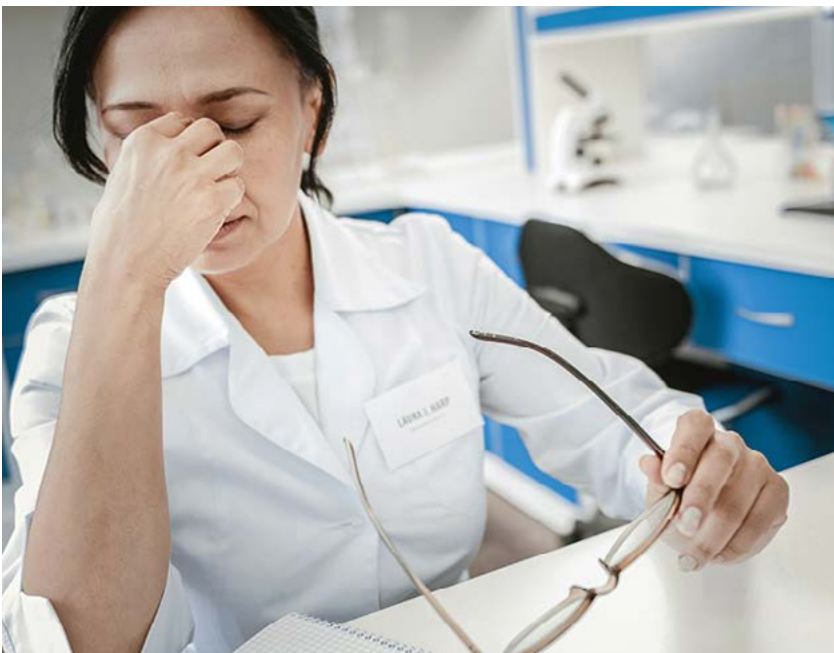


A close-up portrait of a middle-aged woman with dark hair, smiling and looking slightly to the right. She is wearing a white collared shirt. The background is a soft, out-of-focus grey.

# ICP-MS 分析中的低效 时间陷阱及避免方法

# ICP-MS 工作流程中的时间陷阱

电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS) 是用于测量各种样品类型中痕量与常量元素的一项成熟技术。ICP-MS 广泛应用于食品、农业、环境、地球化学和地质、材料和半导体、石化、生命科学、临床研究以及核能等行业。



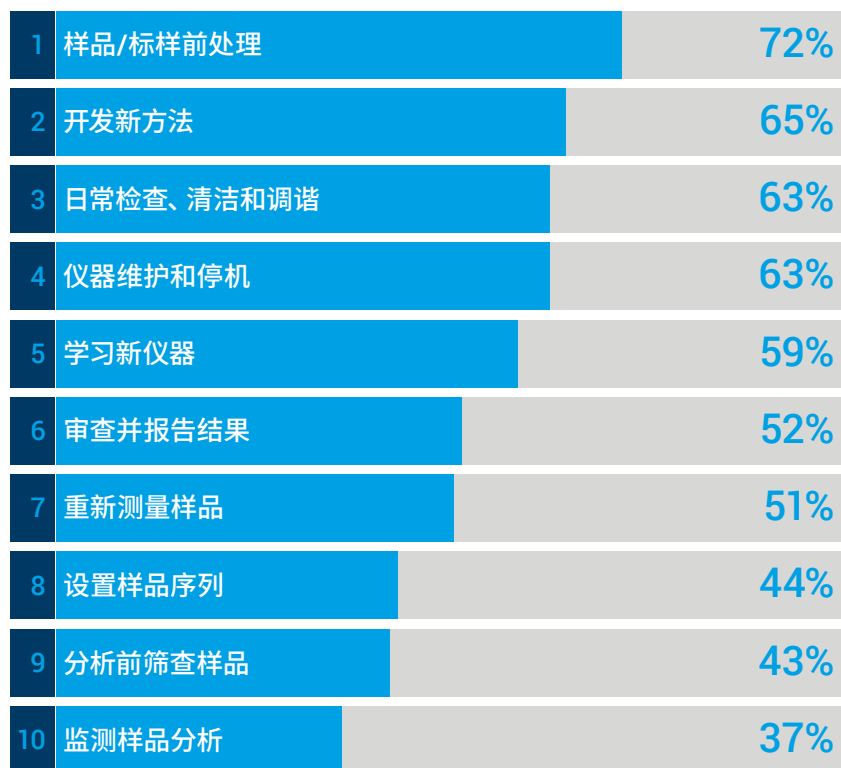
ICP-MS 因其高灵敏度、基质耐受性以及可在较宽浓度范围内测量元素的能力而闻名。简单的谱图以及对干扰的可靠控制，使 ICP-MS 成为从饮用水和环境监测到食品安全和药物生产的常规和受监管应用的首选技术。

许多实验室正试图从其他原子光谱技术转为 ICP-MS，或希望通过升级 ICP-MS 实现更低的检测限和更高的样品通量。不熟悉这项技术的实验室可能会认为 ICP-MS 难以掌握和使用，且操作和维护成本高昂。这些臆想出的困难甚至可能使某些人不愿采用这项技术。

已经使用 ICP-MS 的实验室有时可能会在优化方法和工作流程方面遇到困难，但许多人认为这是设置和运行 ICP-MS 不可避免的问题。对于尚未优化 ICP-MS 方法的实验室而言，一些低效且不必要的事项（时间陷阱）会影响分析效率和盈利能力。这些时间陷阱的代价不仅仅是浪费时间。因手动方法设置、仪器检查以及不得不进行重复分析而负担过重的员工可能会对工作感到不满，且更容易出错。错误会导致重复分析，影响样品分析周期以及报告结果的质量，从而使实验室的名誉受到威胁。

# 主要的时间陷阱

最近的一项在线调查<sup>[1]</sup> 要求实验室管理人员对最影响 ICP-MS 分析的常见时间陷阱进行排名。结果如下所示。



您可能会认为这些时间陷阱是 ICP-MS 分析中不可避免的问题；在日常操作中必须接受其存在。但事实上，有更好、更有效的方法来执行分析。有一种可让您的工作更轻松、员工更愉悦、分析结果更可靠的方法。

像大多数复杂的科学技术一样，ICP-MS 要求操作人员具备一定的知识和经验，才能获得准确且可重现的结果。幸运的是，随着仪器的自动化程度越来越高，执行分析所需的专业知识水平逐渐降低。现代 ICP-MS 仪器包含预定义的方法模板、自动优化程序、性能检查以及智能诊断传感器和监测工具。这些内置功能可重现以前需要经验丰富的操作人员才能实现的专业水平。

但能够提供帮助的并非只有仪器功能。通过对分析方法进行简单更改，可以改进实验室流程。

本电子书探讨了影响常规 ICP-MS 分析的常见时间陷阱，并提供了最大程度降低或完全消除其影响的解决方案。

1. 此调查由安捷伦于 2020 年 9 月开展。100% 的排名代表所有调查对象均认为其是最大的时间陷阱

# 内容

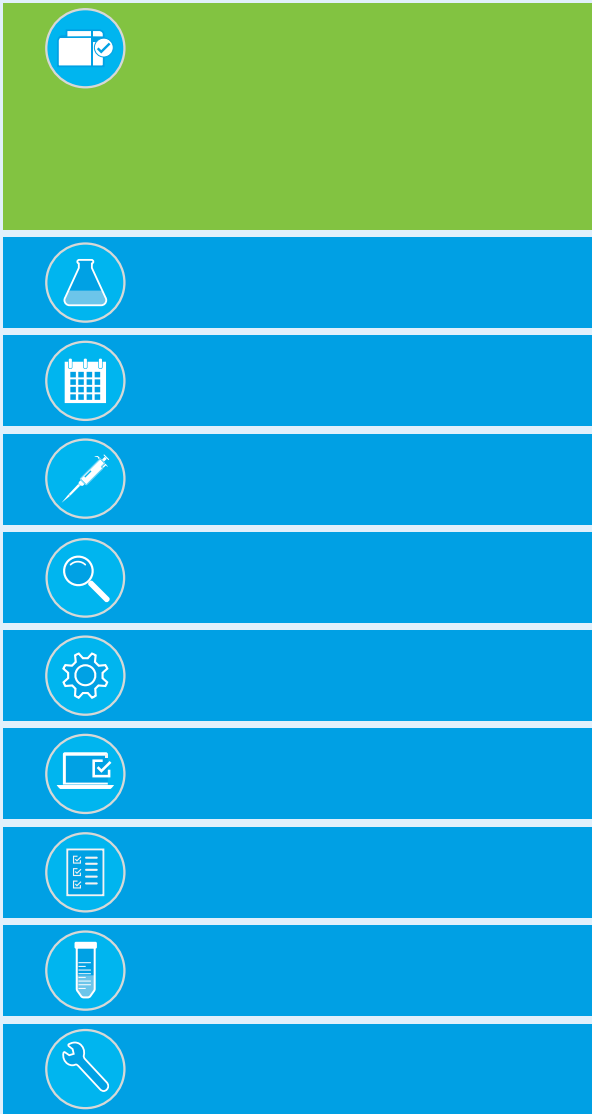


# 学习新仪器

## 时间陷阱

不熟悉 ICP-MS 的用户通常认为这项技术难以掌握和操作。熟悉其中某一个 ICP-MS 品牌的用户也同样心存疑虑，他们不确定其他品牌是否同样容易使用。的确，ICP-MS 与其他高级分析仪器一样，需要学习一段时间才能有效地使用。但是现代的 ICP-MS 仪器提供了软件界面和 workflows 解决方案，可以缩短并简化学习过程。

一些实验室会继续使用旧设备，或者用另一种相同类型的仪器替换老旧仪器，仅仅为了避免学习使用新仪器。实验室通常满足于解决旧设备的局限性，认为这是比安装新仪器更容易的解决方案。但是商业实验室会进行业务竞争，如果保留性能不如竞争对手实验室所安装新系统的旧设备，其成本可能更高。功能更强大的仪器能够运行当前无法测量的样品。它还可以提高分析速度和准确度，并使您的业务能够扩展支持其他行业。最新的 ICP-MS 系统具有简化仪器设置以及从旧设备转移现有方法的功能。



## 解决方案

### 在选择新仪器时提出正确的问题

在您考虑购买新的 ICP-MS 时，这些技巧可能会有所帮助：

- 使用一系列常规运行的代表样品对仪器进行测试。不要以为所有仪器都具有相同的功能，不要仅仅依赖已公布的性能指标。对于最难分析的复杂高基质样品，实际性能差异最为明显。因此，请务必针对最难分析的样品类型测试性能。

要求供应商采用与实验室工作流程相匹配的方式演示系统。如果您通常运行未经处理的“原”样，不进行大量的方法设置，则应该要求查看测试样品能否以这种方式运行。它将为您提供至关重要的见解，使您可以轻松运行该系统

- 想想实验室的运营方式。是否由非专业的轮班化学分析人员使用由经验丰富的分析人员设置的方法运行常规样品？如果是，请务必检查是否存在可用于确保按照已定义的工作流程进行常规分析的简化界面
- 您的分析人员是否同时管理多台仪器或几种技术？拥有可以在平板电脑等移动设备上运行的仪器界面，将使分析人员能够在其他地方监测样品运行。在屏幕上提供分析状态的清晰可视化指示同样十分重要。您肯定不想在返回实验室时发现一个小时前 QC 失败，现在必须重复测量许多样品
- 在演示过程中，确定需要针对不同样品类型更改哪些方法设置（如果有）。如果您的实验室运行一系列不同类型的样品，则每次更改样品类型都必须调整多种方法设置，这将是一个巨大的时间陷阱
- 供应商提供的支持和培训也是重要的考虑因素。在仪器安装后，您的实验室是否立即提供现场培训？此后，您是否可以获得帮助解决问题的远程支持？还是等待服务工程师上门？支持的质量如何？另一个考虑因素是持续的培训和教育。查看每个仪器制造商的网站，确定他们提供的培训和教育课程类型、课程的频次以及采用在线和/或课堂形式。如果采用课堂形式，与您所在的位置是否较近？



### 获取免费培训

通常在 [youtube.com](https://www.youtube.com) 或其他网站上提供演示视频。这些视频包含大量的培训和信息。例如，Youtube 上提供了一套 [安捷伦 ICP-MS 视频](#)。



## 使用仪器随附的所有资源

大多数新仪器都随附丰富的信息和工具，方便新用户使用。例如，Agilent 7850 仪器在内容广泛的“帮助和学习中心”仪器软件部分提供了视频和操作指南。此外，还有一个内容广泛的 [ICP-MS 资源中心](#)，为新用户和经验丰富的用户提供了大量的重要信息。

仪器通常还随附可立即使用的方法（和/或方法开发工具），可保证方法开发更为简洁流畅。这些方法对新用户可能会难以确定的大多数方法参数进行了预定义，例如同位素选择、内标选择、使用哪种池气体模式以及设置多少积分时间等。使用预定义的方法可简化并缩短开发新方法的时间，并降低方法设置出错的可能性。

## 使用 SOPs 记录常规工作流程

良好文档记录可以帮助分析人员快速掌握新仪器。标准操作规程 (SOP) 应包括带有大量图片的清晰分步说明，以及用于解决常见问题的技巧。安捷伦等仪器供应商可提供为常见 ICP-MS 分析预编写的 SOP 模板，您可以按照公司的 SOP 模板对其进行使用或修改。从头开始编写良好 ICP-MS 分析 SOP 可能需要数周的时间，如果使用现有模板则可以节省大量的时间。



