T

发布

国家市场监督管理总局

国家标准化管理委员会

202X-XX-XX实施

202X-XX-XX发布

锂离子电池正极材料电化学性能测试

高温性能测试方法

Electrochemical performance test of lithium ion battery cathode materials—

Test method for high temperature performance

（送审稿）

GB/T ××××—202×

中华人民共和国国家标准

ICS 77.160

CCS H16

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。

本文件由中国有色金属工业协会提出。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）归口。

本文件起草单位：北京当升材料科技股份有限公司、巴斯夫杉杉电池材料有限公司、广东邦普循环科技有限公司、当升科技（常州）新材料有限公司、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、蜂巢能源科技股份有限公司、湖南长远锂科股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、天津市捷威动力工业有限公司、北京泰丰先行新能源科技有限公司、广西分析测试研究中心、合肥国轩电池材料有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司。

本文件主要起草人：于鹏、陈彦彬、刘亚飞、王玉娇、李旭、周银、张学梅、张莹娇、刘长威、张志波、魏蕾、邵能辉、林锦绣、李倩、吴珊珊、姜晓瑞、刘晓玲）、饶媛媛、贾宝成、黄小燕、王勤。

引 言

锂离子电池具有能量密度高、输出电压高、循环寿命长、环境污染小等优点，在小型数码电器、新能源汽车和储能等领域得到大规模应用。锂离子电池的实际使用状况复杂，经常在较长时间处于高温状态，一方面锂离子电池受使用或者存储的环境影响，比如夏季暴晒后电动汽车电池的温度可达60℃以上；另一方面锂离子电池工作时的内阻会导致锂离子电池发热，出现温度升高的现象，同时电动汽车、储能用电池主流为大容量单体电池，散热效果较差，在使用时更容易导致电池处于高温状态。

影响锂离子电池高温性能的因素众多，其中正极材料的高温电化学性能占据主导因素。在高温条件下搁置和使用时，充电态正极材料的劣化会影响到与其匹配的电解液、负极等材料的性能，最终导致锂离子电池性能衰退。正极材料的高温电化学性能可以通过对锂离子电池的高温存储鼓胀率、高温存储内阻增加率、高温存储容量保持率、高温存储容量恢复率等高温存储性能以及高温循环性能进行前期测试和判断，保障锂离子电池高温使用时的可靠性。

本文件的制定为行业内锂离子电池正极材料高温电化学性能的测试评价提供了重要依据，对提高检测结果的可靠性，减少供需双方因检测误差造成的商业纠纷，提升锂离子电池正极材料行业发展水平具有重要作用。

锂离子电池正极材料电化学性能测试

高温性能测试方法

1 范围

本文件规定了锂离子电池正极材料电化学性能测试-高温性能测试方法，锂离子电池正极材料电化学性能测试-高温性能测试以下简称正极材料高温电化学性能测试。

本文件适用于锂离子电池用钴酸锂、镍钴锰酸锂、镍钴铝酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂、富锂锰基等正极材料高温电化学性能测试。

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 2900.1-2008 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 20252-2014 钴酸锂

GB/T 31484-2015 电动汽车用动力蓄电池循环寿命要求及试验方法

3 术语、定义

GB/T 2900.1-2008、GB/T 20252-2014、GB/T 31484-2015中界定的以及下列术语、定义适用于本文件。

3.1 充放电

charge and discharge

以规定的电流充电至限制电压，转恒压充电；静置一段时间，以规定的电流放电至终止电压的过程。

4 符号

C1：电池1 h放电率额定容量（Ah）。

I1：1 h放电倍率电流，其数值等于C1（A），以下电流倍率值简称n C，n为h率数值的倒数。

1 C：1 h放电倍率对应的电流数值（A）。

0.5 C：2 h放电倍率对应的电流数值（A）。

0.33 C：3 h放电倍率对应的电流数值（A）。

0.2 C：5 h放电倍率对应的电流数值（A）。

0.1 C：10 h放电倍率对应的电流数值（A）。

0.02 C：50 h放电倍率对应的电流数值（A）。

0.01 C：100 h放电倍率对应的电流数值（A）。

5 扣式半电池高温性能测试方法

5.1 试剂和材料

5.1.1 正极材料：钴酸锂、镍钴锰酸锂、镍钴铝酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂、富锂锰基等一种或多种。

