

狭鳕(*Theragra chalcogramma* Pallas) 目标强度的现场测定^{*}

赵宪勇 陈毓桢

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘 要 1993年夏季“北斗”号调查船白令海狭鳕(*Theragra chalcogramma* Pallas)资源声学调查期间,利用计数—积分法对狭鳕的目标强度进行了现场测定。结果表明,平均叉长51.6cm的狭鳕的平均目标强度为 -34.3dB ;以常规的 $20\text{Log}l$ 形式表示,其目标强度与叉长的关系式为 $TS = 20\text{Log}l - 68.6\text{dB}$ 。该测定结果较目前采用的关系式; $TS = 20\text{Log}l - 66.0\text{dB}$ 低 2.6dB ;应用于资源量计算,其估算值将比现估算值高82%。

关键词 狭鳕, 离散集群, 计数—积分, 目标强度, 现场测定, 资源评估

前 言

在渔业资源的声学评估方法中,鱼体的目标强度是将回声积分值转换为绝对生物量的关键参数^[8,9,10]。在过去十几年中,Ehrenberg^[3]、Medtun^[11]和 Foote^[5]等先后对鱼体目标强度的确定方法和测定技术进行了总结和回顾,诸多文献表明现场测定技术日益受到重视。

狭鳕广泛分布于北太平洋,是世界海洋生物资源最为丰富的经济鱼种。近年来国际上不少学者先后利用双波束式^[18,20,17,7,19]、分裂波束式^[7,19]等现场测定法及鳔解剖计算法^[7]、绳系控制实验法^[13]等非现场测定法对狭鳕的目标强度进行了测定,旨在提高声学评估的准确性,为狭鳕资源的科学管理提供依据。

作为1993年夏季“北斗”号北太平洋狭鳕资源调查的任务之一,我们在白令海阿留申海盆区东南部发现离散分布的狭鳕集群,利用计数—积分法对其目标强度进行了现场测定,估测了狭鳕目标强度与叉长的关系,并在讨论中将估测结果与其他学者的测定结果进行了比较。

材 料 与 方 法

收稿日期:1994-06-09。

^{*} 本工作得到黄海水产研究所全体随船科技人员及船员的大力协助;唐启升研究员对本文进行了审阅并提出宝贵意见,在此一并致谢。

(一) 声学仪器及其校正

1. 声学仪器及其探鱼原理 测定鱼体目标强度的仪器与渔业资源声学调查所用设备相同, 主要由 SIMRAD EK400 科研用探鱼仪、SIMRAD QD 回声积分仪及 Cantor AT386 微型计算机组成, 其联机方框图如图 1 所示。

探鱼仪的发射信号(脉冲式)经换能器转换为声波在水中传播, 当遇到鱼体时产生回波并由换能器接收, 经接收机放大处理后馈送至积分仪及回波映像记录器。换能器接收到的回波信号包括振幅和时间两个参数。由于探鱼仪本身具备时变增益(TVG)功能, 补偿了声波的传播损失, 位于不同深度的鱼体保持了客观的目标强度, 于是单体鱼回波信号的振幅便成为可资描述鱼体对声波的反射本领即目标强度的参量, 而一定航程内所有回波信号的积分值则是反映调查范围内鱼类资源量的指标。

