

ICS 43.080
CCS T47

团体标准

T/CIAPS0029—2023

锂离子电池用磷酸锰铁锂正极材料

Lithium Manganese Iron Phosphate Cathode Materials for Lithium Ion Battery

2023年9月27日发布

2023年11月15日实施

中国化学与物理电源行业协会 发布

目 次

目 次	I
前 言	II
锂离子电池用磷酸锰铁锂正极材料	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	2
5 要求	2
6 试验方法	3
6.1 物理指标	3
6.2 化学指标	4
6.3 电化学指标	5
7 检验规则	5
7.1 采样方法	5
7.2 检验	6
7.3 判定规则	6
8 包装、标志、运输和贮存	6
8.1 包装	6
8.2 标志	6
8.3 运输	7
8.4 贮存	7
9 订货单内容	7
附 录 A（规范性附录）压实密度和粉体电导率的测定方法	8
附 录 B（规范性目录）磁性物质的测定方法	10
附 录 C（规范性目录）0.1 C 首次充放电效率、0.1 C 放电比容量、0.2 C 放电比容量、1 C 放电比容量、0.1 C 平均电压的测定方法	12

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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国化学与物理电源行业协会提出并归口。

本文件主要起草单位:河北九丛科技有限公司、贵州中伟兴阳储能科技有限公司、湖北虹润高科新材料有限公司、南阳逢源新能源科技有限公司、中国科学院过程工程研究所。

本文件参与起草单位:天津先众新能源科技股份有限公司、山东精工电子科技股份有限公司、福建紫金锂元材料科技有限公司、江苏珩创纳米科技有限公司、天津市捷威动力工业有限公司、南方锰业集团有限责任公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、江西华立源锂电科技股份有限公司、元能科技(厦门)有限公司、星恒电源股份有限公司、贵州新仁新能源科技有限公司、天津斯科兰德科技有限公司、锂源(深圳)科学仪器有限公司、江苏中兴派能电池有限公司、湖南德赛电池有限公司、中科致良新能源材料(浙江)有限公司、四川发展龙蟒股份有限公司、深圳中芯能科技有限公司、常州百利锂电智慧工厂有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、四川省盈达锂电新材料有限公司、深圳市大宇精密工业有限公司、江苏道金智能制造科技股份有限公司、深圳新宙邦科技股份有限公司、江苏海四达电源有限公司、深圳市北辰新材料科技有限公司、武汉中原长江科技发展有限公司、欧赛新能源科技股份有限公司、华创锰业新材料科技湖北有限责任公司、上海永晗材料科技有限公司、湖南长远锂科新能源有限公司、贵州金瑞新材料有限责任公司、合肥学院、江西智锂科技股份有限公司、德阳威旭锂电科技有限责任公司、甘肃大象。

本文件主要起草人:梁广川、张克强、段敏、刘森、伍兴科、尚晓燕、杨娇娇、孙青林、段玉宾、谭强强、徐宇兴、王淑芹、鄧晓科、张敬捧、薛娟娟、李祯、姚淦、余心迪、马华、李晓萍、李春流、李俊机、刘兴亮、王萍、孙勇民、李文、齐琼琼、杨晓璐、朱华君、王永琛、王飞、宋晓敏、李积刚、苑永、史莹飞、杨庆亨、孔祥鹏、邓玉婷、沈炎宾、韩少杰、宫东杰、李良、李健、虞兰剑、袁红东、曾雷英、魏国祯、李普良、彭文、伍良锋、赵先、孙威、钱韞娴、向晓霞、陈睿、常开军、王朋、张磊、黄飞、王保峰、卢开明、杜娟娟、王科伟、谢泽威、何海梅、康凯、汪朝武、杨续来、余新玲、林杰、危钰、代洋杰、王隼、李辉、田勇、孔德香、潘坤。

