

文章编号 : 1004 - 7271( 2003 )01 - 0040 - 05

## 渔业资源评估中声学方法的应用

陈 刚<sup>1</sup> 陈卫忠<sup>2</sup>

( 1. 上海水产大学海洋学院 , 上海 200090 2. 东海水产研究所资源室 , 上海 200090 )

**摘 要** : 介绍了渔业资源声学评估的国内外研究现状 , 基本工作原理 , 声学仪器 , 声学评估的主要工作过程。其中重点介绍了声学调查与评估 , 它包括调查设计、数据采集、目标强度确定、映像分析、数据处理、生物量计算等。最后指出了目前渔业资源声学评估工作中尚待解决的若干问题 , 例如在各鱼种积分值分配问题上 , 很大程度取决于生物学取样网次中渔获物的组成比例 , 以及在各个水层中存在不同的非生物或者非调查种类的生物将影响回波信号以及探鱼仪映像的形成 , 这些都需要渔业工作者在对比研究的基础上予以辨别后 , 再对数据和映像进行预处理等。并提出了未来发展方向的展望。

**关键词** : 声学评估 ; 渔业资源 ; 资源量

中图分类号 : S932 文献标识码 : A

## The application of acoustic method in fishery resources survey

CHEN Gang , CHEN Wei-zhong

( 1. Ocean College , Shanghai Fisheries University , Shanghai 200090 , China ;

2. Fisheries Resources Division , East China Sea Fisheries Research Institute , Shanghai 200090 , China )

**Abstract** : The development of the acoustic method in fishery resources survey at home and abroad , the basic principles , apparatus , and the main working process were described in this paper. Emphasis is placed on the acoustic survey , which includes survey design , acoustic instrument calibration , survey data collection , fish target strength determination , echogram scrutinizing , data processing and fish biomass estimation. Finally , it discussed the bottlenecks and pitfalls in the current application of acoustic survey , such as integral data allot and non-investigating species interfering. Integral data allot was mainly determined by sample collecting and its constitute , the echo signal and echogram could be interfered by some other species who existed in different levels of ocean. These problems can only be resolved after fishery scientists data processing and echogram scrutinizing at the basis of contrast and research of the fish distribution , then it brought forward the prospect of acoustic survey development.

**Key words** : acoustic survey ; fishery resources ; biomass

渔业资源评估就是利用现行的种种科学方法对渔业资源进行评估和估算 , 它是渔业资源管理的基础。准确、及时评估鱼类资源数量对渔业管理和生产具有重要意义。

运用声学方法调查、评估鱼类资源是国际上 70 年代初期才推广应用的新技术 , 目前在国际上挪威、英、美、苏、日等国家都采用此法 , 对大西洋和北太平洋水域的渔业资源进行过评估调查。声学仪器( 探鱼仪 ) 的使用始于 30 年代 , 自 60 年代中期 , 出于渔业资源管理的需要 , 探鱼技术从单纯的助渔手段转向

散射声场等理论和实验研究。推动了渔业声学的迅速发展,建立起一套完善的渔业资源声学评估方法。近年,声学评估法已成为渔业资源调查的一个重要手段。与其它方法相比,它具有快速准确、覆盖面大、预报及时而又不损害鱼类资源等优点。随着分辨率的提高以及仪器的更新换代,相信这种方法将成为评估资源的重要方法之一。根据此方法得到资源量后,研究并且制定有效的管理模式以及方案,从而为渔业管理决策部门提供更直观的、具有充分说服力的管理策略,为渔业管理服务。

## 1 国内外研究现状

声学评估方法自 1984 年引入我国以来,曾成功应用于黄、东海鳀资源<sup>[1]</sup>和太平洋狭鳕资源调查<sup>[2]</sup>,成为我国海洋渔业资源调查和研究的重要方法之一。

中挪联合黄、东海声学评估调查是我国首次运用声学手段对渔业资源进行的评估调查,通过调查发现黄、东海鳀资源极为丰富,估算其资源蕴藏量为 300 万吨,年可捕捞量在 50 万吨以上<sup>[1]</sup>,是一种大有开发利用前途的小型中上层鱼类。调查船“北斗”号是 1984 年 10 月由挪威政府赠送给中国政府的,具有 80 年代世界先进水平的渔业资源调查船。根据中挪两国的水产科技合作计划,1984 年 11 月开始,黄海水产研究所和挪威国家海洋研究所合作,利用“北斗”号的探鱼—积分系统,对黄、东海(26°00′–39°00′N;128°30′E 以西)海域进行鱼类资源声学评估调查。目的是调查黄、东海鳀及其他经济鱼类的分布、行动规律、渔场形成条件、资源量、可捕量,进行捕捞试验,探讨生产性开发的可能性和规律。

