

采用带连续测试功能的微小压缩试验机进行锂离子电池材料的强度试验

大城 真爱

特点描述

- ◆ 由于具备自动连续测试功能，因此可大幅缩短颗粒测试总时间。
- ◆ 最多可进行 100 点的连续测试。
- ◆ 由于软件自动完成粒径测量，因此可减少不同操作者之间的测量差异。

■ 引言

锂离子电池如今已成为不可或缺的能源载体，应用场景十分广泛，小到智能手机、笔记本电脑等日常用品，大到电动汽车、可再生能源储能系统等领域。锂离子电池基本上由正极、负极、电解液和隔膜四大核心部件组成。正极材料一般选用可实现锂离子嵌脱的过渡金属氧化物（例如：镍钴锰酸锂：NCM）或磷酸铁锂（LFP），负极材料一般以石墨为主，硅材料因其高理论容量，相关应用技术正持续落地推进。锂离子电池面临的问题之一是正极材料和负极材料的开裂。这些开裂被认为是在制造时或充放电过程中反复受压而产生的，会影响循环特性等电池性能。因此，业内也在持续开展材料力学性能与电化学性能关联性的相关研究^{1),2)}。

本文以力学性能定量分析为例，介绍各类电池材料的压缩测试应用案例。MCT 系列微小压缩试验机适用于单颗粒微小试样的压缩测试；其中 MCT-AD 型号还可实现试样分选、尺寸自动测量及全自动连续测试，能够完成大批量样品的检测评估。

■ 关于微小压缩试验机 MCT-AD

图 1 展示了装置的外观和测定原理图。MCT 系列微小压缩试验机使用平压头，对放置在下部加压板上的单颗粒进行压缩试验。随后，根据预先测定的粒径，以及试验得到的试验力 - 位移数据，计算出颗粒的各种强度。

相比传统的 MCT，MCT-AD 将待测颗粒筛选、粒径测量以及压头清洁等原本由操作者手动完成的步骤实现了自动化。该设计大幅缩减人工工时，可支持 100 个测试点的连续测试。

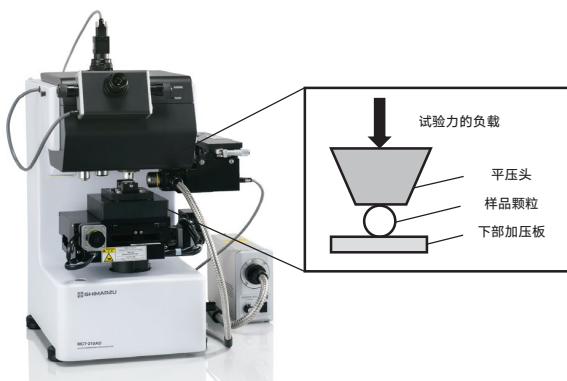


图 1 MCT™-AD 与测定原理

MCT-AD 的测定流程如图 2 所示。首先，将样品分散在下部下压板上。设定试验条件后电动 XY 移动平台在指定范围内移动的同时进行扫描。从将所得各图像拼接而成的广域图像中自动检测颗粒。然后对各颗粒进行自动粒径测量，选取适合试验的指定数量的颗粒。随后，自动重复进行压缩试验和清洁。

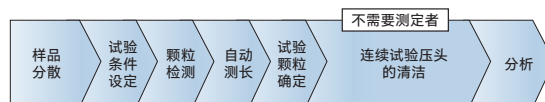


图 2 MCT-AD 的测定流程

■ 试验条件

进行连续试验之前，需事先进行单一试验，确认合适的压缩试验条件后再进行连续测试参数的设定。之后，设定颗粒的粒径测定方法、粒径范围、圆形度等筛选条件，筛选出适合的待测颗粒。表 1 显示了正极材料的试验条件，表 2 显示了负极材料的试验条件。另外，压溃强度系数选择了 2.8（对应 JIS Z8844）。此外，图 3 显示了粒径测量后的颗粒图像。

