

21世纪高等院校教材 <<<<<<<<

<<<<<<<<<<<<

GPS原理及应用

(第二版)

◎ 李天文 等 编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

GPS 原理及应用

(第二版)

李天文等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者在多年从事 GPS 卫星测量教学与应用研究的基础上撰写而成的。全书共 13 章,第 1~4 章主要介绍了 GPS 卫星测量的基本原理;第 5~7 章主要介绍了 GPS 卫星测量的误差来源、技术设计和数据处理;第 8 章主要介绍了 GPS 卫星信号接收机的使用与检验;第 9~13 章主要介绍了 GPS 卫星测量技术的应用。本书重点介绍了 GPS 卫星信号接收机的使用与检验,特别是对 GPS 卫星测量技术在有关领域中的应用作了详细论述。

本书可作为 GIS 专业本科生及研究生教材,同时也可供相关专业师生、研究人员及测绘专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

GPS 原理及应用/李天文等编著. —2 版. —北京:科学出版社,2010. 2
21 世纪高等院校教材
ISBN 978-7-03-026503-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015136 号

责任编辑:杨 红/责任校对:刘小梅
责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 2 月第 二 版 印张:19

2010 年 2 月第八次印刷 字数:381 000

印数:22 501—25 500

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版修编说明

自 2003 年本书第一版发行后,全球定位系统(GPS)的测量定位技术,无论是硬件、软件的开发研究,还是应用领域的拓宽,都得到了进一步的发展。为了及时反映 GPS 测量定位技术发展的最新成果,同时便于广大读者阅读和理解,特对本书的原版作了一些重要修订,主要有以下几方面的修改:

1)在卫星定位技术发展概况中,补充介绍了俄罗斯的 GLONASS 系统、欧洲的 Galileo 系统和我国的北斗卫星系统;

2)补充介绍了 GPS 外业测量的记录格式与内容;

3)在 GPS 卫星信号接收机的介绍中,不但补充介绍了国外最新产品,而且还介绍了我国生产的 GPS 卫星信号接收机;

4)在 GPS 测量技术的应用中,增加了 CORS 系统原理及应用内容的介绍。

5)在附录中介绍了 GPS 静态测量数据处理的基本方法和数据处理过程。

由于卫星测量技术发展迅速,所以,在本书的修编过程中,依然着重介绍了 GPS 测量定位的基本原理、外业观测的基本方法、内业数据处理的基本原理,以及 GPS 测量定位技术在重点领域的应用,力图启迪该专业从业人员的创造力和想象力,为发展卫星定位技术和拓宽其应用领域做出贡献。本次再版,龙永清、李庚泽和吴琳也参与了本书的修编工作。

作者

2009 年 10 月于西安

第一版序

由于现代科学技术的成就,导致大地测量学出现重大的技术突破,其具体实现就是以全球定位系统(GPS)、卫星激光测距(SLR)和甚长基线干涉(VLBI)为代表的空间大地测量技术手段。大地测量学中的这些崭新的技术手段使距离和点位测定能在全球任意空间尺度上达到 $10^{-6}\sim 10^{-9}$ 的相对精度,并能以数小时、数分钟甚至数秒钟的高效率确定一个地面点的位置,这就从根本上突破了传统大地测量的时空局限性。现代大地测量已经能够跨越时空和恶劣自然环境的限制,实现无人工干预的自动连续观测和数据预处理的精密技术系统。可提供几乎是任意时刻分辨率的观测序列,并具有检测瞬时地学事件和解决众多与时间相依的科学工程问题的能力。而在大地测量学的这些新技术手段中,又数GPS能以高精度、自动化、全天候和高效益运作,同时兼有灵活方便的技术特征,更能实现上述大地测量的新目标。GPS在监测和描述地球各种动力现象、解决国民经济和国防建设中与各种工程技术和国计民生相关联的定位、导航等方面的问题,正在发挥着巨大的作用。可以说,GPS已经深入到各个相关的学科领域,其应用范围越来越广。

