

# 使用氢气载气和 Agilent Hydro 惰性离子源进行 EPA TO-15 分析

使用无制冷剂热脱附和气相色谱联用单四极质谱仪 (GC/MS) 配合氢气进行环境空气检测

## 作者

Laura Miles,  
Hannah Calder, Helen Martin  
Markes International Ltd.  
英国兰特里森特

Tarun Anumol,  
Amanda McQuay,  
Angela Smith Henry  
安捷伦科技有限公司  
美国特拉华州威尔明顿

## 摘要

环境空气监测通常使用气相色谱/质谱 (GC/MS) 配合氮气载气进行。近来，氮气供应方面的压力迫使各个组织开始积极研究使用氢气载气，但氢气载气会导致大多数 GC/MS 分析灵敏度降低以及在离子源内发生加氢或脱氯反应。本应用简报介绍了利用氢气载气和 Agilent Hydro 惰性离子源对 100% 相对湿度 (RH) 下加湿采样罐中的空气毒物样品进行 GC/MS 分析，且使用无需制冷剂的系统进行热脱附预浓缩。65 种目标化合物（挥发性范围从丙烯到萘）的检测均获得了优异的峰形，并且性能完全满足美国国家环境保护局 (EPA) 方法“有毒有机物-15” (TO-15) 中规定的标准，包括低至 11 pptv 的方法检测限 (MDLs)。

## 前言

监测环境空气中的化学物质对于确定其对环境和全球气候的影响非常有必要。此类监测需求推动了许多国家/地区和国际法规的制定，以回应大众对环境（主要是城市）空气、工业排放物和垃圾填埋气体中可能有害的挥发性有机化合物 (VOCs) 的日益关注。

对这些 VOCs 的分析主要采用多种标准方法，这些标准方法需要使用吸附管（泵送或被动）、采样罐或在线技术。每种方法都有其自身的优势和适用范围，其中罐采样是美国和中国最常用的方法。如需使用该方法获得所需的检测限，需要通过预浓缩聚集分析物，并选择性除去大多数组分。该方法在最常用的罐采样标准方法（美国 EPA 方法 TO-15）中有所规定<sup>[1]</sup>。

虽然罐采样很常用，但传统的罐预浓缩技术面临目标分析物和浓度范围越来越广的挑战。此外，采样点的温度和湿度范围也是一个问题。高湿度条件会给分析带来困难，因为水分进入分析仪器后会影响到分析物响应和重现性，同时还会缩短色谱柱和检测器的使用寿命。

氦气供应多年来一直是一个问题，因此，转为使用氢气等替代载气的关注度显著增加。然而，现有的 MS 系统存在高度氯化化合物的脱氯问题。这些问题会影响总离子流色谱图 (TIC) 中峰的质谱，可能导致化合物鉴定出错。最新设计的 Agilent Hydro 惰性离子源是一种可用于 Agilent 5977B Inert Plus GC/MSD 的 Extractor 离子源，解决了这些与氦气相关的问题，并有助于提高使用氢气载气时的 GC/MS 性能。使用氢气载气和 Hydro 惰性离子源可保持质谱保真度，使用户能够继续使用现有的基于氦气的质谱库和定量方法。

本应用简报展示了如何结合使用采样罐自动进样器、基于捕集阱的新型除水装置，以及采用氢气载气和 Hydro 惰性离子源的热脱附气质联用系统 (TD-GC/MS)，按照美国 EPA 方法 TO-15 分析 100% 相对湿度下采样罐中的各种挥发性空气毒物。需注意的是，尽管某些分析人员采用术语 TO-15 笼统地描述罐采样，但本研究的重点是遵循该方法的具体要求。

### 美国 EPA 方法 TO-15 概述

关键操作总结如下。

1. **采样：**清洁并排空采样罐后，将其置于采样点。打开采样罐阀门，使用流量控制器将空气经过滤器吸入罐中。达到设定的恒定流量对应的采样时间后，关闭采样罐阀门并盖好盖子

2. **储存：**将样品保持在室温下，应尽快进行分析，最迟不得超过采样后 20 天
3. **样品分析：**将采样罐通过除水装置连接到采样罐自动进样器，将已知体积的样品从罐中引入浓缩系统内的多吸附剂聚焦阱。除水装置将去除样品中的大部分水，通过吹扫捕集阱可以进一步减少样品中残留的水蒸汽。浓缩和干燥步骤完成后，对 VOCs 进行热脱附，使其随着载气流转移到 GC 色谱柱上进行分离
4. **化合物鉴定和定量：**方法 TO-15 使用 GC/MS 对样品进行定性和定量分析。对于线性四极杆 MS，监测宽  $m/z$  范围（扫描模式）或者可以使用选择性离子扫描 (SIM) 模式监测相关目标化合物。检查 TIC 中各个峰的质谱，并根据定量离子和定性离子的强度鉴别 VOCs。然后将获得的质谱与（在类似条件下获取的）谱库谱图进行比较以鉴定化合物。对于任何鉴定的化合物，将定量离子的丰度与已知浓度的化合物的丰度进行比较，以确定样品中该化合物的浓度

## 实验部分

### 仪器

本研究的分析系统为配备 Kori-xr 除水装置和 UNITY-xr 热脱附仪的多气源版 CIA Advantage-xr 采样罐自动进样器，与配备 Hydro 惰性 EI 离子源和 6 mm 透镜（货号 G3870-20448）的 Agilent 8890B GC 和 5977B 单四极杆 GC/MSD 系统联用。

