



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106797128 B

(45)授权公告日 2020.03.24

(21)申请号 201580052062.X

(22)申请日 2015.07.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106797128 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(30)优先权数据
62/029,865 2014.07.28 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.03.27

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/042304 2015.07.27

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/018830 EN 2016.02.04

(73)专利权人 美国电化学动力公司
地址 美国宾西法尼亚州

(72)发明人 王朝阳 纪岩

(74)专利代理机构 天津市三利专利商标代理有限公司 12107
代理人 闫俊芬

(51)Int.Cl.
H02J 7/00(2006.01)
H01M 10/44(2006.01)

(56)对比文件
US 6326767 B1,2001.12.04,
US 6326767 B1,2001.12.04,
US 2012025773 A1,2012.02.02,
CN 101557118 A,2009.10.14,
CN 103117421 A,2013.05.22,
审查员 肖高

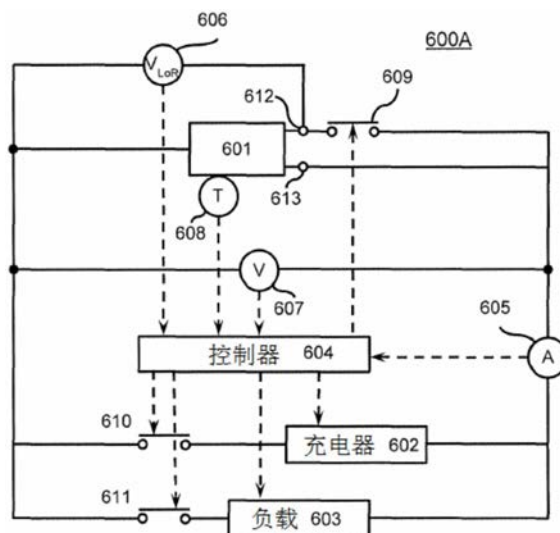
权利要求书2页 说明书17页 附图19页

(54)发明名称

在低温下对电池快速充电的系统和方法

(57)摘要

公开了用于在所有环境温度下对电池快速充电并且不造成电池老化的可充电电池、充电方法和系统。该系统包括被配置为监测所述电池温度的温度传感器、能经由电池的低电阻极柱或高电阻极柱把所述电池电接合到充电源的开关、以及连接到所述温度传感器和所述开关的控制器。所述控制器能接收来自所述温度传感器的输入并且被编程为根据来自所述温度传感器的输入，确定是经由所述低电阻极柱还是经由所述高电阻极柱而经所述开关把所述电池电接合到所述充电源。



1. 一种用于对可变内阻的可充电电池的充电控制系统,包括:
可变内阻的可充电电池,所述电池包括:
至少一个负极柱和至少一个正极柱,该正极柱与负极柱使电池能够在低电阻水平下工作;
至少一个高电阻极柱与至少一个电阻片,该高电阻极柱与电阻片在一节电池中或数节电池之间电连接,使电池能够在高电阻水平下工作;
温度传感器,该温度传感器被配置为监测所述电池的温度;
开关,该开关能经由所述电池的低电阻极柱或经由所述电池的至少一个高电阻极柱把所述电池电接合到充电源;
控制器,该控制器电连接到所述温度传感器和所述开关,以及所述控制器能接收来自所述温度传感器的输入,并且被编程为,基于来自所述温度传感器的输入,确定是经由所述低电阻极柱或经由所述高电阻极柱把所述电池电接合到所述充电源。
2. 根据权利要求1所述的充电控制系统,进一步包括:电连接到所述电池并且能够测量流过所述电池的电流传感器和/或电连接到所述电池的电压传感器;其中所述控制器能接收来自所述温度传感器以及所述电流传感器和/或电压传感器的输入,并且所述控制器被编程为基于来自这些传感器的输入,确定是经由所述低电阻极柱还是经由所述高电阻极柱而经所述开关把所述电池电接合到所述充电源。
3. 根据权利要求1所述的充电控制系统,其中所述开关能把所述高电阻极柱电接合到所述电池的正极柱。
4. 根据权利要求1所述的充电控制系统,其中所述的一种可变内阻的可充电电池包括锂离子电池。
5. 根据权利要求1或4所述的充电控制系统,所述电池单元内至少包含一个电阻片。
6. 根据权利要求1、2、3、4或5所述的充电控制系统,进一步包括电连接到所述电池并且能够对所述电池充电的发电机。
7. 一种电动车辆,包括如权利要求6所述的充电控制系统。
8. 根据权利要求1-7任一项所述方法,一种对可变内阻的可充电电池充电的方法,所述方法包括:
当所述电池处于高内阻时,在低温充电程序(LTCP)下对所述电池充电;以及当电池处于低内阻时,在第二程序下对所述电池充电。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述LTCP包括:(i)以恒定电压或恒定充电功率(P)对电池充电;以及(ii)随后以恒定电流对该电池充电;其中根据所述电池的低电阻端电压 V_{LoR} 或所述电池的电压确定所述恒定电压。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中,当所述充电电流达到或超过预定的最大充电电流(I_{max})时,发生以所述恒定电流对所述电池充电。
11. 根据权利要求9或10所述的方法,其中当根据所述电池的电压确定所述恒定电压时,对每个单体电池,所述恒定电压大于或等于约5V。
12. 根据权利要求9或10所述的方法,其中所述恒定充电功率(P)大于约1C充电电流和约4V充电电压的乘积。
13. 根据权利要求8所述的方法,其中所述LTCP包括:在 $1C < I < I_{max}$ 的范围中以恒定电

流(I)对所述电池充电,其中 I_{\max} 是预定的最大充电电流。

14.根据权利要求8所述的方法,其中所述LTCP包括:通过交替地向所述电池施加充电和放电脉冲功率来对所述电池充电。20

15.根据权利要求8所述的方法,其中所述LTCP包括:通过向所述电池交替地施加充电和放电脉冲电流来对所述电池充电。

16.根据权利要求14任一项所述的方法,其中所述充电和放电脉冲的频率范围在约0.05Hz至约10Hz之间。

17.根据权利要求8、9、10、13或14任一项所述的方法,进一步包括:当所述电池的温度低于预定水平 T_{CG1} 时,在所述高内阻下对所述电池充电,以及当所述电池的温度等于或高于 T_{CG1} 时,在所述低内阻下对所述电池充电。

18.根据权利要求17所述的方法,其中所述 T_{CG1} 的值在 5°C 与 25°C 之间。

19.根据权利要求8、9、10、13或14任一项所述的方法,其中在所述第二程序下对所述电池充电包括:在恒定电流、恒定电压程序下对所述电池充电,其中所述恒定电流为大约1C或更高并且所述恒定电压是大约 V_{set} ,其中 V_{set} 是预定电压。

20.根据权利要求19所述的方法,进一步包括:当所述电池的温度等于或高于预定水平 T_{CG1} 时,在所述低内阻下对所述电池充电。

21.根据权利要求20所述的方法,其中所述 T_{CG1} 的值在 5°C 与 25°C 之间。

22.根据权利要求1-7任一项所述的方法,一种用再生能量对可变内阻的可充电电池充电的方法,所述方法包括:当所述电池处于高内阻时,在再生充电程序(RCP)下对所述电池充电;以及当所述电池处于低内阻时,在第二程序下对所述电池充电;其中在所述RCP或所述第二程序下用来对所述电池充电的电流由动能转换而来。

23.根据权利要求22所述的方法,其中所述RCP包括:(i)通过以受控电压形式或以受控功率P形式向所述电池施加充电电流来对所述电池充电,(ii)随后以恒定电流对所述电池充电;其中根据所述电池的低电阻端电压 $V_{LoR}(t)$ 或所述电池的电压 $V(t)$ 确定所述受控电压形式。

24.根据权利要求23所述的方法,其中所述受控电压形式或所述受控功率P形式是恒定的或者随时间而变。

25.根据权利要求23所述的方法,其中,所述受控功率P形式是从所述电池的高电阻端检测的电压和流过所述电池的电流的乘积。

26.根据权利要求22或23所述的方法,其中当所述充电电流达到或超过预定的最大充电电流(I_{\max})时,发生以所述恒定电流对所述电池充电。

27.根据权利要求22所述的方法,其中所述RCP包括:以受控电流形式向所述电池施加充电电流,随后以恒定电压形式向所述电池施加充电电流。

28.根据权利要求27所述的方法,其中所述受控电流形式是恒定的或者随时间而变。

29.根据权利要求22、23、24、25、27或28任一项所述的方法,进一步包括:当所述电池的温度低于预定水平 T_{CG1} 时,在所述高内阻下对所述电池充电,并且当所述电池的温度等于或高于 T_{CG1} 时,在所述低内阻下对所述电池充电。

30.根据权利要求29所述的方法,其中所述 T_{CG1} 的值在 5°C 和 25°C 之间。

在低温下对电池快速充电的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2014年7月28日提交的美国临时专利申请No.62/029,865的权益,通过参考将其全部内容合并于此。

技术领域

[0003] 本申请一般涉及在低温下对电池充电的系统和方法,尤其涉及在低于电池的最佳工作温度下对电池快速充电。

背景技术

[0004] 由于电池中发生的缓慢的电化学反应和传输过程,用于电子产品、交通运输和电网能量存储的可充电电池通常具有不良的充电接受能力,需要过长的充电时间,特别是在零度以下。在严寒天气中以合理的速率对电池充电是不可能进行的或使得电池寿命大大缩短。例如,在低温下对锂离子电池充电的最大问题是石墨负极中的析锂。沉积的锂与电解液快速反应,从而导致不可逆的容量损失。此外,金属锂以枝状形式生长,有可能穿透隔膜并使电池内部短路。为了避免析锂,在低温下以非常低的速率(C/10以下)对锂离子电池充电,这需要很长时间来完成充电。

[0005] 过长充电时间对能量存储解决方案,特别是电动车辆(EV)的应用带来很大不利。相比于任何情况下其燃料箱可在不到五分钟内装满的汽油驱动的常规动力车辆,EV在寒冷的天气中需要数小时才充分充电。快速充电对于实现公共充电站和电池供电的电动车辆是必要的。

[0006] 由于电池充电接受能力对温度非常敏感,可通过将可充电电池加热到适合于快速充电的室温范围来缩短充电时间。但是,常规的电池加热系统通过使用对流空气/液体加热或热护套在外部加热电池,热量从外部缓慢地传播到电池内部的电化学反应界面上。这种方法既需要长的加热时间又显著增加向周围的热损失。

[0007] 因此,对于减少电池充电时间而不影响电池寿命的需求是一直存在的。

发明内容

[0008] 本发明的优点是用于对可变内阻的可充电电池充电的控制系统及其操作方法。这种系统可用在电力驱动的车辆,例如电动车辆(EV)、混合动力电动车辆(HEV)、以及插电式混合动力电动车辆(PHEV)中。

[0009] 至少部分地通过用于对可变内阻的可充电电池的充电控制系统来满足这些和其他优点,充电控制系统包括:温度传感器,其被配置为监测电池的温度;开关,其能将电池的低电阻极柱或高电阻极柱将电池电接合到充电源;以及控制器,其电连接到温度传感器和开关,并且能接收来自温度传感器的输入以及被编程为基于来自温度传感器的输入来确定是经由低电阻极柱还是经由高电阻极柱而经开关把电池电接合到充电源。该系统可包括单独或组合的附加部件,例如电连接到电池并且能够测量流过电池的电流的一个或多个电流

传感器和/或一个或多个电压传感器,一个或多个电压传感器,例如电连接到电池的低电阻极柱的电压传感器,以及电连接到电池的高电阻端电压的电压传感器。通过附加传感器,控制器可以从附加传感器接收输入,并且被编程为基于来自传感器的输入,确定是经由低电阻极柱还是经由高电阻极柱而经开关把电池电接合到充电源。该系统还可包括电连接到电池并且能够对电池充电的发电机。发电机可用于例如在车辆的再生制动中捕获动能,并且用这种能量对电池充电。

[0010] 本发明的另一个方案包括一种对可变内阻的可充电电池充电的方法,方法包括:当电池处于高内阻时,用低温充电程序(LTCP)对电池充电;以及当电池处于低内阻时,用第二程序对电池充电。

[0011] LTCP的实施例包括在恒定电压下和/或以恒定电流(I)和/或以恒定充电功率(P)及其组合对电池充电。在本发明的一个实施例中,LTCP包括:(i)以恒定电压或恒定充电功率(P)对电池充电;以及(ii)随后以恒定电流对电池充电。当充电电流达到或超过预定的最大充电电流(I_{\max})时,可以以恒定电流对电池进行充电。此外,可以根据低电阻端电压 V_{LoR} 和/或电池的电压确定恒定电压。LTCP还可包括在脉冲电压和/或脉冲功率和/或脉冲电流及其组合下对电池充电。LTCP可进一步包括当电池的温度低于预定水平 T_{CG1} 时在高内阻下对电池充电,例如, T_{CG1} 是在5°C和25°C之间的值,并且当电池的温度等于或高于 T_{CG1} 时,在低内阻下对电池充电。

[0012] 在第二程序下,即在低内阻下对电池充电的实施例包括在恒定电流、恒定电压程序下对电池充电,其中恒定电流约为1C或更高,恒定电压约为 V_{set} ,其中 V_{set} 是预定电压。有利地,程序可包括当电池的温度等于或高于预定水平 T_{CG1} 时,在低内阻下对电池充电,例如,其中 T_{CG1} 是在5°C和25°C之间的值。

[0013] 本发明的另一个方案包括用再生能量对可变内阻的可充电电池充电的方法,方法包括:例如当电池的温度低于预定充电值(T_{CG1})时,当电池处于高内阻时,在再生充电程序(RCP)下对电池充电;以及例如当电池的温度高于 T_{CG1} 时,当电池处于低内阻时,在第二程序下对电池充电。有利地,在RCP或第二程序下用来对电池充电的电流由动能转换而来。

[0014] RCP的实施例包括通过以受控电压形式或以受控功率P形式或以受控电流形式或其组合向电池施加充电电流来对电池充电。受控电压形式、受控功率P形式以及受控电流形式可以是恒定值或者是随时间而变。在本发明的一个实施例中,RCP包括(i)通过以受控电压形式或以受控功率P形式向电池施加充电电流来对电池充电,(ii)随后以恒定电流对电池充电;其中根据电池的低电阻端电压 $V_{LoR}(t)$ 或电池的电压 $V(t)$ 确定受控电压形式。当电池处于低内阻时在第二程序下充电可包括例如恒定电流-恒定电压程序。RCP可进一步包括当电池的温度低于预定水平 T_{CG1} 时,在高内阻下对电池充电。其中 T_{CG1} 是在5°C和25°C之间的值,并且当电池的温度等于或高于 T_{CG1} 时,在低内阻下对电池充电。

[0015] 通过下面的详细描述,仅仅通过对被构思为实现本发明的最佳实施方式的说明,对本领域技术人员而言本发明的其它优点将变得显而易见,其中仅示出和描述了本发明的优选实施例。如将认识到的,本发明能够是其他和不同的实施例,并且在均不脱离本发明的情况下,能够在多个明显方面中修改它的若干细节。因此,附图和描述应被认为本质上是说明性的而不是限制性的。

附图说明

[0016] 参考附图,其中具有相同附图标记的元件在全文中表示类似的元件,并且其中:

[0017] 图1A是示出根据本发明的实施例的可变内阻电池的构造的示意图,电池包括嵌入电极-隔膜组件堆叠中的若干电阻片/箔、一个高电阻负极柱HiR(-)和一个低电阻负极柱LoR(-)、一个正极柱(+)以及连接HiR(-)和LoR(-)极柱的热激活开关。

[0018] 图1B是根据本发明的实施例的方形电池中的三极柱可变内阻电池的示意图。

[0019] 图1C是根据本发明的实施例的四极柱可变内阻电池的示意图,其中电阻片的两个接头独立于LoR(-)极柱形成两个HiR(-)极柱。

[0020] 图2是示出根据本发明的实施例的双胞胎电池模块的构造的示意图,该模块在两个单体电池之间,即在每个单体电池壳体的外部,具有一个没有与电池电解质直接接触的电阻片/箔。

