

为未来注入动力：用于电池矿物发掘的元素 分析仪器购买指南



目录

前言	3
对锂和其他元素的需求不断上升	3
电池矿物来源	5
锂资源和勘探	5
电池中的其他元素	6
矿区检测需求	7
矿物学和冶金试验	7
环境监测	7
采样技术	8
采样	8
样品前处理	8
元素分析助力勘探和采矿作业	9
矿场仪器选择建议	9
选择合适的仪器	11
用于勘探和采矿的安捷伦仪器	12
现有方法	14
推荐的附件和消耗品	15



前言

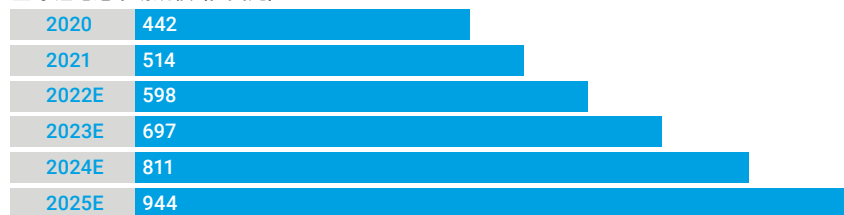


在过去十年中，锂离子电池市场出现了前所未有的增长，这主要是由于对电动汽车 (EVs) 和可再生能源储存的需求增加。这种指数级的增长随之导致了对锂、钴以及用于生产这些电池的其他元素的需求激增。我们所生存的世界越来越依赖可持续能源，因此考虑锂生产领域的不断发展和变化以及未来的潜在挑战至关重要。

对锂和其他元素的需求不断上升

锂、钴、镍和锰是生产锂离子电池所需的其中几种关键元素。在此之中，锂和钴由于在电池效率和能量密度中的关键作用而引起了更多的关注。

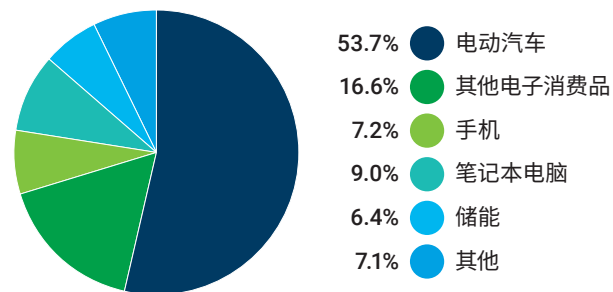
全球锂电池市场规模 (亿美元)



全球锂离子电池市场快速增长，预计到 2025 年将达到 944 亿美元 (来源: ASKCI, Markets and Markets)。

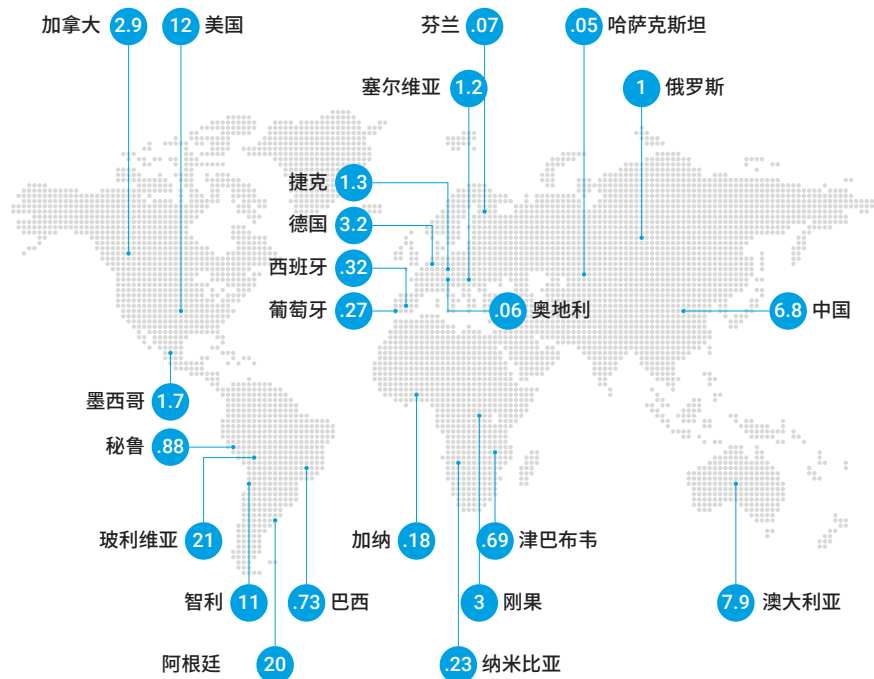
为了满足这一需求，正在不断扩大锂产量。截至 2021 年，全球锂产量约为 82000 公吨。然而，专家表示，为了跟上 EV 和可再生能源行业的预期需求，还需要大幅增加锂产量。有预测表明，到 2030 年，全球每年将需要超过 130 万公吨的锂，这意味着在不到十年的时间里，锂的需求量将增加近 15 倍。