表 1 和表 2 给出了采样罐、TD、GC 和 MS 参数。

### 样品配制

除非另有说明，否则将含有 65 种“空气毒物”的 1 ppm 标准品在 6 L 采样罐中用氮气平衡气体稀释至 10 ppbv。向采样罐中注入适量的水，使相对湿度达到 100%。

## 结果与讨论

结果参见表 A1（参见附录）。

### 色谱分析

图 1 为 100% RH 下 10 ppbv TO-15 标样的典型分析结果，图 2 为挥发性各不相同的 16 种组分的提取离子色谱图 (EICs)。可以看出峰形非常出色，尤其是轻质 VOCs，这证明了 100% RH 下在分析物捕集前使用 Kori-xr 模块除水的有效性。

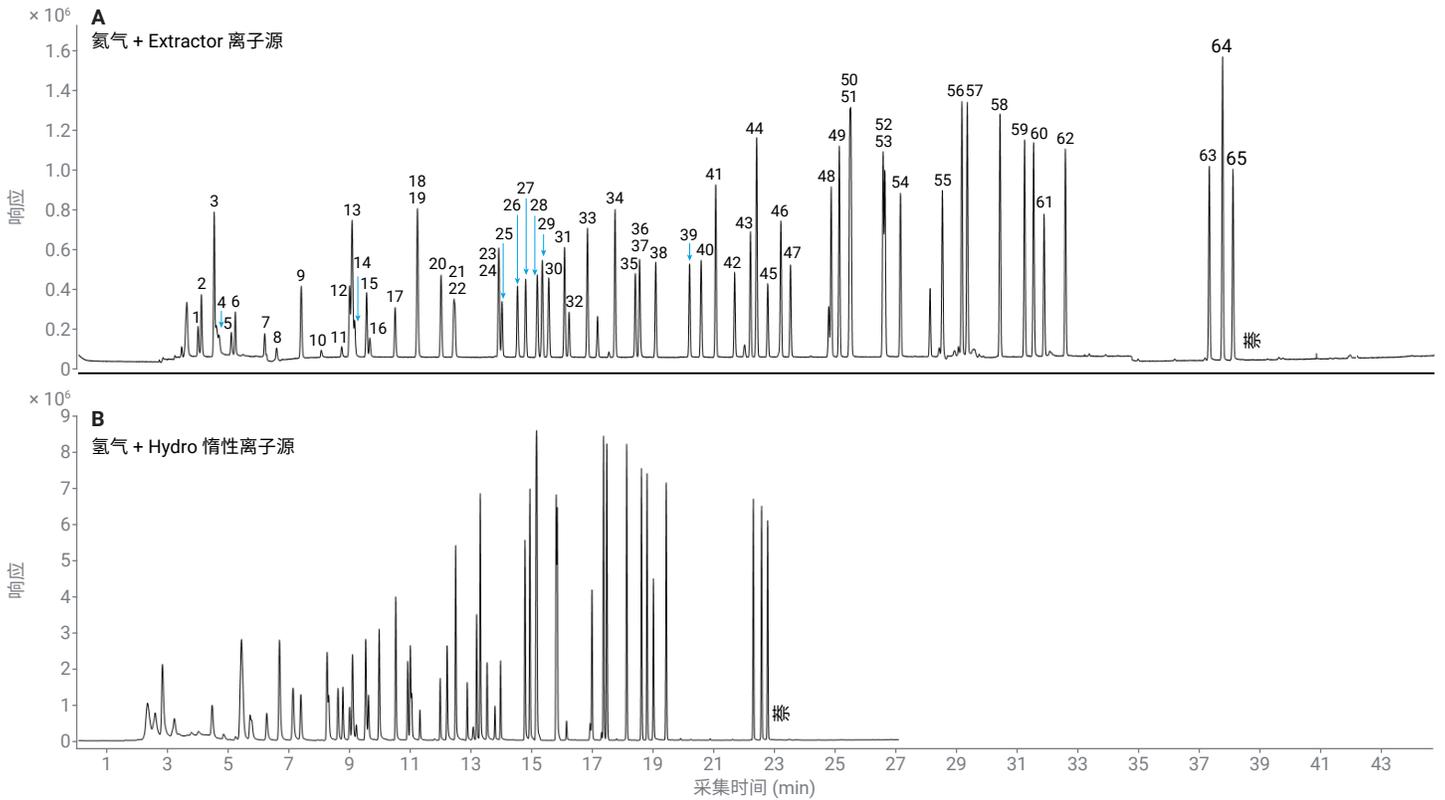
另一个值得注意的方面是，氢气载气将 GC 分析周期缩短了 40%（从 45 min 缩短至 27 min），例如萘从 38 min 变为 23 min，但所有化合物的保留时间顺序不变。更快速的色谱分析可以显著提高样品通量。

