

# Application of Acoustic Detection Technology in Offshore Engineering

Xin Cong<sup>1</sup>, Longwei Zhao<sup>1</sup>, Minye Wang<sup>2</sup>, Cunyong Zhang<sup>2</sup>, Wenjin Zhu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Civil and Ocean Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang Jiangsu

<sup>2</sup>School of Geomatics and Marine Information, Lianyungang Jiangsu

Email: [congxin-ks@qq.com](mailto:congxin-ks@qq.com)

Received: Aug. 20<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 9<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 19<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The development and utilization of marine resources will become the mainstay of the economy in the future, and offshore engineering is an important infrastructure in the development of the coastal zone. The propagation of acoustic waves in seawater is better than electromagnetic wave, so it is favored by the offshore engineering survey, and becomes the leader of the seabed survey technology. The application of acoustic survey technology in the engineering fields is summarized, including the offshore engineering sounding, the topography and geomorphology exploration, the dynamic environment survey, the stratum survey and the stability of the seabed.

## Keywords

Acoustics, Offshore Engineering, Submarine Detection, Creep

---

## 声学探测技术在近海工程中的应用

丛新<sup>1</sup>, 赵龙伟<sup>1</sup>, 王旻焯<sup>2</sup>, 张存勇<sup>2</sup>, 朱文谨<sup>1</sup>

<sup>1</sup>淮海工学院土木与港海工程学院, 江苏 连云港

<sup>2</sup>淮海工学院测绘与海洋信息学院, 江苏 连云港

Email: [congxin-ks@qq.com](mailto:congxin-ks@qq.com)

收稿日期: 2016年8月20日; 录用日期: 2016年9月9日; 发布日期: 2016年9月19日

## 摘要

海洋资源开发利用将成为未来经济的中流砥柱，近海工程是海岸带开发的重要基础设施。声学在海水中的传播优于电磁波，因此受到近海工程海底勘测的青睐，成为目前海底勘测技术的领头羊。本文综述了声学勘测技术在近海工程测深、地形地貌勘查、动力环境勘测、地层勘测及海底稳定性勘测等工程领域的应用。

## 关键词

声学，近海工程，海底探测，蠕动

## 1. 引言

近海工程指在海岸带进行的各项建设工程。由于水下地形复杂和径流入海的影响，海流、海浪和潮汐都有显著的变形，形成了破波、涌潮、沿岸流和沿岸输沙，特别是发生风暴潮的时候，海况更是万分险恶，使近海工程受到严重的冲击，甚至造成破坏，在寒冷的地区，还会受到冰冻和流冰的影响。我国绝大部分海洋产业和开发利用活动发生在近海海域，近海开发呈现明显过度状态，近海工程相关的勘测技术变得非常重要。

声波在海水中的传播优于电磁波和可见光，目前海底探测主要还是依赖于声学探测技术。声学探测技术主要包括多波束测深、侧扫声纳、浅层剖面探测、海洋地震探测技术及 ADCP 等。多波束测深、侧扫声纳和浅层剖面探测工作原理基本相似，只是由于探测目标的不同而有所区别。使用的声波频率和强度也存有差异，一般高频用于探测中、浅海水深或侧扫海底形态，低频用于探测深海水深或浅层剖面结构。高频能提高分辨率，而低频则能提高声波的作用距离和穿透深度，目前有很多系统采用双频或多频探头结构，以提高全海域的探测能力[1]。二十世纪 80 年代初发展起来一种声学多普勒流速剖面仪 ADCP，它能直接测出断面的流速剖面，具有不扰动流场、测验历时短、测速范围大等特点。

