

# 为应对 PFAS 环境监管挑战 做好准备





# 酝酿数十年的公共卫生危机

全氟/多氟烷基化合物 (PFAS) 为合成物质，以其独特的特性而广泛应用于工业和制造业。这些化合物已在许多应用中使用了几十年，例如不粘炊具、防污衣物、食品包装材料、洗涤剂、清洁产品和消防泡沫。这些化合物的广泛使用导致它们普遍存在于环境中。研究表明，PFAS 也存在于大多数人的体内。有关这些化合物的研究已经确定，它们具有持久性和生物累积性（尤其是碳链长度超过 C<sub>7</sub> 的 PFAS）。其中一些化合物还具有毒性作用，包括导致肿瘤和甲状腺紊乱<sup>1</sup>。由此催生了有关水和土壤的监管指南的出台，并要求加快这些化合物的监测和鉴定。

<sup>1</sup> US EPA. 2020. *Basic Information On PFAS* | US EPA.



消防泡沫通常包含 PFAS 以帮助扑灭火焰。

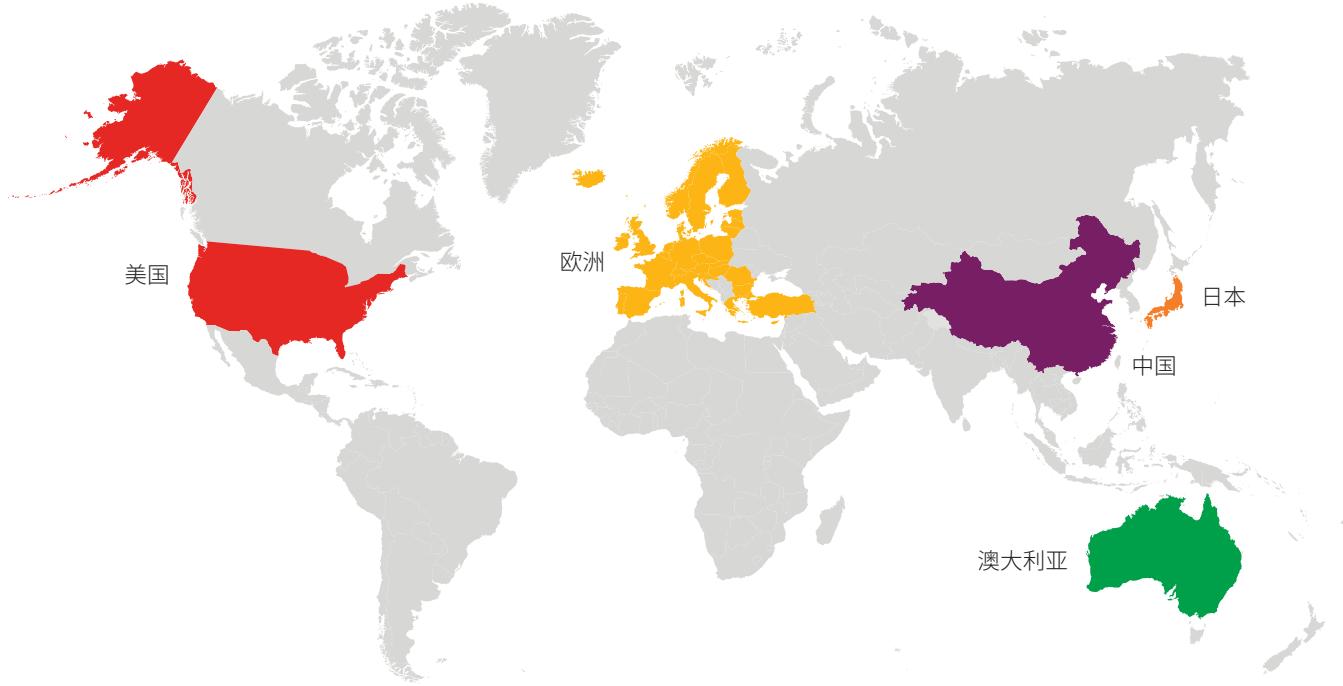
# 监管概况



有超过 4000 种已知的 PFAS 化合物用于商业用途。仅其中一小部分化合物具有监管指南和限值，其余化合物的使用不受限制。

- 2009 年，全氟辛烷磺酸 (PFOS) 及其盐类被 *Stockholm Convention* (《斯德哥尔摩公约》) 列为持久性有机污染物 (POPs)。公约要求各方停止向环境中释放这些化合物
- *The European Union (EU) Water Framework Directive* (《欧盟 (EU) 水框架指令》) 将 PFOS 列为“对水生环境构成重大风险”的优先有害物质。其中规定内陆地表水中的年平均环境质量标准 (AA-EQS) 为 0.65 ng/L，其他地表水的 AA-EQS 为 0.13 ng/L (指令 2013/39/EU)。欧盟饮用水指令旨在从 2021 年起，对饮用水中多达 20 种 PFAS 化合物进行常规监测
- *The UK Chemical Investigation Program* (《英国化学品调查计划》) 要求测量浓度低至 0.09 ng/L 的 PFOS 和全氟辛酸 (PFOA)。类似地，欧盟议会于 2018 年 10 月批准了一项修改其饮用水指令的提案，对饮用水中 PFOS 和 PFOA 的监测限值进行了修订。新限值为 100 ng/L，PFAS 的总浓度不超过 500 ng/L (COM (2017) 753 1.2.2018)
- 若干欧洲国家/地区 (包括北欧地区的某些国家/地区) 已制定了饮用水和地表水中 PFAS 的指导限量浓度。在瑞典，饮用水中 11 种 PFAS 的推荐总浓度为不超过 90 ng/L
- 美国国家环境保护局 (US EPA) 将 PFOS 和 PFOA 的饮用水健康警告值确定为 70 ppt (ng/L)。若干州自行提出了有关 PFOA、PFOS 和其他 PFAS (例如全氟壬酸 (PFNA) 和 GenX) 的警告值，这些值均处于低 ppt 范围。其他举措也在计划中。其中包括 [PFAS 行动法案 \(2019 年 1 月\)](#)、[US EPA PFAS 计划 \(2019 年 2 月\)](#) 和 [US EPA 对 PFAS 饮用水标准的承诺 \(2019 年 2 月\)](#)
- 澳大利亚、中国及其他几个国家/地区在饮用水和受纳水体法规中，对以低 ng/L 至 pg/L 水平检出的 PFOA、PFOS 和新型 PFAS 规定了限值 (或确定了最大含量)

随着环境中发现新型 PFAS 以及更多毒理学信息的获得，出台更多指南和法规已是必然趋势。



全球正在制定严格 PFAS 监测法规的地区。

环境中 PFAS 分析的现行标准和共识方法。

方法	检测的基质	分析物数量	样品前处理过程	定量技术
EPA 533	饮用水	25	固相萃取	同位素稀释
EPA 537	饮用水	14	固相萃取	内标校正
EPA 537.1	饮用水	18	固相萃取	内标校正
EPA 8327 (草案)	地表水、地下水、废水进水和出水	24	稀释和上样	外部校准 (也允许采用同位素稀释)
ASTM 7979	地表水、地下水、废水进水和出水	21	稀释和上样	外部校准 (也允许采用同位素稀释)
ASTM 7968	土壤和固体	21	用 MeOH 进行有机溶剂萃取	外部校准
ISO/DIS 21675	饮用水、海水、淡水、废水 (固体含量低于 0.2%)	30	固相萃取	内标校正

# 大幅提高 PFAS 回收率并尽可能减少污染的样品前处理技术

PFAS 广泛应用于服装、防护装备和消费品中，因此已发现其存在于世界所有地区的人体和环境样品中。使用以下最佳实践可以避免样品在采集和储存过程中受到 PFAS 的污染。



### 建议的行为：

- 穿戴经过充分清洗的实验室外套和丁腈实验室手套
- 使用美国 EPA 和 ASTM 方法推荐的高密度聚乙烯 (HDPE) 或聚丙烯 (PP) 容器和盖子
- 储存期间，将样品冷藏于 6 °C 以下

### 避免的行为：

- 采样期间，涂抹有个人护理产品（例如防晒霜和护手霜）
- 穿戴可能带有 PFAS 或防污材料内衬的防水衣服或鞋子
- 使用可能含聚四氟乙烯 (PTFE) 的样品采集装置或其他含 PFAS 的塑料制品
- 使用铝箔覆盖样品容器开口，因为 PFAS 可能从铝箔发生转移

适当的样品净化和浓缩对于稳定、准确和可靠的分析至关重要。作为色谱领域的行业先锋，安捷伦通过创新的液相色谱柱、固相萃取 (SPE) 柱、样品瓶和过滤器为您的工作提供支持，这些产品按照严苛的指标进行制造。所有产品均在严格的条件下进行测试，可用于可靠地分析 PFAS。



