

doi: 10.11720/wtyht.2019.0370

李斌,冯奇坤,张异彪,等.海上 OBC-OBN 技术发展与关键问题[J].物探与化探,2019,43(6):1277-1284.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0370

Li B, Feng Q K, Zhang Y B, et al. Summary of development and key issues of offshore OBC-OBN technology[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(6): 1277-1284. http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0370

海上 OBC-OBN 技术发展与关键问题

李斌^{1,2}, 冯奇坤¹, 张异彪¹, 黄福强¹

(1. 中石化海洋石油工程有限公司 上海物探分公司, 上海 201208; 2. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092)

摘要: 近些年,海上 OBC-OBN 技术取得飞速发展,不管是海底电缆采集,还是海底节点采集,新装备、新方法层出不穷。笔者以最新的国内外研究成果和发表的论文为基础,总结了海上 OBC-OBN 技术的发展历史及研究现状,综述了有关海上四分量地震勘探采集技术及装备,以及处理与解释技术,认为:海底多分量地震相对于海上拖缆地震,具有多分量数据、宽方位、宽频等优势,是海上地震发展趋势;资料处理、转换波使用等方面尚需进一步研究;海上油气田勘探进入复杂构造、岩性油气藏勘探阶段,随着海底地震施工成本降低,处理技术的进步,其应用范围将得到进一步扩展。

关键词: 海底电缆;海底节点;采集技术;设备介绍;处理解释

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)06-1277-08

0 引言

海上油气田勘探开发进入到深层、复杂构造、岩性油气藏勘探阶段,对地震资料的要求越来越高。海底多分量地震具有接收多个分量数据、宽方位角、噪音小、宽频、多次测量等优势^[1],在精细勘探、开发油气田油气藏监测得到越来越多的应用^[2-3]。近些年海底电缆(ocean bottom cable, OBC)与海底节点(ocean bottom node, OBN)地震技术得到快速发展,被认为是海上地震发展趋势。尤其浅水区绳系 OBN 施工技术的发展,大大降低了施工成本,已实施了多块三维地震采集。国内也开展了海底多分量地震采集处理研究^[4-8],具备了技术服务能力。

虽然近些年海底多分量地震勘探技术得到快速发展,但在数据处理,尤其转换波处理方面仍存在一定问题,尚不能充分挖掘多分量数据信息。降低外业施工成本、完善数据处理技术,提取更多多分量信

息是海底多分量地震勘探今后研究方向。

1 海上多分量地震发展史

在海上利用海底电缆(OBC)进行转换波地震勘探,最初由挪威国家石油公司(Statoil-Den Norske Stats oljeselskap)于 20 世纪 80 年代开发出海底地震记录法(SUMIC-subsea seismics)技术专利^[9],它利用置于海底的四分量检波器(压力检波器及三分量速度检波器),通过数传电缆,将由海水中激发、海底接收的纵波和转换波等传输到海面接收船的记录仪上。

1993~1994 年, Geco-Prakl 公司同挪威区 Statoil 公司合作,进行了 SUMIC OBC 试验,1996 年秋这项技术在北海半商业性地亮相^[10]。到 1996 年底,海上多分量采集已经商业化,在北海和西非海岸获得了一些数据集,数据处理也在几个月后商业化^[11]。1997 年该公司用 Nessie-4c multiwire Array 沿挪威

收稿日期: 2019-07-22; 修回日期: 2019-09-17

基金项目: 国家科技重大专项下课题“深层立体震源—斜缆—OBS 联合二维地震采集处理技术”(2016ZX05027-002-004)

作者简介: 李斌(1979),男,高级工程师,主要从事海洋地质、地球物理方面的生产、研究工作。

海岸做了称为世界上第一次高性能 4C 海底勘探。同年,西方地球物理公司提出 OBC 双传感器技术,双传感器数据能实现比海洋拖缆技术更高分辨率的地下图像^[12]。图 1 展示了三种海上地震的采集方式。1998 年中,第一块 3D/4C 的处理结果已经被提交,标志着 4C 技术从采集到处理已经完全商业化。到 1998 年下半年,已经可以对 3D/4C 地震数据进行有效处理^[11]。

