

浅地层剖面测量常见干扰因素分析

刘宏扬, 张异彪, 李 斌, 李俊杰, 蔡春麟, 唐松华, 刘大鹏

(中石化海洋石油工程有限公司上海物探分公司, 上海 201208)

摘 要: 为了解浅部地层结构, 探测地层属性, 查明海底障碍物的分布情况、海域灾害地质情况(如浅层气、滑坡等), 经济性、高效性、方便性、分辨率高的浅地层剖面测量得到越来越广泛地应用。在浅地层剖面测量野外施工时常会遇到各种各样的干扰, 这些干扰严重影响着资料的质量, 增加室内处理的难度, 影响解释的准确性。以浅地层剖面测量实际资料为基础, 介绍了海流、船速、机械、海况等野外施工时常见的干扰因素及声学特征, 并对消除或减弱这些干扰的一些方法进行了分析和比较, 针对上述几种典型情况提出了测量作业时减少干扰的建议, 如: 选择较好的天气条件下作业、控制船速在 4~5 kn、远离干扰源等。本文的研究结果能够提高对干扰因素的认识和识别, 为获得高质量的资料打好基础。

关键词: 浅地层剖面; 高分辨率; 干扰因素

中图分类号: P714

文献标志码: A

文章编号: 1002-3682(2021)02-0148-09

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2021.02.007

引用格式: LIU H Y, ZHANG Y B, LI B, et al. Analysis of common interference factors in the measurement of shallow stratum profile[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(2): 148-156. 刘宏扬, 张异彪, 李斌, 等. 浅地层剖面测量常见干扰因素分析[J]. 海岸工程, 2021, 40(2): 148-156.

浅地层剖面测量是利用声波探测浅地层剖面结构和构造的方法。以声学剖面图形反映浅地层组织结构, 具有很高的分辨率, 能够经济高效地探测海底浅地层剖面结构和构造^[1]。浅地层剖面仪主要有震源系统、接收系统和记录显示系统三部分组成, 根据震源种类又可以分为强震板、电火花、压电和电磁伸缩、参量阵式以及其它震源(如气枪、蒸汽枪、水枪等)^[2]。其中, 电火花震源方式穿透深度深, 但分辨率略差; 参量阵方式分辨率高, 但穿透深度有限。此文主要以强震板式技术浅地层剖面仪所获资料为基础, 这种震源的数字浅剖仪具有能量大、发射频率低、穿透深度深和分辨率高的优点^[3], 应用较为广泛。

1 浅地层剖面测量原理

浅地层剖面的基本原理是声学原理。声波是物质运动的一种形式, 由物质的机械运动而产生, 通过质点间的相互作用将振动由近及远地传播^[4]。声波在不同类型的介质中具有不同的传播特征, 当岩土介质的成分、结构和密度等因素发生变化时, 声波的传播速度、能量衰减及频谱成分等亦将发生相应变化, 在弹性性质不同的介质分界面上还会发生波的反射和透射(图 1)。因此, 人们利用这一原理研制了浅地层剖面仪, 用于探测声波在岩土介质中的传播速度、振幅及频谱特征等信息并推断相应岩土介质的结构和致密、完整程度, 并作出相应评价^[5]。

2 常见干扰因素

浅地层剖面测量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。

收稿日期: 2021-02-08

作者简介: 刘宏扬(1987—), 男, 硕士, 主要从事海洋工程物探海洋地质方面研究。E-mail: liu_honggang@126.com

(李 燕 编辑)

浅地层剖面测量系统主要包括声源、发射控制单元、资料质量监控单元、数据处理单元、水听器和发电机六个部分,在野外作业时,震源和由水听器组成的电缆放入海中,分布于船只两侧,很容易受到海况、船只、海流等因素的干扰。

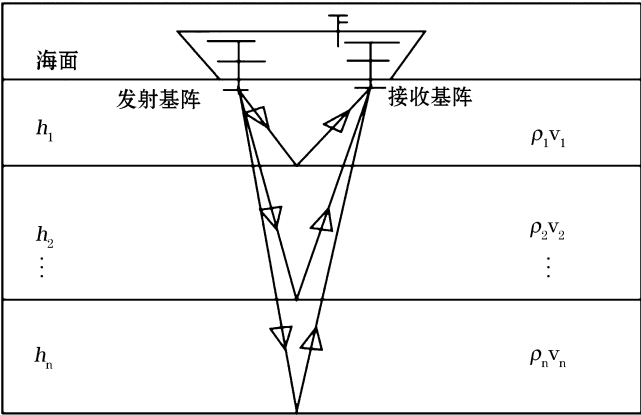


图 1 声波的反射现象与透射现象
Fig.1 Reflection and transmission of acoustic waves

2.1 外源干扰

外源干扰主要包括船体、螺旋桨及来往船只等产生的噪音,这类噪音表现为宽频、干扰整个有效信号频带、在船速较低和工区船只少或离得较远时噪音相对减少等特点。另外,船上用电也会的记录产生一定的影响,其干扰主要来自 50 Hz 电源,在仪器屏蔽、接地或水听器有故障时出现,有时是因为附近有强大的电干扰源,在记录上表现为有规律的斜条纹状。图 2 是在作业时没有将震源放电单元接地时产生的干扰剖面,其主要特征是干扰分布在整个剖面上,呈现为无特定时长的竖条状,噪音频率约 50 Hz,能量较强。

