

使用 ICP-OES 对锂离子电池材料 进行元素分析的实用指南



目录

锂离子电池材料的生命周期	3
每个阶段的元素分析测量	3
资源提取过程中的元素分析	4
电池生产过程中的元素分析	4
回收过程中的元素分析	5
分析挑战	6
常见分析问题及解决方法	7
雾化器堵塞	7
测量稳定性差	8
部分元素（例如 Na 和 K）的结果不准确（偏高）	9
处理钾线性较差问题的示例	10
高背景信号	11
难以放置背景标记	11
样品引入组件需要频繁更换	12
测量准确度差	13
电池和电池材料的法规和标准	15
关于电池原材料测试的 ISO 标准	16
关于锂电池材料的中国标准	17
安捷伦锂电池行业解决方案	18



锂离子电池材料的生命周期

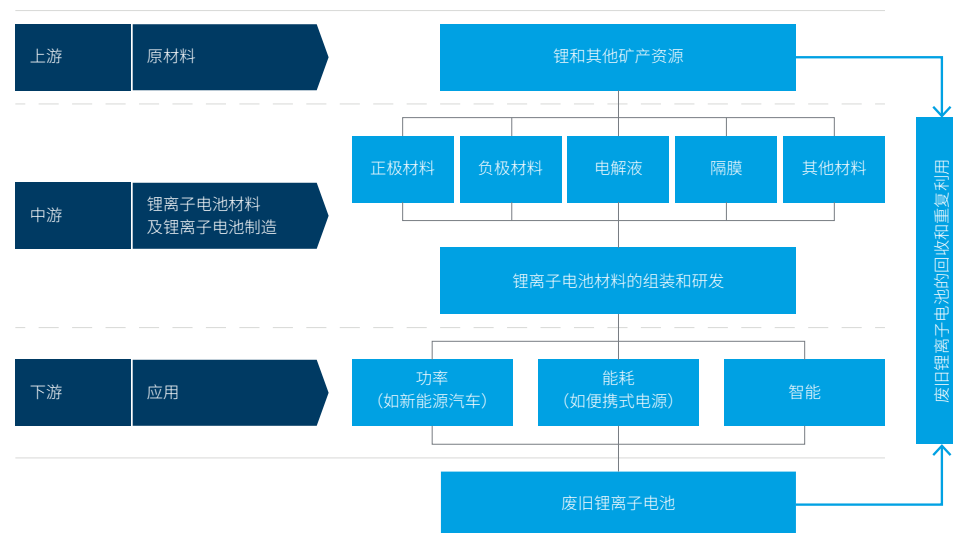


每个阶段的元素分析测量

锂电池行业需要对价值链中各环节材料的元素组成进行分析：

- 锂和其他矿物的提取：对矿石和盐溶液中的元素以及精炼过程中的金属和磁性杂质进行定性和定量
- 锂电池研发：研究组件之间的相互作用，研究电池中使用的不同元素对提高电池安全性、性能、生命周期、功率密度和能量密度的影响，测量分解产物中的元素
- 锂电池生产质量控制：测量负极、正极和电解液材料中的杂质，控制任何限制性元素（例如铅、汞和铬）
- 生产环境监测：确保工厂排放符合规定的限值
- 锂电池回收及贵金属元素（Ni、Co、Mn、Li等）资源回收

锂离子电池行业



资源提取过程中的元素分析

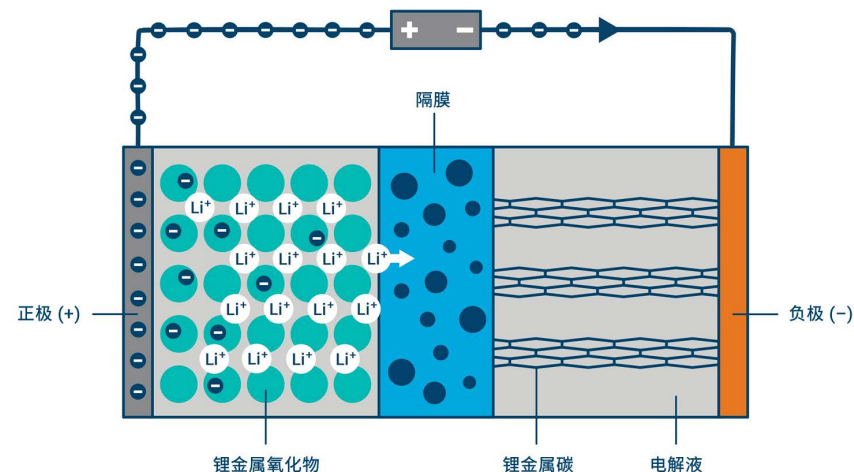
电池制造商对原材料的纯度要求越来越高。锂和含锂化合物供应商必须在提取前测定矿石或盐溶液中一些关键元素的含量，从而确保提取过程和最终产品的质量。

