

# 根据 EPA 方法 1633 分析水样中的全氟和多氟烷基化合物 (PFAS)

Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱

## 作者

Kathy Hunt, Ralph Hindle  
Vogon Laboratory Services Ltd.  
Cochrane, AB, Canada

Tarun Anumol,  
Matthew Giardina,  
Megan Juck, Emily Parry  
安捷伦科技有限公司

## 摘要

美国 (US) 国家环境保护局 (EPA) 方法 1633<sup>[1]</sup> 是一种用于检测和定量分析许多基质 (包括废水、土壤、固体和组织) 中的全氟/多氟烷基化合物 (PFAS) 的分析方法。之前的应用简报<sup>[2]</sup> 使用了现有的固相萃取 (SPE) 技术并突出展示了安捷伦仪器性能。本应用简报介绍了使用 Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱, 按照 EPA 方法 1633 对废水样品中的 PFAS 进行检测。分析仪器采用 Agilent 1290 Infinity II 液相色谱 (LC) 系统与 Agilent 6470 三重四极杆 (TQ) 质谱仪的联用系统 (LC/TQ)。本研究在分析物萃取回收率、灵敏度 (方法检出限) 和重现性方面对方法性能进行了验证。

## 前言

许多方法可以用于对饮用水、非饮用水、土壤、沉积物、垃圾渗滤液及其他可能的复杂基质中的 PFAS 进行分析。EPA 方法 1633 是一种同位素稀释方法，致力于对涵盖 9 个化合物类别的 40 种 PFAS 的定量方法进行标准化。这些类别包括非饮用水、固体、生物固体和组织样品中的直链和支链异构体。EPA 饮用水方法 533 和 537.1 中列出的所有分析物均包含在该方法中。虽然样品根据其基质进行前处理和提取，但 EPA 方法 1633 中的所有方法均指定使用弱阴离子交换 (WAX) 的 SPE 和碳净化。

本应用简报重点介绍了基于 EPA 方法 1633 对水性基质的分析，使用 Agilent Bond Elut PFAS WAX 小柱 (150 mg, 6 mL) 进行 SPE 并使用 Carbon S 进行净化。Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱专为 PFAS 分析而设计，符合严格的法规要求。该小柱经过针对 PFAS 的 QC 测试，以确保提供理想的净化和回收率。之前曾针对 EPA 方法 533 和扩展的化合物组合对 Bond Elut PFAS WAX 小柱 (500 mg, 6 mL) 进行了考察，获得了优异的结果<sup>[3]</sup>。Carbon S 是一种先进的混合碳材料，对碳含量和孔结构进行了优化，相比于传统的 GCB 吸附剂，在分析物回收率与基质去除效率之间实现了更好的平衡<sup>[4]</sup>。

采用 Agilent 1290 Infinity II 液相色谱系统与 Agilent 6470 三重四极杆 LC/MS (LC/TQ) 的联用系统进行了初始性能测试 (包括精密度、回收率和检出限)。还通过分析废水排放样品对方法性能进行了评估。严格遵循方法，仅对备件和仪器参数在允许范围内进行了更改。样品量为 500 mL。

## 实验部分

### 消耗品和备件

为帮助实验室准备运行该方法，附录中提供了本应用简报中使用的安捷伦消耗品列表。

### 萃取流程

对于试剂水和随机采集的废水排放样品，遵循 EPA 方法 1633 中描述的水样萃取流程 (图 1)。简而言之，向未经处理的 500 mL 水样进行替代物加标 (提取内标 [EIS])。依次用甲醇氢氧化铵和甲酸对填充有硅烷化玻璃毛的 Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱进行活化。将样品以缓慢的流速上样到 SPE 小柱上，并用试剂水和 1:1 甲酸/甲醇进行冲洗。冲洗样品瓶，并用 1% 甲醇氢氧化铵洗脱小柱。用乙酸处理洗脱液并用松散的 Carbon S 净化。离心后，将样品通过尼龙针头过滤器过滤到包含内标 (非提取内标 [NIS]) 的收集管中。

