

ICS 71.060.50

CCS G 12



中国颗粒学会标准

T/CSP 9-2022

颗粒技术 锂离子电池用磷酸锰铁锂

Particle technology—Lithium ferromanganese phosphate for
lithium ion battery

2022-11-01 发布

2022-11-01 实施

中国颗粒学会发布

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 牌号	2
5 技术要求	2
6 检测方法	4
7 检验规则	5
8 包装、标志、运输和贮存	6
附录 A（规范性）压实密度测试方法	8
附录 B（规范性）pH 值测试方法	9
附录 C（规范性）锰铁离子溶出率测试方法	10
附录 D（规范性）磷酸锰铁锂模拟电池测试方法	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》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。

本文件由中国颗粒学会提出并归口。

本文件起草单位：深圳市德方纳米科技股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、泰州巨纳新能源有限公司、佛山市德方纳米科技有限公司、曲靖市德方纳米科技有限公司、国家纳米科学中心、中国科学院过程工程研究所、中国计量大学、清华大学深圳国际研究生院、北京市科学技术研究院分析测试研究所（北京市理化分析测试中心）、北京市科学技术研究院。

本文件主要起草人：孔令涌、李意能、王远航、孙言、徐荣益、陈燕玉、金青青、龚昊、万远鑫、尚伟丽、蒋耀、丁荣、刘其峰、邱志平、朱晓阳、张淑琴、贺艳兵、高原、刘向文、刘伟丽、周兰、魏晓晓、严春伟。

本文件为首次发布。

引 言

正极材料是制备锂离子电池的关键材料之一，在锂离子电池的组成中占据着重要的地位，其性能直接影响最终电池产品的性能。

随着市场对高安全性、高能量密度锂离子电池的迫切需求，新型磷酸盐正极材料磷酸锰铁锂（LMFP）应运而生。磷酸锰铁锂具有高能量密度、高安全性能、长循环寿命、环境友好以及低成本等优势，将在新能源汽车和储能领域实现大规模应用。

颗粒技术 锂离子电池用磷酸锰铁锂

1 范围

本文件界定了磷酸锰铁锂的术语和定义,规定了牌号、技术要求、检测方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于锂离子电池用正极材料磷酸锰铁锂的质量检验和产品验收。

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 1479.1 金属粉末 松装密度的测定 第1部分:漏斗法

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 5162 金属粉末 振实密度的测定

GB/T 5314 粉末冶金用粉末 取样方法

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 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 18287 移动电话用锂离子蓄电池及蓄电池组总规范

GB/T 19077 粒度分析 激光衍射法

GB/T 19587 气体吸附BET法测定固态物质比表面积

GB/T 20123 钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)

GB/T 24521 炭素原料和焦炭电阻率测定方法

JY/T 0567 电感耦合等离子体发射光谱分析方法通则

JY/T 0587 多晶体X射线衍射方法通则

JCPDS (13-0336) 磷酸锰铁锂X射线粉末衍射标准图谱

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 **lithium ferromanganese phosphate**

一种人工合成的具有橄榄石型晶体结构的磷酸盐类锂离子电池正极材料。

注:化学式为 $\text{LiMn}_x\text{Fe}_y\text{PO}_4$ (其中 $x+y=1$, $0.50 \leq x \leq 0.90$, $0.10 \leq y \leq 0.50$)。

3.2

比能量 **specific energy**

活性物质按规定的要求进行充电或放电后,充电能量或放电能量与活性物质质量的比。

3.3

中值电压 **median voltage**

活性物质按规定的要求进行充电或者放电时,充电容量或放电容量的一半所对应的电压。

3.4

平均电压 average voltage

活性物质按规定的要求进行充电或者放电后，充电能量与充电容量的比或放电能量与放电容量的比。

4 牌号

产品的牌号由大写字母 LMFP 后面加 4 位数字构成，前两位数字是 Mn 的物质的量分数，后两位数字是 Fe 的物质的量分数。产品的牌号命名规则见图 1。

示例 1:

化学式为 $\text{LiMn}_{0.50}\text{Fe}_{0.50}\text{PO}_4$ 的产品牌号为 LMFP5050。

示例 2:

化学式为 $\text{LiMn}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}\text{PO}_4$ 的产品牌号为 LMFP8515。

