



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107852011 A

(43)申请公布日 2018.03.27

(21)申请号 201680044260.6

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

(22)申请日 2016.09.09

代理人 赵志刚 赵蓉民

(30)优先权数据

14/849,075 2015.09.09 US

(51)Int.Cl.

H02J 7/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

H01M 10/44(2006.01)

2018.01.29

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/051025 2016.09.09

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/044796 EN 2017.03.16

(71)申请人 德克萨斯仪器股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72)发明人 Y·P·巴尔苏科夫 M·A·威戈

B·P·阿隆基

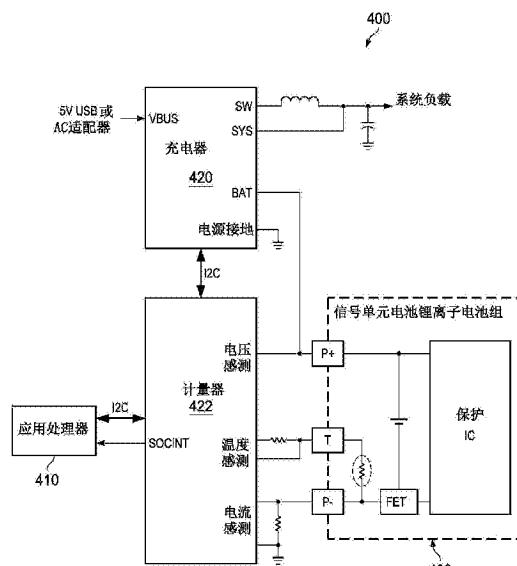
权利要求书3页 说明书11页 附图9页

(54)发明名称

用于优化快速电池充电的方法和装置

(57)摘要

在所描述的用于对具有优化充电的电池快速充电的方法和装置的示例中，系统(400)包括用于将电压施加到可再充电电池(430)的电池充电器(420)，和耦合到电池充电器(420)并且监测电池电压、电池温度和流入电池(430)的电流中的至少一个的控制器(422)。系统(400)被配置为通过计算电池(430)的开路单元电池阳极电压和阳极电阻以及确定充电电流来施加来自电池充电器(420)的充电电流。在附加的布置中，由充电电流来防止锂离子电镀。



1. 一种系统，其包含：

电池充电器，其用于将电流施加到可再充电池；以及
控制器，其耦合到所述电池充电器并且监测电池电压、电池温度和流入所述电池的电流中的至少一个；

其中所述系统被配置为在电池充电循环期间将来自所述电池充电器的充电电流施加到所述电池，所述充电电流通过以下步骤确定：计算开路单元电池阳极电势和计算所述电池的阳极电阻，以及从计算的开路单元电池阳极电势和计算的阳极电阻来确定所述充电电流。

2. 根据权利要求1所述的系统，并且其进一步包含应用处理器，所述应用处理器耦合到所述控制器并且被配置为控制所述电池充电器。

3. 根据权利要求1所述的系统，其中所述系统被配置为使用针对所述阳极电阻存储的参数计算所述阳极电阻。

4. 根据权利要求1所述的系统，其中所述系统进一步包含CPU和在所述控制器中的指令存储，所述指令存储含有被配置为致使所述CPU计算所述充电电流的指令，所述充电电流与计算的开路单元电池阳极电势除以阳极电阻成比例。

5. 根据权利要求1所述的系统，其中所述系统进一步包含数据存储，所述数据存储含有针对所述电池存储的参数，所述针对所述电池存储的参数包括补偿放电深度的阳极电阻参数。

6. 根据权利要求1所述的系统，其中所述控制器进一步包含数据存储，所述数据存储含有针对所述电池存储的参数，所述针对所述电池存储的参数包括补偿电池温度的电阻参数。

7. 根据权利要求1所述的系统，其中所述控制器进一步包含被配置为接收电池电压的输入端、用于所述电池的温度传感器和用于所述电池的电流传感器。

8. 根据权利要求1所述的系统，其中所述控制器被配置为控制所述电池充电器以将所述充电电流施加到所述电池直到达到预定电池电压。

9. 根据权利要求8所述的系统，其中所述控制器被配置为控制所述电池充电器以在达到所述预定电池电压之后将恒定电压施加到所述电池。

10. 根据权利要求1所述的系统，并且其进一步包含锂离子电池，所述锂离子电池耦合到所述电池充电器和所述控制器。

11. 根据权利要求10所述的系统，其中所述系统被配置为施加经计算以避免所述锂离子电池内的锂电镀的来自所述电池充电器的充电电流。

12. 一种用于充电电池的方法，其包含：

提供耦合到电池充电器的控制器；
通过以下步骤在所述控制器中确定充电电流：计算所述电池的开路单元电池阳极电压，以及从所述电池的计算的开路单元电池阳极电压和阳极电阻确定所述充电电流；以及
将来自所述电池充电器的所述充电电流施加到所述电池。

13. 根据权利要求12所述的方法，并且其进一步包含：

确定是否已经达到预定的电池电压；

如果尚未达到所述预定的电池电压，从所述电池的另一个计算的开路单元电池阳极电

压和阳极电阻计算所述充电电流;以及

动态调整所述充电电流并将调整的充电电流施加到所述电池。

14. 根据权利要求13所述的方法,并且其进一步包含:如果已经达到所述预定的电池电压,从开路单元电池阳极电压计算来计算电池电压,以及施加来自所述电池充电器的所述电池电压。

15. 根据权利要求12所述的方法,其中计算所述充电电流进一步包含计算最大充电电流,所述最大充电电流可以被施加而不引起锂电镀。

16. 根据权利要求12所述的方法,其中通过以下步骤确定所述充电电流:计算所述电池的开路单元电池阳极电压,以及从计算的开路单元电池阳极电压确定所述充电电流,其进一步包含:检索对应于由温度参数化的开路单元电池阳极电压的存储的数据。

17. 根据权利要求16所述的方法,并且其进一步包含通过检索由电池的放电深度表征的存储的开路单元电池阳极电压来计算所述开路单元电池阳极电压。

18. 根据权利要求12所述的方法,其中提供所述控制器进一步包含提供耦合到所述电池充电器的电池计量器集成电路设备。

19. 根据权利要求12所述的方法,其中所述开路单元电池阳极电压、放电深度和温度依赖性通过利用三电极电池执行直接测量获得,所述三电极电池包括参考电极、阴极电极和阳极电极。

20. 根据权利要求12所述的方法,其中通过使用三电极电池直接测量全单元电池阻抗和阳极阻抗来获得阳极因子,所述三电极电池包括参考电极、阴极电极和阳极电极。

21. 根据权利要求12所述的方法,其中所述开路单元电池阳极电压、放电深度和温度依赖性通过执行将针对放电深度的全单元电池开路单元电池电压配置文件分解成已知的阳极和阴极开路单元电池电压配置文件来获得,通过优化充电的阳极状态、充电的阴极状态,并且使用阳极与阴极材料的比率来完成分解,以实现针对放电深度的所述开路单元电池电压配置文件OCV (DOD) 与以下关系的最接近匹配:针对所述放电深度的所述开路单元电池电压阴极即OCV阴极 (DOD) 减去针对所述放电深度的所述开路单元电池电压阳极即OCV阳极 (DOD) 。

22. 根据权利要求12所述的方法,其中通过将以电池的标准充电速率和提高的充电速率获得的循环数据拟合到衰降模型来确定电阻因子,所述衰降模型包括依赖所述电阻因子的锂电镀衰降效应。

23. 根据权利要求12所述的方法,其中通过对电池执行脉冲扫描测试来确定电阻因子,其中以不同的速率对所述电池施加充电脉冲、弛豫、放电脉冲和弛豫的组合,直到确定从对充电脉冲的响应导出的有效阻抗不同于从放电脉冲导出的阻抗的速率为止;并且随后,在找到限制性充电速率后,通过使用已知的总单元电池阻抗和针对所述放电深度的所述开路单元电池电压阳极和所述测试的所述电池温度找到所述电阻因子。

24. 一种用于充电锂离子电池的系统,其包含:

具有电池输出端的电池充电器集成电路,所述电池输出端用于将电池充电电流和电池充电电压输出到所述锂离子电池;以及

耦合到所述电池充电器集成电路的电池计量器集成电路,并且所述电池计量器集成电路具有经耦合以感测所述电池电压的输入端,耦合到所述电池的温度传感器,以及耦合到

所述电池的电流传感器；

其中，所述电池计量器集成电路进一步被配置为通过计算开路单元电池阳极电压和阳极电阻来确定用于充电所述电池的充电电流，并且被配置为控制所述电池充电器以输出所述充电电流。

25. 根据权利要求24所述的系统，其中所述充电电流被计算为最大充电电流，所述最大充电电流将导致避免锂电镀的开路单元电池阳极电压。

用于优化快速电池充电的方法和装置

技术领域

[0001] 本申请总体涉及电池充电，并且更具体地涉及在没有因锂电镀而导致的电池衰降情况下的可再充电锂电池的快速充电。

背景技术

[0002] 最近发展了重量轻的可再充电锂电池，其具有在相对小的封装中存储相对大量的能量的能力，其已使得锂电池成为便携式电子设备选择的电源。在被制造之后，锂电池的使用寿命在很大程度上通过使用的类型和所使用的再充电方法决定。锂离子电池的使用主要由消费者决定，但是再充电的类型可由设备制造商和/或充电器制造商决定。尽管电池制造商可以提供再充电指南，但是这些指南通常规定相当保守的充电速率，以将任何不利的电池充电效果最小化。这导致电池再充电时间在2至4小时范围内或者甚至更大的时间。在许多情况下，消费者自然喜欢在更短的时间对便携式设备充电，诸如不到1小时。因此，在为确保长的电池寿命而编写的保守充电指南与在现场的电池使用中的实际做法和偏好之间存在冲突。锂电池组不适当的快速充电可以极大地缩短电池寿命，并且在最坏的情况下，可能导致电池组膨胀或电池组的破裂，并且在某些环境下，快速充电也可以产生可能的火灾风险。