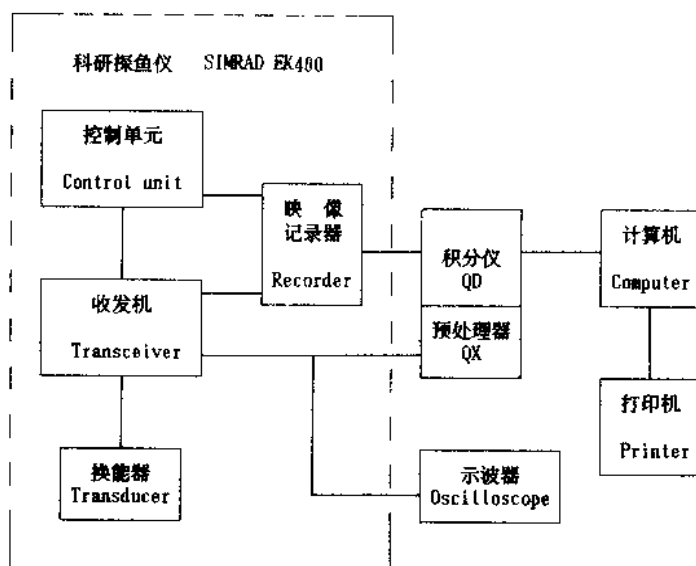


图 1 联机方框示意图

Fig.1 Block diagram of instrument connection

2. 声学系统的监测与校正 为确保探鱼仪器正常工作和设定参数的一致性, 调查期间每周对全套声学仪器作例行电学测量, 测定项目主要包括发射机的输出电压、电流、功率、频率和波形以及接收机的放大增益、时变增益等。调查期间整个声学系统不停机连续运转以保证其稳定性, 并用示波器监视设备的工作状态。

调查开始及航次结束前, 先后两次在青岛港锚地采用联合国粮农组织推荐的标准反射体法^[6]对整个系统进行了校正。校正现场水深约 30 米。校正工作包括以船舶锚固定船只, 将直径为 60 毫米的标准铜球(已知目标强度为 -33.6 分贝)系于三根线径为 0.6 毫米的单丝尼龙线上, 以三台分别安装于左右两舷的小型手摇绞车将标准球悬吊于换能器下方约 20 米处。平潮期间, 根据示波器上标准球回波信号的振幅调整三部绞车, 将标准球置于换能器声轴上。当回波信号稳定于最大值时, 从示波器上读取回波幅值及时间延迟, 同时以 10 节模拟船速记录每 0.2 海里的积分值, 并将其归化为 1 海里的积分值。采用南森型颠倒温度

计收集校正现场的温度和盐度断面数据,以精确计算声速进而确定标准球所在深度。

在相距 69 天的前后两次校正中,未发现系统的主要参数存在显著差异,确认性能稳定且可靠。有关声学仪器的技术参数及标准球校正结果见表 1。

表 1 声学仪器的主要技术数据和设定参数

Table 1 Technical data and main parameter settings of acoustic instruments

探鱼仪 Echosounder	SIMRAD EK400
工作频率 Frequency	38 KHz
发射功率(假负载 60 欧姆) Transmitting power (dummy load 60 ohm)	3500 W
时变增益 TVG	20LogR
接收机总增益(实测值) Total receiver gain (measured)	84.5 dB
衰减器设置 Attenuator setting	20dB
脉冲宽度 Pulse duration	1.0 ms
接收机带宽 Bandwidth	3.3 KHz
记录器增益设置 Recorder gain setting	9
主量程设置 Main recording range setting	100 m
脉冲频度 Pulse repeat frequency	125 P/min
换能器 Transducer	SIMRAD ES 38
波束宽度(半功率角)纵/横 Beamwidth(- 3dB) LP/TP	7.2°/7.9°
等效波束孔径角 Equivalent beam angle (10Log)	- 20.1 dB
回声积分仪 Echo integrator	SIMRAD QD
积分阈电平 Integrator threshold	13.8 mv
积分仪增益 Integrator gain	- 22.49/ - 32.49 dB
声学系统校正 Acoustic system calibration	标准反射体法 Standard sphere method
声源级 + 电压响应 Source level + Voltage response	139.8 dB
仪器常数 Instrument constant C_r (ref. - 20 dB)	1.77 m ² /n·mile ² ·mm

(二) 鱼体目标强度的定义

由于鱼体各组织、器官的声阻抗率与海水介质的声阻抗率不同,声波遇到鱼体时便产生散射,其中反向散射回换能器的分量被换能器接收,使声学探鱼成为可能。鱼的目标强度是描述鱼体对声波的反射能力的物理量,其定义为:

$$TS = 10\text{Log}(\sigma/4\pi)^{[5]} \quad (1)$$

其中, TS—鱼的目标强度, 分贝;

σ —鱼的反向散射截面, 米²。

在有鳔鱼类的各组织、器官中, 充满气体的鳔对目标强度的贡献最大, 鱼的声反射能力

约 90~95% 来自鰾对声波的反射^[14]。

(三) 鱼体目标强度的现场测定方法

本文采用的计数—积分法^[2, 15, 16]是一种间接式现场测定方法^[5], 以该方法测定的鱼体目标强度是目标鱼整体的平均目标强度。

当发现可分辨为单体鱼的单一鱼种和离散集群时, 通过适当调整积分增益, 提高脉冲发射频率、纸速及记录笔描记浓度等操作, 取得清晰可辨的单体鱼回波映像。将映像适当分层, 读出每层、每海里的积分值, 并对被测目标群拖网取样, 经对每层、每海里内的回波映像逐一计数后, 便可计算鱼的目标强度。

