

R 科技视点·走进商业航天产业一线

海上发射牵引、工业基础支撑、产业链协同

山东商业航天向海而行

本报记者 李 慕

近来,山东烟台海阳东方航天港高频执行海上发射任务,引力一号遥二运载火箭将三颗卫星精准送入预定轨道,捷龙三号遥六、遥七、遥八运载火箭成功发射,星河动力“智神星一号”可重复使用液体运载火箭一级动力系统海上试车取得圆满成功……

商业航天正成为全球科技竞争与产业变革的新赛道,一场关于未来空间资源与经济格局的深层角逐全面展开。山东,这个以传统制造业闻名的经济大省,正在这片新高地布局落子,逐步形成多地错位发展、优势互补的商业航天产业集群格局,构建起商业航天全产业链。

集中资源建设可靠的海上发射基础设施

一枚火箭,从生产车间到发射场,需用时多久?

全程仅需2小时——这是位于烟台海阳的东方航天港给出的答案。

效率提升,背后是一场经过深思熟虑的产业布局。

2019年6月5日,我国在黄海海域完成首次海上发射,保障母港正是海阳港。烟台市抢抓机遇,自此启动东方航天港建设。

“海阳港兼具自然禀赋与产业积淀,有潜力实现常态化海上发射。”东方航天港集团总经理助理王肖铭说,这里面向黄海,气象条件优良,拥有天然的发射窗口,可灵活选择发射点位,满足小倾角、太阳同步等多种轨道发射需求。更为关键的是,烟台雄厚的海工装备制造能力,为航天提供了“近在咫尺”的产业链配套。

除了得天独厚的条件,面对航天产业流程长、发射工位不足、发射成本高等共性问题,东方航天港明确了产业招引思路:集中资源建设可靠的海上发射基础设施,吸引头部研发制造企业入驻;瞄准火箭制造所需的各类配套,以及卫星研发、数据应用等下游环节,有针对性地招引和培育。

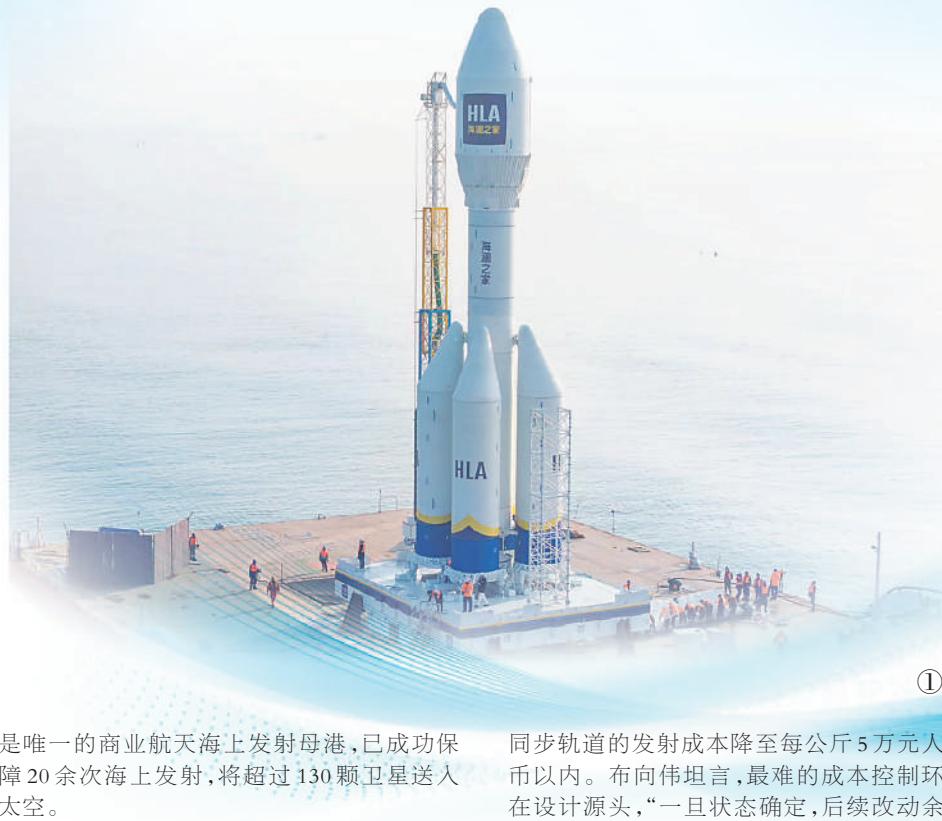
“这种‘以点带面’的策略,使得产业链从单一的发射服务,逐步向上游的星箭研发制造和下游的空天信息服务延伸,最终目标是构建一个覆盖全链条的商业航天产业生态圈。”东方航天港集团副总经理张华说。

