

通信广播卫星 东方红三号

范本尧
曹志先

5月1日,东方红三号通信卫星在西昌卫星发射中心用长征三号甲运载火箭发射成功,并于5月20日定点于东经125度赤道上空。由中国通信广播卫星公司组织的在轨测试初步数据表明:卫星各个系统均工作正常,通信系统的各项主要技术性能达到或优于设计指标。

东方红三号卫星是我国自行研制的新一代通信卫星。卫星设计瞄准了当时80年代的国际先进水平,但在历时十年的研制中,世界航天技术又有了迅猛的发展,这颗原来称为“大容量”的通信卫星已变成了“中容量”卫星。尽管在通信频段和转发器数量上与先进国家的卫星存在着一定的差距,但就卫星的分系统方案、单项性能和单项技术方面,如通信信道的EIRP/G/T值指标,全三轴姿态稳定技术,双组元统一推进系统,碳纤维复合材料结构,频率复用双栅赋形波束天线等技术方面,仍然是当前世界先进国家所采用的方案和技术。尤其在带有宽翼展太阳翼的卫星柔性动力学理论研究和大容量推进剂贮箱的液体晃动理论研究及工程实践方面均已步入世界先进行列。因此,东方红三号通信卫星的研制和发射成功,标志着我国通信卫星技术跨上了一个新台阶。卫星上所采用的许多先进技术和主要成果为今后研制更先进、更大容量的通信广播卫星奠定了技术基础。

东方红三号卫星是在1986年开始设计的,共经历了可行性论证、方案设计、初样研制和正样研制四个阶段。在初样阶段共生

产制造了三颗卫星(电性星、结构星和热控星),进行了星上各系统的电性能检测和接口匹配检查;完成了静力加载、振动、冲击、噪声等力学环境的考核试验和空间模拟环境下的热平衡试验;完成了推进系统的热试车考核,以及在西昌卫星发射中心与运载火箭的合练。在正样研制阶段,根据地面试验的结果分析,进行了设计修改,生产制造了两颗发射星。

第一颗卫星在完成各项检测和地面试验后于1994年9月出厂,1月3日由长征三号甲运载火箭成功地发射升空。由于出现燃料泄漏故障,卫星虽经挽救,实施三次变轨而进入了地球同步轨道,但由于燃料耗尽而未能定点。

卫星专家和设计师们用了整整两年时间对故障进行了认真的分析和模拟仿真试验,确定了故障发生的原因和部位,采取了各

项措施,进行了彻底的改进,更换了不可靠的部件和器件,进行了全星热试车考核。为进一步提高卫星的可靠性,还根据其他型号所反馈的质量信息,举一反三开展全面的质量复查,杜绝一切隐患,确保卫星质量。第二颗星于1996年1月出厂,在西昌卫星发射中心完成了多次技术区、发射区的各种检测,于1997年5月12日发射升空,并于5月20日定点成功。

我国自1984年以来发射的5颗东方红二号和东方红二号甲通信卫星,均已先后退役,目前没有国内制造的卫星通信转发器可用了。东方红三号卫星的研制、发射和定点成功,对于缓解我国目前卫星通信的紧张状况,促进我国卫星通信事业的发展,提高我国在国际航天领域的威望,巩固我国在国际航天发射市场的地位都有十分重要的意义。

一、卫星总体概貌

东方红三号卫星载有24个C波段通信转发器,其中6个16W中功率转发器,18个8W低功率转发器,用于电视传输、电话、电报、传真和数据传输等通信业务。

卫星在转移轨道(包括中间轨道)和地球静止轨道,皆采用三轴稳定控制和双组元统一推进系统。太阳电池翼在转移轨道一次展开,通信天线也在转移轨道展开。

卫星工作寿命8年。在工作寿命末期,保证中功率转发器有6个成活,15个低功率转发器(未计入3个国产固态放大器组成的转

发器) 中有 12个成活的单星可靠度不低于 0. 66

卫星由通信、结构、电源、姿态和轨道控制、推进、热控和测控等 7个分系统组成。其中通信分系统包括通信转发器和定向通信天线两部分；测控分系统包括遥测、遥控、跟踪三个子系统和测控天线等部分；电源分系统包括一次电源、配电器、直流/直流变换器、火工品管理器和电缆网等部分。

