

# 动力电池循环寿命预测方法研究

牛奕童

**【摘要】**本文结合电动物流车复杂多变的行驶条件和电池寿命测试,对电池组进行动态测试。根据电动物流车辆的行驶环境和动态测试电池组,利用遗传算法拟合得到了电池容量衰减的实验数据包和预测动力电池组循环寿命的经验公式。拟合能力和测量能力的残差平方和仅为 0.111,实验结果发现拟合效果良好。循环寿命预测的经验公式可用于类似动力电池的寿命预测。

**【关键词】**电动物流车;动力电池组;动态测试;循环寿命

## 1 前言

近几年行业内对于动力电池循环寿命越来越重视,相关研究也越来越多。动力电池是电动汽车的动力源,影响电动汽车动力电池的循环寿命的相关因素有很多,包括充放电率、温度、放电深度、电池组等多种因素。本文主要对电动汽车电池组的寿命预测方法进行研究,针对电力物流车辆在实际行驶过程中的复杂行驶条件,根据实际行驶条件对动力电池组进行了动态测试,获得了容量衰减的实验数据。该算法拟合了容量衰减的实验数据,得到了预测动力电池寿命的经验公式,进行动力电池循环寿命的预测。

## 2 动力电池循环寿命预测方法研究意义

近些年行业对于动力电池续航力和循环寿命的重视程度逐年升高,相关研究也不断增多。电动汽车动力电池的循环寿命受多种因素的影响,主要有充电放电比,温度,放电深度等,这些因素都对动力电池循环寿命有着或大多小的影响。相关研究已经取得了一些成绩,Wang 提出了磷酸铁电池的寿命模型,在使用该电池时利用恒流充电曲线,得出了容量增加曲线。通过压差曲线确定电池的老化机理,从而估算电池的使用寿命,然后评估电池的健康状况。刘德结合机器学习等方法,将数据生成与数据驱动模型相结合,建立了电池寿命模型,实现了动力电池寿命预测的非线性曲线拟合技术。根据实验数据,他提出了 I41 老化的半经验模型。罗玉涛将土壤条件等 NEDC 循环与电池寿命结合起来,建立了基于改进优化和实验验证的模型。通过重复使用离子,可以减少电池的负面和正面副作用。电池容量随活性物质的损失而降低。如果电池容量小于额定容量的 80%,则可以判断电池是否已经耗尽寿命。大多数国内

静态测试方法来评估电池的循环寿命,即恒流工作动力电池的充放电循环方式,但在实际使用中,建议电动汽车的动力需求由电池供电,电动汽车的实际驾驶过程会随着路况和能源的复杂性而变化。动力电池电动汽车的动力需求是动态的,有一瞬间大电流冲击,因此有必要根据动力电池的实际情况进行动力测试。

与乘用车不同,电动物流车辆具有更高的负载质量,更高的起停频率,更高的再生制动能量回收频率以及对动力电池组的更高要求。低速物流电动汽车主要是城市运行条件,城市道路交通环境复杂,交通信号灯多,物流电动汽车在配电过程中频繁启停,动力电池的动力物流电动汽车的包装大不相同。装卸货物时,可以在快递站的送货点为电动物流车充电,不会引起旅行的烦恼。畜牧车辆的电池组放电深度小于乘用车,并且充电和放电条件更加复杂且多变。

本文主要研究电动汽车的物流循环寿命预测。根据实际情况,采用动态测试和遗传算法来适应电动汽车物流过程中动力电池容量衰减的实验数据。得出动力电池寿命预测的经验公式,以完成动力电池的循环寿命预测。

