

集火箭链、卫星链、数据链于一体

海南商业航天产业蓄势起飞

本报记者 孙海文

“5、4、3、2、1，点火！”2025年11月10日10时41分，海南文昌东郊镇。长征十二号运载火箭裹挟着金色巨焰，破开云层扶摇直上，将卫星互联网低轨13组卫星送入预定轨道。

这是海南商业航天发射场建成投用以来的第七次成功发射。从去年11月实现“从0到1”的突破，到今年创下“五天两发”纪录，再到如今迈入高密度、常态化发射新阶段，这座年轻的航天“母港”正加速奔跑。

火箭腾空升起的背后，以发射场为核心，集火箭链、卫星链、数据链于一体的商业航天新体系正在南海之滨加速成形。它不仅补齐了我国商业航天全产业链的“最后一块拼图”，更探索出一条高效率、低成本、体系化的发展新路。

科技视点·走进商业航天产业一线

“十五五”规划建议提出，“加快新能源、新材料、航空航天、低空经济等战略性新兴产业集群发展。”当前，全球商业航天竞争日趋激烈，成为大国竞逐的新焦点。为进一步支持鼓励和引导商业航天高质量发展，国家航天局近日印发《国家航天局推进商业航天高质量发展行动计划（2025—2027年）》。

商业航天作为新质生产力的新赛道，市场潜力巨大。如何进一步让“有形之手”和“无形之手”协同发力，有效整合政策导向与市场活力，推动技术快速迭代，成本持续下降，应用不断拓展？如何构建起覆盖全链条的商业航天产业生态，实现从“跟跑”到“领跑”的蜕变？本报记者近日在海南、山东、北京等地进行了实地调研。

——编者



业入驻文昌国际航天城，一个高效协同、开放共享的“产业雨林”枝繁叶茂。

航天新业态释放溢出效应

海南商业航天的快速崛起，密码何在？“我们有着三大明显的发展优势：区位优势、政策优势和产业生态优势。”袁世英说。文昌地处北纬19度，纬度较低，同型号火箭在此发射，运载能力可提升10%至15%；“零关税、低税率、简税制”等自贸港政策，对高投入的航天企业吸引力巨大；国家发展改革委、商务部专门出台的放宽市场准入特别措施，更是为海南打造国际一流的商业航天发射场提供了坚实保障。

海南商业航天串起的，不只是星与箭。最直观的变化是“航天+文旅”的火热。每次火箭发射，都会吸引大量游客来到文昌。自2016年文昌航天发射场投用以来，“航天小镇”龙楼镇的住宿、餐饮规模持续扩大。

11月10日上午，距离发射场仅两公里的文昌东郊镇瑞光火箭观礼平台，千余名游客在此共同见证火箭发射的震撼时刻。“现场观看火箭发射，那种震撼无以言表！”一名来自北京的游客激动地说。不远处的文昌航天科普中心，同样人潮涌动。升级改造后，这里展陈面积扩大至6700多平方米，1:1还原的空间站天和核心舱、舱内外航天服、VR月球漫步等46项展品和互动项目，让这里成为“星际乐园”。

航天技术的应用，也在赋能千行百业。在三亚，搭载卫星上天的“太空种子”正在南繁基地进行选育；在海口，依托北斗数据的低空物流无人机跨海飞行……从一个发射场，到一个产业集群，再到一个开放创新的生态系统，海南将地理优势、政策优势转化为产业优势、发展优势。

从这片滨海热土出发，承载着梦想的一枚枚火箭和一颗颗卫星正不断刷新着探索太空的新高度，为建设航天强国注入源源不断的动力。

图①：参观者在文昌航天科普中心体验混合现实深空冒险项目。

文昌航天科普中心供图

图②：长征十二号运载火箭在海南商业航天发射场二号发射工位进行准备。

海南国际商业航天发射有限公司供图

图③：海南商业航天发射场全景。

海南国际商业航天发射有限公司供图

打造高密度、低成本发射能力

从动工到首发，仅用878天。2022年，当海南国际商业航天发射有限公司董事长杨天梁第一次来到海南文昌的项目工地时，迎接他的是一条伸向海边椰林的土路、一处围挡、一台打桩机。

彼时，国内商业航天发射需求不断增长，国家批准建设首个商业航天发射场，并给出了硬指标：两年内具备执行发射条件。

为了完成这项任务，一支平均年龄仅30岁的“青年队”汇聚于此。他们以工地为家，白天进行实际操作，晚上啃理论，与时间赛跑。

如今来到发射场，只见两座发射塔架矗立。面对商业火箭型号多样的现状，当时，团队大胆地为二号工位设计了“通用型”接口。“商业航天必须关心成本与效率。传统模式是‘一箭一位’，而二号工位是我国首个通用中型液体工位，就像一个‘万能充电器’，目前可适配10余家火箭公司、20余型不同型号的火箭。”杨天梁说。

