

# 团 体 标 准

T/CAPSA XXXX—XXXX

## 超分子烃类灭火剂技术规范

Technical specification for supramolecular hydrocarbon fire  
extinguishing agents

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

公共安全科学技术学会 发布

目 次

前 言 ..... II

引 言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 技术要求 ..... 1

    4.1 理化性能 ..... 1

    4.2 灭火性能 ..... 2

5 试验方法 ..... 2

    5.1 一般规定 ..... 2

    5.2 取样 ..... 2

    5.3 酸度的测定 ..... 2

    5.4 水分的测定 ..... 3

    5.5 蒸发残留物的测定 ..... 3

    5.6 悬浮物或沉淀物的测定 ..... 3

    5.7 绝缘电阻的测定 ..... 3

    5.8 毒性的测定 ..... 3

    5.9 灭火性能的测定 ..... 3

附录 A（规范性）灭火能力的测定 ..... 4

参 考 文 献 ..... 9

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由公共安全科学技术学会提出。

本文件由公共安全科学技术学会归口。

本文件起草单位：清华大学合肥公共安全研究院、清华大学。

本文件主要起草人：刘凯，刘昊，罗振军，聂士斌，张菡欣，程节旺，李蒙，杜春毅，付明，周扬，苏国锋，袁宏永

## 引 言

锂电池因其高能量密度而被广泛应用于便携式电子设备、电动汽车、电动自行车、电动工具、储能系统等领域，已成为推动科技进步和能源转型的新电池品种。锂电池在使用过程中，在过充、过放、短路、高温等异常情况下可能引发热失控，进而导致火灾甚至爆炸，对人员生命和财产安全造成巨大威胁。由于锂电池火灾特殊的化学反应机制，存在着灭火困难、易复燃、危险性大等特点，难以通过传统的消防灭火措施进行扑灭。

超分子烃类灭火剂具有高绝缘、高阻燃的特性，能够快速抑制锂电池电动自行车、工商业储能及电化学储能舱的火灾，并有效防止复燃，同时具备极佳的环境友好性。本文件旨在规范超分子烃类灭火剂的技术要求，并明确其测试指标、要求与方法。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到ZL202410084071.8相关专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：刘凯

地址：北京市海淀区双清路30号清华大学

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

# 超分子烃类灭火剂技术规范

## 1 范围

本文件界定了超分子烃类灭火剂的术语和定义，规定了产品的技术要求，给出了试验方法。

本文件适用于锂电池电动自行车、工商业储能及电化学储能舱火灾，以及锂电池生产、储存、运输场景消防灭火使用的超分子烃类灭火剂。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 601 化学试剂 标准滴定溶液的制备
- GB/T 603 化学试剂 试验方法中所用制剂及制品的制备
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 5907.1 消防词汇 第1部分：通用术语
- GB/T 6681 气体化工产品采样通则
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 7376 工业用氟代烷烃中微量水分的测定
- GB 21216 绝缘液体 测量电导和电容确定介质损耗因数的试验方法
- GB/T 21603 化学品急性经口毒性试验方法
- GB/T 21605 化学品急性吸入毒性试验方法
- GB/T 32710.1 环境试验仪器及设备安全规范
- GB 35373 氢氟烃类灭火剂

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**超分子烃类灭火剂** technical specification for supramolecular hydrocarbon fire extinguishing agents

以有机烃类化合物为构筑单元，通过分子间非共价相互作用（如氢键、 $\pi$ - $\pi$ 堆积、静电作用等）自组装形成的、具有特定超分子结构和稳定理化性质，且适用于扑救锂电池火灾的灭火制剂。

### 3.2

**Pack 级火灾** pack-level fire

电池Pack包内部一个或多个电芯发生热失控所引发的火灾。

### 3.3

**簇级火灾** rack-level fire

电池簇内部一个或多个电池Pack中的电芯发生热失控所引发的火灾。

### 3.4

**舱级火灾** container-level fire

储能舱内部一个或多个电池簇中的电芯发生热失控所引发的火灾。

## 4 技术要求

### 4.1 理化性能

超分子烃类灭火剂应符合表1所示的技术要求。

表1 理化性能技术要求

| 项目         |                           | 指标                     |
|------------|---------------------------|------------------------|
| 酸度/(mg/kg) |                           | ≤3                     |
| 水分/(mg/kg) |                           | ≤10                    |
| 蒸发残留物/%    |                           | ≤0.01                  |
| 悬浮物或沉淀物    |                           | 无混浊或沉淀物                |
| 绝缘电阻/(MΩ)  |                           | ≥70.0                  |
| 毒性         | 麻醉性                       | 无麻醉症状和特征               |
|            | 刺激性                       | 无刺激症状和特征               |
|            | 急性吸入毒性, mg/m <sup>3</sup> | LC <sub>50</sub> ≥5000 |
|            | 急性经口毒性, mg/kg             | LD <sub>50</sub> ≥5000 |

