

基于多波束测深仪的西太平洋声散射层测量

张超^{1,2,3,4,5}, 吕连港^{1,2}, 姜莹^{1,2}, 杨光兵^{1,2}, 刘宗伟^{1,2}, 杨春梅^{1,2}

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 海洋环境科学和数值模拟国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061; 3. 齐鲁工业大学(山东省科学院), 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 山东 青岛 266061; 4. 山东省海洋环境监测技术重点实验室, 山东 青岛 266061; 5. 国家海洋监测设备工程技术研究中心, 山东 青岛 266061)

摘要: 为了研究西太平洋声散射层的垂向分布特征和日变化规律, 分析了多波束测深系统的水体影像数据。观测结果表明, 西太平洋存在着两个声散射层, 一个声散射层位于 0~200 m, 另一个声散射层位于 500~700 m, 两个声散射层散射强度具有明显的日变化特征, 上层散射层的散射强度呈现白天弱, 夜晚强的特征, 而下层散射层的散射强度日变化规律与上层相反, 并且发现深散射层的厚度也存在日变化特征; 分析了此种方法的优缺点, 对以后声散射层的观测分析提供了新的思路。此外, 利用同时下放的声速仪(SVP)的温度和深度数据对下放式声学多普勒流速剖面仪(LADCP)的观测结果进行了修正, 得到了更为精确的声散射层垂向位置分布。

关键词: 声散射层; 多波束测深系统; 下放式声学多普勒流速剖面仪(LADCP); 声速仪(SVP); 西太平洋
中图分类号: P716 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2018)09-0001-09
DOI: 10.11759/hyxx20170224001

多波束测深声呐作为一种高效、高精度的海洋勘探设备, 是水下地形地貌测量最主要的仪器之一, 在军事和民用方面都有广泛的需求。多波束发展的初期, 仅侧重于水深的测量, 近年来, 利用多波束系统进行水体影响观测, 并应用于沉船、鱼群分布^[1-2], 甚至应用于冷泉^[2-3]和海洋内波^[4-5]的研究, 已经成为一个新兴的研究手段, 并取得了很好的效果。特别是近年来其成像结果在海底生境调查、地质分类等研究中都得到了广泛的应用^[6-7]。随着技术的发展、硬件运算速度的提高、磁盘存储空间快速增长, 多波束测量开始了三位一体的全海底空间测量: 海底测深、海底反向散射强度与水体的反向散射强度^[8]。在多波束测量时, 先向水下发射窄带脉冲声信号, 并接收海底及水体中散射体的反向散射信号, 通过对回波到达角度及到达时间进行估计, 可以获得海底的深度信息。通过水体回波强度及角度和到达时间, 可以得到水体的垂直方向的回波强度信息^[9]。

在海中某些确定的深度上, 聚集有数量众多的生物群, 这些密集浮游生物和鱼类能在一定的频率范围内散射声波, 深水散射层(DSL)主要是由这些群居的生物群所组成的^[10]。深水散射层的深度在一昼夜内要移动两次: 黄昏时, 散射层深度上升, 黎明

时, 散射层深度下降。造成散射层迁移的原因可能是散射层中的生物体根据其觅食生存的需求和光照的影响^[11], 形成复杂的食物网^[12], 导致散射层具有明显的日变化特征。目前这些研究主要利用的是声学多普勒流速剖面仪(ADCP)数据^[13-19]和回声探测仪的数据^[20]。本文利用船载的多波束数据对西太平洋的散射层进行了反演, 证明了多波束数据对于反演散射层的可行性, 并对其优缺点进行了分析, 对以后声散射层的观测分析提供了新的思路。此外, 本文还利用声速仪(SVP)的数据对 ADCP 的数据进行了修正, 得到了更为精确的散射层垂直分布特征。

1 确定散射层深度(温度及深度修正)

本文所采用的数据是由 RDI 公司的 300 kHz 骏马-哨兵型下放式声学多普勒流速剖面仪(LADCP)采集的, 其工作原理是向海水中发射一定频率(300 kHz)

收稿日期: 2017-02-24; 修回日期: 2017-03-14

基金项目: 国家自然科学基金(41576027); 国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目(U1406404)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41576027; NSFC-Shandong Union Project, No. U1406404]

作者简介: 张超(1990-), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 主要从事声学海洋学方面研究, E-mail: zhangchao_ouc@163.com

的声信号,当声波遇到海水中的颗粒物时发生反射,然后根据多普勒效应对反射回的声信号进行处理分析,便可得到海水中各层的流速信息,同时也会得到各层海水的回波强度,通过回波强度可以计算后向散射强度,本次试验中 LADCP 与 SVP 共同下放回收。

通过 LADCP 不能直接得到体积后向散射强度(S_v),该设备所记录的是回声强度数据 E ,其表达式为^[21]:

$$E = S_L + S_v + C_0 - 20\lg R - 2\alpha R \quad (1)$$

本文利用 1stBinRange 的回声信号计算海水 S_v ,将回波强度 E 转换为海水声体积后向散射强度,其公式为^[22]:

$$S_v = C + 10\lg[(T + 273.16)R^2] - L_{DBM} - P_{DBW} + 2\alpha R + K_C(E - E_r) \quad (2)$$

