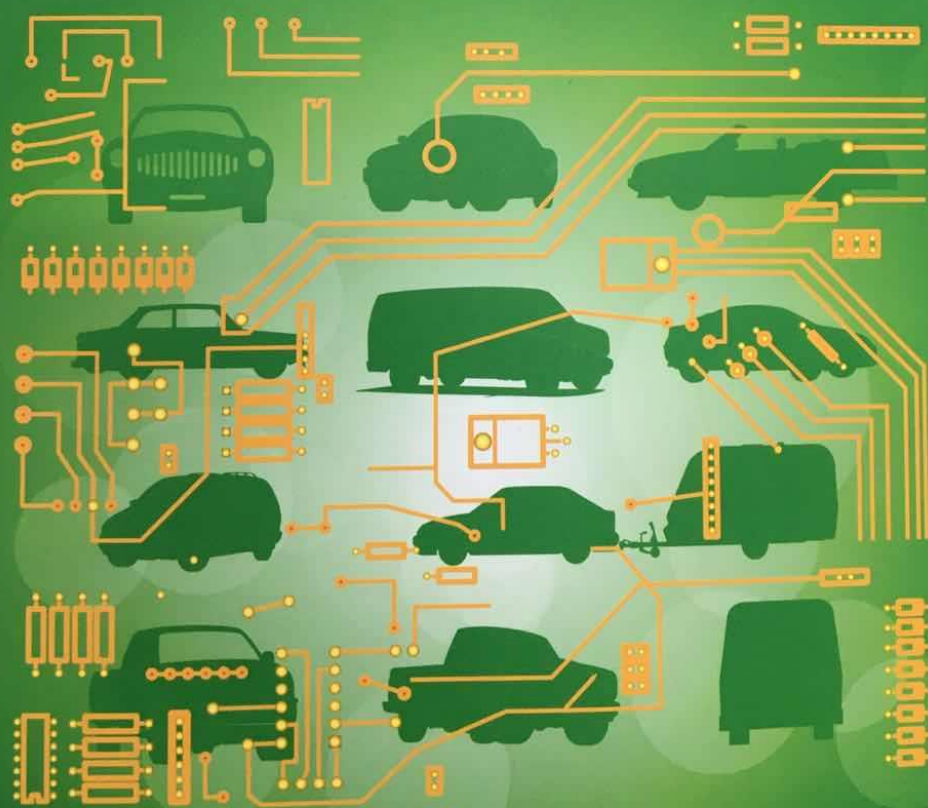


国家示范性高等职业院校成果教材·汽车电子技术系列

# 动力电池管理 及维护技术

张凯 主编  
李正国 副主编



- (3) 中性电池。中性电池以盐溶液为介质,如锌锰干电池、海水电池等。
- (4) 有机电解液电池。有机电解液电池主要是以有机溶液为介质,如锂离子电池等。

### 2. 按工作性质和储存方式来分

- (1) 一次电池。一次电池又称原电池,即不可以充电再次使用的电池,如锌锰电池、锂原电池等。
- (2) 二次电池。二次电池即可充电电池,如铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池等。
- (3) 燃料电池。燃料电池中,活性材料在电池工作时才连续不断地从外部加入电池,如氢氧燃料电池、金属燃料电池等。
- (4) 储备电池。储备电池储存时电极板不直接接触电解液。直到电池使用时,才加入电解液,如镁-氯化银电池(海水激活电池)。

### 3. 按所用正负极材料来分

- (1) 锌系列电池,如锌锰电池、锌银电池等。
- (2) 镍系列电池,如镍镉电池、镍氢电池等。
- (3) 铅系列电池,如铅酸电池。
- (4) 锂系列电池,如锂离子电池、锂聚合物电池和锂硫电池等。
- (5) 二氧化锰系列电池,如锌锰电池、碱锰电池等。
- (6) 空气(氧气)系列电池,如锌空气电池、铅空气电池等。

## 2.2 电池的基本参数

### 2.2.1 电压

#### 1. 电动势

电动势是电池在理论上输出能量大小的度量之一。如果其他条件相同,那么电动势越高,理论上能输出的能量就越大。电池的电动势是热力学的两极平衡电极电位之差:

$$E = \phi_+ - \phi_- \quad (2-4)$$

式中, $E$ 为电池电动势; $\phi_+$ 为正极平衡电位; $\phi_-$ 为负极平衡电位。

实际上,电池中两个电极并非处于热力学的可逆状态,因此,电池在开路状态下的端电压理论上并不等于电池的电动势,但由于正极活性物质一般氧的过电位大,因此稳定电位接近正极活性物质的平衡电位。同理,负极材料氢的过电位大,因此稳定电位接近负极活性物质的平衡电位。结果在表征上电池的开路电压在数值上接近电池的电动势,所以在工程应用上,常常认为电池在开路条件下,正负极间的平衡电势之差即为电池电动势。

