

高级稀释系统 ADS 2 的性能和操作

用于安捷伦 ICP-OES 和 ICP-MS 仪器的自动配置校准曲线和在线样品稀释



大幅提高工作效率

如今，全球范围内的实验室日益面临着前所未有的挑战，即以更少的资源进行更多的分析，这就促使实验室要对许多分析检测工作进行重新评估。某些任务的自动化可以帮助实验室管理人员简化工作流程并优化资源利用。为了提高配备安捷伦 ICP-OES 或 ICP-MS 仪器的实验室的效率，安捷伦开发了高级稀释系统 (ADS 2) — 一款全集成在线自动稀释系统，设计用于高通量的常规分析工作。ADS 2 可以将标准品储备液和样品自动稀释高达 400 倍，使其成为自动制备校准曲线和样品或稀释超校准曲线范围的样品的理想选择。ADS 2 有效地减少了操作人员在准备 ICP-OES 或 ICP-MS 定量方法时必须执行的手动稀释溶液的工作量，让他们有更多时间完成其他任务。

ADS 2 可用于 Agilent 5800 和 5900 ICP-OES* 以及 Agilent 7850、7900 和 8900 ICP-MS*。ADS 2 和高级阀系统 (AVS)** 在软件控制下无缝配合，可大幅提高样品通量，缩短样品分析周期，并降低单个样品的分析成本。ADS 2 和 AVS 的一体化设计避免了不进行样品稀释时增加额外的运行时间，解决了其他稀释系统的常见问题。该设计还确保稀释功能随时可用，以便在需要时随时提供在线样品稀释。如果需要对样品进行在线稀释，智能软件会在每次工作表运行结束时显示稀释了合格倍数的样品结果，同时保留对所有数据的完全访问。

ADS 2 高级稀释系统的功能

ICP-OES 的 Agilent ICP Expert 软件 (7.7 及更高版本) 和 ICP-MS 的 Agilent ICP-MS MassHunter 软件 (5.3 及更高版本) 对 ADS 2 进行了完全集成和控制。

ADS 2 可实现：

自动配标 — ADS 2 可通过对标准品储备液的准确稀释自动配制校准溶液。分析人员只需将标准品储备液置于自动进样器支架上，并使用自动配标助手确定校准范围；多点校准曲线随后将自动生成。自动配标助手支持对每个元素使用多种标准品储备液和设置不同的校准范围。与手动流程相比，自动配标是一种方便高效的流程，可节省分析人员时间，减少浪费，并降低在分析中引入误差或污染的风险。

预设稀释 — 在方法设置过程中，操作人员可以设置用于自动配制样品溶液的指定（预设）稀释倍数。例如，如果一系列样品溶液在分析前需要稀释 10 倍 (1/10)，分析人员只需在样品列表中输入 10 作为稀释倍数。然后软件将自动触发 ADS 2，在样品分析前配制溶液。

二次稀释 — 出现意外结果后（例如，样品的实测结果超出校准范围，或存在内标回收率问题），可触发 ADS 2 自动进行稀释。软件根据失败的结果使用算法计算适当的二次稀释倍

数，并触发样品重新进行检测。这一自动流程可确保运行结束时得到合格的完整数据集，无需进行耗时的手动重复工作。对于在不同稀释倍数下测量的样品，软件会对每个元素在标曲范围内的正确结果进行汇总并显示。这种软件辅助的数据审查过程能够更快地导出结果，简化了分析人员的处理过程。

更快的分析周期 — 当无需自动稀释溶液时，ADS 2 已经过优化，可确保几乎不增加单个样品的额外分析时间（通常小于 2 秒）。只有当触发稀释（在样品列表中定义或二次稀释）时，溶液才会经过 ADS 2 的稀释流路。因此，ADS 2 既具有智能自动稀释的优势，又保持了与配备 AVS 切换阀的 ICP（本文的 ICP 包含 ICP-OES 和 ICP-MS）相似的快速样品分析周期。

降低每次分析成本 — 采用简洁的双注射器设计，并仅在需要时稀释样品和溶液，ADS 2 能够节省相关消耗品，如备用注射器和阀部件的磨损。与手动稀释相比，减少了实验室耗材，包括手套、样品瓶和移液器吸头，以及废液处置的成本。通过 ADS 2 软件控制的智能功能节省了分析时间和 ICP 运行成本（氦气和能耗等），进一步提升了运行经济性。

易于使用 — ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 仪器控制软件中的几种工具简化了使用 ADS 2 时的方法开发、数据分析、报告和故障排除。两款软件套装均包含交互式流路图，提供了关于 ADS 2 的实时系统信息，“帮助和学习中心”还包括了如何使用和轻松维护系统的详细信息。包括智能早期维护反馈 (EMF) 仪器性能跟踪计数器和传感器、维护日志和在线指南在内的功能有助于制定决策，从而在正确的时间进行预防性维护。

全部来自安捷伦 — ADS 2 针对安捷伦 ICP-OES 或 ICP-MS 进行了优化，旨在作为集成系统工作。方法中包含所有设置，因此只需学习一款软件应用程序的操作。自动稀释器与仪器紧密集成，具有软硬件一体设计才能实现的高级功能。由于只需要与同一家公司对接，因此采购和支持流程更加简单。

ADS 2 如何工作?

