

锂离子电池正极材料电化学性能测试
高温性能测试方法

编制说明
(征求意见稿)

2022 年 8 月

锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法 编制说明（征求意见稿）

一、工作简况

1.1 任务来源

根据国家标准化管理委员会《关于下达 2021 年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2021〕12 号）的文件精神，国家标准《锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法》由全国有色金属标准化技术委员会负责归口，由北京当升材料科技股份有限公司牵头起草。该项目计划编号为 20210823-T-610，项目计划完成时间为 2023 年 5 月。

1.2 主要参加单位和工作组成员及其工作

本文件起草单位有：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、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、北京泰丰先行新能源科技有限公司、天津市捷威动力工业有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、湖南长远锂科股份有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、广西分析测试研究中心等。

其中北京当升材料科技股份有限公司负责样品的收集和分发，分析方法的实验研究，样品测试结果的收集和处理，标准文本、试验报告和编制说明的撰写。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、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为一验单位，负责对试验报告中的试验过程参数进行填写、提供高温电化学性能测试数据，并对标准文本提出修改意见。天津市捷威动力工业有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、湖南长远锂科股份有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、广西分析测试研究中心、北京泰丰先行新能源科技有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司为二验单位，负责对试验报告中的试验过程参数进行填写、提供高温电化学性能测试数据。本文件样品收集过程中，巴斯夫杉杉电池材料有限公司负责提供钴酸锂材料、镍钴铝酸锂材料以及锰酸锂材料样品，广东邦普循环科技有限公司负责提供钴酸锂材料、磷酸铁锂材料以及富锂锰基材料样品，天津国安盟固利新材料科技股份有限公司负责提供钴酸锂材料样品，蜂巢能源科技股份有限公司负责提供团聚型和单晶型镍钴锰酸锂材料。本文件起草过程中，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、蜂巢能源科技股份有限公司、中伟新材料股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、湖南长远锂科股份有限公司提供了标准测试参数调研表。巴斯夫杉杉电池材料有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司负责对标准文本提出修改意见。

北京当升材料科技股份有限公司（简称“当升科技”）是一家以新能源材料研发、生产和销售为主的高新技术企业，主营业务包括高能量锂离子电池正极材料及其前驱体和新型智能装备，是锂电材料行业的龙头企业之一，目前锂离子电池正极材料的年产能超 50000 吨。公司产品市场涵盖车用动力电池领域、储能电池领域以及数码消费类电子领域。公司在国内率先开发出储能用多元材料，该产品已大批量用于国际高端储能市场；公司高倍率产品在国内航模、无人机等市场处于领先地位，产品具有良好的市场应用前景。公司主要产品包括多元材料、钴酸锂、磷酸铁锂、磷酸锰铁锂等正极材料及其前驱体等材料，客户范围涵盖中国、日本、韩国等全球多个国家和地区，公司多年来凭借突出的自主研发能力、先进的质量控制系统和快速的市场反应机制为公司积累了众多大客户的信任，也为公司在国内外市场树立了良好的形象并赢得了重要的行业地位。公司申请专利近 300 项，负责和参加起草制订分析方法国家标准、行业标准 60 余项。

本文件主要起草人有：于鹏、陈彦彬、刘亚飞、王玉娇、李旭、明帮来、刘玮、张勤才、田桂英、逢搏、吴珊珊等。

各起草人在本文件编制过程中的工作职责见表 1 所示：

表 1 各起草人及其工作职责

起草人姓名	工作职责
于鹏、陈彦彬、刘亚飞	样品收集、起草试验研究，数据处理；标准文本、试验报告和编制说明的撰写
王玉娇、李旭、明帮来、刘玮	试验方案和试验条件的验证；提供高温电化学性能测试数据；对标准文本提出修改意见
张勤才、田桂英、逢搏、吴珊珊等	提供高温电化学性能测试数据；对标准文本提出修改意见

1.3 主要工作过程

北京当升材料科技股份有限公司在接到本文件制订任务后，立即组织骨干人员成立了标准编制组，制定了该标准的研究内容、技术路线、任务分工和进度安排。主要工作过程经历以下阶段：

1.3.1 立项阶段

2019 年 11 月，北京当升材料科技股份有限公司向全国有色金属标准化技术委员会粉末

冶金分会(SAC/TC243/SC4)提交国家标准《锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法》项目建议书。

2021年4月30日，国家标准化管理委员会印发《关于下达2021年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》(国标委发〔2021〕12号)，国家标准《锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法》立项成功。

1.3.2 起草阶段

2021年7月21日~23日，全国有色金属标准化技术委员会在内蒙古自治区呼和浩特市召开了《钨精矿化学分析方法》等37项稀有金属、粉末冶金标准工作会议，对《锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法》等17项粉末冶金标准进行了审定、预审、讨论和任务落实。来自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、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、北京泰丰先行新能源科技有限公司、天津市捷威动力工业有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、湖南长远锂科股份有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美(无锡)能源材料有限公司、广西分析测试研究中心等单位参加了会议。会上对《锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法》标准进行了任务落实。确定由北京当升材料科技股份有限公司全面负责起草工作，同时确定了样品提供单位、制订计划、时间节点等事项，并形成了任务落实会的会议纪要。

2021年8月，北京当升材料科技股份有限公司接受任务后，成立了标准编制工作组。工作组广泛收集了不同类型锂离子电池正极材料高温电化学性能测试参数；收集了各同行及上下游的正极材料高温电化学性能测试方法。工作组中的分析测试工作人员根据锂离子电池正极材料高温电化学性能原理，对上述资料整合汇总后，形成了标准草案。

2021年9月至2021年12月，北京当升材料科技股份有限公司联合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、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等公司开展试验样品的准备和收集，作为标准试验研究的统一样品。

