

# 基于多参数融合的铅酸蓄电池 SOC 估算方法研究

张建寰, 李姗文, 张陈涛, 林 坤, 吉 莹

(厦门大学 传感技术福建省高等学校重点实验室 厦门市光电传感技术重点实验室, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 铅酸蓄电池荷电状态(state of charge)是电源管理系统中的重要参数,准确估算蓄电池荷电状态具有重要意义。现有铅酸蓄电池荷电状态估算方法存在不适用于实际行车环境、易受干扰、计算精度低等缺陷。在开路电压法与安时积分法结合的基础上提出一种改进 SOC 估算方法,研究结合多个参数并引入权值  $w$  的 SOC 初始化算法,在 SOC 估算过程中根据实时温度校正电池容量,可以提高计算精度,符合工况。实验结果表明:此 SOC 估算方法具有很好的鲁棒性,最大估算误差小于 3%。

**关键词:** 铅酸蓄电池;荷电状态(SOC);精度

中图分类号:TM 912.1

文献标识码:A

文章编号:1002-087 X(2018)11-1704-03

## Estimate method of state of charge of lead acid batteries based on multi-parameter integration

ZHANG Jian-huan, LI Shan-wen, ZHANG Chen-tao, LIN Kun, JI Ying

(Xiamen Key Laboratory of Optoelectronic Transducer Technology, Fujian Key Laboratory of Universities and Colleges for Transducer Technology, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

**Abstract:** The state of charge (SOC) of lead acid battery is one of the important parameters in battery management system. The accurate estimate of battery SOC is of great significance. The existing estimate methods of lead acid battery state of charge have defects of impracticality, susceptible to interference and low precision. Based on the combination of open-circuit voltage and ampere-hour integration, an improved SOC estimation method was proposed, which integrated SOC initialization through multiple parameters and introduced the weight  $w$ . Also, when estimating the state of charge, the capacity of battery was corrected based on the real-time temperature, which can increase the calculation accuracy and meet the conditions. The experimental results show that the proposed SOC algorithm has good robustness with less than 3% calculation errors.

**Key words:** lead acid battery; state of charge (SOC); precision

铅酸蓄电池作为汽车重要储能部件,对整车电力系统的安全性、经济性至关重要。铅酸蓄电池荷电状态 SOC(state of charge)是评价其内部状态、指导用户用车的重要参数,也是汽车电源管理系统的重要依据<sup>[1-2]</sup>。准确估算铅酸蓄电池 SOC 是实现整车能量回收、用电平衡、延长蓄电池使用寿命的关键技术之一。

现有的蓄电池 SOC 估算方法可以归纳为三类:(1)基于蓄电池特定表征参数测量值的估算方法,包括剩余容量法、阻抗谱法、开路电压法等。剩余容量法是通过长时间恒流放电所得,仅适用于实验等特定环境。阻抗谱法需要用阻抗仪对其阻抗值进行测量。开路电压法要求蓄电池长时间静置,与电池工作环境不符<sup>[3]</sup>;(2)基于安时积分的估算方法。该方法作为蓄电池 SOC 的计算核心,得到了最为广泛的应用,但是存在电池初始 SOC 的精确值难以获得、对电流检测精度要求高、电池

老化会引起基准容量的变化从而降低该方法的计算精度等缺陷<sup>[4]</sup>;(3)基于电池模型和观测器的融合估计方法,包括神经网络法、模糊控制器法和支持向量机等方法。此类方法精度取决于模型精度,为提高模型精度需要用大量数据样本进行训练,而且噪声干扰很容易造成估算方法发散<sup>[5]</sup>。

在上述研究的基础上,本文提出一种基于开路电压和安时积分融合的改进铅酸蓄电池 SOC 估算算法。该算法特点为在 SOC 初始化过程考虑开路电压、停机时间、温度三个因素的影响,并取合适的权值  $w$  进行计算;在实时 SOC 计算过程中,采集蓄电池开路电压、充放电电流,运用剩余电量计算算法计算蓄电池的剩余电量,同时监测电池温度,根据特定蓄电池特性对容量和 SOC 计算进行校正。