## 如何编写实用 SOPs

本电子书针对制药行业编写，但适用于所有使用 SOPs 的实验室，它将向您展示如何：

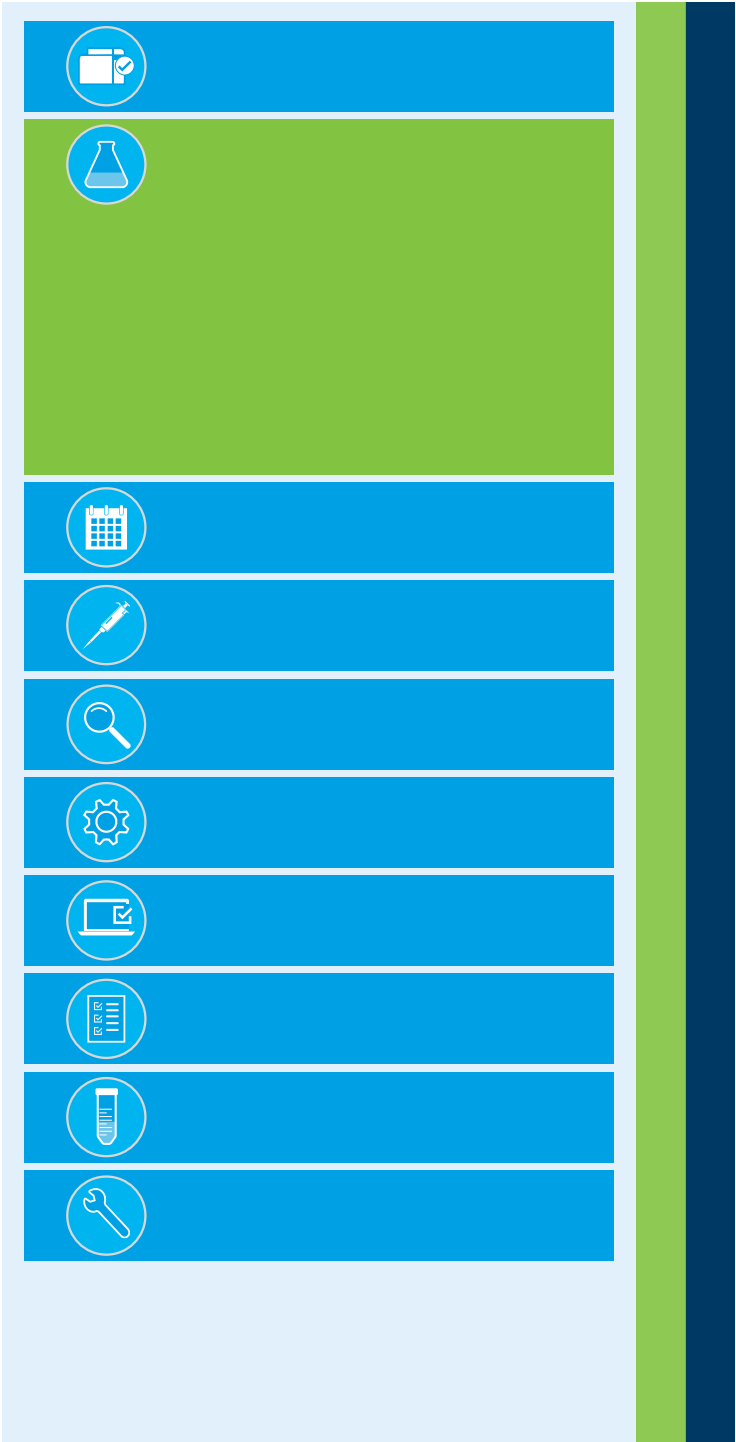
- 编写易于阅读和理解的 SOP
- 通过创建实用的 SOP 来平衡法规认证需求
- 测试 SOPs 并确保一致性

[下载电子书](#)

# 开发新方法

## 时间陷阱

实验室可能需要耗费很长的时间开发、优化、验证和记录新的 ICP-MS 方法，如果不熟悉这项技术则尤其如此。用于法规认证的性能测试和记录方法会增加更多的工作，整个过程需要耗费数周甚至数月。如果您正在开发一种不熟悉的新方法或安装新的 ICP-MS 系统，应该从哪里开始？如何缩短所需的时间？





## 解决方案

### 使用经过验证的现有方法

新的 ICP-MS 仪器可能包括预开发的方法模板。Agilent 7850 仪器随附适用于多种应用的预开发或“预设”方法，包括用于环境样品的 EPA 6020、200.8 和 ISO 17294，以及用于药物生产的 USP/ICH/ChP 方法。7850 还包括针对不同基质样品进行了最佳设置的通用方法，您可以根据特定分析物、内标和样品引入设置对其进行修改。应用任何修改后，方法、参数和相关信息（例如校准浓度和 QC 设置）都可以保存为“批处理文件”。批处理文件可用作后续样品批次的模板，从而大大节省设置时间。批处理文件可确保即使是不同的分析人员在运行仪器，方法设置也将得到一致应用。

ICP-MS 仪器甚至还随附专门为您开发的方法。如果您发送样品或携样品参加 ICP-MS 的演示，供应商的应用化学家则可将分析所用的方法保存为模板。该模板可以提供给您或在安装过程中加载到您的系统中，从而为您的样品提供一种性能经过验证的工作方法。

如果仪器未随附相关的方法模板，则可以使用 US EPA、AOAC 官方分析方法和 ASTM 方法网站上发表的方法。您需要针对所用仪器进行微调，但它们是不同的初始选择。访问在线社区（例如安捷伦社区 ([community.agilent.com](https://community.agilent.com))) 咨询问题，并向其他创建类似方法的人学习。在仪器供应商网站上发表的应用简报是另一种很有用的信息来源。最后，大多数仪器供应商都可以提供方法开发咨询服务，如果您的样品或方法特别不同寻常，这可能是不错的解决方案。

### 定义新方法

无论您是使用现有或预定义的方法模板，还是从空白表格开始编制方法，某些参数对于确保分析的长期成功都至关重要。最重要的是确保正确设置应对测量样品的基质水平以及任何谱图重叠问题的方法。

所有 ICP-MS 的基质耐受性都取决于等离子体的稳定性，您可以使用 CeO/Ce 比值对其进行监测。确保方法中定义的等离子体条件适合处理您要分析的样品类型和基质水平。高基质样品需要更稳定（低 CeO/Ce 比）的等离子体条件。如果运行稳定性低于要求，将导致基质沉积、维护间隔缩短、信号漂移、QC 不合格和样品重复运行等长期问题。

### 使用标准参比物质验证方法性能

通过分析有证标准物质 (CRMs) 或标准参比物质 (SRMs) 验证方法性能是确定方法是否可生成准确结果的有效途径。这些标准物质的供应商很多，涵盖广泛的样品类型，因此您很可能找到一种与样品基质接近的标准物质。

为了校验样品前处理以及分析性能，标准物质应当采用与待测样品相同的方法进行前处理。然后将标准物质添加到每个样品批次中，并按照与未知物相同的方式进行分析。如果方法生成的结果与标准物质中各元素的认证值相匹配，则表明样品前处理具有良好的回收率。标准物质获得准确结果也可证明校准的准确性。

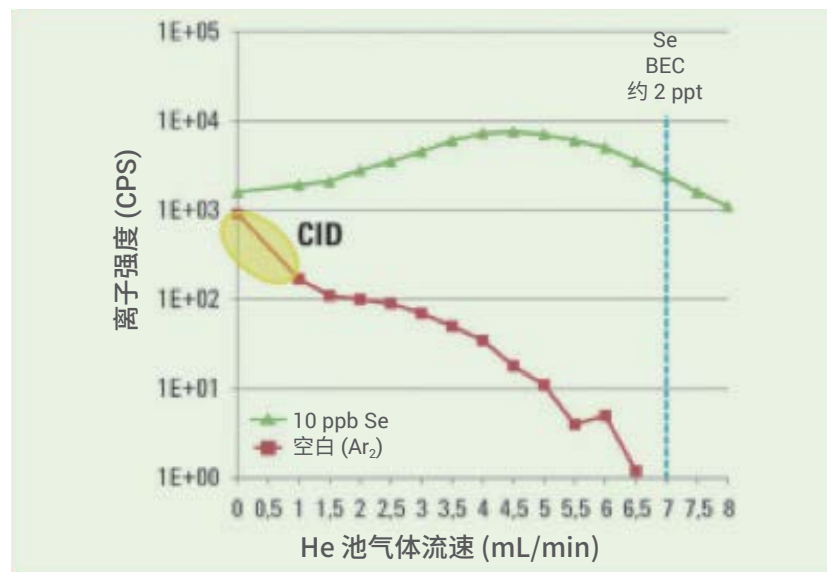
## 使用氦气模式控制多原子干扰

控制多原子干扰是大多数 ICP-MS 方法中的关键要求。在食品和环境应用中，样品基质通常含量较高、多变且复杂，由此产生的干扰可能会引发各种问题。安捷伦 ICP-MS 系统通过使用针对氦气 (He) 碰撞模式优化的碰撞/反应池 (CRC)，为常见的多原子干扰提供了简单可靠的解决方案。

大多数碰撞/反应池 (CRCs) 可以在碰撞模式或反应模式下使用，尽管池设计可为其中一种或另一种模式提供更出色的性能。模式（碰撞模式或反应模式）取决于是否将惰性气体（例如 He）或反应性气体（例如  $H_2$ 、 $O_2$  和  $NH_3$  等）添加到反应池中。对于常规的多元素分析，(He) 碰撞模式比任何反应性池气体都更通用，因此 He 模式更适用于多元素分析以及各种未知样品类型。

He 模式使用动能歧视 (KED) 功能过滤多原子离子，而允许原子离子通过反应池。KED 是一种物理过程，利用多原子（分子）离子的横截面比相同质量的原子离子的横截面更大这一事实。因此，多原子离子与池气体的碰撞更加频繁，并损失更多能量，可以使用池出口处的偏压将其进行排斥。He 碰撞模式对于所有典型的多原子离子重叠均有效，因此它适用于大多数元素，并且可以应用于具有复杂和未知基质的各种样品类型。消除常见的基质多原子干扰，从而获得所有典型分析物的首选同位素。He 模式还可消除二级、定性同位素常见的多原子重叠。测量定性同位素会增加几秒钟的分析时间，但使您能够确认使用主同位素报告的结果。在环境和制药行业的一些法规方法中甚至建议使用二级同位素，在这些方法中，其他同位素用于提供确证性结果。

在 CRC 中使用单氦气模式可简化方法设置，从而节省大量时间，同时缩短样品间的分析时间。如果针对不同的分析物使用不同的反应池气体，则在反应池抽真空以及更换池气体时会有延迟。与将氦气用于所有分析物相比，这会大大延长总分析时间。



降低  $Ar_2$  对 Se 的干扰是氦气模式降低多原子干扰很好的示例。当氦气流速为 7 mL/min 时， $Ar_2$  降低至对  $^{78}Se$  信号的影响最小的水平。

He 模式虽然对常见的多原子重叠有效，但无法解决同质异位素重叠或双电荷干扰。对于超低的分析物含量和异常重叠，反应气体可以更有效地消除干扰，从而降低检测限。然而，反应模式通常不适用于单四极杆 ICP-MS 的多元素分析。在单四极杆 ICP-MS 上，反应气体会导致新的错误，例如通过形成与其他分析物重叠的反应产物离子导致的错误。

控制碰撞/反应池中化学反应的能力是串联四极杆 ICP-MS (ICP-MS/MS) 的一大优势。ICP-MS/MS 使用额外的质量选择步骤 (Q1) 控制进入反应池进行反应的离子，从而消除可能影响单四极杆仪器反应模式的重叠。

注：US EPA 目前不允许在采用 200.8 方法测量饮用水时使用反应池气体。在测量其他样品类型（例如地下水和废水）时，允许使用反应池气体，其中更复杂的基质可能会导致形成 He 模式消除的多原子干扰。

## 校正双电荷干扰

某些相对不常见的基质和分析物含量组合可能会导致使用 He 模式无法消除的双电荷离子干扰。一些元素（包括钡 (Ba) 和稀土元素 (REEs)，例如 Nd、Sm 和 Gd）的第二电离势较低。意味着这些元素会在等离子体中形成一小部分双电荷离子。与多原子离子相比，双电荷离子干扰导致的问题要少得多，但是当样品中含有浓度相对较高的 REEs 时，它们会影响痕量砷和硒的分析。如果您的应用需要分析痕量砷和硒，则可以使用 Agilent ICP-MS MassHunter 软件内置的“半质量校正”功能校正双电荷 REEs 的影响。如果样品中含有 Ba 或 REEs，在 ICP-MS 上使用半质量校正可提高准确度并降低 As 和 Se 的检测限。

## 选择适当的内标

针对特定应用的 Agilent 7850 预设方法包括发现适用于该应用中所测典型样品的默认内标 (ISTD)。对于新的样品类型和通用方法，选择合适的内标元素有助于确保准确、稳定的分析。如果未将 ISTD 元素指定为法规方法的一部分，则可以使用一些简单的指南帮助您选择合适的元素，这些元素应该满足以下条件：

- 样品中不存在
- 在与所校正分析物相同的质量数范围内
- 具有与所校正分析物相似的电离势
- 与您的分析物元素化学兼容，并且化学稳定
- 不太可能受到样品类型中任何干扰的影响<sup>[2]</sup>
- 不太可能对您的分析物元素造成干扰<sup>[2]</sup>

通常不可能找到与所有分析物的质量数和电离势都完美匹配的内标，因此通常需要折衷考虑。对于简单的样品基质（例如饮用水），通常仅用一种中等质量数内标即可成功分析。对于复杂和高基质样品，通过使用涵盖整个质量数范围并具有一定电离势的多种内标，通常可以提高分析的准确度和稳定性。

2. 在现代 ICP-MS 上，通常可以忽略上述的最后两个条件。任何与 ISTD 元素重叠的多原子离子，或由 ISTD 元素导致的多原子离子，都应使用 He 池模式去除



质荷比：66

质荷比：66

ICP-MS 仪器中使用的四极杆质量过滤器根据离子的不同质荷比 ( $m/z$ ) 对其进行分离。但由于  $^{66}\text{Zn}^+$  和  $^{132}\text{Ba}^{2+}$  有相同的  $m/z$  66，四极杆质量过滤器因而无法对它们进行分离。

有关半质量校正如何消除双电荷离子干扰的完整详细信息，请参见安捷伦技术概述：“[使用 Agilent ICP-MS MassHunter 简化双电荷离子干扰校正](#)”

