

# 基于北斗定位的预制框架顶推施工监控系统设计及应用

张洪亮

(湖南建工交通建设有限公司, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 北斗定位系统在土木工程变形监控中的应用越来越广泛。文中将北斗定位系统用于预制框架顶推施工偏位预警监控,设计预制框架桥顶推施工监控系统,介绍了该系统的基本原理、主要元器件性能参数及预制框架顶推时应用该系统计算、判定水平和垂直偏位的方法。

**关键词:** 桥梁;顶推施工;预制框架;监控系统;北斗定位

中图分类号:U445.462

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)05-0093-04

随着城市化进程的加速,先前修建的许多高等级公路(高速公路、市政主干道)已处于城区范围,由于高等级公路路基较高,采用上跨的方式资金投入较大且影响交通,采取下穿的方式是较普遍的选择。市政道路下穿高等级公路通常采用框架桥顶推施工方法,施工过程的关键在于钢盾构及框架中线的控制及水平位移控制,保证顶推顺利进行(不偏位),同时随时监测高等级公路路面的沉降及推移情况,确保顶推施工的安全实施。目前框架桥顶推施工中中轴线及水平位移、路基路面沉降与推移均由人工不定期测量,耗费的人力较多,且不能做到实时监测。由于沉降及推移可能存在滞后性,人工监测不及时可能导致事故发生。在数据处理效率方面,施工过程中由于掌握动态数据的滞后性造成准备不足而导致工作被动,甚至需要暂停施工导致工期延长。引入北斗定位系统设计预制框架顶推施工监控系统可解决上述问题。

## 1 基于北斗定位的预制框架顶推施工监控系统设计

### 1.1 基本原理

基于北斗定位的预制框架顶推施工监控系统由监控云平台、北斗接收机 GNSS、综合采集仪及应力应变传感器、静力式位移传感器等组成。北斗接收机用于监控框架顶升中的水平偏位与竖直沉降,设置一个基准点,其余北斗接收机均为基于该基准点的位移变化量。北斗接收机信号通过解算后直接通过监控云平台显示。静力式位移传感器、应力应变计接入综合采集仪,综合采集仪通过 GPRS 协议与

监控平台端通信,数据转换后显示在监控网站界面。通过账号登录 APP 网页,可查询实时框架位移数据及地面沉降、钢盾构应力变换等情况(见图 1)。

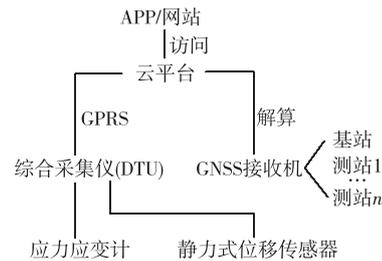


图 1 基于北斗定位的预制框架顶推施工监控系统的基本原理

### 1.2 主要原器件设计选型

(1) GNSS 北斗接收机。利用 GNSS 收发、4G 通信传输、嵌入式模块控制等技术,GNSS 北斗接收机可实现在云服务器端对多个现场位移变化进行毫米级实时监测,预防因位移变化造成的山体滑坡、桥面坍塌和路面沉降等安全事故。其主要技术参数见表 1。

表 1 GNSS 接收机的性能参数

项目	参数值
工作电压	DC12 V
卫星定位模式	毫米级
蓄电池容量/AH	100
设备功耗/℃	-20~80
数据监测采样频率/s	15
通信方式	4G 全网通
定位精度	毫米级
设备功耗	平均工作功耗不高于 7 W
太阳能板功率/W	100
防水等级	IP65

(2) 数据传输单元 DTU。用于将串口数据转换为 IP 数据或将 IP 数据转换为串口数据,通过无线通信网络进行传送。采用高性能工业级 32 位 ARM9 微处理器 MCU 和工业级 GSM/GPRS/3G/4G 通信模块,提供 TTL、RS232 和 RS485 接口,可直接连接串口设备,实现数据透明传输功能;内嵌 Modbus RTU 转 Modbus TCP 协议功能,可直接接入 Modbus TCP 的 SCADA 组态软件而不需二次开发;提供 1 路数字量输入,可实现数字量输入、脉冲计数输入触发上线的功能。需配备移动物联网卡一起使用。

(3) 综合测试采集仪。综合测试采集系统采用最新电子芯片及嵌入式系统软件的技术研发生产,为功能完备、分布式、准动态、自组网的全自动数据采集系统。硬件部分由主机、扩展模块、电源、标准支架、太阳能板、电池及相关配件组成,软件支持单机、局域网络、云平台多种版本,具有扩展性能强、配置灵活方便、现场防护能力好、系统稳定可靠、性价比极强等特点,能实现数据全面监测、智能化管理。

