

一二级分离：二级携卫星奔赴轨道

一级转入返回程序

滑行调姿

四片栅格舵展开
帮助箭体稳住姿态
修正飞行偏差

动力减速

发动机再次点火
“踩刹车”

气动减速

火箭依靠气动阻力
减速飞行

精准着陆

四个挂钩展开
箭体捕获

上升段程序转弯

起飞160秒左右

点火起飞

7月10日，长征十号乙运载火箭在海南商业航天发射场发射升空，将卫星顺利送入预定轨道，火箭一二级分离约6分钟后，一级级垂直返回，在海上回收平台通过网系捕获方式成功回收，发射及一级回收任务取得圆满成功，这也是全球首次实现运载火箭海上网系回收，标志着我国在重复使用火箭技术领域取得历史性突破。

我国运载火箭首次实现可控回收
火箭回收有多难？

相当于从百层高楼让笔落进地面笔筒

“箭找船、网找箭”

一张网如何稳稳接住火箭

当前世界主流火箭回收模式是垂直起降，火箭“长腿”站立。而长征十号乙另辟蹊径——火箭直接飞进一张海上大网里，被温柔地“抱住”。

火箭是如何从高空飞回、精准落在海上的一张网里的？承接海上回收任务的，是我国首艘网系回收海上平台——“领航者”号。它长144米、宽50米、满载排水量2.5万吨，具备动力定位能力，能在茫茫大海上成为一个稳定、精准的移动着陆场。

中国航天科技集团郝金杰介绍，火箭回收第一步，是火箭去找回收船，它会准确地控制在回收船的上空，开始进行回收段的下降工作；进入到回收船可控的范围内，再靠船上的网系去匹配火箭的动作。网是一个可动的机构，在下落回收的过程中，塔架上的激光雷达会实时测量火箭的位置和姿态，驱动牵引索，把火箭的动能和下落带来的势能全部吸收掉，让火箭相对静止地悬在网的中央，然后进行着陆，整个过程全部自动化。

难度高、意义大

好比让一支圆珠笔从百层高楼精准地落进地面上的笔筒里

长征十乙运载火箭发射升空后，一级级完成加速飞行与二级级分离，而后进入“返程之旅”——滑行调姿，像体操运动员在空中完成姿态调整；动力减速，发动机再次点火“踩刹车”；气动减速，火箭依靠气动阻力减速飞行；最后精准着陆，创新性采用全球首款“井”字形高强度缓冲阻拦网系，配合箭上挂索机构实现箭体捕获。从分离到回收，一级级在约6分钟内完成这套极限“空中体操”。这个过程有多难？一艘2.5万吨的船在海上晃着，一枚从100多公里高空飞回来的火箭在调整姿态，两者要在动态中完成精准对接。郝金杰打了一个比方，这就好比站在一个百层的高楼上，让一支圆珠笔精准地落在放在地面上的笔筒里，而且过程中，圆珠笔还得保持姿态和速度的可控。

本次任务成功意义重大，它验证了海上网系捕获回收等多项关键技术。郝金杰介绍，目前来看，如果重复使用的次数足够多，跟现在常规火箭相比，价格降幅能达到20%到30%。随着重复使用的进一步成熟、工程化应用的进一步可靠，未来降幅可能会达到50%，甚至60%。

长十乙的“神兵利器”

它安装了“小翅膀”和“小爪子”

长征十号乙是一型可回收火箭，一级火箭完成任务后，将降落在海上的回收船上，它不用着陆腿着陆，而是挂在回收船的“网”中，这套海上平台网系捕获回收技术，在国内是首次工程化应用。如何在海上接住这枚从天而降的火箭？

长征十号乙的级间段配备了非常典型的可重复使用火箭的设备——栅格舵，在回收过程中它就像一个方向盘一样，控制火箭的姿态。它和陆地重复使用火箭不同之处在于一级箭体的顶部的个人字形挂钩，在海上网系回收过程中，用这个挂钩来进行挂索，从而实现回收。

中国航天科技集团陈牧野介绍，这个“钩子”是长十甲系列，包括长十乙特有的。网系回收的时候，地面是通过这个柔性的索把箭体接住，这个索穿过钩子，最终卡在里面进行挂网。

为什么要回收火箭？

为了拿到更多进入星辰大海的入场券

为什么非要死磕火箭回收呢？首先，来算本经济账。目前往天上发卫星、建空间站，火箭是个妥妥的“一次性产品”，造价少的几千万，多的几个亿，根据火箭公司公开的资料，火箭的一级箭体成本大概占总成本的60%~70%不等。目前，Space X就靠回收火箭一级箭体，把送货上天的单价砍到了它之前的十分之一。中国商业航天想要在国际市场有足够的竞争力，就必须把“一次性耗材”变成“可循环使用零部件”。

截至2026年6月，美国的“星链”在轨运行卫星已突破1.24万颗，占全球在轨活跃卫星的60%以上。而中国部署的国网、千帆星座等低轨卫星组网规模也有2万多颗，但发射的卫星总量并不多，6月公开资料显示：千帆在轨卫星为200颗。根据计划，到2030年千帆需完成超万卫星组网。所以，别看我国现在有“一箭18星、20星”，其实还有几颗卫星的缺口，这就需要突破火箭回收和快速复用技术，以支撑高频次、大规模的“太空物流”。

