



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106463801 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(21)申请号 201580025335.1

(22)申请日 2015.04.01

(30)优先权数据

61/973,641 2014.04.01 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.11.15

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/023893 2015.04.01

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/153770 EN 2015.10.08

(71)申请人 密执安州立大学董事会

地址 美国密歇根州

(72)发明人 康格·G·申 尤金·金

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 康建峰 杨华

(51)Int.Cl.

H01M 10/63(2006.01)

H01M 10/44(2006.01)

H01M 10/48(2006.01)

H02J 7/00(2006.01)

B60L 11/18(2006.01)

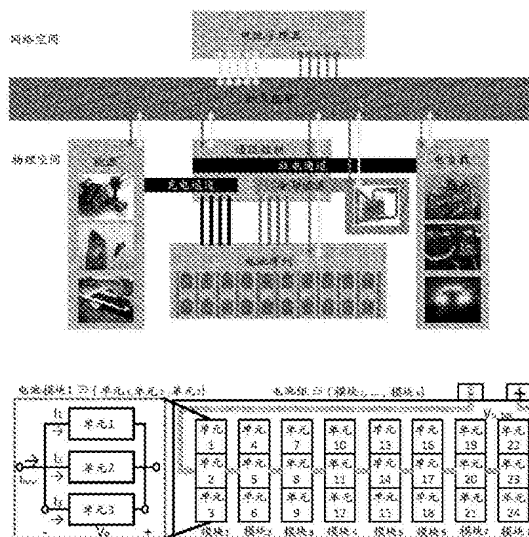
权利要求书3页 说明书20页 附图12页

(54)发明名称

用于电动车辆的实时电池热管理

(57)摘要

一种方法包括:针对多个电池单元中的给定电池单元估计内阻;针对给定电池单元估计开路电压;确定给定电池单元的目标输出电压;确定给定电池单元的目标放电电流;基于所估计出的给定电池单元的开路电压、给定电池单元的目标输出电压和给定电池单元的目标放电电流来确定给定电池单元的目标内阻;基于给定电池单元的目标内阻来确定给定电池单元的目标单元温度;以及基于给定电池单元的目标温度来控制与给定电池单元相邻的冷却剂流。



1. 一种用于电动车辆中的多个电池单元的实时热管理方法,包括:
针对所述多个电池单元中的给定电池单元、基于所述给定电池单元的测量输出电压和所述给定电池单元的测量放电电流来估计内阻;
针对所述给定电池单元、基于所估计出的所述给定电池单元的内阻来估计开路电压;
基于与所述电动车辆相关联的车辆电力需求来确定所述给定电池单元的目标输出电压;
将所述给定电池单元的目标放电电流确定为所述给定电池单元的估计充电状态、所述多个电池单元的总测量放电电流和所述多个电池单元的总估计充电状态的函数;
基于所估计出的所述给定电池单元的开路电压、所述给定电池单元的所述目标输出电压和所述给定电池单元的所述目标放电电流来确定所述给定电池单元的目标内阻;
基于所述给定电池单元的所述目标内阻来确定所述给定电池单元的目标单元温度;以及
基于所述给定电池单元的所述目标温度来控制与所述给定电池单元相邻的冷却剂流。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括:基于所述给定电池单元的所述测量电压加上所述给定电池单元的所述测量放电电流与所估计出的所述给定电池单元的内阻的乘积来估计所述给定电池单元的开路电压。
3. 根据权利要求1所述的方法,还包括:确定所述车辆电力需求除以所述多个电池单元中的电池单元的总数目与所述多个电池单元的总测量输出电压的乘积是否小于所述给定电池单元的预定放电电流速率限制。
4. 根据权利要求3所述的方法,还包括:响应于确定了所述车辆电力需求除以所述多个电池单元中的电池单元的总数目与所述多个电池单元的所述总测量输出电压的乘积小于所述给定电池单元的预定放电电流速率限制,将所述给定电池单元的所述目标放电电流设定为等于所述给定电池单元的估计充电状态与所述多个电池单元的总估计充电状态之比与所述多个电池单元的总测量放电电流的乘积。
5. 根据权利要求3所述的方法,还包括:响应于确定了所述车辆电力需求除以所述多个电池单元中的电池单元的总数目与所述多个电池单元的所述总测量输出电压的乘积不小于所述给定电池单元的预定放电电流速率限制,将所述给定电池单元的所述目标放电电流设定为等于所述多个电池单元的总测量放电电流除以电池单元的总数目。
6. 根据权利要求1所述的方法,还包括:将与所述给定电池单元相关联的目标环境温度确定为所述给定电池单元的测量单元温度、所述给定电池单元的所述目标内阻和所述给定电池单元的所述目标放电电流的函数。
7. 根据权利要求6所述的方法,还包括:将与所述给定电池单元相关联的散热片的目标温度确定为所述给定电池单元的所述测量单元温度、所述给定电池单元的所述目标单元温度和所述给定电池单元的所述目标环境温度的函数。
8. 根据权利要求7所述的方法,还包括:将所述散热片的所述目标温度与所述散热片的测量温度相比较。
9. 根据权利要求8所述的方法,还包括:响应于确定了所述散热片的所述目标温度低于所述散热片的所述测量温度而控制与所述给定电池单元相邻的冷却的冷却剂流。
10. 根据权利要求8所述的方法,还包括:响应于确定了所述散热片的所述目标温度高

于所述散热片的所述测量温度而控制与所述给定电池单元相邻的经加热的冷却剂流。

11. 一种用于电动车辆中的多个电池单元的实时热管理系统,包括:

冷却剂控制器,所述冷却剂控制器引导与所述多个电池单元中的每个电池单元相邻的冷却剂;

估计模块,所述估计模块用于:

针对所述多个电池单元中的给定电池单元、基于所述给定电池单元的测量输出电压和所述给定电池单元的测量放电电流来估计内阻;以及

针对所述给定电池单元、基于所估计出的所述给定电池单元的内阻来估计开路电压;

电力控制模块,所述电力控制模块用于:

基于与所述电动车辆相关联的车辆电力需求来确定所述给定电池单元的目标输出电压;

将所述给定电池单元的目标放电电流确定为所述给定电池单元的估计充电状态、所述多个电池单元的总测量放电电流和所述多个电池单元的总估计充电状态的函数;以及

基于所估计出的所述给定电池单元的开路电压、所述给定电池单元的所述目标输出电压和所述给定电池单元的所述目标放电电流来确定所述给定电池单元的目标内阻;以及

单元温度控制模块,所述单元温度控制模块基于所述给定电池单元的所述目标内阻来确定所述给定电池单元的目标单元温度、并且选择性地命令所述冷却剂控制器基于所述给定电池单元的所述目标温度来引导与所述给定电池单元相邻的冷却剂流。

12. 根据权利要求11所述的系统,其中,所述估计模块基于所述给定电池单元的所述测量电压加上所述给定电池单元的所述测量放电电流与所估计出的所述给定电池单元的内阻的乘积来估计所述给定电池单元的开路电压。

13. 根据权利要求11所述的系统,其中,所述电力控制模块确定所述车辆电力需求除以所述多个电池单元中的电池单元的总数目与所述多个电池单元的总测量输出电压的乘积是否小于所述给定电池单元的预定放电电流速率限制。

14. 根据权利要求13所述的系统,其中,所述电力控制模块响应于确定了所述车辆电力需求除以所述多个电池单元中的电池单元的总数目与所述多个电池单元的所述总测量输出电压的乘积小于所述给定电池单元的预定放电电流速率限制,将所述给定电池单元的所述目标放电电流设定为等于所述给定电池单元的估计充电状态与所述多个电池单元的总估计充电状态之比与所述多个电池单元的总测量放电电流的乘积。

15. 根据权利要求13所述的系统,其中,所述电力控制模块响应于确定了所述车辆电力需求除以所述多个电池单元中的电池单元的总数目与所述多个电池单元的所述总测量输出电压的乘积不小于所述给定电池单元的预定放电电流速率限制,将所述给定电池单元的所述目标放电电流设定为等于所述多个电池单元的总测量放电电流除以电池单元的总数目。

16. 根据权利要求11所述的系统,其中,所述单元温度控制模块将与所述给定电池单元相关联的目标环境温度确定为所述给定电池单元的测量单元温度、所述给定电池单元的所述目标内阻和所述给定电池单元的所述目标放电电流的函数。

17. 根据权利要求16所述的系统,其中,所述单元温度控制模块将与所述给定电池单元相关联的散热片的目标温度确定为所述给定电池单元的所述测量单元温度、所述给定电

单元的所述目标单元温度和所述给定电池单元的所述目标环境温度的函数。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中,所述单元温度控制模块将所述散热片的所述目标温度与所述散热片的测量温度相比较。

19. 根据权利要求18所述的系统,其中,所述单元温度控制模块命令所述冷却剂控制器响应于确定了所述散热片的所述目标温度低于所述散热片的所述测量温度而引导与所述给定电池单元相邻的冷却的冷却剂流。

20. 根据权利要求18所述的系统,其中,所述单元温度控制模块命令所述冷却剂控制器响应于确定了所述散热片的所述目标温度高于所述散热片的所述测量温度而引导与所述给定电池单元相邻的经加热的冷却剂流。

21. 一种用于电动车辆中的多个电池单元的实时热管理方法,包括:
经由多个单元传感器接收所述多个电池单元中的给定电池单元的测量输出电压;
经由所述多个单元传感器接收所述给定电池单元的测量放电电流;
经由所述多个单元传感器接收所述给定电池单元的测量单元温度;
基于所述测量输出电压和所述测量放电电流来估计所述给定电池单元的充电状态;
基于所述测量输出电压和所述测量放电电流来估计所述给定电池单元的内阻;
基于所述测量输出电压、所述测量放电电流和所估计出的内阻来估计所述给定电池单元的开路电压;
接收所述电动车辆的车辆电力需求;
基于所述车辆电力需求来确定所述给定电池单元的目标输出电压;
将所述给定电池单元的目标放电电流确定为所述给定电池单元的估计充电状态、所述多个电池单元的总测量放电电流和所述多个电池单元的总充电状态的函数;
基于所估计出的所述给定电池单元的开路电压、所述给定电池单元的所述目标输出电压和所述给定电池单元的目标放电电流来确定所述给定电池单元的目标内阻;
基于所述给定电池单元的所述目标内阻来确定所述给定电池单元的目标单元温度;
针对所述给定电池单元将所述目标单元温度与所述测量单元温度相比较;以及
响应于所述目标单元温度与所述测量单元温度之间的比较而控制与所述给定电池单元相邻的冷却剂流。

用于电动车辆的实时电池热管理

[0001] 政府条款

[0002] 本发明是按照美国国家科学基金会所授予的CNS1 138200在政府支持下作出的。政府对本发明具有一定的权利。

[0003] 对相关申请的交叉引用

[0004] 本申请要求于2015年4月1日提交的美国实用新型申请No.14/676,326的优先权并且还要求于2014年4月1日提交的美国临时申请No.61/973,641的权益。上述申请的全部公开内容通过引用并入本文中。

技术领域

[0005] 本公开涉及用于电动车辆的实时电池热管理。

背景技术

[0006] 尽管电动车辆(EV)因其环境友好和低燃料成本而日益普及,但电动车辆尚未完全替代内燃机车辆,原因在于电池单元爆炸的风险、所需大量电池单元的高价格和充电站的有限可用性。如许多研究者已指出的,温度是设计和操作EV方面的最关键的因素之一。例如,极高的温度会导致电池单元爆炸或性能降级。相比之下,以很低的温度进行操作的电池系统可能在电解质冻结的情况下由于反应速率低会功能失常或具有低容量。此外,电池单元的放电速率随着温度改变,这进而改变电池单元的容量。

[0007] 为了解决与温度有关的挑战,大部分自动车制造商已经为他们的EV开发他们自己的热管理系统。也就是说,电池管理系统(BMS)对电池单元的温度进行监测并且在温度偏离正常工作范围的情况下触发温度控制功能。热控制包括冷却控制和加热控制。现有的控制是全部类型控制或无类型控制。也就是说,现有的控制对并联连接的所有电池单元进行加热或冷却,而不考虑每个单独电池单元的加热和/或冷却需求。然而,这样的粗粒度控制引起很大的安全限度并且从而缺乏效率。更重要地,这样的粗粒度控制不利用针对更高效的管理的温度,原因在于对甚至在正常工作范围内的温度进行更精细的控制可以产生更良好的电池性能。

[0008] 本公开的目的是开发针对高效并且可靠的BMS的热管理。通过由动力系统传递的有效能量与供给至该动力系统的能量之比来测量效率;这可以通过下述方式来实现效率:使BMS的工作时间或累积时间最大化以在电池单元完全充电之后提供所需电力。BMS通过下述方式来实现可靠性:在使BMS的电池单元经历充电和放电循环的同时在没有爆炸或故障的情况下贯穿给定的电池保修期提供所需电力。

[0009] 为了在不损害可靠性的情况下提高效率,在网络部分和物理电池部分之间集成并且协作的电池热管理系统的网络-物理透视是可取的。对于物理部分而言,因为电池单元的热物理特性和外部热应力条件对电池性能具有显著影响,所以电池热管理系统确定电池单元的热物理特性和外部热应力条件。通过仔细地对这些非线性物理性质进行说明并且使如图1a所示的网络空间中的特性抽象化,开发了减小安全限度的期望热管理,从而提高EV中