表 1. GC 和 TD 参数

参数	值
气相色谱	Agilent 8890B GC
色谱柱	Agilent J&W DB-624, 60 m × 0.25 mm, 1.40 μm (货号 123-1364)
进样口	不分流
进样口温度	120 °C
柱温箱升温程序	30 °C (保持 3 min) 以 8.3 °C/min 升至 230 °C (保持 0 min)
总运行时间	27 min
MS 传输线温度	230 °C
进样量	NA
载气	氢气, 2.0 mL/min, 恒流模式
<b>罐采样</b>	
仪器	CIA Advantage-xr (Markes International)
样品量	最高 400 mL (对于 50%–100% RH 的样品)
<b>除水</b>	
仪器	Kori-xr (Markes International)
捕集阱温度	-30 °C/ +300 °C
<b>TD</b>	
仪器	UNITY-xr (Markes International)
流路	120 °C
待机分流流速	10 mL/min
样品流速	50 mL/min
捕集阱吹扫	50 mL/min 下 1.0 min
捕集阱脱附	4 mL/min 分流流速下 2.0 min
冷阱	聚焦冷阱: 空气毒物分析仪 (货号 U-T15ATA-2S)

表 2. 质谱参数

参数	值
离子源	Hydro 惰性离子源
模式	电子电离, 70 eV
离子源温度	300 °C
四极杆温度	200 °C
扫描范围	<i>m/z</i> 30–300



- |                         |                 |                 |                  |               |
|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| 1. 丙烯                   | 15. 异丙醇         | 29. 环己烷         | 43. 1,1,2-三氯乙烷   | 57. 1,3,5-三甲苯 |
| 2. 二氯二氟甲烷               | 16. 二硫化碳        | 30. 四氯甲烷        | 44. 四氯乙烯         | 58. 1,2,4-三甲苯 |
| 3. 二氯四氟乙烷               | 17. 二氯甲烷        | 31. 1,2-二氯乙烷    | 45. 甲基正丁基酮       | 59. 1,2-二氯苯   |
| 4. 氯甲烷                  | 18. 1,2-二氯乙烯    | 32. 苯           | 46. 氯二溴甲烷        | 60. 1,4-二氯苯   |
| 5. 氯乙烯                  | 19. 甲基叔丁基醚      | 33. 庚烷          | 47. 1,2-二溴乙烷     | 61. 氯化苄       |
| 6. 丁二烯                  | 20. 己烷          | 34. 三氯乙烯        | 48. 氯苯           | 62. 1,3-二氯苯   |
| 7. 溴甲烷                  | 21. 1,1-二氯乙烷    | 35. 1,2-二氯丙烷    | 49. 乙苯           | 63. 1,2,4-三氯苯 |
| 8. 氯乙烷                  | 22. 乙酸乙烯酯       | 36. 甲基丙烯酸甲酯     | 50. 间二甲苯         | 64. 六氯丁二烯     |
| 9. 三氯氟甲烷                | 23. 反式-1,2-二氯乙烯 | 37. 1,2-二氧六环    | 51. 对二甲苯         | 65. 萘         |
| 10. 乙醇                  | 24. 甲基乙基酮       | 38. 溴二氯甲烷       | 52. 邻二甲苯         |               |
| 11. 丙烯醛                 | 25. 乙酸乙酯        | 39. 顺式-1,2-二氯丙烯 | 53. 苯乙烯          |               |
| 12. 1,1-二氯乙烯            | 26. 三氯甲烷        | 40. 4-甲基-2-戊酮   | 54. 三溴甲烷         |               |
| 13. 1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷 | 27. 四氯呋喃        | 41. 甲苯          | 55. 1,1,2,2-四氯乙烷 |               |
| 14. 丙酮                  | 28. 1,1,1-三氯乙烷  | 42. 反式-1,3-二氯丙烯 | 56. 4-乙基甲苯       |               |

图 1. 使用氮气 (A) 和氢气 (B) 分析 400 mL 10 ppbv 的 65-组分 TO-15 标样 (100% RH) 获得的结果。萘的保留时间从 38 min 变为 23 min, 表明 GC 分析周期缩短了 40%

