



## 南极磷虾渔船船速对科学探鱼仪有效探测深度的影响

王新良<sup>1,2\*</sup>, 于小涛<sup>1,3</sup>, 张吉昌<sup>1,2</sup>, 李显森<sup>1</sup>, 赵宪勇<sup>1,2</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业农村部极地渔业开发重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 深蓝渔业工程联合实验室, 山东 青岛 266071;

3. 中国科学院声学研究所, 声场信息国家重点实验室, 北京 100190)

**摘要:** 渔业资源声学调查评估的基本条件之一是科学探鱼仪的有效探测深度可以覆盖目标的主要分布水层。针对利用渔船采集声学数据开展南极磷虾资源调查评估, 本研究基于后处理方法获得声学数据背景噪声强度, 建立一种科学探鱼仪有效探测深度的评估方法, 并以南极磷虾渔船“福荣海”轮为例, 评估船速变化对该船船载 Simrad EK60 型科学探鱼仪 (38、70 和 120 kHz) 背景噪声强度和有效探测深度的影响。结果显示, 在相同性能与参数设置条件下, 科学探鱼仪背景噪声强度及其对目标的有效探测深度与船速密切相关。“福荣海”轮科学探鱼仪 3 个频率声学数据的背景噪声强度都随着船速的升高而明显升高, 对南极磷虾的有效探测深度也随之降低。在船速为 8 kn 时, 对于体积反向散射强度为 -70 dB 的南极磷虾, 3 个频率的有效探测深度在信噪比要求为 10 dB 时均大于 300 m; 而当船速升高为 12 kn 时, 在相同信噪比条件下, 70 kHz 的有效探测深度减小至约 100 m。本研究对有效利用渔船开展南极磷虾资源声学调查及声学数据处理分析具有参考价值。

**关键词:** 南极磷虾; 渔业声学; 科学探鱼仪; 背景噪声; 有效探测深度

**中图分类号:** S 931

**文献标志码:** A

近年来, 利用渔船采集声学数据是南极磷虾 (*Euphausia superba*) 资源调查评估重要研究方向之一<sup>[1]</sup>。其中, 科学探鱼仪的有效探测深度能否满足调查需求, 是利用渔船开展南极磷虾资源调查及评价资源评估结果有效性时需要考虑的重要因素之一<sup>[1-2]</sup>。

科学探鱼仪的有效探测深度受到多种因素的影响, 不仅与其自身的性能参数 (如声波频率、发射功率、脉冲长度、波束指向性等) 以及探测目标的回声散射能力有关, 而且受船舶自身噪声及海洋环境噪声等多种来源背景噪声的制约<sup>[3-5]</sup>。受声波扩展损失和海水吸收损失的影响, 发射声信号及生物回声强度会随着传播距离的增加而减小<sup>[2]</sup>,

为准确反映不同水层目标生物的回声散射能力, 科学探鱼仪系统通过对滤波提取包络线后接收到的声信号进行时变增益 (time varied gain, 简称 TVG) 补偿<sup>[2]</sup>。在此过程中, 叠加在接收信号中的背景噪声也会经过 TVG 补偿。假设在信号收发周期内背景噪声强度不变, 则信噪比 (signal-to-noise ratio, 简称 SNR) 也会随传播距离的增加而减小<sup>[6]</sup>, 即意味着科学探鱼仪对目标的有效探测能力随着深度的增加而降低。

目前, 科学探鱼仪背景噪声强度评估主要有两类方法。第一类是利用在被动工作模式下的科学探鱼仪直接记录和测量不同船速条件下的背景噪声强度<sup>[7-8]</sup>。该方法需单独安排船时进行背景噪

收稿日期: 2021-10-20 修回日期: 2022-01-22

资助项目: 国家重点研发计划 (2018YFC1406802); 国家自然科学基金 (41706219, 41806047)

通信作者: 王新良 (照片), 从事渔业声学研究, E-mail: wangxl@yfsri.ac.cn



声测量。第二类是利用主动工作模式下科学探鱼仪采集的数据,假设一定采样时间段内的接收信号主要由背景噪声构成,通过后处理方式评估背景噪声的变化情况<sup>[9-11]</sup>。基于给定的背景噪声强度,Kang等<sup>[5]</sup>结合探测目标的目标强度,评估了科学调查船船载 Kaijo KFC-2000 型科学探鱼仪(38和120 kHz)的有效探测深度,并分析了其对探测目标频差识别(dB-differencing)的影响,建议在满足各个频率最小有效探测深度的范围内进行频差分析。Demer<sup>[12]</sup>基于后处理方法获得的断面调查期间背景噪声强度均值,结合探测目标的体积反向散射强度,评估了不同调查船船载科学探鱼仪的信噪比随探测深度的变化情况。由于科学调查船在调查过程中一般能较好地控制船速,因此,上述研究均未讨论实际调查过程中船速变化对科学探鱼仪背景噪声强度和有效探测深度的影响。

