

# 《钠离子电池用镍锰钛酸钠》 化工行业标准

编制说明

（征求意见稿）

《钠离子电池用镍锰钛酸钠》编制组

编写单位：湖北万润新能源科技股份有限公司

2025 年 3 月

## 一、工作简况

### （一）任务来源

#### 1、基本信息

根据工信部《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）要求，2025 年 8 月完成《钠离子电池用镍锰钛酸钠》化工行业标准的起草工作（项目计划号：2024-0917T-HG），本文件由全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会、全国有色金属标准化技术委员会归口，由湖北万润新能源科技股份有限公司、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、湖南中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、湖北容百锂电材料有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司等单位共同起草。

#### 2、目的、意义

钠离子电池（SIBs）作为锂离子电池（LIBs）的低成本替代品，近年来备受关注。镍锰钛酸钠（ $\text{Na-Ni-Mn-Ti-O}$ ）作为钠离子电池（SIBs）正极材料，因其成本低、能量密度适中且环境友好，已成为研究热点。

##### （1）市场需求与政策支持

替代锂电需求：锂资源短缺和价格波动推动钠电发展，尤其适用于储能（如电网、光伏/风电）和低速电动车。

政策驱动：中国“十四五”规划明确支持钠离子电池技术，欧美也在布局钠电产业链。

成本优势：镍、锰、钛资源丰富，材料成本仅为锂电正极（如 NCM）的 30-50%。

##### （2）技术竞争力

能量密度：镍锰钛酸钠体系能量密度可达 250-300 Wh/kg（全电池），接近磷酸铁锂（LFP）水平。

长循环潜力：通过结构优化（如  $\text{P}_2/\text{O}_3$  复合相），循环寿命有望突破 3000 次（80%容量保持率）。

安全性：无热失控风险，适合高安全要求的场景（如储能电站）。

目前，宁德时代、中科海钠等企业已布局钠电，镍锰钛酸钠作为钠离子电池正极材料，将在 2025 年后进入规模化应用，湖北万润新能源科技股份有限公司等单位已开展规模化生产，制定该材料的行业标准已迫在眉睫。

#### 3、简要情况

##### （1）材料结构与类型

镍锰钛酸钠属于层状氧化物正极材料（如  $\text{O}_3$  型或  $\text{P}_2$  型结构），典型化学通式可表示为  $\text{NaNi}_\alpha\text{Mn}_\beta\text{Ti}_\gamma\text{O}_2$ （ $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ）或  $\text{NaNi}_\alpha\text{Mn}_\beta\text{Cu}_\delta\text{Ti}_\gamma\text{O}_2$ （ $\alpha + \beta + \delta + \gamma = 1$ ），常见配比如  $\text{NaNi}_{0.2}\text{Mn}_{0.6}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_2$ 。

$\text{O}_3$  型：钠离子占据八面体位点，适合高钠含量但可能因结构相变导致循环衰减。

$\text{P}_2$  型：钠离子占据棱柱体位点，具有更好的结构稳定性和离子扩散能力。

##### （2）主要生产工艺

###### 1) 固相法

流程：将金属氧化物（ $\text{NiO}_2$ 、 $\text{MnO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ ）与钠源（ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）机械混合，高温煅烧（ $800^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ ）。

优点：工艺简单、成本低，适合工业化生产。

缺点：颗粒不均匀，易形成杂质相（如  $\text{NiO}_2$  残留）。

###### 2) 溶胶-凝胶法

流程：金属盐溶液（硝酸盐/醋酸盐）与络合剂（柠檬酸）形成溶胶，干燥后煅烧成凝胶前驱体。

优点：成分均匀，颗粒尺寸可控（纳米级）。

缺点：流程复杂，成本较高，适合实验室研究。

3）共沉淀法

流程：将金属盐溶液（如  $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ti}^{4+}$ ）与沉淀剂（ $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）反应生成前驱体，再高温烧结。

