

科创前线

朱雀着陆“归巢” 我国火箭回收实现多点突破

中经记者 谭伦 北京报道

中国可回收火箭再度迎来突破。

8月19日7时35分许,蓝箭航天朱雀三号遥二重复使用运载火箭在东风商业航天创新试验区发射升空。火箭全程飞行正常,一子级按预定程序成功返回,并精准着陆于甘肃民勤回收场预定位置;二子级则将鸿鹄03星顺利送入预定轨道,飞行试验任务取得圆满成功。

此次任务最大的看点,是我国首次成功实施重复使用运载火箭一子级着陆支腿方式回收,意味着中国商业航天企业终于完成了从“能

持续数年的艰难探索

中国已经形成了“海上网系回收+陆地着陆支腿回收”两条技术路线。

朱雀三号遥二的成功,并非突然出现的“单点突破”,而是我国航天产业多年技术积累集中释放的结果。

公开信息显示,中国在重复使用火箭领域的探索,早期更多集中于回收相关基础技术。在2019年前后,长征系列火箭已经开始通过栅格舵等技术开展落区控制试验。彼时的核心目标还不是让整枚火箭再次飞起来,而是先解决分离体“落在哪里”的问题。中国工程院院士龙乐豪此前就曾提出,我国重复使用运载器应遵循从部分重复使用逐步走向完全重复使用的技术路径。

随着商业航天放开以及民营企业出现,技术开发开始明显加速。2021年至2022年,多家企业先后开展低空垂直起降试验;2023年11月,星际荣耀双曲线二号验证火箭在酒泉完成垂直起降飞行试验,随后仅20多天便再次飞行,并实现国内首次液氧甲烷火箭重复使用飞行。星际荣耀彼时公开表示,这意味着商业航天企业开始掌握低空返回、垂直着陆以及快速复用等关键能力。

2024年成为国内可重复使用火箭技术由低空验证向真实工程环境迈进的重要一年。同年6月,中国航

飞”到“能回来”的关键跨越。

事实上,这并非我国在可回收火箭领域的第一次尝试。今年7月,长征十号乙已经通过海上网系捕获的方式实现我国首次运载火箭一级可控回收。但朱雀三号采用的是更加接近SpaceX猎鹰9号的陆地垂直着陆路线。

两条路径相继取得突破,背后折射出的,是我国商业航天过去十余年持续推进的技术积累。与此同时,全球低轨卫星互联网、遥感卫星等需求快速增长,也正在把火箭从传统意义上的“一次性消耗品”,变成需要追求高频使用率和周转效率的“空间运输工具”。

天科技集团八院研制的重复使用运载火箭新技术验证箭完成国内首次10公里级垂直起降试验;9月,蓝箭航天朱雀三号VTVL-1也完成10公里级垂直起降返回试验,并重点验证了空中二次点火以及超音速、大动压环境下的联合制导控制技术。对于可重复使用火箭而言,10公里级试验意味着火箭开始进入更加接近真实一级回收工况的复杂环境。

到2025年,探索进一步由“验证箭”转向“入轨级火箭”。12月3日,朱雀三号遥一成功将二级送入轨道,并首次尝试开展一级回收验证,尽管最终未能实现软着陆,但已经完成了超音速再入等关键环节的数据获取;12月23日,长征十二号甲也开展了一级回收尝试。国家航天局当时明确表示,虽然回收目标没有实现,但试验获取的真实飞行数据为后续可靠回收奠定了基础。

真正的突破发生在2026年。7月10日,长征十号乙首次通过海上网系捕获成功回收一级,实现我国首次运载火箭可控回收;仅仅一个多月后,朱雀三号遥二又完成陆地着陆支腿式回收。至此,中国实际上已经形成了“海上网系回收+陆地着陆支腿回收”两条技术路线。

不只是节省成本

朱雀三号此次成功的意义,还在于探索更适合规模化的商业模式。

朱雀三号发射成功后,可回收火箭的产业价值也随即成为各方关注焦点。在业内人士看来,其最直接的产业价值是降低进入太空的成本。更重要的是,它正在改变火箭行业的商业模式。