2022年1月至2月，北京当升材料科技股份有限公司标准工作组结合北京当升材料科技股份有限公司在正极材料产品研发、生产、测试、客户使用反馈等广泛信息，编制了《锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法》标准文本、试验报告及标准编制说明，形成讨论稿。

2022年5月10日，全国有色金属标准化技术委员会组织召开了标准制修订线上工作会，会上对《锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法》进行了讨论。来自

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、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、宁波容百新能源科技股份有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、湖南长远锂科股份有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、广西分析测试研究中心等单位的代表参加了会议。会上详细讨论并确定了本文件的主要技术内容，同时确定了试验验证计划、时间节点等事项，并形成了讨论会的会议纪要。

2022年3月~6月，本编制组将修改后的标准讨论稿、试验报告连同统一样品寄送给验证单位，开展验证试验。

2022年7月，共收到10家验证单位发来的验证报告和反馈意见，对试验数据进行了汇总、统计和分析，完善标准和编制说明，形成了征求意见稿。

1.3.3 征求意见阶段

20XX年X月XX日~XX日，全国有色金属标准化技术委员会在。

1.3.4 审查阶段

20XX年X月XX日~XX日，全国有色金属标准化技术委员会在。

二、标准编制原则

2.1 符合性

本文件严格按照 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》的要求进行编制。

2.2 适用性和先进性

国务院办公厅2020年11月印发《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》[国办发〔2020〕39号]，其中明确提出提高技术创新能力，建设技术创新平台，建立相关的标准体系。

本文件的制定符合国家政策法规导向，符合目前锂离子电池正极材料的生产和用户需求。本文件的规定内容遵循充分满足市场需求、指导生产的原则。通过标准的实施，能够让锂离子电池正极材料的高温电化学性能测试得到更统一的标准，提高锂离子电池正极材料的生产和研发技术水平，促进相关测试技术的进步，为国内相关产业提供技术指导，促进锂离子电池正极材料行业的不断健康稳定发展。

本文件结合锂离子电池正极材料生产和使用的实际需求，确定了相关测定范围和测定方法，提高了本文件的适用性。通过充分调研，采用操作简便、准确性好、在行业内普及的分析方法，能很好地满足行业对锂离子电池正极材料高温电化学性能测试需求，提高了

本文件的先进性和可操作性。

三、确定标准主要内容的依据

本文件是首次制定，并且是在充分调研了锂离子电池正极材料生产和应用的实际情况以及相关标准、文献的基础上完成的。

3.1 测定方法的确定

本文件适用于锂离子电池正极材料高温电化学性能的测定。本文件的测定范围是在充分考虑和调研业内锂离子电池正极材料高温电化学性能指标基础上制定的，基本覆盖产品标准中的规定范围。目前业内主要通过制备软包电池评价锂离子电池高温电化学性能，但是软包电池制作数量较少，制备效率较低，因此扣式半电池常作为快速评价手段。高温电化学性能测试通常为高温存储测试和高温循环测试，其中高温存储测试是将锂离子电池充满电后放置到一定高温的环境中进行存储，然后测试其存储前后的电池电压衰减率、电池厚度或体积增加率、内阻升高率、容量保持率、容量恢复率，业内普遍选择测试温度为60℃；高温循环测试是将锂离子电池放置到一定高温的环境中进行循环充放电测试，然后测试循环到一定容量保持率的循环次数，业内普遍选择测试温度为45℃。其中电压和内阻可以通过电压测试仪和内阻测试仪来测试，电池厚度或体积可以通过测厚仪或电子固体密度计等进行测量，电池的容量可以通过锂离子电池电化学性能测试仪进行测量，测试设备具有较好的通用性。

3.2 标准主要内容说明

本文件正文部分分为分为8章，其中第1、2、3、4章为规范性一般要素，包括范围、规范性引用文件、术语定义和符号，第5、6、7、8章为规范性技术要素。

第1章 范围：本文件规定了锂离子电池正极材料高温电化学性能的测试方法，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的测试。

第2章 规范性引用文件：本文件中引用了 GB/T 2900.11-2008 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中规定的内容。

第3章 术语、定义：GB/T 2900.1-2008、GB/T 20252-2014、GB/T 31484-2015 中界定的以及以下术语、定义适用于本文件。充放电(Charge and discharge)以规定的电流充电至规

定的限制电压，再恒压充电至规定的终止电流；搁置规定的时间后，以规定的电流放电至规定的终止电压的过程。

第4章 符号：规定了倍率电流的符号以及意义。

第5章 扣式电池高温性能测试方法：原料或试剂，所述试剂或材料按照其在本文件中出现的先后顺序列出，便于前后检索对照。对于试剂或材料只给出了潜在影响实际试验效果的关键参数的要求，建议使用商品化专用试剂，对于可商品化采购的标准件，不再阐述各个部件的具体细节及参数；仪器设备中规定了本章节需要用到的各种仪器设备清单，所述设备按照其在本文件中出现的先后顺序列出，便于前后对照。本章中只规定和列出了潜在影响实际试验效果的关键必备设备及其具体参数的要求，对于试验台、口罩、手套等与试验开展相关且必须的共性要求不再列出；试验步骤中规定了本文件中试验电池的制备及测试要求，是本文件中核心章节，本章节主要按照操作程序的方式进行编写，重点关注试验步骤的科学性、规范性、可操作性，主要包含了扣式电池制作的正极制浆、涂布、极片烘烤、辊压、裁片、称量、烘烤、组装等过程，对于可变动参数范围本章节以给出范围和规定过程要求进行处理；试验数据处理中给出了高温存储容量保持率、高温存储容量恢复率和高温循环容量保持率的计算公式和单位要求。

