

利用 ICP-MS 结合先进样品引入装置 分析土壤和沉积物

Agilent Mira Mist 雾化器和在线颗粒过滤器简化样品
前处理流程



作者

Tetsuo Kubota
安捷伦科技有限公司

前言

ICP-MS 广泛应用于土壤与沉积物中无机元素的监测，US EPA 6020B 等方法的建立为环境样品的准确多元素分析提供了经验证的参考标准^[1]。在另一项研究中，我们证明了 Agilent 9500 串联四极杆 ICP-MS (ICP-MS/MS) 具有优异的性能，完全满足 EPA 6020B 的要求^[2]。该仪器搭载用于增强等离子体稳定性与稳健性的超高基质进样 (UHMI) 系统，同时配备高性能氮气碰撞模式 (AHM) 和空气反应模式，与传统的池气体方法相比，能够实现更低的检出限 (LODs)^[3,4]。

安捷伦双池耦合碰撞反应系统 (DCS) 是一种独特的碰撞/反应池 (CRC) 技术, 可实现碰撞/反应两种 CRC 操作模式, 在 AHM 和空气反应模式下运行时, 可提供以下性能优势:

- AHM
 - 这种创新的氦气碰撞池模式既能显著提升低质量元素的检测灵敏度, 又可在整个质量数范围内提供强大的干扰消除能力
 - 这种单一气体模式可替代无气体模式、常规氦气模式及高能 (HE) 氦气模式, 无需频繁切换多种检测模式
- 空气反应模式
 - 9500 ICP-MS/MS 在空气反应模式下, 借助集成的空气过滤净化装置, 利用空气中的氧气 (O_2) 与元素发生反应, 可优化易与氧发生反应的元素的检出限 (DLs)
 - 空气反应模式可有效消除氦气体系难以消除的双电荷离子 (M^{++}) 等质谱干扰^[5]
 - 依托空气中源源不断的 O_2 , 此模式无需配备氧气瓶, 能够降低运营成本, 简化工作流程

环境实验室检测土壤样品时, 通常先对原始样品进行酸消解处理制备待测液。土壤主要成分为二氧化硅 (SiO_2), 若要实现样品完全消解, 一般需使用氢氟酸 (HF), 但出于安全风险考量, 实验室往往会避免使用氢氟酸。然而, 若仅使用硝酸 (HNO_3) 和盐酸 (HCl) 进行消解, 可能会残留颗粒物。这些颗粒物会堵塞 ICP-MS 样品引入系统的组件, 特别是雾化器和不连续进样系统, 因此必须对消解后的样品进行过滤。

为解决由颗粒物和易发生盐析的高基质样品带来的挑战, 针对 ICP-MS 开发了可选配的先进样品引入组件。这些组件包括可直接安装在样品流路中的在线过滤器以及雾化器, 两者均设计用于防止堵塞。使用这些附件, 实验室可以减少或免除样品过滤步骤, 提高工作流程效率, 避免因堵塞而造成的停机。

在线颗粒过滤器包括一个 120 μm 的过滤器, 可以轻松安装在自动进样器采样针与样品引入系统之间的进样管路中。其总长约 8 cm, 不会显著增加样品管路体积、样品提升量或稳定时间。

在所有 ICP-MS 雾化器中, Agilent Mira Mist 雾化器对浓酸和有机溶剂具有更出色的耐受性。其平行流路设计可耐受高含量颗粒物与高总溶解态固体 (TDS) 样品, 抗堵塞能力极强。

在本研究中, 9500 ICP-MS/MS 配备在线颗粒过滤器和 Mira Mist 雾化器, 测定了五种环境有证标准物质 (CRMs) 和一种实际沉积物样品中的痕量元素和常量元素。根据 EPA 方法 6020B 规定的标准对方法性能进行了评估。

实验部分

仪器

所有检测工作均采用 Agilent 9500 ICP-MS/MS 进行, 仪器配备以下标准组件: 镍 (Ni) 接口锥和全新设计的 DCS 池。9500 和 DCS 的设计特点及功能可参阅其他文献^[3,4]。9500 还配备了可选的安捷伦快速阀进样系统 (AVS MS), 以提高检测效率。AVS MS 系统的高速活塞泵与 Agilent SPS 4 和 SPS 6 自动进样器无缝配合进行样品输送, 确保高样品通量, 以满足大多数环境检测实验室的操作需求。

为了简化样品前处理流程, 9500 配备了在线颗粒过滤器 (图 1) 和 Mira Mist 雾化器 (图 2)。在线颗粒过滤器可去除大于 120 μm 的颗粒; Mira Mist 雾化器的内径 (id) 比标准 MicroMist 雾化器更大。这些先进装置使实验人员无需在检测前对样品进行预过滤处理。