国际上利用声学方法评估渔业资源已逐步普及,例如日本水产学家大下诚二<sup>[3]</sup>于 1990 年到 1994 年期间利用积分探鱼仪调查了日本九州以西及以南水域的远东拟沙丁鱼产卵群体的数量。捷克国家水生研究机构于 1992 年夏天到 1995、1996 年的春秋两季,对国内的四大淡水湖的渔业资源做了声学评估,主要评估的鱼种为鲈、鲤、和欧鳊<sup>[4]</sup>。加拿大国家海洋和声学局于 1997 年 10 月运用常规的双波束和分裂波束探鱼仪对大西洋深海鱼类特别是鲱鱼进行了评估<sup>[5]</sup>。俄罗斯于 1996–1999 年间运用传统的拖网和声学评估方法对勘察加半岛的狭鳕资源进行了评估<sup>[6]</sup>;Hagstroem 等用声学方法评估了波的尼亚湾的中上层鱼类的资源<sup>[7]</sup>。

## 2 基本原理

渔业声学是水声学在鱼类资源研究领域的一个应用分支<sup>[8]</sup>,因此渔业资源的声学评估具有浓厚的物理学背景和严格的物理学基础。

### 2.1 鱼类的声学探测

鱼类的声学探测是利用鱼体与海水介质物理特性的不同实现的。探鱼仪换能器发射的声波在水中传播,当遇到鱼类时,由于鱼体各组织器官的声阻抗率与海水介质的不同,鱼体会对入射声波产生散射作用,部分反向散射至换能器,被换能器接收,即所谓的回声信号。

### 2.2 鱼类的目标强度

鱼类的目标强度是利用声学方法对渔业资源进行定量评估的一个重要参数,它是描述鱼类对声波的反射能力的一个物理量。目标强度的定义为<sup>[9]</sup>:

$$TS = 20 \lg(\sigma/4\pi) \quad (1)$$

式中:TS 表示鱼类的目标强度, dB;

$\sigma$  表示鱼类的声学截面,  $\mu\text{m}^2$ 。

事实上  $\sigma$  是一个意义更加明确的物理量,它可以理解为鱼体对入射声波产生散射的等效面积。然而  $\sigma$  是一个无法直接测量的物理量,为将其与鱼类可以度量的生物学特征联系起来,人们多采用这一与鱼体的物理截面相关的量,并建立目标强度—体长经验公式<sup>[9]</sup>:

$$TS = a \lg l + b \quad (2)$$

式中:  $l$  为鱼体体长, cm;

a、b 为回归系数,由目标强度测定实验确定。

### 2.3 回声积分

在渔业资源声学调查过程中,回声探测-积分系统沿调查航线对换能器以下的水体进行准连续(一般 1 秒一次)脉冲探测,所谓积分即是在垂直(水深)方向上将来自同一脉冲的回声信号进行累加、在水平(航线)方向上将一定航程内的所有脉冲的回声信号进行累加,然后对脉冲进行平均,即得给定航程内整个有效探测水体回声信号的平均积分值。

### 2.4 资源评估

渔业资源的声学评估以渔业声学的线性原理为基础,即回声积分值与所探测的鱼类密度成线性关系:

$$\rho = S_A / \sigma \quad (3)$$

式中  $\rho$  为鱼的密度, ind/n mile<sup>2</sup>;

$S_A$  为积分值,即每平方海里水域内鱼的声学截面总数, m<sup>2</sup>/n mile<sup>2</sup>;

$\sigma$  代表鱼类个体的平均声学截面, m<sup>2</sup>。

对某一特定的鱼种而言,当其积分值和平均声学截面(或目标强度)已知时,即可计算其面积密度,进而对整个调查海域的资源量进行评估。

## 3 声学仪器

国内海上调查主要使用两种型号的回声探测-积分系统,即 Simrad EK400-QD 系统和 SimradEK500 系统,其中后者是目前国际上最先进和应用最广泛的声学调查仪器。

