

在北斗星群间架设“天路”

——星间链路助力北斗三号服务覆盖全球

热点透视

近日，国防科技大学空间仪器团队攻克星间链路光频梳精密测量难题，光频梳精密测量的测距精度优于 1.6 纳米，达到目前公开报告的最高水平，可为下一代北斗卫星导航系统星间链路超精密测量提供关键技术支撑。

该团队曾主持完成北斗三号全球卫星导航系统(以下简称“北斗三号”)星间链路的论证和研制。截至 3 月 30 日，星间链路已在轨稳定运行十年，有力支撑了北斗三号的全球服务。

“星间链路是卫星和卫星之间的通信链路，好比是在卫星星群之间架设的‘天路’，就如同让卫星互相‘加好友’，直接‘发消息’，实时共享位置，实现自主运行。”北斗三号星间链路发明人、团队带头人杨俊对笔者表示，这使得北斗三号仅在国内部署地面站，就能实现全球范围的服务覆盖。

突破卫星间厘米级测距

按“三步走”发展战略，北斗系统建设的第三步就是构建全球化的北斗三号系统。很多人担心：前两步还算好走，第三步很难走。

这是因为，我国很难在全球布设地面站。卫星在境外上空将处于失管失控状态，巨大的境外区域观测空白对全球精度有着颠覆性影响。这成为北斗系统由区域系统迈向全球系统面临的最大的技术障碍。

突破障碍的关键就是攻克星间链路技术。虽然美国 GPS 等卫星导航系统也曾尝试应用星间链路技术，但那只是建设一些“羊肠小道”，仅可作为主干道的有益旁支。北斗的星间链路需要建设“高速公路”，成为连接卫星的核心主干。

2010 年，空间仪器团队正式领受了北斗星间链路这一世界难题的攻关任务。彼时，他们已经在卫星测控和卫星导航领域深耕多年，并在 2007 年率先开展了星间链路论证和关键技术攻关工作。



团队成员针对用于建设星间链路的空

间协同测量理论展开研讨

从理论到实践有很多难关，星间测距仪就是众多难关中首先需要攻克的技术。“这就好像是造一把卫星之间的‘尺子’，在秒级时间内，对相隔数万公里的卫星进行厘米级测距。”团队成员郭熙业说。太空辐射、温差巨大等极端条件，仅仅是攻关中的“开胃菜”。更艰巨的任务是星间测距仪要在超远距离、极大动态、超高精度等苛刻要求下，在极短时间内快速稳定地捕获微弱的星间信号并实现精准测量。认真研究后，郭熙业大胆推翻原有追求极致速度的方案，决定以“时间换空间”，适当延长预处理时间，以压缩捕获范围，提升处理效率。他还提出了精确指向、快速捕获、精密测量等多要素一体化算法，数十毫秒即可完成星间信号捕获。新方案使得资源利用率得到极大提升，不仅灵敏度提高了 30 倍，测距精度随之提升至厘米级。

实现全星座高精度定轨

建设星间链路还需要将所有卫星都“管”起来，即依赖星间链路实现整个星座的精密定轨。毫无意外，这也是一个前所未有的难题，没有成功经验可供参考，前路迷雾重重。

重建产业关系链。”中建三局“天工云砣”团队负责人胡文博道出平台设计的底层逻辑。长期以来，全国超万家商砼站、百万辆运输车构成的庞大体系，因信息孤岛导致行业效率损耗高达 5%~10%。瞄准这一痛点，“天工云砣”通过物联网中枢系统，首次实现施工方、生产方、物流方在时空维度上的精准配合，串联订单、生产、调度、运输、施工、结算等全生命周期链路，打造商砼行业开放互联、数据共享的平台。

深圳某商砼站见证了数字化带来的

如何破除迷雾？不能只是瞎闯乱试，必须要有一套科学的方法。

杨俊介绍：“星间链路好像一个大型空间仪器，需要一套空间协同测量理论和方案。”从本质上说，他们要解决的是一个多点的、远距离、大动态、高精度的测量通信问题。

“我们可以让一颗卫星同时与多颗卫星相互测量，通过几何拓扑约束来计算卫星位置。”团队成员陈建云解释道，这就相当于单星拥有十几条测量基线，通过形成多面体的几何约束，计算出卫星的准确位置，解决定轨问题。

