

中国工程院第五次院士大会

学术报告汇编

中国工程院学部工作部

2000年6月 北京



目 录

中国载人航天	王永志、孙功凌(1)
中国钢铁工业的任务、现状和发展	徐匡迪(17)
高性能计算机的关键技术和发展趋势	金怡濂、桂亚东(41)
第三代移动通信——现代无线技术面向 IP 的应用	邬贺铨(55)
中国核电的可持续发展	赵仁恺(72)
哈密瓜南移东进生态育种与有机生态型无土栽培技术研究	
..... 吴明珠、伊鸿平、冯炯鑫、艾尔肯、张永兵(94)	
人类遗传病的家系收集、疾病基因定位、克隆与疾病基因功能的研	夏家辉(111)
中国私用轿车发展的现状与问题	郭孔辉(133)
发展高新技术,必先营造制度环境——管理是生产力	郭重庆(148)
管理改革的成功实践——广州抽水蓄能电站建设经验探讨	罗绍基(158)
科学论证是重大工程正确决策的基础	
——三峡工程论证结论的实践验证	潘家铮、王家柱(179)
长江口深水航道治理工程——一项具有重大意义的航运工程	严 恺(195)
中国江河湖海防污染减灾对策	
..... (中国可持续发展水资源战略研究)项目组(203)	

中国载人航天

王永志、孙功凌

摘要 中国载人航天工程是我国最大的航天工程项目，1999 年 11 月 20 日我国成功发射了第一艘试验飞船，21 日飞船的顺利回收，揭开了我国载人航天工程的序幕。本文介绍了我国载人航天工程的决策过程；对我国载人航天工程所包含的七大系统，即航天员系统、空间应用系统、载人飞船系统、载人运载火箭系统、发射场系统、测控通信系统和着陆场系统等，进行了系统的介绍，特别是人和太空飞行之间的相互关系，进行了较为细致的介绍；最后对我国载人航天的发展方向进行了展望。

一、我国载人航天工程的由来

1999 年 11 月 21 日清晨起中央电视台、中央广播电台采用滚动播出的方式反复地播发了一条消息：我国载人航天首次试验飞行取得圆满成功。对于全国的广大观众，这确实是特大一条新闻。因为在这以前从来也没有听说过，大家难免要问，我国的载人航天是从什么时候开始的呢？

1986 年 3 月邓小平同志在四位老专家的建议上，批示国务院迅速组织制定我国高技术研究发展计划。1986 年 10 月《高技术研究发展计划（“八六三”计划）纲要》经中央政治局审议通过，《纲要》中共列七个发展领域，其中第二个是航天技术领域。1987 年 4 月，原国防科工委组织了由七人组成的“八六三”国家高技术航天领域专家委员会，及其下属的两个主题专家组，绘制我国载人航天的发展蓝图。1991 年 6 月，中央听取了航天领

域专家委员会的汇报。1992 年 1 月，中央再次听取了航天领域专家委员会的汇报，认为从政治、经济、科技、军事等诸方面考虑，发展我国载人航天是必要的，同意以载人飞船起步。并决定由原国防科工委负责，组织进行载人飞船工程的技术、经济可行性论证。

1992 年 1 月，在原国防科工委主持下，成立了论证领导小组、论证评审小组和由各有关技术专家和管理专家二百多人参加的论证组。经过 6 个月紧张工作，提出了工程的技术、经济可行性论证报告，其内容为：载人飞船工程的任务；工程的主要技术指标和技术要求；工程的指导思想；工程的总体方案和后续任务的衔接设想；工程各系统的初步技术方案；可靠性和安全性；关键技术及解决的途径；工程计划进度安排和工程的投资估算。

1992 年 8 月，中央在听取汇报后认为：载人航天是航天技术的重要组成部分，也是当今世界高科技的一个重要发展领域。为了增强综合国力和国防实力，促进科技进步，培养壮大科技队伍，提高国家威望，增强民族自豪感和凝聚力，我们必须在这一领域占有一席之地。我国载人航天的发展设想是可行的。载人飞船工程的研制是第一步，这是迄今为止我国航天史上规模最大、系统最复杂、技术难度最高的工程项目，国防科工委组织的可行性论证有深度，是比较可靠的。1992 年 9 月 21 日，江泽民同志主持召开了中央政治局常委会议，听取了论证报告和技术方案、经费估算和组织实施办法的汇报，经讨论，一致同意中央专委第七次会议的意见，认为从增强我国的综合国力、增强军事实力、推动科技发展和增强民族自信心和凝聚力出发，是完全有必要的，批准我国载人航天工程开始实施。

