

南海深海声学散射层垂直分布和 昼夜变化初步研究^{*}

刘世刚^{1,2}, 汤 勇¹, 陈国宝^{2,3*}, 张 俊^{2,3}, 姚 壮^{1,2}, 郭 禹^{1,2}, 刘华波⁴

(1. 大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023; 2. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 广东 广州 510300;
3. 农业部 南海渔业资源环境科学观测试验站, 广东 广州 510300; 4. 中国海监 威海市文登区大队, 山东 威海 264400)

摘 要:2013-09 利用船载 Simrad EK60 科学鱼探仪(38 kHz)对南海深海声学散射层进行了连续监测,并结合变水层拖网采样分析了其垂直分布和昼夜变化。结果表明,南海深海存在 2 个明显的声学散射层,特征深度分别为 0~100 m 和 350~700 m,并且 2 个散射层间存在较为明显的昼夜垂直移动现象。其随时间变化情况为:16:00—19:00,350~700 m 散射层中的部分生物逐渐向上移动到 0~100 m 散射层;04:00—07:00,这部分上升的生物又逐渐移回至 350~700 m 散射层。变水层拖网采样结果发现,白天 0~100 m 散射层内渔获物数量较少,夜间 0~100 m 散射层内渔获物较多,验证了声学映像所检测到的 2 个散射层间确实存在昼夜移动的现象。

关键词:南海;深海散射层;垂直分布;昼夜变化

中图分类号:S932.4

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2015)02-0173-09

深海散射层是大洋深水中普遍存在的生物聚居的水平层,最早于 1942 年在太平洋首次被发现^[1],一般认为浮游动物是散射层的主要形成者^[2-4]。由于各种海洋生物都有特定活动规律和空间分布的特征,而且一般都与大尺度的环境条件有关,故可把深海散射层的探测作为研究海洋生态学和监测海洋环境的手段,因此散射层的特性和分布规律受到众多海洋生物和海洋物理学家的重视^[5-8]。随着南海近海渔业资源衰退,我国日益重视南海外海渔业资源的研究和开发^[9-10]。深海散射层蕴藏着丰富的鱼类资源,可能是未来人类重要的蛋白来源^[6-7]。深海浮游动物和鱼类昼降夜升的习性能够将海洋上层的碳带到深海,对全球海洋碳的循环和流通有重要意义^[11]。此外,深海散射层研究是评估中层和深海鱼类资源量的基础,亦有助于更准确地分析评估南海外海上层鱼类资源。

近年来,渔业水声学技术在我国得到快速发展,但主要是对渔业声学的基础性研究^[12-13]和近岸、淡水及岛礁鱼类研究^[14-16],关于深海鱼类和散射层声学研究的报告不多见^[8]。本文利用 Simrad EK60 科学鱼探仪和中层拖网对 0~100 m 和 350~700 m 水层 24 h 内声学反向散射强度的变化进行了连续现场观测和研究,分析了南海南部 1 000 m 以浅的深海散射层的垂直分布和昼夜变化特征,并研究了单目标回波强度与深度的关系,旨在为南海外海渔业开发和深海鱼类研究积累资料。

^{*} 收稿日期:2014-04-10

资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目——南海外海大洋性头足类声学评估技术(2013ZD03)和频差技术在南海外海多鱼种映像差别中的应用研究(2014TS18);国家科技支撑计划项目——南海外海捕捞技术与新资源开发(2013BAD13B06);农业部财政重大专项项目——南海渔业资源调查与评估(NFZX2013);国家财政专项项目——南海海洋捕捞信息动态采集网络(E935)

作者简介:刘世刚(1989-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要从事渔业资源和渔业声学方面研究。E-mail: lsgsounder@163.com

*** 通讯作者:**陈国宝(1975-),男,广东徐闻人,研究员,硕士,主要从事渔业资源与渔业声学方面研究。E-mail: chenguobao@scsfri.ac.cn

(张 骞 编辑)

