

使用吹扫捕集与单四极杆 GC-MS 联用分析水中的挥发性有机化合物

作者：Terry Jeffers¹、Adam Ladak² 和 Amy Nutter³

¹Thermo Fisher Scientific, USA

²Thermo Fisher Scientific, UK

³Teledyne Tekmar, Mason, OH, USA

关键词：ISQ 7610、TRACE 1610 GC、GC-MS、HJ 639、美国 EPA 8260、VOC、痕量分析、气相色谱、单四极杆质谱、选择离子监测、环境实验室、水分析

目的

证实 Teledyne Tekmar Atomx XYZ 吹扫捕集 (P&T) 系统、Thermo Scientific™ ISQ™ 7610 单四极杆质谱仪、Thermo Scientific™ TRACE™ 1610 气相色谱仪 (GC) 和 Thermo Scientific™ Chromeleon™ 色谱数据系统 (CDS) 用于中国环境标准方法 HJ 639 测定地下水、地表水和废水中挥发性有机化合物 (VOC) 的合规性。通过线性、检测限、精密度和准确度评估该方法的分析性能。此外，还进行了一项长期研究，证实了该方法的耐用性。



前言

挥发性有机化合物 (VOC) 是一系列具有不同特性的物质，它们产生于天然过程、工业活动、石油和家用产品。这类化合物类备受关注，因为它们是导致地面臭氧形成的重要污染物，从而对人类健康构成威胁。世界各地监管机构已发布多种方法来支持分析测试实验室应对 VOC 分析。吹扫捕集与气相色谱质谱联用 (GC-MS) 是 VOC 分析的首选方法，它结合了样品预浓缩与脱水的优势，可提高灵敏度，延长色谱柱寿命并减少水分进入 GC 系统时可能发生的峰干扰。此外，方法 8260 和方法 524.2 等一些常见方法均由美国环境保护署 (U.S. EPA) 规定。

中国生态环境部制定了标准方法 HJ 639，用于监测地下水、地表水和废水中的 VOC，确保安全。若要执行 HJ 639，必须符合方法接受标准的要求。这些标准包括证明水样中化合物的方法检测限（MDL），最低 MDL 规定为 0.6 ppb (µg/L)。方法线性校正结果的 R² 值>0.99，或相对响应因子（RRF）RSD<20%。为确保吹扫捕集采样结果令人满意，化合物的回收率必须介于 70%-130% 之间。为了评估方法的整体重现性，每种化合物连续两次进样的精密度必须小于 25%。除这些标准外，分析测试实验室必须获得一致的分析结果且具有日间重现性。本应用文档采用吹扫捕集采样与 GC-MS 相结合，证实了 HJ 639 用于分析水中 VOC 的适用性。

实验

本实验采用 ISQ 7610 单四极杆质谱仪，配置 Thermo Scientific™ ExtractaBrite™ 离子源，并与 TRACE 1610 GC 和 Teledyne Tekmar Atomx XYZ P&T 联用运行分析，根据中国 HJ 639 方法测定水中 VOC 的系统适用性。ISQ 7610 系统的 Thermo Scientific™ NeverVent™ 真空锁（VPI）技术允许用户在无需质谱仪放空的情况下维护离子源和分析柱，显著减少了仪器停机时间并最大限度地减少了样品分析中断。Atomx XYZ 浓缩仪的高效冷阱设计减少了样品循环时间并提高了样品通量。该系统利用水分控制系统提高水蒸气去除效率，从而减少了峰干扰并延长了 GC 色谱柱使用寿命。GC-MS 系统和吹扫捕集的实验条件见表 1 和表 2。

表 1. 水中 VOC 分析采用的 Teledyne Tekmar Atomx XYZ 水操作条件

待机	变量	解吸	变量
柱温箱温度 (阀)	140°C	进样针冲洗体积 (水)	7.00 mL
传输线温度	140°C	吹扫进样针时间	0.25 min
安装温度 (样品)	90°C	解吸预热温度	245°C
加热器温度 (水)	90°C	解吸时间	2.00 min
样品瓶温度 (样品)	20°C	排出流速	300 mL/min
阀温度 (土壤)	50°C	解吸温度	250°C
待机流速	10 mL/min	进样针冲洗 (甲醇)	关
吹扫就绪温度	40°C	GC 启动信号	开始解吸
吹扫	变量	烘烤	变量
样品平衡时间	0.00 min	甲醇玻璃冲洗	关
预扫时间	0.25 min	水烘烤冲洗	1
灌注样品填充体积	3.00 mL	水烘烤冲洗体积	7.00 mL
样品体积	5.00 mL	烘烤冲洗吹扫时间	0.25 min
吹扫样品时间	0.25 min	烘烤冲洗吹扫流速	100 mL/min
吹扫样品流速	100 mL/min	烘烤冲洗排出时间	0.40 min
喷雾容器加热器	关	烘烤时间	2.00 min
吹扫时间	11.00 min	烘烤流速	200 mL/min
吹扫流速	40 mL/min	烘烤温度	260°C
吹扫温度	20°C	MCS 烘烤温度	180°C
MCS 吹扫温度	20°C	阱	#9
干吹扫时间	0.5 min	吹扫气	氮气
干吹扫流速	100 mL/min		
干吹扫温度	20°C		

