

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 9 月 24 日 (24.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/186550 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/367 (2019.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/080284
- (22) 国际申请日: 2019 年 3 月 29 日 (29.03.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910217008.6 2019年3月21日 (21.03.2019) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 陈彪 (CHEN, Biao); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。江浩斌 (JIANG, Haobin); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。孙化阳 (SUN, Huayang); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。栗欢欢 (LI, Huanhuan); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。华蕾 (HUA, Lei); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

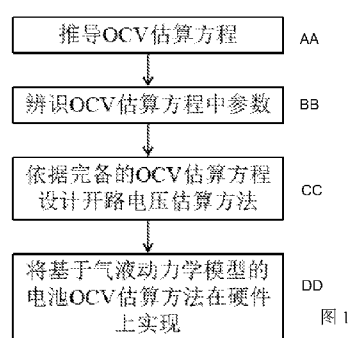
- (74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第 21 条 (3))。

(54) Title: GAS-LIQUID DYNAMICS MODEL-BASED BATTERY OPEN-CIRCUIT VOLTAGE ESTIMATION METHOD AND DEVICE

(54) 发明名称: 一种基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法及装置



- AA Derive an OCV estimation equation
BB Identify parameters in the OCV estimated equation
CC Design an open-circuit voltage estimation method according to a complete OCV estimation equation
DD Implement a gas-liquid dynamics model-based battery OCV estimation method on hardware

图 1

(57) Abstract: A gas-liquid dynamics model-based battery open-circuit voltage estimation method and device, wherein the method comprises: according to a gas-liquid dynamics model, deriving an open-circuit voltage estimation equation to be determined; identifying estimation equation parameters according to experimental data; and designing an open-circuit voltage estimation method according to a complete open-circuit voltage estimation equation and calculating an open-circuit voltage estimate. The open-circuit voltage estimation equation comprises the battery temperature and no longer needs to be coupled with the battery temperature, thereby simplifying the open-circuit voltage estimation process. The gas dissolution/precipitation principle in the estimation equation is equivalent to a battery polarization effect, and better fits the phenomenon in which the open-circuit voltage lags behind the battery terminal voltage. The estimation result of the estimation equation does not depend on the accuracy of the initial value of an input, and has excellent estimation robustness. The present invention may more accurately characterize the nonlinear process of battery charging and discharging, the analytical formula is simple, the parameter identification is easy, the calculation amount is small, and the influence of battery temperature characteristics on the open-circuit voltage is reflected, which is easy to implement in a project.

(57) 摘要：一种基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法及装置，该方法包括：依据气液动力学模型推导出待定的开路电压估算方程；依据实验数据辨识估算方程参数；依据完备的开路电压估算方程设计开路电压估算方法，并计算得到开路电压估算值。其中的开路电压估算方程包含电池温度，无需再与电池温度耦合，简化开路电压估算过程；估算方程中气体溶解/析出原理等效于电池极化效应，更好地拟合开路电压滞后电池端电压现象；估算方程的估算结果不依赖于输入初值的精度，具有极好的估算鲁棒性；能够更准确地刻画电池充放电非线性过程、解析式简单、参数辨识容易、运算量小，且反映电池温度特性对开路电压的影响，便于在工程中实现。

一种基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法及装置

技术领域

本发明属于电池管理系统领域，具体涉及一种基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法及装置。

背景技术

石油被称为黑色的黄金、工业的血液，但石油资源随着人类不断地开采将逐渐走向枯竭。交通占石油总消费比重接近一半，世界各国都在努力寻找可替代石油的能源，其中，大力发展电动汽车技术是重要选择之一。但是车载锂电池在使用过程中，由于放电深度的增加、内部活性物质的减少、EIS 膜变厚内阻增大、可逆容量衰减和环境温度的变化等原因导致电池内部一些重要性能参数发生较大变化，而现阶段电池模型普遍存在模型复杂，参数变化不稳定等问题，导致电池开路电压 OCV (Open Circuit Voltage) 估算不准确，剩余续航里程难以确定。因此，建立准确的电池模型有着重要的意义。

目前，研究最多的电池解析模型为等效电路模型和电化学反应模型两种。电化学反应模型从电池的本质研究充放电过程，通过状态方程、微分方程和偏微分方程等描述与电池设计参数有关的宏观（如电压、电流、电阻等）及微观（离子浓度分布、传输等）信息，尽管刻画准确，但是巨大的复杂度和计算耗时等缺点，很难用于车载 MCU 实时估计。等效电路模型从电池外特性角度研究充放电过程，电子元件能够直观地描述充放电过程，如电容、电阻和理想电源，并且其状态方程比电化学反应模型简单。等效电路模型有很多形式和结构，如 Rint model, Thevenin model, PNGV, n-RC model and so on。其中，Rint 模型非常简单，但是 SOC 估算精度令人不满意。相反，盲目地追求精度将产生更多不确定的参数需要去辨识，如三阶 RC 等效电路模型。另外，为了在整个 SOC 过程中保证估算的精度，等效电路模型经常和智能算法结合，如滑膜算法、模糊逻辑算法、模拟退火算法、粒子群算法、卡尔曼滤波或其变体算法。而智能算法需要做大量的运算，同样使得该模型难以在车载 MCU 上实现实时估计。

综上所述，仅依赖现有的电池模型远不能达到实际应用的要求，急需一种能够更准确地刻画电池充放电非线性过程、反映电池温度特性、解析式简单、运算量小的模型和开路电压估算方法及装置。

发明内容

针对上述问题，本发明提供一种基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法及装置，本发明中的开路电压估算方程包含电池温度，无需再与电池温度耦合，简化开路电压估算过

程；估算方程中气体溶解/析出原理等效于电池极化效应，更好地拟合开路电压滞后电池端电压现象；估算方程的估算结果不依赖于输入初值的精度，具有极好的估算鲁棒性；能够更准确地刻画电池充放电非线性过程、解析式简单、参数辨识容易、运算量小，且反映电池温度特性对开路电压的影响，便于在工程中实现。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：