效率，来自技术的革新。二号工位创新性采用国际前沿的“三平”测发模式——火箭“躺着”进行水平组装、水平测试、水平转运，抵达工位后整体起竖，加注燃料即可发射。“这套流程，将发射准备时间从20天左右压缩至10天甚至更短。”文昌航天发射保障有限公司总经理肖俊明说。为长征八号系列“量身定制”的一号工位，则具备“7天发射、7天恢复”的快速响应能力。

2024年11月30日晚，庆祝长征十二号首飞成功的欢呼声响彻指挥大厅，杨天梁难掩激动：“我们的技术创新，经过实践验证，成功了！”

高效的背后，是一整套全新的工作理念。“我们正在做标准化流程，从火箭进场到发射，每天的工作都固定下来，减少人为干预。”文昌航天发射保障有限公司总体调度工程师尹景波介绍，为了做好高密度发射风险防控，他们还建立了任务中的“逆流程”——返回上一个阶段重新开始。

“商发速度”，既有传统航天精神的严谨，又融入了商业航天的灵活高效。“商业航天，首先是航天，对可靠性的极致追求永远是第一位。”一号发射工位首席指挥员张小军表示。

在人们印象中，台风似乎是夏季“特产”。但事实上，一年四季都会有台风生成。为了研究和预防台风，科学家们需要常年与台风“周旋”。

今年6月中旬，浙江大学海洋学院教授李培良团队操控一艘无人风帆航行器“信天翁”从今年第1号台风“蝴蝶”北部进入台风眼，半个多小时后又从台风眼东南部穿出。其间，该航行器扛过44节（约81公里/小时）最大风力，不仅毫发未伤，还掌握了台风运动时完整的气象、海浪等“一手资料”。

这是我国海洋气象史上首次成功利用海洋无人航行器主动穿越台风眼开展海气界面观测，获得了关于台风结构和变化的“一手资料”，对于提升台风预报精度至关重要。今年7月20日，“信天翁”又成功穿越今年第6号台风“韦帕”的核心风区。今后，人类“把脉”海洋也有了更多手段。

模仿虎鲸外形，减少无人风帆航行器的航行阻力

2014年，在台风研究过程中，为了准确探知中尺度涡对模态水耗散的影响，李培良费尽周折地布放了17个浮标。然而，浮标没有动力，只能随波逐流。为了让这些浮标保持在涡旋中，团队耗费近两年时间才设计出方案。“当时我就在想，要研发一个可以主动运动的、可以被我们指挥，精准抵达目标海域的智能浮标。”李培良说。

2021年，李培良组建浙江大学海南研究院海洋过程与装备团队，开始研发航行器。船体外形，是团队面临的第一个挑战。传统的水下



竣工。这是我国首家专注于运载火箭“总装、总测、复用”三位一体的综合性工厂。

“选择海南，是基于技术的长远考虑。”彭小波解释，可重复使用是降低发射成本的关键，而海上回收相比陆地回收，安全性更高、运力损失更小。“一枚火箭，一子级成本占七成以上。如果能回收复用，发射成本有望降至传统火箭的1/5。文昌三面环海，射向开阔，是海上回收的理想之地。”彭小波说。

彭小波告诉记者，过去，一枚火箭从北京运到文昌，运输成本约300万元，现在则实现了“出厂即上塔架”。今年8月，星际荣耀自主建造的首艘运载火箭回收船“星际归航”号下水，一个“发射—回收—检测—复用”的全流程闭环逐渐在文昌形成。

“火箭链”龙头企业纷至沓来，带动了“卫星链”的加速布局。在星箭产业园内，亚洲最大的“卫星超级工厂”主体结构已经封顶，预计年底竣工投产。未来，卫星在这里下线后，到几公里外便可搭乘火箭升空。“目前，我们正推动全球卫星总装集成测试总部基地建设，打造面向全球的共享总装集成测试工厂，支持500公斤级卫星批量生产。”文昌市副市长袁世英说。

数据链上，“航天+”应用场景也在不断拓展。已投入运营的文昌航天超算中心，为国内外上百个用户提供数据算力支撑，正朝着“发射即运营、数据即服务”的目标迈进。依托自贸港“数据安全有序流动”的政策优势，这里建成了“澜沧江—湄公河卫星遥感数据服务中心”，泰国低时延跨境数据专线，与香港天文台签订气象数据服务合同，并实现国内首单气象卫星数据出口。

