

# “港航平5”施工平台：带风电机组走向深远海

◎本报记者 陈曦

6兆瓦、18兆瓦、26兆瓦……这组数字记录了我国海上风电单机装机容量在3年中的跨越式发展。随着我国海上风电向深水远岸发展战略推进，2022年以后，我国正式从“近海小风机”时代跨入“深远海大风机”时代。在这一背景下，海上施工难度提高，高效、多功能的风电安装船应运而生。

近日，我国新一代海工装备“重器”——“第四代+”海上风电施工平台“港航平5”，在青岛海西重工码头交付。该平台由天津港集团下属天津港航工程有限公司（以下简称“天津港航”）投建，是目前国内起升高度最高、综合起重能力最强、升降桩腿最长的自航自升式海上风电安装平台。它的建成成为我国海上风电向深远海进军提供了可借鉴的解决方案。

## 机组大型化步伐加快

海上风电作为一种清洁能源，其发展有助于减少对化石燃料的依赖，促进能源结构向更加清洁、低碳的方向转变。在国家“双碳”目标和海洋强国战略指引下，大力发展海上风电意义重大。

截至2024年3月底，我国海上风电累计并网容量约38吉瓦(GW)，但按照“十四五”最新规划，目前还有280GW待开发。

“因环境、安全等因素，我国主流的风电机组集中安装在水深50米的近海海域。经过10多年发展，这一区域空间接近饱和。”天津港航科技部经理陈志刚介绍，从世界海上风电建设来看，离岸距离大于100千米、水深超过50米的深远海域可开发范围更广，风能资源更加丰富。海上风电产业逐渐向深远海挺进。

为了降本增效，实现海上风电平价上网，风机厂家也加快了机组大型化步伐。

“几乎每隔两个月就会出现装机容量更大的风机。”陈志坚说，同样安装一组风机，如果装机容量是4兆瓦，风机转一圈，只能发电不到4度。而目前已公开的世界上最大26兆瓦海上风机，转一圈能发电50度左右。

追求大装机容量，必然导致风机尺寸不断增加。以前海上风机高度一般不会超过150米，但像26兆瓦海上风机，叶片长度就已达到151米，轮毂中心高度更是超过185米。

“未来高度超过180米的超大装机容量的海上风机将成为行业主流。”天津港航党委副书记、总经理丁文智认为。

除了风机大型化带来的运输、安装方面的难题外，深远海施工也面临诸多挑战。

“离岸距离远，作业窗口期短，施工效率低，安全风险高。”陈志坚说，新一批已规划风电场平均离岸距离达到50公里，最远达到了150公里。这里风浪条件更加恶劣，且离岸距离远，交通不便，人员和设备可达性差。

自航自升式风电安装船，具有船机投入数量少、安全、高效的优点，特别适合深远海风电施工。目前，欧洲海上风电项目普遍采用这种安装船完成风机运输和安装。设计制造出我国新一代自航自升式风电安装船势在必行。

## 量身打造施工平台

与普通轮船相比，“港航平5”拥有更为宽阔的甲板，船身两侧设置了一高一矮两台吊机。4根约40层楼高的铁架子高高耸立在平台的四角。

“港航平5”的每一个设计，几乎都是为深远海海上风电机组运输、安装量身定制的。”天津港航船舶分公司主任工程师李学功说。

近年来，天津港航承建了国内近三分之一的海上风电项目，足迹遍布京津冀鲁浙闽粤等我国沿海地区，积累了大量且丰富的施工经验。

为了适应深水区域海底复杂的地质条件，与以往圆柱形桩腿不同，“港



“第四代+”海上风电施工平台“港航平5”。

受访单位供图

航平5”的桩腿被设计成桁架式结构，并且采用特种钢板，增加桩腿的强度。此外，研发团队还提升了桩腿的长度，增加了桩靴的面积。这些设计保证了平台作业时，桩腿可以稳稳地站在海床上。

