浮托安装是利用海上潮汐的自然力和船舶精确调载相结合的方式进行安装，类似于举重运动员“挺举”。以恩平20-4平台安装为例，该方式可将平台运输速度提高1倍，海上安装作业所需的气候窗口可由48小时缩短为24小时，作业效率大大提高。

恩平20-4钻采平台上部组块海上浮托安装全景。 韩庆摄

采油平台在海上精准“倒车入库”

◎本报记者 陈 曦

海上油田建设离不开钻采平台，但钻采平台的安装并非易事，其单层甲板面积相当于多个篮球场，重达上万吨。安装这个庞然大物就像在波涛汹涌的海面上进行“倒车入库”。

日前，在广东珠江口盆地水深近百米的海域，天津港保税区企业海洋石油工程股份有限公司（以下简称海油工程）运用我国自主创新设计的动力定位浮托技术，成功完成恩平20-4钻采平台的建设，创造了国内海上油气平台动力定位浮托安装重量的新纪录，同时也填补了我国这项技术的空白，这对于保障国家安全、建设海洋强国具有重要意义。

动力定位浮托安装如在海上“倒车入库”

恩平20-4钻采平台是中国海油恩平15-1油田群产量最高的平台，由我国自主设计、建造及安装，可实现钻修井、智能采油、油气水综合处理以及伴生气回收利用等多项功能。

平台由上部组块和导管架两部分组成，其中导管架高度104米、重量近1.2万吨。

为了让导管架固定在百米深的海底，海油工程项目团队将12根长度近145米、直径2.4米的钢桩打入120米深的海床之下，确保这个合体后总重超过2.7万吨的钢铁巨人能够在超强台风下稳如泰山。

底座稳固了，但项目团队迎来了更大的挑战。

“通常来说，上部组块会采用海上浮吊的技术来进行安装。但恩平20-4的上部组块单层甲板实在太大了，面积相当于9个篮球场，重达15463吨。”海油工程恩平油田群开发工程总包项目经理盛向明介绍说，“这个重量超过国内海上浮吊的能力极限，因此我们选定采用动力浮托技术进行海上安装。”

“浮托安装是利用海上潮汐的自然力和船舶精确调载相结合的方式进行安装，类似于举重运动员‘挺举’。”盛向明解释，以恩平20-4平台安装为例，该方式可将平台运输速度提高1倍，海上安装作业所需的气候窗口可由48小时缩短为24小时，作业效率大大提高。

方法有了，但是把如此庞然大物“挺举”上去难度不小。而且之前我国从未自主实施过动力浮托技术工程，从方案设计、计算分析到施工等都由外国公司负责。

“动力定位浮托安装过程相当于开着一辆长度超过220米、宽度40多米、装载10000辆小汽车的超级卡车，在波涛汹涌的海面上进行‘倒车入库’，两侧间隙仅为10厘米，组块插尖与导管对接精度要求达到毫米级。”盛向明说，这对设计计算精准性、动力定位系统可靠性、操作人员技术水平等均提出极大挑战。

自主创新技术确保安装万无一失

为了实现动力定位浮托安装，项目团队对该技术进行了攻关，突破了大型平台动力定位浮托精确设计分析、三维仿真模拟、精准定位操作等多项关键核心技术。

首先，精确数值分析是对浮托项目从装船开始就进行装船、运输、浮托过程的计算分析，根据计算结果进行安装设计。

“早期数值分析都是请国外公司来完成的，收费高昂，而且不会给我们提供原始数据。”海油工程浮托技术专家秦立成说，由于作业过程的非平稳、力学特征的非线性、多体系统强耦合等特点，多体耦合时域分析技术是精准数值分析中的难点。

为此，项目团队的计算工程师依托工程项目进行技术攻关，通过反复试算，结合试验，一点点推敲出关键数据。特别是项目刚刚开始的时候，计算工程师为了确定核心参数，经常通宵计算和进行数据比对。最终项目团队开发了动力定位静力评估和时域分析软件，并且在项目中成功应用。

有了设计方案，为了确保万无一失，还需要三维仿真模拟让施工人员提前按照施工方案来演练，提前发现问题和风险，在项目上规避这些问题。

最终团队开发了动力定位浮托模拟系统，解决了动力定位算法、水动力算法、多体耦合算法，为三维仿真模拟提供了技术支持。

有了“线上”模拟演练，还需“线下”实操检验。对此，项目团队组织了多次技术方案交底及作业风险分析，持续细化施工计划，开展浮托过程仿真模拟和水池实验，提前对锚系布设、进船、对齐、载荷转移等工序进行预演，并针对锚缆失效进行应急演练。