## 从水中萃取 PFAS

多种法规方法（包括 EPA 537 和 533）要求使用 SPE 柱从饮用水中萃取 PFAS，然后进行 LC/TQ 分析。通常，建议使用弱阴离子交换 (WAX) 柱（如 EPA 533 和 ISO 方法），因为它萃取短链和长链 PFAS 均可获得良好的回收率。EPA 537 使用 Agilent Bond Elut LMS 柱，能够为中长链 PFAS 提供高回收率。

从仪器、色谱柱和备件到快速全球交付，再到数十年的方法开发专业知识，安捷伦为您的整个 PFAS 检测工作流程提供支持。

■ 平均回收率在 40%–70% 之间

■ RSD 大于 19%

对于两种水质，所有 30 种 PFAS 均得到回收，且 US EPA 537 化合物的回收率在 70%–130% 之间，相对标准偏差小于 15%。这些结果符合 US EPA 方法 QA/QC 要求。此外，在 30 种化合物中，仅 4 种化合物的回收率低于 70%，但所有这 4 种化合物的回收率均高于 40%。使用 Agilent WAX SPE 柱，US EPA 方法中的 14 种化合物获得了可接受的回收率。其他 16 种 PFAS（包括 ASTM 列表中的化合物）也具有良好的回收率，并可使用该方法进行分析。

名称	液相色谱级水 平均回收率	液相色谱级水 RSD (%)	自来水 平均回收率	自来水 RSD (%)
<b>EPA 537 化合物</b>				
PFBS	85	14	99	1
PFDA	101	5	95	6
PFDoA	86	3	88	2
PFHpA	105	10	101	3
PFHxS	97	15	102	1
PFHxA	104	8	107	2
PFNA	100	5	104	3
PFOS	92	13	94	3
PFOA	102	10	106	2
PFTrDA	91	3	103	15
PFUdA	100	6	102	3
PFTrDA	91	3	103	15
N-MeFOSAA	84	11	79	10
N-EtFOSAA	84	9	89	3
<b>其他化合物</b>				
PFDoA	86	3	88	2
PFTeDA	96	10	86	8
FOSA	57	14	67	20
FHEA	107	6	90	8
FOEA	61	13	52	14
FDEA	56	21	58	15
PFHpPA	47	27	46	14
4-2 FTS	91	10	91	13
6-2 FTS	87	16	100	6
8-2 FTS	104	10	101	10
6-2 FTUA	118	8	106	3
8-2 FTUA	96	11	78	13
PFPeS	97	15	104	2
PFHpS	83	11	83	3
PFNS	93	12	91	8
PFDS	85	4	81	6

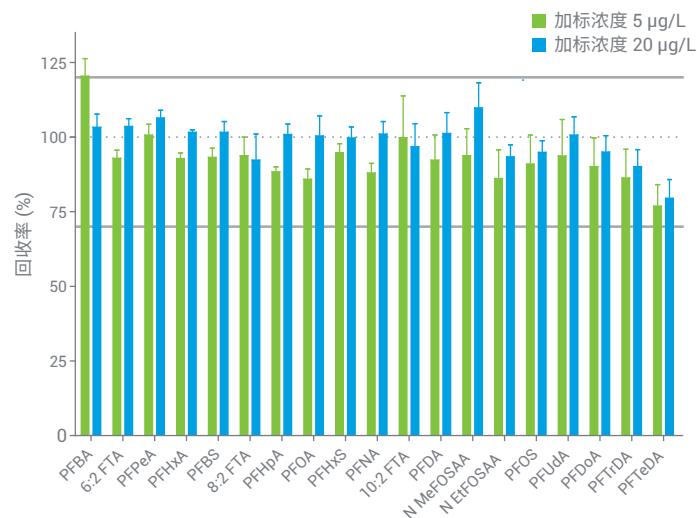
### 想要进一步了解？

阅读应用简报 **5994-0250ZHCN**：使用安捷伦离线固相萃取技术萃取水中的全氟/多氟烷基化合物

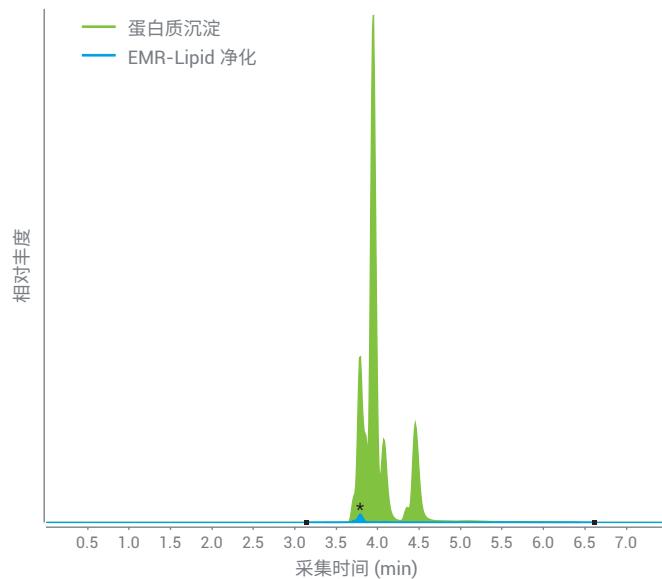
## 萃取生物群中的 PFAS

PFAS 化合物很容易被动物和人体组织吸收。由于这些物质已在工业中使用多年，它们普遍存在于人血液和血清中，也存在于鱼类、三文鱼及其他野生生物中。研究表明，长链 PFAS (> C7) 可能发生生物累积，由此增加了检测并分析生物群和生物体液中 PFAS 浓度的需求和紧迫性。

对于生物样品，SPE 和固相支持液液萃取 (SLE) 可能既耗时又复杂。Agilent Captiva EMR-Lipid 可在几分钟内轻松去除干扰物质（特别是磷脂），而不会损失 PFAS。其直通式设计快速、可重现，能够提供洁净的萃取物，离子抑制效应非常小，可延长色谱柱寿命并降低 MS 清洁的频率。



PFAS 回收率降至 70%–130% 之间，大多数化合物的萃取回收率高于 90%。使用 Agilent Captiva EMR-Lipid 进行萃取的完整流程详见应用简报 [5991-8656ZHCN](#)，其中介绍了如何在几分钟内实施这项简单的技术。



EMR-Lipid 磷脂净化与蛋白质沉淀的色谱基线对比。我们在不牺牲 PFAS 回收率的情况下减少了 MS 清洁并延长了色谱柱寿命。

## 想要进一步了解？

阅读应用简报 [5991-8656ZHCN](#)：使用新型脂质去除吸附剂和 LC/TQ 分析生物体液中的全氟/多氟烷基化合物 (PFAS)

# 妥善配置液相色谱，助您取得成功： 消除 PFAS

含氟聚合物常见于许多工业产品中，其中包括用于实验室分析、萃取和净化的产品。实验室备件（如溶剂、进样针、移液器和 SPE 装置）可能含有痕量 PFAS，它们可能会污染您的样品并干扰分析结果。某些液相色谱仪器部件也可能导致痕量污染。



## InfinityLab 液相色谱仪：高效用于任何应用或预算

Agilent InfinityLab HPLC 和 UHPLC 系统采用新技术，同时保持与传统液相色谱仪完全兼容。

- Agilent 1260 Infinity II 液相色谱系统是一种有助于提高运行效率的灵活选择
- Agilent 1290 Infinity II 液相色谱系统是新一代液相色谱仪，具有超高性能，可提供出色的分析结果

### PFC 背景噪音是否影响的 PFAS 分析？

用于 Agilent 1290 Infinity II 液相色谱系统的 InfinityLab 无 PFC HPLC 转换工具包有助于保持流路中不含全氟化合物，从而让您尽可能减小 PFAS 背景噪音并满足严格的法规要求。

