

基于北斗三号的船闸高精度变形监测应用分析

赵永茂¹ 王继龙² 陈家辉³ 李东阳³

1 北京司南北斗科技发展有限公司 2 北京中交创新投资发展有限公司 3 广西西江开发投资集团有限公司

DOI:10.12238/hwr.v5i4.3760

[摘要] 针对大型船闸运行过程中对位移安全监测的实际需要,结合基于北斗三号的高精度形变监测技术,以广西贵港、桂平船闸监测应用为例,阐述变形监测系统组成及关键技术,综合分析超过一个月的变形监测数据,为相关高精度变形监测应用提供参考。

[关键词] 北斗三号; 船闸; 变形监测; 精度分析

中图分类号: U641.5 **文献标识码:** A

Application Analysis of High-precision Deformation Monitoring of Ship Lock Based on Beidou-3

Yongmao Zhao¹ Jilong Wang² Jiahui Chen³ Dongyang Li³

1 Beijing Sinan Beidou Technology Development Co., Ltd. 2 Beijing Zhongjiao Innovation and Investment Development Co., Ltd. 3 Guangxi Xijiang Development and Investment Group Co., Ltd

[Abstract] According to the actual needs of displacement safety monitoring during the operation of large locks, combined with the high-precision deformation monitoring technology based on Beidou-3, this paper takes ship lock monitoring in Guiping and Guigang, Guangxi as an example, expounds the composition and key technologies, and comprehensively analyze the deformation monitoring data for more than one month to provide reference for relevant high-precision deformation monitoring applications.

[Key words] Beidou-3; ship lock; deformation monitoring; precision analysis

引言

北斗卫星导航系统(简称北斗系统)是我国着眼于国家安全和经济社会发展需要,自主建设运行的全球卫星导航系统,是为全球用户提供全天候、全天时、高精度定位、导航和授时服务的国家重要时空基础设施。

随着2020年7月北斗卫星导航系统第55颗卫星(北斗三号系统地球静止轨道卫星)完成在轨测试、入网评估正式入网服务,北斗系统已完成所有卫星的发射组网,并于2020年7月31日宣布正式开通并向全球提供服务,圆满完成了北斗“三步走”的发展战略^[1]。

随着高精度卫星定位技术的发展,支持北斗且兼容GPS、GLONASS、Galileo的多系统GNSS技术,可以为包括形变监测在内的各行业应用提供更好的技术基础。

1 系统组成

北斗船闸形变监测系统由GNSS基准

站、GNSS监测站、数据传输网络、监测服务器及配套软件组成,如下图所示。

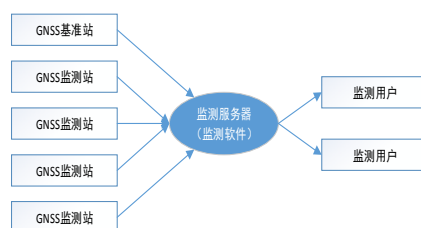


图1 变形监测系统示意图

监测系统各组成部分功能简介如下。

1.1 GNSS基准站及监测站

GNSS基准站和监测站是监测系统的主要组成部分,基准站设置在基础稳定的区域建设并作为变形监测数据解算的基准,GNSS监测站选择在船闸两侧安装,实时监测船闸基础设施运行状态^[2]。

各站点均由GNSS接收机、天线、观测墩及线缆组成,接收机通过天线接收北斗GNSS卫星信号,经过解码处理后获得原始

观测数据(包括伪距、载波、星历等),该数据是形变监测坐标计算的基础。

基准站天线采用混凝土观测墩方式安装,基准站接收机选择使用专为基准站设计的M300Pro接收机,可保证其长期稳定性。如下图所示。





图2 GNSS基准站天线及接收机

监测站安装于船闸两侧的上游、下游位置,各设置2个监测点,一共4个,天线及接收机如下图所示:



图3 GNSS监测站天线及接收机

1.2 数据传输网络

系统数据传输采用光纤网络,将参考站和监测站接收机数据实时传输至监测服务器上进行处理,传输延迟小,有利于监测数据的实时计算,同时将实时毫

米级高精度监测坐标及变形位移量通过网络推送至船闸管理部门。

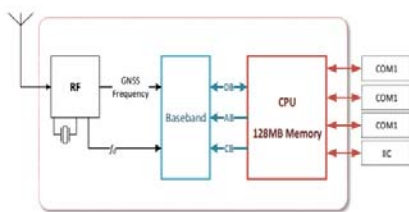
1.3 监测服务器及配套软件

监测服务器配套软件包括GNSS解算软件和监测分析软件,解算软件通过对接收到的GNSS原始观测数据进行处理,获得毫米级精度的监测点三维坐标数据,监测分析软件将坐标数据保存入数据库中,并通过Web浏览器进行展示和分析,同时具备地图显示、报表到处和超限报警等功能^[3]。