一种基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法，具体包括如下步骤：

步骤一，依据气液动力学模型推导出待定的开路电压估算方程；

步骤二，依据实验数据辨识估算方程参数：通过实验测试获得不同电流、端电压、温度下对应的开路电压，并通过辨识方法辨识出开路电压估算方程中待定参数的最优值，将待定参数的最优值代入步骤一的待定开路电压估算方程得到完备的开路电压估算方程；

步骤三，依据完备的开路电压估算方程设计开路电压估算方法，并计算得到开路电压估算值。

上述方案中，

所述步骤一中的开路电压估算方程为：

$$P_3 = \frac{(P_1 + lT)(P_2 - lT) - kT^2 + \sqrt{(lT + P_1)^2(lT + P_2)^2 + k^2T^4 + 2(lT + P_1)[k l T^3 + k T^2(2P_1 - P_2)]}}{2(l + P_1)} \quad \text{公式一}$$

$$\text{其中, } P_2 = P_0 - \frac{1}{2}\rho|I|I - \frac{1}{2}\mu\rho I \quad \text{公式二}$$

P_0 、 I 和 P_1 分别表示端电压、电流和开路电压， P_3 表示要估算的开路电压， T ：表示电池温度， ρ ：气流密度， μ ：气流阻力系数， k ：第一等效参数， l ：第二等效参数， P_0 ：管口压强； P_2 ：气液动力学模型充/放气过程中容器内气体压强。

上述方案中，所述步骤二中辨识估算方程参数具体过程为：

- ①读取开路电压 OCV、端电压 U 、电流 I 、温度 T 数据；
- ②向 OCV 估算方程中 P_1 赋初值，即 $P_1 = OCV(1)$ ，设置 $N = 1$ ；
- ③赋值， $P_0 = U(N)$ ， $I = I(N)$ ， $T = T(N)$ ；
- ④设置待辨识参数 k 、 l 、 ρ 和 μ 条件大于或等于 0；
- ⑤带入待定开路电压估算方程；
- ⑥更新初值 P_1 与 N ， $P_1 = P_3$ ， $N = N + 1$ ；
- ⑦将估算总误差 $S = S + |P_3 - OCV(N)|$ 作为目标函数；
- ⑧直到 S 不再变小为判断终止条件；

⑨循环上述③至⑧步直至参数辨识结束，输出最优参数的值 k 、 l 、 ρ 和 μ 。

上述方案中，所述步骤三具体过程为：

①读取端电压 U 、电流 I 、温度 T 数据；

②向完备的开路电压估算方程中 P_1 赋初值，即 $P_1 = OCV(I)$ ，设置 $N = 1$ ；

③赋值， $P_0 = U(N)$ 、 $I = I(N)$ 、 $T = T(N)$ ；

④带入完备的开路电压估算方程中；

⑤更新初值 P_1 与 N 并输出估算出的开路电压值；

⑥循环③至⑤步直至开路电压估算结束。

上述方案中，所述辨识方法为遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法、蚁群算法、支持向量机法、神经网络算法或最小二乘法。

一种实现所述基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法的装置，包括信号采集部件、开路电压估算部件和显示部件；

所述信号采集部件用于采集电池的电流、温度和电压；

所述信号采集部件与开路电压估算部件连接并将采集的电流、温度和电压信号传送到开路电压估算部件，所述开路电压估算部件根据开路电压估算方程计算出开路电压值；

所述开路电压估算部件与显示部件连接，将电池电流、温度、电压和开路电压值发送给显示部件显示。

上述方案中，所述信号采集部件包括电流传感器、温度传感器和电压传感器；

所述电流传感器用于检测电池的电流；

所述温度传感器用于检测电池的温度；

所述电压传感器用于检测电池的电压。

上述方案中，所述开路电压估算部件包括单片机。

有技术相比，本发明的有益效果是：

1. 本发明 OCV 估算方程简单、与时间解耦、计算量小，能够通过迭代消除误差，估算精度高，能在单片机上实现开路电压实时估算。

2. 本发明温度与端电压、电流一样作为 OCV 估算方程输入量，无需引入温度补偿系数或经验公式，降低参数识别难度，提高 OCV 估算鲁棒性。

3. 本发明所述气液动力学模型简单直观、易于理解，反映了电池端电压滞后开路电压的特性。

附图说明

本发明的上述和/或附加的方面和优点从结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解，其中：

图 1 为发明方法流程图。

图 2 为气液动力学模型物理量图。

图 3 为常见二次电池充电与放电截止电压。

图 4 为参数辨识流程图。

图 5 为开路电压估算方程中待辨识参数的值。

图 6 为估算 OCV 流程图。

图 7 为 OCV 估算装置框图。

图 8 为在 15℃ 下估算结果。

图 9 为在 15℃ 下估算误差。

图 10 为在 25℃ 下估算结果。

图 11 为在 25℃ 下估算误差。

图 12 为在 35℃ 下估算结果。

图 13 为在 35℃ 下估算误差。

图 14 为在 45℃ 下估算结果。

图 15 为在 45℃ 下估算误差。

具体实施方式

下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制。

在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“轴向”、“径向”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中，“多个”的含义是两个或两个以上，除非另有明确具体的限定。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固

定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

图 1 所示为本发明所述基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法的一种实施方式，所述基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法包括以下步骤：

