

从险峻航道到黄金水道

——记三峡船闸梯级通航系列科研成果

◎本报记者 何亮 通讯员 刘敏

7月的三峡大坝常被烟云笼罩，晴空之日举目眺望，大坝左侧的三峡船闸开合自如，升船机上联动，大船爬“楼梯”，小船坐“电梯”，有序而繁忙。

2023年，三峡船闸通航迎来20周年，有99.3万余艘船舶从此过坝，1223.9万名旅客尽览三峡大坝的雄伟，19.1亿吨货物畅行三峡……曾经咆哮的江水已变得平静，险象环生成为过去，“川江不夜航”成为历史。

高峡平湖泛彩舟

“近20年的科技攻关，一系列原创性成果给三峡—葛洲坝超高水头梯级枢纽的安全、高效、稳定运行加装了强有力的‘安全阀’！”长江三峡通航管理局局长齐俊麟由衷感叹。

2003年，三峡水利枢纽开始试验性蓄水，“高峡出平湖”变为现实。59公里的三峡航段，逐渐有了“两江一峡一机十三闸”，成为长江干线连接中上游的咽喉要道。

此时，三峡航段形成的坝上库区航段、两坝间急流航段和坝下天然航段三段梯级航道，连续最大落差达140米，加上特有的“四滩一弯一关”之险，被世界公认为最复杂的通航环境。

船闸运行无经验可循，面对多闸运行联控、通航调度控制、通航保障等诸多难题，如何破解？

三峡通航管理局联合交通运输部10多家科研院所与创新企业，组建近百人的团队，开展“三峡—葛洲坝梯级通航运行关键技术与应用”课题研究，让科技创新为运维保驾护航。

2019年，众多原创科研成果纷纷涌现，建构起通航运行理论方法、自动控制与智能调度技术、服役设备评估与

“京华号”顺利抵达终点

——我国最长盾构高速公路隧道首线贯通

◎本报记者 矫阳

6月28日上午，历经2年地下掘进，由北京市首都公路发展集团建设，中铁十四局施工的“京华号”终于顺利抵达终点，标志着北京东六环改造工程西线隧道顺利贯通。

北京东六环改造工程南起京哈高速，北至路苑北大街，路线全长约16公里。其中，入地改造里程约7.4公里，采用盾构法施工，是我国最长盾构高速公路隧道，为交通运输部2022年科技示范工程。

自2021年5月始发以来，“京华号”先后攻克盾构浅覆土始发、盾构机高风险吊装、长距离穿越高致密砂层等11项技术难题，顺利穿越京哈铁路、北京城市副中心综合交通枢纽等风险源，并创造了单月进尺542米的掘进纪录，申报研发工法、专利等23项。

北京东六环改造工程盾构隧道设计

快速检修、通航安全保障技术“四大体系”，让船舶通航行为规范化、过闸快速化、通航调度智能化等难题迎刃而解。三峡—葛洲坝通航建筑物实现了“从用好到好用”“从管好到好管”的蝶变。

挖潜提效筑通途

随着“水涨船高”“水落船低”，过闸船舶由此实现“上下楼梯”，这需要三峡双线5级、葛洲坝3个单级船闸精准地充水、泄水、开门、关门。一个闸室有问题，一条线将瘫痪。

“三峡船闸控制系统的每一项数据，都是经过精确计算而来。一个看似简单的公式，从设想到运用，要经历好多年！”谈起“通航运行理论方法”的研究，参与其中的长江勘测规划设计研究有限责任公司机电院副总工程师段波感慨。

“三峡船闸的设计，是之前以船队为主的运行环境，规划到2030年通过量达亿吨。”段波告诉记者，按照设计标准，一闸室能过6至7个船队，10分钟左右进闸。但现在航道变为“有水大家行”，过闸船舶变成以单船为主，进闸的间距被拉大，进闸时间最初高达1小时。

如此效率，如何满足日益增长的船舶过坝需求？“挖潜提效筑通途。”段波介绍道，通过多年的科技创新，船闸通过能力被一分钟一分钟地挖掘出来。

三峡通航管理局研发“同步移泊技术”，通过“单船同步进闸”组织方式，实现同闸同排船舶像船队一样“捆绑”进闸、出闸、在闸室间移泊，三峡船闸单线从初期一昼夜运行7至9闸次，提升到16至17闸次；优化船闸阀门运行控制参数，实现两坝船闸最优运行控制，最大化利用闸室面积与水深；实施“葛洲坝三闸合一”“船闸机电水一体”的科研探索……

