

ICS 29.220.99

CCS K 82

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

可充电海水锌离子电池锌负极防腐 涂层技术要求

Technical requirements for anti-corrosion coating of zinc anode in
rechargeable seawater zinc-ion batteries

(草案)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 2

4 技术要求 2

 4.1 外观质量 2

 4.2 尺寸与厚度 2

 4.3 物理机械性能 2

 4.4 电化学性能 3

 4.5 环境适应性 4

5 试验方法 4

 5.1 试验环境 4

 5.2 外观检查 4

 5.3 尺寸与厚度测量 4

 5.4 物理机械性能测试 5

 5.5 电化学性能测试 5

 5.6 环境适应性测试 6

6 安全与防护要求 6

 6.1 一般安全原则 6

 6.2 化学试剂与粉尘防护 6

 6.3 电气与设备安全 7

 6.4 气体防爆与通风 7

 6.5 废弃物处理 7

7 试验报告 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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次编制。

可充电海水锌离子电池锌负极防腐涂层技术要求

1 范围

本文件规定了可充电海水锌离子电池锌负极防腐涂层（以下简称“涂层”）的技术要求、试验方法、安全与防护要求及试验报告。

本文件适用于以金属锌或锌合金为基体，表面涂覆有防腐功能层，应用于以天然海水或模拟海水为电解液体系的环境友好型可充电锌离子电池负极材料。

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 191 包装储运图形符号标志

GB/T 1731 漆膜、腻子膜柔韧性测定法

GB/T 1732 漆膜耐冲击性测定法

GB/T 1768 色漆和清漆 耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法

GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db： 交变湿热（12h+12h循环）

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾

GB/T 2516 普通螺纹极限偏差

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 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料 取样

GB/T 4957 非磁性导电基体金属上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 振幅敏感涡流法

GB/T 5216 保证淬透性结构钢

GB/T 6739 色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度

GB/T 9274 色漆和清漆 耐液体介质的测定

GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 10610 产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法

GB/T 14522 机械工业产品用塑料、涂料、橡胶材料人工气候老化试验方法 荧光紫外灯

GB/T 30835 锂离子电池用炭复合磷酸铁锂正极材料

GB/T 35590 信息技术 便携式数字设备用移动电源通用规范

ISO 11130:2010 金属和合金的腐蚀 盐溶液周浸试验 (Corrosion of metals and alloys-Alternate immersion test in salt solution)

IEC 62660-1 用于电动道路车辆推进的次级锂离子电池-第1部分：性能测试 (Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part1:Performance testing)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海水锌离子电池 seawater-based zinc-ion battery

以天然海水或人工海水为电解液，以锌离子作为电荷载流子，以锌金属为负极活性材料的可充电电池体系。

3.2

锌负极防腐涂层 anti-corrosion coating for zinc anode

涂覆在锌负极（锌箔、锌板或泡沫锌）表面，旨在物理隔离电解液、调节离子通量、抑制锌枝晶生长及减少副反应（如析氢、腐蚀）的有机、无机或复合薄膜层。

3.3

防腐效率 corrosion efficiency

在相同测试条件下，未涂层锌负极与涂层锌负极的腐蚀电流密度差值与未涂层锌负极腐蚀电流密度的比值，以百分比表示。

3.4

库伦效率 coulombic efficiency (CE)

在电池充放电过程中，放电容量与充电容量的比率，用于评价电极材料的可逆性。

3.5

对称电池 symmetric cell

由两片完全相同的锌负极（涂层或未涂层）组成的，用于研究界面稳定性和枝晶行为的测试电池构型。

3.6

析氢副反应 hydrogen evolution reaction (HER)

在水系电解液中，由于锌与水或酸性杂质发生电化学反应而产生氢气的现象，是导致锌负极腐蚀和电解液干涸的主要原因。

4 技术要求

4.1 外观质量

在自然光或光照度（300~600）lx的近射光下，目视观察涂层表面，应符合下列规定：

- 涂层应连续、均匀、致密，无漏涂区域；
- 表面应无气泡、针孔、裂纹、颗粒杂质、缩孔及其他机械损伤；
- 颜色应均匀一致，若涂层为透明或半透明，基体金属色泽应无明显色差；
- 边缘整齐，无流挂、堆积现象。

