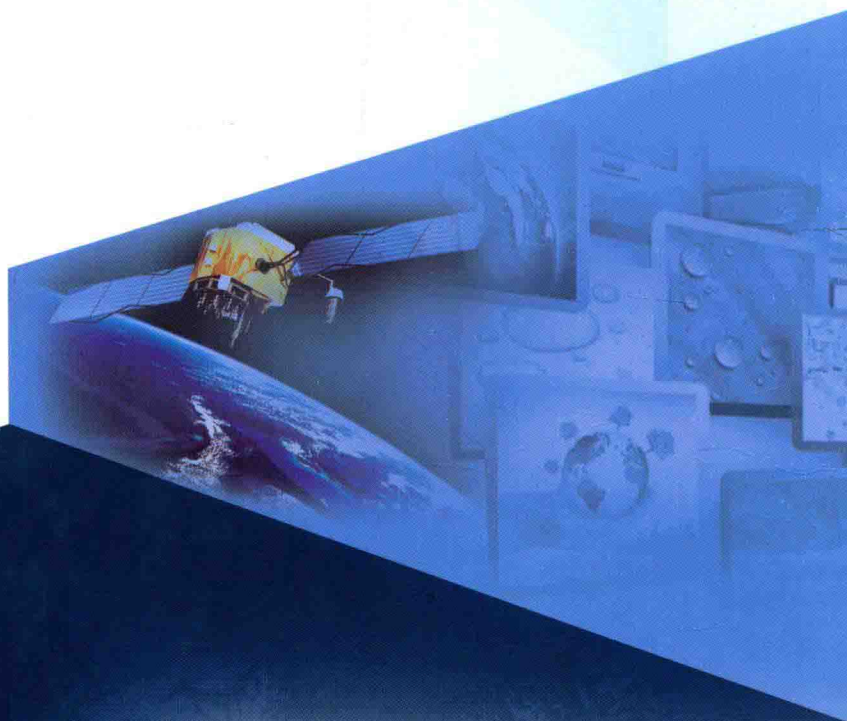




全国高等职业教育“十三五”规划教材
工程测量技术骨干专业核心课程规划教材

GNSS 测量技术

邓 军 主编



GNSS

Celiang Jishu

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

育“十三五”规划教材
工程测量技术骨干专业核心课程规划教材

GNSS 测量技术

主 编	邓 军		
副主编	秦雨航	杨志宏	李益斌
参 编	孙宝明	李月彤	付孝均
主 审	李天和		

内 容 提 要

GNSS 测量技术是高职测绘地理信息类专业的一门核心专业课程。本书内容主要有:认识 GNSS 系统、GNSS 卫星导航定位基础、GNSS 定位的基本原理、GNSS 接收机单点定位、GNSS 静态控制测量、GNSS RTK 数据采集、GNSS RTK 施工放样、GNSS 网络 RTK 及连续运行参考站系统 CORS 等。

本书可作为高等职业院校测绘地理信息类专业的教材,还可作为各行业测绘地理工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

GNSS 测量技术 / 邓军主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2018.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4009 - 5

I. ①G… II. ①邓… III. ①卫星导航—全球定位系统 IV. ①P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第129845号

书 名 GNSS 测量技术

主 编 邓 军

责任编辑 何晓明

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 14.25 字数 356 千字

版次印次 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

GNSS 测量技术课程教学面向的工作岗位是应用 GNSS 技术建立工程控制网和应用 GNSS 技术采集地理空间数据。本书本着“基于工作过程系统化”的教学理念,突出工学结合,从 GNSS 接收机的选型与操作、GNSS 测量设计、GNSS 数据采集、GNSS 测量数据处理等典型工作任务入手,采用项目与工作任务的方式组织教材内容,主要包括:认识 GNSS 系统、GNSS 卫星导航定位基础、GNSS 定位的基本原理、GNSS 接收机单点定位、GNSS 静态控制测量、GNSS RTK 数据采集与施工放样、GNSS 网络 RTK 及连续运行参考站等。通过本课程的学习,学生既能掌握 GNSS 测量的基本理论与方法,又能使用 GNSS 技术进行工程控制网的建立与地理空间数据的采集工作。

本书的编写,主要体现以下三方面的特色:

① 按实际项目组织教材内容,根据具体的项目特点与技术要求,分解成若干个单项任务,提供了具体的操作要求与实施步骤,便于教学的组织与学生的自主学习。

② 以应用 GNSS 测量技术建立工程测量控制网、采集地理空间数据等实际操作为主线,着力培养学生的 GNSS 测量技术理论、技术方法等实际工程应用能力。

③ 课程中所介绍的接收机和实践项目,均源于工程中常用、常见和真实的工程案例,便于学生的学习与生产实际相结合,使学生在课程期间掌握 GNSS 定位技术要求、技术流程。

