

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.05.006

顾及地形变化的多测线粗差剔除方法 在一体化水深测量中的应用

史晓平¹, 季凯敏¹, 李 炜², 姚 远³

(1. 上海海事测绘中心, 上海 200090; 2. 广州点深软件有限公司, 广东 广州 511400;

3. 武汉大学, 湖北 武汉 430079)

摘 要:单波束测深仪是现代海洋和内河水下地形测量中使用最为频繁的测量仪器。硬件设备固有特性和水下复杂的特殊环境, 易导致单波束测深仪在实际使用中产生各类型的粗差。单波束采集时按照每条测线进行处理, 在数据处理上往往存在不同船只、不同测线难以一体化处理的问题。文中针对水深值粗差的特点, 设计了单波束数据采集和处理一体化方法, 在区域处理单波束数据的基础上, 提出一种顾及地形的单波束水深测量数据多测线粗差检测方法, 并针对上海周边实测区域对单波束测深数据采集和处理进行全方位的验证, 结果表明应用本方法不但提升了数据精度和数据处理可靠性, 而且大幅提高了作业效率。

关键词:单波束测深仪; 水深数据; 粗差检测; 粗差修正; 多测线

中图分类号:P229 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-2029(2019)05-0032-05

单波束水下地形测量时, 利用 RTK 技术来实现导航定位, 测量船依据预先设定好的计划线航行, 单波束测深仪以设定的频率不断地测得原始水深值, 并通过潮位改正、吃水改正、延时改正、姿态改正等, 得到水下点的高程^[1-3]。由于单波束测深仪利用声波进行测量, 即使在声速设定正确的条件下, 原始的水深观测值也常受多个方面的影响而产生粗差^[4]。内业处理时, 不但要剔除粗差, 还要找出周围最浅水深以保障航行安全。在较大范围的测区, 单波束在采集时通常分为多艘船只和多条测线进行, 实际采集中通常按照船只和测线单独处理, 对很多改正误差处理存在较大的重复工作量, 并且部分有效改正参数不能快速应用于整个测区。这些问题使得内业处理人工干预多, 处理效率较低。

目前国内外单波束的数据采集处理软件较多, 主流的软件包括美国 Hypack、CARIS 海洋测绘软件等, 但是这些软件或不能满足海图出版数据的处理要求, 或缺少东海海区复杂的潮汐改正模型。

上海海事测绘中心主要负责江苏、上海、浙江和福建三省一市公共港口、航道、航路及其它通航水域的测量工作, 平均每年完成超过 10 万测线公里。由于东海海区测区范围大, 测区环境多变, 潮汐控制复杂, 导致内业处理中存在大量的人工干预, 在一定程度上影响了工作效率。面对如此大的测量数据处理和制图工作量, 既要保证进度又要确保质量, 需要一套完善的符合东海海区复杂水域测量数据处理的解决方案。

1 单波束水深测量数据误差及粗差分析

1.1 单波束水深测量数据误差分析

水深测量误差主要来自 4 个方面: (1) 深度测量方面的误差; (2) 定位方面的误差; (3) 潮位观测及改正模型的误差; (4) 测量环境效应误差, 包括由船速效应、波浪效应、定位中心偏心效应及测深延

收稿日期: 2019-04-28

作者简介: 史晓平(1977-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋测绘研究。E-mail: shixiaoping@shmsa.gov.cn

