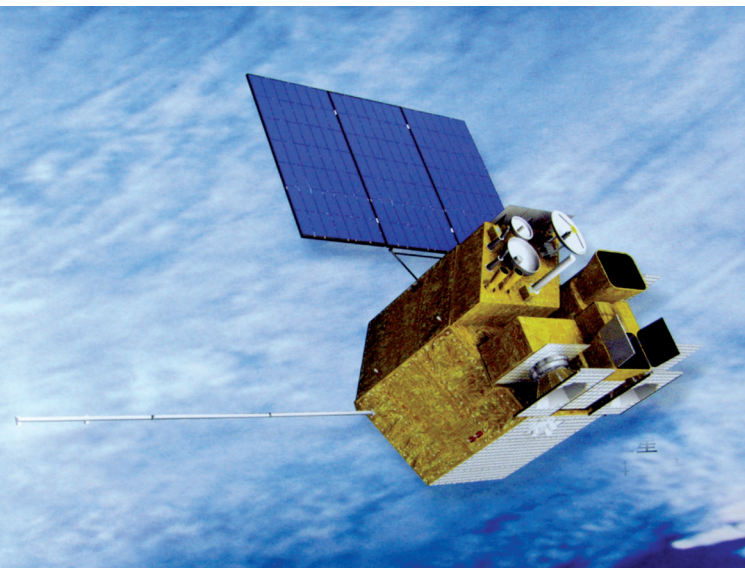
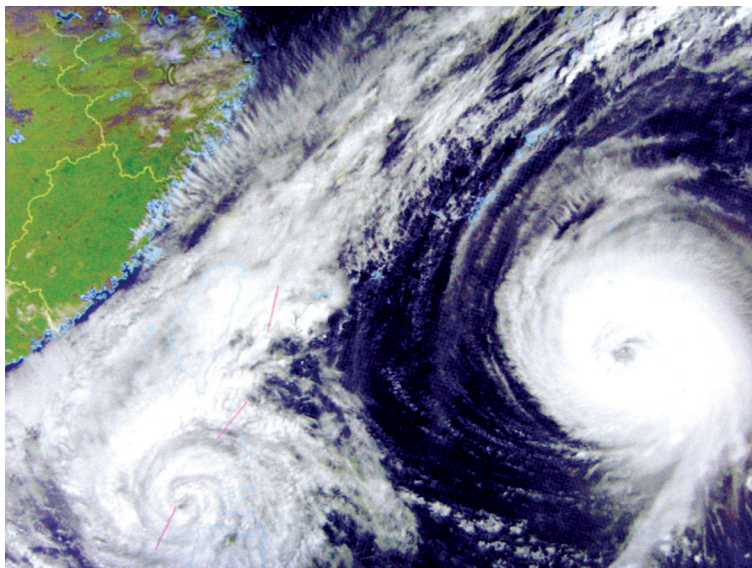




气象卫星



气象卫星监测图

航天测控杂谈

文_张新一

张新一 1966年毕业于南京航空学院（现名为南京航空航天大学）无线电系，少将军衔。参加了2002年前我国大部分卫星发射测控任务。曾任西安卫星测控中心副总工程师、总装电子装备试验场基地司令员等职务。曾多次为军内外院校、干休所、疗养院、党政机关进行过航天科普讲座。



◎ 什么是航天？它与航空有什么区别呢？

我们生活的地球表面被一层大气层包围。人类和各种生物都生活在大气中，如果离开了这层大气，一切生物都要死亡。但随着离地面的高度增加，大气密度越来越小，最后大气就完全消失，大约99%的大气是分布在离地面高度为50公里以下的空中，而离地面300公里以外就基本无大气了。“空”就是指地球表面以上有大气层的空间；“天”就是指地球大气层以外的宇宙空间，又称为太空外层空间或空间。航空是指人类在地球大气层中的活动，如乘飞机、氢气球、热气球、飞艇等。航空除了与地球引力打交道外主要与大气层的升、浮、阻力打交道。而航天是指人类冲出了大气层在宇宙空间的活动，不存在大气的阻力、浮力、升力等问题。主要是与地球、月球、太阳及其他星球的引力打交道。