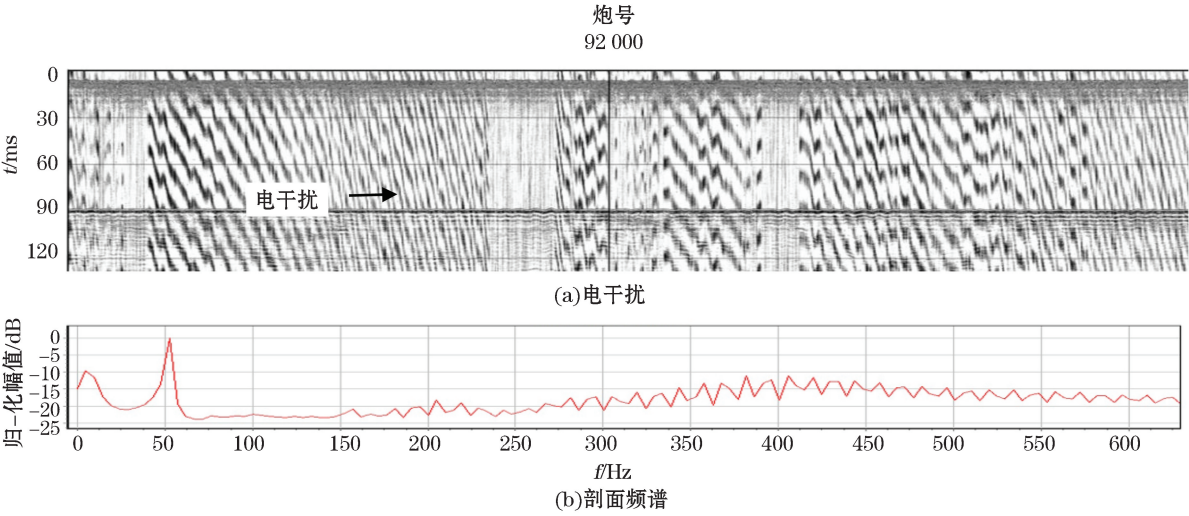


图 2 50 Hz 工业电干扰及剖面频谱
Fig.2 A profile interfered by 50 Hz industrial electricity

当浅地层剖面系统离电干扰较近时,剖面图上出现有规律的电干扰斜条纹,此时应采取检查船只供电、

震源和采集工作站是否接地线,将仪器远离电干扰源等措施,直至剖面图上这项干扰消除。

2.2 海况

浅地层剖面测量时,受海况的影响较大。较差的海况情况下,船舶摇摆幅度较大,为了保持作业航向,需要不断地调节舵角,因而影响电缆对有效信号的接收^[6];风浪较大会导致震源及电缆沉放深度起伏不定,使得激发和接收装置相对位置不断变化,从而影响到层位的判别;另外,海况较差、涌浪起伏较大时,噪音会增加,而这种噪音夹杂在有效信号中,会降低数据的信噪比和分辨率。

图3和图4是在不同的风浪环境下所做的2条浅地层剖面测线,通过对比分析可以看出,风浪较小时,涌浪噪音小,海底面在资料上显示更为清晰、平缓,同相轴更加收敛,连续性更好;而风浪较大时,海底面呈现锯齿状,且同相轴不连续;另外,在风浪较小时资料的噪音更少,同相轴更清晰,对层位的刻画更为清晰,对一些特殊构造显示更为明显;风浪较大时,噪音较多,噪音出现无规律,能量也相对较强,有效信息淹没在噪音中,资料信噪比低,导致出现层位不清晰等情况。

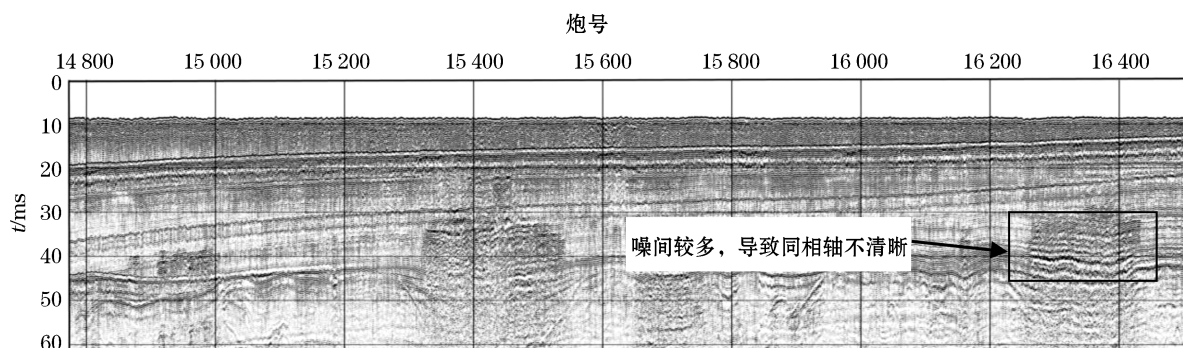


图3 风力约6~7级、浪高2~3 m情况的浅地层剖面资料

Fig.3 A Profile obtained under the conditions of wind class 6~7 and wave height 2~3 m

