

高职高专测绘专业规划教材

# GNSS 定位测量



高小六 主编

东北大学出版社

高职高专测绘专业规划教材

# GNSS 定位测量

主 编 高小六

副主编 孙立双 鲁 纯 邬 江

张慧慧 谭立萍 孙艳崇

王占武

主 审 李 勇

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

GNSS 定位测量 / 高小六主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2013. 8  
高职高专测绘专业规划教材  
ISBN 978-7-5517-0417-5

I. ①G… II. ①高… III. ①卫星导航—全球定位系统—高等职业教育—教材 IV. ①P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 189198 号

---

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www.neupress.com

印 刷 者: 抚顺光辉彩色广告印刷有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 7.75

字 数: 199 千字

出版时间: 2013 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 8 月第 1 次印刷

策划编辑: 刘宗玉

责任编辑: 郎 坤

封面设计: 刘江旸

责任校对: 叶 子

责任出版: 唐敏志

---

ISBN 978-7-5517-0417-5

定 价: 22.00 元



# 序

辽宁省交通高等专科学校工程测量技术专业自 1995 年创办以来，为社会培养了大批工程测量技术专业人才。为了进一步适应交通行业发展的需求，在深入调研的基础上，从 1999 年开始，测绘系进行了面向测绘现场的教育教学改革，将工程测量技术专业特色定位为“精测量、懂施工、会管理”。2005 年，工程测量技术专业被辽宁省教育厅确定为示范专业。

高等职业教育专业教学改革和建设的核心是课程改革和建设。课程改革和建设的重点是教学内容的改革和建设，教材建设是第一位的，要充分体现应用性、先进性和实践性，兼顾现场技能应用与技术更新培养，使教学内容与测绘现场和专业技术发展接轨。正是出于上述考虑，在辽宁省教育厅对接产业群项目资助下，测绘系工程测量技术专业教师和有关工程技术专家编写了这套专业规划教材。

这套规划教材的出版是这一课程改革和建设思想探索与实践的成果，是全体专业教师、工程技术专家、一线技术人员共同劳动的结晶，同时也为今后进行更深入的课程改革和建设打下了很好的基础。

这套规划教材适用于工程测量技术专业，也可供相关专业选用。希望这套规划教材能被更多的院校采用，供大家借鉴，并提出宝贵意见，使其被推广，发挥更大作用。

辽宁省交通高等专科学校测绘系工程测量教研室

2013 年 1 月



## 前 言

本教材突出“以能力为本位”，“必需、够用”的指导思想，编写中力求做到基本概念准确、内容精练、文字简练、通俗易懂，以利于提高高职学生的动手能力，满足测绘行业对生产第一线高技能人才的需要。

本教材适用于高职工程测量技术、地理信息系统、摄影测量、地籍测量与土地管理等测绘类专业教学使用，还可以作为水利水电工程、工程监理、道路与桥梁、工业与民用建筑、市政工程技术、施工技术与管理、水文与水资源等非测绘类专业的教材，并可供相关工程技术人员作为自学教材或参考书使用。

本书由高小六担任主编，孙立双、鲁纯、邬江、张慧慧、谭立萍、孙艳崇、王占武担任副主编。编写人员及分工如下：沈阳建筑大学孙立双编写第1章；辽宁省交通高等专科学校鲁纯、谭立萍合作编写第2章；辽宁省交通高等专科学校孙艳崇、王占武合作编写第3章；辽宁省交通高等专科学校高小六编写第4章、第5章；辽宁省国土资源厅信息中心邬江、辽宁省交通高等专科学校张慧慧合作编写第6章。全书由高小六统稿。

本教材由辽宁省交通高等专科学校李勇教授主审。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2013年5月于沈阳

