

国家标准《钠离子电池正极材料通则》 编制说明

（讨论稿）

《钠离子电池正极材料通则》编制组
编写单位：广东邦普循环科技有限公司

2025 年 5 月 8 日

一、工作简况

1.1 任务来源

1.1.1 标准立项计划情况

根据 2024 年 3 月 25 日《关于下达 2024 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【2024】16 号），国家标准《钠离子电池正极材料通则》制定项目归口于全国有色金属标准化技术委员会，项目计划编号 20240001-Z-610，项目周期为 18 个月，计划完成年限为 2025 年。

该国家标准项目由广东邦普循环科技有限公司、宁波容百新能源科技股份有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司、蜂巢能源科技（无锡）有限公司、湖南中伟新能源科技有限公司等负责起草。

1.2 标准制定的目的和意义

1.2.1 贯彻国家政策，大力发展新型储能

随着新能源行业的快发展和技术迭代，固态电池/钠离子电池的技术取得了不断地进步，新型储能的技术需求愈加迫切，国家近年来出台多项政策支持钠离子电池技术研发，支持新型储能发展：

2021 年 7 月，国家发改委、国家能源局印发《关于加快推动新型储能发展的指导意见》（发改能源规〔2021〕1051 号），将钠离子电池列为新型储能技术的重点发展方向，推动其在储能领域的规模化应用，目标是到 2025 年实现新型储能从商业化初期向规模化发展转变。

2022 年 6 月，国家发展和改革委员会等九部门印发《“十四五”可再生能源发展规划》，提出加强可再生能源前沿技术和核心技术装备攻关，研发储备钠离子电池等高能量密度储能技术，推动其在能源领域的应用。

2023 年 1 月，工业和信息化部等六部门印发《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，明确提出加快钠离子电池技术突破和规模化应用，支持建立全生命周期溯源管理平台，开展电池碳足迹核算标准与方法研究。

2025 年 2 月 17 日，工信部等八部门印发《新型储能制造业高质量发展行动方案》，提出到 2027 年，实现钠电池大规模储能系统集成及应用技术攻关，服务新型电力系统建设。

本标准主要规范了钠离子正极材料有害元素限定、技术要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输、贮存等内容，既符合现实需求以及国家政策导向，也是避免锂资源成为国家新能源战略中卡脖子的资源，对推动我国新能源产业的发展具有十分重要的意义。

1.2.2 填补钠离子电池相关国家标准，推动钠电标准体系建设

截至目前，未查询到有专门针对钠离子电池有关的国际标准、国家标准、行业及地方标准等。主要是由于全球范围内，钠离子电池刚刚进行产业化，上下游产业链不成熟，导致目前暂无正式的标准或规范推出。现阶段钠离子电池企业也主要是参照或借鉴一些锂离子电池标准或规范的相关内容，并结合钠离子电池自身的特性和产业发展情况来制定各自的企业标准或产品规范，以此规范产品设计及制造工艺、确保产品质量的一致性。但作为一种全新的电池体系，钠离子电池以及其生产制造环节诸多关键材料在国内外无可供使用的标准或规范，这将会严重制约钠离子电池技术和产业的发展。因此，行业亟需制定一系列钠离子电池及其关键材料的国家和行业标准，实现钠离子电池及其关键材料的规范化和标准化，规范市场秩序和推动技术进步。同时，它也为后续相关标准的制定提供了参考，进一步完善了我国钠离子电池标准体系，为产业的健康、可持续发展提供了有力支撑。

1.2.3 钠电市场前景广阔，发展潜力巨大

钠离子电池行业未来发展前景广阔，主要得益于其资源丰富、成本低廉、安全性高等优势，首先，钠资源储量远高于锂资源（地壳中钠含量约为 2.75%，而锂仅为 0.0065%），且分布广泛，这为钠离子电池的大规模应用提供了资源保障³⁶。其次，钠离子电池在低温性能、循环寿命和安全性方面表现优异，尤其

是在储能领域，其成本优势显著。根据预测，钠离子电池的度电成本有望从目前的 0.7 元/Wh 降至 2025 年的 0.5 元/Wh 以下，这将进一步推动其在储能、低速电动车等领域的应用²⁶。此外，国家政策的大力支持也为钠离子电池行业的发展提供了良好的环境。

未来市场规模情况，国内市场方面，根据前瞻产业研究院的预测，2024 年中国钠离子电池行业市场出货规模将达到 3GWh，未来五年复合增速高达 67.88%。到 2030 年中国钠离子电池装机量有望接近 50GWh。全球市场方面，2024 年全球钠离子电池市场规模达到 6.1 亿美元，前瞻产业研究院预测，未来五年复合增速为 21.42%，到 2030 年，全球钠离子电池市场规模预计将达到 124.3 亿美元。

1.2.4 统一产品技术指标，推动行业健康高质量发展

钠离子电池正极材料是决定电池性能和成本的关键因素之一。目前，钠离子电池正极材料存在多种技术路线，如过渡金属氧化物、聚阴离子型化合物和普鲁士蓝类化合物等。《钠离子电池正极材料通则》标准的编制，能够统一正极材料的技术指标和检测方法，规范市场秩序，避免因标准不一致导致的产品质量参差不齐。通过制定统一的技术标准，能够为钠离子电池正极材料的研发、生产和应用提供明确的指导，推动企业加大技术创新投入，提升产品质量和性能。这不仅有助于钠离子电池行业的技术进步，还能增强我国在全球钠离子电池领域的竞争力。

目前，钠离子电池行业仍处于快速发展阶段，相关标准体系尚不完善。《钠离子电池正极材料通则》的编制，填补了正极材料领域的标准空白，进一步完善了钠离子电池的标准体系。这将为行业的健康发展提供有力支撑，避免因标准缺失导致的市场混乱和无序竞争。此外，统一的技术标准能够增强市场对钠离子电池产品的信心，推动其在储能、低速电动车、电动船舶等领域的广泛应用。这不仅有助于钠离子电池产业的快速扩张，还能为相关产业链的发展提供广阔空间。

1.2.5 响应“双碳”目标，推动能源转型与碳减排

钠离子电池在储能领域的优势显著，能够有效解决风电、光伏发电的波动性和不稳定性问题，促进能源系统的多元化与低碳化发展。其在高寒地区和极端环境下的性能优势，使其成为储能电站的理想选择，有助于提升可再生能源的消纳能力。此外，钠离子电池的广泛应用有助于减少传统铅酸电池的使用，后者在生产、使用和回收过程中对环境影响较大。钠离子电池在生产和回收过程中的环境影响较小，生态足迹更低，符合“双碳”目标下的环保要求。