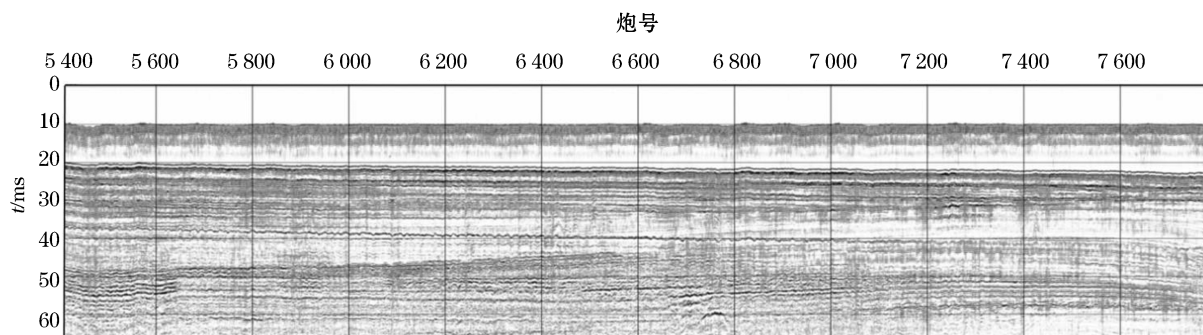


图4 风力约5~6级、浪高1~2 m情况的浅地层剖面资料

Fig.4 A profile obtained under the conditions of wind class 5~6 and wave height 1~2 m

由于海况引起的噪音频率分布较广,若在后期处理时通过滤波将其全部滤掉,就会损失一部分有效信号,影响到同相轴的识别及地层的划分,所以在野外作业时应尽量选择风力5级以下、浪高2 m以下的海况。野外作业时,施工人员对涌浪大小及对资料的影响程度有时不能清楚地判别,这就需要在室内做一定的处理,尽量提高资料品质。涌浪对资料的影响首先反映在海底面的高低起伏,在资料处理时,拾取海底曲线,利用处理软件将拾取的海底加入资料中,对海底及层位信息进行校正^[7]。图5a是采集的浅剖原始资料,受涌浪影响,海底及层位呈高低不平的波浪形态;图5b是拾取的海底信息;图5c是涌浪校正后资料,校正后海底及层位同相轴明显变平。

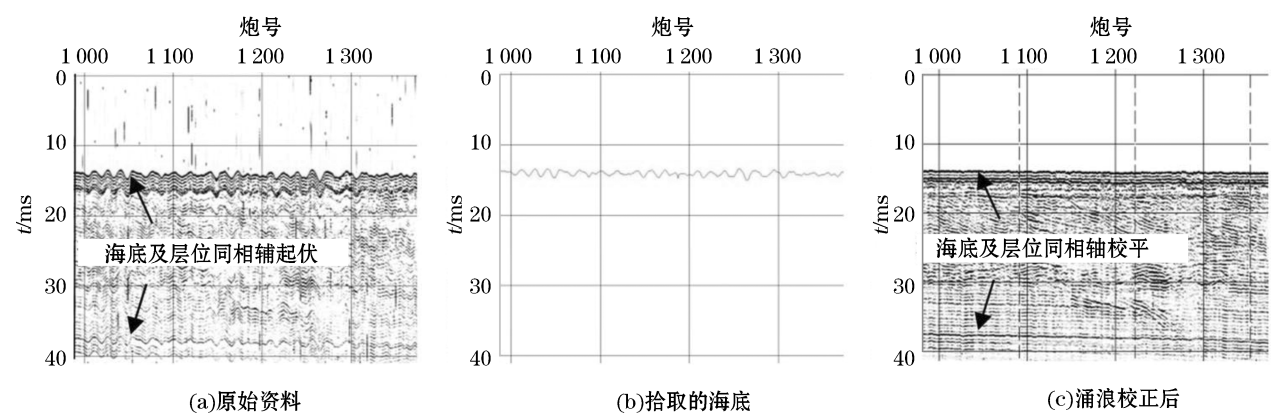


图 5 涌浪校正处理

Fig.5 Correction processing of surges

2.3 船 速

船在航行时,螺旋桨击水的噪音以及海水冲击水听器引起的噪音,都与船速有很大的关系^[8]。当船速过大时,螺旋桨转速快,使得噪音增大,尾流增强,海水与水听器的摩擦增加,也使得噪音增大。另外,如果船速过大,会使得地层采样点减少;船速过小时,容易造成电缆倾斜、弯曲。考虑到海流等因素,浅剖作业时,绝对船速保持在 4~5 kn 为宜。

图 6 和图 7 是在东海对同一地点不同船速情况下所做的两条浅地层剖面测线,船速为 5 kn 比船速为 7.5 kn 时对地层的刻画更为清晰,黑色箭头所指位置的倾斜地层刻画得更加清晰细腻,同相轴连续性好,能量收敛,整体的信噪比更高。从图 8 中不同船速情况下的频谱对比结果可以看出,在当船速过大时,低频端的噪音明显增加。

