ICS 29.220.99
CCS K 82

团　　体　　标　　准

T/CES XXX-XXXX

电力巡检无人机用混合固液锂离子电池技术规范

Technical specification for hybrid solid-liquid lithium-ion batteries used in power inspection unmanned aerial vehicles

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会　发布

目　　次

前言 II
引言 III
1　范围 4
2　规范性引用文件 4
3　术语和定义 4
4　符号 5
5　技术要求 6
5.1　一般要求 6
5.2　材料要求 6
5.3　电性能要求 7
5.4　状态感知与健康管理要求 7
5.5　充放电安全边界要求 8
5.6　充放电管理要求 9
5.7　电力巡检无人机适应性要求 10
6　试验方法 11
6.1　试验条件 11
6.2　材料试验 12
6.3　电性能试验 12
6.4　状态感知与健康管理试验 13
6.5　安全边界试验 14
6.6　充放电管理试验 15
6.7　电力巡检无人机适应性试验 15
7　检验规则 16
7.1　检验分类 16
7.2　型式检验 16
7.3　出厂检验 17
7.4　检验项目 17
7.5　判定规则 18
8　使用与维护 18
8.1　使用 18
8.2　维护 18
附录 A（规范性）　健康状态标定与容量校准方法 19
附录 B（规范性）　混合固液电解质材料试验方法 20
附录 C（资料性）　电力巡检典型工况、任务剖面与电池选型指南 22
参考文献 24

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出并归口。

本文件起草单位：国网福建省电力有限公司电力科学研究院、福州大学、福建中试所电力调整试验有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、国网福建省电力有限公司、国网综合能源服务集团有限公司、中国电力科学研究院有限公司、中国移动通信集团福建有限公司、广西电网有限责任公司电力科学研究院、北方工业大学。

本文件主要起草人：林文彬、林琼斌、王清凉、周朝晖、余东旭、王楠、周喜超、张磊、陈恬灵、张抒凌、孙柏宁、陈雨鸽、吴丽琴、李建平、刘晨旭、李智诚、陈凌、李晓东、谢靖航、肖静、陈千懿、吴晓锐、张伟骏、庄泽文、王钺焜、纪汉东、李玉。

本文件为首次发布。

引　言

混合固液锂离子电池兼具液态锂离子电池的离子传导优势与固态电解质的本征安全特性，是实现高比能、高安全储能器件的重要技术方向。电力巡检无人机长期在野外、高海拔、低温等复杂工况下作业，对动力电池的能量密度、环境适应性与安全边界提出了更高要求。

本文件围绕混合固液锂离子电池在电力巡检无人机领域的应用需求，在材料体系、电性能、状态感知与健康管理、充放电安全边界、充放电管理、电力巡检无人机适应性等方面规定了技术要求与相应的试验方法，并给出检验规则，为混合固液锂离子电池在电力巡检无人机领域的示范应用与规模化推广提供统一的技术评价依据。

本文件不涉及混合固液锂离子电池的结构设计与制造工艺。

电力巡检无人机用混合固液锂离子电池技术规范

1 范围

本文件规定了电力巡检无人机用混合固液锂离子电池（以下简称“混合固液电池”）及其电池组的技术要求、试验方法、检验规则和使用与维护。

本文件适用于电力巡检无人机用混合固液锂离子电池单体（电芯）及电池组的设计、生产、检验、使用与示范应用。其他工业级无人驾驶航空器用混合固液锂离子电池可参照执行，其典型工况、任务剖面与验证要求可按附录 C 确定。

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 2423.3 环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Cab：恒定湿热试验
GB/T 2423.5 环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Ea 和导则：冲击
GB/T 2423.10 环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Fc：振动（正弦）
GB/T 2423.21 环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 M：低气压
GB/T 2423.22 环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 N：温度变化
GB/T 2423.37 电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 L：沙尘试验
GB/T 2900.41 电工术语　原电池和蓄电池
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 17626.4 电磁兼容　试验和测量技术　电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
GB/T 17626.8 电磁兼容　试验和测量技术　工频磁场抗扰度试验
GB 31241 便携式电子产品用锂离子电池和电池组　安全技术规范
GB/T 31467.3 电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第 3 部分：安全性要求与测试方法
GB 38031—2025 电动汽车用动力蓄电池安全要求
GB/T 39560 电子电气产品中某些物质的测定
GB 42590—2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求
GB/T 43568—2026 电动汽车用固态电池　第 1 部分：术语和分类
GB/T 46460—2025 无人驾驶航空器用锂离子电池和电池组规范
SJ/T 11862—2022 锂电池术语

3 术语和定义

GB/T 2900.41、GB/T 43568—2026、SJ/T 11862—2022 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

混合固液锂离子电池 hybrid solid-liquid lithium-ion battery

同时存在固态电解质与液态电解质、由二者共同参与离子传导，且液态电解质质量分数介于 5 %～20 % 之间的锂离子电池体系，即采用固液混合电解质体系的锂离子电池。

3.2

高比能 high specific energy

单体电芯质量能量密度不低于 300 Wh/kg 的技术特征。

3.3

电极-电解质界面 electrode-electrolyte interface

电极活性材料与混合固液电解质接触所形成的、承担锂离子传输与电荷转移功能的界面层，含固态电解质界面膜（SEI）与正极电解质界面膜（CEI）。

3.4

健康状态 state of health；SOH

表征电池当前性能相对于初始性能衰退程度的无量纲量，以容量衰减或内阻增长等特征表示，取值范围 0～1（或 0 %～100 %）。

3.5

状态特征提取 feature extraction of battery states

从电池运行或测试数据中提取能够反映老化、内阻、容量与安全状态的可量化特征参数的过程。

3.6

充放电安全边界 charge-discharge safety boundary

电池在规定工作条件下可安全运行的电压、电流、温度、荷电状态等参数的允许范围集合。

3.7

安全操作区 safe operating area；SOA

由 3.6 规定的充放电安全边界在多维参数空间中围成的安全运行区域，需在电池管理系统中标定并强制执行。

3.8

老化机理 aging mechanism

电池在日历老化与循环老化过程中，由界面副反应、活性锂损失、活性材料损失与结构退化等引起的容量衰减与内阻增长的内在规律。

3.9

电力巡检无人机 power inspection unmanned aerial vehicle

用于输电线路、变电站及配电设施巡检作业的工业级无人驾驶航空器。

3.10

长航时 long endurance

单次充电后可支持无人机连续执行巡检作业、航时不低于 40 min 的技术特征，用于表征电池组对长距离、长时段巡检任务的支撑能力。

3.11

电池组 battery pack

由两个及以上单体电芯通过串联、并联或混联方式连接，并配有外壳、连接件及电池管理系统，能够作为一个整体对外供电的电池系统。

3.12

快速充电 quick charging

常温条件下由 20 % SOC 充至 80 % SOC 的充电时间不大于 30 min 的充电方式。

4 符号

下列符号适用于本文件。

表 1 符号

符 号	说 明	单 位
C	充放电倍率；1C 表示以 1 h 放完标称容量的电流值	—
E_m	单体电芯质量能量密度	Wh/kg
E_v	单体电芯体积能量密度	Wh/L
P_m	质量功率密度（30 s）	W/kg
R_{ac}	交流内阻	mΩ
SOC	荷电状态	%
SOH	健康状态	%

