

## 耐用的陶瓷外管组

用于 Agilent 5000 系列 ICP-OES 炬管



### 大大减少停机时间和更换次数

安捷伦推出了适用于 5000 系列 ICP-OES 的半可拆卸和全可拆卸炬管的陶瓷外管组，旨在应对分析总溶解固体 (TDS) 或盐含量高的样品（尤其是富含碱金属的锂离子电池样品），或会腐蚀破坏石英外管的化学腐蚀性样品时所面临的挑战。

陶瓷外管组的设计旨在直接替代传统的石英外管组，显著提高了耐用性和使用寿命，帮助实验室在处理复杂基质时大幅延长正常运行时间、降低维护频率和运营成本。

## 管组在 ICP-OES 炬管中的作用

ICP-OES 炬管通常由三根同心石英管组成。位于中心、内径 (id) 较小的管是中心管。管组是炬管的关键部件，由围绕中心管的外管和中间管组成。在中间管和外管之间引入流量相对较高的氩气，以限制等离子体并冷却炬管。环绕炬管外管组的射频 (RF) 线圈产生的 RF 能量使氩气电离，从而形成稳定的高温等离子体 (约 10000 °K)。由雾化器产生的样品气溶胶经雾化室进行质量过滤，并通过中心管输送到等离子体中进行雾化和激发，从而实现发射光谱测量。中心管和中间管之间流量较低的氩气流可支撑并定位中心管上方的等离子体，从而减少中心管尖端的沉积。

## 石英外管组面临的关键挑战

在样品中总溶解固体 (TDS) 或碱土金属 (Li、Na、K、Ca、Cs 等) 含量丰富的应用 (例如锂离子电池材料、熔融物、高盐基质和强酸消解液) 中，炬管等离子体中产生的元素离子会扩散入石英外管表面。

石英管组由熔融石英构成，熔融石英是一种非晶态玻璃，由高纯度二氧化硅 ( $\text{SiO}_2$ ) 制成。石英在高温下暴露于碱金属离子中时，其分子结构发生重排，Si-O 键断裂。当外来离子渗入石英并“解锁”其结构时，就会发生失玻化 (devitrification)，

Si-O 键被取代或破坏，导致结构变脆。随着失玻化的发生，石英会变白或变得不透明 (图 1)，表面层会出现许多细小裂纹，这会大大降低其透光性、机械强度和使用寿命。这种劣化在很大程度上是不可逆的。清洁炬管可以暂时改善外观，但失玻化仍会继续发生。最终，石英会破裂或破碎，因此需要更换相应部件。



图 1. 石英外管组在分析含有 Li、Na、Cs 的 1.5% TDS 溶液 (5%  $\text{HNO}_3$  介质) 24 小时后，发生失玻化

失玻化是一种严重限制石英外管组使用寿命的劣化机制。这是开发替代材料，以抵抗恶劣运行条件下的失玻化、高能辐射劣化 (solarization) 和热致碎裂的关键驱动因素。

## 安捷伦陶瓷外管组解决方案

安捷伦陶瓷外管组经过精心设计，能够耐受加速标准石英外管失玻化和劣化的恶劣条件。坚固的陶瓷外管由氮化硅 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 制成，可阻止碱金属离子渗透到下面的基体材料中。它有双向观测 (DV) 和径向观测 (RV) 两种配置，适用于 Agilent 5000 系列 ICP-OES 的易安装半可拆卸与全可拆卸炬管。

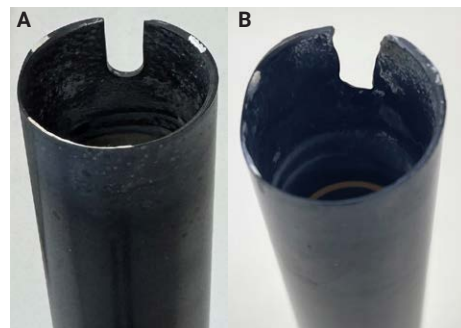


图 2. 陶瓷外管在分析含有 Li、Na、Cs 的 1.5% TDS 溶液 (5%  $\text{HNO}_3$  介质) 超 900 小时 (A) 以及 1792 小时 (B) 后的状态

与石英不同，氮化硅的材料特性使其对碱金属分析引起的失玻化具有优异的抵抗力 (图 2)，因为游离金属离子无法破坏 Si-N 键的稳定性。氮化硅在暴露于高温等离子体循环时，也具有更高的耐热冲击能力。还推荐将其用于含氢氟酸 (HF) 的样品分析，因为氢氟酸会腐蚀石英组件。分析含 HF 的样品时，因为不与石英兼容，必须使用惰性氧化铝中心管。