对于某些气体电极,电池的开路电压数值受催化剂的影响很大,与电动势在数值上不一定很接近。如燃料电池,其开路电压常常偏离电动势较大,而且随使用催化剂的品种和数量不同而变化。

### 2. 开路电压

电池的开路电压等于电池在开路状态(即没有电流通过两极)时电池的正极电势与负极电势之差,一般用  $U_{开}$  表示。电池的开路电压只取决于电池正负极材料的活性、电解质和温度条件,而与电池的几何尺寸无关。如磷酸铁锂电池单体无论尺寸大小如何其开路电压都是一致的。电池的开路电压一般均小于它的电动势。

### 3. 额定电压

额定电压也称公称电压或标称电压,指的是在规定条件下电池工作的标准电压。采用额定电压可以区分电池的化学体系,表 2-1 所示为常用不同电化学体系的单体额定电压值。

表 2-1 常用不同电化学体系的单体额定电压值

电池类型	单体额定电压/V
铅酸电池(VRLA)	2
镍镉电池(Ni-Cd)	1.2
镍氢电池(Ni-MH)	1.2
锌空气电池(Zn-Air)	1.2
铝空气电池(Al-Air)	1.4
钠硫电池(Na-S)	2.0
锰酸锂电池(LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	3.7
磷酸铁锂电池(LiFePO <sub>4</sub> )	3.2

### 4. 工作电压

工作电压是指电池接通负载后在放电过程中显示的电压,又称负荷(载)电压或放电电压。在电池放电初始时刻的(开始有工作电流)电压称为初始电压。

电池在接通负载后,由于欧姆内阻和极化内阻的存在,电池的工作电压低于开路电压,当然也必然低于电动势。有

$$V = E - IR_{内} = E - I(R_n + R_i) \quad (2-5)$$

式中,  $I$  为电池的工作电流;  $E$  为电池的电动势;  $R_i$  为极化内阻;  $R_n$  为欧姆内阻。

### 5. 放电终止电压

对于所有二次电池,放电终止电压都是必须严格规定的重要指标。放电终止电压也被称为放电截止电压,是指电池放电时,电压下降到不宜再继续放电的最低工作电压值。根据电池的不同类型及不同的放电条件,对电池的容量和寿命的要求不同,由此所规定的放电终止电压也不同。一般而言,在低温或大电流放电时,终止电压规定得低些;小电流长时间或间歇放电时,终止电压值规定得高些。

### 2.2.2 内阻

电流通过电池内部时受到阻力,使电池的工作电压降低,该阻力称为电池内阻,可通过蓄电池内阻测试仪(图 2-4)测得其数值大小。由于电池内阻的作用,电池放电时端电压低于电动势和开路电压。充电时充电的端电压高于电动势和开路电压。电池内阻是化学电源的一个极为重要的参数。它直接影响电池的工作电压、工作电流、输出能力与功率等,对于一个实用的化学电源,其内阻越小越好。小内阻电池工作时内部的压降小,将输出较高的工作电压和较大的电流。

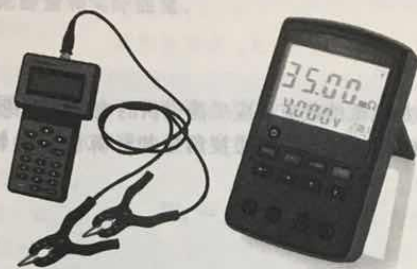


图 2-4 蓄电池内阻测试仪

电池内阻不是常数,它在放电过程中根据活性物质的组成、电解液浓度和电池温度以及放电时间而变化。电池内阻包括欧姆内阻( $R_0$ )和电极在电化学反应时所表现出的极化内阻( $R_i$ ),两者之和称为电池的全内阻( $R_w$ ):

$$R_w = R_i + R_0 \quad (2-6)$$

欧姆内阻主要由电极材料、电解液、隔膜的内阻及各部分零件的接触电阻组成。它与电池的尺寸、结构、电极的成形方式(如铅酸蓄电池的涂膏式与管式电极,碱性电池的有极盒式电极和烧结式电极)以及装配的松紧度有关。欧姆内阻遵守欧姆定律。