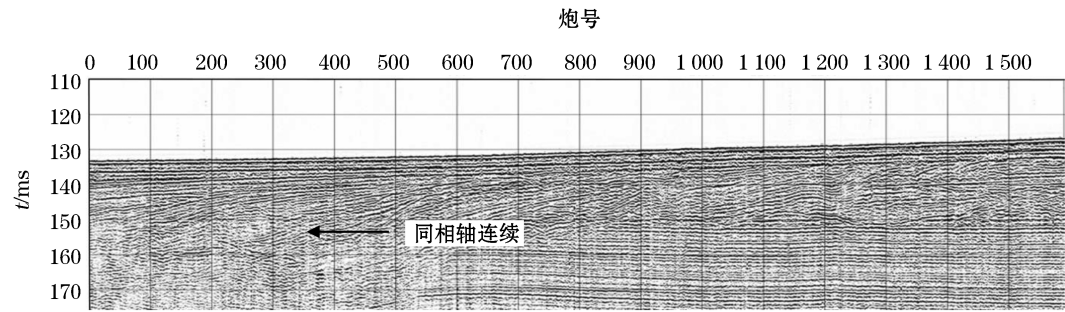


图 6 船速为 5 kn 情况的浅地层剖面资料

Fig.6 A profile obtained at a ship speed of 5 kn

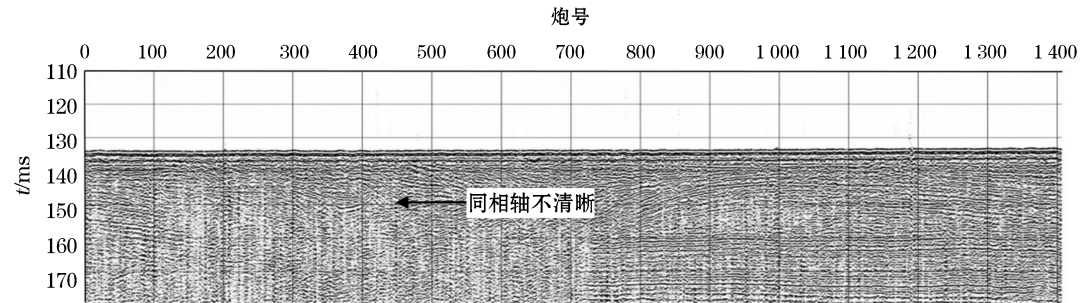


图 7 船速为 7.5 kn 情况的浅地层剖面资料

Fig.7 A profile obtained at a ship speed of 7.5 kn

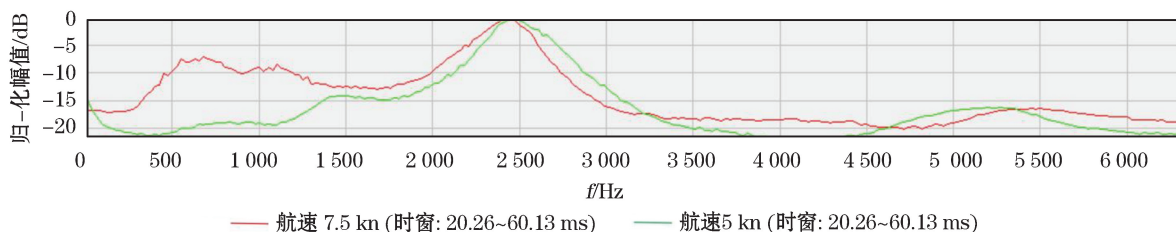


图8 船速 5kn 和 7.5 kn 时频谱及对比

Fig.8 Comparison between the spectra obtained at the ship speed 5 and 7.5 kn

浅剖作业时电缆一般拖在船体后侧,螺旋桨产生的尾流气泡会改变水体的声学特征,在其破裂时产生的低频噪音对有效信号形成了一定的干扰,船体尾流一般呈扇形向外扩散,理论上电缆放得足够长,就能消除这种影响,但在实际作业时,考虑到连接线长度及仪器设备的安全,只能将电缆放到尾流影响较小的区域^[9]。

图9和图10是电缆距船尾15和24 m时所采集的资料,对比2图可以看出,在试验中,电缆距船尾15 m时,同相轴更加清晰、连续,受尾流影响较小;从频谱图上也可以看出(图11),电缆距船尾15 m时低频端的噪音更少,能量更弱。不同的船只尾流对浅地层剖面测量的影响是不同的,这需要在工区进行拖带长度的试验,通过对比分析,最终确定拖带长度。