为了确保“倒车入库”能够准确进入规定的位置，还需“精准定位操作”。施工之前，项目团队大量开展虚拟模型培训，并在施工海域对关键操作进行现场预演，持续提高动力定位操作水平。

“船舶设置‘一用一备’两套独立的定位系统，为浮托提供稳定、精确的‘倒车防撞雷达’，且专门设计新型护舷系统和桩腿耦合缓冲装置，以防碰撞造成损坏，确保施工过程万无一失。”秦立成说。

无惧海上风浪精准完成平台对接

尽管已经做了万全的准备，但在大自然面前人类还是显得如此渺小。

恩平20-4平台进行浮托前夕，施工海域下起大雨，晚上风力达到六级，最大浪高4米，现场施工作业一度面临取消。

为了确保精准“入库”，主作业船距离槽口30米之后，需要由“自动挡”调整为“手动挡”。由经验丰富的动力定位操作师精准控制船舶进行“倒车”，每5米就要停船一次进行校准，到达10米以内时，每1米就要停船校准一次。

完成“倒车入库”还仅仅是施工作业的第一步，作业船进入导管架槽口后，上部组块的8个插尖要对齐导管架的8个对接装置，高度误差不超过5个指甲厚度，中心水平偏差不超过3个玉米粒总长，难度堪比宇宙飞船和空间站对接。“相比空间站在几乎不受外力影响情况下进行对接，海上浮托还要克服海上风、浪、涌等一系列不利因素。”本次动力定位浮托主作业船海洋石油278船船长刘雪峰说。

施工过程中，项目团队对风浪及船舶运动进行实时监测，抢抓时间窗口，精准操控，仅用7小时就高效完成施工作业，最大水平高度误差仅5毫米，精度控制达到国际先进水平，为后续项目投产节省宝贵时间。

海油工程安装分公司副总经理贺辰表示，在本次作业中，我国首次使用自有船舶、自有人员独立自主完成全流程关键作业，成功掌握大型平台动力定位浮托方案编制、设计计算、仿真模拟、动力定位系统操作、海上安装和监测等成套核心技术，填补了我国动力定位浮托自主设计安装技术空白。

目前，海油工程建成了以亚洲最大浮托驳船“海洋石油229”、5万吨级动力定位半潜工程船“海洋石油278”等为代表的系列关键装备，攻克浮托安装多体耦合控制算法、数值模拟软件开发、关键数据精准预报等多项技术难题，实现了浮托桩腿耦合缓冲器等核心部件的国产化，实现了高位浮托、低位浮托、动力定位浮托等全天候、全序列、全海域主流浮托施工关键技术的自主化，掌握的浮托技术种类、作业难度和技术复杂性等位居世界前列，并进行了浮托前沿技术的研究开发，具备了在全球恶劣海况海域进行浮托作业的能力。

没有手孔、不用螺栓

新技术实现水下隧道滴水不漏

◎本报记者 矫 阳

一条外径接近9米的成型盾构隧道里，管片上没有一个手孔、一根螺栓。远远望去，环环管片拼接整齐一致、看不见错台，隧道立面弧度圆润、线条精美，经检测无一处渗漏……

6月3日，国内在建最大直径污水过江盾构隧道——南京市江心洲污水收集系统二通道建设工程（穿越夹江段）隧道（以下简称南京污水二通道）贯通，项目施工在国内首创全新盾构施工技术——“新型承插式管片+双液同步注浆+双道止水密封垫”成套技术。

“南京污水二通道建设不再用传统的螺栓固定管片，而是在隧道内直接拼装管片，为国内首次。”中铁十四局项目负责人武文清说，这不仅减少了大量管片接点，节省了人工，也为今后盾构掘进实现智能化拼装提供了技术支撑。

去掉螺栓 打造升级版隧道

为适应大体量、长时间的运营需要，未来隧道的成型质量、后期维养等标准不断提高。

据中铁十四局项目总工程师单晓波介绍，目前国内盾构隧道结构，基本采用钢筋混凝土管片配合螺栓构成，管片接缝间设置弹性密封垫防水。

有研究发现，在施工过程中，因大量采用螺栓，接口量大，导致问题较多。“比如，因混凝土管片承载力削弱导致管片局部开裂、管片间错台量较大导致接缝渗漏水及管片螺栓手孔处渗漏水等问题，影响隧道运维，甚至降低隧道使用寿命。”单晓波说。

接到南京污水二通道建设任务后，中铁十四局项目团队慎重决定，打破传统施工方式，大胆创新，采用“新型承插式管片”新技术，使国内盾构施工实现新的技术跨越，打造“升级版”的南京污水二通道。

