

北斗卫星导航技术在建筑深基坑变形 监测中的应用研究

唐咸远¹, 林俊², 周振荣²

(1. 广西科技大学土木建筑学院, 广西柳州 545006; 2. 广西建工集团第五建筑工程有限责任公司, 广西柳州 545001)

摘要:为研究北斗卫星测量技术在建筑深基坑位移监测中应用效果,以柳州市一深基坑工程监测为案例,介绍了BDS系统与常规测量方法的优点,基坑监测系统的组成,测点的选择,监测实施方法及效果。研究表明,BDS为主的GNSS技术在精度和可靠性方面均能满足要求,完全适用于基坑的位移监测。

关键词:北斗卫星导航系统;测量技术;深基坑;变形监测;沉降

中图分类号:TU441+.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)11-0066-05

Application Research on Beidou Satellite Navigation Technology in Deformation Monitoring of Deep Foundation Pit/TANG Xian-yuan¹, LIN Jun², ZHOU Zhen-rong² (1. School of Civil Engineering of Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi 545006, China; 2. Guangxi Construction Engineering Group Fifth Construction Engineering Co., Ltd., Liuzhou Guangxi 545001, China)

Abstract: In order to study the application effects of Beidou satellite measurement technology in the displacement monitoring for deep foundation pit construction, with an example of deep foundation pit project in Liuzhou City, the paper introduces the advantages of BDS system and conventional measuring method, the composition of foundation pit monitoring system, measuring points selection, monitoring methods and the effects. The research shows that GNSS technology, in which BDS is the key, can meet the requirements of accuracy and reliability, and is suitable for the displacement monitoring of foundation pit.

Key words: Beidou satellite navigation system; (BDS); measurement technology; deep foundation pit; deformation monitoring; settlement

0 引言

随着我国城市化建设的快速推进,为了更好地利用城市地下空间,建筑基坑工程向大而深方向发展,而基坑深度增加会使施工的难度和危险性大幅提高,因此,必须依靠现场监测,及时掌握基坑开挖中支护结构及周围环境的安全状态,并将施工中实测的各项变形数据与预警指标相对照,以便在超过预警指标时采取有效措施,防患于未然。

我国对基坑变形监测也较为重视,相继出台了相应的监测规范^[1-2],但常规的变形监测方法多采用全站仪、水准仪进行量测,人力及时间成本高,且不能实现自动化及连续监测。近年随着GPS及北斗卫星载波相位差测量技术的进步,利用GPS或北

斗卫星技术进行变形监测得到了广泛的应用^[3-4]。

1 北斗卫星监测系统

北斗卫星导航系统(BDS)是我国自行研制的全球卫星定位与通信系统,与美GPS、俄GLONASS并列为三大全球卫星导航系统。BDS由空间端、地面端和用户端组成,目前可全天候为亚太地区各类用户提供高精度定位、导航、授时服务及短报文通信,约至2020年,将建成覆盖全球的北斗卫星导航系统。

1.1 北斗相位差测量技术优点

应用北斗卫星载波相位差测量技术进行变形监测,在每个监测点上都安置一台北斗卫星接收机,不

收稿日期:2017-03-11;修回日期:2017-09-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目“动载作用下加筋土界面力学特性及路堤挡墙加筋承载机理研究”(编号:51469005);柳州市科技开发项目“基于北斗卫星载波相位差测量技术的深基坑变形监测系统开发应用”(编号:2014C030403)

作者简介:唐咸远,男,汉族,1973年生,副教授,从事土木工程教学与科研工作,广西柳州市东环路268号,thy1188@126.com。

间断地进行全天候自动监测^[5]。与常规的监测方法相比,北斗卫星载波相位差测量技术有着如下优点:

(1)测站间无需通视,只需测站上空开阔即可,监测点位布设灵活方便,可减少不必要的中间过度点;

(2)可同时提供监测点的三维位移信息,检测精度高;

(3)北斗卫星测量技术不受气候条件限制,其配备防雷设施后,便可实现全天候观测;

(4)操作简便,易于实现检测高度自动化,大大减轻外业强度。

BDS 与 GPS、GLONASS 相比,主要优势在于:导航与短信服务结合,通讯功能较强;通信盲区少,能全天候快速定位,精度与 GPS 相当并可与 GPS 兼容^[6];有独特的中心节点式定位处理和指挥型用户机设计;具有自主化的高强度加密系统设计,安全可靠、稳定性好。

