

国际通信卫星IV

专集

国际通信卫星IV专集

〔美〕P. L. 巴杰利尼等 编
《国际通信卫星IV专集》翻译组 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书由三部分组成

(一) 国际通信卫星Ⅳ的卫星本体。介绍星上通信、消旋、天线、电源、遥测、指令、温控和章动阻尼等分系统以及整星的测试和验收。

(二) 国际通信卫星Ⅳ的发射入轨。介绍卫星运载火箭、发射过程、转移轨道、跟踪测轨和进入同步轨道的变轨机动。

(三) 国际通信卫星Ⅳ的通信系统。专门介绍通信分系统的系统设计、天线覆盖、转发器、载波噪声比、传输损害、频率分配、地面站、传输分析模拟和现场测试等。

本书可供从事空间技术和通信技术工程的有关人员和大专院校有关专业的师生阅读、参考。

COMSAT Technical Review
Volume 2 Number 2, Fall 1972

P. L. Bargellini

COMMUNICATIONS SATELLITE
CORPORATION 1973

国际通信卫星Ⅳ专集

〔美〕P. L. 巴杰利尼等 编

《国际通信卫星Ⅳ专集》翻译组 译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印张9¹/₈ 230千字

1976年8月第一版 1976年8月第一次印刷 印数：0,001—4,500册

统一书号：15034·1515 定价：1.15元

(限国内发行)

译 者 的 话

卫星通信是一门新兴的通信技术。把人造地球卫星发射到同步轨道，送入“静止”位置，进行全球通信，是空间技术和通信技术相结合发展的产物。目前已经得到了实际应用。为了介绍国外有关同步通信卫星的技术，我们本着“洋为中用”的原则，翻译了《通信卫星公司技术评论 (COMSAT Technical Review)》第2卷第2期（国际通信卫星Ⅳ专辑，1972年秋出版），取名为《国际通信卫星Ⅳ专集》，供从事通信卫星和卫星通信的研究、设计和生产人员参考。

本书除介绍了国际通信卫星Ⅳ卫星本体各个分系统以外，还以专文详细地介绍了卫星的发射入轨过程和通信系统。

原书系资本主义国家出版的刊物，希望读者在阅读时，遵照伟大领袖毛主席关于“对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”的教导，剔除其糟粕，吸收其有益部分。

本书在译校过程中，曾得到北京邮电学院的同志给予指导帮助，特表感谢。

由于我们水平有限，时间仓促，错误之处在所难免，敬希读者批评指正。

目 录

前言(摘译)	5
国际通信卫星Ⅳ的卫星本体	9
一、引言	9
二、通信分系统	16
三、消旋控制分系统	32
四、轴承及电能传输组件	48
五、电源分系统	56
六、遥测和指令分系统	74
七、天线定向机构	91
八、定位和定向分系统	92
九、远地点发动机	97
十、章动阻尼器	100
十一、机械设计	103
十二、温度控制	107
国际通信卫星Ⅳ的发射和入轨	121
一、国际通信卫星Ⅳ的发射	121
二、卫星技术控制网	129
三、卫星进入同步轨道的力学问题	152
国际通信卫星Ⅳ的通信系统	165
一、引言	165
二、系统设计	167
三、地面站	202
四、传输模型建立	214
五、传输模拟	252
六、现场测试	272
七、运用计划	281

前 言 (摘译)

S. Metzger

本期国际通信卫星Ⅳ专辑介绍卫星本体各方面的技术内容，叙述卫星对地面站的要求和卫星的实际应用。

国际通信卫星Ⅰ(晨鸟)是一颗试验型卫星，其目的是试验利用对地静止卫星进行商用电话传输的可能性。国际通信卫星Ⅱ是国际通信卫星Ⅰ的改进型，主要是为协助解决阿波罗载人飞行的通信联系而设计的。国际通信卫星Ⅲ是第一个商用通信卫星系列。国际通信卫星Ⅳ则是第二个系列。

国际通信卫星Ⅰ采用两个带宽为25兆赫的转发器，只能覆盖规定的500兆赫带宽的百分之十。由于采用的是倾斜环形天线波束，所以只能为北半球提供通信能力；又因为国际通信卫星Ⅰ是与当时商业上普遍使用的频分多路/调频制的多路传输系统联用，因而没有多址通信能力；此外，它没有阴影区工作所需的蓄电池。

