

## 根据EPA 1633分析全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS) 第1部分：建立和评估方法

---

Kari L. Organtini, Kenneth J. Rosnack, Peter Hancock

Waters Corporation

### 摘要

在美国，US EPA方法1633已成为分析非饮用水基质、土壤、生物固体和组织中PFAS的基础方法。该方法包括使用弱阴离子交换(WAX)固相萃取(SPE)进行样品前处理和石墨化炭黑(GCB)净化的步骤。本应用纪要是一系列展示执行1633方法综合解决方案文档中的第一篇。本文重点介绍了在ACQUITY™ Premier BSM FTN LC系统与Xevo™ TQ Absolute串联四极杆质谱仪联用系统上建立的LC-MS/MS方法，并使用waters\_connect™定量软件平台评估该方法的性能。

### 优势

- 可分析40种目标分析物PFAS和31种同位素标记内标的11分钟梯度方法，满足EPA 1633关于快速仪器分析时间的要求
- 使用ACQUITY Premier BSM FTN的稳定、耐用的UPLC方法，保留时间优于EPA 1633要求
- 使用Xevo TQ Absolute的灵敏、可靠的MS/MS方法，满足EPA 1633对初始和持续校正以及离子丰度比标准品的要求
- 使用waters\_connect定量软件平台可轻松处理数据并生成报告

---

## 简介

US EPA方法1633于2021年8月首次推出，成为分析非饮用水基质、土壤、生物固体和组织中PFAS的基础方法<sup>1</sup>。截至撰写本文档时，方法1633正处于第四次起草阶段，最终版本预计将于2023年底发布。到EPA 1633最终版发布时，方法中包含的每种类型的样品基质都已经过多个实验室的验证。该方法涵盖了40种PFAS，并采用同位素稀释法进行校正和定量。所需的样品前处理因样品类型而略有不同，但所有样品类型均采用弱阴离子交换(WAX)小柱进行固相萃取(SPE)并结合石墨化炭黑(GCB)净化。EPA 1633是为了支持《清洁水法》(CWA)和国防部(DoD)的监测和修复分析样品而创建的，但由于它涵盖的基质和化合物种类繁多，因此适用性也非常广泛。

这是系列应用纪要的第一篇，这一系列应用纪要旨在介绍使用全面的沃特世技术工作流程解决样品前处理、分析和EPA 1633方法性能问题。本应用纪要重点介绍了将ACQUITY Premier BSM FTN LC系统与Xevo TQ Absolute质谱仪联用建立的LC-MS/MS方法，并使用waters\_connect定量软件平台评估了方法性能。之后的应用纪要将介绍方法回收率以及真实样品分析。

---

## 实验

### 样品前处理

有关样品前处理的详细信息，请参阅本系列中的第2篇和第3篇应用纪要。简而言之，PFAS的样品前处理按照1633中概述的样品前处理步骤，使用Waters™ Oasis™ WAX进行，并结合GCB净化方法。水相样品是一个值得注意的例外，使用的样品体积为250 mL，而不是500 mL。因此，样品的浓缩因子为50×，而不是100×。Xevo TQ Absolute质谱仪的灵敏度支持减少样品体积。下文提供的数据表明，250 mL样品量所产生的结果与EPA 1633中使用500 mL样品量所获得的结果相当。小体积样品的优势不仅包括样品前处理过程中更快的上样速度，还包括使用较小的250 mL样品时降低的运输成本和样品储存要求。

所有使用的标准品（目标分析物、萃取的内标和未萃取的内标）均为Wellington Laboratories专为EPA方法1633开发的混合物。

本应用纪要中探讨的样品包括当地采集的地下水和地表水，以及美国中西部一家市政污水处理机构友情提供的进水和出水废水。

### 数据审查

使用waters\_connect定量软件平台中的MS Quan应用程序进行数据处理和审查。本文将重点介绍EPA 1633第4版草案中概述的以下数据质量指南，以展示使用沃特世解决方案的方法能力：

- 1.将中间校正点用作保留时间和离子丰度比的参比点（在waters\_connect中指定为Quan Reference（定量参比））。
- 2.保留时间必须在参比点的0.4 min范围内。
- 3.目标分析物必须在萃取内标(EIS)的0.1 min内洗脱。
- 4.胆汁盐（TDCA、TCDCA、TUDCA）必须在PFOS保留时间窗口外1 min实现分离。
- 5.至少需要6个校正点。
- 6.最低校正点对于定量和确认离子必须有3的信噪比(S:N)，或者如果只有一种定量离子，则最低校正点的信噪比必须有10。
- 7.使用平均RF标准曲线时，%RSD必须 $\leq$ 20%才能建立线性。
- 8.校正检验(CV)进样浓度必须在预期浓度的70%~130%范围内。
- 9.离子丰度比（如果适用）范围必须在中点校正参比点的50%~150%范围内。
- 10.确立的最低定量浓度(ML)是LC-MS/MS能够为分析物提供可识别信号和接受的校正点的最低水平。这是该方法能够测量分析物的最低浓度。
- 11.线性和支链异构体报告为单个汇总结果。