[0003] 电池的容量，被描述为“C”额定值，被定义为一个额定的电池单元在20小时放电循环期间能够传送并且在室温下仍保持在额定电压限制之内的恒定电流之和。例如，20小时能产生电流50mA，同时停留在所描述的电压窗口内的理想电池将具有 $50\text{mA} \times 20\text{H} = 1000\text{mAh}$ 或1Ah的C额定值。一个“完美的”电池在充电和放电期间会有100%的效率。如果一个完美的电池具有1Ah的C额定值，那么它可以1小时传送1A、或2小时0.5A、或10小时100mA，或20小时50mA，等等。此外，通过以1小时1A、或2小时0.5A、或10小时100mA进行充电，具有1Ah的C额定值的完美的电池可以在1小时内被再充电。在电池的充电和电池容量的描述中通常使用的其他术语是充电状态(SOC)和放电深度(DOD)。SOC和DOD二者都具有%单位，并且是恭维的定义。SOC表示与其完全充电状态相比存储在电池中的相对量的能量。DOD表示与其完全充电状态相比已经使用了多少电池能量。例如，对于完美的1Ah电池：如果0.25Ah的耗尽，电池将具有75%的SOC和25%的DOD；并且如果0.5Ah的耗尽，电池将具有50%的SOC和50%的DOD。电池的电压通常被指定为开路单元电池电压(OCV)，其中单元电池电压在没有外部负载的情况下被测量。而满充电容量(FCC)是单元电池在它的寿命中任意给定点上具有满充电的容量。使用上述的完美的电池的示例，当新的时，FCC将是1Ah。随着电池的老化，FCC降低。

[0004] 当电池容量随着电池材料的增加/减少而任意增加或降小时，给定电池化学的电压特性保持独立于电池容量。对于这个原因，单元电池的放电和充电通常根据C额定值来讨论。例如，如果完美的1Ah电池以1C的最大速率放电，那么最大放电速率将是1A。同样完美的电池，以2C最大速率充电，将看见2A的最大放电电流。

[0005] 在可再充电的锂离子电池中，在电极对之间通过锂离子的迁移将能量储存在化学

反应中和在化学反应中重新得到能量。正电极(阴极)和负电极(阳极)都能结合锂离子。在放电期间,锂离子从阳极移动到阴极,在此过程中释放能量。在充电循环中,在阴极和阳极之间产生的电场迫使锂离子回到阳极,在此过程中吸收能量。在某些情况下,包括高C速率的充电,锂离子的小的部分形成金属锂,并且在再充电阶段期间被沉积到阳极上。该锂材料部分地与电解液反应,并且然后对于充电存储不再可用,并且导致电池的容量被减少。这种现象被称为“锂电镀”。锂电镀减少了电池的容量和寿命。

[0006] 在传统的方法中,电池充电法具有两个阶段,其为:恒定电流或“CC”阶段,然后是恒定电压或“CV”阶段。在CC阶段期间,施加被认为是用于电池的安全电流的电流直到单元电池电压达到目标电压为止,诸如4.2伏特,并且然后当电压维持在恒定电压阶段时减小电流,直到当充电停止时电流落到最小值。传统电池充电器也监测条件(诸如温度),并且当温度落到低于最小值(诸如10°C或者0°C)时,很多传统方法可停止充电。

[0007] 图1A是传统的双阶段恒定电流CC和恒定电压CV或“CC/CV”充电过程的流程图。图1B是使用CC/CV过程的典型电池充电循环曲线图。

[0008] 图1A的流程图显示在控制器中使用的用于操作CC/CV充电过程的步骤。步骤110开始此过程。在步骤111,充电过程开始。在这个步骤中,最大电流被施加到电池上。在步骤113,恒定电流阶段开始。在这个阶段,充电过程以预定的最大电流对电池充电。电流可以是从充电器可获得的最大值,或根据制造商说明书考虑安全的最大电流,诸如1C。此过程在步骤113继续,并且进行测试以查看是否已经达到最大电压“Max V”。直到达到最大电压,恒定电流充电通过保持在步骤113而继续。

[0009] 当在步骤113的测试表明已经达到最大电压Max V时,在步骤115,充电过程转换到“恒定电压”操作模式。在恒定电压充电过程期间,随着电池达到满容量,允许进入电池中的电流下降。在步骤117,流入电池中的电流被测试以查看是否已经达到截止限制(测量进入电池中的电流,并发现其小于最小充电电流),并且当达到截止时,过程转换到步骤119(“停止”状态)。

[0010] 在图1B中,充电曲线图120的左侧垂直轴描绘充电电压,其由数据线124表示。右侧垂直轴描绘充电电流,其由数据线122表示。右侧轴的单位标记为C,指示电池的C额定值。底部轴为以小时表示的充电时间。在曲线图顶部附近指示CC/CV充电器的两个不同阶段,其具有如130的CC阶段和如132的CV阶段。

[0011] 在这个示例中最大充电速率是1C,在恒定电流或CC阶段130中由充电电流线122的峰值表示。随着电流线122从CC阶段进入CV阶段的恒定电压到在CV阶段132中的最后的电流值,截止电流近似为0.15C。最大充电电压由CV阶段132中的电压线124的值显示,并且近似为4.2V。在这个示例充电情况下,总充电时间约1小时10分钟,如充电电流线122的终端所示。

[0012] 为了实现更低的再充电时间,在CC阶段中的电流可以被增加到2C或更高。然而,与在更低的速率下(诸如0.5C)充电相比,当在这些更高的速率下重复地充电时,大大地减小了锂电池的寿命和容量。一个期望的充电系统将能够在不加速的电池衰降的情况下以最少的时间量对电池充电。

[0013] 图2是说明单元电池容量随着C速率的增加而衰降的曲线图。在曲线图200中所描绘的数据说明在较高的C速率下对电池充电可能对电池单元的可用容量具有不利的影响,

如由S.S.Chi等人于2002年在电源杂志(Journal of Power Sources)第111卷第1期第130至136页发表的题目为“Factors that affect cycle-life and possible degradation mechanisms of a Li-ion cell based on LiCoO₂”(“影响基于LiCoO₂的锂离子单元电池的循环寿命和可能的衰降机制的因素”)的一篇文章中所描述的。图2的曲线图示出当使用具有充电速率与1.4C同样少的CC/CV充电器时,曲线图中说明的单元电池的容量在500个充电循环中已经下降到其初始容量的约27%。以1C的速率充电的同样化学单元电池,在500个循环之后仍然保持约800mA。如图2中的曲线图所示,更高的恒定电流充电速率使电池快速衰降并缩短电池寿命。

[0014] 电池单元的开路单元电池电压(OCV)可以如下面等式(1)中所示被计算:

$$V_{cell} = V_{cathode} - V_{anode} \quad (1)$$

[0016] 电池电压 $V_{cathode}$ ($V_{阴极}$)和 V_{anode} ($V_{阳极}$)的直接测量通常是通过在电池的电解液区中插入第三参考电极完成的。由于程序的微妙性质,其通常只在实验室环境下由电池制造商执行。当成功时,阳极和阴极电势从具有非常少的循环并且通常在室温下的电池中提取。然而,由于缺少第三参考电极,这些电压在实际使用中对于电池不是可用的。

[0017] 电池衰降被分为两个基本类别:活性材料损失和内部阻抗增加。在第一类别(活性材料损失)中,材料的损失减少了离子过程产生电流所需的可用化学品。虽然电池生产商密封电池,但由于单元电池内部的寄生反应,仍发生一些电解液损失。由于产生的气体,不恰当充电的电池单元组可能展示出膨胀。在极端情况下,此膨胀能够损坏其中安装有电池组的设备。

[0018] 在第二类别(阻抗增加)中,可用于外部负载的能量的可用量通过内部电阻的增加而减少。增加阻抗增加是锂电池单元经历的普遍衰降。内部电阻随着电池的老化和充电/放电循环的数量而增加。进一步,在更低的温度下,内部电阻增加。当内部阻抗增加时,在充电期间锂电镀更有可能,因为增加的内部阻抗负面影响内部电势。由于在较低温度下阻抗增加,一些传统充电器包括截止温度传感器并且不会在某些温度(诸如10°C或0°C)以下充电。然而,阻抗增加也发生在高于这些温度的温度下,并且在室温下可接受的充电可能导致在较低的温度下的锂电镀,特别是随着电池单元老化。

[0019] 锂电镀导致两种类型的衰降,活性材料损失和内部阻抗增加。当锂离子成为锂金属,并且与溶剂反应时,可用于传输电荷的锂离子的数量减少。此外,随着锂金属分解产物在阳极积累,存在较少的位置用于锂离子交换它们的电荷。由于这个双重衰降,期望避免加速锂电镀的条件。锂电镀降低了电池单元的容量和寿命。

[0020] 在锂离子电池单元充电期间,当阳极材料两端的电压下降导致锂单元电池的阳极处的石墨表面电势降至锂电势以下时,锂电镀发生。图3描绘了由锂电镀现象所呈现的充电限制的曲线图300。在曲线图300中,垂直轴是与锂电势相比较的阳极电势的图(以伏特表示)。横轴说明了充电循环的充电状态(SOC)(以百分比表示)。在曲线图的左侧,SOC为0%,并且充电开始。当SOC是表示充满电的100%时充电结束。迹线(trace)305说明了对锂离子单元电池的石墨阳极开路单元电池电压。阳极的OCV在整体充电循环是大于零。然而,迹线307描绘阳极电势与锂电势的比较。对于低温、或快速充电,或对于老化的电池单元,内部电阻可增加,导致阳极电势下降到零或与锂电势相比变成负的。这在图3的区域309内侧示出,其中锂电镀可能发生。因此,锂电镀现象是关于充电速率的限制,该限制可在不损坏电池的

情况下被实现。此外，电池的阻抗随温度改变。由于电池阻抗在较低温度下增加，在较低温度下充电，诸如当在户外或在交通工具中充电时，能引起锂电镀的发生，甚至以在室温下是合适的充电电流的水平充电时能引起锂电镀的发生。

[0021] 期望避免锂电镀，并且因此延长电池寿命，同时维持电池的容量的充电法。美国专利申请序列号为14/014,195，公开于2014年3月6日，申请于2013年8月29日，题目为“METHOD AND APPARATUS OF CHARGING THE BATTERY WITH GLOBALLY MINIMIZED INTEGRAL DEGRADATION POSSIBLE FOR PREDEFINED CHARGING DURATION”（对预定充电持续时间具有全局最小化的整体衰降的电池充电方法和装置），名字为Yevgen Barsukov等人作为发明人，他们共同拥有该申请，在此以全文作为参考被并入本文。以上所涉及的专利申请，在减少锂单元电池的再充电时间方面进行了改进。在特定电池化学过程的实验室测试和建模中，多个充电配置文件(profile)被开发以适应电池老化、阻抗、温度和充电状态(SOC)。通过经验性地表征锂化学过程，可以将一组优化的恒定电流-恒定电压(CC/CV)充电配置文件加载到电池充电装置中。这些充电配置文件可以接下来用来减少整体充电时间同时避免衰降电池的充电条件，其包括由于在高充电速率下锂电镀引起的衰降。上述参考的专利申请中所描述的方法是超越传统方法的步骤，以实现快速电池再充电的目标而不增加单元电池衰降。这种方法需要相当大的计算离线来表征特定的电池单元中的每个，并为所做的每个电池组创建CC/CV充电配置文件。如果修改材料或电池单元，则必须重复这些计算，并且需要新的配置文件。然而，需要充电法的进一步优化进而减小充电时间而不引起附加的电池衰降。

