

T/CASME

团 体 标 准

T/CASME XXXX—2025

电动垂直起降航空器（eVTOL）用固态电池 技术规范

Technical specifications for solid-state batteries of electric vertical take-off and
landing aircraft (eVTOL)

（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

中国中小商业企业协会 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、符号和编码	1
4 技术要求	3
5 试验方法	6

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XXXX协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

电动垂直起降航空器（eVTOL）用固态电池技术规范

1 范围

本文件规定了电动垂直起降航空器用固态电池的性能要求和安全要求等，描述了相应的试验方法，不涉及功能特征。

本文件适用于电动垂直起降航空器上的提供动力和备份动力的高压电源系统。

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 2900.41 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 4208-2017 外壳防护等级 (IP代码)

GB/T 19596-2017 电动汽车术语

GB/T 31467-2023 电动汽车用锂离子动力电池包和系统电性能试验方法

GB 38031-2025 电动汽车用动力蓄电池安全要求

GB/T 44911-2024 航空器 机载设备环境和操作条件 湿度、温度和大气压力试验

T/CSAE 434-2025 全固态电池判定方法

3 术语、定义、符号和编码

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

固体电解质 *solid electrolyte*

含有可移动离子并具有离子导电性的固体物质。

3.1.2

固态电池 *solid-state battery*

主要由固体电解质在正负极之间传递离子的电池。

3.1.3

全固态电池 *all-solid-state battery*

只由固体电解质在正负极之间传递离子的电池（干重重量损失<1%）。

3.1.4 电池单体 *battery cell*

将化学能与电能进行相互转换的基本单元装置。

注：通常包括电极、隔膜、电解质、外壳和端子，并被设计成可充电。

[来源：GB 38031-2025，3.1]

3.1.5

电池模组 *battery module*

将一个以上电池单体按照串联、并联或串并联方式组合并作为电源使用的有一定封装结构的组合体。

[来源：GB 38031-2025，3.2，有修改]

3.1.6

电池包

从外部获得电能并能够对外输出电能的单元。

注：通常包括电池单体、电池管理模组（不含BCU）、电池箱及相应附件（冷却部件、连接线缆等）。

[来源：GB 38031-2025，3.3]

3.1.7

电池系统

一个或一个以上的电池模组或电池包及相应附件(管理系统、高压电路、低压电路及机械总成等)构成的能量存储装置。

[来源: GB 38031-2025, 3.4, 有修改]

3.1.8**额定容量**

以制造商规定的条件测得的并由制造商申明的电池单体、模组、电池包或系统的容量值。

注: 额定容量通常用安时(Ah)或毫安时(mAh)来表示。

[来源: GB 38031-2025, 3.8]

3.1.9**荷电状态**

当前电池单体、模组、电池包或系统中按照制造商规定的放电条件可释放的容量占实际容量的百分比。

[来源: GB 38031-2025, 3.10]

3.1.10**标称电压**

制造商规定的用以标识电池单体、模组、电池包或系统电压的适宜的近似值。

3.1.11**充电上限电压**

制造商规定的电池单体、模组、电池包或系统正常运行时能承受的最高安全充电电压。

3.1.12**放电终止电压**

制造商规定的电池单体、模组、电池包或系统放电结束时的电压。

3.1.13**放电倍率**

室温下, 最大允许输出电功率(W)值和 $1I_1$ 倍率放电能量(Wh)值的比值。

3.1.14**充电倍率**

室温下, 最大允许充电电流值和 $1I_1$ 电流值的比值。

3.1.15**充放电循环次数**

规定条件下, 电池以额定功率循环充放电时, 放电容量衰减至制造商推荐的容量保证值时的等效循环次数。

3.1.16**放电深度**

电池在使用过程中已放出能量与其额定能量的比值。

3.1.17**爆炸**

突然释放足以产生压力波或者喷射物的能量。

[来源: GB 38031-2025, 3.11]

3.1.18**起火**

电池单体、模组、电池包或系统任何部位发生持续燃烧(火焰持续时间大于1s)。

[来源: GB 38031-2025, 3.12]

3.1.19**泄露**

有可见物质从电池单体、模块、电池包或系统中漏出至试验对象外部的现象。

注: 可见物质在不拆卸试验对象的情况下通过目视判断。

[来源: GB 38031-2025, 3.14]

3.1.20

热失控

电池单体放热连锁反应引起电池温度不可控上升的现象。

[来源：GB 38031-2025, 3.15]