## 1 SOC 定义分析

安时积分法采用基于电量角度的 SOC 定义,其基本原理如式(1)所示<sup>[6]</sup>:

$$SOC(t) = \frac{C(t_0) + \int_{t_0}^t i \eta dt}{C_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $C(t_0)$  为  $t_0$  时刻电池容量; $C_N$  为电池额定总容量; $i$  为电池

收稿日期:2018-04-05

作者简介:张建寰(1966—),男,黑龙江省人,教授,博士,主要研究方向为光机电一体化技术、超精密光学非接触测量技术的研究、微型光学系统应用技术、光电信息技术、传感技术。

充放电电流,定义充电时电流方向为正方向; $\eta$ 为蓄电池充放电效率,等于蓄电池输出的容量与输入的容量的比值; $\int_{t_0}^t idt$ 为电池充电电流在时间 $[t_0, t]$ 上的积分。

根据式(1)可知, $t_0$ 时刻的 SOC 值为:

$$SOC(t_0) = \frac{C(t_0)}{C_N} \times 100\% \quad (2)$$

我们将  $t_0$  时刻定义为初始时刻,则  $SOC(t_0)$  为 SOC 的初始值  $SOC_0$ ,得到 SOC 的估算方法<sup>[7]</sup>:

$$SOC(t) = SOC_0 + \frac{\int_{t_0}^t i\eta dt}{C_N} \times 100\% \quad (3)$$

由此可以得到影响 SOC 计算精度的四个参数: $SOC_0$ 、 $C_N$ 、 $i$ 、 $\eta$ 。 $i$ 为实时检测的电流值,其精度取决于电流检测方法,本研究基于磁阻原理传感器 CFS1000 进行电流检测,精度达到 $\pm 1$  A。已有研究表明,电池充放电效率  $\eta$  很接近于 1。在  $SOC_0$  的修正过程中能将  $\eta$  对 SOC 计算的累积误差不定期地清除。本研究将蓄电池充放电效率  $\eta$  简化为 1。下面着重研究初始 SOC 算法,分析温度因素对铅酸蓄电池容量的影响。

## 2 初始化 SOC 算法

铅酸蓄电池当其性能达到完全稳定状态的时候,其开路电压 OCV 值与电池荷电状态 SOC 存在较好对应的关系<sup>[8]</sup>。对 12 V/200 Ah 铅酸蓄电池(骆驼公司)进行了实验,得出其 OCV 与 SOC 曲线规律如图 1 所示。

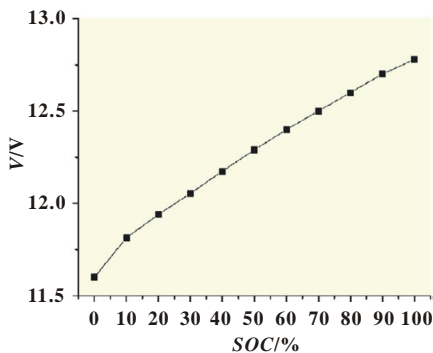


图 1 铅酸蓄电池开路电压 OCV 与荷电状态 SOC 关系

由图 1 可知,铅酸蓄电池的 OCV-SOC 曲线在 SOC 各段的线性度较好,可用于计算 SOC。停机( $t=0$  时刻)后电池开路电压随时间的变化如图 2 所示,随着停机时间的增加,开路电压越趋向稳定。但是,在行车环境中很难长时间地停车,静置电池,以达到 100%稳定的开路电压。所以,在 SOC 初始化过

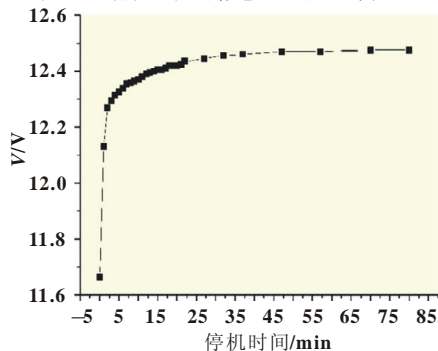


图 2 停机后电池开路电压变化情况

程中,只由开路电压来计算 SOC 值,会引入较大的误差。

本研究设计的初始 SOC 值的计算方法如图 3 所示。其特点为融合了电池自放电量  $S$ 、电池开路电压 OCV、当前电池温度、电池停机时间 4 个因素对  $SOC_0$  的影响,提高了  $SOC_0$  精度。