优点：可精确调控元素比例，产物纯度高。

缺点：废水处理难度大，需控制 pH 和反应温度。

4、行业概况和国际水平

镍锰钛酸钠正极材料在大规模储能 和低速交通 领域已展现出明确的商业化路径，中国企业（宁德时代、中科海钠）在全球产业化进程中占据领先地位。当前需突破低温性能 和电解液成本 瓶颈，同时加快标准化进程（如制定钠电池国标）。预计到 2030 年，钠离子电池将占据储能市场 20%以上份额，镍锰钛酸钠作为核心正极材料，有望成为能源转型的“新基建”支柱之一。

（1）目标市场

大规模储能：电网调频、风光储能（需求：长寿命>3000 次，成本<0.3 元/Wh）。

低速电动车：电动三轮车、物流车（需求：能量密度>200 Wh/kg，-20℃低温容量>80%）。

消费电子：替代部分锂电（如电动工具、无人机），需提升倍率性能（>5C）。

（2）全球产业化动态

目前，钠离子电池已逐步开始了从实验室走向实用化应用的阶段，国内外已有超过二十家企业正在进行钠离子电池产业化的相关布局，并取得了重要进展。

表 1 钠离子电池及主流正极材料主要生产企业

国家/企业	技术路线	进展与规划
中国		
宁德时代	层状氧化物(镍锰钛酸钠)	2023 年发布第一代钠电池（160 Wh/kg），计划 2025 年量产；目标成本 0.3 元/Wh。
中科海钠	同体系	已建成 2 GWh 产线，产品用于安徽阜阳 30 MWh 储能电站；规划 2025 年扩产至 10 GWh。
多氟多	正极材料供应商	2023 年投产 5000 吨/年镍锰钛酸钠正极材料，配套电解液（ $\text{NaPF}_6$ ）产能 1 万吨/年。
湖北万润	正极材料供应商	2023 年量产镍锰钛酸钠正极材料。
日本		
丰田	P2 型层状氧化物	实验室阶段循环寿命>1500 次（1C），计划 2025 年试产车用钠电池。
韩国		

国家/企业	技术路线	进展与规划
三星 SDI	镍锰钛酸钠+硫化物固态电解质	开发全固态钠电池原型（能量密度>250 Wh/kg），目标 2030 年商业化。
欧美		
美国 Natron Energy	普鲁士蓝正极	2023 年建成 1 GWh 产线（主攻数据中心备用电源），层状氧化物研发滞后。
英国 Faradion	层状氧化物	与印度 Reliance 合作开发储能系统，镍锰钛酸钠体系循环寿命>2000 次。

另外，法国 NAIADES 计划团体、日本岸田化学、松下、三菱化学，以及我国的浙江钠创新能源有限公司、广东邦普、容百科技、蜂巢能源等公司对此材料研制、开发、生产均有所涉及。

## （二）主要工作过程

### 1、立项阶段（2023. 8～2024. 8）

2023 年 8 月，由湖北万润新能源科技股份有限公司向全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会(TC63/SC1)提交行业标准《钠离子电池用镍锰钛酸钠》项目建议书。

2024 年 8 月 14 日，工业和信息化部办公厅印发《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《钠离子电池用镍锰钛酸钠》成功立项。

### 2、起草阶段（2024. 8～2025. 3）

#### （1）起草工作组

由湖北万润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、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、湖南中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、湖北容百锂电材料有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司等单位组成起草标准工作组。

#### （2）分工情况

中海油天津化工研究设计院有限公司、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镍锰钛酸钠的各项指标情况，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。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、湖南中伟新材料股份有限公司、格林美股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、湖北容百锂电材料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。湖北万润新能源科技股份有限公司主要负责资料收集、编写文献小结、召开标准工作方案会、数据统计、编写标准各阶段草案、编制说明及相关附件等工作。其他单位主要负责试验方法验证及数据累积工作。

#### （3）调查研究过程

中海油天津化工研究设计院有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司接到上级部门下达的制定标准计划后，于 2024 年 8 月～2024 年 12 月进行了调研及资料准备工作。首先查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函进行调查，广泛征求对标准制定工作的意见，在此基础上提出了文献小结。

2025 年 1 月全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会通过腾讯会议在线召开了制定标准工作

方案会。来自湖北万润新能源科技股份有限公司、格林美股份有限公司、湖南中伟新能源科技有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、蜂巢能源科技有限公司、浙江华友钴业股份有限公司、湖南长远锂科股份有限公司的代表参加了会议。会议明确了由湖北万润新能源科技股份有限公司落实《钠离子电池用镍锰钛酸钠》化工行业制定编制工作，组织成立了行业标准编制组，对目标任务进行了分解，明确成员的任务要求，制定工作计划和进度安排。