表 2. 水中 VOC 分析采用的 GC-MS 操作条件

Trace 1610 GC 条件	
色谱柱	Thermo Scientific™ TraceGOLD™ TG VMS (P/N 26080-4950), 20 m x 0.18 mm, 1 μm 薄膜
载气	氮气, 0.8 mL/min
柱温箱升温程序	35°C, 3 min, 以 12°C/min 升温速率升温至 85°C, 以 25°C/min 的升温速率升温至 225°C, 保温 2 min, 运行时间 14.767 min
进口	SSL, 200°C, 分流比 30:1, 吹扫流速 0.5 mL/min
ISQ 7610 MS 条件	
温度	传输线温度 230°C; 离子源温度 280°C
扫描	范围 40 amu-270 amu, 溶剂延迟 0.50 min, 驻留/扫描时间 0.20 s
电流	发射电流 25 μA, 增益 3.00E+005

数据采集、处理和报告

使用 Chromeleon CDS 7.3 版采集、处理并报告数据。Atomx XYZ P&T 的集成仪器控制功能可确保从序列设置到数据报告的完全自动化, 简化了仪器操作。

例如, Chromeleon CDS 界面允许直接控制 Atomx XYZ P&T, 见图 1。本应用文档中使用的全优化方法与 eWorkflow™ 可通过 Thermo Scientific™ AppsLab 应用文档库 (www.appslab.com) 下载。Chromeleon CDS eWorkflow 可轻松导入 CDS, 用户只需点击几下即可启动序列、处理数据并生成结果。

标准品和样品制备

为了生产标准品和模拟水样, 将标准混合物加入试剂水中。8260B MegaMix® (P/N 30633)、VOA (酮类) (P/N 30006) 和 502.2 校正混合物 (P/N 30042) 均购自 Restek。对三种物质进行混合并使用吹扫捕集级甲醇 (Honeywell/Burdick & Jackson, P/N 232-1L) 进行连续稀释, 获得浓度为 500、50 和 10 ppm 的三种工作溶液。待分析化合物的完整列表见附录 1。

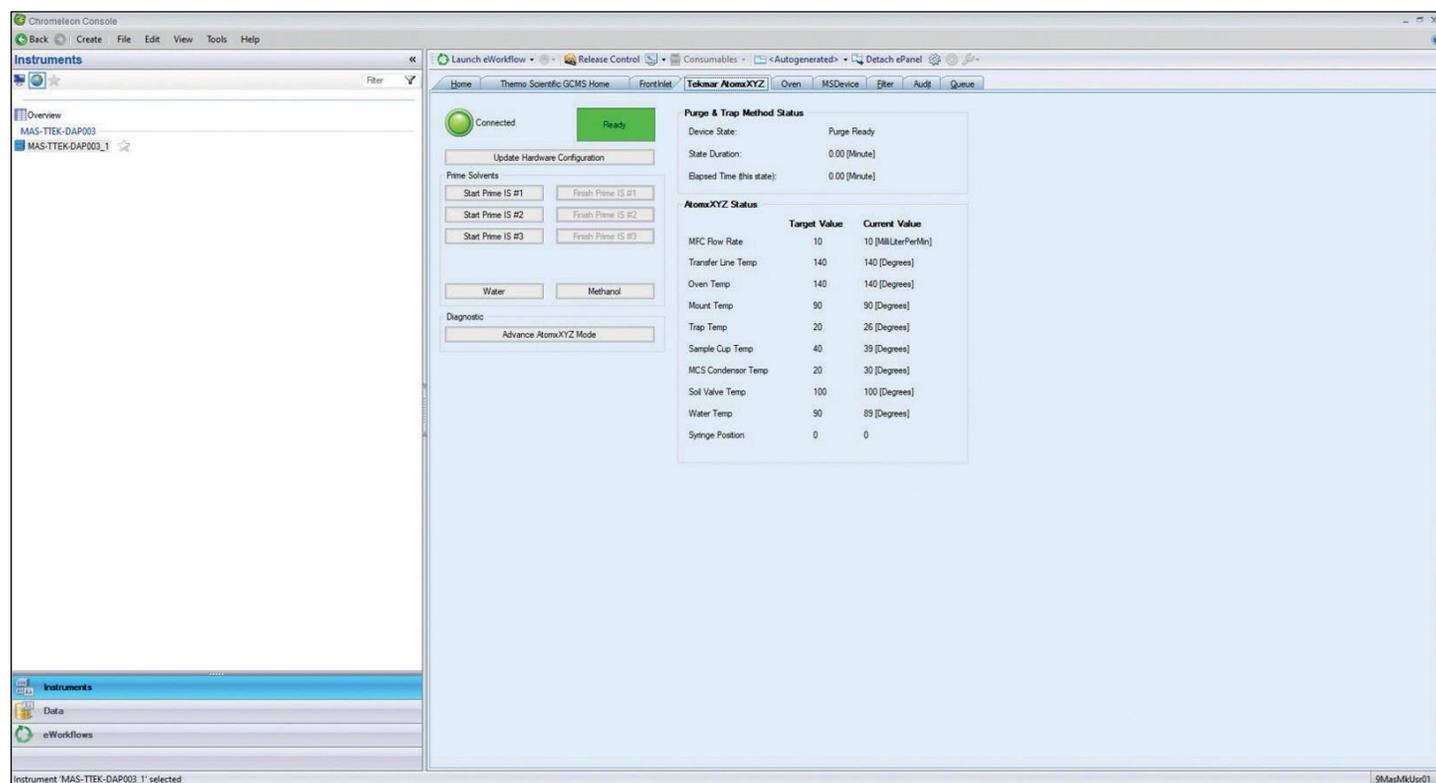


图 1. Chromeleon CDS 界面允许直接控制 Atomx XYZ P&T

内标、氟苯 (P/N 30030)、氯苯-d5 (P/N 30074) 和 1,4-二氯苯-d4 (P/N 30074) 以及替代标准品二溴氟甲烷 (P/N 30240)、甲苯-d8 (P/N 30240) 和 4-溴氟苯 (P/N 30240) 均购自 Restek, 并用甲醇稀释至浓度 25 ppm。