目前，葛洲坝和三峡船闸实际一次过闸平均载重吨位达1.77万吨，远远高出1.02万吨的设计能力；三峡过闸船舶吃水



三峡水利枢纽工程。林海摄

控制标准从3.3米提高到4.3米；过闸船舶平均单位能耗从蓄水前的每千吨公里7.6千瓦下降到每千吨公里1.9千瓦……

检修技术再创新

作为长江黄金水道的要塞，三峡船闸每检修一天，一线船闸就要停摆一天，这意味着，约70艘船、28万吨货物通航受阻。

为了减少停航，研发“人字门同步顶升”迫在眉睫。船闸大修，重点就是“人字门”。它要顶升起相当于两个篮球大小、重达900吨的门体，然后查磨损、换配件，再安全回落。

两项船闸有36个这样的“巨无霸”，仅检修程序就有几百道。三峡通航管理局正高级工程师李然告诉记者：“顶升一个，就得40名经验丰富的技术人员同步操作8个千斤顶，耗时一天。若偏差超过1毫米，轻则损伤门体，重则发生倾覆事故。”

面对难题，研发团队提出，用4个液压千斤顶实现自动高精度顶升，偏差要求不超过0.5毫米。

眼看检修日期临近，“必须按时搞定！”不服输的研发人员每天只睡三四个小时，连续22天驻扎在试验场，突破关键技术。最终，研发人员抢在检修前完成升降系统的研发，并一举试验成功。

有了这项独门技术，让原来需要40人一昼夜才能完成的高风险工作，只需一摞按钮，6个人1小时搞定。“那年，停航检修时间从100多天压缩到50天。”李然表示，在此基础上，研发团队开发了以大型系列检修装备、工艺、工法为主的快速检修体系，船闸停航大修工期由50多天，再缩短到20—30天。

2016年9月三峡升船机试通航，是又一项世界之最。运行时要提起1.55万吨、相当于20万人的总重量，且处在一个30米的跳变水位中，存在安全隐患。

为把安全隐患“扼杀在摇篮”，科研人员“量身定做”了一套船舶安全检测系统，对通过船舶的船速、吃水、位置，进行全方位检测，解决了升船机“水土不服”的难题。

如今，船舶“坐电梯”过大坝，由300分钟缩短为50分钟，竖立的硬币纹丝不动……

工程项目工地，一整面墙的超大电子屏幕上，显示着建筑信息管理平台、“京华号”盾构监测、现场监控视频、应急响应、进度产值、气象预警、第三方监测、现场工作管理等信息。

专为“京华号”开发的盾构机智能预警与辅助驾驶平台，实现了盾构关键参数预警、导向智能纠偏、刀具智能感知及大数据辅助决策功能，形成了井下终端驾驶、地面远程驾驶、智能辅助驾驶等多层控制体系，确保隧道施工安全与工效。

“通过这一平台，盾构机的推力、行程甚至分区压力，都能一览无余。”中铁十四局北京东六环项目总工程师杨哲表示，当盾构机出现掘进异常情况，平台还可以进行实时预警，并将预警信息通过手机短信推送给主要管理人员。

2022年4月，北京东六环工程成功入围北京市首批智慧工地试点项目名单。东六环改造工程完成后，地面原有六环路将建成城市公园，预计增加绿化面积约50公顷。原东六环路将在地下隧道通过，将过境货运交通疏导至外围高速公路系统。同时，城市副中心12条规划道路、5条现状道路将实现东西向贯通，加强东六环两侧组团之间的交通联系，让通州城区与城市副中心行政办公区融为一体。

惯量模拟装置让新能源电力系统稳定运行

◎本报记者 陈曦 通讯员 张华

在我国碳达峰、碳中和战略目标的驱动下，绿色、清洁、低碳的新能源得到了大力发展。以风能、太阳能为代表的新能源在逐渐大规模接入电力系统的同时，对电力系统的安全稳定运行提出了挑战。天津大学电气自动化与信息工程学院教授朱介北团队研制的新能源通用惯量模拟装置，实现了对超级电容与电网间交换的惯量响应功率的精准调控，显著提升了新型电力系统的频率稳定性与韧性。该成果近日在第48届日内瓦国际发明展斩获金奖。

据介绍，传统电力系统主要靠使用燃煤、石油和天然气等化石燃料的旋转同步发电机来提供稳定的电力供应，同步发电机能够为电力系统提供相对较高的转动惯量。同步发电机的转动惯量反映了其转子存储动能的大小，当电力系统发生发电机掉线等严重故障时，