发明内容

[0022] 在所描述的示例中，一种系统包括：用于将电流施加到可再充电池的电池充电器；和耦合到电池充电器并且监测电池电压、电池温度和流入电池的电流中的至少一个的控制器；其中，该系统被配置为在电池充电循环期间将来自电池充电器的充电电流施加到电池，其中所述电流通过以下步骤确定：计算开路单元电池阳极电压和计算电池的阳极电阻，以及从计算的开路单元电池阳极电压和计算的阳极电阻来确定充电电流。

[0023] 在一个进一步的布置中，上述系统进一步包括耦合到控制器的应用处理器，并且该应用处理器被配置为控制电池充电器。在另一个布置中，上述系统被配置为使用针对阳极电阻存储的参数计算阳极电阻。在又一个进一步的布置中，在上述系统中，系统进一步包含CPU和控制器中的指令存储，该指令存储含有被配置为致使CPU计算充电电流的指令，该充电电流与计算的开路单元电池阳极电压除以阳极电阻成比例。

[0024] 在附加的布置中，在上述系统中，该系统进一步包括包含针对电池存储的参数的数据存储，该数据存储包括补偿放电深度的阳极电阻参数。在另一个布置中，在上述系统中，控制器进一步包括含有针对电池存储的参数的数据存储，该针对电池存储的参数包括补偿电池温度的电阻参数。在进一步的替换布置中，在上述系统中，控制器进一步包括被配置为接收电池电压的输入端、用于电池的温度传感器和用于电池的电流传感器。仍然在另一个布置中，在上述系统中，控制器被配置为控制电池充电器以将充电电流施加到电池直到达到预定的电池电压。在一个进一步的替换布置中，在上述系统中，控制器被配置为在达到预定电池电压之后控制电池充电器以将恒定电压施加到电池。在又一个布置中，提供

上述系统,其中该系统进一步包括耦合到电池充电器的锂离子电池和控制器。在另一个替换布置中,在上述布置中,该系统被配置为施加经计算以避免在锂离子电池内的锂电镀的来自电池充电器的充电电流。

[0025] 在另一个布置中,一种用于充电电池的方法包括:提供耦合到电池充电器的控制器;通过以下步骤在控制器中确定充电电流:计算电池的开路单元电池阳极电压,以及从计算的开路单元电池阳极电压和电池的阳极电阻来确定充电电流;以及将来自电池充电器的充电电流施加到电池。在一个进一步替换布置中,上述方法进一步包括确定是否已经达到预定的电池电压;如果尚未达到预定的电池电压,从另一个计算的开路单元电池阳极电压和电池的阳极电阻计算充电电流;以及动态调整充电电流并将调整的充电电流施加到电池。

[0026] 仍然在附加的替换布置中,如果已经达到预定的电池电压,该方法包括从开路单元电池阳极电压计算来计算电池电压,并且施加来自电池充电器的电池电压。在一个进一步替换布置中,在上述方法中,计算充电电流进一步包含计算最大充电电流,其可以被施加而不引起锂电镀。在一个附加的布置中,上述方法进一步包括:其中通过以下步骤确定充电电流:计算电池的开路单元电池阳极电压以及从计算的开路单元电池阳极电压确定充电电流,其进一步包含:检索对应于由温度参数化的开路单元电池阳极电压的存储的数据。在另一个替代布置中,执行以上方法并且进一步包括通过检索由电池的放电深度表征的存储的开路单元电池阳极电压来计算开路单元电池阳极电压。在另一个布置中,在上述方法中,提供控制器进一步包含提供耦合到电池充电器的电池计量器(gauge)集成电路设备。

[0027] 在另一个布置中,一种用于对锂离子电池充电的系统包括具有电池输出端的电池充电器集成电路,该电池输出端用于输出电池充电电流和电池充电电压给锂离子电池;以及耦合到电池充电器集成电路的电池计量器集成电路,该电池计量器集成电路具有经耦合以感测电池电压的输入端、耦合到电池的温度传感器和耦合到电池的电流传感器;其中电池计量器集成电路进一步被配置为通过计算开路单元电池阳极电压和阳极电阻来确定用于充电电池的充电电流并且被配置为控制电池充电器以输出充电电流。在另一个布置中,在上述系统中,充电电流被计算为最大充电电流,其导致避免锂电镀的开路单元电池阳极电压。

附图说明

[0028] 图1A说明传统方法的CC/CV过程的流程图,并且图1B说明图1A的电池充电过程的曲线图。

[0029] 图2是说明使用不同的充电速率的500次循环的电池单元容量的曲线图。

[0030] 图3是电池的充电循环的阳极电势的曲线图。

[0031] 图4是耦合到使用多个布置的电池充电装置的电池的电路图。

[0032] 图5是耦合到使用多个布置的电池充电装置的电池的另一个电路图。

[0033] 图6A是用于电池的优化充电的布置的流程图,以及图6B是使用图6A的过程的电池充电循环的曲线图,以及图6C是与传统的方法相比的使用示例实施例的充电循环的充电时间的比较曲线图。

[0034] 图7是使用多个布置的电池计量器电路的简化框图。

[0035] 图8是将传统的CC/CV电池充电过程测量的电池衰降速率与包含这些布置的优化充电过程比较的曲线图。

具体实施方式

[0036] 在对电池充电时,优化的充电电流应该对电池快速地充电,同时避免由于锂电镀而导致的电池衰降。在所描述的用于对电池充电的方法和系统的示例中,使用对开路单元电池阳极电压的计算来以某种方式计算充电电流,其避免锂电镀问题,并且这些布置可以用于以优化电流对电池充电。

[0037] 通过使用示例实施例的有利的方法和装置,可再充电的电池或电池组能够快速充电,使用针对再充电被优化的充电电流,同时避免锂电镀。方法在充电循环期间动态地调整充电电流以避免锂电镀状况(该状况否则会发生),因此延长电池寿命并在许多循环上维持电池容量,这与传统充电方法形成鲜明的对比。

[0038] 示例实施例包括在电池充电器方面和用于充电锂离子电池的方法方面的改进。在充电期间避免电池衰降在较大量数的循环上维持了电池单元电池容量在较高的水平,同时延长电池寿命。示例实施例有助于避免由于不恰当的充电对电池单元和其中安装有电池单元的装备的损坏。

[0039] 在不同的图中对应数字和符号通常指代对应部分,除非另外指出。绘制这些图以清晰地说明说明性的示例布置的相关方面,并且不一定按比例绘制。

[0040] 包含示例实施例方面的说明性布置的各种示例的制造和使用在下面详细讨论。此外,所公开的说明性示例提供了许多可以在各种各样的具体背景中体现的可适用的创造性概念。所讨论的具体的示例和布置仅仅是说明性的具体方法以制造和使用各种布置,并且所描述的示例不限制说明书的范围,它们也不限制所附的权利要求的范围。

[0041] 例如,当本文使用术语“耦合(coupled)”以描述组件之间的关系,如说明书和所附的权利要求中使用的术语将被广义地解释,并且同时术语“耦合”包括“连接”,术语“耦合”不限制于“连接”或“直接连接”,但是,相反术语“耦合”可能包括用中间组件建立的连接,并且可以在被描述为“耦合”的任何组件之间使用附加组件和各种连接。

[0042] 本文公开的布置可以以各种方式实现。例如,这些方法可以通过执行指令的可编程设备来实现和执行。这些方法可以在软件或固件或机器语言指令中实现。可替代地,可编程逻辑可以用来形成专用的硬件解决方案。可被配置为执行这些方法的设备,包括现场可编程门阵列(FPGA)、复杂逻辑可编程设备(CPLD)和应用专用集成电路(ASIC)可用于实现这些布置。可以使用诸如CPU、微控制器单元(MCU)、混合信号处理器(MSP)或数字信号处理器(DSP)等处理器和包括RAM、ROM、闪存、易失性和非易失性类型、EEPROM等的存储器。这些布置可以使用在电路板或模块上形成完整解决方案的几个商业上可用的集成电路来实现。

[0043] 示例实施例的方面包括最大寿命电池充电器和方法。在这种布置下,充电装置被专门配置为使用充电算法对锂电池充电,其中充电电流被优化为最大电流水平,可使用该电流水平而不使阳极电极电势降低低于锂金属的电势,并且因此不造成锂电镀。这些方法包括恒定阳极电势(CAP)阶段和随后的恒定电压(CV)阶段。这些布置允许锂电池单元在尽可能短的时间内以优化充电电流充电,而不会由于锂电镀而加速电池衰降。与传统方法形成鲜明对比,动态调整充电电流以在充电循环的第一部分CAP阶段期间在持续的基础上提

供优化的最大充电电流,该CAP阶段大致对应于先前的“恒定电流”阶段。充电电流被调整以防止由过充电引起的锂电镀和电池衰降。该方法布置包括关于电池的老化、放电深度和温度的信息,并在给定时间通过对电池内的条件进行建模并且通过在持续的基础上执行计算和动态调整充电电流以反映那些条件来避免过充电。该模型包含有关阳极电势的信息,因此避免使用传统解决方案可能发生的锂电镀。

[0044] 图4说明可使用示例实施例的电池充电和监测装置的典型示意图。在电路400中,应用处理器410被耦合到电池单元计量器422。例如,电池单元计量器422可以是独立的集成电路。电池单元计量器422也可以作为电路板或系统实施,或在一个替代布置中,作为固件实施,该固件包括用于可编程微处理器的指令。电池单元计量器422被耦合到锂电池单元430和充电器420。再次,充电器420在典型的示例中可以是独立的集成电路。替代性地,充电器420可以是电路板或系统。充电器420被耦合到计量器422和电池单元430。在这个示例布置中,电池单元计量器422和标记为“电压感测”的输入端监测电池电压、在标记为“温度感测”的输入端监测电池温度以及在标记为“电流感测”的输入端监测电池电流。在这个布置中的操作期间,例如,电池单元计量器422可作为集成电路或电路板实现,在充电循环期间使用标记为I2C的接口运行充电器420。当系统在电池功率下工作时,电池充电器420从电池430向系统负载提供电力,而电池计量器422可以向系统提供关于电池状态的信息,诸如剩余工作时间。当电力被施加到充电器420的V_{BUS}输入端时,系统负载由所提供的DC电源供电,充电器420用于对电池430充电。

[0045] 图5说明可使用示例实施例的电池充电和监测装置的另一种布置。在布置500中,应用处理器510被耦合到充电器520并且被耦合到计量器522。计量器被耦合到处理器510和锂离子电池组530。充电器520被耦合到应用处理器510和锂离子电池组530。计量器522监测电池电压、电池电流和电池温度。在图5的布置中,应用处理器510使用I2C接口总线使用由电池计量器装置522提供的信息控制充电器520。实施燃料计量器和电池充电器以形成电池管理解决方案的一系列产品可从德克萨斯仪器股份有限公司商业购得。一个示例商业上购得的电池计量器装置是BQ27530电池管理单元阻抗跟踪燃料计量器(BQ27530Battery Management Unit Impedance Track Fuel Gauge);一个示例电池充电器装置是BQ24161。附加的电池计量器和电池充电器IC也是从德克萨斯仪器股份有限公司购得的。

