



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02110828.5

[43] 公开日 2003 年 8 月 20 日

[11] 公开号 CN 1437031A

[22] 申请日 2002.2.8 [21] 申请号 02110828.5  
 [71] 申请人 上海华谊(集团)公司  
 地址 200025 上海市徐家汇路 560 号  
 [72] 发明人 丹尼尔·黑尔(Daniel. Hall)  
 理查德·A·哈德森(Richard. A. Hudson)

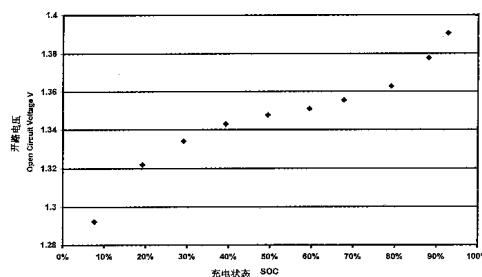
[74] 专利代理机构 上海华工专利事务所  
 代理人 应云平

权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图 10 页

[54] 发明名称 用于电池容量的测量方法

[57] 摘要

本发明涉及一种用于电池容量的测量方法，具体地说涉及用于电池的充电状态(SOC)的校正和估算方法。本发明的方法可以用测量电池的电压和/或电流，电池电压和/或电流随时间的变化状态来校正和估算电池的充电状态(SOC)。本发明通过对开路电压(OCV)与SOC的曲线，开路电压对充电状态的一阶导数  $d\text{OCV}/d\text{SOC}$  与SOC的曲线和/或开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2\text{OCV}/d\text{SOC}^2$  与SOC的曲线的变化状况的分析，来确定电池的充电状态SOC处于什么位置，如处于30%—70%的SOC区域。本发明的方法对于电池不十分频繁地全部充电和/或全部放电的应用场合下是有益的。



1. 一种用于电池容量的测量方法，包括：  
产生一条在整个感兴趣的区域中表达了电池的一个参数和充电状态SOC之间的关系曲线；

在一个时间区间中测量电池的电压和电流，以产生一组电压和电流的数据；

处理电压和电流的数据组，以产生一组处理后的数据；

针对代表了电池的一个方程式，对处理后的数据组进行回归，以得到参数的值；以及

为了得到电池充电状态的估算，将参数的值与曲线相比较。

2. 根据权利要求1所述的测量方法，其特征在于所述的电压和电流数据组包括来自电压和电流数据组的微分的电压和电流数据。

3. 根据权利要求1所述的测量方法，其特征在于所述的电压和电流数据组包括来自电压和电流数据组的积分的电压和电流数据。

4. 根据权利要求1所述的测量方法，其特征在于所述的电压和电流数据组包括来自电压和电流数据组的积分的电流数据。

5. 根据权利要求1所述的测量方法，其特征在于所述的曲线是在电池的正常操作之前产生的。

6. 根据权利要求1所述的测量方法，其特征在于所述的曲线是在电池的正常操作期间产生的。

7. 根据权利要求1所述的测量方法，其特征在于所述的电池在一个时间区间中是电路上隔离的。

8. 根据权利要求7所述的测量方法，其特征在于所述的电池是在

一个时间区间中，通过一个预先确定的区域循环的。

9. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的曲线是储存在一个或者多个记录表中的。

10. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的曲线是由一个数学函数来表示的。

11. 根据权利要求 10 所述的测量方法，其特征在于所述的数学函数是一条直线。

12. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的感兴趣的区域是在 20% 的充电状态和 80% 的充电状态之间，此处所述的方法被用来估算处于 20% 的充电状态和 80% 的充电状态之间的电池的充电状态。

13. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的感兴趣的区域是在 30% 的充电状态 SOC 和 70% 的充电状态 SOC 之间，所述的方法被用来估算处于 30% 的充电状态 SOC 和 70% 的充电状态 SOC 之间的电池的充电状态 SOC。

14. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的参数选自下列的：开路电压 OCV，开路电压对充电状态的一阶导数  $dOCV/dSOC$ ，开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$ ，电池的内部“极化”电阻  $R_p$ ，“极化”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_p/dSOC$ ，在极化电阻附近的电池分流电容 C，电池的内部“欧姆”电阻  $R_0$  以及“欧姆”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_0/dSOC$ 。

15. 根据权利要求 14 所述的测量方法，其特征在于所述的参数是开路电压 OCV。

16. 根据权利要求 14 所述的测量方法，其特征在于所述的参数是开路电压对充电状态的一阶导数  $dOCV/dSOC$ 。

17. 根据权利要求 14 所述的测量方法，其特征在于所述的参数是开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$ 。

18. 根据权利要求 14 所述的测量方法, 其特征在于所述的参数是“极化”电阻  $R_p$ 。

19. 根据权利要求 14 所述的测量方法, 其特征在于所述的参数是“欧姆”电阻  $R_0$ 。

20. 根据权利要求 14 所述的测量方法, 其特征在于所述的参数是“极化”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_p/dSOC$ 。

21. 根据权利要求 14 所述的测量方法, 其特征在于所述的参数是“欧姆”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_0/dSOC$ 。

22. 根据权利要求 1 所述的测量方法, 其特征在于所述的电池在所述的时间区间的第一部分中正在放电。

23. 根据权利要求 22 所述的测量方法, 其特征在于所述的电池在所述的时间区间的第二部分中正在充电, 此处所述的第二部分是在所述的第一部分之前或者之后。

24. 根据权利要求 23 所述的测量方法, 其特征在于所述的电池在所述的时间区间的第三部分中处于间歇状态, 此处所述的第三部分是在所述的第一部分之前或者之后, 和在所述的第二部分之前或者之后。

25. 根据权利要求 1 所述的测量方法, 其特征在于所述的方程式是相应于电池的一个广义化的方程式。

26. 根据权利要求 25 所述的测量方法, 其特征在于所述的方程式的系数与代表了相应于电池的等效电路的一个方程式的系数有关。

27. 根据权利要求 10 所述的测量方法, 其特征在于所述的参数是开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$ , 所述的曲线表示为一条直线。

28. 根据权利要求 27 所述的测量方法, 其特征在于所述的开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$  有一个零值时, 电池的充电状态

被重新校正到一个已知的充电状态。

29. 根据权利要求 28 所述的测量方法，其特征在于所述的开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$  从正值变为负值，或者从负值变为正值时，存在着一个零值。

30. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的电池在所述的时间区间中通过一个预先确定的区域循环。

31. 根据权利要求 30 所述的测量方法，其特征在于所述的预先确定的区域是混合脉冲功率特征 HPPC 动态负载剖面。

32. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的电池是镍基电池 NiMH 电池。

33. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于所述的电池包括选自 D 型，C 型和小 C 型的一个或多个电池。

34. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于以一种连续的方式监视电压的测量和电流的测量，此处的时间是根据至少一个与电压的测量和电流的测量有关的预先确定的要求而选择的。

35. 根据权利要求 34 所述的测量方法，其特征在于所述的时间区间是小于或者等于 60 秒钟。

36. 根据权利要求 35 所述的测量方法，其特征在于所述的至少一个预先确定的要求是在所述的时间区间中，至少放电 15 秒钟。

37. 根据权利要求 36 所述的测量方法，其特征在于所述的至少一个预先确定的要求是在所述的时间区间中，至少充电 15 秒钟。

38. 根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征在于在将参数值与曲线进行比较期间，考虑针对下列的一个或多个因子的曲线的变化：电池温度，电池寿命，内部压力和充电/放电速率。

39. 根据权利要求 26 所述的测量方法，其特征在于所述的代表等

效电路的方程式是电池的电压和电流，电池的电压和电流的导数和积分的一个函数。

40. 根据权利要求 25 所述的测量方法，其特征在于所述的代表等效电路的方程式有下列的形式：

$$0 = a + b \int I dt + c I_L + d \frac{dI_L}{dt} + e \frac{dV}{dt} + fV + g \int V dt + h \frac{d^2 I_L}{dt^2} + \dots$$

41. 根据权利要求 25 所述的测量方法，其特征在于所述的代表等效电路的方程式包括了二次或更高次指数项。

42. 根据权利要求 26 所述的测量方法，其特征在于所述的代表的等效电路是附图 5B 所示的电路。

43. 根据权利要求 26 所述的测量方法，其特征在于所述的代表的等效电路是附图 6 所示的电路。

44. 一种用于重新校正电池容量的测量方法，包括：由电池的一个参数和一个充电状态之间的关系确定电池的充电状态的再校正，在此状态下，在电池的参数和电池的充电状态之间的关系有一个拐点；

在一个时间区间中，测量电池的电压和电流，以产生一组电压和电流的数据；

处理此电压和电流数据组，以产生一组处理后的数据；

针对代表了电池的一个方程式，回归此组处理后的数据，以获得此参数的二阶导数；以及

在此参数的二阶导数有一个零值时，重新校正电池的充电状态到电池的再校正充电状态。

45. 根据权利要求 44 所述的测量方法，其特征在于所述的参数的二阶导数从正值变为负值时，或者，从负值变为正值时，存在着一个零值。

46. 根据权利要求 44 所述的测量方法，其特征在于所述的参数是电池的开路电压 OCV。

## 用于电池容量的测量方法

### 技术领域

本发明涉及一种用于电池容量的测量方法，具体地说涉及一种用于电池的充电状态（SOC）的精确的估算方法。

### 背景技术

本发明与电池容量的测量有关。本发明的方法为电池的充电状态（SOC）提供了一种精确的再校正方法和/或为电池的 SOC 提供了一种精确的估算方法。本发明对于那些不十分频繁地全部放电和/或全部充电的电池应用场合是特别有益的。通常，精确的 SOC 测定是重要的，这样，可以可靠地预言在一个电池中尚剩余多少储存的能量和/或怎样最优化此电池的充电和放电。

传统的电池容量测量方法和装置利用硬件和算法来测定全部充电和/或全部放电，然后，进行电量计的测量，以估计 SOC 与时间的变化。这些电量计测量方法一般利用修正因子来解释电池的非线性关系，例如，充电效率，自放电和可能输出的能量。依据这些电量计测量的 SOC 估计的误差将连续地累积，直到能进行下一次再校正为止。校正过程可包括在经验上或者理论上显示能对一个特殊的 SOC 提供良好的关联的可测量的电池参数的处理。一般认为全部充电和/或全部放电已经知道了 SOC 点，然后，它们可以用来再校正电池容量的测量和重新设定估算的误差。