不过，国际通信卫星Ⅰ证实了：

- (1) 卫星与地面站的通信联系是成功的；
- (2) 同步卫星所固有的传输延迟是可以接受的；
- (3) 长期进行位置和姿态控制是可实现的。

这就是说，国际通信卫星Ⅰ证明了利用对地静止卫星进行全球范围的商用通信是可行的。接着便提出了全球商用通信卫星的技术要求：

- (1) 能在500兆赫的全带宽范围内工作；
- (2) 用高效率的定向天线覆盖地球的整个可见区；
- (3) 装有能与几十个单一的射频载波进行多址通信的设备；

(4) 能在阴影区工作。

国际通信卫星Ⅱ是临时为阿波罗计划服务的过渡型卫星，只能部分地满足全球商用通信的技术要求。它有一个能进行多址通信的、130兆赫带宽的单转发器；采用了隧道二极管放大器和低电平行波管放大器，减少了大量元件；它有供阴影区工作的足够的蓄电池；它的环形天线方向图可覆盖地球的整个可见区。

国际通信卫星Ⅲ使用了机械消旋天线，提高了等效全向辐射功率。

国际通信卫星Ⅳ同时采用宽的覆球波束(18°)天线和窄的点波束天线(4.5°)，既能灵活地传输信息，又能获得较大的等效全向辐射功率。在稳定方式上，由于自旋稳定在国际通信卫星Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ上已取得了经验，所以国际通信卫星Ⅳ再次选用自旋稳定，而不用三轴稳定。

国际通信卫星Ⅳ装有12个转发器，每个转发器的带宽为36兆赫，其中四个转发器固定地与覆球波束天线连结，用于电视、SPADE●和其他需要大面积覆盖的通信业务；另四个转发器根据地面指令切换到覆球波束天线或者点波束天线；其余的四个转发器可同覆球波束天线相接，或同另一个点波束天线相接。每颗卫星的通信容量为3000到9000条双向话路或12路电视。国际通信卫星Ⅳ的另一重要技术特点是它的陀螺仪旋转稳定技术。这是设计绕最小转动惯量轴自旋的卫星所采取的稳定手段。这种技术适用于“双自旋”稳定的卫星，最早用于战术通信卫星。国际通信卫星Ⅳ和战术通信卫星一样，有一个消旋平台，这个平台通过轴承界面与一绕卫星最小转动惯量轴旋转的自旋段相连接。

一般说来，只有绕最大转动惯量轴自旋的卫星才是稳定的，否则自旋段内部的能量消耗将导致卫星的不稳定。为了消除双自旋卫星的不稳定，必须在消旋平台上装上章动阻尼器。章动阻尼

● SPADE 是以每个信道单个射频载波的按需分配系统，适用于信息量较小的用户或国家。

器是一种能量耗散装置，它产生反方向的力来消除卫星的章动。不稳定的主要起因是推进剂晃动和结构振动。

战术通信卫星在发射前所作的计算指出：引起不稳定的扰动力将小于章动阻尼器的稳定力。但是，战术通信卫星刚入轨，就立即产生章动，章动角并不像预计的那样衰减，而老是保持在1度附近。不过，章动在几星期以后便消失了，偶尔再出现也只是短时间的。由于该卫星的天线波束较宽，所以1度的章动角对通信没带来什么不良影响。

对国际通信卫星Ⅳ的稳定性研究发现，自旋段的四个球锥形贮箱内的液肼晃动所消耗的章动能量大小估计不准，所以必须弄清推进剂晃动所造成的能量耗散率。

试验计划是与分析研究同时并进的。国际通信卫星Ⅳ除装有无源章动阻尼器外，还增加了有源章动阻尼器作为后备。它由两个加速计和若干个轴向推力器组成。

国际通信卫星Ⅳ在轨道上推进剂晃动所引起的不稳定与发射前预计结果相符。有源章动器在发射时已按计划用上了，但在轨道上，由于卫星性能正常，一直未曾使用。

到1972年秋为止发射的四颗国际通信卫星Ⅳ都是成功的。远地点的最大误差为48公里，轨道倾角 $<0.5^\circ$ ，转发器的电性能全部满足设计要求，机械消旋段工作正常。

