

# 印度航天测控网发展综述

印度空间研究组织(ISRO)是印度航天活动的主要规划、组织和实施机构,印度所有与航天有关的研究中心、发射场、地面测控网站都在其领导之下,其总部设在印度中南部的班加罗尔。

## 一、ISRO 测控网

印度空间研究组织测控网 (ISRO Telemetry Tracking and Command Network, ISTRAC),是印度为各种卫星任务和运载火箭发射提供支持和地面保障的测控通信网,是航天任务的一个组成部分。

ISTRAC 网始建于 1976 年,是一个由设置在印度海内外的多功能站和相关设备组成的中规模测控网。ISTRAC 网早期的地面站数量较少,布局也有限,设备大都工作在 VHF 频段、C 波段。为适应航天计划的发展和便于与国际航天活动接轨,印度的航天地面测控通信设施在 20 世纪 80 年代进行了一系列的改造和扩充,最主要的改造是:逐步将 TT&C 任务转到 S 波段,建立统一 S 波段测控系统;任务和网络作业标准化,采取与国际一致的作业过程,便于国际合作,同国际航天组织的网络兼容。通过对地面测控网进行扩充、设备改造、计算机换代、通信网络更新,使 ISTRAC 网自动化程度大大提高,具有同时支持多任务的功能,为印度现代航天计划提供了有力的地面保障。

目前,ISTRAC 网由班加罗尔、勒克瑙、布莱尔港、斯里哈里科塔、特里凡得琅、比亚克(印尼)和毛里求斯等地测控站与班加罗尔的航天器控制中心(SCC)组成。

SCC 设有一个主控制室、一个任务分析室、两个专用控制室和一个数据控制室,可同时测控三颗卫星,主要提供实时遥测显示、卫星状态监视、姿态和轨道确定、机动计划、星历表计算、卫星数据归档的脱机处理、通信管理等。

现在的 ISTRAC 是一个以 S 波段为主的测控网,地面站天线均可进行右旋和左旋圆极化双载波接收,并可以右旋或左旋圆极化方式发送 S 波段上行信号,G/T 值为 21dB/K ~23dB/K,可以从 ISTRAC 网络控制中心对地面站进行遥控操作。地面站基带系统均符合 CCSDS 标准。测控网覆盖赤道至北纬 36°、东经 50°~110°的范围。

印度在发射卫星时,常常需要国际合作,请求欧洲航天局和美国的跟踪指令设施给以 TT&C 支持。有时要接收 INTELSAT、ESA、NASA、NOAA 来的跟踪数据,用于轨道控制。

ISTRAC 所有地面站都通过陆上的电缆、光纤或微波及卫星通信链路同 SCC 连接。同时在任务期间,SCC 还同参加任务的外国航天机构的控制中心及某些测控站、数据接收站连接。这些链路用于数据、语音和视频通信。同国际站的联系租用了 INSAT 和 INTELSAT 的通信信道。

ISTRAC 的部分测控设施见表 1。

表 1 ISTRAC 的部分测控设施

站名	设备	能力
班加罗尔站	2 副直径 10m 的卡塞格伦式天线,有全方位俯仰跟踪能力	主要为 IRS 和低轨卫星提供日常的 TT&C 支持,发送 IRS 的指令。
勒克瑙站		TT&C 能力与班加罗尔站差不多,支持极轨卫星发射。
斯里哈里科塔站	2 套 S 波段统一测控系统,各有一副 10 m 的天线; C 波段遥测接收系统。	提供运载火箭与该站发射控制设备之间的 VHF、C 波段、S 波段的 TT&C 链路。
	2 部印度研制的高精度 C 波段单脉冲雷达	用于主动段外弹道测量和靶场安全控制。
卡尼科巴岛下靶场站	始建于 1979 年,初期有 VHF 的 TM、TC 链路,1982 年开通 S 波段统一测控系统。	为从斯里哈里科塔发射的末级运载火箭和卫星的早期轨道提供主要的下靶场支持。

站名		设备	能力
特里凡得琅测控站		有 1 副 8m 的天线。既有 S 波段统一测控系统,也有 VHF 的 TM、TC 系统。	主要用于卫星发射任务的早期轨道支持。
卡瓦鲁尔光学跟踪测距站(12°34'N/78°52' E, 海拔 800m)		一套激光测距系统、恒星照相机及精密时统。	该站支持 ISRO 及其他国家航天计划的各种轨道确定任务。日常的跟踪数据要送到班加罗尔的 ISTRAC 总部,用来产生星历表。
艾哈姆达巴德地面站		1 副 VHF 天线 C 波段通信设施 S 波段数据接收系统	印度的航天应用中心 (SAC),也是遥感图像预处理中心。主要承担通信任务。
海外测控站	毛里求斯机动站	由几部拖车组成,只有 S 波段接收能力。	1981 年建成,主要为 IRS 任务提供 TT&C 支持。
	俄罗斯熊湖测控站	2 副 10m 天线的 S 波段多功能统一测控系统(包括跟踪/TM、TC)。	支持卫星发射的早期轨道任务,进行 TT&C 服务,接收 IRS 卫星的测控信息,并对其进行测控。

## 二、ISRO 深空站

新建的印度深空站在距班加罗尔市 40 千米的比亚拉鲁拥有 2 个直径分别为 18 米和 32 米的天线,这使印度成为具有深空测控能力的少数国家之一。深空测控具体技术指标见表 2。

