

渔业声学频差技术在广西银滩南部海域海洋牧场渔业资源评估中的应用

陈国宝¹, 程 高^{1,2}, 牛麓连^{1,2}, 邹建伟³, 于 杰¹, 陈丕茂¹

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部海洋牧场重点实验室/国家数字渔业(海洋牧场)创新分中心/中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室/农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站/广东省渔业生态环境重点实验室/广东省海洋休闲渔业工程技术研究中心, 广东 广州 510300
2. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306
3. 北海市水产技术推广站, 广西北海 536000

摘要: 为提高海洋牧场渔业资源评估的准确性, 于 2023 年 1 月在广西银滩南部海域的海洋牧场示范区采用 EK 80 (工作频率为 120 kHz) 和 EY 60 (工作频率为 200 kHz) 2 款先进的分裂波束探鱼仪进行渔业资源声学调查, 并辅以底拖网生物学采样。通过对比频差降噪技术和传统降噪技术解析渔业资源声学映像, 结果显示: 频差降噪技术在追踪单体目标时, 其平均目标强度 (Target strength, TS) 值高于传统技术, 且变化范围更小, 展现出更强的技术性和客观性; 在评估不同断面的渔业资源密度时, 频差降噪技术得出的平均尾数密度均低于传统技术, 显示出在处理渔业声学噪声方面的可靠性; 对于优势种类, 频差降噪技术在评估较大个体时, 尾数密度差异不大, 但在评估较小个体时, 尾数密度显著增加, 表明其在提高渔业资源密度评估准确性方面具有优势。因此, 利用经过频差降噪技术处理的体积反向散射系数 (Volume backscattering strength, Sv) 映像评估渔业资源密度, 不仅能剔除更多干扰噪声, 还能更精准地检测到个体较小的生物目标。

关键词: 海洋牧场; 人工鱼礁; 渔业资源评估; 渔业声学调查; 频差降噪技术

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Application of fishery acoustic frequency difference technology in fishery resource assessment of marine ranching in southern sea area of Yintan, Guangxi

CHEN Guobao¹, CHENG Gao^{1,2}, NIU Lulian^{1,2}, ZOU Jianwei³, YU Jie¹, CHEN Pimao¹

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Marine Ranching, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/National Digital Fisheries (Marine Ranching) Innovation Sub-Center/Key Laboratory of Marine Ranching Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environments, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment/Guangdong Engineering Technology Research Center of Marine Recreational Fishery, Guangzhou 510300, China
2. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China
3. Beihai Fishery Technology Extension Station, Beihai 536000, China

收稿日期: 2024-06-07; 修回日期: 2024-11-26

基金项目: 农业农村部渔业发展补助资金项目 (SCSFRI2024A012); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B1111030002); 北海市政府采购项目 (BHZC2022-C3-00009-XYZJ)

作者简介: 陈国宝 (1975—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为渔业资源及渔业声学。E-mail: chengb98@163.com

Abstract: To improve the accuracy of fisheries resource assessment in marine ranching, we conducted an acoustic survey in the marine ranching demonstration area in the southern sea area of Yintan, Guangxi in January 2023, by using two advanced split-beam echo sounders: the EK80 (Operating frequency: 120 kHz) and the EY60 (Operating frequency: 200 kHz), with the biological sampling through bottom trawling. According to the comparison between frequency-difference noise-reduction techniques and traditional noise-reduction methods in the analysis of fisheries acoustic data, compared with traditional techniques, the frequency-difference noise reduction had a higher average target strength (TS) with a smaller variation range when tracking single targets, demonstrating greater technical precision and objectivity. When assessing the fish density across different transects, we found that the average count density obtained through frequency-difference noise reduction was consistently lower than that through traditional methods, showing its reliability in handling acoustic noise in fisheries assessment. For dominant species, the frequency-difference noise reduction showed insignificant differences in the count density for larger individuals, but a significant increase for smaller individuals, highlighting its advantage in enhancing assessment accuracy for fish density. Therefore, using volume backscattering strength (Sv) images processed with frequency-difference noise reduction for fisheries resource density assessment can more effectively eliminate interfering noise and accurately detect smaller biological targets.

Keywords: Marine ranching; Artificial reef; Fishery resources assessment; Fishery acoustic survey; Frequency-difference noise-reduction technology

渔业声学技术作为一种非侵入性、高效且适用范围广泛的监测手段,在国内外渔业资源评估领域发挥着举足轻重的作用^[1-2]。尽管相较于国外渔业发达国家,我国对渔业声学技术的应用起步较晚,但近年来,这项技术在我国海洋(包括大陆架及海洋牧场海域)及淡水环境(如河流与湖泊)的资源调查领域已得到了广泛且有效的应用,并取得了一些积极的调查成果^[3-4]。声学映像识别是渔业声学技术面临的主要挑战之一,由于声学映像中往往混杂着大量的噪声干扰,从复杂的声学信号中准确分离出目标生物信号与背景噪声信号,成为了当前该技术应用中的一大难点。

渔业声学频差技术是渔业资源声学评估领域的一项重要技术手段,其原理是通过分析目标物种对不同频率声波产生的反向散射差异及其频率响应特征,实现对生物目标的识别^[5]。国外在该领域的研究起步较早,最初将频差技术应用于浮游动物资源评估,特别是在磷虾类生物的声学调查与评估方面积累了丰富经验^[6]。目前频差技术已发展到能够成功分离声学映像中的鱼类与浮游动物^[7],并能对不同年龄段的鱼类进行识别^[8]。相比之下,我国在频差技术领域研究起步较晚^[9-11],多数学者倾向于采用传统降噪技术处理渔业声学数据,而将频差技术应用于海洋牧场调查评估的研究与实践相对较少。这主要是因为利用渔业声学频差技术进行数据处理时,至少需要配备2种不同频率的探鱼仪来采集声学映像,这在一定程度上增加了技术实施的复杂性与成本。