## 液相色谱条件

液相色谱系统：	配备FTN的ACQUITY Premier BSM
样品瓶：	700 $\mu$ L聚丙烯螺口带盖瓶(P/N: 186005219)
分析柱：	ACQUITY Premier BEH™ C <sub>18</sub> 2.1 x 50 mm, 1.7 $\mu$ m (P/N: 186009452)
隔离柱：	Atlantis Premier BEH C <sub>18</sub> AX 2.1 x 50 mm, 5.0

	μm (P/N: 186009407)
柱温:	35 °C
PFAS方法包:	PFAS安装套件, 带OASIS WAX 150 mg (P/N: 176004548)
样品温度:	10 °C
进样体积:	2 μL
流速:	0.3 mL/min
流动相A:	2 mM乙酸铵水溶液
流动相B:	2 mM乙酸铵乙腈溶液

## 梯度表

时间 (min)	%A	%B	曲线
0	95	5	初始
0.5	75	25	6
3	50	50	6
6.5	15	85	6
7	5	95	6
8.5	5	95	6
9	95	5	6
11	95	5	6

## MS条件

质谱系统:	Xevo TQ Absolute
-------	------------------

电离模式：	ESI-
毛细管电压：	0.5 kV
离子源温度：	100 °C
脱溶剂气温度：	350 °C
脱溶剂气流速：	900 L/h
锥孔气流速：	150 L/h
MRM方法：	有关完整MRM方法的详细信息，请参见附录

## 数据管理

软件：waters\_connect定量软件平台

---

## 结果与讨论

### LC梯度优化

胆酸类化合物，例如牛磺脱氧胆酸(TDCA)、牛磺鹅脱氧胆酸(TCDCA)和牛磺熊脱氧胆酸(TUDCA)，由于母离子与二级碎片的质量数相似，可能会干扰质谱中PFOS的分析。这些干扰物是为帮助消化过程而产生的胆盐，可能存在于组织和废水样品中。因此，EPA 1633要求LC方法的要求之一为不仅要监测胆酸，还要确保胆酸和PFOS之间有一分钟的保留时间差。之前发布的PFAS方法使用甲醇作为有机流动相<sup>2,3</sup>。在用EPA 1633样品测试甲醇法时，发现PFOS在三种胆酸的中间洗脱（图1）。这不符合1633的要求，因此测试改用乙腈作为有机流动相。从图1可以看出，使用乙腈时，胆酸比任何PFOS异构体都更早洗脱，分离时间大于一分钟。需要注意的是，从甲醇切换为乙腈时，观察到响应有小幅下降，但不足以影响分析。

