**钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠**

**编**

**制**

**说**

**明**

（征求意见稿）

**湖北万润新能源科技股份有限公司**

**2024年4月**

**钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠**

**协会标准编制说明**

**（征求意见稿）**

**一、工作简况**

**1.1 任务来源**

根据中国有色金属工业协会《关于下达2023年第一批协会标准制修订计划的通知》（中色协科字[2023]14号）的文件精神，由湖北万润新能源科技股份有限公司负责起草有色金属协会标准《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》。项目计划编号为2023-010-T/CNIA，项目计划周期为24个月。

**1.2 主起草单位简介**

湖北万润新能源科技股份有限公司（股票代码：688275）成立于2010年12月，是科创板上市公司，国家级专精特新“小巨人”企业，国家级高新技术企业，是湖北省发改委认定的企业技术中心、湖北省工程研究中心和湖北省科技厅工程技术研究中心。

公司是国内最早从事新能源电池正极材料生产和研发的企业之一，主要生产锂离子动力电池、储能电池的正极材料及其前驱体，产品为磷酸铁锂、磷酸铁等，产品销往宁德时代、比亚迪、赣锋锂业、万向一二三等国内外知名企业。公司磷酸铁锂和磷酸铁产品在核心数据指标上都到达了业内先进水平。产品持续出新，用途多元广泛，在功率型、动力型、储能型、长寿型材料等方向不断探索。经过多年的科技创新和技术沉淀，产品结构不断优化，性能持续提升。现公司已成长为一家高效、绿色、环保的集团公司，已形成山东滨州、安徽安庆、湖北十堰、襄阳、鄂州等三省五地八大生产基地的企业规模。

公司也已布局钠离子电池正极材料领域研发及生产，2023年上半年实现量产。

公司累计参与编制的国家标准、行业标准、团体标准等四十余项。

**1.3 主要参加单位和工作组成员及其工作**

本文件起草单位有：湖北万润新能源科技股份有限公司、武汉大学、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、中伟新材料有限公司、蜂巢能源科技股份有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、浙江钠创新能源有限公司、贝特瑞新材料集团股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、格林美（无锡） 能源材料有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、天津巴莫科技有限责任公司、湖南长远锂科股份有限公司、金驰能源材料有限公司等。

其中湖北万润新能源科技股份有限公司负责调研新能源行业钠离子电池正极材料焦磷酸磷酸铁钠的各项指标情况，组织开展试验验证并进行数据分析，形成统一的产品技术要求，撰写标准文本和编制说明等。武汉大学、浙江钠创新能源有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、蜂巢能源科技股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、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、贝特瑞新材料集团股份有限公司、中伟新材料有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、格林美（无锡） 能源材料有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司等单位负责提供本单位的产品技术规范、参与试验验证，对标准文本提出修改意见。

本文件主要起草人有：XXX……。

各起草人在本文件编制过程中的工作职责见表1所示：

1. **各起草人及其工作职责**

|  |  |
| --- | --- |
| 起草人姓名 | 工作职责 |
| XXX | 产品性能指标调研及分析，组织开展试验验证并进行数据分析，编写标准文本和编制说明 |
| XXX | 提供产品性能指标调研数据，提供验证样品或 验证测试数据。参加标准工作会议，对标准文本提出修改意见 |
| XXX | 参加标准工作会议，对标准文本提出修改意见 |

**1.4 主要工作过程**

**1.4.1立项阶段**

2022年9月，湖北万润新能源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《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》标准制定项目建议书。2022年11月3日在全国有色金属标准化技术委员会年会上进行了论证。

2023年2月13日，中国有色金属工业协会印发《关于下达2023年第一批协会标准制修订计划的通知》（中色协科字[2023]14号），协会标准《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》立项成功。

**1.4.2 起草阶段**

2023年2月，湖北万润新能源科技股份有限公司接到《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》起草编制工作任务后，立即安排了标准项目负责人，组织骨干人员成立了标准编制组，开始筹备标准编制工作。

2023年3月13日，全国有色标准化技术委员会在海南海口组织召开了有色金属标准工作会议，会议对《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》进行了任务落实。来自广东邦普循环科技有限公司、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、中伟新材料有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、天津巴莫科技有限责任公司、湖南长远锂科股份有限公司、金驰能源材料有限公司等多家单位的代表参加了会议。会议组织成立了标准编制工作组，对目标任务进行了分解，明确成员的任务要求，制定工作计划和任务安排。标准编制工作组收集了新能源行业钠离子电池正极材料焦磷酸磷酸铁钠的各项性能指标情况，查阅了大量国内外相关文献资料，结合目前国内外焦磷酸磷酸铁钠的生产和用户需求情况，于2023年5月形成了标准的征求意见稿和编制说明。