### LC/TQ 仪器条件

使用 1290 Infinity II 液相色谱系统与 6470 三重四极杆 LC/TQ 的联用系统进行 LC/TQ 分析。液相色谱配置和方法参数见表 1。针对 PFAS 分析的延迟柱置于泵与 Multisampler 之间，以便在不显著增加反压的情况下将背景污染物与来自样品瓶的化合物分离。系统由 Agilent MassHunter 采集软件控制。流动相与 EPA 方法 1633 相匹配，以保持一致性；但是，对梯度进行了简化，以便在保持该方法所需的分离度的同时提高通量。使用 Agilent Source Optimizer 对质谱方法参数进行了优化 (表 2)。利用负离子电喷雾电离模式下的动态多反应监测 (dMRM) 进行数据采集。用于安捷伦三重四极杆仪器的 dMRM 方法能够准确定量来自 1290 Infinity UHPLC 快速分离的极窄的峰，实现多分析物检测。在整个液相色谱运行过程中动态调整 MRM 离子对的数量，仅选择具有相关保留时间窗口的离子对。选定的分析物离子对 (提供于附录中) 与方法中列出的相似。使用 MassHunter 定量分析软件 (用于 QQQ) 版本 10.1 处理数据。

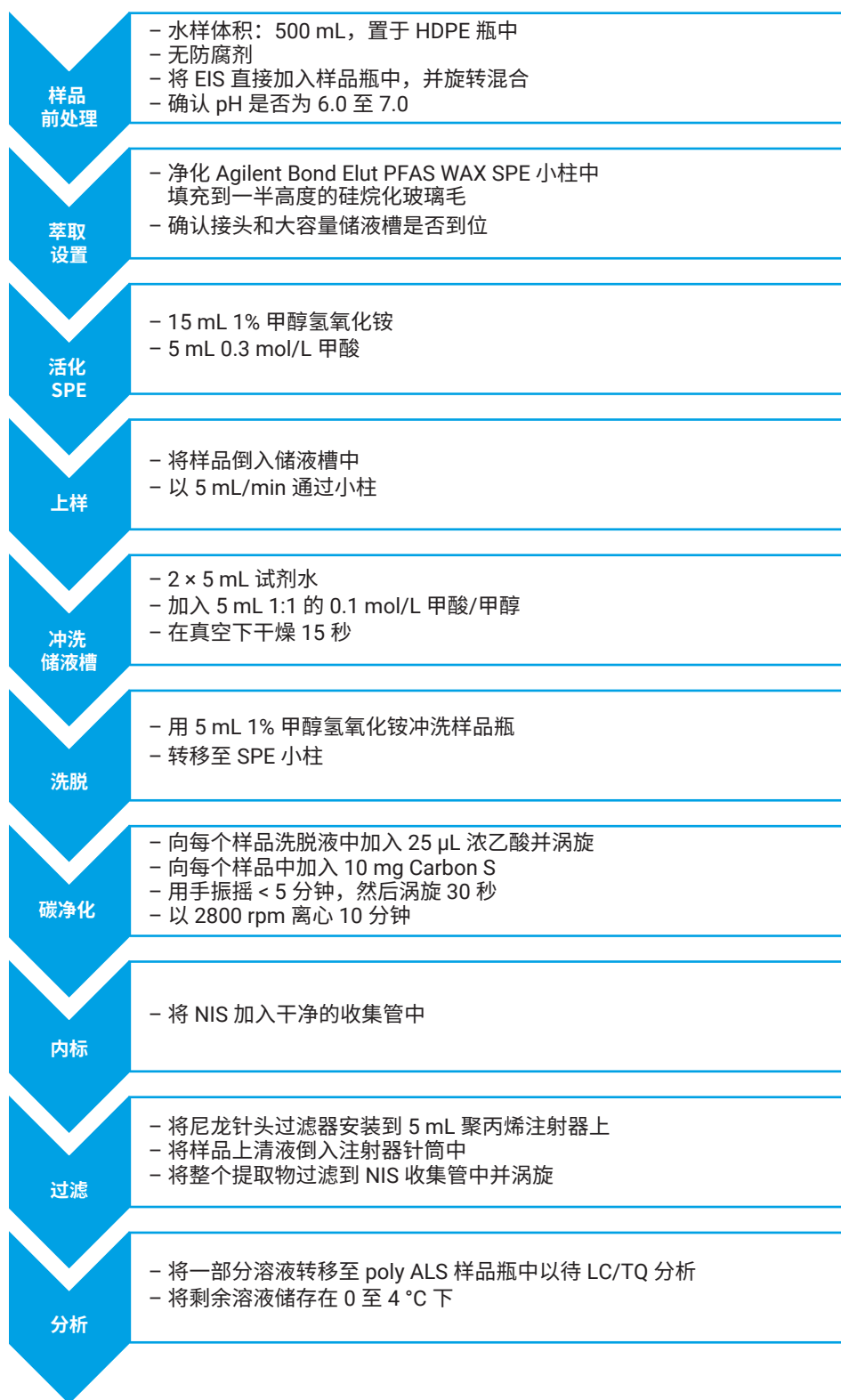


图 1. 萃取流程

## 校准标样

分析混标购自 Wellington Laboratories。随后对标准品进行组合和稀释，以配制高浓度校准溶液（浓度 10），其分析物浓度与方法中高浓度校准标样的浓度非常接近。配制一系列稀释液，使最终校准溶液浓度低于方法中的低浓度标样。

## 结果与讨论

### 校准性能

按照方法指南建立仪器线性，具体信息可参阅另一篇应用简报<sup>[2]</sup>。简而言之，所有分析物都具有稳定的保留时间，RSDs 小于 3%，且  $R^2$  值高于 0.998。分析物的相对标准误差 (RSE) 小于 10%。EPA 方法 1633 规定，胆盐 (TDCA) 与 PFOS 之间的色谱分离时间必须至少为 1 分钟。所使用的分析条件符合标准，TDCA 和 PFOS 分别在 5.7 分钟和 7.1 分钟处洗脱。

### 替代物回收率

从试剂水中提取的替代物的回收率（重复样  $n = 21$ ；实验室试剂空白、精密度和准确度加标样品以及用于确定 MDL 的低浓度加标样品）在 63%–121% 范围内。回收率的 RSDs 也小于 20%。这一结果完全在通常可接受的 EPA 替代物回收率范围（50%–150%）和 RSDs (<20%) 以内。