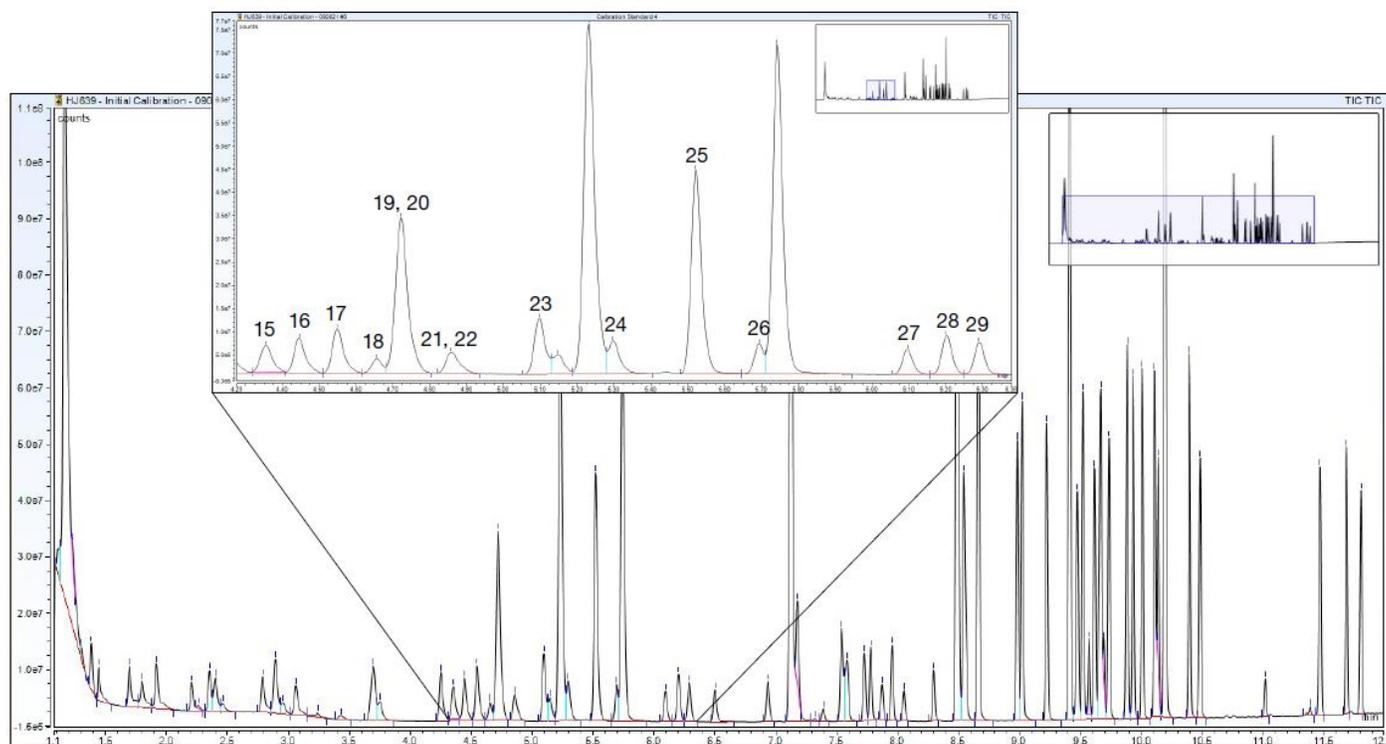
使用试剂水稀释工作溶液得到 0.5-200 ppb 的九个校正浓度样品, 制备校正曲线。每个校正浓度水平 (5 mL) 都加入 ISTD 和替代标准品 (最终浓度 25 ppb)。ISTD 和替代标准品用于计算每种化合物的相对响应因子 (RRF)。使用 0.5 ppb 浓度水平的标准品 (n=7) 计算方法检测限 (MDL) 和峰面积重复性。

制备水标准品 (n=7) 进行仪器检查 (20 ppb) 并用于评估方法精密度和准确度。

结果与讨论

色谱分析

在 12 分钟内实现了 66 种目标化合物的色谱分离。Atomx XYZ P&T 的有效除水功能与 TraceGOLD VMS 色谱柱的卓越惰性相结合, 减少了进入 GC 系统的水分, 从而获得良好的峰形和充分的色谱峰分离。出色的峰形和分离度使定量分析更加简单, 并有助于实现更低的检测限。图 2 显示了 5 ppb VOC 标准水样品的色谱图示例。



峰:

- | | | |
|------------------|----------------|---------------|
| 15. 2,2-二氯丙烷 | 20. 1,1,1-三氯乙烷 | 25. 氟苯 (ISTD) |
| 16. 溴氯甲烷 | 21. 1,1-二氯丙烯 | 26. 三氯乙烯 |
| 17. 氯仿 | 22. 2-丁酮 (MEK) | 27. 二溴甲烷 |
| 18. 四氯化碳 | 23. 苯 | 28. 1,2-二氯丙烷 |
| 19. 二溴氟甲烷 (SURR) | 24. 1,2-二氯乙烷 | 29. 溴二氯甲烷 |

图 2. 5 ppb 加标试剂水的总离子流图 (TIC)。插图突出显示了具有最小水干扰的峰形和分离度示例。

线性和灵敏度

校正曲线 9 个点，浓度范围 0.5 ppb-200 ppb。结果表明，该方法线性良好，平均测量系数 (R^2) > 0.99，平均响应因子 %RSD (AvCF% RSD) < 20，在整个浓度范围内呈线性并满足方法要求。使用 0.5 ppb 加标试剂水样品 (n=7) 评估 MDL 和精密度。MDL < 0.27 ppb，并在预期值的 10% 以内，低于方法中规定的最低可接受标准 0.6 ppb。 R^2 、AvCF% RSD 和 MDL 计算值等见附录 1。