本书由重庆工程职业技术学院邓军担任主编。参加编写的人员有秦雨航(重庆工业职业技术学院)、杨志宏(晋中职业技术学院)、李益斌(苏州地质工程勘察院)、孙宝明(重庆工程职业技术学院)、李月彤(重庆工程职业技术学院)、付孝均(重庆市经贸中等专业学校)。各项目的编写分工如下:项目一、项目五和附录由邓军编写,项目二由秦雨航编写,项目三由孙宝明编写,项目四由李月彤编写,项目六由杨志宏编写,项目七由付孝均编写,项目八由李益斌编写。全书由邓军负责统稿、定稿,并对部分项目的内容进行修改和调整。

本书由重庆工程职业技术学院李天和教授担任主审,他为本书大纲的拟定提出了宝贵的意见。本书的编写参阅了大量的书籍和文献,在此对这些参考书

籍和文献的作者表示由衷的感谢。

由于 GNSS 技术的不断发展和更新,以及作者的水平有限,加之时间仓促,书中错误在所难免,敬请专家学者和广大读者批评指正。

编 者

2018 年 2 月

目 录

项目一 认识 GNSS 系统	1
任务一 职业岗位分析	1
任务二 GNSS 概述	3
任务三 GNSS 接收机	14
项目二 GNSS 卫星导航定位基础	29
任务一 GNSS 测量的坐标系统和时间系统	29
任务二 GNSS 测量的高程系统	47
任务三 GNSS 卫星运动与星历	49
任务四 GNSS 卫星信号	58
项目三 GNSS 定位的基本原理	69
任务一 GNSS 定位原理与方法	69
任务二 GNSS 定位的基本观测量	70
任务三 GNSS 绝对定位	77
任务四 GNSS 相对定位	79
任务五 差分 GNSS	81
任务六 GNSS 测量误差	90
项目四 GNSS 接收机单点定位	108
任务一 单点坐标数据采集	108
任务二 GNSS 手持机踏勘找点及绘制点之记	114
任务三 单点定位坐标转换	116
项目五 GNSS 静态控制测量	123
任务一 GNSS 控制网测量的技术设计	123
任务二 GNSS 控制网的图形设计	127
任务三 GNSS 观测纲要设计	131
任务四 GNSS 控制网技术设计书编写	134
任务五 GNSS 控制网外业观测	135
任务六 GNSS 测量数据内业处理	141
任务七 技术总结与上交资料	156

项目六 GNSS RTK 数据采集	163
任务一 GNSS RTK 测量原理	163
任务二 使用 RTK 测量系统	164
任务三 GNSS RTK 控制测量	179
任务四 GNSS RTK 测绘地形图	183
项目七 GNSS RTK 施工放样	187
任务一 GNSS RTK 点放样	187
任务二 GNSS RTK 道路放样	190
项目八 GNSS 网络 RTK 及连续运行参考站系统 CORS	198
任务一 GNSS 网络 RTK 测量系统	198
任务二 连续运行参考站系统 CORS	208
参考文献	214
附录	215

项目一 认识 GNSS 系统



项目概述

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、区域的和增强的,如美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 GALILEO、中国的北斗,以及相关的增强系统,如美国的 WAAS(广域增强系统)、欧洲的 EGNOS(欧洲静地导航重叠系统)和日本的 MSAS(多功能运输卫星增强系统)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。本项目主要介绍 GNSS 的基本概念,GNSS 系统的组成、功能、应用领域及发展趋势,GNSS 接收机的基本类型及测地型接收机的操作。



学习目标

1. 了解 GNSS 的概念。
2. 掌握 GNSS 的组成部分及每一部分的功能。
3. 了解 GNSS 的应用及最新发展趋势。
4. 了解 GNSS 接收机的分类及国内外常用的 GNSS 性能。
5. 熟练掌握 GNSS 接收机的选型与操作。

任务一 职业岗位分析

一、课程对接的岗位分析

2001 年,联合国教科文组织对于“职业与技术教育”的修订建议中,根据终身教育思想和全面教育功能,提出了对职业技能准备教育的要求:“使受教育者在某一领域内从事几种工作所需要的广泛知识和基本技能,使之在选择职业时不至于受到本人所受教育的限制,甚至可以在一生中从一个活动领域转向另一个活动领域。”这一教育要求包含着两个方面含义:① 高等职业教育必须以岗位为基础,着重培养学生的岗位工作能力;② 高等职业教育专业课程必须对接实际工作岗位,课程教学要以完成岗位工作任务所需要的知识、技能为主要内容。

GNSS 测量技术已广泛应用于工程建设及测绘地理信息的各个领域,并积极引领着测绘科学技术的新发展,掌握一定的 GNSS 测量知识和技能已成为测绘地理信息类专业学生的基本要求。