项目技术团队联合各参建单位多方考察、调研“取经”，攻克多项关键技术，为“新型承插式管片”成功应用于9米级水下盾构隧道反复摸索。

“新型承插式管片”采用的是新型接头管片结构。“即管片纵向接缝采用插销式连接件，环向接缝采用插入式连接件。”单晓波说。

虽然只是做了管片设计“去掉螺栓”这一道减法，但这一细微结构的改变，却给整个盾构隧道施工带来一系列“蝴蝶效应”。

嫁接新技术 提供防漏双保险

“在水下盾构隧道采用‘新型承插式管片’，国内尚没有成熟经验可借鉴，对管片预制及拼装精度、盾构机掘进姿态调整及盾构设备适应性等都要求极高。”单晓波说。

打破常规，知易行难。在由螺栓式管片结构拼装成型的大直径地下盾构隧道施工领域，中铁十四局有着成熟的技术经验。“而这次，却是把既有经验‘推倒重来’，对我们来说，无疑是‘脱胎换骨’。”单晓波说。

水下建隧道，最大的难题是防漏水。

为探索“新型承插式管片”技术，团队不断探索，研究更多新技术与“新型承插式管片”嫁接。

2021年，中铁十四局联合西南交通大学、中国铁建重工集团等经过3年的探索和实践，成功创新研发“超大直径泥水盾构同步双液注浆关键技术”，填补了国内技术空白。

“同步双液注浆”技术成果，成功嫁接在江心洲污水收集系统二通道隧道建设中，为新型的管片拼装技术带来“强助攻”。“施工过程中，团队不仅在管片壁的背后采用新型同步注双液浆工艺，还在管片衬砌接缝采用双道防水密封垫措施。”单晓波说。

两道防水体系外加同步注双液浆，为隧道防渗漏提供了双重保险。

45分钟拼装1环 精度达毫米级

新型管片拼装精度高，为应对新的标准，设计团队对拼装机吸盘进行了密封设计改造，提高了拼装机的抓举能力及管片拼装能力，使拼装精度达到了1毫米。

“如果说预制管片拼装如同搭乐高积木，这次我们拿到的新版乐高完全没有拼装说明书，全靠自己摸索。”项目盾构经理姚印彬说。

通过不断地摸索，项目团队终于总结出一套成熟的拼装技巧。“开始，拼装1环需要3天多；如今，拼装1环仅需45分钟。”姚印彬说。

已贯通的盾构隧道，长693米，共464环、3712块管片拼接有序、内实外美，成功实现了成型隧道不渗不漏，管片上浮量控制在5毫米以内、管片错台控制在2毫米以内。

“盾构隧道承插式管片施工成套技术，丰富了盾构领域的基础科学研究。未来，我们将建立相关技术体系、控制方法与标准，为我国大直径及水下盾构隧道工程建设补充新的解决方案和理论支撑。”武文清说。

南京污水二通道于2021年开建，建成后可将南京主城内约每天40万立方米的污水直接输送至江心洲污水处理厂进行处理，惠及174万户居民，有效保障南京市污水通道的安全、经济运行。

成果播报

中国超算再次登顶榜单 存储系统性能达国际顶级水平

科技日报讯 （记者**王延斌**）6月6日，科技日报记者从齐鲁工业大学（山东省科学院）了解到，近日在德国汉堡举办的ISC 2023高性能计算大会发布了最新IO500榜单，该校国家超级计算济南中心（以下简称济南超算）构建的验证性计算集群（Cheeloo-1）在10节点研究型榜单登顶夺冠，测试得分突破13万，继济南超算山河计算集群在ISC 2022夺冠后，以超越历史最佳纪录15倍的绝对优势，再次问鼎全球。

ISC与SC是国际超算组织承办的具有悠久历史的两大高性能计算领域顶级会议，分别在每年的年中和年末举办，大会上会发布当年超算领域的重要榜单，即TOP500、IO500和Green500。

济南超算副主任、济南超级计算技术研究院院长潘景山表示，国际TOP500竞争聚集在算力性能，但算力实际发挥作用还依赖于存储，因此，存储输入输出速度极为重要，IO就是“IN PUT和OUT PUT”的简称，在IO500榜单中登顶夺冠，说明我们存储系统的性能达到了国际顶级水平，意义重大。

本次打榜集群由济南超算存储创新团队联合济南超算技术研究院、华中科技大学和华为数据存储共同打造，取得了技术上的一系列创新，在读写带宽、元数据存取性能上均取得了业内最高性能。本次测试集群在整体组网架构上采用了两层对称式全线速互联拓扑，最大程度简化通讯延迟和路由复杂度，系统方面设计了全新架构的OceanFS2文件系统，充分发挥RDMA网络优势，研发了元数据存储引擎、数据预取引擎、高性能通信框架、轻量化协程调度框架等全新支撑模块，使得整体系统可支持单节点物理配置接近线性性能提升。