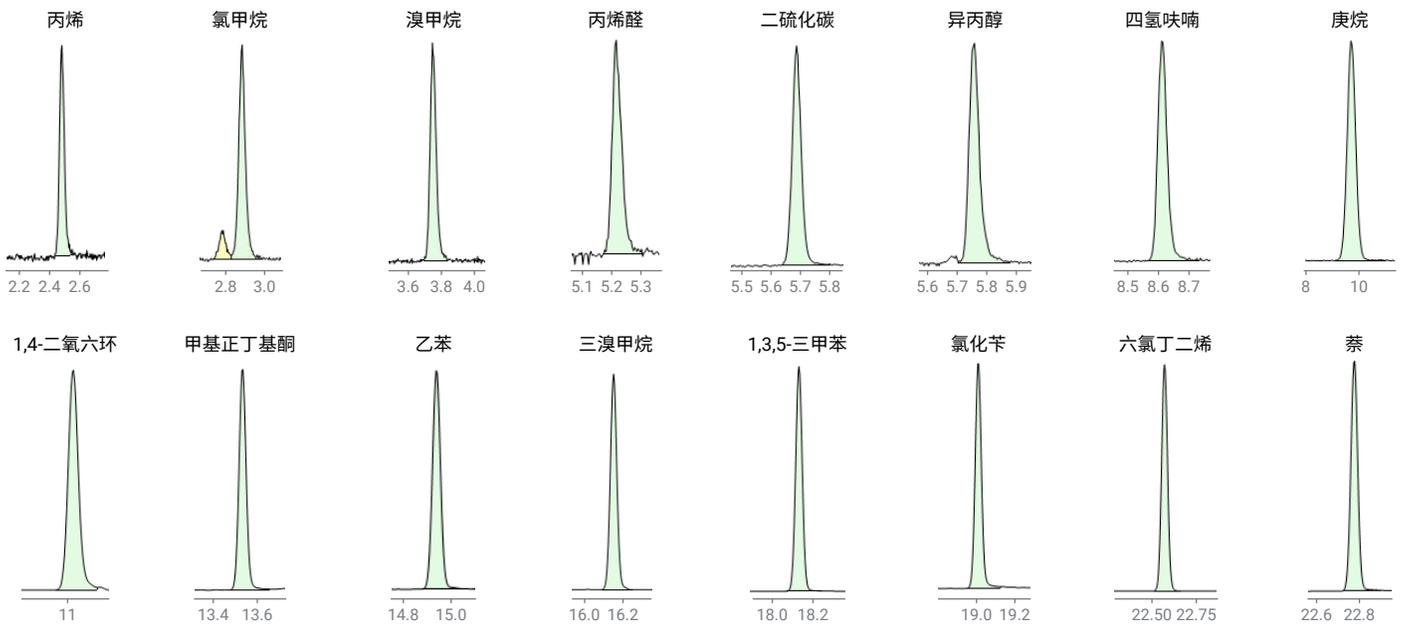


图 2. 使用氢气分析浓度为 2.5 ppbv 的 16 种选定化合物获得了出色的 EICs 峰形

### 谱图保真度

Hydro 惰性离子源可以避免使用氢气载气时可能发生的氢化和其他反应，进而确保了谱图保真度。65-组分混合物中所有分析物的谱库匹配得分 (LMS) 均远高于 90%，表明有效避免了不利的离子源反应。图 3 显示了根据美国国家标准技术研究院氮气谱库 (NIST20) 获得了高匹配得分的两个示例。

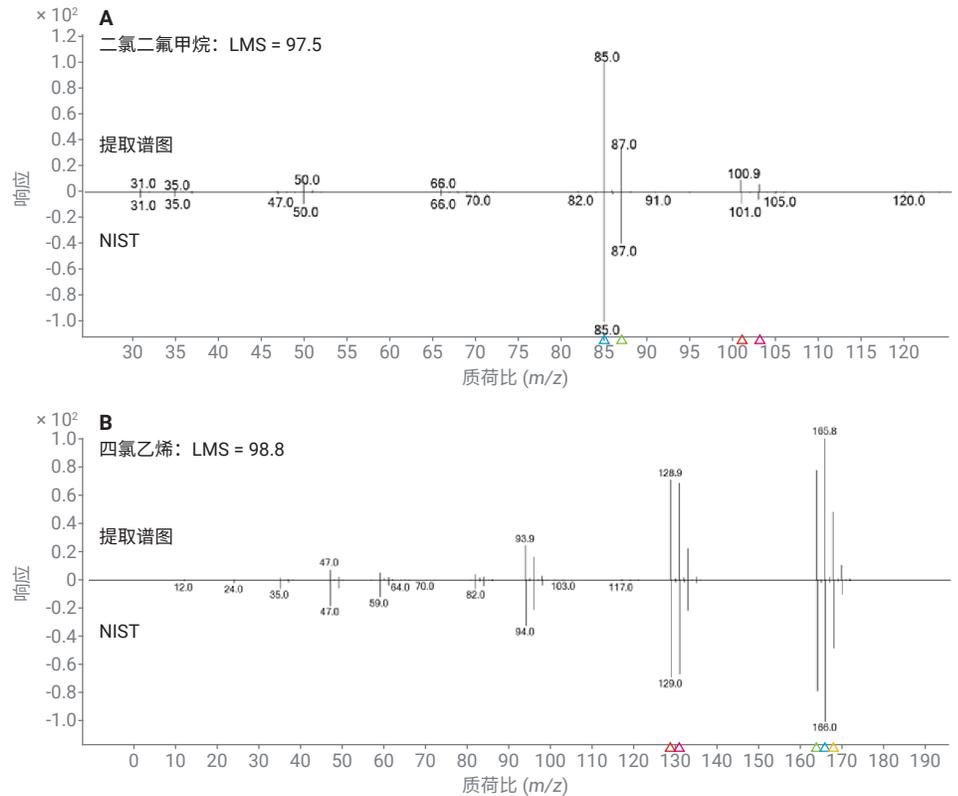


图 3. 二氯二氟甲烷 (A) 和四氯乙烯 (B) 的 LMS 以及提取谱图与 NIST 谱图的比较。结果表明谱图保真度得到保持

## 线性

在 0.5、1.25、2.5、5、7.5 和 10 ppbv 下计算了与浓度相关的线性。

在 100% RH 下获得了出色的系统线性 (表 A1)，0.50–10 ppbv 范围内的平均  $R^2$  值为 0.999。图 4 为 100% RH 样品中挥发性各不相同的 14 种化合物的线性图。

## 方法检测限

基于 0.1 ppbv 浓度下 7 次重复进样计算 MDLs<sup>[2]</sup>。为符合方法 TO-15，MDLs 必须  $\leq 0.5$  ppbv。

使用氢气载气时计算得出所分析的 28 种化合物的平均 MDL 为 28 pptv (表 3)，完全符合方法标准，证实使用 Hydro 惰性离子源进行 TO-15 分析满足并超出了方法合规性要求。MDL 范围为 4-乙基甲苯的 11 pptv 到二硫化碳的 53 pptv，只有丙烯一个离群值 (113 pptv)。这些值均远低于要求的  $\leq 0.5$  ppbv。