“港航平5”的桩腿设计，可满足水深70米以上深海作业，而且甲板以上起升高度可达168米。”李学功介绍，在深远海施工，分秒必争。为了提升甲板升起效率，建设者为桩腿安装了齿轮齿条式升降系统。这种设计较传统的液压插拔销形式升降系统，效率提升4倍以上。

“为了能吊起风机这个庞然大物，港航平5”长135米、宽50米，最大起重能力1800吨。”天津港航监造项目组副主任工程师芮志国介绍，“港航平5”设置了主副两台吊机，主钩能吊重1800吨，主吊机甲板以上起升高度168米，在副吊机的配合下，主吊机距离海面最大吊高距离将超过200米，可以满足未来更大风车的

安装需要。

为了提高施工效率和增强安全性，“港航平5”搭载了智能船舶系统。船舶配置的DP2动力定位系统，可克服风浪流等复杂海况影响，大幅缩短船舶在风场之间移动驻位的时间。同时，凭借先进的智慧船舶系统，“港航平5”具备航路与航速设计和优化功能、智能能效管理功能及智能集成平台功能，可实现对船舶的全面监控与智能化管理，搭载的船光互补绿能系统可为平台提供充足的生活用电。

“港航平5”投入使用之后，将使风机安装效率较上一代平台提升约20%。”天津港航船舶分公司常务副经理刘家军说。

目前，“港航平5”已经奔赴我国南海深远海水域的风电机组安装项目。天津港航也将继续积极探索海上风电领域新技术、新工艺、新结构、新装备研发，为推动我国海上风电产业的蓬勃发展贡献智慧和力量。

# 受西瓜皮启发，离子交换膜设计有了新思路

科技日报讯（记者刘园园）记者9月5日获悉，西湖大学未来产业研究中心、理学院人工光合作用与太阳能燃料中心孙立成团队将西瓜皮膜用于电化学二氧化碳还原反应中，其展现出高离子电导率和高防产物透过性。受此启发，研究团队提出了一种构建新型离子传输膜(ITMs)的策略。相关研究日前发表于《自然·通讯》期刊。

此次研究始于一次意外。2021年，团队成员刘清路和唐堂博士将西瓜放入冰箱速冻层，几天后发现西瓜皮膜在解冻后自然脱落。唐堂由此产生灵感，认为西瓜皮可能是一种天然的离子传输

膜。随后，他们将西瓜皮膜放入电化学二氧化碳还原反应测试装置，发现其能正常工作，且性能不亚于商业化离子交换膜。

为深入探究西瓜皮膜的离子选择性原理，孙立成团队展开了跨学科研究。研究团队进一步发现，西瓜皮的皮下层膜表现出色，在1摩尔每升的氢氧化钾中浸泡后，室温下的氢氧根离子电导率优于1摩尔每升氢氧化钾水溶液本身的离子电导率。这意味着西瓜皮膜能够加速氢氧根离子的传输。

为什么西瓜皮膜只让氢氧根离子通过，而排斥了酸根离子？经过深入研究，

团队揭示了西瓜皮膜在二氧化碳电化学还原中离子选择性透过的机理。

“填充在西瓜皮细胞壁纳米通道里的果胶形成的微孔结构，以及通过微孔限域作用形成的连续氢键网络，对氢氧根离子的传输起到了关键作用。”孙立成解释，简单来说，氢氧根离子通过微孔结构和氢键网络实现高效传递，如同上了高速公路；而酸根离子则因与果胶中富含的羧酸根“同性相斥”，同时还与果胶和纤维素里的羟基形成氢键，但酸根离子无法通过氢键网络传递，因此被“拖住”了。

离子传输膜是电化学二氧化碳还

原反应、电解水和燃料电池等可再生能源转换与存储系统的关键部件，其性能直接影响能源转换效率和产物收集成本。“目前广泛使用的离子传输膜存在诸多局限，而此次研究的西瓜皮膜展现出了优异的性能，为解决现有离子传输膜的问题提供了新的思路和方法。”孙立成说。

