

团 体 标 准

T/TMAC ×××—2026

电池材料成型工艺中粘结剂的性能测试方法

Performance testing methods of binders in battery material molding process

(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	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 测试原理	3
5 试验条件	4
6 试剂或材料	4
7 仪器设备	4
8 样品	5
9 测试方法	5
10 试验数据处理	5
10.1 固含量计算	5
10.2 拉伸剪切强度计算	6
10.3 纤维化程度计算	6
10.3.1 平均纤维长度	6
10.3.2 交织密度	6
10.4 粉体流动性计算	6
10.4.1 堆积密度	6
10.4.2 平均流速	6
10.5 剥离强度计算	7
10.6 化学稳定性计算	7
10.7 容量保持率计算	7
11 精密度和测量不确定度	7
11.1 精密度	7
11.2 测量不确定度	7
12 质量保证和控制	8
12.1 质量保证	8
12.2 关键控制点	8
13 试验报告	8

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：大金氟化工(中国)有限公司、广州鹏辉能源科技股份有限公司、上海前沿新能源电源技术研究院、蜂巢能源科技(无锡)有限公司、深圳清研电子科技有限公司、北京中研博采技术服务有限公司等单位。

本文件主要起草人：王丹、张贵萍、汤卫平、李云明、罗旭芳、随献伟、胡昌杰、朱明昌、乐志斌、夏卫彬等。

粘结剂在电池材料成型工艺中的性能测试方法

1 范围

本文件规定了粘结剂在电极材料成型工艺中性能测试的方法，包括测试原理、试验条件、试剂或材料、仪器设备、样品、测试方法、试验数据处理、精密度和测量不确定度、质量保证和控制、试验报告等内容。

本文件适用于干法成型工艺用聚四氟乙烯粘结剂的性能测试与评价。

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 1482 金属粉末 流动性的测定 标准漏斗法（霍尔流速计）
GB/T 2790 胶粘剂180°剥离强度试验方法 挠性材料对刚性材料
GB/T 2793 胶粘剂不挥发物含量的测定
GB/T 2941 橡胶 物理试验方法试样制备和调节通用程序
GB/T 7124 胶粘剂 拉伸剪切强度的测定（刚性材料对刚性材料）
GB/T 10247 粘度测量方法
GB/T 11547 塑料 耐液体化学试剂性能的测定
GB/T 16594 微米级长度的扫描电镜测量方法通则
GB/T 27761 热重分析仪失重和剩余量的试验方法
GB/T 36276 电力储能用锂离子电池
YS/T 582 电池级碳酸锂

3 术语和定义

YS/T 582界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

干法成型 dry forming

无需溶剂参与，通过粉体混合、辊压等工艺制备电池极片的成型方式。

3.2

粘结剂 binders

在电池材料成型工艺中，用于粘接活性物质、导电剂等粉体材料，并通过纤维化形成三维网络结构，赋予极片机械强度的聚合物材料。

4 测试原理

粘结剂在电池材料成型工艺中的性能测试应按照表1规定的原理。

表1 粘结剂在电池材料成型工艺中的性能测试原理

测试项目	测试原理
粘度测试原理	采用毛细管流变仪法，在设定温度和剪切速率下，通过测量物料流经毛细管的压力降，计算其表观粘度
固含量测试原理	称取样品在规定温度和时间下烘干，计算剩余质量与初始质量的百分比
拉伸剪切强度测试原理	制备标准化的干法成型极片搭接剪切试样，在万能试验机上以恒定速度拉伸，直至试样破坏，记录最大负荷并计算强度
热稳定性测试原理	利用热重分析仪（TGA），在程序控温下测量粘结剂样品的质量随温度或时间的变化，评估其热分解行为
纤维化程度测试原理	通过扫描电子显微镜（SEM）观察干法混合后PTFE粘结剂的纤维形态，统计纤维长度、直径及交织密度，评估其纤维化效果
粉体流动性测试原理	采用霍尔流速计，测量PTFE粘结剂与电极粉体混合后的粉体堆积密度和流速，评估混合体系的成型加工性
剥离强度测试原理	制备以干法成型极片（活性物质层）与集流体（金属箔）构成的标准化试样，在万能试验机上以180°剥离角度和恒定速度进行剥离，测量将活性物质层从集流体上分离所需的平均力，计算单位宽度上的剥离强度，以评价粘结剂对集流体的粘附性能
化学稳定性测试原理	将粘结剂样品或含有粘结剂的极片样品浸泡在特定电解液中，在控制的温度和时间条件下进行老化。通过测量样品老化前后的质量变化，并观察其表面形貌或化学结构的变化，以评估粘结剂在电池电解液环境中的化学稳定性及耐受能力
电化学性能测试原理	使用包含待测粘结剂的干法成型极片组装成模拟电池，在设定的充放电制度下进行电化学测试，通过分析电池的容量、循环寿命、倍率性能及阻抗等关键电化学参数，评估粘结剂对电池综合电化学性能的影响

