**行业标准《富锂镍酸锂》**

**编**

**制**

**说**

**明**

**（讨论稿）**

**湖南长远锂科新能源有限公司**

**2025年2月21日**

行业标准《富锂镍酸锂》

编制说明

一、工作简况

1.1任务来源与计划要求

1.1.1任务下达

根据工业和信息化部办公厅关于印发2024年第三批行业标准制修订计划的通知（工信厅科函【2024】317号），行业标准《富锂镍酸锂》由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口，项目计划编号：20240929T-YS，由湖南长远锂科新能源有限公司牵头起草，该标准计划完成年限2025年。

1.1.2项目编制组单位

标准编制组单位包括：湖南长远锂科新能源材料有限公司、金驰能源材料有限公司、深圳市德方创域新能源科技有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、淮安锦锂新材料有限公司、华友新能源科技（衢州）有限公司、广东邦普循环科技有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司等单位。

1.2 主要参加单位和工作成员及其所做工作

1.2.1 起草单位简介

湖南长远锂科新能源有限公司成立于2019年，是世界500强企业中国五矿集团有限公司旗下直管企业——五矿新能源材料（湖南）股份有限公司（简称：五矿新能，股票代码：688779）的全资子公司，注册资本100,000万元。公司专注于高效电池材料的研究与生产，主要产品包括多元正极材料、磷酸铁锂、钴酸锂等锂电正极材料，拥有多元锂电正极材料完整产品体系，在动力三元材料市场占有率行业领先。公司总部位于长沙高新开发区，下辖高新、麓谷两个生产基地，具备年产9万吨三元正极材料、6万吨磷酸铁锂材料产能。

公司投资近90亿元，在高新基地建设车用锂电池正极材料扩产项目。项目分两期建设，年产能4万吨的车用锂电池正极材料扩产一期项目于2021年底投产、2022年达产达效，获评中国有色金属工业协会“2022-2023年度第一批有色金属工业优质工程”；二期项目建有4万吨/年三元正极材料和6万吨/年磷酸铁锂正极材料生产线，2023年4月份全面建成投产。

1.2.2主要参编单位情况

湖南长远锂科新能源材料有限公司，作为标准牵头编制单位，负责组织开展标准的研制工作，包括前期调研、文献查询、框架内容调整、技术分析、样品收集和试验验证等工作。金驰能源材料有限公司、深圳市德方创域新能源科技有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、淮安锦锂新材料有限公司、华友新能源科技（衢州）有限公司、广东邦普循环科技有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司等单位均为富锂镍酸锂产品的生产、使用及研究企业，在标准编制过程中，积极参与标准的调研工作，为标准编制提供了大量的实测数据。同时，针对标准的讨论稿和征求意见稿提出修改意见，确保产品的指标能满足生产、使用要求，确保产品的检测方法能实际应用于企业。

1.2.3主要工作成员所负责的工作情况

本标准主要起草人及其工作职责见表1。

**表1 主要起草人及工作职责**

|  |  |
| --- | --- |
| 起草人 | 工作职责 |
|  | 负责标准的工作指导及组织协调，标准关键指标的把控 |
|  | 负责标准的调研、标准文本、标准编制说明的撰写，意见汇总处理，参加标准讨论和审定会议 |
|  | 负责产品指标及试验方法的把控，对讨论稿和征求意见稿提出修改意见 |

1.3主要工作过程

1.3.1立项阶段

2022年11月，湖南长远锂科新能源材料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）提交行业标准《富锂镍酸锂》项目建议书。

2024年9月2日，国家标准化管理委员会关于转发2024年第三批有色金属行业标准制（修）定项目计划及征集起草单位的通知，行业标准《富锂镍酸锂》正式立项。

1.3.2起草阶段

2024年9月至2024年10月，湖南长远锂科新能源材料有限公司、金驰能源材料有限公司、深圳市德方创域新能源科技有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、淮安锦锂新材料有限公司、华友新能源科技（衢州）有限公司、广东邦普循环科技有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司等单位，接到《富锂镍酸锂》起草编制工作任务后，成立了标准编制工作组，展开了标准讨论稿和编制说明的工作分配及实施工作计划等事项。本文件在起草过程中，标准编制工作组成员查阅了大量的国内外相关文献资料，收集、整理、对比分析了相关企业的技术资料，结合目前国内外富锂镍酸锂的生产和用户需求情况，形成了标准草案。本标准草案完成后，在标准编制工作组进行了多次交流，对本标准进行了认真的修改和完善，最后形成了该标准的讨论稿和编制说明。

