

ICS 13.220.10
CCS C 83

JFPA

团 体 标 准

T/JFPA 0019—2025

储能电池用新型泡沫灭火剂测试方法

Test Method for New Foam Fire Extinguishing Agent
Used in Energy Storage Battery Fires

2025 - 12 - 25 发布

2025 - 12 - 25 实施

江苏省消防协会 发布

目次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号	2
4 分类	3
4.1 储能电池新型泡沫灭火剂	3
4.2 测试用电池的电压、容量	3
5 电池样本	3
5.1 样品综合要求	3
5.2 电池单体在额定功率条件下初始充放电性要求	3
5.3 电池模块在额定功率条件下初始充放电性能要求	4
5.4 电池簇在额定功率条件下初始充放电性能要求	4
6 样本初始化充放电	4
6.1 初始化充放电环境与试验线路连接要求	4
6.2 初始化充放电	5
7 灭火测试方法	6
7.1 仪器	6
7.2 储能电池单体灭火测试方法	6
7.3 储能电池模块灭火测试方法	7
7.4 储能电池簇灭火测试方法	8
8 灭火测试模型	8
8.1 储能电池单体测试模型	9
8.2 储能电池模块测试模型	9
8.3 储能电池簇测试模型	9
9 灭火系统参数	9
9.1 细水雾系统	9
9.2 便携式灭火器	10
9.3 新型泡沫灭火栓系统	10
10 燃烧总释放热测试方法	10
10.1 储能电池单体燃烧总释放热测试	10
10.2 储能电池模块燃烧总释放热测试	10
附录 A	12
A.1 灭火系统	12
A.2 灭火试验测试参数	13

前 言

本标准按照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。

本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由江苏省消防协会提出并归口。

本标准起草单位：中国矿业大学、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、徐州高新区安全应急装备产业技术研究院、深地科学与工程云龙湖实验室、江苏鸿鹄安全科技有限公司、徐州中矿消防安全技术咨询有限公司、深圳汉云安全科技有限公司。

本标准起草人：朱国庆、刘通、胡翔宇、孙蓉、肖鹏、郭东亮、董心同、王恩元、王勃，唐杰、王永生，贾赞翰、朱冠宇、陈南。

本标准系首次发布。

储能电池专用新型泡沫灭火剂测试标准

1 范围

本文件规定了磷酸铁锂储能电池（以下简称“储能电池”）新型泡沫灭火剂灭火测试电池样本、样本初始化充放电、灭火系统参数、灭火测试模型、燃烧总释放热测试方法、灭火测试方法和灭火测试判定方法的技术要求。

本文件适用于磷酸铁锂储能电池单体、模块及簇的新型泡沫灭火剂灭火有效性测试。

本文件不适用于动力电池及相关系统。

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 384 石油产品热值测定法
GB 4351 手提式灭火器
GB 15308 泡沫灭火剂
GB/T 36276 电力储能用锂离子电池
GB/T 42313 电力储能系统术语
GB 44240 电能存储系统用锂蓄电池和电池组 安全要求
GB 50898 细水雾灭火系统技术规范
DL/T 2528 电力储能基本术语
DB32/T 4682 预制舱式磷酸铁锂电池储能电站消防技术规范
ISO 9705 Fire tests—Full-scale room test for surface products

3 术语、定义和符号

GB/T 36276、GB/T 42313、GB 4351、GB 15308、GB 50898、DL/T 2528界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1 新型泡沫灭火剂 novel foam extinguishing agent

由水、气凝胶粉末、渗透剂、阻燃剂以及其他添加剂组成，以遇热后发泡形式灭火的泡沫灭火剂。本标准中的新型泡沫灭火剂仅适用于储能电池灭火。

3.1.2 燃烧总释放热 total heat released during combustion

在规定的测试条件下，一定质量或体积的材料完全燃烧（或发生氧化分解反应）过程中所释放出的总热量，单位通常为kJ/kg（质量基准）或kJ/m³（体积基准），是衡量材料燃烧放热特性的核心参数之一。

