

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX—2026

固态电池叠片机智能化规范

Intelligent specification for solid-state battery stacking machine

(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	3
2 规范性引用文件	3
3 术语、定义和缩略语	3
3.1 术语和定义	3
3.2 缩略语	4
4 智能化系统架构	4
4.1 系统架构	4
4.2 设备层	4
4.3 控制层	4
4.4 监控层	4
4.5 企业层	4
5 技术要求	4
5.1 基本要求	4
5.2 智能感知要求	5
5.3 智能控制与执行要求	5
5.4 智能决策与优化要求	5
6 试验方法	5

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。

本文件由深圳市诚捷智能装备股份有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：深圳市诚捷智能装备股份有限公司、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、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：吴泽喜、林水雄、周书云、阳如坤、李军利、吴学科、乐志斌、夏卫彬。

固态电池叠片机智能化规范

1 范围

本文件规定了固态电池叠片机（以下简称“叠片机”）智能化系统架构、技术要求、试验方法。本文件适用于锂离子固态电池电芯制造过程中使用的自动叠片机的智能化设计、制造、验收与评价。

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 1184 形状和位置公差 未注公差值
- GB/T 1958 产品几何技术规范（GPS） 几何公差 检测与验证
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 11605 湿度测量方法
- GB/T 16855.1 机械安全 安全控制系统 第1部分：设计通则
- GB/T 17421.2 机床检验通则 第2部分：数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定
- GB/T 23031.2 工业互联网平台 应用实施指南 第2部分：数字化管理
- GB/T 25915.3 洁净室及相关受控环境 第3部分：检测方法
- GB/T 26119
- GB/T 27758.1 工业自动化系统与集成 诊断、能力评估以及维护应用集成 第1部分：综述与通用要求
- GB 28526 机械电气安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全
- GB/T 28925 信息技术 射频识别 2.45GHz空中接口协议
- GB/T 28926 信息技术 射频识别 2.45GHz空中接口符合性测试方法
- GB/T 38633 信息技术 大数据 系统运维和管理功能要求
- GB/T 40571 智能服务 预测性维护 通用要求
- GB/T 42130 智能制造 工业大数据系统功能要求
- GB/T 44407 智能服务 预测性维护 虚拟维护系统技术要求
- JJG 739 激光干涉仪检定规程
- JJG 860 压力传感器（静态）检定规程
- JJG 1071 线加速度计检定装置（重力场法）检定规程
- JB/T 13075 工业机械电气设备及系统用的Ether MAC系统结构与通讯规范
- IEC 61131-9 可编程控制器 第9部分：单轴运动控制规范（Programmable controllers-Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI)）

3 术语、定义和缩略语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

固态电池叠片机 solid-state battery stacking machine

用于将固态电池的正极片、负极片和固态电解质膜按特定顺序进行叠放，形成电芯芯包的专用自动化设备。

3.1.2

智能化 intellectualization

装备具备感知、分析、推理、决策、控制功能，能够基于数据和模型实现自适应、自学习、自执行的能力。

3.1.3

数字孪生 digital twin

是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

MES: 制造执行系统 (Manufacturing Execution System)

SCADA: 数据采集与监视控制系统 (Supervisory Control And Data Acquisition)

PLC: 可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)

RFID: 射频识别 (Radio Frequency Identification)

OPC UA: 开放平台通信统一架构 (OPC Unified Architecture)

CPK: 过程能力指数 (Process Capability Index)

OEE: 整体设备效率 (Overall Equipment Effectiveness)

