

主笔 彭传刚 整理

第三代“星舰”系统

“星舰”火箭由两部分组成，第一级是“超级重型”助推器，第二级是“星舰”飞船。此次试飞启用新一代飞船和助推器，搭载升级版“猛禽3”发动机，并首次使用重新设计的发射台。SpaceX将其称为第三代“星舰”系统。

飞船方面，推进系统经过全面重新设计，增加推进剂储箱容量，优化姿态控制系统，并新增飞船对接装置和推进剂传输接口，重点增强长期在轨运行、飞船对接和在轨推进剂转移能力。卫星部署结构也经过升级，可提高载荷部署效率。

助推器方面，栅格翼数量由4片减少至3片，但单片面积增大约50%，结构强度进一步提高。热级分离结构、推进剂输送系统以及尾部热防护系统均进行了重新设计，以提升可靠性和快速重复使用能力。

升级版“猛禽3”发动机具有更强推力、更轻质量以及更高运行效率。其中，海平面版发动机推力由230吨提升至250吨，真空版发动机推力由258吨提升至275吨。同时，发动机重量有所减轻，点火系统和控制系统也进行了优化。

不仅火箭升级，地面系统也同步更新。发射台升级了推进剂储存和加注系统，燃料加注速度提高。用于夹火箭的“筷子”机械臂长度缩短，有助于更加迅速地“捕捉”火箭，其控制系统也由液压驱动改为机电驱动。发射塔和导轨设施也进行了重新设计，旨在满足未来高频次发射需求。

SpaceX表示，这些升级旨在让“星舰”系统未来实现全面、快速重复使用以及开展在轨推进剂转移等关键任务。美国全国航天协会表示，升级版“星舰”运载能力进一步提升，有望缩短任务周期，提高未来发射效率。

此次试飞主要目标是在真实飞行环境中验证各项新系统和新部件的性能，为未来实现“星舰”系统全面、快速重复使用积累数据。总体来看，任务完成了大部分既定目标，但发动机部分工作状态、助推器返回控制等环节未达预期。

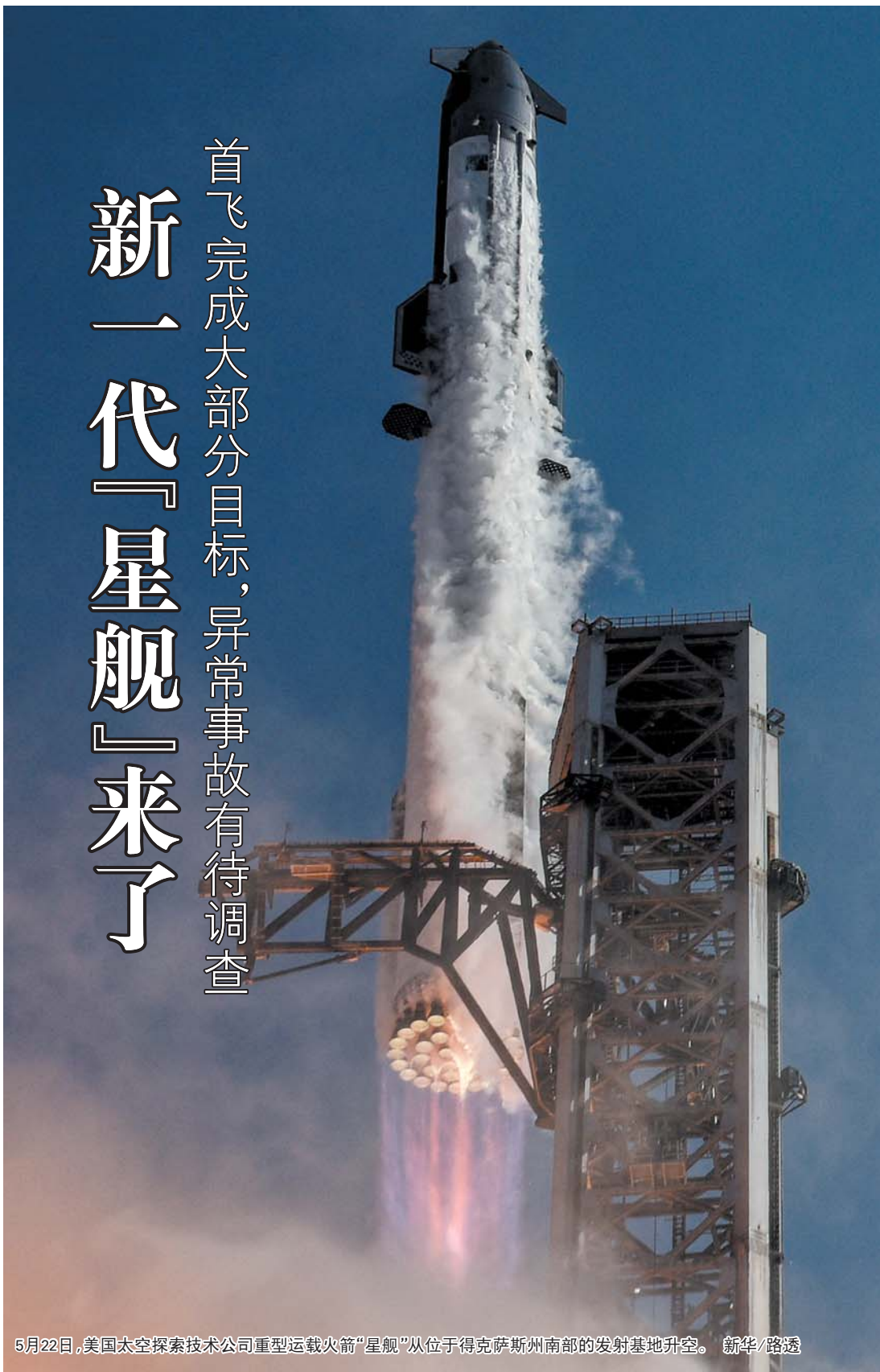
试飞最引人关注的亮点之一，是首次开展类似“飞船自检”的热防护系统检测试验。飞船在太空中部署了20颗“星链”模拟卫星，还部署了2颗专门改装的“星链”卫星，对“星舰”热防护系统进行成像观测，并将图像传回地面团队。SpaceX希望借此探索未来飞船返回发射场前自主评估热防护系统状态的方法。

