

渔业声学数据后处理中积分阈的选择与优化 I: 目标离散分布状态下积分阈的确定

张 俊^{1,2} 王新良¹ 赵宪勇^{1*} 李显森¹

(¹农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室
中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(²上海海洋大学海洋科学学院, 201306)

摘 要 积分阈是渔业声学数据后处理中对回声信号进行积分的临界值, 是参与积分的最弱回声信号的体积反向散射强度。通过合理设置积分阈, 能在保留目标信号的同时有效地消除噪音和非目标回声信号, 从而提高渔业资源声学评估的准确性。为研究目标离散分布状态下选择和优化积分阈的方法, 推导了单体目标体积反向散射强度与目标强度之间的函数关系, 提出了利用鱼类目标强度-体长经验公式和目标强度现场数据确定积分阈的两种方法, 并以黄海鳀的调查为例, 对上述两种积分阈确定方法进行了应用探讨, 为渔业资源声学评估数据处理中目标离散分布状态下积分阈的选择与优化提供了有效参考。

关键词 积分阈 目标强度 体积反向散射强度 目标强度阈值 离散分布
中图分类号 O427.2; S932.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)04-0041-07

Definition and optimization of integration threshold in the post-processing of fisheries acoustic data I: Determination of integration threshold for scattered distribution

ZHANG Jun^{1,2} WANG Xin-liang¹ ZHAO Xian-yong^{1*} LI Xian-sen¹

(¹ Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture;
Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-Environment, Shandong Province;
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(² Marine Sciences College, Shanghai Ocean University, 201306)

ABSTRACT Integration threshold is the critical signal level that governs whether or not an echo signal will be included in the echo integration during the post-processing of fisheries acoustic data. It is the Volume Backscattering Strength (VBS) of the weakest echo signal that will be involved in the echo integration process. An appropriate integration threshold may effectively remove noise and non-target signals while keep the signals from target species intact, thus improve the accuracy of acoustic estimation of fishery resources. In order to study the methods for the selection and optimization of the integration threshold for a scattered target distribution, the functional relationship between the VBS and the Target Strength (TS) was derived based on

basic concepts and formulas in fisheries acoustics, and two methods, namely the TS-Length empirical relationship method and the *in situ* TS data method, were proposed for the determination of integration threshold. The application of both methods was then demonstrated in the anchovy *Engraulis japonicus* survey in the Yellow Sea. It provides an effective reference for the definition and optimization of integration threshold in the post-processing of fishery acoustic data with the scattered target distribution.

KEY WORDS Integration threshold Target strength Volume backscattering strength
Target strength threshold Scattered distribution

随着渔业声学的发展,回声积分技术被广泛应用于海洋生物资源调查与评估(Simmonds *et al.* 2005)。其基本原理是通过回声信号积分,计算目标反向散射接收器的回波能量,结合目标的声散射特性,将回波能量信息转化为生物量信息(Misund 1997; Simmonds *et al.* 2005; Robertis *et al.* 2007)。所谓积分就是沿其垂直传播方向对同一发射脉冲所探测各水层内回声信号进行累加、然后沿调查航线对前后相继的脉冲信号进行平均的信号处理过程;其间经距离补偿(Range compensation)等信号处理与数据计量单位转换,输出的积分值就成为与生物资源密度成线性关系的物理量(Simmonds *et al.* 2005; 赵宪勇等 2000)。

然而,探鱼仪换能器接收到的回声信号中除了来自目标生物的回声外,还可能同时包含背景噪音和非目标生物的回声。为获得准确的资源评估结果,需要在声学数据的处理分析过程中尽可能消除噪音和非目标回声信号,设置合理的积分阈是达到这一目的的有效方法之一(Watkins *et al.* 1996; Mitson *et al.* 2003)。

