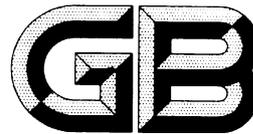


ICS 77.120.99

CCS H 65



中华人民共和国国家标准

GB/T XXX—202X

稀土氧化物固体电解质粉

Rare earth oxide solid electrolyte powder

(送审稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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。

本文件由全国稀土标准化技术委员会(SAC/TC 229)提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

稀土氧化物固体电解质粉

1 范围

本文件规定了稀土氧化物固体电解质粉的术语和定义、分类和代号、要求、试验方法、检验规则、包装、标志、运输、贮存及随行文件。

本文件适用于固态锂电池用的主成分含锂、稀土元素镧的氧化物固体电解质。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.41 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 45330 锂离子电池正极材料 水分含量的测定 卡尔费休库伦法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 19077 粒度分析 激光衍射法

GB/T 20170.2 稀土金属及其化合物物理性能测试方法 稀土化合物比表面积的测定

GB/T 23942 化学试剂电感耦合等离子体原子发射光谱法通则

GB/T 25995 精细陶瓷密度和显气孔率试验方法

GB/T 30904 无机化工产品晶型结构分析 X 射线衍射法

GB/T 31057.2 颗粒材料 物理性能测试 第2部分：振实密度的测量

GB/T 33827 锂电池用纳米负极材料中磁性物质含量的测定方法

GB 39176 稀土产品的包装、标志、运输与贮存

3 术语和定义

GB/T 2900.41 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

固体电解质 Solid electrolyte

具有离子导电性的固体物质。

[来源: GB/T 2900.41, 3.1, 有修改]

3.2

离子电导率 Ionic conductivity

σ_i

表示电解质中离子的传输能力。

3.3

电子电导率 Electronic conductivity

σ_e

表示电解质中电子的传输能力。

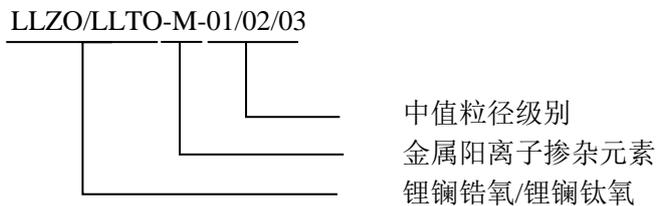
4 分类和代号

4.1 分类

产品按化学成分分为锂镧锆氧 (LLZO) 和锂镧钛氧 (LLTO) 两类, 每类为三个层次共六个代号: LLZO-M-01/02/03 和 LLTO-M-01/02/03。

4.2 代号

LLZO-M-01/02/03、LLTO-M-01/02/03 产品代号共分为三个层次。其中第一个层次表示锂镧锆氧或锂镧钛氧, 分别用其简写“LLZO”或“LLTO”表示; 第二层次 M 表示 LLZO 和 LLTO 的金属阳离子主要掺杂元素 Ga、Ta、Al、Nb 等。若掺杂元素种类 ≥ 2 时, 掺杂元素间用“,” 隔开; 第三层次表示粉体中值粒径 (D_{50}) 的级别, 用规定的阿拉伯数字表示, 01、02 和 03 分别表示该代号产品 D_{50} 为: $D_{50} \leq 0.3 \mu\text{m}$, $0.3 \mu\text{m} < D_{50} < 1 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m} \leq D_{50} \leq 10 \mu\text{m}$, 各层次之间用“-” 隔开, 具体表示方法如下:



5 要求

5.1 外观质量

产品外观应为均匀的白色或淡黄色粉末, 无结块, 无肉眼可见杂物。

5.2 化学成分

产品的化学成分应符合表 1 规定。

表 1 稀土氧化物固体电解质粉产品的化学成分

技术参数		产品代号				
		LLZO-M-01	LLZO-M-02	LLZO-M-03	LLTO-M-01	LLTO-M-02
化学成分	Zr	10-25			/	
	Ti	/			25-30	