国家测绘地理信息局、人力资源和社会保障部共同组织确定了测绘地理信息行业的五个特有职业资格,具体见表 1-1。

表 1-1 测绘地理信息行业的五个特有职业资格

序号	职业资格名称	职业等级	批准文号
1	大地测量员	初级、中级、高级、技师、高级技师	《关于公布国家职业资格目录的通知》(人社部发〔2017〕68号)
2	摄影测量员	初级、中级、高级、技师、高级技师	
3	地图绘制员	初级、中级、高级、技师、高级技师	
4	工程测量员	初级、中级、高级、技师、高级技师	
5	不动产测绘员	初级、中级、高级、技师	

根据测绘地理信息行业这五个特有职业资格的技能进行分析,设置本门课程的教学任务。五个职业资格与 GNSS 相关工作任务分析见表 1-2。

表 1-2 GNSS 相关工作任务

职业资格	工作项目	工作任务	学习内容
大地测量员	静态控制测量与数据处理	(1) 收集测区自然地理概况以及已有的测绘成果资料,进行技术设计书的编写。 (2) 选点与埋石,在收集的地形图、行政区划图上选点并与野外实施实地选点相结合,确定点位位置,埋设标石。 (3) 外业观测,合理选择 GNSS 接收机进行外业数据采集。 (4) 成果质量检核、数据处理,对外业观测的数据进行检查并得出处理结果。 (5) 编制报告,撰写技术总结报告,提交成果资料	(1) GNSS 接收机认识与使用; (2) GNSS 静态控制测量
摄影测量员	地形测量	运用 GNSS 技术和摄影测量技术测绘各种比例尺的地形图、专题图、特种地图、正射影像图、景观图,建立各种数据库,提供地理信息系统和土地信息系统所需要的基础数据	(1) GNSS 静态控制测量; (2) GNSS RTK 控制测量
	非地形测量	运用 GNSS 测量技术和摄影测量技术于生物医学,公安侦破,古文物、古建筑,建筑物变形监测中	
地图制图员	普通地图制图	(1) 地形图野外测绘; (2) 地形图室内成图	GNSS RTK 地形测量
	专题地图制图	专题地图的编绘制作	

续表 1-2

职业资格	工作项目	工作任务	学习内容
工程测量员	勘测设计阶段的工程控制测量和地形图测绘	(1) 控制点的选点与埋石; (2) 控制点的测量; (3) 地形点数据采集	(1) GNSS 静态控制测量; (2) GNSS RTK 数据采集
	施工阶段的控制测量和施工放样	(1) 控制点复测; (2) 施工放样	(1) GNSS 静态控制测量; (2) GNSS RTK 施工放样
	竣工运营阶段的竣工图测绘和变形监测	(1) 竣工图测量; (2) 变形监测。	(1) GNSS RTK 数据采集; (2) GNSS 静态控制测量
不动产测绘员	不动产控制测量与权属界线测量	(1) 不动产控制网布设; (2) 不动产权属界线测量; (3) 不动产图测绘	(1) GNSS 静态控制测量; (2) GNSS RTK 数据采集; (3) 网络 RTK 测绘不动产图

二、课程设置及教学实施

GNSS 测量技术是高职测绘地理信息类专业的核心技能专业课程。课程教学面向的工作岗位是应用 GNSS 技术建立高精度工程控制网和 GNSS 技术采集地理空间数据。本书在职业教育目标的指引下,在测绘地理信息行业和社会发展的前提下,尽量做到紧跟 GNSS 技术应用行业的发展,体现职业教育的特点,根据五大职业特点和工作任务设计课程内容,让学生不仅可以学习理论知识,并且可以学习到实际的操作技能。本课程还可以培养学生的综合素质,满足学生毕业后工作需要和将来的个人发展需要,增强学生的就业竞争力。

任务二 GNSS 概述

一、GNSS 的概念

(一) 卫星导航定位技术的产生和发展

1957 年 10 月,世界上第一颗人造地球卫星发射成功。随着人造地球卫星不断入轨运行,利用人造地球卫星进行大地测量的技术已经得到了广泛应用。卫星导航定位测量技术的发展可分为三个阶段:传统卫星三角测量、卫星多普勒导航定位测量和全球导航卫星定位测量。在卫星几何大地测量问世早期,人造地球卫星仅仅作为一种空间动态观测目标,由地面测站拍摄卫星的瞬时位置而测定地面点的坐标,称之为传统卫星三角测量。传统卫星三角测量把卫星作为空间测量目标,而多普勒测量把卫星作为动态已知点,开创了卫星定位技术的新纪元。多普勒卫星导航系统的用户设备是卫星多普勒接收机,其基本工作原理是:接收一颗子午卫星发送的导航定位信号,测量该信号的多普勒频移,结合导航电文中卫星的在轨实时点位和时标信息,进而解算出用户的点位坐标。由于多普勒卫星导航系统在实际应用中的局限性,世界上许多国家都开始研制新的导航定位系统。1973 年,美国就开始研发第二代卫星导航定位系统 GPS(Global Positioning System);1982 年 10 月,苏联开始研制