极化内阻是指化学电源的正极和负极在电化学反应进行时由于极化所引起的内阻。它是电化学极化和浓度差极化所引起的电阻之和。极化内阻与活性物质的本性、电极的结构、电池的制造工艺有关,尤其是与电池的工作条件密切相关,放电电流和温度对其影响很大。在大电流密度放电时,电化学极化和浓度差极化均增加,甚至可能引起负极的极化的钝化,极化内阻增加。低温对电化学极化、离子的扩散均有不利影响,故在低温条件下电池的极化内阻也增加。因此,极化内阻并不是一个常数,而随着放电率、温度等条件的改变而改变。

日常用的电池内阻较小,其阻值常常忽略不计,但电动汽车用动力电池常常处于大电流、深放电工作状态,电池内阻引起的压降较大,此时电池内阻对整个电路的影响不能忽略。

对应于电池内阻构成,造成极化现象的原因有以下三个方面:

(1) 欧姆极化。充放电过程中,为了克服欧姆内阻,就必须额外施加一定的电压,以克服阻力,推动离子迁移。该电压以热的方式转化给环境,出现所谓的欧姆极化现象。随着充电电流的急剧增大,欧姆极化将造成蓄电池在充电过程中温度升高。

(2) 浓度极化。电流流过蓄电池时,为了维持正常的反应,最理想的情况是电极表面的

反应物能及时得到补充,生成物能及时离去,实际上,生成物和反应物的扩散速度远远比不上化学反应速度,而造成极板附近电解质浓度发生变化。也就是说,从电极表面到中部溶液,电解液浓度分布不均。这种现象称为浓度极化。

(3) 电化学极化。这种极化是由于电极进行的电化学反应的速度落后于电极上电子运动的速度造成的。

### 2.2.3 容量

电池在一定的放电条件下所能放出的电量称为电池容量,以符号  $C$  表示。单位常用  $A \cdot h$  或  $mA \cdot h$  表示。

#### 1. 理论容量

假定活性物质全部参加电流的成流反应所能提供的电量叫理论容量。理论容量可以根据电池反应中电极活性物质的用量,按照法拉第定律计算的活性物质的电化学当量精确求出。

#### 2. 额定容量

按照相关规定的标准,保证电池在一定的放电条件(如温度、放电率、终止电压)下应该放出的最低限度的容量叫做额定容量。

#### 3. 实际容量

实际容量指在实际应用工作情况下放电,电池实际放出的电量,它等于放电电流与放电时间的积分。实际放电容量受到放电率的影响较大,所以常在字母  $C$  的右下方以阿拉伯数字表明放电率,如  $C_{20} = 50A \cdot h$ ,表明 20h 放电率下的容量为  $50A \cdot h$ 。实际容量的计算方法如下:

恒电流放电时,

$$C = IT \quad (2-7)$$

变电流放电时,

$$C = \int_0^T I(t) dt \quad (2-8)$$

式中,  $I$  是放电电流,是放电时间的函数;  $T$  为放电至终止电压的时间。

由于存在内阻及其他各种原因,活性物质不可能完全被利用,即活性物质的利用率总是小于 1,因此化学电源的实际容量、额定容量总是低于理论容量。活性物质的利用率定义为

$$\eta = \frac{m_1}{m} \times 100\% \quad \text{或} \quad \eta = \frac{C}{C_0} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中,  $m$  为活性物质的质量;  $m_1$  则是放出实际容量时所消耗的活性物质的质量。

电池的实际容量与放电电流密切相关,大电流放电时,电极的极化增强,内阻增大,放电电压下降很快,电池的能量效率降低,因此,实际放出的容量较低。相应地,在低倍率放电条件下,放电电压下降缓慢,电池实际放出的容量常常高于额定容量。

#### 4. 剩余容量

剩余容量是指在一定放电倍率放电后,电池剩余的可用容量。剩余容量的估计和计算受到电池前期应用的放电率、放电时间等因素以及电池老化程度、应用环境等多种因素影响,所以其准确估算存在一定的困难。

### 2.2.4 能量与能量密度

电池的能量是指电池在一定放电制度下所能释放出的能量,通常用  $W \cdot h$  或  $kW \cdot h$  表示。电池的能量分为理论能量和实际能量。

