21世纪高等学校规划教材

GPS定位技术及其应用

李明峰　冯宝红　刘三枝　编著



.4

560640

国防工业出版社
National Defense Industry Press

21 世纪高等学校规划教材

GPS 定位技术及其应用

李明峰　冯宝红　刘三枝　编著

吉林建筑工程学院图书馆
藏书

国防工业出版社
·北京·

0560640

内 容 简 介

本书是作者在多年从事 GPS 定位技术教学与应用研究的基础上撰写而成的。全书共 10 章，第 1 章～第 5 章主要介绍了空间定位技术的发展概况、GPS 定位技术的基本知识、GPS 定位的基本原理、GPS 定位的误差来源与减弱措施；第 6 章～第 9 章主要介绍了 GPS 卫星信号接收机、GPS 测量设计与实施、GPS 测量数据处理、GPS 工程应用；第 10 章主要介绍了 GPS 与 GIS 技术的集成应用。此外，本书对相关 GPS 数据处理软件的功能与使用方法作了介绍。

本书概念清晰、通俗易懂、实用性强。本书可作为高等院校有关专业的通用教材，也可供测绘、土木、城规、交通、水电、地矿、农林等部门从事 GPS 工作的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

GPS 定位技术及其应用 / 李明峰，冯宝红，刘三枝编著. —北京：国防工业出版社，2006.2
21 世纪高等学校规划教材
ISBN 7-118-04347-8

Ⅰ.G.:. Ⅱ.①李...②冯...③刘... Ⅲ.全球定位系统(GPS)－高等学校－教材 Ⅳ.P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003593 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)
天利华印刷装订有限公司印刷
新华书店经售
*
开本 787×1092 1/16 **印张** 15 **字数** 340 千字
2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 **印数** 1—4000 册 **定价** 22.00 元

(本书如有印装错误，我社负责调换)

国防书店：(010)68428422 发行邮购：(010)68414474
发行传真：(010)68411535 发行业务：(010)68472764

前　言

全球定位系统(Global Positioning System,GPS)是美国国防部为陆、海、空三军研制的新一代卫星导航定位系统。目前,GPS卫星定位技术正广泛应用于测绘、导航、通信及其他许多领域。随着GPS卫星定位技术的不断改进,其应用范围将普及和深入到国民经济建设的各个领域乃至人们的日常生活中,呈现一个崭新的空间信息动态定位世界。

GPS卫星定位技术的出现,给测绘学科带来了巨大的变革。GPS测量技术已成为测绘学科中极其重要和必不可少的内容。为此,我们结合几年来从事GPS定位技术教学与应用研究的成果,编写了这本《GPS定位技术及其应用》,以适应测绘工程、地理信息系统(GIS)等专业GPS定位技术课程教学的需要。

本书由南京工业大学李明峰、冯宝红、刘三枝编写。其中,李明峰编写第1章、第2章、第6章、第7章,冯宝红编写第3章、第9章、第10章,刘三枝编写第4章、第5章、第8章、附录A、附录B和附录C。全书由李明峰统稿,文稿打印、排版与插图由研究生李恒杨完成。

本书力求做到深入浅出、详略得当,既强调理论与工程实际相结合,又反映当前的最新技术应用。为了便于教学,我们在每一章后都针对性地附有习题。

尽管我们尽了很大的努力,但由于GPS定位技术是一种新兴的科学技术,发展日新月异,同时也由于我们的水平和实际经验有限,书中还可能存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