3.1.3 量热仪 calorimeter

一种测定物质反应热的仪器。

3.1.4 脉冲点火器 pulse igniter

一种利用脉冲原理产生阶段性瞬间电火花，从而点火的电子产品。

3.1.5 储能电池模块框架 energy storage battery module framework

完整储能电池模块除去所有电池单体的其余部分。

3.1.6 火焰自熄时间 flame self extinguishing time

在规定的试验条件下，移除火源后样本自行停止燃烧（无明火、无冒烟）所需的时间。

3.1.7 加热装置 heating device

具有明确功率可实现电池单体外部加热的装置。

3.1.8 热失控触发对象 thermal runaway trigger object

储能电池模块中通过外部加热或过充的方式第一个触发热失控的电池单体。

3.1.9 电池单体 battery cell

电池单体是构成电池模组、电池包的最小独立电化学单元，由正极、负极、电解质、隔膜及外壳等核心部件组成，能够独立实现电能与化学能的相互转换。

3.1.10 电池模块 battery module

由多个电池单体按照一定的串并联方式组合，搭配汇流排、固定支架、采样线束、绝缘件、冷却部件等辅助组件，形成的具备独立电能输出能力的电池集合单元。

3.1.11 电池簇 battery cluster

由多个电池包按照特定的串并联拓扑结构组合而成，配备簇级管理单元（BCU）、汇流设备、保护装置及通信组件，能够实现独立运行、监控和调度的储能电池单元。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

E_{rd} : 额定放电能量, 电池单体的单位为W·h, 电池模块的单位为kW·h, 电池簇的单位为kW·h或MW·h, 数值小数点后位数不超过2位。

N_c : 储能电池模块内电池单体总数量。

P_{rc} : 额定充电功率, 电池单体的单位为W, 电池模块的单位为kW, 电池簇的单位为kW或MW, 数值小数点后位数不超过2位。

P_{rd} : 额定放电功率, 电池单体的单位为W, 电池模块的单位为kW, 电池簇的单位为kW或MW, 数值小数点后位数不超过2位。

Q_c : 储能电池单体燃烧总释放热, 单位为kJ, 数值小数点后位数不超过2位。

Q_{fra} : 储能电池模块框架燃烧总释放热, 单位为kJ, 数值小数点后位数不超过2位。

Q_{tot} : 储能电池模块燃烧总释放热, 单位为kJ, 数值小数点后位数不超过2位。

U_{nom} : 标称电压, 单位为V, 数值小数点后位数不超过2位。

4 分类

4.1 储能电池新型泡沫灭火剂

储能电池新型泡沫灭火剂灭火测试应按照储能电池样本分为单体级、模块级和簇级三种。不同层级的灭火测试效果不可互相替代。

4.2 测试用电池的电压、容量

以储能电池样本为准。

5 电池样本

5.1 样品综合要求

测试所使用的储能电池单体、模块和簇测试样, 应为通过GB/T 36276测试要求, 且出具检测检验合格报告, 安全性不低于GB/T 36276要求的能量型电池单体、模块和簇, 且模块内电池单体之间不应设置隔热材料, 模块内电池单体应互相紧密贴邻。

5.2 电池单体在额定功率条件下初始充放电性要求

初始充电能量不小于额定充电能量;

初始放电能量不小于额定放电能量;

5 °C条件下初始充放电能量效率不小于80.0%;

- 25 ° C条件下初始充放电能量效率不小于93.0%;
- 45 ° C条件下初始充放电能量效率不小于93.0%;
- 25 ° C条件下初始充电能量极差不大于初始充电能量平均值的4.0%;
- 25 ° C条件下初始放电能量极差不大于初始放电能量平均值的4.0%。

5.3 电池模块在额定功率条件下初始充放电性能要求

- 初始充电能量不小于额定充电能量;
- 初始放电能量不小于额定放电能量;
- 5 ° C条件下初始充放电能量效率不小于85.0%;
- 25 ° C条件下初始充放电能量效率不小于94.0%;
- 45 ° C条件下初始充放电能量效率不小于94.0%;
- 25 ° C条件下初始充电能量极差不大于初始充电能量平均值的4.5%;
- 25 ° C条件下初始放电能量极差不大于初始放电能量平均值的4.5%。

5.4 电池簇在额定功率条件下初始充放电性能要求

- 初始充电能量不小于额定充电能量;
- 初始放电能量不小于额定放电能量;
- 初始充放电能量效率不小于95.0%;
- 充电结束时电池单体电压极差不大于250 mV;
- 放电结束时电池单体电压极差不大于300 mV;
- 充电结束时电池单体温度极差不大于6 ° C;
- 放电结束时电池单体温度极差不大于6 ° C;
- 充电结束时电池模块电压极差不大于电池模块标称电压的5.0%;
- 放电结束时电池模块电压极差不大于电池模块标称电压的5.0%。