二、我国载人飞船工程的基本要求和管理办法

一项基本要求：根据我国载人飞船任务的目标，在确保安全可靠的前提下，从总体上体现中国特色和技术进步。

四项基本任务：

突破载人航天基本技术；

进行空间对地观测、空间科学及技术实验；

提供初期的天地往返运输器；

为载人空间站工程大系统积累经验。

载人飞船工程是我国迄今为止最大的航天工程，由7个系统组成，即：航天员系统、飞船应用系统、载人飞船系统、运载火箭系统、发射场系统、测控通信系统和着陆场系统。

921 工程的研制程序划分为四个阶段，即方案设计阶段、初样研制阶段、正样和无人飞船飞行试验阶段以及有人飞船飞行试验阶段。

工程的实施采用专项管理的模式，由中央专委直接领导，总装备部统一组织实施，设立专项办公室，列入国家重点工程。中央要求研制过程不上电视不登报，多做少说或只干不说。

三、载人飞船工程的主要技术方案

1.航天员系统

航天员系统是 921 工程的一个重要组成部分，与其他六个系统相比，具有较大的特殊性。航天员系统是一个以航天员为中心的医学和工程相结合的复杂系统，涉及到航天生命科学和航天医学工程等诸多重要领域。

航天员系统的任务是负责制定出航天员选拔方法、内容和标准，并选拔、培训出能够执行载人飞行任务的航天员；对航天员实施有效的医学监督和医务保障；与此同时完成航天服、食品和用品等装船项目的研制。

2.飞船应用系统

飞船应用系统的主要任务是利用载人飞船的空间实验支持能力，开展对地观测、环境监测，进行材料科学、生命科学、空间天文、流体科学等实验。

飞船试验阶段的应用属试验性质，主要进行空间科学、技术实验，特别是需要有人照料的实验项目，验证实验方法，考核实验系统，也包含一定程度的初步应用。

3.载人飞船系统

载人飞船系统采用（轨道舱+返回舱+推进舱）的三舱、两对太阳能电池帆板构型和升力控制返回、圆顶降落伞回收方案，飞船被命名为神舟号。

轨道舱位于飞船的前部，为密封结构，其外形为两端带有锥角的园柱形，在两侧各装有可单轴旋转的太阳能电池阵，在外部还装有太阳敏感器、红外地平仪和各种天线等。其功能和用途为：航天员在轨道飞行期间的生活舱；有效载荷试验时的试验舱；交会对接试验时的对接目标；航天员出舱活动时的气闸舱；以及作为天地往返运输器时的货舱。