方法参数 (推荐的元素列表、优选同位素、积分时间、内标等) 直接从 Agilent OpenLab ICP-MS 软件内的 “EPA 6020B” 预置方法加载, 使分析人员能够快速创建新的批处理方法。

为了优化 Mira Mist 雾化器的信号稳定性，调整了雾化器泵速并引入了补偿气（表 1）。在 9500 ICP-MS/MS 中，可以同时添加补偿气和稀释气体，精准调控等离子体气流速，在目标灵敏度区间内优化信号的 %RSD。透镜参数通过软件的自动调谐功能自动设置。在线过滤器的内部体积非常小，安装后不会影响 AVS MS 样品引入时间或方法参数。因此，无论是否安装过滤器，均采用相同的设置（表 2）。



图 1. 在线颗粒过滤器



图 2. Mira Mist 雾化器

表 1. Agilent 9500 ICP-MS/MS 操作参数

	高性能氦气碰撞模式 (AHM)	空气反应模式
RF 功率 (W)	1600	
采样深度 (mm)	12	
雾化气流量 (L/min)	0.93	
雾化器泵速 (rpm)	7.0	
补偿气流量 (L/min)	0.10	
稀释气流量 (L/min)	0.13	
提取电压 1 (V)	-3.8	
提取电压 2 (V)	-250	
Omega 偏转	-200	
Omega 透镜	-5.0	
池气体流量 (mL/min)	14	0.4
前动能歧视 (V)	10	-1

阴影单元格的参数，通过选择 EPA 6020 预置方法或遵循自动调谐自动设置

表 2. 安捷伦 AVS MS 操作参数

	时间 (s)	速度 (%)
上样	11	50
稳定	18	5
针头冲洗	15	5
第 1 次冲洗	6	80
第 2 次冲洗	35	5
可选的定量环针头清洗	10	50
可选的定量环清洗	1	50
降低样品消耗量选项	3	–
样品分析周期	122	–

化学品与试剂

采用来自日本 Kanto Chemical Co. Inc. 的高纯度（EL 级）2% HNO₃ 和 1% HCl 混合溶液作为空白溶液、稀释液和冲洗液。对于大多数元素，校准标样、加标溶液和连续校准验证 (CCV) 溶液均由安捷伦多元素环境校准标样配制。初始校准验证 (ICV) 溶液由安捷伦混合多元素 ICV 标准品配制。Li、Al、Mn、Zn、Sr 和 Hg 的校准标样由 1000 mg/L 单元素储备液 (Kanto Chemical Co., Inc.) 配制。内标 (ISTD) 混合溶液包含 Sc、Ge、Rh、In、Tb 和 Lu，同样由 1000 mg/L 单元素储备液 (Kanto Chemical Co., Inc.) 配制。

标样和样品前处理

所有标样和待测样品均为 2% HNO₃ 和 1% HCl 的酸基质体系。ICP-MS 分析通常会在样品中加入 HCl 以确保锑 (Sb) 和汞 (Hg) 等元素的稳定性。9500 ICP-MS/MS 的 AHM 模式可消除所添加的氯化物基质形成的所有 Cl 相关干扰。

按照图 3 所示浓度范围制备包括校准空白在内的 6 个校准标样。“矿物元素”是指 Na、Mg、Al、K、Ca、Mn、Fe 和 Zn。对于运行过程中的质量控制 (QC)，采用了 ICV 和 CCV 标样。

CRMs 包括水中痕量元素 (NIST 1643f)、河流沉积物 A、河流沉积物 B、土壤 A 和土壤 B (High Purity Standards)。所有 CRMs 均以预消解溶液的形式提供。NIST 1643f 直接进样检测，未进行稀释，其他 CRMs 则使用 2% HNO₃ 和 1% HCl 酸基质稀释了 10 倍。含有 1 mg/L Sc、Ge、Rh、In、Tb 和 Lu 的 ISTD 溶液通过 AVS MS 阀第七个专用端口自动在线添加。ISTD 溶液的流速约为样品流速的 1/15，这是通过使用小内径泵管实现的。分析序列如图 3 所示。

使用 Mars 6 微波消解系统 (CEM Corporation, Japan)，根据图 4 中概述的方法对河口沉积物样品进行消解。首先，称取约 0.25 g 样品，加入 9 mL HNO₃ 和 3 mL HCl 进行消解。升温程序为：25 min 内升至 180 °C 并保持 5 min；随后，25 min 内降至 50 °C 并保持 15 min，以溶解所有氟化物沉淀。