国际通信卫星Ⅳ的卫星本体

E. T. Jilg

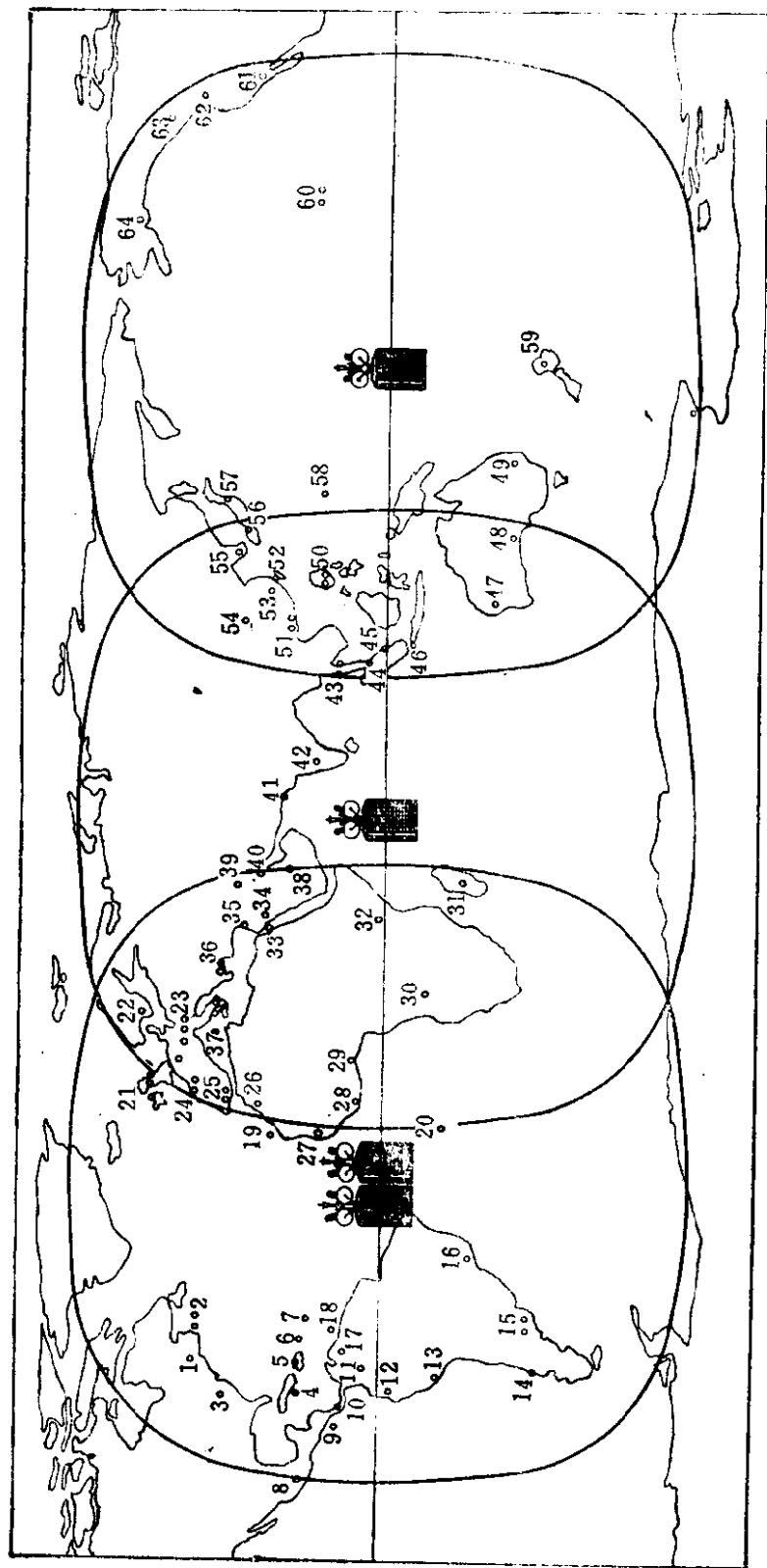
摘要 本文分别介绍了国际通信卫星Ⅳ的卫星本体的各分系统。该卫星设计寿命为七年，发射重量为1410公斤，远地点发动机熄火后卫星的重量为730公斤。整个通信分系统装在卫星的消旋段上。两个6千兆赫的覆球天线分别向一对互为备份的带宽为500兆赫的接收机馈送信号。设有12个带宽为36兆赫的信道，每个信道由一个有备份的输出行波管进行放大。有两个覆球发射天线和两个波束宽度为 4.5° 的可控点波束天线。

