团 体 标 准

T/TMAC ×××—202X

固态电池干法电极设备技术规范

Technical specification for dry electrode equipment for
solid-state batteries

(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。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本作品著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 系统结构	2
4.1 基本要求	2
4.2 设备组成	2
5 技术要求	2
5.1 工艺参数	2
5.2 系统性能	3
5.3 机械与电气要求	3
5.4 环境适应性	4
5.5 智能化要求	4
6 试验方法	4
7 检验规则	5
7.1 出厂检验	5
7.2 型式检验	5
7.3 抽样检验	6
7.4 合格判定	6
8 标志、包装、运输和贮存	6
8.1 标志	6
8.2 包装	6
8.3 运输	6
8.4 贮存	6
附 录 A（规范性） 辊压工艺参数	7

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。

本文件由中国技术市场协会提出并归口。

本文件起草单位：常州华彩新能源科技有限公司、清研纳科智能装备科技(深圳)有限公司、东莞松山湖嘉拓智能设备有限公司、无锡理奇智能装备股份有限公司、深圳市信宇人科技股份有限公司、苏州东福来机电科技有限公司、深圳市曼恩斯特科技股份有限公司、深圳市尚水智能股份有限公司、深圳市浩能科技有限公司、中创新航科技集团股份有限公司、广东鸿宝科技有限公司、东莞市鹏锦机械科技有限公司、和励同芯新能源技术(天津)有限公司、潍坊大耀新材料有限公司、江苏成泰自动化科技有限公司、北京通标华信标准技术服务有限公司等单位。

本文件主要起草人：陈阳、王臣、周研、孙振德、杨志明、李魁立、夏光荣、金旭东、苏建贵、邢慢、王留军、喻世民、谭军华、谭军华、王宗耀、陈红伟、王俊、周永豪、谢晨林、曹厅、林良军、喻鸿基、赵吉芳、乐志斌、夏卫彬等。

固态电池干法电极设备技术规范

1 范围

本文件规定了固态电池干法电极设备的系统结构、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于锂离子固态电池干法电极制备设备的设计、制造与验收，其他类型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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- 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 2589 综合能耗计算通则
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 3358.2 统计学词汇及符号 第2部分：应用统计
- GB/T 3682.1 塑料 热塑性塑料熔体质量流动速率（MFR）和熔体体积流动速率（MVR）的测定 第1部分：标准方法
- GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法
- 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 6283 化工产品中水分含量的测定 卡尔·费休法
- GB/T 11336 直线度误差检测
- GB/T 13729 远动终端设备
- GB/T 19077 粒度分析 激光衍射法
- GB/T 21389 游标、带表和数显卡尺
- GB/T 21650.2 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度 第2部分：气体吸附法分析介孔和大孔
- GB/T 25068.3 信息技术 安全技术 网络安全 第3部分：面向网络接入场景的威胁、设计技术和控制
- GB 38031 电动汽车用动力蓄电池安全要求
- GB/T 44233.2 蓄电池和蓄电池组安装的安全要求 第2部分：固定型电池
- JB/T 9388 界面张力仪 技术条件
- JJF(机械)1090 电机测试装置校准规范
- ISO 14644-1 洁净室和相关受控环境第1部分：按颗粒浓度对空气清洁度的分类(Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration)

3 术语和定义

GB/T 5226.1、GB 38031、GB/T 44233.2中界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

干法电极制备 dry electrode preparation

指通过干混、干压、辊压等非溶剂工艺将活性材料、导电剂和粘结剂制成电极的工艺过程。

3.2

电极面密度一致性 consistency of electrode surface density

电极单位面积的质量偏差，按公式（1）计算：

$$\delta = x = \frac{m_{max} - m_{min}}{m_{avg}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

式中：

m_{max} ：最大面密度（g/m²）；

m_{min} ：最小面密度（g/m²）；

m_{avg} ：平均面密度（g/m²）。

4 系统结构

4.1 基本要求

固态电池干法电极设备的基本要求应符合下列规定。

- a) 设备应具备结构稳定、操作简便、维护便利的特点。
- b) 设备运行应符合GB/T 5226.1中的安全性、电气防护及互锁要求。
- c) 所有与电极材料接触的部件须采用抗腐蚀、抗静电材料，如316L不锈钢、PTFE涂层等。
- d) 设备应支持连续运行，设计寿命不低于10年。

4.2 设备组成

固态电池干法电极设备应包括以下模块。

- a) 干混系统：用于材料均匀混合。
- b) 干压成型系统：通过压延形成电极带。
- c) 辊压系统：控制电极厚度与密度。
- d) 收放卷系统：实现基材连续传输。
- e) 控制系统：PLC/HMI集成，具备数据追溯功能。

