



北斗系统与应用出版工程

“十二五”国家重点图书出版规划项目

国家出版基金项目



北斗授时终端 及其检测技术

◎ 陈向东 郑瑞锋 陈洪卿 熊立 俞能杰 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

北斗系统与应用出版工程

“十二五”国家重点图书出版规划项目

国家出版基金项目

北斗授时终端及其 检测技术

陈向东 郑瑞锋 陈洪卿 熊立 俞能杰 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

随着北斗卫星导航系统应用的不断推广和深入,各类北斗授时终端得到大量应用。为了更好地规范北斗授时终端的检测,给从事北斗授时应用的技术人员提供有价值的参考,本书先从概念入手,介绍了国际上通用的几类时间的基本概念、定义及时频传递,卫星导航系统及其授时原理,GNSS 系统时间及其时间系统定义等。在此基础上重点阐述了北斗授时终端技术及其发展、北斗授时终端的守时原理及频率源、系统组网授时、北斗授时终端测试原理与方法、测试系统重要组成——GNSS 信号模拟器等;并提出了北斗授时终端的功能、性能测试,环境适应性测试,电磁兼容性测试,以及可靠性/安全性测试等的方法。另外,还介绍了建立的北斗授时终端测试评估系统、分项目测试评估方法及操作、测试评估软件应用等。

本书适合从事北斗授时终端研制、生产、应用,以及测试的工程技术人员阅读,既可作为相关厂商、应用部门的业务培训教材和产品使用参考手册,也可以作为高等院校相关专业的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

北斗授时终端及其检测技术 / 陈向东等著. —北京:电子工业出版社, 2016.4

北斗系统与应用出版工程

ISBN 978-7-121-28519-6

I. ①北… II. ①陈… III. ①卫星导航—时间服务—终端设备 IV. ①TN967.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 072400 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 王凌燕

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 11.5 字数: 239 千字

版 次: 2016 年 4 月第 1 版

印 次: 2016 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: mariams@phei.com.cn。

北斗系统与应用出版工程

指导委员会

主 任

孙家栋：中国科学院院士，两弹一星功勋奖章获得者

副主任

张履谦：中国工程院院士

刘经南：中国工程院院士

沈荣骏：中国工程院院士

杨元喜：中国科学院院士

杨小牛：中国工程院院士

谭述森：中国工程院院士，北斗卫星导航系统副总设计师

杨长风：北斗卫星导航系统总设计师

李祖洪：北斗卫星导航系统副总设计师

夏国洪：原中国航天科工集团公司总经理，党组书记，科技委主任

张荣久：中国卫星导航定位协会会长

委 员（以下按姓氏汉语拼音排列）

敖 然 陈少洋 刁石京 高晓滨 李忠宝 刘九如 柳其许 苗前军
冉承其 宋起柱 于春全 赵 坚

编审委员会

主 任

曹 冲

副主任（以下按姓氏汉语拼音排列）

郭树人 景贵飞 李冬航 陆明泉 施 闯 王传臣 王飞雪 王俊峰
王 莉 魏永刚 夏 青 肖雄兵 杨强文 郁文贤 张代平 赵丽松
周建华

委 员（以下按姓氏汉语拼音排列）

鲍志雄 蔡 毅 陈涤非 陈洪卿 陈向东 高玉平 韩云霞 何在民
华 军 金永新 李 变 李成钢 鲁 郁 潘高峰 蒲小兵 施浒立
王李军 吴才聪 吴海涛 武建锋 夏建中 夏林元 熊 立 姚 铮
俞能杰 苑严伟 郑瑞锋

