

原子光谱 基本原理：硬件

成就

您的科学探索之路

安捷伦与您一路同行

安捷伦致力于为教育事业贡献力量，愿意无偿提供公司拥有的技术培训材料。

这组幻灯片由安捷伦科技公司制作，仅可用于教学目的。

如果您希望将其中的图片、示意图或绘图用于其他任何目的，请事先与安捷伦科技公司取得联系。

目录

前言

- [分类](#)
- [综述](#)
- [早期发展历程](#)
- [测量对象](#)

原子光谱技术

- 原子吸收光谱
 - [操作原理](#)
 - [常规设置](#)
 - [灯](#)
 - [原子化器](#)
 - [系统](#)
 - [示例](#)

原子光谱技术

- 原子发射光谱
 - [综述](#)
 - [MP-AES](#)
 - [ICP-OES](#)
 - [ICP-MS](#)
 - [常规设置](#)
 - [系统](#)
 - [示例](#)
- [总结](#)
- [更多信息](#)



前言

分类

光谱学是一个包含多个分支学科的广泛领域，根据所分析的物质类型对各分支进行分类。本演示文稿将重点介绍第一类，即**原子光谱**。

原子

原子光谱

- AAS
- MP-AES
- ICP-OES
- ICP-MS

分子

分子光谱

- UV-VIS
- UV-VIS-NIR
- FTIR
- 荧光

晶体

- X-射线晶体学

核子

- 核磁共振

前言

综述

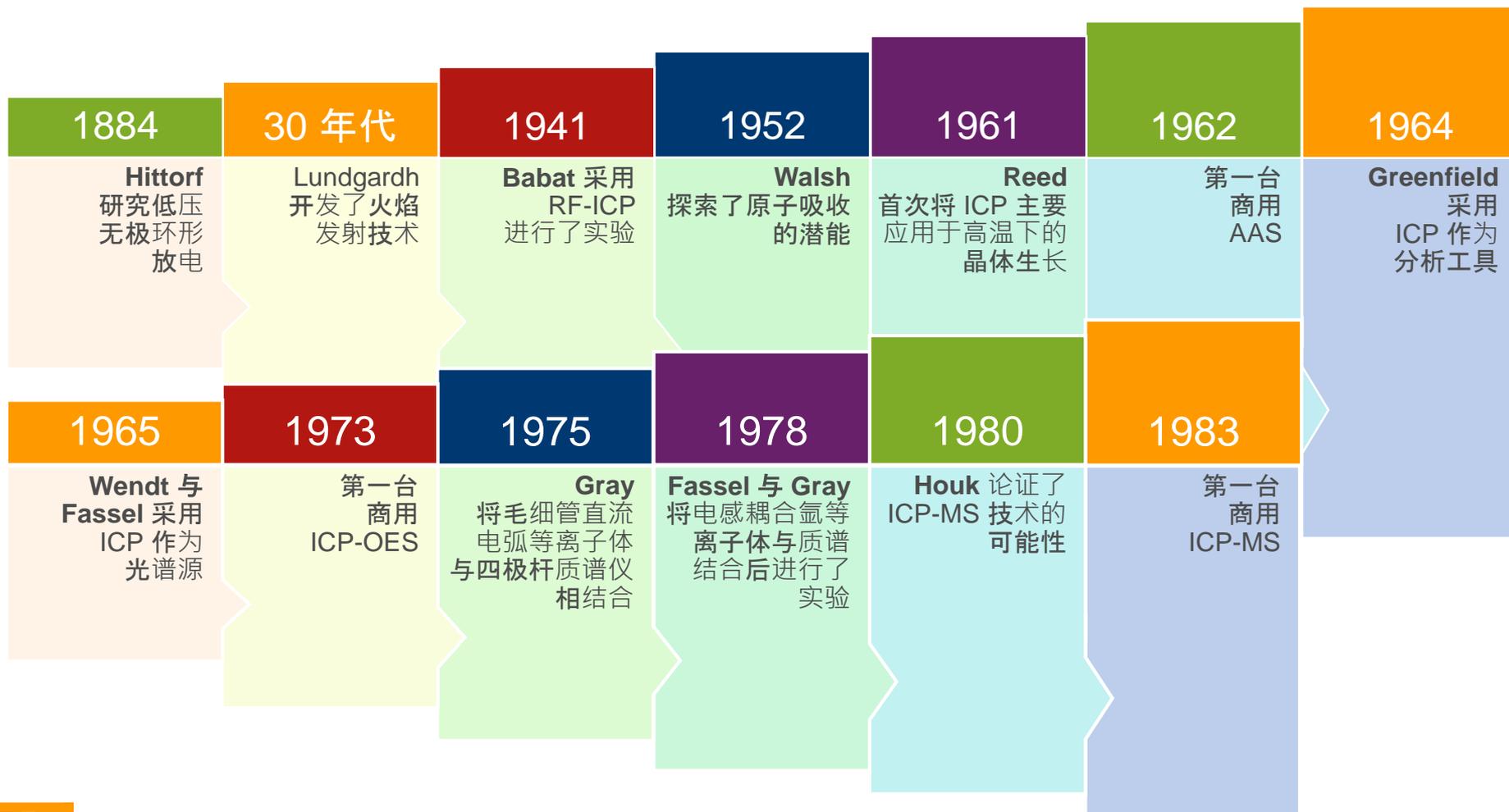
原子光谱包括多种分析技术，通过观察样品的电磁光谱或者质谱用于测定元素成分。

原子光谱	
鉴定依据	
电磁光谱	质谱
原子吸收光谱 <ul style="list-style-type: none">• 火焰原子吸收光谱• 石墨炉原子吸收光谱• 氢化物发生器原子吸收光谱	
原子发射光谱 <ul style="list-style-type: none">• MP-AES• ICP-OES• X 射线荧光 (XRF) 光谱	<ul style="list-style-type: none">• ICP-MS
原子干扰 <ul style="list-style-type: none">• X 射线衍射 (XRD)	



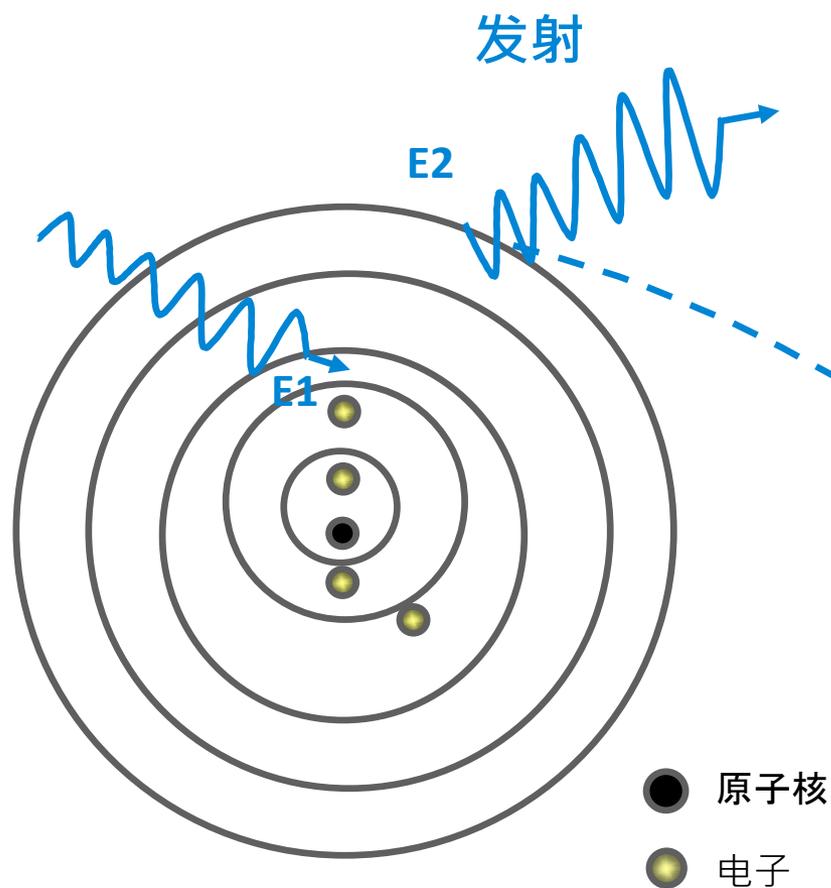
前言

早期发展历程



前言

测量对象



1. 能量吸收使得电子向更高能级 (E2) 跃迁 → **AA**
2. 受激发电子最终会回到基态并发射某一特定波长的光 (发射) → **MP-AES、ICP-OES**
3. 如果有足够能量，电子将完全脱离原子并留下一个带正电荷的离子 (离子化) → **ICP-MS**