本文件为首次发布。

锂离子电池用磷酸锰铁锂正极材料

1 范围

本文件规定了磷酸锰铁锂正极材料（锂离子电池用）通用技术条件的术语、符号、分类、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电池使用的磷酸锰铁锂正极材料。

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 包装储运图示标志

GB/T 1479.1 金属粉末 松装密度的测定 第1部分：漏斗法

GB/T 5162 金属粉末振实密度的测定

GB/T 6283 化工产品中水分含量的测定卡尔·费休法（通用方法）

GB/T 6388 运输包装收发货标志

GB/T 9724 化学试剂pH值测定通则

GB/T 13732 粒度均匀散料抽样检验通则

GB/T 13390 金属粉末比表面积的测定 氮吸附法

GB/T 19077 粒度分布 激光衍射法

YS/T1028.4 磷酸铁锂化学分析方法 第4部分：碳量的测定 高频燃烧红外吸收法

GB/T 24533 锂离子电池石墨类负极材料

GB/T 30835 锂离子电池用炭复合磷酸铁锂正极材料

GB/T 33822 纳米磷酸铁锂

YS/T 677 锰酸锂

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磷酸锰铁锂正极材料 lithium manganese iron phosphate cathode materials

锂离子电池中以磷酸锰铁锂/碳复合材料作为正极活性物质的材料。其化学分子式为 $\text{LiMn}_x\text{Fe}_{1-x}\text{PO}_4$ ，放电电压具有双电压平台。

3.2 比表面积 specific surface

单位质量或体积的表面积。

3.3 压实密度 compacted density

在规定条件下容器中的粉未经一定压力压缩后所测得单位容积的质量。

3.4 粉体电导率 powder conductivity

在规定条件下容器中的粉未经一定压力压缩后传导电子的能力。

3.5 pH

一定量的粉体用溶剂经分散后所表现出来的溶液的酸碱性的特性。

3.6 平均电压 average voltage

电池放电过程中，从开始放电到终止放电的电压平均值。

4 符号

下列符号适用于本标准：

D_{10} ——磷酸锰铁锂正极材料中累计粒度分布体积百分数达到10%时所对应的粒径， μm ；

D_{50} ——磷酸锰铁锂正极材料中累计粒度分布体积百分数达到50%时所对应的中位粒径， μm ；

D_{90} ——磷酸锰铁锂正极材料中累计粒度分布体积百分数达到90%时所对应的粒径， μm 。

5 要求

磷酸锰铁锂正极材料的技术指标见表1。

表1 磷酸锰铁锂正极材料的技术指标

类别	项目	单位		技术指标
物理 指 标	外观	/		黑灰色粉末，颜色均一，无结块
	粒径	D_{10}	μm	≥ 0.1
		D_{50}		0.5~15.0
		D_{90}		≤ 30.0
	比表面积	m^2/g		≤ 30
	松装密度	g/cm^3		≥ 0.4
	振实密度	g/cm^3		≥ 0.6
	压实密度	g/cm^3		≥ 2.1
粉体电导率	S/cm		$\geq 1.0 \times 10^{-5}$	

化学 指 标	Mn/Fe 原子比	/	(2~9)/(8~1)
	水分含量 (H ₂ O)	%	≤0.1
	锂(Li)	%	4.0~5.0
	铁(Fe)+锰(Mn)	%	31.4~36.6
	碳(C)	%	1.0~4.0
	磷(P)	%	18.0~20.5
	钠(Na)	%	≤0.05
	镍(Ni)	%	≤0.05
	铬(Cr)	%	≤0.01
	锌(Zn)	%	≤0.005
	铜(Cu)	%	≤0.005
	磁性物质 (Fe、Cr、Ni、Zn)	%	≤0.0002
	pH	/	8.0~11.0
	铁离子溶出率	mg/kg	≤100
	锰离子溶出率	mg/kg	≤50
电 化 学 指 标	0.1 C 首次充放电效率 (vs Li/2.5 V~4.5 V)	%	≥90
	0.1 C 放电比容量 (vs Li/2.5 V~4.5 V)	mAh/g	≥150
	0.2 C 放电比容量 (vs Li/2.5 V~4.5 V)	mAh/g	≥148
	1 C 放电比容量 (vs Li/2.5 V~4.5 V)	mAh/g	≥130
	0.1 C 平均电压 (vs Li/2.5 V~4.5 V)	V	≥3.500 (可另行约定)