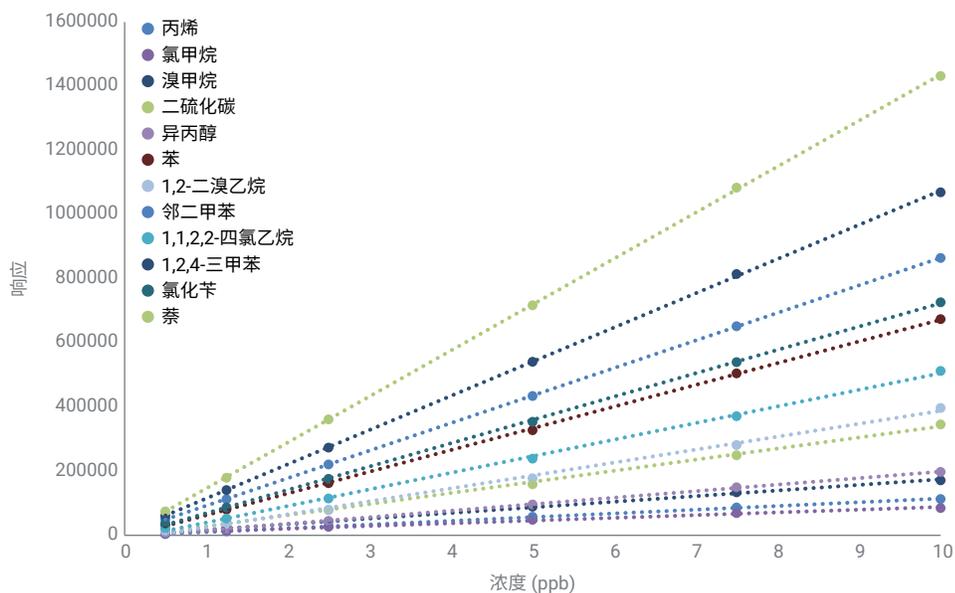


图 4. 在 100% RH 样品中，挥发性各不相同的 14 种化合物在 0.5–10 ppbv 范围内的线性结果

表 3. 100% RH 样品中浓度为 0.1 ppbv 的 28 种化合物的 MDL 值

编号	化合物	氢气 MDL (pptv)	编号	化合物	氢气 MDL (pptv)
1	丙烯	113	15	甲基丙烯酸甲酯	34
2	二氯二氟甲烷	38	16	溴二氯甲烷	34
3	氯乙烯	29	17	甲苯	14
4	丁二烯	33	18	四氯乙烯	13
5	1,1-二氯乙烯	24	19	1,2-二溴乙烷	28
6	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	25	20	氯苯	14
7	二硫化碳	53	21	乙苯	14
8	二氯甲烷	29	22	苯乙烯	23
9	甲基叔丁基醚	16	23	1,1,2,2-四氯乙烷	16
10	乙酸乙烯酯	23	24	4-乙基甲苯	11
11	甲基乙基酮	42	25	1,3,5-三甲苯	14
12	四氯甲烷	17	26	1,2-二氯苯	17
13	苯	19	27	六氯丁二烯	23
14	庚烷	13	28	萘	50
				平均值	28

## 重现性

方法 TO-15 要求校准表中每种化合物相对响应因子 (RRFs) 的相对标准偏差 (RSDs) 计算值必须低于 30%，且最多只能有两个例外值，但不能超过 40% 的限

值。结果完全符合方法 TO-15 对 100% RH 的要求，RSD 为 7.47%。此外，对于 100% RH 下 10 ppbv 的 10 次重复进样，平均峰面积 RSD 为 1.22%。对于 100% RH 下不同浓度的 50 次进样，平均保留

时间 RSD 为 0.09%，而标准规定的差异为 < 1% (图 5)。即使在使用氢气载气的情况下，使用 UNITY-Kori-CIA Advantage-xr 高效去除水分也能获得稳定的保留时间和高度可重现的峰面积响应。

