

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 标 准

T/CAAMTB XXXX—XXXX

电动飞行汽车用锂金属蓄电池和电池组 规范

Specifications of lithium metal secondary cells and batteries used in electric flying car

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国汽车工业协会 发 布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 试验条件	4
5 标识和警示说明	5
6 电池和电池组电性能测试	6
7 电池安全测试	10
8 电池组安全测试	13

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。

本文件由中国汽车工业协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

电动飞行汽车用锂金属蓄电池和电池组规范

1 范围

本文件规定了电动飞行汽车用锂金属蓄电池和电池组的试验条件、标识和警示说明、电性能测试和安全性测试。

本文件适用于电动飞行汽车用锂金属蓄电池和电池组规范，其他电池可参考实施。

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 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 31486 电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法

GB 38031 电动汽车用动力蓄电池安全要求

SJ/T 11797 锂金属蓄电池及电池组总规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电动飞行汽车 electric flying car

以电池作为动力的具有陆空两栖功能或用于空中交通的运载工具。

3.2

推荐放电电流 recommendation discharging current

I_{dr}

制造商推荐的持续放电电流。

3.3

过流充电保护电流 over protection current for charge

I_{cp}

制造商规定的最大电流充电时的保护电路动作电流。

3.4

最大充电电流 maximum charging current

I_{cm}

制造商规定的最大持续充电电流。

3.5

最大放电电流 maximum discharging current

I_{dm}

制造商规定的最大持续放电电流。

注：持续放电是指放电时间维持1min以上。必要时可通过试验来验证。

3.6

充电上限温度 upper limited charging temperature

T_{cm}

制造商规定的电池或电池组充电时的最高表面温度。

3.7

放电上限温度 upper limited discharging temperature

T_{dm}

制造商规定的电池或电池组放电时的最高表面温度。

3.8

放电下限温度 lower limited discharging temperature

T_{dl}

制造商规定的电池或电池组放电时的最低表面温度。

3.9

循环寿命 cycle life

在指定的充放电终止条件下，以特定的充放电工步进行充放电，电池在不能满足寿命终止标准所能进行的循环数。

[来源：GB/T 19596—2017, 3.3.3.12.1.1, 有修改]。

4 试验条件

4.1 试验的适用性

电池或电池组如果在以下方面与已测试型号不同，应被视为新的型号，需重新进行测试，包括但不限于：

- a) 额定能量变化超过20%或标称电压增加超过20%;
- b) 阳极、阴极、隔膜或电解液材料的改变;
- c) 保护装置的改变，包括硬件和软件;
- d) 电池或电池组安全设计的改变，如排气阀;
- e) 组成电池数目的改变;
- f) 组成电池连接方式的改变;
- g) 其他会导致任一测试失败的变化。

4.2 环境条件

除另有规定外，试验环境温度为 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ ，除了8.12测试中相对湿度超过85%，其他测试项目相对湿度不超过85%，大气压力为 $84\text{ kPa}\sim107\text{ kPa}$ 。

4.3 测试仪器、仪表准确度

用于测试的测量方法应根据待测参数的量级进行选择。所有试验和测量设备均应注明制造商、型号、序列号以及校准日期等信息。测量设备应按照设备制造商的规范进行校准。测量仪器、仪表准确度应不低于以下要求：

- a) 电压测量装置： $\pm0.5\%$ FS;
- b) 电流测量装置： $\pm0.5\%$ FS;

- c) 温度测量装置: $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$;
- d) 湿度测量装置: $\pm 5\%$ (相对湿度);
- e) 时间测量装置: $\pm 0.1\text{ s}$;
- f) 尺寸测量装置: $\pm 0.1\% \text{FS}$;
- g) 质量测量装置: $\pm 0.1\% \text{FS}$;
- h) 压力测量装置: $\pm 1\% \text{FS}$;
- i) 电阻测量装置: $\pm 1\% \text{FS}$ 。

注: FS为满量程 (full scale)。

4.4 测试过程误差

- a) 电压: $\pm 0.5\%$;
- b) 电流: $\pm 0.5\%$;
- c) 温度: $\pm 3^{\circ}\text{C}$;
- d) 时间: $\pm 5\%$ 。

4.5 测试用充放电方法

4.5.1 测试用充电

在环境温度下, 电池或电池组以不少于 $1/3 I_t$ 电流放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压, 静置1 h(或制造商提供的不大于1 h的静置时间), 然后按制造商提供的充电方法进行充电, 充电后静置1 h(或制造商提供的不大于1 h的静置时间), 或依据以下方法充电:

电池或电池组以制造商规定且不小于 $1/3 I_t$ 电流的电流恒流充电至制造商技术规定的充电终止电压时转恒压充电, 至充电电流降至 $0.05 I_t$ 时停止充电, 充电后静置1h(或制造商提供的不大于1 h的静置时间)。

4.5.2 测试用放电

电池或电池组以厂家推荐放电电流(I_{dr})恒流放电至放电终止电压(U_{de})。

若没有厂家推荐的电流, 按照如下放电程序:

以不少于 $1/3 I_t$ 电流放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压, 静置1 h(或制造商提供的不大于1 h的静置时间)。

4.6 试验要求

4.6.1 样品的要求

如需引入导线测试或连接, 引入导线测试或连接产生的总电阻应小于 $20\text{ m}\Omega$ 。

注: 导线的电阻率温度系数小于 $5 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$, 如康铜线等。

4.6.2 样品的数量

除特殊说明外, 每个试验项目的样品为3个。按照试验顺序进行编号。

4.6.3 样品预处理

电池或电池组按照4.5规定的充放电进行5次充放电完整循环, 充放电之间静置30 min。

如果电池或电池组连续3次的放电容量极差小于额定容量的3%, 则认为电池或电池组完成了预处理, 预处理循环可终止, 取最后3次试验结果平均值作为实际容量。

注: 在预处理过程中如发生起火、爆炸、漏液等现象也认为是不符合本文件要求。

5 标识和警示说明

5.1 标识

电池和电池组应用中文标明至少以下标识, 且清晰耐用:

- a) 产品名称、型号;

- b) 额定容量、额定能量、标称电压;
- c) 正负极性，使用“正、负”字样、“+、-”符号或不同颜色（例如红色和黑色）表示;
- d) 生产厂、执行标准编号;
- e) 生产日期或代码、制造商或商标。

对于电池，额定容量、生产厂（或生产厂代码）、生产日期或代码、型号和正负极性应在电池本体上标明，其余标识允许在包装或规格书上标明。

对于电池组，标识均应在电池组本体上标明。“型号、额定容量、额定能量、充电限定电压、标称电压、生产厂”等中文引导词应标出并与具体内容对应。产品名称、生产日期或批号可不使用引导词。

生产厂代码含义应在最小包装或规格书进行说明。批号的含义应在最小包装或规格书进行说明，且含有生产日期信息。

5.2 警示说明

电池组的本体或最小包装上应有中文警示说明。

示例1：禁止拆解、撞击、挤压或投入火中。

示例2：若出现严重鼓胀，切勿继续使用。

示例3：切勿置于高温环境中。

示例4：浸水后禁止使用。

6 电池和电池组电性能测试

6.1 外观质量检查

电池或电池组应符合下列要求：

- a) 在良好的光线条件下，用目测法检查电池或电池组的外观，外观无破损；
- b) 标识至少包括第5.1的内容，警示说明至少第5.2的内容；
- c) 用衡器和量具测量电池或电池组质量及不含极柱的外形尺寸；
- d) 用电压表检测电池或电池组极性，检查电池或电池组极性标识是否正确和清晰。

注：方形和软包电池测量长、宽、高尺寸，圆柱电池测量直径和高度尺寸。

6.2 初始容量

6.2.1 要求

电池或电池组的初始容量应不低于额定容量，并且不超过额定容量的110%，同时所有测试对象初始容量极差不应大于初始容量平均值的5%。

注：本要求常用于验证样品是否满足制造商标明的额定容量。

6.2.2 测试方法

电池或电池组的初始容量测试方法如下：

- a) 电池或电池组按照4.5.1方法充电；
- b) 在环境温度下，电池或电池组以 $1I_{\text{A}}$ 恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压；
- c) 记录放电容量 C_1 （以W·h计）；
- d) 重复步骤a)和b)共进行5次，当连续3次试验结果的极差小于额定容量的3%时，可提前结束试验，取最后3次试验结果的平均值作为电池或电池组的初始容量。

6.3 能量密度

6.3.1 要求

电池的能量密度不应低于400 Wh/kg；电池组的能量密度不应低于300 Wh/kg。

6.3.2 测试方法

电池和电池组的能量密度测试方法如下：

- a) 按照6.1节中c)获得电池或电池组的质量;
 - b) 按照6.2.2节步骤得到电池或电池组的初始容量(以W·h计);
 - c) 照公式(1)计算电池或电池组的能量密度PED(以W·h/kg计)。

式中：

PED——电池或电池组的能量密度,单位为瓦时每千克(W·h/kg);

E_{average} ——电池或电池组的初始容量, 单位为瓦时(W·h);

M ——电池或电池组的质量, 单位为千克(kg)。

6.4 瞬时功率密度

6.4.1 要求

电池的瞬时功率密度不低于2000 W/kg，电池组的瞬时功率密度不低于1800 W/kg。

6.4.2 测试方法

电池或电池组的瞬时功率密度测试方法如下：

- a) 电池或电池组按照4.5.1方法充电;
 - b) 在环境温度下,以不低于 $3I_t$ 的电流恒流放电,直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压;放电持续时间60 s;
 - c) 电池或电池组放电功率密度按照公式(2)计算:

式中：

ρ ——电池或电池组功率密度, 单位: W/kg;

U_i ——放电过程中的平均电压, 单位: V;

I_1 ——放电过程的放电电流, 单位: A;

M 电池或电

6.3 持续改进

「要不

电池的持续

2 测试方法

- 电池或电池组的持续功率密度测试方法如下：

 - 电池或电池组按照4.5.1方法充电；
 - 在环境温度下，以不低于 $1I_t$ 的电流恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压，放电持续时间1020 s；
 - 按照公式(2)计算功率密度 ρ_c 。

6.6 高温放电容量

6.6.1 要求

串电池的高温放电容量不应低于初始容量的98%，串电池组的高温放电容量应不低于初始容量的95%。

6.6.2 测试方法

电池或电池组的高温放电容量测试方法如下：

- a) 在环境温度下,按照4.5.1方法充电;
 - b) 电池或电池组在55 °C下进行环境适应2 h;

- c) 在55 °C下，电池或电池组以 $1I_t$ 恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压；记录放电容量（以W·h计）；
- d) 步骤a)～c)共进行3次，取3次放电容量的平均值作为电池或电池组的高温放电容量；
- e) 用 I_t 电流值和放电时间数据计算高温放电容量，并表达为初始容量的百分数。

6.7 低温放电容量

6.7.1 要求

电池和电池组的低温放电容量应不低于初始容量的80%。

6.7.2 测试方法

电池或电池组的低温放电容量测试方法如下：

- a) 在环境温度下，按照4.5.1方法充电；
- b) 电池或电池组在-20 °C下进行环境适应2 h；
- c) 在-20 °C，电池或电池组以 $1I_t$ 恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压（该电压不低于室温放电电压的80%），记录放电容量（以W·h计）；
- d) 步骤a)～c)共进行3次，取3次放电容量的平均值作为电池的低温放电容量；
- e) 用 I_t 电流值和放电时间数据计算低温放电容量，并表达为初始容量的百分数。

6.8 倍率放电容量

6.8.1 要求

电池的倍率放电容量应不低于初始容量的 95%，电池组的倍率放电容量应不低于初始容量的 90%。

6.8.2 测试方法

电池或电池组的倍率放电测试方法如下：

- a) 在环境温度下，按照4.5.1方法充电，静置1 h；
- b) 以 $3I_t$ 的电流恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压，测量放电容量，静置2 h；
- c) 重复步骤a)～步骤b)3次。

