



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111864298 A

(43) 申请公布日 2020.10.30

(21) 申请号 202010579613.0

(22) 申请日 2020.06.23

(71) 申请人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路
301号

(72) 发明人 叶丽华 王海钰 施焯璠 李杰
薛定邦

(51) Int.Cl.

H01M 10/613 (2014.01)

H01M 10/617 (2014.01)

H01M 10/0525 (2010.01)

H01M 10/653 (2014.01)

B60L 58/26 (2019.01)

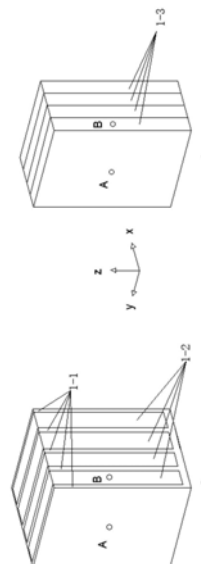
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的锂电池被动
散热处理装置

(57) 摘要

本发明涉及电动汽车锂电池组的热管理系统,具体为一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置。其包括电池组的外部框架、磷酸铁锂电池组以及填充在框架和电池组中间的聚丙烯酸钠水凝胶,其特征在于,电池组的单片电池之间填充有聚丙烯酸钠水凝胶。通过试验,表明了聚丙烯酸钠水凝胶作为磷酸铁锂离子电池组散热系统的优越性,包括降低电池组内的温升和减小电池组内的温度梯度、使电池组保持在安全的工作温度范围内以及可以延长电池组的使用寿命。



1. 一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置,包括电池组的外部框架、磷酸铁锂电池组以及填充在框架和电池组中间的聚丙烯酸钠水凝胶,其特征在于,电池组的单片电池之间填充有聚丙烯酸钠水凝胶。

2. 如权利要求1所述的一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置,其特征在于,所述被动散热装置中,电池组的外部框架采用304不锈钢外壳,外部框架顶端开口,将电池组装入,填充完聚丙烯酸钠水凝胶后将框架开口的那一面用304不锈钢外壳密封住。

3. 如权利要求1所述的一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置,其特征在于,在散热处理装置中装入锂电池方形电池片,方形电池片相互之间的距离为二分之一电池片的厚度,然后在间隙中装入聚丙烯酸钠颗粒,最后注入去离子水,形成水凝胶。

4. 如权利要求3所述的一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置,其特征在于,用1L的烧杯沿装置的开口的一边注入去离子水,注入的去离子水的体积可由下式计算:

$$\frac{\text{去离子水的质量}}{\text{去离子水的质量} + \text{聚丙烯酸钠颗粒的质量}} = 98\%$$
,离子水直接注入均匀分布的聚丙烯酸钠颗粒的电池模块中,得到实验用水凝胶TMS,由于聚丙烯酸钠的高吸湿性,固态水凝胶立即形成。

5. 如权利要求1所述的一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置,其特征在于,所述的聚丙烯酸钠水凝胶的电阻率数值大于 $10\mu\text{m}\cdot\text{cm}$,足以承受电池组内的电场。

6. 如权利要求1所述的一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置,其特征在于,电池组的两个外侧均设置聚丙烯酸钠水凝胶。

7. 如权利要求1所述的一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置,其特征在于,外部框架和电池组上连接了两个K型热电偶来测量温度,一个热电偶放置在电池组的中心,另一个放置在电池组表面的中心。

一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的锂电池被动散热处理装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电动汽车锂电池组的热管理系统,具体为一种基于聚丙烯酸钠水凝胶的被动散热处理装置。

背景技术

[0002] 磷酸铁锂电池组是电动汽车的核心部件之一,电池组正常且可靠的工作需要一个合适的温度范围。磷酸铁锂电池组的热管理系统在电动汽车的应用中,对于缓解电池在充放电过程中的快速温升,提高电池的稳定性 and 性能具有重要意义。热管理系统通常分为主动冷却系统和被动冷却系统两种。主动冷却系统一般依靠冷空气或液体的循环来散热,因此在系统的实施过程中,泵、风机或其他耗电设备是必不可少的,由于冷却风扇的功耗以及电动汽车的空间限制,主动冷却方法很难实现。被动式冷却系统通常是通过在相邻电池之间夹入高能量吸收材料来散热的。相变材料是目前研究最广泛的冷却材料,相变材料利用其高潜热储存能力来控制电池组的温度。例如,将相变材料加入到各种基体中,如铝基体和石墨基体中,以克服热传导不良的问题。然而,由于其在固液两相中的比热和导热系数较低,使得其在处理大功率放电产生的大散热和高温方面的效率大大降低;另一个缺点是其在液态下的流动性:液体可能从电池组流出并使设备绝缘,这使得热管理系统的密封成为必要。