表 1 正极材料的试验条件

样品	: 正极材料 (NCM811 系)
粒径	: 约 10 ~ 15 μm
试验机	: 微小压缩试验机 MCT-211AD : 平压头 Φ50、侧面观察附件
试验模式	: 压缩试验
试验力	: 50 mN
加载速度	: 2.2 mN/sec
粒径测量方法	: 颗粒面积 / 面积圆当量直径
圆度	: 85% 以上
长宽比	: 0.88 以上

表 2 负极材料的试验条件

样品	: 负极材料 (石墨系)
粒径	: 约 10 ~ 15 μm
试验机	: 微小压缩试验机 MCT-211AD : 平压头 Φ50、侧面观察附件 : 软质模式 * 下一项，低试验力模式
试验模式	: 压缩试验
试验力	: 8 mN
加载速度	: 0.07 mN/sec
粒径测量方法	: 最大长度 / 最大直径垂直长度
圆度	: 70% 以上
长宽比	: 0.70 以上

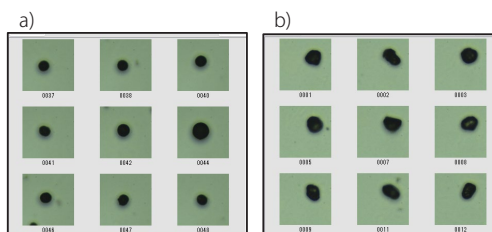


图 3 粒径测量后的颗粒图像 a): 正极材料 b): 负极材料

■ 正极材料的测定结果

进行了 100 个样品点的连续试验。本试验所用的正极材料存在压溃现象,因此采用压溃强度进行评估。利用分析软件,对接近压溃强度中位值的 70 点进行评估,结果显示,平均压溃强度为 125.3 MPa,标准偏差为 15.1。图 4 显示了试验力 - 位移图,图 5 显示了强度 - 粒径图。

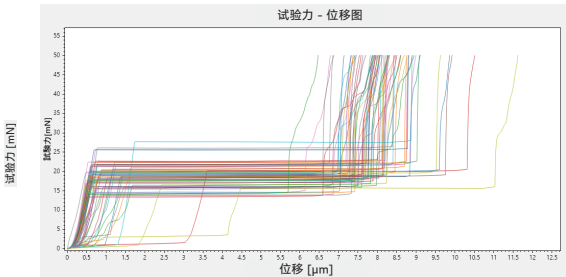


图 4 正极材料的试验力 - 位移图 (N70)

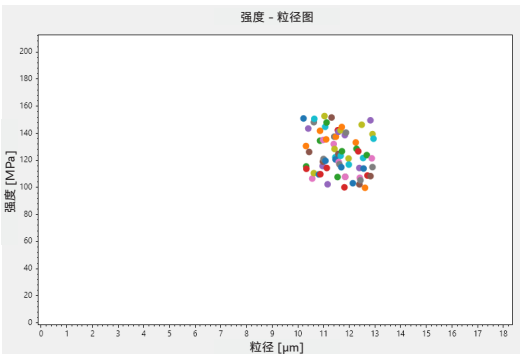


图 5 正极材料的强度 - 粒径图 (N70)

试验后的样品图像可保存,并可用于后续分析核查(图 6)。搭配侧面观察附件(选配),可实时观察并记录压缩试验过程中样品侧面的变化情况(图 7),并能同步保存视频。试验完成后,可查验视频,再次观察颗粒被压缩的形态变化过程,且图像和瞬时试验力精准对应。

如果使用传统机型进行此项试验,操作者需要花费 5 小时以上的实际操作时间。而使用 MCT-AD,只需约 20 分钟进行试验条件设定,后续测定便自动运行。相比较,操作者的作业时间缩短至传统方式的 1/15 以下,测试效率得到显著提升。

