

## Principle and method of sounding without tide gauge

Su Qingyu

Surveying and Design Institute of Xiangtan City, Xiangtan

**Abstract:** The principle and method of sounding technology without tide gauge are briefly described; the main influence factors for the quality of underwater topographic survey during using this technology in river and lake are analyzed and discussed. Meanwhile, a practical and feasible method of quality control is proposed.

**Key words:** sounding without tide gauge; quality control; height anomaly; delaying effect

Received: 2020-01-10; Accepted: 2020-01-25; Published: 2020-01-27

---

## 无验潮测深技术的原理和方法探析

苏清宇

湘潭市勘测设计院, 湘潭

邮箱: suqingyu2009@gmail.com

**摘 要：**简述了无验潮测深技术的原理和方法，对该技术在河湖水下地形测量中影响成果质量的主要问题进行了分析和探讨，同时提出了实用可行的质量控制方法。

**关键词：**无验潮测测；质量控制；高程异常；延迟效应

收稿日期：2020-01-10；录用日期：2020-01-25；发表日期：2020-01-27

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## 1 引言

为了配合第一次全国水利普查工作，为河湖开发整治提供水下地形资料，无验潮测深技术源于其独特的优势正得到广泛应用。河湖测深成果的精度、质量不仅受仪器自身精度及高程异常的影响，还与测深生产过程有关。因此，系统地分析和研究无验潮测深技术中影响水深测量精度的因素，探讨减小和改正测量误差的方法，达到提高精度满足工程实际的需要是十分重要的。本文结合实例探讨无验潮测深技术中影响成果精度的几个主要问题并提出实用可行的质量控制方法。

## 2 无验潮测深技术工作原理

无验潮测深技术使用 RTK 结合测深仪工作。RTK 通过载波相位差分技术实时动态地获取 3 维坐标  $(x, y, h_0)$ ，且精度可达到厘米级，完全能够满足河湖大比例尺水深测量的要求。RTK 定位天线中心的高程  $h_0$  是从国家基准面起算的

高程。测深仪通过换能器探头加载脉冲声波信号测量出至水底深度，再通过简单的数学运算即得到测量点水底高程（水深）。RTK 无验潮测深技术工作原理如图 1 所示，RTK 天线直接安装在测深仪换能器杆顶，并保持天线中心与换能器杆在同一垂线上。

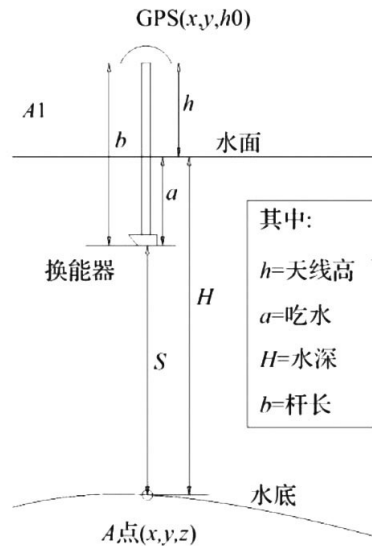


图 1 无验潮测深技术工作原理

RTK 天线中心到测深仪换能器底部的垂直距离为  $b$ （即杆长，为常数），测深仪换能器底部到水底的垂直距离为实测水深  $S$ ，则 A 点高程：

$$Z = h_0 - b - S \quad (1)$$

$$Z = h_0 - h - H = \text{水位} - H \quad (2)$$

式中， $h_0$  直接由 RTK 实时测得； $h_0 - h$  为常规的水位。

由公式（1）可知：水底高程  $Z$  与  $h_0$  及  $S$  相关，与潮位无关，从而达到无验潮。水下地形测量中的质量控制主要从测量  $h_0$ ， $S$  值的技术方法、精度及可靠性入手。