用于资源密度计算的基本公式为:

$$\rho_A = S_A / \langle \sigma \rangle \quad (2)$$

其中, ρ_A —鱼的面积密度, 即单位面积水体内存鱼的尾数, 尾数/海里²;

S_A —积分值, 亦称面积反向散射系数, 即单位面积水体内存鱼体反向散射截面的总和, 米²/海里²;

$\langle \sigma \rangle$ —被测鱼整体的平均反向散射截面, 米²。

在选定的积分层内测到的映像, 若均为可分辨的单体鱼记录, 利用积分层内映像的数量, 同样可确定鱼的面积分布密度:

$$\rho_A = N_C / A_C \quad (3)$$

其中, N_C —1 海里航程内选定的积分层中单体鱼映像的数量;

A_C —选定的积分层中, 换能器波束在 1 海里内平均覆盖的水体面积, 海里²。

由以上三式可得:

$$\langle \sigma \rangle = S_A \cdot A_C / N_C \quad (4)$$

$$TS = 10 \lg(S_A \cdot A_C / 4\pi N_C) \quad (5)$$

(4)、(5)两式中唯一的未知参量 A_C , 可通过测量单体鱼回波映像的轨迹长度计算之。

用体视显微镜对大量单体鱼映像的轨迹长度进行测量, 计算其平均值 $\langle L_T(B.U.) \rangle$, 再用显微镜对毫米尺进行测量, 求出显微镜目微尺刻度单位 B.U. 与毫米单位之间的转换系数。若 $1\text{mm} = a \text{ B.U.}$, 则以毫米计的平均映像轨迹长度为 $\langle L_T(\text{mm}) \rangle = \langle L_T(B.U.) \rangle / a$ 。

如图 2 所示, 设在深度 D 处的单体鱼静止于换能器波束内, 并受 n 个脉冲连续照射, 其回波被换能器接收, 则记录纸上便记下长度为 $L_T(\text{mm})$ 的映像轨迹。从照射到鱼体的第一个脉冲 i 到最后一个脉冲 $(n+i-1)$ 间, 船行驶的距离即为换能器沿纵向在深度 D 处的波束宽度。若以 $\langle L_P(\text{mm}) \rangle$ 表示记录纸上 1 海里的平均长度, $\langle L_{F\&A}(\text{m}) \rangle$ 表示换能器纵向平均探测宽度, 取 1 海里为 1 852 米, 则有:

$$\langle L_T(\text{mm}) \rangle / \langle L_{F\&A}(\text{m}) \rangle = \langle L_P(\text{mm}) \rangle / 1\,852 \quad (6)$$

$$\langle L_{F\&A}(\text{m}) \rangle = \langle L_T(\text{mm}) \rangle \cdot 1\,852 / \langle L_P(\text{mm}) \rangle \quad (7)$$

令 $\langle D_T \rangle$ 表示在选定水层内所有单体鱼的平均深度, 则在该深度下, 换能器波束的平均纵向探测角为:

$$\langle \theta(F\&A) \rangle = 2 \tan^{-1} [\langle L_{F\&A}(\text{m}) \rangle / 2 \langle D_T \rangle] \quad (8)$$

而最大探测角则为:

$$\theta_M(F\&A) = \langle \theta(F\&A) \rangle \cdot 4/\pi^{(1)} \quad (9)$$

(9)式既适用于截面为圆形的波束, 又适用于截面为椭圆形的波束。

“北斗”号所用换能器的纵向半功率角为 7.2° , 横向则为 7.9° (表 1), 据此比例, 换能器波束的横向最大探测角为:

$$\theta_M(\text{Athw.}) = \theta_M(\text{F\&A}) \cdot 7.9/7.2 \quad (10)$$

由此可求得换能器在 1 海里选定水层内平均覆盖的水体面积为:

$$A_C = 2 \text{TAN}[\theta_M(\text{Athw.})/2] \cdot \langle D_T \rangle / 1852 \quad (11)$$

