

技术

责任编辑:雷 蕾 李佳欣
电 话:59963261
邮 箱:
jjx@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:王 强



周“油”列国
油事精彩

解码“钠”动力

中国石化在钠离子电池材料领域的研究实践

编者按:

钠离子电池与锂离子电池相比具有资源和价格优势,安全性和充电速度更优。在低温环境下,钠离子电池容量衰减较少,性能优于磷酸铁锂电池,市场前景广阔。研究机构预测,我国钠离子电池市场将从2025年的10吉瓦时增至2034年的292吉瓦时,年均增长45%。

中国石化多年深耕钠离子电池关键材料研发,近日与LG化学签署关于联合开发钠离子电池关键材料的协议。双方将面向我国及全球的储能系统和低速电动车市场,联合开发钠离子电池正极材料和负极材料等关键材料,加快商业化进程,拓展钠离子电池商业模式。本版推出专题,为您展示中国石化在钠离子电池材料领域的研究实践。

本版文图除署名外由 孙宝翔 张舒冬 蔡海乐 颜 冬 薛浩亮 周梦瑾 李昱颖 王晓峰 提供



大连院科研人员
人员进行电极片
性能分析。

钠电正极材料

■钠离子电池正极材料

钠离子电池正极材料的晶体结构稳定性、离子扩散效率和电子传导能力直接决定电池的能量输出效率和循环稳定性。根据晶体结构与化学组成的差异,钠离子电池正极材料可分为层状金属氧化物、聚阴离子化合物、普鲁士蓝类化合物三大类,各类材料在性能、成本和应用场景上形成互补,共同支撑钠离子电池的多元化应用需求。

■各类钠离子电池正极材料优劣势

层状金属氧化物正极材料因其优良的导电性、高钠含量和适宜的钠离子配位构型,具有高比容量和高电压平台等优势,在低速电动车、启停电源、工商储能等方面优势显著,但面临两大问题:一是在循环过程中,层状结构易发生相转变,降低结构稳定性,导致容量衰减;二是使用镍元素,资源成本较高。因此,层状金属氧化物正极材料的发展方向是提高结构稳定性和降低镍含量。

聚阴离子化合物正极材料晶体结构中磷酸根等聚阴离子基团与过渡金属离子形成三维网状结构,为钠离子提供贯通的扩散通道,优势在于结构稳定性、热安全性、循环性能优异,在储能领域有较大的应用前景,受到广泛关注。其主要短板包括两点:一是电子导电性差,导致倍率性能受限;二是能量密度相对较低。针对导电性,一般采用碳包覆和纳米化双重策略,碳包覆通过在材料表面形成导电网络提升电子传导效率,纳米化则缩短钠离子扩散路径。针对能量密度,一般采用高电压反应的金

属元素掺杂改性。

普鲁士蓝类化合物正极材料根据含钠量不同,分为普鲁士蓝和普鲁士白两种,晶体结构为立方晶系,由过渡金属离子与氰根离子形成三维框架,内部存在纳米级孔道,为钠离子提供快速传输通道。该体系的最大优势是原料成本低、能量密度较高,主要问题集中在结晶水控制和循环稳定性。结晶水易导致晶体结构坍塌,使循环寿命缩短;氰根离子在充放电过程中易发生水解,产生有毒的氰酸气体。一般采用优化工艺条件控制结晶水,通过元素掺杂抑制氰根离子水解。

■中国石化研究进展

与负极材料相比,正极材料决定钠离子电池的性能上限,是钠离子电池产业链的关键一环。大连院开展层状金属氧化物正极材料研究,从钠离子层状氧化物材料结构稳定性的基础科学问题出发,采用元素掺杂方法制备高比能高稳定性镍锰基正极材料,通过掺杂电化学活性金属,在充放电过程中发生氧化还原反应,同时抑制不可逆相变反应,提高材料的空气稳定性,为材料提供额外容量;通过掺杂电化学非活性金属,激发结构氧的电化学活性,且在充放电过程中发挥晶格支柱作用,有效抑制过渡金属离子迁移和材料相变,提升材料的循环稳定性。大连院基于层状氧化物正极结构设计,结合催化剂制备工艺优势,采用低成本且环保的制备工艺路线,制备的正极材料可逆比容量大于138毫安时/克,循环稳定性和快速充放电性能优异,已完成百公斤级验证。

钠电负极材料

■钠离子电池负极材料

钠离子电池负极材料作为电池核心组件之一,承担钠离子嵌入脱出、电子传导和结构支撑等关键功能,其性能决定电池的能量密度、循环寿命、倍率性能和安全性,是影响钠离子电池产业化落地的关键因素。目前,钠离子电池负极材料主要包括碳基、钛基、有机类和合金类等。常见的碳基材料包括石墨、石墨烯、硬碳、软碳等,其中,硬碳是钠离子电池的主流负极材料,其结构适配钠离子存储,综合性能均衡、成本和产业化优势显著,能有效弥补其他类型负极材料的性能短板,是当前兼顾技术可行性和商业化落地的最优选择。