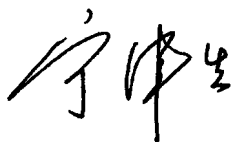
GPS的这种彻底的技术革命和巨大的应用潜力,使它在我国的许多相关学科和行业中受到普遍的重视和关注。相应地在我国高校中无论是测绘工程专业还是非测绘类的其他相关专业,都设置了GPS方面的专门课程,或者在测量学中增加GPS方面的内容。《GPS原理及应用》一书就是西北大学地理信息系统教研室李天文教授为地理信息系统(GIS)专业GPS课程编写的教材。这本教材是李天文教授阅读并参考了近百种国内外有关GPS及与GPS有关的专著、教材和论文,按照课程大纲的要求,结合他本人长期从事GPS教学和科研的心得编写而成。其目的是让GIS专业的学生比较全面地了解GPS的基本理论、定位原理、实际作业和GPS在相关学科、行业中的各种应用。由于本书所参考的是一些在GPS方面具有颇多理论成果和丰富实践经验的文献,因此本书的取材较好。从教材的整体结构来看,本教材内容编排有序、脉络清晰,理论、实践和应用三大部分搭配恰当。学生学习之后,会对GPS

有一个比较完整的认识 and 了解,并很快掌握这门知识和技术。当前我国“数字中国”、“数字省区”、“数字工程”等数字化工程建设事业的发展方兴未艾,由全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)组成的3S技术在这些数字化工程建设中为构建一个用于集成各类自然、社会、经济、人文、环境等信息的统一的地理空间载体(即地理空间基础框架)而发挥着主干作用,其中GPS主要用于实时、快速地提供目标的空间位置。本教材作为GIS专业的GPS课程教材,用了比较大的篇幅介绍GPS在相关学科行业中的应用。我想这是适应利用3S技术构建地理空间基础框架的需要,并且充分发挥地理信息系统在各行各业的数字化和信息化进程中的作用而安排的,这种安排对GIS专业的学生来说是恰当的。

在这本教材出版之前,我有幸先睹为快,就此写下自己一点读书心得,供作者和读者参考。

中国工程院院士

中国测绘学会教育委员会主任委员

Handwritten signature in black ink, consisting of stylized characters that appear to be '宁生' (Ning Sheng).

2003年6月26日于武汉大学

第一版前言

全球定位系统(global positioning system, 简称 GPS)是 20 世纪 70 年代由美国国防部研制的新一代卫星导航定位系统,该系统可向人类提供高精度的导航、定位和授时服务。这标志着 GPS 系统已从最初的取代常规大地测量和工程测量,发展渗入到了精密工程测量、地籍测量、地形测量、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)和相位差分 GPS(RTK)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,它已成为地理信息系统专业本科生和研究生的一门必修课程。

本书是作者在多年从事 GPS 卫星测量教学与科研的基础上撰写而成的,主要内容包括:卫星定位技术发展过程及 GPS 卫星定位系统的组成;GPS 卫星测量的坐标系统和时间系统;GPS 卫星轨道理论与卫星信号;GPS 卫星测量定位原理与误差来源;GPS 卫星信号接收机与野外观测;GPS 卫星测量数据处理;GPS 卫星测量技术在大地测量、精密工程测量、地球动力学、航空摄影测量、地籍测量、地质调查、海洋测绘、导航、气象等领域的应用。吴琳同志和李晓印同志参加了本书的编写工作,书中的插图由吴琳同志制作。另外,在编写中还得到了西北大学汤国安教授,长安大学金其坤教授、李家权教授的热情帮助,在此一并表示感谢。

本书可作为高等院校地理信息系统专业本科生和研究生学习 GPS 课程的教材,亦可作为高等院校测量专业本科生、研究生、测绘专业技术人员 and 高等院校有关专业师生的参考书。

