 DOI: https://doi.org/10.12349/mit.v3i1.10720

Research on Data Consistency of Battery Cycle Life Testing Based on Quality Measurement

Yuanfeng Xie Feng Yang Ling Huang Yong Zhang Yingxue Wu

Xiangyang Shouxin Quality Inspection Technology Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441000, China

Abstract

Battery cycle life testing is an important basis for evaluating the reliability of power batteries, energy storage batteries, and consumer batteries. Its test results directly affect product grading, life prediction, hierarchical utilization evaluation, and quality traceability. In the actual testing process, there are often differences in capacity retention, energy efficiency, internal resistance changes, and end-of-life points obtained under different testing channels, equipment batches, laboratories, and operating conditions, resulting in insufficient consistency of test data. This article takes quality measurement as the starting point, analyzes the formation mechanism of data differences in battery cycle life testing from the aspects of value traceability, testing condition control, equipment measurement confirmation, data processing rules, and uncertainty evaluation, and constructs a data consistency control approach for the entire process of cycle life testing.

Keywords

quality measurement; battery cycle life; data consistency; measurement confirmation; uncertainty

基于质量计量的电池循环寿命测试数据一致性研究

谢远锋 杨峰 黄令 张勇 吴迎雪

襄阳首信质量检测技术有限公司，中国 · 湖北 襄阳 441000

摘 要

电池循环寿命测试是评价动力电池、储能电池及消费类电池可靠性的重要依据，其测试结果直接影响产品分级、寿命预测、梯次利用评估和质量追溯。在实际测试过程中，不同测试通道、不同设备批次、不同实验室以及不同工况设定下获得的容量保持率、能量效率、内阻变化和寿命终止点往往存在差异，导致测试数据的一致性不足。本文以质量计量为切入点，从量值溯源、测试条件控制、设备计量确认、数据处理规则和不确定度评价等方面分析电池循环寿命测试数据差异的形成机理，构建面向循环寿命测试全过程的数据一致性控制思路。

关键词

质量计量；电池循环寿命；数据一致性；计量确认；不确定度

1 引言

随着新能源汽车、储能电站、便携式电子设备和工业备用电源快速发展，电池循环寿命已成为衡量电池产品性能稳定性和使用经济性的核心指标。循环寿命测试通常需要在规定倍率、温度、截止电压和充放电制度下持续运行数百至数千个周期，并依据容量保持率衰减至规定阈值时的循环次数判定寿命水平。由于测试周期长、数据量大、环境敏感性强，任何微小的计量偏差都可能在长期循环中被放大，进而影响寿命终止点判断。因此，电池循环寿命测试数据一致性并非单纯的数据管理问题，而是计量准确性、测试工况稳定性和质量控制能力共同作用的结果。基于质量计量开展研究，有助于从源头提升寿命测试数据的可信度，为电池产品质量评价、工程选型和安全服役管理提供更可靠依据。

【作者简介】谢远锋（1983–），男，中国湖北枣阳人，本科，工程师，从事质量计量方法研究及动力电池检测质量研究。

2 电池循环寿命测试数据一致性的计量基础

2.1 循环寿命测试中的关键量值与一致性要求

电池循环寿命测试从表面看，呈现出容量保持率随着循环次数不断增加而逐渐降低的情况，然而其背后关联着电流、电压、时间、温度、容量、能量、内阻等多种量值的持续测量、综合计算。其中，电流对充放电倍率能否符合设定要求起着决定作用，电压决定着恒流恒压转换点、截止条件，时间参与到容量积分、效率计算之中，温度会对极化、锂离子扩散、副反应速率产生影响，容量与能量则是寿命判定的直接指标。要是这些量值缺乏稳定的计量基础，虽然测试设备能够自动输出大量数据，不同批次、不同通道、不同实验

室之间的结果也很难保证具有可比性。数据一致性至少涵盖三个方面：其一，同一电池在相同条件下重复测试时，结果波动应处在合理范围，其二，同批次样品在同一设备不同通道进行测试时，衰减趋势不应出现并非由材料因素而导致的系统性偏离，其三，不同实验室依据同一测试规程所获得的寿命判定结果应该具有可解释的一致性。由此可知，循环寿命测试数据一致性并非是要求所有曲线完全重合，而是在充分考量电池个体差异、测试不确定度的基础上，让测试差异能够被计量模型、工况条件、统计方法合理阐释。

