

ICS 29.220.01
CCS K82

团 体 标 准

T/CIAPS0013—2021

磷酸铁锂电池循环寿命加速因子 选取试验

Selection test of accelerated factor for cycle life of LiFePO_4 batteries

2021年8月16日发布

2021年9月1日实施

中国化学与物理电源行业协会 发布

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 一般要求.....	2
5 试验方案.....	2
6 数据处理方法.....	3
附录 A（规范性附录）符号.....	6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国化学与物理电源行业协会提出并归口。

本文件牵头起草单位：中国电子科技集团公司第十八研究所

本文件参与起草单位：合肥国轩高科动力能源有限公司、北京理工大学、江苏海基新能源股份有限公司、永杰新材料股份有限公司、天津市新能源研究院有限公司、河北零点新能源科技有限公司、广东天劲新能源科技股份有限公司。

本文件主要起草人：卢立丽、马洪斌、于冰、肖成伟、刘波、熊瑞、卢家欢、祝捷、陈登斌、桑林、王辉、王洋、杨万光、刘彦龙、王熙晨。

引 言

加速因子是加速应力下产品某种寿命特征值与正常应力下寿命特征值的比值,加速因子反映了加速试验中得到的寿命信息与实际使用条件的寿命信息之间的折算规律,即加速应力的函数,该函数反映了产品寿命衰退特性与所施加应力的关系。本标准给出了根据寿命分布特性进行加速因子选取的方法。

LiFePO₄电池以容量衰退到一定寿命值的常温循环寿命与温度加速应力循环寿命比值作为加速因子,本标准通过拟合曲线,进一步外推获得磷酸铁锂电池循环寿命加速因子。

磷酸铁锂电池循环寿命加速因子选取试验

1 范围

本文件规定了通过恒定温度应力进行电动汽车用磷酸铁锂动力电池循环寿命加速因子选取试验的仪器设备、试验方案和结果处理。

本文件适用于由三个温度应力水平试验，求得磷酸铁锂电池温度加速因子的试验方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2421-2020 环境试验 概述和指南（IEC 60068-1:2013，IDT）

GB/T 2424.5-2006 电工电子产品环境试验 温度试验箱性能确认（IEC 60068-3-5:2001，IDT）

GB/T 2689.1-1981 恒定应力寿命试验和加速寿命试验方法 总则

GB/T 31484-2015 电动汽车用动力蓄电池循环寿命要求及试验方法

GB/T 34986-2017/IEC 62506:2013 产品加速试验方法

JJF 1101-2019 环境试验设备温度、湿度校准规范

GJB 1032-90 电子产品环境应力筛选方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磷酸铁锂电池 LiFePO_4 battery cell

磷酸铁锂电池是指用磷酸铁锂作为正极材料的锂离子电池，由电极、电解质、容器、极柱、通常还有隔离层组成的基本功能单元。

3.2

加速循环寿命 accelerated cycle life

在规定环境温度条件下，电池在特定性能失效之前所能进行的充放电循环次数。

3.3

初始容量 initial capacity

新生产的磷酸铁锂电池，在室温下，按照企业规定的充电终止条件完全充电后，以 $1I_1$ （A）电流放电至企业规定的放电终止条件时所放出的容量（Ah）。

3.4

加速因子 acceleration factor

产品在预期使用应力条件下与高应力条件下的失效分布特征（或可靠性水平）的比值。

4 一般要求

4.1 夹具

试验夹具应具有良好的强度，且不影响试验样品的热传导，试验夹具按照企业要求进行安装。

4.2 测量仪表与试验设备

4.2.1 通则

测量仪表和试验设备在精度、数量和质量上应能满足本规范规定的检验要求。所有仪表、设备应按国家有关计量检定规程或相关标准检定或计量合格，并在有效期内。

4.2.2 测量仪器、仪表准确度的要求

测量仪器、仪表准确度应满足以下要求：

- a) 电压测量装置：不低于0.5级；
- b) 电流测量装置：不低于0.5级；
- c) 温度测量装置： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 时间测量装置： $\pm 0.1\%$ ；
- e) 尺寸测量装置： $\pm 0.1\%$ 。

4.2.3 温度应力试验系统

试验装置的空气循环系统应能提供足够的循环风量，以保证试验效果。

试验装置的温度应力试验系统应满足：

- a) 试验温度能力范围不小于 $10^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 温度波动度在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内。

温度应力试验系统的性能确认参考GB/T 2424.5—2006的规定。

注：温度波动度的测量参照标准JJF1101—2003进行。

4.2.4 充放电测试设备

试验装置的功率应能提供足够的量程，以保证试验的正常进行。

试验装置的测试精度应满足4.2.2准确度的要求。

5 试验方案

5.1 样品

试验样品应在合格产品的同一批次中一次性随机抽取，每一温度应力水平试验宜不少于18只样品，三个应力水平需样品不少于54只。

5.2 温度应力水平的确定

完整的加速寿命试验应选取3个试验温度应力，在磷酸铁锂电池失效机理不变条件下，加速寿命试验温度应力水平，最高一般不宜超过60℃，最低一般不宜低于25℃。本标准试验选取温度应力分别为：35℃、45℃、55℃。