作　者

2005年12月于南京

目　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　卫星定位技术的发展历史 …… 1
1.1.1　早期的卫星定位技术 …… 1
1.1.2　卫星多普勒定位系统 …… 2
1.2　GPS 的组成 …… 2
1.2.1　卫星星座部分 …… 3
1.2.2　地面监控部分 …… 4
1.2.3　用户设备部分 …… 5
1.3　GPS 的特点及用途 …… 6
1.3.1　GPS 相对于常规测量技术的特点 …… 6
1.3.2　GPS 相对于其他导航定位系统的特点 …… 8
1.3.3　GPS 的应用前景与现代化进程 …… 9
1.4　GALILEO 系统 …… 10
1.4.1　系统简介 …… 10
1.4.2　GALILEO 系统的体系结构 …… 11
1.4.3　GALILEO 系统精度分析 …… 12
1.4.4　GALILEO 系统的管理和实施 …… 12
1.5　我国卫星定位技术发展与应用概况 …… 12
1.5.1　卫星多普勒定位技术在我国的应用和发展 …… 12
1.5.2　GPS 在我国的应用和发展 …… 13
1.5.3　我国卫星导航定位技术的发展 …… 14
习题 …… 17
第 2 章　GPS 定位的坐标系统与时间系统 …… 18
2.1　概述 …… 18
2.1.1　坐标系统 …… 18
2.1.2　时间系统 …… 18
2.2　协议天球坐标系 …… 19
2.2.1　天球的基本概念 …… 19
2.2.2　天球坐标系 …… 19
2.2.3　岁差与章动的影响 …… 20
2.2.4　协议天球坐标系及其转换 …… 21
2.3　协议地球坐标系 …… 23

2.3.1 地球坐标系 …… 23
2.3.2 协议地球坐标系 …… 24
2.3.3 协议天球坐标系与协议地球坐标系的转换 …… 25
2.4 国家坐标系与地方坐标系 …… 26
2.4.1 地球参心坐标系 …… 26
2.4.2 站心坐标系 …… 28
2.4.3 国家大地坐标系 …… 29
2.4.4 地方独立坐标系 …… 30
2.4.5 高斯平面直角坐标系 …… 31
2.5 WGS－84 坐标系 …… 33
2.6 时间系统 …… 33
2.6.1 时间系统概述 …… 33
2.6.2 世界时系统 …… 34
2.6.3 原子时 …… 35
2.6.4 力学时 …… 36
2.6.5 协调世界时 …… 36
2.6.6 GPS 时间系统 …… 36
习题 …… 37
第 3 章 卫星运动与 GPS 卫星信号 …… 38
3.1 卫星的无摄运动 …… 38
3.1.1 概述 …… 38
3.1.2 开普勒定律 …… 38
3.1.3 卫星运动轨道参数描述 …… 40
3.1.4 真近点角 f_s 的计算 …… 41
3.2 卫星瞬时位置与瞬时速度的计算 …… 43
3.2.1 卫星的瞬时位置 …… 43
3.2.2 卫星的运行速度 …… 45
3.3 卫星的受摄运动 …… 48
3.4 GPS 卫星的星历 …… 51
3.4.1 预报星历 …… 51
3.4.2 后处理星历 …… 52
3.5 GPS 卫星信号 …… 53
3.6 GPS 卫星的导航电文 …… 54
3.6.1 导航电文的内容 …… 55
3.6.2 RINEX 数据格式 …… 58
习题 …… 62
第 4 章 GPS 卫星定位原理 …… 63
4.1 概述 …… 63
4.1.1 伪距测量 …… 64

4.1.2 载波相位测量 …… 64
4.2 GPS绝对定位原理 …… 66
4.2.1 测码伪距观测方程 …… 66
4.2.2 测相伪距观测方程 …… 68
4.2.3 静态绝对定位 …… 70
4.3 相对定位原理 …… 72
4.3.1 静态相对定位的概念 …… 72
4.3.2 观测方程及其解算 …… 73
4.4 差分GPS定位原理 …… 78
4.4.1 位置差分原理 …… 78
4.4.2 伪距差分原理 …… 79
4.4.3 载波相位差分原理 …… 79
4.4.4 局部区域GPS差分技术 …… 80
4.5 广域差分GPS系统 …… 80
4.5.1 广域差分GPS系统的基本思想 …… 81
4.5.2 广域差分GPS系统的工作流程 …… 81
4.5.3 广域差分GPS系统的特点 …… 81
4.5.4 我国建立广域差分GPS系统的方案 …… 82
4.5.5 我国广域差分GPS系统C/A码单点定位试验 …… 83
4.6 周跳与整周未知数的确定 …… 83
4.6.1 整周跳变修复 …… 83
4.6.2 整周未知数 N_0 的确定 …… 84
习题 …… 85
第5章 GPS接收机基本工作原理 …… 86
5.1 GPS接收机的分类 …… 86
5.2 GPS接收机工作原理 …… 87
5.3 几种常用的GPS接收机 …… 89
5.3.1 Trimble GPS接收机 …… 89
5.3.2 Leica GPS接收机 …… 91
5.3.3 Ashtech GPS接收机 …… 92
5.3.4 中海达GPS接收机 …… 94
5.3.5 发展趋势 …… 95
5.4 GPS仪器的检验与维护 …… 96
5.4.1 GPS接收机的检验 …… 96
5.4.2 GPS接收机的维护 …… 97
习题 …… 97
第6章 GPS测量的误差来源与减弱措施 …… 98
6.1 GPS测量误差的分类 …… 98
6.2 与卫星有关的误差 …… 98