[0046] 在这两种布置400和500中,许多电池参数(诸如充电和放电循环的次数、完全充电容量、阻抗、电压、温度、SOC和日历寿命)被捕获并存储在计量器422或处理器510内的存储器中,使得电池组430或530能够以有效和安全的方式充电。进一步,在电池被供电操作期间,电池计量器和/或应用处理器可以向系统提供剩余工作时间的估算,以便向用户显示。例如,使用电池参数,计量器422或522可以感测温度、电流和电压。

[0047] 示例实施例的方面描述系统的配置,其包括充电装置,以基于计算最大充电电流(I_{CH_MAX})的优化水平连续地提供充电电流,如下面方程(2)所示:

$$[0048] I_{CH_MAX} = OCV_{AN}(DOD, T) / R_{AN}(DOD, T) \quad (2)$$

[0049] 其中: I_{CH_MAX} 是最大充电电流,其被传送到单元电池; OCV_{AN} 是在当前温度和放电水平处的阳极电极的估算的开路单元电池电压; R_{AN} 是阳极的电阻;DOD是放电深度;以及T为以度C为单位的温度;

$$[0050] OCV_{AN} = OCV_{AN25}(DOD) + OCV_B(DOD) * (T - 25) \quad (2A)$$

[0051] 其中:OCV_{AN}是在方程(2)中的阳极电极的估算的开路单元电池电压;OCV_{AN25}是在25°C的OCV_{AN};以及OCV_B是对于开路单元电池电压在所给定温度下的温度补偿系数;

$$R_{AN}(DOD, T) = (R_A(DOD, T) - R_{TRACE}) * F_{ANODE} \quad (2B)$$

[0053] 其中:R_{AN}是来自方程(2)的阳极电极的电阻,补偿放电深度(DOD)和温度(T);R_A是补偿DOD和T的阳极的电阻;R_{TRACE}是在单元电池阻抗的测量中存在的所有寄生电阻的和;以及F_{ANODE}是阳极因子,总的单元电池电阻和阳极电阻之间的比率;

[0054]

$$F_{ANODE} = \frac{(AN_{SHARE}(R_{PRESENT} - R_{NEW})) + ((R_{NEW} \cdot R_{TRACE})F_{ANODE0})}{(R_{PRESENT} - R_{TRACE})} \quad (2C)$$

[0055] 其中:F_{ANODE}是来自方程(2B)的阳极因子;AN_{SHARE}是阳极对总的单元电池阻抗的贡献;R_{PRESENT}是最后记录的单元电池阻抗值;R_{NEW}是当单元电池是新的时的单元电池阻抗值;R_{TRACE}是整个阳极迹线的阻抗值;F_{ANODE0}是F_{ANODE}的初始值;以及使用由离线单元电池特性描述收集的数据,F_{ANODE0}的值和AN_{SHARE}的值被提供给充电器。

[0056] 已经发现方程(2)、(2A)、(2B)和(2C)提供了用于动态调整在持续的基础上施加于电池的充电电流的能力,以确保阳极(OCVan)处的开路单元电池电压被维持在正电压,并且使用恒定阳极电势(CAP)。在示例实施例中,执行包含这些计算的方法,在优化充电电流下对电池充电,同时避免锂电镀,从而避免过早的电池衰降。可以在保持健康的电池组的同时尽可能快地执行充电,并且因此电池组的寿命可以延长到“最大寿命”,即有比使用传统方法获得的电池寿命更长的许多循环。

[0057] 使用这些方程,需要一定的参数信息。在示例实施例的一个示例方面中,通过用包括参考电极、阴极电极和阳极电极的三电极电池执行直接测量来获得开路单元电池阳极电压、放电深度和温度依赖性。

[0058] 在另一个替代的布置中,通过使用包括参考电极、阴极电极和阳极电极的三电极电池执行全单元电池阻抗的直接测量和阳极阻抗的直接测量来获得阳极因子。

[0059] 在又一个进一步替代的布置中,开路单元电池电压阳极、放电深度和温度依赖性参数是通过执行将针对放电深度(DOD)的全单元电池开路单元电池电压配置文件分解成已知的阳极和阴极开路单元电池电压配置文件来获得的,通过优化充电的阳极状态、充电的阴极状态和电池的阳极材料与阴极材料的比率来完成分解,以达到针对放电深度的开路单元电池电压配置文件OCV(DOD)与以下关系的最接近匹配:针对放电深度的开路单元电池电压阴极(OCV阴极(DOD))减去针对放电深度的开路单元电池电压阳极(OCV阳极(DOD))。

[0060] 在一个进一步的布置中,通过将以电池的标准充电速率和提高的充电速率获得的循环数据拟合到电池衰降模型来确定所述电阻因子,所述衰降模型包括依赖所述电阻因子的锂电镀衰降效应。

[0061] 在另一种布置中,通过对电池执行脉冲扫描测试找到所述电阻因子,其中以不同的速率对所述电池施加充电脉冲、弛豫、放电脉冲和弛豫的组合,直到确定从对充电脉冲的响应导出的有效阻抗不同于从放电脉冲导出的阻抗的速率为止。随后,在找到限制性充电速率后,通过使用已知的总单元电池阻抗和针对所述放电深度的所述开路单元电池电压阳极和所述测试的所述电池温度找到所述电阻因子。

[0062] 图6A是对电池充电的示例方法布置600的流程图,以及描绘充电电压和电流的相

应曲线图。该方法使用CAP/CV两个阶段方法。如所示，方法600具有耦合到下列连续块的开始块610:618、620、622、630、632、636和640。块612被耦合到块618和632。块614和块616被耦合到块620。块616也被耦合到块632。块634被耦合到判定块636。流程图的第一部分，从开始块610到块622，执行由图6B的曲线图602中的括号646指示的充电操作的恒定阳极电势优化充电 (CAP)。流程图的第二部分，在块630中到块640处的停止被执行，执行由曲线图602中的括号648指示的充电操作的恒定电压 (CV) 阶段。

[0063] 在图6B中的曲线图602描绘了图6A的CAP/CV充电。充电电流在曲线638中显示，并且在曲线634中显示了充电电压。左侧垂直线或Y轴指示单元电池电压，右侧Y轴指示以电池容量 (C) 或“C”额定值为单位的充电电流。水平线或X轴说明以小时表示 (hr) 的充电时间。曲线图602的部分646说明恒定阳极电势充电 (CAP) 阶段，并且传统的CV阶段在部分648中示出。图6B中的时间括号646和648对应于图6A中的流程图600中具有相同的数字的括号。

[0064] 在开始充电过程之前，充电电路的最大充电电流容量对由块614 (装置最大安培 (Amp)) 表示的过程是可用的。尽管在这里显示的示例布置中，从方程 (2) 中获得的在优化电流充电过程期间被应用的最大电流在示例实施例的充电方法中被动态地且连续地计算，但是该计算出的电流可超过特定充电器在过程的某些部分中可以实际提供的电流的量，在这种情况下，电流仅限于那时的装置最大安培值。类似地，锂电池化学过程的最大单元电池电压对于由块616 (电池最大电压) 表示的过程是可用的。在块634 (完全充电容量) 中初始FCC (完全充电容量) 是可用的，并且通过电池充电和通过将数据存储在读取/写入存储器中的监测装置在锂电池单元的寿命期间更新和维护该值。在工厂的单元电池特性描述的电池数据和额外的“实时”数据 (诸如温度、阴极电压和电流) 在块612 (电池数据) 中是可用的。

[0065] 用于存储数据的检索和存储更新数据的各种存储方法利用电池充电装置提供。例如，来自制造商或工厂的电池数据可以被提供为ROM、EPROM或闪存中的查找表 (LUT)，其在没有电源可用时保留数据。例如，计算最大电流所需的数据由如图4和图5中所示的电池计量器电路提供，或从存储在存储器中的值提供，这些值可由电池充电装置使用，以便在方程 (2)、(2A) 和 (2B) 中进行计算。另外，例如，阳极因子Fanode是根据电池制造商或充电器制造商所做的测量来存储，并且可以作为查找表被存储。

[0066] 在图6A的流程图中，充电过程在步骤610开始，并继续前进到块618处的开路单元电池阳极电压 (OCVAN) 的计算。计算使用方程 (2A) 和 (2B) 执行。该方程考虑到电池数据612处的信息，其包括单元电池阻抗、电池寿命、DOD和单元电池温度，这些信息由该特定锂电池单元的充电装置记录。在流程图的块620中，使用开路单元电池阳极电压OCVan执行方程 (2) 来确定当以某一方式充电时可施加的最大充电电流 (ICH_MAX)，以防止锂电镀。充电过程的充电电流受ICH_MAX的限制。在一个示例中，充电器基于充电器的最大电流容量614只能提供较低的电流 (装置最大安培)，则该较低的电流将是用于该时间段的最大充电电流。块620还理解最大充电电压并将限制充电电流以确保不超过最大电池电压616。在充电电流的设置620之后，在块622中形成测试和判定。在块622中执行的测试确定单元电池电压现在是否等于或已经超过最大单元电池电压。如果为假，则充电电流的持续估算继续返回块618处继续。否则，如果已达到最大电压，则充电过程退出CAP阶段并继续前进到恒定电压或CV阶段开始的块630。在CAP过程步骤618至622期间，充电装置 (诸如图4中的400或图5中的500) 继续更新各种电池数据612，包括DOD、电池老化、电池电压和温度，这允许做出新的阳极电压

和阳极电阻的计算以保持恒定的阳极电势 (CAP) ,因为不能测量OCV_{阳极},并且因此必须如方程(2)中所示对其进行计算。

[0067] 在CV充电阶段,从图6A中的步骤630开始,在一个示例中,使用方程(2A)和(2B)计算开路单元电池阳极电压(OCVAN)。这些方程考虑到电池数据612,其包括如由这个特定的锂电池单元的充电装置记录的电池阻抗、电池老化和DOD以及单元电池温度。随着OCVAN与最大电池电压616和电池数据612一起被确定,在块632中将充电电压设置为电压的降低(lower)。如在曲线图602中所示的CV阶段648中的电流数据638中所指示的,为了满足充电电压的降低,充电电流638通常下降。在块636中执行充电电流的测试。最终充电电流ICUTOFF可被确定为完全充电容量634的一部分,通常为5%至10%。当充电电流小于预定的ICUTOFF时,在块640中终止充电。否则,流程循环回到块630,在块630再次计算OCVAN。

