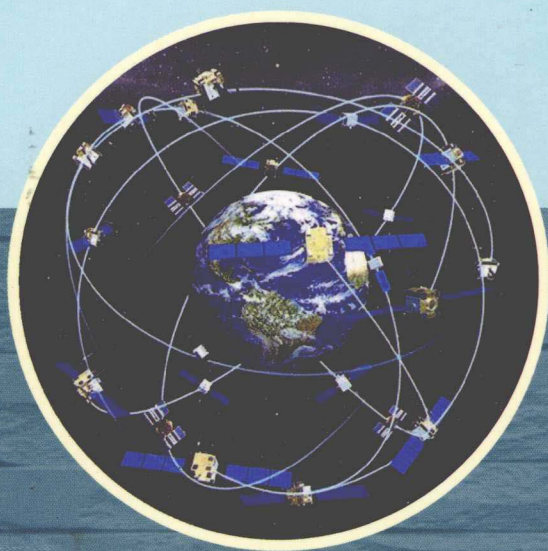


GNSS 定位技术 在水利水电工程中的应用

THE APPLICATION OF GNSS POSITIONING TECHNOLOGY
IN HYDRAULIC AND HYDROELECTRIC ENGINEERING

长江岩土工程总公司（武汉） 编
田雪冬 郭际明 郭麒麟 刘祖强 周命端 编著

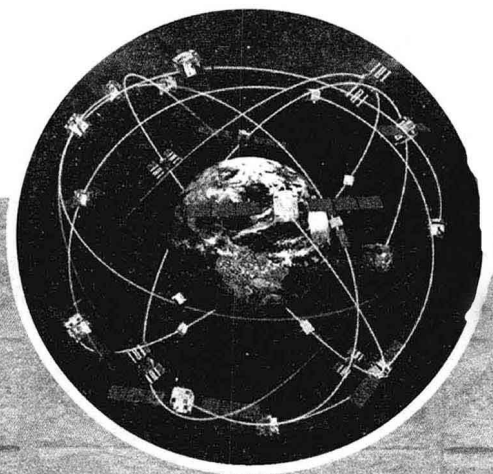


长江出版社

GNSS 定位技术 在水利水电工程中的应用

THE APPLICATION OF GNSS POSITIONING TECHNOLOGY
IN HYDRAULIC AND HYDROELECTRIC ENGINEERING

长江岩土工程总公司（武汉） 编
田雪冬 郭际明 郭麒麟 刘祖强 周命端 编著



长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

GNSS 定位技术在水利水电工程中的应用/田雪冬等编著.

—武汉:长江出版社,2009.10

ISBN 978-7-80708-722-9

I.G… II.田… III.①测距定位系统—应用—水利工程②测距定位系统—应用—水力发电工程 IV.TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 169144 号

GNSS 定位技术在水利水电工程中的应用

田雪冬等 编著

责任编辑:贾茜

装帧设计:刘斯佳

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:通山金地印务有限公司

规 格:787mm×1092mm

1/16

14.5 印张

350 千字

版 次:2009 年 11 月第 1 版

2009 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-80708-722-9/TV • 120

定 价:38.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

前 言

为满足国民经济飞速发展的需要,我国超大型和大型水利水电工程建设正如火如荼的进行。比如以三峡工程为代表的超大型水电工程即将竣工、以南水北调工程为代表的超大型水利工程正在建设之中。这些工程建设质量直接影响着工程的运行效能和人民生命财产的安全。从测绘工程角度看,大型水利水电工程均具有山区大高差、路线狭长等显著特点,因此,从工程的勘测设计、工程施工到运行管理阶段,都需要测绘工作提供强有力地保障。

全球导航卫星系统(GNSS)是利用所有的在轨导航卫星而建立的覆盖全球范围的全天候实时无线电导航综合系统。它的特点是用户将面临四大定位系统(包括美国的全球定位系统(GPS)、俄罗斯的全球导航卫星系统(GLONASS)以及正在建设的中国北斗二代全球卫星导航系统(BD 或 COMPASS)和欧盟 GALILEO 卫星导航定位系统)近百余颗导航卫星并存的局面,具备前所未有的先进性和优势,提高可见卫星数量,不仅将在解算速度和成果精度方面会有明显提高,而且在系统的可用性、连续性和可靠性方面有显著改善,最终可极大地提高生产效率。