## 3 动力电池循环寿命测试方案

### 3.1 动力电池寿命测试平台

电池寿命测试台包括动力电池测试箱,主控 PC 和动力电池等设备。动力电池测试箱采用西安迅湃来完成动力电池循环寿命的测试。动力电池可以在恒定电流和恒定电压下进行充电和放电的过程。它可以根据不同的要求加载动态测试条件,以更好地模拟电动汽车的实际行驶周期。测试对象是低速电力物流车辆用磷酸铁动力电池组。单体电池的串联与并联成组的方式直接影响着动力电池的循环寿命,且最终电池组的实际组容量与单体电池容量总和相比有所损失,可能仅为单电池容量的

95%。当动力电池容量不足,即小于额定容量的80%时,可以确定动力电池在循环寿命结束时已达到安全停止值。

### 3.2 物流电动汽车行驶条件研究

动力电池的寿命主要受到环境温度和湿度、电池的充放电速率、截止电压等因素的影响。在实际使用中,考虑到不同的路况和电动汽车物流的能量回收,电动汽车物流对动力电池需求的影响是一个动态过程,将引起瞬时大电流冲击以及瞬时开关充放电能量的回收。

本文以低速电动物流车辆研究的主要对象,其行驶条件主要是城市区域。根据低速电动物流车出厂时的实际运行情况,计算出怠速,加减速和匀速过程中动力电池的损耗情况。试验结果表明高加减速比主要是由WL周期引起。工作环境是城市,电力物流车辆在配送过程中需要频繁启停。

### 3.3 电动物流车动力电池组的动态测试

根据低速电动物流车的统计周期,考虑到电动物流车行驶过程中的能量回收情况,设定动力电池组放电时功率为正,充电时为负。动力电池组作为电动物流车的动力源,在行驶过程中为物流车辆提供动力。根据车辆动力学方程,得到纯电动汽车的动力平衡方程。电机功率用 $W$ 表示,电池电压为 $U$ , $I$ 表示电池电流,传输效率用 $T$ 表示, $E$ 是电动机及其控制器的总效率。另外还要考虑车辆的重量、重力加速度、滚动阻力系数、车辆的加速度、车速、旋转质量的转换因子、倾斜角、迎风区等因素对于实验最终参数的影响。测算低速电动物流车的统计周期时,当行驶速度低于60公里/时时,风阻的影响可以忽略不计。

将统计周期分成多个统计单元,每个单元对应于均匀加速,均匀速度,均匀减速和空转条件,并且近似计算每个单元的电池功率需求。为了模拟动态测试条件下的电动物流车动力电池组的进修周期,可以通过公式和数据近似计算出动态测试条件下的电动物流车动力电池组。动力电池组的首次动态测试时间为20分钟,平均行驶速度为17.9 km/h。在完成第一个动态测试条件后,电动物流车总计运行5.9km。

在实验过程中,需要将环境温度保持在25℃以内。动力电池测试柜使用0.30C恒定电流为动力电池组充电。当动力电池测试柜检测到动力电池组的最大电压达到时,BMS将自动保护动力电池组,并且动力电池组将停止充电并保持30分钟。由于电动物流车辆在行驶过程中的能量回收,因此在放电过程中动力电池组中会有某些充电步骤。充电和放电功率主要根据循环周期内驱动期间的统计功率来计算。其中,动力电池组功率充

电时为负,放电时为正。测试箱循环不同阶段的电池测试室,组的电量和运行时间条件,以实现电动汽车物流平台。换句话说,动力电池组是根据旋转周期设置的。在此条件下,以不同的间隔测试动力和工作时间。当动力电池测试柜检测到动力电池组的最低电压低于3.65v时,BMS将自动保护电池组。动力电池组将停止放电并保持30分钟,重复上述步骤。容量验证的步骤如下:首先,单元的最大电压为3.65v,恒流充电至0.3C,然后采用BMS自动保护,并在恒流放电时记录放电容量。动力电池组的最低电压为2.65v。在循环操作条件下,总共执行了6000次。在循环条件下,动力电池容量每5000次校准一次。实验中收集的数据来自动力电池测试柜的上层计算机,以得出动力电池容量随循环次数的衰减变化规律。

