

成果与方法

GPS 定位的误差来源与未来发展

许致福¹, 王德保¹, 陈宝行¹, 黄军¹, 刘秀杰²

(1. 山东省国土测绘院, 山东 济南 250013; 2. 烟台市国土资源局, 山东 烟台 264003)

摘要: GPS 定位的精度受到诸多因素的影响, 其主要误差来源包括与 GPS 卫星有关的误差、与信号传播有关的误差、与接收设备有关的误差。GPS 的未来发展, 一是依赖于 1999 年底研制成功的新一代 Block II 工作卫星, 它们将逐步代替目前轨道上的 Block I 卫星, 其寿命为现有卫星的 3 倍; 二是采用第 3 个民用频率 (L3C) 发播不保密的民用信号, 民间用户无需解算整周相位模糊值, 在大幅缩短观测时间的前提下, 能获得厘米级的定位精度, 大大提高观测成果的可靠性和工作效率。我国在卫星定位领域已取得突破性进展, “北斗导航定位系统”的建成对我国国民经济建设和国家安全有重要作用。

关键词: GPS 定位; 误差来源; 未来发展; 北斗导航定位系统

中图分类号: P228.4 **文献标识码:** A

1 GPS 定位技术

GPS 全球卫星定位系统是美国国防部为满足军事部门对海上、陆地和空中设施进行高精度导航和定位的要求而建立的。该系统真正始建于 1973 年, 经过方案论证、工程研制和生产作业等 3 个阶段, 历经 20 余年, 耗资 300 多亿美元于 1994 年全部建成。该系统具有全球性、全天候、连续性等三维导航和定位能力, 并具有良好的抗干扰性和保密性。它已成为美国导航技术现代化的最重要标志, 并被视为 20 世纪美国继阿波罗登月计划和航天飞机计划之后的又一重大科技成就。在航空、航天、军事、交通、运输、资源勘探、通信、气象等几乎所有的领域中, 它都被作为一项非常重要的技术手段, 用于导航、定时、定位和进行大气物理研究等。GPS 的主要特点有:

(1) 全球覆盖连续导航定位: 由于 GPS 有 24 颗卫星, 且分布合理, 轨道高达 20 200 km, 所以在地球上和近地空间任何一点, 均可连续同步地观测 4 颗以上卫星, 实现全球、全天候连续导航定位。

(2) 高精度三维定位: GPS 能连续地为各类用

户提供三维位置、三维速度和精确时间信息。GPS 提供的测量信息多, 既可通过伪码测定伪距, 又可测定载波多普勒频移、载波相位。

(3) 实时导航定位: 定位时间短, 可实时定位, 这对动态用户尤为重要。

(4) 被动式全天候导航定位: 用户设备只需接收 GPS 信号就可进行导航定位, 而不需用户发射任何信号。这种被动式导航定位不仅隐蔽性好, 而且可容纳无数多用户。

(5) 抗干扰性能好、保密性强: GPS 采用数字通讯的特殊编码技术, 即伪噪声码技术, 因而具有良好的抗干扰性和保密性。

2 GPS 定位的误差来源及采取的措施

GPS 定位系统由 3 部分构成, 即空间卫星部分、地面监控部分和用户接收部分。在利用 GPS 进行定位时, GPS 定位结果的精度受到诸多因素的影响, 如所用的观测量类型、定位的方式、卫星的几何分布、数据处理方法、美国政府政策的限制等。主要误差来源可分为: 与 GPS 卫星有关的误差; 与信号传播有关的误差; 与接收设备有关的误差。

收稿日期: 2005-08-08; 修订日期: 2005-08-16; 编辑: 王先起

作者简介: 许致福 (1956-), 男, 山东临朐人, 高级工程师, 从事测绘管理工作。

2.1 与 GPS 卫星有关的因素

2.1.1 卫星星历误差

在进行 GPS 定位时,计算在某时刻 GPS 卫星位置所需的卫星轨道参数是通过广播星历或实测量历得到的。由于卫星在运行中要受到多种摄动力的复杂影响,而通过地面监测站又难以充分可靠地测定这些作用力并掌握它们的作用规律,因此在星历预报时会产生较大的误差。在一个观测时间段内星历误差属系统误差特性,是一种起始数据误差。它将严重影响单点定位的精度,也是精密相对定位中的重要误差源。对于根据实测资料进行拟合处理而得出的实测星历(后处理星历)来说,精度较高。但这种星历要在观测后 1~2 个星期才能得到。不论采用哪种类型的星历,所计算出的卫星位置都会与其真实位置有所差异,这就是所谓的星历误差。解决星历误差的方法主要有:建立自己的卫星跟踪网独立定轨;轨道松弛法;同步观测值求差。