将(11)式代入(4)、(5)两式, 则可分别计算选定水层内鱼体的平均反向散射截面和平均目标强度。

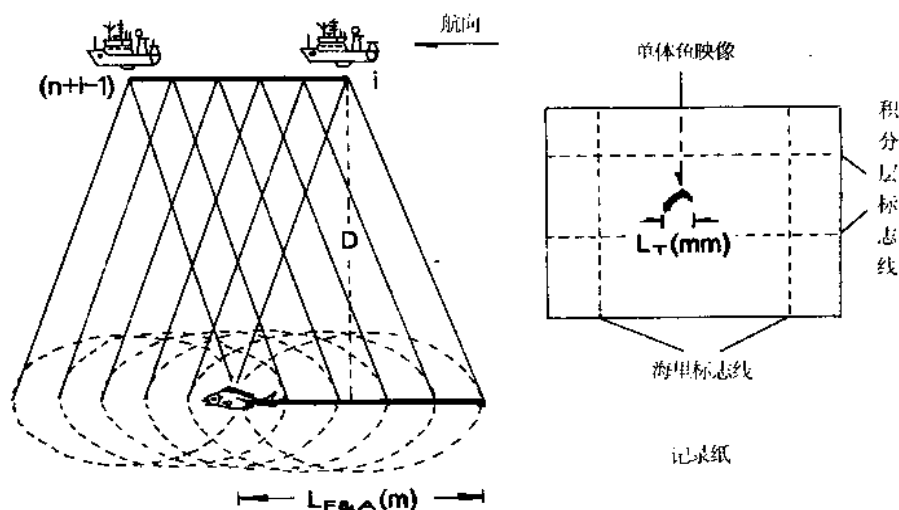


图 2 映像轨迹长度与波束宽度关系示意图。

Fig.2 Schematic diagram illustrating the relation between echo trace - length and beam sampling - width.

(四) 单体鱼声学数据的采集与生物学取样

1993 年 7 月, 阿留申海盆东南部 ($53^\circ 04' \text{N}$, $171^\circ 41' \text{W}$) 存在均匀分布的狭鳕离散集群, 以调查航速 (11 节) 前后两次总计记录了 11 海里、6 个水层的狭鳕单体鱼映像数据。典型映像见图 3, 有关参数见表 2、表 3。

表 2 有关单体鱼映像数据采集的实验参数

Table 2 Some data concerning single fish echo data collections

数据组别 Series	日期 Date	时间(当地) Time(local)	水层 Layer	层数 No. of layer	海里数 Mileage	积分仪增益 QD Gain	船速 Vessel speed
I	1993.7.22	16:15~16:35	100~175m	2	4	-22.49 dB	11.0 kn
II	1993.7.22	19:10~19:45	40~120m	4	7	-32.49 dB	11.0 kn

目标鱼群的生物学取样采用 4 片式中层拖网, 网口的拉直周长为 648 米, 网口网目 400 厘米, 囊网网目 4 厘米。渔获物由狭鳕和腹吸圆鳍鱼 (*Aptocyclus ventricosus* Pallas) 组成 (表 3); 以数量计, 狭鳕占 89%, 腹吸圆鳍鱼占 11%。狭鳕的叉长范围为 41.2~61.2 厘米, 平均 51.6 厘米, 标准差 4.0 厘米。

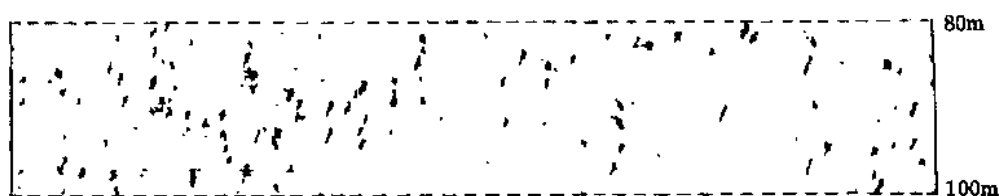


图3 单体鱼典型映像(水层:80~100m)

Fig.3 A Sample of single fish echogram (From layer 80 - 100m)