■硬碳负极材料制备技术

硬碳又称非石墨化碳,是指在2500摄氏度以上高温仍难转化为石墨晶体结构的碳材料。其结构与石墨的有序层状结构截然不同,主要由弯曲的石墨薄片层和无序的纳米孔隙组成,存在大量微孔、介孔和表面缺陷。这种结构赋予硬碳0.37~0.42纳米的大层间距,能够容纳钠离子嵌入。同时,丰富的孔隙还能提供吸附、填充等多种离子存储方式。

硬碳的前驱体包括生物质、树脂、沥青、无烟煤等,原料易得且成本可控。生物质原料

较为广泛,具有较好性能,主要问题在于生物质来源的不稳定性,因此在批量生产时,一致性较差。树脂原料可控,由它制得的硬碳产品一般呈球形颗粒状,均一度较好,纯度较高,工艺设计性较强,缺点是产品收率低、成本较高,难以维持钠离子电池产业持续发展。沥青、无烟煤原料来源稳定,且价格低,不足之处在于产品性能较差。因此,开发低成本、高性能且来源稳定的硬碳负极材料制备技术成为主要目标。

■中国石化研究进展

为满足产业发展需求,大连院坚持可商业化路线,利用石化行业石油焦资源优势,基于多年的石油焦利用技术研究基础,提出“软碳硬化”策略,从纳米层级改变石油焦精细结构和表面性质,抑制石油焦易石墨化特性,既保留软碳的电子传输特性,又兼具硬碳的离子传输和储钠特性,开发出拥有高性能钠离子电池负极材料制备技术。大连院首次实现以石油焦为原料合成低成本高比能钠离子电池负极材料,可逆比容量达到360毫安时/克以上,首周库伦效率超过93%,振实密度大于0.8毫升/克,性能超过目前普遍使用的生物质基、树脂基硬碳负极材料,来源稳定、成本低等竞争优势显著,已完成百公斤级验证。

钠电电解液

■钠离子电池电解液

钠电电解液是钠离子电池中实现钠离子迁移的关键材料,通常由六氟磷酸钠盐与碳酸乙烯酯、碳酸丙烯酯等碳酸酯类溶剂体系组成,并配合成膜、耐高压、抑制副反应等功能添加剂,以满足不同电池体系的性能需求。

相比锂电体系,钠离子半径更大,溶剂化结构不同。因此,钠电电解液的体系设计必须在电化学稳定性、电导率与整体电化性能之间取得新的平衡。合理设计的电解液,可使钠离子电池具备良好的循环性能与倍率能力,以适用储能、电动两轮车、电网调频及备用电源等应用场景,是推动钠电池产业化的核心技术之一。

■钠离子电池电解液功能

钠电电解液在钠离子电池中承担着构建稳定界面膜、传输钠离子、提升高温性能及抑制副反应等多重功能。通过调控钠盐浓度与溶剂体系比例,可在硬碳负极上形成致密稳定的固体电解质界面(SEI)膜,延长循环寿命,同时降低极化,提升倍率性能。对于高电压正极材料,电解液中的抗氧化添加剂更是确保其电化学稳定性的关键。

作为电池制造过程中的重要成本项之一,电解液成本通常占钠离子电池总成本的15%~25%,但其性能对电芯安全性和寿命的影响却产生倍增效应,是钠电体系最具“性价比”的技术杠杆。

■中国石化研究进展

2025年,全球钠电池产业进入加速发展阶段,电解液作为关键基础材

料的需求量显著上升。1~9月,全球钠电池电解液出货量达0.9万吨,同比增长201%,预计2030年出货量将达157.7万吨。在储能、电网调节及启停电源等多元化应用场景驱动下,钠电凭借成本优势与安全特性逐渐应用于各类终端市场,从而带动电解液需求持续增长。

针对快速增长的市场需求与技术升级压力,上海院研发团队构建了钠电电解液核心技术体系,重点突破新型溶剂体系设计和特种添加剂开发等关键技术瓶颈。通过研制高安全性、成本可控的新型溶剂体系,显著提升电解液的电化学稳定性与热稳定性,从根本上提升钠离子电池在复杂工况下的安全性能。同时,该团队开发的适用于高温、低温及阻燃条件的特种功能添加剂,可在多类型钠电体系中快速构建致密、稳定的界面膜,有效抑制副反应及过充风险,从而延长电池的循环寿命并提升整体安全性。

依托上述自主技术成果,上海院研发团队于2025年首次实现钠离子电解液吨级销售,产品质量稳定可靠,具备规模化供应能力。新型高倍率电解液及基于高安全溶剂体系的电解液均顺利完成小试验证,表现出优良的界面稳定性和宽温适应能力。基于自主电解液体系研发的方壳钠电电芯成功实现小批量生产下线,相关产品通过国家钠电单体标准测试CNAS(中国合格评定国家认可委员会)认证,各项性能指标达到国内先进水平,为其后续产业化应用及大规模推广奠定了坚实基础。

