利用声相关流速剖面仪观测深水散射层

龚丽辉，冯 雷，王长红，蒯多杰，汪玉玲，邱 薇，曹建光

（中国科学院声学研究所，北京 100190）

摘要：讨论了利用声相关流速剖面仪进行深水散射层观测的可行性。结合声相关流速剖面仪垂直发射编码调制信号、多阵元接收的特点以及测量流剖面三维速度的优势，提出利用回波强度和垂向速度两种方法对深水散射层进行观测。在 23kHz 声相关流速剖面仪工程样机海试数据的基础上，利用这两种观测方法对 DSL 进行了观测。观测结果表明：利用声相关流速剖面仪可以直观地观测深水散射层的分布及运动规律，这两种观测方法是实际可行的。

关键词：深水散射层（DSL）；声相关流速剖面仪（ACCP）；回波强度；垂向速度

中图法分类号：TN911.7 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630（2008）-06-0807-05

Deep scattering layer observation using acoustic correlation current profiler

GONG Li-hui, FENG Lei, WANG Chang-hong, KUAI Duo-jie,
WANG Yu-ling, QIU Wei, CAO Jian-guang

(*Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100190, *China*)

Abstract: The feasibility of observing deep scattering layer (DSL) by acoustic correlation current profiler (ACCP) is discussed in this paper. ACCP can estimate the three-dimension velocities of the currents. The projector of ACCP transmits code-modulated pulse vertically and several hydrophones receive backscattering signal. Two methods are presented to observe DSL respectively based on backscattering strength and vertical velocity. These two methods are used to observe DSL with the sea trial data of 23 kHz prototype ACCP. The results of the observation indicate that ACCP can observe the distribution and migration of DSL intuitively.

Key words: Deep Scattering Layer (DSL); Acoustic Correlation Current Profiler (ACCP); backscattering strength; vertical velocity

1 引 言

深水散射层（Deep Scattering Layer，DSL）由栖息在海水中的不同生物组成的复杂群体聚集而成，能够强烈散射声波[1-3]。DSL 中的生物包括甲壳类、挠足类、乌贼以及鱼类等，具有在深度上的昼夜移栖现象，即：DSL 夜晚上升至较浅的海面，白天降沉到较深的地方，在日出和日落时分深度变化最剧烈。DSL 研究对于海洋学、生物学和水声学有着重要的意义。近些年来，随着海洋学、生物学和水声学的发展，DSL 方面的研究取得了较大进展[4-6]。目前，利用声学设备观测 DSL 是 DSL 研究中的主要手段之一，声学设备包括：回声测深仪[6]、多波束测深仪[4]和声多普勒流速剖面仪（ADCP）[5]等。

作为一种声学测速设备，声相关流速剖面仪（Acoustic Correlation Current Profiler，ACCP）同样适用于 DSL 观测。ACCP 的主要功能是进行流剖面的三维速度测量，其基本工作原理是“波形不变性原理”[7-9]。利用 ACCP 进行 DSL 观测时，除了采用目前通用的回波强度观测外，还可以对 DSL 运动速度进行测量。本文将重点讨论利用 ACCP 观测 DSL 的方法，并将这种方法运用于海试数据中，分析其观测结果。

收稿日期：2008-01-21；修回日期：2008-04-11
基金项目：国家 863 计划（2006AA09A313）
作者简介：龚丽辉（1982-），男，江苏南通人，硕士研究生，研究方向为信号与信息处理。
通讯作者：龚丽辉，E-mail:gonglh324@gmail.com

2 利用 ACCP 观测 DSL

2.1 回波强度观测法

CCP 基阵采用平面阵结构，发射阵元垂直向下发射编码调制信号，多个接收阵元进行数据采集[7-9]。采集时利用时间增益控制，补偿声波传播过程中由于球面扩散和海水吸收造成的衰减[1]，从而使 ACCP 接收的流层回波强度只与相应深度处流层散射强度有关。海洋中对声波散射强度贡献最大的是生物性散射体[1]，因此，DSL 中的生物群体会对声波进行强烈的散射。这样，通过流层回波强度可以对 DSL 进行观测。