1 材料与方法

1.1 声学数据采集

声学数据由“南峰号”科考船所载 Simrad EK60 科学鱼探仪采集于南海南部,其换能器工作频率包括 38 kHz 和 120 kHz,主要技术参数见表 1。为保证声学调查原始数据的准确性,采用国际通用的标准球法对声学仪器进行了校正^[17]。由于 120 kHz 换能器探测能力达不到本次研究的深度,只采用 38 kHz 换能器所采集的数据。此次对南海南部的调查时间为 2013-09-05—10-03,在近一个月的航行中对南海深海海域的生物垂直分布进行了观测,在整个航次中散射层深度基本不变,生物的昼夜迁移规律也相同,只是迁移时间会随着纬度的变化稍有变动。由于航行中风浪较大,噪音较多,因此进行了漂流监测以获得较好数据。本文所用数据为漂流监测期间所采集,时间为 2013-09-28T00:00—29T24:00,位置为 117°34′~117°50′E,12°13′~12°35′N,海域深度变化较平缓,平均深度为 3 500 m,漂流速度为 1.2 n mile/h。

表 1 Simrad EK60 鱼探仪主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of Simrad EK60 echosounder

换能器参数	数 值	设定参数	数 值
换能器频率/kHz	38	发射功率/W	2 000
波束类型	Split	脉冲宽度/ms	1
横向波束角/°	7.0	声速/m·s ⁻¹	1 535
纵向波束角/°	7.0	声吸收系数/dB·m ⁻¹	0.007

1.2 声学数据分析

声学数据由 Echoview 4.9 软件进行处理,研究深度设置为 0~1 200 m,最小航程积分单元为 600 声脉冲。通过设置阈值、虚拟变量法和手动法消除噪声^[18]。积分阈值和目标强度阈值根据研究目标分别设置为 -75 dB 和 -65 dB^[19-20]。

为研究不同水层生物单体目标强度的分布特点及变化规律,利用 Echoview 4.9 中的单目标探测功能,对漂流监测期间白天和夜间的 0~700 m 水层内的单体回波信号进行了分析。所用数据为 2013-09-29T 10:00—12:00 和 22:00—24:00 分布较为稳定时的数据。表 2 为检测单体目标相关参数的设置。

表 2 单体检测的参数设置

Table 2 Parameters setting of single target detection

参 数	参数设置	参 数	参数设置	参 数	参数设置
单体目标探测方式	Split beam-method2	最小脉冲长度/ms	0.80	最大波束补偿/dB	6.00
目标强度阈值/dB	-65.00	最大脉冲长度/ms	1.50	短轴角度/°	0.30
脉冲长度决定级/dB	6.00	波束补偿模式	Simrad LOBE	长轴角度/°	0.30

1.3 生物学样品采集

为获取散射层生物组成信息,进行了变水层拖网采样,网具参数如表 3 所示。拖网深度由 Simard PI44 网位仪监测,网位仪置于网具上纲。拖网水层分别是两个水层中声学回波较强的 70 m 和 420 m。实验中共进行了 3 次拖网,分别为白天 70 m、夜晚 70 m 和夜间 420 m。所有渔获物全部速冻带回陆地实验室进行鉴定和测量。

表 3 采样网具主要技术参数
Table 3 Main parameters of sampling net

网 具	单船中层有翼单囊拖网	网 具	单船中层有翼单囊拖网
网口网衣拉直周长/m	176.0	网口网目数/个	220
网衣纵向拉直总长/m	110.9	网口网目尺寸/mm	80
上纲长度/m	59.52	网囊网目尺寸/mm	50

2 结 果

2.1 散射层垂直分布

早上和傍晚散射层部分体积反向散射强度(volume backscattering strength, S_v)映像如图 1。 S_v 值越大反向散射强度越强,生物密度越高。夜间声学映像主要集中在 100 m 水层以浅,400~500 m 水层也存在大量声学映像。到清晨 05:00 左右,映像开始从 100 m 水层内下降到 350 m 以下,主要体现在第 3 000~3 600 声脉冲。白天,声学映像集中在 350~700 m,100 m 水层以浅仍有部分较弱映像;傍晚,部分映像又从 350~700 m 水层上升到 100 m 水层以内,主要体现在第 9 600~10 200 声脉冲,但仍有部分映像留在此水层内。在迁移过程中所有映像并不是同时迁移,有先后之分。