秘书组成员（以下按姓氏汉语拼音排列）

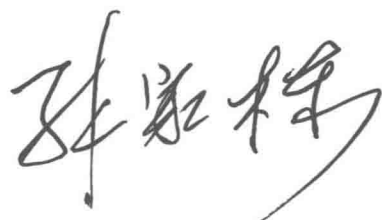
来春丽 宋 梅

策划编辑

宋 梅

总 序

“北斗系统与应用出版工程”丛书，能作为国家出版工程推进，是件很好的事情，我表示热烈的祝贺，欣然作序予以鼓励支持。北斗系统不仅是项充满活力的新兴技术，而且是国家重要的时空信息基础设施，同时由于它与其他技术和产业的多重关联性和融合性，故成为现代智能信息产业群体的重大技术支持系统和具有巨大带动力的时代产业发展引擎，与国家安全、国民经济和社会民生密切相关，与两个“中国梦”密切相关，能够服务全中国和全世界。北斗系统的建设和运营，给国家和社会的兴邦强国、行业和企业的光荣立业、团队和个人的著书立说与创新创业创造精神的大发挥、大发展，提供了百年难遇的良好机会。“北斗系统与应用出版工程”丛书，也承载着同样的使命，它所包括的内容包括系统、技术和应用三个方面，这种选择非常符合实际需要，很全面，且顾及了眼前和长远，而且应用方面所占的分量相当大。我建议在服务领域要多下点功夫，这是北斗系统和时空信息服务体系的关键。在当下的条件下，推进这个出版工程，具有明显的现实意义和长远价值。为此，我在这里要强调三点：一是一定要把国内外 GNSS 领域的成功经验和教训，进行系统总结，作为良好的参考；二是应该将我们在系统建设中的实践，上升为理论与模式，进一步推进我们的工作与事业；三是在上面两点的基础上，我们要有所前进，有所创造，在理论、实践、产业和体系化发展推进上有所突破，逐步走向世界的前列，真正把这一出版工程，做成北斗系统伟大工程的一个不可分割的组成部分，反过来对于系统工程发挥指导促进作用，发挥其 GNSS 里程碑效应和效能。



2015 年 12 月

前 言

北斗卫星导航系统是我国自主建立的卫星导航系统，具有导航定位、短报文通信和授时三大功能。其授时功能已逐步在电力、通信、交通运输、金融等国民经济支柱领域推广应用开来。

卫星授时具有范围广、精度高等特点，因此在授时应用方面具有很大的优势。卫星导航系统通过测时实现测距，具有高精度授时功能，得到了广泛应用。以前主要是依靠美国的 GPS，但授时应用对可靠性要求很高，依靠单一的系统风险较大，必须发展多个卫星导航系统兼容的授时技术和系统。目前已投入实际运行的全球导航卫星系统（GNSS）包括美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国的北斗系统（BDS）。北斗卫星导航系统在授时应用方面相比 GPS 和 GLONASS 具有三方面特点：一是授时精度高，独具双向授时功能，精度达到 10ns；二是授时模式多，既可以单星单向或多星单向，又可以双向或共视传递；三是自主可控。因此在我国应用中能够逐步替代美国的 GPS，成为主用系统。

北斗授时终端是北斗卫星导航系统授时应用的关键设备。随着北斗系统用户终端技术的发展和北斗系统授时应用领域的不断拓展，北斗授时终端产品种类丰富、形态多样，形成了较完备的型谱。北斗授时终端性能的优劣直接关系到北斗系统授时精度、可靠性、完好性等方面功能性指标的实现，因此需要对其进行检测和认证，确定其真实状态，便于安装后更好地上线运行，服务于相应的应用系统。本书针对北斗授时终端的检测，总结多年来工作中积累的成果，从概念到原理，从技术到方法，系统地进行了阐述，紧密结合工程实际和应用，突出了测试系统的构建和具体测试方法步骤，非常适合于相关领域工程技术人员阅读和参考。

本书共分 7 章，第 1 章概论，介绍了时间和时频传递，卫星导航系统及其授时原理等；第 2 章 GNSS 系统时间及其时间系统，介绍了国际上通用的几类时间的基本概念和定义，各全球导航卫星系统的时间系统定义等；第 3 章北斗授时终端（上），介绍了北斗授时终端技术及其发展，北斗授时终端的构成、分类及技术要求等；第 4 章北斗授时终端（下），介绍了北斗授时终端的守时原理及频率源，授时输出接口，系统组网授时等；第 5 章北斗授时终端测试（上），介绍了北斗授时终端测试原理与方法，测试系统组成及要求，GNSS 信号模拟器等；第 6 章北斗授时终端测试（下），介绍了北斗授时终端的功能、性能测试，环境适应性测试，电磁兼容性测试，以及可靠性/安全性测试等；第 7 章北斗授时终端测试评估，介绍了测试评估系统及软件，分项目测试评估方法及操作，测试评估软件应用等。