图 3 和图 4 显示了 Chromeleon CDS 结果界面的示例图，其中分别包括 0.5 ppb 2-二溴-3-氯丙烷和 1,3,5-三甲苯的提取离子色谱图，分析图与 NIST 20 库谱图的对比图，以及 0.5-200 ppb 浓度范围内的校正曲线。结果表明，该方法具有出色的灵敏度和线性，0.5 ppb 下获得的 S/N > 3 (二氯甲烷除外，它是一种已知实验室污染物)、 R^2 值 > 0.99 且平均响应因子 RSD < 20%。ISQ 7610 GC-MS 上的 Thermo Scientific™ XLXR™ 检测系统提供了较宽的线性动态范围并允许扩展校正曲线。该检测器还具有较长的使用寿命，显著减少了更换需求。

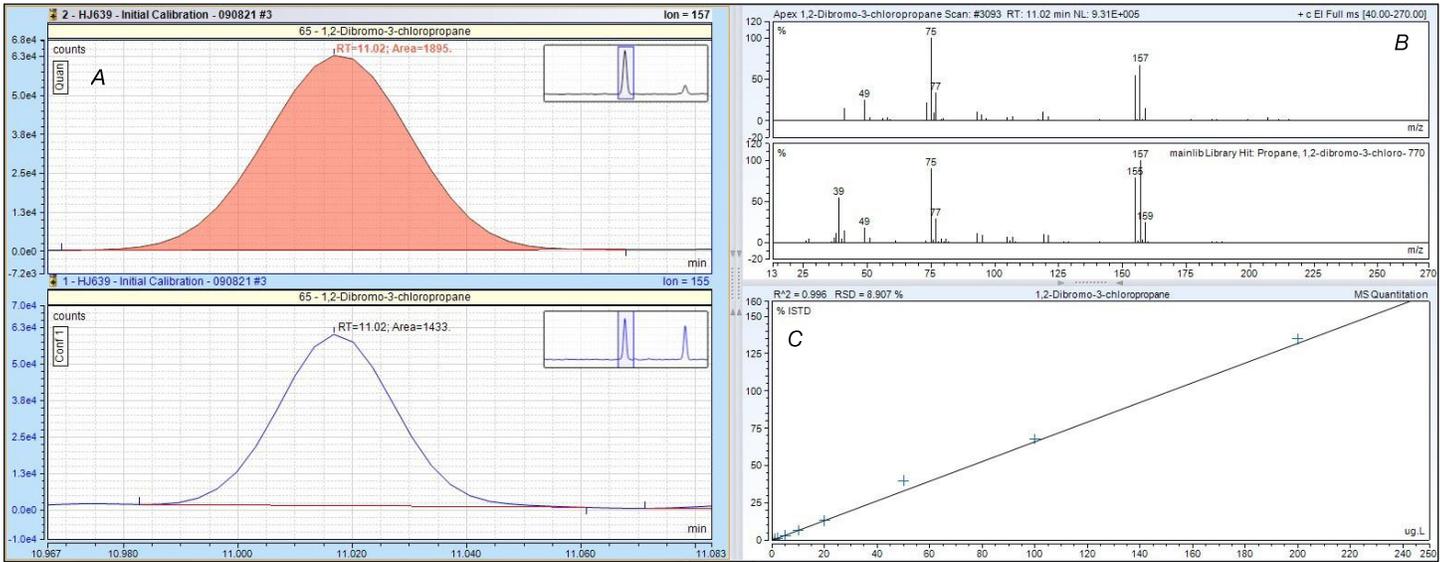


图 3. Chromeleon CDS 结果视图，显示了 0.5 ppb 2-二溴-3-氯丙烷水标准品、定量离子 ($m/z=157$) 和一个确认离子 ($m/z=155$) 的提取离子色谱图 (A)，及其与 NIST 库谱图的匹配 (B)，以及 0.5 ppb-200 ppb 浓度范围内的线性校正曲线 (C)