经过两步消解后，加入超纯水 (UPW) 定容至 200 mL。最终酸浓度为 4.5% HNO₃ 和 1.5% HCl。最终消解液中 TDS 的浓度约为 200 mg/L。由于该过程未使用 HF，因此被视为提取而非完全消解。

样品在消解之前或之后进行加标。在待分析的 50 mL 消解液中，每种加标元素的最终浓度为 50 µg/L。将样品管装入 SPS 4 自动进样器进行分析。

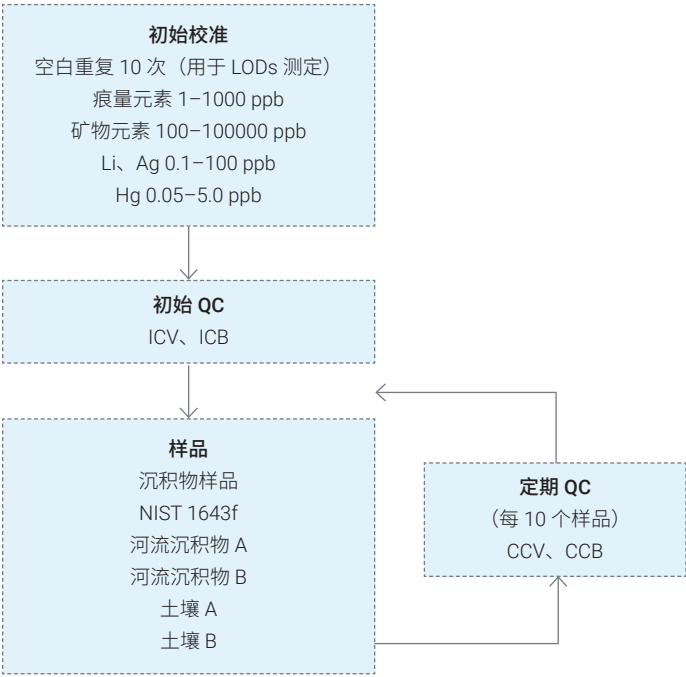


图 3. 校准标样、QC 溶液和样品的分析序列。Agilent 9500 ICP-MS/MS 对样品模块进行重复分析，每分析 10 个样品后自动插入定期 QC 模块

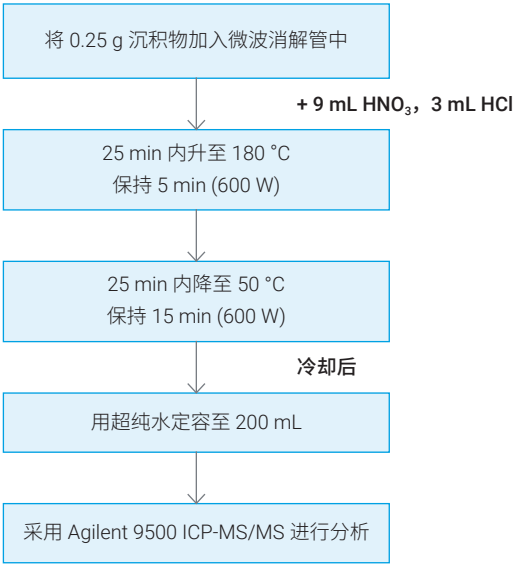


图 4. 河口沉积物样品的微波消解方法

结果与讨论

检出限

所有 30 种待测元素均采用 9500 ICP-MS/MS 在 AHM 模式下进行检测，部分元素（K、Ca、As 和 Se）还在空气反应模式下进行检测，采集参数如表 1 所示。检出限 (LODs) 根据试剂空白溶液的 3 倍空白标准偏差计算得出，采集次数为 10 次。尽管标准 MicroMist 雾化器由于内径更小，RSD 性能略优于 Mira Mist，但 Mira Mist 可提供相近的灵敏度与同等 LODs^[2]。