步骤一，依据气液动力学模型推导出待定的开路电压估算方程：

如图 2 所示，所述气液动力学模型的物理原型为设有气液共存系统的一个密闭容器，容器内装有体积为 V 、压强为 P 、物质的量为 n 、平均温度为 T 的压缩气体和体积为 V_w 的液体， n_j 表示溶解于液体中气体的物质的量；容器顶部设有弯管和可开闭的阀门，如果打开阀门，容器内的气体能够放出来或是外界气体被泵入容器内；字母 μ 和 ρ 分别为气体流动过程中管道的综合阻力系数和密度，字母 I 和 P_0 分别表示气体的流速和管口的压强。

$$P_3 = \frac{(P_1 + lT)(P_2 - lT) - kT^2 + \sqrt{(lT + P_1)^2(lT + P_2)^2 + k^2T^4 + 2(lT + P_1)[kT^3 + kT^2(2P_1 - P_2)]}}{2(l + P_1)} \quad \text{公式一}$$

$$\text{其中, } P_2 = P_0 - \frac{1}{2}\rho|I|I - \frac{1}{2}\mu\rho I \quad \text{公式二}$$

充电电流为正，放电电流为负；

所述气液动力学模型的状态方程包括：理想气体状态方程、气体溶解平衡方程和伯努利方程；

其中， P_0 、 I 和 P_1 在气液动力学模型中分别表示管口压强、气体流速和稳态下容器内气体压强，在电池中分别对应端电压、电流和开路电压， P_3 在气液动力学模型中表示要估算的稳态下容器内压强，在电池中表示要估算的开路电压， T ：在气液动力学模型中表示容器内气体温度，在电池中表示电池温度， ρ ：气流密度， μ ：气流阻力系数， k ：第一等效参数， l ：第二等效参数， P_0 ：管口压强， P_2 ：气液动力学模型充/放气过程中容器内气体压强；

所述步骤一具体过程为：

理想气体状态方程：

$$P_2V = n_2RT \quad \text{公式三}$$

$$P_3V = n_3RT \quad \text{公式四}$$

气体溶解平衡方程：

$$n_{j1} = \frac{P_1 \phi_m V_w}{RT + b_m P_1} \quad \text{公式五}$$

$$n_{j3} = \frac{P_3 \phi_m V_w}{RT + b_m P_3} \quad \text{公式六}$$

其中, P_1 : 稳态下容器内气体压强, P_2 : 充/放气过程中容器内气体压强, P_3 : 要估算的稳态下容器内压强, n_2 : 充/放气过程中容器内气体物质的量, n_3 : 要估算的稳态下容器内气体物质的量, T : 容器内气体温度, V : 气体体积, R : 热力学常数, V_w : 液体体积, b_m : 气体分子的范德华体积, ϕ_m : 有效间隙度, n_{j1} : 稳态下溶解于液体中气体的物质的量, n_{j3} : 要估算的稳态下溶解于液体中气体的物质的量;

其中, 物质的量 n_2 、 n_3 、 n_{j1} 和 n_{j3} 满足控制关系为:

$$n_3 = n_2 + n_{j1} - n_{j3} \quad \text{公式七}$$

其中, 由公式三至公式七推导得出:

$$P_3 - P_2 = \frac{RT}{V}(n_3 - n_2) = \frac{RT}{V}(n_{j1} - n_{j3}) = \frac{RT \phi_m V_w}{V} \left(\frac{P_1}{RT + b_m P_1} - \frac{P_3}{RT + b_m P_3} \right) \quad \text{公式八}$$

将公式八化简得:

$$P_3 - P_2 = \frac{R^2 \phi_m V_w T^2}{V b_m^2} \times \left(\frac{1}{\frac{RT}{b_m} + P_3} - \frac{1}{\frac{RT}{b_m} + P_1} \right) \quad \text{公式九}$$

设:

$$k = \frac{R^2 \phi_m V_w}{V b_m^2}, \quad l = \frac{R}{b_m} \quad \text{公式十}$$

整理得公式十一是关于 P_3 的二次方程:

$$P_3^2 + P_3 \left(lT + \frac{kT^2}{lT + P_1} - P_2 \right) + \left(\frac{k l T^3}{lT + P_1} - P_2 lT - kT^2 \right) = 0 \quad \text{公式十一}$$

设:

$$a = 1, \quad b = lT + \frac{kT^2}{lT + P_1} - P_2, \quad c = \frac{k l T^3}{lT + P_1} - P_2 lT - kT^2 \quad \text{公式十二}$$

$$\Delta = \frac{(lT + P_1)^2 (lT + P_2)^2 + k^2 T^4 + 2kT^2 (lT + P_1)(lT + 2P_1 - P_2)}{(lT + P_1)^2} \quad \text{公式十三}$$

$$ac = -\frac{P_2 l^2 T^2 + P_1 P_2 l T + P_1 k T^2}{l T + P_1} \quad \text{公式十四}$$

考虑电池实际物理意义，在常见二次电池充放电窗口内任取两个电压值，其中两倍电压值一定大于一倍的电压值，如图 3 所示，则 $2P_1 - P_2 > 0$ ，又因为所有物理量均大于零，那么 $\Delta > 0, ac < 0$ 恒成立，依据韦达定理得到二次方程式即公式十一必存在唯一正实根，得：

$$P_3 = \frac{(P_1 + lT)(P_2 - lT) - kT^2 + \sqrt{(lT + P_1)^2(lT + P_2)^2 + k^2T^4 + 2(lT + P_1)[klT^3 + kT^2(2P_1 - P_2)]}}{2(l + P_1)} \quad \text{公式一}$$

气体在流动过程中可以写出伯努利方程：

$$P_2 = P_0 - \frac{1}{2} \rho |l| I - \frac{1}{2} \mu \rho l \quad \text{公式二}$$

公式一和公式二为开路电压估算方程，其中充电电流为正，放电电流为负；

步骤二，依据实验数据辨识估算方程参数：在步骤一的开路电压估算方程中有四个待定参数，分别为 k 、 l 、 ρ 和 μ ，通过变倍率变温度 HPPC 通过实验测试获得不同电流、端电压、温度下对应的开路电压，并通过遗传算法求解最优的辨识方法辨识出开路电压估算方程中 k 、 l 、 ρ 和 μ 参数的最优值， k 、 l 、 ρ 和 μ 参数的值代入步骤一的待定开路电压估算方程得到完备的开路电压估算方程；辨识过程如图 4 所示，辨识结果如图 5 所示；