第二代卫星导航定位系统 GLONASS;2000 年,中国发射了北斗导航卫星;2005 年 12 月 28 日,第一颗伽利略试验卫星 GIOVE-A 发射升空,标志着伽利略卫星定位系统(GALILEO)正式进入实施论证阶段。

(二) GNSS 的概念

20 世纪 90 年代中期,国际民航组织、国际移动卫星组织以及欧洲空间局等倡导发展完全由民间控制的全球导航卫星系统,该系统由多卫星导航系统组成。1992 年 5 月,在国际民航组织(ICAO)未来空中导航系统(FANS)会议上,全球导航卫星系统被定义为:它是一个全球的位置和时间测定系统,包括一种或几种卫星星座、机载接收机和系统完备性监视。

GNSS(Global Navigation Satellite System)是泛指所有的卫星导航系统,包括全球的、区域的和增强的,如美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 GALILEO、中国的北斗卫星导航系统,以及相关的增强系统,如美国的 WAAS(广域增强系统)、欧洲的 EGNOS(欧洲静地导航重叠系统)和日本的 MSAS(多功能运输卫星增强系统)等,还涵盖在建和以后要建设的其他卫星导航系统。全球导航卫星系统致力于弥补第二代卫星导航定位系统存在的不足,GNSS 研制开发分两步实施,首先以 GPS/GLONASS 卫星导航系统为依托,建立由地球同步卫星移动通信卫星系统(INMARSAT)、完备性监视系统(GAIT)以及接收机完备性监视系统(RAIM)组成的混合系统,以提高卫星导航系统的完备性和可靠性;第二步将建成纯民间控制的 GNSS 系统,该系统由多种中高轨全球导航卫星系统和既能用于导航定位又能用于移动通信的静地卫星构成。

二、GNSS 的组成

GNSS 由全球设施、区域设施、用户部分以及外部设施等部分构成。

(一) 全球设施

GNSS 是一个全球性的位置和时间测定系统,其中,全球设施部分是 GNSS 的核心基础组件,它是由全球卫星导航定位系统(如当前运行的 GPS、GLONASS 和 COMPASS)提供自主导航定位服务所必需的组成部分,由空间段、空间信号和相关地面控制部分构成。

1. 空间段

空间段由一系列在轨运行卫星(来自一个或多个卫星导航定位系统)构成,提供系统自主导航定位服务所必需的无线电导航定位信号。其中,在轨工作卫星称为 GNSS 导航卫星,它是空间部分的核心部件,卫星内的原子钟(采用铷钟、铯钟甚至氢钟)为系统提供高精度的时间基准和高稳定度的信号频率基准。

由于高轨卫星对地球重力异常的反应灵敏度较低,作为高空观测目标的 GNSS 导航定位卫星一般采用高轨卫星,通过测定用户接收机与卫星之间的距离或距离差以完成导航定位任务。GNSS 导航定位卫星的主要功能包括:

- ① 接收并存储地面监控站发送的导航信息,接收并执行监控站的控制指令。
- ② 通过微处理机对部分必要数据进行处理。
- ③ 通过星载的原子钟为系统提供精确的时间标准和频率基准。
- ④ 通过推进器调整卫星在轨姿态。
- ⑤ 产生并发送卫星导航定位信号。
- ⑥ 发送非导航定位服务信号(如 GALILEO 卫星提供搜寻营救服务信号)。

下面分别对常见的 GPS、GLONASS、GALILEO 和 COMPASS 卫星星座进行介绍。

(1) GPS 卫星星座

GPS 的空间部分由 24 颗 GPS 工作卫星所组成,这些 GPS 工作卫星共同组成了 GPS 卫星星座,其中 21 颗为可用于导航的卫星,3 颗为活动的备用卫星,如图 1-1 所示。这 24 颗卫星分布在 6 个倾角为 55° 的轨道上绕地球运行,这样分布的目的是为了保证在地球的任何地方同时可以观测到 4~12 颗卫星,从而使地球表面上任何地点、任何时刻均能实现三维定位、测速与测时。卫星轨道为近圆形,轨道平均高度为 20 200 km,运行周期约为 11 h 58 min(12 恒星时)。

