

内河离港船舶吃水在线动态扫描检测方法

吴俊^{1,2}, 丁姓奇¹, 余葵¹, 李晓飏¹, 闻光华³

(1. 重庆交通大学 西南水运工程科学研究所, 重庆 400016; 2. 重庆交通大学 内河航道整治技术交通行业重点实验室, 重庆 400074; 3. 长江重庆航道局, 重庆 401147)

摘要: 船舶“超吃水”引起的船舶搁浅事故呈逐年增多的趋势, 对内河离港船舶吃水进行实时测量尤为必要. 针对内河航道的特点, 提出了一种利用单波束声收发分体传感器同步对船舶底部边缘进行扫描测量的方法, 研究了传感器系统构成, 并对测量原理进行了理论推导. 设计了比尺为 1:100 的吃水测量试验系统, 利用 3 000 t 级小比尺船模按 4 种工况进行试验, 结果表明, 船舶航速对船舶吃水测量值有一定影响, 但最大误差仍控制在 11.4% 以内, 证明了这种测量方法的可行性.

关键词: 内河; 船舶; 声呐; 扫描; 吃水; 检测

中图分类号: TP212.1; U69 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2013)05-0083-05

内河航运具有运量大、投资少、成本低等突出优点, 交通运输部《关于加快“十二五”期水运结构调整的指导意见》中, 将“兴内河”作为“十二五”水运发展的重中之重, 内河航运发展潜力巨大. 不断增加的内河航运需求, 促进了船舶大型化的发展, 同时也给水上交通安全管理带来了新问题和新要求. 大型船舶的“超吃水”行为就是航道行政管理工作需要迫切解决的重难点问题. 部分船主受利益驱使, 采取谎报船舶装载、瞒报船舶实际吃水、故意制造假吃水标识等手段, 躲避海事执法部门的检查, 蒙混过关、冒险航行, 一旦造成搁浅事故, 不仅会破坏航道、损坏船闸设施, 严重的还有可能造成船闸停航、航道断航, 致使船舶大量滞留和积压, 经济损失巨大、社会影响极坏^[1-4].

目前, 海事执法部门检查船舶吃水仍采用查看船舶水尺或在舱内实际丈量舱深等传统方式^[5]. 由于受技术手段制约, 管理部门无法实现对船舶实际吃水进行快速准确的检测, 致使船舶超吃水现象仍屡禁不止. 研究船舶吃水检测技术、开发离船快速自动检测装置、消除船舶超吃水搁浅事故隐患已成为当前水上交通安全管理的当务之急.

目前, 国内外离港船舶动态吃水实时检测的研究仍处于起步阶段. 三峡通航管理局通航工程技术中心罗宁^[6]等人针对三峡船闸的实际通航条件, 提出了在船闸底部安装单波束传感器阵列对船舶底部进行扫描检测的方法, 目前该装置已投入使用. 虽然该方法在船闸这样一个稳定、可控的人工环境使用良好, 但在大水位差变幅、宽水域、多卵石沙波的内河自然航道显然并不适用. 长江重庆航道局毕方全提出了基于多波束测深和侧扫声纳系统的“超吃水”检测方法^[7], 虽然该装置可直接置于执法船舶舷, 测量方便, 但该方法测量精度易受水面、河底声波混响信号的影响, 测量精度低, 且该装置设备昂贵、使用成本高.

本文提出了一种基于单波束收发分体传感器同步扫描的船舶吃水快速检测方法, 该方法仅利用传感器接收信号的通断检测船舶底部边缘, 结构简单, 影响因素少.

收稿日期: 2013-01-24

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(No. 2010BB4275)

作者简介: 吴俊(1981-), 男, 江苏南通人, 助理研究员, 博士, 主要从事水运航道工程相关测量技术研究.