20 世纪 90 年代以来,海上多波地震勘探这项高新技术在国际上迅猛发展到产业化阶段,取得了可观的经济效益。在 1994 年的 EAGE 会议上,挪威国家石油公司展示了于 20 世纪 90 年代在挪威北部海域的最西南部获取的海洋多分量数据。到 1996 年秋季,已经开发了四种不同的系统来获取海洋四分量数据^[11]。自 1997 年以来,挪威国家石油公司一直使用 OBS 数据来改善复杂领域的结构成像^[13]。该公司 1999 年发布了 1997 年在 Statfjord 油田完成的海上四分量地震勘探成果^[14],并得出结论,P/Z 数据似乎比 Statfjord 勘探北部的传统三维

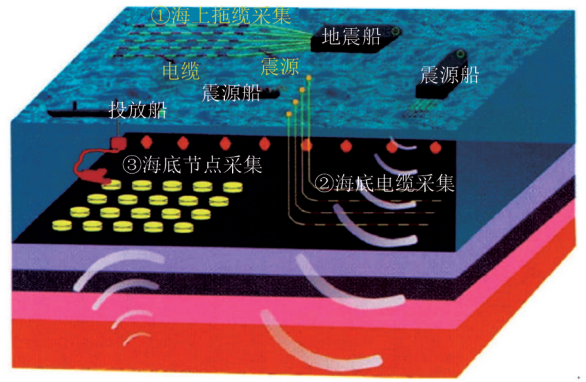


图 1 海上地震方式采集示意

Fig.1 Sketch of marine seismic acquisition

数据提供了更好的图像,部分原因是由于真实的三维 OBC 采集几何结构以及在处理中通过水听器 and 地震检波器数据的总和来优化抑制了水层混响^[15]。1997 年的 3D OBS 勘探成功后,2002 年,挪威国家石油公司在东面的其余部分和东部的 Statfjord 油田进行了勘探范围更大的 3D OBS 勘探采集,如图 2 所示^[13]。

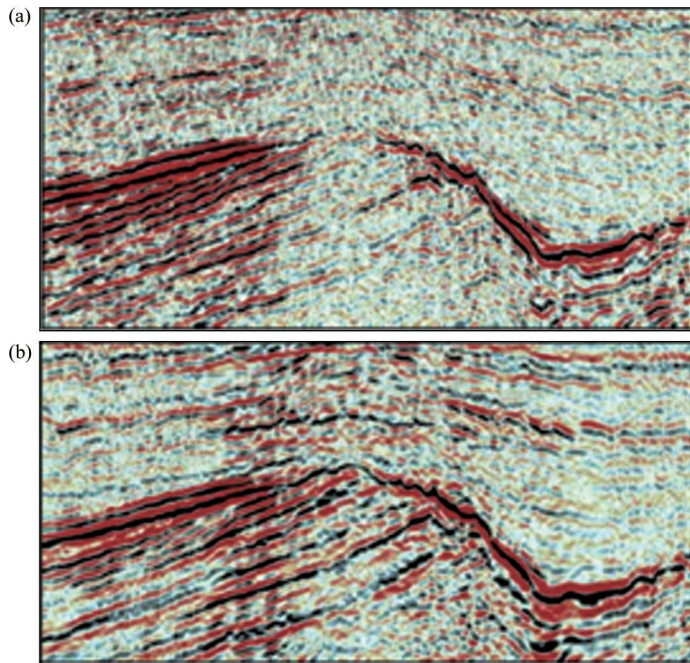


图 2 1997 年 3D 常规海洋地震(a)与 2002 年 3D OBS(b)对比

Fig.2 Compared with conventional 3D marine seismic in 1997(a) and 3D OBS in 2002(b)

由于海底电缆采集(OBC)方法的广泛应用,多波多分量地震资料处理解释的新技术开发研究在 20 世纪 90 年代得到了普遍重视^[16]。1998 年,在第 68 届 SEG 年会上,Holvik E 和 Amundsen L 等人,开发出了将海底多分量地震数据转换成通常用 P 波震源和 S 波震源激发接收数据的方法^[17]。这种方法同时消除了数据中水层引起的所有多次波和散射

能量。同在第 68 届 SEG 年会中,斯仑贝谢公司的 Richard B. 等人提出了海底地震数据(OBC)的转换波叠前深度偏移需要考虑的几点因素。

2000 年,英国石油公司开始了一个为期多年的项目,以了解学术界少数人使用的 OBS 节点的优缺点^[18];到 2004 年,完成了三个小型样机的海上试验^[19],如图 3 所示。2008 年,英国石油公司决定在