的整个电池系统的效率。

[0010] 为了实现该目的,温度用作控制旋钮;除仅针对正常工作范围的简单温度控制以外,电池热管理系统积极地控制针对更高效并且更可靠的工作的温度。这需要理解影响效率和可靠性的电池的热问题和一般问题。因此,对基于电池的热物理特性以及电池的热物理特性对电池单元的电气状态的影响的问题进行分析,并且基于该分析得到用于实现具有单元级热控制的电池热管理系统的策略。电池热管理系统在需要高电力的情况下暂时地提高电池单元的性能而在需要低电力以减小应力的情况下使电池单元休息。为了评估所提出的BMS,采用基于现实驾驶模式的现实工作负载并且使用广泛使用的电池仿真器对现实工作负载进行仿真。仿真结果证明所提出的电池热管理的有效性,其与现有的BMS相比在不牺牲可靠性的情况下增加工作时间多达58.4%。

[0011] 该部分提供了与本公开有关的背景技术信息,该背景技术信息不一定是现有技术。

发明内容

[0012] 一种用于电动车辆中的多个电池单元的实时热管理方法包括:针对多个电池单元中的给定电池单元、基于给定电池单元的测量输出电压和给定电池单元的测量放电电流来估计内阻。该方法还包括:针对给定电池单元、基于所估计出的给定电池单元的内阻来估计开路电压。

[0013] 该方法还包括:基于与电动车辆相关联的车辆电力需求来确定给定电池单元的目标输出电压;以及将给定电池单元的目标放电电流确定为给定电池单元的估计充电状态、多个电池单元的总测量放电电流和多个电池单元的总估计充电状态的函数。

[0014] 该方法还包括:基于所估计出的给定电池单元的开路电压、给定电池单元的目标输出电压和给定电池单元的目标放电电流来确定给定电池单元的目标内阻;基于给定电池单元的目标内阻来确定给定电池单元的目标单元温度;以及基于给定电池单元的目标温度来控制与给定电池单元相邻的冷却剂流。

[0015] 在其他实现方式中,一种用于电动车辆中的多个电池单元的实时热管理系统包括:冷却剂控制器,该冷却剂控制器来引导与多个电池单元中的每个电池单元相邻的冷却剂;估计模块,该估计模块针对多个电池单元中的给定电池单元、基于给定电池单元的测量输出电压和给定电池单元的测量放电电流来估计内阻。估计模块还针对给定电池单元、基于所估计出的给定电池单元的内阻来估计开路电压。

[0016] 系统还包括:电力控制模块,该电力控制模块基于与电动车辆相关联的车辆电力需求来确定给定电池单元的目标输出电压;将给定电池单元的目标放电电流确定为给定电池单元的估计充电状态、多个电池单元的总测量放电电流和多个电池单元的总估计充电状态的函数;以及基于所估计出的给定电池单元的开路电压、给定电池单元的目标输出电压和给定电池单元的目标放电电流来确定给定电池单元的目标内阻。

[0017] 系统还包括单元温度控制模块,该单元温度控制模块基于给定电池单元的目标内阻来确定给定电池单元的目标单元温度、并且选择性地命令冷却剂控制器基于给定电池单元的目标温度来引导与给定电池单元相邻的冷却剂流。

[0018] 在另一其他实现方式中,一种用于电动车辆中的多个电池单元的实时管理方法包

括:经由多个单元传感器接收多个电池单元中的给定电池单元的测量输出电压;经由多个单元传感器接收给定电池单元的测量放电电流;经由多个单元传感器接收给定电池单元的测量单元温度。

[0019] 该方法还包括:基于测量输出电压和测量放电电流来估计给定电池单元的充电状态;基于测量输出电压和测量放电电流来估计给定电池单元的内阻;基于测量输出电压、测量放电电流和所估计出的内阻来估计给定电池单元的开路电压;以及接收电动车辆的车辆电力需求。

[0020] 该方法还包括:基于车辆电力需求来确定给定电池单元的目标输出电压;将给定电池单元的目标放电电流确定为给定电池单元的估计充电状态、多个电池单元的总测量放电电流和多个电池单元的总充电状态的函数;以及基于所估计出的给定电池单元的开路电压、给定电池单元的目标输出电压和给定电池单元的目标放电电流来确定给定电池单元的目标内阻。

[0021] 该方法还包括:基于给定电池单元的目标内阻来确定给定电池单元的目标单元温度;针对给定电池单元将目标单元温度与测量单元温度相比较;以及响应于目标单元温度与测量单元温度之间的比较而控制与给定电池单元相邻的冷却剂流。

附图说明

[0022] 本文中所描述的附图仅出于对选择的实施方式不是所有可能的实现方式进行说明的目的并且不旨在对本公开的范围进行限制。

[0023] 图1a是电池管理系统的网络-物理透视图;

[0024] 图1b是具有模块和单元的示例电池组的图;

[0025] 图2是根据本公开的原理的电池热管理系统的功能框图;

[0026] 图3是基于电路的电池模型的图;

[0027] 图4A是示出内阻随着温度降低而增大的曲线图,而图4B是示出相对内阻在分别暴露于高温的情况下随时间增大的曲线图;

[0028] 图5a是描绘电池热动力学的图;

[0029] 图5b是描绘电池动力学的抽象化的图;

[0030] 图6a和图6b是示出根据本公开的原理的电池热管理方法的流程图;

[0031] 图7是示出电池单元的温度升高使得温度进一步升高并且由于电池单元内部的材料分解潜在地引起电池单元爆炸的图;

[0032] 图8是示出低温导致高内阻和电压下降的图;

[0033] 图9是示出低温导致更高的内阻和电力损耗的图;

[0034] 图10是示出电池单元的不均匀降级和温度引起电池单元的不同内阻从而导致不同的放电电流和不同的Soc的图;

[0035] 图11是示出单元的不均匀状态产生不同的速率-容量效应/恢复效应从而导致不平衡的电气状态的图;

[0036] 图12是示出由具有现实驾驶记录的车辆仿真器生成的驾驶模式和电力需求的曲线图;

[0037] 图13是描绘电池组中的单元的温度分布和环境温度的图;

- [0038] 图14是描绘电池组的热管理的图；
- [0039] 图15是示出示例评估工具的图；
- [0040] 图16是示出速度和电力需求曲线的曲线图；
- [0041] 图17是示出阿拉斯加州安克雷奇市 (AC) 中的热管理的示例曲线图；
- [0042] 图18是示出密歇根州安阿伯市 (AA) 中的针对一年的工作的累积能量损耗的曲线图；以及
- [0043] 图19A和图19B是示出AA中的相对电阻和内阻的曲线图。
- [0044] 贯穿附图的若干视图，对应的附图标记指示对应的部分。

具体实施方式

- [0045] 现在将参照附图来更充分地描述示例实施方式。
- [0046] 电池管理系统 (BMS) 容纳具有数个电池的电池组。如图1b所示，电池组包括一些接口 (例如电极) 和数个电池模块，数个电池模块中的每个电池模块包括多个电池单元。在电池模块中，所有电池单元并联连接，这降低了由单元级故障引起的电池故障的可能性。电池组中的电池模块通常串联连接，其使得电池组能够提供高电压和电力。
- [0047] BMS在保护数百或数千个电池单元免于损坏并且使数百或数千个电池单元保持处于工作条件中的情况下负责向EV供电。对于执行这样的功能的BMS而言，因为BMS的安全性和性能取决于电池单元周围的应力条件，所以应当适当地控制电池单元。
- [0048] 速率-容量效应和恢复效应是高效电池管理的最显著的物理性质。速率-容量效应意味着放电速率越高、则可释放的容量越低。例如，尽管电池单元在速率为1C的放电速率下的工作时间为60分钟，但电池单元在速率为2C的放电速率下的工作时间严格意义上小于30分钟。恢复效应意味着休息使由于大放电电流下降的输出电压暂时地恢复。因此，BMS通过使每电池单元的放电速率最小化并且利用可以休息的电池来增大电池的容量。
- [0049] 充电状态 (SoC) 表示可释放的电荷的从没有电荷的0%到充满的100%的百分比，并且使SoC平衡是影响大型电池系统的性能的最关键问题之一，这是因为大电池组的性能取决于电池组中的最耗损的电池单元的电气状态。例如，在一个单元报废之后，并联连接的系统中的剩余单元的放电速率将变得更高，从而使剩余的单元低效地放电。因此，电池单元的SoC应当保持平衡。
- [0050] 为了实现更良好的电池性能，行业聚焦于使SoC均衡和/或减小放电速率的电池调度方案。电池调度方案控制开关以适当的放电速率从电池单元吸取能量。例如，当电动机需要高电力时，电池管理器将所有单元与电负载连接以提高电池效率。相比之下，当电动机要求来自电池的低电力时，电池管理器使具有低SoC的一些单元断开连接，从而实现输出电压的恢复和SoC的均衡。
- [0051] 除放电行为和SoC平衡以外，电池热特性对于电池效率、工作和安全性而言也很重要。在多个潜在的电池特性中，聚集于两个特定特性可以引起更高效的电池工作。
- [0052] 首先，电池效率在“瞬时高温”下因化学反应速率和离子迁移率增大而暂时提高。然而，“累积暴露于高温”使得永久寿命由于“累积暴露于高温”加速不可逆的副反应而缩短。因此，大多数BMS需要将每个单元限制在一定温度范围内以实现合理的性能。因此，每个EV必须配备有通过需要冷却和加热使单元温度保持在工作范围内的热管理系统。无论电池

组的温度何时偏离工作温度范围,均激活热管理以保证电池的热稳定性。

[0053] 对于冷却而言,热辐射器将热量从流体内部传递至外部空气,从而使流体冷却,进而使电池单元冷却。在极低的温度下进行工作还需要加热。例如,第一车辆(例如通用汽车雪佛兰)可以使用144个散热片以利用对经冷却的和/或经加热的冷却剂流进行控制的冷却剂流阀来积极地冷却和/或加热288个电池单元。第二车辆(例如福特福克斯)也可以配备有针对第二车辆的锂离子电池组的热管理的有源液体冷却和加热系统。

[0054] 该方法对于车辆保修期期间的电池单元的正常工作的而言是有效的。电池可以被制造成通过在热实验室中充分地测试电池单元性能来延续保修期限。

[0055] 然而,这种被动、粗粒度的热控制没有充分利用热管理系统。通过理解电池热特性并且控制温度,可以在不影响电池单元的寿命的情况下改进电池容量。这是因为加热电池单元瞬间提高电池单元的性能,而在需要低电力的情况下使电池单元冷却可以延迟电池单元的寿命容量下降。本公开的原理示出电池热管理系统,该电池热管理系统通过控制针对更高效并且更可靠的电池控制的电池动力和单元级热管理来系统地调节单元温度。

[0056] EV中的电池组将直流(DC)电力供给至对EV中的电动机进行操作的逆变器。为了操作电动机,电力逆变器在车辆工作期间需要可适用的输入电压(V_{app})。然后,工作时间(l_{op})被限定为电池组的累积时间以在完全充电之后提供具有可适用输出电压范围的所需电力。

[0057] 因此,BMS应当使得BMS的电池组能够在将不低于可适用输入电压的输出电压保持长工作时间的情况下向电动机供给所需电力($P_{req}(t)$)。同时,工作时间应当在电池保修期间保持很长;否则,车辆需要更大的电池组以及/或者必须更频繁地对电池再充电。

[0058] 本公开的电池热管理系统通过下述方式产生保修期期间的长工作时间:通过对每个时间点处的要被冷却或加热的多个散热片中的每个散热片中的冷却剂类型进行选择来控制温度,这在下面将详细地描述。也就是说,冷却剂类型用作电池热管理系统的控制旋钮。然后,电池管理系统确定每个时间点处的冷却剂类型($C_{fin}(t)$),以使得工作时间(l_{op})在保修期间没有任何故障或爆炸的情况下最大化,其形式上被表示为

[0059] 通过考虑应力条件 $\{P_{req}(t), T_{ext}(t)\} 0 < t < t_{warr}$,

[0060] 确定 $\{C_{fin}(t)\} 0 < t < t_{warr}$,以使得 l_{op} 在 $[0, t_{warr}]$ 中没有任何故障

[0061] 或爆炸的情况下在 t_{warr} 处最大化,

[0062] 其中, $T_{ext}(t)$ 是电池组外部的温度,并且0和 t_{warr} 分别是电池保修期开始的时刻和结束的时刻。注意,应力条件和对 $C_{fin}(t)$ 的控制仅在 $[0, t_{warr}]$ 中的EV的工作期间是有效和/或必要的。还要注意, l_{op} 随着时间单调递减。这是因为电池的性能随着时间不断降级并且从不恢复。因此,保修期间任何时刻处的 l_{op} 至少与 t_{warr} 处的 l_{op} 差不多。

[0063] 应力条件下的数个电池动力影响电池系统的性能和安全性。例如,不受控制的高温可能会引起爆炸,而极低的温度降低电池的性能,从而潜在地导致向电动车辆供电发生故障。因此,应当对控制旋钮和外部条件对电池动力的影响和相关性进行分析以提高电池系统的安全性和性能。

[0064] 为了该目的,本公开首先通过桥接针对电池物理动力的不同抽象模型来识别影响性能的因素。然后,基于统一的抽象模型,本公开解决温度的改变如何影响电池物理动力,这是关于图2所描述的电池热管理系统的基础。通过分析热条件和对电池的状态的影响的相关性,本公开示出可控制的热条件如何影响整个电池系统的输出电压和每个单元的温

度。

[0065] 参照图2,总体上用100示出电池热管理系统(BTMS)。BTMS 100包括电池模块10、电池管理器30和控制器40。电池模块包括多个电池单元20。如上所述,电池单元20中的每个电池单元包括散热片24。此外,电池单元24中的每个电池单元包括至少一个电池单元传感器28。传感器28被配置成测量单元20和散热片24的各种特性。