2024年9月，为了确保制定的标准符合市场要求，对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、北京当升材料科技股份有限公司、华友新能源科技（衢州）有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、深圳市德方创域新能源科技有限公司、淮安锦锂新材料有限公司等单位以函件的形式进行了调研。

2024年9月至10月，标准编制工作组对产品的各项指标的调研数据进行汇总，结合产品特性，确定了各项产品指标的要求，形成标准的征求意见稿及编制说明。

1.3.3征求意见阶段

 2024年10月31日，全国有色金属标准化技术委员会将在江苏省南京市组织召开了有色标准工作会议，湖南长远锂科新能源材料有限公司、金驰能源材料有限公司、深圳市德方创域新能源科技有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、淮安锦锂新材料有限公司、华友新能源科技（衢州）有限公司、广东邦普循环科技有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司等单位会议对《富锂镍酸锂》进行了讨论。

同时，全国有色金属标准化技术委员会通过工作群、邮件向委员单位征求意见，并将征求意见资料在全国标准信息公共服务平台上挂网征集意见。征求意见的单位包括主要生产、经销、使用、科研、检验等单位及大专院校，征求意见单位广泛且具有代表性，征求意见时间大于2个月。

1.3.4审查阶段

2025年5月15日至16日，有色金属行业标准《富锂镍酸锂》审查会在全国有色金属标准化技术委员会主持下于山西省运城市召开。来自湖南长远锂科新能源材料有限公司、金驰能源材料有限公司、深圳市德方创域新能源科技有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、淮安锦锂新材料有限公司、华友新能源科技（衢州）有限公司、广东邦普循环科技有限公司、中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司等单位的代表对本标准进行了认真细致的审定并提出修改意见。

1.3.5报批阶段

……

二、 编制原则、主要内容及其确定依据

2.1 编制原则

1、本标准按照GB/T 1.1—2020的要求编写。

2、遵循科学性、先进性、统一性，以与实际相结合为原则，提高标准的可操作性。满足国内锂离子电池正极补锂添加剂材料的研究、生产和使用的需要为原则，提高标准的适用性。

3、对产品的化学成分、水分、外观、物理等指标进行了规定，保证了产品的质量。

4、对产品首次充放电比容量和首次放电比容量进行了规定，保证了产品的适用性。

5、规定了产品的试验方法、检验规则，避免了供需双方的冲突，促进了本行业健康发展。

2.2主要内容及其确定依据

2.2.1 范围

本文件规定了富锂镍酸锂的术语和定义、产品分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存、随行文件及订货单内容。

本文件适用于锂离子电池用正极补锂添加材料富锂镍酸锂。

2.2.2 产品分类

根据产品的补锂比容量分为LNO-I、LNO-II、LNO-III三类。

2.2.3 主要技术指标及确定依据

2.2.3.1 化学成分

表2为行业内富锂镍酸锂的研究、生产和使用的主要企业对主含量金属元素的调研情况。由表2可知，富锂镍酸锂中主含量金属元素镍、锂的含量高低不同，产品中除主元素镍和锂总含量存在较大差异外，还会引入钠、钙、锌、铜、铬、钾等杂质元素。表3为主要企业对杂质元素的调研情况。产品的化学成分应符合表4的规定。

**表2 富锂镍酸锂主要元素成分调研数据**

|  |  |
| --- | --- |
| 主元素 | 质量百分数（%） |
| Ni | Li |
| 调研单位 | A | 58.73 | 13.01 |
| B | 54.0-58.0 | 11.0-13.0 |
| 53.0-57.0 | 12.0-14.0 |
| C | 55.79 | 12.88 |
| D | 55.0-57.0 | 11.5-14.0 |
| 55.0-57.0 | 11.5-14.0 |
| 55.0-57.0 | 11.5-14.0 |
| E | 56.3±3.5 | 13.2±2.1 |
| F | 55~57 | 12~14 |

**表3 富锂镍酸锂产品中杂质元素成分调研数据**

|  |  |
| --- | --- |
| 杂质元素 | 质量百分数（%） |
| Pb | S | Na | K | Cr |
| 调研单位 | A | 0.000874 | 0.053860 | 0.002418 | 0.000000 | 0.000673 |
| B | ＜0.01 | ＜0.1 | ＜0.1 | ＜0.01 | ＜0.01 |
| ＜0.01 | ＜0.1 | ＜0.1 | ＜0.01 | ＜0.01 |
| C | ND | 0.0262 | ND | ND | 0.0059 |
| D | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 |
| ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 |
| ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.005 |
| E | ＜0.01% | ＜0.01% | ＜0.05% | ＜0.03% | ＜0.005% |
| F | ≤0.05 | ≤0.3 | ≤0.05 | ≤0.03 | ≤0.03 |