标准编制组工作成员通过各种渠道收集国内外钠电行业对镍锰钛酸钠的需求和使用情况，查阅了大量的国内外相关文献资料，同时结合目前国内外镍锰钛酸钠的生产和用户需求情况，形成了标准的讨论稿草案、试验工作方案。2025年3月，全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会组织召开了制定标准第二次工作会，会上各参会单位代表对本标准讨论稿草案进行了讨论，并安排了下一步工作。

#### (4) 验证过程

起草工作组成员针对试验验证方案开展了试验验证工作。

对比验证数据分析及验证评价（或结论）见本编制说明第四章。

#### (5) 标准征求意见稿起草

湖北万润新能源科技股份有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司结合前期工作情况及试验验证情况，起草了标准征求意见稿（草案）、编制说明。

### 3、征求意见阶段（2025.4）

#### 1) 广泛征求意见

在起草阶段工作基础上，由负责起草单位对工作组讨论稿进行了进一步的讨论和修改，其后提出标准草案征求意见稿及编制说明。于2025年4月开始向无机化工分技术委员会的委员、生产、使用及检验机构等单位发送了电子文件征求意见稿及编制说明，并在中海油天津化工研究设计院有限公司官网上（[www.trici.com.cn](http://www.trici.com.cn)）公开征求意见。

## 二、标准编制原则和依据

### 1、编制原则

制定标准时尽可能地做到简化、统一、协调、优化；既要考虑其先进性，也要考虑其实用性、可行性；既要符合国内外发展的需要，也要结合国内目前产业的实际状况。

#### (1) 符合国家的政策，贯彻国家的法律法规；

2021年10月工信部对《关于在我国大力发展钠离子电池的提案》的答复，将在“十四五”相关规划等政策文件中加强布局，从促进前沿技术攻关、完善配套政策、开拓市场应用等多方面着手，做好顶层设计，健全产业政策，统筹引导钠离子电池产业高质量发展。2022年4月能源局和科技部发布的《“十四五”能源领域科技创新规划》中“针对电网削峰填谷、集中式可再生能源并网等储能应用场景，开展大容量长时储能器件与系统集成研究，研发钠离子电池新一代高性能储能技术”的要求。2022年6月发改委、能源局、财政部等九部委发布《“十四五”可再生能源发展规划》中“加强前瞻性研究，加快可再生能源前沿性、颠覆性开发利用技术攻关。研发储备钠离子电池高能量密度储能技术”的要求。2022年科技部发布的《“十四五”国家重点研发计划“储能与智能电网技术”重点专项2022年度项目申报指南》中将钠离子电池技术列为研发任务的要求。充分考虑使用要求；

#### (2) 简化、选优和通用互换；

经查询钠离子电池及正极材料方面的相关资料，国内外尚无镍锰钛酸钠正极材料相关的国家标准或行

业标准，行业内无规范统一的镍锰钛酸钠正极材料的指标要求，这不仅会导致产品质量不一，市场流通不便，更会影响到后续生产钠离子电池的推广应用。因此，在产业发展、标准先行的引导下，制定镍锰钛酸钠正极材料产品标准，以规范统一镍锰钛酸钠正极材料质量指标控制要求，从而为钠电正极材料行业生产企业提供选择和标准指导，以便更好地促进钠电行业发展，提升企业和社会经济效益。

### (3) 技术先进、经济合理；

钠离子电池层状氧化物正极材料中，镍元素对提高材料的比容量和能量密度具有重要作用；锰元素不仅价格低廉，而且具有高的理论比容量。镍锰钛酸钠正极材料因其具有优异的电化学循环性能和存储稳定性，是目前钠离子电池正极材料的热点之一，制备镍锰钛酸钠正极材料需使用氧化镍、氧化锰、氧化钛作为前驱体，碳酸钠为钠源，通过高温固相法合成。