本书编写过程中，得到了北京华力创通科技股份有限公司和航天恒星科技有限公司的大力支持，特别感谢许仁义工程师、王东博士、谢月新经理、李夏工程师、郭大军工程师为本书编写提供技术资料。

由于作者水平和工程经验有限，书中错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 时间与时频传递	2
1.2 卫星导航系统	4
1.3 从 GPS 到北斗授时	6
1.3.1 GPS 卫星广播方式授时	6
1.3.2 GPS 共视时间比对	7
1.3.3 GPS 载波相位时间比对	8
1.3.4 北斗 RDSS 单向授时	10
1.3.5 北斗 RDSS 双向授时	11
1.3.6 北斗共视时间比对	12
第 2 章 GNSS 系统时间及其时间系统	19
2.1 天文时	20
2.1.1 恒星时	20
2.1.2 平太阳时	20
2.1.3 地方时/区时与时区	20
2.1.4 世界时	21
2.1.5 历书时	21
2.2 原子时	22
2.2.1 国际原子时	22
2.2.2 地方(实验室)原子时	23
2.2.3 国际原子时与地球时	23
2.3 协调世界时	24
2.3.1 UTC 的国际规定及其物理实现	25
2.3.2 闰秒	26
2.3.3 DUT1	27
2.4 GPS 系统时间及其时间系统	27
2.5 GLONASS 系统时间及其时间系统	28
2.6 北斗系统时间及其时间系统	28
2.7 Galileo 系统时间及其时间系统	30

第3章 北斗授时终端(上)	31
3.1 北斗授时终端技术及其发展	32
3.2 北斗授时终端构成与分类	33
3.2.1 北斗 RDSS 授时终端构成及分类	33
3.2.2 北斗 RNSS 授时终端构成及分类	36
3.3 北斗授时终端技术要求	39
3.3.1 北斗 RDSS 授时终端技术要求	39
3.3.2 北斗 RNSS 授时终端及其要求	43
3.4 北斗与其他系统组合授时终端技术	46
3.4.1 北斗与 GPS 组合授时终端技术	46
3.4.2 北斗与长河组合导航授时技术	48
第4章 北斗授时终端(下)	53
4.1 终端守时及其频率源	54
4.1.1 北斗授时终端频率源	54
4.1.2 守时与频率源	56
4.1.3 驯钟与终端守时	59
4.2 终端授时及其输出	60
4.2.1 1PPS 信号输出	60
4.2.2 B 码授时输出	60
4.2.3 NTP 授时与同步	63
4.2.4 PTP 授时与同步	65
4.3 系统终端组网授时	67
4.3.1 北斗授时在数字通信网中的应用	67
4.3.2 北斗授时在跳频通信中的应用	69
4.3.3 北斗授时在电力系统中的应用	71
第5章 北斗授时终端测试(上)	73
5.1 测试原理与方法	74
5.1.1 时频测量基础	74
5.1.2 模拟信号源法	74
5.1.3 参考终端比测法	76
5.2 北斗授时终端测试系统	78
5.2.1 测试系统组成	79
5.2.2 测试系统技术要求	79
5.2.3 测试系统接口	83

5.3	北斗/GNSS 信号模拟器	83
5.3.1	北斗/GNSS 信号模拟器发展概况	83
5.3.2	北斗/GNSS 信号模拟器组成原理	86
5.3.3	北斗/GNSS 信号模拟器主要特性及功能	98
5.4	通用时频测试设备	101
第 6 章	北斗授时终端测试 (下)	103
6.1	测试设备及环境	104
6.1.1	测试设备	104
6.1.2	测试环境	105
6.2	终端功能测试	105
6.2.1	基础检查	105
6.2.2	授时功能测试	106
6.2.3	参数设置/信息显示告警功能测试	107
6.2.4	数据和信息保存功能测试	107
6.3	终端性能测试	108
6.3.1	授时精度 (准确度) 测试	108
6.3.2	北斗授时终端输出频率稳定性和准确度测试	112
6.3.3	守时偏差测试	114
6.3.4	捕获和跟踪灵敏度测试	115
6.3.5	首次定位时间测试	119
6.3.6	重捕时间测试	121
6.3.7	定位精度测试	122
6.3.8	1PPS 信号	124
6.4	环境适应性测试	125
6.4.1	测试依据文件	125
6.4.2	高低温测试	125
6.4.3	振动测试	128
6.4.4	外壳防护测试	131
6.4.5	湿热测试	132
6.4.6	功耗测试	132
6.5	电磁兼容性测试	133
6.5.1	辐射骚扰场强试验	133
6.5.2	静电放电抗扰度试验	134
6.5.3	射频电磁场辐射抗扰度试验	137
6.5.4	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	139