表 1. LC 仪器条件

参数	值
LC	Agilent 1290 Infinity II 液相色谱系统，配备 G7120A 高速泵 (G7120A)、Multisampler (G7167B)、大容量柱温箱 (G7116B)
UHPLC 保护柱	Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18, 2.1 × 5 mm, 1.8 μm (部件号 821725-901)
分析柱	Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18, 2.1 × 100 mm, 1.8 μm (部件号 959758-902)
延迟柱	Agilent InfinityLab PFC 延迟柱, 4.6 × 30 mm (部件号 5062-8100)
柱温	40 °C
进样量	5 μL
流动相	A) 含 2 mmol/L 乙酸钠的 95% 水 (LC 级) 和 5% 乙腈 B) 乙腈 (LC 级)
梯度流速	0.4 mL/min
梯度	时间 (min)    %B 0.0            2 0.2            2 10             95
停止时间	12.2 min
后运行时间	2.0 min

表 2. TQ 仪器条件

参数	值
MS	Agilent 6470B LC/TQ，配备安捷伦喷射流 ESI 离子源
离子源参数	
气体温度	230 °C
气体流速	6 L/min
雾化器	20 psi
鞘气温度	355 °C
鞘气流速	10 L/min
毛细管电压 (负)	2500 V
喷嘴电压 (负)	0 V

## 方法检出限

根据 40 CFR Part 136 附录 B 中的 MDL 程序确定方法检出限 (MDLs)。使用 Bond Elut PFAS WAX SPE 萃取低浓度加标样品和实验室试剂空白 (LRB) 后获得的初始 MDLs 与方法中记录的那些指标相当或更出色。更多详细信息见表 3。

## 精密度和准确度

中等浓度下的精密度和准确度萃取研究得到了优异的重现性。所有 RSDs 均低于 9%，且回收率（以准确度表示，如图 2 所示）处于 70%–116% 之间。

表 3. 使用 Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE 萃取低浓度加标样品和实验室试剂空白 (LRB) 所获得的初始方法检出限

