

GNSS定位原理

马运涛 张荣新 肖建林 ◆ 主编



辽宁大学出版社
LIAONING UNIVERSITY PRESS

GNSS定位原理

马运涛 张荣新 肖建林 范海英 ◆ 主编



辽宁大学出版社
LIAONING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

GNSS 定位原理/马运涛, 张荣新, 肖建林主编. —
沈阳: 辽宁大学出版社, 2018. 7
ISBN 978-7-5610-9356-6

I. ①G… II. ①马…②张…③肖… III. ①卫星导
航—全球定位系统—高等学校—教材 IV. ①P228. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 152572 号

GNSS 定位原理

GNSS DINGWEI YUANLI

出 版 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 16

字 数: 380 千字

出版时间: 2018 年 7 月第 1 版

印刷时间: 2018 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑: 窦重山

封面设计: 徐澄玥

责任校对: 何 悦

书 号: ISBN 978-7-5610-9356-6

定 价: 45.00 元

联系电话: 024-86864613

邮购热线: 024-86830665

网 址: <http://press.lnu.edu.cn>

电子邮件: lnupress@vip.163.com

本书编委会

- 主 编** 马运涛 (沈阳建筑大学交通学院)
张荣新 (沈阳建筑大学辽河流域水污染防治院)
肖建林 (大连鑫盛源科技服务有限公司)
范海英 (辽宁科技学院资源与土木工程学院)
- 副主编** 张婷婷 (沈阳农业大学水利学院)
张 悦 (辽宁有色勘察研究院)
陈建峰 (沈阳市国土资源发展研究中心)
李 芳 (沈阳市国土资源发展研究中心)
姜玲玲 (沈阳水务集团有限公司)
聂 挺 (沈阳水务集团有限公司)
白 雷 (阜新市国土资源局)
- 编 委** 黄 兵 (沈阳工学院能源与水利学院)
边倩倩 (长春师范大学城市与环境科学学院)
石鹏卿 (甘肃省地质环境监测院)
程灿然 (甘肃省地图院)
由迎春 (沈阳建筑大学交通学院)

前 言

本书介绍了全球导航卫星系统 (GPS、GIONASS、Galileo 和 BDS) 的产生、发展历程、系统组成、星基增强系统和 GNSS 系统测量的特点; 介绍了天球坐标系、地球坐标系及其转换方法, 参心坐标系、地心坐标系及其转换方法, 手持 GNSS 坐标参数的转换计算, 各种时间系统及其转换方法; 介绍了 GPS 导航电文、BDS 导航电文、GIONASS 导航电文、Galileo 导航电文的结构和内容, GPS 的测距码、BDS 的测距码、GIONASS 的测距码、Galileo 的测距码, GPS 信号的 SA 政策及对测量定位的影响, GNSS 接受机的工作原理和分类; 介绍了卫星运行轨道的特点、卫星广播星历和精密星历, 并根据星历计算卫星的位置; 阐述了 GNSS 绝对定位和相对定位原理, 介绍了伪距测量原理和载波相位测量原理、GNSS 差分测量原理、整周未知数的确定与周跳的修复方法、GNSS 导航的原理与方法; 介绍了 GNSS 测量的误差, 并在分析的基础上提出消除和减弱各项误差影响的方法和措施; 介绍了 GNSS 测量的作业模式、GNSS 控制测量网的设计准则及质量控制方法; 介绍了 GNSS 控制测量网实施, 测区踏勘、资料收集、器材筹备、观测计划拟定、GNSS 仪器检校及设计书编写、外业观测、外业数据的检核等工作; 介绍了 GNSS 数据处理和 GNSS 高程, 包括 GNSS 测量数据的下载和格式标准化、基线向量解算、GNSS 基线向量网平差以及 GNSS 网平差或与地面网联合平差等几个阶段。

本书可作为地学领域相关专业科研人员和从事测量生产工程技术人员的参考书, 也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本书由马运涛组织编写, 共分九章。其中, 第一章由马运涛、张荣新、范海英执笔, 第二章由黄兵、边倩倩、石鹏卿执笔, 第三章、第四章、第五章和第六章由张婷婷、陈建峰、李芳、张悦执笔, 第七章、第八章、第九章由肖建林、姜玲玲、聂挺、白雷执笔。全书由张荣新、肖建林、范海英负责