取步骤b)测量得到的最小值作为电池或电池组的倍率放电容量。

注：对于设计最大放电电流小于 $3I_t$ 的样品，步骤b)使用最大放电电流进行试验。

6.9 短时高温快速放电

6.9.1 要求

电池或电池组应不冒烟、不漏液、不起火、不爆炸。电池组在制造商技术条件中规定的放电终止电压之前不应触发了热保护断开装置。

6.9.2 测试方法

电池或电池组的短时高温快速放电测试方法如下：

- a) 在环境温度下，按照4.5.1方法充电；
- b) 将电池或电池组放入高温箱，以不低于2 °C/min的温升速率升温至70 °C，达到此温度，稳定30 min；
- c) 以 I_{dm} 速度或 $10I_t$ 速率（两者中以较小者为准）将电池或电池组放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压，放电时间不得超过30 min。对于电池组若在制造商技术条件中规定的放电终止电压之前触发了热保护断开装置，则表明电池组未通过此项测试；
- d) 在步骤c)之后，可将电池或电池组从高温箱中取出或在高温箱内冷却；
- e) 监测电池或电池组的状态3 h，整个过程监测电池或电池组的外部温度。此外，建议监测电池组部分或全部电池的温度。

6.10 荷电保持与容量恢复能力

6.10.1 要求

电池的荷电保持能力应不低于初始容量的90%，电池组的荷电保持能力应不低于初始容量的88%；电池的容量恢复能力应不低于初始容量的98%，电池组的容量恢复能力应不低于初始容量的95%。

6.10.2 室温荷电保持与容量恢复能力

电池或电池组的环境温度荷电保持与容量恢复能力测试方法如下：

- a) 在环境温度下，按照4.5.1方法充电；
 - b) 将电池或电池组在环境温度下储存30 d；
 - c) 在环境温度下，电池或电池组以 $1I_{\text{t}}$ 的电流恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压；
 - d) 计算荷电保持容量 C_2 (以W·h计)；
 - e) 按照下式计算保持率百分比：

$$\theta = \frac{C_2}{C_1} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式中*i*

θ ——保持率百分比；

C ——初始容量，单位为瓦时（W·h）；

C_2 ——荷电保持容量，单位为瓦时（W·h）。

- e) 再按照4.5.1方法充电;
 - f) 在环境温度下,电池或电池组以 $1I_{\text{t}}$ 的电流恒流放电,直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压;
 - g) 计算荷电恢复容量 C_3 (以W·h计);
 - h) 照下式计算恢复百分比:

$$\emptyset = \frac{c_3}{c_1} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

式中：

\emptyset ——保持率百分比；

C_1 ——初始容量，单位为瓦时（W·h）；

C_3 ——荷电恢复容量，单位为瓦时（W·h）。

6.11 高温荷电保持与容量恢复能力

6.11.1 要求

电池的高温荷电保持能力应不低于初始容量的90%，电池组的高温荷电保持能力应不低于初始容量的88%，电池的高温容量恢复能力应不低于初始容量的98%，电池组的高温容量恢复能力应不低于初始容量的95%。同时所测对象高温荷电保持容量、高温恢复容量极差不应大于初始容量平均值的5%。

6.11.2 高温荷电保持与容量恢复能力

电池或电池组的高温荷电保持与容量恢复能力测试方法如下：

- a) 在环境温度下，按照4.5.1方法充电；
 - b) 将电池或电池组在55 °C储存7 d；
 - c) 在环境温度下，电池或电池组以 $1I_{\text{t}}$ 的电流恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压；
 - d) 计算荷电保持容量(以W·h计)，按照公式(2)计算保持率百分比 θ ；
 - e) 再按照4.5.1方法充电；
 - f) 在环境温度下，电池或电池组以 $1I_{\text{t}}$ 的电流恒流放电，直到放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压；
 - g) 计算荷电恢复容量(以W·h计)，按照公式(3)计算恢复率百分比 ϕ 。

6.12 循环寿命

6.12.1 要求

电池500次循环后容量应大于初始容量的80%，电池组400次循环后容量应不低于初始容量的80%。

6.12.2 测试方法

电池或电池组的循环寿命测试方法如下：

- a) 在环境温度下，按照4.5.2方法放电；
- b) 搁置不低于30 min或制造商规定的搁置时间，两者取其长者；
- c) 按照4.5.1中方法进行充电；
- d) 搁置不低于30 min或制造商规定的搁置时间，两者取其长者；
- e) 以 $1I_{\text{t}}$ 的电流恒流放电，直到放电至制造商技术条件下规定的放电终止电压，记录放电容量；
- f) 重复进行b)~e)直至放电容量达到额定容量的80%，此时的循环次数作为被测电池的循环寿命。

注：为缩短测试时间，制造商可规定更大的充放电电流，但循环次数和容量仍需满足上述需求。

6.13 绝缘电阻

6.13.1 要求

电池组电源触点之间的绝缘电阻必须能够防止在承受高直流电压时出现过大的泄漏电流，并必须符合下列要求：

- a) 施加60 s时的绝缘电阻值不得小于 $10 \text{ M}\Omega$ ；
- b) 环境试验后，施加60 s时的绝缘电阻值不得小于 $2 \text{ M}\Omega$ 。

6.13.2 测试方法

在电池组电气接头的以下试验施加至少60 s的250 V直流电压。如果所施加的直流电位可能对敏感电子元件造成损坏，则可将其降低至电池组电压的两倍（ $\pm 10\%$ ）。

注：在每个电源接口和外壳的导电部分之间（所有正极端子对外壳，所有负极端子对外壳）。

7 电池安全测试

7.1 过放电

7.1.1 要求

电池应不起火、不爆炸、不漏液。

7.1.2 测试方法

- a) 按照4.5.2中方法进行放电，以 $1I_{\text{t}}$ 电流放电30 min；
- b) 完成以上试验步骤后，在环境温度下观察1 h。

7.2 过充电

7.2.1 要求

电池应不起火、不爆炸、不漏液。

7.2.2 测试方法

- a) 按照4.5.1中方法进行充电，以不小于 $1/3I_{\text{t}}$ 电流恒流充电至制造商规定的充电终止电压的1.1倍或115%SOC后，停止充电；
- b) 完成以上试验步骤后，在环境温度下观察1 h。