常规有验潮测深时，普通的 DGPS 测量的高程值  $h_0$  精度比较差，满足不了要求，为了解决水下地形测量，在精度要求不高的地方需要用人工的方法检验潮位，这就是常规的验潮方法。

### 3 无验潮测深主要误差来源及质量控制

#### 3.1 RTK 仪器本身误差

无验潮测深技术受 RTK 作用距离影响很大,其作业距离越远,RTK 测量高程精度越低,从而间接导致测深精度越低。另外,随着 RTK 使用年限的延长,电子元器件的老化衰减较快,其作业距离及精度也随之降低,同一台仪器不同时间定位精度变化很大,因此要定期对 RTK 进行检定。

在湖南某航道整治工程测量项目中我们采用了无验潮水深测量技术。作业采用的仪器设备有 X91GNSS, D330 单频数字测深仪、华测 Hydronav 导航软件及 AUTOCAD 辅助成图系统,RTK 高程测量标称精度为  $2\text{ cm} + 1\text{ ppm} \cdot D$ 。本工程为南北走向,路线总长约 2 km,河宽约 50 ~ 150 m。测量前对 RTK 作业距离范围内的精度进行了综合测试并求取改正参数。RTK 基准站选择在高于地面 10 m 的房顶上,保证基准站周围无信号遮挡,使 RTK 数据链传播得尽量远。基准站设置无误后,使用 RTK 移动站沿河流两侧的控制点进行测量,测量结果与水准观测结果进行比较,实际高程差值均在 5 cm 以内,可以认为是 RTK 仪器本身精度及高程异常等综合影响的差值。多年陆地 RTK 作业的经验及大量的试验表明,随着 RTK 作业半径的增加,不考虑高程异常的影响,实际高程差值基本和仪器本身精度一致,需要按 5 km, 10 km, 15 km, 20 km 等不同的作业半径求出改正数,利用参数对无验潮测量中的 RTK 高程数据进行分段改正,这样能大大提高测量成果的高程精度。

#### 3.2 高程异常

RTK 在高程测量中的精度主要取决于仪器本身的精度和高程异常的拟合精度。仪器本身的精度为已知,大地高程异常拟合的精度也较易控制。由于河湖面积相对较小,陆上控制网能覆盖整个测区,可以利用控制点或拟大地水准面精化模型进行高程异常拟合。

在本项目中,我们采用了四种方法来确定高程异常。

### (1) 参数法

利用周边 4 个联测四等水准的已知点,用多项式函数法拟合出待定点的高程异常,进而求出待定点的正常高。在有效距离(本实验是 5 km)内,每点采集 4 次,施测了 33 个点的正常高,取 4 次的平均值作为最终的正常高。待定点的正常高与四等水准成果比较,差值在 1 ~ 5 cm 内,中误差  $M = \pm 0.014$  m。

### (2) 精化模型法

利用分辨率为  $2.5' \times 2.5'$ ,精度为 0.031 m 的湖南省似大地水准面精化模型,通过对 33 个测试点的高程异常进行内插,差值也在 1 ~ 5 cm 内,中误差  $M = \pm 0.028$  m。

### (3) CORS 法

由于单基站 RTK 受到距离的限制,我们在 CZTCORS 下也进行了试验。试验共采集 180 个点,覆盖面积约  $50 \text{ km}^2$ 。每点独立采集 3 次数据,取平均值作为最终 RTK 拟合高程。对各点的 WGS — 84 大地坐标和大地高,也取 3 次的平均值作为最终结果,再利用省级似大地水准面模型插值出各点的正常高。拟合高、插值高与四等水准高程比较,插值高的差值中误差  $M = \pm 0.023$  m,拟合高的差值中误差  $M = \pm 0.019$  m。

### (4) 内嵌模型法

为了充分发挥网络 RTK 实时的优势,制作了项目区含 4 个格网的符合 GGF 格式的省级似大地水准面模型文件,上载到导航手簿中,采集时在野外利用该模型实时得出插值高程,给外业工作提供了很大的方便。同时可与 RTK 拟合高程比较,实时检验两者的高程差值。在 CZT-CORS 下两者的高程差值一般为 1 ~ 3 cm。

