

硬碳负极材料成就储能“新秀”？

热点透视

rediantoushi

硬碳是经高温处理后不会石墨化的碳，其内部晶体排列无序、层间距大，这使得硬碳负极在同等体积下可以储存更多的电荷，提高了钠离子电池的能量密度和续航能力。在放电过程中硬碳负极的膨胀收缩更加均匀，增加了其循环稳定性、充放电性能，并延长了钠离子电池的循环使用寿命。

随着太阳能、风能等可再生能源发电量的迅速扩大，对储能电池新材料的研究也在不断深入。在第十五届深圳中国国际电池技术展览会上，有企业发布了新一代钠离子电池硬碳负极材料，其首次充放电效率可以达到 90%。

我国钠资源丰富，钠离子电池被认为是最适合规模储能的新型电池，并有望缓解因锂资源短缺以及分布不均所引发的储能发展受限等问题。与其他钠离子电池负极材料相比，硬碳材料有何优势？我国硬碳材料产业发展现状如何？距离大规模应用，还有多远的路要走？带着这些问题，科技日报记者采访了相关专家。

硬碳是钠离子电池负极材料的首选

钠离子电池主要由正极、负极、电解液、隔膜等组成，其工作原理与锂离子电池相似。钠离子电池负极材料作为电池储钠的主体，在充放电过程中，实现钠离子的嵌入或脱出，因此电池的容量与负极储存钠离子的能力呈正相关，负极材料的选择对钠离子电池的发展具有决定性作用。

中南大学教授周向阳说，从钠离子电池负极材料分类来看，大致可分为五类。一是碳基负极材料，主要包括石墨类、无定形碳、纳米碳等，其中无定形碳最有可能率先实现产业化；二是合金类负极材料，理论容量高，但电子嵌钠后体积膨胀严重，循环性能差；三是金属氧化物及硫化物基负极材料，理论容量高，但导电性差；四是嵌入型的钛基负极材料，体积变化小但容量低；五是有机类负极材料，成本低，但导电性差且易溶于电解液。

碳基负极材料具有出色的导电性，同时制备方法灵活、成本低廉、环境友好，成为钠离子电池负极材料的首要选择。其中，无定形碳中的硬碳、软碳材料被认为是具有潜力的钠离子电池负极材料。软碳是指经高温处理后可以石墨化的碳，通常以低成本的无烟煤作为前驱体加工制造获得，但其储钠比容量低、充电速度较慢、

低温性能较差。

硬碳是经高温处理后不会石墨化的碳，其内部晶体排列无序、层间距大，这使得硬碳负极在同等体积下可以储存更多的电荷，提高了电池的能量密度和续航能力。由于硬碳的孔隙结构更大，可以容纳更多钠离子，因此在放电过程中电极的膨胀收缩更加均匀，增加了硬碳负极的循环稳定性、充放电性能，并延长了钠离子电池的循环使用寿命。

周向阳说，通过对比不同种类的碳负极材料性能可以发现，硬碳是目前钠离子电池商品化应用时，负极材料的首选解决方案，有望率先实现产业化。

生物质成为制备硬碳材料的主流

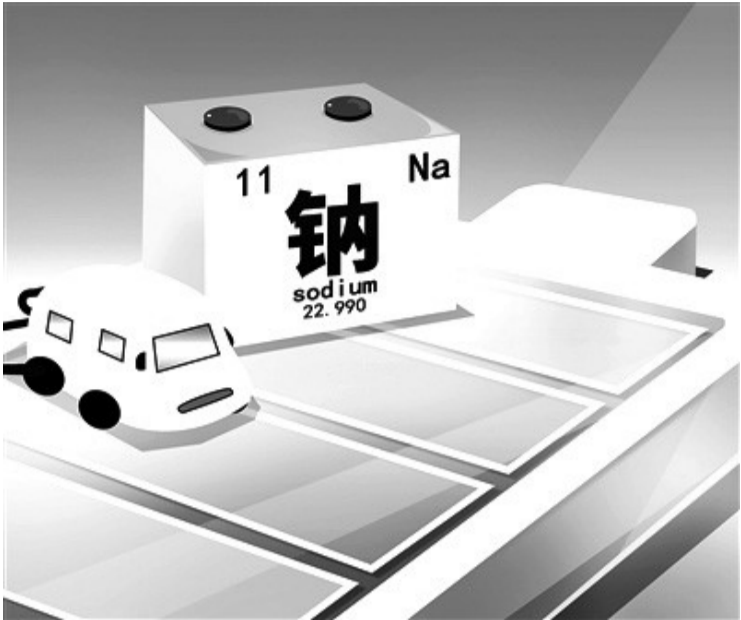
“硬碳前驱体原材料来源丰富，前驱体选择和工艺技术积累是硬碳负极材料开发的关键因素。”周向阳说。

