

# 2016 年的中国载人航天飞行任务综述

**摘要：**2016 年，中国载人航天完成了长征七号运载火箭首飞、天宫二号空间实验室和神舟十一号载人飞行 3 次任务，实现了新一代中型运载火箭首飞、海南发射场首次执行任务、航天员中期驻留、载人天地往返运输系统空间站轨道首次应用性飞行等重大任务目标，标志着空间实验室阶段载人飞行任务全面告捷，取得了具有重要意义成果。

## 一、任务目标和总体规划

### (一) 任务目标

载人航天工程第二步第二阶段即空间实验室任务阶段的主要任务是：突破和掌握货物运输和补给、航天员中期驻留、地面长时间任务支持和保障等技术，开展空间科学实验与技术试验，为空间站建造和运营积累经验。

(1) 建立空间实验室工程系统，验证载人天地往返运输系统、货物运输系统、地面相关系统的任务支持和保障能力，验证空间站组装建造和运营相关技术。

(2) 研制长征七号运载火箭，完成首飞试验及天舟一号货运飞船发射任务，考核运载火箭的功能、性能。

(3) 研制天舟一号货运飞船，完成货运飞船首次飞行任务，考核货运飞船的功能、性能。

(4) 发射天宫二号空间实验室，接受载人飞船和货运飞船访问。突破和掌握推进剂补加、在轨维修、航天员中期驻留等空间站建造和运营关键技术。

(5) 发射神舟十一号载人飞船，考核验证空间站阶段的交会对接和载人飞船返回技术，验证较长时间载人飞行乘员生活、健康和工作保障相关技术。

(6) 开展航天医学、空间应用、航天技术及特殊技术等多领域的应用及试(实)验。

(7) 考核工程相关系统执行空间实验室任务的功能、性能，以及系统间的匹配性和协调性。

## (二) 任务总体规划

首先，长征七号遥一火箭(CZ-7 Y1)在中国文昌航天发射场首飞试验，成功后，由长征二号 F T2 火箭(CZ-2F T2)在酒泉卫星发射中心载人航天发射场发射天宫二号空间实验室(TG-2)。之后，由长征二号 F 遥十一火箭(CZ-2F Y11)，在酒泉卫星发射中心载人航天发射场，发射神舟十一号载人飞船(SZ-11)。神舟十一号载人飞船与天宫二号空间实验室在高度约 393 千米的近圆轨道交会对接，2 名男航天员访问空间实验室，在轨驻留约 30 天，开展有人参与的空间科学和应用试(实)验、航天医学实验和在轨维修技术试验等，验证较长时间载人飞行的乘员生活、健康和工作保障相关技术。这 3 次任务均在 2016 年完成。

神舟十一号飞行任务结束后，计划于 2017 年上半年，由长征七号遥二火箭(CZ-7 Y2)，在中国文昌航天发射场，发射天舟一号货运飞船(TZ-1)，验证货物运输系统相关技术，包括推进剂补加、绕飞交会对接、货运飞船控制组合体、快速交会对接以及长周期交会对接等，并开展相关应用试验。

## 二、任务基本情况

### (一) 长征七号运载火箭首飞任务

#### 1. 任务方案和主要技术状态

CZ-7 Y1 火箭为捆绑式二级液体运载火箭，采用液氧和煤油推进剂。火箭全长约 53.1 米，起飞质量约 597 吨，运载能力不小于 13500 千克。芯一级直径 3.35 米，捆绑 4 枚直径 2.25 米助推器，整流罩直径 4.20 米。CZ-7 火箭由箭体结构、发动机及增压输送、控制及测量、总控网及测发控、地面发射支持系统组成。

首飞搭载载荷组合体由远征 1A 上面级、多用途飞船缩比返回舱模型、空间碎片主动清理飞行器、在轨加注实验装置和翱翔之星立方星等 6 类 7 个载荷组成，起飞质量 12500 千克。组合体入轨后，与 CZ-7 火箭分离，由远征 1A 上面级控制，先后分离配重支架、遨龙一号空间碎片主动清理飞行器及支架和多用途飞船缩比返回舱模型等，在此期间，远征 1A 上面级进行多次点火、滑行和姿态调整。