[0021] 图3A是描绘根据本发明的实施例的电池充电控制系统的电路图。

[0022] 图3B是描绘根据本发明的另一个实施例的电池充电控制系统的另一个电路图。

[0023] 图4是示出根据本发明的实施例的使用电池充电控制系统对OMB充电的方法的流程图。

[0024] 图5是示出根据本发明的实施例的用于低温充电的方法(CV_{LoR}-CC)的流程图。

[0025] 图6是示出根据本发明的实施例的用于低温充电的方法(CV-CC)的流程图。

[0026] 图7是示出根据本发明的实施例的用于低温充电的方法(CC)的流程图。

[0027] 图8是示出根据本发明的实施例的用于低温充电的方法(CP-CC)的流程图。

[0028] 图9是示出根据本发明的实施例的用于低温充电的方法(PV)的流程图。

[0029] 图10是示出根据本发明的实施例的用于低温充电的方法(PC)的流程图。

[0030] 图11是描绘根据本发明的实施例的再生充电系统的示意图。

[0031] 图12是示出根据本发明的实施例的使用再生充电系统对OMB再生充电的方法的流程图。

[0032] 图13是示出根据本发明的实施例的用于再生充电的方法(V_{LoR}-CC)的流程图。

[0033] 图14是示出根据本发明本发明的实施例的用于再生充电的方法(V-CC)的流程图。

[0034] 图15是示出根据本发明本发明的实施例的用于再生充电的方法(C-CV_{LoR})的流程图。

[0035] 图16是示出根据本发明的实施例的用于再生充电的方法(P-CC)的流程图。

[0036] 图17A和17B是示出根据本发明的实施例的对可变内阻电池充电的结果的曲线图。充电程序采用CV_{LoR}-CC低温充电结合CC-CV正常充电(当 $T < T_{CG1}$ 时,CV_{LoR}为4V,CC为 I_{max} ,当 $T \geq T_{CG1}$ 时,CC为2.5C,CV为4.1V)。

[0037] 图18A、图18B和图18C示出根据本发明的实施例对可变内阻电池充电的结果。充电程序采用PV低温充电结合CC-CV正常充电(当 $T < T_{CG1}$ 时,PV为6.8V-0.4V,当 $T \geq T_{CG1}$ 时,CC为2.5C,CV为4.1V)。

[0038] 图19A、图19B和图19C是示出根据本发明的实施例对可变内阻电池充电的结果的曲线图。充电程序采用PC低温度充电结合CC-CV正常充电(当 $T < T_{CG1}$ 时,PC为 $\pm 3.2C$,当 $T \geq T_{CG1}$ 时,CC为2.5C,CV为4.1V)。

[0039] 图20A、图20B和图20C是示出将对常规锂离子电池的充电与利用PC-CCCV充电程序

对OMB的充电进行比较的结果的曲线图。

[0040] 图21A、图21B和图21C是示出将对常规锂离子电池的再生充电与利用C-CV_{LoR}充电程序对OMB的再生充电进行比较的结果的曲线图。

具体实施方式

[0041] 可变内阻电池

[0042] 可充电电池已经被设计为在低温下,例如在低于特定电池的正常操作温度下,其内阻大幅增加的电池。这种电池已被公开。例如已经在2014年5月1日提交的美国专利申请No.14/267,648和2014年10月8日提交的PCT/US2014/059729中公开了这种电池,两者均名为“可变内阻电池”,通过引用将两者的全部内容合并于此。

[0043] 如本文所使用的术语,可充电电池的可变内阻或者可变内阻的可充电电池,是指被设计为具有可以随着电池温度充分改变的具有多于一个内阻水平的可充电电池。这种可变内阻可以主动实现也可以被动实现。

[0044] 这种可充电电池的优点是当电池温度下降到低于预定水平时,电池的内阻可以大幅改变。电池的高内部电阻在电池内产生热量以加热电池。优选地,电池的内部电阻变得足够高以在几秒内或至多几分钟内快速地将电池加热几十摄氏度。在电池温度达到期望水平之后,高内部电阻被停用,从而允许电池在低内阻下操作,例如像在常规电池中那样低,从而使得电池即使在低温环境也能够输出高功率和能量。

[0045] 优选地,可充电电池可包括在第一温度(T1)和第二温度(T2)之间的电池的温度范围内的内部电阻(R1)的一个水平,以及在T1或T2之外的内部电阻(R2)的第二水平。优选地,在低于约T1和/或高于约T2时,R2的值突然改变,例如以阶跃函数的形式,或者急剧变化,例如以电阻的连续但快速的变化的形式。例如,在T1以下约2°C时的R2的值是在T1时的R1的值的至少两倍,或者在高于T2的约2°C时的R2的值至少是在T2时的R1的值的至少两倍。有利地,在T1以下约2°C时的R2值为T1时的R1值的至少两倍到50倍,并且在T2之上约2°C时的R2值为在T2时的R1的值的至少两倍到50倍。有利地,电池的可变内阻是可逆的,即,内部电阻可以从R2切换回在T1和T2之间的R1。本发明的实施例包括其中R2/R1的值在2至500之间,例如在低于T1约2°C时确定R2的值以及在T1时确定R1时,R2/R1的值在2和100之间且包括2至100,或者在2至50之间并包括2至50。附加或替代实施例包括其中R2/R1的值在2至500之间并且包括2至500,例如,在高于T2约2°C时确定R2的值以及在T2时确定R1时,R2的值在2和100之间且包括2至100,或者在2至50之间并包括2至50。有利地,电池的可变内阻是可逆的,即,内部电阻可以从R2切换回在T1和T2之间的R1。

[0046] 如本文所使用的,术语可充电电池或电池用于表示包含一个或多个电化学电池的任何可再充电的电化学能量存储装置。单体电池的基本元件包括涂覆在集流体上的负极(anode)、隔膜、涂覆在另一集流体上的正极(cathode)以及电解质。

[0047] 本发明的电池配置可以被应用于各种电池,例如但不限于锂离子、锂聚合物、铅酸、镍金属氢化物、锂硫、锂空气和所有固态电池。这种电池可用于运输、航空航天、军事和固定能量存储应用。

[0048] 在本发明的实施例中,可充电电池可以具有取决于电池温度的至少两个水平的内部电阻。如本文所使用的,电池的温度可以是电池的内部温度或外部表面温度。当电池的内

部温度低于最佳温度时,例如低于 T_1 时,本实施例的可充电电池可以被配置为以更高的电阻水平操作,从而加热电池并提高电池性能。例如,当电池的内部温度低于正常范围,例如低于正常操作温度,例如低于约 5°C 或者在零下环境中(温度小于约 0°C ,例如小于约 -10 或 -20°C)时,电池的内部电阻变为高于当电池在正常温度范围内操作时的内部电阻(例如在约 $40\ \Omega\ \text{cm}^2$ 至约 $200\ \Omega\ \text{cm}^2$ 的范围内)几倍。结果,出现很强烈的内部加热(因为电池的发热与其内部电阻成比例),这导致电池的内部温度快速上升。这样转而在零度以下环境中操作时快速地提高电池的功率和能量输出。

[0049] 本发明的可充电电池可包括可充电电池的常规组件,并且还包括一个或多个组件以调制电池的内部电阻。

[0050] 例如,可变内阻的可充电电池可包括用于在高于 T_1 时在例如低内部电阻水平(LoR)的R1处操作电池的至少一个负极柱和至少一个正极柱,可变内阻电池还可包括当电池温度低于 T_1 时用于在例如高内部电阻水平(HiR)的R2处操作电池的至少一个高电阻极柱。高电阻极柱可以是附加的负极柱(即HiR(-))或附加的正极柱(即HiR(+))。

[0051] 这种可充电电池可包括切换电池的电阻水平的开关。例如,开关可以接合电池的低电阻极柱,例如LoR(-)和/或LoR(+),以在电池的温度高于 T_1 时操作电池,并且当电池温度低于 T_1 时,可以接合一个或多个高电阻极柱,例如HiR(-)和/或HiR(+)

[0052] 本发明的开关可由机电继电器和温度控制器组成、或是具有温度传感器的固态继电器、具有温度传感器的功率MOSFET、或是具有温度传感器的高电流开关。或者,可通过在电池管理系统中具有电路和电池温度传感器的控制器来执行连接LoR(-)和HiR(-)极柱的开关。

[0053] 在本发明的实施例中,可充电电池包括电连接到高电阻极柱的至少一个电阻片。至少一个电阻片可以位于电池(暴露于电解质)内部,或者在电池外部及两个单体电池之间,或者是在电池内部的一些电阻片以及在电池外部和之间的一些电阻片的组合。配置在电池的单体电芯内的电阻片可以是电芯电极的集流体的一部分。

[0054] 如本文所使用的,电阻片是相对于电池集电箔具有较低导电性(较高电阻),并且当在电池操作期间被激活时导致电池的内部电阻显著增加的材料。电阻片优选具有等于0.1至5之间的数值除以电池容量的电阻,例如约0.5至2之间的数值除以单位是Ah的电池容量,电池容量的单位是安培-小时(Ah),电阻的单位是欧姆。例如,用于20Ah电池的电阻片优选地在约0.005欧姆(0.1除以20)至约0.25欧姆(5除以20)之间,例如在约0.025欧姆(0.5除以20)至约0.1欧姆(2除以20)之间。

[0055] 本发明的电阻片可以是暴露于电池电解质时稳定的任何金属,并且当电阻片暴露于这种环境时该电阻片在可充电电池的电化学电压窗口内。这种电阻片可以由石墨、高度有序的热解石墨(HOPG)、不锈钢、镍、铬、镍铬合金、铜、铝、钛或其组合制成。如果在电池包外部和模块中的两个相邻单体电池之间使用该电阻片,则该电阻片不需要抗腐蚀,并且因此可将附加材料用作本发明的电阻片。本发明的电阻片优选是平坦的,具有大的表面积,与相邻的电池组件良好接触,并且具有在约1和约150微米之间的厚度,优选范围为约5至约60微米。具有大电阻、高热导率和小热容的电阻片可用于本发明的某些实施例。

[0056] 在本发明的某些配置中,可充电电池包括一个或多个高电阻接头或极柱以及一个或多个低电阻接头或极柱。高电阻极柱电连接一个或多个电阻片,低电阻片或极柱被配置

为在低内阻下操作电池。

[0057] 有利地,例如,在某些实施例中,可以容易地以具有最小修改的常规可充电电池组件来配置本发明的可充电电池,另外包括连接到一个或多个电阻片的一个或多个高电阻极柱。以下附图示出本发明的某些实施例。

[0058] 图1A示出可变内阻电池的实施例。如图1A所示,可充电电池110具有嵌入电极-隔膜组件堆叠并与电解质接触的若干电阻片112。电极-隔膜组件包括具有负极接头114a的负极电极114、隔膜116以及具有正极接头118a的正电极118。电池110还包括一个低电阻负极柱LoR(-) 120和一个高电阻负极柱HiR(-) 122、开关124以及正极柱(+) 126。

[0059] 在该实施例中,每个电阻片具有两个接头(112a,112b),可通过焊接来附接这两个接头。电阻接头112a和负极114的负极接头114a电连接到低电阻负极柱LoR(-) 120,以形成低电阻电路。电阻接头112b电连接到高电阻负极柱HiR(-) 122,以形成由开关124激活的高电阻水平电路。正极电极118的正极接头118a电连接在一起并连接到正极柱126。在该特定示例中,开关124是可以电连接或断开LoR(-) 极柱120和HiR(-) 极柱122的热激活开关。

[0060] 可以将负极-隔膜-正极-电阻片组件放置在适当的包装中,例如放置在软包电池的壳体中并被填充电解质。在该实施例中,负极-隔膜-正极-电阻片组件包含在壳体140中。负极柱和正极柱可以电连接到外部电路128a和128b。

[0061] 总之,图1所示的可充电电池1A的特征是外部有三个极柱——两个负极柱(LoR(-)和HiR(-))和一个正极柱(+)。通过就在电池外部的温度敏感开关将两个负极柱(LoR(-)和HiR(-))进一步连接。在操作中,因为电流优选流过低电阻电路,当电池温度高于T1时,开关关闭,并且电池电流绕过电阻片。在这种情况下,电池在极柱(+)和LoR(-)之间工作,从而表现出低内部电阻。当电池温度下降到低于T1时,开关打开,使得极柱(+)和HiR(-)可操作。这样迫使电池电流流过电阻片,因此表现出高内部电阻。例如,当电池温度低于正常范围,例如低于约5°C时,或者在零下环境中,由于电流流动路径中存在电阻片,所以电池的内部电阻变高几倍。一旦操作或激活,存在强烈的内部加热(因为电池的发热与其内部电阻成比例),这导致电池温度快速上升到触发温度敏感开关关闭的点。关闭的开关立即使得LoR(-)极柱可操作并降低电池内部电阻。尽管在零度以下环境中操作,但低内部电阻和高内部温度的组合充分提高电池的功率和能量输出。

[0062] 另一个实施例是在可变内阻电池的正极柱与HiR(-)极柱之间放置开关。当电池温度高于T1时,开关打开,电池在正极柱与LoR(-)极柱之间工作,并且电池电流绕过电阻片,从而表现出低内部电阻。当电池温度下降到低于T1时,使得开关关闭,同时使得正极柱和LoR(-)极柱处于断路。这样迫使电池电流流过电阻片并因此快速内部加热。一旦电池温度上升到一个点,就触发温度敏感开关打开。

[0063] 图1B示出对图1A所述电池的另一部分示意图。图1B示出了以具有正电极118和与负极114相邻的电阻片112的方形电池的三极柱可变内阻电池。电池还包括电解质和隔膜,为了说明方便而没有示出电解质和隔膜。正电极118包括接头118a,电阻片112包括接头112a和112b,负极114包括接头114a。电池还包括一个低电阻负极柱LoR(-) 120和一个高电阻负极柱HiR(-) 122、开关124以及正极柱(+) 126。图1B所示电池的元件如同图1A所述的那样被电连接。

[0064] 图1C示出对图1A所述电池的另一布置。在该实施例中,电池采用方形电池。如图1C

所示,可变内阻电池可以配置有四个极柱,例如正极柱126、低电阻负极柱LoR(-) 121以及两个高电阻极柱HiR(-) 123、125。电阻片113包括两个接头(113a,113b),其形成独立于LoR(-)极柱121的两个HiR(-)极柱(123,125)。HiR(-)极柱之一可以在外部与LoR(-)极柱连接,从而在本质上将这个4极柱电池变为图1B所示的3极柱电池。或者,HiR(-)极柱之一可以电连接来自多电池或模块中的相邻单体电池的其中一个HiR(-)极柱之一,从而形成串联连接的多个电阻片。然后,可通过仅使用一个开关将多个电阻片连接到多电池电路中。

[0065] 虽然图1A示出三单位单体电池和两个并联电连接的电阻片以及一个用于以高或低内阻激活电池的开关,但是本发明的可变内阻的可充电电池可以具有附加的模块和/或附加的单体电池。电池可包括附加的电阻片和开关。例如,电池可包括一个以上的电池的模块或封装,其中模块中的单体电池相互相邻并且以并联或串联布置或其组合相互电连接。电池可包括相互串联或并联地电连接并位于模块中的相邻电池之间的多个电阻片,以及用于在高内阻或低内阻下操作电池的多个热激活开关。

[0066] 在可变内阻电池的其他实施例中,可通过将一个或多个电阻片放置在电池外部来配置可充电电池。例如,使用包括多个单体电池的电池模块,一个或多个电阻片可以夹在电池模块内的两个相邻电池之间。图2示出这种实施例。

[0067] 如图2所示,电池模块210包括位于两个电池213a与213b之间的电阻片212。电阻片优选位于单体电池之间,以提供对电池的均匀加热,例如紧密地插入在两个电池之间。每个单体电池包括负电极214、隔膜216和正电极218。电池模块210还包括电连接到模块的每个电池的一个低电阻负极柱LoR(-) 220和电连接到电阻片的一个高电阻负极柱HiR(-) 222。电池模块还包括开关224以及正极柱(+) 226a和226b。负极柱和正极柱可以电连接到外部电路228a和228b。

[0068] 总而言之,图2所示的可充电电池的特征在于两极柱单体电池,其中一个极柱(在本实施例中为负极柱)电连接到开关,开关进一步电连接到电阻片。可以按照图1所述的相同方式操作图2的可充电电池模块210。

[0069] 虽然图2中的电池模块210被示出为双电池模块,其中在两个单体电池之间有一个电阻片,但是本发明的可变内阻电池可以具有附加的电池和/或模块和/或电阻片和/或开关。例如,电池模块可以具有4、5或6个单体电池,其中一个或多个电阻片位于电池之间和电池附近的其他位置周围。电池可以有附加的模块,一个或多个电阻片位于模块之间和模块附近的其它位置周围。电池可以具有连接附加电阻片的附加开关或连接所有电阻片的一个开关。电池和/或模块可以以并联或串联布置或其组合相互电连接。电阻片也可以相互串联或并联电连接。

[0070] 所有前述电池设计都可被应用于可充电电池,例如锂离子、镍氢、铅酸等。有利地,本发明的可充电电池可被实施用于所有电池化学物质,例如可充电锂离子、镍氢或例如锂硫、锂空气电池或固态电池,以及用于所有形状—软包形、圆柱形、方形或角形。单体电池结构可以容纳卷绕电极和堆叠电极设计等。