#### 1. 理论能量

假设电池在放电过程中始终处于平衡状态,其放电电压保持电动势( $E$ )的数值,而且活性物质的利用率为 100%,即放电容量为理论容量,则在此条件下电池所输出的能量为理论能量  $W_0$ ,即

$$W_0 = C_0 E \quad (2-10)$$

#### 2. 实际能量

实际能量是指电池放电时实际输出的能量。它在数值上等于电池实际放电电压、放电电流与放电时间的积分,即

$$W = \int V(t) I(t) dt \quad (2-11)$$

在实际工程应用中,作为实际能量的估算,也常采用电池组额定容量与电池放电平均电压乘积进行电池实际能量的计算:

$$W = CV_{\bar{v}} \quad (2-12)$$

由于活性物质不可能完全被利用,电池的工作电压总是小于电动势,所以电池的实际能量总是小于理论能量。

电池的能量密度是指单位质量或单位体积的电池所能输出的能量,相应地称为质量密度( $W \cdot h/kg$ )或体积能量密度( $W \cdot h/L$ ),也称质量比能量或体积比能量。在电动汽车应用方面,蓄电池质量能量密度影响电动汽车的整车质量和续航里程,而体积能量密度影响到蓄电池的布置空间。因而能量密度是评价动力电池能否满足电动汽车应用需要的重要指标。同时,能量密度也是比较不同种类和类型电池性能的一项重要指标。能量密度也分为理论能量密度( $W'_0$ )和实际能量密度( $W'$ )。

#### 3. 理论能量密度

理论能量密度对应于理论能量,是指单位质量或单位体积电池反应物质完全放电时理论上所输出的能量。

#### 4. 实际能量密度

实际能量密度对应于实际能量,是单位质量或单位体积电池反应物质所能输出的实际

能量,由电池实际输出能量与电池质量(或体积)之比来表征:

$$W' = \frac{W}{G} \quad (2-13)$$

或

$$W' = \frac{W}{V} \quad (2-14)$$

式中, $G$ 为电池的质量; $V$ 为电池的体积。

由于各种因素的影响,电池的实际能量密度远小于理论能量密度。实际能量密度与理论能量密度的关系可以表示为

$$W' = W'_0 K_E K_R K_M \quad (2-15)$$

式中, $K_E$ 为电压效率; $K_R$ 为反应效率; $K_M$ 为质量效率。

动力电池在电动汽车的应用过程中,由于电池组安装需要相应的电池箱、连接线、电流电压保护装置等元器件,因此,实际的电池组比能量小于电池比能量。电池组比能量是在电动汽车应用中比较重要的参数之一。电池比能量与电池组比能量之间的差距越小,电池的成组设计水平越高,电池组的集成度越高。因此,电池组的质量比能量常常成为电池组性能的重要衡量指标。一般而言,电池组的质量比能量比电池的质量比能量低20%以上。

举例而言,某款锂离子电池的体积能量密度大约是镍镉电池的2.5倍,是镍氢电池的1.8倍,因此在电池容量相等的情况下,锂离子电池就会比镍镉、镍氢电池的体积更小(质量更小)。不同的锂电池技术,其能量密度也有比较大的不同。某款电动汽车使用的18650钴酸锂电池,能量密度大约是 $150\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ,磷酸铁锂电池的能量密度大约为 $100\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ 。这意味着在同样的电池质量和成组设计水平情况下,钴酸锂电池可比磷酸铁锂电池多储存一半的电量。但总体来说,目前的锂电池能量密度仍然有限,使得电动车比同样配置的燃油车要重很多。

## 2.2.5 功率与功率密度

### 1. 功率

电池的功率是指电池在一定的放电制度下,单位时间内电池输出的能量,单位为W(瓦)或kW(千瓦)。理论上电池的功率可以表示为

$$P_0 = \frac{W_0}{t} = \frac{C_0 E}{t} = IE \quad (2-16)$$

式中, $t$ 为放电时间; $C_0$ 为电池的理论容量; $I$ 为恒定的放电电流。

此时,电池的实际功率应当为

$$P = IV = I(E - IR_w) = IE - I^2 R_w \quad (2-17)$$

式中, $I^2 R_w$ 是消耗于电池内阻上的功率,这部分功率对负载是无用的。

### 2. 功率密度

单位质量或单位体积电池输出的功率称为功率密度,又称比功率,单位为 $\text{W}/\text{kg}$ 或 $\text{W}/\text{L}$ 。比功率的大小,表征电池所能承受的工作电流大小。电池功率密度大,表示它可以承受大电流放电。比功率是评价电池及电池组是否满足电动汽车加速和爬坡能力的重要指标。