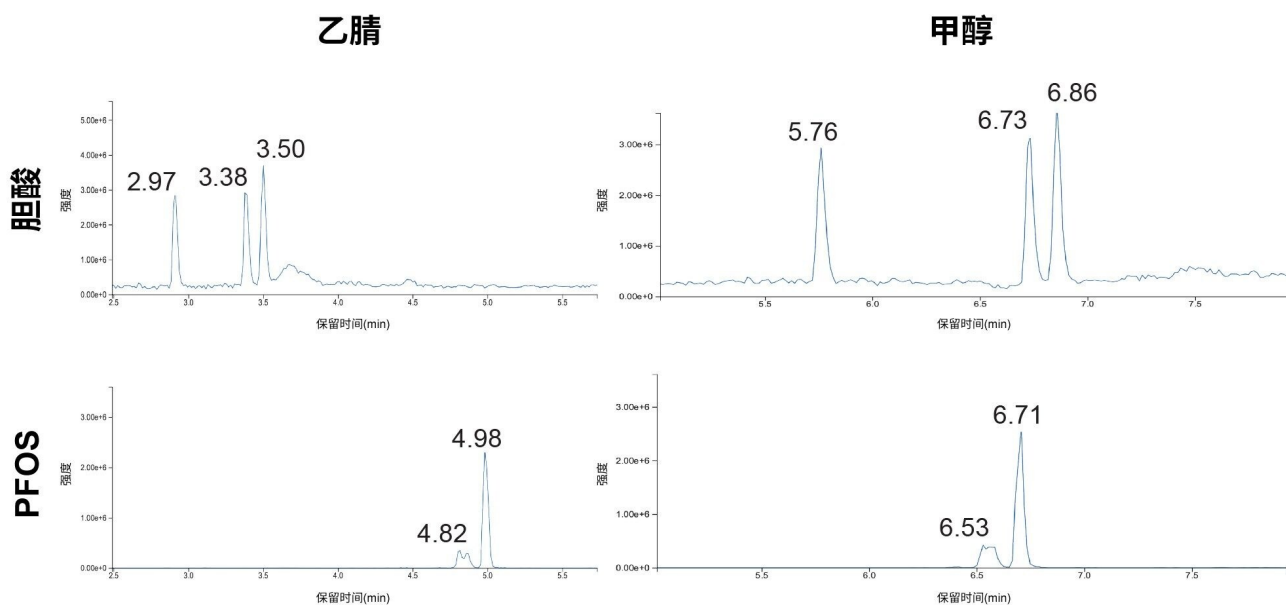


图1.使用乙腈（左）和甲醇（右）作为有机流动相时，胆酸与PFOS异构体的分离度比较。

除了更改有机流动相以外，LC梯度方法也从之前使用100 mm色谱柱的方法缩小到50 mm色谱柱，以减少仪器分析时间。

## 校正性能与持续验证

EPA 1633是使用Xevo TQ-S micro质谱仪（具有符合预期目标灵敏度的串联四极杆质谱仪）开发的，并进行了单实验室验证。本文所述研究是使用灵敏度最高的质谱仪 - Xevo TQ Absolute质谱仪执行的。Xevo TQ Absolute质谱仪的灵敏度水平为方法提供了更高的灵活性。因此，本研究使用的标准曲线范围是方法及多实验室验证研究中使用的1/20。此外，Xevo TQ Absolute的最低定量浓度也是大约1/20。本研究使用的标准曲线范围（以样品瓶内和样品中的浓度表示）可参见表1。表1还显示了最低定量浓度下各化合物的信噪比(S:N)值。该浓度下所有化合物的S:N  $\geq 3$ 。

化合物	最低浓度 (ng/L)	样品中的最低浓度 (ng/L)	标准曲线高浓度 (ng/L)	样品中的标准曲线高浓度 (ng/L)	最低信噪比	RRF 标准曲线 %RSD
PFBA	200	4.00	10000	200	123	7.9
PFPeA	20	0.40	5000	100	13	13
PFHxA	10	0.20	2500	50	8	14
PFHpA	10	0.20	2500	50	7	3.7
PFOA	10	0.20	2500	50	6	13
PFNA	10	0.20	2500	50	10	7.9
PFDA	50	1.00	2500	50	11	13
PFUnDA	50	1.00	2500	50	29	8.2
PFDoDA	10	0.20	2500	50	3	7.0
PFTriDA	10	0.20	2500	50	11	10
PFTreDA	10	0.20	2500	50	6	13
PFBS	8.9	0.18	2220	44.4	21	4.2
PFPeS	9.4	0.19	2350	47	43	7.7
直链PFHxS	7.4	0.15	1850	37	73	5.4
支链PFHxS	8.7	0.17	433	8.7	76	3.7
PFHpS	9.5	0.19	2380	47.6	21	12
直链PFOS	7.3	0.15	1630	32.6	7	14
支链PFOS	9.8	0.20	490	9.8	15	9.8
PFNS	9.6	0.19	2410	48.2	41	5.1
PFDS	9.7	0.19	2410	48.2	50	5.1
PFDoDS	9.7	0.19	2430	48.6	54	4.5
GenX	20	0.40	5000	100	68	4.0
ADONA	19.5	0.39	4860	97.2	81	3.7
9CIPF3ONS	19.4	0.39	4840	96.8	42	5.0
11CIPF3OUdS	19.5	0.39	4860	97.2	45	3.8
4:2 FTS	39.4	0.79	9840	197	37	12
6:2 FTS	39.5	0.79	9880	198	28	15
8:2 FTS	39.6	0.79	9900	198	5755	8.6
FOSA	10	0.20	2500	50	183	4.0
NMeFOSA	10	0.20	2500	50	10	3.8
NEtFOSA	10	0.20	2500	50	17	6.0
NMeFOSAA	7.8	0.16	1900	38	10	4.5
NEtFOSAA	38.8	0.78	1940	38.8	17	7.2
NMeFOSE	100	2.00	25000	500	395	5.2
NEtFOSE	100	2.00	25000	500	76	5.4
3:3 FTCA	200	4.00	10000	200	11	6.6
5:3 FTCA	200	4.00	50000	1000	5	7.2
7:3 FTCA	200	4.00	50000	1000	40	7.6
PFMPA	20	0.40	5000	100	68	4.6
PFMBA	20	0.40	5000	100	244	5.7
PFEESA	18.9	0.38	4730	94.6	18	8.7
NFDHA	20	0.40	5000	100	12	8.5

表1.在Xevo TQ Absolute质谱仪上进行EPA 1633评估所用的标准曲线数据。

按照方法说明，使用同位素稀释法进行校正和定量。使用平均响应因子(RF)绘制标准曲线。此类曲线的线性通过验证整条曲线上的相对响应因子(RRF)的%RSD  $\leq$  20%来确定。表1列出了RRF的%RSD值，所有化合物的%RSD均小于15%，证明该方法中所有PFAS的标准曲线均呈线性。

