



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104999923 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201510179021. 9

(22) 申请日 2015. 04. 15

(30) 优先权数据

14/253, 076 2014. 04. 15 US

(71) 申请人 福特全球技术公司

地址 美国密歇根州迪尔伯恩市

(72) 发明人 段晓宏 何川

(74) 专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限

公司 11286

代理人 王秀君 马翠平

(51) Int. Cl.

B60L 11/18(2006. 01)

B60K 11/06(2006. 01)

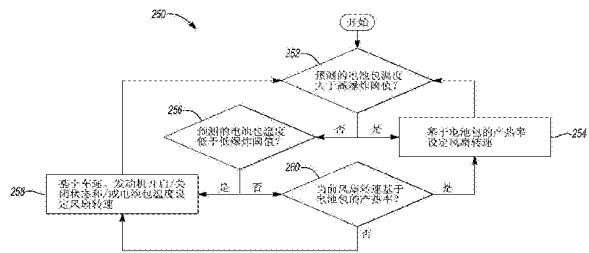
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

牵引电池空气热管理控制系统

(57) 摘要

公开了一种牵引电池空气热管理控制系统。车辆牵引电池系统可包括电池包、被构造为引导空气流向电池包的风扇以及控制器。所述控制器可被配置为：响应于预测的电池包温度大于第一预定温度，指导风扇以预定的基本上恒定的转速运转直到所述预测的电池包温度降低至第二预定温度之下，所述预定的基本上恒定的转速不随车速或发动机开启/关闭状态而变化。还提供了一种用于冷却车辆牵引电池系统的方法，所述方法基于预测的电池包温度和产热率。



1. 一种用于冷却车辆的牵引电池系统的方法,包括:

响应于预测的电池包温度大于预定的阈值,根据电池包产热率通过控制器调节电池冷却风扇的转速,从而针对给定的电池包产热率,风扇转速随着车速变化和发动机的停止/启动状态变化而保持基本上恒定。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:响应于预测的电池包温度小于另一个预定的阈值,根据车速或发动机的停止/启动状态调节电池冷却风扇的转速。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中,所述预定的阈值和所述另一预定的阈值彼此相等。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:响应于预测的电池包温度小于另一个预定的阈值,根据电池包产热率、车速和发动机的停止/启动状态调节电池冷却风扇的转速。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述预定的阈值是预定的电池包温度,其中,电池包被配置为在达到所述预定的阈值时停止作业或减小功率。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,电池包产热率基于传输至牵引电池系统的电能与从牵引电池系统移除的电能之差和牵引电池系统的内部电能变化。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,电池冷却风扇的转速被调节为使得电池包温度被保持在所述预定的阈值之下。

牵引电池空气热管理控制系统

技术领域

[0001] 本公开涉及在车辆中使用的用于推进电池的热管理系统。

背景技术

[0002] 诸如电池电动车辆 (BEV)、插电式混合动力电动车辆 (PHEV)、轻度混合动力电动车辆 (MHEV) 或全混合动力电动车辆 (FHEV) 的车辆包含牵引电池, 例如, 高压 (HV) 电池, 以用作车辆的推进源。HV 电池可包括用于辅助管理车辆性能和操作的组件和系统。HV 电池可包括电池单元端子之间相互电连接的一个或更多个电池单元阵列和互连器汇流条。HV 电池和周围环境可包括用于辅助管理 HV 电池组件、系统和各个电池单元的温度的热管理系统。

[0003] 具有一个或更多个 HV 电池的车辆可包括估算描述 HV 电池和 / 或电池单元的当前运行状况的值的电池管理系统。HV 电池和 / 或电池单元操作状况可包括 (例如) 电池 SOC、功率衰减 (power fade)、容量衰减和瞬时有效功率 (instantaneous available power)。在 HV 电池的寿命当中, 电池管理系统可能能够估算电池单元特性随电池单元老化而变化期间的值。一些参数的精确的估算可改善性能和稳定性, 并且最终可延长 HV 电池的使用寿命。

发明内容

[0004] 一种用于冷却车辆的牵引电池系统的方法, 包括: 响应于预测的电池包温度大于预定的阈值, 根据电池包产热率通过控制器调节电池冷却风扇的转速, 从而针对给定的电池包产热率, 风扇转速随着车速变化和发动机的停止 / 启动状态变化而保持基本上恒定。响应于预测的电池包温度小于另一个预定的阈值, 控制器可根据车速或发动机的停止 / 启动状态调节电池冷却风扇的转速。响应于预测的电池包温度小于另一个预定的阈值, 控制器可根据电池包产热率、车速和发动机的停止 / 启动状态调节电池冷却风扇的转速。所述预定的阈值和所述另一预定的阈值可彼此相等。所述预定的阈值可以是预定的电池包温度, 其中, 电池包被配置为在达到所述预定的阈值时停止作业或减小功率输入 / 输出。所述产热率可基于传输至所述系统的电能与从所述系统移除的电能之差以及所述系统的内部能量变化。电池冷却风扇的转速可被调节为使得电池包温度被保持在所述预定的阈值之下。

[0005] 一种车辆, 包括马达、被构造为向马达供应电力的牵引电池包、被构造为引导空气流向牵引电池包的风扇以及至少一个控制器。所述控制器被配置为: 为了将牵引电池包温度保持在预定的电池包断电温度之下, (i) 响应于预测的牵引电池包温度超过第一预定值, 基于牵引电池包的产热率设定风扇转速, 使得针对给定的产热率, 风扇转速随着车速变化和发动机的开启 / 关闭状态变化而保持基本上恒定, (ii) 响应于所述预测的温度降低至第二预定值之下, 基于车速或发动机的开启 / 关闭状态设定风扇转速。

[0006] 所述控制器还可被配置为: 为了将牵引电池包温度保持在预定的电池包断电温度之下, (i) 响应于预测的牵引电池包温度超过第一预定值, 基于牵引电池包的产热率设定风扇转速, 使得针对给定的产热率, 风扇转速随着车速变化和发动机的开启 / 关闭状态变化

