

Hk09/08

前 言

全球定位系统(GPS),是美国研制的第二代卫星导航、定位系统。它能在全球范围内全天候地为海上、陆地、空中和空间的用户提供连续、高精度的三维位置、三维速度和时间。GPS在军事和民用事业领域方面的用途极为广泛,已引起了人们的高度重视。

1992年4月,巴解主席阿拉法特座机在飞行途中突遇沙暴而迫降在茫茫撒哈拉大沙漠。巴解总部多方搜救未果,最后,借助美国的GPS,终于很快找到了座机位置,阿得以脱险。海湾战争期间,GPS更是大显神通,美国和多国部队的飞机、坦克、舰艇、导弹配备了GPS接收机,大大提高了导航、制导或命中精度。近年来,GPS不仅在军事上,而且在诸多民用领域,如交通航运、测量等方面,越来越得到了广泛的应用,正显示出巨大的商业应用价值。

我们根据教学任务的需要,参考有关文献资料,结合实践体会,于1989年编写了《GPS全球定位系统》一书;现又以最新资料充实修改原书,变动达一半内容,编写出本书。

本书从应用角度出发,全面、系统地介绍GPS全球定位系统,包括它的工作原理、特点、组成、误差分析、坐标变换、用户设备、差分GPS,以及GLONASS系统等,既可供与军事、航运交通(海、陆、空)、授时、测量、石油勘探等相关专业的人员使用,也可供有关院校师生及科研人员学习和参考,还可作为GPS爱好者的入门书。

由于GPS技术涉及内容广泛,我们水平有限,书中不妥之处,请读者批评指正。

在本书编写过程中,姚柏茂、宗福修、盖圣文、翟云禄、于敬谔、宋光普、张卫国、刘永红、郑海、邵建平同志,提供了许多宝贵意见,在此谨向他们致以衷心的感谢。

编 著 者

1993·9

目 录

第一章 概述	(1)
§ 1—1 GPS—全球定位系统.....	(1)
§ 1—2 GPS 的应用	(2)
§ 1—3 GPS 在海湾战争中的作用	(4)
§ 1—4 卫星导航系统和搜救卫星系统概况.....	(6)
§ 1—5 卫星导航系统的分类.....	(8)
第二章 基础知识	(10)
§ 2—1 航海学基础知识	(10)
§ 2—2 天文学基础知识	(13)
§ 2—3 人造卫星基础知识	(15)
§ 2—4 矩阵运算基础知识	(18)
§ 2—5 误差理论基础知识	(20)
第三章 系统的组成和导航电文	(22)
§ 3—1 组成	(22)
§ 3—2 导航电文	(24)
第四章 测距法定位	(28)
§ 4—1 定位原理	(28)
§ 4—2 定位计算	(29)
§ 4—3 误差	(39)
§ 4—4 坐标变换	(44)
第五章 信号结构和信号接收	(49)
§ 5—1 导航信号	(49)
§ 5—2 伪随机码	(50)
§ 5—3 伪码扩频和相关接收	(58)
§ 5—4 C/A 码和 P 码的转换	(64)
第六章 GPS 用户设备	(66)
§ 6—1 C/A 码单频卫导仪	(66)
§ 6—2 多普勒法定位与测速	(74)
§ 6—3 载波相位法定位	(76)
§ 6—4 干涉法定位	(80)
§ 6—5 GPS 用户设备的类型和主要技术性能	(82)

§ 6—6 伪距测量和积分多普勒组合法	(86)
§ 6—7 组合导航	(88)
第七章 差分 GPS	(89)
§ 7—1 差分 GPS 原理	(89)
§ 7—2 差分 GPS 的工作方式	(90)
§ 7—3 电文	(91)
§ 7—4 差分信标系统	(92)
§ 7—5 宽域差分 GPS 的设想	(93)
第八章 GPS 的发展	(94)
第九章 GLONASS 系统和 GPS/GLONASS 组合导航仪	(96)
§ 9—1 GLONASS 全球卫星导航系统简介	(96)
§ 9—2 GLONASS 导航仪工作原理	(102)
§ 9—3 GPS/GLONASS 组合导航仪	(103)
第十章 XN—GP9200 GPS 接收机	(112)
§ 10—1 概况	(112)
§ 10—2 基本操作	(114)
§ 10—3 数据输出串口联接	(117)
第十一章 NAVTRAC GPS 导航仪	(121)
§ 11—1 概况	(121)
§ 11—2 基本操作	(123)
§ 11—3 显示 GPS 信息	(127)
§ 11—4 初始设置	(128)
§ 11—5 航路点操作	(137)
§ 11—6 航线操作	(141)
§ 11—7 模拟操作	(144)
§ 11—8 安装	(145)
第十二章 航海用 GPS 卫导仪的使用	(147)
附录 导航仪器常用英文缩写语	(153)
参考文献	(171)
GPS 让世界知道位置	(171)
空中六分仪改变世界	(171)