如表 3 所示，痕量元素的 LODs 大多在低 ng/L (ppt) 水平，证实了 9500 ICP-MS/MS 对复杂环境样品中痕量元素分析的高灵敏度。

表 3. Agilent 9500 ICP-MS/MS 操作参数

待测元素	DCS 池模式	积分时间 (s)	LOD (µg/L)
7 Li	AHM	0.3	0.010
9 Be	AHM	0.3	0.002
23 Na	AHM	0.1	0.313
24 Mg	AHM	0.1	0.831
27 Al	AHM	0.3	0.080
39 -> 39 K	空气	0.1	1.02
44 -> 60 Ca	空气	0.1	0.706
51 V	AHM	0.3	0.003
52 Cr	AHM	0.3	0.007
55 Mn	AHM	0.1	0.135
56 Fe	AHM	0.1	0.021
59 Co	AHM	0.3	0.007
60 Ni	AHM	0.3	0.012
63 Cu	AHM	0.3	0.006
66 Zn	AHM	0.1	0.039
75 As	AHM	1	0.002
75 -> 91 As	空气	1	0.003
78 Se	AHM	1	0.010
80 -> 96 Se	空气	1	0.013
88 Sr	AHM	0.3	0.002
95 Mo	AHM	0.3	0.002
107 Ag	AHM	0.3	0.001
111 Cd	AHM	0.3	0.0004
121 Sb	AHM	0.3	0.001
137 Ba	AHM	0.3	0.001
201 Hg	AHM	1	0.002
205 Tl	AHM	0.1	0.0004
Pb*	AHM	0.3 (0.1 × 3)	0.001
232 Th	AHM	0.1	0.0002
238 U	AHM	0.1	0.0002

*Pb = ²⁰⁶Pb + ²⁰⁷Pb + ²⁰⁸Pb

冲洗测试

使用在线过滤器配置评估冲洗性能，重点关注已知具有记忆效应的元素 — As、Se、Sb 和 Hg（图 5）。对于 As、Se 和 Hg，在安装与未安装在线过滤器的情况下，第一、第二和第三轮冲洗的冲洗效率均相当。

在第一轮冲洗过程中，Sb 表现出微小差异，冲洗效率分别为 0.005%（有过滤器）和 0.002%（无过滤器）。即使在分析 100 µg/L Sb 的情况下，这也仅相当于 0.005 µg/L 的残留记忆效应 — 远低于会影响常规土壤检测的阈值水平。第二轮冲洗后，两组数据趋于一致。上述结果表明，在土壤检测应用中，安装在线过滤器不会对 Sb 及其他元素的冲洗行为产生显著影响。

