

卫星导航

求 明 编



人民交通出版社

卫 星 导 航

求 明 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

卫星导航是目前新的科学技术领域之一，由于具有全球、全天候、定位精度高、自动化程度高等优点，在世界上获得日益广泛的应用。

本书从航海的角度出发，深入浅出地介绍了目前世界上实用的“海军导航卫星系统”的概况和工作原理；以及MX 1102型卫星导航仪的使用操作；并对未来的“GPS全球定位系统”作了简要介绍。

本书可供船舶驾驶人员和海运院校师生学习参考。

卫 星 导 航 求 明 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：6.125 插页：1 字数：133 千

1980年7月 第1版

1980年7月 第1版 第1次印刷

印数：0.001—3,900册 定价：0.51元

前 言

随着科学技术的发展，各种用途的卫星相继出现，其中用于船舶全球导航定位的“海军导航卫星（又称子午仪卫星）系统”已有十多年的历史。

由于卫星导航具有全球、全天候、全自动、定位精度高等优点，因而在世界上已获得日益广泛的应用。目前，卫星导航设备作为一种先进的导航仪器，不仅装备在军事舰船、石油勘探和海洋调查船等特种船舶上，而且开始在运输船舶上推广。用户数目每年以47%的平均速度在增长。

随着卫星轨道精度的不断提高，该系统也正逐渐用来解决大地测量和地球物理学中一系列问题。

我国远洋运输船舶，为了适应四个现代化的要求，尽快地接近、赶上或超过世界的先进水平，现已有一批船舶装备了先进的卫星导航设备。

为了满足广大船员学习、掌握卫星导航设备的使用方法和知识管理的迫切要求，利用业余时间选编了这本书，供广大船员学习参考。由于水平有限，时间仓促，错谬之处难免，恳请广大读者批评指正。

在编写过程中曾得到交通部上海船舶运输研究所徐志森等同志的热情帮助，在此谨致谢意。

编 者

目 录

前 言

第一篇 海军导航卫星系统

第一章 海军导航卫星系统的概况	1
第一节 海军导航卫星系统的发展历史	1
第二节 海军导航卫星系统的组成	5
一、地面站	5
二、海军导航卫星	7
第二章 海军导航卫星系统的定位原理	14
第一节 开普勒定律	16
第二节 卫星轨道六要素	18
第三节 多卜勒效应	26
第四节 卫星播发的导航信息	29
一、调制波形	30
二、卫星电文	31
三、固定参数	37
四、可变参数	45
第五节 定位原理	49
第六节 影响卫星定位精度的因素	54
一、电离层和对流层折射误差	55
二、天线高度误差	59
三、航向、航速不准确引起的误差	62
第七节 短多卜勒计数	65

第八节 卫星的有效通过.....	69
一、卫星的可见范围.....	69
二、卫星的“有效通过”.....	73
第三章 卫星导航接收设备.....	74
第一节 卫星导航接收设备的简况.....	76
一、天线和前置放大器.....	77
二、接收部分和数据处理部分.....	78
三、电子计算机.....	81
第二节 MX 1102型卫星导航仪.....	82
一、MX 1102型卫星导航仪简介.....	82
二、MX 1102型卫星导航仪屏幕显示格式和内容.....	93
三、MX 1102型卫星导航仪具体操作步骤.....	104
第三节 JLE-3000型卫星导航接收机.....	172
一、JLE-3000型卫星导航接收机的组成.....	172
二、JLE-3000型卫星导航接收机的控制显示器 和打印记录.....	174
三、JLE-3000型卫星导航接收机的操作.....	179

第二篇 未来的卫星导航系统

第四章 GPS 全球定位系统.....	183
第一节 卫星导航系统的分类.....	183
第二节 “GPS 全球定位系统” 简况.....	184

第一篇 海军导航卫星系统

第一章 海军导航卫星 系统的概况

第一节 海军导航卫星系统的发展历史

海军导航卫星系统 (Navy Navigation Satellite System, 简写 NNSS, 或 Satnav) 又称子午仪 (TRANSIT) 卫星导航系统, 是目前世界上正在实际应用的一种低轨道卫星导航系统。

1957年10月世界上第一颗人造地球卫星上天, 当时美国约翰·霍普金斯大学 (Johns Hopkins University) 应用物理实验室的两名研究人员 Guier 和 Weiffenbach 在对这颗卫星进行无线电跟踪时, 发现在地面上所接收到的、来自卫星的电波频率受多卜勒效应影响而变化。