T_{op}	工作温度	℃
η_c	低温容量保持率	%

5 技术要求

本章按关键材料、单体电芯、电池管理系统及无人机用电池组四个层级规定技术要求：5.2 针对混合固液电解质等关键材料，5.3～5.6 针对单体电芯及其电池管理系统，5.7 针对电力巡检无人机用电池组及其应用适配。除条款中另有说明外，5.3～5.6 的性能指标针对单体电芯，标注“电池组”的要求适用于由单体电芯串并联组成的电池组。

5.1 一般要求

5.1.1 外观

电池外观应完整、表面整洁、零部件齐全，无变形、破损、渗漏等缺陷。

5.1.2 外形尺寸

外形尺寸应符合设计要求，各方向尺寸允许偏差应符合设计规定（未规定时，长度、宽度、厚度方向偏差宜不大于标称尺寸的 ±1 %）。

5.1.3 质量

质量应符合设计要求，允许偏差宜不大于标称质量的 ±1 %。

5.1.4 密封性

电池泄漏率应不大于 1.0×10^{-7} Pa • m^3/s；该限值按氦质谱检漏法的工程可接受漏率水平确定，试验方法见 6.1.7。

5.2 材料要求

5.2.1 混合固液电解质材料

混合固液电解质按固态电解质类型可分为聚合物型、无机型（氧化物、硫化物、卤化物等）及复合型。无人机用混合固液电池宜采用凝胶或原位固化聚合物电解质，以及其与氧化物复合的电解质体系，液态组分以凝胶或含锂盐电解液的形式存在。本文件涉及的混合固液电解质为预聚溶液与固化后聚合物固态电解质组成的体系，与车用动力电池常用的固液体系在固/液配比与组分上存在差异，选材时应予区分。

混合固液电解质（含预聚溶液与固化后聚合物固态电解质）的技术指标应符合表 2 要求。

表 2 混合固液电解质材料技术指标

类 别	指 标 项	单 位	技术指标
物理指标	色度	Hazen	≤ 50.0
物理指标	粘度	mPa·s	标称值 ±1.0
物理指标	密度	g/cm³	标称值 ±0.05
电化学指标	离子电导率（25 ℃）	mS/cm	预聚溶液与固化后均 ≥ 0.5
电化学指标	电化学稳定窗口	V	≥ 4.0（vs Li/Li^+ ）
电化学指标	液态电解质质量分数	%	5～20
化学指标	水分	mg/kg	≤ 20.00
化学指标	游离酸（以 HF 计）	mg/kg	≤ 50.00
化学指标	铁、铜、镍、铬等金属杂质	mg/kg	单元素 ≤ 1.0
化学指标	氯离子（Cl^- ）	mg/kg	≤ 1.0

注：离子电导率、电化学稳定窗口为混合固液电池实现高比能与高安全的关键参数；液态电解质质量分数用于界定混合固液电池的技术边界，低于 5 % 视为全固态方向，高于 20 % 视为传统液态电池。

5.2.2 电极关键材料

电极关键材料应符合下列要求：

a） 正极材料：宜采用高镍三元（NCM/NCA）或高电压正极体系以支撑高比能，晶体结构应具备较高的能量密度与相变稳定性，避免锂枝晶与结构坍塌；

b） 负极材料：宜采用硅碳（Si/C）或石墨体系；硅基负极应进行体积膨胀抑制与界面稳定处理；

c） 导电剂与粘结剂：应与混合固液电解质相容，保障离子/电子传输通道并抑制界面副反应。

5.2.3 电极-电解质界面

电极-电解质界面应符合下列要求：

a） 界面阻抗：电极-电解质界面形成后，界面阻抗应不高于 50 Ω • cm^2（以对称电池或电化学阻抗谱测试表征）；

b） 界面稳定性：在 25 ℃～60 ℃ 工作温度范围内，经 100 % 充满电存储 7 d，界面阻抗增长率应不高于 30 %；

c） 界面膜：应形成稳定、均一、致密的正/负极界面膜，抑制持续副反应与活性锂损耗。

5.3 电性能要求

混合固液电池的电性能要求应符合表 3 规定。

表 3 混合固液电池电性能要求

项 目	技术要求	说 明
质量能量密度 E_m	≥ 300 Wh/kg（单体电芯）	高比能核心指标，支撑巡检续航提升
体积能量密度 E_v	≥ 650 Wh/L（单体电芯）	高比能核心指标，受电池舱空间约束
质量功率密度 P_m	≥ 800 W/kg（30 s，单体电芯）	30 s 功率密度，支撑起降与机动工况
常温放电容量	不低于额定容量	23 ℃±2 ℃，1C 恒流放电至终止电压
低温放电容量（−20 ℃）	≥ 额定容量的 80 %	−20 ℃±2 ℃，静置 ≥4 h，1C 放电
低温放电容量（−40 ℃）	≥ 额定容量的 50 %	−40 ℃±2 ℃，静置 ≥4 h，1C 放电
高温放电容量（55 ℃）	≥ 额定容量的 95 %	55 ℃±2 ℃，静置 5 h，1C 放电
倍率放电（3C/10C）	持续 3C 容量保持 ≥ 90 %；峰值 10C 容量保持 ≥ 80 %	3C 为持续放电、10C 为峰值放电
荷电保持能力	≥ 额定容量的 90 %	满电存放 30 d
循环寿命	≥ 1000 次（容量保持 ≥ 80 %）	按 6.3.9 评定
高倍率循环寿命	≥ 500 次（容量保持 ≥ 80 %）	模拟典型巡检任务高倍率工况，按 6.3.9 评定
交流内阻 R_{ac}	≤ 标称值	由制造商在产品规格书中规定；电池组内各单体极差应满足 5.6.4 的一致性要求

注：表 3 适用于单体电芯；除另有规定外，表中指标为按第 6 章规定试验条件测得的性能试验判据，不等同于电池正常运行状态下的安全操作区（SOA）边界；交流内阻的标称值由制造商在产品规格书中规定。

5.4 状态感知与健康管理要求

5.4.1 状态特征参数

电池管理系统（BMS）应至少采集并记录下列可在线直接获取的运行状态量：端电压、充放电电流、温度、累计充放电安时量、交流内阻、可用容量及倍率放电特征。BMS 宜采用“微控制器（MCU）+ 电池模拟前端（AFE）”架构，实现毫伏级电压、毫安级电流同步采样与被动/主动均衡；在线状态量的采集与特征提取应仅使用 BMS 可直接获取的信号，不依赖额外传感器，以保证工程可落地性。需通过离线检测或诊断获得的特征参数（如电化学阻抗谱特征频率、界面弧等）不属于在线状态量，应按 5.4.2 单独标明测试条件。