[0066] 例如,第一单元20包括第一散热片24。第一传感器28与第一单元20和第一散热片28进行通信。第一传感器28对第一单元20的各种特性进行测量。仅例如,第一传感器28可以对第一单元20的输出电压、放电电流和当前单元温度进行测量。

[0067] 第一传感器28可以对第一散热片24的各种特性进行测量。例如,第一传感器28可以对第一散热片24的当前温度进行测量。在一些实现方式中,第一散热片24的当前温度可以指示第一单元20的当前温度。如下面将详细地描述的,BTMS 100可以基于第一散热片24的当前温度选择性地经加热的或经冷却的冷却剂引导至第一散热片24,以便控制第一单元20的温度。应当理解,尽管仅描述了传感器测量的有限示例,但传感器28可以对单元20和散热片24的任何合适的特性进行测量。

[0068] 传感器28中的每个传感器与电池管理器30进行通信。例如,传感器28被配置成将与单元20和散热片24相关联的测量特性传送至电池管理器30。电池管理器30包括估计模块34、电力控制模块38和单元温度控制模块42。

[0069] 估计模块34从传感器28接收测量特性中的每个特性。估计模块34可以基于所接收的测量特性来估计与单元20和散热片24相关联的各种特性值。例如,估计模块34接收与第一单元20相关联的测量输出电压、测量放电电流和当前温度。尽管仅描述了第一单元20,但应当理解,估计模块34估计与多个单元20中的每个单元相关联的特性值。

[0070] 如下面将更详细地描述的,估计模块34基于第一单元20的测量输出电压、放电电流和当前温度来估计充电状态、内阻和开路电压。估计模块34可以将所接收的测量值和所估计出的值传送至电力控制模块38和单元温度控制模块42。

[0071] 电力控制模块38被配置成基于电力需求来确定多个单元20中的每个单元的目标输出电压。如下面将更详细地描述的,电力控制模块38接收指示EV的与多个电池单元相关联的所需电力的车辆电力需求。例如,EV可以随着EV加速而增大所需电力。相反地,EV可以随着EV减速而减少所需电力。

[0072] 在一个实现方式中,电力控制模块38被配置成确定所接收的车辆电力需求是否比参照图6a和图6b详细描述的高电力阈值更大。

[0073] 电力控制模块38将所接收的车辆电力需求与高电力阈值相比较。当电力控制模块38确定所接收的电力需求大于高电力阈值时,电力控制模块38将第一电力单元的目标输出电压设定为第一输出电压值。

[0074] 相反地,当电力控制模块38确定所接收的电力需求小于高电力阈值时,电力控制模块38将第一电池单元的目标输出电压设定为第二输出电压值。尽管仅描述了第一单元20,但应当理解,电力控制模块38被配置成控制与多个单元20中的每个单元相关联的输出电压。

[0075] 在一些实现方式中,电力控制模块38被配置成确定多个单元20中的每个单元的目标放电电流(I_d)和目标内阻(R_{int})。例如,电力控制模块38被配置成基于电流放电限制来确

定电池模块10的总放电电流。然后,电力控制模块38确定单元20中的每个单元的目标 (I_d)。

[0076] 电力控制模块38将单元20中的每个单元的放电速率设定为不大于 (I_{dlim}) 以便减少低效的能量损耗。假设 ($I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$) 成立,其中 (P_{req}) 是所需电力, N 是并联连接的单元的数目,并且 (V_{tot}) 是总输出电压。然后,通过使每个单元以 $\frac{I_{tot}}{N}$ 进行放电,电力控制模块38可以在热量没有过度损耗的情况下供给所需电力,其中, (I_{tot}) 是总放电电流。电力控制模块38基于满足电力需求 (P_{req}) 的电平时的SoC来设定 (I_d); 具有更高的SoC的单元20应当需要更大的 (I_d)。因此,电力控制模块38如果 $I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$ 成立则将放电电流 (I_d) 设定为 $\frac{I_{tot}}{N}$, 否则将放电电流 (I_d) 设定为 $I_{tot} \frac{SoC}{\Sigma SoC}$, 放电电流 (I_d) 被记录为

[0077]

| | |
|---|--|
| $I_d = \begin{cases} \frac{I_{tot}}{N}, \\ I_{tot} \frac{SoC}{\Sigma SoC}, \end{cases}$ | 如果 $I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$ |
| | 否则。 |

[0078] 例如以及下面更详细地描述的,电力控制模块38将目标 (I_d) 设定为等于总放电电流除以单元20的总数目。

[0079] 然后,电力控制模块38确定单元20中的每个单元的目标 (R_{int})。例如以及下面更详细地描述的,电力控制模块38将 (R_{int}) 设定为等于所估计出的开路电压减去目标输出电压的结果除以单元20中的每个单元的目标 (I_d)。电力控制模块38将单元20中的每个单元的目标 (I_d) 和目标 (R_{int}) 传送到单元温度控制模块42。

[0080] 单元温度控制模块42被配置成控制单元20中的每个单元的单元温度。在一个实现方式中,单元温度控制模块42接收目标 (R_{int})。如下面详细描述的,单元温度控制模块42基于目标 (R_{int}) 来确定单元20中的每个单元的目标单元温度。单元20中的每个单元的目标单元温度可以是单元20高效地进行工作以便传递所需电力所在的温度。

[0081] 如下面详细描述的,然后,单元温度控制模块42确定电池模块10的目标环境温度。应当理解,电池模块内的环境温度影响单元20的温度。然后,单元温度控制模块42基于该目标环境温度来确定多个散热片24中的每个散热片的目标温度。

[0082] 然后,单元温度控制模块42基于散热片24中的每个散热片的测量温度与散热片24中的每个散热片的目标温度之间的比较来确定散热片24中的每个散热片是否应当被加热或冷却。例如,单元温度控制模块42将第一散热片24的第一目标温度与所接收的第一散热片24的测量当前温度相比较。当单元温度控制模块42确定散热片24的目标温度高于散热片24的当前温度时,单元温度控制模块42确定应当加热第一散热片24以便达到第一散热片24的目标温度。

[0083] 相反地,当单元温度控制模块42确定第一散热片24的目标温度低于第一散热片24的当前温度时,单元温度控制模块42确定应当冷却第一散热片24以便达到第一散热片24的目标温度。

[0084] 在一些实现方式中,单元温度控制模块42与冷却剂控制器40进行通信。冷却剂控制器40被配置成控制多个冷却剂流控制阀(未示出)以便将冷却剂流引导贯穿EV。例如,冷

却剂控制器40可以打开或关闭特定阀以便将冷却的冷却剂引导至EV内的温度在温度阈值以上的区域以便冷却该区域。

[0085] 单元温度控制模块42选择性地命令冷却剂控制器40将经加热的和/或冷却的冷却剂引导至单元20中的每个单元。仅例如,如上所述,单元温度控制模块42确定第一散热片24的当前温度是否高于或低于第一散热片24的目标温度。在单元温度控制模块42确定第一散热片24的当前温度低于第一散热片24的目标温度的示例中,单元温度控制模块42命令冷却剂控制器将经加热的冷却剂引导至第一散热片24。

[0086] 以这种方式,单元温度控制模块42控制第一散热片24的热特性。如上所述,第一散热片24的温度可以指示第一单元20的温度。通过给出该理解,电池管理器30可以经由第一散热片24控制第一单元20的热特性以便响应于所需电力。应当理解,尽管仅描述了第一单元20,但上述情况适用于所有单元20。

[0087] 通过对n个热条件与对电池的状态的影响的相关性进行分析,可以确定热条件如何影响整个电池系统的输出电压和每个单元的温度。输出电压(V_o)决定电池系统的工作时间,并且输出电压受电池单元的内部状态的很大影响。基于电路的电池模型例如电池模型10使用基本电气元素例如内阻(R_{int})、放电电流(I_d)和开路电压(V_{oc})来表示单元的内部状态并且通过图3和公式(1)中所描述的基础电路理论来说明输出电压。当单元连接至外部负载时,通过外部负载从正极到负极发生电子流(I_d)。开路电压(V_{oc})是在单元与任何电路断开连接的情况下单元的两个端子之间的电势差,并且开路电压主要取决于电池单元中的可释放的电荷(SoC)。内阻(R_{int})表示在电源传递电流的情况下引起开路电压(V_{oc})与输出电压(V_o)之间的电压下降的所有因素。此外,采用大电容来表示单元的可释放的电荷的状态(SoC)。然后,输出电压被表示为:

$$[0088] \quad V_o = V_{oc} - I_d R_{int} = f(\text{SoC}) - I_d R_{int}, \quad (1)$$

[0089] 公式(1)表明内阻的改变按如下影响输出电压:

[0090] P1. 内阻 \Rightarrow 输出电压 ($R \uparrow \rightarrow V_o \downarrow$): 随着内阻增大,输出电压减小。

[0091] 向电负载供给所需电力(P_{req})引起电池组中的电力损耗(P_d)。也就是说,电池组(P_{bat})中的总功耗(P_{bat})包括如下面公式中所示的两个功耗参数(P_{req} 和 P_d):

$$[0092] \quad \begin{aligned} V_{oc} = V_o + I_d R_{int} &\Rightarrow V_{oc} I_d = V_o I_d + I_d^2 R_{int} \\ &\Rightarrow P_{bat} = P_{req} + P_d \end{aligned} \quad (2)$$

[0093] 因此,为了高效地使用电池并且增加电池组的工作时间,BMS应当减少工作期间的电力损耗(P_d),工作期间的电力损耗按如下被记录:

[0094] P2. 内阻 \Rightarrow 电力损耗 ($R \uparrow \rightarrow P_d \downarrow$): 随着内阻增大,电力损耗增大。

[0095] 因为并联连接的单元的输出电压相同并且开路电压的变化很小,所以放电电流根据公式(1)取决于内阻。然后,如下面的阐述中所记录的那样,具有更大内阻的单元的放电电流小于模块中的其他单元的放电电流:

[0096] P3. 内阻 \Rightarrow 放电速率 ($R \uparrow \rightarrow I_d \downarrow$): 随着内阻增大,模块中的每单元的放

[0097] 电速率下降。

[0098] 如P1和P2中所示,内阻是影响电池性能的重要参数。因此,内阻随着工作期间的热应力而变化。

[0099] 工作循环表示电池单元例如电池单元20中的一个电池单元的从电池单元的完全

充电到没有电荷的工作的循环。日历寿命是从电池单元20的生产到其保修期的持续时间(例如5年)。温度在给定温度在(i)工作循环以及(ii)日历寿命期间持续的情况下影响内阻。

[0100] 关于(i),更高的温度在暂时地减小单元20的内阻并且增大单元20的容量(依据P2)的同时刺激电子或离子的移动性。例如,如图4(a)所示,具有320K的电阻比具有290K的电阻小。因此,在工作循环期间,下面的关系成立:

[0101] P4. 温度 \Rightarrow 内阻($T\uparrow\rightarrow R\downarrow$ (工作循环)):随着工作循环期间的温

[0102] 度升高,内阻减小。

[0103] 在文献中,通过多项式模型很好地描述了内阻与单元温度之间的关系,并且实验结果证实该关系的有效性:

$$[0104] \quad R_{int} = c_3 T_{cell}^3 + c_2 T_{cell}^2 + c_1 T_{cell} + c_0. \quad (3)$$

[0105] 该模型决定针对所需内阻(R_{int})的单元20的单元温度(T_{cell})。

[0106] 另一方面,如接下来所说明的,长期的温度暴露反过来影响内阻。不管电池模块10是否被使用或没有被使用,电池模块10的性能均随着时间降级,这被称为“日历减弱”,并且这可以通过如图4(b)所示的内阻的上升来表示。存在影响日历寿命的两个关键因素即温度(T)和时间(t),并且实验证据表示这些影响可以通过两个相对简单的数学相关性(t和T)来表示。降级程度可以通过相对电阻(μ)来评估,相对电阻被表示为:

$$[0107] \quad \mu(T; t) = 1 + \exp\left(\beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{T}\right) \cdot t^p, \quad (4)$$

[0108] 其中, β_0 、 β_1 和

[0109] P5. 随时间的温度 \Rightarrow 电阻($t\uparrow, T\uparrow\rightarrow R\uparrow$ (日历寿命)):随着在日

[0110] 历寿命期间暴露于高温的时间增加,内阻增大。

[0111] 尽管内阻取决于单元温度(P4和P5),但单元温度转而随着电池模块10的内部状态和外部应力变化。

[0112] 当单元20中的一个单元向电负载传递电力时,任何电池工作由于电极的电阻(R_e)而生成热量,该热量也被称为焦耳热($I_d^2 R_{int}$ 损失)。所生成的热量(Q_d)中的某部分(Q_t)在单元20的表面上被释放,并且剩余的热量(Q_s)被吸收到单元20的材料中, Q_t 和 Q_s 可以通过下式来计算:

$$[0113] \quad Q_d = I_d^2 R_{int}, Q_s = C_{cell} \frac{dT_{cell}}{dt}.$$

$$[0114] \quad Q_t = Ah (T_{cell} - T_{amb}),$$

[0115] 其中,分别地,A是表面面积,h是传热系数, T_{amb} 是单元20周围的温度,并且 C_{cell} 是热容。注意,环境温度(T_{amb})受外部温度(T_{ext})和散热片24的温度(T_{fin})的影响。

[0116] 公式(5)示出贝尔纳迪的能量平衡,并且公式(5)可以对由于如图5所示的热量生成(Q_d)的单元温度(T_{cell})变化进行说明。然后,公式(5)可以按如下通过公式(6)来求解。

$$[0117] \quad Q_d = Q_t + Q_s \quad (5)$$

$$[0118] \quad T_{cell}(t + \Delta t) = T_{cell}(t) + \Delta t [(T_{cell} - T_{amb}) + c_0 I_d^2 R_{int}]. \quad (6)$$