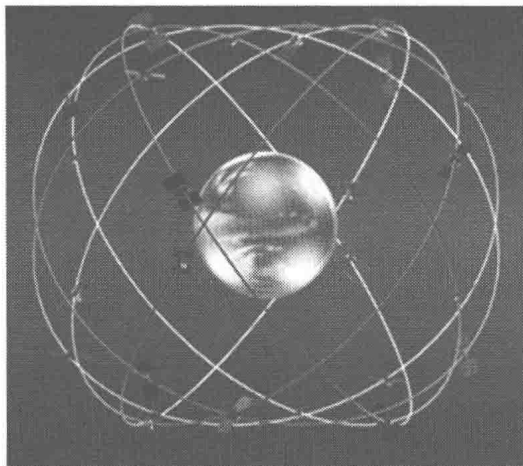


图 1-1 GPS 卫星星座

(2) GLONASS 卫星星座

GLONASS 星座由 21 颗工作星和 3 颗备份星组成,所以 GLONASS 星座共由 24 颗卫星组成。24 颗星均匀地分布在 3 个近圆形的轨道平面上,这 3 个轨道平面两两相隔 120° ,每个轨道面有 8 颗卫星;同平面内的卫星之间相隔 45° ,轨道高度 1.91 万 km,运行周期 11 h 15 min 44 s,轨道倾角 64.8° ,如图 1-2 所示。

(3) GALILEO 卫星星座

空间段的 30 颗卫星均匀分布在 3 个中高度圆形地球轨道上,轨道高度为 23 616 km,轨道倾角 56° ,轨道升交点在赤道上相隔 120° ,卫星运行周期为 14 h,每个轨道面上有 1 颗备用卫星。其卫星星座如图 1-3 所示。

(4) COMPASS 卫星星座

COMPASS 系统是北斗卫星导航系统的英文名称,是中国卫星导航系统的总称,其全球星座由 35 个卫星构成,其中 5 个是地球静止轨道(GEO)卫星、3 个是地球同步倾斜轨道(IGSO)卫星,还有 27 个地球中轨道(MEO)卫星。其卫星星座如图 1-4 所示。

2. 空间信号段

GNSS 全球设施的空间信号是指在轨 GNSS 导航定位卫星发射的无线电信号。根据国际电信联盟(International Telecommunication Union,ITU)的规定,卫星导航系统的空间信号段应该在无线电导航卫星服务波段内,在 2000 年的世界无线电通信大会上公布的 GPS、GLONASS 以及 GALILEO 空间信号频率中配置。

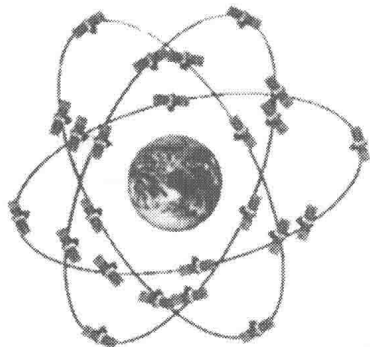


图 1-2 GLONASS 卫星星座

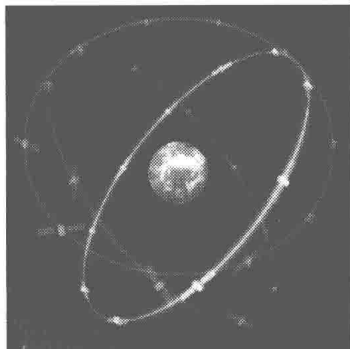


图 1-3 GALILEO 卫星星座

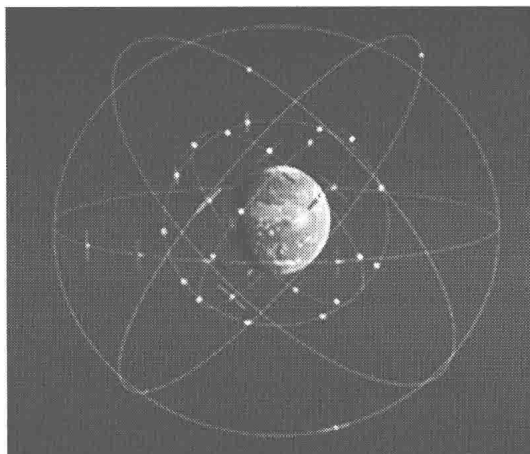


图 1-4 COMPASS 卫星星座图

GNSS 卫星发送导航定位信号一般包括载波、测距码和数据码(或称 D 码)三种信号。以 GPS 信号为例,截止到 Block IIR 卫星, GPS 卫星广播 L_1 和 L_2 两种频率的信号,其中 L_1 信号载波频率为 1.575 42 GHz,并调制了 P/Y 码、C/A 码和数据码(或称 D 码), L_2 信号载波频率为 1.227 60 GHz,测距码仅调制了 P/Y 码,其中 P/Y 码为军用码,C/A 码为民用码。

类似于 GPS 信号, GALILEO 信号同样由载波、测距码和数据码构成,并且在 GALILEO 信号中可使用更多类型的测距码和数据码。GALILEO 卫星星座提供的空间信号包括 10 种民用导航信号和一种搜寻营救(Search and Rescue, SAR)信号,其中, SAR 信号将占用为紧急服务保留的 L 波段(1 544~1 545 MHz)。