转动惯量可充当能量缓冲器抑制电网频率的变化，从而为其他机组争取足够的动作时间重新平衡电网的供需，因此有助于维持系统频率的稳定性。

“然而，不同于旋转的同步发电机，通过静止换流器并网的新能源发电本身不具备惯性，这使得现代电力系统的惯量水平急剧下降，加剧了系统频率出现大幅波动甚至发生失稳的风险。”朱介北介绍，为保障电力的可靠供应，迫切需要新能源发电具备同步发电机的惯量响应特性，来保证现代新能源电力系统的频率稳定性。

为解决这个难题，朱介北教授团队提出了一种新能源通用惯量模拟装置，将快速响应的超级电容器通过全控型DC/DC变换器（直流和直流互相变换的变换器）连接到新能源并网逆变器的直流母线，依据电网频率动态调节超级电容电压进行有序充放电，来模拟同步发电机的惯量响应。

在此基础上，团队研制了新能源通

用惯量模拟装置，实现对超级电容与电网间交换的惯量响应功率的精准调控。装置可以稳定、有效地模拟惯性时间常数达10秒，惯性时间常数较传统惯量模拟方案提高3倍以上。该技术应用于新能源40%高占比场景时，在电网故障下较传统控制降低系统频率变化率达30%以上、频率偏移20%以上、频率振幅50%以上，显著提升了新型电力系统的频率稳定性与韧性。

“其惯量响应能量由快速响应的超级电容器提供，惯量模拟核心算法采用高精度数字控制器实现，因此装置整体具有响应速度快的特点和高精度的控制能力，可以准确、实时地监测电力系统频率变化，根据实际情况快速、准确调整超级电容电压充放电，以维持系统频率的稳定性。”朱介北介绍。

该新能源通用惯量模拟装置是成套、独立的完整设备，集成度较高，可以直接接入新能源直流母线侧，不需要改造新能源发电的原有电路和控制系统，

具有“即插即用”的优势。

新能源通用惯量模拟装置取得了显著的应用效果。2022年已应用于张北国家风光储输示范基地，助力2022年北京冬奥会成为第一届100%使用新能源的“绿色”奥运会；华能江苏能源开发有限公司最先将新能源通用惯量模拟装置推广应用到了南通电厂、南京电厂、太仓电厂、淮阴电厂、金陵电厂、苏通电厂等地，提升可再生能源并网比例达13%。

截至目前，该装置已经推广应用到了30余座新能源电站，范围覆盖全国10余省份，为解决因惯量缺失造成的弃风弃光问题提供了有效的技术示范。哈电风能有限公司相关负责人表示：“我们公司已经将新能源通用惯量模拟装置应用在了甘肃环县南湫、新疆达坂城、青海切吉敦曲等几十个新能源电站中。装置的应用提升了新能源场站6%的并网比例，同时减少受制于惯量和电网超载约束的弃风现象，有效提升新能源利用小时数。”

成果播报

首条直通雄安天然气主干管道投产

科技日报讯（记者刘园园）7月3日，记者从国家石油天然气管网集团有限公司（以下简称国家管网集团）获悉，我国首条直通雄安新区的天然气主干管道——国家管网集团蒙西管道项目一期工程（天津—河北定兴）日前成功投产。

这意味着，来自国家管网集团天津液化天然气接收站的天然气将通过该管道输送至华北地区，保障沿线民生清洁能源，为高标准、高质量建设雄安新区提供可靠的天然气能源保障。记者了解到，蒙西管道是国家天然气基础设施互联互通重点工程，全长1279公里，途经内蒙古、山西、河北、天津四省市区，既是内蒙古西部地区与山西大同煤制天然气项目配套的外输通道，也是天津液化天然气上岸的外输通道。

国家管网集团华北天然气管道有限公司总经理徐桂龙介绍，蒙西管道

项目按照整体核准、分期分段建设实施。本次投产的蒙西管道一期工程总长413.5公里，起自天津液化天然气（LNG）临港分输站，终止河北保定定兴分输站，最大管径1016毫米，年设计输量66亿立方米。

“蒙西管道一期工程投产后，将进一步优化环渤海地区天然气基础设施布局，带动沿线地区能源转型和绿色低碳发展。”国家管网集团北方管道公司生产部副经理王春明表示，该项目与中俄东线天然气管道、陕京管道系统等国家天然气主干管道，以及天津天然气管道等京津冀主干网络和华北地区储气库群互联互通。这对于有效发挥液化天然气接收站和储气库对华北地区的调峰保障作用，促进国内外天然气资源在京津冀地区灵活调配，更好保障国家能源安全和经济安全具有重要意义。