建设过程中,海上发射环节考验最大。“我们不仅没有现成经验可借鉴,还得攻克海上多变环境挑战、高频率次发射组织复杂度、商业化成本控制等难题。”东方航天港集团总工程师滕瑶介绍,从改造简易发射平台起步,到自主研发国内首艘专业化海上发射工程船,再到持续优化测发流程,东方航天港通过长期技术攻坚,实现了从技术可行到常态高效的跨越。

漫步于东方航天港,一条长约6公里的“航天大道”贯穿东西。它并非普通的道路,而是将火箭总装测试厂房、卫星产业园、数据应用中心与发射码头紧密串联的“产业中枢”。

“通过‘前港后厂、制发一体’的集约化布局,火箭在总装厂房诞生后,仅需十几分钟车程,便能直接运抵专属码头,平稳地移上发射船。”滕瑶介绍,这彻底颠覆了传统模式——火箭不再需要经历动辄上千公里的长途运输、异地拆解再组装的漫长周期,既提升了发射效率,也降低了复杂流程中的风险和成本。

截至目前,东方航天港作为国内首个也



是唯一的商业航天海上发射母港,已成功保障20余次海上发射,将超过130颗卫星送入太空。

民营企业家成为撬动商业航天格局的重要力量

东方航天港所构建的,远不止一个发射场。在这里,以东方空间为代表的民营企业,成为撬动商业航天格局的重要力量。

“海上发射灵活、安全的优势,与我们的发展路径高度契合。”东方空间联合创始人、总经理布向伟道出了将总部和研发制造基地落在海阳的核心原因。

作为国内海上发射技术储备最为完整的民营火箭公司之一,东方空间深度参与了东方航天港的建设。与此同时,港口提供的“前港后厂”一站式服务,将火箭从总装到登船的物理距离大幅压缩,为这家需要快速迭代的民营企业赢得了宝贵的时间窗口。

民营企业的生存之道在于差异化创新。东方空间成立之初便锁定中大型运载火箭的研发,直指商业航天市场运力不足的痛点。

2024年1月,“引力一号”在东方航天港首飞成功,它以近地轨道6.5吨的运载能力,创下了全球最大固体运载火箭的纪录;第二次发射再获成功,证明了能力的可靠性。

创新不易,背后是无数个攻坚克难的日日夜夜。研制“引力一号”火箭时,攻克“捆绑”技术是关键。其助推器与芯级需承受高达200吨的集中力,并确保在复杂气动干扰下安全分离。“捆上的时候要捆得牢牢的,需要他们一瞬间解绑的时候,又需要一气呵成不得有误。”布向伟回忆,团队从零起步,通过自主设计的可重复试验方案,最终啃下了这块“硬骨头”。

第二次发射任务要求更高,需将卫星送入太阳同步轨道。为避免火箭残骸落在陆地,技术团队创新性地设计出一条精妙“隧道”:火箭升空后急转调整航向,犹如“凤凰摆尾”,在规避风险的同时,展现了自主控制与轨道规划能力。

成本控制是企业构建核心竞争力的关键一环。“引力一号”通过模块化、标准化的设计,像搭积木一样构建火箭,将500公里太阳

同步轨道的发射成本降至每公斤5万元人民币以内。布向伟坦言,最难的成本控制环节在设计源头,“一旦状态确定,后续改动余地就很小。”团队在设计之初便综合考量材料、工艺,甚至引入汽车工业的锻造理念,为生产周期节省了至少半年时间。