北斗卫星自动化监测技术可实现高度自动化,又可迅速得到点位三维坐标,其是集北斗卫星、数字通讯、自动控制、计算机网络、精密工程测量及现代数据处理等高新技术一体,为实现基坑的自动化监测提供了一种新方法^[7-8]。

1.2 基坑监测系统简介

本次对依托基坑工程进行监测是采用南方测绘的基坑变形监测系统。主系统由数据采集、数据传输(数据通讯)、数据处理(控制)中心及辅助子系统 4 个子系统组成。各子系统形成一个有机的整体,前端数据采集子系统负责实时接收卫星信号及采集各类监测传感器数据,并由数据通讯网络传输至数据处理(控制)中心,通过控制中心软件对数据进行处理分析,实时监测变形体的三向位移情况。若监测数据出现异常,辅助系统中的预警设备会立即做出相应的预警反应。系统整体拓扑如图 1 所示。

1.2.1 数据采集系统

数据采集系统由卫星信号(GNSS)接收机(包含监测站及基准站)及其他各类监测传感器等组成。卫星信号接收机采用南方 SM02 改进型高精度多频多星座系统主板 GNSS 接收机,并采用能有效抑制多路径效应的影响的大地形扼流圈天线,结合不妥协的稳定相位中心(小于 0.8 mm)也可抑制射频干扰,以保证系统更安全可靠;其余监测传感器

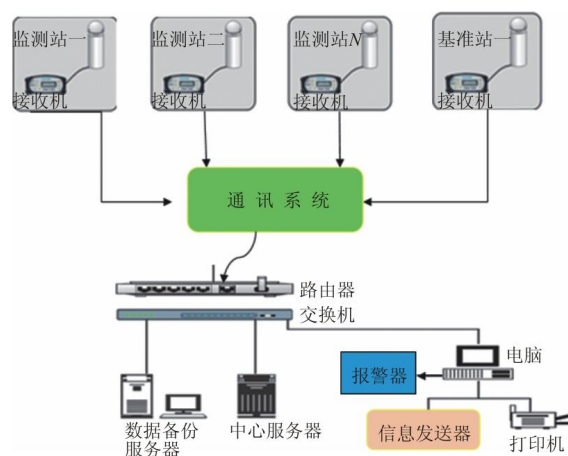


图 1 监测系统整体拓扑图

均采用目前行业最先进的监测技术及设备实时监测目标。

1.2.2 数据传输系统

只有数据畅通稳定的传输才能保证系统的正常运行及数据解算的精度。卫星信号接收机能提供 RS232、TCP/IP 等多种协议数据接口,方便接入不同的通讯设备,也可根据现场情况确定最佳的通讯方式。

系统数据传输的方式分为以下 2 类。

(1)有线通讯:有线通讯从数据传输稳定性、成本、维护等角度考虑,使用光纤光缆效果最好。光纤光缆带宽宽,传输距离较远,传输速度不受距离的限制,传输介质物理性能稳定,不受电磁干扰,能有效保证数据采集端与控制中心数据通信的带宽和质量,也可为系统拓展提供充足的带宽储备,还能方便监测系统组网。

(2)无线通讯:无线通讯一般采用移动通信商 GPRS/CDMA/3G/4G。其传输不受视距及距离因素影响,城市建设中利用信号较好。

1.2.3 数据处理(控制)中心系统

由监控中心的服务器系统、监测软件及 SQL Sever 数据库等组成,是整个系统的核心,其结构与性能直接影响整个系统的可靠运行。

1.2.4 辅助支持系统

由外场机柜或机箱、配电箱及 UPS、防雷和远程电源监控、报警装置及打印设备等组成。

2 监测系统的实施

2.1 依托工程概况

广西柳州市金成大厦规划总用地面积为 5336 m²,主楼(9F,部分 12F)为框架结构,采用筏板基础+柱下独立柱基础,基坑支护结构施工完毕后方能进行基础施工。沿拟建物周边设 2 层连通式地下室,基坑顶及底周长分别为 299 m、280 m;基坑设计深度为 8.5 m 及 10.0 m,基坑安全等级为 II 级,支护结构使用期限为 12 个月。