第6章 软包电池高温性能测试方法：原料或试剂中将所述试剂或材料按照其在本文件中出现的先后顺序列出，便于前后检索对照。对于试剂或材料只给出了潜在影响实际试验效果的关键参数的要求，建议使用商品化专用试剂，对于可商品化采购的标准件，不再阐述各个部件的具体细节及参数；仪器设备中规定了本章节需要用到的各种仪器设备清单，所述设备按照其在本文件中出现的先后顺序列出，便于前后对照。本章中只规定和列出了潜在影响实际试验效果的关键必备设备及其具体参数的要求，对于试验台、口罩、手套等与试验开展相关且必须的共性要求不再列出；试验步骤中规定了本文件中试验电池的制备及测试要求，是本文件中核心章节，本章节主要按照操作程序的方式进行编写，主要包含了软包电池制作的正极和负极制浆、涂布、裁切制极片、辊压、极耳焊接、卷绕、封口、烘烤、注液、化成等过程，对于可变动参数范围本章节以给出范围和规定过程要求进行处理；试验数据处理中给出了高温存储容量保持率、高温存储容量恢复率和高温循环容量保持率的计算公式和单位要求。

第7章 测试允许差：根据扣式半电池高温电化学性能的测试结果精密度以及重复性和再现性分析，规定了扣式半电池和软包全电池高温电化学性能测试允许差。

第8章 实验报告：规定了报告所包含的必备要求内容，包括样品名称、批次、检测结果、检测日期、本文件没有规定的各种操作、可能影响检测结果的情况及本文件的编号。

3.3 锂离子电池正极材料高温电化学性能的验证

3.3.1 试样的选择

主流锂离子电池正极材料从结构上主要分为层状结构正极材料、尖晶石结构正极材料、橄榄石结构正极材料，结合锂离子电池正极材料近年来的发展，分别选取了各种结构中具有代表性的正极材料进行标准测试。其中层状结构材料选取 4.4V 能量型钴酸锂材料、4.4V 倍率型钴酸锂材料、团聚型镍钴锰 811 材料、单晶型镍钴锰 622 材料、镍钴铝材料、富锂锰基材料为代表；尖晶石结构材料选取锰酸锂材料为代表；橄榄石结构材料选取磷酸铁锂材料为代表。上述种类的正极材料在数码、电动工具、电动汽车、储能等领域应用广泛，具有较典型代表性，分别由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、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提供。

3.3.2 主要指标测试方法的选择

目前锂离子电池正极材料电化学性能测试主要通过半电池和全电池进行测试，其中半电池通常以正极材料作为活性物质制备成的正极片与锂片对位构成；全电池主要分为圆柱电池、方形电池、软包电池，其中软包电池因其具有制作流程简便、测试稳定性较高而普遍用于正极材料评测。主要指标的测试方法基于锂离子电池正极材料电化学性能测试 高温性能测试方法征求意见稿。其中第 5 章为扣式电池高温性能测试方法，主要包括试剂和原料、仪器和设备、扣式半电池制作步骤、扣式半电池测试、扣式半电池的数据处理；第 6 章为软包电池高温性能测试方法，主要包括试剂和原料、仪器和设备、软包全电池制作步骤、软包全电池的测试、软包全电池的数据处理。

3.3.3 本标准测试方法适用范围说明

本文件规定了锂离子电池正极材料高温电化学性能的测试方法。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的测试。

本标准的结构编排、规范性技术要素的选取、测试方法科学性、测试方法全面性、可操作性较好，同时与其它同类标准的规范性技术要素的兼容性等方面具备较高的协调性和可拓展使用性。但是因不同正极材料因其粒度、比表面积、残余碱量等理化性质和容量、循环等电化学特性有较大差异，同时因电池工艺比如配方、面密度、压实密度、负极、电解液等匹配性对测试有较大影响，因而目前不存在统一的电化学测试方法能适配所有的正极材料，甚至同一类型正极材料对电池工艺也存在匹配性问题。本标准在综合考虑各种正极材料工艺匹配性的基础上，给出了具有普遍适应性的参数范围，使用本标准的工艺参数能够正常测试锂离子电池正极材料高温电化学性能，但是由于各单位的人员熟练度水平、

使用辅材的差异、设备的差异、制程环境控制等因素对电池评测结果影响较大，造成不同单位的测试结果之间可能存在一定差异。

3.3.4 试验验证情况

针对本标准测试方法验证工作，北京当升材料科技股份有限公司共发送8种不同正极材料样品16组至各参与单位，各参与单位分别进行不同正极材料的扣式半电池和软包全电池高温电化学性能测试方法的验证工作，验证电池制备过程中本文件各主要工艺参数的合理性，以及测试方法的重复性和再现性。目前，已收到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、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、天津市捷威动力工业有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、湖南长远锂科股份有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司反馈的测试报告以及各单位提出的测试分析方法、方案修正建议。

3.3.5 扣式半电池高温性能测试方法验证

4.4V 能量型钴酸锂的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表3-1、表3-2、表3-3所示：

表3-1 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	96:2:2	66.9%	161.9	3.99
b	95:2:3	60.0%	172.0	4.10
d	94:3:3	54.0%	137.5	4.00
k	93:3:4	64.0%	104.0	3.41
m	95:2.5:2.5	35.0%	250.0	3.90

