

全球定位系统 (GPS)

测量原理及其数据处理基础

张勤 李家权 编著



西安地图出版社

全球定位系统(GPS)测量 原理及其数据处理基础

张 勤 李家权 编著

西安地图出版社

内 容 提 要

本书是作者在多年从事 GPS 卫星定位测量教学和应用研究的基础上撰写而成的。书中介绍了 GPS 全球卫星定位系统的基础知识,包括卫星系统的组成、卫星的坐标和时间参考系统以及卫星的轨道,介绍了 GPS 卫星信号及其定位原理和有关的接收机。书中重点介绍了 GPS 静态和动态定位的原理,特别是利用载波相位进行静态相对定位和动态 GPS 差分定位的原理以及作业方法,讨论了卫星定位中的有关误差、GPS 测量中网的设计与实施作业。最后详细介绍了 GPS 定位中的数据处理,如 GPS 成果的坐标转换模型和方法、GPS 网平差模型和方法以及由 GPS 高程获取正常高程的数据处理方法。

本书的编写注重理论性和实用性相结合,系统性和最新发展相结合,并引入一些作者的研究和应用成果。为了便于读者理解,每章后均列有思考题。本书可作为高等院校测绘类本专科生、研究生教材,也可作为测绘专业的科技人员和从事定位与导航工作的科技人员及高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目

全球定位系统(GPS)测量原理及其数据处理基础/

张勤编著. —西安:西安地图出版社,2001

ISBN 7-80670-061-7/K·23

I. 全… II. 张… III. ①全球定位系统(GPS)—
测量—理论②全球定位系统(GPS)—数据处理
IV. P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 038546 号

全球定位系统(GPS)测量原理及其数据处理基础

张 勤 李家权 编著

西安地图出版社出版发行

(西安友谊东路 334 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 长安大学雁塔印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 开本 13.125 印张 319.2 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~1000 册

ISBN 7-80670-061-7/K·23

定价:18.50 元

前言

自 1957 年 10 月人类把第一颗地球人造卫星送入太空以来,空间科学即以非常迅猛的速度发展。60 年代问世的地球人造卫星导航定位技术,到 70 年代已发展为全球定位系统(GPS),向人类提供全球、全天候、高精度实时导航与定位服务。GPS 定位技术从问世之初取代常规大地测量和工程控制测量,发展到目前,它已渗入工程测量、地籍测量、交通管理、导航、地理信息系统、海洋、气象和地球科学等许多研究领域。差分 GPS(DGPS)与相位差分 GPS(RTK)技术,实现了高精度实时动态导航与定位,可以在一个瞬间获得米级或厘米级精度的测站坐标。GPS 全站仪已经向传统的全站仪发起了挑战。GPS 定位技术日益广泛应用,使它成为测绘类专业本科生和研究生的一门必修课程。

我校于 1984 年初起为本科生和专科生开设 GPS 卫星定位测量课程,以后又为研究生开设此课程,并利用 GPS 定位技术承担和完成了大量的生产以及科研任务。本书就是作者在多年从事 GPS 卫星定位测量教学和 GPS 卫星定位测量应用研究的基础上撰写而成的。全书共 6 章,内容包括:GPS 卫星定位测量基础, GPS 卫星信号及其测量原理, GPS 静态与动态定位原理, GPS 控制网的设计与外业工作, GPS 网平差与数据处理方法等。书中第 1~2 章由李家权教授编写,第 4~6 章由张勤副教授编写,第 3 章由李家权教授和张勤副教授编写,王利同志和张绍春同志参加了第 3 章的部分编写工作,李家权教授和王利同志编写了各章的思考题,王利同志还承担了本书的校对与插图制作工作,张绍春同志和高庆华同志参加了本书初稿插图制作。张勤副教授完成了全书最后的审阅工作。

本书可作为高等院校测绘类专业本科生、研究生学习 GPS 课程的教材,也可作为测绘专业的科技人员与定位和导航有关人员及高等院校有关专业师生的参考书。内容以介绍 GPS 定位测量的基础知识为主,对于最近几年表现很活跃的差分 GPS 以及 GPS RTK 技术也进行了比较系统的介绍,目的是使本书内容尽可能接近 GPS 当前的发展水平。此外还特别讨论了 GPS 网的优化设计理论,包括 GPS 网的精度、可靠性以及起算数据的兼容性等内容(其中加星号章节属选学内容),希望通过这些章节的学习,对将来从事 GPS 定位工作的人们有所帮助。