该工程基坑周边场地条件复杂,东面有 5 栋 3 层砖混建筑,基础形式为浅置独立基础,埋深约 1.5 m,最近处距离建筑红线仅 3 m;南面为 4 栋 3 层砖混建筑,到红线距离仅 4.4 m 基础形式为浅置独立基础,埋深约 1.5 m;北面为 1 栋 14 层框架建筑,最近处距离建筑红线仅 10 m;西面为市政道路;基坑影响范围内场地周围无市政管线分布。基坑的场地平面及相关变形监测点设置如图 2 所示。

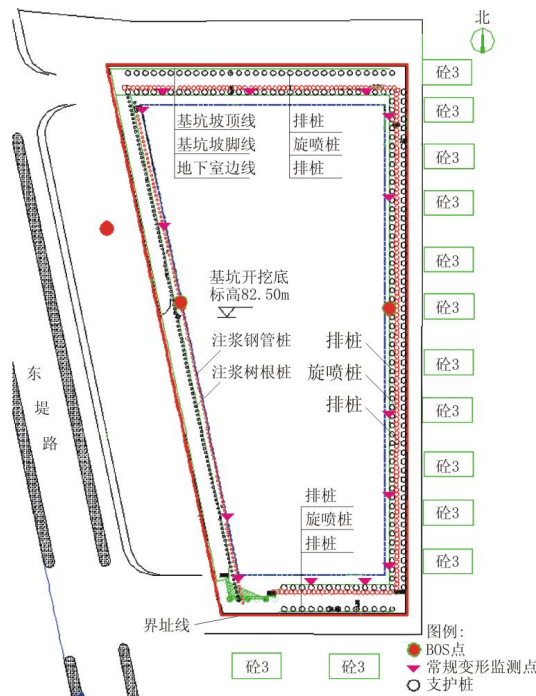


图 2 基坑平面及监测点布置图

金成大厦基坑西面临近柳江,坡顶与柳江常水面边缘的距离约 110 m,勘察资料表明靠西面(近河堤侧)的基坑侧壁的地质情况:上部为 6~7.5 m 的杂填土,下部为 1.5~2.5 m 厚度的红粘土,二者均为不良地质,特别是杂填土的厚度较大,基坑支护设计及施工较为困难、复杂。

2.2 基坑支护方案及监测要求

根据基坑地质条件和周边建筑物分布情况,金成大厦基坑支护设计方案如下:对于杂填土较厚的

西面采用复合土钉墙支护结构,注浆微型钢管桩+注浆树根桩+预应力锚索+锚杆+挂网喷砂,其他断面采用双排桩支护,支护面积约 2610 m²。

基坑开挖要求随时进行地下水位和变形监测,施工期间发现问题及时通知相关单位并及时解决(采用动态管理以减少基坑支护投资),以保证基坑施工安全、避免对相邻建筑造成影响^[9-10]。实施监测时基坑及支护结构监测报警值见表 1,满足表中条件之一时应报警。

表 1 基坑及支护结构监测报警值

监测项目	绝对值/ mm	相对基坑深度 h 控制值/%	变化速率/ (mm·d ⁻¹)
边坡顶水平位移	55(30)	0.6(0.3)	10(3)
边坡顶竖向位移	55(20)	0.6(0.3)	5(3)

注:表中括号内数据适用于排桩设计剖面

2.3 监测实施过程

2.3.1 设备简介

站点接收机采用南方测绘生产的 SM02 改进型专业变形监测接收机。接收机针对变形监测系统的工程特点研发而成,可接收 GPS、GLONSS、BDS 三种卫星系统。主机采用嵌入式 Linux 系统,集数据采集存储、数据通信传输、智能供电及防雷功能于一体,综合解决了监测系统运行复杂环境的诸多难题,提供整套的技术解决方案,满足各种应用需求。其主要参数如表 2 所示。