积分阈是渔业资源声学评估数据后处理中参与积分的最弱回声信号的体积反向散射强度(Volume backscattering strength),是对回声信号进行积分的临界值,强度小于积分阈的回声信号将被排除在积分之外(Simmonds *et al.* 2005; Robertis *et al.* 2007)。渔业资源声学评估数据后处理中,理论上可以通过设置合适的积分阈,在保留目标回声信号的同时,消除背景噪音和非目标信号(Watkins *et al.* 1996; Rudstam *et al.* 2009),以确保积分值分配的准确性(赵宪勇等 2003)。然而迄今为止,积分阈的确定主要依靠经验进行(赵宪勇等 2003; Dorn *et al.* 2003),科学的定量研究仍然较少(Watkins *et al.* 1996; Parker-Stetter *et al.* 2009; Rudstam *et al.* 2009)。

评估目标对声波的反射能力是积分阈设置的一个重要考虑因素。相同的分布密度,若评估目标反射声波的能力较强,可设置一个较高的积分阈;若评估目标反射声波的能力较弱,则需设置一个较低的积分阈(Demer 2004; Robertis *et al.* 2007)。生物体反射声波的能力取决于生物体各组织、器官的密度与海水介质密度之间的差异(Simmonds *et al.* 2005; 赵宪勇等 2003),有鳔鱼类反射声波的能力明显高于无鳔鱼类(Foote 1980a),而鱼类反射声波的能力一般比浮游生物强很多(Hewitt *et al.* 2000; Goss *et al.* 2001)。因此积分阈的设置须根据评估对象反射声波的能力而定。

评估目标的分布密度也是积分阈设置的一个重要参考。根据评估对象的密度分布特征,一般可将目标大致分为离散分布和集群分布两种分布类型。离散分布是指目标不成群、非密集的、目标之间空间距离较远的一种分布状态。此时由于目标分布密度较低,许多目标会以单体目标的形式存在(赵宪勇等 1996; Gauthier *et al.* 2001; Zhao 2006; Rudstam *et al.* 2009),回声信号的强度相对较弱,若积分阈设置过高,部分有效单体目标信号将被排除在外;若积分阈设置过低,则部分较强的噪声(包括浮游生物回声信号)则会被积分进来;二者均将引起积分误差。集群分布是指目标较为密集地以鱼群形式存在的一种分布状态。此时由于目标分布密度较高,多数情况是多个目标一起产生回声信号,因此回声信号的强度一般较高,积分阈则可相应地设置较高(Watkins *et al.* 1996; Robertis *et al.* 2007)。

针对评估目标的不同分布特征,积分阈的确定一般需要采取不同的方法。对离散分布状态而言,由于调查对象在声学上常以单个目标的形式存在(即在探测时刻,探鱼仪脉冲波束的取样水体中只有一个目标),可以利用调查对象的目标强度确定积分阈(Parker-Stetter *et al.* 2009; Rudstam *et al.* 2009)。而对集群分布状态而言,由于目标分布密度较高,无法在声学上将其分辨为单体目标(林德芳 1997; Mitson *et al.* 2003; Rudstam *et al.* 2009),且多个目标回声信号的强度一般要远远高于单体目标的信号强度,因此以目标强度确定积

分阈的方法不再适用。

作为渔业声学数据后处理中积分阈的选择与优化研究的一个组成部分,本文将聚焦于目标离散分布状态下积分阈的确定与优化研究;集群分布状态下积分阈的确定研究将另文报道。

1 材料与方 法

1.1 体 积 反 向 散 射 强 度 与 目 标 强 度 的 关 系

目标强度是描述单个目标对声波反射能力的物理量,体积反向散射强度则是衡量单位水体中所有目标反射声波能力总和的物理量,二者通过下式相关联(MacLennan *et al.* 2002):

$$s_v = \rho \cdot \sigma_{bs} \tag{1}$$

式(1)中, s_v 代表体积反向散射系数(m^2/m^3),它与体积反向散射强度(S_v , dB)之间的关系为:

$$S_v = 10 \log s_v \tag{2}$$

ρ 代表目标的分布密度(ind/m^3); σ_{bs} 代表目标的声学反向散射截面(m^2),它与目标强度之间的关系为:

$$TS = 10 \log \sigma_{bs} \tag{3}$$

在目标离散分布状态下,为不丢失某单个评估目标的回声信号,积分阈必须低于由该目标产生的回声信号的体积反向散射强度。如图 1 所示,假设一个声脉冲取样水体内只有一个目标,由式(1)、式(3)可得该目标所形成回声信号的体积反向散射系数为:

$$s_v = 10^{0.1TS} / v_s \tag{4}$$

式中, v_s 为图 1 虚线所包络脉冲取样水体的体积,其算式为(Simmonds *et al.* 2005):

$$v_s = \phi \gamma^2 (c\tau/2) \tag{5}$$

式(5)中, ϕ 是波束等效立体角的弧度(sr)表示形式,它与波束等效立体角分贝表示形式(Ψ , dB)之间的关系为:

$$\phi = 10^{0.1\Psi} \tag{6}$$

r 代表目标与换能器表面之间的距离(m); c 代表声速(m/s); τ 代表脉冲宽度(ms)。

由式(2)、式(4)~式(6)可得:

$$S_v = TS - 20 \log r - \Psi - 10 \log (c\tau/2) \tag{7}$$

式(7)即为目标离散分布状态下,体积反向散射强度 S_v 与单体目标强度 TS 之间的关系;其中等效波束立体角 Ψ 、声速 c 及脉冲宽度 τ 均为仪器技术参数。从式(7)可以看出, S_v 与 TS 之间的关系还与目标所处深度 r 有关,当 TS 一定时, S_v 随着 r 的增加而降低。

1.2 积 分 阈 的 确 定

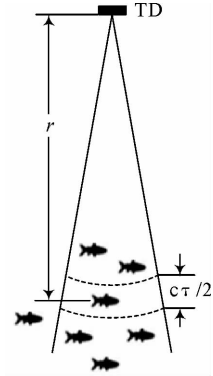
为确保来自最小单体目标的信号能够参与积分,积分阈须依据最小单体目标的目标强度而定。假设评估对象的最小目标强度(在此将其定义为“目标强度阈值”)为 $TS_{threshold}$,则由式(7)可得以体积反向散射强度表示的积分阈值($S_{v,threshold}$)为:

$$S_{v,threshold} = TS_{threshold} - 20 \log r - \Psi - 10 \log (c\tau/2) \tag{8}$$

式(8)中, $TS_{threshold}$ 的确定可采取两种方法,即目标强度经验公式法和目标强度现场数据法。当评估种类的目标强度与体长经验公式已知时((Foote 1979,1987;Chen *et al.* 1990), $TS_{threshold}$ 可根据目标种类的生物学数据(最小个体的体长)和目标强度经验公式计算而得;当所用科研探鱼仪具有单体目标强度测定功能时, $TS_{threshold}$ 亦可根据目标种类的现场目标强度数据确定。

1.3 数 据 来 源 与 处 理

目标离散分布状态下积分阈确定方法的应用举例数据来自 2010 年 1 月黄海鲢 *Engraulis japonicas* 越冬



TD: 换能器; TD: Transducer

图 1 目标离散分布与单体目标探测示意
Fig. 1 Scheme of scattered target distribution and single target detection

场调查。声学数据由“北斗”号调查船装备的 SIMRAD EK500 回声探测-积分系统采集,利用 Echoview(V 4-90)声学数据后处理软件进行分析处理。

声学仪器的校正按照国际通用的标准目标方法进行(Foote 1982;Foote *et al.* 1987),校正地点为青岛港外胶州湾锚地。声学仪器的主要技术指标和参数设置见表 1。

表 1 SIMRAD EK500 回声探测-积分系统的主要技术指标和参数设置

Table 1 Main technical specifications and parameter settings of the SIMRAD EK500 scientific echosounder

技术参数 Technical parameters	参数值 Settings	技术参数 Technical parameters	参数值 Settings
换能器型号 Transducer type	ES38B	换能器目标强度增益 TS transducer gain (dB)	26.85
频率 Frequency (kHz)	38	横向波束宽度 Athwardship 3 dB beam width (°)	6.8
最大发射功率 Maximum transmitting power (W)	2 000	纵向波束宽度 Alongship 3 dB beam width (°)	6.7
波束的等效立体角 Equivalent beam angle (dB)	-20.9	海水对声波的吸收系数 Absorption coefficient (dB/km)	10
脉冲宽度 Pulse duration (ms)	1.0	声速 Sound velocity (m/s)	1500
换能器体积反向散射强度增益 Sv transducer gain (dB)	26.46		