发射场为文昌航天发射中心，包括技术区、发射区及配套设施设备。发射支持系统采用新型活动发射平台完成火箭和有效载荷的垂直运输，地面设备放置在发射平台前置设备间，通过脐带塔摆杆和箭体连接实现转场过程气、液、电等接口不断开，进入发射区后可实现短期内快速发射。多用途飞船缩比返回舱返回落点位于载人航天副着陆场——东风场区附近。

#### 2. 任务特点

##### 1) 新的运载火箭

长征七号运载火箭是中国新一代中型运载火箭的基本构型，在充分继承长征二号 F 等现役运载火箭成熟技术的基础上，按照产品化、系列化、通用化思想，从总体设计到分系统研制、从结

构材料到单机产品、从地面设备到动力系统，都采用大量新技术、新材料、新工艺，特别是动力系统采用中国新研制的液氧煤油火箭发动机，使用无毒无污染的推进剂，不但更加安全、可靠和绿色环保，而且大大提高了运载能力。长征七号运载火箭近地轨道运载能力 13.5 吨，太阳同步轨道 5.5 吨，使中国运载火箭的运载能力在现有基础上有了较大提升。其技术特点主要体现在：采用全液氧煤油的绿色新动力、采用多捆绑点新布局、适应文昌航天发射中心新环境、采用三维设计/制造技术的新结构、按照载人航天标准新体制进行全新设计，并采用新三垂测发模式等 6 个方面。

### 2) 新的发射场

海南文昌航天发射中心，于 2007 年 8 月启动建设，是生态、环保、开放的航天发射场，主要用于执行大推力运载火箭和新型航天器测试、发射任务。2014 年 10 月，文昌航天发射场全面建成，2016 年的长征七号首飞任务是建成后首次执行发射任务，发射场地理环境具有高湿度、高盐雾、气象条件恶劣等特点，与中国其他航天发射场相比，对运载火箭和有效载荷的测试发射均提出了更严苛的要求。因此，长征七号首飞任务将全面考核发射场技术区、发射区设施，推进剂加注系统，测发指挥监控系统，技术勤务保障系统的功能和性能，及运载火箭和有效载荷相关设计及测发方式在新发射场的适应性等。

### 3) 新的着陆搜索要求

CZ-7 火箭首次飞行任务是东风着陆场(载人航天工程副着陆场)首次实战任务，为确保返回舱搜索回收快速、高效，着陆场配置了 7 台雷达、8 台光学、1 套 USB 设备进行多用途飞船缩比返回舱模型返回跟踪；返回过程中采用直升机和无人机光学吊舱拍摄回传实况影像；积极开展协调，高效组织，构建了一套多空域空地协同的联合信息支持体系，形成了多部门联合的搜索回收信息支持保障能力。特别是针对返回舱理论瞄准点位于巴丹吉林

沙漠腹地(载人航天工程首次)的实际,为实现具备沙漠搜救能力的目标,开展了沙漠驾驶训练,积累了相关经验;同时,研制了沙漠吊运一体车、单轴拖车、滑沙撬和简易门吊等,具备在沙漠中处置、起吊和运输的能力;开展了搜救队员直升机滑降训练;试制了沙漠直升机简易停机坪等。

#### 4) 新的搭载载荷

长征七号运载火箭主要搭载载荷包括远征 1A 上面级、多用途飞船缩比返回舱模型等。远征 1A 上面级本身也是一种航天器,由长征七号运载火箭发射进入地球轨道,具有独立自主飞行、多次启动、长时间在轨等特点,能进一步将有效载荷从某一轨道送入另外预定轨道或空间位置,将为中国未来的月球、火星等深空探测任务,轨道转移、空间碎片清理等轨道服务奠定工程应用基础,对于中国空间运输与应用系统的发展具有里程碑的意义。多用途飞船缩比返回舱模型采用返回舱加过渡段的两舱构型,外形为全新的倒锥形,其主要任务是获取返回舱飞行的气动力和气动热数据,验证可拆卸防热结构设计、新型轻量化金属材料制造等关键技术,为后续新型载人飞船的论证设计和关键技术攻关进行积极探索。