5.3 测试项目

5.3.1 对样品进行初始容量测量。

5.3.2 将温度箱调至试验温度，把样品搁置不低于 5h，开始寿命循环试验，至试验温度应力条件下首次循环容量的 80%，终止试验。

6 数据处理方法

6.1 假设条件

- 假设试验前的样品中没有废品；
- 每组样品测试结果可以代表总体；
- 电池容量衰退曲线分布类型不随测试温度而变化；
- 试验条件完全相同，每次取相等的样本大小，测得结果可以反映来自同一母体的变化。

6.2 容量衰退方程

6.2.1 基本原理

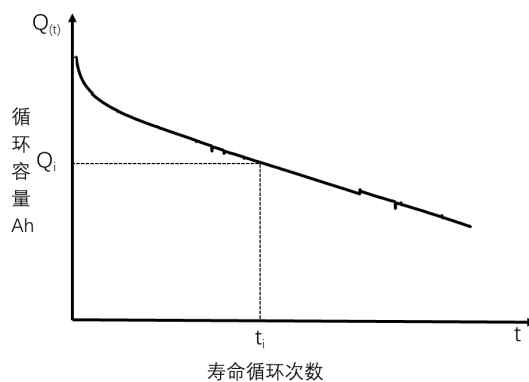


图1 温度加速寿命老化曲线 $Q_{(t)}-t$

以经典的阿伦尼斯（Arrhenius）方程作为磷酸铁锂电池的循环寿命与绝对温度关系的数学模型，

$$\ln t = A + B \cdot \frac{1}{T} \dots \dots \dots (1)$$

式中： t —磷酸铁锂电池循环寿命（循环次数）；

A—待定常数；

B—待定常数；

T —绝对温度，单位为开尔文（K）。

6.2.2 模型适用性

本模型适用于长时间20℃~65℃暴露的环境，在这种环境中，长时间的环境温度会引起材料发生累积损伤而改变其化学特性和物理特性，材料物理、化学特性的改变又有可能导致电学特性或其他特性发生变化。

本模型不适用于由于低温所引起的破坏，对于低温引起的破坏，需进行失效试验来建立特定的模型。

6.3 温度加速因子的估计

6.3.1 试验数据

将三个温度应力水平下的循环寿命列入表1，循环寿命计算方法参照《磷酸铁锂电池寿命加速循环试验方法》规定循环寿命试验方法。

表1 不同环境测试温度条件下循环寿命表

T_i	$1/T_i$	t_{zi} (循环寿命)	$\ln t_{zi}$
35°C=(273+35) K=308k	3.247×10^{-3}		
45°C=(273+45) K=318k	3.145×10^{-3}		
55°C=(273+55) K=328k	3.049×10^{-3}		

6.3.2 配置温度加速寿命直线

由表1 数据对每一加速应力下的试验数据，通过图估法或计算机进行线性拟合，拟合生成一条直线（如图2），即为温度加速寿命直线。

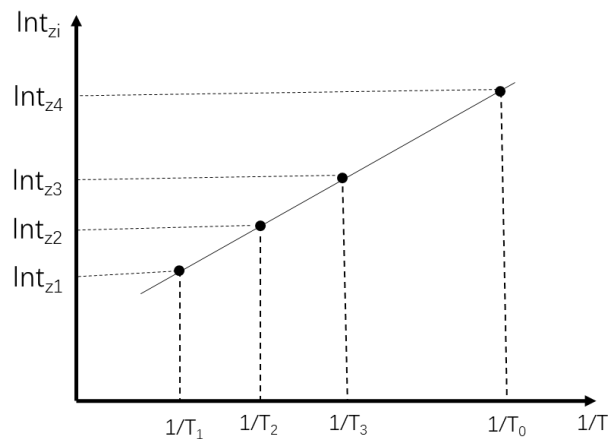


图2 温度加速寿命直线

6.3.3 外推常温下产品的寿命值

将拟合生成的温度加速寿命直线延长，在 $\ln t_{zi}$ 轴上找与 $1/T$ 轴上 $1/T_0$ 对应的点，该点的坐标值即为 $\ln t_{z0}$ 。

6.3.4 加速因子 τ 的计算

由温度加速因子定义计算：

$$\tau_{(T_0-T_i)} = t_{z0}/t_{zi} \dots \dots \dots (2)$$

式中

T_0 —室温试验温度 $25^{\circ}\text{C} = (25+273) \text{K} = 298\text{K}$;

T_i —温度应力试验温度, K;

t_{z0} —室温循环寿命寿终值, 循环次数;

t_{zi} —高温循环寿命寿终值, 循环次数。

附录A
(规范性附录)
符号

符号

τ —加速因子;

t —磷酸铁锂电池的寿命 (循环次数);

Q —磷酸铁锂电池容量 (Ah);

T —绝对温度 (K);

A —待定常数;

B —待定常数;

T_0 —室温试验温度, K;

T_i —温度应力试验温度, K;

t_{z0} —室温循环寿命寿终值, 循环次数;

t_{zi} —高温循环寿命寿终值, 循环次数。