



国家示范性高等院校核心课程规划教材

工程测量技术专业及专业群教材

GPS 测量技术

GPS CELIANG JISHU

主 编 贺英魁

副主编 罗 强



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

GPS FORUM

GPS FORUM NEWS

12 1998
\$6.95

12 1998
\$6.95

12 1998
\$6.95

GPS 测量技术

主 编 贺英魁
副主编 罗 强

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是全国示范性高等职业院校建设教材,由重庆工程职业技术学院组织编写,是高职高专工程测量技术专业主干课程教材。全书共10个学习情境,学习情境1主要介绍了GPS的建立过程和组成概况;学习情境2介绍了坐标系统和时间系统;学习情境3介绍GPS卫星的星历和坐标计算;学习情境4介绍电磁波传播和GPS卫星的信号;学习情境5介绍GPS定位原理;学习情境6介绍GPS测量的误差分析;学习情境7介绍GPS控制网的设计、作业计划、观测和数据处理的方法及要求;学习情境8介绍GPS的应用领域;学习情境9介绍GPS工程项目实训的方法和要求;学习情境10介绍了GPS控制测量工程项目设计的方法和要求。全书融理论教学和实践技能训练于一体,重在能力培养,应用性强。

本书可作为高职高专院校工程测量技术专业及相关专业教材,也可作为成人教育GPS培训教材和从事GPS测量工作的技术人员学习GPS测量技术、提高GPS测量工作能力的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

GPS测量技术/贺英魁主编. —重庆:重庆大学出版社,2010.2

(工程测量技术专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-5279-9

I. ①G… II. ①贺… III. ①全球定位系统(GPS)—测量—高等学校—教材 IV. ①P228.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第014833号

GPS 测量技术

主 编 贺英魁

副主编 罗 强

责任编辑:曾显跃 高鸿宽 版式设计:曾显跃

责任校对:任卓惠 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:437千

2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-5279-9 定价:29.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编写委员会

编委会主任 | 张亚杭

编委会副主任 | 李海燕

编委会委员

唐继红
黄福盛
吴再生
李天和
游普元
韩治华
陈光海
宁望辅
栗俊江
冯明伟
兰 玲
庞 成

序

本套系列教材是重庆工程职业技术学院国家示范高职院校专业建设的系列成果之一。根据《教育部 财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划 加快高等职业教育改革与发展的意见》(教高[2006]14号)和《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)文件精神,重庆工程职业技术学院以专业建设大力推进“校企合作、工学结合”的人才培养模式改革,在重构以能力为本位的课程体系的基础上,配套建设了重点建设专业和专业群的系列教材。

本套系列教材主要包括重庆工程职业技术学院五个重点建设专业及专业群的核心课程教材,涵盖了煤矿开采技术、工程测量技术、机电一体化技术、建筑工程技术和计算机网络技术专业及专业群的最新改革成果。系列教材的主要特色是:与行业企业密切合作,制定了突出专业职业能力培养的课程标准,课程教材反映了行业新规范、新方法和新工艺;教材的编写打破了传统的学科体系教材编写模式,以工作过程为导向系统设计课程的内容,融“教、学、做”为一体,体现了高职教育“工学结合”的特色,对高职院校专业课程改革进行了有益尝试。

我们希望这套系列教材的出版,能够推动高职院校的课程改革,为高职专业建设工作作出我们的贡献。

重庆工程职业技术学院示范建设教材编写委员会
2009年10月

前 言

20 世纪 70 年代,由美国国防部建立的 GPS 全球定位系统,与传统的测量技术相比较,具有用途广、精度高、速度快、站间无须通视、操作简便、全天候作业、可提供三维坐标等特点。因此,当 GPS 建成后,很快在全世界得到了非常广泛的应用。在工程测量领域,除地下工程测量以外的其他各种工程测量的传统测量技术,正在逐渐被 GPS 测量技术取代。其中,以 GPS 静态相对定位方法为手段的地面控制测量和以实时载波相位差分(RTK)定位方法为手段的施工测量、地形测量以及地籍测量等 GPS 测量技术的应用尤为广泛。因此,自 20 世纪 90 年代以来,我国各高校的测绘专业逐渐开设了 GPS 测量技术课程,并作为主干课程之一。

