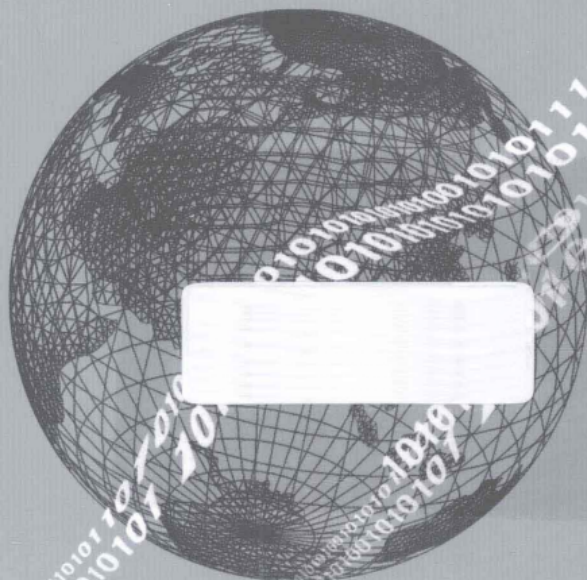


全国高职高专测绘类核心课程规划教材

# GPS测量技术

■ 主 编 聂琳娟  
■ 副主编 李 娜 张玉堂  
■ 主 审 王金玲



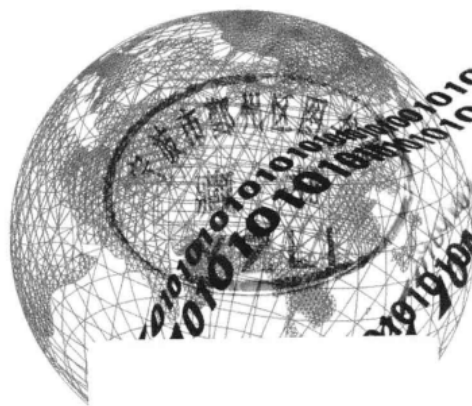
WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

全国高职高专测绘类核心课程规划教材

# GPS测量技术

■ 主 编 聂琳娟  
■ 副主编 李 娜 张玉堂  
■ 主 审 王金玲



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

GPS 测量技术/聂琳娟主编;李娜,张玉堂副主编;王金玲主审. —武汉:武汉大学出版社,2012.5

全国高职高专测绘类核心课程规划教材

ISBN 978-7-307-09749-0

I. G… II. ①聂… ②李… ③张… ④王… III. 全球定位系统(GPS)—测量—高等职业教育—教材 IV. P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 073106 号

责任编辑:胡 艳      责任校对:刘 欣      版式设计:马 佳

---

出版:武汉大学出版社(430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:通山金地印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:11.75 字数:278千字 插页:1

版次:2012年5月第1版      2012年5月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09749-0/P·200      定价:24.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

## 前 言

全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 是美国国防部 20 世纪 70 年代研制的新一代的卫星导航系统, 主要满足军事部门和民用部门对实时和三维导航的迫切需要。GPS 自问世之初, 便以全天候、高精度、高效益、自动化等优点, 在大地测量、地壳运动监测、资源勘探、精密工程测量、航空与卫星遥感、交通管理、海洋测绘、气象学等领域得到了广泛应用。

本书作为全国高职高专测绘类核心课程规划教材, 在框架组织上, 符合高职测绘类专业规范对人才培养的要求及课程设置, 体现了高职高专人才培养的特色; 在内容选取上, 与时俱进, 力求体现 GPS 定位技术的新发展、新要求; 同时, 考虑高职高专教学特色, 坚持理论够用、强化实践的原则, 合理安排内容, 做到通俗易懂、易教易学。

全书共分 8 章, 第 1 章为绪论, 主要介绍全球导航卫星系统的发展过程, 尤其是对 GPS 卫星导航定位系统的产生、发展、系统组成、特点和 GPS 现代化作了较为系统的概述。第 2 章介绍 GPS 定位的时空基准问题, 主要包括坐标系统和时间系统的组成、定义及不同系统间的转换关系。第 3 章介绍了卫星轨道运动规律, 包括卫星的无摄运动和受摄运动; 同时, 对卫星广播星历、精密星历、GPS 卫星的信号构成和 GPS 卫星轨道坐标计算也作了简要介绍。第 4 章重点介绍了 GPS 定位的基本原理。第 5 章介绍了影响 GPS 定位结果的各类误差及消除或削弱误差的各种对策与措施。第 6 章介绍了 GPS 测量的技术要求、施测程序和外业数据质量检核, 对 RTK 技术也作了详尽介绍, 可作为生产实践的参考。第 7 章介绍了 GPS 数据处理的方法、误差方程的组成及精度评定, 对目前常用的数据处理软件作了比较详细的介绍。第 8 章概括介绍了 GPS 的主要应用领域及其成果。附录提供了技术设计书和技术总结, 以供参考。