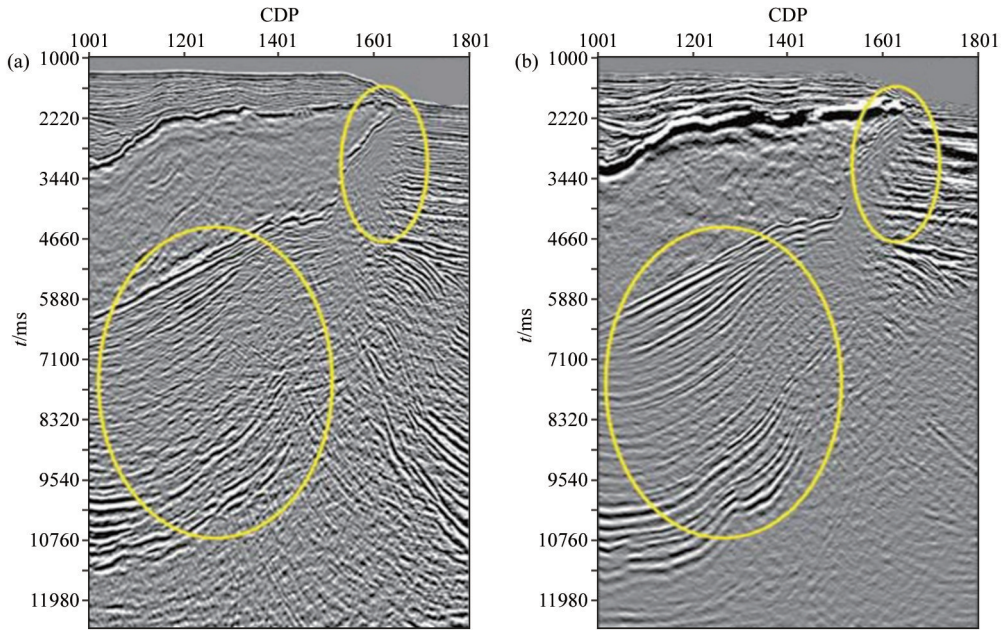


图3 窄方位拖缆(a)和节点数据(b)成像比较

Fig.3 Compared with streamer migration (a) and OBN (b) migration

Atlantis 油田进行一次全面的海底采集试验^[20]。并且英国石油公司专门为这些深海盐下节点数据集开发了叠前深度成像算法。2009 年,英国石油公司在墨西哥湾的 Atlantis 油田获得了世界上第一个海底地震节点—节点延时(4 维)监测勘探结果,超过 90% 的节点位置与 2005 年的位置偏差在 5 m 以内,表明基于 ROV 的 OBS 采集系统是获取广角反射地震信息的首选方法,特别适用于对类似油藏的高度可重复地震监测,可用于复杂深水油田评估和开发^[21]。

2001 年,Hydro 公司在 Grane 油田北部采用了海底电缆的多分量(4C)勘测,这是北半球的第一次 3D/4C 勘探,2003 年在南部开展了一个新的 4C 勘探。两次勘探一起覆盖整个 Grane 地区。在 2005 年春季初完成了对合并数据的处理,包括 PP 波、PS 波、处理方位各向异性等^[22]。

2004 年 10 月,壳牌公司在墨西哥湾 Mars 油田部署了一条 6 km 长的 4C Geospace 电缆,且得出结论,放置在海底的节点传感器相比于未埋入的电缆传感器显示了最佳的矢量保真度。

2008 年,壳牌公司和 Fairfield 工业公司合作,利用海底地震(OBS)节点在墨西哥湾的 Deimos 油田上进行地震数据采集^[23],利用波动方程模型确定节点的最优位置。2008~2009 年,安哥拉勘探开发总公司(Total E&P Angola)在几内亚湾利用 OBN 技术对 Dalia 油田进行油藏监测试验,采集的 OBN 数据中全方位和全波场特征要明显好于传统拖缆数据,