在广西银滩南部海域的海洋牧场示范区内,大规模人工鱼礁的投放使得该区域的海洋环境趋于复杂化,这为利用渔业声学评估技术进行渔业资源监测带来了更多的技术挑战。该海域环境错综复杂,海水混响是其主要背景噪声源,同时大量浮游生物产生的声学信号进一步增加了目标识别的难度。面对这些挑战,引入渔业声学频差技术具有重要的实践意义,可有效提升海洋牧场海域渔业资源声学评估的准确性与可靠性。

本研究于2023年1月在广西银滩南部海域的海洋牧场示范区海域,采用EK80和EY602款先进的分裂波束探鱼仪,按照预设的平行断面布局开展了渔业资源声学调查。与此同时,结合使用底拖网技术进行了生物学样本采集。运用频差降噪和传统降噪2种技术,对采集到的声学映像进行深入解析。本研究聚焦于多个维度,包括单体目标强度(Target strength, TS)的构成与分布特征、渔业资源密度的空间分布、优势种类的尾数密度评估等,以此为基础深入探讨了渔业声学频差技术在海洋牧场渔业资源评估领域的实际应用价值,旨在进一步提升海洋牧场示范区海域渔业资源声学评估的准确性,为海洋牧场的科学管理与维护提供技术支撑与理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域与断面设置

调查海域范围为109°7.7309'E—109°10.7732'E、21°16.0631'N—21°18.6067'N,平均水深为11.73 m,

面积为 10.74 km²。声学调查航线采用平行断面设置，共设置 5 个调查断面。其中 L1 和 L3 断面分别设置在示范区的西边界和东边界，L4 断面设置

在 L3 断面以东 2 n mile 的对照区，L2 断面设置在 2010—2016 年投放人工礁区海域，L5 断面设置在 2021—2022 年投放人工礁区海域 (图 1)。

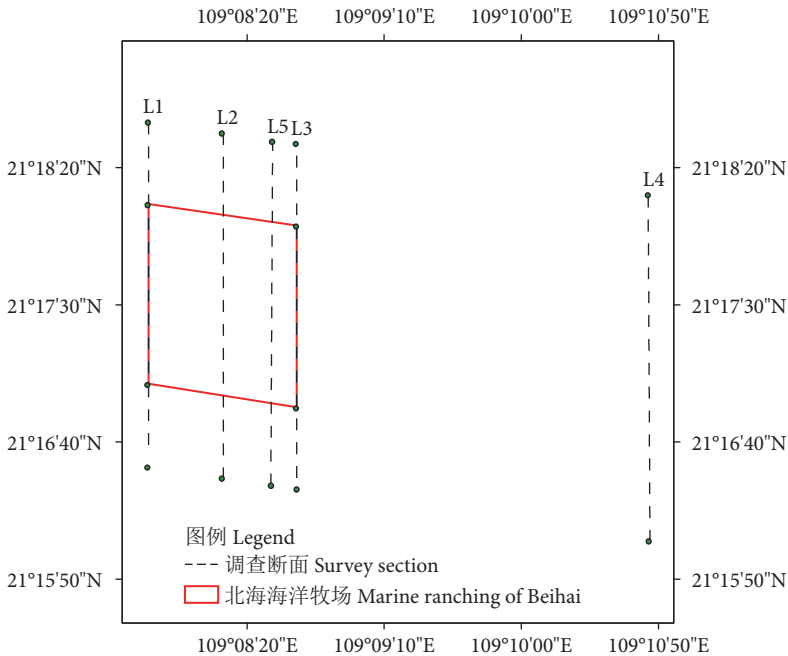


图1 渔业声学走航式调查的断面示意图

Fig. 1 Sectional diagram of fishery acoustic navigational survey

1.2 渔业声学数据及生物学数据采集

调查使用 135 kW 的渔船，并搭配 EK 80 (工作频率为 120 kHz) 和 EY 60 (工作频率为 200 kHz) 科学探鱼仪进行渔业声学走航式数据采集。通过定制的不锈钢导流罩将 EK 80 和 EY 60 的换能器牢固地固定在船舷中部，换能器置于水面以下 0.7 m 处。2 个探鱼仪的接收器以及 GPS (Trimbe 差分) 与电脑相连接，使用 EK 80 软件进行声学数据采集，探鱼仪的技术参数设置如表 1 所示。在渔业声学走航式调查前，运用标准球法对 2 个探鱼仪进行声学校准^[12]，以提高声学探测结果的准确性。调查过程中，渔船的行驶速度约为 5~7 kn，以减少电气噪声对探鱼仪的影响。声学走航的覆盖率公式^[13]为： $D = L/\sqrt{A}$ ， L 为实际声学走航距离， A 为探测范围面积，本次声学走航的覆盖率 D 为 6.14，满足声学调查规范中覆盖率 $D>6$ 的要求^[12]。

为了更好地辅助声学的积分值分配，采用底拖网进行了生物学采样。在每个渔业声学调查断面设置 2~3 个生物学采样调查站位，每个调查站位的拖网采样时长为 0.5 h，拖速控制在 3 kn 左右。底拖网网具上纲长 9 m、网衣长 30 m、网囊长 2 m、网衣网目 40 mm、网囊网目 25 mm。对在各个站

