

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX—2026

固态电池叠片工艺参数与测试方法

Stacking process parameters and testing methods of solid-state batteries

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国机电设备工程协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理	1
4.1 叠片对齐度测试原理	1
4.2 叠片厚度及均匀性测试原理	2
4.3 初始堆叠压力测试原理	2
4.4 电化学阻抗谱原理	2
4.5 热压后厚度收缩率测试原理	2
5 测试条件	2
6 试剂与材料要求	2
7 仪器设备	2
8 样品	3
8.1 样品制备	3
8.2 样品要求	3
9 工艺参数	3
10 测试方法	4
10.1 测试前准备	4
10.2 测试步骤	4
11 测试数据处理	5
11.1 数据记录	5
11.2 数据处理方法	5
11.3 重复性与再现性评估	5
11.4 数据审核与异常处理	6
11.5 测试结果	6
12 质量保证和控制	6
12.1 仪器设备校准	6
12.2 环境监测	6
12.3 样品检查	6
12.4 人员保证	6
13 测试报告	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。

本文件由中山市誉辰智能科技有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：中山市誉辰智能科技有限公司、惠州亿纬锂能股份有限公司、深圳吉阳智能科技有限公司、深圳市誉辰智能装备股份有限公司、北京中研华采技术服务有限公司。

本文件主要起草人：林水雄、周书云、阳如坤、李军利、吴学科、乐志斌、夏卫彬。

固态电池叠片工艺参数与测试方法

1 范围

本文件规定了固态电池叠片工艺的原理、测试条件、试剂与材料要求、仪器设备、样品、工艺参数、测试方法、测试数据处理、质量保证与控制及测试报告等内容。

本文件适用于采用聚合物基固态电解质、氧化物基固态电解质、硫化物基固态电解质的锂离子固态电池叠片工序的生产质量控制、工艺优化及产品检测，其他体系固态电池可参照执行。

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 1958 产品几何技术规范（GPS） 几何公差 检测与验证
- GB/T 2611 试验机 通用技术要求
- GB/T 6672 塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法
- GB/T 16491 电子式万能试验机
- GB/T 25915.1 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级
- JB/T 13176 差示扫描量热仪
- JB/T 14231 锂离子电芯叠片机
- JJF 1910 电化学工作站校准规范
- JJG 882 压力变送器检定规程
- SJ 21251 自动光学检测系统通用规范

3 术语和定义

下列界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

固态电池叠片 stacking for solid-state batteries

将正极片、固体电解质层（膜）、负极片按顺序精确叠放，并通过一定压力使其形成良好界面接触的制备工艺。

3.2

叠片对齐度 stacking alignment

叠片完成后，正极片、固体电解质层、负极片之间在平面方向上的相对偏移量。

4 原理

4.1 叠片对齐度测试原理

基于机器视觉定位技术，通过高分辨率光学系统捕捉极片与电解质片边缘轮廓，提取坐标建立二维坐标系。以正极片边缘为基准，计算X、Y轴方向偏移量 ΔX 、 ΔY ，取最大值作为对齐度 δ ，精准量化层间定位精度。

4.2 叠片厚度及均匀性测试原理

采用接触式或激光测厚技术，在标准测量力下，于样品四角及中心选取至少5个测点。记录各点厚度值，通过计算平均厚度与厚度极差，直观反映叠片压力均匀性及材料致密化程度。

4.3 初始堆叠压力测试原理

利用压电或应变片效应的校准压力传感器，集成于叠片机或夹具中。实时采集叠片过程中静态压力信号，转化为电信号并校准输出，验证工艺设定压力与实际压力的一致性。

4.4 电化学阻抗谱原理

基于线性叠加原理，向电池系统施加5mV小幅值正弦交流信号，测量不同频率下电压与电流相位差，获取Nyquist阻抗图谱。将电池等效为阻容感组合电路，高频区反映电解质离子传输，中频区容抗弧对应界面电荷转移电阻，低频区关联锂离子扩散，通过图谱拟合定量提取界面阻抗参数，评估叠片固-固界面接触质量。