仅在需要进行稀释时激活注射器，ADS 2 可大大提高 ICP 工作流程的效率，改善分析周期和单个样品的成本。如图 1 和图 2 所示，ADS 2 使用两种不同的操作模式（非稀释和稀释）。

在非稀释模式下（图 1a 和图 b），样品绕过 ADS 2，维持了切换阀方法的高通量，并能大大延长系统组件的寿命。在稀释模式下（图 2a 到图 d），阀 A 和阀 B 的切换为 ICP 分析带来在线自动稀释的优势，省略了包括校准溶液配制和样品稀释在内的手动流程。ADS 2 在样品和载流之间自动注入气泡，避免样品与载液混合。这一操作大大延长了样品的可用读取时间，大幅缩短了向内/向外冲洗时间。

ADS 2 的阀 A 用于引导 AVS 和阀 C 之间的液流。溶液从自动进样器经阀 B 流入，直接导向阀 A 或进入稀释定量环。含有稀释液和载液（从不引入样品溶液）的注射器连接至阀 B。阀 C 辅助冲洗 ADS 2 系统。位于阀 A 和阀 B 附近的指示灯表示正在进行的的功能，即上样（黄色）或进样（绿色）。

ADS 2 和 AVS 还提供了选择灵活性，可在分析期间引入或排除自动在线添加内标溶液，并且无需使用额外的注射器，不会产生相应的成本。

非稀释模式

如图 1a 所示，自动进样器探头移动以提升样品（以深蓝色表示），样品通过 AVS 泵吸入并上样至 AVS 样品定量环，绕过 ADS 2 上的稀释定量环。AVS 现在处于“上样”位置。所有过量样品通过 AVS 泵输送至废液。同时，蠕动泵将冲洗溶液（浅蓝色）和内标溶液（紫色）输送至 ICP 仪器的雾化器、雾化室和炬管中，准备推动和混合通过 AVS 输送进入仪器的样品。非稀释模式下，ADS 2 的两个注射器处于空闲状态。

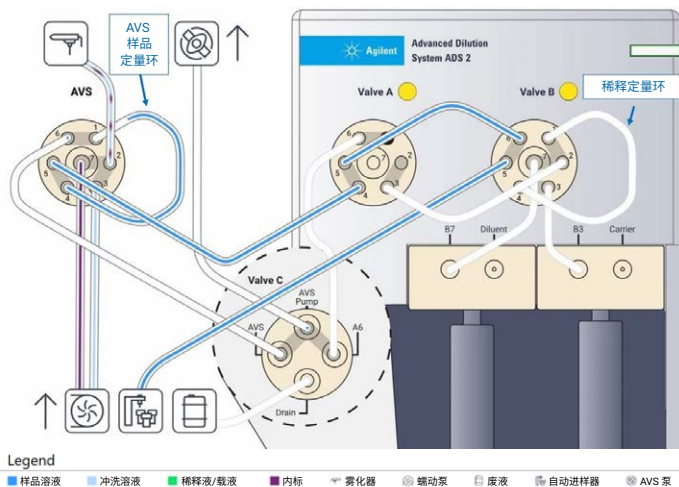


图 1a. 非稀释模式：样品从自动进样器上样至 AVS，绕过 ADS 2 的稀释定量环

如图 1b 所示，当 AVS 切换到“进样”位置时，样品（深蓝色）与内标（紫色）混合，被载液（浅蓝色）推入 ICP 的进样系统中。该流程由蠕动泵驱动。同时，使用 AVS 泵通过阀 C（也是浅蓝色）冲洗至自动进样器的流路，为下一个样品的引入做好准备。ADS 2 的注射器此时处于空闲状态。

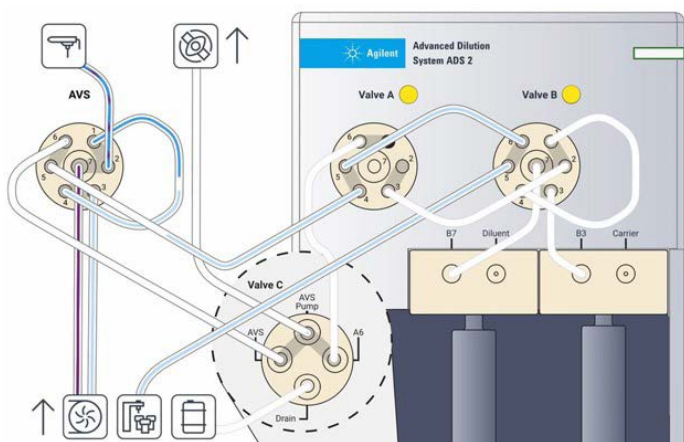


图 1b. 样品从 AVS 进样至安捷伦 ICP-OES 或 ICP-MS（未稀释）

稀释模式

如图 2a 所示，自动进样器探针移动以提升样品（深蓝色），样品通过 AVS 泵吸入并上样至 ADS 2 阀 B 的稀释定量环中。所有过量样品经过阀 C，由 AVS 泵排出至废液。同时，向雾化器、雾化室和炬管输送冲洗溶液（淡蓝色）和内标溶液（紫色），准备推动和混合通过蠕动泵输送的样品。AVS 现在处于“上样”位置。

