



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104001297 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201410217527.X

(22)申请日 2014.05.21

(73)专利权人 中国南方电网有限责任公司调峰调频发电公司

地址 510630 广东省广州市天河区龙口东路32号

专利权人 中国科学技术大学

(72)发明人 陈满 伍科 李勇琦 黄晓东  
郭海峰 张百华 刘邦金 彭鹏  
王青松 孙金华

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司 11251

代理人 杨学明 顾炜

(51)Int.Cl.

A62C 99/00(2010.01)

(56)对比文件

CN 103263739 A,2013.08.28,  
CN 103487761 A,2014.01.01,  
CN 202693544 U,2013.01.23,  
WO 2011/015515 A1,2011.02.10,  
DE 2426150 A1,1975.12.18,

审查员 刘杨威

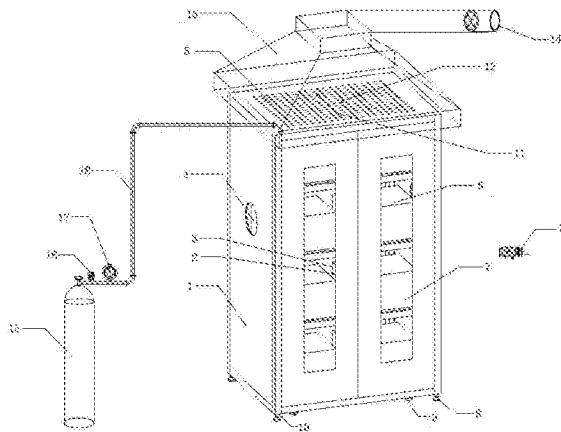
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜

(57)摘要

本发明公开了一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜,主要由消防柜主体、自动报警系统、电池固定支架、热源模拟系统、测量及监测系统、灭火系统和排烟系统组成。通过多重调节,可实现模拟锂离子电池着火后不同类型火灾探测器(感烟、感温或烟温一体型等)的灵敏度及响应特性、适用于锂离子电池火灾的多种气体灭火剂的灭火效果(包括实际灭火时间、灭火剂用量等)、灭火后不同灭火剂对锂离子电池性能的影响等因素的研究。本发明中根据消防柜体自主设计了竖直式灭火剂释放管道,可实现电池着火后将灭火剂在更短时间内更充分的释放到电池柜内,大大减小了灭火时间及灭火剂用量,降低了灭火成本及对锂离子电池的损伤。



1. 一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜,其特征在於该试验柜主体部分采用柜体组装式结构,主要由消防柜主体、自动报警系统、电池固定支架(3)、热源模拟系统、测量及监测系统、灭火系统和排烟系统组成,所述消防柜主体包括两侧玻璃观察窗(4)、柜体顶部通风孔(5)、内部隔板(6)、带玻璃观察窗的对开门(7)、固定地脚(8)、万向轮(9)及硅酸铝防火板;所述自动报警系统包括独立式或联网型火灾探测器(11);

所述消防柜主体,四只主梁骨架及其它骨架横梁均为304不锈钢钢管,四周蒙板为不锈钢;

所述柜体侧面玻璃观察窗(4)及正面对开门(7)中观察窗的材质为防火玻璃或防爆玻璃,可保证锂离子电池迅速喷出气体剧烈燃烧时不会破碎;

所述柜体顶部通风孔(5)主要用于平台内部放置的钛酸锂离子电池的散热、发生火灾时产生烟气的排放以及电池柜内压力的泄放,若实验过程中需要密闭环境亦能够通过防火板遮挡;

所述万向轮(9)及固定地脚(8)可实现整个柜体自由移动并通过固定地脚支撑柜体重量;

所述自动报警系统通过预留在柜体顶部的开口和法兰等距离固定在柜体顶端中心线处;

所述电池固定支架(3)用于实验过程中固定电池防止其脱落,通过螺丝固定在柜体隔板(6)上,电池固定在支架上表面的铁丝网上,热源(2)放于支架(3)下方透过铁丝网对电池加热;

所述排烟系统主要包括集烟罩(13)、防爆风机(14),所述集烟罩尺寸远大于柜体上表面积,可在必要时快速抽排电池释放的气体和气体燃烧产物;所述防爆风机可防止危险气体体积聚过快引起爆炸。

2. 如权利要求1所述一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜,其特征在於所述热源模拟系统采用油池火、均匀辐射板或电炉;所述油池火采用酒精、汽油或正庚烷。