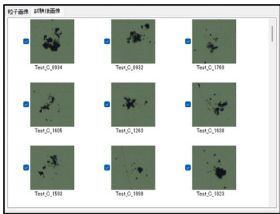


图 6 试验后图像

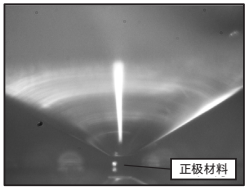


图 7 侧面观察附件图像

■ 负极材料的测定结果

进行了 100 个样品点的连续试验。本试验所用的负极材料很少表现出明确的压溃现象,因此,本文选取颗粒形变量达粒径 10% 时的试验力,计算得到变形强度并以此作为评价依

据。另外,由于样品较软且表面难以识别,故启用专用模式(软质模式)进行了测定。利用分析软件,对接近变形强度中位值的 50 个点进行评估,结果显示,平均值为 1.8 MPa,标准偏差为 0.5。图 8 显示了试验力 - 位移曲线以及用于计算变形强度的颗粒直径 10% 变形量附近的放大图。

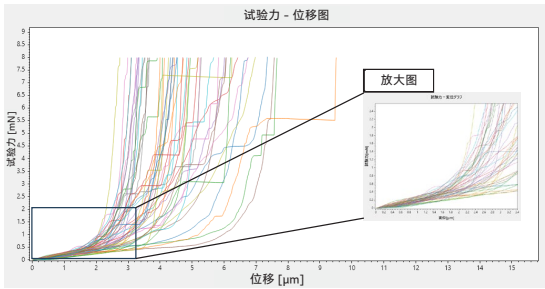


图 8 负极材料的试验力 - 位移图 (N50)

■ 样品的分散

利用 MCT 系列微小压缩试验机进行单颗粒抗压强度试验时,需将待测颗粒调整置于平压头下方。因此,需要将样品分散在下部加压板上,使其不重叠。本次使用图 9 所示的样品分散夹具(通过推拉针筒产生负压),简便地将样品散布在下部下压板上。

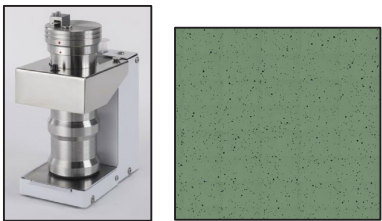


图 9 样品分散夹具及正极材料分散状况(广域图像 2x2 mm)

■ 结论

本报告以锂离子电池电极材料做为研究对象,介绍了 MCT-AD 在材料颗粒力学性能评估中的应用案例。传统测试方式高度依赖人工操作,而 MCT-AD 可实现测定颗粒的筛选、粒径自动测量和压缩试验的自动运行,从而大幅节省人工,提高测试效率,还降低了对操作人员技术经验的依赖。MCT-AD 不仅适用于电池材料,也适用于其他微小颗粒样品的压缩试验。既可用于产品研发,也可用于质量控制。

< 致谢 >

在编写本应用报告时,KRI 株式会社为我们提供了正极材料样品。在此表示衷心的感谢。

< 参考文献 >

1. MoonMin et al, "The correlation between particle hardness and cycle performance of layered cathode materials for lithium-ion batteries," Journal of Power Sources, 486 (2021) 229359.2)
2. Omir Khan et al, "Investigating the effect of lithiation on polycrystalline NCM811 Li-ion battery cathode cracking using in situ SEM micromechanical testing," Energy Environ. Sci., 18 (2025) 9254

岛津应用云



MCT 是岛津制作所株式会社或其相关公司在日本及其他国家 / 地区的商标。



岛津企业管理(中国)有限公司
岛津(香港)有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话: 800-810-0439
400-650-0439

免责声明:

* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售;
* 本资料中的所有信息仅供参考,不予任何保证。
如有变动,恕不另行通知。

第一版发行日: 2026 年 4 月

➤ 问卷调查

相关产品 某部分产品可能已更新至新型号。



➤ MCT™ 系列

微小压缩试验机

相关领域

➤ 绿色能源

➤ 锂离子电池

➤ 汽车

➤ 工业材料 / 材料

➤ 玻璃·陶瓷

➤ 价格咨询

➤ 产品咨询

➤ 技术服务

➤ 其他咨询