5 试验条件

除特殊规定外，试验应在GB/T 2941中规定的标准实验室环境下进行：温度（23±2）℃，相对湿度（50±10）%。试验前，样品和仪器应在该环境下调节不少于24 h。纤维化程度测试的SEM观察环境为真空度 $\geq 1 \times 10^{-3}$ Pa。

6 试剂或材料

试剂及材料应满足下列要求：

- 蒸馏水或去离子水：符合三级水标准（仅用于仪器清洁）；
- 铝箔/铜箔：纯度 $\geq 99.5\%$ ，厚度（20±2） μm ，用于制备测试用极片或剪切试样；
- 正极活性物质：如锂钴氧化物（ LiCoO_2 ）、三元材料（NCM）等，具体型号由相关方商定（干燥至水分 $\leq 0.1\%$ ）；
- 负极活性物质：如人造石墨、硅碳复合材料等，具体型号由相关方商定（干燥至水分 $\leq 0.1\%$ ）；
- 导电剂：如Super P、碳纳米管（CNTs）等（干燥至水分 $\leq 0.1\%$ ）；
- 无水乙醇：分析纯，用于SEM样品表面清洁。

7 仪器设备

试验的仪器设备应满足下列要求：

- 毛细管流变仪：温度范围50℃~200℃，剪切速率 1 s^{-1} ~ 1000 s^{-1} ，压力精度 $\pm 1\%$ ；
- 分析天平：最大称量不小于100g，感量0.1 mg；
- 鼓风干燥箱：控温范围为室温~250℃，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ；
- 万能材料试验机：量程不低于5kN，精度1级，配有薄膜/薄片专用夹具；
- 热重分析仪（TGA）：温度范围为室温~800℃，升温速率可控，精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ；
- 高速机械混合机：转速500 r/min~5000 r/min，用于粉体混合（替代真空搅拌机）；
- 对辊机：压力0~50 MPa可调，辊速0.1 m/min~5 m/min，用于极片干法辊压；
- 扫描电子显微镜（SEM）：分辨率 $\leq 5 \text{ nm}$ ，放大倍数 $100\times$ ~ $10000\times$ ；

- i) 霍尔流速计：符合GB/T 1482要求，漏斗容积100 mL；
j) 粉体堆积密度测定仪：精度±0.01 g/cm³。

8 样品

试验的样品应满足下列要求：

- a) 干法PTFE粘结剂：取样前应粉碎至粒径≤100 μm，充分混合均匀（固态样品无需配制成溶液）；
b) 测试用极片制备（干法成型）：
1) 按质量比（活性物质：导电剂：PTFE粘结剂=95:3:2或由相关方商定）称取各组分（均为干燥粉体）；
2) 将所有粉体加入高速机械混合机，先以1000 r/min预混合30 min，再以3000 r/min高速混合60 min，实现PTFE纤维化及体系均匀混合；
3) 将混合粉体通过对辊机进行初次辊压，压力10MPa，辊速0.5 m/min，得到初压片材；
4) 对初压片材进行二次辊压，压力30 MPa~40 MPa（根据材料密度要求调整），辊速0.3 m/min，制成厚度均匀的干法极片（厚度50 μm~200 μm）；
5) 将辊压后的极片置于120℃鼓风干燥箱中干燥1 h，去除残留微量水分。