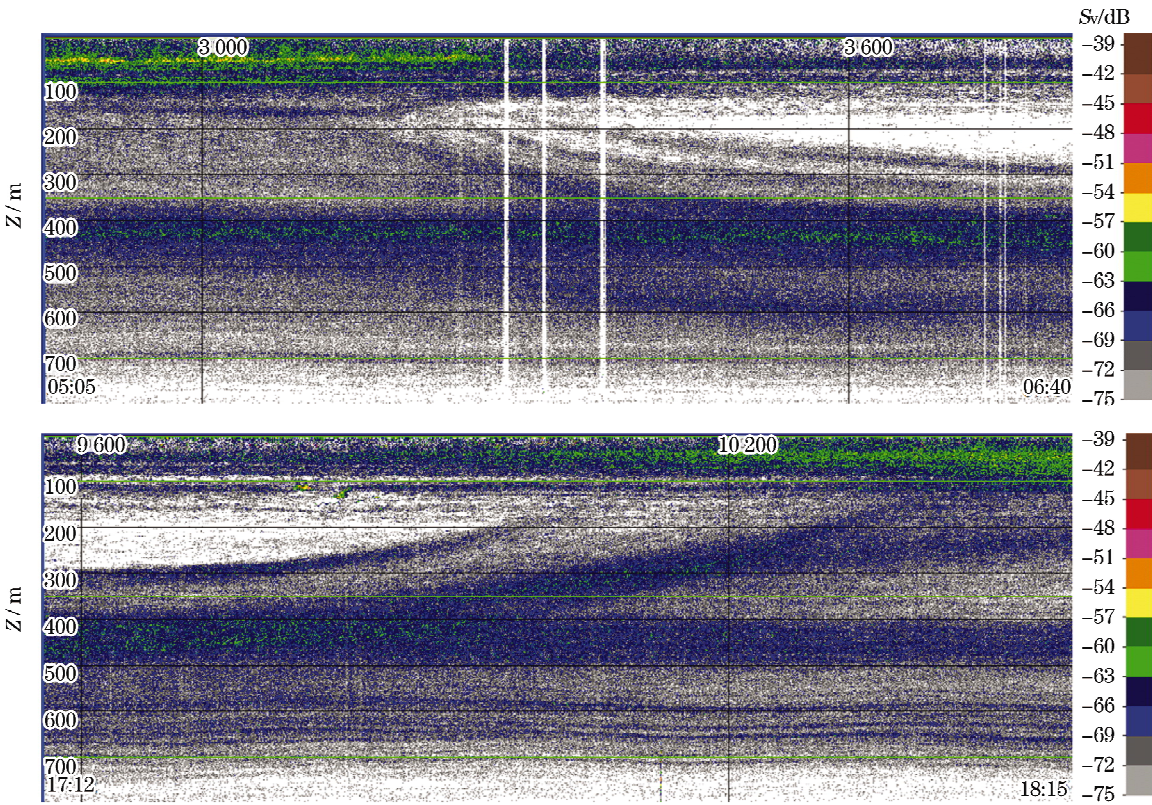


图 1 清晨(05:05—06:40)和傍晚(17:12—18:15)散射层变动声学映像图

Fig.1 Echograms showing movement of scattering layers in the morning(05:05—06:40) and at dusk(17:12—18:15)

图 2 是对数坐标系下白天和夜间海里面积散射系数 (Nautical Area Scattering Coefficient, NASC) 值随深度的变化, 采用数据为 2013-09-28, 2013-09-29 2 d 数据的均值, 反映了生物的垂直分布。NASC 值是海里面积散射系数, 又称“积分值”, 即单位平方海里水域内鱼的声学截面面积, 与资源量成正比^[21-22]。白天生物主要集中在 350~700 m, 没有出现明显的峰值, 但 425~475 m 水层的 NASC 值要明显高于其他深度, 在 550~700 m 内分布较平均; 夜间, 生物主要在 0~100 m 和 350~600 m 水层, 2 个峰值的深度分别为 75 m 和 450 m, 且前者 NASC 值远大于后者, NASC 最大值出现在夜间的 0~100 m 水层内 (图 2)。