E-mail: wujun_gd@126.com

1 船舶吃水测量系统构成

针对内河航道水位变幅大、水深、航宽的特点,提出了一种基于单波束声收、发分体传感器同步扫描的船舶吃水深度测量方法^[8],其原理如图 1 所示.整个测量系统由电机、导轨、单波束声发射器、接收器与后续信号处理部分等组成.为了适应航道的大水位变幅及不同船舶吃水深度,将单波束声发射器与声接收器分别安装在河岸两侧的两根导轨上,导轨可安装在航道浅滩上下游通航桥孔两侧的桥墩上.声发射器与声接收器通过机械部件驱动,均可沿轨道在垂直方向同步移动.声发射器与声接收器在安装与垂直移动过程中都需严格满足对射条件.

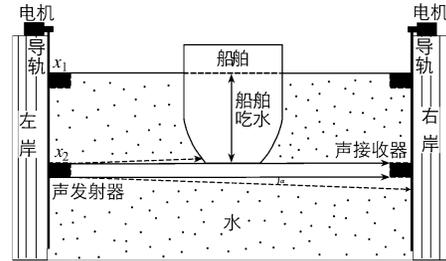


图 1 船舶吃水测量基本原理

Fig. 1 Principle of measurement method for ship's draft

2 水面线测量

航道水面线作为吃水测量的基准,其精度直接关系到最终的吃水测量精度.当船舶驶过时,原有波浪与船舶航行时激起的波浪叠加后会使水面产生近十几厘米的波动,为了提高水面线测量精度,必须采取措施减少水面波浪对测量值的影响.

根据《驳船水尺计重技术规程》中第 5 条对吃水值测量的要求,利用长玻璃管插入水中,对水面原始波浪进行初步消能后再进行测量.虽然通过玻璃管对水面波浪进行了消能,但由于航道原始波浪较大,消能后的水面仍可能是振荡水面.为了提高测量的精度,还不能直接以玻璃管中的某一振荡水面作为测量值,必须对波浪进行动态采集,并利用统计平均的方法从动态波浪数据中提取出准确的水面线值 x_1 , 即: $x_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i$. 为此,提出了基于超声波测量的动态水面线测量系统,如图 2 所示.

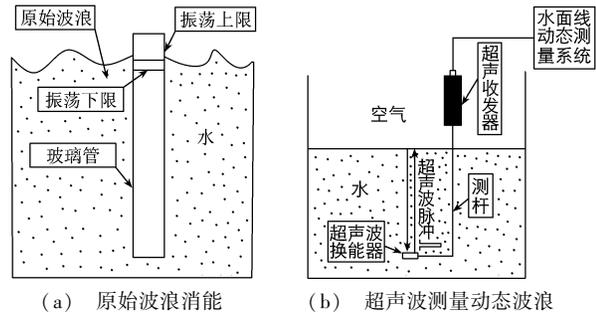


图 2 水面线动态测量原理

Fig. 2 Principle of water surface profile measurement

3 船舶最低吃水测量

声发射器发射的声压信号^[9]可表达为:

$$p(r, t) = \frac{A}{r} \exp(j\omega(t - \frac{r}{v}) - \varphi_0) \quad (1)$$

式中: A 为信号幅度; ω 为声波频率; r 为声波传输距离; φ_0 为声波初始相位.

航道水面线是船舶吃水度测量的基准,其位置为 x_1 , 声发射、接收器的初始位置即位于水面线.若无船舶驶过,声发射、接收器之间无障碍物,声接收器有声强信号输出.当有船舶驶过时,声发射器发射的信号被船身阻隔,声接收器无信号输出,此时即触发声波测量组件沿导轨自上而下以速度 v 扫描,设此时时刻为 t_0 , 则满足:

$$x_1 + d/2 = vt_0 \quad (2)$$

式中: d 为圆柱形声接收、发射器的直径.

船舶驶过时,声发射、接收器自上而下扫描船舶底边缘.在声传感器扫描过程中,传感器与船舶的竖向位置呈现如图 3 所示的 3 种情况.