生物学样品由底拖网和变水层拖网采集,生物学测定依据常规方法进行(黄海水产研究所 1981)。

积分阈的确定根据式(8)分别采用目标强度经验公式和目标强度现场数据两种方法进行,其中鳀目标强度的经验公式为(Chen *et al.* 1990;赵宪勇等 2003):

$$TS = 20 \log l - 72.5 \quad (9)$$

式中, l 代表鳀的全长(cm)。

2 结果与分析

2.1 目标强度-体长经验公式法积分阈的确定

根据 2010 年 1 月黄海鳀资源调查拖网取样所获生物学数据,调查水域内鳀的最小体长约为 4.0 cm。根据式(9)可得 4.0 cm 鳀的目标强度为 -60.5 dB。

需要指出的是,式(9)所示鱼类目标强度经验公式给出的是同一体长鱼类个体的平均目标强度。考虑到鱼类个体之间声学特性的差异以及同一个体不同倾角状态下表征目标强度的不同(于海园等 2007),参照声波指向性和目标强度补偿原理(Rudstam *et al.* 2009)将鳀目标强度阈值 $TS_{threshold}$ 设定为 -66 dB。由式(8)以及表 1 中对应的等效波束指向角、脉冲宽度和声速等参数可得相应的积分阈值为:

$$S_{v,threshold} = -20 \log r - 43.9 \quad (10)$$

图 2 展示了积分阈随目标所处水层深度的变化图,由此即可根据式(10)确定所分析水层鳀的积分阈,如 20 m 水层鳀的积分阈约为 -70 dB,50 m 水层鳀的积分阈则约为 -78 dB。

2.2 目标强度现场数据法积分阈的确定

图 3 给出了 2010 年 1 月黄海鳀资源调查中所获一段离散分布的声学映像。该映像呈现出充分的离散分布状态,为单体鱼类目标强度的现场测定提供了可能。图 4 为该航段内单体鳀目标的目标强度分布图。统计分析显示,图 4 中 90% 以上单体目标的 TS 介于 -61 ~ -70 dB 之间;其中 TS 介于 -69 ~ -70 dB 之间的单

体目标数量占探测到的单体目标总数的 5%，若将 TS 阈值设置为 -69 dB，则将有 5% 的单体目标被排除在积分之外。另从图 5 可以看出，最小目标强度随着所处水层深度的增加略有降低的趋势，与鳀目标强度的水深依赖性是一致的(Zhao *et al.*, 2008);其全水层最小目标强度为 -70 dB。因为冬季调查中浮游生物较少，根据拖网取样数据和调查水域主要鱼类的分布特征，以及对鳀目标强度的认知，这些单体目标应属于评估对象鳀的范畴，因此认为现场测定的鳀最小 TS 为 -70 dB，亦即 TS 阈值为 -70 dB。由式(8)可得积分阈值为：

$$S_{v,threshold} = -20\log r - 47.9 \tag{11}$$

由式(11)可以看出，根据目标强度现场数据法所得 20 m 水层鳀的积分阈约为 -74 dB，50 m 水层鳀的积分阈则约为 -82 dB。

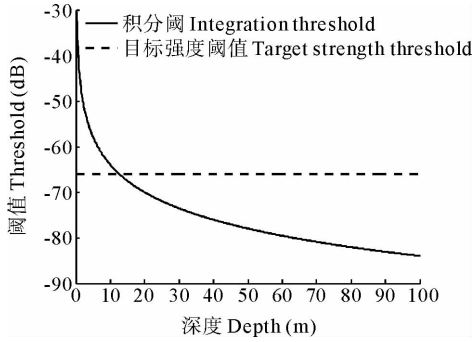


图 2 积分阈与目标所处水层之间的关系
Fig. 2 Relationship between the integration threshold and the target range