鉴于此,本实验基于声学数据后处理方法建立一种船载科学探鱼仪有效探测深度评估方法,并以我国南极磷虾作业渔船为例,评估该船船载 Simrad EK60 型科学探鱼仪系统在不同船速时的背景噪声强度,进一步分析船速变化对南极磷虾有效探测深度的影响,以期有效利用渔船开展南极磷虾资源声学调查及声学数据处理分析提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 数据采集

数据采自南极磷虾渔船“福荣海”轮 2019 年 2 月 5 日—10 日在南设得兰群岛周边海域开展的南极磷虾资源声学调查。调查断面与站位设置如图 1 所示。断面走航期间,船速控制在 8~12 kn。站位

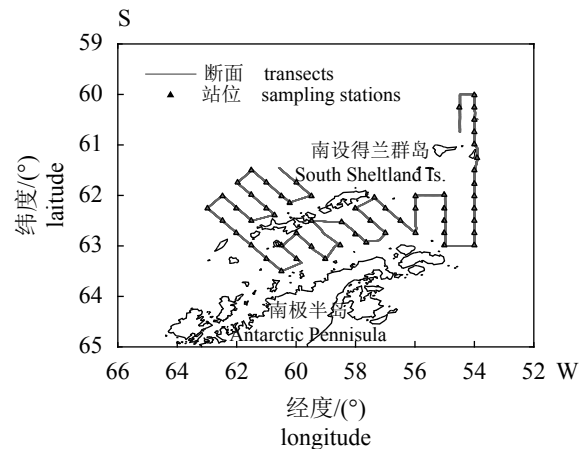


图 1 2019 年 2 月“福荣海”轮南极磷虾资源调查断面与站位

Fig. 1 Transects and samplings stations for the Antarctic krill survey conducted by the fishing vessel *Fu Rong Hai* in February 2019

作业期间,停船采集温盐深度剖面数据以及生物环境样品。

声学数据利用“福荣海”轮船载的 Simrad EK60 型分裂波束式科学探鱼仪采集,三个换能器的工作频率分别为 38、70 和 120 kHz,吃水深度约为 5 m。调查开始前,于 2019 年 1 月 26 日在南奥克尼群岛 Iceberg Bay 海域采用标准球法<sup>[13-14]</sup>对 EK60 系统进行了现场校正。调查期间,根据南极海洋生物资源养护委员会(CCAMLR, Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources)推荐的南极磷虾声学调查规范化方法进行声学系统参数设置,同时关闭其他船载声学设备以避免在科学探鱼仪声学数据中产生干扰噪声。声学数据采集与处理分析的具体参数设置如表 1 所示。

表 1 EK60 科学探鱼仪系统参数与声学数据采集参数设置

Tab. 1 EK60 system configurations and parameter settings for acoustic data collection

换能器型号 transducer type	ES38B	ES70-7C	ES120-7C
频率/kHz frequency	38	70	120
吸收系数/(dB/km) absorption coefficient	10.1	18.1	26.2
脉冲间隔/s ping interval	2	2	2
脉冲长度/ms pulse length	1.024	1.024	1.024
发射功率/W transmitting power	2 000	750	250
换能器增益/dB transducer gain	25.76	26.43	27.06
等效立体波束角/dB equivalent 2-way beam angle	-20.60	-21.00	-21.0
回声积分值修正参数/dB $S_a$ correction	-0.64	-0.45	-0.38
声速/(m/s) sound speed	1 456	1 456	1 456
数据采集深度/m data collection depth range	1 100	1 100	1 100

## 1.2 数据分析

采用 Echoview (version 10.0.283) 渔业声学数据后处理软件进行声学数据处理, 采用 Matlab 软件 (R2016a) 对输出结果进行统计分析。简化起见, 除特殊标注外, 本研究中噪声强度和生物回声强度的单位均以分贝 (dB) 表述。

## 1.3 有效探测深度评估方法

**背景噪声强度评估** 背景噪声强度评估主要基于 De Robertis 等<sup>[11]</sup> 提出的声学数据后处理方法。该方法的应用有两个基本前提假设: 一是, 背景噪声与发射信号不相关, 且在一个脉冲信号 (1 Ping) 收发周期内背景噪声强度不随时间的变化而变化; 二是, 在一定采样时间间隔内, 回声信号主要由背景噪声构成。基于上述两个假设, 在时间间隔  $k$  内的背景噪声强度可以用在该时段内声学数据平均回声强度的最小值表示, 即:

$$P_n(k) = \min_k (\overline{P_{cal}}(k, l)) \quad (1)$$

式中,  $P_n(k)$  表示在时间间隔  $k$  的背景噪声强度 (dB);  $\overline{P_{cal}}(k, l)$  表示在时间间隔  $k$ 、深度间隔  $l$  内接收信号的平均回声强度 (dB), 计算公式:

$$\overline{P_{cal}}(k, l) = 10 \lg \left[ \frac{1}{NM} \sum_{j=(l-1)M+1}^{lM} \sum_{i=(k-1)N+1}^{kN} 10^{\frac{P_{cal}(i,j)}{10}} \right] \quad (2)$$