表1 科学探鱼仪的主要技术参数设置

Table 1 Main technical parameters setting of scientific echosounder

技术参数 Technical parameter	EK 80	EY 60
换能器频率 Transducer frequency/kHz	120	200
发射功率 Transmitting power/W	150	150
脉冲宽度 Pulse length/ms	0.256	0.256
脉冲间隔 Ping interval/(s·ping ⁻¹)	0.2	0.2
声速 Sound velocity/(m·s ⁻¹)	1 508.85	1 508.85
双向波束角 Two-way beam angle/°	-20.7	-20.7
探测深度量程 Investigation depth range/m	30	30
水温 Water temperature/°C	17.25	17.25
盐度 Salinity/‰	30.47	30.47

位采集到的渔获物进行种类分类和生物学测定，统计渔获物的种类组成、平均体长 (mm) 和平均体质量 (g) 等生物学信息。

1.3 传统降噪技术

渔业声学数据使用 Echoview 12.0 软件进行分析处理。首先对声学映像进行预处理，设置有效声学映像区的上限为表层线 (换能器以深 1.5 m)，下限为底层线 (海底线之上 0.5 m)，声学积分分配不含底栖生物种类^[14]。映像中明显的脉冲等噪声需

要进行手动剔除,以提高生物识别的准确性。将体积反向散射系数 (Volume backscattering strength, Sv) 积分阈设置成 -70 dB,可去除映像中的部分噪声^[14]。渔业声学传统降噪技术原理是利用标准化基准的 Sv 值 (Sv at 1 m)+TVG (Time-varied gain,

TVG) 函数来估计噪声,然后再将原始 Sv 减去已估计的 Sv 噪声,来获得清晰的鱼类图像即 Sv 鱼类^[15-17],具体操作流程见图 2。此外,为了进一步提升声学映像的识别精度,通过映像分析,手动剔除一些显著的非目标信号,如气泡等干扰因素。

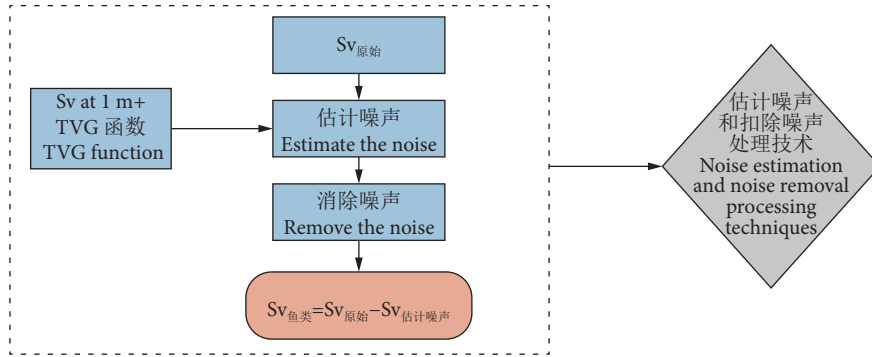


Fig. 2 Traditional noise-reduction processing method

1.4 频差降噪技术

在进行声学映像的频差降噪技术分析之前,必须完成声学回波映像的预处理工作,这一过程所采用的技术与传统降噪技术相似。频差降噪技术处理流程见图 3,主要包括:首先,分别对 2 个清理后的 Sv 映像按脉冲 (ping) 操作次数重新采样,获得了 2 个全新的回波 Sv 映像;运行线性减法将 2 个频率的 Sv 映像相减从而得到噪声 Sv,即 $Sv_{\text{噪声}} = Sv_{200 \text{ kHz}} - Sv_{120 \text{ kHz}}$;对噪声 Sv 映像创建数据范围位图,以此来指定保留一定的回波样本;建立掩码,对噪声 Sv 映像进行分类,得到明显清晰的噪声 Sv 映像;按脉冲操作次数重新采样,将原始的 $Sv_{120 \text{ kHz}}$ 映像减去清晰的噪声 Sv 映像 ($Sv_{\text{鱼类}} = Sv_{120 \text{ kHz}} - Sv_{\text{噪声}}$)^[18],便可得到较为清晰的鱼类 Sv 回波映像图。

1.5 渔业资源声学评估

采用回波积分法对渔业资源密度进行估算,以 200 m 为基本航程积分单元分析计算海域散射系数 (Nautical area scattering coefficient, NASC)^[19]。渔业资源密度的计算公式^[20]为:

$$\rho_j = C_j \times \frac{\text{NASC}}{4\pi\bar{\sigma}} \times 1.852^{-2} \quad (1)$$

$$P_j = \rho_j \times \frac{W_j}{1000} \quad (2)$$

式中: ρ_j 为第 j 物种的尾数密度 (尾·km⁻²); P_j 为第 j 物种的生物量密度 (kg·km⁻²); C_j 为第 j 物种在渔获物中的尾数百分比 (%); NASC 为单元区域面积的声学散射积分值 [m²·(n⁻¹ mile⁻²)], $\bar{\sigma}$ 为单元区