2020 年全球锂电池终端市场



汽车电气化正推动锂电池行业的增长 (来源: CCID)。

日益增长的需求导致锂矿开采活动增加，特别是在澳大利亚、智利、美国、玻利维亚和阿根廷等拥有世界大部分锂储量的国家。然而，将产量提升到所需水平将是一个巨大的挑战，需要大量投资，并可能导致环境问题。



2023 年已知锂储量 (百万吨) (来源: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2023)。

钴是锂离子电池中的另一个关键元素，也面临着类似的挑战。全球约有 60% 的钴供应来自刚果民主共和国，而该国在人权和环境上的问题令人担忧。随着对锂离子电池的需求持续增长，这些钴资源丰富的地区面临的压力也不断增加。

矿产资源勘探是采矿业的重要组成部分。勘探的重点不仅在于确定资源的位置，还需要量化其经济潜力。诸如锂辉石 (Li)、辉钴矿 (Co)、褐铁矿 (Ni) 和软锰矿 (Mn) 等矿床的发现，都是在严格的数据采集、分析和解读过程的指导下进行的。在这方面，分析测量对这项工作至关重要。它们提供了关于特定地质构造中这些矿物是否存在、浓度和分布的全方位数据。

电池矿物来源



随着全球对电池的需求持续飙升，矿业勘探公司正在加大力度发掘新的锂、锰、镍、钴以及其他电气化矿产资源。准确和可靠的分析测量对于勘探工作而言必不可少。通过这些测量不仅能确定潜在的矿藏，还能为可行性研究提供相关信息，确保这些资源的开采在经济上是可行的，并且对环境负责。

锂资源和勘探

锂是最轻的金属，也是密度最低的固态元素，通常主要从两个来源提取：硬岩开采（主要是锂辉石）和锂卤水矿床。全球锂产量的 60% 以上来自卤水，其余部分来自锂矿石（Ebensperger 等人，2005）。每种来源都面临着独特的挑战，需要特定的分析方法进行有效的勘探。

硬岩锂勘探

在勘探硬岩层中的锂时，会使用地表和地下岩石样本进行地球化学勘测。使用包括 X 射线荧光 (XRF)、电感耦合等离子体发射光谱 (ICP-OES)、电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS) 和原子吸收光谱 (AAS) 的组合技术对这些样品进行评估。

- XRF 是一种用于测定材料元素组成的无损分析技术。它能够可靠分析常量元素和痕量元素，但不包括锂
- AAS 是一种通过分析光的吸收来测量特定元素浓度的技术。它可以实现高灵敏度和选择性测量，有助于锂的勘探
- ICP-OES 的灵敏度高于 XRF 和 AAS，常用于需要兼具速度和精度的情况，尤其是在检测痕量元素方面。该技术利用等离子体激发样品，产生波长不连续的发射光，用于确定样品的元素组成
- ICP-MS 是这几种分析技术中灵敏度最高的技术，能够测量 ppt 水平的元素。它利用高能等离子体源电离样品中的原子，然后根据它们的质荷比进行分离和定量

锂卤水勘探

锂卤水存在于盐田和盐湖中，通常位于高海拔地区或干旱环境中。这些卤水的组成差异较大，因此分析起来非常复杂。

大多数勘探公司会使用地震勘探、磁力勘探和重力勘测等地球物理方法来探测卤水矿床。这些技术可以详细了解地下情况，帮助确定含锂卤水的位置和范围。

一旦确定了潜在矿藏的位置，就可以收集样品，并使用火焰原子吸收光谱（火焰 AAS）、ICP-OES、ICP-MS 和离子色谱 (IC) 等技术进行分析。其中，离子色谱法用于分析卤水中的阴离子和阳离子，提供包括锂浓度在内的全面化学信息。



电池中的其他元素

镍、钴和锰对电池性能、寿命和能量密度也至关重要。了解这些关键元素通常需要使用火焰 AAS、ICP-OES 或 ICP-MS 分析岩石、土壤或沉积物样品。这 3 种技术可以检测和定量电池中的这些关键元素，以及鉴别样品中存在的其他元素。

Application Note
Mining, Energy, and
Chemicals

Agilent
Technologies

Elemental Analysis of Brine Samples
used for Lithium Extraction

Fast, robust analysis of high matrix samples using
the Agilent 5800 ICP-OES with AVS 7 switching valve

Author
Michael D. Lopez
Agilent Technologies, Inc.