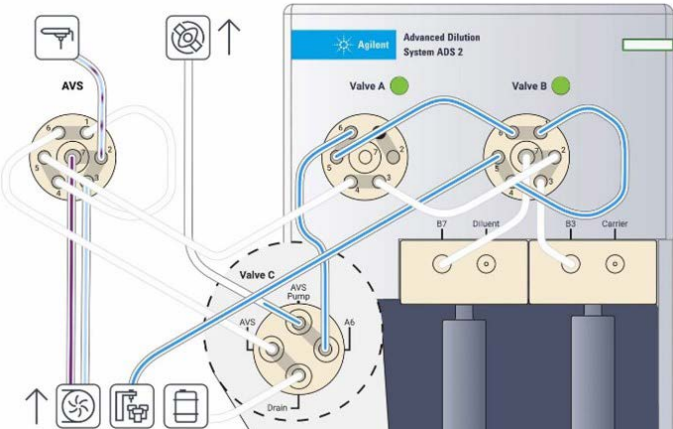
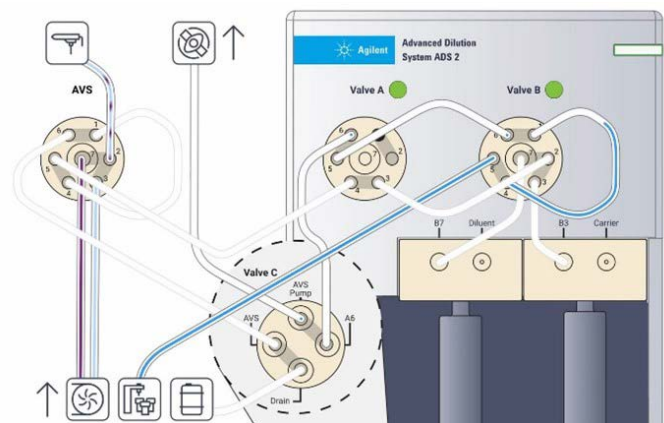


图 2a. 稀释模式：样品开始上样至 ADS 2 的稀释定量环（上图），定量环充满后，所有溢流被泵送至废液（下图）

如图 2b 所示，将阀 B 切换至进样位置，稀释液和载液注射器开始将其相应溶液输送到阀/定量环中。稀释液（绿色）在端口 7 处进入阀 B，在端口 2 处混合从端口 1 处进入的稀释定量环中的预上样样品（深蓝色）。

注入小气泡，避免样品和载液混合。这种分离大幅增加了可用于测量的溶液，无需使用额外附件。载液注射器输送载液（也是绿色），推动样品通过稀释定量环，而载液未接触样品溶液。在整个过程中，雾化器、雾化室和炬管仍由蠕动泵提供冲洗溶液（淡蓝色）和内标溶液（紫色），准备样品输送。此时，AVS 仍处于“上样”位置。

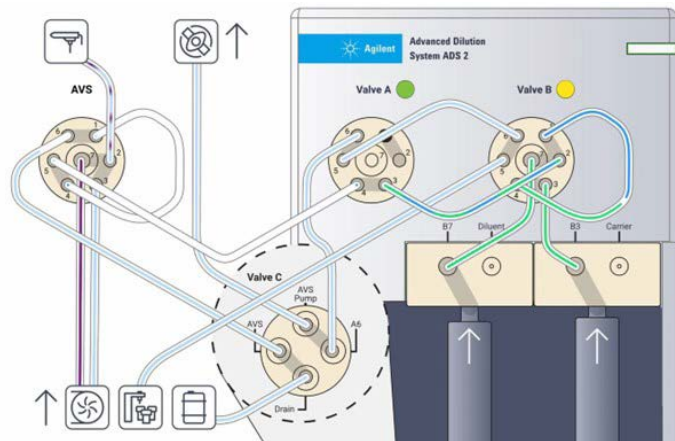


图 2b. 稀释过程和 AVS 定量环的上样

如图 2c 所示，稀释样品（深蓝色/绿色混合）直接从阀 B 转移到阀 A，并上样到 AVS 的样品定量环。多余溶液将会从 AVS 样品定量环中流出并进入废液。AVS 阀处于“上样”位置。

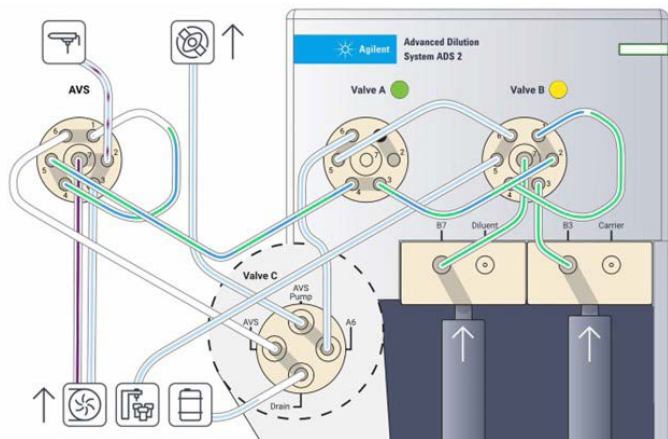


图 2c. 将稀释样品上样至 AVS 定量环

如图 2d 所示, AVS 阀切换到“进样”位置。将稀释样品(深蓝色和绿色混合)与内标(如果使用)混合, 然后使用蠕动泵输送至雾化器。同时冲洗稀释定量环和自动进样器管线, 准备下一个样品。