卫星本体构形为六面体。结构按分舱段设计,分为通信舱、推进舱和服务舱。分舱段设计有利于各舱段并行总装测试。卫星的外形如图 所示,结构舱段划分如图 2所示。

二、主要设计参数

卫星主要设计参数如右表

三、转移轨道和变轨

1. 转移轨道参数

卫星由长征三号甲火箭从西昌卫星发射中心发射入转移轨道。转移轨道参数为:

近地点高度 $h_p= 209\text{km}$

远地点高度 $h_a= 36194\text{km}$

轨道倾角 $i= 28.3^\circ$

2. 第一中间轨道

卫星在转移轨道的第二个远地点附近，用 490N发动机变轨。变轨后卫星进入第一中间轨道

3. 第二中间轨道

卫星在第一中间轨道的第二个远地点附近再一次变轨，进入第二中间轨道。

4. 地球准同步轨道

卫星在第二中间轨道的第三个远地点附近用 490N发动机做

东方红三号主要设计参数

项 目	性 能 与 参 数	项 目	性 能 与 参 数
尺寸 (mm)		EIRP (dBW)	
星本体	2220× 2200× 1720	· 对应 16W 的 TWT A信道	≥ 37
太阳翼展开后卫星跨度	18096	· 对应 8W 的 SSPA信道	≥ 33.5
天线展开后卫星高度	5713	极化方式	线极化
质量 (kg)		跟踪	
星箭分离重量	2266	应答机	两台由调频接收机和调相发射机组成的解调转发型应答机
入静止轨道 (寿命初期)	1206	遥测	
卫星干重	946	调制体制	脉幅调制/脉冲编码/相移键控
单星可靠度 (8年)	0. 66	信道容量	
运载火箭	用长征三号甲火箭从西昌卫星发射中心发射	· 模拟量 (个)	423
通信载荷		· 数字量 (bit/s)	每一格式3072 (共1格式)
通信天线	接收、发射合一,口径为 2. 0m的双栅极化敏感反射器,多馈源赋形波束天线	· 载波频率 (MHz)	4192、3710
发射 (下行)增益 (dB)		遥控	
① 第一服务区	包括海南、台湾在内的近海及大陆服务区	调制方式	脉冲编码调制/相移键控/调频
· 中功率信道	≥ 27	指令容量 (条)	620
· 其他信道	≥ 26.5	载波频率 (MHz)	5926、5941
② 第二服务区	包括东沙、中沙、西沙等在内的沿海地区	姿态和轨道控制	
· 天线增益	≥ 18.5	稳定方式	转移和静止轨道皆为三轴稳定
· 第一服务区	≥ 27	天线指向误差 (3σ) (°)	
接收 (上行)增益 (dB)		· 俯仰	± 0.15
接收机	· 台 500MHz带宽的 C频段接收机,采用 2× 2 备份	· 滚动	± 0.15
信道数		· 偏航	± 0.48
· 末级功放为 16W 的 TWT A信道数 (个)	6	位置保持误差 (3σ) (°)	
· 末级功放为 8W 的 SSPA信道数 (个)	18	· 南/北方向	± 0.1
· 末级功率放大器备份		· 东/西方向	± 0.1
16W TWT A	采用 3× 3 2备份	推进	
8W SSPA	无冷备份,除台国产 SSPA转发器外,采用 15: 1 备份	燃烧剂	一甲基肼 (MMH)
上行频率 (MHz)	5925~ 6425	氧化剂	四氧化二氮 (MON-I)
下行频率 (MHz)	3700~ 4200	推进剂装填量 (kg)	1317
		增压气体	氮气
		10N推力器 (台)	14、分为两个“半系统”
		490N远地点发动机 (台)	1
		电源	
		太阳能电池翼	共两翼,每翼三块板
		太阳阵 8年末输出功率 (W)	1688
		镍镉蓄电池容量 (Ah)	2× 45

