

网络通信技术护航——

低空空域“看得见、控得住、用起来”

热点透视
redian toushi

在杭州未来科技城,无人机从 7 公里外送來咖啡只需 10 分钟;在成都天府新区万安街道,5G 网联无人机实现智能巡检,精准捕捉城市的细微角落;在合肥市,电影大片中的“低空的士”已实现载人运输,飞行距离最长达 30 公里,未来可提供低空观光游览服务……

2024 年 11 月,合肥、杭州、深圳、苏州、成都、重庆入选首批国家级低空经济试点城市。短短一年时间,各地加快布局低空经济,关于低空的畅想已从概念走向实景,“空中飞”加速转向“落地用”。在城市与运营商联合共建下,兼具通信、导航、遥感和空域监管功能的低空网络正在发展壮大,万亿级低空经济赛道加速铺开。

构筑智联网络基座

实现低空应用的前提,是部署好覆盖能力足够的 5G-A 基站,为其提供感知、数据传输、信号导航等服务。

2024 年,杭州市低空专班在杭州未来科技城划设 10 平方公里试验区。试验区汇聚了多家行业企业,针对通信、导航、气象、监视、安全处置等低空基础设施进行不间断测试。随着 5G 网络在 300 米低空覆盖,中国移动浙江公司在区域内实现 5G-A 通感一体技术对无人机高度、位置、轨迹动态等数据的精准实时感知监测。

中国移动浙江公司杭州分公司 5G 技术专家岑曙伟介绍,今年 5 月,浙江公司成功构建了全球首个 5G-A+多模态 600 米低空网络示范区,能够实现对低空飞行

器的实时定位、轨迹追踪以及状态监测。

“为了保障 600 米空域内飞行器正常通信,确保空域飞行器所需要的网络不与地面用户网络抢占资源相互干扰,实现立体通信网络陆空双优,示范区采用最新 128T 通感设备,新增对空波束,提升空域覆盖能力。”岑曙伟说,在软件方面,示范区通过算法优化,推动低空网络感知高度升级,实现低空专网与大网普通用户的分层组网,确保实现 600 米空域的 5G-A 通信全覆盖。

在低空构筑智联网络,不一定要固守一处。中国移动安徽公司部署了国内首个可移动式低空智联网络基建设备体系,通过整合大疆机场 2 无人值守作业平台、Matrice 3TD 飞行器、柴油发电机、5G 网联车等设备,形成具备快速响应能力的移动机库系统。

据介绍,可移动式低空智联网络基建设备体系采用模块化设计,可随时装车转运。其部署车辆采用专用低空涂装,可在应用现场实现 15 分钟快速组网。相比固定式低空基建,移动机库可节省 90%前期施工周期。相比普通无人机作业,算法航点化配置使移动机库巡查效率提升 3 倍,其“速达速用速见效”特性正成为低空经济服务新标准。

破除低空管控痛点

基础设施建好了,低空管控痛点如何破除?

岑曙伟介绍,在杭州未来科技城低空网络示范区域内,基于中移凌云平台打造的 7x24 小时全天候无人机安防管控体系,通过电子围栏、轨迹跟踪、“黑飞”告警等监控体系,依托 5G-A 基站、雷达、摄像

头等监控方式,可实时发现空中“黑飞”无人机并及时作出处置。

据了解,中移凌云平台在业内率先将 5G-A 与雷达、光电、频谱等 10 余种多源感知技术融合验证,协同智能目标识别、风险感知预警等监管运营能力,使空域监测感知效果大幅提升。在岑曙伟的电脑上,笔者看到后台监控系统里标注着管控空域内各飞行器位置及状态,某架正在送外卖的无人机具体飞行轨迹可实时显示。

基于中移凌云平台,中国移动安徽公司开发了全球范围内首个应用于 eVTOL(电动垂直起降飞行器)载人场景的飞行安全保障系统。该系统融合 5G-A、光电感知、雷达探测、频谱监测等多模态感知技术,通过中移凌云平台实现海量数据的实时汇聚与智能分析。