前 言

GPS 卫星定位测量是测绘学科的一门新课程,涉及数学、天文学、数字通讯技术、计算机科学以及测绘学科的许多相关知识,作者水平有限,加之本书成稿匆忙,错误在所难免,恳请国内专家学者和广大读者指正。

作 者

2001 年 5 月 16 日

目 录

第 1 章 GPS 卫星定位测量基础	(1)
1.1 GPS 定位系统概述	(1)
1.1.1 GPS 卫星定位测量的发展概况	(1)
1.1.2 GPS 系统的组成	(5)
1.1.3 其他卫星导航定位系统	(8)
1.2 GPS 定位系统的坐标系	(9)
1.2.1 天球概述	(9)
1.2.2 岁差和章动	(10)
1.2.3 两种天球坐标系及其转换模型	(11)
1.2.4 极移与国际协议地极原点	(13)
1.2.5 两种地球坐标系及其转换模型	(14)
1.2.6 瞬时极(真)天球坐标系到瞬时极(真)地球坐标系 的转换模型	(17)
1.2.7 WGS-84 世界大地坐标系	(17)
1.3 GPS 定位的时间系统	(18)
1.3.1 世界时系统	(18)
1.3.2 原子时(Atomic Time - AT)	(20)
1.3.3 力学时(Dynamic Time - DT)	(20)
1.3.4 协调世界时(Coordinate Universal Time - UTC)	(21)
1.3.5 GPS 时间系统(GPST)	(22)
1.4 地球人造卫星的正常轨道运动	(22)
1.4.1 二体问题意义下卫星的运动方程	(22)
1.4.2 开普勒定律和卫星运动的轨道参数	(23)
1.4.3 卫星的瞬时位置计算	(29)
1.4.4 卫星运动的瞬时速度计算	(31)
1.5 地球人造卫星的受摄运动	(31)
1.5.1 卫星运动的摄动力和受摄运动方程	(32)

目 录

1.5.2	地球引力场摄动力及其对卫星轨道运动的影响	(33)
1.5.3	日、月引力摄动	(35)
1.5.4	太阳光压摄动	(36)
1.5.5	其他摄动力影响	(36)
第2章	GPS 卫星信号及其测量原理	(38)
2.1	GPS 卫星的测距码信号与伪距测量原理	(38)
2.1.1	码的基本概念	(38)
2.1.2	伪随机噪声码及其产生	(39)
2.1.3	GPS 卫星的测距码信号	(41)
2.1.4	码相关伪距测量原理	(42)
2.2	GPS 卫星的导航电文	(44)
2.2.1	导航电文的组成格式	(44)
2.2.2	导航电文的内容	(44)
2.3	GPS 卫星星历	(46)
2.3.1	GPS 卫星的预报星历	(47)
2.3.2	GPS 卫星的后处理星历	(47)
2.4	GPS 卫星的载波信号与相位测量原理	(47)
2.4.1	GPS 卫星的载波信号	(48)
2.4.2	GPS 卫星信号的调制	(48)
2.4.3	GPS 卫星信号的解调	(49)
2.4.4	载波相位测量原理	(51)
2.5	美国政府关于 GPS 卫星信号的限制使用政策	(52)
2.5.1	GPS 工作卫星的 SA 技术	(52)
2.5.2	GPS 用户的反限制技术措施	(53)
2.6	GPS 卫星信号接收机	(54)
2.6.1	GPS 信号接收机的基本工作原理	(54)
2.6.2	GPS 信号接收机分类	(57)