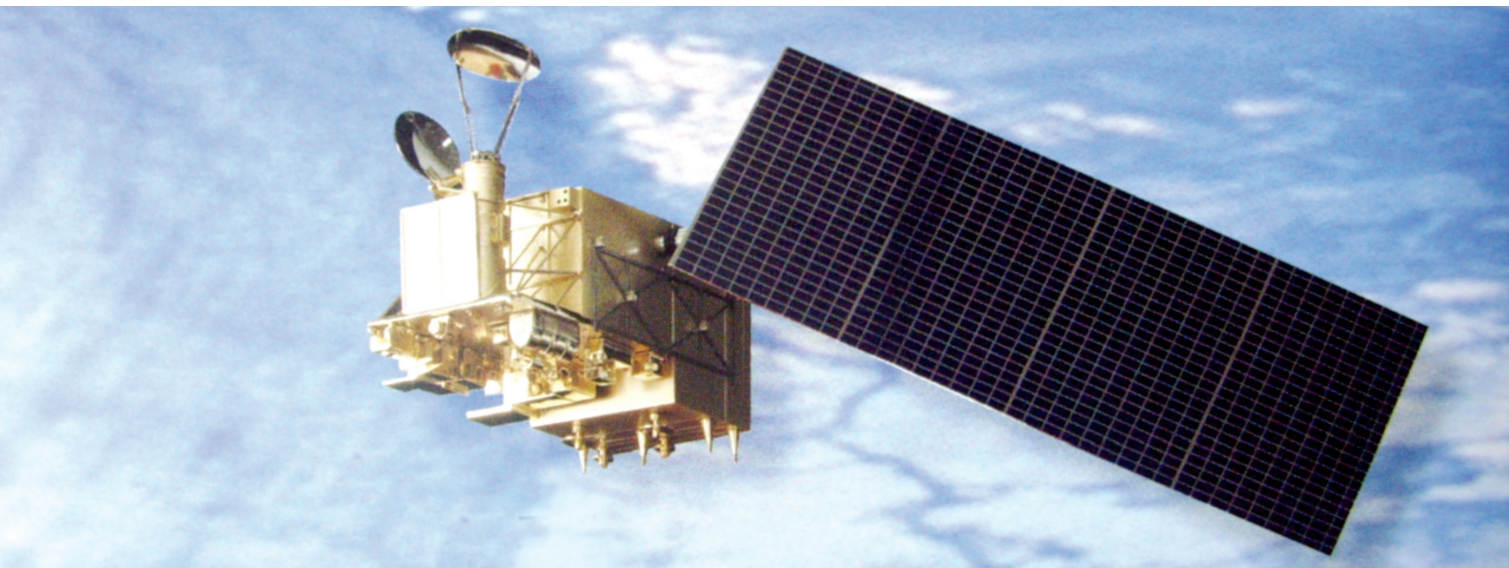


活动测控站

人类目前的航天测控主要是对人造卫星及飞船等进行测控。那什么是人造卫星呢？在太阳系中，我们称太阳为恒星，称围绕太阳转的星体为行星，如：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星等八大行星；围绕行星转的星称为卫星，如月球围绕我们地球转，故月球是地球的卫星。如果用人工的方法使一物体围绕地球作惯性飞行，该物体就是人造地球卫星。

航空和人类生活有很大的关系，如坐飞机旅行、战争中的空军等。那航天对人类有什么用途呢？航天的意义也很大，如1973年，在第四次中东战争爆发之前，埃及和叙利亚组成的阿拉伯联军，借助前苏联侦察卫星获得军事情报，使得以色列苦心经营的巴列夫防线土崩瓦解，陷于极为被动的境地。然而美国的大鸟侦察卫星发现了埃及二、三军团之间的间隙，以色列利用了这个情报，抓住战机派出装甲兵部队，通过间隙直捣运河西岸，切断了阿拉伯联军的退路，从而使战争形势发生逆转，最后阿拉伯联军无可奈何只得停战。又如1982年英国和阿根廷的马岛之战中，前苏联和美国各发射了几十颗侦察卫星。英军击沉阿军的菲尔格拉诺将军号巡洋舰，就是由美国侦察卫星提供该舰的准确位置；同样，阿军击沉英军当时最现代化的谢菲尔德号驱逐舰则靠的是由前苏联侦察卫星提供的情报。气象卫星、资源卫星（探测地球上各类矿藏、水资源等的卫星）、通讯卫星及在卫星和飞船上进行太空育种、制药、加工各种半导体器件等航天活动，也都为人类生活作出了很大的贡献。

