	108-10-1	30.908	0.150	28.541
64	甲基环己烷	108-87-2	31.026	0.532	3.666
65	反-1,3-二氯-1-丙烯	10061-02-6	31.684	0.390	3.990
66	1,1,2-三氯乙烷	79-00-5	32.049	0.315	4.546
67	2,3,4-三甲基戊烷	565-75-3	32.268	0.657	4.207

序号	化合物名称	CAS号	保留时间 (min)	平均相对响应因子	相对响应因子的相对标准偏差 (%)
68	甲苯	108-88-3	32.578	1.046	4.892
69	2-甲基庚烷	592-27-8	32.811	0.664	4.843
70	2-己酮	591-78-6	33.044	0.139	18.277
71	3-甲基庚烷	589-81-1	33.176	0.428	5.059
72	二溴一氯甲烷	124-48-1	33.382	0.628	4.047
73	1,2-二溴乙烷	106-93-4	33.868	0.461	3.665
74	正辛烷	111-65-9	34.280	0.330	4.011
75	四氯乙烯	127-18-4	34.705	0.539	3.397
76	氯苯	108-90-7	36.041	0.746	4.172
77	乙苯	100-41-4	36.754	1.406	6.309
78,79	对 + 间二甲苯	106-42-3	37.125	1.074	7.706
80	三溴甲烷	75-25-2	37.344	0.716	7.217
81	苯乙烯	100-42-5	37.834	0.747	8.338
82	1,1,2,2-四氯乙烷	79-34-5	38.026	0.744	4.256
83	邻二甲苯	95-47-6	38.060	1.119	7.436
84	正壬烷	111-84-2	38.354	0.702	5.917
85	异丙苯	98-82-8	39.187	2.081	5.863
86	正丙苯	103-65-1	40.176	2.357	6.091
87	间乙基甲苯	620-14-4	40.369	1.766	5.140
88	对乙基甲苯	622-96-8	40.463	1.870	7.146
89	1,3,5-三甲基苯	108-67-8	40.612	1.495	6.367
90	邻乙基甲苯	611-14-3	41.030	1.796	4.599
91	1,2,4-三甲基苯	95-63-6	41.476	1.409	7.787
92	正癸烷	124-18-5	41.587	1.105	7.724
93	氯代甲苯	100-44-7	41.780	0.909	13.095
94	1,3-二氯苯	54-17-31	41.830	0.918	7.415
95	1,4-二氯苯	106-46-7	41.969	0.866	8.142
96	1,2,3-三甲基苯	526-73-8	42.384	1.310	7.154
97	1,2-二氯苯	95-50-1	42.701	0.851	5.944
98	间二乙基苯	141-93-5	42.995	0.892	11.705
99	对二乙基苯	105-05-5	43.201	0.791	10.471
100	正十一烷	1120-21-4	44.257	0.784	12.006
101	1,2,4-三氯苯	120-82-1	46.458	0.350	17.328
102	正十二烷	112-40-3	46.583	0.463	11.564
103	萘	91-20-3	46.755	1.287	21.388
104	六氯丁二烯	87-68-3	47.545	0.637	8.466

## 检测限和精度

分别对校准浓度为 2.5、5.0、20 nmol/mol 的标准气体样品进行连续 5 次重复测定，计算各种目标化合物浓度的相对标准偏差 (RSD)，结果见表 4。从中可以看出，除浓度为 20 nmol/mol 的乙烯（取样体积为 800 mL）的 RSD 为 11% 以外，其他所有化合物的浓度 RSD 均小于 10%，表现出良好的精度。配制浓度为 0.5 nmol/mol 的标准气体样品，对其进行连续 7 次重复测定，计算各种目标化合物浓度的标准偏差 (S)，再根据公式  $MDL = S t_{(n-1, 0.99)}$ （其中， $t_{(n-1, 0.99)}$  为置信度为 99%、自由度为 n-1 时的 t 值，n 为重复测定的次数）来计算方法检测限 (MDL)，结果列于表 5 中。从中可以看出，除 1,4-二氧六烷和异丙醇的 MDL 大于 0.2 nmol/mol 以外，其他所有化合物的 MDL 均小于 0.2 nmol/mol，满足 HJ 759-2015 和《2018年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》的要求。<sup>[1,2]</sup>