2.2 质量计量对测试结果可信度的支撑作用

质量计量在电池循环寿命测试里的作用，主要是针对测试过程当中各个关键量值展开溯源、校准、确认、持续监控。传统的电池测试通常更在意设备功能是不是正常、软件记录是否完整、最终容量保持率有没有达到标准要求，然而对于通道间电流偏差、温度场分布、采样频率、积分算法、数据修约规则的关注比较欠缺。实际上，循环寿命测试的周期比较长，早期的微小误差在数百个循环之后或许会形成明显的差异。比如，某测试通道电流实际输出长时间偏高，会让样品承受更高的电化学负荷，容量衰减有可能被人为加速，要是温箱不同位置的温差达到数摄氏度，处于高温区域的电池可能会呈现出更快的老化，要是设备时间基准存在偏移，那么容量积分结果会产生系统性偏差。质量计量借助建立量值溯源链、明确校准周期、进行中间核查、评估测量不确定度，使得测试数据不再只是依赖设备显示值，而是能够追溯到稳定可靠的计量依据。对于电池企业、第三方检测机构来讲，把质量计量融入到循环寿命测试的整个过程，可以减少因为设备、环境、人员操作差异所造成的数据离散，提高寿命测试结论在质量判定、认证评价、工程应用中的可信度。

3 电池循环寿命测试数据不一致的形成机理

3.1 设备通道差异与环境控制偏差的影响

电池循环寿命测试设备一般有着多通道并行运行的特性，多个样品能够在同一设备上同时进行充放电测试。虽说设备标称精度可以满足一般测试需求，可是不同通道在电流输出稳定性、电压采集精度、接触电阻、线缆压降、散热条件等方面还是有可能存在差异。在高倍率循环、长时间恒压充电或者低温测试场景下，这种差异会进一步增大。电池循环寿命对温度非常敏感，特别是在高镍三元、磷酸铁锂、钠离子电池等不同模式里，温度偏差会经由副反应速率、SEI 膜生长、析锂风险、电解液消耗等途径对寿命表现产生影响。所以，数据不一致不一定是源于电池材料自身，测试通道和环境控制的计量差异常常是导致寿命曲线偏离的重要外部因素。为了更清晰地明确循环寿命测试数据不一致的来源，可以从量值采集、环境控制、数据处理这三个方面归纳主要影响因素。表 1 展示了电池循环寿命测试中常见偏差来源、相应的质量计量控制要点，其中电流、电压、温度、时间属于基础量值控制内容，数据处理与判定规则则属于测试结果解释方面的质量控制内容。只有把两类因素同时纳入一致性管理，才能防止测试结果只是形式上完整，却缺乏实质上的可比性。

表 1 电池循环寿命测试数据一致性影响因素及计量控制要点

影响环节	主要偏差来源	对循环寿命数据的影响	计量控制要点
电流输出	通道电流偏差、输出波动、量程切换误差	改变实际充放电倍率，造成容量积分偏高或偏低	定期开展电流校准，重点核查常用倍率点和小电流截止点
电压采集	采样精度不足、线缆压降、夹具接触不良	影响充放电截止条件，导致容量释放不充分或提前终止	进行通道电压比对，核查端电压采集位置和连接状态
温度控制	温箱温场不均、传感器漂移、样品摆放密集	改变电池老化速率，使同批次样品衰减曲线离散	开展温场均匀性验证，明确样品布置间距和监测点位
时间基准	设备时钟偏差、采样间隔不一致	影响容量和能量积分结果，长期循环后误差累积	核查设备时间基准，统一采样周期和积分算法
数据处理	异常循环剔除规则不同、平滑方法不同	改变容量保持率曲线形态和寿命终止点判断	建立统一数据清洗规则，保留原始数据和处理记录
判定规则	寿命终止阈值、连续判定周期设置不同	导致同一组数据得出不同寿命结论	统一容量保持率基准、终止阈值和连续判定条件

3.2 测试制度、数据处理与判定规则差异的影响

除了硬件计量方面的因素之外，测试制度、数据处理规则同样是对循环寿命数据一致性产生影响的关键要点。循环寿命测试一般涵盖静置、恒流充电、恒压充电、恒流放电、温度恢复、数据记录等一系列步骤，然而不同实验室或者不同设备软件针对步骤切换、采样间隔、截止条件、异常循环处理的设置并非完全一样。就拿恒压充电截止电流来说，要是一个测试方案规定截止电流为 0.05C，而另一个方案采用的是 0.02C，虽然电池模式相同，单次充入容量也会存在差异，经过长期循环后容量保持率曲线将无法直接进行比较。再比如说，有的设备是以固定时间间隔进行采样，有的设备是以电压或者电流变化来触发采样，要是积分算法不一样，容量计算结果也有可能出现偏差。在数据处理阶段，是否剔除异常循环、怎样处理断电恢复数据、容量保持率是以首次