质量数非常匹配的 ISTD 可以更好地校正基于质量数的信号漂移，而电离势非常匹配则可以更好地校正电离抑制。这些因素的相对重要性将取决于您的样品类型和调谐，尤其是等离子体的稳定性。稳定的等离子体将减少信号漂移并降低抑制，从而降低对非常匹配的 ISTD 元素的需求。

定义了 ISTDs 和分析物-ISTD 分配后，通常可以将它们包括在方法中，并写入样品批处理模板中供后续分析使用。

如“[使用氦气模式控制多原子干扰](#)”中所述，使用配备针对 He 碰撞模式优化的碰撞/反应池的 ICP-MS，可以解决大多数多原子干扰，包括对 ISTD 的多原子干扰或由 ISTD 导致的多原子干扰。在稳定（低 CeO）条件下操作等离子体也可减少多原子离子的形成。将这两种方法作为方法开发的一部分，可以在选择可靠的内标元素时为您提供更多的选择。

### 提高化学稳定性的简单方法

多年来，HNO<sub>3</sub> 一直是用于 ICP-MS 分析样品前处理过程的首选酸。单独使用 HNO<sub>3</sub> 可以避免使用其他酸（例如 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 HCl）时可能形成的多原子干扰。然而，缺少 HCl 会导致多种元素出现如下的诸多问题：

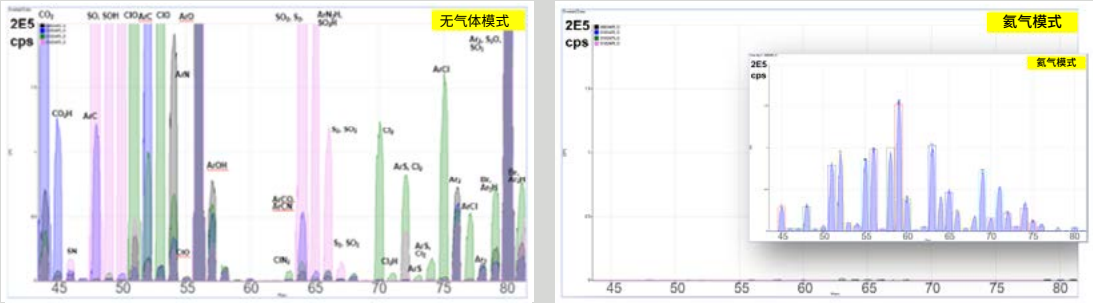
- 前处理过程中的提取效率较低（例如土壤提取物中的 Sn）
- 许多元素的稳定性较差（Hg、Sn、Mo、W、Ag、As、Se、PGMs 和 REEs）
- 由于缺乏共存的离子/配体，标准溶液中许多元素的线性和稳定性较差
- 缓慢的内洗（稳定）和冲洗特性

使用处于 He 碰撞模式的 ICP-MS 可去除基于 Cl 的多原子离子，从而使您可以常规地将 HCl 添加到样品和标样中（最低 0.5%）。这解决了所列的问题，是简化样品前处理和方法开发的简单方式。

### 使用碰撞/反应模式应对多原子重叠

ICP-MS 的一个明显优势在于其谱图简单。每一种天然存在的元素（In 除外）至少有一个同位素（质量数）不受其他元素同位素的直接重叠干扰。通常将这些免受干扰的同位素定义为 ICP-MS 分析的首选同位素，尽管它们的含量并非总是最大。实际上，这意味着影响 ICP-MS 分析的大多数光谱干扰都归因于多原子（分子）离子重叠。

分析人员需要了解，许多常见的多原子重叠由样品基质形成，因此干扰随样品基质而发生变化，难以预测。但是当前的 ICP-MS 仪器通常可以通过在氦气碰撞模式下使用碰撞/反应池来应对多原子离子重叠。He 模式对一系列典型的多原子离子的影响如下图所示。



这些谱图显示了由几种常见的基质组分形成的背景多原子离子，用彩色标记表示：HNO<sub>3</sub>（灰色）、HCl（绿色）、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>（粉色）和异丙醇（蓝色）。左侧的谱图显示了无气体模式下较强的基质多原子离子，而右侧的谱图显示了相同样品在氦气（He）碰撞模式下的测量结果。在 He 模式下，所有多原子干扰都降低到可以忽略的水平，从而实现了无干扰分析。内插图显示了 He 模式下同样加标 10 ppb 第一行过渡元素的基质混合物的测量结果。所有分析物均保持良好的灵敏度，且所有同位素均与理论丰度模板匹配。

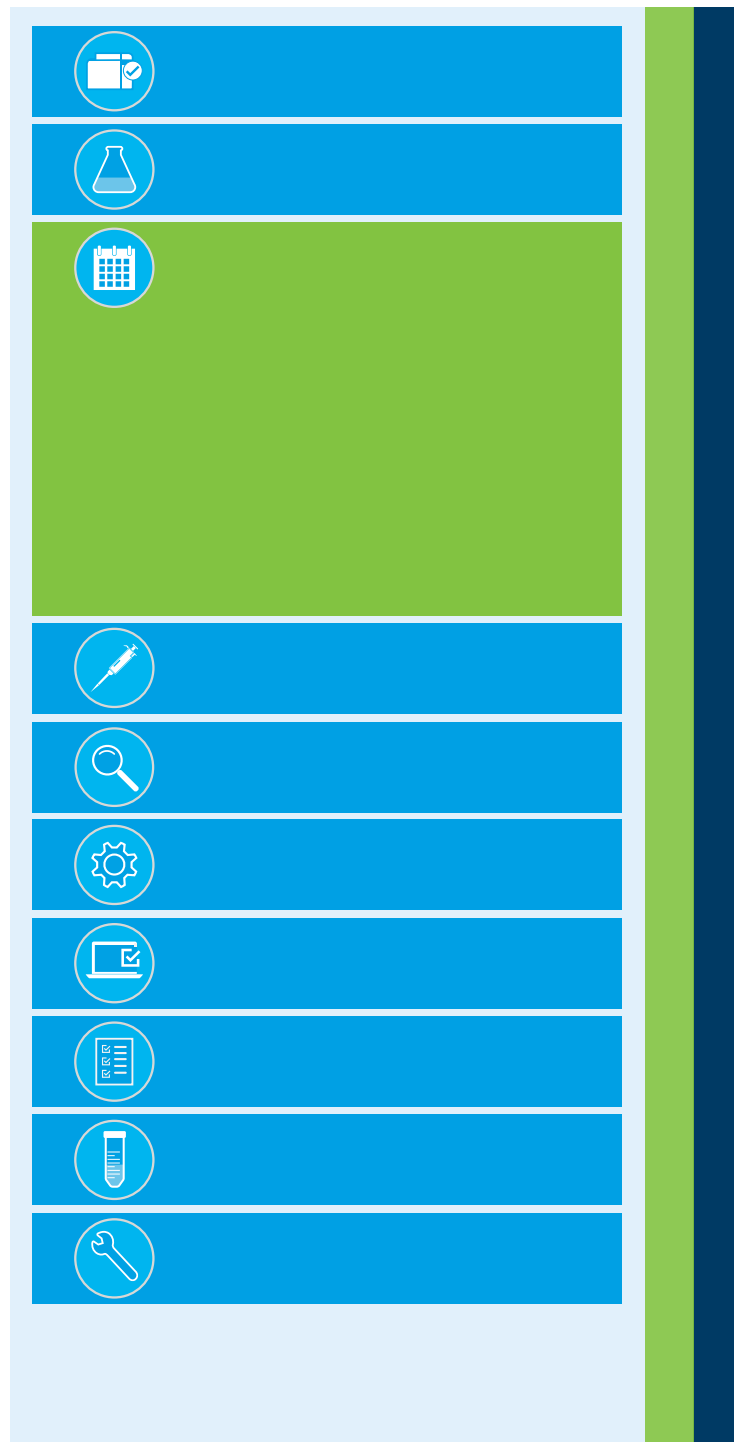
# 日常检查、清洁和调谐

## 时间陷阱

近 10% 的服务请求<sup>[3]</sup> 是由于没有进行常规清洁。对于一些实验室而言，改进常规维护计划明显有助于避免浪费不必要的时间来等待服务工程师上门。在 ICP-MS 上，分析人员应考虑以下六个部分的定期清洁和维护：

1. 取样探头和样品吸取管线
2. 蠕动泵管线和牵拉泵夹
3. 雾化器、雾化室、传输管和等离子体炬管
4. 接口锥
5. 离子透镜
6. 真空泵油和空气过滤器

3. 基于安捷伦服务请求数据



## 解决方案

### 避免雾化器问题

雾化器局部堵塞会导致灵敏度和精密度不佳，以及信号漂移。通常在 ICP-MS 系统上使用的微流雾化器不能耐受悬浮固体（颗粒物）。

为了帮助避免雾化器堵塞：

- 在分析之前，确保对样品进行消解和过滤，或将任何悬浮颗粒物沉降
- 在熄灭等离子体之前，用试剂空白冲洗至少 10 分钟（在仪器软件中应该可以对其进行配置）
- 只可使用不起毛的布
- 使用雾化器清洁工具并采用合适的清洁剂反吹雾化器。这将使积聚的任何颗粒脱落并彻底清洗雾化器喷嘴。您可以使用部件号 [G3266-80020](#) 从安捷伦购买

### 防止其他玻璃组件问题（雾化室、传输管和炬管）

肮脏的雾化室会导致精密度下降。可通过分析之前和/或之后进行的计划性能检查或查看每个样品重复测定的 %RSD 监测短期精度，并通过使用 QC 溶液监测中长期精度，尽管这只能指示已发生的问题，而不是阻止其发生。

雾化室变脏或受污染将导致排废效果不佳，并使吸入等离子体的气溶胶不均匀。通过观察溶液如何沿雾化室内部向下流动可以确定这一问题。液体应均匀成膜地沿雾化室向下流动。如有液滴落下而不是形成膜，则表明雾化室较脏。

含有大量有机物质的样品（例如油）尤其会导致雾化室污染。运行有机物含量高的样品会导致雾化室排废发生变化，以及冲洗效果不佳。在分析结束时用洁净的清洗溶液冲洗几分钟可清洁雾化室。一些实验室针对含有高浓度有机物质或高盐基质的样品配备一套单独的样品引入组件。需要时可安装单独的样品引入组件，从而延长样品引入系统的使用寿命，用于分析更多的常规样品。

不同类型的雾化室具有不同的冲洗特性，但不应片面地考虑这些特性。旋流雾化室较短的路径长度和较大的液滴尺寸范围<sup>[4]</sup>意味着会有更多的冲洗溶液通过雾化室。这可以提高冲洗效率，但也会提升基质负载和等离子体中生成的氧化物水平。导致等离子体稳定性较差、基质分解欠佳、较高的干扰和较低的电离，从而抵消其冲洗优势。

将玻璃组件清洁作为日常维护计划的一部分。如果可以，在每天的分析开始和结束时运行仪器性能测试同样有所帮助。这使您能够轻松监测系统性能，确保 ICP-MS 符合制造商的性能指标。



雾化室内形成过多液滴是雾化室可能需要清洁的标志之一。



为了帮助分析人员管理维护计划，可以使用安捷伦 ICP-MS 软件的早期维护反馈 (EMF) 功能设置执行常规维护任务（例如清洁雾化室）的警报。在运行油类、食品样品或其他高基质样品时，您可以根据特殊样品类型所需的维护间隔调整 EMF 计时器。同样，在分析更洁净的样品时，您可以将计时器设置为更长的时间间隔，这样就不必浪费时间进行不必要的维护。

## 维护泵管

在许多实验室中，泵管磨损问题通常不受重视。分析人员通常会将磨损管线留在原处，而意识不到它可能会对数据质量造成的影响。必要时未更换的泵管会导致信号不稳定、漂移和不准确，并导致化学稳定性问题，例如稳定缓慢和分析物交叉污染。更换磨损管线是一项简单、经济的维护任务，但是泵管更换过于频繁则会增加消耗品成本并浪费时间。

吸取管线和泵管维护不当可能导致泄漏连接、不正确的管线牵拉和气泡问题。在面临压力的情况下，分析人员有时会忘记在开始样品运行前重新夹住蠕动泵管，甚至会错误安装排废泵管。

蠕动泵管磨损、泄漏或调整不当将导致灵敏度不佳，且由于磨损泵管的抽吸效率会随着使用发生变化，还会在分析过程中引起漂移。精密度和漂移均可通过 QC 溶液进行监测，但其测量通常间隔 30–40 分钟，因此等到 QC 溶液测试失败再解决问题也会浪费大量时间，因为您需要返回重新测量上次有效 QC 后已测量的样品。

定期日常维护能够防止蠕动泵管出现问题。在每天开始分析时或在分析了一定数量的样品之后，检查蠕动泵管的弹性、圆度、连接和张力的非常重要，如果觉得管线可能存在任何问题，请立即更换。定期检查可以降低由于泵管问题而不得不重新测量样品的风险。在使用前对新的管线进行预老化也是一个不错的选择。在安装新的管线时，确保其在泵滚轮上均匀伸展，不要拧得过紧。调节管线压力，以提供平稳且均匀的样品流，并使空白溶液在新的管线中流动几分钟，清洁并老化内表面。



定期检查蠕动泵管的磨损、变色、弹性和圆度，有助于确保将样品平稳、一致地传输到雾化器，而不会产生脉冲。

大多数仪器具有在仪器闲置时（例如，在无人值守过夜运行结束后）使泵会以极低的速度旋转的功能。这可以避免管线在泵滚轮上形成扁平的部分。如果不经常使用 ICP-MS，请确保使用此功能。

Agilent 7850 ICP-MS 的早期维护反馈功能可用于提醒分析人员执行管线维护任务。例如，可根据时间或样品分析频率设置 EMF 警报，提醒分析人员检查或更换泵管。可根据样品基质类型设置警报计数器的数值。如果分析稀硝酸/盐酸溶液，则可将计数器设置为在分析 2000–3000 个样品后发出警报。如果使用的酸浓度更高，则需要设置更小的警报计数器间隔（例如每 1000 个样品）。