发明内容

[0003] 针对现有技术中的不足,本发明提出了一种新型的基于聚丙烯酸钠的水凝胶的被动散热处理装置。水凝胶具有良好的生物相容性,在生物医学领域得到了广泛的应用,但基于水凝胶的热管理系统在散热领域的研究却很少。水凝胶是一种由水和三维网络组成的固态材料,当使用不同的原料形成网络时,水的质量浓度可以在70%到99%之间变化。当加入不同的添加剂和基质时,水凝胶的应力强度和形状会发生变化。

[0004] 本发明是通过以下技术手段实现上述目的的。

[0005] 一种基于聚丙烯酸钠的水凝胶的被动散热处理装置,包括电池组的外部框架、磷酸铁锂电池组以及填充在框架和电池组中间的聚丙烯酸钠水凝胶,其特征在于,电池组的单片电池之间填充有聚丙烯酸钠水凝胶。

[0006] 所述被动散热装置中,电池组的外部框架采用304不锈钢外壳。

[0007] 所述被动散热装置中,相邻两片磷酸铁锂电池的距离为二分之一电池的厚度。

[0008] 所述被动散热装置中,其间的填充物为聚丙烯酸钠水凝胶,如图1中1-1所示。

[0009] 进一步的,由304不锈钢构成的电池组的外部框架除图1所示Z轴的正方向外,皆为封闭状态。

[0010] 进一步的,在散热装置中装入锂电池方形电池片,方形电池片相互之间的距离按照【0007】所述为二分之一电池片的厚度,然后在间隙中装入聚丙烯酸钠颗粒,

[0011] 进一步的,用1L的烧杯沿装置的开口的一边注入去离子水,注入的去离子水的体

积可由下式计算：
$$\frac{\text{去离子水的质量}}{\text{去离子水的质量} + \text{聚丙烯酸钠颗粒的质量}} = 98\%$$
，离子水直接注入均匀分布的聚丙烯酸钠颗粒的电池模块中，得到实验用水凝胶TMS。由于聚丙烯酸钠的高吸湿性，固态水凝胶立即形成。

[0011] 进一步的，将框架开口的那一面用304不锈钢外壳密封住。

[0012] 进一步的，为了确保水凝胶电池组的安全，用直流数字电阻测量仪测量聚丙烯酸钠水凝胶的电阻率，数值大于 $10\mu\text{m}\cdot\text{cm}$ ，足以承受电池组内的电场。

[0013] 进一步的，电池组的两个外侧均设置水凝胶，如图1中1-1所示。

[0014] 进一步的，在4S1P 3Ah的磷酸铁锂电池组上进行了恒流放电实验，电池组在1C下充电，恒流充电阶段电压为4.2V，直至电流将至C/36，平衡时间为1h。

[0015] 进一步的，放电过程中，初始温度在 22.5°C 和 23.5°C 之间，每个电池的放电截止电压设置为3V。

[0016] 进一步的，放电过程中，每个电池组上都连接了两个K型热电偶来测量温度，一个热电偶放置在电池组的中心即图1中点位A，另一个放置在电池组表面的中心即图1中点位B。

[0017] 进一步的，在4S1P 3Ah的磷酸铁锂电池组上进行了连续4个周期的高倍率充放电试验，在一个周期内的充放电过程之间或两个连续周期之间均未设置休息时间。

[0018] 进一步的，最大放电电流和最大充电电流均设置为7.5A (2.5C)。

[0019] 进一步的，出于安全考虑，实验过程中，采用 75°C 的截止温度。

[0020] 进一步的，在充放电过程中，每个电池组上都连接了两个K型热电偶来测量温度，一个热电偶放置在电池组的中心，即图1中点位A，另一个放置在电池组表面的中心，即图1中点位B。