6 样本初始化充放电

6.1 初始化充放电环境与试验线路连接要求

6.1.1 适宜初始化环境

大气压力86 ~ 106 kPa, 环境温度15 ° C ~ 40 ° C, 相对湿度≤ 80%。

6.1.2 电池单体试验线路连接规定

- a) 根据试验温度、湿度以及电池单体尺寸、电压、功率等参数选择试验设备；
- b) 电池单体正负极与试验设备通过输入输出线缆连接，形成电流回路；
- c) 电池单体正负极与试验设备通过电压数据采样线连接，形成电压数据采集回路；
- d) 电池单体温度采样点与试验设备通过温度数据采样线连接，形成温度数据采集回路，对不使用夹具的检验项目，电池单体的温度采样点为电池单体表面面积较大的平面中心位置，对使用夹具的检验项目，电池单体的温度采样点为电池单体侧面中心位置。

6.1.3 电池模块试验线路连接规定

- a) 根据试验温度、湿度以及电池模块尺寸、电压、功率等参数选择试验设备；
- b) 电池模块正负极与试验设备通过输入输出线缆连接，形成电流回路；
- c) 电池模块和电池单体的正负极与试验设备通过电压数据采样线连接，形成电压数据采集回路；
- d) 电池模块温度采样点与试验设备通过温度数据采样线连接，形成温度数据采集回路，电池模块温度采样点包括电池模块正极汇流排、负极汇流排的固定采样点和不少于2个有代表性的随机采样点；
- e) 采用液体冷却方式的电池模块，初始化充放电过程中液冷系统可工作，灭火测试前放空冷却液。

6.1.4 电池簇试验线路连接规定

- a) 根据试验温度、湿度以及电池簇尺寸、电压、功率等参数选择试验设备；
- b) 电池簇正负极与试验设备通过输入输出线缆连接，形成电流回路；
- c) 试验设备与电池簇的电池管理系统通过通信线连接，形成控制保护回路；
- d) 电池簇、电池模块和电池单体的正负极与试验设备通过电压数据采样线连接，形成电压数据采集回路；
- e) 电池簇温度采样点与试验设备通过温度数据采样线连接，形成温度数据采集回路。

6.2 初始化充放电

6.2.1 电池单体初始化充放电步骤

- a) 按照试验线路连接要求将试验样品放置于环境模拟装置内并与充放电装置连接；
- b) 设置环境模拟装置温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 在 $(25 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置5 h，静置时间需保持准确一致；
- d) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池单体放电截止条件，静置10 min，静置时间需保持准确一致，记录功率、时间、电压、温度、充电能量；

e) 以 P_{tc} 恒功率充电至电池单体充电截止条件, 静置10 min, 记录功率、时间、电压、温度、放电能量;

f) 初始化充放电结束。

6.2.2 电池模块初始化充放电步骤

a) 按照试验线路连接要求将试验样品放置于环境模拟装置内并与充放电装置连接;

b) 设置环境模拟装置温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$;

c) 在 $(25 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置5 h;

d) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池模块放电截止条件, 静置10 min, 记录功率、时间、电压、温度、充电能量;

e) 以 P_{tc} 恒功率充电至电池模块充电截止条件, 静置10 min, 记录功率、时间、电压、温度、放电能量;

f) 初始化充放电结束。

6.2.3 电池簇初始化充电步骤

a) 按照试验线路连接要求将试验样品与充放电装置连接;

b) 以 P_{rd} 恒功率放电至电池簇放电截止条件, 静置 10 min, 记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、放电能量;

c) 以 P_{tc} 恒功率充电至电池簇充电截止条件, 静置10 min, 记录功率、时间、电压、电流、温度、电池模块电压极差、电池单体电压极差、电池单体温度极差、充电能量;

f) 初始化充放电结束。

7 灭火测试方法

7.1 灭火测试所使用的仪器、测试环境和具体测试方法应满足要求。

7.2 仪器

测试用仪器和设备应满足以下要求:

a) 秒表: 测量精度不低于 $\pm 0.1\text{ s}$;

b) K型热电偶: 直径为 1.0 mm , 测量范围 $0 \sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, 精度不低于 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

c) 充放电装置: 电压测量精度不低于 $\pm 0.5\% \text{ F.S.}$, 电流测量精度不低于 $\pm 0.5\% \text{ F.S.}$, 功率测量精度不低于 $\pm 0.5\% \text{ F.S.}$;