表3-2 扣式电池高温存储性能精密度数据（60℃/7天存储）

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	14.9	14.7	14.2	14.6	0.33	2.24%
高温存储容量保持率(%)	86.4%	86.9%	87.1%	86.8%	0.35%	0.41%
高温存储容量恢复率(%)	95.4%	95.7%	95.8%	95.7%	0.22%	0.23%
验证单位	b					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	19.9	20.3	19.5	19.9	0.39	1.94%
高温存储容量保持率(%)	86.8%	86.8%	86.1%	86.6%	0.43%	0.50%
高温存储容量恢复率(%)	92.6%	92.9%	92.9%	92.8%	0.19%	0.20%

d						
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	18.3	30.8	32.4	27.2	7.70	28.33%
高温存储容量保持率(%)	87.5%	79.5%	79.0%	82.0%	4.72%	5.76%
高温存储容量恢复率(%)	101.7%	100.4%	101.3%	101.1%	0.64%	0.63%
k						
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	28.2	35.1	36.2	33.2	4.35	13.13%
高温存储容量保持率(%)	77.9%	73.6%	73.8%	75.1%	2.46%	3.27%
高温存储容量恢复率(%)	92.3%	91.7%	92.2%	92.0%	0.30%	0.33%
m						
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	40.0	44.3	38.6	41.0	2.97	7.26%
高温存储容量保持率(%)	69.4%	66.2%	72.8%	69.5%	3.30%	4.75%
高温存储容量恢复率(%)	98.0%	98.0%	99.5%	98.5%	0.86%	0.87%

3-3 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45°C循环)

a						
验证单位	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	179.3	179.6	179.3	179.4	0.16	0.09%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	176.0	176.0	175.9	176.0	0.04	0.02%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	174.9	174.9	174.6	174.8	0.20	0.11%
高温循环第50周保持率(%)	98.1%	98.0%	98.1%	98.1%	0.07%	0.07%
高温循环第80周保持率(%)	97.5%	97.4%	97.4%	97.4%	0.09%	0.09%
b						
验证单位	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	179.5	178.7	179.6	179.3	0.49	0.28%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	171.7	169.3	171.2	170.7	1.27	0.74%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	166.1	165.2	165.0	165.4	0.59	0.35%
高温循环第50周保持率(%)	95.7%	94.7%	95.3%	95.2%	0.46%	0.49%
高温循环第80周保持率(%)	92.5%	92.4%	91.9%	92.3%	0.36%	0.39%
d						
验证单位	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	179.9	179.6	179.1	179.5	0.40	0.23%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	176.3	176.2	173.5	175.3	1.59	0.91%

80周克容量(mAh/g)	169.6	168.7	159.3	165.9	5.70	3.44%
高温循环第50周保持率(%)	98.0%	98.1%	96.9%	97.7%	0.68%	0.70%
高温循环第80周保持率(%)	94.3%	93.9%	88.9%	92.4%	2.98%	3.23%
验证单位	k					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	179.4	180.4	179.8	179.9	0.50	0.28%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	174.5	175.1	174.7	174.8	0.31	0.17%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	171.1	171.1	170.8	171.0	0.17	0.10%
高温循环第50周保持率(%)	97.3%	97.1%	97.2%	97.2%	0.10%	0.11%
高温循环第80周保持率(%)	95.4%	94.8%	95.0%	95.1%	0.27%	0.29%
验证单位	m					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	181.1	181.8	181.8	181.6	0.40	0.22%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	135.0	144.9	146.2	142.0	6.13	4.31%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	163.3	161.7	161.5	162.2	0.99	0.61%
高温循环第50周保持率(%)	74.5%	79.7%	80.4%	78.2%	3.20%	4.10%
高温循环第80周保持率(%)	90.2%	88.9%	88.8%	89.3%	0.74%	0.83%

4.4V 倍率型钴酸锂的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表 3-4、表 3-5、表 3-6 所示：

3-4 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	94:3:3	51.0%	112.0	3.42
d	94:3:3	54.0%	134.7	3.50
j	90:5:5	43.0%	92.0	3.83
k	93:3:4	64.0%	113.5	3.33
m	95:2.5:2.5	35.0%	148.0	3.50

表 3-5 扣式电池高温存储性能精密度数据 (60°C/7 天存储)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	17.0	14.7	15.0	15.6	1.22	7.86%
高温存储容量保持率(%)	82.0%	84.5%	82.9%	83.1%	1.28%	1.54%
高温存储容量恢复率(%)	93.6%	94.2%	93.7%	93.8%	0.34%	0.36%
验证单位	d					

电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	23.0	18.4	42.0	27.8	12.49	44.97%
高温存储容量保持率(%)	81.5%	83.8%	67.5%	77.6%	8.81%	11.35%
高温存储容量恢复率(%)	97.2%	96.2%	95.9%	96.4%	0.69%	0.72%
验证单位	j					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	14.3	14.3	14.3	14.3	0.00	0.00%
高温存储容量保持率(%)	85.0%	85.9%	85.5%	85.4%	0.43%	0.50%
高温存储容量恢复率(%)	95.8%	95.6%	96.2%	95.9%	0.28%	0.29%
验证单位	k					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	32.4	30.4	33.0	31.9	1.35	4.22%
高温存储容量保持率(%)	42.6%	40.8%	34.6%	39.3%	4.16%	10.58%
高温存储容量恢复率(%)	59.7%	59.8%	59.2%	59.6%	0.30%	0.50%
验证单位	m					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	34.3	28.6	34.3	32.4	3.30	10.19%
高温存储容量保持率(%)	71.9%	74.0%	70.6%	72.1%	1.70%	2.36%
高温存储容量恢复率(%)	95.0%	95.7%	94.4%	95.1%	0.66%	0.69%