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,不足之处在所难免,敬请各位专家和广大读者批评指正。

作 者

2003 年 6 月于西北大学

目 录

第二版修编说明

第一版序

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 卫星定位技术发展概况	1
1.2 GPS 的特点	3
1.3 GPS 系统的组成	6
1.4 GPS 的应用	10
第 2 章 GPS 定位的坐标系统及时间系统	13
2.1 协议天球坐标系	13
2.2 协议地球坐标系	19
2.3 协议地球坐标系与协议天球坐标系的转换	23
2.4 国家坐标系与地方坐标系	24
2.5 WGS-84 坐标系	32
2.6 时间系统	33
第 3 章 卫星运动及 GPS 卫星信号	39
3.1 概述	39
3.2 卫星的无摄运动	40
3.3 卫星的瞬时位置与瞬时速度计算	47
3.4 地球人造卫星的受摄运动	50
3.5 GPS 卫星星历	57
3.6 GPS 卫星的伪随机测距码	58
3.7 GPS 导航电文	63
3.8 伪距测量原理	67
3.9 卫星的载波信号及相位测量原理	70
3.10 美国政府关于 GPS 卫星信号的 SA 政策	77
第 4 章 GPS 定位原理	79
4.1 GPS 绝对定位原理	79
4.2 观测卫星的几何分布与 GPS 授时	88
4.3 GPS 相对定位原理	91
4.4 差分 GPS 测量原理	100

4.5	广域差分 GPS	105
4.6	整周未知数的确定方法与周跳分析	109
第 5 章	GPS 测量的误差来源	115
5.1	GPS 测量误差的分类	115
5.2	与 GPS 卫星有关的误差	116
5.3	与卫星信号传播有关的误差	120
5.4	与接收机有关的误差	127
5.5	其他误差来源	129
第 6 章	GPS 测量技术设计与外业施测	132
6.1	GPS 测量的技术设计	132
6.2	GPS 控制网的图形设计及设计原则	137
6.3	GPS 控制网的优化设计	141
6.4	GPS 测前准备及技术设计书的编写	146
6.5	GPS 测量外业实施	149
6.6	技术总结与上交资料	159
第 7 章	GPS 测量数据处理	161
7.1	概述	161
7.2	GPS 基线向量的解算	163
7.3	GPS 控制网的三维平差	169
7.4	GPS 基线向量网的二维平差	175
7.5	GPS 高程	180
第 8 章	GPS 卫星信号接收机	188
8.1	GPS 卫星信号接收机的分类	188
8.2	GPS 接收机的组成及工作原理	190
8.3	几种常见 GPS 卫星信号接收机	195
8.4	GPS 卫星信号接收机的选用与检验	202
第 9 章	GPS 测量技术在控制测量、精密工程测量及变形监测中的应用	205
9.1	概述	205
9.2	GPS 在控制测量中的应用	205
9.3	GPS 在精密工程测量中的作用	208
9.4	GPS 在工程变形监测中的应用	211
第 10 章	GPS 测量技术在航空遥感中的应用	216
10.1	概述	216
10.2	常规空中三角测量	217
10.3	GPS 辅助空中三角测量	218
10.4	机载 GPS 天线与摄影机偏心测量	220

10.5	GPS 辅助空中三角测量平差及结果分析	221
第 11 章	GPS 测量技术在土地资源调查中的应用	225
11.1	土地资源调查的目的与任务	225
11.2	土地资源调查的内容与方法	227
11.3	实时动态测量系统	230
11.4	CORS 系统原理	233
11.5	GPS 测量技术在土地资源调查中的应用	235
第 12 章	GPS 在地质调查、地形测量、地籍测量及深水测量中的应用	237
12.1	概述	237
12.2	GPS 在地质调查中的应用	237
12.3	GPS 在地形测量中的应用	238
12.4	GPS 在地籍测量中的应用	239
12.5	差分 GPS 在水深测量中的应用	240
第 13 章	GPS 测量技术在其他领域中的应用	252
13.1	GPS 测量技术在地球动力学及地震监测中的应用	252
13.2	GPS 测量技术在城市规划中的应用	254
13.3	GPS 在气象信息测量中的应用	255
13.4	GPS 在公安、交通系统中的应用	259
13.5	GPS 测量技术在航海导航中的应用	262
13.6	GPS 测量技术在航空导航中的应用	268
13.7	GPS 在海洋测绘中的应用	272
13.8	GPS 在水土保持生态建设中的应用	275
13.9	GPS 定位技术在其他领域中的应用	281
主要参考文献	285
附录	GPS 静态测量数据处理	287