他进一步解释：“‘同时’，只是一个相对概念，只要我们足够快，从系统层面看就是同时的，类似于计算机的并行处理。”

最终，该团队提出了“并发空分时分”空间协同测量理论和工程方法。这是一种通过时间维度(时分)和空间维度(空分)的协同编排，实现多节点、多任务并行测量的导航卫星系统优化理论。该理论不仅可提升观测几何强度，而且解决了星座状态变迁和扩展应用的网络弹性，极大提高星间链路的配置灵活性和扩展能力。这既满足了定轨需要的单星十几条测量链

路需求，又解决了载荷的体积、重量、功耗等卫星承载难题。

首创星间链路地面系统

通过星间链路，北斗系统可以在国家境内对整个星座进行控制管理，实现一站式对所有的卫星进行精密定轨和时间校对。

首发卫星是星间链路方案及技术攻关成果的试金石，它的在轨验证是头等大事。首发卫星发射前一年，团队紧锣密鼓地开始星间链路载荷在轨地面支持系统攻关工作。

“首先要实现地面系统与星间链路的完美对接，确保信息传输的高效与稳定。”郭熙业提出，“让首发卫星和地面系统同时指向对方实现对接是很困难的，能否保持卫星固定指向，而让地面系统指向卫星？就好比穿针引线，针和线都在动是很难穿的，但针固定不动就容易很多！”

受此启发，创新性的“直捕方案”逐步细化形成。

“复杂的太空环境下，必须要让地面系统准确捕捉到卫星的微小变化，并及时做出调整。”擅长硬件设计的团队成员孟志军建议，“可以在地面系统中加装星间链路的‘体检设备’，最好能够将信号全部采集下来，不漏掉任何微小变化。”最终，团队决定将集信号采集、数据分析、状态诊断等多功能于一体的星间链路地面检测设备装进地面系统。

这群星夜兼程的年轻人提前半年让地面系统就位。2015 年 3 月 30 日，搭载星间链路载荷的北斗三号首颗卫星成功发射。2024 年 6 月，该团队凭借这项开创性成果获得 2023 年度国家技术发明奖二等奖。

研究还在进一步推进。该团队透露：“星间链路光频梳精密测量难题的攻克，只是下一代北斗卫星导航系统星间链路技术升级攻关中的一小步，除了超精密测量，我们还计划让星间链路在实现网络持续演进的同时，创造混合链路新机制，并计划突破智能组网技术，赋能未来更加泛在、更加融合、更加智能的综合时空体系。”

张强

“天工云砣”平台：数字化赋能混凝土产业全链路

大屏幕上实时跳动着 32 辆混凝土搅拌车的运行数据，载重、位置、时速等 10 多项参数一览无遗。笔者近日在湖北武汉某商砼厂站调度中心看到的这一场景，是混凝土产业走向数字化的一个缩影。

作为建筑行业的“血液”，混凝土产业年交易额超百亿元。中国建筑第三工程局有限公司(以下简称“中建三局”)的“天工云砣”平台，正为混凝土产业的数字化转型加助力。

“我们不是在简单优化流程，而是在

重构产业关系链。”中建三局“天工云砣”团队负责人胡文博道出平台设计的底层逻辑。长期以来，全国超万家商砼站、百万辆运输车构成的庞大体系，因信息孤岛导致行业效率损耗高达 5%~10%。瞄准这一痛点，“天工云砣”通过物联网中枢系统，首次实现施工方、生产方、物流方在时空维度上的精准配合，串联订单、生产、调度、运输、施工、结算等全生命周期链路，打造商砼行业开放互联、数据共享的平台。

深圳某商砼站见证了数字化带来的

改变。项目人员手机下单，系统自动接单；系统调度派车，各方可以实时查看车辆定位；无人值守地磅自动匹配车辆信息并完成精准计量；电子小票即时签收，让结算周期从过去的几个月缩短到现在的一周内。平台还会定期推送中建三局新开项目信息，为合作场站带来业务增长。全方位数字化赋能，正在重塑传统商砼站的生产运营模式。

