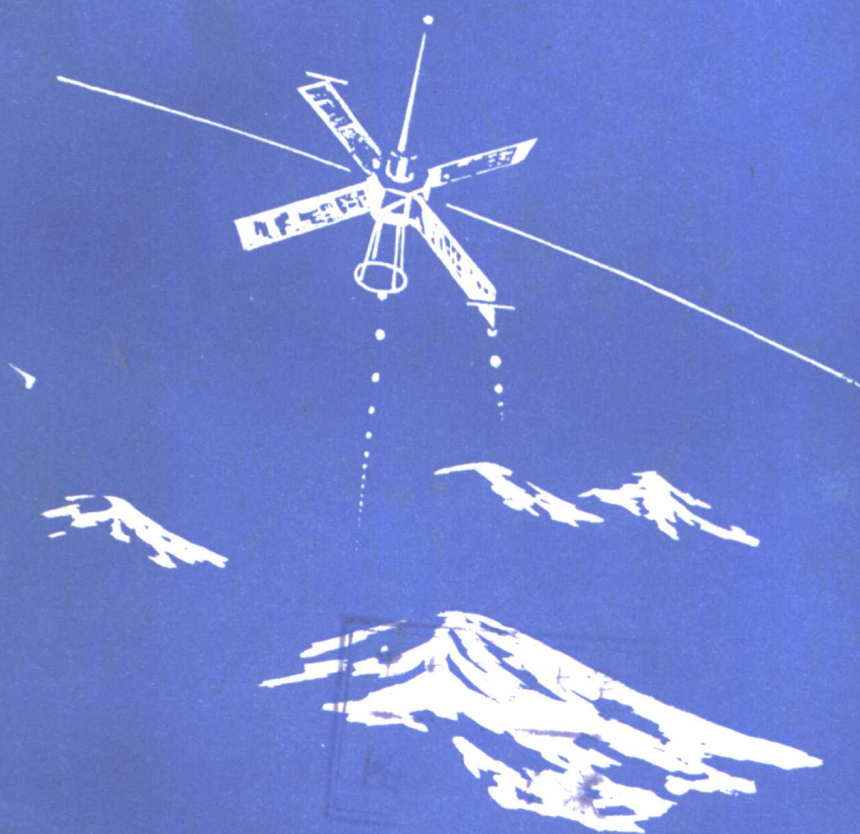


652804

卫星多普勒定位测量

宋成骅
汪鸿生
谢世杰



测绘出版社

卫星多普勒定位测量

宋成骅 汪鸿生 谢世傑

测绘出版社

内 容 简 介

本书系统地全面地论述了卫星多普勒定位技术的理论和方法。全书分十五章，分别叙述卫星多普勒定位测量原理、卫星大地测量坐标系、人造卫星正常轨道理论、积分多普勒单点定位法、卫星多普勒短弧与半短弧平差法，由卫星多普勒观测确定地极坐标、卫星多普勒网与地面网联合平差以及全球定位系统等。本书取材广泛，内容较新，并注重联系实际。

本书可供测量专业师生，从事天文大地测量、石油勘探和地球物理等学科的科技人员参考。

卫星多普勒定位测量

宋成骅 汪鸿生 谢世傑 等

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 23.5·字数 540 千字

1987年7月第一版·1987年7月第一次印刷

印数 0.001—2,000 册·定价 4.80 元

统一书号：15039·新 584

序 言

卫星多普勒定位技术是现代大地测量采用得较为广泛较有成效的新技术之一。近几年来,在我国的生产、科研和教育部门,均引用了此项新技术,且有更为普及的趋势。

由于当前论述卫星多普勒定位技术的理论和方法的书籍较少,不少大地、天文、地球物理科技工作者,以及有关教学和科研人员,希望能有一本关于这方面论述比较全面的书籍。有鉴于此,我们在过去几年内,结合作者承担的生产、科研和教学任务,参考有关文献资料,并做了若干论证性试验,就此项新技术的理论和方法写成此书,以应需要。

全书共十五章,就内容可分成四部分。

第一部分:第一、二、三章,扼要论述卫星大地测量基本方程,坐标系以及正常轨道理论,为卫星多普勒定位技术提供基础知识;

第二部分:第四、五、六、七章,对卫星多普勒定位系统,卫星多普勒测量原理,导航卫星预报和卫星多普勒定位方法,作了系统的阐述和探讨。对于导航卫星预报和卫星多普勒定位方法,列出计算实例和实验结果;

第三部分:第八、九、十、十一章,就当前国际和国内常用的数据预处理,积分多普勒单点定位法,卫星多普勒半短弧平差法,卫星多普勒短弧平差法作了较为详尽的论述;

第四部分:第十二、十三、十四、十五章,包括卫星多普勒观测的误差分析,卫星多普勒观测确定地极坐标,卫星多普勒网与地面网联合平差,全球定位系统。这四章内容对于卫星多普勒定位的应用,以及将它推进到更高阶段,是十分重要的,也是必不可少的。

本书第四、七、九、十、十二、十三章由宋成骅编写,第一、二、五、六、八章及附录由汪鸿生编写,第三、十五章由谢世傑编写,魏子卿承担第十一章,以及刘经南承担第十四章的编写工作。本书承宋文尧同志详阅原稿,提出许多宝贵意见,并提供误差分析等方面的资料。本书全部插图均系高增吉绘制。在此谨向他们致以衷心感谢。