4.2 灭火性能

根据不同锂电池应用场景及火灾等级，其对应灭火剂灭火能力要求见表2。

表2 灭火能力技术要求

| 应用场景       | 火灾等级  | 灭火时间(s) | 复燃              |
|------------|-------|---------|-----------------|
| 工商储、电化学储能舱 | Pack级 | ≤10     | 明火扑灭后，24h内全程无复燃 |
|            | 簇级    | ≤20     | 明火扑灭后，24h内全程无复燃 |
|            | 舱级    | ≤30     | 明火扑灭后，24h内全程无复燃 |
| 电动自行车      | ——    | ≤15     | 明火扑灭后，24h内全程无复燃 |

5 试验方法

5.1 一般规定

试验方法规定的一些试验过程可能导致危险情况，操作者应采取适当的安全和健康防护措施，均按GB 2894、GB/T 32710.1的规定实行。

本文件所用试剂和水在没有注明其他要求时，均指分析纯试剂和GB/T 6682中规定的三级水。

试验中所用标准溶液，在没有注明其他要求时，均按GB/T 601、GB/T 603的规定制备。

5.2 取样

5.2.1 取样钢瓶的处理方法

依据GB/T 6681中的规定，对取样钢瓶的处理方法进行细化。

取样钢瓶在第一次使用前，需用水和适当的溶剂（如乙醇或丙酮）洗涤。洗净后，在105℃-110℃电热鼓风干燥箱内烘3 h-4 h，趁热将钢瓶抽真空至绝对压力不高于1.3 kPa，并在此压力下保持1 h-2 h，然后关闭钢瓶阀门以备取样。

在以后的每次取样前，应把钢瓶中残留的超分子烃类灭火剂样品放空，仍然在1.3 kPa条件下抽真空1 h，再灌入少量的准备要取的超分子烃类灭火剂，继续在1.3 kPa条件下抽真空1 h以保持取样钢瓶的清洁和干燥。

5.2.2 取样方法

用一根干燥的不锈钢细管连接在超分子烃类灭火剂钢瓶的出口阀上，不锈钢细管要尽可能短，稍稍开启钢瓶阀门，放出超分子烃类灭火剂，冲洗阀门及连接管1 min，然后将连接管的末端迅速与取样钢瓶阀门紧密连接。把取样钢瓶放在天平上（必要时，取样钢瓶可浸在冰盐浴中），将超分子烃类灭火剂钢瓶的出口阀门打开，打开取样钢瓶阀门，使超分子烃类灭火剂灌入其中。从天平指示出的重量变化来确定灌入样品的重量。取样结束后，先关闭取样钢瓶阀门，然后再关闭灌装超分子烃类灭火剂的钢瓶阀门，拆除连接管。

5.3 酸度的测定

酸度的测定按GB 35373的规定方法进行。

取2次平行测定结果的算术平均值为测定结果，2次平行测定结果的绝对差值不大于这2个测定值的算术平均值的30%。

#### 5.4 水分的测定

水分的测定按GB/T 7376的规定方法进行。

取2次平行测定结果的算术平均值为测定结果，2次平行测定结果的绝对差值不大于2.0 mg/kg。

#### 5.5 蒸发残留物的测定

蒸发残留物的测定按GB 35373的规定方法进行。

#### 5.6 悬浮物或沉淀物的测定

悬浮物或沉淀物的测定按GB 35373的规定方法进行。

#### 5.7 绝缘电阻的测定

绝缘电阻根据GB 21216绝缘液体测量电导和电容确定介质损耗因数的试验方法规定进行测定。

取2次平行测定结果的算术平均值为测定结果。

#### 5.8 毒性的测定

##### 5.8.1 麻醉性

麻醉性的测定按GB 35373的毒性规定方法进行。

##### 5.8.2 刺激性

刺激性的测定按GB 35373的毒性规定方法进行。

##### 5.8.3 急性经口毒性

急性经口毒性按GB/T 21603规定方法进行。

##### 5.8.4 急性吸入毒性

急性吸入毒性按GB/T 21605规定方法进行。

#### 5.9 灭火性能的测定

根据附录A所示的试验方法，对超分子烃类灭火剂灭火能力进行测定。

附录 A  
(规范性)  
灭火能力的测定

A.1 试验环境

环境相对湿度小于90%、温度0-35 ℃。  
试验环境应符合下列要求：  
——试验场所应用可靠有效的通风措施，防止可燃气体的积聚。  
——试验场所应具有有效的消防和应急设施。