进入 21 世纪以来,我国为适应经济建设的需要,大力发展职业教育,拟从 2006 年到 2010 年,建立 100 所示范高职院校。

为了提高高职工程测量技术专业学生的动手能力,满足测绘行业对生产第一线高技能技术人才的需要,我们决定对 GPS 测量技术这门课程,采用“项目导向”和“基于工作过程”相结合的人才培养模式。为此,我们根据测绘工程项目和企业生产流程,在 GPS 测量技术课程中,为加强学生动手能力的培养,编写这本理论教学与实践环节训练融为一体的一体化教材。

本书编写分工:重庆工程职业技术学院贺英魁编写学习情境 1、2、7 和附录,重庆工程职业技术学院罗强编写学习情境 4、6、8、9,重庆工程职业技术学院李玲编写学习情境 3、5、10。全书由贺英魁任主编并定稿。

因作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 10 月

目 录

学习情境 1	GPS 测量概论	1
子情境 1	GPS 的组成概况	1
子情境 2	美国政府的限制性政策	7
子情境 3	GPS 的重大发展	7
子情境 4	其他卫星定位系统	9
知识技能训练	10
学习情境 2	GPS 定位的坐标系统与时间系统	11
子情境 1	坐标系统的类型	11
子情境 2	天球坐标系	12
子情境 3	协议地球坐标系	16
子情境 4	大地测量基准及其转换	21
子情境 5	时间系统	27
知识技能训练	29
学习情境 3	卫星运动与 GPS 卫星的坐标计算	31
子情境 1	卫星的无摄运动	31
子情境 2	卫星的受摄运动	38
子情境 3	GPS 卫星的星历	40
子情境 4	GPS 卫星的坐标计算	42
知识技能训练	45
学习情境 4	电磁波的传播与 GPS 卫星的信号	46
子情境 1	电磁波传播的基本概念	47
子情境 2	大气层对电磁波传播的影响	49
子情境 3	GPS 卫星的测距码信号	59
子情境 4	GPS 卫星的导航电文	70
知识技能训练	74

学习情境 5	GPS 定位原理	75
子情境 1	GPS 定位的方法与观测量	75
子情境 2	观测方程及其线性化	81
子情境 3	动态绝对定位原理	82
子情境 4	静态绝对定位原理	85
子情境 5	相对定位原理	88
子情境 6	差分定位	98
子情境 7	GPS 测速与测时简介	125
	知识技能训练	128
学习情境 6	GPS 误差分析	129
子情境 1	GPS 定位的误差分类	129
子情境 2	与卫星有关的误差	130
子情境 3	卫星信号的传播误差	132
子情境 4	与接收设备有关的误差	135
子情境 5	其他误差影响	137
子情境 6	观测卫星的几何分布对绝对定位精度的影响	139
	知识技能训练	142
学习情境 7	GPS 施测与数据处理	143
子情境 1	GPS 网的技术设计	143
子情境 2	GPS 网的选点与标石埋设	159
子情境 3	静态 GPS 接收机	160
子情境 4	外业观测工作	172
子情境 5	GPS 测量的数据处理	180
子情境 6	数据处理软件	197
	知识技能训练	224
学习情境 8	GPS 测量技术的应用	226
子情境 1	GPS 在大地测量及控制测量中的应用	226
子情境 2	GPS 在工程测量中的应用	231
子情境 3	GPS 在变形监测中的应用	235
子情境 4	GPS 在地形测量中的应用	239
子情境 5	GPS 在其他方面的应用	240
	知识技能训练	245

学习情境9 GPS控制测量工程项目实训	246
学习情境10 GPS控制测量工程项目设计	249
附 录	257
附录1 年积日计算表	257
附录2 GPS点之记	258
附录3 GPS点环视图	260
附录4 GPS点标石类型与埋设要求	261
附录5 GPS外业观测手簿	263
参考文献	264

学习情境 **I**

GPS 测量概论



教学内容

GPS 的组成概况、GPS 定位的基本原理、美国政府的限制性政策、GPS 的应用领域等,重点是 GPS 的组成和 GPS 定位的基本原理。



知识目标

通过学习,学生能够了解 GPS 卫星的轨道分布,能使用 GPS 数据处理软件和历书数据识别观测卫星。初步了解 GPS 定位的基本原理和美国的限制性政策,了解 GPS 测量技术的应用领域。

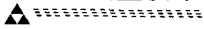
子情境 1 GPS 的组成概况

一、GPS 的建立

1. 子午卫星导航系统简介

航海早先的导航是利用罗盘、灯塔等仪表或设施,结合天文现象进行的。20 世纪 20 年代,无线电信标问世,开创了陆基无线电导航的新纪元。但这种陆基无线电导航系统覆盖区域小,定位精度低(3.7~7.4 km),难以适应现代航海的导航定位需要。