## 目 录

<b>第 1 章 卫星导航定位技术概况</b>	<b>1</b>
1.1 卫星导航定位技术的发展 .....	1
1.2 全球四大卫星导航系统 .....	3
1.3 美国的 GPS 政策和我国的 GPS 跟踪网 .....	11
<b>第 2 章 GNSS 定位的坐标系统和时间系统</b>	<b>16</b>
2.1 GNSS 测量的坐标系统 .....	16
2.2 GNSS 测量的高程系统 .....	24
2.3 GNSS 测量的时间系统 .....	25
<b>第 3 章 GNSS 测量的基本原理</b>	<b>30</b>
3.1 概 述 .....	30
3.2 伪距测量 .....	31
3.3 载波相位测量 .....	33
3.4 GNSS 绝对定位与相对定位 .....	37
3.5 差分 GNSS 定位原理 .....	42
<b>第 4 章 GNSS 测量的误差来源与影响</b>	<b>47</b>
4.1 误差的分类 .....	47
4.2 与卫星有关的误差 .....	48
4.3 卫星信号的传播误差 .....	50
4.4 与接收设备有关的误差 .....	52
4.5 其他误差来源 .....	54
<b>第 5 章 GNSS 测量的设计与实施</b>	<b>57</b>
5.1 GNSS 测量的技术设计 .....	57
5.2 GNSS 测量的外业准备及技术设计书编写 .....	66
5.3 GNSS 测量的外业实施 .....	69
5.4 数据处理及观测成果的质量检核 .....	73
5.5 技术总结与上交资料 .....	76
<b>第 6 章 GNSS 动态 (RTK) 测量</b>	<b>78</b>
6.1 RTK 动态测量概述 .....	78
6.2 常规 RTK 测量系统 .....	79

6.3 网络 RTK 测量系统 .....	99
6.4 GNSS RTK 地形和地籍测量.....	107
6.5 GNSS RTK 施工测量.....	110

# 第1章 卫星导航定位技术概况

## 【教学目标】

1. 了解大地测量的发展概况、卫星导航定位技术的产生与发展、卫星导航定位技术较之传统测量技术的优点。
2. 掌握美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧盟的 GALILEO 以及我国的“北斗”四种卫星导航定位系统的概况。
3. 了解美国政府的 GPS 政策和我国的 A, B 级 GPS 控制网。

## 1.1 卫星导航定位技术的发展

### 1.1.1 卫星导航定位技术的产生与发展

在卫星定位系统出现之前,远程导航与定位主要使用无线导航系统,如以下三种。

#### (1) 罗兰-C

工作在 100kHz,由三个地面导航台组成,导航工作区域 2000km,一般精度 200 ~ 300m。

#### (2) Omega(欧米茄)

工作在十几千赫兹,由八个地面导航台组成,可覆盖全球,精度从几千米到十几千米。

#### (3) 多普勒系统

利用多普勒频移原理,通过测量其频移得到运动物参数(地速和偏流角),推算出飞行器位置,属自备式航位推算系统。

以上都属无线电导航系统。无线导航系统的普遍缺点:覆盖的工作区域小;电波传播受大气影响;定位精度不高。

1957年10月,苏联成功地发射了世界上第一颗人造地球卫星,这是人类致力于现代科学技术研究的结晶,它使空间科学技术的发展迅速地跨入了一个崭新的时代。

美国科学家在对人造地球卫星的跟踪研究中发现了多普勒移频现象,并借助该原理开始研制卫星导航定位系统。1958年底,美国海军武器实验室着手建立为美国军用舰艇导航服务的卫星系统,即“海军导航卫星系统(Navy Navigation Satellite System, NNSS)”。该系统于1964年建成,随即被美国军方启用。1967年,美国政府批准该系统解密,并提供民用。

我国曾引进了多台 NNSS 多普勒接收机,应用于海岛联测、地球勘探等领域,但由于多普勒系统的卫星轨道高度低(平均约 1000km)、卫星数目少(5 ~ 6 颗)、载波频率低

(400MHz)、从地面站观测到卫星所需时间间隔较长(平均约 1.5 小时),轨道精度难以提高,定位精度较低,因而它无法提供连续实时三维导航,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方面的需求。从大地测量学或地球动力学方面来看,由于它定位速度慢(一个测站平均观测 1~2 天),精度也较低(单点定位精度 3~5m,相对定位精度约为 1m),所以该系统在大地测量学和地球动力学研究方面的应用也受到了很大的限制。