而保持基本上恒定，(ii) 响应于所述预测的温度降低至第二预定值之下，基于车速或马达的开启 / 关闭状态设定风扇转速。第一预定值可等于或小于预定的电池包断电温度。第一预定值和第二预定值可彼此相等。响应于所述预测的温度降低至第二预定值之下，还可基于牵引电池包的产热量设定风扇转速。产热率可以基于传输至牵引电池包的能与从牵引电池包移除的能之差、离开牵引电池包的热的量以及牵引电池包的内部能量变化。

[0007] 第一预定值可比第二预定值大。

[0008] 一种车辆牵引电池系统，包括电池包、被构造为引导空气流向电池包的风扇以及至少一个控制器。所述控制器被配置为：响应于预测的电池包温度大于第一预定温度，指导风扇以预定的基本上恒定的转速运转直到预测的电池包温度降低至第二预定温度之下，所述预定的基本上恒定的转速不随车速或发动机开启 / 关闭状态而变化。预测的电池包温度可基于电池包的产热率。产热率可基于电池包的热容量和电池包温度随时间的变化。产热率可基于电池包电压、电池包开路电压、电池包电流、电池包热传递系数、电池包温度以及电池包风扇进气管道内的空气的温度。第一预定温度可以是在达到该温度时电池包被配置为停止作业的温度。第一预定温度可以是电池包被配置为减小功率输入 / 输出的温度。

附图说明

[0009] 图 1 是电池电动车辆的示意图。

[0010] 图 2 是用于图 1 中的车辆的牵引电池的热管理系统的一部分的透视图。

[0011] 图 3A 是示出在一段时间上电池包温度曲线变化的曲线图。

[0012] 图 3B 是示出在一段时间上用于图 3A 的电池包的热管理系统的风扇转速曲线变化的曲线图。

[0013] 图 3C 是示出在一段时间上包括图 3A 的电池包的车辆的车速曲线变化的曲线图。

[0014] 图 4 是示出具有空气热管理系统的电池电动车辆的示例的框图。

[0015] 图 5 是示出用于图 4 的车辆的热管理控制系统的操作的算法的流程图。

[0016] 图 6A 是示出两个热管理控制系统的两条电池包温度曲线之间的比较的曲线图。

[0017] 图 6B 是示出图 6A 的两个热管理控制系统的两条风扇转速曲线之间的比较的曲线图。

[0018] 图 6C 是示出由图 6A 的两个热管理控制系统所使用的车速的曲线图。

具体实施方式

[0019] 在此描述了本公开的实施例。然而，应理解的是，公开的实施例仅为示例并且其它实施例可采用多种和替代的形式。附图不一定按比例绘制；可夸大或最小化一些特征以示出特定部件的细节。因此，在此所公开的具体结构和功能细节不应被解释为限制，而仅作为用于教导本领域技术人员以多种形式使用本发明的代表性基础。如本领域的普通技术人员将理解的，参照任一附图示出和描述的多个特征可与一个或更多个其它附图中示出的特征组合以产生未明确示出或描述的实施例。示出的特征的组合提供用于典型应用的代表性实施例。然而，与本公开的教导一致的特征的多种组合和变型可期望用于特定应用或实施方式。

[0020] 图 1 描绘了典型的插电式混合动力电动车辆 (PHEV) 的示意图。典型的插电式混

合动力机动车辆 12 可包括机械地连接到混合动力传动装置 16 的一个或更多个电机 14。电机 14 能够作为马达或发电机运转。此外,混合动力传动装置 16 机械地连接到发动机 18。混合动力传动装置 16 还机械地连接到驱动轴 20,驱动轴 20 机械地连接到车轮 22。当发动机 18 开启或关闭时,电机 14 能够提供推进和减速能力。电机 14 还用作发电机,并且能够通过回收在摩擦制动系统中通常将作为热损失掉的能量而提供燃料经济效益。由于混合动力机动车辆 12 可在一定条件下按照电动模式运转,因此电机 14 还可减少污染物排放。

[0021] 牵引电池或电池包 (battery pack) 24 储存可以被电机 14 使用的能量。牵引电池 24 通常从牵引电池 24 中的一个或更多个电池单元阵列 (有时称为电池单元堆) 提供高电压直流 (DC) 输出。电池单元阵列可包括一个或更多个电池单元。牵引电池 24 通过一个或更多个接触器 (未示出) 电连接到一个或更多个电力电子模块 26。所述一个或更多个接触器在断开时使牵引电池 24 与其它组件隔离,并在闭合时将牵引电池 24 连接到其它组件。电力电子模块 26 还电连接到电机 14,并且在牵引电池 24 和电机 14 之间提供双向传输电能的能力。例如,典型的牵引电池 24 可以提供 DC 电压,而电机 14 可能需要三相交流 (AC) 电压来运转。电力电子模块 26 可以将 DC 电压转换为电机 14 所需要的三相 AC 电压。在再生模式下,电力电子模块 26 可以将来自用作发电机的电机 14 的三相 AC 电压转换为牵引电池 24 所需要的 DC 电压。在此的描述同样适用于纯电动车辆。对于纯电动车辆,混合动力传动装置 16 可以是连接到电机 14 的齿轮箱并且发动机 18 会不存在。

[0022] 牵引电池 24 除了提供用于推进的能量之外,还可以提供用于其它车辆电气系统的能量。典型的系统可包括将牵引电池 24 的高电压 DC 输出转换为与其它车辆负载兼容的低电压 DC 供应的 DC/DC 转换器模块 28。其它高电压负载 (例如,压缩机和电加热器) 可直接连接到高电压而不使用 DC/DC 转换器模块 28。在典型的车辆中,低电压系统电连接到辅助电池 30 (例如,12V 电池)。

[0023] 电池电控制模块 (BECM) 33 可与牵引电池 24 通信。BECM 33 可用作牵引电池 24 的控制器,并且还可包括管理每个电池单元的温度和荷电状态的电子监控系统。牵引电池 24 可具有温度传感器 31,例如,热敏电阻或其它温度表。温度传感器 31 可与 BECM 33 通信,以提供关于牵引电池 24 的温度数据。

