

# 泰山核电开拓同位素生产新路径

■本报实习记者 杨沐岩

日前，中核集团泰山核电重水堆中的首根碳-14靶件成功抽出，这是我国首次利用核商用堆批量生产碳-14同位素。泰山核电总经理尚宪和表示，本次碳-14产量可充分满足国内需求，将有力带动我国同位素应用产业链发展，进一步建立健全产学研合作开展商用堆辐照生产同位素的研发体系，为国内同位素应用产业发展提供有力支撑。

## ■同位素需求高涨

据了解，碳-14同位素广泛应用于农业、化学、医学等领域，具有极高医用价值和科研价值。比如，用于检测幽门螺杆菌，服下胶囊后，如胃内存在幽门螺杆菌，胶囊中的药物就会分解形成碳-14标记的二氧化碳，收集呼出的气体，分析其中碳-14标记的二氧化碳含量即可判断患者是否存在幽门螺杆菌感染。

据泰山核电专项工程处重水堆研发科科长樊申介绍，碳-14还可用于空气质量检测，由于其辐射穿透性弱，很容易被污染物遮挡，因此可以通过接收端接收到的辐射强度间接了解空气质量。同时，因碳元素为最常见的元素之一，且碳-14的轻放射线对人体几乎无害，碳-14也常用于药代动力学研究，探究新研发药物在人体的代谢过程。

除碳-14外，同位素的医学应用广泛，铯-137、钷-107和钨-188等医用同位素常用于癌症治疗。“目前，我国主要有5座研究堆可用于医用同位素生产和制备。”樊申表示，“近年来，医用同位素需求不断上涨，特别是碳-14供应紧缺。”

2021年，多部门联合发布的《医用同位素中长期发展规划(2021—2035年)》指出，国际上生产医用同位素的反应堆运行时间大多超过40年，面临停堆检修、关停或退役问题，医用同位素供给面临严峻挑战。计划到2025年，一批医用同位素发展的关键核心技术取得突破，适时启动建设



泰山核电重水堆。杨沐岩/摄

1至2座医用同位素专用生产堆，实现常用医用同位素的稳定自主供应。

## ■重水堆生产优势明显

远望泰山核电站三期，2台重水堆机组坐落在三面环海的半岛上，罩住反应堆的混凝土安全壳相比压水堆机组更加高大。樊申介绍，这是由于重水堆系统更为复杂，需要更大的安全壳空间。“重水堆为卧式，堆芯分割为相对独立的燃料通道，可针对每一个燃料通道实现‘一侧出旧料，一侧进新料’的不停机换料。这使重水堆连续运行时间不受燃料限制，重水堆2#机组刚实现连续运行677天的国内纪录。”

据泰山核电首席技师戚宏昶介绍，

碳-14生产需要利用堆内辐照，将含有氮化合物的靶件通过反应堆上方的孔道放入堆中，堆中反应产生的大量中子持续轰击靶件中的氮元素，使其发生捕获一个中子、同时释放一个质子的核反应，最终形成碳-14。而重水堆连续运行能力及高中子通量的特点为批量化稳定生产包括碳-14在内的多种同位素创造了条件。

