(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 116008814 B
(45)授权公告日 2023.06.23

(21)申请号 202310302997.5
(22)申请日 2023.03.27
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116008814 A
(43)申请公布日 2023.04.25
(73)专利权人 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司
地址 102209 北京市昌平区北七家未来科技城华能人才创新创业基地实验楼A楼
(72)发明人 白盼星 刘明义 徐若晨 贾志全 孙周婷 王佳运 张江涛 刘大为 裴杰 曹传钊 曹曦 朱勇 段召容 杨超然 平小凡 成前
(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙) 11201
专利代理师 刘海莲
(51)Int.Cl.
G01R 31/36(2020.01)
G01R 31/382(2019.01)
G01R 31/3842(2019.01)
审查员 房元锋

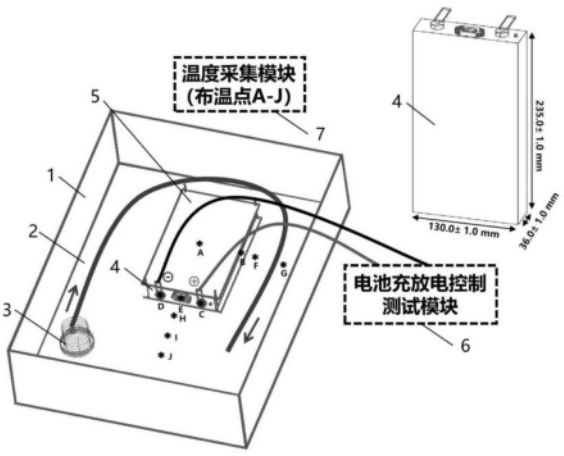
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

浸没式冷却电池热失控性能测试系统及方法

(57)摘要

本发明涉及电池技术领域，尤其是指一种浸没式冷却电池热失控性能测试系统及方法。本发明所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统，可通过电池充放电控制测试模块对电池进行过充引发热失控，并实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据；利用温度采集模块可实时采集引发热失控前后在电池表面和冷却介质中预设的多个测温点的温度数据；实现了对浸没式冷却电池热失控过程的可视化和实时监测，有效表征了电池热失控前后的电压、温度等参数，数据可靠。



CN 116008814 B

1.一种浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,包括:

浸没装置,用于盛放冷却介质;

电池夹具,设置于所述浸没装置底部,并浸没在所述冷却介质中,用于固定电池,且在电池过充发生鼓胀后赋予电池压力;

电池充放电控制测试模块,与所述电池的正负极极柱连接,用于持续对所述电池进行恒流充电以引发热失控,并实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据;

温度采集模块,用于实时采集引发热失控前后电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据;

所述温度采集模块包括:

多个K型热电偶,分别布置在电池表面和冷却介质中,用于实时监测电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据;

所述多个K型热电偶分别布置在电池大面、电池侧面、电池正极极柱、电池负极极柱、泄压阀口、冷却介质中远离所述电池侧面预设距离处和冷却介质中远离所述泄压阀口预设距离处。

2.根据权利要求1所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,还包括循环泵,设置于所述浸没装置底部,用于驱动所述冷却介质按照预设速率和方向流动。

3.根据权利要求1所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,所述浸没装置为不锈钢箱体。

4.根据权利要求3所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,所述不锈钢箱体表面贴合环氧树脂板。

5.根据权利要求1所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,所述冷却介质为氟化液或矿物油。

6.根据权利要求1所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,所述电池为锂电子电池或电池组。

7.根据权利要求1所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,所述电池充放电控制测试模块包括:

充放电控制电路,与所述电池的正负极极柱连接,用于给所述电池充放电;

主控制器,用于控制所述充放电控制电路进行充放电;

电池测试系统,用于实时采集电池电压数据和电池电流数据。

8.根据权利要求1所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,其特征在于,所述温度采集模块包括:

接线盒,与所述多个K型热电偶连接;

数据采集仪,与所述接线盒连接,用于实时采集电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据。

9.一种浸没式冷却电池热失控性能测试方法,其特征在于,包括:

将电池通过电池夹具固定在浸没装置底部,并倒入冷却介质直至浸没所述电池及所述电池夹具,所述电池夹具在电池过充发生鼓胀后赋予电池压力;

利用电池充放电控制电路持续对所述电池进行恒流充电,在引发热失控后停止充电,实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据;

利用温度采集模块实时采集引发热失控前后在电池表面和冷却介质中预设的多个测温点的温度数据；

根据实时采集的数据表征引发热失控前后的电池状态，以便分析浸没式冷却电池的热失控性能；

所述温度采集模块包括：多个K型热电偶，分别布置在电池表面和冷却介质中，用于实时监测电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据；

所述多个K型热电偶分别布置在电池大面、电池侧面、电池正极极柱、电池负极极柱、泄压阀口、冷却介质中远离所述电池侧面预设距离处和冷却介质中远离所述泄压阀口预设距离处。

浸没式冷却电池热失控性能测试系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电池技术领域，尤其是指一种浸没式冷却电池热失控性能测试系统及方法。

背景技术

[0002] 锂离子电池作为一种电化学储能技术，具有循环寿命长、充放电效率高、适应性强、响应速度快、建设周期短、地理空间配置灵活等特点，已广泛应用于动力、储能领域。但因其电化学体系、制造过程、使用场景等因素的影响，电池存在热失控的风险，若缺乏有效应对措施，极易引起电池模块和系统的热失控扩散，进而导致起火、爆炸等事故的发生。目前，行业内认为直接液冷技术中电池/电池组浸没于循环的冷却介质，没有接触热阻和结构热阻，具有很好的散热性能，可保证电池/电池组的运行温度维持在合理可控的范围内，热管理效果显著，可有效预防热失控。

[0003] 但目前缺乏针对浸没式冷却系统对电池/电池组热失控过程影响的有效研究手段和实际数据支撑。且热管理研究也主要集中在圆柱形18650 电池、小容量的软包或方壳电池，尤其缺乏对大容量(＞100 Ah)电池/电池组在浸没式冷却条件下的热失控特性表征。因此，如何设计一种浸没式冷却电池的热失控性能测试系统与方法是目前待解决的问题。

发明内容

[0004] 为此，本发明所要解决的技术问题在于现有技术中缺乏浸没式冷却大容量(＞100 Ah)电池/电池组的热失控性能测试的系统与方法。

[0005] 为解决上述技术问题，本发明提供了一种浸没式冷却电池热失控性能测试系统，包括：

[0006] 浸没装置，用于盛放冷却介质；

[0007] 电池夹具，设置于所述浸没装置底部，并浸没在所述冷却介质中，用于固定电池；

[0008] 电池充放电控制测试模块，与所述电池的正负极极柱连接，用于持续对所述电池进行恒流充电以引发热失控，并实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据；

[0009] 温度采集模块，用于实时采集引发热失控前后电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据。

[0010] 优选地，所述浸没式冷却电池热失控性能测试系统还包括循环泵，设置于所述浸没装置底部，用于驱动所述冷却介质按照预设速率和方向流动。

[0011] 优选地，所述浸没装置为不锈钢箱体。

[0012] 优选地，所述不锈钢箱体表面贴合环氧树脂板。

[0013] 优选地，所述冷却介质为氟化液或矿物油。

[0014] 优选地，所述电池为锂电子电池或电池组。

[0015] 优选地，所述电池充放电控制测试模块包括：

[0016] 充放电控制电路，与所述电池的正负极极柱连接，用于给所述电池充放电；

[0017] 主控制器，用于控制所述充放电控制电路进行充放电；

[0018] 电池测试系统，用于实时采集电池电压数据和电池电流数据。

[0019] 优选地，所述温度采集模块包括：

[0020] 多个K型热电偶，分别布置在电池表面和冷却介质中，用于实时监测电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据；

[0021] 接线盒，与所述多个K型热电偶连接；

[0022] 数据采集仪，与所述接线盒连接，用于实时采集电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据。