瑞恒达研究院经理王清霖认为,传统一次性火箭的经济逻辑,本质上是“生产一枚、发射一次、任务结束”。即便发动机、箭体结构等实现规模化制造,火箭本身依然属于高价值的一次性消耗品。可重复使用模式下,火箭一级从“耗材”变成“固定资产”,真正需要摊薄的研发、制造和首次飞行成本,随着重复飞行次数增加,单位任务成本理论上可以持续下降。

美国NASA曾公开过一份猎鹰9号的测算案例。在其假设模型中,新一代助推器平均成本约6500万美元,而重复使用助推器约5000万美元,同时重复使用能够伴随着发射频次提升进一步摊

薄单位成本。美国相关官方报告也曾指出,可重复使用部件能够显著降低发射成本。但需要注意的是,具体成本下降幅度会取决于火箭设计、维护周期、复用次数和发射频次,并非简单地“一次回收就能把成本降一半”。

更重要的是,可回收能力与我国正在形成的卫星互联网需求形成了正向循环。2025年,中国商业航天共完成50次发射,占全年航天发射总数的54%,其中商业运载火箭完成25次发射,全年商业卫星入轨数量达到311颗,占我国全年入轨卫星数量的84%。与此同时,低轨卫星互联网、遥感以及未来大规模星座建设,都意味着未来对火箭发射次数和时间效率的要求会明显提高。

国际市场也正在证明这种变化。产业研究机构BryceTech的数据显示,2025年全球共完成325次轨道发射,其中87%由商业航天企业实施;全年入轨航天器达

可回收只是开始

我国虽然已经跨过了关键的第一道门槛,但想真正形成全球头部的商业竞争力,仍有一段距离。

目前全球范围内,可回收火箭已从单一技术比拼进入规模化运营竞争阶段。

其中,美国的SpaceX依然处于明显领先地位。据SpaceX官方披露,截至2025年2月,其猎鹰一级助推器累计重复飞行已经超过384次;而截至今年8月15日,SpaceX今年的猎鹰9号任务数量已经达到96次,其中部分一级助推器已完成第14次、第18次飞行。据美国媒体披露的信息,SpaceX目前已经开始从“一级复用”向“全箭复用”继续推进。同时,SpaceX正在尝试通过发射塔机械臂捕获上面级,进一步逼近完整的天地往返运输体系。

同时,另一家美国火箭巨头

蓝色起源也已经完成跟进。其New Glenn(蓝色起源研发的重型运载火箭)在2025年11月第二次飞行中就实现了一级成功回收,公司将一级设计目标设定为至少25次飞行。

而在欧洲方面,阿丽亚娜集团正在推进Themis重复使用火箭验证项目,今年7月已经完成低温条件下的发射流程演练,为欧洲首次带回收能力的飞行测试做准备;Rocket Lab则推进中型可重复使用Neutron火箭,不过截至8月,其已将重点调整为争取第四季度把火箭送上发射台,首次飞行时间存在进一步延后的可能。

在上述背景下,业内人士认为,我国虽然已经跨过了关键的第



8月19日7时35分许,蓝箭航天朱雀三号遥二重复使用运载火箭成功发射升空,一子级按预定程序成功返回,并精准着陆于甘肃民勤回收场预定位置。视觉中国/图

到4544颗,同比增长54%,通信卫星占新发射航天器的83%,背后主要驱动力正是大规模星座部署。换言之,未来火箭行业面临的市场需求,不再只是“将一颗卫星送上去”,而是需要在较短时间内持续把大量卫星送入轨道。

这意味着,朱雀三号此次成功

的意义,在于探索更适合规模化的商业模式。产业分析师周桂军表示,应该看到,真正决定可回收火箭商业价值的,并不是“一次成功落地”,而是之后的多次重复回收,以及每次飞行之间需要维修多久、投入多少成本。只有数量够多,摊薄的成本效应才更为明显。

入轨及海上回收;此外,长征十号乙计划在2026年年底前完成一级复用飞行。

因此,这也是为什么业内越来越倾向于把可重复使用火箭视为一个“系统工程”,而非单纯的火箭技术突破。此前,中国航天科技集团就提出,可重复使用火箭真正需要解决的不仅是“落得准”,还包括“接得稳”“用不坏”“修得快”。