通常情况下，对于锂离子电池样品或高 TDS 应用，陶瓷外管组的使用寿命是石英外管组的 10 倍以上。

## 可从陶瓷外管组中获益的应用

陶瓷（氮化硅）外管组的核心优势在于更长的产品寿命，它能减少因维护引发的计划外停机，同时降低频繁丢弃和更换磨损石英外管组的需求。以下典型应用领域可以受益于包含陶瓷外管组的耐用样品引入系统，通过提高长期耐用性，同时确保稳定的性能，从而生成高质量的分析数据。

### 锂电池

随着锂离子电池和其他电池技术在全球范围内加速生产，持续研究推动着更安全、更持久电池技术的发展；安捷伦 ICP-OES 在整个电池价值链中发挥着关键作用。



图 3. 电池技术

从原料鉴定和质量控制到产品开发和安全管理研究，ICP-OES 可用于分析关键材料，包括卤水、阳极和阴极（LCO、NMC、NCA、LFP）以及电解质（ $\text{LiPF}_6$ 、 $\text{LiBF}_4$  及  $\text{LiTFSI}$ ）、电池隔膜与工艺中间体，还可用于“黑粉”回收流程。

这些化学腐蚀性的高基质样品富含容易电离的碱土金属（Li、Na、K、Rb、Cs），能迅速使石英炬管组件失玻化。

为避免副反应和衰减，很有必要提高电池材料纯度并更严格地控制元素污染，这就需要对纯净未稀释样品进行 ICP 分析，以达到更安全、更持久电池所需的低检出限。

### 熔融与消解

熔融消解是一种样品前处理技术，它是将样品溶解在熔融助熔剂中，以分解可能耐受常规酸消解的难熔材料或地质材料（如硅酸盐、氧化物、矿物或陶瓷）。首先将样品与助熔剂在高温（通常为  $900\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$ ）下熔融，从而熔化并破坏矿物的晶体结构。常用的助熔剂是偏硼酸锂（ $\text{LiBO}_2$ ）、四硼酸锂（ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ）或碳酸钠（ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）。所得均相微球用酸溶解后待分析。前处理中使用的助熔剂会向最终消解液中引入额外的盐分，增加溶解固体含量，从而增加分析过程中出现的潜在干扰。

### 高 TDS 样品

TDS 含量高达 30% 的样品，例如海水/卤水、强酸消解液（包括氢氟酸或四酸—盐酸（ $\text{HCl}$ ）、硝酸（ $\text{HNO}_3$ ）、氢氟酸（ $\text{HF}$ ）和高氯酸（ $\text{HClO}_4$ ）混合而成的消解液）、废水，或高盐/高糖含量的食物/饮料。

### 环境

对于环境样品的分析，通常会在标准品和样品中加入电离缓冲液（通常为高达 2% 的铯（Cs）），以抑制碱金属（Na、K、Ca、Rb）的电离干扰。碱金属易电离，

会改变等离子体中的电离平衡。铯的电离势非常低，可用来向等离子体中注入电子，帮助稳定等离子体环境。

### 有机溶剂

分析挥发性和半挥发性有机溶剂时，传统石英外管组可能会因高温等离子体产生的强深紫外线（UV）辐射，而发生高能辐射劣化。石英中的金属等杂质会吸收 UV 能量，引发局部失玻化。这些效应会削弱石英表面，当炬管受热和冷却时，便会产生蛛网状裂纹（图 4），意味着使用寿命会缩短。

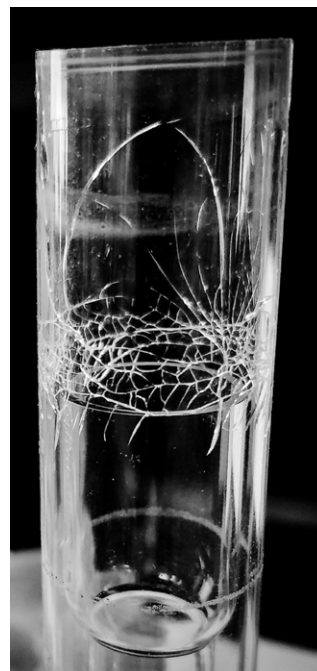


图 4. 石英管上出现蛛网状裂纹

虽然安捷伦提供了专用于分析有机溶剂的高纯度石英管组，以防蛛网状裂纹，但陶瓷外管组具有更优异的抗高能辐射劣化性能和更长的使用寿命。

## 测定痕量硅

测定痕量硅 (Si) 时，所达到的检出限受限于样品引入系统中的硅浸出。使用惰性样品引入系统虽有帮助，但炬管组件仍可能存在硅浸出问题。改用陶瓷外管组（由氮化硅制成）可以减少炬管中的硅浸出，从而提高检出限性能（图 5）。

分析更具挑战性的样品基质时，这种差异可能会更大。

惰性氧化铝中心管由氧化铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 制成，与石英中心管相比，对铝 (Al) 的检出限更高。