(4) 电磁静力式水准仪。电磁静力式水准仪由带液位传感器的储液容器组成,各储液容器由通液管及通气管相互连通,通过测量测点相对于基准点的液位变化反映被监测点的沉降或抬升情况。储液容器内配置高精度磁性浮子液位传感器,该传感器具有灵敏度高、稳定性好的特点,且不受环境温度变化的影响;采用全密封内压自平衡系统,不会受到大气压力变化的影响;配合防冻液,适合在恶劣环境下使用;通气、通液管均采用快速管接头,方便用户现场组装调试;配套的安装支架允许用户固定于墙面或地面。系统输出 RS485(Modbus)数字信号,通过与 DTU 连接将数据传输至云平台。

(5) 振弦式应力传感器。应力应变计采用高精度振弦式传感器,采用一体式结构,防水性能优良。用于监测预制框架顶推前端钢盾构部分的变形及应力,标准量程 3 000  $\mu\epsilon$ ,测量精度 0.1%FS,分辨力 0.035%FS,标距 150 mm。

## 2 预制盾构顶推纠偏计算及流程设计

### 2.1 测点设置

在预制砼框架中轴线顶推的反方向适当位置(视野开阔、标高固定)设置基站,安装 1 台 GNSS 接收机,其坐标点为坐标原点(0,0,0)。在预制框架尾部的 2 个角点各设置 1 台 GNSS 接收机,测点 1 的

坐标为 $(-L/2, S_1, H)$ ,测点 2 的坐标为 $(L/2, S_1, H)$ ,其中  $H$  为初始状态框架角点相对于基站的高差,为常数。在预制框架箱内底板中轴线设置物理测点 3,因该处位于箱内,无法安装 GNSS 接收机(不能接受北斗信号),只能借助激光或全站仪实现数据测量。测点 3 的初始坐标为 $(0, S_1 + S_2, H + H_2)$ ,其中  $H_2$  为预制框架高度,为常数。该辅助点用来反馈顶进端的竖直位移变化情况。各测点的设置见图 1。

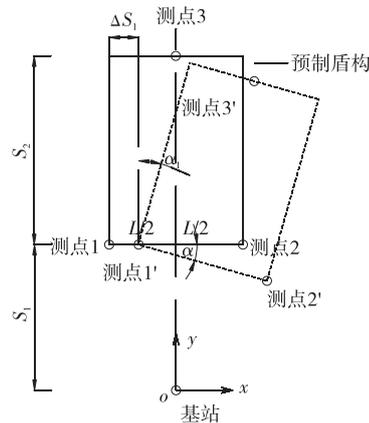


图 2 GNSS 测量原理示意图

GNSS 通电,与云平台数据连通后即开始采集数据,不管顶推是否进行,GNSS 每 15 min 进行一次数据测量刷新,在顶推  $S$  长度后进行偏位校对。

### 2.2 竖直偏位的判定

顶推  $S$  距离后,GNSS 将测量数据解算完成,测点 1 的坐标为 $(X_{11}, Y_{11}, Z_{11})$ ,测点 2 的坐标为 $(X_{21}, Y_{21}, Z_{21})$ ,测点 3 的坐标为 $(X_{31}, Y_{31}, Z_{31})$ 。测点 1 的高程变化为 $Z_{11} - H - H_2$ ,若 $Z_{11} - H - H_2 \leq 10$  mm,则符合施工精度要求;否则系统给出竖向偏位预警信息。测点 2、3 均按此判定,任何一点的数值大于 5 mm,则需查明原因并采取整改措施后再继续施工。若框架顶推本身设置了纵坡,则需考虑初始点在顶推  $S$  后的纵坡变化。整个施工过程中都需关注钢盾构竖直偏位(“抬头”或“扎头”)现象的出现。

### 2.3 水平偏位的判定

设预制框架偏位角度为 $\alpha$ ,测点 1' 的坐标为 $(X_{11}, Y_{11}, Z_{11})$ ,可推算未发生水平偏位的情况下测点 2 的坐标为 $(-X_{11}, Y_{11}, Z_{11})$ ,实际发生水平偏位后测点 2' 的坐标为 $(X_{22}, Y_{22}, Z_{22})$ 。根据测点 2 与 2' 的坐标,得测点 2 与 2' 之间的弦长为:

$$l = \sqrt{[x_{22}^2 - (-x_{11}^2)] + (y_{22}^2 - y_{11}^2)}$$

偏位角为:

$$\cos\alpha = \frac{L^2 + (L - \Delta s_1)^2}{2 \times L \times (L - \Delta s_1)}$$

