

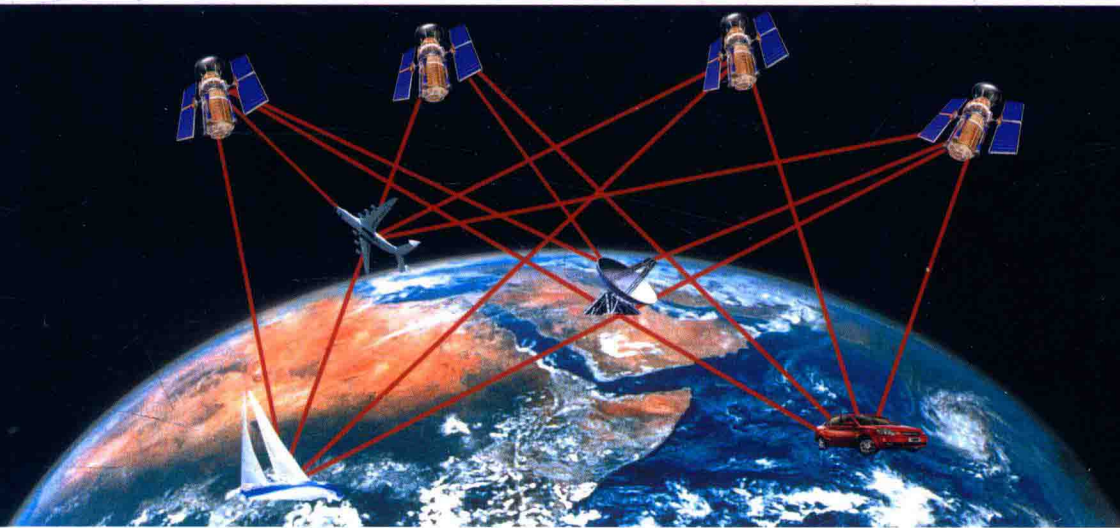
GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程系列教材

GPS测量原理及应用

(第四版)

徐绍铨 张华海 杨志强 王泽民 等 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校测绘工程系列教材

GPS 测量原理及应用

(第四版)

徐绍铨 张华海 杨志强
张小红 余学祥 高伟



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

GPS 测量原理及应用/徐绍铨等编著. —4 版. —武汉:武汉大学出版社, 2017. 1

高等学校测绘工程系列教材

ISBN 978-7-307-19192-1

I. G… II. 徐… III. 全球定位系统—测量—高等学校—教材
IV. P228. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 326901 号

责任编辑:任翔 责任校对:李孟潇 版式设计:马佳

出版发行: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:武汉市洪林印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:429 千字

版次:1998 年 10 月第 1 版 2003 年 1 月第 2 版

2008 年 7 月第 3 版 2017 年 1 月第 4 版

2017 年 1 月第 4 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-19192-1 定价:35.00 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。

第四版前言

《GPS 原理及应用》是由中国全球定位系统技术应用协会(2012 年更名为中国卫星导航定位协会, 简称中位协, 英文名称为 GNSS and LBS Association of China, 英文缩写“GLAC”)教育与发展专业委员会, 于 1998 年组织国内有关高等院校联合编写的教材。2002 年进行第一次修订(第二版), 2008 年进行第二次修订(第三版), 本书是第三次修订(第四版)。

自第二次修订版出版以来, 特别是我国北斗卫星导航系统(BeiDou Satellite Navigation System, BDS)自 2012 年 12 月正式提供区域服务以来, 全球导航定位技术及应用又有了新的进展。故本书第四版在保持原有章节体系结构不变的前提下, 进一步补充了近年来全球导航定位系统及技术的新发展、新变化。本次修订的主要内容主要有:

第一章, 修订了 GPS 系统的星座现状及其现代化的内容; 增加了 GLONASS 系统的星座现状; 修订了 GALILEO 系统的发展计划及星座现状; 重写了北斗卫星导航系统小节内容, 对系统概况、系统发展战略、系统现状和系统应用进行了简要介绍; 介绍了 GPS、GLONASS、BDS、GALILEO 四系统的主要参数等。第二章, 明确了 BDS 坐标系统, 增加了对 BDS 时间系统介绍的内容。第三章, 增加了 BDS 和 GALILEO 系统的广播星历实例数据, 增补了 GPS、GLONASS、BDS、GALILEO 四系统混合精密星历文件的实例。第四章, 增加了 BDS 导航电文格式和卫星位置计算内容。第六章, 调整完善了 GPS/惯性组合导航和精密单点定位技术两节的内容。第八章, 根据新版的相关 GPS 测量规范, 对相关内容进行了修订。第十章, 增加了 GNSS 技术在煤矿开采沉陷自动化监测、GNSS 遥感、GNSS 电离层等方面的应用介绍。补充了部分参考文献, 便于读者参考使用。此外, 对第三版中部分章节的标题和内容也进行了适当的调整和完善, 使其更为合理。

本次修订较客观地反映近年来全球导航定位技术的发展和应新变化。

第四版的修订工作主要由武汉大学张小红、安徽理工大学余学祥、天津城建大学高伟等三位教授共同完成, 原书的四位编者对修订内容进行了审阅。

由于编者水平有限, 书中不足之处恳请读者批评指正。

编著者

2016 年 7 月于武汉

第三版前言

1998年,中国全球定位系统技术应用协会“教育与发展”专业委员会组织有关高等院校教授编写并出版了《GPS测量原理及应用》一书。2003年又对第一版作了修订。因本书通俗易懂,适用面广,深受高校与广大测绘工作者的欢迎。

自修订版出版以来,全球导航定位技术及应用有了新的进展,故本书第三版在维持原有章节结构的前提下,补充了近年来全球导航定位技术的新发展、新应用,以及我们取得的一些研究成果。修改内容主要有:

第一章中,增加了GLONASS现代化计划;重写了GALILEO系统,对GALILEO系统的组成、服务体系等做了较为详细的介绍;重写了北斗导航定位系统,较详细地介绍了北斗导航定位系统组成、定位原理、优缺点,简要介绍了北斗二代卫星导航定位系统的概况;介绍了GPS、GLONASS、GALILEO三个系统的主要参数,以及构建GNSS前景的概述。第二章中,增加了岁差、章动参数的计算内容;2000国家大地坐标系的定义、参数;PZ-90坐标系的定义、参数及转换到WGS-84的转换参数;在时间系统中,增加了不同时间系统之间的转换内容。第四章中,增加了GPS卫星位置计算示例和软件GPS接收机的概况介绍。第五章中,重写了GPS现代化和多基准站RTK(网络RTK)的内容,有较多的更新,概述了全球导航卫星系统连续运行参考站网建设;此外,还增加了全球实时GPS差分原理及系统组成。第六章中,增加了精密单点定位技术的主要内容。第七章中,增加了在野外检测两个GPS天线相位中心在垂直方向上偏差之差的方法。第八章中,增加了GPS卫星可见性预报示例和GPS网技术设计示例。第九章中,增加了GPS基线向量解算及分析示例;较详细地介绍了GAMIT/GLOBK软件和BERNESE软件的特征和功能,简述了使用方法。第十章中,增加了GPS滑坡监测专用Gqicks软件的介绍。

因此,第三版修订部分较客观地反映了近年来全球导航定位技术的发展和应

编著者

2008年4月于武汉

第二版前言

为普及 GPS 技术和知识,中国全球定位系统技术应用协会“教育与发展”专业委员会于 1996 年组织有关院校的教授,共同编写了《GPS 测量原理及应用》一书。该书就 GPS 而言,注重测量原理和应用,避免了 GPS 系统理论,因而通俗易懂,适用面广,深受广大测绘工作者的欢迎,自 1998 年初版后,已先后重印了 6 次。

这些年来, GPS 技术又进一步完善, GPS 应用的方法不断创新,应用领域有新的突破或拓宽。故本书再版时,在尽量维持原有章节结构的前提下,做了以下修改:

第一章中,进一步完善 GLONASS 全球定位系统的介绍,并增补了伽利略(GALILEO)全球定位系统和我国北斗双星定位系统的介绍和论述。第五章中,重写了载波相位测量观测方程一节,并增补了整周跳变的修复一节;增加了 GPS 现代化计划及美国的 GPS 政策;增加了多基准站 RTK 技术等内容。第八章的内容,按 2001 年国家质量技术监督局发布的《全球定位系统(GPS)测量规范》中的新内容、新标准、新要求进行了改写。第九章中,重写了 GPS 定位成果转换一节,使它更符合目前 GPS 生产的实践。第十章中,增加了我国 GPS 2000 网介绍;GPS 在滑坡外观变形监测中的应用;GPS 在交通智能(ITS)中的应用;中国地壳运动 GPS 监测网络;南极菲尔德斯海峡形变 GPS 监测网等内容。

除上述各章增补内容外,另对第二章、第三章、第四章、第六章及第七章中不恰当和过时的内容也都做了删改和完善。

我们认为,修订后的《GPS 测量原理及应用》在保持原有内容要点和风格的基础上,不仅注入了较多的新技术、新知识,同时又对保留内容进行了完善和修改,因而修订版更能客观地反映 2002 年以来 GPS 理论和应用的现况。

由于我们水平有限,书中不足之处恳请读者批评指正。

编著者

2002 年 10 月于武汉

前 言

全球定位系统(Global Positioning System, GPS)是美国从20世纪70年代开始研制,历时20年,耗资200亿美元,于1994年全面建成,具有在海、陆、空进行全方位实时三维导航与定位能力的新一代卫星导航与定位系统。经近10年我国测绘等部门的使用表明,GPS以全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点,赢得广大测绘工作者的信赖,并成功地应用于大地测量、工程测量、航空摄影测量、运载工具导航和管制、地壳运动监测、工程变形监测、资源勘察、地球动力学等多种学科,从而给测绘领域带来一场深刻的技术革命。

随着全球定位系统的不断改进,硬、软件的不完善,应用领域正在不断地开拓,目前已遍及国民经济各部门,并开始逐步深入人们的日常生活。

为了普及GPS技术和知识,中国全球定位系统技术应用协会“教育与发展”专业委员会组织武汉测绘科技大学、中国矿业大学、西安工程学院、内蒙古林学院、南方冶金学院、长春科技大学等院校,长期从事GPS教学和研究的专业委员会成员,共同编写了《GPS测量原理及应用》教材,以适应普通工科院校开设GPS课程教学的需要。

本书重在论述GPS的基本原理、基本方法,着重介绍应用,省略了各种数学模型的推演过程,力求做到概念清晰、通俗易懂、适应面广、应用性强,以满足30~40学时的教学要求。

本书由徐绍铨组稿,共分十章。其中第一章由张华海、杨志强执笔,第二章、第三章由张华海执笔,第四章由王泽民执笔,第五章由张华海、常同元执笔,第六章由王泽民执笔,第七章由杨志强、刘小生执笔,第八章由杨志强执笔,第九章由张华海、徐绍铨执笔,第十章由徐绍铨、张华海、杨志强、王泽民、常同元、杨国东、刘小生、陈小明、刘志赵等执笔。全书由张华海、杨志强协调统稿,最后由徐绍铨修改定稿。全书插图由王翠华完成。

