

# 揭秘天舟一号“太空加油”技术细节

# 天舟问天，飞控人再踏新征程

北京航天飞行控制中心天舟一号飞行任务飞控侧记

从文昌到北京，同一个飞天梦想，同一个动人时刻。

2017年4月20日19时19分，北京航天飞行控制中心第一指挥大厅，一面巨幅显示屏实时显示着海南文昌发射场的实况：天舟一号货运飞船发射进入30分钟准备。

飞控大厅内两侧，“全力以赴誓夺圆满成功，严谨细致确保万无一失”的标语分外醒目，时刻提醒操作岗位人员保持清醒，以严谨细致的作风完成好任务。

“各号注意，我是北京！”伴随着北京中心飞控大厅内总调度贺勇一声响亮的口令，天舟一号牵动着现场所有人的心。

“1分钟准备！”  
“……5、4、3、2、1。”

“点火！”  
“起飞！”

19时41分，飞控大厅的屏幕上，长征七号遥二火箭烈焰喷涌，腾空而起——天舟一号和长征七号，这对首次搭档的中国航天新锐，共同踏上了赴会天宫二之旅。

此时此刻，飞控大厅内所有人的目光都聚焦在大屏幕上的实时火箭遥测画面，各种代码数据不断更新，红绿相间的各种信号不断闪烁，测发流程、发射时刻、北京时间、飞行时间不断跳跃……

声传天地，号令八方。第一次担任总调度的贺勇，左手紧握着耳麦对讲机，右手操作着黑色调度单机上的各方向系统标识，双眼紧紧盯着眼前的电脑屏幕，桌面上摆放着彩色水笔勾画的重要事项和各类文件，专注而从容。

“长江七号跟踪正常，北京飞行正常。”……以往各类数据都是由陆海天基测控站共同捕获，而这一次只有“长江七号”赴太平洋某海域单船执行海上测控任务。测控站数据信息的唯一性，也给北京中心的科技人员增加了新的考验。

“测控站的单一性不仅考验我们对航天器下行数据判断的精准，更重要的是精准之外的信心与经验。”姜哲哲所在的遥测岗位就是为航天器监视、计算和判断，将筛选处理的各类数据及时发送到各个岗位。就像是生活中为医生诊断病情提供的理论数据，一旦出现异常故障，她需要及时为他人提供诊断。

“助推器分离！”  
“二级分离！”  
“抛整流罩！”

伴随着此起彼伏的报告声，火箭飞出大气层，飞船迎来属于它的重要时刻！

负责遥控发令岗位的于天一，一边拿手中的文件一行行复核代码，一边盯着电脑屏幕显示任务状态监视的页面。火箭起飞时，他刚刚发送了第一条确保推进系统状态确认的“推进电磁阀加电指令”指令，而这也是中心首次在火箭发射阶段就要提前实施指令发送的关键一环。

坐在上行控制岗位的两名年轻人朱峰登和张辉，他们的任务是根据火箭起飞时间，负责遥控发令序列的监控和实时修正序列的正确性。络绎不绝的电话和耳麦里需要及时应答的操作步骤，他们都表现得游刃有余。

19时51分，当“船舶分离！”的口令下达时，北京飞控中心迎来了它的重要时刻！位于飞控大厅一端之隅的轨道机房里，轨道计算岗位的主任设计师张宇正带领他的团队利用有限的数据库精确计算出飞船的初始轨道参数。而这组参数，也将是判断飞船是否发射成功的唯一依据。

与此同时，于天一正在准备发送帆板解锁指令链，为2分钟后的帆板展开做出正确判断。19时53分，帆板展开正常！于天一发出的指令得到了响应——天舟一号飞船左右帆板展开。

几秒钟后，张宇给出了精确的答案，北京总调度的口令声再次在大厅响起：“天舟一号飞船进入预定轨道！”飞控大厅内顿时响起了热烈的掌声和欢呼声。

天舟一号发射获得圆满成功。天舟问天，飞控人再踏新征程！  
(王玉山、许诺、边晨)  
据新华社北京4月20日电

## 飞控中心专家解读“飞控天舟”六难点

作为天舟一号飞行任务的飞控“神经中枢”，北京飞控中心圆满完成多次载人航天工程任务、探月工程任务。这次，面对全新的天舟一号货运飞船，北京飞控中心副总工程师孙军表示，中心在天舟一号飞行任务中主要面临六个难点——