“中油杂501”创盐碱地油菜高产新纪录

科技日报讯 （记者**马爱平**）6月5日，科技日报记者从中国农科院油料作物研究所获悉，经中国作物学会油料作物专业委员会组织专家现场测产，采用耐盐耐密高产高油新品种和密植抗盐稳产新技术，东台市盐碱地200亩连片种植的油菜新品种“中油杂501”，密度高达6万株/亩，机收实产达323.87公斤/亩，亩产油量约163.17公斤，比当地油菜平均单产增加59.5%，比当地油菜平均亩产油量增加82.7%，创盐碱地油菜高产新纪录。

油菜是我国第一大油料作物，占国产油料作物产油量的半壁江山。“中油杂501”是中国农科院油料作物研究所王汉中院士团队历经10年攻关选育而成的优势品种。2022年“中油杂501”在长江流域油菜主产区湖北襄阳创造了亩产油菜419.95公斤、亩产油量211.57公斤的纪录。油菜“耐盐碱高产高油”技术模式是在国家油菜产业技术体系、中国农科院创新工程支持下，中国农科院油料作物研究所联合江苏省农业科学院经济作物研究所、苏州市农业科学院、农业农村部南京农业机械化研究所等单位协同创新，以耐盐碱耐密高产高油多抗油菜新品种“中油杂501”为核心，集成机械化联合精量播种、密植抗盐栽培、油菜全营养缓释专用肥、绿色综合防控、机械收获等技术研发而成。

江苏省农业科学院研究员张洁夫认为，油菜“耐盐碱高产高油”技术模式的应用，克服了盐碱地出苗难、经济产量低、机械化难度大的关键问题，实现了盐碱地农业经济发展与生态修复相结合的目标。

为温室装上“智慧开关” 实时测控设施蔬菜环境

◎本报记者 马爱平

近日，科技日报记者从北京市设施蔬菜创新团队获悉，中国农业大学教授、北京市设施蔬菜创新团队岗位专家安冬开展了基于电力线载波传输与智能开关技术结合的设施蔬菜环境实时测控技术研究，并首次将这种新型农业设施环境测控技术在北京房山综合实验站实验成功，解决了设施蔬菜环境测控中的相关问题。

科学的设施环境测控对提高蔬菜产量、品质以及能源利用率具有重要的意义。“然而，现有设施蔬菜环境测控中存在两个突出问题：一是温度、湿度、光照等环境因子感知与传输需布设专用传输线路，传输费用较高；二是卷帘、风机等环控设备运行状态无法实时、自动监测，设备故障停机会造成经济损失或存在线路漏电等安全隐患。”安冬告诉记者。

该项研究主要由温室环境数据采集与传输、环控设备状态监测及控制和远程测控平台三部分组成。

“对于温室环境数据采集与传输，我们主要采用电力线载波传输技术实时、准确地将采集到的光照、温湿度等环境信息传输给远程测控平台；对于环控设备状态监测及控制，我们主要是采用智能开关技术实时、准确采集卷帘机等设备的电压、电流、功率传输等信息给远程测控平台；而远程测控平台则主要用于实时显示、分析环境数据和设备运行数据并根据智能模型下达设备运行指令、预警设备故障。”安冬进一步分析说。

为什么电力线载波传输技术和智能开关技术适合应用于设施蔬菜环境测控中？“电力线载波传输技术具有免布线、无通讯成本、即插即用、传输稳定等特点，非常适合在多个温室、超大跨度区域进行数据采集与设备控制。智能开关技术可以弥补现有农业物联网无法监测设备运行状态的漏洞，可以采集卷帘机等设备的电压电流功率信息，从而实现设备运行状态实时监控，避免设备故障停机造成经济损失和安全隐患。”安冬说。

如今，这两项技术已在智能电表自动抄表及大型电力设备监控中得到有效应用，农业中应用有不同于工业的特殊技术要求，针对设施温室的具体需求，该团队将该技术进行了软硬件升级改进，首次将上述技术应用于农业设施环境测控上。

目前，该技术已在北京房山综合实验站两栋日光温室内开展实验示范。“自2022年11月10日至2023年3月29日，该系统已采集101天有效数据，数据采集以10分钟为单位，每种环境因子在每个节点上已有14544条数据。对比基于4G的传输模式，数据一致性为99.99%。实验结果表明该技术可准确、稳定采集环境数据和设备运行状态数据，并为园区排查电线漏电的安全隐患1次。”安冬说。