Introduction
The demand for lithium (Li) is increasing rapidly due to its importance in the production of high-density, rechargeable batteries (1).
Lithium batteries are used in consumer electronics, such as laptops, mobile phones, digital cameras, tools, and drones, and electric vehicles (EVs), motorcycles, bicycles, and wheelchairs. And, as consumers move away from fossil fuels in favor of clean energy production, large-scale battery storage is needed to store the energy produced by renewable energy plants. To meet the expected demand for higher purity Li, more will need to be extracted from existing or new sources, including seawater brines and brines containing underground brines.

下载该[应用简报](#)，其中详细介绍了用于分析卤水样品中锂的方法和典型结果。

矿区检测需求



矿物学和冶金试验

一旦检测到锂，就需要进一步测试，以确定锂的可提取性。X 射线衍射 (XRD) 等技术可用于鉴定特定的含锂矿物。例如，硬岩矿床中可能存在锂辉石，而卤水中可能存在各种锂盐。

下一步是进行冶金测试，确定从矿石中提取和加工锂的难易程度。对浮选、焙烧、湿法冶金等多种技术进行评估，以了解最有效的锂提取方法。

环境监测

作为负责任的资源开发的一部分，矿业勘探公司还需要进行环境评估。这些分析会考察对空气、水和土壤质量以及当地生物多样性的潜在影响。此时，可以使用 ICP-MS、ICP-OES、FAAS、气相色谱-质谱 (GC-MS) 和各种微生物测定法等技术。



下载该[应用文集](#)，其中列出了各种环境测试方法，从饮用水到土壤、污泥和空气过滤器。

采样技术



采矿企业获得成功的一个关键步骤是收集地质样品并随后进行元素分析。这些勘探工作旨在发现、确定并最终提取隐藏在地表之下的宝贵矿产资源。样品采集、前处理和元素分析过程都需要有条不紊地进行，以确保准确反映矿床的潜在价值。让我们深入了解这一复杂的过程，更好地理解它在采矿勘探行业中的重要性。

采样

采矿公司会使用各种采样技术，每种技术适合不同的地形、矿物和勘探阶段。采集的样品类型通常取决于地质环境、目标矿物和勘探阶段，其中包括岩屑和拣块样品、土壤样品、钻芯样品和大块样品。

- 岩屑和拣块样品是指从地表或稍下方采集小块岩石
- 土壤样品取自地壳最上层
- 钻芯样品是指通过钻入地下收集的圆柱形岩石样品，以便了解地表下的岩层情况
- 最后，大块样品是为评估矿床开采可行性而采集的大型样品，通常重达数吨

样品前处理

在对样品进行元素分析之前，需要进行严格的前处理。这一步骤的目的是获得能够代表初始材料的均匀样品。

对样品进行记录、编目和仔细包装，以避免在运输过程中受到任何污染或发生变化。对于固体样品，如岩屑或钻芯样品，通常会通过粉化过程制备成细粉末。这样可以为后续检测提供更具代表性的样品。另一方面，土壤和沉积物样品可能会进行干燥和筛分，以获得均匀的颗粒大小。

元素分析助力勘探和采矿作业



由于矿区往往地处偏远，建立和运行现场实验室面临许多挑战，包括

- 相应的水、电、气等公用设施
- 化学品和消耗品的获取和储存
- 找到有相应资质和经验，且愿意在偏远地区工作的实验室技术人员
- 获取仪器相关技术支持、部件和备件
- 选择适合极端温度和多尘环境的仪器，或提供空调来控制实验室内的环境
- 化学废弃物的处置
- 提供安全的工作环境

