

10.16638/j.cnki.1671-7988.2017.18.040

动力电池荷电状态估算方法浅析

李亚林

(四川交通职业技术学院, 四川 成都 611130)

摘要: 动力电池荷电状态估算可以方便驾驶员及时了解电池剩余容量和汽车续驶里程, 提高电池能量使用效率和整车性能。文章分别介绍了安时计量法、开路电压法、内阻法、线性模型法、人工神经网络法、模糊控制法和卡尔曼滤波法, 并分析了各种方法的优缺点, 提出了估算方法改进建议, 以期对后续研究提供参考。

关键词: 动力电池; 荷电状态; 估算方法

中图分类号: U472 文献标识码: A 文章编号: 1671-7988 (2017)18-120-03

Analysis on estimation method of power battery stata of charge

Li Yalin

(Sichuan Vocational and Technical College of Communications, Sichuan Chengdu 611130)

Abstract: The estimation of power battery state of charge can facilitate driver to observe the remaining capacity and driving range, so as to improve battery efficiency and vehicle performance. This paper introduces Ah-integration, open circuit voltage, internal resistance method, linear model method, artificial neural network, fuzzy control method and Kalman filter, and analyzes the advantages and disadvantages of various methods. Then put forward improving suggestions for estimation method to provide reference for the follow-up study.

Keywords: power battery; state of charge; estimation method

CLC NO.: U472 Document Code: A Article ID: 1671-7988 (2017)18-120-03

引言

电池荷电状态 (State of Charge, SOC), 表示电池剩余容量, 其在数值上等于电池剩余容量与额定容量的比值。

$$SOC = \frac{Q_{remain}}{Q_{rated}} \times 100\%$$

式中, Q_{remain} 为动力电池中剩余电荷容量, Q_{rated} 为动力电池的额定电荷容量。如果将 Q_{rated} 看作是一个固定不变的值, 则 SOC 还可以表示为:

$$SOC = \frac{Q_{remain}}{Q_{discharged} + Q_{remain}} \times 100\%$$

其中, $Q_{discharged}$ 为最近一次将电池充满之后电池从开始到此时所释放的电荷, 并且假设此时电池的额定容量总是等于已放出的电荷量与电池中剩余的电荷量之和^[1]。

SOC 估算是电池管理系统的一项重要参数, 它的准确估

算是电动汽车电池充放电控制和动力优化管理的重要依据, 将直接影响电池的使用寿命和汽车的动力性能, 并预测电动汽车的续驶里程。可见 SOC 的准确估算是非常关键的问题。然而它不能直接通过传感器测量得到, 只能依据所建立的模型运用相应的算法, 间接估算得到。

1 动力电池估算方法

1.1 安时计量法

安时计量法又称电荷累计法或库伦计量法, 是 SOC 估算的标准方法^[2]。其基本思路是通过一段时期内动力电池充放电的电量进行统计, 根据上一时刻电池 SOC 的状态估算得到当前时刻电池 SOC 的一种方法。具体计算方法如下:

$$SOC = SOC_0 - \frac{1}{C_N} \int \eta I dt$$

其中, SOC_0 是初始状态的 SOC 值; C_N 是电池额定容量;

η 为库伦效率; I 为电路回路中的电流。

按时计量法估算 SOC 较为方便, 只需知道初始 SOC 和实时测量回路电流即可。然而回路电流测量不准确将会造成 SOC 估算误差, 该方法的计算精度很大程度上取决于电流传感器的精度。同时, 这种方法比较难准确预测库伦效率, 无法计算初始 SOC 值, 不能捕捉自放电或其他因素导致初始 SOC 值得变化。此外, 这种开环的 SOC 估算方法无法避免随时间增加而造成累积误差的存在。

1.2 开路电压法

开路电压法 (Open Circuit Voltage, OCV) 是指经过较长时间的静置之后, 电池端电压与 SOC 存在一个比较固定的函数关系, 可以依照这个函数关系使用开路电压估算电池的 SOC^[3]。