[0071] 在低温下快速充电

[0072] 可变内阻的可充电电池的另一个优点是它们可以被配置为在低温下快速充电。优选地,可变内阻电池可以在低温下在约20-30分钟的时间段内被充电,而不造成析锂或其它明显的老化。也可以利用再生制动的能量对可变内阻电池同时加热并充电。

[0073] 例如,在本发明的一个实施例中,可变内阻电池可包括在充电控制系统中。该系统可包括配置成监测电池温度的温度传感器和电连接到温度传感器的控制器,该控制器可以接收来自传感器的输入并且被编程为基于来自温度传感器的输入,确定是以低温电阻程序还是例如第二程序的另一种程序对电池充电。

[0074] 系统可包括单独或组合的附加部件,诸如电连接到电池的一个或多个电压传感器,例如电连接到可变内阻电池低电阻极柱和/或高电阻极柱的电压传感器;电连接到电池并且能够测量流过电池的电流的电流传感器;和/或电连接到电池并且能够对电池充电的发电机。发电机可用于例如在车辆的再生制动中捕获动能,并且用这种能量对电池充电。通过这些附加的可选部件,控制器能够从温度传感器、一个或多个电压传感器和电流传感器接收输入,并且能够基于所述输入确定是否对电池充电。有利地,在某些实施例中,控制器还能够基于电池的温度将电池设置为高电阻水平或低电阻水平。

[0075] 在实施本发明的某些实施例时,当电池处于高内阻时,例如当电池的温度低于预定充电温度(T_{CG1})时,可以在低温充电程序(LTCP)下对可变内阻的可充电电池充电。此外,当电池处于低内阻时,可以在另一个或第二程序(例如在正常操作温度下使用的正常充电程序)下对电池充电。LTCP包括以恒定电压和/或以恒定电流(I)和/或以恒定充电功率(P)及其组合对电池充电。在本发明的一个实施例中,LTCP包括:(i)以恒定电压或恒定充电功率(P)对电池充电;和(ii)随后以恒定电流对电池充电。当充电电流达到或超过预定的最大充电电流(I_{max})时,可以发生以恒定电流对电池充电。此外,可以根据低电阻端电压 V_{LoR} 和/或电池的电压确定恒定电压。LTCP还可包括在脉冲电压和/或脉冲功率和/或脉冲电流及其组合下对电池充电。当电池处于低内阻时在第二程序下的充电例如可包括恒定电流-恒定电压程序。

[0076] 图3A示出根据本发明实施例,支持在低温下对可变内阻电池快速充电的充电控制系统600A。充电控制系统600A包括可变内阻电池601。在优选实施例中,将锂离子用作电池601的电池化学物质。但是,控制系统也可应用于其它电池化学物质。

[0077] 如图3A所示,电池601有一个正极柱(未示出)和两个负极柱612和613,其中612是低电阻负极柱LoR(-),613是高电阻负极柱HiR(-)。开关609电连接到LoR(-)极柱612和HiR(-)极柱613。当开关609接通时,LoR(-)极柱612接合,而当开关609断开时,HiR(-)极柱613接合。开关609在本实施例中由控制器604来操作。电池601通过开关610连接到充电器602并通过开关611连接到负载60。电池601也连接到用于测量充电电流的电流传感器605、用于检测电池601的温度的温度传感器608、以及两个电压传感器606和607。电压传感器606连接到低电阻负极柱612,以用于监测电池601的低电阻端电压 V_{LoR} 。电压传感器607连接到高电阻负极柱613,以用于测量电池601的电压V。

[0078] 在操作中,控制器604接收以下信息:关于来自电流传感器605的充电/放电电流信号I(充电为正,放电为负),来自温度传感器608的温度信号T,来自电压传感器606的电池低电阻电压信号 V_{LoR} 以及来自电压传感器607的电池电压信号。控制器604通过基于接收到的信息和充电算法向充电器602、负载603、开关609、610和611发送命令来控制电池601的充电操作。

[0079] 下面参照图4中的流程图描述在充电过程期间控制器604的操作。

[0080] 图4是示出根据本发明实施例的充电过程700的流程图。在该流程图的步骤701,在

断开开关610和611之后,控制器604获取来自温度传感器608的温度 T 和来自电压传感器606或607的开路电压(OCV)。在步骤702,控制器604估算电池601的充电状态(SOC)。在一个实施例中,通过访问存储OCV-SOC相关性的查找表来完成该估算。查找表可以是控制器604的一部分,或者存储在SOC估算器中,SOC估算器从电压传感器接收电压信号,并将使用查找表估算的SOC返回到控制器604。

[0081] 在步骤703,控制器604通过将估算的SOC与预定的 SOC_{set} 进行比较,对于是否应该对电池601充电做出第一确定。当电池SOC低于预定 SOC_{set} 时,过程700进行到步骤704。否则,不对电池601充电并且充电过程700结束。

[0082] 在步骤704,控制器604基于来自温度传感器608的电池温度信号做出关于充电操作的第二确定。当电池温度 T 低于预定充电温度(T_{CG1})时,过程700进行到其中进行低温充电操作的步骤705。否则,过程700进行到步骤708,并且以常规方式对电池601充电,其中使用正常充电或快速充电。在实施例中,预定充电温度 T_{CG1} 具有在约 5°C 与 25°C 之间的值,优选在约 20°C 与 25°C 之间。在本发明的一个非限制性实施例中,预定充电温度等于约 25°C 。也就是说,当电池的温度低于约 25°C 时,在高内阻下对电池充电。

[0083] 在步骤705,控制器604向开关609发送信号以接合高电阻负极柱 $HiR(-)$,使得电池601在高内阻($R2$)下操作。由于在电流流动路径中存在电阻片,电池的电阻变高几倍,这使得在操作期间由于强烈的内部加热电池温度能够快速升高。可通过使用在下面的实施例中描述的优化的充电方法来进一步加速电池601的快速升温。

[0084] 在步骤706,可以实现一个或多个LTCP扫描,例如在图5至图10的流程图中进一步对其举例证明。

[0085] 在低温充电之后,电池温度一达到 T_{CG1} ,过程700就进行到步骤707,在步骤707中控制器604向开关609发送信号以接合低电阻负极柱 $LoR(-)$ 。然后电池601在接近正常温度范围内以正常内部电阻水平操作。

[0086] 在步骤708,通过例如正常充电程序的第二程序对电池601充电,正常充电程序例如为恒定电流-恒定电压(CC-CV)程序。这种CC-CV程序包括以约 $1C$ 或更高的恒定电流和约 V_{set} 的恒定电压进行充电,其中 V_{set} 是预定电压。此外,对于正常充电程序下的快速充电,可以实现以 $2C$ 或更大速度进行充电。正常充电一直持续直到电池601被充电到指定SOC,通过检查截止条件来实现对电池601是否被充电到指定SOC的确定。对于CC-CV程序,充电停止,直到电池电压等于指定充电电压并且充电电流低于预定阈值。

[0087] 在本发明的一个实施例中,如图5所示,将低温充电程序(LTCP)命名为标记的 CV_{LoR-CC} 。该充电程序从步骤801开始,其中由电压传感器606测量的电压 V_{LoR} (低电阻端电压)保持在恒定水平。该恒定电压水平小于或等于电池601在预定 SOC_{set} 处的开路电压的电压水平 V_{set} 。

[0088] 在低温充电开始时设置定时器(未示出)以计算充电时间。通过接收来自温度传感器608和电流传感器605的信号来周期性地监测电池温度和电流。

[0089] 在步骤802,控制器604确定电池温度 T 是否达到预定温度 T_{CG1} 。当 $T \geq T_{CG1}$ 时,即当电池温度上升到可以正常充电的预定水平时,低温充电停止。否则,当 $T < T_{CG1}$ 时,低温充电程序一直持续并进行到步骤803。

[0090] 在 CV_{LoR} 充电期间,电池的温度升高并且其内部电阻减小。因此,期望充电电流可以

上升到超过允许水平。为了防止大电流对电池的损害,在步骤803周期性地检查充电电流。控制器604确定充电电流 I 是否超过预定的最大充电电流(I_{\max})。通常由电池制造商针对特定电池设置这个值。当充电电流 I 大于 I_{\max} 时,将充电电流限制为 I_{\max} ,并且充电程序切换到恒定电流(CC)模式(步骤804)。否则,充电过程返回到使用 CV_{LoR} 程序的步骤801。

[0091] 在充电切换到CC模式(步骤804)的情况下,周期性地检查电池601的温度(步骤805)。在步骤805,控制器604将电池温度与预定温度 T_{CG1} 进行比较。当 T 低于 T_{CG1} 时,充电过程返回到步骤804。另一方面,当 T 高于或等于 T_{CG1} 时,低温充电过程完成。

[0092] 在低温充电方法的另一个实施例中,如图5所示,将该程序称为CV-CC。除了恒压充电步骤901之外,该充电方法与图5所示的 CV_{LoR} -CC充电程序等同地配置,在步骤901中将电压传感器607测量的电压 V (电池电压)而不是电压传感器606测量的 V_{LoR} 保持在恒定水平。因为高电阻极柱处的高电阻,电池电压 V 远高于低电阻端电压 V_{LoR} 。用于充电的恒定电压水平 V 高于 V_{set} (在预定 SOC_{set} 处的电池601的开路电压)。在优选实施例中,对于每个单体电池充电电压 V 不小于约4V,例如对于每个单体电池大于或等于约5V,以在充电时实现电池601的快速加热。

[0093] 在低温充电程序的另一个实施例中,如图7所示,将该方法称为CC充电方法。在步骤1001,将通过电流传感器605测量的电流信号保持在恒定水平,以实现恒定电流(CC)充电。为了电池寿命和安全性考虑,充电电流在小于或等于大约 I_{\max} 的范围内,并且优选地大于或等于大约1C速度,以承担快速充电并引起电池601的强烈内部加热。例如,在该程序下的恒定电流在大约 $1\text{C} < I < I_{\max}$ 的范围内,例如 $2\text{C} < I < I_{\max}$ 。在充电开始时设置定时器(未示出)以计算充电时间。通过接收来自温度传感器608的信号来周期性地监测电池温度。在步骤1002,控制器604确定电池温度 T 是否达到预定充电温度 T_{CG1} 。当 $T \geq T_{\text{CG1}}$ 时,即当电池温度上升到可以进行正常充电或快速充电的预定水平时,低温充电过程停止。否则,当 $T < T_{\text{CG1}}$ 时,充电过程返回到使用CC程序的步骤1001。

[0094] 在LTCP的另一个实施例中,如图8所示,将程序标记为CP-CC。除了恒定功率充电步骤1101之外,该充电方法与图5所示的CV-CC充电方法等同地配置,在步骤1101中将充电功率(电池电压 V 乘以电流 I)而不是电池电压 V 保持在恒定水平。选择充电功率以引起电池的强烈内部加热,使得尽管SOC增加,但在CP充电期间电池电压降低。因此,充电电流增加并且被 I_{\max} 限制。这种CP-CC充电方法用于防止充电电流快速达到其最大值,从而降低析锂的风险。在本发明的优选实施例中,充电功率 P 大于约1C充电电流和约4V充电电压的乘积,例如大于约2C充电电流和约5V充电电压的乘积。

[0095] 在LTCP的另一个实施例中,如图9所示,将该方法称为脉冲电压(PV)充电方法,其中在连续的时间段里向电池601施加正向和反向(充电和放电)电压脉冲。虽然将该程序表示为PV,但是也可以用相同的过程将其表示为脉冲功率。

[0096] PV充电过程开始于在步骤1201处设置脉冲频率。在该程序的优选实施例中,脉冲频率范围在约0.05Hz至约10Hz之间。频率低于该范围的脉冲在电池的电解质和固相中引起大的浓度极化。频率高于该范围的脉冲引起电极剥落和电解质分解。在两种情况下电池都会加速老化。

[0097] 步骤1202设置充电和放电电压脉冲的幅度。因为电池在高内阻下操作,所以电压传感器606测量的等于高电阻端电压607的脉冲电压保持在恒定水平。在该程序的优选实施

例中,对于每个单体电池充电脉冲的电压范围在约5V与约8V之间,对于每个单体电池放电脉冲的电压范围在约0.2V与约1V之间。这些电压值被设置为实现电池的强烈内部加热,并且同时防止电池损坏。

[0098] 在步骤1203,执行在设置频率和幅度下的恒定电压脉冲充电操作。紧接着该充电脉冲之后,控制器604基于从电压传感器606接收的低电阻端电压 V_{LoR} 以及大于或等于上述 V_{set} (在预定 SOC_{set} 处电池601的开路电压) 的电池的最大工作电压 V_{max} 在步骤1204做出确定。当 $V_{LoR} \leq V_{max}$ 时,恒定电压脉冲充电程序保持并且充电过程分支到步骤1206,以及当 $V_{LoR} > V_{max}$,即超过电池材料的最大工作电压时,充电过程进行到步骤1205。在步骤1205,为了防止 V_{LoR} 超过 V_{max} ,控制器604将脉冲操作程序(仅充电部分)设置为将在下一个连续时间段里实现的 $V_{c,LoR} = V_{max}$ 。

[0099] 在步骤1206,控制器604确定电池温度 T 是否达到预定温度 T_{CG1} 。当 $T \geq T_{CG1}$ 时,即当电池温度上升到可以正常充电的预定水平时,低温充电停止。否则,当 $T < T_{CG1}$ 时,低温充电过程一直持续并且进行到步骤1207。

[0100] 在步骤1207,执行在设置的频率和幅度下的恒定电压脉冲放电操作。紧接着该放电脉冲之后,控制器604基于从电压传感器606接收的低电阻端电压 V_{LoR} 以及用于电池材料的最小工作电压 V_{min} ,在步骤1208做出确定。当 $V_{LoR} \geq V_{min}$ 时,恒定电压脉冲放电程序保持并且过程分支到步骤1210,以及当 $V_{LoR} < V_{min}$ 时,充电过程进行到步骤1209。在步骤1209,为了防止 V_{LoR} 下降到低于 V_{min} ,控制器604将脉冲操作程序(仅放电部分)设置为将在下一个连续时间段里实现的 $V_{d,LoR} = V_{min}$ 。

[0101] 在步骤1210,控制器604确定电池温度 T 是否达到预定温度 T_{CG1} 。当 $T \geq T_{CG1}$ 时,即当电池温度上升到可以正常充电的预定水平时,PV充电停止。否则,当 $T < T_{CG1}$ 时,PV充电过程一直持续并且进行到步骤1203。

[0102] 在低温充电方法的另一个实施例中,如图10所示,将该方法称为脉冲(PC)充电方法,其中在连续的时间段里向电池601施加正向和反向(充电和放电)电流脉冲。除了步骤1302,该充电方法与图9所示的脉冲电压(PV)充电方法等同地配置,在步骤1302中使用恒定电流脉冲而不是恒定电压脉冲。通过电流传感器605测量的脉冲电流保持在恒定水平。在优选实施例中,电流(充电和放电)的大小范围在大约 $2C$ 到大约 I_{max} 之间。这些电流值被设置为引起电池的强烈内部加热,并且同时防止对电池的损伤。此外,充电和放电脉冲的频率范围可以在约0.05Hz与约10Hz之间。

[0103] 虽然通过上述特定实施例描述了本发明的少数充电算法,但是它们属于用于电池的基于 $I-V-V_{LoR}-T$ 的算法类别,其不同于基于 $I-V-T$ 的充电算法。

[0104] 再生充电

[0105] 此外,可以用例如从行驶车辆的动能产生的再生能量对可变内阻的可充电电池充电。例如,再生制动(也称为再生)是将车辆的动能转换成在车辆减速和/或停止时对车载电池进行再充电(再生)的电。这种再生能量可以通过对车辆,例如电动车辆(EV)、混合动力电动车辆(HEV)、以及插电式混合动力电动车辆(PHEV)的制动获得。在捕捉再生能量的充电控制系统中,系统包括发电机,例如,将动能转换成电力的发动机/发电机。在本发明的一个实施例中,捕获再生能量的充电控制系统包括向再充电电池供给再生电力的电力再生系统;用于向可充电电池施加再生电力的电池控制系统;车辆控制系统,其(i)接收制动请求

和电池状态,以及(ii)基于电池状态确定是否接合电力再生系统,以及(iii)响应于确定,接合电源再生系统并将再生电力转发到可充电电池。

[0106] 在实施本发明的某些实施例时,当电池处于高内阻时,例如当电池温度低于预定充电值(T_{CG1})时,可以在再生充电程序(RCP)下用再生能量对可变内阻的可充电电池充电。此外,当电池处于低内阻时,可以在第二程序(例如,在正常操作温度下使用的正常充电程序)下对电池充电。

