

# 吉时利如何帮助 Tesla 提高电池寿命

## 应用指南



电动汽车在普及过程中，最容易让消费者犹豫的地方就是电池的寿命。像手机电池一样，反复充放电会造成电池的老化和容量的下降，电动汽车也如此，长期使用可能造成容量降低，续航里程下降，甚至不得不更换新的电池。在电动汽车中，电池成本占整车的比重相当大，以特斯拉为例，电池成本几乎占到 25%。因此，由于电池老化带来的潜在额外使用成本是电动汽车普及的巨大障碍。

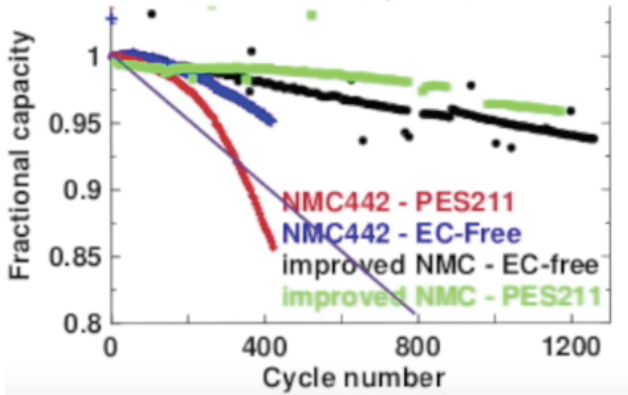
因此在电池行业中，电池成本、容量密度和寿命也是电池技术发展的三个最主要方向。在材料科学家的不断努力下，我们看到电池行业正在逐渐克服这些问题，使电池的使用成本逐年下降。在 2017 年三月的国际电池研讨会中，来自加拿大 Dalhousie University 的 Jeff Dahn 介绍了改进化学材料后的 NMC（镍锰钴三元材料）锂离子电池所带来的超长电池寿命。Jeff Dahn 不是电池界的无名之辈，他与 Tesla 在加拿大成立了电池材料联合实验室，专门为 Tesla 提供创新电池技术。



Jeff Dahn 和他的 Tesla Model S 轿车

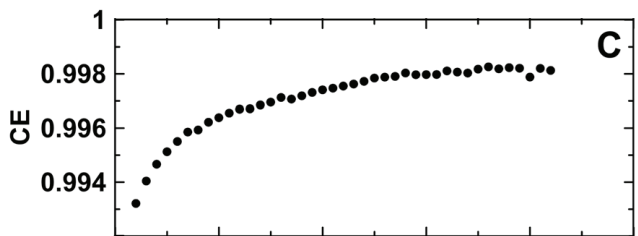
但对于电池材料的研发人员和电池产品的测试工程师，可能会更关心 Jeff Dahn 的测试数据是如何得到的。众所周知，电池的充放电是个相对缓慢的过程，假设单体电池的充放电时间是两小时，1200 次循环充放电需要连续进行 3 个月以上的实验，才能了解到电池的老化结果，这种测试速度显然是难以接受的。

为了更快速的得到电池老化特性，在 Jeff Dahn 发表的技术文章中，提到了一个有关电池的关键测试参数：库伦效率（CE, Coulombic Efficiency）。库伦效率指的是电池放电容量与同循环过程中充电容量之比（ $CE = \text{Discharge capacity} / \text{Charge capacity}$ ）。因为在每一次电池充放电过程中，都会有一小部分锂离子嵌入正、负极造成不可逆的材料损耗，因此电池容量会随着充放电过程逐渐减小，也就是我们经常说到的电池老化效应。科学家在测试过程中发现，经过若干次充放电后，CE 值可以被认为是一个非常接近于 1 的常数。



横轴为电池的充放电次数，纵轴为剩余电量百分比

在上图中可以看到，采用新材料的锂离子电池，经过 1200 次充放电，剩余电量可以保持在 95% 以上。这款电池将在明年进入量产，被应用于 Tesla 的 Model 3 电动汽车中。新款 Model 3 的续航里程为 400 公里，采用这种电池材料，可以保证在 1200 次充放电（即行驶里程 48 万公里后），仍保持 95% 以上的电量，完全不需要进行电池维护，彻底解决了消费者对电池老化的担心。