详情请参见注释

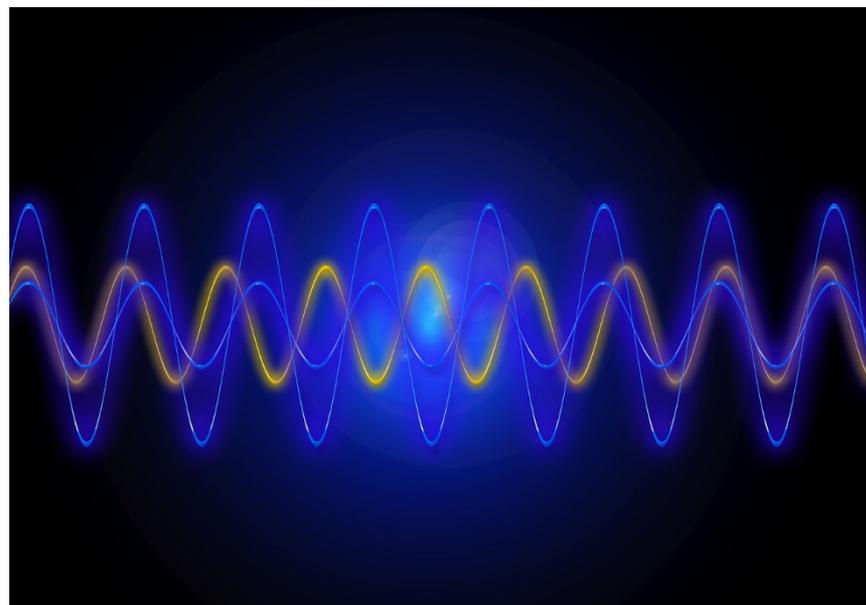
原子吸收光谱

操作原理

原子吸收光谱 (AAS) 技术以以下事实为依据：原子化的元素将吸收具有特征波长的光，以使其由基态跃迁至激发态。

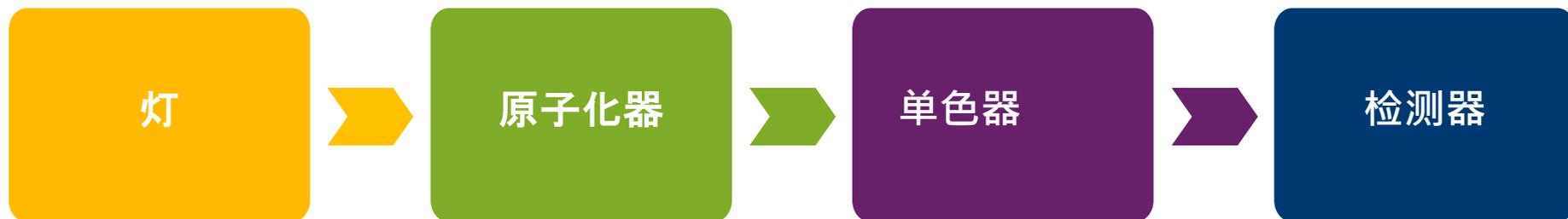
吸收的光能量与光路中的分析物原子数量成正比。

该项技术通过将已知浓度分析物原子引入光路并以吸收量对浓度绘制曲线的方法对此项技术进行校准。



原子吸收光谱

常规设置



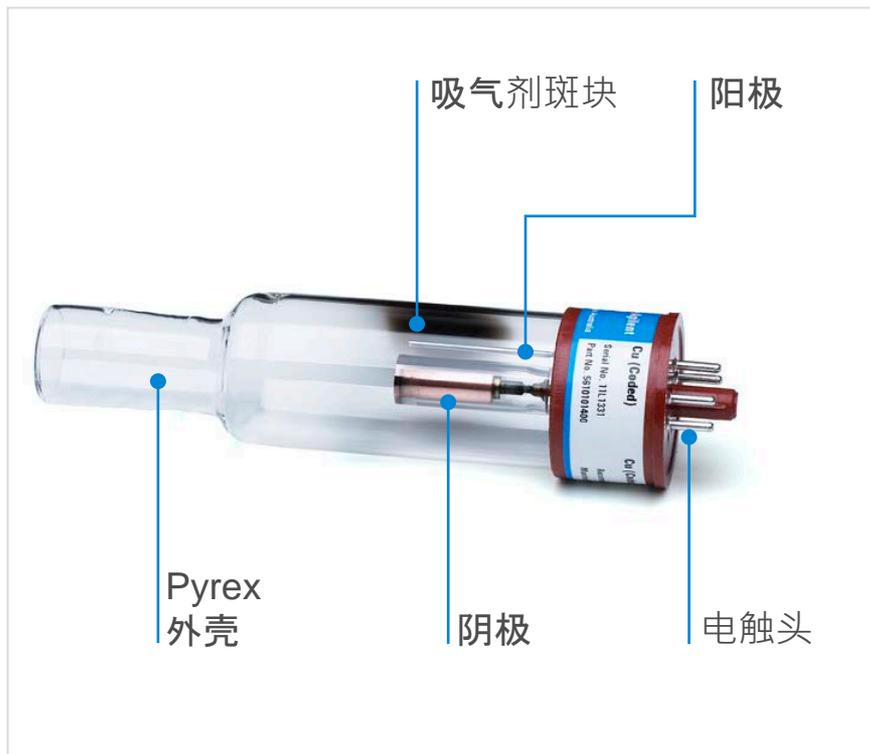
- 灯发射具有目标元素特征波长的光
- 原子化器将液态样品转化为自由原子，这些原子从灯中吸收能量
- 单色器选择用于测量的波长
- 检测器测量自由原子吸收的光

原子吸收光谱 灯

用于原子吸收中的光源主要为空心阴极灯 (HCL)。

通常每个灯专用于单一元素分析，而在某些情况下，一个灯中可能会组合几种元素。

由于这一限制条件，原子吸收光谱法通常用于单一元素或少数几种元素的分析。



典型的空心阴极灯构造

详情请参见注释

原子吸收光谱

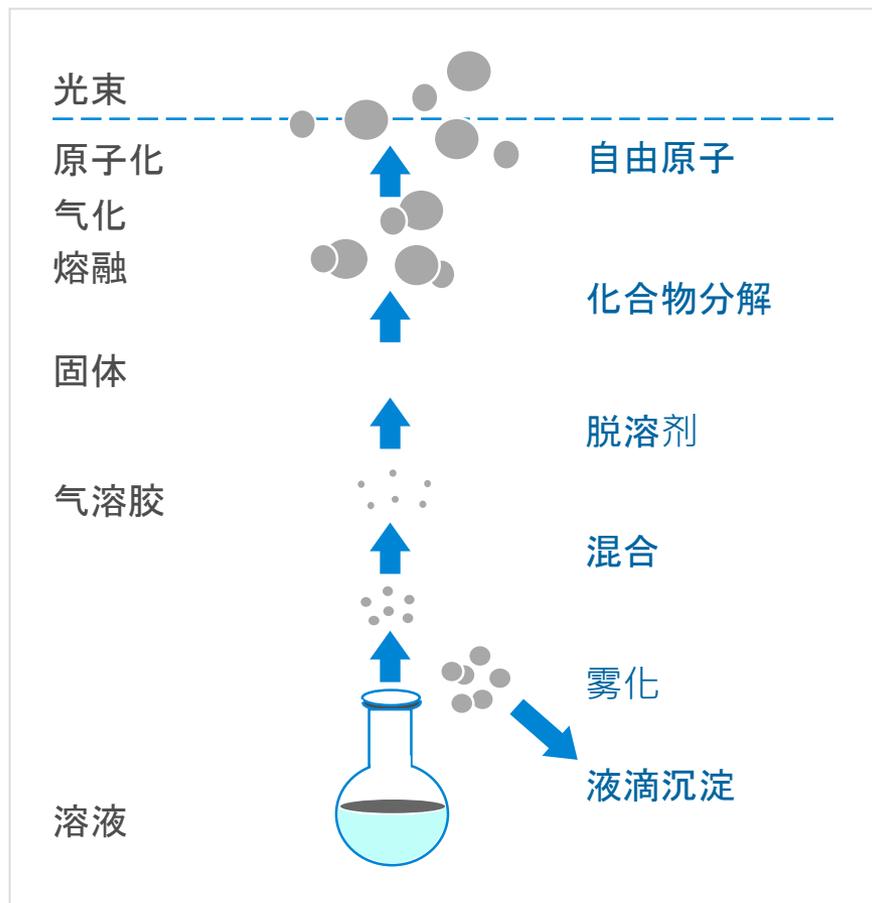
原子化器

原子化是将液态样品转化为自由原子的过程。

右图展示了原子化过程中发生的不同步骤，以将元素制备为溶液作为起始。

元素 M 经历的不同阶段：

- 溶液： $MA_{\text{液体}}$ （化合物）
- 雾化： $MA_{\text{液体}}$ （化合物）
- 脱溶剂： $MA_{\text{固体}}$ （A = 阴离子溶液）
- 气化： $MA_{\text{气体}}$
- 原子化： M^0
- 激发： M^*
- 离子化： M^+