目 录

2.6.3 几种常见的测量型 GPS 信号接收机	(59)
第 3 章 GPS 静态定位原理	(64)
3.1 GPS 定位方法分类及其误差源	(64)
3.1.1 GPS 定位方法分类	(64)
3.1.2 GPS 测量误差概述	(66)
3.1.3 卫星星历误差	(67)
3.1.4 时钟误差	(68)
3.1.5 卫星信号传播误差	(69)
3.1.6 与接收设备有关的误差	(75)
3.2 静态绝对定位原理	(76)
3.2.1 伪距观测方程及其线性化	(76)
3.2.2 伪距法绝对定位解	(77)
3.2.3 卫星几何分布精度因子	(79)
3.3 静态相对定位原理	(80)
3.3.1 静态相对定位的一般概念	(81)
3.3.2 载波相位观测方程及其线性化	(82)
3.3.3 基线向量的单差模型及其解算	(84)
3.3.4 基线向量的双差和三差模型及其解算	(87)
3.3.5 相位观测量线性组合的相关性	(89)
3.4 整周末知数的确定方法与周跳分析	(91)
3.4.1 整周末知数的确定方法	(91)
3.4.2 周跳的探测与修复	(95)
3.5 GPS 快速静态相对定位	(97)
3.5.1 准动态定位法	(98)
3.5.2 快速整周末知数解算原理	(99)
3.5.3 快速整周末知数求解方法	(100)
3.5.4 快速静态定位作业方式	(101)
第 4 章 GPS 动态定位原理	(103)

目 录

4.1	GPS 动态绝对定位原理	(103)
4.2	GPS 动态相对定位与差分 GPS	(105)
4.3	差分 GPS 定位原理	(106)
4.3.1	位置差分原理	(107)
4.3.2	伪距差分原理	(107)
4.3.3	相位平滑伪距差分	(109)
4.4	载波相位差分原理	(111)
4.4.1	载波相位差分 GPS 定位原理	(112)
4.4.2	整周未知数的动态求解	(114)
4.4.3	RTK GPS 定位设备	(117)
4.5	动态相对定位中的坐标转换	(118)
4.5.1	三维空间直角坐标系下的坐标转换	(118)
4.5.2	平面坐标转换	(119)
4.6	广域差分 GPS	(120)
4.6.1	单站差分 GPS(SRDGPS)	(120)
4.6.2	局部区域差分 GPS(LADGPS)	(121)
4.6.3	广域差分 GPS 系统(WADGPS)	(121)
第 5 章	GPS 控制网设计与外业工作	(125)
5.1	GPS 网的构网特点与网形设计一般原则	(125)
5.1.1	GPS 网的构网特点	(125)
5.1.2	GPS 控制网的构网方式	(126)
5.1.3	GPS 控制网网形设计的一般原则	(128)
5.2	GPS 控制网的优化设计	(128)
5.2.1	GPS 测量的特点以及优化设计的内容	(128)
5.2.2	GPS 网基准的优化设计	(129)
5.2.3	GPS 网的精度设计	(131)
5.2.4	GPS 网精度设计实例	(132)
5.3	GPS 网的可靠性设计	(133)

目 录

5.3.1	GPS 网可靠性概念	(133)
5.3.2	传统控制网可靠性设计标准	(134)
5.3.3	GPS 控制网可靠性设计标准	(136)
5.3.4	顾及可靠性标准的 GPS 网的设计	(139)
5.4	GPS 网的应变强度设计	(141)
5.4.1	位移与应变的关系	(141)
5.4.2	GPS 基线向量的应变分析	(143)
5.4.3	GPS 网的应变强度设计	(144)
5.5	GPS 测量的外业工作	(146)
5.5.1	选点与埋设标志	(146)
5.5.2	GPS 接收机的检验	(147)
5.5.3	GPS 卫星预报与观测调度计划	(148)
5.5.4	GPS 外业观测工作	(149)
5.5.5	GPS 相对定位作业模式	(151)
5.6	GPS 基线向量解算与网平差概述	(153)
5.6.1	GPS 基线向量解算	(153)
5.6.2	GPS 网平差与坐标转换概述	(154)
5.7	GPS 观测成果检验与技术总结	(154)
5.7.1	GPS 观测成果的检验	(154)
5.7.2	GPS 测量的技术总结与上交资料	(156)
第 6 章	GPS 定位测量数据处理	(158)
6.1	概述	(158)
6.2	国家坐标系与地方独立坐标系	(159)
6.2.1	旋转椭球与参心坐标系	(159)
6.2.2	54 北京和 80 西安国家坐标系	(160)
6.2.3	站心坐标系	(162)
6.2.4	地方独立坐标系	(163)
6.2.5	高斯平面直角坐标系和 UTM 坐标系	(163)

