

特点描述

- ◆ 热脱附 GC-MS 系统可精确测定环境空气中挥发性及半挥发性全氟和多氟烷基物质 (PFAS) 的含量。
- ◆ TD-30R 热脱附系统无需溶剂萃取即可进行高通量分析。

■ 引言

全氟和多氟烷基物质 (PFAS) 具有优异的耐热性和疏水性, 被广泛应用于许多消费品和工业领域。然而, 它们抗降解的特性以及环境中持久存在和对生物的毒性, 导致全球范围内对其监管日益严格。作为 PFAS 的污染途径之一, 使用 PFAS 的工厂所排放的 PFAS 废气在大气中的扩散令人担忧。因此, 考虑到 PFAS 长期暴露对呼吸系统的风险以及 PFAS 通过大气扩散传播污染的可能性, 已开展了相关监测研究。

由于 PFAS 法规的收紧, 目前正在开发针对水、土壤和食品等多种基质的分析方法。虽然这些方法大多针对非挥发性 (离子型) PFAS 并使用液相色谱 - 质谱联用仪 (LC-MS/MS), 但挥发性或半挥发性中性 PFAS 难以通过这些方法检测, 气相色谱 - 质谱联用仪 (GC-MS) 更适合分析这类化合物。

在本应用报告中, 采用 TD-30R 热脱附系统联用 GC-MS 系统 (图 1) 测定了环境空气中 9 种挥发性及半挥发性中性 PFAS 的含量 (表 1)。

表 1 测量目标化合物

首字母缩略词	化合物	分子式
氟调聚物乙醇 (FTOH)		
4:2 FTOH	2- 全氟丁基乙醇	C ₆ H ₅ F ₉ O
6:2 FTOH	2- 全氟己基乙醇	C ₈ H ₅ F ₁₃ O
8:2 FTOH	2- 全氟辛基乙醇	C ₁₀ H ₅ F ₁₇ O
10:2 FTOH	2- 全氟癸基乙醇	C ₁₂ H ₅ F ₂₁ O
氟调聚物丙烯酸酯 (FTACs)		
6:2 FTACr	1H,1H,2H,2H- 全氟辛基丙烯酸酯	C ₁₃ H ₁₁ F ₁₃ O ₂
8:2 FTACr	1H,1H,2H,2H- 全氟癸基丙烯酸酯	C ₁₅ H ₁₁ F ₁₇ O ₂
10:2 FTACr	1H,1H,2H,2H- 全氟十二烷基丙烯酸酯	C ₁₇ H ₁₁ F ₂₁ O ₂
全氟烷基磺酰胺 (FOSA)		
N-MeFOSA	N- 甲基全氟辛烷磺酰胺	C ₉ H ₄ F ₁₇ NO ₂ S
N-EtFOSA	N- 乙基全氟辛烷磺酰胺	C ₁₀ H ₆ F ₁₇ NO ₂ S



图 1 TD-30R 与 GCMS-QP2020 NX

■ 分析条件

详细分析条件如表 2 所示。采用双层热脱附管 (Tenax TA 和 Carboxen 1000) 捕集高挥发性化合物。分析采用快速自动扫描 /SIM 模式 (FASST) 进行, 该模式可在单次测量中实现扫描模式与 SIM 模式的高速切换。通过 SIM 模式获取的数据用于测定目标 PFAS 的含量。FASST 可在单次测量中对目标化合物进行基于 SIM 模式的定量分析, 并对其他化合物进行基于扫描模式的定性分析。

表 2 分析条件

型号:	GCMS-QP2020 NX
自动进样器:	TD-30R
[TD-30R]	
样品管:	Tenax TA/Carboxen 1000 (P/N: 223-52884-91)
阱管:	Tenax TA
管解吸温度:	280°C
管解吸流量:	100 mL/min (10 min)
阱冷却温度:	-20°C
阱解吸温度:	280°C (10 min)
接口温度:	250°C
阀门温度:	250°C
传输线温度:	250°C
[GC]	
进样方式:	分流
分流比:	15
载气:	He
载气控制:	线速度 45 cm/sec
色谱柱:	SH-200 (60 m × 0.32 mm I.D., 1.0 μm) (P/N: 227-36186-02)
柱温:	50°C (1 min) - 15°C /min - 280°C (5 min)
[MS]	
离子源温度:	200°C
接口温度:	250°C
电离方式:	EI
测量模式:	扫描 /SIM (FASST 模式)
扫描范围:	m/z 40 - 650
SIM 离子:	见表 3
事件时间:	扫描 0.2 秒, SIM 0.3 秒