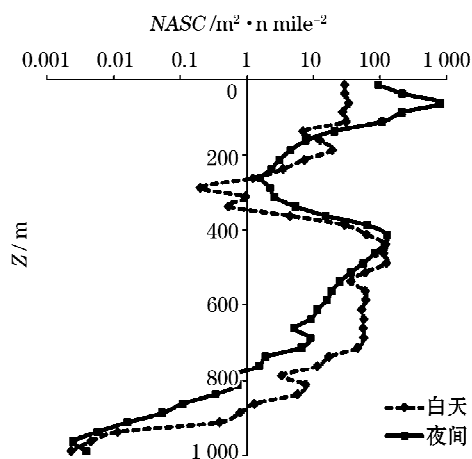


图 2 NASC 值随深度的变化图

Fig. 2 Vertical distribution of NASC

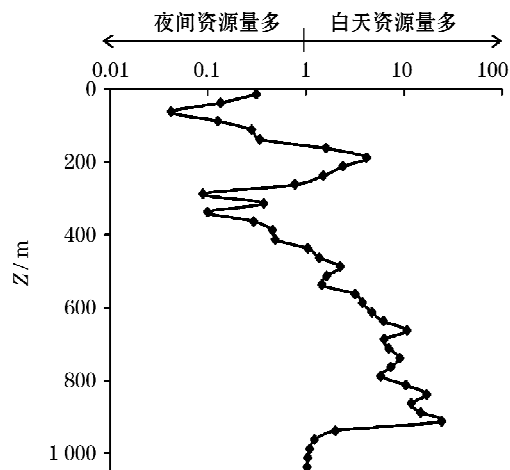


图 3 白天与夜间资源量比

Fig. 3 Ratio of daytime NASC versus nighttime NASC

图 3 是白天与夜间资源量之比。在深度一定时, 比值大于 1 说明白天资源量比夜间多, 比值小于 1 说明夜间资源量比白天多。0~150 m 和 250~450 m 水层内夜间生物量明显高于白天, 450~900 m 水层白天资源量明显高于夜间, 这是由于夜间下层生物向上层垂直移动所引起 (图 3)。150~200 m 水层白天资源量也高于夜间, 可能是由于白天部分生物生活在这部分水层, 夜间移动到上层, 而从下层移动上来的生物很少停留在该水层所引起。

2.2 散射层昼夜变化

根据 NASC 随深度的变化, 分别对白天和夜间生物较为集中的 0~100 m 散射层和 350~700 m 散射层 48 h 内的变化进行了分析 (图 4)。图中 2 d 数据变动趋势基本一致, 28 日 350~700 m 的 NASC 值比 29 日略大。

0~100 m 散射层在 00:00—03:00 NASC 值较高, 约为 $1\,300\text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 04:00 时, NASC 出现一个峰值 $1\,600\text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 然后开始下降, 直到 07:00 稳定在 $150\text{ m}^2/\text{n mile}^2$ 左右; 整个白天 NASC 值基本不变。傍晚 17:00 时 NASC 值开始上升, 08:00 后稳定在 $1\,100\text{ m}^2/\text{n mile}^2$ 左右; 夜间, NASC 均值约为白天的 8 倍 (图 4)。

350~700 m 散射层凌晨时 NASC 值较低, 约为 $600\text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 至凌晨 04:30 时 NASC 值开始上升, 07:30 后稳定在 $1\,000\text{ m}^2/\text{n mile}^2$ 左右; 白天基本不变。15:30 时出现一个峰值后下降; 白天 NASC 均值约为夜间的 2 倍 (图 4)。