在河湖水下地形测量中,为了减少高程异常对成果质量的影响,面积较小、周边高精度控制点较多时可以采用参数法,否则应采用精化模型法。如项目区有市级高精度区域似大地水准面精化模型的则应全面应用并以内嵌模型法为最佳。

### 3.3 换能器杆安装偏差及船体倾斜

换能器杆连接了 RTK 天线和换能器, 如果换能器杆安装不垂直, 形成的偏角将导致测深仪测量的水深值具有系统性误差, 同时, 由于 RTK 天线不垂直而使 RTK 测量高程  $h_0$  比实际值偏小, 也会产生系统性误差。换能器杆倾斜  $B^\circ$  时, 测深仪显示水深值  $S$  及 GPS 天线中心到换能器底部的长度  $b$  与测量真值  $D$  的关系如图 2 所示。

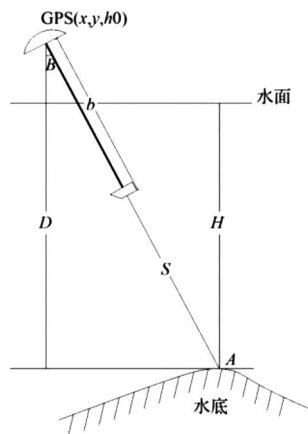


图 2 换能器杆偏差与测量值之间的关系

其数学公式如下:

$$D = (b + S) \cdot \cos B \quad (3)$$

在河湖工程中常规水深 (2 ~ 30 m) 及换能器杆长 (2 m) 的情况下, 将测量误差在不同水深时进行误差统计, 结果详见表 1。

分析表 1 数据可知, 换能器杆倾斜产生的倾角越大、水深越深、换能器杆越长, 则测量水深值与实际值相差越大。可见, 测深时应时刻注意换能器杆的状态, 保证其基本处于垂直方向, 必要时应使用安装架固定。同时, 外业测量时一般避免行船方向与波浪方向垂直, 以减小测量船受涌浪的影响。纵横摇摆, 也会导致换能器杆不能保持垂直状态, 这种受倾斜角度的影响同样会产生水深偏差 [3], 在倾斜时产生的水深测量误差与换能器杆安装偏差而引起的误差影响是一致的。

## 2.4 测深延迟效应

测深延迟效应主要是定位时刻与测深仪测深时刻不同步导致定位点水深值移位, 表现为系统误差。测深延迟效应产生误差的原理如图 3 所示。

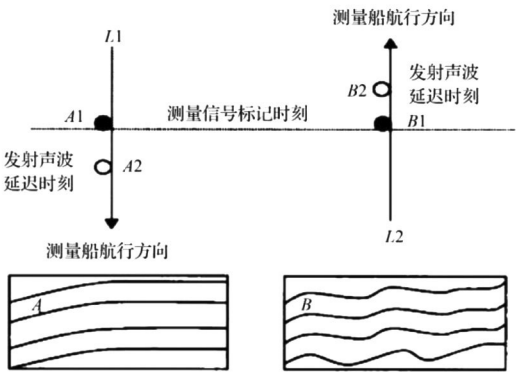


图 3 测深延迟效应原理

L1 测线测量船向南航行, 在 A1 处测量软件系统发出测量信号, 若采用 RTK 在整秒时刻定位而测深仪的发射声波信号滞后  $T_s$ , 实际水深测量点在 A2 处。设航速为  $V$ , 则测深延迟效应所致的测量点水平方向 (向南滞后) 位移量为  $V \cdot T_s$ 。若航速为 5 kn (约 9.3 km/h), 延迟为 0.2 s, 则:

$V \cdot T_s = 0.51 \text{ m}$ 。同样, 在测量船向北航行的相邻测线 L2 中, 测量信号在与 L1 的 A1 点相对应的 B1 点发出, 此时的滞后效应产生向北偏移。由于测线方向相反, 相邻测线测量点水平相对误差效应将达 1 m, 其后果会造成等深线呈锯齿状走势。

图 3 中的 A 图为实际等深线, B 图为测深延迟效应引起的锯齿状等深线 [2]。

表 1 测深杆偏差影响测深精度误差统计 (单位: 米)

| 倾角    | S=2  |      | S=5  |      | S=10  |      | S=20  |      | S=30  |      |
|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|       | D    | 误差   | D    | 误差   | D     | 误差   | D     | 误差   | D     | 误差   |
| B=1°  | 4.00 | 0.00 | 7.00 | 0.00 | 12.00 | 0.00 | 22.00 | 0.00 | 32.00 | 0.00 |
| B=2°  | 4.00 | 0.00 | 7.00 | 0.00 | 11.99 | 0.01 | 21.99 | 0.01 | 31.98 | 0.02 |
| B=5°  | 3.98 | 0.02 | 6.97 | 0.03 | 11.95 | 0.05 | 21.92 | 0.08 | 31.88 | 0.12 |
| B=8°  | 3.96 | 0.04 | 6.93 | 0.07 | 11.88 | 0.12 | 21.79 | 0.21 | 31.69 | 0.31 |
| B=10° | 3.94 | 0.06 | 6.89 | 0.11 | 11.82 | 0.18 | 21.67 | 0.33 | 31.51 | 0.49 |

目前测量导航软件都具备实时改正的功能, 但是用户在测量前须进行测试,

求出在一定航速下两者之间的时间关系,并在后续测量作业中尽量保持测量船速与测定的船速一致,从而尽可能减少这部分的误差影响。

## 4 检验

在河湖进行无验潮水深测量时应在已知控制网点上进行比测。根据河道的长度、基准站的位置、RTK 有效控制范围,一般每隔 3 km 应在已知高程控制点上进行高程联测,求取高程改正参数,并对 RTK 的高程测量数据进行拟合改正。

同一地方不同方式比较:在距离码头 1 km 位置设立自动潮位仪,通过人工验潮的方式,对同一段进行 3 次水深测量与无验潮方法测得的数据经过比对,其水底高程测量差值中误差应小于 0.1 m。

同一地方交叉测量:在测量时应设计纵横比较测线,先纵向测 3 条线,再横向测 3 条线,在位置相交的地方进行水深比较,水深互差应在 0.1 m 之内。

## 5 束语

在河湖水下地形测量中无验潮测深技术虽已逐步被使用,但要想得到高质量的成果,需要考虑诸多因素的影响。只有在有效控制主要影响精度因素的前提下,才能保障最终的成果质量。

(1) RTK 作业时应使接收机和测深仪的数据采集同步,基站尽量选择地势高且开阔的地方,控制作业半径,增加已知点的检查。同时应充分利用项目区内高精度区域似大地水准面精化模型,以减少高程异常对测量结果的影响。

(2) 测深仪在测量前后均需要进行声速及测深精度校正,航速控制在 6 节以内,换能器杆应尽量垂直安装,且在距离船尾 1/3 左右位置为宜。

(3) 选择在平潮,风浪比较小的时候按计划线测量。

(4) 除注意以上影响质量的因素外,对测深仪器本身误差的改正、声速改正、船速效应等都要进行仔细处理,避免误差的积累。



## 参考文献

- [1] 交通部. JTJ 203—2001 水运工程测量规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] 卢军民, 安延云, 张东明, 等. 无验潮测深技术中影响水深测量精度的几个问题探讨[J]. 水运工程. 2010, 441(5): 47—51.
- [3] 冯守珍, 胡光海. 水深测量误差成因分析[J]. 海岸工程, 2004, 23(2): 47—49.