A.2 试验设备

灭火能力测定的试验设备清单见表A.1。

表A.1 设备清单

| 序号                                                               | 设备名称        | 型号              | 数量  | 要求说明                                                                               |
|------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                | 舱内探测器       | KS200-B         | 8   | 5合1（集感烟+感温+一氧化碳+挥发性有机物+氢气或电解液泄露气体于一体）                                              |
| 2                                                                | 包内探测器       | KS110-C、KS200-B | 2+2 | 4合1（集感烟+感温+一氧化碳+挥发性有机物于一体）、5合1（集感烟+感温+一氧化碳+挥发性有机物+氢气或电解液泄露气体于一体）                   |
| 3                                                                | 总线隔离器       | KS760-C         | 2   | /                                                                                  |
| 4                                                                | 电化学储能火灾抑制装置 | KS600-A         | 2   | 用于整个消防系统消防控制监控与“BMS-消防系统”联合防控策略验证                                                  |
| 5                                                                | 点火装置        | /               | 4   | 用于给电池包进行点火，触发火情                                                                    |
| 6                                                                | 专用测试舱体      | 20寸             | 1   | 长宽高：5.91m×2.2m×2.6m                                                                |
| 7                                                                | 充电桩         | /               | 1   | DC3-100V/0-300A（一种三相输入、0-100V/0-300A可调工业直流充电桩，适用于PACK/簇级电池充电、过充触发试验、电动自行车电池模拟等场景。） |
| 8                                                                | 加热板         | /               | 3   | 2000W                                                                              |
| 9                                                                | BMS系统       | 高特              | 1   | 用于被测电池电压等参数实时监控，8节电芯                                                               |
| 10                                                               | 远程摄像头       | /               | 3   | 舱内2个、舱外1个                                                                          |
| 11                                                               | 温度采集器       | /               | 1   | 需配套较长耐温、耐燃热偶线最少5根，且带有配套的上位机控制软件                                                    |
| 12                                                               | 待测电池包（包含电芯） | /               | 8   | 用于A.3.2.1试验                                                                        |
| 13                                                               | 电池插箱        | /               | 1   | 用于A.3.2.2试验                                                                        |
| 14                                                               | 电芯          | /               | 9   | 用于A.3.2.2试验                                                                        |
| 15                                                               | 模拟电芯        | /               | 15  | 用于A.3.2.2试验                                                                        |
| 16                                                               | 锂电池电动自行车    | 48V25Ah磷酸铁锂电池   | 3   | 用于A.3.2.4试验                                                                        |
| 17                                                               | 储压灭火装置      | 超分子烃类灭火剂        | 2   | 45kg、仓内单包灭火                                                                        |
| 18                                                               | 储压灭火装置      | 超分子烃类灭火剂        | 2   | 45kg、仓内簇级包内灭火                                                                      |
| 19                                                               | 电子秤         | /               | 1   | 实时监控药剂重量                                                                           |
| 20                                                               | 安全保护设施      | /               | 1   | 消防器材等                                                                              |
| 注：其它设备主要包含：舱级喷头、包级喷头、压力表、无缝钢管（18mm）、高压软管、不同规格转接头、管钳、剥线钳、双面胶、电钻等。 |             |                 |     |                                                                                    |

A.3 试验方案及验证

A.3.1 试验要求

超分子烃类灭火剂灭火能力的测定应满足以下试验要求：  
——试验准备过程中不得破坏电池模块内部电池单体的串并联连接方式。试验前，可在电池模块箱体左侧设置观察口。  
——要求试验方案 A.3.2.1、A.3.2.4 被测电芯测试前处于 100%SOC 状态，其它电芯测试前低于 40%SOC，其它电芯还包括若干模拟电芯；要求试验方案 A.3.2.2、A.3.2.3 被测电芯测试前