本文主要针对工程测深、地形地貌勘测、动力环境勘测、海底地层勘测、海底稳定性勘测等方面探讨声学技术在近海工程中的应用。

## 2. 近海工程测深

近海工程中声学测深技术主要为单波束与多波束测深技术。多波束测深是水声技术、计算机技术、导航定位技术和数字化传感器技术等多种技术的高度集成，它是一种利用声学换能器在垂直于测船航向形成扇形波束，获取多个水深数据的测量技术，如图 1 所示。多波束与单波束相比，具有高分辨率、高精度、全覆盖的特点，且精确、高效、快捷、直观的优势十分显著[2]。多波束测深技术可以减少天气、海况等因素对船体摇晃所造成的误差影响，对于浅水区，声速变化不规律，且容易对多波束探头造成损坏，多使用单波束与多波束配合使用[3]。姬翠翠等[4]通过近 3 个月基坑冲淤变化监测，获得港珠澳大桥项目桩基施工过程中大量现场多波束和单波束测深仪观测的数据资料，对施工期基坑泥沙冲淤特征变化进行分析，得到基坑开挖后冲淤量变化规律，结合工程实际，提出有效保障正常施工的基坑开挖措施。王利锋等[5]在航道测量中，将多波束测深系统与 GPS RTK 技术集成，发现在近海海域该方法可以取代有验潮的常规水深测量，既能指导疏浚施工，又能方便检查疏浚结果。邹双朝等[6]还将多波束技术应用到护岸工程的监测中，并得出护岸工程实施后深槽向右岸偏移，岸坡冲淤平衡，护岸工程稳定的结论。



**Figure 1.** The work sketch of multi-beam sounding system  
**图 1.** 多波束测深系统工作示意图

从总体上看，单波束和多波束技术主要应用于冲淤变化、疏浚工程、护岸工程等领域，而且结合实际工程案例取得了令人满意的成果。同时，将测深技术与其他勘察方法结合起来，如将多波束与 GPS RTK 技术集成，是未来工程技术发展的一个重要方向。

### 3. 近海工程地形地貌探测

侧扫声呐探测技术是目前海底地形地貌中的主要探测技术手段之一，具有扫描分辨率高，经济高效的特点。它不受水体可见度的影响而快速覆盖大面积水域“看”到水下情况，如图 2 所示。每边旁扫通过向水底发射声纳，反射后被拖鱼接收形成声纳影像来反映海底地形地貌特点，接收到的信号通过拖缆传到甲板上的显示单元。常增亮等[7]利用侧扫声呐系统获取海底声学影像，经过处理后对海底地形地貌特征进行了提取和分析，并将获取的分类结果运用到实际工程设计施工中，取得了较好的效果。饶光勇等[8]以北江大堤工程为例，介绍了将多波速测深系统和侧扫声呐系统结合起来，在堤围险段水下地形变化监测中的应用情况。侧扫声呐技术主要用于勘查海底地形地貌，技术方面未来发展趋势主要有：设置相关机制或算法来确定侧扫声呐系统最佳频率；受干扰产生散射的问题；噪声干扰影响成像质量问题[9]。工程应用方面结合其他勘查方法会取得更好的成果。

### 4. 近海工程动力环境探测

#### 1) 海流

声学多普勒流速剖面仪(ADCP)主要用来探测工程上海洋动力特征，它利用多普勒效应原理进行流速测量，因其原理的优越性，突破传统机械转动为基础的传感流速仪，用声波换能器作传感器，换能器发射声脉冲波，声脉冲波通过水体中不均匀分布的泥沙颗粒、浮游生物等反散射体反散射，由换能器接收信号，经测定多普勒频移而测算出流速。在长江口深水航道治理一期工程中，利用 ADCP 技术分别进行了固定断面流速、流量测量，底沙的运动测量，区域流态测量及分流、分沙比测量，并采用传统测量方法对比验证，结果表明，ADCP 技术所测资料能较准确反映实际情况，且对长江口这样面积宽广、情况复杂区域进行较大规模水文测量，具有传统测量技术无法比拟的安全经济、资料可靠的优势[10]。张存勇[11]在海州湾湾顶浅海区利用 ADCP 定点测流以及 CTD 等观测资料研究了垂向流速分量的频率结构及其

