

换电柜消防测试及结果简析

一. 背景介绍

近年来，随着电动自行车数量的增加，电动自行车充电安全问题日益突出。根据全国各地消防部门提供的调查数据显示，电动自行车引发的火灾，75%发生在充电期间，其中90%是由充电直接或间接导致，因此采用通过国家标准检测认证的电动自行车充/换电设施十分必要。

电动自行车充/换电设施通常安装在居民区，若发生安全问题，其自身的消防功能应有效动作，并且安装时应考虑与周围建筑的安全间距。

二. 实际案例测试情况

2.1 样品基本信息

对四格口的分布式充电柜在消防系统开启和消防系统关闭状态下开展电池电柜安全性能评估试验。

2.2 测试方法

检测依据标准/条款参考 GB/T 42236.1-2022/5.3.8.9 消防试验，具体试验方法如下：

1) 试验在具有充分安全保护的室内环境条件下进行，具备必要的排烟除尘设备；试验环境温度为 $(22 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $10\% \sim 90\%$ ，大气压力为 $86\text{kPa} \sim 106\text{kPa}$ 。

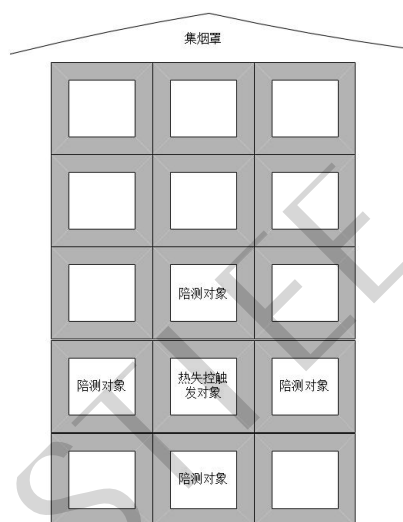
2) 试验准备

试验对象均以设备制造商规定的完全充电状态进行检测；接受热失控触发的试验对象锂离子蓄电池应除去主动保护电路或装置；优先选择过充电方法触发热失控，当电芯具有过充电保护时可选用加热触发热失控；选择过充电触发方法时，同时过充电的电芯数量不少于电芯总数的四分之一；选择加热触发方法时，加热功率为 $30\text{W} \sim 300\text{W}$ ，加热装置始终附着于电芯表面，同时加热电

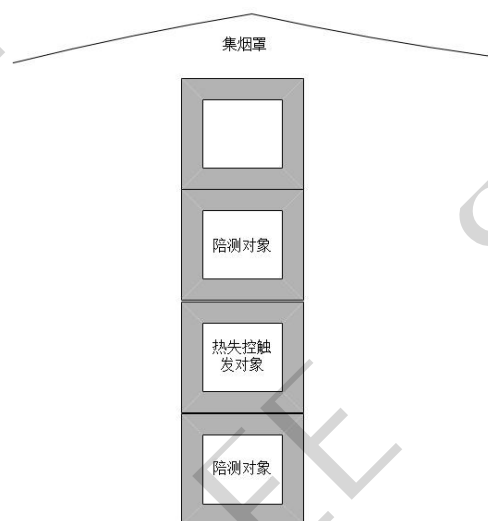
芯数量不少于总数的四分之一；试验尽可能少地对受试对象进行改动，设备厂商需提交所做改动的清单。

3) 试验方法

选择上、下、左、右相邻充电仓最多且靠底部的一个充电仓布置热失控触发受试对象，其相邻的充电仓布置受试对象，典型的换电柜实验受试对象布置方式见图 6；选用过充电触发时，以不低于 1/3C 恒流不设电压上限方式；当热失控触发对象发生热失控时，停止充电或加热，并关闭电点火装置；以自动方式设置火灾防控装置。



15 格口实验受试对象布置方式



4 格口实验受试对象布置方式

2.3 判定标准

试验过程无飞溅物飞出柜体；从触发热失控开始，5min 内柜体消防系统能够扑灭，且消防系统启动后 15min 内无复燃；除热失控触发的电池外其他电池无热失控现象；消防测试期间，柜体循环使用的消防介质不应发生泄漏。

三. 测试过程监测及数据分析

试验场地布置见下图，测试过程中全程记录分布式充电柜的温升、热通量、热释放率、烟雾释放率、气体含量数据以及相关现象。



本次测试样品消防系统开启时，现象如下：

时间(HH:MM:SS)	事件	描述
17:32:53	冒烟	柜体内部出现冒烟现象，柜体内部烟雾报警器启动。
17:59:39	冒烟	柜体正面指示灯处出现冒烟现象。
17:59:54	热失控	柜体内部触发模组出现热失控现象。
17:59:54	消防	柜体内部消防系统启动。
18:00:00	冒烟	柜体正面指示灯处冒烟现象加剧。
18:00:49	溢水	柜体底部出现溢水现象。
18:02:04	冒烟结束	柜体正面视角内冒烟现象结束。