wt%	La	40-55	40-50
	Li	4.5-8	1-3
	M	1-15	1-5
注：M 为金属阳离子掺杂元素 Ga、Ta、Al、Nb 等。			

5.3 物理性能

产品的物理性能应符合表2规定。

表 2 稀土氧化物固体电解质粉产品的物理性能

技术参数	产品代号					
	LLZO-M-01	LLZO-M-02	LLZO-M-03	LLTO-M-01	LLTO-M-02	LLTO-M-03
中值粒径 D_{50} μm	$D_{50} \leq 0.3$	$0.3 < D_{50} < 1$	$1 \leq D_{50} \leq 10$	$D_{50} \leq 0.3$	$0.3 < D_{50} < 1$	$1 \leq D_{50} \leq 10$
粒度分布跨度 ($D_{90}-D_{10}$)/ D_{50}	≤ 1.5					
比表面积 m^2/g	> 10	6-10	< 6	> 10	6-10	< 6
振实密度 g/cm^3	0.5-1.1	1.1-1.8	1.0-2.5	0.5-1.1	1.1-1.8	1.0-2.5
晶体结构	石榴石型立方相			钙钛矿型立方相		

5.4 表面残碱、水分含量和磁性异物含量

产品的表面残碱、水分含量和磁性异物含量应符合表3规定。

表3 稀土氧化物固体电解质粉产品的表面残碱、水分含量和磁性异物含量

技术参数	产品代号					
	LLZO-M-01	LLZO-M-02	LLZO-M-03	LLTO-M-01	LLTO-M-02	LLTO-M-03
表面残碱 wt%	≤ 8	≤ 5	≤ 3	≤ 8	≤ 5	≤ 3
水分含量 wt%	≤ 0.2					
磁性异物含量 wt%	$\leq 10^{-4}$					

5.5 电化学性能

产品的电化学性能应符合表4规定。

表4 稀土氧化物固体电解质粉产品的电化学性能

技术参数	产品代号
------	------

		LLZO- M-01	LLZO- M-02	LLZO- M-03	LLTO- M-01	LLTO- M-02	LLTO- M-03
电化 学性 能 (基 于陶 瓷)	离子电导 率 (S/cm, 25± 1°C)	$\geq 3 \times 10^{-4}$	$\geq 5 \times 10^{-4}$	$\geq 5.5 \times 10^{-4}$	$\geq 1 \times 10^{-4}$	$\geq 3 \times 10^{-4}$	$\geq 5 \times 10^{-4}$
	电子电导 率 (S/cm, 25± 1°C)	$\leq 5 \times 10^{-8}$					

6 试验方法

6.1 外观质量

在自然散射光下，通过目视法检测。

6.2 化学成分

按照 GB/T 23942 的相关规定进行。

6.3 中值粒径 D_{50} 和粒度分布跨度

按照 GB/T 19077 的相关规定进行。

6.4 比表面积

按照 GB/T 20170.2 的相关规定进行，吸附常数 $C > 0$ 。

6.5 振实密度

按照 GB/T 31057.2 的相关规定进行。

6.6 表面残碱

按照附录 A 的规定进行。

注：残碱主要以氢氧化锂和碳酸锂形式存在，测试后将其量全部以碳酸锂含量表示。

6.7 水分含量

按照 GB/T 6283 的相关规定进行。

注：露点不高于 -40 °C，加热温度为 150 °C，测试截止条件为样品漂移值小于 10 $\mu\text{g}/\text{min}$ 。

6.8 磁性异物含量

按照 GB/T 33827 的相关规定进行。

注：磁性异物通常为铁、钴、镍、铬、锌的单质或化合物。

6.9 晶体结构

立方相石榴石结构 LLZO 和立方相钙钛矿结构 LLTO，按照 GB/T 30904 的相关规定进行。

6.10 离子电导率

按照附录 B 的规定进行。

6.11 电子电导率

按照附录 C 的规定进行。

7 检验规则

7.1 检查与验收

7.1.1 产品应由供方质量检验部门进行检验，保证产品符合本文件规定，并填写随行文件。

7.1.2 需方应对收到的产品按照本文件的规定进行检验。如检验结果与本文件不符时，应以书面形式向供方提出，由供需双方协商解决。应在自收到产品之日起 2 个月内向供方提出。如需仲裁，应由供需双方在需方共同取样并委托双方认可的单位进行。

7.2 组批

产品应成批检验，每批应由同一代号的产品组成，每批产品净重应不大于 200 kg。

7.3 检验项目

每批产品应进行外观质量、化学成分、物理性能、表面残碱、水分含量和磁性异物含量、电化学性能检验，其他项目可由供需双方协商进行。

7.4 取样与制样

7.4.1 取样件数

按表 5 规定进行。

表 5 产品取样件（袋）数

件（袋）数	1~5	6~50	51~100	>100
取样件（袋）数	件（袋）数的 100%	5	件（袋）数的 10%只进不舍取整数	件（袋）数的平方根，只进不舍取整数