表 2 印度深空站技术指标

技术指标	DSN-18 S/X(全向)	DSN-32 S/X(>1 Lakh km)
天线口径(m)	18.3	32
G/T(dB/K)	30.6	37.5
对月球的 G/T(dB/K)	26.0	32.0
EIRP(dBW)	79	94/84
天线角速度(deg/s)	10(Az)/(EI)	0.4
角加速度(deg/s <sup>2</sup> )	5/0.5	0.01
侧音测距精度(m)	20	20
距离变化率精度(m/s)	0.05	0.05
天线表面精度(相对于抛物面)	-	0.3mm rms

### 三、“月球初航”-1 探月任务的测控

印度用于支持月球飞船 1 号任务的地面测控系统主要由印度深空站,任务操作综合设施(MOC),印度空间研究组织测控网,ISTRAC 网络控制中心(NCC),印度空间科学数据中心(ISSDC)和国外深空站组成,如图 1 所示。

图 1 “月球初航”-1 地面测控系统示意图

测控方面,印度在执行“月球初航”-1 任务时主要依靠自己的一副 18 米和一副 32 米天线,以及一系列的 10 米~12 米天线列阵。俄罗斯提供了直接的技术支持,和一副 64 米天线。在西半球的天线列阵全部是由欧洲航天局和美国提供。

通过提高方位—俯仰型 10 米/11 米/12 米天线的性能,ISTRAC 测控网为“月球初航”-1 任务发射与初期轨道阶段(LEOP,包括远地点约为  $1 \times 10^4$  千米的椭圆转移轨道)提供 S 频段测控支持。

任务操作综合设施是“月球初航”-1 任务的神经中枢,设在班加罗尔的 ISTRAC 测控园区内,负责射前、发射与初期轨道阶段、正常运行阶段和后期阶段等各阶段对探测器的操作工作以及探测器与有效载荷的状态监测。任务操作综合设施可以向探测器发送更改星上配置、进行有效载荷操作和根据需要开展机动等各种指令,各组成部分协调工作,为探测器的运行提供全天时的支持。它和印度空间科学数据中心的设施通过保密的数据传输网络联系在一起。

任务操作综合设施对所收到的探测器星务/测控数据进行实时监控,保证星上系统的正常运行,还可开展特殊操作和故障恢复工

作。它将定期规划和实施轨道机动,以保持满足有效载荷数据重叠要求和探测器安全高度要求的飞行高度/偏心率。它会定期形成探测器与有效载荷服务性能报告,并交给设计部门和用户。中心将维护涉及所有卫星运行、状态、特殊操作、姿态轨道机动、故障和恢复情况的档案。

印度空间科学数据中心由印度空间研究组织新建,是存放印度空间科学任务有效载荷数据档案的主数据中心,负责空间科学任务有效载荷数据和相关辅助数据的归档和分发。除“月球初航”-1任务外,它还支持“天文星”和“热带云”卫星等未来空间科学任务。

数据接收站将接收到原始的有效载荷数据传给印度空间科学数据中心,该中心处理原始数据后,生成0级和1级数据产品,存放在档案库中,供随后分发。各有效载荷操作中心从印度空间科学数据中心的分发服务器处取得相关的有效载荷数据(0级/1级)及辅助数据,进行处理和分析,生成更高级别的数据产品,然后传给印度空间科学数据中心的档案库,供存储和分发。0级和更高级数据产品的档案依照行星数据系统(PDS)标准来组织存放。各有效载荷操作中心主要负责较高级别的科学数据处理、有效载荷工作规划、有效载荷性能评估和有效载荷标校,在开展有效载荷操作时可与任务操作综合设施互动。整个数据处理链已实现自动化。

ISTRAC网络控制中心位于班加罗尔,可以对包括印度深空网在内的所有ISTRAC地面站进行远程监控,而且便于各地面站提供数据。印度深空网地面站的有效载荷数据获取系统也与网络控制中心相连,可获取有效载荷工作安排。

此外,在“月球初航”-1任务中,为了提高发射与初期轨道阶段的测控覆盖,实现正常运行阶段近乎连续可见的能力,印度通过国际合作,联网支持“月球初航”-1任务。其中,支持高度低于 $1 \times 10^4$ 千米轨道段测控的站还有:夏威夷,阿尔坎塔拉,库亚巴;支持高度高于 $1 \times 10^4$ 千米轨道段测控的站包括:美国应用物理实验室,喷气推

进实验室(戈尔德斯顿站,堪培拉站,马德里站)和俄罗斯熊湖站。

#### 四、结束语

印度航天测控网的建设有如下几个特点:

(1)印度航天地面测控网的发展注意了与国际的接轨。印度在测控网的建设中,很注意与国际测控体制的发展接轨,以便于合作。

(2)国际合作增强了印度的航天地面测控能力。印度不仅在卫星发射方面寻求国际的合作,在航天测控方面也广泛地开展与美国、欧洲和前苏联等国的合作。为了扩大覆盖,印度在毛里求斯、莫斯科等建有自己的测控站,以支持发射任务。同时在发射卫星时常常要求美国和欧洲给以支持。

(3)统一的组织领导和实施。印度的运载火箭的研制、卫星的设计与制造,以及卫星的发射、管理、测控等都是由印度空间研究组织统一组织领导和实施,这样减少了相互牵扯而提高了效率。

总之,印度的航天地面测控系统,同它的其他航天计划一样,正在稳步地实施和发展,为航天发射和试验起着有力的保障作用。