

基于GPS技术的码头变形监测误差分析

顾文韬¹ 江会楷²

1. 湖州市公路水运工程监理咨询有限公司 浙江湖州 313098

2. 浙工大检测技术有限公司 浙江杭州 310012

【摘要】GPS技术是一种新型的结构监测技术，具有全自动、全天候、高精度等特点，非常适用于大型结构的变形监测。在公路水运工程众多领域中，GPS技术具有广泛的应用前景。将GPS技术在码头结构健康监测中的应用作为背景，研究GPS在码头工程中的误差来源以及影响规律。此外，为了减少误差影响，提高观测精度，并提出针对性的建议和应对措施，可以为码头变形监测施工现场提供指导意见。

【关键词】GPS技术；码头变形监测；误差来源；观测精度

引言

码头结构变形监测就是利用监测技术获取、分析与解释变形信息，采用科学、准确的方法，及时地分析和预报监测部位的变形情况，这对工程建筑物等变形体的施工和运营管理是十分必要的。

在工程变形监测中的应用，已经实现了数据采集、数据传输、数据处理的自动化，结构变形监测工作变得更加方便[1]。GPS还能直接测量结构的整体位移，采样频率一般在10—20Hz之间，最高可达100Hz，RTK测量模式的精度可达到平面内±10mm，高程±20mm。与此同时，如何保证码头变形监测中GPS的测量精度满足要求，如何有效消除GPS在码头变形监测中的误差成为了变形监测过程中亟待解决的问题。对结构物变形监测的精度以及变形监测误差进行分析，可以有效保证结构物变形监测系统的准确性。

1 GPS技术原理

在GPS定位中，定位精度受到卫星轨道误差、钟差及信号传播误差等因素的影响，导致产生较大误差。采用GPS相对定位技术，可以提高精度，是目前GPS测量中精度最高的定位方法，这项技术广泛地应用于精密工程测量、大地测量及结构物的变形监测之中。

1.1 GPS定位原理

GPS全球定位系统全称Global Positioning System，利用GPS进行定位的基本原理是：以GPS卫星和用户接收机天线之间的距离的观测为基础，并根据已知的卫星瞬时坐标来确定用户接收机所对应的点位。由此可见，GPS定位的关键是测定用户接收机天线至GPS天线之间的距离。

在绕地球飞行的人造卫星上装有无线电信号发射机，卫星发射信号被接收机所接收，在此过程中可以测出信号传播时间 Δt ，进而可以求出该卫星至地面接收机之间的距离：

$$s = c \cdot \Delta t + \sum \delta_i \quad (1)$$

式中 c 为信号传播速度， δ_i 为各项改正数。

但是卫星上的原子钟与地球上接收机上钟不同步，导致测距有一定误差，其大小为：

$$\Delta s = c \cdot (v_i - v_T) \quad (2)$$

式中 v_i 为卫星的钟差， v_T 为接收机的钟差。

现在如果想测定地球上某一点P的位置，可以在该点架设一台GPS接收机，若在同一时刻 t_i 同时接收4颗GPS卫星(A, B, C, D)的信号，并测得接收机到它们各自的空间距离 S_{AP} , S_{BP} , S_{CP} , S_{DP} ，可得到待定点P的空间三维坐标。

由此可见，GPS定位的实质即空间距离后方交会法，根据空间高速运动的GPS卫星的瞬时位置作为已知点，采用空间距离后方交会的方法来确定待定点的空间位置。

1.2 静态相对定位概念

在保证基线的基点位置静止不动的情况下，安置GPS接收机于基点上并同步观测相同的4颗以上的GPS卫星，以此确定基点在协议地球系中的相对位置，这种定位模式称为相对定位。

静态相对定位是在静态单点定位的基础上发展起来的一种监测手段。单点定位由于受到星历误差、信号传播误差以及接收机误差等因素的影响，定位精度不能达到工程要求。为了提高观测精度，采用两台接收机同时接收相同卫