只需使用我们链接到安捷伦在线商城预填充购物车的轻松[订购指南](#)，即可获取工具包。

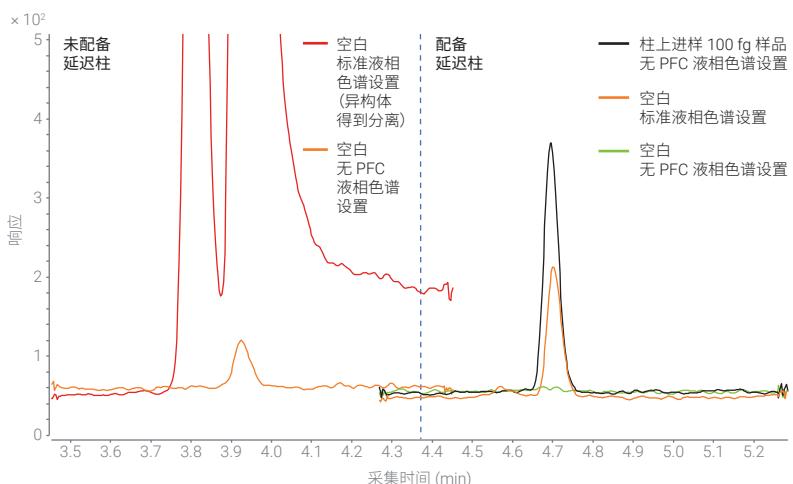


## 用于可靠分析痕量 PFAS 的消耗品解决方案

安捷伦新型 InfinityLab 无 PFC HPLC 转换工具包中包括确保 1290 Infinity II HPLC 系统和高速泵不受 PFAS 污染所需的一切。其中包括各种更换部件、管线、在线过滤器、溶剂瓶组件以及配备 Quick Connect 快速连接 HPLC 接头的 InfinityLab 延迟柱。

多种法规方法（包括 EPA 537 和 533）要求使用 SPE 柱从饮用水中萃取 PFAS，然后进行 LC/MS/MS 分析。安捷伦 SPE 柱产品组合包括用于 EPA 537 的超纯二乙烯基苯吸附剂以及分析短链和新型 PFAS 化合物所需的弱阴离子交换或 WAX 柱。带有再生纤维素 (RC) 膜的 Captiva 针头过滤器是 EPA 8327 和 ASTM D7979 非饮用水分析方法中描述的 PFAS 分析的理想选择。

Agilent ZORBAX RRHD 色谱柱基于全多孔填料，提高了对强进样溶剂的耐受性并支持大体积进样，使其成为分析水中 PFAS 化合物的理想选择。



不同液相色谱系统设置下 PFHxA 空白色谱图和样品色谱图。我们使用代表标准和法规方法（包括 US EPA 533、537.1、8327 和 ISO 21675）的 38 种分析物对安捷伦无 PFC 转换工具包进行了测试。在 38 种分析物中，36 种分析物未检测到背景。

### 想要进一步了解？

阅读以下应用简报：

[5994-2291ZHCN](#)：使用安捷伦无 PFC HPLC 转换工具包降低 PFAS 背景信号

[5994-2151EN](#)：用于分析环境萃取物中的全氟/多氟烷基化合物的过滤方法

[5994-0250ZHCN](#)：使用安捷伦离线固相萃取技术萃取水中的全氟/多氟烷基化合物

# 结果可靠，满足监管指南浓度限值的要求

## 有关 PFOS 和 PFOA 的全球法规

PFOS 和 PFOA 是两种最经常测量的 PFAS，中国、欧洲、美国、日本和澳大利亚等地都制定了相应的监管指南浓度限值。

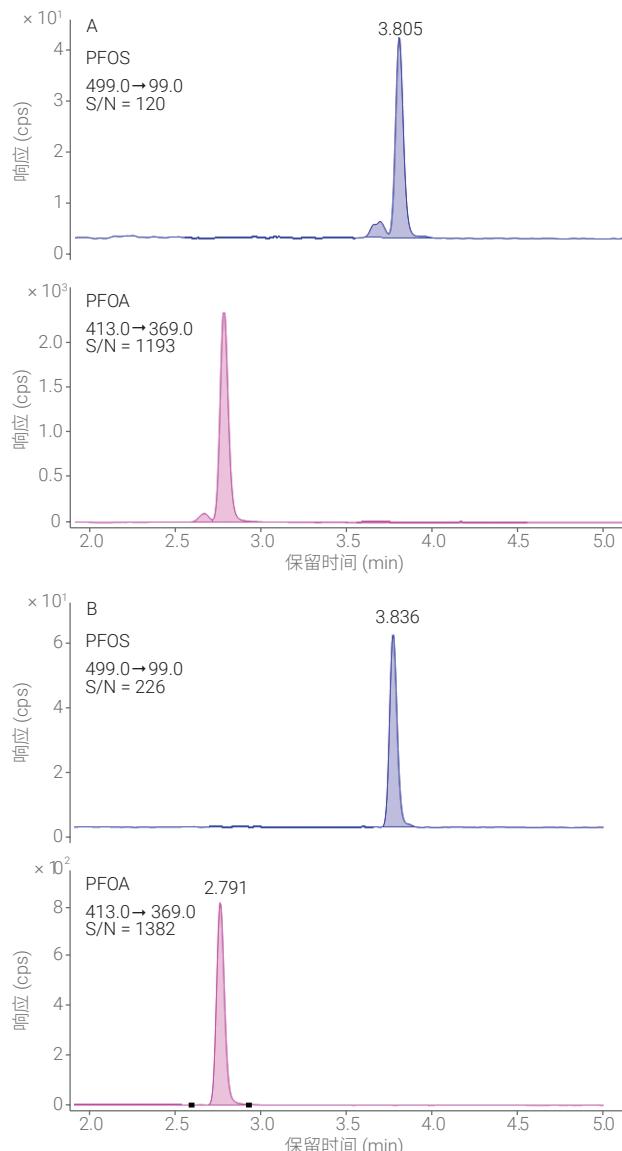
PFOS 及其制剂在《斯德哥尔摩公约》中被列为优先物质。EPA 安全饮用水指南规定 PFOS 和 PFOA 的浓度不得超过 70 ng/L。但是，一些监管机构和市政机构要求在个位数 ng/L 浓度水平监测和检测水和土壤中的 PFAS。

## 采用 SPE 净化的常规 PFAS 分析

安捷伦三重四极杆液质联用系统 (LC/TQ) 的灵敏度、稳定性和可靠性使其成为分析一般 PFAS 和受监管 PFAS 目标物的理想选择。Agilent Ultivo 可使用 WAX SPE 柱浓缩和净化对水和土壤中的低浓度 (ppt) PFOA 和 PFAS 进行定量分析。

本研究使用 Agilent WAX SPE 柱从水和土壤中萃取 PFOA 和 PFOS。

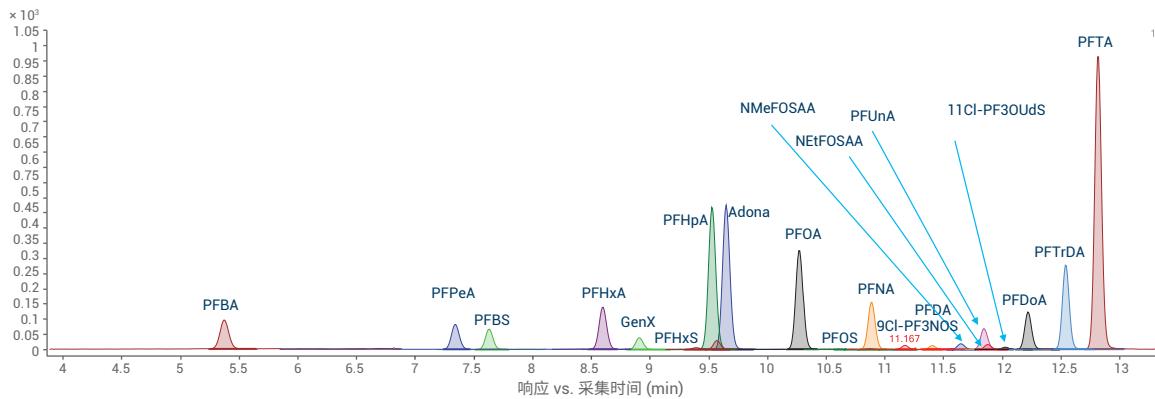
Agilent InfinityLab Poroshell 120 EC-C18 (2.1 × 100 mm, 2.7  $\mu$ m) 色谱柱可有效分离 PFOA 的直链和支化异构体。在不同的加标浓度下，地表水、废水 (2.5、40、200 ng/L)、土壤和沉积物 (0.5、5、20 ng/g) 中的两种化合物的回收率均在 80%–120% 之间。



PFOA 和 PFOS 的色谱图：(A) 加标浓度为 2.5 ng/L 的水；(B) 加标浓度为 0.5  $\mu$ g/kg 的空白土壤。注：每种化合物仅显示定量离子色谱图。

## US EPA 饮用水分析方法

US EPA 方法 537.1 依次使用 SPE 和 LC/TQ 分析对饮用水中的 18 种 PFAS (包括 PFOS 和 PFOA) 进行分析。EPA 537 利用 Agilent Bond Elut LMS 固相萃取柱 (部件号 12255021) 对 500 mL 饮用水进行萃取。完成该过程后，蒸发并使用约 96% 甲醇得到最终萃取物。以下色谱图显示了使用 Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18, 3.0 × 50 mm, 1.8  $\mu$ m 色谱柱 (部件号 959757-302) 分离和检测 PFAS 的结果。利用 Agilent Ultivo 三重四极杆液质联用系统分析样品。