由于不需要每批样品都绘制标准曲线，因此在每批样品之前、批次中每10个样品之后以及批次结束时进行校正检验(CV)进样，验证样品分析过程中的仪器稳定性。CV是处于标准曲线的中间浓度的标准曲线标准品。所有CV必须在标准曲线预期浓度的70%~130%范围内定量，才能被接受用于每批数据。为了证明仪器响应的稳定性，图2中绘制了八天内不同批次地下水、地表水、废水和组织样品进样的CV偏差百分比。按照1633的要求，图中的偏差百分比应在 $\pm$ 30%以内。除两次进样中的7:3 FTCA外，所有其他化合物均符合30%的偏差标准。7:3 FTCA有两次进样的偏差 $>$  30%。排除7:3 FTCA后，CV值的平均偏差为3.75%。这表明LC-MS/MS系统和方法可在长时间内保持稳定。



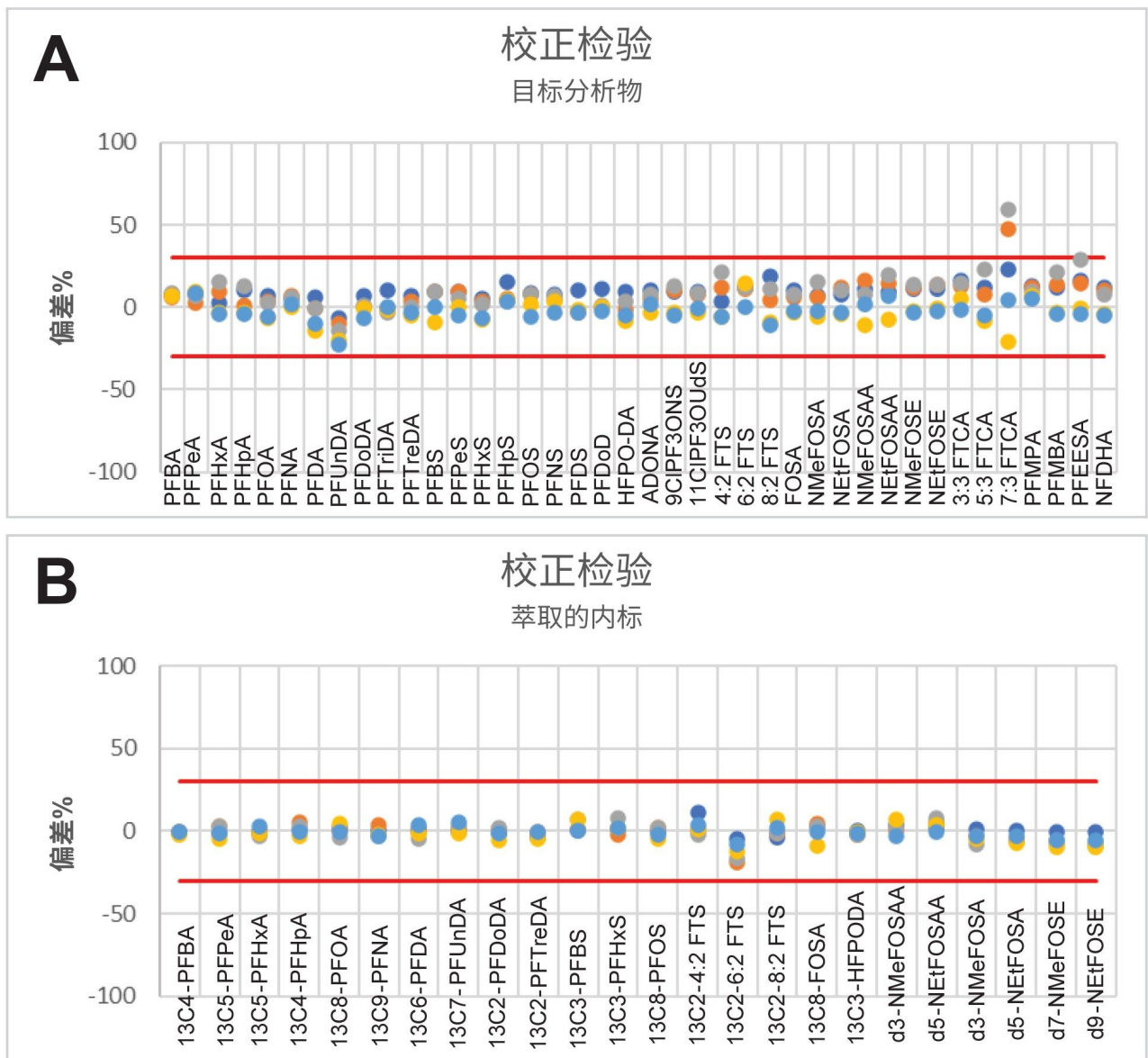


图2.在8天的批次运行中，目标分析物(A)和萃取的内标(B)每次CV进样的偏差%。红线表示±30%的可接受范围。

### 样品分析期间的性能

保留时间稳定性是EPA 1633的另一项参数要求，允许的RT窗口为预期保留时间（来自初始校正或CV）的0.4 min 以内。图3展示了在8天时间范围内，不同批次的水相样品类型中，53次进样所采集数据的RT稳定性。除FOSA（C<sub>8</sub>磺胺类）外，所有化合物在所有进样中的最大RT偏差为2.7% (0.02 min)。图中线条的对称性展示了保留时间的