“该系统可精准设定电子围栏,智能监控飞行路线,实现对非法入侵目标的毫秒级预警,对低空航线进行全时段、无间隙态势感知与动态管控,确保每一次载人飞行全程可知、可控、可追溯。”中国移动安徽公司网络部网络优化室经理戴明艳介绍。

技术的保驾护航,为商业化运营奠定了基础。

今年 3 月,中国民航局颁发首批载人类民用无人驾驶航空器运营合格证。“这是城市空中交通安全运营从概念验证走向大规模商业化运营的关键一跃。”有业内人士认为,这是我国低空经济正式跨入“载人时代”的标志。

搭建“空中大集市”

在低空空域实现“看得见、管得了、控

得住”后,低空经济还要深挖民生保障、安全生产、城市治理等领域需求,让千行百业“用起来”。

新的应用场景正在不断拓展。例如,云南保山云瑞机场基于 5G-A 通感一体技术,能够监测空中“地雷”(无人机、空飘物、鸟类等)和跑道“杀手”(跑道上的人和车辆等),检测准确率达 95%,实现全天候监测预警。广东佛山南海区打造的空天地一体化社会治理平台,融合卫星遥感监测、5G 网联无人机集群巡查、地面物联感知,形成多维立体治理系统,能为违建巡查、河道巡检、大气监测等场景进行高效数据采集。平台运行以来已上线 46 项巡查场景应用,无人机累计飞行超 4.7 万架次,获取线索超 7100 条,大幅提升问题发现能力。

行业也在不断创新应用服务模式。在四川绵阳梓潼县七曲山景区门口,警务室民警张霖霖告诉笔者,通过“低空智行”平台,在手机上“一键下单”就可远程调用无人机巡查森林。“低空智行”平台是一个低空经济全场景、全流程运营服务平台,由中国移动四川公司联合绵阳科技城低空产业发展有限公司等单位共同打造。该平台采用空地融合共网技术和立体动态移动通信覆盖技术,实现全流程可追溯,可实时监控运输路径、飞行状态与物资状态,每一次配送都有完整的电子台账。它参考电商模式将应用上架,实现“手机下单、一键起飞、一网通管”。通过小程序下单,绵阳北川石椅羌寨茶园里的茶农可以购买农林植保服务,绵阳游仙区仙海广场的游客也可以购买航拍服务。

随着多样化低空服务搭建起“空中大集市”,低空经济应用场景形成规模效应的那天正加速到来。

杨雪



东北师范大学净月校区内,物流无人机起飞
■ 视觉中国供图



播种冬小麦前,植保无人机进行施肥作业
■ 孟德龙摄



机器人通过无人机挂载对线路进行修复
■ 翁忻旸摄



低空载人无人驾驶航空器
■ 受访单位供图

汇聚高端智力资源,打造“中国激光第三极”

在山东济南发力打造“中国激光第三极”的关键时刻,一场重要会议的举行引来外界关注。近日,先进固态激光、功能材料及高端应用研讨会在济南举行。此次会议吸引了 9 名院士以及 380 余位专家学者参与。他们围绕先进固态激光技术及应用,共话激光技术创新突破,共商产业协同发展路径。

据介绍,本次研讨会聚焦“先进固态激光、功能材料及高端应用”,正是以技术创新为核心驱动力,将助力我国在激光领域实现科技自立自强。中国科学院院士祝世宁在会上说:“先进激光技术是国家战略科技力量的重要组成部分,而固态激光技术更是全球科技竞争的制高点之一。”

作为先进制造领域的关键工具,激光

被誉为“最快的刀”“最准的尺”“最亮的光”。如今,该产业高质量发展始终受到国家高度重视,济南正凭借深厚的产业积淀与完善的生态布局,在全国激光产业版图中占据重要地位。