9 测试方法

粘结剂在电池材料成型工艺中的性能测试应按照表2规定的方法。

表2 粘结剂在电池材料成型工艺中的性能测试方法

项目	测试方法	执行标准
粘度测试	使用毛细管流变仪进行测试，温度120℃，剪切速率1 s ⁻¹ ~1000 s ⁻¹ 。将样品装入毛细管流变仪料筒，预热后以恒定剪切速率测试，记录压力降，计算表观粘度。 每个样品测试3次，取平均值	GB/T 10247
固含量测试	按GB/T 2793规定进行测试，称取适量样品于已恒重的称量皿中，在120℃鼓风干燥箱中烘干1 h（或相关方商定），冷却后称量，按本文件公式(1)计算固含量(x)	GB/T 2793
拉伸剪切强度测试	按GB/T 7124规定进行测试，按照第8章要求制备干法成型极片搭接剪切试样，搭接面尺寸为长12.5 mm、宽25 mm（或其他标准尺寸）；在万能试验机上以10 mm/min速度拉伸，记录最大负荷(F _{max})，按本文件公式(2)计算拉伸剪切强度(τ)	GB/T 7124
热稳定性测试	按GB/T 27761规定进行测试，使用热重分析仪(TGA)，样品量5~10 mg，在氮气气氛下以10℃/min升温速率从室温至600℃或相关方商定，记录质量随温度变化曲线，分析热分解温度	GB/T 27761
纤维化程度测试	使用扫描电子显微镜(SEM)进行观察，取干法混合后样品分散在导电胶上，喷金处理。SEM条件：真空度≥1×10 ⁻³ Pa，放大倍数1000×~5000×。随机选取5个视野，测量纤维长度和直径，统计交联点数量，按本文件公式(3)和(4)分别计算平均纤维长度(L _{avg})和交联密度(D)	GB/T 16594
粉体流动性测试	按GB/T 1482规定进行测试，使用霍尔流速计，漏斗容积100 mL。取干法混合后粉体样品，测量粉体通过漏斗的时间，按本文件公式(6)计算平均流速(v)；同时按本文件公式(5)计算堆积密度(ρ)，测试环境湿度控制在相对湿度(50±10)%	GB/T 1482
剥离强度测试	按GB/T 2790规定进行测试。制备干法成型极片样品，将极片从集流体上以180°角度剥离，剥离速度300 mm/min，记录剥离力，计算剥离强度(σ _p)	GB/T 2790
化学稳定性测试	按本文件规定进行测试，将粘结剂样品或极片样品浸泡在电解液中，在60℃下保持168 h。取出后清洗、干燥，测量质量变化率(Δm)等。具体浸泡条件和评价指标由相关方商定	GB/T 11547
电化学性能测试	按本文件规定进行测试，制备扣式电池，进行电化学测试：循环性能，0.1C充放电，100循环，计算容量保持率(C _{ret})、倍率性能(0.1C~5C)、电化学阻抗谱(EIS)	GB/T 36276

10 试验数据处理

10.1 固含量计算

固含量x按公式(1)计算：

$$x = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

式中:

- x —— 粘结剂的固含量, %;
 m_0 —— 称量皿的质量, 单位为克 (g);
 m_1 —— 称量皿和烘干前试样的质量, 单位为克 (g);
 m_2 —— 称量皿和烘干后试样的质量, 单位为克 (g)。

10.2 拉伸剪切强度计算

拉伸剪切强度按公式 (2) 计算:

$$\tau = \frac{F_{max}}{B \times L} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- τ —— 拉伸剪切强度, 单位为兆帕 (MPa);
 F_{max} —— 试样破坏时的最大负荷, 单位为牛顿 (N);
 B —— 试样搭接面宽度, 单位为毫米 (mm);
 L —— 试样搭接面长度, 单位为毫米 (mm)。

10.3 纤维化程度计算

10.3.1 平均纤维长度

平均纤维长度按公式 (3) 计算:

$$L_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- L_{avg} —— 平均纤维长度, 单位为微米 (μm);
 L_i —— 单个有效纤维的长度, 单位为微米 (μm);
 n —— 有效纤维的总数量。