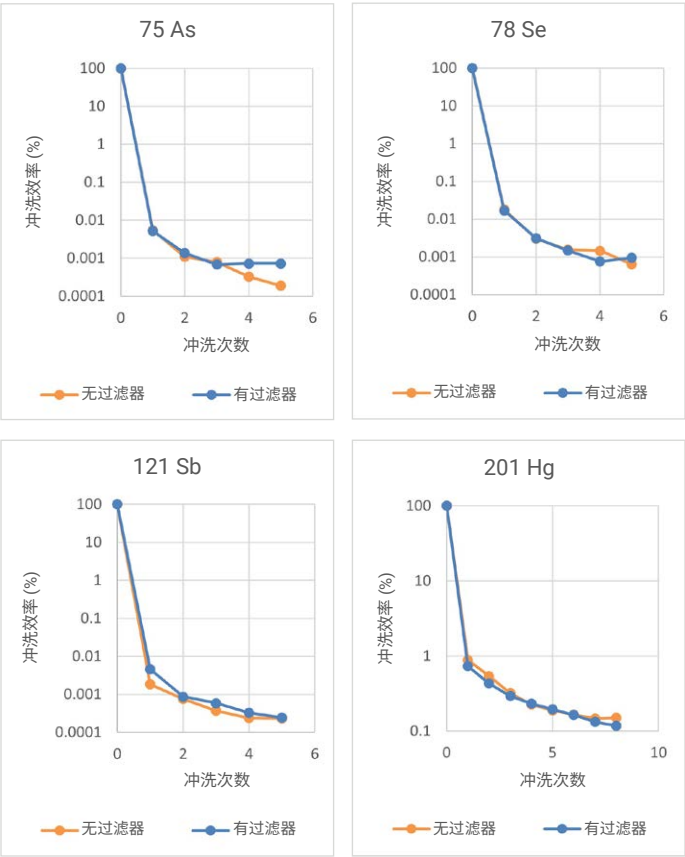


图 5. Agilent 9500 ICP-MS/MS 安装和未安装在线过滤器时的冲洗效率

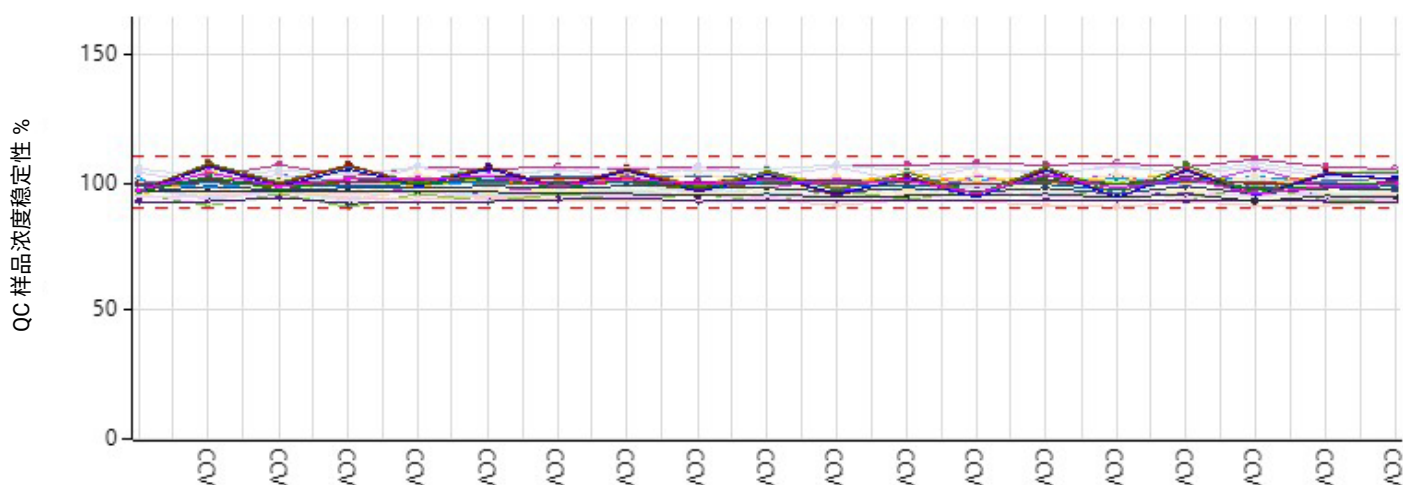


图 7. 使用 Agilent 9500 ICP-MS/MS 测得的 18 个 CCVs 的 CCV 稳定性

表 4. CRM 待测元素标准值回收率, $n = 9$

待测元素	DCS 池模式	NIST 1643f			HPS 河流沉积物 A			HPS 河流沉积物 B		
		实测平均浓度 ($\mu\text{g/L}$)	标准浓度 ($\mu\text{g/L}$)	回收率 (%)	实测平均浓度 ($\mu\text{g/L}$)	标准浓度 ($\mu\text{g/L}$)	回收率 (%)	实测平均浓度 ($\mu\text{g/L}$)	标准浓度 ($\mu\text{g/L}$)	回收率 (%)
7 Li	AHM	15.0 ± 0.313	16.6	90	0.659 ± 0.288	-	-	0.941 ± 0.343	-	-
9 Be	AHM	12.7 ± 0.251	13.7	93	< LOD	-	-	< LOD	-	-
23 Na	AHM	18700 ± 174	18800	99	49100 ± 482	50000	98	52400 ± 714	50000	105
24 Mg	AHM	7360 ± 81.3	7450	99	68700 ± 716	70000	98	126000 ± 1690	120000	105
27 Al	AHM	134 ± 1.95	134	100	241000 ± 2750	250000	96	613000 ± 11400	600000	102
39 -> 39 K	空气	1950 ± 22.7	1930	101	147000 ± 3450	150000	98	205000 ± 2230	200000	102
44 -> 60 Ca	空气	28600 ± 1480	29400	97	301000 ± 4780	300000	100	319000 ± 3130	300000	106
51 V	AHM	33.7 ± 0.489	36.1	94	234 ± 3.81	250	94	953 ± 14.6	1000	95
52 Cr	AHM	17.3 ± 0.296	18.5	94	287000 ± 3980	300000	96	14300 ± 266	15000	95
55 Mn	AHM	36.3 ± 0.492	37.1	98	8060 ± 196	8000	101	6040 ± 143	6000	101
56 Fe	AHM	90.4 ± 1.05	93.4	97	1230000 ± 22800	1200000	103	397000 ± 7640	400000	99
59 Co	AHM	23.9 ± 0.345	25.3	94	126 ± 1.49	100	126	154 ± 2.28	150	102
60 Ni	AHM	55.7 ± 0.752	59.8	93	538 ± 5.82	500	108	496 ± 6.78	500	99
63 Cu	AHM	20.5 ± 0.332	21.7	95	982 ± 10.1	1000	98	976 ± 12.7	1000	98
66 Zn	AHM	74.6 ± 0.671	74.4	100	15000 ± 217	15000	100	5170 ± 78.3	5000	103
75 As	AHM	52.6 ± 0.652	57.4	92	565 ± 5.73	600	94	191 ± 1.77	200	96
75 -> 91 As	空气	53.9 ± 0.889	57.4	94	586 ± 5.62	600	98	195 ± 1.72	200	98
78 Se	AHM	10.9 ± 0.172	11.7	93	19.4 ± 0.362	20	97	9.96 ± 0.340	10	100
80 -> 96 Se	空气	10.7 ± 0.345	11.7	91	18.3 ± 0.760	20	91	9.40 ± 0.452	10	94
88 Sr	AHM	314 ± 3.18	314	100	2.21 ± 0.027	-	-	1.73 ± 0.034	-	-
95 Mo	AHM	105 ± 0.76	115	91	1.26 ± 0.025	-	-	0.957 ± 0.034	-	-
107 Ag	AHM	0.966 ± 0.035	0.97	100	0.659 ± 0.019	-	-	0.509 ± 0.011	-	-
111 Cd	AHM	5.64 ± 0.039	5.89	96	98.3 ± 0.888	100	98	30.3 ± 0.440	30	101
121 Sb	AHM	51.3 ± 0.635	55.5	92	474 ± 3.82	-	-	41.2 ± 0.328	40	103
137 Ba	AHM	476 ± 7.25	518	92	466 ± 3.93	500	93	3820 ± 41.7	4000	96
201 Hg	AHM	0.004 ± 0.001	-	-	0.050 ± 0.012	-	-	0.270 ± 0.016	-	-
205 Tl	AHM	6.62 ± 0.092	-	-	9.54 ± 0.215	10	95	10.0 ± 0.268	10	100
Pb*	AHM	17.7 ± 0.268	18.5	96	6740 ± 95.3	7000	96	2030 ± 51.6	2000	102
232 Th	AHM	0.003 ± 0.000	-	-	19.0 ± 0.334	20	95	99.0 ± 2.03	100	99
238 U	AHM	0.005 ± 0.000	-	-	9.73 ± 0.196	10	97	29.9 ± 0.719	30	100