域内参与声学评估鱼类的平均后向散射截面 (m²); W_j 为第 j 种类的平均体质量 (g)。后向散射截面 ($\bar{\sigma}$) 和目标强度的计算公式分别为:

$$\bar{\sigma} = \sum_j^n \left(C_j \times 10^{\frac{TS_j}{10}} \right) \quad (3)$$

$$TS_j = 20 \lg L_j + b_{20,j} \quad (4)$$

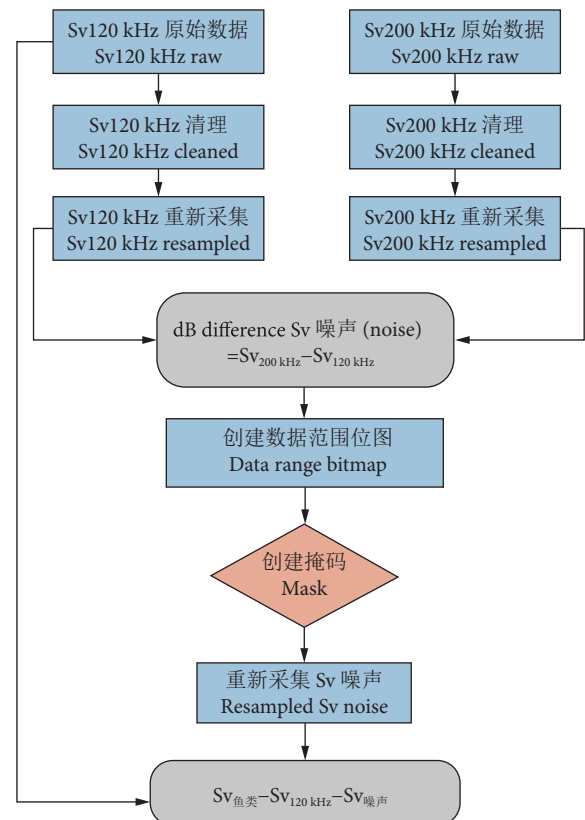


Fig. 3 Frequency-difference noise-reduction processing method

式中: n 为参与声学评估的种类数; TS_j 为第 j 种类的目标强度值 (dB)^[21]; L_j 为第 j 种类的平均体长 (cm); $b_{20,j}$ 为第 j 种类的目标强度参数。

2 结果

2.1 单体目标强度组成与分布

为深入探讨传统降噪技术和频差降噪技术在鱼类 TS 的垂直分布规律上的应用, 利用渔业声学映像分析软件 Echoview 中单体目标探测模块 (Single target detection-split beam method 1) 和鱼类轨迹追踪模块 (Detect fish tracks), 对采用传统降噪技术和频差降噪技术后的 TS 回波映像分别进行了单体目标检测。结果表明, 频差降噪技术的 TS 介于 $-63.80 \sim -35.20$ dB, 平均为 -56.91 dB, 单体目标大多分布在 $-55.0 \sim -61.0$ dB; 传统降噪技术的 TS 变化区间为 $-62.9.0 \sim -33.87$ dB, 平均为 -61.60 dB, 单体目标大多分布在 $-57.0 \sim -63.0$ dB。

对比这 2 种不同降噪技术下的 TS 垂直分布情况 (图 4), 结果表明: 1) 不论采用何种降噪手段, 追踪所得的大部分单体目标均处于水下 5 m 以深的位置, 且总体趋势上未展现出显著性区别。2) 在对比 2 种降噪技术时, 单体目标的平均 TS 及变化范围存在差异, 传统降噪技术能辨识出更多的单体目标, 而频差降噪技术追踪到的单体目标虽拥有更

高的平均 TS, 但其变化区间却相对较小。3) 传统降噪技术依赖于估计阈值等主观性较强的方法, 这在一定程度上增加了更多的单体目标; 频差降噪技术在处理流程上技术性强, 使得所得数据更为客观且处理更为精细, 因此单体目标数据相对减少。

2.2 渔业资源密度的空间分布

为了深入研究频差降噪技术和传统降噪技术在评估平均尾数密度与平均生物量密度方面的效果差异, 分别对应用传统降噪技术与频差降噪技术处理后的 TS 回波映像进行了分析与计算, 进一步估算渔业资源的密度。结果表明, 采用 2 种技术处理后评估出的平均尾数密度和平均生物量密度存在一定差异。使用传统技术降噪处理数据, 评估调查海域的平均尾数密度为 $16\ 161$ 尾· km^{-2} , 平均生物量密度为 617.67 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$; 人工鱼礁区域的平均尾数密度为 $17\ 194$ 尾· km^{-2} , 平均生物量密度为 665.94 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$; 对照区的平均尾数密度为 $11\ 110$ 尾· km^{-2} , 平均生物量密度为 406.85 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 。相比之下, 使用频差降噪技术降噪处理数据, 评估调查海域渔业资源的平均尾数密度为 $17\ 576.06$ 尾· km^{-2} , 平均生物量密度为 579.50 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$; 人工鱼礁区域的平均尾数密度为 $18\ 871.86$ 尾· km^{-2} , 平均生物量密度为 612.88 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$, 对照区的尾数密度为 $11\ 915.43$ 尾· km^{-2} , 平均生物量密度为 433.70 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