全部充电测定取决于电池的化学变化，这在工业界是众所周知的。全部放电通常与放电电压的端点（EODV）相关联。这些校正方法在诸如电动工具，计算机和蜂巢式电话等，在正常使用期间允许电池频繁地循环通过这些已知的校正点的应用场合下工作得很好。

然而，在这样一些电池应用场合下，实现全部充电和/或全部放电的频率是低的。例如，在某些混合式机动车辆（HEV）的应用场合下，电池的 SOC

保持在一个 SOC 设定值附近的一个操作范围之内是最好的。此设定值在某些时候被叫作“最优点 (sweet point)”。举个例子，最优点，对于电池的 SOC 最好限制在 $\pm 30\%$ 的操作范围之内，可能是 50% 的 SOC。所以，在这种情况下，电池将维持在 20% 的 SOC 和 80% 的 SOC 之间，因而，一般达不到全部充电和/或全部放电状态的传统的校正点。因此，依据电量计测量的 SOC 估计的误差将随着使用时间的增加而增大。这种增大的误差可能导致不想要的车辆的性能。如果电池 SOC 估计过高，此车辆只为峰值负荷，例如，爬坡、加速和重新启动，留下最小量的动力。如果电池 SOC 估计过低，由于电池在高 SOC 下降低的充电效率，车辆系统的效率可能被降低。

### 发明内容

本发明的目的是提供一种在电池不十分频繁地达到全部充电或全部放电的场合下，允许电池的充电状态 SOC 的测量方法。特别是，在 SOC 最优点为中心的一个范围之内操作的混合式机动车辆 HEV 电池应用场合，需要一个再校正 SOC 的措施，以保持一个更精确的 SOC 的估算。同时，也需要一种方法，允许在电池操作期间，测定电池的 SOC。

本发明是这样实现的，这种用于电池容量的测量方法，包括：产生一条在整个感兴趣的区域中表达了电池的一个参数和充电状态 SOC 之间的关系的曲线；

在一个时间区间中测量电池的电压和电流，以产生一组电压和电流的数据；

针对代表电池的一个方程式，对处理后的数据组进行回归，以得到参数的值；以及

为了得到电池充电状态的估算，将参数的值与曲线相比较。

本发明的电压和电流数据组包括来自电压和电流数据组的微分的电压和电流数据。

本发明的电压和电流数据组包括来自电压和电流数据组的积分的电压和电流数据。

本发明的电压和电流数据组包括来自电压和电流数据组的积分的电流数据。

本发明的曲线是在电池的正常操作之前产生的。

本发明曲线是在电池的正常操作期间产生的。

本发明的电池在一个时间区间中是电路上隔离的。

本发明的电池是在一个时间区间中，通过一个预先确定的区域循环的。

本发明的曲线是储存在一个或者多个记录表中的。

本发明的曲线是由一个数学函数来表示的。

本发明数学函数是一条直线。

本发明的感兴趣的区域是在 20%的充电状态和 80%的充电状态之间，此处所述的方法被用来估算处于 20%的充电状态和 80%的充电状态之间的电池的充电状态。

本发明的感兴趣的区域是在 30%的充电状态 SOC 和 70%的充电状态 SOC 之间，所述的方法被用来估算处于 30%的充电状态 SOC 和 70%的充电状态 SOC 之间的电池的充电状态 SOC。

本发明的参数选自下列的：开路电压 OCV，开路电压对充电状态的一阶导数  $dOCV/dSOC$ ，开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$ ，电池的内部“极化”电阻  $R_p$ ，“极化”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_p/dSOC$ ，在极化电阻附近的电流分流电容  $C$ ，电池的内部“欧姆”电阻  $R_o$  以及“欧姆”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_o/dSOC$ 。

本发明的参数是开路电压 OCV。

本发明的参数是开路电压对充电状态的一阶导数  $dOCV/dSOC$ 。

本发明的参数是开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$ 。

本发明的参数是“极化”电阻  $R_p$ 。

本发明的参数是“欧姆”电阻  $R_o$ 。

本发明的参数是“极化”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_p/dSOC$ 。

本发明的参数是“欧姆”电阻对充电状态的一阶导数  $dR_o/dSOC$ 。

本发明的电池在所述的时间区间的第二部分中正在充电，此处所述的第二部分是在所述的第一部分之前或者之后。

本发明的电池在所述的时间区间的第三部分中正处于间歇状态，此处所述的第三部分是在所述的第一部分之前或者之后，和在所述的第二部分之前或者之后。

本发明的方程式是相应于电池的一个广义化的方程式。

本发明的方程式的系数与代表了相应于电池的等效电路的一个方程式的系数有关。

本发明的参数是开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$ ，所述的曲线表示为一条直线。

本发明的开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$  有一个零值时，电池的充电状态被重新校正到一个已知的充电状态。

本发明的开路电压对充电状态的二阶导数  $d^2OCV/dSOC^2$  从正值变为负值，或者从负值变为正值时，存在着一个零值。

本发明的电池在所述的时间区间中通过一个预先确定的区域循环。

本发明的预先确定的区域是混合脉冲功率特征 HPPC 动态负载剖面。

本发明的电池是镍基电池 NiMH 电池。

本发明的电池包括选自 D 型, C 型和小 C 型的一个或多个电池。

本发明以一种连续的方式监视电压的测量和电流的测量, 此处的时间是根据至少一个与电压的测量和电流的测量有关的预先确定的要求而选择的。

本发明的时间区间是小于或者等于 60 秒种。

本发明的少一个预先确定的要求是在所述的时间区间中, 至少放电 15 秒钟。

本发明的至少一个预先确定的准则是在所述的时间区间中, 至少充电 15 秒钟。

本发明在将参数值与曲线进行比较期间, 考虑针对下列的一个或多个因子的曲线的变化: 电池温度, 电池寿命, 内部压力和充电/放电速率。

本发明代表等效电路的方程式是电池的电压和电流, 电池的电压和电流的导数和积分的一个函数。

本发明代表等效电路的方程式有下列的形式:

$$0 = a + b \int I dt + c I_L + d \frac{dI_L}{dt} + e \frac{dV}{dt} + fV + g \int V dt + h \frac{d^2 I_L}{dt^2} + \dots$$

本发明代表等效电路的方程式包括了二次或更高次指数项。

本发明代表的等效电路是附图 5B 所示的电路。

本发明代表的等效电路是附图 6 所示的电路。

本发明一种用于重新校正电池容量的测量方法, 包括: 由电池的一个参数和一个充电状态之间的关系确定电池的充电状态的再校正, 在此状态下, 在电池的参数和电池的充电状态之间的关系有一个拐点;

在一个时间区间中，测量电池的电压和电流，以产生一组电压和电流的数据；

处理此电压和电流数据组，以产生一组处理后的数据；

针对代表了电池的一个方程式，回归此组处理后的数据，以获得此参数的二阶导数；以及

在此参数的二阶导数有一个零值时，重新校正电池的充电状态到电池的再校正充电状态。

上述方法的参数的二阶导数从正值变为负值时，或者，从负值变为正值时，存在着一个零值。

上述方法的参数是电池的开路电压 OCV。

本发明与估算一个电池的充电状态 (SOC) 的方法有关。本发明的特别之处包括了在整个研究区域中表达了在电池充电的一个参数和一个状态之间的关系的曲线的产生；在一段时间区间中测量电池的电压和电流，以产生一组电压和电流数据；处理这组电压和电流数据，以产生一组处理后的数据；将处理后的数据回归成代表此电池的一个方程式，以获得参数的值；为了得到电池充电状态的估计，将此参数值与曲线进行比较。

本发明的方法可以用于再校正电池的 SOC。本发明在电池不十分频繁地达到全部充电状态和/或全部放电状态的情况下是有益的。在一个具体的方面，本发明的方法和注解可以利用一个电池的电压和/或电流，和/或电池的电压和/或电流随时间的变化，以重新校正电池的 SOC 和/或估算电池的 SOC。

许多电池化学变化的开路电压 (OCV) 单纯地随 SOC 变化。除此之外，OCV 与 SOC 的曲线一般有一个拐点。为了测定电池处于 OCV 与 SOC 曲线的什么位置，以及确定在一个特殊的场合下，在什么时间达到了拐点，本发明的方法可以监视与电池的条件有关的各种参数。在一个特殊的场合下，本发明的方法可以监视 OCV 与 SOC 曲线的二阶导数，并且与电池的 OCV 与 SOC

曲线相比较,以估算 SOC。用于比较的电池的 OCV 与 SOC 曲线,例如,在电池使用之前,或者,在电池使用期间,可以被确定。因此,本发明可用于确定在什么时间,电池处于某个 SOC 区域,如 30%SOC~70%SOC 的区域,或者,20%SOC~80%SOC 的区域。如果需要,为了提高这样的 SOC 再校正和/或估算的精度,可以考虑 OCV 与 SOC 曲线随温度,电池寿命,充电速率和/或放电速率的变化。

## 附图说明

图 1 显示了一个可充电电池的典型的开路电压 (OCV) 与充电状态 (SOC) 的曲线。

图 2 显示了图 1 的曲线的一阶导数 ( $dOCV/dSOC$ )。

图 3 显示了图 1 的曲线的二阶导数 ( $d^2OCV/dSOC^2$ )。

图 4 显示了对应于图 3 的实验的结果图。

图 5A 描述了一个可以用作一个与本发明相一致的电池的等效电路模型的回路的一个应用场合。

图 5B 描述了一个可以用作一个与本发明相一致的电池的等效电路模型的回路的一个应用场合。

图 6 描述了一个可以用作一个与本发明相一致的低内阻电池的等效电路模型的回路的一个应用场合。

图 7 描述了与本发明相一致的电池的电池脉冲功率区域。

图 8A 和 8B 显示了 40 瓦功率放电的负载电压  $V_L$ , 电流  $I_L$  和  $I_p$ , 功率交换 AMPH, 以及模型曲线拟合的估计负载电压  $V_{Lest}$ , 在 50%SOC 处显示了回归的 4 个输入变量的一个典型的放电区域。

图 9 是描述了在试验区之前有一个小时的间歇,在混合脉冲功率特征化 HPPC 试验下的三种同样设计的镍基电池 NiMH 的  $d^2OCV/dSOC^2$  与充电状

