

# 基于 HBCORS 无验潮水深测量 技术在荆江河段的应用初探

解祥成<sup>1</sup>, 张香云<sup>2</sup>, 孙仁勤<sup>1</sup>, 曾勇<sup>1</sup>

(1. 长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州 434002;

2. 长江大学工程技术学院, 湖北 荆州 434000)

**摘要:** 目前,水道地形测量模式已基本定型于利用 GPS 测定水底点的平面位置,利用测深仪测定水底点的水深,附之以瞬时潮位或水位资料,获得点位的高程。随着各地连续运行卫星定位服务系统的投入运行,本文提出了一种无验潮模式下的水道地形测量模式,即不测定潮位或水位,而直接利用 HBCORS 的 RTK 测量技术,从而获得高精度的水底点高程。本文通过实际工程,用无验潮模式与传统模式在精度上进行对比,得出了该方法在精度上和效率上都有很大的提高,值得推广应用。

**关键词:** HBCORS; 水深测量; 无验潮模式; 荆江河段

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)04-0141-04

## Application of observation technique of measuring water depth without tidal into Jingjiang reach based on HBCORS

XIE Xiangcheng<sup>1</sup>, ZHANG Xiangyun<sup>2</sup>, SUN Renqin<sup>1</sup>, ZENG Yong<sup>1</sup>

(1. Jingjiang Survey Bureau of Hydrology and Water Resources, The Hydrological Bureau of Changjiang

Water Resources Commission, Jingzhou 434000, China; 2. Engineering & Technology College of

Yangtze University, Jingzhou 434000, China)

**Abstract:** The current waterway terrain model has basically finalized as using GPS to determine the plane position at the bottom. Using the sounding analyzer to measure the water depth, attached to the instantaneous tide levels or water level materials can obtain the point elevation. With the continuous running all over satellite positioning services system to put into operation, this paper put forward a no tidal mode of waterway terrain measurement model that did not determine tide levels or water level and directly used HBCORS RTK measurement technology to obtain the altitude of water bottom. Through the real project, this article compared the accuracy between the no tidal model with the traditional mode, obtained the accuracy and efficiency of this method were greatly improved. It was valuable to extend and apply.

**Key words:** HBCORS; measurement of water depth; without tidal observation model; Jingjiang reach

## 1 概述

目前,水道地形测量模<sup>[1]</sup>已基本定型于利用 GPS 测定水底点的平面位置,利用测深仪测定水底点的水深,附之以瞬时潮位或水位资料,获得点位的高程。近年来,随着 GPS 现代化以及双星新型 GPS 的投入使用,以及各地连续运行卫星定位服务系统的投入运行,并通过国内外运用 GPS 进行高精度动态测量作了大量研究,表明而使用连续运行卫星定位服务系统的测量技术,精度可达厘米级,可以满足高精度测量需求。水上测量作业一般没有遮挡,开阔的环境尤其适

合运用网络 CORS,且具有较大的优势。

## 2 HBCORS 无验潮水下地形测量原理

### 2.1 湖北省连续运行卫星定位服务系统简介

湖北省连续运行卫星定位服务系统(Hubei continuously operating reference station, HBCORS)是通过建设一定数量的连续运行的全球卫星定位系统(GNSS)参考站,利用卫星定位技术、计算机网络技术、通信技术,向社会提供精确定位、实时定位和移动目标导航等空间位置信息的服务系统,是实现现代化、大众化、集约化、高质量的地球空间信息服务

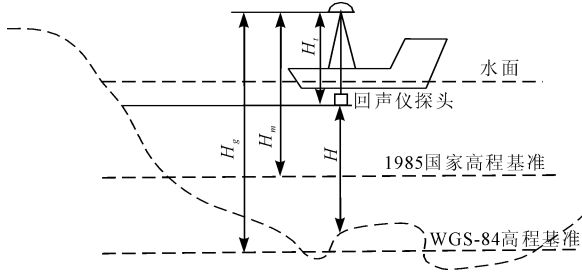
收稿日期:2012-04-25; 修回日期:2012-05-10

作者简介:解祥成(1981-),男,江苏人,工程师,从事测绘工程及 GPS 测量工作。

的重要基础设施。

## 2.2 无验潮模式水下地形测量的原理

采用无验潮模式下进行水下地形测量的原理如图1所示<sup>[3]</sup>：



图中船台流动站的大地高  $H_g$  (即椭球高)是指 GPS 天线相位中心沿法线至 WGS-84 坐标系参考椭球面的距离;正常高  $H_m$  是指 GPS 天线相位中心沿铅垂线方向至似大地水准面的距离,似大地水准面与参考椭球面的距离称为高程异常;GPS 天线与回声仪探头处于同一竖直平面,其高度为  $H_i$ ;回声仪探头测得瞬时水深为  $H$ 。