6.2.1 卫星星历误差 …… 98
6.2.2 卫星钟误差 …… 101
6.2.3 相对论效应的影响 …… 101
6.3 与信号传播有关的误差 …… 102
6.3.1 电离层折射误差 …… 102
6.3.2 对流层折射误差 …… 105
6.3.3 多路径效应误差 …… 106
6.4 与接收机有关的误差 …… 108
6.4.1 接收机钟误差 …… 109
6.4.2 接收机安置误差 …… 109
6.4.3 天线相位中心位置偏差 …… 109
6.5 其他误差 …… 109
6.5.1 地球自转的影响 …… 109
6.5.2 地球潮汐的影响 …… 110
习题 …… 111
第 7 章 GPS 测量技术设计与实施 …… 112
7.1 GPS 测量技术设计 …… 112
7.1.1 GPS 网技术设计依据 …… 112
7.1.2 GPS 网的精度设计 …… 112
7.1.3 GPS 网的基准与网形设计 …… 114
7.2 GPS 测量的测前准备与技术设计书编写 …… 119
7.2.1 测区踏勘与资料收集 …… 119
7.2.2 外业观测计划的拟定 …… 119
7.2.3 仪器准备与人员组织 …… 120
7.2.4 技术设计书的编写 …… 122
7.3 GPS 测量的实施 …… 123
7.3.1 选点 …… 123
7.3.2 埋设标志 …… 123
7.3.3 观测 …… 124
7.3.4 GPS 测量的作业模式 …… 127
7.4 GPS 数据预处理与成果质量检核 …… 130
7.4.1 GPS 数据预处理 …… 130
7.4.2 观测成果的外业检核 …… 131
7.4.3 野外返工 …… 132
7.4.4 GPS 网平差处理 …… 133
7.5 技术总结与提交资料 …… 133
7.5.1 技术总结 …… 133
7.5.2 提交资料 …… 134
习题 …… 134

第 8 章　GPS 测量数据处理 …… 135
8.1　GPS 数据处理的基本步骤 …… 135
8.1.1　数据输入 …… 135
8.1.2　预处理 …… 136
8.1.3　基线向量解算及网平差 …… 137
8.2　GPS 基线向量的解算 …… 137
8.2.1　双差观测值模型 …… 137
8.2.2　法方程组成及解算 …… 140
8.2.3　精度评定 …… 141
8.2.4　基线向量解算结果分析 …… 141
8.3　GPS 定位成果的坐标转换 …… 142
8.3.1　GPS 定位结果的表示方法 …… 142
8.3.2　GPS 定位成果至国家/地方参考椭球的二维转换 …… 143
8.3.3　GPS 定位成果转换至国家/地方参考椭球的三维转换 …… 145
8.3.4　GPS 定位成果转换至国家大地直角坐标系的转换 …… 146
8.3.5　坐标转换中协因数阵的转换 …… 147
8.4　GPS 基线向量网平差 …… 147
8.4.1　GPS 基线向量网的无约束平差 …… 148
8.4.2　GPS 基线向量网的约束平差 …… 149
8.4.3　GPS 网与地面网联合平差 …… 153
8.5　GPS 高程 …… 154
8.5.1　高程系统 …… 154
8.5.2　GPS 水准高程 …… 155
8.5.3　GPS 重力高程 …… 157
8.5.4　GPS 三角高程 …… 158
习题 …… 159
第 9 章　GPS 的工程应用 …… 160
9.1　GPS 在大地控制测量中的应用 …… 160
9.2　GPS 在形变监测中的应用 …… 161
9.2.1　GPS 形变监测网的设计 …… 162
9.2.2　GPS 在大坝变形监测中的应用 …… 164
9.2.3　GPS 在高层建筑物动态位移监测中的应用 …… 167
9.3　GPS 在线路勘测中的应用 …… 169
9.3.1　概述 …… 169
9.3.2　GPS 线路控制网的布设 …… 170
9.3.3　GPS 线路控制网的网形 …… 170
9.3.4　内业平差优化处理的方法 …… 170
9.4　GPS 在桥梁工程中的应用 …… 171
9.4.1　概述 …… 171

