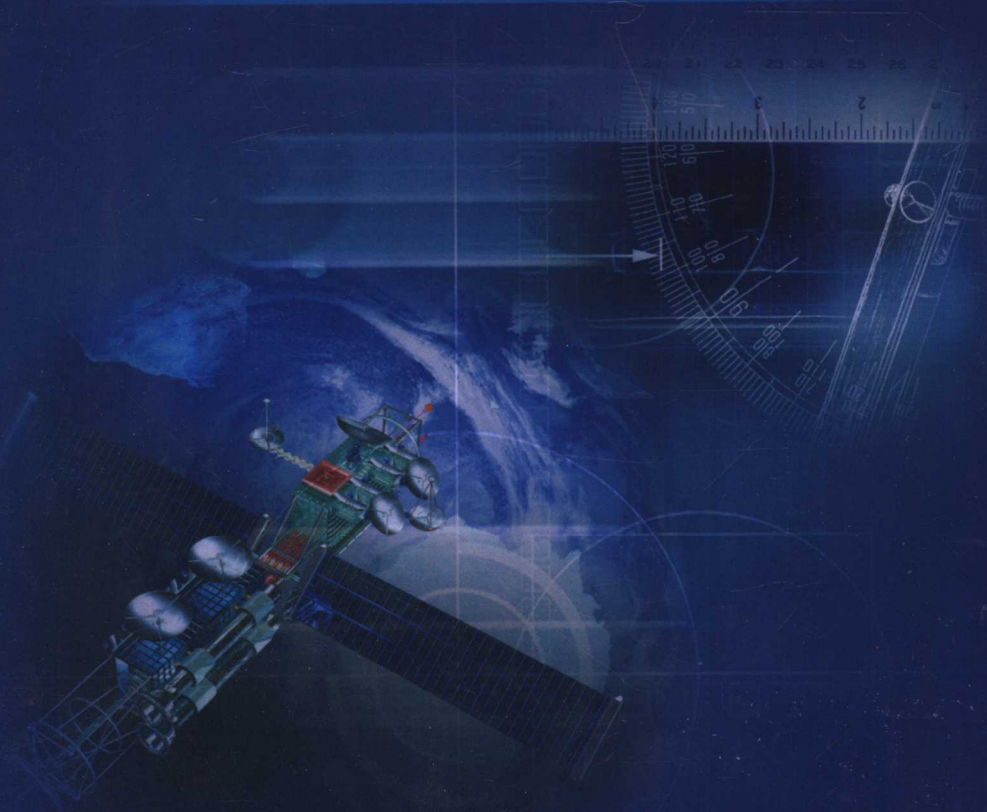


高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材

# GPS 测量技术

## GPS Celiang Jishu

周 立 主编



黄河水利出版社

高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专规划教材

# GPS 测量技术

主编 周 立

参编 张东明 贺英魁

赵龙平

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书是高等学校测绘学科教学指导委员会高职高专规划教材,由高等学校测绘学科教学指导委员会指导和组织编写,是高职高专测绘工程等专业主干技术课程教材。全书共分9章,第一章至第三章主要介绍了GPS卫星测量的基本原理;第四章至第五章主要介绍了GPS卫星测量的误差来源及其对策、GPS定位的坐标系统及时间系统;第六章至第八章主要介绍了GPS测量技术设计、外业实施和数据处理技术;第九章主要介绍了GPS导航的相关知识。本书重点介绍了GPS卫星测量技术设计、外业实施和数据处理技术,特别是对GPS卫星测量技术设计和外业实施做了详细论述。本书特点是概念清晰、通俗易懂、内容丰富、应用性强、适应面宽。

本书可作为高职高专院校测绘工程专业及相关专业的教材,并可供从事测绘工作的技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

GPS测量技术/周立主编. —郑州:黄河水利出版社,  
2006.8

高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专  
规划教材

ISBN 7-80734-036-3

I. G… II. 周… III. 全球定位系统(GPS) — 测量 —  
高等学校:技术学校 — 教材 IV. P228.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第081613号

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:14.25

字数:329千字

印数:1—4 100

版次:2006年8月第1版

印次:2006年8月第1次印刷

---

书号:ISBN 7-80734-036-3/P·55

定价:25.00元

高等学校测绘学科教学指导委员会“十五”高职高专  
规划教材审定委员会

主 任 宁津生

副主任 陶本藻 王 依

委 员 赵文亮 方源敏 李晓桓

# 序

我国的高职高专教育经历了十余年的蓬勃发展,获得了长足的进步,如今已成为我国高等教育的重要组成部分,在国家的经济、社会和科技发展中发挥着积极的服务作用,测绘类专业的高职高专教育也是如此。为了加深高职高专教育自身的改革,并使其高质量地向前发展,教育部决定组建高职高专教育的各学科专业指导委员会。国家测绘局受教育部委托,负责组建和管理高职高专教育测绘类专业指导委员会,并将其设置为全国高等学校测绘学科教学指导委员会下的一个分委员会。第一届分委员会成立后的第一件事就是根据教育部的要求,研讨和制定了我国高职高专教育的测绘类专业设置,新设置的专业目录已上报教育部和国家测绘局。随后组织委员和有关专家按照新的专业设置制定了“十五”期间相应的教材规划。在广泛征集有关高职高专院校意见的基础上,确定了规划中各本教材的主编和参编院校及其编写者,并规定了完成日期。为了保证教材的学术水平和编写质量,教学指导分委员会还针对高职高专教材的特点制定了严格的教材编写、审查及出版的流程 and 规定,并将其纳入高等学校测绘学科教学指导委员会统一管理。