*Pb = $^{206}\text{Pb} + ^{207}\text{Pb} + ^{208}\text{Pb}$

表 5. CRM 待测元素标准值回收率, $n = 9$

待测元素	DCS 池模式	1/10 HPS 土壤 A						1/10 HPS 土壤 B		
		实测平均浓度 ($\mu\text{g/L}$)	标准浓度 ($\mu\text{g/L}$)	回收率 (%)	土壤 A 加标实测浓度 ($\mu\text{g/L}$)	加标浓度 ($\mu\text{g/L}$)	加标回收率 (%)	实测平均浓度 ($\mu\text{g/L}$)	标准浓度 ($\mu\text{g/L}$)	回收率 (%)
7 Li	AHM	0.010 ± 0.011	-	-	10.2	10	102	0.077 ± 0.024	-	-
9 Be	AHM	< LOD	-	-	92.0	100	92	0.0127 ± 0.004	-	-
23 Na	AHM	7280 ± 121	7000	104	17200	10000	99	10000 ± 171	10000	100
24 Mg	AHM	7290 ± 97.7	7000	104	17300	10000	100	8110 ± 108	8000	101
27 Al	AHM	50900 ± 812	50000	102	60200	10000	92	68900 ± 1220	70000	98
39 -> 39 K	空气	20800 ± 118	20000	104	30400	10000	96	21400 ± 136	21000	102
44 -> 60 Ca	空气	37600 ± 245	35000	108	47700	10000	101	13500 ± 133	12500	108
51 V	AHM	9.4 ± 0.149	10	94	102	100	93	72.3 ± 0.970	80.0	90
52 Cr	AHM	0.204 ± 0.012	-	-	93.5	100	93	36.8 ± 0.479	40.0	92
55 Mn	AHM	10.7 ± 0.146	10	107	9980	10000	99	9650 ± 180	10000	96
56 Fe	AHM	19600 ± 339	20000	98	28600	10000	90	33500 ± 490	35000	96
59 Co	AHM	0.522 ± 0.007	-	-	93.7	100	93	9.75 ± 0.105	10.0	98
60 Ni	AHM	28.9 ± 0.184	30	96	119	100	90	18.4 ± 0.199	20.0	92
63 Cu	AHM	28.5 ± 0.21	30	95	121	100	93	279 ± 2.58	300	93
66 Zn	AHM	101 ± 1.04	100	101	10400	100	102	6870 ± 49.6	7000	98
75 As	AHM	18.8 ± 0.094	20	94	112	100	93	546 ± 4.80	600	91
75 -> 91 As	空气	19.1 ± 0.247	20	96	114	100	94	558 ± 6.77	600	93
78 Se	AHM	1.27 ± 0.031	1	127	97.3	100	96	0.153 ± 0.016	-	-
80 -> 96 Se	空气	1.28 ± 0.031	1	128	96.2	100	95	0.169 ± 0.019	-	-
88 Sr	AHM	0.222 ± 0.004	-	-	10.0	10	98	0.164 ± 0.003	-	-
95 Mo	AHM	0.077 ± 0.002	-	-	94.1	100	94	0.125 ± 0.004	-	-
107 Ag	AHM	0.038 ± 0.001	-	-	98.8	100	99	0.021 ± 0.002	-	-
111 Cd	AHM	0.308 ± 0.006	0.3	103	98.7	100	98	19.8 ± 0.181	20	99
121 Sb	AHM	3.04 ± 0.034	3	101	102	100	99	38.8 ± 0.317	20	97
137 Ba	AHM	481 ± 4.86	500	96	574	100	93	668 ± 7.43	700	95
201 Hg	AHM	0.039 ± 0.003	-	-	0.542	0.5	101	0.00588 ± 0.001	-	-
205 Tl	AHM	0.002 ± 0.000	-	-	105	100	105	0.0628 ± 0.003	-	-
Pb*	AHM	40.8 ± 1.02	40	102	145	100	104	6230 ± 111	6000	104
232 Th	AHM	9.81 ± 0.167	10	98	111	100	101	10.1 ± 0.126	10	101
238 U	AHM	1.05 ± 0.021	1	105	102	100	101	25.6 ± 0.332	25	102