5.1.2 导电剂：导电石墨、炭黑或碳纳米管，电池级。

5.1.3 粘结剂：聚偏二氟乙烯（PVDF），电池级，重均分子量≥600000。

5.1.4 溶剂：N-甲基吡咯烷酮（NMP），电池级，纯度≥99.9%，水分≤0.02%。

5.1.5 正极集流体：铝箔，电池级，厚度6 μm～20 μm。

5.1.6 负极：金属锂片，电池级。

5.1.7 隔膜：聚烯烃多孔膜，孔隙率30.0 %～65.0 %，透气率200 s/100 ml～800 s/100 ml，厚度5 μm～45 μm。

5.1.8 吸液纸：玻璃纤维膜，厚度0.1 mm～0.5 mm，孔隙率≥80 %，吸液率≥300 %。

5.1.9 电解液：由六氟磷酸锂（LiPF6）、混合碳酸酯有机溶剂（碳酸乙烯酯EC、碳酸二甲酯DMC、碳酸甲乙酯EMC、碳酸二乙酯DEC等）、添加剂组成，H2O≤20 ppm，HF≤50 ppm。

5.1.10 扣式电池壳及部件：正极壳、负极壳、泡沫镍（或垫片和弹片）。

5.2 仪器和设备

5.2.1 电子天平：精确不低于0.000 1 g。

5.2.2 搅拌机。

5.2.3 小型涂布机。

5.2.4 高温烘箱：温控范围室温至250 ℃。

5.2.5 辊压机，锂电池专用。

5.2.6 测厚仪：量程≥2 mm，精度不低于0.001 mm。

5.2.7 极片冲片机：冲孔模具直径尺寸为10 mm～15 mm。

5.2.8 电子天平：精确不低于0.000 01 g。

5.2.9 真空烘箱：温控范围室温至250 ℃，真空度≤-0.1 MPa。

5.2.10 手套箱：惰性气体氛围，水、氧含量＜1 ppm。

5.2.11 扣式电池封口机。

5.2.12 锂离子电池电化学性能测试仪：5 V, 5～20 mA。

5.2.13 电压测试仪：精确不低于0.001 V。

5.3 扣式半电池制作步骤

5.3.1正极片的制备

制备过程环境露点应≤-20 ℃。配方中正极材料（5.1.1）的质量分数为90 %～98 %，导电剂（5.1.2）质量分数为1 %～5 %，粘结剂（5.1.3）聚偏二氟乙烯质量分数为1 %～5 %。正极材料、导电剂、粘结剂使用高温烘箱（5.2.4）烘干，与溶剂（5.1.4）混合制备成固含量为40 %～75 %浆料。将浆料均匀涂覆到正极集流体（5.1.5）上并使用高温烘箱（5.2.4）烘干。严格控制混料和涂覆的工艺过程，极片涂层厚度要均匀一致，辊压（压实密度参数范围参考表1）、裁切后，正极片用电子天平（5.2.8）称量，用真空烘箱（5.2.9）烘干（推荐烘烤制度85 ℃\*12 h）。

5.3.2 电池的组装

组装在手套箱（5.2.10）中进行，将正极片和负极（5.1.6）、隔膜（5.1.7）、吸液纸（5.1.8）、电解液（5.1.9）、扣式电池壳及部件（5.1.10）组装到一起，使用扣式电池封口机（5.2.11）将电池密封，用锂离子电池电化学性能测试仪（5.2.12）进行充放电测试。

表1 不同正极材料扣式半电池测试参数推荐参考范围

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料 | 分类 | 压实密度(g/cm3) | 充电限制电压(V) | 放电终止电压(V) |
| 钴酸锂 | 能量型4.35 V | 3.8-4.3 | 4.40 | 3.0 |
| 能量型4.4 V | 3.8-4.3 | 4.45 | 3.0 |
| 能量型4.45 V | 3.8-4.3 | 4.50 | 3.0 |
| 倍率型4.2 V | 3.2-3.8 | 4.30 | 3.0 |
| 倍率型4.4 V | 3.2-3.8 | 4.45 | 3.0 |
| 镍钴锰酸锂、镍钴铝酸锂 | 团聚型 | 3.0-3.7 | 4.30 | 3.0 |
| 单晶型 | 3.2-3.8 | 4.40 | 3.0 |
| 磷酸铁锂 | 2.0-2.8 | 3.75 | 2.5 |
| 锰酸锂 | 2.4-3.2 | 4.30 | 3.0 |
| 富锂锰基 | 2.4-3.2 | 4.60 | 2.0 |