分析物	Bond Elut PFAS WAX 初始 MDL (ng/L)	EPA 1633 Aq. MDL (ng/L)*	分析物	Bond Elut PFAS WAX 初始 MDL (ng/L)	EPA 1633 Aq. MDL (ng/L)*
PFBA	0.38	0.79	6:2FTS	0.58	2.45
PFPeA	0.71	0.54	8:2FTS	0.84	2.50
PFHxA	0.09	0.46	PFOSA	0.20	0.32
PFHpA	0.19	0.37	NMeFOSA	0.09	0.43
PFOA	0.23	0.54	NEtFOSA	0.17	0.45
PFNA	0.15	0.45	NMeFOSAA	0.27	0.68
PFDA	0.15	0.52	NEtFOSAA	0.34	0.59
PFUnA	0.13	0.45	NMeFOSE	1.41	3.81
PFDoA	0.29	0.40	NEtFOSE	1.97	4.84
PFTriDA	0.33	0.46	HFPO-DA	0.60	0.51
PFTeDA	0.38	0.49	ADONA	0.26	0.50
PFBS	0.12	0.37	PFMPA	0.36	1.46
PFPeS	0.15	0.50	PFMBA	0.13	1.41
PFHxS	0.26	0.54	NFDHA	0.38	0.75
PFHpS	0.21	0.50	9Cl-PF3ONS	0.52	1.38
PFOS	0.39	0.63	11Cl-PF3OUdS	1.38	1.67
PFNS	0.15	0.47	PFEESA	0.26	1.17
PFDS	0.23	0.60	3:3 FTCA	0.82	2.47
PFDoS	0.44	0.60	5:3 FTCA	3.77	9.59
4:2FTS	0.43	1.69	7:3 FTCA	3.27	8.71

\* EPA 方法 1633 — 表 9, 多实验室验证结果

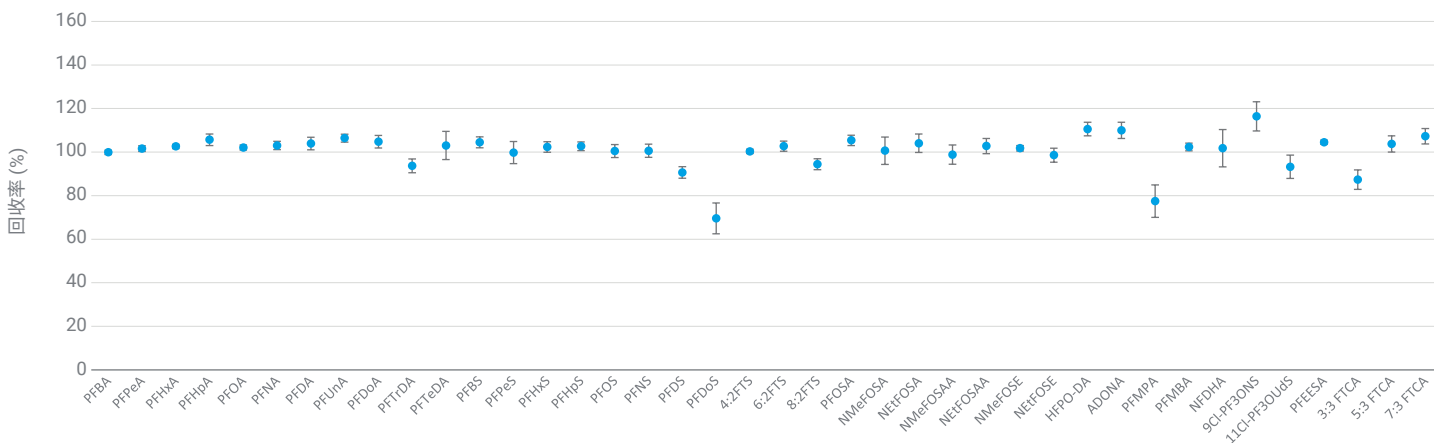


图 2. 使用 Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱，通过试剂水的精密度和准确度证明的性能

### 废水排放样品

为证明 EPA 方法 1633 和 Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱在实际应用中的适用性，对三个不同的废水排放样品分别进行重复分析。如图 3 所示，在每个样品中均检出多种 PFAS。全氟烷基羧酸是最常检测到的一组化合物，PFHxA 在这些酸中始终具有最高的浓度。另外，在所有样品中均检测到 6:2 FTS（氟调聚物磺酸盐），浓度最高达 34 ng/L。

在三个废水排放样品的各个重复样（三个或四个）中加标目标分析物，并按照方法进行萃取。从加标样品的实测浓度中扣除未加标废水样品的平均背景水平，并计算回收率（准确度）。表 4 显示了各批次的加标浓度、平均回收率（准确度）和回收率范围。

废水排放样品中的替代物回收率 (n = 24) 通常在 50%–150% 之间，具有良好的重现性。但是，FTS 类别的 PFAS 提取替代物在基质中的回收率始终较高，证明了匹配的标记内标对于准确校正基质效应的重要性。