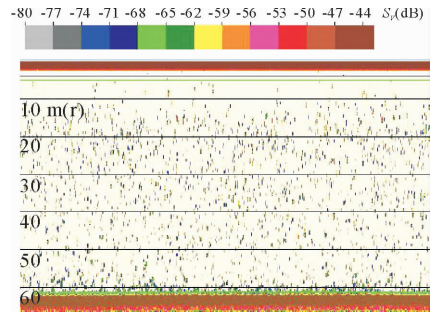


图 3 离散分布的鳀映像
Fig. 3 A segment of echogram showing scattered anchovy distribution

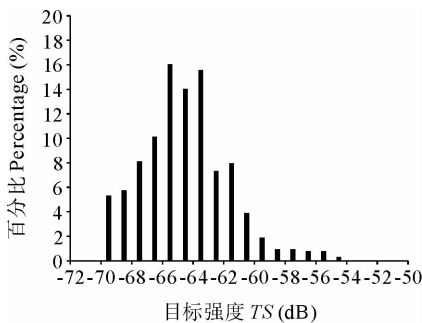


图 4 鳀的目标强度分布
Fig. 4 Target strength distribution of anchovy

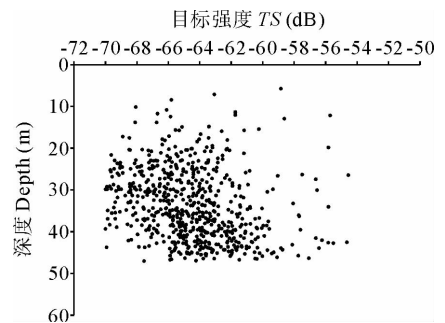


图 5 鳀的目标强度-水层分布
Fig. 5 Target strength versus depth distribution of anchovy

3 讨论

积分阈是排除噪声和非目标信号、提高资源评估准确性的有效手段。囿于数据处理手段的限制，以往国内在积分阈的设定方面多依靠经验进行(赵宪勇等 2003)。近年来，随着声学仪器数字化技术应用程度的不断提高以及声学数据后处理系统的推广与应用，科学地开展积分阈的选择研究既已成为可能，也是渔业资源声学评估研究的迫切需求。本研究以黄海鳀资源调查数据为例，探讨了目标离散分布状态下积分阈确定的两种方法；但从式(10)和式(11)可以看出，两种方法所得结果存在 4dB 的差异。那么这种差异因何而来？两种方法各自的适用范围如何？

3.1 目标强度-体长经验公式法积分阈的确定

应用目标强度-体长经验公式法的前提条件是评估种类的目标强度-体长经验关系业已知晓(Foote 1987; 赵宪勇等 2003)。此时由于“目标”明确，积分阈的设定具有明确的针对性；对本研究而言，评

估对象为鳀,所用目标强度-体长关系也是来自鳀,不会出现“张冠李戴”的现象。但该方法可能存在两个方面的潜在误差来源。第一方面的误差主要源自鱼类目标强度的动态特性。首先,鱼类对声波的反射具有很强的指向性,鱼类个体某一瞬间所呈现出的表征目标强度与其所处行为姿态(倾角)密切相关(Foote 1980b;于海园等 2007)。Zhao(1996)的测定结果显示同一尾自由游动的鲱鱼的目标强度可表现出 25 dB 的差异;而目标强度-体长关系经验公式给出的是一个平均值,它既是针对鱼类个体声散射指向性的平均,也是针对不同个体声反射能力的平均;将一个平均结果应用于可能表现出各种不同行为姿态的不同个体势必引起一定的误差。其次,鱼类的目标强度还可能存在一定的季节特征。Ona(1990)指出,鱼类脂肪含量和性腺发育的季节性变化能够引起鳀的体积与形状、进而目标强度的季节性变化;Zhang 等(2011)根据鳀脂肪含量的周年变化预测鳀目标强度的季节变化可达 2.45 dB。而目标强度-体长关系经验公式或是源自某一特定季节的研究,或是源自多个季节的平均,因此将其应用于另一特定季节的调查很可能引起一定的误差。另外鱼类目标强度也可能存在一定的水深依赖性(Zhao *et al.* 2008),这在图 5 所示不同水层最小目标强度上也有所体现,因此将已有目标强度-体长经验关系应用于某一特定水层或全水层积分阈的确定也可能引起一定的误差。