式中, C 为修正系数,取典型值 -143.5 dB; T 是换能器温度($^{\circ}\text{C}$); R 是沿声波波束方向散射体与 LADCP 的距离, $R = D/\cos\beta$, 其中 D 是海面到探测水层的垂直距离, β 是波束角度,即换能器发射声波方向与 ADCP 中轴线的夹角,本次所使用的 LADCP 波束角 β 为 20° ; $L_{DBM} = 101\lg L$, L 是发射脉冲长度(单位 m); $P_{DBM} = 101\lg P$, P 是声波发射功率(单位 W),对于本文

所采用的 LADCP 型号, P 取 $2\ 400$ W; α 是海水散射体吸收系数,取典型值 0.069 dB/m; K_C 是转换系数(dB/计数),范围是 $0.35\sim 0.55$,典型值为 0.45 ,本文取值为 0.45 ; E 是 LADCP 观测的回波强度(计数); E_r 是接收器接受信号的最低阈值(计数),取典型值 40 ,试验时 LADCP 的频率设置为 1 Hz,盲区为 4.23 m,层厚为 2 m,参考温度为 10°C 。

从公式(2)中可以看出,后向散射强度与温度剖面 and 深度都存在关系,而 LADCP 没有温度传感器,是无法测量温度的,并且其深度传感器精度比较低,所以可以通过 SVP 的温度和深度数据对后向散射强度计算进行校准。

本次试验所采用的声速仪是加拿大 AML 公司生产的,其声速测量范围 $1\ 375\sim 1\ 625$ m/s,温度测量范围 $-2\sim 32^{\circ}\text{C}$,电导率测量范围 $0\sim 70$ mS/cm,耐压达到 $6\ 000$ dBar。

我们选取了实验区域 4 个点的温度剖面,如图 1 所示,从图中可以看出 $2\ 000$ m 深度附近的温度与海表的温差 20°C 左右,而我们设置的 ADCP 参数温度为固定值 10°C ,存在偏差,所以可以利用声速仪的温度数据对公式中的 T 进行修正。