图 3(a) 中,声发射器发射的声波信号被船身阻隔,无法传播至右岸的声接收器,此时声接收器输出声强信号为 0;图 3(b) 中,声发射器发射的声波信号部分被船身阻隔,部分传播至右岸的声接收器;图 3(c) 中,声接收器完全露出,声接收器全场可接受声波信号,此时声接收器输出声强达到最大值.

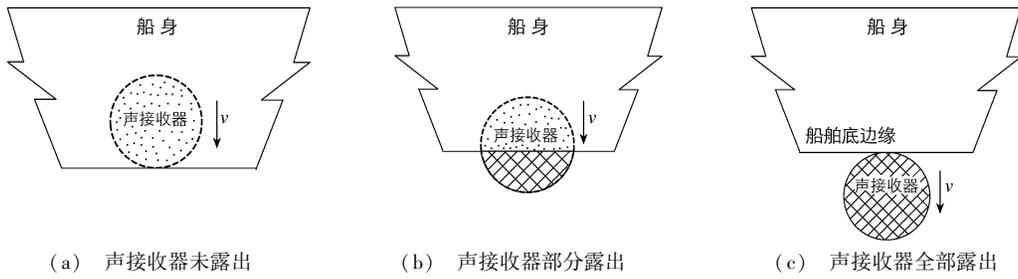


图3 传感器竖直方向扫描过程中与船舶的相对位置关系

Fig.3 Relative position of the sensor and the ship during scanning

声接收器露出面积与时间的关系为:

$$S = \begin{cases} 0 & , vt < x_2 \\ \frac{d^2 \arccos(1 - 2vt/d)}{4} - \left(\frac{d}{2} - vt\right) \sqrt{dvt - v^2 t^2} & , x_2 \leq vt < x_2 + d/2 \\ \pi \frac{d^2}{4} - \frac{d^2 \arccos(2vt/d - 1)}{4} + \left(vt - \frac{d}{2}\right) \sqrt{dvt - v^2 t^2} & , x_2 + d > vt \geq x_2 + d/2 \\ \pi d^2 / 4 & , vt \geq x_2 + d \end{cases} \quad (3)$$

式中: S 为声接收器接收场面积; d 为声接收器接收场直径; x_2 为船舶底部坐标.

声接收器接收的声强信号为 $V = |P(r, t)| \cdot S \quad (4)$

将式(1)和(3)代入式(4),可得如图4所示的仿真结果.其中,声接收器输出最大声强为

$$V_{\max} = \frac{\pi A d^2}{4r} \quad (5)$$

当声发射器沿竖直方向自上而下移动至船舶底部边缘时,声接收器接收到声强信号会发生如图4中 $t_1 \sim t_2$ 时刻的变化.此时

$$v(t_2 - t_1) = d \quad (6) \quad \text{Fig.4 Trend of sound intensity changes during scanning}$$

$$vt_2 = x_2 + d/2 \quad (7)$$

船舶吃水度即为 $x_2 - x_1 = v(t_2 - t_0) \quad (8)$

通过准确判定声测量组件的扫描触发时刻 t_0 与声接收器声强最大时刻 t_2 ,并通过合理设定扫描速度 v ,即可实现对船舶吃水的动态测量.

4 试验方案设计

为了验证船舶吃水测量方法的可行性,设计了如图5所示的试验系统.为了方便起见,将单波束声发射、接收器分别安装在两根丝杆端部,丝杆通过步进电机驱动沿竖直方向移动,实现对船舶底边缘的动态扫描,步进电机的位置控制精度为1 mm.扫描测量过程中,声接收器声压信号经过外围积分电路积分后通过16位高精度采集设备进行同步采集,测量精度为0.1 mV.试验中,选用主频为400 k的声发射、接收器,声波发射角 8° ,水下有效传播距离为3 m,发射接收器直径1 cm.测量组件的线性扫描速度设定为2 mm/s.