基于 ICP 的分析技术难以实现这些样品类型的元素分析。这些样品通常具有较高的总溶解态固体 (TDS) 含量，溶液密度较高，盐溶液样品中可能存在藻类和未溶解的颗粒。这些样品的基质可能会沉积到进样系统或导致等离子体熄灭，影响测量的长期稳定性。矿石或盐溶液样品中可能存在含量未知的各种元素。这种未知组成会引起光谱和物理干扰，从而影响测量的准确度。

电池生产过程中的元素分析

锂离子电池由四个基本部分组成：

- 正极材料：包括磷酸铁锂、锂镍锰钴等各种正极材料。正极材料的性能会影响电池的能量密度、安全性和生命周期
- 负极材料：包括金属、金属氧化物、无机非金属（如碳和硅）。负极材料的性能是影响电池能量密度的主要因素
- 隔膜材料：通常是由聚丙烯和聚乙烯等有机材料制成的膜。隔膜材料会影响电池的容量、循环性能、电流密度及其他电性能
- 电解液：其中包含高纯度有机溶剂、电解质锂盐和添加剂。电解液材料的性能会影响电池的安全性



锂离子电池由正极、负极、电解液和隔膜材料组成。当电池充电时，电子从阴极流向阳极。当电池放电时，流向会逆转。

电池制造商通常会测量以下材料的杂质和元素组成：

- 电解液
- 石墨负极材料
- 正极材料

此外，制造商还需要测量其工厂各种排放物的元素组成，确保符合法规要求。

回收过程中的元素分析

如果回收，大约 95% 的锂离子电池组件可以用于新电池或用于其他行业。回收的材料占电池成本的一半以上，因此有巨大的回收价值。钴、镍等常见正极材料的价格波动较大。其中许多元素来自政治环境不稳定的国家/地区，例如刚果的钴储量占全球的 50%。在许多类型的锂离子电池中，这些金属以及锂和锰的含量均超过了天然矿石中的含量，使废旧电池类似于富矿石。如果能从废旧电池中大规模回收这些金属，并且比从天然矿石中提取更经济，那么电池的价格将会下降。回收还意味着可以减少开采并降低相关的社会和环境危害。

电池回收通常涉及高温熔解与提取或冶炼，类似于采矿业中使用的流程。但为了寻找更好的锂离子电池回收方法，研究人员开展了大量的研究，而元素分析是该过程的关键分析技术。随着电池化学成分的不断变化，回收过程变得更加复杂，鉴定存在的元素种类和浓度变得更加重要。



分析挑战



基于 ICP 的分析技术难以满足整个电池材料供应链中的样品元素分析需求。这些样品通常具有较高的总溶解态固体 (TDS) 含量，并含有易电离元素。例如，在分析 LiCO_3 时，等离子体中大量存在的锂离子会影响钠、钾等易电离元素的测量，从而产生错误结果。电池材料样品还表现出高背景信号，并且普遍存在干扰。锂还会使等离子体炬管等进样系统组件降解，因此广受诟病。



典型的电池组件样品具有以下特征：

- 溶解态固体含量高
- 某些元素浓度较高，其他元素浓度较低
- 锂矿样品中可能含有许多不同的元素

这些样品类型比饮用水或其他常见的 ICP-OES 样品类型更难测量。

常见分析问题及解决方法



雾化器堵塞

电池材料样品中可能含有肉眼几乎看不见的细小颗粒。这些颗粒可能导致玻璃同心雾化器喷嘴处的小内径毛细管局部或完全堵塞。这些堵塞会导致许多性能问题，从而不可避免地导致必须重新测量样品。



现象

雾化器局部堵塞的典型表现是连续校准验证 (CCV) 标样的低回收率。在整个分析过程中定期监测 CCV 溶液等质量控制 (QC) 溶液是一种良好的实验室规范。通常，每隔 20-30 个样品测量一次 CCV，因此，如果 CCV 失败，则必须重新测量在 QC 失败之前测量的所有 20-30 个样品。雾化器完全堵塞则会导致完全没有信号，由于所有结果（包括内标）的发射信号强度会非常低或无发射信号，因此很容易识别。您可以在分析运行过程中同时监测 CCV 结果和内标结果，避免由于雾化器堵塞而导致不得不重新测量样品。

解决方案

如果您经常遇到雾化器堵塞，可以考虑采取以下措施：

- 对样品进行过滤或离心
- 设置自动进样器针头深度，使其在样品管底部的上方，从而大大降低试管底部的颗粒被针头吸起的可能性
- 将所用的雾化器类型更换为使用大内径、防堵塞样品管线的雾化器
- 添加一个切换阀，减少样品在进样系统中留存的时间，延长冲洗时间的同时保持样品分析时间不变。这样可以降低发生堵塞的几率，还可以减少炬管降解，延长使用寿命
- 使用氩气加湿附件保持雾化器喷嘴湿润，使固体更难沉积在雾化器喷嘴处，从而减少堵塞
- 优化样品前处理方案，使细小颗粒充分消解。这可能包括使用微波消解系统