星信号，由于两台接收机之间的距离相对于接收机到卫星的距离可以忽略不计，以相对位置作为研究对象，从而消除误差影响，同时天线长时间固定在基线两端点上观测，可取得足够多的观测数据，保证观测精度。在实际的工程应用中，可适当增加接收机和测定的基线数目来增加基线观测量，进而提高观测成果的可靠性。

2 GPS监测误差分析

GPS测点是依靠地面接收设备接收GPS卫星传播的信息来获得点的三维坐标，因此地面接收设备、GPS卫星和卫星信号的传播过程是使得监测结果存在误差的主要三个来源。其他的影响因素主要来自于地球自身整体运动，包括地球潮汐、负荷潮及相对论效应等作用。在实际应用中，通常以等效距离误差的方式来表现各种误差对距离测量的影响，即将各种误差的影响投影到观测站至卫星的距离上，并以相应距离误差来反应误差的影响。表1列出了不同误差来源及原因对GPS距离测量的影响。

表1 不同误差来源及原因对GPS距离测量的影响

Table 1 Influence of different error sources and causes on GPS range measurement

误差来源	原因	对距离测量的影响/m
卫星部分	星历误差；钟误差；相对论效应	1.5~15
信号传播	电离层；对流层；多路径效应	1.5~15
信号接收	钟误差；位置误差；天线相位中心变化	1.5~5
其他影响	地球潮汐；复荷潮；相对论效应	1

2.1 GPS监测误差来源

2.1.1 卫星相关误差

与卫星有关的误差主要有卫星钟差与卫星轨道误差。

(1) 卫星钟差

由GPS卫星的测距原理可以看出距离与时间的线性关系，从某种意义上来说测距其实是在测时，所以只有保证精密的测时才能有准确的GPS定位。尽管GPS卫星上有高精度的原子钟对信号传播计时，但它与真实的GPS时仍存在偏差或漂移，这种偏差在1 ms以内，但引起的等效距离误差最大为300 km。

(2) 卫星轨道偏差

由于卫星在实际运动中受到多种非地球质心引力的影响使其偏于开普勒轨道，从而使得地面监测站不能准确测定其运动轨道。目前常用导航电文来计算卫星位置，其误差大约为20 m~40 m，在经过摄动力模型的改进和定轨技术的完善下，卫星位置精度可提高到5 m~10 m。

2.1.2 与信号传播有关误差

卫星信号在传播过程中，需要穿过大气层才能到达接收设备，其中大气层中的电离层与对流层对信号影响较大。

(1) 电离层折射的影响

GPS卫星信号是一种电磁波信号，因此当其通过电离层时，不可避免的将受到弥散特性的影响，导致其传播路径发生变化。

(2) 对流层折射的影响

对流层折射的影响分为干分量与湿分量，两者分别与大气压力和大气湿度有关。目前，可用地面的大气资料计算干分量的影响，而湿分量影响虽然不大，却无法准确测定。

2.1.3 与接收设备有关误差

有关于接收设备的误差主要有观测误差、接收机误差、天线相位中心误差和载波相位观测的整周不定性影响等。

除了上述三类误差外，如地球自转，地球潮汐，相对论效应，卫星钟和接收机钟震荡器的随机误差等都会影响GPS监测精度。在满足地球动力学的要求下，缩小或消除这些误差，保证长距离相对定位的精准，是GPS监测发展急需解决的问题。