所谓“多卜勒效应”, 就是尽管卫星以固定频率发射连续的无线电波, 但由于卫星以每秒约7.36公里的速度绕地球运转, 与地面观测者之间有相对运动, 所以在地面的观测者所接收到的卫星电波, 就发生频率变化, 当卫星飞越地面观测者上空、并且接近观测者时, 观测者所接收到的频率比卫星实际发射的频率要高; 当卫星最接近地面观测者时, 接收频率与发射频率相等; 当卫星飞离地面观测者时, 接收频率

比发射频率要低(图1-1)。卫星的发射频率与地面观测者的接收频率之间的差值,称为多卜勒频率或多卜勒频移。

他们提出:在已知的地面接收点,精密地测量出卫星电波的多卜勒频移,就可以确定出卫星的轨道。

不久,于1958年霍普金斯大学应用物理实验室的另外一

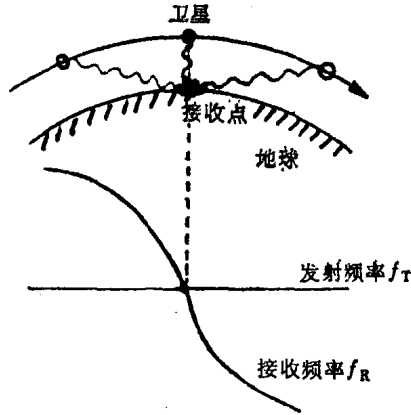


图1-1 多卜勒效应

名研究人员 McClure 与此相反提出设想:如果卫星轨道是已知的,只要在地面上用接收机测出卫星电波的多卜勒频移,则可以确定出观测者在地球上的位置。这就是子午仪卫星导航系统的基本设计思想。

当时美国海军为了军事上的需要,委托霍普金斯大学应用物理实验室对卫星导航进行研究。

研制工作于1958年12月开始,先后发射了很多实验卫星(表1-1),对卫星的轨道变化、地球的形状、卫星的存储装置、卫星的姿态控制、电源装置等进行了试验。

1964年1月该系统开始工作。同年夏季进行全球导航试验成功。

1967年7月29日,美国政府宣布该卫星导航系统对民用开放。

起初,由于卫星导航接收设备都是供军用的,必须配有通用电子计算机,不仅设备本身的价格非常昂贵,而且体积

表1-1

子午仪实验卫星发射一览表

编号	联合登记号	发射年月日	轨道倾角	近地点(公里)	远地点(公里)	周期(分)	发射频率(兆赫)	主要实验内容
1 A	—	1959. 9. 17	—	—	—	—	—	发射失败
1 B	1960 T 1	1960. 4. 13	50.3°	373	745	95.8	54/324 162/216	实验振荡器
2 A	1960 H 1	1960. 6. 22	66.7°	626	1,070	101.7	54/324 162/216	开始报时
3 A	—	1960. 11. 30	—	—	—	—	—	发射失败
3 B	1961 H 1	1961. 2. 21	28.4°	188	822	94.5	54/324 162/216	载有384位存储装置
4 A	1960 O 1	1961. 6. 29	67.0°	859	1,003	103.7	54/324 150/400	载有2048位存储装置
4 B	1961 AH 1	1961. 11. 15	32.4°	937	1,127	105.6	54/324 150/400	载有1344位存储装置
5 A	1962 Bφ 1	1962. 12. 18	90.7°	695	732	99.2	150/400	1天后停止工作
5 B	1963 38 B	1963. 9. 28	89.9°	1,088	1,149	107.4	150/400	实用

庞大、要求恒温条件、操作麻烦、需专人管理，绝大多数的民用船舶不可能采用。

七十年代初期，出现了采用单频道（400兆赫）的卫星导航接收设备，虽然定位精度稍差（固定点定位精度在0.1海里以内，这对于一般船舶来说已足够了），但价格大大便宜，为在商船上普及卫星导航创造了有利条件。

随着科学技术特别是电子技术和计算机技术的飞速发展，近几年来出现了“微处理机”（Micro Processor）。微处理机具有体积小、价格便宜、功耗低、可靠性高等优点，再加上唯读存储器（ROM）、随机存取存储器（RAM）、输入输出控制器等构成“微计算机”（Micro Computer）。目前很多卫星导航设备已经采用了微处理机，不仅体积缩小、工作可靠、维修简单，而且功能齐全、操作也大大简化，一般的航海人员不需一个小时就可熟练地使用卫星导航设备。