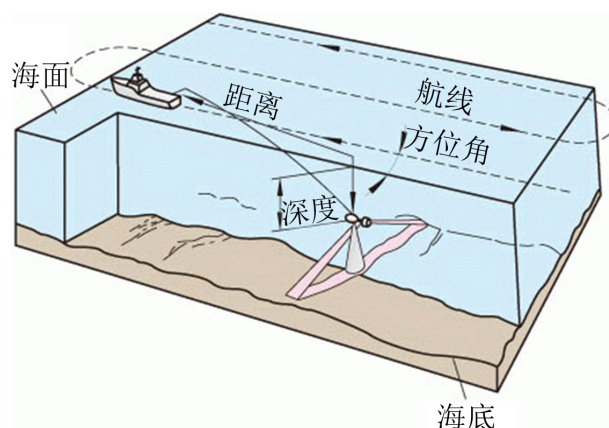


Figure 2. The working diagram of side scan sonar  
图 2. 侧扫声呐工作示意图

随时间的变化,发现海州湾顶浅海区垂向流速分量变化不规则,以团块状分布为主;垂向流速分量存在不同的模态,各模态对整个波动的贡献差异明显,其中心频率构成具有垂向变频特征;垂向流速分量与水平流速分量具有一定的联系。陈志高等[12][13]根据3种经典垂线流速分布模型,推导出适合 ADCP 盲区流速计算的局部模型,还提出一种基于 GPS 的 ADCP 流速和流量精确确定方法,该方法不但增强了 ADCP 测量的适用性,同时也提高了流速流量测量结果的精度。高延雄等[14]针对 ADCP 数据采集与处理方面可能的问题提出一系列解决方法,包括把握好测流时机、选择适合的断面、做好资料分析整理、处理好输沙率监测、加强 ADCP 维护保养等。

ADCP 目前主要用于海洋、河口的流场结构调查、流速和流量测验等,它能够根据不同水层来测得其三维流速和流向,它能直接测出断面的流速剖面,具有不扰动流场、测验历时短、测速范围大、精度高、资料完整等主要特点。

## 2) 海浪

海浪声学勘测方法主要有 ADCP 及声学测波仪。声学测波仪是一种倒置的回声测深仪,利用置于海底的声学换能器垂直地向海面发射声脉冲,通过接收回波信号,测出换能器至海面垂直距离的变化,再换算成波高,测量涌浪效果较好。屈茜等[15]通过计算 ADCP 测量的流速之间的交叉谱,利用最大似然算法得到海浪的方向谱,给出了利用 ADCP 估计方向谱的算法流程,进行了仿真,结果表明所提出的方法可以较准确地估计海浪方向谱。声学测波仪可以分为水下坐底式声学测波仪和水上气介式声学测波仪,其原理相同,都是利用回声测距原理进行波浪观测[16]。张磊等[17]利用 LPB1-2 型声学测波仪在某海域所测得的海浪数据对近岸浪特征要素进行统计分析,发现该海域的波主要以波高 0.3~0.7 m,周期 2.5~5.5 s 的波为主,表示离散程度的特征值平均差为 0.267,日极差值主要在 0.1~0.4 m 区间内,最大值为 1.0 m,分布较为集中,波高分布近似为正态分布,成功得到近岸浪的形态特征。

ADCP 能够输出波浪频谱和波向谱等参数,坐底式声波测波仪具有测量准确度高、操作简单的特点,而气介式声学测波仪更易安装操作,可实时分析数据,但会受到波浪飞溅及大雨天的影响。

## 5. 海底地层探测

### 1) 沉积层的工程特征探测

浅地层剖面探测技术借助浅地层剖面仪完成,它是一种基于水声学原理的连续走航式探测水下浅部地层结构和构造的地球物理方法。浅地层剖面仪是探知地层垂向结构和性质的声学设备,在一定程度上能够反映海底浅部地层的分层情况和各层底质的特征。杨忠勇等[18]枯季对长江口河口段进行了浅地层剖



面探测,展示了长江口区不同河段河槽浅地层在不同水动力、地层沉积物组成等影响下的发育结构。张惟河等[19]研究发现侧扫声纳和浅地层剖面仪相结合的表层淤泥探测系统在科伦坡近海海底表层淤泥探测中的应用具高效、经济和准确度高的特点,为今后类似海岸工程地质勘察提供了一种参考方法。李金铎等[20]针对温州某采砂区,应用浅地层剖面仪获得采砂区邻近海域浅部地层状况,研究发现从浅地层剖面记录反映出的海底面特征可以清晰地判别海砂开采的范围、强度以及对海底环境造成的影响。王琪等[21]讨论了沉积层厚度的预报方法,通过分析浅地层剖面仪的垂向分辨率,分析了沉积层厚度测量的误差,并对其进行改正,结果表明当基线越小、水深越大时,沉积层垂向厚度误差越小;反之,沉积层垂向厚度误差较大;对非线性调频脉冲,声速误差的影响与其垂直分辨率相当,可不进行改正。水利工程清淤工程中,通过浅地层剖面仪的测量,对淤泥土方量计算、及时了解区域沉积物的特征、地质构造及地形变化提供了有利的技术保障[22]。在海南 LNG 码头工程中,浅地层剖面仪在沉桩时得到应用,并获得专家一致认可[23]。