6 试验方法

6.1 物理指标

6.1.1 外观

自然光条件下目视观察。

6.1.2 粒径分布

按照GB/T 19077-2016的规定进行测定。

6.1.3 比表面积

按照GB/T 13390-2008的规定进行测定。

6.1.4 松装密度

按照GB/T 1479.1-2011的规定进行测定。

6.1.5 振实密度

按照GB/T 5162-2021的规定进行测定。

6.1.6 压实密度

按照附录A或GB/T 24533-2019中附录L的规定进行测定。

6.1.7 粉体电导率

按照附录A或GB/T 30835-2014中附录G的规定进行测定。

6.2 化学指标

6.2.1 Mn/Fe 原子比

$$\text{Mn/Fe原子比} = \left(\frac{\text{Mn的含量}}{\text{Mn的相对原子质量}} \right) \div \left(\frac{\text{Fe的含量}}{\text{Fe的相对原子质量}} \right)$$

6.2.2 水分含量 (H₂O)

按照GB/T 6283-2008的规定进行测定。

6.2.3 碳含量测定

按照YS/T1028.4-2015中磷酸铁锂化学分析方法 第4部分：碳量的测定 高频燃烧红外吸收法的规定进行测定。

6.2.4 铁含量的测定

按照GB/T 30835-2014中附录B或GB/T 33822-2017中附录A的规定进行。

6.2.5 锰含量的测定

按照YS/T 677-2008中附录A的规定进行。

6.2.6 磷含量的测定

按照GB/T 30835-2014中附录C或GB/T 33822-2017中附录B的规定进行。

6.2.7 锂、钠、镍、铬、锌、铜含量的测定

按照GB/T 33822-2017中附录C的规定进行。

6.2.8 磁性物质

按照附录B的规定进行测定。

6.2.9 pH

按照GB/T 9724-2007的规定进行测定。

6.2.10 铁锰离子溶出率

按照GB/T 33822-2017中附录F的规定进行测定。

6.3 电化学指标

6.3.1 0.1C 首次充放电效率

按照附录C的规定进行测定。

6.3.2 0.1C 放电比容量

按照附录C的规定进行测定。

6.3.3 0.2C 放电比容量

按照附录C的规定进行测定。

6.3.4 1C 放电比容量

按照附录C的规定进行测定。

6.3.5 0.1C 平均电压

按照附录C的规定进行测定。

7 检验规则

7.1 采样方法

7.1.1 采样

7.1.1.1 按 GB/T 13732-2009 规定采样。在干燥环境下打开要采集的磷酸锰铁锂材料袋口，用干净的不锈钢取样钎沿轴线插入袋子中，插入深度不得小于取样袋深度的 4/5，在袋子内物料中心轴线周围 20 mm 范围内取样。

7.1.1.2 为使采集的样品能代表该批产品的质量，将采集好的全部样品合并，放在一个有足够强度和适当大小的正方形薄膜或者牢固柔软的干洁纸上，用翻滚法反复混合均匀（翻滚 15 次以上），混合后组成的样品应不小于 500 g。缩取 250 g 的试样两份，一份试验用，一份备用。