未来几年,随着朱雀三号、双曲线三号、长征十号乙等一批型号陆续进入复用飞行验证,我国火箭企业之间的竞争,也将从首飞成功率进一步转向发射价格、复用次数、维护成本、发射频次和客户订单的综合体系较量。

灵巧手赛道喧嚣 285亿资本押宝“最后1厘米”

中经记者 杨让晨 上海报道

“这玩意儿买回家能做什么?数数?比个耶?还是能教幼儿园的小朋友掰手指算数学题?”近日,在一则灵巧手售价数万元的视频新闻评论区中,有读者写下这句话。在外界看来,模仿人双手的产品能卖到数万元,让人

机器人的“最后1厘米”

梁陈洁是上海的灵巧手企业绳肌妙算(上海)机器人有限公司的工作人员。记者见到她时,她正在一边解答客户的疑问,一边调试用于演示的灵巧手设备。

话语间,梁陈洁的双手在电脑摄像头前摆动,与电脑相连接的灵巧手设备也做出相同的动作。梁陈洁告诉记者,用于展示的灵巧手产品是公司的第一款产品,整套组装好的灵巧手售价为4999元,没有装载触觉传感器,整只手不到

“看不见”的壁垒

尽管已经有产品能够执行较为精细的操作,但灵巧手仍然有许多挑战。相关资料显示,人手的运动结构极其复杂,通常拥有21—27个自由度,但当前的灵巧手自由度大多在6—22个之间,并且自由度越高,操作越精细,但随之而来的是成本激增、寿命缩短和控制算法难度的提升。

同时,发热也是影响灵巧手工作的因素之一。梁陈洁告诉记者,灵巧手的大小参照人手,却要

感到疑惑。

实际上,这不仅仅是模仿人类双手的简单产品,而是人形机器人“最后1厘米”的能力所在。相关资料显示,以人手为蓝本的灵巧手,是多种精密零部件的集合,包括电池、芯片、触觉传感器、谐波减速器等多种精密元器件在这个“巴掌”大的地方落脚。

400克,采用自适应耦合肌腱驱动,7个电机带动16个关节,是一款面向教育、科研与真实部署的开源绳驱灵巧手。“这款产品的BOM、CAD、固件、Python SDK、ROS2、MuJoCo仿真与RL工具全部公开可复现,并配有从0到1的完整教程。”

梁陈洁告诉记者,目前公司的这款灵巧手累计交付已经超过1000台,在国内市场已经和阿里达摩院达成教育战略合作,未来将

在有限的空间内集成控制芯片、电机、腱绳等多种精密零部件。“手掌大小的空间里塞了许多零部件,运行时难免发热,这在一定程度上会影响运行效率。”

除发热以外,谐波减速器、电机等精细零部件对灵巧手的自由度提升至关重要。上海一指智能制造科技有限公司CEO刘燕庭告诉记者,灵巧手需要搭载的是超微型谐波减速器,仅有8毫米大小,并且需要经过50万次的重复性验证,

但多种元器件集合以及灵巧手与机器人大小脑、算法等方面的协同也带来了灵巧手的发展难题。不过,这并没有阻挡资本的热情。IT桔子的数据显示,截至今年8月初,灵巧手赛道已经录得74起融资事件、47家公司入局,已披露金额合计约285.1亿元。前7个月的融资总额已超过

在北京、上海、重庆等地面向各层级开发者及学生落地实训。

实际上,灵巧手还有更大的梦想——为人形机器人提供“最后1厘米”的能力,即不仅拥有执行动作的能力,还要拥有理解接触、适应环境和完成复杂操作的能力。

在今年的世界人工智能大会上,灵巧手企业上海临界点创新智能科技有限公司(以下简称“临界点”)展示了折气球狗这一长时序、

经过验证后还要再度进行优化。

“灵巧手对以超微谐波减速器为核心的指关节要求更高。”刘燕庭进一步表示,指关节第一节、第二节和第三节的扭矩不同,进而对电机的最低转速也提出了要求。“总体来看,灵巧手的关节模组要有谐波减速器、无框力矩电机、支撑轴承等,其中电机的最低功率要在4—6W,额定扭矩要在4—5mN·m或以上,转速则在1万rpm为最佳。减速器最佳速比在150左右。”