在全球碳中和趋势下，钠离子电池作为新型储能技术，被视为最具潜力的替代方案之一。其在大规模储能、低速电动车、电动船舶等领域的应用前景广阔，能够有效减少碳排放，助力我国实现“碳达峰、碳中和”目标。钠离子电池产业的发展不仅有助于解决我国资源短缺问题，还能有效推动可再生能源的稳定应用，降低碳排放，为实现“双碳”目标提供重要支撑。

1.3 主要参加单位和工作成员及其所作的工作

1.3.1 主要参加单位情况

广东邦普循环科技有限公司，作为标准的牵头单位，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，同时积极组织标准的任务落实、讨论、预审、审查等会议，根据专家提出的意见，能够带领编制组成员单位认真细致修改标准文本，对标准的研制过程具有决定性贡献。

宁波容百新能源科技股份有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司、蜂巢能源科技（无锡）有限公司、湖南中伟新能源科技有限公司等，作为标准的主要参与单位，积极参与产品数据调研工作和产品试验验证工作，针对产品指标、试验方法等提供了大量宝贵的建议，对标准的研制过程具有十分重要的贡献。

1.3.2 主要工作成员所负责的工作情况

本标准主要起草人及工作职责如下（待补充）：

本标准主要起草人及工作职责，见下表 1。

表1 主要起草人及其工作职责

起草人	工作职责

1.4 标准编制工作过程

1.4.1 立项阶段

2023 年 5 月，广东邦普循环科技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《钠离子电池正极材料通则》申报材料。

2024 年 3 月 25 日国家标准化管理委员会下达了制定《钠离子电池正极材料通则》国家标准的任务，项目计划编号 20240001-Z-610，项目周期为 18 个月，计划完成年限为 2025 年。技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

1.4.2 起草阶段

1.4.2.1 产品指标调研

2025 年 2 月~3 月，共收集广东邦普循环科技有限公司、国科能源技术创新中心（合肥）有限公司、万华化学集团股份有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、浙江美达瑞新材料科技有限公司、兰州金通储能动力新材料有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司、贝特瑞新材料集团股份有限公司等 11 家单位反馈的过渡金属氧化物类、聚阴离子类及普鲁士蓝类产品数据（主要指标调研情况详见后续内容）。根据调研结果并与相关反馈企业技术人员进行细致讨论，由主编单位整理并修改完善形成标准讨论稿 2。

1.4.2.2 召开讨论会

2025 年 3 月 6 日标委会于安徽合肥召开标准讨论会，与会单位充分表达了意见，并就产品代号命名、增加化学成分分析、压实密度、电化学性能、检验规则、标识等内容进行了讨论，形成了标准讨论稿 3。

1.4.2.3 试验方法验证

2025 年 3 月收集了钠电过渡金属氧化物类正极材料三种：镍铁锰酸钠(NFM)、铜铁锰酸钠（CFM）、镍锰酸钠(NM)样品；收集了钠电聚阴离子类正极材料三种：焦磷酸磷铁酸钠（NFPJ）、硫酸亚铁钠（N’FS）、磷酸钒钠（N’VP）；收集了钠电普鲁士蓝类正极材料一种：锰基普鲁士蓝类正极材料（M-HCF）。样品分派到 12 单位进行验证，并得到验证结果。

二、标准编制原则

2.1 编制原则

本标准编制根据我国行业发展水平及现状，同时，结合行业中代表性单位产品及技术水平。本标准编

制应更加科学合理、切实可行、具有可操作性，规范钠电正极材料技术指标，满足相关法律法规要求。本标准的制定工作应遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性的原则，按照 GB/T 1.1—2020 给出的规则编写。

2.2 主要工艺介绍

目前市场上钠离子电池正极材料的主要生产工艺包括过渡金属氧化物、聚阴离子类和普鲁士蓝类三种技术路线，各自的特点及工艺如下：

过渡金属类正极材料生产工艺和锂离子电池的三元材料类似，可以直接利用现有生产设备，具有成本低、工艺简单的优势，通常采用高温固相法或共沉淀法。先将含有钠和过渡金属的前驱体混合均匀，然后在高温下煅烧，形成所需的晶体结构。优点是二维传输通道使得钠离子传输速度快，压实密度高，能量密度较高；缺点是未改性材料在空气中稳定性较差，循环寿命有待提升。

普鲁士蓝类正极材料具有开放的三维结构，有利于钠离子的快速传输。常用的方法包括共沉淀法、水热法和热分解法。例如，通过将过渡金属盐和亚铁氰化钠溶液混合，控制反应条件，形成普鲁士蓝结构。其优点是钠离子传输速度快，倍率性能优异，低温性能好；缺点是结晶水含量较高，可能影响材料的稳定性和电化学性能。

聚阴离子类正极材料具有稳定的晶体结构和良好的循环稳定性。通常采用水热法、溶胶-凝胶法或固相反应法。通过控制反应条件，形成稳定的聚阴离子结构。其优点是结构稳定，循环寿命长，安全性高，适合大规模储能应用；缺点是能量密度相对较低，合成工艺复杂，成本较高。

钠离子电池正极材料的生产工艺主要包括原料准备、混合、烧结、粉碎、筛分和包装等步骤。其工艺流程及介绍如下：



图 1 钠离子正极材料生产工艺

工艺介绍：

①原料准备：根据正极材料的化学组成（如层状氧化物、聚阴离子化合物或普鲁士蓝类材料），选择合适的原料，如碳酸钠（ Na_2CO_3 ）、过渡金属氧化物（如 Fe_2O_3 、 MnO_2 ）等；对原料进行干燥、粉碎和筛分，确保原料的纯度和粒度符合要求。

②混合：按照化学计量比将原料称重并混合，将原料与溶剂（如水或乙醇）混合，通过球磨或搅拌设备进行均匀混合，形成浆料，将混合后的浆料进行干燥，去除溶剂，得到均匀的粉末混合物。

③烧结：预烧-将混合粉末在较低温度（如 $300\text{--}500^\circ\text{C}$ ）下进行预烧，去除挥发性成分并初步形成目标化合物的前驱体。高温烧结-将预烧后的粉末在高温（如 $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ ）下进行烧结，使原料发生固相反应，生成目标正极材料。根据材料特性，选择在空气、氮气或惰性气氛下进行烧结。

④粉碎：粉碎分为粗粉碎和细粉碎。粗粉碎是将烧结后的块状材料通过颚式破碎机或锤式破碎机进行粗粉碎，细粉碎是使用球磨机或气流磨对粗粉碎后的材料进行细粉碎，得到均匀的微米级粉末。