稳定性，每条线在圆形图表上从开始（第1次进样）到结束（第53次进样）都相互对应。在第18~33次进样期间，FOSA和<sup>13</sup>C<sub>8</sub>-FOSA的保留时间发生明显漂移，但RT在后续进样中又稳定回到预期RT。该化合物的0.18 min RT漂移完全处于允许的0.4 min范围内。此外，在此漂移期间，FOSA和<sup>13</sup>C<sub>8</sub>-FOSA的RT是匹配的。

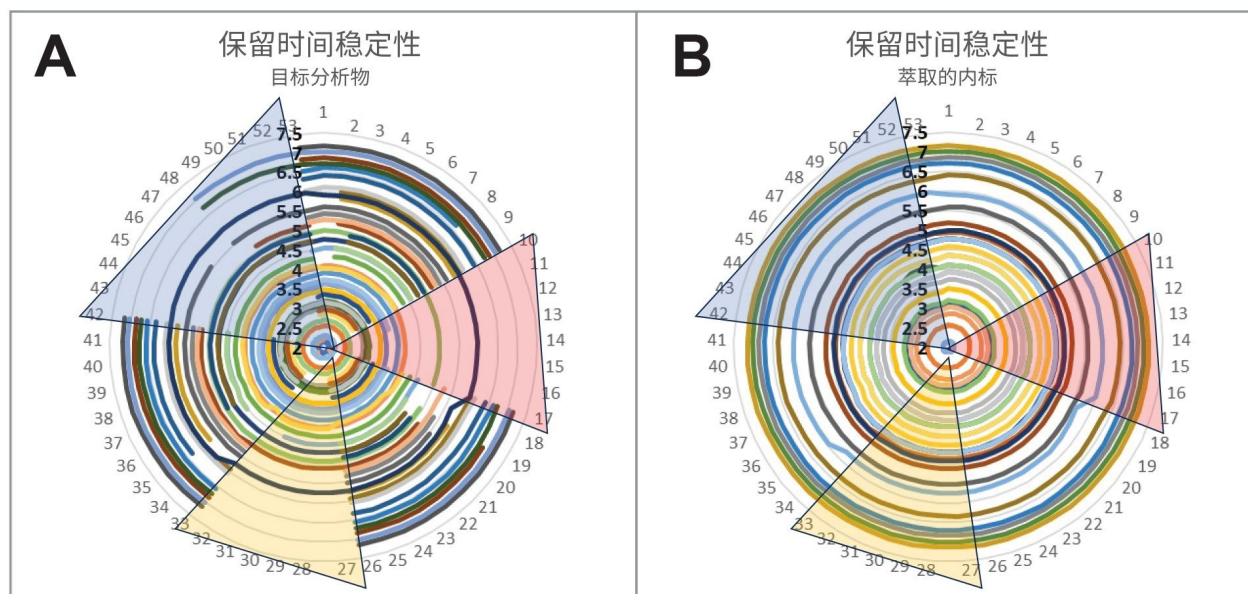


图3.样品、标准品和质控样品的53次进样中，目标分析物(A)和萃取内标(B)的保留时间稳定性。突出显示的区域表示样品进样的区域，其中红色表示地下水，黄色表示地表水，蓝色表示进水和出水废水。

最后，通过8天测量地下水、地表水、废水和组织进样中的离子丰度比来评估离子丰度比的稳定性。EPA 1633要求离子丰度比在参比值（中点或CV）的50%~150%范围内。图4所示为测得的离子丰度比偏差与初始中点校正的比较结果。所有化合物的所有离子丰度比均在±50%的偏差范围内，平均偏差为3.28%。

