

锂离子电池电极材料的密度测量

关于：锂离子电池及电极材料生产商

如今，可再生能源作为原电池、汽车电池的环保替代品而越来越受欢迎。密度测量在锂离子电池电极材料的制造过程中起着重要作用。



1 可充电电池？必不可少！

日常生活中，每个人都在使用可充电电池。它们用作各种设备中的能量存储设备，其中包括移动电话和平板电脑，以及各种电气运输工具。由于其卓越的性能，锂离子电池已成为当今大多数应用中首选的可充电电池。

这些电池的主要组成是它们的电极和电解质。为了确保两者的高质量，在生产过程中以及交付之前的最终产品中，需要对样品仔细监视。含锂电解质密度测量的好处在其他地方[1]已有描述，新的问题是：密度测量是否还可以用于锂离子电池电极质量控制的目的？答案很简单：

是的，可以！

2 电极和密度测量？当然！

2.1 电池的制造方式

图 1 概述了锂离子电池电极的生产过程，并指出了密度测量（以灰色背景表示）是一种可靠，快速的方法。

所有生产步骤均在[2]中进行了详细描述。

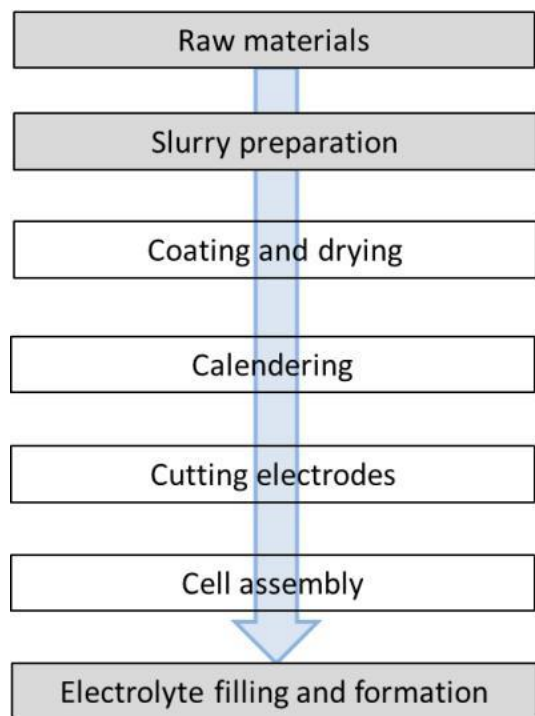


图1：电极生产示意图

整个过程的详细描述可以在[2]中找到。

2.2 电极生产过程中的密度测量

2.2.1 原材料

只有优质的原材料才能生产出优质的最终产品——此规则适用于电极制造以及任何其他生产过程。

- 是否提供了正确的原料？
- 原料是否纯净？
- 浓度是否准确？
- 测量结果是否符合原材料随附的信息？

2.2.2 浆料制备

活性电极材料、导电剂和粘合剂均匀地混合在一起，直到获得糊状的黏稠度为止。正极和负极均以此方式生产（当然，成分有所不同）。

这些所谓的浆料是高度黏稠的，甚至是像蜂蜜一样的悬浮液。因此，充分混合对于实现固体颗粒的均匀分布非常重要。组成、分散液和所用的处理条件可能会影响所得悬浮液的流变性质，从而影响最终电极的性能。

多年里，许多电极制造商已经成功地进行了浆料的密度、黏度和流变行为的测定。据报告，从这些测量中获得的信息很重要，原因有很多：

- **正确的流动特性**

将浆料涂到载体上时，密度和黏度对于确保正确的流动性（流变特性）至关重要。

- **保持浆料结构**

浆料的均质性至关重要。颗粒的浓度、大小和密度以及基质的密度和粘度是影响因素。但是，过度搅动可能会导致内部结构破坏以及对固体颗粒的破坏。密度和黏度是正确混合的指标：不多不少才最好。

- **成分一致性**

密度控制可确保正确的材料成分，黏度控制可确保浆料制备过程的一致性。密度变化作为浓度的函数并不总是线性的，这意味密度对于充分了解材料的特性很重要。

- **完美的电池性能**

浆料层的均匀厚度和密度对于确保电池的使用寿命，充放电性能和离子传输速率（与电池尺寸无关）至关重要。黏度控制对于均匀以及最小的涂层厚度偏差至关重要。

- **控制成本**

控制密度和黏度，以优化工艺，确保一致性，质量，

以及可追溯性，并显著节省材料，能源，时间和成本。

- **便于操作**

传统的密度测量技术，例如使用比重瓶，需要熟练的操作人员、大量的样品和清洗剂，较长的分析和清洗时间，并要求进行黏度和温度修正。此外，还有人为操作错误。在生产周期中需要进行许多分析，相比较而言，数字密度计有许多显而易见的优势。