### 3. 实施情况

2016 年 5 月 12 日,首飞搭载载荷开始按计划分批进入海南文昌发射场,5 月 16 日,CZ-7 Y1 火箭运抵文昌航天发射中心,依据测试发射流程规定和计划安排,完成了搭载载荷测试交付、箭体垂直总装测试、分系统测试、第一次总检查、第二次总检查、整流罩合罩、搭载载荷-整流罩组合体转运、火箭与搭载载荷-整流罩组合体对接、第三次总检查、第四次总检查、垂直转运、发射区测试、射前准备、运载火箭加注等工作,发射场流程总时间为 42 天。

2016 年 6 月 25 日 20:00,CZ-7 Y1 运载火箭载着远征 1A

上面级和多用途飞船缩比返回舱等搭载载荷从文昌航天发射中心点火起飞，飞行 596.131 秒后，搭载载荷组合体与火箭分离，准确入轨。在轨飞行 13 圈后，多用途飞船缩比返回舱于 6 月 26 日 15 时 17 分 38 秒与远征 1A 上面级分离，弹道式返回并着陆于载人航天副着陆场预定区域，结构完好。此后，远征 1A 上面级继续开展拓展试验，并于 2016 年 6 月 27 日 15 时 47 分，受控返回大气层烧毁，坠入太平洋海域。其他搭载载荷按计划与上面级逐一分离，圆满完成了各项试验，达到了预期目标。新一代中型运载火箭首次飞行试验任务取得圆满成功。

## (二) 天宫二号与神舟十一号载人飞行任务

### 1. 任务方案和主要技术状态

天宫二号空间实验室是在天宫一号备份目标飞行器的基础上改进研制而成，由实验舱和资源舱组成，全长约 10.41 米，舱体最大直径 3.35 米，太阳翼展宽约 18.41 米，在轨寿命不小于 2 年；密封舱提供航天员驻留场所，适应 2~3 名航天员驻留，配置可储存消耗品，具有支持航天员驻留不小于 60 人天的能力（在神舟十一号配合下）；实验舱前端框安装被动式对接机构，舱外安装交会支持设备；随器安装地球科学观测及应用、空间科学实验及探测、应用新技术等方面的 14 项应用载荷，失重心血管研究等航天医学实验设备，配备在轨维修技术验证装置、机械臂操作终端在轨维修试验设备。相对于天宫一号，天宫二号推进分系统增加配置压气机、浮动断接器被动端等设备，并对原推进分系统管路进行适应性改造，用于推进剂补加技术验证。

神舟十一号载人飞船，由轨道舱、返回舱和推进舱组成，全长 9.00 米，舱段最大直径 2.80 米，太阳翼展宽 16.91 米，安装配置交会测量相关设备、主动式对接机构，具备自动和手动交会对接与分离、避撞以及对接后信息和供电并网功能；配置独立飞行期间航天食品、饮水等消耗品；携带组合体驻留期间航天食品、

饮水等消耗品；配置航天员生活、工作用品和救生装备。

任务所用运载火箭、发射场、测控通信及着陆场与交会对接任务时基本保持一致。

天宫二号入轨后，变轨进入独立运行轨道，并进行在轨测试。神舟十一号发射前，天宫二号进入对接轨道。神舟十一号发射后，天宫二号配合神舟十一号完成交会对接，形成组合体，航天员进驻天宫二号。组合体在轨飞行 30 天，期间开展航天医学实验、在轨维修技术试验、空间科学实验，以及其他在轨试(实)验项目，并择机释放空间应用系统的伴随卫星。组合体运行结束，神舟十一号撤离返回后，天宫二号变轨进入独立运行轨道，等待天舟一号货运飞船。