[0024] 例如,车辆 12 可以是牵引电池 24 可通过外部电源 36 进行再充电的电动车辆,例如,插电式混合动力车辆或电池电动车辆。外部电源 36 可以连接到电源插座。外部电源 36 可电连接到电动车辆充电设备 (electric vehicle supply equipment (EVSE)) 38。EVSE 38 可提供电路和控制以调节并管理电源 36 与车辆 12 之间的电能的传输。外部电源 36 可向 EVSE 38 提供 DC 电或 AC 电。EVSE 38 可具有用于插入到车辆 12 的充电端口 34 中的充电连接器 40。充电端口 34 可以是被构造为将电力从 EVSE 38 传输到车辆 12 的任何类型的端口。充电端口 34 可电连接到充电器或车载电力转换模块 32。电力转换模块 32 可以调节从 EVSE 38 供应的电力,以向牵引电池 24 提供合适的电压水平和电流水平。电力转换模块 32 可与 EVSE 38 交互,以协调向车辆 12 的电力传递。EVSE 连接器 40 可具有与充电端口 34 的对应的凹入匹配的插脚。

[0025] 所讨论的各种组件可具有控制并监视组件的运转的一个或更多个相关联的控制器。控制器可经由串行总线 (例如,控制器局域网 (CAN)) 或经由离散的导体进行通信。

[0026] 电池单元 (例如,棱柱形的电池单元) 可包括将储存的化学能转换为电能电化

学电池单元。棱柱形的电池单元可包括壳体、正极（阴极）和负极（阳极）。电解质可允许离子在放电期间在阳极和阴极之间运动，然后在再充电期间返回。端子可允许电流从电池单元流出以被车辆使用。当多个电池单元按照阵列定位时，每个电池单元的端子可与彼此相邻的相对的端子（正和负）对齐，汇流条可辅助便于多个电池单元之间串联连接。电池单元还可并联布置，从而类似的端子（正和正或者负和负）彼此相邻。例如，两个电池单元可被布置为正极端子彼此相邻，紧挨着的两个电池单元可被布置为负极端子彼此相邻。在该示例中，汇流条可接触所有的四个电池单元的端子。

[0027] 可使用空气热管理系统或本领域中其它的其它方法来加热和 / 或冷却牵引电池 24。图 2 示出了空气热管理系统的一部分的一个示例。电池包壳体 90（为了说明的目的以虚线示出）可包含牵引电池 24（在本视图中未示出）以及靠近其的其它车辆组件，例如，DC/DC 转换器模块 28（在本视图中未示出）和 BECM 33（在本视图中未示出）。空气热管理系统可包括鼓风机单元 92、第一管道系统 94、第二管道系统 96 以及一个或更多个通风口 98。鼓风机单元 92 的其它示例可包括风扇单元和 / 或气泵。电池包壳体进气口 100 和 102 可开向第一管道系统 94 和第二管道系统 96，以便于与牵引电池 24 流体连通。通风口 98 可作为通向第一管道系统 94 和第二管道系统 96 的进气口。这样，通风口 98 可辅助促进车厢气候系统与第一管道系统 94 以及第二管道系统 96 之间的流体连通。第二管道系统 96 还可经由 DC/DC 转换器进气口 104 与 DC/DC 转换器模块 28 流体连通。

[0028] 鼓风机单元 92 可被布置在牵引电池 24 和 DC/DC 转换器模块 28 的下游。此外，鼓风机单元 92 可被布置为靠近电池包壳体出气口 106 和 DC/DC 转换器模块出气口 108，从而当沿第一方向启动鼓风机单元 92 时，抽吸牵引电池 24、DC/DC 转换器模块 28 上的空气并将空气从鼓风机出气口和 / 或排气口 110 排出。预期鼓风机单元 92 还可被布置在牵引电池 24 和 DC/DC 转换器模块 28 的上游。这里出气口还可被称作排气口。由于排气口 110 与鼓风机单元 92 流体连通，所以排气口 110 还可用作用于冷却电池包壳体 90 内的组件的空气中的排气口。虚线和参考箭头 112 示出气流经由通风口 98 从车厢进入管道系统、流经管道系统和电池包壳体 90 并流经鼓风机单元 92，然后从鼓风机排气口 110 排出的示例。线和参考箭头 112 是气流的非限制性示例。

[0029] 不同的电池包构造可适用于解决各个车辆变量，车辆变量包括封装约束和功率需求。牵引电池 24 可设置在多个不同的位置，这些位置包括（例如）前座的下面、后座的下面或车辆后座的后面。然而，预期牵引电池 24 可设置在车辆 12 中的任何适合的位置处。

[0030] 牵引电池 24 的温度是可影响车辆性能、电池单元寿命以及牵引电池 24 的允许充电和放电的参数。在使用空气热管理系统的某些 FHEV 和 MHEV 中，鼓风机单元 92 可响应于诸如牵引电池 24 温度、车速和 / 或发动机开启 / 关闭状况的状况而运转。例如，鼓风机单元 92 的转速可响应于车速阈值而增大和 / 或减小。然而，在某些运转条件下（诸如当车辆 12 在制动、减速期间以较低的速度运转时以及发动机开启和关闭两种状况时），增大的鼓风机单元 92 转速还可产生不期望的对噪声、振动和粗糙度（“NVH”）的关注。

[0031] 图 3A 至图 3B 是示出热管理控制系统响应于车速随时间（如由 x- 轴所表示的）变化而指导风扇输出的操作的情形的示例的曲线图。在图 3A 中，y- 轴表示电池包温度。在该情形中，最大温度 150 表示用于触发切断电池包的电力的预定的电池包温度，使得电池包停止操作或降低电池包的电力电平输出。电池包温度 152 表示在车辆运转期间测得的实

实际的电池包温度。在图 3B 中, y- 轴表示风扇转速。风扇转速 154 表示在车辆运转期间测得的实际的风扇转速。在图 3C 中, y- 轴表示车速。在车辆运转期间测得实际的车速 156。