**1.4.3 征求意见阶段**

2023年7月18日，全国有色金属标准化技术委员会组织召开有色金属标准工作会议，来自武汉大学、厦门厦钨新能源材料股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、中伟新材料有限公司、蜂巢能源科技股份有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、浙江钠创新能源有限公司、贝特瑞新材料集团股份有限公司、格林美（无锡） 能源材料有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、天津巴莫科技有限责任公司等单位的专家、代表对标准讨论稿和编制说明进行了讨论，提出了修改意见及建议。会后根据意见进行了样品收集及试验验证。

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网站上发布，向社会公开征求意见。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。

2023年12月标准制定工作组对收集到的意见进行整理，共收到了11条意见，形成了标准征求意见稿意见汇总处理表。同时对标准征求意见稿进行修改，于2023年12月完成标准的预审稿和编制说明。

**1.4.4 审查阶段**

……

**1.4.5 报批阶段**

……

**二、标准编制原则**

**2.1 符合性**

本标准按照 GB/T 1.1-2020《 标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》要求编写。

**2.2 适用性和先进性**

近几年，钠离子电池开始逐步进入规模化试验示范阶段，继铅蓄电池、锂离子电池等电化学储能体系后，钠离子电池开始在储能领域崭露头角。众多新能源企业及科研院所均已布局钠离子电池，有部分企业已实现商业化。宁德时代宣布钠离子电池将于2023年基本建成产业链并量产。

随着国家工信部出台政策，推进钠离子电池的产业化，相关电池厂已经推出钠离子电池，但钠电池材料方面标准依然空白。焦磷酸磷酸铁钠作为钠离子电池用正极材料，有优异的倍率性能，众多新能源企业及科研院所均在研发，有部分企业已实现商业化，但目前没有产品标准可以参考。制定《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》产品标准，有利于指导焦磷酸磷酸铁钠材料的测试、使用，有利于焦磷酸磷酸铁钠的规范生产、质量统一、广泛应用，为相关产业提供技术指导，满足用户需求，促进钠离子电池产业发展。

**三、标准主要内容的确定依据及主要验证情况分析**

**3.1 标准主要技术要求确定依据**

标准的主要技术要求根据国内主要研发及生产企业、科研单位的产品指标调研情况进行确定，标准编制组收到了8家单位的产品指标数据，调研单位以单位A～单位H表示。

* + 1. **化学成分**

本标准根据市场现有的焦磷酸磷酸铁钠产品情况，规定了主元素种类。杂质金属元素的存在会影响电池安全性能，参考锂离子电池正极材料对杂质元素含量的要求及市场现有的焦磷酸磷酸铁钠产品情况，本标准规定了杂质元素种类。需方有特殊要求时，按供需双方协商的杂质元素种类进行测试。

调研单位化学成分统计表如表2所示。

1. **化学成分统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | | **单位** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 主元素含量 | Fe | % | 23.5～27.5 | 22～28 | 26.0±1.0 | 25±2.0 | 25.02 | 25±2.0 | 24～28 | 22.5～27.8 |
| Na | % | 11.0～17.5 | 12～16 | 13.5±1.0 | 14±2.0 | 12.7 | 14±2.0 | 13～17 | 13.0～16.0 |
| P | % | 19.1～21.1 | 16～21 | 21.5±1.0 | 19±2.0 | 19.32 | 19±2.0 | 19～21 | 19.4～20.7 |
| C | % | 2.0±0.5 | 1～5 | 2.5±0.8 | 3±2.0 | 2.5 | 5±2.0 | 1～5 | 1.0～3.0 |
| 杂质元素含量 | Ca | % | ≤0.01 | / | ≤0.03 | ≤0.01 | ≤0.002 | ≤0.005 | ≤0.005 | ＜0.03 |
| Cu | % | ≤0.01 | / | ≤0.03 | ≤0.005 | ≤0.001 | ≤0.005 | ≤0.005 | ＜0.03 |
| Cr | % | ≤0.005 | / | ≤0.03 | ≤0.005 | ≤0.002 | ≤0.005 | ≤0.005 | ＜0.03 |
| K | % | ≤0.01 | / | ≤0.10 | ≤0.01 | ≤0.002 | ≤0.005 | ≤0.005 | ＜0.03 |
| Zn | % | ≤0.005 | / | ≤0.03 | ≤0.01 | ≤0.0005 | ≤0.005 | ≤0.005 | ＜0.03 |
| Ni | % | ≤0.005 | / | ≤0.03 | ≤0.005 | ≤0.001 | ≤0.005 | ≤0.005 | / |