由于现代水利水电工程施工技术的发展,对测绘工作也提出了更高的要求。比如,TBM 隧洞掘进技术的广泛应用,隧洞掘进距离可以更长、更快,用常规的测量方法建立长距离(8km 以上)隧洞施工控制网来保证隧洞贯通很难实现,主要是传统的测量方法受到通视条件、图形条件和地形条件等诸多因素的影响。而伴随全球导航卫星系统(GNSS)定位技术的发展,利用 GNSS 定位技术建立施工控制网已完全可以保障长距离线路工程的顺利施工。

2007—2008 年,长江岩土工程总公司(武汉)与武汉大学测绘学院合作,完成了长江勘测规划设计研究院的科技创新项目“高精度 GPS 技术在超长隧洞及大型水利工程中的应用研究”的研究工作,并通过了长江勘测规划设计研究院组织的专家验收,经技术查新,多项研究成果均为创新,具有较强的推广应用价值。鉴于此,为了推动全球导航卫星系统(GNSS)定位技术在水利水电工程中的应用,编著者以研究报告为基础,进行了系统全面的总结而形成此书。并于 2009 年 6 月完稿,全书共分 14 章。

第一章,绪论,简介了全球导航定位系统(GNSS)的发展、GPS 系统的构成、GNSS 定位技术在水利水电工程中的应用前景。

第二章~第七章,分别论述了高精度 GPS 定位技术与数据处理方法、基于 GPS 定位技术建立水利水电工程测量坐标系的方法、GPS 定位中观测值系统误差的研究与分析、GPS 基线向量与地面观测值的联合平差及其软件研制、GPS 水利水电工程带状控制网的优化设计理论及方向中误差控制等。

第八章~第十三章,重点结合水利水电工程实践,详细论述了隧洞洞外 GPS 控制测量对隧洞贯通的误差影响分析、水利水电工程坝址区 GPS 大地高转换为正常高的拟合模型、利用 GPS 定位技术进行长距离跨河高程传递、高精度 GPS 单点定位技术及其在水利工程中的应用试验、GPS 定位技术用于工程变形监测的技术与方法、基于 GPS 定位技术的水利水电工程大型施工机械安全监测与应急指挥等。

第十四章,对当前 GPS 数据处理软件进行比较分析,研究了不同用途的 GPS 数据处理软件的选择以及独立坐标转换计算方法。

本书的推出充分体现了集体智慧的结晶。在编撰过程中,得到了长江勘测规划设计研究院副总工程师张京生、老专家朱丽如和姚楚光等教授级高级工程师的无私指导,编著者向他们表示由衷的感谢。同时,感谢参与本项目研究的武汉大学测绘学院罗年学教授和巢佰崇教授、章迪硕士、孟祥广博士生、严悦硕士生和范千博士;长江岩土工程总公司(武汉)董向勇和胡万兵高级工程师、贾进科工程师;长江空间信息技术工程有限公司(武汉)姜本海高级工程师等学者和专家;以及曾为本项目研究提供过帮助的同志们。

GNSS 定位技术及应用日新月异,由于作者水平所限,书中难免存在错误与疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2009 年 6 月 29 日于武汉