[0032] 现在参照 1880 秒至 1900 秒之间的时间段, 电池包温度 152 正在增大并接近最大温度 150。然而, 示出车速 156 正在减小, 这可能是在 (例如) 响应于制动系统的应用。因为风扇转速 154 正在响应于车速 156 而运转, 所以风扇转速 154 相应地减小, 导致以下的结果: 从风扇得到的针对电池包温度 152 的任何冷却益处都减少, 并且电池包温度 152 继续增大并超过最大温度 150。达到和 / 或超过最大温度 150 可触发电池包关闭, 这可能影响车辆性能。至少两个因素可导致这种情形: (i) 风扇转速的运转控制取决于如由实时温度传感器报告的电池包温度, 并不考虑预期的和 / 或预测的电池包温度, 这可导致对电池包温度变化的反应延迟; (ii) 由于考虑到风扇 NVH, 因此风扇转速与车速相关联并不考虑最大温度 150 电池包的关闭。然而, 可通过将控制系统策略调整为包括基于电池包产热率的预期的和 / 或预测的电池包温度来克服这些因素。

[0033] 例如, 图 4 示出可包括用于电池包 202 的热管理系统的车辆 200。热管理系统可以是使用风扇 204 引导空气流向电池包 202 以辅助管理电池包 202 的热状况的空气系统。温度传感器 206 可与电池包 202 通信以测量电池包实际的温度。车辆计算机处理单元 (“CPU”) 208 可与多个车辆组件 210 通信, 使得车辆 CPU 208 可接收关于车辆组件 210 的信息并还指导车辆组件 210 的操作。车辆组件 210 的示例可包括发动机、马达、传动装置、电机和用于确定车速的传感器。控制器 212 可与车辆 CPU 208 和温度传感器 206 通信, 以接收关于车辆组件 210 的信息和电池包 202 的温度。控制器 212 还可与风扇 204 通信以指导其运转。

[0034] 可通过检查电池包 202 的被滤波的电池包温度的变化率和 / 或通过计算电池包 202 的电池包产热率而计算电池包 202 的预测的电池包温度。当测量电池包温度时, 温度传感器 206 还会暴露于来自 (例如) 可能位于温度传感器 206 附近的车辆组件 210 的高频噪声。这样, 来自温度传感器 206 的信号可通过低通滤波器而被滤波以分离高频噪声, 因此获得被滤波的电池包温度, 所述被滤波的电池包温度可用于计算预测的电池包温度。因为电池包温度的变化与电池包内的电池包热能变化成比例, 所以预测的电池包温度变化可通过检查在电池包 202 的当前时间滑窗 (present time sliding window) 内电池包内部累积的电池产热量来评估。例如, 基于电池包 202 的热管理系统的能量平衡, 电池包内保持的电池包产热量可取决于电池包 202 内的电池单元的电能输入与电能输出之差、内部电能变化以及电池包的输入热与输出热之差。计算式可表示为:

[0035] 电池包产热量 = (输入电能 - 输出电能) - (内部电能变化) + (输入热 - 输出热)

[0036] 这里, 电池包产热量被定义为由于电离子流动阻力和化学反应而在电池包内部产生的电池包热量, 所述电池包热量可以是导致电池包温度变化的能。

[0037] 由电池包 202 的操作所产生的的总的热量可表示为:

[0038]

$$(\text{输入电能} - \text{输出电能}) - (\text{内部电能变化}) = \int_t^{t+\Delta t} (V - OCV)I dt$$

[0039] 在这个表达式中, V 等于电池包电压, OCV 等于电池包开路电压, I 等于电池包电

流, t 等于时间。

[0040] 由电池包 202 的操作所产生和传递的总的热量还可表示为:

[0041] (输出热 - 输入热) + 电池包热能变化

[0042] 电池包 202 的输出热与输入热之差可表示为:

[0043]

$$(\text{输出热} - \text{输入热}) = \int_t^{t+\Delta t} h(T_{\text{cell}} - T_{\text{fan inlet}}) dt$$

[0044] 在这个表达式中, h 等于电池包热传递系数, T_{cell} 等于电池包温度, $T_{\text{fan inlet}}$ 等于电池包 202 的进气管道内的空气的温度, t 等于时间。

[0045] 电池包产热量可指电池包内部的电池包产热量, 所述电池包内部的电池包产热量是电池包 202 的电池包热能变化, 电池包热能变化可表达为:

[0046] 电池包热能变化 = $\alpha \Delta T$

[0047] 在这个表达式中, α 等于电池包热容量, T 是电池包温度。因此, 给定的时间段 Δt 的电池包温度变化可表示为:

$$[0048] \quad \Delta T = \frac{I}{\alpha} \int_t^{t+\Delta t} \{(V - OCV)I - h(T_{\text{cell}} - T_{\text{fan inlet}})\} dt$$

[0049] 图 5 示出了用于热管理控制系统的算法的示例。该算法总体上由标号 250 指示。控制器 212 可包括关于预定的高爆炸温度阈值 (high bang temperature threshold) 和预定的低爆炸温度阈值的指令。例如, 响应于电池包 202 温度和 / 或预测的电池包 202 温度超过高爆炸阈值温度和 / 或降低至低爆炸阈值温度之下, 所述指令可触发一个或多个热管理控制系统操作。操作 252 可包括计算预测的电池包 202 温度变化率, 电池包 202 温度变化率可表示为:

$$[0050] \quad \frac{I}{\alpha} (V - OCV)I - h(T_{\text{cell}} - T_{\text{fan inlet}})$$

[0051] 控制器 212 可接收关于电池包 202 电压 (V)、电池包开路电压 (OCV)、电池包 202 电流 (I)、电池包 202 温度 (T_{cell}) 和风扇 204 处的空气的温度 ($T_{\text{fan inlet}}$) 的信息。然后, 控制器 212 可计算预测的电池包 202 温度在给定的时间段上变化的曲线。如果预测的电池包 202 温度预测比预定的高爆炸阈值大, 则在操作 254 中控制器 212 可基于产热率设定风扇 204 转速。例如, 风扇 204 转速可设定为最大等级, 使得风扇 204 可向电池包 202 提供增多的气流, 以辅助防止电池包 202 温度达到高爆炸阈值。