1973 年,为了满足美国军事部门对连续实时导航的迫切要求,美国国防部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)”,通常简称为“全球定位系统(GPS)”。

### 1.1.2 卫星导航定位技术相对于常规测量技术的特点

新一代卫星导航定位技术的高度自动化和所达到的定位精度及其潜力,使广大测量工作者产生了极大兴趣。尤其从 1982 年第一代测量型无码 GPS 接收机 Macrometer V-1000 投入市场以来,在应用基础研究、应用领域开拓、硬件和软件的开发各个方面,都得到了蓬勃的发展。我国的测绘科技工作者在这些研究和应用方面均取得了骄人的成绩。广泛的实验活动为全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)精密定位技术在测量中的应用展现了广阔的前景。

相对于常规的测量手段来说,这一新技术的主要特点如下:

#### (1) 功能多、用途广

GNSS 系统不仅可以用于测量、导航、精确定位、动态观测、设备安装,还可以用于测速、测时等,其应用领域还在不断地扩大。

#### (2) 测站间无须通视

既要保持良好的通视条件,又要保障测量控制网具有良好的图形结构,这一直是经典测量技术在实践方面必须面对的难题之一。GNSS 测量不要求测站之间相互通视,因而不需要建造觇标。这一优点既可大大减少测量工作的时间和经费(一般造标费用约占总经费的 30%~50%),同时又使点位的选择更为灵活。

还应指出,GNSS 测量虽不要求测站之间相互通视,但必须保持测站上空有足够开阔的净空,以使卫星信号的接收不受干扰。

#### (3) 定位精度高

已有的大量实践表明,目前在小于 50km 的基线上,其相对定位精度可达 $(1\sim 2)\times 10^{-6}$ ,而在 100~500km 的基线上可达 $10^{-7}\sim 10^{-6}$ 。随着观测技术与数据处理技术的改善,有望在大于 1000km 的距离上,相对定位精度达到或优于 $10^{-8}$ 。

#### (4) 观测时间短

目前,利用经典的相对静态定位方法,根据精度的不同,完成一条基线的相对定位所需要的观测时间为 1~3h。为了进一步缩短观测时间,提高作业速度,近年来发展的短基线(不超过 20km)快速相对定位法观测时间仅需几分钟。

#### (5) 提供三维坐标

GNSS 测量中,在精确测定测站平面位置的同时,还可以精确测定测站的大地高程。

GNSS 测量的这一特点，不仅为研究大地水准面的形状和测定地面点的高程开辟了新的途径，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。

#### (6) 操作简便

GNSS 的自动化程度很高，观测中测量员的主要任务只是安置并开关仪器、量取仪器高、监视仪器的工作状态、采集观测环境的气象数据，而其他观测工作，如卫星的捕获、跟踪观测、数据记录等均由仪器自动完成。

#### (7) 全天候作业

GNSS 的测量工作，可以在任何时间、任何地点连续地进行，一般不受天气状况的影响。因此，GNSS 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科与其他学科之间的相互渗透，从而促进了测绘科学技术的现代化发展。