电动物流车循环寿命预测的经验公式是以电动物流车的行驶条件为基础的,可能不适用于其他类型的车辆和其他正极材料。下面的工作应着重于不同类型和类型的正极材料的循环寿命。

## 4 基于遗传算法的动力电池组循环寿命拟合

与最小二乘法相比,遗传算法在全局优化,特别是在处理非线性问题时,具有更大的优势,可以避免试验陷入局部最优问题。利用电动汽车物流动力电池循环寿命的实验数据,结合遗传算法工具箱进行测试,得出指数函数拟合动力电池容量衰减曲线,其中拟合表达式为: $C=ki-\exp(kz/n)+ks$

其中 $C$ 代表容量保持率, $n$ 为统计周期条件数的十分之一,其余为待定系数。为了防止待定系数的规模过小,将WL循环工况数换算为10个单元,并以百分比计算容量保持率。为了寻找待定系数的最优解,首先确定适应度函数。 $C_t$ 是动力电池组与 $I$ 对应的实际容量保持率; $C_z$ 是动力电池组模拟组合表达式中相应的容量保持率。

将适应度函数写入MATLAB的M文件中,命名为WL-cycle,并保存到MATLAB的工作路径中。如果输入变量的数量是3,则算法操作设置为随机一致。在停止条件下,代数表示迭代次数。暂停时间限制和由此产生的暂停都设置为没有时间限制。设置交叉和变异参数的默认值。即当残差平方和 $R$ 最小时,拟合表达式中待定系数对应的待定系数为最优结果,得到待定系数的优化结果。

利用MATLAB程序,当迭代次数为1981次时,最小残差平方和为0.111,数值较小,拟合较好,得到电动物流车动力电池组极限容量保持率和WLR循环次数的函数表达式。

用 Origin 绘制实验数据和拟合函数, 得到一条曲线。实验数据基本上均匀分布在 GA (遗传算法) 拟合曲线周围, 拟合曲线效果良好。在第一个 2000wir 周期工作循环中, 容量衰减率相对较慢。随着循环次数的增加, 动力电池组的衰减速度更快。

当动力电池容量保持率为 10% 时, 达到安全阈值。一次 WL 循环工况里程为 5.9km。因此, 磷酸铁电物流车的安全行驶距离达到了 131390km 的安全阈值。

## 5 结束语

综上所述, 本文在电物流车行驶工况下动力电池循环寿命试验的基础上, 结合电动汽车的寿命试验方法。本文提出了一种复杂多变的动态电池组, 并利用电物流车在行驶过程中所需的动力对电池组进行了动态测试。用遗传算法拟合循环寿命经验公式, 得到动力电池容量衰减曲线, 是预测动力电池循环寿命的一种好方法, 可以有效地缩短动力电池的循环寿命, 对于电物流车动力电池的寿命的预测这一试验提供了参考依据。

## 【参考文献】

- [1] 谢宗轩. 电动汽车用动力电池循环寿命的层析图像预测机理研究 [D]. 2019.
- [2] 汪秋婷, 戚伟, 肖锋. 基于双 Kalman 滤波的并联锂电池组循环寿命估计 [J]. 信息与控制, 2018.
- [3] 陶文玉, 张敏, 徐霖旸. 锂离子电池循环寿命研究综述 [J]. 电源技术, 2018, 042(007):1082-1084.
- [4] 丁阳征. 基于 ELM 的锂离子电池剩余寿命预测方法研究 [D]. 2019.
- [5] 华寅, 许敏. 基于双非线性预测滤波法的锂离子电池 SOH 估计 [J]. 电源技术, 2018, 42(09):65-68.
- [6] 王尚, 陈庆樟, 王康等. 电物流车动力电池组循环寿命预测 [J]. 电源技术, 2020, v.44;No.354(03):69-72.

个人简介: 牛奕童 (1997.7.25 - ), 男, 河南省安阳市, 现为助理工程师, 专业是电子电气工程, 研究方向为电气工程。