据悉，基于西瓜皮膜的传输机制，孙立成团队正在进行新型离子传输膜设计，并制备了分别用于电解水以及电化学二氧化碳还原反应的阴离子交换膜，展现出优异性能。目前研究团队正推进后续研发。

# 蛇形机器人成盾构机刀具“随行医生”

◎洪恒飞 本报记者 江耘

作为开掘隧道的利器，盾构机在地下势如破竹，依靠前端刀盘上的刀具可切削泥土或者破碎岩石。但刀具是易耗品，其运行状态直接影响施工效率。盾构过程中，泥土在高温的作用下易形成泥饼粘在刀具上，此外硬质岩石等硬物也会影响刀具的使用寿命。而且，盾构

机内部空间复杂、狭小，工作环境恶劣，人工开展检测作业难度大，有安全隐患。因此，蛇形机器人是检测刀具健康情况的好帮手。

记者近日了解到，由浙江大学高端装备研究院特种机器人部负责人王程介绍，严格来说，蛇形机器人属于拉索驱动串联机器人的一种，普遍存在装配误差、拉索弹性变形、负载导致的定位控制难等问题。

为此，团队在机器人关节间较链中嵌入微型磁感应角度传感器，研究刚柔耦合动力学建模方法，并设计了一种智能闭环控制算法，实现误差补偿。这满足了机器人需要进行高精度轨迹跟踪的控制需求，令机器人头部定位精度达到毫米级。

“安装摄像机、高压喷嘴等工具的一端，可以被看作蛇形机器人的头部。”王程介绍，由于蛇形机器人有十几个自由度，在避障时同时控制所有自由度非常困难。为此，团队提出了一种蛇形随动避障控制算法。在操作机器人时，工作人员只需控制机器人头部的方向和机器人整体的运动方向，机器人的身体便会沿着头部走过的路径动作，从而实现自动避障。

除了从技术层面确保行动性能外，团队还采用数字孪生技术，在控制端建立起机器人与盾构机的数字化模型，用

分节，直径十多厘米，总长2.4米，可通过手柄控制。

“蛇形机器人首先要灵巧，才能顺利避开障碍、抵达工作区域。”浙江大学高端装备研究院特种机器人部负责人王程介绍，严格来说，蛇形机器人属于拉索驱动串联机器人的一种，普遍存在装配误差、拉索弹性变形、负载导致的定位控制难等问题。

为此，团队在机器人关节间较链中嵌入微型磁感应角度传感器，研究刚柔耦合动力学建模方法，并设计了一种智能闭环控制算法，实现误差补偿。这满足了机器人需要进行高精度轨迹跟踪的控制需求，令机器人头部定位精度达到毫米级。

“安装摄像机、高压喷嘴等工具的一端，可以被看作蛇形机器人的头部。”王程介绍，由于蛇形机器人有十几个自由度，在避障时同时控制所有自由度非常困难。为此，团队提出了一种蛇形随动避障控制算法。在操作机器人时，工作人员只需控制机器人头部的方向和机器人整体的运动方向，机器人的身体便会沿着头部走过的路径动作，从而实现自动避障。

除了从技术层面确保行动性能外，团队还采用数字孪生技术，在控制端建立起机器人与盾构机的数字化模型，用

来判断机器人与盾构机刀具的相对位置。这样，操作人员就可以通过操作手柄轻松实现蛇形机器人在盾构机内的导航。

进入工作区域后，蛇形机器人通过对盾构机刀具的特征识别，能实现刀具上泥土的自动冲洗。此外，此识别功能还可采集刀具盘刀图像数据，分析刀具磨损的视觉特征，为进一步开展换刀工作提供决策依据。该识别功能对盾构机刀具检测的精度可达到毫米级。