由于在电池充放电初期和末期时段电压变化较大, 此时采用开路电压法估算 SOC 可取得较好的效果。然而为了获得开路电压的稳定状态值, 动力电池需要经过几小时甚至十几个小时的静置, 实际使用中常发生的是短暂静置, 所以实际运用中开路电压法常与其他方法组合使用作为辅助修正。

1.3 内阻法

当电池的电量低于额定值的 50% 时, 其内阻会明显增大, 据此可推断出动力电池的 SOC 值和其内阻值存在一定的数学关系, 基于这个关系可以通过测量动力电池内阻确定 SOC 值。但动力电池内阻值很小, 约在毫欧级, 而且电池在正常放电时其内阻变化范围在 5%~6% 以下, 测量工具内阻大小也会影响电池内阻测量值。该方法的实现需要配备具有额外的电路和函数发生器, 成本增高且不便随车携带, 因此不适用实际测量。

1.4 线性模型法

线性模型法是根据当前时刻电流 I_k 、端电压 U_k 、SOC 变化量 ΔSOC_k , 以及上一时刻的荷电状态 SOC_{k-1} 等电池参数建立相应的线性方程, 其方程如下:

$$\begin{cases} \Delta SOC_k = \beta_0 + \beta_1 U_k + \beta_2 I_k + \beta_3 SOC_{k-1} \\ SOC_k = SOC_{k-1} + \Delta SOC_k \end{cases}$$

其中, SOC_k 是当前时刻的 SOC; 系数 $\beta_0 \sim \beta_3$ 可根据参考数据通过最小二乘法辨识得到。

该方法适用于电流较小和 SOC 变化缓慢的情况, 理论上来说采用线性模型法估算 SOC 适用于各种类型的电池, 且对测量误差和不准确的初始条件具有较高的鲁棒性。但对非线性特性的电池精度低, 由于动力电池在工作过程中具有高度的非线性, 所以在实际应用中有很大局限性。

1.5 人工神经网络法

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN), 简称神经网络, 是一种通过建立数学模型来模拟互联的人脑神经系统的计算机体系结构, 它能够仿效人脑处理信息, 记忆学习的过程。由于电池是一个非线性系统, 对电池的充电和放

电过程建立准确的数学模型难度较大, 而人工神经网络能较好地反映非线性的基本特性, 兼具并行结构和训练能力, 在有外部激励时, 能给出相应的输出, 因此能够在一定程度上模拟电池的动态特性, 进而估算 SOC。人工神经网络法适用于各种电池, 但是输入变量的选择是否合适, 变量数量是否恰当, 直接影响模型的准确性和计算量。并且需要大量的参考数据进行训练, 估计误差受训练数据和训练方法的影响也很大。目前人工神经网络法主要用于理论方面研究。

1.6 模糊控制法

模糊控制法是基于模糊逻辑推理理论, 模仿人的思维方式, 给出的一种描述控制系统的方法, 对于难以建立精确数学模型的对象实施的一种控制策略^[4]。该方法利用阻抗波谱、电流积分和电池恢复性测量等方法获取训练数据样本集合, 经过样本离线训练, 然后用于动力电池 SOC 估算。

由于动力电池在工作过程中具有高度的非线性, 因而很难对其充放电过程进行精确建模, 基于模糊控制的估算方法不依赖于动力电池的精确模型且具有较高的鲁棒性, 但模糊规则较难确定, 控制参数的选取在很大程度上取决于工程经验。

1.7 卡尔曼滤波法

卡尔曼滤波法是一种如何对系统状态作出最小方差意义上的最优估算的方法。在实际应用中, 将动力电池看作一个系统, SOC 则是系统中的一个内部状态, 建立相应的动力电池模型, 通过递推算法实现 SOC 的最小方差。一般而言, 动力电池模型的卡尔曼滤波方程如下:

$$\text{状态方程: } x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k = f(x_k, u_k) + w_k$$

$$\text{观测方程: } y_k = c_k x_k + v_k = g(x_k, u_k) + v_k$$

$$\text{按时法方程: } SOC_{k+1} = SOC_k - \frac{\eta(I_k)I_k \Delta t}{C}$$

系统的输入向量 u_k 中, 通常包含电池电流、温度、剩余容量和内阻等变量, 系统的输出量 y_k 通常为电池的工作电压, 电池 SOC 包含在系统的状态量 x_k 中。 $f(x_k, u_k)$ 和 $g(x_k, u_k)$ 都是由电池模型确定的非线性方程, 在计算过程中要进行线性化。SOC 估算法的核心, 是一套包括 SOC 估算值和反映估计误差的、协方差矩阵的递归方程, 协方差矩阵用于给出估计误差范围。按时法方程是电池模型状态方程, 是将 SOC 描述为状态矢量的依据^[5]。