⑤筛分：通过振动筛或气流筛对粉碎后的粉末进行分级，去除过大或过小的颗粒，确保材料粒度分布符合要求。

⑥包装：将筛分后的材料进行干燥，去除水分，将干燥后的正极材料装入防潮、防氧化的包装袋中，密封保存。

三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

3.1、标准主要内容的确定依据

3.1.1 范围

本标准文本规定了钠离子正极材料的术语和定义、分类、命名及代号、有害元素限定、技术要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输、贮存等内容。

本文件适用于钠离子电池用正极材料。

说明：近年来，随着钠离子电池技术的不断突破及国家对于新型储能战略规划，钠离子电池相关研究取得了快速进步，而相关的标准也亟需研制。因此，编写了本标准。

3.1.2 规范性引用文件

在标准的编制过程中，工作组成员查阅了大量的标准及文献资料，根据文本内容的编制需要，对下列文件进行了规范性引用：

GB/T 23365 钴酸锂电化学性能测试 首次比容量及首次充放电效率测试方法

GB/T 23366 钴酸锂电化学性能测试 放电平台容量比率及循环寿命测试方法

说明：在本标准中也涉及相关的术语及定义，产品技术指标测定，以你次引用了以上标准。

3.1.3 术语和定义

各术语及定义如下：

①钠离子电池：基于钠离子在电解质中迁移及其在正负极材料中可逆嵌入/脱出的电化学电池。

②钠离子电池正极材料：钠离子电池中以含钠的化合物为正极活性物质的材料。

③过渡金属氧化物类正极材料：由过渡金属元素（如镍、钴、锰、铁等）与氧元素组成的化合物，作为钠离子电池的正极材料活性物质。

④普鲁士蓝类正极材料：由普鲁士蓝结构 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 中引入其他金属离子组成的具有开放型三维通道结构的化合物。

⑤聚阴离子类正极材料：由一系列阴离子四面体 $(\text{XO}_4)^n-$ 或其衍生基团 $(\text{X}_m\text{O}_{3m+1})^n-$ （ $\text{X}=\text{B}, \text{S}, \text{P}, \text{Si}, \text{As}, \text{Mo}, \text{W}$ 等）与过渡金属-氧多面体 (MO_x) 构成的化合物。

⑥层状结构：层与层以一定的间隔依次排列形成的结构。

⑦隧道结构：由多个不规则的多面体和独特的S型通道连接而成的结构。

⑧比容量：单位质量的活性物质在规定条件下充电或放电的电化学容量，单位为毫安时每克（ mAh/g ）。

⑨充放电效率：活性物质在规定条件下的放电容量和充电容量的比值。

说明：基于该标准内容，并考虑到目前国行标中并未有关于钠离子电池相关标准，因此，首先对钠离子电池及钠离子电池正极材料进行了定义；而钠离子电池正极材料又分为过渡金属氧化物类正极材料、普鲁士蓝类正极材料和聚阴离子类正极材料，因此对以上三类电池正极材料进行定义；钠离子电池正极材料根据其晶体结构又可以分为层状结构、隧道结构等，因此，对于以上不同结构进行了定义。

参考GB/T 23365《钴酸锂电化学性能测试 首次比容量及首次充放电效率测试方法》、GB/T 23366《钴酸锂电化学性能测试 放电平台容量比率及循环寿命测试方法》，正极材料的技术测试通常包括：比容量、充放电效率等；因此，对以上术语分别进行了定义。

3.1.4 分类

钠离子电池正极材料包括过渡金属氧化物类正极材料、普鲁士蓝类正极材料、聚阴离子类正极材料，过渡金属氧化物以Tr表示，聚阴离子型化合物以Po表示，普鲁士蓝类化合物以Pr表示。

3.1.4.1 过渡金属氧化物类正极材料分类

过渡金属氧化物按结构的差异，主要分为层状结构、隧道结构等两种类别：层状结构以l表示，隧道结构以t表示。通常用 $\text{Na}_x\text{M}'\text{O}_2$ 表示， M' 为过渡金属，代表钴（Co）、铁（Fe）、锰（Mn）、钛（Ti）和镍（Ni）等。过渡金属氧化物类正极材料的分类如表1所示。

表2 过渡金属氧化物类正极材料分类

主金属数量分类	正极材料化学式	名称	代号
---------	---------	----	----

主金属数量分类	正极材料化学式	名称	代号
一元材料	Na_xCoO_2	钴酸钠正极材料	C
	Na_xMnO_2	锰酸钠正极材料	M
	Na_xVO_2	钒酸钠正极材料	V
	Na_xFeO_2	铁酸钠正极材料	F
二元材料	$\text{Na}[\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}]\text{O}_2$	镍钴酸钠正极材料	NC
	$\text{Na}[\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}]\text{O}_2$	镍铁酸钠正极材料	NF
	$\text{Na}[\text{Ni}_x\text{Ti}_{1-x}]\text{O}_2$	镍钛酸钠正极材料	NT
	$\text{Na}[\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}]\text{O}_2$	铁钴酸钠正极材料	FC
	$\text{Na}_{2/3}[\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}]\text{O}_2$	铁锰酸钠正极材料	FM
	$\text{Na}_{2/3}[\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{2/3}]\text{O}_2$	锰钴酸钠正极材料	MC
	$\text{Na}_{2/3}[\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{2/3}]\text{O}_2$	镍锰酸钠正极材料	NM
三元材料	$\text{Na}[\text{Ni}_x\text{Fe}_y\text{Mn}_{1-x-y}]\text{O}_2$	镍铁锰酸钠正极材料	NTM
	$\text{Na}[\text{Cu}_x\text{Fe}_y\text{Mn}_{1-x-y}]\text{O}_2$	铜铁锰酸钠正极材料	CFM
	$\text{Na}[\text{Ni}_x\text{Cu}_y\text{Mn}_{1-x-y}]\text{O}_2$	镍铜锰酸钠正极材料	N'CM
四元材料	$\text{Na}[\text{Ni}_x\text{Fe}_y\text{Mn}_z\text{Cu}_{1-x-y-z}]\text{O}_2$	镍铁锰铜酸钠正极材料	NFMC
多元材料根据具体金属元素命名			

3.1.4.2 普鲁士蓝正极材料分类

普鲁士蓝类正极材料的通式为 $\text{Na}_x\text{M}'[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{1-y}\cdot\Box_y\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，其中 M' 为铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、锰 (Mn) 等过渡金属元素， $\Box$ 为空位缺陷， $0 < x < 2$ ， $0 < y < 1$ 。 $x > 1$ 称为富态钠或普鲁士白， $x \leq 1$ 为贫态钠。普鲁士蓝类正极材料的分类如表 2 所示。