7.1.2 样品标签

样品盛入PVC样品罐（防水密封容器或袋子）后，立即在外壁贴上标签。标签包括下列内容：

- a) 样品类别及编号；
- b) 总体物料批号及数量；
- c) 样品量；
- d) 采样日期；

e) 采样者姓名。

7.1.3 样品保存

7.1.3.1 样品应密封保存，并贮存在防破包、防雨、防潮等环境下。

7.1.3.2 备用样品有效贮存期为 12 个月。

7.2 检验

7.2.1 检验分类

检验分为：

a) 出厂检验：

对生产的产品，在销售发货前所进行的常规检验；

b) 型式检验：

为了认证目的进行的型式检验，是对一个或多个具有生产代表性的产品样品利用检验手段进行合格评价。

7.2.2 出厂检验

按本标准表1中要求，每批次的磷酸锰铁锂正极材料所列指标项目均为出厂检验项目，检验合格后方可出厂。

7.2.3 型式检验

对本标准表1中所列技术指标全部进行检验。在有下列情况之一时，必须进行型式检验：

a) 新产品投产和老产品转产；

b) 原材料型号、供货厂家等有变更时；

c) 生产设备停产半年以上恢复生产时；

d) 结构、工艺或材料有重大改变时；

e) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时；

f) 客户有特殊要求时。

7.3 判定规则

产品出厂检验项目符合表1中的全部技术指标为合格品，若有一项指标达不到要求，应从同批产品的取样袋中加倍取样对不合格项复检，以复检结果为最终结果。不能归于表1中产品类别或有特殊要求的产品由供需双方协商要求判断是否合格。

在型式检验中，若有不合格项时，可加倍重试一次；若仍有一项不合格时，判定为不合格。

8 包装、标志、运输和贮存

8.1 包装

a) 产品按供需方需求确定；

b) 包装应在干燥环境条件下进行，将产品装入防水包装中。特殊包装要求由供需方确定；

c) 袋装产品的外包装采用纸箱、圆桶等硬包装形式。

8.2 标志

磷酸锰铁锂正极材料每个包装袋正面应有醒目的标志，包装储运图示标志符合GB/T 191-2008要求，标志内容包括产品名称、包装袋号及规格、本标准编号、净重、生产厂名、生产批号、制造日期或出厂日期和编号、警示说明和其他标识等。也可根据客户需求进行标识。

8.3 运输

产品运输标识应符合GB/T 6388-1986中运输包装收发货标志的规定，应避免与可使产品变质或使包装损坏的物品混存、混运。

8.4 贮存

- a) 产品应贮存在通风良好、干燥的仓库内，堆放整齐、清洁，注册商标、生产批号、生产日期等标志能清晰辨认；
- b) 储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，不得返入包内；
- c) 产品保质期 24 个月。

9 订货单内容

本标准所列材料的订货单内容包括但不限于以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 产品名称；
- c) 规格型号或相关技术要求；
- d) 数量；
- e) 交货日期；
- f) 其他相关信息。

附录 A（规范性附录）

压实密度和粉体电导率的测定方法

A.1 范围

本附录适用于磷酸锰铁锂粉体材料压实密度和电导率的测定。

A.2 方法提要

待测粉体材料在外力的作用下被压缩，压缩过程中粉末间的空隙被填充，颗粒间接触面积增大，使原子间产生吸引力且颗粒间的机械契合作用增强，从而形成具有一定密度和强度的压坯，通过对压坯厚度的测量并结合模具直径计算其体积，可实现某一压强下粉末材料压实密度的测定。

A.3 试剂及材料

A.3.1 无水乙醇：分析纯

A.3.2 无尘纸

A.3.3 称量纸

A.4 仪器与设备

A.4.1 电子天平

精度不低于0.1 mg。

A.4.2 测厚仪

精度0.001 mm。

A.4.3 压实密度和电导率测试设备

系统应包含测试模具、加压系统、测厚系统及测试参数采集系统。可为高度集成一体化自动加压采厚测试系统，包含自动加压、测厚、参数采集计算等模块加压系统可为自动加压和手动加压两种方式，参数采集系统。测试模具直径10 - 20 mm范围可选。