[0068] 在图6B中的曲线图602通过显示CAP/CV充电器的采样充电电压和充电电流数据来描绘在示例实施例中描述的CAP/CV充电器的操作。在曲线图602中,CAP阶段由时间框架646指示,CV阶段由时间框架648指示,并且这两个时间框架与曲线图602中的数据线对齐。虚线指示CAP/CV充电器的充电电压,其中CAP/CV充电电流为曲线638,并且CAP/CV充电电压为曲线634。在这个示例中,充电器的最大充电电流容量为1.35C,并且最大电池充电电压为4.20V。

[0069] 利用当前应用的各个方面,CAP充电电流632开始于曲线图602中的1.35C的充电器最大电流。电流由充电装置的最大容量限制。在右侧靠近0.5小时的位置的充电电流数据线632之后,电流水平下降到1.35A的最大电流以下,由此保护电池以防止否则会发生的锂电镀。充电电流被减小到接近0.9C的1C充电水平以下,并且然后逐渐上升在CAP阶段646的末端处回到接近1.0C。对于充电(CV阶段648)的最后部分,已经达到最大电池电压,因此充电电流被连续地减小直到其下降到截止电流以下。在那个时间处,充电终止。

[0070] 在这个示例中描绘的CAP/CV充电配置文件依赖于电池的老化、SOC、温度和充电器容量,并且因此不是布置可产生的唯一充电配置文件。此外,可取的是将诸如10%至20%的防护带(guard band)并入到方程(2)的计算中,以确保不会由于测量容差或计算舍入误差而发生锂电镀。

[0071] 图6C将使用示例实施例的示例CAP/CV充电布置获得的结果与常规方法的恒定电流/恒定电压(CC/CV)充电循环进行比较。曲线图650是以术语C速率在垂直轴上描绘的充电电流(电流)与水平轴上的以小时表示的充电时间相比的图。线653描绘了示例实施例的CAP/CV方法的充电电流和充电时间,而线655描绘了传统CC/CV充电方法所获得的结果。在这个示例中,CAP/CV方法所需的总时间刚超过1小时。传统方法的CC/CV循环所需的总时间约为1.75小时。CAP/CV方法时间0小时以一个相对较高的电流水平开始充电,并且这个电流最初被增加到2C速率以上。然而,随着动态调整的电流被确定,充电电流被降低,以避免锂电镀的可能性。在达到最大电压后,电流继续减小到充电时间的结束(最后阶段是恒定电压阶段)。作为对比,传统的方法以恒定电流开始,在曲线图650中恒定电流被减小到小于1C并维持长的时间(超过1小时),然后(在达到最大电压后)电流下降直到充电循环结束。

[0072] 如图6C中的曲线图650所示,具有示例实施例的优化充电电流的CAP/CV方法的使用因此导致了大大缩短的充电时间,同时避免了锂电镀,增加了电池寿命和在电池寿命中保持充电容量(因为也避免了内部电阻的增加)。

[0073] 图7描述了用于实施图6的方法布置的装置(诸如电池计量器)的简化电路图。在图7中,在简化的电路图中所示的电路700可作为独立的集成电路,作为较大集成电路的一部分、或者作为电路板或模块实施。电池电压(BAT)、温度传感器(Temp)和充电状态(SOC)的输入被输入到多路复用器701。多路复用器701的输出被馈送到至少一个模拟数字转换器(ADC)703。模拟数字转换器输出数字数据以供CPU 705使用。CPU 705进一步被耦合到被标记为指令存储709的存储器,该存储器用于存储指令。例如,这些指令可以包含用于配置CPU 705以执行图6A的CAP/CV方法的程序代码。此外,CPU 705被耦合到数据总线DATA,该数据总线DATA被耦合到静态RAM 711和非易失性存储数据存储713用于存储电池参数,诸如阳极因子Fanode、Ranode和电池的老化、循环次数,用于计算电势OCV_{阳极}、Ranode的温度补偿因子、和上面所示方程的其它参数。例如,数据存储713可以包括作为查找表(LUT)存储的数据。如上面图4和图5中所示,电池计量器电路700可耦合到电池充电器和/或应用处理器,例如,使用I2C接合I2CA 717和I2CB 719。

[0074] 图8描绘电池衰降的比较曲线图,在垂直轴上绘制的百分率/秒和在水平轴上的时间。优化的充电配置文件(诸如可以用图6A方法实现)与传统的恒定电流/恒定电压或CC/CV方法相比。传统方法的衰降在约0.4和0.6小时之间具有峰值。电池的这一峰值衰降表明,对于充电循环的那部分,正在发生锂电镀。对于优化的充电配置文件,诸如使用本文描述的示例实施例的布置实现的充电配置文件,电池衰降曲线相当恒定,并且不指示锂电镀问题。发生这是因为所使用的充电配置文件被布置以避免引起锂电镀的条件。示例实施例使用充电配置文件的第一部分中的充电电流的连续动态调整,因此保持恒定阳极电势(CAP)。布置的这一阶段大致对应于传统方法的“恒定电流”部分。然而,在示例实施例中,以确定的方式执行充电,以避免传统方法的锂电镀现象。

[0075] 如上所述,在某些布置中,电池计量器可以控制电池充电器。在其他布置中,电池计量器可以向应用处理器提供感测的和存储的数据参数,然后应用处理器可以控制电池充电器。在另一个示例布置中,电池充电器和电池计量器电路可以作为单个的集成电路实施。

[0076] 还可以以步骤的顺序和步骤的数量进行各种修改,以形成结合示例实施例的方面的附加布置,并且这些修改将形成附加的替代布置。

[0077] 在所描述的实施例中,修改是可能的,并且在在权利要求的范围内,其他实施例是可能的。

[0078] 此外,示例实施例范围不意在限于此说明书所述的过程、机器、制造以及事物的组合手段、方法和步骤的特定说明性示例布置。如本领域普通技术人员从本公开将容易地了解到的,与本文描述的相应示例布置相比执行基本相同的功能或达到基本相同的结果的目前现有的或以后要发展的过程、机器、制造、事物的组合、手段、方法或步骤可以根据所展示的说明性的布置和所描述的、建议的或公开的替代性的布置被使用。因此,所附权利要求意在将这些过程、机器、制造、事物的组合、手段、方法或步骤包括在其范围内。

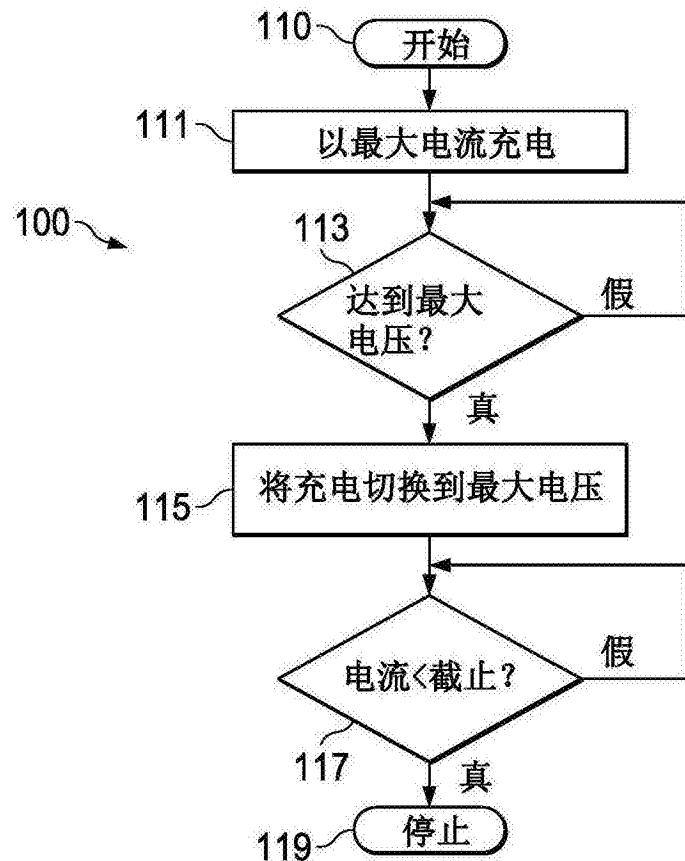


图1A(现有技术)

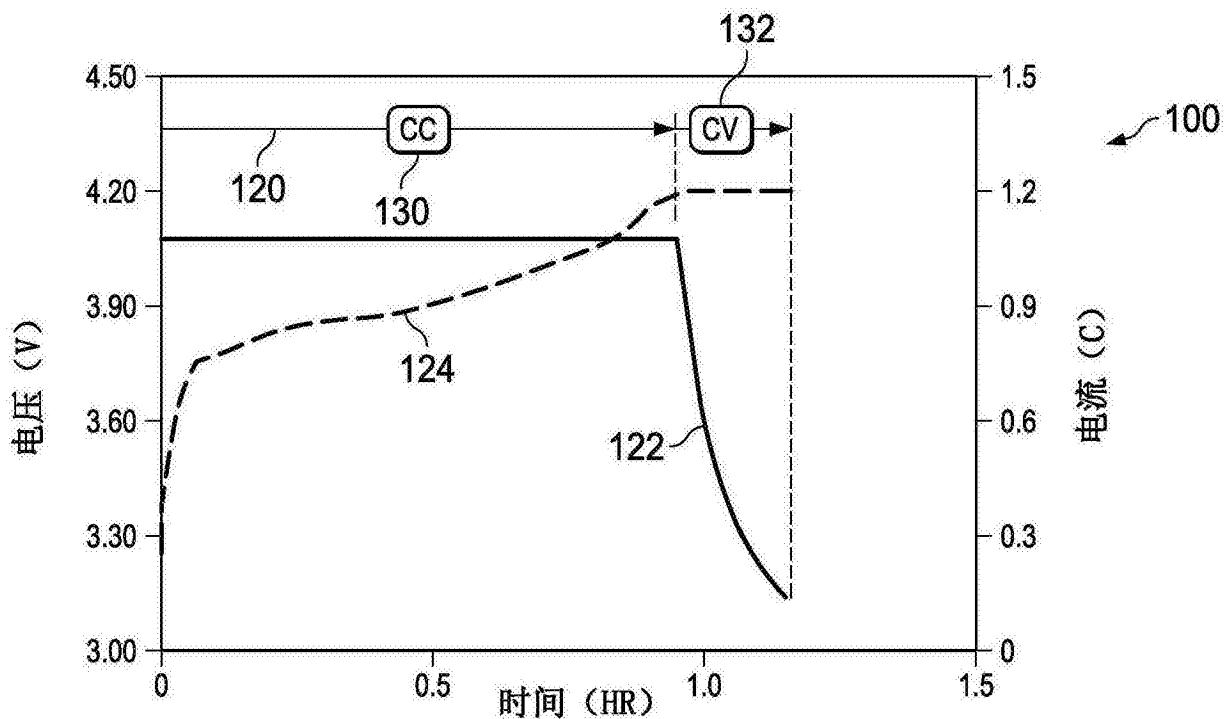


图1B(现有技术)