6.5.5	浪涌（冲击）抗扰度试验	141
6.5.6	射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	141
6.6	可靠性/安全性测试	142
6.6.1	可靠性检验方案	142
6.6.2	受试样本的数量	143
6.6.3	失效判决	143
6.6.4	测试检验项目及顺序	143
第 7 章	北斗授时终端测试评估	145
7.1	概述	146
7.2	测试评估系统及软件	147
7.3	测试评估项目	153
7.3.1	首次定位时间评估	154
7.3.2	接收灵敏度评估	154
7.3.3	定位精度评估	156
7.3.4	伪距精度评估	158
7.3.5	通道一致性评估	159
7.3.6	电文误码率评估	161
7.3.7	设备时延评估	162
7.3.8	授时精度评估	163
7.3.9	评估报告生成	165
7.4	测试评估软件应用	166
	参考文献	169

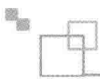
第 1 章

概 论

本章要点

- 时间与时频传递
- 卫星导航系统
- 从 GPS 到北斗授时





1.1 时间与时频传递

时间是国际单位制中 7 个基本量之一。时间可分为时刻和时间间隔两种概念。时刻是指时间尺度上的一个指定点(标记),就是一个事件发生的瞬间。时间间隔是指两个事件之间的时间长度。时刻和时间间隔一般用时钟计量。时间差是指同一瞬时两个钟或两种时间尺度的指示读数差,也称时刻差、时差或钟差。时间同步是指两个时钟在某一个参考系上相同到某种程度的读数。

国民经济、国防、现代科学乃至我们的生活无一不与时间相关。由于科技的发展,人们对时间精度的要求也在不断提高,从古代的时(辰)刻到近代的分秒,一直发展到现代的毫秒、微秒甚至纳秒。精密计时、现代通信、电力、导航定位、航天测控和计算机自动控制等都离不开精密时间尺度和时间频率测量技术。

时间是物质存在的基本形式之一,任何的时间计量都是以一定的物理现象为基础的,因此我们可以通过对物质运动的观察来计量时间。但是,客观物质世界的运动和发展过程是各种各样的,它们之间的差别很大,有些天体的年龄可达 100 多亿年,某些基本粒子的寿命只有几十纳秒,对于这样一个广大的时间区间,需要选用不同的时间计量方法。时间计量的尺度不同,计量的方法也不同。例如,时钟用来计量时、分、秒,而历法用来计量年、月、日等。时间间隔计数器则用来计量秒的小数,而放射性元素衰变以及古代生物钟则可测定亿万年和地质时期。不同的时间计量方法属于不同学科,它们具有各自的特征。

时间服务是国家的基本技术支撑,而高精度时间频率传递是其主要的部分。时间和频率基准的传送方法有许多种,如采用长波、短波、电视信号进行授时和校频,利用卫星授时和校频以及用低频无线电导航系统(即国外的 LORAN-C 系统或我国长河二号系统)信号进行授时等。

1905 年,美国首先通过短波无线电授时实现了大范围授时校频,授时和校频精度为毫秒级。短波无线电授时作为授时校频技术的主要手段长达半个多世纪。在此期间,时钟从天文摆钟发展成石英钟、铯原子钟,钟的特性有几个数量级的提高。显然,短波授时不能适应时钟发展的要求。