迟效应引起的测量误差^[9],如图1所示。

目前常用的单波束测深系统已经结合了RTK和姿态传感器,可以将水平位置的定位误差降低到厘米级,并通过姿态传感器改正横摇、纵倾以及涌浪3个方向上带来的偏差。

如果声速变化较大,可以利用声速剖面仪对水体声速进行测定,对不同声速带来的误差进行改正。

在水下部分,船速效应,测深延迟效应均可以通过相应算法进行改正。

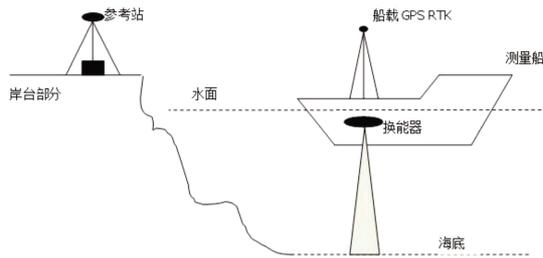


图1 单波束测深示意图

1.2 单波束水深测量数据粗差分析

水下地形地貌是由于水体的长期流动冲刷而形成的,具有一定的连续性。一般情况下,在小区域内不会出现剧烈变化。基于这一假设前提,在进行单波束测深数据处理时,本文将超过一定阈值范围,且为点状或极小范围分布的突变数据视为粗差。

在实际作业中,采集的原始水深数据中经常会出现较大的深度突变点,明显与周边地形不符,属于水深测量数据的粗差,在进一步处理和应用前需要进行检测和处理。传统的解决水深数据粗差的方法一般是靠有经验的专业人员,用手工的方式,通过比较数值的大小或分析水深的变化趋势等手段逐个测线进行判别处理,但处理效率较低,精度不高。此外,也有一些水深异常的自动处理算法,如中值滤波法、深度门技术、趋势面分析法等^[6-8],但仍各有不足。如趋势面分析法除涉及多项式阶数选取、门限选择外,还要求测线布设较密;中值滤波法等常规滤波对连续异常数据的处理能力较差,且正常点易受粗差影响。

1.3 基于多测线的粗差检测

利用单测线进行粗差检测,由于缺少与测线垂直方向的水深参考点,在噪点剔除时,部分特殊水下地形有可能被误判为噪音点。而采用多测线可以同时利用航向及其垂直方向两个方向的水深数据对粗差进行甄别,理论上对于粗差的甄别有较大的意义。

首先在精度方面,基于多测线数据,甚至基于整个测区水深数据进行粗差检测,可以有效甄别特殊的水下地形,提高粗差检测精度。

其次,在处理速度方面,由于同时对多测线甚至整个测区进行处理,而不再是对每条测线逐个处理,虽然在检测噪点环节增加了计算量,但是由于优化了去噪处理流程,最终可以大量减少人工参与量,显著提高整个测区水深数据的处理速度。

在测量误差理论中,选权迭代法在很多误差处理中起到了良好的作用^[9]。随后被引入到单波束水下测深数据粗差检测方法,为单波束粗差检测提供了一个全新的思路^[10]。

一般情况下水下地形有一定的规律,从河堤到河道中心,从海岸到深海通常由浅及深,水深变化相对较大,而平行于河堤及海岸线方向的水下平坦区域通常水深较为接近。此外,在多测线和整个测区采集的所有水深点中,正常数据占大多数,粗差仅占少数。

这些规律可以作为先验知识在水深数据处理中加以利用。本文结合水下地形以及粗差分布的先验知识,在选权迭代法的基础上提出了顾及地形变化的多测线粗差检测方法。为进一步提高粗差检测准确率和降低漏检率提供了可能。

2 顾及地形变化的多测线粗差检测方法

本文借鉴了选权迭代法的思路,由于水下地形特有的规律,简化了部分选权迭代计算过程,提出的顾及地形变化的多测线粗差检测方法,分为以下6个步骤:

(1) 区分平坦和起伏地形区域。

首先根据测线布设宽度 W ,确定网格大小 $S=2*W$,将测区的最小外接矩形划分为 N 个规则的网格。然后根据每个网格内的水深点计算地形的平均坡度,初步判断网格属于平坦或起伏地形区域,在实际计算中,可以采用两个临近水深点的高程差除以水平距离值从而求得坡度值,对于区域内平均坡度大于 15° 的为起伏地区,坡度小于 15° 的为平坦地区。在判断为平坦区域的网格以水深值为依据,采用区域增长方法获取本网格周边水深点。将待处理数据分为 n 块平坦或起伏地形区域数据。