利用回波强度观测 DSL，各种环境噪声是主要干扰源。正确区分回波和噪声是观测的基础。ACCP 发射信号具有较好的相关特性，散射回波同样具有这样的相关特性，而噪声一般情况下是不具备的[8]。因此，相关特性可以作为检波依据。

ACCP 具有多个接收阵元，这些阵元性能相同，具有一致性。在观测过程中，对多个接收阵元采集数据进行统计，以降低个别阵元受干扰引入误差的影响，提高可靠性。统计时，去除差异较大的阵元数据，对有效数据进行平均，统计后的数据用作 DSL 观测。

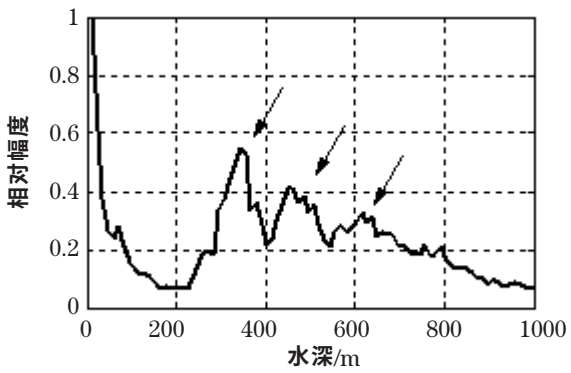


图 1 各流层回波强度(时刻:16:00)

Fig.1 The strength of the currents′ backscattering (time:16:00)

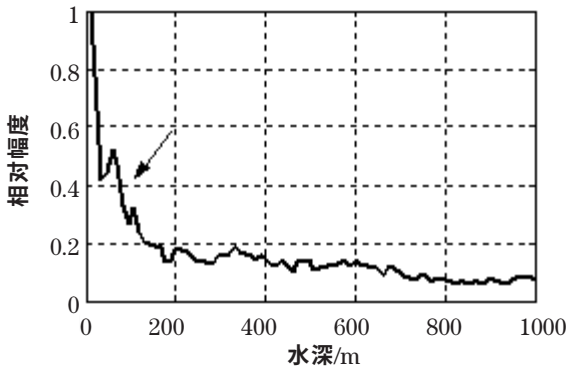


图 2 各流层回波强度(时刻:22:00)

Fig.2 The strength of the currents′ backscattering (time:22:00)

图 1 和图 2 是海试中 ACCP 观测 DSL 时采用的 2 组数据。图 1 中，水深 300m~800m 范围内回波强度均较大，且在 350m、450m 和 600m 处有 3 个峰值，如箭头所示。图 2 中，水深 200m 以内回波强度明显较大，而其它深度回波强度较小，如箭头所示。图 1 和图 2 表明，ACCP 测得的回波强度随时间和水深的变化而变化，这和 DSL 的变化规律是一致的。

2.2 垂向速度观测法

ACCP 能够测量有效水深范围内流层的三维速度[7-9]。日出和日落时分是一天中 DSL 移栖最剧烈的时间段，所以此时 DSL 会有较大的沉、升速度，即其所在的流层会有较大的垂向速度。利用 ACCP 进行 DSL 垂向速度的测量，可以定量观测 DSL 的运动规律。

ACCP 直接测得的流层垂向速度是相对于基阵的速度，扣除基阵速度即是绝对速度。ACCP 能够通过底跟踪方式测量试验船的垂向速度，但是由于底回波数据采集和流回波数据采集具有时间差，因此底跟踪方式获得的试验船垂向速度无法作为测量流场速度时的试验船垂向速度。另外，ACCP 采集流回波数据所需时间较长。以 1000m 有效水深为例，流回波总传播时间约为 1.3s，严格地说，各流层数据对应时刻的试验船的垂向速度是不同的。这里，提出一种近似方法来获取试验船速度，方法依据为：从统计意义上讲，海洋中整个水体是没有垂向速度的，如果试验船在采集流回波的时间内垂向速度变化不大，那么 ACCP 测得的各流层垂向速度的均值相当于试验船的垂向速度。ACCP 测得的各流层垂向速度在扣除试验船的垂向速度后，即可获得绝对速度。限于上述要求，建议在试验船处于漂泊或低速航行状态下进行 DSL 垂向速度观测，因为此时试验船比较平稳，垂向速度变化较小。