表3 普鲁士蓝类正极材料分类

主金属元素分类	化学式	名称	代号
锰基	$\text{Na}_x\text{Mn}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{1-y}\cdot\Box_y\cdot n\text{H}_2\text{O}$	锰基普鲁士蓝类正极材料	M-HCF
铁基	$\text{Na}_x\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{1-y}\cdot\Box_y\cdot n\text{H}_2\text{O}$	铁基普鲁士蓝类正极材料	F-HCF
镍基	$\text{Na}_x\text{Ni}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{1-y}\cdot\Box_y\cdot n\text{H}_2\text{O}$	镍基普鲁士蓝类正极材料	N-HCF
铜基	$\text{Na}_x\text{Cu}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{1-y}\cdot\Box_y\cdot n\text{H}_2\text{O}$	铜基普鲁士蓝类正极材料	C-HCF

3.1.4.3 聚阴离子类正极材料分类

聚阴离子型化合物按化学成分的差异，主要分为磷酸盐、氟磷酸盐、焦磷酸盐、硫酸盐等四种类别：磷酸盐以 h 表示、氟磷酸盐以 f 表示、焦磷酸盐以 r 表示、硫酸盐以 s 表示。

聚阴离子类正极材料是由聚阴离子多面体和过渡金属离子多面体通过强共价键连接形成的具有三维网络结构的化合物，钠离子占据其中的通道位置，化学式为 $\text{Na}_x\text{M}'_y(\text{XaOb})_c$ ，其中， M' 为钒 (V)、铁 (Fe)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、锰 (Mn)、镍 (Ni) 等中的一种或几种；X 为磷 (P)、硅 (Si)、硫 (S)、氟 (F)

等。聚阴离子类正极材料的分类如表 3 所示。

表4 聚阴离子类正极材料分类

分类	化学式	名称	代号
磷酸盐	NaFePO_4	磷酸铁钠正极材料	N'FP
	$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$	磷酸钒钠正极材料	N'VP
	$\text{NaFe}_2\text{Mn}(\text{PO}_4)_3$	磷酸锰铁钠正极材料	N'MFP
	$\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)$	磷酸焦磷酸铁钠正极材料	N'FJP
硫酸盐	$\text{NaFe}(\text{SO}_2)_2$	硫酸铁钠正极材料	N'FS
焦磷酸盐	$\text{Na}_2\text{FeP}_2\text{O}_7$	焦磷酸铁钠正极材料	N'FJ
	$\text{Na}_2\text{CoP}_2\text{O}_7$	焦磷酸钴钠正极材料	N'C'J
氟取代	$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$	氟磷酸钒钠正极材料	N'VPf
	$\text{Na}_2\text{FePO}_4\text{F}$	氟磷酸铁钠正极材料	N'FPf
氟氧取代	$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{O}_2\text{F}$	氟氧磷酸钒钠正极材料	N'VPfO

3.1.4 命名及代号

过渡金属氧化物类正极材料命名用主金属、电池类别元素表示。代号用主金属元素的代号表示。示例：主金属为镍、铁、锰、铜的过渡金属氧化物类正极材料命名为镍铁锰铜酸钠正极材料，代号为：NFMC。

普鲁士蓝类正极材料命名为主金属元素、体系名称表示。代号用主金属元素代号加体系名称代号表示。示例：主金属元素为锰的普鲁士蓝类正极材料命名为锰基普鲁士蓝正极材料，代号为：M-HCF。

注：学术文献中一般也用 MHCF 代指普鲁士材料，其中，M 代表金属元素，HCF 代指普鲁士材料的体系。（Jian Peng, Jiaqi Huang, Yun Gao,et al. Defect-healing Induced Monoclinic Iron-based Prussian Blue Analogs as High-performance Cathode Materials for Sodium-ion Batteries, Small, 2023）

聚阴离子类正极材料命名用主元素、阴离子以及电池类别元素表示。代号用主元素代号、阴离子代号以及电池类别元素对应的代号表示。示例：主元素为钒，阴离子为磷酸根的正极材料命名为磷酸钒钠正极材料，代号为：NVP。

3.1.5 技术要求

3.1.5.1 总体要求

产品的化学成分、物理性能、电化学性能由具体产品标准规定，产品技术指标需结合调研情况说明。

3.1.5.1.1 调研情况说明

本次调研共涉及12家单位，包括广东邦普循环科技有限公司、国科能源技术创新中心（合肥）有限公司、巴斯夫杉杉电池材料有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、贝特瑞新材料集团股份有限公司、金川集团股份有限公司、兰州金通储能动力新材料有限公司、深圳清华大学研究院、万华化学集团股份有限公司、浙江美达瑞新材料科技有限公司、中科海钠科技有限责任公司等12家单位。调研范围涉及钠电正极材料2类10种产品的物理及化学性质。其中部分单位只涉及部分类型钠电正极材料产品，因此未完全统计。

3.1.5.1.2 化学成分

化学成分分析依据各单位验证方案中数据进行统计。详细情况参见后续验证分析结果。

3.1.5.1.3 外观质量

表5 产品外观质量调研表

指标		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
外观	过渡金属氧化物	黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色、灰黑色或棕灰色粉末，颜色均匀，无结块	灰色、灰黑色或棕灰色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色、灰黑色或棕灰色粉末，颜色均匀，无结块	黑色粉末，颜色均匀，无结块	棕黑灰色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或深灰色粉末，颜色均匀，无结块	黑色，均匀粉末，无结块	灰色、灰黑色、棕黑色或棕灰色粉末，颜色均匀，无结块	灰色、灰黑色或棕灰色粉末，颜色均匀，无结块	灰色、灰黑色或棕灰色粉末，颜色均匀，无结块
	普鲁士蓝	/	蓝色或灰白色粉末，颜色均匀，无结块	蓝色或灰白色粉末，颜色均匀，无结块	/	/	/	深蓝色粉末，颜色均匀，无结块	蓝色或浅蓝色粉末，颜色均匀，无结块	蓝色或白色粉末，颜色均匀，无结块	/	蓝色或白色粉末，颜色均匀，无结块	蓝色或白色粉末，颜色均匀，无结块
	聚阴离子	/	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	/	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块	灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块

根据调研结果，过渡金属氧化物类外观描述为：灰色、灰黑色或棕灰色粉末，颜色均匀，无结块；普鲁士蓝类外观描述为：蓝色或白色粉末，颜色均匀，无结块；聚阴离子类外观描述为：灰色或灰黑色粉末，颜色均匀，无结块。

3.1.5.1.4 水分含量

表6 水分含量调研表

指标		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
水分含量/%	过渡金属氧化物	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.2	≤0.05	≤0.05	≤0.2	≤0.05	≤0.035	≤0.05	≤0.05	≤0.05
	普鲁士蓝	/	游离水：≤0.5	结晶水：≤10 游离水：≤0.5	/	/	/	结晶水：≤10 游离水：≤0.5	结晶水：≤10 游离水：≤0.2	结晶水：≤10 游离水：≤0.5	/	结晶水：≤10 游离水：≤0.5	结晶水：≤10 游离水：≤0.5
	聚阴离子	/	≤0.1	≤0.2	≤0.2	≤0.2	/	≤0.2	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.1	≤0.2