目 录

第一章 绪论	1
1.1 全球导航定位系统(GNSS)的发展	1
1.1.1 GPS 系统	1
1.1.2 GLONASS 系统	2
1.1.3 Galileo 系统	2
1.1.4 中国北斗全球卫星导航系统	2
1.2 GPS 系统的构成	3
1.2.1 空间卫星星座部分	3
1.2.2 地面监控系统部分	4
1.2.3 用户接收机部分	5
1.3 GNSS 定位技术在水利水电工程中的应用前景	5
1.3.1 应用情况及关键技术	5
1.3.2 应用前景分析	6
第二章 高精度 GPS 定位技术与数据处理方法	7
2.1 概述	7
2.2 GPS 接收机观测量	7
2.2.1 伪距观测量	7
2.2.2 载波相位观测量	8
2.2.3 多普勒频移	9
2.3 高精度 GPS 定位中的误差源及改正方法	10
2.4 GPS 卫星定位的数学模型	10
2.4.1 伪距定位	10
2.4.2 精度降低因子(DOP-Delusion of Precision)	12
2.4.3 载波相位平滑伪距	14
2.4.4 载波相位相对定位	14
2.5 GPS 定位模式与定位精度	16
2.6 高精度 GPS 数据处理分析软件介绍(GAMIT/GLOBK)	17
2.6.1 基线分析软件 GAMIT 的模块与功能	18

2.6.2	GAMIT 软件的安装	18
2.6.3	GAMIT 软件的使用	19
第三章 基于 GPS 定位技术建立水利水电工程测量坐标系的方法		25
3.1	常用坐标系和基准概述	25
3.1.1	建立坐标系的一般原理	26
3.1.2	大地测量坐标系统	26
3.1.3	平面直角坐标系统	28
3.1.4	高程系统	28
3.1.5	本章部分符号的意义和相关约定	28
3.2	常用坐标转换	29
3.2.1	大地测量坐标系变换	29
3.2.2	地图投影($BL \rightarrow xy$)	30
3.2.3	地图投影反算($xy \rightarrow BL$)	38
3.2.4	基准变换	40
3.2.5	投影面的转换	41
3.3	水利水电工程坐标系	42
3.3.1	水利水电工程的分类及特点	42
3.3.2	水利水电工程坐标系的作用	43
3.3.3	水利水电工程坐标系的建立	43
3.4	GPS 水利水电工程坐标系的建立方法	49
3.5	基于 GPS 定位技术建立水利水电工程坐标系的工程应用	50
3.5.1	四川康定巴郎沟水电站 GPS 施工控制网实例分析	50
3.5.2	江汉兴隆水利枢纽 GPS 施工控制网实例分析	51
3.5.3	南水北调工程中线干线工程实例分析	53
3.6	小结	54
第四章 水利水电工程 GPS 定位中观测值系统误差的研究与分析		55
4.1	水利水电工程 GPS 定位中气象改正方法的研究与分析	55
4.1.1	对流层延迟改正原理	55
4.1.2	气象参数的确定	56
4.1.3	青海引大济湟工程输水隧洞 GPS 施工控制网实例分析	56
4.2	高精度 GPS 定位中天线相位中心变化的研究与分析	59
4.2.1	天线相位中心变化及对高精度 GPS 数据处理的影响特性分析	59
4.2.2	天线相位中心变化改正原理	60

4.2.3	天线相位中心变化的改正方法	61
4.2.4	天线相位中心变化双差残余项的影响特性分析	64
4.3	小结	68
4.3.1	气象改正对 GPS 数据处理的影响特性分析	68
4.3.2	天线相位中心变化双差残余项的影响特性分析	68
第五章	GNSS 现代化及基于多星系统的基线向量处理方法	69
5.1	GNSS 现代化计划	69
5.1.1	GPS 现代化的提出	69
5.1.2	GPS 现代化中的军事部分	69
5.1.3	GPS 现代化中的民用部分	70
5.2	GLONASS 现代化计划	70
5.3	基于 GPS + GLONASS 的多星系统基线向量处理方法	70
5.3.1	GPS 基线解算的数学模型	70
5.3.2	GPS + GLONASS 联合处理基线的数学模型	74
5.3.3	质量控制与检核	75
5.3.4	高精度 GNSS 基线向量处理方法分析	75
5.3.5	联合使用多星系统的高精度基线解算工程实例分析	76
5.4	小结	80
第六章	GPS 基线向量与地面观测值的联合平差及关键技术问题	81
6.1	引言	81
6.2	联合 GPS 基线向量与地面边长观测值的三维平差模型及其软件实现	81
6.2.1	在三维坐标系中的联合平差模型	81
6.2.2	GPS 三维联合平差计算程序	85
6.2.3	数据格式的要求	88
6.3	联合 GPS 基线向量与地面观测值的二维平差模型	88
6.3.1	一般说明	88
6.3.2	二维平面坐标系中平差模型——模式一	89
6.3.3	二维平面坐标系中平差模型——模式二	93
6.3.4	二维平面坐标系中平差模型——模式三	94
6.3.5	二维平面坐标系中平差模型——模式四	94
6.4	汉江兴隆水利枢纽控制网联合平差实例分析	95
6.4.1	观测简介	95
6.4.2	GPS 基线处理	95