- 处于 80%SOC 状态，其它电芯测试前低于 40%SOC，另要求充电过程中被测电池包内所有的电芯均处于被充电状态。
- 试验舱内布置摄像头数量不小于 2，应从多个角度实时监控试验环境变化情况。
  - 温度测量设备：宜选用 K 型热电偶，测量电池表面温度的热电偶用铝箔胶带固定，测量外壳温度的热电偶用铝箔胶带或螺钉压紧固定，以保证测量端与壳体紧密接触；温度采集频率不小于 1 s。
  - 确保试验过程中能够点火成功，要求点火装置尽量靠近可燃气体释放口，每次试验放置点火装置 2 个。

A.3.2 试验方案

结合实际的应用场景制定的试验方案见表 A.2。

表A.2 试验方案

| 方案            | 目的                                   | 灭火装置   | 药剂       | 药剂重量  | 气管道内径 | 气喷头   | 引燃方式 | 喷洒方式           | 消防控制设备  | 备注                                                                   |
|---------------|--------------------------------------|--------|----------|-------|-------|-------|------|----------------|---------|----------------------------------------------------------------------|
| 方案<br>A.3.2.1 | 验证超分子烃类灭火剂应用于工商储/电化学储能舱内Pack级火灾的灭火效果 | 储压灭火装置 | 超分子烃类灭火剂 | 45 kg | 18 mm | Z字形喷头 | 加热   | 手动喷洒，直至灭火，停止喷洒 | KS600-A | 舱级探测器（KS200-B） 4个<br>包级探测器（KS110-C、KS200-B） 共2个<br>总线隔离器（KS760-C） 1个 |
| 方案<br>A.3.2.2 | 验证超分子烃类灭火剂应用于工商储/电化学储能舱内簇级火灾的灭火效果    | 储压灭火装置 | 超分子烃类灭火剂 | 45 kg | 18 mm | Z字形喷头 | 过充   | 手动喷洒，直至灭火，停止喷洒 | KS600-A | 舱级探测器（KS200-B） 4个<br>包级探测器（KS110-C、KS200-B） 共2个<br>总线隔离器（KS760-C） 1个 |
| 方案<br>A.3.2.3 | 验证新超分子烃类灭火剂应用于电化学储能舱的舱级火灾的灭火效果       | 储压灭火装置 | 超分子烃类灭火剂 | 45 kg | 18 mm | Z字形喷头 | 过充   | 手动喷洒，直至灭火，停止喷洒 | KS600-A | 舱级探测器（KS200-B） 4个<br>包级探测器（KS110-C、KS200-B） 共2个<br>总线隔离器（KS760-C） 1个 |
| 方案<br>A.3.2.4 | 验证超分子烃类灭火剂应用于电动自行车火灾的灭火效果            | 储压灭火装置 | 超分子烃类灭火剂 | 45 kg | 18 mm | Z字形喷头 | 加热   | 手动喷洒，直至灭火，停止喷洒 | KS600-A | 锂电池电动自行车1辆<br>锂电池容量为48V25Ah<br>商业磷酸铁锂电池                              |

A.3.2.1 电池模块 Pack 级火灾抑制性能试验方法

如图1所示，要求过充电芯与包内喷头之间的距离做到最大；要求电池布置于电池箱内部，并在相应电池处安装加热装置；要求在被加热电池周围布置多个测温装置；要求插箱内布置至少2个探测器。要求试验用预制舱体尺寸、电池插箱结构尺寸和布置形式与实际工程保持一致；要求试验管路、喷头、探测装置布置位置与实际工程保持一致。该方案整体搭建示意如图2所示。