原子吸收光谱

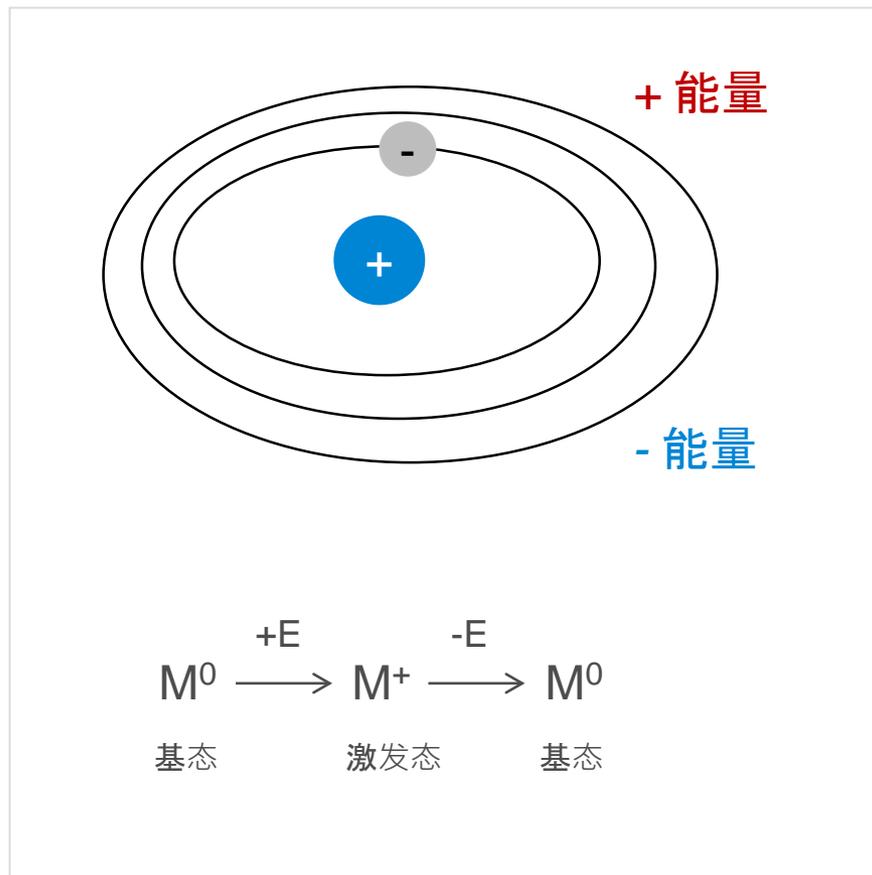
原子化器

原子可吸收各种不同的能量来源：

- 热量
- 不连续波长的光能

电子可改变能级

- 一个原子可以获得（吸收）或释放（发射）能量。
- 原子被“激发”
- 激发可以解释为一个电子从内侧轨道（更低能级）向外侧轨道（更高能级）跃迁。

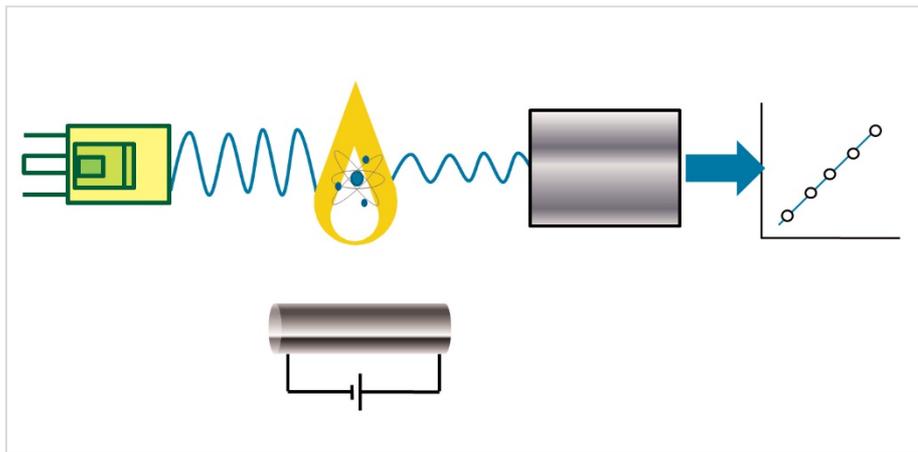


原子吸收光谱

火焰 AAS 原子化器

在火焰 AAS (FAAS) 中，将样品制备为液体并使其雾化喷入火焰中。

这项技术的基本特征就是在火焰中发生原子化。



火焰或石墨炉原子吸收光谱仪系统示意图

火焰原子吸收光谱

优点

- 分析时间较短
- 精密度良好
- 易于使用
- 便宜

局限性

- 灵敏度
- 动态范围
- 需使用可燃气体
- 由于使用可燃气体，因此不建议进行无人值守运行
- 不能含有大量溶解态固体

来源：[合同环境实验室中的原子光谱应用](#)

原子吸收光谱

石墨炉 AAS 原子化器

多数情况下需要将样品溶解为液体形式。

将样品注入石墨管并在不同阶段中以电热方式加热，以使分析物原子化。

在石墨炉原子吸收光谱 (GFAAS) 中原子化过程分为三步：

- 干燥
- 灰化
- 原子化

石墨炉操作是传统火焰 AA 的补充技术，为分析增加了一些优势。

石墨炉

优点

- 高灵敏度，原因为
 - 一次性将全部样品原子化
 - 自由原子在光路中的停留时间更长
- 需要的样品量更少
- 可实现超痕量分析
- 实现无人值守甚至过夜运行

局限性

- 非常慢
- 可分析的元素较少
- 精密度较差
- 更多化学干扰（与火焰 AA 相比）
- 方法开发需要一定的技能
- 标样添加校准更频繁（与火焰 AA 相比）
- 消耗品昂贵（石墨管）

原子吸收光谱

石墨炉 AAS 原子化器

右图装置中的石墨管提供惰性气体保护并产生高温加热石墨管，使样品脱溶剂并原子化。



原子吸收光谱

AAS 的元素覆盖范围

H																		He
Li	Be											B	C	N	O	F		Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn
Fr	Ra	Ac																
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mo	No	Lr		

Legend:

- Yellow: 仅火焰 (Flame only)
- Orange: 火焰和石墨炉 (Flame and graphite furnace)

原子吸收光谱

其他原子化器

氢化物发生技术

适用于与硼氢化钠等还原剂反应时生成挥发性氢化物的元素 (As、Sn、Bi、Sb、Te、Ge 和 Se) 。

优点

- 可消除基质干扰的氢化物等特定元素分离
- 取样效率高达 100% 的良好灵敏度
- 精密度良好
- 比石墨炉 AA 更快

局限性

- 受限于特定元素
- 有一些化学干扰
- 需要特殊样品前处理 (分析物必须转化为特殊氧化态)

冷蒸气技术

尤其适用于汞 (室温下具有足够高的蒸气压) ，因为汞可以在硼氢化钠、氯化亚锡等强还原剂下还原为原子态。

优点

- 消除多数基质干扰
- 取样效率高达 100% 的良好灵敏度
- 精密度良好
- 比石墨炉 AA 更快

局限性

- 仅限于汞
- 汞必须在溶液中稳定

原子吸收光谱 系统



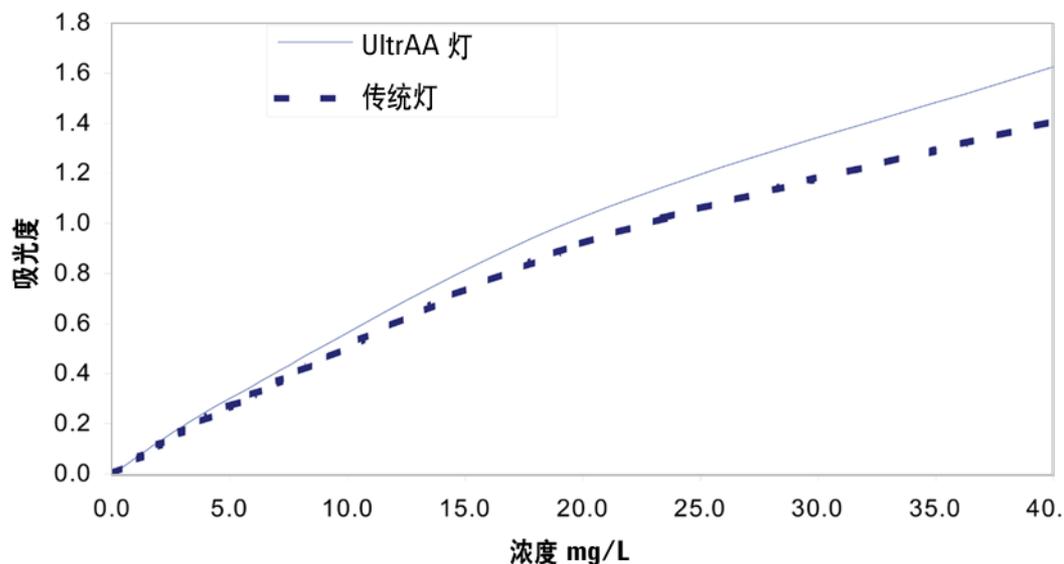
主要应用

- 测定油、植物、水中的微量金属/杂质
- 流体、水、土壤、食物、血清、半导体材料中的元素分析
- 等等

示例

火焰原子吸收光谱：矿石中低含量金的测定

使用的波长 (nm)	特征浓度 (mg/L)	检测限 (mg/L)
242.8	0.079	0.0054
267.6	0.14	0.0098

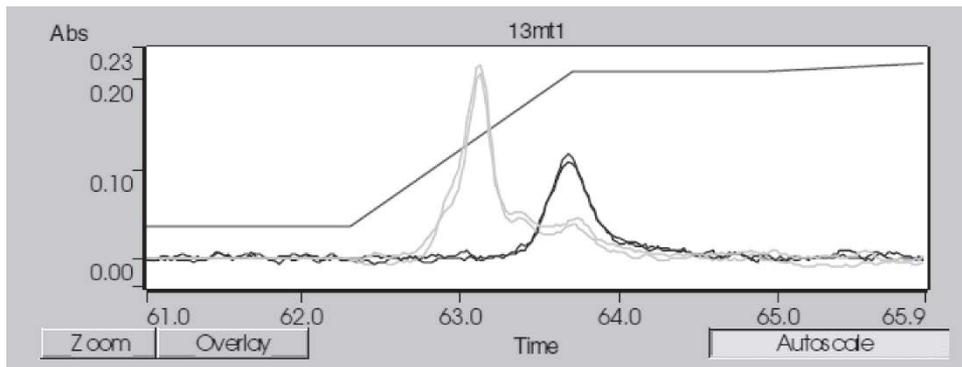


来源：[使用安捷伦 UltrAA 灯扩展金的分析范围](#)