从 1985 年济南铸锻所研制出中国第一台激光切割机,到如今成长为全国重要的激光加工装备产业基地,济南激光产业已实现从单点突破到集群发展的转型。济南市科技局党组书记、局长黄波介绍,济南已构建起覆盖激光外延材料、元器件、激光器等全链条的产业生态,300 余家激光相关企业中,核心企业 50 家,规上企业 98 家,形成了独具竞争力的产业集群。在大功率激光加工设备、中小功率泵源等领域,济南技术水平位居全球前列,出口规

模稳居全国第一。

济南邦德激光股份有限公司的激光切割机销售量连续 6 年全球第一,济南金威刻激光科技股份有限公司成为美国市场占比最大的中国激光机品牌;济南森峰激光科技股份有限公司稳居长江以北最大数控激光设备制造企业行列;鼎点激光自主研发的大功率激光管材坡口切割技术打破国外垄断……产业崛起的背后,是龙头企业的引领带动与创新活力的持续迸发。济南市科技局党组成员、副局长彭文博表示,这些龙头及骨干企业共同构筑起产业发展的“主力军”,推动济南激光产业规模稳步扩大。据统计,济南激光产业 2024 年收入近 200 亿元,同比增长超 8%。

相关数据显示,济南已建成 1 家国家

重点实验室、4 家省重点实验室、1 家国家企业技术中心在内的多层次创新平台体系,齐鲁中科院物院、山东大学新一代半导体材料研究院等科研机构与企业协同攻关,在相关领域取得了国际领先成果。

“本次学术会议落地济南,进一步聚集了激光产业高端智力资源,加速全球前沿技术、顶尖人才向泉城汇聚。”黄波表示,通过“大院大所+产业基地”的协同创新模式,济南将继续聚焦核心器件攻关、产业链条完善、应用场景拓展,推动激光产业与人工智能、空天信息等新兴领域深度融合,以全链条创新突破筑牢“中国激光第三极”地位,为国家新型工业化建设与科技自立自强提供坚实支撑。

王延斌

“沙戈荒”上打造“超级空气充电宝”

青海省海西州格尔木市的戈壁滩上,巨型白色罐体十分抢眼。罐体内,零下 194 摄氏度的极寒环境中,能量正以液态空气的形式静静“蛰伏”。

这便是中国绿发投资集团有限公司(以下简称“中国绿发”)打造的全球在建规模最大液态空气储能示范项目——青海省 6 万千瓦/60 万千瓦时液态空气储能示范项目。目前,该项目已进入最后调试阶段。

这个被工程师们称为“超级空气充电宝”的巨无霸是如何打造的?技术有哪些创新之处?笔者近日来到项目工程现场进行探访。

2022 年,青海省“揭榜挂帅”新型储能示范项目发榜,液态空气储能这一前沿技术成为攻坚焦点。彼时,这项技术在国内尚属空白,国际上也只有少数国家处于探

索阶段,高原规模化应用更无先例可循。

中国绿发青海省液化空气储能项目部技术专工钱亚东介绍,项目的核心,就是让空气在极寒中“变身”储能载体。为实现这一目标,中国绿发与中国科学院理化技术研究所组建联合团队,一场针对技术瓶颈的攻坚战正式打响。团队历经无数次试验,终于突破深低温梯级蓄冷技术瓶颈,研发出常压低温存储系统,成功解决了空气存储和恒压释放的核心难题。

2023 年,项目正式开工建设。作为建设单位,中国绿发青海分公司与技术攻坚团队克服高原环境带来的重重挑战,将拥有完全自主知识产权的 7 项国际创新技术融入工程实践,成功实现液化空气储能技术从百千瓦级到万千瓦级的规模化放大突破。

中国绿发青海分公司液化空气储能

项目部副经理姜宇告诉笔者,项目全国产化的设备配置,标志着我国在该领域彻底摆脱了对外依赖。

据悉,这套总功率 6 万千瓦、储能容量 60 万千瓦时的系统,运作原理看似简单却暗藏玄机。用电低谷时段,多余电能驱动压缩机运转,净化后的空气被压缩成高压高温气体,经冷却后送入冷箱液化,最终储存在常压低温储罐中,而压缩过程中产生的热能则被回收存储在高压球罐内;用电高峰来临时,液态空气经加压气化,在蓄冷介质和回收热能的双重加热下,形成高压高温气体驱动膨胀机发电,实现“谷电峰用”的完美闭环。