对于非典型的样品类型，还应考虑使用的泵管类型。需要使用对样品基质有化学耐受性的样品吸取管线，因此，有机溶液和水溶液通常需要使用不同类型的泵管。PVC 适用于大多数水溶性和酸性基质，但多数有机溶剂都不适用。当暴露于多种有机溶剂中时，PVC 会迅速降解，因此无法正常抽吸，甚至可能完全分解。许多分析有机溶剂的实验室完全不使用泵管，而是采用自动吸取将样品输送至雾化器。定期检查管线的弹性是一项简单的监测任务。随着管线的降解，它会变硬、拉伸并失去弹性。

在每天结束时，如果仪器不进行无人值守运行，最好在仪器中运行冲洗溶液，松开管线并断开泵管连接（这样泵管就不再受泵滚轮挤压）。这些操作将延长泵管的使用寿命。如果您将样品基质留在管线中过夜，则可能会使样品浸入管中，从而导致下一次运行的第一批样品受到污染，并加快管线的降解速度。

通常，磨损泵管会导致 %RSD 增加，以及冲洗效果不佳和化学背景。测量信号的 RSD 增加可能由多种原因导致，但 ICP-MS 可以通过标记超过用户设定的 RSD 限值的结果来提醒您潜在的问题。例如，使用 Agilent 7850 的结果表中的异常值条件格式 (OCF) 显示这些标记。触发警报后，您将有机会及时解决问题，避免在完成许多样品之后才发现故障，并不得不在更换泵管后重新测量这些样品。

### 维护接口锥和离子透镜

基质沉积在接口锥和肮脏的离子透镜上会导致灵敏度下降、长期精密度不佳和背景升高。

从大多数实验室正常运行的日常仪器性能检查中可以明显看出灵敏度下降和背景升高。如果性能检查结果表明可能存在问题，您可以快速直观地检查接口锥。放大镜有助于仔细观察接口锥表面。检查积聚在锥尖的基质，以及孔口是否损坏或扩大。

在运行高基质样品时，基质会更快沉积到接口锥上。这就是将更稳定（低 CeO/Ce 比）的等离子体条件用于高样品基质的原因之一，旨在确保基质尽可能彻底地分解。对于高基质常规分析，建议每运行 500–1000 个样品后进行一次接口锥检查，如果明显有沉积物，请取出锥并在水中对其进行超声处理。干燥接口锥，然后将其重新安装到仪器中。请注意，通过老化处理洁净的接口锥可确保其在下一次运行中的稳定性。在清洁接口锥或安装新的套件后，最好通过吸取矿泉水或基质标准品（例如 EPA ICS）等样品基质 10–15 分钟，再次对其进行老化处理。

在测量不同的样品类型，并且第一种样品中的常量元素为第二种样品中的痕量元素时，最好清洁接口锥。在某些情况下，对于非常不兼容的样品类型，甚至最好使用单独的专用接口锥套件。这一建议也适用于样品引入系统的其他组件。

### 泵

泵油和油雾过滤器所需的更换频率取决于您通常测量的样品类型。运行高基质样品或使用不能充分分解样品基质的等离子体条件，将导致更频繁的泵维护需求。

### 降低仪器调谐频率

在运行高基质样品时，减少重新调谐仪器的需求的一个简单方法是使用稳定（高能量）的等离子体。等离子体的高能量会分解基质，使其不会沉积到接口锥上，否则会导致信号漂移，进而导致需要重新调谐仪器。

### 使用仪器的智能状态检查

许多 ICP-MS 仪器都有传感器和计数器，可在需要维护时为您提供建议。请参见“[正确进行预防性维护](#)”。

# 样品/标样前处理

## 时间陷阱

在一项在线调查中，样品和标样前处理被选为 ICP-MS 分析的主要时间陷阱。分析人员通常必须以多种稀释倍数前处理样品，并使用不同的校准浓度以匹配各种元素的预期浓度范围。因此，样品前处理会耗费大量的时间。前处理错误、筛查样品以评估基质水平、QC 不合格以及超量程结果导致的样品重新运行会产生更多的工作。

## 解决方案

### 防止校准问题

校准问题是导致分析错误的常见原因之一。经常会有分析人员绞尽脑汁寻找结果出错的原因，最后却发现是标样制备过程中犯了一个小错误。可能是没有校准移液器，设备清洁不充分造成的污染，化学稳定性问题或者误用了错误的储备液。

消除人为错误是减少校准错误的关键所在，因此良好的培训和文档记录非常有助于确保您的实验室不受这些问题的困扰。

US EPA 等监管机构正在推行良好分析实践。法规方法内置质量控制 (QC) 措施，旨在防止或确定校准错误。例如，许多用于环境样品的 US EPA 方法包括初始校准验证 (ICV) 检验溶液和连续校准验证 (CCV) 检查。这些质量控制标样的配制来源与校准储备液不同，可提供对校准有效性的独立校验。现代仪器通常会提供方法模板，其中对这些类型的质量控制标样以及适当的 QC 检查和操作进行了预定义，从而简化方法设置。这些类型的质量控制措施还可用于确保不受法规监管的方法校准的准确度。

使用具有宽线性测量范围的仪器还有助于减少设置校准所需的时间和精力。在较宽的浓度范围内具有线性响应意味着您可以配制一组统一的校准标样，而无需通过自定义校准适应不同样品类型中不同浓度的常量元素。您可以使用相同的校准在测量了一个样品中 ppb 级的某种元素后，继续测量下一个样品中百分级的同一元素。与为每种类型的样品组配制不同的校准系列相比，这可节省大量的时间。

### 防止超量程错误

当样品读数超出检测器的范围，或高于分析物的最高校准标样浓度时，就会出现超量程错误。如果等离子体和检测器可以耐受较高的浓度，则可以通过为较高的校准浓度点制备高浓度标样来避免超量程错误。使用具有 10 或 11 个数量级动态范围的检测器，对于样品中您预估具有较高浓度的元素，标样的最高浓度可以高达数百 ppm。这种扩展校准是防止样品分析结果超量程的保险策略。防止此类超量程错误可避免不得不稀释和重新测量样品导致的时间陷阱。

一些分析人员通常会对每个样品进行多种程度的稀释，确保痕量和常量元素都在检测器的范围内。稀释倍数较低的溶液制备用于分析痕量分析物，稀释倍数较高的溶液则用于测量常量元素。Agilent 7850 仪器通过使用超高基质进样 (UHMI) 系统，可基本消除对常规 ICP-MS 样品类型进行额外稀释的需求。UHMI 在样品气溶胶穿过雾化室进入炬管时对其进行稀释，无需进行费时的手动稀释，同时无需购买传统的液体自动稀释工具。借助 UHMI，7850 可耐受总溶解态固体 (TDS) 含量高达 25% 的各种样品基质，而无需将每个样品稀释至目标 TDS 含量。气溶胶稀释设置经过校准并存储，提供一系列预设稀释倍数，可以根据测量的一种或多种样品类型进行合适的选择。



安捷伦超高基质进样 (UHMI) 系统可轻松处理含有高达 25% 总溶解态固体 (TDS) 的复杂样品基质。使用 UHMI 可缩短样品前处理时间和减少错误，并为分析提供更出色的长期稳定性。

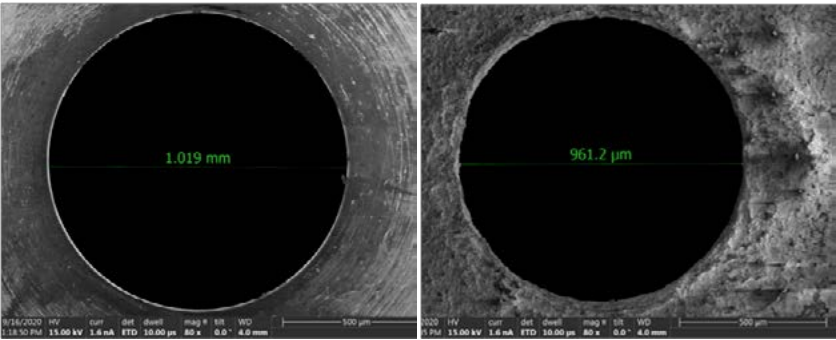
使用具有高基质耐受性的 ICP-MS 意味着您可以使用标准方法进行样品前处理，例如也可以将现有的 ICP-OES 样品前处理过程用于 ICP-MS。为了节省更多的时间，经过优化的 ICP-MS 方法通常能够在单次运行中测量所需浓度的所有元素（常量元素、痕量元素、氢化物元素和汞）。这样就无需针对以前可能用于测量常量元素或氢化物和汞的不同分析技术制备样品。例如，一些实验室使用 AAS 或 ICP-OES 测量高浓度元素，使用 GFAAS 或 ICP-MS 测量痕量元素。其他的单独技术（例如原子荧光）可用于测量通常认为 ICP-MS 无法运行的单个元素（例如 Hg）。使用一种技术从一次样品运行中获得所有元素数据可节省大量的时间，减少错误和污染，并简化实验室服务、设备、消耗品甚至员工培训。

### 无需使用基质匹配标样

通过 ICP-MS 分析高基质样品时，如果等离子体的能量过低，可能会发生信号抑制。等离子体必须具有足够的能量以完全分解基质，并对分析物元素进行离子化。等离子体抑制导致高基质样品中分析物元素的信号降低（因此，实测浓度较低）。

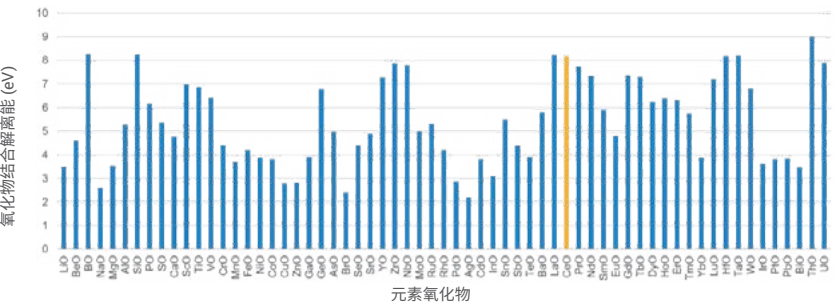
解决基质抑制问题的一种方法是尽量使校准标样的基质与样品基质相匹配。这种方法存在几个问题，包括分析人员需要提前了解样品基质，这在运行食品或环境样品混合批次的实验室中并不总是可行。基质匹配与样品具有相同基质的标样是一项繁琐且耗时的工作，甚至可能需要在分析之前进行样品筛查。您可以使用更稳定的等离子体避免进行基质匹配。稳定的等离子体可在高能量水平运行。高能量使等离子体能够分解基质，并且即使基质水平发生变化，仍具有产生一致浓度的分析物离子的能量。

等离子体稳定性对于长期稳定性和基质耐受性同样至关重要。如果等离子体没有足够的能量分解基质，一些基质会沉积到仪器的接口锥上。沉积物会改变锥孔的形状，从而降低灵敏度并增加信号漂移。对于包含高浓度“难熔”（高熔点）矿物（例如 Al、Mg、Si 和 Ca 的氧化物）的样品，这种影响更为显著。



ICP-MS 采样锥孔口的这些放大图像显示了运行高基质样品的影响。右图显示了进行了样品分析后的采样锥，其中基质沉积物导致孔口的尺寸和形状发生了微观变化。

如果常常测量高基质样品或不同基质的样品，则必须使用配备稳定等离子体的仪器。通常使用  $\text{CeO}^+$  的百分比含量监测 ICP-MS 仪器的稳定性，并通过  $\text{CeO}^+$  与  $\text{Ce}^+$  的强度比对其值进行测量。 $\text{CeO}^+$  的百分比含量较低 (< 1.5%) 表明等离子体具有足够的能量解离强结合的  $\text{CeO}$  分子离子。 $\text{CeO}$  的百分比含量较低的等离子体能够更好地分解基质和其他多原子离子，因此干扰更低，高基质样品的运行时间更长，漂移更少。同时，无需因漂移导致的 QCs 不合格而重新校准和重新测量样品。



如果等离子体足够稳定，能够分解强结合  $\text{Ce-O}$ （以黄色显示），则具有足够用于解离可能的干扰氧化物离子的高能量。这正是使用  $\text{CeO}^+/\text{Ce}^+$  比值衡量等离子体稳定性的原因所在。

## 避免化学稳定性问题

化学不稳定性会导致分析问题，例如稳定缓慢、样品交叉污染、不稳定的内标以及非线性校准等。过去，ICP-MS 分析人员经常需要处理化学稳定性问题。这是由于有时将 ICP-MS 组合技术用于分析多种不兼容的元素，分析人员努力避免产生光谱干扰。

与传统技术（例如 GFAAS）相比，ICP-MS 测量的分析物数量更多，这意味着化学性质不兼容的元素通常一起测量。早期的 ICP-MS 用户快速确定了只使用硝酸进行样品消解和稳定。由于样品中的水和等离子体周围的空气已经对 H、N 和 O 产生了影响，所以硝酸 ( $\text{HNO}_3$ ) 在 ICP-MS 中不产生任何额外的光谱干扰。避免使用其他酸（例如盐酸 ( $\text{HCl}$ ) 或硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )），因为高浓度的 Cl 和 S 会导致 ICP-MS 谱图中大量的其他多原子离子重叠。

然而，避免使用 HCl 本身也会导致问题，因为许多元素仅在硝酸中不溶或不稳定。由于使用标准氦气模式碰撞/反应池可以有效地解决基于 Cl 的多原子干扰，所以安捷伦 ICP-MS 仪器现在可以常规添加 HCl 以提高样品/分析物的稳定性。实际上，Agilent 7850 的氦气模式能够有效、可靠地控制典型 ICP-MS 应用中所有常见的基质干扰。请注意，US EPA 方法 200.8 目前不允许在测量饮用水时使用氦气模式。在测量其他类型的水（例如地下水和废水）时允许使用。饮用水是一种相对简单的基质，因此测量受到氦气模式可消除的多原子干扰的影响较小。

