

## 一体化设计：安捷伦 ICP-OES 仪器的准确度和精密度

Agilent 5800 ICP-OES 和 Agilent 5900 ICP-OES



### 前言

在现代元素分析领域，数据的质量与可靠性非常关键。ICP-OES 用户需要依托仪器设计与软件功能，才能获得一致、可追溯且可重现的定量结果。

Agilent 5800 和 5900 ICP-OES 仪器融合了先进光学设计、强大的等离子体控制技术以及智能软件等创新成果，即使面对具有挑战性的样品基质，也能在宽动态范围内实现卓越的分析准确度和精密度。

## 自由曲面光学设计：提升分辨率与信号完整性

5800 和 5900 ICP-OES 在多色仪中采用了创新设计的自由曲面光学元件。安捷伦自由曲面准直镜（图 1）高度定制化的非对称、非球面表面，可在整个波长范围内（涵盖可见光与紫外光波段）同步校正各类光学像差。高自由度自由曲面能有效校正球差、彗差与像散，这类像差通常出现在偏离检测器中心的波长上<sup>[1]</sup>。

### 对准确度与精密度的影响

- 减少像差可获得更尖锐的峰和更高的信噪比，从而改善定量积分结果
- 更高的分辨率（As 188.980 nm 处 < 7 pm）确保能更好地区分紧密相邻的谱线，提高检测选择性并更大限度地减少干扰误差
- 更出色的聚焦能力有助于获得更优异的峰对称性，确保实现可重复的测量积分

与依赖传统抛物面或环形光学元件的系统（在紫外波段易出现峰展宽和背景升高问题）相比，安捷伦的自由曲面镜能够保持更窄的峰形和更低的背景，从而提高痕量分析的精密度。

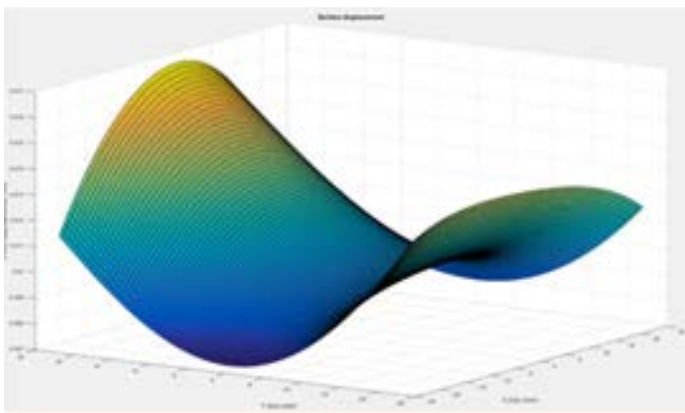


图 1. 自由曲面与理想球面之间的偏差。自由曲面具有经优化的独特形状，能够提供更锐利的聚焦效果，并在检测器上获得更高的光强，从而实现更高的检测灵敏度

## 真正同步的阶梯光栅光学系统与自适应积分技术

安捷伦 ICP-OES 系统的阶梯光栅多色仪和独特的 VistaChip III 电荷耦合器件 (CCD) 检测器，可在单次积分中同步采集全波长范围的光谱信号。为防止信号饱和并优化信噪比，安捷伦自适应积分技术 (AIT) 会自动调整每条发射谱线的积分时间（图 2），无需用户具备专业操作经验<sup>[2]</sup>。

### 对准确度与精密度的影响

- 真正同步的数据采集模式消除了元素检测过程中任何由时间因素导致的信号偏差
- 实时积分控制技术确保检测器在整个动态范围内保持线性响应
- 内标校正与背景校正同步进行，提升数据稳定性
- 图像映射技术 (I-MAP) 可保持像素与波长的精准映射，从而实现长期的光学稳定性