根据各调研单位产品化学成分指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定焦磷酸磷酸铁钠产品化学成分要求如表3所示。

1. **化学成分**

**%（质量分数）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 主元素含量 | Fe | 22～28 |
| Na | 11～17 |
| P | 16～21 |
| C | 1～4 |
| 杂质元素含量 | Ca | ≤0.03 |
| Cu | ≤0.01 |
| Cr | ≤0.03 |
| K | ≤0.03 |
| Zn | ≤0.01 |
| Ni | ≤0.01 |

* + 1. **水分含量**

水分对电池极片制备和电池性能影响较大。材料水分超标，会影响电池极片涂覆工艺，若多余水分进入电池中易引发安全问题，故应严格控制产品水分含量。

调研单位水分含量统计表如表4所示。

1. **水分含量统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **单位** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 水分含量 | % | ≤0.2 | ＜2 | ＜0.1 | ≤0.2 | 0.1 | ≤0.2 | ≤0.2 | ＜0.04 |

根据各调研单位产品水分含量指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品的水分含量应不大于0.2%。

* + 1. **外观质量**

调研单位外观质量统计表如表5所示。

1. **外观质量统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 外观质量 | 灰黑色粉末 | 黑色 | 黑灰色 | 黑灰色 | 黑色粉末 | 黑色粉末 | 灰黑色 | 棕黑色 |

根据各调研单位产品外观质量要求，本标准规定产品的外观应为灰黑色或棕黑色粉末，颜色均一，无硬结块。

* + 1. **粉末压实密度**

产品的粉末压实密度会影响电池的能量密度，是行业普遍关注的重要指标。调研单位粉末压实密度统计表如表6所示。

1. **粉末压实密度统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **单位** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 粉末压实密度 | g/cm3 | >1.8 | 1～3 | / | ≥1.8 | 1.867 | / | ≥1.9 | ＞1.8 |

根据表中各调研单位产品压实密度指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品的压实密度应不小于1.8 g/cm3。

* + 1. **振实密度**

本标准根据行业需求，规定了产品振实密度要求。调研单位振实密度统计表如表7所示。

1. **振实密度统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **单位** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 振实密度 | g/cm3 | 0.7-1.0 | 1.5～2.5 | 1.4～1.6 | ≥0.7 | 1.162 | 0.7～1.5 | 1.0～1.4 | ＞0.8 |

根据各调研单位产品振实密度指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品的振实密度应不小于0.7 g/cm3。

* + 1. **粒度分布**

产品的粒度分布会影响产品的加工性能。本标准根据行业需求，规定粒度分布要求。调研单位粒度分布统计表如表8所示。

1. **粒度分布统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 粒度分布 | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| *D*10 | 0.5-2.0 | 0.05-0.2 | 9～12 | ≤2.0 | 1.617 | ≥5.0 | ≥1.2 | / |
| *D*50 | 2.0-6.0 | 0.2-0.5 | 22～26 | ≤5.0 | 5.56 | 20.0±5.0 | 4.3～7.0 | 4.0～10.0 |
| *D*90 | ≤20.0 | 0.5-2.5 | 42～46 | ≤20.0 | 13.695 | ≤40.0 | ≤16.0 | / |
| *D*99 | ≤30.0 | / | ＜60 | ≤60.0 | / | / | ≤23.0 | / |

根据各调研单位产品粒度分布指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品的粒度分布特征值应符合表9的要求。

1. **粒度分布要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 粒度分布 | 要求（μm） |
| *D*10 | ≥1.0 |
| *D*50 | ≤10 |
| *D*90 | ≤25 |
| *D*99 | ≤30 |

* + 1. **比表面积**

产品的比表面积会影响产品的加工性能，根据行业需求，本标准规定了产品比表面积要求。调研单位比表面积统计表如表10所示。

1. **比表面积统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **单位** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 比表面积 | m2/g | ＜20.0 | 10～20 | 12～16 | ≤25.0 | 10.47 | 0.5～1.2 | 18～26 | ＜20 |

