



# 多波束滤波理论与实践效果分析

王 敏, 李玉宁

(中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300202)

**摘要:** 多波束测深系统可获得精细、全面的水下地形数据, 但数据处理繁杂、周期较长且数据质量因处理水平不同而产生不可忽略的差异, 因此有必要使用软件中的滤波工具辅助进行多波束的数据处理。针对滤波理论繁杂难解、滤波方法和效果不尽相同的问题, 以 QINSY 软件与亿点通软件常用的滤波工具与工程实践相结合分析滤波工具在疏浚测量中的效果, 得出相应疏浚工程的滤波选择, 从而缩短了多波束数据处理周期, 减小了人工处理数据而产生较大差异性的概率。

**关键词:** 多波束测量; 滤波理论; 疏浚工程; 效果分析

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0020-04

## Theory and practical effects of multi-beam filtering

WANG Min, LI Yu-ning

(CCCC(Tianjin) Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300461, China)

**Abstract:** The multi-beam bathymetry system can obtain fine and comprehensive data on underwater topography. Nevertheless, such data are complicated and time-consuming to process, and the differences in data quality caused by different processing levels cannot be ignored, which necessitates the use of the filtering tools in the software to assist with multibeam data processing. To address the problems of complicated and difficult filtering theory and different filtering methods and effects, this paper analyzes the effect of filtering tools in dredging surveys by combining the commonly used filtering tools in the QINSY software and the Yidiantong software with engineering practice. Furthermore, the paper determines the filter selection for corresponding dredging projects. In this way, the paper shortens the multi-beam data processing cycle and reduces the probability of large differences caused by manual data processing.

**Keywords:** multi-beam survey; filtering theory; dredging project; effect analysis

### 1 常用多波束数据滤波方法

无论哪种软件进行多波束数据处理, 自动滤波模型都需要建立在相邻条带拼接良好的情况下。对水深数据进行滤波之前, 首先要建立关于数据质量评定的标准。国际海道测量组织于 2008 年提出将不确定度引入海道测量的数据处理评估中<sup>[1]</sup>。

多波束数据处理常用的滤波方法主要有: 遵循 IHO S44 规则的方法、表面样条曲面法、Qlean++

法、趋势面拟合法、线性加权法以及平均值或中值法等, 这些方法原理不同, 适用于不同工程特点的数据。

### 2 疏浚工程多波束测量数据滤波处理

疏浚工程在水深测量任务中占有很大的比例, 通常有港池航道疏浚工程、泊位及维护性清淤拓宽疏浚工程等, 与之匹配的多波束测深系统在浚

收稿日期: 2022-07-11

作者简介: 王敏(1990—), 男, 工程师, 从事海洋测绘、工程测量工作。

前、浚中、扫浅、浚后等各阶段参与度极高,发挥着极其重要的作用。为提高多波束数据处理速度,预处理方法中应优先进行数据滤波,对数据粗差进行剔除,得到误差较小的深度值<sup>[2]</sup>。滤波工具全面参与计算并剔除不合格数据,在一定程度上决定了数据处理质量。

以耙吸船疏浚地形数据滤波处理实践为例进行说明。耙吸船依靠耙齿扰动起泥沙,由管道运入船舱中,再到抛泥区抛泥或完成吹填作业,从而完成 1 个挖泥工作周期。挖泥作业初期海底地形在挖泥航向上具有人工修饰的连续性,但在垂直航向上具有锯齿状的起伏。根据地形特点在滤波选择上,选用 QINSY 软件的 Surface Spline Filter (表面样条法滤波)与亿点通软件的趋势面拟合法滤波进行实践并比较。

2.1 Surface Spline Filter 滤波

Surface Spline Filter 运算不是依靠个别测线的数据,而是基于区域的样条曲面,在小区域每次比较大 约 100 点。它自动分割小的区域来运算,这个区域无法自定义。该滤波算法参考《国际海道测量组织海道测量规范》S-44 版中的异常点检测指导准则中的公式来判断水深值是否被剔除:

$$x>\sqrt{a^2+(bd)^2}$$
 (1)