人造卫星又是怎样发射上去的呢？根据万有引力定律，任何物体间都有万有引力，其引力的大小与两个物体的质量的乘积成正比，与两个物体间距离的平方成反比。平时任何普通的两个物体，包括两个人之间都有这样的引力，不过因物体质量不大，引力实在太小，所以觉察不出来。但对地球这样大的物体就不一样了，地球上万物包括周围的大气及江河湖海中的水都被它牢牢吸着。在地球上我们使劲地向前向上跳时，虽然离开了地面一下，但最后又被地球吸回来，向前跳的力量（即向前速度）越大，则离开原起跳点就越远。大家又知道地球是圆球，地面是成圆弧形的，也就是说地面是不断向下弯曲的。所以当一物体沿着地面水平方向运动的速度达到一定程度时（即地球吸引力使物体下落的高度等于地球表面弯曲高度时），该物体将围绕地球并以地心为圆心作圆周运动，也就是说该



气象卫星

物体成了地球的卫星了。这个速度被称为第一宇宙速度，数值为每秒 7.91 公里。如果水平速度再增加，则物体将作围绕地球以地心为一焦点的椭圆运动，当速度达到每秒 11.19 公里时，则地球引力就吸引不住该物体了，该物体将飞离地球而围绕引力更大的太阳运动，成为绕太阳转的行星了。每秒 11.19 公里的速度被称为第二宇宙速度。当物体的速度大于每秒 16.7 公里时，就连太阳的引力也吸不住它了，它必将飞出太阳系，这一速度被称为第三宇宙速度。

所以我们只要使一个物体，先上升到没有大气的高度以上，再在水平方向给物体一个大于第一宇宙速度而小于第二宇宙速度的初始速度，该物体就会围绕地球运动，而成为人造地球卫星了，这就是我们发射人造卫星的基本原理。

所以人造卫星发射及工作的大致过程是：首先将装有卫星的多级火箭，在发射场发射架上点火垂直起飞（这样能以最短的距离穿越稠密大气层），火箭点火后依靠喷气时产生的反作用力慢慢加速，当第一级火箭中的燃料燃烧完后，第一级火箭脱落，减轻整箭重量，以便后面能加速到所需的速度；第二级火箭接着点火按预定方向飞行和继续加速，当飞离稠密大气层后，抛掉原来减少空气阻力的整流罩；当第二级火箭燃料燃烧完后，又自动脱落分离，并调整飞行方向和飞行姿态（火箭飞行时按要求抬头或低头、向左或向右旋转、顺时针或逆时针旋转一个角度）；当火箭飞行速度、方向、姿态都达到预定要求时，火箭将卫星弹出——星箭分离，卫星入轨，末级火箭再脱离轨道，卫星的发射阶段就宣告结束（有的卫星因重量和轨道不同，只要用两级火箭就能完成卫星发射任务）。

接下来地面测控系统对卫星进行测控及在轨管理，卫星上的应用有效载荷开始工作并下传应用数据，地面应用系统接收卫星下传的的有关应用数据，进行加工处理后给出应用成果（如气象卫星就会给出气象预报的成果）。由此可见卫星工程一般应有卫星本体（通称“飞行体”）、运载火箭、发射场、地面测控系统、地面应用系统等五大系统。载人航天工程则要有七大系统：即将飞船系统代替卫星本体，再增加航天员系统和保障航天员顺利返回地面的着陆场系统。

◎ 卫星工程各系统都包括哪些方面？它们的功能又是什么呢？

卫星本体一般分为有效载荷和公用平台两大部分，有效载荷用于直接完成特

定的航天飞行任务，如气象卫星的有效载荷为各种收集与气象有关参数的仪器仪表；通讯卫星的有效载荷是通讯转发器；侦察卫星的有效载荷是照相机或摄像机等。公用平台是用于保障卫星全寿命周期内有效载荷和各分系统的正常工作的部分，一般由测控分系统、天线分系统、控制分系统、姿控分系统、温控分系统、变轨发动机等组成。

发射场一般分发射区和技术区，有发射塔、测试厂房及保障系统等。其主要任务是：①提供卫星在发射场时的工作保障条件（包括卫星总装、测试、加注推进剂、起吊、运输、通信、数据传输等）；②按照卫星发射窗口规定的时间发射卫星；③进行卫星和发射可能要进行的地面测试及合练。