第 1 章 绪 论

GPS 是全球定位系统(global positioning system)的英文缩写,它是随着现代化科学技术的发展而建立的新一代精密卫星导航定位系统。本章主要介绍 GPS 卫星导航定位系统发展的概况、特点、组成以及 GPS 定位技术应用。

1.1 卫星定位技术发展概况

1957 年 10 月,世界上第一颗人造地球卫星的发射成功,标志着空间科学技术的发展跨入了一个崭新的时代。随着人造地球卫星的不断发射,利用卫星进行定位测量及导航已成为现实。

1.1.1 初期的卫星定位技术

所谓卫星定位技术,就是指人类利用人造地球卫星确定测站点位置的技术。最初,人造地球卫星仅仅作为一种空间观测目标,由地面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,建立卫星测距网。用上述两种观测方法,均可以实现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。

1966~1972 年,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,用上述方法测设了一个具有 45 个测站点的全球三角网,获得了 $\pm 5\text{m}$ 的点位精度。然而,这种观测和成果换算需要耗费大量的时间,同时定位精度较低,并且不能得到点位的地心坐标。因此,这种卫星测量方法很快就被卫星多普勒定位技术所取代。这种取代使卫星定位技术从仅仅把卫星作为空间测量目标的初级阶段,发展到了把卫星作为空间动态已知点来观测的高级阶段。

1.1.2 卫星多普勒测量

1958 年 12 月,美国海军和詹斯·霍普金斯(Johns Hopkins)大学物理实验室为了给北极核潜艇提供全球导航,开始研制一种卫星导航系统,称为美国海军导航卫星系统,简称 NNSS(navy navigation satellite system)系统。在该系统中,由于卫星轨道面通过地极,因此被称为“子午(transit)卫星系统”。1959 年 9 月美国发射了第一颗试验性卫星,经过几年试验,于 1964 年建成该系统并投入使用。1967

年美国宣布该系统解密并提供民用。在美国子午卫星系统建立的同时,原苏联于 1965 年也建立了一个卫星导航系统,叫做 CICADA,该系统有 12 颗卫星。

虽然子午卫星系统对导航定位技术的发展具有划时代的意义,但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 1000km),从地面站观测到卫星通过的时间间隔也较短(平均约 1.5 小时),而且因纬度不同而变化,因而不能进行三维连续导航。加之获得一次导航解所需的时间较长,所以难以充分满足军事导航的需求。从大地测量学来看,由于它的定位速度慢(测站平均观测时间 1~2 天),精度较低(单点定位精度 3~5m,相对定位精度约为 1m),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的需求,1973 年美国国防部开始研究建立新一代卫星导航系统,即目前的“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),通常称为全球定位系统(GPS)。

1.1.3 其他卫星定位系统简介

1. 俄罗斯的 GLONASS 系统

1982 年开始研制,计划发射 24 颗卫星,均匀分布在 3 个轨道面上。轨道平面倾角 64.5° ,卫星飞行高度 19100km,卫星运行周期 11 小时 58 分钟,信号频率 1600MHz/1200MHz。

由于该系统卫星寿命短,信号故障多,且替补卫星不能及时升空,虽然至今原苏联及俄罗斯共发射了 70 多颗卫星,但在轨卫星数目较少,目前既没有大批量生产接收机,又没有形成市场和建立服务体系。