**表4 富锂镍酸锂产品的化学成分**

|  |  |
| --- | --- |
| 元素 | 化学成分（质量分数）% |
| 主元素 | Ni  | 53.0~59.0 |
| Li | 11.0~14.0 |
| 杂质元素 | Pb | ≤0.01 |
| S | ≤0.1 |
| Na | ≤0.1 |
| K | ≤0.01 |
| Cr | ≤0.01 |
| 注： 掺杂和包覆的元素包括但不限于镁、钛、铝、钴、镍、锰、硅、硼等中的一种或几种，掺杂和包覆的元素含量由供需双方协商确定。 |

【条文说明】根据调研结果表2显示，主元素镍中，6家企业的产品镍含量相近，综合镍含量的调研结果，规定镍含量的要求为53.0~59.0；主元素锂中，6家单位锂含量相近，综合锂含量的调研结果，规定锂含量的范围应为11.0~14.0。根据调研结果表3显示，大部分单位对铅、硫、钠、钾、铬的含量有要求。铅指标最高的达到0.05%，大部分企业指标在0.01%以下，本标准取中间值0.010%。硫指标大部分在0.005%~0.01%，本标准限定硫不大于0.01%。6家企业的钠指标都在0.01%以下，本标准限定钠不大于0.01%。铬作为对环境有害的元素，严格控制有利于保护环境，本标准规定不大于0.01%。钾指标最高的达到0.03%，大部分企业指标在0.01%以下，本标准限定钾不大于0.01%。

经验证单位验证，富锂镍酸锂产品杂质元素主要集中在Ca、S、Na、K、Cr几种元素之间，故规定本标准产品的杂质元素为Ca、S、Na、K、Cr，本标准限定Ca不大于0.01%，S不大于0.2%，、Na不大于0.1%，K不大于0.015%，Cr不大于0.005%。

2.2.3.2 晶体结构

产品的晶体结构应符合JCPDS标准（73-2422）。

2.2.3.3水分含量

产品的水分含量应不大于0.05 %。

【条文说明】材料水分超标，会引起浆料团聚，极片涂覆性能差，极片掉粉等问题，多余的水分带入电池中，会和电解液反应产生氢氟酸，腐蚀电池引发安全问题，所以应严格控制产品水分含量。行业内各家企业的水分指标调研数据如表5所示，考虑生产企业生产产品水分含量和使用企业水分要求，结合表5调研数据情况，大部分企业水分含量在0.05以下，故选取0.05%作为本文件的控制指标。

**表5 富锂镍酸锂产品水分指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| 水分含量/% | 0.023 | ＜0.1 | 0.011 | ≤0.05 | ≤0.05 | ≤0.03 |

2.2.3.4耐湿性

产品在温度25 ℃，相对湿度30%±2%条件下，放置20 min的吸湿速率应不大于5 g/（g·s）。

【条文说明】材料的耐湿性会影响：电极材料存储和加工的环境要求、电池加工过程的稳定性、电池服役的安全性。耐湿性好的材料，其存储和加工环境对湿度的要求比较低，可以降低成本。耐湿性差的材料，其在匀浆涂布过程中，容易吸水导致浆料凝胶，影响电池加工过程的稳定性，且容易导致电池胀气、鼓包甚至爆炸等安全问题。目前行业内对该指标普遍有质量控制要求，考虑使用企业对产品耐湿性的要求，规定产品在温度25 ℃，相对湿度30%±2%条件下，放置20 min的吸湿速率应不大于5 g/（g·s）。

2.2.3.5外观质量

产品的外观质量应颜色均一，无结块，无夹杂物。

【条文说明】富锂镍酸锂产品的主要元素是Ni、Li，随着主含量的配比不同，颜色存在轻微差异。行业内各家企业的外观质量调研数据如表6所示，目前大部分企业富锂镍酸锂产品的颜色为绿色/黑色。根据合成工艺的不同，颜色也存在差异，考虑外观颜色不属于影响其性能的重要指标，故在此不做特殊限定，颜色按供需双方协商来确定。只要求产品的外观质量应颜色均一，无结块，无夹杂物。

**表6 富锂镍酸锂产品外观质量指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| 外观颜色 | 绿色 | 墨绿色/黑色 | 绿色至墨绿色 | 黑色 | 黑色 | 黑色 |

2.2.3.6 pH值

产品的pH值应在11~13范围内。

【条文说明】pH值反映的是碱量的大小。结合表7行业内富锂镍酸锂的研究、生产和使用的主要企业对pH值的要求，其pH值应在11~13范围内。

**表7 富锂镍酸锂产品pH值指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| pH值 | 12.65 | 11.0-13.0 | 12.8 | ≤12 | ≤13.0 | 11.0-12.0 |