本书由湖北水利水电职业技术学院聂琳娟担任主编, 沈阳农业大学高职学院李娜、湖北国土资源职业学院张玉堂担任副主编。其中, 第 1 章由陕西交通职业技术学院王万平编写, 第 2 章 2.1 节、第 4 章由湖北水利水电职业技术学院聂琳娟编写, 第 2 章 2.2 节由广东省国土资源测绘院谭建东编写, 第 3 章由安徽工业经济职业技术学院王新鹏编写, 第 5 章、第 7 章由沈阳农业大学高职学院李娜编写, 第 6 章由湖北国土资源职业学院张玉堂编写, 第 8 章由湖北工业大学商贸学院万凤鸣编写, 附录由湖北水利水电职业技术学院徐卫卓编写。全书由聂琳娟统稿。

本书在编写过程中, 得到了武汉大学出版社和编者所在单位的大力支持, 在此一并致谢。

湖北水利水电职业技术学院王金玲副教授审阅了本书, 提出了宝贵的修改意见, 在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限, 不足之处恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 卫星导航定位技术概述 .....	1
1.1.1 子午卫星系统及其局限性 .....	1
1.1.2 GPS 的产生和发展 .....	2
1.1.3 GPS 的特点 .....	3
1.2 GPS 系统组成 .....	4
1.2.1 空间星座部分 .....	4
1.2.2 地面监控部分 .....	5
1.2.3 用户设备部分 .....	6
1.3 美国政府的 GPS 政策 .....	6
1.3.1 SA 政策 .....	7
1.3.2 AS 政策 .....	7
1.3.3 GPS 现代化 .....	7
1.4 其他卫星导航定位系统概况 .....	8
1.4.1 GLONASS 全球导航卫星系统 .....	8
1.4.2 GALILEO 卫星导航定位系统 .....	9
1.4.3 北斗卫星导航定位系统 .....	10
<b>第 2 章 GPS 定位的时空基准</b> .....	13
2.1 坐标系统 .....	13
2.1.1 协议天球坐标系 .....	13
2.1.2 协议地球坐标系 .....	18
2.1.3 世界大地坐标系 .....	21
2.1.4 我国大地坐标系 .....	21
2.1.5 国际地球参考框架 .....	23
2.1.6 坐标系统转换 .....	23
2.2 时间系统 .....	25
2.2.1 基本概念 .....	25
2.2.2 世界时系统 .....	25
2.2.3 原子时 .....	26
2.2.4 力学时 .....	26
2.2.5 协调世界时 .....	27

2.2.6	GPS 时间系统 .....	27
<b>第 3 章</b>	<b>卫星运动和卫星信号 .....</b>	<b>29</b>
3.1	卫星的无摄运动 .....	29
3.1.1	卫星运动的开普勒定律 .....	29
3.1.2	无摄运动的轨道参数 .....	31
3.1.3	真近点角的计算 .....	32
3.1.4	卫星的瞬时位置 .....	34
3.1.5	卫星的瞬时速度 .....	36
3.2	卫星的受摄运动 .....	37
3.2.1	卫星运动的摄动力 .....	37
3.2.2	地球引力场摄动力的影响 .....	38
3.2.3	日、月引力的影响 .....	39
3.2.4	太阳光压摄动的的影响 .....	39
3.2.5	地球潮汐摄动力的影响 .....	40
3.3	GPS 卫星星历 .....	40
3.3.1	广播星历 .....	40
3.3.2	精密星历 .....	41
3.3.3	卫星坐标的计算 .....	41
3.4	GPS 卫星信号 .....	43
3.4.1	GPS 卫星导航电文 .....	43
3.4.2	GPS 卫星测距码信号 .....	45
3.4.3	GPS 卫星载波信号 .....	47
<b>第 4 章</b>	<b>GPS 定位原理 .....</b>	<b>48</b>
4.1	概述 .....	48
4.1.1	GPS 定位方法 .....	48
4.1.2	GPS 定位的观测量 .....	49
4.1.3	测码伪距观测方程 .....	49
4.1.4	测相伪距观测方程 .....	51
4.2	GPS 静态定位 .....	54
4.2.1	静态定位方式 .....	54
4.2.2	静态绝对定位原理 .....	55
4.2.3	静态相对定位原理 .....	60
4.2.4	整周未知数的确定与周跳分析 .....	52
4.3	GPS 动态定位 .....	66
4.3.1	动态定位方式 .....	66
4.3.2	动态绝对定位原理 .....	67
4.3.3	动态相对定位原理 .....	69