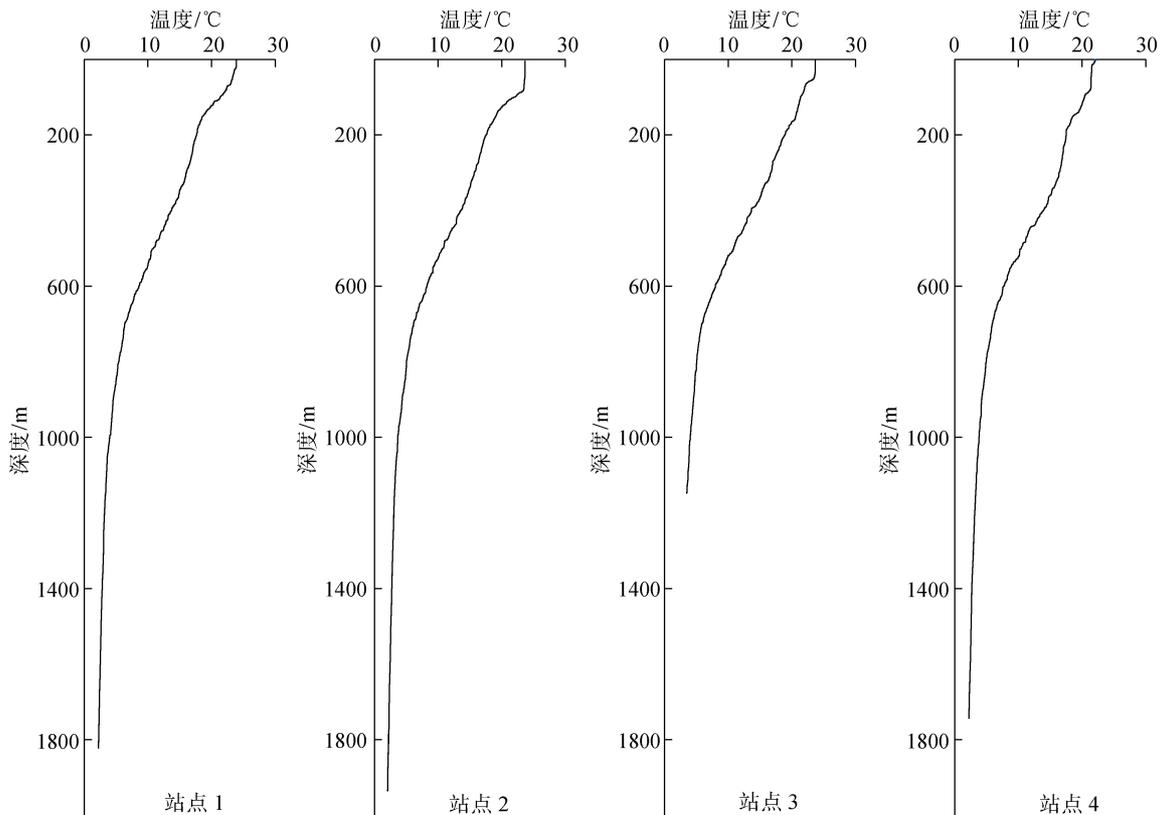


图 1 试验海域 4 个站点的温度剖面

Fig. 1 Temperature profiles of four stations in the experimental area

利用声速剖面仪的深度数据,与 LADCP 的深度数据进行对比,如图 2 所示。

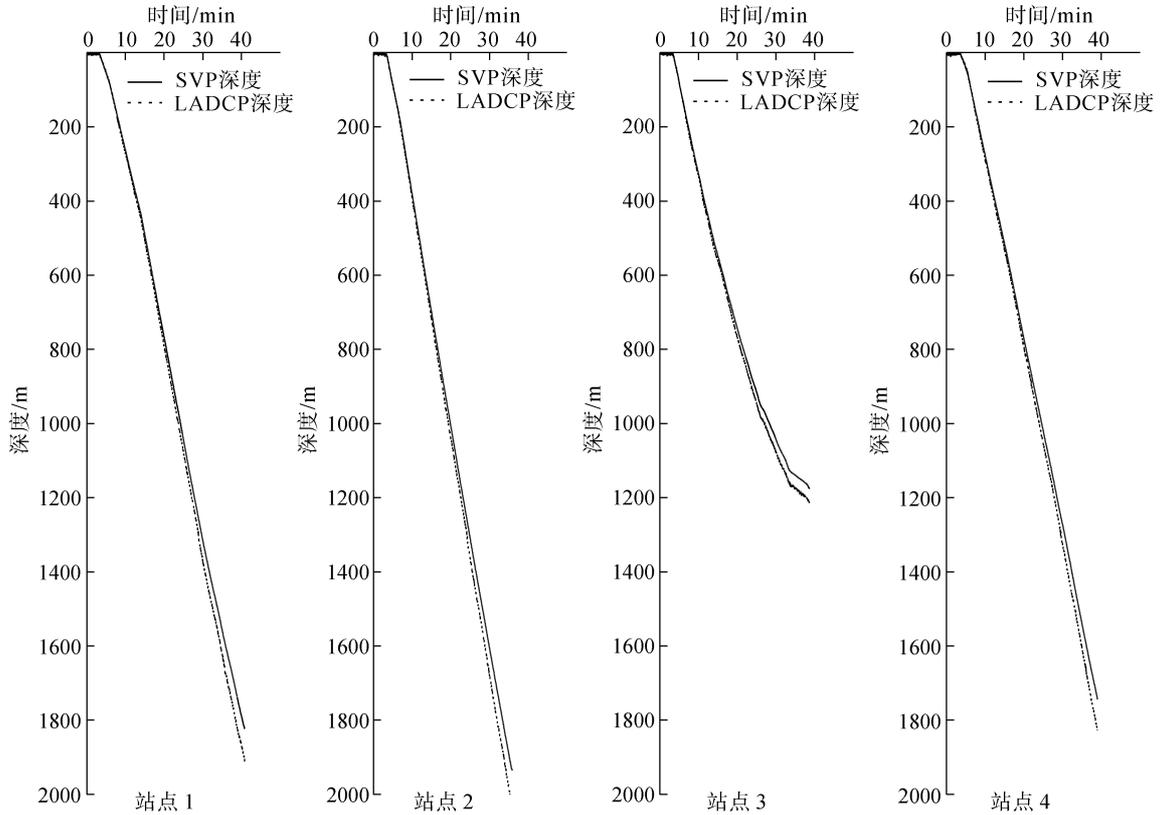


图 2 试验海域 4 个站点的 SVP 与 LADCP 深度对比

Fig. 2 The comparison between sound velocity profiler and lowered acoustic doppler current profilers for four stations in the experimental area

从图 2 可以看出,两种仪器对深度的测量偏差还是比较大的,并且随着深度的增加,其偏差逐渐增大,如图 3 所示,在 2 000 m 深度附近其差值接近 90 m,这种偏差程度对确定散射层的深度和厚度有所影响,所以我们可以利用 SVP 得到的温度及深度数据对后向散射强度进行修正,其修正后的结果与原后向散射强度剖面对比如图 4 所示。

图 4 为 4 个站点的后向散射强度剖面,其中实线表示未经过修正的后向散射强度剖面,虚线表示经过温度以及 SVP 深度修正的后向散射强度剖面。图中可以看出,整个剖面上,是否经过修正,对后向散射强度数值上的影响不大,但经过修正之后,深水区的散射层深度有略微的减小,厚度差异不明显。图 5 可以看出,修正前后的后向散射强度差值在深散射层附近是最大的,其他区域相对较小,所以,通过修正可以得到更为精确的深散射层强度垂向分布。

综上所述,由 LADCP 回波强度计算得到的后向散射强度与温度和深度存在关系,但是 LADCP 并没

有温度传感器,而且其深度传感器精度比较低,我们利用一起下放的 SVP 温度和深度数据对后向散射强度进行修正,经过修正之后发现第一个散射层基本没有变化,第二个散射层其整体强度变化不大,散射层的厚度基本不变,但是其深度整体减小大约 20 m,通过修正后的后向散射强度深度分布图我们确定第一个散射层深度位于 0~200 m,第二个散射层位于 500~700 m。

2 多波束数据反演深散射层

本次试验所用的多波束测深仪型号是 Kong-sberg EM122,走航连续观测。EM122 是一款全海深、高分辨率、高覆盖率的海底测绘多波束测深仪。其声波发射频率是 12 kHz,测量深度为 20~11 000 m。

EM 系列的多波束系统所记录的文件类型是以 ALL 为后缀的数据文件,其文件中数据包的主要类型有安装参数数据包、定位数据包、姿态传感器数据包、水深数据包、时间旅程与波束指向角数据包、