9.4.2 润扬长江公路大桥施工控制网的建立 …… 172
9.5 GPS在水下地形测量中的应用 …… 175
9.5.1 概述 …… 175
9.5.2 水下地形测量系统简介 …… 176
习题 …… 181
第10章 GPS/GIS技术的集成应用 …… 182
10.1 基于GIS的GPS车辆监控系统 …… 182
10.1.1 概述 …… 182
10.1.2 GPS车辆监控系统的组成及工作原理 …… 182
10.1.3 基于GIS的GPS车辆监控系统设计 …… 183
10.1.4 GPS车辆监控系统的电子地图设计 …… 185
10.1.5 GPS车辆监控系统属性数据库设计 …… 187
10.2 GPS/PDA在土地变更调查中的应用 …… 189
10.2.1 我国土地详查的历史沿革 …… 189
10.2.2 我国土地变更调查技术的现状 …… 190
10.2.3 GPS/PDA土地变更调查的流程 …… 191
10.2.4 GPS基站测设方案 …… 191
10.2.5 GPS/PDA在土地变更调查中的应用实例 …… 193
习题 …… 197
附录 …… 198
附录A TGO数据处理软件及其使用 …… 198
附录B HDS2003数据处理软件 …… 213
附录C Trimble GPS RTK测量操作 …… 222
参考文献 …… 230

第1章 绪 论

GPS即全球定位系统(Global Positioning System)，是随着现代科学技术的发展而建立起来的新一代卫星导航定位系统。本章主要介绍卫星定位技术的发展历史和GPS的组成、特点、用途、发展前景以及我国卫星定位技术的研究与应用现状。

1.1 卫星定位技术的发展历史

1.1.1 早期的卫星定位技术

1957年10月4日，苏联成功地发射了世界上第1颗人造地球卫星，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，世界各国不仅利用人造地球卫星为军事、经济和科学文化等服务，而且应用于空间定位，从而产生了卫星大地测量学。

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。最初，人造地球卫星仅仅作为一种空间观测目标，即由地面上的2个测站对卫星的瞬间位置进行同步摄影观测，通过确定2个测站至卫星的方向可以构成一个平面，对不同卫星观测得到的2个平面的交线即为2个测站的弦线，在不同测站之间对卫星观测即可组成地面三角网，从而确定地面点的位置，此方法称为卫星三角测量(图1.1)。另一方面，也可利用激光技术测定观测站至卫星的距离，根据建立的卫星测距网进行定位。采用这2种观测方法，均可以实现大陆与海岛的联测定位，解决了常规大地测量难以实现的远距离联测定位问题。但是，其定位精度不高，是卫星定位的低级阶段。

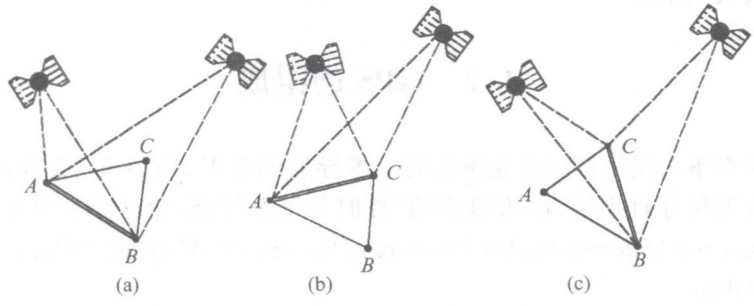


图1.1 卫星空间摄影测量

1966年—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±5m的点位精度。然而，这种观测方法受卫星可见条件及天气的影响，观测与计算需耗费大量的时间，不仅