### (4) 从全局出发，考虑各方的综合效益。

本文件规定的内容遵循充分满足市场要求原则、指导生产的原则，可以提高镍锰钛酸钠的生产技术水平，促进相关技术的进步，为国内相关产业提供技术指导，满足用户的需求，促进钠电正极材料行业的不断发展。

## 2 编制依据

本文件的制定是以相关标准为基础，按 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》和 GB/T 20001.10-2014《标准编写规则 第10部分：产品标准》的规定要求起草标准草案。

- (1) 钠离子电池生产对镍锰钛酸钠正极材料的性能要求；
- (2) 试验验证数据及样品实测数据，见附表；
- (3) 生产企业产品质量数据。

## 三、标准主要内容及说明

### 1、范围

本文件规定了镍锰钛酸钠的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存、随行文件和订货单（或合同）内容。

本文件适用于钠离子电池用正极材料镍锰钛酸钠。

### 2、技术要求的确定

#### (1) 化学成分

钠离子电池用镍锰钛酸钠其生产工艺是将金属氧化物（NiO、MnO、TiO）与钠源（NaCO<sub>3</sub>）机械混合后，高温煅烧（800℃~1000℃）。产品的主要成分为镍（Ni）、锰（Mn）、铜（Cu）[含铜产品]、钛（Ti）、钠（Na），因此，这些主要成分是本文件中的重要技术指标，另外，生产过程或原材料中存在的、且需要控制的一些杂质，如钙、铬、锌及水分等同样是保证产品质量的控制点之一。

#### 1、各主元素的正向作用

##### (1) 钠（Na）

其主要功能是作为电荷载体，在充放电过程中通过脱嵌实现电荷转移。钠含量需平衡离子传导性和结构稳定性。过量可能导致结构坍塌，不足则限制容量。

##### (2) 镍（Ni）

Ni<sup>2+</sup>/Ni<sup>3+</sup>或 Ni<sup>3+</sup>/Ni<sup>4+</sup>氧化还原反应提供高比容量。高镍含量可提升工作电压，但可能引发结构相变（如

层状→尖晶石相)。高 Ni 可能导致循环稳定性下降(如晶格氧释放、电解液副反应)。

### (3) 锰 (Mn)

Mn<sup>4+</sup>抑制 Jahn-Teller 效应(若 Mn<sup>3+</sup>存在), 增强晶体框架稳定性。降低材料成本, 替代高价金属(如 Co)。但过量 Mn<sup>3+</sup>可能导致容量衰减, 需控制氧化态(通过合成工艺或元素掺杂)。

### (4) 钛 (Ti)

其作用主要是抑制相变。Ti<sup>4+</sup>的高稳定性(强 Ti-O 键)减少充放电过程中的体积变化。同时提升离子扩散, Ti 掺杂可能拓宽钠离子通道, 改善倍率性能。Ti 不参与氧化还原反应, Ti 过量可能降低总容量。

### 铜 (Cu)

铜的潜在作用机制主要有以下几方面:

#### 1) 提升电子导电性

Cu<sup>2+</sup>/Cu<sup>3+</sup>的氧化还原活性可增强材料整体的电子传导能力, 降低电荷转移阻抗。改善倍率性能(如 5C 容量保持率提升 10-20%), 减少极化现象。

#### 2) 稳定晶体结构

Cu-O 键的强共价性(键能高于 Ni-O、Mn-O)可增强层状结构的稳定性, 抑制充放电过程中的不可逆相变(如 P2→O2 相变)。抑制 Jahn-Teller 畸变, 若材料中存在 Mn<sup>3+</sup>(d<sup>4</sup>电子构型), Cu<sup>2+</sup>(d<sup>9</sup>)的掺杂可部分抵消畸变, 提升循环稳定性。

#### 3) 调节氧化还原电位

Cu<sup>2+</sup>/Cu<sup>3+</sup>的氧化还原电位(~3.5-4.0 V vs. Na<sup>+</sup>/Na)可能引入额外容量, 并与 Ni/Mn 的氧化还原反应形成互补。缓解高镍材料因多相反应导致的电压滞后问题。

#### 4) 促进钠离子扩散

层间距调控, Cu<sup>2+</sup>的离子半径(0.73 Å)略小于 Ni<sup>2+</sup>(0.83 Å), 可能略微扩大钠层间距(如从~3.5 Å 增至 3.7 Å), 加速 Na<sup>+</sup>迁移。