火箭回收不是终点，而是中国商业航天又一个新的起点，谁掌握了低成本、高频次进入太空的能力，谁就有望拿到更多进入星辰大海的入场券！

网系回收有何优势？

揭秘“领航者”号接住火箭的核心设备

在长征十号乙运载火箭发射过程中，火箭一级稳稳落在火箭回收船——“领航者”号上，这艘船和普通的船有什么区别？它有哪些独特的本领？

“领航者”号是我国第一艘交付的火箭回收船，具有远控动力定位系统，可以在10~20公里之外，告诉它经纬度坐标，船就能定位到具体位置。塔架结构高67米，自重3500吨，加上里面的设备，加起来是5400吨。整个塔架结构靠四组大支座连接在船上，给船体设计带来非常大的挑战。

牵引索是火箭能被这张“网”接住的核心设备之一。“领航者”号的上横梁是整艘船的最高部分，它距离甲板大概60多米，相当于20多层楼高。外观像天井的这部分，就是火箭回收过程中的靶心。

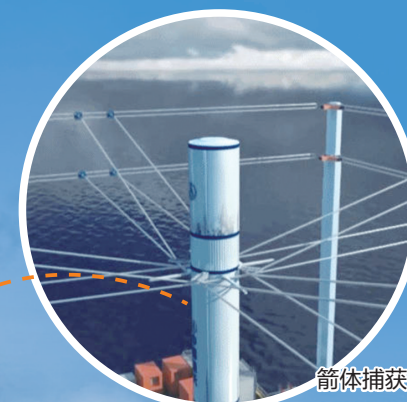
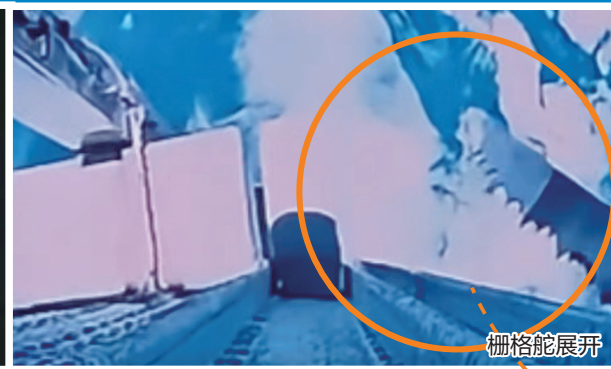
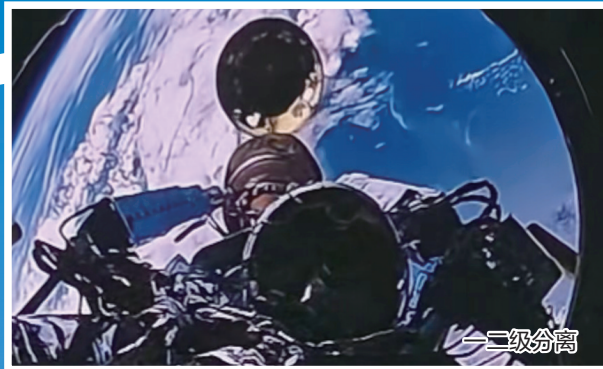
中国航天科技集团许学雷介绍，最上层是防火板，火箭回落时发动机点着火，为了防止火焰烧着设备，在上面盖了个能抗火焰冲击、烧蚀的“房子”。

防火板下面有阻拦索和缓冲索，还有用来拉着滑车跑的牵引索，总共是三种索。回收时的十字靶心相当于处在一个平面，长宽均约44米，1936平方米的面积在茫茫大海上是一个非常小的点。因此，在回收过程中要求火箭要落得准，这艘船也要接得稳。

中国航天科技集团许学雷介绍，网系回收属于垂直起降回收的一种，但独具特色。其原理类似于舰载机借助阻拦索系统在航母降落。不同的是，要回收垂直降落的火箭，需要在高空布设阻拦索，当火箭降至一定高度时，箭上挂钩挂在4根“井”字形绳索上，完成捕获回收。

许学雷表示，网系回收是一种新型箭地协同火箭回收模式。通过该系统与箭上回收装置高度协同，可提高回收过程中捕获、缓冲的成功率。相比当前主流回收方案，网系回收对火箭的着陆指标更为友好，这主要得益于火箭入网接驳时，大多动能、势能均被地面缓冲机构吸收，使得对箭上缓冲结构的设计要求大幅降低。针对火箭落点偏差，回收系统可以通过简单高效地调整地面设备尺寸规模，提高适应能力，这同时也能降低对火箭发动机推力调节能力的要求。同时，该系统通过一些指标系列化设计，可以适应不同规模的火箭回收。

(本版内容综合央视新闻客户端、新华社、中国航天科技集团)



长征十号乙运载火箭发射升空。(记者李昊摄)

火箭一级顶部的挂钩
(以上为视频截图)

从分离到回收
约6分钟内完成



这是海上回收平台通过网系捕获方式成功回收长征十号乙运载火箭一级。(新华社发)