

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 and 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^[1]。

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影响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。

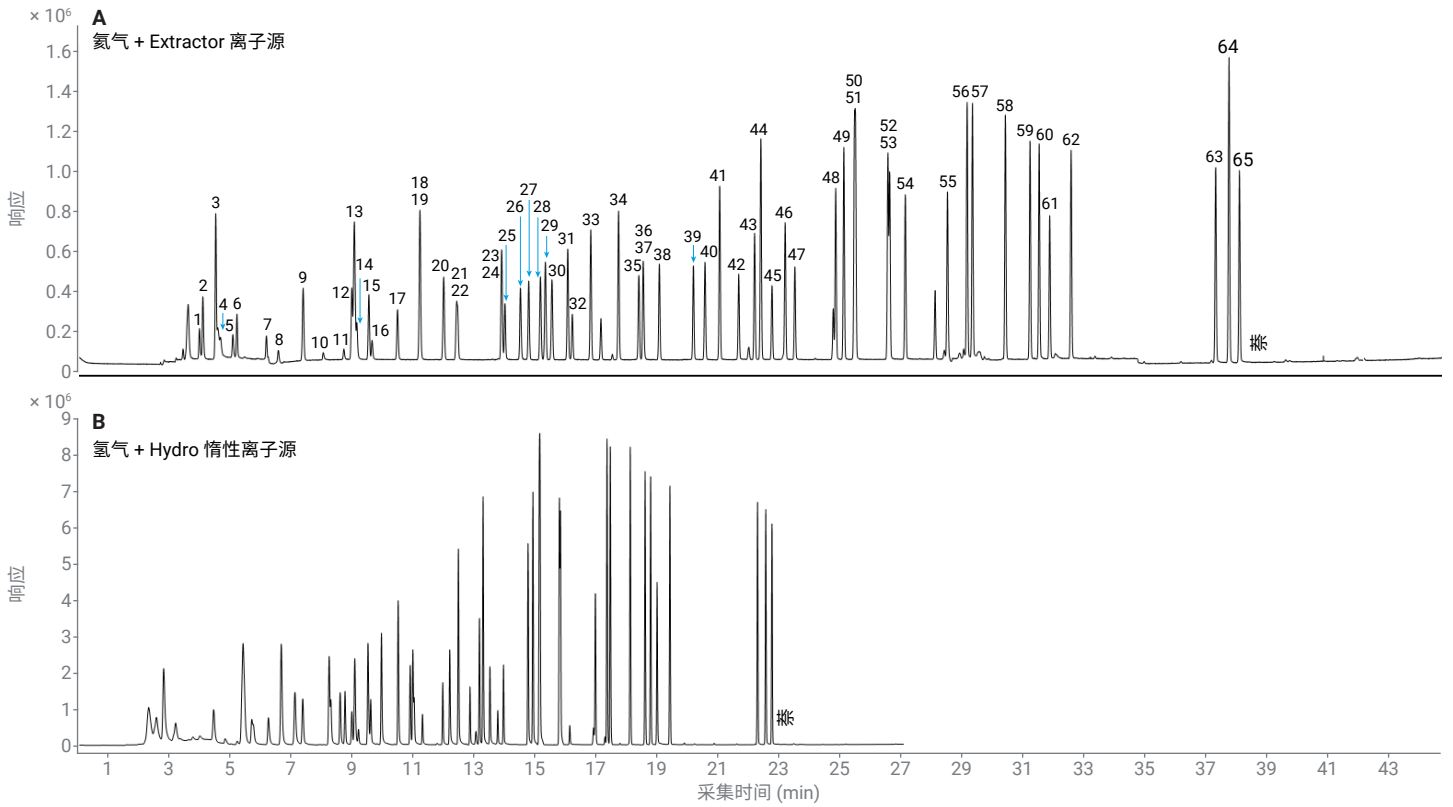
另一个值得注意的方面是，氢气载气将 GC 分析周期缩短了 40%（从 45 min 缩短至 27 min），例如萘从 38 min 变为 23 min，但所有化合物的保留时间顺序不变。更快速的色谱分析可以显著提高样品通量。

