

配备双池耦合碰撞反应系统的 Agilent 9500 ICP-MS/MS 空气反应模式

利用环境空气实现简便、高效的干扰消除



空气反应简介

单四极杆和串联四极杆 ICP-MS 仪器中的干扰消除技术，对于确保各类样品分析的准确性至关重要。安捷伦串联四极杆 ICP-MS (ICP-MS/MS) 系统，包括 Agilent 9500 ICP-MS/MS，均使用两个四极杆 (Q1 和 Q2) 作为单位质量过滤器，可支持 MS/MS 操作。MS/MS 模式允许在碰撞/反应池 (CRC) 中可控地使用碰撞气和反应池气体。在反应气体模式下，Q1 控制进入 CRC 并与池气体发生作用的离子，Q2 控制能到达检测器的离子。

9500 ICP-MS/MS 配备独特的双池耦合碰撞反应系统 (DCS)，既可在高性能氦气碰撞模式 (AHM) 下运行，也可在空气反应模式下运行。AHM 是针对 9500 ICP-MS/MS 开发的创新碰撞池模式，而空气反应模式无需其他反应池气体即可大大降低干扰。空气反应模式利用实验室环境空气，无需外部气体供应，既简化了操作，又不影响干扰消除的稳定性或有效性。

本技术简报将阐述空气反应模式的原理，并提供该模式有效性的实验证据，突出了 9500 ICP-MS/MS 在常规、无干扰分析中的灵活性。

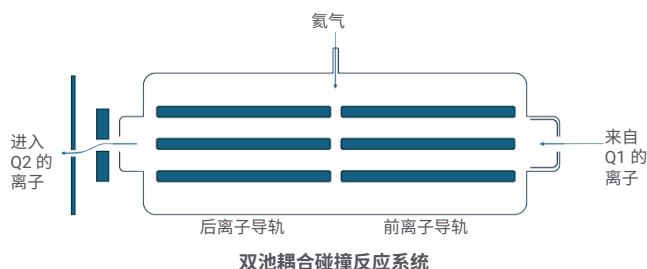


图 1. 安捷伦双池耦合碰撞反应系统 (DCS) 使用空气池气体加压的示意图。DCS 的创新设计使其能利用环境空气作为反应气体来源，无需配备独立的氧气瓶。同时，环境大气压力可直接供入空气，无需额外压缩机增压

利用空气消除干扰的新方法

环境空气主要由氮气 (N_2 ，约 78%) 和氧气 (O_2 ，约 21%) 组成。在空气反应模式下运行 DCS，利用空气中的 O_2 通过离子-分子反应来消除干扰。由于 N_2 的反应活性低于 O_2 ，因此 N_2 主要影响离子的热弛豫。

DCS 配备空气池气体过滤器，可在空气进入池之前有效去除其中的活性污染物，例如水分和烃类化合物。去除这些物质可以防止 DCS 中发生不受控制的反应，从而确保结果可靠。在过滤器前安装自动控制阀，可减少过滤器与环境空气的接触，延长使用寿命。

干扰消除技术对比及空气反应模式的优势

ICP-MS 和 ICP-MS/MS 中消除干扰的方法主要有两种：反应池模式和碰撞池模式。反应池模式通过离子-分子反应来消除干扰。然而，反应池方法的有效性取决于离子与池气体的特定组合，因此无法普遍适用于所有元素。

相比之下，碰撞池模式采用惰性气体（例如氦气 (He)），利用动能歧视 (KED)，通过分析物离子与干扰离子碰撞截面的差异来消除干扰。该技术常用于多原子离子干扰的消除，例如氧化物离子 (MO^+) 和氩基离子 (ArM^+)，使其适用于多种元素的分析。然而，碰撞池模式在抑制双电荷离子干扰 (M^{2+}) 方面效果较差，有时 KED 甚至可能增强干扰。