卡尔曼滤波算法适合各种类型的动力电池, 其估算结果具有较好的准确度, 对初始值误差有较强的修正作用, 对于扰噪声也有较强的抑制作用, 特别适合于动力电池剧烈波动状态下的 SOC 估算。从中可以看出, 动力电池模型的准确性制约着卡尔曼滤波算法的估算准确度; 此外, 该算法运算量大且复杂, 但建立合适的动力电池模型及运算速度快的硬件设备便能克服这些缺点。

(下转第 124 页)

制造商规定的正常操作范围内的最大电流。再进行一次标准的放电充电动作,观察 1 小时。

2.9.3 技术要求:同 2.2.3

2.10 高温保护测试

2.10.1 目的

验证 REESS 对于运行过程产生的内部过热问题的保护措施的性能。

2.10.2 程序

试验装置应置于光波炉或人工气候室内,光波炉或气候室的温度应逐步升高,一直要达到以下规定的温度,然后维持在这个温度或以上,直到试验结束。进行充放电操作直至观察到以下现象之一时停止试验:a)试验装置阻碍或限制了充电和/或放电;b)试验装置的温度趋于稳定,即两个小时内的温度变化梯度小于 4°C;c)试验过程出现电解质渗出、破裂、起火、爆炸。

2.10.3 技术要求:同 2.2.3

3 结论

3.1 可充电储能系统的本体安全必须通过以上九项测试后才

能充分验证。

3.2 电动汽车整车直接接触触电防护要求,不仅要求通过绝缘阻隔处理,防止乘员接触车厢内外部的高压带电体而触电,而且通过各类标识标签提供警示作用。

3.3 针对外露可导电部分的间接接触保护,应通过电线或接地线与电气底盘相连接,防止乘员接触后触电。

3.4 电动汽车高压带电部分与电气底盘应有足够大的绝缘电阻,防止乘员触电。

参考文献

- [1] Regulation No. 100, Revision 2, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train [S].
- [2] Agreement, Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions (Revision 2, including the amendments which entered into force on 16 October 1995) [S].

(上接第 121 页)

2 结论

目前,动力电池 SOC 估算方法很多,但多属于传统方法,均存在一定的局限性。要达到 SOC 实时在线、高精度的估算效果,需改进传统估算方法,建议从以下方面进行完善:

(1) 进行大量的科学试验,建立丰富的数据库,使得估算 SOC 有据可依;

(2) 提高硬件方面的技术,以提高电压和电流等的测量精度,保证用于估算 SOC 基本数据的准确性;

(3) 建立更加准确的电池模型,更真实地表征电池在使用过程中的动态特性;

(4) 有效综合各种算法,扬长避短,最大程度上提高其估算的准确性。

参考文献

- [1] Bai G, Wang P. A self-cognizant dynamic system approach for battery state of health estimation [C]// Prognostics and Health Management (PHM), 2014 IEEE Conference on. IEEE, 2014: 1-10.
- [2] 李哲, 卢兰光, 欧阳明高. 提高安时积分法估算电池 SOC 精度的方法比较 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2010(8): 1293-1296.
- [3] 徐欣歌, 杨松, 李艳芳等. 一种基于预测开路电压的 SOC 估算方法 [J]. 电子设计工程, 2011, 19(14): 127-129.
- [4] 周晓凤. 纯电动汽车锂电池剩余电量估计研究 [D]. 南京航空航天大学, 2014.
- [5] 朱华. 电动汽车动力电池荷电状态计量方法简述 [J]. 测量与控制, 2015(10): 96-97.