式中:  $x$  为异常点距离曲面的距离;  $a$  为水深误差常数;  $b$  为水深相关误差因子;  $d$  为水深;  $bd$  为水深相关误差。

滤波处理时,将相应的  $a$ 、 $b$  值代入公式,同时依据水下地形延续性、条带搭接率及中央波束可靠性等拟合出 1 个可以参考的曲面,然后根据上述公式的计算结果判断离散的水深值是否保留。 $a$ 、 $b$  在对应滤波方法中的深度精度为 95% 置信度。运算原理见图 1。

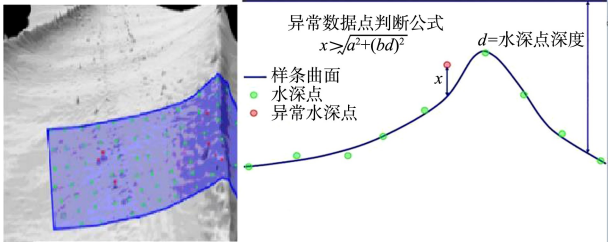


图 1 IHO S44 异常点检测指导方针滤波原理及分类参数

从图 2 效果实例中可以看出,对于比较离散的假点,滤波算法的甄别和剔除可以滤掉 80% ~ 90% 的噪点数据,只有非常靠近实际地形的少部分假点没有被滤除,主要在锯齿状地形突出的区域(图 2 左侧标注)。边缘波束和中央波束效果差别不大,且很少有真实的点被误删除。因此,只要地形上具有非突变的连续性,应用 Surface Spline Filter 即可大大提高多波束数据处理的速度。

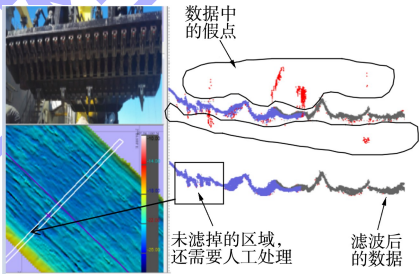


图 2 QINSY 软件使用 Surface Spline Filter 效果

QINSY 软件在该滤波方法下分设了不同水深对应的选项,每个滤波选择对应的水深误差常数  $a$  及水深相关误差因子  $b$  是固定的,其优势在于二次调整滤波强度时可以通过对应滤波选项中的 ROV 深度手动调节滤波效果。深度范围内 ROV depth 越大,滤波强度越大,有可能滤掉太多真实的波束点。其中 Extremely High Detail Survey (0 ~ 10 m) 滤波最为强劲,对应的  $a$  为 0.050,  $b$  为 0.002。QINSY 软件表面样条曲面滤波分类见图 3,滤波强度由上到下依次减弱。

滤波名称	$a$	$b$
Extremely High Detail Survey(0~10 m)	0.005	0.002
SMA Exclusive Order(0~20 m)	0.015	0.014
IHO S44 Special Order(0~20 m)	0.025	0.075
IHO S44 First Order(20~50 m)	0.500	0.013
IHO S44 Second Order(50~100 m)	1.000	0.023

Select cleaning method	
cleaning method	
Spline surface despiker	
parameters	
parameter	Value
Type	Extremely High Detail Survey(0~10 m)
ROV depth	10

图 3 QINSY 软件表面样条曲面滤波分类及 ROV depth 自定义

2.2 曲面滤波

曲面滤波是亿点通软件滤波工具中的核心技术，判断原理仍是深度限差 $>\sqrt{a^2+(bd)^2}$ 。首先要创建 1 个最贴合实际地形的曲面作为参考，创建方法主要取决于测区地形的特点：测区地势较为平坦适合用平均值法或中值法；原始的冲积水下地形水深变化缓慢，建议选择趋势面拟合法。趋势面的异常值检测算法是利用多波束测深数据拟合海底曲面，从而检测异常值，常用的趋势面有：Bezier 曲面、B 样条曲面、最小二乘曲面等<sup>[3]</sup>。如果是有明显人工修饰的起伏或礁岩等变化大的区域，建议使用线性加权法建立曲面，见图 4。创建曲面的同时需要同步设置取样窗口格网大小和容许误差，在保障生成的整个曲面连续的情况下，曲面格网的分辨率尽可能小。30 m 以内浅水区域格网分辨率宜为 0.5~1.0 m，所有的滤波工作均基于制作的最优参考曲面进行噪点判别滤除作业。