在东方航天港的生态中,东方空间并非孤军奋战。它与负责发射保障的山东海上商业航天发射服务有限公司、提供结构件的山东宇航等国企和配套企业形成了紧密协同。“‘家门口’的配套,在关键时刻解了燃眉之急。这种深度融合的产业链关系,降低了协作成本,形成了加速创新的良性循环。”布向伟说。

东方空间的创新实践,是东方航天港产业链生态活力的一个缩影。目前,园区已吸引了包括山东长征火箭、星河动力等在内的30个航空航天产业项目落地,总投资额超过320亿元。一个由海上发射牵引,涵盖火箭制造、卫星应用、高端配套的商业航天产业集群正在这里加速崛起,展现出山东竞逐商业航天新赛道的强大韧性与潜力。

步入济南卫星AIT产业基地总装车间,一台大型AGV(自动导引车)正驮着卫星组件,滑行至巨型六轴机械臂旁;工程师轻巧地将组件安置妥当,机械臂随即如一位沉稳的“太空绣工”,将部件精准对接到卫星舱板的接口上。

这是山东省首个柔性化、智能化卫星制造生产线,年产规模可达100颗500公斤级卫星。建成这条产线的,是8年前全面关停钢铁主业的济钢集团。

“济钢深厚的工业制造底蕴,正是转向商业航天赛道最坚实的‘老功底’。”山东济钢空天产业发展有限公司党委书记、副总经理孙广庭表示,面对卫星制造所必需的核心人才缺口,省市政府协调支持,政府空天信息产业专班与济钢集团协同发力,通过专项政策招揽专家,为项目快速推进夯实了基础。

济钢的蝶变,是山东省协同布局商业航天战略的集中体现。此前,山东将深海空天列入19条标志性产业链,高位推动重点产业链建设,出台《山东省加快推动商业航天产

以海上发射为牵引,形成错位发展、优势互补的集群格局

步入济南卫星AIT产业基地总装车间,一台大型AGV(自动导引车)正驮着卫星组件,滑行至巨型六轴机械臂旁;工程师轻巧地将组件安置妥当,机械臂随即如一位沉稳的“太空绣工”,将部件精准对接到卫星舱板的接口上。

这是山东省首个柔性化、智能化卫星制造生产线,年产规模可达100颗500公斤级卫星。建成这条产线的,是8年前全面关停钢铁主业的济钢集团。

“济钢深厚的工业制造底蕴,正是转向商业航天赛道最坚实的‘老功底’。”山东济钢空天产业发展有限公司党委书记、副总经理孙广庭表示,面对卫星制造所必需的核心人才缺口,省市政府协调支持,政府空天信息产业专班与济钢集团协同发力,通过专项政策招揽专家,为项目快速推进夯实了基础。

济钢的蝶变,是山东省协同布局商业航天战略的集中体现。此前,山东将深海空天列入19条标志性产业链,高位推动重点产业链建设,出台《山东省加快推动商业航天产

业高质量发展的若干措施》,在巩固东方航天港海上发射优势基础上,做强商业航天产业链条,围绕火箭卫星研发制造、数据开发利用等航天关联配套领域发展,在技术创新、人才招引、企业培育、产业集聚等方面给予支持。

目前,以海上发射为核心牵引,山东省已初步形成错位发展、优势互补的集群格局:烟台聚焦海上发射、火箭制造等,已形成“天上有星、陆上有箭、海上有船,空中有网”的商业航天全产业链发展格局;济南、泰安主攻液体火箭制造、试验以及卫星研发应用等,一大批优质航天产业项目落地投产;青岛侧重测控服务与海洋遥感应用,已形成覆盖国家重大



工程与商业星座运营的完整测控能力。

到2027年,山东省将力争打造一批国内领先的技术和产品,初步形成较为完善的商业航天产业链条,具备年产100发运载火箭、150颗商业卫星的能力,商业航天产业规模将达到500亿元。