热防护系统被认为是实现“星舰”快速重复使用的关键技术之一。为验证系统性能，工程团队此次还故意将部分隔热瓦片涂成白色，模拟瓦片缺失状态，并在再入前移除一块隔热瓦，以研究缺失瓦片情况下周边区域承受的气动和热环境变化。

仍有一些问题待解

由于火箭第一级“超级重型”助推器未能完成返航制动燃烧，以非受控状态坠入墨西哥湾，美国联邦航空局认定此次试飞出现“异常事故”，要求SpaceX开展调查。美国联邦航空局将监

美国企业家马斯克旗下太空探索技术公司(SpaceX)重型运载火箭“星舰”5月22日实施第12次试飞。这是全面升级后的新一代“星舰”系统首次整体投入飞行测试。任务完成部分测试目标，但在发动机可靠性、助推器回收等方面仍面临挑战。试飞期间火箭第一级“超级重型”助推器未能完成返航制动燃烧，随后以非受控状态坠入墨西哥湾。5月27日，美国联邦航空局发表声明说，已要求SpaceX对“星舰”此次试飞中出现的异常事故展开调查。



5月22日，美国太空探索技术公司重型运载火箭“星舰”从位于得克萨斯州南部的发射基地升空。 新华社/路透

新一代『星舰』来了

首飞完成大部分目标，异常事故有待调查

督调查全过程，SpaceX提交的最终报告及任何纠正措施均须获得美国联邦航空局批准。只有在美国联邦航空局确定与此次事故相关的任何系统、流程或程序不会对公共安全造成影响后，“星舰”才能再次进行试飞。

尽管完成多项测试目标，但此次试飞也暴露出一些仍待解决的问题。

首先是发动机可靠性。飞行过程中，助推器有一台发动机在上升阶段提前关闭；飞船6台发动机中也有1台提前关闭。虽然飞船仍完成既定飞行轨迹和载荷部署任务，但原计划进行的太空中发动机再点火测试未实施，而发动机可靠性被普遍视为实现高频次重复使用的重要前提。

其次是助推器返回控制能力。按计划，助推器此次并不尝

试返回发射场由机械臂捕获，而是在海上进行受控溅落测试。然而，其返航制动燃烧未能按预定方案完成，最终以非受控状态坠入墨西哥湾。如何稳定完成返航、着陆以及回收流程，仍是实现快速复用的关键环节。