2.1.2 卫星钟差

卫星钟差是 GPS 卫星所安装的原子钟的钟面时与 GPS 标准时的误差。它包括由钟差、频偏、频漂等产生的误差。一般用二阶多项式拟合减弱它的影响。卫星钟差和改正后的残余误差,则需采用在接收机之间一次差等方法来进一步消除。

2.1.3 相对论效应

这是由于卫星钟和接收机所处的状态(运动速度和重力位)不同引起的卫星钟和接收机钟之间的相对误差。

2.2 与传播途径有关的因素

2.2.1 电离层折射

在地球上空距地面 50~100 km 之间的电离层中,气体分子受到太阳等天体各种射线辐射产生强烈电离,形成大量的自由电子和正离子。当 GPS 信号通过电离层时,与其他电磁波一样,信号的路径要发生弯曲,传播速度也会发生变化,从而使测量的距离发生偏差,这种影响称为电离层折射。对于电离层折射可用 3 种方法来减弱它的影响:利用双频观测值,利用不同频率的观测值组合来对电离层的延尺进行改正。利用电离层模型加以改正。利用同步观测值求差,这种方法对于短基线的效果尤为明显。

2.2.2 对流层折射

对流层的高度为 40km 以下的大气底层,其大

气密度比电离层更大,大气状态也更复杂。对流层与地面接触并从地面得到辐射热能,其温度随高度的增加而降低。GPS 信号通过对流层时,也使传播的路径发生弯曲,从而使测量距离产生偏差,这种现象称为对流层折射。减弱对流层折射的影响主要有 3 种措施:采用对流层模型加以改正,其气象参数在测站直接测定。引入描述对流层影响的附加待估参数,在数据处理中一并求得。利用同步观测值求差。

2.2.3 多路径效应

测站周围的反射物所反射的卫星信号(反射波)进入接收机天线,将和直接来自卫星的信号(直接波)产生干涉,从而使观测值偏离,产生所谓的“多路径误差”。这种由于多路径的信号传播所引起的干涉时延效应被称作多路径效应。减弱多路径误差的方法主要有:选择合适的站址。测站不宜选择在山坡、山谷和盆地中,应离开高层建筑物。选择较好的接收机天线,在天线中设置径板,抑制极化特性不同的反射信号。

2.3 与接收机有关的因素

2.3.1 接收机钟差

GPS 接收机一般采用高精度的石英钟,接收机的钟面时与 GPS 标准时之间的差异称为接收机钟差。把每个观测时刻的接收机钟差当作一个独立的未知数,并认为各观测时刻的接收机钟差间是相关的,在数据处理中与观测站的位置参数一并求解,可减弱接收机钟差的影响。

2.3.2 接收机的位置误差

接收机天线相位中心相对标石中心位置会存在误差,包括天线的置平和对中误差,量取天线高的误差。因此,在精密测量中必须仔细操作,以尽量减少这种误差的影响。在变形监测中,应采用有强制对中装置的观测墩。

2.3.3 接收机天线相位中心偏差

这是接收机天线的相位中心与几何中心之间的偏差。在短基线上,采用同一类型的天线,可以通过求差来减弱它的影响,但各个观测站的天线应按天线附有的方位标进行定向。

2.3.4 接收机软件和硬件造成的误差

在进行 GPS 定位时,定位结果还会受到诸如处理与控制软件和硬件等的影响。

采用差分 GPS(DGPS)技术,一般可使定位精

度在局部区域内提高 10 倍以上。

2.4 其他误差

其他误差包括地球自转的影响和地球潮汐改正,卫星钟和接收机钟震荡器的随机误差,大气折射模型和卫星轨道摄动模型的误差以及电子欺骗等。

3 GPS 存在的问题与改进途径

GPS 系统虽然有很多的优点,但也存在一些问题有待解决。

3.1 生存能力问题

反卫星卫星、激光和粒子束武器的发展,将对该系统构成威胁。另外, GPS 是信息集中系统,主控站和注入站是该系统信息的节点,一旦被摧毁,整个系统就会崩溃。

为解决这个问题,设置了 3 个注入站,研制了具有自主导航能力的新型卫星 BLOCK R,并研制 GPS/GLONASS 组合接收机等。

3.2 缺少通信链

GPS 是被动式导航定位系统。由于系统间没有通信链,因此,不能满足航管、搜索、营救等工作的需要。为解决这个问题,一些国家和国际组织研究采用 GPS 与全球卫星通讯系统、移动通信系统相结合的方案和技术。

3.3 GPS 信号无入水能力

GPS 工作于 L 波段,无入水能力。潜艇用 GPS 导航,必须浮出水面,或设置漂浮天线。为解决此问题,采用 GPS/INS 或 GPS/Omega 等组合导航系统。另外,在地下建筑也无法接收 GPS 信号,需将天线设置在外部。