向样品中常规添加 HCl 进行 ICP-MS 分析是消除大多数化学稳定性问题并获得准确结果的快速、简便方法。加入 HCl 甚至可以解决与汞分析相关的冲洗问题和稳定性问题。您无需单独制备样品或使用单独的技术分析 Hg，因此简化了整个工作流程。

## 防止污染问题

不正确的实验室操作可能会导致任何分析技术的污染问题，但在 ICP-MS 的痕量水平分析下污染可能更为明显。如果在使用 ICP-MS 之前使用了其他原子光谱技术，则需要注意 ICP-MS 与 AAS 或 ICP-OES 等在测量灵敏度方面的巨大差异。将方法从单元素技术（例如火焰原子吸收光谱或石墨炉 (GF) 原子吸收光谱）迁移到多元素 ICP-MS 时也需要进行类似的考量。单元素标准品只需要进行目标元素浓度认证，而多元素 (ICP) 分析标准品还需要进行不含其他元素的认证。由于各种单元素标准品中存在其他元素污染物，所以混合多种 AAS 标准品用于 ICP-MS 分析可能会导致错误。

为了保持较低且一致的检测限，可能需要调整冲洗方法、移液器使用、水系统和酸/试剂质量。例如，假设您使用微波容器进行酸消解。如果您在样品之间没有彻底清洗微波容器，残留的样品将污染下一个样品，从而导致结果不准确。



许多自动进样器（例如此处所示的 Agilent SPS 4）都可配备防尘罩，以减少样品暴露于实验室内污染源的可能性。



您可以在每个样品批次中加入前处理空白，用于检测因清洗不充分而导致的污染。前处理空白是采用与样品相同的前处理过程得到的空白溶液。通过设置前处理空白的 QC 阈值，在运行过程中分析这个空白样时，任何污染都会被标记出来。

请注意，应基于要求的报告限值而不是分析技术的性能考量污染水平。ICP-MS 能够测量大多数 ng/L (ppt) 级元素。但是，在测量和报告 ppb 级或更高浓度水平的分析物时，ppt 级的污染将不相关或不重要，许多常见的应用中都是如此。

污染还会影响 ICP-MS 样品引入系统，造成之前分析样品的信号残留。样品批次中一个或多个样品的分析物浓度异常高，可能导致后续的一个或多个样品受到污染。这种交叉污染效应对于高吸附性或“粘性”元素（例如汞、硼、钼、钨和铈）尤其明显。这些元素会粘附到样品引入系统的表面，导致后续样品产生错误的结果。对样品和标样使用优化的酸混合（例如加入 0.5% 的盐酸以及常用的硝酸）有助于减少交叉污染。同样，多阶段冲洗程序（依次在碱性冲洗溶液中和酸性冲洗溶液中冲洗自动进样器探头）有助于冲洗除去样品引入系统中的粘性元素。

自动冲洗功能可在冲洗循环期间监测信号，有助于防止交叉污染。Agilent 7850 仪器具有智能冲洗功能，可自动泵送冲洗溶液，直至选定元素的信号降至设定的阈值以下。使用切换阀能够最大程度减少样品引入系统与样品基质的接触，因此也有助于减少污染。

如果您有一个完全未知的样品，或是一个颜色奇怪或气味奇怪的样品，则有必要进行半定量采集。这将使您能够确定样品中的元素种类及其近似浓度。Agilent 7850 具有名为 IntelliQuant 的功能，可对未知批次中的每个样品进行 Quick Scan 半定量分析，仅增加 2 秒的正常分析时间。您可以使用 IntelliQuant 数据，评估是否需要针对后续批次的类似样品进一步优化仪器设置或样品前处理。



使用酸分液器代替移液器，降低污染风险。

优良实验室规范还可以降低实验室环境污染的风险。通过在“洁净工作台”中进行所有样品前处理和操作，避免空气中的灰尘污染样品。“洁净工作台”通常指带有 HEPA 过滤系统的通风橱式工作台。旨在减少样品处理步骤（例如稀释），因为每个步骤都会增加另一种可能的污染源。

减少任何产生灰尘/颗粒的活动也十分重要，例如，使用无粉丁腈手套以及从实验室中移除产生灰尘的设备（例如打印机和水冷模块）。

以下是降低污染风险的一些关键注意事项：

- 与样品溶液接触的试剂和实验室设备可能导致污染。样品瓶和移液吸头必须不含金属（避免使用彩色移液吸头或样品瓶盖等）
- 不得使用实验室玻璃组件分析水性或酸性样品中的痕量元素。玻璃中含有许多高浓度元素，这些元素易于萃取到溶液中并导致污染
- 用于样品稳定或稀释的超纯水 (UPW) 和酸的质量至关重要。建议使用可提供最终质量  $> 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$  的实验室净水器，以及超纯酸和其他试剂
- 如果要向大量样品中加入相同的酸，请使用瓶口酸分液器，而不是移液器
- 确保使用 ICP-MS 标准品，而不是 AAS 标准品。ICP-MS 标准品经认证具有较低浓度的污染物，因此您不会在标准溶液中引入其他元素
- 请勿直接从原装标准品或酸容器中移液。应将其倒入洁净的塑料杯中。请勿将未用完的溶液倒回原装溶剂瓶中
- 正确存储标准溶液，并丢弃任何已过期的标准溶液

### 减少转移步骤

简化和加速样品前处理的另一种方法是减少消解、稀释、过滤和分析之间的转移步骤。

一些实验室使用之后会用于自动进样器的同一支试管进行样品消解。他们使用微波消解系统或限热消解系统，将消解样品时使用的试管直接转移到自动进样器样品架中进行分析。这样省去了样品转移步骤，降低了因其他容器导致污染以及样品混淆的可能性。



Agilent FilterMate 过滤系统使您能够使用同一试管消解、过滤和分析样品。它们与限热消解系统兼容，但不适合用于微波消解系统。



# 分析前筛查样品

## 时间陷阱

合同实验室或其他接收未知组成样品的实验室可能想要在分析之前，或在首次针对新样品类型设置方法时筛查样品。在新的 ICP-MS 实验室中，无论是使用不同的技术（例如 ICP-OES），还是通过在 ICP-MS 上运行高度稀释的样品进行样品筛查曾经都非常普遍。无论是哪种情况，都意味着要运行两次样品；筛查批次中的代表性样品，或者在最糟糕的情况下，每个样品运行两次，而这是一项非常耗时的

工作。

ICP-MS 基质耐受性、检测器动态范围以及去除大多数常见基质干扰的能力方面的提升，使得常规筛查在运行现代 ICP-MS 仪器的实验室中广泛应用。但是一些 ICP-MS 系统的用户仍然依赖于通过筛查新样品类型优化其方法设置。US EPA 方法 200.8 早于许多最新发展起来的 ICP-MS 技术（例如碰撞/反应池），建议通过半定量分析筛查新样品或不常见样品中的高浓度元素。筛查可用于指导样品稀释，也可用于确定样品前处理中可能存在的问题，或通过更改分析方法可以解决的潜在干扰来源。如果接受筛查，实验室如何确保该筛查可提供最有用的信息，并且对实验室效率的影响最小？



解决方案

评估筛查对于您的仪器和样品类型是否必要或有用

如果 ICP-MS 可以在标准操作条件下处理所需的样品类型，则几乎不需要进行筛查。这通常意味着要拥有能够应对高基质水平的稳定等离子体，足以测量常量元素的动态范围以及消除常见基质干扰的可靠方法。例如，Agilent 7850 使用具有可变气溶胶稀释的高基质进样系统，将基质耐受性提高至最高 25% 盐。碰撞反应池中的氦气模式可消除大多数常见的干扰，而无需进行特定于样品或元素的设置（请参见“[使用氦气模式控制多原子干扰](#)”）。此外，该仪器的宽动态范围使其可以在一次测量中完成常量和微量元素的测定，因此无需针对每个样品制备两种不同的稀释溶液。

快速筛查样品的方法

即使采用优化的 ICP-MS 配置和方法，在某些情况下，实验室仍可能收到真正未知或不常见的新样品类型。在这些情况下，快速筛查功能可以通过避免将不合适的基质意外引入仪器时可能出现的问题，为您节省时间。一些 ICP-MS 仪器具有半定量分析功能，可提供样品中所有元素的近似浓度。例如，安捷伦 ICP-MS 仪器具有 IntelliQuant 功能。IntelliQuant 采集氦气模式下的全质量快速扫描数据，从而确定样品中所有元素的浓度以及总溶解态固体含量。IntelliQuant 的半定量结果可以以热力图形式显示于周期表中（如下所示），因此您可以轻松查看每种元素的相对浓度，并比较批次中的不同样品。

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	A															
		L	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		A	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



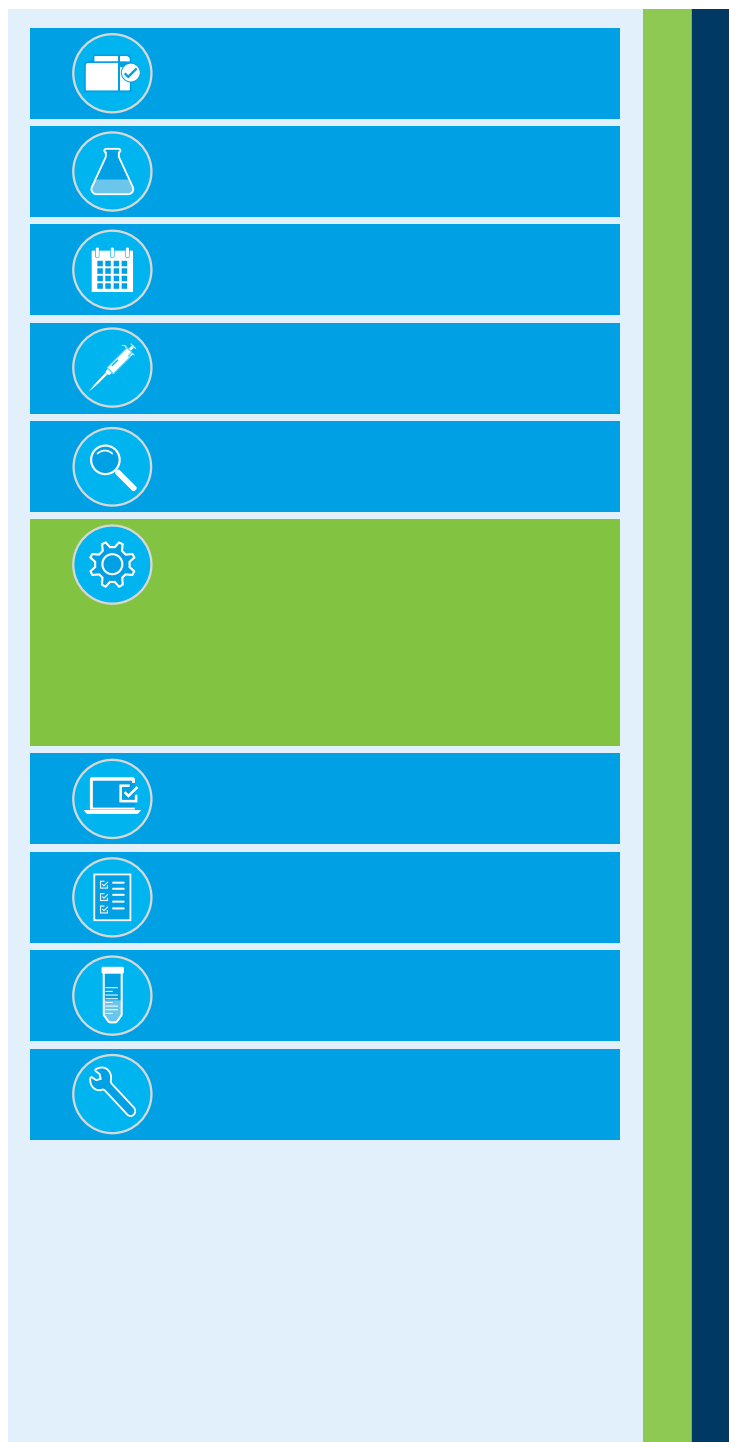
# 设置样品序列

## 时间陷阱

设置样品序列包括：

1. 设置仪器并点燃等离子体
2. 评估仪器性能并纠正任何问题
3. 创建或修改批次详细信息
4. 根据需要进行调谐和校准
5. 载入自动进样器
6. 创建或导入样品列表并定义任何所需的 QC 溶液

在每一个步骤中，都存在可能的时间陷阱以及简化操作的方法。



## 解决方案

### 使用仪器的定期性能检查

在设置 ICP-MS 运行当天的第一个样品批次时，常见的延迟是在点燃等离子体，让仪器升温，运行常规系统检查后，发现一个必须在样品分析之前解决的性能问题。这通常需要您熄灭等离子体并等待系统冷却后才能采取纠正措施。

通过安排在过夜运行结束时自动运行性能检查，您可以在第二天点燃等离子体开始第一个样品批次分析之前确定并解决所有问题。

有关确定和解决常见问题的更多信息，请参见 [“仪器维护和停机”](#)。

### 处理新型或不常见的样品

如果您收到的样品与通常分析的样品不同，则可能需要根据所使用的仪器调整方法设置。

如果无需对标准方法设置进行大量更改即可处理不常见的样品，则可以节省大量的时间，但这需要 ICP-MS 具备一些特定功能。

- ICP-MS 可能需要分析各种高基质样品，因此等离子体的稳定性是重要的考虑因素
- 对于各种未知样品，常量元素可能会导致新的以及非预期的光谱重叠，因此拥有 He 碰撞模式等功能，以去除多原子离子，将有助于确保结果的准确性
- 未知样品中的目标分析物含量可能高于预期水平，因此具有宽动态范围的 ICP-MS 将有助于确保获得有效的结果，而不会报告需要重新运行样品的超量程结果