图1 无验潮模式水下地形测量原理图

HBCORS 网络 RTK 测量直接获得的是 WGS-84 坐标,与我国工程测量中常采用西安 80 坐标系或北京 54 坐标系的平面坐标系统和 1985 国家高程或 1956 黄海高程的高程系统属于不同的椭球系统,所以采用 HBCORS 进行工程测量作业时,需要至少联测四个平面控制点(分布均匀,确保坐标正确)<sup>[2]</sup>和七个高程控制点,通过解算可以得到 WGS-84 坐标到当地空间直角坐标系七参数(常采用布尔沙模型)与高程曲面拟合五参数,其中高程曲面拟合五参数可以根据公式(1)在最小二乘原理下进行解算<sup>[5]</sup>。

$$f(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \quad (1)$$

由此可以得到瞬时水下点高程为：

$$H_{\text{水下点高}} = H_m - H_i - H \quad (2)$$

在测量作业过程中,用户在测量软件的坐标系配置中输入椭球转换七参数和高程曲面拟合五参数,设置投影中央子午线并将假东方向加 50 万 m,就可以得到精度最高的当地实时平面坐标与 1985 国家高程基准。在内业处理时,通过式(2)即可求得无需水位观测的水下点的高程,并且通过式(2)处理恰好可以抵消 GPS 天线随测船上下起伏的动态吃水影响。将这种方法称为基于网络 CORS 无验潮模式水下地形测量。

## 3 工程实例

### 3.1 长江中下游河道险工护岸监测

#### 3.1.1 工程背景及概况 荆江门河段位于岳阳市

君山区境内长江南岸,在长江中游反咀水道右岸一侧,荆江门段是下荆江典型的窄深式弯曲型河道,河湾曲率半径仅 1 350 m,岸坡迎流顶冲、水深流急、深泓贴岸、冲刷剧烈。目前为下荆江河段河床最深点。为避免出现重大崩岸险情和较大的河势变化,需及时加强定期监测。

在本次工程测量作业中,平面及高程测量采用 Trimble R8 GNSS 仪器,其动态标称标准差为  $\pm(10.0\text{mm} + 1.0 \times 10^{-6}D)$ ,该 GPS 基于一个全新增强性 RTK 解算,Trimble R-跟踪技术既支持现代化的 GPS L2C 和 L5 信号,也支持 GLONASS L1/L2 信号。且初始化快速、可靠。水深测量采用无锡海鹰加科海洋技术有限责任公司生产的超声波测深仪 HY-1600,其测深精度达到厘米级。

#### 3.1.2 工程测量实施

(1)控制网布设及 CORS 转换参数求取。在荆江门河段总长约 10 km 的上中下合理选取 6 个控制点,启动 GPS 接收机登陆 HBCORS 系统,将椭球设置为 WGS-84,不启用任何转换参数,用三脚架和基座架设仪器,以连续地形测量模式进行数据采集,采样率设置为 1 s,采集 180~300 个历元。将采集的 WGS-84 大地坐标和已知的当地坐标,通过软件解算,求取空间直角坐标系七参数与高程曲面拟合五参数。

(2)区域水下地形测量。①GPS-RTK 流动站设置。用户在坐标系统配置中输入当地坐标系统及求取的 7 参数和曲面拟合 5 参数,设置投影中央子午线并将假东方向加 50 万 m,就可以得到当地实时平面坐标与 1985 国家基准的高程。②水下地形点测量。将流动站接收机正确连接,为了达到厘米级的测量精度,流动站在进行测量前进行初始化。初始化时要求同步观测到 4 颗及以上卫星,并进行已知点检核或仪器比测。

作业前先将测深仪各部件连接完毕,GPS 天线同换能器捆绑在同一垂直平面上,并量取 GPS 天线到换能器之间的距离,然后将 GPS 流动站、回声测深仪与用 HYPACK 导航测量软件各个通讯通道调试接通、完成各项参数设置,实现全野外一体化实时、动态无验潮水下地形点的采集。水下地形测量根据工程实际的需要采用横断面法,断面方向应大致与水流方向垂直,断面间距为 40 m,测点间距 15~25 m,作业过程中应用 HYPACK 导航测量软件现场严格控制船的走向和每个网格中潮点的数量,以保证图纸的精度。施测时应注意行船的平稳以及跟踪到的卫星数

量、卫星图形精度 CORS 网络信号和模式及观测精度等情况。软件自动记录流动站测得的水面点的平面位置、高程,同步瞬时记录测深仪测得水深值。水深测量前严格测定 GPS 与回声仪的延时,并在 HYP-ACK 导航测量软件设置以消除延时影响。