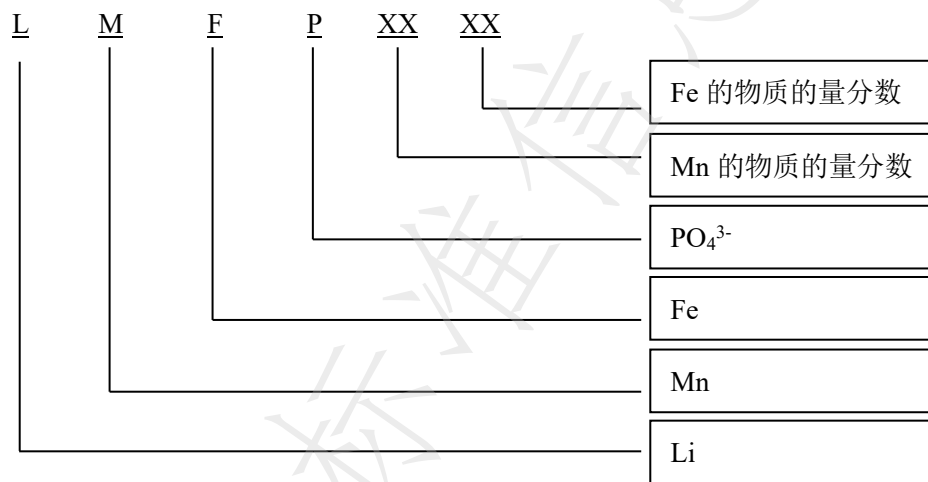


图 1 产品牌号命名规则

5 技术要求

5.1 外观

灰黑色粉末，颜色均一，无结块。

5.2 化学成分

化学成分应符合表1的规定。根据需要，可通过元素掺杂来改善材料的性能，掺杂元素含量应由供需双方协商确定且不能视为杂质。

表 1 磷酸锰铁锂的化学成分

化学成分		含量
主元素 含量	Mn、Fe	同时采用锰铁总量和锰铁物质的量分数两种方式计。锰铁总量是锰铁两种元素质量分数之和，应满足 32.00%~36.00%。锰铁物质的量分数，根据需方对产品锰铁比例的具体要求，物质的量分数值公差小于等于±0.01，需方有特殊要求时，由供需双方协商确定 示例：

		LiMn _{0.60} Fe _{0.40} PO ₄ 产品, Mn 的物质的量分数控制范围为 0.59 ~ 0.61, Fe 的物质的量分数控制范围为 0.39 ~ 0.41
	Li	4.3% ± 0.3%
	P	19.5% ± 1.0%
杂质元素 含量	Ca+K+Na	≤ 1000 ppm
	Cr+Cu+Ni+Zn+Pb	≤ 800 ppm
	C	≤ 2.4%
	水分	≤ 1000 ppm

5.3 物理性能

5.3.1 颗粒粒度分布

供方应提供颗粒粒径 D_n 分布图, 其中 $D_{10} \leq 0.5 \mu\text{m}$, $D_{50} \leq 1.0 \mu\text{m}$, $D_{90} \leq 12.0 \mu\text{m}$ 。

注: D_n 指的是体积累积分布曲线上 $n\%$ 时对应的粒径, 常见的有 D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90} 等。

5.3.2 晶体结构

符合JCPDS(13-0336)。

5.3.3 松装密度

$\geq 0.2 \text{ g/cm}^3$ 。

5.3.4 振实密度

$\geq 0.4 \text{ g/cm}^3$ 。

5.3.5 压实密度

$\geq 2.2 \text{ g/cm}^3$ 。

5.3.6 比表面积

在 $10 \text{ m}^2/\text{g} \sim 25 \text{ m}^2/\text{g}$ 范围内。

5.3.7 体积电阻率

$\leq 200 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

5.4 pH 值

在8.0 ~ 10.0范围内。

5.5 锰铁离子溶出率

铁溶出率 $\leq 100 \text{ mg/kg}$, 锰溶出率 $\leq 50 \text{ mg/kg}$ 。

5.6 模拟电池电化学性能

5.6.1 首次放电克容量

模拟电池在 $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下, 0.1 C首次放电克容量 $\geq 145 \text{ mAh/g}$, 1 C首次放电克容量 $\geq 135 \text{ mAh/g}$ 。