[0052] 可选择地, 在关于预测的电池包 202 温度的计算期间控制器 212 还可执行加权函数。加权函数是在 (例如) 执行加法、积分或平均值算法时所使用的数学方法, 以给一些元素赋与比同一组中的其它元素更大的“权重 (weight)”或使一些元素比其他元素相对对结果有更大的影响。例如, 控制器 212 可基于从包括 I 、 OCV 、 V 、 T_{cell} 和 $T_{\text{fan inlet}}$ 的数据计算的产热率的发生时间来估算电池包 202 的温度。更新的数据可比旧的数据更相关, 因此, 控制器 212 在积分计算预测的电池包 202 温度和电池包 202 的产热率时向更加新的数据分派不同的值。

[0053] 在操作 256 中, 控制器 212 可确定预测的电池包 202 温度是否低于低爆炸阈值。如果预测的电池包 202 温度低于低爆炸阈值, 则在操作 258 中控制器 212 可基于产热量和

/或其它状况（例如，车速、发动机或马达的开启/关闭状态以及电池包 202 温度）而设定风扇 204 转速。如果在操作 256 中预测的电池包 202 温度不低于低爆炸阈值，则在操作 260 中控制器 212 可确定当前风扇 204 转速是否基于电池包 202 的产热率，然后，基于所述确定相应地返回到操作 254 或操作 258。这样，电池包 202 的热管理控制系统可响应于预测的电池包 202 温度大于预定的高爆炸阈值而根据电池包 202 产热率调节风扇转速，从而针对给定的电池包 202 产热率，风扇 204 转速随着车辆 200 的速度变化而保持基本上恒定。此外，电池包 202 的热管理控制系统可响应于预测的电池包 202 温度降低至预定的高爆炸阈值之下而基于产热量和/或电池包 202 温度以及其它状况（例如，车速和发动机开启/关闭状态）设定风扇 204 转速。

[0054] 图 6A 至图 6C 是示出利用具有风扇的空气冷却系统的两种热管理控制系统策略之间的对比在给定的一段时间（如由 x-轴所表示的）上的变化的曲线图。第一控制系统 300 基于车速指导风扇转速的运转。第二控制系统 302 基于电池包产热率和预测的电池包温度而指导风扇转速的运转（如上面所描述的以及如图 4 和图 5 所示）。在图 6A 中，y-轴表示电池包温度，预定的高爆炸阈值可由线 303 表示。在图 6B 中，y-轴表示风扇转速。在图 6C 中，y-轴表示控制系统 300 和控制系统 302 两者共用的车速。在图 6B 中，现在参照开始于 1500 秒并向前移动的时间段，示出控制系统 302 将风扇转速设定为不根据如图 6C 所示的车速而变化的恒定转速。这样，控制系统 302 可管理电池包温度，从而将电池包温度保持在预定的高爆炸阈值之下，同时示出控制系统 300 的电池包温度超过预定的高爆炸阈值，这可导致触发电池包的断电。

[0055] 虽然上面描述了示例性实施例，但是并不意味着这些实施例描述了权利要求所包含的所有可能的形式。在说明书中使用的词语是描述性的词语而不是限制性的词语，并且应该理解的是，在不脱离本公开的精神和范围的情况下，可以进行各种改变。如前面所描述的，可以对各个实施例的特征进行组合以形成本发明的可能未被明确描述或说明的进一步的实施例。虽然关于一个或更多个期望的特性，各个实施例已经被描述为提供优点或优于其它实施例或现有技术的实施方式，但是本领域的普通技术人员意识到，根据具体应用和实施方式，可以折衷一个或更多个特点或特性，以实现期望的整体系统属性。这些属性可包括但不限于成本、强度、耐用性、生命周期成本、市场性、外观、包装、尺寸、维修保养方便性、重量、可制造性、易组装性等。这样，关于一个或更多个特性，被描述为不如其它实施例或现有技术的实施方式合意的实施例不在本公开的范围之外，并且可以期望用于特定的应用。