<b>第 5 章 GPS 测量误差来源及其影响</b> .....	74
5.1 GPS 测量误差的分类 .....	74
5.2 与卫星有关的误差 .....	75
5.2.1 卫星钟差 .....	75
5.2.2 卫星轨道偏差 .....	76
5.3 与卫星信号传播有关的误差 .....	77
5.3.1 电离层延迟 .....	77
5.3.2 对流层延迟 .....	79
5.3.3 多路径效应 .....	80
5.4 与接收机有关的误差 .....	81
5.4.1 接收机钟差 .....	81
5.4.2 观测误差 .....	82
5.4.3 天线相位中心偏差 .....	82
5.5 其他误差来源 .....	83
5.5.1 地球自转的影响 .....	83
5.5.2 相对论效应的影响 .....	83
<b>第 6 章 GPS 测量的设计与实施</b> .....	86
6.1 GPS 测量的技术设计 .....	86
6.1.1 技术设计的依据 .....	86
6.1.2 精度和密度设计 .....	87
6.1.3 基准设计 .....	88
6.1.4 图形设计 .....	88
6.2 GPS 的观测工作 .....	95
6.2.1 测区踏勘与资料收集 .....	95
6.2.2 仪器配置与人员组织 .....	96
6.2.3 拟定外业观测计划 .....	96
6.2.4 编制技术设计书 .....	100
6.2.5 选点与埋石 .....	100
6.2.6 观测工作 .....	101
6.3 GPS 测量的作业模式 .....	106
6.3.1 经典静态相对定位模式 .....	106
6.3.2 快速静态相对定位模式 .....	106
6.3.3 准动态相对定位模式 .....	107
6.3.4 动态相对定位模式 .....	108
6.4 实时动态测量系统 .....	109
6.4.1 RTK 定位技术简介 .....	109
6.4.2 RTK 作业程序 .....	110
6.4.3 网络 RTK .....	123

6.5	外业数据质量检核 .....	126
6.6	技术总结与资料上交 .....	127
<b>第7章</b>	<b>GPS 测量数据处理 .....</b>	<b>129</b>
7.1	概述 .....	129
7.2	基线向量的解算 .....	130
7.2.1	观测值模型 .....	130
7.2.2	法方程的组成及解算 .....	133
7.2.3	精度评定 .....	134
7.2.4	基线解算结果的质量评定指标 .....	134
7.3	基线向量网平差 .....	137
7.3.1	三维无约束平差 .....	137
7.3.2	三维约束平差 .....	139
7.3.3	基线向量网与地面网的联合平差 .....	140
7.4	数据处理示例 .....	141
7.4.1	建立坐标系 .....	141
7.4.2	新建项目 .....	144
7.4.3	导入静态观测数据 .....	145
7.4.4	GPS 基线处理 .....	146
7.4.5	GPS 网的无约束平差 .....	149
7.4.6	GPS 网的约束平差 .....	151
7.4.7	成果输出 .....	151
7.5	GPS 高程测量 .....	152
7.5.1	高程系统之间的关系 .....	152
7.5.2	GPS 水准 .....	153
<b>第8章</b>	<b>GPS 的应用 .....</b>	<b>155</b>
8.1	GPS 在大地测量中的应用 .....	155
8.2	GPS 在监测地震与地壳运动中的应用 .....	156
8.3	GPS 在工程测量中的应用 .....	157
8.3.1	GPS 在建筑物变形监测中的应用 .....	157
8.3.2	GPS 在水电工程中的应用 .....	158
8.3.3	GPS 在道路工程中的应用 .....	158
8.4	GPS 在海洋测绘中的应用 .....	159
8.4.1	在海洋资源勘探方面的应用 .....	159
8.4.2	在海洋大地测量方面的应用 .....	159
8.4.3	在水下地形测绘中的应用 .....	160
8.5	GPS 在航空中的应用 .....	160
8.6	GPS 在气象中的应用 .....	161



---

8.7 GPS 在交通、旅游中的应用 .....	163
8.8 GPS 在其他领域的应用 .....	164
附录 .....	165
×××高速公路大型构造物独立施工控制网 GPS 测量技术设计书 .....	165
×××高速公路大型构造物独立施工控制网 GPS 测量技术总结 .....	170
参考文献 .....	177

# 第1章 绪 论

## ☞ 教学目标

全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)以其全天候、高精度、高效益、自动化等特点,在大地测量、精密工程测量、地壳运动监测、资源勘探、城市控制网的改善、运动目标的测速和精密时间传递等方面已得到广泛应用。通过学习本章,了解全球导航卫星系统的发展过程,掌握美国GPS卫星导航定位系统的产生、发展、系统组成、特点和美国政府的GPS政策。