对电化学蓄电池,功率和功率密度与蓄电池的荷电状态(SOC)密切相关。因此,在表示蓄电池功率和功率密度时还应指出蓄电池的放电深度。

## 2.2.6 荷电状态与放电深度

### 1. 荷电状态

电池荷电状态(state of charge, SOC)描述了电池的剩余电量,是电池使用过程中的最重要参数之一,此参数与电池的充放电历史和充放电电流大小有关。和内燃机汽车相比, SOC 的数值可类比燃油车油量表指针读数。图 2-5 给出了某混合动力汽车仪表盘,右侧位置即油量表及 SOC 显示。



图 2-5 某混合动力汽车仪表盘局部

荷电状态值是个相对量,一般用百分比的形式来表示, SOC 的取值范围为:  $0 \leq \text{SOC} \leq 100\%$ 。目前较统一的是从电量角度定义 SOC,如美国先进电池联合会(USABC)在其《电动汽车电池实验手册》中定义 SOC 为: 电池在一定放电倍率下,剩余电量与相同条件下额定容量的比值,即

$$\text{SOC} = \frac{C_{\mu}}{C_{\text{额}}} \quad (2-18)$$

式中,  $C_{\mu}$  为电池剩余的按额定电流放电的可用容量;  $C_{\text{额}}$  为额定容量。

由于 SOC 受到充放电倍率、温度、自放电、老化等因素影响,实际应用中要对 SOC 的定义进行调整。

例如,日本本田公司电动汽车 EV Plus 定义 SOC 为

$$\text{SOC} = \frac{\text{剩余容量}}{\text{额定容量} \times \text{容量衰减因子}} \quad (2-19)$$

其中,剩余容量等于额定容量减去净放电量、自放电量、温度补偿容量后的差值。

动力电池的充放电过程是个复杂的电化学变化过程,从式(2-18)中也可以看出电池剩余电量受到动力电池的基本特征参数(端电压、工作电流、温度、容量、内部压强、内阻和充放电循环次数)和动力电池使用特性因素的影响,使得对电池组的荷电状态 SOC 的测定很困难。目前关于电池组电量的研究,较简单的方法是将电池组等效为一个电池单体,通过测量电池组的电流、电压、内阻等外界因素,找出 SOC 与这些参数的关系,可间接地测试电池的 SOC 值。应用过程中,为确保电池组的使用安全和使用寿命,也常使用电池组中性能最差电池单体的 SOC 来定义电池组的 SOC。目前常用的 SOC 估算法有开路电压法、安时累积



法、电化学测试法、电池模型法、神经网络法、阻抗频谱法以及卡尔曼滤波法等。关于 SOC 的估计方法将在后续章节中进行介绍。

## 2. 放电深度

放电深度(depth of discharge, DOD)是放电容量与额定容量之比的百分数,与 SOC 之间存在如下数学计算关系:

$$DOD = 1 - SOC \quad (2-20)$$

放电深度高低对于二次电池的使用寿命有很大的影响,一般情况下,二次电池常用的放电深度越深,其使用寿命就越短,因此在电池使用过程中应尽量避免二次电池深度放电。

## 2.2.7 放电制度

放电制度就是电池放电时所规定的各种条件,主要包括放电电流(速率)、终止电压和温度。

### 1. 放电电流

放电电流是指电池放电时的电流大小。放电电流的大小直接影响到电池的各项性能指标,因此,介绍电池的容量或能量时,必须说明放电电流的大小,指出放电的条件。放电电流通常用放电率表示。放电率是指电池放电时的速率,有时率和倍率两种表示形式。

时率是以放电时间(h)表示的放电速率,即以一定的放电电流放完额定容量所需的时间(h),通常用  $C/n$  来表示。其中,  $C$  为额定容量,  $n$  为一定的放电电流。时率也叫小时率。例如,电池的额定容量为  $50A \cdot h$ ,以  $5A$  电流放电,则时率为  $50A \cdot h / 5A = 10h$ ,称电池以 10 小时率放电。从计算方法可见,放电率所表示的时间越短,所用的放电电流越大;放电率所表示的时间越长,所用的放电电流越小。

倍率实际上是指电池在规定的时间内放出其额定容量所输出的电流值,它在数值上等于额定容量的倍数。例如,3 倍率(3C)放电,其表示放电电流的数值是额定容量数值的 3 倍,若电池的容量为  $15A \cdot h$ ,那么放电电流应为  $3 \times 15 = 45(A)$ 。

习惯上称  $\frac{1}{3}C$  以下为低倍率,  $\frac{1}{3}C \sim 3C$  为中倍率,  $3C$  以上则为高倍率。图 2-6 所示为采用不同放电倍率的电池放电曲线。