[0023] 优选地，所述多个K型热电偶分别布置在电池大面、电池侧面、电池正极极柱、电池负极极柱、泄压阀口、冷却介质中远离所述电池侧面预设距离处和冷却介质中远离所述泄压阀口预设距离处。

[0024] 本发明还提供了一种浸没式冷却电池热失控性能测试方法，包括：

[0025] 将电池通过电池夹具固定在浸没装置底部，并倒入冷却介质直至浸没所述电池及所述电池夹具；

[0026] 利用电池充放电控制电路持续对所述电池进行恒流充电，在引发热失控后停止充电，实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据；

[0027] 利用温度采集模块实时采集引发热失控前后在电池表面和冷却介质中预设的多个测温点的温度数据；

[0028] 根据实时采集的数据表征引发热失控前后的电池状态，以便分析浸没式冷却电池的热失控性能。

[0029] 本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点：

[0030] 本发明所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统，可通过电池充放电控制测试模块对电池进行过充引发热失控，并实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据；利用温度采集模块可实时采集引发热失控前后在电池表面和冷却介质中预设的多个测温点的温度数据；实现了对浸没式冷却电池热失控过程的可视化和实时监测，有效表征了电池热失控前后的电压、温度等参数，数据可靠。通过实时监测数据可有效分析浸没式冷却系统对热失控的影响，明确了浸没式冷却系统对热失控后电芯的持续降温作用，其在提升电池与外界热交换能力的同时可以有效抑制电池发生复燃及热扩散，可有效防范电池火灾风险。

附图说明

[0031] 为了使本发明的内容更容易被清楚地理解，下面根据本发明的具体实施例并结合附图，对本发明作进一步详细的说明，其中：

[0032] 图1是本发明所提供的一种浸没式冷却电池热失控性能测试系统的实现流程图；

[0033] 图2是由本发明测试系统与方法总结的电池热失控过程；

[0034] 图3为本发明具体实施例和对比例中热失控前后电池大面温度随时间的变化图；

[0035] 图4为本发明实验1中热失控前后不同布温点温度随时间的变化图；

[0036] 图5为本发明实验2中热失控前后不同布温点温度随时间的变化图；

[0037] 附图标记:1-浸没装置;2-冷却介质;3-循环泵;4-电池;5-电池夹具;6-电池充放电控制测试模块;7-温度采集模块。

具体实施方式

[0038] 本发明的核心是提供一种浸没式冷却电池热失控性能测试系统及方法,实现了对浸没式冷却大容量(>100 Ah)电池/电池组热失控过程的可视化和实时监测。

[0039] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0040] 请参考图 1,图1为本发明所提供的一种浸没式冷却电池热失控性能测试系统的实现流程图;具体如下:

[0041] 浸没装置1,用于盛放冷却介质;所述浸没装置为不锈钢箱体,表面贴合环氧树脂板,不锈钢材料具有较好的抗腐蚀性能和强度,可保证长期浸泡油液过程中系统的耐久性与安全性,环氧树脂板具有绝缘作用,可防止电池热失控过程与不锈钢箱体直接接触而短路。

[0042] 电池夹具5,设置于所述浸没装置底部,并浸没在所述冷却介质中,用于固定电池4;所述电池夹具由上下夹板和螺栓与螺帽构成,用于固定电池,且在电池过充发生鼓胀后赋予电池一定压力;所述电池为一定容量的锂离子电池或电池组。

[0043] 所述冷却介质2浸没所述电池夹具;所述冷却介质为氟化液、矿物油等材料,具有比热容大、导热性能好、绝缘性好等特点。

[0044] 电池充放电控制测试模块6,与所述电池的正负极极柱连接,用于持续对所述电池进行恒流充电以引发热失控,并实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据;

[0045] 温度采集模块7,用于实时采集引发热失控前后电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据。