表3 生物学取样数据

Table 3 Biological sampling data

日期 Date	时间(当地) Time(local)	拖网地点 Position	取样水层 Sampling layer	渔获物组成(尾数) Haul composition(no.)		狭鳕 Walleye pollock	
				狭鳕 Pollock	腹吸圆鳍鱼 Smooth lumpsucker *	平均叉长 Mean - FL	均方根叉长 RMS - FL
1993	16:50	53°04'N	80~110m	244	31	51.6cm	51.7cm
7.22	18:30	171°40'W					

* (*Aptocyclus ventricosus* Pallas)

结 果

通过对6个水层总计1192个单体鱼映像的测量,确定了换能器波束在不同水层内的最大探测角和平均覆盖的水体面积。图4展示了两典型映像轨迹长度分布。

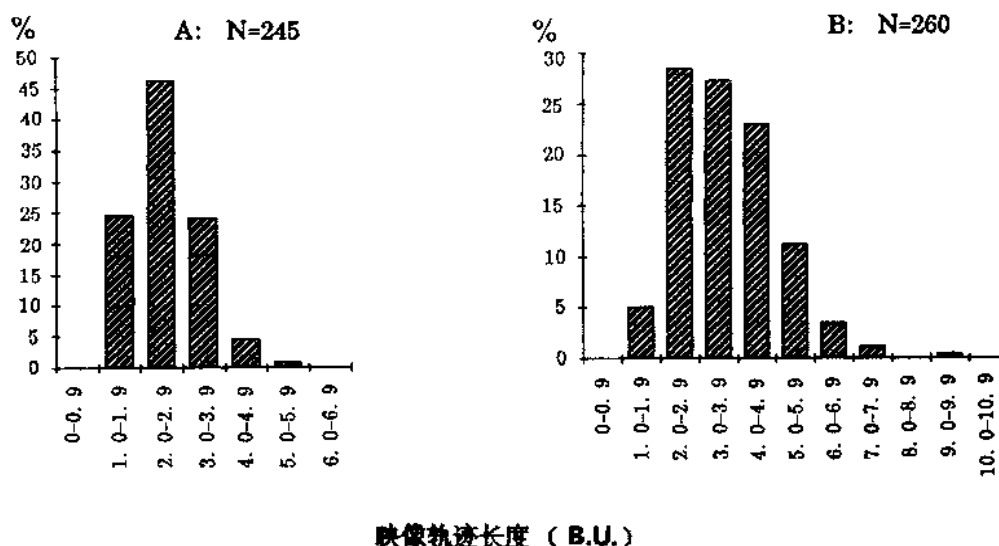


图4 两典型映像轨迹长度分布。

A:40~60m 层, 1mm=4.5 B. U. ; B:100~150m 层, 1mm=3.7 B. U.

Fig. 4 Two typical length compositions of single fish echo-traces.

A: From layer 40 - 60m, 1mm=4.5 B. U. B: From layer 100 - 150m, 1mm=3.7 B. U.

经对回波映像进行比较和鉴别,数出了由航程标志线和积分层标志线确定的各方框内轨迹清晰的回波映像,其中不超过 10% 的微弱记录被判定为非狭鳕映像,并不作计数。这些弱回波对积分值的贡献甚微,各方框的积分值未加修正。

基于 3 289 个单体鱼的回波数据,计算了每一方框内狭鳕的平均目标强度,并按层合并计算出每一水层乃至全水层狭鳕的平均目标强度(表 4)。结果表明,平均叉长 51.6 厘米的狭鳕的平均目标强度为 -34.3 分贝。目标强度与叉长的关系式采用常规的 $20\text{Log}l$ 形式: $TS = 20\text{Log}l + b_{20}$, l 为叉长(厘米)。由于鱼体的反向散射截面基本与鱼的体长的平方成线性关系,截距“ b_{20} ”的确定采用狭鳕的均方根叉长(51.7 厘米),于是得狭鳕的目标强度—叉长关系式为 $TS = 20\text{Log}l - 68.6$ 分贝。此值较现用的关系式 $TS = 20\text{Log}l - 66.0$ 分贝^[7]低 2.6 分贝,用于资源量计算,其估算值将比现估算值高 82%。