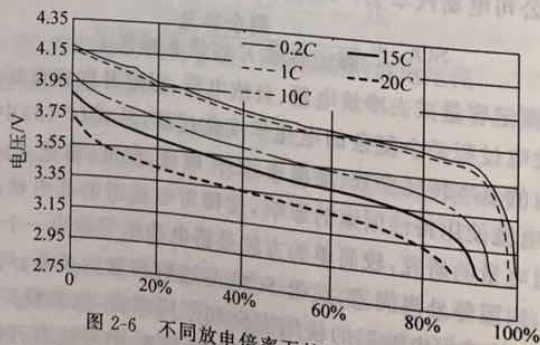


图 2-6 不同放电倍率下的电池放电曲线

## 2. 放电终止电压

终止电压值与电池材料直接相关,并受到电池结构、放电率、环境温度等多种因素影响。一般来说,由于低温大电流放电时电极的极化大,活性物质不能充分利用,电池的电压下降较快,因此在低温或大电流(高倍率)放电时,终止电压可以规定的低一些。小电流放电时,电池的极化小,活性物质能够得到充分利用,终止电压可规定的高一些。

## 2.2.8 寿命与成本

### 1. 循环寿命

循环寿命是评价蓄电池使用技术经济性的重要参数。蓄电池经历一次充电和放电,称为一次循环,或者一个周期。在一定放电制度下,二次电池的容量降至某一规定值之前,电池所能耐受的循环次数,称为蓄电池的循环寿命或使用周期。动力电池单体在充放电循环使用过程中,性能逐渐退化。其退化程度随着充放电循环次数的增加而加剧,其退化速度与动力电池单体充放电的工作状态和环境有着直接的关系。

各类二次电池的循环寿命都有差异,即使同一系列、同一规格的产品,循环寿命也可能有很大差异。目前常用的蓄电池中,锌银蓄电池的循环寿命最短,一般只有30~100次;铅酸蓄电池的循环寿命为300~500次;锂离子电池的寿命较长,循环寿命可达1000次以上。

随着充放电循环次数的增加,二次电池容量衰减是个必然的过程。这是因为在充放电循环过程中,电池内部会发生一些不可逆的过程,引起电池放电容量的衰减,这些不可逆的因素主要包括电极活性物质脱落转移及活性降低、电极材料腐蚀、隔膜老化和损耗等。蓄电池的循环周期与蓄电池的充电和放电形式、电池温度和放电深度有关,放电深度“浅”时,有利于延长电池的寿命。特别是电池在电动汽车上的使用环境,包括电池组中各个电池的均衡性、安装方式、所受的振动和线路的安装方式等,都会影响电池的工作循环次数。

影响动力电池寿命的因素主要包括充放电速率、充放电深度、环境温度、存储条件、电池维护过程、电流波纹以及过充电量和过充频度等。电池成组应用中,动力电池单体不一致性、单体所处温区不同、车辆的振动环境等都会对电池寿命产生影响。

(1) 充电截止电压。动力电池在充电过程中一般都伴随有副反应,提高充电截止电压,甚至超过电池电化学电位后进行充电一般会加剧副反应的发生,并导致电池使用寿命缩短,甚至可能导致内部短路、电池损坏、着火、爆炸等危险工况的出现。

(2) 放电深度(DOD)。深度放电会加剧动力电池的衰退。循环寿命受蓄电池DOD影响,因此,循环寿命的表示还要同时指出放电深度。比如蓄电池循环寿命400次/100%DOD或1000次/50%DOD。

(3) 充放电倍率。动力电池单体的充放电倍率是其在用工况下最直接的外界环境特征参数,其大小直接影响着动力电池单体的衰减速度。充放电倍率越高,动力电池单体的容量衰减得越快。动力电池单体大倍率的充放电都会加快其容量的退化速度,如果充放电倍率过大,动力电池单体还可能会出现直接损坏,甚至过热、短路起火等极端现象。

(4) 环境温度。不同的动力电池都有最佳的工作温度范围,过高或过低的温度都会对电池的寿命产生影响。

(5) 存储条件。在存储过程中,由于电池的自放电、正负极材料钝化、电解液分解蒸发、电化学反应等因素,将导致电池产生不可逆的容量损失。

(6) 容量不一致性。即使电动汽车行驶距离相同,因容量不同,电池的放电深度也不同。在大多数电池还属于浅放电情况下,容量不足的电池已经进入深放电阶段,并且在其他电池深放电时,低容量电池可能已经没有电量可以放出,成为电路中的负载,从而影响整体使用寿命。