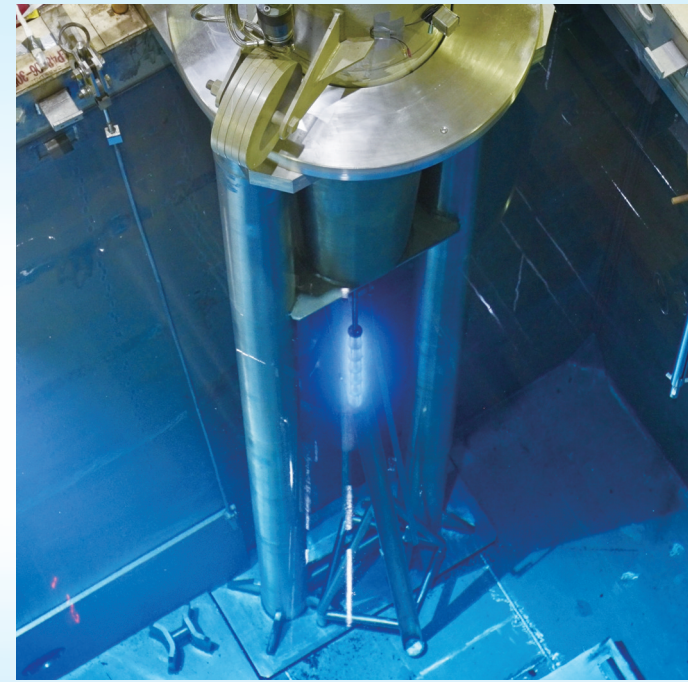
《中国能源报》记者了解到，泰山核电从2009年开始生产工业钴源，2017年开始生产医用钴源。钴在医疗中常被用于放射检查与治疗。目前，泰山核电的工业钴源已形成稳定供应并实现出口，医用钴源满足了国内市场需求。樊申表示：“钴源生产中积累了许多经验，为碳-14生产打下良好基础，不仅分析论证时间大大减

少，有关人员也积累了大量实操经验，能够充分识别相关安全风险，并采取相应措施，确保靶件安全出入堆。”

## ■生产能力将提升

据中核泰山同位素有限公司总经理黄国绍介绍，全国一年测试用碳-14的需求约为40至50居里，其他科研需求约为40居里。泰山核电碳-14年产能达100居里以上，生产周期为两年，可充分满足国内需求，部分还可出口到国际市场。

樊申表示，碳-14需要两年左右的堆内辐照时间，和机组每两年一次的检修时间相吻合，靶件出入堆可在停机状态进行，避免影响反应堆运行。戚宏昶透露，



碳-14靶件出堆现场。泰山核电/供图

泰山核电正联合国内单位研发在线辐照装置，已完成方案设计、安全分析、原理样机及工程样机试验、核安全评审等工作，即将建成投产。该装置投入使用后，即使在机组满功率发电期间，同位素靶件也可以通过机械装置完成装卸，根据不同同位素所需的辐照时间出入堆，泰山核电将具备大规模辐照生产铯-137、钷-107等同位素的能力。

此外，泰山核电所在的嘉兴市海盐县还启动建设核技术应用产业园。黄国绍表示，伴随未来多种同位素的稳定供应，当地将打造集核素研究与生产、核药研发与制备、核医学基础研究与临床转化、核特色康养、核应急救援为一体的全国医用同位素产业示范基地。

# 固态电池应用有望“多点开花”

■本报记者 姚美娟

基于安全性及能量密度方面的突出优势，固态电池被认为是液态电池的下一代技术，成为动力电池的重要发展方向，吸引诸多企业加码布局。在业内人士看来，未来，动力电池技术路线必将呈现多元化发展趋势，固态电池技术在多个领域应用的加速落地，将为行业可持续发展注入新活力。

## ■应用领域广泛

当前，半固态电池正逐步实现装车，加速向商业化应用阶段迈进。除长安、广汽外，截至目前，蔚来、宝马、丰田等多家车企已相继宣布固态电池装车时间点。同时，卫蓝新能源、赣锋锂业等电池企业也公开表示，公司业务覆盖固态电池相关产品。

上汽集团旗下智己汽车日前宣布，其推出的电动汽车智己L6搭载了准900V超快充“光年”固态电池；蔚来汽车则宣布150kWh超长续航电池包正式步入量产阶段，首块150kWh量产电池包已正式下线，计划在第二季度上线投入使用。据悉，蔚来150kWh电池包于2021年发布，采用固液混合电解质，属于半固态电池。

值得一提的是，固态电池的潜在应用领域不仅限于电动汽车。当下，固态电池也被认为是支持低空经济发展的关键技术。今年1月，力神电池完成全新一代半固态电池开发，能量密度达402Wh/kg，该产品未来将主要瞄准超续航中高端电动汽车，以及电动垂直起降飞行器(eVTOL)等领域。此前，力神电池已实现将能量密度为325Wh/kg的电池应用于eVTOL。