SimradEK500 是集探鱼仪、积分仪和目标强度测定仪于一体的集成式回声探测-积分系统,该系统采用多通道信号并行接受技术,瞬时测定动态范围达 160dB,可对小至浮游生物、大到顶级捕食动物的所有海洋生物的回波信号进行准确测定,信号处理全部数字化,增益稳定、自噪声低。该系统采用先进的分裂波束技术,可以确定目标在波束中的位置,并根据波束的指向性对其回声信号进行补偿,从而实现鱼类目标强度的现场直接测定。

## 4 声学调查和评估

海洋生物资源的声学调查与评估工作是一项系统工程,包括设计航线、收集数据、生物学取样、数据预处理、确定目标强度、映像分析、积分值分配、生物量密度和总生物量的计算等多个环节。

### 4.1 航线设计

采用系统式预定航线的设计方法。走向以尽量垂直于调查生物的密度梯度线为设计原则,力求每条调查断面均可覆盖各种密度类型的生物分布区,以保证断面数据的代表性和资源评估结果的准确性。由于大部分海洋生物的分布与水深及海底地形有着密切的关系,因此调查断面的走向基本以垂直于岸线为主,如在黄、东海为东西走向,南海为南北走向。

### 4.2 声学数据的收集

采用走航式声学调查方法,利用声学探测-回声积分系统沿调查航线对换能器以下水体进行连续垂直探测和声学数据采集。有效积分水层为换能器表面之下 5 m 至海底之上 0.5 m 或至某一特定截止水深。积分始于换能器之下 5 m 是为了避开换能器的近场区,因为在近场区内换能器尚未形成稳定的、可预测的波束,无法对探测目标进行准确的定量分析,积分止于海底之上 0.5 m 是为了避免来自不规则海底或地表之上的岩石等异物的回波“污染”目标生物的积分值。将整个采样水体分为若干积分水层以研究海洋生物的垂直分布特征及其垂直迁移习性。基本航程取样单位为 5n mile,即每 5 海里给出一组平均积分值。

### 4.3 生物学取样

在底拖网定点调查所获生物学数据的基础上,根据声学映像适当增设中上层或底层拖网机动取样站位,以获得映像分析所必需的生物学资料。

### 4.4 鱼类目标强度参数的确定

鱼类的目标强度是将回声积分值转换为绝对资源量的关键参数。对大多数鱼类而言,公式(2)为其目标强度与体长的关系式。

鱼类目标强度与体长的经验关系式可利用现场测定法确定。进行目标强度现场测定时要求目标鱼类离散分布且组成单一,而多数鱼类具有不同程度的集群习性且为多鱼种混栖,因此国内外仅对有限的种类进行过目标强度现场测定。

### 4.5 声学数据的预处理

声学仪器输出的积分值包括与积分水层相对应的一定时间段内换能器所接收信号的总和。通常情况下这些信号均来自水下生物。但在某些特殊情况下,如风浪天气、船舶倒车以及遇到特殊海底时,船底气泡和海底信号等“噪声”均可能“污染”积分值,这些都需要在数据预处理过程中予以修正。预处理后的数据包括每5海里的总积分值、各分水层积分值、时间、平均水深、表层水温及经纬度等。

### 4.6 生物学数据的预处理

由于回声积分值是探测到的所有生物的回声总值,为计算每种生物资源的生物量,必须根据目标生物物的生物学特性及相应的声学特性(目标强度)将总积分值分配到每一种类,其中某些种类不在资源评估之列,需要将其从总积分值中扣除。因此在映像分析和积分值分配之前,需统计各网次渔获物中除底栖虾蟹类和鲆鲽类等非常贴底鱼种之外的所有鱼种和头足类的尾数、平均长度、平均体重等数据,供积分值分配和生物量密度计算之用。

### 4.7 映像分析与积分值分配

映像分析是根据生物学取样和映像本身的特征来鉴定或推断产生回波映像的目标生物种类,积分值分配是将每5海里的总积分值分配到每一生物种类,这两项工作同时进行。映像分析与积分值分配是以5n mile为单位进行的。生物学取样方式一般以定点底拖网为主,因此每5海里内评估种类的确定以底拖网渔获资料为主要依据。以每网渔获资料代表站位前后若干个5n mile,以映像特征和水深、水温等辅助信息确定代表网次的更换。由于总积分值并不一定完全来自渔获生物,有时还来自浮游生物,因此首先需要确定参与积分值分配的生物种类的总积分值,然后再将其分配至每种鱼类。另外,由于底拖网的取样水层有限,不能在任何情况下都客观地反映水下所有水层的生物组成情况,因此在实际操作中,还根据映像特征和分层积分数据对部分种类的积分值进行了必要的调整。