示例

石墨炉原子吸收光谱：测定海洋无脊椎动物中的 Cd、Cu、Pb、Co 和 Ni

元素	检测限测定值 (mg/kg)	Tort-2; 龙虾肝胰腺 加拿大国家研究委员会				CRM No 278R 贻贝组织：贻贝； 欧共体标准物质局			
	(干重)	测定值	n	标准值	回收率%	测定值	n	标准值	回收率%
Cd	0.10	25.7 ± 0.92	45	26.7 ± 0.6	96	0.31 ± 0.01	54	0.348 ± 0.007	90
Cu	3.5	109 ± 4	50	106 ± 10	103	9.1 ± 0.4	53	9.45 ± 0.13	96
Pb	0.32	0.36 ± 0.04	47	0.35 ± 0.13	103	1.8 ± 0.1	51	2.00 ± 0.04	91
Co	0.13	0.55 ± 0.02	49	0.51 ± 0.09	107	0.34 ± 0.01	56	n/a	n/a
Ni	0.39	2.30 ± 0.05	49	2.5 ± 0.19	92	0.94 ± 0.04	52	n/a	n/a



CRM 786 R 贻贝组织中的 Ni 信号图

来源：[海洋无脊椎动物中 Cd、Cu、Pb、Co 和 Ni 的塞曼 GFAAS 连续测定](#)

示例

氢化物发生器原子吸收光谱：As、Sb 和 Se 测定

As 和 Sb 的样品前处理

两种元素采用一种样品前处理方法：
将 5 mL 样品置于 50 mL 容量瓶中，
并加入 25 mL 盐酸。

- 混合并冷却。加入 5 mL 20% 尿素
- 混合并冷却。加入 2.5 mL 20% KI
- 用去离子水稀释至刻度。
- 30 分钟后对 As 和 Sb 进行分析

样品	浓度 (ppb)	%RSD	平均吸光度
空白	0.0		0.008
标准品 1	2.0	2.0	0.062
标准品 2	5.0	0.9	0.148
标准品 3	10.0	0.6	0.262
标准品 4	20.0	1.0	0.455
标准品 5	40.0	0.4	0.70

使用氢化物发生法的 As 样品前处理和典型校准数据

来源：[氢化物发生法测定复杂环境样品中的 As、Sb 和 Se](#)



原子发射光谱

综述

由于 AAS 的局限性，无需为每种元素准备专用灯的技术逐渐得到采用。这些技术称为**原子发射光谱 (AES)**，其理论依据为某个特定元素的原子受到激发（与原子吸收光谱中类似）后，它会在返回基态时发射出具有特征波长的光（发射光谱）。

火焰并非原子发射的理想激发源。因此需要使用温度更高的源。

我们将讨论下列技术：

- 微波等离子体原子发射光谱 (MP-AES)
- 电感耦合等离子体发射光谱 (ICP-OES)



原子发射光谱

微波等离子体原子发射光谱

氮等离子体用于对已经雾化进入其中的液体样品中原子进行脱溶剂、原子化与激发。与 AA 中使用的空气-乙炔火焰相比，氮等离子体的温度相当高（最高可达 5000° K）。

原子发射对多数元素而言都很强，因此使多数元素的检测性能与火焰 AA 的线性动态范围得到了提高。

通过目标元素特征波长的光学测定来测量发射光线的强度。

MP-AES

优点

- 安全（无需使用可燃气体）
- 操作成本低，因为可采用氮气发生器将氮气从压缩空气中提取出来
- 分析时无需采用灯
- 可对几乎所有金属和许多类金属元素进行定性与定量分析
- 性能优于火焰 AAS

局限性

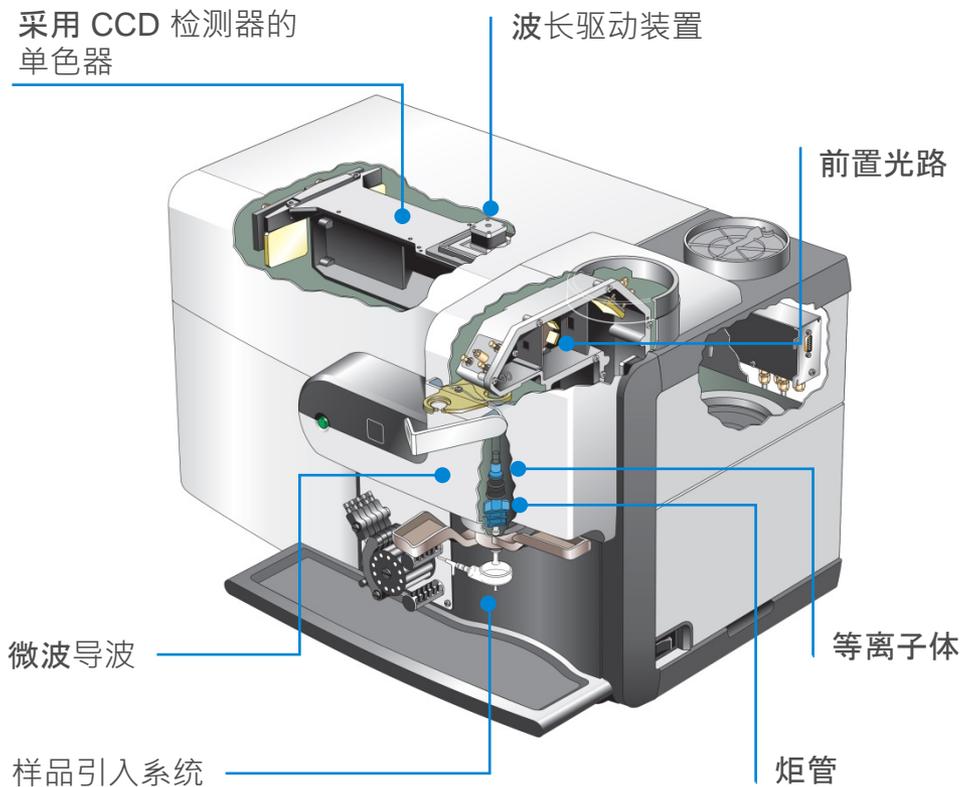
- 初始成本比 AAS 高
- 与火焰 AA 相比干扰更多（包括光谱干扰）
- 灵敏度不及石墨炉 AAS 或 ICP-MS
- 分析效率不及 ICP-OES 高
- 无法测定同位素



微波等离子体原子发射光谱系统

主要应用

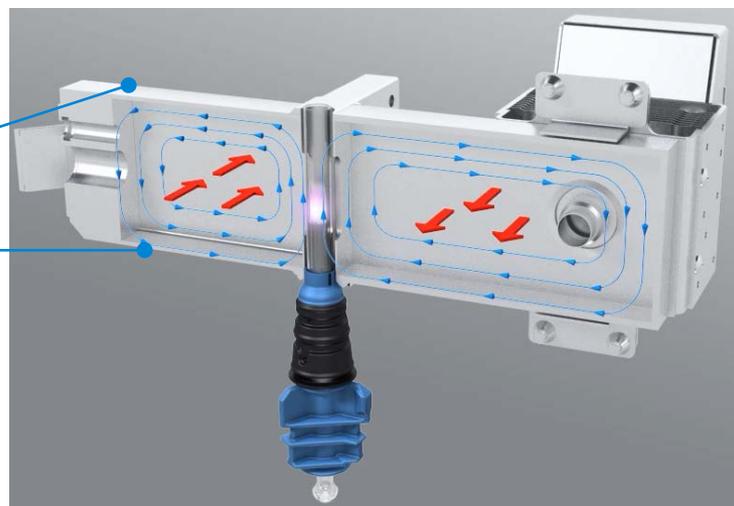
- 地质样品中的微量元素
- 土壤提取物中的金属
- 食品与饮料中的常量元素
- 石油分析
- 废水分析