根据调研结果，过渡金属氧化物类水分含量 90%以上在≤0.05%；普鲁士蓝类结晶水含量≤10%，游离水含量≤0.5%；聚阴离子类水分含量大多数调研结果为≤0.2。

3.1.5.1.5 压实密度

表7 压实密度调研表

指标			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
压实密度 /g/cm ³	过渡金属氧化物	P2 型	/	≥2.6	≥2.6	≥2.6	/	/	≥2.6	≥2.8	≥3.2	≥2.6	≥3.0	≥2.6
		O3 型	≥3.0	≥3.0	≥2.5	≥3.0	≥3.0	≥3.1	≥3.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0
	普鲁士蓝	锰基、铁基	/	≥1.5	≥0.6	/	/	/	≥0.6	≥1.5	≥0.6	/	≥0.5	≥0.6
		镍基、铜基	/	≥1.2	≥0.5	/	/	/	≥0.5	≥1.5	≥0.5	/	≥0.5	≥0.5
	聚阴离子	磷酸盐型	/	≥1.7	≥1.5	/	≥1.5	/	≥1.5	≥1.8	≥2.0	/	≥1.6	≥1.5
		硫酸盐型	/	≥2.0	≥2.0	≥1.8	≥2.0	/	≥2.0	≥2.0	≥2.0	/	≥1.7	≥2.0
		焦磷酸盐型	/	≥1.8	≥1.8	≥1.8	≥2.0	/	≥1.8	≥1.8	≥2.0	≥1.8	≥1.6	≥1.8
		氟磷酸盐型	/	≥2.0	≥2.0	/	≥1.8	/	≥2.0	≥2.0	≥2.0	/	≥1.5	≥2.0

根据调研结果，过渡金属氧化物类，P2型压实密度 $\geq 2.6\text{g/cm}^3$ ，O3型压实密度 $\geq 3.02.6\text{g/cm}^3$ ；普鲁士蓝类，锰基和铁基压实密度多数测试结果在压实密度 $\geq 0.6\text{g/cm}^3$ ，镍基和铜基压实密度 $\geq 0.5\text{g/cm}^3$ ，但有单位提出压实密度测试结果太小，意义不大；聚阴离子类中磷酸盐型压实密度 $\geq 1.5\text{g/cm}^3$ ，硫酸盐型多数结果压实密度 $\geq 2.0\text{g/cm}^3$ ，焦磷酸盐型多数测试结果压实密度 $\geq 1.8\text{g/cm}^3$ ，氟磷酸盐型多数测试结果压实密度 $\geq 2.0\text{g/cm}^3$ 。

3.1.5.1.6 粒度分布D₅₀

表8 粒度分布D₅₀调研表

指标		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
粒度分布 D ₅₀ / μm	钠电正极材料	4-15	2~8	3~15	3~10	2~8	5.0~6.0	1~5	3~10	1~20	1~20	1~15	1~5

根据调研结果，钠电正极材料测试结果差异较大，根据多数测试结果来看，定为 1-10 μm 较为合理。

3.1.5.1.7 pH值

表9 pH值调研表

指标			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
pH 值	过渡金属氧化物	/	11-13.5	9.0~13.5	9.0~13.5	9.0~13.0	9.0~13.5	11.5~13.0	9.0~13	9.0~13.5	11.5~12.5	9.0~13.5	9.0~13.5	9.0~13.5
	普鲁士蓝	/	/	6.0~10.0	6.0~10.0	/	/	/	6.0~10.0	6.0~10.0	6.0~10.0	/	6.0~10.0	6.0~10.0
	聚阴离子	其他	/	7.0~11.0	7.0~11.0	3.0~11.0	3.0~11.0	/	7.0~11.0	7.0~11.0	9.5~11.5	7.0~11.0	7.0~11.0	7.0~11.0
		氟磷酸盐型	/	3.0~5.0	3.0~5.0	/	5.0~7.0	/	3.0~5.0	3.0~5.0	3.0~5.0	/	3.0~5.0	3.0~5.0

根据调研结果,过渡金属氧化物类 pH 值为 9.0~13.5,符合大多数结果预期;普鲁士蓝类 pH 值为 6.0~10.0;聚阴离子类中氟磷酸盐型 pH 值多数在 3.0~5.0,其他类型 pH 值多数在 7.0~11.0。

3.1.5.1.8 电化学性能

表10 电化学性能调研表

指标			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.1C 首次放电比容量 /mAh/g	过渡金属氧化物	P2 型	/	≥100	≥100	≥85	≥100	/	≥100	≥100	≥100	≥100	≥75	≥100
		O3 型	≥125	≥125	≥120	≥130	≥130	≥130	≥125	≥120	≥120	≥130	≥125	≥120
	普鲁士蓝	锰基	/	≥120	≥120	/	/	/	≥128	≥120	≥120	/	≥120	≥120
		铁基	/	≥130	≥130	/	/	/	≥130	≥120	≥130	/	≥130	≥130
		镍基	/	≥120	≥120	/	/	/	≥120	≥120	≥120	/	≥120	≥120
		铜基	/	≥130	≥130	/	/	/	≥130	≥120	≥130	/	≥130	≥130
	聚阴离子	磷酸盐型	/	≥95	≥95	/	≥100	/	≥95	≥100	≥95	/	≥95	≥95
		硫酸盐型	/	≥80	≥80	≥80	≥85	/	≥80	≥90	≥80	/	≥80	≥80
		焦磷酸盐型	/	≥90	≥90	≥95	≥90	/	≥90	≥100	≥90	≥90	≥90	≥90
		氟磷酸盐型	/	≥100	≥100	/	≥110	/	≥100	≥90	≥100	/	≥100	≥100
0.1C 首次充放电效率 /%	过渡金属氧化物	P2 型	/	≥90	≥90	≥93	≥90	/	≥92	≥90	≥90	≥90	≥90	≥90
		O3 型	≥90	≥90	≥90	≥90	≥90	≥90	≥92	≥90	≥90	≥88	≥90	≥90
	普鲁士蓝	锰基	/	≥95	≥95	/	/	/	≥95	≥95	≥95	/	≥95	≥95
		铁基	/	≥95	≥95	/	/	/	≥95	≥95	≥95	/	≥95	≥95
		镍基	/	≥95	≥95	/	/	/	≥95	≥95	≥95	/	≥95	≥95
		铜基	/	≥95	≥95	/	/	/	≥95	≥95	≥95	/	≥95	≥95
	聚阴离子	磷酸盐型	/	≥85	≥90	/	≥90	/	≥90	≥90	≥90	/	≥90	≥90
		硫酸盐型	/	≥90	≥90	≥90	≥90	/	≥90	≥90	≥90	/	≥90	≥90
		焦磷酸盐型	/	≥85	≥85	≥90	≥85	/	≥85	≥85	≥90	≥85	≥85	≥85
		氟磷酸盐型	/	≥90	≥90	/	≥90	/	≥90	≥90	≥90	/	≥90	≥90