Agilent 5800 和 5900 ICP-OES 仪器具有 Neb Alert 功能，可在雾化器反压发生变化时提醒分析人员。压力升高可能意味着发生了堵塞，而压力降低则可能由连接泄漏导致。当达到设定的反压阈值时，屏幕上将出现信息提醒分析人员。运行可自动停止，使用户能够在样品分析质量受到影响之前解决问题。

每种雾化器的运行反压略有不同，因此可以根据雾化器的类型调整预警阈值。为了解所使用雾化器的“正常情况”，分析人员可以在分析页面查看雾化器反压图，或使用 Agilent ICP Expert 软件中单独的雾化器测试功能。

测量稳定性差

在测量总溶解态固体 (TDS) 含量高的样品时（例如典型的电池组件样品），通常会遇到稳定性差的问题。

现象

测量稳定性对于测量的准确度非常重要。如果仪器稳定，在不同时间测量同一样品将得到相同的结果，即结果不会发生“漂移”。如果存在稳定性问题，同一 QC 样品（比如在样品批次中的不同点（例如每 50 个样品）测量的连续校准验证 (CCV) 标样）通常会得到多种不同的结果。如果存在稳定性问题，有时结果会朝着一个方向变化，例如增大或减小。

如果使用内标，可以观察内标重复测量的 %RSD，以及每种溶液的内标比。如果内标的浓度足以提供良好的信噪比，并为内标选择了灵敏度较高的波长，则内标的 %RSD 应低于 1%。在重复测量的精度较好的情况下，测得的内标比应在 1 的 10% 以内。该结果表明获得了出色的稳定性。



安捷伦一站式供应标准溶液、常规消耗品和用于整个电池生产过程的消耗品。

解决方案

使用适用于高基质样品的样品引入组件：减少泵入等离子体的样品量将有助于提高稳定性。我们建议：

- 使用安捷伦双通道雾化室，它非常适合高基质样品。安捷伦为 HF 消解的样品提供惰性雾化室，该产品同样也适用于高基质样品。惰性雾化室比标准玻璃旋流雾化室更加昂贵，但它可以提供更出色的稳定性，减少高基质样品堵塞，并且清洁时如果掉落也不会摔碎
- 使用专为高溶解态固体含量样品设计的雾化器，推荐 [Mira Mist](#)
- 使用小内径的蠕动泵管 — 黑色/黑色管线用于样品，橙色/绿色管线用于内标
- 夹带的气体可能在雾化器中形成气泡，导致结果不可靠。在样品前处理过程中进行样品脱气，如超声或预热
- 确保水冷系统的温度稳定在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内。实验室的环境温度也应保持稳定。在测量浓度极低的元素 ($< 1 \text{ ppm}$) 时，这一点尤为重要

部分元素（例如 Na 和 K）的结果不准确（偏高）

现象

等离子体中存在的大量锂和其他金属离子会影响易电离元素 (EIEs) 的分析（通常为第 I 主族和第 II 主族元素，如 Na、K、Mg 和 Ca），导致结果偏高。

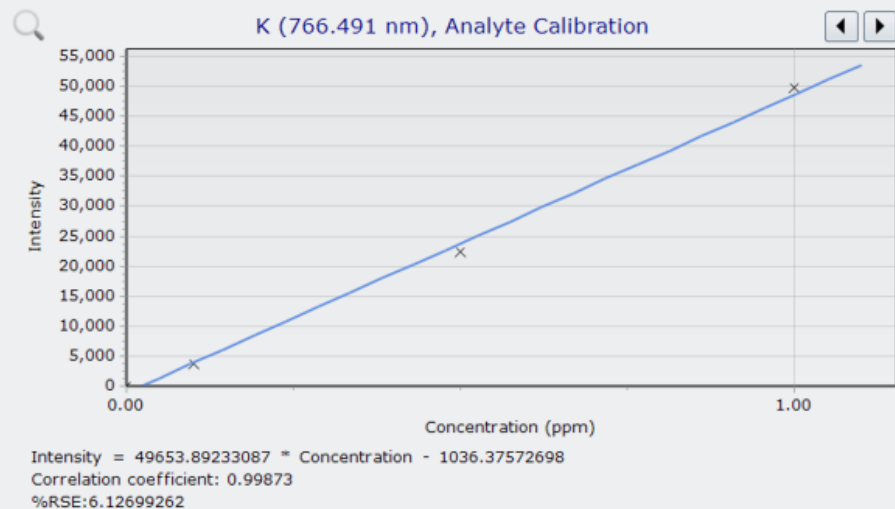
解决方案

为了减少或消除 EIE 干扰，可以使用以下方法，每种方法的复杂程度和成本都不同：

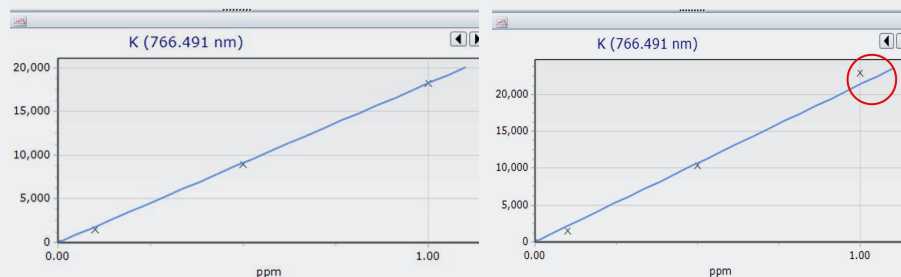
- 径向观测等离子体。径向观测的灵敏度不足以分析痕量元素，因此如果 EIE 以痕量浓度存在，使用径向观测会影响检测限