矿场仪器选择建议

元素分析通常是矿区工作流程的关键部分，因此具备现场分析能力可缩短获得结果的时间，有助于更快做出决策。在选择元素分析仪器时，应考虑以下方面：

- 检测每个样品需要耗费多少电能和气体？选择能够快速测量样品的仪器可以减少电能和昂贵气体（如氦气）的消耗。其他可选附件，如切换阀，也有助于实现上述目标
- 检测速度有多快？勘探样品每天可能有数百个，采矿作业期间样品数量可能较少。仪器的通量需要与您每天的样品数量相匹配
- 消耗品的备货时间是多久？考虑您需要准备多少库存，以减少因运输延误而造成的仪器停机时间
- 如果矿区位置偏远，在出现故障时，您是否需要备用仪器？

元素分析助力勘探和采矿作业

- 最近的服务中心在哪里？他们是否提供视频技术支持？如果需要技术人员来现场，需要多长时间，费用如何？您这边的其他人对供应商提供的服务是否满意？
- 仪器是否易于使用？如果有相应的说明，没有经验的人员是否可以在没有帮助的情况下操作仪器？供应商是否提供标准操作规程或视频帮助来指导操作人员？
- 您是否需要在实验室安装空调和/或安装空气过滤系统以防止灰尘进入实验室？部分仪器自带灰尘过滤器，可以应对恶劣的环境
- 火焰原子吸收光谱仪 (FAAS) 会用到明火，因此不能进行无人值守操作
- 需要将废气从室内排放出去，并安全储存易燃化学品
- 仪器将用于哪些分析？如果您希望涵盖从采矿样品到环境样品再到矿物加工后的痕量杂质分析等一系列应用，请确保仪器的检出限适用于所有应用。最好是在现场进行高浓度分析，然后将样品送到专业实验室进行痕量检测，因为这样可以在更受控的环境中进行测试



用于勘探和采矿的安捷伦仪器

仪器	应用	备注
<p>火焰原子吸收光谱仪</p> 	<p>定量分析勘探或采矿样品中的约 60 种元素</p>	<p>FAAS 仪器的购买成本相对较低，如果每天需要测定 100–200 个样品中的锂浓度，那么它是理想的选择。这项技术由来已久，而且操作简单。它不支持无人值守操作，而且需要使用乙炔气体。</p> <p>安捷伦 FAAS 仪器 专为采矿行业设计，应用非常广泛。这些仪器没有冷却风扇，不会吸入酸性蒸气，组件都可以防尘。</p> <p>安捷伦 FAAS 仪器支持 PROMT 模式，操作人员可以通过为样品中的每个元素选择结果精度来增加样品通量，在获得所需精密度的同时提高通量。</p> <p>安捷伦 SIPS 附件 可以自动进行校准、样品稀释、标样制备、样品加标、标样添加校准以及添加电离抑制剂。</p>
<p>电感耦合等离子体发射光谱仪</p> 	<p>每天可对 2000 多个勘探或采矿样品中的约 70 种元素进行定量，元素含量从 ppm 到百分级不等</p> <p>定量分析选矿每个阶段的元素</p> <p>确定脉石物质中存在哪些可能具有商业价值的物质</p> <p>监测向环境中排放的物质</p>	<p>ICP-OES 仪器是工作量繁重的实验室的理想之选。ICP-OES 仪器每天可以检测多达 2500 份样品中的 70 多种元素（从 10 ppb 至百分级水平）。仪器支持无人值守运行，因此使用自动进样器时可以全天候运行。需要使用氩气运行。</p> <p>安捷伦 ICP-OES 仪器 具有多项功能，是矿场或集中式采矿实验室的理想之选：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 速度和内置智能功能：快速样品测量可以增加每天可以检测的样品数量，并降低每个样品的气体和功耗成本。仪器可以自检，并具有智能算法功能，无需经验丰富的操作人员即可操作 - IntelliQuant：该功能可用于筛选样品 — 快速识别存在的元素并获得每种元素的近似浓度。它还有助于在方法开发过程中选择分析波长，并对有问题的结果进行故障排除 - 安捷伦 ICP-OES 仪器内置灰尘过滤器，是采矿实验室的理想选择 <p>集成式切换阀 可以大大减少仪器组件（如等离子体炬管）暴露于有害的第 1 主族金属（如锂）的时间，因此使用寿命更长。切换阀还可大大减少测量所需的样品量，从而减少实验室浪费。由于采矿样品中溶解固体的含量很高，使用切换阀还能减少进样组件的清洗频率。</p>
<p>微波等离子体原子发射光谱仪</p> 	<p>确定脉石物质中存在哪些可能具有商业价值的物质</p> <p>监测向环境中排放的物质</p>	<p>MP-AES 仪器的购买和运行成本相对较低。</p> <p>对于偏远矿区来说，MP-AES 最大的优势在于它们不需要特殊气体，支持无人值守操作。它只需要氮气，而氮气可以从空气中提取。</p> <p>可以安装切换阀。它可以大大减少仪器组件（如等离子体炬管）暴露于腐蚀性第 1 主族金属（如锂）的时间，因此使用寿命更长。切换阀还可大大减少测量所需的样品量，从而减少实验室浪费。由于采矿样品中溶解固体的含量很高，使用切换阀还能减少进样组件的清洗频率。</p> <p>安捷伦 MP-AES 具有针对特定应用的软件小程序，任何经验水平的操作人员都可以操作，只需点击图标打开方法并开始分析即可。即使是新手用户也可以在没有任何培训的情况下获得准确、可重复的测量结果。</p>
<p>电感耦合等离子体质谱仪</p> 	<p>每天可对 1000 多个勘探或采矿样品中的约 70 种元素进行定量，浓度从 < 1 ppt 至 1000 ppm 不等</p> <p>定量分析选矿每个阶段极低含量的元素</p>	<p>ICP-MS 是为采矿行业服务的中心实验室检测痕量和超痕量元素的理想仪器。它能够测量低至 ppt 级的浓度，这些高灵敏度仪器不适合多尘环境，且需要熟练的操作人员。ICP-MS 仪器每天可以检测多达 1200 份样品中的 70 多种元素（从 < 1 ppt 至 1000 ppm）。仪器支持无人值守运行，因此使用自动进样器时可以全天候运行。</p> <p>安捷伦 ICP-MS 仪器 具有多项功能，深受分析采矿样品的合同实验室的青睐：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 低检出限：对贵金属或稀土元素等高价元素检测浓度可以低至 ppt - 可靠耐用：能够处理各种样品，包括高浓度工艺样品以及紧随其后的低浓度样品 - 碰撞反应池：可以消除常见的质谱干扰，实现准确测量