经过各相关院校编写教师们的努力,现在第一批规划教材正式出版发行,其他教材也将会陆续出版。这些规划教材鲜明地突出了高职高专教育中专业设置的职业性和教学内容的应用性,适应高职高专人才的职业需求,必定有别于高等教育的本科教材,希望在高职高专教育的测绘类专业教学中发挥很好的作用。

这里要特别指出,黄河水利出版社在获悉我们将出版一批规划教材后,为了支持和促进测绘类专业高职高专教育的发展,经与教学指导委员会协商,今后高职高专测绘类专业的全部规划教材都将由该社统一出版发行。这里谨向黄河水利出版社表示感谢。

由教学指导委员会按照新的专业目录,组织、规划和编写高职高专测绘类专业教材还是初次尝试,希望有测绘类专业的各高职高专院校能在教学中使用这些规划教材,并从中发现问题,提出建议,以便修改和完善。

高等学校测绘学科教学指导委员会主任  
中国工程院院士



2005年7月10日于武汉

# 前 言

GPS(Global Positioning System)是20世纪70年代由美国国防部研制的全球卫星导航定位系统,该系统可向人类提供高精度的导航、定位和授时服务。广泛应用于大地测量、地形测量、地籍测量、工程测量、航空摄影测量、地质调查、交通管理、地理信息系统、海洋测绘、气象预报、变形监测和地球科学等领域。尤其是差分GPS(DGPS)技术的应用,实现了高精度实时动态导航与定位,在瞬间可获得米级或厘米级精度的测站坐标。由于GPS导航与定位技术应用领域的不断拓展,它已成为测绘工程和地理信息系统等地学专业本专科生和研究生的一门必修课程。

为了满足测绘类高职高专开设GPS课程的教学需求,全国高等学校测绘学科教学指导委员会规划了本教材,组织淮海工学院、郑州测绘学校、昆明冶金高等专科学校、重庆工程职业技术学院等院校长期从事GPS教学和研究的老师,共同编写了《GPS测量技术》教材。本书主要内容包括:GPS卫星定位技术发展过程及GPS卫星定位系统的组成;GPS卫星测量定位原理与误差来源;GPS卫星测量的坐标系统和时间系统;GPS测量技术设计;GPS测量的外业实施;GPS测量数据处理;GPS卫星导航。本书重在论述GPS的基本原理、基本方法,着重介绍GPS测量的施测技术,省略了许多数学模型,图文并茂,力求做到概念清晰、通俗易懂,适应面广、应用性强,每章节设计了学习指南,帮助学生学习和总结本章内容,以满足30~40学时的教学要求。

本书由周立教授担任主编,负责教材内容策划、审校和有关章节的编写、改写和统稿。全书共分9章。其中第一章由张东明执笔,第二章由周立执笔,第三章由贺英魁执笔,第四章由赵龙平执笔,第五章由贺英魁执笔,第六章由张东明执笔,第七章由周立执笔,第八章由张东明、周立执笔,第九章由周立执笔。

高等学校测绘学科教学指导委员会高职高专分委员会规划教材审定委员会为本书组织审稿,武汉大学博士生导师陶本藻教授主审本教材,提出了宝贵的修改意见,在此表示诚挚的感谢。

本书注重理论与工程实际相结合,反映了当前GPS卫星测量发展的最新技术。但由于GPS系统发展的日新月异,同时也由于作者水平有限,书中难免有不足与疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年6月22日

# 目 录

序	宁津生
前 言	
第一章 绪 论	(1)
第一节 卫星定位技术发展概况	(1)
第二节 GPS 测量技术应用	(7)
第三节 GPS 测量的特点	(12)
习题 1	(15)
第二章 GPS 卫星定位系统	(16)
第一节 GPS 系统的组成	(16)
第二节 GPS 卫星信号	(20)
第三节 GPS 卫星星历	(25)
习题 2	(36)
第三章 GPS 卫星定位原理	(38)
第一节 概 述	(38)
第二节 伪距测量原理	(39)
第三节 绝对定位原理	(51)
第四节 GPS 相对定位原理	(58)
习题 3	(74)
第四章 GPS 测量的误差影响及其对策	(76)
第一节 GPS 测量误差的来源及分类	(76)
第二节 与 GPS 卫星有关的误差	(77)
第三节 与卫星信号传播有关的误差	(83)
第四节 与接收机有关的误差	(93)
第五节 与动态差分定位有关的误差	(95)
习题 4	(101)
第五章 GPS 定位的坐标系统及时间系统	(102)
第一节 GPS 测量的坐标系统	(102)
第二节 GPS 测量的时间系统	(121)
习题 5	(123)
第六章 GPS 测量技术设计	(125)
第一节 GPS 测量的技术设计	(125)
第二节 GPS 控制网的图形设计及设计原则	(131)
第三节 GPS 控制网的基准及精度设计	(133)