- 在方法开发过程中优化等离子体条件有利于 EIE 元素的分析
- 还可以使用基质匹配标样创建校准曲线，从而尽可能减少 EIE 干扰。但很难获得与电池材料基质相同的标准品
- 还可以使用铯等电离抑制剂，提高目标分析元素的准确度。但使用电离抑制剂会导致发射波长发生变化，并增加进样组件的磨损
- 标准加入法 (MSA) 是克服 EIE 干扰的推荐方法，尤其适用于因存在干扰而不适合使用内标的情况。标准加入法假设基质对所有溶液的影响相同，通常用于消除测量中的基质效应。使用标准加入法作为校准方法还可实现 Na 和 K 的轴向测量，确保在一种等离子体观测模式下测量所有元素，并为它们提供理想的灵敏度。但 MSA 需要制备基质匹配标样才能完成分析，耗时较长
- 内标可用于校正校准标样基质与样品基质之间的差异。使用内标则无需在测量复杂样品时进行基质匹配，在锂离子电池分析中常常会遇到这些复杂样品。在选择内标时，使用样品中不存在、不受样品中元素干扰且与样品化学兼容的元素。应向所有分析溶液（空白、校准标样、样品）加入相同浓度的内标。在分析过程中确保浓度一致的最简单方法是使用 ICP-OES 的蠕动泵将内标在线添加到样品流中。将空白溶液中测得的内标元素发射强度与样品中内标元素的强度进行比较。然后可以使用两次内标测量的比值，针对要测量的元素的强度校正样品基质的影响。这也是校正可能存在的任何 EIE 元素的影响的有效方式

处理钾线性较差问题的示例



问题： K 的校准曲线不满足 0.999 的线性要求，相关系数仅为 0.99873。由于使用的是多元素标准溶液，这一问题很可能由“EIE 效应”引起，其中易电离元素 (EIE) 会影响 K 的读数。通过比较单元素钾标准品与多元素标准品的校准曲线 (参见下图)，可以证实这一点。单元素标准品的相关系数为 0.99982，而多元素标准品则为 0.99860。



多元素标准品 (右) 的校准曲线在最高浓度下呈非线性 (红色圆圈内)，而单元素标准品 (左) 在所有浓度下均呈线性。

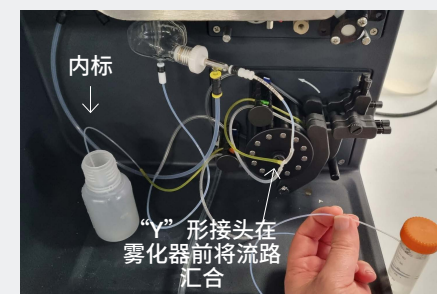
解决方案： 尝试了 4 种不同的方法来克服 EIE 效应：

- 径向观测等离子体
- 使用内标 (200 ppm Rb)
- 使用电离抑制剂 (轴向观测和 1000 ppm Cs 缓冲液)
- 使用轴向观测进行方法优化 (等离子体流速 12 L/min, 辅助气体流速 1 L/min, RF 功率 0.9 kW, 雾化器流速 1.2 L/min)

结果见下表

方法	相关系数	备注
径向观测	0.99973	线性良好，但信号-背景平方根比 (SRBR) 低，会对检测限造成不利影响。
内标	0.99998	出色的结果和简单的设置，但 Rb 标准品会增加额外的分析成本。还可以改善其他元素 (Na 和 Li) 的测量结果，并为通常具有复杂基质的实际样品提供更高质量的数据。
电离抑制剂和轴向观测	0.99983	线性良好，但 Cs 溶液会增加额外的分析成本。
轴向观测方法优化	0.99922	线性良好，但需要针对不同的元素运行不同的设置，例如针对 K 和其他第 I 主族元素使用冷等离子体，而 As、Cd 和其他元素则需要热等离子体。

推荐的解决方案 (使用内标) 通过使用“Y”形接头将内标溶液引入每个溶液的流路中 (见图)，可以轻松实现自动化。也可以使用 Agilent AVS 7 等切换阀。



高背景信号

电池材料样品通常具有高背景信号。由于每个样品的基质有所不同，手动选择背景校正点成为一项复杂的任务。需要一种独立于样品基质的快速、简单且准确的背景校正方法。

现象

在确定最终样品结果时，需要对电池材料基质产生的复杂背景信号进行校正。在图 1 中，由于样品基质在较宽的波长范围内存在较强的发射，引起基线倾斜，发射峰(C) 虚高，这将导致结果不准确，高于样品中的实际值。

