

GPS 在基坑支护工程监测的应用及分析

王少广

北京东方新星勘察设计有限公司

DOI: 10.12238/ems.v5i1.5957

[摘要] 随着GPS的发展，GPS定位技术广泛应用于各类工程建设中，同样在基坑边坡支护监测领域也发挥了非常重要的作用。尤其在大型基坑的施工中，基坑位移变形可能会导致基坑自身及周边建构筑物产生变形，甚至带来严重的安全隐患。因此，基坑的变形监测对基坑施工安全、周围建筑物的影响都具有重要的意义。

[关键词] GPS；基坑支护；位移监测

Application and Analysis of GPS in Monitoring of Foundation Pit Support Engineering

Wang Shaoguang

Beijing Dongfang Xinxing Survey and Design Co., Ltd

[Abstract] With the development of GPS, GPS positioning technology has been widely applied in various engineering constructions, and it has also played a very important role in the field of foundation pit slope support monitoring. Especially in the construction of large foundation pits, the displacement and deformation of the foundation pit may cause deformation of the foundation pit itself and surrounding buildings, and even pose serious safety hazards. Therefore, the Deformation monitoring of foundation pit is of great significance to the construction safety of foundation pit and the influence of surrounding buildings.

[Key words] GPS; Foundation pit support; Displacement monitoring

前言

随着 GPS 技术不断发展，GPS 具有定位精度高、操作简便、不受通视影响等特点，可以得到监测点三维的坐标，相对其他的常规观测方法更易实现监测的连续性、时效性和自动化，因此，GPS 定位技术在控制测量、施工测量、变形监测等领域都得到广泛的应用，本文结合实际监测项目，介绍 GPS 技术在大型工业基坑位移监测中的应用，通过对监测成果分析和结论，认识 GPS 技术在监测中的应用效果及意义。

由于GPS高程的测量精度远低于等级水准精度，因此一般在基坑支护监测中，其水平位移坐标采用静态GPS测量，高程则采用水准测量。下文根据实际案例（某大型煤仓基坑支护工程监测）介绍GPS静态测量在基坑支护工程的水平位移监测的应用及分析。

一、基坑监测目的和意义

在现代工业建设过程中，涉及到许多大型基坑支护工程，比如工业雨水事故池基坑、煤仓基坑等等，这些基坑具有面积大、开挖深的特点，长宽最大可达100—300米，深度最深可达20米，而且地质条件差、地下水位浅，因此基坑支护工程及其

监测尤为重要。

在基坑开挖的施工过程中，由于基坑受到内外土体压力、支护结构应力等，坑体支护结构会发生变形，导致支护结构监测点必然产生一定的位移。位移包括水平位移及垂直位移（沉降），因此，为确保支护结构变形能够控制在一定的安全指标内，排除施工安全隐患，对基坑支护结构进行综合、实时、系统的变形监测就非常必要了。

利用 GPS 监测基坑支护结构的水平位移，利用水准测量监测支护结构的垂直位移（沉降），可以根据监测结果进行分析，发现施工安全隐患，及时加强支护措施，对施工安全进行预警，防止基坑开挖施工过程中发生安全事故；根据监测结果分析对施工过程进行指导，反馈监测结果进而优化设计，可以使施工设计达到更加合理经济目标；通过对比监测结果和理论预测值比的分析，修正理论参数，更好地优化施工设计参数。

二、基准点测设

1、基准点的埋设

通常选择在基坑的拐角外侧建立至少4个以上基准点，具体因地制宜，根据现场实际情况选择埋设位置和数量。在基坑外

围埋设的基准点为四个强制对中观测墩，底端埋入地表以下至少0.8米，上端高于地表约1.2m，用混凝土浇筑，顶部预埋强制对中螺栓。采取强制归心观测墩，可以有效降低对中误差，提高GPS的测量精度。

在基坑区域外稳固的地方布设平面基准点，点位的选取要考虑以下因素：

点位牢固易于保存；能正常接收GPS卫星信号；基准点之间相互通视，便于复测检查。

根据现场实地踏勘的情况，考虑基准点的稳定性和观测精度要求，在基坑区域外布设4个GPS平面基准点（启用2个，备用2个）。

2、基准网的测量

监测的平面基准采用与厂区的坐标系一致，并与原来控制点进行联测。四个基准点与厂区原有2个控制点组成GPS监测基准网进行联测，采用静态测量模式观测，然后使用专业软件进行平差解算得到四个基准点的坐标成果，平面基准网每个月至少复测1次，特殊情况可以增加监测频率，确保基准网准确及稳定。