5.6.2 首次充放电效率

模拟电池在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 0.1 C首次充放电效率 $\geq 95\%$, 1 C首次充放电效率 $\geq 90\%$ 。

5.6.3 放电比能量

模拟电池在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 0.1 C放电比能量 $\geq 540\text{ Wh/kg}$, 1 C放电比能量 $\geq 480\text{ Wh/kg}$ 。

5.6.4 放电中值电压

模拟电池在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 0.1 C放电中值电压 $\geq 3.70\text{ V}$, 1 C放电中值电压 $\geq 3.50\text{ V}$ 。

5.6.5 放电平均电压

模拟电池在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 0.1 C放电平均电压 $\geq 3.65\text{ V}$, 1 C放电平均电压 $\geq 3.50\text{ V}$ 。

6 检测方法

6.1 外观

用目视法检查。

6.2 化学成分

6.2.1 主元素含量

按照 JY/T 0567 的规定进行。

6.2.2 杂质元素含量

按照 JY/T 0567 的规定进行。

6.2.3 碳含量

按照 GB/T 20123 的规定进行。

6.2.4 水分含量

按照 GB/T 6283 的规定进行。

6.3 物理性能

6.3.1 颗粒粒度分布

按照 GB/T 19077 的规定进行。

6.3.2 晶体结构

按照 JY/T 0587 的规定进行。

6.3.3 松装密度

按照 GB/T 1479.1 的规定进行。

6.3.4 振实密度

按照GB/T 5162的规定进行。

6.3.5 压实密度

按照附录A的规定进行。

6.3.6 比表面积

按照GB/T 19587的规定进行。

6.3.7 体积电阻率

按照GB/T 24521的规定进行。

6.4 pH 值

按照附录B的规定进行。

6.5 锰铁离子溶出率

按照附录C的规定进行。

6.6 模拟电池电化学性能

首次放电克容量、首次充放电效率、放电比能量、放电中值电压、放电平均电压的测定按照附录D的规定进行。

7 检验规则

7.1 检验和验收

7.1.1 产品应由供方质量监督部门进行检验,保证产品质量符合本文件或订货合同的规定,并填写质量证明书。

7.1.2 需方可按照本文件的规定对所收到的产品进行验收,验收应在货到之日算起的1个月内进行。如有异议时,应以备用样重新检验,如仍有争议由第三方检测机构仲裁。

7.2 组批

产品应成批提交验收,每批重量不超过5 t。

7.3 检验项目

7.3.1 检验分类

本文件规定的产品检验分为:

- a) 逐批检验;
- b) 周期检验。

7.3.2 逐批检验

产品出厂前应进行检验。

7.3.3 周期检验

周期检验在正常生产情况下，每半年进行 1 次。当原材料或生产工艺发生重大变化时或长期停产后恢复生产时应进行周期检验。

7.3.4 逐批检验和周期检验的项目

逐批检验和周期检验的项目分别如下：

- a) 逐批检验的项目：外观、化学成分、颗粒粒度分布、松装密度、振实密度、压实密度、比表面积、体积电阻率、pH 值、锰铁离子溶出率以及模拟电池电化学性能。
- b) 周期检验的项目：晶体结构。

7.4 取样

产品的取样方法按照 GB/T 5314 的规定进行，取样量根据检验需要确定。抽样按照 GB/T 2828.1 中的抽样相关规定进行。

7.5 检验结果判定

7.5.1 产品的外观检验不合格时，判定该批产品不合格。

7.5.2 产品的化学成分、颗粒粒度分布、晶体结构、松装密度、振实密度、压实密度、比表面积、体积电阻率、pH 值和锰铁离子溶出率的检验中有一项不合格，应重新自两倍量的包装袋中采样进行复验，复验结果中若仍有一项不合格，判定该批产品不合格。

7.5.3 产品模拟电池首次放电克容量、首次充放电效率、放电比能量、放电中值电压和放电平均电压的检验，按附录 D 规定的方法制成 6 支模拟电池，取 3 支进行电池试验，另外 3 支备用。如果有 2 支性能达到本文件要求，判定该批产品合格；如果没有 2 支达到本文件要求，用备用的 3 支电池重新进行试验，如果同样没有 2 支性能都达到本文件要求，判定该批产品不合格。