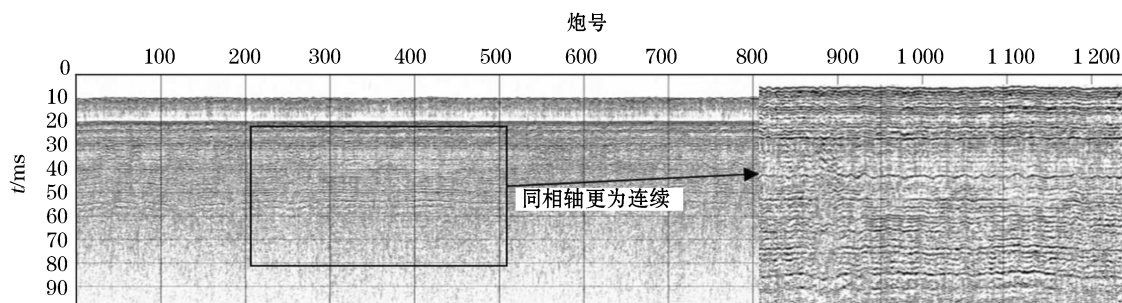


图9 电缆距船尾 15 m 情况的浅地层剖面资料

Fig.9 A profile obtained under the case of cable 15 m away from the stern

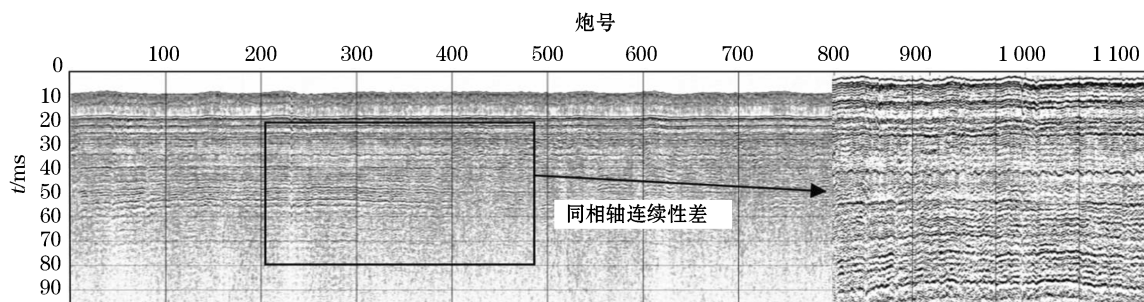


图10 电缆距船尾 24 m 情况的浅地层剖面资料

Fig.10 A profile obtained under the case of cable 24 m away from the stern

另外,船体在转向时,尾流影响电缆,会记录到贯穿整个剖面较宽的全纪录长度的竖条噪音^[10],其能量非常强,地层信息淹没在其中,噪音频谱和船舶有关,主要集中在中低频,影响的范围跟转向角度正相关(图12)。

若在野外作业时船速不好控制,也可在处理时通过频谱分析,找出其能量分布集中的频段,通过滤波在一定程度上降低其影响。因为每条船的尾流影响范围不同,在野外正式作业前,要进行电缆释放长度试验,

选取合适的释放长度以最大化减小尾流对资料质量的影响。

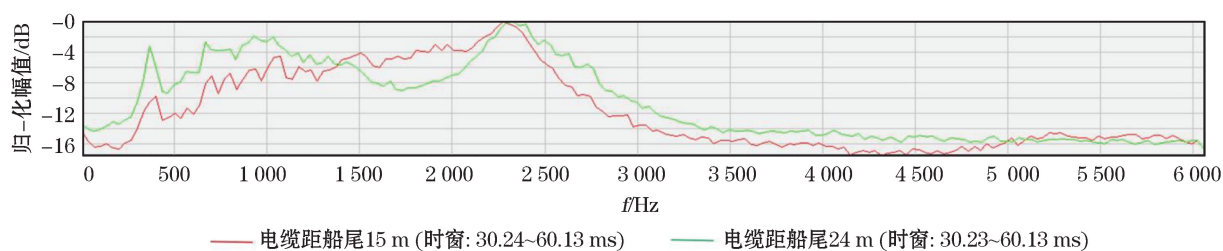


图 11 电缆拖带 15 和 24 m 时频谱对比

Fig.11 Comparison between the spectra obtained at the cable 15 and 24 m away from the stern

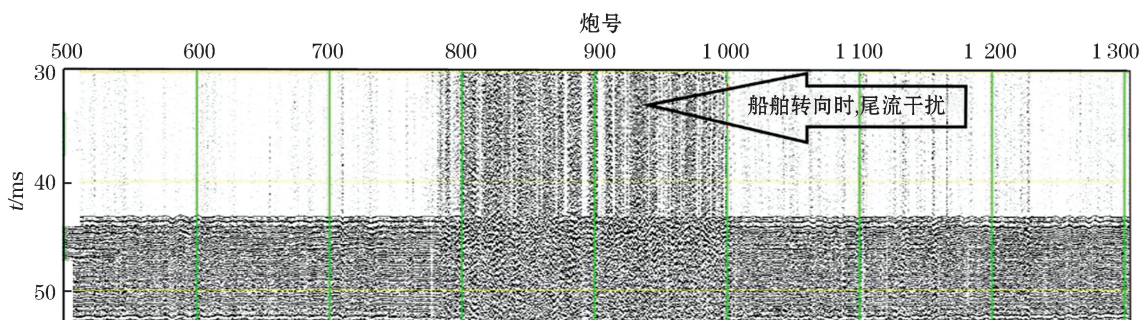


图 12 受尾流影响情况的浅地层剖面资料

Fig.12 A profile influenced by wake flow

2.4 海 流

海流对数据质量的影响主要体现在电缆对流与电缆摩擦导致的噪音的接收,在野外作业时一般会遇到顺流和逆流两种情况,在流速较大时,顺流作业要注意对船只的绝对速度的控制,避免船速过快导致采样点稀疏;逆流作业时,由于电缆与水流的摩擦增大,会导致噪音增加。在野外作业前,要充分了解工区海流情况。