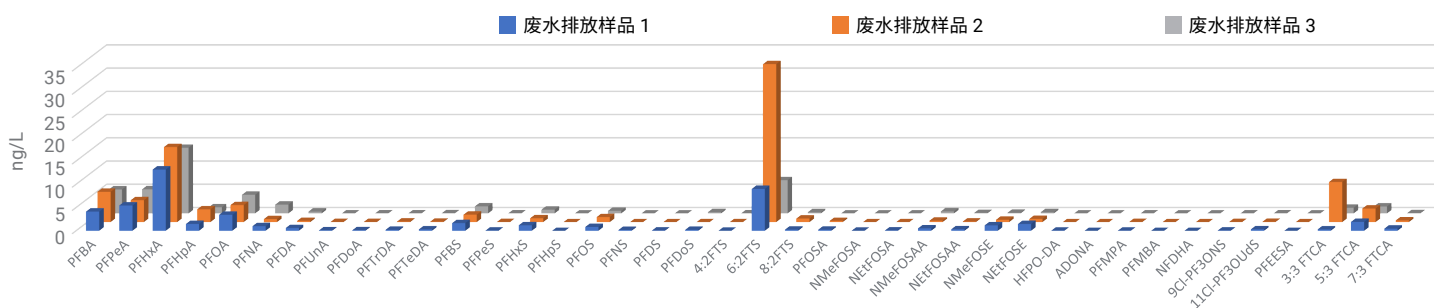


图 3. 在废水排放样品中检出的 PFAS

表 4. 废水样品中 PFAS 的加标浓度、平均回收率（准确度）和回收率范围

分析物	加标浓度 (ng/L)	平均准确度 (回收率)	平均回收率范围下限	平均回收率范围上限
PFBA	50	91%	86%	99%
PFPeA	25	88%	84%	95%
PFHxA	12.5	93%	85%	103%
PFHpA	12.5	97%	91%	104%
PFOA	12.5	96%	87%	107%
PFNA	12.5	94%	85%	101%
PFDA	12.5	96%	90%	103%
PFOuA	12.5	95%	90%	101%
PFDoA	12.5	92%	87%	95%
PFTrDA	12.5	90%	85%	96%
PFTeDA	12.5	96%	88%	103%
PFBS	12.5	104%	92%	114%
PFPeS	12.5	92%	86%	98%
PFHxS	12.5	91%	88%	94%
PFHpS	12.5	99%	90%	105%
PFOS	12.5	97%	84%	105%
PFNS	12.5	82%	76%	87%
PFDS	12.5	70%	65%	76%
PFDoS	12.5	48%	45%	50%
4:2 FTS	50	95%	90%	104%
6:2 FTS	50	95%	92%	99%
8:2 FTS	50	89%	77%	105%
PFOSA	12.5	96%	88%	103%
NMeFOSA	12.5	89%	83%	93%
NEtFOSA	12.5	92%	81%	99%
NMeFOSAA	12.5	105%	100%	115%
NEtFOSAA	12.5	96%	92%	103%
NMeFOSE	125	92%	86%	101%
NEtFOSE	125	93%	89%	98%
HFPO-DA	50	109%	90%	120%
ADONA	50	111%	91%	122%
PFMPA	25	103%	95%	111%
PFMBA	25	102%	93%	106%
NFDHA	25	48%	39%	54%
9Cl-PF3ONS	50	100%	82%	109%
11Cl-PF3OUdS	50	74%	61%	84%
PFEESA	25	96%	93%	101%
3:3 FTCA	50	114%	97%	127%
5:3 FTCA	250	153%	136%	169%
7:3 FTCA	250	141%	117%	156%

## 结论

本应用简报通过示例展示了根据 EPA 方法 1633 可以获得的实验性能。使用 Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱分析水样中的 25 种提取内标（替代物）和 40 种目标 PFAS，对该方法的性能进行了考察。采用优化后的固相样品萃取，并使用 Agilent 1290 Infinity II LC 与 6470 LC/TQ 的联用系统进行分析，对方法进行了验证。中等浓度水平下的精密度和准确度证明方法具有优异的性能，RSDs 小于 9%，且回收率在 70%–130% 之间。初始方法检出限 (MDL) 与方法中的检出限相当。介绍了在废水排放样品中检测到的 PFAS 示例，并展示了加标了所有分析物的废水排放样品中替代物和目标分析物的回收率。