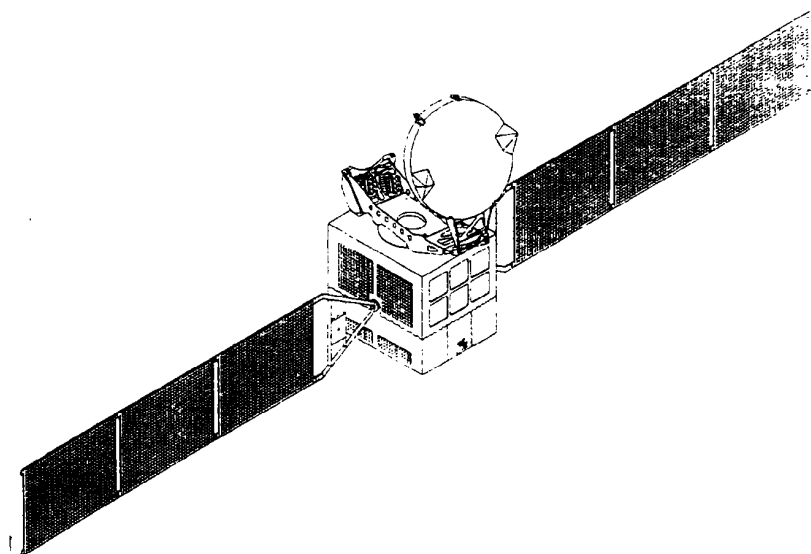


图1 东方红三号卫星外形图

通信天线为收发共用、正交线极化、偏馈抛物面、国内赋形波束天线。它由双栅极化敏感器、馈源组件、展开机构和支撑结构组成。前反射器为水平极化,后反射器为垂直极化。每种极化的馈源阵由7个喇叭组成。

五、测控

测控分系统包括跟踪、遥测、遥控及测控天线等部分。东方红三号卫星采用国际C波段微波统一载波测控系统。非相干上行调频,下行调相,解调转发型测距。遥控与跟踪合用接收机,遥测与跟踪合用发射机。转移轨道测控分系统使用通信转发器的8W固态放大器。在静止轨道采用