一是任务状态新，货运飞船瞄准空间站任务功能设计，新状态新技术新设备要求飞控工作从“新”开始。

二是在轨时间长，天舟一号至少在轨飞行5个月，这是目前中心执行载人航天任务时间跨度最大的一次，对飞控系统稳定性可靠性提出了更高要求。

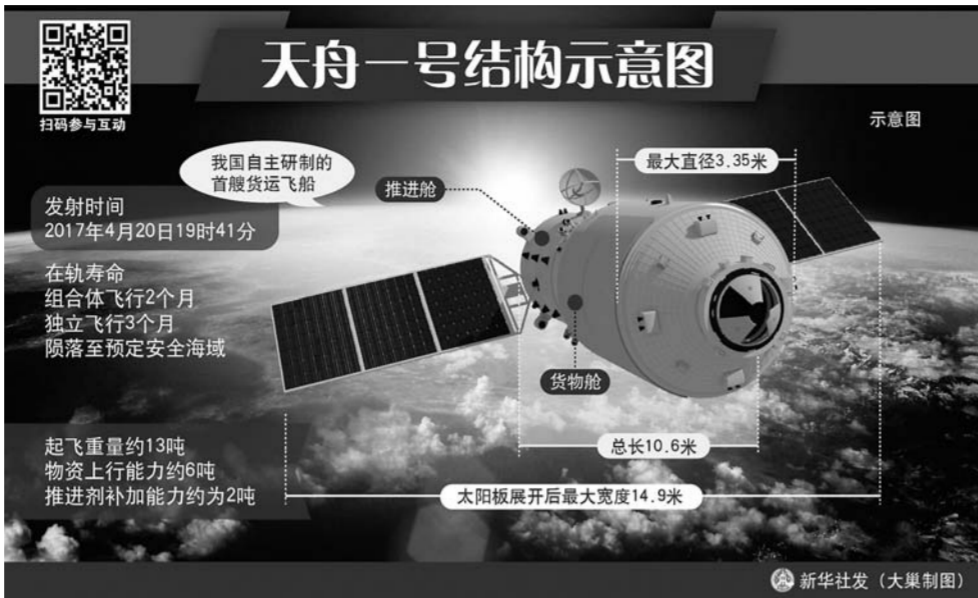
三是交会模式复杂，交会对接轨道调整为393公里后，增加了发射窗口计算和远距离导引段的不确定性因素，对飞控系统的动态适应性提出了更高要求。

四是轨道控制频繁，任务期间中心要先后实施十几次轨道控制，而且控制要求多样，实施难度非常大。

五是推进剂在轨补充实施周期长、风险高。任务中，中心将控制天舟实施我国首次“太空加油”，持续5天时间，步骤繁多，风险很大。

六是快速交会对接控制精度要求高，首次实施快速交会对接，天地配合复杂，控制约束多、精度要求高。孙军表示，全体飞控人经过半年多艰苦卓绝的努力，已经攻克了动态交会对接模式设计、共轨飞行轨道控制等多项关键技术，准备了科学完备的飞控实施方案及应急控制实施方案，开展了上百次正常和应急过程联调演练，有信心有能力完成测控任务。

(王玉山、姜宁、郝登峰)据新华社北京4月20日电



▲天舟一号这位“快递小哥”还要兼职“太空加油”。

“可控阻尼”的控制思路，研制了全新的可控阻尼器。通过大量的仿真分析和无数次地面环境试验，验证了对接机构能适应未来空间站建造阶段8-180吨的各种吨位、各种方式对接，包括偏心对接的需要。

与此相适应，对接机构的控制器和驱动器也进行了相应升级，承担整个交会对接以及舱体分离过程中，对接机构的控制和驱动功能，是交会对接任务的控制中心。由于对接机构增加了液路浮动连接器及补加管路的安装接口，不仅实现两个飞行器的信号对接，同时也实现轨补加的通道对接，对接精度要比以往提高一倍。

天舟一号完成与天宫二号交会对接，进入组合体飞行模式后，安装在天宫二号上的“补加驱动器”，还将在六个月的太空实验室任务中，开展补加功能的试验验证工作。这将

是我国第一次在轨验证和实施空间飞行器的燃料加注和回收技术。

在组合体飞行过程中，由上海航天研制的“推进控制驱动器”，将执行控制系统指令，控制所有发动机和管路阀门，对组合体进行姿态和轨道控制。是推进系统新的控制中心，对任务成败起关键作用。