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,使人类的活动范围延伸到了地球大气层以外。这颗卫星入轨运行后不久,美国霍普金斯大学应用物理实验室的韦芬巴赫(G. C. Weiffenbach)等学者,在地面已知坐标点位上,用自行研制的测量设备,捕获和跟踪到了苏联卫星发送的无线电信号,并测得它的多普勒频移,进而解算出卫星轨道参数。依据这项实验成果,该实验室的麦克雷(F. T. Meclure)等学者设想,若已知卫星轨道参数并测得卫星发送信号的多普勒频移,则可解算出地面点的坐标。这就是第一代卫星导航系统的基本工



作原理。

1958年12月,美国海军为了满足军用舰艇导航的需要,与霍普金斯大学应用物理实验室合作,开始研制卫星导航系统。因为这些卫星沿地球子午线运行,故称为子午卫星导航系统(TRANSIT)。1959年9月开始发射试验性子午卫星,1963年12月开始发射子午工作卫星并逐步形成由6颗工作卫星组成的子午卫星星座。从此揭开了星基无线电导航的历史新篇章。1967年7月29日,美国政府宣布解密子午卫星所发送的导航电文的部分内容供民用。从此,大地测量由天文测量和三角测量时代进入到卫星大地测量时代。

利用卫星多普勒导航定位技术进行大地测量,与传统的三角测量相比较,具有“全球性”的特点。“千岛之国”的印度尼西亚,用常规的大地测量技术无法建立全国统一的大地测量控制网。但利用卫星多普勒定位技术在“千岛”之上共测设了200多个大地测量控制点,建成了全国统一的大地测量控制网。我国利用卫星多普勒定位技术实现了西沙群岛、南极长城站与大陆的连测。

苏联在美国的压力下,于1965年建立了类似的子午卫星导航系统,称为CICADA。

子午卫星导航系统虽将导航和定位技术推向了一个新的发展时代,但相对于美国的军事需要而言,还有明显不足。其一是卫星少,不能连续导航定位。子午卫星导航系统一般有5~6颗工作卫星,在低纬度地区,地面上一点所见到的两次子午卫星通过的时间间隔约为1.5h,而子午卫星通过用户上空的持续时间为10~18min,故不能连续定位。就大地测量而言,测站点上的观测时间长达1~2天,才能达到0.5m的定位精度。其二是轨道低,难以精密定轨。子午卫星平均飞行高度仅1070km,地球引力场模型误差及空气阻力等因素影响导致卫星定轨误差较大。而卫星多普勒定位是以卫星作为动态已知点进行的,致使定位精度局限在m级水平。其三是载波频率低,难以补偿电离层的影响。

为了突破子午卫星导航系统的应用局限性,满足美国军事部门对连续、实时、精密、三维导航和武器制导的需要,第二代卫星导航系统——GPS全球定位系统便应运而生。

2. GPS全球定位系统的建立

1973年,美国国防部组织海陆空三军联合研究建立新一代卫星导航系统,称为全球定位系统(Global Positioning System,简称GPS)。其建立过程到目前为止经历了以下4个阶段:

1973—1979年为概念构思分析测试阶段。这一阶段是指出GPS构成方案并验证其可行性。在此期间,美国发射了两颗概念验证卫星用于验证GPS原理可行性。另外,还发射了一颗组网试验卫星,研制了3种类型的GPS接收机,建立了一处卫星地面控制设施并完成了大量的测试项目。

1980—1989年为系统建设阶段。这一阶段完成的主要工作是发射了11颗组网试验卫星Block II(其中一颗发射失败)和1颗工作卫星Block II A,进一步完善了地面监控系统,发展了GPS接收机。1984年测量领域成为第一个GPS商用用户领域。

1990—1999年为系统建成并进入完全运作能力阶段。此间发射了多颗Block II和Block II A卫星,1993年实现24颗在轨卫星满星座运行,满足民用的标准定位服务(100m)的要求,1995年实现了精密定位服务(10m)。

2000—2030年为GPS现代化更新阶段。1996年美国由国防部和交通部组成了联合管理GPS事务局(IGEB),在IGEB的主持下,于1997—1998年期间讨论了增加GPS民用信号,从而改进民用GPS状况,并与空军已经开始的计划相结合,形成了更新GPS运行要求的文献,并