1958 年, LORAN-C 长波导航系统开始工作,它的授时校频精度达到微秒级,为推动当时社会生产和科研的发展做出了巨大的贡献。但是,由于 LORAN-C 系统覆盖范围和精度有限,仍不能满足生产和科研进一步发展的需要。

通过互联网络进行标准时间信号的传递——网络授时,是计算机通信技术特别是 Internet 技术发展的产物。20 世纪 80 年代后期,美国国家标准局(NIST)率先开始了网络授时技术的研究。90 年代该技术得到了迅速发展。网络授时由于路径时延不易准确扣除,所以精度较低。通常情况下,广域网上为几百毫秒,局域网内可达到几十甚至几毫秒。但由于网络的快捷和普及,因此网络授时就提供了一种最方便、

快捷的方法来使用户终端时间与标准时间服务器保持同步。

20 世纪 80 年代,我国也开展了短波授时业务。国家授时中心建设了 BPM 短波授时台,正式承担标准时间和标准频率发播任务,授时精度毫秒量级,校验精度 1×10^{-8} 量级。后来,中国计量院和中央电视台合作,开展了我国的电视授时校频业务。这种方法的优点是成本低,校频精度在半小时内可达 5×10^{-12} 数量级;缺点是受多径效应影响,导致传播时延无法确定,且覆盖区域小,特别是边远地区和海上用户无法应用。同时,国家授时中心在陕西蒲城建设了我国的 BPL 长波(低频)授时台,授时的精度可达 $1 \mu\text{s}$ 以上,校频精度可达 1×10^{-12} 量级,信号覆盖我国整个陆地和近海海域,天地波结合覆盖范围可达 3000km。

在卫星导航系统中时间是重要基准,所有卫星导航信号是由高精度的原子钟提供的,测距实际上是通过测时差来实现的。同时,为了确保用户获得较高的定位精度,卫星导航系统的地面站之间以及地面站与卫星之间还需要进行严格的时间同步,精确测量出地面站之间以及地面站与卫星之间的时差,在系统中进行补偿和消除。另外,卫星导航系统在表述卫星运动位置、测量数据的处理等,都需要精确的时间信息。因此,卫星导航系统具备高精度的授时功能。1994 年,美国建成 GPS,前苏联建成 GLONASS。GPS 的 C/A 码单站比对精度为 340ns (Selective Availability, SA) 和 50ns (无 SA)。同期,美国 NIST 提出了 GPS 共视方法,使得授时校频的精度达到纳秒级。

为了进一步提高时间同步精度,需要更好地解决路径时延问题,于是出现了卫星双向时频传递 (Two Way Satellite Time and Frequency Transfer, TWSTFT) 法。由于参与 TWSTFT 比对的一对地面站同时向同一卫星发送时间频率信号,并接收对方发送经卫星转发的信号,发送和接收的信号取相同的路径和相反的方向,因此该技术的优点是有效地抵消了卫星位置或地面站位置不准确而造成的测量误差以及路径中的电离层、对流层干扰引起的时延误差。利用 TWSTFT 法,精度可达几百皮秒。经国际电联推荐,1999 年 TWSTFT 法比对结果正式参加国际原子时 (TAI) 计算。目前,利用卫星系统进行授时和频率传递是精度最高的手段。

各种方法的时间、频率传递不确定度如表 1-1 所示。

表 1-1 时间、频率传递不确定度

方 法	时间不确定度	频率不确定度
网 络	$<2\text{s}$	—
电 视	$<10\mu\text{s}$	—
长 波	$<1\mu\text{s}$	$<1 \times 10^{-12}$
短 波	$<1\text{ms}$	$<1 \times 10^{-8}$
GPS 单向授时	$<50\mu\text{s}$	$<1 \times 10^{-13}$
GPS 共视比对	$<10\mu\text{s}$	$<1 \times 10^{-13}$
GPS 载波相位共视	$<1\mu\text{s}$	$<1 \times 10^{-15}$
卫星双向时频传递法	$<1\mu\text{s}$	$<1 \times 10^{-15}$

1.2 卫星导航系统

说起导航,人们并不陌生。许多动物能够迁徙长达几千千米到达目的地,靠的就是其身体内特有的器官。这些特有的器官能够感受地球的磁场或洋流的电场等,从而帮助其实现长途跋涉的导航。