所述步骤二中辨识估算方程参数具体过程为：

- ①读取开路电压 OCV、端电压 U、电流 I、温度 T 数据；
- ②向 OCV 估算方程中 P_1 赋初值，即 $P_1 = OCV(1)$ ，设置 $N = 1$ ；
- ③赋值， $P_0 = U(N), I = I(N), T = T(N)$ ；
- ④设置待辨识参数 k 、 l 、 ρ 和 μ 条件大于或等于 0；
- ⑤带入待定开路电压估算方程；
- ⑥更新初值 P_1 与 N ， $P_1 = P_3$ ， $N = N + 1$ ；
- ⑦将估算总误差 $S = S + |P_3 - OCV(N)|$ 作为目标函数；
- ⑧直到 S 不再变小为判断终止条件；
- ⑨循环上述③至⑧步直至参数辨识结束，输出最优参数的值 k 、 l 、 ρ 和 μ ；

所述辨识方法为遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法、蚁群算法、支持向量机法、神经网络算法或最小二乘法。本实施例中优选为遗传算法。

步骤三，依据完备的开路电压估算方程设计开路电压估算方法，并计算得到开路电压估

算值，如图 6 所示，具体过程为：

- ①读取端电压 U 、电流 I 、温度 T 数据；
- ②向完备的开路电压估算方程中 P_1 赋初值，即 $P_1 = OCV(I)$ ，设置 $N = 1$ ；
- ③赋值， $P_0 = U(N), I = I(N), T = T(N)$ ；
- ④带入完备的开路电压估算方程中；
- ⑤更新初值 P_1 与 N 并输出估算出的开路电压值；
- ⑥循环③至⑤步直至开路电压估算结束。

如图 7 所示，一种实现所述基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法的装置，包括信号采集部件、开路电压估算部件和显示部件；所述信号采集部件用于采集电池的电流、温度和电压；所述信号采集部件与开路电压估算部件连接并将采集的电流、温度和电压信号传送到开路电压估算部件，所述开路电压估算部件根据开路电压估算方程计算出开路电压值；所述开路电压估算部件与显示部件连接，将电池电流、温度、电压和开路电压值发送给显示部件显示。

所述信号采集部件包括电流传感器、温度传感器和电压传感器。

所述开路电压估算部件包括单片机，所述单片机优选为 STM32。将基于气液动力学模型的电池 OCV 估算方法在硬件上实现，可以在 Keil uVision5 开发平台上运用 C 语言编写的代码在 STM32 单片机上实现的。

所述开路电压估算部件具体为：

首先加载 STM32 单片机库函数文件，运用库函数配置 STM32 单片机寄存器，编写时钟函数、定时器函数、延迟函数、存储函数、数据校验函数、OCV 估算函数和主函数；

①将电流传感器、温度传感器连接到信号采集卡上，采集卡可以直接采集单体电池电压，优选的，单体电池电压范围在 0—5V 以内；

②采集卡与 STM 单片机串口相连，通讯方式选择 RS-232，将电池的电流、电压、温度信号传给单片机；

③STM32 单片机主函数读取电池的电流、电压、温度信号，调用 OCV 估算函数算出当前输入下的开路电压值；将电池电流、电压、温度和算出的开路电压值写入内存卡中，并把电池电流、电压、温度和算出的开路电压值发送给上位机的显示部件显示；

④如此循环第①—③步，完成电池组实时开路电压估算。

所述上位机是基于 Microsoft Visual Studio 平台开发的，用于显示电池组端电压、开路电压、所有串联单体电池的开路电压和拟合的电池最低开路电压；

所述单片机包括： 2^n 位单片机， $n=1,2,3\dots$ ，以及各种 ARM 内核的运算单元；

运用的信号通讯协议包括：RS-485、CAN、TCP、modbus、MPI、串口通信等。

电动汽车电池正常工作温度为 15°C 至 45°C ，本发明选择以 15°C 为起始温度，每间隔 10°C 分别在 0.1C 、 0.3C 、 0.5C 、 1C 和 2C 倍率下验证估算结果，如图 8-15 所示。电动汽车电池正常工作温度为 15°C 至 45°C ，本发明选择以 15°C 为起始温度，每间隔 10°C 分别在 0.1C 、 0.3C 、 0.5C 、 1C 和 2C 倍率下验证估算结果，如图 8-15 所示。其中，图 8 为 15°C 环境下模型估算效果，图 8 显示估算曲线与实验曲线基本重合，图 9 是与图 8 相对应的估算误差，图 9 显示除了终了时刻在估算稳定之后各倍率下的估算误差均在 $\pm 20\text{mV}$ 以内，能够满足实车使用需求；图 10 为 25°C 环境下模型估算效果，图 10 显示估算曲线与实验曲线基本重合，图 11 是与图 10 相对应的估算误差，图 11 显示除了终了时刻在估算稳定之后各倍率下的估算误差均在 $\pm 20\text{mV}$ 以内，能够满足实车使用需求；图 12 为 35°C 环境下模型估算效果，图 12 显示估算曲线与实验曲线基本重合，图 13 是与图 12 相对应的估算误差，图 13 显示除了终了时刻在估算稳定之后各倍率下的估算误差均在 $\pm 20\text{mV}$ 以内，能够满足实车使用需求；图 14 为 45°C 环境下模型估算效果，图 14 显示估算曲线与实验曲线基本重合，图 15 是与图 14 相对应的估算误差，图 15 显示除了终了时刻在估算稳定之后各倍率下的估算误差均在 $\pm 20\text{mV}$ 以内，能够满足实车使用需求。