解决方案

安捷伦拟合背景校正 (FBC) 等基线校正技术可用于消除倾斜基线的影响。安捷伦拟合背景校正功能不仅可以提高数据准确度，还可以改善检测限，并减少过度校正，这在使用离峰背景校正技术时很常见。

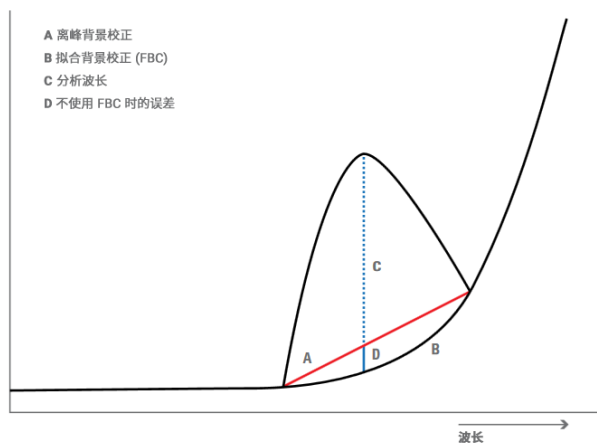


图 1. 背景校正

难以放置背景标记

电池组件通常包含不同含量的各种元素。这种高浓度元素与低浓度元素的组合可能会产生复杂的背景信号。来自非分析物波长的背景发射可能与您希望使用的分析物波长相邻，这可能使您难以确定分析的真实背景，从而导致结果错误。

现象

需要校正复杂的背景信号，才能确保准确的结果。在图 2 中，磷 (P) 在 213.618 nm 处的发射峰被其他元素的高峰包围。难以确定背景峰标记的放置位置，从而导致 P 的结果不准确。

解决方案

使用安捷伦拟合背景校正 (FBC) 等基线校正技术，该技术采用数学算法自动校正复杂样品中的背景。FBC 可避免与手动放置背景峰标记相关的主观臆断和错误，提高数据准确度并改善检测限。

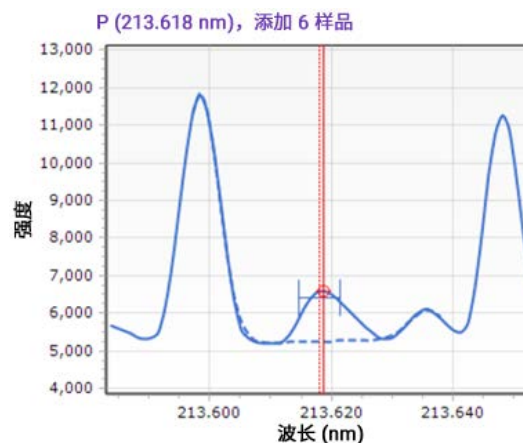


图 2. 电池正极材料中 P 213.618 nm 的谱图，采用拟合背景校正，在复杂、倾斜背景下确保准确校正

样品引入组件需要频繁更换

必须经常更换 ICP-OES 炬管、雾化器、泵管等，这既费时费力，又成本高昂。为每次分析选择合适的组件非常重要。

现象

众所周知，锂对等离子体炬管的要求非常苛刻。频繁更换炬管很可能是由于样品中锂的影响。

如果使用氢氟酸消解样品，将使所有玻璃样品引入组件发生降解，从而导致性能急剧下降，需要提前更换。

测量含有有机化学物质的电解液会损坏常规的泵管。随着管线的降解，它会变硬、拉伸并失去弹性。在分析过程中，由于泵管的泵送效率会随着使用发生变化，您可能会注意到结果精度较差，并且可能出现测量漂移。

解决方案

在分析锂时使用完全可拆卸式炬管，而不是一体式炬管。完全可拆卸式炬管使您可以单独更换损坏组件而不必更换全套组件。将径向观测外管组件安装到可拆卸炬管上。在这种情况下，短外管更耐用。



图 3. 在分析富含锂的基质时使用完全可拆卸式炬管。这样可以只更换被锂损坏的部件，更加方便

如果使用氢氟酸 (HF) 进行消解，则使用惰性样品引入工具包。它们均由耐 HF 的材料制成，可确保组件的高性能和长寿命。



图 4. 安捷伦惰性雾化室和 OneNeb 雾化器非常适用于分析 HF 消解的样品

标准泵管可用于大多数电池组件的分析，但电解液分析则需要使用耐有机化学物质的泵管。安捷伦耐溶剂管线 SolvaFlex 适用于有机溶剂。

在 ICP-OES 仪器上安装切换阀可以缩短样品引入组件与破坏性溶液接触的时间，从而延长组件的使用寿命并降低成本。切换阀还可以通过缩短样品分析周期来提高样品通量。