微波等离子体原子发射光谱 工作原理

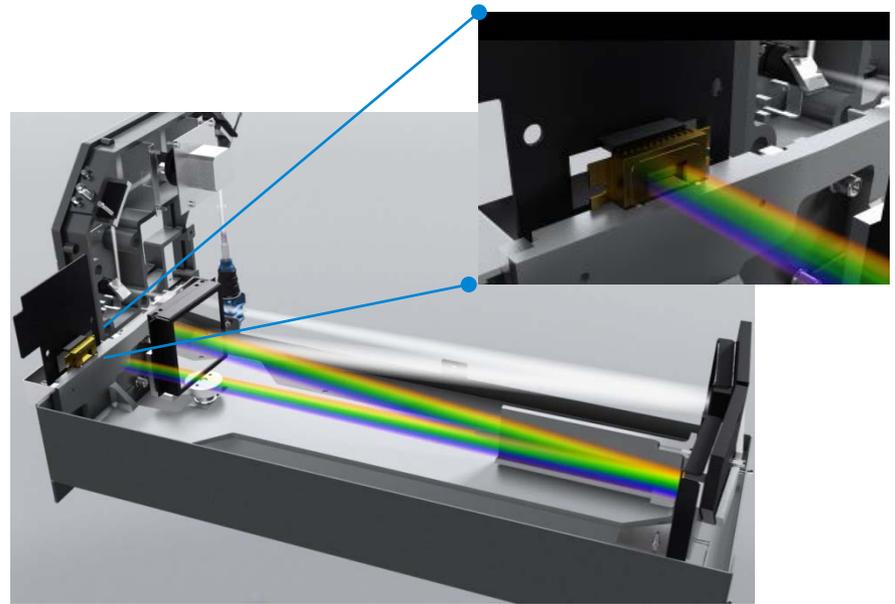
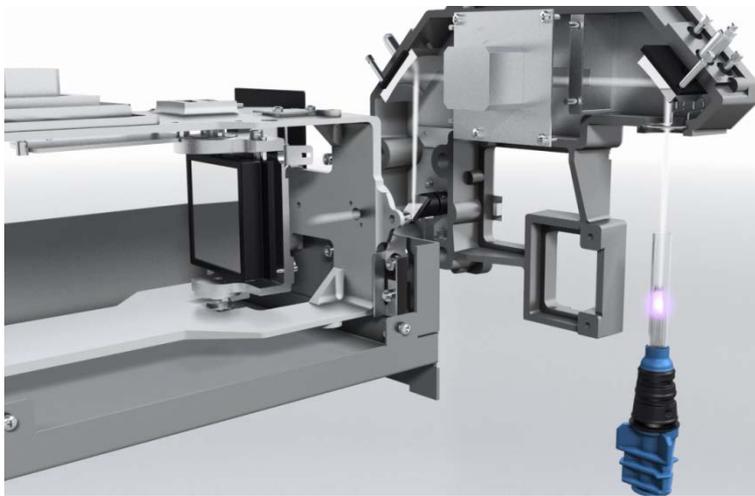
安捷伦 MP-AES 运行所需的氮气是通过氮气发生器从空气中提取而来。

- 水平磁场和垂直电场维持氮等离子体
- 样品气溶胶引入氮等离子体



微波等离子体原子发射光谱 工作原理

- 氮等离子体中的水平发射直接进入快速扫描单色器光学元件中
- 采用高效 CCD 检测特异性发射的波长



微波等离子体原子发射光谱

测定土壤中的中的营养元素（多元素检测）

	Cu		Fe		Mn		Zn	
波长 (nm)	324.754	324.7	259.94	372	257.61	280.1	213.857	213.9
技术	MP-AES	FAAS	MP-AES	FAAS	MP-AES	FAAS	MP-AES	FAAS
测定浓度 $\mu\text{g/g}$								
SSTD-Trail 1	1.44	1.42	7.76	8.44	24.26	26.22	0.64	0.62
SSTD-Trail 1	1.46	1.45	7.96	8.24	24.40	25.96	0.64	0.64
SSTD-Trail 1	1.44	1.42	8.08	8.64	23.70	26.50	0.62	0.58
平均值 $\mu\text{g/g}$	1.45	1.43	7.93	8.44	24.12	26.23	0.63	0.61
标准偏差	0.01	0.02	0.16	0.20	0.37	0.27	0.01	0.03

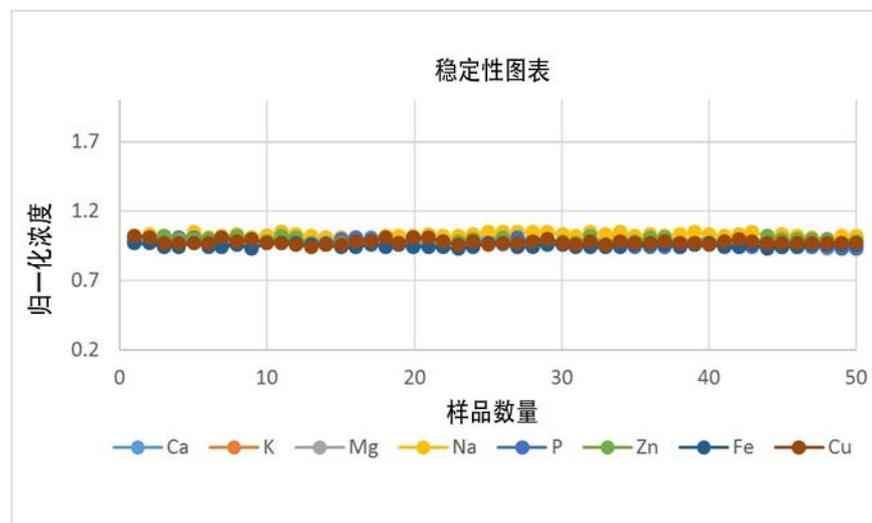
采用 DTPA 提取法得到的土壤中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的 MP-AES 结果 (与 FAAS 对比)

来源：[采用 Agilent 4200 MP-AES 测定土壤中存在的营养元素](#)



微波等离子体原子发射光谱 测定牛奶中的主量元素和微量元素

元素	标准值 (g/kg)	不确定度 (g/kg)	结果 (g/kg)	回收率 (%)
Ca	13.9	0.7	14.21	102
K	17	0.8	16.66	98
Mg	1.26	0.07	1.31	104
Na	4.19	0.23	4.25	101
P	11	0.6	11.27	102
	标准值 (g/kg)	不确定度 (mg/kg)	结果 (mg/kg)	回收率 (%)
Zn	44.9	2.3	45.89	102
Fe	53	4	50.51	95
Cu	5	0.23	5.13	103



通过 MP-AES 4200 测定 TMAH、Triton X-100、EDTA 与电离缓冲液中的 Ca、K、Mg、Na、P、Fe、Zn 和 Cu

来源：[使用 Agilent MP-AES 4200 测定牛奶中的主要元素和微量元素](#)

电感耦合等离子体发射光谱 操作原理

氦电感耦合等离子体（比 MP 温度更高，最高可达 10000° K）用于对已经雾化进入其中的液体样品中原子进行脱溶剂、原子化与激发。

通过目标元素特征波长的光学测定来测量发射光线的强度。

ICP-OES 能够测定原子与离子发射，因此可以监测到更多波长。

将这些测量值与标准品比较后即可对样品中的元素浓度进行定量分析。

ICP-OES

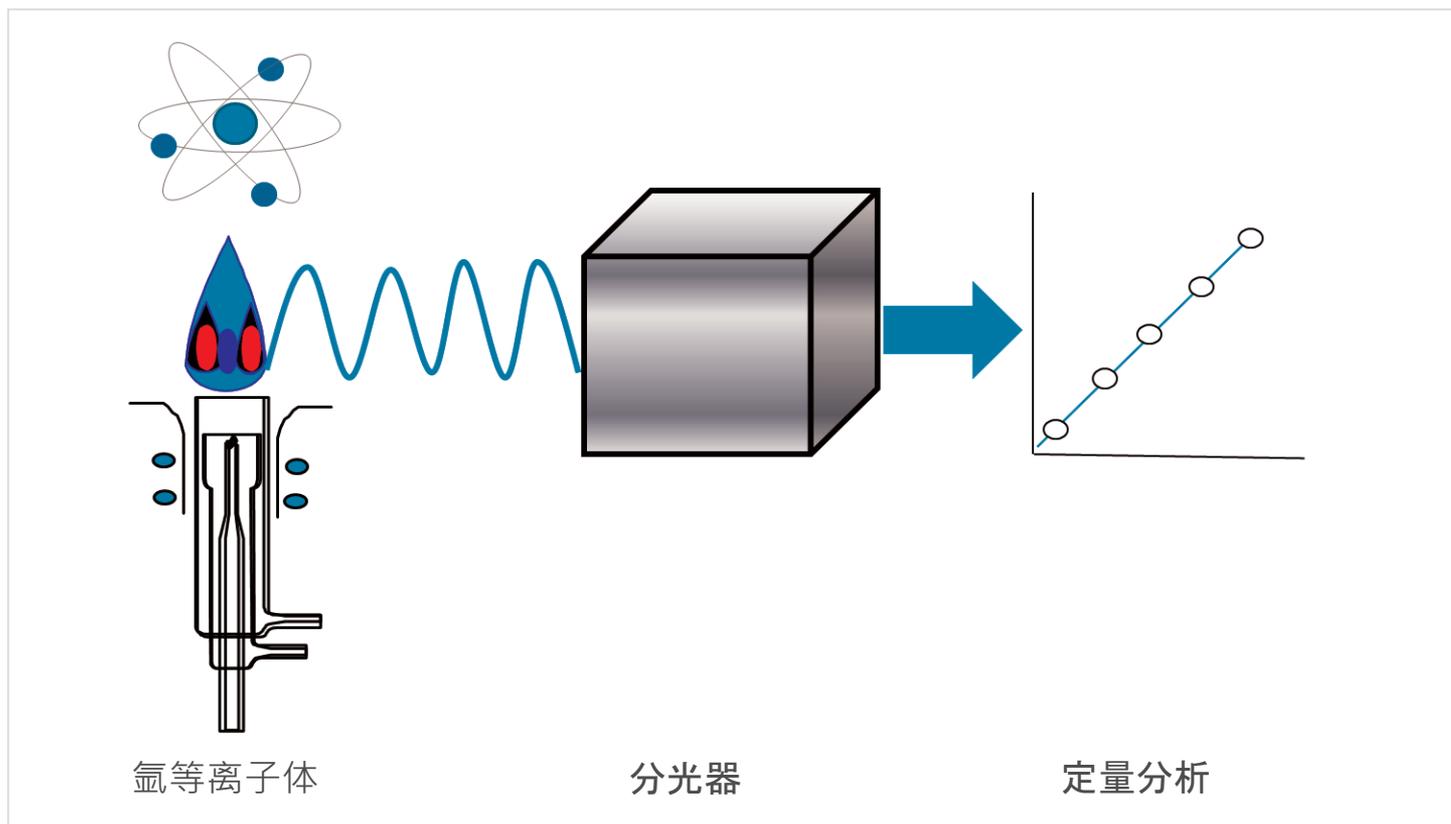
优点

- 样品通量高
- 同时多元素分析（最多分析 73 种元素）
- 动态范围宽（从亚 ppb 到百分级）
- 可耐受复杂基质
- 氦气用量少
- 安全（无需使用可燃气体）