第三次变轨,进入地球准同步轨道。

在完成3次490N发动机远地点变轨后,卫星就长期处在地球站监控之下,用星上10N推力器进行位置捕获,使卫星定点于预定轨道位置。

四、有效载荷

通信有效载荷包括通信转发器和通信天线。

1. 通信转发器

通信转发器由微波接收机、接收机预选器、输入多工器、步进衰减器、固态放大器(行波管放大器)、输出多工器及切换开关等组成。

东方红三号卫星采用极化隔离技术使频率复用。每个转发器带宽为36MHz,保护带宽4MHz。垂直极化配置12个转发器,水平极化配置12个转发器。

2. 通信天线

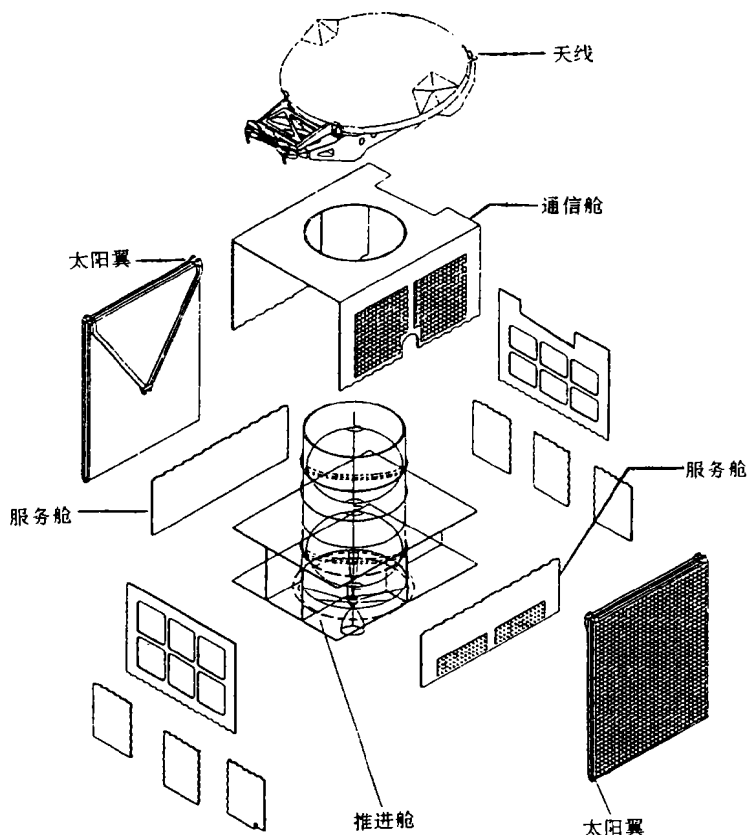


图2 东方红三号卫星结构舱段的划分

30mW 测控放大器合用通信天线发射下行测距信号和遥测信号。

1. 跟踪应答机

它是一个二次变频的调频接收机和一个调相倍频式发射机组成的解调转发型应答机。采用双频双机热备份工作方式。

2. 遥控终端

遥控终端由静噪控制器、副载频解调器、译码器和继电器组合箱等组成。指令输出形式有三种：离散脉冲指令、继电器触点指令和比例式指令。

3. 遥测

遥测选用可变格式的编码遥测。在通常情况下，以一种常规格式进行测量和传输。有特殊要求时，可由地面指令控制，切换到所需要的遥测格式上，只对选定的某些参数进行巡回检测，其他参数不予传输。

六、推进

卫星液体双组元统一推进系统主要任务是为转移（中间）轨道远地点变轨机动、静止轨道位置捕获、位置保持及姿态控制提供力和力矩。它以一甲基肼（MMH）和绿色四氧化二氮（MON-1）为推进剂。远地点变轨机动用的推进剂与姿态和轨道控制用的推进剂贮存在统一的贮箱内，可以调节使用，故称统一推进系统。

该分系统由一台 490N 推力的双组元远地点发动机、14 个 10N 推力器、两个内径为 1050mm 的球形推进剂贮箱、两个容积为 50L 的球形高压（额定压力为 21.5MPa）氦气瓶、一个推进电子线路盒及 42 个其他功能

的阀门、管路组成。

14 个 10N 推力器分为 A、B 两分支，分别组成 A 和 B 两个互为备份的“半系统”。

490N 发动机在装星前做过模拟高空热试车，提高了可靠性。

远地点变轨后，推进分系统变为落压式工作模式。在长达 8 年的工作期间，落压比仅为 1.2~1.3。

七、姿态和轨道控制

卫星在转移轨道和静止轨道皆为三轴稳定控制。以地面注入数据，星上自主控制为主，星地大回路控制作为故障时备份方式。

星箭分离后，卫星自动完成各向速率阻尼及太阳捕获，建立星体 - Z 轴指向太阳，星体绕 - Z 轴以 $0.5^\circ/s$ 的角速率慢旋的所谓巡航姿态。在远地点机动前，姿态和轨道控制分系统要建立起远地点点火姿态。远地点发动机点火期间，按照优化控制规律，依变轨策略完成变轨任务。远地点点火后，卫星转换成巡航姿态。