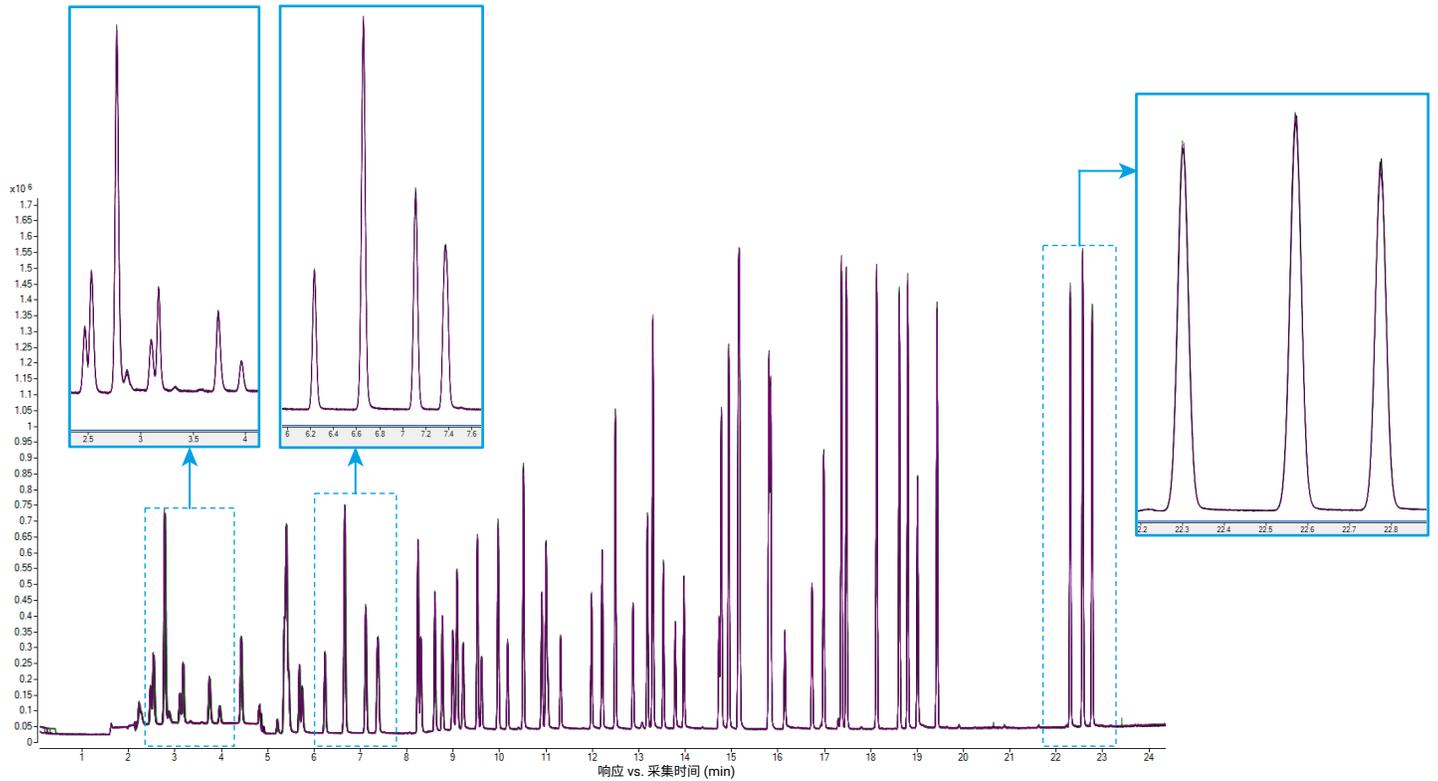


图 5. 100% RH 样品在 10 ppbv 浓度下 10 次重复进样的谱图叠加。平均保留时间 RSD 为 0.09%

## 实际空气样品

为了展示该系统对实际空气样品的分析性能，在上述的相同条件下分析了 400 mL 实验室空气。结果表明，TO-15 列表的 65 种化合物中，有 7 种化合物处于可定量水平（图 6）。