3. 地面部分

全球设施的地面部分一般由一系列全球分布的地面站组成,这些地面站可分为卫星监测站、主控站和信息注入站。地面部分的主要功能是卫星控制和任务控制。卫星控制是指使用遥测遥控(Telemetry Tracking and Command, TT&C)链路上传监控对卫星星座进行管理;任务控制是指全面对轨道确定和时钟同步等导航任务进行控制和管理,也包括对完备性信息(在报警时限内报警, GPS 当前不提供完备性信息)的确定和发布过程进行控制。

GPS 地面部分由全球分布的 5 个地面控制站组成,如图 1-5 所示。下面对 GPS 地面部

分的组成进行简要的介绍。

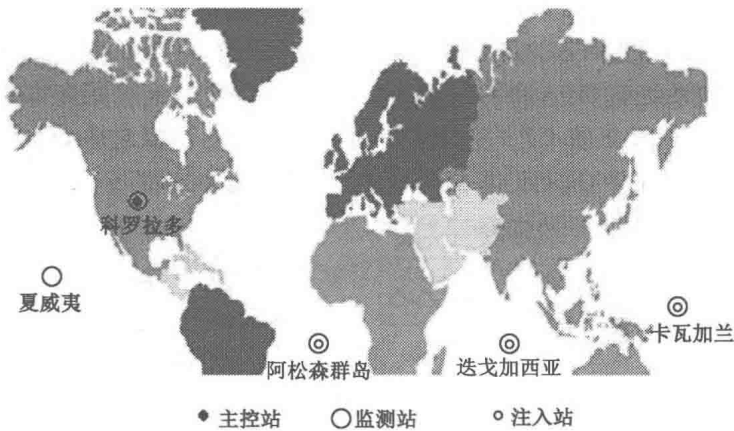


图 1-5 GPS 地面站分布示意图

(1) 监测站

监测站配备双频 GPS 接收机、高精度原子钟、计算机和各种环境数据传感器,对系统所需的各种数据进行自动采集。GPS 接收机对 GPS 卫星进行连续观测,采集测量数据和监测卫星的工作状况,环境传感器负责收集当地有关气象数据,而原子钟提供时间基准,所有观测资料通过计算机进行存储和初步处理,并传送到主控站,用于确定卫星导航电文。现有 5 个地面站均具有监测站的功能。

(2) 主控站

主控站具备监测的全部功能,协调和管理地面监控系统。其核心功能为:利用监测站的全部观测数据,推算卫星星历、工作状态、卫星钟差和大气层的改正参数等,并将生成的导航电文传送到注入站;提供整个系统的时间基准,推算监测站和 GPS 卫星的原子钟与主控站原子钟间的钟差,并将钟差信息编入导航电文;生成卫星状态和卫星调度信息,用于调整偏离轨道的卫星和启用备用卫星。

(3) 注入站

注入站除具备监测站的全部功能外,将主控站推算和编制的导航电文注入相应的 GPS 卫星,同时监测注入信息的正确性。注入站的主要设备包括:一台直径为 3.6 m 的天线、一台 C 波段发射机和一台计算机。GPS 现有 3 个注入站,分别位于印度洋的迭戈加西亚、南大西洋的阿松森群岛和南太平洋的卡瓦加兰。

GPS 地面站间建立现代化的通信网络,在计算机程序的驱动和控制下,各项工作实现了高度的标准化和自动化,这使得整个地面监控部分除主控站外均无人值守。

(二) 区域设施

GNSS 区域设施包括 GNSS 所有的区域性设施组件。这些区域性设施是面向系统功能或性能有特殊要求的服务,并且可以组合当地地面定位和通信系统(如 D-GNSS, Loran-C, UMTS),以满足更广泛用户群体的需求。

GPS 和 GLONASS 卫星导航系统都由军方控制,此外,它们的可用性、连续性、完备性均存在隐患。正因如此,一些国家和地区建立了 GPS/GLONASS 外部增强系统,这些系统

已具备了 GNSS 系统的雏形。目前, GPS/GLONASS 外部增强系统有欧洲的 EGNOS、美国的 WAAS 等, 都属于 GNSS 区域设施性质的组件, 下面重点对 EGNOS 进行介绍。

EGNOS 由欧洲委员会 (EC)、欧空局 (ESA) 和欧洲航空导航安全组织 (EUROCONTROL) 等筹建。该系统是 GPS 和 GLONASS 两种卫星导航系统的外部增强系统。在图 1-6 中, 除给出了 EGNOS 系统 GPS 卫星星座和 GLONASS 卫星星座外, 还给出了 EGNOS 空间部分所用的 3 颗 INMARSAT III 地球同步卫星。EGNOS 系统由下述三部分组成:

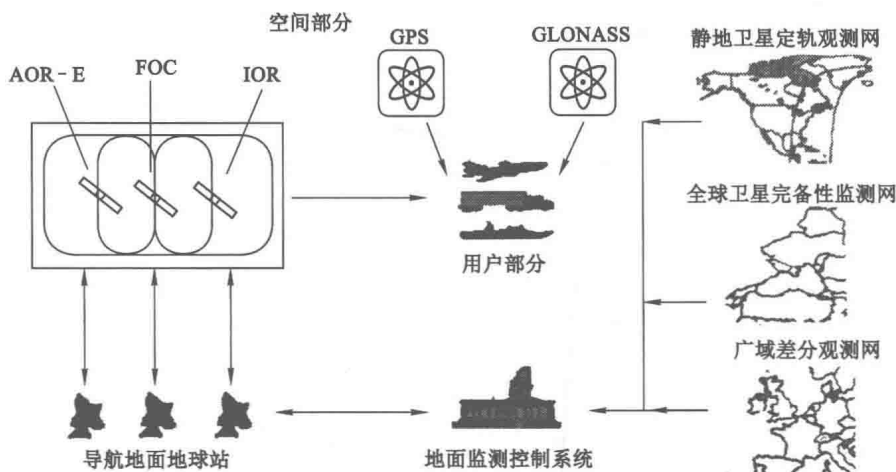


图 1-6 EGNOS 系统构架

1. 星基增强设施

2005 年, EGNOS 全面运行时, 星基增强设施由 3 颗 INMARSAT III 静地通信卫星构成。这三颗 INMARSAT III 卫星是覆盖大西洋东部地区的 AOR-E 卫星、覆盖印度洋的 IOR 卫星和覆盖太平洋地区的 FOC 卫星。INMARSAT III 卫星用于发送 GEO 卫星导航电文、广域差分校正 (WAD) 和 GPS/GLONASS 系统完备性信息。

如果星基增强设施提供导航定位信号, 将在很大程度上改善原有卫星系统星座几何形状。例如, 美国的 WAAS 系统混合星座由 GPS 星座和 3 颗地球静地卫星组成, 其 PDOP 平均值由原来的 2 减小为 1.8, 其 PDOP 最大值由原来的 18 减小为 8; 与 WAAS 不同, 日本的 MSAS 采用本国研发的 MTSAT 多功能通信卫星。

2. 区域监测控制设施

EGNOS 地面监控设施由静地卫星基准站 (GRS)、地面测距/完备性监测站 (RIMS)、EGNOS 任务控制中心 (MCC) 和导航地面地球站 (NLES) 组成。

静地卫星基准站用于推算静地卫星的精密轨道, 编制 GEO 卫星广播星历, 提供高精度的动态已知点, 以改善 GPS/GLONASS 卫星星座几何构型。为了实现对 GEO 卫星的全球监测, 每颗 GEO 卫星至少需要 3 个分布合适的 GRS 站。

地面测距/完备性监测站用于测量 RIMS 站到 GPS、GLONASS 和 GEO 卫星的距离, 并将测量数据实时发送到 MCC, 由 MCC 估算每颗卫星的站星距离测量误差, 并将其发送给广大用户。此外, RIMS 站还对 GPS 和 GLONASS 的完备性进行实时监测。

任务控制中心接收来自 RIMS 和 CRS 站的观测数据, 推算 GEO 卫星和 GPS/GLO-

NASS 卫星的星历/钟差改正和完备性信息,并将其发送到 NLES 导航地面地球站。此外, MCC 还协调和管理 EGNOS 地面监控系统的正常运行。

导航地面地球站接收来自 MCC 的数据信息,编制成 EGNOS 电文,并在 NLES 控制下,将 EGNOS 电文注入 GEO 卫星。

(三) 用户部分

GNSS 用户部分由一系列的用户接收机终端构成,接收机是用户终端的基础部件,用于接收 GNSS 卫星发射的无线电信号,获得必要的导航定位信息和观测信息,并经数据处理软件完成各种导航、定位以及授时任务。一般情况下,用户可以根据不同的应用需求,对接收机进行定制。

GNSS 用户设备主要由 GNSS 接收机硬件、微处理器及其终端设备组成。GNSS 接收机硬件一般包括主机、天线和电源,而微处理器主要用于运行 GNSS 软件已完成各种数据处理工作,GNSS 接收机软件部分为随机软件和专业 GNSS 数据处理软件。图 1-7 为使用 GNSS 接收机进行外业实测的场景。

(四) 外部设施

外部设施是指 GNSS 所采用的一系列区域性或地方性基础设施。目前,GNSS 外部设施主要指协助 GNSS 完成各种公益或增值服务的外部设施,其中用于辅助确定系统完备性信息的外部设施,在 GNSS 全球完备性信息监测方面发挥重要作用。

以 GALILEO 卫星导航系统为例,国际合作是确保 GALILEO 系统效益最大化的重要因素,许多第三方国家正积极参与 GALILEO 项目,以获得 GALILEO 系统优先使用权。欧洲以外国家或区域可选择在其他地域内建立辅助设施,以确定 GALILEO 全球完备性信息,这些区域/地区性地面设施将被 GALILEO 系统所采纳,这将极大地丰富 GALILEO 系统的外部设施,改善系统的整体性能和提升系统的服务质量。