表 4 狭鳕目标强度的测定结果
Table 4 Pollock target strength estimates

数据组 Series	积分水层 Layer(m)	海里数 Mileage	换能器探测角 Sampling angle	反向散射截面 $\sigma(\text{m}^2)$		目 标 强 度 TS(dB)	
				平均值 Mean	标准差 S	平均值 Mean	95% 置信区间 95% conf. interval
II	40~60	7	19.0°	5.01E-3	1.46E-3	-33.4	(-35.4, -33.0)
	60~80	6	14.8°	4.15E-3	0.92E-3	-34.8	(-36.0, -33.9)
	80~100	7	13.0°	3.85E-3	0.42E-3	-35.1	(-35.6, -34.7)
	100~120	6	11.9°	4.43E-3	1.08E-3	-34.5	(-35.8, -33.5)
I	100~150	4	11.0°	5.90E-3	0.16E-3	-33.3	(-33.5, -33.1)
	150~175	4	9.8°	5.45E-3	1.01E-3	-33.6	(-35.1, -32.5)
I + II	40~175	34		4.67E-3	1.14E-3	-34.3	(-34.7, -33.9)

讨 论

本文所述狭鳕目标强度的测定结果与 Traynor 和 Williamson^[20]的夜间测定结果($b_{20} = -68.4 \sim -68.0$ dB)及 Traynor 和 Ehrenberg^[18]的测定结果($b_{20} = -69.0$ dB)非常接近,但比 Traynor 和 Williamson^[20]的白天测定结果($b_{20} = -65.9 \sim -65.0$ dB)及 Traynor 和 Ehrenberg^[19]夜间的测定结果($b_{20} = -66.4 \sim -64.9$ dB)低约 3 分贝,比现用值($b_{20} = -66.0$ dB)则低 2.6 分贝。产生以上差异的原因之一是由于鱼的个体在昼夜垂直移动过程中鳔体积和形状的变化及鱼体倾角的不同分布,鱼的目标强度产生周期性昼夜变化所致^[14,17]。如 Traynor 和 Williamson^[20]夜间测定的狭鳕目标强度值比白天的测定值约低 3 分贝,以及本文黄昏时所获数据(第 II 组)的测定结果比日落前(第 I 组)平均低约 1.2 分贝。因此,有必要在将来的研究工作中,于一日内对同一目标鱼群进行连续目标强度测定,并按时间段进行分析,以确定适用于一日内不同时间的鱼体目标强度值,提高资源评估的准确性。除上述鱼体目标强度自身的昼夜变化外,造成以上差异的另外一个原因是所用换能器的探测角不同。分裂波束式及双波束式换能器的探测角受软件控制^[19],其截止值为 6°;而本实验所用换能器的探测角在各积分层内均超过 6°,为 9.8°~19.0°(表 4)。探测范围越

大,鱼体相对换能器的平均倾角亦越大,由于鱼体对声波的反射具有指向性^[4],其平均有效目标强度则相对越低。因此,在渔业资源的声学评估中,鱼体目标强度值的选用还应充分考虑所用仪器的性能。

本文所述目标强度的测定是在近于理想的条件下进行的。测定时,狭鳕均匀、离散分布,完全满足目标强度测定条件,可能影响鱼类行为的各种因素亦与资源调查过程中完全一致,并且由于本文对换能器的探测面积进行了分层计算,避免了波束的指向性对目标强度测定的影响。因此,本文所用测定方法具有“自我校正”功能^[15],其测定结果也是对目标鱼整体的平均有效目标强度的客观反映。然而,由于狭鳕生物学标本的采集与目标强度测定不是同时进行的,且取样水层局限于80~110米,因此用所获标本的叉长分布代表被测鱼整体的叉长分布,并用于目标强度与叉长关系计算,难免产生一定误差。但调查数据表明,目标强度测定现场周边水域内各网次所获狭鳕的叉长分布范围均较窄且彼此相近,所以误差不会很大。此外,由于测定现场存在另一鱼种(腹吸圆鳍鱼),尽管该鱼种为无鳔鱼,且在映像判读时已予排除,仍难免误差,按取样渔获物中腹吸圆鳍鱼所占11%计算,可能引起的最大误差为+0.5分贝。综合以上两方面的误差,再加上系统的声学校正误差 ± 0.5 分贝^[6],本文所述狭鳕目标强度测定结果的最大误差范围为 $[-1.0, +1.5]$ 分贝。