[0107] RCP包括例如通过以受控电压形式或以受控功率P形式或以受控电流形式或其组合向电池施加充电电流来对电池充电。受控电压形式,受控功率P形式和受控电流形式可以是恒定值或者是随时间而变。在本发明的一个实施例中,RCP包括(i)通过以受控电压形式或以受控功率P形式向电池施加充电电流来对电池充电,(ii)随后以恒定电流对电池充电;其中受控电压形式在电池的低电阻端电压 $V_{LoR}(t)$ 或电池的电压 $V(t)$ 处确定受控电压。当充电电流达到或超过预定的最大充电电流(I_{max})时,可以以恒定电流对电池充电。当电池处于低内阻时在第二程序下的充电例如可包括恒定电流-恒定电压程序。

[0108] 图11示出根据本发明实施例的再生充电系统1400的简化配置。这种系统例如可包括在例如EV/HEV/PHEV的电力供能的车辆中。

[0109] 再生充电系统1400包括可变内阻的可充电电池1401。在优选实施例中,将锂离子用作电池1401的电池化学物质。但是,控制系统也可应用于其它电池化学物质。

[0110] 电连接到电池1401、发动机/发电机1411、以及其他单元(未示出,例如引擎-发电机、12V辅助电气系统等)的电力控制单元1410在其连接之间进行电力的交换和转换。功率控制单元1410包括但不限于逆变器和整流器(未示出)。

[0111] 将电池1401用作作为车辆提供牵引力的电源(放电)时,逆变器将从电池1401供应的DC电力转换为用于发动机/发电机1411的AC电力,发动机/发电机1411充当产生牵引力矩的发动机并通过机械系统1412(包括离合器、变速箱、曲轴和车轮以及其他组件)推动车辆,并且当电池1401在恢复能量(充电)时,整流器将来自发电机1411的AC电力转换为DC电力,以对电池1401充电。当相关联的事件之一是再生制动时,可以发生对电池的能量恢复,在该再生制动期间,车辆被充当将车辆的动能转换为电力的发电机的发动机/发电机1411阻滞。

[0112] 在本发明的实施例中,电池1401具有一个正极柱(未示出)和两个负极柱1402和1403,其中1402是低电阻负极柱 $LoR(-)$,1403是高电阻负极柱 $HiR(-)$ 。开关1409电连接到 $LoR(-)$ 极柱1402和 $HiR(-)$ 极柱1403。当开关1409接通时, $LoR(-)$ 极柱1402接合,而当开关1409断开时, $HiR(-)$ 极柱1403接合。由控制器1404来执行开关1409的操作。

[0113] 电池1401电连接到用于检测流入和流出电池1401的电流的电流传感器1405、用于检测电池1401的温度的温度传感器1408、以及两个电压传感器1406和1407。电压传感器1406电连接到用于监视电池1401的低电阻端电压 V_{LoR} 的低电阻负极柱1402。电压传感器1407测量电池1401的电压 V 。

[0114] 控制器1404接收以下信息:关于来自电流传感器1405的充电/放电电流信号 I (充电为正,放电为负)、来自温度传感器1408的温度信号 T 、来自电压传感器1406的电池低电阻电压信号 V_{LoR} 、以及来自电压传感器1407的电池电压信号的信息,以及来自车辆控制器1413的关于电池操作模式(放电、充电、再生充电、或休息)的命令。电池控制器1404通过向开关1409和电力控制单元1410发送命令来控制电池1401的操作。它能够向协调车辆组件的操

作的车辆控制器1413发送请求,车辆组件包括但不限于电池控制器1404、电力控制单元1410、发动机/发电机1411、以及机械系统1412。

[0115] 根据本发明的实施例,参考图12中的流程图描述在再生充电过程中电池控制器1404和车辆控制器1413的操作。假设车辆处于操作中。当车辆操作者通过按压制动踏板来启动减速命令时,车辆控制器1413向电池控制器1404发信号以获取电池温度和充电状态(SOC)。在步骤1501,电池控制器1404从温度传感器1408获取温度 T ,利用SOC估算算法或合并SOC估算器来估算电池SOC,并将温度和SOC信息返回车辆控制器1413。

[0116] 在步骤1502,车辆控制器1413关于是否应该执行再生充电做出确定。当电池SOC低于作为SOC阈值的预定SOC_{RG}时(超过阈值再生充电可能对电池1401造成损坏),车辆控制器1413向车辆的机械系统1412发出信号,以通过发动机/发电机1411阻滞车辆,在发动机/发电机1411中产生用于对电池1401充电的电力。当电池SOC等于或高于SOC_{RG}时,车辆控制器1413通过命令功率控制单元1410,命令机械系统1412使用基于摩擦的制动,或者使用再生制动,但是将所产生的电力转发到其它系统组件(例如乘客厢冷却/加热、引擎加热等)。

[0117] 在步骤1503,电池控制器1404基于来自温度传感器1408的电池温度做出关于再生充电操作的确定。当电池温度 T 低于预定温度 T_{CG1} 时,过程1500进行到步骤1504,在步骤1504中在同时用于内部加热和充电的高电阻水平下对电池1401充电。否则,过程1500进行到步骤1506,并且在用于最大化能量存储的低电阻水平下对电池1401充电。在实施例中,预定充电温度 T_{CG1} 具有在约5°C与25°C之间,优选在约20与25°C之间的值。在本发明的一个非限制性实施例中,预定充电温度等于约25°C。也就是说,当电池温度低于约25°C时,在高内阻下对电池充电。

[0118] 当电池温度 T 低于预定温度 T_{CG1} 时,过程1500进行到步骤1504,在步骤1504中电池控制器1404确定开关1409是否接通。当答案为是时,换言之,当电池1401在低电阻水平下操作时,过程1500然后进行到步骤1505,在步骤1505中电池控制器1404命令开关1409断开并接合高电阻负端HiR(-),使得电池1401在高电阻水平(R2)下操作。因为在电流流动路径中存在电阻片,所以电池的电阻变高几倍,这使得在操作期间由于强烈的内部加热电池温度可以快速升高。当答案为“否”时,换言之,当电池1401在高电阻水平下操作时,不需要开关1409上的更多动作。过程1500跳到实现再生充电的步骤1508。

[0119] 当电池温度 T 大于或等于预定温度 T_{CG1} 时,过程1500进行到电池控制器1404确定开关1409是否接通的步骤1506。当答案为是时,换言之,当电池1401在低电阻水平下操作时,不需要开关1409上的更多动作。过程1500跳到实现再生充电的步骤1508。当答案为“否”时,换言之,当电池1401在高电阻水平下操作时,过程1500然后进行到步骤1507,在步骤1507中电池控制器1404命令开关1409接通并接合低电阻负极柱LoR(-)以使得电池1401在低电阻水平下操作,这防止电池601过热并允许更多的电能存储在电池1401中。

[0120] 在步骤1508,实现例如在图13-16中进一步详细描述的正常充电程序。

[0121] 在本发明的一个实施例中,如图13所示,描述标记为 $V_{LoR}(t)$ -CC的RCP。在本实施例中,当车辆控制器1413发出再生充电命令时,从发电机1411产生AC电力并由电力控制单元1410将该AC电力转换为适当电压水平的DC电力。在步骤1601,电池控制器通过监测来自电压传感器1406的电压信号,以受控电压形式 $V_{LoR}(t)$ 调节从电力控制单元1410到电池1401的DC电力。电压受控形式可以是随着时间的恒定电压,或者是随时间即设置时间而变。在一个

优选实施例中, $V_{LoR}(t)$ 小于或等于 V_{max} 。

[0122] 在再生充电开始时设置定时器(未示出)以计算充电时间。在步骤1602,在指定的时间间隔内执行在设置的电压水平处的充电操作。

[0123] 紧接着该时间间隔之后,电池控制器1404基于来自电流传感器1405的充电电流 I 和 I_{max} 在步骤1603做出确定。当 $I \leq I_{max}$ 时,充电程序保持设置的充电模式,并且充电过程分支到步骤1605。当 $I > I_{max}$ 时,即超过最大充电电流时,充电过程进行到步骤1604。在步骤1604,充电电流被限制为 I_{max} ,并且充电程序切换到将在下一个充电间隔中实现的恒定电流(CC)模式,其中 $I = I_{max}$ 。

[0124] 在步骤1605,基于从车辆控制器1413接收的信号,由电池控制器1404做出关于是否继续再生充电的确定。当答案为是时,充电过程返回到步骤1602,其中在下一个时间间隔对电池1404充电。当答案为否时,再生充电过程停止。

[0125] 在再生充电方法的另一个实施例中,如图14所示,该方法称为 $V(t)$ -CC再生充电方法。除了设置电压充电步骤1701之外,该充电方法与图13所示的 $V_{LoR}(t)$ -CC再生充电方法等同地配置,在步骤1701中控制通过电压传感器1407测量的电压 V (电池电压)而不是通过电压传感器1406测量的 V_{LoR} 。因为所涉及的高电阻,电池电压 V 比低电阻端电压 V_{LoR} 高得多。

[0126] 在RCP的另一个实施例中,如图15所示,将该程序称为 $C-CV_{LoR}$ 。在步骤1801,电池控制器通过监测来自电流传感器1405的电流信号,以受控电流形式 $I(t)$ 调节从电力控制单元1410到电池1401的DC电力。在一个优选实施例中, $I(t)$ 小于或等于 I_{max} 。在再生充电开始时设置定时器(未示出)以计算充电时间。在步骤1802,在指定的时间间隔内执行在设置的电流水平下的充电操作。紧接着这个时间间隔之后,电池控制器1404基于来自电压传感器1406的低电阻端电压 V_{LoR} 和 V_{max} 在步骤1803做出确定。当 $V_{LoR} \leq V_{max}$ 时,充电程序保持设置的充电模式并且充电过程分支到步骤1805。当 $V_{LoR} > V_{max}$ 时,充电过程进行到步骤1804。在步骤1804,将低电阻端电压 V_{LoR} 限于 V_{max} 并且将充电程序切换到将在下一个充电间隔中实现的恒定电压(CV_{LoR})模式,其中 $V_{LoR} = V_{max}$ 。在步骤1805,基于从车辆控制部1413接收的信号,由电池控制器1404做出关于是否继续再生充电的确定。当答案为是时,充电过程返回到步骤1802,其中在下一个时间间隔对电池1404充电。当答案为否时,再生充电过程停止。

[0127] 在再生充电方法的另一个实施例中,如图16所示,将该方法称为 $P(t)$ -CC再生充电方法。除了设置功率充电步骤1901之外,该充电方法与图14所示的 $V(t)$ -CC充电方法等同地配置,在步骤1901中控制充电功率(电池电压 V 和充电电流 I 的乘积)而不是电池电压 V 。

[0128] 虽然通过上述特定实施例描述了本发明的少数充电算法,但是它们属于基于 $I-V-V_{LoR}-T$ 的算法类别,其具有新颖性并且不同于基于 $I-V-T$ 的常规充电算法。

[0129] 通过并行开关布置在低温下快速充电

[0130] 图3B示出根据本发明另一个实施例的支持在低温下对可变内阻电池的快速充电的充电控制系统600B。在该实施例中,开关609可将 $HiR(-)$ 极柱613电连接到电池601的正极柱。有利地,该实施例不包括用于监测电池601的低电阻端电压 V_{LoR} 的电压传感器,例如不包括电压传感器606,因为电压传感器607足以确定负极柱和电池的电压。

[0131] 在图3B中示出的所有其他组件和连接与图3A中相同,例如,开关609由控制器604来操作,电池601通过开关610连接到充电器602,通过开关611连接到负载603,电池601也连接到用于测量充电电流的电流传感器605、用于检测电池601的温度的温度传感器608、以及

电压传感器607。

[0132] 在操作中,控制器604接收以下信息:关于来自电流传感器605的充电/放电电流信号I(充电为正,放电为负)、来自温度传感器608的温度信号T、以及来自电压传感器607的电池电压信号。控制器604基于所接收的信息和充电算法,通过向充电器602、负载603、开关609、610和611发送命令来控制电池601的充电操作。

[0133] 在低温充电程序中,开关609通过电池的高电阻极柱将电池601电接合到充电器602,即,高电阻极柱613在LTCP期间通过开关609连接到电池的正极柱。通过这种设计,将总充电电流分成两个并行路径:一个穿过电池活性材料并离开极柱612;另一个进入极柱613并通过电池的一个或多个电阻片,然后通过极柱612出现。流过电阻片的部分电流产生热量,以提高电池的内部温度并因此有助于电池充电。在实施例中的电路设计,通过充电源开关在电池充电期间将高电阻极柱电接合到电池的正极柱。该方式与在LTCP期间电流仅通过高电阻极柱发生充电相比能够以更低的电压充电。

[0134] 在本发明的实施例中,一种对可变内阻的可充电电池充电的方法包括:当电池电连接到对电池充电的充电源时,通过将电连接到HiR(-)极柱的开关接合到电池的正极柱,在低温充电程序(LTCP)下对电池充电。通过断开开关,可以在例如在正常工作温度下使用的正常充电程序的第二程序下对电池充电。

[0135] 示例

[0136] 以下示例旨在进一步说明本发明的某些优选实施例,并且本质上不是限制性的。本领域技术人员只要使用常规实验就将认识或者能够确定本文所述的具体物质和程序的许多等同物。

[0137] 在该示例中,使用电化学-热耦合模型在模拟条件下制造和测试可变内阻电池。关于这种模型的细节可以在Ji等人的“Li-Ion Cell Operation at Low Temperatures (在低温下的锂离子电池的操作)”, J. Electrochem. Soc., (2013) 160 (4) A636-A649中找到。

[0138] 试制生产的20Ah OMB方形电池,正极材料为锂-镍-锰-钴(NMC),负极材料为石墨。电池有2个卷绕电芯,电阻片夹在两个卷绕电芯之间。。除了正极柱和低电阻负极柱之外,电阻片产生附加的高电阻负极柱。电阻片为电阻箔形状,并且由25cm长,6cm宽和11 μ m厚的不锈钢制成。其电阻约为0.045欧姆,其重量约为1.4克——约为电池总重量的0.3%。以机电继电器形式制造并由温度控制器驱动的开关位于OMB外部。

[0139] 建立如图2所述的充电控制系统以示出在低温下的快速充电方法。将预定温度 T_{CG1} 设置为25 $^{\circ}$ C。将电池材料的最大和最小电压设置为每单体电池 $V_{max}=4.1V$,每电池 $V_{min}=2.8V$ 。电池的最大允许充电电流为 $I_{max}=3.5C=70A$ 。以安装在电池上的几个热电偶的形式实现温度传感器。在测试之前,将测试电池放电至25%SOC,然后在设置为-25 $^{\circ}$ C的热室中沉浸5-6小时。将目标充电SOC设置为对应于 $V_{set}=4.1V$ /单体电池的 $SOC_{set}=100\%$ 。此外,还测试了没有电阻箔、高电阻极柱和开关但保持其他方面相同的基准电池,以用于比较研究。

[0140] 使用如流程图700(图4)中所述的充电方法将电池(在图2的充电系统中的601)从25%SOC充电至100%SOC,其包括两个阶段:低温充电(步骤706)和正常充电(步骤708)。在正常充电步骤708,通过CC-CV程序对电池601充电,其中在CC周期期间使用2.5C电流速度(50A),并且在CV期间使用4.1V/电池电压——直到截止电流为C/10(2A)。在低温充电步骤706,分别应用如图4-10所示的六个低温充电程序并对其进行测试,即 CV_{LoR} -CC充电、CV-CC

充电、CC充电、CP-CC充电、PV充电、以及PC充电。在每个低温充电程序的整个充电过程期间，该20Ah OMB的SOC、电流、温度、电压、以及低电阻端电压 V_{LoR} 的演变如图17-19中所示。

[0141] 图17A和图17B示出使用图5所述的 CV_{LoR} -CC充电方法 ($V_{LoR}=4.0V$ /单体电池, $I=I_{max}$) 随后进行正常充电 (CC-CV $I=2.5C$, $V=4.1V$ /单体电池) 而获得的电池SOC、电流、温度和电压的演变。该方法能够在 $-25^{\circ}C$ 环境温度下在25分钟内将电池从25% SOC充电至100% SOC。此外，低温充电时间段仅花费99s (49s CV_{LoR} 充电和50s CC充电)，如从图17A所观察到的，在此期间电池温度从 $-25^{\circ}C$ 急剧上升到 $25^{\circ}C$ 。通过打开电池的高电阻水平并施加高充电电压 (在图17B中每单体电池6V至7.2V之间) 来实现电池的这种快速内部加热，引起了嵌入在电池内的电阻箔的强烈加热。此外，如图17B所示，由 CV_{LoR} -CC充电方法控制的电池的低电阻端电压保持在4.0V以下并且充电电流保持在 $I_{max}=70A$ 以下，其电流和电压在电池材料的正常操作范围之内，这有助于减少或消除电池损坏。当电池温度达到 $25^{\circ}C$ 时，控制器将电池切换到低内阻。由于内部发热与散热之间的平衡，电池能够将其温度保持在最佳水平 (约 $25^{\circ}C$)。保持最佳温度使得能够连续快速地对电池充电。