导航(Navigation)一词是由拉丁语 Navis 演变而来的,Navis 原意为船只,因为导航首先是在海上应用的,后来才在空中和宇宙航行中应用。导航就是引导航行的意思,即将航行载体从出发点引导到目的地的方法或技术。

最古老、最简单的导航方法是星历导航,人类通过观察星座的位置变化来确定自己的方位;最早的导航仪是中国人发明的指南针,几个世纪以来它经过不断的改进而变得越来越精密,并一直为人类广泛应用着;最早的航海表是英国人 John Harrison 经过 47 年的艰苦工作于 1761 年发明的,在其随后的两个世纪,人类通过综合地利用星历知识、指南针和航海表来进行导航和定位。进入 20 世纪以后,随着科学技术水平的不断提高,人类逐渐发明/发现了许多新的导航定位方法。开始海员们通过测量船体的速度增量并进行外推来确定自己的位置(Dead Reckoning);随后人们又发明了惯性导航技术(Inertial Navigation),即通过对加速度计所记录的载体加速度进行积分来确定位置。至此,人类的探索并没有停滞不前,20 世纪电磁场理论和电子技术的蓬勃发展为新型导航技术的形成提供了坚实的理论基础和技术基础。更重要的是,用新思想和新理论武装起来的人类更富于想象力了,人类的思维从被动地利用宇宙中现存的参照物(如星体)扩展到主动地建立和利用人为的参照物来开发更精密的导航定位系统。由此陆基无线电导航系统(Ground-based Radio Navigation System)诞生了,这一系统的问世标志着人类从此进入了电子导航时代。陆基无线电导航系统主要由在世界各地适当地点建立的无线电参考站组成,接收机通过接收这些参考站发射的无线电电波并由此计算接收机到发射站的距离来确定自己的位置。这一技术在第二次世界大战中已经被使用,战后发展很快,目前大约有 100 种不同类型的地基电子导航系统正在运行,其中最著名的有 LORAN C/D、Omega、VOR/DME TACAN 等,它们的导航原理相似,只是所用的电波频段和适用地域不同而已。由于陆基导航系统的无线电发射参考站都建立在地球表面上,因此它们只能用来确定海平面上和地平面上运动物体的水平位置,即只能进行二维定位,这是陆基无线电导航系统本身固有的缺陷。为了对空间飞行器(如飞机、宇宙飞船、导弹等)进行精密导航,需要确定飞行器的三维位置(水平位置 and 高度)。显然陆基无线电导航系统不能满足这种需要,于是人类就设想是否可以将无线电发射参考站建立在空中。

20 世纪 50 年代,世界上第一颗人造地球卫星的成功发射宣告空间科学的发展跨入了一个崭新的时代,也使电子导航技术的发展进入了一个新的阶段。它使人类将无

线电发射参考站建立在空中的设想成为现实,由此空基无线电导航系统(Space-based Radio Navigation System)应运而生。空基无线电统称为卫星导航系统。

卫星导航系统主要由三部分构成,即空间部分、地面控制部分和用户部分。空间部分指卫星星座。地面控制部分是指分布在服务区的由若干跟踪站所组成的运行监控管理系统,根据其作用的不同,这些跟踪站又被分为主控站、监测站和注入站。主控站的任务主要是根据服务区分布的各监测站传送回来的对卫星的观测数据,计算出卫星的星历和卫星钟的改正参数等,并将这些数据通过注入站注入卫星上去。主控站的数量一般是1个,考虑到抗打击和抗摧毁,可以是2~3个;注入站的数量和分布主要是根据星座设计和注入要求来确定;监测站的数量则是根据服务区的大小和服务精度来确定。

卫星导航系统主要采用高轨测距体制,以观测站至卫星之间的距离作为基本观测量。为了获得距离观测量,主要采用两种方法:一是测量卫星发射的测距码信号到达用户接收机的传播时间,即伪距测量;一是测量具有载波多普勒频移的卫星载波信号与接收机产生的参考载波信号之间的相位差,即载波相位测量。采用伪距观测量定位速度最快,而采用载波相位观测量定位精度最高。由于需要确定用户的三维坐标,必须要有对3颗或3颗以上卫星的观测量才能够获得解。同时还考虑到解用户接收机的钟差,因此必须通过对4颗或4颗以上的卫星同时进行伪距或相位的测量才可推算出接收机的三维坐标及接收机的钟差。

