

大数据驱动，这个模拟器可把脉长江“前世今生”

◎本报记者 雍黎

我国长江流域系统综合治理有了科技重器。6月10日，由中国科学院与重庆市政府共同建设的长江模拟器科学装置(以下简称长江模拟器)战略合作协议在重庆广阳岛签约，“长江模拟器示范基地”同时揭牌。

大数据驱动的决策系统

“简单来说，长江模拟器是大数据驱动的长江流域综合模拟与调控决策系统。”中国科学院院士、武汉大学教授夏军向记者介绍，长江模拟器是以水系统科学理论为基础，以长江流域为对象，以流域水循环为纽带，将自然过程与社会经济过程相耦合的流域模拟系统及其软硬件装置。

流域模拟系统是一个涉及水—土—气—生—人等多要素多过程的复杂巨系统，要在科学统筹的前提下实施流域系统治理，实现流域绿色发展，面临的主要难点就是缺乏强有力的科技支撑。通过建设长江模拟器，实现水循环、水环境、

水生态和社会经济过程耦合模拟，集成创新流域水生态恢复和水环境治理技术体系。夏军院士表示，“长江模拟器可以说是科技创新支撑长江流域综合管理的体现”。

长江模拟器的研发，统筹考虑了生态系统整体性和流域的系统性，是自然科学与社会科学的深度交叉，强调大数据和人工智能信息支持，具有监测—模拟—评价—预警—决策支持功能，可应用于农业、水利、水资源管理、航运、防洪、环境保护等多个领域。

与现有的国家大科学装置地球模拟器相比，长江模拟器以流域为研究对象，具有更高的空间分辨率和更快的响应时间，能直接服务流域生态文明建设。

三大功能全面把脉长江流域

“长江模拟器主要有‘了解过去长江、认识现在长江、展望未来长江’三大功能。”中国科学院地理科学与资源研究所研究员占车生介绍，了解过去长江，即基于中生代以来地质历史时期的考古、古地质、古地貌、古气候研究成果，再现长江流域历史演化过程。

认识现在长江，即通过建设流域水系统全面监测监控能力，发展流域水系统全面模拟能力，模拟再现近几十年来长江流域水生态环境的演变过程，系统诊断流域水生态环境问题的成因和机制，提出综合调控策略和具体管理措施。

展望未来长江，即针对未来可能的气候变化情景及社会经济发展情景，模拟预测不同情景下的流域水生态环境演变趋势，分析不同绿色发展路径下流域绿色发展水平的时空差异，提出相应的调控对策和政策措施建议。

据了解，长江模拟器建设涉及6个关键环节，包括建设长江流域空天地一体化立体监测系统，建设长江流域多源数据共享系统，研发长江流域水系统综合模拟模型，建立长江流域绿色发展评估系统，建立长江流域生态文明公众参与和教育平台，建成科学研究与政府决策的沟通平台。

长江模拟器的建成，将为流域水灾害预警、流域水生态环境现状评估、流域水资源和生态系统管理与调控提供有效科技手段，为流域长远规划、管理和应对提供科学依据。

核心大脑在重庆辐射全流域

长江模拟器是中国科学院地理科学与资源研究所、重庆绿色智能技术研究院、南京地理与湖泊研究所、大气物理研究所、水生生物研究所以及武汉大学、长江水利委员会长江科学院、中国环境科学研究院等十几家单位参与建设的一项重大科技工程。

重庆是长江上游生态屏障的最后一道关口，目前重庆正在积极将广阳岛打造为“长江风景眼、重庆生态岛”。夏军院士表示，长江模拟器落地重庆广阳岛，将支撑重庆在长江生态文明建设上发挥“领头羊”的作用。

长江模拟器建设拟分为三期，第一期长江模拟器将支撑大河文明馆和智慧广阳岛建设；第二期将针对重庆生态文明建设科技需求，拓展长江模拟器的功能，建设长江流域水生态环境监测网络；第三期将争创国家大科学装置，同时建设长江模拟器科创园区。

据了解，目前长江模拟器和广阳岛野外科学观测站已纳入智慧广阳岛三期实施，一期机房环境建设已完成，长江模拟器总体规划已通过专家论证。



珠江口隧道虎门侧洞口效果图 受访单位供图

1.06兆帕

珠江口隧道设计采用矿山法+盾构法组合施工。矿山法段最大埋置深度达到了115米，盾构法隧道最大水压1.06兆帕，超过10个标准大气压，与著名的土耳其博斯普鲁斯海峡公路隧道水压相当。