根据各调研单位产品比表面积指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品的比表面积应不大于26 m2/g。

* + 1. **pH值**

本标准根据行业需求，规定了产品pH值要求。调研单位pH值统计表如表11所示。

1. **pH值统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| pH值 | 9.0～11.0 | 5～9 | 10.0～11.0 | 10±2.0 | 10.56 | ≤10.80 | 9～10 | ＜11.5 |

根据各调研单位产品pH值指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品的pH值应在8～12。

* + 1. **残余钠**

本标准根据行业需求，规定了产品残余钠要求。调研单位残余钠统计表如表12所示。

1. **残余钠统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **单位** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 残余钠 | % | ≤0.1 | <3 | / | ≤1.0 | 0.82 | ≤1.0 | ≤0.05 | ＜0.7 |

根据各调研单位产品残余钠指标要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品的残余钠应含量应不大于1.0%。

* + 1. **电化学性能**

本标准根据行业及市场的普遍需求，规定了产品电化学性能指标要求。

调研单位电化学性能统计表如表13所示。

1. **电化学性能统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **单位** | 单位A | 单位B | 单位C | 单位D | 单位E | 单位F | 单位G | 单位H |
| 0.1C首次放电比容量 | mAh/g | ＞95 | 105-120 | 102～106 | ≥95 | 107.24 | 90±4.0 | ≥95 | ≥95.0 |
| 0.1C首次充放电效率 | % | >90 | 90～98 | >93 | ≥90 | 97.24 | ≥90% | ≥90 | ≥95.0 |

**3.1.10.1 0.1C首次放电比容量**

根据各调研单位产品0.1C首次放电比容量要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品在0.1C充放电倍率条件下的首次放电比容量应不小于90 mAh/g，电压范围2 V～4 V。

**3.1.10.2 0.1C首次充放电效率**

根据各调研单位产品0.1C首次放电比容量要求，同时考虑使用企业要求，本标准规定产品在0.1C充放电倍率条件下的首次充放电效率应不小于90%，电压范围2 V～4 V。

**3.2 试验方法确定依据**

* + 1. **化学成分**

产品化学成分的测定参照GB/T 30902-2014的规定进行。其中C元素含量的测定按GB/T 20123的规定进行。

* + 1. **水分含量**

参照锂离子电池正极材料水分含量的测试方法，规定本文件中产品水分含量的测定按GB∕T 11133的规定进行。

* + 1. **外观质量**

产品的外观用目视检查。

* + 1. **压实密度**

参照锂离子电池正极材料压实密度含量的测试方法，规定本文件中产品压实密度的测定按GB/T 24533附录L的规定进行。

* + 1. **振实密度**

产品振实密度的测定按照金属粉末振实密度的测定方法，按GB/T 5162的规定进行。

* + 1. **粒度分布**

参照锂离子电池正极材料粒度分布的测试方法，规定本文件中产品粒度分布的测定按GB/T 19077的规定进行。

* + 1. **比表面积**

参照锂离子电池正极材料比表面积的测试方法，规定本文件中产品比表面积的测定按GB/T 19587的规定进行。

* + 1. **pH值**

根据实际生产检测情况，规定本文件中产品pH值的测定按GB/T 9724的规定进行。

* + 1. **残余钠**

参照锂离子电池正极材料残余锂测试方法，规定本文件中产品残余钠的测定参照GB/T 41704规定方法进行测定。

* + 1. **电化学性能**

产品电化学性能的测定按照标准文件中附录A的规定进行。

**3.3 主要验证情况分析**

针对本标准涉及产品，按本标准规定的方法，参编单位对产品的主要技术指标进行了验证。

本验证试验收集了4家单位的焦磷酸磷酸铁钠样品，为保护样品提供单位信息，验证样品以编号NFPP-A、NFPP-B、NFPP-C、NFPP-D表示。本验证试验有9家单位参与提供测试数据，以验证单位1～9表示。

验证数据及分析如下。

* + 1. **化学成分**

各验证单位对验证样品化学成分的检测结果统计数据如表14所示。由表知，验证样品主元素含量均可满足标准设定值，Ni元素含量仅NFPP-D样品验证单位2的检测数据项略微超出标准设定值，其它验证单位检测数据均在设定值内，考虑为此项数据异常，本标准中规定的化学成分要求是合理的。