一个散射层 NASC 值下降, 到另一个散射层 NASC 值上升的时间延迟约为 1 h, 即生物从一个散射层移动到另一个需要约 1 h (图 4)。

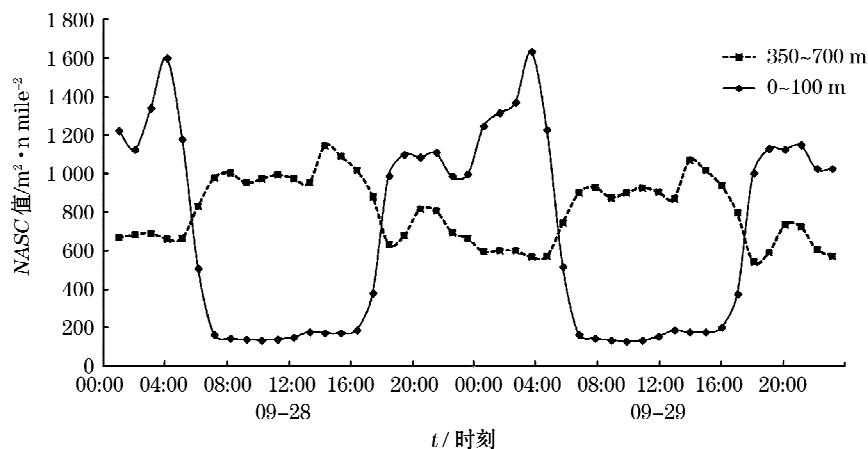


图4 2013-09-28—29 2个散射层内 NASC 值的连续变动

Fig. 4 Variations of NASC of the two deep scattering layers on 2013-09-28—29

2.3 单体目标强度随深度变化

图5为2013-09-29T10:00—12:00和22:00—24:00分布较为稳定时单体目标强度(Target Strength, TS)随深度的分布图。白天,在上层中(200 m以浅)检测到的生物 TS 大都较小,小于-40 dB;下层中(350~700 m)检测到的生物 TS 都较大,大于-40 dB,而且生物在下层中分布较均匀。夜间,生物上升之后,100 m 以内检测出的单体数量明显增加,并且检测出一些 TS 值在-45~-40 之间的较大个体(图5)。

不同水层生物单体目标强度的分布表明,白天,生物基本呈现随单体目标强度增大,其深度加深的规律。傍晚,生物向上迁移时,下层散射层中有一部分没有离开散射层,只是集中在层内较浅的深度(400~500 m),与 S_v 映像一致。

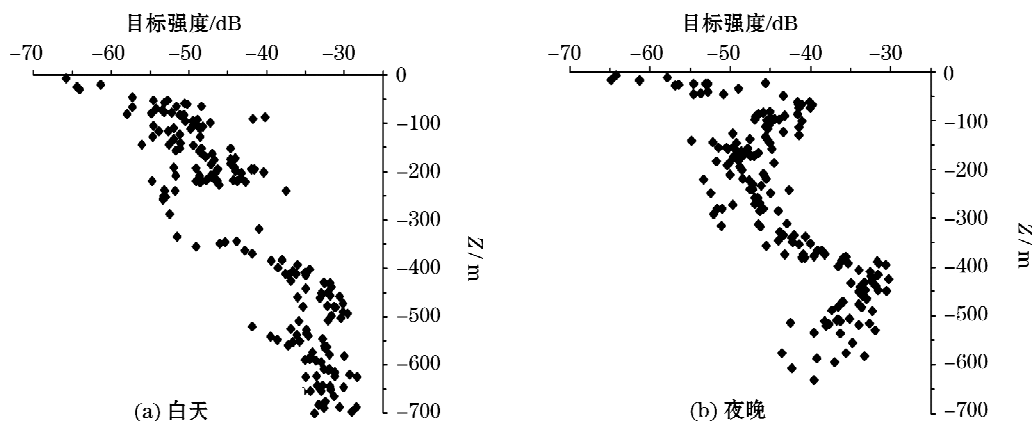


图5 单体检测

Fig. 5 Single target detection

2.4 散射层渔获样品组成

中层拖网主要渔获样品组成信息见表4。白天对上层散射层70 m拖网(网次1)基本没有渔获物。夜间下层散射层部分映像移动到上层以后,在同样的深度进行拖网(网次2),捕获到较多的渔获物,其中有大量的深海鱼类,主要属于灯笼鱼科和钻光鱼科,另外也捕获到一些虾类和头足类。这些生物白天生活在深

水,夜间到上层觅食。傍晚从下层散射层上升的映像是由这些深海鱼类引起的。400 m 水层进行的拖网(网次 3),采集到的样品主要是深海鱼类,大多属于灯笼鱼科和巨口鱼科,但个体普遍比第 2 网中样品大,另外也捕获到一些头足类。因此下层散射层中不上升的声学映像,是由这些没有迁移习性的生物组成,这些生物以其他浮游动物和小型深海鱼类为食。

中层拖网渔获组成表明,夜间深海散射层部分生物移动到 100 m 以浅,白天通常移动到 350 m 以深,这与声学映像数据分析结果一致。

表 4 采样数据

Table 4 The data of sampling

网 次	拖网时间	深度/m	渔获种数	总量/条	主要渔获物
第 1 次	16:06—17:01	70	1	3	柳叶鳗(Leptocephalus)
第 2 次	19:00—20:05	70	19	155	灯笼鱼科(Myctophidae)
					钻光鱼科(Gonostomatidae)
					武装乌贼科(Enoploteuthis)
第 3 次	19:38—20:38	410	17	102	灯笼鱼科(Myctophidae)
					巨口鱼科(Stomiidae)
					手乌贼科(Chiroteuthidae)