限于作者的水平和经验,书中的缺点在所难免,敬希读者和同行批评指正。

编 者
一九八五年

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 卫星多普勒定位系统	(4)
§2.1 发展简史.....	(4)
§2.2 空间部分——卫星.....	(5)
§2.3 地面跟踪网.....	(10)
§2.4 用户接收设备.....	(13)
§2.5 卫星信息.....	(23)
第三章 卫星大地测量坐标系及其换算	(32)
§3.1 概述.....	(32)
§3.2 基本概念.....	(34)
§3.3 天球坐标系及其换算.....	(42)
§3.4 地球坐标系及其换算.....	(49)
§3.5 地球坐标系与天球坐标系之间的换算.....	(61)
第四章 人造地球卫星正常轨道理论	(64)
§4.1 二体问题及正常轨道根数.....	(64)
§4.2 二体问题轨道平面方程.....	(65)
§4.3 卫星的轨道方程.....	(68)
§4.4 偏近点角、真近点角、平近点角与地心向径表达式.....	(75)
§4.5 开普勒方程解法.....	(78)
§4.6 二体问题星历计算.....	(79)
第五章 卫星多普勒测量原理	(84)
✓ §5.1 多普勒效应.....	(84)
✓ §5.2 多普勒积分法.....	(88)
✓ §5.3 卫星多普勒定位原理.....	(91)
§5.4 卫星多普勒导航计算.....	(91)
§5.5 电离层折射效应.....	(95)
§5.6 非电离层折射效应.....	(97)
第六章 导航卫星预报	(101)
§6.1 起始数据.....	(101)
§6.2 初选.....	(102)

§6.3	试探法	(108)
§6.4	多项式拟合法	(109)
§6.5	卫星通过时方位参数的确定	(112)
§6.6	卫星预报计算实例	(113)
第七章	卫星多普勒定位方法	(118)
§7.1	单点定位法	(118)
§7.2	联测定位法	(124)
§7.3	短弧定位法	(127)
§7.4	卫星多普勒网的建立	(128)
第八章	卫星多普勒数据预处理	(133)
§8.1	卫星多普勒数据记录格式	(133)
§8.2	多普勒计数的归算	(146)
§8.3	卫星轨道的拟合	(147)
§8.4	卫星坐标的计算	(148)
§8.5	测站点地心坐标近似值的计算	(151)
§8.6	卫地距离、卫星高度角和对流层折射改正的计算	(152)
§8.7	本机时标与卫星时标的关系及换算公式	(153)
第九章	积分多普勒单点定位法	(156)
§9.1	绪言	(156)
§9.2	数学模型	(156)
§9.3	程序运算	(167)
第十章	卫星多普勒半短弧平差法	(170)
§10.1	一般说明	(170)
§10.2	数学模型	(172)
§10.3	设计矩阵	(173)
§10.4	最小二乘平差	(176)
§10.5	若干问题的讨论	(178)
§10.6	方框图和子程序的作用	(186)
第十一章	卫星多普勒短弧平差法	(190)
§11.1	前言	(190)
§11.2	轨道积分	(191)
§11.3	观测方程	(204)
§11.4	法方程的组成	(212)
§11.5	分块回归理论	(215)
§11.6	自回归反馈平差	(226)
§11.7	周期计数编辑	(233)
§11.8	距离差观测方程	(234)

§11.9 短弧法定位精度·····	(236)
第十二章 卫星多普勒观测的误差分析 ·····	(240)
§12.1 概述·····	(240)
§12.2 轨道误差·····	(241)
§12.3 折射误差·····	(247)
§12.4 接收误差·····	(259)
第十三章 卫星多普勒观测确定地极坐标 ·····	(263)
§13.1 极移的概念·····	(263)
§13.2 地极坐标·····	(265)
§13.3 卫星轨道的极移摄动·····	(265)
§13.4 卫星多普勒测量确定地极坐标的数学模型·····	(267)
§13.5 误差方程式的系数和法方程式解算·····	(269)
§13.6 地极坐标的求定·····	(272)
第十四章 卫星多普勒网与地面网联合平差 ·····	(273)
§14.1 绪言·····	(273)
§14.2 联合平差的基本原理·····	(274)
§14.3 联合平差观测方程的数学模型·····	(281)
§14.4 联合平差观测方程数学模型的选择·····	(305)
§14.5 联合平差计算程序·····	(313)
第十五章 全球定位系统 (GPS) ·····	(316)
§15.1 绪言·····	(316)
§15.2 GPS 信号 ·····	(321)
§15.3 伪距法·····	(326)
§15.4 多普勒法·····	(332)
§15.5 相差法·····	(333)
§15.6 干涉法·····	(335)
§15.7 误差讨论·····	(341)
附录 A ·····	(347)
附录 B ·····	(360)

第一章 绪 论

自从1958年人造地球卫星（以下简称卫星）发射成功以后，经典大地测量学与天文学、地球物理学相互渗透，产生了大地测量学的新分支——卫星大地测量。自六十年代以来，卫星大地测量获得了突飞猛进的发展，并在空间技术和地球科学方面发挥着日益重要的作用。

卫星大地测量的实质，就是利用人造卫星的观测资料来实现大地测量的目的。因此，卫星大地测量的任务可概括为如下几点。

1. 精确测定地球的大小和形状、地球外部引力场、地极运动、大陆板块间的相对位移和研究大地水准面的形状。这不仅是大地测量学的主要任务，而且对其它科学技术也有重要意义；

2. 精确测定地面点相对于地球质心的坐标（地心坐标）。这样，就能够把世界上不同地区的地面大地网精确地联系起来，建立统一的世界大地测量坐标系，为研究地心坐标系运动提供可靠资料；