据上海航天技术研究院相关负责人王有波介绍，为了确保天舟一号与天宫二号安全准确地实现交会对接、分离和太空加油，对接机构控制器和驱动器、推进控制驱动器、补加驱动器关键单机，均从功能上作了多重备份。在电路设计和软件构架，加入了多重的冗余措施，应用了三机冗余、冷热备份、在轨自主诊断切换、软件在轨单粒子防护等多项技术，几乎用尽了所能想到的所有手段，以确保万无一失。

# 天舟一号跻身全球货运飞船风云榜

种货物；另一个是俄罗斯“进步 MS-05”货运飞船为站内宇航员送来的物资，它全长约7米，最大直径2.7米，最多可运送约2.6吨各种货物。此外，世界上现役的主要货运飞船还有欧洲自动货运飞船，全长约10米，最大直径约4.5米，运载能力可达7吨；大小相似的日本“鹤”货运飞船，可运送约6吨的货物与燃料；最多可携带2.7吨货物的美国“天鹅座”货运飞船。

由中国空间技术研究院研制的货运飞船则采用两舱构型，由货物舱和推进舱组成，总长10.6米，舱体最大直径3.35米，物资上行能力

约6吨，起飞重量约13吨，是我国迄今所发射过最大、最重的航天器。与其他货运飞船对比，天舟一号在功能、性能以及运载能力上都处于国际先进水平。

美国行星学会太空专家贾森·戴维斯介绍说，俄罗斯的“进步”飞船无法给国际空间站自动加油，只有在空间站上工作人员的协助下才能“加油”；美国的“天鹅座”飞船和“龙”飞船都不具备“加油”能力。相比之下，“天舟一号令人印象深刻，因为它加油过程完全由地面控制”，他说。