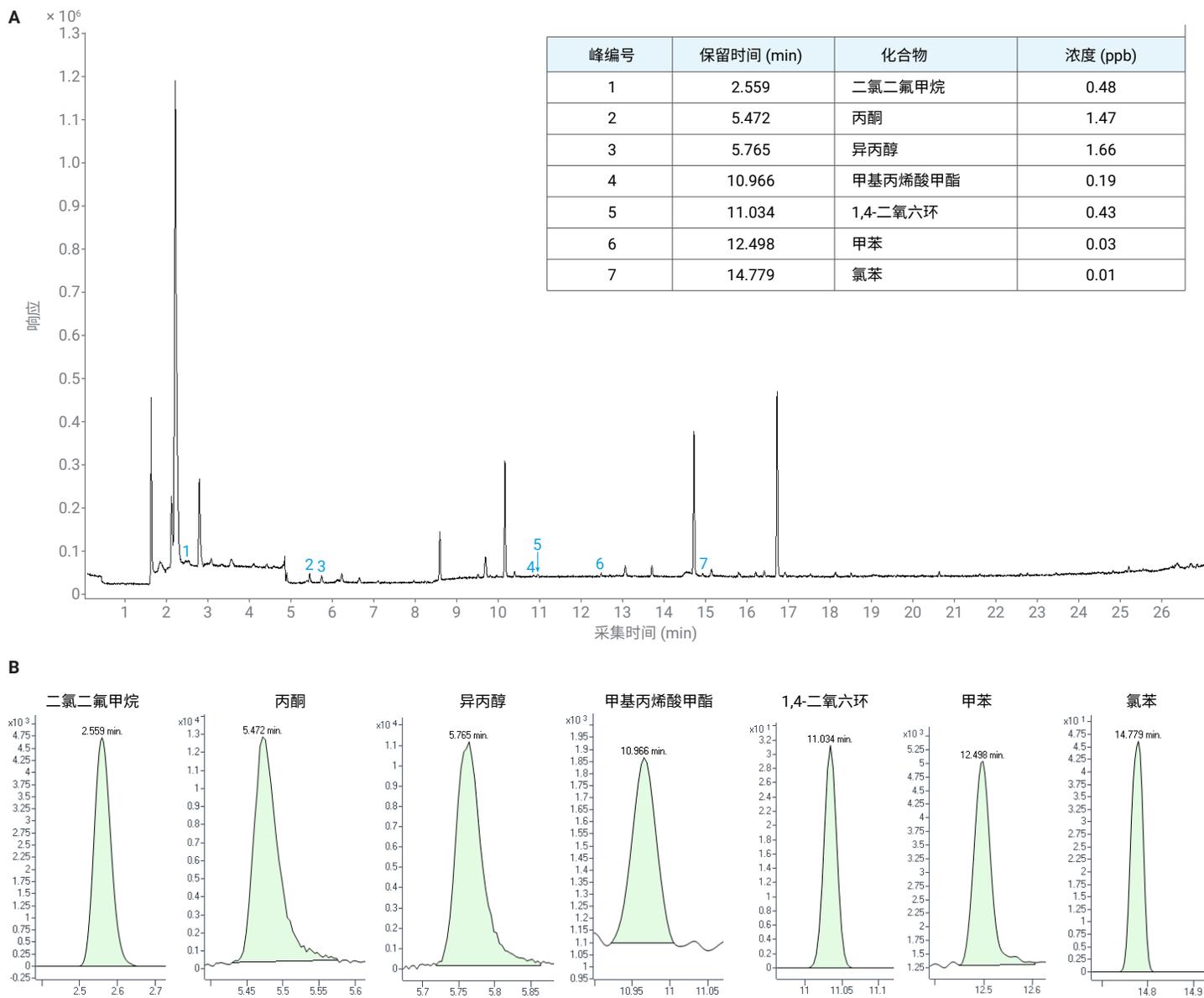


图 6. (A) 使用前文所述的条件分析 400 mL 乡村空气所得的实际样品色谱图。图中标出了 TO-15 列表中的化合物。(B) 检测到的 TO-15 列表中的 7 种化合物的放大图

## 结论

Agilent 8890 GC 联用 Agilent 5977B 单四极杆 MS，配合 CIA Advantage-Kori-xr-UNITY-xr 预浓缩系统以及氢气载气，可以根据美国 EPA 方法 TO-15 对潮湿环境中的“空气毒物”进行可靠的分析。

分析结果突出显示了含 65 种组分的 TO-15 混合物（从丙烯到萘）在 100% 相对湿度下的分析获得了优异的色谱性能。性能完全满足方法 TO-15 的要求，方法检测限低至 11 pptv。

至关重要的是，由于高效且选择性地除去了潮湿空气流中的水分，而不影响 VOCs 或极性物质的分析，因此即使 TO-15 混合物中挥发性最强的组分也实现了这一出色分析性能。此外，该系统使用电子捕集阱冷却，避免了与液态制冷剂相关的成本和不便。使用 Agilent Hydro 惰性离子源和氢气载气可以保持质谱保真度，使用户能够继续使用现有的基于氦气的质谱库和定量方法。GC/MSD 的稳定性和可靠性使系统能够长期运行，同时生成符合美国 EPA TO-15 要求的数据。

## 参考文献

1. Compendium Method TO-15: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air (second edition), *US EPA 1999*.  
[https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/epa-air-method-toxic-organics-15-15-determination-volatile-organic\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/epa-air-method-toxic-organics-15-15-determination-volatile-organic_.html)
2. 环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法, 中华人民共和国生态环境部 ([mee.gov.cn](http://mee.gov.cn)),  
[https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201510/t20151030\\_315940.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201510/t20151030_315940.shtml)

## 附录

许多用于采样罐分析的传统系统都采用液态制冷剂捕集 VOCs。与之相反，Markes 的系统采用电（帕尔帖）制冷，能够定量保留大体积样品中的大部分 VOCs，且省去了液体制冷剂的成本。

方法 TO-15 规定不得使用任何清洁度未通过测试（相对于目标 VOCs 浓度低于 0.2 ppbv 的加湿零级空气的直接分析）的采样罐。

根据七次检测结果，在 99% 置信度下计算 MDL ( $MDL = 3.143 \times \text{标准偏差} \times \text{浓度}$ )。

表 A1. TO-15 标准品在 100% RH 下使用氮气和氢气载气获得的分析结果比较。关于线性 ( $R^2$ )，使用氮气载气时考察的浓度范围为 0.22–10 ppbv，使用氢气载气时为 0.5–10 ppbv