10.3.2 交织密度

交织密度按公式 (4) 计算:

$$D = \frac{N}{S} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- D —— 交织密度, 单位为个每 μm^2 ;
 N —— 5个视野中交织点的总数量;
 S —— 5个视野的总面积, 单位为 μm^2 。

10.4 粉体流动性计算

10.4.1 堆积密度

堆积密度按公式 (5) 计算:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- ρ —— 堆积密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm^3);
 m —— 流出粉体的质量, 单位为克 (g);
 v —— 容器的容积, 单位为立方厘米 (cm^3)。

10.4.2 平均流速

平均流速按公式 (6) 计算:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^3 t_i}{3} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- v —— 平均流速, 单位为秒 (s);
 t_i —— 每次测量的流出时间, 单位为秒 (s)。

10.5 剥离强度计算

剥离强度按公式（7）计算：

$$\sigma_p = \frac{F_{peel}}{W} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- σ_p ——剥离强度，单位为牛顿每毫米（N/mm）；
 F_{peel} ——稳定剥离阶段的平均剥离力，单位为牛顿（N）；
 W ——试样剥离宽度，单位为毫米（mm）。

10.6 化学稳定性计算

质量变化率按公式（8）计算：

$$\Delta m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- Δm ——质量变化率；
 m_1 ——浸泡前样品的质量，单位为克（g）；
 m_2 ——浸泡后样品的质量，单位为克（g）。

10.7 容量保持率计算

容量保持率按公式（9）计算：

$$C_{ret} = \frac{C_n}{C_1} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- C_{ret} ——第 n 次循环的容量保持率；
 C_1 ——首次循环的放电比容量，单位为毫安时每克（mAh/g）；
 C_n ——第 n 次循环的放电比容量，单位为毫安时每克（mAh/g）。

11 精密度和测量不确定度

11.1 精密度

在重复性条件下获得的两次独立测试结果的测定值，在表2给出的平均值范围内，其绝对差值不超过表2给出的重复性限（r），超过重复性限（r）的情况不超过5%。

表2 方法精密度

测试项目	单位	水平（平均值）	重复性限（r）
表观粘度（120℃）	Pa·s	100	5
固含量	%	99.5	0.2
拉伸剪切强度	MPa	1.80	0.20
平均纤维长度	μm	5.0	0.5
堆积密度	g/cm ³	1.20	0.05
流出时间	s	30	3

11.2 测量不确定度

本文件的测试方法考虑了由测量设备、环境条件、样品均匀性和人员操作等因素引入的测量不确定度。各主要测试项目的扩展不确定度（包含因子k=2，置信水平约95%）评估如下。

- a) 表观粘度：±5%；
- b) 固含量：±0.1%；
- c) 拉伸剪切强度：±8%；
- d) 平均纤维长度：±10%；
- e) 堆积密度：±3%；
- f) 实验室应定期进行不确定度评估。

12 质量保证和控制

12.1 质量保证

为确保测试结果的准确性和可靠性，实验室应。

- a) 定期使用有证标准物质或次级标准物质对仪器进行校准和核查。
- b) 每批次测试时，应带一个控制样品（已知特性的稳定粘结剂样品），测试结果应在可控范围内。
- c) 定期参加实验室间比对或能力验证计划。

12.2 关键控制点

试验的关键控制点包括粉体混合的均匀性和PTFE纤维化程度，极片辊压的压力与速度控制，SEM观察的样品制备与视野选择，粉体流动性测试的环境湿度控制。

13 试验报告

试验报告至少应包括以下内容：

- a) 本文件编号；
 - b) 被测干法 PTFE 粘结剂的完整标识（名称、型号、批号、生产商）；
 - c) 测试日期和环境温湿度；
 - d) 各项测试结果，包括单个值、平均值及标准差；
 - e) 干法极片制备的关键参数（混合转速、时间、辊压压力、温度等）；
 - f) 任何偏离本标准规定的操作或异常现象；
 - g) 试验人员及审核人员签名。
-