3.1.21**热扩散**

电池包或系统内由一个电池单体或规定的多个单体热失控引发的其余电池单体接连发生热失控的现象。

[来源：GB 38031-2025, 3.17, 有修改]

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

I_1 : 1h率放电电流(A), 其数值等于额定容量值。

I_3 : 3h率放电电流(A), 其数值等于额定容量值的1/3。

3.3 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BMS: 电池管理系统 (Battery Management System)

DOD: 放电深度 (depth of discharge)

FS: 满量程 (full scale)

PSD: 功率谱密度 (power spectral density)

RMS: 均方根 (root mean square)

SOC: 荷电状态 (state-of-charge)

4 技术要求**4.1 一般要求**

电池模组或电池包由满足本文件型式要求的电池单体组成, 电池系统由满足本文件型式要求的电池模组或电池包组成。

4.1.1 适用性判定

电池单体如果与已测试型号存在如下差异, 则应被视为新的型号。

- a) 容量偏差超过 $\pm 10\%$;
- b) 额定能量变化超过 $\pm 20\%$ 或标称电压变化超过 $\pm 20\%$;
- c) 阳极、阴极、隔膜或电解液材料的改变;
- d) 电池单体安全设计的改变。

4.1.2 外观和质量**4.1.2.1 电池单体**

电池单体外观、尺寸和质量应满足下列要求:

- a) 外观无划痕、变形及破损, 正负极无锈蚀, 标识正确、清晰;
- b) 质量相对偏差不大于 1% ;
- c) 体积能量密度不小于体积能量密度标称值;
- d) 质量能量密度不小于质量能量密度标称值;
- e) 尺寸相对偏差不大于 1% 。

4.1.2.2 电池系统

电池系统外观、尺寸和质量应满足下列要求:

- a) 外观无变形及破损, 结构完整, 标识正确、清晰;
- b) 质量相对偏差不大于 1.5% 。

4.2 电性能

4.2.1 重量能量密度

按照GB/T 31467-2023, 7.10规定的测试方法, 电池单体及电池模组或电池包的重量能量密度应满足如下要求:

- a) 电池单体: 重量能量密度不低于 400 Wh/kg;
- b) 电池模组或者电池包: 重量能量密度不低于 300 Wh/kg。

4.2.2 体积能量密度

按照GB/T 31467-2023, 7.10规定的测试方法, 计算3次放电能量的平均值, 使用电池单体及电池模组或电池包最大长、宽(或者厚度)、高尺寸(不包含电池单体极耳)的乘积作为体积, 计算电池单体及电池模组或电池包的体积能量密度, 体积能量密度应满足如下要求:

- a) 电池单体: 体积能量密度不低于 1000 Wh/L;
- b) 电池模组或者电池包: 重量能量密度不低于 500 Wh/L。

4.2.3 容量保存率

4.2.3.1 温度容量保持率

电池单体按照GB/T 31467-2023, 7.10规定的测试方法进行容量测试, 容量性能应满足下列要求:

- a) 25℃条件下, 其放电容量不应低于标称容量;
- b) 按0℃条件下, 其放电容量不应低于标称容量的90%;
- c) -10℃条件下, 其放电容量不应低于标称容量的80%;
- d) -20℃条件下, 其放电容量不应低于标称容量的70%。

4.2.3.2 室温倍率容量保持率

电池单体按照GB/T 31486-2024, 6.2.6规定的测试方法进行放电测试, 其倍率性能应满足下列要求:

- a) 电池单体以 $3I_0$ 电流放电, 其放电容量不应低于标称容量的95%;
- b) 电池单体以 $6I_0$ 电流放电, 其放电容量不应低于标称容量的90%;
- c) 电池单体以 $9I_0$ 电流放电, 其放电容量不应低于标称容量的85%。

4.2.4 循环能力

在25℃条件下, 电池单体以 I_0 电流充电、 $3I_0$ 电流放电, 100%DoD区间, 循环次数500周时, 容量衰减不超过20%。

在45℃条件下, 电池单体以 I_0 电流充电、 $3I_0$ 电流放电, 100%DoD区间, 循环次数300周时, 容量衰减不超过20%。

4.2.5 荷电保持与容量恢复能力

电池单体按照GB/T 31486-2024, 6.10规定的高能量电池方法进行测试, 要求:

- a) 在25℃条件下, 电池单体在存储30 d后其容量保持率不应低于初始容量的90%, 容量恢复率不低于95%;
- b) 在45℃条件下, 电池单体在存储7 d后其容量保持率不应低于初始容量的90%, 容量恢复率不低于95%。