态以及  $dOCV/dSOC$  与充电状态图。

### 本发明的详细说明

本发明是关于再校正电池的放电状态 (SOC) 和/或估算电池的 SOC 的一种方法。本发明在电池不十分频繁地全部充电和/或全部放电的情况下是有益的。在一个特殊的应用场合中, 本发明的方法利用了电池的电压, 电流, 温度, 内部压力, 寿命 (循环次数), 电池电压随时间的变化, 和/或电池电流随时间变化而测到的值, 以及再校正电池的 SOC, 和/或估计电池的 SOC。

参见图 1, 图 1 显示了可充电电池的开路电压 (OCV) 与 SOC 的典型的曲线, 对于许多电池化学变化, OCV 单纯地随 SOC 变化。此外, OCV 与 SOC 的曲线一般有一个拐点。OCV 与 SOC 的曲线上这样的拐点与  $dOCV/dSOC$  与 SOC 的曲线上的最小值相重合, 如图 2 和图 9 分别所示, 它可与  $d^2OCV/dSOC^2$  与 SOC 曲线的零交叉相重合, 如图 3, 4 和 9 所示。图 9 是在试验区之前采用了一个小时的间歇的三种同样设计的镍基电池 NiMH 电池的  $d^2OCV/dSOC^2$  与充电状态, 以及  $dOCV/dSOC$  与充电状态的曲线, 此处采用了混合脉冲功率特征化 (HPPC) 试验区域。

可以使用各种方法产生类似于图 1 所示的曲线的一根曲线。例如, 在充电或放电之后的某个间歇时间后, 可以测量平衡电压。在一个特殊的应用场合下, 对于一系列的充电状态, 在一个小时的间歇之后, 测量平衡电压。然后, 将测量结果记录在一张记录表中。同样, 可以对  $OCV_{1 \text{ 小时}}$  数据进行多项式曲线拟合。可以在数学上从  $OCV_{1 \text{ 小时}}$  数据求导高阶导数, 如  $dOCV/dSOC_{1 \text{ 小时求导}}$  和  $d^2OCV/dSOC^2_{1 \text{ 小时求导}}$ 。这些导数也可以放入一张记录表中。可以轮流地在特殊的充电状态和功率处作 HPPC 的剖面。例如, 对于每种充电状态, 可以回归一个参数组。此参数组可以包括  $OCV_{HPPC}$  和  $dOCV/dSOC_{HPPC}$ , 可以记录在数据表中。同样, 可以对  $OCV_{HPPC}$  和  $d^2OCV/dSOC^2_{HPPC}$  数据进行多项式拟合, 可以在数学上求导高阶导数, 如  $dOCV/dSOC_{HPPC \text{ 求导}}$  和  $d^2OCV/dSOC^2_{HPPC \text{ 求导}}$ 。这些值可以同时记录在单独的记录表中。然后, 相应于这些求导值的回归的值可以由 SOC 追踪。

参数  $dOCV/dSOC_{1 \text{ 小时求导}}$ ,  $dOCV/dSOC_{HPPC}$  和  $dOCV/dSOC_{HPPC \text{ 求导}}$  在某种意义上描述了参数  $dOCV/dSOC$ , 这样, 通过每一次估算获得了对参数  $dOCV/dSOC$

的更好的理解。虽然由于采用的方法不同，这些特殊的值可能不同，但是，可以通过提供记录表而得到方法之间的关系。这样就获得  $dOCV/dSOC$  的一个更高的精确度。其他的参数，诸如电池内部的“极化”电阻  $R_p$ ，和电池内部的“欧姆”电阻  $R_o$ ，可能与求导的数量有关。

为了确定电池处于 OCV 与 SOC 曲线的什么地方，以及，在一个特殊的应用场合下，在什么时候电池达到了 OCV 与 SOC 曲线的拐点，本发明的方法可以监视与电池条件有关的各种参数。例如，可以监视和使用电池的电流 (I) 和电压 (V)，以估算 OCV。在另一种特殊的应用场合中，本发明的方法和注解可以监视 OCV 与 SOC 的二阶导数 ( $d^2OCV/dSOC^2$ )，并且与电池的 OCV 与 SOC 曲线进行比较，如图 2 所示，以估计 SOC。因此，本发明可以确定在什么时候，此电池处于某个 SOC 区域，例如 30%SOC 与 70%SOC 之间的区域，或者，20%SOC 与 80%SOC 之间的区域。如果需要，为了提高这样的 SOC 再校正和/或估算的精确度，在 SOC 的再校正和/或估算期间，可以考虑 OCV 与 SOC 曲线相应于温度，电池寿命（循环次数），内部压力，和/或速率的变化。

本发明可以用于各种电池化学变化和电池尺寸。本发明实践中有用的电池组可以含有一个或多个电池，包括但不限于 D, C 和小 C 型电池。对于含有一个电池以上的电池组的应用场合，可以监视任何一个单独的电池，或者，可以轮流地监视整个电池组。

一般而言，电池组可以由一个等效电路而模型化。图 5A, 5B 和 6 是电池的这样的等效电路的例子。可以根据包括了电池的化学变化和电池的物理参数的许多因素，选择等效电路。图 6 的等效电路有一个电容—电阻并联组和一个串联电阻。图 5A 和 5B 的等效电路更复杂一些。选择的等效电路的元件的值受到了，包括但不限于，卷筒的几何尺寸，平板的尺寸，电介质，分离器型式，设计方位比，活性物质，成分密度和集电器设计等电池设计参数的影响。通过采用直流电试验，可以计算和复制内部阻抗和功率的瞬时的和稳态的部件。通过在电池循环期间的直流电流和电压测量的分析，可以提取内部阻抗的更精确的细节。假定图 6 的等效电路以合理的精度描述了电池，我们可以写出关于对于响应的方程式。各种交流电路，如图 5A 和 5B 所示，可以用作电池容量计量的电池组的等效电路模型。

在短路放电（1~2 分钟）期间的电压可以被描述成在充电状态下的开

路电压，由于能力（用 OCV 的斜率乘以能力来表示的）变化的电压降，由于欧姆电阻的电压降，由于极化电阻的电压降，以及由于电阻对电流变化的阻抗降之和。极化电阻可以伴有电池化学变化和扩散作用，而欧姆电阻可能与电导有关。选择的等效电路有一个代表性的方程式，作为一个例子，对应于图 6 的电路模型的一个代表性的方程式为：

$$V_L = I_L * R_L = OCV_{SOC} + \frac{\partial(OCV_{SOC})}{\partial SOC} * \int I_p dt - I_L * R_0 - I_p * R_p - \frac{dI_L}{dt} L \quad (1)$$

式中：OCV = 开路电压

SOC = 充电状态

$R_0$  = 电池内部的“欧姆”电阻

$R_p$  = 电池内部的“极化”电阻

$R_L$  = 外部的负载电阻

C = 在极化电阻周围的分流电容

$I_L$  = 施加的负载电流，和

$I_p$  = 通过极化电阻的电流。

一个广义化的方程式的例子可以写成：

$$0 = a + b \int I_L dt + c I_L + d \frac{dI_L}{dt} + e \frac{dV}{dt} + f V + g \int V dt + h \frac{d^2 I_L}{dt^2} + \dots \quad (2)$$

式中的 a, b, c, d, e, f, g, h, ... 是相应于元件的值，和/或相应的等效电路的参数的系数。可以采用其他的方程式，它们结合了其他的近似估算，例如，用  $I_L$  替换了方程式 (1) 中的  $I_p$ 。可以认为方程式 (1) 是 V,  $I_L$ ，以及 V 和  $I_L$  的导数和积分的线性求和。所以，可以将方程式 (1) 置于方程式 (2) 的形式中去。同样，从图 5A 和 5B 以及其他的图中显示的电路模型中导出的方程式也可以产生能够置于方程式 (2) 的形式中去的方程式。广义化的方程式可以按需要简化，为特别的应用场合提供需要的精确度。这些元件和/或参数可以包括，诸如电阻，电容，电感，电流和电压等。在广义化方程式和相应于选择的模型的代表性的方程式的导数之间的关系，可以很容易地被导出，对于典型的精度要求，可以直接地进行代数转换。可以与本发明一起利用其他的广义化的方程式，它们可能包括二次项或者更高次项。

求解代表性的方程式，或者，求解广义化的方程式和变换广义化方程式的系数成代表性方程式的系数，可以提供其他再校正 SOC 和/或估计 SOC

有用的参数。在本发明的一个特殊的应用场合中，可以监视一个电池电压和一个电池电流，使得至少有一组，最好是多组，电压和电流数据点作为时间的函数被测量了。最好应该对每个数据点补偿其电压和电流值，使得在电压测量和电流测量之间有一个可以忽略的时间延迟。每一组的数据点的数量应该大于或者等于对应于等效电路的广义化方程式的系数的数量。这样，可以采用数据点组来求解广义化方程式的未知系数。

在整个收集电压和电流数据期间的电池的状态可能会影响广义化方程式和/或代表性方程式的参数的估算值的精度。最好在包括了放电部分和充电部分的一个时期中收集电压和电流的数据。更好的做法是同时包括了电池处于间歇状态的一个时期。给出可预期产生正确的结果的一个充电/放电区域。此区域被叫作混合脉冲功率特征化 (HPPC) 动态负载剖面，它在美国能源部的爱达华国家工程实验室在 1998 年 5 月出版的“PNGV 电池试验手册”，修订版 1，参照 ID-10957 中有说明。图 7 显示了类似于 HPPC 区域的一个区域。HPPC 试验区域延续 1 分钟，包括了一个充电部分，一个放电部分和一个间歇部分。图 8A 和 8B 是一张图，显示了在图 7 中的一个电压尖峰期间，对于 40 瓦放电的负载的电压  $V_L$ ，电流  $I_L$  和  $I_p$ ，能量交换的安培-分钟，以及  $V_{Lest}$ 。至少部分地设计了 HPPC 区域，以模拟在实际驱动条件下一台混合动力车辆 (HEV) 的电池可能遭遇到什么。例如，车辆可能加速 18 秒钟，电池放电，达到需要的速度；等速运行 32 秒钟，在内燃机工作时，电池处于间歇状态；急刹车 2 秒钟，车辆的动能用于高速向电池充电；再刹车 4 秒钟，更多的车辆的动能用于向电池充电；轻轻地刹车 4 秒钟，车辆的剩余动能用于进一步向电池充电。在这一点上，该区域也加入了可能产生的另一个间歇部分，例如，车辆遇上了红灯。