[0021] 磷酸铁锂电池组在工作的时候，产生的热量主要由两部分组成：可逆热和内阻热。可逆热与反应过程中电池内部的熵变有关，相关反应公式如下：

$$Q_r = -IT \frac{dU_{oc}}{dT} \quad (1)$$

式中，I表示充放电电流强度、T表示电池组温度， U_{oc} 表示开路电压。

内阻热与电池内阻有关，相关反应公式如下：

$$Q_i = I^2 (R_p + R_{IC}) \quad (2)$$

式中，I表示充放电电流强度、 R_p 表示极化内阻、 R_{IC} 表示接触内阻。

内阻通常是磷酸铁锂电池组在大功率下发热的主要原因。在对给定值(电流强度为10A)进行简单计算之后，因内阻产生的热量大约是因可逆过程产生的热量的30倍。因此，针对这项发明，只考虑内阻产生的热量。

对于没有水凝胶散热系统的磷酸铁锂电池组来说，其热量平衡方程如下：

整个电池组的内阻发热量如下：

$$Q_i = I^2 (\overline{R_p} + \overline{R_{IC}}) = I^2 \overline{R_t} \quad (3)$$

式中， $\overline{R_t}$ 是充放电过程中整个电池组的平均内阻，可通过以下公式计算：

$$\overline{R_t} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n} \quad (4)$$

其中, R_i 是电池组在不同放电深度的内阻, 由电池分析仪在放电过程中测量, n 为数据编号。

该装置中, 电池组各个方向的导热系数分别有以下公式计算:

$$X \text{ 方向的导热系数: } k = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n k_i} = 1.04 [Wm^{-1}K^{-1}], \quad (5)$$

其中, l_i 和 k_i 表示电池内不同成分的厚度和导热系数。

$$Y \text{ 和 } Z \text{ 方向的导热系数: } k = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{l} k_i = 26.1 [Wm^{-1}K^{-1}] \quad (6)$$

密度和比热容根据每个部件的厚度计算, 计算公式如下:

$$\rho c_p = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i c_{p_i} l_i}{l} = 2421 [kJm^{-3}K^{-1}] \quad (7)$$

电池组中, 瞬态三维能量平衡方程为:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (8)$$

式中, Q 根据式 (3) 计算, 在没有水凝胶覆盖的电池组的表面边界处, 应考虑对面换热和辐射换热, 计算公式如下:

$$\text{对流换热: } q_c = h_c (T - T_{amb}) \quad (9)$$

$$\text{辐射换热: } q_r = \varepsilon \sigma (T^4 - T_{amb}^4) \quad (10)$$

方程式 (9) 和 (10) 可进一步组合为:

$$k \frac{\partial T}{\partial l} = h_c (T_{amb} - T) + \varepsilon \sigma (T_{amb}^4 - T^4) \quad (11)$$

式中, h_c 、 T_{amb} 、 T 、 ε 和 σ 分别表示对流换热系数、环境温度、电池表面温度、辐射系数和斯蒂芬-玻尔兹曼常数。

对于装有水凝胶散热系统的磷酸铁锂电池组来说, 电池组的瞬态三维能量平衡方程同式 (8); 对于水凝胶, 其三维能量平衡方程如下:

$$\rho_h c_{ph} \frac{\partial T_h}{\partial t} = \nabla \cdot (k_h \nabla T_h) \quad (12)$$

式中, 下标 h 表示水凝胶。在装有水凝胶的磷酸铁锂电池组中, 其热力学边界条件如下:

$$\text{单片电池与水凝胶: } k \frac{\partial T}{\partial l} = k_h \frac{\partial T_h}{\partial l} \quad (13)$$

$$\text{水凝胶与空气界面: } -k_h \frac{\partial T_h}{\partial l} = h (T_h - T_{amb}) \quad (14)$$

$$\text{单片电池与空气界面: } -k \frac{\partial T}{\partial l} = h (T - T_{amb}) \quad (15)$$

[0022] 本发明的有益效果为:

[0023] 1) 在高放电率 (10A) 下的实验结果表明, 聚丙烯酸钠水凝胶在降低电池组内的温升和减小电池组内的温度梯度方面具有优异的性能。

[0024] 2) 连续充放电安全性试验表明, 不使用聚丙烯酸钠水凝胶的电池组存在高温带来的安全隐患, 当使用聚丙烯酸钠水凝胶时, 在整个试验过程中, 磷酸铁锂电池组可以保持在安全的工作温度范围内。