全程水下作业 把高铁隧道建在百米海底

◎本报记者 矫阳

6月10日，来自中国铁路广州局集团公司江门工程建设指挥部消息，开工近一年的粤港澳大湾区重大交通项目，即新建深圳至江门高铁(以下简称深江高铁)重要控制工程，跨越狮子洋的珠江口隧道工程进展顺利，斜井进洞二三十米，盾构部分将于11月始发。

深江高铁途经深圳、广州、东莞、中山、江门5个地市，是深圳至茂名高铁组成部分，线路全长116公里。珠江口以隧道方式下穿，工程位于东莞、广州之间的珠江入海口，隧道全

长13.69公里，设计时速250公里，计划工期为56个月。

“珠江口隧道设计采用矿山法+盾构法组合施工。矿山法段最大埋置深度达到了115米，盾构法隧道最大水压1.06兆帕，超过10个标准大气压，与著名的土耳其博斯普鲁斯海峡公路隧道水压相当。”承担全过程设计的中国中铁第六勘察设计院集团有限公司隧道院(以下简称中铁六院隧道院)负责人贺维国说。

如此大的水压，深江高铁跨越珠江口为何要采用全程水下隧道方式?面临的技术难点，设计方案如何解决?

桥、隧方案论证比选长达10年

深江高铁是国家“八纵八横”高铁主通道沿海通道重要组成部分，也是粤港澳大湾区重大交通基础设施。建成后，粤港澳大湾区将实现高铁半小时生活圈、经济圈。

跨越河湖江海，或用桥梁、隧道，或用桥隧、岛桥隧。

深江高铁跨越珠江口狮子洋，为何要采用全程水下隧道方式?

贺维国告诉科技日报记者，深(圳)茂(名)高铁江门至茂名段已于2018年开通，江门至深圳段，需要跨越珠江口狮子洋海域，因地理环境因素十分复杂，考虑经济技术多种因素，公铁两用桥方案、单—桥方案、隧道方案均有各自特点，但究竟采用哪一种一直未有定论。

根据规划图，该深茂高铁公铁两用大桥从东

莞虎门(沙角炮台对面)引出，跨狮子洋后进入广州南沙。

“桥梁、隧道方案论证比选，长达10年时间。”贺维国说。

多数专家认为，桥梁方案采用公铁两用大桥，可增加跨江经济效益，但对城市规划、通航及防洪等方面有一定的影响。且在建设期，桥墩的施工对海洋环境有一定的污染；后期运营维护阶段，桥梁应对海洋环境及恶劣天气的抵抗能力较差，运维成本较高。

经长时间反复科学比选，2017年8月，国铁集团发布第一次《新建铁路深圳至茂名铁路深圳至江门段环境影响评价》，确定将深江高铁跨越珠江口方案，由虎门公铁两用大桥改为隧道形式。

水腐蚀性较为严重。

资料显示，目前国内已建成的最大水下铁路盾构隧道是佛莞城际铁路狮子洋隧道，最大埋深为64米，最大水压0.78兆帕。

“如此大的埋深和更高的水压，为工程带来了巨大的挑战，也蕴藏着更高的风险。一旦出现任何偏差，后果不堪设想。”贺维国说。

珠江口隧道需要穿越淤泥、软弱砂层、极硬

基岩凸起等多种复合地层。矿山法段需穿越多处断层，存在水头贯通的可能性，在超高水压作用下，预加固支护措施也面临着严峻的考验。不仅如此，巨大的水压及复杂的地质环境，对盾构机等设备也提出了更高的要求。

在项目开工前的3年多时间，中铁六院集团隧道院成立专门的科研攻关团队，设计出一个“矿山+盾构”穿越隧道的组合工法。矿山法，即用开挖地下坑道的作业方式修建隧道的施工方法，是一种传统的施工方法；而盾构法，则是采用

抗水压防腐设计保证隧道行车安全

珠江口隧道现场施工共分虎门、南沙及万顷沙3个工区。2020年7月2日，3个工区施工全面展开。

虎门工区和万顷沙工区明挖段基底，均位于大面积深厚淤泥层中，压缩性高、承载力低，施工过程中基坑变形控制难度大。“为确保后期高铁运营安全，设计方案中重点考虑了沉降要求控制，制定了高精度的指标要求。”贺维国说。