2. 欧洲的 Galileo 系统

Galileo 系统是一种开放式的以民用为主的卫星系统。Galileo 系统在技术构态上将分布于 3 个轨道平面上的 30 颗 MEO 卫星为核心星座,其空间卫星信号等效于 GPS Block-II F 卫星上的信号,具有在 L 频段上和 GPS 兼容的多频体制,在无增强情况下可以获得 10m 的定位精度。

Galileo 系统服务的精度指标及其服务领域:免费公开服务精度 15~20m(单频)、5~10m(双频);商业服务精度 5~10m(双频)、局部可达 1~10m;公共事业服务精度 4~6m(双频)、局部可达 1m。

Galileo 系统建设时间表。第一阶段(1999~2001):定义 Galileo 系统框架,制定发展计划;第二阶段(2001~2005):发展阶段;第三阶段(2006~2007):实施阶段,进行卫星的研制、发射及地面设施建设;第四阶段(2008~2020):运行应用阶段。

3. 我国的北斗卫星系统

2000年10月31日0时02分,我国自行研制的第一颗导航定位卫星——“北斗导航试验卫星”在西昌卫星发射中心发射;2000年12月21日0时20分,第二颗“北斗导航试验卫星”在西昌卫星发射中心用“长征三号甲”火箭发射升空,并准确入轨。

2007年4月14日,我国成功发射了第一颗北斗导航卫星(COMPASS-G1);2009年4月15日,在西昌卫星发射中心用“长征三号丙”运载火箭,成功将第二颗北斗导航卫星送入预定轨道。这标志着我国已经拥有自主研发的卫星导航定位系统,在已知一维的大地高的情况下接收两颗卫星的信号,即可得到两维坐标。北斗导航定位系统由空间部分的两颗同步卫星、地面控制中心站及北斗用户中心三大部分组成;其主要功能包括:快速定位(精度可达20m)、简短通信(可达120个汉字)和精密授时。

另外,我国自主研发的北斗二号系列卫星目前已进入组网期,预计到2015年形成覆盖全球的卫星导航定位系统,该系统由30多颗卫星构成,可实现不需要通过地面中心站联系和传输信号的无源定位。

1.2 GPS 的特点

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。

表1-1 GPS与NNSS的主要特征

系统特征	NNSS	GPS
载波频率/GHz	0.15,0.40	1.23,1.58
卫星平均高度/km	约1000	约20200
卫星数目/颗	5~6	24(3颗备用)
卫星运行周期/min	107	718
卫星钟稳定度	10^{-11}	10^{-12}

1.2.1 GPS 相对于其他导航定位系统的特点

从1978年发射第一颗GPS试验卫星至今,人们利用该系统进行了大量的定位及导航研究,其主要特点如下:

1. 功能多、用途广

GPS系统不仅可用于测量、导航,还可用于测速、测时及授时,测速的精度可达0.1m/s,测时的精度可达几十毫微秒。其应用领域还将继续扩大。

2. 定位精度高

GPS 可为各类用户连续提供动态目标的三维位置、三维速度及时间信息,其精度如表 1-2 所示。随着 GPS 定位技术及数据处理技术的不断完善,其精度还将进一步提高。

表 1-2 GPS 实时定位、测速与测时精度

采用的测距码	P 码	C/A 码
单点定位/m	5~10	20~40
差分定位/m	1	3~5
测速/(m/s)	0.1	0.3
测时/ns	100	500

3. 实时定位

利用全球定位系统进行导航,即可实时确定运动目标的三维位置和速度,这样,不但可实时保障运动载体沿预定航线运行,亦可选择最佳航线。特别是对军事上动态目标的导航,具有十分重要的意义。

1.2.2 GPS 定位技术相对于常规测量技术的特点

目前,GPS 定位技术不但已高度自动化,而且其所达到的定位精度及潜力(图 1-1)使测量工作者产生了极大的兴趣。尤其从 1982 年第一代测量型无码 GPS 接收机 Macrometer V-1000 进入市场以来,在应用基础的研究、应用领域的开拓、硬