## 1.2 全球四大卫星导航系统

### 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。

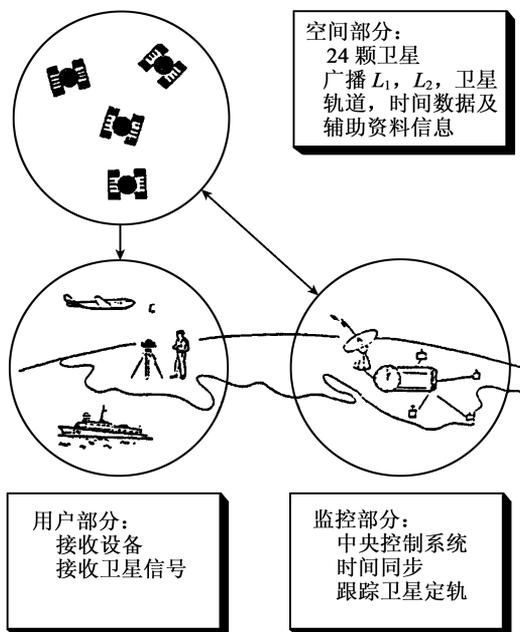


图 1-1 全球定位系统(GPS)构成示意图

#### (1) 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  $55^\circ$ ，各个轨道平面之间相距

60°，即轨道的升交点赤经各相差 60°。每个轨道面内各颗卫星之间的升交角距相差 90°，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°。卫星轨道的平均高度约 20200km，当地球对恒星来说自转一周时，它们绕地球运行两周，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。

在用 GPS 信号导航定位时，为了解测站的三维坐标，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 II A) 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 年初开始，到 1994 年初已发射完毕。第三代 (Block III，Block II R) 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。

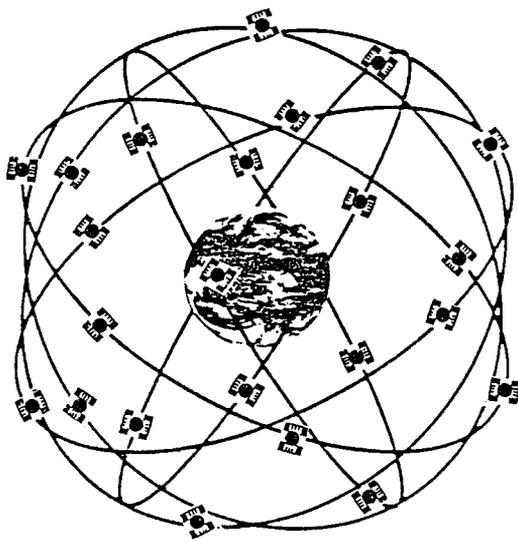


图 1-2 GPS 卫星星座



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 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。 $10^{-9}$ 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:

① 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。

② 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。

③ 通过星载的高精度的原子钟提供精密的时间标准。

④ 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。

## (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。地面监控系统的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。

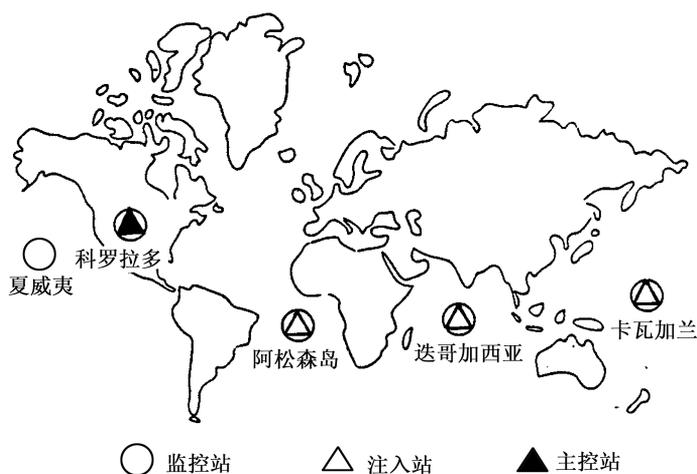


图 1-4 GPS 地面监控站的分布

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、环境数据传感器。接收机对 GPS 卫星进行不间断的观测，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，并存储和传送到主控站，用以确定卫星的轨道。

② 主控站。主控站只有一个，设在美国本土的科罗拉多(Colorado Springs)。主控站是全球定位系统的行政指挥中心，其主要任务如下：

- 协调管理地面监控系统的全部工作。
- 根据本站和其他监测站的所有观测资料，推算编制各卫星的星历、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。
- 提供全球定位系统的时间基准。各监测站和 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，并把这些信息编入导航电文，送到注入站。
- 调整偏离轨道的卫星，使之沿预定的轨道运行。
- 启用备用卫星以替代失效的工作卫星。

③ 注入站。注入站现有 3 个，分别设在印度洋的迭哥加西亚(Diego Garcia)、南大西洋的阿松森岛(Ascencion)和南太平洋的卡瓦加兰(Kwajalein)。