运载火箭是将卫星送入太空中预定轨道的空间运输工具，它使用火箭发动机作为动力装置，自带燃料和氧化剂，利用反作用原理产生推力，能在没有空气的大气层工作。根据航天器的轨道和重量不同运载火箭分为不同类型（有点像根据乘坐的人数不同分大轿车、面包车、小轿车等不同车型）。它的任务是：①按照卫星发射窗口规定的时间段发射卫星；②按照卫星要求将卫星送入预定轨道并且满足精度要求；③按卫星的要求实施星箭分离；④和卫星机械对接要协调一致；⑤质心位置、结构自振频率满足要求，确保星箭组合体稳定；⑥火箭飞行过程中产生的振动及噪声不能使卫星性能受影响；⑦满足卫星对火箭热环境要求；⑧满足卫星与火箭的接口要求；⑨火箭整流罩满足透波要求；⑩满足电磁兼容性要求。

地面应用系统主要用来配合航天器有效载荷直接完成航天任务，如地面气象卫星应用系统，具备有效载荷数据接收站、有效载荷运行管理中心。数据接收站接收卫星有效载荷下发的各种数据，传送给有效载荷运行管理中心。有效载荷运行管理中心一方面管理卫星上有效载荷的工作情况，另一方面根据数据接收站传来的相关信息，生成有关业务的资料成果，对外公布发表。

航天测控系统是对航天器（卫星、飞船等）升空及运行过程中进行跟踪测量并控制其运动和功能的专用系统。它是由测控中心和分布在各地的测控台站及测控船组成，相互之间用通信网连接起来的系统。

首先了解一下测控的含义。测控就是对飞行体测量和控制的意思。那么究竟测什么、控什么呢？测，一是地面测控系统对飞行体轨道的测量，也就是测出飞行体是按什么路线围绕地球运行的，什么时候它运行到了什么地方，下一步将如何运行；二是对飞行体飞行姿态进行测量，譬如说卫星的某一个面现在是朝什么方向。控，就是改变飞行体飞行轨道（飞行路线）和飞行姿态（即使飞行体绕某个轴或某个点偏转和转动一个角度。对三轴稳定式卫星而言，调姿就是使卫星沿飞行方向左右偏转、上下抬头和低头、做顺时针或逆时针转动，以上动作分别称为调偏航角、俯仰角和滚动角）。除此之外，测控系统还要对卫星上各分系统工作情况测量和控制。如测到某分系统主用机坏了，就要控制备用机代替出故障的主机。同时还要校准星上的时钟，使星上的时钟与地面的时钟始终一致。

为什么要对卫星作上面介绍的那些测控呢？为比较形象地说明问题，我们不妨举一个可见光照相侦察卫星的工作过程为例。侦察卫星工作时，首先要知道卫星是否已到了预定照相区的上空，这就需要对它测轨，测出卫星何时飞到预定侦察区上空，才能让照相机定时照相。其次要知道卫星上的照相机镜头是否对准地面目标。如果卫星本体在飞行时转过了一个角度，那么固定在卫星上的相机镜头肯定也转过了一个角度，那就拍摄不到预定的地面目标了，所以必须对卫星姿态进行测量，如测出有偏差，那就必须发指令，对卫星进行姿控，让卫星消除这一



西安测控中心

偏差。另外拍摄到的照片回到地面冲洗出来后，照片上绝对不会显示地名，那怎么知道侦察目标的具体位置呢？这一问题也要由地面测控系统经过测轨后来回答。因为照片上虽然没有地名，但照片上除了拍到的目标图像外，还注有该照片是什么时候照的，既然有了拍照片的时间，那么通过对卫星的测轨，不就可以推算到该卫星在这一时刻的位置了吗？另一个问题又来了，因为照片上的时间是由卫星上的时钟所提供的，而卫星一般要以超过第一宇宙速度即超过每秒 7.9 公里的速度绕地球做惯性飞行，如果星上的时钟和地面测控系统用的时钟差 1 秒的话，那测轨推算出来的卫星位置，就要和卫星实际飞行位置至少差 7 公里多了，卫星拍摄地面目标的精度当然也要至少差 7 公里多了。所以地面测控系统的任务还要通过发指令对星上的时钟“对时”（星上的时钟和地面时钟调到相同时刻，如：都是北京时间 7 点整）。又因对时必须是在卫星在测控范围内才能进行，而大部分时间卫星在测控范围外运行，所以除了对星上的时钟进行对时外，还要对卫星进行“校频”（类似我们调整钟表的游丝使钟表始终走得很准一样），以确保卫星上的时钟，不管什么时候都始终和地面测控系统的时钟一致。