第二方面的误差主要源自取样渔具的选择性。采用目标强度-体长经验公式法确定积分阈,需要知道评估种类的最小体长,而这一般需要通过拖网取样来获得。由于任何渔具均具有其特定的选择性,渔获物的最小体长能否代表调查期间评估种类的最小体长则成为决定积分阈选择准确与否的另一重要因素。实践中对渔具选择性以及调查季节评估种类体长分布的了解将有助于积分阈确定的准确性。

由于对声波的反射存在较强的指向性,鱼类现场表征目标强度中总有部分低于根据目标强度-体长关系计算所得的平均目标强度(Higginbottom *et al.* 2008)。为降低此类单向误差,本研究参照声波指向性补偿原理(Rudstam *et al.* 2009),对根据最小体长计算的目标强度-60.5 dB 进行了调整,将目标强度阈值设定为-66 dB。这种补偿应视为目标强度-体长关系方法中的一个必要环节和有机组成部分。

3.2 目标强度现场数据法积分阈的确定

应用目标强度现场数据法的前提是所用声学仪器具有单体目标的目标强度测定功能,这已是绝大多数现代科研探鱼仪的基本功能之一,因此具有广阔的应用前景。其优点是目标强度数据直接来自资源评估调查,且不需要评估种类的体长数据,因此可以避免目标强度-体长经验公式法所面临的两方面误差。然而声学仪器自身无法区别来自不同目标种类的信号,因而也无法确保所获单体目标的目标强度现场数据均是来自评估种类,因此可能出现“张冠李戴”现象,从而在评估种类最小目标强度的确定、进而积分阈的确定上出现误差,这在多种类混栖情况下尤其如此。因此目标强度现场数据法适用于种类组成较为单一或混栖种类目标强度差异较大的情况。实践中,为尽可能实现评估种类的准确鉴定并确定合适的 *TS* 阈值,需要充分利用所掌握的数据进行判断,这些数据包括 *TS* 频率分布和深度分布、生物学信息、调查水域物种组成、评估种类的声学 and 生物学特性等,这些现场信息和历史经验积累是积分阈设定的重要参考(Misund 1997;赵宪勇等 2000、2003)。

本研究所用数据来自黄海鳀越冬场,所选映像(图 3)为典型的鳀离散分布映像,因此-70 dB 的最小现场目标强度应是评估种类 *TS* 阈值的真实反映。因此对本研究而言,式(11)所示积分阈应比式(10)更为可信。

本研究表明,在目标离散分布状态下,目标强度-体长经验公式和目标强度现场数据两种方法均可作为积分阈的选择提供较为科学的依据,这为积分阈、包括不同水层积分阈的客观设定提供了有效手段。但从以上讨论可以看出,两种方法各自又都存在一定的误差源,在实际应用中还可根据评估种类目标强度的动态特征以及鱼类空间分布等相关渔业生物学辅助信息,对评估种类的 *TS* 阈值进行适当的调整,以进一步提高积分阈设定的准确性。当条件允许时,也可同时采用两种方法进行估测,相互印证,优化选择。

参 考 文 献

- 于海园,赵宪勇. 2007. 鳀(*Engraulis japonicus*)目标强度的模型法研究. 应用声学,26(5):267~276
- 林德芳. 1997. 东、黄海鳀鱼集群分布模式的研究. 水产学报,21(1):44~48
- 赵宪勇,陈毓楨. 1996. 狭鳕(*Theragra chalcogramma* Pallas)目标强度的现场测定. 中国水产科学,3(4):19~27
- 赵宪勇,陈毓楨,李显森,陈卫忠,李永振,孙继闯,金显仕,唐启升. 2003. 多种类海洋渔业资源声学评估技术和方法探讨. 海洋学报,增刊 25(1):