## 1.1 卫星导航定位技术概述

导航是指对运动目标(通常是指运载工具,如飞船、飞机、船舶、汽车、运载武器等)的实时、动态定位,即三维位置、速度和包括航向偏转、纵向摇摆、横向摇摆三个角度的姿态的确定。定位就是测量和表达信息、事件或目标发生在什么时间、什么相关的空间位置的理论方法与技术。早期的导航定位技术主要依靠天文导航定位,目前常用的导航定位技术有常规大地测量定位技术、惯性导航定位技术、无线电导航定位技术和卫星导航定位技术。卫星导航定位技术是把卫星作为动态已知点,通过接收导航卫星发送的导航定位信号,为运动载体提供实时、高精度的位置、速度和时间信息的技术。

### 1.1.1 子午卫星系统及其局限性

#### 1. 子午卫星系统

1957年10月,世界上第一颗人造地球卫星成功发射,科学家开始着手进行卫星定位和导航的研究工作。美国詹斯·霍普金斯大学应用物理实验室的吉尔博士和魏芬巴哈博士对该卫星发射的无线电信号的多普勒频移进行的研究表明,利用地面跟踪站上的多普勒测量资料可以精确确定卫星轨道;同时,另外两位科学家麦克卢尔博士和克什纳博士的研究表明,如果一颗轨道已被准确确定的卫星进行多普勒测量,则可以确定用户的位置。这些工作为子午卫星系统的诞生奠定了必要基础,当时美国海军正在寻求一种可对北极星潜艇中的惯性导航系统进行不间断地精确修正的方法,所以积极资助应用物理实验室开展深入的研究。1958年12月,在美国海军的资助下,詹斯·霍普金斯大学应用物理实验室研制了为美国军用舰艇导航服务的卫星系统,即海军导航卫星系统(Navy Navigation Satellite System, NNSS),在该系统中,卫星的轨道都通过地极,故也称为子午(Transit)卫星系统。

子午卫星系统是美国海军研制、开发、管理的第一代卫星导航定位系统,该系统采用

多普勒测量的方法来进行导航和定位。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1100km,轨道倾角为 $90^\circ$ 左右,周期约为107min,位于中纬度地区的用户,平均每隔1.5h便可观测到其中一颗卫星。1967年7月,该系统解密后提供民用,用户数量激增,最终达95000个用户,其中军方用户只有650个,不足总数的1%。

## 2. 子午卫星系统的局限性

虽然采用多普勒测量的方法建立起来的子午卫星系统在卫星导航定位的发展中具有里程碑的意义,但该系统也存在明显的缺点,主要表现为:

### (1) 无法提供实时、动态定位。

由于该系统卫星数目较少(5~6颗),因而从地面站观测所需等待卫星出现的时间较长(平均约1.5h),无法提供连续的实时定位,难以充分满足军事方面,尤其是高动态目标(如飞机、导弹、卫星等)导航的要求,也无法满足汽车等运行轨迹较为复杂的地面车辆导航定位的需要。

### (2) 定位速度慢。

利用子午卫星进行测量时,由于卫星数目少,大部分时间都是在等待卫星,真正的观测时间不足20%,限制了作业效率。为获得对大地测量有意义的成果,一般需观测50~100次合格的卫星通过,历时一星期左右。

### (3) 定位精度低。

子午卫星运行高度较低(平均约1100km),属于低轨卫星,卫星运行时受地球重力场模型误差和大气阻力等摄动因素的误差影响很大,通常只能获得分米级至米级的定位精度;同时,还受到信号频率、卫星钟等其他因素的影响,所以该系统在大地测量学和地球动力学研究方面的应用也受到了很大的限制。

## 1.1.2 GPS 的产生和发展

由于子午卫星系统存在上述缺点,为了满足军事部门和民用部门对实时和三维导航的迫切要求,1973年,美国国防部便开始组织海、陆、空三军,共同研究建立新一代的卫星导航系统——授时与测距导航系统/全球定位系统(Navigation System Timing and Ranging/Global Positioning System, NAVSTAR/GPS),通常简称为全球定位系统(GPS)。

GPS计划的全部投资超过200亿美元。自1974年以来,系统的建立经历了方案论证(1974—1978年)、系统论证(1979—1987年)和生产试验(1988—1993年)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。

自1978年2月22日第一颗GPS试验卫星发射成功,整个论证阶段共发射了11颗Block I试验卫星。1993年7月,进入轨道可正常工作的Block I试验卫星和Block II、Block II A型工作卫星的总和已达24颗,系统已具备了全球连续导航定位能力,故美国国防部于1993年12月8日正式宣布:“全球定位系统已具备初步工作能力IOC(Initial Operational Capability)。”这标志着研制组建试验阶段已结束,整个系统已进入了正常运行的阶段,除了非常时期外,可实现全球、全天候的连续导航定位服务。此后,经过一年多