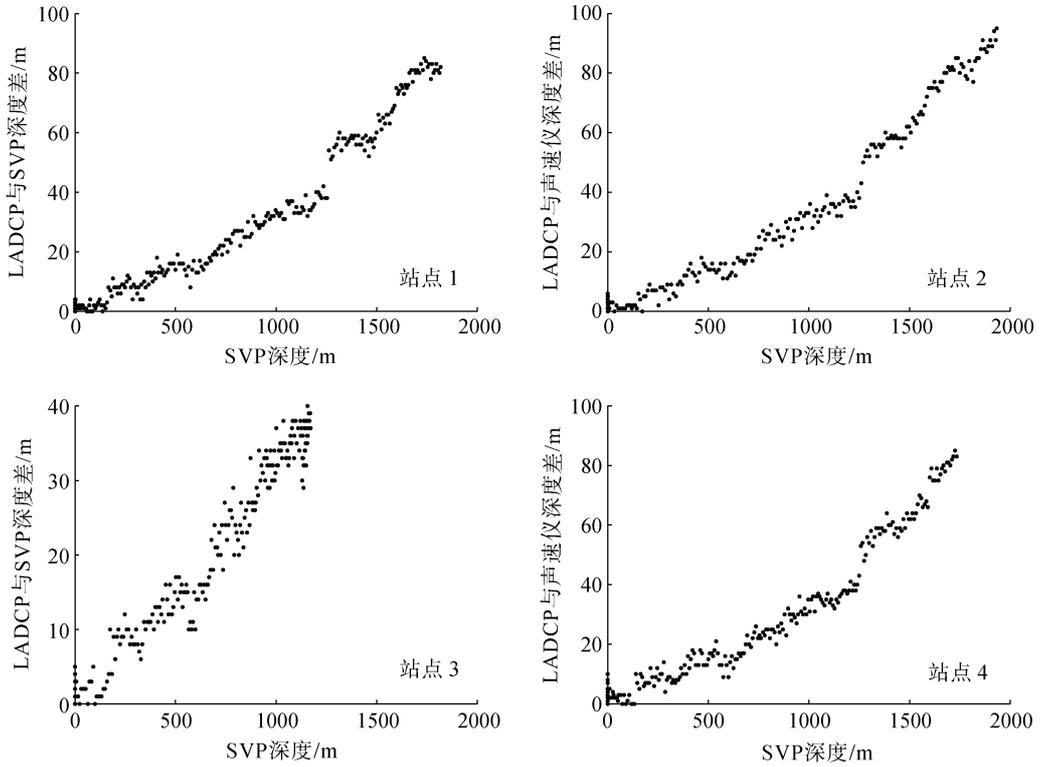


图3 SVP与LADCP深度差随下放深度的变化

Fig. 3 The variation of the depth difference between SVP and LADCP with lowering

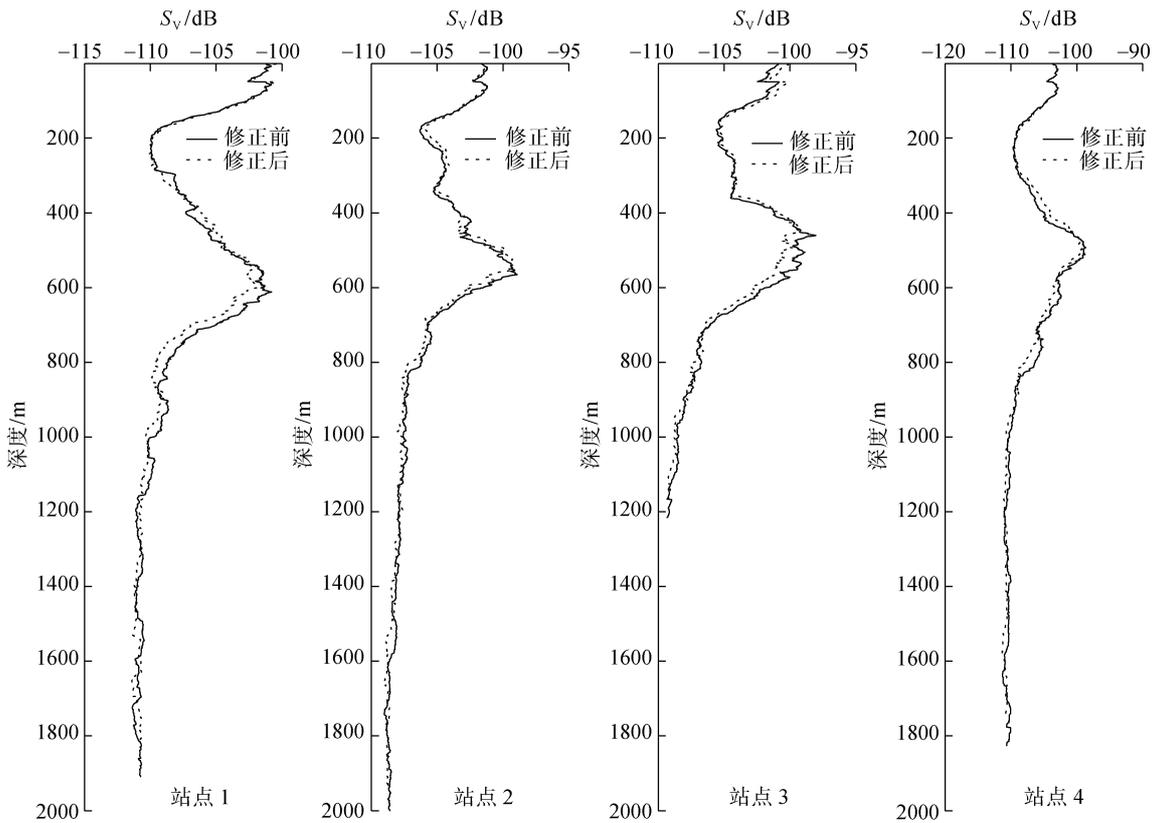


图4 修正前后后向散射强度剖面对比

Fig. 4 The comparison of profiles of backscattering intensity before and after correction