轨道舱内装有船上各分系统为飞船自主飞行和留轨飞行工作所需的设备及有效载荷。这些设备采用隔板式布局方案分装于轨道舱内两侧。

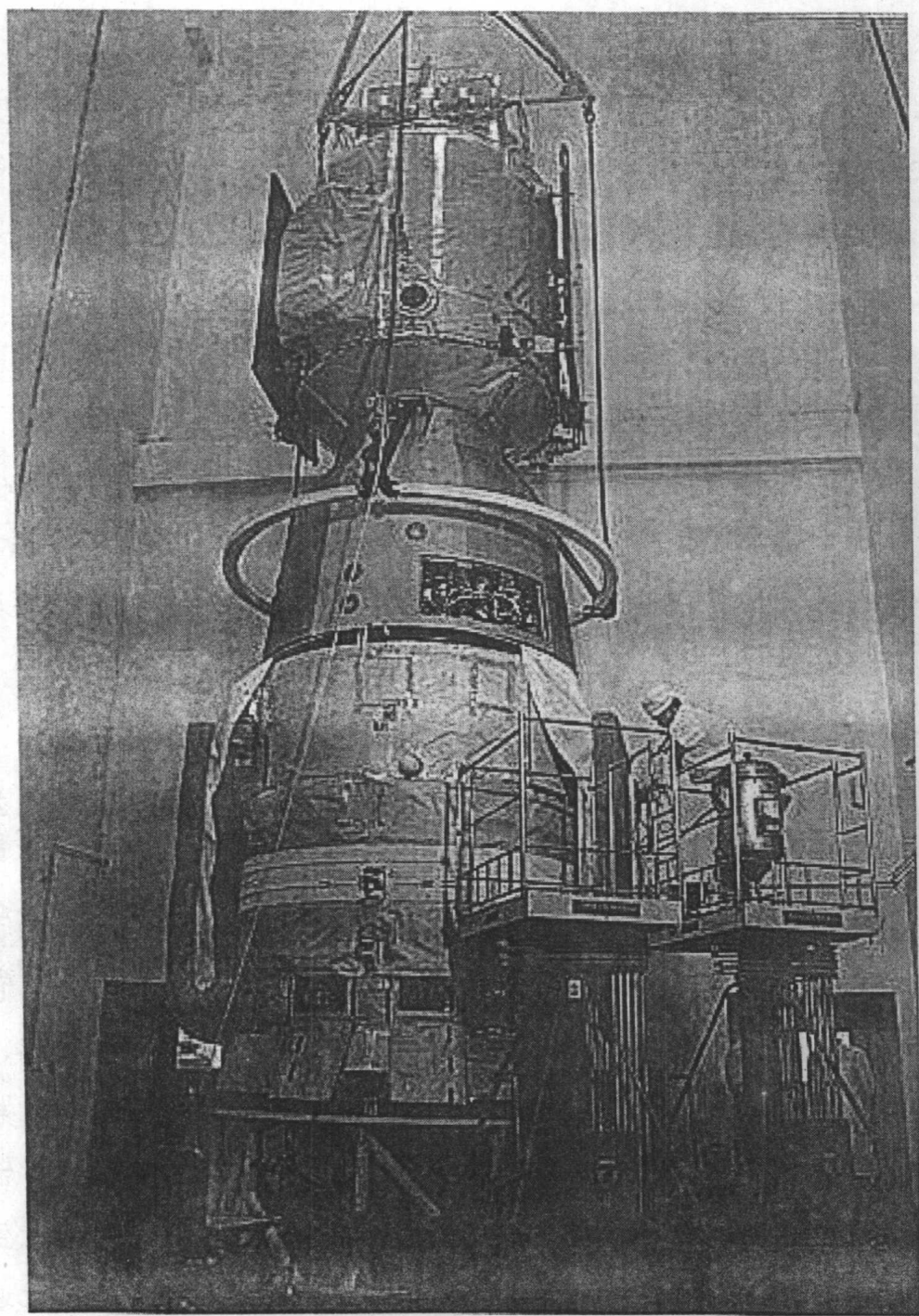


图 1. 飞船正在总装

返回舱位于飞船的中部，为密封防热结构，外形为大钝头倒锥体，呈钟形。返回舱是航天员的座舱，舱内设置航天员座椅，是飞船唯一可再入大气层返回着陆的舱段。航天员在上升段和返回段都坐在返回舱内。在飞行过程中航天员通过返回舱内的仪表、控制手柄和开关按钮对飞船运行情况进行监视，并在必要时实施操作。

推进舱位于飞船的后部，由于航天员不进入该舱，其为非密封结构，外形呈圆柱形。推进舱主要是用于飞船的姿态控制、轨道维持、变轨和制动等等用的推进系统。安装有变轨发动机以及姿控和平移发动机。双组元推进剂分别装于球形贮箱内，推进舱的外表面装有热控系统的辐射散热器，在外部安装可单轴旋转的主太阳能电池阵。

载人飞船系统在系统配置上，除一些卫星常见的分系统外，环境控制与生命保障、仪表照明、装船生活用品和应急救生等为载人飞行所特有。环境控制与生命保障的主要任务是保证航天员生存所需的氧气，控制密封舱内的空气温度和湿度以及进行废物收集处理等；仪表照明是航天员与飞船系统的重要人机界面，它用于向航天员实时显示飞船各系统的状态参数，飞行日程安排、重要的事件和指令，并通过控制按钮对飞船进行手动控制和对紧急情况报警。另有地面同航天员双向通话系统和向地面传输彩色电视。此外还有一些航天员的装船物品如食品、饮料、卫生用品和日常衣被等；医学监督和医务保障的设备和用品；话音通信、下行电视设施；落地后的示位示标的设备，以及个人救生装备等。