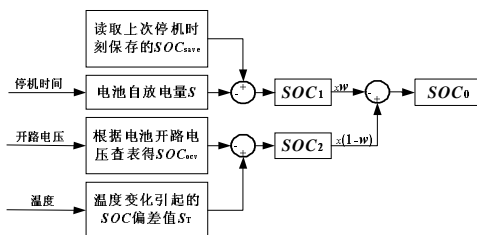


图 3 SOC 初始化算法

由停机时间确定电池自放电量  $S$ ,查图 1 可得到当前开路电压 OCV 对应蓄电池荷电状态  $SOC_{ocv}$ ,根据当前环境温度计算由温度引起的偏差值  $S_r$ , $SOC_{save}$  为上次停机时刻保存的 SOC 值。 $SOC_0$  是  $SOC_1$  与  $SOC_2$  的加权平均值,其权值  $w$  随着停机时间的增长逐渐减小,因为电池开路电压随着停机时间的增长稳定性越来越强,可信度越来越大。

## 3 温度对铅酸蓄电池容量的影响

铅酸蓄电池工作过程即为内部电解液化学反应过程,所以,其工作特性一定会受到温度的影响。当电解液温度升高时,分子运动加速,动能增加,所以渗透能力也随之加强,电解液电阻值降低,溶液扩散程度加深,电化学反应增强,从而使铅酸蓄电池的容量增大;反之,容量减小<sup>[9]</sup>。图 4 为铅酸蓄电池 20 小时倍率放电容量与温度之间的关系。

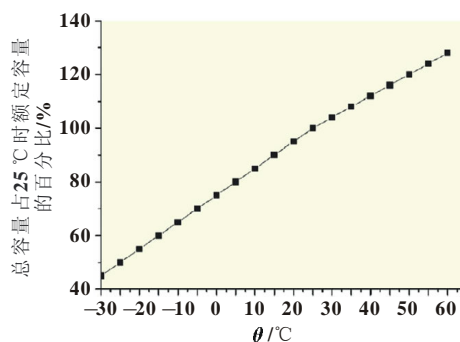


图 4 20 小时倍率放电容量与温度的关系

蓄电池对外输出的容量随电池温度升高而增大。当温度为  $-15$   $^{\circ}\text{C}$  时,蓄电池的总容量仅为  $25$   $^{\circ}\text{C}$  时额定容量的 60%。所以,SOC 计算过程中有必要根据温度重新修正容量值  $C_N$ 。

## 4 铅酸蓄电池 SOC 改进算法

本研究提出了一种铅酸蓄电池 SOC 改进算法。该算法以开路电压与安时积分法融合为基础,着重研究了 SOC 初始化方法和计算过程中的修正方法。通过在存储器中存储特定电池的放电特性数据和校正参数,采集蓄电池开路电压、充放电电流,运用安时积分法计算剩余电量。同时监测电池温度,根据特定蓄电池特性对额定容量  $C_N$  和 SOC 计算进行校正。该算法流程如图 5 所示。

此算法需要提前知道铅酸蓄电池开路电压 OCV 与荷电状态 SOC 之间的关系(如图 1 所示)以及温度对其容量的影响

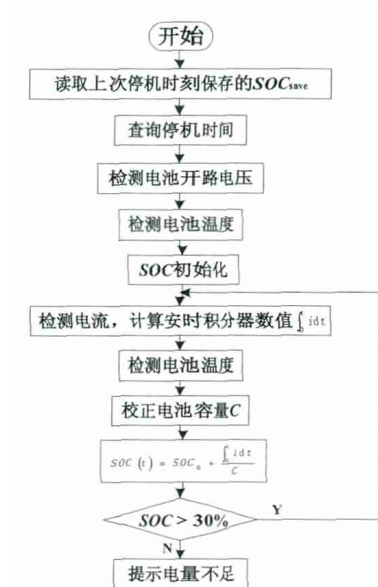


图5 SOC估计算法流程图

(如图4所示)。SOC初始化算法在前面有介绍,既利用开路电压法的优点(在开路电压变化较大的情况下,可以降低SOC估算误差),又利用权值w计算加权平均数,解决了开路电压法需要长时间静置才能获得较高精度的问题<sup>[10]</sup>。