4 智能化系统架构

4.1 系统架构

叠片机的智能化系统应遵循分层分布式架构，自下而上包括设备层、控制层、监控层和企业层。

4.2 设备层

由叠片机本体、高精度传感器（如视觉传感器、激光位移传感器、力传感器）、执行机构（伺服电机、直线电机、气动元件）、RFID读写器等构成，负责物理世界的感知与执行。

4.3 控制层

由PLC、运动控制器、机器人控制器等构成，负责接收监控层指令，完成叠片工艺逻辑控制、运动轨迹规划和实时闭环控制。

4.4 监控层

由工业计算机、SCADA系统、实时数据库等构成，负责设备状态监控、工艺参数管理、生产数据采集、质量数据分析、人机交互及向企业层系统提供数据。

4.5 企业层

由MES、ERP等系统构成，负责接收监控层上传的生产数据，进行生产计划排程、物料管理、质量追溯和全生命周期管理。

5 技术要求

5.1 基本要求

5.1.1 安全要求

系统应符合GB 5226.1规定的安全要求，包括但不限于急停、安全门锁、光栅防护等功能安全。

5.1.2 接口要求

系统应具备与上层管理系统的标准数据接口。

5.1.3 数据要求

系统内部应采用统一的实时数据库和历史数据库。与外部系统的通信宜优先采用OPC UA协议。

5.2 智能感知要求

设备应具备对关键工艺参数和设备状态的实时感知能力，具体要求见表1。

表1 智能感知技术要求

感知对象	技术指标	要求	传感器精度要求
极片/隔膜对位	对位精度	$\leq \pm 0.1 \text{ mm}$	视觉系统分辨率： $\geq 5 \mu\text{m}$
叠片压力	压力控制精度	$\leq \pm 1 \text{ N}$	力传感器精度： $\pm 0.5\% \text{ FS}$
叠片位置	定位精度	X/Y轴： $\leq \pm 0.05 \text{ mm}$ ；Z轴： $\leq \pm 0.02 \text{ mm}$	光栅尺/编码器分辨率： $\leq 0.1 \mu\text{m}$
物料标识	RFID读取成功率	$\geq 99.9\%$	本文件
环境温湿度	控制范围	温度： $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ；湿度： $\leq 1\% \text{ RH}$ （露点 $< -40^\circ\text{C}$ ）	温度精度： $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；湿度精度： $\pm 2\% \text{ RH}$

5.3 智能控制与执行要求

设备应具备高精度、自适应控制能力，具体要求见表2。

表2 智能控制与执行技术要求

控制项目	技术指标	要求
运动控制动态响应	最大加速度	$\geq 1.5 \text{ G}$
	定位稳定时间	$\leq 100 \text{ ms}$
压力控制	压力超调量	$\leq 5\%$
	压力响应时间	$\leq 50 \text{ ms}$
工艺参数自适应	基于来料厚度自动调整叠片压力	
	基于视觉对位反馈自动纠偏	

5.4 智能决策与优化要求

系统应具备基于数据的分析、决策与优化能力，具体要求见表3。

表3 智能决策与优化技术要求

功能项目	要求
生产过程可视化	实时显示设备状态（运行、停机、故障）、产量、OEE、CPK等。
质量预测与追溯	建立关键工艺参数（压力、位置）与叠片质量（错位、褶皱）的关联模型，实现质量预测。具备全单件追溯能力，数据保存期 ≥ 5 年。
预测性维护	基于伺服电机电流、振动等数据，实现对轴承、导轨等关键部件的寿命预测与维护提醒。
数字孪生	建立设备三维模型，可实现虚实映射与工艺仿真优化。

6 试验方法

试验应在设备安装调试完成，并处于稳定运行状态下进行。叠片机智能化试验方法应符合表4规定。

表4 技术要求试验方法

项目	试验方法	执行标准
安全要求	a) 功能安全检查：触发急停按钮，验证所有运动部件立即断电制动，气动元件处于安全状态。打开安全门，验证设备停止运行且无法启动； b) 电气安全检查：使用接地电阻测试仪测量保护接地电路的连续性，电阻值应 $\leq 0.1 \Omega$ 。使用耐压测试仪在带电部件与裸露导电部件之间施加规定的测试电压，持续1min，无击穿或闪络现象	GB/T 5226.1、 GB/T 16855.1、 GB 28526
接口要求	a) 通信连接测试：从监控层SCADA系统使用OPC UA客户端工具，成功连接至设备提供的OPC UA服务器； b) 数据读写测试：通过该接口，成功读取至少10个实时数据点；成功写入至少1个工艺参数并验证设备响应正确	GB/T 27758.1
数据要求	a) 内部数据统一性：检查系统配置，确认使用了单一的实时数据库和历史数据库软件； b) 通信协议符合性：使用网络协议分析工具捕获监控层与企业层测试终端之间的通信数据包，验证其协议为OPC UA	GB/T 42130
对位精度	a) 将一块带有高精度十字标记的标准校准板固定于叠片工位； b) 通过设备视觉系统执行对位程序，完成后，使用精度不低于 $\pm 1 \mu\text{m}$ 的二次元影像测量仪，测量校	GB/T 1184、 GB/T 1958