5.4.2 状态特征提取

应具备从运行与测试数据中提取老化相关特征的能力，并按下列两类分别提取：

a） 在线特征（由 BMS 在线采集信号提取）：容量衰减量、内阻增长率、恒流恒压（CC-CV）充电时间占比、放电平台电压、峰值温升速率 dT/dt、循环序列等；

b） 离线特征（需通过离线检测或诊断获得）：电化学阻抗谱（EIS）特征频率、界面弧等，应按 6.4.2 离线测定并标明测试条件。

混合固液电池以界面阻抗增长与极化主导退化，其外部电气特性对温度与 SOC 更敏感，液态电池的特征在混合固液体系中灵敏度与稳定性下降、映射关系改变；特征提取应采用多尺度方法捕捉极化与非线性波形特征，并随老化阶段动态更新特征权重。

特征提取方法应可追溯、可复现。

5.4.3 健康状态估计

应建立面向混合固液电池退化机理的专用健康状态（SOH）估计方法，给出单体/电池组 SOH 与剩余可用寿命（RUL）估算；不应直接沿用液态锂离子电池 SOH 方法，以免产生系统性误差。SOH 估计误差的定义、计算与评定方法见 6.4.3。

宜融合机理模型与数据驱动模型：机理侧刻画界面阻抗增长与极化主导的容量衰减；数据驱动侧采用多尺度特征提取与时序建模。

SOH 估计误差应不大于 8 %，估算周期不大于一个完整充放电循环，并应按附录 A 以容量标定法定期校正。

5.4.4 数据记录与通信

BMS 应记录循环次数、累计充放电量、最大/最小温度、最大内阻、SOC、SOH 及告警记录等，并具备对外通信接口，支持地面站读取 SOH 与安全状态。

BMS 宜向无人机飞控与（或）地面站提供 SOC、SOH、单体/模组温度、电压极值及告警状态等信息，更新周期应不大于 1 s（或按技术协议约定）；关键安全类告警应优先发送。

SOC、SOH、单体/模组温度、电压极值及告警状态等信息要求保存至少一个充放电周期。

数据传输应具备完整性校验，关键安全类信息应具备重传机制；通信中断时应保持最近一次有效状态并下发通信故障告警。对外通信应采取身份认证或访问控制措施，防止未授权读取或改写 BMS 参数与安全边界。

5.5 充放电安全边界要求

5.5.1 安全操作区（SOA）

应明确并标定下列充放电安全边界，且在 BMS 中强制执行。

表 4 充放电安全边界推荐范围

边界参数	推荐范围	说明
充电温度	0 ℃～45 ℃	低于 0 ℃ 禁止充电或限流充电
放电温度	−40 ℃～60 ℃	—
工作电压（单体）	2.50 V～4.35 V	依正极体系调整
工作 SOC	10 %～90 %	长寿命优先区间

最大充电电流	不超过制造商标定的允许最大充电电流（电池应具备 ≥ 1C、快充 ≥ 3C 的充电能力）	SOA 安全上限由制造商标定
最大放电电流	不超过制造商标定的允许最大放电电流（电池应具备 ≥ 10C 的放电能力）	无人机峰值功率

注：表 4 规定的边界适用于单体电芯及电池组的正常运行（SOA），应在 BMS 中标定并强制执行；表 3 中 −20 ℃、−40 ℃、55 ℃ 等温度点为特定性能试验条件，不构成常态运行的温度边界。

5.5.2 保护功能

电池组的保护功能应符合下列要求，并满足 GB 31241、GB/T 46460 的相关安全规定：

a） 过充保护：达到截止电压后应停止充电，不起火、不爆炸、不漏液；
b） 过放保护：电压低于安全阈值应切断负载，不起火、不爆炸；
c） 过温保护：超过温度上限应降功率或断电，不起火、不爆炸；
d） 过流/短路保护：应触发保护动作，不起火、不爆炸、不漏液。

5.5.3 热失控防护

单体经外部短路、过充、热滥用（130 ℃/30 min）、针刺等滥用试验，应不起火、不爆炸。热扩散试验方法可参照 GB 38031—2025 的规定。

电池组应具备热失控传播抑制能力，单点热失控后相邻电芯 30 min 内不发生热失控蔓延。

5.5.4 边界自适应

SOA 应随 SOH 衰退自适应收窄（如老化后降低最大充放电倍率与温度上限），并下发告警。

5.6 充放电管理要求

混合固液电池应在 5.5 规定的充放电安全边界（SOA）内运行。充放电管理应通过电池管理系统（BMS）对充电策略、放电策略、过程热管理、均衡及循环寿命进行主动控制，确保不超过安全边界，并在全寿命周期内维持安全与性能。充放电管理应与 5.4 的状态感知与健康管理要求协同工作。

5.6.1 充电管理

充电管理应符合下列要求：

a） 充电应采用恒流-恒压（CC-CV）或经验证的改进充电策略；快充（最大充电电流≤3C）应在 BMS 实时监控下进行，并具备与充电器的参数握手协商能力；
b） 充电温度管理：应在 0 ℃～45 ℃ 范围内充电；温度低于 0 ℃ 时应禁止充电或限制充电电流（限流充电），并宜具备低温充电预处理，加热至 0 ℃ 以上后方可充电；
c） 充电截止管理：达到截止电压/截止电流后应可靠终止充电，不得过充；
d） 充电电流管理：充电电流不应超过 5.5.1 规定的允许最大充电电流（由制造商标定）；常规充电应具备 ≥1C、快充应具备 ≥3C 的充电能力，并应随 SOH 衰退按 5.5.4 自适应降低；
e） 充电环境：应在通风良好、无易燃物的环境中充电；充电过程中持续监测单体电压与温度，异常时按 5.5.2 执行保护。

5.6.2 放电管理

放电管理应符合下列要求：

a） 放电应在 5.5.1 规定的 SOA 范围内进行：单体电压 2.50 V～4.35 V、温度 −40 ℃～60 ℃、工作 SOC 10 %～90 %；
b） 峰值放电管理：放电电流不应超过 5.5.1 规定的允许最大放电电流，超过阈值时应降功率或切断负载；电池应具备 ≥10C 的短时放电能力；

c） 放电深度管理：长寿命运行宜将工作 SOC 控制在 10 %～90 %，避免深度放电；
d） 放电终止管理：达到终止电压应停止放电，防止过放；多电芯/模组应均衡分配放电电流，避免单点过载。

5.6.3 充放电过程热管理

充放电过程热管理应符合下列要求：
a） 充电与放电过程应实时监测电芯温度；温度接近 SOA 上限（充电 45 ℃、放电 60 ℃）时应启动降功率或主动热管理措施；
b） 应具备主动或被动热管理，使电芯工作在适宜温度区间；低温放电前宜进行预热；
c） 一致性温度管理：电池组内电芯间温差宜控制在 ≤5 ℃ 内，避免局部热集中。

5.6.4 均衡管理

均衡管理应符合下列要求：
a） 电池组应具备单体电压/容量一致性管理，采用被动或主动均衡方式；
b） 应在静置或充电末段进行均衡，使单体间 SOC 偏差不超过规定阈值（≤ 5 % SOC 或单体电压极差 ≤ 30 mV）；
c） 一致性监测：BMS 应按 5.4.4 记录单体电压极差、温度极差，超限时下发告警。