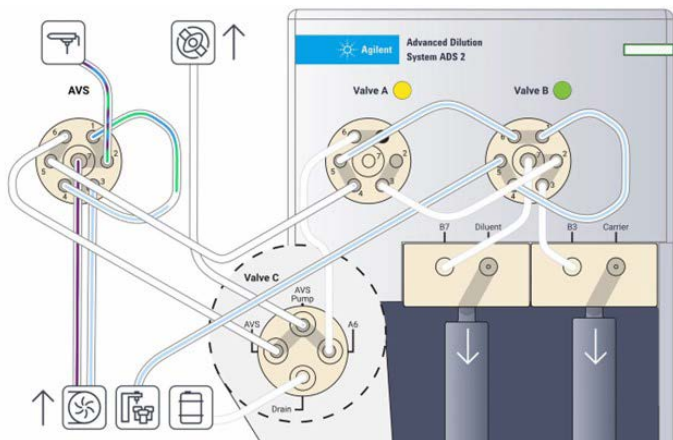


图 2d. 将稀释样品输送至安捷伦 ICP-OES 或 ICP-MS

自动配标

配制校准溶液是 ICP-OES 或 ICP-MS 采集高质量分析数据的关键步骤。为了确保数据准确性, 需要谨慎地配置校准曲线。在 2023 年进行的调查中, 配制校准曲线溶液在花费分析人员时间最多的手动任务中排名第二。

使用 ADS 2 自动从单一多元素标准品储备液或多个标准溶液配制校准溶液, 可以加快校准过程。自动配标还可大幅降低手动配制方法产生的误差和污染风险。

ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 软件包均包括“自动配标助手”, 如图 3 所示。软件中的“储备溶液库”包括通用校准用标准溶液列表。配制的标准品可以轻松添加到库中。仅通过从库中选择标准品储备液并输入稀释倍数, ADS 2 可自动计算校准浓度, 并制备校准曲线。

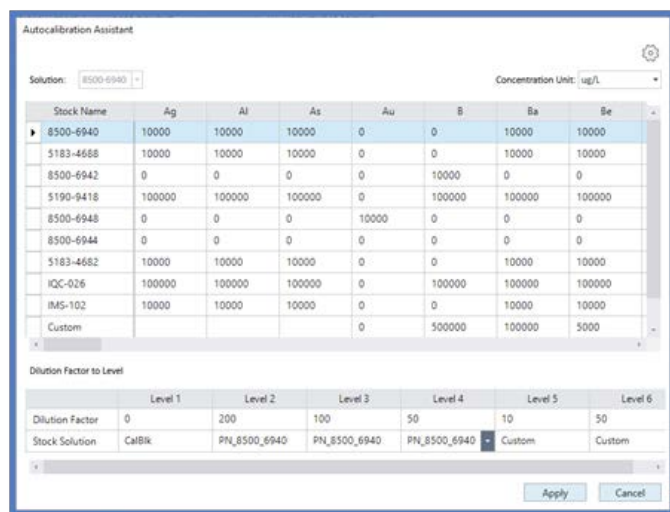


图 3. 标准溶液库 (上图), 以及根据储备溶液的规定稀释倍数自动计算校准浓度 (下图)

校准溶液的自动制备还消除了手动流程中可能存在的不同操作人员引起的人为误差, 提高了实验室中 ICP 的数据质量。自动配制的校准溶液在较宽的分析范围内生成线性校准曲线, 相关系数 (R) 通常高于 0.9999, 且各个点的误差小于 5%。

以铊 (^{205}Tl) 在 0.25–100 $\mu\text{g/L}$ 范围内为代表的 ICP-MS 校准曲线如图 4 所示。低浓度校准溶液 (局部放大图, 右) 的优异线性表明 ADS 2 可准确稀释标准品至 400 倍。

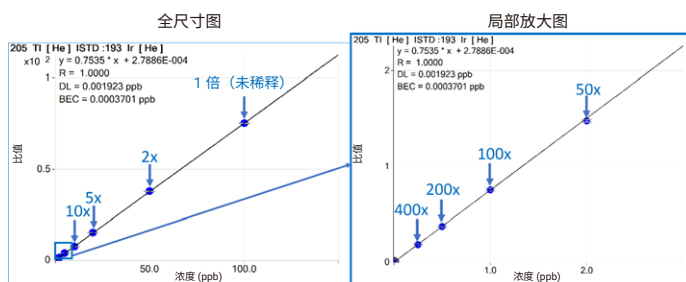


图 4. 左图: 在 Agilent ICP-MS MassHunter 软件中生成的 ^{205}Tl 的 ICP-MS 校准曲线, 范围为 0.25–100 $\mu\text{g/L}$, 具有 $R = 1.0000$ 的优异相关系数。右图: 较低浓度校准溶液的放大部分, 使用 ADS 2 稀释 400 倍至 50 倍

以 Se 196.026nm 校准范围是 0.0125–5 mg/L 为代表的 ICP-OES 校准曲线见图 5。数据显示获得了 $R = 1.0000$ 的优异相关系数，误差小于 4%，进一步证明了 ADS 2 具备准确稀释高达 400 倍标准品的能力。