GPS 及其战场应用	(172)
GPS: 交通管理新手段	(173)

第一章 概 述

导航是引导航行的意思,也就是引导舰船、飞机等运载体按照预定的要求进行航行的过程。卫星导航则是利用人造地球卫星来进行导航。利用人造卫星不仅可以实现全球性的或区域性的高精度导航,而且还可以综合用于通信、授时、搜救、交通管制、气象服务等,所以在军事和民用方面得到了广泛的应用。

世界上第一个实用的卫星导航系统,是美国研制的“子午仪”(TRANSIT)卫星导航系统,它于1964年正式投入使用,主要为美国海军服务,1967年对民用部门开放。

子午仪系统能在全球范围内,全天候实现二维(经度、纬度)定位,航行定位精度0.1~0.3海里,因而获得广泛的应用。缺点是不能连续定位,一次定位的时间又较长,且不能确定用户位置的高度,因此限制了飞机等用户的使用。现在美国又建成了GPS卫星导航系统。

§ 1—1 GPS——全球定位系统

为了满足军事应用和民间用户提出的更高要求,美国于1973年开始研制一种新的卫星导航系统,叫做导航星全球定位系统(Navstar Global Positioning System),简称GPS系统或导航星(Navstar)系统。Navstar是Navigation Satellite Timing and Ranging的缩写,其含意是用导航卫星来进行计时和测距。1978年以来,一些北大西洋公约组织的国家和澳大利亚,也参加了GPS计划。

GPS系统可在全球范围内,全天候为海上、陆上、空中、空间的连续地提供高精度的位置、速度和时间信息,并且有良好的抗干扰和保密性能,对导航定位、武器使用、交通管制、大地测量,以及精密授时等均具有重要意义。美国把发展GPS系统作为促进整个无线电导航现代化的核心,把建成GPS系统作为无线电导航领域进入二十一世纪的重要标志。

GPS系统有21颗工作卫星和3颗在轨的备用卫星,它们平均配置在六个轨道上。卫星发射用伪随机码(伪码)调制的两种频率(L_1 、 L_2)的信号, $L_1=1575.42\text{MHz}$, $L_2=1227.6\text{MHz}$ 。用户设备用测量到几颗卫星的距离的方法,来确定观察点的位置。GPS系统能连续提供三维位置(经度、纬度、高度)、三维速度和时间,实现近乎实时的导航定位。双频发射是为了供用户设备消除电离层对传播的影响。

伪码有P码、C/A码、Y码三种。P码信号,定位精度高,保密性好,仅供美军和特许用户使用,实时定位精度优于16米,测速精度优于0.1米/秒,授时精度优于0.1微秒。用双频P码信号,GPS能提供最高水平的动态定位精度,称为精密定位服务(Precise Positioning

Service—PPS)。

C/A 码信号供一般用户使用,定位精度可达 20~40 米。美国决定实施 SA (Selective Availability 选择可用性)技术,把 C/A 码的定位精度限制在 100 米(2drms)范围。使用 PPS 的用户,有解开这些人引入误差的“钥匙”,可消除这些误差。C/A 码单频信号提供的动态定位精度,称为标准定位服务(Standard Positioning Service—SPS)。C/A 码又可称为 S 码。

P 码的精度高,但编制 P 码的方程式早已公开。美国计划在必要时实施 A—S(Anti—Spoofing 反电子欺骗)政策,将 P 码加密编译成 Y 码,Y 码的编制方程式严格保密。Y 码用于有潜在威胁的军事环境中。如敌方播发一种精度降低的假 P 码信号,企图欺骗 GPS 用户设备错误的跟踪它,装有选择 Y 码用的附加输出芯片的 P 码接收机,不接受这种假信号,有效地防止电子欺骗。A—S 可以接通或关闭。

为了能获得更好的定位精度,已经相继采取了一些措施。例如,C/A 码采用差分 GPS 技术,可以达到米级的定位精度;供测地用的采用无码技术的用户设备,可以达到厘米级的相对定位精度。

GPS 系统的研制计划分为三个阶段。第一阶段(1973~1978)是方案论证阶段。第二阶段(1979~1985)是工程研制和系统试验阶段,发射了一些实验型卫星,测试结果令人满意,系统达到了预定设计目标。第三阶段为改善系统性能,整个系统投入使用阶段,原计划从 1986 年起由航天飞机分批把工作型卫星送入轨道,由于航天飞机失事,GPS 系统的第三阶段计划被迫推迟到 1989 年 2 月才开始执行。到 1993 年 6 月 26 日,最后一颗卫星进入轨道。迄今为止已耗费 30 多亿美元的 GPS 全球定位系统即将具有全实用能力。