7.3 外部短路

7.3.1 要求

电池应不起火、不爆炸、不漏液。

7.3.2 测试方法

- 按照4.5.1中方法进行充电；
- 将电池正极端子和负极端子经外部短路10 min，外部线路电阻应小于5 mΩ；
- 完成以上试验步骤后，在环境温度下观察1 h。

7.4 快速循环后安全

7.4.1 要求

电池从20%SOC充电至80%SOC，总充电时间不超过15 min。电池应不起火、不爆炸。

7.4.2 测试方法

电池快速循环的测试方法如下：

- 按照制造商提供的方法将电池的SOC调整至20%；
- 静置30 min或制造商规定的时间；
- 按照制造商提供的充电方法充电至80%SOC，充电时间不超过15 min；
- 重复步骤a)～c) 300次；
- 按照7.3.2进行外部短路测试。

7.5 反向充电

7.5.1 要求

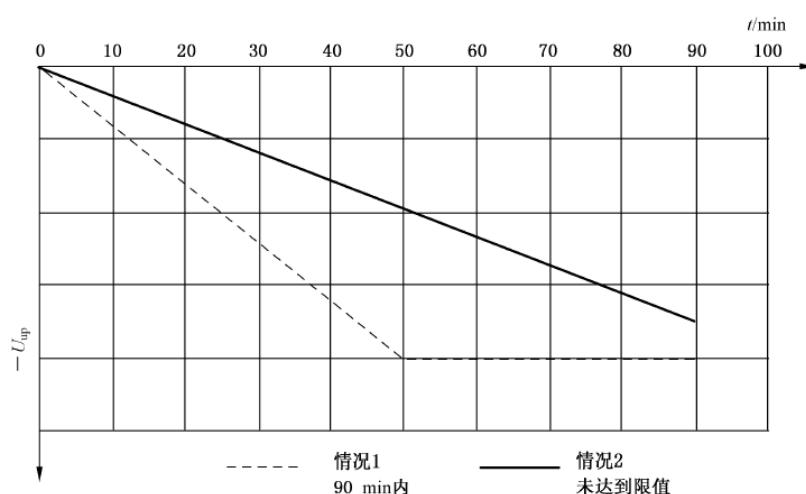
电池应不起火、不爆炸、不漏液。

7.5.2 测试方法

a) 按照4.5.2中方法进行放电，以 I_{L} 电流进行反向充电至负的充电上限电压，反向充电时间共计90 min；

b) 如果在反向充电90 min内，电压达到负的电池充电上限电压，应通过减小电流保持该电压继续进行反向充电，反向充电共计90 min后终止试验，如图1情况1所示。

如果在反向充电90 min内，电压未达到负的电压充电上限电压，则反向充电共计90 min后终止试验，如图1情况2所示。



注：图中的线仅作示例，实际情况(除水平线部分)不一定是线性或直的。

图1 反向充电时间图

7.6 热滥用

7.6.1 要求

电池应不起火、不爆炸、不漏液。

7.6.2 测试方法

- 按照4.5.1中方法进行充电；
- 将电池放入高温箱，高温箱按照 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度由试验环境温度升至 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并保持此温度30 min后停止加热；
- 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察1 h。

7.7 高温使用

7.7.1 要求

电池应不起火、不爆炸、不漏液。

7.7.2 测试方法

- 将电池按照4.5.1方法充电；
- 将样品置于高温箱内，温度设置为制造商规定的充电上限温度(T_{cm})、放电上限温度(T_{dm})以及 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 三者中的较大值，保持7 h；
- 在此温度下，电池按照4.5规定进行一次放电充电循环，在测试过程观察电池。

7.8 挤压

7.8.1 要求

电池应不起火、不爆炸。

7.8.2 测试方法

电池挤压测试方法如下：

- 将电池按照4.5.1方法充电，将其固定于挤压台上；
- 挤压方向：垂直于电池极板方向施压，或与电池在飞行汽车布局上最容易受到挤压的方向相同；
- 挤压板形式：半径75 mm的半圆柱体，半圆柱体的长度(L)大于被挤压电池的尺寸(如图2所示)；
- 挤压速度：不大于 2 mm/s ；
- 挤压程度：电压达到0 V或变形量达到15%或挤压力达到 100 kN 或1000倍试验对象质量后停止挤压；
- 保持当前位置10 min，完成以上试验后，在试验环境温度下观察1 h。

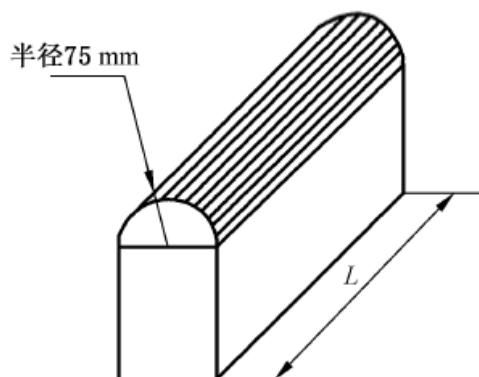


图2 挤压板形式一示意图

7.9 跌落

7.9.1 要求

电池应不起火、不爆炸、不漏液。

7.8.2 测试方法

- a) 电池按照4.5.1方法充电，按照1.2 m高度倾角小于6度自由落体跌落于混凝土板上；
- b) 观察电池1 h。

7.10 热失控

7.10.1 要求

电池应不起火、不爆炸。

7.10.2 测试方法

- a) 电池按照4.5.1方法充电；
- b) 在电池中心附近布置一个加热装置，该加热装置以5~10°C/min的平均加热速率对电池进行加热；
- c) 在加热装置的对侧采用热电偶监测电池外表面的温度，最能代表电池温度最高的点，可使用辅助方式寻找最不利点，如红外设备；
- d) 将电池稳定在55 °C和制造商额定最高操作温度的较大值；
- e) 温度稳定后，可将电池从高温箱中移出(如果使用的话)，以避免对高温箱的污染。如果电池从高温箱中移出，那么在电池温度降至步骤d)中规定的稳定温度以下5 °C之前，应执行步骤f)；
- f) 启动加热装置；
- g) 一旦发生热失控，可断开加热装置的电源。若两小时内未发生热失控则可断开加热装置的电源；
- h) 在加热装置断电后继续监测电池16 h；
- i) 在整个测试过程中，记录电池温度、电池排出气体的温度；