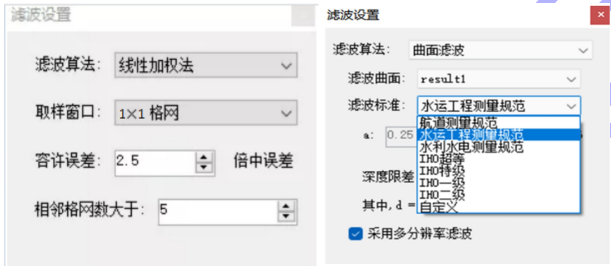


图 4 疏浚区曲面滤波选项

2.3 滤波算法选择

关于滤波算法的选择，对于比较平整的区域，建议滤波算法选择平均值或中值法；对于变化缓和的冲积状水下地形，建议选择趋势面拟合法。本文示例的测区水深在 1~20 m 范围内，属于地形呈小锯齿状变化的疏浚区域，因此，滤波算法选择“线性加权”，取样窗口为“1×1 格网”，容许误差为 2.5 倍中误差，见图 4。

在疏浚测量实践中，软件滤波原理公式相同，耙吸船施工的初期地形数据是检验滤波效果好坏的重要试金石，可以更实际地验证滤波效果。图 5 为使用最优曲面滤波且勾选了多分辨率滤波的效果，可以看出，大部分离散的浅点已被自动滤除，只有两侧边缘处残留了少部分离散点。

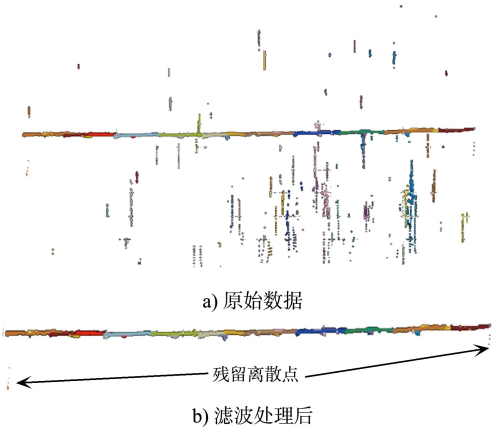


图 5 亿点通软件最优曲面的滤波实例

3 滤波效果分析

QINSY 软件和亿点通软件中的 2 种曲面滤波算法的判断异常值原理公式相同，从 2 个方面进行分析：1) 直接用同一区域的 2 种滤波数据和人工处理后的数据进行重合点互差分析；2) 人工辨别滤波后噪点残留和过度删除真实数据点的情况。

疏浚施工多数情况下均使用浅点图，所以 2 个软件均选择输出最浅点，滤波完成直接输出 1 m 范围内的重合点，比对情况见图 6。经统计，2 种数据超过 80% 的互差值均分布在 -0.15~0.15 m，符合《水运工程测量规范》中的要求。不同的是，QINSY 软件有少量的过度滤除现象，尤其在不同条带数据的重叠区搭接不太好的情况下，例如测区水深为 20 m，利用公式计算的限差为 0.05 m，对于水深复杂的测区，多波束测量精度已经不好实现。所以如果设置滤波参数强度过大，会出现滤波后比实际水深值深 2~6 cm 的情况。