2.2.3.7振实密度

产品的振实密度应不小于1.5 g/cm3。

【条文说明】振实密度是衡量活性材料的一个重要指标，因为锂离子电池的体积是有限的，如果振实密度太低，单位体积的活性物质质量偏少，使得体积容量偏低。表8为行业内富锂镍酸锂的研究、生产和使用的主要企业对振实密度的要求，根据其下限平均值，本标准设定最小的振实密度应不小于1.5 g/cm3。

**表8 富锂镍酸锂产品振实密度指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| 振实密度（g/cm³） | / | 1.6-2.6 | 1.8-2.8 | 1.62 | ≥1.4 | 0.9±0.25 | ≥1.5 |

2.2.3.8粉末压实密度

产品的粉末压实密度应不小于1.80 g/cm³。

【条文说明】锂离子电池在制作过程中，压实密度对电池性能有较大的影响。压实密度与比容量、效率、内阻、以及电池循环性能有密切的关系。合适的压实密度可以增大电池的放电容量，减小内阻，减小极化损失，延长电池的循环寿命，提高锂离子电池的利用率。根据表9调研结果显示，大部分企业产品的压实密度均不小于1.6 g/cm³，本标准规定产品的粉末压实密度应不小于1.80 g/cm³。

**表9富锂镍酸锂粉末压实密度指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| 粉末压实密度（g/cm³） | 2.65 | 1.8-3.2 | 2.0-3.5 | / | / | 1.9±0.30 | 不限制 |

2.2.3.9比表面积

产品的比表面积应不大于1.50 m2/g。

【条文说明】材料比表面积大时，电池的倍率特性较好，但通常更易与电解液发生反应，使得循环和存储变差。材料比表面积与颗粒大小及分布、表面孔隙度、表面包覆物等密切相关。表10为行业内富锂镍酸锂的研究、生产和使用的主要企业对比表面积要求的调研情况。根据调研结果，本文件规定产品的比表面积应不大于1.50 m2/g。

**表10 富锂镍酸锂产品比表面积指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| 比表面积（m2/g） | 0.36 | 0.6-1.2 | 0.2-0.8 | 0.57 | ≤1.2 | ≤0.8 | ≤0.6 | 1.32 | 0.4~1.5 |

2.2.3.10 粒度分布

产品的D50应不大于15 m。

【条文说明】从大量的制浆经验以及行业交流反馈来看，粒度分布几乎决定了材料的加工性能。结合表12行业内富锂镍酸锂的研究、生产和使用的主要企业对粒度分布要求，本标准规定产品的粒度分布要求应不大于15 m。

**表11富锂镍酸锂粒度分布指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| D10（μm） | 3.99 | 1.0-4.0 | 2.0-5.0 | 3.52 | 0.3-1.2 | 0.8-4 | 3-7 | 16.22 | ≥1 |
| D50（μm） | 10.11 | 3.0-10.0 | 4.0-12.0 | 8.15 | 2-5 | 6-10 | 10-15 | 69.60 | 2~15 |
| D90（μm） | 20.47 | 9.0-24.0 | 10.0-25.0 | 21.6 | 6-13 | 10-20 | 20-30 | 199.68 | ≤30 |

2.2.3.11残余碱含量

产品的残余碱含量应不大于2.0%。

2.2.3.12补锂比容量

产品的首次充电比容量应符合表12的要求。

【条文说明】目前针对首次充电比容量该项指标，各单位由于对产品分类差异较大，未形成统一标准，结合表13和表14各单位调研数据和我司实际情况，本标准规定产品补锂比容量应满足表12的要求。

**表12 补锂比容量**

|  |  |
| --- | --- |
| 富锂镍酸锂产品种类 | 补锂比容量mAh/g |
| LNO-I | ≥280 |
| LNO-II | 260~＜280 |
| LNO-III | 240~＜260 |

**表13 富锂镍酸锂产品首次放电比容量指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| 首次充电比容量（mAh/g） | 444.42 | 390-410 | 410-430 | 419.7 | ≥360 | ≥350 | ≥350 | 313 | ≥400 |

2.2.3.13首次放电比容量

产品在电压范围2.5 V~4.2 V，0.05 C充放电倍率下，产品的首次放电比容量应≤200 mAh/g。

【条文说明】补锂添加材料作为一种牺牲型材料，主要是弥补正极材料首次充电形成SEI膜消耗的锂，从而提高电池的首效。如果补锂添加剂材料的首次放电比容量偏高，会导致电池首效降低，且导致SEI膜会不断破坏和重新形成，影响电池循环性能。表14为行业内富锂镍酸锂的研究、生产和使用的主要企业，对首次放电比容量要求的调研情况。结合实际应用需求及调研，本标准规定产品在电压范围2.5 V~4.2 V，0.05 C充放电倍率下，首次放电比容量应≤200 mAh/g。