3-6 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45℃循环)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	173.7	173.4	173.8	173.7	0.20	0.11%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	168.2	167.8	168.4	168.1	0.32	0.19%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	167.3	167.0	167.1	167.2	0.15	0.09%
高温循环第50周保持率(%)	96.9%	96.7%	96.9%	96.8%	0.07%	0.08%
高温循环第80周保持率(%)	96.3%	96.3%	96.2%	96.3%	0.10%	0.10%
验证单位	d					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	177.5	177.1	176.5	177.0	0.50	0.28%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	170.2	170.0	169.6	169.9	0.31	0.18%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	162.2	161.7	160.0	161.3	1.15	0.71%
高温循环第50周保持率(%)	95.9%	96.0%	96.1%	96.0%	0.10%	0.11%
高温循环第80周保持率(%)	91.4%	91.3%	90.7%	91.1%	0.40%	0.44%

		j				
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	175.4	175.7	175.4	175.5	0.13	0.07%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	160.4	160.4	160.1	160.3	0.19	0.12%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	155.6	155.7	155.1	155.5	0.31	0.20%
高温循环第 50 周保持率(%)	91.4%	91.3%	91.3%	91.3%	0.09%	0.10%
高温循环第 80 周保持率(%)	88.7%	88.7%	88.4%	88.6%	0.14%	0.16%
验证单位		k				
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	175.1	176.5	176.8	176.1	0.91	0.52%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	157.6	157.7	158.6	158.0	0.55	0.35%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	148.2	148.9	149.4	148.8	0.60	0.40%
高温循环第 50 周保持率(%)	90.0%	89.3%	89.7%	89.7%	0.33%	0.37%
高温循环第 80 周保持率(%)	84.6%	84.4%	84.5%	84.5%	0.14%	0.16%
验证单位		m				
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	175.8	175.5	175.3	175.5	0.25	0.14%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	135.0	144.9	146.5	142.1	6.23	4.38%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	142.5	148.6	151.7	147.6	4.68	3.17%
高温循环第 50 周保持率(%)	76.8%	82.6%	83.6%	81.0%	3.66%	4.52%
高温循环第 80 周保持率(%)	81.1%	84.7%	86.5%	84.1%	2.79%	3.31%

团聚型 NCM811 材料的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表 3-7、表 3-8、表 3-9 所示：

3-7 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	95:2.5:2.5	62.5%	158.7	3.28
d	94:3:3	60.0%	160.7	3.20
e	92:4:4	44.6%	93.4	2.54
g	96:2:2	43.9%	100.0	3.60
h	95:2.5:2.5	54.8%	90.0	3.57

表 3-8 扣式电池高温存储性能精密度数据 (60°C/7 天存储)

验证单位		a				
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD

(mV/天)	12.9	12.9	12.6	12.8	0.15	1.16%
高温存储容量保持率(%)	93.5%	93.3%	93.5%	93.4%	0.13%	0.14%
高温存储容量恢复率(%)	98.6%	98.2%	98.0%	98.3%	0.28%	0.28%
验证单位	d					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	12.5	12.8	12.7	12.7	0.13	1.05%
高温存储容量保持率(%)	94.1%	93.9%	93.6%	93.9%	0.26%	0.27%
高温存储容量恢复率(%)	99.5%	99.6%	99.8%	99.6%	0.19%	0.19%
验证单位	g					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	/	/	/	/	/	/
高温存储容量保持率(%)	85.6%	79.8%	86.5%	84.0%	3.66%	4.36%
高温存储容量恢复率(%)	94.5%	93.5%	94.7%	94.2%	0.66%	0.71%
验证单位	h					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	189.5	182.4	179.3	183.7	5.19	2.83%
高温存储容量保持率(%)	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.01%	4.19%
高温存储容量恢复率(%)	96.4%	96.3%	96.2%	96.3%	0.09%	0.09%

3-9 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45℃循环)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	207.0	206.7	207.3	207.0	0.32	0.16%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	198.6	200.0	199.5	199.3	0.72	0.36%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	194.2	195.7	195.4	195.1	0.77	0.40%
高温循环第50周保持率(%)	95.9%	96.8%	96.2%	96.3%	0.43%	0.45%
高温循环第80周保持率(%)	93.8%	94.7%	94.3%	94.3%	0.43%	0.46%
验证单位	d					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第1周克容量(mAh/g)	205.2	206.3	205.5	205.7	0.57	0.28%
高温循环第50周克容量(mAh/g)	200.4	201.7	200.9	201.0	0.66	0.33%
高温循环第80周克容量(mAh/g)	171.0	185.8	186.1	181.0	8.63	4.77%
高温循环第50周保持率(%)	97.7%	97.8%	97.8%	97.7%	0.06%	0.06%
高温循环第80周保持率(%)	83.3%	90.1%	90.6%	88.0%	4.04%	4.59%
验证单位	e					

电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	202.8	203.8	203.8	203.4	0.55	0.27%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	190.5	192.7	191.3	191.5	1.10	0.57%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	175.7	177.2	176.3	176.4	0.78	0.44%
高温循环第 50 周保持率(%)	93.9%	94.5%	93.9%	94.1%	0.37%	0.40%
高温循环第 80 周保持率(%)	86.6%	87.0%	86.5%	86.7%	0.24%	0.28%
验证单位	g					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	207.4	208.3	206.2	207.3	1.07	0.52%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	192.1	189.9	191.3	191.1	1.09	0.57%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	176.1	171.1	175.3	174.2	2.71	1.56%
高温循环第 50 周保持率(%)	92.6%	91.2%	92.8%	92.2%	0.89%	0.97%
高温循环第 80 周保持率(%)	84.9%	82.1%	85.0%	84.0%	1.65%	1.97%
验证单位	h					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	209.9	204.6	209.0	207.8	2.84	1.36%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	201.7	195.8	195.1	197.5	3.63	1.84%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	194.3	187.3	183.7	188.4	5.39	2.86%
高温循环第 50 周保持率(%)	96.1%	95.7%	93.3%	95.0%	1.48%	1.56%
高温循环第 80 周保持率(%)	92.6%	91.5%	87.9%	90.7%	2.46%	2.71%