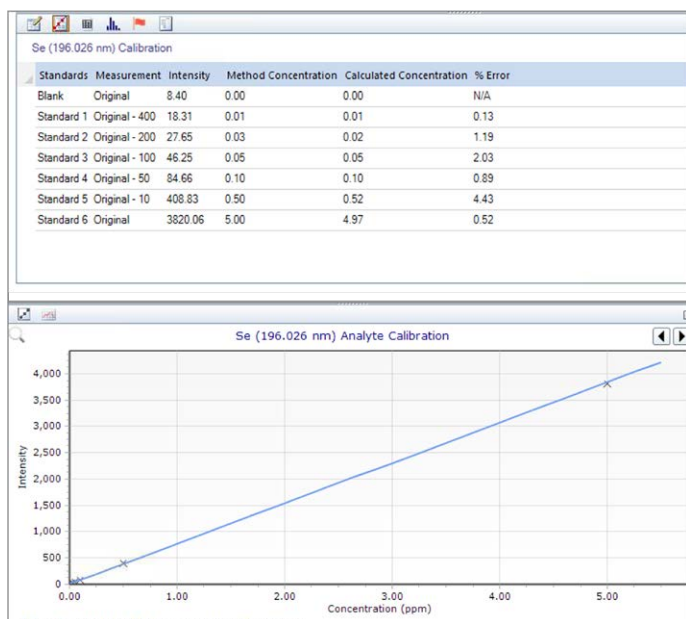


图 5. 在 Agilent ICP Expert 软件中生成 ICP-OES 校准曲线 Se 196.026 nm，范围为 0.0125–5 mg/L，具有 $R = 1.0000$ 的优异相关系数

ADS 2 的自动配标确保每次分析使用新配制的校准溶液，提高了数据质量，同时也减少了手动标准溶液配制产生的废液量。

预设稀释

分析前稀释样品的手动任务繁琐且不断重复，ADS 2 可通过将其自动化来节省分析人员的时间。一旦在仪器控制软件中选择预定义的 2 倍至 400 倍稀释倍数，ADS 2 将自动稀释样品。通过预设稀释，无需在测量前手动稀释样品，使分析人员能有更多时间去完成更有价值的工作。ADS 2 配制的样品具有高重现性，避免了手动稀释带来的误差风险。

预设稀释也可用于 QC 溶液，如有证标准物质 (CRMs)。例如，ADS 2 可以将用于样品的相同稀释倍数应用于 CRM。

二次稀释

在 2023 年进行的调查中，样品重新测量是排名前五位的手动处理任务之一，会增加样品分析周期和每次分析的成本。

ICP Expert 或 ICP-MS MassHunter 仪器控制软件包可以自动确定结果超出范围的样品。非预期结果包括超出校准范围的结果，或内标回收率超出分析人员设定限值的结果。在这些情况下，软件将触发 ADS 2 自动稀释样品功能进行重新测量，无需用户干预。该方法简化了分析流程，降低了手动稀释和重新测量样品的成本，确保了快速分析周期，同时确保报告结果的准确性。如果 QC 溶液不合格，也可进行二次稀释。

二次稀释判定层级



图 6. Agilent ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 软件包中的二次稀释决策过程

简单且智能

ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 软件套装中包括 ADS 2 功能中的智能稀释列表。稀释列表可设定操作规则，当样品中一系列关键待测元素结果超出校准曲线范围、QC 失败或内标回收率超出限值时进行预设操作步骤。

控制不同样品类型的稀释触发机制

如图 7 和图 8 所示，稀释列表功能提供了根据所选关键元素的超范围结果稀释样品的灵活性。该列表可应用于个体样品，避免不必要的测量。该功能保证了快速分析周期，并降低了单个样品的成本。

例如，一些实验室希望在单一分析序列中测量含有不同类型水样的样品。分析人员可能不希望报告海水中钠 (Na) 的结果，但想要在饮用水样品分析中纳入 Na 作为待测元素。通过设置稀释列表，排除 Na 作为海水样品的稀释触发因素，软件可以确保不采取行动，避免不必要的稀释和重新测量。但是，对于饮用水，ADS 2 将自动（二次）稀释样品。

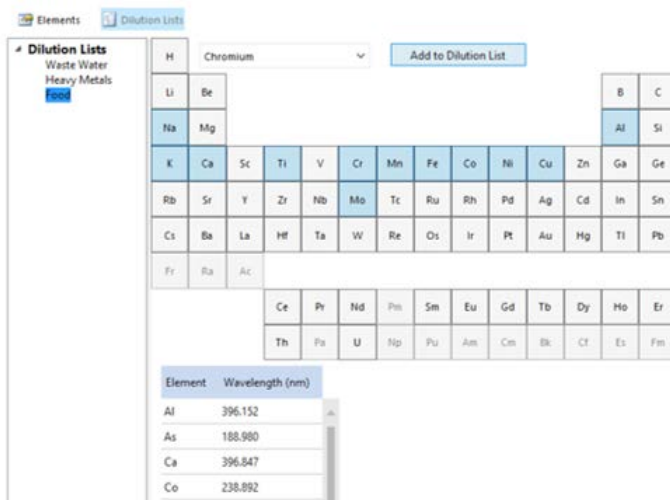


图 7. Agilent ICP Expert 7.7 软件中的稀释列表配置选项卡

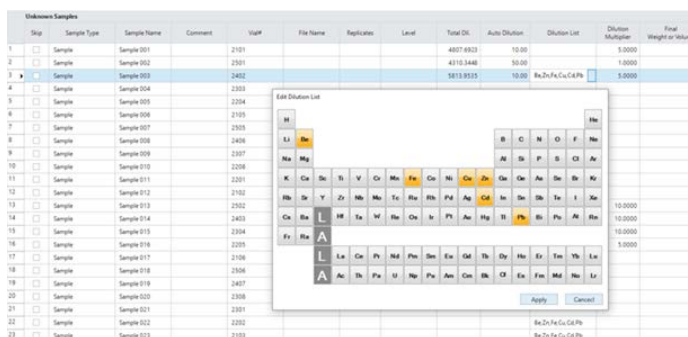


图 8. Agilent ICP-MS MassHunter 5.3 软件中的稀释列表元素选择弹出窗口

自动选择每个样品的最佳结果

ADS 2 系统简化了 ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 的汇总功能，并自动优化数据分析和报告。结果汇总使用智能算法筛选一个样品的所有测量值，并报告每个元素的最佳结果，如图 9 中 Mg 和 Fe 所示。每个样品中每种分析元素的单个汇总结果可以很轻松地从仪器软件导出到报告模板中。Al、As、Ba 和 Fe 的 ICP-OES 样品数据汇总视图示例见图 10。所有样品的所有数据均保留并可导出。