### 2、主要的负面影响

在钠离子电池正极材料(如镍锰钛酸钠, NaNi<sub>x</sub>Mn<sub>y</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)的生产过程中, 钙(Ca)、铬(Cr)、锌(Zn)及水分(H<sub>2</sub>O)等杂质成分可能对材料性能产生显著负面影响。

### 钙 (Ca) 杂质

#### 1) 主要的负面影响

a) 阻塞钠离子通道, Ca<sup>2+</sup>(离子半径 1.12 Å)远大于 Na<sup>+</sup>(1.16 Å), 但电荷密度高, 易占据钠层位点, 导致:

b) 离子迁移率下降, 钠离子扩散系数降低(文献报道 Ca 含量 1%可使扩散系数下降 30%)。

c) 首效降低, 钠脱嵌动力学受阻, 不可逆容量增加。

d) 高温相生成, 在煅烧过程中(>800°C), Ca 可能形成 CaTiO<sub>3</sub>等绝缘相, 阻断电子传导路径。

#### 2) 理想的控制值

较为理想的 Ca 含量需<100 ppm。

### (3) 锌 (Zn) 杂质

#### 1) 主要的负面影响

a) 惰性位点占据, Zn<sup>2+</sup>(电化学惰性)取代 Ni<sup>2+</sup>或 Mn<sup>3+</sup>活性位点, 直接降低可逆容量(每 1% Zn 掺杂约损失 5-8 mAh/g 容量)。

b) 层状结构破坏, Zn<sup>2+</sup>(离子半径 0.74 Å)与 Ni/Mn 的半径差异可能导致 P2/O3 相结构局部坍塌, 循环寿命下降。

c) 界面钝化, Zn 可能在材料表面富集, 形成 ZnO 绝缘层, 增加界面阻抗。

## 2) 理想的控制值

较为理想的 Zn 含量需<100 ppm。

### (4) 铬 (Cr) 杂质

#### 1) 主要的负面影响

##### a) 氧化还原反应干扰

竞争性反应,  $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{4+}$ 的氧化还原电位 ( $\sim 2.8\text{-}3.2\text{ V vs. Na}^+/\text{Na}$ ) 可能与  $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}$  ( $\sim 3.0\text{-}3.8\text{ V}$ ) 或  $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$  ( $\sim 3.5\text{-}4.0\text{ V}$ ) 的反应电位部分重叠, 导致充放电过程中出现不可控的额外电压平台, 扰乱电池管理系统 (BMS) 的电压判读。 $\text{Cr}^{3+}$ 的氧化反应可能消耗部分容量, 但因其氧化还原活性较低, 贡献的容量效率低且不可逆性强。

##### b) 晶体结构破坏

晶格畸变,  $\text{Cr}^{3+}$ 的离子半径 ( $0.76\text{ \AA}$ ) 与  $\text{Ni}^{2+}$  ( $0.83\text{ \AA}$ )、 $\text{Mn}^{3+}$  ( $0.72\text{ \AA}$ ) 和  $\text{Ti}^{4+}$  ( $0.74\text{ \AA}$ ) 存在差异, 可能导致晶格应力积累, 引发微裂纹或局部相变 (如层状 $\rightarrow$ 尖晶石相)。 $\text{Cr}$  掺杂可能占据过渡金属层中的活性位点, 抑制钠离子的脱嵌动力学。

杂质相生成, 在高温合成过程中 (如固相法煅烧),  $\text{Cr}$  可能与  $\text{O}$  结合生成惰性相 (如  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), 阻断电子/离子传输路径。

##### c) 界面副反应加剧

电解液分解催化,  $\text{Cr}^{3+}$ 可能迁移至材料表面, 催化电解液 (如酯类溶剂) 的氧化分解, 生成厚且不稳定的 CEI (正极-电解液界面) 膜, 增加界面阻抗。副反应产物 (如  $\text{CO}_2$ 、烷烃气体) 可能导致电池鼓胀和安全风险。