5.6.5 循环与寿命管理

循环与寿命管理应符合下列要求：
a） 应依据 SOH 自适应调整充放电策略：SOH 下降后按 5.5.4 收窄最大充放电倍率、降低温度/电压边界；
b） 循环策略：宜避免长期满充-满放，推荐浅充浅放以延长循环寿命（循环次数按 6.3.9 评定）；
c） 维护与校准：应按附录 A 定期进行 SOH 标定与容量校准；累计循环次数达到阈值时应提示维护或更换；
d） 数据记录：充放电全过程数据应按 5.4.4 记录并支持对外读取。

5.7 电力巡检无人机适应性要求

混合固液电池应用于电力巡检无人机，应能满足下列环境与工况适应性要求：

a） 低气压：在 11.6 kPa（模拟约 15 240 m 海拔）下保持 6 h，放电无突变，无泄漏、起火、爆炸；

b） 温度循环：在 −40 ℃ 与 72 ℃ 之间循环，无机械损伤、泄漏、起火、爆炸；

c） 恒定湿热：在 40 ℃±2 ℃、相对湿度 90 %～95 % 条件下保持 48 h，无机械损伤、泄漏、起火、爆炸；

d） 振动：按 GB/T 2423.10 模拟飞行振动，试验后放电容量不低于额定值的 95 %，无损伤；

e） 冲击与自由跌落：按飞行工况，无起火、爆炸、漏液；

f） 沙尘：按 GB/T 2423.37 的规定，试验后功能应正常；

g） 电磁兼容：电力巡检场景存在工频及其谐波产生的空间电磁场，电池应满足电磁兼容要求；静电放电抗扰度按 GB/T 17626.2（接触 4 kV、空气 8 kV）、工频磁场抗扰度按 GB/T 17626.8、电快速瞬变脉冲群抗扰度按 GB/T 17626.4 进行试验，试验后功能应正常、安全；

h） 整机适配：动力能源系统应满足 GB 42590—2023 的相关规定；

i） 巡检工况：支持高倍率放电下的电压保持与快速充电能力，保障连续巡检续航。

j） 自重：电池组质量应符合整机载荷与重心平衡设计要求，具体质量限值由供需双方在技术协议中约定，并满足 5.3 规定的质量能量密度要求；

k） 续航里程与航时：在标准工况（25 ℃±2 ℃、风速≤3 m/s）下，满电状态的电池组应使无人机达到设计续航里程与航时指标，保障连续巡检作业的工作可靠性；典型工况下的续航里程与航时指标由供需双方约定；上述续航里程与航时指标以技术协议约定的基准机型为基准；机型、任务载荷或功耗不同时，应按实际核算或另行约定。

l） 充电时长：应支持快速充电（定义见 3.12），常温下由 20 % SOC 充至 80 % SOC 的充电时间宜不大于 30 min（或按产品规格书约定），满足巡检作业快速周转需求；

m） 电池组构成方式：电池组宜采用多电芯串并联成组方式构成，成组后应保证单体电压、容量、内阻的一致性，并满足 5.6 的均衡与一致性管理要求；串并联构型应满足无人机电源系统的电压平台与功率需求；

n） 电源模块接口：电池组与无人机电源模块之间的电气接口应约定接口电压范围、额定电流、连接器型式与通信协议；DC-DC 输入侧应能承受电池组全电压范围内的波动，并具备软启动、限流与反接保护功能。

o） 典型巡检工况差异：电池组配置与验证应按巡检类型差异化执行。配电巡检（10 kV～35 kV）单次航时宜不小于 20 min、巡检距离宜不小于 3 km，以中低倍率放电与频繁起降、悬停为主；输电及超高压巡检（66 kV～1000 kV）单次航时宜不小于 40 min、巡检距离宜不小于 10 km，以中倍率巡航为主；变电站巡检（35 kV～500 kV）单次航时宜不小于 25 min，以低倍率、高精度悬停为主。各典型工况参数见附录 C.1。上述航时与巡检距离以基准机型为基准，机型、功耗与任务剖面不同时按实际核算或另行约定。

p） 巡检任务剖面适配：电池组应满足起飞、爬升、巡航、悬停、任务载荷工作、返航及连续作业各阶段的功率与能量需求；起飞与爬升阶段应能承受短时高倍率放电，返航阶段应保留不低于 20 % 额定容量的安全余量。任务剖面与电池技术要求、试验方法的对应关系见附录 C.2。

q） 多负载供电与优先级：电池组同时为动力负载与拍照、数据存储/传输等任务负载供电时，应在技术协议中明确各负载的功率预算与供电优先级；飞控、动力与通信链路等飞行安全相关负载的优先级应最高，任务负载次之；总需求功率超过电池组允许输出功率时，应按优先级依次降载或切除任务负载，并优先保障返航所需能量；降载与切除动作应在 BMS 与飞控中协同实现并可追溯。

r） 电池选型：电池选型宜按附录 C.3 给出的流程，依据巡检任务需求确定可用能量、输出功率、环境适应性与安全裕量要求，比对候选电池指标并完成适用性验证后确定。

s） 可用能量与输出功率：应在产品规格书或技术协议中给出电池组的额定可用能量与持续/峰值输出功率；可用能量按 5.3 规定的能量密度与电池组可用容量核算，峰值输出功率应满足起降与机动工况需求，并宜留有不低于 10 % 的功率裕度。

t） 长时高负荷放电：对单次持续放电时间不小于 1 h 的巡检工况，电池组应能持续稳定输出，端电压应连续、无阶跃突变，放电电压、电流与温度曲线应平滑且可追溯；相对放电起始电压的端电压降幅宜不大于 10 %，电芯表面温升宜不大于 20 ℃；具体限值由供需双方在技术协议中约定，并在产品规格书中给出；放电末段电压不得低于 5.5.1 规定的电压下限。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验环境

6.1.1.1 除另有规定外，各项试验应在下列环境条件下进行：

a） 温度：15 ℃～35 ℃；

b） 相对湿度：20 %～80 %；

c） 气压：86 kPa～106 kPa。

6.1.1.2 环境适应性、安全要求试验应在有强制排风条件及防爆措施的环境下进行。

6.1.2 测量仪器、仪表

测量仪器、仪表应符合下列要求：

a） 尺寸测量工具：精度不低于 0.02 mm；

b） 电子天平：量程应满足被测电池质量要求，感量不大于 0.1 g；

c） 数字万用表：电压测量准确度不低于 1 mV；

d） 内阻测试仪：仪器测量精度应优于 0.1 mΩ，用于 6.3.10 交流内阻试验；

e） 电池测试设备：电流精度不低于 ±0.5 %，电压精度不低于 ±0.3 %，充放电数据的采样（记录）频率应不低于 1 Hz，用于峰值温升速率、极化及动态特征参数提取等试验时应不低于 10 Hz；

f） 温度测量仪器：精度不低于 ±0.5 ℃；

g） 氦质谱检漏仪：仪器最小可检漏率不大于 5×10^{-9} Pa·m³/s。

6.1.3 充电

在 6.1.1 环境中，按使用说明书对电池进行充电，充电结束后静置 0.5 h。

6.1.4 外观检查

目视检查电池外观，应完整、表面整洁、零部件齐全，无变形、破损、渗漏等缺陷，结果应符合 5.1.1 的要求。

6.1.5 外形尺寸测量

采用精度不低于 0.02 mm 的量具（见 6.1.2 a)）测量长度、宽度与厚度方向尺寸，计算各方向尺寸相对标称值的偏差，结果应符合 5.1.2 的要求。

6.1.6 质量测量

采用感量不大于 0.1 g 的电子天平（见 6.1.2 b)）称量电池质量，计算相对标称质量的偏差，结果应符合 5.1.3 的要求。

6.1.7 密封性试验

采用最小可检漏率不大于 5×10^{-9} Pa·m³/s 的氦质谱检漏仪（见 6.1.2 g)），以充氦或真空腔方式对电池进行检漏，记录泄漏率，结果应符合 5.1.4 的要求。