液态空气的密度是常温气态空气的 750 倍,且能在常压下安全存储。这项技术不仅解决了传统储能密度低、安全性差的痛点,更具备清洁低碳的突出优势——运

行工质是空气,全程无二氧化碳及污染物排放,设备寿命长且不受地理条件限制,在戈壁、高原等极端环境下均可稳定运行。

项目建成后将创下发电功率和储能规模两项世界第一。单次储能可连续放电 10 小时,输送 60 万千瓦时清洁电能,全年输电量约 1.8 亿千瓦时,可满足 3 万户家庭一年的用电需求。而配套建设的 25 万千瓦光伏项目,更让这个“充电宝”拥有了绿色能源自给能力。

该项目跻身国家能源局新型储能试点示范项目和第四批能源领域首台(套)重大技术装备名单,今年还成功入选中关村论坛年会十项重大科技成果。据介绍,这项技术可有效破解可再生能源“弃风弃光”和电网供需失衡的难题,为“沙戈荒”地区新能源基地建设提供全新解决方案,也为全球新型储能产业发展提供中国方案。张添福

创新杂谈
chuangxin zatan

当《清明上河图》上的舟船开始摇橹、行人开始走动,一个沉睡的北宋都城在代码中“苏醒”了。越来越多的人发现,曾经静静陈列于博物馆的古画,如今在数字光影的映照下,正以更加丰富的呈现形式走向我们:AI 让古画栩栩如生,数字沉浸展流光溢彩,古画从展柜深处走来,到万千场景中去。

应用数字技术,助古画“焕新、达意、致远”,是千年丹青走向当代表达的新起点。伴随国家文化数字化战略的推进实施,千年丹青被注入时代语汇,也为中华文化打开了全新的想象空间。

焕新,数字技术重塑丹青画卷。古画正从静止的孤本展展,走向跨越时空的光影重聚。历时数十年完成数字建档的“中国历代绘画大系”,让散落海内外的艺术瑰宝得以重聚、同框共展。依托 3D 建模和打印技术制作的云冈石窟可移动复制版本,让镌刻于山崖之上的石刻艺术走出山川、奔赴人群。这些实践,都是数字技术推动古画跨越时空壁垒,进入公共艺术文化空间的鲜活写照。

达意,数字技术解读传统画意。古画之美,不止于形貌,更藏有千年意蕴。中国古画不仅描摹自然、记录社会,更蕴含丰富的思想观念与审美追求。以设色为例,其中既有随类赋彩的美学理念,也映照出天人合一的哲学思想。借助色彩网络分析和交互式可视化设计,人们得以探索色彩在不同画作中的流动,洞察其间的呼应与碰撞。从技法纹理到审美深意,数字化正逐步揭示古画的创作密码,直观感受美学的脉动。

致远,数字技术演绎东方画境。古画跃出纸本,在虚实之间铺展成境,化身可交互的文化空间。在教学实践中,我们借助生成式人工智能技术再创作的《西湖十景图》,应用青绿山水、峭劲山石、清雅格调、疏旷之韵等多重风格,让年轻人在光影流转间感知东方画意之美。依托裸眼 3D、体感交互技术制作的《光影丹青》沉浸式体验,让观众走进画卷,触摸千年笔墨。此类文化再生产,在人文与科技融合中开辟了文旅发展的新路径,也推动中华优秀传统文化在全民共享中持续活化。