*Pb = $^{206}\text{Pb} + ^{207}\text{Pb} + ^{208}\text{Pb}$

表 6. 实际沉积物样品的加标回收率 (n = 3 × 9 次重复)。浓度单位 µg/L

待测元素	DCS 池模式	实测浓度	加标浓度	加标样品的 实测浓度	回收率 (%)
7 Li	AHM	20.5 ± 1.03	-	20.3 ± 1.02	-
9 Be	AHM	0.688 ± 0.035	50	52.9 ± 0.685	104
23 Na	AHM	6760 ± 343	5000	12200 ± 374	109
24 Mg	AHM	5400 ± 268	5000	10800 ± 287	109
27 Al	AHM	18400 ± 818	50	18400 ± 939	**133
39 -> 39 K	空气	5540 ± 253	5000	10800 ± 216	105
44 -> 60 Ca	空气	6190 ± 290	5000	11600 ± 287	108
51 V	AHM	45.5 ± 1.93	50	98.6 ± 1.76	106
52 Cr	AHM	41.3 ± 1.9	50	95 ± 1.62	107
55 Mn	AHM	276 ± 13.4	50	334 ± 13.3	**115
56 Fe	AHM	27900 ± 1530	5000	33700 ± 1440	**117
59 Co	AHM	6.06 ± 0.323	50	59.6 ± 0.713	107
60 Ni	AHM	30.3 ± 1.76	50	83.6 ± 1.81	106
63 Cu	AHM	14.2 ± 0.86	50	67.6 ± 1.00	107
66 Zn	AHM	59.5 ± 3.19	50	112 ± 3.3	106
75 As	AHM	8.69 ± 0.45	50	58.5 ± 0.735	100
75 -> 91 As	空气	8.25 ± 0.426	50	57.2 ± 0.66	98
78 Se	AHM	0.828 ± 0.043	50	51.9 ± 0.685	102
80 -> 96 Se	空气	0.297 ± 0.011	50	48.7 ± 0.66	97
88 Sr	AHM	39.9 ± 1.69	-	39.9 ± 1.85	-
95 Mo	AHM	2.19 ± 0.143	50	53 ± 0.772	102
107 Ag	AHM	0.070 ± 0.005	50	53.7 ± 0.806	107
111 Cd	AHM	0.205 ± 0.013	50	52.6 ± 0.826	105
121 Sb	AHM	0.298 ± 0.03	50	51.7 ± 0.826	103
137 Ba	AHM	61.6 ± 4.03	50	112 ± 3.56	101
201 Hg	AHM	0.062 ± 0.004	-	0.056 ± 0.005	-
205 Tl	AHM	0.204 ± 0.005	50	52.7 ± 1.04	105
Pb*	AHM	12.6 ± 0.613	50	64.4 ± 1.07	103
232 Th	AHM	6.76 ± 0.422	50	57 ± 0.909	100
238 U	AHM	1.87 ± 0.098	50	55.2 ± 0.92	107