的运行,美国空军空间部于1995年4月27日宣布:“全球定位系统已具有完全的工作能力(Full Operational Capability, FOC)。”

目前, GPS 作为全球唯一保持正常运行的卫星导航定位系统,已在军事、交通运输、测绘、高精度时间比对、土地利用规划及资源调查等领域中得到了广泛的应用,为测绘领域带来了一场深刻的技术革命。

### 1.1.3 GPS 的特点

随着 GPS 定位技术和数据处理技术的极速发展, GPS 得到广泛应用,理论和实践表明, GPS 具有以下显著特点:

#### 1. 选点灵活, 无需通视

经典测量技术既要保持良好的通视条件,又要保障测量控制网的良好图形结构。而 GPS 测量只要求测站上空为净空,卫星信号不受干扰即可,并不需要观测站之间相互通视,因而不再需要建造造价昂贵又极易遭受破坏的觇标。这一优点即可大大减少测量工作的经费和时间(一般建标费用占总经费的 30% ~ 50%),同时,也使选点工作变得非常灵活,完全可以根据工作的需要来确定点位,可省去经典大地测量中传算点、过渡点的测量工作。

不过也应指出, GPS 测量虽然不要求观测站之间相互通视,但为了方便用常规方法联测的需要,在布设 GPS 点时,应该保证至少一个方向通视。

#### 2. 定位精度高, 速度快

大量实验和实践表明,在小于 50km 的基线上, GPS 相对定位精度可达  $(1 \sim 2) \times 10^{-6}$ ; 在 100 ~ 500km 的基线上,可达  $10^{-6} \sim 10^{-7}$ ; 在大于 1000km 的基线上,可达到或优于  $10^{-8}$ 。

同时,随着 GPS 硬件和软件不断发展,观测时间进一步缩短,作业速度快速提高。20km 以内的静态相对定位仅需 15 ~ 20min; 15km 以内的快速静态相对定位,流动站观测时间仅需 1 ~ 2min; 而动态相对定位中,流动站出发时观测 1 ~ 2min 即可随时定位,每站观测时间只需几秒钟。

#### 3. 操作简便, 效益增加

GPS 接收机重量轻、体积小、携带方便且自动化程度高,外业观测只需安置仪器,量取仪器高、监视仪器的工作状态和采集环境的气象数据,而其他观测工作,如卫星的捕获、跟踪观测和记录等,均由仪器自动完成,极大地减轻了外业观测工作的劳动强度。

#### 4. 提供全球统一的三维地心坐标

经典大地测量分别采用不同方法得到测站的平面位置和高程,而 GPS 在精确测定测站平面位置的同时,还可精确测定测站的大地高,提供测站点全球统一的 WGS-84 坐标,使全球不同测站的测量成果具有关联性。GPS 测量的这一特点,不仅为研究大地水准面的形状和确定地面点的高程开辟了新途径,同时也为其在航空物探、航空摄影测量及精密导航中的应用提供了重要的高程数据。

#### 5. 全天候作业, 变被动为主动

GPS 卫星的全球覆盖使 GPS 测量工作可以不受时间、地点的限制,实现全天候连续作业。

GPS 定位技术的发展, 对于经典的测量技术是一次革命性突破, 一方面, 它使经典的测量理论与方法产生了深刻的变革; 另一方面, 也进一步加强了测量学与其他学科之间的相互渗透, 从而促进了测绘科学技术的现代化发展。

## 1.2 GPS 系统组成

GPS 定位系统包括空间星座部分(GPS 卫星星座)、地面监控部分和用户设备部分(GPS 信号接收机)(图 1-1), 三大部分之间应用数字通信技术联络传达各种信号信息, 靠各种计算软件处理繁复的数据, 最后由用户接收信号解决导航定位问题。