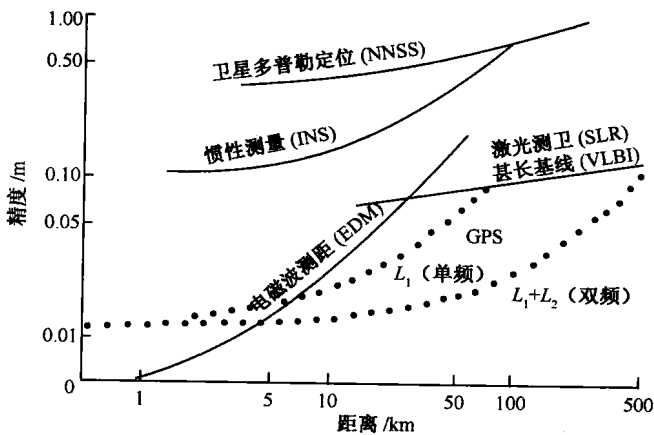


图 1-1 几种定位方法的精度比较

件和软件的开发等方面,都得到了迅速发展。不断的试验活动为 GPS 精密定位技术在测量工作中的应用开拓了广阔的前景。

相对于经典的测量技术来说, GPS 定位技术主要有以下特点:

1. 观测站之间无需通视

既要保持良好的通视条件,又要保障测量控制网的良好结构,这一直是经典测量技术在实践方面的难题之一。而 GPS 测量不需观测站之间互相通视,因而不需要建造觇标,这一优点既可大大减少测量工作的经费和时间(一般造标费用约占总经费的 30%~50%),同时也使点位的选择变得更加灵活,经济效益不断提高。

然而,也应指出, GPS 测量虽不要求观测站之间相互通视,但必须保持观测站的上空开阔(净空),以便接收的 GPS 卫星信号不受干扰。

2. 定位精度高

大量实验表明,目前在小于 50km 的基线上,其相对定位精度可达 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$,而在 100~500km 的基线上可达 $10^{-6} \sim 10^{-7}$,随着观测技术与数据处理软件及方法的不断改善,其定位精度还将进一步提高。在大于 1000km 的距离上,相对定位精度达到或优于 10^{-8} 。

3. 观测时间短

目前,利用经典的静态定位方法,测量一条基线的相对定位所需要的观测时间,根据要求精度的不同,一般约为 1~3h。为了进一步缩短观测时间,提高作业速度,利用短基线(不超过 20km)快速相对定位法,其观测时间仅需数分钟。

4. 提供三维坐标

GPS 测量中,在精确测定观测站平面位置的同时,亦可精确测定观测站的大地高程。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. 操作简便

如何减少野外的作业时间及强度,是测绘工作者探索的重大课题之一,而 GPS 测量的自动化程度很高,在观测中测量员的主要任务只是安装并开关仪器、量取仪器高程、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。另外, GPS 接收机一般重量较轻、体积较小,例如 NovAtel RPK- L_1/L_2 型 GPS 接收机,重量约为 1.0kg,体积为 1085cm^3 ,携带和搬运都很方便,从而极大地减少了外业劳动强度。

6. 全天候作业

GPS 测量工作,可以在任何地点、任何时间连续地进行,一般不受天气状况的影响。因此,GPS 定位技术的发展是对经典测量技术的一次重大突破。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不断发展。