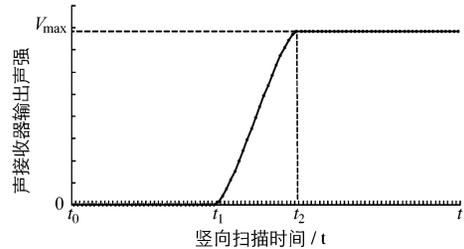


图4 扫描过程中声接收器输出声强变化

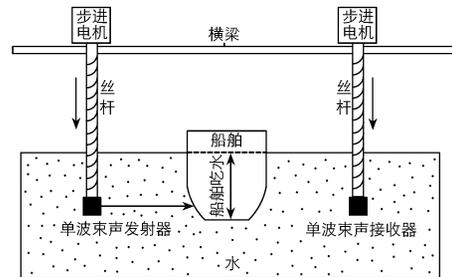


图5 试验系统构造

Fig.5 Setup of the experiment system

试验船舶选用川江3 000 t级典型船舶,利用1:100比尺自航船模进行试验,自航小比尺船舶满载吃水位3 cm,船体长度为110 cm.为了验证测量方法的可行性,并重点考察船舶航速对试验结果的影响,试验按0,1.5,3.0和4.5 cm/s航速共4种工况进行,传感器间距离设定为2 m.

5 试验结果与分析

试验在静水条件下进行,以声发射、接收器位置为 x 轴,以采集卡采集的声接收器输出积分声压为 y 轴,得到的试验曲线如图6所示.由图6可见,实际采集的信号与仿真分析的信号相同,随着声接收器在竖向扫描过程中露出面积的增多,其输出信号幅值呈逐渐增大的趋势.经分析,船舶吃水测量结果如表1所示.

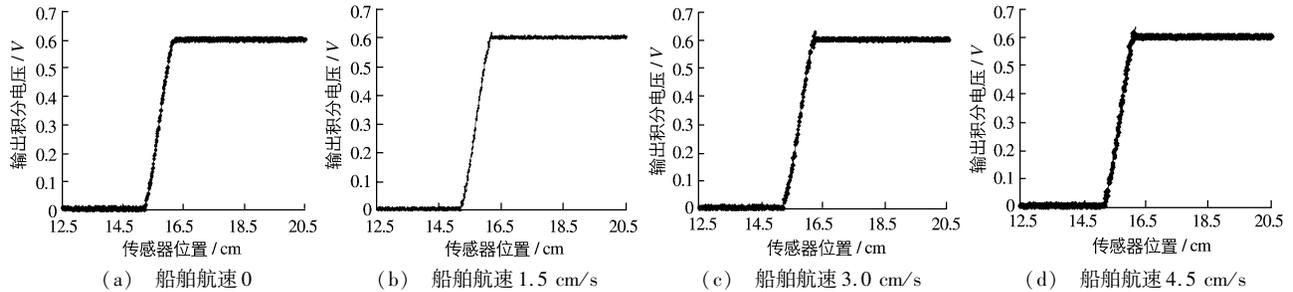


图6 试验结果

Fig. 6 Experimental results

表1 船舶吃水深度测量结果

Tab. 1 Experimental results of ship's draft

船舶航速/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	实际吃水/cm	水面线位置/cm	最低吃水位/cm	测量吃水深度/cm	误差
0	3	12.5	15.63	3.13	4.2%
1.5	3	12.5	15.66	3.16	5.2%
3.0	3	12.5	15.77	3.27	9.0%
4.5	3	12.5	15.83	3.33	11.4%

测量误差随船舶航速增加的变化趋势如图7所示.由表1与图7所示,随着船舶航速的增加,船舶吃水测量值随船舶航速增大逐渐增大,测量误差随船舶航速呈逐渐增大的趋势,最小测量误差为4.2%,最大测量误差为11.4%,这一结果证明该方法可行的同时,也说明船舶航速对吃水测量值有一定的影响.

通过分析可知,由于声波的传输距离与声波频率存在一定的矛盾,为了保证声波的传输距离,需降低声波的发射频率,并提高声波的发射功率,而在降低声呐发射频率、提高声波功率的同时,却带来了诸如声波散射情况加重等问题.船舶航速越大,声波经过船舶底部边缘时的声波散射越严重,船舶吃水测量值误差越大^[10-12].