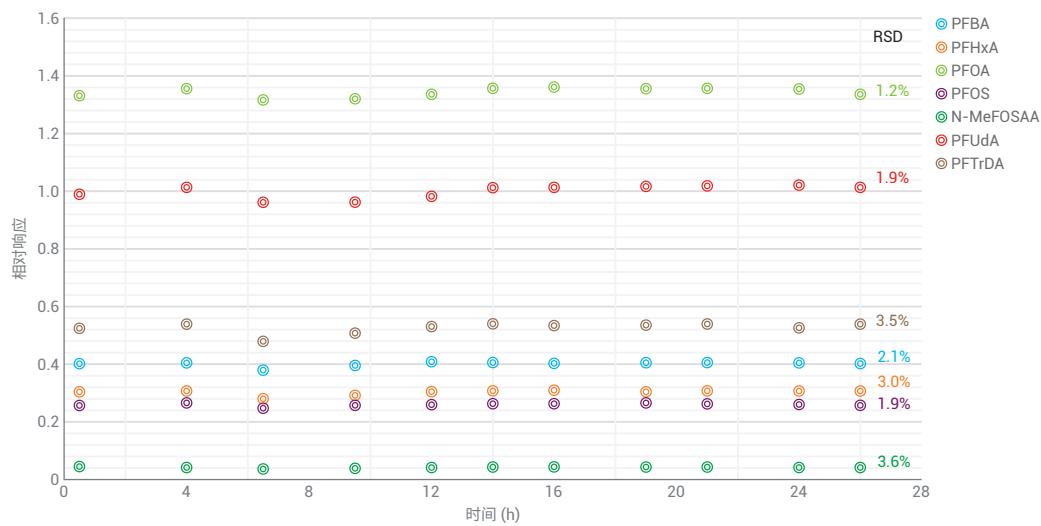


### 想要进一步了解？

阅读应用简报 [5994-0437ZHCN](#): 水和土壤基质中 PFOS 和 PFOA 的 LC/TQ 测定

除满足并超过美国 EPA 方法的报告限值以外，还必须在一批实际水样的分析中获得良好的稳定性。本研究展示了使用 EPA 537 在 26 小时批次中运行的 11 个连续校准水样的峰面积的相对响应。

Ultivo LC/TQ 系统使您能够以所需的灵敏度和重现性连续运行用于分析 PFAS 的常规 EPA 方法。其体积小巧，可以让您在一台传统 LC/TQ 仪器所需的空间内安装大约三套 Ultivo 系统。



### 想要进一步了解？

阅读应用简报 [5991-8969ZHCN](#)：使用 Agilent Ultivo 三重四极杆液质联用系统分析饮用水中的全氟/多氟烷基化合物

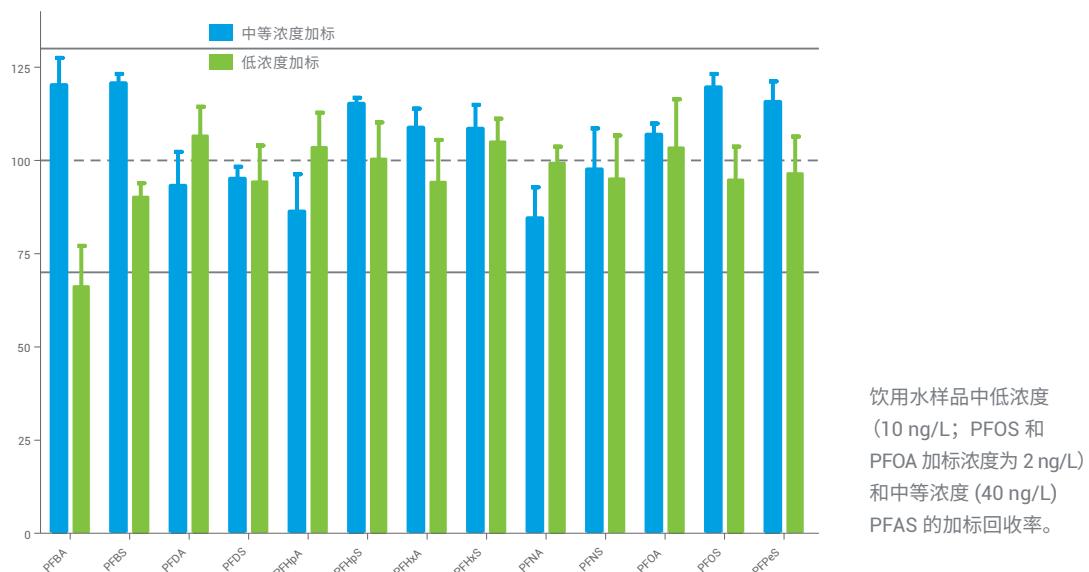
## 省去 US EPA 537 中的样品前处理

SPE 样品前处理和萃取是净化和去除干扰的关键步骤。然而，该过程费时又繁琐，而且可能将 PFAS 污染源引入样品中。

对于希望监测 EPA 方法 537 中列出的 PFAS 的实验室，Agilent 6495 LC/TQ 系统是一种理想的选择。它避免了对洁净水样进行样品前处理的麻烦，使您能够快速完成从样品采集到数据报告的过程。6495 提供了优异的灵敏度和更高的通量，而不牺牲方法报告限值。

利用在 6495 LC/TQ 上开发的方法定量分析 EPA 537 中列出的 14 种 PFAS。分析只需不到 6 分钟，直接进样 80  $\mu$ L 经甲醇稍微稀释的样品，检测浓度范围为 0.83–3.3 ng/L。

下图显示了这些 PFAS 两种加标浓度的回收率。



如需了解有关检测水中 PFAS 的挑战和缓解策略的更多信息，请观看由石溪大学 Arjun Venkatesan 博士主讲的[自选网络研讨会](#)。

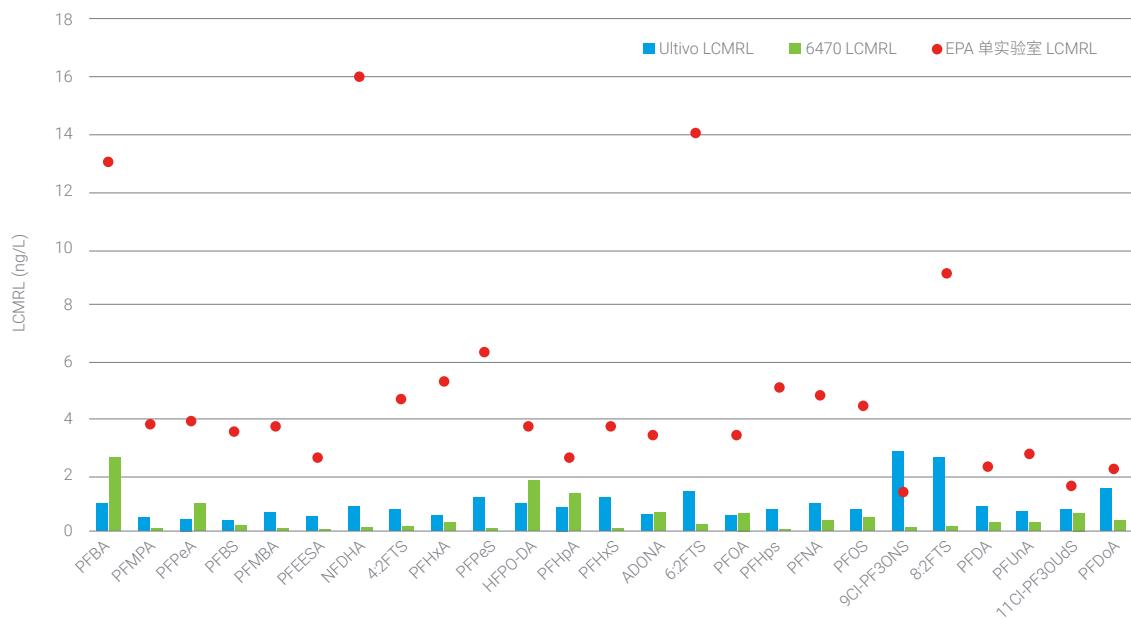
## 利用 EPA 533 分析棘手的化合物

EPA 方法 533 解决了 EPA 方法 537 和 537.1 难以分析的一些 C<sub>4</sub> 和 C<sub>5</sub> 酸和磺酸盐化合物。它还将链长限制为 C<sub>12</sub> 酸，同时增加了一些新型 PFAS。

安捷伦样品前处理、消耗品和 Ultivo LC/TQ 提供了实现 EPA 533 所要求的检测限所需的工具，同时也为质谱新手用户提供了超强的稳定性和易于维护的功能。