1. **化学成分验证结果统计表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **样品编号** | **验证单位** | **主元素含量（%）** | | | | **杂质元素含量（%）** | | | | | |
| **Fe** | **Na** | **P** | **C** | **Ca** | **Cu** | **Cr** | **K** | **Zn** | **Ni** |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 24.76 | 13.59 | 20.58 | 2.39 | 0.00851 | ND | 0.00016 | 0.00793 | 0.00014 | 0.00094 |
| 验证单位5 | 25.66 | 15.29 | 19.06 | 2.57 | 0.01610 | ND | 0.00020 | 0.01090 | 0.00110 | 0.00150 |
| 验证单位6 | 23.92 | 14.02 | 19.34 | 2.61 | 0.02100 | ND | 0.01800 | 0.01300 | ND | 0.00030 |
| 验证单位7 | 24.97 | 14.75 | 18.94 | 2.55 | 0.02030 | 0.00020 | 0.00020 | 0.01110 | 0.00000 | / |
| 验证单位8 | 23.37 | 13.33 | 18.58 | 2.53 | 0.00930 | 0.00010 | 0.00050 | 0.02220 | 0.00030 | 0.00150 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 25.26 | 14.23 | 19.45 | 2.80 | 0.00727 | 0.00071 | 0.00401 | 0.00030 | 0.00033 | 0.00188 |
| 验证单位4 | 25.61 | 13.23 | 19.36 | 2.78 | 0.00380 | ND | ND | ND | ND | ND |
| 验证单位6 | 24.52 | 13.87 | 19.01 | 2.95 | 0.02000 | ND | 0.02300 | 0.00300 | 0.00020 | 0.00020 |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 25.20 | 15.30 | 19.40 | 1.78 | 0.01860 | ND | ND | 0.01920 | 0.00294 | 0.00041 |
| 验证单位4 | 26.03 | 12.50 | 19.76 | 1.71 | ND | ND | ND | ND | 0.00190 | ND |
| 验证单位7 | 25.92 | 15.64 | 20.36 | 1.79 | 0.01960 | 0.00020 | 0.00020 | 0.00220 | 0.00110 | / |
| 验证单位9 | 26.16 | 13.75 | 19.59 | 1.75 | 0.00310 | ND | 0.00080 | ND | 0.00390 | 0.00430 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 24.86 | 14.28 | 19.65 | 2.77 | 0.00286 | 0.00104 | 0.00247 | 0.00247 | 0.00072 | 0.00238 |
| 验证单位2 | 24.10 | 14.30 | 18.80 | 2.84 | 0.02380 | ND | ND | 0.01840 | 0.00480 | 0.01190 |
| 验证单位5 | 25.50 | 15.16 | 19.00 | 2.79 | 0.01150 | ND | 0.00190 | 0.00410 | 0.00130 | 0.00160 |
| 验证单位8 | 23.24 | 13.12 | 18.64 | 2.60 | 0.00640 | 0.00120 | 0.00220 | 0.01030 | 0.00080 | 0.00450 |
| 验证单位9 | 24.60 | 14.19 | 19.10 | 2.73 | / | ND | 0.00310 | 0.01190 | 0.00310 | 0.00350 |
| **Max** | | 26.16 | 15.64 | 20.58 | 2.95 | 0.02380 | 0.00120 | 0.02300 | 0.01920 | 0.00480 | 0.01190 |
| **Min** | | 23.24 | 12.50 | 18.58 | 1.71 | 0.00286 | 0.00010 | 0.00016 | 0.00030 | 0.00000 | 0.00020 |
| **标准设定要求** | | 22～28 | 11～17 | 16～21 | 1～4 | ≤0.03 | ≤0.01 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.01 | ≤0.01 |

注：ND为低于检测限未检出。

* + 1. **水分含量**

各验证单位对验证样品水分含量的检测结果统计数据如表15所示。由表知，仅NFPP-C样品有验证数据超出0.2%，考虑为该样品制作或运输过程造成其水分含量异常，其余样品均在0.2%以内，认为本标准中规定的水分含量要求是合理的。