“火箭链、卫星链、数据链”日益完善，吸引了上下游企业集聚。“长征八号发射，我们提供了全套特燃特气产品。”海南九丰能源有限公司负责人介绍，作为发射场的配套项目，公司在文昌建厂，为高密度发射提供稳定的“粮草”保障。如今，已有超700家航天类企

构建“出厂即发射”的产业闭环

“发射场像码头，火箭就是船舶，卫星是货物。码头建好了，船和货自然会来。”星际荣耀航天科技集团董事长彭小波比喻，阐释了海南商业航天“以场带产”的发展逻辑。

“我们正创新产业体系，与一批头部企业协同生产，构建‘出厂即发射’的流水线模式。”文昌国际航天城管理局副局长王凤宇说。

走进距发射塔架仅数公里的星箭产业园，一个“前店后厂”式产业生态，正在文昌国际航天城形成。

2025年10月，距离海南商发仅数公里的星际荣耀运载火箭总装总测复用工厂（一期）

示，“与传统模式相比，我们迭代更快，各方降本增效的目标高度一致。”

从“月月有发射”到“航班化发射”，文昌商业航天的蓝图已经绘就。不久前，海南商发二期项目正式开工，计划新建三号、四号两个发射工位，预计2026年底具备发射能力，届时发射场年总发射能力有望达到60发以上。

有效利用风，累计试验时长2200小时

一代“信天翁”诞生后，等待的是漫长的“拉练”。“其实造船并不难，难的是如何让它能在极端环境中生存下来。”李培良说，有时一条完整的模拟船出去，回来后不是零部件掉

了，就是帆被撞坏了。

“信天翁”一代机考虑的功能很复杂。李培良介绍，在持续不断的实验中，团队逐渐意识到，难题是“如何有效地利用风”。

3年间，李培良团队成员带着“信天翁”边试边改，累计试验时长2200小时。直到今年初，在大海中拉练的“信天翁”各项参数都趋于稳定，在强风测试中也不再“散架”。

得知台风“蝴蝶”要来，李培良每天醒来第一件事就是打开台风路径实时发布系统。台风“蝴蝶”逐渐生成后，团队将二代“信天翁”放至其北部530公里处，开启这次任务。此后几天，大家24小时轮流值班。

6月13日凌晨0时28分，“信天翁”进入台风眼，有人盯着手机关注台风走向，有人盯着电脑数字化后台，随时调整航行器位置。“成功了！”穿越台风眼那一刻，大家欢呼起来。

至此，我国在海洋气象监测领域迈出重要一步，“信天翁”的应用，可帮助准确理解海气界面的物质能量交换，提升台风预报的准确性和防灾减灾能力。

这是一次冒险，更是一场严谨的科学实验。“通过台风这个天然的测试场，我们要进行有针对性的操控，测试无人风帆航行器的顺风航行、逆风航行、侧风航行。”李培良说。

无人风帆航行器“信天翁”成功穿越台风眼 等风来，不如追风去

本报记者 刘军国

向着更远的深蓝出发，迎接更多极端海气环境的挑战

二代“信天翁”成功穿越了“蝴蝶”台风眼，但也暴露了船体偏小、载荷有限等问题。基于此，三代机的设计目标清晰起来，团队只用了一个月左右就完成了定型。

“三代比二代长了1.5米左右，更重要的是，我们把整个帆船的控制系统做了集成化，让它的抗风能力更强。”同时，帆的结构也从标准样式升级，以承受台风中的巨大风应力。此外，三代机还搭载了风廓线雷达、两个相机和两支卫星通信天线，成了一个真正的“海上移动实验室”。

眼下，经过改良的三代“信天翁”整装待发，准备挑战从广东到海南的远距离恶劣海况下的航行和转场。团队的目光，早已投向了更远的深蓝。“我们现在做的每一个配件，包括通信天线、电机、耐压舱，都是按照耐压超水下1000米的标准来设计的，材料用的都是钛合金。”李培良说，这一切都是为将来实现全球航行和千米下潜的目标做准备。

未来，“信天翁”则将向全球海况最恶劣的海域之一——西风带出发，开启它的“环球旅行”，迎接更多极端海气环境的挑战。“等风来，不如追风去。”李培良说。

（刘珈如参与采写）

创新谈

作为粤港澳三地联合承办的体育盛会，十五运会体现了粤港澳大湾区资源共享、成果共创的全过程联动，也成为用大场景牵引大创新、用大产业支撑大未来的生动实践

十五运会开幕式上，一束束不同寻常的火点亮现场。一束火焰来自南海1522米深处的冷泉口，由科研人员远程遥控“海马”号潜水器采集可燃冰及伴生气，降压分解产生甲烷，再将光伏发电的电能送至海底，实现“天之光”点燃“海之火”；另一束则是主火炬塔以电光水雾形式呈现的虚拟火焰，轻盈纯净。

