

GPS 测量的误差分析

郑立平¹ 白彦钲²

(1. 广东省中山市港口镇规划管理所 2. 横店集团山东农业工程公司测绘部)

摘要: 针对当前 GPS 定位技术的发展及其应用的普及, 特别是在大地测量、工程测量、工程变形监测、地理信息数据采集和更新等测绘学科的应用前景, 本人简要介绍了 GPS 测量误差的来源及其减弱误差的方法。

关键词: GPS 测量 误差来源 误差分析

一、引言

GPS 测量是通过地面接收设备接收卫星传送来的信息, 计算同一时刻地面接收设备到多颗卫星之间的伪距离, 采用空间距离后方交会方法, 来确定地面点的三维坐标。因此, 对于 GPS 卫星、卫星信号传播过程和地面接收设备都会对 GPS 测量产生误差。

GPS 测量误差按其性质可分为系统误差和偶然误差两类。系统误差主要包括卫星星历误差、卫星钟误差、接收机钟误差以及大气折射误差等, 偶然误差主要包括信号的多路径效应、接收机的位置误差、天线相位中心位置误差等等。其中系统误差无论从误差的大小还是对定位误差的危害性来讲都比偶然误差要大的多, 它是 GPS 测量的主要误差来源。同时系统误差也是有规律可循, 可采取一定的措施加以消除, 偶然误差则可以通过改善测量环境来降低误差。

二、系统误差及减弱误差的措施

2.1 与大气折射有关的误差

卫星发出信号与地面接收机收到信号要经过大气层, 信号在大气层的传输过程中受到大气层的减弱和延迟。

2.1.1 电离层的折射误差及减弱措施

所谓电离层, 指地球上空距地面高度在 50~1000km 之间的大气层。电离层中的气体分子由于受到太阳等天体各种射线辐射, 产生强烈的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, 如同其他电磁波一样, 信号的路径会发生弯曲, 传播速度也会发生变化。所以用信号的传播时间乘上真空中光速而得到的距离就不会等于卫星至接收机间的几何距离, 这种偏差叫电离层折射误差。

减弱电离层折射误差的措施有以下几方面:

(1) 利用双频观测。电磁波通过电离层所产生的折射改正数与电磁波频率 f 的平方成反比。如果分别用两个频率 f_1 和 f_2 来发射卫星信号, 这两个不同频率的信号就会沿同一路径到达接收机。由于用调制在两个载波上的 P 码测距时, 初电离层折射不同外, 其余误差都相同, 所以就可以用 P1 和 P2 码测的伪距之差计算出电离层折射改正量。最后将地面接收机观测结果加上计算出的折射改正量得到改正后的地面点精确坐标。

(2) 利用电离层改正模型加以修改。采用双频技术, 可以有效的减弱电离层折射

的影响, 但在电子含量很大, 卫星的角度角又小时求得电离层延迟更改中的误差可能达几厘米。为了满足更高精度的 GPS 测量的需要, Fritzke、Brunner 等人提出了电离层延迟改正模型。该模型考虑了折射率 n 及地磁场的影响, 并且是沿着信号传播的路径来进行积分。计算结果表明, 无论在何种情况下来改进模型的精度均优于 2mm。

(3) 利用同步观测值求差。用两台接收机在基线的两端进行同步观测并取其观测值之差, 可以减少电离层折射的影响。这是因为当两观测站相距不太远时, 由于卫星至两观测站电磁波传播路程上的大气状况基本相似, 因此大气状况的系统影响便可以通过同步观测值的求差而减弱。

这种方法对于短基线 (小于 20km) 的效果尤为明显, 这时经电离层折射改正后的基线长度的残差一般为 $1\text{ppm} \cdot D$ 。不过, 随着基线的长度增加, 其精度随之明显下降。

2.1.2 对流层折射误差及减弱措施

对流层的高度为 40km 以下的大气层, 其密度比电离层更大, 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, 使其温度随高度的上升而降低, GPS 信号通过对流层时, 也使传播路径发生弯曲, 从而使距离产生偏差, 这种现象叫做对流层折射误差。

对流层折射误差与地面气候、大气压力、温度和湿度变化密切相关, 这也是对流层折射比电离层折射更复杂。对流层的折射与信号高度角有关, 当在天顶方向 (高度角 90°), 其影响达 2.3m; 当在地面方向 (高度角为 10°), 其影响可达 20mm。

减弱对流层折射误差的主要措施有以下几方面:

(1) 利用对流层改正模型加以修改。由于对流层折射对 GPS 信号传播的影响比较复杂, 一般采用改正模型进行削弱。常用的各种改正模型是利用气象参数进行计算更正。其气象参数在测站点直接测定。