$\alpha = \alpha_1$ , 预制框架顶进端水平偏位距离为:

$$\Delta s = S_2 \times \cos\alpha$$

$\Delta s + \Delta s_1 \leq 20 \text{ mm}$ , 则符合施工精度要求; 否则

系统给出水平偏位预警信息。

### 2.4 偏位预警流程与设计

(1) 设置相关参数, 如测点与基站之间的高差

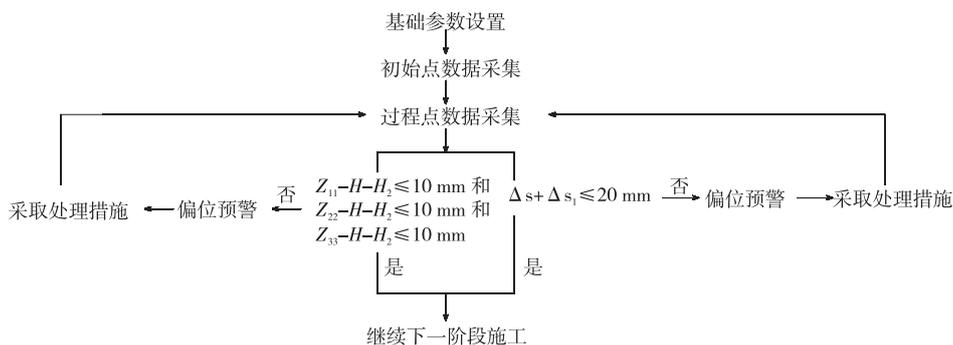


图 3 偏位判定流程

常数  $H$ 、砼预制框架的高度  $H_2$ 、测点 1 和 2 之间的距离  $L$  (框架宽度)、砼预制框架的长度  $S_2$  等。

(2) 初始状态数据采集。基站数据为零点, 测试各测点数据。

(3) 顶推距离  $S$  进行数据采集与偏位判断。

(4) 竖直偏位小于 10 mm、水平偏位小于 20 mm, 则符合施工精度要求; 否则采取处理措施后再次进行测量, 直至符合施工精度要求后方可进行下一阶段施工 (见图 3)。

## 3 实际工程应用

### 3.1 应用情况

常德市善卷路下穿常张 (常德—张家界) 高速公路的框架桥采用 2—18.0 m 分孔独立式框架, 框架桥板厚 1.25 m, 侧壁厚 1.25 m, 底板壁厚 1.35 m。框架桥与高速公路斜交斜做, 斜交角度  $86.2^\circ$ 。框架垂直高速公路路基方向长度为 43 m, 分 3 个节段预制顶进, 之间设 3 cm 宽变形缝。顶推施工中应用基于北斗定位的预制框架顶推施工监控系统, 共设置 1 个 GNSS 基站与 2 个 GNSS 流动测站, 并建立基于该系统的云平台, 通过实时采集预制框架偏位、钢盾构应力、高速公路路面沉降等为施工决策提供可靠依据。

### 3.2 监控数据分析

左幅第 4 节段顶推时监测到的垂直偏差与水平偏差分别见表 2、表 3。由表 2、表 3 可知: 实际施工过程中很难按照垂直偏差 10 mm、水平偏差 20 mm 的精度连续施工, 应在施工过程中根据前一阶段的误差情况 (正、负误差) 有针对性地调整前置钢盾构与后置顶推机构。

## 4 结语

随着北斗定位技术在民用领域的推广应用, 在

表 2 垂直偏差监测结果 (测点 3)

测量次数	设计相对高程/m	实测高程/m	误差/mm	监控结论
第 1 次	-4.055	-4.051	4	
第 2 次	-4.055	-4.053	2	
第 3 次	-4.055	-4.054	1	
第 4 次	-4.055	-4.057	-2	
第 5 次	-4.055	-4.059	-4	
第 6 次	-4.055	-4.058	-3	
第 7 次	-4.055	-4.063	-8	
第 8 次	-4.055	-4.068	-13	超限预警
第 9 次	-4.055	-4.065	-10	调整
第 10 次	-4.055	-4.059	-4	调整

表 3 水平偏差监测结果

测量次数	$\Delta s_1$ /mm	$\cos\alpha_1$	$S_2$ /m	$\Delta s$ /mm	$\Delta s + \Delta s_1$ /mm
第 1 次	4	0.000 25	20.35	5.1	9.1
第 2 次	4	0.000 28	20.35	5.7	9.7
第 3 次	3	0.000 33	20.35	6.7	9.7
第 4 次	4	0.000 30	20.35	6.1	10.1
第 5 次	8	0.000 33	20.35	6.7	14.7
第 6 次	11	0.000 39	20.35	7.9	18.9
第 7 次	13	0.000 48	20.35	9.8	22.8
第 8 次	11	0.000 45	20.35	9.2	20.2
第 9 次	7	0.000 34	20.35	6.9	13.9
第 10 次	6	0.000 30	20.35	6.1	12.1