王广运教授审阅了本教材,提出了宝贵修改意见,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。

中国全球定位系统技术应用协会
“教育与发展”专业委员会

1998年8月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 卫星导航定位系统的发展	1
1.1.1 早期的卫星定位技术	1
1.1.2 子午卫星导航系统的应用及其缺陷	1
1.1.3 GPS 全球定位系统的建立	2
1.1.4 GLONASS 全球卫星导航系统	4
1.1.5 伽利略(GALILEO)全球卫星导航系统	6
1.1.6 北斗卫星导航试验系统	9
1.1.7 全球卫星导航系统(GNSS)	11
§ 1.2 GPS 系统组成	13
1.2.1 GPS 工作卫星及其星座	13
1.2.2 地面监控系统	14
1.2.3 GPS 信号接收机	14
§ 1.3 BDS 系统组成	15
1.3.1 系统概述	15
1.3.2 空间星座	16
1.3.3 地面控制	16
1.3.4 用户终端部分	17
1.3.5 系统现状	17
1.3.6 系统应用	17
§ 1.4 GPS 在国民经济建设中的应用	18
1.4.1 GPS 系统的特点	18
1.4.2 GPS 系统的应用前景	19
1.4.3 我国的 GPS 定位技术应用和发展情况	20
第二章 坐标系统和时间系统	22
§ 2.1 天球坐标系与地球坐标系	22
2.1.1 天球坐标系	22
2.1.2 大地坐标系	23
2.1.3 站心赤道直角坐标系与站心地平直角坐标系	23
2.1.4 卫星测量中常用坐标系	25
§ 2.2 WGS-84 坐标系和我国大地坐标系	29
2.2.1 WGS-84 大地坐标系	29

2.2.2	国家大地坐标系	30
2.2.3	地方独立坐标系	31
2.2.4	ITRF 坐标框架简介	32
2.2.5	GLONASS 卫星导航系统采用的 PZ-90 坐标系	33
§ 2.3	坐标系统之间的转换	33
2.3.1	不同空间直角坐标系统之间的转换	33
2.3.2	不同大地坐标系的换算	35
2.3.3	将大地坐标(B, L)转换为高斯平面坐标(x, y)	35
§ 2.4	时间系统	35
2.4.1	恒星时 ST(Sidereal Time)	35
2.4.2	平太阳时 MT(Mean Solar Time)	36
2.4.3	世界时 UT(Universal Time)	36
2.4.4	原子时 ATI(International Atomic Time)	36
2.4.5	协调世界时 UTC(Coordinated Universal Time)	36
2.4.6	GPS 时间系统	37
2.4.7	时间系统之间的关系	37
2.4.8	BDS 时间系统	38
第三章	卫星运动基础及 GPS 卫星星历	39
§ 3.1	概述	39
§ 3.2	卫星的无摄运动	39
3.2.1	卫星运动的轨道参数	39
3.2.2	二体问题的运动方程	40
3.2.3	二体问题微分方程的解	42
§ 3.3	卫星的受摄运动	43
3.3.1	各种作用力的特性及其影响	44
3.3.2	卫星受摄运动方程	45
§ 3.4	GPS 卫星星历	47
第四章	GPS 卫星信号和导航电文	51
§ 4.1	GPS 卫星信号	51
4.1.1	概述	51
4.1.2	伪随机噪声码的产生及特性	52
4.1.3	粗码 C/A 码	54
4.1.4	精码 P(Y) 码	54
§ 4.2	GPS 卫星的导航电文	55
4.2.1	遥测码	55
4.2.2	转换码	56
4.2.3	第一数据块	56
4.2.4	第二数据块	57