表 4. 57 种 PAMS 和 47 种 TO15 目标化合物在不同浓度下的精度以及方法检测限 (MDL)

序号	化合物名称	保留时间 (min)	连续进样五针所得到的浓度 RSD (%)			连续进样七针所得到的结果	
			2.5 nmol/mol	5.0 nmol/mol	20 nmol/mol	0.5 nmol/mol 下的 RSD (%)	MDL (nmol/mol)
1	乙烯	16.057	1.1	1.8	11	15.4	0.067
2	乙炔	16.921	0.9	0.5	3.4	2.1	0.037
3	乙烷	17.435	1.2	1.8	6.1	1.7	0.019
4	丙烯	24.916	1.1	0.4	1	2.7	0.107
5	丙烷	25.547	1.8	2.4	1.1	0.5	0.017
6	二氟二氯甲烷	10.734	0.9	1.6	8.5	3.2	0.060
7	一氯甲烷	11.729	2.2	2.7	9.2	6.2	0.117
8	异丁烷	12.546	3.1	1.2	8.7	6	0.100
9	1,1,2,2-四氟-1,2-二氯乙烷	12.634	1.5	1.6	5.2	3.4	0.067
10	氯乙烯	13.1	3.9	1.1	7.9	4.6	0.085
11	1-丁烯	13.714	1.4	1.5	8.2	4.3	0.072
12	1,3-丁二烯	13.873	1.4	2	7.4	3.1	0.051
13	正丁烷	14.126	1.7	1.2	8.3	3.1	0.054
14	反-2-丁烯	14.659	1.8	1.6	7	4.2	0.072
15	一溴甲烷	14.997	1.5	1.4	5.5	6.4	0.123
16	顺-2-丁烯	15.365	1.3	0.9	6.5	8.3	0.140
17	氯乙烷	15.803	3.4	0.9	5.6	5.9	0.119
18	异戊烷	17.974	1.6	1.6	5.9	6.2	0.113
19	一氟三氯甲烷	18.372	1.1	2	5.2	2.5	0.055
20	1-戊烯	18.784	0.4	3.2	4	6	0.105
21	异丙醇	19.246	2.6	1.8	4.4	13.6	0.579
22	正戊烷	19.391	1.6	2.5	4.7	8.2	0.178
23	异戊二烯	19.648	1.6	1.2	4	7.2	0.104
24	反-2-戊烯	19.82	0.9	2	3	2.9	0.049
25	1,1-二氯乙烯	20.029	1.2	2.1	3.1	3.2	0.056
26	顺-2-戊烯	20.238	0.9	2.6	3.6	5	0.079
27	二氯甲烷	20.39	1.5	2	2.2	2.7	0.055
28	二硫化碳	20.849	1	1.9	2.3	3.4	0.065
29	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	21.018	1.4	2.9	2.7	2.9	0.056
30	2,2-二甲基丁烷	21.332	1.6	2.1	3	4.2	0.064
31	反-1,2-二氯乙烯	22.402	0.7	2.6	2.6	2.8	0.054
32	1,1-二氯乙烷	22.8	1.6	1.6	2.9	2.4	0.046