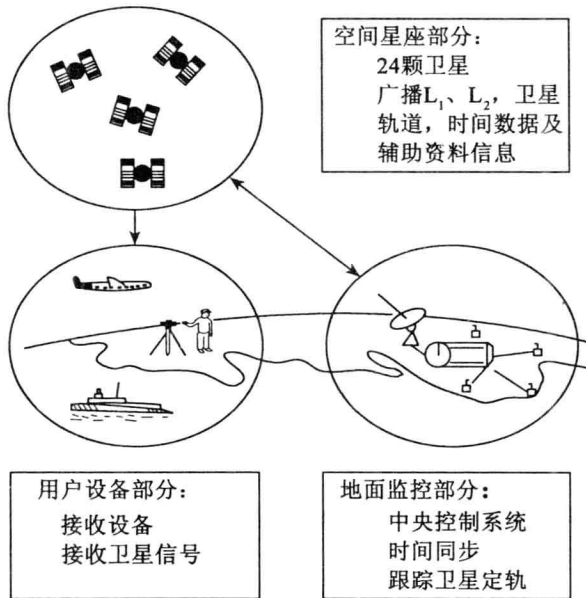


图 1-1 全球定位系统(GPS)构成示意图

### 1.2.1 空间星座部分

GPS 空间星座部分由若干在轨运行卫星构成, 提供系统自主导航定位所需的无线电导航定位信号。GPS 卫星是空间部分的核心, 其主体呈圆柱形, 两侧设有两块双叶太阳能板, 能自动对日定向, 以保证卫星的正常工作用电。每颗卫星装有微处理器和大容量存储器, 采用高精度原子钟(铷钟、铯钟甚至氢钟)为系统提供高稳定度的信号频率基准和高精度的时间基准。

GPS 卫星的基本功能是: 接收和储存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; 通过微处理机进行部分必要的数据处理; 通过高精度的原子钟提供精密的时间标准和频率基准; 向用户发送导航电文和定位信息; 通过推进器调整卫星的姿态和启用备用卫星。

GPS 设计星座由 24 颗卫星组成, 其中包括 3 颗备用卫星。轨道平均高度约为 20200km

的卫星均匀分布在6个轨道面内，每个轨道面上分布有4颗卫星。卫星轨道面相对地球赤道面的倾角约为 $55^\circ$ ，各轨道面升交点赤经相差 $60^\circ$ ，在相邻轨道上，卫星的升交距角相差 $30^\circ$ ，卫星的分布情况如图1-2所示。

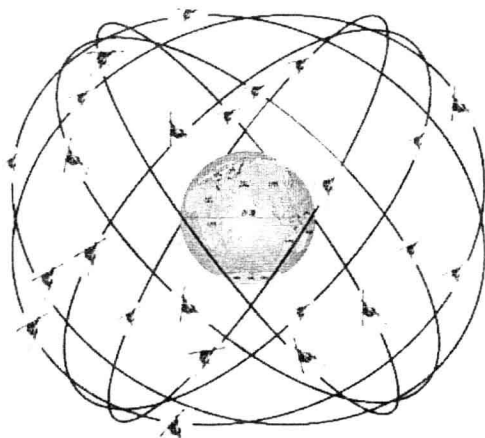


图1-2 GPS卫星设计星座

20000km高空的GPS卫星属于高轨卫星，由于其对地球重力异常的反应灵敏度较低，故常作为具有精确位置信息的高空观测目标，通过测定至少4颗卫星与用户接收机之间的距离或距离差来完成定位任务。GPS卫星的运行周期为11h58min，这样，对于同一测站而言，每天将提前4min见到同一颗卫星。位于地平线以上的卫星数随时间和地点的不同而异，最少4颗，最多12颗，这保证了在地球上任何地点、任何时刻均至少可以同时观测到4颗GPS卫星，且卫星信号的传播和接收不受天气的影响，因此，GPS是一种全球性、全天候、连续实时的导航定位系统。

### 1.2.2 地面监控部分

GPS的地面监控部分主要由分布在全球的1个主控站、3个注入站和5个监测站组成，其分布如图1-3所示。

主控站位于美国科罗拉多斯普林斯(Colorado Springs)的联合空间执行中心(CSOC)，是地面监控系统的调度指挥中心，主要设备为大型电子计算机。主控站的主要任务是根据本站和各监测站的全部观测资料，推算卫星星历、状态数据和大气层改正参数等，编制成导航电文，传送到注入站；推算各监测站、GPS卫星的原子钟与主控站的原子钟的钟差，并把这些钟差信息编入导航电文，为系统提供统一的时间基准；调度卫星(调整失轨卫星、启用备用卫星)。

3个注入站分别设在南大西洋的阿松森群岛(Ascension)、印度洋的迭戈伽西亚(Diego Garcia)和南太平洋的卡瓦加兰(Kwajalein)3个美国军事基地上。注入站的主要任务是在主控站的控制下，将主控站推算和编制的导航电文和其他控制指令注入相应GPS卫星，并且监测注入信息的正确性。