定位精度较低，而且不能得到点位的地心坐标。因此，该方法很快就被卫星多普勒定位技术所取代。这一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，发展到把卫星作为动态已知点的高级阶段。

1.1.2 卫星多普勒定位系统

1958 年 12 月，美国海军和詹斯·霍普金斯(Johns Hopkins)大学应用物理实验室，为了给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，NNSS)。自 1959 年 9 月发射第一颗试验性卫星，到 1961 年 11 月，先后共发射了 9 颗试验性导航卫星。经过几年的试验研究，1964 年该系统建成并投入使用。该系统共有 6 颗工作卫星，卫星的轨道均经过地球的南北极上空，组成子午卫星星座，故称为子午(Transit)卫星系统。该系统的卫星平均高度约为 1000km，卫星运行周期约为 107min，轨道近似于圆形，地球表面上任何一个测站平均每隔 2h 便可观测到其中一颗卫星。

子午卫星系统的问世，标志着海空导航进入了一个崭新时代，揭开了卫星大地测量学的新篇章。1967 年 7 月 29 日，美国政府宣布该系统解密并提供民用。该系统由 3 部分组成，即围绕地球运行的子午卫星、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 5 部分组成，其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卫星内，以便卫星按时向地面播发。接收机则是接收卫星发射信号、测量多普勒频移、解译卫星轨道参数、测定接收机所在位置的专用设备。由于这些接收机都是根据多普勒效应原理进行接收和定位的，所以称为多普勒接收机，该系统也因此被称为卫星多普勒定位系统。

虽然卫星多普勒定位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少，运行高度低，从地面站观测到卫星的时间间隔较长，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。从大地测量学的角度来看，由于它的定位速度慢(测站平均观测 1 天～2 天)，精度较低(单点定位精度 3m～5m，相对定位精度约为 lm)，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。

1.2 GPS 的组成

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 12 月美国国防部批准研制新一代卫星导航系统，即为目前的“授时与测距导航/全球定位系统”(Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System，NAVSTAR/GPS)，通常称之为全球定位系统(GPS)。

自 1974 年以来，GPS 计划经历了方案论证(1974 年—1978 年)、系统论证(1979 年—1987 年)、生产实验(1988 年—1993 年)3 个阶段，总投资超过 200 亿美元。迄今为止，GPS 卫星已设计了 3 代，分别为 Block Ⅰ、Block Ⅱ、Block Ⅲ。第一代(Block Ⅰ)卫星，用于全球定位系统的实验，通常称为 GPS 实验卫星。Block Ⅰ 卫星共研制和发射了 11 颗，设计寿命为 5 年。第二代(Block Ⅱ)卫星，用于全球定位系统的正式工作，称为 GPS 工作卫星。

BlockⅡ卫星共研制和发射了 28 颗，设计寿命为 7.5 年，于 1994 年发射完毕。第三代（Block Ⅲ）卫星，于 20 世纪 90 年代末期开始陆续发射，预计数量为 20 颗，以取代 BlockⅡ卫星，用于改善全球定位系统。