然而，在电池实际使用时，不经常可能达到必定存在着规律性的可重复的区域。所以，在收集电压和电流数据时，可以监视这些数据，以选择电池至少经受一个或多个需要状态的一个最小时期的时间区间。例如，可以采用一个电池放电，电池充电，和/或电池间歇的最小时期作为选择一个时间区间的准则。在一个应用场合中，可以用一种连续的方式和在依据至少一个与电压和电流的测量有关的，预先确定的准则而选择的一个时间区间内来监视电压和电流的测量。例如，一个时间区间可以小于或者等于 60 秒钟。预先确定的准则的例子包括，但不限于，在此时间区间中，至少 15 秒钟的放电，或者，至少 15 秒钟的充电。也可以考虑这些事件的发生顺序，以及放电和/或充电的大小。一个特殊的示例可以将 1 分钟的周期分割成，

至少在 15 瓦的功率下放电至少 15 秒钟，至少在 10 瓦的功率下充电至少 15 秒钟，在充电或放电功率小于 1 瓦处，至少 15 秒钟的间歇。可以采用其他的准则，时间周期可按需要调整。也可以按照应用场合规定的精度，电池的化学变化和/或其他因素，修改这些准则。在这些准则被满足时，那末，与选择的时期相关的数据可以用于回归中。

连续监视电压和电流数据的一个替换是定期地，或者，在某个选择的时间程序下，在电气上隔离电池与应用场合，以及循环电池通过预先确定的区域。可以选择此区域，以提供相应的精确度。最好是，最小化被隔离电池的时间区间。例如，1 到 2 秒钟的时间可以提供足够的精度。

在一个特定的应用场合中，可以采用回归技术来求解广义化方程式的系数。与本发明有关的，可以利用的一种线性回归技术的示例在爱达华国家工程实验室的 PNGV 电池试验手册，修订版 1 的附件 D 中有叙述。然后，可以采用回归所产生的系数求解等效电路，例如，通过代数变换中的参数和/或参数的值。在一个特殊的应用场合下，这些参数包括了 OCV，以及与 SOC 相关的 OCV 的斜率。通过利用多组电池的电压和电流的数据点，可以得到系数的导函数，以及系数的二阶导函数。例如，可以得到关于 SOC 的 OCV 二阶导数。系数的导数和二阶导数对于再校正和/或估计 SOC 是有用的。

如上所述，可以采用一种线性回归的方法来指定广义化方程式中的系数的值，或等效电路中的元件和/或参数的值。可以用各种方法计算这种回归。例如，可以随时间进行电压和电流的测量，以及使用求导和积分的方法。例如，可以用  $\int v d(SOC)$ ， $\int v dt$ ，和/或  $\int v di$  来计算回归。也可以利用显示单独的放电的二次项。虽然象  $dV/d(SOC)$ ， $dV/dt$  和  $dV/dI$  这样的导数可能有些麻烦，但是，它们对于时间，充电状态和/或电流的积分可以提供额外的信息。为了使计算更加精确，每种方法能增加一些独特的信息。

在一个特殊的示例中，OCV，OCV 的斜率和/或其他参数可以对 SOC 作图，此处的 SOC 可以独立地被测量。可以从此数据产生一个或多个广义化方程式的系数，和/或在等效电路中的元件和参数对于充电状态的曲率。在一个特殊的应用场合中，可以产生 OCV 与 SOC， $dOCV/dSOC$  与 SOC，和/或  $d^2OCV/dSOC^2$  与 SOC 的曲率，它们在再校正 SOC 和/或估算 SOC 时是可能有用的。这些系数和/或参数关于充电状态的曲率及对于每种电池类型均可能是独一无二的。如果存在了差异，可以由内部电阻和 OCV 提供额外的信

息。在一个特殊的应用场合下，可以将 OCV 斜率和充电状态之间的数学关系与收集到的电池数据进行拟合。也可以将 OCV 斜率和温度，和/或电池寿命之间的数学关系与特殊的电池数据进行拟合。与 SOC 有关的各个系数和/或参数的曲率可以储存起来，供以后的比较所用，和/或用于创建代表了电池的等效电路的数学模型。例如，这些数据可以储存在记录表中，供以后的参照。

参见相应于图 6 的电路的方程式 1，方程式的变量是  $I_L$ ， $I_p$ ， $dI_L/dt$  和  $\int I_p dt$ ，回归常数是  $I_L$ ， $I_p$ ， $R_p$ ， $R_L$ ，OCV 和  $\partial OCV/\partial SOC$ 。对于回归，可以测量一个或多个数据组的电池电压和电流。可以对每个回归点计算方程式的变量  $I_L$ ， $I_p$ ， $dI_L/dt$  和  $\int I_p dt$ 。随着电池充电状态的变化，回归可以重复地进行。因此，回归常数的值可以随着时间更新。如  $I_L$  和  $\int I_L dt$  这样的项可以从电流测量中导出，因而可以通过追踪  $I_L$  而给出一个值。与之相反，变量  $I_p$  可以通过，例如依据图 6 的模型的下列方程式计算出来：

$$\tau \frac{dI_p}{dt} = I_L - I_p \quad (3)$$

为了计算，通过一个差分方程式， $I_p$  作为  $I_L$  和时间的函数，可以利用一个近似的电容性的时间常数  $\tau$ 。因为误差可以很快地累积，最好采用具差分方程式的大量的点，以提高精度。一旦达到变量  $I_p$  的一个值，可以进行回归。除此之外，一旦初始的计算完成以后，为了最小化回归的误差，可以通过改变电容性的时间常数实现对回归常数的更好的估算。虽然这种技术似乎是适宜的，但是，实际上，为了计算变量  $I_p$ ，它可能变得十分麻烦，因为此差分方程式可能需要大量的内存和计算时间。

在一个特殊的应用场合中，利用了电压的导数和积分的线性求和，使得计算的变量  $I_p$  可以由测量的变量  $I_L$  所代替。可以通过用从方程式 (3) 中导出的  $I_p$  来代替方程式 (1) 中的  $I_p$ ，来实现这种替换，这样， $I_p$  不再处于修改的方程式 (1) 中了。这种替换极大地简化了回归。按照方程式 (3) 和方程式 (3) 的积分中描述的关系，通过加入乘以电容性的时间常数的方程式 (1) 的导数到方程式 (1) 中，以及用  $I_L$  项替换了  $I_p + \tau \frac{dI_p}{dt}$  项，就可以建立如下的方程式。

$$V = OCV_{soc} + \frac{\partial(OCV_{soc})}{\partial SOC} \int I_L dt + (R_0 + R_p) I_L + \tau R_0 \frac{dI_L}{dt} - \tau \frac{dV_L}{dt} \quad (4)$$

此方程式没有  $I_p$  项，因此可以更直接地进行计算。

在一个特殊的应用场合中，可以通过跟踪电池的 OCV,  $dOCV/dSOC$  和/或  $d^2OCV/dSOC^2$  进行电池的 SOC 的估算。OCV,  $dOCV/dSOC$  和  $d^2OCV/dSOC^2$  对于 SOC 的曲线的形状可通过理论或者试验确定，只需要在整个感兴趣的区域中产生即可。例如，一个或多个曲线的形状可以在电池使用之前确定，然后，在电池使用期间用于 SOC 的再校正和/或估算。可以交替地，或者与预先测到的曲线相关联，根据电池使用期间的行程确定一条或多条曲线的形状。然后，可以将 OCV,  $dOCV/dSOC$  和  $d^2OCV/dSOC^2$  数据与相对于曲线形状的储存的数据进行比较，以重新校正 SOC 和/或提供 SOC 的估算。

一个或多个电池的 OCV 与 SOC 的曲线,  $dOCV/dSOC$  与 SOC 的曲线以及  $d^2OCV/dSOC^2$  与 SOC 的曲线可以模型化成一个数学函数。对于一个特殊的 NiMH 基的电池,  $d^2OCV/dSOC^2$  可近似于一条具不变斜率的直线。而且,  $d^2OCV/dSOC^2$  的零交叉可以模型化, 驻留在一个已知 SOC 处。因此, 当  $d^2OCV/dSOC^2$  为零时, SOC 可以在此已知 SOC 值处重新校正。同时, 通过使用  $d^2OCV/dSOC^2$  曲线, 可以估算对于其他的  $d^2OCV/dSOC^2$  的值的 SOC。对于  $d^2OCV/dSOC^2$  被模型化成一条直线的应用场合, 可以使用不变的斜率 (对于一个特殊的镍基电池 NiMH 为  $0.011\text{mV/Ah}^2$ ) 和已知的 SOC 来估算对于  $d^2OCV/dSOC^2$  的一个特别的值的 SOC。  $d^2OCV/dSOC^2$  的斜率可能发生变化, 例如, 随温度和/或电池寿命而变化, 如果需要, 可以考虑直线变化。

除了上面所述的方程式之外, 下面的方程式可用于关于图 6 的等效电路的电压和电流数据的回归:

$$\tau \frac{dI_p}{dt} = I_L - I_p \quad (5)$$

$$V = OCV(1+t/\tau) + (R_p+R_0)/\tau \int I_L dt + R_0 I_L + \frac{dOCV}{dSOC} * \frac{1}{\tau} \iint I_L dt - \int V dt / \tau \quad (6)$$

$$V = OCV + \frac{dOCV}{dSOC} \int I_L dt + (R_0+R_p) I_L + \tau R_0 \frac{dI_L}{dt} - \tau \frac{dV}{dt} \quad (7)$$

$$V = OCV + \frac{dOCV}{dSOC} \int I_p dt + R_p I_p + R_0 I_L \quad (8)$$

测得的变量:

$I_L$  = 电流

$V$  = 电压

$t$  = 时间

计算的变量:

$I_p$  = 极化电流

各个电压和电流的导数

回归的变量:

$R_p$  = 极化电阻

$R_0$  = 欧姆电阻

OCV = 开路电压

$dOCV/dSOC$  = 开路电压对于充电状态的变化

$\tau$  = 电容性的时间常数

方程式 (8) 与没有  $dI_L/dtL$  项的方程式 (1) 是一样的。如果我们假定没有积分常数, 对方程式 (4) 进行积分, 可以产生方程式 (6)。由于导数项, 方程式 (7) 可能是麻烦的, 而由于积分项, 方程式 (6) 就比较不麻烦。因此, 方程式 (5) 和 (8) 在一起, 单独的方程式 (6), 或者单独的方程式 (7) 可用于回归。

**具体实施方式:**

**实施例 1**

如上所述, 在各个电池充电和/或放电区域中, 可以测量电压和电流。本发明的一个特殊应用场合包括下列:

1. 以固定的时间和速率进行均匀的和可重复的充电和放电循环。例如, 一个电池可通过下列过程而循环:

在 40 瓦下, 电池放电 18 秒钟;

电池间歇 32 秒钟;

在 48 瓦下, 电池充电 2 秒钟;

在 32 瓦下, 电池充电 4 秒钟;

在 16 瓦下, 电池充电 4 秒钟; 以及

记录整个循环过程中的电池电压和时间。

这就是爱达华国家工程实验室的 PNGV 电池试验手册, 修订版 1 中描述的混合脉冲功率特征化 (HPPC) 动态负载剖面。

2. 然后, 可以用这些数据进行下列的计算, 描绘充电状态:

计算 OCV; 以及

计算  $dOCV/dSOC$ 。

可以通过应用方程式 (6) 和爱达华国家工程实验室的 PNGV 电

池试验手册，修订版 1 中描述的技术进行这些计算。也可以利用进行这些计算的替代的方法，例如，应用方程式 (7) 和 (8)。

3. 充电状态可被移动一个小的百分数，电池通过具固定时间和速率的同样均匀的和可重复的循环而再次循环。可以由此第二组数据执行上面的步骤中列出的第二组计算。如果需要，可以得到额外的数据组，可以进行对应的额外的数据组的计算。

4. 一旦进行了二个充电状态的数据组计算之后，可以执行下列额外的计算：  
从二个 OCV 点计算 OCV 对充电状态的斜率；  
从二个  $dOCV/dSOC$  点计算  $dOCV/dSOC$  对充电状态的斜率；  
另外，最好能得到额外的数据组和相应的计算值组。在另一个特殊的应用场合中，利用了五个数据组，使用五组对应的计算值进行这些额外的计算。

5. 如果需要，可以重复，以得到多个计算斜率的数值。可以使用这些多个数值来计算对于充电状态的平均斜率。在一个特殊的应用场合中，可以重复步骤 1~4 五次，以产生五个计算斜率的值，再求出平均值。

6. 采用充电状态 (SOC) 为正的数值这样一种常规做法，可以将 SOC 与预先确定的校正点进行比较，如果必要，调整 SOC。各个点可提供再校正的参照。如果需要，可以对温度变化和特殊的电池设计进行少量的调整。在一个特殊的应用场合中，如图 9 所示，可用于提供参照的这些点包括，但不限于下列：

- 1) 在  $d^2OCV/dSOC^2=0$  时， $SOC=40\%$ ；  
在  $d^2OCV/dSOC^2 > 0$  时， $SOC > 40\%$ ；  
在  $d^2OCV/dSOC^2 < 0$  时， $SOC < 40\%$ ；以及
- 2) 在所有的地方， $dOCV/dSOC > 0$ 。

虽然此实施例 1 中描述的步骤在实际的电池使用中难于完成，但是，这些步骤仍然可以在实验室中初次特征化一个电池时使用。这样的初始调整可以产生一条 OCV 与 SOC 的曲线，一条  $dOCV/dSOC$  与 SOC 的曲线和/或一条  $d^2OCV/dSOC^2$  与 SOC 的曲线，然后，它们可用于为了再校正和/或估算电池的 SOC 的，与回归中得到的值相比较的参

照。例如，来自初始特征化的值可储存在记录表中，用作这样的比较。

## 实施例 2

以一种类似于实施例 1 的方式，可以从回归中得到替换的参数，包括电池的内部“极化”电阻 ( $R_p$ )，在极化电阻周围的电池分流电容 ( $C$ )，电池的内部“欧姆”电阻 ( $R_0$ )， $dR_p/dSOC$  和/或  $dR_0/dSOC$ ，并且利用它们提供电池充电状态 (SOC) 的估算和/或电池 SOC 的再校正。

## 实施例 3

图 5A 和 5B 叙述了另外二个与本发明相一致的，用作电池模型的等效电路。在图 5A 中， $R_{01}$  是电子电阻，而  $R_{02}$  是纯电阻。在图 5B 中， $R_{01}$  是电子电阻。下列方程式可用于图 5B 的电路。

$$V_L = I_L * R_L = OCV_{soc} + \frac{\frac{\partial(OCV_{soc})}{\partial SOC}}{[1 - C * \frac{\partial(OCV_{soc})}{\partial SOC}]} * \int I_L dt - I_L * \left[ \frac{R_0 + R_p}{[1 - C * \frac{\partial(OCV_{soc})}{\partial SOC}]} \right] - \frac{dV_L}{dt} * \frac{C * R_p}{[1 - C * \frac{\partial(OCV_{soc})}{\partial SOC}]} \quad (9)$$

前面的方程式变量是  $I_L$ ， $dI_L/dt$  和  $\int I_L dt$ ，回归常数是  $R_p$ ， $R_0$ ， $OCV$ ， $dOCV/dSOC$  和  $C$ ，此处的  $C$  是电池的电容。图 5A 的线路的对应的方程式也可由图 5A 显示的线路所确定。