目 录

6.3	GPS 定位测量中的坐标转换	(165)
6.3.1	空间直角坐标系与椭球大地坐标系的关系	(166)
6.3.2	三维坐标转换模型	(168)
6.3.3	三维坐标差转换模型	(169)
6.3.4	联合平差确定转换参数	(170)
6.4	GPS 网的三维平差	(172)
6.4.1	三维无约束平差	(173)
6.4.2	GPS 网的三维约束平差	(174)
6.4.3	GPS 网的三维联合平差	(177)
6.4.4	GPS 网的三维平差中若干问题的处理	(178)
6.5	GPS 基线向量网的二维平差	(182)
6.5.1	GPS 基线向量网的二维投影变换	(182)
6.5.2	GPS 基线向量网的二维平差	(185)
6.5.3	GPS 网平差约束基准兼容性检验	(186)
6.6	GPS 高程	(192)
6.6.1	高程系统简介	(192)
6.6.2	GPS 水准	(193)
6.6.3	GPS 重力高程	(196)
6.6.4	GPS 高程精度	(197)
	参考文献	(199)

第 1 章

GPS 卫星定位测量基础

GPS 是全球定位系统(Global Positioning System)的英文缩写,它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。GPS 卫星定位测量是研究利用 GPS 系统解决大地测量问题的一项空间技术。本章介绍 GPS 卫星定位测量的基础知识,包括:GPS 系统简介,卫星定位测量采用的坐标系统和时间系统,GPS 卫星的轨道运动和星历计算等内容。

1.1 GPS 定位系统概述

1.1.1 GPS 卫星定位测量的发展概况

1957 年 10 月 4 日,世界上第一颗地球人造卫星发射成功,它使空间科学技术的发展迅速进入一个崭新的时代。

随着地球人造卫星不断入轨运行,利用地球人造卫星进行定位测量已成为现实。20 世纪 60 年代卫星定位测量技术问世,并逐渐发展成为利用地球人造卫星解决大地测量问题的一项空间技术。追溯卫星定位测量技术的发展过程,大致可归结为如下三个阶段,即:卫星三角测量,卫星多普勒定位测量,GPS 卫星定位测量。

1.1.1.1 卫星三角测量

卫星定位测量问世之初,地球人造卫星仅仅作为一种空间的动态观测目标,由地面上的测站拍摄卫星的瞬时位置而测定地面点的坐标,称为卫星三角测量。设 A 、 B 是地面上两个已知点, C 是待定点(图 1-1), A 、 C 两个测站上用卫星摄影仪(记时照相机)同步拍摄卫星 S_1 的相片,由此得到的摄影底片,既有卫星 S_1 在两张相片上的同步影像 S_1' 、 S_1'' 。

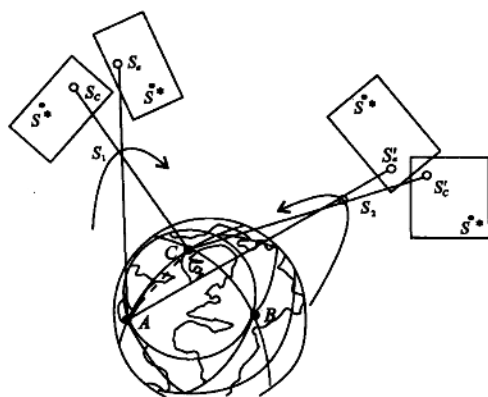


图 1-1 卫星三角测量原理

和 S_1 , 又有某些恒星的影像 S^* 。在天文年历中可查出恒星 S^* 的坐标, 并以此为起算数据在相片上量算 S_1 和 S_2 的坐标, 进而推算方向 AS_1 和 CS_1 , 获得同步平面 ACS_1 。用同样的方法观测另一颗卫星 S_2 , 可得另一同步平面 ACS_2 。两平面的交线即弦 AC 。

类似地, 在 B, C 设站, 同样观测卫星 S_1 和 S_2 , 则可得弦 BC 。

弦 AC 与 BC 的交点, 即待定点 C 。如果 A, B 两测站位于大陆, 而 C 点在远海岛屿上, 则用上述卫星三角测量的方法可实现大陆与海岛间的联测定位, 这是常规大地测量技术所不及的。