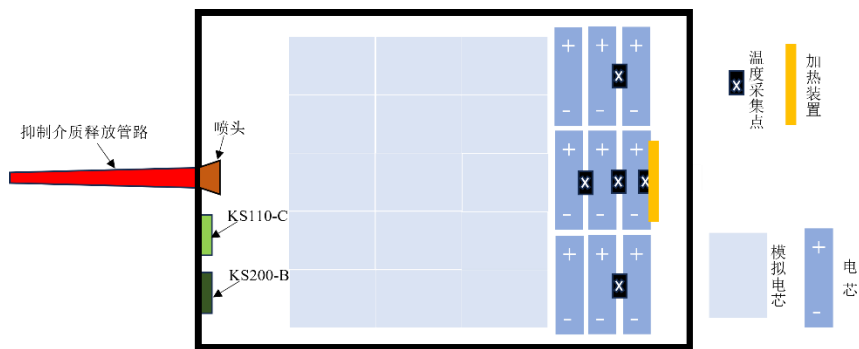


图1 Pack 级火灾灭火试验设置示意图

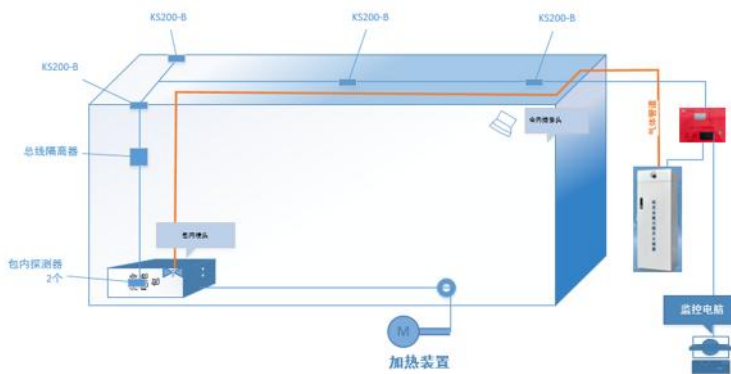


图2 Pack 级火灾消防系统示意图

- 试验步骤：
- 试验装置搭建好后，关闭舱体。
  - 设置消防主机（KS600-A）为手动喷洒模式。
  - 开始启动加热，设置加热板最高温度为 450 ℃。
  - 通过 BMS 系统/万用表实时监控/测量被加热电芯电压，当电压从 3.2 V 跌落至 2.0 V 以下，进行点火，引燃热失控气体后关闭加热装置。
  - 起火后持续观察，火情持续燃烧 2 min 内，手动启动火灾抑制装置，开始喷洒药剂。
  - 明火扑灭后随即关闭灭火装置停止喷洒药剂。
  - 关闭灭火装置后，10 min 内分别点火 3 次，每隔 3 min 点火 1 次，观察是否有复燃现象。
  - 观察 24 h，是否有复燃和爆炸现象。

A. 3. 2. 2 电池模块初期火灾抑制性能试验方法

如图3、4所示，要求过充电芯与包内喷头之间的距离做到最大；要求热偶线通过左侧开孔位，在过充电芯外壳以及相邻电芯外壳布置多个测温装置，监测与相邻位置处电池的温度；要求电池包内布置至少2个探测器。

要求试验用预置式舱箱体尺寸、电池簇支架的结构尺寸和布置形式应于实际工程保持一致；要求试验管路、喷头、探测装置布置同实际工程保持一致；要求整簇均为真电池包、真电芯；该方案舱体系统搭建如图5所示。