（1）GPS观测

观测采用4台标称精度：2.5mm+0.5ppm的双频GPS接收机。

GPS基准网依据《建筑变形测量规程》二等GPS监测基准网的观测技术要求进行观测。其中观测时长不低于60分钟，GPS接收机的强制对中误差实际不大于0.2mm；天线高的量取至1mm。观测中，应避免在接收机近旁使用无线电通信工具。作业同时，应做好测站记录，包括控制点点名、接收机序列号、仪器高、开关机时间等相关的测站信息。

（2）平差计算

采用测量专业软件进行平差计算，其平差结果经等级精度评定合格后才能使用。

GPS监测基准网精度的评定，应满足下列要求：

控制网的测量中误差，按下列式计算：

$$m = \sqrt{\frac{1}{3N} \left[\frac{WW}{n} \right]}$$

式中 m —控制网的测量中误差（mm）；

N —控制网中异步环的个数；

n —异步环的边数；

W —异步环环线全长闭合差（mm）

监测基准网的测量中误差，应满足相应等级控制网的基线精度要求： $m \leq \delta$ （ δ —基线长度中误差）

三、监测点的测设

1、监测点的埋设

根据设计图纸及技术要求，结合相关基坑监测规范，在基坑周边冠梁上建立水平位移点，每个基坑布设监测点17个，两个基坑共布设34个监测点。监测点预埋在冠梁中融为一体，这样设置监测点可以更精确的测出基坑位移量。同时监测点顶部为强制对中螺栓，同样可以降低监测点对中误差，提高观测精度。

2、监测点的观测

根据基坑的特点及实际情况，同样采用4台标称精度：2.5mm+0.5ppm的双频GPS进行静态测量。按照三等GPS监测网观测技术要求进行观测，其中观测时长不低于20分钟。采用测量专业软件进行平差计算，其平差结果经对应等级精度评定合格后才能使用。

监测网由基准点和监测点组成，其中2台固定安置在2个基准点上，另2台分别设置在2个监测点上，同时段进行观测便构成一个四边形GPS网（或两个独立三角形GPS网）；每观测完成一对监测点，基准点的两台GPS接收机不动，监测点的两台GPS接收机则转移到下对监测点，然后进行下一时段观测，如此循环共计17对监测点全部完成。

3、监测数据处理

观测完成后，使用专业软件进行平差解算，精度评定与基准网一样，求得每个监测点的坐标数据。

每次观测时间顺序不变，从而保证间隔周期一致，能够准确反映相邻周期的变形数据。

其中前两次连续观测坐标数据取其平均值作为初始值，每次坐标数据与前次比较计算出本次水平位移量及位移速率，与初始值比较计算出累计水平位移量。

4、变形曲线绘制

根据监测点可以绘制对应水平位移曲线图，先把在X、Y两个方向位移分量矢量化，求取变形数值及方位。但案例中的基坑采用建筑坐标南北正向，X或Y位移分量就代表了监测点的变形量和方位（垂直冠梁指向基坑内侧），所以无需矢量化。分别绘制X、Y两个方向位移曲线则更加直观，便于观察位移方向及位移量。

四、监测周期及频率

根据《建筑基坑工程监测技术规范》及设计技术要求确定监测频率和监测周期。

监测频率：

（1）基坑开挖深度小于等于5米时，观测频率1次/2d；

（2）基坑开挖深度在5—10米之间，观测频率1次/1d；

（3）底板浇筑完成7天内，观测频率1次/2d；

（4）底板浇筑完成7天后，观测频率1次/3d，之后视监测稳定性确定。

监测周期：基坑开挖至回填完成。

五、监测预警及报警

根据《建筑基坑工程监测技术规范》及设计相关技术要求确定各项监测报警值，以最小值为限。见下表1：

监测 项目名称	累计值预警		累计值报警		变化 速率	备注
	相对深度 控制值	绝对值	相对深度 控制值	绝对值		
桩顶水平 位移监测	3.2‰H	32mm	4‰H	40mm	4mm/d	H=10m

表1 基坑监测报警值及预警值指标

基坑不同位置开挖深度也不同,最浅5.5米,最深10米,预警及报警的绝对值按10米控制。同时建立施工安全预警及报警机制,通过电话、短信、微信及警报等,对突发超限的变形情况及时通报,并报告建设、设计、施工、监理及监测等相关单位主要负责人,快速反应采取加强支护措施,保证基坑施工安全。