超深水打桩锤 让海上平台站稳“脚跟”

科技日报讯（记者陈曦）记者7月1日从海洋石油工程股份有限公司（以下简称海油工程）获悉，我国自主研发的首台2500米级超深水打桩锤成功完成海试和示范应用，填补了国内超深水打桩核心装备技术空白，助推我国水下打桩作业能力由深水迈向超深水，对于加快深海油气资源开发、保障国家能源安全具有重要意义。

海洋油气、风电等各类平台，要在海上站稳“脚跟”，不仅要能够抵抗强大的台风袭击，还要在涌浪的频繁冲击下保持稳定，需要使用像“定海神针”一样的钢桩深深扎根海底作为“地基”。打桩锤是海底打“地基”必不可少的关键装备，在海洋油气开发中具有举足轻重的作用。长期以来，超深水打桩锤的研发制造技术一直掌握在少数国外厂家手中。

据悉，本次研发的超深水打桩锤自重约165吨，重量相当于160辆家用小汽车，总高相当于近6层楼，打桩直径可达2.5米。打桩时依靠内部构造“锤芯”撞击，将产生的冲击力散播给桩体，具有能耗低、污染少、适应性强等显著优点。

打桩锤装备了高精度传感器和高灵敏度监控系统，可以实时监控打桩状态，让作业人员一览海底施工全貌。在两台500千瓦发电机同时驱动下，打桩锤每一次“锤打”相当于一辆小汽车以100公里/小时速度撞击产生的力量，依托耐压防水水下控制系统，在相当于250个大气压的巨大海水压力下，最快3小时就可以锤击数千次，将一根100米长的“钢桩”打入海底。

海油工程“超深水打桩锤系统研制”项目负责人于文太介绍，超深水打桩锤是由海油工程联合北京机电研究所中机锻压公司、中国石油大学（华东）、中国船舶社等单位，经过近3年科技攻关，自主研发的成果。科研团队先后攻克超深水打桩锤总体方案设计、关键核心部件设计制造等多项关键技术，自主研发高响应度控制系统和先进液压控制系统，实现打击速度的精准控制和装备自主定位。经过高压、低温、冲击等复杂试验验证，作业位置精度控制达到厘米级，综合性能达到世界先进水平。

万吨丁二酸酐和丁二酸项目 一次开车成功

科技日报讯（张青 柳鑫 黄宁 记者王怡）7月1日，记者从江南大学了解到，该校化学与材料工程学院教授东为富、王世波团队与旭科新材料（山东）有限责任公司合作开展的全球首套石油基万吨级顺酐加氢制备丁二酸酐项目，已实现规模化量产。这标志着我国低成本大规模生产优质丁二酸酐及丁二酸技术与装备取得重大突破，将有力支撑绿色化工新材料产业的发展。

东为富介绍，一期年产1万吨丁二酸酐和丁二酸项目，于5月31日正式投料生产，一次开车成功，6月6日稳定产出了纯度在99.5%以上的优等丁二酸酐产品，产品纯度高、色度白，最高纯度达到99.9%以上。目前，产出的丁二酸酐产品纯度稳定在99.5%以上，最高纯度达到99.9%，达到了国际领先水平。

“该项目生产装置投运的一个月内，以近乎双百的高效催化反应得到了高质量的丁二酸酐及丁二酸产品。这两种产品常温常压下均为白色结晶固体，是一种重要的化工原料。”王世波说。

据了解，丁二酸酐和丁二酸是石油基可降解聚酯（聚丁二酸丁二醇酯即PBS）的合成原料之一，该种生物可降解聚酯物理机械性能与聚丙烯（PP）相近，可替代PP应用于吸管、一次性餐具、一次性酒店塑料制品、纺织品等领域。

电解加氢及高压釜浆态加氢工艺存在能耗高、腐蚀严重，以及难以实现规模化和连续化等问题。一直以来是制约生物可降解材料PBS等产业快速发展的难题。该研究团队创新性地提出了顺酐高选择性固定床液相连续加氢催化体系及关键技术，并在旭科新材料（山东）有限责任公司实施工业生产和应用。“我们开发的高效清洁生产工艺，为高质量的丁二酸酐及丁二酸产品低成本大规模生产、生物可降解材料PBS等大规模推广应用创造了有利条件，也为今后进一步扩大规模奠定了良好的基础。旭科新材料一期项目验证了万吨级技术的可行性。”王世波说。



2500米级超深水打桩锤。受访单位供图