4.3 电池单体安全要求

4.3.1 电气安全

4.3.1.1 过充电

电池单体按照GB 38031-2025, 8.1.3规定的方法进行过充电测试, 不应起火、不应爆炸。

4.3.1.2 过放电

电池单体按照GB 38031-2025, 8.1.2规定的方法进行过放电测试, 不应起火、不应爆炸。

4.3.1.3 外部短路

电池单体按照GB 38031-2025，8.1.4规定的方法进行外部短路测试，不应起火、不应爆炸。

4.3.2 电池单体机械安全要求

4.3.2.1 挤压

电池单体按照GB 38031-2025，8.1.7规定的方法进行挤压测试，不应起火、不应爆炸。

4.3.2.2 跌落

电池单体按照本文件5.2.1进行跌落测试，，不应冒烟、不应起火、不应爆炸。

4.3.2.3 冲击

电池单体按本文件5.2.2进行冲击测试，不应冒烟、不应起火、不应爆炸。

4.3.3 电池单体热安全要求

4.3.3.1 加热

电池单体按照GB 38031-2025，8.1.5规定的方法进行加热测试，不应起火、不应爆炸。

4.3.3.2 温度循环

电池单体按照GB 38031-2025，8.1.6规定的方法进行温度循环测试，不应起火、不应爆炸。

4.4 电池组安全要求

如下安全要求适用于电池模组、电池包及电池系统。

4.4.1 电池组电气安全要求

4.4.1.1 带保护过充电

电池组按照本文件5.3.1方法进行测试，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.1.2 过放保护

电池组按照本文件5.3.2方法进行测试，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.1.3 短路保护

电池组按照GB 38031-2025，8.2.13规定的方法进行短路保护测试，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.2 电池组结构与环境适应性安全要求

4.4.2.1 高海拔

电池组按照GB 38031-2025，8.2.10规定的方法进行高海拔测试，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.2.2 冲击

电池组按照本文件5.3.3方法进行冲击测试，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.2.3 坠撞安全

电池组按照本文件5.3.4进行测试，在试验环境温度下观察1h，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.2.4 振动

电池组按照本文件5.3.5方法进行振动测试。完成测试后，在试验环境温度下观察1h，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象，应无紧固件与结构脱落。

4.4.2.5 盐雾

电池组按照GB 38031-2025, 8.2.9规定的方法进行盐雾测试, 应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象, 且试验对象的绝缘电阻值应不低于500 Ω/V 。

对于完全放置封闭式舱室的试验对象, 可不进行盐雾试验。

4.4.2.6 防水等级

电池组按照GB 38031-2025, 8.2.6规定的方法进行测试, 测试结果应满足GB/T 4208—2017中所规定的IPX7防护等级。

对于完全放置封闭式舱室的试验对象, 可不作防护等级要求。

4.4.2.7 湿热循环

电池组按照GB 38031-2025, 8.2.5规定的方法进行湿热循环测试, 应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.3 电池组热安全要求

4.4.3.1 温度冲击

电池组按照GB 38031-2025, 8.2.8规定的方法进行温度冲击测试, 应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。

4.4.3.2 热失控扩散

电池系统按照本文件5.3.6方法进行热失控扩散测试, 应不起火、不爆炸。

5 试验方法

5.1 一般测试条件

测试条件:

- 除另有规定外, 试验环境温度为22 $^{\circ}\text{C} \pm 5$ $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为10%~90%, 大气压力为86 kPa~106 kPa。
- 若试验对象为电池单体, 可带工装夹具测试。若电池单体无法独立工作, 应采用电池模组进行试验。
- 如果电池包或系统由于尺寸或质量等原因不适合进行部分测试, 那么制造商与检测机构协商一致后可用电池子系统代替作为试验对象, 进行全部或部分测试。如果选择电池子系统进行测试, 应证明测试结果可代表电池包或系统在相同条件下的安全性能。
- 调整SOC至试验目标值n%的方法: 按照GB 38031-2025, 6.1.7规定的方法执行。
- 测试过程中的充放电倍率大小、充放电方法和充放电终止条件由制造商提供。
- 除另有规定外, 试验对象均以制造商规定的最高工作荷电状态进行测试。

5.2 电池单体测试方法

5.2.1 跌落测试

跌落测试:

- 试验对象为电池单体。
- 试验对象按按制造商提供的方法充电至截止电压。
- 将试验对象从1.5 m高度处自由跌落到水泥地面;
- $\pm X$ 、 $\pm Y$ 、 $\pm Z$ 每个方向各跌落一次;
- 完成以上试验步骤后, 在试验环境温度下观察1 h。