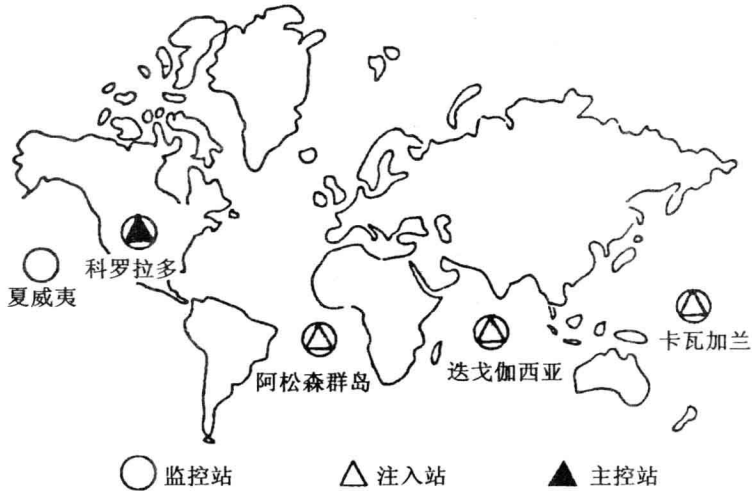


图 1-3 GPS 地面站分布示意图

5 个监测站除位于主控站和 3 个注入站外，还包括设在夏威夷岛的监测站。监测站利用双频 GPS 接收机对卫星进行连续观测，监控卫星工作状态；利用高精度原子钟，提供时间标准；利用气象数据传感器收集当地的气象资料。监测站自动完成数据采集，并将所有数据通过计算机进行存储和初步处理，传送到主控站，用于编制卫星导航电文。

### 1.2.3 用户设备部分

GPS 接收机硬件、软件、微处理机及其终端设备构成用户设备部分。GPS 接收机硬件主要包括天线、主机和电源，软件分为随机软件和专业 GPS 数据处理软件，而微处理机则主要用于各种数据处理。

利用 GPS 接收机接收卫星发射的无线电信号，解译 GPS 卫星所发送的导航电文，即可获得必要的导航定位信息和观测信息，并经数据处理软件的处理未完成各种导航、定位、授时任务。

GPS 接收机根据接收的卫星信号频率数，可分为单频接收机和双频接收机；根据用途的不同，可分为导航型接收机、测量型接收机和授时型接收机；根据信号通道类型的不同，可分为多通道接收机、序贯通道接收机和多路复用通道接收机。GPS 用户可根据不同要求，选择不同接收设备。目前，各种类型的 GPS 接收机日趋小型化，更加便于野外作业。

## 1.3 美国政府的 GPS 政策

全球定位系统在研制之初即是为了满足美国军事方面的需求，为了保障美国的利益与安全，限制未经美国特许的用户利用 GPS 定位的精度，美国国防部在研制 GPS 总体方案时，就已经制定了“主要为军用，同时也兼顾民用”的双用途策略。此后，陆续出台了一

系列的双用途政策来限制用户获取 GPS 观测量的精度, 这些措施主要包括: 选择可用性 (Selective Availability, SA) 政策和精测距码 (P 码) 的加密措施 (Anti-Spoofing, AS)。

### 1.3.1 SA 政策

考虑到 GPS 在军事上的巨大应用潜力以及 C/A 码是公开向全球所有用户开放的这一基本政策, 为防止敌对方利用 GPS 危害美国的国家安全, 美国国防部从 1991 年 7 月 1 日起, 在所有的工工作卫星上实施 SA 技术。其主要的技术手段, 一是在卫星的广播星历中人为地加入误差, 以降低卫星星历的精度, 这就是所谓的  $\epsilon$  技术, 采取这种技术后, 用户在进行距离交会时, 已知点的坐标精度已被大幅度降低, 从而降低了交会的精度; 二是有意识地使卫星钟频产生一种快速的抖动, 这种抖动实际上也是一种伪随机过程, 对于未掌握其变化规律的用户来讲, 产生的效果相当于降低了钟的稳定度, 从而影响导航定位精度, 这就是所谓的  $\delta$  技术。实施 SA 政策后, 未经美国政府授权的使用标准定位服务的广大用户所获得的平面定位精度被降至  $\pm 100\text{m}$ , 高程  $\pm 156\text{m}$ 。

为应对世界其他全球导航卫星系统的挑战, 美国政府已于 2000 年 5 月 2 日停止实施 SA 政策, 同时承诺进一步改进和完善全球定位系统, 实现全球定位系统的现代化。

### 1.3.2 AS 政策

AS 政策是美国国防部为防止敌对方对 GPS 卫星信号进行电子欺骗和电子干扰而采取的一种措施, 该措施从 1994 年 1 月 31 日起实施。其具体做法是, 在 P 码上加上严格保密的 W 码, 使其模二相加产生完全保密的 Y 码。AS 是一项防卫性的措施, 但产生的客观效果是限制了广大非特许用户使用 Y 码的可能性。而无法获得高精度的测码伪距将给 GPS 测量带来许多不便, 增加了载波相位测量数据处理的难度。