6.4.3	GPS 三维联合平差	96
6.4.4	GPS 二维联合平差结果及分析	98
6.5	小结	103
第七章	GPS 水利水电工程带状网的优化设计理论及方向中误差控制	105
7.1	水利水电工程带状 GPS 控制网及特点	105
7.1.1	概述	105
7.1.2	GPS 控制网设计	105
7.1.3	GPS 网基准	106
7.1.4	外业观测	106
7.2	GPS 水利水电工程带状控制网优化设计的理论基础	107
7.2.1	概述	107
7.2.2	GPS 控制网优化设计的质量准则	108
7.2.3	GPS 控制网的分级优化设计	113
7.3	GPS 控制网的方向中误差	116
7.3.1	GPS 控制网方向中误差的概念	116
7.3.2	GPS 控制网基线向量的方差阵估算方法	117
7.3.3	GPS 控制网方向中误差估算	121
7.4	青海引大济湟输水隧洞 GPS 施工控制网实例分析	123
7.4.1	施工控制网网型	123
7.4.2	施工控制网优化设计	123
7.4.3	GPS 施工控制网方向中误差实例分析	125
7.5	南水北调中线引江济汉工程 C 级控制网设计	127
7.5.1	测量方案设计的工作依据	127
7.5.2	测量方案设计的工作流程	128
7.6	小结	129
第八章	隧洞洞外 GPS 控制测量对隧洞贯通的误差影响分析	130
8.1	隧洞洞外控制测量的方法及特点	130
8.1.1	隧洞性质及用途	130
8.1.2	洞外控制测量布设的方法及特点	131
8.2	洞外 GPS 控制测量对隧洞贯通的误差影响分析	133
8.2.1	贯通误差的含义	133
8.2.2	贯通误差的允许值	133
8.2.3	洞外 GPS 控制测量对隧洞贯通的误差影响	134

8.3	工程应用	136
8.3.1	工程简介	136
8.3.2	设计贯通误差	136
8.3.3	控制网实施	137
8.4	小结	140
第九章 水利水电工程坝址区 GPS 大地高转换为正常高的拟合模型		141
9.1	概述	141
9.2	GPS 高程拟合方法	141
9.2.1	利用重力测量方法求高程异常	141
9.2.2	数学模型拟合法	141
9.2.3	平差转换法	142
9.2.4	联合平差法	142
9.2.5	神经网络方法	142
9.3	二次多项式曲面拟合法	142
9.4	转换 GPS 高程的神经网络方法	143
9.4.1	神经网络原理	143
9.4.2	Levenberg - Marquardt 算法	144
9.4.3	神经网络的结构和算法优化	145
9.5	工程实例分析	146
9.5.1	模型的建立与精度分析	146
9.5.2	神经网络模型的网络输入探讨	148
9.6	小结	148
第十章 利用 GPS 定位技术进行长距离跨河高程传递		149
10.1	概述	149
10.2	GPS 大地高与正常高的关系及其转换	149
10.2.1	大地高与正常高的关系	149
10.2.2	高程转换原理及方法	150
10.3	GPS 跨河高程传递场地布置与观测	151
10.3.1	高程传递场地布置	151
10.3.2	观测	152
10.4	GPS 跨河正常高差未知参数计算方法研究	153
10.4.1	GPS 基线解算要求	153
10.4.2	常规计算方法	153