卫星主要部分（450公斤）按51转/分的标称转速自旋，这部分包括电源、消旋控制、定位和定向分系统。两个圆筒形太阳能电池阵提供的有效直流电功率为365瓦；在阴影期间，由两组各有25个电池的镍镉蓄电池组维持供电。卫星绕最小转动惯量轴自旋，由两个摆式涡流章动阻尼器维持卫星的稳定性。

一、引言

国际通信卫星Ⅳ是一个重约1400公斤（3100磅）的有源通信中继站，供国际通信卫星财团系统进行商业通信之用。卫星是用宇宙神-人马座火箭发射的，其设计的工作寿命为七年。采用双体自旋稳定。图1是F-3号卫星在封装发射前的照片。图2表示了卫星的主要元部件。

通信分系统是卫星的有效载荷。它包括接收天线、接收机、



国际通信卫星 VI 的卫星和地面站的全球系统(根据1972年12月的材料)

- 1—安多弗(美国); 2—米尔·维莱奇(加拿大); 3—埃当(美国); 4—牙买加; 5—波多黎各; 6—马提尼克; 7—巴巴多斯; 8—图兰辛戈(墨西哥); 9—尼加拉瓜; 10—尤蒂夫(巴拿马); 11—哥伦比亚; 12—厄瓜多尔; 13—汉鲁; 14—朗哥维罗(智利); 15—巴兰卡塞(阿根廷); 16—唐关(巴西); 17—卡马塔瓜(委内瑞拉); 18—特立尼达和多巴哥; 19—加那利群岛; 20—阿森松岛(英国); 21—贡利(英国); 22—塔努姆(瑞典); 23—赖斯廷(西德); 24—普勒默·博杜(法国); 25—布伊特拉戈(西班牙); 26—摩洛哥; 27—塞内加尔; 28—象牙海岸; 29—兰特特(尼日利亚); 30—扎伊尔; 31—马尔加什; 32—肯尼亚; 33—以色列; 34—巴卡(约旦); 35—阿尔巴尼亚; 36—特尔莫皮来(希腊); 37—福齐诺(意大利); 38—巴林; 39—阿萨达巴德(伊朗); 40—乌姆·阿希(科威特); 41—巴基斯坦; 42—阿尔维(印度); 43—是拉差(泰国); 44—查蒂卢胡尔(印尼); 45—森托萨(新加坡); 46—库安坦(马来西亚); 47—卡那封(澳大利亚); 48—塞杜纳; 49—莫里; 50—塔奈(菲律宾); 51—香港; 52—台湾省青山里; 53—上海; 54—北京; 55—锦山(朝鲜); 56—山口(日本); 57—茨城(日本); 58—关岛; 59—瓦尔克沃斯(新西兰); 60—波马卢(美国); 61—詹姆斯堡(美国); 62—布鲁斯特(美国); 63—巴特利特(美国); 64—莱克科威城(美国)。

输入多路调制器、输出行波管放大器、输出多路调制器和发射天线。两个 6 千兆赫的喇叭形覆球天线分别向一对带宽为 500 兆赫的互为备份的接收机馈送信号（四个接收机中的任一个均能提供全部通信接收能力）。

每个接收机包含一个 6 千兆赫隧道二极管放大器、一个陷波滤波器、一个从 6 千兆赫变频到 4 千兆赫的混频器、一个 4 千兆赫隧道二极管放大器和一个低电平行波管放大器。输入多路调制器将通信频带分成 12 个 36 兆赫宽的信道，每个信道由一对互为备份的输出

行波管放大器中的一个进行放大。输出多路调制器将这些信道的输出重新混合，并馈送到发射天线。有两个覆球发射天线和两个波束宽度为 4.5° 的点波束天线。整个通信分系统都安装在卫星的消旋部分上，这样，通过旋转界面的电能是以直流方式而不是以射频方式进行传递。