过去卫星导航难以普及，除了价格昂贵等缘故外，大家对海军导航卫星的寿命感到担心也是一个因素。这是有其原因的，在1965~1966年间发射的四颗海军导航卫星因太阳能电池的有关技术未能解决，都在大约1年内毁掉。后来虽然这个问题得到解决，卫星寿命大大提高，但不少人对卫星当初那种“短命”的印象难以忘怀。从表1-2所列的数据来看，10年前发射的卫星目前仍在正常工作，而且地面还备有12颗卫星随时可射入轨道以代替工作不正常的卫星。据报道，美国正在研究一种新的卫星导航系统，称“GPS全球定位系统”（Global Positioning System），又称“导航星系统”

（Navstar），如果进展顺利的话，预定1984年以后开始投入军用。海军导航卫星系统供军用将继续到1989年，以后可能全部移交民用。因此，海军导航卫星系统将工作十几

年或更长的时间。

另外，从保证航行安全和营运经济性来看，卫星导航发挥了重要的作用。因而卫星导航开始在民用船舶上推广。卫星导航设备也将作为远洋运输船舶和远洋渔船的主要导航仪器而得到迅速地发展。

海军导航卫星系统起初是为了进行船舶导航，后来随着卫星轨道的测量精度不断提高，已在世界上获得日益广泛的应用。目前除了船舶导航、海上油井定位、海洋调查之外，还用于大地测量和地球物理学的研究等方面。

第二节 海军导航卫星系统的组成

海军导航卫星系统由4~6颗子午仪卫星和一些管理和控制它们的地面站组成。

一、地面站

海军导航卫星系统的地面站包括四个跟踪站、一个计算中心、二个注入站等，都设在美国本土上，如图1-2所示。

四个跟踪站，分别设在夏威夷 (Hawaii)、加利福尼亚州的穆古角 (Point Mugu, California)、明尼苏达州 (Minnesota) 和缅因州 (Maine)。

计算中心设在加利福尼亚州的穆古角。

二个注入站和在穆古角、明尼苏达州的跟踪站设在一起。

跟踪站在每颗卫星通过其上空时，精密地测量卫星电波的多卜勒频移，并将这些跟踪数据输送给计算中心。

计算中心将各个跟踪站输送来的跟踪数据汇集起来，进行数据处理，预算出每颗卫星未来16个小时的轨道参数，然

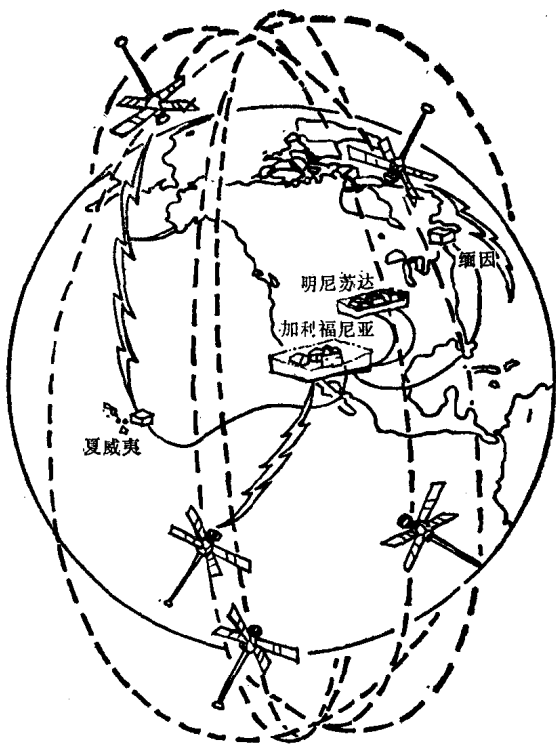


图1-2 海军导航卫星系统的地面站

后将这些轨道参数输送给注入站。

每颗卫星每隔约12小时、当经过注入站上空时，被注入未来16个小时的新的轨道参数。这些新轨道参数存入到卫星上的存储器中，将原来贮存的旧轨道参数冲洗掉。然后按规定的格式把新轨道参数发向地面。