7.4.2 取样方法

打开真空包装，用插管在每件（袋）中心及周围等距离处取三点，进行稀土氧化物固体电解质产品取样，取样后对产品再次进行真空包装。将所取样品混合后用四分法缩分至试样所需数量并进行密封包装保存，每份试样重量不少于 100 g。对于小批量产品（如 100g、500g 或 1kg）的取样，最低取样量为该产品质量的 10%。

7.5 检验结果判定

7.5.1 检验结果的数值按 GB/T 8170 的规定进行修约，并采用修约值比较法判定。

7.5.2 产品的外观质量与本标准规定不符时，直接判该批产品为不合格。

7.5.3 产品的物理性能、电化学性能、表面残碱、水分含量和磁性异物含量如有一项与本标准规定不符时，则从该批产品中取双倍试样对不合格项目进行重复试验。复验结果若有任一项指标不符合本文件要求，则判定该批产品不合格。因需方管理不善而造成检验结果不合格时，应由需方负责。化学成分不作为验收依据，当需方提出要求时，可由供需双方协商决定。

8 标志、包装、运输、贮存及随行文件

8.1 标志

产品外包装应注明：

- a) 产品名称；
- b) 供方名称、地址、邮编、电话；
- g) 净重、毛重；
- i) 防潮标识。

8.2 包装

产品内包装为铝塑膜真空包装，每袋净重分别为 1kg、5 kg、20 kg；外包装袋为纸袋、箱或桶，每件净重 20kg 或 25 kg。对于小批量产品（如 100g、500g 或 1kg），内包装为塑料瓶并用铝塑膜真空包装。如需方有特殊要求，可由供需双方协商决定。

8.3 运输和贮存

8.3.1 产品运输标识应符合 GB/T 6388 中运输包装收发货标志的规定。

8.3.2 运输时严防雨淋受潮；产品应存放在清洁干燥处，存储、转运过程中严防接触空气中的水分和二氧化碳。

8.3.3 产品自生产之日起，在所要求的包装、储存条件下，保质期为 1 年。

8.3.4 避免与可使产品变质或使包装袋损坏的物品混存、混运。

8.3.5 贮存和运输过程中应保证产品的包装清洁和不破损，凡漏出包外的产品，不得返回包内。

8.4 随行文件

每批产品应附有随行文件，其中应包括质量证明书，质量证明书应符合GB 39176的规定。此外还宜包括：

- a) 产品合格证；
- b) 产品质量控制过程中的检验报告及成品检验报告；
- c) 产品使用说明书；
- d) 注册商标；
- e) 产品代号；
- f) 批号；
- h) 本文件编号；
- i) 生产或出厂日期以及产品保质期；
- d) 其他。

附录 A

(规范性)

表面残碱的测定

A.1 原理

将一定质量稀土氧化物固体电解质加入到一定体积的水中使其表面的残碱溶解后过滤，滤液使用盐酸标准滴定溶液进行滴定，滴定终点通过滴定反应过程中电位突跃来确定，计算可得表面残碱的含量。

A.2 仪器设备

A.2.1 真空抽滤装置：真空度需 < 100 kPa。

A.2.2 磁力搅拌器：最大转速需 > 500 rpm。

A.2.3 电位滴定仪（配饱和甘汞电极）：分辨率 0.001 pH。

A.2.4 分析天平：分辨率 0.1 mg。

A.3 试样制备

A.3.1 在分析天平上称取 5 g（精确至 0.1 mg）稀土氧化物固体电解质，具体质量记为 m_1 。将上述称取好的稀土氧化物固体电解质置于玻璃烧杯中，加入 100 g（精确至 0.1 mg）水，水温为 $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ ，水质量记为 m_2 。用封口膜封口后置于磁力搅拌器上以 800 r/min 搅拌 5 min。

注：水应为煮沸冷却至室温的去离子水。

A.3.2 搅拌完成后用真空抽滤装置将稀土氧化物固体电解质与水分离，滤液收集至烧杯中，滤液质量记为 m_3 。

A.4 测试步骤

A.4.1 使用 pH 标准缓冲液对电位滴定仪 pH 电极进行校准，三点斜率在 0.95~1.05 之间。

A.4.2 将滤液置于电位滴定仪上，使用 0.1 mol/L 盐酸标准滴定溶液滴定。分别记录两个等当点，即 Ep1（pH \approx 8.5）、Ep2（pH \approx 4.5）处消耗盐酸的体积，分别记为 V_1 、 V_2 。