### 2. 任务特点

#### 1) 飞行时间更长

天宫二号与神舟十一号载人飞行任务是中国持续时间最长的一次载人飞行任务，总飞行时间从神舟十号的 15 天短期飞行增加到 33 天中期飞行，由此，对飞行乘组在轨驻留健康、生活和工作等方面的保障提出了更大挑战和更高要求。一是健康保障要求更高，航天医学研究结果表明，中期飞行人的心血管系统、肌肉和骨骼系统等的失重生理效应将会凸显，极易出现睡眠障碍、疲劳、感染、胃肠道病症及心血管功能调节等不适问题，应急医学问题概率也会增高，也容易出现情绪稳定性降低等心理反应，需基于以往任务的健康保障基础，重点加强医监模式优化、增加生理功能检测与评价、研究新的病症处置预案、加强失重防护锻炼、完善日膳食营养素供给量标准等。二是生活保障要求更高，飞行时间延长对生活的规律性、饮食的感官接受性、生活居住环境的适人性等要求更严更高，必须在作息制度、饮食饮水、个人卫生清洁、个人服装、睡眠、废弃物收集处理、隐私保护等方面进行统筹优化设计。三是工作保障要求更高，航天员在轨飞行时间延长，

将会打破以往时间和工作内容固定的飞程序设计模式，降低其对航天员的约束性和依赖性，因此根据任务特点，必须优化飞程序设计模式和飞行计划管理模式，建立灵活的计划调整机制，以充分发挥航天员的主观能动性。

## 2) 轨道高度更高

与以往任务相比，一是神舟十一号载人飞行任务交会对接及返回轨道高度由交会对接任务时的 343 千米轨道高度调整至 393 千米空间站运行轨道高度，且增加了伴随卫星释放、近距离飞越观测组合体及驻留保持等新的任务，由此带来的关键轨道控制实施，如远距离导引段密集轨道控制、载人飞船 1 圈内连续实施两次返回轨道维持控制，以及 3 个航天器在轨高精度协同控制和组合体连续偏航新模式等，大大增加了相关控制精度要求，提升了短弧段定轨预报、飞控策略制定、任务分析决策等的实施难度。二是神舟十一号载人飞船为满足轨道高度变化的新要求，调整了轨道控制策略和飞程序；为进一步提高可靠性，新配备了宽波束中继通信终端设备，用于提升飞船姿态快速变化时的天地通信保障能力，从而提高航天员的安全性和航天器的可靠性；为满足空间站交会测量设备长寿命使用要求，也对交会测量敏感设备进行了相应的升级换代。

## 3) 实(试)验项目更多

天宫二号空间实验室开展了 11 项航天器平台技术试验、16 项航天医学实验、14 项空间科学及应用实验和 4 项太空公益科普活动，涉及交会对接有关设备在轨测试、航天器技术试验、航天员在轨维修试验、载人环境研究，人的健康研究、人的行为能力研究、人因工程技术研究、人的保障技术验证，空间科学和应用技术(含空间科学实验及探测、地球科学观测及应用、应用新技术等)，航天员操作程序演练，搭载实验、科普活动等共 14 大类 45 项实(试)验项目，较天宫一号大幅增加。其中，典型的包括：



代表国际领先水平的项目，如空间冷原子钟实验、伽马暴偏振探测实验、宽波段成像光谱仪实验等；国际合作航天医学项目，如心血管功能研究；中国首次开展的空间试验项目，如在轨维修人机工效及人因工程技术研究、在轨植物栽培关键技术研究等；此外，还释放了伴随卫星，首次获取了伴随卫星飞越观测组合体高清图像。可以说，空间实验室是迄今中国在轨试验项目最多、门类最全、技术水平最高的载人航天器。

### 3. 实施情况

天宫二号、CZ-2F T2 火箭，神舟十一号载人飞船、CZ-2F Y11 火箭分别于 2016 年 7 月 9 日、8 月 7 日和 8 月 6 日、8 月 13 日进到发射场，依据相应的测试发射流程的规定和计划安排开展了总装测试、加注扣罩、器(船)箭对接、组合体垂直转运，及发射区测试、射前准备、运载火箭加注等工作，天宫二号发射场流程总时间为 64 天，神舟十一号为 66 天。