钠离子电池产业加速迈向规模化



大连院科研人员组装钠离子电池。

研发具备良好低温性能的钠离子电池等技术。在电池系统方面,制定锂钠混搭方案,将钠离子电池与锂离子电池按照一定比例混搭集成到同一个电池系统,发挥钠离子电池在功率、性能等方面的优势,弥补钠离子电池在能量密度方面的劣势。在技术应用方面,已将钠离子电池应用在两轮电动车、低速电动车、规模化储能、启停电源等领域。2025年,宁德时代、中科海钠等龙头企业发布性能更优的钠离子电池,在能量密度、安全性、低温性能、充放电速率等方面已经具备和磷酸铁锂电池正面竞争的實力。总体来看,我国钠离子电池产业呈现出标准政策引领、技术路线清晰、应用场景聚焦、商



上海院科研人员就钠电电解液研发
开展交流。

业化曙光初现的强劲发展势头,走在了全球钠离子电池研发应用前列。

然而,当前钠离子电池产业链尚不完善。一是产线规模小,规模效应不足,专用设备适配、工艺参数优化仍需投入,进一步推高初期生产成本;二是核心材料供应受限,硬碳负极高端产品依赖进口,价格超10万元/吨,而国内良品率低、量产不足,无法进行稳定供应;三是铝基集流体、定制化隔膜和电解液等配套材料未形成批量化供应网络,需专线定制,增加采购成本与供应风险;四是关键标准制定进度滞后,安全要求、性能测试、回收利用等10余项国家标准仍在制定中,导致企业生产参数缺乏统一依据。

未来3年是钠离子电池在细分市场站稳脚跟、实现规模化商业化的关键窗口期。面对产业化挑战,强化上中下游、产学研用协同创新攻关,形成正负极材料、电芯制造、系统集成等闭环,是有效的突破之道。目前,商用的钠离子电池负极材料主要为碳材料。因此,炼化行业以流程工业优势切入电池材料领域,进一步形成新能源产业链条,具有明显优势。中国石化已打造具有先进水平的碳材料产业,与电池材料制备工业结合,可以凭借规模化生产、精准过程控制和产业链协同创新能力,成为电池材料产业化的核心支撑。

2025年10月,中国石化和LG化学签署关于联合开发钠离子电池关键材料的协议,双方将面向中国及全球的储能系统和低速电动车市场,联合开发钠离子电池正极材料和负极材料等关键材料,加快商业化进程,拓展钠离子电池商业模式,未来还将扩大新能源和高附加值材料领域的合作。本次合作是能源化工龙头和全球电池材料巨头的战略协同,将实现双方资源、技术和市场优势互补,推动钠离子电池产业突破发展瓶颈、实现商业化落地,为传统石化企业向新能源领域转型、国际企业参与我国新能源市场提供借鉴。

知识课堂

什么是钠离子电池?

钠离子电池是一种可充放电的二次储能电池,工作原理与锂离子电池高度相似。充电时,电池正极释放出的钠离子通过电解液到达负极材料上,电子通过外部电路进入负极,确保正负电荷平衡。放电时,情况则相反,电子通过外部电路从负极进入正极,产生电流驱动用电装置。

钠离子电池与锂离子电池有什么区别?

钠的离子半径和原子量均大于锂,二者携带电荷数量均为1,储存相同的电量,储钠电极的体积和质量都大于储锂电极。因此,无论是体积能量密度还是质量能量密度,钠离子电池都低于锂离子电池。在负极材料的选择上,电化学性能优异的石墨通常被用作锂离子电池的负极,但由于钠离子的半径大,无法在石墨片层中进行可逆脱嵌,因此通常选用具有更大层间距的硬碳作为负极材料。

相较锂离子电池,钠离子电池的优势是什么?

从成本上看,钠元素在自然界储量丰富,资源量约为锂元素的450倍,成本更低。从低温性能看,钠离子电池在零下40摄氏度环境下容量保持率达90%以上,可满足北方寒冷地区、户外移动设备等场景需求。从安全性上看,钠的本征化学特性、电极材料本质属性和电池体系热力学稳定性的协同作用,降低了热失控、起火爆炸等风险,钠离子电池在过充、短路、高温、挤压等极端条件下的安全性显著优于锂离子电池。从充放电速率上看,虽然钠离子半径大,但溶剂化离子半径小,去溶剂化能低,因此移动速度更快,主流钠离子电池倍率性能在5C~10C(6~12分钟充满电),能有效缓解用户的续航焦虑。

钠离子电池能否替代锂离子电池?

钠离子电池凭借资源丰富、成本低和安全性高等优势,有望逐步取代铅酸电池,并在储能、低速电动车和启停电源等领域对锂离子电池形成部分替代。然而,受限于较低的能量密度和尚未完全成熟的产业链,钠离子电池短期内难以撼动锂离子电池在高端电动汽车、消费电子等领域的主导地位,未来更可能呈现“锂钠互补”的格局。