容量还是额定容量作为基准、寿命终止点是采用单点判定还是连续多点判定，这些都会对最终寿命结论产生影响。某些样品在循环过程中可能会出现短暂容量回升或者平台波动，要是仅仅依据单个循环点去判断寿命终止，很容易造成误判，要是过度平滑曲线，又可能会掩盖真实的衰减拐点。所以说，循环寿命数据一致性不但取决于测量是否准确，还取决于测试制度是否统一、数据算法是否透明、判定规则是否稳定。

4 基于质量计量的数据一致性控制路径

4.1 构建全过程计量确认与通道一致性核查机制

想要提高电池循环寿命测试数据的一致性，需要先从设备计量确认、通道一致性核查这两方面着手。在进行测试之前，要针对电流、电压、温度、时间等重要的量值展开校准或者核查工作，以此来确认设备性能处于可控制的状态。对于多通道测试设备而言，不能仅仅凭借整机校准结果来替代通道级评价，而是要抽取处于不同位置、有着不同量程、不同负载条件下的通道来进行比对，进而识别是否存在固定偏差或者漂移趋势。通道一致性核查能够借助标准电阻、模拟电池或者稳定电源负载组合来进行，通过对比各通道在设定的电流、电压、采样时间之下的输出与测量差异，判断其是否符合寿命测试的要求。对于长期运行的循环测试来说，还应当设置中间核查节点，比如说在测试达到一定的循环次数或者运行了一定的时间之后，对设备状态、温箱温场、夹具接触、数据记录完整性进行复核，防止测试在初期合格但是后期出现漂移失控的情况。在环境控制方面，要对温箱进行空间温度均匀性验证，明确样品的布置位置、间距、传感器的布点，避免靠近风口、门体或者热源位置的样品形成非均匀老化。通过把设备确认、通道核查、环境验证纳入到同一个质量计量框架之中，可以从测试的源头降低非电池因素所造成的数据离散。

4.2 完善数据一致性评价与不确定度分析方法

在数据评价方面，需建立契合循环寿命测试特性的一致性判定方式。针对同批次的样品，借助容量保持率曲线离散度、关键循环点容量标准差、寿命终止点分布、能量效率波动、内阻增长趋势等指标来评估数据的一致性，而不是仅仅依据最终循环次数做简单比较。针对跨设备或跨实验室的测试，要结合计量不确定度分析，把电流、电压、时间、温度、容量积分等因素纳入综合考量，判断结果差异是否超出合理限度。容量计算常常依靠电流对时间的积分，所以电流测量误差、时间基准误差、采样间隔都会对容量结果造成影响，能量计算还会加上电压测量误差，其不确定度来源更为繁杂。要是能在测试报告中给出主要量值的不确定度贡献、测试结果置信区间，寿命数据就不再是孤立的数值，而是具备计量解释能力的质量信息。对于异常数据，要确立分级处理规则，把设备停机、接触异常、温度失控、软件中断、电池本体失效区分开来，防止将测试系统故障误判为电池寿命衰减。数据处理过程还应当留存原始记录、参数设置、修正过程、异常说明，让寿命测试结论具有可追溯性。通过将一致性评价与不确定度分析结合起来，可使电池循环寿命测试从经验判断转变为计量支撑下的量化评价。

5 结语

电池循环寿命测试数据一致性直接关系到电池质量评价、寿命预测和工程应用决策的可靠性。由于循环寿命测试周期长、影响因素多、数据链条复杂，测试结果差异往往并非单一因素造成，而是设备通道、环境温度、测试制度、数据算法和判定规则共同作用的结果。基于质量计量开展研究，能够将电流、电压、温度、时间、容量和能量等关键量值纳入统一控制体系，使测试过程具有更强的溯源性、稳定性和可解释性。未来，电池循环寿命测试应进一步强化通道级计量确认、温场均匀性验证、数据处理标准化和不确定度评价，并推动实验室间比对和标准样品应用，逐步形成覆盖测试前、测试中和测试后的全过程质量计量控制机制。只有将计量控制贯穿于寿命测试全过程，才能真正提升电池循环寿命数据的一致性和工程可信度。

参考文献

[1] 赵柯,赵满冬,郝然,等. 生物质基隔膜稳定水系锌离子电池负极的应用进展[J/OL].复合材料学报, 1-26[2026-06-01].https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20260526.005.

[2] 刘磊,王建辉. 平面锂沉积与溶解实现长循环500 Wh kg-1无负极软包电池[J/OL].科学通报, 1-4[2026-06-01].https://link.cnki.net/urlid/11.1784.N.20260525.0954.002.

[3] 孙向东,徐惠. 电化学计量技术在锂电池材料性能评估中的应用[J].实验室检测,2025,3 (11):56-58.