制备硬碳材料的前驱体常见的有生物质、合成聚合物和化石燃料等，不同前驱体制备的硬碳材料具有显著的性能差异，由于前驱体原材料来源不同，硬碳材料成本构成也有显著差别。其中，生物质的原材料来源广泛，如椰壳、果壳、柚子皮、动植物组织等，成本相对较低，成为当前制备硬碳材料的首选。合成聚合物主要包括酚醛树脂、聚丙烯腈等化学合成材料，其电化性能好、原料可控、产品一致性好，但成本较高。化石燃料主要包括沥青、煤焦油及相关混合物，原料来源广泛成本低，但产品容量较低，由于沥青等含有的挥发性物质较多，在生产过程中需要进行额外的废气、废水处理，因此增加了生产成本。

目前，硬碳制备工艺多路并行，不断有硬碳负极材料被开发出来。例如中国科学院山西煤炭化学研究所陈成猛研究员领衔的团队，通过化学反应把淀粉制备成硬碳负极材料，其成果发表在学术期刊《能源存储材料》上。

如何把淀粉制备成硬碳？其流程大致可分为三个步骤：首先利用玉米淀粉和马来酸酐制备成富含氧元素的酯化淀粉；然后在反应炉中输入氢气与氫气的混合气体，其与酯化淀粉进行氢气还原反应，反应产物淀粉用作最终产物的前驱体；最后用氫气作为保护气，对淀粉前驱体在 1100℃ 下进行高温碳化反应，完成硬碳材料的制备。

陈成猛团队还通过改变管式炉中的反应温度，调节反应产物前驱体中氧元素含量，实现了对硬碳微观结构的调控，证实了氧元素含量对硬碳负极材料电化性能的影响等。



陈成猛强调，尽管团队的研究为后续进行高性能硬碳材料的开发奠定了基础，但仍然需要深入探索该材料的微观结构与电化性质等。

此外，复旦大学夏永姚教授等将果壳类生物质材料依次浸入盐酸醇溶液、硫酸溶液中并搅拌，得到悬浮液；再将悬浮液在水中分散、过滤干燥得到前驱体。他们将前驱体在惰性气体保护下升温进行预碳化处理，冷却后球磨，得到预碳粉；又将预碳粉在惰性气体保护下升温进行高温碳化处理、冷却，得到高效的钠离子电池用生物质硬碳负极材料。

硬碳负极材料行业市场规模将持续增长

钠离子电池已成为当前国内外研究和产业化的热点。国家发改委、国家能源局等九部门印发的《“十四五”可再生能源发展规划》提出，研发储备钠离子电池、液态金属电池、固态锂离子电池、金属空气电池、锂硫电池等高能密度储能技术。

周向阳说，目前，研究者对硬碳储钠机制提出了多种模型，但对其储钠机制尚未达成统一认识。因此，还需要进一步研究来揭示硬碳材料与电化学反应机制的构效关系，为提升硬碳性能提供理论指导与科学依据。此外，如粒径、振实密度、质量负载等硬碳材料的物理参数，对电化性能的影响也有待进一步探讨，以协同提升材料应

用于钠离子电池体系时的性能。

北京智研科信咨询有限公司发布的《2023—2029 年中国硬碳负极行业市场专项调查及投资前景分析报告》指出，随着国家对发展新能源汽车和储能装备的支持，我国硬碳负极材料行业市场规模将进一步增长。据市场预测，2025 年，我国硬碳负极材料行业市场规模将达到 86.5 亿元，硬碳负极材料行业未来 5 年内年均增速将达到 15.3%。

目前，由于国内硬碳负极材料行业发展时间较短，多数企业及研究机构仍处于技术研发和优化阶段，不过，国内各大厂商都在积极布局硬碳负极材料生产。今年 4 月，广东容钠新能源科技有限公司宣布，年产 1 万吨硬碳负极材料前驱体生产项目在福建省永安市石墨和石墨烯产业园正式投产，其主要以植物系生物质作为原材料。宁波杉杉股份有限公司则表示，应用于钠离子电池的硬碳负极材料在国内已实现吨级销售，预计今年量产规模将达到千吨级。