统稿，最后由马运涛修改定稿。全书插图由由迎春和程灿然完成。范海英副教授审阅了本书，并提出了宝贵的修改意见，在此表示诚挚的感谢。由于作者水平有限，不足之处恳请读者批评指正。

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 卫星定位技术的发展	1
1.1.1 早期的卫星定位技术	1
1.1.2 子午卫星导航系统	1
1.1.3 全球卫星导航系统	2
1.2 GNSS的系统	3
1.2.1 美国的全球导航卫星系统——GPS	3
1.2.2 俄罗斯的全球导航卫星系统——GLONASS	7
1.2.3 欧盟伽利略全球导航定位系统——GALILEO	8
1.2.4 我国的卫星导航定位系统——北斗号 (COMPASS)	9
1.3 星基增强系统	12
1.3.1 美国的 WAAS	13
1.3.2 俄罗斯的 SDCM	14
1.3.3 欧洲的 EGNOS	14
1.3.4 日本的 MSAS	15
1.3.5 印度的 GAGAN	15
1.4 GNSS系统的特点	16
1.4.1 观测站之间无须通视	16
1.4.2 定位精度高	16
1.4.3 观测时间短	16
1.4.4 提供三维坐标	16
1.4.5 操作简便	17
1.4.6 全天候作业	17
第二章 GNSS测量中的坐标系统和时间系统	18
2.1 天球坐标系与地球坐标系	18
2.1.1 天球坐标系	18
2.1.2 地球坐标系	21
2.2 国家坐标系与 WGS-84 坐标系	23
2.2.1 参心坐标系	23

2.2.2 地心坐标系	24
2.3 坐标系的转换	27
2.3.1 天球坐标系与地球坐标系的转换	28
2.3.2 不同空间直角坐标系统之间的转换	28
2.3.3 手持 GNSS 的坐标参数转换	30
2.4 时间系统	32
2.4.1 世界时系统	33
2.4.2 原子时系统	34
2.4.3 协调世界时系统	35
2.4.4 力学时系统	35
2.4.5 GNSS 时间系统	36
2.4.6 时间标示法	37
第三章 GNSS 卫星信号及接收机	41
3.1 GNSS 卫星星历	41
3.1.1 预报星历	41
3.1.2 后处理星历	42
3.2 GNSS 卫星电文	42
3.2.1 GPS 导航电文	42
3.2.2 BDS 导航电文	45
3.2.3 GLONASS 导航电文	48
3.2.4 Galileo 导航电文	50
3.2.5 GPSL5 导航电文及其特点	52
3.3 GNSS 卫星信号	55
3.3.1 概述	55
3.3.2 伪随机码	56
3.4 GPS 信号的 SA 政策	63
3.4.1 GPS 卫星信号的 SA 技术	63
3.4.2 SA 技术对定位的影响	64
3.4.3 GPS 用户的反限制措施	64
3.5 接收机	65
3.5.1 GNSS 接收机的基本工作原理	65
3.5.2 GNSS 信号接收机分类	67
第四章 GNSS 卫星运动基础	69
4.1 概述	69
4.2 卫星的无摄运动	70
4.2.1 二体意义下卫星的运动方程	70

4.2.2	开普勒定律	70
4.2.3	卫星运动的轨道参数	72
4.2.4	真近点角的计算	73
4.2.5	卫星的瞬时位置	74
4.2.6	卫星的运行速度	77
4.3	卫星的受摄运动	78
4.3.1	卫星运动的摄动力及受摄运动方程	78
4.3.2	地球引力场摄动力对卫星轨道的影响	79
4.3.3	日、月引力对卫星轨道的影响	81
4.3.4	太阳光压对卫星轨道的影响	81
4.3.5	地球潮汐摄动力对卫星轨道的影响	82
4.4	GNSS 卫星星历	82
4.4.1	GPS 广播星历	82
4.4.2	GPS 精密星历	84
4.4.3	由卫星广播星历计算 GPS 卫星坐标	88
4.4.4	由卫星精密星历计算 GPS 卫星坐标	89
4.4.5	GLONASS 卫星星历	90
第五章	GNSS 定位与导航原理	92
5.1	绝对定位	92
5.1.1	伪距测量	93
5.1.2	载波相位测量	94
5.1.3	绝对定位原理	96
5.1.4	绝对定位精度评价	104
5.2	相对定位	105
5.2.1	单差观测模型	106
5.2.2	双差观测模型	110
5.2.3	三差观测模型	111
5.3	差分测量原理	112
5.3.1	单站 GNSS 的差分 (SRDGNSS)	112
5.3.2	局部区域 GNSS 差分系统 (LADGNSS)	114
5.3.3	广域差分系统	115
5.3.4	多基准站 RTK 技术 (网络 RTK)	117
5.3.5	全球实时 GNSS 差分系统	119
5.4	整周未知数与周跳	119
5.4.1	整周未知数求解方法	120
5.4.2	周跳的修复方法	124