横轴是充放电次数，纵轴为库伦效率值，趋近于一个常数

上图可以看到，库伦效率几乎稳定在一个固定的数值上，并且非常接近于 1 (CE < 1)。我们可以用这个值来反映电池的老化特性。比如某一款型号的电池，其库伦效率为 0.998，则可以认为经过 100 次充放电后，剩余的电池容量百分比是  $0.998^{100} = 0.819$ ，即剩余 81.9% 的初始容量。

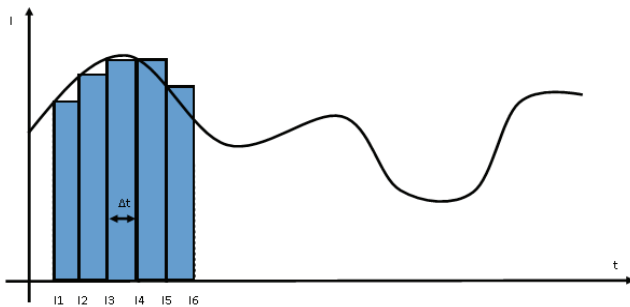
可以看到库伦效率的好处是可以通过少量充放电测试，预判电池在未来长期使用中的老化情况，大幅度降低测试时间，加速电池性能测试，因此它作为一种新兴的测试方法，被越来越多的科学家和测试工程师使用电池材料研究和电池性能评估中。

虽然如此，但电池的库伦效率测试仍然是一项非常困难的工作。因为电池单次充放电过程中，库伦效率值非常接近于 1，这需要对电池的充电电量和放电电量进行非常准确的测量，而几乎没有测试仪器可以准确的完成这项任务。电量的单位是库伦 C，指的是电流对时间的积分，要进行准确的电量计算，必须对电流的测量精度和采集速度有非常严格的要求。

Parameter	Associated Error	Desired Error in Q	For C/10 rate measurements	For C rate measurements
$\Delta I$	$\Delta Q = \Delta I t$	< 0.01%	$\Delta I < 0.01\%$	$\Delta I < 0.01\%$
$\Delta V$	$\Delta Q = dQ/dV \Delta V$	< 0.01%	$\Delta V < 0.0001 V$	$\Delta V < 0.0001 V$
$\Delta t$	$\Delta Q = I \Delta t$	< 0.01%	$\Delta t < 3.6 s$	$\Delta t < 0.36 s$
$\Delta T$	$\Delta Q = dV/dT dQ/dV \Delta T$	< 0.01%	$\Delta T < 1 K$	$\Delta T < 1 K$

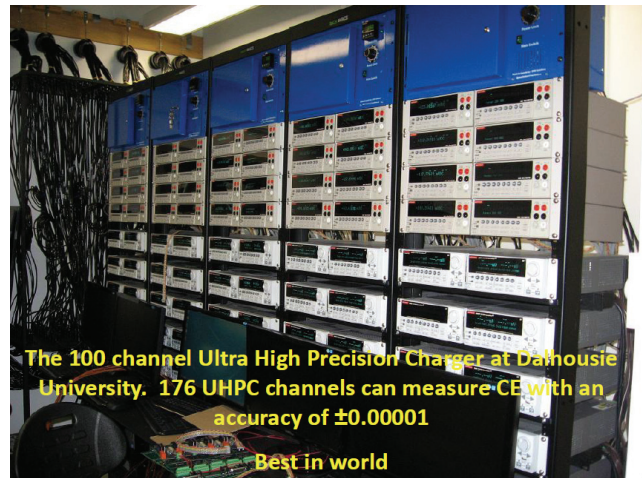
为使库伦效率测量误差小于 0.01%，所需要的电压、电流、时间测量精度

通过对电流采取源源不断的定时高精度采集，并在时间轴进行积分计算： $Q = \sum I(n) * \Delta t$ ，才有可能达到所需要的电量测量精度。



通过对电流积分计算电量的方法

Jeff Dahn 在他发表的若干篇文章以及他在 Dalhousie University 的电池材料实验室主页上，多次提到他的库伦效率测试系统的组成。其中使用到了大量的吉时利设备用于电池充放电工程中的库伦效率计算，其中既有源表 (SMU)，也有数字万用表和高精度电流源的组合。