两束科技“火光”照亮夜空，也照见粤港澳大湾区创新的澎湃动能。体育竞技之外，十五运会成为科技创新的大舞台。人形机器人“群体协同”奏响千年礼乐；赛事智能助手以数字人形象实现语音交互问答；“赛事自由视角系统”综合运用云计算、大数据、人工智能等技术，为观众提供全新观赛体验；微纳米级被动制冷涂层，为志愿者驿站配备了“零电费空调”……赛场内外，处处彰显科技范儿。

从十五运会这扇窗口，可以看到中国科技创新不断突破的内在逻辑。

充分发挥新型举国体制优势，加快实现高水平科技自立自强更有底气。办大事、闯难关，集中力量是关键。开幕式上的“源火”，是由广州海洋地质调查局牵头成立科技攻关团队，联合高校、企业等攻关，最终实现深海采集和稳定燃烧。创新成果涌现，靠的正是全国“一盘棋”式的力量整合与组织动员。

发挥我国超大规模市场和丰富的应用场景优势，为科技创新成果提供更多试验场、应用场。智能交通指挥系统可广泛应用于城市交通运营；围绕开幕式设计的AI画卷和移动大屏，为文旅演艺、文化消费提供了全新技术……这些面向未来的技术“以赛促试”，让产品迭代周期大为缩短。丰富的应用场景有效降低了创新创业成本，推动科技成果加速转化为现实生产力。

因地制宜发展新质生产力，不断塑造新动能新优势。十五运会上的科技创新元素，体现着大湾区对未来产业和新质生产力的战略布局。放眼全国，各地也通过发展新质生产力，加快促进要素生产率提升、新动能新优势壮大。北京汇聚国家战略科技力量，在基础和前沿领域着力锻造长板；深圳拥有高效的产学研转化体系，助力科技成果“落地生根”；杭州以数字经济为抓手，推动产业升级……因地制宜发展新质生产力，科技创新不再是单点突破，而是“从一项技术到一个产业，从一个产业到一个生态”的整体跃升。

作为粤港澳三地联合承办的体育盛会，十五运会体现了粤港澳大湾区资源共享、成果共创的全过程联动，也成为用大场景牵引大创新、用大产业支撑大未来的生动实践。中国正在以更充分的制度优势、更巨大的市场空间、更充沛的创新活力，培育壮大新质生产力，加快实现高水平科技自立自强，推动高质量发展取得新成效。

新闻速递

我国城市在全球创新格局中优势持续增强

本报电 近日，由清华大学产业发展与环境治理研究中心和自然科研智讯联合编制的《国际科技创新中心指数2025》报告发布。该指数采用30个指标，对113个国际科技创新中心参评城市和12个微型科技创新中心参评城市进行了评估。报告显示，我国城市在全球创新格局中的优势持续增强。在评估排名前10强城市（都市圈）中，北京得分连续4年位列前三，粤港澳大湾区跃升至第四位，上海排名第十位。此外，北京在科学中心维度首次登顶，粤港澳大湾区在创新高地维度跃升至第二名。中国此次共有21个城市（都市圈）入围全球百强。（刘诗瑶）

2025国际人工智能科学家大会举办

本报电 2025国际人工智能科学家大会日前在北京举办。本届大会由北京中关村学院与中关村人工智能研究院、联合清华大学、西湖大学共同主办，美国芝加哥大学协办。国内外与会专家共同探讨人工智能从科研辅助工具向“智能科研伙伴”的演进之路。成果发布环节，北京中关村学院与中关村人工智能研究院正式发布助力科研人才全流程培养的科研智能体系统。该系统以“元科学洞察”与“学者数字孪生”双引擎驱动。其中，“元科学洞察”将使科研智能体理解科学逻辑、识别潜在问题并预测研究前沿；“学者数字孪生”能够了解科研风格、认知偏好与成长节奏，提供个性化支持与协同优化。（谷业凯）

大模型安全评估系统护航人工智能发展

本报电 近日，绿盟科技集团发布了包括大模型安全评估系统、人工智能安全一体机等在内的多款大模型安全产品。其中，大模型安全评估系统能对多款主流大模型进行自动化深度扫描，精准发现对抗攻击、数据泄露及组件漏洞等风险；人工智能安全一体机集成敏感数据防泄漏、精细化算力调度等关键能力。近年来，绿盟科技持续深化应用创新和产品落地，在人工智能安全方面，推动传统安全产品融入智能能力，同时顺应大模型应用趋势，推出系列化创新解决方案。（何旭）

创新故事

本版责编：谷业凯 版式设计：张芳曼