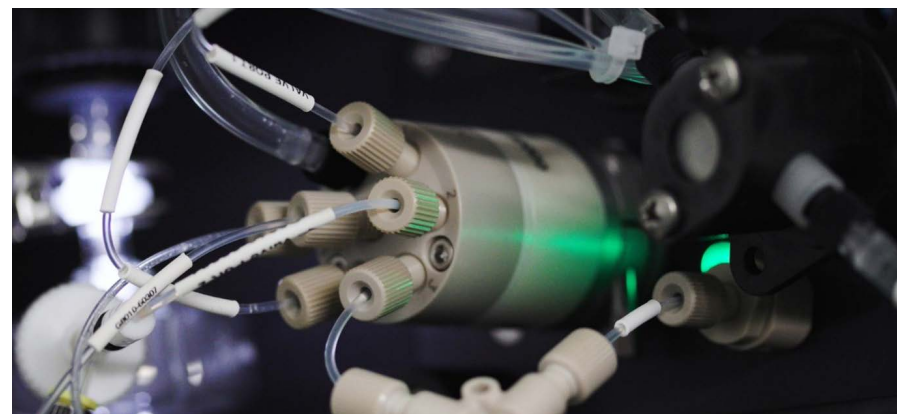


图 5. AVS 7 切换阀可缩短样品引入组件与腐蚀性溶液接触的时间

测量准确度差

多种原因都可能造成 ICP-OES 测量不准确，包括：

- 光谱干扰
- 污染
- 基质影响
- 校准问题

现象

对于已知浓度的元素，报告的结果错误。

解决方案

目前可用于锂电池行业的有证标准物质 (CRMs) 非常少。CRMs 是一种特定样品类型的代表性样品，例如锂矿石，其中提供了元素的标准浓度。CRM 用于检查方法的准确度，通过测量样品批次中的 CRM，然后将获得的结果与标准值进行比较。如果无法获得可以代表样品的 CRM，可以通过加标样品来检查方法的准确度。如果将添加了已知量元素（称为加标）的样品与未加标的同一样品进行比较，差值应为加标浓度。

光谱干扰

所有 ICP-OES 分析都面临一个尤为棘手的误差来源，那就是意外光谱干扰。

紫外-可见光波长范围内存在数以万计的元素发射谱线。有时，样品中的不同元素会在相近的波长处产生发射谱线，如图 6 所示。

如果您不知道某种元素的存在，或者这种元素的浓度过高，并与用于测量的发射谱线重叠，则可能会导致您的目标分析物得到偏高的错误结果（见图 7）。

在这种情况下，Agilent IntelliQuant 筛查也很有用。您可以使用该功能快速筛查样品，了解样品中所含的元素及其比例。然后您可以通过调整方法来选择另一种波长。如果没有其他可用的波长，可以采用干扰校正算法来消除光谱重叠的干扰。

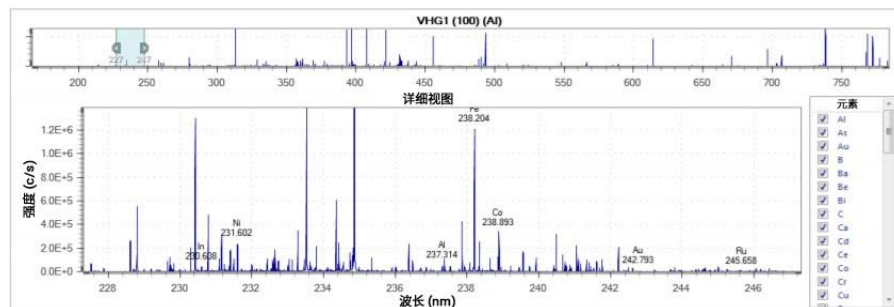


图 6. 紫外-可见光波长范围内（约 160–450 nm）存在数以万计的元素发射谱线。此图只显示了 225–250 nm 这 25 nm 区域内的发射谱线

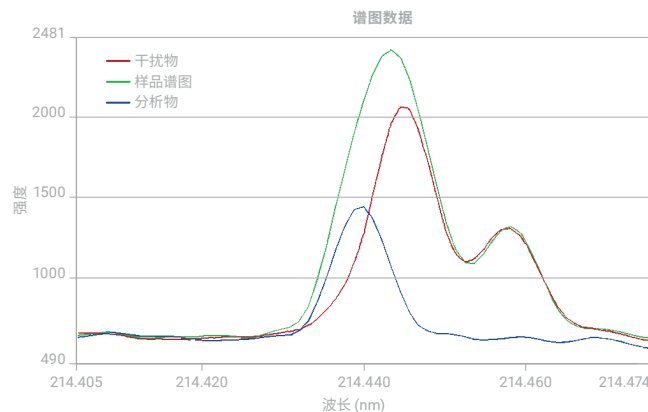


图 7. 此图解释了光谱干扰是如何产生的。目标分析物（蓝色）的发射谱线与另一种元素（红色）的发射谱线非常接近。进行测定时，它们的合并信号（绿色）将被视为分析物的发射谱线