(2) 分别对平坦和起伏区域进行首次曲面拟合。

对平坦和起伏区域逐个进行曲面拟合,获得当前区域的曲面拟合参数。

对于不包含海沟、人工构筑物等复杂地形的水深数据,一般采用三次曲面拟合函数即可,如果地形较为复杂,也可以采用更高次曲面拟合函数。

(3) 平坦地形区域处理。

平坦区域处理较为简单,首先计算水深点到首次拟合曲面的距离并按照这个距离计算中误差,超过一定倍数中误差的作为粗差候选点,对于平坦区域,通常选取 2 倍中误差。然后剔除粗差候选点(即权重为 0),重新拟合曲面,重新计算水深点到新曲面的距离,按照新的距离重新选出超过一定倍数中误差的点,即为更为精确的粗差候选点。

(4) 起伏地形区域处理。

与平坦区域处理步骤基本相同,首先计算水深点到拟合曲面的距离,并按照这个距离计算中误差 σ 。大于 2.5 倍中误差的权值设为 0,低于 2 倍中误差的权值设为 1,大于等于 2 倍中误差小于 2.5 倍,中误差假设为 X ,则其权值设为: $1 - \frac{2(X-2\sigma)}{\sigma}$ 。

剔除权值为 0 的水深点,将权值小于 1 的水深点到第一次拟合曲面距离乘以其权值作为参考值,然后转换为水深值,作为参考点。根据权值为 1 以及参考点进行第二次曲面拟合。然后根据第二次曲面拟合结果计算所有水深点到拟合曲面的距离,并计算中误差,超过 2 倍中误差的列为粗差候选点。

(5) 根据连续地形再次检测粗差。

对于筛选出来的粗差候选点,逐个判断粗差候选点是否为非连续的独立点,如果是独立单个的非连续异常点,则认为是粗差。如果在同一测线上有多个异常高程点且异常高程点在所在测线上比例小于 2%,并且周边临近区域测线没有异常高程点,未形成连续的海底地形,则认为多个异常高程点均为粗差。如果在多条测线上有多个连续点,形成了连续变化的地形区域,则认为其不是粗差,是一块连续的海底地形。

(6) 剔除粗差后进行曲面拟合。

对剔除完粗差以后的所有水深点进行曲面拟合,形成连续的水下地形成果。

3 单波束数据一体化处理方法

传统单波束数据采集和处理通常逐条测线进

行,无法对整个区域进行一体化处理,对于粗差剔除、多验潮站改正等都存在一定的障碍。

针对这些实际数据采集和处理中存在的迫切需求、东海海区单波束测量的特殊情况,以及上述理论研究成果,作者设计研发了“测量数据采集和后处理一体化软件”,包含测线布设、自动化导航、多船多测区数据采集、粗差剔除、多验潮站改正在内的各类误差改正、坐标转换到水深断面分析,覆盖单波束数据采集到处理全流程。具体处理流程如图 2 所示:

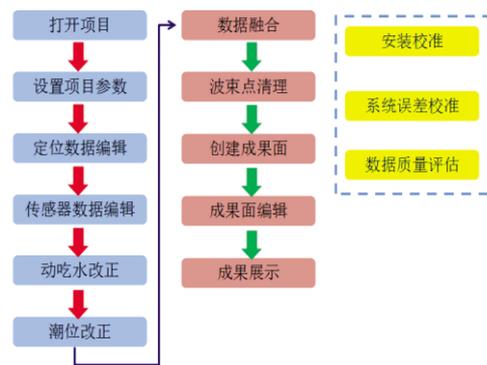


图 2 一体化处理流程

4 应用及验证

在东海海区若干项工程的外业采集和内业处理过程中使用了自主研发的一体化软件,利用事先制作的测量船文件,顺利完成测量外业数据采集。

在数据处理中,水深测量剔除粗差最有效的办法是利用所有数据建立可视化图形,采用人机交互的方式结合自动剔除算法综合开展。在本系统中对选定测区可以除人机交互方式外,还可以进行自动粗差剔除,自动过滤假信号,按照设定最小点间隔自动提取最浅或最深的水深点,可以大量减少人工干预量,降低人工处理强度提高生产效率,如图 3~图 4 所示。