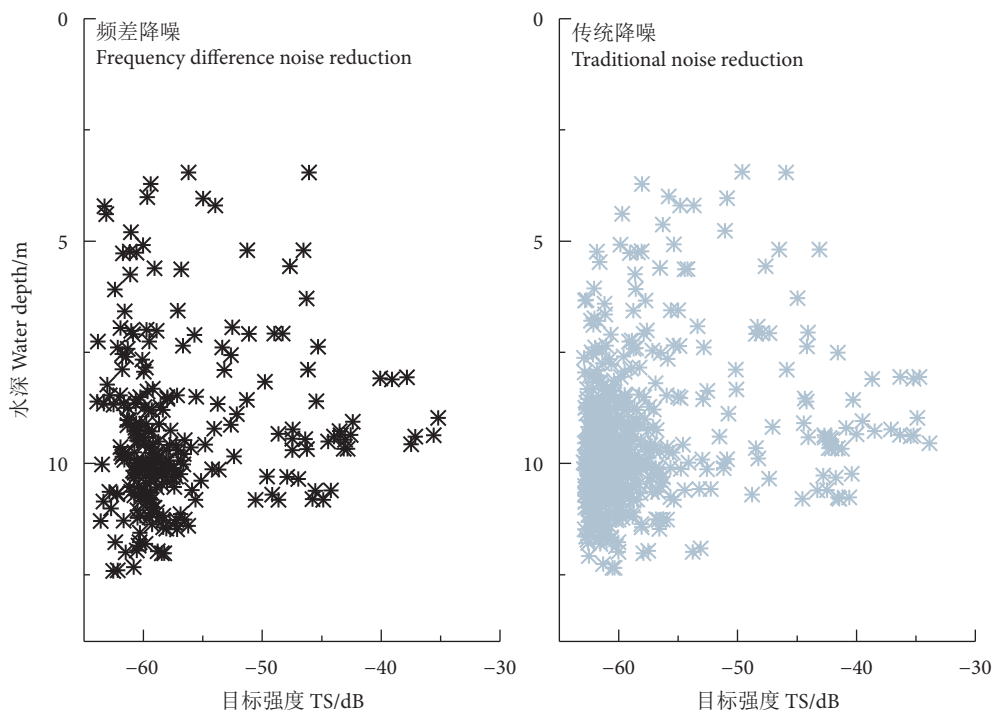


图4 单体目标强度的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of single target strength

通过分析不同调查断面的平均尾数密度与平均生物量密度,发现存在显著性差异(图 5)。无论是采用频差降噪技术还是传统降噪技术,人工鱼礁区域的尾数密度和生物量密度均明显高于对照区。在

对比不同断面所得的结果时,使用频差降噪技术处理后评估的平均尾数密度均低于传统降噪技术。频差降噪技术在操作步骤上相较于传统降噪技术更为客观,有助于提升渔业资源声学评估的准确性。

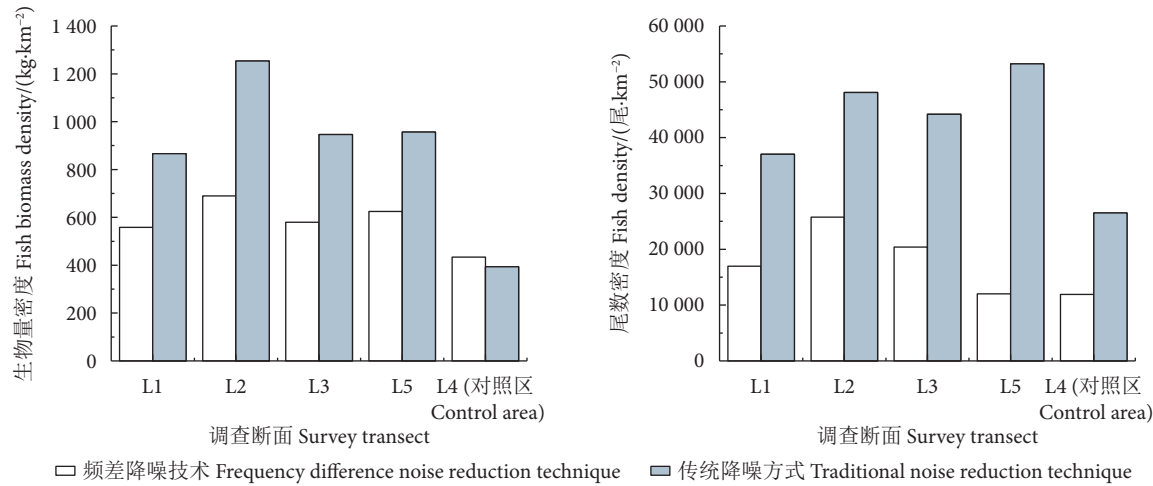


图5 各调查断面生物量密度和尾数密度对比

Fig. 5 Comparison of biomass density and count density across survey transects

2.3 优势种类的尾数密度评估

为了深入探究频差降噪技术与传统降噪技术在评估优势物种平均尾数密度及平均生物量密度上的效果差异,分别对应用这 2 种技术处理后的 TS 回波映像进行了分析与计算,确定各优势物种的 NASC 值,并据此估算优势物种的渔业资源密度。从生物学采样数据分析,优势种前 5 位分别为鹿斑仰口鲷 (*Leiognathus ruconius*)、火枪乌贼 (*Loligo beka*)、细条天竺鲷 (*Jaydia lineata*)、二长棘鲷 (*Paerargyrops edita*)、侧条天竺鲷 (*Apogon lateralis*),因此选取该 5 种优势种类作为渔业声学评估对象,渔业声学评估的尾数密度见表 2。

表2 2 种降噪技术前 5 位声学评估种类的尾数密度组成对比
Table 2 Comparison of count density of top 5 acoustic evaluated species by two noise-reduction technologies 尾·km⁻²

种类 Specie	频差降噪技术 Frequency difference noise-reduction technology	传统降噪技术 Traditional noise reduction technology
鹿斑仰口鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	5 955	5 719
火枪乌贼 <i>Loligo beka</i>	3 314	2 193
细条天竺鲷 <i>Jaydia lineata</i>	3 187	2 575
二长棘鲷 <i>Paerargyrops edita</i>	1 845	1 893
侧条天竺鲷 <i>Apogon lateralis</i>	1 790	1 492