注：测试过程视频记录。

j) 报告以下信息：

所选电池的破裂情况、电池排放气体、烟雾、灰烬或流体。以表格或图形式表示电池温度、电池排出气体的温度随时间的变化关系。声明所选电池是否发生热失控，如果发生热失控，需提供经测试后检查确认的客观证据，证明所选电池确实发生了热失控。

注：“客观证据”的示例可能包括：熔化的电池金属部件、分解的活性材料、热解（烧焦）的电池内容物、热失控的电池峰值温度。

8 电池组安全测试

8.1 静电放电

8.1.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液。

8.1.2 测试方法

- a) 电池组按照4.5.1规定的充电；
- b) 按照GB/T 17626.2的规定对电池组每个输出端子进行4 kV接触放电测试(±4 kV各10次)和8 kV空气放电测试(±8 kV各10次)。

8.2 过压充电保护

8.2.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液，应能启动保护动作。

8.2.2 测试方法

电池组按照4.5.1方法充电，继续以最大充电电流(I_{cm})恒流充电至1.2倍充电上限电压($1.2U_{up}$)，并保持该电压进行恒压充电，充电至保护电路动作。

当出现以下两种情形之一时，试验终止：

- a) 恒压持续充电时间达到1 h；

b) 电池温度下降值达到峰值温度的50%。当有争议时, a) 和b) 选较严者。

8.3 过流充电保护

8.3.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液, 应能启动保护动作。

8.3.2 测试方法

电池组按照4.5.1方法充电, 继续以1.5倍的过流充电保护电流 ($1.5I_{cp}$) 恒流充电至充电上限电压 (U_{up}), 观察1 h。

8.4 外部短路保护

8.4.1 要求

电池组应不冒烟、不起火、不爆炸、不漏液, 应能启动保护装置。

8.4.2 测试方法

- a) 电池组按照4.5.1方法充电;
- b) 短路电池组的正负极端子10 min, 观察1 h, 外部短路总电阻不大于10 mΩ。

8.5 外部短路

8.5.1 要求

电池组应不冒烟、不起火、不爆炸、不漏液。

8.5.2 测试方法

测试过程禁用保护装置, 但连接在电池单体之间的保险丝/熔断链接、集成在电池单体内的保护装置除外。

- a) 电池组按照4.5.1方法充电;
- b) 将电池组放入温度箱中, 并在55 °C或制造商规定的额定最高工作温度下稳定(以较高者为准);
- c) 在电池组输出端施加短路, 外部短路总电阻不大于2 mΩ;
- d) 将电池组从温度箱中取出, 在电池温度低于步骤b)中规定的温度5 °C之前开展步骤c);
- e) 电池组温度恢复至室温继续施加短路至少1 h, 方可移除短路装置;
- f) 继续监测电池组3 h。

在整个测试过程中, 记录输出电池组的电压、电流、外部温度以及电池组排出的气体温度。

8.6 反向充电保护

8.6.1 要求

电池组应不冒烟、不起火、不爆炸、不漏液, 应能启动保护动作。

8.6.2 测试方法

- a) 电池组按照4.5.1方法充电;
- b) 以最大充电电流反向充电90 min; 反向充电至保护电路动作。充电后静置10 min, 观察1 h。
注: 具有防反接功能或类似设计的电池组, 本条不适用。

8.7 过温保护

8.7.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液, 应能启动保护动作。

8.7.2 测试方法

电池组过温保护测试方法如下:

a) 电池组按照4.5.2规定的放电程序放电，在高于制造商规定的充电上限温度和60 °C较大值的环境下静置6 h，以最大充电电流(I_{cm})恒流充电至充电上限电压(U_{up})；

b) 电池组按照4.5.1充电，在低于制造商规定的放电下限温度5°C($T_{dl}-5^{\circ}\text{C}$)的环境下静置8 h，以最大放电电流(I_{dm})恒流放电至放电终止电压(U_{de})。

8.8 欠压放电保护

8.8.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液，应能启动保护动作。

8.8.2 测试方法

a) 电池组按照4.5.1方法充电；

b) 以其最大放电电流 I_{dm} 恒流放电，放电至保护电路动作。放电后静置10 min，观察1 h。

8.9 欠压放电

8.9.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液。

8.9.2 测试方法

禁止使用任何过放保护装置，电池内部的保护装置除外。

a) 将电池组放入温度箱中，温度下稳定38 °C；

b) 以其最大放电电流 I_{dm} 恒流放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压；

c) 采用小于1 mΩ的连接线连接放电完的电池组正负极端子上，直到电池组电压到制造商技术条件中规定的放电终止电压的5%；

d) 电池组按照4.5.1方法充电；

e) 将电池组从温度箱中取出，在电池温度低于步骤a)中规定的温度5 °C之前开展步骤d)；

f) 重复a)~f)10次，在10次内发生不能充电或放电，此电池组未通过测试。

记录整个测试过程中电池组外部温度和排出气体的温度。

8.10 低气压

8.10.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液、不破裂。

8.10.2 测试方法

a) 电池组按照4.5.1方法充电，将电池置于防爆真空箱中，抽真空将箱内压强降低至70 kPa（模拟海拔3000 m），当电池组温度稳定时，保持此压力和温度测试环境，静置2 h；

b) 静置结束后，保持a)测试环境，对电池组按制造商规定的且不小于1 I_e 的电流放电至制造商规定的放电终止条件；

c) 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察2 h。

8.11 温度循环

8.11.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液、无破裂。

8.11.2 测试方法

a) 电池组按照4.5.1中方法进行充电；

b) 将样品放置在温度为环境温度的可控温的箱体中，进行如下步骤（见表1和图3）进行调节，循环次数5次；

c) 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察1 h。

表1 温度循环试验一个循环的温度和时间

温度 ℃	时间增量 Min	累计时间 Min	温度变化率 ℃/min
25	0	0	0
-40	6.5	6.5	-10
-40	13	19.5	0
25	6.5	26	10
85	5.5	31.5	10
85	13	44.5	0
25	6	50.5	-10