3. 如权利要求1所述一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜,其特征在於所述测量及监测系统包括压力表(17)、摄像机(19)、热电偶、压力传感器、数据采集仪、高精度电子天平,所述压力表(17)主要用于监测灭火系统内灭火剂或所用惰性气体的压力,所述摄像机(19)主要用于记录柜体内电池从受热到释放气体燃烧甚至爆炸的实时动态,所述热电偶主要用于记录电池表面温度和柜体内空气温度变化,所述压力传感器主要用于测量电池表面承受的灭火剂的壓力,所述高精度电子天平主要用于称量实验前后灭火剂的质量变化。

4. 如权利要求1所述一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜,其特征在於所述灭火系统由二氧化碳灭火装置、七氟丙烷灭火装置、Novec 1230灭火装置、两根竖直式灭火剂释放管道、灭火剂喷头及连接管道组成;灭火剂通过竖直式灭火剂释放管道或灭火剂喷头两种方式喷洒。

5. 如权利要求4所述一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜,其特征在於所述两根竖直式灭火剂释放管道(10)分别位于柜体内部斜对角处并从上到下贯穿整个柜体,管道从上到下等距离分布若干开孔用于释放灭火剂;所述两根竖直式灭火剂释放

管道均可在一定范围内水平旋转,可实现灭火剂喷出角度的调整以达到最佳灭火效果;所述竖直式灭火剂释放管道上下两头均有螺纹,灭火剂通过喷头释放时可用配套的盖子将两端密封防止灭火剂通过管道泄漏;所述两根竖直式灭火剂释放管道也能够单独使用。

## 一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防试验柜

### 技术领域

[0001] 本发明属于锂离子电池热失控的消防安全工程领域,具体涉及一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防柜。

### 背景技术

[0002] 与以往的铅酸电池相比较,锂离子电池作为新能源电池不仅更加环保而且性能更加优越,所以应用越来越广泛,其应用涉及新能源汽车、电动车、手机等众多领域。锂离子电池在储能方面,通讯基站等方面的作用也越来越明显。但是锂离子电池在储存过程中却可能会因为自身化学反应放热积聚或外界热源影响发生热失控,这无疑是锂离子电池储存过程中的最大难题。因此研究锂离子电池储存过程中的热失控现象及探测报警系统和消防灭火系统的有效性就显得非常重要,这也是当前安全工程领域尤其是火灾科学领域的热点课题之一。

[0003] 由于目前国内具有生产大中型锂离子电池能力的科研单位和公司较少,所以几乎没有此类兼具自动报警及灭火系统的锂离子电池消防平台,相关研究更是少之又少。目前存在的实验平台要么只能对单一小型电池进行研究,要么只能对单一因素进行研究,很难对自动报警系统灵敏度、不同灭火剂灭火效果、柜体内温度变化等众多因素同时进行研究。所以本发明在很大程度上弥补了这一缺陷。

### 发明内容

[0004] 为了克服现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防柜,本装置通过多重调节可以实现多工况、多因素变化情况下,对锂离子电池发生热失控后电池柜体内的自动报警系统及灭火系统的有效性进行验证并依此提出最佳消防方案。

[0005] 本发明为实现其目的所采取的技术方案:

[0006] 一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防柜,该发明主体部分采用柜体组装式结构,主要由消防柜主体、自动报警系统、电池固定支架、热源模拟系统、测量及监测系统、灭火系统组成和排烟系统组成。所述消防柜主体包括带玻璃观察窗的对开门、两侧玻璃观察窗、内部隔板、硅酸铝防火板、柜体顶部通风孔、万向轮及固定地脚;所述自动报警系统包括独立式或联网型探测报警器,包括感烟、感温或烟温一体型火灾探测器。

[0007] 所述消防柜主体四只主梁骨架及其它骨架横梁均为304不锈钢钢管,四周蒙板为不锈钢(亦可为其它金属)。

[0008] 柜体正面对开门及柜体侧面玻璃观察窗的材质为防火玻璃(防爆玻璃),可保证锂离子电池热失控后迅速喷出气体剧烈燃烧时不会破碎。

[0009] 所述柜体顶部通风孔主要用于平台内部放置的钛酸锂离子电池的散热、发生火灾时产生烟气的排放以及电池柜内压力的泄放等,若实验过程中需要密闭环境亦可通过防火板遮挡。