根据调研结果,0.1C 首次放电比容量,过渡金属氧化物类 P2 型、O3 型首次放电比容量应分别为≥100mAh/g、≥120mAh/g;普鲁士蓝类锰基、铁基、镍基及铜基首次放电比容量应分别为≥120mAh/g、≥130mAh/g、≥120mAh/g、≥130mAh/g;聚阴离子类磷酸盐型、硫酸盐型、焦磷酸盐型及氟磷酸盐型首次放电比容量应分别为≥95mAh/g、≥80mAh/g、≥90mAh/g、≥100mAh/g。

0.1C 首次充放电效率,过渡金属氧化物类 P2 型、O3 型首次充放电效率应分别为≥90%、≥90%;普鲁士蓝类锰基、铁基、镍基及铜基首次充放电效率应分别为≥95%、≥95%、≥95%、≥95%;聚阴离子类磷酸盐型、硫酸盐型、焦磷酸盐型及氟磷酸盐型首次充放电效率应分别为≥90%、≥90%、≥85%、≥90%。

3.2 试验方法

截至5月8日共收到了广东邦普、格林美、巴斯夫杉杉、湖北万润、浙江美达瑞新材料等10家单位反馈

验证数据，验证产品分别选取过渡金属氧化物类镍铁锰酸钠（NFM）、聚阴离子类复合磷酸铁钠（NFPP）及普鲁士蓝类锰基普鲁士蓝（M-HCF）3个典型代表样品，每个样品每个检测项目测试7组用来分析测试方法稳定性。

3.2.1 化学分析

过渡金属氧化物类正极材料、聚阴离子型化合物类正极材料化学成分测定分别参考附录 A、B 的规定进行。普鲁士蓝类正极材料化学成分测定根据双方协商一致的方法进行。

表11 过渡氧化物类（NFM）验证数据表

验证单位	元素含量/w%	测试次数							均值/%	RSD/%
		1	2	3	4	5	6	7		
a	Na	16.10	16.20	16.10	16.20	16.20	16.30	16.20	16.19	0.06
	主金属元素之和 (Ni+Fe+Mn)	40.10	40.00	39.90	39.90	39.90	40.00	40.10	39.99	0.08
	Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Pb	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Si	0.0033	0.0035	0.0033	0.0031	0.0034	0.0031	0.0031	0.0032	0.0001
	S	0.0323	0.0325	0.0326	0.0326	0.0326	0.0325	0.0326	0.0325	0.0001
b	Na	14.000	13.4900	12.7800	12.5300	13.2900	13.8200	13.4000	13.3300	3.95
	主金属元素之和 (Ni+Fe+Mn)	50.9200	50.3700	52.9800	53.0200	51.2800	51.6200	52.3100	51.7857	1.97
	Cd	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	5.39
	Cr	0.0147	0.0160	0.0149	0.0149	0.0153	0.0155	0.0155	0.0153	3.10
	Pb	0.0131	0.0139	0.0134	0.0137	0.0139	0.0135	0.0135	0.0136	2.15
	Si	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	S	/	/	/	/	/	/	/	/	/
c	Na	19.86	19.89	19.3	19.52	19.52	19.26	18.36	19.39	2.46
	主金属元素之和 (Ni+Fe+Mn)	50.16	49.96	50.12	50.13	50.06	50.65	50.27	50.19	0.41
	Cd	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002	0.0002	46.35
	Cr	0.0012	0.0009	0.0005	0.0017	0.001	0.0007	0.0001	0.0009	54.42
	Pb	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00
	Si	0.0181	0.0185	0.0169	0.0179	0.0173	0.0189	0.017	0.0178	3.97
	S	0.0919	0.0927	0.0931	0.0931	0.093	0.0931	0.0937	0.0929	0.55

根据验证测试结果分析，对于主要元素测试结果比较稳定，对于杂质元素测定部分单位测试结果出现较大波动，标准偏差较大。

表12 聚阴离子类（NFPP）验证数据表

验证单位	元素含量/w%	测试次数							均值/%	RSD/%
		1	2	3	4	5	6	7		
a	Fe	26.203	25.932	26.116	26.032	26.184	25.883	26.201	26.079	0.51

	Na	14.379	14.169	14.288	14.206	14.338	14.134	14.377	14.270	0.71
	P	18.634	18.500	18.624	18.558	18.602	18.437	18.631	18.569	0.41
	C	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Ca	0.0014	0.0009	0.0012	0.0016	0.0012	0.0013	0.0011	0.00124	17.91
	Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cr	0.0004	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0005	0.00047	10.35
	K	0.0091	0.0094	0.0097	0.0099	0.0092	0.009	0.0095	0.0094	3.47
	Zn	0.0007	0.0006	0.0009	0.001	0.0005	0.0009	0.0007	0.00076	23.94
	Ni	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0
b	Fe	25.85	25.87	25.82	25.68	25.82	25.93	25.71	25.81	0.34
	Na	14.93	14.95	14.94	14.98	14.96	14.96	14.99	14.96	0.14
	P	19.71	19.65	19.68	19.77	19.72	19.65	19.7	19.70	0.21
	C	2.04	2.07	2.07	2.06	2.05	2.05	2.05	2.06	0.55
	Ca	0.000893	0.000908	0.000887	0.000591	0.000589	0.000583	0.000595	0.000721	22.75
	Cu	0.000029	0.000145	ND	ND	0.000024	ND	ND	0.000066	/
	Cr	0.000045	0.000018	0.000019	0.000010	0.000029	0.000086	0.000003	0.000030	93.85
	K	0.007790	0.007874	0.007724	0.008508	0.007862	0.007690	0.007699	0.007878	3.65
	Zn	0.000203	0.000210	0.000203	0.000223	0.000239	0.000210	0.000235	0.000218	6.85
c	Fe	22.5763	22.8103	22.6542	22.5720	22.7102	22.6362	22.6231	22.6546	0.08
	Na	12.2850	12.3891	12.3031	12.2752	12.4021	12.3321	12.2997	12.3266	0.05
	P	16.3887	16.5201	16.3112	16.3550	16.4570	16.4102	16.3893	16.4045	0.06
	C	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Ca	0.0143	0.0062	0.0103	0.0084	0.0121	0.0148	0.0098	0.0108	0.00
	Cu	0.0004	0.0001	0.0011	0.0001	0.0002	0.0003	0.0008	0.0004	0.00
	Cr	0.0012	0.002	0.0005	0.0019	0.0022	0.0009	0.0015	0.0015	0.00
	K	0.0237	0.0122	0.0091	0.0182	0.0106	0.0133	0.0171	0.0149	0.00
	Zn	0.0008	0.0014	0.0002	0.0006	0.0000	0.0001	0.0005	0.0005	0.00
	Ni	0.001	0.0007	0.0012	0.0013	0.0005	0.0002	0.0017	0.0009	0.00