注入站的主要设备包括一台直径为 3.6 米的天线、一台 C 波段发射机和一台计算机。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系统，并监测注入信息的正确性。

整个 GPS 的地面监控部分，除主控站外均无人值守。各站间用现代化的通讯网络联系，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的自动化和标准化。

### (3) GPS 信号接收机

用户设备部分由 GPS 信号接收机、GPS 数据的后处理软件及相应的用户设备所组成。其作用是接收、跟踪、变换和测量 GPS 卫星所发射的 GPS 信号，以达到导航和定位的目的。GPS 接收机硬件，一般包括主机、天线、控制器和电源，主要功能是接收 GPS 卫星发射的信号，能够捕获到按一定卫星高度截止角所选择的待测卫星的信号，并跟踪这些卫星的运行，获得必要的导航和定位信息及观测量。用户设备一般为计算机及其终端设备、气象仪器等，主要功能是对所接收到的 GPS 信号进行变换、放大和处理，以便测量出 GPS 信号从卫星到接收机天线的传播时间，解译出 GPS 卫星所发送的导航电文，实时地计算出测站的三维位置，甚至三维速度和时间，并经简单数据处理而实现实时导航和定位。数据处理软件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。

以上这三部分共同组成了一个完整的 GPS 系统。

## 1.2.2 俄罗斯的全球导航卫星系统(GLONASS)

俄罗斯的全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GLONASS)是苏联从 20 世纪 80 年代初开始建设的与美国 GPS 系统相类似的卫星定位系统，现在由俄罗斯空间局管理。GLONASS 全球导航卫星系统的起步晚于 GPS 9 年。苏联在全面总结 CICADA 第一代卫星导航系统的优缺点的基础上，汲取美国 GPS 系统的成功经验，从 1982 年 10 月 12 日发射第一颗 GLONASS 卫星开始，到 1996 年全部建成。14 年间历经周折，期间遭遇了苏联的解体，但始终没有终止或中断 GLONASS 卫星的发射。1995 年初只有 16 颗 GLO-

NASS 卫星在轨工作，当年又进行了三次成功发射，将 9 颗卫星送入轨道，完成了 24 颗工作卫星加 1 颗备用卫星的布局。经过数据加载、调整试验，整个系统已于 1996 年 1 月 18 日正常运行。该系统采用了 PZ-90 坐标系。

GLONASS 全球导航卫星系统的组成及工作原理与 GPS 类似，也是由空间卫星星座、地面监控以及用户设备三部分组成。

### (1) GLONASS 卫星星座

GLONASS 卫星导航系统拥有工作卫星 21 颗，同时还有 3 颗备份卫星。卫星星座的轨道为 3 个等间隔椭圆轨道面(见图 1-5)，24 颗卫星均布于该 3 个轨道。3 个轨道平面相互的夹角按升交点经度计算为  $120^\circ$ ，编号按地球自西向东的旋转方向递增，分别为 No. 1, No. 2, No. 3。1~8 号卫星在 No. 1 轨道，其余类推。各轨道的卫星编号均按卫星运动的反方向递增。轨道倾角  $64.8^\circ \pm 0.3^\circ$ ，轨道偏心率  $\pm 0.01$ 。卫星距地面高度为 19100km，运行周期为 11 小时 15 分 45 秒。由于 GLONASS 卫星轨道

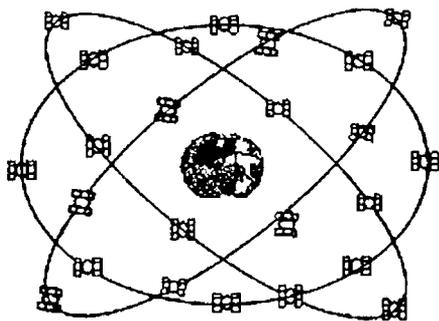


图 1-5 GLONASS 卫星星座

倾角大于 GPS 卫星的轨道倾角，故在高纬度 ( $50^\circ$  以上) 地区的可视性较好。地面用户每天提前 4.07min 见到同一颗卫星，在中国境内可见到 24 颗中高度角  $5^\circ$  以上的 11 颗卫星，比能够见到的 GPS 卫星要多 3~4 颗。每颗 GLONASS 卫星上都装有铯原子钟，以产生高稳定的时间标准，并向所有星载设备提供同步信号。星载计算机将从地面控制站接收到的信息进行处理，生成导航电文向地面用户播发。