## 5 实验与结果分析

运用放电实验法对12V/200Ah的铅酸蓄电池进行SOC预测准确性验证实验,按以下步骤进行SOC预测准确性实验:

- (1) 蓄电池以0.2C(40A)电流放电,直到电压达到放电终止电压,将此时蓄电池SOC作为0%;
- (2) 静置处理2h;
- (3) 以0.1C(20A)电流给蓄电池充电,直到电压达到充电截止电压,转为恒压充电,直到当前状态下充电终止,将此时蓄电池SOC作为100%;
- (4) 蓄电池以0.1C~0.5C范围内的电流放电一段时间;
- (5) 然后静置0~4h不等的时间;
- (6) 继续以0.1C~0.5C范围内的电流放电一段时间,记录停止放电时刻估算的SOC值;
- (7) 静置处理20h,测电池两端开路电压。

电源管理模块在步骤(4)~(6)中一直保持上电状态,用于采集电池放电电流、电池两端电压,检测温度,记录停机时间,估算SOC值。蓄电池静置20h即认为其性能已经达到完全稳定状态。此时可用开路电压法得到实际SOC值,视为精确值。实验数据记录在表1中。

由表1可知,此算法SOC估计的最大误差小于3%,满足车载使用要求。

## 6 结论

针对铅酸蓄电池SOC估计,本文提出一种基于开路电压和安时积分融合的改进铅酸蓄电池SOC估计算法。通过研究基于多种参数的SOC初始化方法解决了由开路电压法确定SOC初值要求长时间静置的问题,根据温度对电池容量进行

表1 SOC估算实验结果

序号	实验计算所得SOC/%	静置20h后电池开路电压/V	查图1得SOC/%	误差/%
1	74.5	12.553	75.3	0.81
2	68.7	12.500	70.0	1.31
3	69.2	12.467	66.7	2.5
4	71.4	12.489	68.9	2.47
5	67.7	12.501	70.1	2.41

实时校正,提高了SOC预测准确性。实验结果表明,该铅酸蓄电池SOC估算算法具有较高的精度,SOC估算误差可控制在3%以内,满足实际应用要求。

## 参考文献:

- [1] NG K S, HUANG Y F, MOO C S, et al. An enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lead-acid batteries[C]//Proceedings of Telecommunications Energy Conference, 2009. Incheon, South Korea: IEEE, 2009:1-5.
- [2] 季迎旭,杜海江,孙航. 蓄电池SOC估算方法综述[J].电测与仪表, 2014(4):18-22.
- [3] 林成涛,王军平,陈全世. 电动汽车SOC估计方法原理与应用[J]. 电池,2004,34(5):376-378.
- [4] 鲍慧,于洋. 基于安时积分法的电池SOC估算误差校正[J]. 计算机仿真, 2013(11):148-151,159.
- [5] MORITA Y, YAMAMOTO S, SUN H L, et al. On-line detection of state-of-charge in lead acid battery using both neural network and on-line identification[C]//Proceedings of IECON 2006-32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics. Paris, France: IEEE, 2006:3379-3384.
- [6] 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.
- [7] DEEPTI D J, RAMANARAYANAN V. State of charge of lead acid battery[C]// Proceedings of 2006 India International Conference on Power Electronics. Chennai, India: IEEE, 2007:89-93.
- [8] MOO C S, NG K S, CHEN Y P, et al. State-of-charge estimation with open-circuit-voltage for lead-acid batteries[C]// Proceedings of 2007 Power Conversion Conference-Nagoya. Nagoya, Japan: IEEE, 2007:758-762.
- [9] 魏晓斌,张磊,张光,等. 温度对阀控式铅酸蓄电池的影响分析[J]. 电源技术, 2008(2): 122-123.
- [10] NG K S, MOO C S, CHEN Y P, et al. State-of-charge estimation for lead-acid batteries based on dynamic open-circuit voltage[C]// Proceedings of 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference. Johor Bahru, Malaysia: IEEE, 2009:972-976.