华金证券指出，2024年以来，国内加快eVTOL商业化落地，对高能量密度、高功率、高安全性的电池需求迫切，固态电池完美契合市场需求，产业化进程有望提速。

研究机构EVTank认为，eVTOL行业的兴起为锂电池及下一代电池技术(全固态电池、锂金属电池等)的应用开辟了新领域，创造了新的增长动能，同时，电池技术的进步也能为eVTOL行业规模化和商业化发展提供坚实基础。

## ■性能优势显著

有业内人士指出，相比传统液态电池，固态电池具备更高能量密度、更长循环寿命，有望成为下一代高性能锂电池候选技术。

以广汽集团发布的固态电池为例，据官方介绍，广汽集团凭借第三代海陆硅负极技术和高容量正极技术，全固态电池能量密度达到400Wh/kg以上，较当前量产的液态锂离子电池体积能量密度提升52%以上，质量能量密度提升50%以上。

“在锂电产业发展进程中，现有材料体系的迭代升级是推动产品能量密度提升的关键。比如，固态电池使用固态电解质代替传统电解液，从而具备更高的能量密度和安全性，这就属于内部材料的技术进步。”真锂研究创始人墨柯此前接受采访时表示。

另外，固态电池相对较高的安全性也是吸引企业投入该领域的重要原因。据了解，液态电解质受温度、压力等因素影响，有燃烧的风险，而固态电池采用固态电解质，具有较高的

热稳定性和较低的燃烧风险，安全性更优。

凭借多重优势，固态电池正日益被行业看好。在业内人士看来，企业需根据市场变化动态调整产品结构，积极对固态电池等前沿技术持续开展研发和技术储备，以跟上市场发展步伐，持续保持竞争力。“固态电池是动力电池下一代技术方向，不论车企还是电池企业，一定要积极布局。”伊维经济研究院研究部总经理、中国电池产业研究院院长吴辉建议。

## ■渐进发展模式

值得注意的是，虽然不少企业已官宣相关产品，并给出相对确切的上车节点，但目前固态电池产业化进程仍处于初期阶段，大规模应用仍面临挑战。宁德时代方面此前表示，固态电池有3条技术路线：氧化物路线、硫化物路线及聚合物路线。目前，还有很多基本问题待解决，如大多数固态电解质中的离子扩散速率与液态电解质存在数量级差异、固固界面难以始终保持良好接触等。

在此背景下，我国许多企业选择从液态到半固态再到全固态的渐进式发展路线。据了解，相比于全固态电池，半固态电池可以兼容现有液态电池工艺设备和材料，能以较低成本量产，因此成为过渡方案。

半固态电池的快速发展将为固态电池产业链的提前布局打下基础。不过，业界普遍认为，未来逐步从半固态过渡到全固态仍是动力电池的研究方向。吴辉也提到：“半固态电池对于电池能量密度并没有特别明显的提升。虽然现在许多企业都在积极生产半固态电池，但未来肯定还是会走上全固态路线。”

业内人士指出，未来随着技术的不断进步和市场的推动，固态电池有望成为能源存储领域的重要一环。华泰证券表示，量上车叠加低空等场景应用预期，固态电池市场热度高企。近期固态电池板块催化不断，一方面固态电池在新能源汽车、消费电子领域实现应用，新品发布的消息连连，另一方面，固态电池在低空飞行器下游应用的可能性引发关注。当前来看，固态电池量产应用的拐点正在加速到来。

近日，中国科学院院士、大连化学物理研究所研究员李灿带领的团队在电催化全分解硫化氢制氢和硫磺研究中取得重要进展，成功研发出电子介导驱动的离场电催化技术。

“该技术在室温、常压下，可实现硫化氢的分解，有望替代工业现行的克劳斯技术，实现天然气开采、炼油行业和煤化工过程中硫化氢的消除和资源化利用，将成为低成本制绿氢的一个新路径。”李灿告诉《中国能源报》记者，如果全面采用离场电催化全分解硫化氢制氢替代传统煤制氢，还可大量减排二氧化碳。