2016 年 9 月 15 日 22 时 04 分 12 秒，天宫二号空间实验室发射升空，约 575 秒后准确进入预定轨道。在第 4、13 圈进行升轨控制后，进入了自主飞行轨道。9 月 16 日至 9 月 22 日，正常完成了平台及有效载荷在轨测试；9 月 25 日，进行轨道维持后，进入平均轨道高度 393 千米交会对接轨道；10 月 12 日，完成了天宫二号平台最终检查，10 月 16 日，转倒飞姿态，确认满足载人交会对接条件，等待神舟十一号访问。

10 月 17 日 07 时 30 分 31 秒，神舟十一号飞船发射升空，约 576 秒后准确进入预定轨道。

地面控制神舟十一号分别在第 4、13、18、23、26 圈顺利实施了 5 次轨道控制，于 10 月 19 日 01 时 11 分，控制飞船顺利转入自主控制。10 月 19 日 03 时 23 分，经过寻的、接近、平移靠拢 3 个飞行阶段，神舟十一号与天宫二号完成对接环接触捕获；03 时 30 分，对接锁锁紧完成，交会对接取得圆满成功。06 时 24 分，

航天员打开实验舱舱门，进入天宫二号空间实验室。

10月19日至11月17日，航天员在天宫二号空间实验室驻留30天，完成了人机协同在轨维修技术试验、航天员在轨维修、航天医学实验、太空养蚕、空间材料样品制备、高等植物栽培等在轨实(试)验。期间，地面控制组合体完成了两次轨道维持和飞船在轨平台巡检，完成了中继宽波束链路余量摸底、太阳帆板环境适应技术验证等在轨试验。

10月23日07时31分，地面控制成功释放伴随卫星，经过1次试喷、7次轨道控制，于10月30日，控制伴随卫星飞越组合体上方，最近距离1.4千米，获取了释放及飞越过程的红外和可见光图像，首次获取了组合体高清图像。之后，控制伴随卫星经过5次轨道控制，实现组合体后方约40千米处驻留，进行了4次驻留点保持控制，开展了相关试验。11月12日，完成了伴随卫星远离组合体轨道控制。

11月17日10时40分，航天员关闭空间实验室实验舱舱门；12时40分，神舟十一号与天宫二号完成分离，之后，采用自动控制方式撤离至120米停泊点停留21分后，飞船正常撤离。

11月18日13时10分至15分，神舟十一号依次进行了返回调姿、轨道舱分离和返回制动；13时34分，推进舱分离；13时59分，飞船返回舱安全着陆于载人航天主着陆场区，航天员状态良好。神舟十一号载人飞行任务取得圆满成功。

### 三、取得的成果

长征七号运载火箭首飞是中国空间实验室阶段4次飞行任务的开局之战，天宫二号与神舟十一号载人飞行任务是改进型神舟载人飞船和改进型长征二号F运载火箭组成的载人天地往返运输系统空间站轨道的首次应用性飞行，任务的圆满成功不仅为空间实验室任务圆满完成打下了坚实基础，也为中国空间站建造和运

营奠定了重要基础。

### **(一) 中国进入空间能力大幅提升**

CZ-7 运载火箭作为中国新一代无毒、无污染中型运载火箭，研制中始终瞄准世界先进水平，贯穿创新理念，采用了新动力、新布局、新结构、新材料、新工艺、新体制，产品设计、生产过程实现了全数字化，大幅提升了运载能力、技术水平、生产效率、产品质量和环境适应性。飞行结果表明，CZ-7 运载火箭设计方案正确，功能性能满足指标要求，标志着中国突破和掌握了新一代中型运载火箭关键技术，使得中国火箭近地轨道运载能力从不到 9 吨提升到 13.5 吨，实现了中国运载火箭技术发展新的突破，为空间站建造和运营奠定了坚实基础。

### **(二) 新建发射场全面形成任务能力**

中国文昌航天发射场作为新建的生态、环保、开放型新一代航天发射场，具备测发、测控、通信、气象和勤务保障等五大功能，能够满足大推力运载火箭和大型航天器测试发射任务需要，组织指挥一体化、操作控制远程化、信息管理网络化、技术保障职能化水平全面提高，达到了国际先进水平。经 CZ-7 首次飞行任务检验，发射场体系功能完善、设施设备可靠、保障能力健全、组织指挥顺畅，全面形成了任务能力，进一步优化了中国航天发射场总体布局，为实施空间站阶段发射任务积累了经验。