长大隧道、桥梁、高边坡等结构变形监测中得到应用。随着解算技术的不断提高,北斗系统的静态监测精度已可满足施工精度毫米级的要求。该文采用北斗定位系统设计预制框架顶推施工监控系统,通过自主开发的智能云盒 DTU 数据实时传输,分析并给出安全预警信息,实现远程信息化安全监控。相较于传统人工采集,该系统效率更高、时间更短,通过数据的自动分析处理,反馈与分析速度得到大幅提升,可为施工过程决策提供及时可靠的依据。

**参考文献:**

[1] 李雷.GPS 桥梁监测系统的构建及其在某大桥中的应用研究[J].公路工程,2019,44(1):131-134.  
 [2] 刘艳杰,张红,刘旭东.基于精确大地测量技术对公路桥梁结构变形监测研究[J].公路工程,2016,41(5):176-179.  
 [3] 中交第一公路工程局有限公司.公路桥涵施工技术规范:JTG/T F50-2011[S].北京:人民交通出版社,2011.  
 [4] 冯生华.城市地道桥顶入法施工[M].北京:中国建筑工业出版社,1982.  
 [5] 张云龙.北斗双天线高精度变形监测关键技术及其应用研究[D].北京:北京交通大学,2018.  
 [6] 陈力,刁心宏,杨守兴,等.框架桥下穿既有铁路路基沉降控制标准研究[J].现代隧道技术,2019(2):158-161.

[7] 杨加斌,崔高峰,赵海,等.基于北斗的铁路构筑物安全监测系统及应用[J].卫星应用,2019(7):134-136.  
 [8] 张兵强,罗生虎,曹海波,等.GPS 在山区高速公路边坡监测中应用[J].西安科技大学学报,2014,34(6):737-741.  
 [9] 毛坤海,龚宏华.框架桥顶进中 D24 m 施工便梁的改进应用[J].铁道建筑,2011(8):9-11.  
 [10] 朱健身,陈东杰.城市地道桥顶进施工技术及其工程实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.  
 [11] 刘鹏,周捷.某连续梁桥顶推法拆除施工过程仿真研究[J].公路与汽运,2020(3):124-128.  
 [12] 李传习,陈卓,董创文,等.变曲率竖曲线钢箱梁顶推过程受力分析[J].公路与汽运,2019(2):116-120+125.  
 [13] 肖光清.大跨度连续刚构桥施工监控线形分析[J].公路与汽运,2019(6):103-106.  
 [14] 王晓静.(72+128+72) m 预应力混凝土连续梁桥施工监控技术研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2019.  
 [15] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.  
 [16] 罗书舟,张谢东.窄幅大跨连续梁桥线形控制研究[J].公路与汽运,2019(3):128-131.

收稿日期:2020-01-13

\*\*\*\*\*

(上接第 92 页)

剪力滞效应迅速衰减;截面底板沿横向逐渐远离外斜腹板后逐渐过渡到内腹板处的正剪力滞效应。

(2) 在悬拼吊装施工中,随悬臂拼装长度的增加,分离式钢边箱截面的剪力滞效应沿主梁纵向的正 Z 轴方向出现由负剪力滞效应逐渐过渡到正剪力滞效应的现象。

(3) 在悬拼吊装施工中,后锚点前、后端截面的顶板和底板在内、外腹板位置均呈现明显的正剪力滞效应,但后端截面比前端截面大得多。

(4) 在悬拼吊装施工中,部分梁段的钢箱梁截面同时存在正剪力滞效应和负剪力滞效应。

(5) 在悬拼吊装施工中,钢边箱截面的外腹板处由于有斜拉索的锚固,钢箱梁顶板的剪力滞效应较严重,应引起注意,并采取必要的构造措施。

**参考文献:**

[1] 王雷,胡玉昆.扁平宽箱梁剪力滞计算分析[J].公路与

汽运,2005(3):95-97.

[2] 张士铎,邓小华.箱形薄壁梁剪力滞效应[M].北京:人民交通出版社,1998.

[3] 衣龙泉,刘凡.钢箱梁剪力滞效应的研究与有限元分析[J].苏州科技学院学报(工程技术版),2008,21(3):10-13.

[4] 乔朋.斜拉桥扁平钢箱主梁剪力滞效应研究[D].西安:长安大学,2009.

[5] 项海帆.高等桥梁结构理论[M].北京:人民交通出版社,2001.

[6] 张雪松.大跨径混凝土斜拉桥主梁剪力滞效应研究[D].上海:同济大学,2006.

[7] 蔡素军,张谢东,黄克超,等.混凝土箱梁施工阶段剪力滞效应分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2008,32(4):719-722.

[8] 王新敏.ANSYS 工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007.

收稿日期:2020-05-07