GPS 系统建成后,将成为美国主要的无线电导航系统。子午仪系统及有些导航系统,将逐步由 GPS 系统替代。

§ 1—2 GPS 的应用

GPS 系统能在全球范围内提供高精度的位置、速度和时间信息,所以在军事和民用方面应用非常广泛。例如,在军事指挥方面,GPS 系统由于提供了统一的时间标准、空间坐标以及实时位置,因而对协同作战具有重要意义。它能给各级指挥系统提供各种目标和事件所发生的时间和地点。有了统一的时间基准,就能实现快速通信同步,进行有效的电子战和反干扰。下面简要介绍 GPS 在各方面的应用:

一、海上应用

(一)导航定位

连续、实时地高精度定位,有助于:

交通管制;

减少碰撞;

求出流向流速;

使船舶沿大圆航线精确航行,节省时间和燃料,提高导航效率。

(二) 建立浮标

建立导航浮标的允许误差为 10~30 米,精密定位服务或差分 GPS 能满足这一标准。

(三) 水文测量

美国目前要求在近海区域的测量精度为 5 米;离岸 100 英里以外区域的测量精度为 8 米。差分 GPS 能满足这类要求。

(四) 铺设海底管路

海底管路必须沿精确测量的道路进行铺设。目前在应用的一些无线电定位系统,虽然精度足够,但工作距离有限。GPS 系统能满足这方面的要求。

(五)对扫布雷、引导舰载飞机、提高导弹发射精度、海上协同作战等有重大意义。可使潜艇缩短浮出水面的时间。

(六)应用于海陆的石油勘探、地球物理测量、大地测量。

(七) 姿态测量

设想在平台(例如油船)上安装三副天线,一副在船首,两副在船尾的左右舷。测量三副天线同时接收的各颗卫星的信号,能获得很高的测角精度。如果前后安装的天线间距为 100 米,横向安装的天线间距 20 米。用 C/A 码信号,纵摇测量精度 $0^{\circ}.5$,横摇测量精度 $2^{\circ}.5$ 。用 P 码的测角精度分别为 $0^{\circ}.1$ (纵摇)和 $0^{\circ}.5$ (横摇)。用载波的测角精度可达 4~5 弧秒的精度。

(八)测定舰船性能:船速、旋回半径、舰船惯性等。

二、陆 上 应 用

(一)排除地雷。

(二)机动炮兵的定位和测距。

(三)测绘精确的军用地图。

(四)车辆、坦克的导航定位。

(五)袖珍式用户设备,可以快速测位,保证在夜间、浓雾时不致迷失方向。小艇或离艇人员用此设备可以探测复杂航道。

(六)汽车导航和火车线路上的应用。

一些厂家在研制供汽车用的导航和路程计划系统。把磁盘地图和 GPS 接收机的信息送入汽车计算机,显示器就显示道路地图和车辆位置。

有的公司打算把 GPS 技术用于铁路系统。火车上的 GPS 接收机获得高精度的位置和速度信息,这些信息一方面输给铁路控制中心;另一方面用作能量管理,实现以最低的燃油消耗来达到火车时刻表的规定要求。

三、空中和空间应用

(一) 空 中 应 用

1. 为空中提供全球航路导航,可有效地实施空中管制。GPS 系统能提供精度很高的高度数据,因此空中交通管制部门可减小空域在垂直方向的高度分层,使在空域中可容纳更多

的飞机,并保证飞行安全。

2. 提高飞机进场、着陆和照相制图精度。标准定位服务的 100 米定位精度,可满足除精密进场和着陆外的民航导航要求。差分 GPS 可以满足这方面的要求。

3. 实施精确的投弹和武器发射。

(二) 空间应用

1. 对导弹进行实时跟踪和制导

导弹装上 GPS 接收设备,可以测出飞行弹道。此外,还可用于导弹的制导,使导弹(或炸弹)不仅可以低空攻击目标,高空攻击目标亦有很高的命中精度。

2. 确定空间运载体的轨道

航天飞机、轨道卫星等空间运载体上装备 GPS 接收机,可以精确确定自身的轨道。低高度(最高为 500 海里)的 GPS 用户,可以达到与地面用户相当的定位精度。椭圆轨道上的用户,典型的是 400 海里的近地点和 21400 海里的远地点,可以达到的精度为:在近地点为 30~50 英尺,在远地点为 200~300 英尺。

空间运载体在空间应用 GPS 测量,可进行自身的实时星历表和轨道的确定,从而可快速修正轨道偏差,减少对地面跟踪网的依赖。

§ 1—3 GPS 在海湾战争中的作用

GPS 在海湾战争中被广泛应用,这涉及从单兵在交叉路口或雷区掌握自己的精确位置,到巡航导弹的制导等多兵种的战斗,显示了明显的优越性。本节通过一些实例,简要介绍 GPS 在海湾战争中的作用。