Jeff Dahn 实验室中的 UHPC ( 超高精度充放电测试系统 )，使用了大量的吉时利设备



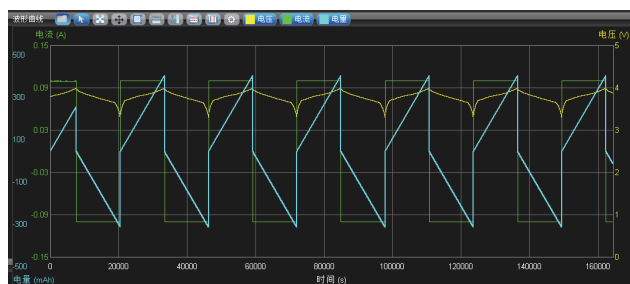
Jeff Dahn 和他的电池库伦效率测试系统 ( 使用大量吉时利设备 )

在电池库伦效率测试中使用源表，其先天优势是仅需一台设备即可完成充、放电测试和电量测试，极大的简化了电池测试系统的复杂程度。传统电池充放电系统需要使用电源和电子负载分别进行电池的充电和放电操作，另外还需要额外的测量设备进行电流或电量的测试，充、放电操作还需要使用外部开关进行切换，整个系统非常复杂。而源表 (SMU) 本身就具备四项限输出能力，可以完成充放电操作；另外源表还有非常高的测量精度，可以达到 nA 甚至 pA 级的测量精度，可以完成全部的输出和测量功能。



使用一台源表就可以完成全部充放电和测量工作

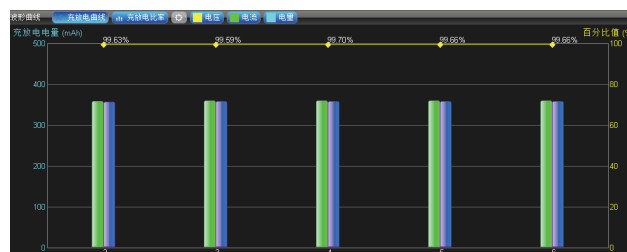
因此复杂的库伦效率测试，可以被简化为使用一台源表完成。配合上位机软件，就可以进行电池的循环充放电测试，并记录电压、电流、电量的数据和变化曲线。



黄色为电压曲线，绿色为电流曲线，蓝色为电量曲线

上图是 KSP-2000-BAT 测试软件，软件可以支持吉时利 2450/2460/2461 系列源表。用户可以根据需要

设置充放电范围，充放电截止条件，采样频率，以及循环次数。使用四线法连接源表和电池，可以消除导线电阻的影响，使测量数值更加准确。根据测量结果可以对充放电电量和库伦效率进行分析：



库伦效率在 99.6% 左右

使用库伦效率测试方法，配合吉时利源表和测试软件，可以帮助电池材料研发人员和电池测试工程师，快速掌握电池老化特性，大幅度提升电池验证速度，为电池技术的进一步发展提供有力的支持。

**泰克科技(中国)有限公司**  
上海市浦东新区川桥路1227号  
邮编: 201206  
电话: (86 21) 5031 2000  
传真: (86 21) 5899 3156

**泰克北京办事处**  
北京市海淀区花园路4号  
通恒大厦1楼101室  
邮编: 100088  
电话: (86 10) 5795 0700  
传真: (86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**  
上海市长宁区福泉北路518号  
9座5楼  
邮编: 200335  
电话: (86 21) 3397 0800  
传真: (86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**  
深圳市深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦3001-3002室  
邮编: 518008  
电话: (86 755) 8246 0909  
传真: (86 755) 8246 1539

**泰克成都办事处**  
成都市锦江区三色路38号  
博瑞创意成都B座1604  
邮编: 610063  
电话: (86 28) 6530 4900  
传真: (86 28) 8527 0053

**泰克西安办事处**  
西安市二环南路西段88号  
老三届世纪星大厦26层C座  
邮编: 710065  
电话: (86 29) 8723 1794  
传真: (86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**  
武汉市洪山区珞喻路726号  
华美达大酒店702室  
邮编: 430074  
电话: (86 27) 8781 2760

**泰克香港办事处**  
香港九龙尖沙咀弥敦道132号  
美丽华大厦808-809室  
电话: (852) 2585 6688  
传真: (852) 2598 6260

如需更多资源，敬请访问 [WWW.TEK.COM.CN](http://WWW.TEK.COM.CN)。