5.4扣式半电池的测试

5.4.1 高温存储测试

5.4.1.1 制作的电池在25 ℃±1 ℃的环境下静置6 h后，用锂离子电池电化学性能测试仪进行1次充放电测试，推荐充放电制度如下：

1. 恒流充电：电流0.1 C，恒流充电至限制电压；
2. 恒压充电：终止电流0.01 C；
3. 静置：10 min；
4. 恒流放电：电流0.1 C；
5. 静置：10 min；
6. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表1。

5.4.1.2 进行2次充放电，再恒流充电至限制电压，恒压充电至终止电流，推荐充放电制度如下：

1. 恒流充电：电流1 C，恒流充电至限制电压；
2. 恒压充电：终止电流0.01 C；
3. 静置：10 min；
4. 恒流放电：电流1 C，恒流放电至终止电压；
5. 静置：10 min；
6. 工步a～e循环2次；
7. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表1。

5.4.1.3 静置4 h，用电压测试仪（5.2.13）测试电压，放入高温环境（推荐测试条件为60 ℃\*7 d）静置。存储结束后将电池取出常温静置4 h，测试电池电压，恒流放电至终止电压并进行5次充放电循环测试，推荐充放电制度如下：

1. 恒流放电：电流1 C，恒流放电至终止电压；
2. 静置：10 min；
3. 恒流充电：电流1 C，恒流充电至限制电压；
4. 恒压充电：终止电流0.01 C；
5. 静置：10 min；
6. 恒流放电：电流1 C，恒流放电至终止电压；
7. 静置：10 min；
8. 工步c～g循环5次；
9. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表1。

5.4.2 高温循环测试

5.4.2.1 制作的电池在高温环境（推荐45 ℃±1 ℃）静置4 h，进行1次充放电，推荐充放电制度如下：

1. 恒流充电：电流0.1 C，恒流充电至限制电压；
2. 恒压充电：终止电流0.01 C；
3. 静置：10 min；
4. 恒流放电：电流0.1 C，恒流放电至终止电压；
5. 静置：10 min；
6. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表1。

5.4.2.2 电池在高温环境进行充放电循环测试，推荐充放电制度如下：

1. 恒流充电：电流1 C，恒流充电至限制电压；
2. 恒压充电：终止电流0.01 C；
3. 静置：10 min；
4. 恒流放电：电流1 C，恒流放电至终止电压；
5. 静置：10 min；
6. 工步a～e循环（推荐循环测试80次）；
7. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表1。

5.5 扣式半电池的数据处理

5.5.1 扣式半电池的高温存储电压衰减率

扣式半电池的高温存储电压衰减率按式（1）计算：

$η\_{C}=\frac{\left(U\_{c1}−U\_{c2}\right)×1000}{T\_{c}}$………………………………………（1）

式中：

ηC——高温存储电压衰减率，单位为毫伏特每天（mV/d）；

Uc1——高温存储前电压，单位为伏特（V）；

Uc2——高温存储后电压，单位为伏特（V）；

Tc——高温存储时间，单位为天（d）。

5.5.2 扣式半电池的高温存储容量保持率

扣式半电池的高温存储容量保持率按式（2）计算：

$η\_{CR1}=\frac{Q\_{c2}}{Q\_{c0}}×100\%$………………………………………（2）

式中：

ηCR1——高温存储容量保持率（%）；

Qc0——高温存储前最后一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）；

Qc2——高温存储后第一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）。

5.5.3 扣式半电池的高温存储容量恢复率

扣式半电池的高温存储容量恢复率按式（3）计算：

$η\_{CR2}=\frac{Q\_{c3}}{Q\_{c0}}×100\%$………………………………………（3）

式中：

ηCR2——高温存储容量恢复率（%）；

Qc0——高温存储前最后一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）；

Qc3——高温存储后放电比容量最高值，单位为毫安时每克（mA·h/g）。

5.5.4 扣式半电池的高温循环容量保持率

扣式半电池的高温循环保持率按式（4）计算：

$η\_{Cn}=\frac{Q\_{cn}}{Q\_{c1}}×100\%$………………………………………（4）

式中：

ηCn——高温循环容量保持率（%）；

Qc1——高温循环第一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）；

Qcn——高温循环第n次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）。

6 软包全电池高温性能测试方法

6.1 试剂和材料

6.1.1 正极材料：钴酸锂、镍钴锰酸锂、镍钴铝酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂、富锂锰基等一种或多种。