第三是在轨推进剂转移技术。对于美国国家航空航天局(NASA)未来载人登月任务以及火星任务而言，在轨推进剂转移被视为核心能力之一。虽然新一代“星舰”已经增加飞船对接装置和推进剂传输接口，但真正的在轨推进剂转移测试尚未展开。

多家美国航天媒体认为，此次试飞的核心价值在于验证首次亮相的新一代“星舰”架构及相关升级系统，而不仅仅是完成单项测试指标。尽管部分测试项目未能按计划完成，但飞船成功

完成载荷部署、再入飞行和溅落等关键任务。

“技术之道”网站报道认为，飞船在发动机发生故障后展现出容错能力，也是此次试飞的一项积极成果。“星舰”仍有进一步改进空间，但此次试飞为后续更高难度飞行测试以及未来实现轨道飞行和快速复用目标积累了经验。

“星舰”的前世今生

2016年，马斯克在一次国际空间技术活动上公布了SpaceX最强火箭的原型设计。到2017年，相关设计开始看起来更像“星舰”的最终样式，这个版本被命名为“大猎鹰”火箭。马斯克在2019年公布了真正意义上的“星舰”原型Mk1。

然而，在第一次液氮压力测试中，Mk1爆炸了。接下来，SpaceX相继推出了几艘“星舰”原型，它们都比Mk1更成功，能够在美国得克萨斯州博卡奇卡的SpaceX设施上空飞行几英里。但第一艘真正飞得足够高的原型是SN8，它飞到了7.8英里(约合13公里)的高度，然后关闭发动机，腹部朝向地面，证明它可以飞行。即便如此，SN8还是撞上了着陆平台并爆炸了。

2021年5月，在炸毁另外三艘原型后，SN15终于成功着陆。随后，SpaceX推进下一步计划，将“星舰”与超重型助推器组合在一起发射。只是，首飞又等了两年。2023年4月，“星舰”首次试飞时，火箭在第一、二级分离前爆炸。同年11月第2次试飞时，火箭第一、二级成功分离，但随后助推器和飞船先后爆炸。

2024年3月第3次试飞时，火箭第一、二级成功分离，但助推器在尝试着陆点火后意外解体，飞船再入大气层时失联。在同年6月的第4次试飞中，“星舰”基本上完成了所有预设项目测试：“超级重型”助推器成功实现可控软溅落，“星舰”飞船的襟翼虽然在返回地球期间出现吸热瓦片受损，但仍在印度洋溅落。尽管飞船溅落在印度洋指定区域后发生爆炸，但美媒报道称，SpaceX没有计划回收飞船。

2024年10月，“星舰”实施第5次试飞，首次验证了“筷子夹火箭”技术——通过发射塔的机械臂在半空中成功捕获回收火箭第一级助推器。这是此次试飞验证的最关键技术，被美国媒体称为“史无前例”的全新火箭回收方式，对于火箭飞行控制系统的精度和悬停能力要求极高，略有差池就可能导致火箭在发射塔上倾倒或爆炸。

“星舰”火箭总长约120米，直径约9米，由两部分组成，第一级是长约70米的“超级重型”助推器，第二级是“星舰”飞船，两级均设计为可重复使用。“星舰”的设计目标是将人和货物送至地球轨道、月球乃至火星。

“星舰”火箭的优势在于大运载能力和可复用性。“星舰”可将超过100吨载荷送入近地轨道，运力远强于SpaceX现有的“猎鹰9”和“猎鹰重型”火箭。“星舰”第一级“超级重型”助推器配备33台“猛禽”发动机，总推力高达约7500吨。

“猎鹰9”和“猎鹰重型”火箭第一级的回收方式，是先降落到海上的回收船，再由回收船运往陆地工厂检修和复用。而“星舰”第一级助推器的回收是直接由发射塔捕获，有助于提高检修和再次发射的效率，从而进一步降低发射成本。

此后，“星舰”又进行了多次试飞：2024年11月第6次试飞，火箭第一级助推器未按计划返回发射塔回收，而是溅落在墨西哥湾，第二级飞船首次在太空成功启动“猛禽”发动机；2025年1月和3月第7次和第8次试飞，火箭第一级助推器均成功实现发射塔“筷子夹火箭”回收，但第二级飞船都在上升期间快速解体；2025年5月第9次试飞，火箭第一级助推器发生爆炸，第二级飞船进入太空后失控；2025年8月和10月第10次和第11次试飞，火箭第一级和第二级均在预定海域溅落。

(资料来源：新华社、科技日报等)