- d) 风速仪：精度不低于± 0.3 m/s；
- e) 温度计：测量范围- 20 ~ 40 ° C，精度不低于± 0.5 ° C；
- f) 湿度计：测量范围0 ~ 100%，精度不低于± 2%；
- g) 气压计：精度不低于± 0.1 kPa；
- h) 压力计：精度不低于± 0.5% F. S.；
- i) 电子秤：分辨率不低于0.1 g，精度不低于± 0.5% F. S.；
- j) 热流计：应采用水冷热电堆式热流计，精度不低于± 3% F. S.。
- k) 环境模拟装置：温度范围- 40 ~ 100 ° C，精度不低于± 1 ° C，温度波动度± 1 ° C，温度均匀度≤ 2 ° C，相对湿度范围10 ~ 98%，精度不低于± 2%。
- l) 脉冲点火器：点火电压应不小于5 kV，电流应不小于10 mA，应能保证引燃电池热失控产生的气体，接触火焰部分耐高温不低于1000 ° C。

测试数据（如电压、温度等）的记录间隔不应大于1 s。

注：F. S. 为满量程（full scale）

7.3 储能电池单体灭火测试方法

电池单体热失控灭火测试按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化充放电的测试样品置于热失控测试模型中。
- b) 以 $I = P_{rc}/U_{nom}$ 恒流充电，启动加热，记录时间、电压、电流、温度、温升速率，记录测试过程现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸、外壳破裂及破裂位置。
- c) 当安全阀打开后5 s内，点燃电池火焰并保持脉冲点火器持续开启。
- d) 当发生热失控时停止触发，关闭加热及充放电装置并即开始灭火，灭火时应使喷头/喷枪完全开启并连续喷射，操作者的任何部位不应触及模型。
- e) 明火扑灭1 h内，每隔3 min启动脉冲点火器点火一次。
- f) 灭火停止时间见本标准10.6对应内容。
- g) 记录测试结果及灭火剂用量。

7.4 储能电池模块灭火测试方法

电池模块热失控灭火测试按照下列步骤进行：

- a) 将完成了初始化充放电的测试样品置于热失控测试模型中。
- b) 以触发对象的额定功率与其标称电压的比值作为电流值对触发对象进行恒流充电，记录触发对

象的时间、电压、电流、温度、温升速率，记录监测对象的时间、电压、温度、温升速率，记录测试过程现象，包括膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸。

c) 当电池模块内未触发热失控的电池单体数量减少到总数量的 55%时，且火焰持续燃烧时长超过 3 min，则预燃结束，在此期间若火焰熄灭则通过相同方式重新点燃，并重新计时火焰持续燃烧时长，直至超过 3 min。

d) 预燃结束后即开始灭火，灭火时应使喷头/喷枪完全开启并连续喷射，操作者的任何部位不应触及模型。

e) 明火扑灭 1 h 内，每隔 3 min 使用脉冲点火器在电池模块泄压阀处点火一次。

f) 灭火停止时间见本标准 10.6 对应内容。

g) 记录测试结果及灭火剂用量。

7.5 储能电池簇灭火测试方法

电池簇热失控灭火测试按照下列步骤进行：

a) 将完成了初始化充放电的测试样品置于热失控测试模型中。

b) 在引燃盘内先倒入深度为 30 mm 清水，再加入规定量的车用汽油。将引燃盘放入电池簇的正下方。

c) 点燃汽油，等待预燃结束，预燃结束时间为电池簇最底层模块内未触发热失控的电池单体数量减少到总数量的 55%时，且火焰持续燃烧时长超过 3 min：

1) 若引燃盘内汽油在预燃结束时仍未燃尽，则立即使用便携式灭火器将引燃盘内火焰熄灭，期间操作者和灭火器的任何部位不应触及模型，且灭火过程不应波及电池簇。

2) 除 1) 所述情形外，在预燃期间若火焰熄灭则通过外部引燃重新点燃火焰，并重新计时火焰持续燃烧时长，直至超过 3 min。

8 灭火测试模型选择

8.1 储能电池单体测试模型

测试模型依据电池种类应满足 GB/T 36276 中 6.7.4.2.1 对加热部件及温度传感器的要求，且应将测试模型固定，使储能电池单体在测试过程中位置保持恒定。将电池单体正负极柱与充放电装置连接，并将加热部件及温度传感器布置于测试样品表面。电池单体安全阀正上方 1 cm 处固定耐高温脉冲点火器，电池单体四周水平距离 3 m、垂直距离 1 m 处各设置一热流计正对电池安全阀。