6 结 语

提出了一种基于单波束声发射、接收器同步竖向扫描的内河船舶离港吃水自动检测方法,分析了吃水测量的基本原理,并进行了基于小比尺船模的吃水测量试验.

试验结果表明,测量误差最大值可控制在11.4%之内,证明了该方法的可行性.同时,随着船舶航速的

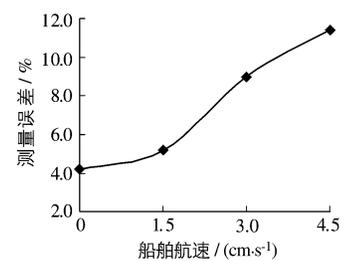


图7 测量误差随船舶航速的变化

Fig. 7 Changes in the measured error with vessel speed

增加,船舶吃水深度测量误差随船舶航速呈逐渐增大的趋势,最小测量误差为4.2%,最大测量误差为11.4%,说明船舶航速增加对吃水深度影响较大。

在后续工作中,为了提高船舶水下边缘检测精度,还必须从声波的产生机理及传输理论出发,深入研究声波散射、绕射等对测量结果的影响。

参 考 文 献:

- [1] 童飞,曾文. “超吃水”航行管理问题研究[J]. 中国水运, 2008(7): 32-33. (TONG Fei, ZEN Wen. Research on navigation management of “super draft”[J]. China Water Transport, 2008(7): 32-33. (in Chinese))
- [2] 陈仲琦. 淡船舶超载的检查判定方法[J]. 航海技术, 2009(5): 79-80. (CHEN Zhong-qi. Inspection method for ship overload[J]. Marine Technology, 2009(5): 79-80. (in Chinese))
- [3] 谭孝福. 关于长江中上游船舶按航道实际水深装载的思考[J]. 武汉船舶职业技术学院学报, 2005(4): 11-12. (TAN Xiao-fu. Thinking on ship’s loading according to actual depth of water in the middle and upper Yantze River[J]. Journal of Wuhan Institute of Shipbuilding Technology, 2005(4): 11-12. (in Chinese))
- [4] 何小明,肖玉芳,王薇. 集装箱船舶营运吃水若干问题[J]. 世界海运, 2008, 31(3): 25-26. (HE Xiao-ming, XIAO Yu-fang, WANG Wei. Some issues about working sea gauge of container shipping[J]. World Shipping, 2008, 31(3): 25-26. (in Chinese))
- [5] 骆国强,朱汉华,陈一奇,等. 手持式智能船舶吃水及载重测量仪研制[J]. 船海工程, 2007, 36(6): 27-29. (LUO Guo-qiang, ZHU Han-hua, CHEN Yi-qi, et al. Research on the holding measure instrument of ship sea gauge and load[J]. Ship & Ocean Engineering, 2007, 36(6): 27-29. (in Chinese))
- [6] 罗宁. 内河船舶吃水自动检测装置研究及应用前景[J]. 中国水运, 2012, 12(2): 86-88. (LUO Ning. Research and application prospects of inland vessels draft automatic detection device[J]. China Water Transport, 2012, 12(2): 86-88. (in Chinese))
- [7] 毕方全,梁山. 船舶“超吃水”航行动态检测方法研究[J]. 中国水运, 2011, 11(7): 1-3. (BI Fang-quan, LIANG Shan. Dynamic detection method for ship’s draft measurement[J]. China Water Transport, 2011, 11(7): 1-3. (in Chinese))
- [8] 重庆交通大学. 基于声纳同步扫描的内河船舶吃水深度测量装置及方法: 中国, 201110185989.4[P]. 2012-02-15. (Chongqing Jiaotong University. The device and method for ship’s draft measurement based on sonar synchronous scanning: CN, 201110185989.4[P]. 2012-02-15. (in Chinese))
- [9] 程建春. 声学原理[M]. 北京: 科学出版社, 2012. (CHEN Jian-chun. Acoustic principles[M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese))
- [10] 杨丽,蔡志明. 混响背景下双基地声纳的探测范围分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2006, 27(4): 597-601. (YANG Li, CAI Zhi-ming. Analysis of detectable region for the bistatic sonar in reverberation background[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2006, 27(4): 597-601. (in Chinese))
- [11] 刘胜,常绪成,李高云. 多基地声纳回波信号接收技术研究[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(7): 1466-1471. (LIU Sheng, CHANG Xu-cheng, LI Gao-yun. Investigation on receiving technique of echoes of multistatic sonar[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(7): 1466-1471. (in Chinese))
- [12] 赖星宇,孙超. 声纳图像中的混合噪声抑制方法[J]. 电声技术, 2011, 35(4): 75-78. (LAI Xing-yu, SUN Chao. Filtering method of the sonar images with mixed noise[J]. Audio Engineering, 2011, 35(4): 75-78. (in Chinese))