1966~1972 年间, 美国国家大地测量局(NGS)在美国和联邦德国测绘部门的协作下, 应用上述卫星三角测量的方法, 测量了具有 45 个测站的全球三角网, 并获得了 5 m 的点位精度。但是, 卫星三角测量资料处理过程复杂, 且定位精度不高, 不能获得待定点三维地心坐标, 因此, 目前已成为一种过时的测量技术。卫星三角测量是卫星定位测量历史发展的初级阶段, 随着科学技术的进一步发展, 卫星定位测量也由初级阶段进入高级阶段。

1.1.1.2 卫星多普勒定位测量

1958 年 12 月, 美国海军和詹姆斯·霍普金斯(Johns Hopkins)大学应用物理实验室开始联合研制美国海军导航卫星系统, 简称为 NNSS 系统(Navy Navigation Satellite System)。1959 年 9 月发射了第一颗试验卫星。美国海军研制 NNSS 系统的目的, 是为了给北极星核潜艇提供全球性导航系统。经过几年试验研究, 该系统于 1964 年建成并投入使用。1967 年美国宣布, NNSS 系统解密提供民用。

NNSS 系统又称子午卫星导航系统, 由 6 颗工作卫星组成所谓子午卫星星座。卫星高度在 950~1200 km 之间, 运行周期约为 107 min, 卫星轨道近于圆形且经过地球南、北极上空, 故称子午卫星(Transit)。子午卫星导航系统的出现, 标志着卫星大地测量技术由初级阶段进入高级阶段, 其特点是:

(1) 卫星不再作为一种单纯的空间动态观测目标, 而是通过其轨道参数介入定位计算的动态已知点。

(2) 观测不再采用传统的几何模式, 而是通过地面测站接收卫星发射的信号测定站星距离定位。

利用子午卫星射电信号测定地面点位置的技术, 称为卫星多普勒定位技术。其基本原理是基于奥地利物理学家多普勒(Christian Doppler, 1803~1853)于 1842 年发现的多普勒效应, 多普勒发现当波源与观测者作相对运动时, 波源发射频率与观测者接收频率之间成立关系:

$$f_r = \frac{c}{c - v \cos \alpha} f_s \quad (1-1)$$

式中: f_s 为波源发射频率; f_r 为测站接收频率; c 为光速; α 为波源运动方向与测站方向间的夹角; v 为波源运动速度(图 1-2)。

由图 1-2 容易看出, 卫星即波源运动的向径速度 $\dot{\rho}$ 可表示为:

$$\dot{\rho} = \frac{d\rho}{dt} = -v \cos \alpha \quad (1-2)$$

上式代入式(1-1), 略加整理后可得:

$$f_r = (1 - \frac{\dot{\rho}}{c}) f_s \quad (1-3)$$

记 $\Delta f = f_s - f_r$, 称为多普勒频移, 于是有:

$$\dot{\rho} = \frac{d\rho}{dt} = \frac{c}{f_s} \Delta f \quad (1-4)$$

多普勒频移一经确定, 即可求出 $\dot{\rho}$, 积分后可得卫星与测站间的距离 ρ 。

如果已知卫星在地心空间直角坐标系中的瞬时位置 $\vec{r}$, 并由卫星多普勒定位技术测得站星距离向量 $\vec{\rho}$, 那么测站位置向量 $\vec{R}$ 就可由下式求得(图 1-3)。

$$\vec{R} = \vec{r} - \vec{\rho} \quad (1-5)$$

卫星多普勒定位技术具有经济、快速和不受天气、时间限制等许多优点, 在地球上任何地方只要能见到子午卫星, 便可进行原点定位和联测定位, 采集两天数据可获得分米级定位精度的测站三维地心坐标。世界许多国家都采用了卫星多普勒定位技术, 美洲大陆及其附近大约测设了 500 个多普勒点; 西欧各国测设了 30 多个多普勒点; 法国除在本土建立了多普勒网以外, 还在阿尔及利亚、利比亚、圭亚那和加蓬等国测设了 115 个多普勒点。我国也测设了近百个多普勒点, 并布设了全国性的多普勒网, 实现了大陆和西沙、南沙群岛的联测。