[0046] 本发明所述的浸没式冷却电池热失控性能测试系统,可通过电池充放电控制测试模块对电池进行过充引发热失控,并实时采集引发热失控前后的电池电池电压数据和电池电流数据;利用温度采集模块可实时采集引发热失控前后在电池表面和冷却介质中预设的多个测温点的温度数据;对浸没式冷却电池的热失控过程实现了可视化和实时监测,有效表征了电池热失控前后的电压、温度等参数,数据可靠。通过实时监测数据可有效分析浸没式冷却系统对热失控的影响,明确了浸没式冷却系统对热失控后电芯的持续降温作用,其在提升电池与外界热交换能力的同时可以有效抑制电池发生复燃及热扩散,可有效防范电池火灾风险。

[0047] 基于以上实施例,所述浸没式冷却电池热失控性能测试系统还包括循环泵3,设置于所述浸没装置底部,所述循环泵具有一定流量,用于驱动所述冷却介质按照预设速率和方向流动。

[0048] 基于以上实施例,本实施例对电池充放电控制测试模块进行详细说明,所述电池充放电控制测试模块包括:

[0049] 充放电控制电路，与所述电池的正负极极柱连接，用于给所述电池充放电；

[0050] 主控制器，用于控制所述充放电控制电路进行充放电；

[0051] 电池测试系统，用于实时采集电池电压数据和电池电流数据。

[0052] 基于以上实施例，本实施例对温度采集模块进行详细说明，所述温度采集模块包括：

[0053] 多个K型热电偶，K型热电偶尖端的直径小于1 mm，分别布置在电池表面和冷却介质中，用于实时监测电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据；所述多个K型热电偶分别布置在电池大面、电池侧面、电池正极极柱、电池负极极柱、泄压阀口、冷却介质中远离所述电池侧面预设距离处和冷却介质中远离所述泄压阀口预设距离处。

[0054] 接线盒，与所述多个K型热电偶连接；

[0055] 数据采集仪，与所述接线盒连接，用于实时采集电池不同位置处的温度数据和冷却介质不同位置处的温度数据，温度采集的采样间隔为1 s，准确度为±2 ℃。

[0056] 本发明还提供一种浸没式冷却电池热失控性能测试方法，包括：

[0057] 将电池通过电池夹具固定在浸没装置底部，并倒入冷却介质直至浸没所述电池及所述电池夹具；

[0058] 利用电池充放电控制电路持续对所述电池进行恒流充电，在引发热失控后停止充电，实时采集引发热失控前后的电池电压数据和电池电流数据；

[0059] 利用温度采集模块实时采集引发热失控前后在电池表面和冷却介质中预设的多个测温点的温度数据；

[0060] 根据实时采集的数据表征引发热失控前后的电池状态，以便分析浸没式冷却电池的热失控性能。

[0061] 基于以上实施例，本实施例进行具体的实验研究，具体如下：

[0062] 浸没装置采用表面贴合环氧树脂板的不锈钢箱体，不锈钢箱体尺寸为：长60 cm，宽45 cm，高25 cm；冷却介质为10号变压器油；循环泵流量为694 mL/s；电池为储能用125 Ah磷酸铁锂电池，厚度：(36.0±1.0)mm，宽度：(130.0±1.0)mm，高度(不含极柱)：(235.0±1.0)mm，平均重量：2.45 kg。

[0063] 如图1所示，在电池表面和10号变压器油中共布置10个K型热电偶，包括电池大面(A)，电池侧面(B)、电池正极极柱(C)，负极极柱(D)，泄压阀口(E)，及远离电池侧面2 cm(F)，5 cm处(G)；远离电池阀口5 cm(H)，10 cm(I)，15 cm(J)处。

