

GPS 误差分析和精度控制

王应东

(山西大同市煤矿设计研究所,山西大同 037001)

摘要:通过对 GPS 测量误差的研究,在设计技术方案时采取相应的措施消除或削弱误差的影响,严格按照测量规范进行操作,尽量避免并减少误差从而提高成果的可靠性和精确性。

关键词:GPS; 误差分析; 精度因子; 真距; 多路径效应

中图分类号:P207+.1 文献标识码:B 文章编号:1672-5867(2011)06-0235-02

GPS Error Analysis and Precision Control

WANG Ying-dong

(Shanxi Datong Coal mine Design and Research Institute, Datong 037001, China)

Abstract: Through the study of GPS measurement errors, understanding errors in the design of technical solutions take the appropriate measures to eliminate or weaken these effects. We must operate strictly in accordance with the measurement specifications to avoid and reduce errors, so as to enhance the reliability and accuracy of the results.

Key words: GPS; error analysis; accuracy factor; true distance; multipath effects

0 引言

GPS 以其具有全能性、全球性、全天候、精度高、观测时间短、测站间不需要通视等优点在众多领域中已经得到广泛应用。但同时在 GPS 测量中也包含多种误差,只有深刻理解这些误差源的性质及其影响,才能在制定技术方案和实际作业时,采取必要的措施消除或削弱这些影响,提高成果的可靠性和精确性。

1 GPS 精度

GPS 的测量精度主要有两种重要因素,测量误差和卫星与用户的几何位置(我们用空间位置精度因子 PDOP(Position Dilution of Precision)来表示)但通常都用几何图形精度因子 GDOP(Geometric Dilution of Precision)来描述空间位置精度因子 PDOP 和时间误差 TDOP(接收机钟差精度因子 Time Dilution of Precision)的综合影响。计算方法是:

$$GDOP = \sqrt{PDOP^2 + TDOP^2} \quad (1)$$

GPS 绝对定位的误差与精度因子(DOP)的大小成正比。经分析研究表明:当观测站与4颗观测卫星所构成的六面体体积越大时,所测卫星在空间的分布范围也越大,而这时的 GDOP 值越小,观测的精度也越好。但是为了降低大气折射对观测精度的影响,通常都要先限制观测卫星的高度角(上述大气折射对观测精度的影响),当所测卫星在空间的分布范围越大, GDOP 值越小;当所测卫星在空间的分布范围越小,则 GDOP 值越大;当 GDOP 值越小,则观测效果就越显著。因此可参照 GDOP 值的大小,决定观测效

果的好坏,同时决定是否采用此点位或此观测值。

2 GPS 误差分析

GPS 定位是通过地面接收设备接收卫星传送的伪距载波相位和数据星历确定地面点的3维坐标。测量结果的误差来源于 GPS 卫星、信号的传播过程和接收设备在高精度的 GPS 测量中还应注意到与地球整体运动有关的固体潮汐、相对论效应等的影响。

2.1 与 GPS 卫星有关的误差

与 GPS 卫星有关的误差,包括星历误差(轨道误差)、卫星钟误差等。

1) 卫星星历误差

卫星星历误差由卫星所给出的卫星位置与卫星的实际位置之差称为卫星星历误差。卫星星历误差又等效为伪距误差,它是一种起始数据误差,大小取决于卫星定轨系统的质量,如定轨站的数量及其空间分布,观测值的数量及其精度,轨道计算时所用的轨道模型及定轨软件的完善程度等。此外与星历的外推时间间隔也有关系。星历误差是 GPS 测量的重要误差源。目前, GPS 卫星轨道误差的等效伪距误差(使用广播星历)为 4.2 m,美国的 SA 政策和 AS 政策人为地使导航定位的精度降低,点位误差有时达到 100 m。

2) 卫星钟误差

卫星的位置随时间变化, GPS 测量是以精密测时为基础的。信号由卫星到达地面的传播时间乘以光速就等于站星间的几何距离。因此, GPS 测量的精度与时钟误差密

收稿日期:2010-12-02

作者简介:王应东(1968-)男,山西大同人,工程师,学士,主要从事工程测量工作。

切相关。卫星钟误差指 GPS 卫星时钟与 GPS 标准时间的差别, GPS 采用高精度原子钟(铷钟和铯钟),但它们与 GPS 标准时间之间的偏差和漂移总量仍在 $1 \sim 0.1$ ms 之间,由此引起的等效距离误差将达 $300 \sim 30$ km。这是一个系统误差,必须加以修正。可以通过连续监测精确确定其运行状态参数,用二项式模拟卫星钟的误差能保证卫星钟与标准 GPS 时间同步在 20 ms 之间,由此引起的等效偏差不会超过 6 m。要想进一步削弱剩余的卫星钟残差,可通过对观测量的差分技术进行。