单晶型 NCM622 材料的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表 3-10、表 3-11、表 3-12 所示：

3-10 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	95:3:2	61.3%	157.7	3.51
e	90:5:5	42.1%	88.5	3.44
h	95:2.5:2.5	54.8%	110.0	3.57

表 3-11 扣式电池高温存储性能精密度数据 (60°C/7 天存储)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	15.8	15.8	15.5	15.7	0.18	1.16%
高温存储容量保持率(%)	91.5%	91.4%	91.8%	91.6%	0.18%	0.19%
高温存储容量恢复率(%)	98.4%	98.4%	98.5%	98.4%	0.03%	0.04%

验证单位	h					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	196.9	326.6	201.5	241.7	73.62	30.46%
高温存储容量保持率(%)	0.3%	0.2%	0.1%	0.2%	0.08%	36.13%
高温存储容量恢复率(%)	95.0%	95.6%	95.1%	95.2%	0.35%	0.36%

表 3-12 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45℃循环)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	192.6	195.0	194.5	194.0	1.28	0.66%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	186.5	189.3	188.5	188.1	1.44	0.76%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	184.3	187.3	185.5	185.7	1.52	0.82%
高温循环第 50 周保持率(%)	96.9%	97.1%	96.9%	97.0%	0.12%	0.13%
高温循环第 80 周保持率(%)	95.7%	96.1%	95.4%	95.7%	0.34%	0.36%
验证单位	e					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	195.3	195.0	194.2	194.8	0.59	0.30%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	169.1	169.9	179.3	172.8	5.67	3.28%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	110.1	114.6	113.5	112.7	2.33	2.07%
高温循环第 50 周保持率(%)	86.6%	87.2%	92.3%	88.7%	3.18%	3.58%
高温循环第 80 周保持率(%)	56.4%	58.8%	58.4%	57.8%	1.30%	2.25%
验证单位	h					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	193.5	194.2	194.5	194.1	0.51	0.26%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	188.1	188.6	187.0	187.9	0.82	0.44%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	184.2	183.2	182.1	183.2	1.05	0.57%
高温循环第 50 周保持率(%)	97.2%	97.1%	96.1%	96.8%	0.59%	0.61%
高温循环第 80 周保持率(%)	95.2%	94.3%	93.6%	94.4%	0.79%	0.83%

NCA 材料的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表 3-13、表 3-14、表 3-15 所示：

表 3-13 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	95:2.5:2.5	63.8%	169.6	3.52
b	95:2.5:2.5	65.5%	117.0	3.20

h	95:2.5:2.5	54.8%	110.0	3.51
m	95:2.5:2.5	35.0%	147.0	3.50

表 3-14 扣式电池高温存储性能精密度数据 (60°C/7 天存储)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	13.8	13.7	13.9	13.8	0.09	0.65%
高温存储容量保持率(%)	92.4%	92.5%	92.6%	92.5%	0.13%	0.14%
高温存储容量恢复率(%)	97.4%	96.9%	97.0%	97.1%	0.24%	0.24%
验证单位	b					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	13.8	14.4	14.2	14.1	0.30	2.09%
高温存储容量保持率(%)	93.0%	92.4%	92.4%	92.6%	0.36%	0.39%
高温存储容量恢复率(%)	97.7%	97.7%	97.4%	97.6%	0.19%	0.20%
验证单位	h					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	178.9	193.0	178.3	183.4	8.30	4.53%
高温存储容量保持率(%)	0.3%	0.2%	0.3%	0.3%	0.03%	10.01%
高温存储容量恢复率(%)	95.9%	94.5%	95.7%	95.4%	0.80%	0.83%
验证单位	m					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	30.0	25.7	35.7	30.5	5.02	16.46%
高温存储容量保持率(%)	68.4%	72.8%	62.8%	68.0%	5.03%	7.40%
高温存储容量恢复率(%)	98.3%	98.4%	98.7%	98.4%	0.19%	0.19%

表 3-15 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45°C循环)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	214.0	214.7	213.9	214.2	0.42	0.20%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	195.8	197.0	196.1	196.3	0.59	0.30%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	188.5	189.8	188.4	188.9	0.78	0.42%
高温循环第 50 周保持率(%)	91.5%	91.7%	91.7%	91.6%	0.13%	0.14%
高温循环第 80 周保持率(%)	88.1%	88.4%	88.1%	88.2%	0.19%	0.22%
验证单位	b					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD

高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	211.8	211.0	210.9	211.2	0.49	0.23%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	192.0	189.7	189.6	190.4	1.36	0.71%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	92.0	94.7	89.3	92.0	2.70	2.93%
高温循环第 50 周保持率(%)	90.7%	89.9%	89.9%	90.2%	0.43%	0.48%
高温循环第 80 周保持率(%)	43.4%	44.9%	42.3%	43.6%	1.27%	2.92%
验证单位	h					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	213.3	212.8	214.1	213.4	0.66	0.31%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	194.4	197.5	198.2	196.7	2.02	1.03%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	178.5	179.6	180.3	179.5	0.91	0.51%
高温循环第 50 周保持率(%)	91.1%	92.8%	92.6%	92.2%	0.90%	0.98%
高温循环第 80 周保持率(%)	83.7%	84.4%	84.2%	84.1%	0.37%	0.44%
验证单位	m					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	210.7	211.0	211.6	211.1	0.46	0.22%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	165.6	138.8	134.9	146.4	16.71	11.41%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	173.5	151.3	122.4	149.1	25.62	17.19%
高温循环第 50 周保持率(%)	78.6%	65.8%	63.8%	69.4%	8.05%	11.60%
高温循环第 80 周保持率(%)	82.3%	71.7%	57.8%	70.6%	12.29%	17.39%