10.4.3 基于面拟合的正常高差未知参数估计	154
10.5 工程应用	155
10.5.1 南京长江四桥工程控制网测量	155
10.5.2 汉江兴隆施工控制网测量	156
10.6 小结	157

第十一章 高精度 GPS 单点定位技术及其在水利水电工程中的

应用试验	158
11.1 GPS 精密单点定位技术的发展背景	158
11.1.1 GPS 精密单点定位技术的提出	158
11.1.2 GPS 精密单点定位技术的研究现状	158
11.2 GPS 精密单点定位技术的特点及研究难点	161
11.2.1 GPS 精密单点定位与相对定位的比较	161
11.2.2 GPS 精密单点定位与标准单点定位的比较	161
11.2.3 GPS 精密单点定位的关键技术与难点问题	162
11.3 GPS 精密单点定位技术直接确定 ITRF 框架坐标	162
11.3.1 GPS 精密单点定位的基本	162
11.3.2 GPS 精密单点定位的 3 种数学模型	163
11.4 GPS 精密单点定位技术的误差源及改正方法	165
11.4.1 与测站有关的误差源	165
11.4.2 与卫星有关的误差源	168
11.4.3 与信号传播路径有关的误差	171
11.4.4 影响精密单点定位精度的其他因素	172
11.5 GPS 精密单点定位技术在水利水电工程中的应用试验	172
11.5.1 试验方案设计	172
11.5.2 GPS 精密单点定位与事后相对定位的比较分析	173
11.5.3 GPS 精密单点定位与实时相对定位(RTK)的比较分析	174
11.6 联合多星系统的 GNSS 精密单点定位技术	175
11.6.1 引言	175
11.6.2 GLONASS 精密轨道与精密卫星钟差产品的获取	176
11.6.3 GPS 与 GLONASS 联合精密单点定位函数模型	176
11.6.4 算例分析	177
11.7 结论及展望	177

第十二章 GPS 定位技术用于工程变形监测

12.1 概述	178
---------------	-----

12.1.1	GPS 定位技术用于变形监测的特点	178
12.1.2	GPS 变形监测的应用现状	178
12.1.3	GPS 变形监测的主要技术和方法	181
12.1.4	本节小结	185
12.2	GPS 监测网的优化设计	185
12.2.1	GPS 监测网设计的指导思想	185
12.2.2	监测网的优化设计内容	186
12.2.3	工作基准网的设计	186
12.2.4	监测网的设计	187
12.3	GPS 监测网的实施	187
12.3.1	观测站组成	187
12.3.2	标型设计	187
12.3.3	GPS 观测纲要	188
12.3.4	垂直位移监测	188
12.4	GPS 监测网的数据处理	188
12.4.1	GPS 数据处理应遵循的一般原则	188
12.4.2	监测网的数据处理	189
12.4.3	监测数据的输出与管理	190
12.5	变形监测实例	191
12.5.1	滑坡概述	191
12.5.2	布网方案	191
12.5.3	实施情况	192
12.5.4	数据处理及精度分析	192
12.5.5	成果分析	195
12.6	小结	197

第十三章 基于 GPS 定位技术的水利水电工程大型施工机械安全

	监测与应急指挥	198
13.1	概述	198
13.2	大型施工机械安全监测的特点及重要意义	198
13.3	大型施工机械安全监测的技术方法	198
13.3.1	传统的人工值守方法	198
13.3.2	无人值守的 GPS 定位方法	200
13.4	GPS 定位技术在广西龙滩水电施工机械防碰撞系统开发及应急指挥中的应用	200