4.5 热压后厚度收缩率测试原理

基于热致形变特性，热压时温度与压力共同作用使样品孔隙压缩、颗粒重排。测量热压前初始平均厚度与冷却后最终平均厚度，通过计算厚度变化率，评估热压工艺致密化效率。

5 测试条件

除非另有规定，所有试验应在以下环境条件下进行：

- 温度：25℃±2℃；
- 相对湿度：≤30%，对于对水氧敏感的硫化物电解质等材料，应在惰性气体保护的手套箱内进行，手套箱内水含量和氧含量均应低于0.1 ppm；
- 大气压力：86 kPa~106 kPa；
- 洁净度：关键叠片和测试操作应在GB/T 25915.1规定的不低于ISO 4级洁净环境下进行。

6 试剂与材料要求

固态电池叠片工艺参数与测试的试剂与材料应符合表1要求。

表1 固态电池叠片工艺参数与测试试剂与材料要求

名称	规格要求
高纯氩气 (Ar)	纯度≥99.999%，用于手套箱保护气氛
无水碳酸乙烯酯 (EC)	分析纯，水分≤20 ppm，用于模拟液态对照组
聚偏氟乙烯 (PVDF) 粘结剂	分子量为500000 g/mol，用于湿法叠片工艺电极浆料制备
N-甲基吡咯烷酮 (NMP)	电子级，水分≤50 ppm，用于溶解PVDF
氧化铝陶瓷隔离纸	厚度12μm，孔隙率45%，用于压力测试校准
标准硅片	尺寸100 mm×100 mm，边缘精度±1μm，用于对齐度校准

7 仪器设备

固态电池叠片工艺参数与测试的仪器设备应符合表2规定。

表2 热稳定性测试仪器设备

设备名称	精度要求	参考标准
自动叠片机	定位精度≤±0.1 mm；叠片压力调节范围0.1 MPa~5.0 MPa；热压温度范围25℃~120℃；压力±0.05 MPa；温度±1℃	JB/T 14231

高分辨率光学对位系统	分辨率 $\leq 0.5\mu\text{m}$, 视野 $\geq 200\text{ mm}\times 200\text{ mm}$, 配备自动边缘识别软件	SJ 21251
数字压力映射系统	量程 $0\sim 10\text{ MPa}$, 精度 $\pm 0.01\text{ MPa}$, 传感器密度 $\geq 16\text{ 点}/\text{cm}^2$	JJG 882
电化学工作站	频率范围 $10\mu\text{Hz}\sim 1\text{ MHz}$, 电流精度 $\pm 0.1\%$, 支持四电极测试	JJF 1910
差示扫描量热仪 (DSC)	温度范围 $-100^\circ\text{C}\sim 600^\circ\text{C}$, 升温速率 $1\sim 20^\circ\text{C}/\text{min}$, 灵敏度 $\leq 1\mu\text{W}$	JB/T 13176
万能材料试验机	最大载荷 50 kN , 位移精度 $\pm 1\mu\text{m}$, 配备温控腔体 ($-40^\circ\text{C}\sim 200^\circ\text{C}$)	GB/T 16491

8 样品

8.1 样品制备

样品制备应按照下列要求:

a) 极片制备:

1) 按正极活性物质:导电剂:粘结剂=80:10:10(质量比)混合,涂覆于铝箔表面,涂布厚度 $100\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$,在 80°C 真空干燥箱中干燥12 h;

2) 负极按同样工艺制备,涂覆于铜箔表面;

b) 电解质片制备:采用流延法制备固态电解质片,厚度 $25\mu\text{m}\pm 3\mu\text{m}$,裁剪为与极片匹配的尺寸,在氩气手套箱(水氧含量 $\leq 1\times 10^{-6}$)中储存备用;

c) 叠片样品制备:按既定配方和工艺叠层,叠片压力 $0.5\text{ MPa}\sim 2.0\text{ MPa}$,热压温度(如需) $60^\circ\text{C}\sim 100^\circ\text{C}$,热压时间 $30\text{ s}\sim 120\text{ s}$,制备3组平行样品。

8.2 样品要求

固态电池叠片工艺参数与测试样品保持应符合以下要求:

a) 叠层组件:完成叠片的半成品电池;

b) 样品外观:无折皱、破损、污染;层间无明显气泡;

c) 尺寸:允许偏差 $\pm 0.5\text{ mm}$;

d) 储存条件:氩气手套箱或真空包装,储存温度 $23^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$,储存时间 $\leq 24\text{ h}$;

e) 数量:每组测试至少需要3个有效样品;

f) 技术状态:叠片后样品应立即进行测试,或在破坏界面状态的条件下短期储存。

9 工艺参数

固态电池叠片工艺参数应满足下列要求,具体参数应根据所选工艺路线进行设定和记录:

a) 干法叠片工艺:

1) 叠片压力: $0.5\text{ MPa}\sim 2.0\text{ MPa}$;

2) 保压时间: $10\text{ s}\sim 60\text{ s}$;

3) 环境要求:应在水氧含量均不高于 0.1 ppm 的惰性气氛手套箱内进行;

4) 对齐度要求:极片与电解质片之间的边缘最大偏移量(δ)应不大于 0.5 mm ;

b) 湿法叠片工艺:

1) 溶剂种类与用量:应记录所使用溶剂的名称(如乙醇、丙酮)、滴加量或浓度;

2) 溶剂的施加方式:应明确是喷涂、浸润还是其他方式;

3) 叠片压力: $0.2\text{ MPa}\sim 1.0\text{ MPa}$ (压力过低可能导致层间结合不牢,过高可能导致溶剂被过度挤出或损坏极片);

4) 保压时间: $30\text{ s}\sim 120\text{ s}$;

5) 后续干燥条件:干燥温度(如 $60^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$)、干燥时间(如 $2\text{ h}\sim 12\text{ h}$)、干燥环境(真空或惰性气氛);

6) 对齐度要求:极片与电解质片之间的边缘最大偏移量(δ)应不大于 0.5 mm ;

c) 热压叠片工艺:

- 1) 热压温度：应根据电解质材料的热稳定性确定，通常为60℃~100℃（聚合物电解质可接近上限，氧化物电解质应谨慎选择）；
 - 2) 热压压力：1.0 MPa~5.0 MPa；
 - 3) 热压时间：30 s~300 s；
 - 4) 升降温速率：建议控制在1℃/min~5℃/min，以减少热应力；
 - 5) 环境要求：应在水氧含量均不高于0.1 ppm的惰性气氛手套箱内进行；
 - 6) 对齐度要求：极片与电解质片之间的边缘最大偏移量（ δ ）应不大于0.5 mm；
- d) 其他叠片工艺：对于转移涂布、共烧结等非典型叠片工艺，其核心工艺参数（如预热温度、辊压速度、烧结温度曲线等）应参照相关工艺标准或由供需双方协商确定，并在报告中详细记录。

10 测试方法

10.1 测试前准备

固态电池叠片工艺参数与测试前准备应满足下列要求：

- a) 仪器校准：试验前对仪器设备进行校准，在设备有效期内使用；
- b) 环境校准：将环境试验箱调节至对应测试项目的环境条件，稳定30 min后开始试验；
- c) 样品预处理：将制备好的样品在测试环境中放置2 h，使其温度、湿度与环境一致。

10.2 测试步骤

固态电池叠片工艺参数与测试步骤应符合表3规定。

表3 固态电池叠片工艺参数与测试方法

测试项目	测试步骤	执行标准
叠片对齐度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 将叠片样品放于高分辨率光学对位系统； 2. 调整焦距，使样品某一角部的正极片边缘清晰成像； 3. 以正极片边缘为基准，测量其与固体电解质层对应边缘的最大偏移距离 ΔX 和 ΔY； 4. 沿对角线方向测量另外三个角，记录最大值； 5. 对齐度 δ 取值为 $\max(\Delta X, \Delta Y)$ 	GB/T 1958
叠片厚度及均匀性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用测厚仪，在施加标准测量力的条件下进行测量； 2. 在样品表面均匀选取至少5个点（如四角和中心）； 3. 记录每个点的厚度值 T_i； 4. 计算平均厚度 T_{avg} 和厚度极差 ΔT 	GB/T 6672
初始堆叠压力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 记录叠片工艺过程中实际施加的静态压力值 P_{stack}； 2. 使用经过校准的压力传感器进行验证，确保压力值的准确性 	GB/T 2611
界面阻抗（EIS法）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 将叠片样品放入专用夹具中，确保电极与夹具良好接触，并施加标准接触压力； 2. 将夹具连接到电化学工作站； 3. 设置EIS测试参数：频率范围100 kHz~0.1 Hz，交流振幅5 mV，直流偏置为开路电压； 4. 开始测试，记录Nyquist图； 5. 使用等效电路拟合图谱，获取高频区与中频区容抗弧对应的界面电阻 $R_{interface}$ 	GB/T 39482.3
热压后厚度收缩率	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在热压处理前，测量叠片样品的初始平均厚度 $T_{initial}$； 2. 热压处理后，待样品冷却至室温，再次测量其平均厚 	GB/T 6672