磷酸铁锂材料的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表 3-16、表 3-17、表 3-18 所示：

表 3-16 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	96.5:1.5:2	52.4%	106.7	2.43
c	90:5:5	47.0%	90.0	2.20
e	90:5:5	35.9%	69.8	2.18
g	96:2:2	43.9%	100.0	2.50
j	90:5:5	43.0%	84.0	2.40

表 3-17 扣式电池高温存储性能精密度数据 (60℃/7 天存储)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	65.5	65.5	65.8	65.6	0.16	0.25%
高温存储容量保持率(%)	99.9%	99.9%	100.0%	99.9%	0.06%	0.06%

高温存储容量恢复率(%)	101.4%	101.6%	101.7%	101.6%	0.15%	0.15%
验证单位	c					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	58.8	58.3	58.6	58.6	0.21	0.37%
高温存储容量保持率(%)	97.6%	96.8%	95.2%	96.6%	1.23%	1.28%
高温存储容量恢复率(%)	101.5%	101.3%	99.7%	100.8%	0.98%	0.97%
验证单位	g					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)						
高温存储容量保持率(%)	97.0%	96.3%	96.3%	96.6%	0.38%	0.39%
高温存储容量恢复率(%)	99.9%	99.5%	100.1%	99.8%	0.31%	0.31%
验证单位	j					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	17.1	15.7	15.7	16.2	0.82	5.09%
高温存储容量保持率(%)	75.3%	76.3%	78.0%	76.6%	1.35%	1.76%
高温存储容量恢复率(%)	102.7%	103.2%	103.4%	103.1%	0.36%	0.35%

表 3-18 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45℃循环)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	158.5	158.5	157.6	158.2	0.51	0.32%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	158.6	158.5	157.8	158.3	0.40	0.25%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	157.0	157.0	157.2	157.1	0.13	0.08%
高温循环第 50 周保持率(%)	100.0%	100.0%	100.1%	100.1%	0.07%	0.07%
高温循环第 80 周保持率(%)	99.0%	99.1%	99.7%	99.3%	0.40%	0.41%
验证单位	c					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	156.6	155.1	154.5	155.4	1.12	0.72%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	80.9	33.6	13.8	42.8	34.45	80.55%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	15.3	14.9	14.4	14.9	0.47	3.18%
高温循环第 50 周保持率(%)	51.6%	21.6%	9.0%	27.4%	21.91%	79.93%
高温循环第 80 周保持率(%)	9.8%	9.6%	9.3%	9.6%	0.24%	2.52%
验证单位	e					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	154.6	154.5	154.4	154.5	0.08	0.05%

高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	156.6	156.8	156.7	156.7	0.09	0.06%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	121.7	124.7	121.9	122.7	1.68	1.37%
高温循环第 50 周保持率(%)	101.3%	101.5%	101.4%	101.4%	0.08%	0.08%
高温循环第 80 周保持率(%)	78.7%	80.7%	78.9%	79.4%	1.08%	1.37%
验证单位	g					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	158.5	158.8	159.2	158.8	0.39	0.24%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	157.2	157.8	158.0	157.7	0.40	0.26%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	156.6	157.1	157.3	157.0	0.34	0.22%
高温循环第 50 周保持率(%)	99.2%	99.4%	99.2%	99.3%	0.10%	0.10%
高温循环第 80 周保持率(%)	98.9%	98.9%	98.8%	98.9%	0.06%	0.06%
验证单位	j					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	155.7	156.0	155.1	155.6	0.43	0.28%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	159.0	158.9	158.3	158.7	0.40	0.25%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	155.6	156.2	156.0	155.9	0.33	0.21%
高温循环第 50 周保持率(%)	102.1%	101.9%	102.0%	102.0%	0.12%	0.12%
高温循环第 80 周保持率(%)	99.9%	100.2%	100.6%	100.2%	0.32%	0.32%

锰酸锂材料的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表 3-19、表 3-20、表 3-21 所示：

表 3-19 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	95:2.5:2.5	57.7%	135.4	2.89
b	92:5:3	51.4%	73.0	2.60
c	90:5:5	47.0%	100.0	3.00
k	92.5:4:3.5	59.0%	89.0	2.70

表 3-20 扣式电池高温存储性能精密度数据 (60℃/7 天存储)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	21.9	21.5	21.9	21.8	0.21	0.97%
高温存储容量保持率(%)	89.5%	90.1%	90.2%	89.9%	0.37%	0.41%
高温存储容量恢复率(%)	95.3%	95.6%	95.6%	95.5%	0.18%	0.18%
验证单位	b					

测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	23.3	22.9	23.2	23.1	0.19	0.84%
高温存储容量保持率(%)	84.4%	85.8%	85.2%	85.2%	0.72%	0.84%
高温存储容量恢复率(%)	92.8%	93.1%	92.1%	92.7%	0.54%	0.59%
验证单位	c					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	23.7	23.8	22.9	23.5	0.47	1.98%
高温存储容量保持率(%)	81.7%	80.8%	80.8%	81.1%	0.53%	0.65%
高温存储容量恢复率(%)	93.7%	91.5%	91.3%	92.2%	1.34%	1.45%
验证单位	k					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	27.5	25.9	25.7	26.4	0.99	3.75%
高温存储容量保持率(%)	30.4%	43.1%	40.9%	38.1%	6.78%	17.77%
高温存储容量恢复率(%)	79.3%	80.2%	81.2%	80.2%	0.94%	1.17%