[0025] 3) 与环境条件下电池组的高衰减率相比, 使用聚丙烯酸钠水凝胶的电池组显示出

较低的容量衰减率,可以延长电池组的使用寿命。

附图说明

[0026] 通过结合附图对本发明示例性实施例进行更详细的描述,本发明的上述及以其他目的、特征和优势将变得更加明显。

[0027] 图1示出了环境温度下和设置有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组,其中电池组的中心即点位A和电池组表面的中心即点位B,需要安装K型热电偶来测量温度,以及用来作为方向计算磷酸铁锂电池组内部导热系数的三维坐标轴,除此之外,1-1表示设置有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组中的聚丙烯酸钠水凝胶,1-2表示设置有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组中的磷酸铁锂电池组,1-3表示环境温度下的磷酸铁锂电池组的磷酸铁锂电池组。

[0028] 图2示出了环境温度下和设置有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组,在连续恒流放电时,不同的电流强度3A和7.5A下,电池组指定点即图1中电池组的中心即点位A和电池组表面的中心即点位B的温度,曲线从下往上依次代表:放电电流3A,水凝胶电池组B点;放电电流3A,水凝胶电池组A点;放电电流3A,环境下电池组B点;放电电流3A,环境下电池组A点;放电电流7.5A,水凝胶电池组B点;放电电流7.5A,水凝胶电池组A点;放电电流7.5A,环境下电池组B点;放电电流7.5A,环境下电池组A点。

[0029] 图3示出了环境温度下和设置有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组,在连续恒流放电时,不同的电流强度5A和10A下,电池组指定点即图1中电池组的中心即点位A和电池组表面的中心即点位B的温度,曲线从下往上依次代表:放电电流5A,水凝胶电池组B点;放电电流5A,水凝胶电池组A点;放电电流5A,环境下电池组B点;放电电流5A,环境下电池组A点;放电电流10A,水凝胶电池组B点;放电电流10A,水凝胶电池组A点;放电电流10A,环境下电池组B点;放电电流10A,环境下电池组A点。

[0030] 图4示出了环境温度下磷酸铁锂电池组,在连续恒流放电时,不同的电流强度,图1中电池组的中心即点位A和电池组表面的中心即点位B,电池组的温度差异,曲线从下往上依次代表:放电电流3A;放电电流5A;放电电流7.5A;放电电流10A。

[0031] 图5示出了设置有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组,在连续恒流放电时,不同的电流强度,图1中电池组的中心即点位A和电池组表面的中心即点位B,电池组的温度差异,曲线从下往上依次代表:放电电流3A;放电电流5A;放电电流7.5A;放电电流10A。

具体实施方式

[0032] 下面结合试验过程和附图对本发明作进一步的说明。

[0033] 在连续恒流充放电试验中,设置两个试验组,一个是环境温度下的磷酸铁锂电池组,一个为装有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组。

[0034] 试验所用电池组单片电池厚度为8mm,根据【0007】所述,水凝胶厚度应为单片电池的一半,为4mm。

[0035] 然后,根据【0014】所述,对4S1P 3Ah的两组磷酸铁锂电池组,首先进行恒流充电,电池组在1C下充电,恒流充电阶段电压为4.2V,直至电流将至C/36,平衡时间为1h。

[0036] 然后,对于环境温度下的磷酸铁锂电池组,进行连续恒流放电试验,一共设置4组

试验,放电电流分别设置为3A,5A,7.5A,10A。

[0037] 然后,根据【0015】所述,放电过程中,初始温度在22.5℃和23.5℃之间,每个电池的放电截止电压设置为3V。

[0038] 然后,根据【0016】所述,放电过程中,磷酸铁锂电池组上连接两个K型热电偶来测量温度,一个热电偶放置在电池组的中心即点位A,另一个放置在电池组表面的中心即点位B,如图1所示。

[0039] 然后,根据【0017】所述,在一个周期内的充放电过程之间或两个连续周期之间均未设置休息时间。

[0040] 然后,根据【0018】所述,最大充电电流设置为7.5A (2.5C)。

[0041] 然后,根据【0019】所述,出于安全考虑,实验过程中,采用75℃的截止温度。

[0042] 然后,根据【0033】—【0041】,对于装有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组进行连续恒流放电试验。