	Mg	Fe	
最高浓度校准溶液	100	100	
未稀释浓度	50	200	超范围浓度，需要稀释
5 倍稀释浓度	10	40	
汇总行	50	40	汇总行选择范围内的稀释测量值
	范围内测量值保持不变		

图 9. 用于数据报告的汇总功能决策树（注：所有结果均使用未调整的值展示）

溶液标签	Al 237.312 nm mg/L	As 188.980 nm mg/L	Ba 455.403 nm mg/L	Fe 238.204 nm mg/L	Fe 239.563 nm mg/L	
汇总	53.88	0.41	6.62	89.72	84.95	Al 和 Fe 的浓度超范围，需要稀释
原始	497.65 o	0.41	6.62	758.60 o	736.63 o	
稀释 - 10	53.88	0.04	0.76	89.72	84.95	
						As 和 Ba 的原始样品浓度可接受

图 10. Agilent ICP Expert 的样品数据示例，显示了各分析元素最佳结果简化的汇总行视图

多种样品体积

ADS 2 可安装 0.5–3.0 mL 体积范围的样品定量环，以适应不同的样品体积。定量环的选择致使 ICP-OES 和 ICP-MS 的测量时间分别在 20–150 s 和 25–410 s 之间，如图 11 所示。ADS 2 的设计和集成控制确保非稀释和稀释操作模式下的测量时间一致。

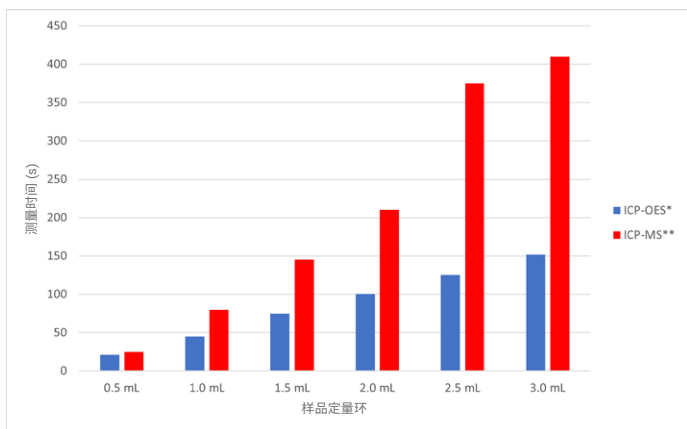


图 11. 对于 ADS 2, 使用不同尺寸的定量环和不同的样品体积的最大 ICP-OES 和 ICP-MS 测量时间

* ICP-OES 测量时间基于 5 s 稳定时间、12 rpm 蠕动泵泵速和 1.02 mm 白色/白色蠕动泵管

** ICP-MS 测量时间基于 20 s 稳定时间、0.1 rps 蠕动泵泵速和内径 1.02 mm 白色/白色蠕动泵管

高效的方法开发工具

ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 软件包均包括以下智能工具, 旨在促进方法开发:

- 条件计算器 — 一款高效的工具, 根据定义的管路类型和长度, 提供方法参数的推荐时间

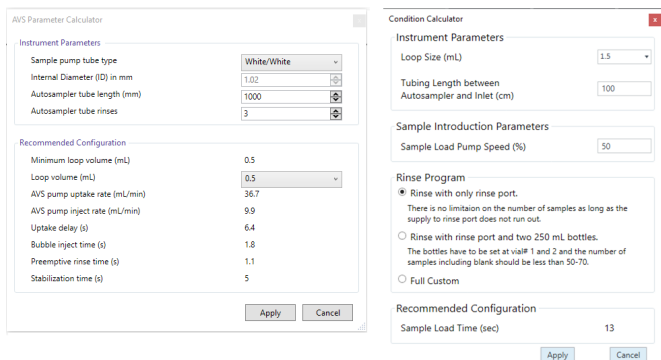


图 12. Agilent ICP Expert (左) 和 Agilent ICP-MS MassHunter 软件 (右) 中的条件计算器

- AVS/ADS 实时监测 — 为检查或进一步优化方法条件, AVS/ADS 实时监测功能在整个方法序列期间显示所采集的信号。例如对于某一类型样品, 如果信号比条件计算器设置的信号更快稳定, 则可以缩短稳定时间以节省时间。软件会测量分析元素信号并标记每个条件变化, 如图 13 中通过 ICP-OES 测量 Zn 213.857 nm 的结果所示。该工具也可用于排除系统的潜在问题