[0119] 其中,t是当前时刻,而 Δt 是时间间隔。基于该公式,下面的阐述成立。

[0120] P6. 放电电流 \Rightarrow 热量生成($I_d\uparrow\rightarrow T\uparrow$):随着放电电流增大,热量生

[0121] 成增加。

[0122] 如图5a所示,通过桥接P1至P6中所讨论的所有电池模块10的特性,得到从散热片24的温度(T_{fin})至工作时间的抽象层。

[0123] BTMS 100被配置成在没有爆炸和故障的情况下增加电池模块10的保修期期间的工作时间。为了计算出与电池模块10相关联的影响工作时间和安全性的电池动力,BTMS 100通过累积如图5b所示的数个物理相关性来构造抽象层。

[0124] 热失控是影响电池单元20的安全性的最严重的热问题之一并且引起极高的温度和电流。电池单元20的温度的上升使电池单元20的内阻减小(依据P4)并且使电池单元20的电流增大(依据P3),电流增大反过来使电池单元20的温度上升(依据P6);如图7所示,该过程会重复。因为极高的温度(大约80°C以上)可能由于材料的分解而引起爆炸,所以应当维持电池单元20的热稳定性。

[0125] BTMS 100对可适用的输出电压(V_{app})的规格进行调整。BTMS 100保证(V_{app})范围内的所需电力的传递。然而,温度降低使内阻增大(依据P4),并且内阻增大可以引起更高的电压下降(依据P1)。输出电压(V_0)下降至可适用电压(V_{app})以下,从而使电力逆变器不能在特定条件下进行工作,并且因此不能向车辆的电动机提供所需电力。图8示出低温如何引起故障。

[0126] 温度下降使单元中的电荷的移动性和化学反应降低,温度下降可以通过增大的内阻来表示(依据P4)。如图9所示,该增大的内阻意味着工作期间的更大的电力损耗(依据P2),这使工作时间减少。例如,据悉,仅下降20摄氏度就可以消耗电池的10%至20%的电荷。

[0127] 在连续暴露于高温下进行工作由于不可逆的副反应的加速所以引起内阻的快速增大(依据P5)。内阻的增大引起单元的能量损耗,从而缩短单元的工作时间。更快的性能降级还可能使得电池模块10甚至在其保修期期间发生故障(依据P1和P2),从而潜在地导致如图8和图9所示的不幸的事故或经济损失。

[0128] 不均匀的温度分布引起电池模块10中的电池单元20之间的不同电阻(依据P4和P5),电池模块10可以是更大电池组的一部分。因为放电速率取决于内阻(依据P3),所以适用于不同单元20的放电速率不均匀,从而导致如图10所示的电池模块10中的单元20之间的不平衡的SoC。

[0129] 放电速率越高引起的容量损失越多,从而由于热量损失产生更大的电压下降(依据P5),这被称为上面所描述的速率-容量效应。在很低(或为零)的放电速率的情况下,电池模块10可以在高速率放电期间使其容量损失恢复至一定程度,这被称为上面所描述的恢复效应。不均匀的温度分布可能引起更意外的放电电流(依据P3、P4、P5),从而导致如图11所示的一些单元20中的更多的速率-容量效应。另外,不均匀的放电速率引起不同量的热量损失(依据P6),从而引起电池模块10中的单元20的不平衡SoC。

[0130] 到目前为止,本公开探讨并且使电池的物理特性抽象化并且揭示电池的物理特性对决定大型电池系统的性能的热动力的影响。基于这些内容,本公开现在考虑热动力的描述热需求并且然后开发可以基于抽象化来满足需求的电池热管理策略。

[0131] 为了增强电池模块10的工作时间,必须控制上面所描述的物理动力。为了保护电池单元20免于由于低温的热失控和故障,工作温度(T_{cell})应当处于如下的工作温度的上限

(T_{up}) 与下限 (T_{low}) 之间:

[0132] R1. $T_{low} < T_{cell} < T_{up}$

[0133] 根据P3,在高温的情况下传递电力在工作循环期间使内阻减小并且提高电池单元的容量。不幸地,持续地/频繁地暴露于高温还加速电池单元在日历寿命期间的降级(如P4中所示)。根据这两个特性,为了在增加寿命的同时提高单元的容量,BTMS 100应当

[0134] R2'. 使针对 $0 < t < t_{warr} \in \text{OPERATION}$ 的 $[T_{cell}(t)]$ 最大化,并且

[0135] R3'. 使 $[\int_0^{t_{warr}} T_{cell}(t) dt | t \in \text{REST}]$ 最小化,

[0136] 其中,OPERATION是EV进行工作的时间间隔的集合。

[0137] 然而,BTMS 100不能同时实现R2'和R3',因为使单元温度最大化将增大累积单元温度。因此,对电池热管理的现有研究试图确定静态的工作温度范围而不是动态的热控制,因此,现有研究不能完全地解决两个需求。

[0138] 为了同时实现R2'和R3',BTMS 100应当聚焦于下述性质:EV间断地而不是持续地需要电力。例如,需要用于快速加速的高电力消耗如图12所示的大部分能量。这意味着BTMS 100不需要一直对单元20进行加热以减少能量消耗,这是因为仅在高电力需求阶段期间加热单元20可以减少大部分能量损耗。因此,基于电力需求对管理阶段进行划分可以在不太损失潜在的性能提高的情况下大大地减少能量损耗。也就是说,BTMS 100将OPERATION划分成两阶段:WORK和REST,WORK指代单元20应当提供高电力的OPERATION中的时间间隔的集合,而REST指代需要较低的电力(或不需要电力)的OPERATION中的时间间隔的集合;通过限定,OPERATION=WORK \cup REST。通过修改R2'和R3'以使得可以通过基于R2'和R3'的工作状态和/或休息状态对加热和/或冷却进行调度来同时实现R2'和R3':如下面所记录的那样,使工作的单元20的温度最大化(如果 $t \in \text{WORK}$,则 $T_{cell} \uparrow$) 并且使累积的休息的单元20的温度最小化(如果 $t \in \text{REST}$,则 $T_{cell} \downarrow$)。

[0139] R2. 使针对 $0 < t < t_{warr} \in \text{WORK}$ 的 $[T_{cell}(t)]$ 最大化,以及

[0140] R3. 使 $[\int_0^{t_{warr}} T_{cell}(t) dt | t \in \text{REST}]$ 最小化。

[0141] 另外,BTMS 100应当考虑先前的工作聚焦的问题。首先,使工作时间期间的单元20的SoC均衡(如前面所提及的那样),这是因为仅一个深度放电的电池单元20可能会导致整个电池组的容量的显著减少。因此,BTMS 100强制

[0142] R4. 使 [SoC] 的偏差最小化。

[0143] 通过速率-容量效应,更高的放电速率引起低效率的电池模块10。为了减少由过高的放电速率引起的低效的能量损失,BTMS 100设定放电电流限制 (I_{dlim}) 并且如果按如下可行则强制单元20在可容许的放电速率范围 ($< I_{dlim}$) 内进行工作,在放电电流限制中,速率-容量效应对单元20的容量没有太大影响。

[0144] R5. 如果可行,则 $I_d \leq I_{dlim}$ 。

[0145] 满足R1至R5将减少能量损耗并且保护单元20免于发生不平衡的SoC、爆炸和故障。通过控制单元20中的每个单元的温度,可以直接满足R1至R3并且还可以更改放电速率,从而解决R4和R5。也就是说,依据P3和P4,BTMS 100可以通过使温度降低(上升)来减小(增大)放电速率。

[0146] 图6A和图6B示出可以通过BTMS 100实现的示例性实时电池热管理方法200。在204

处,方法200接收多个电池单元中的给定电池单元的测量输出电压和测量放电电流。例如,如上所述,多个单元传感器对多个电池单元中的每个电池单元的电池单元特性进行测量。估计模块34经由该多个单元传感器接收与该多个电池单元中的每个电池单元相关联的多个测量结果。例如,估计模块34接收给定电池单元的测量输出电压和给定电池单元的测量放电电流。

[0147] 在206处,估计模块34接收给定电池单元的测量单元温度。在208处,估计模块34来估计给定电池单元的充电状态、内阻和开路电压。例如,估计模块34基于给定电池单元的测量电压和给定电池单元的测量放电电流来估计给定电池单元的充电状态。然后,估计模块34基于给定电池单元的测量电压和给定电池单元的测量放电电流来估计给定电池单元的内阻。

[0148] 例如,估计模块34可将给定电池单元的内阻估计为等于给定电池单元的测量输出电压除以给定电池单元的测量放电电流。然后,估计模块34基于给定电池单元的测量输出电压、给定电池单元的测量放电电流和所估计出的给定电池单元的内阻来估计给定电池单元的开路电压。例如,估计模块34可将开路电压估计为等于给定电池单元的测量输出电压加上给定电池单元的测量放电电流与所估计出的给定电池单元的内阻的乘积。

[0149] 在210处,方法200接收与多个电池单元相关联的电动车辆的车辆电力需求。例如,如上所述的电力控制模块38接收与EV相关联的车辆电力需求。在212处,电力控制模块38基于车辆电力需求来确定给定电池单元的目标输出电压。例如,电力控制模块38将车辆电力需求与高电力阈值相比较。高电力阈值可以是预先确定的值。在一些示例中,基于给定电池单元的充电状态来选择高电力阈值。通过非限制示例的方式,如果充电状态为4V-3Ah(安培小时),则给定电池的电流限制等于3A。因此,电力限制会是12W(即4V*3A)。应当理解,电力阈值可以以任何合适的方式来确定并且可以是任何合适的值。

[0150] 当电力控制模块38确定车辆电力需求大于高电力阈值时,电力控制模块38将给定电池单元的目标输出电压设定为等于测量电压加上电压偏移(例如等于0.1伏特)。

[0151] 相反地,当电力控制模块38确定车辆电力需求不大于高电力阈值时,电力控制模块38将给定电池单元的目标输出电压设定为等于通过多个电池单元供给的电压的下限(V_{app})。下限电压可以是与电池组相关联的任何合适的值。

[0152] 在214处,方法200确定给定电池单元的目标放电电流。例如,电力控制模块38将放电速率设定为不大于(I_{dlim})以便减少低效的能量损耗。假设($I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$)成立,其中, (P_{req})是所需电力,N是并联连接的单元的数目,并且(V_{tot})是总输出电压。然后,通过使每个单元以 $\frac{I_{tot}}{N}$ 进行放电,电力控制模块38可以在热量没有过度损耗的情况下供给所需电力,其中(I_{tot})是总放电电流。电力控制模块38基于满足电力需求的电平时的充电状态设定给定电池单元的目标放电电流。因此,电力控制模块38如果 $I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$ 成立,则将目标放电电流设定为 $\frac{I_{tot}}{N}$,否则将目标放电电流设定为 $I_{tot} \frac{SoC}{\Sigma SoC}$,目标放电电流被记录为

| | | |
|--------|--|---|
| [0153] | $I_d = \begin{cases} \frac{I_{tot}}{N}, \\ I_{tot} \frac{SoC}{\sum SoC} \end{cases}$ | 如果 $I_{lim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$ |
| | | 否则。 |

[0154] 在220处,方法确定给定电池单元的目标内阻。例如,电力控制模块38确定所估计出的给定电池单元的开路电压与给定电池单元的目标输出电压之间的差。然后,电力控制模块38使该差除以给定电池单元的目标放电电流。在222处,方法200确定给定电池单元的目标单元温度。如上所述,单元温度控制模块42基于给定电池单元的目标内阻来确定给定电池单元的目标单元温度。

[0155] 在224处,方法200确定给定电池单元的目标环境温度。例如,单元温度控制模块42将给定电池单元的目标环境温度确定为给定电池单元的目标单元温度、给定电池单元的测量单元温度、给定电池单元的目标内阻和给定电池单元的目标放电电流的函数。例如,单元温度控制模块42基于下述来求解给定电池单元的环境温度:

[0156] 目标 $T_{ce11} = T_{ce11} + \Delta t [c1 (T_{ce11} - T_{amb}) + c2 R_{int} I_d^2]$

[0157] 通过仅非限制示例的方式,假设目标 $T_{ce11} = 30C$, $T_{ce11} = 32C$, $\Delta t = 1$, $R_{int} = 1$ 欧姆, $I_d = 1A$, $c1 = -1$, 并且 $c2 = 1$, 则 $T_{amb} = 29C$ 。

[0158] 在226处,方法200确定与给定电池单元相关联的散热片的目标温度。例如,单元温度控制模块42基于给定电池单元的目标环境温度和目标单元温度来确定散热片的目标温度。单元温度控制模块42基于给定电池单元与相关联的散热片之间的接触区域来估计散热片对电池单元温度的影响。例如,散热片覆盖给定电池单元的电池表面的一半。换言之,给定电池单元的电池单元温度会均匀地受散热片温度和环境温度影响。多个电池单元中的每个电池单元具有若干散热片块和若干表面区域块。换言之,与多个电池单元相关联的散热片包括多个片部分和凹入部分。片部分覆盖电池单元的表面的一部分,而凹入部分使电池单元的表面的一部分暴露。

[0159] 以这种方式,给定电池单元周围的环境温度和与给定电池单元相关联的散热片的温度影响给定电池单元的电池单元温度。因此,控制与给定电池单元相关联的散热片的温度影响给定电池单元的电池单元温度。单元温度控制模块42基于下面的关系来确定与给定电池单元相关联的散热片的目标温度:

[0160] $T_{amb} = 1/n \sum (\text{包括 } T_{fin} \text{ 的电池单元周围的温度}) = 1/n (\text{非散热片块的数目} * T_{amb} + \text{散热片块的数目} * T_{fin})$