3 讨 论

3.1 深海生物昼夜垂直移动规律分析

很多研究将深海散射层的整体的移动作为研究对象,认为散射层是整体变动,将垂直移动的这部分生物认为是散射层的全部组成^[23-24]。但本研究表明南海深海散射层除了有进行昼夜垂直移动生物,可能还包括不进行昼夜垂直移动的生物,而进行迁移的生物也有先后顺序,并不是同时迁移,这可能与物种生活习性不同有关。南海深海声散射层主要存在于两个深度,分别为 0~100 m 和 350~700 m,并且 2 个散射层内生物呈现出有规律的昼夜变化。白天生物主要活动在下层散射层内,分布较为均匀。夜间下层散射层内部分生物开始上升,集中在上层散射层内。夜间各个散射层的内部生物呈现不均匀分布,0~100 m 散射层内,70 m 左右生物最密集,NASC 均值可达 800 m²/n mile²;350~700 m 散射层内,450 m 左右生物最密集,NASC 均值为 140 m²/n mile²。

在生物昼夜迁移的过程中迁移速度也不是恒定的,从图 1 中可以看出:下降时开始较快,然后速度减慢;而上升时开始较为缓慢,然后加快。也就是说,在垂直迁移过程中,深度越深迁移速度越慢,深度越浅迁移速度越快。从图 3 中可以看出,一个散射层 NASC 值减少到另一个散射层 NASC 值增加的时间延迟约为 1 h,即生物从一个散射层迁移到另一个层的时间为约 1 h。如果按照平均上升高度为 400 m 计算,那么上升的平均速度约为 6.6 m/min,与其他海域的研究结果相似^[2]。生物垂直迁移呈周期性,周期为 1 d;这种迁移变动受到光照的影响,随着纬度和季节变化而变动。研究海域当天的日出与日落时间分别为 05:59 和 18:02,即生物向下迁移开始时刻约为日出前 2 h,到日出时基本全部迁移;向上迁移开始时刻约为日落前 1 h,日落后生物开始陆续到达上层散射层内。

3.2 南海散射层昼夜垂直移动对中上层鱼类声学评估的影响

目前我国正对南海渔业资源进行新一轮调查,渔业声学是其中一种重要调查方法,调查对象主要是中上层鱼类。夜间从深层迁移到中上层的生物,会使中上层生物资源量骤然增加;而这些生活在深层的生物不在调查范围内,会导致评估的中上层鱼类资源量大大增加。因此,在调查设计和数据后处理中必须考虑散射层

昼夜垂直移动对中上层鱼类评估的影响,如选择合适的调查时段或对夜晚的数据进行修正。

3.3 深海散射层的形成

从散射层的特点和分布看,浮游动物似乎是散射层的主要形成者,因为不少浮游动物,特别是磷虾类和管水母类,具有分布广、数量大,并常密集在一起的现象,并且它们一般都有昼夜垂直移动的特性^[24-25]。但更多的海上调查研究发现,有些游泳动物如鱼类(灯笼鱼等)和头足类(乌贼等),在散射层的形成中也起着相当重要的作用^[26-27]。本文中层拖网渔获信息也印证和支持以上结论。

本文研究结果表明南海的主要散射层在白天为 350~700 m。其他海域白天散射层分布的研究结果为:美国西岸的加利福尼亚州沿海为 280~460 m,太平洋热带和亚热带海域为 280~830 m,北冰洋为 25~200 m,大西洋东部海域为 350~600 m^[28]。有些海域白天可以观察到多个散射层,如红海可以观察到 4 个散射层,分别为 0~100,150~300,400~600,600~800 m^[29],本文也发现白天在 0~100 m 的较弱散射层中 S_v 值较小,且只检测到 TS 很小的单体,拖网中也没有渔获物;初步分析认为这个散射层由浮游生物、鱼卵和仔鱼引起。深层散射层的深度随海区不同而异,这可能跟各海区的深度及生物组成等的不同有关^[26-28]。