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 |
| 罐采样 | |
| 仪器 | CIA Advantage-xr (Markes International) |
| 样品量 | 最高 400 mL (对于 50%–100% RH 的样品) |
| 除水 | |
| 仪器 | Kori-xr (Markes International) |
| 捕集阱温度 | -30 °C/ +300 °C |
| TD | |
| 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-1,2,2-三氯乙烷 | 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) 和氮气 (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%

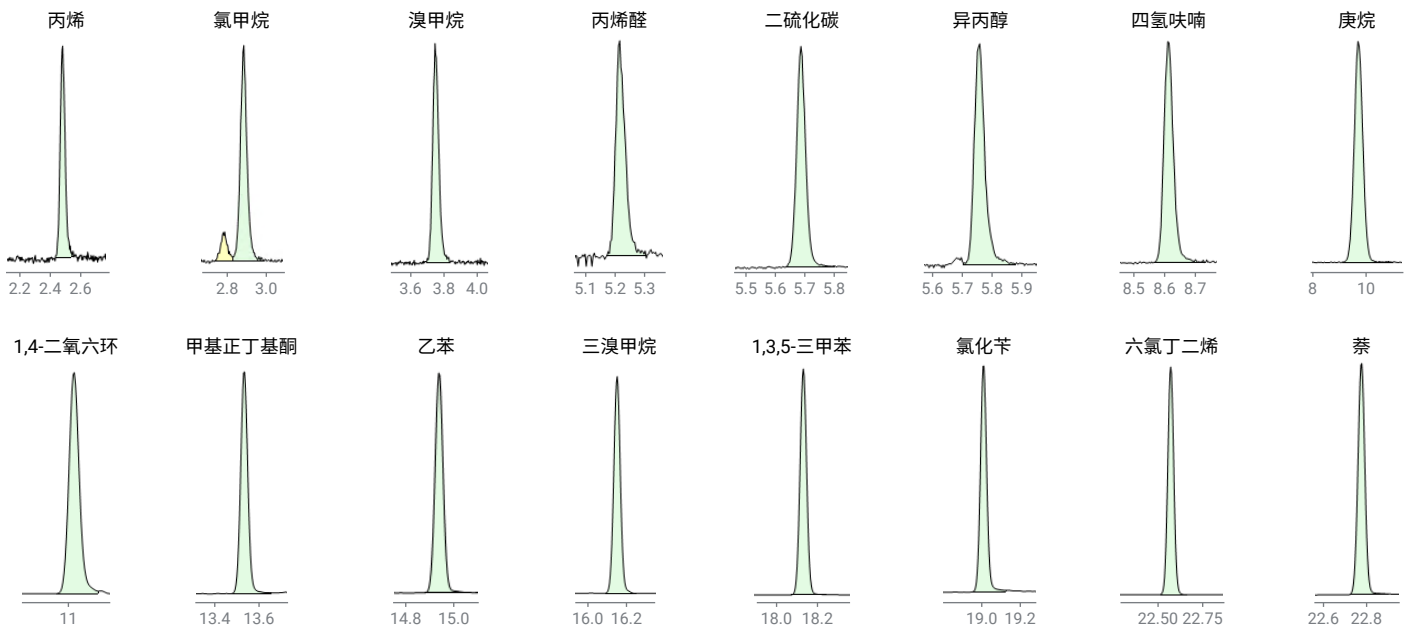


图 2. 使用氢气分析浓度为 2.5 ppbv 的 16 种选定化合物获得了出色的 EICs 峰形

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氦气谱库 (NIST20) 获得了高匹配得分的两个示例。