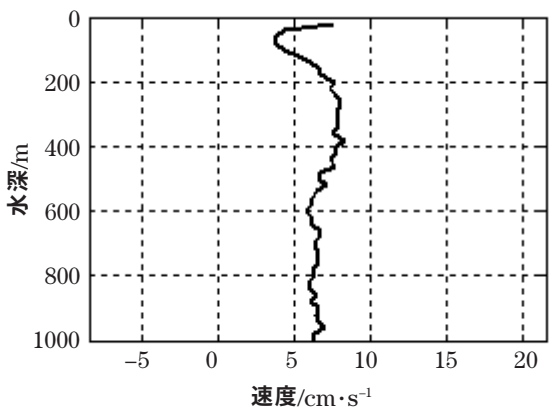


图 3 ACCP 测得的相对垂向速度剖面图

Fig.3 Profile of the currents′ relative vertical velocities measured by ACCP

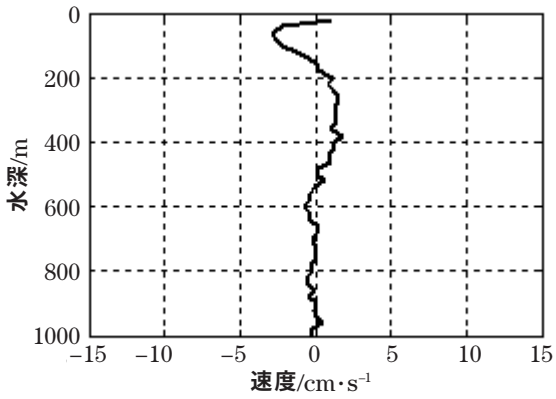


图 4　ACCP 测得的绝对垂向速度剖面图

Fig.4　Profile of the currents′ absolute vertical velocities measured by ACCP

图 3 是 ACCP 直接测得的 1000m 水深范围内的流层垂向速度剖面图，是相对速度；图 4 是利用上述方法扣除试验船垂向速度后得到的流层垂向速度剖面，是绝对速度。

3　海试观测结果

3.1　海试介绍

23kHz ACCP 工程样机于 2001 年研制完成，基阵由 1 个发射阵和 8 个接收阵元组成，可以测量 1000m 水深范围内的三维流速剖面。分别于 2002 年、2004 年、2005 年和 2007 年在中国南海进行了 4 次长时间海上试验。2002 年南海试验中首次利用这台样机观测到了 DSL 昼夜移栖的现象。在之后的 3 次海试中，ACCP 样机对 DSL 进行了更为深入的观测。

3.2　DSL 观测结果分析

在海试中，观测到了 DSL 显著的昼夜移栖。图 5~12 是 23kHz ACCP 工程样机于 2005 年 10 月在中国南海北部海域(20.9°N，119.6°E)附近观测到的 DSL 分布与变化情况，该海域水深 3000m。其中图 5、图 7、图 9 和图 11 分别为夜晚、黎明、白天和傍晚时各流层散射强度观测结果，图 6、图 8、图 10 和图 12 分别为对应时刻各流层垂向速度测量结果。观测水深 0~1000m，各时刻观测时间约为 2.5h。

从图 5、7、9、11 中可以看到，一天中不同时刻 DSL位于不同深度的流层上，在深度上存在垂向迁徙。夜晚时，DSL 分布在 0~200m 水深处；黎明时，DSL 开始下沉，逐渐分布到 300m~800m 水深范围

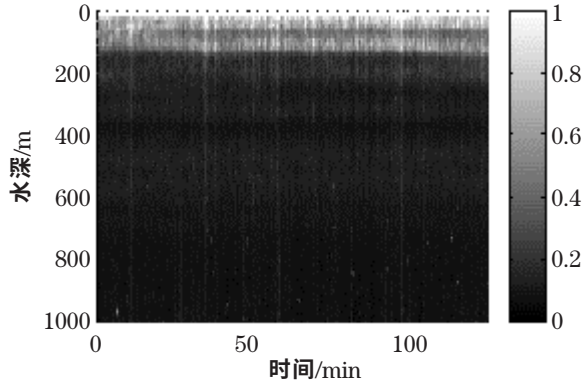


图 5　夜晚各流层回波强度(21:00-23:18)

Fig.5　Strength of the currents′ backscattering at night(21:00-23:18)