1. 装备大量的 GPS 接收机

海湾战争一开始,美国及其盟国部队,很快就装备了一万多台 GPS 接收机,还把有些原已装备 GPS 接收机的飞机和舰艇部署到海湾地区。

2. 全力保证 GPS 的最佳性能

GPS 系统计划配置二十一颗工作卫星,而在海湾战争期间,才有十六颗卫星工作,并且三颗卫星有故障。三颗卫星中,6 号卫星是 1978 年 10 月发射的实验型卫星,设计寿命为五年,而工作时间已超过十年,它的太阳能电池板和镍合金电池都已不能满足卫星的额定功率要求;1980 年 4 月发射的 9 号实验型卫星,有一只稳定反向轮故障,使卫星出现滚动;1990 年 12 月,刚发射不久的 23 号工作型卫星,发生难于控制卫星太阳能电池板的硬件故障。

美国空军空间指挥部所属第二卫星控制中队负责 GPS 卫星的调整,通过监视卫星状态,向卫星注入数据,保证卫星播发给用户的导航数据的精度。“沙漠风暴”行动期间,由十六颗卫星组成的 GPS 星座,在海湾地区导航信号的可用性达到 99.9%。

3. 困难的战场条件

海湾战场是在无边无际毫无物标特征的沙漠区进行的。极有限的公路、过时的地图、恶劣的天气给陆战和空战带来困难。舰船的驾驶人员也因众多的石油平台、水雷区、舰船的拥挤,有限的能见度而遇到麻烦。没有 GPS 全天候提供的高精度导航信息,将导致战术性的后果。

1. 侦察

首批美国部队运到沙特阿拉伯时,其主要目的是摸清侵入科威特的伊军布防和意图,并且作好准备,以打败伊拉克可能在伊沙边境发动的进攻。其中特别行动小组,是主要信息搜集者之一。有的行动小组,深入伊境内,监视伊坦克和地面部队的活动。GPS 在他们潜入、战斗、撤退的行动中起到了重要作用。

战争期间,美国在海湾地区部署了许多空中机载情报站,其中有些用来搜集和破译伊方的雷达信号。这些机载情报站配备 GPS,能精确判定伊方预警雷达阵地的位置。依靠这些信息,使空军指挥官能在有很大威胁地区进出伊境时选择最佳飞行路线,减少损失。

5. 轰炸

“沙漠风暴”的第一次战斗,是计划同时攻击位于伊境内离边境十四和二十三英里的两处预警雷达。要求首批执行任务的飞机,隐蔽、准时、同时到达目的地,以免惊动伊防空部队(空中、地面)采取行动,破坏正在途中的其他大批机群的行动。两架装备 GPS 的直升机分别引导后面的机组,在伊方雷达盲区穿越飞行,作战指挥官根据预先侦察结果,识别出了雷达阵地,准确地飞抵攻击起始点,投下多枚化学燃烧弹,为后续飞机指出攻击起始点位置。同时攻击两座预警雷达的战斗,按预定计划取得成功,美军没有损失。

海湾战争期间,美空军投掷了大量炸弹,凭借 GPS 的指示信息,飞行员能在夜间和恶劣天气条件下遂行轰炸任务。能接连不断地轰炸,是战争取胜的一个重要因素。

6. 导弹制导

中远程导弹一般采用组合式制导方式,例如中段用惯性制导,末段用红外成像制导等。惯性制导误差较大,影响末段的制导,使组合制导的精度减低。导弹安装 GPS 接收机后,根据连续的位置信息,校正导弹的弹道和姿态,准确命中目标。海湾战争中,美国使用了射程五十海里以上装有 GPS 接收机的远程陆地攻击导弹,专门用来消灭地下掩体里的伊军。给伊方带来很大的威胁。

7. 搜索救援

GPS 用于搜索救援时,缩小了搜索范围,提高了救援成功率。海湾战争初期,美军一个特别行动小组,在伊境内秘密行动中,暴露了目标,请求空中支援,而由于配备有 GPS 接收机,报告了精确的位置信息,才得到了迅速而有效的空中援助,击退了伊军的追击战。该行动小组又继续深入伊境开展活动。

应该注意,营救跳伞飞行员时,仅飞机上装有 GPS,并不能解决所有问题。还必须把 GPS 和求救无线电发报机组合到一起,搜索营救人员才能快速找到飞行员的降落地点。

8. 空中导航

GPS 能提供飞机的位置、速度、航向,时间和目的地的方位、距离等数据,引导飞机航行。美海军特种部队于“沙漠风暴”行动中,在 GPS 辅助下,进行远距离空中会合作战时,由于会合地点的范围变小,耗油比过去少得多。另外,因为速度和时间信息非常准确,不需要以往那样要有几分钟的空中会合的时间“窗口”,减少了遭敌炮火、引起损失的可能性。