表1 灭火测试模型加热及采样要求

测试样品额定放电能量 (E_{rd})W·h	加热部件功率W	加热部件形状及布置位置	温度传感器布置位置
$E_{rd} < 50$	250	片状，布置于试验样品面积较大的平面，尺寸不大于被加热面尺寸	布置于被加热面对侧中心位置
$5 \leq E_{rd} < 100$	450		
$100 \leq E_{rd} < 400$	650		
$400 \leq E_{rd} < 800$	800		
$800 \leq E_{rd} < 1000$	1000		
$E_{rd} \geq 1000$	> 1000		

8.2 储能电池模块测试模型

测试模型由平放在金属支架上（或其他类似的支架上）的一个储能电池模块和支架上方的灭火剂喷口及输运管道构成，支架高为 400 ± 10 mm。以电池模块中心位置电池单体或最小并联单元为热失控触发对象，将其正负极柱与充放电装置连接，并保持热失控触发对象与相邻电池单体的电气连接。以模块内其余电池单体为热失控监测对象，将温度传感器布置于监测对象远离触发对象一侧的中心位置或监测对象正负极柱所在表面且与正负极柱等距的位置，所连接线缆应保证在不大于电池单体能持续工作的最大电流下恒流充电不熔化不起火。电池模块四周水平距离3 m、垂直距离1 m处各设置一热流计正对电池模块。

8.3 储能电池簇测试模型

测试模型由电池簇、架在电池簇下方的金属垫高支架、电池簇上方的灭火剂喷口及输运管道和支架下方的正方形金属制的引燃盘构成，支架高为 400 ± 10 mm。使用汽车用汽油引燃储能电池簇试验模型，汽车用汽油放入引燃盘内，燃油量根据该储能电池模块火灾荷载计算公式与汽油热值换算得出，引燃盘尺寸符合GB 4351第7.6.2.2条与引燃油量的对应关系。汽油热值应通过GB/T 384规定的量热计氧弹法测量得出。电池簇四周水平距离3 m、垂直距离1 m处各设置一热流计正对电池簇。

9 灭火系统参数确定

储能电池新型泡沫灭火剂灭火测试，应基于新型泡沫灭火剂施加特性，选择细水雾系统、便携式灭火器和泡沫灭火系统，并确定适用参数。

9.1 细水雾系统

喷头的工作压力不小于10 MPa，系统的最小喷雾强度不小于1 L/min·m²，喷雾应覆盖储能电池单体、模块、簇除底面的所有外表面，喷头类型、布置方式、角度等系统设计尚应符合现行国家标准GB 50898的有关规定。

9.2 便携式灭火器

便携式灭火器的最小有效喷射时间不低于13 s，充装量应为6 L或9 L，灭火器尚应符合现行国家标准GB 4351的有关规定。在储能电池簇灭火测试中不应使用本方式灭火。

9.3 新型泡沫灭火栓系统

泡沫枪入口压力为0.63 MPa，流量为11.4 L/min，泡沫混合液连续供给时间不低于实际灭火测试时间，泡沫枪对应系统设计尚应符合现行国家标准GB 15308的有关规定。在储能电池簇灭火测试中泡沫枪数量为2根，其余测试中为1根。

10 燃烧总释放热测试方法

储能电池单体及储能电池模块应进行独立的燃烧总释放热测试。测试应在对应规模下的量热仪内开展，量热仪满足ISO 9705标准对于量热气体分析仪器的要求。测试应在室内进行，相对湿度≤ 80%，大气压力86 ~ 106 kPa，环境温度15 ~ 40 °C。具体测试方法如下：