4.2 尺寸与厚度

4.2.1 涂层厚度

涂层干膜厚度应在1~100 μm 范围内（根据具体工艺类型由供需双方商定，推荐值5~50 μm ）。厚度偏差应控制在 $\pm 10\%$ 以内。

4.2.2 厚度均匀性

在有效涂层区域内，任意两点之间的厚度偏差不应超过平均厚度的15%。

4.3 物理机械性能

4.3.1 附着力

涂层与锌基体之间的结合强度应不低于 GB/T 9286 规定的1级标准。在划格试验中，切口交叉处涂层无剥落，切割边缘受影响程度不超过5%。

4.3.2 柔韧性

涂层应能承受电池极片卷绕或弯折过程而不发生脱落。在直径为10 mm的芯轴上进行180°弯曲试验后，涂层应无裂纹、无剥落。

4.3.3 耐冲击性

涂层应能抵抗1.0 kg的重锤从50 cm高度自由落体的冲击，冲击后涂层表面应无裂纹、无剥落。

4.3.4 耐磨性

采用Taber耐磨试验机，CS-10轮，负重500 g，旋转1000次后，涂层应不露底。

4.3.5 硬度

涂层应具备一定的抗划伤能力，铅笔硬度应不低于HB。按 GB/T 6739 规定的方法进行测试，涂层不应被硬度为HB的铅笔划破。

4.3.6 表面粗糙度

涂层表面的微观平整度应控制在一定范围内，以避免尖端效应导致枝晶生长。涂层表面的算术平均粗糙度 (R_a) 应 $\leq 1.0 \mu\text{m}$ 。

4.4 电化学性能

4.4.1 自腐蚀电位

在3.5% NaCl溶液或模拟海水中，涂层锌负极的开路电位 (OCP) 应比未处理锌负极的正移至少 50 mV，表明热力学稳定性提高。

4.4.2 腐蚀电流密度

在模拟海水电解液中，通过塔菲尔曲线测试得到的腐蚀电流密度应不大于 $0.1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ (25℃条件下)。

4.4.3 析氢速率

在静置浸泡24小时后，涂层锌负极的析氢速率应不大于 $0.05 \text{ mL}/(\text{h} \cdot \text{cm}^2)$ 。

4.4.4 循环稳定性

以涂层锌负极为工作电极，以适宜的正极材料（如锰基、钒基等）组装成全电池，在0.5 A/g（基于锌质量）的电流密度下进行充放电测试：

- a) 初始放电比容量应达到理论容量的85%以上；
- b) 循环500次后，容量保持率应不低于80%；
- c) 500次循环内的平均库伦效率应不低于98.5%。

4.4.5 对称电池循环寿命

组装Zn|Zn对称电池，在 1.0 mA/cm^2 的电流密度和 1.0 mAh/cm^2 的面容量下进行短路与沉积测试：

- a) 连续循环时间应不低于 500 h；
- b) 过电位波动范围应控制在 $\pm 50\text{ mV}$ 以内，且无明显的电压突降。

4.4.6 界面阻抗

涂层不应显著增加电池的内阻。在开路电压下，通过电化学阻抗谱（EIS）测得的涂层锌负极与电解液界面电荷转移电阻（ R_{ct} ）增加值应 $\leq 20\text{ }\Omega\cdot\text{cm}^2$ 。

4.4.7 倍率性能

涂层应具备良好的离子传输能力，在大电流充放电下保持性能。当充放电电流密度从 0.2 A/g 增加至 2.0 A/g 时，放电容量保持率（相对于 0.2 A/g 下的容量）应不低于70%。

4.5 环境适应性

4.5.1 耐盐雾腐蚀性

按照 GB/T 10125 规定的中性盐雾（NSS）试验方法进行测试。连续喷雾48 h后，试样表面除边缘外，不应出现起泡、生锈或涂层脱落现象。

4.5.2 耐电解液浸泡性

将涂层锌负极完全浸入 $25\text{ }^\circ\text{C}\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ 的模拟海水电解液中，静置168小时（7天）。取出后，涂层应无起泡、软化、脱落或溶解现象，附着力测试仍应符合4.3.1的要求。

4.5.3 耐湿热性

涂层应能抵抗高温高湿环境的侵蚀。按 GB/T 2423.4 规定的试验方法进行（温度 $40\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $93\%\pm 3\%$ ），持续96 h。试验后涂层表面无起泡、生锈、剥落，附着力仍应符合4.3.1的要求。

4.5.4 耐碱性

考虑到锌负极在循环过程中局部pH值升高，涂层应具有耐碱性。将涂层样品浸泡在pH值为12的氢氧化钠（NaOH）溶液中，在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 下静置24 h。取出清洗后，涂层应无溶解、明显变色或脱落现象。

5 试验方法

5.1 试验环境

除非另有规定，所有试验应在温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为45%~75%的环境下进行。电化学测试所用模拟海水应参照 ISO 11130 的要求配制。

5.2 外观检查

取样品在自然光或D65标准光源下，距离样品300~500 mm 处，用肉眼直接观察，必要时使用3~5倍放大镜检查。结果应符合4.1的规定。

5.3 尺寸与厚度测量

5.3.1 涂层厚度

按 GB/T 4957 规定的方法进行测试。

5.3.2 厚度均匀性

依据 6.3.1 测得的最大厚度值 T_{max} 和最小厚度值 T_{min} ，按公式（1）计算偏差：

$$\Delta T = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{avg}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔT —— 厚度偏差，单位：%。