8 包装、标志、运输和贮存

8.1 包装和标志

用铝塑包装袋进行内包装，热塑密封后装入外包装材料中。外包装材料由供需双方协商确定。外包装上应标明但不仅限于以下内容：

- a) 本文件编号；
- b) 产品名称；
- c) 批号；
- d) 公司商标及名称；
- e) 净重；
- f) 生产日期和检验日期；
- g) 检验人员姓名或代码。

注：可根据客户需求进行包装和标志设计。

8.2 运输和贮存

8.2.1 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。

8.2.2 产品应在温度 $\leq 45^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 30\%$ 的条件下储存，仓库应保持通风、干燥。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。

8.2.3 产品堆放应整齐、清洁，注册商标、生产批号等标志应清晰可辨，严禁重压。

8.2.4 避免与可使产品变质或使包装袋损坏的物品混存、混运。

8.2.5 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，不得返入包内。

全国团体标准信息平台

附录 A
(规范性)
压实密度测试方法

A.1 方法提要

将磷酸锰铁锂粉末在定值压力下进行压片，测试样品的质量及压片后的高度，计算出的单位体积粉末的质量为压实密度。

A.2 仪器

- A.2.1 分析天平：精度为0.000 1 g，使用前应校正。
A.2.2 电子压力试验机或等同性能的仪器。
A.2.3 模具：模套内腔直径13 mm±0.02 mm。

A.3 测试步骤

- A.3.1 开启电子压力试验机并预热，待仪器稳定后将压力清零。
A.3.2 组装模具并将其置于仪器工作中心点处，进行调零校准后取出。
A.3.3 用分析天平称取适量样品（建议1.0 g），精确到0.0001 g，质量记为*m*。
A.3.4 将样品（A.3.3）转移至模具中。将装有样品的模具置于仪器工作中心点处，施加压力至设定值，维持该压力30 s。
A.3.5 待测试程序运行完毕，记录位移数值，即压实后样品的高度*h*。

A.4 测试结果

- A.4.1 产品压实密度按式（A.1）计算：

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{m}{s \times h} \dots\dots\dots(A.1)$$

式中：

- ρ ——压实密度，单位为克每立方厘米（g/cm³）；
 m ——样品的质量，单位为克（g）；
 v ——压实后样品的体积，单位为立方厘米（cm³）；
 s ——压实后样品的横截面积，单位为平方厘米（cm²）；
 h ——压实后样品的高度，单位为厘米（cm）。

- A.4.2 平行测试两次，结果取平均值（精确到0.1 g/cm³）。

附 录 B
(规范性)
pH 值测试方法

B.1 方法提要

将磷酸锰铁锂粉末溶于煮沸并冷却后的蒸馏水中，磁力搅拌0.5 h，恒温水浴 ≥ 1.5 h，取上清液，用pH计测定其pH值。

B.2 试剂及仪器

- B.2.1 蒸馏水。
- B.2.2 pH缓冲溶液。
- B.2.3 锥形瓶：规格为150 mL。
- B.2.4 pH计：精度为0.1，使用前应校正。
- B.2.5 分析天平：精度为0.000 1 g，使用前应校正。
- B.2.6 恒温水浴锅。

B.3 测试步骤

- B.3.1 称量10.00 g试样于锥形瓶中，加入90 mL煮沸并冷却后的蒸馏水后将锥形瓶封口，在磁力搅拌器上搅拌0.5 h。
- B.3.2 将上述样品及pH缓冲溶液均放入25 °C恒温水浴锅中静置 ≥ 1.5 h，取上清液。
- B.3.3 用缓冲溶液对pH计进行校准，校准后立即测试试样上清液的pH值。

B.4 测试结果

读取测试值，结果精确到0.1。

附 录 C
(规范性)
锰铁离子溶出率测试方法

C.1 方法提要

将 $5\text{ g} \pm 0.01\text{ g}$ 磷酸锰铁锂试样溶于 100 mL 盐酸中，搅拌 0.5 h ，恒温水浴 2 h ，过滤后，对滤液进行电感耦合等离子体发射光谱测试。