(7) 放电率差异。同一种电池都有相同的最佳放电率,容量不同,最佳放电电流就不相同。在串联组中电流相同,所以有的电池在最佳放电电流工作,而有的电池则达不到或超过了最佳放电电流。

(8) 局部过充。在充电过程中,小容量电池将提前充满,为使电池组中其他电池充满,小容量电池将过充电,充电后期充电电压偏高,甚至超出电池电压最高限,形成安全隐患,影响整个电池组的充电过程,并且过充电将严重影响电池的使用寿命。即容量不一致会导致安全隐患和影响电池的使用寿命。

由于各电池单体间的不一致性和串联动力电池组的短板效应,在动力电池组的使用过程中,电池组的最大可用容量与单体的可用容量下降速度不同步,也将导致各单体 SOC 状态各不相同,使得电池组寿命与电池单体相比明显降低。过充电或过放电都会对电池造成额外的损伤,致使动力电池的容量衰减加剧,此时的动力电池组寿命降低更加明显。

## 2. 成本

电池的成本与电池的技术含量、材料、制作方法和生产规模有关,目前新开发的高比能量、比功率的电池(如锂离子电池)成本较高,使得电动汽车的造价也较高。开发和研制高效、低成本的电池是电动汽车发展的关键。

电池的成本分为制造成本、使用维护成本、废电池处理成本等不同方面。显然,相同制造成本的电池使用寿命越长,其平均使用成本自然就越低。同样道理,废弃处理成本相对更低的“绿色”电池更受欢迎。

电池成本一般以电池单位容量或能量的成本进行表示,单位为元/(A·h)或元/(kW·h),以方便对不同厂家、不同型号的电池进行对比。电动汽车通常要比类似性能的燃油汽车价格昂贵,很重要的原因正是因为电池的成本较高,而通常为人们所诟病的电动汽车续航里程不够长的重要原因也是成本问题。根据相关调查,电动汽车续航增加 100km 需要增加 20kW·h 的电池储备。而对 1kW·h 的锂电池近 3000 元人民币的成本而言,增加 100km 续航里程而产生的电池成本便增加大约 6 万元。目前 200km 续航里程的纯电动车,即便加上国家和地方政府的补贴,价格和普通燃油车相比也不便宜。

### 2.2.9 自放电率

自放电率是电池在存放时间内,在没有负荷的条件下自身放电,使得电池的容量损失的速度。自放电率采用单位时间(月或年)内电池容量下降的百分数来表示:

$$\text{自放电率} = \frac{Ah_a - Ah_b}{Ah_a \cdot t} \times 100\%$$

式中,  $Ah_a$  为电池储存时的容量(A·h);  $Ah_b$  为电池储存以后的容量;  $t$  为电池储存的时间

(2-21)

(天或者月)。

自放电率通常与时间和环境温度有关,环境温度越高自放电现象越明显,所以电池久置时要定期补电,并在适宜的温度和湿度下储存。

## 2.2.10 不一致性

### 1. 概念

电池的不一致性对于成组应用的动力电池才有意义。它是电池组的重要参数指标之一,是指同一规格和同一型号电池在电压、内阻、容量、充电接受能力、循环寿命等参数方面存在的差别。电池的不一致性一般用电压差、容量差、内阻差的统计规律进行表示。

在现有电池技术水平下,电动汽车必须使用多块电池构成电池组,甚至电池组构成电池系统来满足使用要求。由于不一致性影响,电池系统性能往往达不到单体原有水平,系统使用寿命可能缩短到原来的几分之一或十几分之一,严重影响电动汽车整车性能。

### 2. 不一致性的产生原因

(1) 在制造过程中,由于工艺上的问题和材质的不均匀,使得电池极板活性物质的活化程度和厚度、微孔率、连条、隔板等存在很微小差别,这种电池内部结构和材质上的不完全一致性,就会使同一批次出产的同一型号电池的容量、内阻等参数不可能完全一致。