1.3 GPS 系统的组成

GPS 系统主要由三大部分组成,即空间星座部分、地面监控部分和用户设备部分(图 1-2)。

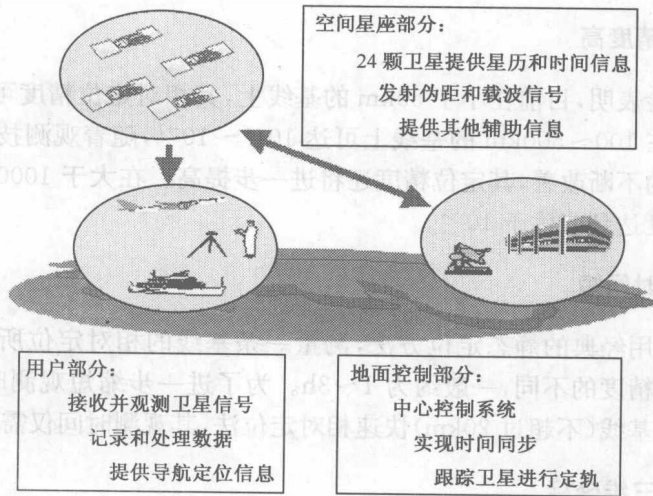


图 1-2 GPS 系统的组成

1.3.1 空间星座部分

1. GPS 卫星星座的构成

全球定位系统的空间卫星星座见图 1-3,由 24 颗(3 颗备用)卫星组成。卫星分布在 6 个轨道面内,每个轨道上分布有 4 颗卫星。卫星轨道面相对地球赤道面的倾角约为 55° ,各轨道平面升交点的赤经相差 60° 。在相邻轨道上,卫星的升交距相差 30° 。轨道平均高度约为 20200km,卫星运行周期为 11 小时 58 分。因此,在同一观测站上,每天出现的卫星分布图形相同,只是每天提前 4 分钟。每颗卫星每天约有 5 个小时在地平线以上运行,同时位于地平线以上的卫星数目,随时间和地点而异,但最少为 4 颗,最多可达 11 颗。

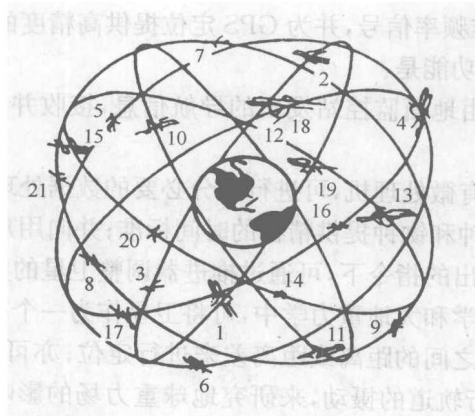


图 1-3 全球定位系统的空间卫星星座

GPS 卫星空间星座的分布保障了在地球上任何地点、任何时刻至少有 4 颗卫星可供同时观测,而且卫星信号的传播和接收不受天气影响,因此,GPS 是一种全球性、全天候的连续实时定位系统。

空间部分的 3 颗备用卫星,可在必要时根据指令代替发生故障的卫星,这对于保障 GPS 空间部分正常工作极其重要。

2. GPS 卫星及其功能

GPS 卫星的主体呈圆柱形,直径约为 1.5m,重约 774kg(包括 310kg 燃料),两侧设有两块双叶太阳能板,能自动对日定向,以保证卫星正常工作用电(图 1-4)。

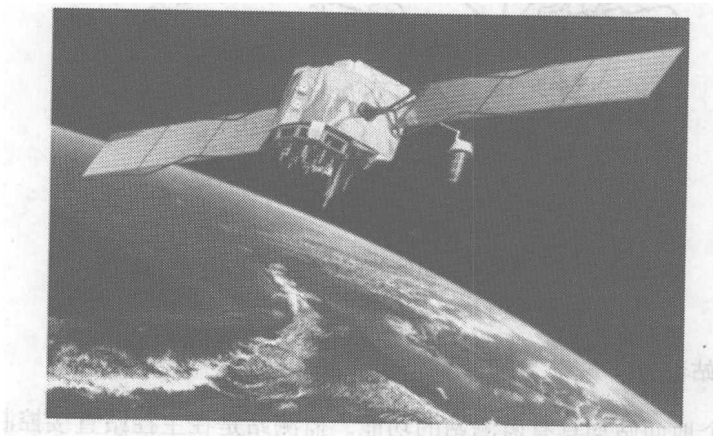


图 1-4 GPS 卫星示意图

在每颗卫星上装有 4 台高精度原子钟(2 台铷钟和 2 台铯钟),它是卫星的核