用于勘探和采矿的安捷伦仪器

比较不同领域的各种技术。

	FAAS 查看产品	MP-AES 查看产品	ICP-OES 查看产品	ICP-MS 查看产品
可测量的电池元素*	Li、Co、Ni、Mn、Mg、Al、Sn、Ta、V 等	Li、Co、Ni、Mn、Mg、Al、Sn、Ta、V 等	Li、Co、Ni、Mn、Mg、Al、Sn、Ta、V 等	Li、Co、Ni、Mn、Mg、Al、Sn、Ta、V 等
价格	Ⓢ	Ⓢ Ⓢ	Ⓢ Ⓢ Ⓢ	Ⓢ Ⓢ Ⓢ Ⓢ
单个样品的成本	Ⓢ Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ Ⓢ	Ⓢ Ⓢ Ⓢ
灵敏度	🔍🔍	🔍🔍	🔍🔍🔍	🔍🔍🔍🔍🔍
评论	SelectScience	SelectScience	SelectScience	SelectScience
单日最大样品数量 ¹	100–200 (6 种元素)	300–400 (10 种元素)	2000–2500 (50+ 种元素)	1200 (50+ 种元素)
检测的动态范围 ²	100 ppb 至 1000 ppm	100 ppb 至 1000 ppm	10 ppb 至 10000 ppm	< 1 ppt 至 1000 ppm
样品用量	👉👉👉	👉👉👉	👉👉	👉👉
样品中固体的耐受能力	👉👉	👉	👉👉👉👉	👉👉👉
元素检测	顺序	顺序	同步	同步
可检测多少种元素?	67	70	74	86
日常维护要求	🔧	🔧	🔧🔧🔧	🔧🔧🔧🔧
操作人员技能要求	🎓	🎓	🎓🎓	🎓🎓🎓
是否支持无人值守运行	✗	✓	✓	✓

* 这些是目前电池中使用的元素。仪器还可以测量更多其他元素

	FAAS 查看产品	MP-AES 查看产品	ICP-OES 查看产品	ICP-MS 查看产品
性能指标				
运行耗电量	⚡	⚡⚡	⚡⚡	⚡⚡⚡
尺寸 (mm — 宽 × 深 × 高)	790 × 580 × 590 ³	960 × 660 × 660	625 × 740 × 887	730 × 600 × 595
重量	75 kg	73 kg	90 kg	100 kg
气体要求	压缩空气和 99.0% 纯度的乙炔和/或 99.5% 纯度的 N ₂ O (取决于分析的元素)	99.5% 纯度的氮气 ⁴	99.99% 纯度的氩气 可选: 氮气、氧气	99.99% 氩气 99.999% 氮气
排气要求	2.5 m ² /min	2.5 m ² /min	2.5 m ² /min	5–7 m ² /min
保修期 ⁵	12 个月	12 个月	12 个月	12 个月
附件				
自动进样器	可选	可选	可选	可选
水冷系统	不需要	不需要	需要, 但未包含	需要, 但未包含