另外，设在华盛顿的海军天文台负责对卫星发射的时间信号进行监视和校正。

在海军导航卫星系统初建时，为了研究地球重力场的情况以精确地求出卫星的轨道、并准确地预算出卫星未来的轨

道，在全球的十几个地点设立了跟踪台，组成“Tranet”的观测网(图1-3)。

据介绍用由这些台站所取得的海军导航卫星跟踪资料，来计算30190号卫星和30200号卫星的精确轨道参数，称为“精密星历表”。这是一种定期出版物，用于大地测量、地球物理学研究等方面。

而对于船舶的导航定位，则仍采用由接收装置接收到的从卫星直接播发的轨道参数，称为“广播星历表”。

二、海军导航卫星

目前的海军导航卫星如图1-4所示。卫星本体是八角柱形，对角线长46厘米，高30厘米。本身上装有四块侧翼，上面是太阳能电池。卫星发上轨道后，四块侧翼就如图示那样自动张开。太阳能电池供电功率约30瓦。本体的下部是环状天线。本体的顶部是姿态控制杆，长30米，其顶端是14磅的重物，它的作用是使卫星的天线始终向着地球。

卫星的总重量约为135磅。

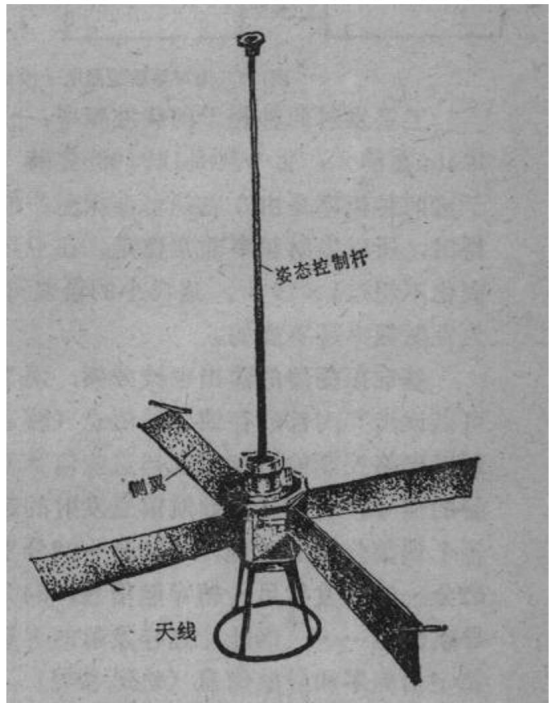


图1-4 海军导航卫星

海军导航卫星本体装有复杂的电子设备，图1-5是它的方框图。

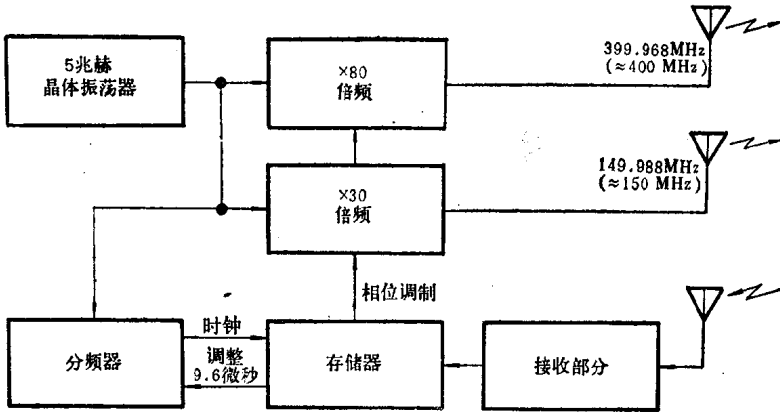


图1-5 海军导航卫星电子设备方框图

卫星发射两种相干的载波频率：一种是399.968兆赫（通称400兆赫）；另一种是149.988兆赫（通称150兆赫）。由于这两种频率是由5兆赫基准振荡器的输出频率直接倍频而得出，所以发射频率非常稳定，在卫星通过的时间内实际的变化不超过 1×10^{-11} ，这样小的误差可忽略不计，因此可认为发射频率是不变的。

基准振荡器的输出也被分频，用于驱动存储器。这样就可以读出其内部贮存的导航信息（轨道参数）并通过相位调制以严格控制的恒定速度把这些信息编码成400兆赫和150兆赫的信号。由于这些导航信息发射的起迄时刻控制在世界时每个偶数分钟的时刻，即00分~02分发射一帧导航信息，02分~04分发射另一帧导航信息，04分~06分再发射下一帧导航信息……，因此，这样发射的卫星信号不仅提供了极为稳定的频率和导航信息（轨道参数），而且提供了定时信号。