为确保无验潮水下地形测量点的高程有所比较,本项目在水下施测过程中仍进行人工水位观测。在水下地形测量开始及结束的位置观测水位,按照断面个数及水位的落差进行逐个断面水位推算。

### 3.2 数据处理及精度评定

(1)采用 HBCORS 测得的水底点高程与采用接测水位方法推算同一点高进行比较。对于同一水底点,采用两种方法处理:①运用 HBCORS 测量得到并经过处理去掉粗差的 RTK 高程、精确量取的水面与 GPS 天线间的距离、回声仪测得水深数据以及回声仪探头的吃水深,经过软件处理得到水底点高程。②采用水位观测数据方法通过软件进行推算处理得到水底点高程。这两组数据通过两两对比,其较差见表 1。

表 1 采用 HBCORS 测得的水底点高程与采用水位推算的同一点点的比较 cm, %

较差 $\Delta$	个数	百分比
$ \Delta  \leq 1$	167	37.0
$1 <  \Delta  \leq 3$	256	47.3
$3 <  \Delta  \leq 5$	94	17.3
$ \Delta  > 5$	24	4.5

选取其中 4 个断面,其数据较差的分布见图 2。

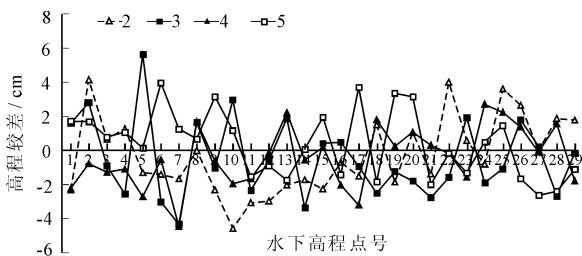


图 2 高程较差分布图

从表 1 可以看出,采用 HBCORS 测得的水底点高程与采用水位推算的同一点高得较差中小于等于 5 cm 占到 95.5%,其中有 4.5% 数据超过二分之一的大比例尺测量精度限差。由图 3 可看出其较差具有正态分布的规律,符合偶然误差的规律。

(2)同一个断面取平均水位与推算的水位之间的比较。水下地形测量采用的是预制横断面法,本论文选取连续 20 个断面,对于每一个断面通过 HB-

CORS 测得若干水底点高程,通过处理去掉粗差,再经过水深数据和吃水深等各项改正,得到每一点的水位数据,对它们进行平均后得到每一个断面的平均水位。另外,每一个断面通过人工水位观测推算出一个断面水位,二者进行比较得出较差,比较见表 2。两组数据较差的分布图,见图 3。

表 2 同一个断面取平均水位与推算的水位之间的比较 cm, %

较差 $\Delta$	个数	百分比
$ \Delta  \leq 1$	18	90
$1 <  \Delta  \leq 2$	2	10
$2 <  \Delta  \leq 5$	无	无

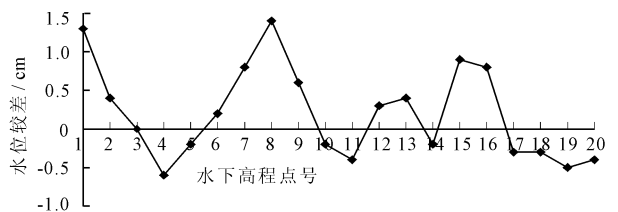


图 3 水位较差分布图

从表 2、和图 3 可以看出,采用同一个断面取平均水位与推算的水位进行比较,其较差呈正态分布,最大较差均小于 2 cm,根据 1:2000 水下地形测量的技术要求,采用 HBCORS 测得的水底点高程,通过软件处理,去掉 GPS 观测中的浮动解以及 PDOP 值超限的粗差,并经过各项精确改正得到每一个断面的平均水位,再来推算水底点高程,其精度完全满足二分之一的大比例尺测量精度要求。

由此可以得出结论,运用适当的方法,采用 HBCORS 进行无验潮水深测量精度完全满足大比例尺二分之一测量精度要求。

## 4 作业建议

采用 HBCORS 无验潮水下地形测量,在湖北境内荆江河段通过长时间的实验对比及运用,建议在工程作业时:①准确求出工程区域的空间直角坐标系七参数与高程曲面拟合五参数,以保证平面及高程的测量精度。②做好回声仪的声速、转速改正,保证水深测量的精度。③ GPS 天线和回声仪探头严格固定在同一竖直平面,并准确量取 GPS 天线至水面、以及探头的吃水深度。水下测量时尽量保持测船匀速行驶。④做好 GPS 星历预报,选择最好的作业时段,注意太阳风暴及电离层的影响。