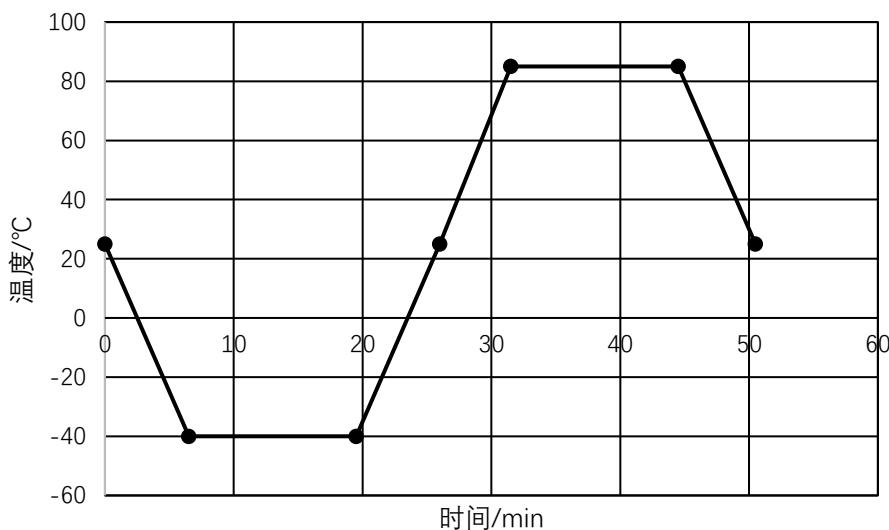


图3 温度循环流程示意图

8.12 湿度

8.12.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液、不破裂。

8.12.2 测试方法

在下列步骤中，除非另有说明，电池组均应置于相对湿度(RH)为 $95\pm4\%$ 的大气中。应通过蒸汽或水的蒸发提供湿气，所用的水在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下测得的pH值在 $6.5\sim7.5$ 之间或电阻率不低于 $250000\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ 。流过暴露区的空气速度应在 $0.5\sim1.7\text{ m/s}$ 之间。温度箱应设有排气孔，以防气压升高，并应采取措施防止水滴到设备上。

试验程序应按下列步骤进行：

- 将电池组按实际使用状态放置在温度箱内；
- 电池组在 $38\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $85\pm4\%$ 条件下保持稳定；
- 在 $2\text{ h}\pm10\text{ min}$ 内，将温度箱温度升到 $50\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度升到 $95\pm4\%$ 。
- 保持温度箱温度 $50\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $95\pm4\%$ ，时间至少为 6 h ；
- 在以后的 $16\text{ h}\pm15\text{ min}$ 内，将温度逐渐降到 $38\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或更低。在此期间，保持尽可能高的相对湿度，且不允许低于 85% ；
- 步骤c)~e)构成一个循环，重复这些步骤直到共完成2个循环(暴露 48 h)。
- 暴露期结束后，从温度箱中取出电池组并排除冷凝水(不能擦干)。

8.13 雷电感应瞬态敏感性

8.13.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液。

8.13.2 测试方法

按照HB 6167.24-2014中6.2节的引脚注入试验进行开展测试。

8.14 振动

8.14.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液、不破裂。

8.14.2 测试方法

在电池组三个正交轴向的每一轴向上，使用图4中的试验曲线和试验量级进行下列试验。

- a) 电池组按照4.5.1方法充电，然后按性能试验量级的加速度功率谱密度(APSD)对设备进行试验，试验应持续必要的时间(最低10 min)，确定其在振动期间是否符合有关设备性能标准。在振动期间，应同时对电池组选定点的振动加速度响应进行APSD分析；
- b) 按照耐久试验量级的APSD进行3 h试验；
- c) 完成3 h试验后，重复a)试验；
- d) 试验完成后，应对电池组进行目视检查，其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏；
- e) 重复a)~d)，分别用另外两个正交轴向，直到三个正交轴向振动试验完成。

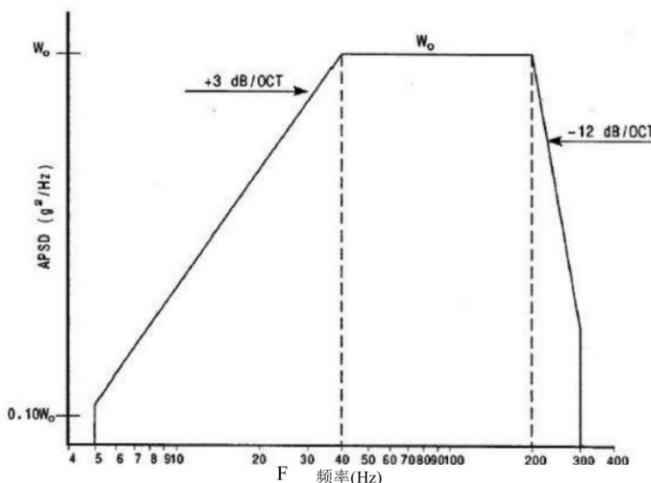


图4 随机振动试验曲线(未知频率)