浅地层剖面探测技术主要用于勘查海底浅层地质信息,根据沉积物的不同声学特征识别沉积层的厚度、冲淤变化等,直接或间接地为近海工程提供帮助。随着技术的不断发展,针对浅地层剖面仪所得到的数据的处理方法也在不断改进,包括失真问题、畸变问题、受干扰问题等。

## 2) 海底地质构造探测

海洋地震勘探主要利用地震波在海底地层岩石中的传播规律,来研究海底以下地质构造,推断岩体物性,如图 3 所示。地震勘探法是目前海底探查应用最广、成效最高的地球物理技术。自 1936 年美国尤因首次在海洋中开展地震探测以来,海洋地震探测经历了 80 年的不断发展和进步,具体表现在采集系统的高集约化,采集技术的多样化、探测技术的多元化,以及数据处理解释技术的飞速发展[1]。裴彦良等[24]从拖缆的总体设计着手提出一种新系统,结合工程应用实例,说明系统可以满足近海至远海海洋研究和工程勘察的需要,具有很好的应用前景。采用的海面拖曳式拖缆具有操作简单、试验方便的优点,但是随着测区水深的增加,一方面声波在水中的传播距离变大,地层的垂直分辨率和穿透深度明显降低,另一方面海底反射的菲涅尔半径增大,水平分辨率降低。为了解决这一难题,国外提出了深拖式多道地震探测技术,将震源系统和接收拖缆均拖曳于近海底上方,从而可以大幅度提升地层探测的分辨率和穿透深度,这也是我国多道浅地层探测技术研究发展的方向。方中华等[25]对深拖地震技术在提高地震资料质量方面的作用进行了分析,指出了深拖地震技术有利于提高地震资料的信噪比和分辨率。

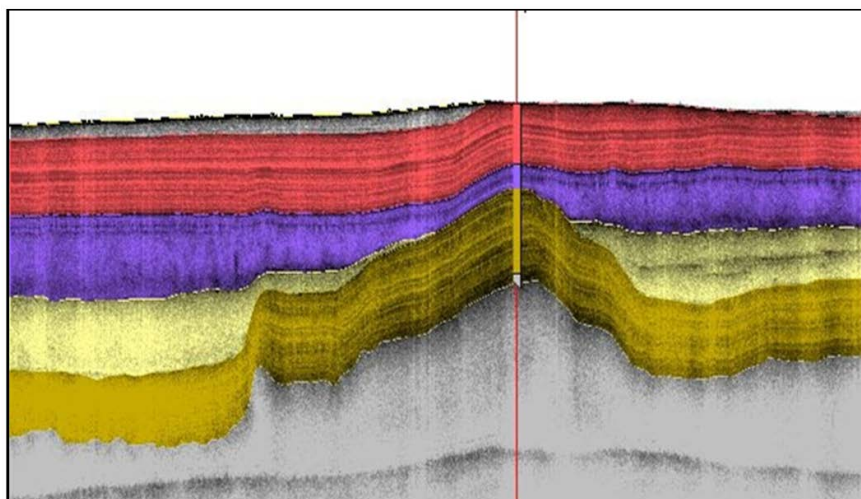


Figure 3. Data of a submarine shallow profile  
图 3. 某海底浅剖资料示意图

海洋地震勘探技术主要应用于勘查海底以下较深区域地质构造,深拖式多道地震探测技术可以解决在较深区域分辨率降低的问题,它有利于提高地震资料的信噪比和分辨率,是我国研究发展的方向,目前也取得了一些研究成果。