## 安捷伦陶瓷外管组设计

安捷伦陶瓷外管组件采用可拆卸设计，由陶瓷（氮化硅）外管和石英中间管组成（图 6）。

该设计使陶瓷外管可独立于中间管进行拆卸和清洁。这在分析有机基质时尤其有利——样品中过量的碳会在外管上形成积碳。（仅）陶瓷外管可以拆下并放入马弗炉中烧除积碳。

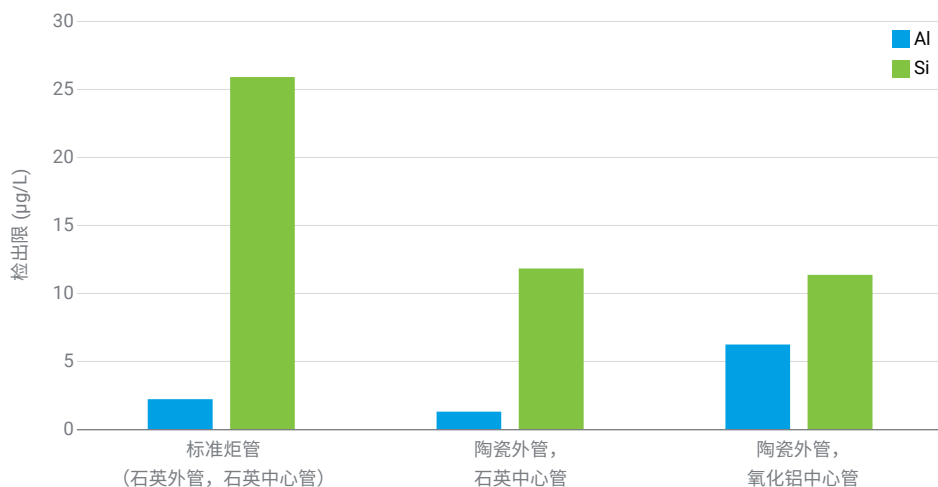


图 5. 检出限对比：石英与陶瓷



图 6. 安捷伦管组的陶瓷外管 (A) 和石英内管 (B)

陶瓷外管组的拆卸和重新组装可轻松完成。扫描或单击二维码观看演示视频，或参阅易安装炬管 ICP-OES 用户指南（出版号 5994-8863EN）。

## 炬管中心管 — 需要考虑的因素

安捷伦为 5000 系列 ICP-OES 的全可拆卸炬管提供石英或惰性氧化铝中心管选择（一体式和半可拆卸炬管同样提供不同的中心管）。中心管提供四种内径：0.8、1.4、1.8 和 2.4 mm。石英中心管经济实惠，而氧化铝中心管对于大多数基质来说寿命更长且更易清洁。

使用石英中心管处理强酸或高基质样品时，中心管的尖端也可能因暴露于基质中而发生失玻化。石英失去其抛光表面，导致高基质样品中的盐附着在表面上。随着炬管的持续使用和反复清洁，积聚速度越来越快，导致清洁频率增加。维护频率的增加意味着停机时间更长。在最糟糕的情况下，甚至需要更换中心管。

惰性氧化铝中心管在与高基质样品一起使用时，具有优异的抗失玻化和抗腐蚀性。分析富含碱金属的基质（包括锂电池材料或 HF 消解液）时，建议使用惰性氧化铝中心管。

[了解各种中心管的更多信息。](#)

## 总结

用于 Agilent 5000 系列 ICP-OES 易安装炬管的安捷伦陶瓷外管组，专为解决传统石英外管组在高基质和化学腐蚀性条件下运行时基础材料的限制而开发。

石英外管组暴露于这些高基质样品时易发生失玻化、高能辐射劣化和热致碎裂，导致机械完整性丧失和过早失效。结果是炬管寿命缩短、维护频率增加以及计划外仪器停机时间增加。

陶瓷外管组对碱金属腐蚀和热冲击引起的失玻化以及深紫外诱导的高能辐射劣化具有优异的抵抗力。在涉及高总溶解固体 (TDS)、富含碱金属的基质（如锂离子电池样品）、强酸消解液或有机溶剂的应用中，陶瓷外管组可提供 10 倍以上的使用寿命，同时改善硅背景。

陶瓷外管组与双向观测和径向观测配置兼容，为要求苛刻的 ICP-OES 应用提供耐用、维护成本低的解决方案，从而提高正常运行时间、分析可靠性并降低总体使用维护成本。

如需了解关于全可拆卸炬管的信息，请参阅安捷伦宣传单页 [5994-1572ZH-CN](#)。

也可访问产品页面：

- [用于 5100/5110 和 5800/5900 ICP-OES 的炬管](#)
- [用于 ICP-OES 炬管的外管](#)

如果您想要获得更多建议以及窍门与技巧，以帮助您确保实现理想性能，请访问 [ICP-OES 资源中心](#)。

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

DE-013382

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 3 月 19 日，中国出版  
5994-8992ZH-CN