- [0010] 所述万向轮及固定地脚可实现整个柜体自由移动并通过固定地脚支撑柜体重量。
- [0011] 所述自动报警系统(顶置型)通过预留在柜体顶部的开口和法兰等距离固定在柜体顶端中心线处。
- [0012] 所述电池固定支架主要用于实验过程中固定电池防止其脱落,通过螺丝固定在柜体隔板上,电池固定在支架上表面的铁丝网上,热源放于支架下方透过铁丝网对电池加热。
- [0013] 进一步的,所述排烟系统主要由集烟罩、防爆风机等组成,所述集烟罩尺寸远大于柜体上表面积,可在必要时快速抽排电池释放的气体 and 气体燃烧产物;所述防爆风机可防止危险气体积聚过快引起爆炸。
- [0014] 进一步的,所述热源模拟系统可采用油池火(酒精、汽油、正庚烷等)、均匀辐射板、电炉等。
- [0015] 进一步的,所述测量及监测系统包括压力表、热电偶、压力传感器、数据采集仪、摄像机、高精度电子天平等,所述压力表主要用于监测灭火系统内灭火剂的压力,所述热电偶主要用于记录电池表面温度和柜体内空气温度变化,所述压力传感器主要用于测量电池表面承受的灭火剂的压力,所述摄像机主要用于记录柜体内电池从受热到释放气体燃烧甚至爆炸的实时动态,所述高精度电子天平主要用于称量实验前后灭火剂的质量变化。
- [0016] 进一步的,所述灭火系统由二氧化碳灭火装置、七氟丙烷灭火装置、Novec1230灭火装置、两根竖直式灭火剂释放管道、灭火剂喷头及连接管道组成;灭火剂可通过竖直式灭火剂释放管道或灭火剂喷头两种方式喷洒。
- [0017] 进一步的,所述两根竖直式灭火剂释放管道分别位于柜体内部斜对角处并从上到下贯穿整个柜体,管道从上到下等距离分布若干开孔用于释放灭火剂;所述两根竖直式灭火剂释放管道均可在一定范围内水平旋转,可实现灭火剂喷出角度的调整以达到最佳灭火效果;所述竖直式灭火剂释放管道上下两头均有螺纹,灭火剂从喷头释放时可用配套的盖子将两端密封防止灭火剂通过管道泄漏;所述两根竖直式灭火剂释放管道也可单独使用。
- [0018] 本发明的原理在于:
- [0019] 本发明公开一种自带自动报警及灭火系统的锂离子电池消防柜,主要由消防柜主体、自动报警系统、电池固定支架、热源模拟系统、测量及监测系统、灭火系统和排烟系统组成。通过多重调节,可实现模拟锂离子电池着火后不同类型火灾探测器(感烟、感温或烟温一体型)的灵敏度及响应时间、适用于锂离子电池火灾的多种灭火剂(二氧化碳、七氟丙烷和Novec1230灭火剂等)的灭火效果(包括实际灭火时间、灭火剂用量等)、灭火后不同灭火剂对锂离子电池外形及电化学性能的影响等因素的研究。本发明中根据消防柜体自主设计了竖直式灭火剂释放管道,可实现电池着火后将灭火剂在更短时间内更充分的释放到电池柜内,大大减小了灭火时间、灭火剂用量,降低了灭火成本及锂离子电池本身的损失。
- [0020] 本发明与现有技术相比的优点在于:
- [0021] 1、本发明在实验过程中通过多重调节,可实现模拟锂离子电池着火后不同类型火灾探测器(感烟、感温或烟温一体型)的灵敏度及响应时间、适用于锂离子电池火灾的多种灭火剂(二氧化碳、七氟丙烷和Novec1230灭火剂等)的灭火效果(包括实际灭火时间、灭火剂用量等)、灭火后不同灭火剂对锂离子电池外形及电化学性能的影响等诸多因素的研究。
- [0022] 2、本发明中根据消防柜体自主设计了竖直式灭火剂释放管道,可实现电池着火后将灭火剂在更短时间内更充分的释放到电池柜内,大大减小了灭火时间、灭火剂用量,降低

了灭火成本及锂离子电池本身的损失。同时可以方便的将灭火剂喷洒方式更换为喷头式，对比二者的优缺点并对更多影响因素进行研究。

[0023] 3、本发明克服了其它小型试验平台的不足，本试验台为全尺寸试验台，不仅能对单块电池进行热失控研究，而且能对多块电池或者电池模块进行实验，大大增加了实验结果的可信度。

#### 附图说明：

[0024] 下面结合附图对本发明作进一步描述。

[0025] 图1为发明整体示意图。

[0026] 图中：1为电池消防柜体，2为热源，3为电池固定支架(电池模块)，4为侧面观察窗，5为顶部通风孔，6为隔板，7为正面双扇对开门(带观察窗)，8为地脚，9为万向轮，10为竖直式灭火剂释放管道，11为火灾探测器(三个)，12为灭火剂喷头，13为集烟罩，14为防爆风机，15为灭火剂储瓶，16为流量控制阀，17为压力表，18为高压输运管道，19为摄像机。

[0027] 图2为消防柜立体效果示意图。

[0028] 图3为电池消防柜内部结构示意图。

[0029] 图4为火灾探测器安装示意图。实验中同时安装了感烟、感温和烟温一体型火灾探测器，对比其灵敏度。

[0030] 图5为某钛酸锂电池尺寸图。

[0031] 图6为Novec1230灭火过程实物示意图；(a)热辐射882s后电池开始喷火；(b)火势进一步增大；(c)喷火4s后开始施加灭火剂；(d)施加灭火剂15s后火灭。