与通过序贯子区域扫描采集波长信号的系统不同，安捷伦的设计以真正同步的方式采集全光谱波段的信号，消除了时间漂移问题，确保了信号积分的一致性。

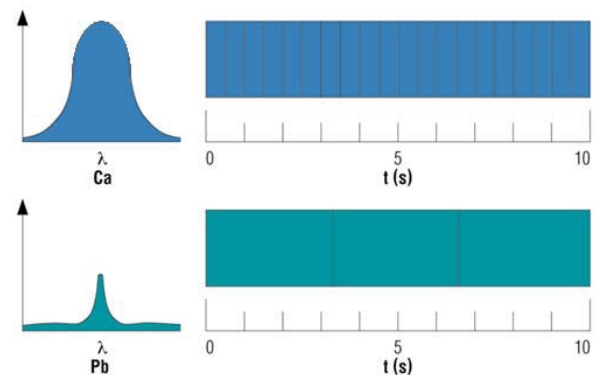


图 2. 基于用户设定的重复读取总时长，AIT 对高强度信号采用多次短时间读数取平均，对低强度信号则减少读数次数、延长单次读数时间，以此为所有谱线同步提供理想信噪比

## 坚固的垂直炬管与固态射频系统

所有安捷伦 ICP-OES 仪器均采用垂直炬管和 27 MHz 固态射频 (SSRF) 等离子体发生器。此配置可在分析高溶解态固含量 (高达 30% NaCl) 样品和挥发性有机基质时提供稳定的等离子体条件 (图 3)<sup>[3]</sup>。

### 对准确度与精密度的影响

- 垂直进样方式可大幅减少盐类积聚以及长序列检测过程中的信号漂移
- 自激式射频设计可根据等离子体负载变化自动进行补偿, 提供稳定的等离子体, 从而确保长时间分析的准确性与重现性
- 炬管自动校准功能确保了可重现的光学耦合, 相比手动校准炬管, 大幅降低了仪器在日常使用中的日间差异

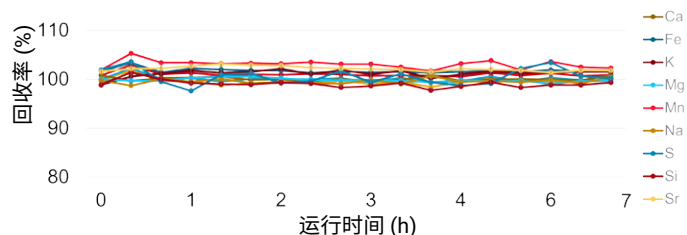


图 3. 利用 Agilent 5900 ICP-OES 对原生锂卤水 (TDS 含量超过 31%) 进行长达 7 小时连续分析的仪器稳定性<sup>[4]</sup>

## 高级阀系统 (AVS) 与可控的氦气泡分隔技术

安捷伦高级阀系统 (AVS) 六通/七通阀附件可显著提升仪器分析效率, 降低等离子体的样品负载, 并可在样品溶液与冲洗液之间引入可控的氦气泡 (而非空气)<sup>[5]</sup>。

### 对准确度与精密度的影响

- 相较于不使用 AVS 系统, 样品间分析间隔时间缩短一半, 在进行批次样品分析时, 由时间因素导致的灵敏度与波长位置偏差可相应降低 50%
- 减少等离子体接口在样品基质中的暴露时间, 从而降低信号波动, 提高短期和长期分析精密度, 同时减少进样系统的清洗频率

- 氦气分隔技术可隔离各样品溶液, 消除稀释与残留效应, 维持分析之间的等离子体平衡状态, 并降低基线噪声
- 由独立的高速正排量泵提升溶液及样品管路冲洗, 从而使主蠕动泵的流速能够保持稳定。稳定的流速可大大降低等离子体的温度波动, 从而缩短稳定时间并提高分析准确性

使用氦气泡分隔技术有助于保持等离子体的稳定性, 提升短期分析精密度, 避免采用空气分隔时存在的偏差问题, 5 ppm Mn 溶液的重复测量结果印证了这一优势 (表 1)。