1. **水分含量验证结果统计表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **样品编号** | **验证单位** | **水分含量（%）** |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 0.1536 |
| 验证单位3 | 0.0625 |
| 验证单位5 | 0.0730 |
| 验证单位7 | 0.1440 |
| 验证单位8 | 0.0680 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 0.0398 |
| 验证单位4 | 0.0560 |
| 验证单位6 | 0.0800 |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 0.1962 |
| 验证单位3 | 0.2153 |
| 验证单位4 | 0.2320 |
| 验证单位7 | 0.2370 |
| 验证单位9 | 0.0610 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 0.0952 |
| 验证单位2 | 0.1243 |
| 验证单位8 | 0.1000 |
| 验证单位9 | 0.0130 |
| **标准设定要求** | | ≤0.2 |

* + 1. **粉末压实密度**

各验证单位对验证样品粉末压实密度的检测结果统计数据如表16所示。由表知，仅个别验证数据低于1.8 g/cm3，考虑为试验误差，认为本标准中规定的粉末压实密度要求是合理的。

1. **粉末压实密度验证结果统计表**

| **样品编号** | **验证单位** | **粉末压实密度（****g/cm3）** |
| --- | --- | --- |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 1.865 |
| 验证单位3 | 1.880 |
| 验证单位5 | 1.923 |
| 验证单位6 | 1.920 |
| 验证单位7 | 1.720 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 1.985 |
| 验证单位4 | 1.860 |
| 验证单位6 | 2.080 |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 1.850 |
| 验证单位3 | 2.140 |
| 验证单位4 | 1.990 |
| 验证单位7 | 2.050 |
| 验证单位9 | 2.164 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 1.853 |
| 验证单位2 | 1.550 |
| 验证单位5 | 1.961 |
| 验证单位9 | 1.976 |
| **标准设定要求** | | ≥1.8 |

* + 1. **振实密度**

各验证单位对验证样品振实密度的检测结果统计数据如表17所示。由表知，全部验证数据均高于0.7 g/cm3，本标准中规定的振实密度要求是合理的。

1. **振实密度验证结果统计表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **样品编号** | **验证单位** | **振实密度（g/cm3）** |
|  | 验证单位3 | 0.825 |
| 验证单位5 | 1.009 |
| 验证单位6 | 0.820 |
| 验证单位7 | 0.970 |
| 验证单位8 | 0.854 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 1.590 |
| 验证单位4 | 1.680 |
| 验证单位6 | 1.720 |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 1.070 |
| 验证单位3 | 0.991 |
| 验证单位4 | 1.190 |
| 验证单位7 | 1.240 |
| 验证单位9 | 1.070 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 0.890 |
| 验证单位2 | 0.840 |
| 验证单位5 | 0.883 |
| 验证单位8 | 0.824 |
| 验证单位9 | 0.870 |
| **标准设定要求** | | ≥0.7 |

* + 1. **粒度分布**

各验证单位对验证样品粒度分布的检测结果统计数据如表18所示。由表知，仅NFPP-B样品的粒度分布不满足标准设定要求，可能是NFPP-B未进行粉碎，其粉碎后可能满足标准设定要求，本标准规定的粒度分布要求考虑了市场需求，综合考虑认为本标准中规定的粒度分布要求是合理的。

1. **粒度分布验证结果统计表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **样品编号** | **验证单位** | **粒度分布（μm）** | | | |
| *D*10 | *D*50 | *D*90 | *D*99 |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 1.919 | 6.420 | 14.432 | 51.593 |
| 验证单位3 | 2.330 | 6.610 | 13.100 | 24.040 |
| 验证单位5 | 1.458 | 4.698 | 9.958 | 14.895 |
| 验证单位6 | 1.850 | 5.700 | 11.900 | 20.200 |
| 验证单位7 | 1.740 | 5.640 | 12.430 | 25.260 |
| 验证单位8 | 1.921 | 5.993 | 13.107 | 17.679 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 11.584 | 24.649 | 45.443 | 62.038 |
| 验证单位4 | 11.000 | 23.100 | 42.200 | 57.900 |
| 验证单位6 | 11.600 | 24.200 | 42.000 | 57.100 |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 2.168 | 5.998 | 11.200 | / |
| 验证单位3 | 2.020 | 5.990 | 10.920 | 16.430 |
| 验证单位4 | 1.570 | 5.570 | 10.500 | 14.600 |
| 验证单位7 | 1.870 | 6.180 | 20.770 | / |
| 验证单位9 | 2.092 | 5.946 | 11.731 | 17.387 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 3.188 | 8.615 | 18.109 | 27.926 |
| 验证单位2 | 3.686 | 9.394 | 19.050 | / |
| 验证单位5 | 2.041 | 6.515 | 14.488 | 21.741 |
| 验证单位8 | 3.697 | 9.852 | 20.374 | 29.406 |
| 验证单位9 | 3.709 | 10.036 | 22.687 | 36.965 |
| **标准设定要求** | | ≥1 | ≤10 | ≤25 | ≤30 |