A.5 结果分析

稀土氧化物固体电解质表面的残余 Li_2CO_3 （相对分子质量：73.89 g/mol）的质量分数通过公式（1）计算得到；稀土氧化物固体电解质表面的残余 LiOH （相对分子质量：23.95 g/mol）的质量分数通过公式（2）计算得到。

$$w_{\text{Li}_2\text{CO}_3} = \frac{c \times (V_2 - V_1) \times m_2 \times 73.89}{m_1 \times m_3 \times 1000} \times 100\% \quad (1)$$

$$w_{\text{LiOH}} = \frac{c \times (V_2 - 2(V_2 - V_1)) \times m_2 \times 23.95}{m_1 \times m_3 \times 1000} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$w_{Li_2CO_3}$ ——稀土氧化物固体电解质表面残余 Li_2CO_3 质量分数;

w_{LiOH} ——稀土氧化物固体电解质表面残余 $LiOH$ 质量分数;

c ——盐酸标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

V_1 ——pH 接近 8.5 等当点所对应的盐酸体积, 单位为毫升 (ml);

V_2 ——pH 接近 4.5 等当点所对应的盐酸体积, 单位为毫升 (ml);

m_1 ——称取稀土氧化物固体电解质的质量, 单位为克 (g);

m_2 ——加入水的质量, 单位为克 (g);

m_3 ——滤液质量, 单位为克 (g);

再通过公式 (3) 计算得到稀土氧化物固体电解质的表面残碱 (以 Li_2CO_3 计), 取 3 次测试结果的平均值作为最后试样的测试结果, 获得的测试结果应保留到小数点后 2 位有效数字。

$$w = w_{Li_2CO_3} + \frac{73.89}{23.95 \times 2} \times w_{LiOH} \quad (3)$$

附录 B

(规范性)

离子电导率的测定

B.1 原理

稀土氧化物固体电解质的离子电导率通过交流阻抗法 (EIS) 进行测定。对待测样品施加小幅正弦交流电压微扰信号, 测量不同频率下的电流响应, 将不同频率下测得的响应函数值绘制成曲线, 得到体系的奈奎斯特 (Nyquist) 图。对 Nyquist 图进行等效电路拟合, 得到电阻值 (R_i), 通过公式 1 计算可得离子电导率。

B.2 仪器设备

B.2.1 粉末压片机: 最大压力不小于 400 MPa, 分辨率 0.1 MPa。

B.2.2 高温烧结炉: 最高使用温度不低于 1300 °C, 控温精度 ± 1 °C。

B.2.3 电化学工作站: 支持交流阻抗、计时电流等电化学测试方法。

B.2.4 离子溅射仪: 溅射电流 1-50 mA, 电流分辨率 0.1 mA。

B.2.5 厚度测量仪: 分辨率 0.001 mm。

B.2.6 分析天平: 分辨率 0.1 mg。

B.2.7 表面粗糙度仪: 分辨率 0.001 μm 。

B.3 试样制备

B.3.1 将稀土氧化物固体电解质粉体压制成圆形坯体, 在空气气氛下, 使用铂金坩埚, 以 3 °C/min-5 °C/min 的速率升温至 1000 °C-1300 °C, 保温 0.5 h-1h, 烧结成致密度不低于 95% 的陶瓷圆片试样。该试样厚度在 0.5 mm-5 mm, 致密度通过样品的体积密度除以理论密度获得, 体积密度的测定按照 GB/T 25995 规定方法进行, 理论密度采用真密度仪按照下述步骤进行测定: a) 打开真密度仪电源开关, 选择“振动”测量模式; b) 称量电解质陶瓷圆片的重量, 输入设备中; c) 将电解质陶瓷圆片缓慢加入至样品池内至少三分之一的体积, 轻轻振动容器, 使样品表面平整; d) 点击开始按钮, 仪器自动测量, 并记录温度、压力及体积; e) 测试完成, 仪器自动计算显示样品的真密度数据, 记录真密度数值 (至少测试 3 个样品取平均值)。