[0161] 其中, T_{amb} 是上面所确定的目标环境温度, T_{fin} 是散热片的目标温度, n 是多个电池单元中的电池单元的数目, 散热片块的数目等于散热片的片部分的数目, 而非散热片块的数目等于散热片的凹入部分的数目。

[0162] 在一个示例中, 散热片块的数目可以等于6, 非散热片块的数目可以等于12, 并且多个电池单元中的电池单元的总数目等于18。应当理解, 上面的值仅出于说明性的目的并且可以是任何合适的值。继续进行上面的示例, 其中, $T_{amb} = 29C = 1/18 (35 * 12 + T_{fin} * 6)$ 。求解目标 $T_{fin} = 17C$ 。

[0163] 在228处,方法200接收与给定单元相关联的散热片的测量温度。例如,单元温度控制模块42从与给定单元相关联的多个单元传感器中的一个单元传感器接收散热片的测量温度。在234处,单元温度控制模块42确定散热片的目标温度是否高于散热片的测量温度。当单元温度控制模块42确定散热片的目标温度高于散热片的测量温度时,单元温度控制模块42引导冷却剂控制器40将经加热的冷却剂引导至与给定电池单元相关联的散热片。以此方式,单元温度控制模块42使给定电池单元的温度升高。

[0164] 相反地,当单元温度控制模块42确定散热片的目标温度低于散热片的测量温度时,单元温度控制模块42引导冷却剂控制器40将冷却的冷却剂引导至与给定电池单元相关联的散热片。以这种方式,单元温度控制模块42使给定电池单元的温度降低。

[0165] 在240处,方法200对给定电池单元的当前温度进行测量。例如,与给定电池单元相关联的单元传感器对给定单元的当前温度进行测量。单元温度控制模块42接收所测量的给定电池单元的温度。在244处,单元温度控制模块42确定给定电池单元的测量温度是否高于温度阈值。当单元温度控制模块42确定给定电池单元的测量温度高于温度阈值时,单元温度控制模块42命令冷却剂控制器40将冷却的冷却剂引导至与给定电池单元相关联的散热片,从而使给定电池单元的温度降低。

[0166] 方法200在单元温度控制模块42确定给定电池单元的测量温度在温度阈值以下时结束。应当理解,尽管仅描述了给定电池单元,但方法200和本公开的原理适用于多个电池单元中的每个电池单元。应当理解,关于图6A和图6B所公开的原理适用于与电动车辆相关联的所有电池模块。

[0167] 以这种方式,BTMS 100满足R1至R5。BTMS 100的基础原理是对要高放电(休息或低放电)的单元20进行加热(冷却)。基于每个单元20的SoC和所需电力,BTMS 100确定针对每个单元20的冷却剂的类型以实现该原理并且达到该目的。

[0168] 在下面的算法中阐述通过BTMS 100实现的特定示例实施方式。

[0169] 算法1用于开始工作之后的热管理的算法

- 1: 针对每个模块进行
- 2: 测量 V_0
- 3: 针对模块中的每个单元 X (第 n 个单元) 进行
- 4: 测量 $I_d[n]$ 和 $T_{cell}[n]$;
- 5: 估计 $SoC[n]$ 、 $V_{oc} [n]$ 和 $R_{int}[n]$;
- 6: 结束针对
- 7: 如果需要高电力则
- 8: 增大 V_0 ;
- 9: 否则
- 10: 减小 V_0 ;
- 11: 结束如果
- 12: 针对模块中的单元 X (第 n 个单元) 进行
- 13: 选择效率 $I_d[n]$;
- 14: 根据公式 (1) 选择 $R_{int}[n]$;
- 15: 根据公式 (3) 选择 $T_{cell}[n]$;
- 16: 根据公式 (6) 和电池组中的热分布选择 $T_{jm}[n]$;
- 17: 如果 $T_{jm}[n] \geq$ 先前的 $T_{jm}[n]$ 则
- 18: 加热集合 \leftarrow 加热集合 $\cup \{X\}$
- 19: 否则
- 20: 冷却集合 \leftarrow 冷却集合 $\cup \{X\}$

[0170]

21: 结束如果

22: 如果 $T_{cell}[n] \geq T_{up}$ 则

23: 冷却集合 ← 冷却集合 $\cup \{X\}$

[0171] 24: 加热集合 ← 加热集合 $\cup \{X\}$

25: 结束如果

26: 结束针对

27: 结束针对

[0172] BTMS 100更新电池组中的电池单元20的所有状态以支持下面的步骤。BTMS 100经由传感器28直接测量每个单元20的输出电压和电流并且然后基于所测量的值来估计单元20的SoC、 R_{int} 、和 V_{oc} 。

[0173] BTMS 100设定目标输出电压。例如，如上所述，电力控制模块38基于电力需求来调节目标输出电压 (V_0)。增大 V_0 有助于向车辆供电，这是因为下面的步骤加热电池单元20以减小内阻以便供给目标输出电压。不幸地，电力需求可能会突然地改变(例如由于车辆的突然加速或减速)并且热控制需要时间。因此，BTMS 100在针对随后步骤中的有效管理将驾驶路径分割之前通过分析驾驶模式来预测电力需求。

[0174] 然后，BTMS 100计算目标放电电流。例如，电力控制模块38针对小热量损耗和SoC平衡计算单元20的有效放电电流 (I_d)。如R5中所讨论的，电力控制模块38将单元20中的每个单元的放电速率设定为不大于 (I_{dlim}) 以便减少低效的能量损耗。假设 ($I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$) 成立，其中，(P_{req}) 是所需电力，N是并联连接的单元的数目，并且 (V_{tot}) 是总输出电压。然后，

通过使每个单元以 $\frac{I_{tot}}{N}$ 进行放电，电力控制模块38可以在热量没有过度损耗的情况下供给所需电力，其中 (I_{tot}) 是总放电电流。为了满足R4，电力控制模块38基于满足电力需求 (P_{req}) 的电平时的SoC来设定 (I_d)；具有更高的SoC的单元20应当需要更大的 (I_d)。因此，电力控制模块38如果 $I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}}$ 成立则将目标放电电流 (I_d) 设定为 $\frac{I_{tot}}{N}$ ，否则将目标放电电流 (I_d)

设定为 $I_{tot} \frac{SoC}{\Sigma SoC}$ ，目标放电电流被记录为

$$[0175] \quad I_d = \begin{cases} \frac{I_{tot}}{N}, & \text{如果 } I_{dlim} \leq \frac{P_{req}}{N \cdot V_{tot}} \\ I_{tot} \frac{SoC}{\Sigma SoC}, & \text{否则。} \end{cases}$$

[0176] BTMS 100计算散热片24中的每个散热片的所需温度。在设定 I_d 和 V_0 之后，单元20温度控制模块42可以根据公式 (1) 和公式 (3) 将所需 R_{int} 和 T_{cell} 计算为：

$$[0177] \quad c_3 T_{cell}^3 + c_2 T_{cell}^2 + c_1 T_{cell} + c_0 = R_{int} = \frac{V_{oc} - V_0}{I_d}$$

[0178] 而公式 (6) 计算所期望的环境温度 (T_{amb})。

[0179] 单元20的温度取决于包括散热片24的温度的环境温度,并且单元温度控制模块38可以通过对如图13所示的电池模块10中的温度分布进行更新来估计环境温度。注意,可以根据基本传热方程 (8) 和由电池模块10中的传感器28测量的温度来计算温度分布。基于温度分布,单元温度控制模块38可以确定散热片24中的每个散热片的温度,散热片24实现目标环境温度。

[0180] BTMS 100选择针对散热片24的冷却剂类型并且基于当前散热片24的温度和散热片24的所需温度来确定针对单元20的冷却剂类型(经加热的或经冷却的)。单元温度控制模块42确定单元20中的哪个单元具有高于上限的当前温度并且将这些单元从加热集合移除以维持热稳定性。

[0181] 如更早所讨论的,计算 I_d 的方式解决R4和R5。然后,因为单元20在其需要高电力(或需要低电力)的情况下被加热(被冷却),所以所有步骤将满足R2和R3。最终的步骤保证R1。因此,算法1满足R1至R5。

[0182] R1至R3可以通过现有的热体系结构来满足,原因在于现有的热体系结构可以以适时的方式来调节电池单元20的温度。为了满足R4和R5,BTMS 100控制冷却剂体系结构,该冷却剂体系结构可以如图14所示的那样选择性地对每个单元20进行冷却和/或加热。该冷却剂体系结构与现有的冷却剂体系结构没有太大区别。尽管现有的BMS已经配备有加热和/或冷却能力,但如图14所示,本冷却剂体系结构在加热和/或冷却通道与每个单元20的散热片24之间添加更多个冷却剂流阀。每个冷却剂控制阀应当能够选择针对单元的冷却剂的类型(加热或冷却)。

[0183] 参照图15,总体上示出电池测试仿真的概述。Dualfoil5是用Fortran编写的普及的电池仿真器并且可以对包括锂金属电池、锂离子电池和钠离子电池的各种类型的电池进行仿真。程序将负载曲线读取为恒定电流阶跃的序列,并且通过读出单元电势下降至截止电压以下的时刻根据输出来获得电池寿命。程序中所使用的公式和方法依靠由Marc Doyle等人开发的对锂离子电池的充电和放电进行描述的电化学模型。

[0184] 为了获取现实的电力需求,利用美国驾驶模式,即日常驾驶模式模型和CarSim。CarSim是公知的并且广泛使用的车辆建模工具,其对特定驾驶条件下的车辆的动态行为进行仿真并且计算驾驶期间的所需电力。

[0185] 首先,具有美国现实驾驶模式的集合的日常驾驶模式模型产生日常驾驶模式。然后,这些日常驾驶模式被供应至CarSim以生成电力需求。图16示出由该处理所生成的速度和电力需求曲线的集合。

[0186] 对下面的三种热管理方案进行评价

[0187] 1) BASE:没有热管理;

[0188] 2) EX:上述现有方法(仅针对热稳定的组级冷却/加热);以及

[0189] 3) MSC:上面所描述的热管理(针对高效的BMS的积极的单元级冷却/加热)

[0190] 对于这些评价而言,仿真在利用上面的三种方案对电池系统的行为进行仿真之前生成现实驾驶曲线和外部温度曲线。然后,从仿真结果中提取上述三个度量标准。

[0191] 在各种应力条件下针对每个方案来运行仿真和所提取的工作时间。然后,计算平均的工作时间以示出每个方案的整体性能。表1示出MSC(以及EX)的平均工作时间与BASE的

平均工作时间之比。如表1所示,分别与BASE和EX相比,MSC将工作时间增加多达204%和58.4%。另外,如图17所示,MSC使所有电池保持在可容许的温度范围内以防止爆炸或故障;在BASE的情况下,一些电池在极低的温度下进行工作,潜在地导致电池组的故障或低效使用,而在MSC和EX的情况下,电池组中的所有单元在可容许的温度范围内进行工作。

| 城市、月 | 平均 I_{op} (秒) | | |
|------|-----------------|----|----|
| | AC | AA | PH |

[0192]

| | | | |
|----------|------|------|------|
| EX/BASE | 1.92 | 0.92 | 1.03 |
| MSC/BASE | 3.04 | 1.4 | 1.62 |

[0193] 表1:平均工作时间

[0194] 根据表1,可以观察到AC中的MSC的增加比在AA和PH中的MSC的增加更加明显,这是因为在更寒冷的地区中存在性能提高的更多空间,这稍后将详细说明。如表1所示,MSC有效地利用用于提高的这样的空间。对于对MSC的增加进行的更详细的分析而言,可以在下面探讨能量损耗和性能降级。

[0195] BTMS 100包括用于减少能量损耗的几种方法。几种方法实际上有助于延长工作时间,原因在于减少能量损耗会增大单元20中的有效能量,这进而延长工作时间。

[0196] 通过在车辆在AC、AA和PH中进行工作时将三种热管理方案的能量损耗相比较,表2示出驾驶员在一年内每天以重复相同的驾驶模式的方式操作其车辆的情况下的能量损耗。图18示出每种管理方案的示例能量损耗。与BASE相比,MSC在AC中减少能量损耗达70.6%、在AA中减少能量损耗达63.8%并且在PH中减少能量损耗达48.4%。MSC甚至比EX更好,原因在于MSC可以比EX减少更多的能量损耗多达58.6%。在MSC的情况,能量损耗的减少延长工作时间。

| 城市 | 累积能量损耗 (Wh/m^2) | | |
|----|---------------------|----|----|
| | AC | AA | PH |

[0197]

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| BASE | 20978 | 16216 | 10474 |
| EX | 14910 | 13450 | 9976.5 |
| MSC | 6167.5 | 5864.6 | 5403.5 |

[0198] 表2:一年的工作之后的能量损耗

[0199] 要注意的关注点是MSC(或EX)的能量损耗与BASE的能量损耗之间的差在AC中是显著的。这可以按如下来推论。在更热的地区中,甚至在没有任何热管理的情况下(即BASE)效率仍会更高(或更小的能量损耗),这是因为高温使电池中的化学反应速率增大。因此,在冬季温度极低的AC中,MSC和EX加热单元以达到有效的工作温度;根据图17观察到EX和MSC产生电池单元的可容许温度范围。这减少了能量损耗。

[0200] MSC比EX显著地减少更多的能量损耗,原因在于MSC不仅适时地冷却和/或加热单元20以便减少能量损耗而且还针对SoC的均衡选择性地冷却和/或加热单元20。因此,每个单元20在MSC下通过减少单元20之间的温度差更高效地进行工作。能量损耗的减少是用于增加工作时间的的主导原因之一。