序号	化合物名称	保留时间 (min)	连续进样五针所得到的浓度 RSD (%)			连续进样七针所得到的结果	
			2.5 nmol/mol	5.0 nmol/mol	20 nmol/mol	0.5 nmol/mol 下的 RSD (%)	MDL (nmol/mol)
33	环戊烷	22.875	1.8	2.8	3.4	7.1	0.110
34	2,3-二甲基丁烷	22.942	1.1	3.2	3.5	2.4	0.039
35	甲基叔丁基醚	23.141	1.3	2.4	2.4	1.9	0.039
36	2-甲基戊烷	23.145	5.7	3	2.4	3.4	0.050
37	乙酸乙烯酯	23.145	0.8	2.7	2.4	3.6	0.058
38	3-甲基戊烷	23.911	0.9	1.6	2.2	6.1	0.097
39	1-己烯	24.201	1.4	2.9	2.1	4.7	0.069
40	顺-1,2-二氯乙烯	24.393	1.6	3.5	0.8	5.8	0.108
41	正己烷	24.778	1.7	1.6	3.1	3	0.094
42	乙酸乙酯	24.94	3.6	1.2	2.6	4.6	0.098
43	三氯甲烷	24.944	1.2	1.8	2.6	4.3	0.078
44	四氢呋喃	25.875	7.9	1.8	2.2	8.9	0.173
45	1,2-二氯乙烷	26.253	1.7	2.4	2.5	3.2	0.056
46	甲基环戊烷	26.26	4.4	2.5	2.9	6.2	0.091
47	2,4-二甲基戊烷	26.344	1.6	2	2.6	10.8	0.162
48	1,1,1-三氯乙烷	26.699	2.3	2.3	2	2.7	0.050
49	苯	27.509	1.8	1.5	1.5	2.5	0.085
50	四氯化碳	27.765	1.3	2.6	1.7	3.6	0.066
51	环己烷	27.992	1.2	1.7	1.8	5.4	0.174
52	2-甲基己烷	28.194	1.5	1.9	1.3	4.7	0.079
53	2,3-二甲基戊烷	28.359	1	1.9	1.6	5.6	0.094
54	3-甲基己烷	28.64	3.4	2.1	1.6	8.5	0.133
55	1,2-二氯丙烷	28.926	2.1	2.2	1.4	5.3	0.099
56	一溴二氯甲烷	29.251	2.4	1.6	0.8	2.1	0.039
57	三氯乙烯	29.311	2	1.5	1.9	5	0.094
58	2,2,4-三甲基戊烷	29.365	2.4	1.6	1.1	3.8	0.060
59	1,4-二氧六烷	29.46	3.8	4.1	1.2	7.1	0.265
60	甲基丙烯酸甲酯	29.629	1.4	1.2	2	5	0.092
61	庚烷	29.76	1.9	1.6	1.3	4.6	0.146
62	顺-1,3-二氯-1-丙烯	30.79	1.9	1.5	0.8	3.6	0.059
63	4-甲基-2-戊酮	30.925	2.2	2.5	3	4.7	0.162
64	甲基环己烷	31.039	2	2.3	0.6	1	0.016
65	反-1,3-二氯-1-丙烯	31.698	2.1	2.3	1.7	6.1	0.100
66	1,1,2-三氯乙烷	32.059	2.3	2.4	1.1	7.6	0.147
67	2,3,4-三甲基戊烷	32.278	1.7	1.6	1	4.2	0.064
68	甲苯	32.589	1.6	2	1	2.4	0.078
69	2-甲基庚烷	32.818	1.4	1.4	1.1	4.3	0.064
70	2-己酮	33.065	1.5	1.1	2.1	4.4	0.134
71	3-甲基庚烷	33.186	1.5	2.1	1.2	5.6	0.086
72	二溴一氯甲烷	33.392	1.6	1.9	1.4	1.9	0.032