13.4.1	广西龙滩水电施工机械布置概况	200
13.4.2	大型水电施工机械监控 GPS 信号采集系统的设计与实现	202
13.4.3	GPS 定位技术用于动态监测大坝施工吊车运行防撞系统的研究 ...	205
13.5	小结	209
第十四章 GPS 数据处理软件比较分析及独立坐标转换计算方法		210
14.1	概况	210
14.2	GPS 数据处理软件	210
14.2.1	GAMIT 软件	210
14.2.2	Trimble Geomatics Office(简称 TGO)	211
14.2.3	CosaGPS	211
14.2.4	长江委黄汝麟软件	212
14.3	各软件实现的功能及局限性	212
14.3.1	软件功能比较	212
14.3.2	各软件的特点分析	215
14.4	GPS 测量数据处理软件的选择方法	215
14.5	小结	216
参考文献		217

第一章 绪论

1.1 全球导航定位系统(GNSS)的发展

全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, 简称 GNSS)是20世纪90年代中期欧盟提出的一种综合星座系统,是所有在轨工作的卫星导航系统的总称。GNSS综合系统目前主要包括美国的全球定位系统(GPS)、俄罗斯的全球导航卫星系统(GLONASS)以及正在建设的中国北斗二代全球卫星导航系统(BD或COMPASS)和欧盟Galileo卫星导航定位系统等。开发GNSS综合星座系统的宗旨是为了综合利用所有的导航卫星的信息,以提高GNSS系统的导航和定位的精度、可靠性、安全性以及解决GPS系统目前应用中所遇到的难点问题。目前GNSS综合系统的应用现状为GPS+GLONASS。

1.1.1 GPS系统

全球定位系统(Global Positioning System, 简称GPS)是由美国国防部(United States Department of Defense, 简称DOD或DoD)建立的基于卫星的无线电导航、定位、授时、测速系统,其首要目的是为满足美国军方用户提供精确导航、定位、武器制导等的需求,民用目的是第二位的,并且受到美国军方一定政策的限制,但GPS定位技术在测量、导航、紧急救援、车辆管理、时间传递、大气监测、定位服务、野外旅行、娱乐消遣、体育运动、动物跟踪、精细农业等许多民用领域得到了迅猛发展,特别是在大地测量与工程测量方面,更是成为最主要的测量定位技术与方法,使全球化、大跨度的大地测量变得简单可行。全球定位系统的现代测量理论和技术改变了传统的测量模式,使工程测量行业发生了革命性变化,测量外业工作自动化程度大大提高。GPS采用的接收技术是码分多址(CDMA),各颗卫星采用相同频率的载波,通过调制不同结构的伪随机噪声码进行区别。GPS定位技术之所以得到如此广泛的应用,主要是由于它具有三维定位测速、精确定时、实时全天候、全球范围、用户数量无限、免费信号资源等突出特性,凡是需要导航、定位、测速、定时的的工作都可以采用GPS技术来解决。当然,GPS系统在实际应用过程中也会遇到难点问题,在1998年初美国副总统戈尔针对GPS系统存在的各种问题,提出了“GPS现代化计划”,其内容比较具体,内涵可以归纳为“3P”:

保护(Protection)——更好地保护美方和盟友的使用,要发展军码的保密性,加强抗干扰的能力;

阻止(Prevention)——阻扰敌对方或非授权用户的使用,施加各种干扰,比如SA政策、AS政策等;

保持(Preservation)——保持在有威胁地区以外的民用用户有更精确、更安全的使用。

1.1.2 GLONASS 系统

全球导航卫星系统(GLObal NAvigation Satellite System, 简称 GLONASS)是前苏联从 20 世纪 80 年代开始研制、组建的卫星导航定位系统,现由俄罗斯空间局负责管理和维护。GLONASS 系统的整体结构类似于 GPS 系统,也由卫星星座、地面监测控制站和用户设备三部分组成,采用距离交会原理进行工作,可为地球上任何地方及近地空间的用户提供连续的、精确的三维坐标、三维速度及时间信息。GLONASS 系统与 GPS 系统之间主要的不同之处在于星座设计、信号载波频率和卫星识别方法的设计不同。