B.3.2 在相对湿度控制到 40%RH 以下的环境中, 使用目数由低到高的砂纸对陶瓷圆片上下表面进行逐级抛光, 直至表面干净、平整、无破损、无明显划痕, 通过表面粗糙度仪测得试样表面粗糙度应小于 0.5 μm 。

B.3.3 使用厚度测量仪测量得到陶瓷圆片的厚度 L , 使用卡尺测量得到陶瓷圆片的直径 d , L

和 d 均分别测量三个不同位置取平均值。通过圆面积计算公式得到横截面积 S 。

B.3.4 通过离子溅射仪在抛光后的陶瓷圆片上下表面溅射金层作为离子阻塞电极。金层应光亮且颜色均匀，通过万用表确认表面任意两点电子导通（电阻值 $\leq 20 \Omega$ ）。需着重注意陶瓷片的侧面应避免金层溅射，若不慎溅射到金，需使用细砂纸轻轻打磨去除（需重新测试圆片直径）。

B.4 测试步骤

B.4.1 在室温（ 25 ± 1 ） $^{\circ}\text{C}$ 下，湿度小于 40%RH 的测试环境下，将陶瓷圆片装配并固定在电化学工作站的测试夹具中。

B.4.2 打开电化学工作站，导入 EIS 测试程序。

B.4.3 设置扰动电压，参数取值范围为 5~50 mV，宜为 10 mV。设置扫描频率范围，最高频率应不低于 1 MHz，最低频率应不高于 10 Hz，宜为 10 MHz-0.1 Hz。设置完毕，运行 EIS 测试程序，测试结束后得到 Nyquist 图。征求意见

B.5 结果分析

分析 Nyquist 图，对图谱进行等效电路拟合，得到电阻 R_i 。图 1 为稀土氧化物固体电解质陶瓷的典型 Nyquist 图及等效电路，其中，体相电阻 R_b 对应高频区半圆的直径，通过拟合电路中的“ R_b ”参数获得。晶界电阻 R_{gb} 对应中高频区半圆的直径，通过拟合电路中的“ R_{gb} ”参数获得。总离子传导电阻 $R_i = R_b + R_{gb}$ 。

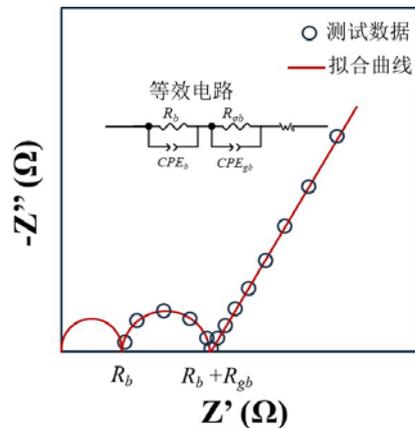


图 1 典型 Nyquist 图及等效电路拟合示意图

（注：串联电阻 R_s 为导线/接触引线的电阻，不参与离子传导，计算时需排除）

通过公式（4）计算陶瓷原片的离子电导率，取 3 次测试结果的平均值作为最后试样的测试结果，获得的测试结果应保留到小数点后 2 位有效数字。

$$\sigma_i = \frac{L}{R_i S} \quad (4)$$

式中：

σ_i ——固体电解质的离子电导率，单位为西门子每厘米 (S/cm)；

L ——固体电解质膜/片的厚度，单位为厘米 (cm)；

R_i ——通过电化学阻抗谱 (EIS) 法测试并拟合得到的固体电解质的电阻值，单位为欧姆 (Ω)；

S ——固体电解质膜/片的横截面积，单位为平方厘米 (cm^2)。

注：电阻值 R_i 为体相电阻 R_b 和晶界电阻 R_{gb} 之和。

附录 C

(规范性)

电子电导率的测定

C.1 原理

稀土氧化物固体电解质的电子电导率通过直流极化法进行测定。对待测样品施加恒定直流电压，测量稳态电流，利用欧姆定律计算电子电导率。该方法的关键在于使用离子阻塞电极阻止离子迁移，仅允许电子通过，从而分离电子电导率。对试样施加一个恒定电势作为激励后，产生的初始电流 I_0 中包含离子传导和电子传导，随着时间推移，离子传导贡献衰减至接近零，剩余的稳态电流主要由电子传导决定。因此，对最后时刻稳态电流 I_{SS} 进行取值，便可通过欧姆定律得到对应的电子电导率值。

