

# 海洋多波束测深数据精细处理与海底地形测绘

李 宏

惠州市自然资源规划勘测院 广东 惠州 516000

**【摘要】**：海洋多波束测深技术在海底地形测绘中广泛应用，但原始测深数据存在噪声和异常值，影响地形精度。针对这一问题，提出基于多步骤滤波、数据融合与精细化处理的方法，对原始测深数据进行校正和优化。通过对比处理前后的数据结果，显示处理方法能够有效消除噪声、提高测深精度，并生成高分辨率海底地形图。研究结果表明，精细化数据处理对于提升海底地形测绘质量具有显著效果，为海洋工程、科学研究及资源管理提供可靠基础。

**【关键词】**：多波束测深；数据精细处理；海底地形测绘；数据滤波；数据融合

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.098

## 引言

海洋地形复杂多变，对测绘精度要求极高。多波束测深技术提供了大范围、高分辨率的水下地形数据，但原始测深数据受声波传播、海洋环境及设备误差影响，存在噪声和异常点，导致地形图精度下降。通过系统的数据精细处理，可有效去除干扰信息，提高测量数据的可靠性和一致性，为海底地形图生成提供基础支撑。数据融合与多步骤滤波技术能够实现测深数据的优化校正，使海底地形特征更加清晰，为科学研究和工程应用提供准确的数据支撑，推动海洋测绘技术向高精度、智能化方向发展。

## 1 测深数据质量问题识别

### 1.1 噪声与异常数据分析

多波束测深数据在获取过程中易受环境干扰和系统误差影响，产生随机噪声和系统异常数据。噪声表现为测深值的局部波动或脉冲型异常，使得海底高程分布出现不连续和畸变。异常数据主要包括孤立点、跳跃值以及虚假回波信号，影响测深数据的空间一致性和精度。通过频谱分析和统计特征识别，可以对不同类型的噪声进行分类，明确噪声分布特性。结合现代数字滤波与自适应算法，可实现噪声抑制和异常点检测，为后续数据处理奠定可靠基础，同时为精细化海底地形建模提供更高的测量可信度。

### 1.2 测量环境影响因素

海洋测深精度受到水体声速变化、海流扰动、海面波动及温盐结构差异的影响。水体温度、盐度和压力的不均匀分布导致声波传播路径弯曲，产生深度测量误差<sup>[1]</sup>。海面波动和风浪引起声呐发射角和接收角的偏移，影响测深数据的垂直精度。水下悬浮颗粒及生物回声增加了回波复杂性，使测深信号存在多径干扰和回波衰减。环境因素的动态变化要求对原始测深数据进行环境参数修正与实时声速剖面补偿，以保证数据精度和空间连续性，并支持高精度海底地形构建和精细分析。

### 1.3 数据采集设备局限

多波束测深系统的测深精度和覆盖能力受设备自身性能

限制。探测波束的分辨率、阵列孔径、发射功率及接收灵敏度决定了空间采样密度和信噪比。设备安装角度、平台姿态稳定性及运动补偿算法对测深精度影响显著。声呐频率选择影响水穿透能力和回波分辨率，高频系统虽分辨率高但衰减快，低频系统适用于深水但分辨率低。现代多波束系统仍面临波束干扰、回波重叠及测深盲区问题，需要结合多源数据融合、姿态补偿和信号增强技术优化数据采集效果，提高海底地形测绘的完整性和精度。

## 2 多波束测深数据预处理方法

### 2.1 初步滤波与去噪

多波束测深数据在采集过程中常包含高频噪声、孤立异常点和周期性干扰信号，这些干扰会破坏数据的空间连续性和测深精度。初步滤波通过应用多尺度平滑算法、数字高低通滤波和中值滤波，能够有效去除随机噪声并保留地形特征的主要变化趋势。结合自适应滤波策略，根据噪声强度动态调整滤波参数，可减少信号失真并保留真实地形细节。通过统计分析识别孤立异常值，利用阈值或邻域比对方法剔除异常测点，形成干净的数据基础。数据去噪不仅提高了测深信息的可靠性，也为后续深度校正和数据融合提供稳定输入，确保生成的海底地形具有更高的空间精度和可分析性。

### 2.2 坐标与深度校正

测深数据的空间定位和深度精度受平台姿态、航向变化及声速剖面影响，需要进行坐标与深度的精确校正。首先通过动态姿态测量和补偿，修正测深数据在横向和纵向的偏差，确保每个测点对应的真实空间位置。其次结合实时声速剖面进行深度校正，修正声波传播速度变化导致的水深误差，保证测深数据的垂直精度<sup>[2]</sup>。地理坐标系统的统一和数据投影转换也是校正的重要环节，能够消除测区内不同坐标系之间的偏差，实现空间数据的连续性和一致性。校正过程结合多源传感器信息与算法优化，可最大限度降低环境因素和设备误差对测深结果的影响，为精细化海底地形建模提供高精度基础。