编号	化合物	氮气载气 (100% RH)			氢气载气 (100% RH)		
		RT (min)	RRF RSD (%)	RRF RSD (%)	RT (min)	RRF RSD (%)	RRF RSD (%)
1	丙烯	4.894	0.9997	6.3	2.47	0.9994	12.4%
2	二氯二氟甲烷	5.032	0.9998	5.6	2.53	1.0000	8.4%
3	二氯四氟乙烷	5.500	0.9997	7.7	2.77	0.9999	4.2%
4	氯甲烷	5.686	0.9808	11.0	2.88	0.9929	9.3%
5	氯乙烯	6.122	0.9994	4.6	3.10	0.9997	10.1%
6	丁二烯	6.276	0.9998	2.0	3.17	0.9999	12.4%
7	溴甲烷	7.346	0.9988	14.4	3.74	0.9988	10.3%
8	氯乙烷	7.723	0.9870	9.1	3.95	0.9999	5.2%
9	三氯氟甲烷	8.646	0.9999	6.2	4.42	0.9996	5.6%
10	乙醇	9.299	0.9997	24.4	4.80	0.9990	20.9%
11	丙烯醛	9.925	0.9993	9.3	5.20	0.9988	18.9%
12	1,1-二氯乙烯	10.258	0.9998	1.2	5.35	0.9999	13.2%
13	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	10.337	1.0000	4.8	5.40	0.9998	2.2%
14	丙酮	10.401	1.0000	2.7	5.45	0.9999	5.1%
15	异丙醇	10.868	0.9981	18.8	5.74	0.9996	14.2%
16	二硫化碳	10.884	0.9999	0.9	5.67	0.9984	5.6%
17	二氯甲烷	11.657	0.9998	2.0	6.23	0.9995	8.7%
18	1,2-二氯乙烯	12.461	0.9999	1.6	6.65	0.9997	11.8%
19	甲基叔丁基醚	12.513	0.9997	4.2	6.65	0.9999	3.4%
20	己烷	13.285	0.9956	13.6	7.11	0.9999	2.3%
21	1,1-二氯乙烷	13.578	1.0000	5.5	7.36	0.9996	10.1%
22	乙酸乙烯酯	13.737	0.9998	1.5	7.39	0.9981	12.5%
23	反式-1,2-二氯乙烯	15.112	0.9998	3.6	8.24	0.9997	11.4%
24	甲基乙基酮	15.127	0.9998	9.2	8.23	0.9998	6.9%
25	乙酸乙酯	15.314	0.9999	5.5	8.30	1.0000	4.7%
26	三氯甲烷	15.904	0.9999	5.5	8.76	0.9984	8.6%
27	四氢呋喃	15.912	0.9998	9.2	8.60	0.9997	6.8%
28	1,1,1-三氯乙烷	16.447	0.9999	8.2	8.99	0.9969	7.9%
29	环己烷	16.637	0.9999	8.8	9.08	0.9997	2.6%
30	四氯甲烷	16.902	1.0000	7.4	9.21	0.9942	11.1%
31	1,2-二氯乙烷	17.378	1.0000	3.5	9.61	0.9999	5.6%
32	苯	17.390	0.9999	6.1	9.52	0.9998	2.0%
33	庚烷	18.075	0.9995	19.0	9.97	0.9998	2.8%
34	三氯乙烯	19.022	0.9999	5.1	10.51	0.9990	10.0%
35	1,2-二氯丙烷	19.557	0.9999	7.1	10.91	0.9990	4.9%
36	甲基丙烯酸甲酯	19.822	0.9989	2.9	11.00	0.9997	2.8%
37	1,4-二氧六环	19.914	0.9998	12.6	11.01	0.9981	15.6%
38	溴二氯甲烷	20.227	0.9999	6.2	11.32	0.9953	11.9%
39	顺式-1,3-二氯丙烯	21.399	1.0000	4.5	11.98	0.9961	12.9%
40	4-甲基-2-戊酮	21.760	0.9999	2.8	12.21	0.9996	5.6%
41	甲苯	22.326	0.9999	16.3	12.50	1.0000	4.1%
42	反式-1,3-二氯丙烯	22.810	0.9997	2.9	12.88	0.9973	13.1%
43	1,1,2-三氯乙烷	23.305	1.0000	7.9	13.19	0.9990	6.3%

编号	化合物	氮气载气 (100% RH)			氢气载气 (100% RH)		
		RT (min)	RRF RSD (%)	RRF RSD (%)	RT (min)	RRF RSD (%)	RRF RSD (%)
44	四氯乙烯	23.828	1.0000	8.8	13.31	0.9996	2.9%
45	甲基正丁基酮	23.959	0.9998	2.5	13.53	0.9942	17.0%
46	氯二溴甲烷	24.398	0.9999	4.7	13.79	0.9973	12.6%
47	1,2-二溴乙烷	24.735	1.0000	4.4	13.98	0.9973	14.2%
48	氯苯	26.102	1.0000	11.9	14.78	0.9998	2.2%
49	乙苯	26.407	0.9999	20.2	14.94	1.0000	4.6%
50	间二甲苯	26.732	1.0000	20.8	15.16	0.9999	4.7%
51	对二甲苯	26.732	1.0000	20.8	15.16	0.9999	4.7%
52	邻二甲苯	27.837	1.0000	25.2	15.81	1.0000	5.7%
53	苯乙烯	27.857	0.9999	10.3	15.84	1.0000	4.1%
54	三溴甲烷	28.376	0.9998	4.4	16.15	0.9976	6.8%
55	1,1,2,2-四氯乙烷	29.624	0.9999	6.8	16.99	0.9990	8.1%
56	4-乙基甲苯	30.385	0.9999	6.3	17.37	1.0000	4.1%
57	1,3,5-三甲苯	30.551	1.0000	19.6	18.13	1.0000	4.5%
58	1,2,4-三甲苯	31.653	1.0000	10.4	17.48	0.9999	4.6%
59	1,2-二氯苯	32.485	0.9999	3.9	18.62	1.0000	1.0%
60	1,4-二氯苯	32.738	0.9999	3.3	18.80	0.9999	2.4%
61	氯化苄	33.107	0.9998	2.3	19.01	0.9998	2.0%
62	1,3-二氯苯	33.840	0.9999	7.4	19.43	0.9999	3.8%
63	1,2,4-三氯苯	38.594	0.9965	18.9	22.30	0.9998	2.2%
64	六氯丁二烯	39.121	0.9997	9.4	22.57	0.9988	7.5%
65	萘	39.315	0.9975	19.7	22.78	1.0000	1.6%
	平均值		0.9992	8.5		0.9990	7.5%

查找当地的安捷伦客户中心：

[www.agilent.com/chem/contactus-cn](http://www.agilent.com/chem/contactus-cn)

免费专线：

800-820-3278, 400-820-3278 (手机用户)

联系我们：

[LSCA-China\\_800@agilent.com](mailto:LSCA-China_800@agilent.com)

在线询价：

[www.agilent.com/chem/erfq-cn](http://www.agilent.com/chem/erfq-cn)

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

DE14855333

本文中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技 (中国) 有限公司, 2023  
2023年5月31日, 中国出版  
5994-5359ZHCN