10.1 储能电池单体燃烧总释放热测试

储能电池单体热失控触发方式参照GB/T 36276中6.7.4.2.1的试验步骤。使用电弧点燃电池热失控火焰，安全阀正上方1 cm处固定耐高温脉冲点火器，点火时间为电池安全阀打开后5 s内。燃烧总热值测量起始时间为电池初次点火时间，结束时间为电池热失控结束后产气停止火焰自熄时间。量热仪所测得数据即为储能电池单体燃烧总热释放。

10.2 储能电池模块燃烧总释放热测试

拆除测试用储能电池模块内电池单体至1个，并重新组装。采用9.1所述方法引燃模块内部电池单体，使燃烧蔓延至储能电池模块框架。燃烧释放热测量起始时间为电池初次点火时间，结束时间为储能模块燃尽火焰自熄时间。储能电池模块燃烧总释放热按公式（1）计算：

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{fra}} + (n_c - 1) \cdot Q_c \quad (1)$$

式中：

Q_{tot} ——储能电池模块燃烧总释放热，单位为千焦耳（kJ）；

Q_{fra} ——储能电池模块框架燃烧总释放热，单位为千焦耳（kJ）；

n_c ——储能电池模块内电池单体总数量；

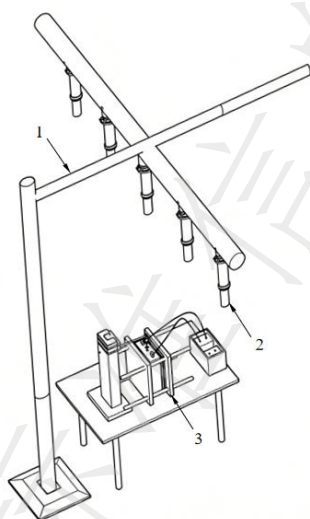
Q_c ——储能电池单体燃烧总释放热，单位为千焦耳（kJ）。

全国团体标准信息平台

附录 A (资料性附录) 关于灭火剂测试方法的试验

A.1 灭火系统

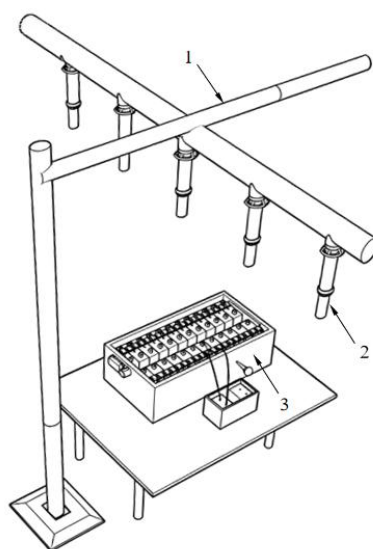
不同层级电池的灭火系统如下示意图所示：



标引说明：

- 1 —— 灭火剂传输管道；
- 2 —— 灭火剂释放喷头；
- 3 —— 电池单体及充电、固定装置。

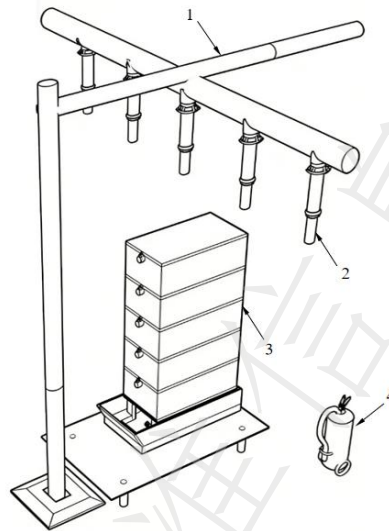
图 A.1 电池单体灭火系统



标引说明:

- 1 —— 灭火剂传输管道;
- 2 —— 灭火剂释放喷头;
- 3 —— 电池模块及充电、固定装置。

图 A.2 电池模块灭火系统



标引说明:

- 1 —— 灭火剂传输管道;
- 2 —— 灭火剂释放喷头;
- 3 —— 电池簇及充电、固定装置;
- 4 —— 便携式灭火器。

图 A.3 电池簇灭火系统

A.2 灭火试验测试参数

表 A.1 灭火测试试验参数对应节点记录表

时间节点	电池加热前期	电池安全阀开启	电池初次点火	电池热失控
记录参数	温度、压力	温度、压力、气体	温度、气体	温度、气体