C.2 仪器设备

C.2.1 粉末压片机：最大压力不小于 400 MPa，分辨率 0.1 MPa。

C.2.2 高温烧结炉：最高使用温度不低于 1300℃，控温精度 ± 1 ℃。

C.2.3 电化学工作站：支持交流阻抗、计时电流等电化学测试方法。

C.2.4 离子溅射仪：溅射电流 1-50 mA，电流分辨率 0.1 mA。

C.2.5 厚度测量仪：分辨率 0.001 mm。

C.2.6 分析天平：分辨率 0.1 mg。

C.2.7 表面粗糙度仪：分辨率 0.001 μm 。

C.3 试样制备

C.3.1 将稀土氧化物固体电解质粉体压制成圆形坯体，在空气气氛下，使用铂金坩埚，以 3℃/min-5℃/min 的速率升温至 1000℃-1300℃，保温 0.5 h-1h，烧结成致密度不低于 95% 的陶瓷圆片试样。该试样厚度在 0.5 mm-5 mm，致密度通过样品的体积密度除以理论密度获得，体积密度的测定按照 GB/T 25995 规定方法进行，理论密度采用真密度仪按照下述步骤进行测定：a) 打开真密度仪电源开关，选择“振动”测量模式；b) 称量电解质陶瓷圆片的重量，输入设备中；c) 将电解质陶瓷圆片缓慢加入至样品池内至少三分之一的体积，轻轻振动容器，使样品表面平整；d) 点击开始按钮，仪器自动测量，并记录温度、压力及体积；e) 测试完成，仪器自动计算显示样品的真密度数据，记录真密度数值（至少测试 3 个样品取平均值）。

C.3.2 在相对湿度控制到 40%RH 以下的环境中，使用目数由低到高的砂纸对陶瓷圆片上下表面进行逐级抛光，直至表面干净、平整、无破损、无明显划痕，通过表面粗糙度仪测得试

样表面粗糙度应小于 $0.5 \mu\text{m}$ 。

C.3.3 使用厚度测量仪测量得到陶瓷圆片的厚度 L ，使用游标卡尺测量得到陶瓷圆片的直径 d ， L 和 d 均分别测量三个不同位置取平均值。通过圆面积计算公式得到横截面积 S 。

C.3.4 通过离子溅射仪在抛光后的陶瓷片上下表面溅射金层作为离子阻塞电极。金层应光亮且颜色均匀，通过万用表确认表面任意两点电子导通（电阻值 $\leq 20 \Omega$ ）。需着重注意陶瓷片的侧面应避免金层溅射，若不慎溅射到金，需使用细砂纸轻轻打磨去除（需重新测试圆片直径）。

C.4 测试步骤

C.4.1 在室温（ 25 ± 1 ） $^{\circ}\text{C}$ 下，湿度小于 40%RH 的测试环境下，将陶瓷圆片装配并固定在电化学工作站的测试夹具中。

C.4.2 打开电化学工作站，导入计时电流法（CA）测试程序。

C.4.3 设置控制电势 U 为 1 V，测试时间为 120 min（注：测试结束后电流须达到稳态 I_{SS} ）。设置完毕，运行 CA 程序，测试结束后得到电流-时间曲线。

C.5 结果分析

从电流-时间曲线读取 I_{SS} ，通过公式（5）计算得到 R_e 。

$$R_e = \frac{U}{I_{SS}} \quad (5)$$

式 3 中： R_e 为固体电解质的电阻值，单位为欧姆（ Ω ）； U 为控制电势，单位为伏特（V）； I_{SS} 为稳态电流，单位为安培（A）。

再通过公式（6）计算陶瓷原片的电子电导率，取 3 次测试结果的平均值作为最后试样的测试结果，获得的测试结果应保留到小数点后 2 位有效数字。

$$\sigma_e = \frac{L}{R_e S} \quad (6)$$

式中：

σ_e ——固体电解质的电子电导率，单位为西门子每厘米（S/cm）；

L ——固体电解质膜/片的厚度，单位为厘米（cm）；

R_e ——通过直流极化法测试并计算得到的固体电解质的电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；

S ——固体电解质膜/片的横截面积，单位为平方厘米（ cm^2 ）。

参考文献

- [1] ISO 22444.1 Rare earth-Vocabulary-Part 1: Minerals, oxides and other compounds
- [2] GB/T 6679 固体化工产品采样通则