表 1. 使用配备集成式 AVS 6 的安捷伦 ICP-OES, 对 5 ppm Mn 溶液进行 3 次 5 秒重复测量所得到的分析精密度

	分析精密度 (%RSD)
5 ppm Mn, 采用氦气注入	0.5
5 ppm Mn, 采用空气注入	1.0

## Agilent ICP Expert Pro 7.8 的线性标准插入法功能

线性标准插入法是一种高精度 ICP-OES 分析校准技术, 专为实现样品基质中目标元素的准确定量而设计。在元素组成直接决定产品质量与商业价值的行业 (如贵金属精炼、合金成分验证、先进材料加工领域), 检测结果的可靠性至关重要。

Agilent ICP Expert Pro 7.8 的线性标准插入法功能, 可自动在分析序列中插入校准标样。这项功能为高要求的应用提供了卓越的准确度与精密度, 在贵金属行业表现尤为突出<sup>[6]</sup>。

### 对准确度与精密度的影响

- 通过将样品置于低浓度标样与高浓度标样之间进行测量, 线性标准插入法能够有效校正仪器波动, 从而获得高准确度、高精密度的分析结果
- 该方法尤其适用于贵金属合金等复杂样品的分析, 对这些样品而言, 准确的元素组成测定是质量保证与产品合规的核心环节

- 高精度分析可实现优于 0.1% 的 RSD，如表 2 所示，在按照 ISO 11494 和 11495 标准分析 Pt、Au、Pd 等贵金属样品时，RSD 均低于 0.1%<sup>[7,8]</sup>

ICP Expert 内置结果汇总功能，并提供符合 ISO 要求的报告格式，可按纯度、克拉或浓度单位报告结果。

表 2. 使用线性标准插入法获得的两个重复样的实测结果（纯度，‰）及精密度

		纯度 (‰)	RSD (%)
Au 267.594	试样 1	755.40	0.052
	试样 2	756.59	0.071
Pd 342.122	试样 1	997.21	0.055
	试样 2	999.22	0.033
Pt 224.552	试样 1	944.86	0.048
	试样 2	941.36	0.044

## ICP Expert 软件：质量保证与异常值检测

ICP Expert 软件能够持续监测分析精密度与结果一致性，从而及早发现问题。借助早期维护反馈 (EMF) 与集成的仪器性能测试功能，用户能够确保仪器始终保持理想运行状态<sup>[9,10]</sup>。

### 对准确度与精密度的影响

- 实时标记异常结果（如 %RSD 超标、内标漂移），助力分析人员及早发现此类问题，避免报告错误结果
- 自动性能验证功能可在分析操作前确认仪器是否符合要求
- EMF 功能会向用户推送仪器常规维护提醒，以使用户及时开展相应的维护工作，避免因维护不及时而影响分析准确性（图 4）

通过整合 EMF 和自动化性能验证功能，ICP Expert 可确保仪器始终处于可靠的就绪状态，这一优势是依赖人工检查或外部监控的工作流程所不具备的。

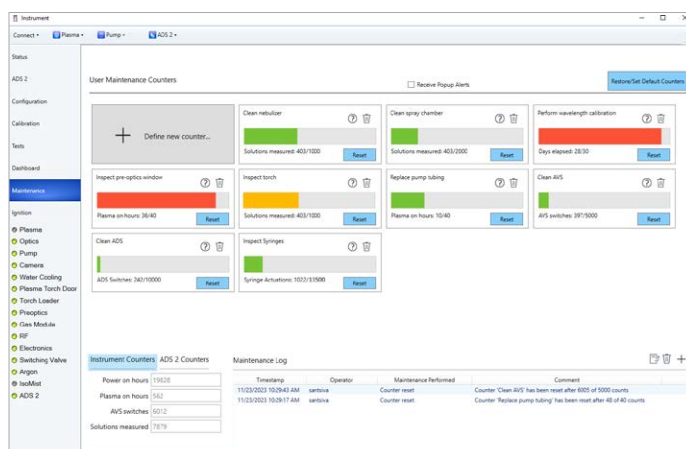


图 4. 具有集成式维护日志的早期维护反馈功能有助于妥善维护仪器，减少意外停机，并确保持续获得始终如一的高质量结果

## 内标法：校正基质效应，获得准确、精密的结果

在所有校准标样、空白样和样品中，均加入恒定浓度的内标元素。将各待测元素的信号值，换算为与其与内标元素信号值的比值。由于待测元素与内标元素在进样系统、等离子体及光学系统中经历完全相同的条件，因此任何短期波动或基质相关效应均可实现自动校正。