A.5 分析步骤

A.5.1 测试参数选择

磷酸锰铁锂压实密度及电导率测试参数建议测试压强应不小于80 MPa，取样量需结合A.4.3中模具直径进行适当调整。

A.5.2 样品预处理

根据需求及样品情况进行合理的样品预处理，如环境湿度较敏感，可结合实际进行样品测试前的烘干处理或干燥房条件下进行测试，若无特殊需求则无需预处理操作。

A.5.3 测试步骤

对空模具（含上下测试电极/垫片）进行彻底清洁后装入测试设备，配套测试软件端参考A.5.1进行合适的参数选择并进行厚度复位，完成后复位后称取适量待测样品装入模具中，适当振动样品以保证样品与测试电极良好接触，装入上电极/垫片后装入测试腔体，启动测试软件，开始测试。若为手动加压设备，可按照同等条件进行手动施压并完成测试。

A.6 结果计算与数据处理

样品测试完成后，读取测试电脑端已存储的数据：压力、压强、电阻、厚度、电阻率、压实密度、粉体电导率，若为手动测量设备，可结合取样量、厚度、电阻等进行电导率及压实密度的测定，压实密度和粉体电导率取200 Mpa测试压强下的数值，分别结合公式（1）和（2）进行计算：

$$D = \frac{m}{(S*L)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

D ——压实密度（ g/cm^3 ）；

m ——取样质量（ g ）；

S ——测试电极面积（ cm^2 ）；

L ——受压后测试样品厚度（ cm ）；

$$\sigma_e = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RS} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

σ_e ——电导率（ S/cm ）；

ρ ——测试电阻率（ $\Omega*\text{cm}$ ）；

S ——测试电极面积（ cm^2 ）；

L ——受压后测试样品厚度（ cm ）；

R ——测试电阻（ Ω ）。

A.7 试验报告

应至少包含但不仅限于内容：

- a) 生产批号、日期、测试时间、测试地点及测试人员等；
- b) 分析结果及表示方法；
- c) 在测定中出现的异常表现；
- d) 测试中未按本附录的操作步骤或是自由选择的试验条件。

附 录 B（规范性目录）

磁性物质的测定方法

B.1 范围

本附录适用于磷酸锰铁锂粉体材料的磁性物质的测定。

B.2 方法提要

将样品分散在含有乙醇的样品罐中，加入磁子盖紧充分摇匀后，在滚动装置上进行滚动，让磁子进行充分吸附，然后对吸附上的带有磁性的颗粒在酸溶液中加热溶出，使用电感耦合等离子体发射光谱仪测定铁、镍、铬、锌的含量。

B.3 试剂及材料

B.3.1 硝酸：优级纯

B.3.2 盐酸：优级纯

B.3.3 无水乙醇：优级纯

B.3.4 标准溶液

分别准备铁、铬、镍、锌标准溶液，梯度分别为：0；0.2；0.4；0.8；1.6；3.2 $\mu\text{g/mL}$ 。

B.4 仪器与设备

B.4.1 电感耦合等离子体发射光谱仪或等同性能的仪器

B.4.2 样品罐：500 mL

B.4.3 电加热板或等同性能的加热装置

B.4.4 磁子：磁场强度6000 GS，表面涂有聚四氟乙烯，耐强酸强碱

B.4.5 滚动机：转动速度范围：60 r/min~100 r/min

B.4.6 电子天平

精度为0.01 g或等同性能的仪器。

B.5 试样的制备

B.5.1 磁子清洗：将磁子放入250 mL烧杯中，加入2 mL硝酸，6 mL盐酸，加水至浸没磁子，加热至微沸保持30 min（或至磁子漏出水面一半），加热过程中需摇晃3次，尽量使酸液覆盖磁子的表面，然后将磁子用纯水冲洗干净备用；

B.5.2 称料：准确称量200 g（精确至0.01 g）样品于500 mL样品罐内；

B.5.3 分散吸附：样品加入300 mL酒精，加入清洗好的磁子，盖紧罐盖充分摇匀后，将样品罐置于滚动装置上，将滚动速度设置在60~80 r/min，滚动30 min。滚动过程中摇晃3次；