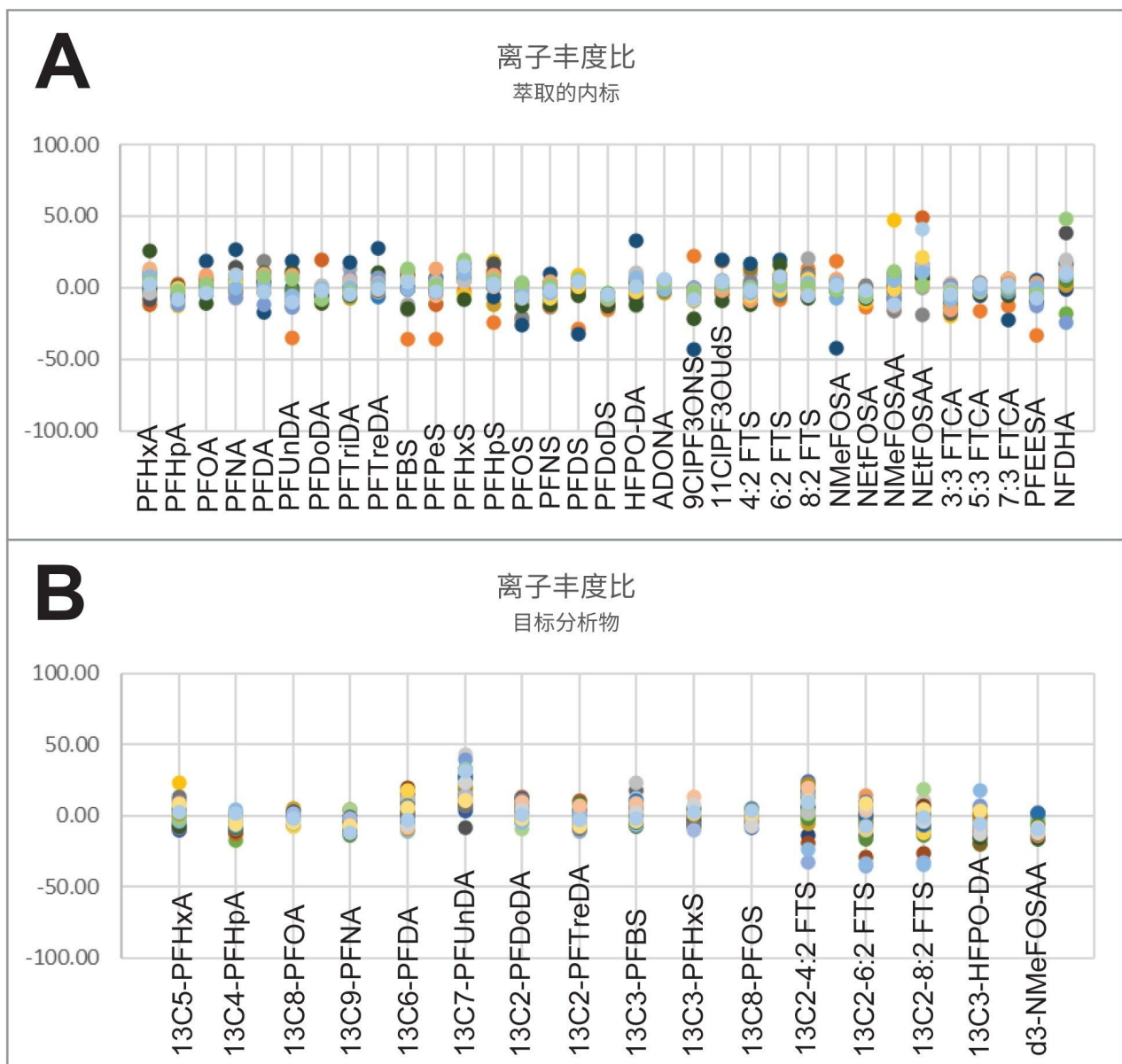


图4.在目标分析物(A)和萃取的内标(B)中，具有两个MRM通道的每种分析物的离子丰度比偏差百分比。图中的数据展示了8天内批次运行期间的样品和标准品进样结果。

## 异构体的数据处理

EPA 1633的一个附加要求，这也是大多数PFAS方法的常见要求：在最终报告结果中将支链异构体与线性异构体合并在一起。使用waters\_connect定量软件平台中的MS Quan应用程序时，合计异构体是一个简单的自动化过程。