对于 9500 ICP-MS/MS，空气反应模式与高性能氦气碰撞模式 (AHM) 互补，通过与 O_2 的离子-分子反应消除双电荷离子干扰。

9500 ICP-MS/MS 在 Agilent OpenLab ICP-MS 软件中采用标准的多调谐方法，将 AHM 与空气反应模式相结合。该多调谐方法能够高效地同时消除各类样品基质（包括土壤、海水和食品）中的多原子离子和双电荷离子干扰^[2-4]。

为实现更大的灵活性，还可以在不使用空气的情况下，在 DCS 中使用外部供应的超高纯度氧气 (O_2) 或一氧化二氮 (N_2O)。根据目标元素的不同，这些气体可能提供更高的灵敏度或更低的背景等效浓度 (BECs)。关于反应池气体的更多详细信息，请参阅安捷伦其他技术简报^[5]。

利用空气反应模式消除干扰的示例

消除 REE^{2+} 及多原子离子对砷和硒的干扰

空气反应模式消除干扰的示例是消除稀土元素 (REE) 的双电荷离子对砷 (As) 和硒 (Se) 的干扰。 ^{150}Nd 和 ^{150}Sm 的双电荷离子会干扰 ^{75}As ，而 ^{156}Gd 和 ^{156}Dy 则会干扰 ^{78}Se 。REEs 元素常见于食品和土壤样品中。

为测试 AHM 和空气反应模式在降低多原子离子干扰（如 $ArCl^+$ 和 $CaCl^+$ ）以及双电荷离子干扰 (REE^{2+}) 对 As 和 Se 分析影响的有效性，对三种样品进行了分析。样品包含 1% HNO_3 、2% HCl + 100 ppm Ca 和 10 ppb REE 溶液。

如图 2 所示，AHM 在消除 As 和 Se 的多原子离子干扰方面非常有效，但对双电荷离子效果不佳。相比之下，空气反应模式将 As 和 Se 转化为反应产物离子 (AsO^+ 和 SeO^+)，使其避开 REE^{2+} 和多原子离子干扰，实现对两类干扰的同时抑制。

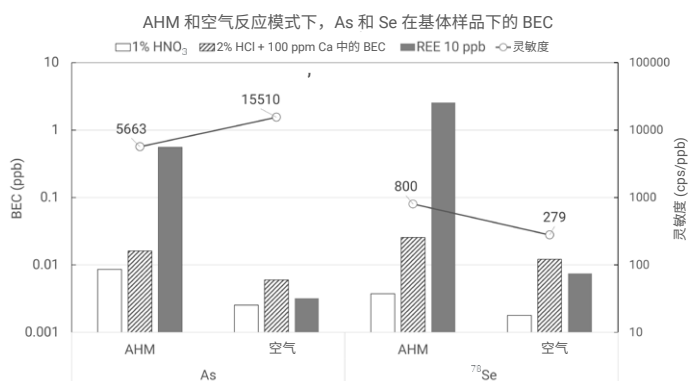


图 2. 在 1% HNO₃、2% HCl + 100 ppm Ca 和 10 ppb REE 溶液中，Agilent 9500 ICP-MS/MS 在 AHM 和空气反应模式下测得的 As (左) 和 Se (右) 的 BECs 与灵敏度

抑制 REE²⁺ 及 REE 氧化物离子对锗和钆的干扰

另一个具有挑战性的应用是含轻 REEs (如 La、Pr、Nd 和 Sm) 的样品中的锗 (Ge) 和钆 (Gd) 的分析。Ge 受到双电荷 REE 离子 (Nd²⁺、Sm²⁺) 的干扰，而 Gd 则受到 REE 氧化物离子 (LaO⁺、PrO⁺) 重叠干扰。

如图 3 所示，AHM 无法降低 ⁷²Ge 和 ⁷³Ge 的 M⁺⁺ 干扰 (BECs 较高)。然而，空气反应模式能够实现相应 GeO⁺ 产物离子的低水平检测。与 AHM 相比，质量转移法显著降低了干扰。对 ¹⁵⁵Gd 和 ¹⁵⁷Gd，AHM 有效消除了 LaO⁺ 和 PrO⁺ 的干扰，与无气体模式相比 BECs 更低。然而，空气反应模式通过将两种 Gd 同位素作为 GdO⁺ 进行检测，进一步改善了 BECs。这些结果表明，在某些情况下，空气反应模式在消除多原子离子干扰方面可能比 AHM 更有效。