GPS 整个系统分为卫星星座、地面控制与监控站、用户设备 3 个部分（图 1.2）。

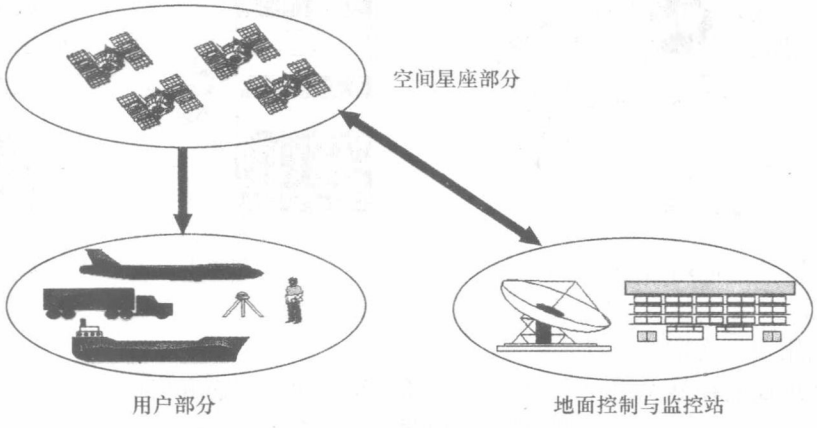


图 1.2　GPS 系统的组成

1.2.1　卫星星座部分

1. GPS 卫星星座的构成

如图 1.3 所示，GPS 的空间卫星星座由 24 颗卫星组成（其中，21 颗为工作卫星，3 颗为备用卫星）。卫星分布在 6 个轨道面内，每个轨道上均匀分布有 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 11h58min（恒星时 12h），载波频率为 1575.42MHz 和 1227.60MHz。因此，在同一观测站上，每天出现的卫星分布图形相同，只不过每天提前 4min。每颗卫星每天约有 5h 在地平线以上，位于地平线以上的卫星数目随时间和地点而异，最少为 4 颗，最多可达 11 颗。

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 颗卫星被同时观测，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、全天候的连续实时定位系统。

2. GPS 卫星及其功能

GPS 卫星的主体呈圆柱形（图 1.4），直径约为 1.5 m，质量约为 774kg（包括 310kg 燃料），两侧各设有一块四叶太阳能电池翼板，其面积为 72m2，能自动对日定向，以保证卫星正常工作用电。每颗卫星装有 4 台高精度原子钟（2 台铷原子钟和 2 台铯原子钟），这是卫星的核心设备。它将发射标准频率信号，为 GPS 定位提供高精度的时间标准。

GPS 卫星有如下基本功能：

（1）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。

（2）借助于卫星上设有的微处理机进行必要的数据处理工作。

（3）通过星载的高精度铯原子钟和铷原子钟提供精密的时间标准。

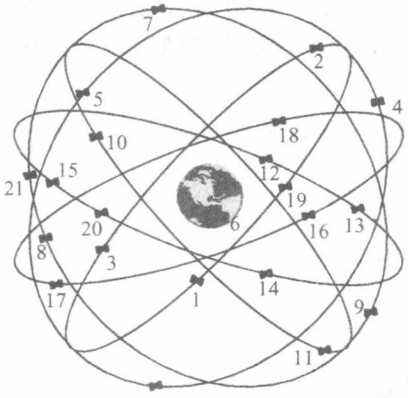


图 1.3　GPS 卫星空间星座

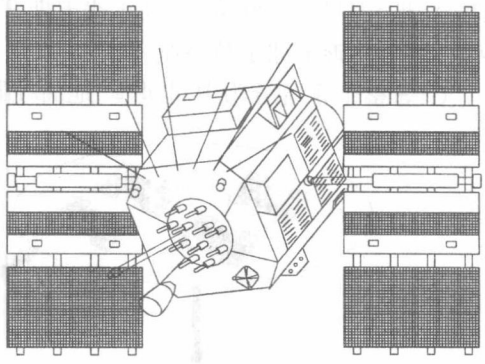


图 1.4　GPS 工作卫星

(4) 向用户发送定位信息。

(5) 在地面监控站的指令下,通过推进器调整卫星的姿态和启用备用卫星。

一般地,在卫星大地测量和物理大地测量中:或者把人造地球卫星作为一个高空观测目标,通过测定用户接收机与卫星之间的距离或距离差进行地面定位;或者把卫星作为一个传感器,通过观测卫星运行轨道的摄动,研究地球重力场的影响和模型。不过,对于后一种应用,通常要求卫星轨道较低,而 GPS 卫星的轨道高度平均达 20200km,对地球重力异常的反应灵敏度较低。所以,GPS 卫星主要是作为具有精确位置信息的高空目标,被广泛地用于导航和测量。

1.2.2　地面监控部分

地面监控部分包括 1 个主控站、3 个信息注入站和 5 个卫星监控站。5 个卫星监控站分别位于全球 5 个不同的位置(图 1.5)。其中,在科罗拉多(Colorado)监控站与主控站并置,在阿森松岛(Ascension)、迪戈加西亚岛(Diego Garcia)和夸贾林岛(Kwajalein),监控站分别与注入站并置。地面监控部分的主要任务是:①监视卫星的运行;②确定 GPS 时间