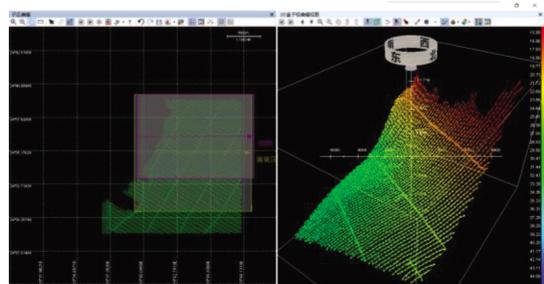


图 3 区域数据处理

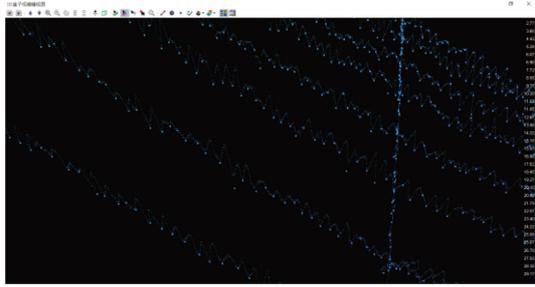


图 4 等间隔自动提取极值水深点

在进行水位改正时,应用软件实现单波束数据区域自动化的双验潮站,三站和多验潮站的水位改正,预先制定测区的潮位改正模型文件,潮位改正时可方便地实现批量改正。如图 5 所示。

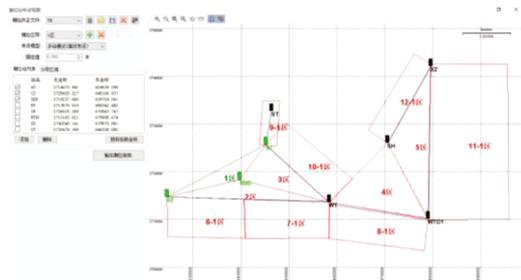


图 5 测区的潮位改正模型文件制作

此外,在数据检查时,可以自动对测线交叉点进行快速检查,并统计生成误差分布结果,方便对精度进行评估,对数据质量进行控制。如图 6~图 7 所示。

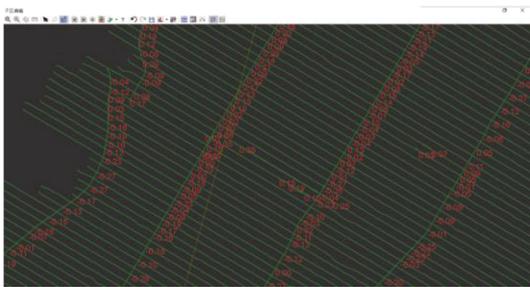


图 6 自动计算测线交叉点高差

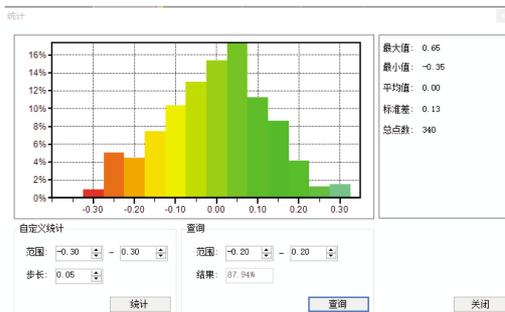


图 7 交叉点高差误差分布统计

经与传统软件处理的成果对比,应用一体化软件处理完成的成果文件(同时测量,即同一套定位仪和测深仪输出的数据),除个别水深突变区域由于选点位置的原因造成差异,其余水深成果差别均小于 0.1 m,如图 8 所示,证明数据处理流程正确有效,而处理速度得到了明显提升。