式中,  $M$  和  $N$  分别表示用于计算平均回声强度的脉冲数量 (时间间隔) 和各脉冲周期内垂直采样点数量 (深度间隔),  $M$  和  $N$  的取值分别为 20 (相当于约 40 s 的时长) 和 50 (相当于约 10 m 的深度间隔);  $P_{cal}(i, j)$  表示第  $i$  个脉冲周期内, 第  $j$  个采样点扣除 TVG 放大补偿后的回声强度 (dB), 即:

$$P_{cal}(i, j) = S_v(i, j) - [20 \lg(r_{tvg}(i, j)) + 2\alpha r_{tvg}(i, j)] \quad (3)$$

式中,  $S_v(i, j)$  表示第  $i$  个脉冲周期内, 第  $j$  个采样点的体积反向散射强度 (volume backscattering strength, 简称  $S_v$ , dB);  $\alpha$  为海水的声吸收衰减系数 (dB/m);  $r_{tvg}(i, j)$  表示第  $i$  个脉冲周期内, 第  $j$  个采样点经时延修正后距换能器的距离 (m), 计算公式:

$$r_{tvg} = r - \left[ \tau \times \left( \frac{c}{4} \right) \right] \quad (4)$$

式中,  $r$  为未经时延修正前采样点距换能器的距离 (m);  $\tau$  为发射信号脉冲长度 (s);  $c$  为海水中的声速 (m/s)。

**有效探测深度计算** 假设探测目标的体积反向散射强度阈值为  $S_{v, \min}$  (dB), 根据声传播和科学探鱼仪原理<sup>[15-16]</sup>,  $S_{v, \min}$  可表示为:

$$S_{v, \min} = P_{r, \min}(R) - 10 \lg \left( \frac{p_t G_0^2 \lambda^2 c \tau \psi}{32 \pi^2} \right) - 2S_{a, \text{correction}} + 20 \lg(R) + 2\alpha R \quad (5)$$

式中,  $P_{r, \min}(R)$  为在距离  $R$  处能够接收到调查目标的最小回声强度 (dB),  $p_t$  为科学探鱼仪的发射功率 (W);  $G_0 = 10^{G_0/10}$ ,  $G_0$  为声学校正的换能器增益 (dB);  $\lambda$  为波长 (m),  $\lambda = c/f$ , 其中  $f$  为换能器频率 (Hz);  $\psi = 10^{\Psi/10}$ ,  $\Psi$  为等效立体波束角 (dB);  $S_{a, \text{correction}}$  为声学校正获得的回声积分值修正参数 (dB);  $R$  为探测目标距离换能器的距离 (m)。

假设探测目标的回声散射强度与背景噪声不相关, 对于体积反向散射强度阈值为  $S_{v, \min}$  的目标, 在背景噪声强度为  $P_n(k)$  时, 距离换能器距离为  $R$  时的信噪比可表示为:

$$SNR(R) = P_{r, \min}(R) - P_n(k) \quad (6)$$

结合公式 (5), 公式 (6) 可进一步表示为:

$$SNR(R) = S_{v, \min} + 10 \lg \left( \frac{p_t G_0^2 \lambda^2 c \tau \psi}{32 \pi^2} \right) + 2S_{a, \text{correction}} - 20 \lg(R) - 2\alpha R - P_n(k) \quad (7)$$

用信噪比评估在深度  $R$  时对目标的探测误差<sup>[12]</sup>, 即:

$$P_{\text{bias}} = \left( \frac{1}{10^{SNR/10}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

当接收信号的信噪比为 10 dB 时, 即意味着由背景噪声可导致探测目标回波信号强度产生 10% 的系统误差。

**船速对有效探测深度的影响** 为评估船速变化对科学探鱼仪有效探测深度的影响, 针对调查期间各时间间隔  $k$  (时长约 40 s) 的声学数据, 首先利用公式 (1) 计算该时间段内的背景噪声强度  $P_n(k)$ , 进一步利用公式 (7) 计算对体积反向散射强度阈值  $S_{v, \min}$  的探测目标在不同深度时的信噪比。利用 Echoview 软件的船速计算模块 (vessel speed operator) 计算各个时间间隔对应的平均船速, 在此基础上对断面走航期间各时间间隔的船速进行分组, 将 [7.5, 8.5), [8.5, 9.5), [9.5, 10.5), [10.5, 11.5) 和 (11.5, 12.5] kn 船速分别归类定义为 8、9、10、11 和 12 kn, 据此对不同船速条件下科学探鱼仪的背景噪声强度和有效探测深度进行统计分析。