4.2.5	第三数据块	57
§ 4.3	GPS 卫星位置的计算	58
4.3.1	GPS 卫星位置计算的步骤	58
4.3.2	GPS 卫星位置计算的示例	60
§ 4.4	BDS 导航电文与卫星坐标计算	61
4.4.1	BDS 卫星信号	61
4.4.2	BDS 卫星导航电文	62
4.4.3	BDS 卫星位置计算的步骤	65
§ 4.5	GPS 接收机基本工作原理	67
4.5.1	GPS 接收机的分类	68
4.5.2	GPS 接收机的组成及工作原理	69
4.5.3	软件 GPS 接收机	72
第五章	GPS 卫星定位基本原理	74
§ 5.1	概述	74
§ 5.2	伪距测量	75
5.2.1	伪距测量	75
5.2.2	伪距定位观测方程	77
§ 5.3	载波相位测量	77
5.3.1	载波相位测量原理	78
5.3.2	载波相位测量的观测方程	79
5.3.3	整周未知数 N_0 的确定	79
§ 5.4	整周跳变的修复	80
5.4.1	屏幕扫描法	81
5.4.2	用高次差或多项式拟合法	81
5.4.3	在卫星间求差法	82
5.4.4	用双频观测值修复周跳	82
5.4.5	根据平差后的残差发现和修复整周跳变	83
§ 5.5	GPS 绝对定位与相对定位	83
5.5.1	静态绝对定位	83
5.5.2	静态相对定位	86
§ 5.6	美国的 GPS 政策	90
5.6.1	美国的 SA 和 AS 政策	90
5.6.2	GPS 现代化计划	92
5.6.3	针对 SA 和 AS 政策的对策	92
§ 5.7	差分 GPS 定位原理	93
5.7.1	单站 GPS 的差分(SRDGPS)	94
5.7.2	局部区域 GPS 差分系统(LADGPS)	95
5.7.3	广域差分	96
§ 5.8	CORS 及网络 RTK 技术	98

§ 5.9	全球实时 GPS 差分系统	100
第六章	GPS 卫星导航	102
§ 6.1	概述	102
§ 6.2	GPS 卫星导航原理	103
6.2.1	单点动态定位	103
6.2.2	伪距差分动态定位	104
6.2.3	动态载波相位差分测量	105
§ 6.3	GPS 用于测速、测时、测姿态	106
6.3.1	GPS 测速	106
6.3.2	GPS 定时	107
6.3.3	GPS 干涉仪载体姿态测量	109
§ 6.4	GPS 卫星导航方法	111
6.4.1	基本概念	111
6.4.2	GPS 单机导航	112
6.4.3	差分 GPS 导航	112
6.4.4	GPS/惯性组合导航	113
§ 6.5	精密单点定位技术	116
6.5.1	精密单点定位原理	116
6.5.2	精密单点定位中的数据预处理	117
6.5.3	精密单点定位中的误差改正	117
第七章	GPS 测量的误差来源及其影响	119
§ 7.1	GPS 测量主要误差分类	119
§ 7.2	与信号传播有关的误差	119
7.2.1	电离层折射	119
7.2.2	对流层折射	123
7.2.3	多路径误差	124
§ 7.3	与卫星有关的误差	127
7.3.1	卫星星历误差	127
7.3.2	卫星钟的钟误差	129
7.3.3	相对论效应	129
§ 7.4	与接收机有关的误差	130
7.4.1	接收机钟误差	130
7.4.2	接收机的位置误差	130
7.4.3	天线相位中心位置的偏差	131
7.4.4	GPS 天线相位中心的偏差	131
§ 7.5	其他误差	133
7.5.1	地球自转的影响	133
7.5.2	地球潮汐改正	134

第八章	GPS 测量的设计与实施	135
§ 8.1	GPS 测量的技术设计	135
8.1.1	GPS 网技术设计的依据	135
8.1.2	GPS 网的精度、密度设计	135
8.1.3	GPS 网的基准设计	137
8.1.4	GPS 网构成的几个基本概念及网特征条件	138
8.1.5	GPS 网的图形设计	140
§ 8.2	GPS 测量的外业准备及技术设计书编写	143
8.2.1	测区踏勘	143
8.2.2	资料收集	143
8.2.3	设备、器材筹备及人员组织	143
8.2.4	拟订外业观测计划	144
8.2.5	设计 GPS 网与地面网的联测方案	144
8.2.6	GPS 接收机选型及检验	145
8.2.7	技术设计书编写	147
8.2.8	GPS 卫星可见性预报示例	148
8.2.9	GPS 技术设计示例——三峡库区 A、B 级 GPS 网观测技术设计	149
§ 8.3	GPS 测量的外业实施	155
8.3.1	选点	155
8.3.2	标志埋设	155
8.3.3	观测工作	157
§ 8.4	GPS 测量的作业模式	160
8.4.1	经典静态定位模式	161
8.4.2	快速静态定位	161
8.4.3	准动态定位	161
8.4.4	往返式重复设站	162
8.4.5	动态定位	162
8.4.6	实时动态测量的作业模式与应用	162
§ 8.5	数据预处理及观测成果的质量检核	164
8.5.1	数据预处理	164
8.5.2	观测成果的外业检核	165
8.5.3	A、B 级 GPS 网基线处理结果质量检核	166
8.5.4	野外返工	167
8.5.5	GPS 网平差处理	168
§ 8.6	技术总结与上交资料	168
8.6.1	技术总结	168
8.6.2	上交资料	169