5.5 GNSS 卫星导航	126
5.5.1 GNSS 卫星导航	126
5.5.2 GNSS 测速、测时、测姿态	131
5.5.3 GNSS 卫星导航方法	135
第六章 GNSS 测量的误差来源及其影响	141
6.1 GNSS 测量主要误差分类	141
6.2 与卫星有关的误差	142
6.2.1 卫星星历误差	142
6.2.2 卫星钟的钟误差	144
6.2.3 相对论效应	145
6.2.4 卫星天线相位中心偏差	146
6.2.5 相位缠绕改正	146
6.3 与信号传播有关的误差	146
6.3.1 电离层折射	147
6.3.2 对流层折射	150
6.3.3 多路径误差	151
6.4 与接收机和测站环境有关的误差	153
6.4.1 接收机钟差	153
6.4.2 接收机天线相位中心偏差	154
6.4.3 地球自转改正	154
6.4.4 地球固体潮改正	155
6.4.5 海洋负荷潮汐改正	156
第七章 GNSS 控制测量技术设计	157
7.1 概述	157
7.1.1 技术设计的作用	157
7.1.2 技术设计的依据	157
7.2 GNSS 控制测量技术设计	158
7.2.1 网的精度	158
7.2.2 网的密度	159
7.2.3 网的基准	160
7.3 GNSS 控制测量中的基本概念	161
7.3.1 GNSS 测量的专用术语	161
7.3.2 GPS 网特征条件的计算	163
7.3.3 GNSS 网同步图形构成及独立边的选择	163
7.4 GNSS 控制测量的图形设计	164
7.4.1 GNSS 控制网的图形设计	164

7.4.2 GNSS控制网的网形	167
7.5 GNSS控制测量网的设计准则及质量控制	169
7.5.1 GNSS网图形设计的一般原则	169
7.5.2 GNSS网的质量控制	170
7.6 GNSS测量的作业模式	173
7.6.1 经典静态定位模式	173
7.6.2 快速静态定位	174
7.6.3 准动态定位	174
7.6.4 往返式重复设站	175
7.6.5 动态定位	175
7.6.6 实时动态测量的作业模式与应用	176
7.7 GNSS技术总结及上交资料	178
7.7.1 项目来源	178
7.7.2 测区概况	178
7.7.3 工程概况	178
7.7.4 技术依据	178
7.7.5 现有测绘成果	178
7.7.6 施测方案	178
7.7.7 作业要求	178
7.7.8 观测质量控制	178
7.7.9 数据处理方案	179
7.7.10 提交成果要求	179
第八章 GNSS控制测量网实施	180
8.1 测前准备	180
8.1.1 测区踏勘	180
8.1.2 资料收集	180
8.1.3 设备、器材筹备及人员组织	180
8.1.4 拟定外业观测计划	181
8.1.5 设计GNSS网与地面网的联测方案	182
8.1.6 设计书编写	182
8.2 选点与埋石	182
8.2.1 选点	183
8.2.2 埋石	184
8.3 接收机的选型、维护和检验	186
8.3.1 接收机的选型	186
8.3.2 接收机的维护	187