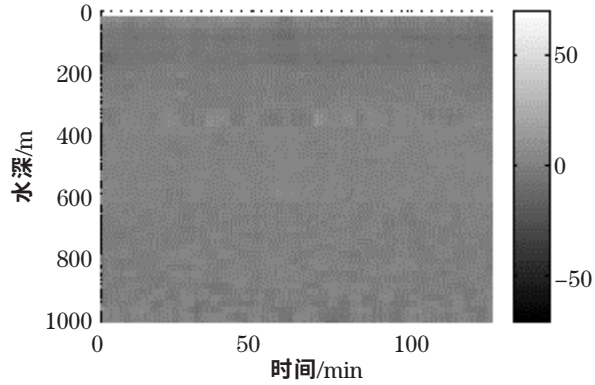


图 6　夜晚各流层垂向速度(21:00-23:18)

Fig.6　Vertical velocities of the currents at night(21:00-23:18)

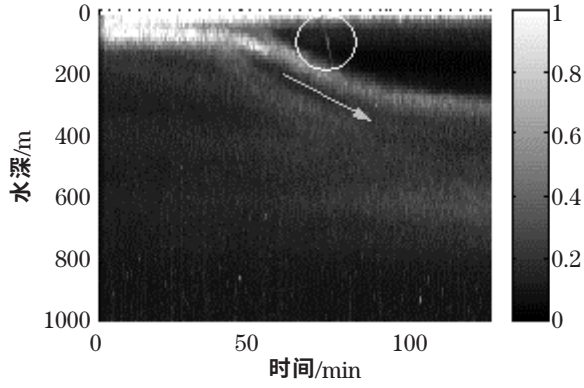


图 7　黎明时各流层回波强度(04:20-06:50)

Fig.7　Strength of the currents′ backscattering at sunrise(04:20-06:50)

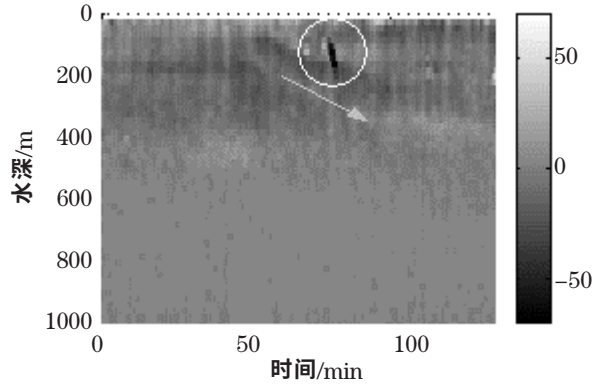


图 8　黎明时各流层垂向速度(04:20-06:50)

Fig.8　Vertical velocities of the currents at sunrise(04:20-06:50)

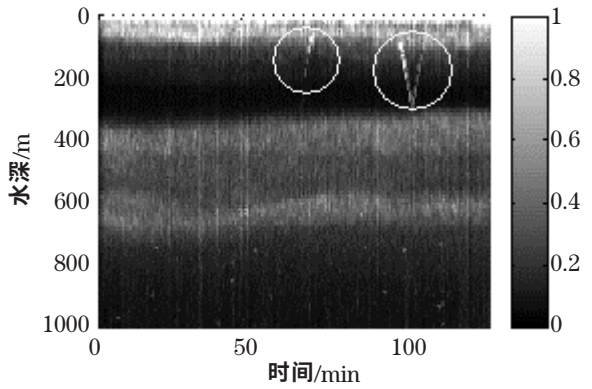


图 9 白天各流层回波强度(10:00-12:20)
Fig.9 Strength of the currents' backscattering by day(10:00-12:20)

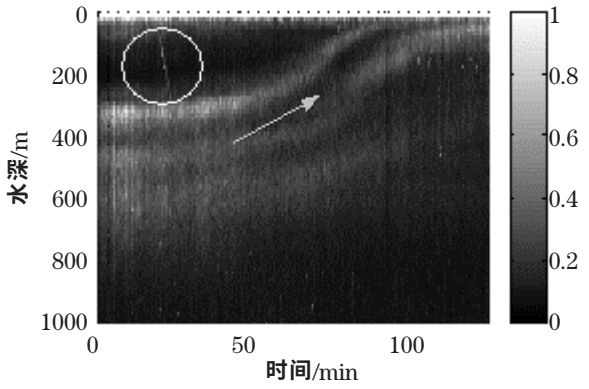


图 10 白天各流层垂向速度(10:00-12:20)
Fig.10 Vertical velocities of the currents by day(10:00-12:20)