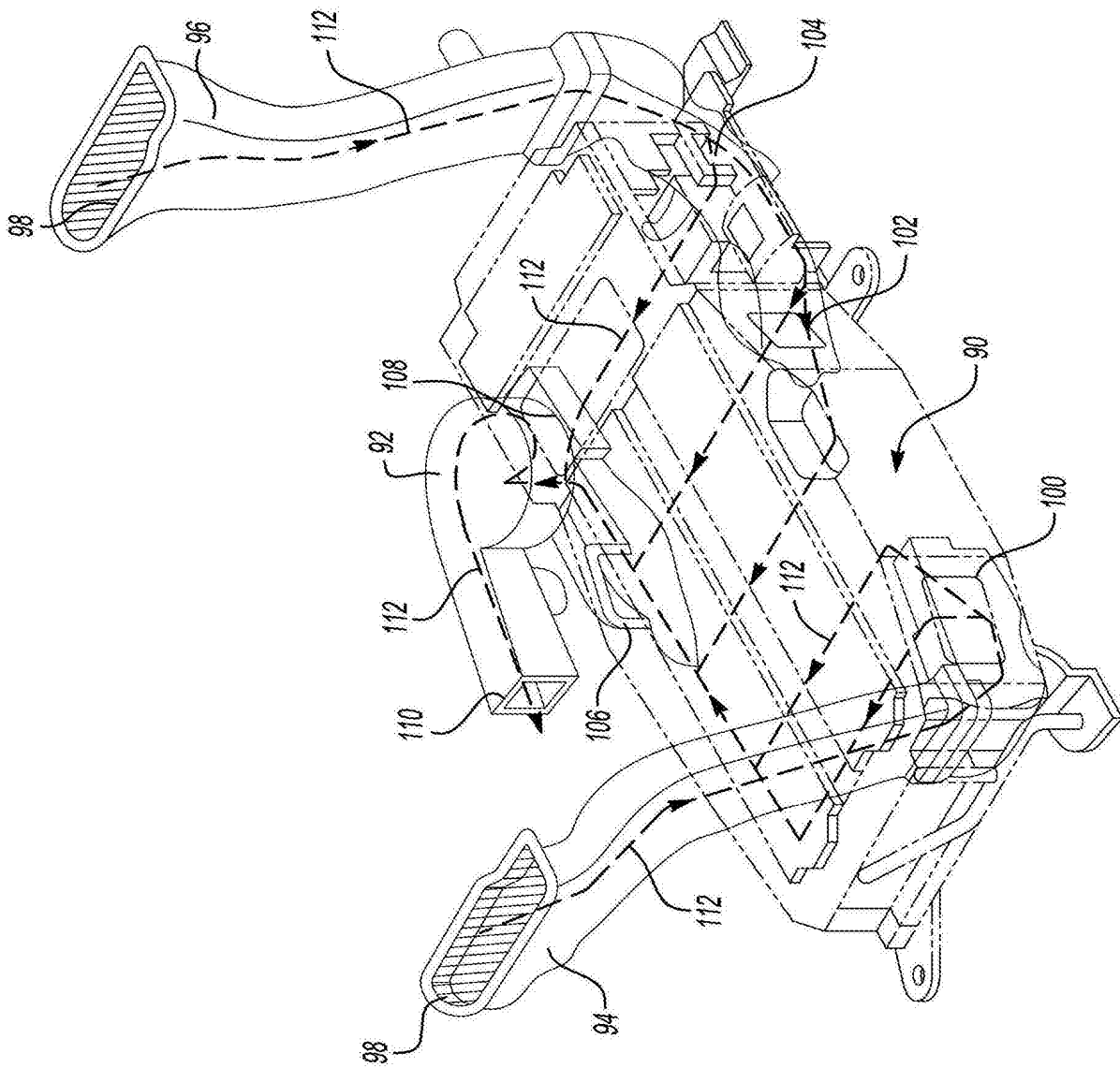


图 2

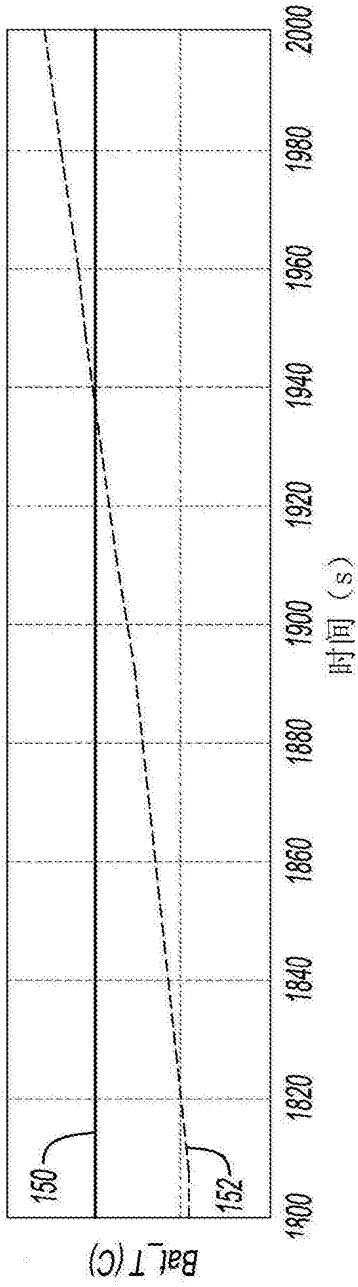


图 3A

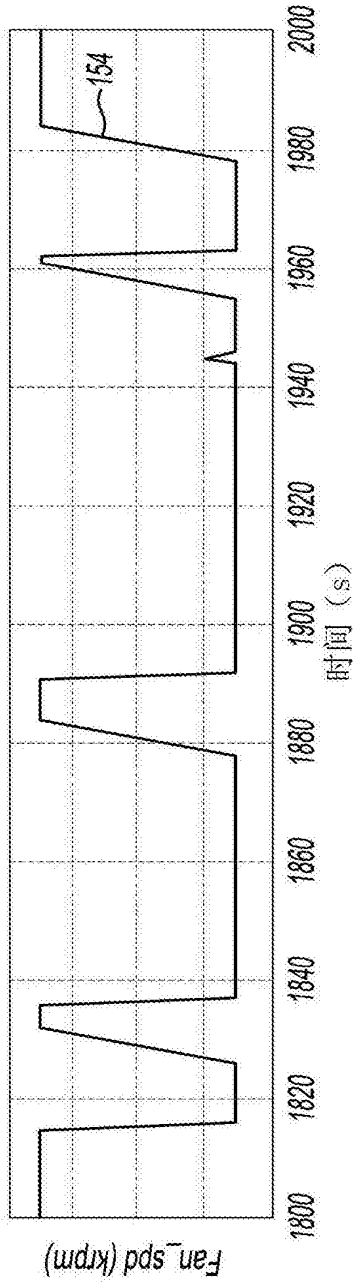


图 3B