ICP Expert 软件在数据处理过程中会自动应用内标校正，并会展示回收率变化趋势，同时还会通过异常值条件格式功能，对超出用户设定限值的检测结果进行标记。

### 对准确度与精密度的影响

- 不同样品因粘度、表面张力和雾化效率的不同，气溶胶传输效率也会有所差异。内标法通过对待测元素信号进行归一化，可以校正这些差异，从而确保不同样品间响应的稳定性
- 等离子体负载或温度的变化会短暂影响发射强度。选择与待测元素具有相似激发特性的内标元素，可以对这类波动进行补偿，维持分析的稳定性

- 炬管状态、雾化器性能或光学检测灵敏度会随时间逐渐变化，导致信号随时间产生波动。内标归一化可自动校正此类变化，确保长时间连续检测过程中校准的有效性

若不采用内标法校正，基质差异可能导致信号不稳定或精密度不佳，而安捷伦的自动校正功能可以对基质效应进行实时校正。

## 结论

本技术概述介绍了一系列集成化设计和软件功能，包括自由曲面光学元件、真正同步的阶梯光栅光学系统与自适应积分技术、坚固的垂直炬管与固态射频系统、高级阀系统与可控的氩气气泡分隔技术，以及线性标准插入、质量保证与异常值检测功能及内标法校正。这些创新技术的融合应用，使搭载 Agilent ICP Expert Pro 7.8 软件的 Agilent 5800 和 5900 ICP-OES 仪器能够为各行业的元素分析实验室提供检测所需的精密度、准确度与可靠性。

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)

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)

[www.agilent.com/lifesciences/icpoes](http://www.agilent.com/lifesciences/icpoes)

DE-0011160

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, 2025  
2025 年 11 月 27 日, 中国出版  
5994-8853ZHCN

## 参考文献

1. Innovative Freeform Optical Design Improves ICP-OES Speed and Analytical Performance (创新的自由曲面光学设计提升 ICP-OES 分析速度与性能), 安捷伦出版物, [5994-5891EN](#)
2. 卓越的 ICP-OES 光学设计带来无与伦比的分析速度和性能, 安捷伦出版物, [5991-4838CHCN](#)
3. 垂直炬管的优势 — 快速提供准确结果, 轻松应对复杂样品, 安捷伦出版物, [5991-4854CHCN](#)
4. Garcia-Gonzalez, A. ICP-OES Quality Control of Elements in Brines Produced by Direct Lithium Extraction (DLE) (利用 ICP-OES 对直接提锂 (DLE) 产出的卤水进行元素质量控制), 安捷伦出版物, [5994-8041EN](#)
5. 利用高级阀系统 (AVS) 6 或 7 通切换阀系统降低成本并提高分析效率, 安捷伦出版物, [5991-6863ZHCHN](#)
6. 使用 ICP-OES 对贵金属主成分进行高精密度分析, 安捷伦出版物, [5994-8849ZHCHN](#)
7. ISO 11494:2019 Jewellery and precious metals – Determination of platinum in platinum alloys – ICP-OES method using an internal standard element, <https://www.iso.org/standard/75285.html>
8. ISO 11495:2019 Jewellery and precious metals – Determination of palladium in palladium alloys – ICP-OES method using an internal standard element, <https://www.iso.org/standard/75284.html>
9. Agilent ICP Expert 软件, 安捷伦出版物, [5994-1517ZHCHN](#)
10. Smart Health Checks for ICP-OES (ICP-OES 智能状态检查), 安捷伦出版物, [5994-4381EN](#)