6.1.2 导电剂：导电炭黑、导电石墨或碳纳米管，电池级。

6.1.3 正极粘结剂：聚偏二氟乙烯（PVDF），电池级，重均分子量≥600 000。

6.1.4 正极溶剂：N-甲基吡咯烷酮（NMP），电池级，纯度99.9 %，水分≤0.02 %。

6.1.5 正极集流体：铝箔，电池级，厚度为6 μm～20 μm。

6.1.6 正极极耳：铝极耳，带极耳胶。

6.1.7 负极材料：石墨等材料，D50为5 μm～25 μm，比表面为0.2 m2/g～2 m2/g，首次放电比容量≥320 mA·h/g，首次效率≥88 %。

6.1.8 负极分散剂：羧甲基纤维素钠（CMC），电池级，主含量≥99 %。

6.1.9 负极粘结剂：丁苯橡胶乳液（SBR），电池级，固含量40 %～55 %，pH=6～7。

6.1.10 负极溶剂：去离子水，电导率≤10 μs/cm。

6.1.11 负极集流体：铜箔，电池级，厚度为5 μm～15 μm。

6.1.12 负极极耳：镍极耳，带极耳胶。

6.1.13 隔膜：聚烯烃多孔膜，孔隙率30.0 %～65.0 %，厚度5 μm～25 μm。

6.1.14 高温胶带。

6.1.15 终止胶带。

6.1.16 铝塑膜：厚度100 μm～160 μm，电池级。

6.1.17 电解液：由六氟磷酸锂（LiPF6）、混合碳酸酯有机溶剂（碳酸乙烯酯EC、碳酸二甲酯DMC、碳酸甲乙酯EMC、碳酸二乙酯DEC等）、添加剂组成，H2O≤20 ppm，HF≤50 ppm。

6.2 仪器和设备

6.2.1 真空烘箱：温控范围室温至250 ℃，真空度≤-0.1 MPa。

6.2.2 电子称：精度不低于0.01 g。

6.2.3 高温烘箱：温控范围室温至250 ℃。

6.2.4 真空搅拌机。

6.2.5 涂布机，锂电池专用。

6.2.6 分切机，锂电池专用。

6.2.7 辊压机，锂电池专用。

6.2.8 测厚仪：量程≥2 mm，精度不低于0.001 mm。

6.2.9 电子天平：精确不低于0.001 g。

6.2.10 正极超声波焊接机。

6.2.11 负极超声波焊接机。

6.2.12 卷绕机。

6.2.13 平压机。

6.2.14 铝塑膜成型机。

6.2.15 顶侧封口机。

6.2.16 手套箱：惰性气体氛围，水、氧含量＜1 ppm。

6.2.17 注液器。

6.2.18 真空静置箱。

6.2.19 真空预封机。

6.2.20 锂离子电池电化学性能测试仪。

6.2.21 真空二封机。

6.2.22 测厚仪：量程≥10 mm，精度不低于0.01 mm。

6.2.23 电子固体密度计。

6.2.24 内阻测试仪。

6.2.25 热压化成机。

6.3 软包全电池制作步骤

6.3.1 原材料处理

正极材料（6.1.1）、导电剂（6.1.2）、正极粘结剂（6.1.3）、负极材料（6.1.7）、负极分散剂（6.1.8）使用真空烘箱进行烘烤。

6.3.2 正极的制备

全部制备过程环境露点应≤-20 ℃。配方中正极材料的质量分数为90 %～98 %，导电剂质量分数为1 %～5 %，正极粘结剂质量分数为1 %～5 %。将正极材料、导电剂、正极粘结剂、正极溶剂（6.1.4）制备成固含量40 %～75 %的正极浆料，使用涂布机（6.2.5）将正极浆料涂覆到正极集流体（6.1.5）上并烘干。严格控制匀浆和涂覆的工艺过程，极片涂层厚度要均匀一致，将正极片分别进行辊压（压实密度参数范围参考表2）、裁切、烘烤、称量。