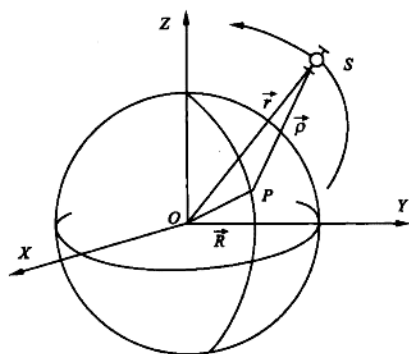


图 1-3 卫星定位测量原理

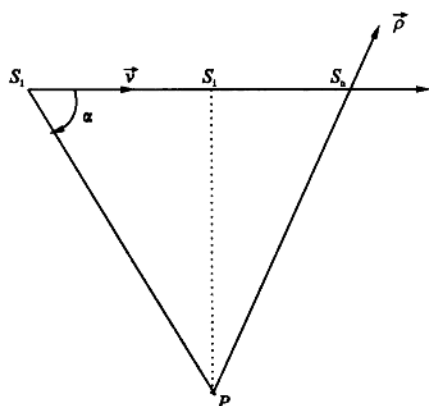


图 1-2 多普勒效应示意图

尽管卫星多普勒定位技术在导航与定位技术的发展中具有划时代的意义, 子午卫星系统被称为第一代卫星导航定位系统, 但是该系统仍有许多明显的缺点, 主要是:

(1) 卫星颗数少, 不能实现连续实时导航定位。

由于子午卫星星座仅有 6 颗工作卫星, 且运行轨道都通过地球南、北极上空(图 1-4)。因而地面测站观测到卫星的时间间隔较短(平均 1.5 h)。同一颗子午卫星, 每天通过测站上空的次数最多为 13 次, 而一台卫星多普勒接收机一般需要观测 15 次合格的通过卫星, 才能达到 ± 10 m 的单点定位精度。当每测站上观测了公共的 17 次合格的通过卫星时, 联测定位精度才能达到 ± 0.5 m 左右。由于卫星通过测站上空的时间间隔太短, 而所需要的观测时间又过长, 所以无法提供连续、实时的三维导航和定位服务。

(2) 卫星轨道高度低, 难以实现精密定轨。

子午卫星飞行的平均高度为 1 070 km, 属于低轨道卫星。在这种情况下, 地球引力场模型误差, 大气密度、卫星质面比、大气阻力系数等摄动因子误差, 大气阻力模型误差, 都将阻碍子



图 1-4 子午卫星运行图

午卫星定轨精度的提高。换句话说,子午卫星星历参数的精度较低,致使卫星多普勒的定位精度局限在米级水平。

(3) 信号频率低,难以补偿电离层效应的影响。

子午卫星射电信号的频率分别为 400 MHz 和 150 MHz,用这两种频率的信号进行双频多普勒定位时,只能削弱电离层效应的低阶项影响,而难以削弱电离层效应的高阶项影响。而电离层效应的高阶项影响,在地球赤道附近将导致测站高程 ± 1 m 以上的偏差。

子午卫星导航定位系统的上述缺陷,使其应用受到较大的限制。为了突破子午卫星导航系统的局限性,实现全天候、全球性和高精度的实时导航与定位,美国国防部于 1973 年 12 月批准陆海空三军联合研制了一种新的军用卫星导航系统——NAVSTAR GPS(Navigation System Timing and Ranging—Global Positioning System),今译为导航卫星测时与测距全球定位系统,简称 GPS 卫星全球定位系统。

1.1.1.3 GPS 卫星定位测量

GPS 系统的研制计划分 3 个阶段实施:

(1) 原理与可行性实验阶段,自 1973 年 12 月算起,到 1978 年 2 月 22 日第一颗试验卫星发射成功为止,历时 5 年。

(2) 系统研制与实验阶段,由 1978 年 2 月 22 日算起,到 1989 年 2 月 14 日第一颗工作卫星发射成功为止,历时 11 年。

(3) 工程发展与完成阶段,由 1989 年 2 月 14 日算起,到 1995 年 4 月 27 日为止,历时 7 年。

1995 年 4 月 27 日美国国防部(DOD)宣布:“GPS 系统已具备全部运作能力”。意即在全世界任何地方、任意时刻都可以实现全天候的导航、定位和定时。GPS 计划的实现历时 23 年,耗资 130 多亿美元,前后共发射 35 颗 GPS 卫星,目前仍在轨道上正常工作的有 25 颗卫星,其中 1 颗为实验卫星,24 颗为工作卫星。