最近几年用于导航的海军导航卫星共有6颗：30120、30130、30140、30180、30190、30200。

其中，30180号卫星的天线定向已不太准确，有时不易收到它的信号，因此已于1976年12月14日停止发射导航信息。

目前实际使用的只有5颗卫星。

所以本书中所举的实例一般都是5颗卫星的情况。

海军导航卫星在几乎是圆形的极轨道上绕地球运转。高度约600海里，周期约107分钟，即1小时47分左右。

卫星的轨道通过地球南、北极上空，但不随地球旋转。这些卫星轨道组成一个球形“笼子”，把地球包在“笼子”里（图1-6）。

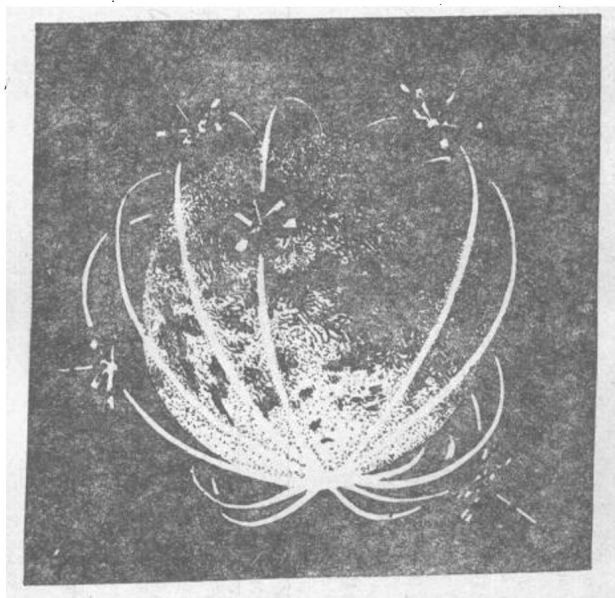


图1-6 海军导航卫星的运行轨道

地球在“笼子”内自西向东旋转，每天一周。所以，地

表1-2 海军导航卫星的轨道参数 (1976年1月的值)

卫星编号	登记编号	发射日期	长半径(公里)	偏心率	升交点经度(度)	轨道倾角(度)	周期(分)
30120	1967-34A	1967.4.13	7440.85	0.002335	23.68	90.221	106.46
30130	1967-48A	1967.5.18	7463.22	0.003193	312.94	89.629	106.94
30140	1967-92A	1967.9.26	7453.64	0.006142	323.68	89.254	106.74
30180	1968-12A	1968.3.1	7461.80	0.006716	275.96	89.980	106.91
30190	1970-67A	1970.8.27	7464.21	0.017765	251.91	90.111	106.96
30200	1973-81A	1973.10.30	7398.66	0.018034	122.06	90.151	105.56

球表面的每一点（除去南、北极），每天依次在每根轨道下通过2次。

由于卫星绕地球运行一周只需107分钟，这期间地球向东转动了约 26.5° ，而卫星的可见范围在轨道之下大约3,600海里宽的带状地区内（关于卫星的可见范围将在第二章第八节讨论），所以地面的观测者每接近一次卫星轨道，至少可看到该卫星2次。

观测者所在纬度越高，看到卫星的次数就越多。从图1-6可以看出，在赤道附近的观测者利用卫星定位的次数最少。

例如：30200号卫星刚刚由南往北从在赤道附近的观测者的东方上空通过，那末大约107分钟后，观测者随地球向东转动了约 26.5° ，30200号卫星还是由南往北从观测者的西方上空通过。再约12个小时，30200号卫星又由北往南从观测者的东方上空通过，约107分钟后观测者随地球又向东转动了约 26.5° ，该卫星将再次由北往南通过观测者西方上空。

也就是说，每颗卫星在24小时内经过在赤道附近的观测者上空至少4次。那末，5颗卫星每天通过该观测者上空至少20次以上。

这就是海军导航卫星系统的第一个缺点：不连续性。只有当卫星通过观测者上空时，才能收到卫星的信号进行定位。有时可能急需准确的卫星船位，但却没有卫星通过。

为了弥补这个缺陷，卫星导航设备都应该具有这样的功能：从最新获得的卫星定位为起点，根据电罗经、计程仪所知的航向、航速数据随时（每隔1秒钟或每隔2秒钟）显示出当前的推算船位。

图1-7表示在1978年年中两次卫星定位之间的平均时间