6.3.3 负极的制备

负极涂布之后的制备过程环境露点应≤-20 ℃。配方中负极材料（6.1.7）的质量分数为95 %～97 %；导电剂（6.1.2）质量分数为0.5 %～1 %；负极分散剂（6.1.8）质量分数为1.0 %～1.5 %；负极粘结剂（6.1.9）（6.1.9）质量分数为1.5 %～2.5 %。将负极材料、导电剂、CMC、SBR、负极溶剂（6.1.10）制备成固含量40 %～60 %的负极浆料，使用涂布机（6.2.5）将负极浆料涂覆到负极集流体（6.1.11）上并烘干。严格控制匀浆和涂覆的工艺过程，极片涂层厚度要均匀一致，将负极片分别进行辊压、裁切、烘烤、称量。

6.3.4 软包全电池的组装

电池组装环境露点应≤-20 ℃。正极片和负极片分别使用正极超声波焊接机（6.2.10）和负极超声波焊接机（6.2.11）进行极耳焊接，使用卷绕机（6.2.12）将隔膜（6.1.13）、正极片、负极片卷绕制成卷芯，放入由铝塑膜（6.1.16）制成的铝塑壳中并进行顶侧封。将电池放入真空烘箱（6.2.1）中烘烤（推荐烘烤制度85 ℃\*36 h，每隔4 h置换一次干燥气体），于手套箱（6.2.16）中注液并使用真空静置箱（6.2.18）进行静置，使用真空预封机（6.2.19）进行预封。

表2 不同正极材料软包全电池测试参数推荐参考范围

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料 | 分类 | 压实密度(g/cm3) | 充电限制电压(V) | 放电终止电压(V) |
| 钴酸锂 | 能量型4.35 V | 3.8-4.3 | 4.35 | 3.0 |
| 能量型4.4 V | 3.8-4.3 | 4.40 | 3.0 |
| 能量型4.45 V | 3.8-4.3 | 4.45 | 3.0 |
| 倍率型4.2 V | 3.2-3.8 | 4.20 | 3.0 |
| 倍率型4.4 V | 3.2-3.8 | 4.40 | 3.0 |
| 镍钴锰酸锂、镍钴铝酸锂 | 团聚型 | 3.0-3.7 | 4.20 | 2.8 |
| 单晶型 | 3.2-3.8 | 4.30 | 2.8 |
| 磷酸铁锂 | 2.0-2.8 | 3.70 | 2.5 |
| 锰酸锂 | 2.4-3.2 | 4.20 | 3.0 |
| 富锂锰基 | 2.4-3.2 | 4.60 | 2.0 |

6.3.5 软包全电池化成和分容

6.3.5.1 制作好的电池使用夹板夹住电池两侧，使用锂离子电池电化学性能测试仪（6.2.20）或者热压化成机（6.2.25）恒流充电至限制电压（推荐限制电压为3.9 V，磷酸铁锂为3.4 V）进行电池化成。推荐充电制度如下：

1. 恒流充电：电流0.05 C；
2. 恒流充电：电流0.1 C；
3. 恒流充电：电流0.2 C；
4. 恒流充电：充电至限制电压（推荐限制电压为3.9 V，磷酸铁锂为3.4 V）；
5. 静置：10 min。

6.3.5.2 使用真空二封机（6.2.21）抽气封口，使用锂离子电池电化学性能测试仪（6.2.20）进行不同电流倍率的分容，推荐充放电制度如下：

1. 恒流充电：恒流充电至限制电压；
2. 恒压充电：终止电流0.02 C；
3. 静置：10 min；
4. 恒流放电：恒流放电至终止电压；
5. 静置：10 min；
6. 工步a～e循环4次，恒流电流值依次使用0.2 C、0.33 C、0.5 C、1 C；
7. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表2。

6.4 软包全电池的测试

6.4.1高温存储测试流程

6.4.1.1 分容后的电池在25 ℃±1 ℃的环境进行充放电,，推荐充放电制度如下：

1. 恒流充电：1 C恒流充电至限制电压；
2. 恒压充电：终止电流0.02 C；
3. 静置：10 min；
4. 恒流放电：1 C恒流放电至终止电压；
5. 静置：10 min；
6. 工步a～e循环2次；
7. 恒流充电：1C恒流充电至限制电压；
8. 恒压充电：终止电流0.02 C；
9. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表2。