序号	化合物名称	保留时间 (min)	连续进样五针所得到的浓度 RSD (%)			连续进样七针所得到的结果	
			2.5 nmol/mol	5.0 nmol/mol	20 nmol/mol	0.5 nmol/mol 下的 RSD (%)	MDL (nmol/mol)
73	1,2-二溴乙烷	33.878	1.2	2.3	1	5	0.087
74	正辛烷	34.29	1	2.5	1	3.7	0.052
75	四氯乙烯	34.712	3	2	2.4	3.6	0.067
76	氯苯	36.052	2.4	1.2	1	2.5	0.046
77	乙苯	36.767	1.8	1.5	0.9	3.2	0.107
78,79	对 + 间二甲苯	37.132	2	1.8	0.8	1.6	0.103
80	三溴甲烷	37.358	3.5	2.2	2.3	4.3	0.067
81	苯乙烯	37.847	2.4	1.5	1.5	2.9	0.081
82	1,1,2,2-四氯乙烯	38.04	2.7	2	1.3	1.7	0.031
83	邻二甲苯	38.07	2.1	2.2	1.1	1.8	0.058
84	正壬烷	38.364	2	1.9	0.9	2.2	0.032
85	异丙苯	39.198	1.3	1.2	2.5	2.8	0.048
86	正丙苯	40.187	1.9	0.6	2.6	2.5	0.041
87	间乙基甲苯	40.379	1.5	1.3	2.2	2.3	0.036
88	对乙基甲苯	40.467	1.3	1.2	1.9	2.1	0.064
89	1,3,5-三甲苯	40.605	1.7	1.3	2.5	3	0.098
90	邻乙基甲苯	40.997	0.8	1.4	2.5	3	0.049
91	1,2,4-三甲苯	41.425	1	1.3	2.9	3.7	0.115
92	正癸烷	41.53	1.5	0.4	1.8	1.6	0.026
93	氯代甲苯	41.712	1.9	1.1	2.5	3.7	0.053
94	1,3-二氯苯	41.759	0.8	1.3	2.1	4.7	0.074
95	1,4-二氯苯	41.891	0.8	1.3	1.8	3.7	0.059
96	1,2,3-三甲苯	42.293	1.3	1	3.4	3.2	0.051
97	1,2-二氯苯	42.6	1.1	1.4	1.3	2.4	0.041
98	间二乙基苯	42.88	1.2	1.6	3	2.9	0.040
99	对二乙基苯	43.079	1.6	1.8	2.3	3.9	0.055
100	正十一烷	44.119	1	0.8	3.3	3	0.040
101	1,2,4-三氯苯	46.38	2	1.8	1.8	4.8	0.070
102	正十二烷	46.512	2.2	2.1	2.7	6.3	0.094
103	萘	46.694	2.4	1.7	3.9	3.8	0.091
104	六氯丁二烯	47.521	3.3	1.5	1.1	4.5	0.084

## 高含水量样品保留时间的重复性

为测试本方法对高含水量样品的耐受性，向采样罐中注入一定量的水，再抽取 50.0 mL 混合标准使用气和 50 mL 内标标准气，配制相对湿度为 100% 的标准气体，连续进样分析 5 次。所得到的 10 种典型 PAMS 和 TO15 化合物的叠加色谱图如图 9 所示。从中可以看出，高湿度样品仅导致 FID 的基线升高，而对化合物的保留时间和响应没有影响。10 种化合物的保留时间 RSD < 0.05%，浓度 RSD < 7%，结果列于表 5 中。其原因可归结于本方法采用的 HP Plot Q PT 色谱柱相比于  $Al_2O_3$  色谱柱具有更出色的耐水性，且该色谱柱在两端采用了集成颗粒捕集技术，消除了传统 PLOT 色谱柱颗粒脱落的问题。

表 5. 相对湿度为 100% 的样品中 10 种典型 PAMS 和 TO15 化合物的保留时间 RSD 和浓度 RSD

PAMS 化合物	保留时间 RSD (%)	浓度 RSD (%)	TO15 化合物	保留时间 RSD (%)	浓度 RSD (%)
乙烯	0.033	5.31	一氯甲烷	0.044	1.64
乙炔	0.041	1.11	异丙醇	0.010	6.80
乙烷	0.029	1.99	甲苯	0.001	2.03
丙烯	0.024	2.53	萘	0.004	0.72
丙烷	0.024	0.36	六氯丁二烯	0.008	1.58