本研究结果显示,在利用频差降噪技术处理后的 Sv 映像进行优势种类资源密度评估时,与传统技术相比,不仅二长棘鲷的尾数密度保持相近水平,且鹿斑仰口鲷、火枪乌贼、细条天竺鲷和侧条天竺鲷的尾数密度均有显著提升,分别增长 4.1%、51.1%、23.8% 和 20.0%。值得注意的是,鹿斑仰口鲷、细条天竺鲷、二长棘鲷和侧条天竺鲷均属于有鳔鱼类,其在声学探测中表现出优越的声学反射特性,使得多数个体易于被探测到。尽管二长棘鲷因其相对较大的个体,在使用 2 种降噪技术处理后评估的个体数量密度差异不大,但鹿斑仰口鲷、火枪乌贼、细条天竺鲷和侧条天竺鲷等个体较小的鱼类,其个体数量密度相较于传统降噪技术表现出显著增长。这一发现有力地证明了相较于传统降噪技术,频差降噪技术在提高渔业声学资源密度评估的准确性方面展现出了更为优越的性能。

3 讨论

3.1 频差技术在评估不同断面渔业资源密度中的优势

本研究在渔业资源评估中采用了频差技术处理后,评估的平均尾数密度低于传统降噪技术的结果。分析其原因,传统降噪技术在实际操作中较为依赖主观判断,特别是在设定 Sv at 1 m 处的阈值时,若阈值设置过高^[15],易导致 Sv 映像中的部分

渔业资源信号与浮游生物等信号被同时剔除,从而引起 NASC 下降,最终使渔业资源密度评估结果偏低^[22-23]。此外,渔业资源声学走航过程中的航速、浪涌、天气变化及科学探鱼仪硬件产生的电噪声等诸多因素,都可能直接或间接影响 Sv at 1 m 的数值^[15,24-25]。如何准确设定 Sv at 1 m 的值颇具挑战性,因为该值会直接影响到积分值。当 Sv at 1 m 值设定过高时,映像中夹杂在浮游生物信号中的渔业资源信号也可能被一并剔除,从而降低渔业资源评估的准确性;反之,则映像中的浮游生物信号可能无法被完全剔除,导致渔业资源评估结果偏高。因此,传统降噪技术在剔除噪声方面存在一定的主观性和不确定性。相比之下,频差技术在剔除噪声方面表现出更高的客观性,其种类识别的原理基于目标物种对不同频率反向散射差异产生的频率响应^[5]。具体步骤为对 2 个不同频率的回波映像进行线性相减以提取噪声,再用较小频率的数据减去噪声,从而得到清晰的鱼类回波映像。因此,频差技术不仅更为客观,且更易于标准化操作。同时,该技术能够更有效地剔除浮游生物等噪声信号,保留清晰的渔业资源信号,且对回波单体影响较小。在海洋牧场海域环境复杂的情况下,使用频差技术对多种类海洋生物进行资源评估尤为有效。该技术能够大幅降低噪声信号对映像识别的影响,提高评估结果的准确性。但值得注意的是,频差技术要求在多个频率下进行高信噪比的无偏测量^[19,24];否则,随着距离和频率的增加,TVG 放大的噪声可能导致多频对比失真^[16]。因此,在实际应用中需充分考虑该因素。

3.2 频差技术在评估个体较小渔业资源密度中的优势

本研究利用频差降噪技术处理后的 Sv 映像进行优势种类资源密度评估,结果显示:尽管二长棘鲷因其相对较大的体型,在使用 2 种降噪技术处理后评估的个体数量密度差异不大,但鹿斑仰口鲷、火枪乌贼、细条天竺鲷和侧条天竺鲷等个体较小的鱼类,其个体数量密度却显著增加,这与采用的降噪技术密切相关。传统降噪技术通常依赖于信号处理算法,如带通滤波、移动平均等,以减少背景噪声对目标信号的干扰^[15]。然而,这些技术往往难以有效应对像海洋牧场这样复杂的海洋环境噪声,尤其是在多路径效应和混响存在的情况下。传统降

噪技术通常依赖于时间域和空间域的滤波器,对于低强度目标信号,容易造成信号与噪声混淆^[26]。频差技术通过利用多频信号之间的相对变化,不仅能抑制噪声,还能更精准地识别不同类型的生物目标,从而提高信号分辨率,有助于解决复杂海洋环境中的噪声干扰问题^[27]。简而言之,传统降噪技术通常把个体较小的鱼类信号误认为噪声并剔除,而频差技术则利用多频信号之间的相对变化,能够更精准地检测到个体较小的生物目标。因此,鹿斑仰口鲷、火枪乌贼、细条天竺鲷和侧条天竺鲷等个体较小的生物,其数量密度相较于传统降噪技术显著增加,这属于正常现象。这也表明频差降噪技术在提高渔业声学资源密度评估的准确性方面具有更优越的性能。频差技术能够更好地过滤不同频段的噪声信号,避免传统降噪技术可能导致的目标信息丢失^[28]。此外,频差技术更适用于近海渔场、人工鱼礁区等噪声复杂且信号微弱的海洋环境^[29]。