图5展示了独立处理和定量异构体，以及报告总异构体浓度的能力（以PFHxS为例）。

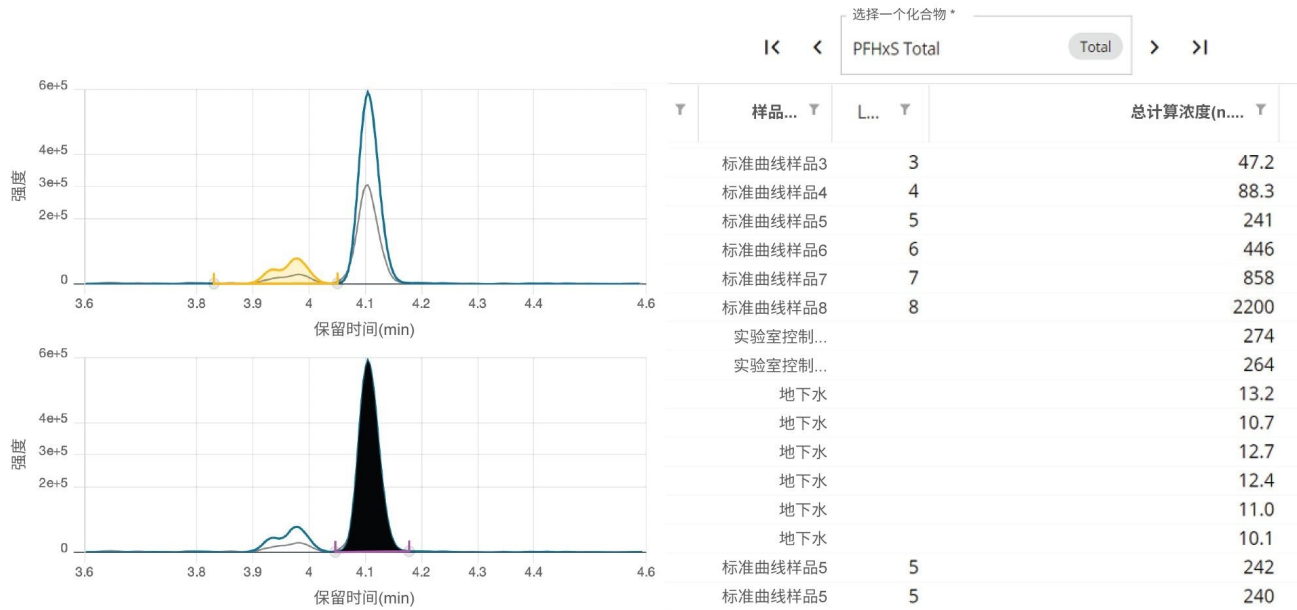


图5.从MS Quan得到的PFHxS各异构体峰积分和异构体总浓度报告。

## 结论

使用ACQUITY Premier BSM FTN LC系统与Xevo TQ Absolute质谱仪联用的分析方法，可轻松满足EPA 1633方法的所有数据质量要求。在50 mm ACQUITY BEH C<sub>18</sub>色谱柱上使用乙腈作为有机流动相的11 min LC梯度下，潜在的胆酸干扰物与PFOS之间实现了所需的一分钟分离。Xevo TQ Absolute的检测和标准曲线范围远低于EPA 1633中规定的范围。这为检测样品中的低浓度PFAS提供了可能，还有可能减少所需的样品量，从而加快样品前处理速度。结果表明，校正在响应值±30%的校正检验要求范围内稳定。保留时间稳定，与参比进样的偏差在2.7%以内。离子丰度比也完全在±50%的偏差范围内。所呈现的数据表明，LC-MS/MS系统可轻松满足EPA 1633样品分析的所有使用要求。

---

## 参考资料

1. US Environmental Protection Agency. Analysis of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC-MS/MS, Draft 4. July 2023.
2. K Organtini, K Rosnack, D Stevens, E Ross. 使用固相萃取(SPE)和LC-MS/MS分析环境水样品中的传统和新型全氟烷基化合物(PFAS). 沃特世应用纪要. [720006471ZH](#). 2022年11月修订.
3. K Organtini, H Foddy, N Dreolin, S Adams, K Rosnack, P Hancock. 饮用水中全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)的超痕量检测, 以符合美国国家环境保护局(US EPA)新提出的临时健康建议水平. 沃特世应用纪要. [720007855ZH](#). 2023年2月.

# 附录

化合物	母离子	碎片离子	CV	CE	软传输	内标	内标的类型
PFBA	213.0	169	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFBA	-
PFPeA	262.9	219	10	5	否	<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFPeA	-
PFHxA	312.9	269	5	10	否	<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFHxA	-
		119	5	20			
PFHpA	362.9	319	15	10	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFHpA	-
		169	15	15			
PFOA	412.9	369	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOA	-
		169	10	15			
PFNA	462.9	419	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFNA	-
		219	10	15			
PFDA	512.9	468.9	15	9	否	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFDA	-
		219	15	15			
PFUnDA	562.9	518.9	25	10	否	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFUnDA	-
		269	25	20			
PFDODA	612.9	568.9	30	10	否	<sup>13</sup> C-PFDODA	-
		169	30	25			
PFTriDA	662.9	618.9	5	10	否	<sup>13</sup> C-PFDODA + <sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFTreDA	-
		169	5	30			
PFTreDA	712.9	668.9	10	25	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFTreDA	-
		169	10	15			
PFBS	298.9	80.1	15	30	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFBS	-
		99.1	15	30			
PFPeS	348.9	79.9	10	30	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFHxS	-
		98.9	10	30			
PFHxS	398.9	80.1	10	35	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFHxS	-
		99.1	10	30			
PFHpS	448.9	80.1	15	35	否	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFOS	-
		99.1	15	35			
PFOS	498.9	80.1	15	40	否	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFOS	-
		99.1	15	40			
PFNS	548.9	80.1	20	40	否	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFOS	-
		99.1	20	40			
PFDS	598.9	80.1	46	46	否	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	-
		99.1	46	46			
PFDODS	699.1	80	40	55	否	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	-
		99	40	55			
GenX (HFPO-DA)	285.0	169	5	7	是	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -HFPO-DA	-
		GenX	5	35			
ADONA	376.9	251	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -HFPO-DA	-
		377.3	10	25			
9Cl-PF3ONS	530.9	350.9	15	25	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -HFPO-DA	-
		82.9	15	25			
11Cl-PF3OUdS	630.9	450.9	30	30	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -HFPO-DA	-
		631.2	30	30			
4:2 FTS	326.9	306.9	15	15	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -4:2 FTS	-
		327.3	15	35			
6:2 FTS	426.9	407	10	20	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -6:2 FTS	-
		427.3	12	32			
8:2 FTS	526.9	506.8	15	25	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -8:2 FTS	-
		527.3	15	37			
FOSA	497.9	78	40	30	否	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -FOSA	-
N-MeFOSA	511.9	168.9	40	30	否	d <sub>3</sub> NMeFOSA	-
		218.9	40	25			
N-EtFOSA	525.9	168.9	5	25	否	d <sub>3</sub> NEtFOSA	-
		218.9	5	25			
N-MeFOSAA	569.9	418.9	35	25	否	d <sub>3</sub> -N-MeFOSAA	-
		219.1	35	20			
N-EtFOSAA	584.0	418.9	15	20	否	d <sub>6</sub> -N-EtFOSAA	-
		525.9	15	20			
N-MeFOSE	616.0	59	15	15	否	d <sub>7</sub> -NMeFOSE	-
N-EtFOSE	630.0	59	15	15	否	d <sub>9</sub> -NEtFOSE	-