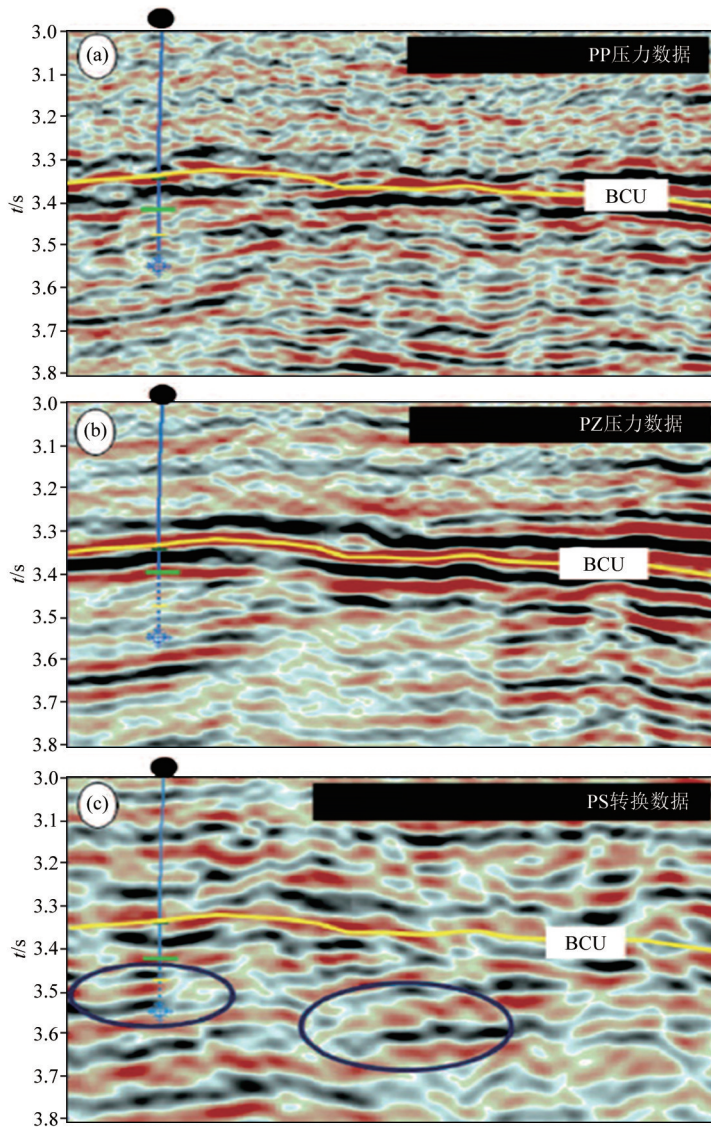
使得利用下行波进行镜像成像以及共偏移距矢量成像成为可能^[24]。2010 年,挪威国家石油公司在 Kvitebjørn 凝析气田利用海底电缆(OBC)测量方法记录压力数据(PZ)和转换剪切(PS)地震数据,如图 4 所示^[25]。

2011 年,中国科学院与中国国家海洋局联合在南海西南次盆地与南沙地块进行了 OBS 探测,布设了南海南部海底地震仪广角反射与折射深地震测线,最终获得了一条新的地壳结构剖面^[26],填补了在这之前位于南海南部的 OBS 深地震勘探的空缺。

2012 年,壳牌尼日利亚勘探生产公司在位于尼日利亚近海的 Bonga 油田进行了海底节点地震(OBN)勘探^[27],并取得了很大的成功,为未来的 Bonga OBN 的上倾角油气藏监测提供了 4 维数据集基线,如图 5 所示,展示了 Bonga 油田采集的基础设施。

2 国内外研究现状

中国南海、东海和渤海等海域油气资源十分丰富,勘探开发中遇到许多难题,亟需海上多波地震这一高新技术的支持。20 世纪 90 年代初,由中国海洋石油总公司渤海联营公司率先从美国 Syntron 公司引进二分量海底电缆,并组建过海上作业地震队,也试制过一段海底电缆,但一直没有打破外国的垄断,1998 年又雇佣 Geco-Prakla 在中国南海承担 100 km 的勘探任务,为解决莺琼大气区中深层泥底构造



a—PP 压力数据; b—PZ 压力数据; c—PS 转换数据
 a—PP pressure data; b—PZ pressure data; c—PS transform data
图 4 利用海底电缆 (OBS) 记录压力数据和转换剪切波数据

Fig.4 Using submarine cable (OBS) to record pressure data and shear wave data

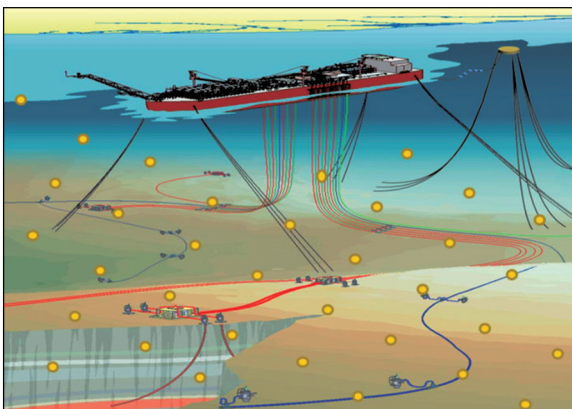


图 5 Bonga 油田采集的现有基础设施示意
Fig.5 Schematic of existing water facilities of Bonga FPSO