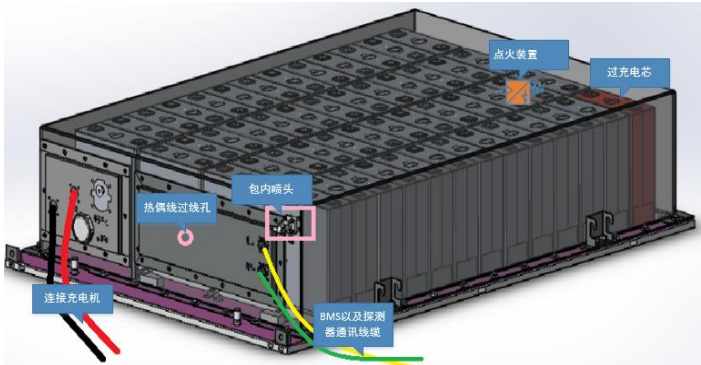


图3 簇级火灾灭火试验设置示意图

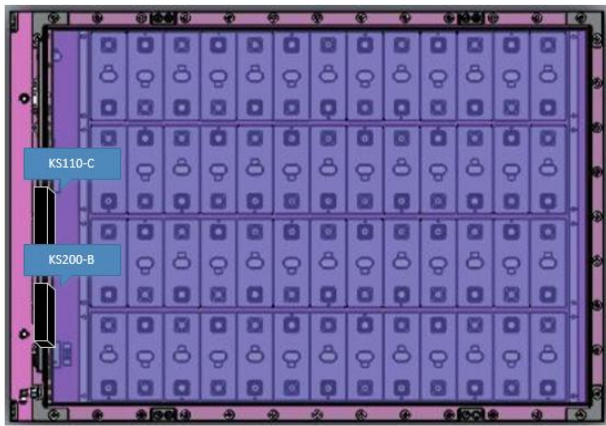


图4 Pack 电池包探测点位示意图

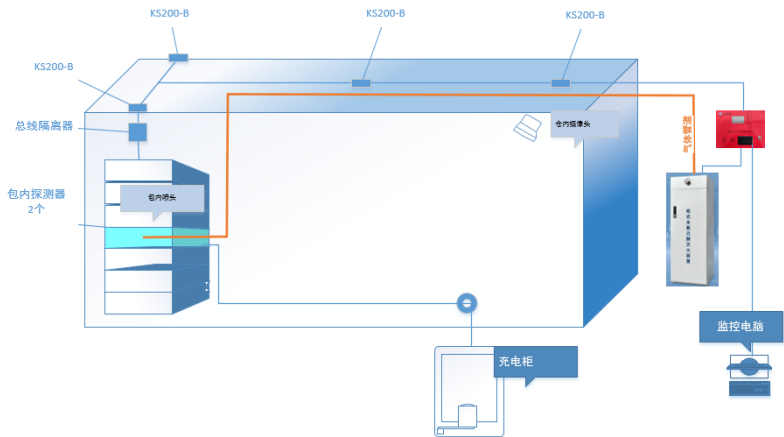


图5 簇级火灾消防系统示意图

- 试验步骤：
- 试验装置搭建好后，关闭舱体。
  - 设置消防主机（KS600-A）为手动喷洒模式。
  - 用充电柜给被测电池包进行充电，要求充电电流为 0.5 C，被测电芯出现热失控时开启点火（若点火失败每隔 10 s 进行 1 次点火直到点火成功），引燃可燃气体后停止充电。
  - 起火后持续观察，火情持续燃烧 2 min 内，手动启动火灾抑制装置，开始喷洒药剂。
  - 明火扑灭后随即关闭灭火装置结束药剂喷洒。
  - 10 min 内分别再点火 3 次，每隔 3 min 点火 1 次，观察复燃现象。
  - 观察 24 h 复燃和爆炸现象。

### A.3.2.3 电池模块舱级火灾抑制性能试验方法

储能舱设置3个或以上电池簇，电池簇之间的距离为0.5m。其中每个电池簇的设置与A.3.2.2中的电池簇设置保持一致。

试验步骤：

- 试验装置搭建好后，关闭舱体。
- 设置消防主机（KS600-A）为手动喷洒模式。
- 用充电柜对储能舱内两个不相邻的电池簇（中间间隔一个电池簇）中的被测电池包进行充电，要求充电电流为0.5 C，被测电芯出现热失控时开启点火（若点火失败每隔10 s进行1次点火直到点火成功），引燃热失控可燃气体后停止充电。
- 起火后持续观察，火情持续燃烧2 min内，手动启动火灾抑制装置，开始喷洒药剂。
- 明火扑灭后随即关闭灭火装置结束药剂喷洒。
- 10 min内分别再点火3次，每隔3 min点火1次，观察复燃现象。
- 观察24 h复燃和爆炸现象。

### A.3.2.4 电动自行车火灾抑制性能试验方法

采用常见的48V25Ah磷酸铁锂电池电动自行车整车，并参考A.3.2.1的测试方法进行试验。

试验步骤：

- 对电动自行车其中一块电芯进行加热，固定加热板。
- 设置消防主机（KS600-A）为手动喷洒模式。
- 开始启动加热，设置加热板最高温度为450 °C。
- 通过BMS系统/万用表实时监控/测量被加热电芯电压，当电压从3.2 V跌落至2.0 V以下，进行点火，引燃热失控气体后关闭加热装置。
- 起火后持续观察，火情持续燃烧2 min内，手动启动火灾抑制装置，开始喷洒药剂灭火。
- 明火扑灭后随即关闭灭火装置停止喷洒药剂。
- 关闭灭火装置后，10 min内分别点火3次，每隔3 min点火1次，观察是否有复燃现象。
- 观察24 h，是否有复燃和爆炸现象。

### 参 考 文 献

- [1] XF/T 636-2006 《气体灭火剂的毒性试验和评价方法》
  - [2] WHO/IPCS. The User's Manual for the IPCS Health and Safety Guides, 1996
  - [3] ZL202410084071.8 《一种电池灭火剂及其制备方法和应用》
-