* + 1. **比表面积**

各验证单位对验证样品比表面积的检测结果统计数据如表19所示。由表知，全部验证数据均低于标准设定要求，本标准中规定的比表面积要求是合理的。

1. **比表面积验证结果统计表**

| **样品编号** | **验证单位** | **比表面积（m2/g）** |
| --- | --- | --- |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 16.88 |
| 验证单位3 | 20.70 |
| 验证单位5 | 24.26 |
| 验证单位6 | 19.26 |
| 验证单位7 | 19.58 |
| 验证单位8 | 19.89 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 10.23 |
| 验证单位4 | 10.07 |
| 验证单位6 | 10.27 |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 9.26 |
| 验证单位3 | 10.01 |
| 验证单位4 | 9.70 |
| 验证单位7 | 9.78 |
| 验证单位9 | 10.13 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 8.13 |
| 验证单位2 | 9.40 |
| 验证单位5 | 13.38 |
| 验证单位8 | 9.58 |
| 验证单位9 | 9.47 |
| **Max** | | 24.26 |
| **Min** | | 8.13 |
| **标准设定要求** | | ≤26.0 |

* + 1. **pH值**

各验证单位对验证样品pH值的检测结果统计数据如表20所示。由表知，全部验证数据均在标准设定要求范围内，本标准中规定的pH值要求是合理的。

1. **pH值验证结果统计表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **样品编号** | **验证单位** | **pH值** |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 9.58 |
| 验证单位3 | 9.98 |
| 验证单位5 | 10.01 |
| 验证单位6 | 10.22 |
| 验证单位7 | 10.25 |
| 验证单位8 | 10.62 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 10.21 |
| 验证单位4 | 11.22 |
| 验证单位6 | 10.81 |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 10.63 |
| 验证单位3 | 10.26 |
| 验证单位4 | 10.68 |
| 验证单位7 | 11.13 |
| 验证单位9 | 10.56 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 10.22 |
| 验证单位2 | 10.81 |
| 验证单位5 | 10.24 |
| 验证单位8 | 10.74 |
| 验证单位9 | 10.76 |
| **标准设定要求** | | 8～12 |

* + 1. **残余钠**

各验证单位对验证样品残余钠的检测结果统计数据如表21所示。由表知，全部验证数据均低于标准设定要求，本标准中规定的残余钠要求是合理的。

1. **残余钠验证结果统计表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **样品编号** | **验证单位** | **残余钠（%）** |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 0.018 |
| 验证单位3 | 0.467 |
| 验证单位5 | 0.088 |
| 验证单位6 | 0.560 |
| 验证单位7 | 0.340 |
| 验证单位8 | 0.850 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 0.091 |
| 验证单位4 | 0.270 |
| 验证单位6 | 0.110 |
| 验证单位3 | 0.529 |
| 验证单位4 | 0.630 |
| 验证单位7 | 0.460 |
| 验证单位9 | 0.457 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | ND |
| 验证单位5 | 0.023 |
| 验证单位8 | 0.580 |
| 验证单位9 | 0.455 |
| **标准设定要求** | | ≤1.0 |

* + 1. **电化学性能**

各验证单位对验证样品电化学性能的检测结果统计数据如表22所示。

1. **电化学性能验证结果统计表**

| **样品编号** | **验证单位** | **0.1C首次放电比容量（mAh/g）** | **0.1C首次充放电效率（%）** |
| --- | --- | --- | --- |
| **NFPP-A** | 验证单位1 | 97.2 | 96.1 |
| 验证单位3 | 101.43 | 94.67 |
| 验证单位5 | 106.9 | 96.1 |
| 验证单位6 | 108.4 | / |
| 验证单位7 | 98.8 | 87 |
| **NFPP-B** | 验证单位1 | 93.7 | 91.7 |
| 验证单位4 | 95.9 | 91 |
| 验证单位6 | 98.3 | / |
| **NFPP-C** | 验证单位2 | 94.9 | 83.7 |
| 验证单位3 | 94.41 | 90.57 |
| 验证单位4 | 98.5 | 86.5 |
| 验证单位7 | 102.2 | 95 |
| 验证单位9 | 103.67 | 90.32 |
| **NFPP-D** | 验证单位1 | 95.3 | 90.2 |
| 验证单位2 | 95.0 | 91.0 |
| 验证单位5 | 103.2 | 93.5 |
| 验证单位9 | 103.86 | 97.42 |
| **标准设定要求** | | ≥90 | ≥90 |