5.2.2 冲击测试

冲击测试:

- 试验对象为电池单体；
- 试验对象按制造商提供的方法充电至截止电压；
- 对试验对象施加图1规定的后峰锯齿波，最大加速度 6 g ，波形持续时间 11 ms ；
- $\pm X$ 、 $\pm Y$ 、 $\pm Z$ 每个方向各冲击三次；
- 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察 1 h 。

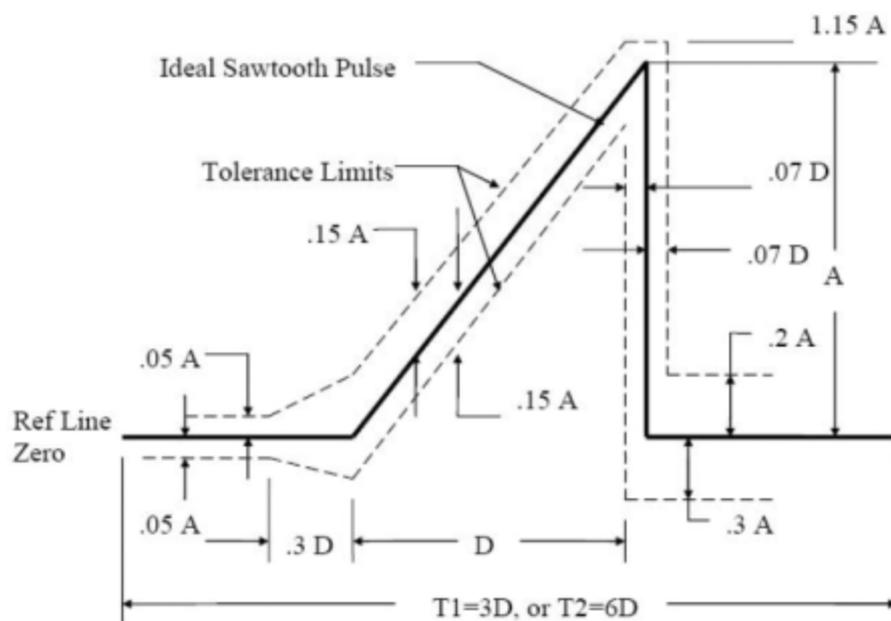


图1 冲击测试波形示意图

5.3 电池组测试方法

5.3.1 带保护过充电

带保护过电：

- 试验对象为电池模组、电池包或电池系统；
- 试验对象按制造商提供的充电方法充电至截止电压；
- 确定影响试验对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态；
- 将电池系统连接到电压限制为额定标称电池电压的 1.5 倍的电源上，对电池系统进行过充电测试；
- 当电池系统自动终止充电电流或电池系统发出终止充电信号或电池系统温度达到制造商规定的最高工作温度以上 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时终止测试；
- 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察 2 h 。

5.3.2 过放保护

电池系统按制造商提供的方法调整soc至较低水平，禁用系统放电保护功能，以 $1I_1$ 电流将电池系统放电至标称电压的 5% 。观察 1 h 。应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象：

- 试验对象为电池模组、电池包或电池系统；
- 试验对象按5.1.4方法调整soc至较低水平（ 30% 以下）；
- 禁用测试对象的放电保护功能；
- 以 $1I_1$ 电流将电池系统放电至标称电压的 5% ；
- 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察 2 h 。

5.3.3 冲击测试：

冲击测试：

- 试验对象为电池模组、电池包或电池系统；

- b) 试验对象按按制造商提供的方法充电至截止电压；
- c) 对试验对象施加图1规定的后峰锯齿波，最大加速度6 g，波形持续时间11 ms；
- d) $\pm X$ 、 $\pm Y$ 、 $\pm Z$ 每个方向各冲击三次；
- e) 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察2 h。

5.3.4 坠撞安全测试

坠撞测试：

- a) 试验对象为电池模组、电池包或电池系统；
- b) 试验对象按按制造商提供的方法充电至截止电压；
- c) 对试验对象施加图1规定的后峰锯齿波，最大加速度20 g，波形持续时间11 ms
- d) $\pm X$ 、 $\pm Y$ 、 $\pm Z$ 每个方向各冲击一次；
- e) 通过离心机或火箭撬对试验对象施加4 g（上）、20 g（下）、18 g（前）、1.5 g（后）、8 g（侧向）持续加速度载荷，持续时机不小于3 s；
- f) 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察2 h。