9. 炮兵作战

利用 GPS,炮兵知道了炮位的精确位置;报靶员接近或位于敌人后方,亦知道自己的位置,因此在向炮兵阵地报告敌人阵地和弹着点位置时,自己不会成为己方火力的瞄准点。此外,由于敌方位置和首发炮弹落点可精确知道,目标的扫射过程就更精确有效。

10. 物资补给和战地救护

在机动战斗中,需要确定物资供应点,以及分布在沙漠地区的战地救护站的位置。配备 GPS 接收机后,飞行员能圆满完成任务。对地面部队而言,补给物资就不会丢失在沙漠中,战地救护车有了 GPS 提供的位置信息,给及时抢救伤员提供了条件。

11. 扫雷

战后,美国和一些国家的海军在扫除水雷的行动中,使用了 GPS 接收机。美国部队还采用了差分 GPS 技术。经扫雷后的区域,没有一个漏洞。

海湾战争表明,使用 GPS 能加强部队战斗力,扩大战场机动性,增强指挥部指挥控制能力,它在军事上有重要的作用。

§ 1—4 卫星导航系统和搜救卫星系统概况

本节介绍实用中的卫星导航系统和搜救卫星系统,以及一些卫星导航系统的计划。

一、子午仪卫星导航系统

子午仪系统,又称为海军导航卫星系统(Navy Navigation Satellite System 简写成 NNSS)。整个系统由导航卫星网、地面设施及卫星导航仪三部分组成。

子午仪系统有 4~6 颗卫星组成导航卫星网。卫星轨道是近似圆形的极轨道。每个轨道上有一颗卫星,卫星沿南北方向运行。各轨道之间有一个间隔,轨道高约 1100km,卫星绕地球一周的运行周期约为 107 分钟。每颗卫星发射 399.968MHz 和 149.988MHz 两种频率的信号。

卫星导航仪,简称卫导仪,接收卫星播发的信号,并用测量单颗卫星的多普勒频移的方法,来测定观测点的位置。卫导仪可分为双频道和单频道两种。双频道卫导仪,可以接收卫星播发的二种频率的信号,用以消除电离层对电波传播的影响,提高定位的精度;单频道卫导仪只能接收卫星播发的 399.968MHz 信号,不能消除电离层对电波传播的影响,定位精度较低,通常适用于舰船导航。

二、已停止使用的静止星卫星导航系统

美国的 Geostar 公司,于 1983 年开始研制一种采用双向测距定位的静止星(Geostar)卫星导航系统。该系统的目的是想通过廉价的设备,来提供美国本土的定位服务。

Geostar 系统有三颗同步卫星,分别位于西经 70°、100°、130°,卫星上装备有一个转发机。用户设备为一个收发机。地面站有一台超级计算机,设计要求在高峰时,每小时为一亿个收发机转发 5500 组信息,它为本系统的所有用户进行定位计算。

地面站以每秒 100 次的速度,一直在发射“脉冲信号”给卫星,卫星把这种询问信号转发给所有用户接收机。每台用户设备有一个数字识别代码。用户需要定位时,在收到询问信号后,立即发出有识别代码的信号,卫星收到信号后,转发给地面站。由于用户到三颗卫星的距

离不同,转发信号到达地面站的时间有先后,据此计算机可算出用户的三维位置。计算结果通过最合适的卫星输送到用户设备。系统的工作频率为 2492MHz,定位时间为 6 秒,定位精度为 2~10 米。

自 1990 年 5 月起,该系统已停止为用户服务。

三、奇卡达卫星导航系统

原苏联在七十年代建成了类似于子午仪系统的奇卡达(Tsikada)卫星导航系统。该系统由 6 颗卫星组成卫星网,轨道高约 1 000km,与赤道面夹角 83°,绕地球一周 105 分钟。工作频率 400MHz 和 150MHz,信号调制方法和子午仪不一样。原苏联计划该系统用到本世纪末。

四、Glonass 全球卫星导航系统

原苏联于 1978 年开始研制格罗纳斯(Glonass)全球卫星导航系统,它类似于 GPS 系统,亦是采用双频测距体制。计划将 24 颗卫星,分布在三个轨道上,轨道高约 20 000km,海上定位精度 100 米(95%概率)。计划 1995 年全面组网投入使用。

五、欧洲空间局的 Navsat 卫星导航计划

欧洲空间局于 1982 年提出建议,希望通过国际合作,建立一种民用的 Navsat(Navigation Satellite)全球卫星导航系统,以满足海、空导航、搜索、营救、进出港、民航机着陆等需要。计划有 24 颗卫星,分布在三个轨道上,轨道高约 20 000km,周期 12 小时。各卫星采用时分多址方法,发射 1557MHz 的信号。卫星部分和用户设备比较简单,复杂部分在地面站。Navsat 系统能在全球范围内连续提供三维位置、三维速度和时间。定位方法有两种:高精度用户采用伪码测距法,定位精度可达 10 米;一般用户利用导航信号中包含的连续波载波分量,进行多普勒定位,定位精度约 100 米。