## 附录

### 本应用简报中用于 EPA 方法 1633 的安捷伦消耗品和备件

有关消耗品的更多建议，请参阅 PFAS 消耗品订购指南 (5994-2357ZHCN)。

描述	详情	部件号
PFC 延迟柱	Agilent InfinityLab PFC 延迟柱 4.6 × 30 mm	5062-8100
UHPLC 保护柱	Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18, 2.1 × 5 mm, 1.8 μm	821725-901
分析柱	Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18, 2.1 × 100 mm, 1.8 μm	959758-902
自动进样器样品瓶	螺口样品瓶, 2 mL, 聚丙烯, 经认证可用于 PFAS, 100/包	5191-8121
自动进样器瓶盖	螺口盖, 9 mm, 透明, 薄膜聚丙烯/硅橡胶隔垫, 经认证可用于 PFAS, 100/包	5191-8151
SPE 小柱	Bond Elut PFAS WAX SPE 小柱, 150 mg, 6 mL, 30/包	5610-2150
玻璃毛	玻璃毛, 经过硅烷处理, 50 g	8500-1572
离心管	离心管和管盖, 15 mL, 50/包	5610-2039
碳	Carbon S 散装, 25 g 瓶	5610-2093
进样针	5 mL 一次性注射器, 100/包	9301-6476
尼龙过滤器	Agilent Captiva 优级针头过滤器, 尼龙, 25 mm, 0.2 μm, 100/包	5190-5092

### 监测的 dMRM 离子对

化合物组	化合物名称	母离子	子离子	RT (min)	碎裂电压	碰撞能量	池加速电压
酸	PFBA	213	168.9	3.5	60	8	2
酸	PFPeA	263	219	4.5	72	4	2
酸	PFHxA	313	268.9	5.2	70	8	2
酸	PFHxA	313	119	5.2	70	18	2
酸	PFHpA	362.9	319	5.7	72	4	2
酸	PFHpA	362.9	169	5.7	72	14	2
酸	PFOA	413	369	6.2	69	4	2
酸	PFOA	413	169	6.2	69	12	2
酸	PFNA	463	419	6.6	66	4	2
酸	PFNA	463	219	6.6	66	17	2
酸	PFDA	513	469	7.0	72	12	2
酸	PFDA	513	219	7.0	72	20	2
酸	PFUnA	563	519	7.5	100	12	2
酸	PFUnA	563	269	7.5	100	20	2
酸	PFDoA	613	569	7.9	100	8	2
酸	PFDoA	613	319	7.9	100	20	2
酸	PFTTrDA	663	619	8.2	100	12	2
酸	PFTTrDA	663	169	8.2	100	32	2
酸	PFTeDA	712.9	669	8.6	100	12	2
酸	PFTeDA	712.9	169	8.6	100	32	2
醚磺酸	PFEESA	314.9	134.9	5.6	110	24	2
醚磺酸	PFEESA	314.9	83	5.6	124	20	5
醚磺酸	PFEESA	314.9	69	5.6	110	60	2
醚磺酸	9Cl-PF3ONS	530.9	350.9	7.6	145	28	2
醚磺酸	9Cl-PF3ONS	530.9	83	7.6	145	32	2
醚磺酸	11Cl-PF3OUdS	630.9	83	8.4	160	32	2
醚磺酸	11Cl-PF3OUdS	630.9	450.9	8.4	165	32	2
氟调羧酸	3-3 FTCA	241	177	4.2	74	4	3
氟调羧酸	3-3 FTCA	241	117	4.2	74	44	3
氟调羧酸	5-3 FTCA	341	237	5.6	84	12	3
氟调羧酸	5-3 FTCA	341	217	5.6	84	24	3