实施例中所描述的应用场合是对本发明内容的进一步说明，其中电池所处的各种状态和变化的内容，应该包括在本发明的独立权利要求和附属权利要求的保护范围之内。

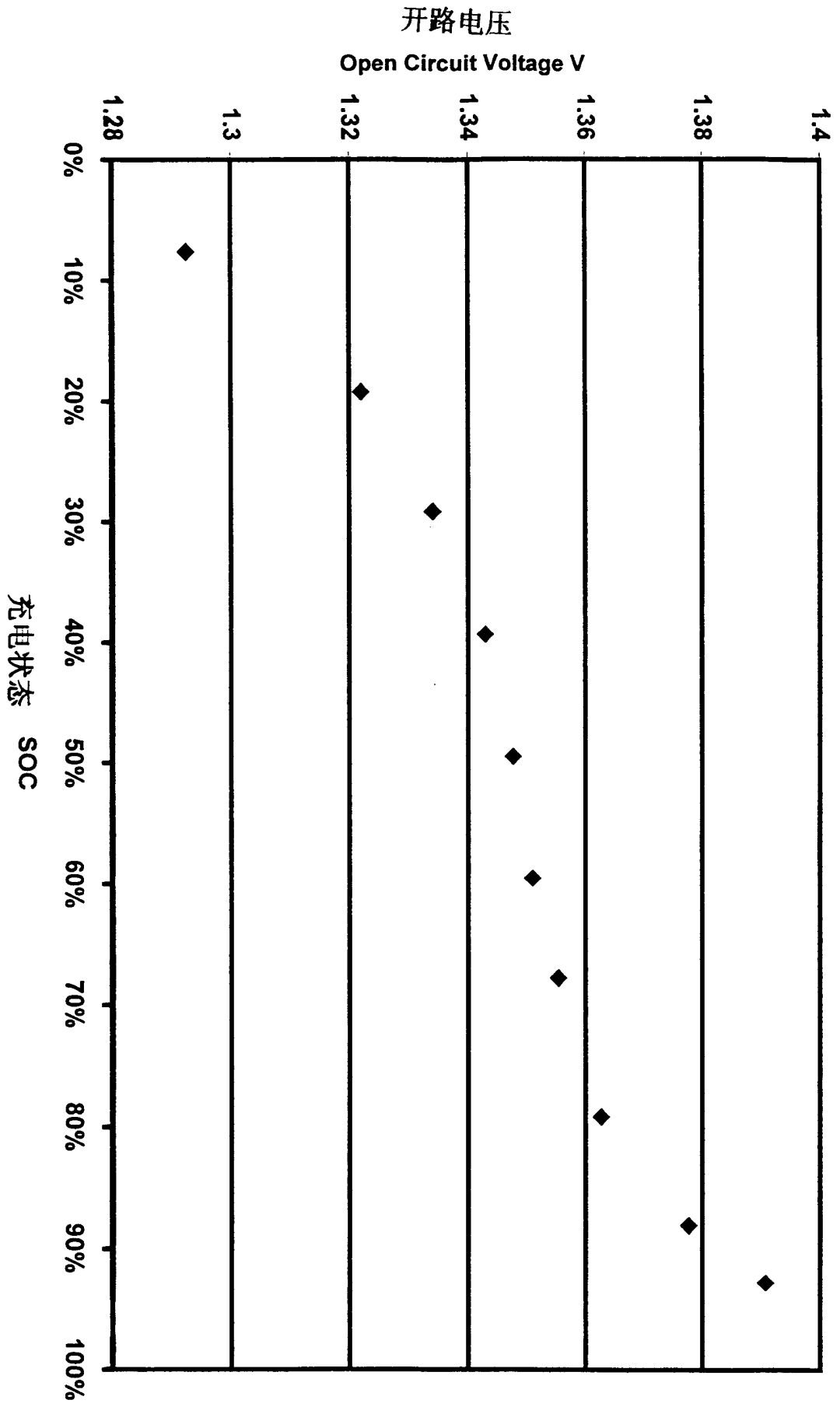


图 1

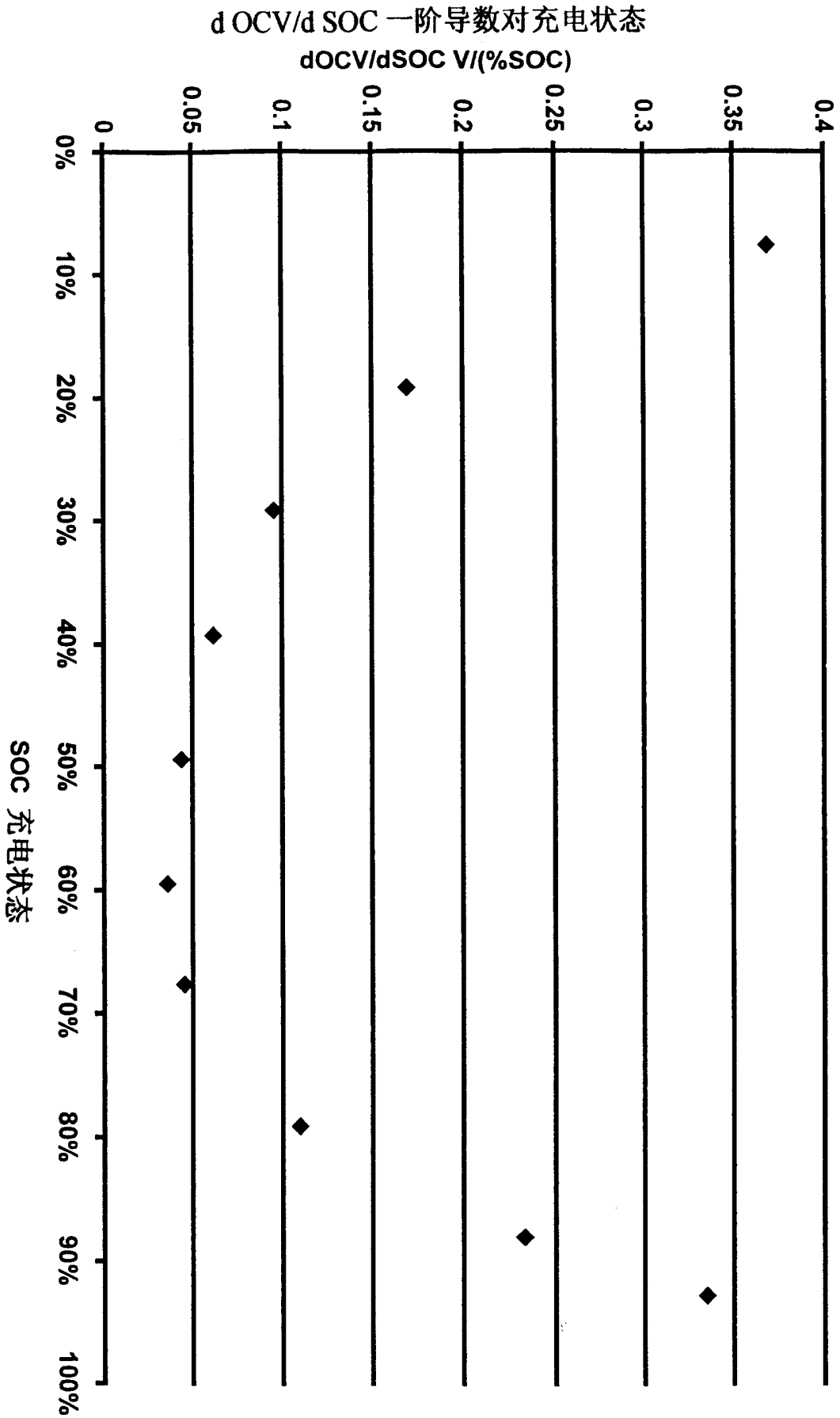


图 2

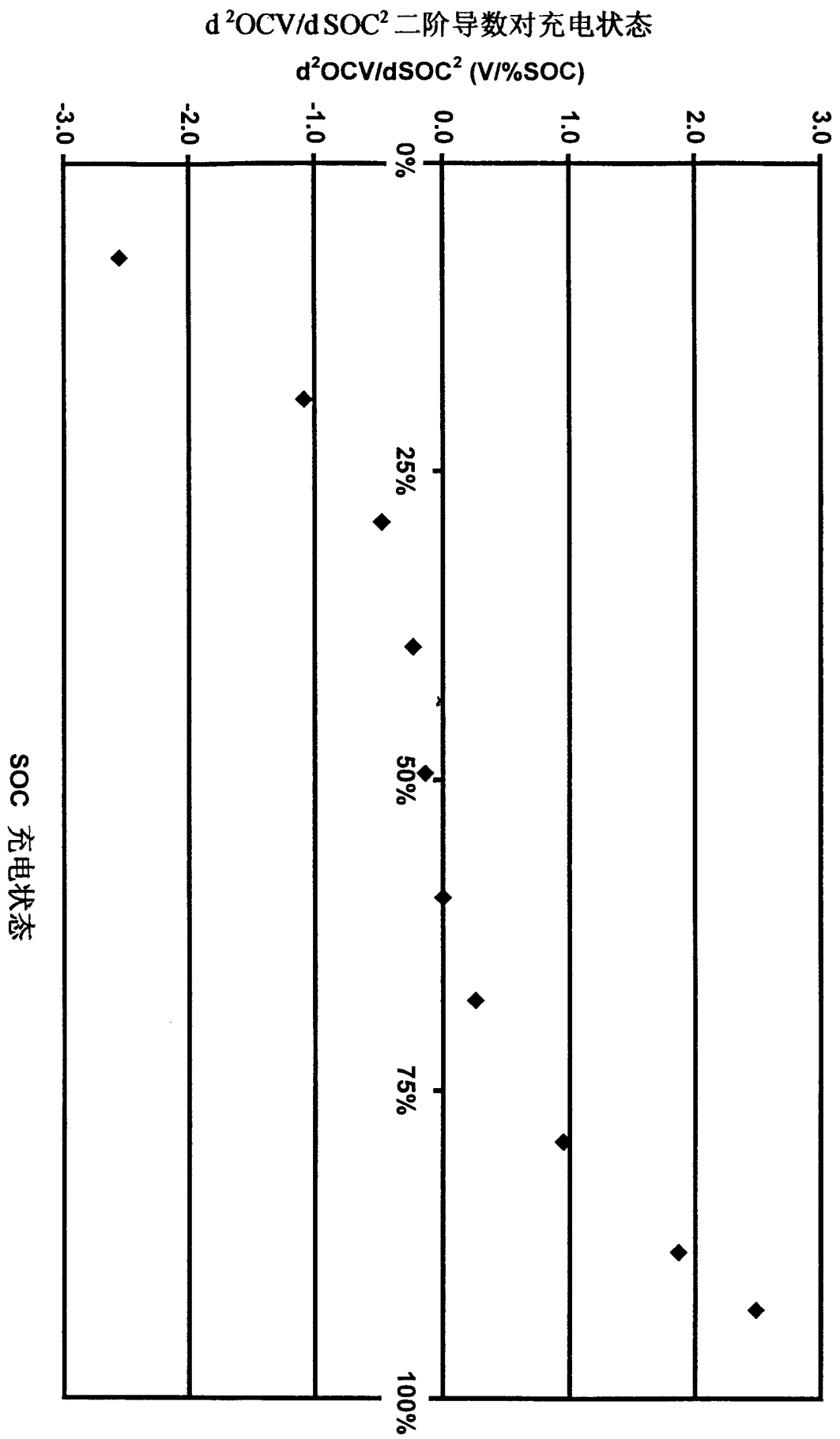


图 3

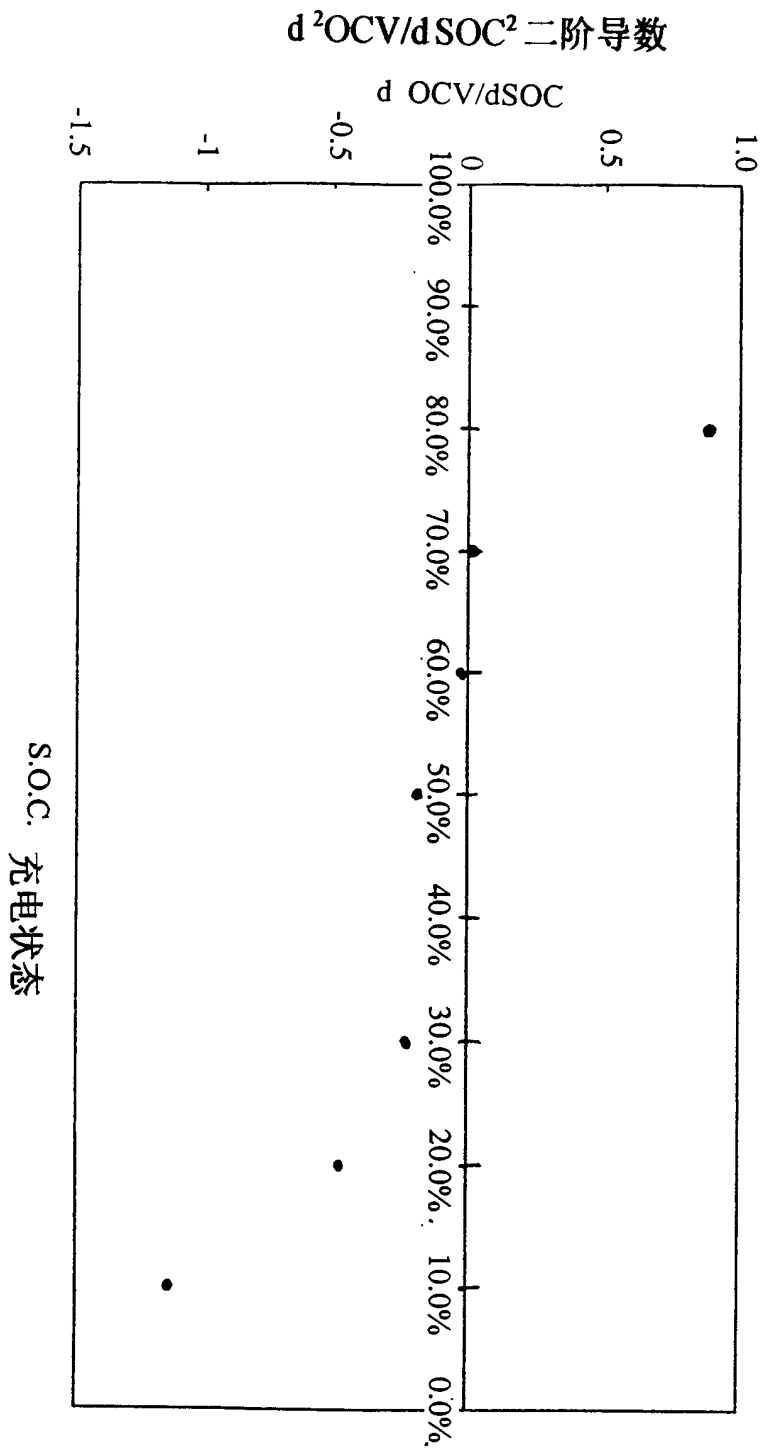