5.3.5 振动测试

振动测试：

- a) 试验对象为电池模组、电池包或电池系统；
 - b) 试验对象可选择如下两种测试方法中的一种；
- 方法一：使用GB 38031-2025 8.2.1中规定的非M1、N1类振动测试条件进行试验。

方法二：

- 1) 试验对象按按制造商提供的方法充电至截止电压；
- 2) 按照试验对象实际安装位置、固定方式将试验对象安装在振动台上；
- 3) 按图2和表1的频谱曲线对试验对象施加随机振动载荷，加载顺序宜为z轴、y轴、x轴；
- 4) 完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察2 h。

表1随机振动频谱分布

频率Hz	5	40	200	300
W/W_0	0.126	1	1	0.199

注：试验时 $W_0=0.1$ ， $G_{rms}=4.76$

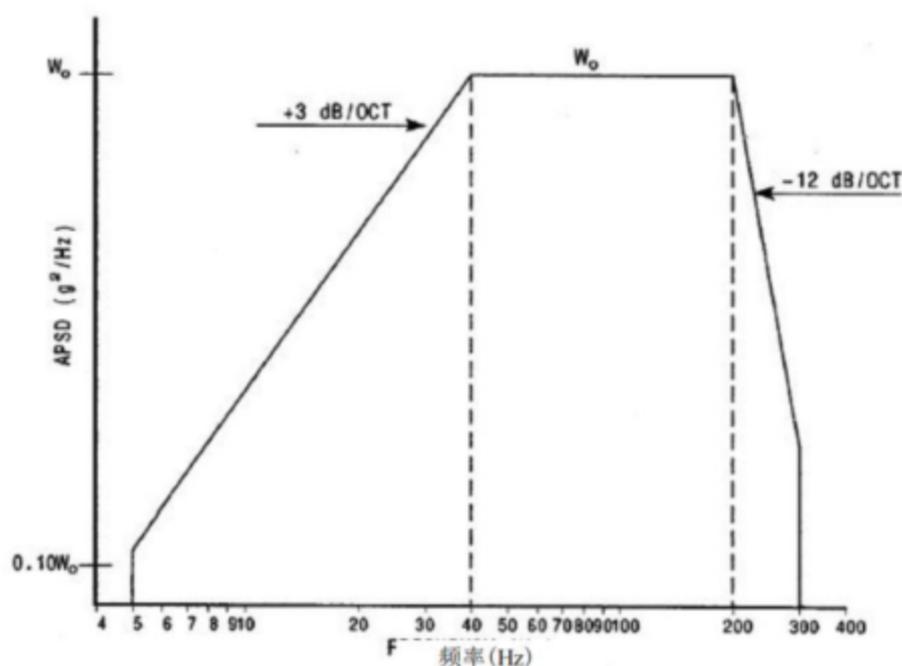


图2 振动测试曲线

5.3.6 热失控扩散验证

热失控扩散验证：

- a) 试验对象为电池模组、电池包或系统；
- b) 试验对象按制造商提供的方法充电至截止电压；
- c) 在试验对象中选取两个相邻的电芯上做为触发目标（优先选择试验对象中部的电芯，次选在试验对象端部的电芯）；
- d) 优先使用加热形式触发电芯热失控（也可使用GB 38031推荐的其他形式触发方式，如选用其他形式触发，触发流程按GB 38031相应步骤执行）；
- e) 触发目标需安装加热装置或者其他形式触发装置；
- f) 试验对象温度调整至55~57℃范围；
- g) 在试验对象内部温度下降到50℃前进行加热，直至电池发生热失控；加热功率按表2规定执行；
- h) 试验对象内至少有两个电芯在30s内触发热失控；
- i) 一旦发生热失控，就可移除加热电源；
- j) 触发电池单体发生热失控后，在试验环境温度下观察，直至所有监测点温度均不高于60℃，且观察时间至少2h，结束试验。

热失控触发判定条件：

- 1) 触发对象产生电压降，且下降值超过初始电压的25%；
- 2) 监测点温度达到制造商规定的最高工作温度；
- 3) 监测点的温升速率 $dT/dt \geq 1$ ℃/s，且持续3s以上；
- 4) 制造商申报的其他形式触发条件。

当1)和3)或者2)和3)发生时，判定发生热失控。当4)与1)、2)、3)中任意两条同时触发时亦可判定热失控发生。

表2 不同触发对象能量与加热功率对照表

触发对象电能E (Wh)	加热功率(W)
$E < 100$	30~300

$100 \leq E < 400$	$300 \sim 1000$
$400 \leq E < 800$	$300 \sim 2000$
$E \geq 800$	> 600