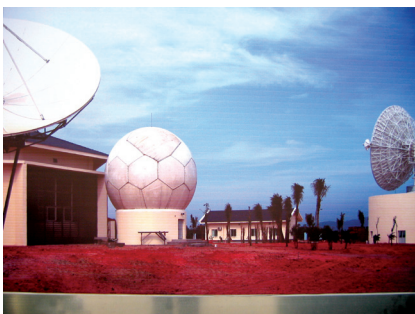
卫星是绕地球飞行的，只有卫星在地面测控设备的可视范围内时，才能对它进行测控。为扩大整个测控范围，要采用分散布站接力测控的方式，因此测控网由测控中心、测控台站、测控船和通信网络组成。目前我国有两个测控中心，一个是西安卫星测控中心，一个是北京航天飞行控制中心。测控台站有分布在我国东北的佳木斯站、东边的青岛站、东南的厦门站、南面的海南三亚站、西南的南宁站、最西边的新疆喀什站、还有中部西安附近的渭南站。根据任务需要，还配备了两个活动站、一个着陆场站及四艘远望号测控船。分布在各处的测控台站及测控船进行接力式测控，这样就扩大了整个测控系统的可测控范围。各测控站（船）在卫星飞经自己测控范围时，将自己测到的卫星飞行和星上工作情况的参数通过通信网络（卫星通信和光纤等）传送到测控中心。测控中心有大型计算机系统、大屏幕显示系统、调度指挥系统、时间统一系统、通信系统和各类勤务保障系统。测控中心收到测控台站（船）传来的数据后，由大型计算机系统计算出飞行体（卫星和飞船等）的轨道根数、姿态数据及飞行体工作状态的数据，传送到各有关部门（如地面应用系统及有关的台站等），并生成相应的控制指令及注入数据，经过通信网络传到相应的台站（船）上，测控台站（船）上的有关设备按规定程序、规定时间发向卫星，对卫星进行控制。大屏幕显示系统采用多种方式，直观地显示计算机计算结果，供指挥人员作下步工作的决策依据。调度指挥系统提供中心和所有参试该任务的台站人员之间的、直接不间断的语音通话，供指挥员下达操作口令，也供各测控台站（船）及时报告执行指令及设备工作情况，同时还让各台站（船）相互了解工作情况。时间统一系统保障测控中心、各测控台站（船）及卫星上的时间都绝对统一在标准的高精度的时间上。通信系统就是保障中心与各台站（船）数据指令准确、及时、快速不间断的传送。勤务保障系统是指机房的空调供电系统等，以保障稳定可靠的供电及良好的工作环境。

测控台站（船）的设备，一般由测控设备（发射机、接收机、测距终端、测速终端、遥控终端、遥测终端等）、引导设备、标校系统、仿真系统及计算机指挥调度、时间统一和勤务保障等系统组成，其中计算机的指挥调度、时间统一和勤务保障系统的功能，类似于测控中心相对应的部门。