[0201] 电池性能降级的程度取决于电池累积暴露于高温。为了评价性能降级,在AC、AA和PH中的1年时间期间的每种热管理方案的情况下,将单元20中的每个单元的降级水平相比较,降级水平由相对电阻和内阻的绝对值来表示。

[0202] 图19(a)和图19(b)分别描绘相对电阻和内阻的绝对值。如图19(a)所示,MSC比其他方案导致的降级更快一点,这是因为MSC积极地冷却和/或加热每个单元20。然而,这样积极的控制减小内阻的绝对值;如图19(b)所示,在MSC的情况下一年以后的内阻比其他方案情况下一年以后的内阻更小。这意味着MSC尽管导致更高的相对电阻但在多达一年期间仍更高效。这些结果证实前面所讨论的工作时间的增加,即,MSC在使用电池组时是高效的。

[0203] 基于用于冷却和加热市场上的当前车辆中的发动机和电池的现有热管理系统来构造BTMS 100。为了实现BTMS 100,一些硬件应当被安装在每个电池模块10中。如其他BMS所做的,测量单元20的输出电压和放电电流需要传感器28。附加的控制流阀也需要单元级热控制;应当考虑附加的控制流阀的性能,原因在于附加的控制流阀直接影响电池管理的有效性。

[0204] 为了解决使EV更廉价并且更安全的日益增长的需求,BMS应当处理影响BMS的效率和可靠性的热问题和一般问题。热管理是解决这些问题的关键,原因在于温度对BMS的电气状态具有显著影响。本公开提出了如何使用热控制来实现高效并可靠的BMS。BTMS 100基于对电力需求和温度变化对电池单元20的电气状态的影响进行的分析适时地并且选择性地冷却和/或加热电池单元20。为了支持该方案,还提出了能够选择性地冷却和/或加热电池单元20的热管理体系结构。

[0205] 本文中所描述的技术可以通过由一个或更多个处理器执行的一个或更多个计算机程序来实现。计算机程序包括存储在非暂态有形计算机可读介质上的处理器可执行指令。计算机程序还可以包括存储的数据。非暂态有形计算机可读介质的非限制性示例是非易失性存储器、磁存储器和光存储器。

[0206] 以上描述的一些部分给出了本文所描述的关于信息的工作的算法和符号表示方面的技术。这些算法描述和表示是数据处理领域的技术人员用于将它们的工作实质最有效地传达给本领域的其他技术人员的手段。应当理解,功能上或逻辑上描述的这些操作通过计算机程序来实现。此外,已经证明,不失一般性,有时将操作的这些布置称为模块或者以功能命名很方便。

[0207] 除非特别指出与根据以上讨论的情况明显相反,应当理解,贯穿说明书,使用术语例如“处理”或“计算”或“运算”或“确定”或“显示”等的讨论指代计算机系统或类似的电子计算装置的动作和处理,所述计算机系统或类似的电子控制单元在计算机系统存储器或寄存器或者其他这样的信息存储装置、传输装置或显示装置内操纵和转换被表示为物理(电子)量的数据。

[0208] 所描述的技术的某些方面包括在本文中以算法的形式描述的处理步骤和指令。应当注意,所描述的处理步骤和指令可以被嵌入在软件、固件或硬件中,并且当被嵌入在软件

中时,可以被下载以驻留在由实时网络操作系统使用的不同平台上并且由该不同平台来操作。

[0209] 本公开还涉及用于执行本文中的操作的设备。该设备可以出于所需要的目的来特别构造,或者其可以包括由计算机程序选择性地激活或重新配置的通用计算机,所述计算机程序存储在可以被计算机访问的计算机可读介质中。这样的计算机程序可以被存储在有形计算机可读存储介质中,该有形计算机可读存储介质例如但不限于:包括软盘、光盘、CD-ROM、磁光盘等任何类型的磁盘;只读存储器(ROM);随机存取存储器(RAM);EPROM;EEPROM;磁卡或光卡;专用集成电路(ASIC);或者适于存储电子指令的任何类型的介质,并且上述介质各自耦接至计算机系统总线。此外,说明书中所提及的计算机可以包括单处理器或者可以是为了提高计算能力而使用多处理器设计的体系结构。

[0210] 本文中所提出的算法和操作不是固有地涉及任何特定计算机或其他设备。各种通用系统还可以与根据本文中的教示的程序一起使用,或者其可以证明便于构建更多专业的设备来执行所需的方法步骤。对于本领域的技术人员而言,各种这些系统所需的结构连同等同变化将是明显的。此外,并未参照任何特定的编程语言来描述本公开。应当理解,各种编程语言可以用于实现如本文中所描述的本公开的教示。

[0211] 出于说明和描述的目的提供了实施方式的上述描述。上述描述不旨在详尽描述或限制本公开。特定实施方式的各个元素或特征通常不限于特定实施方式,但是即使没有明确示出或描述,在适用情况下仍可以互换并且可以被用于所选择的实施方式。实施方式还可以以很多方式变化。这样的变化并不被认为偏离本公开,并且所有这样的修改旨在被包括在本公开的范围之内。