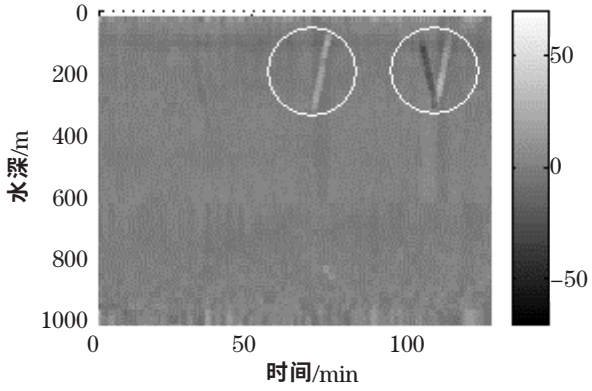


图 11 傍晚各流层回波强度(16:30-19:00)
Fig.11 Strength of the currents' backscattering at sunset(16:30-19:00)

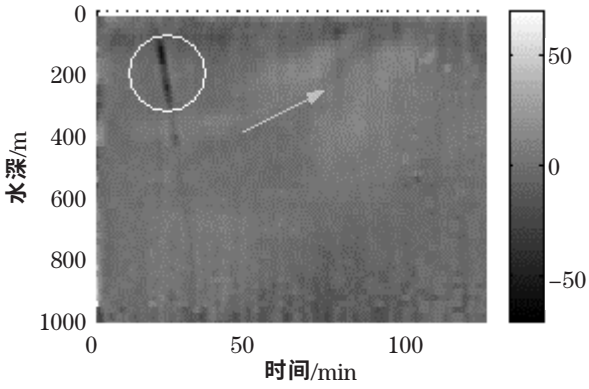


图 12 傍晚各流层垂向速度(16:30-19:00)
Fig.12 Vertical velocity of the currents at sunset(16:30-19:00)

内；白天时,DSL 稳定在 0~100m 水深处及 300m~800m 水深处;傍晚时,DSL 开始上浮,又重新聚集到 0~200m 水深处。

从图 6、8、10、12 中可以看到，夜晚和白天时,各流层垂向速度均较小,一般不超过 5cm/s。而黎明和傍晚时,DSL 所在流层具有较大的垂向沉、升速度,一般为 10cm/s,最大能够达到 15cm/s。图 7、8 和图 10、12 中的箭头分别指示了黎明和傍晚时,DSL 随时间运动的方向。

DSL 观测结果同时表明,DSL 具有分层现象。这种分层现象表现出了较为明显的生物特性,即:不同的 DSL 层具有不同的沉、升速度以及对光照变化的反应速度。DSL 中聚集的不同生物种群是引起 DSL 分层现象的主要原因[2]。

另外,试验过程中有 CTD 在工作,ACCP 观测到了 CTD 的下放和回收。图 7~12 中用圆圈指示出了 CTD 收放过程中,ACCP 测得的散射强度和垂向速度。试验中 CTD 收放速度约为 50cm/s~80cm/s。

4 结 论

利用回波强度观测法和垂向速度观测法,ACCP 能够对 DSL 进行观测。ACCP 不仅可以有效直观地观测到 DSL 分布及昼夜移栖等变化规律,而且能够定量测量 DSL 垂向运动速度。海试数据表明,DSL 垂向迁徙的速度最大能够达到 15cm/s。另外,通过 ACCP 观测到了 DSL 分层现象,这对于生物种群分类具有一定意义。

利用 ACCP 进行 DSL 观测的方法是实际可行的，回波强度观测法和垂向速度观测法可较方便地编制成程序加入到 ACCP 系统中，达到实时观测的效果。

参 考 文 献

[1] R. J. 尤立克. 水声原理(第三版)[M]. 洪申译. 哈尔滨船舶工程学院出版社，1985.
[2] JI.M.布列霍夫斯基著. 海洋声学[M]. 中科院声学研究所、山东海洋学院物理系合译. 海洋出版社，1993.