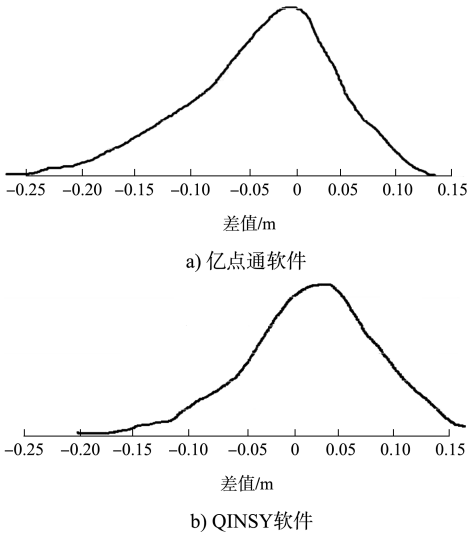


图 6 软件仅滤波数据差值分布

亿点通软件创新了多分辨率滤波模式, 针对陡坎地形、细小目标、特殊障碍物等复杂水下地形, 多分辨率曲面能够清晰完整地展示海底地形变化趋势<sup>[4]</sup>。该软件采用多分辨率滤波的效果基本能够做到不过度删除数据, 保留高度近似真实底面的数据, 但是其中包含了少部分零散的假点, 需要人工判别处理。图 5 是使用亿点通软件中的曲面滤波并采用多分辨率滤波的效果图片, 可以看出, 绝大部分的离散噪点已自动滤除, 只有测区边缘有少量离散的噪点。局部放大后(图 7)非常接近真实底面的附近还是残留个别噪点, 需要人工判断并处理。

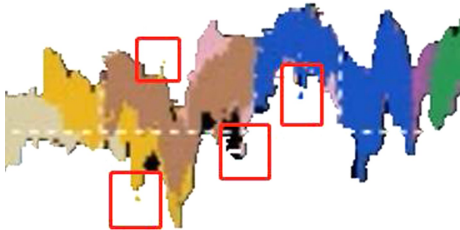


图 7 最优曲面滤波的局部放大

综合滤波效果要保证多波束测深精度, 除须具备符合精度要求的多波束系统及其辅助设备外, 在测量过程中还须保证各项校正和改正的准确性<sup>[5]</sup>。即使滤波后还需人机交互剔除, 经过在天津港、盘锦港及京唐港航道疏浚工程的多次试验得出, 此单一滤波处理仍可以减少约 60% 的人工作业量。

4 结论

1) QINSY 软件中的表面样条曲面滤波分项对应的  $a$ 、 $b$  值是分别固定的, 根据测区深度选择滤

波工具分项, 可设置 ROV depth 调节滤波分项的滤波强度, 还可以组合 Qlean++ 等多种滤波工具。遇到特殊工况, 可选择自定义模式确定  $a$ 、 $b$  值, 滤波强度根据滤波效果分析调整。

2) 亿点通软件只有单一滤波工具先后工作模式, 没有不同类别的滤波方法组合工作模式, 在连续复杂变化的水深测量中滤波效果有待提高。

3) 根据以往的实践经验, 滤波运算很难在过度删除和保留高度近似的数据之间做到完美。选择软件滤波方法之前一定要在小范围内进行滤波试验, 根据滤波效果不断进行滤波分项选择和参数设置来确认最适合测区工况的滤波分项和参数。就目前而言, 人工参与处理并检核滤波后的数据仍必不可少。

参考文献:

[1] 贾帅东, 张立华, 宋国大, 等. 基于区域平均垂直不确定度的自适应网格水深建模方法[J]. 测绘学报, 2012, 41(3): 454-460.

[2] 程秀丽. 多波束测量数据处理关键技术研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2014.

[3] 孙岚, 王海栋, 余成道, 等. 多波束测深数据异常值检测算法比较[J]. 海洋测绘, 2009, 29(5): 57-60.

[4] 史书强, 舒晓明, 李炜. 基于自适应多分辨率自适应曲面的多波束滤波方法研究[J]. 水运工程, 2022(1): 53-58.

[5] 吴超, 殷晓冬, 张立华, 等. 基于不确定度的多波束测深数据质量评估方法[J]. 海洋测绘, 2009, 29(5): 11-14.

(本文编辑 王传瑜)

编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动, 他们建立伪网站, 利用代理投稿和承诺上刊等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明, 从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿和审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址: [www.sygc.com.cn](http://www.sygc.com.cn), 敬请广大读者和作者周知并相互转告。

《水运工程》编辑部