过渡金属溶解,  $\text{Cr}^{3+}$ 在循环过程中可能发生歧化反应 ( $2\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{2+} + \text{Cr}^{4+}$ ), 导致  $\text{Cr}^{2+}$ 溶出并迁移至负极, 破坏 SEI 膜, 加速容量衰减。

##### d) 热稳定性下降

含  $\text{Cr}$  材料在高温下 ( $>200^\circ\text{C}$ ) 可能释放氧气 (如  $\text{CrO}_3$ 分解), 加剧热失控风险。

## 2) 理想的控制值

较为理想的 Cr 含量需<100 ppm)

### (5) 水分 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 的影响

#### 1) 负面作用

a) 电解液分解: 水分与电解液中的钠盐 (如  $\text{NaPF}_6$ ) 反应:  $\text{NaPF}_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaF} + \text{POF}_3 + 2\text{HF}$ ,  $\text{HF}$  腐蚀正极材料, 导致过渡金属溶解 (如  $\text{Mn}^{3+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ ) 和容量衰减。

b) 气体生成: 水分的还原反应 (如  $\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{OH}^- + \frac{1}{2}\text{H}_2\uparrow$ ) 导致电池鼓胀和安全风险。

c) 结构水嵌入: 水分可能嵌入材料晶格 (如形成  $\text{NaNi}_x\text{Mn}_y\text{Ti}_z\text{O}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), 改变层间距并引发相变。

## 2) 理想的控制值

较为理想的水分需<50 ppm (电极极片和电解液)。

### (2) 物理指标

根据产品的应用特性, 产品的压实密度、粒度及比表面积是需重点关注的项目, 这三个项目决定是钠离子正极材料从实验室走向产业化必须精确控制的“黄金三角”。高压实密度、窄粒度分布和适中比表面积的组, 可兼顾高能量密度、优异倍率性能和长循环寿命。

通过上述分析, 本文件中针对产品的理化指标项目及参数给出了具体要求。

钠离子电池用镍锰钛酸钠理化指标应符合表 1 的规定。

表 1



项 目		指标	
		I 型	II 型
钠 (Na) w/%		18~21	17~20
镍 (Ni) w/%		22~27	18~25
锰 (Mn) w/%		12~16	16~20
铜 (Cu) w/%		—	1.5~4.0
钛 (Ti) w/%		6~10	3.0~6.0
钙 (Ca) w/%		≤ 0.02	
铬 (Cr) w/%		≤ 0.01	
锌 (Zn) w/%		≤ 0.01	
水分 w/%		≤ 0.15	
压实密度 g/cm <sup>3</sup>		≥ 2.7	
粒度分布/μm	D <sub>10</sub>	≥ 0.1	
	D <sub>50</sub>	2~8	
	D <sub>90</sub>	≤ 20	
比表面积/ (m <sup>2</sup> /g)		≤ 3	
pH (100 g/L 溶液)		≤ 13	

### (3) 电化学性能

#### 1) 首次放电比容量

首次循环中放电阶段释放的容量（单位：mAh/g），反映材料在初始状态下可逆存储钠离子的能力。其重要性在于可作为能量密度基准，首次放电容量直接决定电池的理论能量密度上限，是衡量材料活性的核心指标。例如，若材料首次放电容量为 140 mAh/g，而负极容量为 300 mAh/g，则全电池设计需基于正极容量进行匹配。其次，结构稳定性预判，高首次容量通常表明材料晶体结构在首周充放电中未发生严重破坏（如层状结构坍塌、不可逆相变）。再有就是工艺验证，合成工艺（如煅烧温度、掺杂比例）是否有效，需通过首次容量验证其可行性。

针对层状氧化物（如  $\text{NaNi}_{0.3}\text{Mn}_{0.5}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_2$ ）通常 120~150 mAh/g（电压范围 2.0-4.0 V vs.  $\text{Na}^+/\text{Na}$ ）。产品在电压范围 2 V~4 V，0.1 C 充放电倍率条件下的首次充放电比容量 120~125 mAh/g。