图 1 F-3号卫星在封装发射前的照片

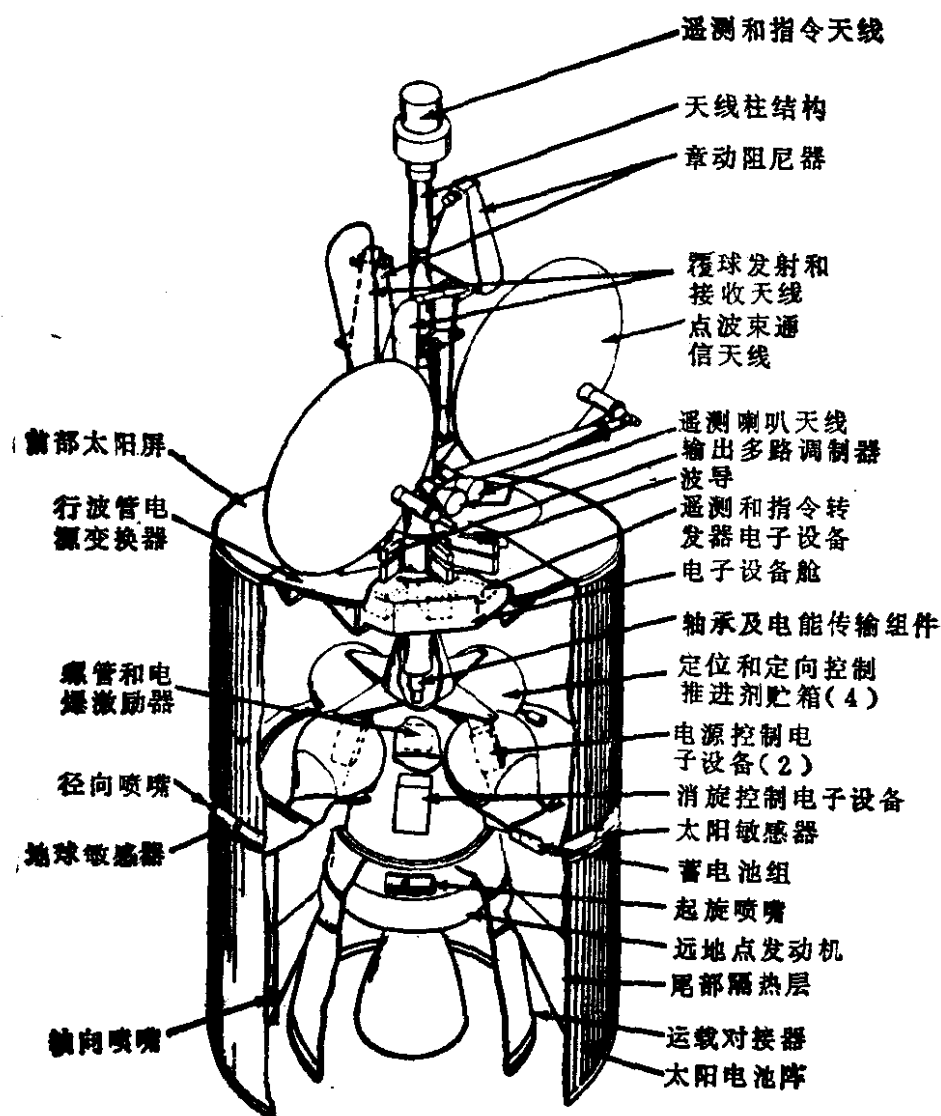


图2 卫星的主要元部件

消旋控制分系统给卫星的自旋和消旋部分之间的马达提供一个驱动信号。在正常工作状态下，此驱动信号使消旋平台定向，使天线指向地球。对地定向的基准信号是从三个红外地平仪中的一个，从两个太阳敏感器中的一个（利用消旋控制电子线路中的偏置钟），或从地面指令获得的。地面指令是用来产生在转移轨道工作时所需的不等于零的惯性转速。在自旋段上装有两个检拾线圈，当它们扫过一对装在消旋段上的磁铁时，产生输出脉冲，这些脉冲提供有关相对位置的反馈数据给消旋控制分系统。