应当理解，虽然本说明书是按照各个实施例描述的，但并非每个实施例仅包含一个独立的技术方案，说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见，本领域技术人员应当将说明书作为一个整体，各实施例中的技术方案也可以经适当组合，形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施例的具体说明，它们并非用以限制本发明的保护范围，凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施例或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法，特征在于，具体包括如下步骤：

步骤一，依据气液动力学模型推导出待定的开路电压估算方程；

步骤二，依据实验数据辨识估算方程参数：通过实验测试获得不同电流、端电压、温度下对应的开路电压，并通过辨识方法辨识出开路电压估算方程中待定参数的最优值，将待定参数的最优值代入步骤一的待定开路电压估算方程得到完备的开路电压估算方程；

步骤三，依据完备的开路电压估算方程设计开路电压估算方法，并计算得到开路电压估算值。

2. 根据权利要求1所述的基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法，其特征在于，所述步骤一中的开路电压估算方程为：

$$P_3 = \frac{(P_1 + lT)(P_2 - lT) - kT^2 + \sqrt{(lT + P_1)^2(lT + P_2)^2 + k^2T^4 + 2(lT + P_1)[k l T^3 + k T^2(2P_1 - P_2)]}}{2(l + P_1)} \quad \text{公式一}$$

$$\text{其中, } P_2 = P_0 - \frac{1}{2}\rho|I|I - \frac{1}{2}\mu\rho I \quad \text{公式二}$$

P_0 、 I 和 P_1 分别表示端电压、电流和开路电压， P_3 表示要估算的开路电压， T ：表示电池温度， ρ ：气流密度， μ ：气流阻力系数， k ：第一等效参数， l ：第二等效参数， P_0 ：管口压强； P_2 ：气液动力学模型充/放气过程中容器内气体压强。

3. 根据权利要求2所述的基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法，其特征在于，所述步骤二中辨识估算方程参数具体过程为：

①读取开路电压 OCV、端电压 U 、电流 I 、温度 T 数据；

②向 OCV 估算方程中 P_1 赋初值，即 $P_1 = OCV(1)$ ，设置 $N = 1$ ；

③赋值， $P_0 = U(N)$ ， $I = I(N)$ ， $T = T(N)$ ；

④设置待辨识参数 k 、 l 、 ρ 和 μ 条件大于或等于 0；

⑤带入待定开路电压估算方程；

⑥更新初值 P_1 与 N ， $P_1 = P_3$ ， $N = N + 1$ ；

⑦将估算总误差 $S = S + |P_3 - OCV(N)|$ 作为目标函数；

⑧直到 S 不再变小为判断终止条件；

⑨循环上述③至⑧步直至参数辨识结束，输出最优参数的值 k 、 l 、 ρ 和 μ 。

4. 根据权利要求2所述的基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法，其特征在于，所述步骤三具体过程为：

①读取端电压 U 、电流 I 、温度 T 数据；

②向完备的开路电压估算方程中 P_1 赋初值，即 $P_1 = OCV(1)$ ，设置 $N = 1$ ；

③赋值， $P_0 = U(N), I = I(N), T = T(N)$ ；

④带入完备的开路电压估算方程中；

⑤更新初值 P_1 与 N 并输出估算出的开路电压值；

⑥循环③至⑤步直至开路电压估算结束。

5. 根据权利要求1所述的基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法，其特征在于，所述辨识方法为遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法、蚁群算法、支持向量机法、神经网络算法或最小二乘法。

6. 一种实现权利要求1-5任意一项所述基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法的装置，其特征在于，包括信号采集部件、开路电压估算部件和显示部件；

所述信号采集部件用于采集电池的电流、温度和电压；

所述信号采集部件与开路电压估算部件连接并将采集的电流、温度和电压信号传送到开路电压估算部件，所述开路电压估算部件根据开路电压估算方程计算出开路电压值；

所述开路电压估算部件与显示部件连接，将电池电流、温度、电压和开路电压值发送给显示部件显示。

7. 根据权利要求6所述基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法的装置，其特征在于，所述信号采集部件包括电流传感器、温度传感器和电压传感器；

所述电流传感器用于检测电池的电流；

所述温度传感器用于检测电池的温度；

所述电压传感器用于检测电池的电压。

8. 根据权利要求6所述基于气液动力学模型的电池开路电压估算方法的装置，其特征在于，所述开路电压估算部件包括单片机。

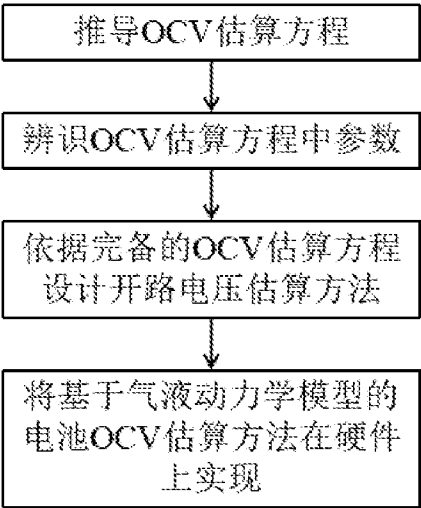


图 1

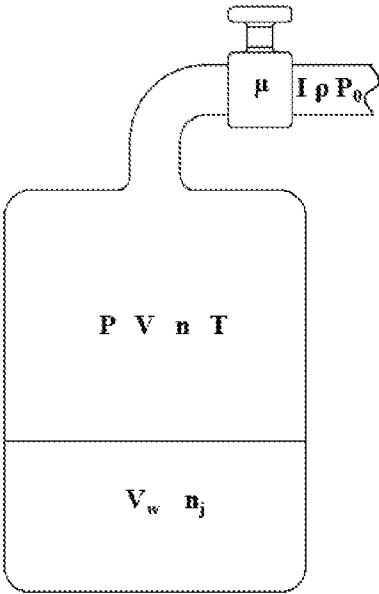


图 2

电池种类	磷酸铁锂电池	三元锂电池	钛酸锂电池	铅酸电池	镍氢电池	镍镉电池
放电截止电压/V	2.5	2.75	1.75	1.5	0.9	1.0
充电截止电压/V	3.65	4.2	2.7	2.4	1.4	1.45