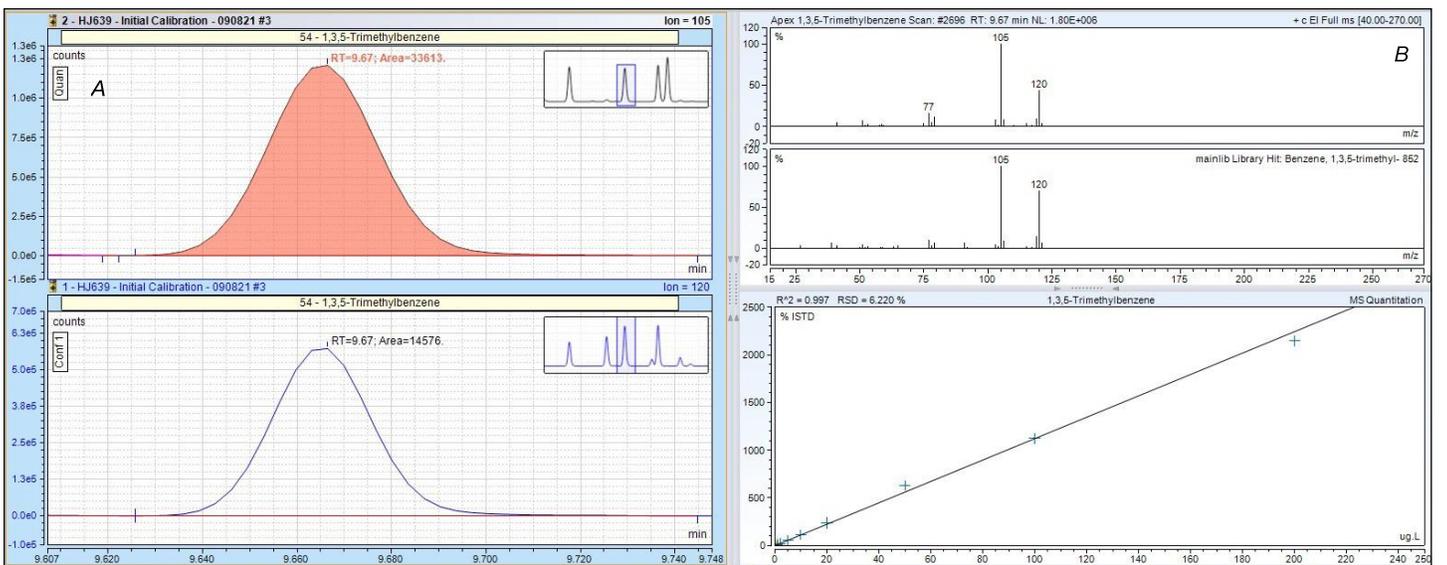


图 4. Chromeleon CDS 结果视图，显示了 0.5 ppb 1,3,5-三甲苯水标准品、定量离子 ($m/z=105$) 和一个确认离子 ($m/z=120$) 的提取离子色谱图 (A)，及其与 NIST 库谱图的匹配 (B)，以及 0.5 ppb-200 ppb 浓度范围内的线性校正曲线 (C)

精密度和准确度

使用20 ppb 加标试剂水(n=7)评估方法的精密度和准确度。所有化合物的计算量均在加标浓度的 20% 以内，平均回收率为真实值的 $\pm 30\%$ (这也是 HJ 639 的可接受标准)。结果详见表 1。图 5 显示了 20 ppb 水标准品中化合物的柱状图，证实该方法具有良好的准确度和精密度。