### 3) 近海工程海底稳定性探测

近海工程中,由于外动力地质作用(如:波、浪和流)或(和)内动力地质作用(如:地震、断裂、火山活动),海底斜坡具有一定不稳定性,但常常是在海底电缆、管线和海底建筑物遭到破坏或者某海域水深突然发生变化时才被人们发现。海底滑坡是近海三角洲以及大陆坡范围常见的一种地质过程,一旦发生,破坏后的块体可以高速运移至数十千米甚至上百千米远[26] [27],已成为对近海工程结构甚至人类生命安全威胁最大的地质灾害之一[28]。因此,对海底土体不稳定性预测研究变得极为重要。目前的研究大多是滞后的,主要借助于声学技术并结合地质学及陆上研究经验进行的。胡光海等[29]将海底斜坡土体不稳定性分为蠕动、滑动和流动,并发现蠕动声学识别特征是连续不规则波状反射结构;滑动声学探测记录表现为张性裂隙、内部结构完整的滑体以及伴有负载形成的地形等;沉积物流的声学识别特征以在流动中出现线形纹理和平行层理非常清楚的中断为标志,而且被没有内部结构或层理的声学透明物质充填等。S.H. Lee 等[30]利用 Chirp (2~7 kHz)浅地层剖面声学资料分析从韩国高原到东部陆坡地区,发现回声类型的独特带状分布取决于海底形态。B.G McAdoo 等[31]析了新泽西州、加利福尼亚州、德克萨斯州及俄勒冈州 4 个不同沉积环境下的海底滑坡形态特征,对研究海底土体运动过程提供了有益的启示,包括泥沙输运机制及边坡稳定性。R. Bøe 等[32]通过声学资料研究了挪威西南部海底土体运动情况,发现其形态及演化过程。

海底不稳定性勘测中,目前人们主要利用声学资料研究分析土体滑坡形态变化及过程,并将海底斜坡不稳定性分为蠕动、滑动和流动,得出各自的声学特征,这为以后进一步研究提供了极大帮助,同时,海底斜坡不稳定性预测是未来一个重要研究方向。

## 6. 结语

从总体上看,单波束和多波束技术主要应用于冲淤变化、疏浚工程、护岸工程等领域,侧扫声呐技术主要用于勘查海底地形地貌,ADCP 目前主要用于海洋、河口的流场结构调查、流速和流量测验等,浅地层剖面探测技术主要用于勘查海底浅层地质信息,根据沉积物的不同声学特征识别沉积层的厚度、冲淤变化等,海洋地震勘探技术主要应用于勘查海底以下较深区域地质构造。这些声学勘测资料都直接或间接地为近海工程提供了保障。多种声学勘测方法或者声学勘测技术联合其他勘查方法的应用是未来发展的一种趋势。对于蠕动这种土体内部微观运动,利用声学技术对其定期勘查预测,分析其进一步发展为滑动甚至流动的可能性将成为未来研究方向,这将为近海工程建筑物结构及人们生命财产安全提供重要保障。

## 参考文献 (References)

- [1] 金翔龙. 海洋地球物理技术的发展[J]. 东华理工学院学报, 2004, 27(1): 6-13.
- [2] 赵钢, 王冬梅, 黄俊友, 等. 多波束与单波束测深技术在水下工程中的应用比较研究[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(2): 20-23.
- [3] 王晓琳. 浅谈多波束系统在海洋工程勘察中的应用[J]. 科技资讯, 2014(15): 45-46.
- [4] 姬翠翠, 易建华, 黄文学, 等. 跨海桥梁基坑冲淤变化监测与分析[J]. 港工技术, 2015, 52(3): 87-90.
- [5] 王利锋, 蒋新华, 王冰, 等. 多波束测深系统在航道测量中的关键问题探讨[J]. 海洋测绘, 2014, 34(5): 55-58.
- [6] 邹双朝, 皮凌华, 甘孝清, 等. 基于水下多波束的长江堤防护岸工程监测技术研究[J]. 长江科学院院报, 2013, 30(1): 93-98.