配备安捷伦喷射流 ESI 离子源的 Agilent 6470 LC/TQ 提供了超过 EPA 要求的灵敏度、精度和准确度，使用户实验室能够满足未来可能更低的法规限值要求。试剂和自来水中所有 PFAS 的回收率在 87%–103% 之间。

与 EPA 单个实验室 LCMRL 相比，使用 Ultivo 和 6470 LC/MS 根据 EPA 计算得出的 EPA 533 中所有分析物的 LCMRL。



### 想要进一步了解？

阅读以下应用简报：

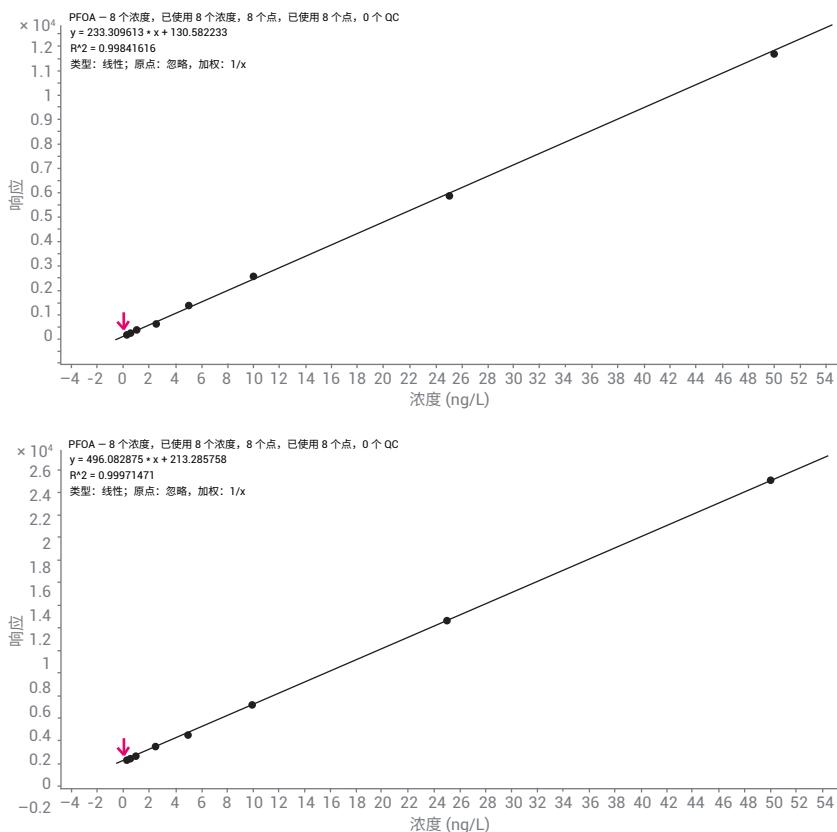
[5994-1628EN](#)：使用 Agilent 6470 LC/TQ 的 EPA 方法 533 – 饮用水中全氟/多氟烷基化合物分析

[5994-1920ZHCN](#)：使用 Agilent Ultivo 三重四极杆液质联用系统按照 EPA 537.1 和 EPA 533 分析饮用水中的全氟/多氟烷基化合物 (PFAS)

## EU 法规

欧盟规定水体中 PFOS 的环境质量标准为 0.65 ng/L，研究人员预计水质中 PFOA 的报告限值同样较低。Agilent 6495 三重四极杆 LC/TQ 的高灵敏度使您可以通过直接水溶液进样并以“稀释-上样”方式运行分析来实现这些低浓度，由此您可以跳过费力、费时的样品浓缩。

我们在 6495 LC/TQ 上使用直接水溶液进样生成了 PFOS 和 PFOA 标准品的这些线性校准曲线 (0.25、0.5、1、2.5、5、10、25、50 ng/L,  $R^2 > 0.99$ )。



PFOS 和 PFOA 标准品 (0.25、0.5、1、2.5、5、10、25、50 ng/L) 的校准曲线。

化合物	0.5 ng/L 标准品		1.0 ng/L 标准品	
	平均峰面积	RSD (%)	平均峰面积	RSD (%)
PFOS	423.3	5.3	668.3	4.9
PFOA	280.1	5.0	387.7	4.4

增强的灵敏度使您可以测量极低浓度的 PFAS，且重现性或稳定性不受任何影响。浓度为 0.5 ng/L 的 PFOS 和 PFOA 的 RSD 均小于 6%。

## ASTM 和 EPA 8327 方法

ASTM 方法 7979-17 用于分析非饮用水（包括地表水、地下水和废水）中的 21 种 PFAS。它使用简化的甲醇稀释步骤，并以大体积 (30  $\mu$ L) 进样至 LC/TQ。EPA 8327 遵循相同的样品前处理和分析方案。

简而言之，该方法需要将 5 mL 样品用 5 mL 甲醇稀释、酸化、过滤并进样至 LC/TQ。该样品前处理技术提高了通量并减少了污染源。在该方法中，大多数化合物的报告限值为 10 ng/L，预期校准范围高达 400 ng/L。低 ng/L 浓度的分析需要采用具有良好稳定性的高灵敏度质谱仪来处理不同的水基质。它还需要采用消除玻璃容器和消耗品中存在的任何 PFAS 污染的策略。

## 简单的背景去除或背景延迟技术

为高效执行 ASTM 7979，我们使用安捷伦延迟柱并将任何含 PTFE 的管线替换为 PEEK 管线，快速轻松地消除了 PFAS 污染。Agilent 6470 LC/TQ 可实现 ASTM 7979 中所有 21 种 PFAS 所需的检测限。它还可检测其他七种作为“新型”PFAS 进行监测的 PFAS，包括 ADONA 和 9Cl-PF3ONS (F53-B 的成分)。

下表显示了使用 Agilent 6470 LC/TQ 得到的定量下限 (LLOQ) 浓度 (10 ng/L 和 20 ng/L) 下的 28 种 PFAS (包括 ASTM 7979 和 EPA 8327 方法中的那些化合物) 的回收率。它包括六次重复测定，回收率在 50%–150% 之间，符合 ASTM 方法中对所有化合物的要求。大多数化合物的回收率在 80%–120% 之间，且所有化合物的相对标准偏差 (RSD) 均低于 20%。

化合物	10 ng/L 下的加标回收率 (%)		20 ng/L 下的加标回收率 (%)	
	平均值	RSD (%)	平均值	RSD (%)
11Cl-PF3OuDs	119	1.8	116	3.6
4:2 FTS	115	5.8	96	8.6
8:2 FTS	103	15.2	114	0.8
9Cl-PF3ONS	110	10.5	108	6.8
ADONA	107	11.1	102	4.6
N-EtFOSAA	122	12.3	111	2.7
N-MeFOSAA	118	16.4	117	17.1
PFBA	101	10.7	104	10.6
PFBS	108	8.4	117	3.2
PFDA	110	17.1	107	6.6
PFDoA	101	13.3	106	13.3
PFDS	65	36.0	90	16.7
PFEESA	55	2.3	125	6.1
PFHpA	125	15.4	114	13.6
PFHpS	83	15.5	129	8.7
PFHxA	104	5.0	118	11.7
PFHxS	114	12.6	100	11.3
PFMBA	141	4.2	125	4.6
PFNA	102	18.8	106	9.4
PFNS	100	19.4	106	18.2
PFOA	121	11.1	108	9.1
PFOS	97	9.9	116	16.3
PFOSA	94	11.1	94	10.0
PFPeA	105	3.9	111	2.9
PFPeS	106	9.3	99	15.6
PFTreA	100	8.0	102	8.4
PFTriA	105	10.1	106	6.6
PFUnA	116	12.4	106	1.1

10 ng/L 和 20 ng/L 的所有 28 种 PFAS (包括 ASTM 7979 中规定的化合物) 的加标回收率和 RSD (%). 有关完整方法参数, 请参阅应用简报 [5994-0678ZHCN](#)。

### 想要进一步了解?

阅读应用简报 [5994-0678ZHCN](#): 非饮用水中全氟/多氟烷基化合物的简单快速分析

# 使您的实验室适应未来需求，从容应对不断拓展的 PFAS 列表

据悉，目前已有 4000 多种 PFAS 得到了应用，并且这一数据还在不断扩大。但目前全球法规监测清单仅关注 PFAS 中数量极其有限的一部分。虽然监管清单可能因地区而异，但可以安全地假设，全球将适时监测许多其他 PFAS。

下表显示了 50 多种 PFAS 的方法检测限和方法定量限（MDL 和 MQL），这些化合物代表在水中分析的 16 种不同类别的传统 PFAS 和新型 PFAS。我们使用单个分析方法覆盖传统和新型 PFAS，包括 diPAPs、ADONA 和 PFESAs（F-53B 的成分）。在 6495 LC/TQ 上分析样品，利用其增强的灵敏度在一次进样中分析所有这些 PFAS，同时检测浓度不受影响。