带上“气污染”和构造变形问题,利用 480 道四分量的海底电缆,进行了海底多波地震勘探,与此同时还组织了处理、解释技术的研究,耗资 200 余万美元^[28],从勘探结果看,四分量地震技术能够很好地解决某些纵波所不能解决的问题^[29]。在国家“863”计划的支持下,自 1997 年开始有计划地自行研制、自主开发海上多波地震勘探技术(采集装备、采集技术、处理及解释),取得较大进展,研制出了 480 道四分量海底电缆采集系统,其中海底拖曳式一体化采集单元,明显优于国外插结式海底电缆,独具特色;24 位数包畸变指标达到百万分之二,优于国外最好水平;研制的水听器打破了国外深水产品向我国禁运的封锁,三分量检波器整体指标及万向平衡

装置性能已达到国外同类产品技术水平;研制的海上多波地震施工仿真系统,实现了多波海上施工参数优化设计等配套技术,可在室内预估实现勘探目标,大大节约了采集成本,减少了海上施工的盲目性^[30]。但总体看来,中国在这一领域里起步晚,技术水平暂时落后于西方。

2013 年,中国地质大学(北京)海洋学院、国土

资源部、中国科学院和国家海洋局合作在胶东、渤海和南黄海沿线进行了 OBS 海陆联合地震探测^[31](如图 6 所示),清晰地辨识出了 P_s 、 P_g 、 P_mP 等多组震相,并首次观察到了来自千里岩隆起带上的 P 波震相,填补了南黄海深地震探测的空白。该项成果对南黄海以及华北、扬子块体结合带地区的深部地壳结构研究具有重要意义。

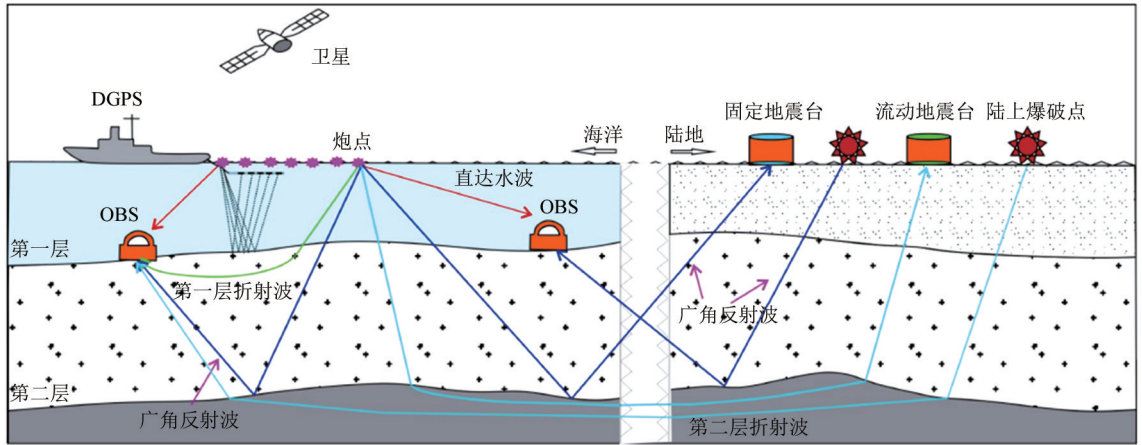


图 6 海陆联合深地震探测示意

Fig.6 Diagram of onshore-offshore joint deep seismic surveys

截至 2015 年,多家公司在研发新型海底节点采集装备。Seabed Geosolution 公司开发的 SpiceRack 海底节点项目,主要研究海底节点自动化地震数据采集装备及技术方法,以提高采集精度、降低采集成本、减少作业时间为目标。壳牌公司研发的 Flying Node 新一代海底节点地震装备,采用 GoScience 公司专有的环形水下自动运载装备,将检波器布设到设计好的位置,采集完数据后回到船上进行数据回收,克服了节点装备采用水下机器人进行节点布设的速度慢等问题^[32]。目前,西方能生产海底地震采集装备的公司主要有 Sercel、WesternGeco、ION、PGS、FairfieldNodal 公司等。除海底地震仪之外,国内尚未商业化利用 OBN 技术进行海洋油气勘探^[33]。

