

# 基于 RTK 水深测量系统在长江干流的应用

孟昌<sup>1</sup>, 曾柏瑞<sup>2</sup>

(1. 长江宜昌航道局, 湖北 宜昌 443000; 2. 长江武汉航道工程局, 湖北 武汉 430014)

**摘要:** 随着载波相位技术的发展, 水深测量技术及设备已逐渐成熟。航道水深测量过程会受到船舶吃水、潮汐、波浪、大风等因素的影响, 这些因素制约着水深精度测量的进一步提高。本文利用一种基于 GNSS-RTK 的水深测量技术, 通过 RTK 技术对定位结果修正, 不需要借助河流水位数据可直接求得水深。该方法在长江干流某处航道实际测量, 结果表明该方法具有良好的稳定性, 定位精度能满足实际工作需要; 实际应用结果表明显著提高了水深测量精度, 具有广泛的应用前景。

**关键词:** RTK 系统; 水深测量; 长江干流

**中图分类号:** U612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01—0098—03

在长江干流江面上进行航道水深测量受到多方面的影响, 船舶吃水、波浪、潮汐、大风等因素会对测量精度造成影响。常规的水深测量是某一区域的深度基准面上通过换算得到水深数据从而为船舶航行提供安全保证。而水下测量与传统的水面水深测量不同, 水下的水深测量由于没有良好的同时条件, 测量时候会出现数据突变值。通过传统方法测量出来的水深数据精度不高, 难以应用到需要精准水深数据的领域。随着现代测绘技术的发展, 基于全球卫星导航系统 (GNSS) 的空基定位技术正在逐步成为重要的测量定位技术。实时动态载波相位差分 (RTK) 技术能够实时提供高精度三维坐标, 从而在水深测量方面应用得非常广泛。RTK 技术传输差分数据是通过无线电建立起来的实时数据链传输的。传统的单机 RTK 测量不仅工作量大, 费时费力, 且效率较低。基于网络的 RTK 的水深测量技术, 不需用水尺观测水位, 可以节约成本。不受白天晚上因素影响, 可 24 小时全天候测量作业, 从而大大提升测量作业的效率。还能有效地消除波浪上下及船舶吃等因素影响。对水位潮汐变化产生的误差进行修正, 从而可以测得实时水位。

## 1 RTK 水深测量技术

RTK 技术是实时载波相位差分技术 (Real Time Kinematic) 的简称。常规 RTK 的工作原理是由参考站和流动站共同组成的, 参考站由一台固定的接收机构成。流动站需要一台或几台进行同步观测。参考站通过数据通信链将差分信息传输给在其附近工作的流动站用户。这样可以有助于流动站建立起动态地、较为精准的点位数据坐标。常规 RTK 实时获得厘米级精度定位结果。

常规 RTK 技术虽然能够实时提供动态高精度定位, 但是有两个缺陷, 即受到距离及传输方式的制约, 在实际应用过程中受到一些影响。GNSS-RTK 技术的出现, 较好地解决这些问题。应运而生。GNSS-RTK 是一种高新定位技术, 它随着信息技术的提升而不断完善。它能够获取所需定位点的准确位置、速度和时间等信息。

网络 RTK 是能实时高精度差分定位技术。网络 RTK 可实时得到厘米级的 GPS 天线的三维坐标, 则可直接确定泥面的标高而无需验潮数据。相较于常规 RTK, 网络 RTK 具有服务范围扩大、使用方便、可靠性增强等优点。

## 参考文献:

[1] 张亚洲, 王彦虎. 围堰法在河道疏浚施工中的应用——以映秀特大泥石流清理过程为例 [J]. 宁夏工程技术, 2013, 12(04): 376-378.

[2] 王蒙, 贺苗, 杨慧, 等. 数值模拟河道疏浚后的泥沙再平衡过程研究 [J]. 水利技术监督, 2021(02): 110-115.

[3] 周强. 淤塞中小河流河道疏浚施工技术和方案探讨 [J]. 中国水运 (下半月), 2015, 15(10): 200-201.