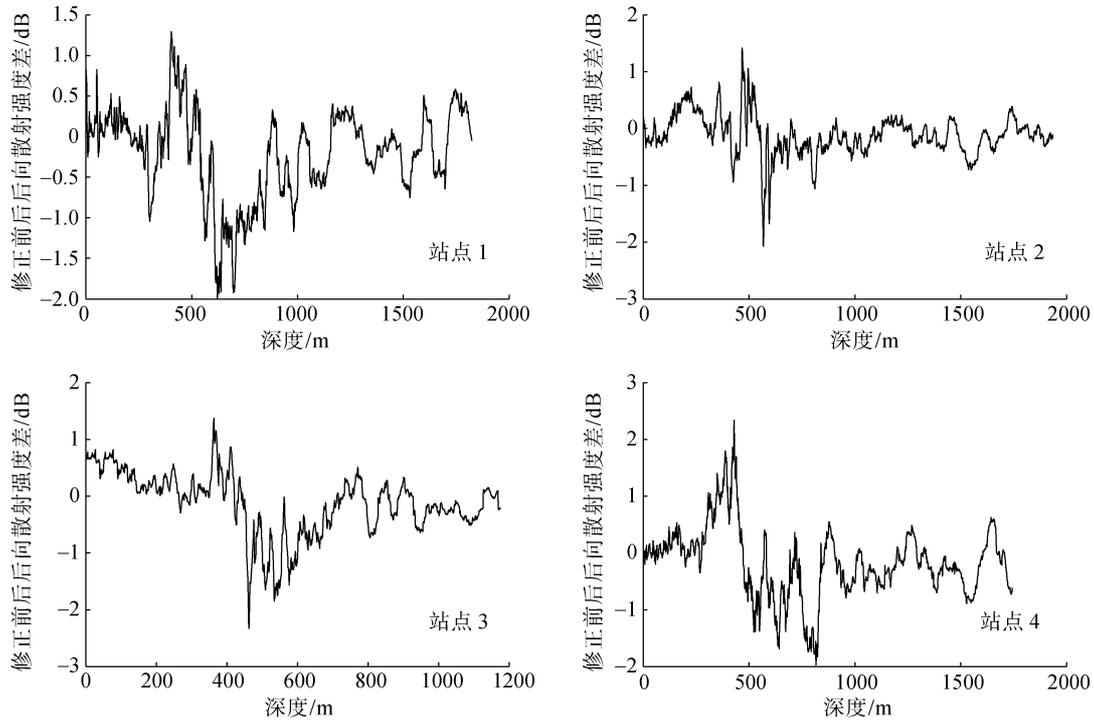


图 5 修正前后后向散射强度差剖面

Fig. 5 The profiles of backscattering intensity difference before and after correction

声速剖面数据包、水底影像数据包、水体影像数据包等，我们所利用的是水体影像数据包(Water column data)中的数据。

EM122 型多波束测深仪每次激发 288 列波束，其发射角度约 $-50^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，由图 6^[23]可知，多波束测量过程中，边缘波束位于波束扇面两侧，入射角大，所以边缘波束受船体姿态偏差和误差声速剖面影响较大且明显，而船底垂直正下方的中央波束区附近由于受到镜面反射的影响，多波束换能器接收到的多为

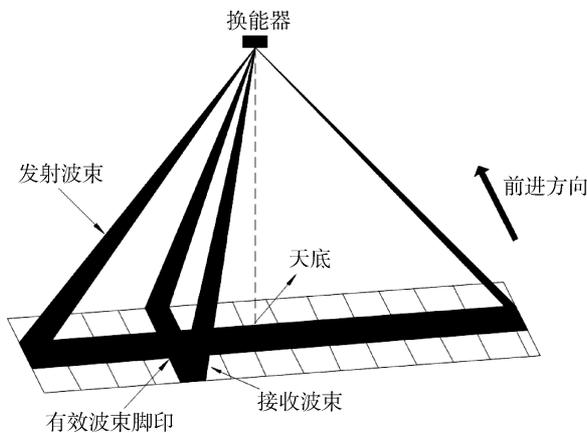


图 6 多波束发射/接收波束几何形状图

Fig. 6 The geometric orientation of beam transmitting and receiving

反射信号，所以我们不采用边缘波束和中央波束的回波声强数据，我们将采用第 50 列波束的数据进行散射层反演，其波束入射角度 32° 左右(由于受到船自身的摇摆，所以其发射角度数据不稳定)。

整个传播距离可以通过以下公式求得：

$$R = S_{10}D / 2F_{100} = 5SD / F \quad (3)$$

式中， $S_{10}=10S$ ， $F_{100}=F/100$ 。 R 表示整个传播距离， S 代表声速， F 代表采样频率。

根据求得的传播距离 R 和数据包中的波束入射角度数据，可以求得每一个波束发生散射时的深度， $D=R\cos\alpha$ ，其中 D 表示散射深度， α 为波束入射角。