图 1.5　GPS 的地面监控部分

系统；③跟踪并预报卫星星历和卫星钟状态；④向每颗卫星的数据存储器注入卫星导航数据。

1. 监测站

现有的5个地面站均具有监测站的功能。监测站是在主控站直接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1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，而环境传感器收集有关当地的气象数据。所有观测资料由计算机进行初步处理，并储存和传送到主控站，用以确定卫星的轨道参数。

2. 主控站

主控站设在美国科罗拉多州斯平士(Springs)的联合空间执行中心(CSOC)。主控站除了对地面监控系统协调和管理外，其主要任务是：

(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) 提供全球定位系统的时间基准。各测站和GPS卫星的原子钟，均应与主控站的原子钟同步，或测出其间的钟差，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迪戈加西亚岛、南大西洋的阿森松岛和南太平洋的夸贾林岛。注入站的主要设备包括1台直径为3.6m的天线，1台C频段发射机和1台计算机。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、导航电文和其他控制指令等，注入到相应卫星的存储器，每天注入3次～4次。此外，注入站能自动向主控站发射信号，每分钟报告一次自己的工作状态。

分布于全球5个不同位置的整个GPS地面监控部分，除主控站外均无人值守。各站之间通过现代化的通信网络相互联系，在原子钟和计算机的驱动和精确控制下，各项工作实现了高度自动化和标准化。

1.2.3 用户设备部分

GPS的空间部分和地面监控部分为GPS定位提供了基础，而用户设备则是用户得以实现GPS定位目的的工具。

用户设备通常称为GPS接收机，主要由接收机硬件、数据处理软件以及微处理机及其终端设备组成。GPS接收机的硬件，一般包括主机、天线和电源，是用户设备的核心部分，主要功能是接收GPS卫星发射的信号，以获得必要的导航和定位信息及观测量，并经简单数据处理而实现实时导航和定位；GPS软件部分是指各种后处理软件包，其主要作用是对观测数据进行精加工，以便获得精密定位结果。

根据接收机的结构，可分为天线单元和接收单元两大部分。在接收机的初级阶段，2个单元分别装备成2个独立的部件，观测时将天线单元置于测站上，接收单元置于测站附近适当的地方，两者之间用电缆线连成一个整机。目前，天线单元与接收单元一体化的“傻瓜型”轻便接收机已获得广泛应用。

接收机所采集的定位数据由数据记录器记录，借助于电缆线和软件可导入计算机，以便进行后续数据处理。

GPS 接收机的电池，一般采用机内和机外 2 种直流电源。设置机内电池的目的是在更换外接电池时可以不中断连续观测。当机外电池电压低到某一数值时，会自动接通机内电池。当使用机外电池观测时，机内电池能自动地被充电，关机后，机内电池为 RAM 存储器供电，以防止数据丢失。

视屏监视器一般包括 1 个显示窗和 1 个操作键盘，它们设在接收单元的面板上或通过通信电缆与接收机相连(或通过蓝牙技术相连)。观测者通过键盘操作，可从显示窗上读取数据和文字。例如查询仪器的工作状态，检核输入数据的正误等。

GPS 接收机的软件部分也是构成现代 GPS 测量系统的重要组成部分之一。它包括内软件和外软件 2 个部分。内软件是指控制接收机信号通道、按时序对各卫星信号进行量测以及内存或固化在中央处理器中的自动操作程序等软件，这类软件已和接收机融为一体；外软件主要是指观测数据后处理的软件系统。软件的质量和功能影响着 GPS 定位的精度和作业效率，反映了 GPS 测量系统的技术水平。

根据 GPS 用户的不同要求，所需的接收设备各异，一般可分为导航型、测量型和授时型 3 种。随着 GPS 定位技术的迅速发展和应用领域的日益扩大，许多国家都在积极研制、开发适用于不同要求的 GPS 接收机及相应的数据处理软件。目前，世界上 GPS 接收机的生产厂家约有数百家，型号超过数千种，而且越来越趋于小型化，便于外业观测。

1.3 GPS 的特点及用途

1.3.1 GPS 相对于常规测量技术的特点

目前，GPS 定位技术所达到的定位精度及潜力(图 1.6)，使广大测量工作者产生了极大的兴趣。尤其是自 1982 年第一代测量型无码 GPS 接收机 Macrometer V－1000 诞生以来，GPS 技术在应用基础的研究、应用领域的开拓、硬件和软件的开发等方面都得到了长足的发展，大量深入的试验和研究活动为 GPS 精密定位技术在测量工作中的应用展现