展望前路,挑战犹存。布向伟认为,我国商业航天尚处于发展的初级阶段,从长远看,整个行业的发展上限,最终取决于卫星能否实现更大规模、更广泛的应用。“只有当卫星产生的数据与信息,能真正赋能千行百业、创造普遍价值时,商业航天产业链上的每一个环节,才会基于真实的社会需求,获得持续加速的动力。”布向伟说。

这一考验,也是山东产业布局中早已锚定的方向。“依托北斗导航系统,结合遥感、通信卫星建设,覆盖全省的天空地海一体化感知体系,丰富拓展应用场景,大力发展新业态新模式,推动与交通物流、农林牧渔等领域深度融合。力争到2035年,全面融入国家航空航天产业发展布局,跻身航空航天制造强省之列。”山东省发展改革委相关负责人表示。

这一蓝图,意味着山东的商业航天事业发展,不止火箭腾空,更在于让航天技术扎根大地,服务国计民生。

图①:2024年1月“引力一号”火箭首飞现场。

图②:东方空间车间内,工作人员正在测试发动机。

以上图片均为东方空间公司提供

本版责编:刘诗瑶 版式设计:张丹峰

R 创新谈

“聚变之路”既是一条科学探索之路,也是一条人类追求清洁能源的共同奋斗之路

2026年1月,《中华人民共和国原子能法》将施行,明确国家鼓励和支持受控核聚变的科学研究和技术开发,规定相关安全监督管理措施,既防范风险,又激发活力,以制度之力为聚变能研究创新划定边界、提供保障。

前不久,中国科学院“燃烧等离子体”国际科学计划项目正式启动,面向全球开放多个聚变能实验装置及平台,旨在聚力点燃“人造太阳”,携手探索用聚变能照亮人类清洁能源的未来。

“十五五”规划建议提出,“推动量子科技、生物制造、氢能和核聚变能、脑机接口、具身智能、第六代移动通信等成为新的经济增长点。”当今世界,清洁能源角色正逐渐从补充转向主力,从风光水储到氢能、核能,清洁能源版图不断扩展,聚变能是其中最具革命性的一块。与裂变能相比,聚变能能量密度大、原料资源丰富、放射性污染低、固有安全好;与其他清洁能源相比,聚变能几乎不受地理与气候限制,能实现连续运行、稳定输出,是未来清洁能源的重要发展方向之一。

早在科学家揭示太阳能量源于氢原子核聚变之时,就有了前瞻性的发问——我们能否在地球上“驯服”这种能量?上世纪50年代,人类建造托卡马克装置,并提出仿星器的概念;1955年,我国科学家倡议开展“可控核热核反应”研究。如今,全球最大的聚变科研工程——国际热核聚变实验堆(ITER)正在各国合作下稳步推进,人类对永恒清洁能源探索的脚步从未停歇。

聚变之难,难在“点亮太阳”,更难在“稳定燃烧”。既要把氘氚等离子体加热到远超太阳核心温度,又要将难以驯服的高温等离子体束缚住,使其源源不断地发生持续聚变。难点远不止聚变本身,以磁约束聚变为例,聚变堆还需找到耐超高温和强中子辐射的结构材料,才能够研制出可靠的超导磁体和低温系统。可以说,聚变能研究集离子体物理、核工程、材料科学等众多领域难题于一身,是迄今最复杂的能源技术之一。

越是攀登科学高峰,越要有持之以恒的战略耐心。上世纪80年代,我国确立了核能“三步走”发展战略,持续推动聚变研究。中国环流一号、东方超环(EAST)、被称为新一代“人造太阳”的中国环流三号相继建成,突破了离子和电子温度“双亿度”,标志着我国对聚变能的探索正在从基础研究有序迈向工程实践。

科技进步是世界性、时代性课题,唯有开放合作才是正道。聚变能研究投入大、周期长,任何国家都无法独立完成。“聚变之路”既是一条科学探索之路,也是一条人类追求清洁能源的共同奋斗之路。