**表14 富锂镍酸锂产品首次放电比容量指标调研数据**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位 | A | B | C | D | E | F |
| 首次放电比容量（mAh/g） | 157.40 | 125-135 | 135-145 | 142.8 | ≤140 | ≤130 | ≤130 | 105 | ≤220 |

2.2.3.13其他要求

需方如对富锂镍酸锂有特殊要求，可由供需双方协商确定。

2.2.4 试验方法

2.2.4.1 化学成分

产品化学成分的分析按YS∕T 1006.1、YS∕T 1006.2的规定进行。

2.2.4.2 晶体结构

产品的晶体结构用X射线粉末衍射仪检测。

2.2.4.3 水分含量

 产品的水分测试按GB/T 6283的规定进行。

2.2.4.4 耐湿性

产品的耐湿性测试按供需双方协商的方法进行。

【条文说明】目前行业内测试富锂镍酸锂材料的耐湿性，主要是采用在25 ℃，30%±2%湿度条件下，材料在20 min内抵抗潮湿环境侵蚀的能力——吸湿速率法，来评估产品的耐湿性。但目前针对富锂镍酸锂耐湿性的测试，行业内缺乏可以参照的统一的分析方法标准，暂定以供需双方协商的方法进行测试。

2.2.4.5 外观质量

 产品外观质量在自然光下采用目视法检验。

2.2.4.6 pH值

产品的pH值测定按GB/T 9724的规定进行。

2.2.4.7 振实密度

 产品的振实密度测定按GB/T 5162的规定进行。

2.2.4.8粉末压实密度

产品的压实密度测定按GB/44330《锂离子电池材料 粉末压实密度的测定》的规定进行。

2.2.4.9比表面积

 产品的比表面积测定按GB/T 19587的规定进行。

2.2.4.10粒度分布

产品的粒度分布测定按GB/T 19077的规定进行。

2.2.4.11残余碱含量

产品的残余碱含量的测定由供需双方协商认可的方法进行。

【条文说明】目前行业内测试富锂镍酸锂产品的残余碱和残余锂含量，主要是参考GB/T 41704电位滴定法，将溶剂水换成无水乙醇来进行测试；由于碳酸锂并不溶于无水乙醇，该方法仅适用于残余氢氧化锂的测试，并不适用于残余碳酸锂，采用该方法测试的最终残余碱和残余锂结果并不准确，故针对产品的残余碱和残余锂含量的测定由供需双方协商认可的方法进行。

2.2.4.12补锂比容量

产品的首次放电比容量测定按GB/T 42161的规定进行，各试验步骤应在相对湿度不大于10%，温度20 ℃~30 ℃的环境条件下进行。推荐充放电制度如下：

a）静置：不小于6 h；

b）恒流充电电流：0.05 C；

c）充电限制电压：4.4 V；

c）恒压充电终止电流：0.01 C；

d）静置10 min；

e）恒流放电电流：0.05 C；

f）放电终止电压：2.5 V。

2.2.4.13首次放电比容量

产品的首次放电比容量测定按GB/T 42161的规定进行，各试验步骤应在相对湿度不大于10%，温度20 ℃~30 ℃的环境条件下进行。推荐充放电制度如下：

a）静置：不小于6 h；

b）恒流充电电流：0.05 C；

c）充电限制电压：4.4 V；

c）恒压充电终止电流：0.01 C；

d）静置10 min；

e）恒流放电电流：0.05 C；

f）放电终止电压：2.5 V。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

3.1 试验验证的分析

为保证标准内规定的产品性能指标符合实际生产需要，我们选择市面上4家主流的补锂添加剂材料生产企业，选择了其生产的富锂镍酸锂产品，进行产品验证试验。试验由7家单位按照标准内规定，对所有涉及的理化和电性能指标进行交叉测试；每个指标分配给两家单位进行检测，如两家单位测试结果偏差过大，则增加第三家单位进行检测，交叉验证分配如下表15，详细测试结果如下表16。