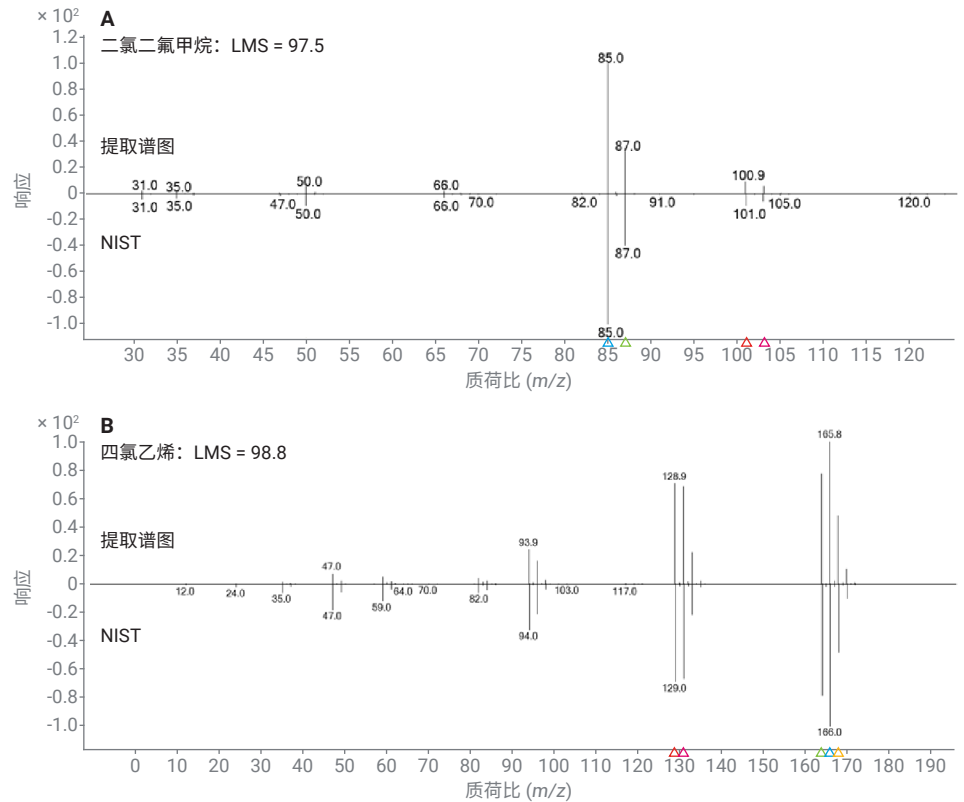


图 3. 二氯二氟甲烷 (A) 和四氯乙烯 (B) 的 LMS 以及提取谱图与 NIST 谱图的比较。结果表明谱图保真度得到保持

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^[2]。为符合方法 TO-15，MDLs 必须 ≤ 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 ≤ 0.5 ppbv。