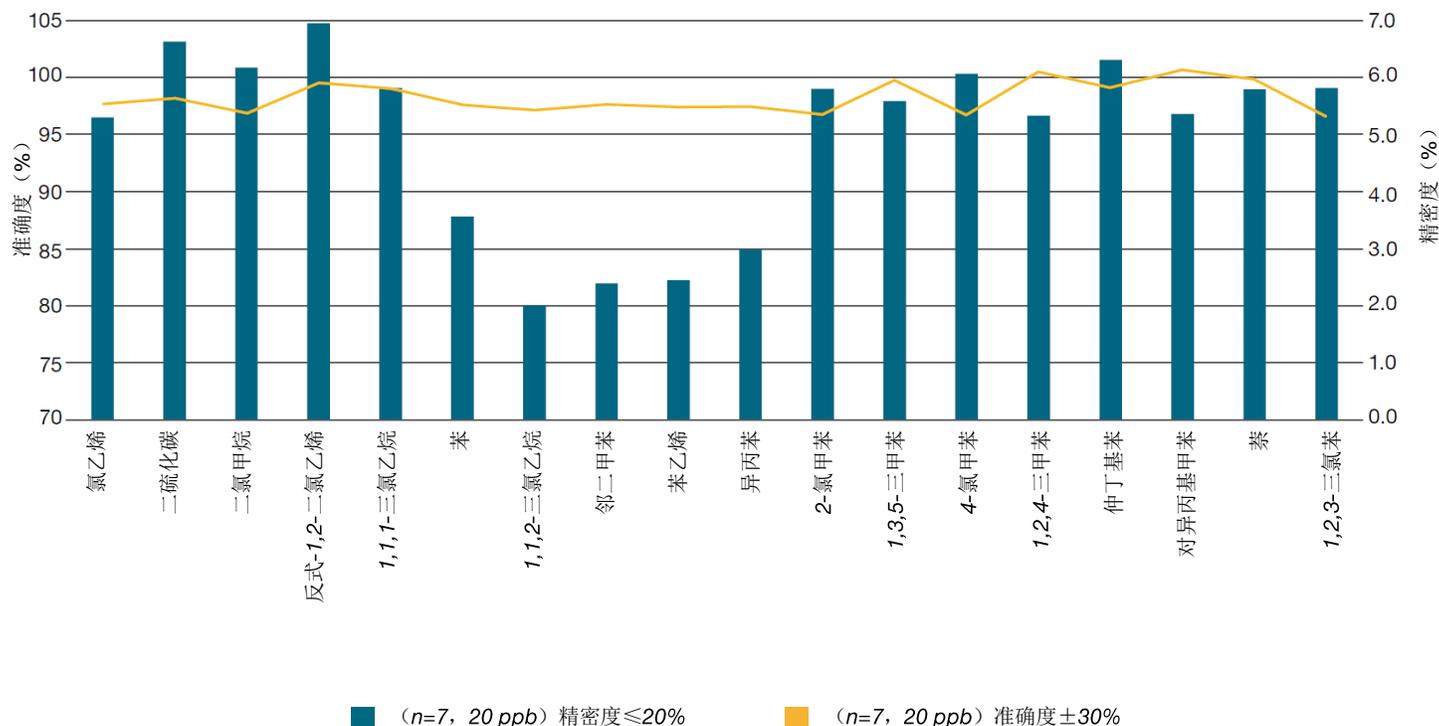


图 5. 20 ppb 水标准品 (n=7) 分析获得的准确度 (%回收率) 和精密度

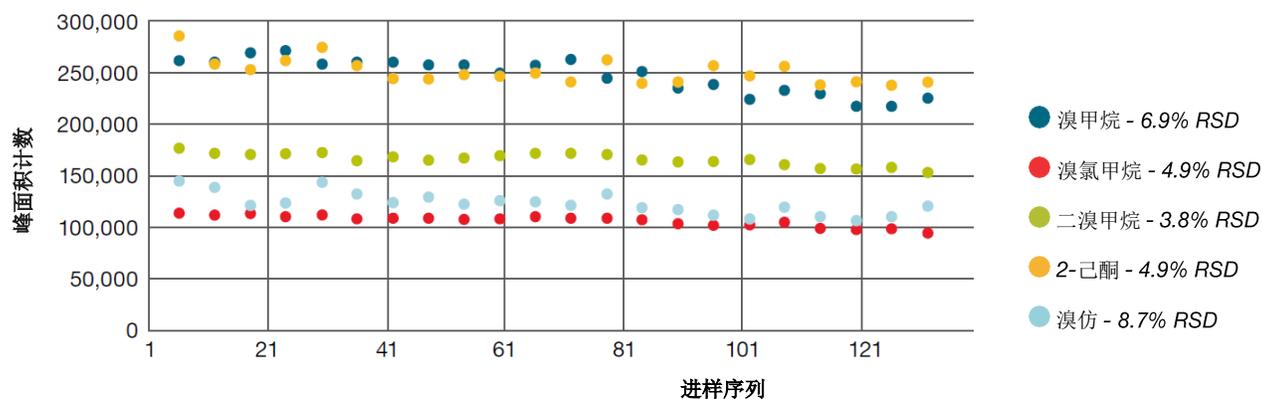


图 6. 为期四天, 22 种 20 ppb QC 水标准品 n=137 次间隔连续进样获得的重复性 (绝对峰面积计数)

方法耐用性

作为分析检测方法, 方法的稳定性和重现性至关重要。为了证实这一点, 在为期四天的 137 个样品进样序列中每隔一段时间进样 20 ppb 的 QC 标准品 (n=22)。无需用户干预, P&T、GC 或 MS 系统即可采集样品, 并绘制绝对峰面积, 证实了分析结果的稳定性。图 6 显示了 137 个样品进样序列 22 种 QC 标准品中, 其中 5 种化合物的重复性及出色的 RSD%。附录 2 显示了 137 个样品进样序列 22 个 QC 标准品中, 每种化合物的准确度和精密度。

结论

本研究结果表明，TRACE 1610 GC 与 ISQ 7610 单四极杆 MS 和 Atomx XYZ P&T 联用为分析测试实验室采用 HJ 639 方法分析环境水样提供了适合的工具。

- ISQ 7610 VPI 与 Teledyne Tekmar Atomx XYZ P&T 联用超出了 HJ 639 方法中有关水中 VOC 分析的所有要求。
- Atomx XYZ P&T 的有效除水功能结合 TraceGOLD TG-VMS 色谱柱的高惰性，为大多数化合物提供了出色的色谱分析，提供了良好的峰形和基线分离。
- ISQ 7610 GC-MS 上配置的 XLXR 电子倍增检测器提供了更宽的线性动态范围并允许扩展校正曲线（0.5-200 ppb），为所有化合物提供了出色的线性范围， $R^2 > 0.99$ ，AvCF %RSD < 10，证实其呈良好的线性相关。

- 对于大多数化合物，0.5 ppb 加标试剂水样（n=7）的 MDL 计算值均 < 0.25 ppb，不受进入系统的多余水分的干扰。
- 20 ppb 加标试剂水样品（n=7）均呈现出优异的精密度和准确度结果，计算值为加标浓度的 $\pm 20\%$ ，化合物的平均回收率为 97%。
- 使用 22 种 20 ppb QC 加标水样，通过为期四天无人值守、无用户干预的 137 次定期连续间隔进样，证实了系统的耐用性。计算浓度的平均 %RSD 为 7.9%，平均化合物回收率为 98%。

参考文献

1. Method 8260 Measurement of Volatile Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-04/documents/method_8260d_update_vi_final_03-13-2017.pdf
2. Thermo Scientific AppsLab Library (<https://appslab.thermofisher.com/>)

附录 1 - 水样的校正、MDL 和中点检查结果

化合物	校正曲线 (0.5 ppb-200 ppb)			线性 (%RSD)	方法检测限 (n=7, 0.5 ppb)		中点检查 (n=7, 20 ppb)	
	保留时间	定量	平均RF		MDL	精密度 $\leq 20\%$	精密度 $\leq 20\%$	精密度 $\pm 30\%$
二氯二氟甲烷	1.24	85	0.563	15.2	0.12	7.0	5.5	89
氯甲烷	1.38	50	0.888	19.4	0.10	5.3	5.1	89
氯乙烯	1.45	62	0.690	13.2	0.10	5.7	5.3	98
溴甲烷 ^{1,3}	1.70	94	0.553	0.997	1.2	7.3	8.2	112
氯乙烷	1.80	64	0.407	15.4	0.15	7.6	6.3	113
三氯氟甲烷	1.92	101	0.825	12.4	0.08	4.7	5.8	90
1,1-二氯乙烯	2.36	96	0.310	13.0	0.13	7.3	6.4	96
碘甲烷 ¹	2.47	142	0.271	0.999	0.04	0.4	5.7	104
二硫化碳	2.79	76	0.291	8.8	0.14	7.9	6.6	98
二氯甲烷	2.90	49	0.977	18.3	0.05	2.6	6.2	97
丙酮 ^{1,2,4}	2.97	58	0.043	0.997	3.43	7.7	3.8	113
反式-1,2-二氯乙烯	3.07	61	0.480	11.8	0.11	6.3	6.9	100
2-氯-1,3-丁二烯	3.66	53	0.437	5.8	0.07	4.4	5.2	110
顺式-1,2-二氯乙烯	3.70	61	0.095	5.5	0.13	8.7	5.2	93
1,1-二氯乙烷	3.70	63	1.13	8.9	0.08	4.9	5.0	94
2,2-二氯丙烷	4.36	77	0.675	8.9	0.03	2.1	6.7	89
溴氯甲烷	4.45	128	0.216	8.4	0.13	7.7	5.1	94
氯仿	4.55	83	1.05	8.4	0.07	4.6	5.3	96
四氯化碳	4.66	117	0.348	10.3	0.13	12.5	5.8	86