GPS 系统是第二代卫星导航定位系统,它的出现导致测绘行业一场深刻的技术革命。和子午卫星导航定位系统相比,GPS 系统具有如下一些显著的优点:

(1) 可提供全天候、全球性的导航、定位服务。

GPS 系统卫星数目多而且分布合理,地球上任何地点、任意时刻均可连续同步观测到 4 颗以上卫星。从而保证了该系统导航、定位服务的全天候和全球性。

(2) 可进行高精度、高速度的实时精密导航和定位。

GPS 卫星在轨道平均高度、卫星钟稳定度以及信号频率等方面,都比子午卫星提高了 1

个数量级以上,其定位精度也相应地提高到厘米甚至毫米级,观测时间则缩短到几小时甚至几秒钟。

目前,GPS单点实时定位观测几秒钟,定位精度可达25~100 m;静态相对定位观测1~3 h,精度可达 $(1\sim0.1)\times 10^{-6}$;如采用快速静态相对定位技术,观测时间可缩短到几分钟。近期发展起来的GPS差分动态定位技术(DGPS)和相位差分动态定位技术(RTK GPS),进一步缩短了观测时间,提高了定位精度,实现了厘米级实时导航和定位。

图1-5比较了各种定位方法的精度,该图说明,在5~500 km距离内,GPS定位的精度优于其他各种定位方法。

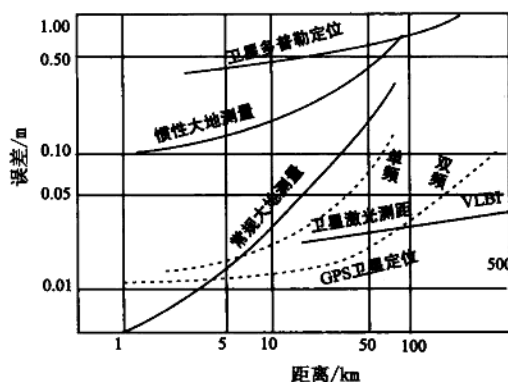
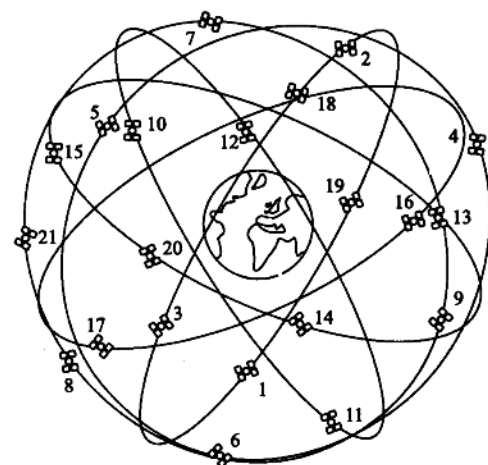
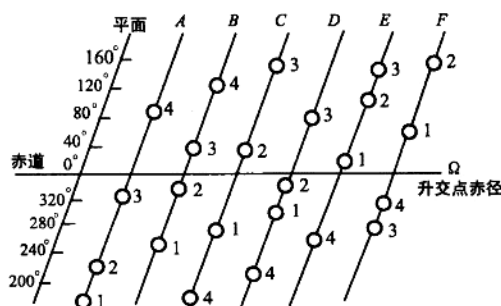


图1-5 GPS和其他各种定位方法的精度比较^[1-6]



GPS工作卫星星座



GPS星座的卫星分布

图1-6 GPS工作卫星星座及卫星分布

GPS信号除了用于导航、定位以外,还可用于高精度的测速和测时。目前,GPS测速精度可达0.1 m/s,而测时精度为数十纳秒。

(3) 用途广泛,操作简便。

GPS技术的用途十分广泛,诸如海空导航、车辆引行、导弹制导、精密定位、工程测量、动态观测、设备安装、时间传递、速度测量等许多方面,都可以应用这一技术。尤其是对于大地和工程测量来讲,GPS定位技术不仅精度高、速度快,而且自动化程度很高,操作十分简便。在一个测站上,作业员仅需安置和开关仪器、量取天线高,以及监视仪器的工作状态。而捕获、跟踪卫星、记录卫星信号等一系列测量工作都由仪器自动完成。