近年来, 经过接收机生产厂家的不懈努力, 在美国政府实施 AS 政策的情况下, 未经美国政府授权的一般测量用户只要采用 Z 跟踪技术, 就仍然能利用 P 码来进行测距, 从而较好地克服了 AS 政策所造成的消极影响。

### 1.3.3 GPS 现代化

1999 年 1 月 25 日, 美国副总统戈尔宣布将斥资 40 亿美元进行 GPS 现代化, 以加强 GPS 对美军现代化战争的支撑和保持全球民用导航领域中的领导地位。GPS 现代化重点将在军用和民用两方面改善 GPS 的核心服务。

在军事方面, 为了满足和适应 21 世纪美国国防现代化发展的需要, 更好地支持和保障军事行动, 在今后“信息战”、“电子战”的背景下, GPS 必须要有更好的抗电子干扰能力。不仅要保障 GPS 用户的安全使用, 同时还要对不同类型 GPS 用户提供不同使用范围, 此外, 还要缩短 GPS 的首次初始化时间, 并且和其他军事导航系统和各类武器装备均要相互配适。

在民用方面, 重点是改善民用导航和定位的精度, 扩大服务的覆盖面和改善服务的持续性, 提高导航的安全性, 保持 GPS 在全球卫星导航系统中技术和销售的领先地位, 注意和现有的及将来的民用其他空间导航系统的匹配和兼容, 以更好地满足民用导航、定位、大气探测等方面的需求。



从有关文献看, GPS 现代化的实质可以归纳为:

(1) 保护, 即采用一系列措施保护 GPS 系统不受敌方和黑客的干扰, 增加 GPS 军用信号的抗干扰能力, 其中包括增加 GPS 的军用无线电信号的强度。

(2) 阻止, 即阻止敌方利用 GPS 的军用信号, 设计新的 GPS 卫星型号(ⅡF), 设计新的 GPS 信号结构, 增加频道, 将民用频道  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_5$  和军用频道  $L_3$ 、 $L_4$  分开。

(3) 改善 GPS 定位和导航的精度, 在 GPS ⅡF 卫星中增加两个新的民用频道, 即在  $L_2$  中增加 C/A 码(2005 年), 另增  $L_5$  民用频道(2007 年)。

## 1.4 其他卫星导航定位系统概况

### 1.4.1 GLONASS 全球导航卫星系统

GLONASS 全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System)是苏联于 1976 年开始研制的卫星导航定位系统, 并于 1982 年 10 月发射了第一颗 GLONASS 卫星, 现由俄罗斯空间局负责管理和维持。该系统的整体结构类似于 GPS 系统, 由卫星、地面测控站和用户设备三部分组成, 其主要不同之处在于星座设计、信号载波频率和卫星识别方法的设计不同。

GLONASS 卫星星座包含 24 颗卫星, 卫星均匀分布在 3 个近圆形的轨道平面上, 轨道倾角为  $64.8^\circ$ , 相邻轨道面的升交点赤经之差为  $120^\circ$ , 每个轨道面上有 8 颗卫星, 卫星的平均高度为 19390km, 运行周期为 11h15min44s, GLONASS 卫星星座如图 1-4 所示。GLONASS 系统采用距离交会原理进行工作, 可为地球上任何地方及近地空间的用户提供连续、精确的三维坐标、三维速度及时间信息。俄罗斯对 GLONASS 系统采用了军民合用、不加密的开放政策, 其民用的标称精度为: 水平方向 60m, 垂直方向 75m, 测速精度 15cm/s, 授时精度  $1\mu\text{s}$ 。

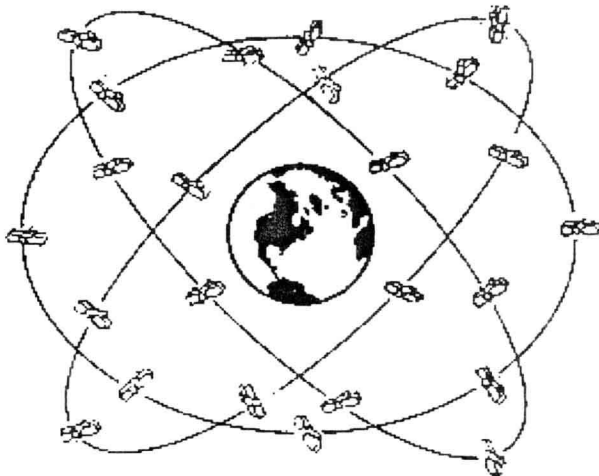


图 1-4 GLONASS 卫星星座