尽管频差降噪技术在现有应用中表现出色,但其未来发展潜力更值得深入探索。首先,通过进一步优化多频率信号处理算法,可以提升该技术在更大尺度海洋环境中的适用性^[30]。其次,随着声学传感器技术的进步,频差技术可以结合人工智能和大数据分析,实时动态调整降噪参数^[31],以应对不同海况和渔业资源的变化。相比之下,传统降噪技术的局限性较为明显,尤其是在复杂背景噪声干扰下精度不足^[32]。频差技术的进一步优化将为渔业声学调查提供更加智能化、精确化的技术手段^[33]。

3.3 渔业声学数据处理技术的未来展望

在未来的渔业声学数据处理领域,我们将见证更加智能的信号处理算法,特别是在降噪和目标识别两大关键领域。随着深度学习和人工智能技术的不断进步^[34],自动化声学信号的分类与过滤将实现更高的精确度。频差技术的进一步优化将有效削弱复杂海洋环境中的噪声干扰,例如海底回声和多路径效应等难题,从而显著提升鱼类目标的辨识能力^[35]。展望未来,基于机器学习的自适应降噪算法有望成为渔业声学研究的核心方向,助力鱼类种群估算准确性的提升^[36]。

渔业声学的未来发展不仅限于声学数据处理本身,还将聚焦于多源数据的融合与综合生态系统评估^[37]。通过整合水文、气候、海洋化学等多种海

洋环境数据, 渔业科学家将能够更深入地剖析鱼类分布与环境因素之间的内在联系^[38]。这种数据整合技术将极大提升渔业资源管理的精确性, 推动全面的生态系统评估, 为可持续渔业管理的发展提新动力^[39]。

声学映像判读也是数据处理中的一大难题^[40], 数据中的噪声识别与剔除存在不确定性, 给评估结果带来较大波动^[41]。长期以来, 降噪技术和影响判读缺乏统一标准, 导致同一数据集在不同研究者手中可能产生截然不同的处理结果^[42]。在声学降噪方面, 过度降噪可能导致资源量评估偏低, 甚至部分区域资源量被误判为零; 而降噪不足则可能使资源量评估过高^[43]。因此, 未来亟需建立一套统一的降噪技术标准, 以确保研究者处理的声学数据更加一致和规范。综上所述, 渔业声学领域的降噪技术和目标判读技术具有广阔的发展前景^[44]。借助人工智能、深度学习和大数据技术, 将能更有效地应对复杂海洋环境中的各种挑战, 提升数据的准确性和可靠性。随着技术的不断革新与进步, 渔业管理者将能够更高效地保护和管理渔业资源, 推动可持续渔业的发展迈上新台阶。

参考文献:

- [1] LA H S, LEE H B, KANG D H, et al. Ex situ echo sounder target strengths of ice krill *Euphausia crystallorophias*[J]. Chin J Oceanol Limn, 2015, 33(3): 802-808.
- [2] DRAŠTIK V, KUBEČKA J, TUŠER M, et al. The effect of hydro-power on fish stocks: comparison between cascade and non-cascade reservoirs[J]. Hydrobiologia, 2008, 609(1): 25-36.
- [3] 朱德山, IVERSEN S A. 黄、东海鳀鱼及其他经济鱼类资源声学评估的调查研究: “北斗”号 1984 年 11 月至 1989 年 1 月调查研究报告[J]. 海洋水产研究, 1990(11): 1-143.
- [4] 汤勇. 中国渔业资源声学评估研究与进展[J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(2): 185-195.
- [5] MCKELVEY D R. The use of two frequencies to interpret acoustic scattering layers[J]. J Acoust Soc Am, 1998, 103(5): 3069.
- [6] BRIERLEY A, WATKINS J. Acoustic targets at South Georgia and the south Orkney Islands during a season of krill scarcity[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1996, 138(1/2/3): 51-61.
- [7] KANG M, FURUSAWA M, MIYASHITA K. Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton[J]. ICES J Mar Sci, 2002, 59(4): 794-804.
- [8] KANG M, HONDA S, OSHIMA T. Age characteristics of walleye pollock school echoes[J]. ICES J Mar Sci, 2006, 63(8): 1465-1476.
- [9] 王新良, 赵宪勇, 左涛, 等. 黄海太平洋磷虾回波映像识别与资源密度评估[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1080-1088.
- [10] 张俊, 陈作志, 陈国宝, 等. 南海鳓乌贼水声学测量和评估相关技术研究[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 1-11.
- [11] 李栋, 蔺丹清, 王召根, 等. 基于水声学频差技术的镇江长江豚类省级自然保护区鱼类资源时空特征[J]. 水生生物学报, 2023, 47(1): 121-132.
- [12] AGLEN A. Random errors of acoustics fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied[J]. FAO Fish Rep, 1983, 300: 293-298.
- [13] SCOTT M, SMITH J A, LOWRY M B, et al. The influence of an offshore artificial reef on the abundance of fish in the surrounding pelagic environment[J]. Mar Freshw Res, 2015, 66(5): 429-437.
- [14] 牛麓连, 陈国宝, 邹建伟, 等. 广西银滩南部海域海洋牧场渔业资源评估[J]. 南方水产科学, 2024, 20(5): 53-62.
- [15] 张俊, 陈丕茂, 陈国宝, 等. 基于 Echoview 声学数据后处理系统的背景噪声扣除方法[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 9-17.
- [16] de ROBERTIS A, HIGGINBOTTOM I. A post-processing technique to estimate the signal-to-noise ratio and remove echosounder background noise[J]. ICES J Mar Sci, 2007, 64(6): 1282-1291.
- [17] DEBERTIN A J. Estimating the biomass of a mixed species complex using hydroacoustics and catch data from the Bay of Fundy and Scotian Shelf summer ecosystem survey[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2020, 77(7): 1101-1116.
- [18] COX M J, SMITH A J R, BRIERLEY A S, et al. Scientific echosounder data provide a predator's view of Antarctic krill (*Euphausia superba*)[J]. Sci Data, 2023, 10(1): 284.
- [19] WATKINS J L, BRIERLEY A S. A post-processing technique to remove background noise from echo integration data[J]. ICES J Mar Sci, 1996, 53(2): 339-344.
- [20] 赵宪勇, 陈毓桢, 李显森, 等. 多种类海洋渔业资源声学评估技术与方法[C]//我国专属经济区和大陆架勘测研究专项学术交流会议论文集. 北京: 海洋出版社, 2002: 341-353.
- [21] RUDSTAM L G, PARKER-STETTER S L, SULLIVAN P J, et al. Towards a standard operating procedure for fishery acoustic surveys in the Laurentian Great Lakes, North America[J]. ICES J Mar Sci, 2009, 66(6): 1391-1397.
- [22] 张俊, 陈丕茂, 房立晨, 等. 南海柘林湾: 南澳岛海洋牧场渔业资源本底声学评估[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1187-1198.
- [23] 李斌, 陈国宝, 于杰, 等. 海南陵水湾口海域不同季节鱼类资源声学探查[J]. 水产学报, 2018, 42(4): 544-556.
- [24] KORNELIUSSEN R J. Measurement and removal of echo integration noise[J]. ICES J Mar Sci, 2000, 57(4): 1204-1217.
- [25] MITSON R B, KNUDSEN H P. Causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation[J]. Aquat Living Resour, 2003, 16(3): 255-263.
- [26] RANA M S, ANOWER M S, SIRAJ S M N, et al. A signal processing approach of fish abundance estimation in the sea[C]//2014 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST). IEEE,