4 GPS 定位的未来发展

4.1 新一代工作卫星(Block F)的研制

该项工作于 1999 年底完成。Block F 卫星共有 24 颗,其寿命为现有卫星的 3 倍。它们将逐步代替目前轨道上的 Block R 卫星。

4.2 GPS 系统空间部分的卫星数

可能由目前的 24 颗卫星增加到 30 颗,即 6 个轨道平面中的每个平面均匀分布 5 颗卫星。这种星座结构有两大优点: 卫星可见性将大大提高。

全球任何地方、任何时间都不再有“盲区”,即可见卫星至少多于 4 颗,其 PDOP 值 < 10 ; 单个卫星的死角可忽略不计。GPS 观测者无需再在作业前制定观测计划,以选择有利的观测窗。

4.3 解决军民两用矛盾

GPS 系统在 2008—2010 年前仍将维持现状,即继续使用 L_1/L_2 频率发播 GPS 信号。美国国防部拟为民间用户提供不保密的 L_2C 频率;但至今尚未申请到这种频率。在尚未开发出 L_2C 的情况下,可能利用现有的 L_1/L_2 频率分别播发军用信号和民用信号,预计 2008—2010 年可望实现,从而减少军、民两用的矛盾。

为了彻底解决军、民两用产生的矛盾,可能采用 C 波段或更高频率的波段(例如 5 000 ~ 5 200 MHz)作为军用频率,发播保密的军用 GPS 信号。顺便指出,在此波段上,电离层的时延值小得多,但要求信号强度增大 10 倍。

美国也在考虑采用第 3 个民用频率(L_3C)发播不保密的民用信号。如果此方案付诸实施,则高精度(厘米级)的民间用户将无需解算整周相位模糊值,能大大提高观测成果的可靠性,还能极大地缩短在点上的观测时间,从而提高 GPS 作业生产率。

4.4 民用频率 L_3C

可能选在 GLONASS L_2 频率附近,即约在 1 258.29 MHz 附近。 L_3C 选在此处的优点是: 符合国际电信联盟的规定; 与 GPS 卫星中信号发生器的频率一致; 目前使用的双频接收机及其天线可继续使用; 同 GLONASS 系统的信号互不干扰; 为 GPS 军事用途提供足够的灵活性。

5 结束语

GPS 现代化课题,已为全世界导航、定位、地理、气象学、旅游等各领域密切关注。我国也需要研究有关方案,采取相应措施。一则充分发挥 GPS 技术在国家经济建设中的作用,再则也可使我国导航定位技术立于不败之地,跻身于世界强手之林。

建立自己的卫星跟踪网,提供精密星历服务,这是根除选择可用性 SA 政策和反电子欺骗 AS 技术影响的最佳手段。我国已在 2000 年 10 月 31 日、12 月 21 日和 2003 年 5 月 25 日发射了 3 颗“北斗一号”导航定位卫星,组成了完整的卫星导航定位系

统,确保全天候、全天时提供卫星导航信息,这标志着在这一领域已取得突破性进展。系统正常工作后,可提供 10^{-7} 级的精密星历。“北斗导航试验卫星”的发射成功,为“北斗导航定位系统”奠定了坚实的基础,该系统将对我国的国民经济建设和国家安全发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 周忠谟,易杰军. GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京:测绘出版社,1992,1-10,57-166.
[2] 谢世杰,赵利生. 世纪之交的 GPS[J/OL]. <http://www.dzjs.com>. 2004-08-13.

Error Origin of GPS Location and Its Development in Future

XU Zhi-fu¹, WANG De-bao¹, CHEN Bao-xing¹, HUANG Jun¹, LIU Xiu-jie²

(1. Shandong Mapping Institute of Land and Resources, Shandong Jinan 250013, China; 2. Yantai Bureau of Land and Resources, Shandong Yantai 264003, China)

Abstract: Precision of GPS location is effected by many elements. Major error origins are error related with GPS satellite, error related with signal propagation and error related with accepting equipments. In the future, development of GPS depends on two sides: one is newly created Block F satellite, which will replace present Block R satellite, its age is 3 times as the present one; the other side is to use L₃C to propagate civil signal which need not be kept secrets. People do not need to measure phase fuzzy values in a week. On the basis of shortening observing time, location precision can get cm degree, which will promote reliability and work efficacy of observing achievements.

Key words: GPS location; error origin; development in future; Beidou navigation location system

(上接第 44 页)

General and Physical Characteristics of Basalt - andesite Rock Materials for Building Road in Jingjiazhuang Area of Jinan City

MA Xiao-dong

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Basalt - andesite deposit in Jingjiazhuang area of Jinan city belongs to sodium and high - potassium type and sodium - alkali medium - basic magmatic rocks. It is mainly composed of basic hydrophobic minerals. Its physical and chemical properties are superior to other rock materials as limestone. It can meet the demand of first degree rock materials for building railroad and road.

Key words: Basalt - andesite; ores; rock materials; Jingjiazhuang; Jinan in Shandong province