污染

污染通常会导致极低浓度元素的结果不准确。污染可能由不规范的实验室操作引入，例如没有正确清洗玻璃器皿。前面分析的样品可能由于存在高吸附性或“粘性”元素（如硼、钼或钨）而导致残留污染。这些元素会粘附到进样系统的组件上，导致后续样品产生错误的结果。

校准

在测量电池组件样品时，校准可能是结果误差的主要来源。校准曲线呈线性并不意味着结果一定准确。元素和其他基质组分之间的相互作用会影响结果的准确度。提高校准准确度最简单的方法是使用内标 (ISTD)。参考第 10 页的方法，其中提供了使用 ISTD 进行校准的示例。

手动进样

将每个样品手动进样至仪器会引入误差，降低分析效率。操作人员可能拿错样品，或样品之间的冲洗时间不够长。使用自动进样器进行自动进样可以降低出错的风险。结合使用自动进样器和切换阀可以缩短样品分析周期，因此可以在相同的时间内测量更多样品。它还支持在无人值守的情况下测量样品，使操作人员可以去执行其他实验室操作。

不同类型锂电池中的金属含量

电池类型	电池中的金属	Ni 含量	Co 含量	Mn 含量	Li 含量	稀土元素
镍金属氢化物 (NiMH) 电池	Ni、Co	35%	4%	1%	-	8%
钴酸锂电池	Li、Co	-	18%	-	2%	-
磷酸铁锂电池	Li	-	-	-	1.1%	-
锰酸锂电池	Li、Mn	-	-	10.7%	1.4%	-
三元电池	Li、Ni、Mn、Co	12%	5%	7%	1.2%	-

电池和电池材料的法规和标准



有几个监管机构负责制定电池和电池材料相关的法规和标准。这些机构包括：IEC、ISO 和 SAC（中国国家标准）。还有影响电池制造、使用和报废的环境、健康和法规。

部分现行法规和标准包括：

IEC

- IEC/SC21A 含有碱性或其他非酸性电解质的二次电池和电池组
- IEC/TC 35 原电池和电池组
- IEC/TC21 和 TC 69 二次电池和电池组
- IEC 62660 电动道路车辆推进用二次锂离子电池

ISO

- ISO — ISO/TC 333 — 锂
- ISO TC22/SC37 电动车辆
- ISO/TC 79 轻金属及其合金
- ISO/TC 82 采矿
- ISO/TC 188 小艇

EU

- 电池法规 (EU) 第 2019/1020 号 (2022 年 1 月 1 日起生效)，自 2023 年 7 月 1 日起取代 EU 电池指令 2006/66/EC
- 汽车电池中 $Hg \leq 0.1\%$ 且 $Cd \leq 0.01\%$ (按均质材料计)；其他电池组中 $Hg \leq 0.0005\%$ 且 $Cd \leq 0.002\%$ (按单个电池计)
- REACH 法规附录 XVII 中的禁用/限用物质

关于电池原材料测试的 ISO 标准

分析物	样品基质	标准编号	标准名称	分析技术	状态
金属离子含量	六氟磷酸锂	ISO/WD 10655	六氟磷酸锂的分析方法 — 使用电感耦合等离子体发射光谱 (ICP-OES) 测定金属离子含量	ICP-OES	工作草案 (WD) 研究已启动
Al、B、Ca、Co、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、Pb、S 和 Zn	碳酸锂	ISO/AWI 11757	碳酸锂 — 使用 ICP-OES 测定元素杂质	ICP-OES	新项目已在 TC/SC 工作计划中注册
杂质	氯化锂	ISO/AWI 16398	氯化锂 — 测定杂质 — ICP-OES 法	ICP-OES	
杂质	单水氢氧化锂	ISO/AWI 16423	单水氢氧化锂 — 测定杂质 — ICP-OES 法	ICP-OES	
化学分析	NMC	ISO/AWI 12467-1	锂复合氧化物的化学分析 — 第 1 部分：主要成分的测定		
杂质	碳酸锂	ISO/AWI 12386	碳酸锂 — 使用 ICP-OES 测定金属磁性杂质	ICP-OES	