结果可概括如下：

- 所有化合物的仪器检测限 (IDL) 范围为柱上量 2.5–469 fg
- 计算得出的 PFCA、PFSA、FTS、FOSAA 和 Cl-PFAES 类别的 22 种化合物以及化合物 FOSA、diSAmPAP 和 ADONA 的 IDL 低于柱上量 10 fg
- MDL 范围为 0.28–18 ng/L。MQL 范围为 0.35–26 ng/L，其中 46 种 PFAS 的定量浓度低于 5 ng/L
- 分析时间少于 12 分钟

根据 US EPA 40 CFR Part 136 附录 B 修订版 2 计算得出 53 种 PFAS 的 MDL。所有化合物均以 5 ng/L 的浓度添加至 7 份 250 mL 超纯水，但 FTCA、FOSE 和 PFDPA 除外，它们的加标浓度为 20 ng/L。

使用 SPE 萃取和三重四极杆液质联用系统进行 PFAS 分析。

化合物	MDL (ng/L)	MQL (ng/L)	萃取方法准确度 (%)	方法精度 RSD (%)
PFBA	0.59	0.75	93	4
PFPeA	0.71	0.89	92	5
PFHxA	0.87	1.1	90	6
PFHpA	0.84	1.1	96	6
PFOA	0.28	0.35	93	2
PFNA	0.61	0.77	98	4
PFDA	0.71	0.89	98	4
PFUnA	0.80	1.0	85	6
PFDoA	1.2	1.5	93	8
PFTrA	1.4	1.8	78	12
PFTeA	0.67	0.84	93	5
PFBS	0.49	0.62	89	3
PFPeS	1.2	1.5	100	9
PFHxS	0.69	0.88	91	5
PFHpS	0.79	1.0	99	6
PFOS	0.78	1.0	95	5
PFNS	1.0	1.3	87	7
PFDS	1.1	1.3	83	8
PFDoS	1.4	1.8	72	13
ADONA	0.82	1.0	88	6
6:2 FTCA	13	17	103	16
8:2 FTCA	16	19	92	23
10:2 FTCA	17	21	67	28
6:2 FTUCA	1.7	2.1	121	9
8:2 FTUCA	1.6	2.0	111	10
10:2 FTUCA	2.8	3.6	87	19
3:3 FTCA	1.4	1.7	118	7

### 想要进一步了解？

阅读应用简报 [5994-0919EN](#)：使用 Agilent 6495C LC/TQ 系统分析水中的 50 多种传统和新型 PFAS

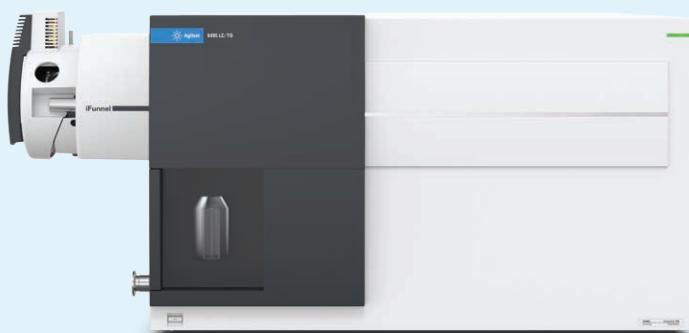
将超纯水空白 ( $n = 7$ ) 与方法验证样品一起萃取。方法准确度表示为具有预期浓度的方法验证样品的平均回收率 (单位为百分比) 和相对标准偏差。

我们 LC/TQ 系统的通用性、准确度和稳定性使您可以在不牺牲灵敏度或通量的情况下将多种 PFAS 添加到您的方法中。如果您需要将全新或新型 PFAS 添加到方法中，安捷伦 LC/MS 化合物 Optimizer 可自动完成该过程并在几分钟内提供可靠的化合物参数。

此外，安捷伦顾问可帮助您轻松无忧地完成 PFAS 分析。我们数十年的经验与 MRM 和方法数据能力相结合，可以让您的实验室快速掌握。

使用 SPE 萃取和三重四极杆液质联用系统进行 PFAS 分析。

化合物	MDL (ng/L)	MQL (ng/L)	萃取方法准确度 (%)	方法精度 RSD (%)
5:3 FTCA	1.8	2.3	103	11
7:3 FTCA	2.4	3.1	75	20
PFHxPA	2.9	3.4	104	17
PFOPA	4.6	5.8	100	26
PFDPA	18	26	82	10
6:2 diPAP	1.9	2.4	81	14
6:2/8:2 diPAP	1.9	2.4	123	11
8:2 diPAP	0.83	1.1	93	6
6:2 Cl-PFESA	1.3	1.7	88	9
8:2 Cl-PFESA	1.1	1.4	80	9
4:2 FTS	2.7	3.4	93	16
6:2 FTS	0.56	0.7	90	4
8:2 FTS	1.3	1.7	87	9
10:2 FTS	1.4	1.8	66	13
FOSA	0.76	1.0	70	7
MeFOSA	4.0	5.0	127	18
EtFOSA	2.1	2.7	80	19
FOSAA	3.2	4.0	91	17
MeFOSAA	1.4	1.7	106	8
EtFOSAA	1.5	1.9	93	10
MeFOSE	2.9	3.7	96	5
EtFOSE	4.9	6.2	93	9
6:6 PFPiA	1.2	1.5	74	10
6:8 PFPiA	1.8	2.3	95	12
8:8 PFPiA	3.1	4.0	138	11
diSAmPAP	3.3	3.0	76	19

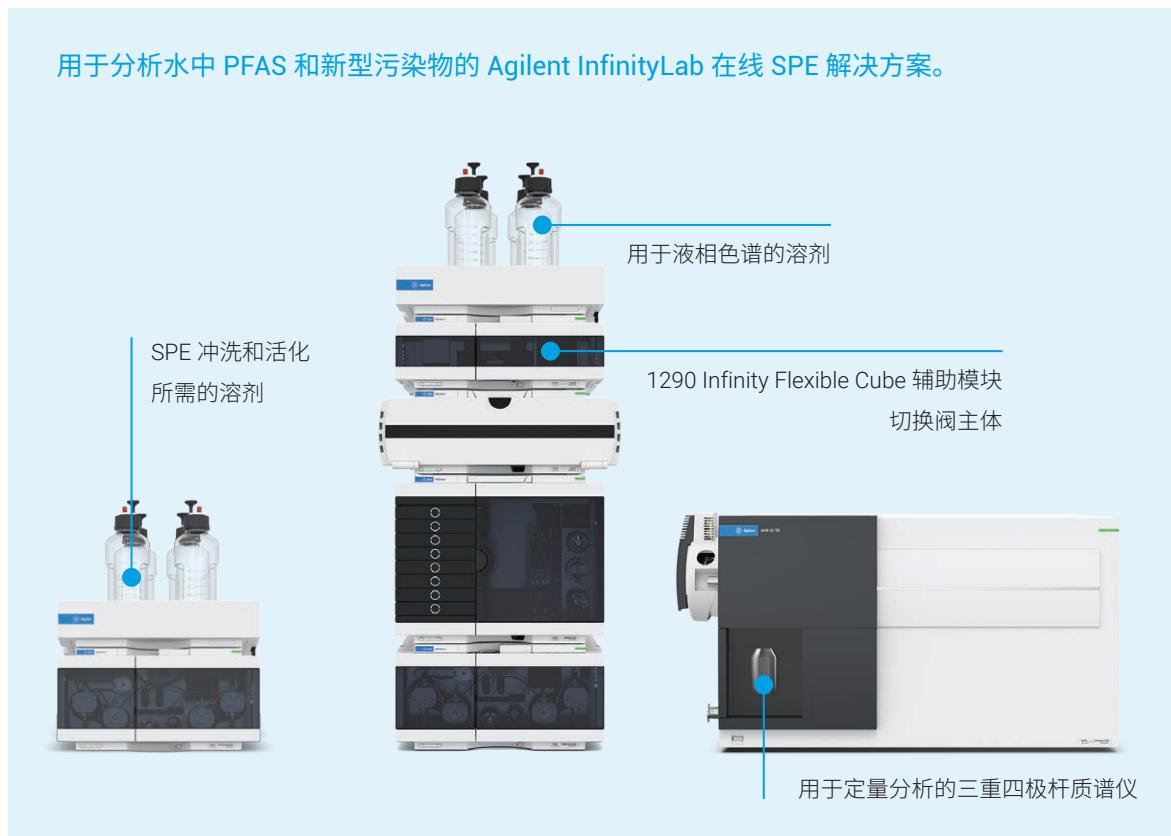


有关使用 6495C LC/TQ 对水处理厂中 PFAS 的分析、归趋和去除的更多信息，请观看澳大利亚墨尔本大学 Bradley Clarke 教授主讲的[自选网络研讨会](#)。