(2) 利用同步观测值求差。当观测站相距不太远时 (小于 20km), 由于信号通过对流层的路径相似, 所以对同一卫星的观测值求差, 可以明显减弱对流层的影响。但是, 随着同步观测站之间距离增大, 求差方法的有效性也将随之降低。当距离大于 100km 时, 对流层的折射影响就制约 GPS 精度的提高。

(3) 利用水汽辐射计直接测定信号传播的影响。

2.2 与卫星有关的误差

2.2.1 卫星星历误差及减弱措施

由星历所给出的卫星在空间位置与实际位置之差称为卫星星历误差。由于卫星在运动中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于系统误差特性, 是一种起算数据误差。它将严重影响单点定位的精度, 也是精度相对定位中的重要误差源。

解决星历误差的方法有以下几种措施:

(1) 建立自己的卫星跟踪网独立轨道。建立 GPS 卫星跟踪网, 进行独立定轨。这不仅使我国用户摆脱美国政府使用 “SA” 和 “AS” 有意降低调制在 C/A 码上的卫星星历精度的影响, 且使提供的卫星星历进一步提高。这将为提高精密定位的精度起显著影响; 也可以为实时定位提供预报星历。

(2) 同步观测值求差。利用两个或多个观测站上, 对同一卫星的同步观测值求差, 以减弱卫星星历误差的影响。由于同一卫星的位置误差对不同的观测站同步观测的影响具有系统性质, 所以通过同步观测值求差方法, 可以把两站共同误差消除。

2.2.2 卫星钟的钟误差及减弱措施

卫星钟的钟差包括钟差、频偏、频漂等产生的误差, 也包含钟的随机误差。卫星钟的这种偏差, 可以通过卫星的地面控制系统根据前一段时间的跟踪资料 and GPS 标准时推算的数据加以改正, 并通过卫星的导航电文提供给用户。这样各卫星之间的钟差可以保持在 20ns 以内, 由此引起的等效距离误差不会超过 6m, 卫星钟差和经过改正过的残余误差, 则需要采用在接收机间求一次差等方法来进一步消除。

2.3 与接收机有关的误差

2.3.1 接收机的钟差及减弱措施

GPS 接收机一般采用高精度的石英钟, 其稳定度很高。若接收机钟与卫星钟间的同步差为 $1\mu\text{s}$, 则由此引起的等效距离误差约为 300m。

减弱接收机钟差的方法:

(1) 把每个观测时刻的接收机钟差当作一个独立的未知数, 在数据处理中与观测站的位置参数一并求解。

(2) 认为各观测时刻的接收机钟差间是

($\phi 40$) 十字型钎头失效形式及原因分析

陈艳平
(七煤集团新兴煤矿)

在煤矿生产掘进中,采用($\phi 40$)十字型钎头打眼。因此钎头是掘进的必耗材料。正常工作情况下,钎头实效的主要诱因是冲击疲劳断裂和磨蚀变形。具体作业条件下,由于几何结构和参数、材质、制造工艺、选择和使用等多方面原因。钎头的破坏形式是形形色色的,现分析几种典型失效的形式。

一、钎头的裤体胀裂

引起裤体胀裂的原因有很多,但最表现为裤体的坚固性与外载不相适应。首先从裤口内壁开始,产生切向拉伸残余变形,引起裤壁周长和直径扩大,使裤体形成喇叭形或鼓形,钎亦随之渐次挤入裤底,裤端在底部裤壁产生台阶,连接松弛,托钎、堵死水孔、碎片、断腰、断梢等事故接踵而来,致使钎头提前报废。当裤体钢材硬度过高,表现为脆性断裂时,则发生裂裤。

胀裤裂裤的发生,从钎头本身质量上分析,裤体几何结构不合理。包括钎梢插的过浅,锥孔角度过大、裤壁厚度不够等,还有钎头体钢材的强度不够。

从使用技术分析,由于钎梢与椎孔的配合精度不够,钎梢与孔壁之间的密合程度、装卸钎头方式不对,钎头修磨规范不合理等原因造成。

二、钎头钢体的疲劳断裂

80%以上的钎头断裂部位,均发生在腰部——即钎梢断面与钎裤底部的分界处。直接原因是由于腰部截面积较小,应力集中。所以最早发生由拉——压循环载荷引起的疲劳断裂。

另外,还常因下列不利因素而加剧腰部的断裂:

1. 几何结构和参数设计失误:包括腰部裤壁厚度过薄,钎裤内外壁片同一截面附近发生突变,突变处曲率半径过小甚至形成尖角等。

2. 制造工艺不当:腰部出现热处理过渡区的薄弱组织,裤体硬度不足,多冲拉力较低,机械加工形成尖角和粗糙刀痕,未经表面强化和防锈处理等。

3. 使用方法后:包括钎梢与钎裤接触不良,钎梢插深不足,偏心撞击,打钝钎头,手锤砸打卸钎等。

三、钎头的脱片和掉齿

其主要原因在于固片工艺不当。此外也与钢材焊接、焊剂的性能,夹接合金片部分的钎头钢体的几何结构参数,配片和焊接操作,以及使用方法等因素有关。

四、钎头合金片的早期碎裂

早期碎裂表现为崩刃、掉角、断片、碎片等。合金片的破裂方式和严重程度除了与钎头与合金片本身几何结构参数的坚固性,制造工艺有关外,其次,应注意操作使用不当。包括常见的钎头干磨、钎刃修磨过尖、空击、打干眼、打钝钎头等。这些因素将削弱合金片的坚固性,增加断裂源和附加外载,从而加剧合金片过早破裂。

通过以上分析可知,掌握钎头的合理几何结构参数、材质制造工艺,以及正确的使用操作方法,就可以延长钎头的使用寿命,这对节约吨煤成本具有重要意义。

相关的,像卫星钟那样,建立接收机的钟差数学模型,并在观测量的平差计算中求解模型的系数。这种方法的成功与否的关键在于模型的有效程度。

(3) 通过在卫星间求一次差来消除接收机的钟差。

2.3.2 接收机天线相位中心位置的偏差

在GPS测量中,观测都是以接收机天线的相位中心的位置为准的,而其天线的相位中心和其几何中心,在理论上应保持一致。可是实际上天线的相位中心随着信号输入的强度和方向不同而有所变化,即观测时相位的瞬时位置(一般称相位中心)与理论上的相位中心有所不同,这种差别叫天线相位中心的位置偏差。如何减少相位中心的偏移是天线设计的一个问题。

三、偶然误差及减弱措施

3.1 接收机的位置误差及减弱措施

接收机天线相位中心相对测站标石中心位置的误差,叫接收机位置误差。这里包括天线的置平和对中误差,量取天线高误差。如当天线高度为1.6m时,置平误差为0.1度时,可能会产生对中误差3mm。因此,对于减弱这种误差的有效措施,是在精密定位时,必须仔细造作,尽量减少这种误差的影响。

3.2 多路径误差

在GPS测量中,如果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,这就将和直接来自卫星的信号(直接波)产生干涉,从而使观测值偏离真值产生所谓的“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为多路径效应。

多路径效应是GPS测量中一种重要的误差源,将严重损害GPS测量的精度,严重时还将引起信号的失锁。在实际工作能够应用以下几种措施减弱多路径误差。

(1) 选择合适的站址。多路径误差不仅与卫星信号方向有关、与反射系数有关,并且与反射物离测站远近有关,可采用以下措施来减弱:①测站应远离大面积平静的水面。灌木丛、草和其它地面植被能较好地吸收微波信号的能量,是较理想的设站地址。翻耕后的土地和其它粗糙不平的地面反射能力也较差,也可选站。②测站不宜选择在山坡、山谷和盆地中。以避免反射信号从天线仰板上放进入天线,产生多路径误差。③测站应离开高层建筑物。观测时,汽车也不要停放的离测站过近。

(2) 对接收机天线的要求。①在天线中设置抑径板,通过抑径板来阻止被地面反射的卫星信号,来避免读路径误差的

产生。②改进接收天线。接收天线对于极化特性不同的反射信号应该有较强的抑制作用。

(3) 在静态定位时,经过长时间的观测,多路径误差的影响可大大减弱。

四、结语

通过对GPS测量的误差分析,可以发现系统误差(卫星星历误差、卫星钟差、接收机钟差以及大气折射误差)的减弱,主要靠通过改进接收机的性能和增强卫星技术的发展,而偶然误差(信号的多路径效应、接收机的位置误差、天线相位中心位置误差)的减弱,可以通过测量人员的工作态度和工作热情,以及经验的丰富来减弱。

【参考文献】

- [1] 蒋安夫等.快速RTK在工程控制网中的应用[J].勘察科学技术.2002.(2)
- [2] 谢世杰等.RTK特点与误差分析[J].测绘工程.2002.(2)
- [3] 姜晨光等.GPSRTK系统通讯效果的测试与研究.勘察科学技术.2001.(6)
- [4] 李丽等.GPSRTK测量成果的质量控制方法.本溪冶金高等专科学校学报.1999.(1)
- [5] 徐绍铨等.GPS测量原理及应用.武汉,武汉测绘科技大学出版社.1998.10