#### 2) 首次充放电效率

首次放电容量与充电容量的比值（ICE = 放电容量/充电容量×100%），反映首次循环中的不可逆容量损失。其重要性首选在于可反应出能量效率与成本，低 ICE（如<70%）意味着大量钠离子在首周被消耗于不可逆反应（如 SEI 膜形成、电解液分解），需在负极预存过量钠补偿，增加电池成本。其次，可作为循环寿命预测，首周不可逆损失常伴随结构缺陷（如晶格氧释放、过渡金属溶解），预示后续循环中容量衰减可能加速。再有就是反应界面稳定性，ICE 与正极-电解液界面副反应强度直接相关，是评估材料兼容性的关键。

针对层状氧化物：75-85%（如  $\text{NaNi}_{0.3}\text{Mn}_{0.3}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_2$  ICE≈80%）。产品在电压范围 2 V~4 V，0.1 C 充放电倍率条件下的首次充放电效率应不小于 90%。

首次放电比容量和首次充放电效率是钠离子正极材料从实验室迈向产业化的“双重门槛”。高容量(>120

mAh/g) 与高 ICE (>80%) 的协同优化需通过材料设计 (组分/结构)、工艺控制 (合成/后处理) 及系统匹配 (电解液/负极) 的综合策略实现。建议优先解决表面副反应和钠离子扩散动力学瓶颈, 并建立“材料-电极-电池”三级验证体系, 加速商业化进程。

钠离子电池用镍锰钛酸钠电化学性能指标应符合表 2 的规定。

表 2

项 目		指标	
		I 型	II 型
首次放电比容量/ mAh/g	≥	125	120
首次充放电效率/%	≥	90	90

3、试验方法的确定

3.1 钠、镍、锰、钛、铜、钙、铬、锌含量的测定

上述元素的测定采用电感耦合等离子体发射光谱法, 该方法目前广泛用于涉及离子电池制造的上下游行业, 且均被各相关利益方所接受。其方法的测定原理为: 试样在酸性条件下溶解后, 注入电感耦合等离子体发射光谱仪, 由载气带入雾化系统进行雾化后, 以气溶胶形式进入等离子体。在高温和惰性气体中被充分蒸发、原子化、电离和激发, 发射出所含元素的特征谱线。根据元素浓度与元素特征谱线强度的正比关系, 采用标准曲线法对相应元素进行定量分析。

3.2 水分含量

按GB/T 45330 锂离子电池正极材料 水分含量的测定 卡尔费休库伦法

化工产品, 尤其是离子电池产品中水分含量的测定常采用GB/T 45330《锂离子电池正极材料 水分含量的测定 卡尔费休库伦法》和GB/T 6284《化工产品中水分测定的通用方法 干燥减量法》。其中, 干燥减量法对设备要求较低, 但是误差较大, 水分含量较高的样品宜采用此方法。卡尔•费休法比干燥减量法精度更高、误差小, 更适用水分含量较低的样品中水分含量的测定。本文件中规定水分含量应不大于0.15 %, 所以采用卡尔•费休法更为适宜。

3.3 压实密度

产品的压实密度按GB/T 24533《锂离子电池石墨类负极材料》附录L的规定进行操作, 该方法已被普遍用于涉及离子电池上、下游领域。

3.4 粒度分布

产品粒度分布的测定按 GB/T 19077《粒度分布 激光衍射法》的规定进行, 该方法广泛用于颗粒产品的粒度及粒度分布的检测, 通过对本产品的实际应用考察, 完全能够满足本产品标准的检测要求。

3.5 比表面积

产品比表面积的测定按 GB/T 19587《气体吸附 BET 法测定固态物质比表面积》的规定进行。

锂离子正极材料产品标准中的物理性能大多以通用方法进行测试, 包括 GB/T 19077《粒度分析 激光衍

射法》、GB/T 19587《气体吸附 BET 法测定固态物质比表面积》等，本文件参考锂离子电池正极材料产品及本产品的物理特性，采用 GB/T 19587 规定的检测方法进行测试，通过对本产品的实际应用考察，完全能够满足本产品标准的检测要求。

### 3.6 pH 值

产品 pH 值的测定按 6.7 的规定进行。

由于镍锰钛酸钠在生产过程中，会有一定量的水溶性碱性物质残留在产品中，影响产品的应用。由于产品中碱性物质可水中易析出，导致产品 pH 值偏高，因此采用恰当的方法测定产品中 pH 值是考察产品品质的重要手段，本文件结合产品特性，以水作为溶解介质，通过 pH 计测定产品的 pH 值，间接地反映出产品中碱性物质的存在情况。通过对样品实际检测，其结果能够达到期望的效果。