### 2.3 数据一致性检查

数据一致性检查旨在确保多波束测深数据在时间、空间及深度维度上具有连贯性。通过交叉航线重叠区域对比分析,评估测深点的偏差和相对误差,识别存在系统性漂移或局部异常的测段。在空间层面,利用网格化方法检查测深数据的连续性和边界平滑性,确保相邻测点间深度变化合理且符合海底地形特征。深度一致性分析结合统计分布和邻域对比,可剔除不符合测区整体规律的异常点,并为数据融合和插值提供标准化基础。通过多维度一致性检查,能够形成高度可靠的数据集,为高分辨率海底地形生成提供准确、连续和稳定的基础数据支撑。

## 3 数据精细化处理技术

### 3.1 多步骤滤波策略

多波束测深数据精细化处理中,多步骤滤波策略通过分阶段、分尺度的处理方法,实现对复杂噪声的有效抑制。首先采用粗滤波对高频随机噪声和孤立异常点进行初步剔除,形成基础数据框架。随后应用中尺度自适应滤波,根据地形局部变化特征动态调整滤波参数,既保留地形细节又消除残余噪声。最后,实施微滤波和高精度平滑处理,使低幅值波动和局部误差得到进一步修正。多步骤滤波策略通过层层递进处理,能够对不同尺度和类型的噪声进行分类控制,保证数据在空间连续性、深度精度和地形特征表现上的一致性,为后续高分辨率地形生成奠定可靠基础,同时提升数据处理的稳定性与可重复性。

### 3.2 数据融合与插值

高精度海底地形建模需要将多航次、多波束采集的数据进行融合,以提高空间覆盖率和深度精度。数据融合通过统一坐标系统、时间同步和姿态补偿,将不同来源的数据整合为连续数据集。融合过程中采用加权平均、最小二乘拟合和多分辨率插值方法,优化深度值的空间一致性和分辨率,同时填补采集空白区域。插值方法结合邻域分析和地形梯度控制,可在保持地形真实起伏的同时,减少平滑带来的信息损失<sup>[3]</sup>。多源数据融合与高精度插值处理实现测深数据的无缝连接和空间均衡分布,为高分辨率海底地形生成提供稳定、完整的基础数据,同时提高数据在复杂海底环境下的适应性和可信度。

### 3.3 异常值自动修正

异常值自动修正是数据精细化处理的重要环节,通过算法自动识别和调整偏离整体趋势的测深点,保障数据集的完整性与精度。基于统计特征和邻域分析识别异常点,评估深度偏差与局部梯度差异。利用回归预测、曲面拟合及多阶插值方法对异常值进行自动修正,使其与周围数据保持一致。自动修正过程结合深度变化率、地形连续性及空间平滑性标准,避免过度校正导致地形特征丢失。通过异常值自动修正,测深数据在噪

声抑制和局部修正方面得到统一优化,为精细化海底地形建模提供高可靠性的输入数据,确保地形特征完整呈现和深度精度提升。

## 4 高精度海底地形生成

### 4.1 地形网格构建

高精度海底地形生成首先依赖精细化的数据网格化处理,将离散测深点转化为规则化的空间网格。网格构建采用自适应分辨率策略,根据海底地形复杂度动态调整网格密度,在地形变化剧烈区域提高采样密度以保留细节,在平坦区域适当降低密度以优化计算效率。网格化过程中,结合多层滤波和空间插值算法对网格节点进行深度修正,确保数据连续性和局部一致性。采用等间距或梯度加权网格方法,使深度值在空间上平滑分布并准确反映海底起伏结构。同时引入边界控制和异常约束,防止边缘偏差和孤立异常影响整体网格质量,为后续高分辨率地形图生成提供可靠基础数据,并保证地形网格在复杂海区具有高度可分析性和可视化适应性。

### 4.2 高分辨率地形图生成

地形网格完成后,通过高分辨率渲染技术生成连续、可视化的海底地形图。生成过程中结合多源数据加权融合和空间插值优化,确保局部细节精度与整体地形连贯性。采用高精度深度色彩映射和等高线生成方法,对网格数据进行可视化处理,使海底起伏特征清晰呈现。在渲染过程中引入梯度分析和局部平滑控制,防止因局部异常或网格粗糙造成的视觉扭曲<sup>[4]</sup>。通过动态分辨率调整技术,根据海底复杂程度和分析需求对不同区域分辨率进行优化,使地形图既具有宏观概览能力,又能揭示微观地貌特征,为科学研究、工程规划及海洋资源管理提供高可信度的数据可视化支持。高分辨率地形图生成强调数据精度、空间连续性及视觉表达的统一,保证测深数据的科学价值和应用价值最大化。