### 简化添加样品批次详细信息

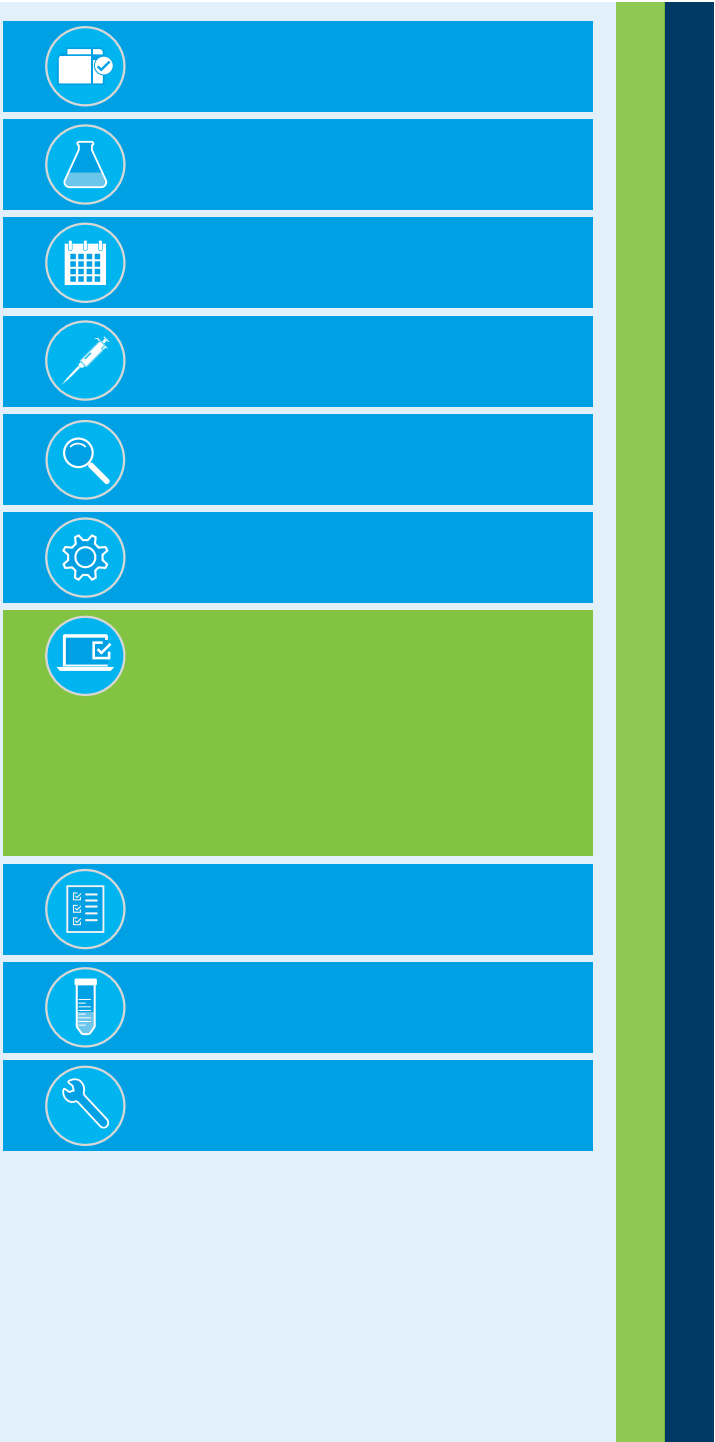
现代 ICP-MS 仪器可以通过多种方式简化样品分析设置：

- 在一次运行中完成常量和微量元素的测定。您目前可能正在运行两个单独的样品批次，其中一个批次用于测量高浓度（“常量”）元素，另一个批次用于测量低浓度（“微量”和“痕量”）元素。这些测定甚至可以使用单独的技术来完成。具有极宽动态范围的 ICP-MS 检测器的开发克服了这一局限性，因此您现在可以在一个样品批次中测量所有元素
- 测量同一批次不同样品中的不同元素，例如饮用水样品中的 20 种元素，土壤样品中的 12 种元素以及废水样品中的 8 种元素。对于某些仪器，由于方法固定，您只能测量每种样品中的相同元素。您必须设置三种不同的测量，每个样品类型一种。一些 ICP-MS 仪器（例如 Agilent 7850）采用“子列表”功能，使您可以选择不同样品中要测量的特定分析物组。通过使用子列表，您可以在一次分析运行中运行所有饮用水、土壤和废水样品，并使用单个全局校准，而无需浪费时间采集其他样品类型中特定目标元素的数据
- 自动计算稀释倍数。这是一种简单有效的方法，可以节省设置样品列表和输入校准标样的时间。通过输入或导入样品重量和体积（可以由前处理实验室创建以及从 LIMS 下载），仪器软件将确定实测浓度和报告浓度。通过对混合储备液进行系列稀释创建校准标样时，该软件有可能使用乘数计算所有分析物浓度，从而为您填写整个标样表，而无需您输入每个标样中每种元素的浓度
- 从 LIMS 系统导入样品信息可避免繁琐的数据输入
- 该功能使您可以将序列中的不同样品类型指定为不同的样品“块”，例如，一个校准标样块、一个未知样品块、一个 QC 和空白溶液块等。这些样品块可以按照指定的顺序和/或指定的样品编号或时间触发运行。可以预定义这些样品块，将其保存到模板中，并在每次分析运行中重复使用，因此分析人员只需要更新未知样品列表

# 监测样品分析

## 时间陷阱

ICP-MS 可以生成大量的数据。整个样品批次通常包含 200–300 个未知样品，以及约 10 个校准标样和多达 50 个 QC 溶液。每个样品可能得到 30 种或更多分析物以及内标的结果，每种分析物或内标平行分析三次。由于不同的样品类型和常量元素可能在每个样品中产生不同的误差，因此监测运行以确保数据质量可能面临挑战。数据表可能会让人眼花缭乱，因此，查看显示于屏幕上的结果是一项艰巨的任务，对于没有使用经验的用户尤其如此。查看大量数据可能会遗漏问题，导致需要对样品进行重新分析，以解决本可以在运行过程中发现并轻松解决的问题。





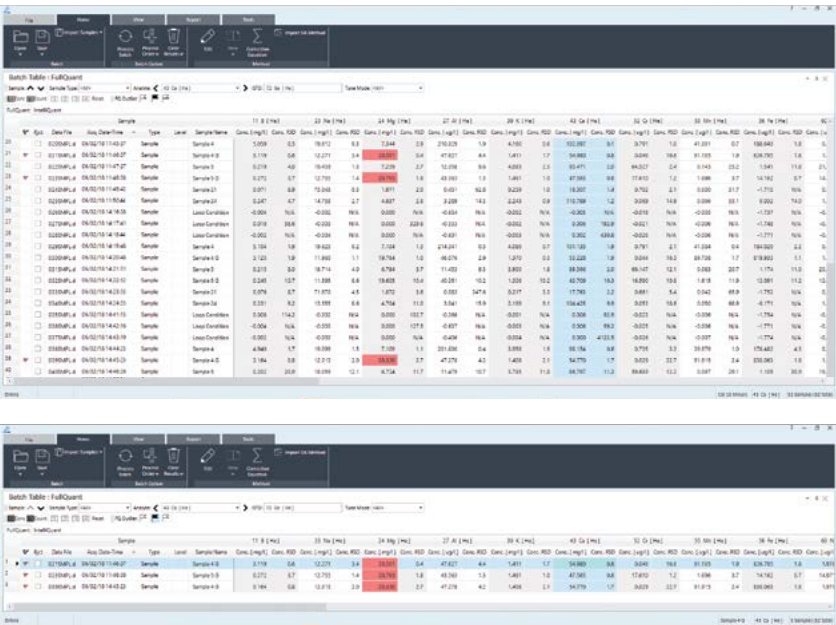
解决方案

防止出现样品错误

使用的仪器和方法在简化结果监测方面均发挥着重要作用。请参见“[创建最大程度减少样品错误的方法](#)”。

标记异常结果

分析人员的经验和知识有助于解析 ICP-MS 结果。然而，最新一代 ICP-MS 系统内置多种功能，可简化并加速经验不足的分析人员的工作。例如，优化的 ICP-MS 系统配置和方法可以消除用户以前可能难以确定和纠正的多种错误来源。数据分析工具还可以帮助新用户进行审查过程。通常可以筛选显示的结果，标记任何不符合指定标准的结果，例如 %RSD 或 QC 的异常数据。这样就可以轻松识别有问题的结果（如下图所示）。

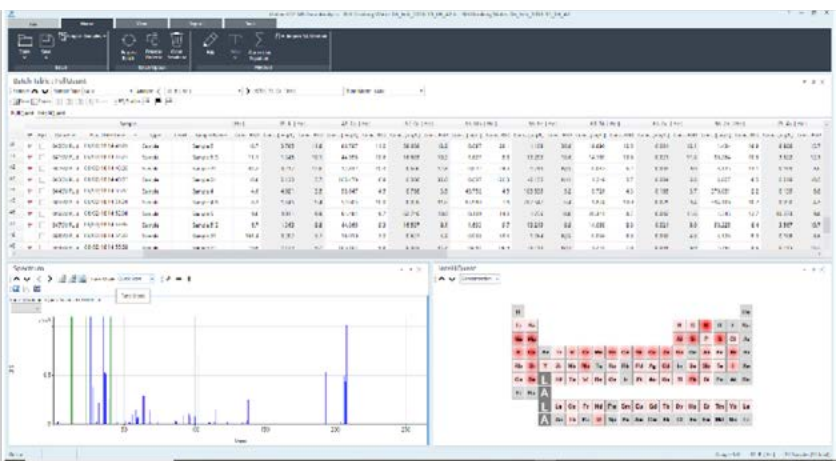


Agilent MassHunter 异常值条件格式功能可标记任何不符合指定标准的样品结果。红色标记突出显示有问题的结果，并可以使屏幕上只显示这些结果，以便更轻松地对它们进行故障排除。

发现样品前处理错误、意外或异常的分析物或基质水平或污染

除了在数据表中标记可能的错误外，ICP-MS 软件还可能包含一些实用工具，可帮助用户确定造成问题结果的原因。如果您的 ICP-MS 方法能够在分析过程中采集每个样品的全质谱图，则将其用于故障排除。例如，忙碌的分析人员可能会在样品前处理过程中添加酸时遗漏样品瓶。如果全质量扫描未发现 Cl 或其含量较低，则表明该样品中未添加 HCl。

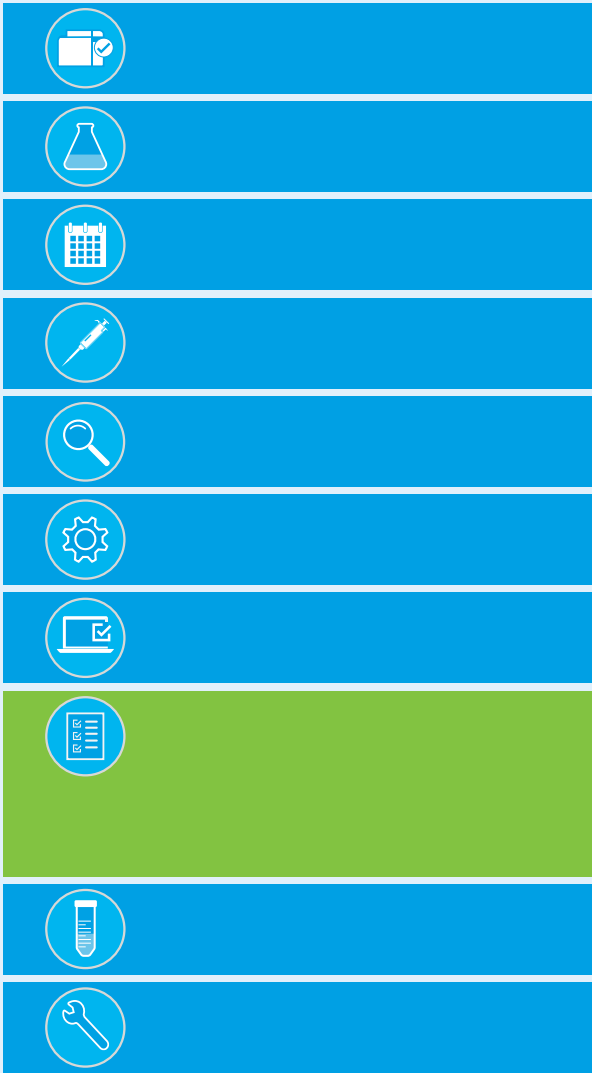
一般而言，如果您的实验室测量大量不同的未知样品，则特定样品中可能存在意外的基质组分或高浓度的分析物。可以从全质谱数据中快速、轻松地识别这些意外元素。在下图中，各样品的定量结果显示于屏幕上方的表格中。左下方所示为测量选定样品得到的快速扫描全质谱图。右侧的 IntelliQuant 元素周期表视图显示了快速扫描谱图找到的所有元素的浓度范围。这些半定量结果中最多包括 78 种元素，而不仅仅是定量分析中涉及的分析物。这种可视化显示使您可以快速比较样品，并确定因污染、意外样品基质或样品基质标记错误导致的任何意外或不常见元素。



# 审查并报告结果

## 时间陷阱

与运行期间的数据实时检查一样，在分析完成后检查一行又一行的样品结果是一项繁琐且容易出错的任务。面对典型的多元素 ICP-MS 批量分析给出的大量结果，您很容易感到不知所措。可能会遗漏异常值和假阳性或假阴性结果，并可能报告错误的结果。不止审查数据是一个时间陷阱，不合格样品的重新测量也会浪费时间。更糟糕的是，客户查询或使用报告的错误结果做出重要的决定，可能会损害其声誉。但是，如果没有未知样品中分析物的目标值或预期范围，您如何（为自己和客户）确认报告结果的准确性。实验室通常会得出这样的结论，为了安全起见，他们需要重新运行结果意外的样品，或者使用其他技术运行这些样品以确认数据。这些操作都需要花费额外的时间和精力，并严重影响生产力。