[0142] 当使用图6所述用于低温充电的CV-CC充电方法 ($V=6.5V$ /电池, $I=I_{max}$)，以及当使用图7所述用于低温充电的CC充电方法 ($I=2.8C$)，以及当使用图8所述用于低温充电的CP充电方法 ($P=350W$ /单体电池) 时，电池SOC、电流、温度和电压结果的类似演变类似于图17A和17B所示的那些演变。这些充电过程总共需要约25分钟，其中约110至约120秒用于使电池温度从 $-25^{\circ}C$ 升至 $25^{\circ}C$ 的低温充电。在低温充电时间段期间的高充电电压和高内部电阻产生电池的强烈内部加热，从而导致电池温度的快速上升和电池电压的降低，尽管电池正在接受充电。对于电池材料的稳定性很重要的 V_{LoR} 和 I 在整个充电过程中都在正常操作范围内。

[0143] 图18A、18B和18C示出使用图9所述用于低温充电的PV充电方法 ($V_c=6.8V$ /单体电池, $V_d=0.4V$ /单体电池) 随后进行正常充电 (CC-CV $I=2.5C$, $V=4.1V$ /单体电池) 而获得的电池SOC、电流、温度和电压的演变。整个充电过程大约需要26分钟，其中只有87秒用于使电池温度从 $-25^{\circ}C$ 升到 $25^{\circ}C$ 的PV充电。在电池保持在高内阻下的PV充电期间，电池电压在6.8V与0.4V之间变化，从而导致电池的强烈内部加热。在本示例中，充电电流在大小上接近放电电流，使得在PV充电期间几乎观察不到SOC增加。但是，如本领域技术人员已知的，因为抑制了活性材料的固相中的浓度极化，这组脉冲操作具有降低析锂和其它副反应的风险的好处。对于可以接收较高充电倍率的电池，可以将充电容量的量设置为大于在脉冲电压的每个/特定周期中的放电容量的量，以进一步减少充电时间。也就是说，在充电脉冲相较于放电脉冲的情况下，PV充电方法可以是不对称的。还要注意，根据图18C的插图，跨越所有电池材料的低电阻端电压 V_{LoR} 始终保持在3和4V之间，从而达到延长电池寿命的最佳范围。

[0144] 图19A-19C示出使用图10所述用于低温充电的PC充电方法 ($I_c=3.2C$, $I_d=-3.2C$) 随后进行正常充电 (CC-CV $I=2.5C$, $V=4.1V$ /单体电池) 而获得的电池SOC、电流、温度和电压的演变。除了脉冲电流保持在恒定水平并因此允许电池电压的变化之外，电池表现出与使用图18A-18C所示的PV充电方法相同的行为。

[0145] 图23中示出使用用于低温充电的PC充电方法 (图10所述) 的20Ah OMB电池 (标记为可变内阻电池) 和基准电池 (标记为常规锂离子电池) 的比较。电池温度从 $-25^{\circ}C$ 升至 $25^{\circ}C$ 的低温充电时间段对于OMB电池只花费92秒。相比而言，对于基准电池这个时间段需要30分

钟。基准电池的总充电时间(55分钟)大于OMB的总充电时间的两倍(26分钟)。相信通过观察在PC充电期间两个电池的电压演变,可以理解性能的差异。OMB的电压变化处于高水平,范围从开始时的6.8V充电到0.2V放电,以及在PV充电结束时从6.6V充电到0.6V放电,而基准电池的电压变化范围从开始时的4.1V充电到3.1V放电,以及在PC充电期间的后期阶段中从3.67V充电到3.46V放电,这表明OMB的内部加热功率更高并且更稳定,而常规锂离子电池的内部加热功率小,随着温度升高而快速下降。通过使用OMB完全实现如本文所公开的低温充电程序的好处。

[0146] 使用相同的电池,例如20Ah OMB和基准常规锂离子电池,这里给出利用图11所述的可再生充电系统、图12和图15所述的可再生充电方法C-CV_{LoR}演示再生充电的示例。例如 T_{CG1} 、 V_{max} 、 V_{min} 、 I_{max} 的相关参数与低温充电的参数相同。用于再生充电的预定SOC被设置为 $SOC_{RG}=60\%$ 。在再生充电之前,将测试电池放电至30% SOC,然后在设置为-25℃的热室中沉浸5-6小时。

[0147] 根据图12所述的充电方法,因为约-25℃的电池温度低于预定温度($T_{CG1}=25^{\circ}C$),所以高电阻极柱被接合。在每个再生充电时间段期间,通过C-CV_{LoR}程序对测试电池充电,其中 $I=3C$ (60A) 用于受控电流充电, $V_{LoR}=4.1V$ 用于CV_{LoR}充电。

[0148] 作为脉冲充电的示例,由10分钟持续时间内的10个再生充电脉冲表示再生充电过程。每个脉冲持续10秒,随后是50秒的休息期。

[0149] 测试结果示于图21A至图21C。从温度演变可以看出,测试OMB的温度在每个再生充电期间急剧增加。10分钟后,其温度达到22.0℃。相比而言,基准电池的温度在每个充电时间段期间显示小得多的增加,并且在再生充电结束时仍然保持在非常低的水平(-18.4℃)。测试OMB的更高的温度升高归因于其产生高得多的内部加热功率的高内部电阻,其内部加热功率在每10秒再生充电脉冲期间引起平均4.7℃的温度升高(对于基准电池为0.66℃)。通过使用OMB实现了本文公开的再生充电程序的好处。

[0150] 此外,从电池的电流和电压演变来看,测试的OMB在充电期间总是保持在恒定电流模式,而基准电池从第二再生脉冲快速切换到CV_{LoR}模式。电池的不同充电模式是由它们不同的温度行为所致。测试OMB保持在高得多的温度,这允许它接受更高的充电电流,而不会导致CV_{LoR}模式。因此,OMB具有再生制动期间的高充电接受能力的附加优点。

[0151] 尽管上述测试结果基于锂离子电池,但是基于高级锂电池、镍金属氢化物(Ni-MH),铅酸(Pb-acid)、以及其他电池化学物质的可变内阻电池具有相同的优点。

[0152] 在本发明中仅示出和描述了本发明的优选实施例及其多用途的示例。应当理解,本发明能够在各种其他组合和环境中使用,并且能够在如本文所表达的本发明构思的范围内进行改变或修改。因此,例如,本领域技术人员将仅使用常规实验来认识或能够确定本文所述的具体物质、程序和布置的许多等同物。这种等同物被认为落入本发明的范围,并且被所附权利要求所覆盖。