6.4.1.2 静置4 h，使用测厚仪（6.2.22）测量锂电池厚度，或者使用电子固体密度计（6.2.23）测试电池体积，使用内阻测试仪（6.2.24）测试电池电压和内阻，放入高温环境静置（推荐测试条件：60 ℃\*7 d）。高温存储结束后，保持与高温存储相同的温度热测电池的厚度或者使用电子固体密度计热测电池体积；电池放置到25 ℃±1 ℃的环境静置4 h，测试电池的电压、内阻，冷测电池厚度或者使用电子固体密度计冷测电池体积，使用锂离子电池电化学性能测试仪进行充放电测试，推荐充放电制度如下：

1. 恒流放电：1 C恒流放电至终止电压；
2. 静置：10 min；
3. 恒流充电：1 C恒流充电至限制电压；
4. 恒压充电：终止电流0.02 C；
5. 静置：10 min；
6. 恒流放电：1 C恒流放电至终止电压；
7. 静置：10 min；
8. 工步c～g循环2次；
9. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表2。

6.4.2 高温循环测试：

分容后的电池在高温环境（推荐45 ℃±1 ℃）静置4 h，进行充放电测试，推荐充放电制度如下：

1. 恒流充电：电流1 C，恒流充电至限制电压；
2. 恒压充电：终止电流0.02 C；
3. 静置：10 min；
4. 恒流放电：电流1 C，恒流放电至终止电压；
5. 静置：10 min；
6. 工步a～e循环（推荐循环测试500次）；
7. 不同材料充电限制电压和放电终止电压参照表2。