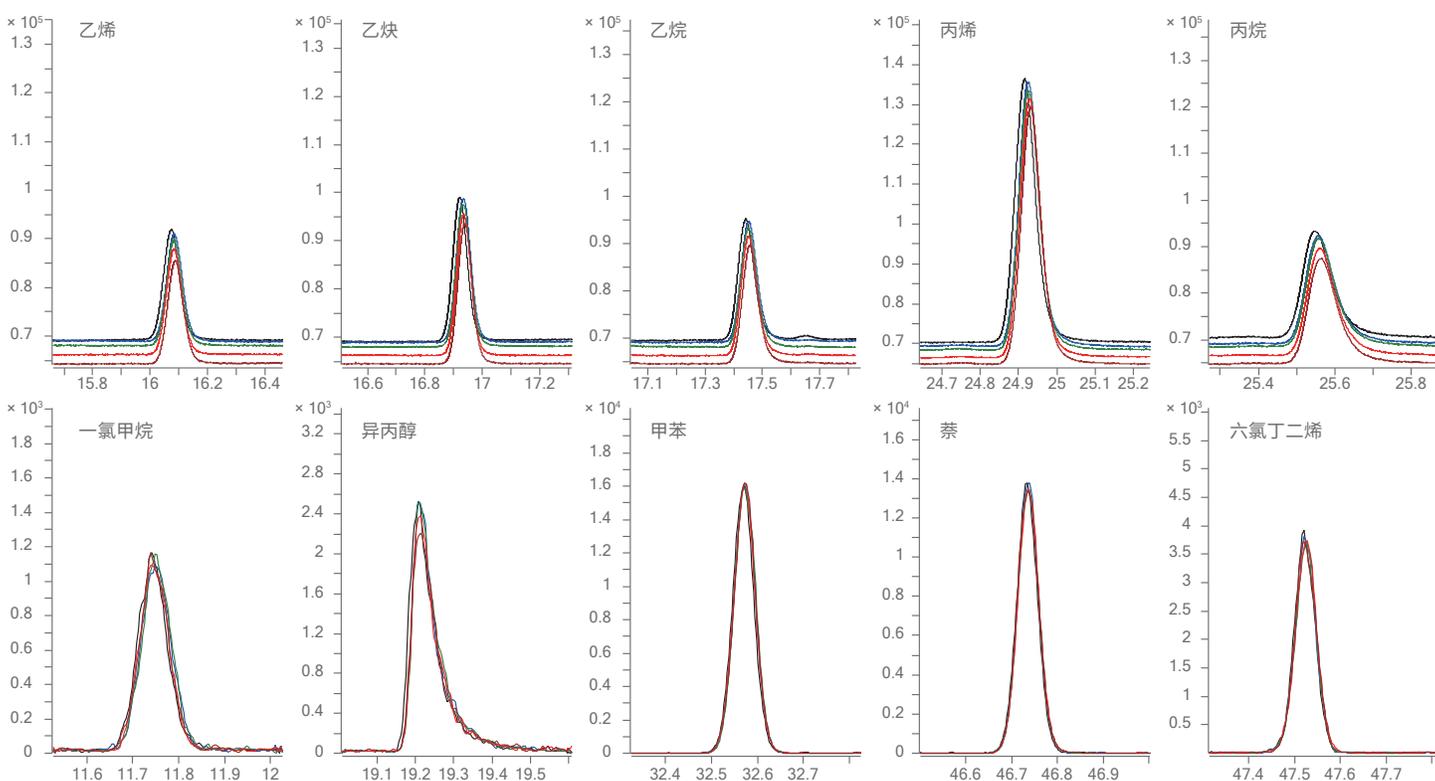


图 9. 相对湿度为 100% 的样品中 10 种特征 PAMS 和 TO15 化合物的叠加色谱图

## 实际样品测定

采集某地区空气样品，连接至大气预浓缩仪，进样体积 400 mL，按上文所列的仪器条件进行分析，结果见表 6。从中可以看出，在该样品中共检出 36 种目标化合物，其含量处于 0.2-30 nmol/mol 的范围内。