第四节	GPS 观测纲要设计 .....	(135)
习题 6	.....	(142)
<b>第七章</b>	<b>GPS 测量的外业实施 .....</b>	<b>(143)</b>
第一节	GPS 相对测量作业模式 .....	(143)
第二节	GPS 控制点的选择 .....	(147)
第三节	GPS 数据的采集 .....	(150)
第四节	成果验收和上交资料 .....	(169)
习题 7	.....	(171)
<b>第八章</b>	<b>GPS 数据处理 .....</b>	<b>(172)</b>
第一节	数据预处理 .....	(172)
第二节	GPS 基线向量的解算 .....	(174)
第三节	GPS 网平差 .....	(181)
第四节	GPS 数据处理工程实例 .....	(186)
第五节	GPS 高程 .....	(198)
第六节	GPS 技术总结 .....	(201)
习题 8	.....	(203)
<b>第九章</b>	<b>GPS 卫星导航简介 .....</b>	<b>(204)</b>
第一节	GPS 导航原理 .....	(204)
第二节	GPS 导航方法 .....	(205)
习题 9	.....	(215)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(216)</b>



# 第一章 绪 论

GPS 全球定位系统(Global Positioning System, 简称为 GPS), 是随着现代科学技术的迅速发展而建立起来的新一代精密卫星导航定位系统。在这一章中我们主要介绍 GPS 卫星导航定位系统发展的由来、GPS 系统的应用、GPS 系统的特点等方面的内容。

## 第一节 卫星定位技术发展概况

1957 年 10 月 4 日, 苏联成功地发射了世界上第一颗人造地球卫星后, 人们就开始利用卫星进行定位和导航的研究, 人类的空间科学技术研究和应用跨入了一个崭新的时代, 世界各国争相利用人造地球卫星为军事、经济和科学文化服务。同时, 卫星定位技术在大地测量中的应用也取得了惊人的发展, 迅速跨入了一个崭新的时代。

### 1 早期的卫星定位技术

卫星定位技术是指人类利用人造地球卫星确定测站点位置的技术。卫星大地测量就是利用人造地球卫星为大地测量服务的一门学科。它的主要内容是在地面上观测人造地球卫星, 通过测定卫星位置的方法来解决大地测量任务, 例如测定地面点的相对位置, 测定地球的形状和大小等。

早期, 人造地球卫星仅作为一种空间观测目标, 由地面上的观测站对卫星的瞬间位置进行摄影测量, 测定测站点至卫星的方向, 建立卫星三角网。同时也可利用激光技术测定观测站至卫星的距离, 建立卫星测距三角网。通过这两种观测方法, 均可以实现地面点的定位, 也能进行大陆同海岛的联测定位, 解决了常规大地测量难以实现的远距离联测定位问题, 这是常规定位技术望尘莫及的。

1966~1972 年间, 美国国家大地测量局在英国和联邦德国测绘部门的协作下, 用卫星三角测量方法测设了一个具有 45 个测站点的全球三角网, 获得了  $\pm 5$  m 的点位精度。然而, 由于卫星三角测量受天气和可见条件影响, 观测和成果换算需耗费大量的时间, 同时定位精度不太理想, 并且不能得到点位的地心坐标。因此, 卫星三角测量技术成为一种过时的观测技术, 很快就被卫星多普勒定位技术所取代。

### 2 卫星多普勒定位系统

1958 年 12 月, 美国海军武器实验室和詹斯·霍普金斯(Johns Hopkins)大学物理实验室为了给美国海军“北极星”核潜艇提供全球性导航, 开始研制一种卫星导航系统, 称之为美国海军导航卫星系统(Navy Navigation Satellite System), 简称 NNSS 系统。在这一系统中, 由于卫星轨道面通过地极, 所以又被称为子午卫星导航系统。1959 年 9 月美国发射了第一颗试验性卫星, 到 1961 年 11 月, 先后发射了 9 颗试验性导航卫星。经过几年试

验研究,解决了卫星导航的许多技术问题。从1963年12月起,陆续发射了由6颗卫星组成的子午卫星星座,1964年该系统建成并投入使用。该系统轨道接近圆形,卫星高度为1 100 km,轨道倾角为90°左右,周期约为107 min,在地球表面上的任何一个测站上,平均每隔2 h便可观测到其中一颗卫星。

卫星多普勒定位系统即美国海军导航卫星系统,它由三部分组成:卫星星座、地面跟踪网和用户接收机。地面跟踪网由跟踪站、计算中心、注入站、海军天文台和控制中心五部分组成。它们的任务是测定各颗卫星的轨道参数,并定时将这些轨道参数和时间信号注入到相应的各颗卫星内,以便卫星按时向地面播发。接收机是用来接收卫星发射的信号、测量多普勒频移、解译卫星的轨道参数,以测定接收机所在位置的设备。由于接收机都是采用多普勒效应原理进行接收和定位的,所以也称为多普勒接收机。