## 2 结果

### 2.1 背景噪声强度随船速的变化

“福荣海”轮 2019 年 2 月在南设德兰群岛周边海域执行南极磷虾资源声学调查期间 (包括断面走航及站位停船作业) (图 2), 该船船载 Simrad EK60 型科学探鱼仪采集声学数据中背景噪声强度 ( $P_n$ )

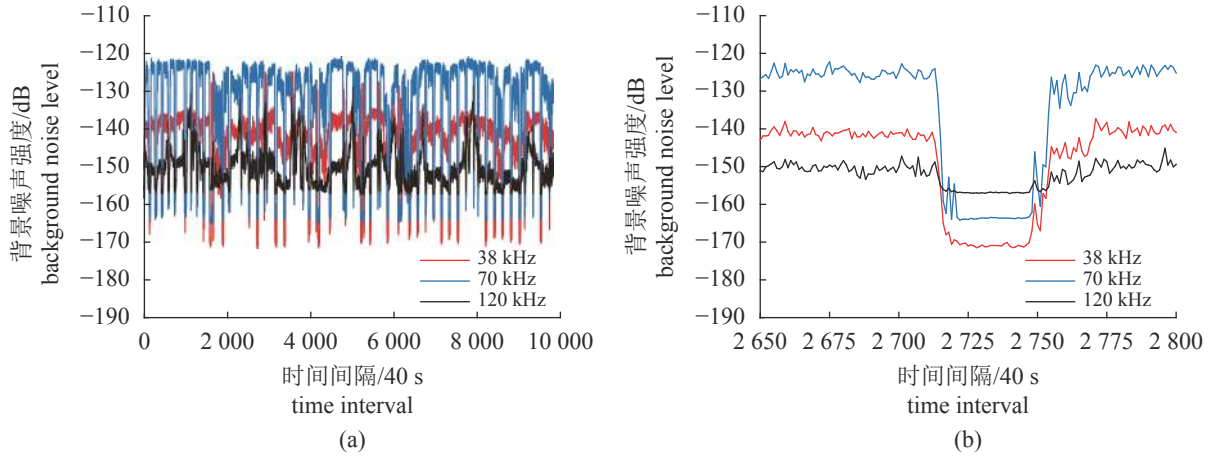


图 2 调查期间背景噪声强度随时间的变化

每个时间间隔代表的时长为 40 s (20 个 ping)。 (a) 整个调查期间, (b) 时间间隔 2 650~2 800

Fig. 2 Variation of estimated background noise levels during the survey

Each time interval is 40 s (20 pings). (a) the whole survey, (b) an example section (time interval bins from 2650 to 2800) of the survey

利用断面走航期间采集的声学数据, 进一步评估了不同船速条件下背景噪声强度的变化情况。结果显示, 38 和 70 kHz 的背景噪声强度随着船速的升高而明显升高 (图 3)。船速为 8 kn 时, 两个频率的背景噪声强度均值 ( $\pm$ SE) 分别为 (150.40 $\pm$ 0.71) 和 (-146.80 $\pm$ 0.82) dB; 当随船速升高为 12 kn 时, 上述数值分别升高至 (137.30 $\pm$ 0.06) dB 和 (-122.30 $\pm$

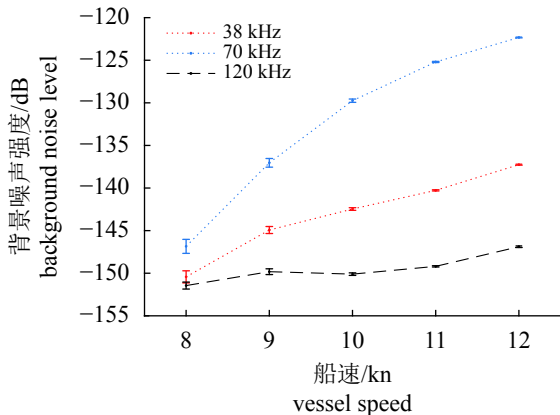


图 3 背景噪声强度均值随船速的变化

Fig. 3 Variation of estimated background noise levels at different vessel speeds

随时间的变化情况, 背景噪声强度在调查期间存在明显的变化。断面走航调查时 (船速 8~12 kn), 70 kHz 的背景噪声强度最高 (>-130 dB), 38 kHz 次之, 120 kHz 的最低 (<-145 dB); 停船进行站位调查时, 3 个频率的背景噪声强度随着船速的降低而逐渐降低, 其中 38 和 70 kHz 在停船时背景噪声强度比走航调查时降低超过 30 dB。