六、监测成果及分析

从冠梁水平位移监测结果及位移曲线图可以看出:原料煤仓和燃料煤仓基坑均处于极其缓慢向基坑内侧方向移动的状态,但不同位置位移量有所差异,原料煤仓最大水平位移累计值X轴方向13mm,Y轴方向13mm,位移速度小于1mm/d,远低于预警指标4mm/d;燃料煤仓最大水平位移累计值X轴方向11mm,Y轴方向15mm,位移速度小于1mm/d,远低于预警指标4mm/d;随着基坑加深其变形缓慢加速,开挖到底变形最大15mm,随着底板浇筑进程又逐步减缓,基本处于相对静止状态,反映出煤仓基坑及外围桩基已经固结稳定,冠梁支护效果良好,完全满足规范及设计要求。

七、GPS监测的应用总结

1、GPS监测的步骤

- (1) 建立布局合理的监测基准网并获取基准点数据;
- (2) 建立布局合理的监测GPS网并获取监测点数据;
- (3) 制定合规的监测周期和频率并据此进行监测;
- (4) 制定合规的预警值和报警值,及时进行预警和报警;
- (5) 根据监测变形数据、变形曲线及监测模型进行动态管理、查询、分析及预测,给出监测结论。

2、监测模型建立

以基坑连续墙冠梁监测点水平位移、沉降(水准测量方法)的三维位置和三维速率为状态参数的基础上,建立基坑卡尔曼滤波模型,防止观测粗差的出现,并将该模型应用在监测数据的处理上,提高分析数据的精度:利用可视化分析方法,结合其他监测数据,用数据方式绘制基坑支护工程各监测点的水平位移图、沉降图、应力曲线图,对基坑整个施工过程的位移、沉降、深层土体位移、地下水位等情况进行动态模拟。

3、静态数据处理

GPS静态模式的监测网一般是由基准点和监测点组网构成。基准点是水平位移监测网的起算点,监测点首期坐标是位移分析的基础,后期坐标是位移分析的依据,相辅相成。GPS静态测量是基于认为监测点在观测时候处于相对静止状态的理念,根据前后两期测量得到的坐标差计算得到水平位移量,测量流程:在不同期采用GPS静态测量获得各点位之间的基线向量,然后分析其观测的质量,平差计算获取监测点的坐标数据;最后,根据监测点不同周期监测点的坐标计算得出该点的坐标差—水平位移量。

4、动态变形分析

动态变形分析方法认为在基坑监测过程中,监测点是动态变化的,其是一种利用动态方程描述基坑位移变形的数据信息载体。

根据时间信息和对应GPS的监测变形数据信息,形成一个二位数据方程。从而形成水平位移变形曲线图,更加直观反映基坑支护工程变形情况,分析预测下一周期位移变形趋势。

从而保证基坑支护安全性、有效性及连续性。

八、经验分享

GPS水平位移监测提高精度几点方法和经验:

- (1) 基准点与监测点直接组网观测,免去工作基点环节;
- (2) 基准网及监测网布局合理,图形结构相对固定;
- (3) 观测人员相对固定;
- (4) 仪器设备相对固定;
- (5) 观测路线、观测方法相对固定;
- (6) 处理数据基准及方法相对固定;
- (7) 采用强制对中等降低偶然误差;
- (8) 记录相关环境变化因素进行修正。
- (9) 每次监测按照同样顺序且在同样时间段测量,尽可能

在较短时间内完成;

及时掌握基坑的变形情况,预防和控制不稳定因素出现,整个监测过程中,外业观测完成后,及时处理监测数据,发现问题及时解决,当晚提交基坑监测成果日报表,并给出监测分析结论。

九、结语

利用GPS进行基坑水平位移监测,不受施工干扰和通视条件影响,操作比较便捷,节约人员和时间,尤其在基准点和监测点不能通视的情况下,就可以得到监测点的三维坐标,基准点的选择更加灵活,而且定位精度不低于比其他常规监测方法。利用GPS进行基坑水平位移监测不仅不受施工环境影响,而且还可以提供精准的监测数据,为基坑施工安全、预警分析起到精准有效的作用,可以看出随着GPS技术不断发展,在工程建设及变形监测等领域将会得到日益广泛的应用。

【参考文献】

- [1] GPS/INS在空中三角测量技术中的应用[J]. 邹小香;李伟;刘海华. 江西测绘, 2016 (04)
 - [2] 基于GPS/INS的高光谱影像几何粗校正[J]. 王拴平;朱俊;宗德春. 北京测绘, 2011 (01)
 - [3] 附加方位约束的GPS/INS组合系统选权自适应卡尔曼滤波[J]. 柴艳菊;欧吉坤;袁运斌;阳仁贵;钟世明;王海涛. 测绘学报, 2011 (04)
- 王少广(1965年7月);男;河北晋州;汉族;中级工程师;国家注册测绘师;大专;从事工程测量