192~202

- 赵宪勇,金显仕,唐启升. 2000. 渔业声学及相关技术的应用现状和发展前景. 见:王志雄. '99 海洋高新技术发展研讨会论文集. 北京:海洋出版社,55~62
- 黄海水产研究所. 1981. 海洋水产资源调查手册. 第二版. 上海:上海科学技术出版社
- Chen, Y., and Zhao, X. 1990. *In situ* target strength measurements on anchovy (*Engraulis japonicus*) and sardine (*Sardinops melanostictus*). In: Proceedings of International Workshop on Marine Acoustics, March 26-30, 1990, Beijing; China Ocean Press, 329~332
- Demer, D. A. 2004. An estimate of error for the CCAMLR 2000 survey estimate of krill biomass. *Deep Sea Research II*, 51: 1 237~1 251
- Dorn, M., Barbeaux, S., Guttormsen, M., Megrey, B., Hollowed, A., Wilkins, M., and Spalinger, K. 2003. Assessment of walleye pollock in the Gulf of Alaska. Stock assessment and fishery evaluation report for the groundfish resources of the Gulf of Alaska. North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK
- Foote, K. G. 1979. On representing the length-dependence of acoustic target strengths of fish. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36: 1 490~1 496
- Foote, K. G. 1980a. Importance of swimbladder in acoustic scattering by fish: a comparison of godoid and mackerel target strength. *Journal of the Acoustic Society of America*, 67: 2 084~2 089
- Foote, K. G. 1980b. Effect of fish behaviour on echo energy: the need for measurements of orientation distributions. *Journal de Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 39: 193~201
- Foote, K. G. 1982. Optimizing copper spheres for precision calibration of hydroacoustic equipment. *Journal of the Acoustic Society of America*, 71: 742~747
- Foote, K. G. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of the Acoustic Society of America*, 82: 981~987
- Foote, K. G., Knudsen, H. P., Vestnes, G., MacLennan, D. N., and Simmonds, E. J. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. ICES Cooperative Research Report, 144:1~57
- Gauthier, S., and Rose, G. A. 2001. Diagnostic tools for unbiased *in situ* target strength estimation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58: 2149~2155
- Goss, C., Middleton, D., and Rodhouse, P. 2001. Investigations of squid stocks using acoustic survey methods. *Fisheries Research*, 54: 111~121
- Hewitt, R. P., and Demer, D. A. 2000. The use of acoustic sampling to estimate the dispersion and abundance of euphausiids, with an emphasis on Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Fisheries Research*, 47: 215~229
- Higginbottom, I., Woon, S., and Schneider, P. 2008. Hydroacoustic data processing for standard stock assessment using Echoview. Technical Manual, vol. 1. Myriax Software PtyLtd. Available from; <http://www.echoview.com>
- MacLennan, D. N., Fernandes, P. G., and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 365~369
- Misund, O. A. 1997. Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7: 1~34
- Mitson, R. B., and Knudsen, H. P. 2003. Causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation. *Aquatic Living Resources*, 16: 255~263
- Ona, E. 1990. Physiological factors causing natural variations in the acoustic target strength of fish. *The Marine Biological Association of the UK*, 70: 107~127
- Parker-Stetter, S. L., Rudstam, L. G., Sullivan, P. J., and Warner, D. M. 2009. Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes. *Great Lakes Fish. Comm. Spec. Pub.* 09-01
- Robertis, D. A., and Higginbottom, I. 2007. A post-processing technique to estimate the signal-to-noise ratio and remove echosounder background noise. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 1 282~1 291
- Rudstam, L. G., Parker-Stetter, S. L., Sullivan, P. J., and Warner, D. M. 2009. Towards a standard operating procedure for fishery acoustic surveys in the Laurentian Great Lakes, North America. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 1 391~1 397
- Simmonds, E. J., and MacLennan, D. N. 2005. *Fisheries acoustics: Theory and Practice*. Second edition. Oxford; Blackwell Science
- Watkins, J. L., and Brierley, A. S. 1996. A post-processing technique to remove background noise from echo integration data. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 339~334
- Zhao, X. 1996. Target strength of herring measured by the split-beam tracking method. M. Phil thesis, Department of Fisheries and Marine biology, University of Bergen
- Zhao, X. 2006. *In situ* target-strength measurement of young hairtail (*Trichiurus haumela*) in the Yellow Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 46~51
- Zhao, X. Y., Wang, Y., and Dai, F. Q. 2008. Depth-dependent target strength of anchovy (*Engraulis japonicus*) measured *in situ*. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 882~888
- Zhang, B., Zhao, X., and Dai, F. 2011. Monthly variation in the fat content of anchovy (*Engraulis japonicus*) in the Yellow Sea: implications for acoustic abundance estimation. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 29(3): 556~563