局限性

- 初始成本比 AAS 或 MP-AES 高
- 与 MP-AES 相比存在更多光谱干扰
- 灵敏度不及石墨炉 AAS 或 ICP-MS
- 无法测定同位素

电感耦合等离子体发射光谱 常规设置



等离子体炬管可通过轴向或径向观测。某些“双向观测”仪器可在两个方向进行观测，具体取决于所进行的分析。（轴向观测具有更长的光程，因此灵敏度更高。）

ICP-OES 光谱仪系统的简化示意图

电感耦合等离子体发射光谱系统

主要应用

- 监测水/废水/固体废物
- 测定水中的微量元素
- 环境样品中的汞监测
- 水/土壤/沉积物环境样品中的多元素定量分析
- 土壤分析 — 微量营养元素分析（农业）
- 测定贵金属与金



电感耦合等离子体发射光谱 奶粉分析

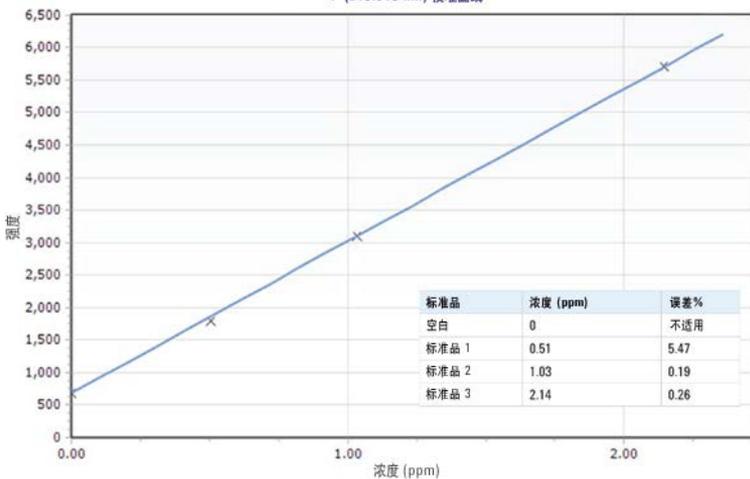
元素	标准值 (mg/kg)	测定值 (mg/kg)	回收率 (%)
常量营养元素			
K 766.491	13630	13070	96
Ca 315.887	9220	9750	106
P 213.618	7800	7160	92
Na 589.592	3560	3530	99
S 181.792	2650	2650	100
微量及痕量元素			
Mg 279.078	814	749	92
Zn 202.548	28.0	28.9	103
Sr 421.552	4.35	4.37	101
Fe 259.940	1.8	1.9	107
Cu 327.395	0.46	0.46	100
Mo 204.598	0.29	0.27	92
Mn 257.610	0.17	0.18	103

采用 5100 SVDV
ICP-OES 分析
NIST 奶粉 8435
SRM

来源：[根据中国标准方法](#) 使用 Agilent 5100 SVDV
ICP-OES 分析奶粉

电感耦合等离子体发射光谱 生物柴油分析

P (213.618 nm) 校准曲线



采用拟合背景校正得到的 P 213.618 nm 标准曲线在校准范围内展示出良好线性，相关系数为 0.99986

元素	λ (nm)	采用的背景校正	校准范围 (mg/kg)	相关系数	MDL (ppm)
Ca	422.673	拟合	0-2	0.99995	0.004
K	766.491	快速自动曲线拟合技术	0-2	0.99996	0.008
K	766.491	拟合	0-2	0.99935	0.048
Mg	279.553	拟合	0-2	0.99994	0.0004
Na	588.995	快速自动曲线拟合技术	0-2	0.99991	0.002
Na	588.995	拟合	0-2	0.99996	0.048
P	213.618	拟合	0-2	0.99996	0.013
S	181.972	拟合	0-2	0.99967	0.31

Agilent 5100 ICP-OES 波长与校准参数。
所有结果均以溶液形式表示

来源：[使用 Agilent 5100 SVDV ICP-OES 分析生物柴油](#)
(遵循 ASTM D6751 与 EN 14214)

电感耦合等离子体质谱 综述

ICP-MS 结合了两项优势：

1. 氙 ICP 作为高效离子源
2. 质谱仪可实现快速扫描、高离子传输效率与单位质量分辨率

与 ICP-OES 的最主要区别为分析对象是原子离子。多数元素的第一电离势为 4 - 10 eV，此范围有助于氙 ICP 中的有效离子化。

离子通过高真空区进行分离和检测。光子和中性粒子则无法通过。

质谱仪根据离子的质荷比 (m/z) 对其实现分离。

电感耦合等离子体质谱 综述

电子倍增检测器对每一个到达的离子产生一个脉冲。

由于单电离元素的电荷为 1 时 m/z 的数值与该元素质量相等，因此 ICP-MS 可将元素看作特征原子（同位素）质量从 ${}^6\text{Li}$ 到 ${}^{238}\text{U}$ 的简单谱图进行测定。

ICP-MS

优点

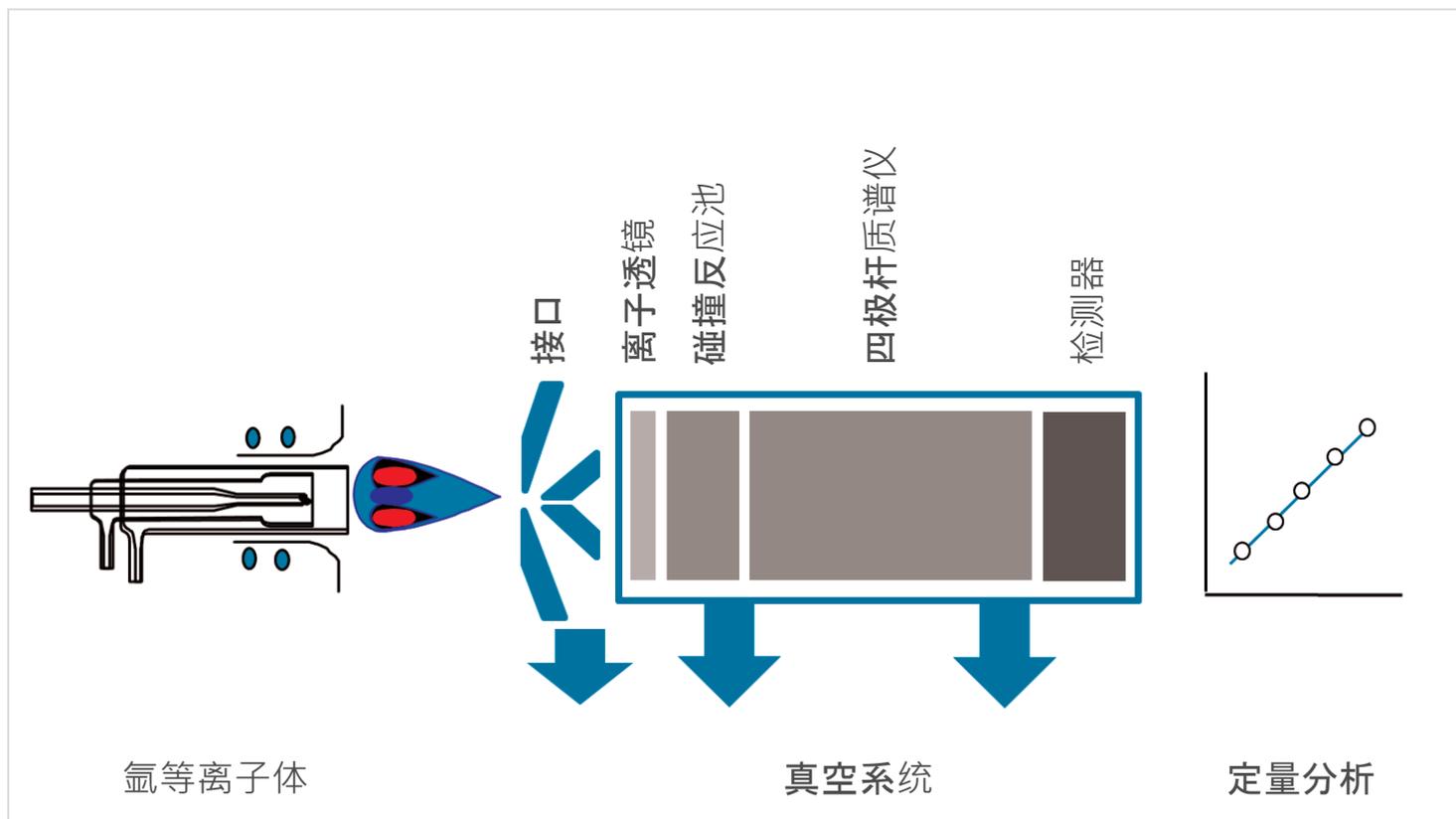
- 最灵敏的技术
- 多元素分析
- 同位素信息（IR、ID 分析）
- 动态范围广
- 可耐受复杂基质