4.运载火箭系统

根据我国目前火箭的情况，完成低轨道大运载能力的任务，在现有的火箭中，长征二号捆绑式火箭（CZ-2E）基本可以满足载人飞行任务的要求。CZ-2E 运载火箭是用于商业卫星的发射，可靠性达到 0.9 以上就能为保险公司所接受，作为载人航天用的运载火箭其可靠性显然不能满足要求。由于运载火箭的可靠性是影响航天员安全的最主要的因素，所以火箭的主要研制工作的重要任务就是提高可靠性和安全性进行适应性修改设计，形成新型 CZ-2F 火箭。CZ-2F 载人运载火箭除对 CZ-2E 运载火箭原有的箭体结构、动力装置系统、控制系统、遥测系统、外弹道测量系统进一步提高其可靠性外，还增加了故障检测和逃逸救生系统，以提高上升段航天员的安全性。

火箭发射载人飞船时，航天员安全性指标要达到 0.997，为了达到航天员安全性指标的要求，火箭增设了故障检测处理和逃逸两个分系统。在火箭飞行的过程中出现危及航天员安全的故障时，由箭上故障检测处理系统通过特征参数对火箭的状态进行监视、判断和发出逃逸指令；逃逸系统收到逃逸指令后，将飞船的返回舱和轨道舱带离危险区，然后由飞船完成航天员的救生任务。

载人运载火箭不同于卫星运载火箭之处在于不仅要求它能将飞船送入预定轨道，还要求它一旦在待发段和上升段发生故障的情况下，能将航天员营救出来，因而设计增加逃逸飞行器，当运载火箭飞行时发生严重故障，威胁到航天员的安全时，该系统按