解决方案

创建最大程度减少样品错误的方法

方法开发在缩短审查结果所需的时间方面发挥着重要的作用。如果 ICP-MS 具有应对样品基质的稳定性以及测量所有分析物的动态范围，则可以最大程度减少数据错误。同样，可以使用适当的池条件控制谱图重叠。

通过使用可以解决导致不可靠数据的常见原因的设置，ICP-MS 分析人员可以更快、更轻松地进行数据审查和报告，并且不易出错。例如，Agilent 7850 仪器中的氦模式碰撞池可最大程度降低多原子离子的影响，消除意外基质元素引起的重叠，并解决对内标的干扰。这也意味着您不必使用校正公式解决常见的多原子离子重叠问题。由于校正公式未考虑可能存在的所有干扰，因此该公式通常可能会导致其他错误。

使用可校正双电荷离子干扰的功能也同样实用，尤其在您可能接收含有钡或稀土元素的样品时。该功能可以内置于您的方法中，以便在报告的结果中自动校正双电荷离子导致的干扰。

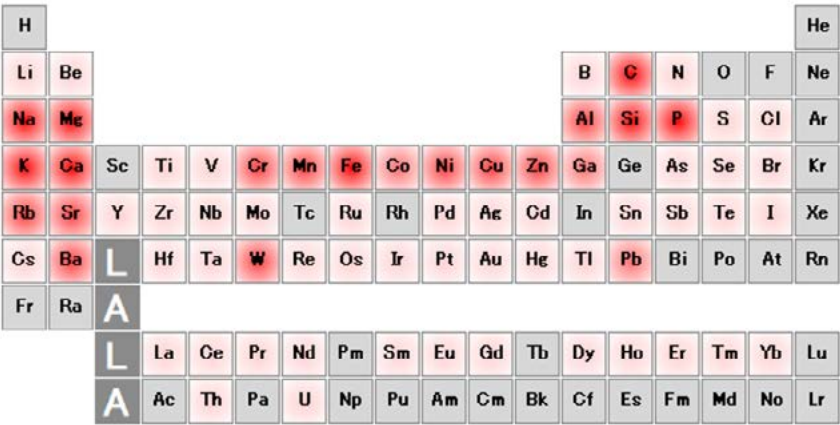
使用二级定性同位素进行分析有助于常规数据确认，从而提高结果的可信度。如果对结果存有疑问，二级同位素数据也是有用的备份。您可以比较两种同位素的结果，如果它们相同，则可以确认结果准确。

在调查异常结果或客户查询结果时，使用快速半定量分析工具（例如 7850 的 IntelliQuant 功能）非常有用。IntelliQuant 可以检查样品的全部元素组成，确定每种元素的近似浓度。可以将样品的意外结果与 IntelliQuant 结果进行比较。IntelliQuant 全质量扫描还可用于通过元素的同位素丰度模式确认其是否存在。这一功能在一个黑巧克力样品中得到了充分展示（如本页所示），其中 IntelliQuant 同位素丰度模板证实了 ppm 级意外元素钨 (W) 的存在。

使用软件工具进行数据分析

许多高通量实验室将他们的数据导出到专门的 QC 程序，以自动进行数据分析。ICP-MS 仪器通常具有使您可以设置限值，并对超出这一限值的结果进行标记或对该样品进行重新分析的功能。Agilent 7850 具有可筛选样品结果的异常值条件格式功能，因此仅显示不符合预定义标准的结果。这样就可以轻松确定需要调查的结果。该功能还可以设置为对不合格的 QC 样品、ISTD 或其他溶液类型进行处理。

许多实验室使用集成的数据系统在实验室系统之间传输信息，例如，将来自前处理实验室的样品重量和体积提供给 ICP-MS，以及向实验室信息管理系统 (LIMS) 报告 ICP-MS 的结果和 QC 标记。在报告方面，能够轻松地将数据导出到 LIMS 系统或第三方报告包是减轻报告生成负担的实用方法。



Agilent ICP-MS IntelliQuant 颜色强度热力图显示了每种元素的相对浓度。该黑巧克力样品显示出相对高浓度的 Ca、Cr、Ni、W 和 Pb。该数据可报告用于校准标样中不包括的元素。

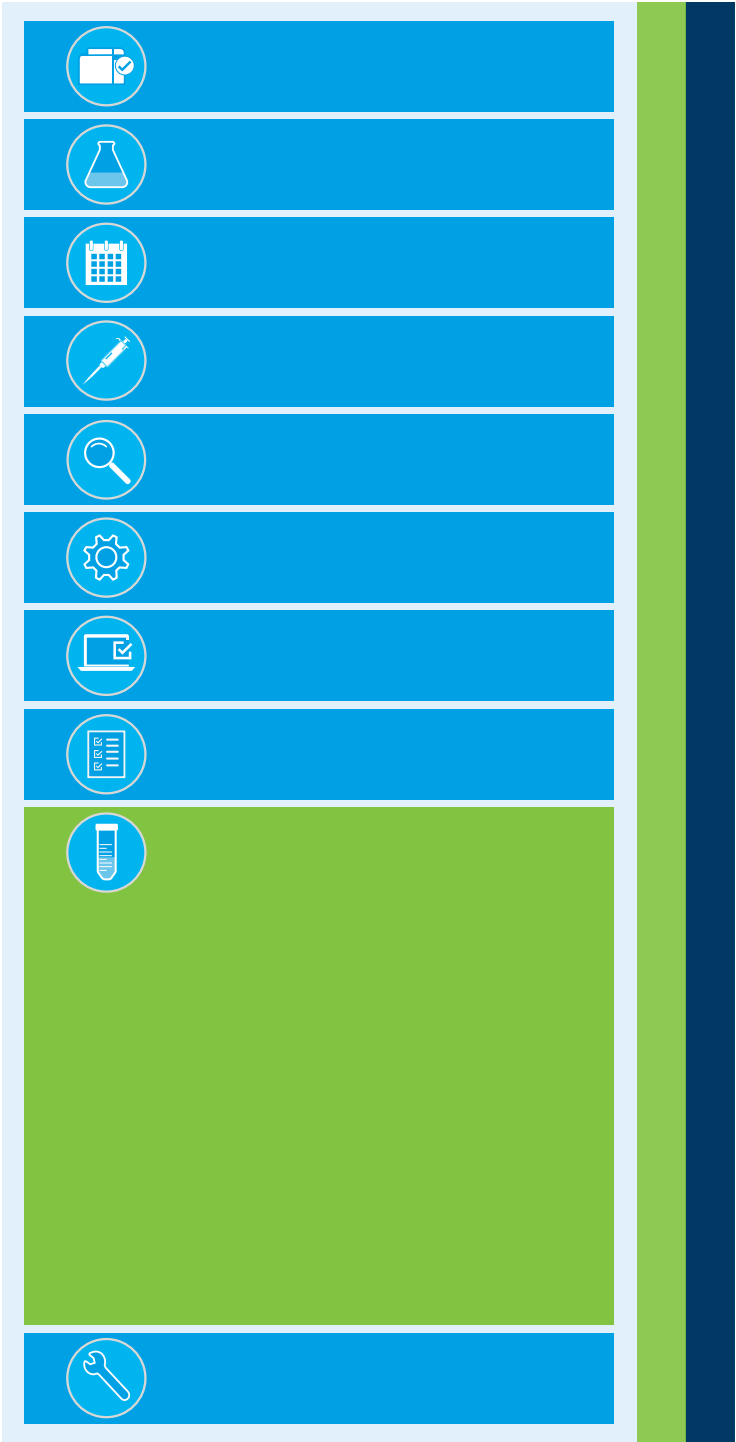
# 重新测量样品

## 时间陷阱

大多数实验室密切关注样品通量和分析效率，但却没有考虑到必须多次测量样品带来的成本。

使用法规方法或实验室创建的方法时，如果 QC 失败，则可能需要重新运行校准、多种不同的 QC 溶液、空白，然后重复分析最后 10 多个样品。对于更难以分析的样品，重新运行样品可能需要重新消解样品以及重复进行 ICP-MS 分析。这一切都会花费大量的时间成本，其中样品重新测量（尽管常常被低估）对于 ICP-MS 实验室而言是一个巨大的负担。

然而，对于导致样品重新测量的许多原因，有相对简单的方法可以避免可能的时间陷阱并简化常规 ICP-MS 操作。



## 解决方案

导致必须多次测量样品的原因有很多。以下是一些常见的原因，以及消除或最大程度降低其影响的方法。

### 解决与高基质样品相关的问题

对含有高浓度固体的样品进行扩展分析，可能会因接口锥上沉积物堆积而导致漂移。这些沉积物可能导致灵敏度和精密度不佳，以及 QC 不合格。请参见[“运行高基质样品的技巧”](#)。

手动稀释高基质样品十分耗时，而自动稀释器既昂贵又复杂；稀释还可能引入污染和错误。Agilent 7850 包括超高基质进样 (UHMI) 系统，使用氦气稀释样品气溶胶，可避免传统液体稀释所需的时间和成本。使用具有气溶胶稀释功能的 UHMI，意味着您可以直接进样总溶解态固体含量高达 25% 的混合高基质样品。UHMI 可降低基质效应并减少漂移，这意味着可减少运行中的 QC 不合格，降低内标不合格的可能性，减少重新校准和重新运行的需求，减少样品相关（例如抑制）问题

### 防止样品之间的交叉污染

样品批次中意外存在的高基质样品中高吸收性或“粘性”元素（例如 Hg、B、Mo、W）的残留会导致下一个样品被污染。这种污染会导致结果偏高、出错。在样品前处理过程中添加 HCl 稳定样品溶液，可以改善多种元素的溶解性和稳定性，有助于减少交叉污染造成的误差。

自动冲洗功能可在冲洗循环期间监测信号，同样有助于防止交叉污染。Agilent 7850 仪器具有智能冲洗功能，可自动泵送冲洗溶液，直至信号降至设定的阈值以下。

### 在影响结果之前发现仪器性能问题

在每天开始分析前运行自动化仪器性能检查，可以识别仪器或辅助系统的故障（例如氦气压力、冷却水流量、排气口运行）。这些检查在系统启动期间执行，可标记所有问题，避免其影响分析性能。

如果在每天的序列结束时添加运行后性能检查，您可以在第二天启动仪器之前便获得结果，让实验室赢在起跑线。运行后性能检查使您能够在启动仪器之前确定并解决问题，从而节省第二天的时间。Agilent 7850 让您可以在任意样品批次前安排运行性能检查，从而有助于审核数据质量。运行后性能检查也可以安排在分析队列的末尾。

### 避免不正确的方法设置

仪器方法设置会严重影响分析结果。为避免发生此类情况，可以将有证标准物质 (CRM) 作为实验室对照样品 (LCS) 添加到样品批次中进行分析。在方法开发过程中，应尽量包括基质与样品基质类似的 CRM。测量 CRM 时，应当能够在痕量水平获得良好的回收率。如果无法在痕量水平获得良好的回收率，则需要对该方法进行进一步优化。

使用预先准备好的方法和方法优化工具同样有助于正确设置方法。更多信息请参见[“开发新方法”](#)。

## 防止样品管导致的问题

蠕动泵管磨损、泄漏或调整不当将导致结果精密度不佳，并可能不得不重新测量样品。

定期日常维护能够防止蠕动泵管出现问题。在每天开始分析时或在标准操作程序有所要求的情况下，检查蠕动泵管的弹性、圆度、连接和张紧力。切记在每天分析结束时松开蠕动泵管，延长其使用寿命。这些检查可以降低由于泵管问题而不得不重新测量样品的风险。还可以避免浪费时间，等待新泵管磨合。更多信息请参见“[维护泵管](#)”。

同样，在每天开始分析和运行结束时运行自动化仪器性能测试将确定结果精密度是否符合制造商的性能指标。

## 最大程度减少污染

ICP-MS 是一种非常灵敏的技术，因此污染可能是产生误差进而导致样品重新测量的主要原因。更多信息请参见“[防止污染问题](#)”。

## 消除干扰

有多种干扰来源可能导致痕量元素的 ICP-MS 测定结果不准确<sup>[5]</sup>。对此，大多数现代仪器都有不同的处理方法。例如，Agilent 7850 具有氦气池模式（参见“[使用氦气模式控制多原子干扰](#)”），可基本消除因多原子干扰导致的数据错误，这意味着受基质型错误影响的样品更少。He 碰撞模式还使您能够获得定性同位素，从而有助于确认数据的有效性。获得可靠结果意味着可减轻重新运行样品以检查查询数据的压力。

通过半质量校正算法可以消除由稀土元素的双电荷离子导致的干扰。请参见“[校正双电荷干扰](#)”。



5. 有关不同干扰类型的说明，请参阅 US EPA 方法 200.8



## 避免校准问题和超量程样品

非线性校准和超出校准范围的样品是导致重新测量的常见原因。

仪器检测器的动态范围对这一问题的发生频率有很大的影响。宽动态范围使您可以在标准方法设置下测量常量元素（无需自定义衰减），从而减少超量程和超出校准范围的结果。更多信息请参见“[防止校准问题](#)”和“[防止超量程错误](#)”。

## 减少样品混合和前处理问题

样品混淆不应该发生，但忙碌的实验室工作人员难免会犯错误。在将样品加载到自动进样器样品架中时，将样品瓶放在错误位置的简单疏忽可能会导致错误，而这些错误可能难以发现并纠正。还可能在将样品架装到自动进样器上的时候发生混淆。

使用样品条形码系统有助于最大程度避免混淆。在样品前处理开始时就对样品试管进行条形码编码，在整个样品前处理过程中使用同一支试管，直到进行分析，能够最大程度减少混淆。在运行中设置 QC 溶液和平行样品也有助于避免这个问题。

减少样品从一个容器转移到另一个容器的次数也可以降低混淆的风险，并有助于控制污染。更多信息请参见“[减少转移步骤](#)”。

## 消除结果疑虑

结果存疑是浪费时间重新测量样品的另一个常见原因。有时，可以使用测量样品时采集的其他数据确认原始结果，从而避免重新测量。安捷伦 ICP-MS 方法可包括快速扫描全质谱图，用于采集全质谱图并计算每个样品中每种元素的半定量浓度。对于大多数分析物，二级同位素可用于确认结果。