通过上述过程得到的深度 D ，以及多波束数据包中的回波声强(EI)数据，可以得到回波强度的时间-深度图(图 7)。

由于其他试验需要，多波束系统被关闭，或者多波束数据完好率比较低，剔除了几段时间的数据，即图中白色部分。从图 7 中可以看出，在整个航线上都存在着两个声散射层。一个散射层位于深度 200 m 左右，其散射强度具有强烈的日变化特征，而另一个散射层位于深度 600 m 左右，其强度日变化特征与上一个相反。

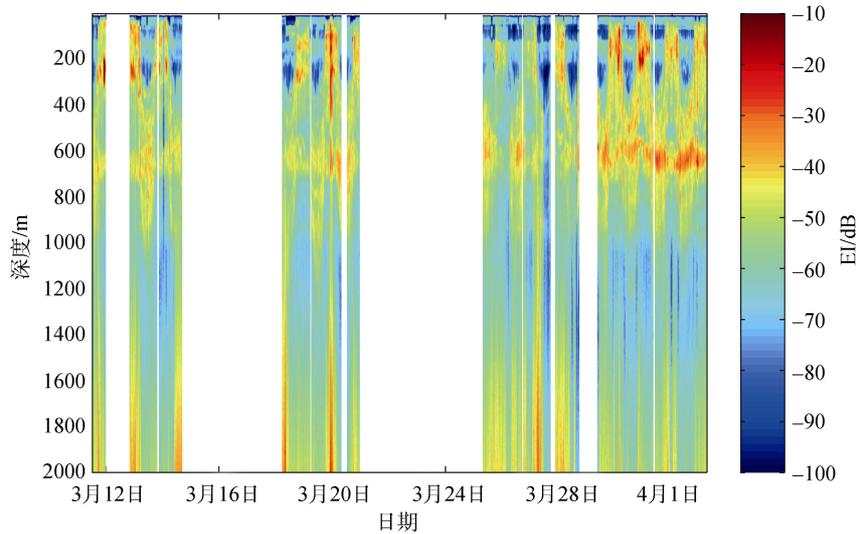


图 7 多波束测深系统的散射强度时间-深度分布图

Fig. 7 Time-depth contour of scattering intensity measured by the multibeam sounding system

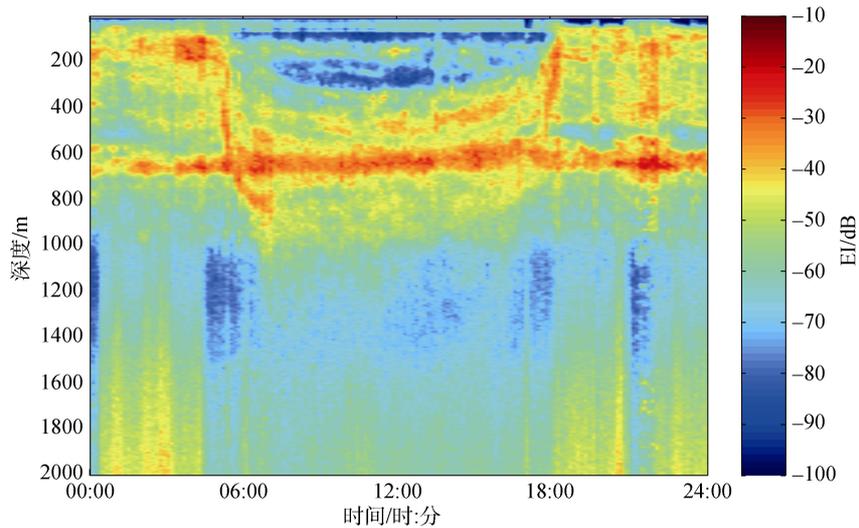


图 8 多波束测深系统观测的散射强度平均日变化

Fig. 8 The mean diurnal variation of the scattering intensity measured by the multibeam sounding system

将每天同一时刻的散射强度数据进行平均,然后将数据按照每 10 min 一组进行平均,得到 24 h 的多波束散射强度时间变化规律图(图 8)。

从图 8 中可以更为明显地看到两个散射层的日变化特征,并且可以清楚地看到两个散射层之间在 6:00 和 18:00 前后的垂直方向的强度变化规律。经分析可知,变化规律主要是由于散射体的昼夜迁移现象所导致,即有一部分散射体黎明时分向深海迁移,傍晚时分向浅海迁移。通过生物拖网试验发现,傍晚散射层的变化是由于深海鱼类以及一些虾类和头足类迁移到上层引起的,而这些生物白天会迁移到下层,深散射层也存在一些没有迁移习性的生物,其

生物构成种类也比较多^[24],西太平洋浮游动物种类丰富与多样,其中栉水母类、磷虾类、浮游软体动物和被囊类比率比较大,其生物个体尺寸差异比较大^[25-26],所以通过多波束和 LADCP 均能看到两个散射层以及散射层的迁移现象。

另外,从图 8 中可以发现,发生迁移的散射体并不是全部移动到了 600 m 附近的深散射层,其中有一部分只迁移到了 600 m 以浅的水深处,还有一部分向更深处迁移,最深的甚至达到 800~1 000 m 附近。