[0032] 图7为电池正极及附近20cm左右处空气温度曲线。

[0033] 图8为电池上表面温度曲线。

[0034] 图9为电池负极及附近20cm左右处空气温度曲线。

#### 具体实施方式：

[0035] 下面结合附图对本发明具体实施方式作进一步描述。

[0036] 如图1所示，本发明主体采用柜体组装式结构：柜体内部空间由隔板6分成三层(或多层)，竖直式灭火剂释放管道10位于固体两斜对角处，火灾探测器11和灭火剂喷头12通过法兰垂直悬挂于柜体顶部，大大缩小了整个实验平台所占空间。

[0037] 消防柜主体主要包括两侧玻璃观察窗4、柜体顶部通风孔5、内部隔板6、带玻璃观察窗的对开门7、固定地脚8及万向轮9；柜体内侧左、右、后三面及隔板均覆盖一层硅酸铝防火板，防止电池热失控后引燃其它可燃物。左右两侧观察窗4及正面对开门7上的玻璃均为防爆玻璃(防火玻璃)，可避免锂离子电池热失控后喷出大量气体并燃烧甚至爆炸导致玻璃碎裂而引起人身和财产损失；两侧观察窗上的玻璃通过高温密封胶粘贴到柜体内侧，可保证在高温环境下不失效。柜体顶部均匀打数排通风孔，主要用于平台内部放置的钛酸锂离子电池的散热、发生火灾时产生烟气的排放以及电池柜内压力的泄放等，若实验过程中需要密闭环境亦可通过防火板遮挡。柜体顶部预留火灾探测器和灭火剂喷头安装孔及法兰。

[0038] 自动报警系统主要包括独立式或联网型探测报警器11，实验前根据热源位置在柜体中心线上均匀布置感烟、感温和烟温一体型三种火灾探测器，也可布置在与热源等距离

处。独立性探测报警器可由电池或低压交流电供电,联网型探测报警器则需要连接主机及电源。感温火灾探测器是对警戒范围中某一点或某一线路周围温度变化时响应的火灾探测器,它是将温度的变化转换为电信号以达到报警目的;感烟火灾探测器能够对可见的或不可见的烟雾粒子响应的火灾探测器,它是将探测部位烟雾浓度的变化转换为电信号实现报警目的一种器件;烟温一体型火灾探测器则既可以探测烟雾浓度而报警,又可以探测温度变化而报警。电池热失控过程中会产生大量烟雾并伴随温度升高,当积累到一定程度探测器会自动发出警报。实验前将探测器固定好并检测其是否正常工作。

[0039] 电池固定支架3是根据实验需要专门设计用来固定电池的,其上表面为金属网格,电池可以通过铁丝或卡箍等方式固定其上,支架通过螺丝固定在柜体隔板6上。热源2放于支架3下面,隔着金属网给电池加热。实验时先将电池固定在支架上,然后将热电偶、压力传感器等布置在电池表面和极耳处,最后放置热源。

[0040] 热源模拟系统2可采用油池火(酒精、汽油、正庚烷等)、均匀辐射板、气体火、电炉等,主要用来模拟电池发生化学反应热量积聚或受到外界热载荷后的响应特性。本次实验中热源暂定为3kW电炉,通电一段时间后功率会趋于稳定。

[0041] 测量及监测系统包括压力表17、摄像机19、热电偶、压力传感器、数据采集仪、高精度电子天平等。压力表主要用于监测灭火系统内灭火剂的压力;热电偶主要用于记录电池表面温度和柜体内空气温度变化;压力传感器主要用于测量电池表面承受的灭火剂的压力;摄像机主要用于记录柜体内电池从受热到释放气体燃烧甚至爆炸的实时动态;高精度电子天平主要用于称量实验前后灭火剂的质量变化。实验时先将电池固定在支架上,然后在电池表面、极耳及极耳附近等典型位置布置热电偶,并把压力传感器固定于电池上表面(用于测量灭火剂对电池的冲击力),然后连接数据采集仪并摆放摄像机。