0.05) dB (表 2)。120 kHz 的背景噪声强度随船速的升高也呈升高的趋势 (图 3), 船速为 12 kn 时比 8 kn 时的平均背景噪声强度高 5.5 dB, 但增加的速率和幅度明显低于 38 和 70 kHz。

### 2.2 有效探测深度随船速的变化

为评估船速变化对科学探鱼仪有效探测深度的影响, 结合科学探鱼仪系统参数 (表 1) 和各个船速时背景噪声强度的均值 (表 2), 分别针对不同的体积反向散射强度阈值和船速, 分析声学数据接收信号的信噪比随探测深度 (采样点距离换能器表面的距离) 的变化情况。

针对不同体积反向散射强度阈值  $S_{v,min}$  (积分阈), 图 4 展示了在渔业资源声学调查常用的 10 kn 船速时, 接收信号信噪比随探测深度的变化趋势。可以看出, 针对相同反向体积散射强度的探测目标, 受声波扩展损失和海水吸收衰减的影响, 其信噪比随着探测深度的增加而逐渐降低。在相同信噪比要求条件下, 38 kHz 的有效探测深度最大, 120 kHz 次之, 70 kHz 最低。同时, 各个频率的有效探测深度随着调探测目标体积反向散射强度阈

表 2 不同船速时背景噪声强度主要统计参数

**Tab. 2 Main statistical parameters of estimated background noise levels at different vessel speeds**

船速/kn vessel speed	时间间隔数量 numbers of time intervals	背景噪声强度统计参数/dB statistical parameters of background noise level		
		中值 median	均值 mean	标准差 standard deviation
8	152	-149.5/-146.3/-153.2	-150.4/-146.8/-151.4	8.8/10.1/5.0
9	247	-144.0/-137.0/-151.2	-144.9/-137.0/-149.8	6.5/7.9/5.3
10	1 102	-142.4/-128.2/-151.7	-142.5/-129.7/-150.1	5.1/6.4/4.9
11	3 327	-139.4/-124.0/-150.1	-140.3/-125.2/-149.2	4.1/3.9/4.3
12	2 851	-136.4/-121.5/-147.9	-137.3/-122.3/-146.9	3.1/2.5/5.0

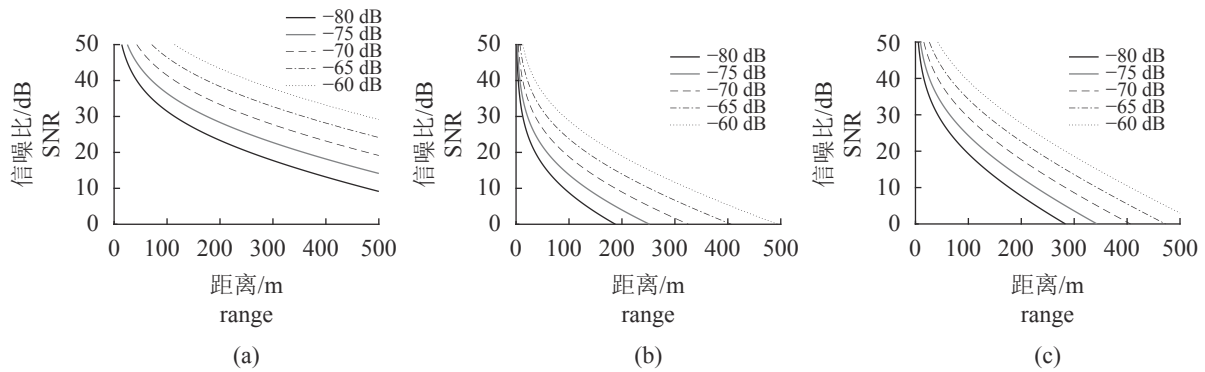


图 4 不同体积反向散射强度阈值时信噪比随有效探测深度的变化

(a) 38 kHz, (b) 70 kHz, (c) 120 kHz, 下同。线条类型代表不同体积反向散射强度阈值  $S_{v,min}$ 。平均船速为 10 kn。EK60 系统相关参数设置及背景噪声强度分别见表 1 和表 2, 下同

Fig. 4 Signal-to-noise ratio (SNR) versus detection range

(a) 38 kHz; (b) 70 kHz; (c) 120 kHz, the same below. The results for different  $S_{v,min}$  were indicated by different line types. Mean vessel speed is 10 knots. See Tab.1 and Tab. 2 for echo sounder parameters and background noise levels used, the same below