[0064] 在实验1中，我们将电池横放，阀口方向朝前，使得开阀后电解液定向喷出，倒入10号变压器油，直至电池上夹板及所有K型热电偶被浸没，将充放电控制电路与电池伸出的正负极极柱连接，开启循环泵，对电池以1C恒流持续充电1h，如图2所示，过充时，会引起正极活性物质结构的不可逆变化、负极表面锂枝晶的生长及负极界面膜的分解等，释放出大量气体和热量，造成电池内压和温度迅速增加，导致电池开阀漏液。此时，持续的充电过程会导致电池电压突升，温度进一步上升，引发隔膜熔化或收缩，造成电池局部短路，电压下降。随后，正极和电解液均发生分解，从而引发大规模的内短路，温度急剧增加，当温升≥1℃/s(或监测点温度达到300 ℃)时，引发热失控。直至电芯内部活性物质燃烧殆尽，温度开始下降。实时记录热失控发生过程现象及电池电压、电流、温度等参数。引发热失控后，停止过充，静置观察1 h，实时记录过程现象及电池电压、电流、温度等参数，分析热失控后冷却介

质对电池降温速率的影响，明确其对热失控蔓延的抑制作用。

[0065] 在实验2中，除不开启循环泵外，其余设置与实验1的步骤一致。

[0066] 实验3作为对比例，在空气环境中测试热失控性能，布置空气环境测温点，并在电池表面布置电池测温点(大面A，侧面B、正极极柱C，负极极柱D，泄压阀口E)。将电池横放，阀口方向朝前，用电池夹具固定，将充放电控制电路与电池伸出的正负极极柱连接。开启过充程序(1 h)，实时观测现象并采集电池电压、电流、温度等参数。停止过充，静置观察1 h，实时观测现象并采集电池电压、电流、温度等参数。

[0067] 实验结果如下：

[0068] 如表1所示，表1对应从电池泄压阀开启至发生热失控过程中的关键参数，包括泄压阀开启、升至最高电压及发生热失控时间及各节点对应的电池大面温度与电压。由表可知，过充引发电芯热失控的过程及现象在三种情况下相似。

[0069] 表1 不同电池由泄压阀开启至发生热失控过程中的关键参数

[0070]

组别	开阀时间（s）	开阀时温度（℃）	开阀时电压（V）	升至最高电压时间（s）	最高电压（V）	最高电压点温度(℃)	热失控时间(s)	热失控点温度（℃）	热失控时电压（V）
实验 1	537	39.5	5.092	825	37.36	81.2	840	92.3	2.358
实验 2	739	48.6	4.981	1028	36.65	81.3	1037	87.7	2.517
对比例 1	512	47.8	5.120	795	38.43	92.2	815	110.6	1.48

[0071] 图3为热失控前后电池大面温度随时间的变化图。由曲线可看出，浸没式冷却系统不会明显影响电池的热失控发生过程，但强烈影响电池热失控后的降温过程。表2列出了电池热失控后由最高温度降至60 ℃的降温速率。

[0072] 表2不同电池由最高温度降至60 ℃的降温速率

[0073]

组别	热失控后最高温度（℃）	达到最高温度时间（s）	由最高温度降至60℃的降温速率（℃/s）
实验 1	265.8	919	**0.1431**
实验 2	240.3	1115	**0.0744**
对比例 1	280	1185	**0.0367**

[0074] 对比可知，浸没式冷却系统可显著提高电池降温速率，实验1和实验2分别表现出高于对比例1近4倍和2倍的降温速率，具有持续降温的效果。这主要归为变压器油的高导热系数。其中，循环泵驱动冷却介质流动的情况下(实验1)降温更为明显。原因是随着冷却介质的流动可将电池热量及时高效地带走，大大提升了散热效果。验证了其在有效抑制电池发生复燃及热扩散的重要作用，预期可有效预防电池火灾风险。

[0075] 图4、图5分别对比了实验1和实验2电池热失控后冷却介质中不同位置处温度随时间变化情况。经对比可知，在循环泵驱动冷却介质流动的情况下(实验1)，电池热失控后冷却介质中各处温度均低于50 ℃，且更快趋于均一，经约970 s从最高温度降至42℃。其中，远离电池侧面2 cm(F)和远离电池阀口5 cm(H)的温度变化趋势相近，曲线较为重合。而在循环泵未开启时(实验2)，电池热失控后冷却介质多处温度高于50℃，尤其是远离电池阀口5 cm(H)，10 cm(I)，15 cm(J)处，最高甚至超过70 ℃，且降温很慢，经历约2327秒降至56