表 3 MS 表

化合物	保留时间 (min)	定量离子	定性离子
4:2 FTOH	5.388	95	69
6:2 FTOH	6.925		
8:2 FTOH	8.363		
10:2 FTOH	9.663		
6:2 FTACr	9.240	55	95, 69
8:2 FTACr	10.446		
10:2 FTACr	11.546		
N-MeFOSA	12.179	94	69
N-EtFOSA	12.499	108	69

■ 标准品制备

将四种 FTOH 和两种 FOSA 用甲醇稀释，配制浓度为 0.025、0.05、0.1、0.25、0.5、1、2.5、5 和 6.25 ng/μL 的六组分混合校准曲线标准溶液（溶液 A）。将三种 FTAC 溶于异辛烷中，配制浓度为 0.05、0.1、0.2、0.5、1、2、5、10 和 12.5 ng/μL 的三组分混合校准曲线标准溶液（溶液 B）。

分别取 2 μL 溶液 A 和 1 μL 溶液 B 加入样品管中，用氮气（50 mL/min）吹扫 3 分钟，制备含有 0.05、0.1、0.2、0.5、1、2、5、10 和 12.5 ng 这 9 种化合物的标准品。

■ 测量标准品

9 种 PFAS 的校准曲线（0.05 至 12.5 ng）和 SIM 色谱图（0.2 ng）如图 2 所示，各校准曲线的相关系数 R 及 0.2 ng 时的再现性（n=3）见表 4。

结果表明，该分析方法可以检测到最小量为 0.05 ng 的所有化合物。在 0.05 至 12.5 ng 范围内，所有校准曲线的相关系数 R 均大于 0.998，显示出良好的线性。0.2 ng 浓度时所有面积和浓度 %RSD（n=3）结果均低于 6，再次表明良好的再现性。