3. 加强国家天文大地网，并提高其精度。现有的大地测量成果具有几何和物理的两重性，即平面位置是在某个参考椭球面上，用几何方法（三角或导线测量）推算测定，而高程则由某地的平均海水面，用物理方法（水准测量）传递测定。利用卫星大地测量的方法可以对大面积的天文大地网进行加强或控制，以及不断提高其精度；

4. 困难地区布设测图控制。根据目前美国海军导航卫星系统所达到的精度，很多国家已直接用卫星多普勒定位法，在困难地区布测控制网。它可以提高工作效率，避免外业造标工作，降低作业成本；

5. 海岛联测，包括海上定位等。卫星大地测量可以对远离大陆的岛屿，以及沿海的石油钻台进行大地联测。这不但速度快，精度好，而且是常规大地测量无法进行联测的唯一有效手段。

除此，卫星大地测量，特别是卫星多普勒测量在海上导航、石油勘探、监测冰川运动、地壳运动和军事等方面有着广泛的应用。

卫星大地测量，就其观测手段通常可分为光学摄影法、激光测距法和无线电技术法三种。光学摄影法，包括目视光学观测，电影经纬仪观测。目视光学观测能很快地获得卫星的近似位置，所以在人造地球卫星观测的最初阶段使用得较广泛。由于观测精度较低（方向精度为 $5''\sim 20''$ ，记时精度为 $0.01'$ ），所以被后来发展的光学摄影法所替代。这种摄影法，是以恒星天空为背景，用大口径光学望远镜对恒星进行摄影。通过底片上恒星与卫星轨迹的量测，可以确定卫星在空间相对于恒星的位置。

光学摄影法是在卫星大地测量创立时，应用最广泛的方法。1962~1965年，美国斯密森天体物理天文台(SAO)，曾用贝克-纳恩摄影仪进行了全球性的卫星观测，对北美

统(NAD)、欧洲系统(EUA)、澳大利亚系统(AND)、日本系统(JAD)、阿根廷系统(ARG)和夏威夷系统(HAW)等主要大地系统进行了联测,并于1969年发表了“标准地球 I”,它利用了39个观测站的数据。

1966~1971年,美国在全球布设了包含45个点的全球人卫三角网,用BC-4弹道摄影仪观测卫星。方向观测的精度为 $\pm 0.3'' \sim 1.5''$,点位中误差为 $\pm 6.7\text{m}$,地心坐标的中误差约为 $\pm 17 \sim 32\text{m}$ 。此外,在北美、欧洲等地还建立了地区性的光学摄影卫星三角网。由于精度限制,观测条件限制和底片处理繁杂等原因,目前光学摄影方法使用较少。

激光测距法就是在地面测站上,用激光测距仪对卫星进行距离测量,从而进行定轨或定位工作。第一代卫星激光测距仪的精度为几米,而第二代的精度为1m以下,目前发展的第三代卫星激光测距仪的精度可达几个cm,这种方法正处于研究发展阶段。

无线电技术法就是利用卫星发射的无线电波,或者利用地面测站向卫星发射无线电波,或者利用卫星跟踪卫星的无线电方法,进行距离或速度的测量。从而进行定轨,定位或测定地球引力场的工作。由于这种方法具有全天候性能,使它得到很快的发展。卫星多普勒定位法就是无线电技术法中的一种,也是目前发展得比较成熟,在导航和定位中应用得较广泛的一种方法。它主要是利用美国“海军导航卫星系统”(NNSS),亦称“子午卫星”(Transit)。本书将对利用该系统进行卫星多普勒大地测量的理论、方法、技术和误差分析等方面作较全面的阐述。

卫星大地测量就其性质,通常又可分为几何法和动力法两种。几何法就是将卫星看作高空觐标,它不需要知道或不需要精确知道卫星的轨道。此时,需要进行几个站的同步观测或准同步观测,用几何方法推求相互间的关系位置。动力法是以卫星运动理论作为基础,目的是通过对卫星的观测,以及对卫星轨道变化的研究,推求地球引力场参数和测定测站的地心坐标。

由图1.1可得出卫星大地测量的基本向量方程:

$$\vec{r}(t) = \vec{R} + \vec{S}(t) \quad (1.1)$$

式中 $\vec{r}(t)$ 为卫星在 t 时刻的地心向量, $\vec{R}$ 为测站 P 的地心向量, $\vec{S}(t)$ 为卫星到测站在 t 时刻的向量,通常称为卫地向量。

如果顾及参考椭球的局部大地基准与地心的关系,即地心转换向量 $\Delta\vec{R}$,则基本方程(1.1)可写为

$$\vec{r}(t) = \vec{R}_G + \Delta\vec{R} + \vec{S}(t) \quad (1.2)$$

在空间的每个向量是由作用点、方向和模量来确定的。通常,观测量总是卫地向量的分量。由于卫星在空间运行,

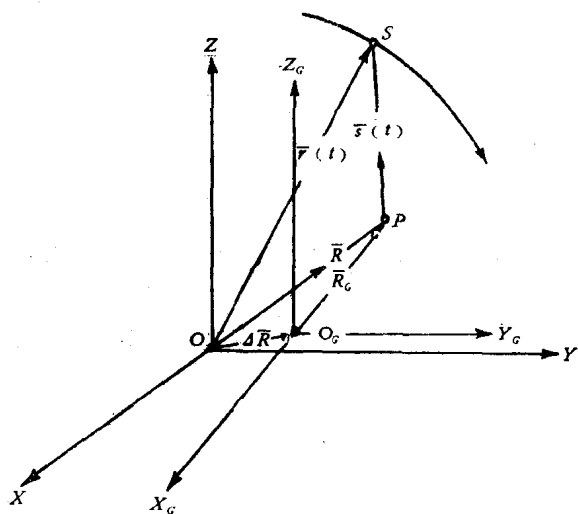


图 1-1 地心向量关系示意图

与卫星有关的向量都随时间而变化,所以时间 t 也成为基本方程的必需组成元素。有

些情况下, 时间 t 也可作为观测量。由于解算的向量不同, 基本方程就有不同的解算方法。通常可分为以下三种解算方法:

1. 正解法 已知测站的地心向量 $\overline{R}$, 对卫地向量 $\overline{s}(t)$ 进行观测, 求解卫星的地心向量 $\overline{r}(t)$ 。如果只能实测卫地向量的方向, 那么必需两个测站进行同步观测, 才能解出卫星的地心向量。如果只能实测卫地向量的模量(距离), 则必需三个测站进行同步观测, 才能解出卫星的地心向量。由此可见, 当采用光学摄影法时, 至少需要两个测站进行同步观测, 而当采用激光测距法或无线电测距法时, 至少需要三个测站进行同步观测。

2. 轨道摄动法 就是通过一段长时间对卫星的观测, 从卫星轨道的变化中, 找出引起轨道摄动的来源和起因, 特别是研究地球引力场对卫星轨道的影响。为了解决此问题, 必须对卫星运动的理论进行深入的研究。

3. 反解法 就是已知卫星的地心向量 $\overline{r}(t)$, 观测卫地向量 $\overline{s}(t)$, 求解测站的地心向量 $\overline{R}$ 。由于此时卫星轨道为已知, 故利用已知的卫星轨道来推求地面测站的地心向量, 通常称为轨道法。卫星多普勒定位法中常用轨道法, 也用半动力法, 即对轨道进行一部分修正的方法。

在进行测站地心向量解算时, 也可采用多站同步法, 即将卫星作为一种高空觇标, 用几何法来解算。此时, 无需精确知道卫星的地心向量。如果在两地面测站上同时观测一颗卫星, 则基本方程 (1.2) 就可写出两个方程, 即

$$\begin{aligned}\overline{r}(t) &= \overline{s}(t)_1 + \overline{R}_{G_1} + \overline{\Delta R} \\ \overline{r}(t) &= \overline{s}(t)_2 + \overline{R}_{G_2} + \overline{\Delta R}\end{aligned}$$

两式相减得

$$\overline{s}(t)_1 - \overline{s}(t)_2 = \overline{R}_{G_1} - \overline{R}_{G_2}$$

由此就可以得出地面两测站的相对位置。

以上三种解算方法可以联合进行, 此时常称动力法。但只能采用逐步趋近和逐步精化的手段来达到较好的解算。

在实际应用时, 会有各种不同情况, 也会有更多的观测量, 所以每种具体观测手段和数据处理方法, 都将有专门的阐述和研究。

本书着重阐述 NNSS 多普勒测量, 并对正在发展中的全球定位系统作简要地介绍。

第二章 卫星多普勒定位系统

卫星多普勒大地测量主要是利用美国海军研制的导航卫星系统。该系统最初称为子午卫星，以后改用海军导航卫星系统，最后又称为导航卫星 (NAVSAT)。

§ 2.1 发展简史

美国为了对装有北极星导弹的潜艇的惯性导航系统进行有效的检核，由美国海军武器实验室 (NWL) (现改名为海面武器实验室 NSWL)，委托美国霍布金斯大学的应用物理实验室 (JHU-APL) 研制卫星导航系统。APL 于 1958 年 12 月开始研制，1964 年投入军用，除为北极星潜艇导航外，还为其它军舰和海洋考察船导航之用。1967 年 7 月经美国政府批准解密，可供商用。因此，开始用于各种远洋船舶导航及海上定位。1964 年以后，也开始研究利用该系统来解决大地测量的任务，随着该系统的精度不断提高，越来越广泛地用来解决大地测量和地球动力学方面的一系列问题。由于该系统具有全天候、全自动、全球覆盖和具有较高精度等特点，因而在世界上获得日益广泛的应用。

导航卫星系统的设计思想，最初是由霍布金斯大学应用物理实验室的几名研究人员提出来的。在使用无线电跟踪苏联第一颗人造地球卫星时，维芬巴赫 (George C. Weiffenbach) 和吉尔 (William H. Guier) 发现可以利用多普勒频移来测定卫星的轨道。不久，当时任应用物理实验室研究中心主席麦克卢尔 (Frank T. McClure) 提出，利用预测的轨道，使用多普勒测量的方法来测定地面接收站位置的设想。经过一系列的论证和技术准备以后，在以下四个方面正式开展了研制工作。(1) 研制 TRANSIT 卫星系列；(2) 建立地面跟踪网，以提供预测的轨道参数；(3) 研制地面接收设备；(4) 开展卫星轨道理论，地球引力场和地球形状的研究。

建立导航卫星系统以后，根据美国本土四个跟踪站 36 小时的观测数据，再外推 16 小时的卫星轨道参数。由注入站将此预测的卫星轨道参数定期注入卫星，卫星将此轨道参数，经相位调制后播发出去，通常称它为广播星历。此外，还有分布在全球各地约 19 个观测台站组成的全球子午卫星跟踪网 (TRANET)。这些台站大多为各国的天文台或卫星观测站。按全球跟踪网的观测资料，汇总并计算子午卫星的精密星历。起初由应用物理实验室计算并提供，目前由美国国防部测图局地形测量中心 (DMATC) 计算和提供。通常只计算二颗子午卫星的精密星历。该精密星历只提供与美国政府有协议的天文台、卫星观测站和有关单位。