按照设计方案，待盾构始发并完工后，两台大直径盾构机将分别从东莞虎门及广州万顷沙始发相向掘进，盾构管片外径12.9米，盾构独头掘进最长达3590米。

“这就意味着，盾构机必须在高压下不良地质段进行磨削刀具的更换。这无异于在水中打开了一扇窗户，安全风险极大。”贺维国表示，对此设计上要求采用更可靠的常压刀盘+气垫模式换刀技术。同时，对于掘进极高风险地段，在盾构机上还将配置相应超前地质探测手段，对前方地层进行预测分析，实现一机多用。

除水下换刀问题，还有一块更难啃的骨头，就是盾构机未来如何在海中完成接收及拆解。

贺维国说，盾构机长距离掘进后，必须精准在海中扩大洞室实现对接，这犹如在大海中穿针引线，不仅在设计时要考虑足够预留量，对盾构机掘进过程中的动态控制要求也极为苛刻。同时，在盾构接收中还必须确保零渗水的要求。

大型盾构机施工的现代方法。

据贺维国介绍，针对工程中的所有重难点以及关键节点，设计方案都进行了分析以及专项方案设计。

经过多次内外部评审，珠江口隧道设计方案被认为“在特长海底隧道工法、超高压海域盾构法隧道外水压力取值及接缝防水、深厚淤泥地层大直径盾构欠压始发、矿山法隧道洞内大直径盾构接收及整体拆解等技术方面取得了多项突破性进展”。

掘进；设置大型接收洞室，在接收端预留有一定容错的接收洞门及止水系统，保障盾构机能够直接进入。”贺维国说。

除了在设计方案中严格把关，新工艺、新材料、新技术的运用也成为了珠江口隧道的一大亮点。

海洋是氯离子的主要来源，而氯离子会渗透到混凝土内部对钢筋表面的钝化膜进行破坏，最终导致钢筋锈蚀，造成钢筋混凝土结构性能劣化，影响到结构的使用寿命。为解决海洋带来的腐蚀问题，设计采用了浸入型硅烷浸渍材料来加强混凝土管片的抗侵蚀作用。

普通穿海盾构隧道工程，由于处于低水压环境下，主要考虑提高混凝土强度以及抗渗标准来抵抗氯离子的侵蚀。“而珠江口隧道，是通过利用硅烷材料的小分子结构，将有有机硅分子牢固地附着在管片混凝土表面和毛细孔道中，形成一层致密的保护层。”贺维国说，这同时也避免了常规防腐材料在管片拼装时受到尾刷对其产生的破坏问题。

结构自身的防腐措施，结构接缝处的防腐设计也至关重要，在管片接缝处，设计方案采用了三道三元乙丙橡胶弹性密封胶垫设计，增强了抗水压效果，以保证隧道的安全。

业内专家认为，珠江口隧道工程具有“‘矿山+盾构’组合工法技术难度大、极端地层盾构掘进长、淤泥环境施工风险高、防灾疏散组织救援难、世界级超高压无案例”的特点，项目建成后将成为一个世界级的超级工程，更为世界海底隧道工程技术提供独特的样本和宝贵的经验。

成果播报

突破4项核心技术 全球首台自动化门机投产

科技日报讯(记者王健高 通讯员张茅)6月8日，山东港口东营港广利港区通用码头自动化门机从“天丰509”轮上成功抓取12吨铝矾土，标志着由山东港口自主研发的全球首台自动化门机正式投入干散货作业。这是山东港口在智慧港口建设领域取得的又一重大科技创新成果，进一步增强了港口核心竞争力。

山东港口渤海湾港党委书记、董事长张海军介绍，此次投产的山东港口自动化门机，成功突破了4项核心技术：通过智能算法实现门机抓斗自动防摇，确保抓斗平稳、精准抓取物料；通过高精度三维激光扫描技术，实时选取最佳取料点和落料点进行装卸作业；研发门机协同作业系统，动态检测相邻门机的臂架和抓斗实时位置，实现门机最优作业路径规划；搭建综合安防系统，实现人机分离和关键部位故障预警，极大改善了作业环境，确保作业安全。