6.2 材料试验

6.2.1 混合固液电解质材料

混合固液电解质材料的色度、粘度、密度、离子电导率、电化学稳定窗口、液态电解质质量分数、水分、游离酸、金属杂质与氯离子等项目的试验，应按附录 B 的规定进行，结果应符合表 2 要求。

6.2.2 电极关键材料

正极、负极、导电剂与粘结剂按供应商规格书及 X 射线衍射、扫描电子显微镜、比表面积测试等表征方法进行核验，测量并记录正极材料的粒径分布、比表面积与残碱含量，确认与混合固液电解质体系的相容性，结果应符合 5.2.2 的要求。

6.2.3 电极-电解质界面

界面阻抗：采用电化学阻抗谱（EIS）对形成后电芯或对称电池测试，取中高频区界面弧拟合值，应不高于 50 Ω·cm²。

界面稳定性：在 25 ℃～60 ℃ 充满电存储 7 d 后复测界面阻抗，增长率应不高于 30 %。

6.3 电性能试验

6.3.1 质量能量密度

以标称能量除以充满电电芯质量计算 E_m；按 6.1.3 充电后称量并核算，应不低于 300 Wh/kg。

6.3.2 体积能量密度

以标称能量除以电芯外形体积计算 E_v，应不低于 650 Wh/L。

6.3.3 质量功率密度

电池按 6.1.3 充电后，在 25 ℃±2 ℃ 环境下以 3C 恒流放电，记录放电 30 s 时的端电压，按式（1）计算 30 s 质量功率密度，应不低于 800 W/kg。

$$P_m = （U_{30s} \times I）/ m \quad （1）$$

式中：

a） P_m —— 质量功率密度，单位为瓦每千克（W/kg）；

b） U_{30s} —— 放电 30 s 时的端电压，单位为伏（V）；

c） I —— 放电电流（3C），单位为安（A）；

d） m —— 电池质量，单位为千克（kg）。

注：本文件的质量功率密度为放电 30 s 的短时功率密度，不等同于持续（连续）功率密度；持续功率密度的要求由供需双方在技术协议中另行约定。

6.3.4 常温放电容量

电池按 6.1.3 充电后，以 1C 恒流放电至终止电压，记录放电时间，计算放电容量，应不低于额定容量。

6.3.5 低温放电容量

电池按 6.1.3 充电后，放入 −20 ℃±2 ℃（或 −40 ℃±2 ℃）低温箱中静置不少于 4 h，至电芯温度与箱内温度一致并稳定，然后以 1C 恒流放电至终止电压，记录放电时间，计算容量保持率，应分别不低于额定容量的 80 %（−20 ℃）与 50 %（−40 ℃）。

6.3.6 高温放电容量

电池按 6.1.3 充电后，放入 55 ℃±2 ℃ 高温箱中静置 5 h，然后以 1C 恒流放电至终止电压，记录放电时间，计算容量保持率，应不低于额定容量的 95 %。

6.3.7 倍率放电

电池按 6.1.3 充电后，以 3C 恒流放电至终止电压，容量保持率按式（2）计算，应不低于 90 %。

$$\eta_{3C} = （C_{3C} / C_{1C}）\times 100\ \% \quad （2）$$

式中：

a） η_{3C} —— 3C 倍率放电容量保持率；

b） C_{3C} —— 3C 恒流放电至终止电压所放出的容量，单位为安时（A・h）；

c） C_{1C} —— 按 6.3.4 测得的 1C 放电容量，单位为安时（A・h）。

峰值倍率放电：以 10C 恒流放电至终止电压，容量保持率应不低于 80 %。

6.3.8 荷电保持能力

电池按 6.1.3 充电后，开路放置在 20 ℃±5 ℃ 环境中 30 d，再以 0.2C 恒流放电至终止电压，计算保持率，应不低于额定容量的 90 %。

6.3.9 循环寿命

以 1C 充—1C 放为一个充放电循环，一次循环结束后静置 0.5 h 再进行下一循环，重复至连续两次放电容量低于额定容量的 80 % 为试验结束，循环次数应不低于 1000 次。

高倍率循环寿命：按典型巡检任务工况（放电倍率不低于 3C，按 5.7 o) 确定的典型工况），以恒流充放电方式循环，重复至连续两次放电容量低于额定容量的 80 % 为试验结束，循环次数宜不低于 500 次；充放电倍率、SOC 区间与环境温度由供需双方在技术协议中约定。

6.3.10 交流内阻

电池按 6.1.3 充电后，使用内阻测试仪测量，应不大于产品规格书规定的标称值。

6.4 状态感知与健康管理试验

6.4.1 状态特征参数

核查 BMS 采集与记录的特征参数清单，确认包含端电压、电流、温度、累计安时量、交流内阻、可用容量及倍率放电特征，并按 6.1.2 验证采样精度：单体电压采样误差应不大于 ±5 mV，电流采样误差应不大于 ±1 %，温度采样误差应不大于 ±1 ℃。核查时应对照 5.4.1 区分在线状态量与离线特征参数；EIS 特征频率、界面弧等离线特征参数不计入 BMS 在线采集清单，应按 6.4.2 离线测定。

6.4.2 状态特征提取

对同一电池多周期提取特征，验证特征重复性与随老化的趋势合理性；在线特征按 6.4.1 由 BMS 数据提取，离线特征（如 EIS 特征频率、界面弧）按电化学阻抗谱法离线测定并标明测试条件。特征提取方法应可追溯、可复现。

6.4.3 健康状态估计

在已知老化程度的样本上，用本文件 5.4 的方法估计 SOH，与容量标定法结果比对，估计误差应不大于 8 %。

SOH 估计误差按式（3）计算：

$$\delta_{SOH} = (|SOH_{est} - SOH_{ref}| / SOH_{ref}) \times 100\ \% \qquad (3)$$

式中：

a） δ_{SOH} —— SOH 估计误差，用相对误差表示，以百分数计；

b） SOH_{est} —— 按 5.4 方法得到的 SOH 估计值，以百分数计；

c） SOH_{ref} —— 按附录 A 由容量标定法得到的 SOH 标定真值，以百分数计。

估计误差的评定应在同一样本上重复估计不少于 3 次，取各次绝对误差的最大值作为估计误差，并计算各次估计结果的极差作为重复性指标，极差宜不大于 3 %；估计结果宜给出置信区间（或不确定度）及对应的置信水平，未特别规定时置信水平取 95 %。