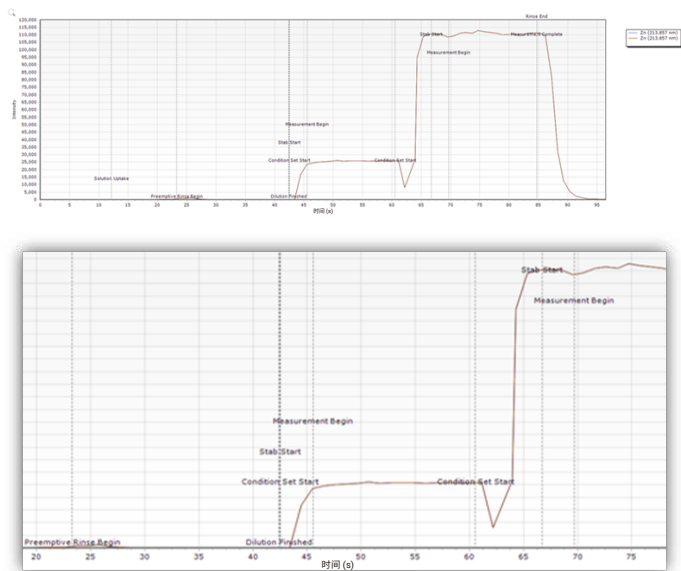


图 13. Agilent ICP Expert ADS/AVS 实时监测示例, 用于两个条件的 ICP-OES 方法测量稀释样品中的 Zn 213.857 nm, 并提供分析条件概述。这两个条件包括信号的径向测量及随后的轴向测量。图中展示的大于 5 秒的设置轴向条件和开始测量之间的稳定时间可以缩短。上图: 全序列。下图: 20–75 s 之间的放大图

降低单个样品的分析成本并防止污染

样品 (例如在现场采集的一些环境水样) 可直接采样至 15 或 50 mL 自动进样器样品管中, 并置于自动进样器支架上, 准备自动稀释。这种方法无需在实验室中进行定量转移和稀释, 从而避免了不必要的样品处理。此外, 对于需要多次稀释 (预设稀释或二次稀释) 的样品, 仅需使用一个样品瓶。这种有效的样品处理流程有助于降低与 ADS 2 相关的样品分析周期、样品污染和误差的风险以及单个样品的分析成本。精简实验室中重复耗时的手动任务的另一个优点是减少了工作人员的身体疲劳。

ADS 2 通过省去手动稀释步骤提高分析效率, 降低能耗, 并减少试剂和塑料消耗品 (如移液器吸头、样品瓶和手套) 的使用量。所有这些因素结合在一起, 可以有效地降低分析成本, 减少分析对环境的影响, 帮助实验室提高可持续性。



图 14. 省去手动样品稀释步骤有助于减少塑料垃圾

故障排除和维护

将 ADS 2 集成到 ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 仪器软件套装中，可提供完全控制、状态监测、维护追踪，并增强故障排除能力。

在 ICP 仪器控制软件中嵌入了实时显示样品、内标、冲洗液、稀释液和载液通过自动稀释系统移动的交互式流程图（图 15）。流程图显示了分析各阶段的溶液。如果存在堵塞，该图可以帮助确定溶液的流动方向，以及存在潜在堵塞的地方，简化故障排除过程。

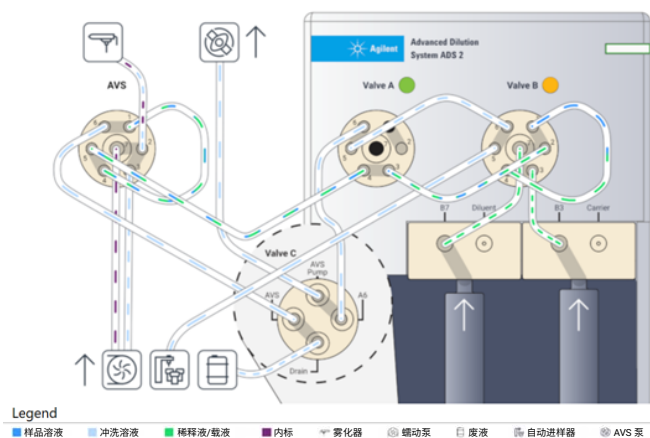


图 15. 交互式流程图，显示了各种溶液如何通过自动稀释系统移动到仪器进样系统

AVS/ADS 实时监测还可用于帮助解决问题。例如，管路泄漏，或稀释液体积较低，或稀释液瓶是空的，实时监测将直观指示问题。然后将信号的轨迹与“帮助和学习中心”中信号问题常见原因的轨迹库进行比对。

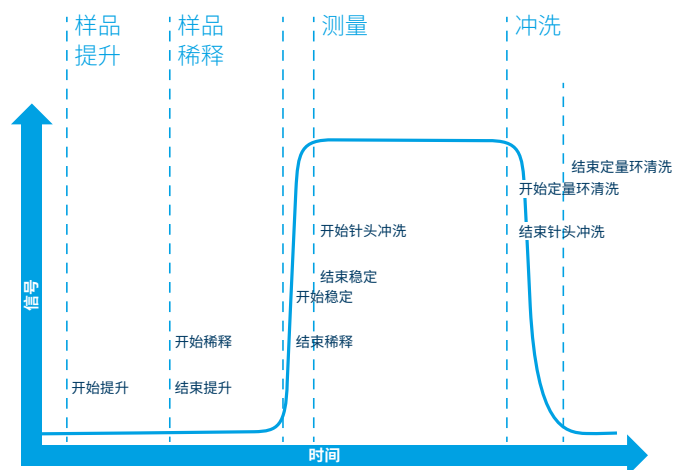


图 16. 该软件包括自动计算功能，根据输入的管路长度和样品定量环尺寸确定最佳方法设置。该功能还监测测量信号，提供信息以微调方法设置或协助故障排除

早期维护反馈 (EMF)