GLONASS 采用的接收技术是频分多址(FDMA),各颗卫星的载波频率各不相同。在该系统中把载波频带分割为若干更窄的互不相交的频带(称为子频带),把每个子频带分给一颗卫星,这种技术被称为“频分多址”技术。GLONASS 所用的时间系统是前苏联自己维持的 UTC 时间(除了存在跳秒外,与 GPS 时间之间还有数十纳秒的差异),所用的坐标系统是 PZ90 坐标系(与 GPS 所用的 WGS-84 系统不相同)。GLONASS 系统虽已于 1996 年初组网成功并正式投入运行,但是由于卫星的平均寿命过短,一般仅为 2~3 年,加上其他方面的原因,如经济状况欠佳,没有足够的资金来及时补发新卫星,从而极大地影响了该系统的正常运行。目前,俄罗斯正在设法解决此问题,到 2009 年 4 月 GLONASS 系统的在轨运行卫星已恢复到 17 颗。基于各种原因,经俄罗斯联邦政府批准,俄罗斯航天航空局配合实施了 GLONASS 系统的十年发展规划,对卫星星座和卫星信号实施了现代化计划。

1.1.3 Galileo 系统

组建中的伽利略(Galileo)系统是由欧盟于 1999 年提出实施的一项空间信息基础设施,主要为民间用户服务的新一代全球卫星导航定位系统。Galileo 系统的建设主要资金支持由欧盟空间局提供,同时也吸引其他民用投资方参与建设。

Galileo 系统的卫星信号将采用无线电卫星导航服务频段中的 4 种位于 L 波段的频率来发射,亦即 E5a, E5b, E6, L1。与 GPS 系统类似, Galileo 也是采用被动式导航定位原理和扩频接收技术发送导航定位信号。Galileo 系统可提供的主要服务为:导航、定位、测速和定时服务,主要包括公开服务、商业服务、生命救援服务以及公共管理服务。

1.1.4 中国北斗全球卫星导航系统

中国北斗卫星导航定位系统(COMPASS, 中文音译名称Bei Dou)分为“北斗一代”和“北斗二代”两个不同的类型。“北斗一代”是根据陈芳允院士提出的利用两颗地球同步卫星进行导航定位的设想而建立的,是一种区域性的有源导航定位系统。“北斗二代”设计为全球卫星导航系统。北斗系统除了进行导航和定位以外,还具备一定的通信能力和精密授时等功能。北斗卫星系统由空间部分、地面控制部分和用户终端三部分组成的。目前,我国已开展了第二代北斗全球卫星导航系统的方案设计和研究,正实施建设空间卫星星座和地面站。

2007 年 4 月 14 日, 中国成功发射了第一颗全球北斗导航倾斜轨道卫星; 2009 年 4 月 15 日, 中国用“长征三号丙”运载火箭在西昌卫星发射中心, 成功将第二颗北斗导航卫星送入预定轨道, 这是全球北斗卫星导航系统建设计划中的第二颗组网卫星, 是地球同步静止轨道卫星。

1.2 GPS 系统的构成

GPS 系统由空间部分(卫星星座)、地面监控系统部分和用户接收机三个部分组成。空间卫星星座和地面监控系统是由美国国防部(DoD)维护和控制, 用户接收机又分为军用和民用两大类。军用接收机具有更好的保护装置、抗干扰能力和快速初始化功能; 民用接收机由市场供需所决定。

1.2.1 空间卫星星座部分

所谓 GPS 卫星星座即发射入轨能正常运行工作的 GPS 卫星的集合。GPS 的标准空间卫星星座设计为 24 颗卫星组成的星座, 这些卫星分布在 6 个轨道面(编号 A~F)上, 每个轨道面均匀地分布 4 颗卫星(其中一颗为备用卫星), 轨道倾角为 55 度, 轨道高度为 20200 公里, 卫星运转周期为 11 时 58 分(半个恒星日, 即一个恒星时), 在同一地点每过 23 小时 56 分出现相同的卫星分布情况(地迹), 这样的分布可保证在地球的任何地方可同时看到 4~12 颗卫星(截止高度角取 10°), 一般情况下, 用户能同时观测到 6~8 颗卫星, 从而能够实现地球表面及其上空任何地点、任意时刻的三维导航、定位、测速、定时。GPS 系统卫星信号结构如图 1-1 所示, 卫星分布如图 1-2 所示, 卫星主要特征如表 1-1 所示。