在施工端，变化同样显著。“过去每天要拨打上百个协调电话，现在所有信息在平台上一目了然。”中建三局武汉六

环线项目负责人说，这种改变不仅带来了实实在在的经济效益，还提升了项目混凝土过程管理精细化能力。

目前，“天工云砣”平台已覆盖全国 100 多个城市，混凝土累计交易量突破 3000 万立方米。随着交易数据的积累，“天工云砣”正在展现更深层价值。平台归集的混凝土用量、标号分布等数据，已成为研判区域基建活力的“晴雨表”，可为行业高质量发展提供新思路。

吴纯新

行云集团资深专家张龙：CAE 云仿真成果助力工业数字化

由现任行云集团资深架构专家张龙主导研发的“CAE 云仿真平台架构优化系统 V1.0”，作为张龙在浙江远算科技任职技术总监期间的重要成果，通过云端架构革新推动工业仿真效率跃迁，为机械设计、汽车制造等领域提供高效解决方案，获行业高度认可。

技术创新：破解工业仿真痛点

2022 年 10 月~2023 年 7 月，张龙针对传统 CAE 仿真流程复杂、协同低效等难题，基于国家超算能力打造云端一体化平台。该系统以 Python 为核心，集成 UG/NX、ABAQUS 等工业软件，通过“业务—流程—数据”分层架构，将仿真任务拆解为标准化模块，支持参数化建模、自动化计算及多学科协同优化。其核心突破包括：智能协同引擎，通过流程引擎实现跨地域任务分发与版本管理，提升协作效率；弹性混合云架构，支持公有云、私有云灵活部署，兼顾算力扩展与数据安全；数据资产化，沉淀仿真参数与结果，构建可复用知识库。平台显著降低企业研发门槛，在新能源汽车电池热管理等场景中，助力仿真效率显著提升、研发周期缩短。

行业赋能：从技术到生态

张龙团队通过三大举措重构行业生态：降本增效，采用 SaaS 订阅模式，中小企业无需自建算力即可调用超算资源；产学研融合，与高校共建仿真模板库，推动专家经验标准化；安全可控，多租户隔离与权限管理体系保障企业数据资产。该成果已服务多家机械制造、能源装备企业，成为浙江省“制造业上云”标杆案例，形成 5 项自主知识产权。

专家视角：技术沉淀与产业未来

“工业软件云端化是研发模式的革新，而非简单技术迁移。”张龙表示。他在浙江远算的 CAE 云仿真成果，以技术创新推动行业数字化进程，为中国智能制造注入新动能。此类实践将加速工业软件国产化替代，助力“智能制造 2025”战略纵深发展。黄明辉

地理教育创新的“执尺人”：殷荣的时代答卷

在“新课程、新教材、新评价”三新改革持续推进的大背景下，基础教育领域正迎来深层次转型。从国家“双减”政策出台到“核心素养导向”逐步取代应试导向，教师群体正在成为教育变革的中坚力量。以北京市西城区为核心的首都基础教育体系中，涌现出一批勇于探索、持续创新的骨干教师，其中北京市回民学校殷荣，凭借其在地理教学与学科统筹方面的持续贡献，成为新时代教师队伍中的突出代表。

2005 年进入北京市回民学校任教以来，殷荣始终扎根教学一线，专注于高中地理教学工作，课程覆盖人口、资源、环境等多个维度。在长达近 20 年的教学生涯中，她不仅教学风格扎实严谨，更能紧跟教育改革导向，将跨学科理念与社会实践深度融合。她主讲的多个高三毕业班在历年高考中地理成绩稳居年级前列，学生地理学科综合素养普遍提升。她对于“因材施教”与“问题导向型学习”的理解与实践，也让她课堂成为区域内观摩与交流的样板课程。

在担任教学管理岗位期间，殷荣逐步从教学骨干成长为地理教学体系的统筹者。2019 年起，殷荣被任命为年级中层主任，全面负责高年级教育教学及德育工作，期间她推行的教师岗位优化分工与年级教学计划协同机制，使整个年级高考上线率提升显著。2023 年，她进一步升任为学校地理教学主管，正式步入学校高级管理层，承担起跨年级学科统筹、教研组织、课程改革落地等核心职责。