C.2 试剂及材料

- C.2.1 浓硝酸：优级纯，质量分数为68%。
- C.2.2 纯水：应符合GB/T 6682中二级水或三级水的要求。
- C.2.3 微孔滤膜：孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ 。
- C.2.4 铁元素标准贮存溶液： $1000\ \mu\text{g/mL}$ 。
- C.2.5 锰元素标准贮存溶液： $1000\ \mu\text{g/mL}$ 。
- C.2.6 盐酸标准溶液： $1.0\ \text{mol/L}$ 。

C.3 仪器与设备

- C.3.1 电感耦合等离子体发射光谱仪或等同性能的仪器。
- C.3.2 分析天平：精度为 $0.0001\ \text{g}$ ，使用前应校正。
- C.3.3 烧杯：规格为 $150\ \text{mL}$ 。
- C.3.4 容量瓶：规格为 $50\ \text{mL}$ 、 $100\ \text{mL}$ 。
- C.3.5 砂芯过滤装置： $250\ \text{mL}$ 。
- C.3.6 数显磁力搅拌器。

C.4 溶液配制

C.4.1 标准溶液配制

在4个 $100\ \text{mL}$ 容量瓶中分别准确移取铁元素标准贮存溶液($1000\ \mu\text{g/mL}$) $0.1\ \text{mL}$ 、 $0.2\ \text{mL}$ 、 $0.5\ \text{mL}$ 、 $1.0\ \text{mL}$ 和锰元素标准贮存溶液($1000\ \mu\text{g/mL}$) $0.1\ \text{mL}$ 、 $0.2\ \text{mL}$ 、 $0.4\ \text{mL}$ 、 $0.6\ \text{mL}$ ，再各加入 $5\ \text{mL}$ 硝酸后定容，摇匀后得到浓度梯度为 $1.0\ \mu\text{g/mL}$ 、 $2.0\ \mu\text{g/mL}$ 、 $5.0\ \mu\text{g/mL}$ 、 $10.0\ \mu\text{g/mL}$ 的铁标准溶液及 $1.0\ \mu\text{g/mL}$ 、 $2.0\ \mu\text{g/mL}$ 、 $4.0\ \mu\text{g/mL}$ 、 $6.0\ \mu\text{g/mL}$ 的锰标准溶液。

C.4.2 $0.008\ \text{mol/L}$ 的盐酸配制

向洁净的烧杯中加入 $0.80\ \text{g}$ $1.0\ \text{mol/L}$ 盐酸和 $99.20\ \text{g}$ 纯水，用PE膜把烧杯口封好，备用。

C.5 样品处理

- C.5.1 称量 $5.0\ \text{g} \pm 0.01\ \text{g}$ 样品于装有 $100\ \text{mL}$ $0.008\ \text{mol/L}$ 盐酸的烧杯中，置于数显磁力搅拌器上，搅拌 $0.5\ \text{h}$ 后取下。
- C.5.2 把搅拌好的样品放到 $25\ \text{°C} \pm 0.1\ \text{°C}$ 恒温水浴锅内恒温 $2\ \text{h}$ ，继续置于数显磁力搅拌器上搅拌 $1\ \text{min}$ 。

C.5.3 将经C.5.2搅拌后的锰铁溶出样品倒入250 mL砂芯过滤装置（宜使用孔径为0.45 μm 的滤膜且应确保抽滤装置干燥洁净）中，滤液转移至10 mL离心管并做好标识，保存待测。

C.6 测试步骤

C.6.1 用移液枪准确移取1 mL滤液至50 mL容量瓶中，加入2 mL浓硝酸，定容摇匀。

C.6.2 用电感耦合等离子发射光谱仪进行测试。先用标准溶液绘制工作曲线，然后测试试样溶液的谱线强度。

C.7 测试结果

在标准曲线上得到溶液中锰、铁元素的浓度，由仪器自动计算出所测元素的质量分数。

附 录 D
(规范性)
磷酸锰铁锂模拟电池测试方法

D.1 方法提要

在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,将模拟电池按照电池充放电测试仪器操作规程,测试出的首次放电克容量、首次充放电效率、放电比能量、放电中值电压以及放电平均电压。