表 6. 某地区空气样品中 PAMS 和 TO15 化合物的测定结果

序号	化合物名称	类型	CAS 号	保留时间 (min)	实测浓度 (nmol/mol)
1	乙烯	PAMS	74-85-1	16.062	2.53
2	乙炔	PAMS	74-86-2	16.915	2.41
3	乙烷	PAMS	74-84-0	17.43	5.21
4	丙烯	PAMS	115-07-1	24.894	1.47
5	丙烷	PAMS	74-98-6	25.513	29.22
6	二氟二氯甲烷	TO15	75-71-8	10.795	0.74
7	一氯甲烷	TO15	74-87-3	11.77	1.04
8	异丁烷	PAMS	75-28-5	12.58	6.71
9	1-丁烯	PAMS	106-98-9	13.721	0.54
10	正丁烷	PAMS	106-97-8	14.14	10.69
11	异戊烷	PAMS	78-78-4	17.981	1.72
12	一氟三氯甲烷	TO15	75-69-4	18.376	0.39
13	异丙醇	TO15	67-63-0	19.25	2.07
14	正戊烷	PAMS	109-66-0	19.388	0.87
15	二氯甲烷	TO15	75-09-2	20.387	5.57

## 结论

本应用介绍了一种使用大气预浓缩仪结合 Agilent 7890B 气相色谱系统/5977B 单四极杆气质联用系统分析环境空气中的 PAMS 和 TO15 物质的方法，该方法采用 Deans Switch 中心切割技术和低温冷却柱温箱，能够通过一针进样分析 57 种 PAMS 和 47 种 TO15 化合物，方法检测限、线性和精度满足 HJ 759-2015<sup>[2]</sup> 的要求，适用于按照《2018 年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》的规定开展监测工作。

序号	化合物名称	类型	CAS 号	保留时间 (min)	实测浓度 (nmol/mol)
16	甲基叔丁基醚	TO15	1634-04-4	23.135	0.81
17	乙酸乙烯酯	TO15	108-05-4	23.141	0.51
18	2-甲基戊烷	PAMS	107-83-5	23.145	0.50
19	3-甲基戊烷	PAMS	96-14-0	23.904	0.39
20	正己烷	PAMS	110-54-3	24.772	0.70
21	乙酸乙酯	TO15	141-78-6	24.927	3.27
22	1,2-二氯乙烷	TO15	107-06-2	26.243	0.61
23	苯	PAMS	71-43-2	27.492	0.86
24	4-甲基-2-戊酮	TO15	108-10-1	30.918	1.07
25	甲苯	PAMS	108-88-3	32.575	2.89
26	2-己酮	TO15	591-78-6	33.065	0.84
27	乙苯	PAMS	100-41-4	36.747	0.72
28	对+间二甲苯	PAMS	106-42-3	37.085	1.51
29	苯乙烯	PAMS	100-42-5	37.838	0.28
30	邻二甲苯	PAMS	95-47-6	38.057	0.69
31	间乙基甲苯	PAMS	620-14-4	40.366	0.21
32	对乙基甲苯	PAMS	622-96-8	40.464	0.25
33	1,3,5-三甲基苯	PAMS	108-67-8	40.609	0.27
34	1,2,4-三甲基苯	PAMS	95-63-6	41.476	0.41
35	萘	TO15	91-20-3	46.762	0.37

## 参考文献

1. 环办监测函[2017]2024号, 2018年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案
2. HJ 759-2015 环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法
3. EPA. 1999. Air Method, Toxic Organics-15 (TO15): Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). EPA 625/R-96/010b

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)

安捷伦对本资料可能存在的错误或由于提供、展示或使用本资料所造成的间接损失不承担任何责任。

本文中的信息、说明和技术指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技（中国）有限公司，2018  
2018年5月10日，中国出版  
5991-9368ZHCN