**表15 富锂镍酸锂交叉验证单位分配表**

|  |  |
| --- | --- |
| **指标** | **验证单位编号** |
| **化成成分** | 1 | 5 | 4 |
| **水分含量** | 1 | 5 |  |
| **耐湿性** | **1** | 3 |  |
| **外观质量** | 1 | 5 |  |
| **pH值** | 2 | 5 |  |
| **振实密度** | 6 | 4 |  |
| **粉末压实密度** | 2 | 4 |  |
| **比表面积** | 2 | 4 |  |
| **粒度分布** | 1 | 4 |  |
| **补锂比容量** | 3 | **7** | 4 |
| **首次放电比容量** | 3 | **7** | 4 |
| **残余碱含量** | 1 | 4 |  |
| 备注：1-湖南长远锂科新能源有限公司，2-金驰能源材料有限公司，3-深圳市德方创域新能源科技有限公司，4-合肥国轩高科动力能源有限公司，5-厦门厦钨新能源材料股份有限公司，6-天津国安盟固利新材料科技股份有限公司， 7-淮安锦锂新材料有限公司 |

**表16 富锂****镍酸锂化学成分验证结果**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **指标** | **主元素质量分数/%** | **杂质元素质量分数/%** |
| **Ni** | **Li** | **Ca** | **S** | **Na** | **K** | **Cr** |
| **1#样品** | 53.83  | 14.63  | 0.020  | 0.168  | 0.009  | 0.002  | 0.001  |
| **2#样品** | 56.58  | 12.84  | 0.003  | 0.067  | 0.011  | 0.001  | 0.001  |
| **3#样品** | 55.60  | 12.88  | 0.002  | 0.092  | 0.009  | 0.001  | 0.001  |
| **4#样品** | 56.12  | 12.95  | 0.002  | 0.091  | 0.013  | 0.001  | 0.001  |
| **5#样品** | 55.30  | 13.26  | 0.002  | 0.116  | 0.013  | 0.001  | 0.001  |
| **6#样品** | 55.21  | 13.48  | 0.002  | 0.128  | 0.013  | 0.001  | 0.001  |

【验证说明】由表16验证结果显示，6个参与验证的产品主元素质量分数，均满足标准内规定的有关要求。1~6号样品的杂质元素质量分数，均满足标准内规定的有关要求。

**表17 富锂镍酸锂物化性能验证结果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **水分/%** | **耐湿性/mg/（g·s）** | **外观质量** | **pH** | **振实密度/g/cm3** | **粉末压实密度****/g/cm³** | **比表面积/m2/g** | **D50/μm** |
| **1#样品** | 0.025  | 1.24  | 颜色均一，无结块、夹杂物 | 12.64  | 1.46  | 2.29  | 0.47  | 8.91  |
| **2#样品** | 0.019  | 0.95  | 12.39  | 1.83  | 2.59  | 0.32  | 11.96  |
| **3#样品** | 0.110  | 0.61  | 12.56  | 1.83  | 2.55  | 0.26  | 13.97  |
| **4#样品** | 0.032  | 0.63  | 12.51  | 2.05  | 2.57  | 0.26  | 14.72  |
| **5#样品** | 0.032  | 0.58  | 12.50  | 1.65  | 2.53  | 0.28  | 14.24  |
| **6#样品** | 0.029  | 1.00  | 12.54  | 1.54  | 2.52  | 0.36  | 12.48  |

【验证说明】由表15验证结果显示，6个参与验证的水分含量、耐湿性、外观质量、pH、振实密度、粉末压实密度、比表面积、粒度分布指标，均满足标准内规定的有关要求。

**表18 富锂镍酸锂电化学性能指标验证结果**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **指标** | **补锂比容量****（mAh/g）** | **首次放电比容量****（mAh/g）** |
| **LFO-I** | **LFO-II** | **LFO-III** |
| **1#样品** |  | 260.62  |  | 143.96  |
| **2#样品** |  | 271.03  |  | 153.40  |
| **3#样品** |  | 270.14  |  | 153.60  |
| **4#样品** |  | 269.57  |  | 152.05  |
| **5#样品** |  | 266.71  |  | 150.45  |
| **6#样品** |  |  | 249.82 | 132.71  |

【验证说明】由表16验证结果显示，6个参与验证的产品，补锂比容量和首次放电比容量均满足标准内规定的有关要求。目前行业主流产品补锂比容量大部分位于260~280 mAh/g之间。