8.3.3 接收机的检验	187
8.4 外业观测	189
8.4.1 观测工作依据的主要技术指标	189
8.4.2 天线安置	190
8.4.3 开机观测	191
8.4.4 观测记录	192
8.5 外业成果	192
8.5.1 数据预处理	192
8.5.2 观测成果外业检核	193
8.5.3 野外返工	195
8.5.4 网平差处理	195
8.6 技术总结与上交资料	196
8.6.1 技术总结	196
8.6.2 上交资料	196
第九章 GNSS 数据处理	197
9.1 数据预处理	197
9.1.1 数据下载	197
9.1.2 GNSS 数据标准化——RINEX 格式	197
9.1.3 SP3 精密星历数据格式	200
9.2 基线解算	201
9.2.1 单基线解模式	202
9.2.2 多基线解模式	203
9.2.3 整体解/战役模式	204
9.2.4 基线解算的过程及结果	205
9.3 网平差	208
9.3.1 网平差的目的	208
9.3.2 网平差的类型	208
9.3.3 网平差的整体流程	210
9.3.4 网平差的数据准备	212
9.3.5 三维无约束平差	220
9.3.6 三维约束平差	223
9.3.7 三维联合平差	228
9.4 GNSS 高程	230
9.4.1 高程系统及其相互关系	230
9.4.2 GNSS 水准	234
参考文献	240

第一章 绪 论

GNSS 的全称是全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System), 它是泛指所有的卫星导航系统, 包括全球的卫星定位系统、区域的卫星定位系统和星基增强系统。目前, 正在进行和计划实施的全球导航卫星系统 (GNSS) 有四个, 即美国的全球定位系统 (GPS), 俄罗斯的全球导航卫星系统 (GLONASS), 欧盟的伽利略系统 (GALILEO), 中国的北斗导航系统 (COMPASS)。区域卫星系统有印度区域导航卫星系统 (IRNSS) 和日本的准天顶卫星系统 (QZSS)。星基增强系统有美国的广域增强系统 (WAAS)、俄罗斯的差分校正和监测系统 (SDCM)、欧洲的欧洲地球静止导航重叠服务 (EGNOS)、日本的多功能卫星星基增强系统 (MSAS) 以及印度的 GPS 辅助静地轨道增强导航系统 (GAGAN) 等, 还涵盖在建和以后要建设的其他卫星导航系统。国际 GNSS 系统是个多系统、多层面、多模式的复杂组合系统。

1.1 卫星定位技术的发展

1.1.1 早期的卫星定位技术

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, 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 子午卫星导航系统

1957 年 10 月, 苏联成功地发射了第一颗人造地球卫星后, 美国约翰·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产生了浓厚的兴趣。他们的研究表明, 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。在应用物理实验室工作的另外两位科学家麦克卢尔博士和克什纳博士则指出,对一颗轨道已被精确确定的卫星进行多普勒测量,可以确定用户的位置。由此为卫星定位系统的诞生奠定了基础。

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,因而又被称为“子午(transit)卫星系统”。在美国子午卫星导航系统建立的同时,苏联也于1965年开始建立了一个卫星导航系统,叫作 CICADA。该系统有12颗宇宙卫星。

NNSS 和 CICADA 卫星导航系统虽然将导航和定位推向了一个新的发展阶段,但是它们仍然存在着一些明显的缺陷,比如卫星少、不能实时定位。子午卫星导航系统采用6颗卫星,并都通过地球的南北极运行。子午卫星通过地面点上空的间隔时间较长,而且低纬度地区每天的卫星通过次数远低于高纬度地区。而对于同一地点两次子午卫星通过的间隔时间为0.8~1.6h,对于同一子午卫星,每天通过次数最多为13次,间隔时间更长。由于一台多普勒接收机一般需观测15次合格的卫星通过,才能使单点定位精度达10m左右,而各个测站观测了公共的17次合格的卫星通过时,联测定位的精度才能达到0.5m左右。间隔时间和观测时间长,不能为用户提供实时定位和导航服务,而精度较低限制了它的应用领域。子午卫星轨道低(平均高度1070km),难以精密定轨,以及子午卫星射电频率低(400MHz和150MHz),难以补偿电离层效应的影响,致使卫星多普勒定位精度局限在米级水平(精度极限0.5~1m)。

1.1.3 全球卫星导航系统

美国军事部门为了满足对连续实时导航的迫切要求,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卫星导航系统的计划。这就是目前所称的“授时与测距导航系统/全球定位系统”(Navigation System Timing and Ranging/Global Position System—NAVSTAR/GPS),而通常简称为“全球定位系统”(GPS)。