近年来,我国积极参与国际大科学项目,主导的ITER核心安装段真空间模块组件成功吊装入位;研制的ITER磁体支撑系统、包层屏蔽模块、磁体馈线系统、磁体冷态测试杜瓦(MCTB)等大型装备部件如期交付完成;与全球50多个国家的140余家核聚变科研机构建立合作伙伴关系;国家原子能机构日前联合主办世界聚变能国际会议暨国际原子能机构第30届聚变能国际大会,发布《成都声明》,推动构建“创新共享+和平利用+普惠发展”的聚变能国际合作新范式。我国正在推动能源转型和构建人类命运共同体中展现中国力量与责任担当。

“人造太阳”的梦想,正照进现实。从“追光”到“造光”,从“人类之问”到“中国之答”,聚变能的探索进程,见证着中国式现代化的科技创新之路,也映照出人类迈向可持续发展未来的共同信念。

(作者单位:国家原子能机构)

人造太阳,正照进现实

蔡金曼

浙江桐乡:高新技术企业数量4年增长超80%

本报记者 喻思南

户要求。最终,与乌镇实验室联合,企业积极开展样品失效分析和工艺改进研究,用40天攻克了技术难题。

2021年,桐乡市引进清华大学材料学院、浙江清华长三角研究院等,设立乌镇实验室。桐乡市科技局相关负责人说,桐乡有新材料产业规模优势,但前沿创新能力较为薄弱,建设乌镇实验室,要借“外脑”,为产业发展注入活力。

不只是乌镇实验室,沿桐乡乌镇大道,一条科创走廊逐渐成形。大道两侧,有桐乡联合中国科学院、清华大学、电子科技大学等建立的10家校地合作新型研发机构,助力桐乡产业向高端迈进。

企业发展,需要以创新拓展市场广度;而行稳致远,有赖于创新深度的支撑。

振石股份新材料产业园展厅,一款光伏复材边框格外显眼。“这是我们全球首创的产品,相比主流的铝合金材料光伏边框,强度更强,还更轻、更耐腐蚀,能长期在海上、沙漠等环境中使用。”振石股份研发中心主

任刘金花说。

作为风电用材行业的领跑者,全球每3支风电叶片,就有1支用振石的材料。可振石不能满足于此,又把目光投向其他行业,靠创新打开了新市场。如今,振石业务范围涵盖风电、太阳能光伏、新能源汽车、建材家居等多个领域。

在专和精上下“慢功夫”,获得“快”的跨越发展,这样的例子,在桐乡处处可见。

华友钴业从钴矿开发做到锂电材料全产业链;新凤鸣专注化纤20多年后,短纤产量跃居全国第一……在桐乡,深耕核心技术的企业,总能找到新的增长空间。

“无事不打扰、有需求必响应”,有效市场与有为政府更好结合。

在桐乡,政府对企业的态度很明确:该“减”的减到底——不主导具体项目,不打搅企业运营,让企业安心闯市场;该“加”的加到位——企业有需求,必响应。

今年,一家专注于物联网技术创新的企

业发展较快,研发需要资金。以往产投基金投资重点看产值和固定投资。而这家企业重研发、资产轻,满足不了投资条件。了解实际困难后,桐乡政府产投基金单列研发类企业,通过修改规则,支持创新型项目在当地落地生根。

针对企业破解关键技术难题的需求,今年桐乡从高校院所等选聘了一批高层次科技人才,到企业担任科技副总等职务,通过承担技术攻关任务、搭建高校院所与企业合作桥梁等,推动科研成果快速落地转化。

以凤凰湖为圆心,约16平方公里的区域,是桐乡的重要发展空间。而今,凤凰湖畔,一座科技城正在崛起。桐乡市科技局相关负责人说:“我们要打造紧密协作的研发社区,为桐乡未来发展打造一片创新高地。”

R 创新故事



随着科技水平的不断进步,智能机器人被广泛应用于变电站设备的巡视领域。智能机器人利用视觉识别技术,通过测温热成像仪,能够自主排查设备发热隐患,及时了解变电站设备运行状态。

图为日前在山东潍坊220千伏安丘变电站,智能机器人对变电站重点设备开展巡检。

冀学棕