2.2 与 GPS 信号传播有关的误差

GPS 信号传播误差主要包括电离层折射、对流层折射以及多路径传播。

1) 电离层折射误差

电离层是指高度在 $50 \sim 1000$ km 之间的大气层,受太阳辐射(主要是 X 射线和紫外线区能量辐射)作用,高层大气中的气体分子被电离,形成带正电的粒子和自由电子,这种电离气体的密度是高度、时间和经纬度的函数,呈非均匀分布。GPS 信号在电离层中传播产生延迟,从而使测得的结果产生偏差。在纬度地区测站天顶方向电离层延迟白天达 30 ns(相当于 10 m),夜间为 $3 \sim 10$ ns(相当于 $1 \sim 3$ m)。传播方向的延迟与观测仰角有关,一般在 $30 \sim 50$ ns(相当于 $9 \text{ m} \sim 5 \text{ m}$) 之间。可见它对测量精度影响是不可忽略的,必须对它进行改正。进行电离层改正时,单频接收机和双频接收机采用的方法不同。单频接收机采用电离层改正模型,常用 Klo - buchar 模型。实测资料表明,该模型能改正电离层影响的 50% ~ 60%,理想情况下能改正 75%。另外,单频用户还可以采用 GPS 导航电文提供的 Tgd 参数进行电离层延迟改正。Tgd 参数表示的是 GPS 发播的 2 个频率 L1 和 L2 的群延迟之差。对于双频用户,由于电离层对 L1 和 L2 频率有色散性质(即折射指数随频率变化),可采取双频观测组合消除电离层的影响。对流层折射误差。对流层折射误差是电磁波信号通过对流层时其传播速度不同于真空中光速所引起的。对流层是离地面高度 40 km 以下的大气层,该层集中了大气质量的 99%。电磁波在其中的传播与频率无关,只与大气折射率和电磁波传播方向有关,在天顶方向延迟可达 2.3 m,在高度角 10° 时可达 20 m。

2) 对流层折射误差

对流层折射与大气压力、温度和湿度有关。由于对流层大气状态变化复杂,所以大气折射率的变化及其影响比较复杂。

3) 多路径传播误差

在 GPS 测量中,测站周围的反射物所反射的卫星信号进入接收机天线,并和直接来自卫星的信号产生干涉,使观测值偏离真值产生多路径误差。这种由于多路径的信号传播所引起的干涉时延效应被称为多路径效应。据大量资料的分析统计,多路径误差对点位坐标的影响在一般环境下可达 $5 \sim 9$ cm,在高反射环境下可达 15 cm,多路径效应是影响 GPS 测量精度的一个重要误差源,严重时还可能引起卫星信号失锁。

3 减少或消除误差的措施

3.1 测站安置

测站不宜选择在山坡、山谷和盆地内,应远离大面积

平静水面,其附近不应有高层建筑、广告牌等(即所谓净空)。测站应选择反射能力较差的粗糙地面,以减少多路径误差。另外,延长观测时间,选择配有抑径板的接收天线也可减少多路径误差。

选择适当的截止高度角,既可延迟和限制电离层、对流层的影响,又能尽量多接收几个卫星的信号,以增加多余观测数,改善几何图形。

在测段间重新整平对中仪器,以减少接收机的整平对中误差。同时还要求天线盘方向标志指北(偏差在 5 s 之内),便于对接收机相位中心偏差进行改正。

3.2 测量方法

用载波相位测量代替伪距测量。由于载波波长很短($\lambda_1 = 19.0$ cm, $\lambda_2 = 24.4$ cm),因此,比伪距测量精度高 $2 \sim 3$ 个数量级,用双频改正还能减少或消除电离层延迟误差。

用相对定位代替绝对定位。2 点或 2 点以上的同步相对定位与单点的绝对定位相比,可减小卫星历误差、卫星钟差、大气延迟误差(2 点间距 < 100 km)。

采用区域差分技术或广域差分技术不但能减小基准站和用户站共同的误差,而且可使站间距从 100 km 增加到 2000 km。

3.3 数据处理

用精密星历代替或部分代替广播星历。授权用户可由 Internet 随时下载精密星历提供给解算软件,达到减小与星历有关误差影响和 SA 政策影响的目的。采用适当的起算数据。有 3 种可行方案:首先与国家 GPS 网一、二级控制点或其他高级 GPS 网控制点连测,精度可达米级;其次,将原有国家级已知点的坐标转换到 WGS - 84 坐标系中,精度在几米级;最后,如果没有条件与其他控制点连测,也可用不少于观测 30 min 的单点定位结果做起算数据,其精度为 $10 \sim 15$ m。载波相位测量中采用适当的线性组合。如分别在接收机、卫星、历元间求一次差,可分别消除卫星钟误差、接收机钟误差和整周模糊度。在接收机、卫星间求二次差可同时消除卫星钟误差和接收机钟误差。在三者间求三次差可得到只有坐标差未知数的方程。

4 结束语

GPS 测量中存在上述多种误差,深刻理解了这些误差,在设计技术方案时采取相应的措施消除或削弱这些影响。在实际作业中要严格按照测量规范进行操作。在作业过程中,测量的主要误差是多路径误差、点位的对中误差,作业时应尽量避免并减少其误差从而提高成果的可靠性和精确性。同时,只有深刻理解这些误差,才能设计合理的 GPS 接收机硬件和软件系统,从而促进 GPS 的进一步发展。

参考文献:

- [1] 张凤举. 控制测量学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [2] 沈桂荣, 吕安民. 控制测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1995.
- [3] 王晓华, 郭敏. GPS 卫星定位误差分析[J]. 全球定位系统, 2005(1): 43 - 47.

[责任编辑:王丽欣]