于1999年1月由美国副总统戈尔以“GPS现代化”的名称发布通告,其具体实施是以2000年5月1日取消SA政策为标志。

二、GPS 组成概况

GPS 由空间卫星星座、地面监控系统和用户设备3部分组成。

1. 空间卫星星座

GPS 空间卫星星座在1993年建成时由24颗卫星组成,目前有30颗工作卫星。这些卫星分布在6个轨道面上,如图1-1所示。这样分布的目的是为了保证在地球的任何地方可同时见到4~12颗卫星,从而使地球表面任何地点、任何时刻均能实现三维定位、测速和测时。GPS 卫星星座的主要特征见表1-1所示。

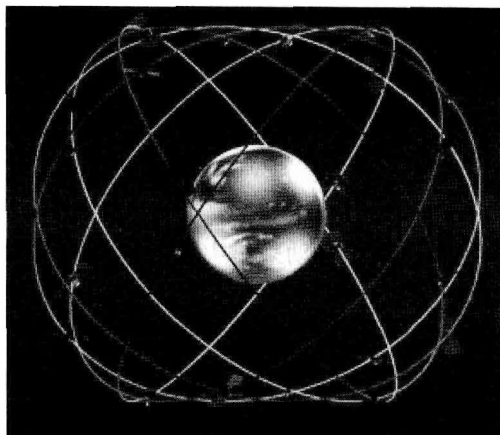


图1-1 GPS 卫星星座

表1-1 GPS 卫星星座的主要特征

载波频率/GHz	1.227 60、1.575 42
卫星平均高度/km	20 200
卫星运行周期/min	718
轨道面倾角/(°)	55
轨道数	6

GPS 卫星外观如图1-2所示。每颗卫星装有4台高精度原子钟,是卫星的核心设备。

GPS 卫星的功能如下:

①接收和存储由地面监控站发来的导航信息,接收并执行监控站的控制指令。

②进行部分必要的数据处理。

③提供精密的时间标准。

④向用户发送定位信息。

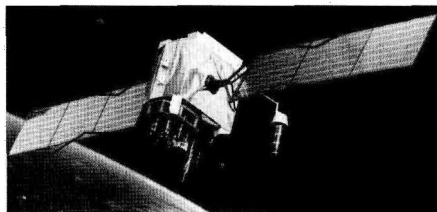
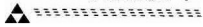


图1-2 Block II 卫星



2. 地面监控系统

为了监测 GPS 卫星的工作状态和测定 GPS 卫星运行轨道,为用户提供 GPS 卫星星历,必须建立 GPS 的地面监控系统。它由 5 个监测站、1 个主控站和 3 个注入站组成,如图 1-3 所示。

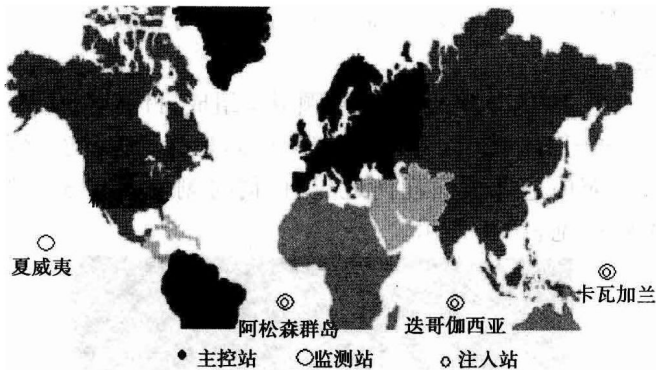


图 1-3 地面监控系统

(1) 监测站

监测站是在主控站的控制下的数据自动采集中心。站内设有双频 GPS 接收机、高精度原子钟、计算机各一台和若干台环境数据传感器。接收机对 GPS 卫星进行连续观测,以采集数据和监测卫星的工作状况。原子钟提供时间标准。环境数据传感器收集当地的气象数据。所有观测数据由计算机进行初步处理后送到主控站,用以确定 GPS 卫星的轨道参数。

5 个监测站分别位于太平洋的夏威夷、美国本土的科罗拉多州、大西洋的阿松森群岛、印度洋的迭哥伽西亚和太平洋的卡瓦加兰等,如图 1-3 所示。

(2) 主控站

主控站位于美国本土的科罗拉多州,拥有以大型电子计算机为主体的数据收集、计算、传输和诊断等设备。其主要任务如下:

①根据本站和其他监测站的所有观测资料,推算编制各卫星的星历、卫星钟差和大气层的修正参数等,并把这些数据传送到注入站。

②提供 GPS 时间基准。各监测站和 GPS 卫星的原子钟均应与主控站的原子钟同步,或者测出其钟差,并把这些钟差信息编入导航电文,送到注入站。

③调整偏离轨道的卫星,使之沿预定的轨道运行。

④启用备用卫星以代替失效的工作卫星。

(3) 注入站

3 个注入站分别设在印度洋的迭哥伽西亚、大西洋的阿松森群岛和太平洋的卡瓦加兰(见图 1-3)。注入站的主要设备包括 c 波段发射机、发射天线和计算机。其主要任务是在主控站的控制下,将主控站推算和编制的卫星星历、钟差、导航电文及控制指令注入相应卫星的存储系统,并监测注入信息的正确性。

3. 用户设备

GPS 的空间卫星星座和地面监控系统是用户应用该系统进行定位的基础,用户要使用 GPS 全球定位系统进行导航或定位,必须使用 GPS 接收机接收 GPS 卫星发射的无线电信号,

获得必要的定位信息和观测数据,并经过数据处理而完成定位工作。

用户设备主要包括 GPS 接收机、数据传输设备、数据处理软件和计算机。

三、GPS 定位的基本原理

定位是指测定点的空间位置。GPS 定位是将 GPS 卫星作为动态已知点。根据 GPS 卫星星历求得 GPS 卫星的已知坐标,由接收机测得卫星发射的无线电信号到达接收机的传播时间 Δt ,即

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (1-1)$$

式中 t_1 ——卫星发射定位信号时刻;

t_2 ——接收机接收到卫星定位信号的时刻。

卫星到接收机的观测距离为:

$$\rho' = c \cdot \Delta t \quad (1-2)$$

式中 c ——电磁波传播速度。

如用 $X、Y、Z$ 表示卫星坐标,用 $x、y、z$ 表示接收机坐标,则星站间真实距离为:

$$\rho = \sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2 + (Z-z)^2} \quad (1-3)$$

并考虑到接收机钟的误差 δt ,则可得如下观测值方程:

$$\rho' = \sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2 + (Z-z)^2} + c \cdot \delta t \quad (1-4)$$

式中, ρ' 为观测量, $X、Y、Z$ 为已知量, $x、y、z、\delta t$ 为未知数。可见,只要观测 4 颗以上卫星,即可列出 4 个以上像式(1-4)这样的方程式,便能解出 4 个未知数 $x、y、z、\delta t$,从而确定接收机坐标 $x、y、z$ 。这就是 GPS 定位的基本原理。

四、GPS 定位的特点与问题

1. GPS 定位的特点

由上述可知,GPS 定位是以绕地球运行的 GPS 卫星作为动态已知点,以根据电磁波传播时间求得的星站距离作为观测量,进而求得接收机的坐标。因此,GPS 定位与传统的测量方法相比较,具有以下特点:

(1) 定位精度高

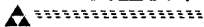
随着 GPS 接收机和数据处理软件性能的不提高,GPS 定位的精度远远超过了传统测量方法的精度。例如,用载波相位观测量进行静态相对定位,在小于 50 km 的基线上精度可达 1×10^{-6} ,在 100 ~ 500 km 的基线上精度为 0.1×10^{-6} ,在大于 1 000 km 的基线上精度可达 0.01×10^{-6} 。

(2) 观测时间短

目前采用静态相对定位,观测 20 km 以内基线仅需 15 ~ 20 min。采用 RTK 定位,每站只需几秒钟的时间。

(3) 测站间无须通视

用传统的测量方法测定点位,要求测站间必须通视,迫使测量人员将点位选在能满足通视要求而在工程建设中使用价值不大的制高点上。GPS 定位是由星站距离确定点位的,只需测量点与空间的卫星通视即可。这样,测量人员就可以将测量点位选在工程建设最需要的位置。



(4) 仪器操作简便

目前,用于静态相对定位的 GPS 接收机,开机后就能自动观测。观测时测量人员的工作是将接收机在点位上进行对中整平,量取天线高,观察接收机的工作状态即可,操作十分简便。