* Pb = ²⁰⁶Pb + ²⁰⁷Pb + ²⁰⁸Pb
** 样品浓度远高于加标浓度，因此回收率结果的可靠性受到影响

结论

在本研究中，使用配备 UHMI 和可选 AVS MS 的 Agilent 9500 ICP-MS/MS，按照 EPA 方法 6020B 对沉积物样品进行了分析。该系统配备先进的样品引入组件，包括 Mira Mist 雾化器和在线颗粒过滤器。

Mira Mist 雾化器搭配在线过滤器，可直接分析沉积物消解液，无需专门的过滤步骤，从而减少样品前处理时间和消耗品成本。同时，该配置能够更大限度地降低样品引入堵塞风险，支持 ICP-MS/MS 应对复杂环境样品，进行稳健可靠的长期分析。

总体而言，配备 Mira Mist 雾化器和在线颗粒过滤器的 9500 ICP-MS/MS 展现出优异的检测性能：

- 大多数元素的检出限可达到低 ng/L (ppt) 级
- 对易残留元素的冲洗效率与标准样品引入系统相同或接近
- 无论是否安装过滤器，样品引入时间都相同
- ISTDs 和 CCVs 的回收率在 EPA 方法 6020B 规定的限值范围内，证明方法在超过 8 小时的连续测量中具有出色的稳健性和重现性
- 五种环境 CRMs、基质加标样品和实际沉积物加标样品中，所有认证元素的回收率均在 ±10% 偏差范围内，证实了使用 AHM 和空气反应模式能有效控制干扰

本研究表明，配备 Mira Mist 雾化器和在线颗粒过滤器的 9500 ICP-MS/MS 能够提高复杂沉积物消解液的样品前处理效率和分析性能。

参考文献

1. U.S. EPA. 2014. "Method 6020B (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry," Revision 2. Washington, DC, <https://www.epa.gov/esam/epa-method-6020b-sw-846-inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry> (2026 年 4 月访问)
2. Tetsuo, K. 使用配备创新碰撞/反应池的 ICP-MS 对土壤和沉积物进行快速可靠的分析，安捷伦出版物，[5994-9128ZHCHN](#)
3. 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，[5994-8985ZHCHN](#)
4. 配备双池耦合碰撞反应系统的 Agilent 9500 ICP-MS/MS 空气反应模式，安捷伦出版物，[5994-8987ZHCHN](#)
5. Sugiyama, N. Solving Doubly Charged Ion Interferences using an Agilent 8900 ICP-QQQ (使用 Agilent 8900 ICP-MS/MS 解决双电荷离子干扰)，安捷伦出版物，[5994-1155EN](#)

本应用中使用的产品

安捷伦产品

产品类型	描述	部件号
样品引入系统*	石英样品引入系统，用于 9500 ICP-MS/MS	M5150-67107
	Mira Mist 雾化器 (PEEK)，用于安捷伦 ICP-MS	G3161-80001
接口	ICP-MS 采样锥，用于 9500 ICP-MS/MS，镍尖铜基座	M5150-67000
	镍截取锥，用于配备 u 透镜的 9500 ICP-MS/MS	M5150-67005
	提取-Omega 透镜组件，u 透镜，不锈钢基座	M5150-67022
管线工具包	易安装蠕动泵管，PVC，白色/白色，内径 1.02 mm，用于样品	5005-0020
	易安装蠕动泵管，PVC，蓝色/橙色，内径 0.25 mm，用于内标	5005-0021
	易安装蠕动泵管，米色热塑性材质，黄色/蓝色，内径 1.52 mm，用于排废	5005-0022
	样品定量环，用于 ADS 2/AVS MS，1.50 mL，内径 1.00 mm	5005-0425
	AVS MS 预配置管线工具包，用于 9500 ICP-MS/MS	M5171-67001
瓶工具包	稀释液/载液 6 L 瓶工具包，包括 6 L 罐、GL45 StaySafe 溶剂瓶安全盖、接头和放空阀	5005-0435
	用于 ICP-MS 的稀释液 2 L PFA 瓶工具包，包括 2 L PFA 瓶、GL45 StaySafe 溶剂瓶安全盖、接头和放空阀	5005-0436
	废液容器套件，包括 10 L 废液瓶、S60 StaySafe 溶剂瓶安全盖、接头和酸蒸气过滤器	5005-0437
化学标准品	初始校准验证标准品	5183-4682
	环境校准标样	5183-4688

*包含 Glass Expansion Guardian 在线颗粒过滤器，部件号 70-803-1108

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-013880

本文中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。