值的降低而降低。以南极磷虾资源密度评估的常用换能器频率 120 kHz 为例 (图 4-c), 在 10 dB 信噪比条件下, 对于  $S_{v,min}$  为 -60 dB 的目标的有效探测深度大于 400 m, 而对于 -80 dB 的有效探测深度降低至不足 200 m。

图 5 展示了对于  $S_{v,min}$  为 -70 dB 的探测目标 (南极磷虾资源声学评估常用  $S_v$  阈值), 接收信号在不同船速条件时信噪比随探测深度的变化曲线。在 10 dB 信噪比条件下, 船速为 8~12 kn 时 38 kHz 对目标的有效探测深度均大于 500 m, 而 70 和

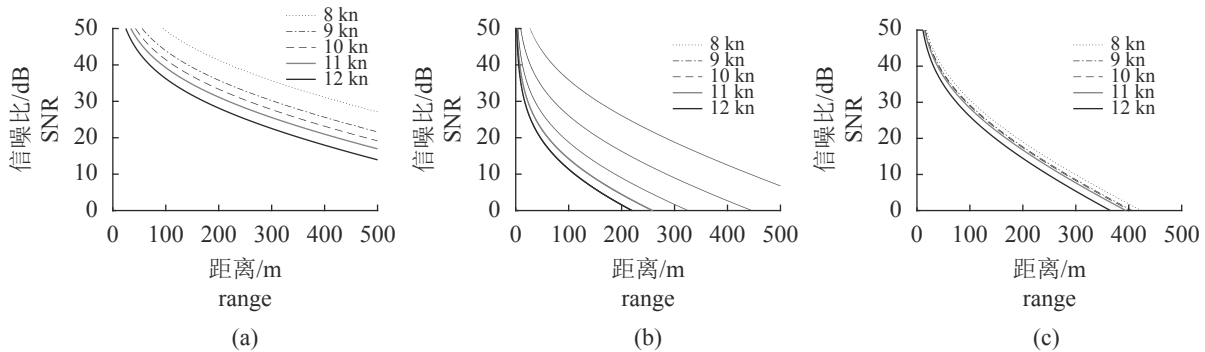


图 5 不同船速时信噪比随有效探测深度的变化

线条类型代表不同船速。体积反向散射强度阈值 ( $S_{v,min}$ ) 为 -70 dB

Fig. 5 Signal-to-noise ratio (SNR) versus detection range

The results for different vessel speeds were indicated by different line types.  $S_{v,min} = -70$  dB

120 kHz 时均小于 500 m。同时, 3 个频率的有效探测深度整体上随着船速的升高而降低, 尤其是 70 kHz, 在 10 dB 信噪比条件下且船速为 8 kn 时, 其有效探测深度超过 400 m, 而当船速升高至 12 kn 时, 其有效探测深度则降低至约 100 m。

### 3 讨论

#### 3.1 科学探鱼仪性能参数对有效探测深度评估的影响

科学探鱼仪的有效探测深度与工作频率密切相关, 主要体现在三个方面: 一是, 不同频率换能器的性能参数存在差异; 二是, 海水的声吸收系数随着频率的升高而升高<sup>[6]</sup>, 是影响高频声波有效探测深度的主要因素; 三是, 目标生物对不同频率入射声波的散射能力存在差异<sup>[1]</sup>。除换能器频率外, 影响有效探测深度的主要性能参数还包括科学探鱼仪发射功率、脉冲长度、换能器增益以及等效波束角等。在实际渔业资源声学调查设计过程中, 由公式 (7) 可知, 可以通过增加发射功率及脉冲长度的方式提高科学探鱼仪的有效探测深度, 但改变上述参数也会影响发射信号的波形及其对调查目标的空间分辨率<sup>[1]</sup>, 因此, 应综合考虑探测目标的声学散射特性及分布水层, 选择合适的换能器频率及工作参数。同时, 对科学探鱼仪进行现场校正<sup>[13-14]</sup>, 也是准确获取科学探鱼仪系统性能参数及提高其有效探测深度评估准确性的重要前提。

#### 3.2 目标的回声散射强度对有效探测深度评估的影响

渔业声学研究中, 一般用目标强度 (TS, dB) 或体积反向散射强度 ( $S_v$ , dB) 表示单体目标或单位体积内目标的回声散射强度 (反向散射能力), 二者的关系为<sup>[17]</sup>:

$$S_v = 10 \lg \left( \frac{\sum 10^{\frac{TS}{10}}}{V_0} \right), \quad (9)$$

式中,  $V_0$  表示采样水体的体积 ( $m^3$ )。基于回声积分原理的科学探鱼仪一般直接记录  $S_v$  数据, 并利用  $S_v$  数据进行调查生物目标的资源密度评估<sup>[1]</sup>, 而最小体积散射强度  $S_{v,\min}$  也被应用于消除部分背景噪声对回声积分的影响<sup>[7]</sup>。因此, 本研究采用  $S_v$  作为评估探测目标回声散射强度的参数并据此评估有效探测深度。由公式 (7) 和图 4 可知, 有效