化合物组	化合物名称	母离子	子离子	RT (min)	碎裂电压	碰撞能量	池加速电压
氟调羧酸	7-3 FTCA	441	337	6.6	76	12	3
氟调羧酸	7-3 FTCA	441	317	6.6	76	24	3
FTS	4:2 FTS	327	306.9	5.0	125	20	2
FTS	4:2 FTS	327	80.9	5.0	125	36	2
FTS	6:2 FTS	427	406.8	6.0	125	24	2
FTS	6:2 FTS	427	80.9	6.0	125	40	2
FTS	8:2 FTS	527	507	6.8	200	30	4
FTS	8:2 FTS	527	80.9	6.8	170	40	2
内标	13C3-PFBA	216	171.9	3.5	65	8	2
内标	13C2-PFHxA	315	270	5.2	70	8	2
内标	13C4-PFOA	417	172	6.2	69	12	2
内标	18O2-PFHxS	403	83.9	6.4	100	49	2
内标	13C5-PFNA	468	423	6.6	66	4	2
内标	13C2-PFDA	515	470	7.0	81	4	2
内标	13C4-PFOS	503	80	7.3	148	54	2
内标	13C4-PFOS	502.9	98.9	7.3	180	48	2
全氟辛烷磺酰胺乙醇	NMeFOSE	616	59	9.8	82	15	4
全氟辛烷磺酰胺乙醇	NEtFOSE	630	59	10.1	124	45	4
全氟辛烷磺酰胺	PFOSA	497.9	478	8.6	150	36	3
全氟辛烷磺酰胺	PFOSA	497.9	78	8.6	150	36	3
全氟辛烷磺酰胺	PFOSA	497.9	48	8.6	150	110	3
全氟辛烷磺酰胺	NMeFOSA	512	219	9.9	156	28	5
全氟辛烷磺酰胺	NMeFOSA	512	169	9.9	156	32	5
全氟辛烷磺酰胺	NEtFOSA	526	269	10.3	160	28	5
全氟辛烷磺酰胺	NEtFOSA	526	219	10.3	160	28	5
全氟辛烷磺酰胺	NEtFOSA	526	169	10.3	160	28	5
全氟辛烷磺酰氨基乙酸	NMeFOSAA	570	482.9	7.1	150	16	2
全氟辛烷磺酰氨基乙酸	NMeFOSAA	570	419	7.1	150	20	2
全氟辛烷磺酰氨基乙酸	NEtFOSAA	584	526	7.3	100	20	2
全氟辛烷磺酰氨基乙酸	NEtFOSAA	584	419	7.3	100	20	2
全氟醚羧酸	PFMPA	229	84.9	4.0	60	12	2
全氟醚羧酸	PFMBA	279	235	4.8	80	1	5
全氟醚羧酸	PFMBA	279	84.9	4.8	70	12	2
全氟醚羧酸	NFDHA	295	201	5.1	75	5	2
全氟醚羧酸	NFDHA	295	85	5.1	120	32	5
全氟醚羧酸	NFDHA	201	85	5.1	70	15	5
全氟醚羧酸	HFPO-DA	285	185	5.4	50	20	5
全氟醚羧酸	HFPO-DA	285	169	5.4	50	4	5
全氟醚羧酸	ADONA	377	250.9	5.9	80	12	2
全氟醚羧酸	ADONA	377	85	5.9	80	36	2
磺酸盐	PFBS	298.9	98.9	5.3	100	29	2
磺酸盐	PFBS	298.9	80	5.3	100	45	2
磺酸盐	PFPeS	348.9	98.9	5.9	135	40	2
磺酸盐	PFPeS	348.9	79.9	5.9	135	40	2
磺酸盐	PFHxS	398.9	99	6.4	100	45	2
磺酸盐	PFHxS	398.9	80	6.4	100	49	2