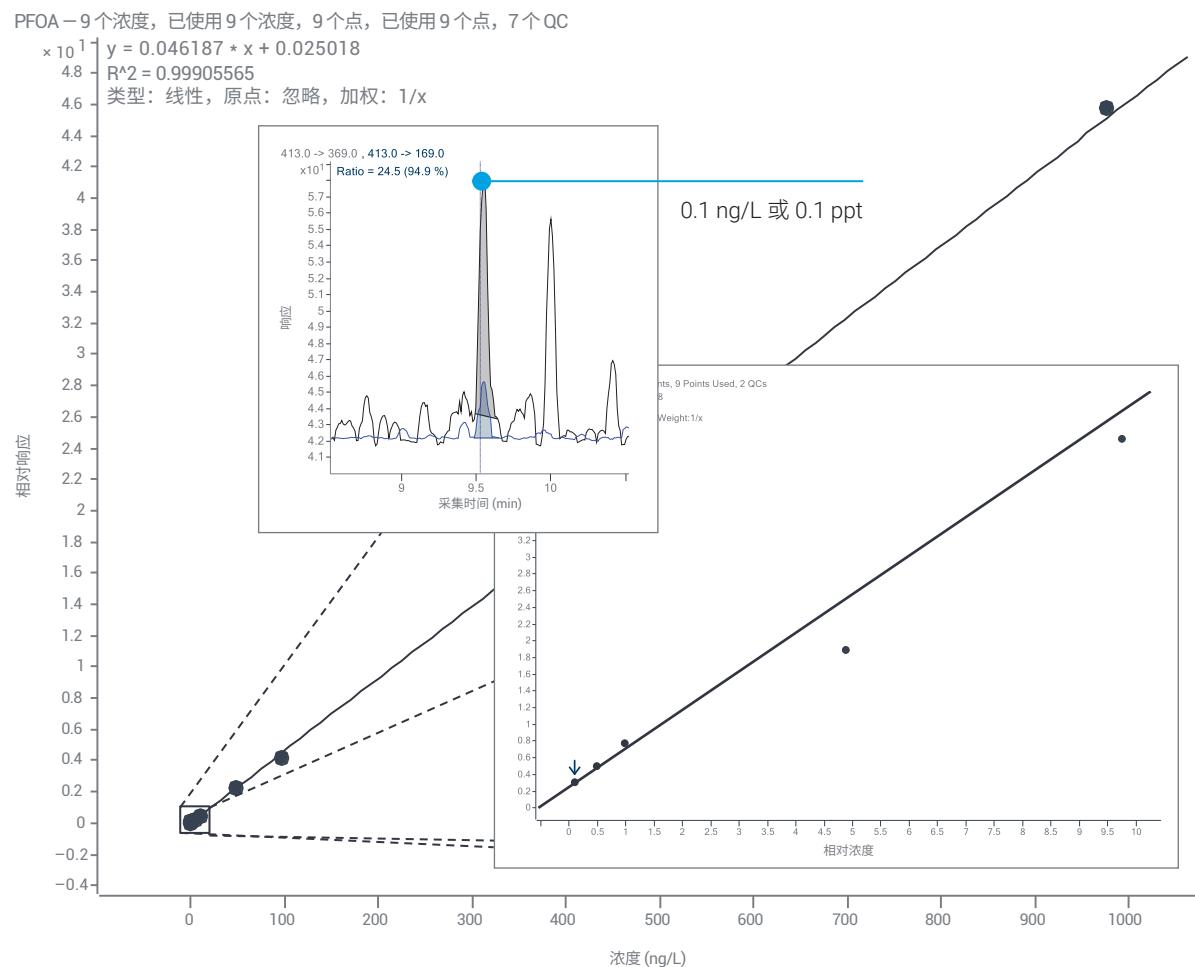
## 利用在线 SPE 自动完成 PFAS 样品前处理

PFAS 的固相萃取可能耗时又繁琐，且有可能引入污染，同时降低整体分析的重现性。自动化在线 SPE 可提供相似的检测限，同时仅使用一小部分水样，实现样品萃取和分析的完全自动化，从而缩短人工时间，提高结果的准确度，并显著提高通量。此外，它还降低了使用昂贵且对环境不利的溶剂成本以及所需的同位素标记的标准品量。虽然自动化看起来很复杂，但安捷伦的在线 SPE 设置与非常可靠、稳定的安捷伦质谱仪相结合，提供无缝软件界面，使整个过程更简单，为您减轻了繁琐的手动离线萃取的负担。

用于分析水中 PFAS 和新型污染物的 Agilent InfinityLab 在线 SPE 解决方案。



使用 Agilent InfinityLab 在线 SPE 与 6470 LC/MS/MS 进行 PFOA 分析的线性、动态范围 (0.1–1000 ng/L) 和灵敏度。



# 使用高分辨率 LC/Q-TOF 发现新的 PFAS

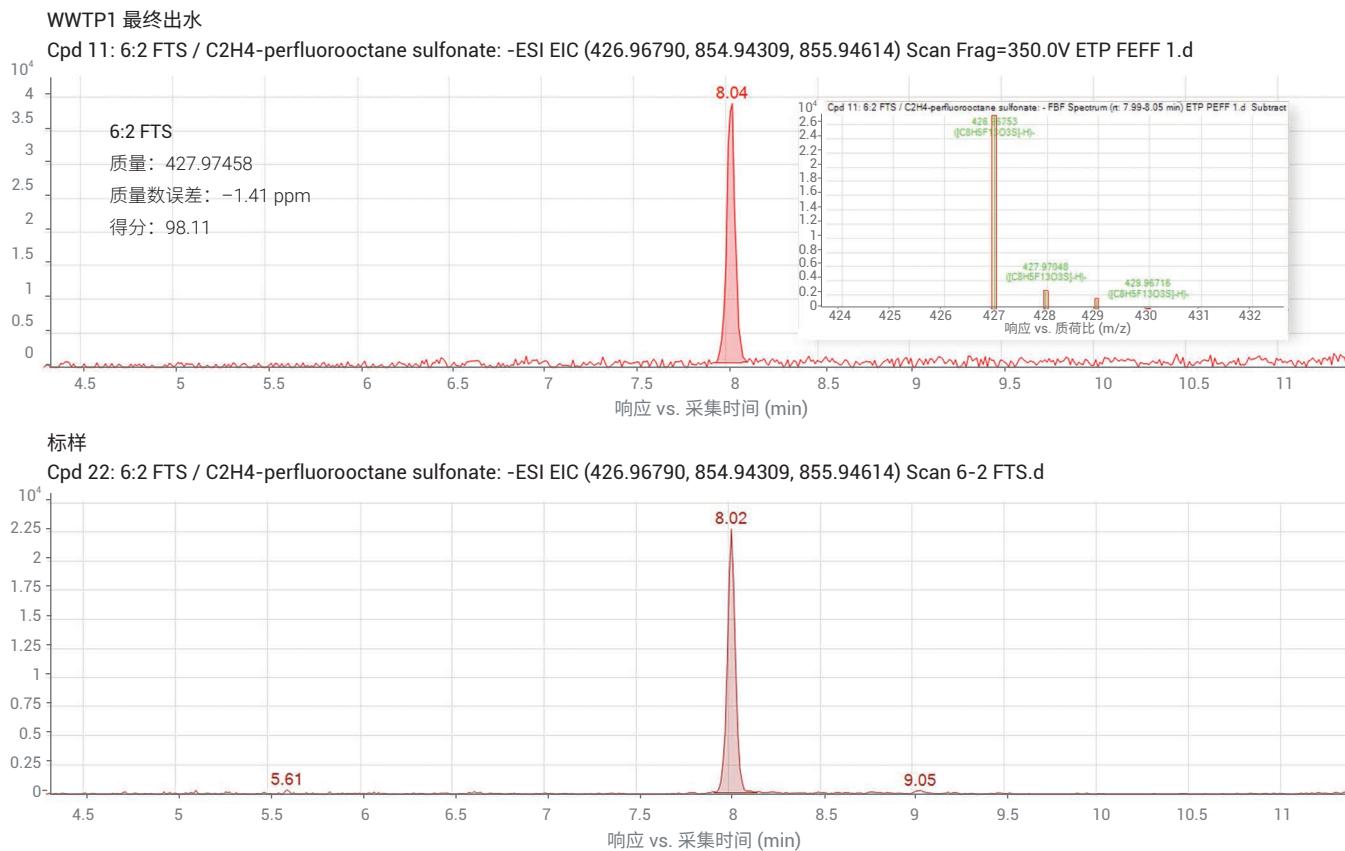
三重四极杆液质联用系统是一款测量极低浓度的已知 PFAS 的强大工具。但是，有数千种 PFAS 用于商业用途，其中许多化合物在环境中尚未得到鉴定。这是正表现出四极杆飞行时间 (Q-TOF) 质谱仪的价值。