表 2 接收机主要参数

精度指标	平面精度	±3 mm + 1 ppm
高程精度	±5 mm + 1 ppm	
信号通道	72 个超级通用信号通道(等同于 216 个信号通道)	
支持数据格式	原始观测数据格式管理	
数据采样率	1/5/10/20 Hz 可选	
通信方式	支持 3G/GPRS 无线通信、以太网通信	
SM02 接收机 通信扩展能力	可外接光端机,无线网桥,电台,WIFI 等设备	
电压	12 V 直流(可选配太阳能,市电供电)	
功耗	<5 W	
指示灯	电源灯/数据传输/系统 3 个 LED 状态指示灯	
L/O 接口	RS-232 标准串口(×2)、RJ45 以太网口(×1)、GPS 天线接口(×1)、3G 天线接口(×1)、12 V 电源输入口(×1)、自弹式 SMS 卡接口(×1)	
尺寸	160 mm × 178 mm × 47 mm(长 × 宽 × 高)	
质量	1.3 kg	
其他指标 工作温度	-30 ~ +65 °C	
防尘	工业 IP65 级防尘	
防雷	信号浪涌保护器	

从表 2 可以看出,其精度指标中的平面精度为 $\pm 3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$,高程精度为 $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$,满足变形监测精度要求。

监测系统采用南方测绘变形监测集成系统,并进行了一定的功能改进,具有计算、分析、处理输出符合规范的表格及变形曲线。系统可根据监测站类型和设备点位针对每个监测点设置 3 级预警值:三级(较重),二级(严重),一级(特别严重)。当监测结果达到预警值时,会通过系统内置的信息发送器通过短信息发送到相关人员手机上,以便及时处理。

针对柳州金成大厦的基坑监测特点,根据表 1 的报警值,设计各级预警值如表 3 所示。

表 3 各级预警值

级别	水平位移/mm	沉降变形/mm	通知人员
三级	15	15	现场施工及监测人员
二级	50	50	项目管理层及监理员
一级	70	70	公司管理层、总监、业主

2.3.2 安装调试

变形监测系统采用单基点解算方式,每处监测点设置 1 个基准站和 N 个地表变形监测点位。在变形监测区外选取合适位置作为基准点,将天线固定在安装支架或监测墩上,基准站主机安装在现场站内;监测点的位置通过现场勘查确定,在距离合适的情况下将主机安装在前端集成站内,方便保护。

2.3.2.1 踏勘及选址

实地踏勘并结合监测区域现状图合理选点:布点遵循位置高度角 10° 以上无障碍物,周围无大功率电磁干扰源,且干滩较长,多路径效应不明显。

本次监测基于试验目的,布置测点 2 个,基准点 1 个。监测基准站及监测点布置分别如图 3、图 4 所示,由于监测基点开始选点时可选择位置限制,受周围树木、工棚等遮挡较多,不得不采用钢管砣进行加高。

2.3.2.2 实地卫星信噪比查看

在拟选位置使用 GPS 接收机进行测试,开机后通过观察显示界面,查看 GPS 信噪比强度条及卫星分布图。第一次开机, GPS 定位时间 10 min 内,捕到卫星颗数要求不少于 6 颗; L1 信噪比值最低 40 以上, L2 信噪比值最低 38 以上, HDOP (horizontal dilution of precision) < 2 , PDOP (position dilution of precision) < 3 。

在测站用 GPS 接收机按 1 s 采样间隔进行静态



图 3 基准站



图 4 监测点

数据采集,观察数据的连续性。并结合静态数据检查,综合各方面的条件决定该点是否符合设点。

截图 2016 年 7 月 8 日 10 点 28 分 BDS1 (也为 GPS1) 的站点的卫星分布图及卫星信噪比视图,如图 5、图 6 所示。



图 5 卫星分布图

从图 5 中可以看出,站点 1 所处的卫星位置信号较好,接收到 22 颗,其中 GPS 系统 7 颗, GLONASS 系统 6 颗, BD 系统 9 颗。从图 6 可以看出, L1 信噪比值最低 40 以上卫星有 19 颗, L2 信噪比值最低 38 以上有 13 颗;其中北斗 BD161、163、167、168、170 共 5 颗均满足 L1、L2 的最低信噪比要求。