### 4.3 精度验证与效果分析

高分辨率海底地形生成后,需要对精度和效果进行全面分析。精度验证通过航线交叉对比、邻域差异分析及深度残差统计方法,对网格化与渲染结果的空间一致性和深度精度进行评估。效果分析关注地形特征的完整性、连续性以及局部细节的保真度,采用空间梯度分析、表面起伏对比和统计分布检验识别潜在误差区域。结合多尺度分析方法,能够在宏观和微观层面对地形数据进行精细化评估,发现细微地形异常和局部误差,实现深度数据的科学校验。通过系统的精度验证与效果分析,可以为后续数据优化、地形信息应用及海洋工程决策提供可靠依据,并支持高精度海底地形在复杂环境下的科学应用和工程实践。

## 5 处理方法应用与优化效果

### 5.1 案例分析与数据对比

应用精细化处理方法对多波束测深数据进行案例分析,通过不同航次、不同区域的数据对比,评估处理方法在实际海底测绘中的效果。对原始数据与精细处理后的数据进行深度差异统计、空间分布一致性分析和异常点比例计算,明确数据精细化处理对噪声抑制和异常修正的改进程度。结合高分辨率网格和渲染结果,分析地形起伏、沟壑结构及局部地貌特征的保真性,验证多步骤滤波、数据融合和异常值自动修正策略在保留地形细节的同时提升数据连续性与空间精度的能力。案例分析结果表明,处理方法能够实现数据在复杂海区的稳定性提升,显著优化深度测量一致性和局部特征表现,为高精度海底地形生成提供可靠依据,同时为工程和科学应用提供精确的数据对比基础。

### 5.2 处理效率与精度评估

对数据精细化处理方法的处理效率和深度精度进行量化评估,采用处理时间统计、计算资源消耗分析和深度误差分布评估相结合的方式。处理效率通过算法执行时间、计算负荷以及不同数据规模下的响应性能进行分析,评估方法在大规模多波束测深数据处理中的可扩展性和实时性。精度评估采用残差分析、空间梯度一致性检验和深度均方根误差计算,对数据精细化处理前后的改进效果进行量化<sup>[5]</sup>。评估结果显示,优化的多步骤滤波与数据融合算法在保证处理效率的同时显著提升测深精度和空间连续性,为高分辨率海底地形生成和工程应用

提供可靠支持,同时体现处理方法在复杂海区对数据稳定性和精度控制的有效性。

### 5.3 海底地形信息应用价值

精细化处理后的高精度海底地形数据具有广泛的应用价值,能够满足海洋工程规划、资源管理及环境监测的高精度需求。高分辨率地形数据通过网格化与可视化呈现复杂海底地貌结构,支持科学分析和工程决策,提升数据的可操作性和可解释性。数据连续性和空间一致性的优化,使地形特征提取、沉积物分析及水动力模拟等应用能够获得准确输入,提高模型可靠性和分析精度。结合多源数据融合和异常修正技术,海底地形信息在不同尺度和复杂环境下具有较高的稳定性和适应性,为海洋资源开发、导航安全及生态评估提供可靠基础,同时推动海洋测绘技术向智能化、高精度方向发展,实现数据在科学研究和实际应用中的最大价值。

## 6 结语

精细化处理多波束测深数据能够显著提升海底地形测绘的精度与连续性,为复杂海区的地形解析提供可靠数据支撑。多步骤滤波、数据融合与异常值自动修正方法在去噪、深度校正和空间一致性优化方面显示出明显优势。高分辨率地形网格与渲染技术能够完整反映海底地貌特征,为科学研究、工程规划及资源管理提供高可信度基础。优化处理策略的应用提高了数据处理效率和精度,为海洋测绘技术向智能化和高精度方向发展奠定了坚实基础。

## 参考文献:

- [1] 李展鹏,崔晓东,云天宇,李晓勇,亓超,阳凡林.基于CUDA的多波束测深数据海底地形模型并行构建算法[J].山东科技大学学报(自然科学版),2025,44(2):55-64.
- [2] 吴辉,张冉冉,朱维强.基于多波束测深技术的海底地形三维建模方法进展与趋势[J].测绘通报,2025(6):6-1117.
- [3] 陈星铨,朱俊江,朱庆龙,焦钰涵,丁小笑,刘政渊,丁咚,贾永刚,李三忠,刘永江.南海多波束测量中水深数据异常的精细处理与成因分析[J].地球科学,2025,50(2):535-550.
- [4] 荆俊平,刘书锦,刘玥腾,赵雪,孙义博.多波束测深系统在海洋地形测绘中的应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2025(12):140-143
- [5] 李雪中,秦琨.基于多波束声呐数据的海底地形模型构建[J].中国高新科技,2025(15):86-87.