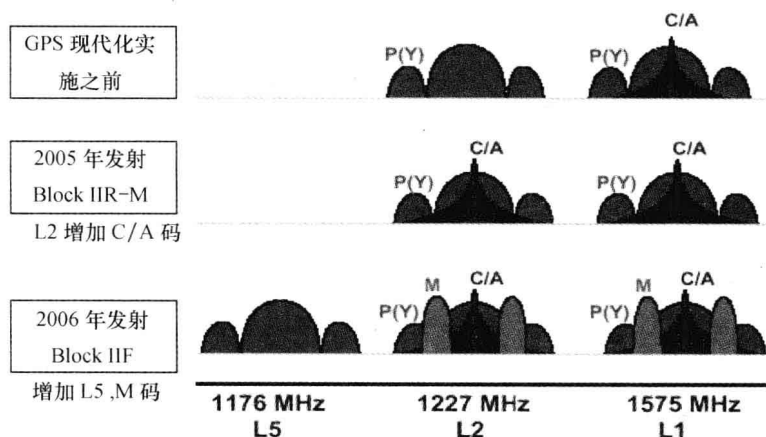


图 1-1 GPS 系统信号结构

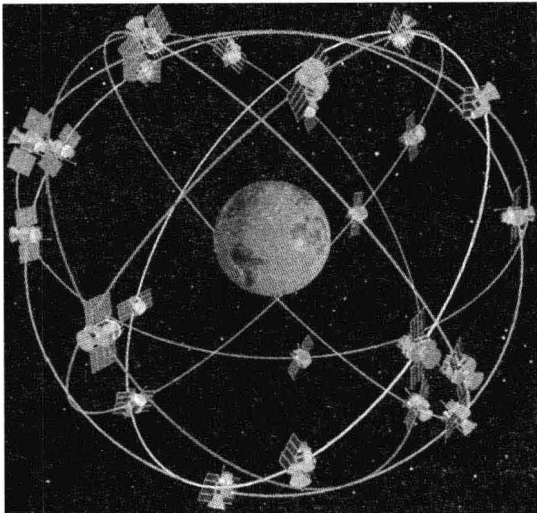


图 1-2 GPS 系统卫星星座

表 1-1 GPS 系统卫星主要特征 [Pratap Misra, 2001]

参数	Block II/IIA	Block IIR	Block IIF
总发射颗数	28	21	12
第一次发射	1989	1997	2005
卫星重量(kg)	900	1100	1700
设计寿命(年)	7.5	10	15
造价(USD)	\$ 43M	\$ 30M	\$ 28M

1.2.2 地面监控系统部分

地面监控系统是支持整个系统正常运行的地面设施，由一个主控站、四个注入站和六个监测站以及通信和辅助系统组成，如图 1-3 所示。1 个主控站原位于加利福尼亚 (California) 万登堡 (Vandenberg) 空军基地，现位于科罗拉多 (Colorado) 的 Schriever (原称 Falcon) 空军基地，其作用是收集各个监测站所测得的观测值、环境要素等数据，计算每颗 GPS 卫星的星历、时钟改正、状态数据，以及信号的大气层传播改正，并按一定的形式编制成导航电文，此外还控制和监视其余站的工作情况并管理调度 GPS 卫星，是整个地面监控系统的行政管理中心和技术中心。4 个注入站分别位于 Ascension Island、Diego Garcia、Kwajalein、Cape Canaveral，作用是将主控站传来的导航电文颗卫星调控指令，分别注入到相应的 GPS 卫星中。6 个监测站位于 Ascension Island、Diego Garcia、Kwajalein、Hawaii、Colorado Springs、Cape Canaveral，作用是接收 GPS 卫星信息。通信和辅助系统是地面监控系统中负责数据传输和提供其他辅助服务的机构及设施。