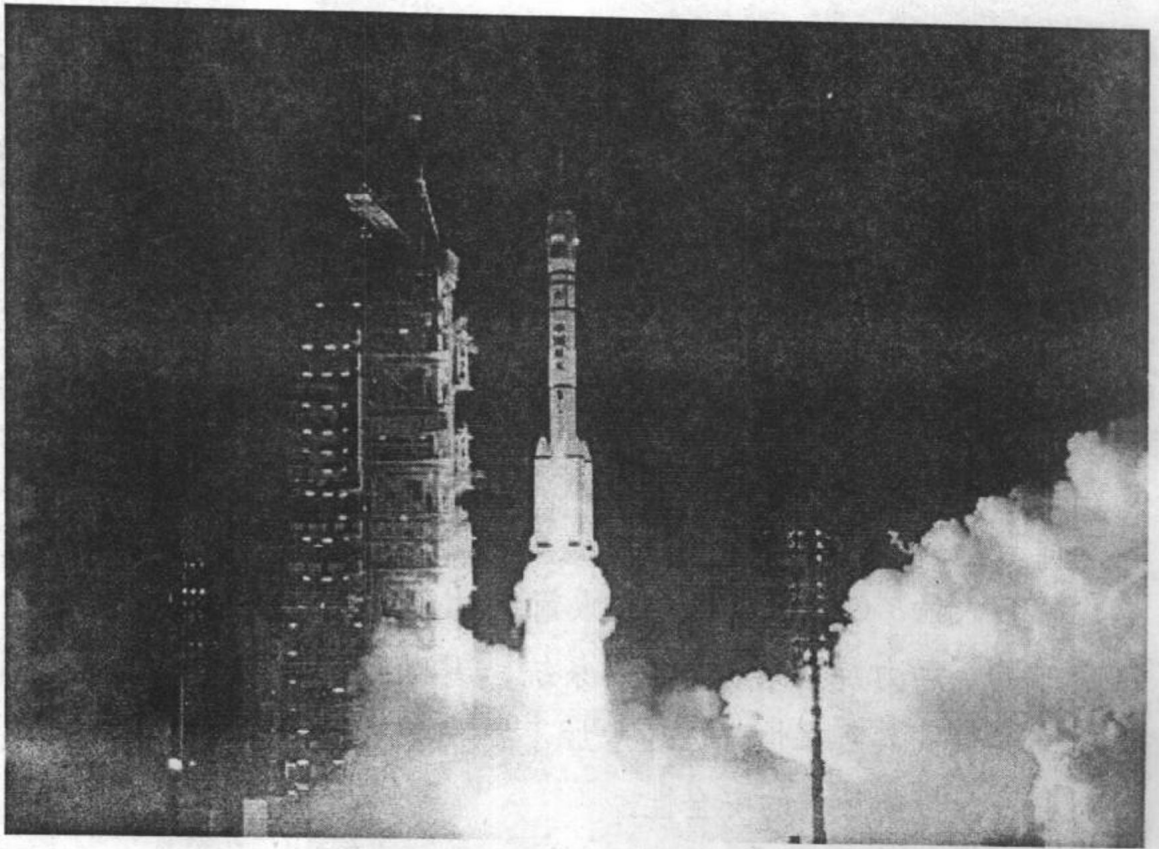


图 2. 载人运载火箭起飞

逃逸指令点燃逃逸发动机，将航天员带离危险区。在整流罩分离之后，若发生严重故障需终止飞行，火箭发动机关机，火箭与飞船分离，飞船利用自身的推进系统，使航天员安全返回或进入一条应急救生轨道。逃逸飞行器由飞船的轨道舱、返回舱，火箭的上半部整流罩、逃逸塔、栅格翼和支撑机构组成。轨道舱和返回舱是逃逸飞行器的“有效载荷”，上半部整流罩是逃逸飞行器的主要维形和传力结构。逃逸塔由主发动机、分离发动机、俯仰偏航发动机，配重段和尾裙组成，栅格翼是逃逸飞行器的气动稳定部件。

5.发射场系统



图 3. 垂直总装厂房

载人飞船的发射场在选址时，除应具有发射其他航天器的条件之外，还必须更多考虑人的安全问题，如雷电天气较少，有较好的空中和地面电磁环境；火箭的发射方向上近百公里内最好没有高山密林和较集中的居民点，以便紧急情况下利于航天员的救生和保证地面居民的安全。酒泉卫星发射中心较好满足上述的载人航天的要求，在充分利用现有公用设施的基础上，建设一个新的发射区，这样既可发射飞船也可发射卫星。

我国发射场在建设上遵从了“在确保安全可靠的前提下，强化技术区、简化发射区，从总体上体现中国特色和技术进步”的指导思想。采用远距离的测试发射控制技术和垂直整体运输方式；

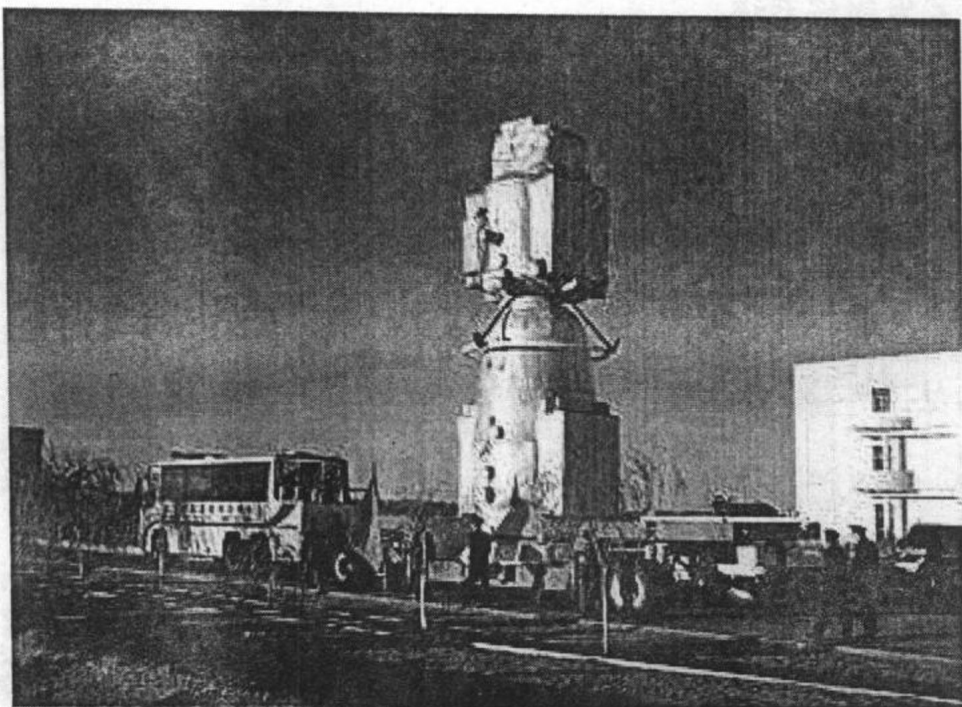


图 4. 载人飞船转运

为确保可靠，将发射前的技术准备工作尽可能放到环境良好、条件优越的技术区来做，箭、船在技术区空调厂房里进行垂直总装和测试，准备充分后状态不变地垂直运到发射区进行加注发射，这样可以大大地简化发射区的外场工作，同时也缩短了对发射工位的占位时间，从而缩短了两发发射时间的间隔。射前加注推进剂历来就是一道危险工序，经过多方采取安全措施后，将 400 多吨的推进剂分别加注到火箭、飞船上近 20 个贮箱内，可做到一滴不漏。