### (2) 地面控制系统

地面控制系统包括一个系统控制中心(设在莫斯科的 Golisyno-2)，一个指令跟踪站(CTS)，网络分布在俄罗斯境内。CTS 跟踪着 GLONASS 可视卫星，遥测所有卫星，进行测距数据的采集和处理，并向各卫星发送控制指令和导航信息。在地面控制站(GCS)内有激光测距设备对测距数据做周期修正，为此所有 GLONASS 卫星上都装有激光反射镜。

### (3) 用户设备

GLONASS 接收机接收 GLONASS 卫星信号并测量其伪距和速度，同时从卫星信号中选出并处理导航电文，计算出接收机位置坐标的 3 个分量、速度的 3 个分量和时间。

GLONASS 全球导航卫星系统进展较快，但生产接收机的厂家较少，且多为专用型。GPS 和 GLONASS 双系统信号接收机有很多优点：同时可接收的卫星数目约增加一倍，可以明显改善被测卫星的几何分布，在一些遮挡物较多的城市或森林地区可提高定位精度。还可以有效地消除美、俄两国对各自系统的可能控制，提高定位的安全性和可靠性。

## 1.2.3 欧盟伽利略全球导航定位系统(GALILEO)

伽利略定位系统(Galileo Positioning System)是欧盟一个正在建造中的卫星定位系统，有“欧洲版 GPS”之称，也是继美国的“全球定位系统(GPS)”及俄罗斯的“GLONASS 系统”后，第三个可供民用的定位系统。伽利略系统的基本服务有导航、定位、授时；特殊服务有搜索与救援；扩展应用服务系统有在飞机导航和着陆系统中的应用、铁路安全运

行调度、海上运输系统、陆地车队运输调度、精准农业。2010年1月7日，欧盟委员会称，欧盟的伽利略定位系统将从2014年起投入运营。

### (1) 伽利略计划

目前，世界上已有两大全球导航定位卫星系统在运行，一是美国的GPS，二是俄罗斯的GLONASS。这两个系统分别受到美、俄两国军方的严密控制，其信号的可靠性无法得到保证。长期以来，别国只能在美、俄的授权下从事接收机制造、导航服务等从属性工作。科索沃战争时，欧洲完全依赖美国的全球定位系统。当这个系统出于军事目的停止运作时，别国一些企业的许多事务被迫中断。为了能在卫星导航领域占有一席之地，欧盟认识到建立拥有自主知识产权的卫星导航系统的重要性和战略意义。同时，在欧洲一体化进程中，卫星导航系统还会全面加强诸成员国间的联系与合作。在这种背景下，欧盟决定启动伽利略(Galileo)计划：建设一个军民两用、与现有系统相兼容、高精度、全开放的全球导航卫星系统。

伽利略计划分四个阶段：论证阶段(1994—2001年)、系统研制和在轨确认阶段(2001—2005年)、星座布设阶段(2006—2007年)、运营阶段(2008年—)。目前，该计划没有按时实施，已延期。

从1994年开始，欧盟进行了对伽利略计划的方案论证。2000年，在世界无线电大会上获得了建立伽利略定位系统(Galileo Positioning System)的L频段的频率资源。2002年3月24日，欧盟15国交通部长会议冲破美国政府的再三干预，一致批准了实施伽利略计划，准备投资36亿欧元正式启动伽利略计划。第一颗试验卫星已于2005年12月28日成功发射。中国政府已决定投入2亿欧元全面参与伽利略定位系统的建设，开展了约14个有关项目的研发、测试合作，2004年1月10日已在长江上进行了EGNOS欧洲静地卫星导航重叠系统的动态应用测试。