因为消旋平台必须保持近乎静止状态以维持卫星的章动稳定性，消旋控制分系统具有“速率保持”线路。若消旋基准信号消

失，则这个逻辑功能应用最近一次速率信号来保持自旋段对消旋平台的相对运动。轨道上的试验证实了这个工作方式可在几小时之内保持稳定。

消旋控制系统的信号处理电子设备分系统包括互为备份的数字式力矩指令发生器，后者交叉耦合到互为备份的模拟的马达驱动器上。整个分系统位于自旋段上。除了马达驱动信号外，消旋控制系统还为遥测系统提供敏感器数据，使地面站能够确定卫星姿态。

轴承及电能传输组件构成卫星的自旋段与消旋段之间的旋转界面。装在轴承及电能传输组件的钛外壳内的部件有传输电能用的滑环电刷组件和传输遥测及指令信号用的 4 信道旋转变压器。旋转界面是由角接触滚珠轴承构成的。

轴承及电能传输组件中装有永磁电枢和励磁线圈，这些元件构成马达，产生力矩以抵消轴承和滑环电刷中的摩擦。与马达绕组相邻的分相器提供相位适当的正弦和余弦调制，使马达可不用电刷而工作。为消旋控制系统提供相对位置反馈的线圈和磁铁也装在轴承及电能传输组件内。一个“松”的迷宫式密封和烧结尼龙 (nylasint) 贮油器以及浸油的轴承护圈，保证润滑寿命预计比卫星的工作寿命高一个数量级以上。最后，在轴承及电能传输组件中，备有一个用电爆装置松开的双 V 型夹具，以减少发射时加在轴承上的载荷。

电源分系统在日照时和在每年 90 个阴影期间（每个持续达 70 分钟）向卫星的负载提供 365 瓦的有效直流电功率。电能由两个圆筒形太阳电池面板（它们形成卫星的自旋“蒙皮”）和两组各为 25 个电池的镍镉蓄电池组提供。这些蓄电池分成若干电池盒安装在自旋段平台的肋上。通过两条独立的未稳压母线配电，这两条母线可按地面指令而并联。虽然星上具有自动放电的能力，但实际上蓄电池的充电和放电是由地面指令控制的。蓄电池可以由地面控制进行重复激活。

卫星上的遥测数据的传输方式：在转移轨道上时，由一个通信行波管提供加大的输出功率，以 4 千兆赫的频率通过全向天线来传输；在正常通信时，通过一个由 100 毫瓦的固体发射机激励的锥形喇叭式的覆球天线传输。

两个编码器，一个在自旋段上，另一个在消旋段上，能按三种不同方式提供卫星数据。在最常用的脉码调制方式中，来自自旋段的编码器和消旋段的编码器的遥测字相间地构成一个 64 字的帧，码速率为 1 千比特/秒。帧内包含指令寄存器状态，卫星工作状态和工程数据。在实时调频方式中，提供出敏感器输出的模拟量和计时脉冲。在调频加速度计方式中，直接给出了卫星章动的情况。除了这三种主要方式之外，两个互为备份的编码器链中的任一个都可用做轴承及电能传输组件的宽频带机械噪声监听器。分系统的所有其它部件是全备份的。

指令发射是在两个相邻通信信道中间的微波频率上进行的。信号由位于天线柱顶端的双锥形全向天线所接收，由有备份的指令接收机解调，提取出一组二进脉冲串，送到两个互为备份的自旋段译码器●和两个互为备份的消旋段译码器中。本分系统向自旋段提供 95 个指令，向消旋段提供 160 个指令。除了完成地面指令功能外，它还提供一系列指挥卫星机动的指令和在分离后使卫星起旋的指令。有源章动控制装置可用来启动轴向胼喷嘴，可使章动减少到低于 0.5° 的规定值。

天线定向机构是用来控制点波束反射器的指向，因而可使波束对准地球上卫星视界内所希望的地点。定向机构是由双轴万向框架、驱动马达及齿轮组和电位器式位置指示器所组成。

卫星的定位和定向分系统在卫星的全部工作寿命期间是用单元推进剂胼来提供速度、姿态和自旋转速控制的。当卫星从人马座火箭分离后，定位和定向分系统将自动地促使卫星起旋至转速为 51 转/分。此分系统可按地面指令对卫星调整姿态，使它从送入

● 原文都为编码器，疑有误。——译注

轨道时的垂直于轨道面的姿态变到远地点发动机点火的姿态。远地点发动机点火后，定位定向分系统还可用来阻尼章动。然后，对卫星调姿，转入工作姿态，并漂移到所要求的位置上。