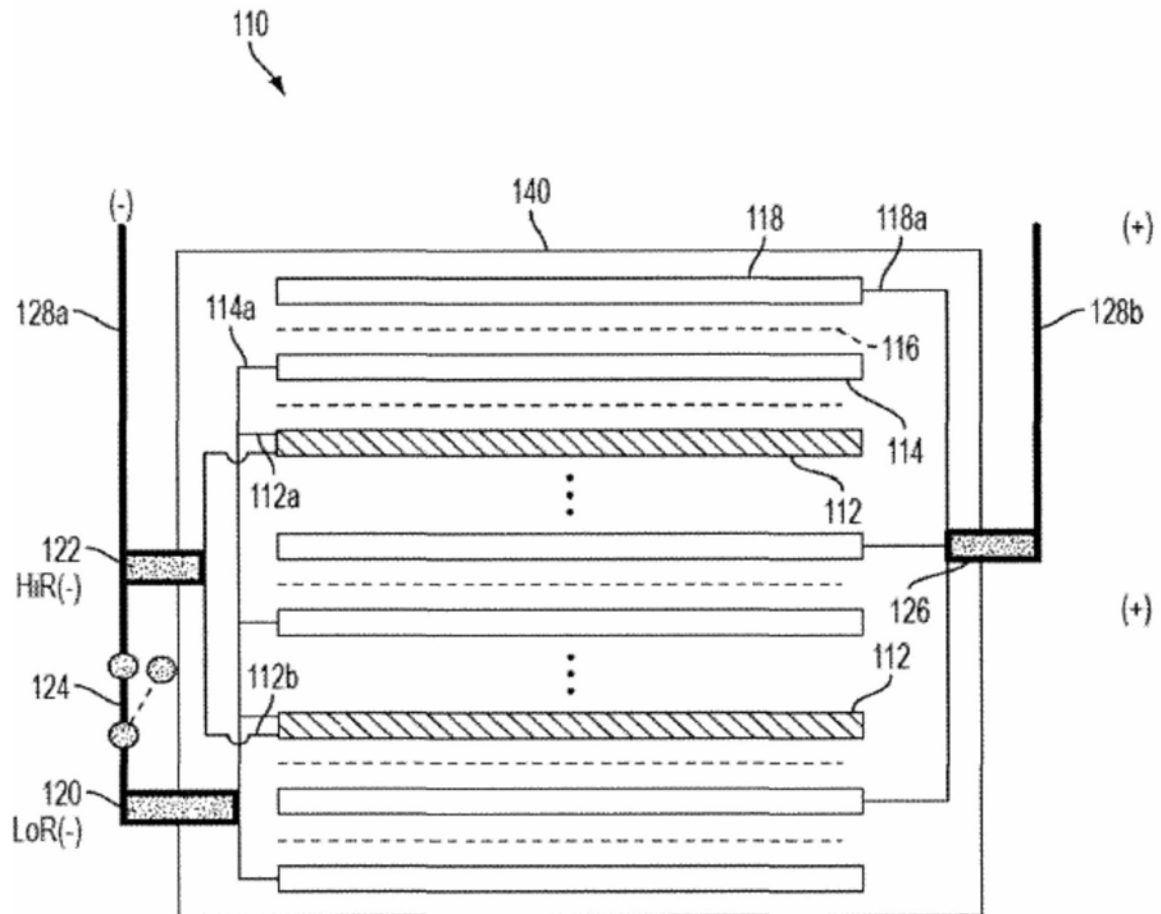


图1A

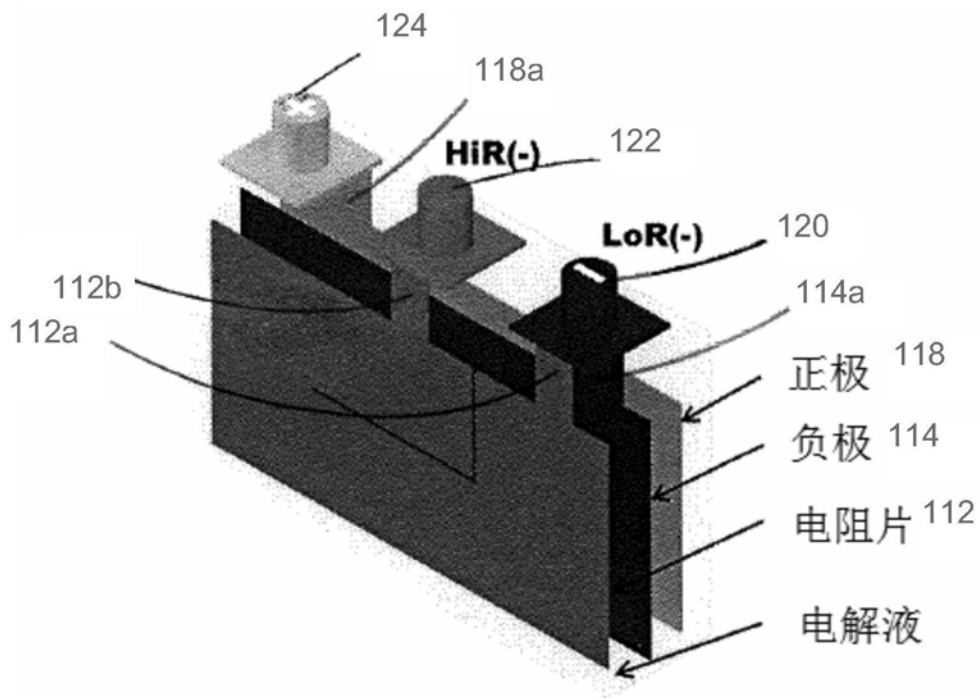


图1B

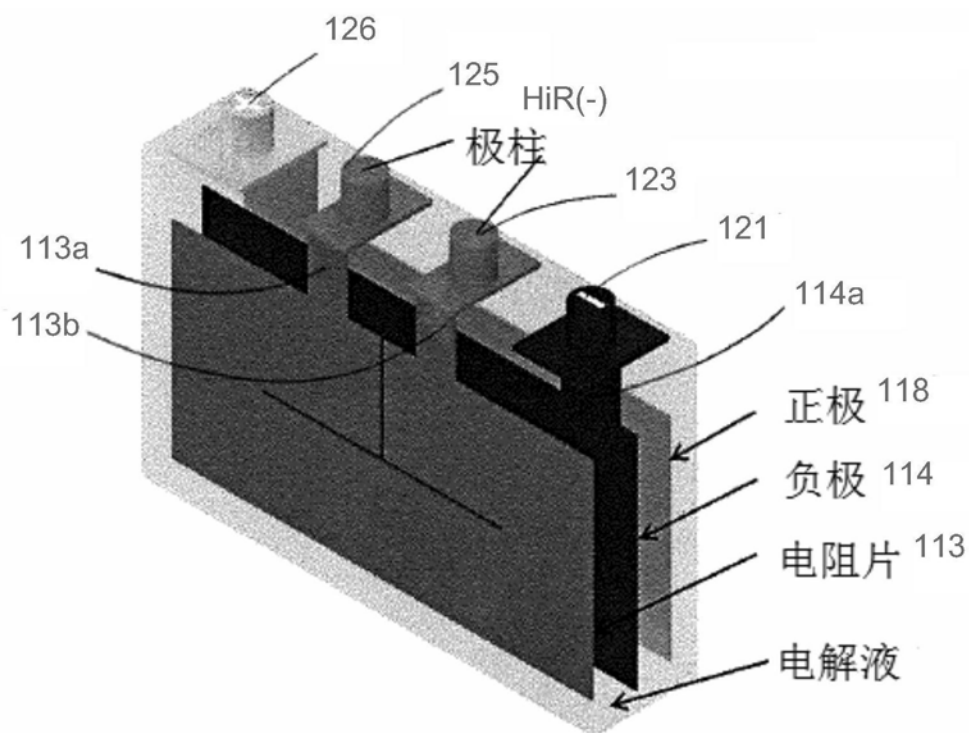


图1C

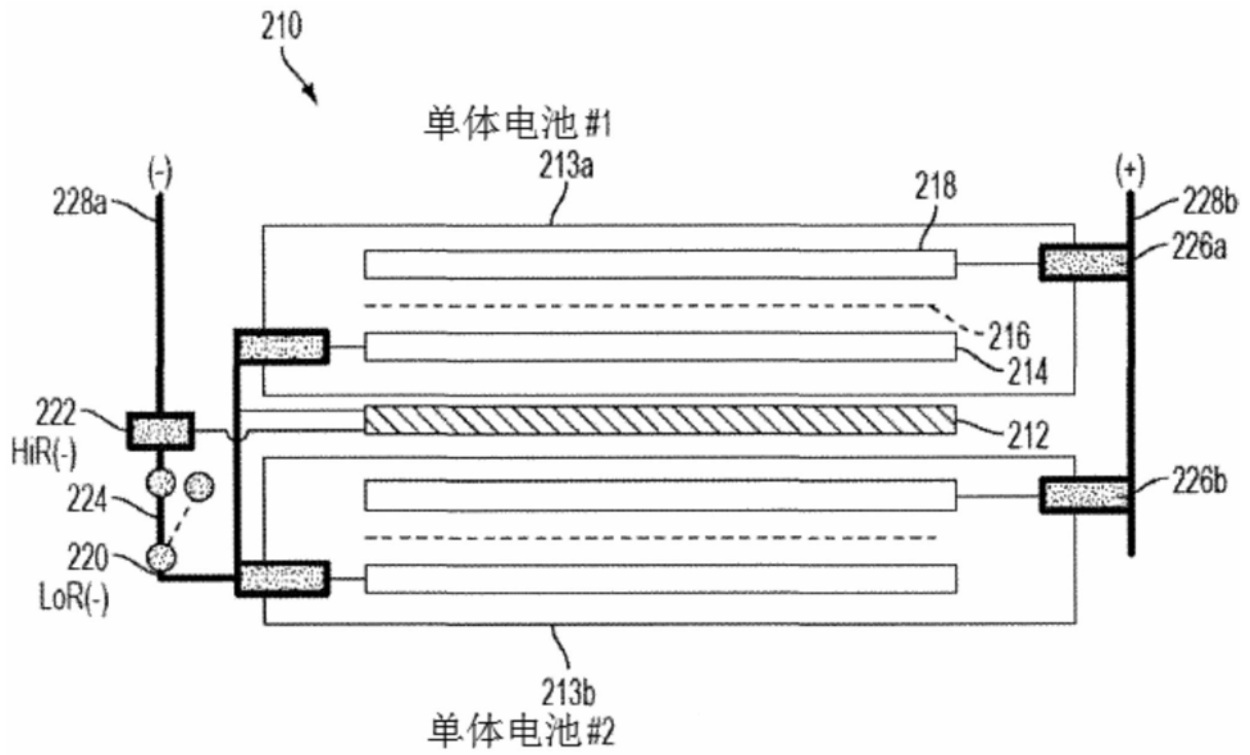


图2

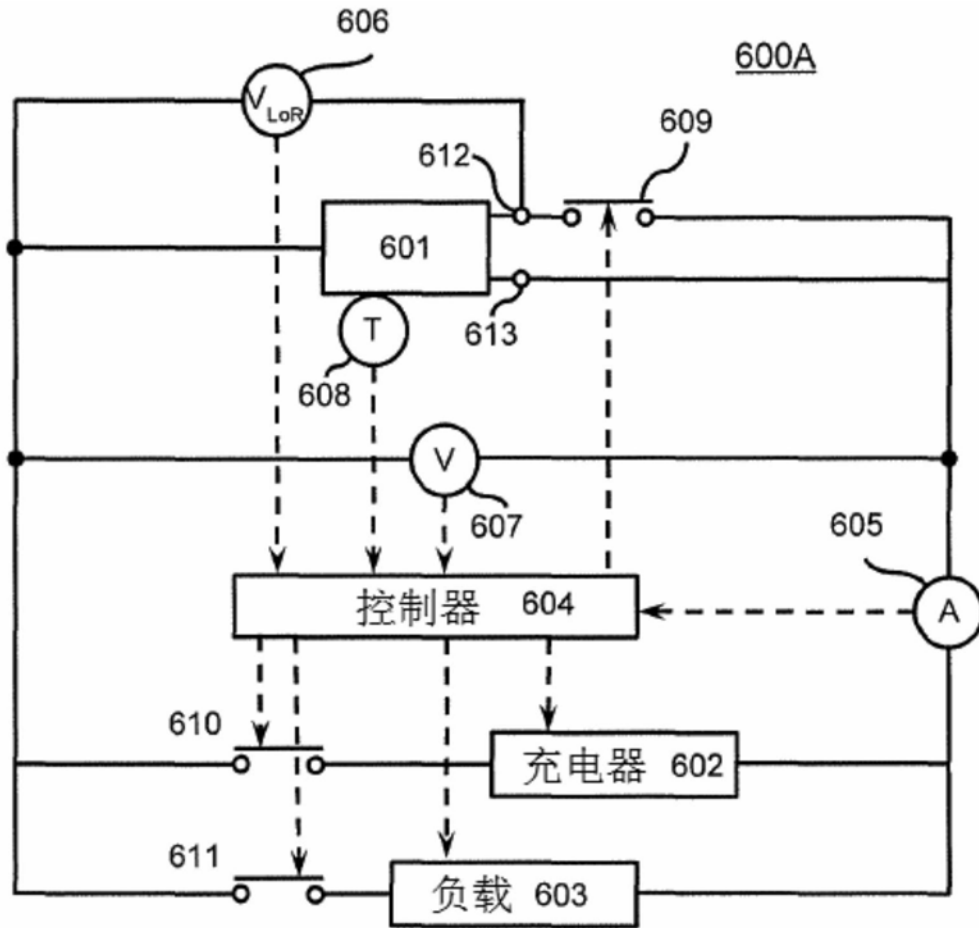


图3A

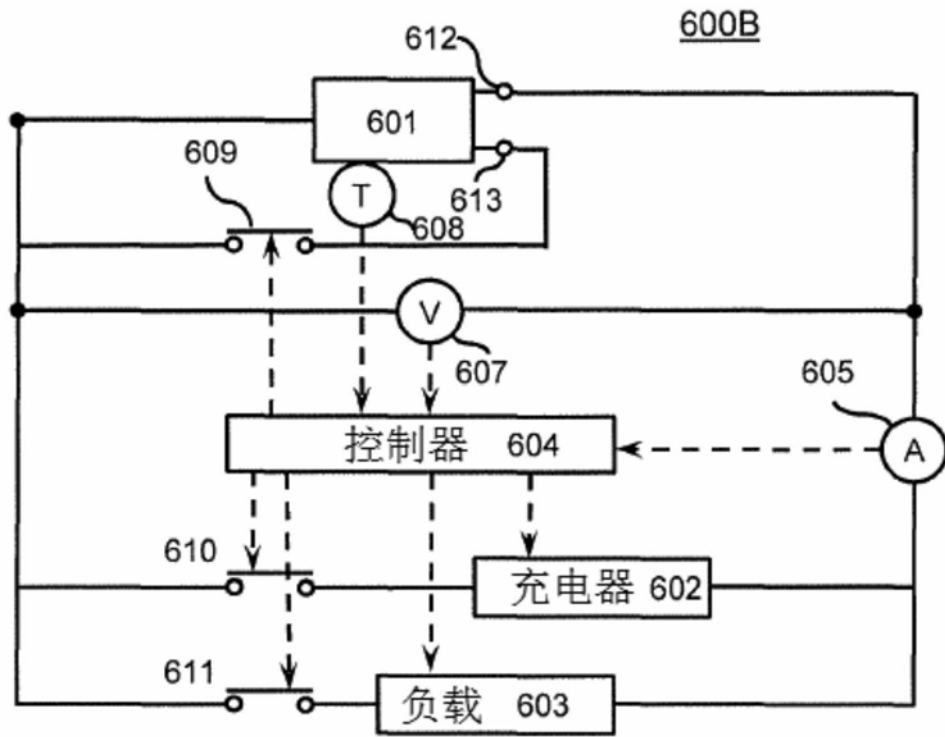


图3B

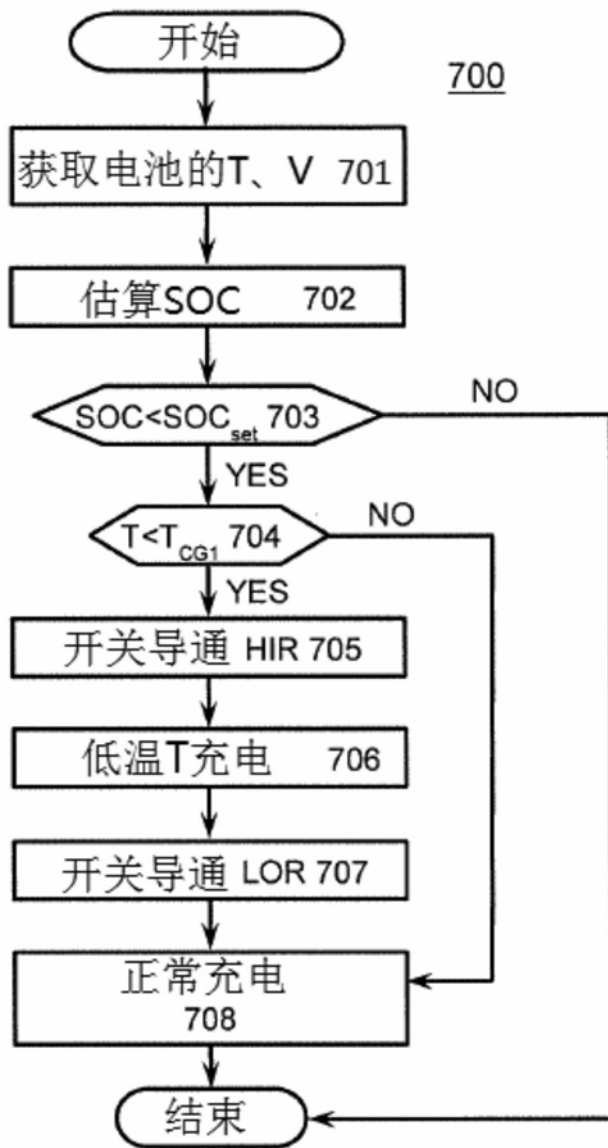


图4

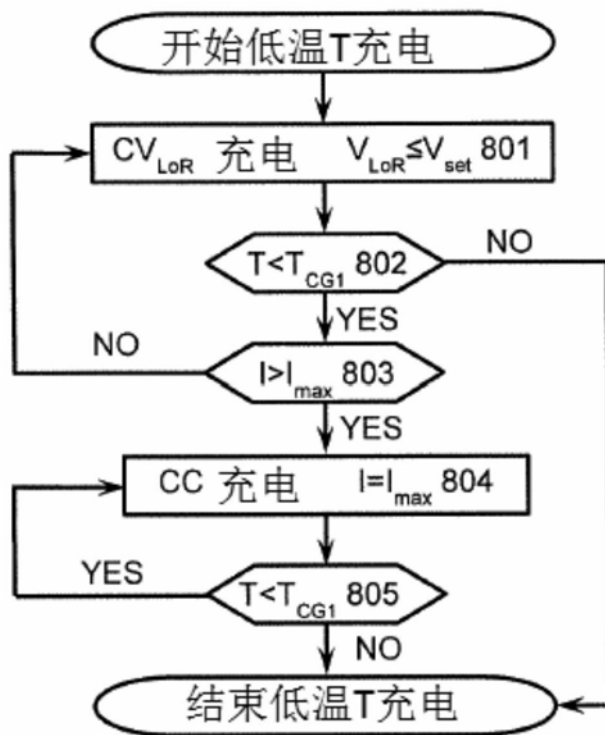


图5