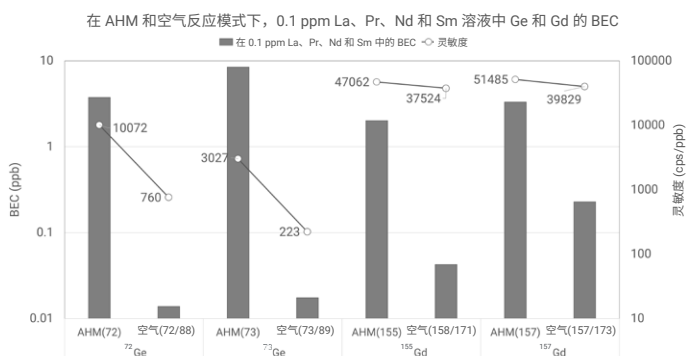


图 3. 在轻 REE 溶液中，Agilent 9500 ICP-MS/MS 在 AHM 和空气反应模式下测得的 Ge 和 Gd 的 BECs。AHM 和“空气”后面括号中的数字表示 Q1 和 Q2 的质量数，例如 AHM (72) 表示单四级杆扫描模式，空气 (72/88) 表示 MS/MS 质量转移模式

空气反应模式下硫、磷和硅的高灵敏度分析

由于受到 O₂⁺、NO⁺ 和 N₂⁺ 等离子的严重干扰，硫 (S)、磷 (P) 和硅 (Si) 是 ICP-MS 分析中难度较大的元素。如图 4 所示，AHM 消除了这些干扰，而使用空气反应模式则能获得更低的 BECs 和检出限 (DLs)，并提供更高的灵敏度。

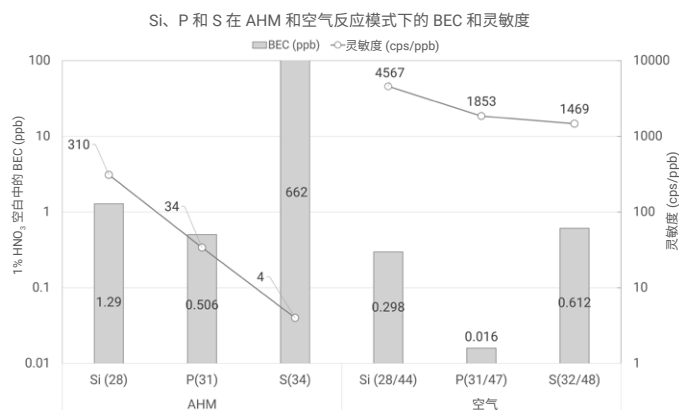


图 4. 采用 Agilent 9500 ICP-MS/MS 在 AHM (左) 和空气反应模式 (右) 下测得的 1% HNO₃ 中 Si、P 和 S 的 BECs。括号内的数字表示 Q1 和 Q2 的质量数

含钽样品中金的测定

尽管使用空气反应模式分析的大多数元素是通过 MS/MS 质量转移法以反应产物离子 (MO⁺) 的形式进行检测，但在某些情况下，原位质量分析也同样有效。图 5 显示了含 0.5 ppm 钽 (Ta) 的样品中金 (Au) 分析的示例。氧化物离子 TaO⁺ 会干扰 Au⁺ 的检测。虽然 AHM 可在一定程度上消除这种干扰，但采用原位质量分析的空气反应模式更为有效。与 As⁺ 或 Ge⁺ 不同，Au⁺ 与 O₂ 的反应活性较低，因此质量转移法不适用。然而，干扰离子 TaO⁺ 能与空气高效反应生成 TaOO⁺，使 Au 在其原位质量数 (m/z = 197) 分析不受干扰。