与 GALILEO 系统外部设施相关的另一项服务是 GALILEO 搜寻营救(SAR)服务,其中全球卫星搜救系统(COSPAS-SARSAT)扮演了这项服务的外部设施角色。

三、GNSS 的功能

GNSS 系统最初的目的是为了军事上的需要,随着后来民用市场的快速发展及所带来的经济效益,因此越来越多地应用于民用市场。例如,应用最广泛的美国 GPS 能够用于飞行器的定位、电力网的授时、灾害监测、交通导航、抢险救灾等。具体来说,GNSS 系统主要有以下几个方面的功能。

(一) 定位

GNSS 卫星系统能够进行厘米级甚至毫米级精度的静态相对定位,米级甚至亚米级精度的动态定位。可以为测量人员提供精确的三维定位,为用户快速提供三维坐标。下面从公路选线放样方面来进行介绍。

高等级公路选线多在大比例尺(1:1 000 或 1:2 000)带状地形图上进行。用传统方法测图先要建立控制点,然后进行碎部测量,绘制成大比例尺地形图。这种方法工作



图 1-7 GNSS 接收机实测场景

量大,速度慢,花费时间长,用实时 GNSS 动态测量可以完全克服这个缺点,只需在沿线每个碎部点上停留一两分钟,即可获得每点的坐标、高程。结合输入的点特征编码及属性信息,构成带状所有碎部点的数据,在室内即可用绘图软件成图。由于只需要采集碎部点的坐标和输入其属性信息,而且采集速度快,因此大大降低了测图难度,既省时又省力,非常实用。

设计人员在大比例尺带状地形图上定线后,需将公路中线在地面上标定出来。采用实时 GNSS 测量,只需将中桩点坐标输入 GNSS 电子手簿中,系统软件就会自动定出放样点的点位。由于每个点测量都是独立完成的,不会产生累积误差,各点放样精度趋于一致。

纵断面放样时,先把需要放样的数据输入电子手簿中,生成一个施工测设放样点文件,并储存起来,据此随时可以到现场放样测设。横断面放样时,先确定出横断面形式(填、挖、半填半挖),然后把横断面设计数据输入电子手簿中(如边坡坡度、路肩宽度、路幅宽度、超高、加宽、设计高),生成一个施工测设放样点文件,储存起来,并随时可以据此到现场放样测设。同时,软件可以自动与地面线衔接进行“戴帽”工作,并利用“断面法”进行土方量计算,通过绘图软件,可绘出沿线的纵断面和各点的横断面图。因为所用数据都是测绘地形图时采集而来的,不需要到现场进行纵横断面测量,大大减少了外业工作。必要时,可用动态 GNSS 到现场检测复核,这与传统方法相比,既经济又实用。

(二) 授时

时间信号的准确与否,直接关系到人们的日常生活、工业生产和社会发展。人们对时间精度的要求越来越高,天文测时所依赖的是地球自转,而地球自转的不均匀性使得天文方法所得到的时间(世界时)精度只能达到 10^{-9} ,原子钟精度可达 10^{-12} 。因此原子钟广泛运用于精密测量和日常生活、生产领域。GNSS 接收机授时系统是利用接收机接收卫星上的原子钟时间信号,然后把数据传输给单片机进行处理并显示出时间,由此可制作出 GNSS 精密时钟。精密时间是科学研究、科学实验和工程技术等方面的基本物理参量,它为一切动力学系统、时序过程的测量和定量研究提供了必不可少的实时基元坐标。精密授时在通信、电力、控制等工业领域和国防领域有着广泛和重要的应用。现代武器试验、战争需要它保障,智能化交通运输系统的建立和数字化地球的实现需要它支持,现代通信网和电力网建设也增强了对精密时间和频率的依赖。

(三) 导航

GNSS 系统能实时计算出接收机所在位置的三维坐标,当接收机处于运动状态时,每时每刻都能定位出接收机位置,从而实现导航。导航系统的应用十分广泛,如飞机、轮船、汽车、导弹等领域。

四、GNSS 技术的应用

(一) 在测量领域中的应用

1. 在大地测量及控制测量中的应用

大地测量是为研究地球的形状及表面特性进行的实际测量工作。其主要任务是建立国家或大范围的精密控制测量网,包括三角测量、导线测量、水准测量、天文测量、重力测量、惯性测量、卫星大地测量以及各种大地测量数据处理等。它为大规模地形图测制及各种工程测量提供高精度的平面控制和高程控制;为空间科学技术和军事用途等提供精确的点位坐标、距离、方位及地球重力场资料;为研究地球形状和大小、地壳形变及地震预报等科学问题