四、与国际、国外同类标准技术内容的比对情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对标情况

经查，国外无相同类型的标准。本标准达到了国内先进水平。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

经查，国外无相同类型的标准。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

与有关法律、行政法规及相关标准没有冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧。

八、涉及专利的有关说明

经查，本标准不涉及国内外专利。

九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

由于本标准反映了富锂镍酸锂行业的需求，因此可积极向厂家及国内外用户推荐采用本标准。

十、其他应当说明的事项

无。

**《富锂镍酸锂》行业标准编制工作组**

2025-02-21

**附录：**

**表17 原始测试数据**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 　 | 　 | 原始测试数据 |
| 　 | 　 | 样品1 | 样品2 | 样品3 | 样品4 | 样品5 | 样品6 |
| 主元素含量 | Ni/% | 53.71  | 55.81  | 56.94  | 56.07  | 55.17  | 55.79  |
| 53.91  | 56.27  | 55.33  | 55.96  | 54.50  | 54.32  |
| 53.40  | 56.53  | 54.56  | 55.42  | 55.00  | 54.88  |
| 53.59  | 56.48  | 54.58  | 55.96  | 54.85  | 54.50  |
| 53.44  | 56.43  | 55.11  | 56.21  | 55.17  | 54.90  |
| 54.93  | 57.96  | 57.07  | 57.12  | 57.13  | 56.89  |
| 均值（Mean） | 53.83  | 56.58  | 55.60  | 56.12  | 55.30  | 55.21  |
| Li/% | 14.07  | 12.66  | 12.50  | 12.81  | 13.09  | 13.49  |
| 14.79  | 12.80  | 13.05  | 12.92  | 13.05  | 13.41  |
| 14.57  | 12.76  | 12.73  | 12.85  | 13.22  | 13.39  |
| 14.78  | 12.74  | 12.66  | 12.84  | 13.16  | 13.18  |
| 14.62  | 12.86  | 12.86  | 12.86  | 13.14  | 13.29  |
| 14.98  | 13.22  | 13.45  | 13.39  | 13.88  | 14.12  |
| 均值（Mean） | 14.63  | 12.84  | 12.88  | 12.95  | 13.26  | 13.48  |
| 杂质元素质量分数 | Ca% | 0.000  | 0.002  | 0.001  | 0.002  | 0.002  | 0.002  |
| 0.025  | 0.005  | 0.002  | 0.001  | 0.002  | 0.002  |
| 0.029  | 0.003  | 0.003  | 0.003  | 0.001  | 0.002  |
| 0.032  | 0.004  | 0.002  | 0.001  | 0.002  | 0.002  |
| 0.032  | 0.004  | 0.002  | 0.002  | 0.001  | 0.002  |
| 0.000  | 0.001  | 0.001  | 0.002  | 0.002  | 0.002  |
| 均值（Mean） | 0.020  | 0.003  | 0.002  | 0.002  | 0.002  | 0.002  |
| S/% | 0.200  | 0.109  | 0.073  | 0.104  | 0.131  | 0.142  |
| 0.162  | 0.056  | 0.096  | 0.088  | 0.112  | 0.126  |
| 0.160  | 0.056  | 0.096  | 0.087  | 0.114  | 0.125  |
| 0.160  | 0.056  | 0.096  | 0.086  | 0.113  | 0.124  |
| 0.160  | 0.056  | 0.097  | 0.087  | 0.113  | 0.124  |
| 均值（Mean） | 0.168  | 0.067  | 0.092  | 0.091  | 0.116  | 0.128  |
| Na/% | 0.010  | 0.016  | 0.008  | 0.014  | 0.015  | 0.015  |
| 0.008  | 0.006  | 0.011  | 0.012  | 0.011  | 0.011  |
| 均值（Mean） | 0.009  | 0.011  | 0.009  | 0.013  | 0.013  | 0.013  |
| K/% | 0.002  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| 0.002  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| 均值（Mean） | 0.002  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| Cr/% | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| 0.001  | 0.001  | 0.002  | 0.002  | 0.002  | 0.002  |
| 均值（Mean） | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| 物理性能 | 水分含量（%） | 0.009  | 0.017  | 0.013  | 0.018  | 0.019  | 0.016  |
| 0.025  | 0.020  | 0.137  | 0.035  | 0.036  | 0.031  |
| 0.001  | 0.019  | 0.124  | 0.035  | 0.034  | 0.032  |
| 0.045  | 0.020  | 0.138  | 0.037  | 0.036  | 0.033  |