时间(HH:MM:SS)	事件	描述
18:03:49	溢水结束	柜体底部溢水现象结束。

上述测试结束后，关闭充电柜的消防系统，进一步记录相关现象。
换电柜消防测试中关闭消防时的现象如下：

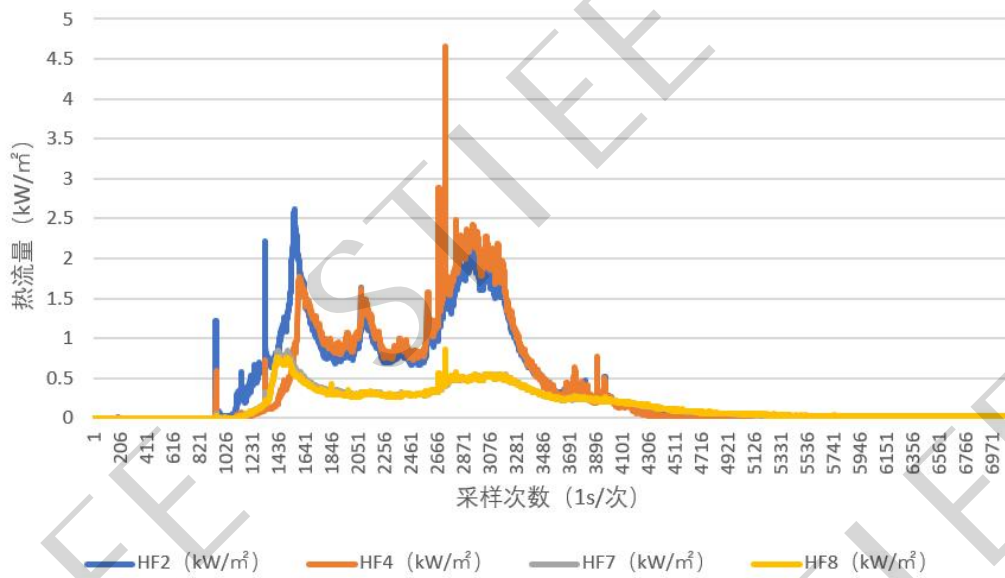
时间(HH:MM:SS)	事件	描述
20:09:26	热失控	柜体内部触发模组出现热失控现象。
20:09:39	冒烟	柜体背面出现冒烟现象。
20:16:09	告警	柜体出现“风扇异常”告警现象。
20:16:37	告警	柜体出现“充电柜非法开门”告警现象，此时门锁处有异常现象。
20:17:05	起火、后柜门轰开	因柜内气体浓度过高，柜体背面柜门发生轰开现象； 同时柜内背面产生起火现象； 测试前柜内氢气含量为 0.030%，测试期间柜内氢气含量最高值为 2.350%。
20:19:43	第一次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:20:04	第二次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:20:30	第三次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:22:05	第四次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:23:23	第五次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:23:47	第一次蔓延	柜体正面指示灯处开始出现明显外部火焰现象，火焰由柜体背面从内部蔓延至柜体正

时间(HH:MM:SS)	事件	描述
		面。
20:23:58	第六次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:24:38	滴落	柜体正面摄像头塑料外壳开始出现燃烧后物质滴落现象。
20:25:20	第二次蔓延	柜体顶部开始出现明显外部火焰现象，火焰由柜体正面从摄像头处蔓延至柜体顶部。
20:28:03	第七次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:29:56	第八次电池爆炸	内部电池产生爆炸现象。
20:31:39	柜体外部火焰熄灭	正侧面角度柜体外部无明显火焰现象。
21:19:51	柜体外部火焰熄灭	后侧面角度柜体外部无明显火焰现象。
21:44:35	内部熄灭	柜体内部整体温度检测开始呈下降趋势，此前外部已不能观测到火焰现象。

消防测试中消防系统开启和消防系统关闭条件下的典型气体含量，见下图。



换电柜消防系统关闭后，由热失控导致燃烧过程中换电柜前、后、左、右 1m 热通量数据，见下图。



四. 测试结果

消防系统开启时：

- a) 样品外部现象仅包括冒烟；
- b) 实验电池触发热失控后，结构防护无破坏；
- c) 试验过程无飞溅物飞出柜体，外部未产生明显火焰，无爆炸现象；

- d) 消防回路无短路等异常，烟雾报警和消防系统正常启动及运行，水路未堵塞。

消防系统关闭时：

换电柜最大热流量为 $4.66\text{kW}/\text{m}^2$ ，根据参考量判断其仅能引起人体烧伤，不会引燃四周 1m 处的纸质箱体。

五. 换电柜安全提升策略

针对如何及时有效地抑制电池热扩散，给出以下建议，供参考：

- 1) 柜体应设计合适尺寸的通风口，以便烟气及时排出，避免烟气聚集导致爆燃。
- 2) 应选用合适的消防介质，合理设计消防介质的容量。