	准板上的标记点与吸嘴或基准边的实际位置偏差； c) 重复步骤2共30次，记录每次的X、Y向偏差值。所有偏差值的绝对值最大值应 $\leq 0.1\text{mm}$	
压力控制精度	a) 在叠片头压力施加点安装一个经过计量校准的高精度标准压力传感器（精度 $\pm 0.1\%$ FS或更高）； b) 在控制系统内分别设置多个目标压力值，执行压力施加命令； c) 待压力稳定后，记录标准压力传感器的读数。每个目标点重复测试10次； d) 计算每次实测值与目标值的偏差。所有单次偏差的绝对值应 $\leq 1\text{N}$	JJG 860、 JB/T 13075
定位精度	a) 使用激光干涉仪沿设备X轴和Y轴进行测量； b) 在全行程内，按GB/T 17421.2规定的方法，选取不少于5个目标点进行双向定位精度和重复定位精度的测量； c) 定位精度（A）的计算结果应满足 $A \leq 0.05\text{ mm}$	GB/T 17421.2、 JJG 739
RFID读取成功率	a) 准备100个载有唯一编码的RFID标签，模拟物料载具； b) 在设备额定运行节拍下，使这100个标签依次通过固定式RFID读写器，共循环10个回合，总计1000次读取操作； c) 记录系统成功识别的次数	GB/T 28925、 GB/T 28926
环境温湿度控制范围	a) 测点布置：在设备工作室内部，按体积对角线方向至少布置5个温湿度传感器测点。传感器应避免直接接触发热元件、空调出风口或腔体壁面； b) 稳定过程：启动设备环境控制系统，使其运行至少1h，达到稳定状态； c) 数据记录：使用数据采集仪连续记录所有测点不少于2h的温湿度数据，采样间隔不大于1min； d) 结果计算：分析所有测点的数据，整个记录期间，各测点的温度读数应在 21°C 至 25°C 范围内，湿度读数应持续 $\leq 1\%$ RH。所有测点温度的最大差值（空间均匀度）应 $\leq 1^{\circ}\text{C}$	GB/T 11605、 GB/T 25915.3
运动控制动态响应	a) 测试布置：将高精度加速度传感器（量程 $\geq 3\text{G}$ ，频响 $\geq 500\text{Hz}$ ）牢固安装在执行叠片关键动作的运动部件上。同时，使用激光干涉仪或系统内置的高分辨率编码器测量位置； b) 最大加速度测试：控制运动部件以最大能力进行加速—减速运动。通过数据采集仪记录整个运动过程的加速度曲线。从曲线中提取加速度的最大绝对值，该值应 $\geq 1.5\text{ G}$ （约 14.7 m/s^2 ）； c) 定位稳定时间测试：指令运动部件从起始点运动到一个目标点。记录从运动指令发出开始，到位置误差（指令位置与实际位置之差）进入并持续保持在预设允差带内所需的时间。该时间即为定位稳定时间。重复测试5次，取平均值，结果应 $\leq 100\text{ ms}$	GB/T 17421.2、 IEC 61131-9、 JJG 1071
压力超调量	a) 在叠片头压力施加点安装一个经过计量校准的高精度标准压力传感器（精度 $\pm 0.1\%$ FS或更高）； b) 设置一个阶跃压力目标，使用数据采集仪高速记录压力随时间的变化曲线； c) 从曲线上计算最大超调量	JB/T 13075
工艺参数自适应（压力）	a) 准备3种不同公称厚度的极片样品； b) 在MES或监控系统中，为每种厚度的极片设定不同的目标压力值； c) 系统依次切换生产这3种极片，通过监控界面或数据记录验证，当读取到新的极片批次号时，叠片压力设定值是否自动切换为对应的目标值	GB/T 27758.1
工艺参数自适应（视觉纠偏）	a) 人为制造极片来料位置偏差； b) 启动叠片流程，通过设备的数据记录系统或高帧率相机，观察叠片机构是否根据视觉系统的实时反馈，在执行叠片动作前进行了位置的补偿运动，使叠放位置准确	GB/T 27758.1
生产过程可视化	a) 设备连续运行不低于8h； b) 记录计划时间、运行时间、故障时间、理论产量、实际良品产量等原始数据，人工计算OEE； c) 对比SCADA系统界面显示的OEE数值与人工计算结果，其相对误差应在 $\pm 1\%$ 以内	JB/T 13075、 GB/T 23031.2
质量预测与追溯	a) 追溯测试：在MES中查询一个特定电芯序列号，系统应能准确反查出其生产时间、所用极片/隔膜批次、叠片过程中的关键参数（如平均对位偏差、最终叠片压力）历史数据； b) 预测关联性测试：导出至少1000个电芯的生产数据，分析关键工艺参数与最终检测质量的统计相关性，验证系统是否具备建立质量模型的数据基础	GB/T 38633
预测性维护功能	a) 在监控系统中，导出指定主驱动伺服电机过去3个月的平均电流或振动频谱趋势图； b) 报告应能显示数据的变化趋势，并设有预警阈值（可配置）。系统应能基于趋势分析发出初步的维护提示信息（无需模拟真实故障）	GB/T 40571、 GB/T 44407、 GB/T 27758.1
数字孪生功能验证	a) 虚实映射：在数字孪生系统中操作虚拟设备执行“单步叠片”指令，验证物理设备能同步运行；同时，在物理设备上制造一个无害的状态变化，验证虚拟模型能实时更新状态； b) 工艺仿真：在孪生模型中修改一个工艺参数，运行仿真，系统应能输出此参数改变对节拍时间的预估影响	本文件