2025年全年。IT桔子方面预计,今年灵巧手赛道融资总额有望突破400亿元。

为何灵巧手成为资本的香饽饽?售价不菲的灵巧手还有哪些技术难题需要攻克?带着这些疑问,《中国经营报》记者采访了多位灵巧手行业内人士,探寻当前灵巧手火热背后的真相。

富接触的操作任务。在这一任务过程中,灵巧手不仅要完成连续动作规划,还需要实时感知接触状态,在毫秒级完成力度调节与滑动预测,力度稍大,气球会爆裂;力度不足,则会发生滑脱,整个过程对产品提出了极高要求。

相关资料还显示,临界点的灵巧手产品OmniHand灵动触觉款有16个自由度,整手负载5公斤,能够感知0—20N范围内的力量,重量不足570克。

除此以外,灵巧手还需要有“眼睛”来让关节动得更准,但目前的技术方案存在许多痛点。深圳台科微电子科技有限公司总经理朱磊告诉记者,目前行业内机器人关节模组方面多使用诸如光编码器、多极磁环磁编码器等等,但和电感式编码芯片相比,都有不少缺点。例如,光编码器对污染物敏感,系统复杂、体积大;多极磁环磁编码器高温特性差、对磁场敏感等等。

攻坚“软硬”深水区

在业内人士看来,对于灵巧手而言,在软硬件协同层面,未来还有较大的发展空间。

“灵巧手目前面临的是一系列工程问题,包括触觉、关节、可靠性、大脑、操作等。从根本上说,灵巧手在当前的工业场景下的应用并非刚需。因为在很多产线上,两爪、三爪或者一些机械臂就已经足够了。”沂景资本董事总经理李佳告诉记者,灵巧手真正对应的还是生活场景,但生活场景距离真正落地还有比较远的一段路要走。

“从数据映射的角度看,五指拟人化确实有一定的第一性原理逻辑,如果机器人的手和人的手完全对应,理论上人类的操作数据就可以映射。但这个逻辑对应到实际操作层面,还没有完全实现。所以工程瓶颈不是一个单一问题,它是一整套软硬件协同的系统难题,只是目前软硬件两端都还有很大距离。”李佳进一步对记者表示,灵巧手的硬件层面工程问题解决周期应该会短于算法和生态的成熟周期,算法、大小脑和系统层面,则需要更长时间来积累和验证。

以小脑为例,恩智浦半导体机器人高级市场经理朱桦告诉记者,小脑是做运控算法的载体,肩负了机器人的很多功能。“首先是对机器人身体的控制;其次,小脑承担了‘网关’的功能,在网络通信瘫痪时,安全内核能调度通信;最后,小脑还会通过运动控制算法来控制每个关节和手的动作以及承担部分大脑失效以后的指挥的功能。”

“从目前来看,恩智浦的小脑到执行器的整个方案可以从实时性、安全性和通用性解决机器人行业的这些痛点。例如,公司总线式的灵巧手方案,从手掌到手指可以通过I3C直接通信,解决了其他通信协议需要额外物理层芯片对灵巧手带来的成本、体积的增加。”朱桦表示。

瑞萨电子机器人方案架构师金磊则告诉记者,未来机器人需要更多的半导体厂商来提供边缘AI算力以及机器人软件生态,在“肌肉”方面则需要极高功率密度的关节模组,灵巧手也需要更高自由度的灵巧控制,以实现更精细化的拟人操作。

在克服技术难题的同时,灵巧手的商业模式也在探索中。目前多家机器人本体企业倾向于自研灵巧手。而部分企业则选择专注于灵巧手赛道,成为第三方,跻身产业链。

对此,李佳告诉记者,头部企业自研灵巧手不代表第三方企业没有空间。目前整个机器人市场比较热,也存在比较明显的FO-MO情绪(Fear of Missing Out,害怕错过心理),“做硬件的公司已经有很多家,大家都在赌谁能成为前一两名、谁能率先上市。未来格局的定型还需要时间,部分企业可能通过绑定头部整机厂存活,也有部分可能走通用化平台路线”。

不过,李佳也强调,灵巧手在经过两三轮周期后,产业才会逐步沉淀。“最终不一定是看谁现在最热,而是看谁能够撑过考验期并活得更久。”