1967年7月29日,美国政府宣布解密子午卫星的部分导航电文而提供民用,由于卫星多普勒定位具有经济、快速、精度较高、不受天气和时间限制等优点,只要能见到子午卫星,便可在地球表面的任何地方进行单点和联测定位,从而获得测站的三维地心坐标。因此,卫星多普勒定位迅速从美国传播到欧、亚洲及美洲的许多国家。20世纪70年代中期,我国开始引进卫星多普勒接收机。西沙群岛的大地测量基准联测,是我国应用卫星多普勒定位技术的先例。自80年代初期以来,我国开展了几次较大规模的卫星多普勒定位实践:国家测绘局和总参测绘局联合测设的全国卫星多普勒大地网;由原武汉测绘科技大学与青海石油管理局、新疆石油管理局、原石油部地球物理勘探局合作测设的西北地区卫星多普勒定位网;即使在远离我国170 000余 km的南极乔治岛上,也用卫星多普勒定位技术精确测得我国长城站的地理位置为南纬 $62^{\circ}12'59.811'' \pm 0.015''$ ,西经 $50^{\circ}57'52.665'' \pm 0.119''$ ,高程为 $43.58 \text{ m} \pm 0.67 \text{ m}$ ,长城站至北京的距离为17 501 949.51 m。

在美国子午卫星系统建立的同时,苏联于1965年开始也建立了一个卫星导航定位系统,叫做CICADA。它与NNSS系统相似,也是第一代卫星导航定位系统。该系统由12颗卫星组成CICADA星座,轨道高度为1 000 km,卫星的运行周期为105 min。

虽然子午卫星系统将导航和定位技术推向了一个崭新的发展阶段,但仍然存在着一一些明显的缺陷。由于该系统卫星数目较少(6颗工作卫星),运行高度较低(平均约为1 000 km),从地面站观测到卫星的时间间隔也较长(平均约1.5 h),无法进行全球性的实时连续导航定位服务。从大地测量学来看,由于它的定位速度慢(测站平均观测1~2天),精度较低(单点定位精度3~5 m,相对定位精度约为1 m),因此该系统在大地测量学和地球动力学研究方面受到了极大的限制。为了满足军事及民用部门对连续实时三维导航和定位的需求,第二代卫星导航系统——GPS应运而生。子午卫星导航系统也于1996年12月31日停止发射导航及时间信息。

### 3 全球卫星定位系统

#### 3.1 GPS卫星定位系统

1973年12月,美国国防部在总结了NNSS系统的优劣之后,批准美国海陆空三军联合研制新一代卫星导航系统——NAVSTAR GPS,即为目前的“授时与测距导航系统/全球定位系统”(Navigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System),通常称

之为全球定位系统,简称为 GPS 系统。GPS 系统的全部投资为 300 亿美元。自 1974 年以来,系统的建立经历了方案论证、系统研制和生产试验等三个阶段,是继阿波罗计划、航天飞机计划之后的又一个庞大的空间计划。1978 年 2 月 22 日,第一颗 GPS 试验卫星发射成功。1989 年 2 月 14 日,第一颗 GPS 工作卫星发射成功,宣告 GPS 系统进入了营运阶段。1994 年 3 月 28 日完成第 24 颗工作卫星的发射工作。GPS 共发射了 24 颗卫星(其中,21 颗为工作卫星,3 颗为备用卫星,目前的卫星数已经超过 32 颗),均匀地分布在 6 个相对于赤道倾角为  $55^\circ$  的近似圆形轨道上,卫星距离地球表面的平均高度为 20 200 km,运行速度为 3 800 m/s,运行周期 11 h 58 min,如图 1-1 所示。每颗卫星可覆盖地球表面约 38% 的面积。卫星的分布可保证在地球上任何地点、任何时刻,同时能观测到 4 颗卫星。

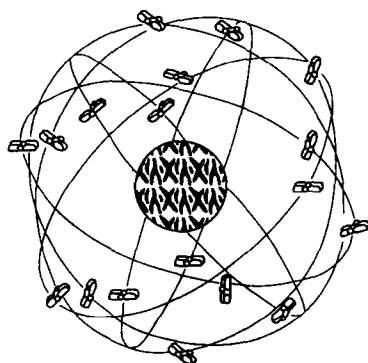


图 1-1 GPS 卫星星座

在 GPS 设计之初,美国国防部的主要目的是使 GPS 系统能够为海、陆、空三军提供实时、全天候和全球性的导航服务,并用于情报收集、核暴监测和应急通讯等一些军事目的。但随着 GPS 系统的开发应用,被广泛地应用于飞机和船舶及各种载运工具的导航、高精度的大地测量、精密工程测量、地壳形变测量、地球物理测量、航天发射和卫星回收等技术领域。