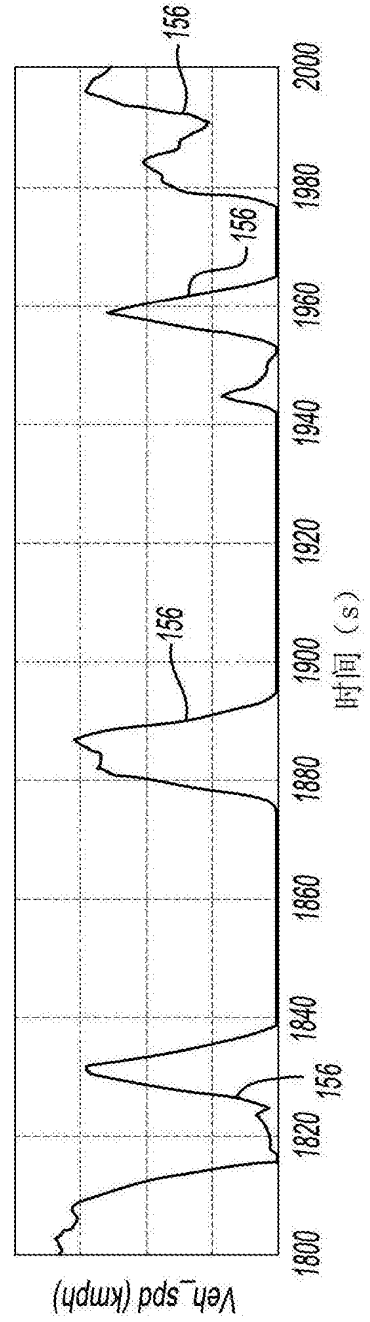


图 3C

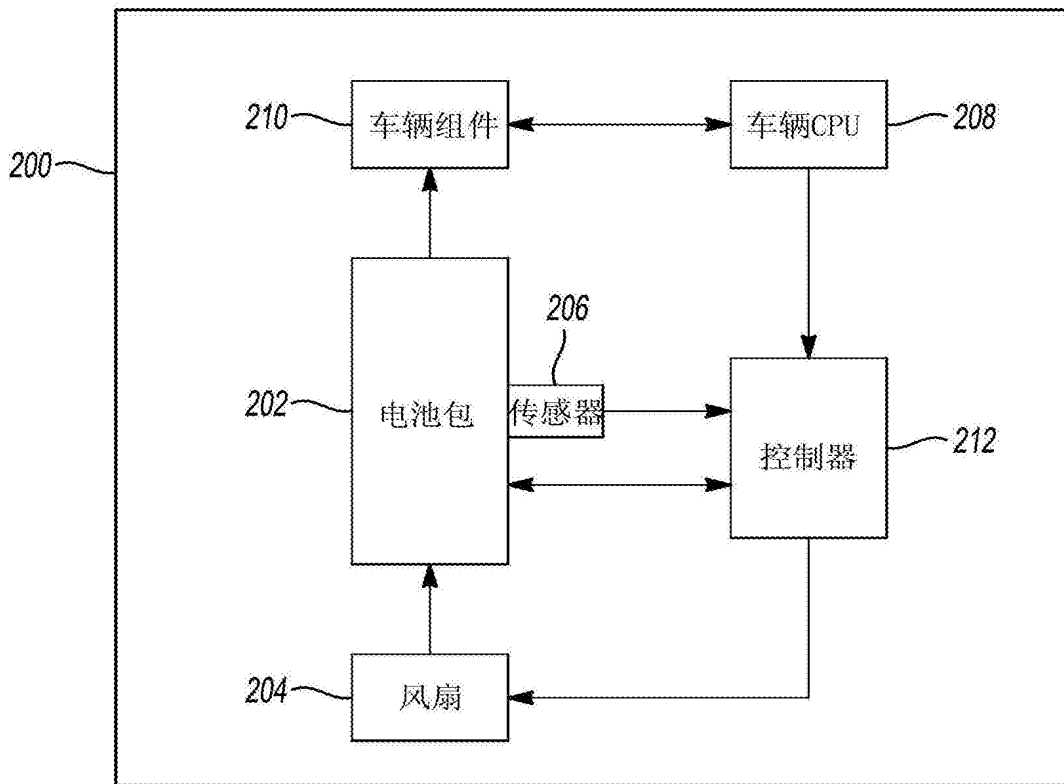


图 4

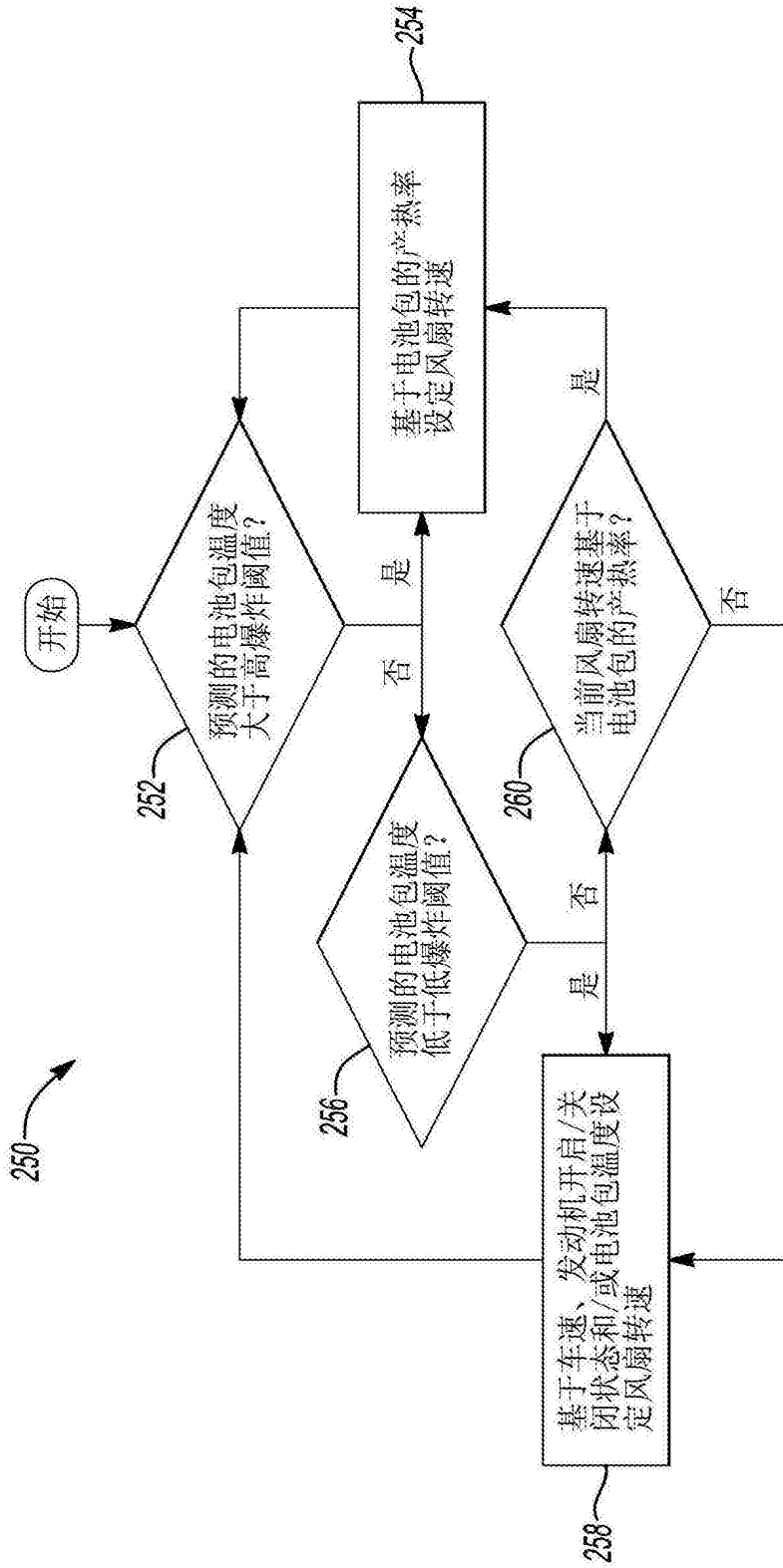


图 5