图 4

图 5A

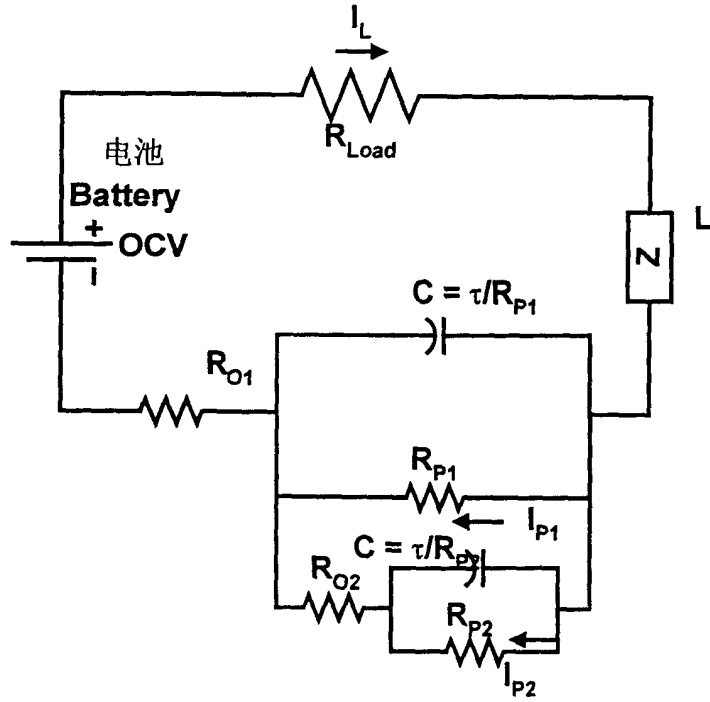
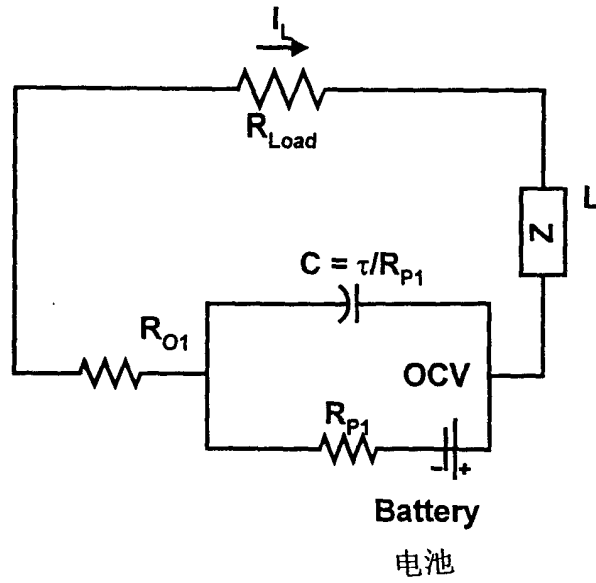


图 5B



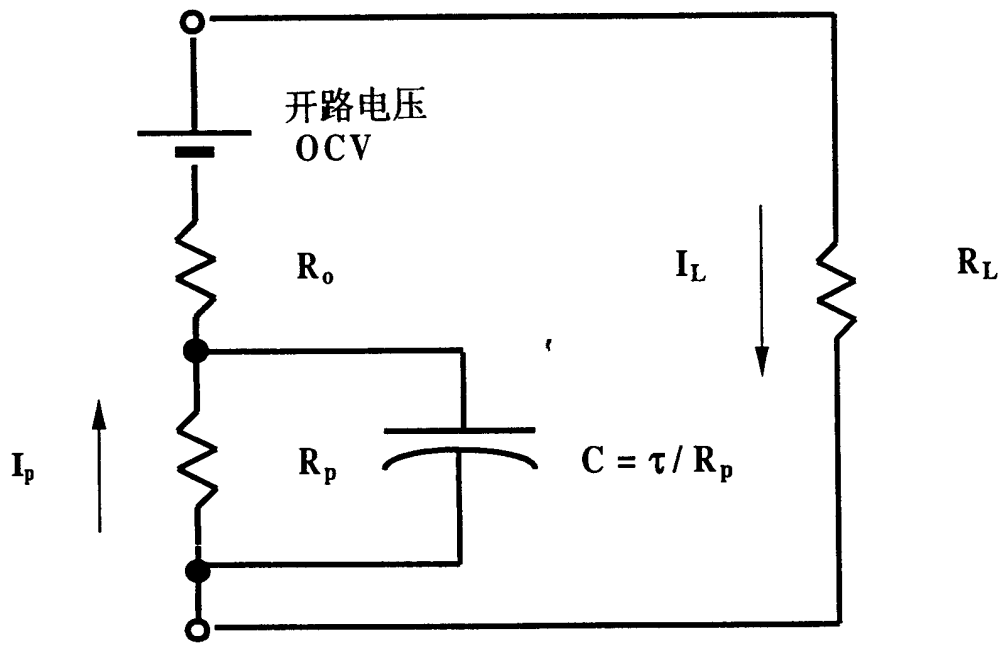


图 6

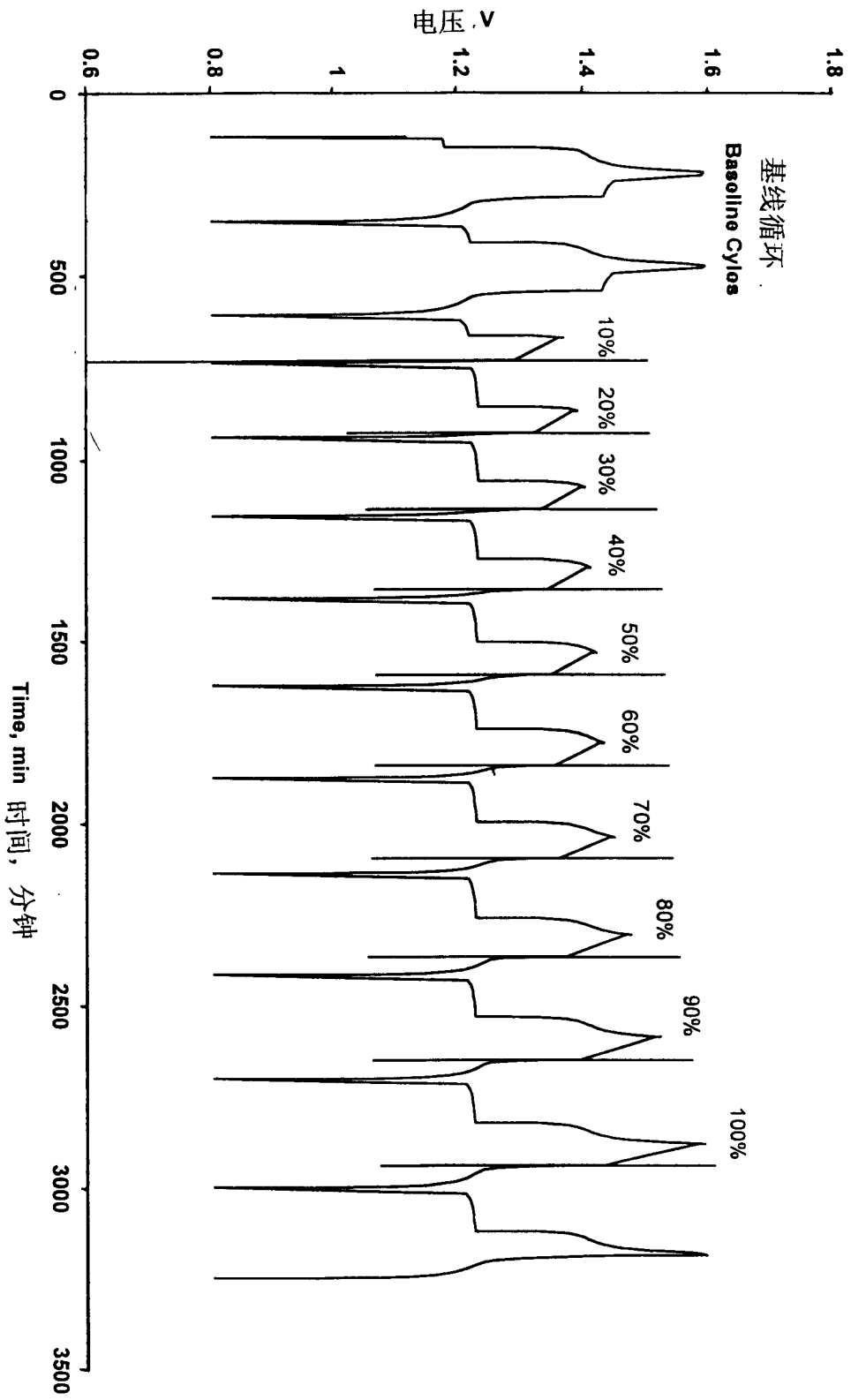
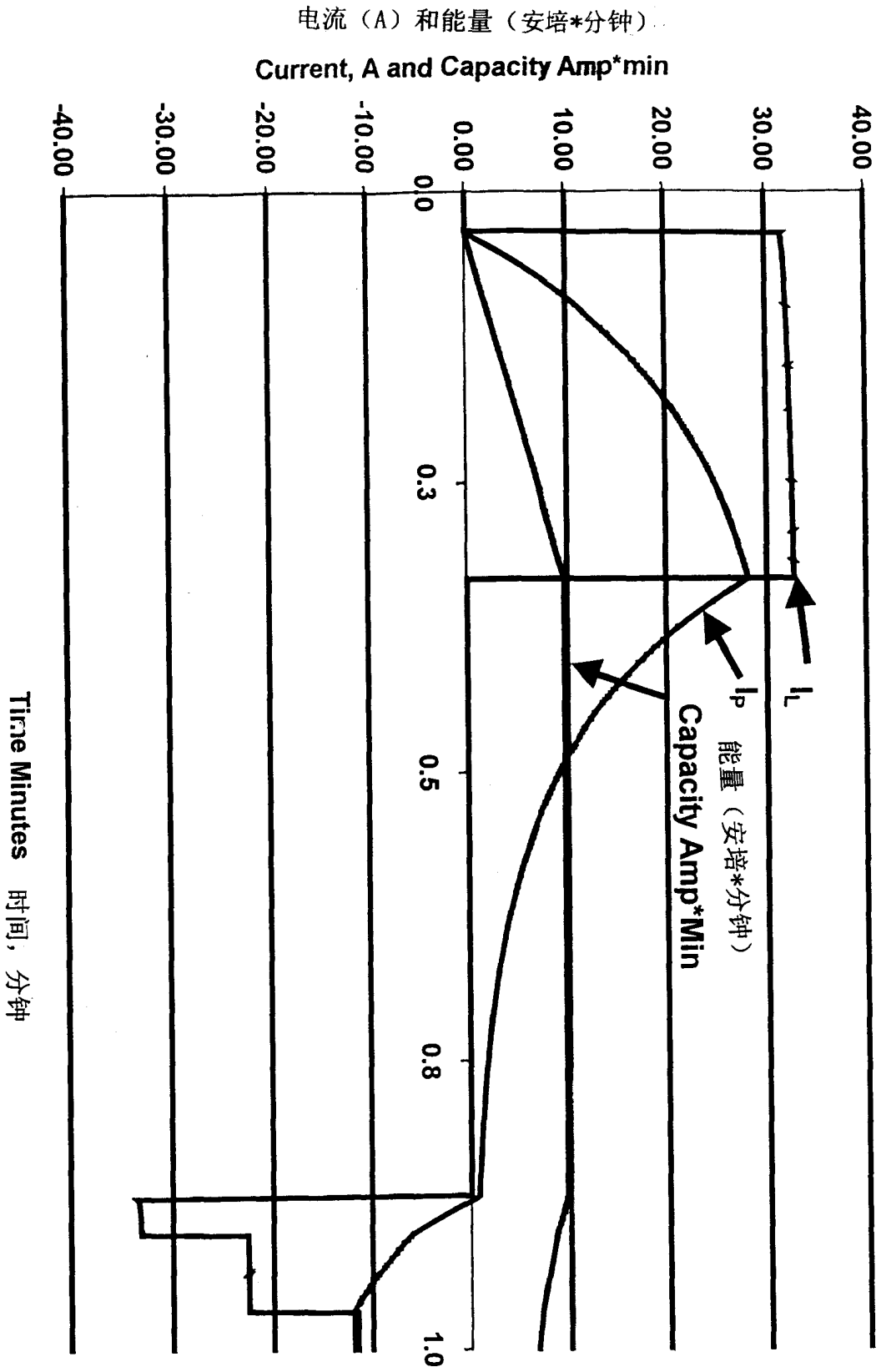