局限性

- 基质耐受性不及 ICP-OES
- 技术最昂贵（购买与运行费用）
- 易受同质异位素干扰

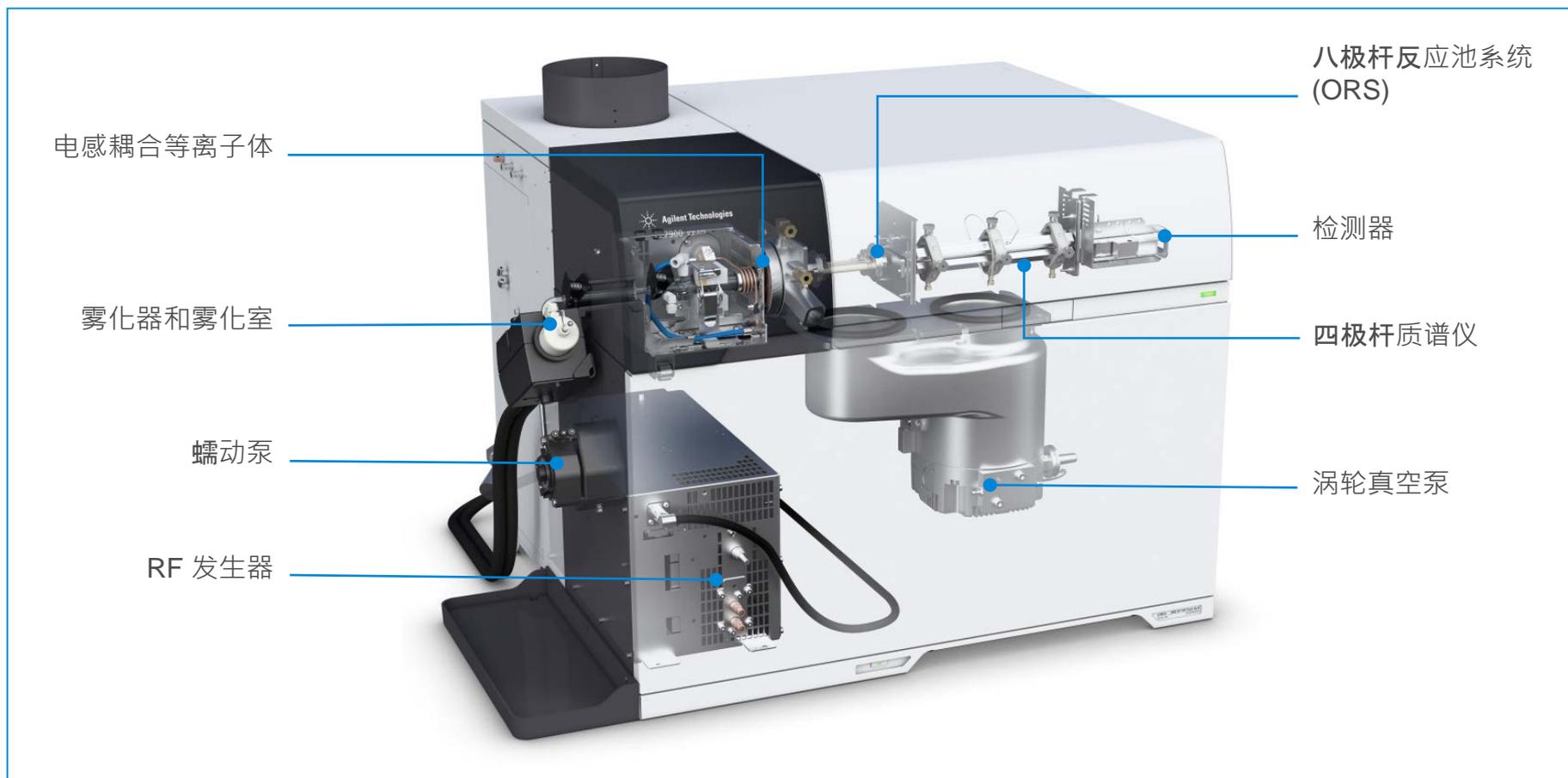


电感耦合等离子体质谱 常规设置



四极杆 ICP-MS 系统
主要元件简化示意图

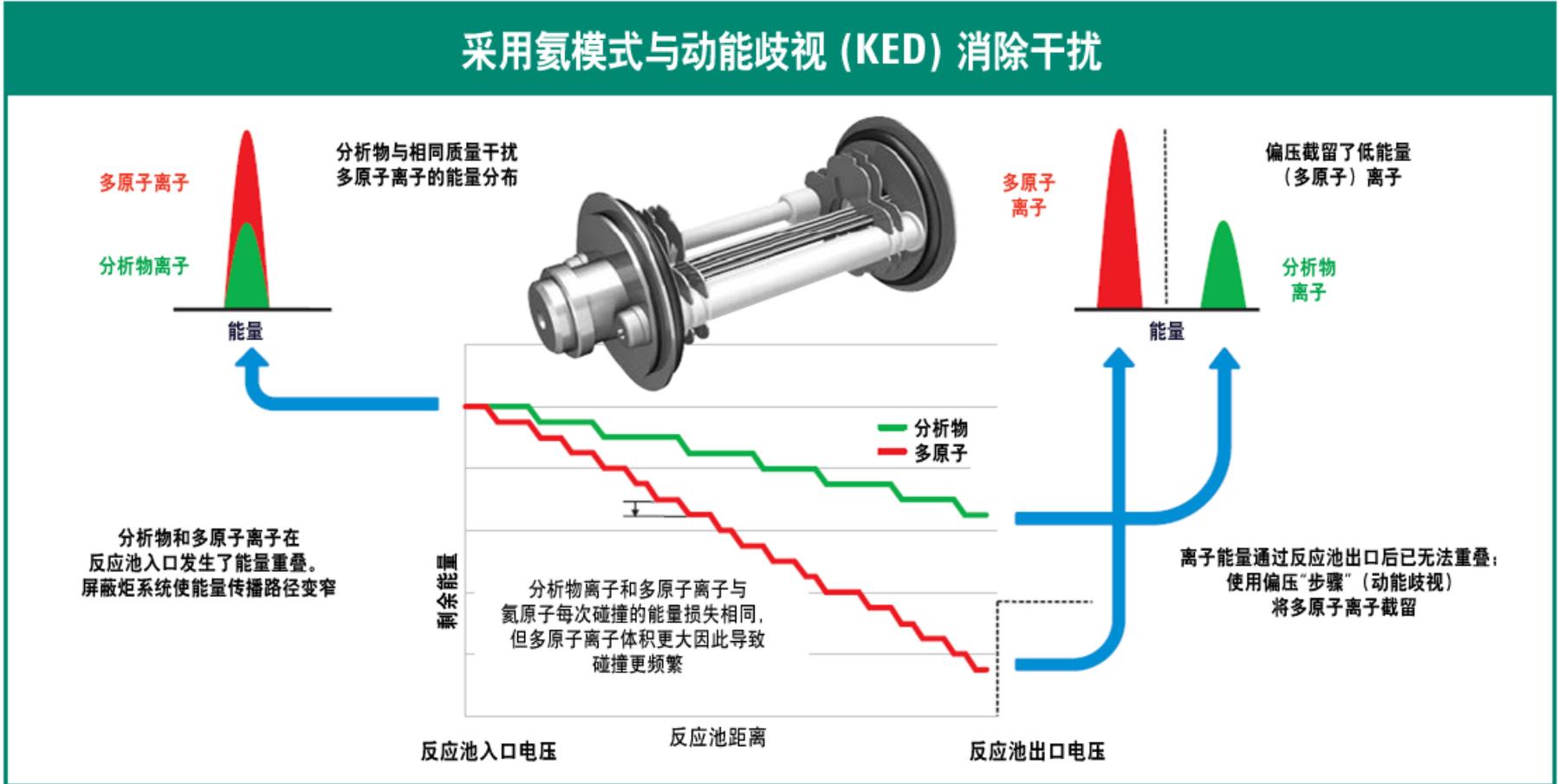
电感耦合等离子体质谱系统



电感耦合等离子体质谱

氦碰撞池模式如何消除光谱干扰

采用氦模式与动能歧视 (KED) 消除干扰



电感耦合等离子体质谱

ICP-MS 作为色谱检测器

在通常用作独立金属分析仪之外，ICP-MS 还越来越多地用作一系列色谱分离方法的检测器。

- 毛细管电泳色谱 (CE)
- 场流分离 (FFF)
- 离子色谱 (IC)
- 液相色谱 (HPLC)
- 气相色谱 (GC)