6.4.4 数据记录与通信

验证 BMS 记录的循环次数、累计充放电量、极值温度、最大内阻、SOC、SOH 及告警记录等字段完整，对外通信接口可读取 SOH 与安全状态，并按 5.4.4 核查数据字段完整性、更新周期、完整性校验与重传机制。

6.5 安全边界试验

6.5.1 安全操作区（SOA）验证

按 5.5.1 标定充电温度、放电温度、工作电压、工作 SOC、最大充放电电流的边界，在 BMS 中强制执行并核查越限保护动作。

6.5.2 保护功能

保护功能试验应按下列方法进行。除另有规定外，试验应在 6.1.1 规定的试验环境下进行；试验前应按 6.1.3 规定的充电程序将电池充满电。试验对象为电池组时，试验过程中保护电路应处于正常工作状态。试验结束后应在试验环境温度下观察 1 h。

a） 过充（单体级）：以 1.5 倍额定电压、2 倍额定电流充电 90 min，应无机械损伤、泄漏、起火、爆炸；

b） 过放（电池组级）：以 1C 恒流放电，放电应持续进行，直至保护电路动作切断放电电流，或电池组总电压低于额定电压的 25 %，或过放电时间超过 30 min。试验后观察 2 h，电池组应无机械损伤、泄漏、起火、爆炸；

c） 过温（单体级）：以 5℃/min 升温至 130 ℃±2 ℃ 保持 30 min，应无机械损伤、泄漏、起火、爆炸；

d） 短路（单体级）：在 57℃±4℃ 环境下，以 80 mΩ±20 mΩ 外阻短路，当电池温度下降值达到温度最大值的 20 % 或短接时间达到 24 h 时终止试验，应无起火、爆炸。

6.5.3 热失控防护

单体经外部短路、过充、热滥用、针刺等滥用试验，应不起火、不爆炸；其中外部短路、过充、热滥用试验可按 6.5.2 a)、c)、d) 进行，热扩散试验方法可参照 GB 38031-2025 的规定。

6.5.4 边界自适应

对衰减后样本复测安全边界，验证 SOA 随 SOH 衰退自适应收窄策略有效。

6.6 充放电管理试验

6.6.1 充电管理

核查 BMS 的充电策略配置与充电器握手协商能力；在 5.6.1 规定的各工况下试充，核查低温禁充/限流、截止电压与截止电流终止动作、快充电流上限及 SOH 自适应降额功能。

6.6.2 放电管理

在 5.6.2 规定的各工况下试放，核查峰值电流阈值降功率/切断动作、放电深度控制与放电终止电压动作，并核查多电芯/模组放电电流的分配均衡性。

6.6.3 充放电过程热管理

在充电与放电过程中持续监测电芯温度，核查温度接近 SOA 上限时的降功率与主动热管理动作，并记录电池组内电芯间温差。

6.6.4 均衡管理

在静置及充电末段核查均衡功能，测量单体间 SOC 偏差与单体电压极差，并记录超限告警的下发情况。

6.6.5 循环与寿命管理

按 6.3.9 进行循环，核查 SOH 衰退后最大充放电倍率与温度、电压边界的自适应收窄，以及维护/更换提示的触发。

6.7 电力巡检无人机适应性试验

6.7.1 低气压

电池按 6.1.3 充电后，放置在真空箱中，逐渐减小真空箱内部气压至 11.6 kPa，保持 6 h 后取出目视检查，放电电流、放电电压应无突变，应无机械损伤、泄漏、起火、爆炸。

6.7.2 温度循环

电池按 6.1.3 充电后，按 GB/T 2423.22 的规定在 −40 ℃ 与 72 ℃ 之间进行温度循环，试验过程中持续测量放电电流、放电电压，检查状态，应无机械损伤、泄漏、起火、爆炸。

6.7.3 振动

按 GB/T 2423.10 的规定进行，振幅 0.76 mm，频率 10 Hz～55 Hz，以 1 Hz/min 速率变化，在 X、Y、Z 方向各扫频 90 min±5 min；结束后恢复 1 h 目视检查，并按 6.3.4 放电验证容量，应无损伤且容量不低于额定值的 95 %。

6.7.4 冲击与自由跌落

冲击按 GB/T 2423.5 的规定进行；自由跌落：将电池置于高度 1000 mm 处，以 X、Y、Z 三方向自由跌落到水泥板各一次，试验后应无机械损伤、泄漏、起火、爆炸。

6.7.5 电磁兼容

电池按 6.1.3 充电后，静电放电抗扰度按 GB/T 17626.2 的规定进行，接触放电 4 kV、空气放电 8 kV；工频磁场抗扰度按 GB/T 17626.8 的规定进行；电快速瞬变脉冲群抗扰度按 GB/T 17626.4 的规定进行。试验结束后按 6.3.4 检查，功能应正常、安全。

6.7.6 恒定湿热

电池按 6.1.3 充电后，按 GB/T 2423.3 的规定，在 40 ℃±2 ℃、相对湿度 90 %～95 % 条件下保持 48 h，试验后应无机械损伤、泄漏、起火、爆炸，并按 6.3.4 检查放电容量。

6.7.7 沙尘

按 GB/T 2423.37 的规定进行，试验后电池外观与功能应正常，无泄漏。

6.7.8 巡检工况

在 5.7 o）规定的典型工况下，按技术协议规定的巡检放电倍率由满电恒流放电至 20 % SOC，再按 5.7 l）快速充电至 80 % SOC，连续进行不少于 3 次放电—快充循环，记录每次循环的电压保持、放电容量、充电时间与边界越限次数。

6.7.9 自重

称量电池组质量，核查是否满足整机载荷与重心平衡设计要求及技术协议约定。

6.7.10 续航里程与航时

在标准工况下，以满电电池组装机进行悬停或航线飞行试验，记录实际续航里程与航时，核查是否达到设计指标。标准工况为：温度 25 ℃±2 ℃、相对湿度 20 %～80 %、地面风速不大于 3 m/s，无人机起飞质量与任务载荷按技术协议规定，飞行航线按 5.7 o）对应的典型巡检工况确定。

6.7.11 充电时长

在常温（25 ℃±2 ℃）下，以技术协议规定的快充电流将电池组由 20 % SOC 充至 80 % SOC，记录充电时间，核查是否满足 5.7 l）规定的时长要求。

6.7.12 电池组构成与电源模块接口

核查电池组串并联构型、单体一致性及与电源模块接口的电压范围、额定电流、连接器型式、通信协议与保护功能，验证接口匹配性与可靠性。

6.7.13 巡检任务剖面

在 5.7 p) 规定的任务剖面下，依次模拟起飞、爬升、巡航、悬停、任务载荷工作与返航阶段的负载功率，记录各阶段电池组端电压、温度与 SOC 变化；各阶段端电压不应低于 5.5.1 规定的电压下限，温度不应超过 SOA 上限，返航结束时剩余可用电量应满足 5.7 p) 规定的安全余量要求。

6.7.14 多负载供电与优先级

按 5.7 q) 规定的功率预算与优先级配置动力负载与任务负载，在总需求功率超过允许输出功率的工况下试运行，核查降载或切除动作的先后顺序、返航能量保障及告警记录的下发。