附录 1 (续) - 水样的校正、MDL 和中点检查结果

化合物	校正曲线 (0.5 ppb-200 ppb)			线性 (%RSD)	方法检测限 (n=7, 0.5 ppb)		中点检查 (n=7, 20 ppb)	
	保留时间	定量	平均RF		MDL	精密度 ≤20%	精密度 ≤20%	精密度 ±30%
二溴氟甲烷 (surr)	4.72	111	0.504	5.5	-	2.3	5.2	98
1,1,1-三氯乙烷	4.73	97	0.541	15.5	0.03	2.8	5.8	99
1,1-二氯丙烯	4.85	75	0.365	5.3	0.08	5.0	5.5	108
2-丁酮 (MEK) ^{2.5}	4.87	43	0.127	8.6	0.26	6.1	5.0	84
苯	5.10	78	1.51	4.7	0.04	2.8	3.6	98
1,2-二氯乙烷	5.30	62	0.680	6.2	0.06	3.7	5.9	96
氟苯 (ISTD)	5.52	96	-	-	-	-	-	-
三氯乙烯	5.69	130	0.279	11.2	0.06	3.7	4.7	95
二溴甲烷	6.10	93	0.326	7.6	0.06	4.0	5.3	96
1,2-二氯丙烷	6.20	63	0.508	13.1	0.06	4.5	3.7	98
溴二氯甲烷	6.29	83	0.636	13.0	0.03	2.1	5.4	98
顺式-1,3-二氯丙烯	6.93	75	0.745	4.3	0.06	3.9	3.0	107
甲苯-d8 (surr)	7.13	98	1.77	3.6	-	2.3	2.3	98
甲苯	7.18	91	2.00	5.4	0.08	4.8	4.2	94
四氯乙烯	7.54	166	0.527	3.9	0.09	5.6	6.3	107
4-甲基-2-戊酮 (MIBK) ^{2.5}	7.57	100	0.023	11.9	0.36	8.3	5.8	87
反式-1,3-二氯丙烯	7.59	75	0.295	7.2	0.11	7.5	2.5	94
1,1,2-三氯乙烷	7.72	83	0.391	5.7	0.03	1.7	2.0	97
二溴氯甲烷	7.87	129	0.359	15.9	0.02	1.5	2.6	95
1,3-二氯丙烷	7.96	76	0.830	7.2	0.02	1.7	2.9	96
1,2-二溴乙烷	8.05	107	0.394	5.5	0.07	4.9	2.9	95
2-己酮 ^{2.5}	8.30	43	0.224	16.3	0.16	3.9	2.6	85
氯苯-d5 (ISTD)	8.49	117	-	-	-	-	-	-
氯苯	8.50	112	0.983	5.2	0.09	5.4	2.6	95
乙苯	8.54	91	1.77	9.6	0.09	5.2	2.8	97
1,1,1,2-四氯乙烯	8.56	131	0.224	17.1	0.07	5.2	4.8	99
间、对二甲苯	8.66	106	0.728	11.8	0.22	6.5	1.8	98
邻二甲苯	8.98	106	0.741	7.8	0.09	5.5	2.4	98
苯乙烯	9.02	104	1.31	9.3	0.11	6.3	2.5	97
三溴甲烷	9.02	173	0.181	17.9	0.05	4.4	3.8	103
异丙苯	9.22	105	1.81	10.0	0.09	5.8	3.0	97
4-溴氟苯 (surr)	9.41	95	1.05	4.2	-	2.2	2.6	96
溴苯	9.48	77	1.86	7.4	0.07	3.9	6.4	95
正丙苯	9.52	91	4.13	7.9	0.10	5.6	5.6	97
1,1,2,2-四氯乙烯	9.57	83	0.793	14.4	0.06	3.8	7.7	88
2-氯甲苯	9.62	91	2.69	6.1	0.07	4.2	5.8	97
1,2,3-三氯丙烷	9.65	75	2.80	6.2	0.07	4.8	7.6	94
1,3,5-三甲苯	9.67	105	2.80	6.2	0.07	4.8	5.6	100