2.2.3 电解液填充和形成

在最后一步中，将电解液引入外壳中。至关重要的是，所有孔隙均需填充，因为电池中的气泡将损害电池性能，减小有效表面积并增加阻抗。含锂电解液的密度测量值在[2]中有描述。

2.3 快速浏览

密度变化可能表明有杂质！

在整个生产过程中，始终存在污染的风险（例如，搅拌机的漏油）。根据浆料的成分，悬浮颗粒的数量和浓度以及最重要的生产过程一致性和密度一致性，污染物导致的密度变化是可以测量的，可以通过足够精确的密度计（例如 DMA 4500 M或DMA 5000 M）检测到。

如果样品和污染物的密度差异足够大，则密度测量是检测原材料、浆料和电解液中污染物的快速可靠的指标，可以立即采取措施，避免浪费材料和时间。

防止污染，这样不仅可以节省金钱，还能节省时间和宝贵的原材料！

3 满足所有应用需求的最佳解决方案

3.1 使用便携式密度计DMA 35现场测量

DMA 35密度计（图2）是一款轻巧的便携式仪器。如果重点放在现场测量（如原材料质量控制）以及生产过程中，DMA 35密度计是最佳选择。DMA 35的设计使其成为准确度要求为 $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ 和重复性要求为 $\pm 0.0005 \text{ g/cm}^3$ 的应用的理想解决方案。



图2：便携式密度计DMA 35

3.2 实验室单样品密度计DMA 501和DMA 1001

小而强大！

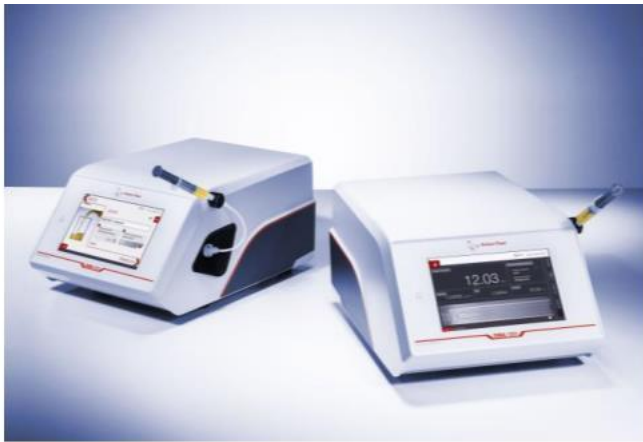


图3：DMA 501和DMA 1001

坚固的实验室单机密度计DMA 501和DMA 1001（图3），具有U型管可视和进样检查功能，并且可以在全量程范围内做黏度补偿，准确度分别是 $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ 和 $\pm 0.0001 \text{ g/cm}^3$ ，重复性标准偏差分别是 $\pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$ 和 $\pm 0.00005 \text{ g/cm}^3$ 。

3.3 实验室单样品/多样品密度计DMA M

DMA M系列台式密度计见图4。DMA M密度计可以用于

单样品的密度测量，也可以与Xsample自动进样器连接，实现多样品测量。根据对不同准确度（最高可达 0.000007 g/cm^3 ）的需求，可以选择DMA 4100 M，DMA 4500 M或DMA 5000 M。

在安东帕官网上，可以根据不同的应用需求，选择合适的仪器[3]。



图4：DMA M系列

4 展望未来

DMA M密度计可以与许多不同仪器（如黏度计、折光仪、旋光仪）连接，实现多参数同时测量。在未来，DMA M密度计将可以与MCR流变仪连接。

单次进样，多参数同时测量可以规避许多操作错误。另外，由于浆料黏度较高，还可以选择自动进样器Xsample 340——实现带压进样及自动清洗。

5 建议

阳极和阴极材料基于完全不同的溶剂。如果测量不同材料时，测量池没有完全清洁并干燥，则这些溶剂可能会相互反应，从而影响结果，并有损坏密度计测量池的风险。

如果需要大量测试并快速获得结果，则强烈建议使用两台仪器，并且每台仪器分别用于阳极或阴极材料的测量。这将加快分析速度，大大减少清洗所需的时间和化学试剂，并降低产生错误结果或可能损坏仪器的风险。

6 需求有很多，方案也有很多

你是否需要

- ✓ 具有三位准确度的便携式密度计？
——没错，就是DMA 35!
- ✓ 具有三或四位准确度的小型台式密度计？
——DMA 501或DMA 1001是最佳选择!
- ✓ 通过Xsample自动进样器实现自动化？
——请选择DMA M系列密度计!
- ✓ 同时快速获得阳极/阴极材料的结果？
——两台DMA M!

7 参考资料

- [1] Anton Paar Application report XDLIA049EN
“Density measurement of lithium-containing electrolytes” (2019)
- [2] J. Smekens, N. Van den Steen, N. Omar, R. Gopalakrishnan, O. Hegazy, A. Hubin and J. Van Mierlo, Influence of Electrode Density on the Performance of Li-Ion Batteries: Experimental and Simulation Results, Energies 2016, 9, 104
- [3] www.anton-paar.com