结论：简单而强大的干扰消除方法

使用 Agilent 9500 ICP-MS/MS 系统的双池耦合碰撞反应系统 (DCS) 运行空气反应模式，仅使用实验室空气作为反应气体，即可为消除干扰提供有效便捷的解决方案。示例展示了空气反应模式在处理各类质谱干扰方面比高性能氦气碰撞模式 (AHM) 更为出色的能力。

将 AHM 与空气反应模式整合于标准多调谐方法中，使 9500 ICP-MS/MS 能够对复杂基质中的多种元素进行简单、可靠且无干扰的分析。由于多调谐预设方法无需外部反应池气体，9500 提供简化的工作流程，可作为传统单四极杆 ICP-MS 系统的无缝、高性能替代方案。

参考文献

1. 双池耦合碰撞反应系统 (DCS) 和高性能氦气碰撞模式 (AHM)，安捷伦出版物，[5994-8985ZH-CN](#)
2. Kubota, T. 使用配备创新碰撞反应池的 ICP-MS 快速可靠地分析土壤和沉积物，安捷伦出版物，[5994-9128ZH-CN](#)
3. Zou, A.; Yamanaka, M.; Sugiyama, N. 使用 ICP-MS/MS 与集成式快速进样系统直接分析海水，安捷伦出版物 [5994-8988ZH-CN](#)
4. Santhosh, S. 采用配备不连续进样和自动稀释功能的 ICP-MS/MS 对食品进行自动化分析，安捷伦出版物 [5994-9095ZH-CN](#)
5. Sugiyama, N.; Nakano, K. Reaction data for 70 elements using O₂, NH₃, and H₂ gases with the Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS (使用 Agilent 8800 串联四极杆 ICP-MS 与 O₂、NH₃ 和 H₂ 测定 70 种元素的反应数据)，安捷伦出版物，[5991-4585EN](#)

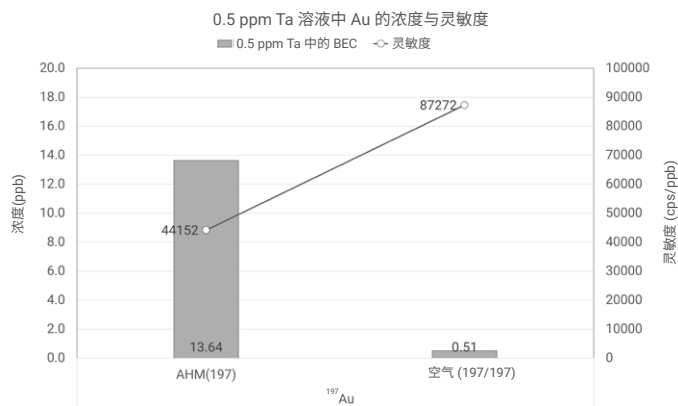


图 5. Agilent 9500 ICP-MS/MS 在 AHM (左) 和空气反应模式 (右) 下测得的 0.5 ppm Ta 溶液中 Au 的浓度。括号内的数字表示 Q1 和 Q2 的质量数

钼和钨氧化物对镉和汞的干扰

许多环境、食品和消费品中含有不容忽视的钼 (Mo) 和钨 (W)。这些元素会对镉 (Cd) 和汞 (Hg) 形成常被忽视的氧化物干扰。MoO⁺ (干扰 Cd⁺) 和 WO⁺ (干扰 Hg⁺) 这两种干扰离子均可与空气反应生成 MoOO⁺ 和 WOO⁺，而 Cd 和 Hg 则不易发生反应。因此，使用 9500 ICP-MS/MS 在空气反应模式下可对 Cd 和 Hg 进行定量分析，且来自其他物质的干扰极小。

查找当地的安捷伦客户中心：

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

在线询价：

www.agilent.com/chem/erfq-cn

www.agilent.com/chem/9500icpqqq

DE-012983

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, 2026
2026 年 6 月 1 日, 中国出版
5994-8987ZH-CN