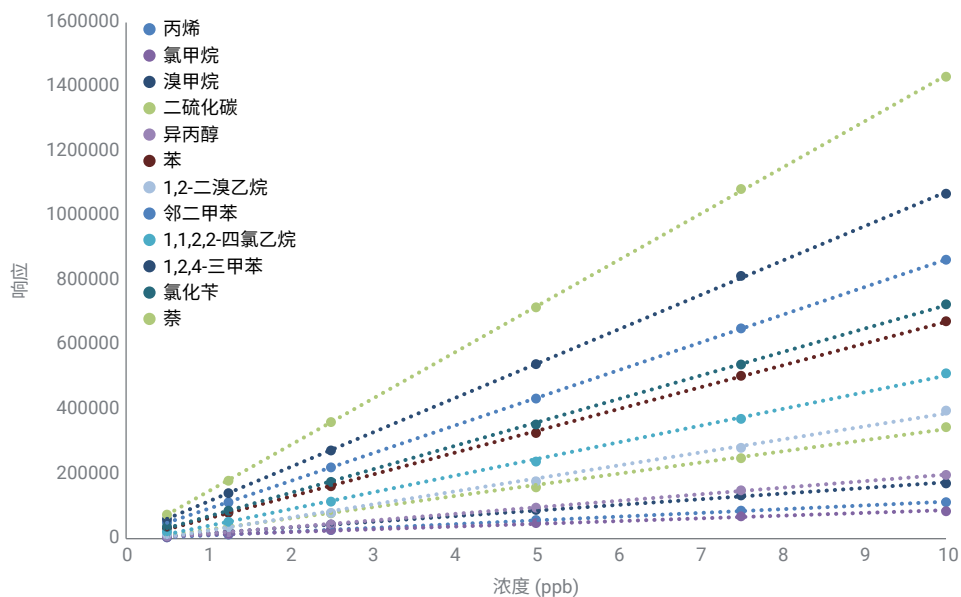


图 4. 在 100% RH 样品中，挥发性各不相同的 14 种化合物在 0.5–10 ppbv 范围内的线性结果

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。

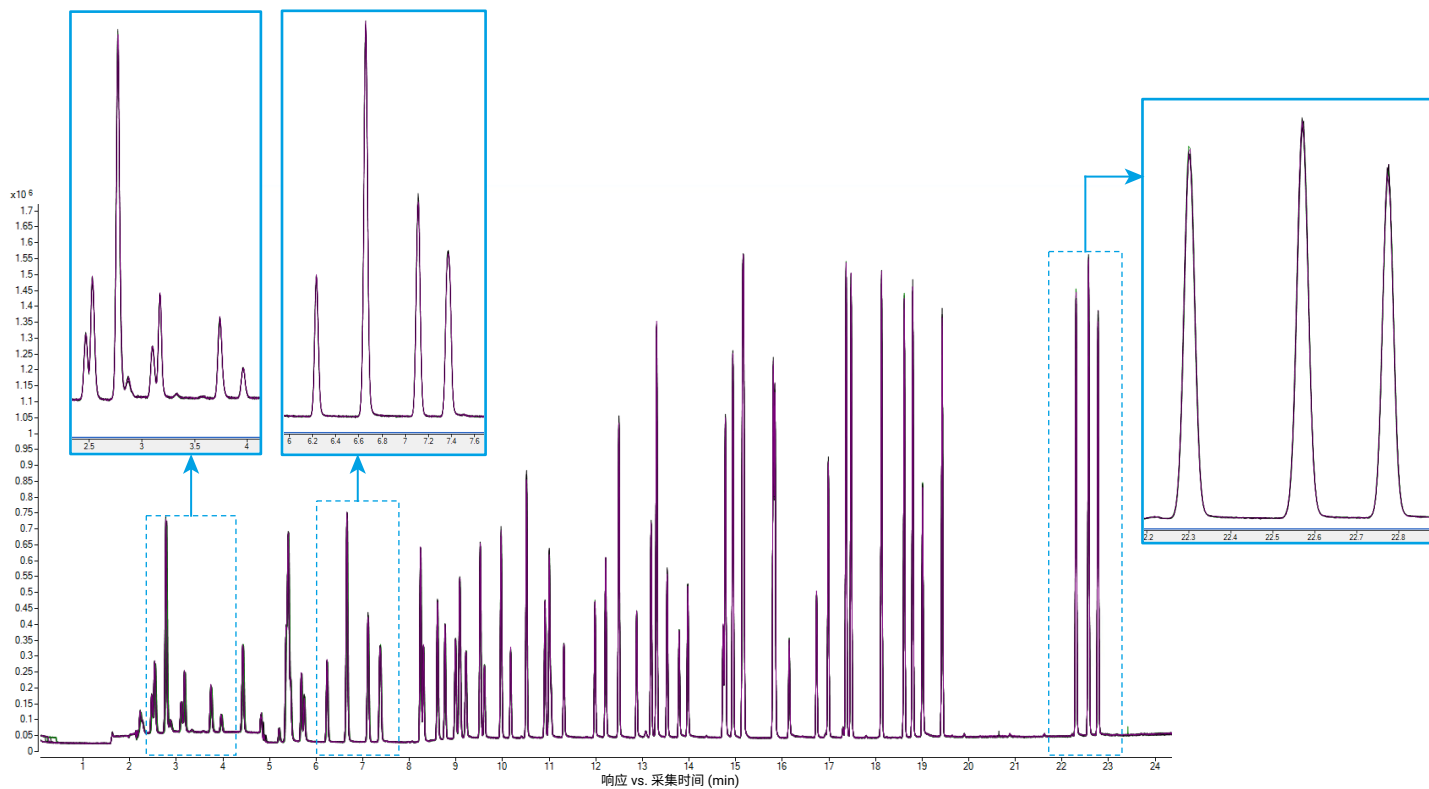


图 5. 100% RH 样品在 10 ppbv 浓度下 10 次重复进样的谱图叠加。平均保留时间 RSD 为 0.09%

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）。

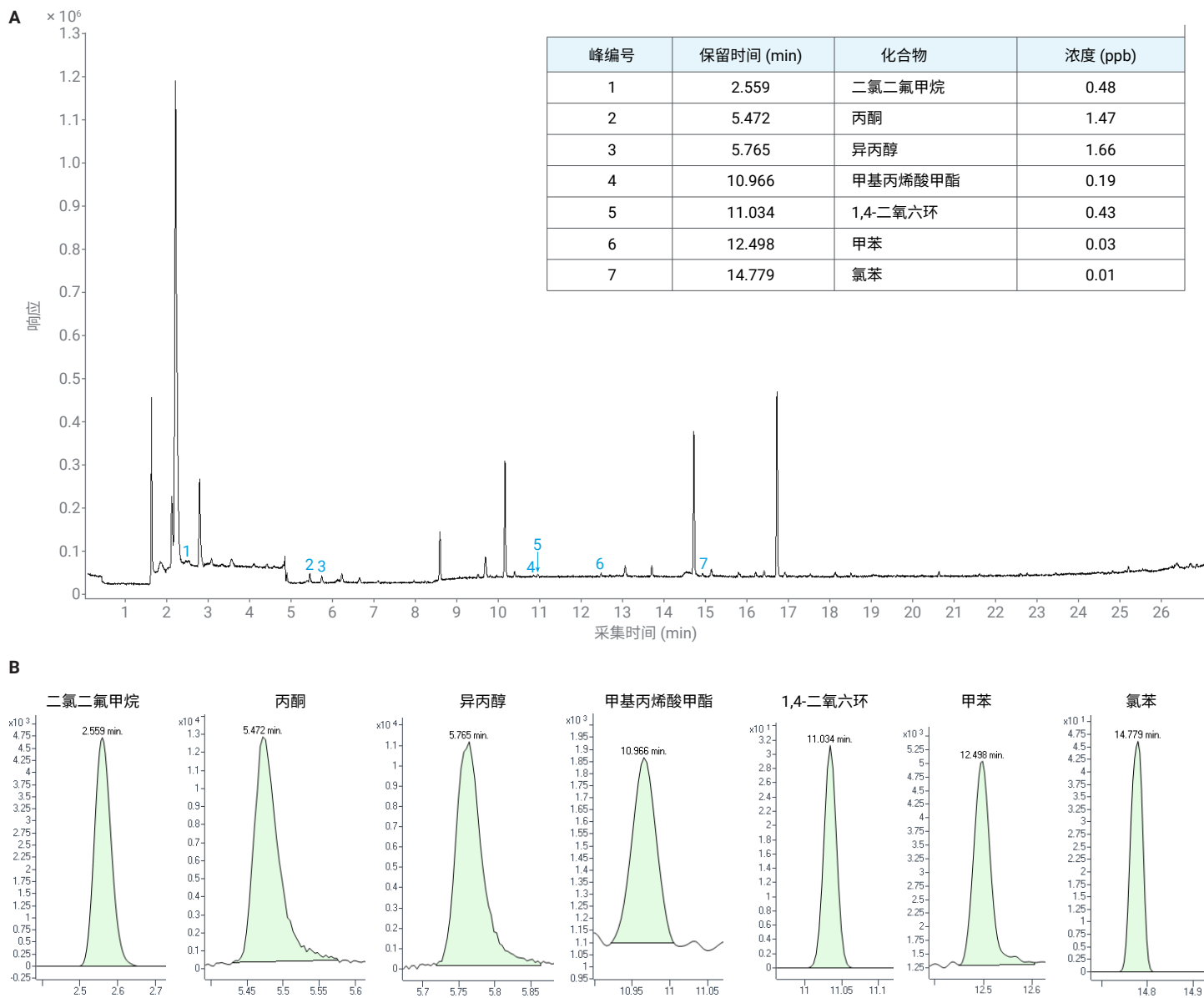


图 6. (A) 使用前文所述的条件分析 400 mL 乡村空气所得的实际样品色谱图。图中标出了 TO-15 列表中的化合物。(B) 检测到的 TO-15 列表中的 7 种化合物的放大图

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
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), 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 ppv

| 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 | 氯化苈 | 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

免费专线：

800-820-3278, 400-820-3278 (手机用户)

联系我们：

LSCA-China_800@agilent.com

在线询价：

www.agilent.com/chem/erfq-cn

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