此后，肼用来克服作用于卫星上的扰动力。这些扰动力包括使轨道平面进动并影响其倾角的太阳引力和月球引力，使卫星在轨道平面内漂移的地球引力场的不规则性和使卫星姿态扰动的太阳辐射压力。为完成这些职能所需的飞行速度的总增量约为 430 米/秒 (1400 呎/秒)。这个分系统由彼此独立的但又相互交叉连接的两部分组成，每一部分都包含两个锥球形贮箱，3 个催化推力器及其有关的阀门和过滤器、一个起旋贮罐、一个加注阀、一个压力传感器和管道。

远地点发动机是以聚丁二烯为推进剂的固体火箭，具有缠绕式外壳。它的总重量约为 710 公斤 (1560 磅)。它的作用是为卫星提供 1800 米/秒 (5900 呎/秒) 的速度增量，以使卫星轨道变为赤道平面的、圆形的和同步高度的轨道。

两个摆式涡流章动阻尼器安装在消旋段上，高立于天线柱上。卫星章动时使章动阻尼器内产生涡流损耗，此涡流损耗使消旋段比自旋段消耗更多的能量。这是维持象国际通信卫星 IV 这样惯量比的双体自旋卫星的稳定性的必要条件。一个阻尼器是采用窄响应，可在较窄的章动频率范围内获得高阻尼，另一个则是宽响应的。

消旋段结构基本上是一个圆筒管状杆，从它上面引出各种悬臂梁结构的载荷。主要载荷是消旋舱，它由两个圆环状搁板及轴向连接肋所组成。所有的消旋段上的通信设备都安装在这舱上。消旋段的其他载荷有天线、馈源和章动阻尼器。自旋段结构是个锥体，它具有一悬臂梁式的、带肋搁板支撑着太阳电池面板，蓄电池以及定位和定向分系统。自旋段的电子设备安装在锥体外表面，而远地点发动机则由锥体内表面支撑着。另一结构件，即运载对接器，在卫星和运载火箭分离后留在人马座火箭上。

国际通信卫星 IV 的温控主要是被动式的；仅有的主动元件是

一些局部电阻加热器，它们装在轴承及电能传输组件、远地点发动机、接收机和肼管路等处。内部部件的被动温控利用一个黑体圆柱体垂直于太阳射线自旋时所提供的约 20°C (70°F) 的日照环境。在卫星圆柱体的装有一天线的一端，由行波管放大器所产生的局部功耗由背面镀银镜构成的太阳罩的高辐射吸收比来补偿。因为天线受着太阳罩的镜面反射所引起的多重日照强度的影响，而且又无自旋引起的“调剂”作用，所以天线阵上所用的元件都经过挑选，使其能够承受较大的温度变化。天线阵还采用了外表面有高辐射率的多层绝缘材料，因而可以部分地减轻这些温度变化。

二、通信分系统

I. Dostis

国际通信卫星Ⅳ的通信分系统是用作轨道上的微波转发器，它接收、放大、变频和再发射各种形式的通信信号。信号中所带的信息是多种多样的，包括话音（电话），数据（高、低比特率）和彩色电视。通常用调频或多相调制的方法将信息调制到载波上。在标准无线电中继传输中，这些载波可以是在任何时候都存在的，并载有不同数目的话路（24至1800路）；在 SPADE 方式中，它们是由话音激活的；在时分多址系统中，它们可以只以短时的脉冲串形式出现。

图 3 是简化了的转发器设计方案。它是为提供多种通信技术所需要的性能和频率利用上的灵活性而提出的。这转发器的基本部件包括如下三部分：（1）宽带前端，它由 6 千兆赫天线和接收机组成，以提供从 6 千兆赫变到 4 千兆赫的变频；（2）信道划分或接收多路调制器组件，它包括振幅和群延迟均衡器，把通信频带划分为 12 个 36 兆赫的信道；（3）输出部分，包括高电平行波管，输出多路调制器组件和发射天线。为了使通信容量最适当地满足预计的通信业务的要求，配备了两组发射天线，一组为全球覆盖，另一组为点波束覆盖（3 分贝波束宽度为 4.5° ）。