为了使 GPS 具有高精度的连续实时三维导航性能及良好的抗干扰性能,在卫星的设计上采取了若干重大改进措施。GPS 与 NNSS 的主要特征比较见表 1-1。

### 3.2 GLONASS 卫星定位系统

GPS 系统的广泛应用,引起了世界各国的关注。苏联在全面总结 CICADA 第一代卫星导航系统优劣的基础上,认真吸收了美国 GPS 系统的成功经验,自 1982 年 10 月,开始研制发射第二代导航卫星——GLONASS 卫星,该系统至 1996 年共发射 24 + 1 颗卫星,经数据加载、调整和检验,于 1996 年 1 月 18 日系统正式运行,主要为军用。GLONASS 卫星均匀地分布在 3 个轨道平面内,轨道倾角为  $64.8^\circ$ ,每个轨道上等间隔地分布 8 颗卫星。卫星距离地面高度为 19 100 km,卫星的运行周期为 11 h 15 min, GLONASS 卫星星座如图 1-2 所示。GLONASS 系统可进行卫星测距。民用无任何限制,不收费。民用的标准精度为:水平精度为 50 ~ 70 m,垂直精度为 75 m,测速精度为 15 cm/s,授时精度为  $1 \mu\text{s}$ 。GLONASS 卫星的平均工作寿命超过 4.5 年。1999 年底补网发射了 3 颗卫星,至

2000年初,该系统只有7颗卫星保持连续工作。2000年10月补网又发射了3颗卫星。到2001年3月,GLONASS系统中有13颗健全的卫星。从2004年后,GLONASS系统基本上进入了较好的运营状态。

表 1-1 GPS 与 NNSS 主要特征

系统特征	GPS	NNSS
载波频率(GHz)	1.23,1.58	0.15,0.40
卫星平均高度(km)	约 20 200	约 1 000
卫星数目(颗)	24(3 颗备用)	5~6
卫星运行周期(min)	718	107
卫星钟稳定度	$10^{-12}$	$10^{-11}$

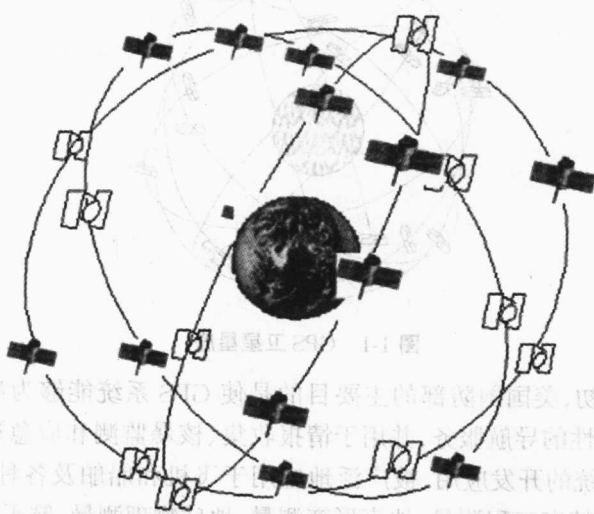


图 1-2 GLONASS 卫星星座

### 3.3 NAVSAT 卫星导航系统

GPS系统和GLONASS系统主要是为军事应用而建立的卫星导航系统。NAVSAT卫星导航系统是欧洲空间局(ESA)筹建的民用卫星导航系统。NAVSAT系统采用6颗地球同步卫星(GEO)和12颗高椭圆轨道卫星(HEO)组成的混合星座,12颗HEO卫星均匀分布在6个轨道平面内,6颗GEO卫星同处于一个轨道平面内。地面上任一地点任一时间可以见到至少4颗NAVSAT卫星,可用它们进行全天候和全球性的实时导航和定位。同步卫星上带有NAVSAT发射机应答器,因此可用于通信。NAVSAT系统的星座如图1-3所示。

## 4 伽利略全球卫星导航系统

GPS定位系统和GLONASS定位系统分别受到美国和俄罗斯两国军方的严密控制,其信号的可靠性无法得到保证,长期以来欧洲只能在美、俄的授权下从事接收机制造、导

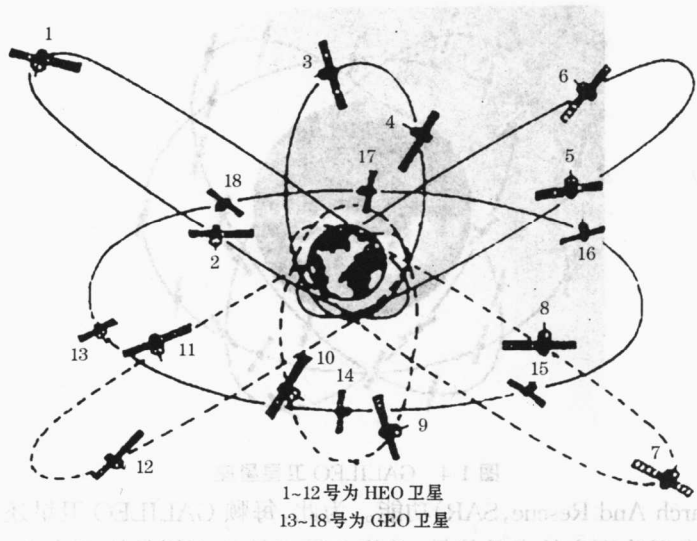


图 1-3 NAVSAT 卫星星座

航服务等从属性的工作。为了能在卫星导航领域占有一席之地,欧洲认识到建立拥有自主知识产权的卫星导航系统的重要性。同时在欧洲一体化进程中,建立欧洲自主的卫星导航系统将会全面加强欧盟诸成员国之间的联系和合作。在这种背景下,欧盟启动一个军民两用并与现有的卫星导航系统相兼容的全球卫星导航计划——“伽利略”(GALILEO)计划。