D.2 试剂及材料

- D.2.1 六氟磷酸锂(LiPF_6): 电池级。
- D.2.2 碳酸乙烯酯(EC): 电池级。
- D.2.3 碳酸二乙酯(DEC): 电池级。
- D.2.4 N-甲基吡咯烷酮(NMP): 电池级。
- D.2.5 聚偏二氟乙烯(PVDF): 电池级。
- D.2.6 导电剂: Super-P。
- D.2.7 铝箔: 厚度 $10\text{ }\mu\text{m}\sim 25\text{ }\mu\text{m}$ 。
- D.2.8 金属锂片: 厚度 $0.10\text{ mm}\sim 0.50\text{ mm}$ 。
- D.2.9 聚丙烯微孔隔膜: 锂电池专用。

D.3 正极片的制备

在正极材料中磷酸锰铁锂的质量分数为 $90\%\sim 95\%$, Super-P作为导电剂,其质量分数 $1\%\sim 5\%$, PVDF为粘合剂,其质量分数为 $2\%\sim 6\%$,质量精确到 0.001 g 。正极片采用铝箔做集流体。将磷酸锰铁锂、Super-P、PVDF和NMP搅拌调浆,将浆料均匀涂覆在铝箔上,在不高于 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘干条件下进行干燥,裁片和辊压后将极片切成直径 14 mm 、厚度为 $0.05\text{ mm}\sim 0.08\text{ mm}$ 的电极片,电极片称重,质量精确到 $0.000\text{ }01\text{ g}$ 。极片的压实密度范围为 $2.0\text{ g/cm}^3\sim 2.4\text{ g/cm}^3$ 。严格控制混料和涂覆的工艺过程,被测极片面积、厚度要保持一致,避免这些因素影响测试结果。

D.4 电池的组装

在水和氧气含量都小于或等于 5 ppm 的惰性气体手套箱中,以金属锂片作为负极材料,用聚丙烯微孔薄膜作为隔膜,以 1 mol/L 的 $\text{LiPF}_6/(\text{EC}+\text{DEC})$ (质量比 $1:1$)为电解液,将它们装配成模拟电池,电池密封后,用锂离子电池电化学性能测试仪测试。

D.5 测试步骤

在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,将模拟电池按照电池充放电测试仪器操作规程,测试首次放电克容量、首次充放电效率、放电比能量、放电中值电压、放电平均电压。锂离子电池电化学性能测试仪,电流精度: $0.1\% \text{ RD}+0.1\% \text{ FS}$; 电压精度: $0.1\% \text{ RD}+0.1\% \text{ FS}$ 或其他同等性能的测试设备上按照GB/T 18287中关于充放电方法的规定进行充电—放电循环。计算多只模拟

电池数据平均值。首次放电克容量和首次充放电效率的测试条件如下：充放电倍率为0.1 C、1 C，电压范围为2.0 V ~ 4.3 V。

D. 6 结果计算与数据处理

D. 6.1 首次放电克容量和首次充放电效率

以0.1 C的充放电倍率为例，磷酸锰铁锂的首次放电克容量和首次充放电效率分别按式(D.1)、式(D.2)和式(D.3)计算：

$$Q_{0.1,cha} = \frac{C_{0.1,cha}}{m} \dots\dots\dots (D.1)$$

$$Q_{0.1,dis} = \frac{C_{0.1,dis}}{m} \dots\dots\dots (D.2)$$

$$E_{0.1} = \frac{Q_{0.1,dis}}{Q_{0.1,cha}} \times 100\% \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

$Q_{0.1,cha}$ ——以0.1 C倍率电流充放电时首次充电克容量，单位为毫安时每克(mAh/g)；

$C_{0.1,cha}$ ——以0.1 C倍率电流充放电时首次充电容量，单位为毫安时(mAh)；

m ——活性物质质量，单位为毫克(mg)；

$Q_{0.1,dis}$ ——以0.1 C倍率电流充放电时首次放电克容量，单位为毫安时每克(mAh/g)；

$C_{0.1,dis}$ ——以0.1 C倍率电流充放电时首次放电容量，单位为毫安时(mAh)；

$E_{0.1}$ ——首次充放电效率(%)。

D. 6.2 放电中值电压

放电中值电压可直接从测试仪中读数。

D. 6.3 放电比能量和放电平均电压

放电比能量 (Wh/kg) 可直接从测试仪中读数。

放电平均电压为放电比能量 (Wh/kg) 与放电克容量 (mAh/g) 的比值。