第九章 GPS 测量数据处理	170
§ 9.1 概述	170
9.1.1 数据传输	170
9.1.2 数据预处理	171
9.1.3 基线向量的解算及网平差	172
§ 9.2 GPS 基线向量的解算	173
9.2.1 双差观测值模型	173
9.2.2 法方程的组成及解算	175
9.2.3 精度评定	176
9.2.4 基线向量解算结果分析	176
9.2.5 GPS 基线向量解算示例	177
§ 9.3 GPS 定位成果的坐标转换	181
9.3.1 GPS 定位结果的表示方法	181
9.3.2 GPS 定位成果的坐标转换	182
9.3.3 坐标转换中协因数阵的转换	183
9.3.4 只有一个重合点时的坐标转换	184
9.3.5 只有一个重合点和一个已知大地方方位角时的坐标转换	184
9.3.6 GPS 网投影变换至地方独立坐标系	185
9.3.7 地方独立坐标系内的平面投影公式	185
§ 9.4 基线向量网平差	185
9.4.1 GPS 基线向量网的无约束平差	186
9.4.2 GPS 基线向量网的约束平差	187
9.4.3 GPS 基线向量网与地面网联合平差	191
§ 9.5 GPS 高程	192
9.5.1 GPS 水准高程	192
9.5.2 GPS 重力高程	199
9.5.3 GPS 三角高程	200
9.5.4 应用实例	200
9.5.5 提高 GPS 水准精度的措施	201
§ 9.6 精密基线解算软件简介	202
9.6.1 GAMIT/GLOBK 软件	203
9.6.2 BERNESE 软件	205
第十章 GPS 应用	210
§ 10.1 GPS 在大地控制测量中的应用	210
10.1.1 概述	210
10.1.2 全球或全国性的高精度 GPS 网	210
10.1.3 区域性 GPS 大地控制网	211
§ 10.2 GPS 在精密工程测量及变形监测中的应用	212
10.2.1 GPS 用于建立精密工程控制网的可行性	212

10.2.2	GPS 用于工程变形监测的可行性	213
10.2.3	隔河岩水库大坝外观变形 GPS 自动化监测系统	214
10.2.4	GPS 在滑坡外观变形监测中的应用	215
10.2.5	GPS 在机场轴线定位中的应用	220
§ 10.3	GPS 在航空摄影测量中的应用	220
10.3.1	常规空中三角测量	221
10.3.2	GPS 用于空中三角测量的可行性	221
10.3.3	机载 GPS 天线相位中心位置的确定	222
10.3.4	机载 GPS 天线与摄影机偏心测量	223
10.3.5	GPS 辅助空中三角测量联合平差	224
10.3.6	GPS 辅助空中三角测量实验结果分析	224
§ 10.4	GPS 在线路勘测及隧道贯通测量中的应用	226
10.4.1	概述	226
10.4.2	线路 GPS 控制网的建立	227
10.4.3	长隧道 GPS 施工控制网	228
10.4.4	地铁精密导线 GPS 测量	229
10.4.5	应用前景	230
§ 10.5	GPS 在地形、地籍及房地产测量中的应用	230
10.5.1	概述	230
10.5.2	RTK 技术用于各种控制测量	230
10.5.3	RTK 技术在地籍和房地产测量中的应用	231
§ 10.6	GPS 在海洋测绘中的应用	231
10.6.1	概述	231
10.6.2	用 GPS 定位技术进行高精度海洋定位	232
10.6.3	中国沿海 RBN/DGPS 系统	232
10.6.4	GPS 技术用于建立海洋大地控制网	232
10.6.5	GPS 在水下地形测绘中的应用	233
§ 10.7	GPS 在智能交通系统中的应用	234
10.7.1	车辆 GPS 定位管理系统	235
10.7.2	应用差分 GPS 技术的车辆管理系统	236
10.7.3	应用前景	236
§ 10.8	GPS 在地球动力学及地震研究中的应用	237
10.8.1	中国地壳运动监测网	237
10.8.2	青藏高原地球动力学监测网	237
10.8.3	首都圈 GPS 地表形变监测网	238
10.8.4	龙门山 GPS 地壳形变监测网	238
10.8.5	世界各地 GPS 地壳运动监测网	238
10.8.6	南极菲尔德斯海峡形变监测网	239
§ 10.9	GPS 在气象方面的应用	239
10.9.1	GPS 气象学简介	239