欧盟在 1992 年 2 月首次提出“伽利略”计划。计划分成四个阶段:①论证阶段,时间为 2000 年;②系统研制阶段,包括研制卫星及地面设施、系统在轨确认,时间为 2001~2005 年;③星座布设阶段,包括制造和发射卫星,地面设施建设并投入使用,时间为 2006~2007 年;④运营阶段,从 2008 年开始。“伽利略”计划投资预算约为 32.5 亿欧元,服务范围覆盖全球,可以提供导航、定位、时间、通信等服务。其服务方式包括开放服务、商业服务和官方服务三个方面。

“伽利略”系统的基本结构包括星座与地面设施、服务中心、用户接收机等。卫星星座将由 30 颗卫星(27 颗工作卫星和 3 颗备用卫星)组成,卫星采用中等地球轨道,均匀分布在高度约为 23 616 km 的 3 个中高度圆轨道面上,倾角 56°。地面控制设施包括卫星控制中心和提供各项服务所必需的地面设施,用于管理卫星星座及测定和传播集成信号。GALILEO 卫星星座如图 1-4 所示。卫星的设计寿命为 20 年,卫星信号将采用 4 种位于 L 波段的多载频来发射,其频率分别为:

E5a: 1 176.45 MHz

E5b: 1 207.14 MHz

Eb: 1 278.75 MHz;

E<sub>2</sub>-L<sub>1</sub>-E<sub>1</sub>: 1 575.42 MHz

GALILEO 系统的主要特点是:向用户提供公开服务、安全服务、商业服务、政府服务等不同模式的多种服务。它除具有与 GPS 系统相同的全球导航定位功能以外,还具有全



图 1-4 GALILEO 卫星星座

球搜寻援救(Search And Rescue, SAR)功能。为此,每颗 GALILEO 卫星还装备一种援救收发器,接收来自遇险用户的求救信号,并将它转发给地面援救协调中心,后者组织对遇险用户的援救。与此同时,GALILEO 系统还向遇险用户发给援救安排通报,以便遇险用户等待援救。GALILEO 接收机不仅可以接收本系统信号,而且可以接收 GPS 和 GLONASS 这两大系统的信号,并且实现导航功能和移动电话功能的结合。

我国政府与欧盟在“伽利略”导航定位系统方面进行了深层次的合作。2003 年 9 月 18 日,我国科技部与欧盟能源交通司草签了合作协议。双方在“伽利略”计划的实施过程中将开展广泛的合作,合作领域包括卫星的制造和发射、无线电传播环境实验、地面系统、接收机标准等。

## 5 我国的“北斗”导航卫星定位系统

我国自行研制的第一颗导航定位卫星——“北斗导航试验卫星”,于 2000 年 11 月 1 日凌晨 0 时 02 分在西昌卫星发射中心发射升空,并准确进入预定轨道。2000 年 12 月 22 日凌晨 0 时 20 分第二颗“北斗导航试验卫星”在西昌卫星发射中心发射成功,这两颗试验卫星构成了我国“北斗双星导航定位系统”。

2003 年 5 月 25 日又发射了导航定位系统的备份卫星,它与前两颗卫星组成了完整的卫星导航定位系统,确保全天候、全天时提供卫星导航信息。“北斗双星导航定位系统”的服务区域为东经  $70^{\circ} \sim 145^{\circ}$ 、北纬  $5^{\circ} \sim 55^{\circ}$  范围。定位精度:平面  $\pm 20 \text{ m}$ ,高程  $\pm 10 \text{ m}$ 。北斗导航定位系统具有快速定位、短报文通讯、精密授时三大功能。

双星导航定位系统定位的基本原理为空间球面交会测量原理。如图 1-5 所示,地面中心站通过两颗卫星向用户询问,用户应答后测量并计算出用户到两颗卫星的距离;然后根据地面中心站的数字地图,由地面中心站算出用户到地心的距离,再根据两颗卫星和地面中心站的已知地心坐标计算出用户的三维位置,由卫星发给用户。

我国的双星导航系统综合了天文导航定位和地面无线电导航定位的优点,相当于一个设置在太空的无线电导航台。可以在任何时间、在定位服务区域内的任何地点为用户确定其所在的地理经纬度和海拔高度。该系统主要为我国的交通运输、气象、石油、海洋、