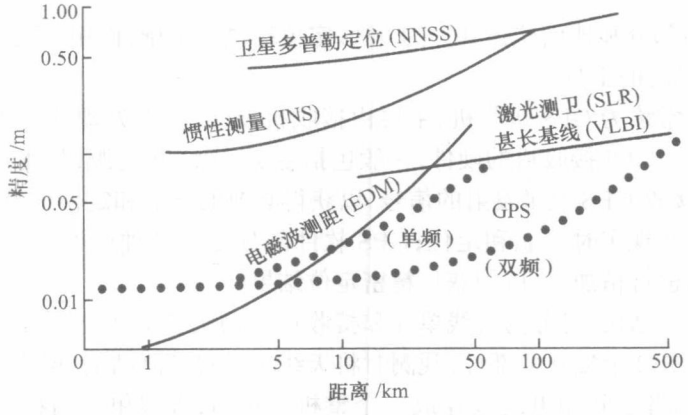


图 1.6　几种定位方法的精度比较

了广阔的前景。

相对于常规测量技术而言，GPS 定位技术主要有以下特点。

1. 测站间无需通视

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，这一直是经典测量控制网设计与建设中必须考虑的问题。而 GPS 测量只要求测站上空开阔，与卫星间保持通视即可，不要求测站之间互相通视，因而不再需要建造觇标。这一优点不仅节约了大量的测量经费和时间（常规测量的造标费用占总经费的 30%～50%，设立传算点、过渡点并进行测量的工作量亦较大），而且使测站点的选择变得更加灵活，完全可以根据工作的需要设定点位。

2. 定位精度高

大量实验和研究表明，目前用载波相位观测量进行静态相对定位，其相对定位精度在小于 50km 的基线上可达 $1\times10^{-6}\sim2\times10^{-6}$，在 100km～500km 的基线上可达 $10^{-6}\sim10^{-7}$。随着观测技术与数据处理方法的改善，其相对定位精度在大于 1000km 的距离上可望达到或优于 10^{-8}。

对于动态定位，其定位精度也有了显著性的突破，目前可达到厘米级，能满足各种工程测量的要求。

3. 观测时间短

过去，对于高精度 GPS 控制网而言，完成一条基线的静态相对定位需要数小时的观测时间。随着 GPS 系统的不断完善和数据处理软件的不断更新，观测时间已缩短至几十分钟，甚至几分钟。例如：采用双频接收机观测 20km 以内的基线，仅需 15min～20min；采用快速静态相对定位模式，流动站与基准站相距在 15km 以内时，流动站观测只需 1min～2min；采用实时动态定位模式，流动站经 1min～2min 的动态初始化后，每站观测仅需几秒钟。因此，采用 GPS 技术建立控制网，可以大大提高作业效率。

4. 提供三维坐标

在常规大地测量中，平面位置与高程是采用不同的测量方法分别测定的。而 GPS 测量在精确测定测站点平面位置的同时，可以测定测站点的大地高程（目前 GPS 水准可满足四等水准测量的精度）。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，同时也为其在精密导航等领域的应用提供了重要的高程数据。

5. 仪器轻便、自动化程度高

随着 GPS 接收机的不断改进，其体积越来越小。例如，NovAtelRPK－L1/L 型 GPS 接收机，质量约为 1.0kg，体积为 1085cm^3，携带和搬运都很方便。另一方面，GPS 测量的自动化程度越来越高，有的已趋于“傻瓜化”。在观测中，测量员的主要任务只是安置仪器、连接电缆线、开关仪器、量取天线高度和气象数据、监视仪器的工作状态，而其他观测工作如卫星的捕获、跟踪观测和记录等均由接收机自动完成。若需在一个测站上作长时间地连续观测，可以实行测站无人值守，通过数据通信定时将所采集的数据传送到数据处理中心，可实现数据采集与处理全过程的自动化。

6. 全天候作业

GPS 卫星数目较多，且分布均匀，可以在地球上任何地点、任何时间至少可以同时观