### (2) GALILEO 系统

GALILEO系统由30颗卫星(27颗工作卫星和3颗备用卫星)组成。30颗卫星分布在3个中高度圆轨道面上，轨道高度23616km，轨道倾角 $56^\circ$ ，星座对地面覆盖良好。每颗卫星除了搭载导航设备外，还增加了一台救援收发器，可以接收来自遇险用户的求救信号，并将该信号转发给地面救援协调中心，后者组织和调度对遇险用户的救援行动。同时，卫星还向待援用户通报救援安排，以便遇险用户等待并配合救援。

地面控制设施包括卫星控制(用于卫星轨道改正的遥感和遥测)中心和提供各项服务所必需的地面设施。

种类齐全的GALILEO系统接收机不仅可以接收本系统信号，还可以接收GPS和GLONASS两大系统的信号，并且实现导航功能、移动通信功能相结合，与其他飞行导航系统结合。即任何人只要装备了GALILEO系统接收机，就能接收到GPS、GLONASS、GALILEO系统全球导航卫星系统的信号，享受到三个系统的服务。其服务方式有公开服务、商业服务和官方服务三个方面。公开服务将与商业和生命安全服务共享两个开放的导航信号。公开服务主要用于道路交通中的个人导航、道路信息和提供路线建议的系统、移动通信的应用领域。商业服务将主要涉及专业用户，如测绘、海关、船舶和车辆管理以及关税征收等领域。商业服务将提供在独立频率上的第三种导航信号的接收服务，并使用户能利用三载波相位模糊分辨力技术(TCAR)来改善精度。政府服务的对象是那些对于精度、信号质量

和信号传输的可靠性要求极高的用户，即生命安全服务、搜救服务和政府管理服务领域的用户。

### 1.2.4 我国的卫星导航定位系统——北斗号(COMPASS)

北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System, 英文简称“COMPASS”, 中文音译名称“BD”或“Beidou”)是中国自主建设、独立运行, 并与世界其他卫星导航系统兼容共用的全球卫星导航系统, 包括北斗一号和北斗二号两代导航系统。其中北斗一号用于中国及其周边地区的区域导航系统, 北斗二号是类似于美国GPS的全球卫星导航系统, 可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠性的定位、导航、授时服务, 并兼具短报文通信能力。该系统主要服务国民经济建设, 旨在为中国的交通运输、气象、石油、海洋、森林防火、灾害预报、通信、公安以及国家安全等诸多领域提供高效的导航定位服务。北斗卫星导航系统与美国的GPS、俄罗斯的GLONASS、欧洲的GALILEO并称为全球四大卫星定位系统。2011年12月27日, 北斗卫星导航系统开始试运行服务。2020年左右, 北斗卫星导航系统将形成全球覆盖能力。

#### 1.2.4.1 北斗一号卫星导航定位系统

卫星导航定位系统涉及政治、经济、军事等众多领域, 对维护国家利益有重大的战略意义。2000年以来, 我国已经发射了4颗北斗导航试验卫星, 组成了具有完全自主知识产权的第一代北斗导航定位卫星试验系统——北斗一号。该系统是全天候、全天时提供卫星导航信息的区域导航系统。该系统建成后, 主要为公路交通、铁路运输、海上作业等领域提供导航定位服务, 将对我国国民经济和国防建设起到有力的推动作用。第一代北斗一号卫星导航定位系统由3颗地球静止轨道卫星组成, 其中两颗工作, 一颗在轨备用。登记的卫星位置为赤道面东经 $80^{\circ}$ ,  $140^{\circ}$ ,  $110.5^{\circ}$ (备用)。登记的频段是: 上行为L频段( $1610 \sim 1626.5\text{MHz}$ ), 下行为S频段( $2483.5 \sim 2500\text{MHz}$ )。