[0043] 根据图2和图3所示,环境温度下的磷酸铁锂电池组的温度,在放电电流为3A时,放电结束时中心温度达到45℃,高于建议的工作温度范围,在10A时甚至可以达到77℃。

[0044] 根据图2和图3所示,装有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组,当放电电流分别为3A和5A时,电池组中心的最高温度低于35℃;当放电电流分别为7.5A和10A时,最高温度也在45℃左右,不太可能导致性能差、快速损耗或热失控。

[0045] 根据图4和图5所示,不同连续放电电流强度时,两个电池组中在相同的指定点A和B处的温度有差异。在放电电流为7.5A时,装有聚丙烯酸钠水凝胶的磷酸铁锂电池组,放电结束时电池组的温差为4.5℃,而环境温度下温差为11.8℃。在其他的放电电流强度下,可以清楚地看到,随着放电电流的增加,温差一般都会增大,但当电池组中使用聚丙烯酸钠水凝胶时,温差明显减小。

[0046] 根据【0043】—【0045】,聚丙烯酸钠水凝胶热管理系统对电池组在连续恒流放电试验过程中的散热,具有显而易见的改善效应。

[0047] 所述实例为本发明一个常见的实施方式,但本发明并不限于上述实施方式,在不背离本发明的实质内容的前提下,本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