[0042] 灭火系统由二氧化碳灭火装置、七氟丙烷灭火装置、Novec1230灭火装置、两根竖直式灭火剂释放管道10、灭火剂喷头12、流量控制阀16及高压输运管道18组成。灭火剂可通过竖直式灭火剂释放管道或灭火剂喷头两种方式喷洒,可对比灭火剂种类不同时两种方式的优缺点。当灭火剂用喷头12释放时需将竖直式灭火剂释放管道10上下两端密封,防止灭火剂从此处泄露。三种灭火剂均储存在高压钢瓶中,其中Novec1230常温下为液态需要高压惰性气体(如氮气)将其从储瓶中压出。二氧化碳、七氟丙烷等气体灭火系统的设计依据为《气体灭火系统设计规范》(GB50370-2005);1230灭火剂的设计浓度和设计用量等参数则参考美国消防协会制定的《洁净气体灭火系统标准》(NFPA2001,2012版)和《气体灭火系统》(IS014520)进行确定。实验前需选择灭火剂种类及连接高压输运管道,如灭火剂不从喷头释放,需将竖直式灭火剂释放管道10的喷口调整到合适角度。

[0043] 排烟系统主要由集烟罩13、防爆风机14组成,其中集烟罩尺寸远大于柜体上表面积,可在必要时快速抽排电池释放的气体和气体燃烧产物;防爆风机安放于实验间墙体预留的空洞内,可将气体抽排到外界从而防止危险气体积聚过快引起爆炸。

[0044] 实施例:

[0045] 研究锂离子电池热失控后三种不同探测报警器的灵敏度及1230的灭火效果。实验中所用电池为50Ah钛酸锂电池,具体参数详见表1,尺寸图见图5。

[0046] 表1单体钛酸锂离子电池技术参数表。

50Ah 钛酸锂电池参数			
[0047]	额定电压	2.3V	
	额定容量	50Ah	
	工作电压	充电截止电压	2.8V
		放电截止电压	1.5V

[0048] 实验前将感烟、感温及烟温一体型火灾探测器分别固定在柜体顶端并检测其是否正常工作,本次试验采用独立式探测器(9V干电池供电);然后将电池固定在电池固定支架3上并在电池正负极耳、电池表面(距正极1/4L、1/2L、3/4L处分别布置一个)及电池正负极20cm处空气中布置7根热电偶;将液体Novec1230倒入图7中不锈钢储瓶中,并记录其重量,连接好灭火剂出口管路并联通氮气瓶(通过高压氮气将1230灭火剂压出);待探测器报警,关闭热辐射源,打开氮气瓶阀门并将瓶内压力控制为约1.5MPa压力,开始灭火;试验结束,称量剩余Novec1230重量。

[0049] (一)Novec1230灭火效果分析:

[0050] 表2为Novec1230灭火试验过程记录表。

[0051] 表2Novec1230灭火试验过程记录表

[0052]

灭火剂类型	Novec1230
试验前电池重量	1.645kg
试验前灭火剂重量	4.088kg
电池着火时间	882s
灭火剂喷放压力	1.5MPa
灭火剂喷放时间	50s
灭火时间	15s
试验后电池重量	1.600kg
试验后灭火剂重量	0.422kg
灭火剂用量	3.666kg

[0053] 图8为Novec1230灭火过程实物图。如图,电炉通电882s后电池正极喷出的气体开始着火,4s后灭火剂开始灭火。Novec1230灭火系统开启后,电池的火焰高度和火焰面积立即呈减小趋势,说明Novec1230灭火剂能迅速抑制电池火灾。灭火剂施加15s后火焰被扑灭。但此时柜体内仍残留有电池释放的气体且电池内部化学反应仍在继续,所以火灭以后继续施加灭火剂,本次试验灭火剂共施加50s左右,消耗Novec1230灭火剂3.666kg。

[0054] 图7为电池正极及附近20cm左右处空气温度曲线。电炉通电后,电池电极和附近空气均立即升温,但由于空气的热导率较小所以空气温度上升比电池更慢。电炉通电886s后正极喷出气体着火,正极空气立即升高至600℃,灭火剂施加后又立即下降。

[0055] 图8为电池上表面温度曲线。在电池表面距离电池正极1/4、1/2、3/4处分别布置一根热电偶。从该图可以看出电池表面温度变化趋势非常一致,电炉通电后电池温度迅速升



高。正中心处温度略高于另外两处,可能是由于中心处电池内部发生化学反应产生的热量较其它两处更难向外界释放所致。电池表面温度升高到155℃左右,正极喷出的气体开始着火。Novec1230灭火剂施加以后,电池温度立即下降。但由于火焰没有被立即扑灭且电池内部化学反应继续进行,电池表面温度又出现小幅回升,很快火灾被控制住,电池温度开始持续缓慢下降直至化学反应停止。

[0056] 图9为电池负极及附近20cm左右处空气温度曲线。由于负极没有喷出气体所以负极温度升高趋势与电池表面大致相同,负极附近空气温度也在正极喷出火焰后出现小幅度升高。

[0057] (二)火灾探测器(感烟、感温和烟温一体型)灵敏度分析:

[0058] 实验中专门设置一台摄像机,用于观察火灾探测器,当探测器响应时,发出蜂鸣声,并有指示灯闪烁,此时,记录下响应时间。三种探测器的响应时间统计于表3中。

[0059] 由表3可知,本次锂离子电池受热火灾中,三种探测器的灵敏度顺序依次为感烟探测器>烟温一体型探测器>感温探测器。

[0060] 表3探测器响应时间记录表

[0061]

探测器类型	感烟探测器	烟温一体型探测器	感温探测器
响应时间	622s	881s	890s

[0062] 本装置的一些硬件设施可以进行简单改造就可以开展更多实验。

[0063] 可以改变热载荷的加载方式进行实验,如改电炉为均匀辐射板或油池火,也可将电炉改为固体可燃物或气体火等。

[0064] 可将灭火剂的释放方式由竖直式灭火剂释放管道改为喷头式,从而对比二者的优劣;也可对不同角度的灭火剂喷头进行实验,从而选出最适合锂离子电池火灾的喷淋头。

[0065] 可以将本发明中柜体顶部的通风孔用防火板遮住形成完全密封的环境,研究锂离子电池在密封环境中的热失控行为。

[0066] 可以将灭火系统方便的更换为除二氧化碳、七氟丙烷或Novec1230以外的其它灭火剂,研究更多种类灭火剂对锂离子电池火灾的灭火效果。

[0067] 本发明未详细公开的部分属于本领域的公知技术。

[0068] 尽管上面对本发明说明性的具体实施方式进行了描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