### 3.7 电化学性能

产品首次放电比容量、首次充放电效率按 6.8 的规定进行的测定。

钠离子电池和锂离子电池电化学性能测试流程基本一致，都是制浆、涂片、干燥、电池装配和采用电池测试系统测试，只是电池装配过程中材料使用和电化学测试参数存在少许差异，因此本文件的电化学性能测试整体参照 GB/T 23365《钴酸锂电化学性能测试方法 首次放电比容量及首次充放电效率测试方法》和 GB/T 23366《钴酸锂电化学性能测试方法 放电平台容量比率及循环寿命测试方法》进行改写作。但是钠离子电池扣式电池对电极需要改成钠片，电解液也需要同步调整为六氟磷酸钠；由于钠离子半径大于锂离子，隔膜需要采用孔更大、离子传导率更好的玻璃纤维隔膜；电压范围根据测定需求确定为 2~4V。

## 四、明确标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利问题。

## 五、采用国际标准和国外先进标准的情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况

本文件在制定过程中经多渠道检索，均未查到国际和国外同类产品标准。

本文件主要以钠离子电池生产企业实际需求为依据，结合目前国内生产企业的实际研发、生产情况而制定的，标准客观反应了目前镍锰钛酸钠生产、使用现状，具有适用性、准确性、指导性和先进性。

本文件填补了国内外相关标准的空白。

## 六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

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。

## 七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 八、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议行业标准《钠离子电池用镍锰钛酸钠》作为推荐性标准颁布实施。

#### 九、贯彻标准的要求和措施建议

建议本文件在批准发布即实施。

#### 十、废止现行有关标准的建议

无。

#### 十一、其他应予说明的事项

无。

《钠离子电池用镍锰钛酸钠》标准编制组

2025 年 3 月

附表

批次										粒度分布			压实 密度 PD	pH	比表 面积 BET	水分	0.1C 充放电		
		Na	Mn	Ni	Ti	Cu	Ca	Cr	Zn	D10	D50	D90					首充	首放	效率
		%								μm	μm	μm					mA · h/g	mA · h/g	%
型号 I 不含铜	样品 1	19.16	13.90	26.67	7.76	/	67.3	5.2	41	0.996	2.219	4.493	2.975	12.83	1.97	520.6	130.7	125.6	96.1
	样品 2	19.68	11.27	26.07	9.10	/	136.0	13.6	6.3	0.884	1.885	3.953	2.969	13.19	1.18	680.0	135.1	128.8	95.4
	样品 3	19.14	14.06	25.72	7.79	/	128.8	8.6	18.4	3.634	8.066	15.305	3.098	13.09	0.71	702.2	146.6	138.2	94.2
	样品 4	20.53	13.15	25.03	7.69	/	237.2	14.0	11.4	1.038	2.233	4.371	3.063	13.02	1.16	613.3	137.6	127.3	92.5
	样品 5	19.66	13.64	26.03	7.58	/	67.2	6.3	40.3	0.654	1.303	2.446	3.044	12.85	1.27	440.5	136.6	130.5	95.5
型号 II 含铜	样品 6	17.58	18.84	23.55	3.9	3.18	235.5	17.1	18.7	2.754	6.89	15.985	3.310	12.53	1.16	588.0	125.8	124.5	99.0
	样品 7	18.02	18.71	19.08	3.20	2.19	103.6	20.6	24.9	1.479	3.368	7.310	3.245	13.15	1.43	603.9	140	128.2	91.57
	样品 8	17.58	18.84	23.55	3.90	2.69	223.3	15.8	25.9	2.033	4.992	10.367	3.311	12.9	1.46	733.2	132.7	129.9	97.9
	样品 9	18.97	18.23	21.71	3.76	2.7	77.7	19.4	24.9	2.899	8.228	17.466	3.294	12.86	0.88	381.8	136.4	126.1	92.5
	样品 10	18.02	18.71	19.08	3.20	2.64	103.6	20.6	24.9	1.479	3.368	7.310	3.245	13.15	1.43	603.9	124.2	123.1	99.12