[3] 汪德昭，尚尔昌. 水声学[M]. 科学出版社. 1981.
[4] Marino A，Geneva A. Deep scattering layer investigation through multi-beam bathymetry[J]. IEEE. 1994.
[5] Amanda May Kaltenberg. 38-kHz ADCP investigation of deep scattering layers in sperm whale habitat in the northern gulf of Mexico[J]. Texas A&M University. 2004.
[6] Doojin Hwang，Donhyug Kang，et al. Biomass estimation of zooplankton communities and characteristics on deep scattering layer(DSL) in East China Sea[J]. IEEE. 2004.
[7] 王长红，邱薇，汪玉玲，等. 大深度声相关流速剖面仪样机研制[J]. 声学技术，2002，**21**(增刊)：421-422.
[8] 冯雷，王长红，汪玉玲，等. 相关测速声纳工作原理及海试验证[J]. 声学技术，2005，**24**(2):70-75.
FENG Lei，WANG Changhong，WANG Yuling et al. Velocity measurement with correlation sonar and sea test verification[J]. Technical Acoustics，2005，**24**(2):70-75
[9] 朱维庆，冯雷，王长红，等. 声相关流体速度测量理论和信号处理方法[J]. 声学学报，2007，**32**(2):144-150.
ZHU Weijing，FENG Lei，WANG Changhong，et al. Theory and signal processing of acoustic correlation techniques for current velocity measurement[J]. Acta Acustica，2007，**32**(2):144-150.

简 讯

嘉兴工程中心“电声参数综合检测仪”等科研成果亮相工博会

由国家发改委、商务部、科技部、教育部、中国科学院、中国工程院、上海市政府等共同主办的“2008 年中国国际工业博览会”，于 2008 年 11 月 4 日~8 日在上海国际博览中心成功举行。共有 25 个国家和地区的 1816 家企业亮相上海工博会。展览面积超过 12.6 万平方米，创历届之最。本届工博会共设重大技术装备展、数控机床与金属加工展、工业自动化展、环保技术与设备展、信息与通信技术应用展、能源展、科技创新展等 7 个专业，成为中国工业最高水平的大展台和海内外经济技术交流合作的桥梁。工博会以科学发展观为指导，贯彻科教兴国和振兴装备制造业的国家战略，坚持以创新为主题，以市场为导向，充分发挥“产品、技术、产权”三大交易的作用，进一步强化展示、交易、评奖、论坛四大功能，进一步提升市场化、专业化、国际化水平。

中国科学院声学研究所嘉兴工程中心(以下简称嘉兴工程中心)自主研发的“电声参数综合检测仪”、“水下声学应答释放器”、“水下声信标”等研发成果亮相本届工博会现场。“电声参数综合检测仪”吸引了众多专家的关注，许多前来参展的电声器件生产厂商亲自进行现场体验。该检测仪可在一次测试时间周期内，快速、准确地检测电声产品的频响、灵敏度、谐波失真、阻抗、极性、T/S 参数等多项常规参数，可用于扬声器、受话器、多媒体音箱、耳机、麦克风等电声器件或系统的大规模生产过程中的在线实时检测，大规模提高生产企业的生产效率和产品质量，增加企业效益。同时，检测仪最大的亮点是其独特的扬声器等发生器件的音质检测，可替代人耳进行异音检测，客观、准确地识别电声产品的纯音良好与不良，提高生产中的合格率，大幅度降低扫频音对工人听力和心理的伤害。而且该测试仪采用全中文界面设计，适合国内电声企业在线检测及研发使用。期间，许多专业人士提出该产品在实际操作或是企业批量生产中可能遇到的问题，中心的技术人员予以详细的解答，加深了参观人员对测试仪的了解。

在为期 5 天的展会期间，中科院副院长施尔畏等领导在中科院院地合作局局长戚强、上海分院副院长朱志远的陪同下巡视了展台。参展代表温周斌副主任向其详细介绍了参展产品已经取得的成绩、产品的质量、技术含量、产业化前景。

通过几天的互动交流，技术人员了解到了企业的更多的需求，通过宣传，也看到了市场，对本单位研发的产品在未来充满了信心。

《声学技术》编辑部