2 关键技术

高精度形变监测系统关键技术包括北斗GNSS信号接收处理技术、高精度坐标解算技术及监测数据展示分析技术,以下逐一简要叙述。

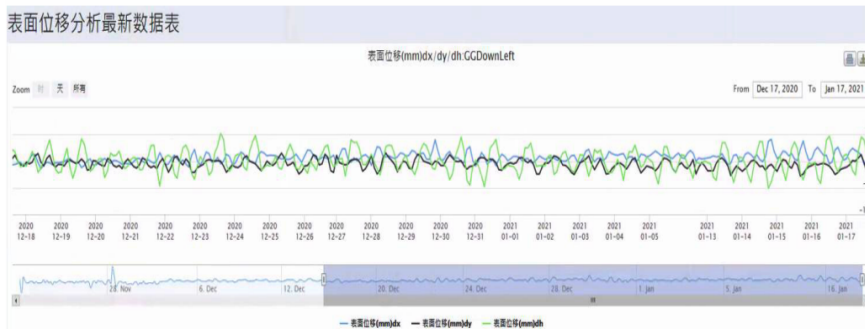
2.1 北斗GNSS信号接收处理技术



北斗GNSS信号接收处理技术主要由GNSS接收机内置核心OEM板完成,其主要有射频、基带、核心处理器等部分组成。

射频前端处理模块通过天线接收所有可见BDS/GPS/GLONASS卫星的信号,经前置滤波器和前置放大器的滤波放大后,再与本机振荡器产生的正弦波本真信号进行混频而下变频成中频信号,通过模数(A/D)转换器将中频信号转变成离散时间的数字中频信号。基带数字信号处理模块通过处理射频前端所输出的数字中频信号,复制出与接收到的卫星信号

下游左侧监测点位移监测曲线如下图所示(1个月)。



一致的本地载波和伪距信号,从而实现BDS/GPS/GLONASS卫星的捕获与跟踪,并且从中获取伪距和载波相位等测量值及解调出的导航电文。核心处理器模块对基带处理输出的伪距、载波、多普勒观测值及导航电文进行处理,通过标准网络接口输出至用户终端。

2.2 高精度载波相位差分解算技术

高精度载波相位差分解算技术包括模糊度计算、卡尔曼滤波等算法,相关算法内置于变形监测软件中,监测软件通过光纤接收到参考站和监测站的原始观测数据,解析出载波相位、伪距、信噪比等观测值,首先对卫星数据进行筛选(对于一些较差的数据予以剔除,包括观测较低仰角的卫星有时会因为卫星信号强度太弱、信噪比较低而导致信号失锁、信号在传输路径上受到较大的大气折射影响而导致整周模糊度搜索的失败),通过双差载波相位差分模型计算并经过卡尔曼滤波算法得出浮点模糊度,结合粗差分析和剔除算法,再通过残差验证搜索确定整周模糊度,最终得到稳定可靠的监测点三维坐标,三维坐标精度可达到毫米级。

2.3 监测数据展示分析技术

基于Java开发的B/S架构监测分析软件具有数据入库、位移量计算、变化曲线绘制、超限报警等功能。

3 监测数据分析

3.1 初值计算

经过对基准站和监测站超过半个月观测数据进行事后处理,获得各监测点高精度初始坐标,作为变形监测位移量计算的参考。

3.2 监测曲线

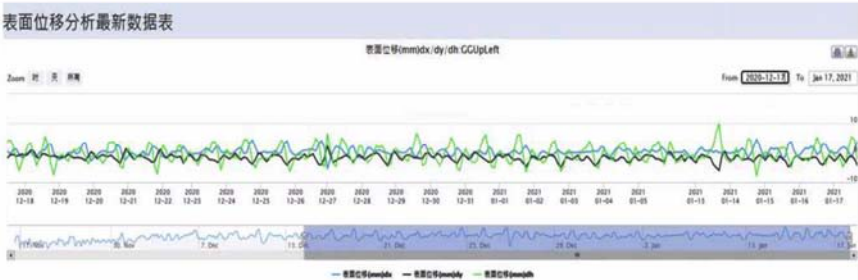
下游右侧监测点位移监测曲线如下图所示(1 个月)。



上游左侧监测点位移监测曲线如下图所示(1 个月)。



上游左侧监测点位移监测曲线如下图所示(1 个月)。



3. 3坐标精度

通过以下公式对持续1个月的监测数据进行精度评定。

$$m_h = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(N_i - N_0)^2 + (E_i - E_0)^2]} \quad (1)$$

$$m_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - U_0)^2} \quad (2)$$

式中：

mh, mv——分别为单点定位水平、垂直精度，单位为米(m)；

N0、E0、U0——分别为监测点在站心地平坐标系下的北、东、高坐标初始值，单位为米(m)；

Ni、Ei、Ui——分别为监测点第i

个监测解算结果在站心地平坐标系下的北、东、高坐标，单位为 米(m)；

n——获得的单点定位坐标个数。

监测坐标精度解算结果如下表所示。

表1 监测点坐标精度统计表(RMS)

监测点	N(mm)	E(mm)	2D(mm)	U(mm)
下游右侧	1.06	1.03	1.48	2.75
上游左侧	1.33	1.15	1.76	2.96
上游右侧	1.22	1.20	1.71	2.58
下游左侧	0.88	0.91	1.27	2.06
平均值(mm)	1.12	1.07	1.55	2.59

4 结论

综上所述，通过基于北斗三号的北斗船闸形变监测系统，能够实现自动化变形监测数据计算、存储和分析，监测坐标实测精度可达毫米级，能够满足船闸安全监测实际需要，具备进一步广泛推广的实际应用价值。

[参考文献]

- [1]庞华诚,杨建冲.基于北斗系统的高边坡变形监测技术在船闸工程的应用[J].中国水运(下半月),2020,20(5):64-66.
- [2]徐亮,方海东,吉同元,等.船闸工程安全监测及自动化研究[J].中国水运(下半月),2011,11(11):88-89.
- [3]贾璇.北斗卫星是怎么做出来的?实地探访北斗三号总装大厅[J].中国经济周刊,2020,(19):25-27.

作者简介：

赵永茂(1982—)，男，汉族，河南南阳人，本科，工程师，从事北斗GNSS高精度卫星导航定位技术在测绘、导航等领域的应用研究。