探测深度随着调查对象  $S_{v,\min}$  的增加而增加, 且不同频率的有效探测深度存在明显差异。频差技术 (dB-differencing) 是基于探测目标回声散射的频率响应特性, 利用多个频率声学数据的平均体积反向散射强度的差值进行目标识别<sup>[18]</sup>。因此, 应分别评估所采用各个频率的信噪比随探测深度的变化, 并在有效探测深度的最小范围内进行频差识别<sup>[5]</sup>。

#### 3.3 背景噪声对有效探测深度评估的影响

在渔业资源声学调查中, 背景噪声一般指除目标生物的回声散射信号外的其他混响和噪声, 主要来自船舶螺旋桨噪声、表面气泡噪声、硬件系统电噪声以及生物发声等<sup>[6, 19-20]</sup>。为降低背景噪声对科学探鱼仪的影响, 科学调查船一般均具备专门的降噪设计, 如采用低噪声水平的螺旋桨推进系统以及将换能器安装于升降鳍等<sup>[2]</sup>, 然而大多数渔船一般不具备专门的降噪设计, 这使得渔船通常具有更强的背景噪声, 同时受海洋环境 (如海况、水深) 和船速等因素变化的影响也更为明显<sup>[11]</sup>。以“福荣海”轮船载的 EK60 为例, 当船速由 8 kn 升高至 12 kn 时, 70 kHz 声学数据的平均背景噪声强度升高了 24.5 dB, 这导致相同信噪比 (10 dB) 和  $S_{v,\min}$  (-70 dB) 条件下其有效探测深度降低至约 100 m, 无法满足南极磷虾资源声学调查评估时对 250 m 积分水层的需求<sup>[21-22]</sup>。因此, 为提高渔业资源声学调查评估的准确性, 在安装科学探鱼仪系统后, 应按照标准方法测试系统在不同船速时的背景噪声<sup>[2, 16]</sup>, 并准确评估船速变化可能对探测目标有效探测深度的影响。同时, 在海况较差时应适当控制船速以降低背景噪声, 确保科学探鱼仪的有效探测深度可以有效覆盖目标的主要分布水层。此外, 在声学数据处理过程中, 也应当采取适当的背景噪声消除方法<sup>[9-11, 20]</sup>, 以提高对目标的探测能力。

#### 3.4 方法的不确定性

本研究提出的科学探鱼仪有效探测深度评估方法是基于声学数据后处理方法获得背景噪声强度<sup>[11]</sup>, 因此当调查数据不满足该方法的前提假设时, 也会导致有效探测深度计算的误差。此外, 本研究在分析船速对“福荣海”轮科学探鱼仪有效探测深度影响时, 假设本次调查过程中背景噪声的变化主要源自于船速的改变, 而在实际调查过程中, 背景噪声还会受到海底深度、风速以及海

浪等多种海洋环境的影响<sup>[8,11]</sup>, 未来还需要结合多个航次的数据, 并准确记录调查过程中海洋环境信息的变化情况, 综合评估船速变化对科学探鱼仪背景噪声和有效探测深度的影响。