1.1.2 GPS系统的组成

GPS系统由3部分组成,即空间部分、地面监控部分和用户设备部分。

1.1.2.1 空间部分

GPS系统的空间部分是指GPS工作卫星星座。GPS工作卫星星座由24颗卫星组成,其中21颗工作卫星,3颗备用卫星,均匀分布在6

个轨道上(图 1-6)。

卫星轨道平面相对地球赤道面的倾角为 55° , 各个轨道平面的升交点赤经相差 60° , 轨道平均高度 20 200 km, 卫星运行周期为 11 小时 58 分(恒星时), 同一轨道上各卫星的升交角距为 90° , GPS 卫星的上述时空配置, 保证了在地球上的任何地点, 在任何时刻均至少可以同时观测到 4 颗卫星, 以便满足精密导航和定位的需要(图 1-7)。

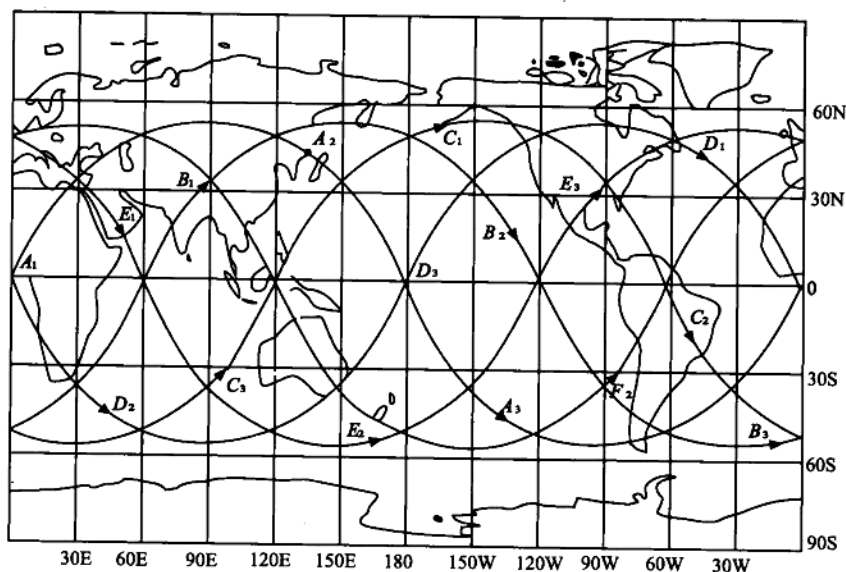


图 1-7 GPS 卫星星座的地面轨迹^[56]

GPS 卫星的主体呈圆柱形, 直径约为 1.5 m, 重约 774 kg(其中包括 310 kg 燃料), 两侧各安装两块双叶太阳能电池板, 能自动对日定向, 以保证卫星正常工作的用电(图 1-8)。每颗 GPS 卫星带有 4 台高精度原子钟, 其中 2 台为铷钟, 2 台为铯钟。原子钟为 GPS 定位提供高精度的时间标准。

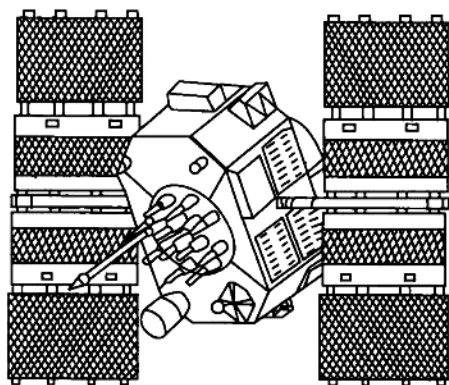


图 1-8 GPS 卫星示意图

GPS 卫星的 3 个基本功能:

- (1) 执行地面监控站的控制指令, 接收和储存由地面监控站发来的导航信息。
- (2) 向 GPS 用户播送导航电文, 提供导航和定位信息。
- (3) 通过高精度卫星钟(铯钟和铷钟)向用户提供精密的时间标准。

GPS 卫星上设有微处理机, 可进行必要的数据处理工作。并可根据地面监控站指令, 调整卫星姿态、启动备用卫星。

至今已发射的 GPS 卫星, 包括 I 型卫星、II 型和 IIA 型卫星、IIR 型卫星。其中, I 型卫