## 5 结 语

利用 HBCORS 无验潮水下地形测量技术进行水下地形点的采集具有很大的优越性,该法具有方便、快捷和简单等特点。实现了高精度,快速进行空间位置测量,具有推广价值,尤其是在内陆水域水下地形测量上的应用具有很好的前景。

(1)减少了人工验潮、水位观测以及繁琐的内业处理,提高了工作效率。

(2)利用 HBCORS 无验潮水下地形测量,避免由于水位观测、风浪和横比降以及水位骤起骤落引起的误差,提高了测量精度。

(3)利用 HBCORS 技术所确定的高程精度优于潮位观测精度。另外,在不附加姿态测量的情况下,该方法自动地克服了动态吃水的影响。上述两点说明在风力、波浪影响较小的情况下,利用 HBCORS 无验潮水下地形测量技术的测量精度优于传统方法。

(4)本文是在风力、波浪影响较小,没有采用姿态改正的情况下进行的。如果外界影响因素过大或者考虑横摇等影响时,测量时需要采用姿态仪进行改正。

(上接第 140 页)

日洪水淹没面积 56.23 km<sup>2</sup>,淹没耕地 5 620 hm<sup>2</sup>;干流堤防共发生险情 2 处,其中华县詹刘堤段发生 1.1 km 大面积渗水与发生管涌严重险情;华阴柳叶河以西 17+680 处发生管涌险情。渭河下游干流堤防水毁 151 处,河道工程共有 49 处 485 座坝垛发生严重的坝体坍塌、坝头墩蛰、坝裆淘垮、根石、坡石走失及等险情,水文水位站基本设施及等水毁严重。初步估算,直接经济损失 1.38 亿元,预估修复费用 1.79 亿元<sup>[2]</sup>。

## 4 认识和建议

(1)认识:①“11.9”洪水是渭河下游 1981 年以来的最大洪水,除华县站外,下游各水文、水位站均为实测最高洪水位;河道淤积过水断面缩小、河底比降变缓,加之滩地作物增加河道糙率阻水是洪水位创新高的主要原因。②洪水具有洪峰流量不大、洪峰水位创历史最高,洪水较大流量持续时间长、洪水演进缓慢、洪峰沿程削减小、含沙量低、冲刷强烈等突出特点。③“11.9”洪水渭河下游河槽冲刷作用明显,河槽展宽、刷深、主流归顺,河势更加顺直;泾河口自然裁弯改道上提 800 m,临潼以下河段河弯

(5)测程较长,水面开阔处,只要在手机和卫星信号覆盖的地区即可采用采用网络 CORS 进行作业,且精度与传输距离无关。

(6)不受天气因素的制约,可在雨雾天测量,且测点速度快。且测量的水底点高程精度是传统方法所无法比拟的。同时,该法的用也克服了传统的测量方法对环境的苛刻要求。

### 参考文献:

- [1] 刘大杰,施一民,过静君. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M]. 上海:同济大学出版社,1997.
- [2] 王健,杨艳锋. CORS-RTK 测量中的坐标转换方法探讨[J]. 地矿测绘,2001,26(3):26-28.
- [3] 周丰年,田淳. 利用 GPS 在无验潮模式下进行江河水下地形测量[J]. 测绘通报,2001(5):28-30.
- [4] 徐绍铨,张华海,杨志强,等. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.
- [5] 解祥成,杨军,晏黎明,等. GPS 水准在长江中游河道演变控制测量中的应用初探[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(2):170-172.

以控为主,公庄弯道自然裁弯。④“11.9”洪水洪水淹没面积达 56.23 km<sup>2</sup>,淹没耕地 5 620 hm<sup>2</sup>,中下游滩区秋作物受灾严重。初步估算,直接经济损失 1.38 亿元,预估防洪设施修复费用 1.79 亿元。

(2)建议:①洪水在临潼-渭南、华阴-吊桥河段出现历史最高洪水位,建议对渭河下游河道过洪能力及保证流量<sup>[3]</sup>进行分析复核,为渭河下游防汛决策提供科学依据。②根据渭河当前的长历时洪水和多变的河势来看,进一步加强河道工程建设异常迫切,建议将临潼 50 m 以内的控导工程全部按照险工标准修建、改建、扩建,提高工程抗击洪水能力。③建议加强渭河中下游河道、水库洪水综合调度研究,为防洪减灾提供基础技术支撑。

### 参考文献:

- [1] 冯普林,石长伟,张广林,等. 渭河“03”洪水灾害及减灾措施分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2004,2(1):44-49.
- [2] 陕西省三门峡库区管理局. 2011 年渭河下游汛后河势查勘的报告[R]. 2011.10.
- [3] 石长伟,刘劲松,张英. 渭河中下游 2009 年过洪能力及特征流量(水位)分析[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(6):129-132.