图 13 和图 14 是同一地区顺流和逆流情况的浅地层剖面资料,对比分析可知,顺流采集比逆流采集噪音更少,海底在资料上显示更为连续、平滑;另外,顺流采集的资料同相轴更为连续,对地层的刻画更为明显^[11]。在两图的对比中,黑框范围内图 13 中出现了相对较连续的同相轴,能分辨出有效地层信息,在图 14 中则表现得比较分散。在浅剖野外作业时,应合理安排测线,尽量顺流时作业。从图 15 频谱对比上可以看出,顺流作业时,无论在低频段还是高频段噪音都比逆流作业时要少。在野外作业时注意观察流向,尽量选择顺流方向作业。

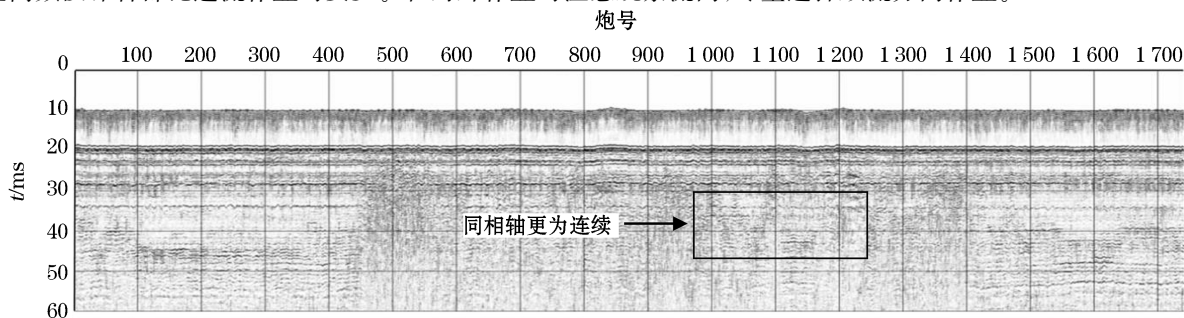


图 13 顺流情况的浅地层剖面资料

Fig.13 A profile during the downstream

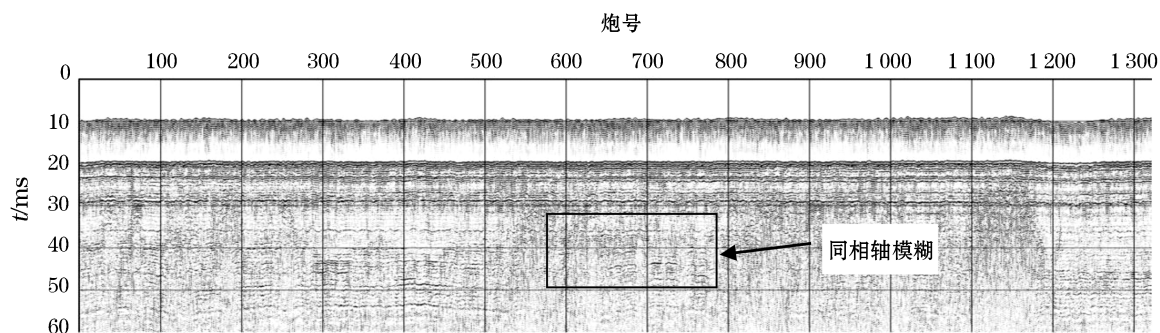


图 14 逆流情况的浅地层剖面资料
Fig.14 A profile during the countercurrent

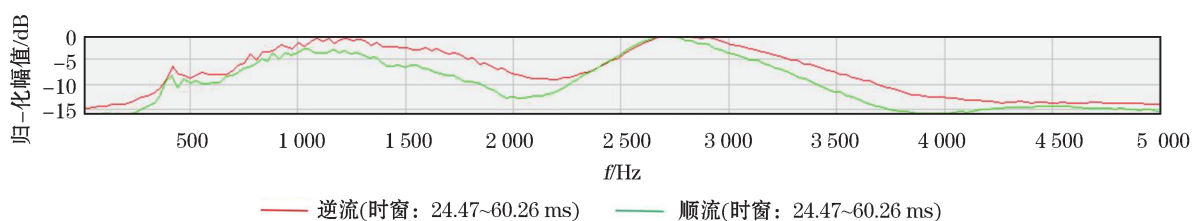


图 15 顺流和逆流情况的频谱及对比
Fig.15 Comparison between the spectra obtained during the downstream and the countercurrent