图 3

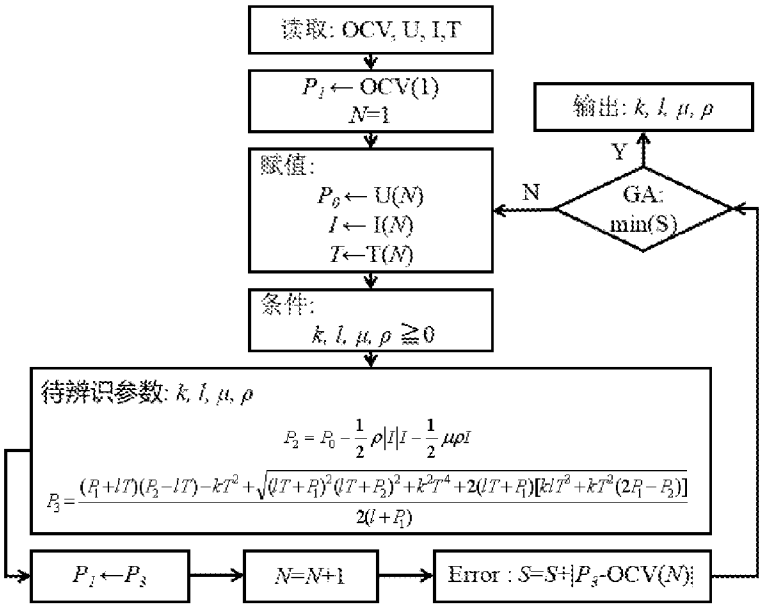


图 4

参数	k	l	ρ	μ
值	0.06194	3.44957	0.0007	0.01070

图 5

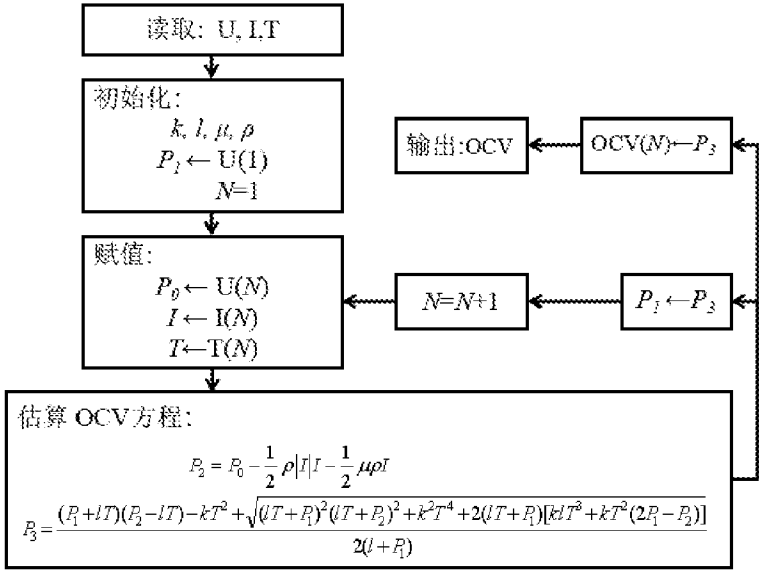


图 6

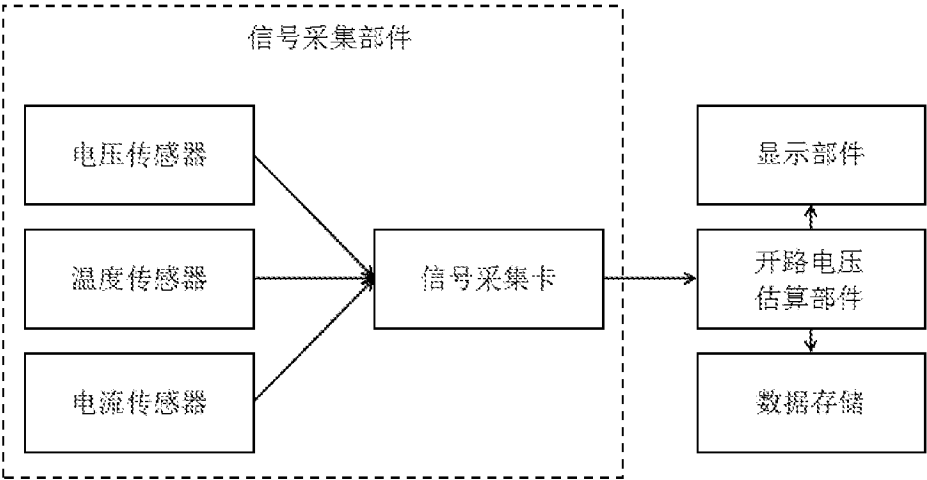


图 7

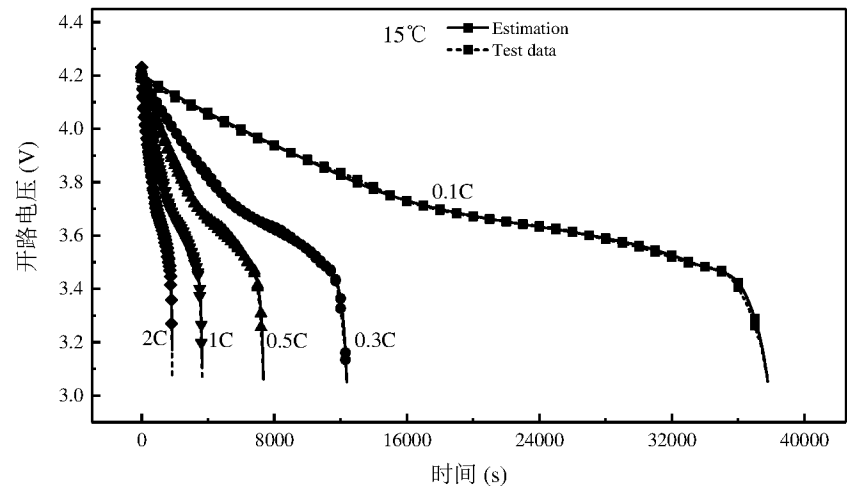


图 8

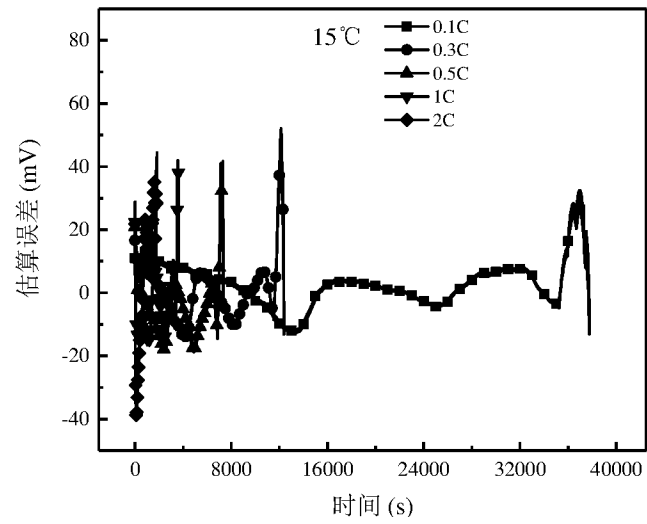


图 9

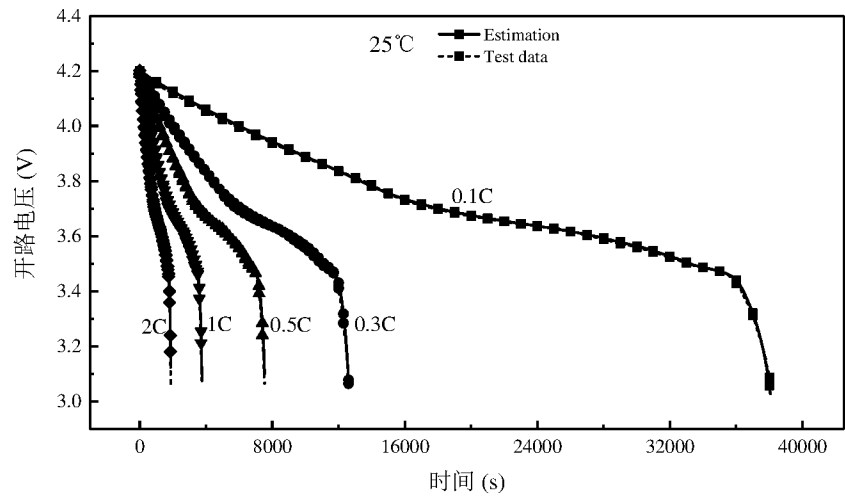


图 10

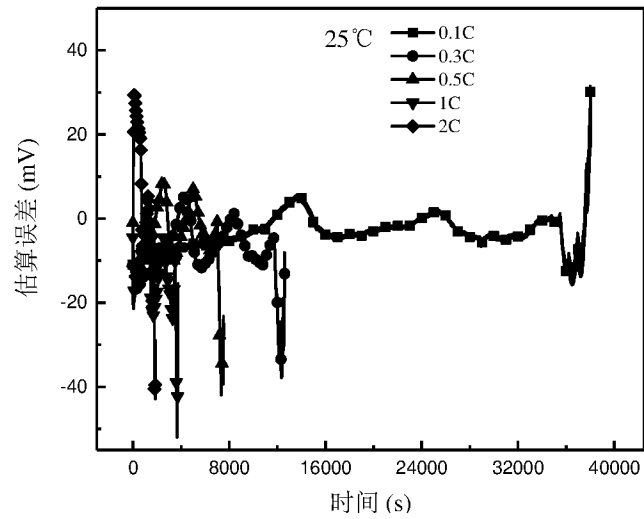


图 11

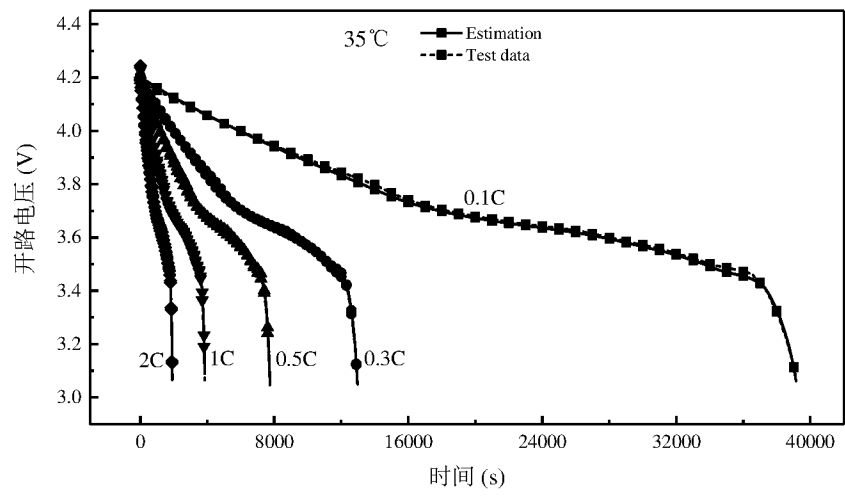


图 12

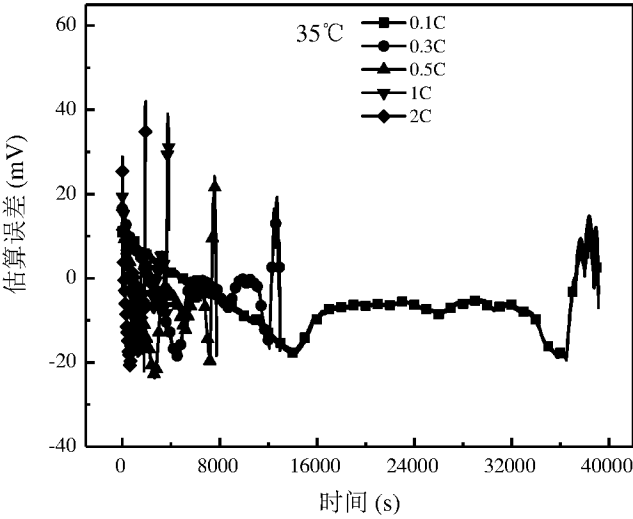


图 13

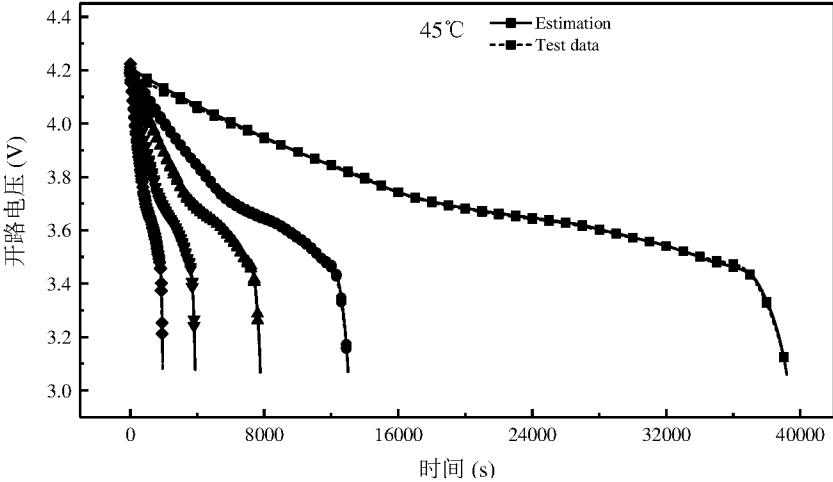


图 14

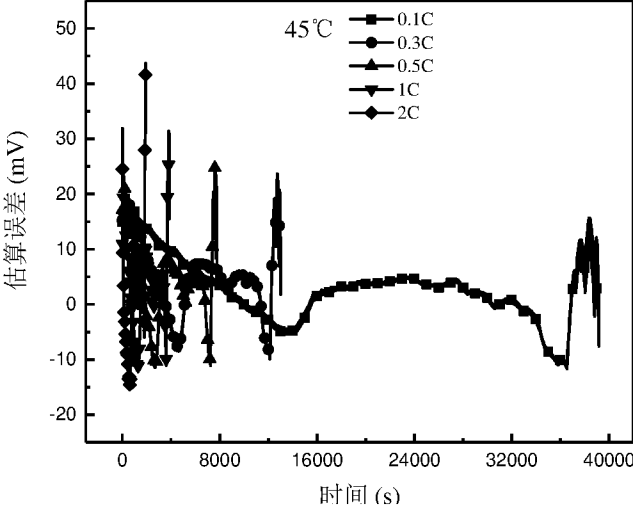


图 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/080284

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/367(2019.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 江苏大学, 电池, 电压, 估算, 开路, 气液动力, 温度, 江浩斌, 陈彪, 栗欢欢, 孙化阳, gas, liquid, model, battery, circuit, voltage, estimate, haobin jiang, biao chen, huanhuan li, huayang sun