目前投入运行或在建的全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)主要是美国的GPS、俄罗斯的GLONASS、欧盟的Galileo以及中国的北斗。美国的GPS和俄罗斯的GLONASS都是其第二代卫星导航系统。

北斗卫星导航系统是我国自主建立的卫星导航系统。第一代北斗系统论证开始于20世纪80年代,采用两颗卫星实现快速定位导航,这一定位原理是由我国著名科学家,863计划的倡导者陈芳允院士提出的。工程建设1994年正式立项,经过8年的艰苦卓绝的攻关,2002年1月1日开通试运行,2003年12月正式运行。第二代北斗系统一期工程2004年9月立项研制,同样经过8年研制,2012年12月27日开通运行。

第二代北斗系统集无线电测定卫星业务(RDSS)和无线电导航卫星业务(RNSS)两种导航定位体制于一体,即集有源和无源导航定位于一体,具有导航定位、短报文通信、授时三大功能。系统星座图如图1-1所示。

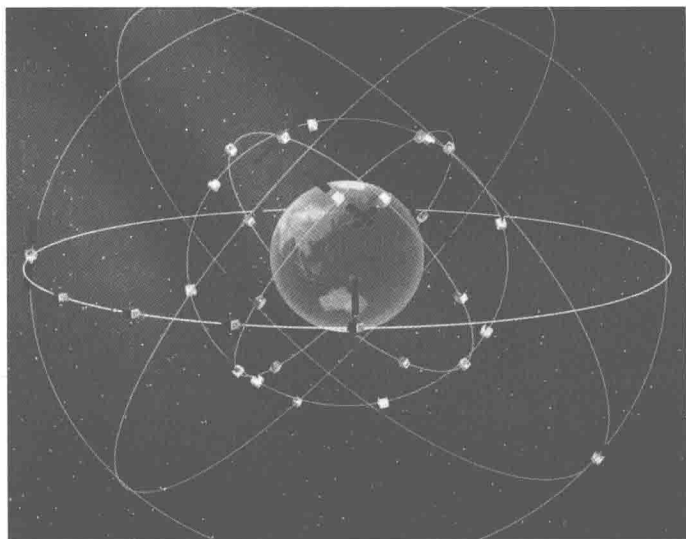


图 1-1 北斗二代全球系统星座图

1.3 从 GPS 到北斗授时

1.3.1 GPS 卫星广播方式授时

GPS 卫星广播方式授时是利用 GPS 接收机直接从 GPS 信号中提取时间信息的方法,由接收机输出时间数据和信号进行授时。接收机从 GPS 信号中提取时间信息然后输出进行授时的过程中,要扣除电波从卫星发出到传播至接收机天线所经过的时间,以及 GPS 信号从接收机天线经过射频前端处理以产生时间刻度所需要的时间。为计算电波传播路径,需要知道用户接收机的位置,这种位置可由用户接收机本身跟踪测量计算出来,也可以通过其他定位手段获得后输入得到。在后一种情况下只需用单通道 GPS 接收机接收一颗卫星的信号即可完成授时。

在 2000 年 5 月 1 日之前,由于 GPS C/A 码信号中加有 SA 而故意降低了卫星信号的时间精度,按那时的系统规范,在卫星信号发出时,空间信号中的时间信息误差有 340ns 之多。2000 年 5 月 1 日以后取消了 SA,卫星信号定时精度上升为 50ns (95%),这时的误差由卫星所广播的时间校正量的误差引起,而且是随上一次上行注入的时间(数据龄期)而积累起来的,这个误差是所有用直接法获取时间信息的用户精度的上限。在取消 SA 之后,用户要获得较精确的时间,由电波传播折射(电离层、对流层)、多径反射和接收机通道时延变化带来的误差变得不可忽略。

接收机通道延迟一般用模拟信号发射器来校准,要求精度越高,此时考虑的因