北斗一号导航定位系统的定位基本原理是空间球面交汇测量原理。就是以两颗卫星的已知坐标为圆心, 各以测定的本星至用户机的距离为半径, 形成两个球面, 用户机必然位于这两个球面的交线的圆弧上。中心站电子高程地图库提供的是一个以地心为球心, 以球心至地球表面高度为半径的非均匀球面。求解圆弧线与地球表面的交点, 并已知目标在北半球, 即可获得用户的二维位置。定位过程采用了主动式定位方法, 地面中心站通过两颗卫星向用户广播询问信号, 根据用户的应答信号, 测量并计算出用户到两颗卫星的距离; 然后根据地面中心的数字地图, 由中心站计算出用户到地心的距离, 根据卫星1、卫星2和地面中心站的已知坐标, 以及已知用户目标在赤道平面的北侧, 中心站便可计算出用户的三维位置, 用户的高程则由数字地面高程求出。用户的三维位置由卫星加密后播发给用户。北斗导航定位系统有以下三大功能。

##### (1) 快速定位

北斗导航系统可为服务区域内用户提供全天候、高精度、快速定位服务。根据不同的精度要求, 利用授时终端完成与北斗导航系统之间的时间和频率同步, 可提供数十纳秒级的时间同步精度。

##### (2) 简短通信

北斗导航系统用户终端具有双向短报文通信能力, 可以一次传送超过100个汉字的信

息。

### (3) 精密授时

北斗导航系统具有单向和双向两种授时功能。

## 1.2.4.2 北斗二号卫星导航定位系统

为了满足我国国民经济和国防建设的发展要求,我国在2007年初发射了两颗北斗静止轨道导航卫星,2008年前后满足了中国及周边地区用户的卫星导航需求,并进行组网试验。初步建设成由5颗静止轨道卫星、30颗非静止轨道卫星组成的卫星导航定位系统,并逐步扩展为全球导航定位卫星系统(北斗二号)。北斗二号卫星导航系统由空间段、地面段、用户段三部分组成。

### (1) 空间段

空间段包括5颗静止轨道卫星和30颗非静止轨道卫星。地球静止轨道卫星分别位于东经 $58.75^\circ$ 、 $80^\circ$ 、 $110.5^\circ$ 、 $140^\circ$ 和 $160^\circ$ 。非静止轨道卫星由27颗中圆轨道卫星和3颗同步轨道卫星组成。

### (2) 地面段

地面段包括主控站、卫星导航注入站和监测站等若干个地面站。主控站的主要任务是收集各个监测站段观测数据,进行数据处理,生成卫星导航电文和差分完好性信息,完成任务规划与调度,实现系统运行管理与控制等。注入站的主要任务是在主控站的统一调度下,完成卫星导航电文、差分完好性信息注入和有效载荷段控制管理。监测站接收导航卫星信号发送给主控站,实现对卫星段的跟踪、监测,为卫星轨道确定和时间同步提供观测资料。

### (3) 用户段

用户段包括北斗系统用户终端以及与其他卫星导航系统兼容的终端。系统采用卫星无线电测定(RDSS)与卫星无线电导航(RNSS)集成体制,既能像GPS, GLONASS, GALILEO系统一样,为用户提供卫星无线电导航服务,又具有位置报告以及短报文通信功能。按照用户的应用环境和功能,北斗用户终端机可分为以下几种类型。

① 基本型:适用于一般车辆、船舶及便携等用户的导航定位应用,可接收和发送定位及通信信息,与中心站及其他用户终端机双向通信。

② 通信型:适用于野外作业、水文预报、环境监测等各类数据采集和数据传输用户,可接收和发送短信息、报文,与中心站及其他用户终端机双向或单向通信。

③ 授时型:适用于授时、校时、时间同步等用户,可提供数十纳秒级的时间同步精度。

④ 指挥型:适用于小型指挥中心的调度指挥、监控管理等用户,具有鉴别、指挥其下属其他北斗用户终端机的功能。可与下属用户机及中心站进行通信,接收下属用户报文,并向下属用户发送指令。

⑤ 多模型:既能利用北斗系统导航定位或通信信息,又可以利用GPS系统或GPS增强系统的卫星信号导航定位。适用于对位置信息要求比较高的用户。