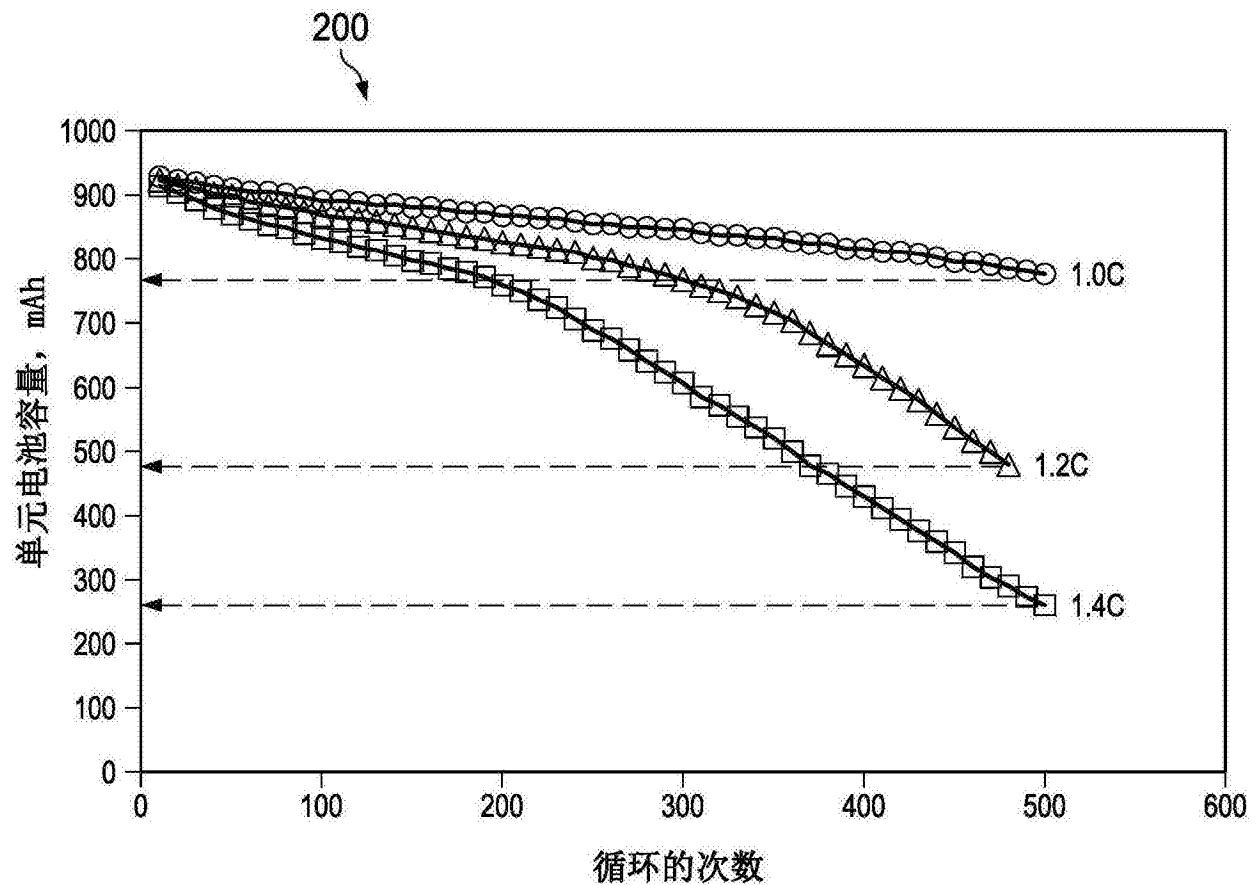


图2

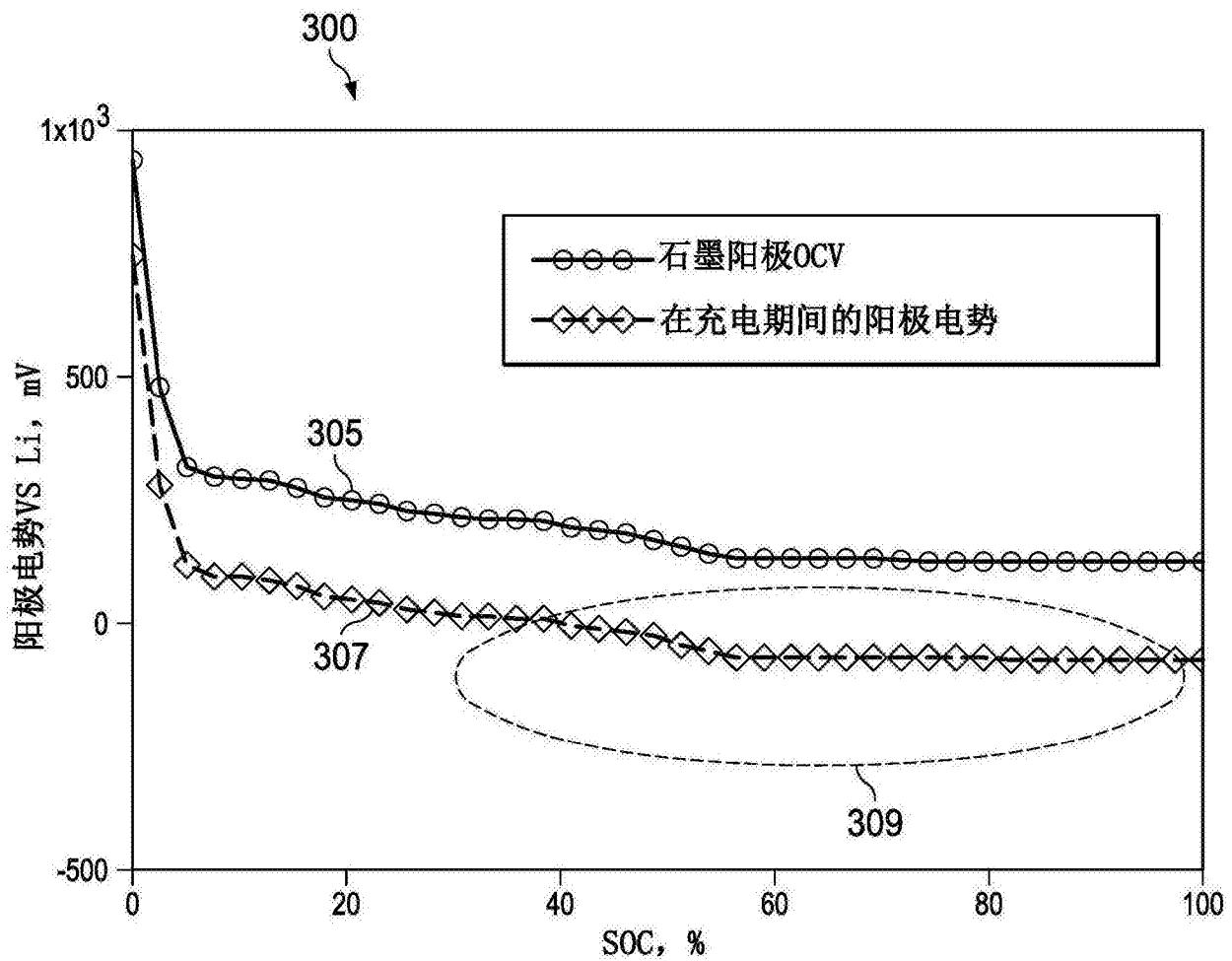


图3

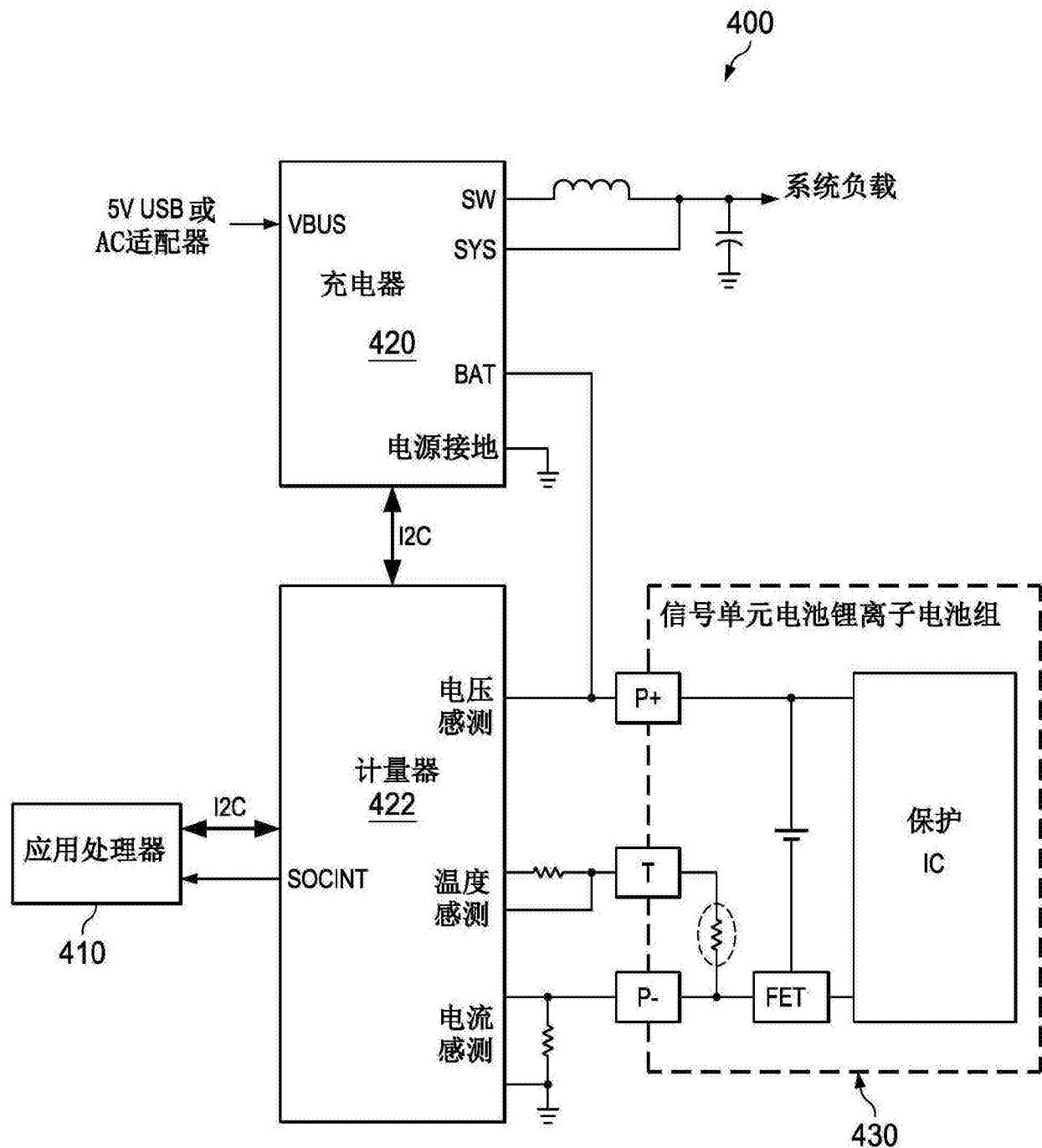


图4