附录 1 (续) - 水样的校正、MDL 和中点检查结果

化合物	校正曲线 (0.5 ppb-200 ppb)			线性 (%RSD)	方法检测限 (n=7, 0.5 ppb)		中点检查 (n=7, 20 ppb)	
	保留时间	定量	平均RF		MDL	精密度 ≤20%	精密度 ≤20%	精密度 ±30%
4-氯甲苯	9.73	91	2.85	6.6	0.11	6.0	6.1	97
叔丁基苯	9.88	119	2.31	8.0	0.09	6.2	5.3	94
1,2,4-三甲苯	9.93	105	2.93	6.8	0.09	5.9	5.3	101
仲丁基苯	10.01	105	3.48	6.0	0.10	6.3	6.3	99
对异丙基甲苯	10.11	119	2.65	8.8	0.12	8.0	5.4	101
1,3-二氯苯	10.14	146	1.62	6.1	0.14	7.7	5.6	93
1,4-二氯苯-d4 (ISTD)	10.19	152	-	-	-	-	-	-
1,4-二氯苯	10.20	146	1.79	9.7	0.13	6.7	5.8	93
正丁基苯	10.39	91	3.14	11.9	0.19	11.2	5.7	99
1,2-二氯苯	10.48	146	1.59	6.9	0.07	4.3	5.6	98
1,2-二溴-3-氯丙烷	11.02	157	0.165	8.9	0.10	7.2	5.8	94
六氯丁二烯	11.46	225	0.051	15.2	0.24	13.6	5.5	96
1,2,4-三氯苯	11.47	180	0.914	13.2	0.27	13.6	5.6	99
萘	11.68	128	2.83	9.3	0.11	6.9	5.8	100
1,2,3-三氯苯	11.80	180	0.939	10.2	0.18	9.7	5.8	97

¹通过线性回归进行化合物校正

²校正曲线 1.25-500 ppb

³使用 5 ppb 计算得到的 MDL 值

⁴使用 12.5 ppb 计算得到的 MDL 值

⁵使用 1.25 ppb 计算得到的 MDL 值

附录 2 - 20 ppb VOC QC 标准水样 (n=22) n=137 次连续间隔进样的重复性结果

化合物	分析物回收率 n=22, 137 个样品序列	
	精密度 ≤20%	准确度 ±30%
二氯二氟甲烷	11.5	91
氯甲烷	8.1	92
氯乙烯	9.5	111
溴甲烷	8.3	127
氯乙烷	6.5	117
三氯氟甲烷	10.8	92
1,1-二氯乙烯	8.9	108
碘甲烷	6.6	112
二硫化碳	8.5	108
二氯甲烷	8.0	123
丙酮 ¹	13.5	158
反式-1,2-二氯乙烯	8.3	110
2-氯-1,3-丁二烯	12.7	96
顺式-1,2-二氯乙烯	7.5	101
1,1-二氯乙烷	7.7	103

附录 2 (续) - 20 ppb VOC QC 标准水样 (n=22) n=137 次连续间隔进样的重复性结果

化合物	分析物回收率 n=22, 137 个样品序列	
	精密度≤20%	准确度±30%
2,2-二氯丙烷 ²	41.3	60
溴氯甲烷	6.6	103
氯仿	7.2	105
四氯化碳	11.1	81
二溴氟甲烷 (surr)	6.3	107
1,1,1-三氯乙烷	10.9	96
1,1-二氯丙烯	8.8	97
2-丁酮 (MEK)	5.3	91
苯	4.9	99
1,2-二氯乙烷	7.3	104
氟苯 (ISTD)	-	-
三氯乙烯	7.8	106
二溴甲烷	7.1	107
1,2-二氯丙烷	3.7	103
溴二氯甲烷	5.7	101
顺式-1,3-二氯丙烯	7.5	99
甲苯-d8 (surr)	3.2	103
甲苯	5.6	97
四氯乙烯	6.7	107
4-甲基-2-戊酮 (MIBK)	3.4	84
反式-1,3-二氯丙烯	5.5	90
1,1,2-三氯乙烷	2.5	105
二溴氯甲烷	2.6	98
1,3-二氯丙烷	2.7	102
1,2-二溴乙烷	2.8	100
2-己酮	6.6	94
氟苯-d5 (ISTD)	-	-
氟苯	4.6	92
乙苯	6.5	96
1,1,1,2-四氯乙烷	7.6	91
间、对二甲苯	7.3	96
邻二甲苯	6.6	95
三溴甲烷	5.3	93
苯乙烯	5.1	99
异丙苯	8.7	92
4-溴氟苯 (surr)	3.7	98
溴苯	5.2	96
正丙苯	8.5	91

附录 2 (续) - 20 ppb VOC QC 标准水样 (n=22) n=137 次连续间隔进样的重复性结果

化合物	分析物回收率 n=22, 137 个样品序列	
	精密度≤20%	准确度±30%
1,1,2,2-四氯乙烷	15.1	72
2-氯甲苯	6.9	92
1,2,3-三氯丙烷	7.6	94
1,3,5-三甲苯	7.6	94
4-氯甲苯	6.6	93
叔丁基苯	10.5	83
1,2,4-三甲苯	7.3	95
仲丁基苯	9.9	90
对异丙基甲苯	10.7	90
1,3-二氯苯	6.4	89
1,4-二氯苯-d4 (ISTD)	-	-
1,4-二氯苯	6.8	88
正丁基苯	12.5	87
1,2-二氯苯	5.8	94
1,2-二溴-3-氯丙烷	6.7	86
六氯丁二烯	13.8	81
1,2,4-三氯苯	9.0	88
萘	6.0	94
1,2,3-三氯苯	6.8	88

¹ 由于实验室丙酮污染, 该化合物在长期研究过程中累积, 累积量 >± 30%

² 由于 2,2-二氯丙烷化合物的特性, 其在长期研究期间在小瓶中分解

有关更多信息, 请访问 thermofisher.com

仅供常规实验室使用。不可用于诊断程序。©2021 Thermo Fisher Scientific Inc. 保留所有权利。所有商标均为 Thermo Fisher Scientific 及其子公司所有。此信息为展示 Thermo Fisher Scientific 产品功能的一个示例。其无意鼓励以任意可能侵犯他人知识产权的方式使用这些产品。规格、条款和价格可能有所变化, 恕不另行通知。并非所有产品在所有国家(地区)均有销售。有关具体细节, 请咨询本地销售代表。AN000305-em-en 11/01/21