B.5.4 清洗消解：用磁棒吸住样品罐底部防止磁子掉出，将样品倒出，加入纯水清洗样品罐和磁子2遍后，将磁子倒入250 mL烧杯中，加入50 mL酒精，在超声波清洗仪上清洗20 S，重复3次，然后再用纯水清洗烧杯和磁子3次；

清洗后加入1.5 mL硝酸，4.5 mL盐酸，加水至浸没磁子，加热至微沸保持30 min（或至磁子漏出水面一半）使磁性物质完全溶解，加热过程中需摇晃3次，尽量使酸液覆盖磁子表面，加热完毕后取下，自然冷却至室温，冷却后将溶液转移至50 mL消解管内，用少量的水冲洗烧杯和磁子2次，并加入消解罐内，定容。

B.6 分析步骤

打开电感耦合等离子体发射光谱仪，待仪器稳定后，设置测定元素铁、镍、铬、锌的波长，输入标准液浓度梯度，加入测试样品，吸入标准溶液，制定标准曲线，相关系数 >0.999 。

B.7 结果计算及数据处理

根据仪器显示结果读取数据。

B.8 试验报告

应至少包含但不仅限于内容：

- a) 生产批号、日期、测试时间、测试地点及测试人员等；
- b) 分析结果及表示方法；
- c) 在测定中出现的异常表现；
- d) 测试中未按本附录的操作步骤或是自由选择的试验条件。

附录 C (规范性附录)

0.1 C首次充放电效率、0.1 C放电比容量、0.2 C放电比容量、1 C放电比容量、0.1 C平均电压的测定方法

C.1 范围

本附录适用于电池测试系统测试试样的0.1 C首次充放电效率、0.1 C放电比容量、0.2 C放电比容量、1 C放电比容量、0.1 C平均电压。

C.2 方法提要

以金属锂为负极、试样极片为正极，组装模拟电池或扣式电池，在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下使用电池测试系统进行测试，测试出模拟电池或扣式电池的0.1 C首次充放电效率、0.1 C放电比容量、0.2 C放电比容量、1 C放电比容量、0.1 C平均电压。

C.3 试剂及材料

C.3.1 导电剂

乙炔黑或等同性能导电炭黑。

C.3.2 溶剂

N-甲基吡咯烷酮 (NMP)，电子级。

C.3.3 粘结剂溶液，5%

将 $5.000\text{ g}\pm 0.001\text{ g}$ (精确到 0.0001 g) 聚偏氟乙烯 (PVDF) 粉末溶解于 $95.000\text{ g}\pm 0.005\text{ g}$ (精确到 0.0001 g) N-甲基吡咯烷酮 (见C.3.2) 中得到5%的粘结剂溶液。建议聚偏氟乙烯分子量在110万左右。

C.3.4 金属锂片或锂带

应符合电池级锂的要求。

C.3.5 铝箔

铝箔厚度为 $12\text{-}20\text{ }\mu\text{m}$ 。

C.3.6 集流体

镍网或等同性能集流体。

C.3.7 隔膜

PE-PP复合膜或等同性能隔膜。

C.3.8 电解液

1 mol/L LiPF_6 (六氟磷酸锂) 的与EC (碳酸乙烯酯) /DMC (碳酸二甲酯) (EC和DMC体积比为1:1) 电解液或等同性能电解液。

C.4 仪器与设备

C.4.1 电池测试系统

电流精度：0.1% RD+0.1% FS；电压精度：0.1% RD+0.1 FS或等同性能测试仪。

C.4.2 模拟电池或扣式电池

封闭体系、聚四氟乙烯材质或等同性能的电池模具（如扣式电池等）。

C.4.3 手套箱

一个标准大气压，99.999%的惰性气体， $H_2O \leq 3 \text{ mg/kg}$ ， $O_2 \leq 3 \text{ mg/kg}$ 或等同性能手套箱。