为了提高广播星历的精度，导航卫星系统于 1974 年 1 月顾及了极移改正，即归算到 CIO 平极。还于 1975 年 12 月起作了一些重大改进，首先将原来的地球引力场模型 APL 4·5 改为 WGS-72 系统。然后在全球卫星跟踪网共同平差基础上，对美国本土四个跟踪站

的地心坐标进行了改正,以使它们与全球卫星跟踪网有更好的内部符合。除此,还采用了一个改进的光压模型,改善了日-月效应摄动的计算,以及消除了计算进动(章动)中出现的微小摄动。这一切都使子午卫星轨道的外推误差减小了,从而提高了广播星历的精度。

根据韦尔斯(D.E.Wells, 1974)的推估,广播星历的切向、径向和法向误差分别为26m, 5m和10m。而根据布朗(D.C.Brown, 1976)的推估,广播星历的切向、径向和法向误差分别为24m, 8m和17m。因此,一般来说,广播星历的定轨误差约为20~30m。而精密星历的定轨误差,一般约为3~5m。

斯坦塞尔(Thomas A.Stansell, 1976)对于利用导航卫星系统进行定位的误差来源作了如下的推估。

误差来源	误差范围
1. 未经改正的电离层和对流层折射残差	1 ~ 5 m
2. 仪器测量的噪声	3 ~ 6 m
3. 地球引力场模型的误差	10~20 m
4. 导航仪的高程误差	10 m
5. 非标准极移和时间化算误差	0~10 m
6. 卫星轨道的摄动误差	10~25 m
7. 广播星历的凑整误差	5 m

以上对误差的推估,虽然不一定适合目前高精度接收机和定位处理技术,但也可以看出影响定位精度的来源。

导航卫星系统由美国海军宇航组负责,其总部设在加利福尼亚州的穆古角。美国海军天文台参加时间校核。导航卫星系统由空间部分——卫星,地面跟踪网和用户接收设备组成。

§ 2.2 空间部分——卫星

第一颗子午卫星“TRANSIT-1A”于1959年9月17日,用雷神——艾布尔火箭发射,因为火箭的第三级未点燃,故未能进入轨道。虽然如此,它却初步地解决了子午卫星本身的一系列问题,为整个子午卫星系统的研制成功奠定了基础。

第二颗子午卫星“TRANSIT-1B”于1960年4月13日发射成功(图2-1)。整个卫星呈圆球形,天线在每个半球表面呈螺旋状,太阳能电池安置在圆球的中央,呈一环带。为减少卫星与运载火箭脱离后仍存在的高速旋转,有一个附加重量的钢索,在卫星入轨后,将自动向外抛去。它象一条旋转的臂,使惯性矩增加,以减少旋转速度。卫星稳定后,它就随其重量抛出。卫星的姿态仍采用磁力控制,使卫星与地磁场的方向一致。

TRANSIT-2A和-3A分别于1960年6月22日和11月30日发射。后者由于火箭故障未能进入预定轨道。

TRANSIT-3B于1961年2月21日发射。由于火箭故障形成扁率很大的椭圆轨道。卫星经过近地点时,受到大气阻力造成的轨道递降,于几星期后烧毁。但却第一次成功地

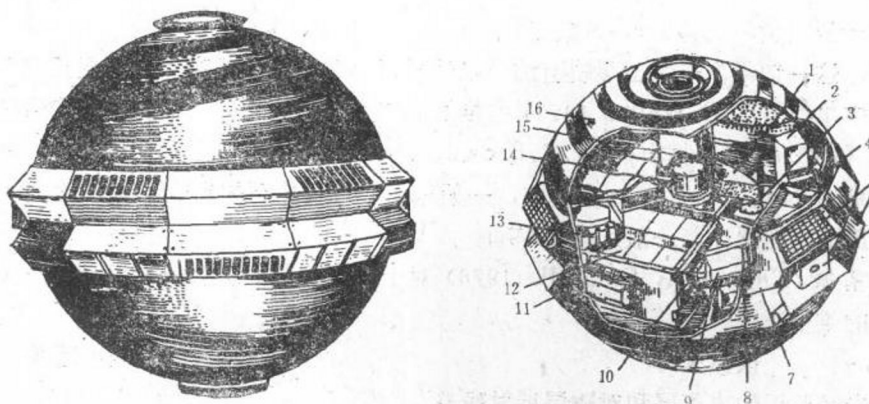


图 2-1 TRANSIT-1B

1.连接天线的装置 2.红外发射机 3.振荡器 4、12.银锌电池 5.太阳能电池 6.用来消除卫星旋转的重荷 7.固定重荷的缆绳 8.松开重荷的装置 9.遥测发射机 10.54、162、216 和 324MHz 无线电发射机 11.镍镉电池 13.遥测发射机的镍镉电池 14.时间的机械装置 15.圆柱形支架 16.螺旋形天线

进行了卫星注入和存贮系统的试验。

TRANSIT-4A 于 1961 年 6 月 29 日发射成功。

TRANSIT-4B 于 1961 年 11 月 25 日与另一颗 特雷克卫星同时发射。特雷克卫星是用于试验重力定向的，其目的是使以后的子午卫星的天线指向地心。这次试验虽不完全成功，但证实了采用重力定向的可能性和现实性。这种定向方法成功地地为现在的子午卫星所采用。