## 2 水下地形测量系统组成

水下测量与陆地测量原理基本一致，但在实际作业过程中有很大不同。水下水深测量不同于陆地上测量是用一台仪器测量的，水下测量的平面位置和高度位置是用不同的仪器分开测量的。水下测量不同于陆上那样可以重复观测，水下测量的通视条件不好，影响测量，不能像陆地那样重复测量。水下地形点高程是通过由水面高程减去相应的水深这样间接的方式获取的。

航道水深测量系统是一个集成系统，主要由三大部分构成：探头、处理单元、操作站。还有一些辅助的设施仪器，主要是用来获取一些数据比如定位数据、船体姿态数据、声速剖面数据等。

测深系统主要包括两个系统，分别为多波束测深系统和单波束测深系统，多波束测深系统的工作原理跟单波束测深系统一样，都是利用声波在水下传播的特性进行测量。水下地形测量系统由以下几个部分组成：GNSS接收机、导航软件、计算机、同步定标器、导航显示器和测深仪组成。水下地形测量系统示意图如图1所示。

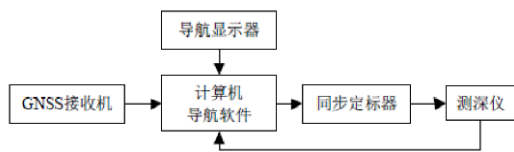


图1 水下地形测量系统示意图

PPK技术可通过后处理得到厘米级的测点三维坐标，高程数据一般是CGCS2000的大地高数据，处理时需要将大地高程转换至目标基准的高程数据，原理如图2所示。

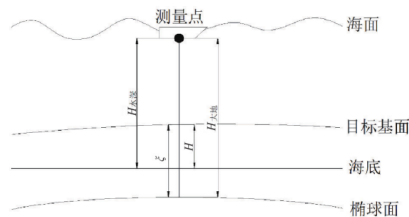


图2 PPK无验潮测量原理

水底相对于目标基面的高程可表示为：

$$H = H_{\text{水深}} - H_{\text{大地}} + \xi \quad (1)$$

式中： $H$ 为海底到目标基面距离； $H_{\text{水深}}$ 为经过改正过的水深测量值； $H_{\text{大地}}$ 为该点到水准面的距离； $\xi$ 为高程异常值。

该测量水深系统最主要的是如何准确获得高程的异常数据。在大范围则可以使用区域似大地水准面精化进行，小范围的测量中可采用七参数来进行高程转换。

## 3 水深测量精度影响因素分析

测深设备、运动载体、天气及高程测量等因素均对RTK水深测量精度有影响。

### 3.1 测深设备对水下测量的影响

水下测量系统由多个结构构成的。主要有GNSS接收机、导航软件、计算机、导航显示器、同步定标器和测深仪等几部分组成。RTK系统结合测深仪对水下测量的误差可以分为平面定位误差、水深测量误差等两部分。影响水下测量精度的要素有很多，仅仅考虑这两类误差不能全面地反映水下目标底物的准确形状。如：换能器安装对测深的影响、声速对测深的影响、延迟效应的影响、高程异常校正的影响等，另外测量船只的船速、船姿、船型以及天气因素也会对测深产生影响，尤其是在无验潮测量模式下，在理论模型上消除潮汐误差是可行的，但在实际中要顾及GNSS接收机和测深仪时间的同步性。

### 3.2 运动载体对水深测量的影响

水深数据采集过程中有动态更新、实时性等几个特点。由于水体与运动载体是相对运动，在测量过程中会出现误差。采用合理的测量步骤建立起来的数学模型，其运动载体对测量的误差有重要影响。特别是在长江干流流速较大的情况下进行水下数据采集时，测量船的测量姿态、船舶形状及船舶航行速度等对船体的实时测量都有着很重要的影响。

#### 3.2.1 船速测深影响因素分析

通过对长江干流某段水深的实际测量，通过对实测数据分析得知，测量船的速度对水深测量数据影响较大。影响最主要的是当船速过快时候，安装在船体的测深仪发出的波束通过江底面出现困难。从而形成所谓的“假水深”。在理论上，航道测量船在进行实际测量作业时，船速肯定不是一直保持不变的，存在船体晃动、船体吃水、测深延迟等效应，船体姿态以及航线等因素对测量结果均有影响。