10.9.2	GPS 气象学分类	240
10.9.3	GPS 气象学的原理	240
10.9.4	GPS/MET 的应用前景	241
§ 10.10	GPS 在航海航空导航中的应用	242
10.10.1	GPS 航海导航应用	242
10.10.2	GPS 航空导航应用	243
§ 10.11	GNSS 技术在煤矿开采沉陷自动化监测中的应用	246
10.11.1	系统组成	247
10.11.2	系统建设	247
10.11.3	系统精度	250
§ 10.12	GPS 在电离层监测方面的应用	251
§ 10.13	GPS-R 遥感应用	252
§ 10.14	GPS 在其他领域中的应用	253
10.14.1	在农业领域中的应用	253
10.14.2	在林业管理方面的应用	254
10.14.3	在旅游及野外考察中的应用	254
	主要参考文献	255

第一章 绪 论

§ 1.1 卫星导航定位系统的发展

1.1.1 早期的卫星定位技术

卫星定位技术是利用人造地球卫星进行点位测量的技术。当初,人造地球卫星仅仅作作为一种空间的观测目标,由地面观测站对它进行摄影观测,测定测站至卫星的方向,建立卫星三角网;也可以用激光技术对卫星进行距离观测,测定测站至卫星的距离,建立卫星测距网。这种对卫星的几何观测能够解决用常规大地测量技术难以实现的远距离陆地海岛联测定位的问题。20世纪60~70年代,美国国家大地测量局在英国和德国测绘部门的协助下,用卫星三角测量的方法花了几年时间测设了有45个测站的全球三角网,点位精度5 m。但是这种观测方法受卫星可见条件及天气的影响,费时费力,不仅定位精度低,而且不能测得点位的地心坐标。因此,卫星三角测量很快就被卫星多普勒定位所取代,使卫星定位技术从仅仅把卫星作为空间观测目标的低级阶段,发展到了把卫星作为动态已知点的高级阶段。

1.1.2 子午卫星导航系统的应用及其缺陷

20世纪50年代末期,美国开始研制用多普勒卫星定位技术进行测速、定位的卫星导航系统,叫做子午卫星导航系统(NNSS)。子午卫星导航系统的问世开创了海空导航的新时代,揭开了卫星大地测量学的新篇章。70年代,部分导航电文解密交付民用。自此,卫星多普勒定位技术迅速兴起。多普勒定位具有经济快速、精度均匀、不受天气和时间的限制等优点。只要在测点上能收到从子午卫星上发来的无线电信号,便可在地球表面的任何地方进行单点定位或联测定位,获得测站点的三维地心坐标。70年代中期,我国开始引进多普勒接收机,进行了西沙群岛的大地测量基准联测。国家测绘局和总参测绘局联合测设了全国卫星多普勒大地网,石油和地质勘探部门也在西北地区测设了卫星多普勒定位网。