王程介绍，2022年3月至7月，这款蛇形检测机器人已在深圳机场至大亚湾城际铁路工程先开段隧道工程中的“先锋2号”双模盾构机上成功应用，是国内首个通过技术应用验证的盾构机蛇形检测机器人。

浙江大学高端装备研究院副院长沈洪堃说，该检测机器人能够有效降低工人入舱风险，降低工人劳动强度，从而大幅提升施工效率与安全水平。此外，该机器人还可实现对盾构机刀具的健康管理，有效延长刀具使用寿命，缩短施工周期，降低施工成本。

他介绍，研究院目前正与国内盾构机行业龙头企业开展合作。下一步，他们将小批量试产盾构机蛇形检测机器人，并在多种型号的盾构机上进行试用，推动其标准化、产业化发展。



王程持操作手柄演示蛇形检测机器人。洪恒飞摄

## 成果播报

### 首批FXN3C型干线货运内燃机车投入使用

科技日报讯（记者郝晓明）近日，我国研制的首批FXN3C型内燃机车牵引89035次货运列车从内蒙古巴彦淖尔临河站驶出，承担起临策铁路干线货运列车的牵引任务。FXN3C型机车正式上线，标志着我国新一代干线货运内燃机车成功投入使用。这对于提升铁路货物运输能力及经济效益具有重要意义，为我国铁路重载运输注入新动力。

FXN3C型内燃机车是在中国国家铁路集团有限公司指导下，由中车大连公司研制的新型内燃机车。该车型能够适应各种工况和运行环境，具有优良的环保特性，能够满足国内最高等级排放标准。同时，该车也是国内首次实现EPA Tier III排放标准的内燃机车，具有部件通用性强、互联互通速度快、智能化程度高、运维便捷等特点。其驾乘环境更加舒适，整车布局更加合理。

内燃机车是保障货运及民众出行的主力车型，具备运量大、价格低、安全性能高、受天气影响小等优势。据悉，该车型搭载了新一代

12V265C型柴油机，装车功率为3500kW，可胜任大负载、长编组的牵引任务。机车采用内电统一平台驱动装置，实现了各模块化设计，具有远程数据传输、大容量数据存储、故障统计、智能化故障诊断及运用维护管理等功能。通过CMD无线网络，安全生产指挥中心能够实时掌握机车运行状态，第一时间给予机车乘务员技术指导，使得机车安全保障能力大幅提高。此外，其司机室采用了隔音、减振设计，是国内货运内燃机车中最大的司机室。

临策铁路东起巴彦淖尔市临河区，西至额济纳旗策克口岸，途经内蒙古两个盟市的7个旗县，全长768千米，并存在铁轨板结多、常年风沙、极寒、极高温等特点。针对该铁路运输线特点，研发人员制定相应解决方案，从优化柴油机空气滤清系统、器件防尘等级、冷却系统性能、空气制动管路防寒等方面提升机车性能；针对临策铁路线不平顺的特点，制定了防脱提升方案，使FXN3C型机车能够更好地适应当地运输环境，全方位保障运行安全。

### 新型抑制剂可防治多种作物真菌病害

科技日报讯（记者马爱平）记者9月5日获悉，中国农业科学院植物保护研究所近日在京举办靶向真菌几丁质酶抑制剂研讨会暨成果转化签约仪式。此次转化的真菌几丁质脱乙酰基酶抑制剂具有高效、高生物安全、环境友好等特点，可有效防治多种重大作物真菌病害，是全球首例针对几丁质生物学过程的原生生物农药分子。“该所农药分子靶标与绿色农药创制创新团队首席科学家杨青告诉科技日报记者。