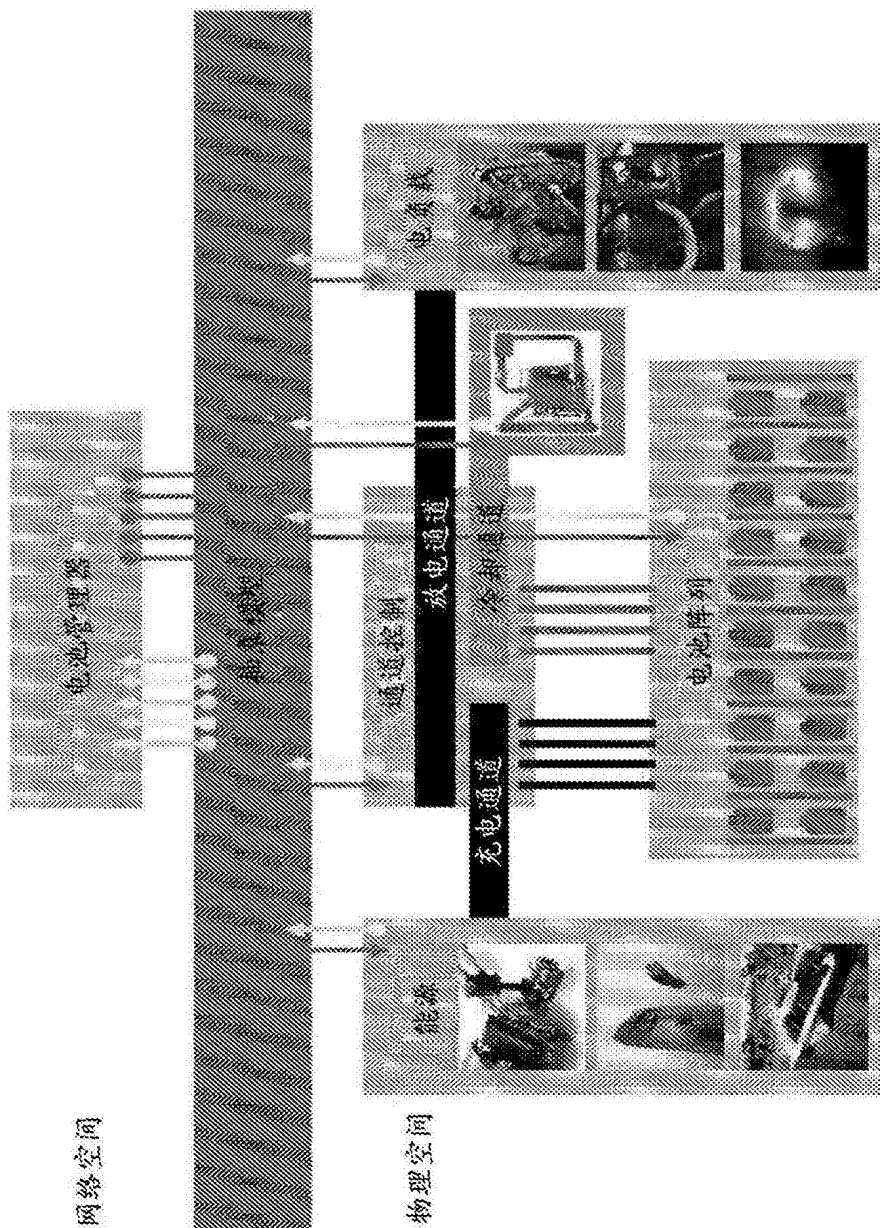


图1A

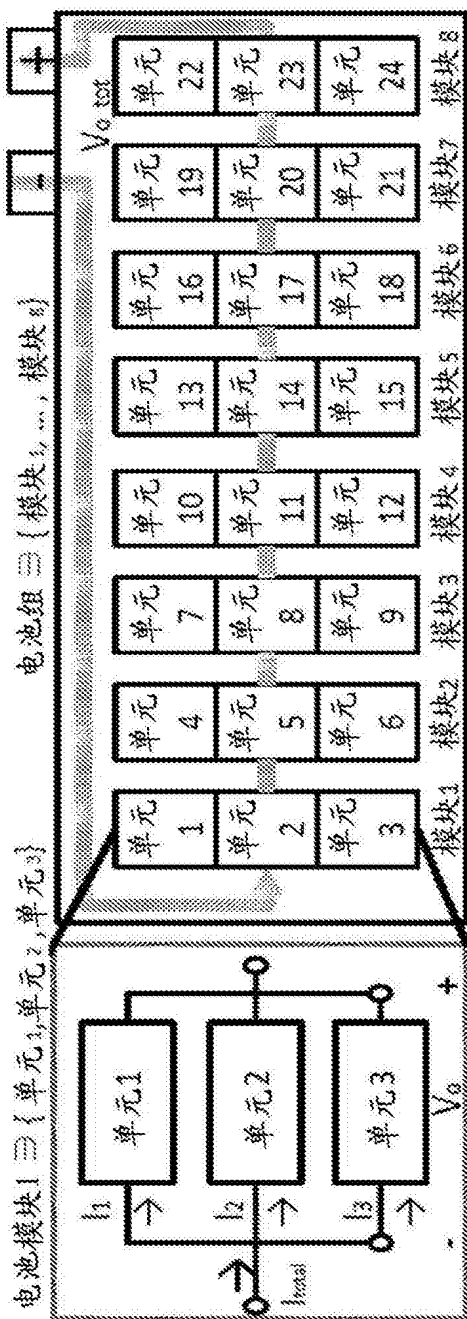


图1B

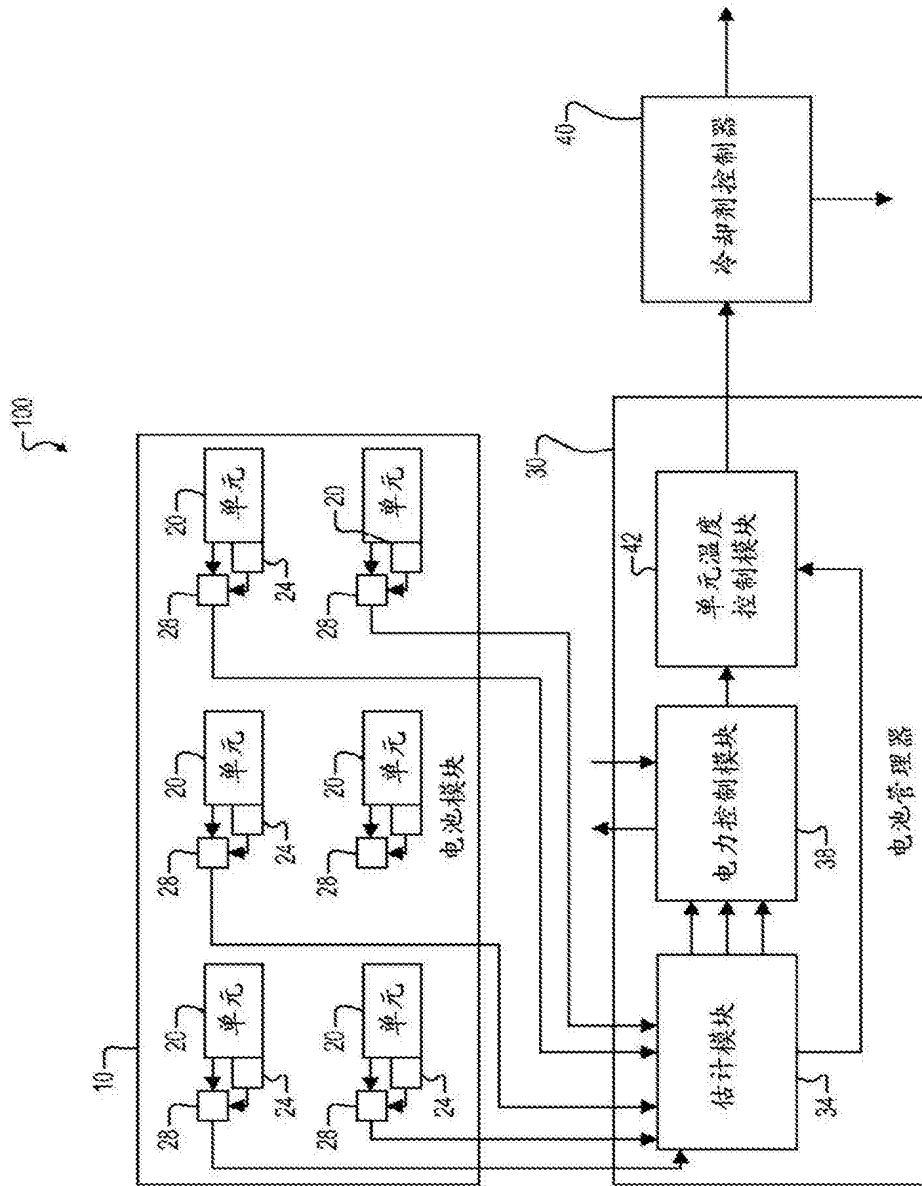


图2

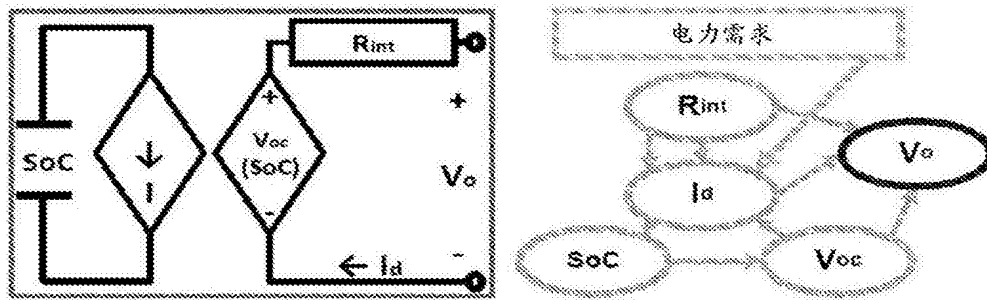


图3

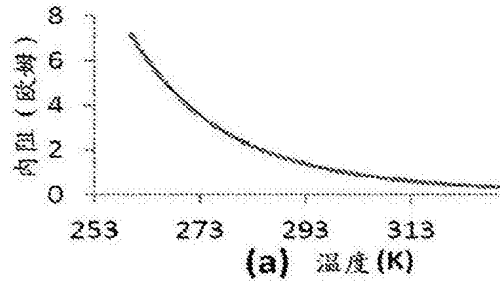


图4A

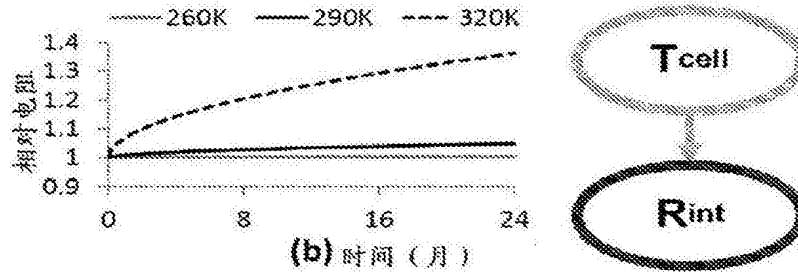


图4B

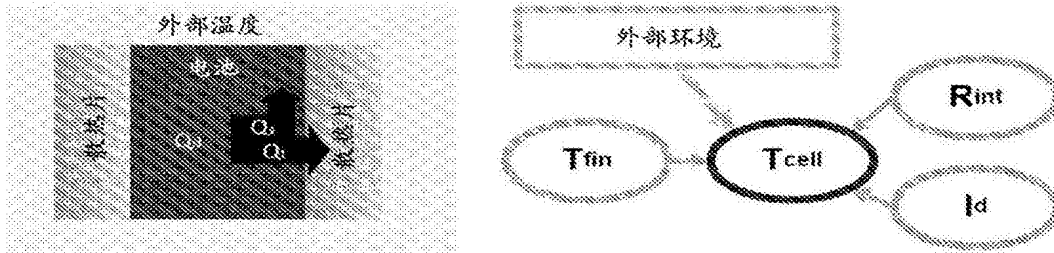


图5A

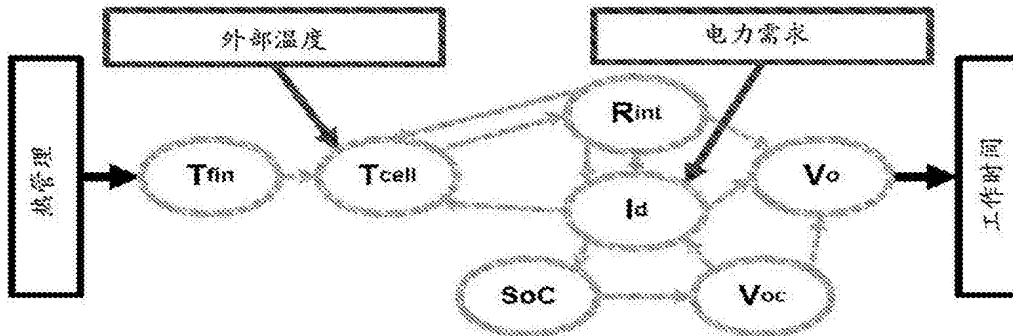


图5B

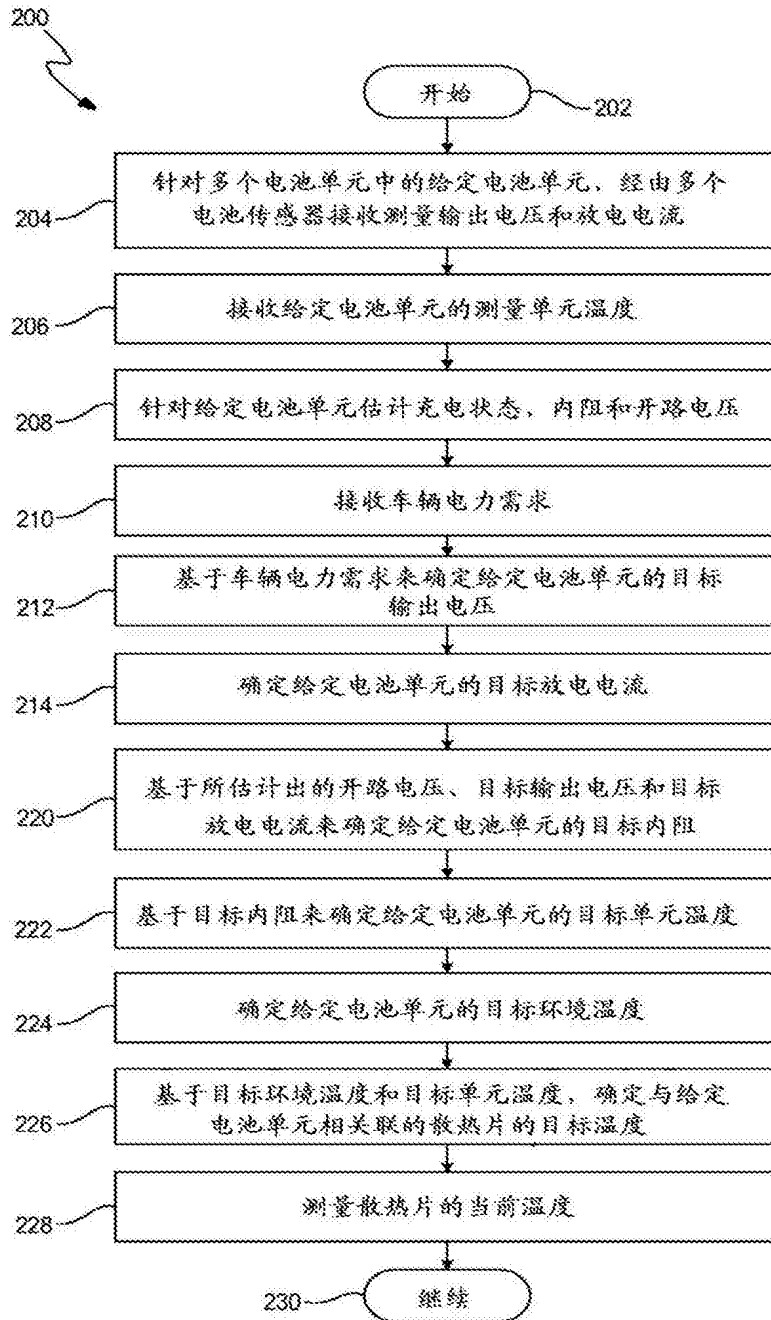


图6A

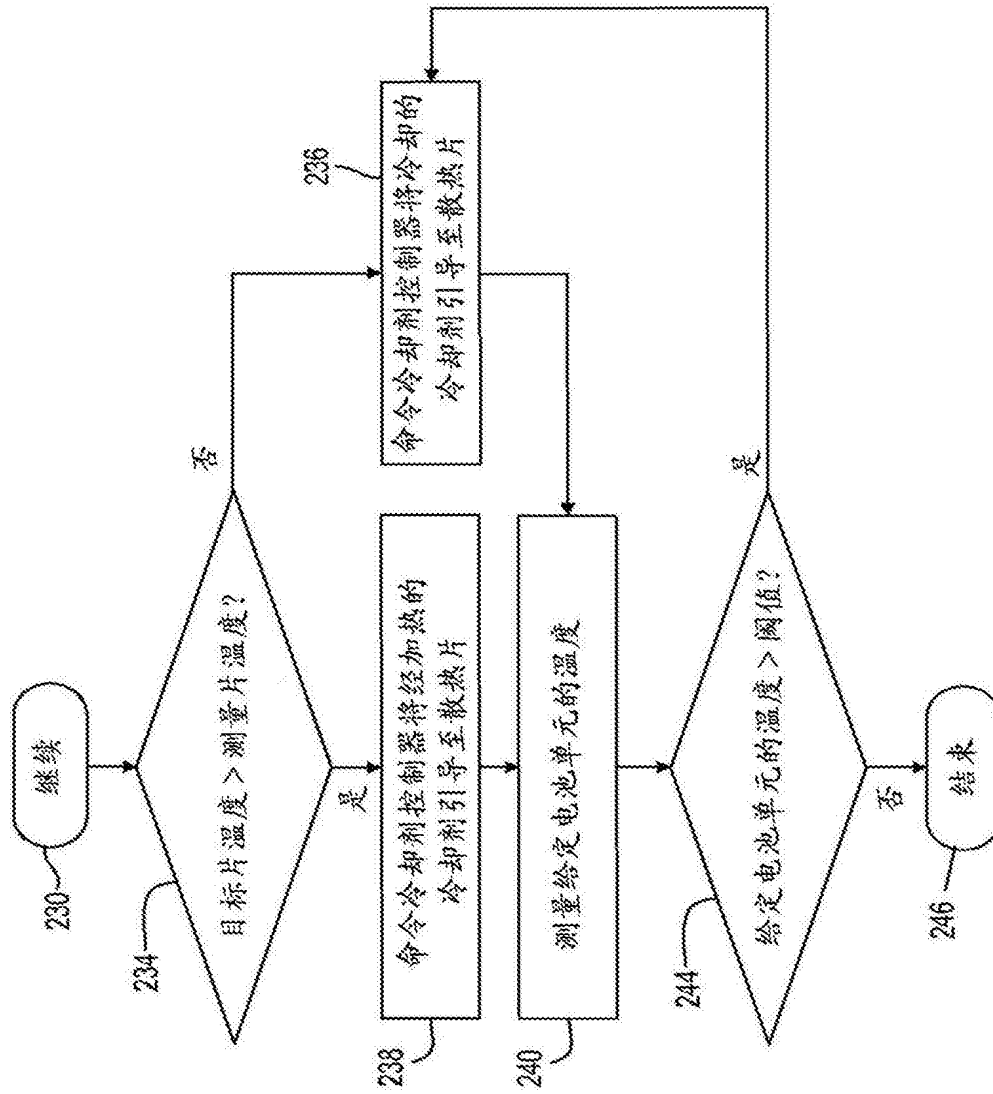