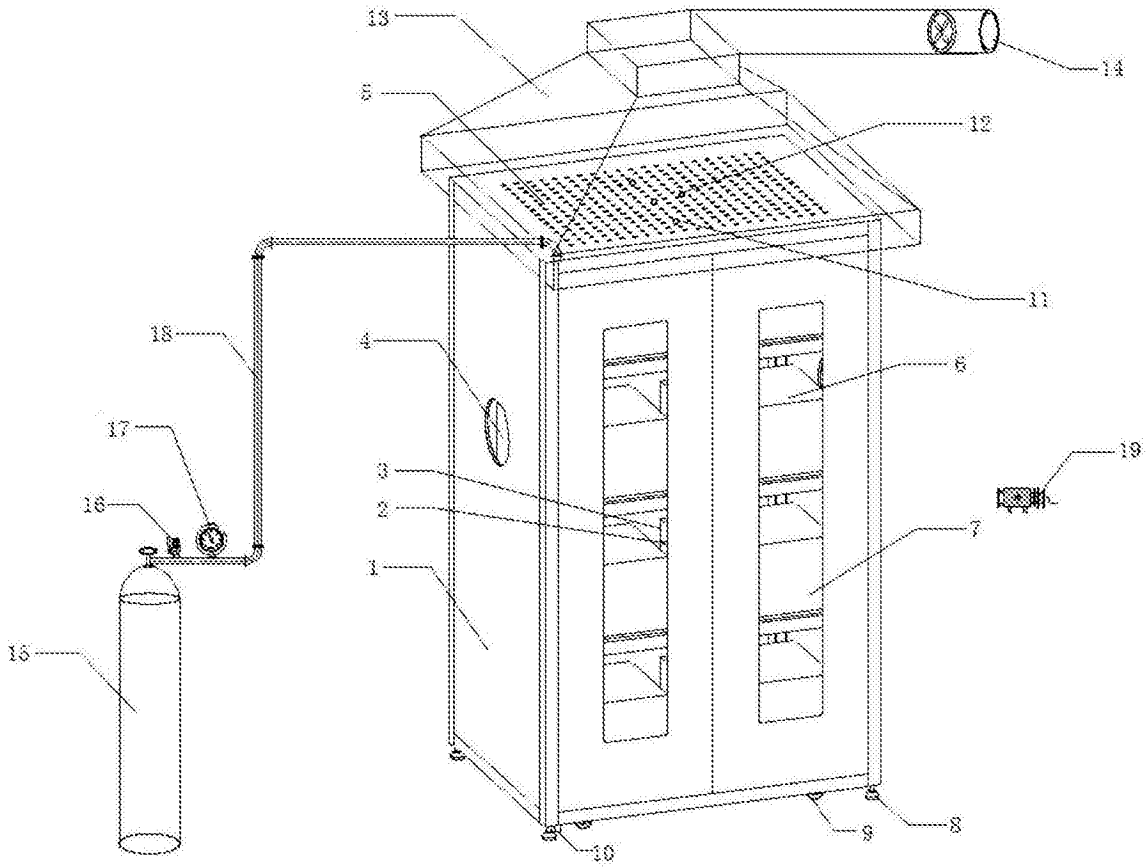


图1

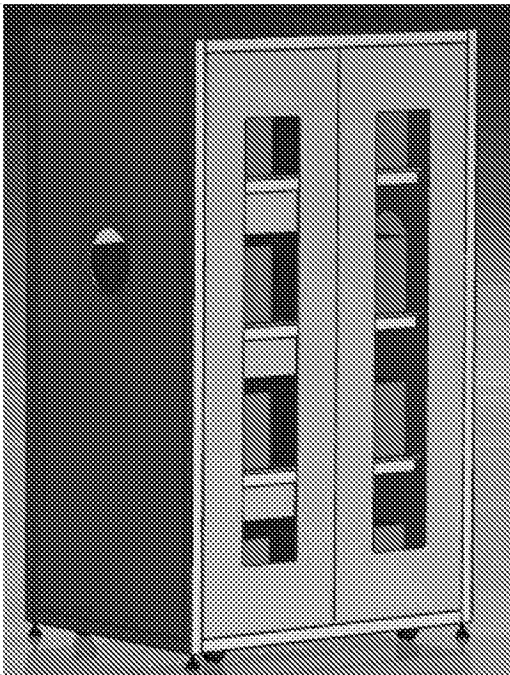


图2

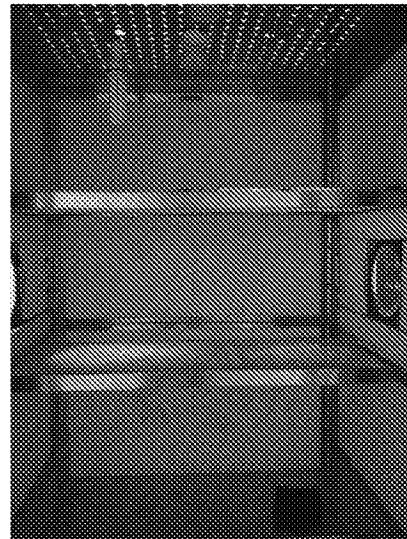
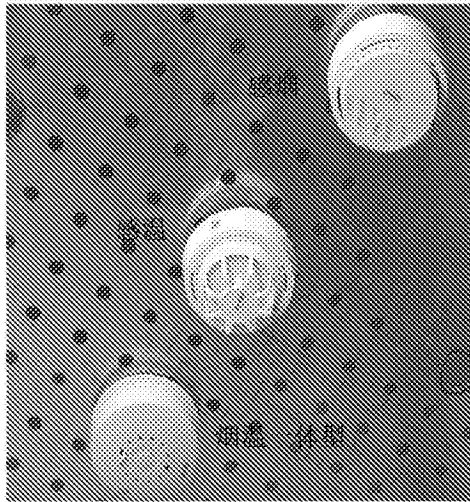


图3



单位: mm

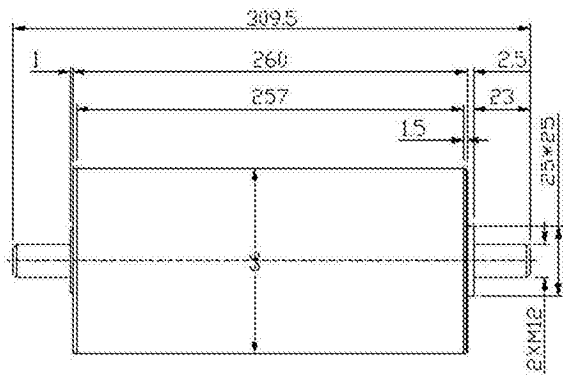
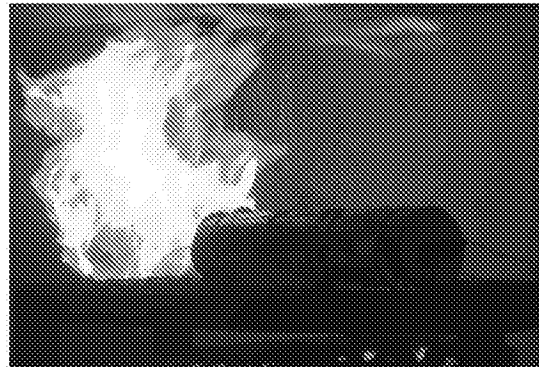


图4

图5



(a)



(b)



(c)



(d)