EMF 实时追踪 ICP 仪器、AVS 和 ADS 2 组件，并在需要维护时提醒操作人员。EMF 计数器的交通信号灯颜色标记显示哪些维护活动应立即进行（红色），哪些即将进行（黄色），哪些可以等待（绿色），如图 17 所示。计数器的默认设置适用于大多数常规应用，但用户可以设置计数器限值以满足特定要求。EMF 根据实际使用状况提供反馈信息，这种定制化的提醒服务极大地缩短了停机时间并降低了维护成本。

由于 ADS 2 仅在执行稀释时驱动注射器和切换阀，因此 EMF 追踪确保仅在需要时执行维护，而非基于运行时间。

EMF 功能中的维护日志以数字形式记录硬件的维护历史，可以轻松确定仪器是否得到充分维护。

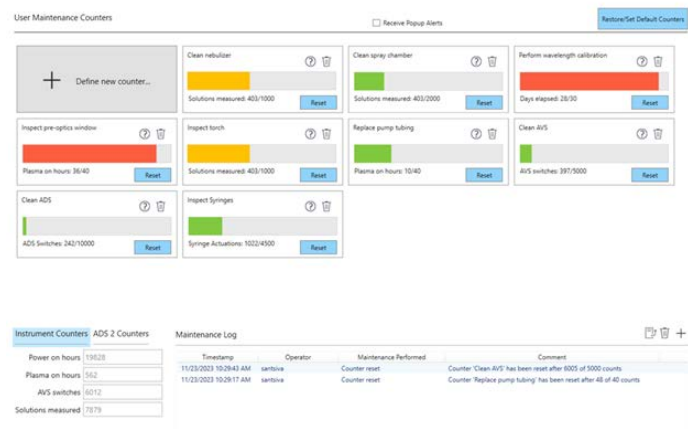


图 17. 显示安捷伦 ICP-OES、AVS 和 ADS 2 维护计数器的 EMF 屏幕截图示例

帮助和学习中心

为了帮助分析师在使用 ADS 2 时形成良好的规范，“帮助和学习中心”包含操作指南和关于附件操作、维护和故障排除等详细视频。ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 软件套装均包含“帮助和学习中心”的快速访问按钮，该按钮位于仪器软件屏幕的右上角。

技术指标

稀释范围	2–400 倍
注射泵准确度	100% 冲程时 $\pm 1\%$
注射泵精度	100% 冲程时 $\leq 0.05\%$
尺寸	高度 37.9 cm (15 英寸) 宽度 15.8 cm (6.2 英寸) 深度 31.3 cm (12.3 英寸)
重量	7.9 kg (17.4 磅)
海拔	最高 2000 m
兼容性	Agilent 5900、5800、5110 ICP-OES Agilent 8900、7900、7850、7800 ICP-MS
自动进样器	Agilent SPS 4、SPS 6 或仪器软件支持的其他自动进样器
软件	ICP-MS 需要 MassHunter 5.3 或更高版本 ICP-OES 需要 ICP Expert 7.7 或更高版本

explore.agilent.com/icp-automation-cn

DE07677911

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，2024-2025
2025 年 12 月 12 日，中国出版
5994-7211ZHCHN

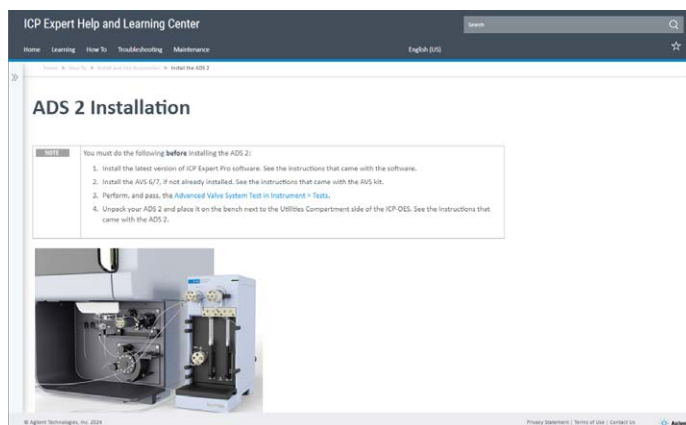


图 18. 在 ICP Expert 和 ICP-MS MassHunter 软件套装的集成“帮助和学习中心”软件页面中访问 ADS 2 的安装、操作、维护和故障排除程序

更多信息

1. McCarthy, D. 使用 ICP-OES 分析土壤实现工作流程自动化，安捷伦出版号 [5994-7203ZHCHN](#)
2. Bradford, R. 使用 ICP-OES 结合自动稀释测定锂盐中的多种元素，安捷伦出版号 [5994-7179ZHCHN](#)
3. Zou, A. Yamanaka, M. 使用配备集成式自动稀释器的安捷伦 ICP-MS 对废水进行智能分析，安捷伦出版物，[5994-7113ZHCHN](#)
4. Yamashita, R. 使用单一 ICP-MS 方法自动分析低基质到高基质环境样品，安捷伦出版物，[5994-7114ZHCHN](#)
5. Riles, P. 使用配备自动稀释系统的 ICP-MS 对高基质样品进行高效分析，安捷伦出版物，[5994-7232ZHCHN](#)

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