子午卫星的试验阶段至此基本结束。第一颗实用子午卫星于 1963 年 12 月发射成功，并开始为北极星潜艇和其它潜艇导航。它是一个约 $30\text{cm} \times 46\text{cm}$ 的六面体，并具有四个太阳能电池的网状翼，重量约 50.4kg 。在卫星进入轨道后，四个翼自动展开，翼上嵌装着太阳能电池，以保证电源的供应。

第一批实用卫星寿命较短，大约一年后就不能工作。主要原因是太阳能电池的热量循环导致电路连接部分的破裂。这个问题解决后，卫星的使用寿命便大大提高了。所有的试验卫星和第一批实用卫星均由 APL 研制。它于 1967 年 4 月至 9 月发射了三颗子午卫星，一直运行到现在。这种卫星称为 OSCAR 卫星(图 2-2)。以后的子午卫星由美国无线电公司(RCA)制造，于 1968 年后又发射了三颗，目前还有十三颗 OSCAR 卫星存放在 RCA 的仓库里，留作备用。另有九个侦察兵火箭备用。

子午卫星由火箭送入轨道后，仍在高速旋转，此时四翼自动展开，使卫星旋转速度大幅度地减弱。然后利用四翼上的地磁阻尼棒来消除平衡过程中产生的摆动。约一天内可使卫星消除旋转，稳定下来。最后，一根长 30m 的重力稳定杆伸了出来，杆端有一个 1.3kg 重荷，使卫星天线的端面在重力作用下平稳地对着地心。重力梯度稳定杆有点象钟摆，当它的纵轴一旦偏离铅垂线，卫星就慢慢地来回摆动，而不是立即停下来。此时还要靠翼上的磁阻尼棒来吸收摆动的能量，使振幅逐渐降到 10° 以内。

卫星内有一套复杂的电子系统。它包括：一套接收装置，一个 5 MHz 高稳定度的振荡器，两个 1.5 W 发射机，一个相位调制的编码装置，一套含有 35K 的磁蕊存贮系统，一个定向天线以及控制线路等。除存贮系统外，约有 6200 个电子元件，共 46000 个焊点。

卫星振荡器的频率为 5MHz, 经过倍频、分频后，通过定向天线，同时连续播发 400 MHz 和 150MHz 两种稳定的相干频率。卫星的接收装置用来接收地面注入站发来的时间和轨道参数以及指令，并将这

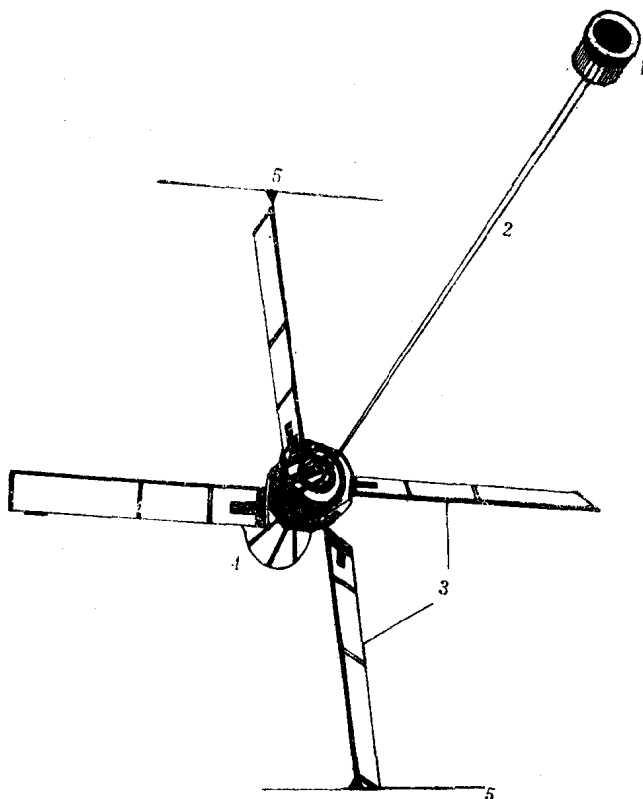


图 2-2 OSCAR 卫星

些数据存入存贮器。根据预定的程序和指令，通过相位调制编码装置，调制在载波上播发出去。

子午卫星上电子设备框图见图2-3，卫星振荡器经倍频后发射。在卫星通过期间，频率稳定度为 10^{-11} 。卫星振荡器经分频后，控制存贮器和调相编码器，使卫星轨道参数编码后，按世界时(UTC)偶分数调相到载波上发射出去。所以播发的信号不仅提供了稳定的载波频率和卫星轨道参数，也提供了定时信号。卫星的接收机从地面注入站周期性地获得修正过的卫星轨道参数和时间改正数，此改正数也存在存贮器中，并且每隔 $9.6\mu s$ 进行一次调整。