中国银行研究院研究员叶银丹认为，钠离子电池在低温、安全、快充等性能指标方面的表现优于锂电子电池，虽然其能量密度、循环寿命等仍有提升空间，但考虑到材料来源丰富，仍具备较大的发展潜力。随着硬碳负极材料等钠离子电池关键技术的突破，储能需求的快速增长，钠离子电池的应用场景和规模也将得到快速发展。李禾

创新杂谈

chuangxinzaotan

实体科技馆馆藏丰富、类型多样，一直以来在科普工作中发挥着重要作用。但受到地理位置、交通便捷程度、经济发展水平等因素制约，并非所有人都能轻松享受到实体科技馆带来的科普服务。对许多偏远地区来说，科学教育资源仍然是“稀缺品”。为解决基层科普设施短缺、城乡、区域间科普工作发展不平衡等问题，流动科普应运而生。

载着丰富展品的科普大篷车，极大弥补了基层科普设施的不足。以流动科技馆为例，据统计，截至今年 4 月，流动科技馆共配发流动科技展览资源 658 套，每套展览包含约 50 件科普互动展品、AR 数字科技馆、VR 眼镜、机器人表演，日常在电视里才能看见的前沿科技近在咫尺；电磁现象、手摇发电、听话的小球等互动展品，让光学、电磁学、力学等领域的基础知识变得可知可感。流动科普把一座座小型科技馆送到群众“家门口”，参观者不仅可以观看科学表演，还可以亲身参与科学实验，近距离感受科学的奥妙，在一定程度上打通了科普工作“最后一公里”。

从来自天南地北的青少年同上“天宫课堂”太空课，到流动科技馆走进山东东营的农村大集，再到科普大篷车在云南组织专家团队为果农开展种植猕猴桃、枇杷等培训……近年来，我国流动科普工作覆盖群体日渐广泛，涉及内容更加丰富。一轮轮巡展，一次次下车，让变化悄然发生。可见、可听、可感、可触碰的科学知识充分激发青少年的好奇心、想象力、求知欲，让越来越多青少年爱上科学。农业知识科普让农民尝到了科学的“甘甜”，学科学、用科学正成为越来越多农民的共识。基层群众科学素质不断提升，热爱科学、崇尚科学在全社会蔚然成风。

人们对知识的渴望是一个循序渐进的过程。随着科学素质的逐步提升，人们对科普工作有了新的更高要求。鉴于于此，流动科普向基层提供了“菜单式”的定制服务，各地可以因地制宜，选择更感兴趣、更为需要的科普项目，以便更好满足不同群体的科普需求。顺应人民群众对科普资源日益多样化、个性化的需求，及时结合社会热点和国家重大科技成果开展活动，联合各地有关部门实现资源共建共享、优化技术提升展览质量，流动科普才能持续为广大基层群众提供优质的科学教育服务，助力全民科学素质再上台阶。

穿行在祖国的辽阔土地之上，流动科普把科学的种子播撒在城市街道、田垄阡陌，播撒在戈壁高原、偏远山区，提升着人们对科学的热情，激发着人们对知识的渴望。相信随着流动科普的进一步发展，科学之花将会在更多地方绚丽绽放。

近年来，我国在音频产业领域不断取得重大成果，学术研究与商业化应用都迎来了百花齐放的盛况，这与 AES 广州分部创始人兼主席林彬的一系列付出分不开。作为首届 AES@NAMM 创办委员会重要成员，他十分重在行业创新，搭建了第一个 AES 体系内的非英语授课教程，以首位中国工程师的身份加入 AES 标准委员会 SC04-04 麦克风特征测量标准委员会，还担任多个跨国音频处理器生产商和企业的特邀顾问，用一系列创新技术成果为企业和行业的高质量发展带来强大助力。