℃,各处温度未达到均一,不利于电池的降温过程。其中,I和J温度变化趋势相近,曲线较为重合。结果说明在循环泵驱动冷却介质流动的情况下,冷却介质与电池之间换热充分,油温更低,导热更快,解释了实验1中电芯更快的降温速率。

[0076] 本发明提供的浸没式冷却电池热失控性能测试系统及方法有效表征了电池热失控前后的电压、温度等参数,数据可靠。明确了浸没式冷却系统对热失控后电芯的持续降温作用。其在提升电池与外界热交换能力的同时可以有效抑制电池发生复燃及热扩散,可有效防范电池火灾风险。

[0077] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之中。

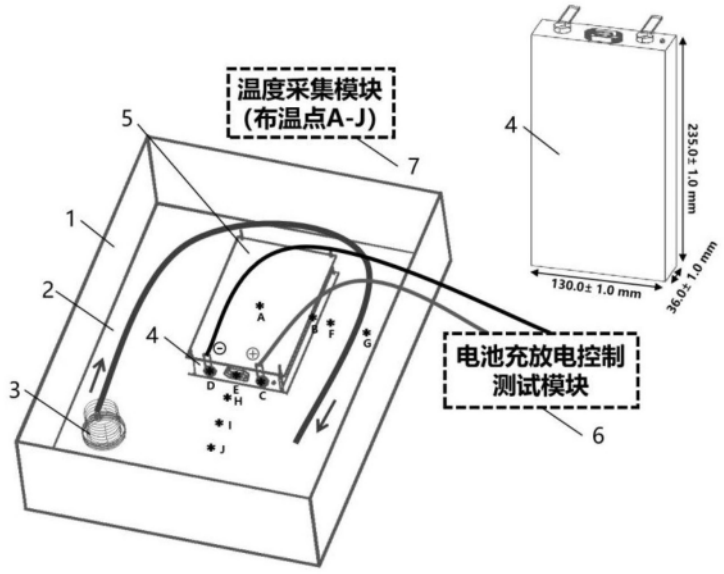

温度采集模块
(布温点A-J)
电池充放电控制
测试模块
235.0± 1.0 mm
130.0± 1.0 mm
36.0± 1.0 mm

图1

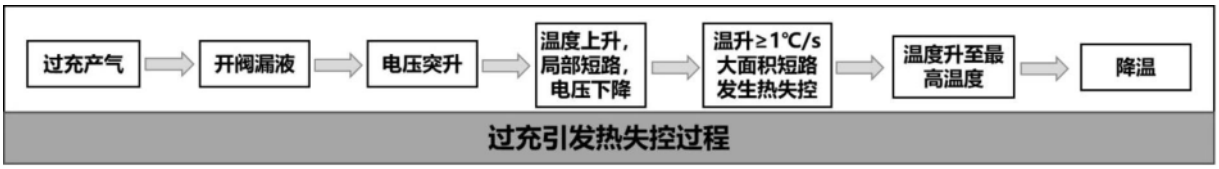