通过对实际的测量误差数据的分析，测量船速不是对测量水深影响的唯一因素。是多个方面共同作用下的

影响。为了减少其影响,需要在测量过程中提前到达某一速度,并保持平稳,速度偏差控制在0到0.5节。当测量船出现偏离原定计划航线时,需要慢慢地改变船体航偏角,应当使船体的航偏角尽量控制在 $3^{\circ}$ 以内。

### 3.2.2 船体姿态影响因素分析

在江面上进行水深测量时,现有技术无法保证测量船舶是在非常平稳状态下进行水深测量数据的采集。传统测量方法在测量船工作时,会受到风浪等因素的影响,船体姿态的不稳会使得船舶发生横滚和纵滚两个方向的偏差。这些偏差在实际操作中很难消除,为了获取更准确的测量结果,需要对测量船舶的姿态进行修正和校验。

在长江干流量某段进行水深测量时,采用了JSCORS技术对水下地形测量,获得了较高的精度,该技术的成熟为解决船体姿态误差测定提供了有效的方法。利用GPS实时测定船体姿态,利用控制中心能实时变换换能器的姿态,这样能有效消除传统的测量方法解决不了的船体姿态误差问题。长江干流大多有通航航行需求,需要经常进行水深测量,在测量过程中需要穿过航道、还要兼顾渔网、水下建筑物等,为了提高工作效率,必须要合理选择合适的船型。

### 3.3 天气因素对水深测量的影响

天气因素是水深测量的重要因素之一。无风和微风状态是最佳的水深测量天气,但是在大多数情况下,达不到这样条件。长江干流多山区,天气复杂多变,达不到标准的测量天气条件的要求。在船舶在行驶过程当中,会受到来自不同方位和不同力度的波浪的影响。为适用波浪影响船体船舶形态也要不断地调整。当船舶行驶路线垂直于风向时,施工船舶就会出现轻微的倾斜。这种状态下,安装在船舶上的换能器发出的波束会发生变化,将不再垂直于河床方向,就会出现一定的角度。当外部测量环境非常不好时,测量船当受到风速和波浪的影响时,可以采取增加姿态仪、涌浪补偿仪等设备,使船舶姿态变化情况得到修正。

## 4 实例应用

航道的水深测量是水上定位测量和测深两种作业方式的组合。目前应用比较多的是利用测量船在航道内边航行边进行水深测量,测量船沿着事先规定好的路线进行行驶,在指定的间隔时间收集水深和位置数据信息。

本文利用长江宜昌段的水深和定位测量,验证了RTK水深测量方式的可行性与准确度。

测区位于长江宜昌段附近,宜昌段位于三峡大坝下游,宜昌至大通主河道长度约1180m,分为砂卵石河段和沙质河段两部分,其中大部分为沙质河段。该航道河势变化受到支流汇入、上游径流等两个方面的影响,有河流流速急,主河床宽而浅的特点。由于该航道存在河床宽浅、潮强流急,涨落潮流路不同等特点,采取传统水深测量方法精度无法保证,采用RTK方式作业方式进行长江航道水深测量工作。

利用该方法测得的真实水深等于实际测量的原始值减去测时水深。根据测量数据分析得知,测量结果的误差在相对可控范围内,最大的误差为0.03m,最小的误差在0.00m。测量结果充分说明RTK水深测量系统能够降低原始水深测量的误差,精度高。能满足水深测量实际的需要。

## 5 结论

本文所开展的基于RTK水深测量技术,介绍了对水下地形测量系统组成,分析了水深测量精度影响因素。对测量方法进行了精度和稳定性测试后,在长江宜昌段进行实际应用,动态比测结果表明,RTK测量精度较好,平面与三维定位结果的标准差都处于厘米量级。满足管理部门及相关规范的要求,对深水环境测绘技术的发展具有较高的实用和参考价值。

### 参考文献:

- [1] 王朝阳,周兴华,李延刚,等.远距离GNSS潮位测量精度的影响因素研究[J].海洋技术学报,2017,36(3):1-6.
- [2] 王长永,颜惠庆.动态后处理技术在长江口水深测量的适用性[J].水运工程,2017(11):194-196,212.
- [3] 王智,曹庆磊,张洪德,等.PPK动态后处理测量技术及精度分析[J].城市勘测,2019(2):97-100.
- [4] 魏荣灏,陈佳兵,徐达.基于PPK无验潮的水下地形测量技术研究[J].海洋技术学报,2021(2):57-59.