8.15 工作冲击

8.15.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液、不破裂。

8.15.2 测试方法

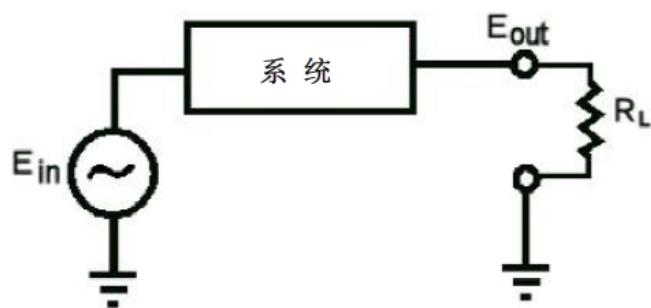
- a) 用刚性试验夹具和实际安装所使用的安装方法将电池组固定在冲击台面上；
- b) 电池组的安装包括正常安装所用的非结构连接件，用于测量或控制输入冲击脉冲的加速度，应安装在尽可能靠近设备固定点的位置。测量加速度的试验系统的精度，应在标准读数的±10%范围内。除非在电池组细则中另作说明，以不低于 I_4 的电流恒流放电，并且其温度达到稳定后，对电池组每个方向进行3次冲击，冲击波形采用后峰锯齿波，冲击加速度峰值为6g，用于验证性能符合性的测量系统的特性见图5，冲击脉冲的容差极限见图6；图中D为标称脉冲持续时间，A为标称脉冲峰值加速度，T1为对于用普通冲击试验机产生的冲击，应监测脉冲的最短时间，T2为对于用报动台产生的冲击，应监测脉冲的最短时间。不同冲击下峰值(A) 和标称持续时间(D) 如表2所示。

c) 对于标准冲击试验，其标称脉冲持续时间为11 ms，而对于低频冲击试验，其脉冲持续时间为20 ms。在冲击完成后，观察1 h。

注：波形图包括持续时间T1或T2，脉冲近似位于波形中心。后峰锯齿脉冲的加速度幅值为A，持续时间为D。实测的加速度脉冲应包含在虚线以内，实测的速度变化(可通过加速度脉冲积分得到)应在 $V_i \pm 0.1V$ 范围内，这里 V_i 为与理想脉冲对应的速度变化，其值等于 $0.5DA$ 。确定速度变化的积分应从脉冲前 $0.4D$ 开始到脉冲后 $0.1D$ 结束。

表2 不同试验冲击下峰值和标称持续时间

试验(冲击)	峰值(A)	标称持续时间(D)/ms
标准工作冲击	6 g	11
低频工作冲击	6 g	20
坠撞安全冲击	20 g	11
低频坠撞安全冲击	20 g	20



R_L =典型输出端

E_{in} =输入电压

E_{out} =输出电压

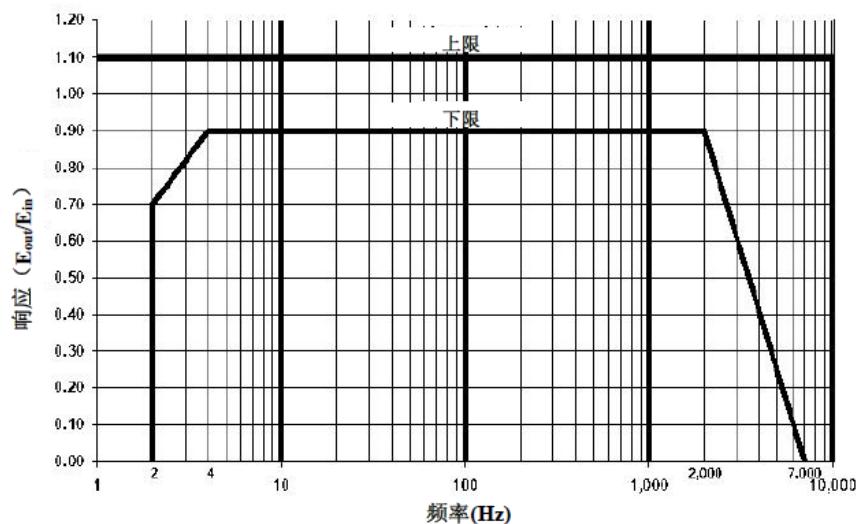


图5 冲击测量系统的频率响应

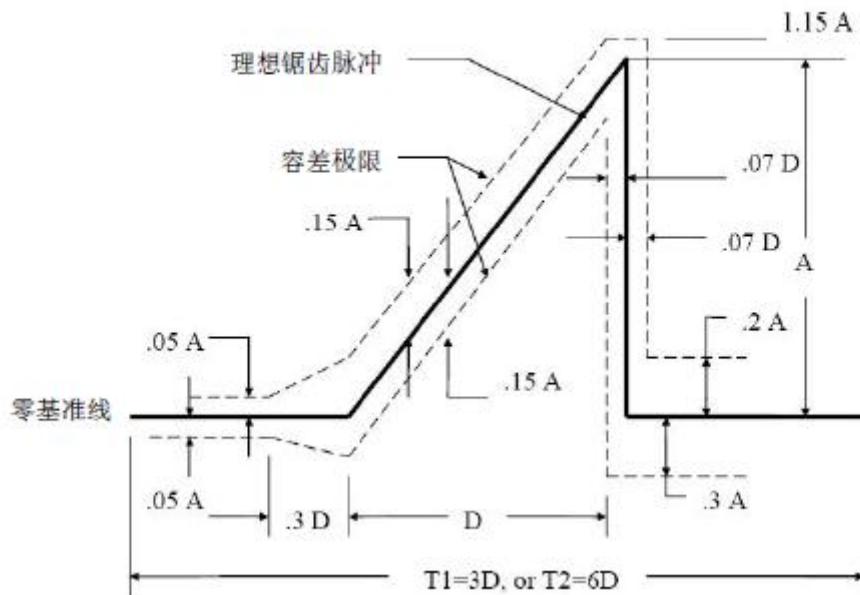


图6 后峰锯齿冲击脉冲的形状及其容差极限

8.16 坠撞安全

8.16.1 要求

电池组应不起火、不爆炸。

8.16.2 测试方法

- 将电池组按照4.5.1方法充电，将其固定在冲击台上；
- 对电池组的上、下、前、后、左、右的每个方向，施加1次20g冲击，脉冲冲击持续时间为11 ms，冲击完成后观察电池组的现象，且观察时间至少2 h。