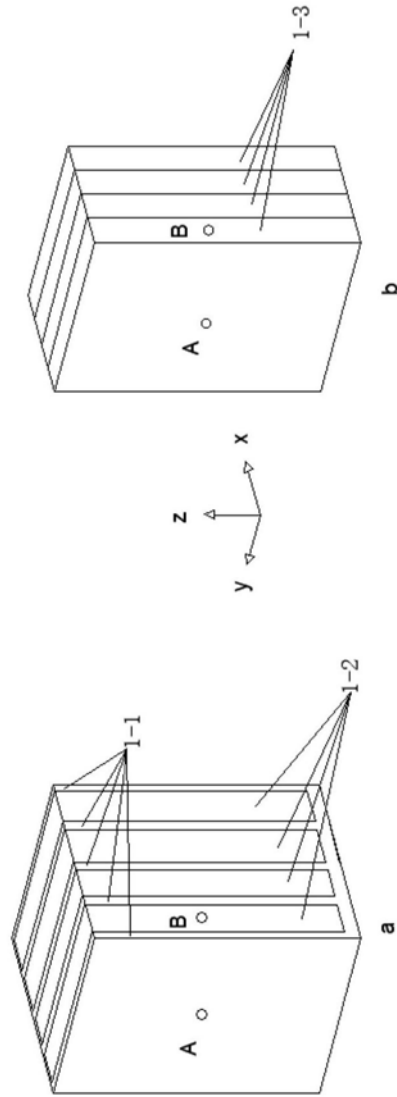


图1

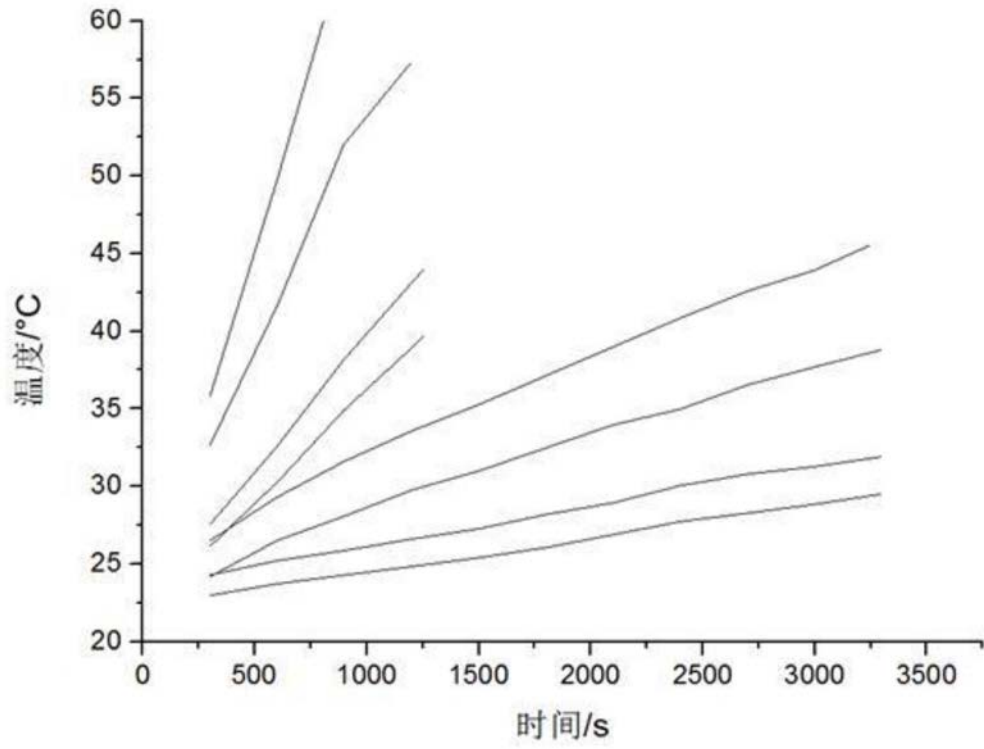


图2

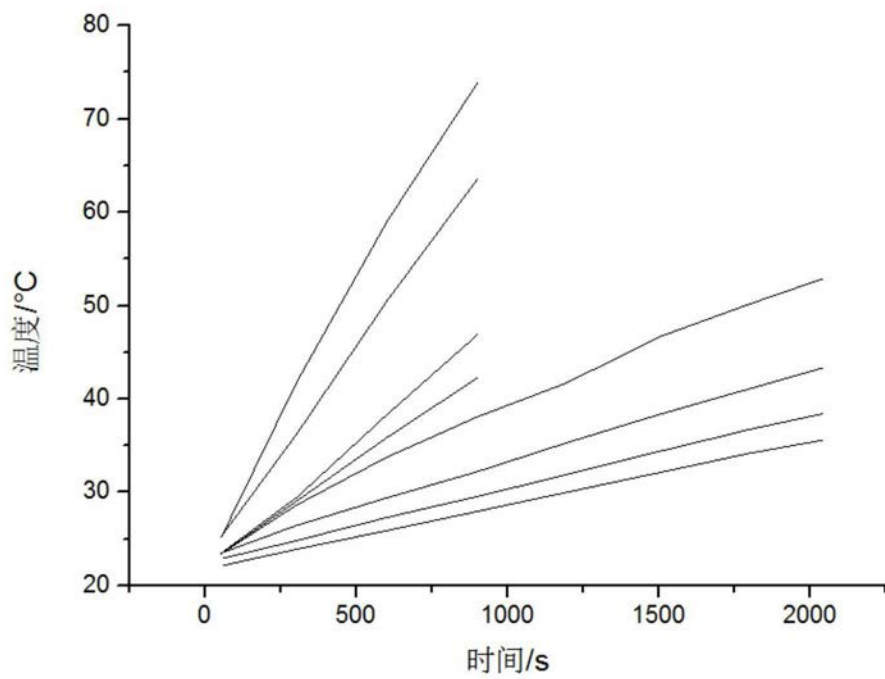