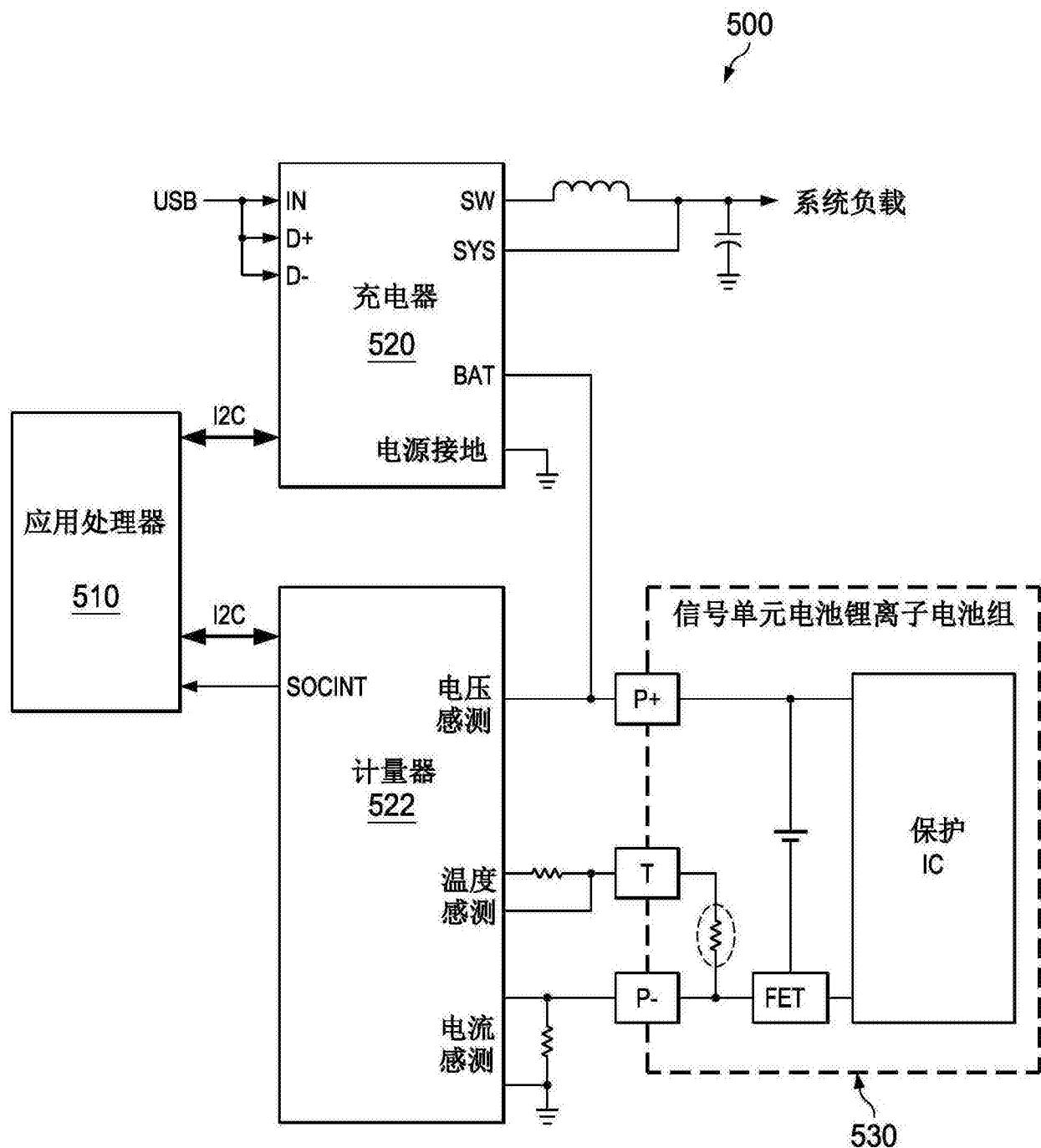


图5

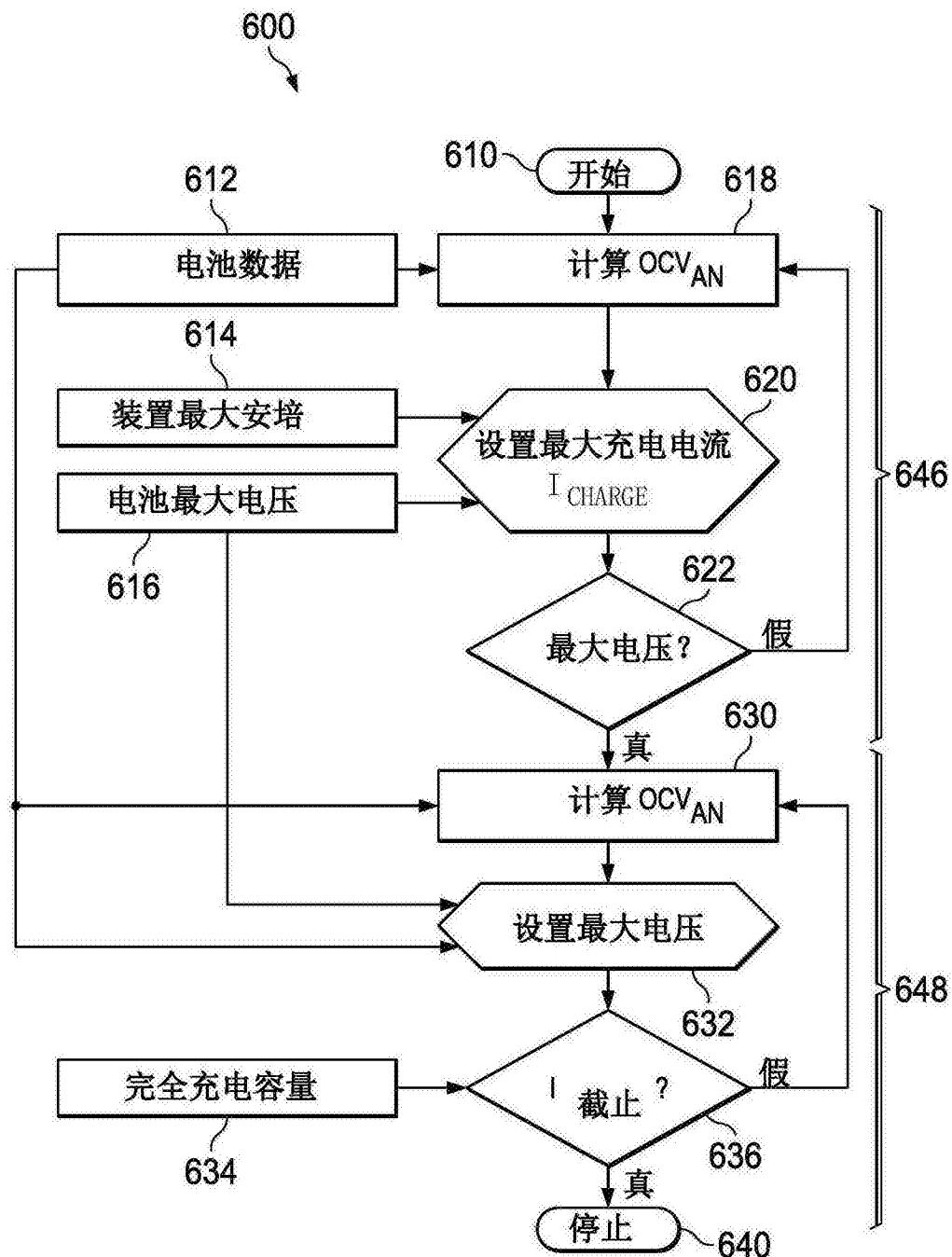


图6A

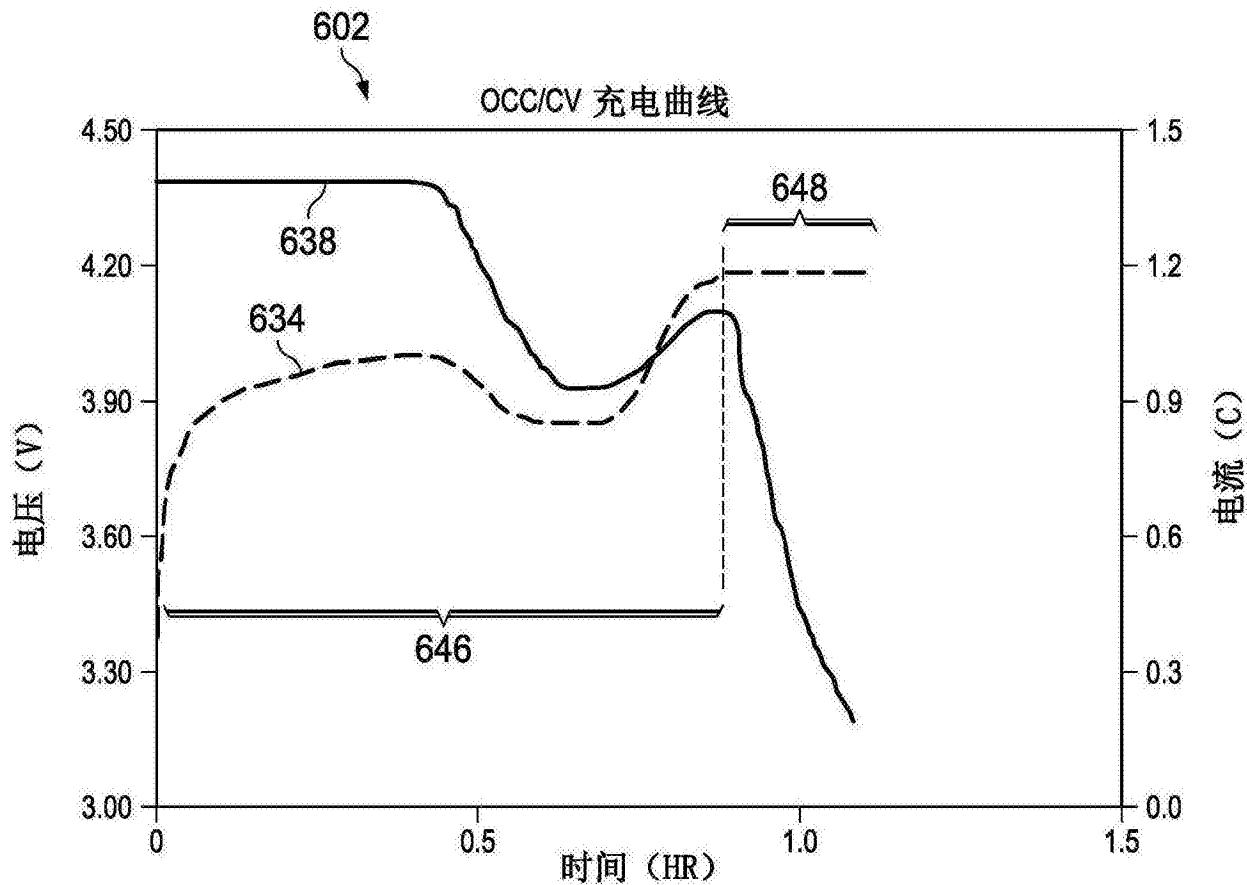


图6B