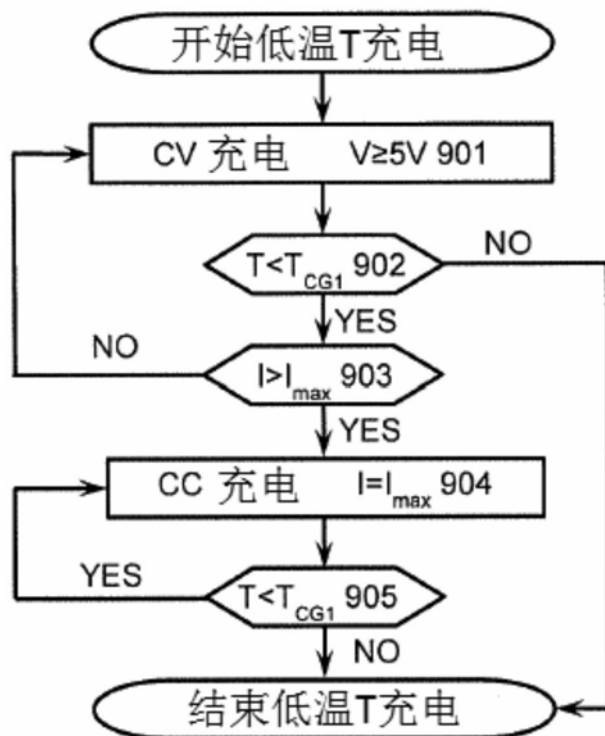


图6

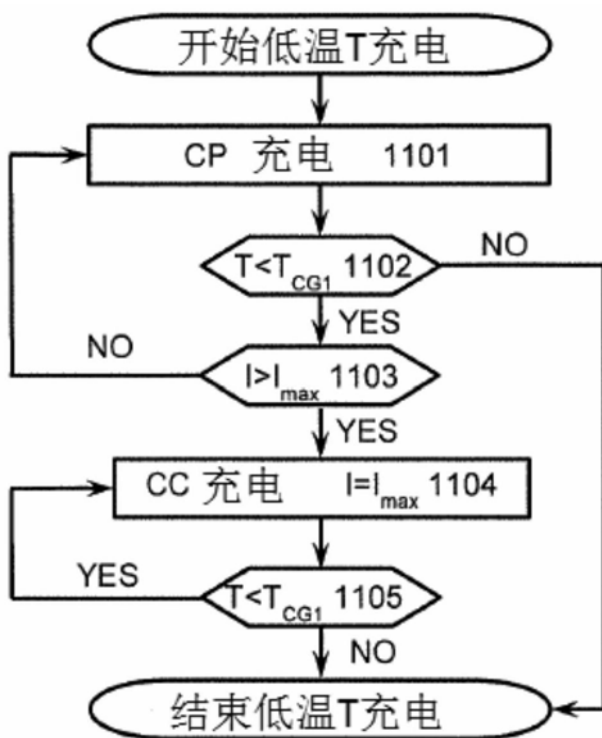


图7

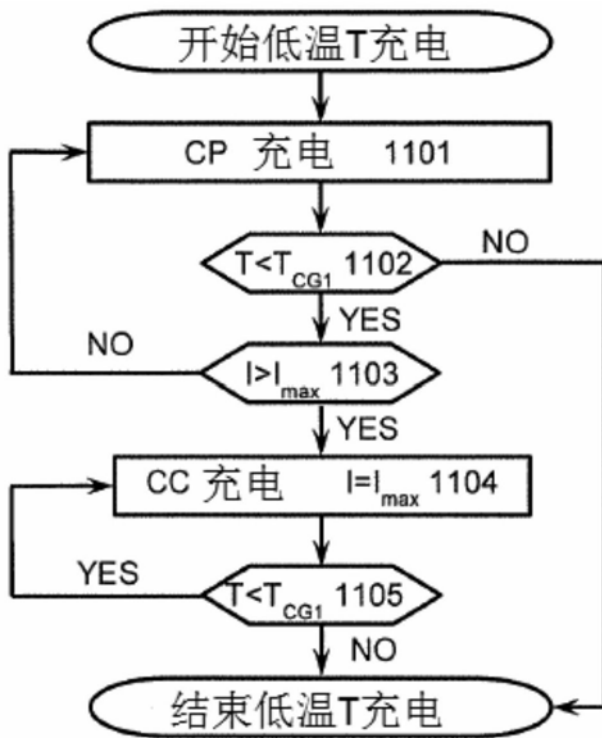


图8

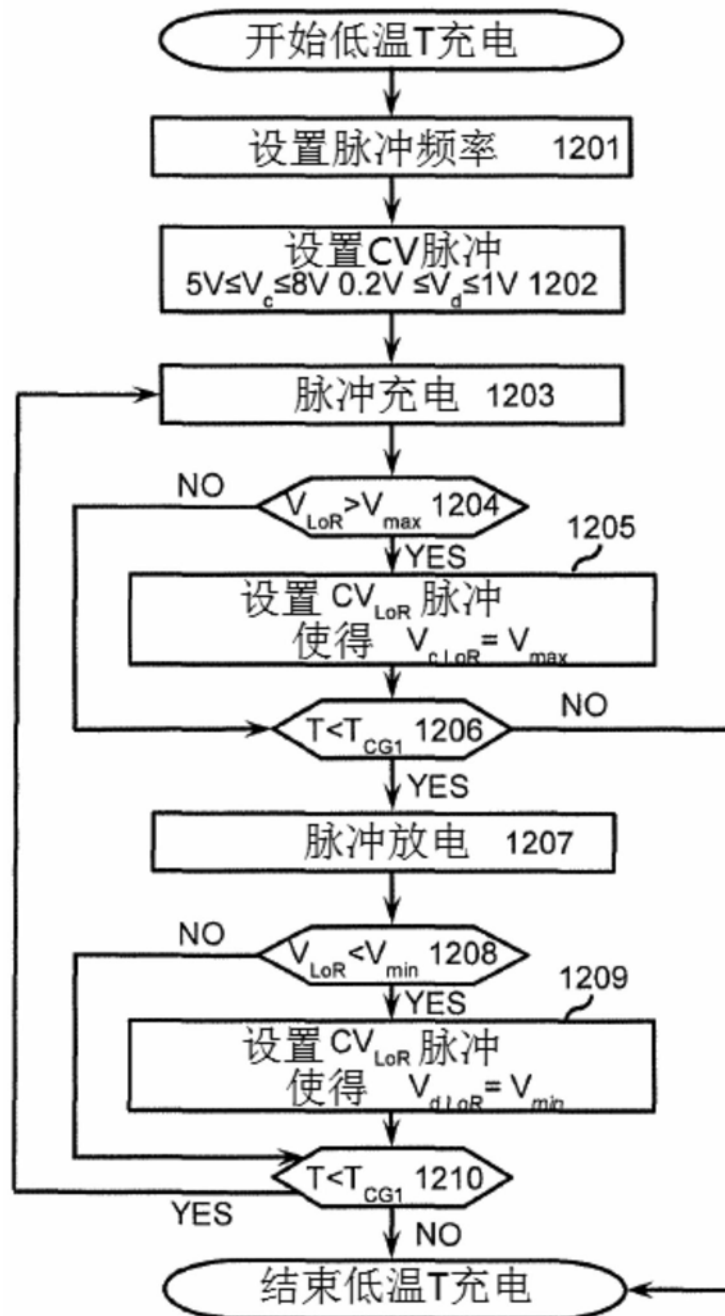


图9

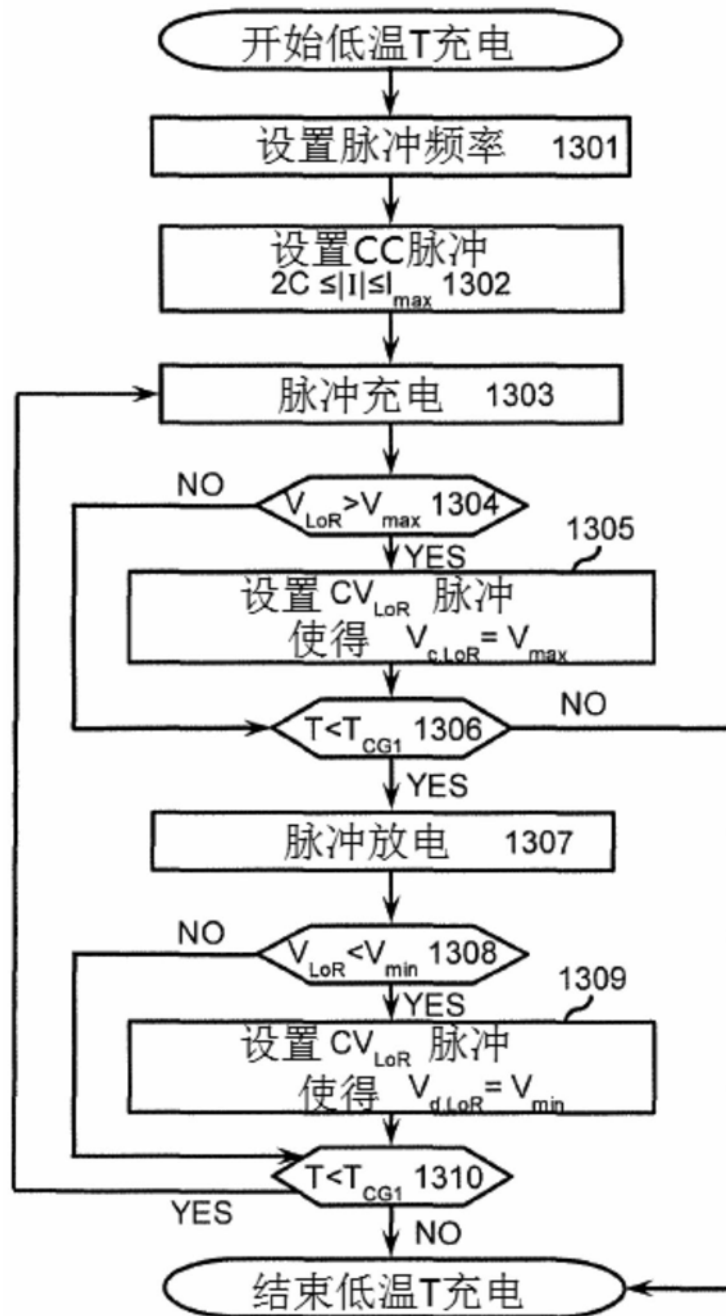


图10

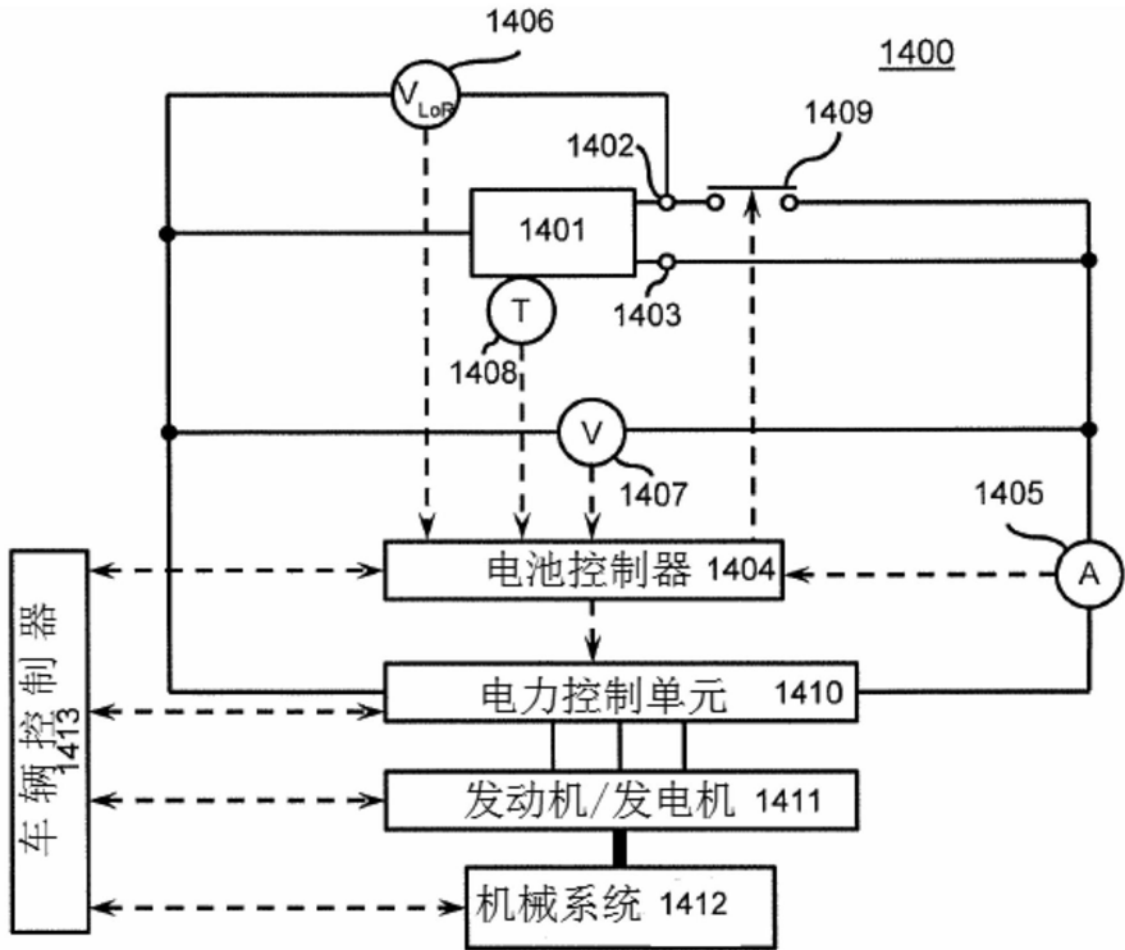


图11

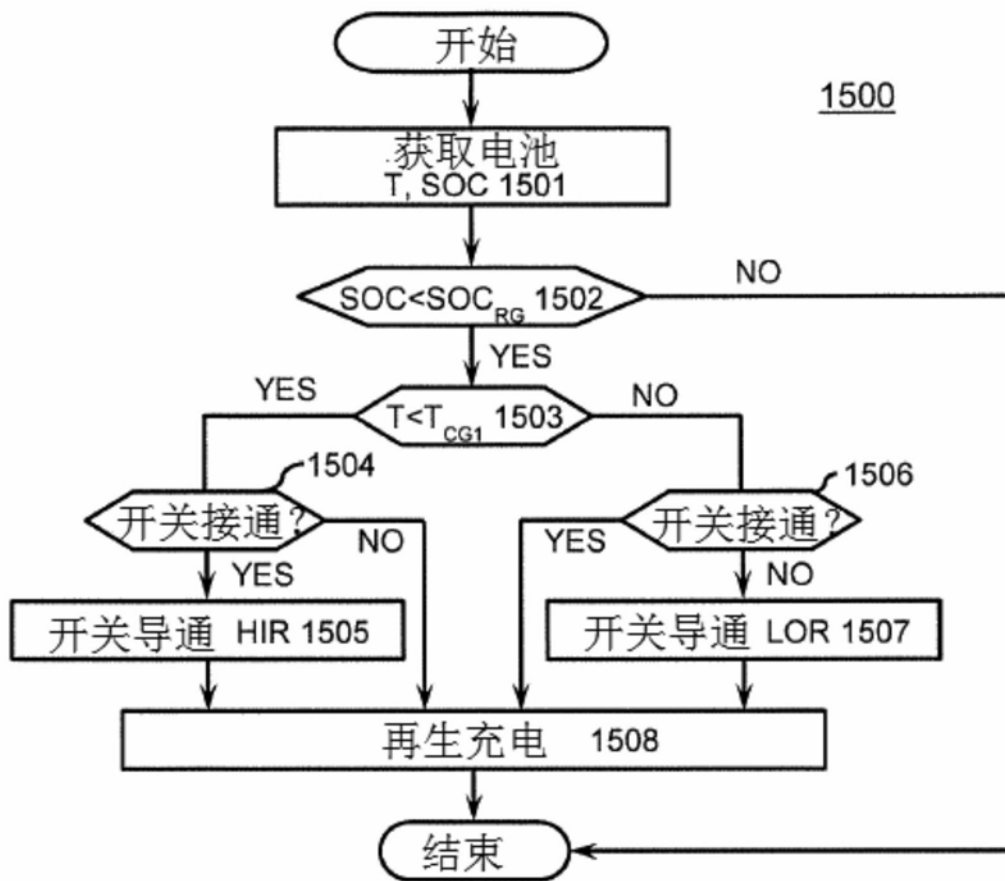


图12

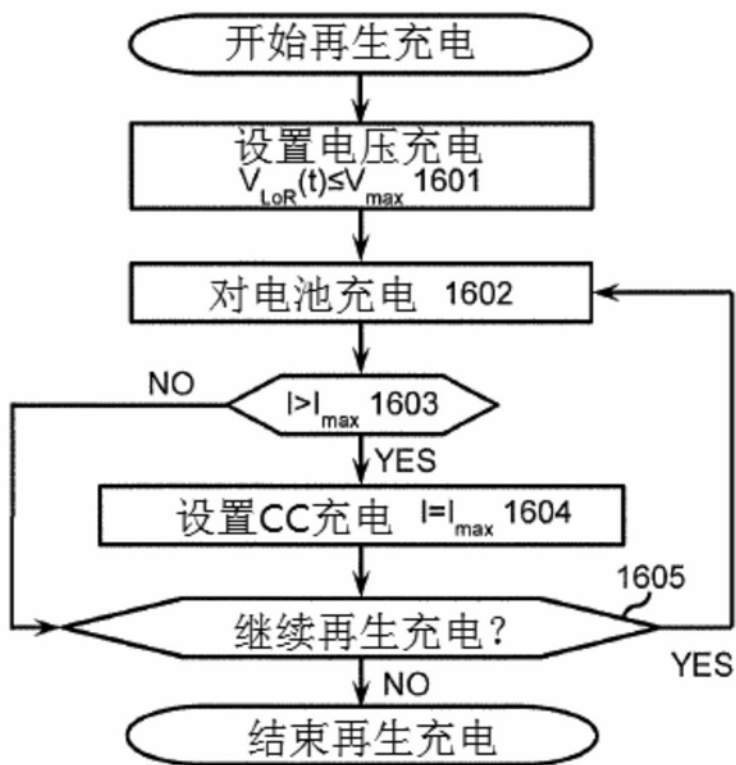


图13