在殷荣主导下，学校构建起以“统编教材改革+项目式学习”为导向的地理教研体系，打破原有的年级壁垒与课型割裂，推动初高贯通教学方案的成型。她组织并实施的市级教学展

示课《服务业区位因素及其变化》广受好评，成为北京市教研平台上的优秀案例，在“空中课堂”“歌华有线”等市级线上教育资源平台上广泛传播。

值得关注的是，殷荣不仅在教学和管理上有所突破，更在教育科研与教师培养方面作出了系统性贡献。她撰写的论文《中学开展地理社会实践活动必要性的研究》获得北京市基础教育科研论文一等奖，其内容强调了基于真实情境与区域发展的课堂转化路径，回应了当前国家课程改革对“育人目标多元化”与“实践导向能力构建”的要求。她主导设计的教学案例《流域内协调发展》与《基于数据分析发现真问题，进行精准化指导》等多篇教学设计，也多次在西城区骨干教师研修课程中使用，具有广泛的实用性与示范价值。

殷荣在教师资格考试评审、教育硕士研究生实习指导、课题成果推广等领域也持续发力，成为北京市教师队伍素质提升工作的中坚力量。在 2017~2025 年间，殷荣连续 8 年被评为西城区骨干教师，并在 2024 年、2025 年多次担任区级高三研究课执教人，其教学成果被广泛引用与传播。

在当前教育改革日趋深入的大势下，殷荣的探索不是孤立的个体行为，而是顺应时代发展的专业实践。她将国家教育发展战略与学科教学实际紧密结合，体现了一名教育者对时代精神的回应。

殷荣的脚步仍未停歇，面对未来更加开放、多元、融合的教育格局，她将继续以教育的初心为灯、以专业的积淀为基，在更高平台上续写属于一名教育工作者的责任与担当。

邢倩文

创新杂谈

很多看似“炫技”的情景，正悄然改变着生活。以人形机器人为例，有的能搬重物，有的可以迎宾，有的还能模仿中医手法进行理疗。第二十七届中国北京国际科技产业博览会的展馆里，人形机器人“各怀技艺”，样样精彩。引领未来产业新赛道，具身智能正赋能智能制造、商业服务、医疗卫生等领域，向人们展示着“看得见的未来”。

这几年，人们的“曾经想象”正变得触手可及，科技创新也在突破实验室的边界。由前沿技术驱动，那些处于孕育萌芽阶段或产业化初期的产业，不仅具有前瞻性、引领性，而且在一定程度上代表了未来发展的新趋势。习近平总书记强调：“要以科技创新为引领，大力培育壮大新兴产业和未来产业，占据国际竞争制高点，塑造经济发展新动能、新优势。”以科技创新引领产业创新，探索未来产业发展方向，是激发新质生产力的重要内容和有效路径。

产业的孕育壮大，源于科技创新的积累，来自长期耕耘的沉淀。飞轮储能系统具备毫秒级响应速度，为储能产业提供了另一种可能性；朱雀二号改进型遥二运载火箭发射升空，为高密度商业化发射任务打下坚实基础；利用生物制造，大米可变为生产人血清白蛋白的“种子”……发展领域不同，技术难点各异，但都呈现出同样的产业发展规律：产业“无中生有、有中生新”，关键在于科技创新取得突破并实现产业化应用。谁先形成“从 0 到 1”的突破，谁就能够在全球竞争中率先拥有“护城河”，掌握产品话语权、产业定义权、博弈主动权。

用创新书写未来，以创造锻造产业，何以活力十足、前景广阔？从概念到试验，从转化到应用，产业生态至关重要，这直接影响着一个地区的创新能力、发展潜力。安徽合肥是量子科技创新发展的重要策源地，聚集全国近 1/3 量子科技企业。从生态角度看，面对“卡脖子”难题，可以协同攻关；面对技术转化，不乏产业承接；面对技术路线的验证，能够互相联合、反复打磨。创新链与产业链环环相扣，正是科技创新与产业创新深度融合的基础。涵养健康生态、促进良性循环，就要保障要素资源充分流动。无论是技术创新，还是成果转化，只要趋势和方向是对的，通过搭建平台、健全机制，让“书架”与“货架”无缝对接，就能不断把科技创新的奇思妙想转化为实实在在的新产品、新产业。

对未来有信心，表现在当下有耐心。科技创新及其产业化应用，是长周期的过程，存在高风险和不确定性。从科技成果转化到大规模产业化，业界往往形象地称之为跨越“死亡之谷”。这就需要千方百计帮助各类创新主体，在投入与机制保障上持续发力。如今，不少地方设立政府引导基金和新兴产业投资母基金，加大银行、保险等金融机构的支持力度，为未来产业发展注入越来越多活水。让资本有耐心，也让耐心沉淀成一种资本，共同做科创企业的“长跑搭档”，我们就更有能力、有条件在不确定性中找到确定性，呵护未来产业的“幼苗”长成“参天大树”。