- [7] 常增亮, 高兴国, 李新卫. 侧扫声呐系统在荣成海流能电站示范工程中的应用[J]. 山东国土资源, 2011, 27(12): 25-27.
- [8] 饶光勇, 陈俊彪. 多波速测深系统和侧扫声呐系统在堤围险段水下地形变化监测中的应用[J]. 广东水利水电, 2014(6): 69-72.
- [9] 李勇航, 牟泽霖, 万芑. 海洋侧扫声呐探测技术的现状及发展[J]. 通讯世界, 2015(3): 213-214.
- [10] 陈琳, 陆欣华. ADCP 测量技术在长江口深水航道治理工程中的应用[J]. 水运工程, 2000(12): 46-47.
- [11] 张存勇. 海州湾湾顶浅海区 ADCP 测流中垂向流速分量分析[J]. 海洋通报, 2014, 33(1): 62-67.
- [12] 陈志高, 张红梅, 赵建虎. ADCP 盲区流速最优推算模型自适应确定方法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013, 38(6): 729-733.
- [13] 陈志高, 张红梅, 赵建虎. 基于 GPS 的 ADCP 流速和流量精确确定方法[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(4): 670-675.
- [14] 高延雄, 薛冰. 浅析 ADCP 测流技术及使用中应注意的问题[J]. 水科学与工程技术, 2014(4): 58-60.
- [15] 屈茜, 彭东立, 朱安珏. 基于 ADCP 测量的海浪方向谱研究[J]. 声学技术, 2013, 32(4): 277-280.
- [16] 周庆伟, 张松, 武贺, 等. 海洋波浪观测技术综述[J]. 海洋测绘, 2016, 36(2): 39-44.
- [17] 张磊, 刘现鹏, 李茂林. 基于 LPB1-2 型声学测波仪资料的近岸浪特征分析[J]. 海洋技术学报, 2015, 34(2): 50-52.
- [18] 杨忠勇, 程和琴, 江红, 等. 长江口河口河槽浅地层剖面探测研究[J]. 海洋测绘, 2011, 31(2): 38-41.
- [19] 张惟河, 梁思明, 杨仁辉. 侧扫声纳和浅地层剖面仪在表层淤泥探测中的应用[J]. 港工技术, 2014, 51(5): 86-91.
- [20] 李金铎, 郭清荣, 林振华. 海洋采砂区监测监管中浅地层剖面仪的应用[J]. 海洋开发与管理, 2014(9): 62-64.
- [21] 王琪, 肖付民, 暴景阳, 等. 浅地层剖面仪垂直测量性能分析[J]. 海洋测绘, 2013, 33(2): 30-33.
- [22] 黄光. 浅地层剖面仪在水利清淤工程中应用[J]. 农业与技术, 2015, 35(9): 58-60.
- [23] 王怀果. 浅地层剖面仪在沉桩过程中的应用[J]. 建设科技, 2014(23): 93.
- [24] 裴彦良, 刘保华, 连艳红, 等. 海洋高分辨率多道数字地震拖缆技术研究与应用[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(6): 3280-3286.
- [25] 方中华, 赵铁虎, 刘怀山, 等. 海洋深拖地震技术优势分析[J]. 物探化探计算技术, 2014, 36(3): 313-317.
- [26] Canals, M., Lastras, G., Urgeles, R., *et al.* (2004) Slope Failure Dynamics and Impacts from Seafloor and Shallow Sub-Seafloor Geophysical Data: Case Studies From the Costa Project. *Marine Geology*, **213**, 9-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2004.10.001>
- [27] 胡光海, 刘忠臣, 孙永福, 等. 海底斜坡土体失稳的研究进展[J]. 海岸工程, 2004, 23(1): 63-72.
- [28] 李家钢, 修宗祥, 申宏, 等. 海底滑坡块体运动研究综述[J]. 海岸工程, 2012, 31(4): 67-78.
- [29] 胡光海, 仲德林. 海底土体失稳过程分类及其声学特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 95-99, 109.
- [30] Lee, S., Chough, S., Back, G. and Kim, Y.B. (2002) Chirp (2-7-kHz) Echo Characters of the South Korea Plateau, East Sea: Styles of Mass Movement and Sediment Gravity Flow. *Marine Geology*, **184**, 227-247. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00283-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00283-3)
- [31] Mcadoo, B., Pratson, L. and Orange, D. (2000) Submarine Landslide Geomorphology, US Continental Slope. *Marine Geology*, **169**, 103-136. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00050-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00050-5)
- [32] Bøe, R., Hovland, M., Instanes, A., Rise, L. and Vasshus, S. (2000) Submarine Slide Scars and Mass Movements in Karmsundet and Skudenesfjorden, Southwestern Norway: Morphology and Evolution. *Marine Geology*, **167**, 147-165. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00017-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00017-7)

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ams@hanspub.org](mailto:ams@hanspub.org)