此次转化的靶向真菌几丁质抑制剂，基于农药分子靶标，实现产业升级。”中国工程院院士、华东师范大学校长钱旭红表示。

组装、降解与修饰机制领域的研究成果。经过十多年持续攻关，该团队揭示了植物病原菌几丁质生物代谢过程和靶向抑制机理。

“这一重要进展标志着我国迈出了从农药原始理论创新到产业化关键一步。它不仅为农药创制提供了重要的颠覆性新靶标，而且通过靶向筛选发现了新农药分子。可以说，这一重要进展是生物化学农药、植保学科、绿色产业发展的重要里程碑，实现了靶标发现向农药分子创制的闭环，为新农药研究提供了重要范例。未来，建议在农药制造过程中使用更为前沿的绿色生产技术，实现产业升级。”中国工程院院士、华东师范大学校长钱旭红表示。

### 第三代“光音魔方”高效校验互感器极性

◎本报记者 张蕴  
通讯员 郭雅娟

近日，在辽宁省大连市66千伏星海湾变电站内，国网大连供电公司二次检修人员使用第三代“光音魔方”互感器极性校验装置，成功校验了32套零序互感器的极性。读取表针指示结果后，验收人员判断零序互感器极性连接全部正确。这一过程仅耗时25分钟，相较传统校验方式缩短时间75%以上。

互感器极性校验是贯穿电网建设、多行业安全生产必不可少的重要环节。一旦极性反接，就会造成电网跳闸，甚至大范围停电。以往，国网大连供电公司每年执行1万余次极性校验工作，为改进繁琐、耗时费力的校验模式，自2022年1月起，国网大连供电公司便组建起内部研发团队，开始探索互感器校验新技术。历时2年，经三次更新迭代，“光音魔方”互感器极性校验装置终于被成功研发。

国网大连供电公司青创团队成员王士铭介绍，第三代“光音魔方”极性校验装置支持三种排除故障方式，引入无线中继组网和实时操作系统，可以实现3000变比以内的电流互感器与220千伏及以下的电压互感器的远距离极性校验，填补了国内极性校验微型化产品的空白。

据介绍，传统的极性校验至少需要5名人员，其中3名人员在地下电缆室一侧，两名人员在楼上保护室二次侧，通过干电池、指针表和对讲机远程配合进行试验。这一过程中，经常会出现设备不便携、排查故障困难、沟通效率低等情况。

针对传统校验模式设备携带不方便、工作流程繁琐等痛点，青创团队自研电路工作逻辑，探索如

何缩小试验仪器体积，利用积木式PCB架构和榫卯外壳结构，设计出可实现单人单手操作的便携式电流互感器极性校验装置1.0版本，“光音魔方”初具模型。

针对大电流的快速通断问题，青创团队持续丰富电路逻辑，使用MOS管替代传统机械开关，完成电池替代。这使得新装置可以做到20安培以上大电流的快速通断，具备电流可控和测试时间可调功能，“光音魔方”2.0版本由此诞生。

在实际应用中，传统校验装置还存在排查故障不直观，工作人员楼上楼下试验沟通困难等情况。对此，青创团队持续发力，研发出带二次回路的远距离互感器极性校验装置。他们将无线通信应用于互感器极性校验中，通过低功耗无线LoRa协议，实现了互感器极性校验装置500米范围内的跨楼层信息加密传输和远程控制。此外，该装置还具备线路间隔和相别校验功能，并拥有友好人机交互界面和互感器回路通断自检系统，可大幅度提高校验速度和准确度。第三代“光音魔方”的诞生让二次回路故障无所遁形。

目前，“光音魔方”互感器极性校验装置已完成一系列开发流程，可实现定型和量产。装置已应用于北京市朝阳区、辽宁省沈阳市、深圳市龙华区等地区电网，取得良好成效。

青创团队负责人赖增强介绍，该装置目前已获全国互感器标委会、大连海事大学和中航第一飞机设计研究所等单位认可，通过权威第三方检测和查新机构认证。相关机构认为，该产品技术满足互感器极性校验技术标准和安全要求，为丰富互感器极性校验手段提供了重要支撑。