**3.1.10.1 0.1C首次放电比容量**

由表22知，验证样品的0.1C首次放电比容量均可满足标准设定值，标准中规定的0.1C首次放电比容量要求是科学合理的。

**3.1.10.2 0.1C首次充放电效率**

由表22知，验证样品的0.1C首次充放电效率有较多未能达到原定要求90%，综合考虑后将该指标要求调整为≥85%。

**四、标准中涉及的专利情况**

本文件不涉及专利问题。

**五、标准预期达到的社会效益等情况**

**5.1 标准编写的目的和意义**

近年来，发展具有可靠和高效储能系统的可充电电池（二次电池）是一大趋势。现如今大多数运用与市场的电池是以锂元素作为原材料。然而，锂资源十分稀缺（仅占地壳的0.0065%）且分布不均，导致相应的正极材料原料短缺且价格昂贵，难以满足未来市场的发展要求。

钠与锂同族，两者具有相似的化学性质，与锂资源相比，钠的储量更丰富、成本更低。钠（Na）被认为是在二次电池中取代锂（Li）的最有前途的候选者。钠离子电池的电化学性能在很大程度上取决于正极和负极材料固有的化学性质，其中正极材料在实现优异的Na存储方面起着重要作用，正极材料决定了钠离子电池的安全性、价格、能量密度和功率密度。

发改能源规〔2021〕1051号，国家发展改革委 国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见，提出“加快飞轮储能、钠离子电池等技术开展规模化试验示范”。

工信部8月12日回复政协委员提案的函中提出“工信部将组织有关标准研究机构适时开展钠离子电池标准制定，并在标准立项、标准报批等环节予以支持”。

实现碳达峰、碳中和的关键任务是实施可再生能源替代行动、大幅提升新能源在能源结构中的比重、构建以新能源为主体的新型电力系统。锂离子电池、钠离子电池等新型电池作为推动新能源产业发展的压舱石，是支撑新能源在电力、交通、工业、通信、建筑、军事等领域广泛应用的重要基础，也是实现碳达峰、碳中和目标的关键支撑之一。我国作为锂资源消费大国，绝大多数的锂资源供给都依赖进口。钠离子电池以其资源和成本的优势在储能和低速电动车领域已展现出巨大的作用。

钠离子电池相比较锂离子电池，成本降低35%以上，可以大大降低新能源汽车的价格，同时为了避免锂资源成为国家新能源战略中卡脖子资源，所以迫切需要发展钠离子电池，从而促进新能源汽车的发展。

近几年，钠离子电池开始逐步进入规模化试验示范阶段，继铅蓄电池、锂离子电池等电化学储能体系后，钠离子电池开始在储能领域崭露头角。正极材料是钠离子电池最核心的关键材料，决定了电池的能量密度和成本。因此，开发高性能、低成本、高安全的正极材料是推动钠离子电池产业化和市场快速应用的关键。

**5.2 标准预期的作用和效益**

焦磷酸磷酸铁钠作为钠离子电池用正极材料，众多新能源企业及科研院所均在研发，有部分企业已实现商业化，但目前没有统一的标准可以参考。制定《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》产品标准，有利于钠离子电池正极材料焦磷酸磷酸铁钠的规范生产、质量统一、广泛应用，将推进我国新能源产业更好更快发展。

**六、采用国际标准和国外先进标准的情况**

本文件为我国首次制定，经查询，本文件与国内外现行标准及制定中的标准无重复交叉情况。

**七、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况**

本文件与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。标准涉及内容全面、条款详细、在编制过程中吸纳了国内相关先进技术，整体达到先进水平。

**八、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

**九、标准作为强制性或推荐性标准的建议**

建议本文件为团体标准，供相关组织参考采用。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

建议向钠离子电池正极材料焦磷酸磷酸铁钠研发、生产、销售、检测等相关企业和单位积极贯彻本文件的内容。

**十一、废止现行有关标准的建议**

无。

**十二、其他应予说明的事项**

无。

**《钠离子电池用正极材料焦磷酸磷酸铁钠》标准编制组**

**2024年4月**