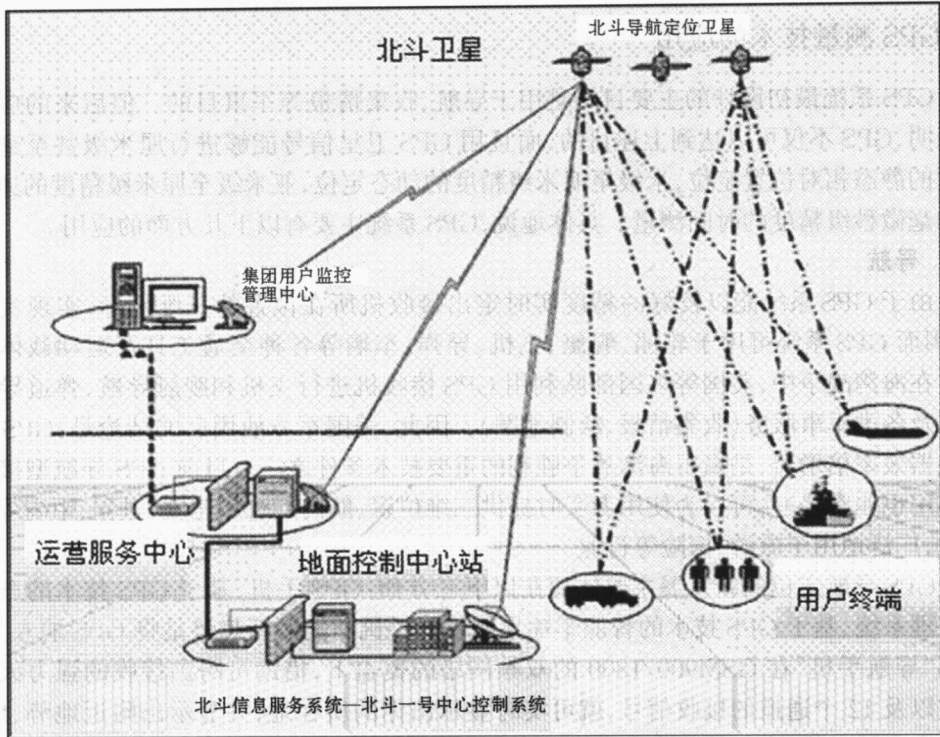


图 1-5 “北斗双星”导航定位原理

森林防火、灾害预报、通信、公安以及其他特殊行业提供高效的导航定位服务。北斗运营服务中心以北斗信息服务系统为平台,可为各类集团用户提供其下属北斗用户接收机及其监控与管理中心(指挥所)设备入网许可服务;可为集团用户中心提供其下属终端用户的位置、短报文等信息服务,也可将集团用户的指令信息发送给其下属;可将用户信息长期保存,以便用户随时查询;可为数据采集用户提供定位和数据传输服务;可为气象、物流等部门提供信息咨询、受托研究等服务。北斗应用具有五大优势:①同时具备定位与通讯功能,无需其他通讯系统支持;②融合北斗导航定位系统和卫星导航增强系统两大资源,提供更丰富的增值服务;③覆盖中国及周边国家和地区,24小时全天候服务,无通讯盲区;④定位解算都集中在地面控制中心站,特别适合于大范围移动目标监控与管理;⑤自主系统,高强度加密设计,安全、可靠、稳定,适合关键部门应用。

“北斗双星”导航系统是国际上首次实现的区域导航定位系统,填补了我国导航卫星领域的空白,使中国成为世界上继美国、俄罗斯之后自主建立导航系统的国家。

## 第二节 GPS 测量技术应用

GPS 性能优异,应用范围极广。可以说,在需要导航和定位的部门都可利用 GPS。GPS 系统的建成和应用是导航定位技术的一场革命。

## 1 GPS 测量技术的应用

GPS 系统最初设计的主要目的是用于导航、收集情报等军事目的。但后来的应用开发表明, GPS 不仅可以达到上述目的, 而且用 GPS 卫星信号能够进行厘米级甚至毫米级精度的静态相对位置定位, 米级至亚米级精度的动态定位, 亚米级至厘米级精度的速度测量和毫微秒级精度的时间测量。具体地说, GPS 系统主要有以下几方面的应用。

### 1.1 导航

由于 GPS 系统能以较好的精度实时定出接收机所在位置的三维坐标, 实现实时导航, 因而 GPS 系统可用于轮船、舰艇、飞机、导弹、车辆等各种交通工具及运动载体的导航。在海湾战争中, 美国等多国部队利用 GPS 接收机进行飞机和舰艇导航、弹道导弹制导以及各类军事服务(收集情报、绘制地图)。因此, 美国军方使用后的结论是: GPS 是作战武器效率倍增器, 是赢得海湾战争胜利的重要技术条件之一。目前 GPS 导航型接收机的应用也非常普遍, 可以为使用者实时提供三维位置、航向、航迹、速度、里程、距离等导航信息, 广泛地用于旅游、探险等行业。

GPS 导航定位的新发展主要体现在以下三方面: GPS 手机、基于 GPS 技术的车辆监控管理系统、基于 GPS 技术的智能车辆导航仪。手机功能的新趋势是将 GPS 纳入其中。一部“导航手机”在 GSM900/1800 的双频网络的覆盖下, 借助可跨国接收的强力天线的感应以及 12 个通道的接收信号, 就可实时显示出你的所在地, 并显示出附近地势、地形、街道索引的道路蓝图, 其稳定接收度直逼卫星电话。同时, 因为 GPS 手机收讯人除了听到对方“救命”之声外, 更可确切地显示待救者所在的位置, 为那些爱征服恶劣环境的人多提供了一种崭新的安全设备。特大屏幕设计, 除了方便察看地图, 还可以方便浏览有关图表和详细列出的平均时速、所行路程的距离、时间、方位、路线及风速等数据资料。