目前其原因有 3 种主要假说,第一种光驱动假说,其认为浮游动物有某种光感受机制,通过垂直迁移运动保持他们生活在最合适的光强环境中;第

二种逃避捕食者假说, 其认为垂直迁移的行为是浮游动物的一种防御机制; 第三种能量和资源利用假说, 其认为垂直迁移是浮游动物针对不同的能量代谢因子或者资源被动做出的适应性反应^[27]。

3 结论

利用同时下放的声速剖面仪的温度和深度数据, 对由下放式声学多普勒流速剖面仪数据计算后向散射强度剖面进行了修正, 从而确定了西太平洋两个散射层的位置。

利用多波束测深系统的观测数据, 研究了西太平洋声散射层的垂向分布和日变化特征, 观测结果表明, 西太平洋存在两个散射层, 其深度与 LADCP 得到的散射层位置基本相同, 即第一个散射层位于 0~200 m, 第二个散射层位于 500~700 m。两个散射层具有明显的日变化, 白天上散射层弱, 深散射层强, 夜晚则相反, 这种变化规律与浮游动物的昼夜迁移现象相一致, 其变化主要发生在黎明时分和傍晚时分。

另外, 通过 24 h 散射强度分布图可以发现散射体迁移规律, 黎明时分, 发生迁移的散射体并不是全部移动到了 600 m 附近的深散射层, 其中有一部分只迁移到了 600 m 以浅的水深处, 还有一部分向更深处迁移, 最深的甚至达到 800~1 000 m 附近, 这导致深散射层的厚度增加, 同样, 傍晚时分, 散射体由深散射层向上散射层迁移, 深散射层的厚度减小。

利用多波束测深系统的水体影像反演散射层分布, 相对于传统的方法有一些优势: 细节刻画更明显; 可测量深度更大; 有更多的辅助数据, 可以研究其相互作用, 比如海底数据等。但是也相对有一些缺点: 数据量大, 处理速度慢; 不同型号的多波束测深仪所得到的数据格式不同, 所以没有相对通用的程序进行处理。建议相关实验过程中增加生物采样, 与海洋生物科学家联合进行相关研究。

参考文献:

- [1] Colbo K, Ross T, Brown C, et al. A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders[J]. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2014, 145(5): 41-56.
- [2] Melvin G D, Cochrane N A. Multibeam acoustic detection of fish and water column targets at high-flow sites[J]. *Estuaries and Coasts*, 2015, 38(1): 227-240.
- [3] Jones A T, Greinert J, Bowden D A, et al. Acoustic and

- visual characterisation of methane-rich seabed seeps at Omakere Ridge on the Hikurangi Margin, New Zealand[J]. *Marine Geology*, 2010, 272(1-4): 154-169.
- [4] 刘胜旋, 崔秀云. 海洋内波对多波束测深的影响[J]. *海洋测绘*, 2012, 32(6): 27-29.
Liu Shengxuan, Cui Xiuyun. The effect of ocean internal waves on multibeam echosounding[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2012, 32(6): 27-29.
 - [5] 阳凡林, 韩李涛, 王瑞富, 等. 多波束声纳水柱影像探测中底层水域目标的研究进展[J]. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 2013, 32(6): 75-83.
Yang Fanlin, Han Litao, Wang Ruifu, et al. Progress in object detection in middle and bottom-water based on multibeam water column image[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 2013, 32(6): 75-83.
 - [6] Brown C J, Blondel P. Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping[J]. *Applied Acoustics*, 2009, 70(10): 1242-1247.
 - [7] Preston J. Automated acoustic seabed classification of multibeam images of Stanton Banks[J]. *Applied Acoustics*, 2009, 70(10): 1277-1287.
 - [8] 刘胜旋, 关永贤, 宋永志. 多波束水体影像的归位算法研究与实现[J]. *海洋测绘*, 2016, 36(1): 43-47.
Liu Shengxuan, Guan Yongxian, Song Yongzhi. Transformation algorithm research and realization of multibeam water column images[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2016, 36(1): 43-47.
 - [9] 李海森, 李珊, 周天. 基于空间平滑的多波束测深声呐相干分布源方位估计[J]. *振动与冲击*, 2014, 33(4): 138-142.
Li Haisen, Li Shan, Zhou Tian. DOA estimation based on spatial smoothing for multi-beam bathymetric sonar coherent distributed sources[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2014, 33(4): 138-142.
 - [10] Amanda M K. 38-kHz ADCP investigation of deep scattering layers in sperm whale habitat in the northern Gulf of Mexico[J]. *Rinsho Byori the Japanese Journal of Clinical Pathology*, 1995, 43(8): 829-835.
 - [11] Hwang D, Kang D, Seo H, et al. Biomass estimation of zooplankton communities and characteristics on deep scattering layer (DSL) in East China Sea[C]// *IEEE. Oceans (Vol.3)*. Kobe, Japan: IEEE, 2004: 1292-1297.
 - [12] Marino A, Geneva A. Deep scattering layer investigation through multi-beam bathymetry[C]// *IEEE. Oceans (Vol.3)*. Brest, France: IEEE, 1994: III/184-III/188.
 - [13] Plueddemann A J, Pinkel R. Characterization of the patterns of diel migration using a Doppler sonar[J]. *Deep Sea Research Part A Oceanographic Research Papers*, 1989, 36(4): 509-530.
 - [14] Fischer J, Visbeck M. Seasonal variation of the daily