化合物	母离子	碎片离子	CV	CE	软传输	内标	内标的类型
3:3 FTCA	241.0	116.9	5	40	否	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFPeA	
		176.9	5	10			
5:3 FTCA	340.9	216.9	5	25	否	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFHxA	
		237	5	10			
7:3 FTCA	440.9	316.9	10	22	否	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFHxA	
		337	10	17			
PFMPA	228.9	84.9	23	10	否	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFPeA	
PFMBA	278.9	84.9	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFHxA	
PFEEESA	314.9	82.9	15	20	否	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFHxA	
		134.9	15	20			
NFDHA	295.0	84.9	5	10	否	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFHxA	
		200.9	5	10			
<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFBA	216.8	171.9	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFBA	萃取的内标
<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFPeA	267.9	223	10	5	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFHxA	萃取的内标
<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFHxA	317.9	272.9	10	5	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFHxA	萃取的内标
		119.9	10	20			
<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFHpA	366.9	321.9	15	10	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFHxA	萃取的内标
		169	15	15			
<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFOA	420.9	375.9	5	15	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOA	萃取的内标
		172	5	10			
<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFNA	471.9	426.9	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFNA	萃取的内标
		223	10	15			
<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFDA	519	473.9	5	10	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFDA	萃取的内标
		219	5	15			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFUnDA	569.9	524.9	5	10	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFDA	萃取的内标
		274	5	15			
<sup>13</sup> C-PFDODA	614.9	569.9	10	10	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFDA	萃取的内标
		169	10	25			
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFTreDA	714.9	169	25	35	否	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFDA	萃取的内标
		669.9	25	10			
<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFBS	301.9	80.1	10	30	否	18O <sub>2</sub> -PFHxS	萃取的内标
		99.1	10	25			
<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFHxS	401.9	80.1	10	40	否	18O <sub>2</sub> -PFHxS	萃取的内标
		99.1	10	35			
<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	506.9	80.1	15	40	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
		99.1	15	40			
<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -GenX	287	169	5	12	是	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFHxA	萃取的内标
		119	5	12			
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -4:2 FTS	328.9	308.9	40	15	否	<sup>18</sup> O <sub>2</sub> -PFHxS	萃取的内标
		81	40	25			
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -6:2 FTS	428.9	409	10	20	否	<sup>18</sup> O <sub>2</sub> -PFHxS	萃取的内标
		80.9	10	27			
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -8:2 FTS	528.9	508.9	10	20	否	<sup>18</sup> O <sub>2</sub> -PFHxS	萃取的内标
		81	10	35			
<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -FOSA	505.9	78.1	35	25	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
d <sub>3</sub> NMeFOSA	514.9	168.9	40	30	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
d <sub>3</sub> NEtFOSA	531	168.9	5	25	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
D <sub>5</sub> -N-EtFOSAA	589	418.9	30	20	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
		506.9	30	15			
D <sub>3</sub> -N-MeFOSAA	572.9	418.9	35	20	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
		482.7	35	15			
d <sub>7</sub> -NMeFOSE	623	58.9	15	15	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
d <sub>4</sub> -NEtFOSE	639	58.9	15	15	否	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	萃取的内标
<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFBA	216	172	10	10	否	-	未萃取的内标
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFHxA	314.9	119.9	10	20	否	-	未萃取的内标
		270	10	5			
<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOA	417	172	10	20	否	-	未萃取的内标
<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFNA	468	423	10	10	否	-	未萃取的内标
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFDA	515	470	20	10	否	-	未萃取的内标
<sup>18</sup> O <sub>2</sub> -PFHxS	403	83.9	10	40	否	-	未萃取的内标
<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS	503	80.2	15	40	否	-	未萃取的内标
		99.1	15	40			

附表1.EPA 1633分析中所含PFAS的质谱方法条件。

---

## 特色产品

ACQUITY Premier系统 <<https://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=135077739>>

Xevo TQ Absolute三重四极杆质谱仪 <<https://www.waters.com/nextgen/us/en/products/mass-spectrometry-systems/xevo-tq-absolute.html>>

waters\_connect <<https://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=135040165>>

720008117ZH, 2023年10月



© 2025 Waters Corporation. All Rights Reserved.

[使用条款](#) [隐私策略](#) [商标](#) [招聘](#) [法律和隐私声明](#) [危险化学品生产经营许可证](#) [Cookie](#) [Cookie设置](#)

沪ICP备06003546号-2 京公网安备 31011502007476号