六、原西德的 Granas 卫星导航计划

原西德的劳伦兹标准电气公司,于 1984 年提出建立 Granas(Global Radio Navigation System)全球无线电导航系统的设想。计划配置 20 颗卫星,分布在四个轨道上,用测距法定位。该系统兼具通信功能。

七、COSPAS/SARSAT 搜救卫星系统

COSPAS/SARSAT 系统,是海上遇险与安全系统(GMDSS)的一个组成部分,用于全球范围内陆、海、空遇险事件的报警和定位。COSPAS 俄文含意为搜寻遇难运载体的空间系统;SARSAT 是英文 Search And Rescue Satellite Aided Tracking(搜索和救援的卫星系统)

的字头略语。

系统由卫星应急示位标、卫星和地面部分三个分系统组成。卫星应急示位标为小功率报警信号发射装置,有主要用于飞机遇险报警的 121.5MHz 卫星应急示位标,和舰船用的 406MHz 卫星应急示位标。406MHz 卫星应急示位标发射遇险报警信号时,还同时发射寻位信号,以便于搜救机构搜寻。目前,COSPAS/SARSAT 系统有四颗近极轨道卫星,两颗是前苏联的航海卫星,由 COSPAS 集团提供,轨道高度 1000km,绕地球一周 105 分钟;两颗是美国的气象卫星,由 SARSAT 集团提供,轨道高度 850km,绕地球一周约 100 分钟。两种卫星是互相兼用的。卫星上有 121.5MHz 接收机、406MHz 接收/处理器、存贮器、1544.5MHz 卫星发射机等设备。地面部分由区域性用户终端(LUT)和各成员国建立的任务控制中心(MCC)组成。

卫星应急示位标发出报警信号,作为信号源,卫星与应急示位标之间在相对运动,会产生多普勒频移。对于 121.5MHz 信号,卫星转发器直接转发给地面,LUT 接收卫星中继过来的遇险信号,对信号进行处理,计算出多普勒信息,确定应急示位标位置。对于 406MHz 信号,收到后,一种是采用实时处理模式,在卫星上处理解出多普勒频移和时间定标数据,然后转发给与应急示位标在卫星共视范围内的 LUT,LUT 根据多普勒频移积分值,解算应急示位标的位置。如果卫星收到 406MHz 应急示位标信号时,应急示位标与 LUT 不在卫星共视区内,卫星转发器采用全球覆盖模式,把测得的多普勒频率数据及其他信息存于卫星存贮单元中。卫星运行到 LUT 上空时,把存贮的数据发给 LUT,由 LUT 计算出应急示位标位置。LUT 把报警信号输至 MCC。MCC 在各成员国内建立,收集、存贮、整理从 LUT 和其他 MCC 送来的数据,在 COSPAS/SARSAT 系统内进行数据交换,把报警和定位数据分送到有关搜救协调中心,或搜救部门的办事机构。

§ 1—5 卫星导航系统的分类

根据不同的特点,卫星导航系统有不同的分类:

一、按用户是否发射信号分类

(一)无源系统

这种系统,仅由卫星发射信号,用户只需装备接收设备,就可以接收该系统的信号进行导航定位。由于用户不发射信号,所以隐蔽性好,且用户数量不受限制。但卫星设备和用户设备都较复杂。

(二)有源系统

这种系统,用户设备要发射和接收信号,隐蔽性不好,但卫星设备和用户设备较简单。

二、按测量的参数分类

(一)测距导航系统

通过测量卫星与用户之间的距离进行定位的系统,称为测距系统。可分为:

1. 无源测距——卫星发射信号,用户用测量卫星到用户间距离的方法实现定位。

2. 有源测距——采用双向测距定位。例如,地面站通过两颗(或更多颗)卫星向用户发射询问信号,用户接收并发回应答信号,由地面站测量信号的传播距离。由于地面站和卫星的坐标是已知的,因此可以求得用户位置。卫星可以是静止卫星,也可以不是静止卫星,只要工作过程中位于地面站视界内即可。用户则要处于卫星的工作区内。

测距的方法有电磁波测距和激光测距两种。激光测距比电磁波测距精确,但成本高,使用较少。

(二)测距离差导航系统

在同一时刻对几颗卫星进行距离测量,或在几个位置上对同一颗卫星测量距离,利用距离差来定位的系统,称为测距离差导航系统。

(三)卫星多普勒导航系统

卫星在轨道上运行,由于卫星与卫导仪之间距离在变化,要产生多普勒效应,使卫导仪接收到的卫星信号频率和卫星发射频率之间相差一个多普勒频率,或称多普勒频移。多普勒频率与卫星和卫导仪之间的距离变化率成正比,所以可用它来确定卫导仪与卫星的相对位置。用测量卫星多普勒频率实现导航定位的系统,称为卫星多普勒导航系统。子午仪系统就是一种卫星多普勒导航系统。