| 0.044  | 0.020  | 0.138  | 0.036  | 0.034  | 0.032  |
| 均值（Mean） | 0.025  | 0.019  | 0.110  | 0.032  | 0.032  | 0.029  |
| 耐湿性（ppm/s) | 1.25  | 0.99  | 0.61  | 0.63  | 0.58  | 0.99  |
| 1.23  | 0.95  | 0.66  | 0.60  | 0.55  | 1.02  |
| 1.30  | 0.90  | 0.60  | 0.62  | 0.63  | 1.00  |
| 1.19  | 0.94  | 0.57  | 0.66  | 0.57  | 0.98  |
| 均值（Mean） | 1.24  | 0.95  | 0.61  | 0.63  | 0.58  | 1.00  |
| 外观质量 | 颜色均匀、无异物、无结团 |
| pH值 | 11.77  | 11.55  | 12.01  | 11.82  | 11.66  | 11.65  |
| 12.91  | 12.61  | 12.72  | 12.74  | 12.80  | 12.82  |
| 12.92  | 12.60  | 12.73  | 12.66  | 12.70  | 12.80  |
| 12.96  | 12.58  | 12.80  | 12.69  | 12.70  | 12.81  |
| 12.84  | 12.63  | 12.74  | 12.70  | 12.78  | 12.78  |
| 12.45  | 12.37  | 12.34  | 12.42  | 12.38  | 12.35  |
| 均值（Mean） | 12.64  | 12.39  | 12.56  | 12.51  | 12.50  | 12.54  |
| 振实密度（g/cm³） | 2.23  | 1.82  | 1.77  | 1.83  | 1.61  | 1.52  |
| 1.13  | 1.72  | 1.86  | 1.89  | 1.69  | 1.54  |
| 1.13  | 1.78  | 1.90  | 1.80  | 1.67  | 1.53  |
| 1.33  | 1.98  | 1.80  | 2.70  | 1.64  | 1.57  |
| 均值（Mean） | 1.46  | 1.83  | 1.83  | 2.05  | 1.65  | 1.54  |
| 比表面积（㎡/g） | 0.44  | 0.19  | 0.38  | 0.27  | 0.25  | 0.30  |
| 0.46  | 0.39  | 0.22  | 0.28  | 0.27  | 0.33  |
| 0.51  | 0.36  | 0.24  | 0.25  | 0.31  | 0.33  |
| 0.46  | 0.35  | 0.21  | 0.24  | 0.29  | 0.48  |
| 均值（Mean） | 0.47  | 0.32  | 0.26  | 0.26  | 0.28  | 0.36  |
| 粒径分布*D*50/μm | 8.81  | 15.86  | 11.23  | 15.02  | 14.53  | 13.03  |
| 8.78  | 10.59  | 15.87  | 14.67  | 13.28  | 12.45  |
| 8.90  | 10.62  | 12.98  | 14.49  | 14.90  | 13.27  |
| 9.16  | 10.76  | 15.78  | 14.71  | 14.25  | 11.15  |
| 均值（Mean） | 8.91  | 11.96  | 13.97  | 14.72  | 14.24  | 12.48  |
| 粉末压实密度/（g/cm3） | 1.63  | 2.01  | 1.99  | 2.01  | 1.92  | 1.88  |
| 2.53  | 2.80  | 2.74  | 2.71  | 2.72  | 2.71  |
| 2.50  | 2.76  | 2.73  | 2.78  | 2.73  | 2.75  |
| 2.50  | 2.80  | 2.75  | 2.76  | 2.75  | 2.73  |
| 均值（Mean） | 2.29  | 2.59  | 2.55  | 2.57  | 2.53  | 2.52  |
| 电化学性能 | 补锂比容量/（mAh/g） | 259.00  | 265.60  | 280.00  | 265.70  | 263.50  | 261.50  |
| 242.20  | 265.63  | 249.88  | 254.25  | 250.53  | 252.43  |
| 272.58  | 279.76  | 288.10  | 279.01  | 288.33  | 269.02  |
| 275.20  | 286.32  | 285.79  | 283.81  | 281.90  | 279.72  |
| 293.44  | 282.14  | 285.11  | 289.27  | 286.66  | 305.08  |
| 279.30  | 286.96  | 290.23  | 299.17  | 286.07  | 285.54  |
| 202.59  | 230.81  | 211.88  | 215.78  | 209.95  | 95.42  |
| 均值（Mean） | 260.62  | 271.03  | 270.14  | 269.57  | 266.71  | 249.82  |
| 首次放电比容量/（mAh/g） | 151.10  | 154.60  | 162.60  | 156.30  | 154.30  | 153.80  |
| 155.53  | 166.85  | 161.38  | 160.25  | 162.03  | 160.68  |
| 144.38  | 155.16  | 148.20  | 149.81  | 149.18  | 146.91  |
| 143.05  | 155.62  | 147.56  | 146.22  | 148.63  | 148.99  |
| 142.25  | 154.01  | 147.75  | 151.26  | 144.21  | 141.61  |
| 144.40  | 150.30  | 148.67  | 147.67  | 151.11  | 145.45  |
| 127.01  | 137.25  | 159.02  | 152.83  | 143.69  | 31.50  |
| 均值（Mean） | 143.96  | 153.40  | 153.60  | 152.05  | 150.45  | 132.71  |