表 3-21 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45°C 循环)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	119.1	119.0	119.4	119.2	0.25	0.21%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	98.9	98.4	98.3	98.5	0.34	0.34%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	92.6	92.2	91.9	92.2	0.34	0.37%
高温循环第 50 周保持率(%)	83.1%	82.7%	82.3%	82.7%	0.40%	0.48%
高温循环第 80 周保持率(%)	77.8%	77.5%	76.9%	77.4%	0.41%	0.53%
验证单位	b					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	121.8	121.6	121.5	121.6	0.15	0.13%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	104.6	104.8	101.9	103.8	1.62	1.56%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	99.5	99.2	99.0	99.2	0.25	0.25%
高温循环第 50 周保持率(%)	85.9%	86.2%	83.9%	85.3%	1.26%	1.47%
高温循环第 80 周保持率(%)	81.7%	81.6%	81.5%	81.6%	0.10%	0.13%
验证单位	c					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	116.9	118.9	118.8	118.2	1.13	0.96%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	98.7	99.1	100.0	99.2	0.67	0.68%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	84.3	88.9	75.5	82.9	6.76	8.16%

高温循环第 50 周保持率 (%)	84.4%	83.3%	84.1%	83.9%	0.57%	0.68%
高温循环第 80 周保持率 (%)	72.1%	74.7%	63.6%	70.1%	5.81%	8.29%
验证单位	k					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	120.9	120.3	121.6	120.9	0.65	0.54%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	88.8	86.4	88.0	87.7	1.22	1.39%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	78.8	75.7	77.5	77.3	1.56	2.01%
高温循环第 50 周保持率 (%)	73.4%	71.8%	72.4%	72.5%	0.83%	1.14%
高温循环第 80 周保持率 (%)	65.2%	62.9%	63.7%	63.9%	1.14%	1.78%

富锂锰基材料的扣式电池工艺参数、高温存储性能精密度数据、高温循环性能精密度数据见表 3-22、表 3-23、表 3-24 所示：

表 3-22 扣式电池工艺参数表

验证单位	配方 (正极:导电剂:粘结剂)	固含量 %	面密度 g/m ²	压实密度 g/cm ³
a	95:2.5:2.5	59.7%	140.0	2.53
c	90:5:5	47.0%	109.0	3.00

表 3-23 扣式电池高温存储性能精密度数据 (60℃/7 天存储)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	46.1	46.0	46.3	46.2	0.16	0.34%
高温存储容量保持率 (%)	86.9%	86.3%	88.1%	87.1%	0.90%	1.03%
高温存储容量恢复率 (%)	99.1%	98.5%	100.0%	99.2%	0.76%	0.77%
验证单位	c					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温存储电压衰减率(mV/天)	57.0	60.8	59.7	59.1	1.96	3.31%
高温存储容量保持率 (%)	55.5%	53.8%	55.1%	54.8%	0.89%	1.63%
高温存储容量恢复率 (%)	71.0%	70.5%	69.7%	70.4%	0.62%	0.88%

表 3-24 扣式电池高温循环性能精密度数据 (45℃循环)

验证单位	a					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	200.6	199.7	198.5	199.6	1.08	0.54%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	178.9	179.8	179.9	179.5	0.56	0.31%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	167.8	169.2	169.2	168.7	0.80	0.47%
高温循环第 50 周保持率 (%)	89.2%	90.0%	90.6%	89.9%	0.75%	0.83%

高温循环第 80 周保持率 (%)	83.6%	84.7%	85.3%	84.5%	0.83%	0.98%
验证单位	c					
测试项目/电池编号	1	2	3	Ave.	STDEV	RSD
高温循环第 1 周克容量(mAh/g)	201.7	200.1	199.7	200.5	1.05	0.52%
高温循环第 50 周克容量(mAh/g)	8.8	10.2	8.1	9.0	1.09	12.09%
高温循环第 80 周克容量(mAh/g)	8.6	8.2	7.7	8.2	0.45	5.51%
高温循环第 50 周保持率 (%)	4.4%	5.1%	4.0%	4.5%	0.55%	12.14%
高温循环第 80 周保持率 (%)	4.3%	4.1%	3.9%	4.1%	0.20%	5.01%

以上扣式半电池高温电化学性能测试数据表中可以看出，各验证单位的制作参数基本符合该标准中的参数要求范围；高温存储和高温循环电化学性能测试在各单位实验室内部一致性较高；各单位间的精密度数据有差异，这是因为高温性能受不同实验室之间的辅助原材料、人员及操作过程、环境控制等关键因素影响较大。

表 3-25 是根据《GB-T 6379.2-2004 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第 2 部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法》，对不同水平测试量统计的扣式半电池柯克伦检验临界值。其中各项高温电化学性能测试的统计量 C 小于 5% 临界值为正常；统计量 C 大于 5% 临界值同时小于 1% 临界值为歧离值；统计量 C 大于 1% 临界值为离群值。标准规定如果最大标准差经检验判为离群值，应将该值剔除而对剩下的数据再次进行柯克伦检验。

表 3-25 扣式半电池柯克伦检验临界值

水平	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5	水平 6	水平 7
实验室数量 p	5	5	3	2	4	4	4
重复测试数 n	3	3	3	3	3	3	3
5% 临界值	0.684	0.684	0.875	0.975	0.768	0.768	0.768
1% 临界值	0.788	0.788	0.942	0.995	0.864	0.864	0.864

表 3-26 列出了扣式半电池高温存储电压衰减率的柯克伦检验异常统计数据，根据柯克伦检验临界值表判断，水平 2、水平 3、水平 6 均出现歧离值和离群值。将离群值剔除后，各水平测试无离群值，统计结果如表 3-27 所示。歧离值在数据分析中予以保留，说明本文件测试方法的重复性和再现性较好。

表 3-26 扣式半电池高温存储电压衰减率的柯克伦检验异常统计

水平	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5	水平 6	水平 7
smax	8.74E+01	1.71E+02	2.74E+01	/	9.42E+01	7.53E-01	1.28E+00

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/248123102077006035>