图3

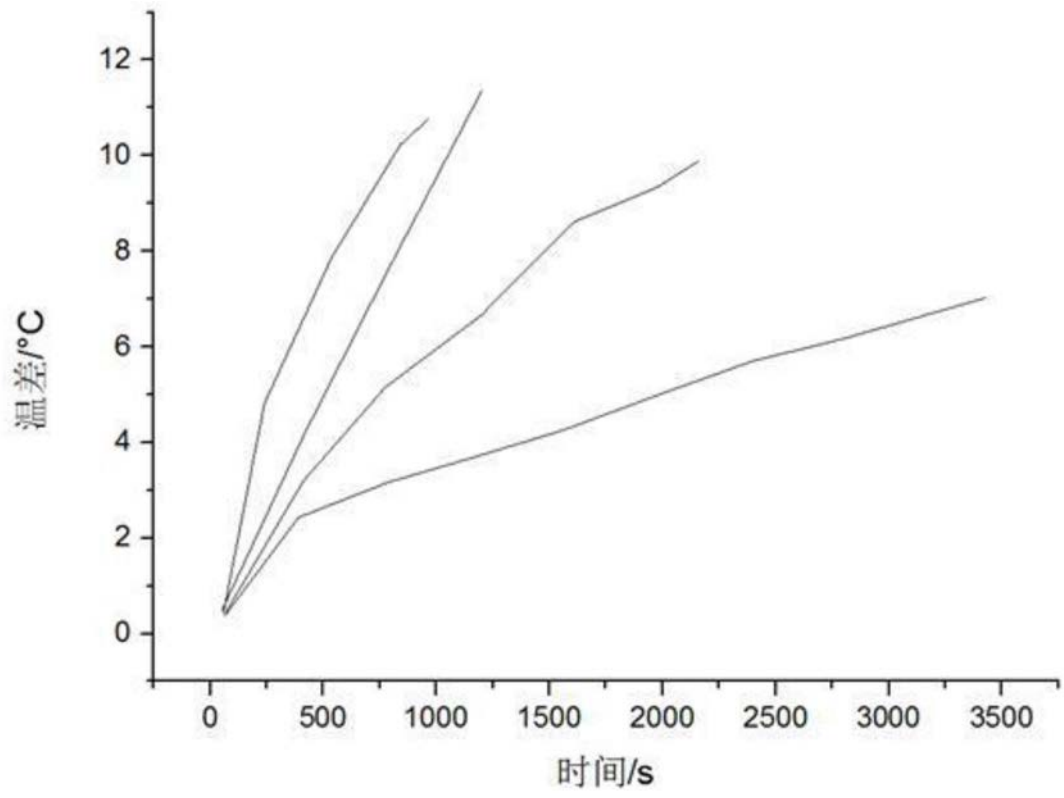


图4

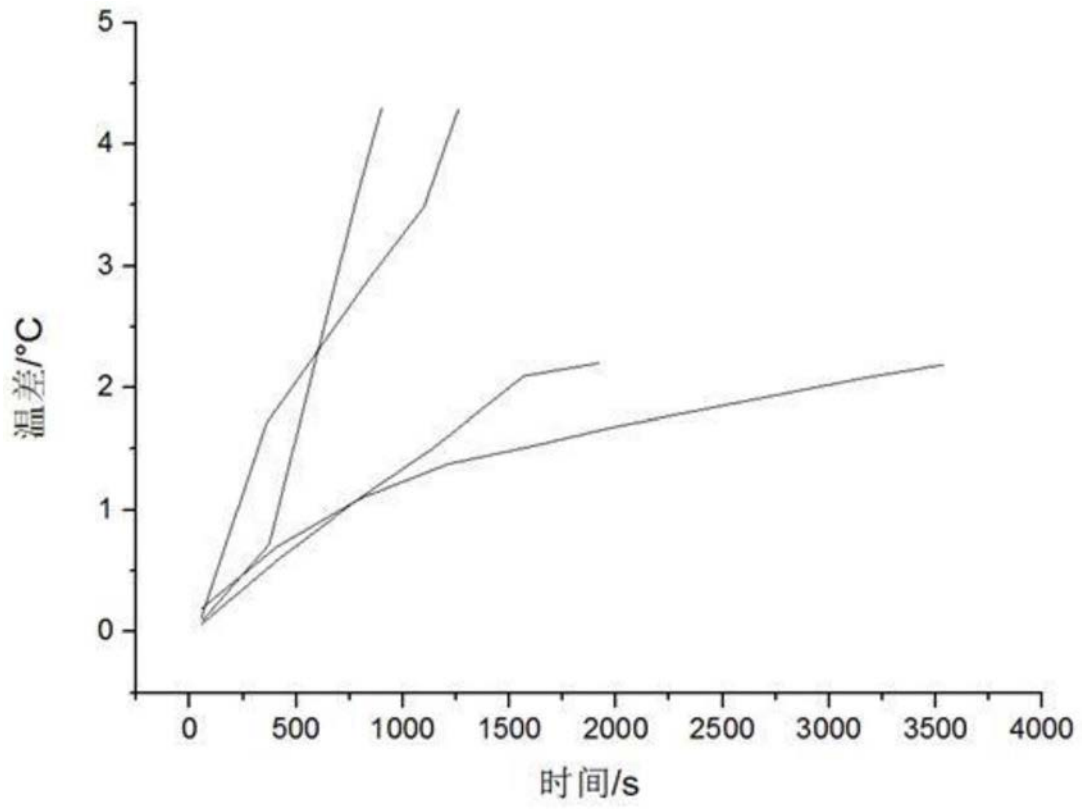


图5