Research on detection method for ship’s draft measurement

WU Jun^{1,2}, DING Shen-qi¹, YU Kui¹, LI Xiao-biao¹, WEN Guang-hua³

- (1. Southwest Water Transport Research Department, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China;
2. Key Laboratory of Inland Waterway Regulation Engineering of Ministry of Transport, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;
3. Yangtze River Chongqing Waterway Bureau, Chongqing 401147, China)

Abstract: As ship grounding accidents caused by “super draft” are increasing year by year, it is particularly

necessary to measure draft of inland departing vessels by real time measurement. According to the characteristics of inland waterways and ships, a novel method for ship draft real-time measurement by using simultaneous scanning sonar is proposed. As the draft depth measurement benchmarks, the accuracy of water surface line is directly related to the final measurement accuracy, so firstly the water surface line extraction method based on statistical analysis is presented. Then the influence of sonar's size on output signals is deeply analyzed, and then the measuring principle is deduced. To prove these theoretical analysis results, the ship draft measurement system of a small scale is developed, and the tests are carried out at the same time. The results show that with the increase of ship speed, the measured error of the ship draft is of increasing tendency with the minimum error being -4.2% , and the maximum -11.4% . The test results prove the feasibility of the program, and also show a greater impact on the ship draft with the increase of ship speed. In the following reseaches on the influence caused by acoustic scattering, diffraction and other effects must be studied to improve detection accuracy.

Key words: inland river; ship; sonar; scan; draft; detect

水利部公益性行业科研专项经费重大项目 “我国设计洪水频率分析计算技术研究”顺利通过验收

2013 年 7 月 31 日,水利部国际合作与科技司在南京主持召开了由我院牵头承担的水利部公益性行业科研专项经费重大项目“我国设计洪水频率分析计算技术研究”验收会.验收专家组由水利部规划计划司、长江水利委员会水文局、水利部太湖流域管理局、中国水利学会、江苏省水利厅、中科院南京地理与湖泊研究所、南京大学、中山大学、中水淮河规划设计研究有限公司等单位的专家组成.水利部国科司吴宏伟副司长、我院孙金华副院长、以及课题组相关同志出席了会议.

通过该项目的研究,解决了我国设计洪水频率分析计算技术在洪水次序统计量抽样分布期望值和协方差计算的难题,提出了无偏绘点综合适线法.分析梳理了人类活动影响下流域洪水分析的水文模拟方法,根据设计暴雨推算设计洪水以及根据洪水地区组成推算设计洪水的三类方法,提出了考虑水利工程等人类活动影响下设计洪水频率分析的分析计算框架.基于次序统计量的无偏绘点综合短线法的设计值及其对应的频率和重现期具有无偏的优良特点.验收专家组认真听取了项目负责人的成果汇报,一致认为,该项目全面完成了任务书规定的工作内容,研究成果丰富,达到了预期目标.

摘自南京水利科学研究院网站