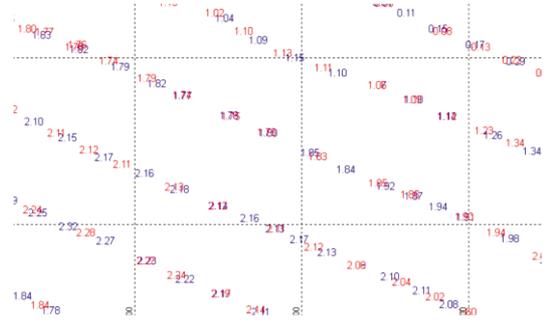


图 8 成果对比

5 结论与展望

单波束测深是目前应用最广泛的水下地形测量方法,但由于各种因素影响,测深数据中存在着一定的粗差,人工剔除方法费时费力,自动方法又存在着识别正确率不够高的问题,本文针对单波束水深测量数据存在的粗差问题,结合水下地形变化的先验知识,提出了顾及地形变化的多测线粗差检测方法,可以有效提高粗差检测正确率并降低漏检率,提高后期生成的水下地形成果的精度。

本文使用的顾及地形变化的多测线粗差检测方法及涉及的“测量数据采集和处理一体化软件”,有效解决了目前外业测量和数据后处理环节流程繁琐、工作效率低下的瓶颈问题,在提升数据精度和数据处理可靠性的同时,大幅提高了作业效率,在实际生产中具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 赵建虎, 欧阳永忠, 王爱学. 海底地形测量技术现状及发展趋势[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1786–1794.
- [2] 欧阳永忠, 陆秀平, 孙纪章, 等. GPS 测高技术无验潮水深测量中的应用[J]. 海洋测绘, 2005(01): 6–9+13–1.
- [3] 梁武南, 杨保岑, 舒晓明. 一体化单波束精密测深方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2013(3): 27–29.
- [4] 杨梦云. 影响单波束测深仪测量精度的因素及消除措施[J]. 人民长江, 2012, 43(21): 42–44.
- [5] 刘忠民, 劳少雄. 水深测量系统粗差原因分析[J]. 西部交通科技, 2012(08): 150–152.
- [6] 林琿, 吴立新, 方兆宝, 等. 水深测量的误差因子分析[J]. 海洋测绘, 2005(02): 1–5.
- [7] 张红梅, 赵建虎. 河床演变野外采集源数据滤波方法研究[J]. 泥沙研究, 2004(03): 34–40.
- [8] 黄珍雄. 单波束水下地形测量精度的改进方法研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2013.
- [9] 王奉伟, 周世健, 周清, 等. 选权迭代法残差初值求解方法比较[J]. 测绘科学, 2015, 40(8): 18–21.
- [10] 刘洪. 基于选权迭代法的单波束测深数据粗差探测[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(04): 202–204+207.

Application of Multi-Measurement Gross Error Elimination Method Considering Terrain Change in Integrated Underwater Measurement

SHI Xiao-ping¹, JI Kai-min¹, LI Wei², YAO Yuan³

1. Shanghai Maritime Surveying and Mapping Center, Shanghai 200090, China;
2. Guangzhou Depth Cloud Software Co., LTD., Guangzhou 511400, Guangdong Province, China;
3. Wuhan University, Wuhan 430079, Hubei Province, China

Abstract: The single beam bathymetry is the most frequently used type of measuring instrument in modern marine and inland water topographic surveys. The intrinsic characteristics of the hardware device and the special environment under the water are easy to cause the single-beam bathymetry to produce various types of gross errors in actual use. Since single-beam acquisition is processed according to each line, there are often problems in the later data processing that are difficult to be integrated with different ships and different lines. In this paper, based on the characteristics of water depth difference, a single-beam data acquisition and processing integration method is designed. Based on the regional processing of single-beam data, a single beam water depth measurement data multi-line gross error detection method is proposed in this paper. The data collection and processing of single beam sounding is verified in all aspects of the measured area around Shanghai. The results show that the application of this method not only improves the data accuracy and data processing reliability, but also greatly enhances the work efficiency.

Key words: single beam bathymetry; water depth measurement data; gross error detection method; gross error correction; multi-line detection