6.7.15 长时高负荷放电

电池组按 6.1.3 充电后，在 25 ℃±2 ℃ 环境下以技术协议规定的高负荷放电倍率持续放电不小于 1 h（或放电至 20 % SOC，以先到者为准），全程记录端电压、放电电流与电芯温度曲线；计算相对放电起始电压的端电压降幅与电芯表面温升，核查曲线连续性与 5.7 t) 规定的限值要求。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验分为型式检验和出厂检验。

7.2 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

a） 新产品投产或老产品转厂生产的试制定型鉴定；

b） 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；

c） 产品停产一年以上，恢复生产时；

d） 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
e） 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

7.3 出厂检验

每批产品均应进行出厂检验，检验合格并附产品合格证后方可出厂。

7.4 检验项目

检验项目、技术要求章条号、试验方法章条号及检验类别应符合表 5 规定。

表 5 检验项目

序号	检 验 项 目	技术要求章条号	试验方法章条号	型式检验	出厂检验
1	外观	5.1.1	6.1.4	●	●
2	外形尺寸	5.1.2	6.1.5	●	●
3	质量	5.1.3	6.1.6	●	—
4	密封性	5.1.4	6.1.7	●	—
5	混合固液电解质材料	5.2.1	6.2.1	●	—
6	电极关键材料	5.2.2	6.2.2	●	—
7	电极-电解质界面	5.2.3	6.2.3	●	—
8	质量能量密度	5.3	6.3.1	●	—
9	体积能量密度	5.3	6.3.2	●	—
10	质量功率密度	5.3	6.3.3	●	—
11	常温放电容量	5.3	6.3.4	●	●
12	低温放电容量	5.3	6.3.5	●	—
13	高温放电容量	5.3	6.3.6	●	—
14	倍率放电	5.3	6.3.7	●	—
15	荷电保持能力	5.3	6.3.8	●	—
16	循环寿命	5.3	6.3.9	●	—
17	循环寿命（高倍率）	5.3	6.3.9	●	—
18	交流内阻	5.3	6.3.10	●	●
19	状态感知与健康管理	5.4	6.4	●	—
20	安全操作区（SOA）验证	5.5.1	6.5.1	●	●
21	保护功能	5.5.2	6.5.2	●	—
22	热失控防护	5.5.3	6.5.3	●	—
23	边界自适应	5.5.4	6.5.4	●	—
24	充放电管理	5.6	6.6	●	—
25	低气压	5.7	6.7.1	●	—
26	温度循环	5.7	6.7.2	●	—
27	振动	5.7	6.7.3	●	—
28	冲击与自由跌落	5.7	6.7.4	●	—
29	电磁兼容	5.7	6.7.5	●	—
30	恒定湿热	5.7	6.7.6	●	—

31	沙尘	5.7	6.7.7	●	—
32	自重	5.7	6.7.9	●	—
33	续航里程与航时	5.7	6.7.10	●	—
34	充电时长	5.7	6.7.11	●	—
35	电池组构成与电源模块接口	5.7	6.7.12	●	—
36	巡检任务剖面	5.7	6.7.13	●	—
37	多负载供电与优先级	5.7	6.7.14	●	—
38	长时高负荷放电	5.7	6.7.15	●	—

注：“●”为应检项目，“—”为不检项目。

7.5 判定规则

判定规则如下：

a） 型式检验：全部检验项目合格，判定型式检验合格；若有任一项不合格，允许加倍抽样对不合格项复检，复检合格判定合格，复检仍不合格则判定型式检验不合格；

b） 出厂检验：全部检验项目合格，判定该批产品合格；若有任一项不合格，允许返修后重新提交检验，复检合格判定合格，复检仍不合格则判定该批产品不合格。

8 使用与维护

8.1 使用

使用应符合下列要求：

a） 应在 5.5.1 规定的 SOA 范围内使用，不应超过最大充放电倍率与温度边界；

b） 装机前应检查电池外观、连接器与固件版本，发现鼓胀、渗漏或外壳损伤不应装机；

c） 飞行前应确认 SOH 估计值与剩余电量；SOH 估计值低于 80 %，或低于制造商规定、技术协议约定的退役阈值时，不应执行长航时巡检任务。

8.2 维护

维护应符合下列要求：

a） 应按附录 A 定期进行 SOH 标定与容量校准；

b） 应定期读取并归档 BMS 记录数据，用于健康状态跟踪与故障追溯；

c） 退役电池应按国家有关锂离子电池回收利用的规定处置，具体应遵守《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》以及工业和信息化部等部门关于废旧动力蓄电池综合利用的相关规定。

附 录 A
（规范性）
健康状态标定与容量校准方法

A.1 一般要求

混合固液电池的 SOH 估计结果应定期以容量标定法进行标定与校准。标定应在 6.1.1 规定的环境条件下进行，标定用设备的精度应符合 6.1.2 的要求。

A.2 容量标定

容量标定应按下列步骤进行：

a） 按 6.1.3 完成充电并静置 0.5 h；

b） 以 0.5C 恒流放电至终止电压，记录放出容量 C_{std}；

c） 以 C_{std} 与额定容量 C_N 之比计算容量保持率，作为 SOH 的标定真值。

A.3 SOH 标定

将 5.4.3 给出的 SOH 估计值与 A.2 得到的标定真值比对，按 6.4.3 的规定评定估计误差；当估计误差大于 8 %（即超出 6.4.3 规定的判定限值）时判定为超差，应重新标定模型参数或特征权重。

A.4 校准周期

校准周期应符合下列规定：

a） 示范应用阶段：每 100 个充放电循环或每 3 个月校准一次，以先到者为准；

b） 规模化应用阶段：每 200 个充放电循环或每 6 个月校准一次，以先到者为准；

c） 电池经历过充、过放、过温等异常事件后，应立即进行一次校准。

附 录 B
（规范性）
混合固液电解质材料试验方法

B.1 色度

按铂-钴标准比色法测定：将试样注入比色管，在相同光程与光照条件下与铂-钴标准色阶目视比色，或采用分光光度法在 450 nm 波长下测定并换算为 Hazen 值；结果应不大于 50.0 Hazen。

B.2 粘度

在 25 ℃±0.5 ℃ 下采用旋转粘度计或毛细管粘度计测定，按所测粘度范围选择转子和转速，使读数位于量程的 20 %～80 %；以不少于 3 次测定的算术平均值作为测定结果，与标称值之差应不大于 1.0 mPa·s。

B.3 密度

在 25 ℃±0.5 ℃ 下采用密度计法、比重瓶法或振荡管数字密度计法测定；以不少于 3 次测定的算术平均值作为测定结果，与标称值之差应不大于 0.05 g/cm^3。

B.4 离子电导率

采用交流阻抗法，在 25 ℃±2 ℃ 下以不锈钢或铂为阻塞电极组装测试池，由体相电阻、电解质膜厚度与电极面积按式（B.4）计算离子电导率，预聚溶液与固化后电解质均应不低于 0.5 mS/cm。

$$\sigma = L /（R_b \cdot S）\qquad（B.4）$$

式中：

a） σ —— 离子电导率，单位为毫西门子每厘米（mS/cm）；

b） L —— 电解质膜厚度，单位为厘米（cm）；

c） R_b —— 由交流阻抗谱测得的体相电阻，单位为欧姆（Ω）；

d） S —— 阻塞电极有效面积，单位为平方厘米（cm^2）。

B.5 电化学稳定窗口

采用线性扫描伏安法（LSV），以锂片为参比电极、不锈钢为工作电极，扫描至 6.5 V，扫描速率 0.1 mV/s，测定氧化电位，应不低于 4.0 V（vs Li/Li^+）。