6.5 软包全电池的数据处理

6.5.1 软包全电池的高温存储电压衰减率

软包全电池的高温存储电压衰减率按式（1）计算：

$η\_{F}=\frac{\left(U\_{f1}−U\_{f2}\right)×1000}{T\_{f}}$……………………………………………（1）

式中：

$η$F——高温存储电压衰减率，单位为毫伏特每天（mV/d）；

Uf1——高温存储前电压，单位为伏特（V）；

Uf2——高温存储后电压，单位为伏特（V）；

Tf——高温存储时间，单位为天（d）。

6.5.2 软包全电池的高温存储热测厚度鼓胀率

软包全电池的高温存储热测厚度鼓胀率按式（2）计算：

$η\_{FS1}=\frac{T\_{f2}−T\_{f1}}{T\_{f1}}×100\%$………………………………………（2）

式中：

ηFS1——高温存储热测厚度鼓胀率（%）；

Tf1——高温存储前电池厚度，单位为毫米（mm）；

Tf2——高温存储后电池热测厚度，单位为毫米（mm）。

6.5.3 软包全电池的高温热测存储体积鼓胀率

软包全电池的高温存储热测体积胀率按式（3）计算：

$η\_{FS2}=\frac{V\_{f2}−V\_{f1}}{V\_{f1}}×100\%$………………………………………（3）

式中：

ηFS2——高温存储热测体积鼓胀率（%）；

Vf1——高温存储前电池体积，单位为立方厘米（cm3）；

Vf2——高温存储后电池热测体积，单位为立方厘米（cm3）。

6.5.4 软包全电池的高温存储冷测厚度鼓胀率

软包全电池的高温存储冷测厚度鼓胀率按式（2）计算：

$η\_{FS3}=\frac{T\_{f3}−T\_{f1}}{T\_{f1}}×100\%$………………………………………（4）

式中：

ηFS3——高温存储冷测厚度鼓胀率（%）；

Tf1——高温存储前电池厚度，单位为毫米（mm）；

Tf3——高温存储后电池冷测厚度，单位为毫米（mm）。

6.5.5 软包全电池的高温存储冷测体积鼓胀率

软包全电池的高温存储冷测体积胀率按式（3）计算：

$η\_{FS4}=\frac{V\_{f3}−V\_{f1}}{V\_{f1}}×100\%$………………………………………（5）

式中：

ηFS4——高温存储冷测体积鼓胀率（%）；

Vf1——高温存储前电池体积，单位为立方厘米（cm3）；

Vf3——高温存储后电池冷测体积，单位为立方厘米（cm3）。

6.5.6 软包全电池的高温存储内阻增加率

软包全电池的高温存储内阻增加率按式（4）计算：

$η\_{FI}=\frac{R\_{f2}−R\_{f1}}{R\_{f1}}×100\%$…………………………………………（6）

式中：

ηFI——高温存储内阻增加率（%）；

Rf1——高温存储前电池内阻，单位为毫欧（mΩ）；

Rf2——高温存储后电池内阻，单位为毫欧（mΩ）。

6.5.7 软包全电池的高温存储容量保持率

软包全电池的高温存储容量保持率按式（5）计算：

$η\_{FR1}=\frac{Q\_{f2}}{Q\_{f0}}×100\%$……………………………………………（7）

式中：

ηFR1——高温存储容量保持率（%）；

Qf1——高温存储前最后一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）；

Qf2——高温存储后第一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）。

6.5.8 软包全电池的高温存储容量恢复率

软包全电池的高温存储容量恢复率按式（6）计算：

$η\_{FR2}=\frac{Q\_{f3}}{Q\_{f0}}×100\%$…………………………………………（8）

式中：

ηFR2——高温存储容量恢复率（%）；

Qf0——高温存储前最后一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）；

Qf3——高温存储后放电比容量最高值，单位为毫安时每克（mA·h/g）。

6.5.9 软包全电池的高温循环寿命

软包全电池的高温循环保持率按式（7）计算：

$η\_{n}=\frac{Q\_{fn}}{Q\_{f1}}×100\%$……………………………………………（9）

式中：

ηn——第n次循环放电比容量与第一次循环放电比容量的比值（%）；

Qf1——循环第一次放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）；

Qfn——循环至第n次的放电比容量，单位为毫安时每克（mA·h/g）；

循环寿命按照下面方法确定：当ηn首次低于80 %时，循环次数n为测定样品的高温循环寿命。

7 试验结果的表示

计算结果保留两位小数，数值修约规则按照GB/T 8170的规定执行。

8 测试允许差

相同实验室锂离子电池正极材料扣式半电池高温电化学性能测试允许差的参考范围如表3所示：

表3 相同实验室扣式半电池高温电化学性能测试允许差

|  |  |
| --- | --- |
| 测试项目 | 测试允许差 |
| 高温存储电压衰减率 mV/d | ±1.00 |
| 高温存储容量保持率 % | ±1.50 % |
| 高温存储容量恢复率 % | ±1.50 % |
| 高温循环第80周保持率 % | ±2.00 % |

不同实验室锂离子电池正极材料扣式半电池高温电化学性能测试允许差的参考范围如表4所示：

表4 不同实验室扣式半电池高温电化学性能测试允许差

|  |  |
| --- | --- |
| 测试项目 | 测试允许差 |
| 高温存储电压衰减率 mV/d | ±2.00 |
| 高温存储容量保持率 % | ±3.00 % |
| 高温存储容量恢复率 % | ±3.00 % |
| 高温循环第80周保持率 % | ±4.00 % |

相同实验室锂离子电池正极材料软包全电池高温电化学性能测试允许差的参考范围如表5所示：

表5 相同实验室软包全电池高温电化学性能测试允许差

|  |  |
| --- | --- |
| 测试项目 | 测试允许差 |
| 高温存储电压衰减率 mV/d | ±1.00 |
| 高温存储热测厚度鼓胀率 % | ±2.00 % |
| 高温存储冷测厚度鼓胀率 % | ±2.00 % |
| 高温存储热测体积鼓胀率 % | ±2.00 % |
| 高温存储冷测体积鼓胀率 % | ±2.00 % |
| 高温存储内阻增加率 % | ±3.00 % |
| 高温存储容量保持率 % | ±1.50 % |
| 高温存储容量恢复率 % | ±1.50 % |
| 高温循环第500周保持率 % | ±2.50 % |

不同实验室锂离子电池正极材料软包全电池高温电化学性能测试允许差的参考范围如表6所示：

表6 不同实验室软包全电池高温电化学性能测试允许差

|  |  |
| --- | --- |
| 测试项目 | 测试允许差 |
| 高温存储电压衰减率 mV/d | ±2.00 |
| 高温存储热测厚度鼓胀率 % | ±4.00 % |
| 高温存储冷测厚度鼓胀率 % | ±4.00 % |
| 高温存储热测体积鼓胀率 % | ±4.00 % |
| 高温存储冷测体积鼓胀率 % | ±4.00 % |
| 高温存储内阻增加率 % | ±6.00 % |
| 高温存储容量保持率 % | ±3.00 % |
| 高温存储容量恢复率 % | ±3.00 % |
| 高温循环第500周保持率 % | ±5.00 % |

9 试验报告

试验报告应包括以下内容：

1. 样品名称及批次；
2. 试验结果；
3. 试验日期；
4. 本文件没有规定的或认为可以自定的各种操作；
5. 可能影响试验结果的情况；
6. 本文件编号。