5 技术要求

5.1 工艺参数

5.1.1 基础工艺要求

固态电池干法电极设备基础工艺要求应符合表1规定。

表1 固态电池干法电极设备基础工艺要求

项目	指标
电极宽度范围	300mm~600mm(可调, 步进精度±0.5mm)
生产速度	1.5m/min~5.0m/min(无极调速)
面密度一致性	≤±3%(对标NCM811体系)
电极孔隙率	20%~40%(可调, 分辨率±1.5%)
厚度公差	±2 μm(厚度≤100 μm时)

5.1.2 材料兼容性

固态电池干法电极设备材料兼容性要求应符合表2规定。

表2 固态电池干法电极设备材料兼容性要求

材料类型	适用参数范围	特殊要求
氧化物固态电解质	粒径D50=1 μm~5 μm, 含水率≤50ppm	混合系统需氮气保护(氧含量≤0.1%), 防止氧化
硫化物固态电解质	粒径D50=0.5 μm~3 μm, 硬度≤3Mohs	设备接触部件需陶瓷涂层(硬度≥8Hv), 避免硫化物腐蚀
聚合物粘结剂	熔融指数(190℃)≥10g/10min	干湿温度≤80℃, 防止预交联

5.2 系统性能

5.2.1 工艺稳定性

固态电池干法电极设备系统工艺稳定性应包括下列要求。

- 连续运行能力: ≥72h无故障, 关键参数漂移;
- 厚度波动≤±3 μm
- 面密度CV值(变异系数)≤2.5%
- 启停损失: 从启动至工艺稳态的废品长度≤2m(速度≥3m/min时)。

5.2.2 能效指标

固态电池干法电极设备能效指标应符合表3规定。

表3 固态电池干法电极设备能效指标

能耗模块	单位能耗要求
干混系统	≤0.8kWh/kg(混合量≥50kg/h)
辊压系统	≤1.2kWh/m ² (压力≥50MPa)

5.3 机械与电气要求

5.3.1 机械精度

机械精度要求包括下列内容, 辊压工艺参数见附录A。

- 辊压平行度: ≤0.01mm/m。
- 基材张力控制: 20~200N(可调), 波动≤±5%;
- 传动定位误差: ≤±0.1mm(伺服电机编码器反馈)。

5.3.2 电气安全

电气安全要求应包括下列内容。

- a) 绝缘电阻： $\geq 10M\Omega$ 。
- b) 紧急制动响应： $\leq 0.1s$ （触发后设备全停距离 $\leq 0.5m$ ）。
- c) 温度： $58^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ ，含水率： $60\% \pm 2\%$ ，氧气浓度： $18\% \sim 21\%$ 。

5.4 环境适应性

固态电池干法电极设备环境适应性应符合表4规定。

表4 固态电池干法电极设备环境适应性指标

环境因素	工作范围	极限条件
温度	15~30℃（推荐）	短期耐受-10~45℃（需停机恢复）
湿度	$\leq 30\%RH$ （常态）	最高允许60%RH（持续 $\leq 2h$ ）
洁净度	≤ 10 万级（ISO 8级）	关键区域（如干混）需局部百级（ISO 5级）

5.5 智能化要求

5.5.1 数据采集

关键参数（厚度、压力、温度）采样频率 $\geq 10Hz$ ；

5.5.2 故障诊断

具备 ≥ 20 种常见故障的AI预判模型（准确率 $\geq 90\%$ ）；

5.5.3 远程控制

支持OPC UA协议，响应延迟 $\leq 200ms$ 。

6 试验方法

固态电池干法电极设备试验方法应按照表5执行。

表5 固态电池干法电极设备环境适应性指标

类型	指标要求	试验方法	执行标准/仪器	判定规则
基础工艺要求	电极宽度范围	激光测宽仪在最大速度下连续测量10次，计算极差	GB/T 21389	极差 $\leq \pm 0.5mm$
	生产速度	空载与满载状态下分别计时1分钟，计算速度偏差	计时器 (精度 $\pm 0.01s$)	偏差 $\leq \pm 2\%$
	面密度一致性	沿幅宽方向等距5点，纵向每10m取1段（100mm $\times$ 100mm），称重计算偏差	分析天平 (精度 $\pm 0.1mg$)	$\delta \leq \pm 3\%$ （公式1）
	电极孔隙率	汞孔隙率法，样品120℃真空干燥4h后测试	GB/T 21650.2	实测值在设定值 $\pm 1.5\%$ 内
	厚度公差	激光测厚仪沿宽度方向取10点（剔除边缘10mm），测量频率 $\geq 100Hz$	激光测厚仪 (精度 $\pm 0.5\mu m$)	极差 $\leq \pm 2\mu m$
材料兼容性	氧化物电解质粒径	激光粒度分析仪 (湿法分散，超声处理3min)	GB/T 19077	D50在1~5 μm 范围内
	氧化物电解质含水率	卡尔费休水分测定法 (样品破碎后测试)	GB/T 6283	实测值 $\leq 50ppm$
	硫化物电解质硬度	显微硬度计测试	GB/T 4340.1	实测值 $\leq 3Mohs$