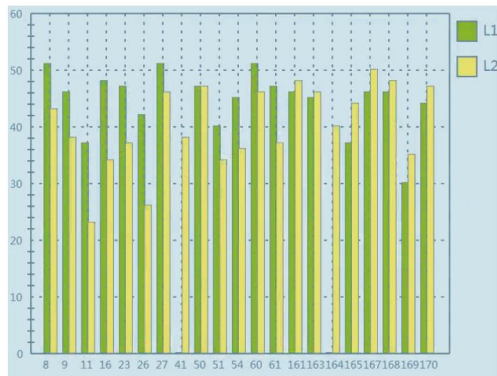


图6 卫星信噪比视图

2.4 监测结果分析

监测点的安装在基坑开挖后进行,图7为2016年6月16日至7月26日的水平偏位曲线图,从图7可以看出:二个测点的水平偏位均满足规范要求;BDS1水平偏位最大为14 mm,前期偏位变化较大,后期有一定减缓;BDS2水平偏位最大为5 mm,偏位变化也较小。

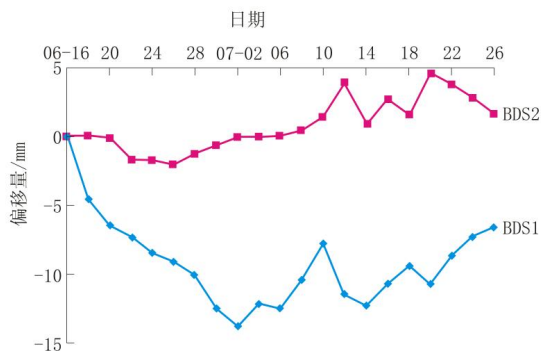


图7 水平偏位曲线图

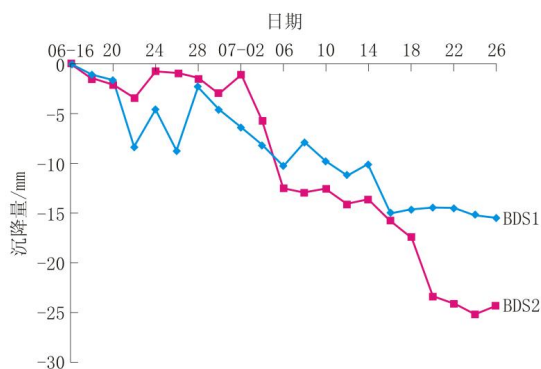


图8 沉降曲线图

图8为2016年6月16日至7月26日的沉降(竖向偏位)曲线图,从图8可以看出:二个测点的竖向偏位均满足设计要求;BDS1最大沉降量为16 mm;BDS2最大沉降量为25 mm。

预警值的设计也较为合理,其中三级(较重)曾在2016年7月16日触发,经监测分析及现场查看,主要原因是基坑沉降量达到16 mm,没有出现危及基坑安全的变形。

3 结论

通过监测的实施及结果分析,监测效果能达到规范及设计要求。得出的主要结论有:

(1)采用北斗卫星相位差技术进行监测能达到设计及规范的精度要求,输出的报表也能满足测量资料要求;

(2)基坑监测各测点特别是基准站布点时要选择在较为开阔地带,保证高度角 10° 以上无障碍物,并要进行实地卫星数量及信噪比查看;

(3)监测系统的预警值的设计必须满足基坑监测相应规范及设计要求,并按分级进行配置。

参考文献:

- [1] JGJ 8—2007,建筑变形测量规范[S].
- [2] GB 50497—2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
- [3] 李天文. GPS原理及应用(第三版)[M]. 北京:科学出版社,2015.
- [4] 刘志平. GNSS边坡监测与变形分析[M]. 北京:测绘出版社,2014.
- [5] 陆亚峰,楼立志,等.北斗与GPS组合伪距单点定位精度分析[J].全球定位系统,2013,38(6):1-6.
- [6] 王仲锋,林灿,厉亮.北斗静态定位实验与精度分析[J].测绘与空间地理信息,2014,37(1):17-18.
- [7] 张建坤,王智,等. GNSS技术在基坑水平位移监测中的应用研究[J].工程勘察,2016(10):61-65.
- [8] 林超,邹劲,黄俊铭.基于北斗的高精度测量接收机在位移监测中的应用研究[J].测绘通报,2015,(2):64-66.
- [9] 陈文俊,周策,刘一民,等.滑坡地表位移可视化监测系统的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):12-15.
- [10] 林书成,周振荣,唐咸远.复杂环境中深基坑综合支护设计与施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):70-74.