C.4.4 真空干燥箱

真空度 $< 0.05 \text{ MPa}$ ，控温范围 $20 \text{ }^\circ\text{C} \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$ 或等同性能干燥箱。

C.4.5 鼓风干燥箱

控温范围 $20 \text{ }^\circ\text{C} \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$ 或等同性能干燥箱。

C.4.6 干燥器

相对湿度 $< 25\%$ 或等同性能干燥器。

C.4.7 电子天平

精度为 0.0001 g 及 0.00001 g 电子天平各一台，或等同性能的仪器。

C.4.8 搅拌器

3000 r/min 或等同性能搅拌器。

C.4.9 小型涂布机

涂布间隙 $< 300 \text{ } \mu\text{m}$ 或等同性能涂布器。

C.5 模拟电池或扣式电池的制备

C.5.1 试样极片在干燥环境下制备，温度： $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 20\%$ 。

C.5.2 将试样和导电剂（见C.3.1）放入烘箱中，在 $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘烤4 h后，转到在干燥器皿内冷却。然后，按试样、粘结剂（见C.3.3）、导电剂（见C.3.1）质量比为（80：10：10）~（94：3：3）的比例称取对应比例的试样和导电剂（见C.3.1）加入50 mL小烧杯中，然后加入粘结剂溶液（见C.3.3），搅拌器搅拌成膏状。

C.5.3 将试样和导电剂（见C.3.2）加入50 mL小烧杯中，然后加入粘结剂溶液（见C.3.3） $10.0000 \text{ g} \pm 0.0025 \text{ g}$ （精确到 0.0001 g ），搅拌器搅拌成膏状。

C.5.4 用小型涂布机（见C.4.9）将膏状物均匀地涂在铝箔（见C.3.5）上，然后放入鼓风干燥箱（见C.4.5）中在 $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 干燥2 h，或者等同性能的涂布方式获得单面面密度为 $50 \text{ g/m}^2 \sim 150 \text{ g/m}^2$ 。

C.5.5 干燥后极片进行压片（极片压实密度 $1.5\text{ g/cm}^3\sim 2.4\text{ g/cm}^3$ ），裁成一定形状的电极（长方形带状、条状或圆形等），用电子天平（见C.4.7）（感量： 0.00001 g ）进行称量。

C.5.6 在氩气气氛手套箱（见C.4.3）中，将金属锂片（见C.3.4）压制到镍网（见C.3.6）（或其他同等性能的集流体）末端，制成对电极（或者直接以金属锂为对电极）。

C.5.7 以上步骤制成的工作电极为正极、对电极为负极组装成试验电池。

C.6 分析步骤

$25\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下，将组装好的试验电池在电池测试系统上（见C.4.1）进行充电-放电循环测试。测试条件如下：充放电倍率为 0.1 C 、 0.2 C 和 1 C ，电压范围为 $2.5\text{ V}\sim 4.5\text{ V}$ 。启动电池测试系统，输入对应正极极片活性物质的质量。

C.7 结果计算及数据处理

电池测试完成后，读取电脑软件自动给出的数据： 0.1 C 首次充放电效率、 0.1 C 放电比容量、 0.2 C 放电比容量、 1 C 放电比容量， 0.1 C 平均电压可结合公式（1）进行计算。最终取多只电池相应数据的平均值。

$$U = \frac{E}{C} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- U ——平均电压（V）；
- E ——电池放电能量（Wh）；
- C ——电池放电容量（Ah）。

C.8 试验报告

应至少包含但不仅限于内容：

- a) 生产批号、日期、测试时间、测试地点及测试人员等；
- b) 分析结果及表示方法；
- c) 在测定中出现的异常表现；
- d) 测试中未按本附录的操作步骤或是自由选择的试验条件。