在地球静止轨道，卫星要启动动量轮，建立正常工作姿态，完成轨道位置的定点捕获。按照要求，要调整卫星姿态以完成天线方向图测试和其他在轨测试任务。在 8 年在轨工作期间，要由地面站发出指令，约每 15 天完成一次东西位置保持机动，约每 2 个月完成一次南北位置保持机动，并不定期自主完成动量轮卸载任务。正常工作期间，控制分系统要保证通信天线指向精度（考虑天线热变形及机械安装误差后）俯仰为 $\pm 0.15^\circ$ ，滚动为 $\pm 0.15^\circ$ ，偏航为 $\pm 0.48^\circ$ 。

航为 $\pm 0.48^\circ$ 。

分系统由敏感器、控制器、执行机构三类硬件及软件组成。敏感器包括太阳敏感器、地球敏感器和速率积分陀螺。控制器包括中心线路和星上计算机。在转移和中间轨道期间，以数字式星上计算机为主，它灵活、机动性好。在静止轨道期间，以模拟电路控制器——中心线路为主。执行机构包括远地点发动机、10N 推力器、偏置动量轮及太阳翼驱动装置等。

分系统有 9 种工作模式，即太阳捕获、地球搜索、地球指向、远地点点火、正常运行、位置保持、过渡、故障安全和星地大回路控制等模式。根据卫星运行情况，可由地面指令启动相应的工作模式。

八、电源

东方红三号利用太阳电池作为主电源，镉镍蓄电池组作为储能装置，由电源控制设备对供电母线和功率实行调节和控制。在日照区由太阳电池阵给整星供电，并给蓄电池充电。在星食期由蓄电池给整星供电。为提高可靠性，采用双独立母线供电。

星上母线电压为直流 26.5~42.5V。两个太阳电池翼总面积为 $22.7m^2$ ，贴有 21776 片规格为 $20cm \times 40cm$ ，平均转换效率为 12%（AM0， $25^\circ C$ ）的浅结、密榨、背反射体太阳电池片。

星上有 2 组 45Ah 的 28 节 Cd-Ni 蓄电池。最大放电深度为 57%~59%。

火工品管理器对整星火工品集中管理控制，有利于整星安全。

中国航天 1997 年第 7 期

第一次联委会召开 中乌航天合作



联委会中方主席栾恩杰和乌方主席卡马洛夫在会议之前友好交谈

期间,两国航天局所属单位的技术负责人和专家虽然多次互访,探讨合作途径,但会谈纪要和意向多,真正进行合作的项目只有真空电子束焊机及工艺技术、金属沉积炉和真空电弧沉积氮化钛涂层设备及热视光电仪特殊技术研制。从两国航天所具有的雄厚技术实力看,这几项合作还不及沧海一粟。故联委会双方表示要通过实实在在的工作,使合作走上名副其实之路。

在联委会上,从国家航天局副局长、联委会中方主席栾恩杰和乌克兰航天局第一副局长、乌方主席瓦莱立·卡马洛夫的表态

来看,双方合作的愿望都很强烈。他们认为合作项目少的很大一个原因,是所属部门在互相接触、洽谈合作项目时,没有及时将情况通报联委会,使联委会不太清楚合作进展情况,联委会的协调、促进作用没有得到发挥。鉴于此,双方在联委会上明确了每个成员应负的责任,表示要通过联委会经常不断的联系,积极支持和促进合作的开展。在联委会上,双方提出和讨论了在火箭总体设计、控制技术等方面的合作项目。会议结束时,栾恩杰和卡马洛夫代表两国航天局签署了会议纪要。

(时旭)

九. 结构和热控

结构分系统的功能是将卫星各分系统组成一个整体,承受并传递运载火箭主动段等各种环境条件下的力学载荷。卫星结构要满足刚度和强度

要求。

热控的任务是通过对星内外热交换进行控制,保证星上所有仪器、设备的环境都处在正常工作的温度范围内。热控采用被动热控方式为主,辅以部分主动热控措施。所采用的热控措施有:

包敷多层隔热材料 (MLI), 粘贴光学太阳反射器 (OSR), 铺设热管、电加热器、涂层涂料等。□

(注: 本文作者范本尧系东方红三号卫星总设计师, 曹志先系该卫星总体副主任设计师)