张海军介绍，山东港口渤海湾港紧密结合港口大宗干散货生产作业的实际需要，成立攻关团队，联合有关科研机构，全方位深度融合工业物联网、移动互联网、人工智能、自动控制 and 智能识别等技术，攻克三维激光扫描、电子防摇、视频AI等多项技术难关，在全球率先成功研发了自动化门机。

与传统门机的人工操作模式相比，自动化门机具有更安全、更高效、更舒适、更经济4个显著优势。门机自动化改造后，比人工操作更为精准，杜绝了因人工操作疏忽造成的机损和船损，港口安全水平明显提升。门机自动化改造后，单斗循环时间达到了人工作业平均水平，且每斗抓取比更高，装卸作业效率更稳定。门机自动化改造后，司机从高强度的现场操作，变为在中控室自动模式下的远程监护和故障模式下的远程操控，工作环境大幅改善，劳动强度明显降低。门机自动化改造后，每条作业线可减少人员60%以上，有效降低了港口运营成本。

节约外部空间 变电站降噪不靠“穿衣戴帽”

科技日报讯(记者马爱平)随着用电量不断增加，变电站在城市中不可或缺。公众日常所见的变电站，大多需要在外部加盖房屋或围挡，从而实现降低噪声的功能。6月14日，记者从国家电网全球能源互联网研究院(以下简称联研院)获悉，该院的最新技术成功落地，可以实现从变压器内部降噪，让变电站告别“穿衣戴帽”的粗放降噪方式。

“外部加设围挡、屏障这类的辅助降噪技术最大的问题是会占用变电站内的有限空间，从而挤占巡检空间，影响居住景观。不仅如此，这种相对粗放的降噪方式还难以控制高空声源设备的噪声。”联研院电工新材料研究所所长聂京凯告诉记者。

为了破解这一痛点，联研院与保定天威保变电气公司、北京市劳动保护科学研究所、国网浙江省电力公司金华供电公司等联合攻关，历经7年突破关键技术，开发出具有自主知识产权的本体降噪材料和装置。这种材料和装置将直接被安装在变压器、电抗器等设备内部，不仅不增加外部空间，还可让设备本体噪声与采购技术规范相比降低近10分贝。

本体降噪材料和装置究竟如何实现降噪?聂京凯说，变压器等设备，主要是由于内部构件的振动带来噪声。“比如铁心的振动会产生噪声，我们将研发的材料和装置装入变压器内部，抑制振动所产生的声波传递，在不影响设备运转的情况下，阻隔了噪声。”

“下一步，我们团队会针对电压更高的变电站设备进行进一步研发，并将本体降噪技术推广应用到更多城市变电站和超特高压站中。”聂京凯说。

辽河油田首口 二氧化碳蓄能压裂井获高产

科技日报讯(记者郝晓明)记者6月14日从辽河油田兴隆台采油厂压裂项目组获悉，该厂首口二氧化碳蓄能压裂井获高产，欧37-72-32井日产量15.8吨，含水降到1%，液面基本保持在1600米左右。该技术顺利实施，为中低渗透油田补能改造后释放新产能提供了技术借鉴，也为辽河油田碳中和增产措施提供了新的技术途径。

作为辽河油田第一口利用二氧化碳作为蓄能介质的压裂老井，该井于4月1日完成压裂措施后，项目组精细组织压后焖井、放喷作业，充分论证压裂举升和清防蜡措施，以保障目标储层压后产能充分释放。项目负责人介绍，与常规单项水基蓄能压裂不同，该井开展水基蓄能和焖井后，在压前通过泵注二氧化碳开展二次蓄能，从而实现造缝和地层能量的进一步补充。

据介绍，焖井期间，压裂项目组与采油作业区五区紧密结合，录取焖井期间的井口压力数据和变化规律，为科学放喷制度提供数据支撑。同时，压裂项目组与钻采院压裂酸化中心共同制定了压后焖井置换周期，以保障储层内二氧化碳处于非临界状态。

在半个月的排液和生产期间，辽河油田工艺技术人员多次井区查看生产动态，及时采样产出流体，分析流体性能变化，通过调整生产参数等措施摸索油井生产规律，为该井量身定制了合理的举升工作制度。目前，欧37-72-32井已呈现出压裂后的措施效果，日产量稳定在15吨左右，出口温度保持在25摄氏度左右。