1. ICP-OES 和 ICP-MS 仪器必须安装切换阀, 方能达到该样品检测数量
2. 仅仪器本身的动态范围, 不使用任何可提高灵敏度的进样装置
3. 高度取决于所选的型号
4. MP-AES 只需要氮气, 可以通过氮气发生器从空气中提取。或者, 可以使用氮气钢瓶或杜瓦瓶
5. 安捷伦提供多种保修期服务与支持选项



如何选择合适的原子光谱技术

本电子书介绍了每种技术的工作原理, 可以检测以及不能检测的元素, 这些技术之间的相互比较, 以及如何根据自己的需求选择合适的仪器。

[下载电子书](#)

现有方法



安捷伦提供了大量的应用简报，详细介绍了采矿行业中常用的分析方法。应用简报中包含样品前处理、仪器设置、方法设置的详细信息，并给出了典型结果。

部分应用简报如下：

5994-6112EN	使用 ICP-OES 测定碳酸锂中的杂质元素
5994-6011EN	利用 FAAS 分析伟晶岩矿石中的锂含量
5994-5590ZHCN	使用 ICP-OES 对锂离子电池用硅炭负极材料中的元素杂质进行测定
5994-5341ZHCN	使用 ICP-MS/MS 对锂离子电池原材料中的 64 种元素进行痕量定量分析
5994-5149ZHCN	使用 ICP-OES 对用于锂提取的卤水样品进行元素分析
5994-4492EN	使用 ICP-OES 分析碱金属矿石中的稀土元素
5991-9340EN	火试金法制备的贵金属矿石中金、钨、铂的测定
5991-8120EN	使用安捷伦 MP-AES 测定碱金属矿中的金属
5991-7914CHCN	使用 Agilent 5100 ICP-OES 分析浓盐水中的四种元素 (Ca、Mg、Si 和 Sr)
5991-7786EN	使用安捷伦 SVDV ICP-OES 测定地质样品中的稀土元素
5991-7103CHCN	快速测定地质样品中的金
5991-5932CHCN	使用 ICP-OES 对地化样品中的碱金属进行超快速测定
5991-6406ZHCN	使用 ICP-MS 分析矿石参比物质中的超痕量金属

5994-1520ZHCN	ICP-OES 分析水样最快速、最智能的方法
5994-2027EN	根据 US EPA 方法 6010D 分析废弃物样品
5994-2307EN	根据 US EPA 6010D 使用 ICP-OES 分析土壤、沉积物和污泥
5994-3906EN	根据标准方法使用 ICP-OES 分析环境水样
5991-5921CHCN	按照 US EPA 6010C 方法对污泥样品进行高通量、低成本 ICP-OES 分析
5991-6239EN	使用 Agilent 4200 MP-AES 分析生活污水

相关期刊论文

V Balaram	Microwave plasma atomic emission spectrometry (MP-AES) and its applications – a critical review
Geisenblösen 等人	Determination of major elements in igneous rocks using MP-AES
EA Yerima	Ecological risk assessment of mineral sand heavy metal levels of soil around automechanic village Wukari, Nigeria
A Stanovych	Depollution of mining effluents: innovative mobilisation of plant resources
S Karlsson	Analysis of acid rock drainage with MP-AES – comparison with ICP-MS
J Shehu	Investigation of the solid mineral deposits in Kano states Shhist belt using geochemical analysis

推荐的附件和消耗品



无论是在原材料检测还是科研工作中，需要根据不同的进样系统需求匹配准确、有效且具有出色耐受性的附件，从而满足不同用户对耐用性和数据质量的要求。安捷伦提供一系列校准溶液、仪器部件和消耗品，能够满足锂离子电池材料元素分析的特定需求。其中包括耐锂盐的进样组件以及可以直接分析含有氢氟酸的有机样品的组件。此外还提供电池中常用元素的校准溶液。



下载安捷伦为锂电池行业提供的消耗品和工具[指南](#)。

了解更多信息：

www.agilent.com/chem/atomic

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

DE59539992

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11月2日，中国出版
5994-6650ZHCN