T_{max} —— 最大厚度值，单位： μm 。

T_{min} —— 最小厚度值，单位： μm 。

T_{avg} —— 平均厚度，单位： μm 。

5.4 物理机械性能测试

5.4.1 附着力测试

按 GB/T 9286 规定的方法进行测试。

5.4.2 柔韧性测试

按 GB/T 1731 规定的方法进行测试。

5.4.3 耐冲击性测试

按 GB/T 1732 规定的方法进行测试。

5.4.4 耐磨性测试

按 GB/T 1768 规定的方法进行测试。

5.4.5 硬度测试

按 GB/T 6739 规定的方法进行测试。

5.4.6 表面粗糙度

按 GB/T 10610 规定的方法进行测试。

5.5 电化学性能测试

5.5.1 测试仪器与电池组装

按 GB/T 30835 规定的方法进行测试。

5.5.2 电解液

按 ISO 11130 中规定的进行配置。

5.5.3 自腐蚀电位测试

按 GB/T 30835 规定的方法进行测试。

5.5.4 腐蚀电流密度测试

按 GB/T 30835 规定的方法进行测试。

5.5.5 析氢速率测试

按 GB/T 30835 规定的方法进行测试。

5.6 环境适应性测试

5.6.1 盐雾试验

按 GB/T 10125 规定的方法进行测试。

5.6.2 耐电解液浸泡测试

按 GB/T 9274规定的方法进行测试。

5.6.3 耐湿热性测试

按 GB/T 2423.4 规定的方法进行测试。

5.6.4 耐碱性测试

按 GB/T 9274 规定的方法进行测试。

5.6.5 全电池循环性能测试

按 GB/T 30835 规定的方法进行测试。

5.6.6 对称电池循环寿命测试

组装 $\text{Zn}|\text{Zn}$ 对称电池。在恒电流模式下进行循环测试：充电30分钟（沉积），静置10分钟，放电30分钟（溶解），静置10分钟。记录电压随时间的变化曲线。当电压突然降低接近0 V时判定为短路，停止测试。

5.6.7 界面阻抗测试

按 GB/T 30835规定的方法进行测试。

5.6.8 倍率性能测试

按 GB/T 30835规定的方法进行测试。

6 安全与防护要求

6.1 一般安全原则

6.1.1 人员资质要求

涂层的制备、电池的组装及性能测试工作，应由经过专业安全培训、熟悉水系电池及电化学测试操作规程的人员进行。

6.1.2 安全设施配备

实验室应配备符合国家标准的通风橱、紧急洗眼器、灭火器及防毒面具等安全防护设施。

6.2 化学试剂与粉尘防护

6.2.1 锌粉尘防范

在处理裸锌箔、锌粉或进行涂层前基体打磨时，应避免产生悬浮锌粉尘。锌粉具有爆炸性，操作应在通风橱内进行，严禁明火，并佩戴防尘口罩（N95及以上等级）及防静电手套。

6.2.2 腐蚀性与毒性试剂

配制模拟海水电解液（含氯盐、硫酸盐）及调节pH值用的酸碱试剂时，必须佩戴防化学产品护目镜、耐酸碱手套和实验服。如皮肤不慎接触强酸强碱，应立即用大量清水冲洗并就医。

6.3 电气与设备安全

6.3.1 接地与接线安全

电化学工作站、电池充放电测试仪等设备应可靠接地。在连接三电极体系或扣式电池时，应确保设备处于断电或待机状态，防止正负极短路引发电弧或设备损坏。

6.3.2 充放电参数设定

在进行大电流或高容量充放电测试时，应设置合理的电压上下限（切断电压），防止过充导致电解水剧烈产气或电池膨胀破裂。

6.4 气体防爆与通风

6.4.1 析氢防范

所有电化学测试必须在通风良好的环境或排风柜内进行，严禁在测试区域使用明火或产生电火花的设备。

6.4.2 有害气体防范

在干燥固化过程中固化烘箱应连接排气净化装置。

6.5 废弃物处理

6.5.1 废液禁排要求

含有锌离子、氯离子及涂层残留物的废电解液，属于危险废物（HW），严禁直接倒入下水道。

6.5.2 分类收集与合规处置

废液、废弃锌负极片及沾染化学品的耗材应分类收集在专用的化学废弃物容器中，交由具备相应危废处理资质的机构集中处理，符合国家环保相关法规要求。

7 试验报告

试验报告应至少包含以下内容：

- a) 标题；
- b) 本文件编号；
- c) 试样信息：包括涂层类型、基底材质、制备工艺、涂层厚度等；
- d) 测试条件：包括环境温度、湿度、测试所用的仪器型号；
- e) 测试结果：明确列出各项技术指标的测试数值，并附带关键测试图谱；
- f) 数据处理方法：说明 Tafel 拟合区间及 EIS 等效电路模型；
- g) 结论：明确说明该试样是否符合本标准的技术要求；

h) 测试人员、审核人员及报告日期。