一般卫导仪用测量多普勒频移积分值的方法来定位,而不是测量瞬时的多普勒频率来定位,因为测量多普勒频移积分值比测量瞬时多普勒频率要精确。

(四)测角导航系统

用确定一颗或多颗卫星相对于某一基准方向的夹角(例如仰角),来实现定位的系统。

(五)混合系统

同时采用两种以上测量方法的系统。例如测距法与测量多普勒频移积分值相结合。

三、按卫星运行轨道的高度分类

(一)低轨道(近地轨道):900~2 700km

(二)中高度轨道:13 000~20 000km

(三)同步轨道:36 000km

四、按能否连续定位分类

(一)连续定位的卫星导航系统

(二)间断定位的卫星导航系统

五、按工作区域分类

(一)全球覆盖系统

(二)区域覆盖系统

第二章 基础知识

§ 2—1 航海学基础知识

一、地球上的基本点、线、圆

将地球看作椭球体,其中:

1. 地球自转轴称为地轴。

2. 地轴与地球表面相交的两点分别叫地理北极(P_N)和地理南极(P_S)。在北极上空俯视地球自转的方向为逆时针方向。见图 2—1—1。

3. 包含地轴的平面与地球椭球体面相交的截痕,称为椭圆子午圈,如图中的 $P_N G P_S K$ 。两极之间的半个子午圈,称为子午线或经线,如图中的 $P_N G P_S$ 、 $P_N K P_S$ 。通过英国伦敦原格林尼治天文台的经线规定为基准(起始)经线。

4. 通过地心并与地轴垂直的平面和地球椭球体面相交的截痕,称为赤道,见图中的 $e G q K$ 。与赤道平行的小圆,称为纬圈,如图中的 $A B C D$ 。

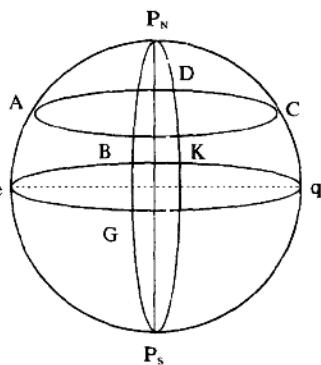


图 2—1—1

二、地理坐标

地球表面上任意一点的位置,可以用地理(或大地)坐标,即地理经度和地理纬度来表示。

1. 地理纬度简称纬度(Latitude、Lat、 φ),以赤道为 0° ,向南向北各算到 90° ,在赤道以北称北纬,在赤道以南的称南纬,分别用 N、S 表示。例如,北京的纬度 $\varphi 39^\circ 54'. 4N$ 。

2. 地理经度简称经度(Longitude、Long、 λ),以基准经度线为 0° ,向东向西各算到 180° ,在基准经线以东称东经,在基准经线以西称西经,分别用 E、W 表示。例如,北京的经度 $\lambda 116^\circ 28'. 0E$ 。

三、向位

1. 真北的确定

通过测者眼高点并垂直于测者垂直线的平面,称为测者地面真地平面,通过测者的子午圈称为测者子午圈,包含测者子午圈的平面称为测者子午面。测者子午面与测者地面真地平面的交线指向地理北极的方向。这样定义的北又称为真北。

2. 航向、方位和向位

在地面真地平面上,依据基准北所确定的舰船的航向和物标的方位,统称为向位。

航向(Course)是舰船航行的方向,从基准北顺时针方向计量到船首线的角度。有时用船首向(Heading)一词表示某瞬间船首的方向或瞬时航向。

方位(Bearing)是物标的水平方向,从基准北顺时针方向计量到物标方位线的角度。

3. 真航向和真方位

以真北为基准计量的航向、方位,分别称为真航向和真方位。

4. 罗航向、罗方位和罗经差

罗经(陀螺罗经、磁罗经) 0° 所指示的方向在地面真地平面上的投影称为罗北。以罗北为基准计量的航向、方位,分别称为罗航向和罗方位。

真北线与罗北线之间的夹角,称为罗经差。罗北线偏在真北线以东,称为罗经差偏东,计算时以“+”号代入;罗北线偏在真北线以西,称为罗经差偏西,计算时以“-”号代入。

5. 磁航向、磁方位和磁差、自差

仅受地磁磁场作用时,磁罗经盘的 0° 方向在地面真地平面上的投影,称为磁北。真北线和磁北线之间的夹角称为磁差。磁北线偏在真北线以东,称为磁差偏东,计算时以“+”号代入;磁北线偏在真北线以西,称为磁差偏西,计算时以“-”号代入。

安装在舰船上的磁罗经,除受地磁作用外,还受船磁影响,磁罗经盘 0° 方向指向各磁场力的合力方向即罗北方向。磁北线与罗北线的夹角称为自差。罗北线偏在磁北线以东,称为自差偏东。罗北线偏在磁北线以西,称为自差偏西。