- 2014: 87-90.
- [27] LOPEZ J, MORENO G, BOYRA G, et al. A model based on data from echosounder buoys to estimate biomass of fish species associated with fish aggregating devices[J]. *Fish Bull*, 2016, 114(2): 166-178.
- [28] TRENKEL V M, RESSLER P H, JECH M, et al. Underwater acoustics for ecosystem-based management: state of the science and proposals for ecosystem indicators[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2011, 442: 285-301.
- [29] JURVELIUS J, KNUDSEN F R, BALK H, et al. Echo-sounding can discriminate between fish and macroinvertebrates in fresh water[J]. *Freshw Biol*, 2008, 53(5): 912-923.
- [30] LOGERWELL E A, WILSON C D. Species discrimination of fish using frequency-dependent acoustic backscatter[J]. *ICES J Mar Sci*, 2004, 61(6): 1004-1013.
- [31] HEDGEPEETH J B, GALLUCCI V F, THORNE R E, et al. The application of some acoustic methods for stock assessment for small-scale fisheries[M]//Stock Assessment. Boca Raton: CRC Press, 2023: 271-353.
- [32] 武智, 李跃飞, 朱书礼, 等. 基于渔业声学调查的珠江东塔产卵场鱼类栖息地适宜性研究[J]. *南方水产科学*, 2023, 19(3): 11-18.
- [33] 解明阳, 柳彬, 陈新军. 基于深度学习的西北太平洋柔鱼渔场预测[J]. *水产学报*, 2024, 48(11): 61-72.
- [34] 田思泉, 柳晓雪, 花传祥, 等. 南海渔业资源状况及其管理挑战[J]. *上海海洋大学学报*, 2024, 33(3): 786-798.
- [35] 程高, 陈国宝, 陈丕茂, 等. 基于声学技术定点监测海洋牧场鱼类资源昼夜变化研究[J]. *南方水产科学*, 2024, 20(5): 63-70.
- [36] 张辉. 渔业声学数据后处理软件现状评述与展望: 以 Sonar5-Pro 为例[J]. *渔业信息与战略*, 2024, 39(1): 29-38.
- [37] 杨洋, 朱国平, 陈新军. 基于文献计量的渔业声学研究状况分析[J]. *海洋渔业*, 2020, 42(4): 476-489.
- [38] 张崇良, 徐宾铎, 薛莹, 等. 渔业资源增殖评估研究进展与展望[J]. *水产学报*, 2022, 46(8): 1509-1524.
- [39] 吴鹏, 刘永, 肖雅元, 等. 春季珠江口万山群岛毗邻海域渔业生态环境状况评价[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(5): 1-8.
- [40] ZWOLINSKI J P, DEMER D A, CUTTER Jr G R, et al. Building on fisheries acoustics for marine ecosystem surveys[J]. *Oceanography*, 2014, 27(4): 68-79.
- [41] SCHWING F B. Modern technologies and integrated observing systems are "instrumental" to fisheries oceanography: a brief history of ocean data collection[J]. *Fish Oceanogr*, 2023, 32(1): 28-69.
- [42] 张俊, 邱永松, 陈作志, 等. 南海外海大洋性渔业资源调查评估进展[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(6): 118-127.
- [43] KANG M. Current technology of fisheries acoustics based on analyzed acoustic data using Sonar Data's Echoview[C]//Proceedings of ACOUSTICS 2006. ICASSP, 2006: 493-497.
- [44] LI D L, DU Z Z, WANG Q, et al. Recent advances in acoustic technology for aquaculture: a review[J]. *Rev Aquac*, 2024, 16(1): 357-381.