毕业于马萨诸塞州克拉克大学的林彬师从香港伟大混音工程师 Raymond Chu，多年以来潜心钻研相关技术成果的应用与创新，由他主导推出的模拟调音台通道条装载机架式机箱单独运作的新方式、铝带麦克风的铝带谐振自检测与调整系统等技术成果，得到市场用户的充分肯定，相关市场项目稳步推进。其中，核心创新成果“铝带麦克风的铝带谐振自检测与调整系统”在持续创造市场价值。铝带麦克风本身是一项相对古老的传感器技术，其工作状态会受其核心部件铝带的谐振频率来界定。长期以来，调整麦克风的谐振频率是厂家控制铝带麦克风品质的关键步骤之一。然而，调整谐振频率虽然可以让麦克风有最优秀的表现，但往往会意味着麦克风在运输过程中容易受到损害。该系统可以让厂家以麦克风最安全运输的状态对麦克风进行调校；在用户收到麦克风后，用户可以接入其附带系统，在没有专业知识的前提下对麦克风的谐振频率做调整达到最佳状态，做到最优表现与最安全运输两不误。据了解，目前使用该系统的产品样机机型初步测试反应良好，量产贩售机型在进一步调整中，有望近期正式推向市场。

通过不断创新突破，林彬更是携手合作伙伴不断填补行业空白，助力音频产业可持续发展。他与铝带麦克风工程师符兆荣与电气工程师符兆合作开发了全球首个铝带麦克风谐振频率调控系统；与 Josephson Engineering 合作开发出具有低成本、高效能的麦克风防震支架；与 FumacLab 合作开发其专业音频产品线；与德国仪器生产商 Labortechnik Tasler 合作生产其模组化仪器的金属外壳；与深圳刘英音乐工作室合作设计矩阵录音室、与中国知名音乐人邓伟标合作实现全球首次 Optimal Stereo Signal(OSS)应用于古琴录音，在音频技术应用领域，他的众多合作成果得到了业内的充分肯定。

林彬坦言，“随着数字化时代到来，业界的各个细分领域迎来了革命性变化。特别是全景声技术的普及和全景声回放系统从百家争鸣到基本定局，演出现场全景声系统的各种实现方式与空间音频技术在公共空间的实现等，为音频行业的未来发展带来了新的机遇和挑战。”未来，他也将继续坚守创新探索之路，与合作伙伴共探音频产业新机遇，创造新辉煌！

让科学的种子播撒山乡

赵政

AES 广州分部林彬：赋能声音 创新引领音频格局

圆梦乘组 平安凯旋

（上接 A1 版）
“生命之伞”持续优化

从 1999 年神舟一号成功发射返回至今，由五院 508 所研制的首次大型降落伞已为神舟飞船奉献了 15 次绽放。其中十次护送航天员归来。红白相间的巨大伞花，是对航天员生命托付的最美答案。

这顶“生命之伞”伞衣面积达 1200 平方米，若在地面铺展开来，大约可覆盖三个篮球场。

1992 年载人航天工程立项后，为载人飞船研制降落伞提上了日程。该任务挑战极大，技术指标要求非常高。508 所回收着陆分系统研制团队苦攻多年，终于攻克了特大型降落伞的设计、制造、试验、总装等多项技术难关。

多年来，研制团队对该降落伞持续创新优化。在神舟十二号到神舟十五号这批飞船任务中，回收着陆分系统批次产品研制涉及 5 大类共 12 项技术状态更改。

“我们一步都不能错”

“返回舱的处置关系到航天员的安危，我们一步都不能错。”这是五院载人飞船回收队伍始终如一的信条。

返回舱的回收工作是整个载人飞行任务的最后一环。为迎接清晨归来的神舟十五号，回收试验队夜里出发、凌晨就位，并提前开展了夜间戈壁滩行驶的专项安全培训，专门针对戈壁滩夜间低温的情况做好预案。

随着神舟十五号返回舱成功着陆。试验队迅速到达返回舱落点，第一时间对舱体进行状态检查，确认舱外无危险源后打开舱门，随后对舱内状态进行检查。航天员出舱后，试验队迅速执行各项操作步骤，对返回舱进行处置。待返回舱装车运回指定地点后，他们将继续完成相关操作。为强化返回舱现场处置流程管理，试验队员提前对处置流程与预案等相关文件进行了细致的优化与完善。

神舟十五号于 2022 年 11 月 29 日从酒泉卫星发射中心发射升空，随后与天和核心舱对接形成组合体。3 名航天员在轨驻留期间，完成大量空间科学实（试）验，进行了 4 次出舱活动，圆满完成舱外扩展泵组安装、跨舱线缆安装接通、舱外载荷暴露平台支撑杆安装等任务，配合完成空间站多次货物出舱任务，为后续开展大规模舱外科学与技术实验奠定了基础。作为迄今为止执行任务时平均年龄最大的航天员乘组，他们不仅刷新了中国航天员单个乘组出舱活动次数的纪录，还见证了中国空间站全面建成成的历史时刻。

付毅飞