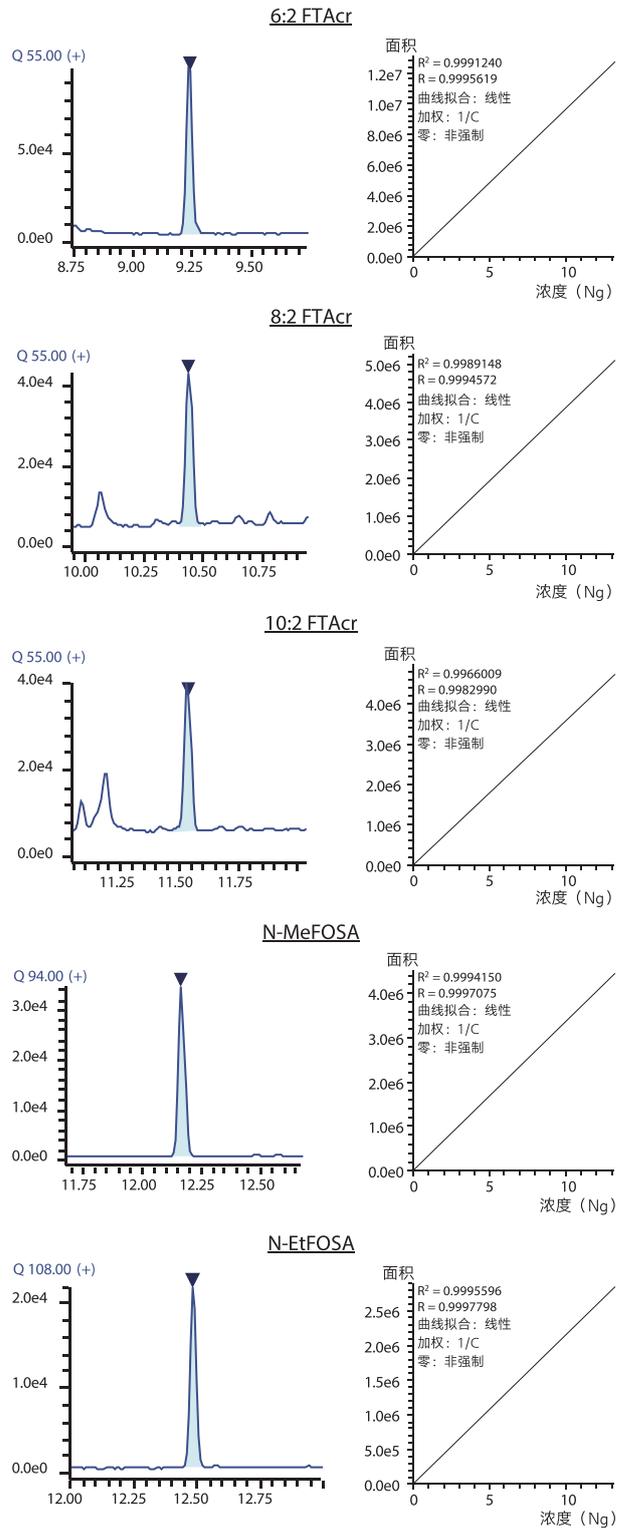
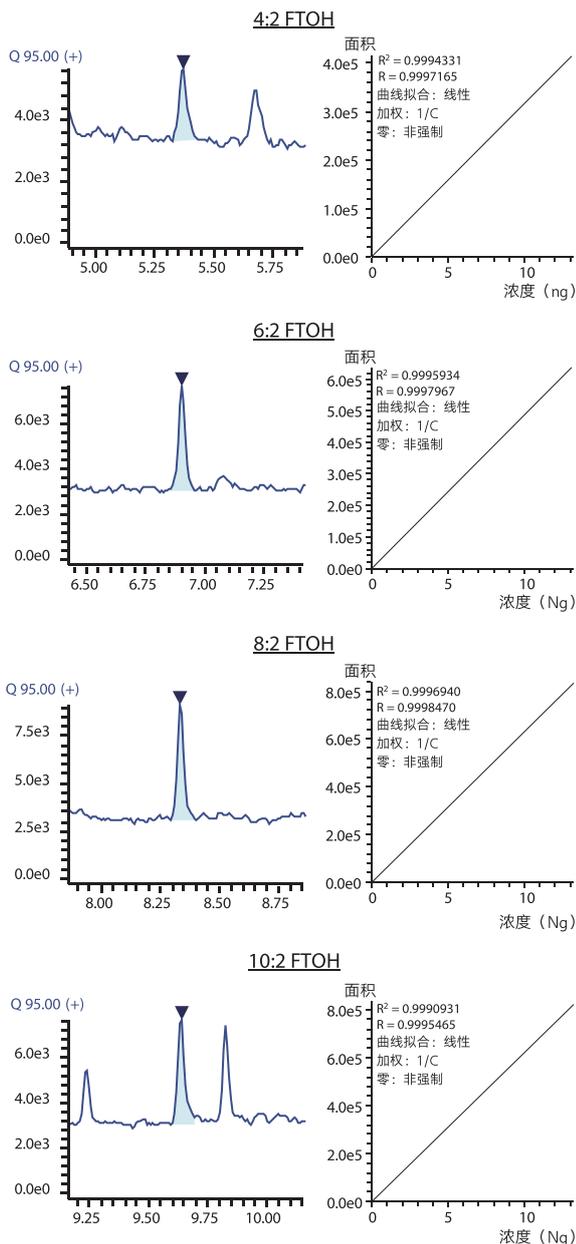


图 2 SIM 色谱图（0.2 ng）及校准曲线

表 4 校准曲线相关系数与再现性

化合物	相关系数 R	0.2 ng (n=3)	
		峰面积 %RSD	浓度 RSD%
4:2 FTOH	0.9997	3.6	3.8
6:2 FTOH	0.9998	4.2	4.6
8:2 FTOH	0.9998	4.7	5.1
10:2 FTOH	0.9995	3.6	3.5
6:2 FTACr	0.9996	2.3	2.3
8:2 FTACr	0.9995	5.4	5.5
10:2 FTACr	0.9984	3.5	3.2
N-MeFOSA	0.9997	0.6	0.6
N-EtFOSA	0.9998	0.5	0.5

■ 环境空气加标回收试验

配制含四种 FTOH 各 10 ng、三种 FTAC 及两种 FOSA 各 1 ng 的标准溶液，将该标准溶液添加至 Tenax TA/Carboxen 1000 样品管中。以 100 mL/min 的流速采集 20 L 环境空气。加标回收试验和再现性结果如表 5 所示，SIM 色谱图如图 3 所示。

回收率介于 77% 至 106% 之间，所有浓度 %RSD (n=3) 均低于 8，表明整体性能良好。

表 5 环境空气加标回收试验结果

	加标浓度 (ng)	平均回收率 (% , n=3)	浓度 %RSD (n=3)
4:2 FTOH	10	77	3.0
6:2 FTOH	10	97	4.8
8:2 FTOH	10	98	1.0
10:2 FTOH	10	98	5.0
6:2 FTACr	1	93	4.8
8:2 FTACr	1	99	7.9
10:2 FTACr	1	99	7.2
N-MeFOSA	1	99	4.3
N-EtFOSA	1	106	3.5