(5) 全天候作业

除打雷闪电不宜作业外,其他天气均可进行野外测量工作。

(6) 提供三维坐标

传统测量方法是将平面测量与高程测量分开进行的,而 GPS 测量可同时测得点的三维坐标。

(7) 可全球布网

只要在地面上两点能同时观测到相同的 4 颗以上卫星,便可求得两点在同一坐标系中的坐标增量。因此,在世界范围内,各大洲及岛屿均可联网。

(8) 应用广泛

GPS 导航定位技术的应用领域十分广泛,主要应用于以下各领域:

① 陆海空运动目标导航。

② 测绘:

a. 大地测量及控制测量。

b. 地形地籍测量。

c. 工程施工测量。

d. 海洋测绘。

e. 航空摄影测量。

③ 交通管理。

④ 卫星发射及其运行轨道监测。

⑤ 地震监测与地壳变形监测。

⑥ 城市规划。

⑦ 气象预报。

⑧ 农业、林业。

⑨ 旅游业。

⑩ 资源调查。

⑪ 工程施工。

GPS 应用将在学习情境 8 中作较详细地介绍。本书将围绕控制测量和工程测量介绍 GPS 测量原理与方法。

2. GPS 存在的问题

① 军用的国家安全及保密要求与民用精度要求相互冲突。

② 对民用用户无安全承诺。

③ 三维测量精度不一致。

大量实践表明,用 GPS 测量所得点位坐标,其三维精度不一致,其中,高程误差最大, x 坐标误差次之, y 坐标误差最小。

子情境 2 美国政府的限制性政策

美国建立 GPS 全球定位系统的目的是用于美国军事目的的各种飞行器和运载器的实时导航。为了防止非经美国特许的用户利用 GPS 导航定位技术对美国的自身安全构成威胁,保障美国的利益和安全,对非经美国特许的 GPS 用户实行了下列限制性政策:

一、对不同的 GPS 用户,提供不同的服务方式

GPS 卫星发射的无线电信号,含有两种不同精度的测距码,即保密的高精度的 P 码和公开的低精度的 C/A 码。与此相对应,GPS 提供的定位方式也分为两种,即精密定位服务(Precise Positioning Service,简称 PPS)和标准定位服务(Standard Positioning Service,简称 SPS)。

精密定位服务(PPS),可提供 L_1 和 L_2 载波上的 P 码, L_1 载波上的 C/A 码,导航电文和消除 SA 影响的密钥。PPS 的服务对象是美国军事部门和其他经美国特许的用户。这类用户可利用 P 码获得高精度的观测量,且能通过卫星发射的 L_1 和 L_2 两种频率的信号测量来消除电离层折射的影响。利用 PPS 单点定位的精度为 5 m,1995 年提高到 1 m。

标准定位服务(SPS)仅提供 L_1 载波上的 C/A 码和导航电文,其服务对象是广大的民用用户。这类用户只能利用 C/A 码获得低精度的观测量,且只能采用调制在 L_1 载波上的 C/A 码测量距离,无法利用双频技术消除电离层折射的影响。其单点定位的精度为 30 m。

二、实施选择可用性(SA)政策

为了进一步降低标准定位服务(SPS)的定位精度,美国对 GPS 卫星播发的信号实行了 SA 政策,进行人为干扰。这种干扰是通过 δ 技术和 ϵ 技术实现的。 δ 技术是对 GPS 的基准信号人为地引入一个高频抖动信号,从而使载波、测距码和数据码频率受到干扰,降低基站距离测量精度。 ϵ 技术干扰卫星星历数据,使得利用 C/A 码星历进行单点实时定位的精度降低。

在 SA 的影响下,单点实时定位的精度降低到 100 m。2000 年 5 月 1 日取消了 SA 政策。

三、反电子诱骗(A-S)技术

当 P 码已被解密,或在战时,敌对方如果知道了特许用户接收机所接收卫星信号的频率和相位,便可发射适当频率的干扰信号,诱使特许用户的接收机错锁信号,产生错误的导航信息。为了防止这种诱骗,美国采用了反诱骗(anti-spoofing)技术对 P 码进一步保密。即通过 P 码与保密的 W 码进行模二相加,将 P 码转换成 Y 码。美国特许用户可从接收到的 Y 码中剔除 W 码而得到 P 码,非特许用户因无法得到 W 码而不能得到 P 码。

子情境 3 GPS 的重大发展

自从 1973 年美国开始研制 GPS 以来,已经过了 30 多年。在这期间,由于美国国内外形势变化和广大用户应用研究,GPS 系统性能、应用领域及定位精度均发生了巨大变化。