2.5 海面障碍物

在浅剖作业时,有时会遇到水草、渔网、浮漂等障碍物,这些障碍物挂在震源及电缆,会影响震源的激发及电缆对信号的接收,情况严重时,甚至会造成仪器损坏^[12]。

图 16 是典型的少量水草干扰剖面,在拖带过程中,电缆碰到水草,由于水草的摩擦和缠绕,会形成竖条状干扰,干扰噪音以低频为主,能量大小与缠绕物的大小有关,条带的宽度由水草的缠绕时间决定,干扰区域能观察到有效信号,但是该区域信噪比较低。图 17 为典型的震源和电缆受大量渔网等干扰物影响的剖面,干扰物缠绕震源后,激发能量下传受到影响,所以接收到的信号能量在一定程度上会减弱,浅部地层能模糊观察到,但深层的信号基本淹没在噪音中;电缆接收噪音明显增强,噪音为影响全纪录长度的无规则低频干扰。图 18 是遇到渔网时紧急调整舵角造成的数据缺失。

因此,浅剖作业在遇到水草、渔网等海面障碍物时,要及时清理,影响严重的情况下要重新采集数据。

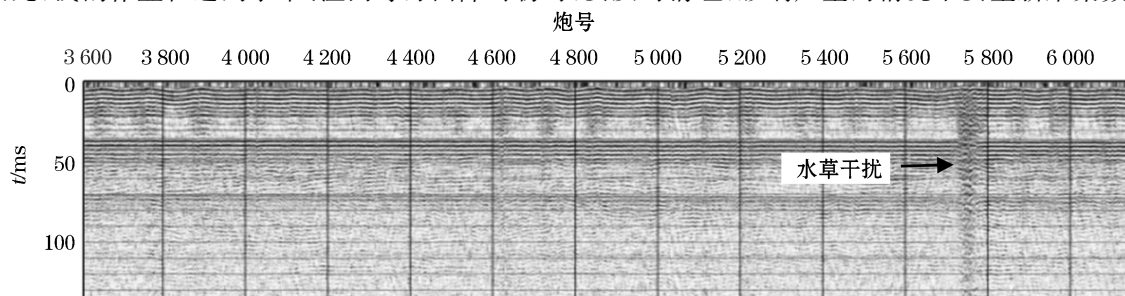


图 16 电缆挂上水草情况的浅地层剖面资料
Fig.16 A profile influenced by aquatic plants hanging on the cable

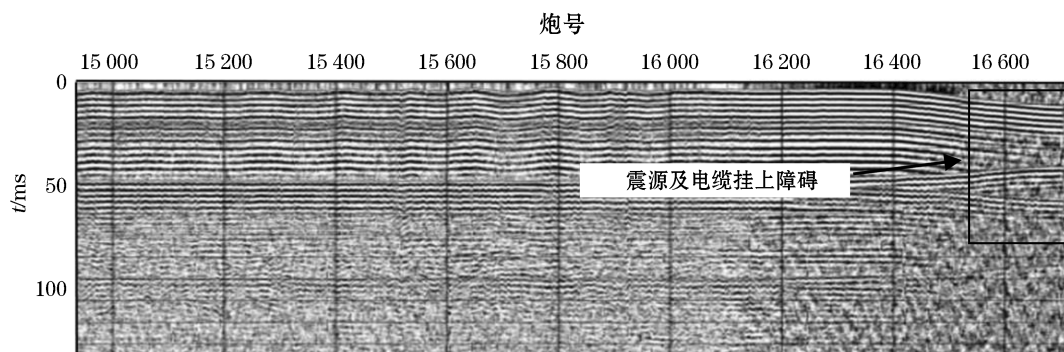


图 17 震源及电缆挂上渔网情况的浅地层剖面资料

Fig.17 A profile influenced by fishing net hanging on the seismic source

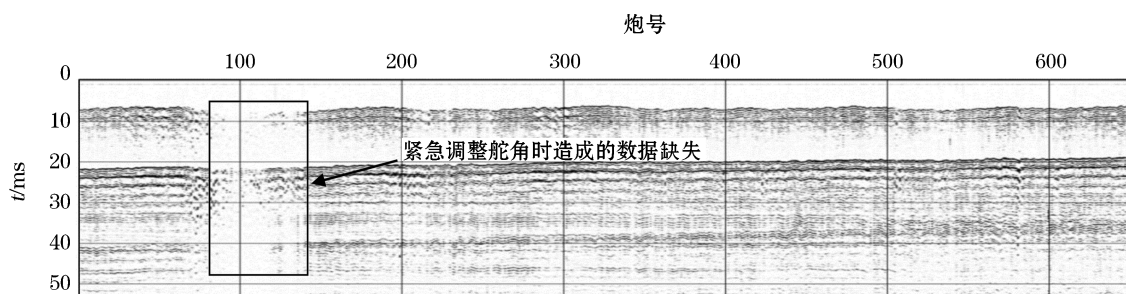


图 18 紧急调整舵角情况的浅地层剖面资料

Fig.18 A profile obtained when urgently adjusting the rudder angle

3 结 语

在海洋工程勘探中,浅地层剖面测量是一种经济有效的方法,野外作业时,影响浅地层剖面测量资料质量的因素多种多样,掌握这些影响因素在剖面上的表现及产生的原因,有利于及时进行调整,获取更好的资料。由于浅地层剖面测量时,电缆沉放深度较浅,一般为 0.5 m 左右,海况差时,噪音会非常大,严重影响资料质量。所以,对于资料质量要求高的工程,一定要选择海况好时作业。另外,在浅地层剖面正式作业前要充分了解作业区的底质、水深和底流等情况,进行试验测线时调整好电缆、震源沉放深度,拖带长度,震源能量等作业参数。