为确保航天员和工作人员的安全，发射塔架上备有快速撤离通道，在紧急的情况下，在塔上的人员可以通过它进入掩体。我国的发射场由于技术上的原因，迄今为止测试发射控制室距离发射台一直不大于 300 米，这是一个很危险的距离，万一火箭爆炸

就会严重影响测试发射人员的安全。载人航天发射场的控制室，一改传统的做法，设在 1500 米之外的安全区内，实行远距离的测试点火发射，保证了众多操作人员、技术专家和指挥人员的人身安全。

首次的成功发射表明，垂直总装测试，箭、船整体垂直运输和远距离测试发射技术是我国发射技术的重大进步。众多的安全措施和勤务保障满足了对载人航天发射的基本要求。

6.测控通信系统

当航天员乘坐飞船在太空飞行时，需要强大的地面支持，保持天地之间的经常性联系的任务是测控通信系统。通过天地之间测控通信系统的配合，共同完成整个飞行过程的测控通信。测控通信系统有高可靠性和强通信能力，能传输测量数据、控制指令、电视图象、语音、文字等多种信息，同时能迅速准确地测轨、定轨和预报飞船返回舱的落点。

我国的测控通信系统主要由轨道测量、遥控、遥测、火箭安全控制及航天员逃逸控制、计算机系统及监控设备、船地通信和地面通信设备等组成。新建的 S 波段统一系统（USB），用于载人航天十分合适，USB 系统将测距、测角、测速、遥测、遥控、语音传输、图象传输、数据传输等功能综合为一体，可以减少船载和地面站的设备，极大地提高信息传输的效率和设备的利用率。另外国际上采用 S 波段的地面站很多，可以通过国际联网，地缘优势互补，提高地面站的使用率，降低在轨运行费用。

为了保证上升段、飞船入轨段和返回段的测控通信，以及尽可能提高飞船在轨运行段的测控通信覆盖率，我们在没有中继卫

星的情况下采用建立陆海测控网的方式，利用载人飞行指挥控制中心，将分布于航区的各测控站船有机的联合在一起，进行测控管理，完成轨道、姿态测定，遥测数据接收，指令控制和数据注入，监视轨道舱的工作状态，并定期向有效载荷应用中心提供轨道、姿态等数据。

从航天员进入飞船，直至平安返回地面，他们以及飞船和火箭都处于地面工作人员的密切监视之下。大量的数据如火箭的飞行参数，航天员的生理状况，与航天员之间的通话，航天员在舱内活动的电视图象，飞船的运行以及出现故障的情况，各舱段内的压力、温度、湿度、废气浓度等，源源不断地输往地面，通过陆海测控网传向北京飞行指挥控制中心，解调后再被发送给有关部门和人员。

火箭在飞行的过程中，飞船在运行及返回的过程中，地面如果需要对它进行控制都得通过遥控实现。火箭的遥控指令较少，主要是火箭的安全自毁和航天员的逃逸控制。飞船需要地面遥控的事件很多，如在轨运行时的变轨飞行、交会对接、航天员的出舱活动，飞船返回时的调姿、分离、制动，以及故障的处理等，这些指令大多数由飞船进行自主控制，为了增加可靠性，地面都可进行遥控。飞船在飞行的过程中，地面对轨道参数进行精确的跟踪测量，这项工作通过位于各地的陆上测控站和海上测量船来完成。

由于载人飞行要求高安全性和高可靠性，也就决定了测控通信不仅要有高可靠性，同时要有高覆盖率。在飞行的上升段，飞行时间短，环境最恶劣，如果出现故障往往造成灾难性的后果，要保证 100% 的覆盖。对于返回段，要保证飞船的调姿、舱段分