■ 结论

采用 TD-30R 和 GCMS-QP2020 NX 仪器测定了环境空气中九种中性 PFAS 的含量。

标准品测量结果显示，对所有目标化合物在灵敏度、校准曲线线性及再现性方面均表现良好。使用环境空气进行的加标回收试验也显示出良好的回收率和可再现性结果。

在样品预处理过程中使用 TD-30R 可直接分析采样管，而无需进行溶剂萃取，从而实现高通量分析。

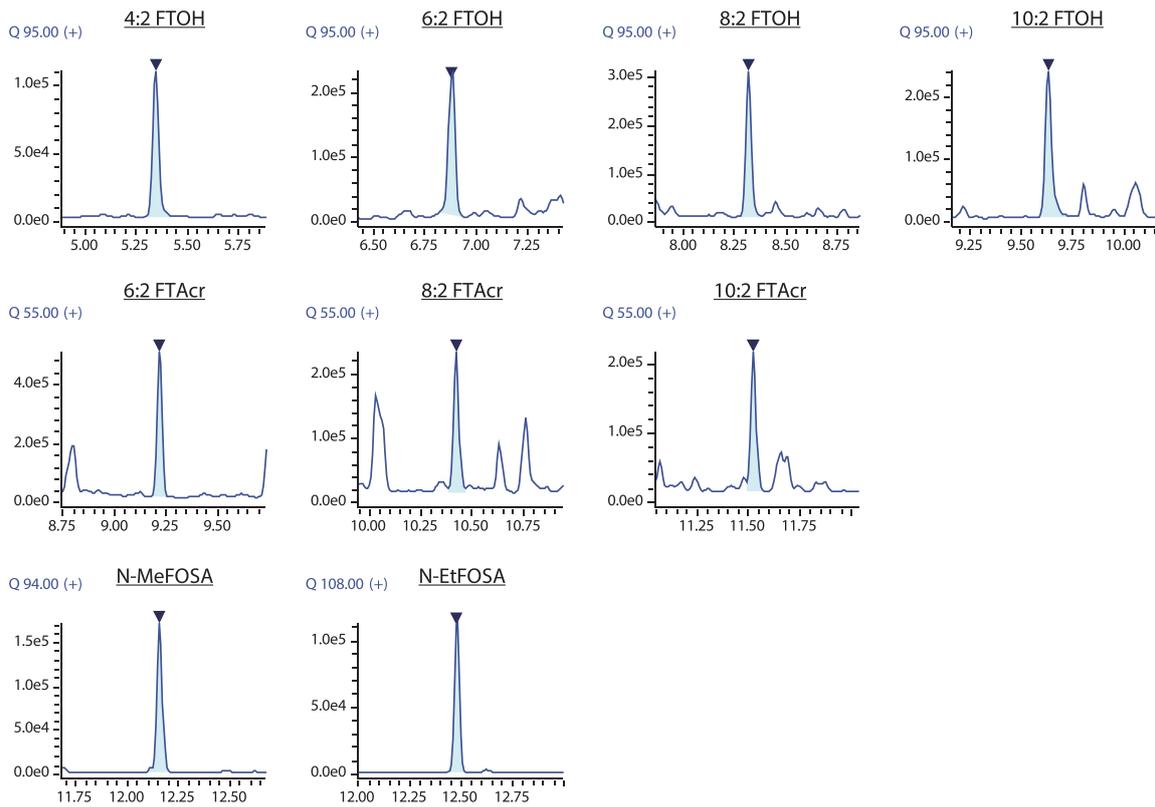


图 3 环境空气进行加标回收试验的 SIM 色谱图 (FTOH: 10 ng、FTAC 和 FOSA: 1 ng)

岛津应用云



岛津企业管理（中国）有限公司
岛津（香港）有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话： 800-810-0439
400-650-0439

免责声明：

* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售；
* 本资料中的所有信息仅供参考，不予任何保证。
如有变动，恕不另行通知。

第一版发行日：2025 年 3 月

› 请填写调查问卷

相关产品 某些产品可能更新为更新的型号。



› GCMS-QP2020 NX
气相色谱质谱仪



› TD-30 Series
热脱附系统

相关解决方案

› 环境

› 空气

› 价格咨询

› 产品咨询

› 技术服务/支持咨询

› 其他咨询