## 可资源化利用硫化氢

据介绍，硫化氢是一种有毒、有害物质，但同时又是含氢和硫的重要资源，主要伴生或副产于天然气开采、炼油行业和煤化工过程。据不完全统计，我国每年硫化氢处理量达80亿立方米，潜在处理量超过100亿立方米，全球范围内每年处理量超过700亿立方米。

硫化氢如何消除并资源化利用，是天然气开采、炼油行业、煤化工等工业中长期面临的难题。据了解，现行的克劳斯工艺通过将硫化氢氧化生成硫磺和水而消除，而一次克劳斯处理的尾气中有大量的含硫污染物，需要进行二次处理，即使经过多级克劳斯反应过程，含硫污染物也不能被完全消除。与此同时，工业现行的克劳斯过程只回收了硫化氢中的硫磺，其氢元素被转化为水而损失。工业上也在使用LO-CAT脱硫技术，采用液相氧化工艺，回收硫磺，同样氢元素以水的形式排放。业界曾尝试高温热分解硫化氢制氢和硫磺，由于该反应受制于热力学和动力学限制，采用传统热分解的硫化氢转化率、能耗高。

## 氢气纯度可达99.999%

“由于常规热催化不能实现硫化氢完全消除并将氢元素转化为氢气，因此需要引入非常规技术手段。”李灿说。

据了解，早在2003年，该研发团队就开始致力于采用非常规技术进行硫化氢分解反应的研究，先后采用光催化、电催化、光电催化等技术探索硫化氢分解制氢和硫磺，原理上验证了光电催化路线的可行性。但实现硫化氢分解制氢和硫磺反应的规模

# 低成本制绿氢技术获突破

■本报记者 张胜杰

化、连续化等工程方面存在很大困难。

据介绍，研发团队经过多年深耕电催化领域，研发成功了电子介导驱动的离场电催化技术，解决了规模化分解硫化氢制氢和硫磺的工程放大问题。

“上述创新技术的核心是采用电子介导对将化学反应和电极表面的电荷交换反应解耦。”据李灿介绍，研发团队利用现代化工反应器，将氧化反应(硫磺生成)和还原反应(放氢过程)分离电极，在电化学池外部连接釜式反应器和悬浮床/固定床反应器分别实现硫化氢氧化制硫磺和放氢反应，而电化学池内部进行电子介导的再生。

目前，该研发团队已经进行了实验室100升硫化氢/天的小规模试验，完成技术验证和长周期运行试验。结果显示，硫化氢转化率可大于99.9999%，氢气纯度不低于99.999%。研发团队共申请了17项专利，其中7项已授权，拥有完整的技术专利包，形成了具有自主知识产权的原创新性技术。

据悉，李灿将上述硫化氢全分解制氢和硫磺工艺命名为电子介导驱动的离场电催化技术。

## 技术应用前景可观

由于离场电催化技术解决了传统电催化规模化放大的难题，拓展了其应用范围，因此具有广阔应用前景。

2023年，我国采用克劳斯工艺消除的硫化氢达80亿立方米，若采用绿电供应的离场电催化技术处理，则可在完全消除硫化氢的同时，回收73万吨绿氢。“如果全面采用离场电催化全分解硫化氢制氢替代传统煤制氢，二氧化碳减排量可达1460万吨，将产生显著的社会效益和生态环境效益。”李灿告诉记者。

数据显示，将电解硫化氢制氢和电解水制氢两种技术进行对比，电解硫化氢制氢的能耗大约是电解水的1/7。目前，离场电催化技术可将电解能耗降到电解水的大约1/2。随着技术升级，将进一步降低能耗，在硫化氢资源丰富地区，用离场电催化技术制氢可节约大量电能。

据透露，李灿团队目前已和煤化工、石油化工和天然气开采相关企业合作，正在开展硫化氢完全分解制氢和硫磺项目的工业试验。