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 109884528 A (JIANGSU UNIVERSITY) 14 June 2019 (2019-06-14) description, paragraphs [0097]-[0174]	1, 5-8
A	CN 108169682 A (JIANGSU UNIVERSITY) 15 June 2018 (2018-06-15) description, paragraphs [0115]-[0172]	1-8
A	CN 103293485 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 11 September 2013 (2013-09-11) entire document	1-8
A	US 7109685 B2 (GENERAL MOTORS CORPORATION) 19 September 2006 (2006-09-19) entire document	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 November 2019

Date of mailing of the international search report

27 November 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/080284

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	109884528	A	14 June 2019	None		
CN	108169682	A	15 June 2018	WO	2019113999 A1	20 June 2019
CN	103293485	A	11 September 2013	None		
US	7109685	B2	19 September 2006	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/080284

A. 主题的分类 G01R 31/367(2019.01) i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01R 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI: 江苏大学, 电池, 电压, 估算, 开路, 气液动力, 温度, 江浩斌, 陈彪, 栗欢欢, 孙化阳, gas, liquid, model, battery, circuit, voltage, estimate, haobin jiang, biao chen, huanhuan li, huayang sun		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
E	CN 109884528 A (江苏大学) 2019年 6月 14日 (2019 - 06 - 14) 说明书第[0097]-[0174]段	1, 5-8
A	CN 108169682 A (江苏大学) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 说明书第[0115]-[0172]段	1-8
A	CN 103293485 A (北京工业大学) 2013年 9月 11日 (2013 - 09 - 11) 全文	1-8
A	US 7109685 B2 (GENERAL MOTORS CORPORATION) 2006年 9月 19日 (2006 - 09 - 19) 全文	1-8
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2019年 11月 20日		国际检索报告邮寄日期 2019年 11月 27日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 田晶 电话号码 86-(10)-53961334

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/080284

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109884528	A	2019年 6月 14日	无	
CN	108169682	A	2018年 6月 15日	W0 2019113999 A1	2019年 6月 20日
CN	103293485	A	2013年 9月 11日	无	
US	7109685	B2	2006年 9月 19日	无	