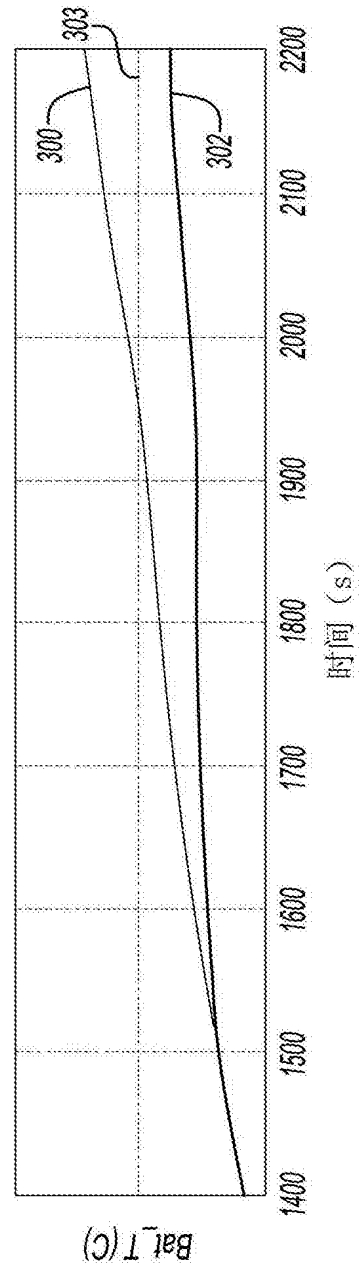


图 6A

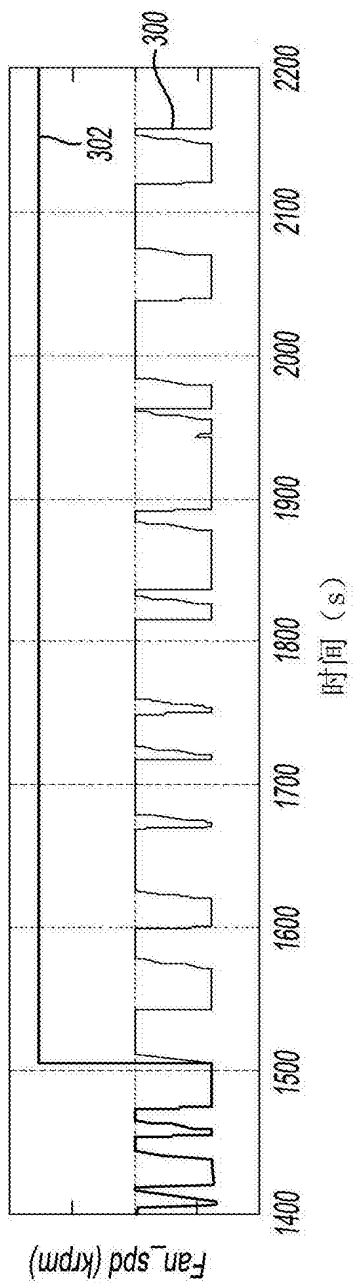


图 6B

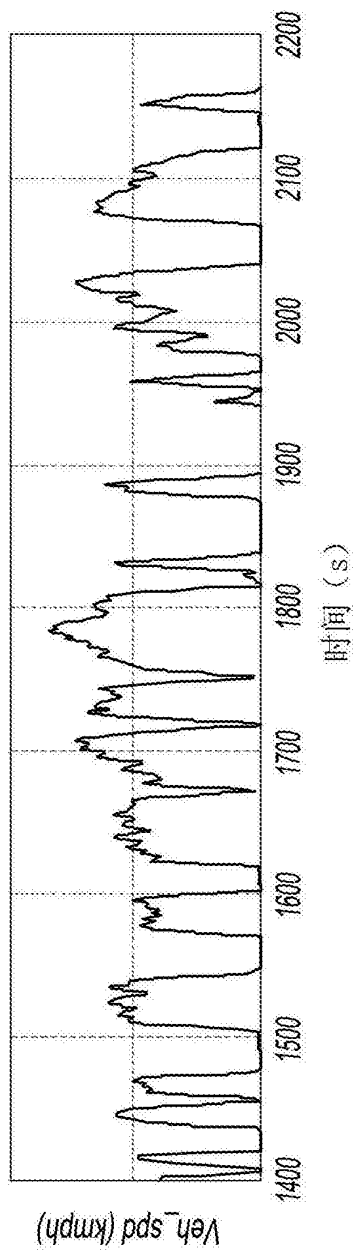


图 6C