### 4.8 海区生物量密度及总生物量的计算

生物量密度的计算公式为:

$$\bar{\rho}(B) = \bar{w} S_A / [1000 \times \bar{\sigma}] \quad (4)$$

式中: $\bar{\rho}(B)$ 为给定鱼种的生物量密度,kg/n mile<sup>2</sup>;

$\bar{w}$ 为给定鱼种的平均体重,g;

$S_A$ 为给定鱼种的积分值,m<sup>2</sup>/n mile<sup>2</sup>;

$\bar{\sigma}$ 为给定鱼种的平均声学截面,m<sup>2</sup>。

海区生物量的计算公式为:

$$B = \bar{\rho}(B) \times A \quad (5)$$

式中:B为给定分区内某一评估种类的生物量,单位为kg;

$\bar{\rho}$ 为给定分区内所有5n mile生物量密度数据(包括零值)的算术平均值;

A为给定分区的面积,单位为n mile<sup>2</sup>。

某一评估种类的所有分区生物量之和即为整个海区内该种类的总生物量。

## 5 讨论与展望

声学方法对在生态系统中占绝对优势的单一鱼类的评估最为准确,比如我国对黄、东海鳀的声学调查<sup>[1]</sup>。但是对于多种类海洋生物资源的声学评估仍处于起步阶段,并且存在着问题,有待于改进。例如在各鱼种积分值分配问题上,很大程度取决于生物学取样网次中渔获物的组成比例。因此取样渔获组成是否准确反映水下参与积分值分配的生物的组成比例将直接左右积分值分配的准确性,而且任何网具都具有一定选择性,即使是专用调查网,对不同种类和个体大小生物的选择性也不尽相同,所以必须根据经验对此做出判断,这也将导致误差。还有在各个水层中存在不同的非生物或者非调查种类的生物,它们都将影响回波信号以及探鱼仪映像的形成,这里就需要渔业工作者在对比研究的基础上予以辨别后,再对数据和映像进行预处理,这些都可能影响最终的计算结果。

声学评估是渔业资源研究中正逐步发展和完善起来的高新技术,它能够迅速地对海洋生物资源进行较为准确的评估,在世界渔业发达国家中得到了普及和推广,目前为止声学方法已经成为国际上普遍采用的渔业资源调查与评估方法。我国作为渔业第一大国,同样对声学评估的研究与应用都达到了比较先进的地步,而且必将成为我国渔业研究中越来越重要的手段之一。

### 参考文献:

- [1] 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[J]. 海洋水产研究, 1990, 11: 1 - 143.
- [2] 唐启升, 王为详, 陈毓桢, 等. 北太平洋狭鳕资源声学评估调查研究[J]. 水产学报, 1995, 19(1): 8 - 20.
- [3] 大下诚二. Acoustic Surveys of Spawning Japanese Sardine, *Sardinops melanostictus*, in the Waters off Western and Southern Kyushu, Japan[J]. Fisheries Science, 1998, 64(5): 665 - 672.
- [4] Kubecka J, wittingerova M, Horizontal beaming as a crucial component of acoustic fish stock assessment in freshwater reservoirs[M]. Fish. Res, vol35 no.1 - 2, 1998, 99.
- [5] Cochrane N A, Melvin G D. Scanning sonar as a supplement to conventional acoustic fish stock assessment in Atlantic Canada[M], Proceedings-of-ocean-97, vol. 1, MTS-IEEE, 1997. 766.
- [6] Kuznetsov V V, Gruzevich A K. Monitoring of walleye Pollack stock status[J]. Rybn-Khoz-Mosc, no. 2, 2000, 22 - 24.
- [7] Hagstroem O, Palmén L E, Haakansson N. An acoustic survey on pelagic fish in the Gulf of Bothnia in August 1991[J]. Aqua-Fenn. 25, 1995, 57 - 70.
- [8] 赵宪勇, 金显仕, 唐启升. 渔业声学及其相关技术的应用现状和发展前景[A]. 99 海洋高新技术发展研讨会论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2000, 55 - 62.
- [9] MacLennan D N, Simmonds E J. Fisheries acoustics[M]. London: Chapman & Hall, 1992, 325.