图 7



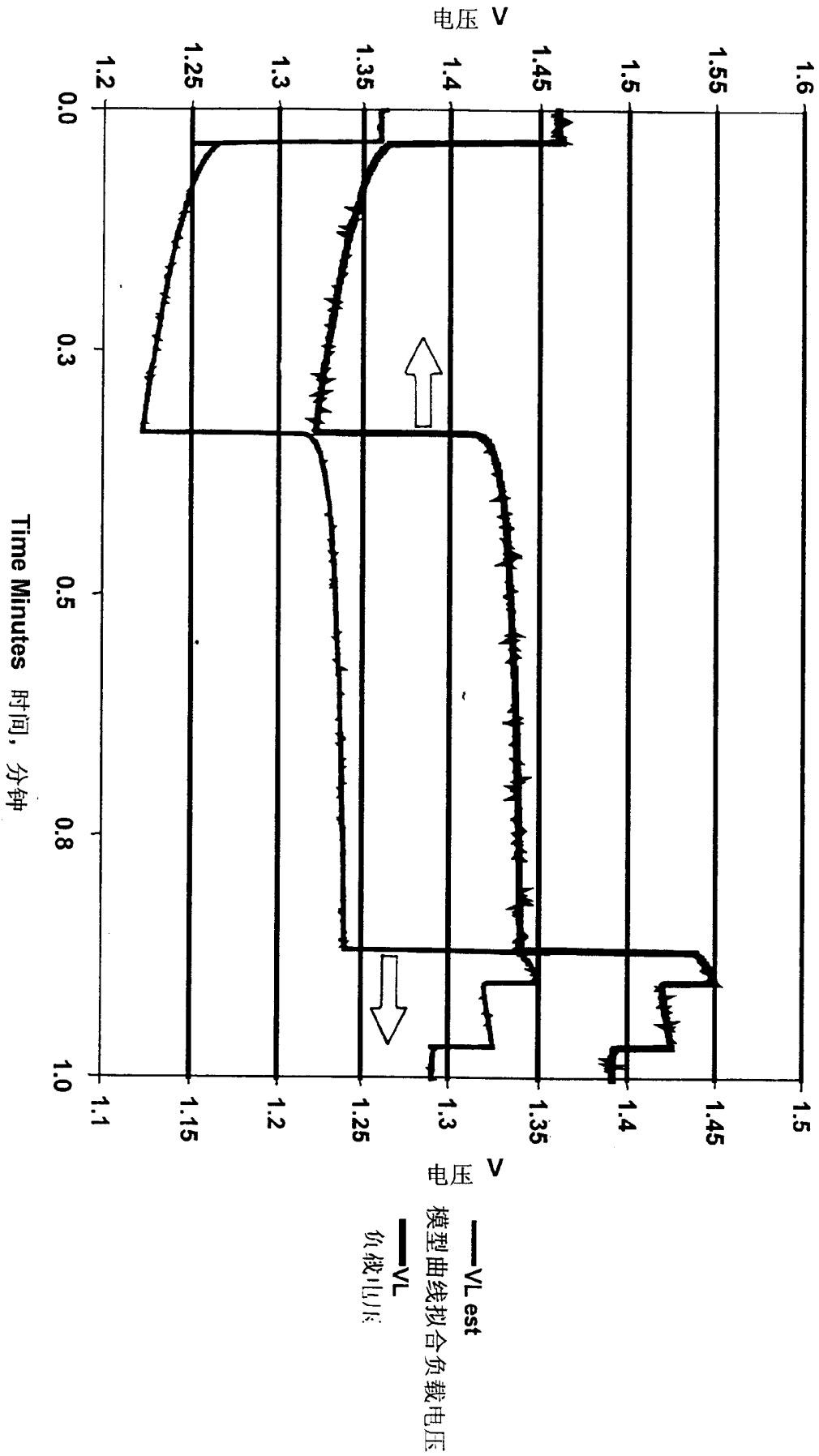


图 8B

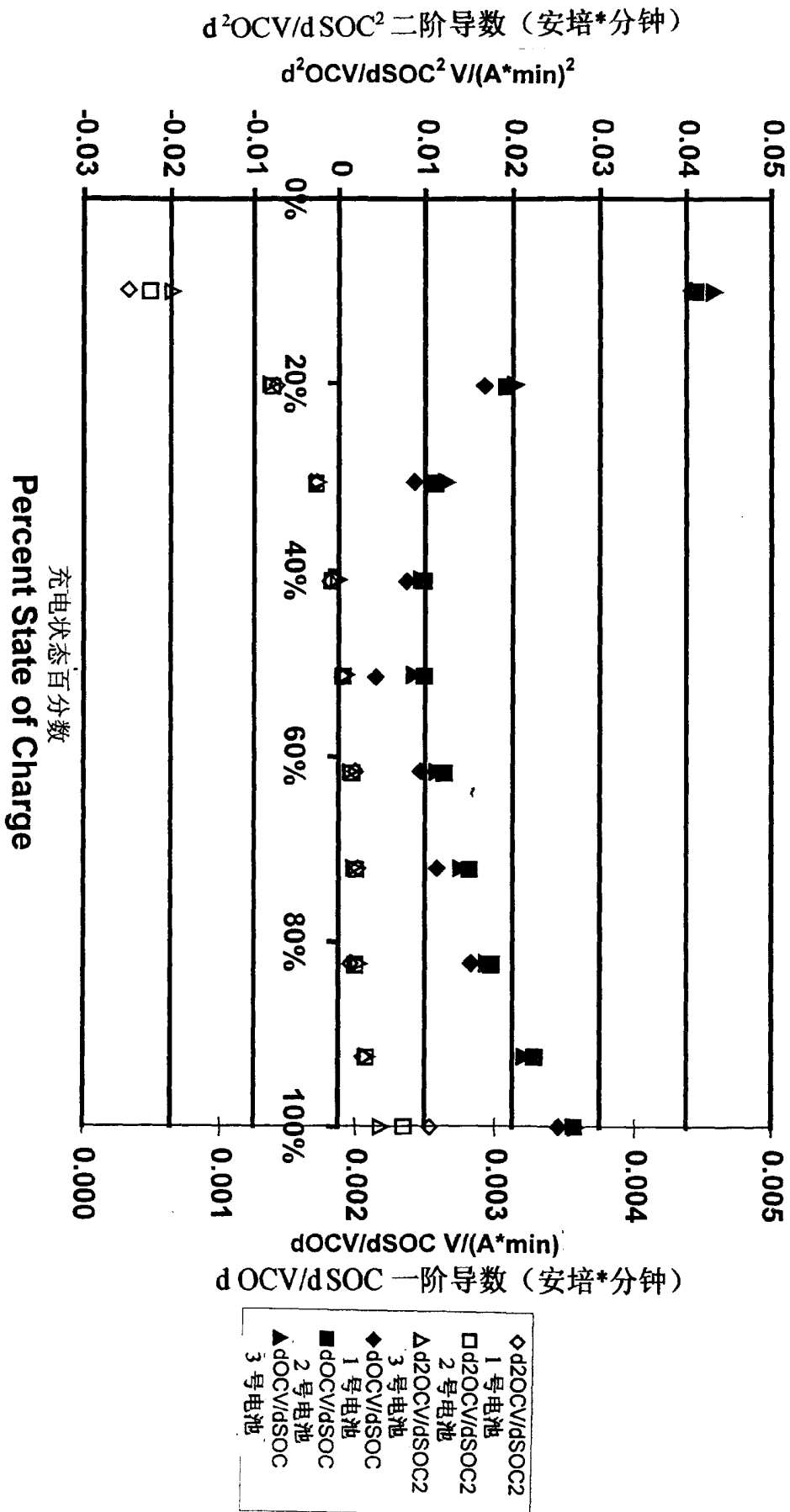


图 9