图6B



图7



图8



图9



图10



图11

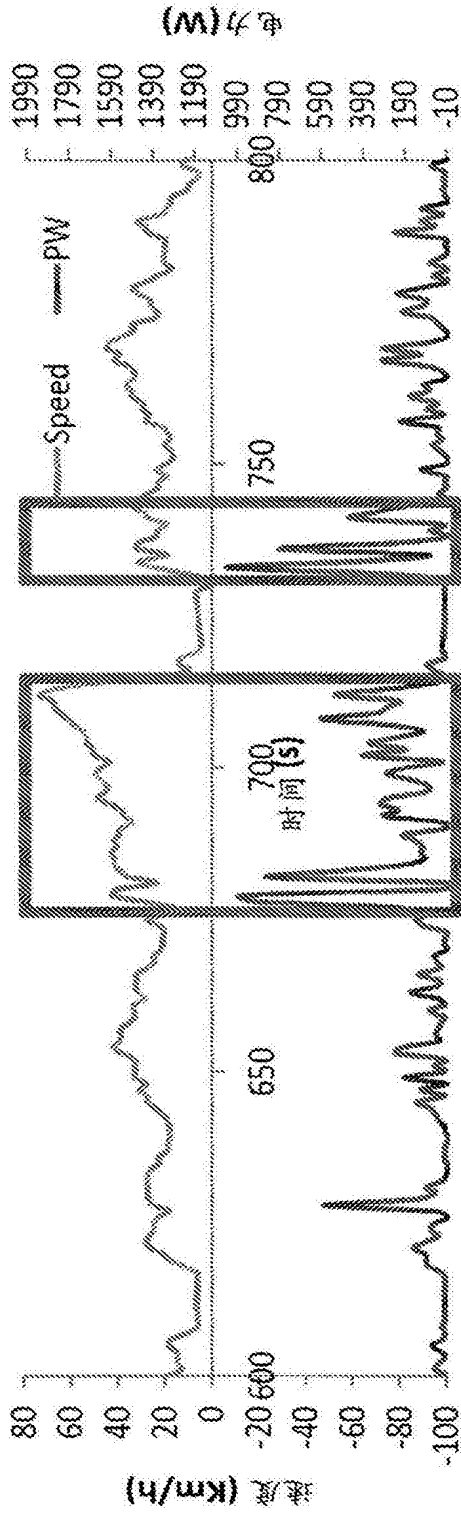


图12

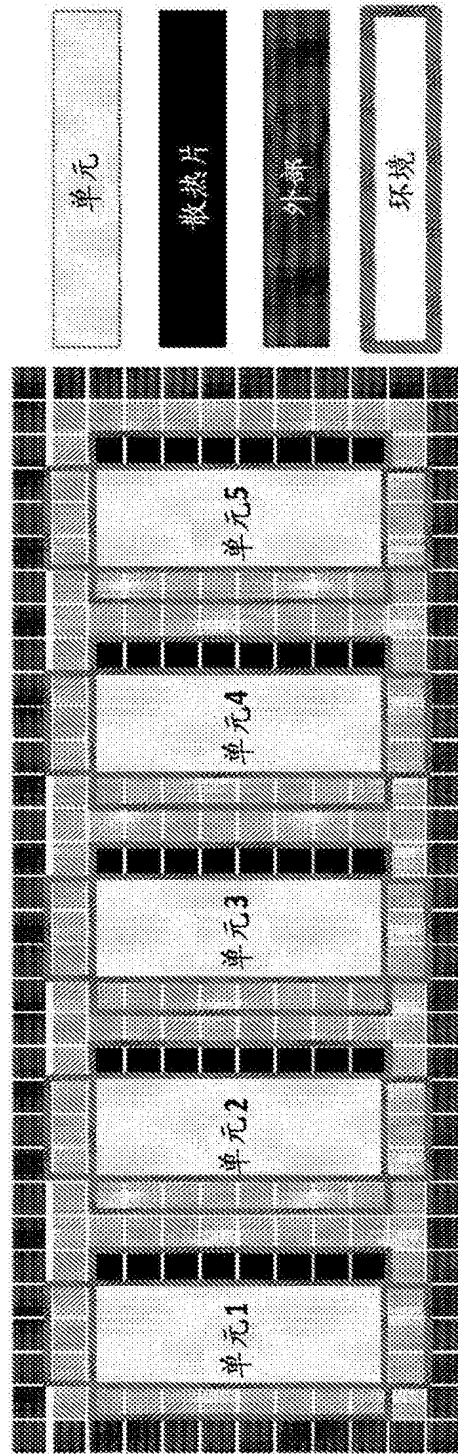


图13

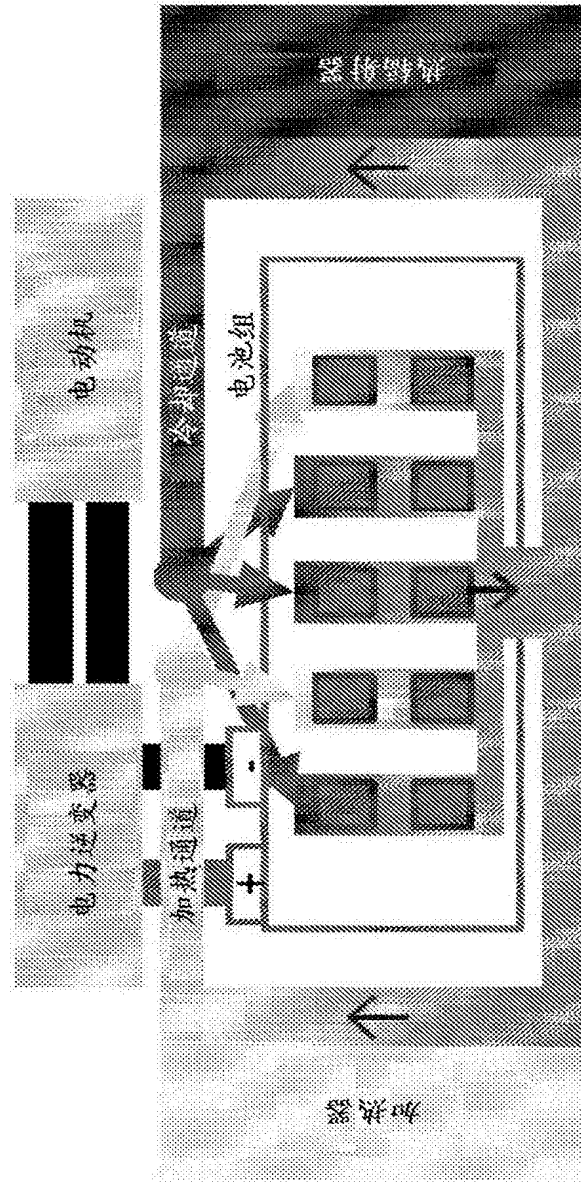


图14

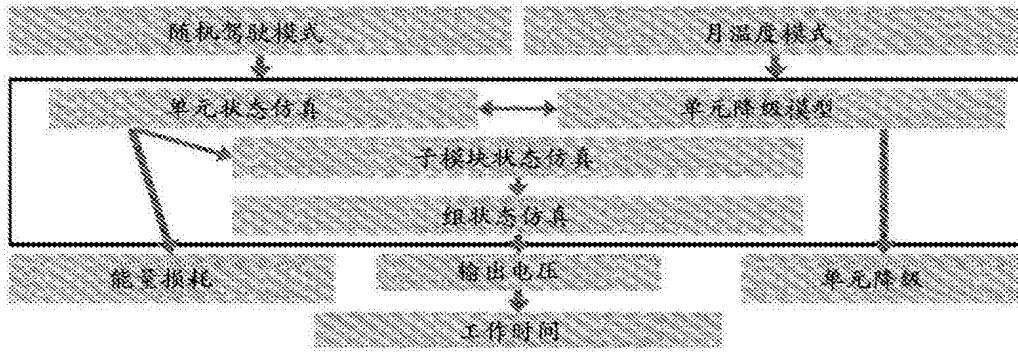


图15

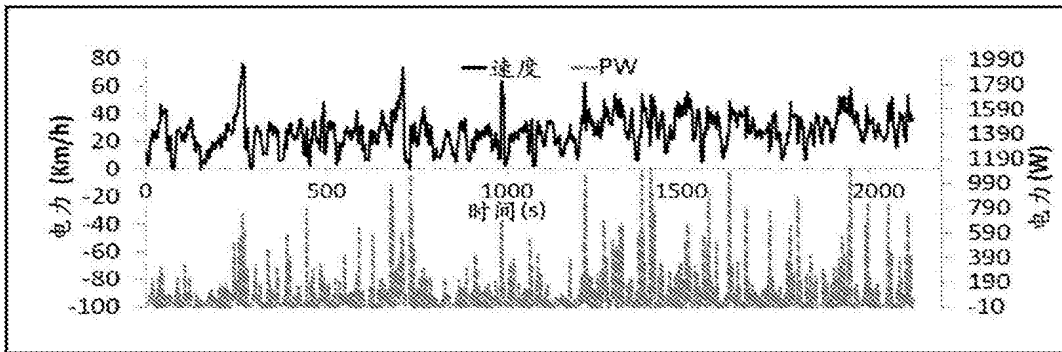


图16

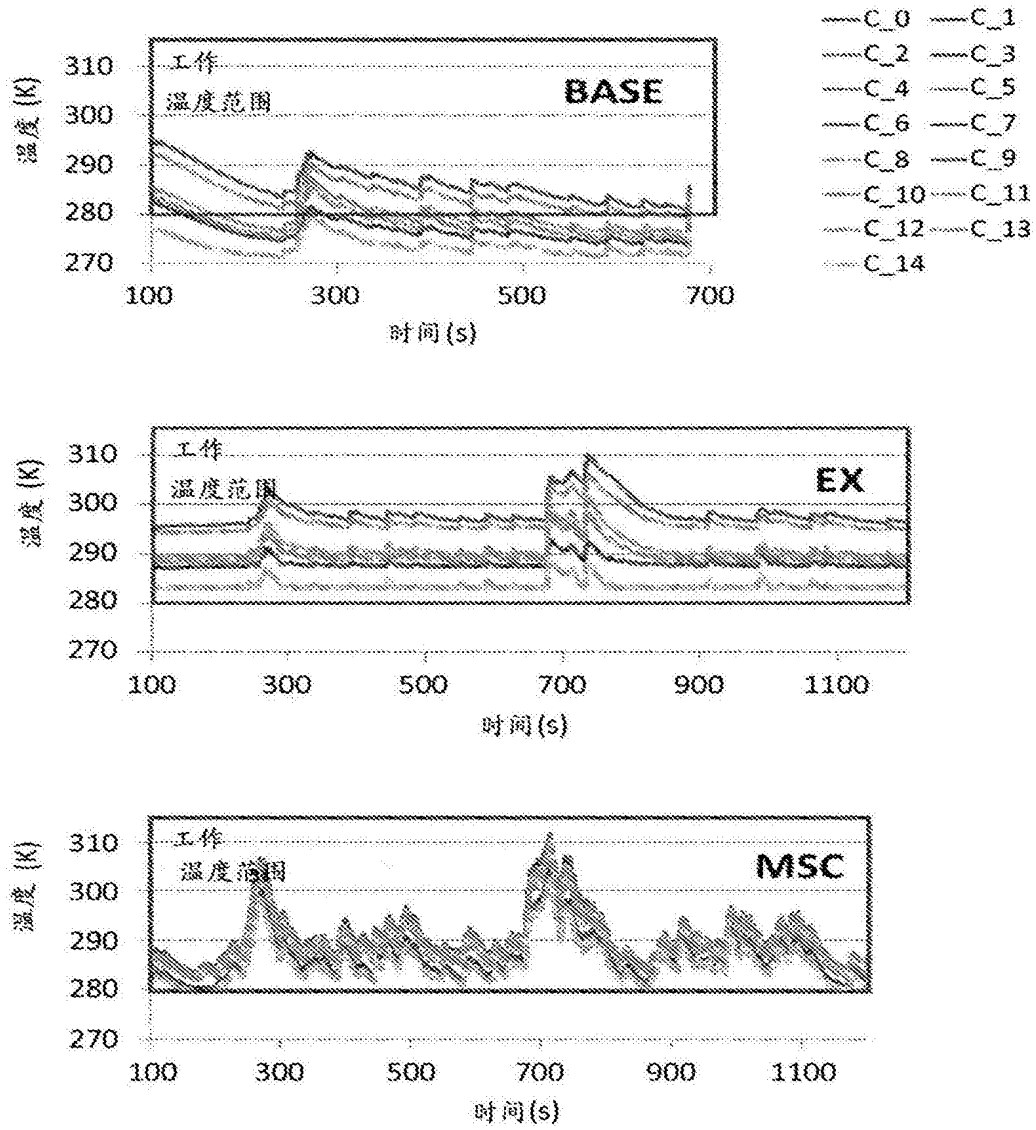


图17

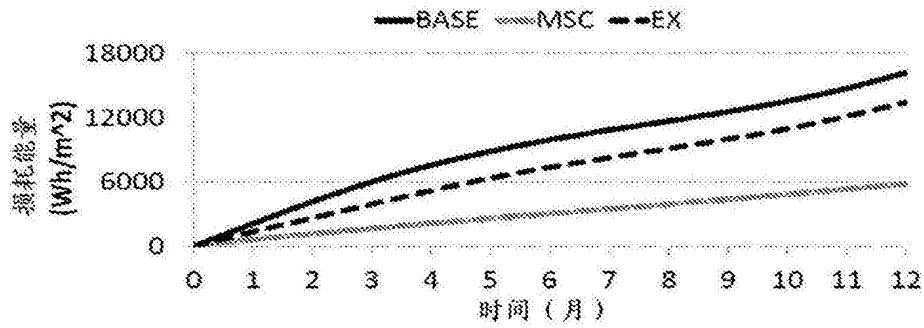


图18

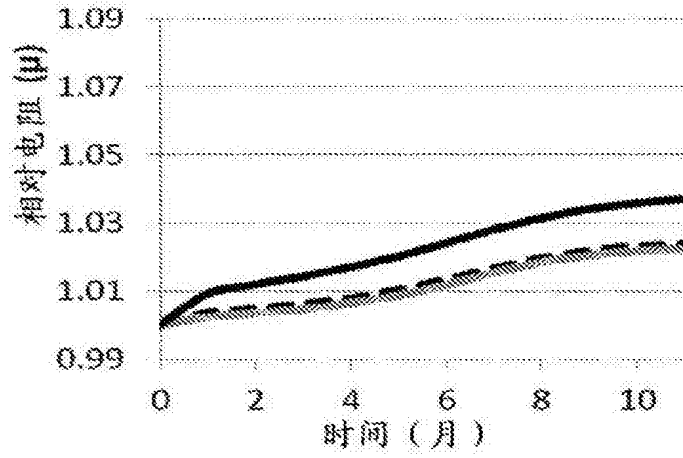


图19A

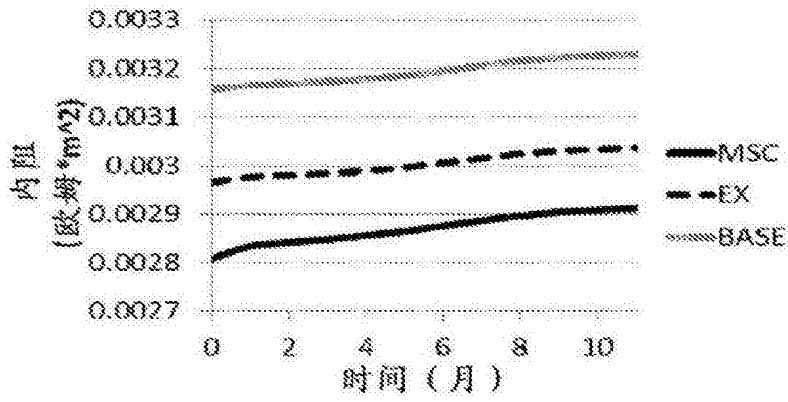


图19B