		(载荷50gf, 5点取均值)		
	硫化物电解质粒径	激光粒度分析仪 (惰性气体保护下测试)	GB/T 19077	D50在 $0.5\sim 3\ \mu\text{m}$ 范围内
	聚合物粘结剂熔融指数	熔融指数仪 (负荷2.16kg, 190℃恒温)	GB/T 3682.1	实测值 $\geq 10\text{g}/10\text{min}$
工艺稳定性	连续运行厚度波动	每1小时在线测厚仪记录10点数据, 计算极差	在线测厚仪 (数据追溯系统)	极差 $\leq \pm 3\ \mu\text{m}$
	面密度CV值	每2小时取样5段(100mm $\times$ 100mm), 计算变异系数	GB/T 3358.2	CV $\leq 2.5\%$
	启停损失	测量从启动到首次产出合格品的电极长度	卷尺(精度 $\pm 1\text{mm}$)	长度 $\leq 2\text{m}$
能效指标	干混能耗	电能表计量1h能耗, 折算单位能耗	GB/T 2589	实测值 $\leq 0.8\text{kWh}/\text{kg}$
	辊压能耗	压力传感器与电能表同步采集数据, 计算单位面积能耗	GB/T 2589	实测值 $\leq 1.2\text{kWh}/\text{m}^2$
机械精度	辊压平行度	百分表测量辊筒两端与中间位置的间距差	GB/T 11336	偏差 $\leq 0.01\text{mm}/\text{m}$
	张力波动	张力传感器实时采集数据, 计算波动率	JB/T 9388	波动率 $\leq \pm 5\%$
	传动定位误差	伺服电机编码器反馈位置与设定位置差值	JJF(机械)1090	误差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$
电气安全	绝缘电阻	绝缘电阻测试仪(500VDC加压1min)	GB 5226.1	实测值 $\geq 10\text{M}\Omega$
	紧急制动响应	高速摄像机记录触发至完全停止的时间和距离	GB 5226.1	时间 $\leq 0.1\text{s}$, 距离 $\leq 0.5\text{m}$
	温度适应性	高低温试验箱模拟极限温度, 运行4h后检测功能	GB/T 2423.1	功能正常, 无报警
环境适应性	湿度适应性	恒温恒湿箱(60%RH保持2h后恢复)	GB/T 2423.3	无冷凝, 电气安全达标
	洁净度	粒子计数器检测 $\geq 0.5\ \mu\text{m}$ 颗粒物数量	ISO 14644-1	$\leq 3,520,000\text{粒}/\text{m}^3$ (ISO 8级)
智能化要求	数据采集频率	示波器检测传感器信号采样间隔	GB/T 13729	间隔 $\leq 0.1\text{s}$
	AI故障诊断	第三方机构模拟故障场景(如断带、过压等)	CNAS认可检测报告	准确率 $\geq 90\%$
	远程控制延迟	网络延迟测试工具(OPC UA协议)	GB/T 25068.3	延迟 $\leq 200\text{ms}$

7 检验规则

7.1 出厂检验

每台固态电池干法电极设备在出厂前应进行出厂检验, 检验项目包括但不限于性能要求。

7.2 型式检验

在下列情况之一时, 应进行型式检验:

- a) 新产品试制定型时;
- b) 生产工艺或材料有重大改变, 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结果有较大差异时。

7.3 抽样检验

每批次生产的产品需进行抽样检验。抽样数量和方法应符合GB/T 2828.1的规定。

7.4 合格判定

检验结果符合本文件规定的技术要求，方可判定为合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

设备应在外包装上标明型号、规格、生产日期、有效期、生产企业及其联系方式、认证标识等信息。

8.2 包装

设备的包装应采用防震、耐压、防潮的材料，确保在运输过程中不受损坏。包装箱应有明显的标识，注明易燃、易爆等危险品信息。

8.3 运输

运输过程中应避免设备受到高温、潮湿、强力碰撞等不良影响。

8.4 贮存

设备应储存在干燥、阴凉、通风的环境中，避免与易燃、易爆物质共存，并定期检查设备的性能和安全性。

附录 A
(规范性)
辊压工艺参数

A.1 辊压工艺参数对照表

表A.1 辊压工艺参数对照表

材料体系	最优辊压温度 (°C)	线性压力 (kN/m)	压实密度 (g/cm ³)
NCM811+LLZO	80±5	60~80	3.2~3.5
LFP+Li6PS5Cl	25 (常温)	40~60	2.8~3.1
聚合物复合电解质	120±10	30~50	2.5~2.7

说明：所有试验需在设备额定负载下进行，测试前需预热至稳态 (≥30min)；材料兼容性数据需根据供应商技术手册验证；智能化功能需提供第三方检测报告。