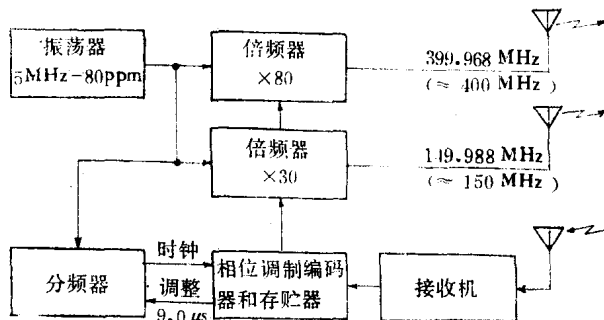


图 2-3 子午卫星上的电子设备框图

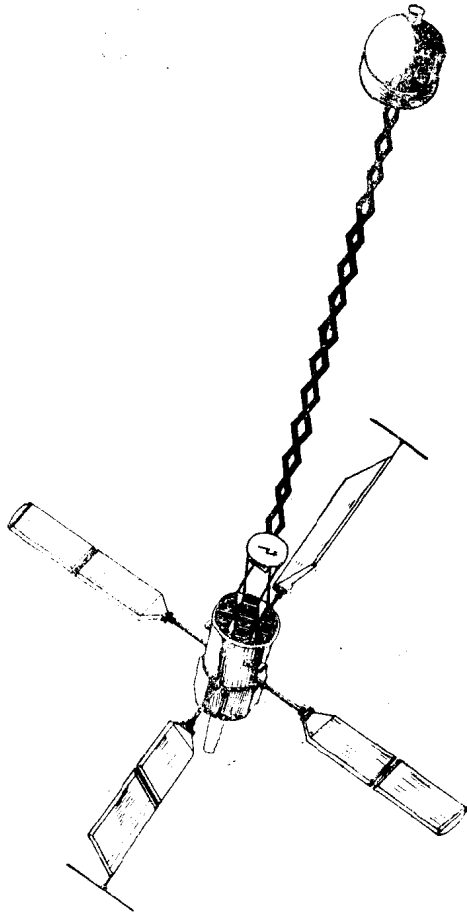


图 2-4 新型的子午卫星—NOVA (曾称 TIPS卫星)

一直到1977年有六颗子午卫星在轨道上运行。其中 30180 号卫星由于稳定杆断裂, 定向不正确, 1978年就停止了使用。1977年12月22日发射了一颗新型的子午卫星, 编号为30110, 它在试验阶段被称为 TIPS 卫星, 现在称为 NOVA 卫星(图2-4)。NOVA 卫星发射的信号与 OSCAR 卫星完全一样, 但是接收到的信号电平要增加 3~4dB, 并且在两个频道上天线将都是左手极化的。除此, NOVA 卫星还有一些重要的改进, 主要是带有干扰补偿系统(DISCOS), 用于消除大气阻尼的影响; 还有时间(频率)控制的改进, 以及星载可编程序计算机等。

NOVA 卫星除用于导航定位目的外, 尚有其他军事用途。目前准备生产三颗, 全部将为五颗。据1979年 1 月第二次国际卫星多普勒大地测量讨论会上霍斯金斯代表美国海军战略系统设计局 (SSPO) 报告称, 美国海军将于 1990 年前维持四颗卫星的导航系统, 即包含两颗 OSCAR 卫

子午卫星的轨道情况表

表 2-1

卫星号	发射日期	倾角	周期	长半径	偏心率	备注
30120	1937.4.14	90.25°	106.45 ^{min}	7440.46 ^{km}	0.002	1980年关闭
30130	1967.5.18	89.62	106.92	7461.99	0.002	
30140	1967.9.25	89.26	106.70	7452.18	0.006	已关闭
30180	1968.3.2	89.98	106.92	7465.50	0.008	1978年关闭
30190	1970.8.27	90.13	106.96	7463.82	0.018	
30200	1973.10.29	90.09	105.51	7396.37	0.019	已关闭
30110	1979.12.22	89.92	106.96	7463.92	0.003	
30480	1981.5.14	89.96	119.81	7555.75	0.002	
30300	1981年以后	89.83	107.77	7511.29	0.016	
30500	1981年以后	89.98	118.17	7555.79	0.004	

星和两颗 NOVA 卫星，直到有新的导航卫星系统替代为止。

表 2-1 中列出了七颗卫星的轨道情况，目前只有四颗卫星在轨道上工作。这些卫星都是在美国加利福尼亚州的范登堡空军基地，用“侦察兵”火箭发射的。卫星被送入极轨道，离地面高度约在 900~1100km 之间，周期约为 107min，轨道椭圆的偏心率很小，接近圆形。每个卫星的轨道按经度大致均匀分布，这就可使地球上任何地方都可在 1~2 小时内观测到一颗子午卫星。这种分布常称“鸟笼”式分布。地球在“鸟笼”中进行自西向东地旋转(图 2-5)。

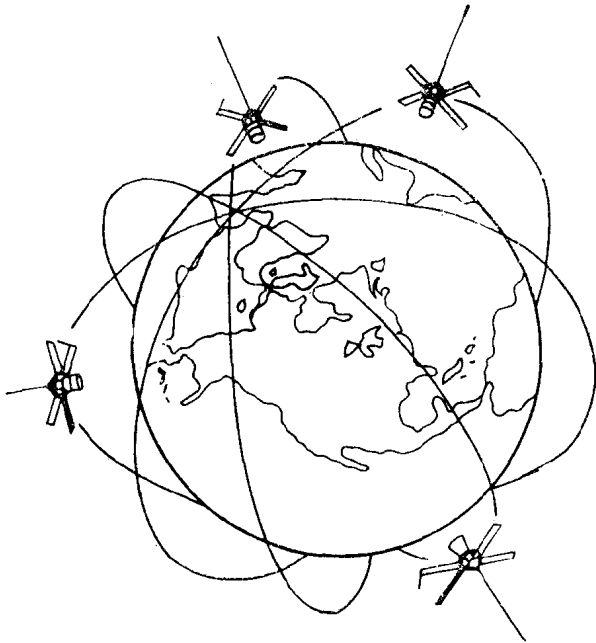


图 2-5 子午卫星轨道的分布

由于卫星轨道在空中的进动，使得每颗卫星的轨道平面在赤经方向上的分布出现了不均匀的现象。它使得相邻两颗卫星通过某地的时间间隔很不均匀，有时可长达 3~5h，有时则出现先后或同时有两颗卫星通过的现象。图 2-6 和图 2-7 表示子午卫星轨道的分布和进动状况。图中是将卫星轨道投影在北极上的情况，直线表示卫星轨道的投影，箭头表示卫星在轨道上运行的方向，而直线旁的箭头表示卫星轨道进动的方向，其旁的数字表示每年进动的幅度。