图6

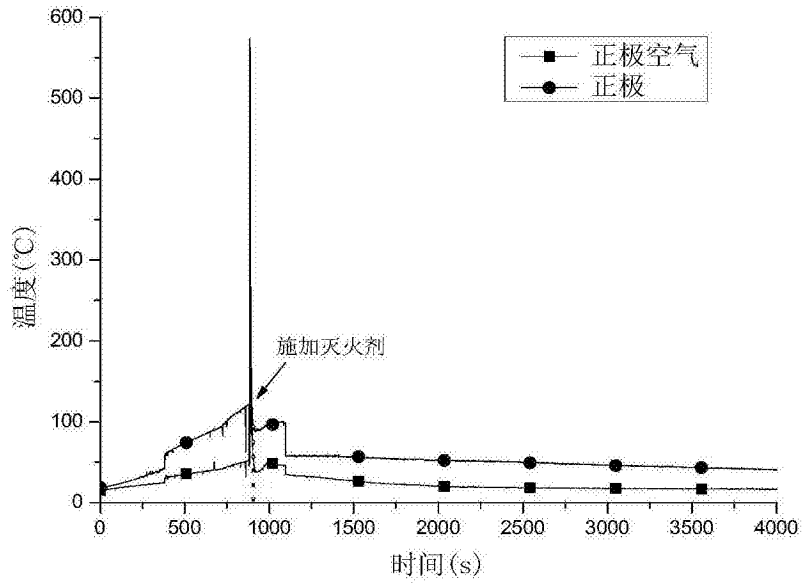


图7

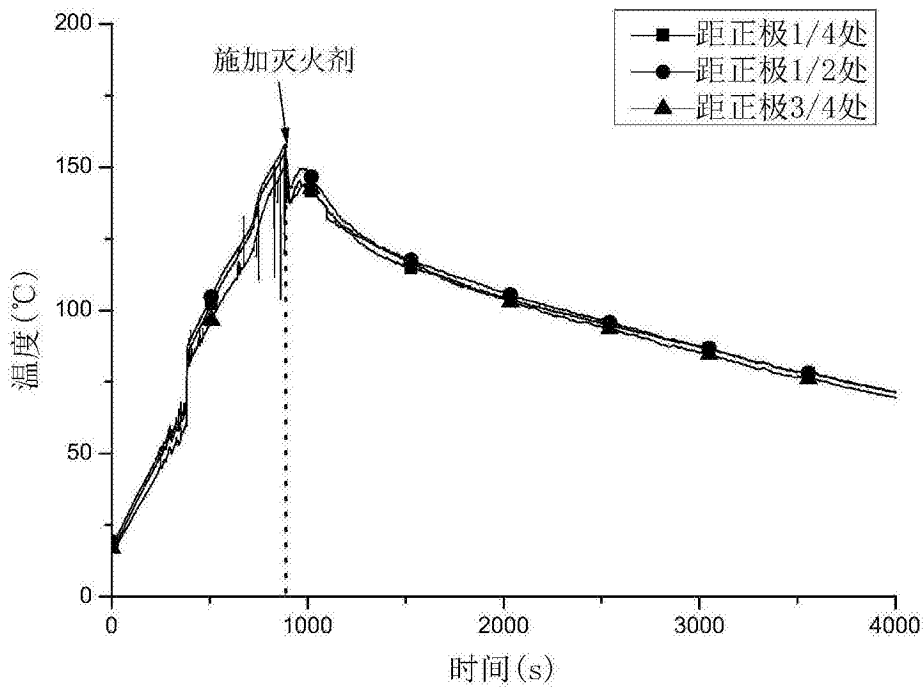


图8

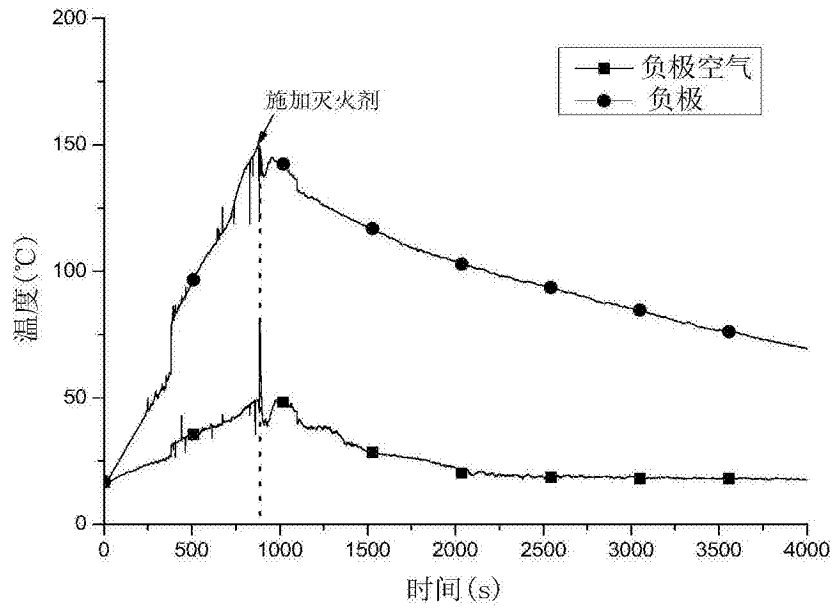


图9