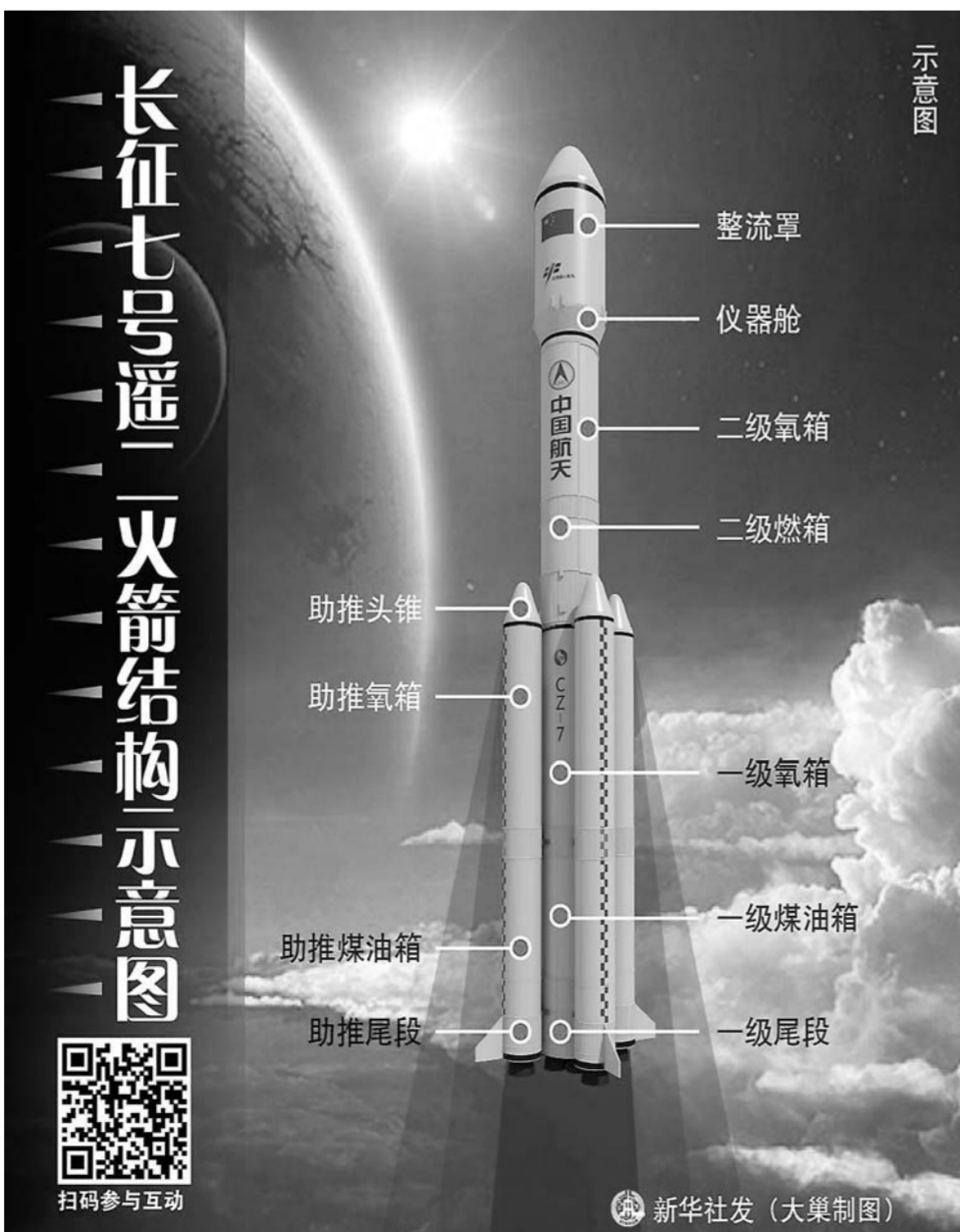
但天舟一号只是个开始。据专家介绍，天

舟货运飞船采用型谱化方案，设计了全密封货物舱、半密封货物舱、全开放货物舱和推进舱四个模块，形成全密封、半密封和全开放货运飞船3种型谱，未来能满足空间站不同货物运输需求。

按计划，中国未来将用长征五号大推力运载火箭发射空间站核心舱。到2020年，将建成由核心舱、实验舱、节点舱、载人飞船和货运飞船组成的总重80吨的空间站。中国航天科技集团董事长雷凡培曾表示，到2024年国际空间站退役时，中国可能成为全球唯一拥有空间站的国家。

# “零窗口” 载荷重 细节改进75处

长征七号火箭总指挥详解遥二火箭发射任务特点



▲长征七号遥二火箭结构示意图

新华社北京4月20日电(记者冯玉靖)中国自主研发的首个货运飞船天舟一号20日在中国文昌航天发射场成功发射，这意味着中国向2022年前后建成空间站的目标又迈进了一大步，承载着为中国航天“加油”使命的天舟一号由此跻身全球货运飞船的风云榜。美国航天专家认为，与世界各国现役货运飞船对比，天舟一号的“太空加油”能力尤其令人印象深刻。

今年年初国际空间站迎来了两批“快递”：一个是美国太空探索技术公司的“龙”货运飞船送来的科学实验设备和补给，该飞船全长约6米，最大直径约3.6米，最多可运送约6吨的各

新华社海南文昌4月20日电(记者王经国、曾涛、梅常伟)搭载天舟一号货运飞船的长征七号遥二火箭发射成功。中国航天科技集团第一研究院长征七号火箭总指挥王小军近日接受新华社记者采访时，就火箭发射“零窗口”、载荷重量、细节改进等情况进行了详细介绍。

发射时间误差控制在1秒内

“此次发射要确保天舟一号货运飞船和已经在轨飞行的天宫二号空间实验室，在同一个轨道平面内进行交会对接，这就要求天舟一号在送入轨道后要满足相关指标，火箭必须在某个时间点准时起飞。”王小军如此解释发射“零窗口”。

在我国以往大部分航天发射任务中，发射窗口都是在某一个时间段内，而在这次任务中，“零窗口”要求发射误差在1秒钟以内。王小军坦言，这是一个非常苛刻的要求，尤其是长征七号火箭作为“低温火箭”，发射前准备的流程复杂、动作繁多。

长征七号火箭是按照“零窗口”标准进行研发的，加注、预冷、增压等射前程序一环扣一环。“离发射越近，越不能出现问题。”王小军说，一旦开始加注推进剂，留给它们处理突发问题的时间就更少了。

为了提高发射的可靠性，尽可能降低各类风险，长征七号遥二火箭团队对可能出现的问题进行了充分的预估，并制定了相应的预案。王小军介绍，若出现突发情况，发射不能准时，火箭可以在空中按照程序自动修正飞行，保证将天舟一号准时送入预定轨道。“但是，这个误差时间也只能在1分钟以内，而且空中自动修正飞行会损耗火箭的部分运载能力。”

王小军表示，这次任务有不小的压力，但是他和他的团队更有信心。

运送载荷为我国目前最重

王小军说，长征七号遥二火箭此次发射