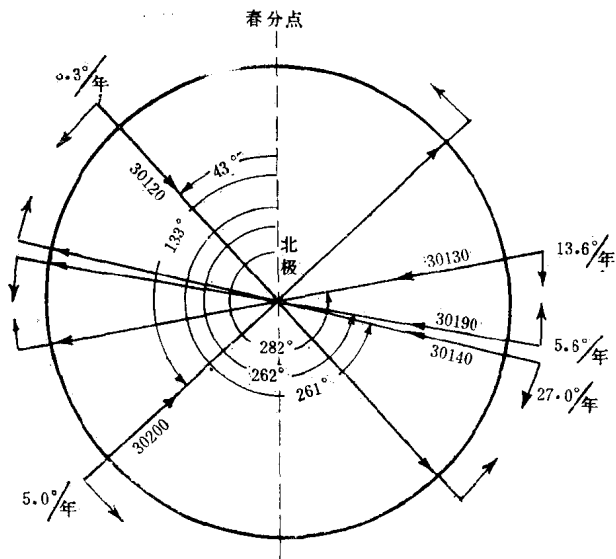


图 2-6 1978.4.14 子午卫星轨道的分布

应该指出，子午卫星系统作为导航系统的最主要缺点在于它的不连续性。美国目前正在研制新的全球定位系统，它包括六个轨道平面的 18~24 颗 NAVS-TAR 卫星。它可以实现连续定位。据报道该系统将于 1988 年开始投入使用。上述两个卫星定位系统可能要重叠使用五年左右。

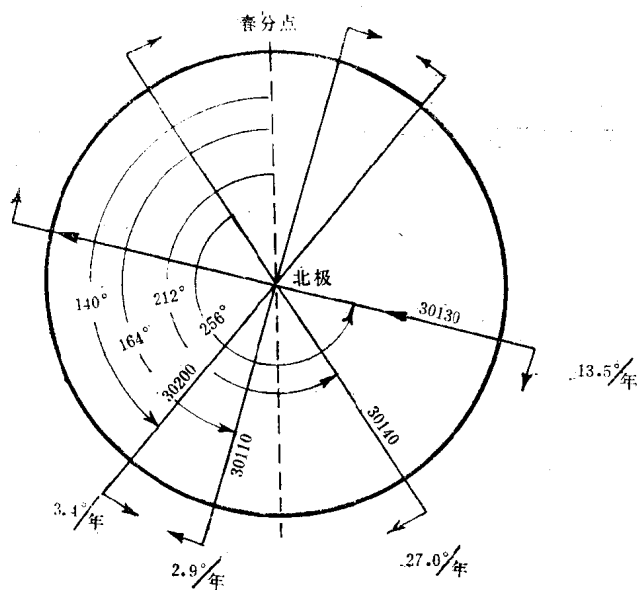


图 2-7 1980.1.31 子午卫星轨道分布

§ 2.3 地面跟踪网

为了维持子午卫星的正常工作，海军宇航组负责组织实施地面跟踪网，它包括四个跟踪站，一个控制与计算中心，以及两个注入站。美国海军天文台只参加对时间进行校正工

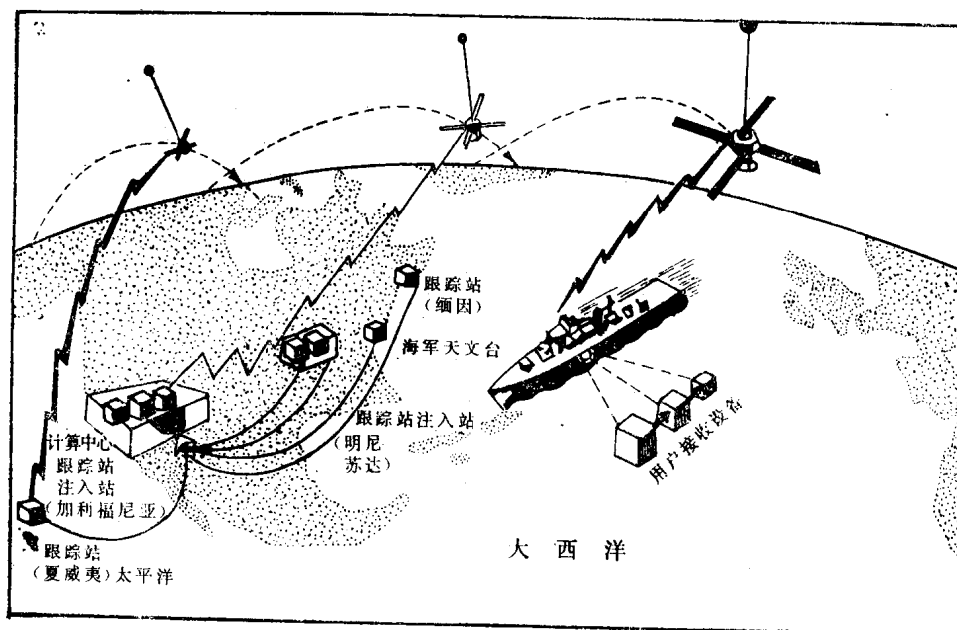


图 2-8 子午卫星地面跟踪网的分布和工作示意