### **(三) 成功运营首个空间实验室**

天宫二号是中国首个真正意义上的空间实验室，天宫二号与神舟十一号载人飞行任务的圆满成功，对 393 千米轨道高度交会对接和返回技术，航天员中期驻留健康、生活和工作保障等关键技术，在轨维修、太空跑台等空间站先期技术，大型组合体姿轨控、环热控、信息、能源等控制管理技术进行了全面验证，同时开展了较大规模空间科学与应用实(试)验，取得了丰硕的创新性、前瞻性应用成果和丰富的飞行数据。可以说，这次飞行任务

使我们对载人中长期太空飞行相关的生命保障、组合体运行管理、较大规模空间应用实(试)验组织实施,以及在轨操作、维修与建造等重要问题,有了更加深入的认识和理解,为空间站建造和运营积累了宝贵经验。

#### **(四) 验证和掌握多项关键技术**

一是本次任务是改进型神舟载人飞船和改进型长征二号 F 运载火箭组成的载人天地往返运输系统第二次应用性飞行,通过飞行任务,不仅进一步考核了火箭、飞船、发射场、测控等相关系统的功能、性能和系统间协调性匹配性,检验了测控通信、着陆场等地面系统支持中长期载人飞行任务的综合保障能力,而且验证了国产原材料元器件应用、交会测量设备改进等措施的有效性,特别是验证了空间站运行轨道的交会对接、组合体运行、载人飞船返回等相关关键技术。二是突破和掌握了航天员乘组中期驻留健康、生活和工作保障技术,飞行乘组在轨飞行 33 天,身心状态良好,各项操作精准到位,圆满完成了飞行器照料与生活照料、健康维护、在轨实(试)验及科普展示活动等任务,表明我们突破和掌握了航天员中期驻留的健康保障、生活保障和工作保障技术,获取了中期驻留飞行乘组的身体状况、心理状态、能量摄入量、饮水量、营养代谢等各类数据。这些都进一步打牢了空间站建造和运营的技术基础。

#### **(五) 在轨应用及实(试)验成果丰硕**

此次任务是历次载人航天任务中空间科学实验和应用技术试验项目最多的一次,共安排了 40 余项,目前已取得了丰富的实验数据和重要初步成果。其中,在空间科学与应用技术试验领域,空间冷原子钟经初步测试,频率稳定度指标已达  $1.7 \times 10^{-15}$ ,为当前国际最高水平;伽马暴偏振探测器探测到多个伽马射线暴发现象,并首次在空间观测到太阳暴和蟹状星云脉冲星的脉冲轮廓;伴随卫星释放后,通过精准控制完成了飞越观测组合体拍摄任务,

并配合开展了相关试验。在航天医学实验领域，首次在轨验证了长期载人驻留健康保障关键技术和新技术，开展的先进超声医学影像、脑机交互技术在轨适用性验证实验、植物栽培技术等实验项目取得了预期成果。在空间站先期技术验证领域，开展了太空跑台束缚加载、人机协同在轨维修等多项试验，首次实现了真正意义上的系统级在轨维修和流体回路维修，首次实现了中国人机协同在轨维修任务，为后续空间站阶段的以航天员为主的在轨维修设计积累了重要经验。此外，还组织开展香港中学生“太空养蚕”、“生成聚合物有孔薄膜”等科普项目，实施效果良好，引起广泛关注和热烈好评。后续，各载荷将按计划继续开展实验，预期将获取一批体现国际科学前沿的应用成果。

2016 年载人航天工程 3 次飞行任务的圆满成功，实现了既定任务目标，为空间实验室阶段载人飞行任务画上了圆满的句号，对夺取空间实验室阶段任务的全面胜利创造了十分有利的局面，也进一步奠定了空间站建造和运营的坚实基础，将有力助推中国迈入空间站时代。

(中国载人航天工程办公室工程总体室)