根据验证测试结果分析,对于主要元素测试结果比较稳定,对于杂质元素测定部分单位测试结果出现较大波动,标准偏差较大。

表13 普鲁士蓝类(M-HCF)验证数据表

验证单位	元素含量/w%	测试次数							均值/%	RSD/%
		1	2	3	4	5	6	7		
a	Fe	9.82	9.83	9.81	9.79	9.76	9.79	9.82	9.80	0.02
	Na	7.53	7.58	7.56	7.51	7.66	7.63	7.64	7.59	0.05
	Mn	9.9	9.9	9.94	9.89	9.91	9.99	9.97	9.93	0.04
	Al	0.0005	0.0006	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0001
	Ca	0.0004	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0004	0.0000
	Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Zn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

	Ni	0.0035	0.0033	0.0035	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034	0.0001
	K	0.0018	0.0018	0.0017	0.0018	0.0020	0.0020	0.0020	0.0019	0.0001
	Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
b	Fe	9.58	10.65	10.86	10.18	10.07	10.16	11.14		
	Na	12.52	12.32	12.41	12.04	12.40	11.97	12.24		
	Mn	10.96	11.84	12.24	11.16	11.79	11.47	12.33		
	Al	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Ca	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Cu	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Zn	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Ni	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	K	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Cr	0.0003	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.0005	0.0003	0.0001

有2家单位进行了验证测试，其中一家元素分析不全，但整体分析结果有较好的稳定性。

3.2.2 水分含量

水分含量测试按照按GB/T 6283的规定进行，测试结果如下：

表14 水分含量测试验证数据表

样品	验证单位	水分含量/w%	测试次数							均值/%	RSD/%
			1	2	3	4	5	6	7		
NFM	a	水分含量/w%	0.0215	0.0228	0.0232	0.0224	0.024	0.0221	0.0176	0.022	0.002
	b		0.0208	0.0206	0.0184	0.0196	0.0184	0.0196	0.0209	0.0198	5.40
	c		0.0243	0.024	0.0237	0.0242	0.0232	0.0234	0.0231	0.0237	1.89
NFPP	a	水分含量/w%	0.1464	0.1372	0.1389	0.1399	0.1433	0.1391	0.1402	0.1407	2.21
	b		0.02825	0.02945	0.0278	0.03265	0.02464	0.0288	0.02944	0.02872	0.00
	c		0.12	0.13	0.12	0.14	0.12	0.14	0.13		
M-HC F	a	水分含量/w%	3.62	3.60	3.54	3.56	3.58	3.62	3.62		
	b		0.638981	0.704978	0.723692	0.74674	0.748742	0.719038	0.753686		
	c										

由于样品在运输、保存、测试等不同环境进行，在处理过程中不可避免会导致样品不同程度吸水，进而水分含量结果有一定差异，但测试结果数据较稳定。

3.2.3 粉末压实密度

粉末压实密度测试按照附录C测试方法操作，各样品测试结果如下：

表15 粉末压实密度验证数据表

样品	验证单	压实密度/g/cm ³	测试次数							均值/%	RSD/%
			1	2	3	4	5	6	7		

	位										
NFM	a		2.369	2.372	2.360	2.392	2.383	2.367	2.368	2.373	0.010
	b		2.910	2.912	2.909	2.906	2.909	2.908	2.906	2.909	0.07
	c		2.67	2.68	2.70	2.70	2.67	2.70	2.67	2.68	0.52
NFPP	a	压实 密度 /g/cm ³	1.869	1.891	1.866	1.868	1.874	1.882	1.881	1.876	0.49
	b		1.863	1.865	1.874	1.873	1.871	1.865	1.866	1.868	0.24
	c		2.17	2.203	2.182	2.178	2.188	2.196	2.19	2.187	0.01
	d		2.3478	2.3611	2.3278	2.3762	2.3205	2.3467	2.3781	2.3478	2.3611
M-HC F	a	压实 密度 /g/cm ³	1.134	1.131	1.137	1.145	1.149	1.145	1.133	1.139	0.007
	b		/	/	/	/	/	/	/	/	/
	c		/	/	/	/	/	/	/	/	/

因部分结果尚未收集到，锰基普鲁士蓝结果只有一组，整体测试结果稳定性较好。

3.2.4 粒度分布D₅₀

粒度分布D₅₀按GB/T 19077规定方法测定，测试结果如下：

表16 粒度分布D₅₀验证数据表

样品	验证 单位	粒度 分布	测试次数							均值/%	RSD/%
			1	2	3	4	5	6	7		
NFM	a	D50/ μm	6.28	6.23	6.21	6.18	6.17	6.19	6.22	6.21	0.03
	b		5.846	5.953	6.082	5.947	5.938	5.953	6.079	5.971	1.40
	c		6.24	6.30	6.32	6.24	6.35	6.28	6.42	6.31	0.94
NFPP	a	粒度 分布 D50/ μm	7.199	7.149	7.288	7.208	7.048	7.248	7.261	7.200	1.13
	b		7.33	6.412	7.199	7.206	7.228	7.045	7.291	7.102	4.46
	c		7.593	7.417	7.451	7.450	7.457	7.458	7.481	7.472	0.05
	d		7.115	6.881	7.058	6.937	7.047	6.888	6.975		
M-HC F	a	粒度 分布 D50/ μm	1.85	1.84	1.84	1.83	1.9	1.88	1.88	1.86	0.02
	b		1.369	1.202	1.206	1.232	1.205	1.306	1.417		
	c										