- zooplankton migration in the Greenland Sea[J]. Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers, 1993, 40(8): 1547-1557.
- [15] Kaneko A, Zhu Xiaohua, Radenac M H. Diurnal variability and its quantification of subsurface sound scatters in the western equatorial Pacific[J]. Journal of Oceanography, 1996, 52(5): 655-674.
- [16] Ashjian C J, Smith S L, Flagg C N, et al. Patterns and occurrence of diel vertical migration of zooplankton biomass in the Mid-Atlantic Bight described by an acoustic Doppler current profiler[J]. Continental Shelf Research, 1998, 18(8): 831-858.
- [17] Lenn Y D, Chereskin T K, Glatts R C. Seasonal to tidal variability in currents, stratification and acoustic backscatter in an Antarctic ecosystem at Deception Island[J]. Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography, 2003, 50(10-11): 1665-1683.
- [18] Zhu Xiaohua, Takasugi Y, Nagao M, et al. Diurnal cycle of sound scatterers and measurements of Turbidity Using ADCP in Beppu Bay[J]. Journal of Oceanography, 2000, 56(5): 559-565.
- [19] Lü Liangang, Liu Jianjun, Yu Fei, et al. Vertical migration of sound scatterers in the Southern Yellow Sea in Summer[J]. Ocean Science Journal, 2007, 42(1): 1-8.
- [20] 陈次颖, 章淑珍. 应用水声方法考察底栖鱼类和DSL(深海散射层)的垂直移动[J]. 海洋科学, 1994, 18(3): 53-56.
Chen Ciying, Zhang Shuzhen. A practical investigation on demersal fish and DSL rhythmic vertical migration by acoustic method[J]. Marine Sciences, 1994, 18(3): 53-56.
- [21] Gordon R L. Acoustic doppler current profiler: principles of operation-a practical primer[J]. Rd Instruments, 1996, 5(6): 1 - 5.
- [22] Deines K L. Backscatter estimation using Broadband acoustic Doppler current profilers[C]//IEEE. Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement. San Diego, CA, USA: IEEE, 1999: 249-253.
- [23] 丁继胜, 周兴华, 刘忠臣, 等. 多波束测深声呐系统的工作原理[J]. 海洋测绘, 1999, 24(3): 15-22.
Ding Jisheng, Zhou Xinghua, Liu Zhongchen, et al. Principle of the multibeam bathymetric sonar system[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 1999, 24(3): 15-22.
- [24] 刘世刚, 汤勇, 陈国宝, 等. 南海深海声学散射层垂直分布和昼夜变化初步研究[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(2): 173-181.
Liu Shigang, Tang Yong, Chen Guobao, et al. Vertical distribution and diurnal movement of the deep scattering layer in the South China Sea[J]. Advances in Marine Science, 2015, 33(2): 173: 181.
- [25] 林茂, 王春光, 王彦国, 等. 西太平洋浮游动物种类多样性[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 646-654.
Lin Mao, Wang Chunguang, Wang Yanguo, et al. Zooplanktonic diversity in the western Pacific[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 646-654.
- [26] 马彩华, 游奎, 李凤岐, 等. 南海鱼类生物多样性与区系分布[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 36(4): 665-670.
Ma Caihua, You Kui, Li Fengqi, et al. A study on the relationship of the fish biodiversity and the faunal distribution in the South China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(4): 665-670.
- [27] 张武昌. 浮游动物的昼夜垂直迁[J]. 海洋科学, 2000, 24(11): 18-21.
Zhang Wuchang. A review on the diel vertical migration of zooplankton[J]. Marine Sciences, 2000, 24(11): 18-21.

Research on the sound-scattering layer in the Western Pacific observed with a multibeam sounding system

ZHANG Chao^{1, 2, 3, 4, 5}, LÜ Lian-gang^{1, 2}, JIANG Ying^{1, 2}, YANG Guang-bing^{1, 2},
LIU Zong-wei^{1, 2}, YANG Chun-mei^{1, 2}

(1. The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 2. Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 3. Institute of Oceanographic Instrumentation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Qingdao 266061, China; 4. Shandong Provincial Key Laboratory of Ocean Environmental Monitoring Technology, Qingdao 266061, China; 5. National Engineering and Technological Research Center of Marine Monitoring Equipment, Qingdao 266061, China)

Received: Feb. 24, 2017

Key words: sound-scattering layer; multibeam sounding system; lowered acoustic doppler current profilers (LADCP); sound velocity profiler (SVP); the Western Pacific

Abstract: The vertical distribution and diurnal variation of the sound-scattering layers in the West Pacific Ocean were analyzed using data obtained by multibeam water column imagery. Results of the analysis showed the existence of two sound-scattering layers at depths 0-200 m and 500-700 m. Significant diurnal variation was observed in the shallower sound-scattering layer, with weak scattering strength in daytime and stronger in nighttime. This diurnal variation was reversed in the deeper sound-scattering layer, with greater strength in daytime, weaker in nighttime. There is also a diurnal variation in thickness of the deeper sound-scattering layer. The advantages and disadvantages of this method are discussed. A new approach to the observation and analysis of sound-scattering layers is provided. In addition, measurements of lowered acoustic doppler current profilers (LADCP) were corrected by temperature and depth data of a sound velocity profiler (SVP) to observe more accurate vertical profiles of sound-scattering layers.

(本文编辑: 刘珊珊)