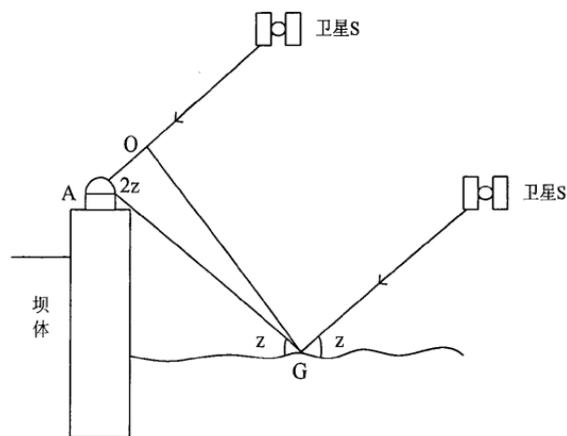


图1: 水面反射波示意图

Figure 1: Schematic diagram of reflected waves on the water surface

2.2 GPS监测具体误差分析

2.2.1 产生误差的客观因素

由于码头监测区域周围环境复杂,并且在数据采集过程当中,又经常有轨道吊车经过GPS接收机的上方以及周边货车的不断经过,这些都会影响GPS监测的精度,而影响监测结果的主要来源是多路径效应带来的误差。如图1所示。

上图清晰地反映出两条信号所经过的路径长度是不同的,反射波多经过的那段长度称为程差,即:

$$\Delta = GA - OA = GA(1 - \cos 2z) = 2H \sin z \quad (3)$$

式中, H为接收机天线距离水面的距离。

反射波相对直接波相位延迟为:

$$\theta = \Delta \cdot \frac{2\pi}{\lambda} = 4\pi H \sin z / \lambda \quad (4)$$

经过计算,若采用L1载波相位水面反射引起的多路径误差最大可达到3.9 cm,若采用L2载波最大可达5.1 cm,由此可见水面反射造成的多路径效应误差之大。因此,在对码头的监测过程中,对控制点的选择应选在远离水面的区域。

2.2.2 产生误差的人为因素

人为因素也是监测数据结果产生误差所不容忽视的因素,其对数据产生影响主要在两个方面,一是数据采集,二是数据处理。

首先,在码头监测点仪器安放过程中操作员总会默认天线相位中心与它的几何中心为一致,而实际上它们并不是统一的,这导致天线相位出现偏差;其次,仪器操作人员是否严格按照要求对仪器对中整平,此项操作的精度将直接影响测量结果;另外监测过程当中,数据采集人员身上的手机信号也会影响采集的质量。因此,在码头监测中,应提前一天做好数据采集计划,以一个科学的态度按计划按步骤进行数据采集,这样才能有效提高数据采集的质量。

在后期数据处理过程中,需在解算时指定具体的解算条件来应对实际作业模式、测量精度等要求不同的问题,这将考验操作人员对软件使用的熟练程度,是否具备调整各种参数的经验,会对数据处理的好坏产生影响,尤其是在处理基线不合格的问题上,需要同时不断调整高度截止角和历元间隔参数,使其符合条件。另外,由于卫星信号不好导致基线不合格的情况,还应删掉不合格区域。因此,除了在外业中采取必要的措施减少各种不利因素的影响,必要时还需要通过一定的手段来改进基线向量成果。

3 结论

随着GPS技术的不断发展,未来GPS技术在工程监测方面具有十分深远的前景。本文根据GPS全球定位系统的组成部分、卫星定位原理分析码头变形监测中GPS监测误差的主要来源——与卫星有关的误差;与信号传播有关的误差;与接收设备有关的误差。在此基础上,结合实际工程现场环境,从客观因素和人为因素两个方面,具体剖析了在码头这一特殊结构物监测中,误差产生的主要原因,从中总结了误差的来源以及消除办法,并且提出了对数据的检验方案,为今后GPS技术在码头监测中提供了宝贵的意见。

参考文献:

- [1] 赵宜行. GPS变形监测技术及其数据处理方法研究[D]. 西安科技大学, 2009.
- [2] 过静璐, 商瑞斌, 葛胜杰, 等. 利用GPS监测高大建筑物动态位移法研究[J]. 工程勘察, 1997(3): 48-51.
- [3] 翟文. 基于GPS/BDS紧组合RTK的桥梁变形监测分析[J]. 城市勘测, 2020, No. 180(05): 118-121.
- [4] 陈茹, 张建财. GPS在矿山地表变形监测中的误差分析[J]. 世界有色金属, 2018, No. 502(10): 243+245.
- [5] 罗裕敏. GPS定位原理及其在工程测量中的应用[J]. 房地产导刊, 2017, 000(006): 232, 234.