根据测试结果，粉末压实密度测试中，部分结果有一定差异，整体数据较稳定。

3.2.5 pH值

pH值按GB/T 5211.6的规定方法测定，测试结果如下：

表17 pH值验证数据表

样品	验证 单位	pH 值	测试次数							均值/%	RSD/%
			1	2	3	4	5	6	7		
NFM	a		12.71	12.72	12.72	12.72	12.69	12.69	12.7	12.71	0.01
	b		13.7	13.69	13.72	13.66	13.28	13.37	13.47	13.56	1.33

	c		12.50	12.43	12.45	12.50	12.45	12.45	12.43	12.46	0.22
NFPP	a	pH 值	10.24	10.09	10.40	10.34	10.41	10.17	10.33	10.28	1.17
	b		10.12	10.18	10.18	10.08	9.9	9.91	9.99	10.05	1.19
	c		9.69	9.62	9.71	9.65	9.84	9.8	9.75	9.72	0.07
	d		10.46	10.43	10.49	10.40	10.48	10.38	10.42		
M-HC F	a	pH值	10.21	10.22	10.21	10.21	10.2	10.23	10.22	10.21	0.01
	b		9.46	9.46	9.46	9.53	9.56	9.42	9.48		
	c										

根据测试验证结果数据，验证测定方法较稳定。

3.2.6 电化学性能

过渡金属氧化物类正极材料、普鲁士蓝类和聚阴离子型化合物类正极材料电化学性能的测定参考附录D、E的规定进行。

表18 电化学性能验证数据表

样品	验证单位	首次放电容量 /mAh/g	测试次数							均值/%	RSD/%
			1	2	3	4	5	6	7		
NFM	a	首次放电容量 /mAh/g	138.95	138.97	139.06	139.08	139.61	139.32	139.43	139.20	0.18
	b		131.87	136.03	135.96	135.79	135.87	134.68	133.45	134.807	1.19
	c		145.9	146.2	146.2	145.5	145.6	145.8	145.2	145.8	0.23
NFPP	a	首次放电容量 /mAh/g	105.06	105.85	105.61	105.05	106.04	105.72	105.44	105.54	0.36
	b		103.66	103.86	104.3	104.28	103.74	104.37	104.33	104.08	0.30
	c		106.36	110.83	110.21	110.01	108.55	109.47	110.78	109.459	1.46
	d		109.57	105.21	104.86	107.35	105.24	102.87	104.75		
M-HC F	a	首次放电容量 /mAh/g	148.88	149.76	148.89	148.86	149.04	148.78	148.71	148.99	0.24
	b		134.69	134.32	134.35	134.51					
	c										
NFM	a	首次充放电效率/%	94.25	94.3	94.25	94.26	94.35	94.38	94.35	94.31	0.06
	b		89.53	90.05	89.56	90.47	90.43	90.23	89.55	89.97	0.47
	c		92.9	93.1	93.0	92.9	93.2	93.0	92.7	93.0	0.16
NFPP	a	首次充放电效率/%	90.32	90.40	90.41	90.36	90.43	90.30	90.34	90.37	0.05
	b		88.87	88.92	88.67	89.05	88.93	89.07	89.12	88.95	0.17
	c		92.48	92.44	92.45	92.03	91.51	91.93	92.7	92.220	0.38
	d		93.08	93.43	93.13	93.2	93.18	95.82	96.07		
M-HC F	a	首次充放电效率/%	94.96	95.53	94.79	94.85	95.04	94.80	94.88	94.98	0.27
	b		91.67	91.50	91.60	91.47					
	c										

根据测试结果，测试方法可行，验证测定方法较稳定。

3.4 检验规则

3.4.1 检查与验收

产品应由供方或第三方进行检验，保证产品质量符合本文件及订货单的规定。需方可对收到的产品按照本文件及订货单的规定进行检验。如检验结果与本文件及订货单的规定不符时，应在收到产品之日起3个月内向供方提出，由供需双方协商解决。如需仲裁，仲裁取样在需方，由供需双方共同进行。

3.4.2 组批

产品应成批提交验收，每批应由同一牌号、同一生产周期、同一化学成分的产品混合组成，每批重量不超过6t。需方有特殊要求时，由供需双方协商确定。

说明：现阶段产线正极材料每批次产品重量可达6吨。

3.4.3 检验项目与取样

本文件规定的产品检验分为：逐批检验、周期检验。周期检验在正常生产情况下，每1个月应进行1次。需方有特殊要求时，可双方协商确定。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。产品的取样方法按GB/T 5314的规定进行。每批取样总量2~3 kg，逐批检验和周期检验项目及取样数量见表19：

表19 电化学性能验证数据表

检验项目	取样数量	要求的章条号	试验方法的章条号	检验类别
化学成分	每批 1 份	6.2	7.1	逐批检验
外观质量	逐桶（袋）	6.3	7.2	逐批检验
水分含量	每批 1 份	6.4	7.3	逐批检验
压实密度	每批 1 份	6.5	7.4	逐批检验
粒度分布	每批 1 份	6.6	7.5	逐批检验
pH 值	每批 1 份	6.7	7.6	逐批检验
首次放电比容量	每批 1 份	6.8	7.7	周期检验
首次充放电效率	每批 1 份	6.8	7.7	周期检验

说明：GB/T 5314未说明取样重量，随着行业发展和检验水平的提升，目前每批产品取样2-3kg可满足检测需求。

四、标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益等情况

该标准的研制规范了钠电正极材料的技术指标和检测方法，规范市场秩序，避免因标准不一致导致的产品质量参差不齐，从而促进行业发展、提升经济效益和社会效益。

近年来，国家密集出台了《关于加快推动新型储能发展的指导意见》（发改能源规〔2021〕1051号）、《“十四五”可再生能源发展规划》、《关于推动能源电子产业发展的指导意见》、《新型储能制造业高质量发展行动方案》等文件，明确将钠离子电池列为新型储能技术的重点发展方向，推动其在储能领域的规模化应用，服务新型电力系统建设。同时，由于钠电在低温性能、循环寿命和安全性方面表现优异，尤其是在储能领域，其成本优势显著。因此，未来具备广阔的应用前景，可产生较好的经济效益和社会效益。

益。

《钠离子电池正极材料通则》的编制，填补了钠离子电池正极材料领域的标准空白，为完善钠离子电池的标准体系奠定基础。为行业的健康发展提供有力支撑，避免因标准缺失导致的市场混乱和无序竞争。此外，统一的技术标准能够增强市场对钠离子电池产品的信心，推动其在储能、低速电动车、电动船舶等领域的广泛应用。这不仅有助于钠离子电池产业的快速扩张，还能为相关产业链的发展提供广阔空间。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

无。

七、与现行法律、法规、规章和以及强制性国家标准的协调配套情况

本文件不存在与相关法律、法规、规章相抵触之处，也不与其它标准相冲突。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准性质的建议说明

建议作为推荐性国家标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

建议本文件在批准发布 3 个月后实施。

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

本标准填补了国内外相关标准的空白，标准客观反应了目前钠离子电池正极材料现状，指标设定具有适用性、指导性和先进性。

《钠离子电池正极材料通则》标准编制组
2025 年 5 月