(2) 在装车使用时,由于电池组中各个电池的温度、通风条件、自放电程度、电解液密度等差别的影响,在一定程度上增加了电池电压、内阻及容量等参数的不一致性。

### 3. 不一致性的分类

根据使用中电池组的不一致性扩大的原因和对电池组性能的影响方式,可以把电池的不一致性分为容量不一致性、电压不一致性和内阻不一致性。

#### 1) 容量不一致性

容量不一致性主要包含起始容量不一致性和实际容量不一致性两个方面。起始容量不一致性是指电池组在出厂前的分选试验后单体初始容量不一致性,实际容量不一致性是指电池在放电过程中所剩余的电量不相等。起始容量不一致性可以在使用过程中通过电池单体单独充放电来调整单体起始容量,使之差异性减小;而实际容量不一致则有可能与电池单体内阻等参数有关。

电池起始容量受电池循环工作次数影响显著,越接近电池寿命周期后期,实际容量不一致性就越明显。同时,电池起始容量还与电池容量衰减特性有关,受到电池储存温度、电池荷电状态(SOC)等因素影响。电池组实际容量不一致性还与电池放电电流有关。所以,在电池组实际使用过程中,容量不一致主要是电池起始容量不一致和放电电流不一致综合影响的结果。

#### 2) 电压不一致性

电压不一致性的主要影响因素在于并联组中电池的相互充电。当并联组中一节电池电压低时,其他电池将给此电池充电。这种联结方式,低压电池容量小幅增加的同时高压电池容量急剧降低,能量将消耗在互充电过程中而达不到预期的对外能量输出。

若低压电池和正常电池一起使用,将成为电池组的负载,影响其他电池工作,进而影响整个电池组的寿命。所以,在电池组不一致明显增加的深放电阶段,不能再继续放电,否则会造成低容量电池过放电,影响电池组使用寿命。

### 3) 内阻不一致性

电池内阻不一致使得电池组中每个单体在放电过程中热损失的能量各不一样,最终会影响电池单体能量状态。

串联中电流相同,内阻大的电池,能量损失大,产生热量多,温度升高快,若电池组的散热条件不好,热量不能及时散失,电池温度将持续升高,可能导致电池变形甚至爆炸的严重后果。在充电过程中,由于内阻不同,分配到串联组每个电池的充电电压不同,将使电池充电电压不一致。随充电过程的进行,内阻大的电池电压可能提前到达充电的最高电压极限,因此,为了防止内阻大的电池过充电和保证充电安全,不得不在大多数电池还未充满的情况下停止充电。

在并联放电过程中,内阻大的电池,电流小;反之,内阻小的电池,电流大。从而使电池在不同的放电倍率下工作,影响电池组的寿命。与此同时,在电流不等的情况下,电池放出的能量不同,致使在相同条件下,电池放电深度不同。

充电过程中,由于内阻的不同,分配到并联组的充电电流不同,所以在相同时间内充电量不同,即电池的充电速度不同,从而影响整个充电过程。在实际充电过程中,只能在防止充电快的电池过充和防止充电慢的电池不满之间采取折中的措施。

## 4. 提高电池一致性的措施

电池组的一致性相对的,不一致性是绝对的。电池的不一致性在生产阶段就已经产生,在应用过程中,需要采取一定的措施减缓电池的不一致性扩大的趋势或速度。根据动力电池的应用经验和试验研究,常采取如下 8 项措施,以保证电池组寿命逐步趋于单体电池的使用寿命。

(1) 提高电池制造工艺水平,保证电池出厂质量,尤其是起始电压的一致性。同一批次电池出产前,以电池、内阻及电池化成数据为标准进行参数相关性分析,筛选相关性良好的电池,以此来保证同批电池的性能尽可能一致。

(2) 在动力电池成组时,务必保证电池组采用同一类型、同一规格、同一型号的电池。

(3) 在电池组使用过程中检测单电池参数,尤其是在动、静态情况下(电动汽车行驶或停驶过程中)的电压分布情况,掌握电池组中单电池不一致性发展规律,对极端参数电池及时进行调整或更换,以保证电池组参数不一致性不随使用时间增加而增大。

(4) 对使用中发现的容量偏低的电池进行单独维护性充电,使其性能恢复。

(5) 间隔一定时间对电池组进行小电流维护性充电,促进电池组自身的均衡和性能恢复。

(6) 尽量避免电池过充电,尽量防止电池深度放电。

(7) 保证电池组良好的使用环境,尽量保证电池组温度场均匀,减小振动,避免水、尘土等污染电池极柱。

(8) 采用电池组均衡系统,对电池组充放电进行智能管理。

除上述主要性能指标外,还有实用性、环境、安全等方面的指标。诸如电池毒性、充电方

便性  
重要

2.

提下  
的性

过程  
池可  
按照  
的容  
线。  
线系

要原  
马某

流化  
的  
不

式

很  
作  
长  
电