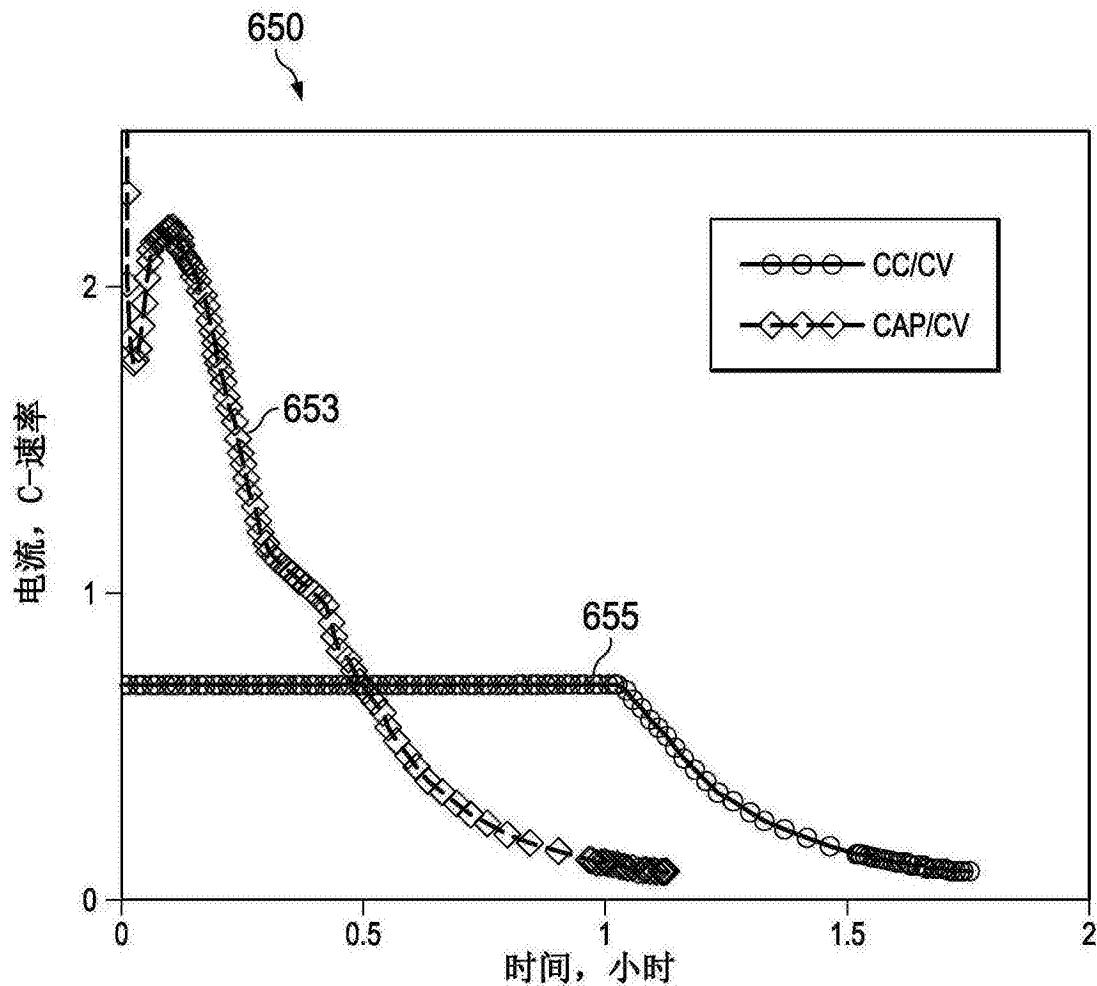


图6C

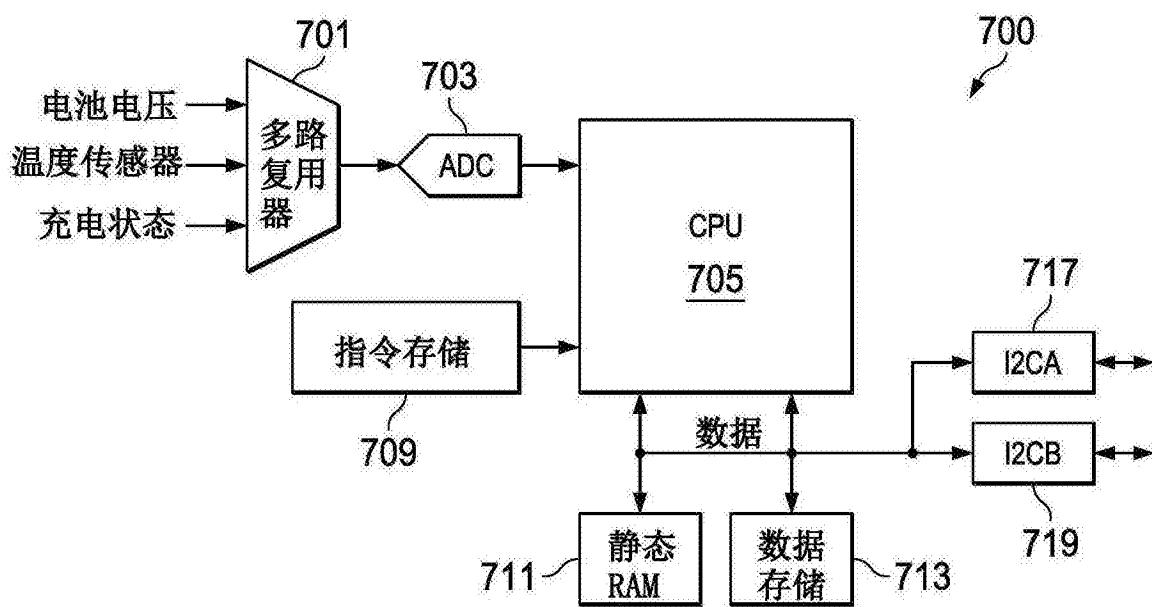


图7

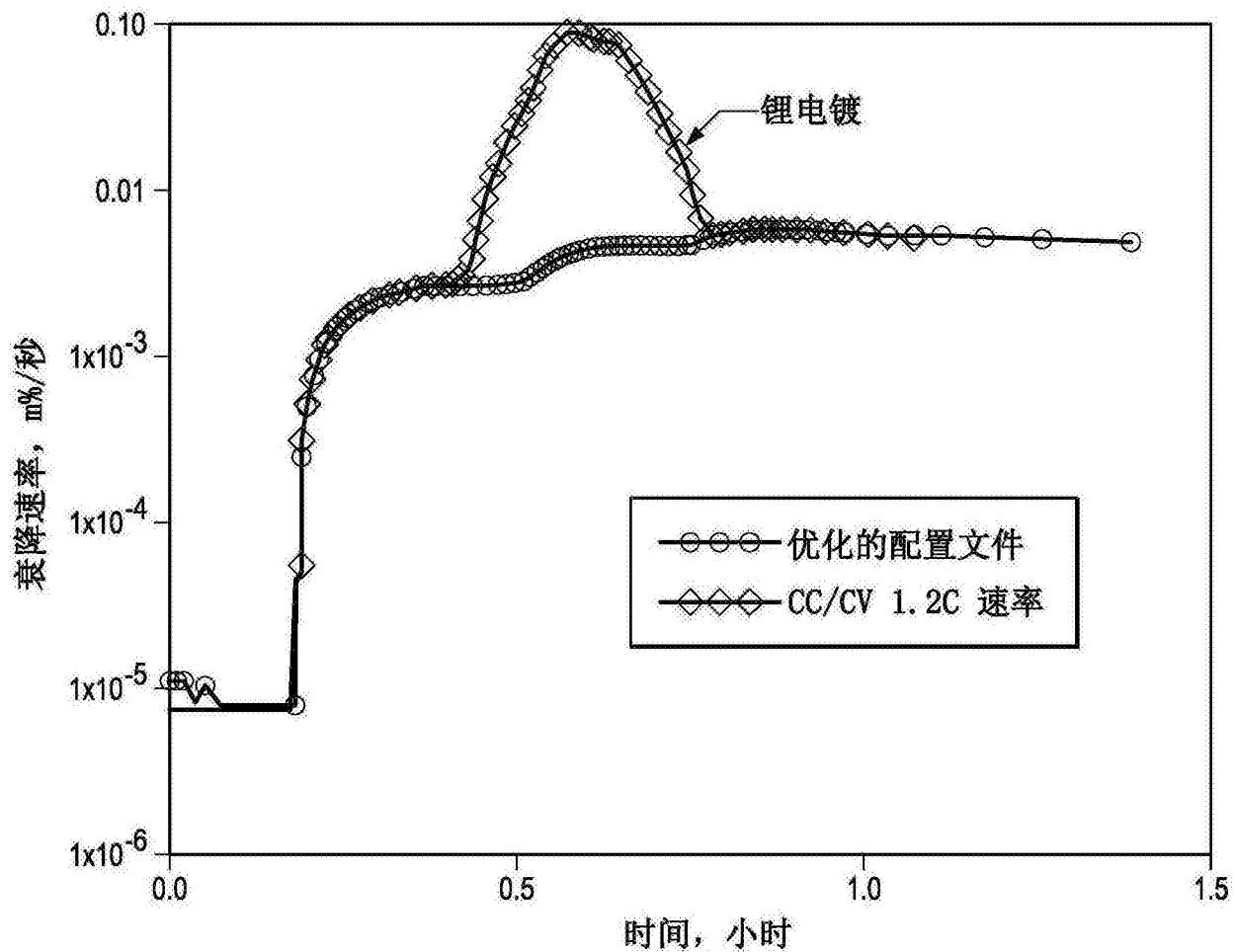


图8