参 考 文 献

- [1] Blindheim, J. and Nakken, O., 1971. Abundance estimation of the Lofoten cod 1971. ICES CM, 1971/B:15, 1-9.
- [2] Chen, Y. and Zhao, X., 1990. *In situ* target strength measurements on anchovy (*Engraulis japonicus*) and sardine (*Sardinops melanostictus*). 390 in: Proceedings of international workshop on marine acoustics, 26-30 March 1990, Beijing. China Ocean Press.
- [3] Ehrenberg, J. E., 1983. A review of *in situ* target strength estimation techniques. FAO Fish. Rep., 300: 85-90.
- [4] Foote, K. G., 1980. The effect of fish behaviour on echo energy: The need for measurements of orientation distributions. J. Con. Int. Explor. Mer., 39(2):193-201.
- [5] Foote, K. G., 1991. Summary of methods for determining fish target strength at ultrasonic frequencies. ICES J. Mar. Sci., 48:211-217.
- [6] Foote, K. G., Knudsen, H. P., Vestnes, G., MacLennan, D. N. and Simmonds, J., 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: A practical guide. Coop. Res. Rep. Int. Counc. Explor. Sea, 144: 1-69.
- [7] Foote, K. G. and Traynor, J. J., 1988. Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from *in situ* measurements and calculations based on swimbladder form. J. Acoust. Soc. Am., 83(1):9-17.
- [8] Forbes, S. T. and Nakken, O., 1972. Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. FAO Man. Fish. Sci., (5): 1-138.
- [9] Johannesson, K. A. and Mitson, R. B., 1983. Fisheries acoustics: A practical manual for aquatic biomass estimation. FAO Fish. Tech. Pap., 240:1-249.
- [10] MacLennan, D. N., 1990. Acoustical measurement of fish abundance. J. Acoust. Soc. Am., 87: 1-15.
- [11] Midttun, L., 1984. Fish and other organisms as acoustic target. Rapp. P. - v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 184: 25-33.
- [12] Midttun, L. and Nakken, O., 1971. On acoustic identification, Sizing and abundance estimation. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 16: 36-48.
- [13] Miyanoana, Y., Ishii, K. and Furusaka, M. 1987. Measurements and analyses on dorsal aspect target strength of six species of fish at four frequencies. Contrib. "Symposium on fisheries acoustics". Seattle, Washington, 22-26 June 1987.
- [14] Ona, E., 1990. physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. J. Mar. Biol. Ass.

- U.K., 70: 107-127.
- [15] Ona, E., 1987. The equivalent beam angle and its effective value when applying an integrator threshold. ICES CM 1987/B:35, 1-13.
- [16] Ona, E. and Hansen, K., 1986. *In situ* target strength observations on haddock. ICES CM 1986/B:39, 1-14.
- [17] Traynor, J. J., 1984. Dual beam measurement of fish target strength and results of an echo integration survey of eastern Bering Sea walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). Ph. D. thesis, University of Washington.
- [18] Traynor, J. J. and Ehrenberg, J. E., 1979. Evaluation of the dual beam acoustic fish target strength measurement method. J. Fish. Res. Board Can., 36: 1065-1071.
- [19] Traynor, J. J. and Ehrenberg, J. E., 1990. Fish and standard - sphere target - strength measurements obtained with a dual - beam and split - beam echo - sounding system. Rapp. P. - v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 189: 325-335.
- [20] Traynor, J. J. and Williamson, N. J., 1983. Target strength measurements of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and a simulation study of the dual beam method. FAO Fish. Rep., 300: 112-124.

IN SITU TARGET STRENGTH MEASUREMENTS ON WALLEYE POLLOCK (*THERAGRA CHALCOGRAMMA* PALLAS)

Zhao Xianyong Chen Yuzhen

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT Target strength of walleye pollock (*Theragra chalcogramma* Pallas) was measured *in situ* using the Counting—Integration method during the “Bei Dou” acoustic survey in the Bering Sea in summer 1993. The average target strength of walleye pollock with the mean fork length of 51.6cm was estimated to be -34.3 dB, resulted in a Target Strength—Fork Length relation of $TS = 20\lg l - 68.6$ dB, which is 2.6 dB lower than the currently applied relation $TS = 20\lg l - 66.0$ dB (Foote and Traynor, 1988), meaning that when it is employed in abundance estimation, the results will be 82% higher than the current estimates.

KEYWORDS Walleye pollock, Dispersed aggregation, Counting—Integration, Target strength, *In situ* measurements, Stock assessment.