化合物组	化合物名称	母离子	子离子	RT (min)	碎裂电压	碰撞能量	池加速电压
磺酸盐	PFHpS	448.9	98.7	6.9	100	44	2
磺酸盐	PFHpS	448.9	80	6.9	148	50	2
磺酸盐	PFOS	498.9	99	7.3	100	50	2
磺酸盐	PFOS	498.9	80	7.3	100	50	2
磺酸盐	PFNS	548.9	99	7.7	148	52	2
磺酸盐	PFNS	548.9	80	7.7	148	56	2
磺酸盐	PFDS	598.9	99	8.1	148	56	2
磺酸盐	PFDS	598.9	80	8.1	148	60	2
磺酸盐	PFDoS	698.9	99	8.8	156	62	2
磺酸盐	PFDoS	698.9	80	8.8	156	67	2
替代物	13C4-PFBA	217	172	3.5	60	8	2
替代物	13C5-PFPeA	268	223	4.5	60	8	2
替代物	13C2-4:2 FTS	329	309	5.0	125	20	2
替代物	13C2-4:2 FTS	329	81	5.0	150	32	2
替代物	13C5-PFHxA	318	273	5.2	70	8	2
替代物	13C5-PFHxA	318	120	5.2	72	24	2
替代物	13C3-PFBS	302	99	5.3	130	32	2
替代物	13C3-PFBS	302	80	5.3	130	44	2
替代物	13C3-HFPO-DA	287	185	5.4	64	20	5
替代物	13C3-HFPO-DA	287	169	5.4	64	4	5
替代物	13C4-PFHpA	367	322	5.7	72	4	2
替代物	13C4-PFHpA	367	169	5.7	72	16	2
替代物	13C2-6:2 FTS	429	409	6.0	125	24	2
替代物	13C2-6:2 FTS	429	81	6.0	150	40	2
替代物	13C8-PFOA	421	376	6.2	69	4	2
替代物	13C8-PFOA	421	172	6.2	72	20	2
替代物	13C3-PFHxS	402	99	6.4	156	44	2
替代物	13C3-PFHxS	402	80	6.4	100	45	2
替代物	13C9-PFNA	472	427	6.6	66	4	2
替代物	13C9-PFNA	472	223	6.6	72	16	2
替代物	13C2-8:2 FTS	529	509	6.8	170	28	2
替代物	13C2-8:2 FTS	529	81	6.8	200	52	4
替代物	13C6-PFDA	519	474	7.0	72	8	2
替代物	D3-NMeFOSAA	573.2	419	7.1	150	20	2
替代物	D5-NEtFOSAA	589.2	419	7.2	100	20	2
替代物	13C8-PFOS	507	99	7.3	148	52	2
替代物	13C8-PFOS	507	80	7.3	100	50	2
替代物	13C7-PFUnA	570	525	7.5	100	8	2
替代物	13C2-PFDoA	615	570	7.9	90	12	2
替代物	13C2-PFTeDA	715	670	8.6	90	12	2
替代物	13C8-PFOA	506	78	8.6	150	36	3
替代物	D7-NMeFOSE	623.2	59	9.8	82	15	4
替代物	D3-NMeFOA	515	219	9.9	156	28	5
替代物	D9-NEtFOSE	639.2	59	10.1	124	45	4
替代物	D5-NEtFOA	531	219	10.2	160	28	5
TDCA	TDCA	498.3	79.9	6.0	165	32	2

## 参考文献

1. United States Environmental Protection Agency, Office of Water. Method 1633 Analysis of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC/MS/MS, **2024**. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-01/method-1633-final-for-web-posting.pdf> (2024 年 4 月 29 日访问)
2. Hunt, K. 等. Analysis of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous Samples Per EPA Method 1633 Using the Agilent 6470 Triple Quadrupole Mass Spectrometer (使用 Agilent 6470 三重四极杆质谱仪按照 EPA 方法 1633 分析水样中的全氟和多氟烷基化合物 (PFAS))，*安捷伦科技公司应用简报*，出版号 5994-4926EN，**2022**
3. Giardina, M. Determination of Per and Polyfluoroalkyl Substances in Drinking Water Using Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE and LC/MS/MS (使用 Agilent Bond Elut PFAS WAX SPE 和 LC/MS/MS 测定饮用水中的全氟和多氟烷基化合物)，*安捷伦科技公司应用简报*，出版号 5994-4960EN，**2022**
4. Giardina, M. 使用 Carbon S SPE 通过 LC/MS/MS 测定土壤中的全氟/多氟烷基化合物，*安捷伦科技公司应用简报*，出版号 5994-4770ZHCN，**2022**

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

DE54740787

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, 2024  
2024 年 5 月 2 日, 中国出版  
5994-5226ZHCN

## 其他资源

### Bond Elut PFAS WAX 小柱:

[www.agilent.com/chem/bond-elut-pfas-wax](http://www.agilent.com/chem/bond-elut-pfas-wax)

### 水中 PFAS 的检测:

[www.agilent.com/chem/pfas-testing-in-water](http://www.agilent.com/chem/pfas-testing-in-water)

### 土壤中 PFAS 的检测:

[www.agilent.com/chem/pfas-testing-in-soil](http://www.agilent.com/chem/pfas-testing-in-soil)

### PFAS 消耗品订购指南:

<https://www.agilent.com.cn/cs/library/brochures/brochure-PFAS-consumables-5994-2357zh-cn-agilent.pdf>

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)