1982年10月开始,苏联在全面总结CICADA卫星的不足及吸取美国GPS成功经验的基础上,研制了其第二代全球卫星导航系统——GLONASS。

20世纪90年代中期开始,欧盟为了打破美国在卫星定位、导航、授时市场中的垄断地位,获取巨大的市场利益,增加欧洲人的就业机会,一直在致力于一个雄心勃勃的民用全球导航卫星系统计划,称之为Global Navigation Satellite System。该计划分两步实施:第一步是建立一个综合利用美国的GPS系统和俄罗斯的GLONASS系统的第一代全球导航卫星系统(当时称为GNSS-1,即后来建成的EGNOS);第二步是建立一个完全独立于美国的GPS系统和俄罗斯的GLONASS系统之外的第二代全球导航卫星系统,即正在建设中的Galileo卫星导航定位系统。

我国为了满足国民经济和国防建设的需要,根据我国国情,陈芳允院士于1983年提出了建设自己的双静止卫星导航定位系统的设想。经过十几年的论证与研制,我国于2000年10月和12月相继成功发射了两颗“北斗”导航定位卫星,并于2003年5月发

射了第三颗“北斗”导航备份卫星，标志着我国已拥有了自主完善的第一代卫星导航定位系统，该系统就是一个有源导航定位与通信系统。正在建设的北斗卫星导航系统(BDS)空间段由5颗静止轨道卫星和30颗非静止轨道卫星组成，提供两种服务方式，即开放服务和授权服务：开放服务是在服务区免费提供定位、测速和授时服务，定位精度为10m，授时精度为20ns，测速精度0.2m/s；授权服务是向授权用户提供更安全的定位、测速、授时和通信服务以及系统完好性信息。

1.2 GNSS 的系统

当前，GNSS主要有美国的全球定位系统(GPS)，俄罗斯的全球导航卫星系统(GLONASS)，欧盟正在建设的伽利略系统(GALILEO)和中国的北斗导航系统(BDS)。系统的主要构成包括：空间星座部分、地面测控部分以及用户部分。以下分别对这些导航系统的发展、组成及其工作机制进行介绍。

1.2.1 美国的全球导航卫星系统——GPS

GPS定位系统由三大部分组成：空间部分——GPS卫星星座；地面控制部分——地面监控系统；用户设备部分——GPS信号接收机，三者关系见图1-1。

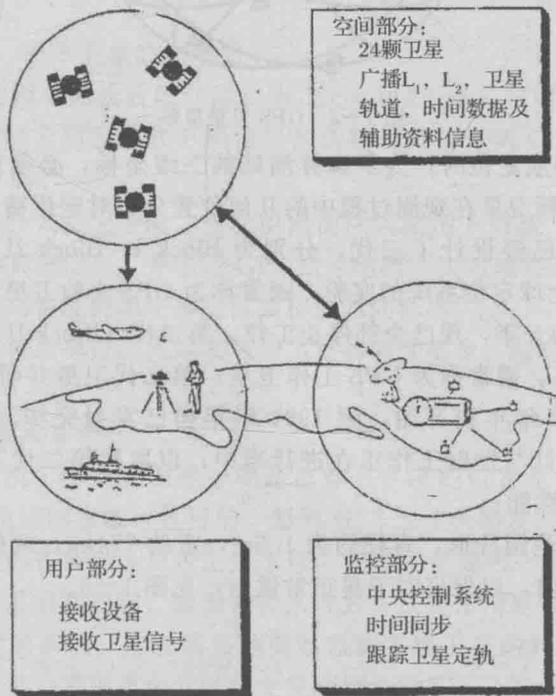


图 1-1 全球定位系统 (GPS) 构成示意图

1.2.1.1 GPS 卫星星座的构成

全球定位系统的卫星星座，由 21 颗工作卫星和 3 颗在轨备用卫星组成，记作 (21+3) GPS 星座。24 颗卫星均匀分布在 6 个轨道面内，轨道倾角为 55 度，各个轨道平面之间相距 60 度，即轨道的升交点赤经各相差 60 度。每个轨道面内各颗卫星之间的升交角距相差 90 度，一轨道面上的卫星比西边相邻轨道平面上的相应卫星超前 30 度。卫星轨道的平均高度约 20200km，当地球对恒星来说自转一周时，它们绕地球运行二周，即卫星绕地球一周的时间为 12 恒星时，对于世界时系统是 11 小时 58 分。这样，对于地面观测者来说，每天将提前 4 分钟见到同一颗 GPS 卫星。位于地平线以上的卫星颗数随着时间和地点的不同而不同，最少可见到 4 颗，最多可见到 11 颗，GPS 卫星在空间的分布情况如图 1-2 所示。