在这一配置中，前端技术分离不同物质（通过时间），并将 ICP-MS 用作质量选择检测器，在目标化合物相关元素从色谱系统中洗脱时对其进行测定。

电感耦合等离子体质谱

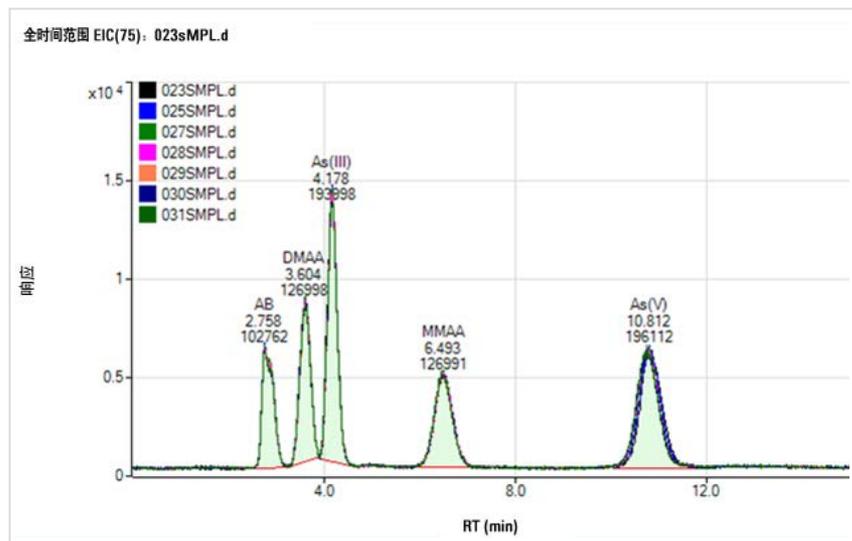
LC-ICP-MS 和 GC-ICP-MS 形态分析

HPLC-ICP-MS 应用示例：

- 无机砷与有机砷
- 有机锡
- 甲基汞

GC-ICP-MS 示例：

- 农药
- OP 神经性毒剂残留
- PBDE
- 纳米颗粒



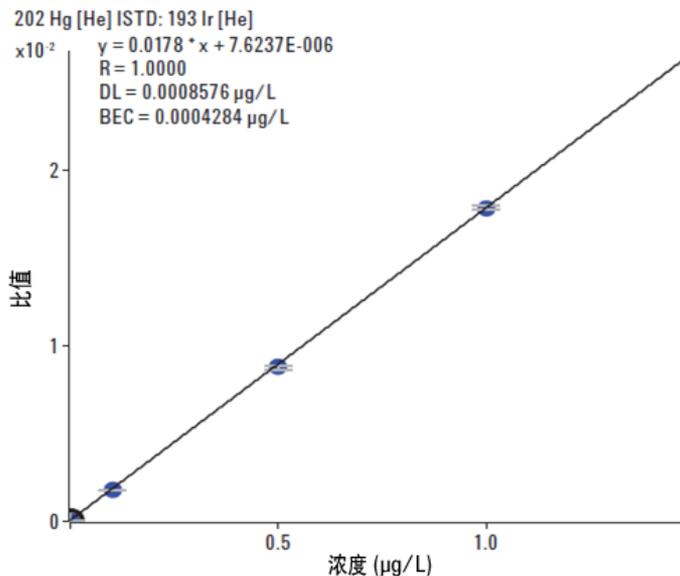
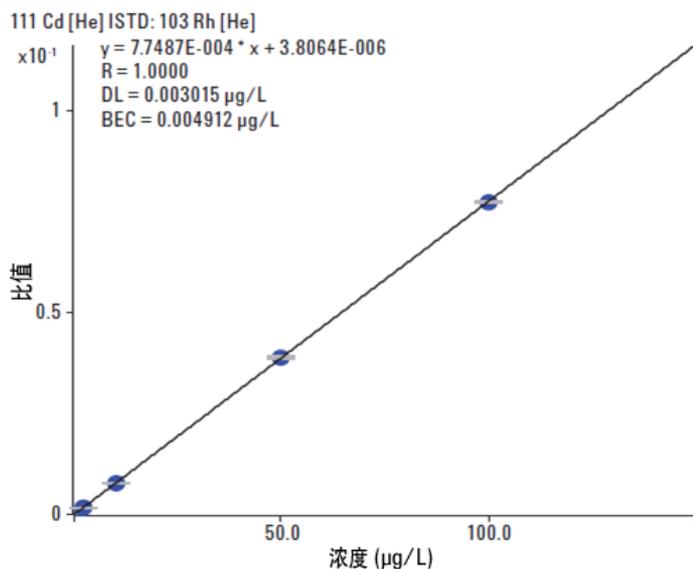
500 ng/L 砷标准溶液加标苹果汁的 7 次重复分析叠加色谱图



电感耦合等离子体质谱

饮用水分析

大多数发达国家已经颁布了相关法规和监测项目以确保饮用水供应不受潜在的有害化学品影响。ICP-MS 的快速、多元素分析技术因此得到广泛应用。

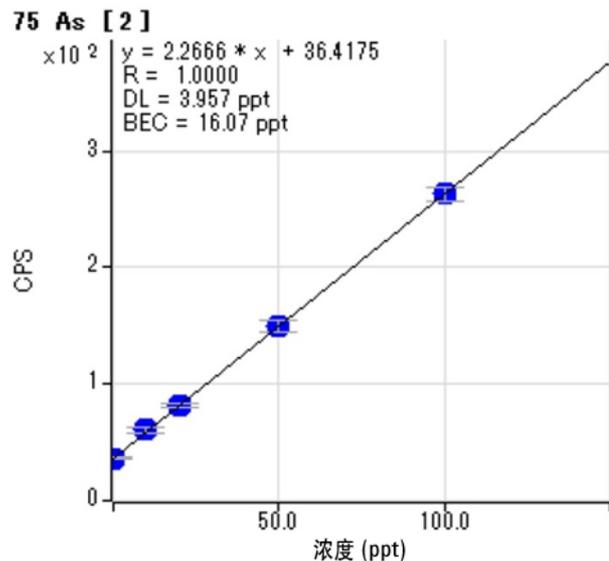


Cd 和 Hg 的校准曲线

电感耦合等离子体质谱

高纯盐酸中的痕量金属杂质分析

盐酸经常用于去除硅片表面的金属杂质。半导体设备的制造过程中需要对盐酸中的超痕量污染物进行常规监测。



受 $ArCl^+$ 干扰影响的 As 可在痕量浓度下实现检测。

元素	m/z	模式	检测限 ppt	BEC ppt
Li	7	冷等离子体	0.016	0.004
Be	9	无气体	0.13	0.11
B	11	无气体	4.5	9.7
Na	23	冷等离子体	0.44	1.3
Mg	24	冷等离子体	0.11	0.22
Al	27	冷等离子体	0.79	1.1
K	39	冷等离子体 /NH ₃	0.40	0.50
Ca	40	冷等离子体 /NH ₃	1.1	2
As	75	He	4.0	16

来源：[使用 Agilent 7700s ICP-MS 直接分析高纯盐酸中的痕量金属杂质](#)

总结

原子光谱技术

	AAS		MP-AES	ICP-OES	ICP-MS	
	FAAS	GFAAS			SQ	MS/MS
检测限	数百 ppb	数十 - 数百 ppt	ppb – 数十 ppb	数百 ppt - ppb	< ppt	< ppt
测量模式	顺序	顺序	顺序	同时	顺序 (MS)	顺序 (*复杂干扰问题采用 MS/MS)
最大样品数/天	100-200 (约 6 种元素)	50-100 (约 2 种元素)	300-500 (约 10 种元素)	2000-2500 (50 种元素以上)	750-1000 (约 50 种元素)	500-750 (约 50 种元素)
工作动态范围	3-4	2-3	4-5	7-8	10-11	9
操作员技能要求	低	中	低	中	高	最高



缩写词

缩写	定义
A	吸光度
AAS	原子吸收光谱
AES	原子发射光谱
b	光程 (cm)
c	光速 ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)
ϵ	消光系数或摩尔吸收系数 ($\text{Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)
E	振荡电场
E	能量
h	普朗克常数 ($6.62 \times 10^{-34} \text{ Js}$)
I	透射辐射
I_0	入射辐射

缩写	定义
ICP-OES	电感耦合等离子体发射光谱
ICP-MS	电感耦合等离子体原子质谱仪
SQ	单四极杆质谱
MS/MS	三重四极杆质谱
M	振荡磁场
MP-AES	微波等离子体原子发射光谱
T	透射率
ν	频率 (s^{-1})
XRF	X 射线荧光
XRD	X 射线衍射

了解更多信息

如需了解安捷伦产品的更多信息，请访问 www.agilent.com 或 www.agilent.com/chem/academia

对此幻灯片演示有问题或建议？请联系 academia.team@agilent.com

出版物类型	标题	出版号
基础导论	合同环境实验室中的原子光谱应用	5991-5326EN
应用	使用 UltrAA 灯扩展金的分析范围	SI-A-1138
应用	海洋无脊椎动物中 Cd、Cu、Pb、Co 和 Ni 的塞曼 GFAAS 连续测定	SI-A-1361
应用	氢化物发生法测定复杂环境样品中的 As、Sb 和 Se	SI-A-1299
应用	使用 Agilent 4200 MP-AES 测定土壤中存在的营养元素	5991-5675EN
应用	使用 Agilent MP-AES 4200 测定牛奶中的主要元素和微量元素	5991-5959EN
应用	根据中国标准方法使用 Agilent 5100 SVDV ICP-OES 分析奶粉	5991-4900CHCN
应用	使用 Agilent 5100 SVDV ICP-OES 分析生物柴油（遵循 ASTM D6751 与 EN 14214）	5991-5333EN
应用	采用 Agilent 8800 ICP-MS/MS 通过 HPLC-ICP-MS 方法进行苹果汁中砷的形态分析	5991-0622CHCN
应用	Agilent 7900 ICP-MS 简化饮用水分析	5991-4938CHCN
应用	使用 Agilent 7700s ICP-MS 直接分析高纯盐酸中的痕量金属杂质	5990-7354EN
应用文集	安捷伦形态分析产品样本（第 2 版）	5990-9473EN
产品样本	原子光谱系列手册	5990-6443CHCN
网页	CHROMacademy — 学生和大学教职工可免费访问在线课程	
视频与图像	www.agilent.com/chem/teachingresources	

谢谢

◀ 目录

出版号 5991-6593CHCN

仅用于教学目的
2015年12月11日

46

 Agilent Technologies

学术机构
研究