感谢辽宁远洋渔业有限公司“福荣海”轮船组领导和船员在海上调查期间给予的大力协助。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] Watkins J L, Reid K, Ramm D, *et al.* The use of fishing vessels to provide acoustic data on the distribution and abundance of Antarctic krill and other pelagic species[J]. *Fisheries Research*, 2016, 178: 93-100.
- [2] Simmonds J, MacLennan D. Fisheries acoustics: theory and practice[M]. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science, 2005: 1-437.
- [3] Kieser R, Reynisson P, Mulligan T J. Definition of signal-to-noise ratio and its critical role in split-beam measurement[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(1): 123-130.
- [4] Furusawa M, Asami T, Hamada E. Detection range of echosounders[C]//The 3rd JSPS International Seminar “Sustainable Fishing Technology in Asia towards the 21st Century”. Tokyo: Tokyo University of Fisheries, 1999: 207-213.
- [5] Kang M, Furusawa M, Miyashita K. Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59(4): 794-804.
- [6] Urick R J. Principles of underwater sound[M]. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1983: 1-424.
- [7] Nunnallee E P. An alternative to thresholding during echo-integration data collection[J]. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 1990, 189: 92-94. doi: <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8754>.
- [8] Takao Y, Furusawa M. Noise measurement by echo integrator[J]. *Fisheries Science*, 1995, 61(4): 637-640.
- [9] Watkins J L, Brierley A S. A post-processing technique to remove background noise from echo integration data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1996, 53(2): 339-344.
- [10] Korneliussen R J. Measurement and removal of echo integration noise[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57(4): 1204-1217.
- [11] De Robertis A, Higginbottom I. A post-processing technique to estimate the signal-to-noise ratio and remove echosounder background noise[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2007, 64(6): 1282-1291.
- [12] Demer D A. An estimate of error for the CCAMLR 2000 survey estimate of krill biomass[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004, 51(12-13): 1237-1251.
- [13] Foote K G, Knudsen H P, Vestnes G, *et al.* Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide[R]. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea, 1987.
- [14] Demer D A, Berger L, Bernasconi M, *et al.* Calibration of acoustic instruments[R]. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea, 2015.
- [15] ECHOVIEW. Echoview help file 10.0. 39[Z]. Echoview Software Pty Ltd., GPO Box 1387 Hobart, Australia, 2019.
- [16] SIMRAD. SIMRAD EK500 scientific echosounder reference manuals V4.01[Z]. SIMRAD Subarea A/S, Strandpromenaden 50, Box 111, N-391 Horten, Norway, 1993.
- [17] MacLennan D N, Fernandes P G, Dalen J. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59(2): 365-369.
- [18] Madureira L S P, Ward P, Atkinson A. Differences in backscattering strength determined at 120 and 38 kHz for three species of Antarctic macroplankton[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 93: 17-24.
- [19] Mitson R B, Knudsen H P. Causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation[J]. *Aquatic Living Resources*, 2003, 16(3): 255-263.
- [20] Ryan T E, Downie R A, Kloser R J, *et al.* Reducing bias due to noise and attenuation in open-ocean echo integration data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2015, 72(8): 2482-2493.
- [21] Hewitt R P, Watkins J, Naganobu M, *et al.* Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary yield[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004, 51(12-13): 1215-1236.
- [22] Krafft B A, Macaulay G J, Skaret G, *et al.* Standing

stock of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana, 1850)  
(Euphausiacea) in the Southwest Atlantic sector of the

Southern Ocean, 2018-19[J]. Journal of Crustacean Biology, 2021, 41(3): 1-17.

## Effect of vessel speed on the effective range detection limit of scientific echo sounder onboard an Antarctic krill (*Euphausia superba*) fishing vessel

WANG Xinliang<sup>1,2\*</sup>, YU Xiaotao<sup>1,3</sup>, ZHANG Jichang<sup>1,2</sup>, LI Xiansen<sup>1</sup>, ZHAO Xianyong<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Polar Fishery, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yellow Sea Fisheries

Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Joint Laboratory for Open Sea Fishery Engineering, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China;

3. State Key Laboratory of Acoustics, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China )

**Abstract:** Recently the fishing vessel has been widely used to collect acoustic data to provide information on the distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*). One basic assumption of the acoustic survey is that the effective range detection limit (RDL) of the echo sounder could cover the major distribution layer of Antarctic krill. However, due to the lack of noise mitigation design, the background noise levels of fishing vessel are usually higher than the research vessels, which may seriously degrade the RDL of the echo sounder system. In order to facilitate the use of fishing-vessel-based acoustic data, in the present study, a method was introduced to estimate the RDL of scientific echo sounder based on the background noise estimates obtained using post-processing technique. Furthermore, taking the Antarctic krill fishing vessel “*Fu Rong Hai*” as a case study, the background noise levels and RDLs of the Simrad EK 60 echo sounder system (38, 70 and 120 kHz) onboard were estimated at various vessel speeds. Results indicated that the RDL was not only related to echo sounder specifications and backscattering strength of the survey target, but also to the background noise level and the vessel speed. For “*Fu Rong Hai*”, the background noise levels of the acoustic data collected by the EK60 system increased markedly with increasing vessel speed and resulted in decreased RDLs for all the three frequencies. At a vessel speed of 8 kn and a signal-to-noise ratio (SNR) of 10 dB, the RDLs for all the three frequencies were estimated to be larger than 300 m for the Antarctic krill with a  $S_v$  threshold of  $-70$  dB, while the RDL decreased to be around 100 m at 70 kHz which could not meet the requirement of depth coverage (250 m) for Antarctic krill acoustic survey when the vessel speed was increased to 12 kn. The results proved that the vessel speed may have significant impact on the performance of effective range detection limit of echo sounder system, and this study may provide valuable reference for the use of fishing vessels to conduct acoustic survey particularly the vessel speed and data processing.

**Key words:** *Euphausia superba*; fisheries acoustics; scientific echo sounder; background noise; effective range detection limit

**Corresponding author:** WANG Xinliang. E-mail: wangxl@ysfri.ac.cn

**Funding projects:** National Key Research and Development Program (2018YFC1406802); National Nature Science Foundation of China (41706219, 41806047)