参考文献 (References):

- [1] LI P, DU J. Review on the probing of sub-bottom profiler[J]. Marine Science Bulletin, 2011, 30(3): 344-350. 李平, 杜军. 浅地层剖面探测综述[J]. 海洋通报, 2011, 30(3): 344-350.
- [2] ZHAO T H, ZHANG Z X, XU F. Analysis of shallow acoustic surveying in the shallow waters[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 24(3): 215-219. 赵铁虎, 张志珣, 许枫. 浅水区浅地层剖面测量典型问题分析[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(3): 215-219.
- [3] LI C Q, CAI C L, ZHOU Z, et al. The application of the shallow profiling to offshore well-site survey and data interpretation[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(9): 59-63. 李长勤, 蔡春麟, 周政, 等. 浅地层剖面测量在海洋井场调查中的应用和解释[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(9): 59-63.
- [4] ZHU L. Study on high-precision method of shallow profile seismic data processing and interpretation[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. 朱琳. 浅剖资料高精度处理与解释方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.

- [5] LI Y B, ZHANG Y F, LIU Y L, et al. Application of subbottom profiler to ocean engineering[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2007, 4(1): 4-8. 李一保, 张玉芬, 刘玉兰, 等. 浅地层剖面仪在海洋工程中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(1): 4-8.
- [6] LIU X J, GAO S, ZHAO T H. The recognition of the seabed reflection signal and the automatic pickup of seabed topography from the original data of sub-bottom profile[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2009, 35(5): 576-579. 刘秀娟, 高抒, 赵铁虎. 浅地层剖面原始数据中海底反射信号的识别及海底地形的自动提取[J]. 物探与化探, 2009, 35(5): 576-579.
- [7] ZHANG Y M, LIU Q L, ZHANG Y K. Quantitative analysis of seismic data quality and optimization of acquisition parameters[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(增2): 1-5. 张翊孟, 刘秋林, 张永科. 地震资料品质定量分析和采集参数优选[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(Suppl.2): 1-5.
- [8] TANG B Y. Some problems in application of submarine shallow stratum profiler[J]. Marine Sciences, 1978, 2(3): 13-21. 唐宝珏. 海底浅地层剖面仪应用的若干问题[J]. 海洋科学, 1978, 2(3): 13-21.
- [9] LIU J D, HUANG Y L, SONG W R, et al. Application of Chirp acoustic subbottom profile system on geologic investigation in water areas[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2010, 30(2): 216-221. 刘建达, 黄永林, 宋文荣, 等. Chirp 浅剖仪在水域地质调查中的应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2010, 30(2): 216-221.
- [10] TIAN C L, CHENG Y. Research and application of quality control techniques of field seismic acquisition[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2011, 4(1): 25-27. 田春林, 成云. 野外地震资料采集质量监控技术的研究与应用[J]. 复杂油气藏, 2011, 4(1): 25-27.
- [11] WANG Q, LIU Y C, BAO J Y. An analysis of vertical resolving power for sub-bottom profiler[J]. Marine Science, 2003, 27(6): 77-80. 王琪, 刘雁春, 暴景阳. 浅剖仪垂直探测分辨率分析[J]. 海洋科学, 2003, 27(6): 77-80.
- [12] WU S G, ZHOU J P, GU C H. Introduction and application of subbottom profile system[J]. Journal Marine Sciences, 2007, 25(2): 91-96. 吴水根, 周建平, 顾春华, 等. 全海洋浅地层剖面仪及其应用[J]. 海洋学研究, 2007, 25(2): 91-96.

Analysis of Common Interference Factors in the Measurement of Shallow Stratum Profile

LIU Hong-yang, ZHANG Yi-biao, LI Bin, LI Jun-jie, CAI Chun-lin, TANG Song-hua, LIU Da-peng
(Shanghai Geophysical Branch, Sinopec Offshore Oilfield Services Company, Shanghai 201208, China)

Abstract: In order to know the shallow stratigraphic structures, detect the stratigraphic properties and ascertain the distribution of seafloor obstacles and the disaster geological conditions in the sea area (such as shallow gas, landslide, etc), the measurement of shallow stratum profile which has the advantages of economy, high efficiency, conveniency and high-resolution has been applied more and more widely. In the field surveys of shallow stratum profiles, however, various types of interference can often be encountered. These interferences affect seriously the quality of data and the accuracy of interpretation and increase the difficulty of indoor data processing. For improving the understanding and identification of the interferences, the interference factors such as ocean currents, ship speed, machinery and sea conditions commonly encountered in the field surveys and their acoustic characteristics are introduced based on the actual data of shallow stratum profiles. Meanwhile, some methods for eliminating or reducing these interferences, for instance, choosing better weather conditions for working, keeping the ship speed at 4~5 kn, staying far away from the interference sources, etc. are also discussed. This study could lay the foundation for obtaining high-quality data.

Key words: shallow stratum profiling; high resolution; interference factors

Received: February 8, 2021