过充产气
开阀漏液
电压突升
温度上升，局部短路，电压下降
温升≥1℃/s 大面积短路发生热失控
温度升至最高温度
降温
过充引发热失控过程

图2

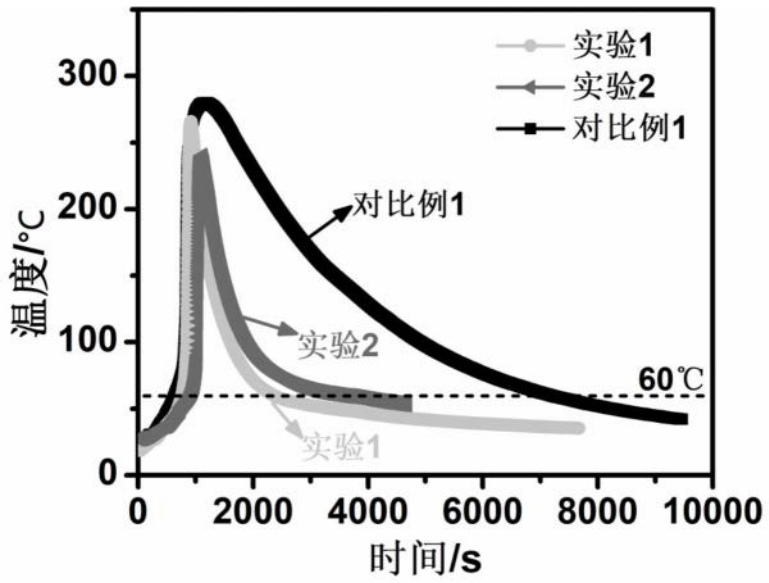

实验1
实验2
对比例1
温度/℃
时间/s
60℃
0
100
200
300
0
2000
4000
6000
8000
10000

图3

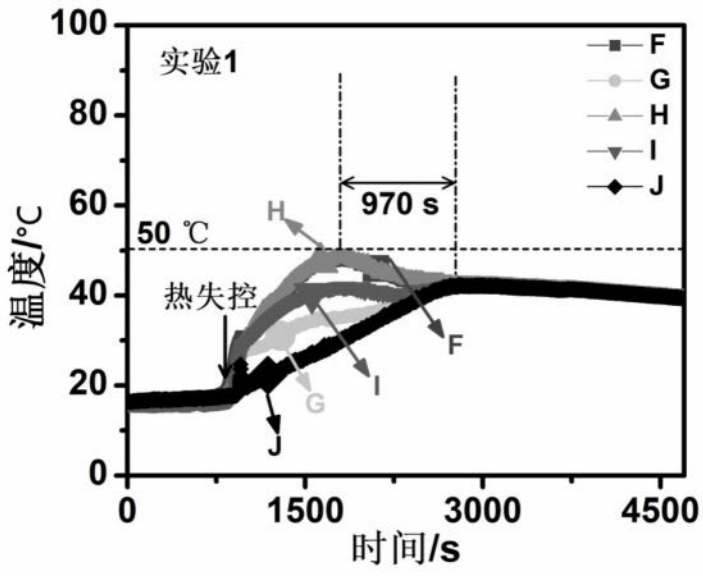

实验1
F
G
H
I
J
970 s
50 ℃
热失控
温度/°C
时间/s
0
20
40
60
80
100
0
1500
3000
4500

图4

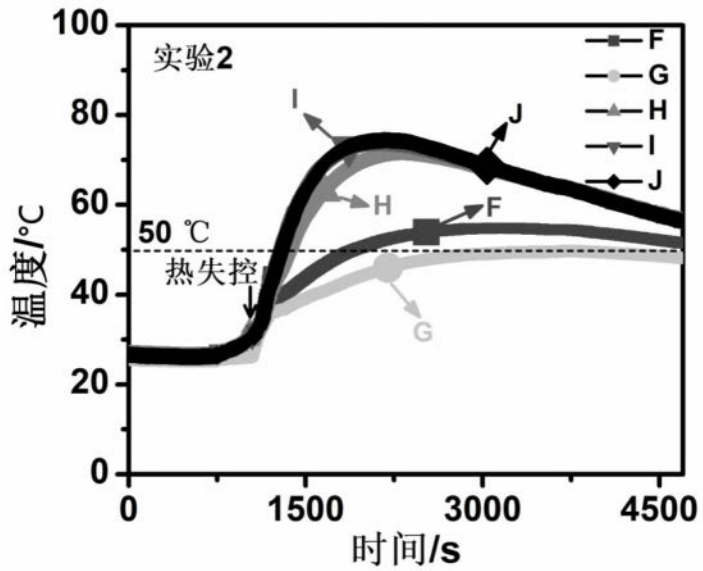

实验2
F
G
H
I
J
50 ℃
热失控
温度/°C
时间/s
0
20
40
60
80
100
0
1500
3000
4500

图5