数字赋能,为千年丹青注入时代活力。放眼未来,技术创新与场景拓展并重,紧贴时代需求、服务人民精神生活并行,文化数字化定能在融合创新中开拓新图景。

数字技术,助古画『焕新、达意、致远』

■ 陈晓皎

深地逐光者刘大平：以科技创新筑牢能源安全屏障

全球能源转型与碳中和目标并行的背景下,能源安全与绿色发展成为核心命题。当前全球能源格局调整,地缘政治冲突加剧供应链波动,新能源技术尚未完全替代传统油气,后者仍将长期承担能源支柱作用。在此前提下,中国推进“向地球深处进军”战略,将深地油气开发、非常规资源勘探及智能化技术作为能源安全核心路径。2024 年国家能源局报告明确,深地油气高效开发关乎能源自给率,非常规勘探与智能化技术是突破开发瓶颈的关键。油气开发专家刘大平及其技术突破,正为国家能源安全提供关键支撑。

近日,刘大平在国际期刊 *Geofluids* 发表的论文,针对海外碳酸盐岩油藏开发难题提出创新方案。碳酸盐岩油藏储层非均质强、裂缝复杂,是开发中的“硬骨头”,海外部分区块还存在数据匮乏、环境复杂等问题,传统产能计算方法精度不足、适用范围有限。刘大平整合钻杆测试数据与油藏数值模拟方法,构建多参数耦合模型,研发出适用于数据有限海外区块的产能评价方法。该成果已在多个国际项目推广,助力提升采收率 3%以上,降低成本约 15%,成为智能化赋能油气开发的典范。

“科研必须服务于实践”,刘大平秉持这一理念,将理论研究与产业痛点绑定。2024 年 6 月,他主持的“复杂油气藏多相流智能设计与实时模拟技术开发”项目获中国教育科学研究院科技成果一等奖。传统多相流模拟依赖人工、周期长达数周、精度偏差大,制约开发效率。历经 3 年攻关,攻克耦合模拟、实时数据融合等瓶颈,研发出智能设计与实时模拟技术体系,引入 AI 算法实现自动化,将模拟周期缩短至小时级,精度提升至 95%以上。目前该技术已应用于国内多个大型油气田,创造直接经济效益超 2 亿元。

2024 年,刘大平凭借卓越贡献入选北京大学博雅专家智库,这既是对其专业成就的肯定,也认可了他在能源战略领域的影响力。作为智库成员,他将参与国家能源战略研讨,为深地开发规划、非常规勘探布局等提供专业建议。其牵头的“产学研用”平台已推动高校与企业达成多项合作,加速十余项科研成果产业化,破解科研与产业脱节难题,为行业发展注入动力。

明确了“深地、非常规、智能化”三大核心研究方向,在微观层面持续革新开采技术,攻克深地高温高压环境下的钻井、完井技术难题,优化非常规油气资源的高效开采工艺;在宏观层面积极推动中国油气开发技术标准走向世界,通过海外项目合作、技术输出等方式,将自主研发的产能评价、多相流模拟等技术纳入国际行业标准体系,提升中国在全球能源领域的话语权。面对全球能源转型,刘大平指出:“能源转型是有序过渡,而非简单替代。现阶段新能源技术尚未成熟,保障传统油气高效安全开发对平稳过渡至关重要。”基于此,他带领团队聚焦“深地、非常规、智能化”三大方向,既在微观层面革新开采技术,也在宏观层面推动中国标准走向世界。当前全球能源安全与可持续发展需求迫切,刘大平的工作具有重要战略意义。向地球深处进军既是技术攻坚战,更是能源安全战略行动,科技创新与国家战略同频共振,正书写中国能源事业新篇章。

当前,全球对能源安全与可持续发展的双重需求日益迫切,刘大平与同行者们的工作正展现出愈发重要的战略意义。在他们看来,向地球深处进军不仅是一场关乎技术突破的攻坚战,更是一场关乎国家能源安全的战略行动。从实验室的理论推演到钻井平台的实地验证,从国内油气田的技术应用到海外项目的成果推广,刘大平以科技创新为矛、以务实担当为盾,在深地油气开发的赛道上不断突破。未来,随着更多创新技术的落地应用,中国能源事业将在科技创新与国家战略的同频共振中,书写出更加精彩的篇章,为全球能源转型与安全保障贡献中国智慧与中国方案。

王宇哲