8.17 热蔓延

8.17.1 要求

电池组应不发生热蔓延、不起火、不爆炸。

8.17.2 测试方法

- 电池组按照4.5.1方法充电；
- 记录电池模组至少包括两个电池、电池模组以及任何从电池模组逸出气体的温度；
- 通过以下任一技术方案准备电池模组进行加热：
 - 在电池模组内部安装一个或多个加热装置以加热所有电池单元；
 - 用加热装置覆盖电池组；
 - 将被测电池模组置于一个将作为加热装置的温度箱中；
- 加热装置可以提供平均加热速率 $5\sim20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ：
 - 在加热电池组中电池的外表面(适用于技术方案1)；
 - 在电池组外部表面(适用于技术方案2)；
 - 针对高温箱温度(适用于技术方案3)。
- 启动加热装置。
- 一旦热失控启动，可断开加热装置的电源；
- 在初始热失控事件发生后继续监测电池模组长达16小时；

h) 测试期间, 记录电池电压、电池温度、电池模组外部温度以及从电池模组排出气体的温度, 采用热电偶法来测量电池模组的外部温度, 温度测试点选取远离热传导的一侧, 即布置在加热装置的对侧。可使用辅助方式寻找最不利点, 如红外设备。

注: 测试序列应以视频形式记录。

i) 报告以下信息:

电池模组破裂、碎片的情况。

电池模组火焰逸出、排放气体、烟雾、灰烬或流体。

电池模组电压、电池温度、电池模组外壳温度以及从电池模组排出的任何气体温度随时间变化的表格或图形表示。

经测试后检查确认的客观证据, 表明至少有两个电池发生了热失控(如果是单体电池, 则为一个)。

注: “客观证据”的示例可能包括: 电池中熔化的金属部件、分解的活性材料、热解(烧焦)后的电池内容物。

表明热失控的电池峰值温度。

发生热失控的电池总数。

8.18 翻转

8.18.1 要求

电池组应不起火、不爆炸、不漏液。

8.18.2 翻转试验方法

a) 电池组按照4.5.1充电;

b) 电池组以 $6^\circ /s$ 的速度进行翻转试验, 对样品3个相互垂直的方向进行翻转, 每个方向旋转 360° 。对于圆柱型等只有两个对称的电池组, 只需对两个相互垂直的方向进行翻转。

d) 持续观察2周。

8.19 浸泡

8.19.1 要求

电池组应不起火、不爆炸。

8.19.2 浸泡试验方法

a) 电池组按照4.5.1方法充电;

b) 将电池组放置在防爆装置内, 浸入3.5% NaCl溶液(模拟海水成分), 水深完全没过电池组;

d) 持续观察2周。

9 检验规则

9.1 测试项目

表3为电池和电池组的性能试验项目, 表4为电池安全试验项目, 表5为电池组安全试验项目。

表3 电池和电池组性能试验项目

序号	试验项目	要求及试验方法	样品编号	
			电池	电池组
1	外观质量检查	6.1	1~21	1~8
2	样品预处理	4.6.3	1~21	1~8
3	初始容量	6.2	1~21	1~8
4	能量密度	6.3	1~21	1~8
5	瞬时功率密度	6.4	1~21	1~8
6	持续功率密度	6.5	1~21	1~8
7	高温放电容量	6.6	1~3	1
8	低温放电容量	6.7	4~6	2
9	倍率放电容量	6.8	7~9	3
10	短时高温快速放电	6.9	10~12	4

11	室温荷电保持与容量恢复能力	6.10	13~15	5
12	高温荷电保持与容量恢复能力	6.11	16~18	6
13	循环寿命	6.12	19~21	7
14	绝缘电阻	6.13	—	8

表4 电池安全试验项目

序号	试验项目	要求及试验方法	样品编号
1	外观质量检查	6.1	1~30
2	样品预处理	4.6.3	1~30
3	初始容量	6.3	1~30
4	过放电	7.1	1~3
5	过充电	7.2	4~6
6	外部短路	7.3	7~9
7	快速循环后安全	7.4	10~12
8	反向充电	7.5	13~15
9	热滥用	7.6	16~18
10	高温使用	7.7	19~21
11	挤压	7.8	22~24
12	跌落	7.9	25~27
13	热失控	7.10	28~30

表5 电池组安全试验项目

序号	试验项目	要求及试验方法	样品编号
1	外观质量检查	6.1	1~18
2	样品预处理	4.6.3	1~18
3	初始容量	6.3	1~18
4	静电放电	8.1	1~18
5	过压充电保护	8.2	1~3
6	过流充电保护	8.3	
7	外部短路保护	8.4	
8	外部短路	8.5	4
9	反向充电保护	8.6	5~7
10	过温保护	8.7	
11	欠压放电保护	8.8	
12	欠压放电	8.9	8
13	低气压	8.10	9~11
14	温度循环	8.11	
15	湿度	8.12	
16	雷电感应瞬态敏感度	8.13	
17	振动	8.14	
18	工作冲击	8.15	12
19	坠撞安全	8.16	13
20	热蔓延	8.17	14~16
21	翻转	8.18	17
22	浸泡	8.19	18

9.2 判定规则

当所有试验项目均满足规定时，则判为型式试验合格。如果任何一个项目中一只样品或一只以上样品不符合规定的要求时，应停止试验，生产方对不合格项目进行分析，找出不合格原因并采取纠正措施后，可重新进行型式试验，若重新试验合格，则仍判定试验合格；若重新试验仍有某个项目中一只样品或一只以上样品不符合规定的要求，则判定型式试验不合格。

参 考 文 献

- [1] GB/T 19596—2017 电动汽车术语
 - [2] GB/T 38058 民用多旋翼无人机系统试验方法
 - [3] GB/T 46460 无人驾驶航空器用锂离子电池和电池组规范
 - [4] GB/T 31486 电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法
 - [5] MH/T 1052—2013 航空运输锂电池测试规范
 - [6] 低空航空器动力电池技术路线图（2025版）
 - [7] RTCA DO-311A Minimum Operational Performance Standards for Rechargeable Lithium Battery Systems
 - [8] RTCA/DO-160G Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment
 - [9] UN38.3(第7版) Recommendations on the transport of dangerous goods—Manual of tests and criteria—38.3 lithium metal and lithium batteries
-