参考文献(References):

- [1] RITCHIE G S. The deep scattering layer[J]. *Journal of Navigation*, 1953, 6(4):395-402.
- [2] YOU F II, QIU Y D. A review of the research and development of oceanographic acoustics[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1964, 6(1): 109-119. 尤芳湖, 邱永德. 海洋声学及其进展[J]. *海洋与湖沼*, 1964, 6(1): 109-119.
- [3] SMITH P F. Further measurements of the sound scattering properties of several marine organisms[J]. *Deep Sea Research*, 1954, 2(1): 71-79.
- [4] HERSEY J B, BACKUS R H, HELLWIG J. Sound-scattering spectra of deep scattering layers in the western North Atlantic Ocean[J]. *Deep Sea Research*, 1961, 8(3): 196-210.
- [5] ANDERSON C I II, BRIERLEY A S, ARMSTRONG F. Spatio-temporal variability in the distribution of epi-and meso-pelagic acoustic backscatter in the Irminger Sea, North Atlantic, with implications for predation on *Calanus finmarchicus*[J]. *Marine Biology*, 2005, 146(6):1177-1188.
- [6] KLOSER R J, RYAN T E, YOUNG J W, et al. Acoustic observations of micronekton fish on the scale of an ocean basin: potential and challenges[J]. *Journal of Marine Science*, 2009, 66(6): 998-1006.
- [7] BURD B J, THOMSON R E, JAMIESON G S. Composition of a deep scattering layer overlying a mid-ocean ridge hydrothermal plume[J]. *Marine Biology*, 1992, 113(3): 517-526.
- [8] GONG L II, FENG L, WANG C II, et al. Deep scattering layer observation using acoustic correlation current profiler[J]. *Technical Acoustics*, 2008,27(6):807. 龚丽辉, 冯雷, 王长红, 等. 利用声相关流速剖面仪观测深水散射层[J]. *声学技术*, 2008,27(6):807.
- [9] JU H L. Studies on the Decrement of Fishery Resource in the South China Sea[J]. *Southeast Asian Studies*, 2012, (6): 51-55. 鞠海龙. 南海渔业资源衰减相关问题研究[J]. *东南亚研究*, 2012, (6): 51-55.
- [10] LIU J, IIU J. To promote the open sea fishery resources development and utilization of the South China Sea[J]. *China Fisheries*, 2013, (2): 5. 柳珺, 胡婧. 推进南海海外渔业资源开发利用南海渔业资源开发利用[J]. *中国水产*, 2013,(2): 5.
- [11] ROBINSON C J, GOÓMEZ-GUTIEÉRREZ J. Daily vertical migration of dense deep scattering layers related to the shelf-break area along the northwest coast of Baja California, Mexico[J]. *Journal of Plankton Research*, 1998, 20(9): 1679-1697.
- [12] TANG Y, FURUSAWA M. A method of averaging fish target strength in three dimensions[J]. *Technical Acoustics*, 2006,(Supp.): 63-64. 汤勇, 古澤昌彦. 单体鱼目标散射强度(TS)的三维平均方法[J]. *声学技术*, 2006,(增刊):63-64.
- [13] CHEN G B, LI Y Z, CHEN P, et al. Measurement of single-fish target strength in the South China Sea[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2012, 30: 554-562.
- [14] CHEN G B, LI Y Z, ZHAO X Y. Acoustic assessment of five groups commercial fish in South China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(2): 128-134. 陈国宝, 李永振, 赵宪勇. 南海 5 类重要经济鱼类资源声学评估[J]. *海洋学报*, 2006, 28(2): 128-134.
- [15] LI Y Z, CHEN G B, ZHAO X Y, et al. Acoustic assessment of non-commercial small-size fish resources in the northern waters of South China Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China: Natural Science*, 2005, (2): 206-212. 李永振, 陈国宝, 赵宪勇, 等. 南海北部海域小型非经济鱼类资源声学评估[J]. *中国海洋大学学报:自然科学版*, 2005, (2): 206-212.