乘着低空智能飞行器回家，与虚拟数字人下棋，穿戴外骨骼行走……2025 中国科幻大会上的“畅想”，让人们看到了未来的无限可能。活力奔涌，未来已来。在传统产业升级改造升级、新兴产业发展壮大的同时，布局建设未来产业，就能抓住塑造产业未来格局的关键变量，让我们既赢在当下，更赢得长远。

董艳辉：扎根黄土地的藜麦“育种人”

(上接 A1 版)为了让科研成果真正惠及广大农民，董艳辉多次深入乡村，在田间地头开展藜麦相关知识科普。他结合实际案例，用通俗易懂的语言，为农民详细讲解藜麦的品种特性、种植技术、田间管理要点以及病虫害防治等知识。通过这些科普活动，农民对藜麦种植有了更全面、深入的了解，能够更加科学、规范地进行种植。这不仅提高了藜麦的种植效率和产量，还降低了农民买错种子的概率，避免了种植损失。

此外，董艳辉还积极推动产学研合作。在他的努力下，山西农业大学与山西晋穗五粮种业有限公司、青海海西州农牧业技术推广服务中心等单位建立了长期合作关系，共同构建起“品种选育—技术推广—市场转化”的全链条体系。目前，由董艳辉团队参与育成的“晋藜 3 号”已进入市场化推广阶段，凭借其优良特性，成为高寒地区农民增收的新选择，为当地农业经济发展注入了新的活力。

董艳辉表示：“我希望学生们既能‘钻得进实验室’，潜心钻研科研问题；也能‘走得进田间地头’，将所学知识应用于实践。”近几年，董艳辉带领团队在山西藜麦种植区积极开展技术培训活动，累计举办培训 20 余场次，培训农户及企业人员达 1000 余人次，提供技术指导 100 余次。他们的足迹遍布全省多个藜麦种植重点区域，包括忻州市静乐县、繁峙县、五台县以及朔州市朔城区、大同市天镇县等地。

薪火相传：培育产业未来生力军

董艳辉的实验室里常年活跃着青年学子的身影，他们在这里潜心钻研、探索求知。他主导的“藜麦种质创新与生物育种”研究工作取得了重要进展，成功获得山西省科技创新人才团队(青年)项目立项。这一立项为该研究工作的纵深推进提供了有力支持。

目前，董艳辉团队在藜麦研究领域成果丰硕。在品种选育方面，已成功获得 4 个经认定的藜麦品种，这些品种在产量、品质、抗逆性等方面表现出色，为藜麦产业的发展提供了优良种质资源。在人才培养上，团队注重梯队建设，正在精心培养 6 名研究生，同时着力培养 3 名研究方向带头人，为团队的长远发展储备人才力量。

此外，董艳辉团队在科研创新方面也成绩斐然：已授权 4 项国家发明专利，涵盖藜麦种质创新、生物育种等关键领域，为产业进步提供技术支撑；5 项成果通过专业评价，多项填补国内技术空白，居藜麦研究领域领先地位。在董艳辉指导下，团队首次获精准杂交技术专利，研发的藜麦套袋技术有效解决纯化难题，推动育种进程，还较早摸索出藜麦 EMS 诱变条件并获专利授权。

从实验室的基因图谱到田间地头的丰收景象，董艳辉用 13 年诠释了科研工作者的初心。团队选育的“晋藜 1 号”“晋藜 2 号”“晋藜 3 号”累计推广面积超 3 万亩，新增经济效益巨大。

“藜麦是山西小杂粮的一张新名片，我们的目标不仅是培育好品种，更要让藜麦成为乡村振兴的‘金种子’。”董艳辉说。如今，他的团队正与玻利维亚国际藜麦中心开展合作，计划引进更多优质种质资源，为山西藜麦产业注入新的活力。在黄土高原的沟壑间，一粒粒黑色的藜麦籽粒正孕育着新的希望，董艳辉和他的团队也将继续书写属于中国育种人的故事。

以未来产业塑造产业未来

李洪兴