以磁北为基准计量的航向、方位,分别称为磁航向、磁方位。

四、海上长度和速度单位

1. 长度单位

(1)米。

(2)海里:地球椭球体子午线上纬度一分的弧长。国际上规定1海里等于1852米。

(3)链:十分之一海里。

2. 英制长度单位

(1)英尺:1英尺等于0.3048米。

(2)英里:1英里等于5280英尺或1609.344米。

3. 速度单位

(1)节:每小时航行一海里为1节。

(2)米/秒;1节=0.5米/秒。

五、恒向线、大地线

1. 恒向线

地面上与所有经线相交成相等角度的曲线叫恒向线,又称等角航线。舰船以恒定的真航向航行的航线就是恒向线。

恒向线在地球表面上是一条趋向极点的对数螺旋曲线,它不是航程最短的航线。恒向线在墨卡托海图上是一条直线,它与经线的交角就是航向。

2. 大地线

在旋转椭球体曲面上两点间距离最短的线为大地线。在把地球当作圆球体时,大地线就是大圆弧。在大圆航行图上,大圆弧被投影成直线。

在低纬度地区,航线较短的情况下,恒向线航线与大圆航线,二者航程相差不太大;在高纬度地区,横跨经差较大时,二者航程相差较大。

3. 大圆改正量

地面两点间的大圆方位与恒向线方位,或大圆航向与恒向线航向间的差,叫大圆改正量。

六、航迹

舰船航行时投影在海底的运动迹线称为航迹。

七、对水速度和对地速度

1. 对水速度

舰船在静水中单位时间内航行的距离称为船速。航行中,用相对计程仪指示的船速已包含风对船速的影响,称为相对水速度。

2. 对地速度

舰船在风、流和波浪影响下,单位时间内实际航行的距离,即舰船对海底运动的速度,称为对地速度。

八、推算航程

根据航向、计程仪航程,流向、流程解算得出的航程,称为推算航程。

§ 2—2 天文学基础知识

一、天 球 坐 标

(一) 天 球

天球是以地球球心为中心,以无限大为半径的一个想象球体。

(二) 球面上的圆

平面与球面相截,其截痕为圆。通过球心的平面所截的圆最大,称为大圆。

(三) 天 赤 道

赤道平面与天球相截所得的大圆称为天赤道,如图 2—2—1 中的 $E\gamma QE$ 。

(四) 测者子午圆

在地球上,通过测者和两地极的大圆,称为测者子午圆。

地球上测者子午圆平面与天球相截所得的大圆也称为测者子午圆,它通过测者天顶和两天极。

两天极将测者子午圆分为两半,包含天顶的半圆称为午半圆,另一半称为子半圆。

(五) 黄 道

地球公转的轨道的平面称为黄道。

地球公转的轨道的平面与天球相截的截痕,也称为黄道。黄道是大圆,是太阳的年相对运动的轨道,见图 2—2—1。

(六) 春 分 点

黄道与天赤道相交的两点称为分点。其中,太阳从南天半球进入北天半球的一点称为春分点(γ),如图 2—2—1。

(七) 时 圆

过两天极的半个大圆叫时圆。

过天体的时圆叫天体时圆,如图 2—2—1 中的 $\widehat{P_NMP_S}$ 为天体 M 的时圆。

过春分点的时圆叫春分点时圆,如图 2—2—1 中的 $\widehat{P_N\gamma P_S}$ 。

(八) 天 体 赤 经(α)

春分点时圆和天体时圆所夹的球面角叫天体赤经。天体赤经自春分点起向东计算,最大可达 360° 。如图 2—2—1 中,天体 M 的赤经为 $\angle\gamma P_N M$ 或 $\angle K$ 。

(九) 天 体 赤 纬(δ)

在天球中心,天体方向与天赤道平面间的夹角,叫天体赤纬。天体赤纬自天赤道起,向北或南计量,最大不超过 90° 。图 2—2—1 中, M 天体的赤纬,为 $\angle KOM$ 或 δ 。

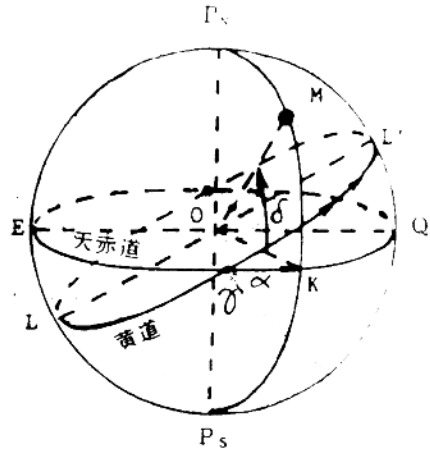


图 2—2—1