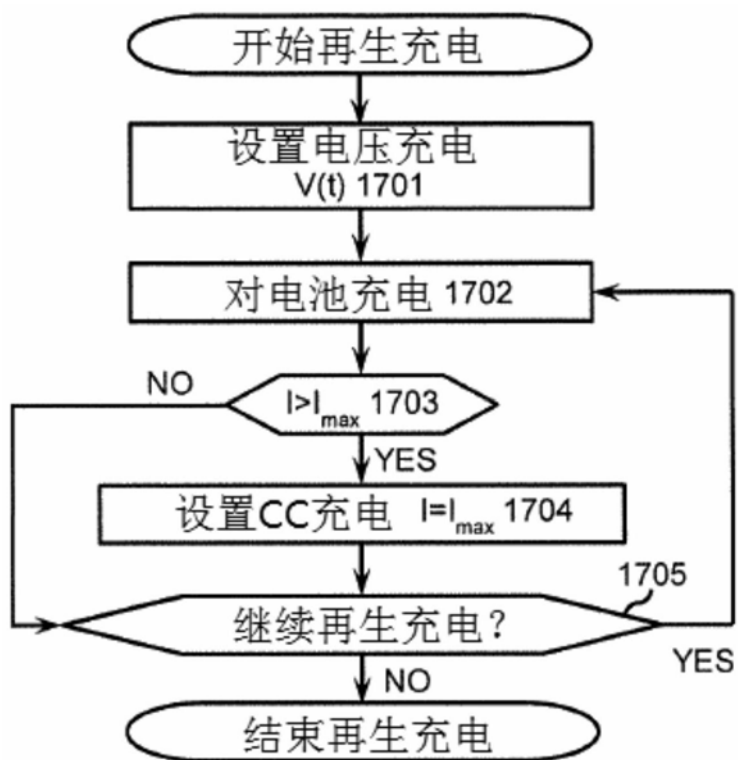


图14

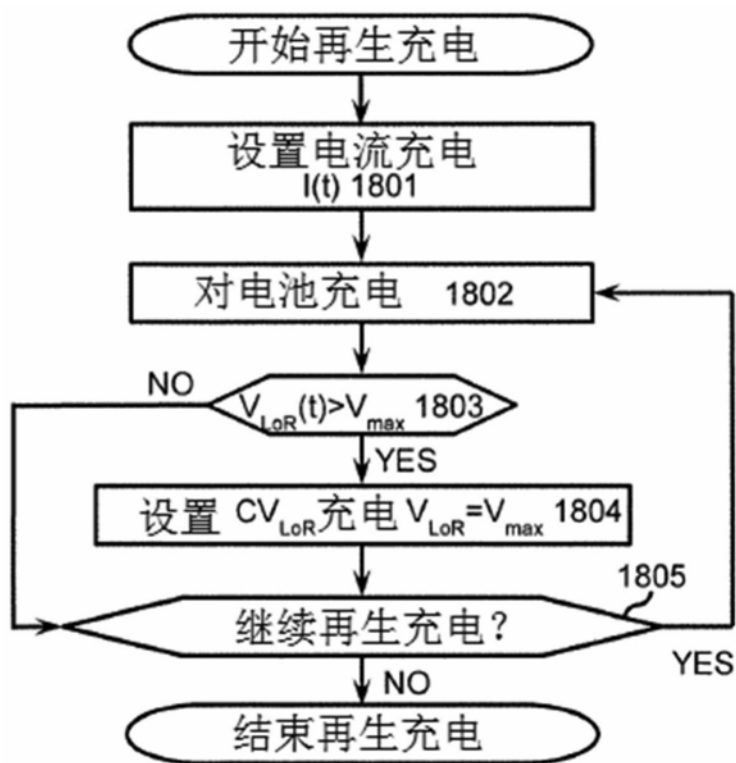


图15

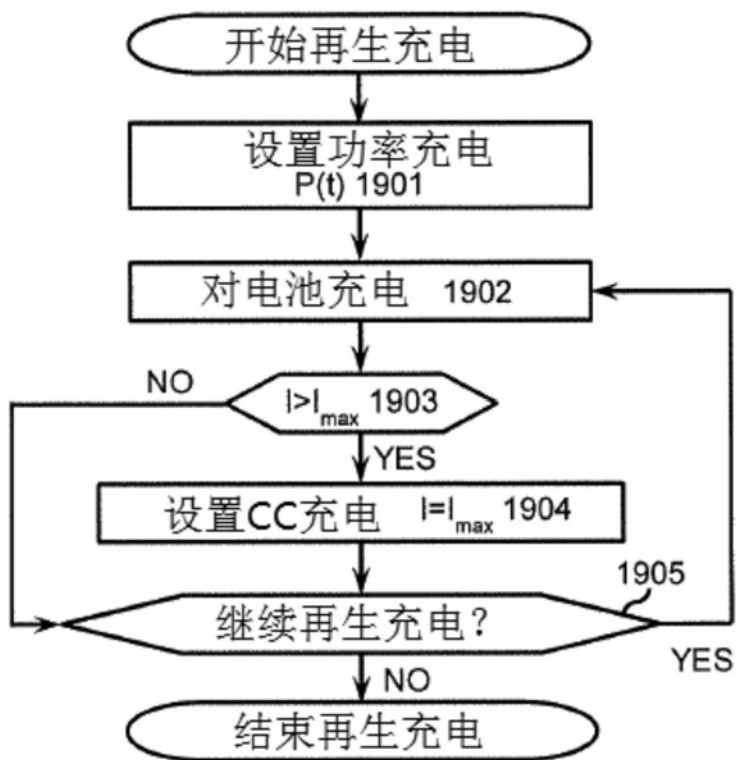


图16

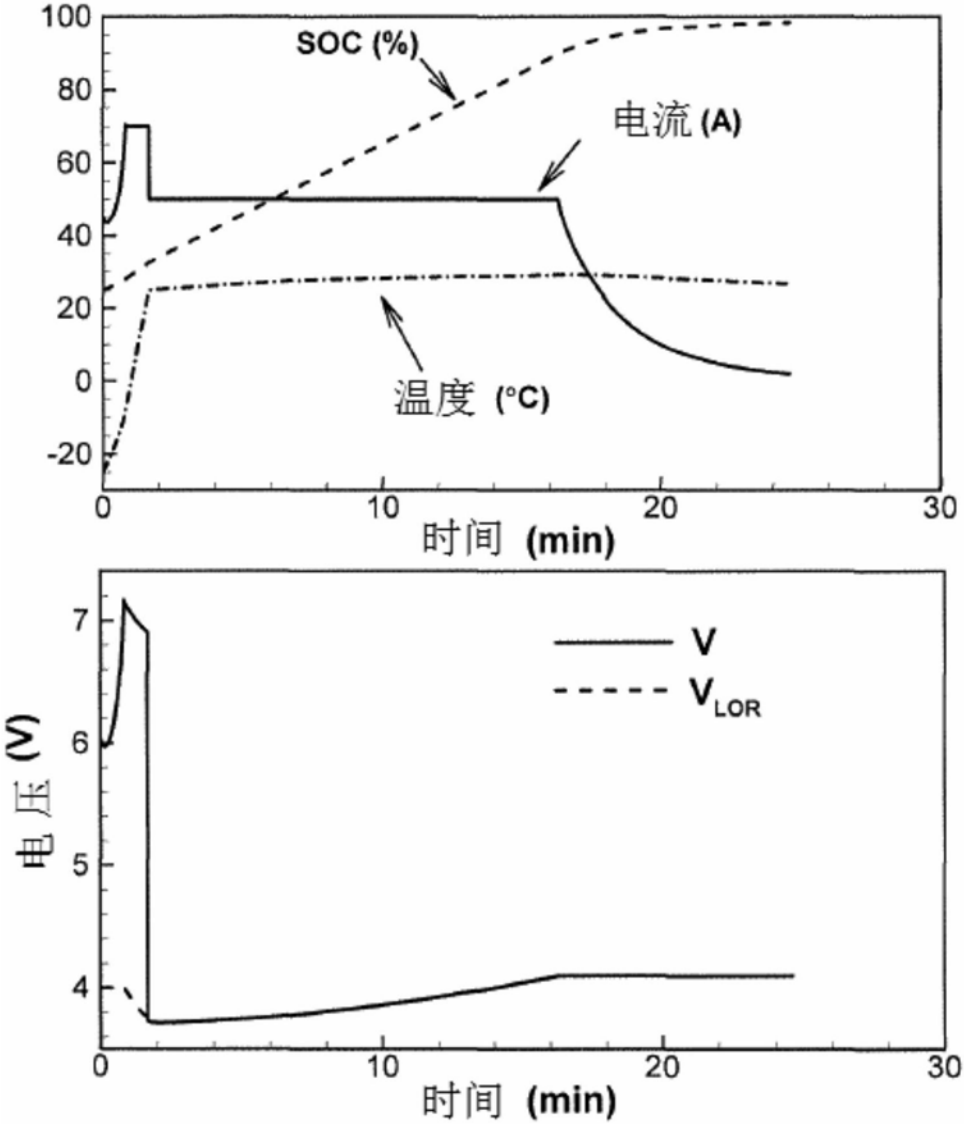


图17

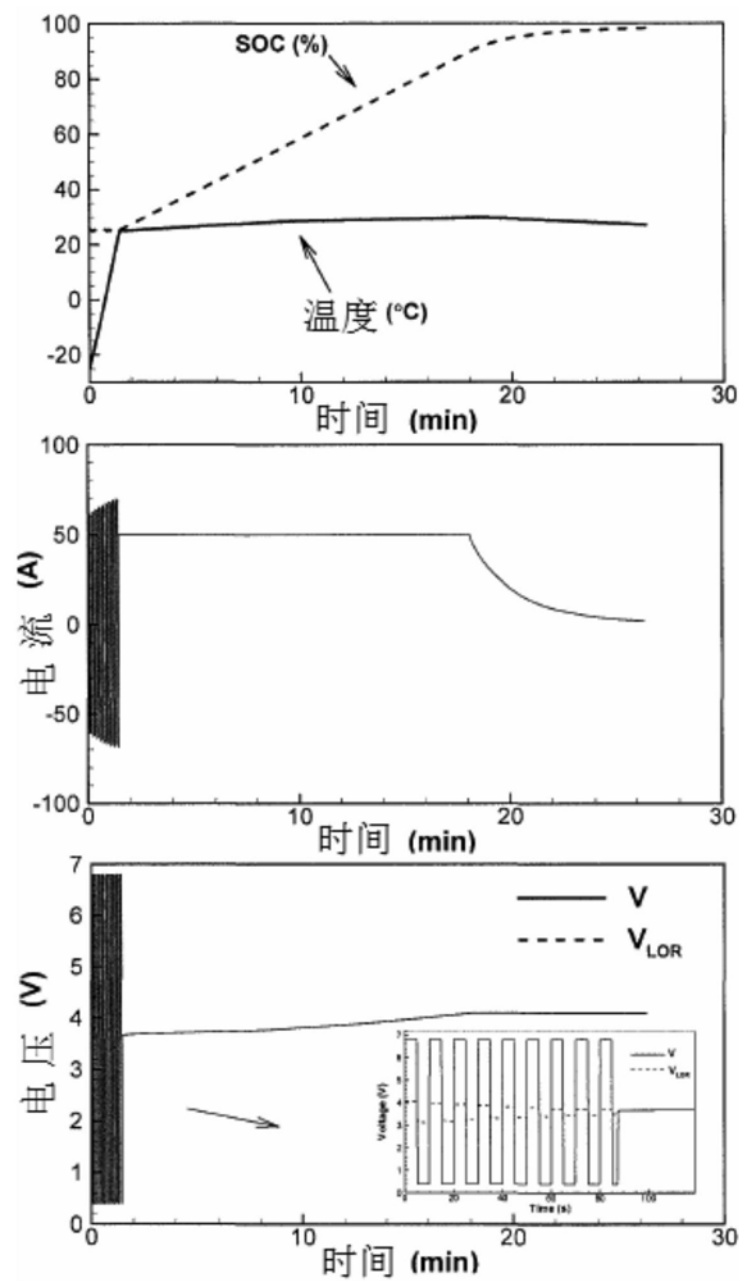


图18

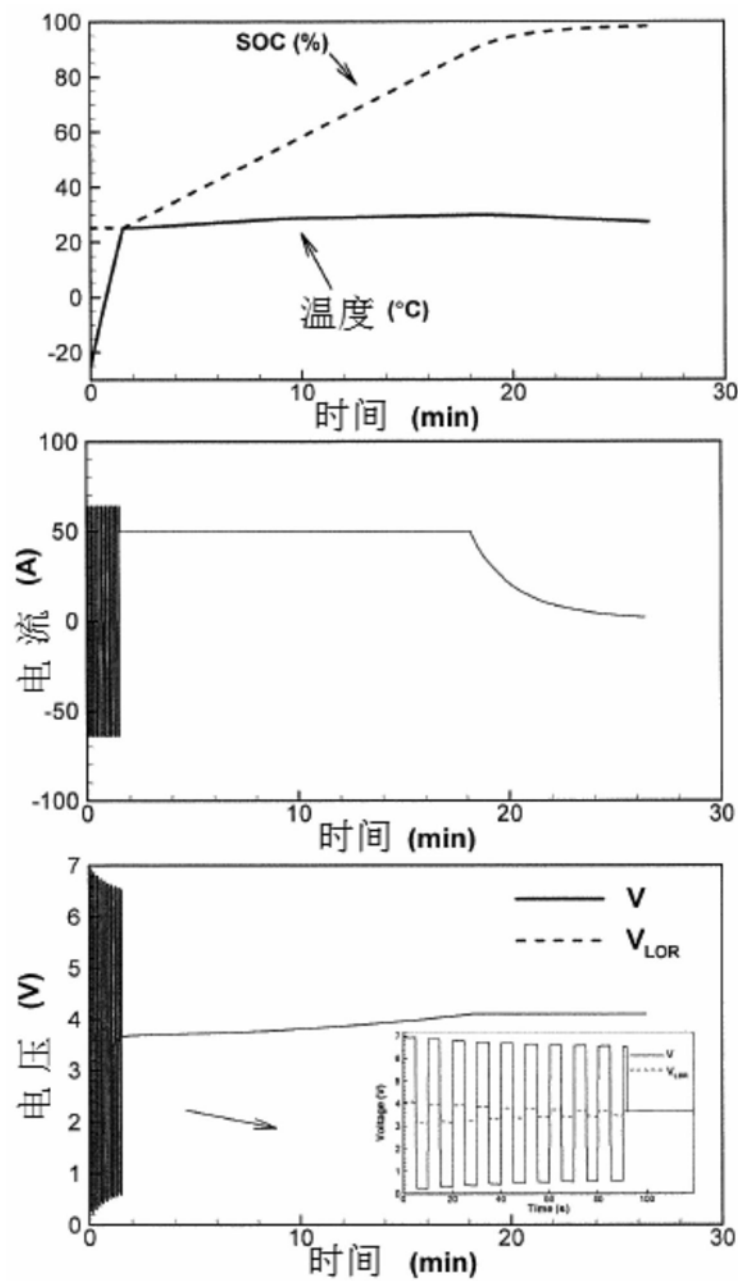


图19

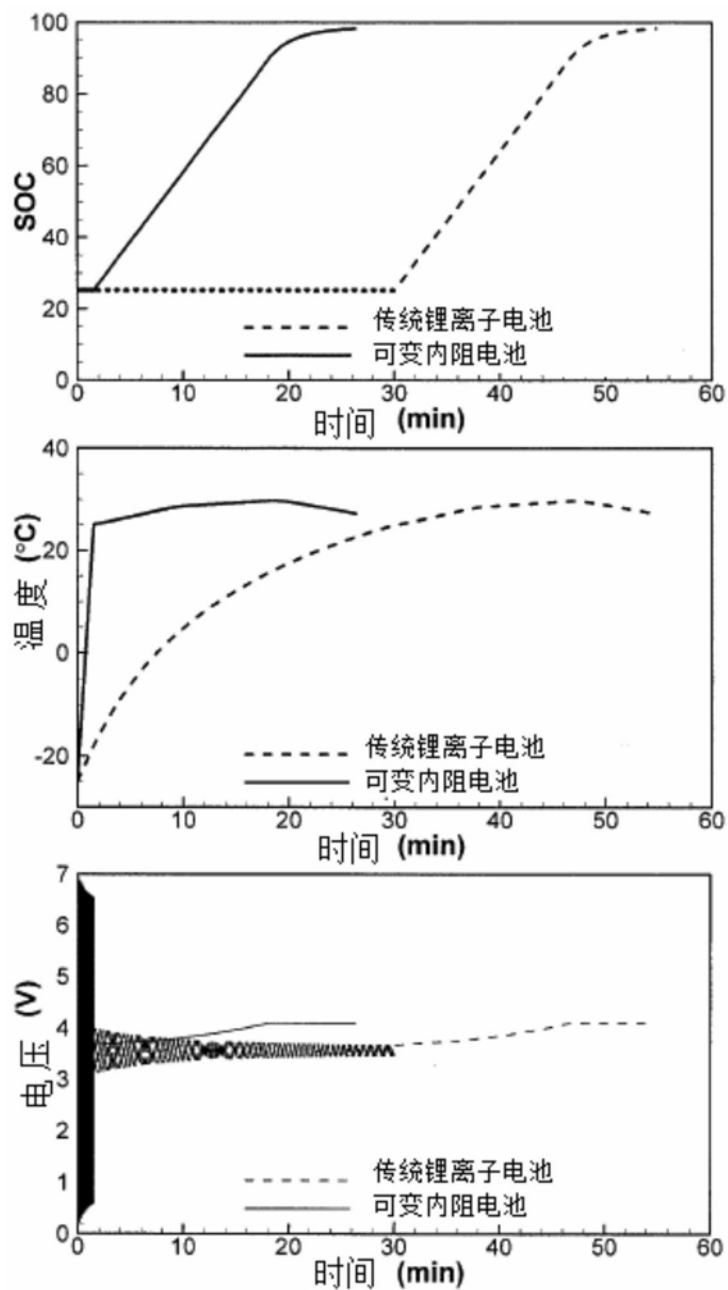


图20

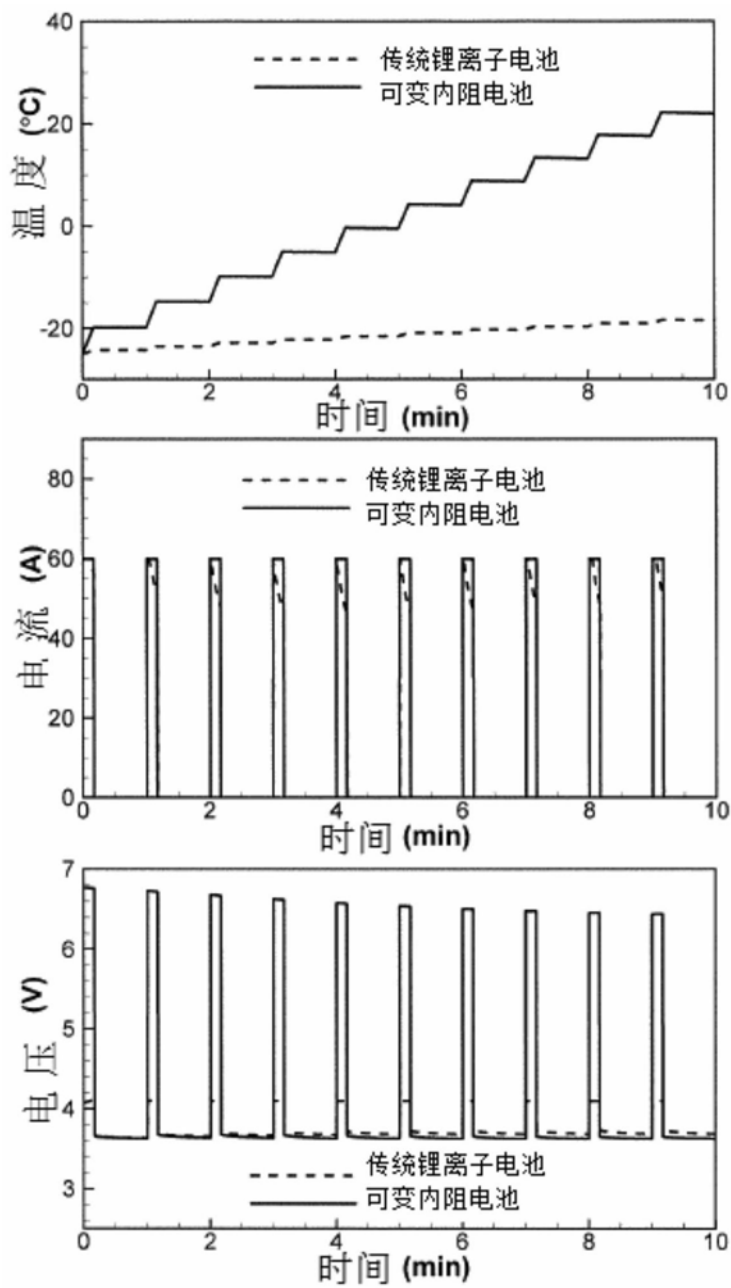


图21