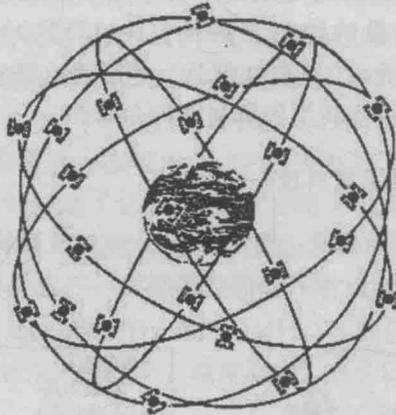


图 1-2 GPS 卫星星座

在用 GPS 信号导航定位时，为了解算测站的三维坐标，必须观测 4 颗 GPS 卫星，称为定位星座。这 4 颗卫星在观测过程中的几何位置分布对定位精度有一定的影响。

迄今，GPS 卫星已经设计了三代，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，这一代卫星共发射了 11 颗，设计寿命为 5 年，现已全部停止工作。第二代 (Block II、Block IIA) 用于组成 GPS 工作卫星星座，通常称为 GPS 工作卫星，第二代卫星共研制了 28 颗，设计寿命为 7.5 年，从 1989 年年初开始，到 1994 年年初已发射完毕。第三代 (Block III、Block IIR) 卫星的设计与发射工作正在进行当中，以取代第二代卫星，进一步改善和提高全球定位系统的性能。

GPS 卫星的主体呈圆柱形，直径约为 1.5m，重约 774kg，两侧设有两块双叶太阳能板，能自动对日定向，以保证对卫星正常供电，见图 1-3。



图 1-3 GPS 的工作卫星

GPS 卫星的核心部件是高精度的时钟、导航电文存储器、双频发射器和接收机等。而对于 GPS 定位成功的关键在于高稳定度的频率标准，这种高稳定度的频率标准由高精度的原子钟提供。 10^{-9} 秒的时钟误差将会引起 30cm 的站—星距离误差，因此每颗卫星一般安设两台铷原子钟和两台铯原子钟。GPS 卫星虽然发射几种不同频率的信号，但是它们均源于一个基准信号（频率为 10.23GHz），所以仅需启用一台原子钟，其余原子钟作为备用。

在 GPS 系统中，GPS 卫星的作用如下：

一是用 L 波段的两个无线波段（波长为 19cm 和 24cm）向用户连续不断地发送导航定位信号。用于粗略定位及捕获 P 码信号的伪随机码信号叫 C/A 码；用于精密定位的伪随机码信号叫 P 码。

二是在卫星飞越注入站上空时，接受由地面注入站用 S 波段（波长为 10cm）发送给卫星的导航电文和其他信息，并通过 GPS 信号电路，实时地将其发送给广大用户。

三是通过星载的高精度的原子钟提供精密的时间标准。

四是接收地面主控站通过注入站发送到卫星的调度指令，适时地改正运行偏差或启用备用时钟等。

1.2.1.2 地面监控系统

对于导航定位来说，GPS 卫星是一动态已知点。星的位置是依据卫星发射的星历（描述卫星运动及其轨道的参数）算得的。每颗 GPS 卫星所播发的星历，是由地面监控系统提供的。卫星上的各种设备是否正常工作，以及卫星是否一直沿着预定轨道运行，都要由地面设备进行监测和控制。地面监控系统另一重要作用是保持各颗卫星处于同一时间标准——GPS 时间系统。这就需要地面站监测各颗卫星的时间，求出钟差，然后由地面注入站发给卫星，卫星再由导航电文发给用户设备。

GPS 工作卫星的地面监控系统包括一个主控站、三个注入站和五个监测站，其分布如图 1-4 所示。