离、制动和黑障区（无线电中断）前后的测控通信覆盖。

我国首次试验飞船的飞行试验，在北京指挥控制中心的组织、计划及指挥下，各站、船通力合作，测控系统保证了上升段测控通信覆盖率为 100%；以及返回再入段飞船调姿、舱段分离、制动和黑障前后的通信覆盖。尤其值得一提的是我国航天远洋测量船队首次同时单船远征太平洋、印度洋和大西洋取得成功，出色地完成了任务，标志着我国低轨航天器海上测控技术实现了新突破。在这次海上测控任务中，4 艘测量船战胜了 7 次强台风和极地气旋的影响，胜利地通过了台湾海峡、南海、新加坡海峡、马六甲海峡和好望角等海况复杂的危险航区，历时 259 天，总航程 6.2 万海里，相当于绕地球 3 圈。这次海上测控任务中，4 艘测量船累计测控通信时间约占整个测控通信覆盖率的 75%，这表明我国航天远洋测量船队的海上测控水平和综合试验能力实现了新的跨越。

7. 着陆场系统及应急救生

进行载人飞行必须要建设可供返回用的着陆场，由于使用降落伞回收，着陆场的要求不象机场那样高。着陆场的主要任务是完成飞船着陆前后的测量通信，飞船着陆后的搜索回收，营救航天员，并对舱内的有效载荷进行处置。

在着陆场的选取上要综合考虑各种不同的因素。着陆场的设置应综合使用本国的航天测控通信网；要有足够大的面积，使得能够适应较大落点偏差的情况；根据本国的地域特点和国情选择是采用陆上着陆还是海上溅落，例如对于一些国土狭小人口稠密或海上力量较强的国家，选择海上回收较为有利，对于国土辽阔

的国家，最好选择在地势开阔人烟稀少的地区作为着陆场，这样既节省又安全。中国幅员辽阔，特别是内蒙古高原地势平坦，看看地图我们可以发现内蒙古自治区的中部和西部地区几乎没有江河、湖泊和大片森林，到处都是草原、戈壁和沙地，人烟稀少，在内蒙古高原的西部有我国著名的酒泉卫星发射中心，可以提供较好的测控支持，也是理想的着陆场区。在着陆场的建设上要布设一定的测量通信的雷达和地面站、气象站、指挥所，安装了反射式雷达以解决黑障区的跟踪测量问题，在执行任务期间还要配备直升飞机，特种越野车辆以及医疗救护设备。经多次实地勘察和对各种因素的综合考虑，确定了如下几个着陆场区。主着陆场位于内蒙古苏尼特右旗（赛汉塔拉）以西，四子王旗以北地区；副着陆场为主着陆场的气象备份，地点在发射场的东南地区；上升段陆上应急救生点以特征点救生为主，兼顾全弹道救生的原则，设置4个应急救生点，负责相应的应急救生责任区内的救生；上升段海上应急救生利用飞船机动能力，使得控制返回舱能溅落在三个不同的海域。飞船在轨运行时如果发生紧急情况可以应急返回到一些预先设定的着陆区域，由于运行段各种参数变化较为缓慢，所以在运行段应急返回着陆区的选择上可以综合考虑各种因素，选择若干个应急返回着陆区。

四、首飞试验圆满成功

1999年11月20日，是中国航天界值得纪念的日子，经过我国科学技术人员长达七年的艰苦工作终于取得了回报。凌晨6时30分，我国第一艘载人航天试验飞船“神舟”号，在中国酒泉卫星发射中心新建成的航天发射场发射升空。飞船环绕地球飞



图 5. 飞船返回着陆场

行 15 圈，在太空中进行了大量的科学试验，21 日凌晨 3 时 41 分，飞船的返回舱在空中划过一道橘红色的弧线，在内蒙古自治区中部的着陆场准确着陆。这是我国载人航天工程的首次飞行试验，这是一次不载人的飞行，但是任何一个从事航天工作的人都明白，我们中国人的飞天之梦就要实现了。在飞船的返回舱运抵北京之后，江主席再次来到北京航天城，对现场的参试人员代表又一次提到苏东坡的“水调歌头”，并说我们应将“又恐琼楼玉宇，高处不胜寒。”改为“不怕琼楼玉宇，高处不胜寒。”并号召大家做好试验总结，用好首飞试验取得的成果，在充分的无人飞行试验的基础上，早日把中国人送上天，实现中华民族的飞天梦想。