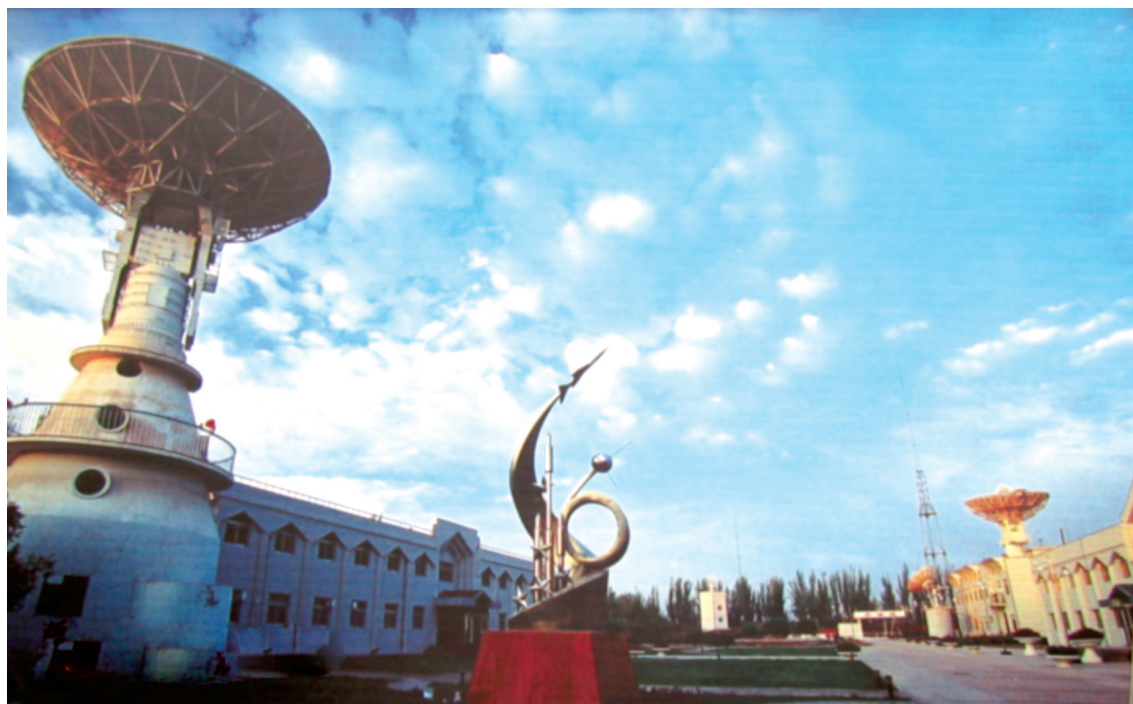
测控台站（船）的引导设备是为了保证卫星在进入该站（船）可跟踪范围时，能迅速将发射机和接收机的抛物面天线对准卫星飞来方向，接收卫星的信标信号。因为只有接收到卫星下发的信号，地面测控设备才能开始自动跟踪飞行的卫星，



佳木斯气象地面站



海南三亚测控站



喀什测控站

也只有地面测控设备自动跟踪上卫星后才能进行正常的测量和控制。在近地卫星中，有时单一测控台站对卫星的可跟踪弧段只有 $3 \sim 4$ 分钟，并且卫星运动速度又较快，特别是卫星刚入轨时，可能因火箭发射误差等因素，卫星没有精确按预定的设想轨道飞行。地面测控设备就很难及时“抓到”卫星，而能不能及时“抓到”卫星，是关系到测控成败的关键。测控设备主天线为保测量精度和高效发射无线电信号，波束很细。如果不知道卫星比较准确的位置，要想“抓到”飞行的卫星比较困难。这就像在黑夜里，用一个光束极细的手电筒照准一只飞行中的蚊子很困难，而用一个光束较粗的手电筒照射到一只蚊子就容易多了。引导雷达就是波束较宽、天线口径比较小的接收器。当卫星进入该测控站测控弧段时，引导雷达较易接收到卫星下发的信标信号。当引导设备收到信号后就会把卫星的位置信息（即卫星的方位和俯仰值）告诉主测控设备，主测控设备再在引导雷达提供的卫星位置附近搜寻，这样就比较容易“抓到”卫星了。

标校设备是验证测控设备测到的数据是否准确可信的设备。一般在离测控设备几公里远的高处，建一个高塔（称为标校塔），塔顶放置一部模拟卫星收发信号的应答机，此模拟应答机到主测量设备的距离、方位角、俯仰角，是事先经过精确测量的。在卫星进入测控站测控范围之前，先将测控设备对准标校塔上的模拟应答机测试一下（称为战前标校），等卫星一飞离测控范围后，立即又将测控设备再对准模拟应答机测试一下（称为战后标校）。如果跟踪卫星前后两次测到的标校数据与原先精密测量的数据一致（或在精度范围内）这说明测控设备工作正常，刚才测得卫星数据可信，否则刚才测控设备测得的数据无效。

仿真系统模仿卫星在飞行时的工作情况，以便操作人员在卫星还没有发射前开展岗位练兵，验证有关测控程序和电性能指标是否正确，确保到卫星发射时操作人员操作正确无误，确保卫星和地面操控设备协调一致的工作，确保航天测控任务圆满完成。■