LC/Q-TOF 仪器使您能够进行非靶向分析并鉴定未知的 PFAS。您还可以使用谱库来筛查 PFAS，而无需使用分析参比标样。此外，LC/Q-TOF 技术使您可以在宽动态范围内采集数据。意味着您可以分析同一谱图中高丰度峰旁边的痕量样品含量。安捷伦 LC/Q-TOF 仪器兼具高灵敏度和高分辨率，是鉴定环境样品中未知 PFAS 的理想选择。



在以下谱图中，以高质量数准确度和同位素保真度鉴定出废水样品中的 6:2 FtS。随后经验证，该化合物在 LC/Q-TOF 分析中与参比标样具有相同的保留时间。

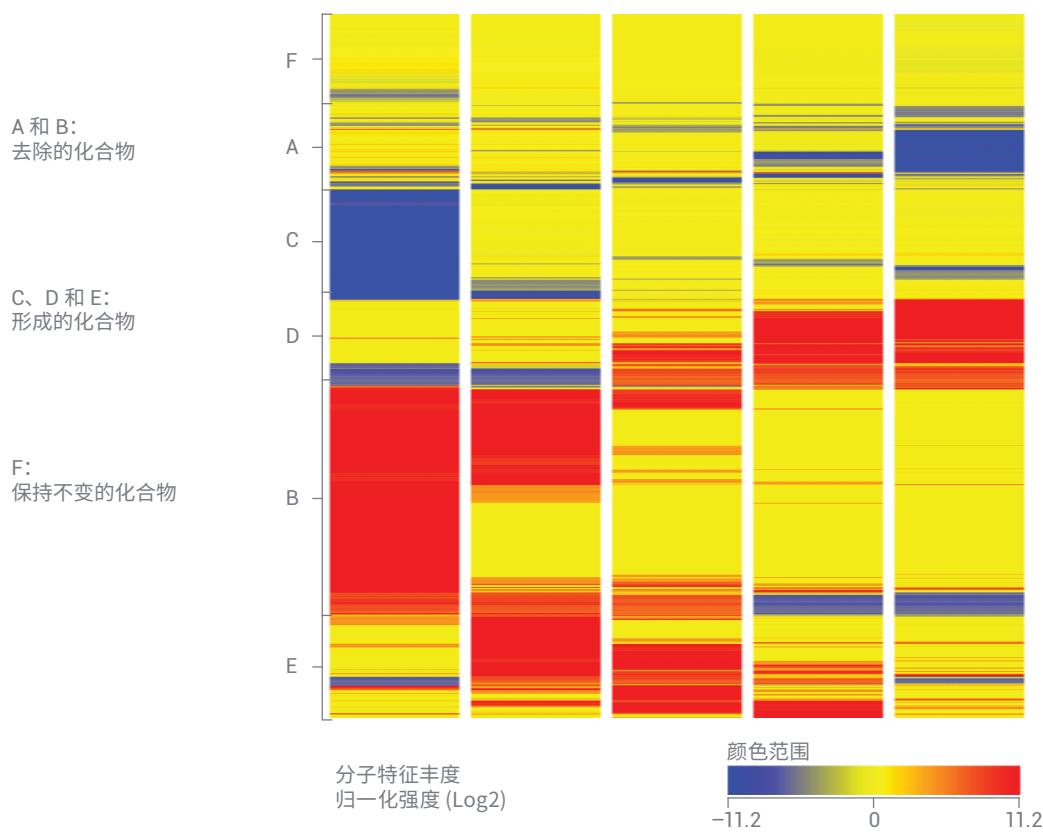
#### PFAS PCDL 的鉴定与标准品鉴定



由于 LC/Q-TOF 在分析中采集所有可电离的物质，因此您可以追溯性挖掘数据并鉴定化合物，而无需重新进样。此处，在所有处理阶段的污水厂样品中均鉴定出 6:2 FtS 样品。因此，可以对该化合物的丰度作图以追踪废水处理厂的功效。

或者，LC/Q-TOF 系统可用于对 PFAS 来源进行指纹分析，或用于研究水性成膜泡沫 (AFFF) 中的 PFAS 成分。

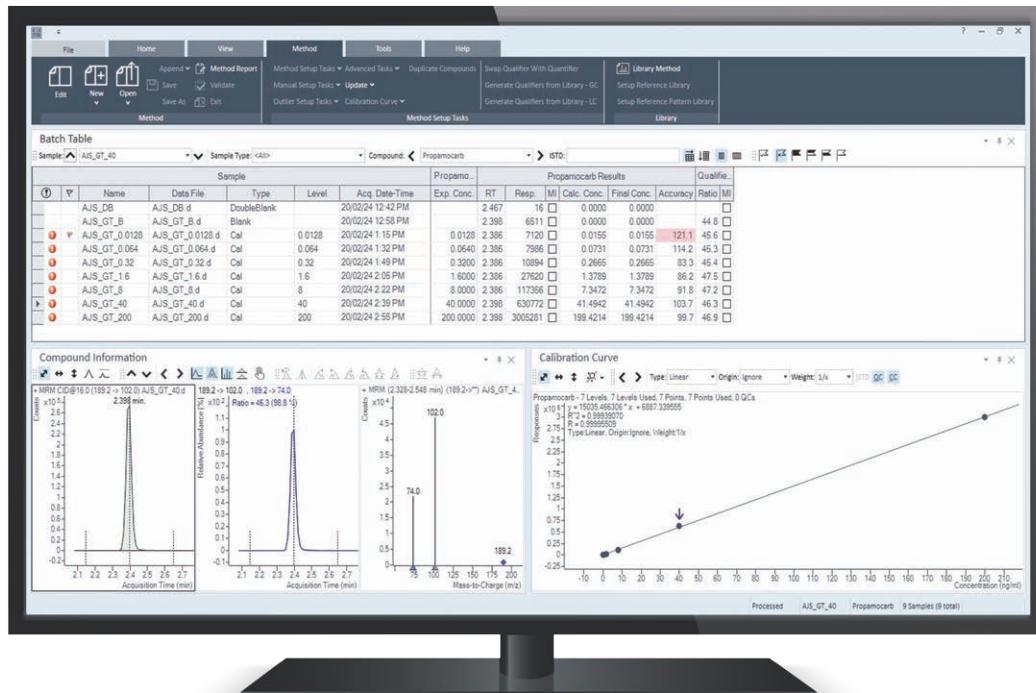
Mass Profiler Professional (MPP) 软件可用于鉴定新的 PFAS 并进行源解析和指纹研究。它包括统计分析工具，例如主成分分析 (PCA)、层次聚类分析和 Kendrick 质量亏损图。



# 采集、分析和共享水质数据

Agilent MassHunter 软件套装中先进的数据挖掘和处理工具可帮助您从样品中快速准确地萃取可用的分析物信息。

- 利用强大的数据采集、处理和报告工具。全面支持 GC、GC/MS 和 LC/MS 技术，助您轻松完成针对特定应用的工作流程
- 使用单一软件应对所有安捷伦 GC、GC/MS 和 LC/MS 仪器（包括单四极杆、串联四极杆和 Q-TOF）
- 采用具有 Quant-My-Way 定制功能的 Agilent MassHunter 定量分析软件，通过基于化合物的分析和报告工作流程分析复杂的环境样品
- 使用安捷伦个人数据库与谱库，通过高度可靠的化合物鉴定简化目标物和疑似物筛查目标
- 利用安捷伦 PFAS MRM 数据库快速构建针对几种或几十种 PFAS 化合物的三重四极杆 LC/MS 分析的靶向筛查和定量采集方法



## Agilent CrossLab 服务

CrossLab 代表了安捷伦集服务和消耗品于一体的独特解决方案，以支持客户获得工作流程的成功以及更高的生产力和运行效率等重要成果。安捷伦通过 CrossLab 在每一次互动中为您提供深刻见解，助您实现业务目标。CrossLab 提供方法优化、灵活的服务计划以及针对各种技能水平的培训。我们还有许多其他产品和服务来帮助您管理仪器和实验室，确保实现理想性能。

如需了解关于 Agilent CrossLab 的更多信息，以及洞察敏锐、成就超群的示例，请访问 [www.agilent.com/crosslab](http://www.agilent.com/crosslab)



From Insight to Outcome

了解更多信息：

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

获取 PFAS 订购指南：

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

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)

安捷伦客户服务中心：

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)

RA.44141.2106018519

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，2020

2020年11月24日，中国出版

5994-1322ZHCN