关于锂电池材料的中国标准

中国目前拥有最广泛的锂电池标准方法，如下表所示。

样品	性能指标	标准编号	标准名称	分析技术
石墨负极材料	Fe、Na、Cr、Cu、Ni、Al、Mo、S (< 5-50 ppm); 磁性物质 (Fe + Cr + Ni + Zn + Co) < 0.1 ppm; Cd、Pb、Hg、Cr ^{VI} 、PBB、PBDE (各 < 5 ppm); F ⁻ 、Cl ⁻ 、Br ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ (< 10-50 ppm); 丙酮、异丙醇、甲苯、乙苯、二甲苯、苯、乙醇 (各 < 1 ppm)	GB/T 24533-2019	锂离子电池石墨类负极材料	ICP-OES 用于 Fe、Na、Cr、Cu、Ni、Al、Mo、Co、Zn、S 和磁性物质 (Fe + Co + Cr + Ni + Zn); ICP、AAS、ICP-MS 用于 Cd、Pb、Hg; GC-MS 用于 PBB、PBDE; UV 用于 Cr ⁶⁺ ; GC、GC-MS 用于 VOCs; IC 用于阴离子
钛酸锂及其炭复合负极材料	Li、Fe、磁性材料 (Fe + Cr + Ni)、Cd、Pb、Hg、Cr ⁶⁺ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻	GB/T 30836-2014	锂离子电池用钛酸锂及其炭复合负极材料	ICP-OES 用于 Li、Fe; ICP-OES、AAS 或 ICP-MS 用于 Cd、Pb、Hg; UV 用于 Cr ⁶⁺
炭复合磷酸铁锂正极材料	Li、Fe、P、Fe 离子溶出速率; Cd、Pb、Hg、Cr ⁶⁺	GB/T 30835-2014	锂离子电池用炭复合磷酸铁锂正极材料	ICP-OES 用于 Li、Fe 离子溶出速率; ICP-OES、AAS 或 ICP-MS 用于 Cd、Pb; CVAAS 用于 Hg; UV 用于 Cr ⁶⁺
六氟磷酸锂	Al、Fe、K、Ca、Cd、Cr、Cu、Hg、Mg、Ni、Pb、Zn、As、Cl 各 ≤ 1 ppm; Na ≤ 2 ppm; SO ₂ ≤ 5 ppm	HG/T 4067-2015	六氟磷酸锂电解液	ICP-OES 用于金属
单水氢氧化锂	Na、K、Fe、Ca、Cu、Mg、Mn、Si、B、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、CO ₃ ²⁻	GB/T 26008-2020	电池级单水氢氧化锂	ICP-OES 用于 Na、K、Fe、Ca、Cu、Mg、Mn、B; UV/Vis 用于 Si、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、CO ₃ ²⁻
镍钴锰三元复合氢氧化物	Ni、Co、Mn、Ca、Cu、Fe、Mn、Na、Zn、Pb、Al、SO ₄ ²⁻	GB/T 26300-2020	镍钴锰三元复合氢氧化物	ICP 用于 Ni、Co、Mn、Fe、Ca、Mg、Cu、Zn、Al、Na; 对于 Ni + Co + Mn、Pb 和 SO ₄ ²⁻ , 使用供需双方协商的方法
钴酸锂	Co、Li、K、Na、Ca、Fe、Cu、Cr、Cd、Pb	GB/T 20252-2014	钴酸锂	ICP-OES (按照 GB/T 23367)
镍酸锂	Ni、Co、Li、K、Fe、Na、Ca、Cu、Cr	GB/T 26031-2010	镍酸锂	使用供需双方协商的方法
碳酸锂	Na、Fe、Ca、Mg、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻	GB/T 11075-2013	碳酸锂	按照 GB/T 11064
镍钴锰酸锂	Ni、Co、Mn、Li、Na、Mg、Ca、Fe、Zn、Cu、Si、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻	YS/T 798-2012	镍钴锰酸锂	使用供需双方协商的方法
锰酸锂	Mn、Li、K、Na、Ca、Fe、Cu、S、磁性物质	YS/T 677-2016	锰酸锂	使用供需双方协商的方法
碳酸锂	Na、Mg、Ca、K、Fe、Zn、Cu、Pb、Si、Al、Mn、Ni、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻	YS/T 582-2013	电池级碳酸锂	按照 GB/T 11064 检测产品成分; 按照 IEC62321 检测有害物质; ICP-OES 用于磁性物质
氯化锂	Na、K、Ca、Fe、Ba、Mg、Cu、SO ₄ ²⁻	YS/T 744-2010	电池级无水氯化锂	按照 GB/T 11064, 或使用供需双方协商的方法
磷酸二氢锂	Na、K、Ca、Fe、Pb、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻	YS/T 967-2014	电池级磷酸二氢锂	使用供需双方协商的方法
氧化锂	Li ₂ CO ₃ 、Ca、Na、Mg、Cu、Cr、Si、Zn、Ni、Fe	YS/T 968-2014	电池级氧化锂	使用供应商提供的方法。对于仲裁, 使用供需双方协商的方法
氟化锂	Na、K、Ca、Mg、Fe、Al、Pb、Ni、Cu、Si、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻	YS/T 661-2016	电池级氟化锂	按照 GB/T 22660
污染物排放	针对废水有 15 种指标; 针对空气有 12 种指标	GB 30484-2013	电池工业污染物排放标准	ICP-OES、ICP-MS、FAAS、GFAA、GC、UV/Vis、IC

安捷伦锂电池行业解决方案



5800 ICP-OES



7850 ICP-MS



Cary 60 紫外-可见分光光度计



Cary 630 FTIR



8890 GC



990 微型气相色谱仪



6545 LC/Q-TOF

了解更多信息：

www.agilent.com/chem/5800icpoes

如需获取技术问题的答案和安捷伦社区的资源，
请访问：

community.agilent.com

安捷伦客户服务中心：

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

DE44039542

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，2023
2023年1月4日，中国出版
5994-5489ZHCN