	度 T_{final} ; 3. 计算厚度收缩率 S	
--	-----------------------------------	--

11 测试数据处理

11.1 数据记录

在测试过程中,应详细记录所有原始数据,包括但不限于测试环境条件、仪器设备参数、样品信息、测试步骤及每个步骤的具体操作细节、测量得到的数值及其单位,并确保数据记录的准确性和完整性。

11.2 数据处理方法

11.2.1 叠片对齐度

按9.2.1步骤测得各角的偏移量,取最大值作为该样品的叠片对齐度 δ ,单位为毫米(mm),结果保留至小数点后三位。

11.2.2 叠片厚度及均匀性

11.2.2.1 平均厚度按公式(1)计算:

$$T_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \dots\dots\dots (1)$$

式中:

T_{avg} 为平均厚度,单位为毫米(mm);

T_i 为第*i*个测量点的厚度值,单位为毫米(mm);

n 为测量点数量。

11.2.2.2 厚度极差 ΔT 按公式(2)计算:

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

ΔT 为厚度极差,单位为毫米(mm);

T_{max} 为厚度最大值,单位为毫米(mm);

T_{min} 为厚度最小值,单位为毫米(mm)。

11.2.3 热压后厚度收缩率

厚度收缩率 S 按公式(3)计算:

$$S = \frac{T_{initial} - T_{final}}{T_{initial}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

S 为厚度收缩率;

$T_{initial}$ 为热压前的平均厚度,单位为毫米(mm);

T_{final} 为热压并冷却至室温后的平均厚度,单位为毫米(mm)。

11.2.4 界面阻抗

从EIS拟合结果中直接读取界面电阻值 $R_{interface}$,单位为欧姆(Ω),记录施加的接触压力值。

11.3 重复性与再现性评估

11.3.1 重复性

同一实验室、同一操作员对同一样品进行多次测试,计算测试结果的相对标准偏差(RSD)。

11.3.2 再现性

不同实验室或不同操作员对同一样品进行测试，通过计算实验室间测试结果的相对偏差，评估再现性，要求相对偏差 $\leq 10\%$ 。

11.4 数据审核与异常处理

11.4.1 数据审核

对所有测试数据进行严格审核，包括数据的准确性、完整性和合理性。审核内容应涵盖数据记录是否规范、计算过程是否正确、测试结果是否符合预期等。

11.4.2 异常数据处理

当发现测试数据异常时，应进行复查。首先检查测试过程中是否存在操作失误、仪器设备故障或环境条件不符合要求等情况。如确定数据异常，应重新进行测试，并记录异常原因及处理措施。

11.5 测试结果

将测试结果以清晰、准确的方式呈现，包括数据表格、图表、文字描述等。对于每个测试项目，应提供详细的测试结果，并对测试结果进行分析，结合样品的制备工艺、材料特性等因素，探讨物理与电化学性能之间的内在联系。分析结论包括性能指标的优劣、可能的影响因素、改进建议等。

12 质量保证和控制

12.1 仪器设备校准

所有仪器设备应定期送至专业计量机构进行校准，并在有效期内使用。

12.2 环境监测

在测试过程中，应实时监测环境温度和湿度，并记录相关数据，当环境条件超出规定范围时，应暂停测试并采取相应的措施进行调整。

12.3 样品检查

在测试前和测试后，应对样品进行外观检查，确保样品无损坏或污染。

12.4 人员保证

测试人员应具备材料科学、化学等相关专业本科及以上学历，或持有固态电池测试领域专业技术资格证书。严格执行本文件规定的测试方法，对关键工序需双人复核并签署操作记录。

13 测试报告

实验报告应包括以下内容：

- a) 测试样品的基本信息，如型号、编号、材料组成、制备工艺等；
- b) 测试环境条件，包括温度、湿度等；
- c) 测试仪器的型号、参数及校准状态；
- d) 测试步骤及原始数据记录；
- e) 数据处理结果，包括叠片对齐度、叠片厚度及均匀性、初始堆叠压力、界面阻抗（EIS法）等；
- f) 测试结果分析（如有）及结论；
- g) 测试人员和审核人员签名及日期；
- h) 附件，包括测试过程中记录的原始数据、图表、校准证书等复印件，以及其他需要说明的文件。