在美国子午卫星导航系统建立的同时,前苏联也于1965年开始建立了一个卫星导航系统,叫做CICADA。该系统有12颗所谓宇宙卫星。

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。地面上点上空子午卫星通过的间隔时间较长,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0.8~1.6 h,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10 m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0.5 m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1 070 km)，难以精密定轨，以及子午卫星射电频率低(400 MHz和150 MHz)，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 0.5~1 m)。

总之，用子午卫星信号进行多普勒定位时，不仅观测时间长(需要一两天的观测时间)，而且既不能进行连续、实时定位，又不能达到厘米级的定位精度，因此其应用受到了较大的限制。为了实现全天候、全球性和高精度的连续导航与定位，第二代卫星导航系统——GPS 卫星全球定位系统便应运而生。卫星定位技术发展到了一个辉煌的历史阶段。

1.1.3 GPS 全球定位系统的建立

1973 年 12 月，美国国防部批准陆海空三军联合研制新的卫星导航系统：NAVSTAR/GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System)，其意为“卫星测时测距导航/全球定位系统”，简称 GPS 系统。该系统是以卫星为基础的无线电导航定位系统，具有全能性(陆地、海洋、航空和航天)、全球性、全天候、连续性和实时性的导航、定位和定时的功能，能为各类用户提供精密的三维坐标、速度和时间。

自 1974 年以来，GPS 计划已经历了方案论证(1974—1978 年)、系统论证(1979—1987 年)、生产实验(1988—1993 年)三个阶段，总投资超过 200 亿美元。整个系统分为卫星星座、地面控制和监测站、用户设备三大部分。论证阶段共发射了 11 颗叫作 BLOCK I 的试验卫星，生产实验阶段发射 BLOCK II R 型第三代 GPS 卫星，GPS 系统以此为基础改建而成。

GPS 卫星星座见图 1-1。其基本参数是：卫星颗数为 21+3，卫星轨道面个数为 6，卫星高度为 20 200 km，轨道倾角为 55° ，卫星运行周期为 11 h 58 min(恒星时 12 h)，载波频率为 1 575.42 MHz 和 1 227.60 MHz。卫星通过天顶时，卫星可见时间为 5 h，在地球表面上任何地点任何时刻，在高度角 15° 以上，平均可同时观测到 6 颗卫星，最多可达 9 颗卫星。

图 1-2 是 GPS 工作卫星的外部形态。GPS 工作卫星的在轨重量是 843.68 kg，其设计寿命为 7.5 年。当卫星入轨后，星内机件靠太阳能电池和镉镍蓄电池供电。每个卫星有一个推力系统，以便使卫星轨道保持在适当位置。GPS 卫星通过 12 根螺旋型天线组成的阵列天线发射张角大约为 30° 的电磁波束，覆盖卫星的可见地面。卫星姿态调整采用三轴稳定方式，由四个斜装惯性轮和喷气控制装置构成三轴稳定系统，致使螺旋天线阵列所辐射的波束对准卫星的可见地面。

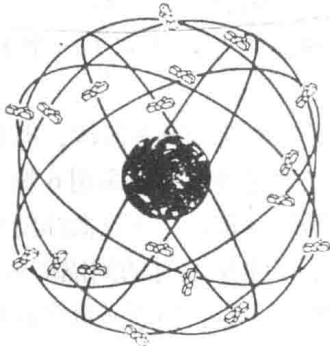


图 1-1 GPS 卫星星座

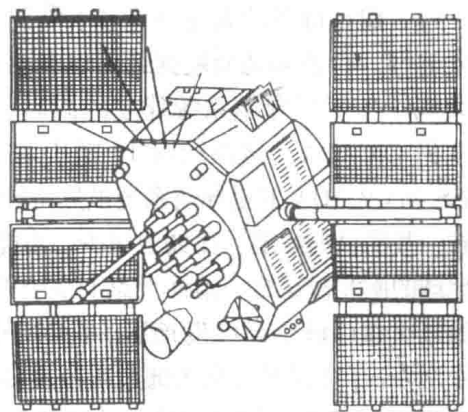


图 1-2 GPS 工作卫星