- [16] TAN X C, SHI J Q, ZHANG H, et al. Hydroacoustic assessment of fish resources in the Lake Qinghai with EY60 echosounder[J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(6): 865-872. 谭细畅, 史建全, 张宏, 等. EY60 回声测深仪在青海湖鱼类资源量评估中的应用[J]. 湖泊科学, 2009, 21(6): 865-872.
- [17] 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, 144: 1-57.
- [18] ZHANG J, CHEN G B, CHEN P M, et al. Impact of subtracting Time Varied Gain Background Noise(TVGBN) on estimates of fisheries resources derived from post-processing acoustic data[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1468-1472.
- [19] ZHANG J, WANG X L, ZHAO X Y, et al. Definition and optimization of integration threshold in the post-processing of fisheries acoustic data I: Determination of integration threshold for scattered distribution[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(4): 41-47. 张俊, 王新良, 赵宪勇, 等. 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[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(4): 41-47.
- [20] ZHANG J. Acoustic evaluation based on the acoustic data post-processing system resources for anchovy of the Yellow Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. 张俊. 基于声学数据后处理系统的黄海鲱鱼资源声学评估[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [21] SIMMONDS J, MACLENNAN D N. Fisheries acoustics: theory and practice[M]. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing, 2005.
- [22] ZHAO X Y, CHEN Y Z. In situ target strength measurements on walleye pollock (*Theragra chalcogramma Pallas*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(4): 19-27. 赵宪勇, 陈毓桢. 狭鳕(*Theragra chalcogramma Pallas*)目标强度的现场测定[J]. 中国水产科学, 1996, 3(4): 19-27.
- [23] LÜ L G, QIAO F L, YUAN Y L. Latitudinal variation of deep scattering layer in the Western Pacific[J]. Chinese Journal of Hydrodynamics(B), 2004, 16(5): 571-581.
- [24] BARHAM E G. Deep scattering layer migration and composition; observations from a diving saucer[J]. Science, 1966, 151(3716): 1399-1403.
- [25] BARHAM E G. Siphonophores and the deep scattering layer[J]. Science, 1963, 140(3568): 826-828.
- [26] ANDREEVA I B, GALYBIN N N, TARASOV L L. Vertical structure of the acoustic characteristics of deep scattering layers in the ocean[J]. Acoustical Physics, 2000, 46(5): 505-510.
- [27] VINOGRADOV M E. Quantitative distribution of deep-sea plankton in the western Pacific and its relation to deep-water circulation[J]. Deep Sea Research, 1961, 8(3): 251-258.
- [28] FENG S Z, LI F Q, LI S Q. Introduction to Marine Science[M]. Beijing: Higher Education Press, 1999: 358-359. 冯士筌, 李凤歧, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 358-359.
- [29] KLEVIJER T A, TORRES D J, KAARTVEDT S. Distribution and diel vertical movements of mesopelagic scattering layers in the Red Sea[J]. Marine Biology, 2012, 159(8): 1833-1841.

Vertical Distribution and Diurnal Movement of the Deep Scattering Layer in the South China Sea

LIU Shi-gang^{1,2}, TANG Yong¹, CHEN Guo-bao^{2,3}, ZHANG Jun^{2,3}, YAO Zhuang^{1,2},
GUO Yu^{1,2}, LIU Hua-bo⁴

- (1. *School of Marine Technology and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;*
2. *South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;*
3. *KEY Field Scientific Experimental Station of South China Sea Fishery Resource and Environment, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;*
4. *China Marine Surveillance Team of Wendeng County, Weihai 264400, China*)

Abstract: The vertical distribution and diurnal movement of the deep scattering layer in the South China Sea were analyzed based on continuous monitoring of shipborne Simrad EK60 scientific echosounder (38 kHz) and biologically samples collected with pelagic trawl in September 2013. The results showed that two deep scattering layers exist in the deep water of the South China Sea and their typical depths are 0~100 m and 350~700 m, respectively. The scattering layers show an obvious diurnal vertical movement: from 16:00 to 19:00, some organisms in the 350~700 m layer move up to the 0~100 m layer; from 04:00 to 07:00, the organisms that once moved up to the 0~100 m layer move back into the 350~700 m layer. The sampling results of pelagic trawl also show that, the catches in the 0~100 m scattering layer during daytime are less than during nighttime. This confirms the phenomenon of diurnal movement between the two scattering layers detected by echogram.

Key words: the South China Sea; deep scattering layer; vertical distribution; diurnal movement

Received: April 10, 2014