B.6 液态电解质质量分数

采用热重法或真空失重法，在 120 ℃ 下保持 6 h，测定失重率，换算液态组分含量，应为 5 %～20 %。

B.7 水分

按库仑法水分测定的规定进行，水分含量应不大于 20.00 mg/kg。

B.8 游离酸

按电位滴定法的规定进行，以 HF 计的游离酸含量应不大于 50.00 mg/kg。

B.9 金属杂质与氯离子

金属杂质含量按电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）测定，铁、铜、镍、铬等单元素含量均应不大于 1.0 mg/kg；氯离子含量按离子色谱法测定，应不大于 1.0 mg/kg。

附 录 C
（资料性）
电力巡检典型工况、任务剖面与电池选型指南

C.1 典型电力巡检工况

电池选型、配置与验证宜按表 C.1 给出的典型巡检工况确定基准条件。

巡检类型	典型电压等级	单次航时	单次巡检距离	功率特征与环境条件
配电巡检	10 kV～35 kV	≥ 20 min	≥ 3 km	中低倍率放电，频繁起降与悬停；环境温度 −10 ℃～45 ℃
输电与超高压巡检	66 kV～1000 kV	≥ 40 min	≥ 10 km	中倍率巡航为主，间有爬升；环境温度 −20 ℃～45 ℃，常遇大风
变电站巡检	35 kV～500 kV	≥ 25 min	≤ 2 km	低倍率、高精度悬停为主；环境温度 −10 ℃～45 ℃

注：表 C.1 给出的数值为典型工况推荐值，用于电池选型与验证的基准；具体数值由供需双方在技术协议中约定。表中航时与巡检距离以基准机型为基准，机型、任务载荷与功耗不同时应按实际核算。

C.2 巡检任务剖面与技术要求、试验方法的对应关系

电池宜满足表 C.2 所列各任务阶段的功率与能量需求，技术要求与试验方法可参照表 C.2 对应执行。

任务阶段	功率与能量特征	电池技术要求	试验方法
起飞与爬升	短时高倍率放电	5.3、5.5.1	6.3.7、6.5.1
巡航	中倍率持续放电	5.3、5.5.1	6.3.1、6.5.1
悬停	中倍率、长时间稳定输出	5.3、5.5.1、5.6.2	6.5.1、6.6.2
任务载荷工作	附加功率，与动力负载叠加	5.7 q)、5.5.1	6.7.14
返航	预留安全余量	5.7 p)	6.7.13
连续作业（放电—快充周转）	快速充电、循环	5.7 l)、5.6.1	6.7.8、6.7.11

C.3 电池选型

电池选型宜按下列流程进行：

a） 明确巡检任务需求：巡检类型、航时、巡检距离、任务载荷功率与环境条件（按 C.1）；
b） 确定电池需求参数：可用能量、持续/峰值输出功率、工作温度范围、循环寿命与安全裕量；
c） 比对候选电池指标：能量密度、功率密度、低温容量保持率、交流内阻、SOH 估计误差与 SOA 边界（按第 5 章）；
d） 校核安全裕量：确认在最严酷工况下仍满足 5.5.1 规定的 SOA 边界与 5.7 p) 规定的返航安全余量；
e） 适用性验证：按第 6 章相应试验方法验证，并按附录 A 完成 SOH 标定与容量校准。

C.4 主要技术指标确定依据

第 5 章主要量化指标的确定依据见表 C.3。指标数值宜结合验证结果动态调整，具体数据与计算过程宜在编制说明及指标验证材料中给出。

指标	限值	确定依据	适用条件
质量能量密度 E_m	≥ 300 Wh/kg	由典型巡检航时需求反推，参照 T/CASME 1491—2024、T/CITS 265—2025 及行业公开数据	单体电芯，25 ℃
体积能量密度 E_v	≥ 650 Wh/L	由无人机电池舱空间约束与高比能需求反推，参照 GB/T 46460—2025	单体电芯，25 ℃
质量功率密度 P_m	≥ 800 W/kg（30 s）	由起飞爬升与机动工况功率需求反推，参照 GB/T 46460—2025	30 s 工况
低温放电容量（−20 ℃）	≥ 额定容量的 80 %	参照 GB/T 31486—2024、GB/T 46460—2025 及低温巡检实测数据	6.3.5 试验条件
SOH 估计误差	≤ 8 %	由工程可接受精度与行业通行水平确定，按 6.4.3 与容量标定法比对验证	全寿命周期
界面阻抗	≤ 50 Ω·cm²	参照混合固液/固态电池界面阻抗研究数据与本文件实测数据确定	对称电池或 EIS 表征
循环寿命	≥ 1000 次	参照 GB/T 31484—2015，按巡检作业年循环次数测算	1C 充放，容量保持 ≥ 80 %
充电时长（20 %～80 % SOC）	≤ 30 min	由巡检作业快速周转需求反推	常温快充

参 考 文 献

[1] 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

[2] GB/T 28164.2—2025 含碱性或其他非酸性电解质的蓄电池和蓄电池组 便携式密封蓄电池和蓄电池组的安全要求 第 2 部分：锂系

[3] 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

[4] GB/T 31484—2015 电动汽车用动力蓄电池循环寿命要求及试验方法

[5] GB/T 31486—2024 电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法

[6] GB/T 36276—2023 电力储能用锂离子电池

[7] GB/T 38924.4—2020 民用轻小型无人机系统环境试验方法 第 4 部分：温度和高度试验

[8] GB 44240—2024 电能存储系统用锂蓄电池和电池组 安全要求

[9] DL/T 1578—2021 架空电力线路多旋翼无人机巡检系统

[10] DL/T 2101—2020 架空输电线路固定翼无人机巡检系统

[11] DL/T 2236—2021 架空电力线路无人机巡检系统配置导则

[12] DL/T 2693—2023 架空输电线路巡检用小型多旋翼无人机系统通用技术条件

[13] T/CASME 1491—2024 三元混合固液电池产品技术要求

[14] T/CITS 265—2025 新能源汽车用混合固液电池安全性能技术要求

[15] T/DZJN/XXXX 混合固液锂离子电池用聚合物固态电解质（中国电子节能技术协会团体标准，征求意见稿）

[16] T/SPSTS 020—2021 固态锂电池用固态电解质性能要求及测试方法 聚合物及复合固态电解质

[17] IEC 62133-2:2017 Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Safety requirements for portable sealed secondary lithium cells, and for batteries made from them, for use in portable applications — Part 2: Lithium systems

[18] IEC 62619:2022 Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications

[19] IEEE 2821—2020 IEEE Guide for Unmanned Aerial Vehicle-Based Patrol Inspection System for Transmission Lines

[20] UN 38.3 关于危险货物运输的建议书 试验和标准手册 第 38.3 节