IntelliQuant 数据还可用于确定样品前处理过程中的错误。例如，Cl 的信号强度较低可能表明样品前处理过程中未添加 HCl。

在调查现场问题时，全质谱图数据也非常有用。例如，您的生产设施可能遇到与钛 (Ti) 相关的问题。您没有在标样分析中引入 Ti，但您拥有所有样品运行的全质谱图数据，可用于查看 Ti 的浓度何时开始升高。然后，可以使用所得信息追踪生产中出现问题的原因。



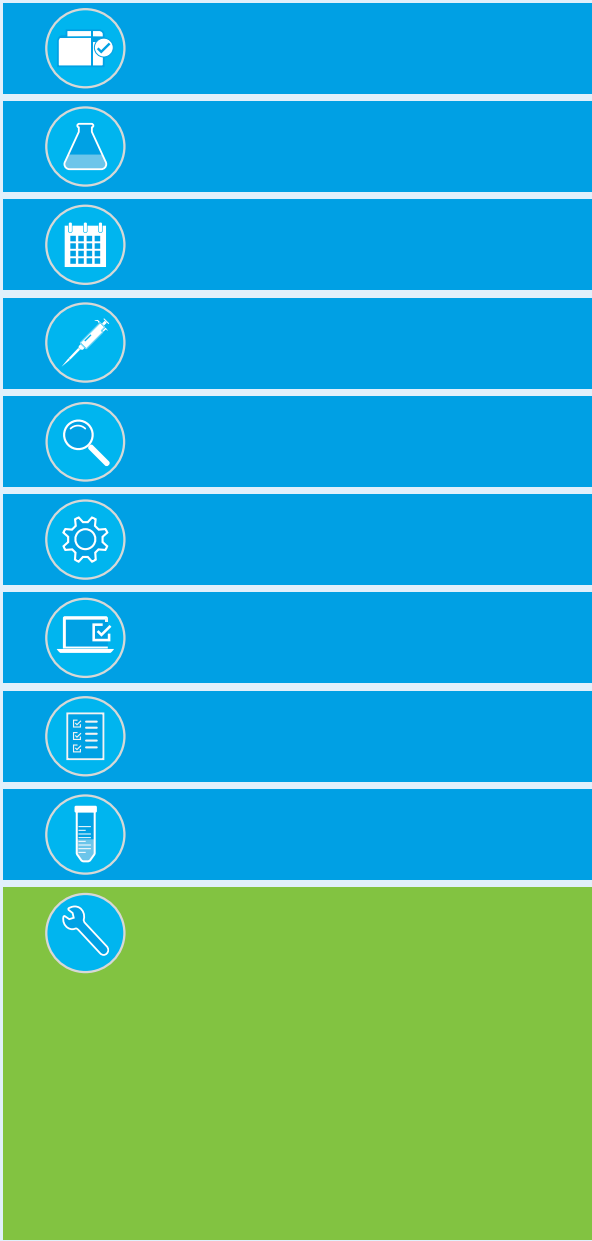
### 不熟悉 QC 溶液？

无法区分内标和质量控制样品？这些术语的定义可参见 US EPA 方法 200.8 的第 5 页（单击[此处](#)访问）。

# 仪器维护和停机

## 时间陷阱

有一种常见的误解，认为 ICP-MS 仪器的维护复杂、耗时且昂贵。同样，一些用户认为他们的分析仪器会日复一日地正常运转，而无需任何维护或注意。实验室通常还会将仪器停机时间列为最大的痛点之一。然而，服务工程师常常在到达现场后发现仪器只需要清洁或常规调节。如果分析人员了解如何操作，这些简单任务本可以由他们执行。





## 解决方案

### 使用内置的仪器性能检查

商业实验室通常样品量较大且具有最大程度提高分析效率的压力，而建立定期维护计划可确保最佳的仪器性能，避免在分析过程中由于小问题而导致停机。在每天开始分析之前以及无人值守过夜运行结束时运行自动化仪器性能检查，是一个不错的应对策略。该性能检查可在开始分析之前确认仪器的状态。这种检查可减少白天性能下降时需要停止分析并重新运行样品的可能性。大多数 ICP-MS 仪器具有内置性能测试，还可能测试辅助系统，例如排气口温度和气源压力。

Agilent 7850 ICP-MS 具有在分析队列中安排运行后性能检查以及进行典型的运行前检查的功能。运行后检查在过夜运行仪器的情况下非常实用。当您第二天返回实验室时，运行后检查结果将指示在开始下一个分析之前是否需要解决任何问题。无需等待预热和运行前检查即可知道是否需要维护或调节。

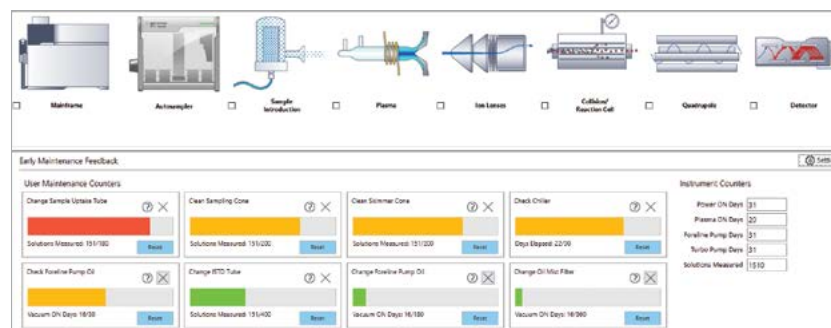
### 正确进行预防性维护

许多实验室的日常工作或标准操作程序中都包括仪器的维护和清洁。但何时进行这些操作可能取决于仪器的默认设置、上一代仪器，或者针对不同样品类型或采用其他金属分析技术执行的操作。您可能过于频繁地清洁接口锥或更换泵管，这会浪费时间和金钱。相反，实验室程序中记录的清洁和维护计划会被遗忘或忽略，尤其是在实验室时间紧迫的情况下。不执行这些任务可能对结果造成极大影响，并会因不得不对问题进行故障排除以及可能重新测量样品而造成时间浪费。

现代仪器通常具有内置的智能状态检查和其他功能，可告知您何时需要进行维护或清洁。例如，7850 ICP-MS 具有早期维护反馈 (EMF) 系统，允许用户设置警报，以提示分析人员执行常见的预防性维护任务。可以根据实验

室要求、已经运行的样品数量、运行时间或传感器的反馈配置这些警报。正如建议的汽车保养间隔会根据环境和驾驶条件而变化一样，ICP-MS 的日常维护也会随样品数量和类型而变化。与仅仅基于购置时间相比，这可以提供更准确的维护周期计划，是维护仪器性能的更好方法。可根据实验室通常运行的样品类型对警报进行调整。例如，分析干净水样的 ICP-MS 所需的维护频率比用于分析复杂高基质样品（例如酸消解土壤）的 ICP-MS 低得多。

EMF 功能的另一个巨大优势是可以在审计过程中用作证据。例如，如果您实验室的日常维护周期为三周，但在这三周时间内实验室仅运行了 50 个样品，则维护可能发生了延迟。如果审计人员质疑为什么没有进行维护，则可以使用 EMF 功能中的数据证明，由于样品载量降低，无需安排维护。实际上，实验室可能会发现他们可以完全摆脱基于时间制定的维护计划，并摆脱 ICP 维护纸质记录。EMF 功能可保留全部数据，并为您制定维护计划。另一种有用的功能是将维护监测工具与用户指南和视频教程关联，并向您展示如何执行所需的维护任务。这是节省时间并确保正确执行维护操作的好方法。



7850 使用 [早期维护反馈](#) (EMF) 传感器和计数器，根据运行时间或测量的样品数量确定何时需要维护。交通信号灯式颜色预警确保您不会错过任何维护任务（例如更换泵管、清洁接口锥或更换真空泵油），但也不会过于频繁地进行维护。

## 使用内标检测问题

大多数分析人员在他们的 ICP-MS 样品中添加内标 (ISTDs)。但是许多用户不会监测或检查 ISTD 信号，除非它们不满足方法 QC 要求。如果内标信号开始漂移，通常表明存在未解离基质到达接口锥的问题。通常，可以通过在更稳定的等离子体条件（优化实现低  $\text{CeO}^+$  百分比或以较高的 UHMI 稀释倍数运行）下运行 ICP-MS 来解决这一问题。此外，EMF 计数器可以指示未执行的计划维护操作（导致信号漂移）。内标信号还可用于确定其他与样品相关的问题，例如基质或电离抑制。同样，优化以实现更出色的等离子体稳定性可以减少或消除这些问题。

## 避免服务请求的简单方法

稳定缓慢、交叉污染、不稳定的内标以及非线性校准等问题通常会导致服务支持请求。在样品前处理过程中，通常只需简单地向样品中加入至少 0.5% 的 HCl，即可避免与这些问题相关的停机。大多数分析人员认为无法在 ICP-MS 上测量汞，而加入 HCl 甚至可以解决与之相关的冲洗问题和稳定性问题。采用 ICP-MS 碰撞/反应池的氦气模式可消除因加入 HCl 导致的任何 Cl 干扰。

老旧泵管表面可能被沉积物覆盖，从而增加吸附性或“粘性”元素，因此定期更换蠕动泵管还可以减少稳定或冲洗缓慢等问题。



## 运行高基质样品的技巧

测量高基质样品通常会导致更频繁的清洁需求。如果等离子体未得到充分优化，则无法完全分解基质，从而导致接口锥上沉积物堆积。

如果面临高基质样品问题，可以使用一些简单的策略：

- 优化以实现更出色的等离子体稳定性（低 CeO）。稳定条件是安捷伦 ICP-MS 系统的默认设置，但新用户或从非安捷伦系统转用安捷伦系统的用户对此可能并不熟悉
- 提升稀释倍数，例如使用更高的气溶胶稀释倍数。也可以通过手动或使用自动稀释工具进行液体稀释，尽管这些方法可能会增加时间和成本
- 增加一个切换阀（例如安捷伦集成样品引入系统 (ISIS)），以缩短样品吸取时间并延长冲洗时间。这一更改将减少接口上的总体基质负载，从而减少漂移，并大大提高样品通量

如果面临未溶解颗粒问题（例如导致雾化器频繁堵塞），您可以：

- 对样品进行过滤或离心
- 设置自动进样器针头深度，使其在距离样品管底部较远的上方进行采样，从而最大程度减少试管底部的颗粒被针头吸起的可能性
- 将所用的雾化器类型更换为使用大内径、防堵塞样品流路的雾化器

所需的清洁频率取决于运行的样品类型，以及系统的优化方式。如果空白信号低、灵敏度足够高且稳定性良好，则可能无需清洁系统。如果不用时刻清洁以保持完全洁净的系统，长期结果通常会更好。



### Agilent Captiva 针头过滤器

一次性 Captiva 过滤器可提供较高的流速和载样量。它们有多种滤膜类型和孔径可供选择，以满足您的应用需求。盘式过滤器安装在注射器上，可直接将溶液过滤到样品管中。

推荐用于光谱应用的过滤器：

- Captiva 优级针头过滤器，100/包，PTFE，孔径 0.45  $\mu\text{m}$ ，直径 15 mm（部件号 5190-5085），或直径 25 mm（部件号 [5190-5087](#)）
- Captiva 经济型过滤器，1000/包，PTFE，孔径 0.45  $\mu\text{m}$ ，直径 13 mm（部件号 5190-5266），或直径 25 mm（部件号 [5190-5268](#)）

## 了解如何自行解决问题

如果您了解具体操作，就可以自行解决多种仪器问题。实际上，如果用户能够自己执行基本的故障排除以及交叉污染常规清洁与维护，则可以避免超过 40% 的 ICP-MS 服务请求<sup>[6]</sup>。

ICP-MS 新用户通常会获得关于常规维护任务的说明，但可能不清楚这些任务中哪些需要优先进行。一些分析人员每天清洁接口锥，或将其作为针对任何性能问题的第一响应。虽然接口锥清洁不太可能会降低性能，但它确实耗时，并且通常并非必要。同样，在安装洁净的（或新的）接口锥后会有一段稳定期，通过将接口锥表面暴露于样品基质对其进行老化处理。在此期间，信号可能不稳定，因此保留用过的接口锥可以加速启动并提高稳定性。最好根据需要进行维护以保持性能，而不要遵循未考量分析样品类型和数量的计划。

仪器随附的技术资源（例如在线帮助、培训教程和系统文档）提供了有关如何保持性能的指导。7850 ICP-MS 帮助和学习中心包括许多交互式指导和视频教程，介绍如何执行常见的维护任务，使仪器保持良好的性能。能够自行诊断和解决常见问题意味着您的仪器可以保持正常运行，不必因浪费不必要的时间来等待服务工程师上门而闲置。



6. 基于安捷伦服务请求数据

7850 的“帮助和学习中心”包括常见任务的视频。



### Agilent 7850 ICP-MS

使用 Agilent 7850 ICP-MS 避免 ICP-MS 分析中常见的时间陷阱。这一智能方法可减少时间浪费，让忙碌的工作人员可以专注于更有价值的任务。7850 仪器可以处理固体含量高达 25% 的样品，从而减少费时的稀释步骤。这款仪器具有氦气 (He) 模式碰撞池和半质量校正功能，可避免多原子和双电荷离子干扰，使方法开发更简单，并解决了导致费时的样品重新测量的常见问题。

如需了解更多信息，请访问：[www.agilent.com/chem/7850icpms](http://www.agilent.com/chem/7850icpms)

了解更多信息：

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

如需获取技术问题的答案和安捷伦社区的资源，请访问：

**[community.agilent.com](http://community.agilent.com)**

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)**

本文中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

DE44236.3635416667

© 安捷伦科技（中国）有限公司，2021

2021 年 2 月 10 日，中国出版

5994-2895ZHCN