基于 GPS 技术的车辆监控管理系统。将任何装有 GPS 接收机的移动目标的动态位置(经度、纬度、高度)、时间、状态等信息, 实时地通过无线通讯网络传至监控中心, 在具有强大的地理信息处理、查询功能的电子地图上显示移动目标的运动轨迹, 对其准确位置、速度、运动方向、车辆状态等用户感兴趣的参数进行监控和查询, 以确保车辆的安全, 方便调度管理, 提高运营效率。它还能及时地将车辆上人为产生的状态, 如报警信息等送到监控中心, 迅速给予帮助。

基于 GPS 技术的智能车辆导航仪以电子地图为监控平台, 通过 GPS 接收机实时获得车辆的位置信息, 并在电子地图上显示出车辆的运动轨迹。当接近路口、立交桥、隧道等特殊路段时可以进行语音提示。作为辅助导航仪, 可按照规定的行进路线使司机无论在熟悉或不熟悉的地域都可迅速到达目的地, 该装置还设有最佳行进路线选择及线路偏离报警等多项辅助功能。

### 1.2 授时

随着社会的发展、生活节奏的加快, 人类对时间的认识越来越深刻。准确、可靠的时间对社会和我们每个人都是十分重要的。目前世界各国都竞相研制各种授时和校时手段。授时方法有长短波授时、GPS 时间信号、卫星授时、电话授时和计算机网络授时等。

利用 GPS 可进行高精度的授时。因此, GPS 成为最为方便、最为精确的授时方法之



一。利用 GPS 技术可提供自动化中需要的精确同步时间,可做出精确的授时钟,GPS 授时钟综合精度可优于 $0.5 \mu\text{s}$ 。电网调度自动化要求主站端与远方终端(RTU)的时间同步。目前,计算机故障录波器均有机内标准时间环节。由于时间元件自身误差和不同型号的录波器时间元件差异,往往造成各故障录波器在发生故障时记录时间差异较大,给分析系统事故带来不便。GPS 技术可以获得高可靠性及高精度的秒脉冲(IPPS),通过串口输出时间,能不断修正原来录波器时间元件,可使全系统故障录波器时间同步。

### 1.3 高精度、高效率的地面测量

GPS 的出现给测绘领域带来了根本性的变革,具体表现是:在大地测量方面,GPS 定位技术以其精度高、速度快、费用省、操作简便等优良特性被广泛应用于大地控制测量中。时至今日,可以说 GPS 定位技术已完全取代了用常规测角、测距手段建立的大地控制网。一般将应用 GPS 卫星定位技术建立的控制网叫 GPS 网。归纳起来大致可以将 GPS 网分为两大类:一类是全球或全国性的高精度 GPS 网,这类 GPS 网中相邻点的距离在数百公里至上万公里,其主要任务是作为全球高精度坐标框架或全国高精度坐标框架,为全球性地球动力学和空间科学方面的科学研究工作服务,或用以研究地区性的板块运动或地壳形变规律等问题。另一类是区域性的 GPS 网,包括 GPS 城市网、矿区网和工程网等,这类网中的相邻点间的距离为几公里至几十公里,其主要任务是直接为国民经济建设服务。在工程测量领域,GPS 定位技术正在日益发挥其巨大作用。如,利用 GPS 可进行各级工程控制网的测量,进行精密工程测量和工程变形监测,利用 GPS 进行机载航空摄影测量,利用 RTK 技术进行点位的测设等。在灾害监测领域,GPS 可用于地震活跃区的地震监测、大坝监测、油田下沉、地表移动和沉降监测等,此外还可用来测定极移和地球板块的运动。

### 1.4 GPS 连续运行站网和综合服务系统的应用

在全球地基 GPS 连续运行站的基础上组成的 IGS(International GPS Service),是 GPS 连续运行站网和综合服务系统的范例。它无偿向全球用户提供 GPS 各种信息,如 GPS 精密星历、快速星历、预报星历、IGS 站坐标及其运动速率、IGS 站所接收信号的相位和伪距数据、地球自转速率等。在大地测量和地球动力学方面支持了电离层、气象、参考框架、精密时间传递、高分辨率地推算地球自转速率及其变化、地壳运动等科学项目。日本已建成近 1 200 个 GPS 连续运行站网的综合服务系统,在以监测地壳运动和预报地震为主要功能的基础上,目前结合气象和大气部门开展 GPS 大气学的服务。

### 1.5 GPS 在卫星测高、地球重力场中的应用

重力探测技术的重要进展是开创了卫星重力探测时代,GPS 为卫星跟踪卫星和卫星重力梯度测量提供了精确的卫星轨道信息和时间信息。包括观测卫星轨道摄动以确定低阶重力场模型,利用卫星海洋测高,直接确定海洋大地水准面以及 GPS 结合水准测量直接测定大陆大地水准面,可获得厘米级的大地水准面。这一重力探测技术的突破,提供了一种可全球覆盖重复采集重力场信息的高效率技术手段。INS/GPS 组合系统、INS/重力精化大地水准面是局部重力场逼近的长期目标,也是大地测量应用本身(特别是 GPS 技术的广泛应用)及研究活动构造带地壳运动和时变重力场效应的需要。目前,以 EGM 96(包括其他较好的地球重力场模型)作为参考模型,同时利用高精度、高分辨率 DTM、GPS