目前,西方国家研究海上多波多分量采集技术的公司主要有美国 PGS(石油地球物理服务公司)、法国 CGG(地球物理服务公司)、美国 Western(西方公司)以及挪威 GECO(能源勘探公司)等。这些研究机构自己生产采集设备,并在世界各地(如北海、中东、中国南海等)开展了大量海上多波地震的研究和实际生产工作,取得了良好效果^[34]。

数据处理方面,近年来受到行业内的热切关注,例如,2014 年,Whitebread 等人使用表面相关多重消除(SRMR)方法,证明了北海 OBC 勘测数据水平分量的倍数衰减。2017 年,CGG 公司展示了一个

在巴西近海桑托斯盆地采集的 OBN 数据进行多次成像的逆时偏移的例子,提出使用 RTMM 方法成像能改善图像质量以及降低成本^[36]。2016 年,斯伦贝谢公司和英国石油公司发表了使用数据驱动的多重预测方法,通过多维卷积结合 OBN 和拖缆数据,勘测了墨西哥湾深海海底节点(OBN)数据自由表面倍数衰减的案例研究结果^[37]。

近年来,绳系 OBN 施工使得海底地震采集效率得到大幅提高,OBN 技术有了质的飞跃。2016 年,中石油东方地球物理有限公司(BGP)承担沙特阿美 S78 红海三维深水节点地震采集处理一体化项目,施工中在复杂的海域用钢索将各自独立的节点串接并沉放到海底,并有针对性地研究了共反射点叠加、镜像成像以及多域去噪等方法技术。2017 年 8 月 10 日至 2018 年 3 月 30 日,东方物探(BGP)实施了英国 BP 公司印尼 OBN 项目,共完成 196 万炮,面积 884.93 km²。2019 年 6 月中石油东方物探完成了雪佛龙尼日利亚 OBN 项目,作业区水深 3~25 m,是截至目前东方物探承担的全球范围内最为复杂的油田区 OBN 项目。2017 年,针对东海复杂构造油气圈闭问题,中石化海洋石油工程有限公司上海物探分公司在秋月探区利用绳系 OBS 完成了 440 km 的海底节点地震数据采集。2019 年 6 月东方物探合资公司 Caspian Geo 与英国石油公司 BP 签署里海 OBN 项目合同,该项目作业水深范围 100~400

m,工区内平台林立、管线密布,施工难度大。2019年8月中海石油在渤海实施了国内首个三维 OBN 地震采集项目,采集面积 150 km²。可见,OBN 在中国海上油气勘探的实践刚刚开始,在浅海有障碍物的海域以及深海油气勘探中具有广阔的应用前景,但由于 OBN 观测环境的特殊性、海底地质条件及地下构造的复杂性,海底节点地震资料处理与成像还有许多问题亟待解决。

3 海上 OBC-OBN 存在问题

海底地震技术的劣势主要是成本高、生产周期长,这也是目前海底地震技术商业应用市场规模不大的主要原因之一。浅滩海地区地震地质条件复杂,激发设备和条件难以保持一致等,造成炮集之间记录信噪比、能量、子波特征等方面的差异。该项技术的装备不足或相对落后,因三分量检波器价格昂贵,检波器数量较少,组合时只用 1 个或 2 个,信噪比大为降低。目前,仪器道数尽管已超过千道,但如果做三分量三维采集,因需要偏移距比纵波采集大,所以采集道数要求较多。对野外采集观测系统、参数及三维转换波处理的特殊问题需要进一步深入研究。

相对于海上拖缆三维地震,海底地震数据处理还包括检波器二次定位、检波器定向、水陆检合并、转换波等特殊处理。

在 OBC-OBN 施工过程中,检波器并不一定放置在设计的位置,因此需要进行二次定位,确定检波器真实位置。二次定位有两种方法,一是利用水下声学定位设备进行定位,二是利用接收到的初至波通过计算得到检波器位置。就精度而言,显然利用水下声学定位设备定位精度更高,但其成本相对大。通过初至波分析进行定位,在浅水区只有近道几道的初至波为直达波,其他可能为折射波。如何识别初至波类型,并利用折射波提高浅水区检波器二次定位精度是需要研究的内容。

海底地震接收四分量地震数据,通过水、陆双检合并消除鬼波。但由于水、陆检接收数据的频带宽度、信噪比不同,还存在一定的相位差,需要对两者进行匹配处理后才能进行叠加去鬼波。交叉鬼波化虽然可以解决水、陆双检的波场不一致问题,但是匹配因子的精度受数据信噪比影响较大,当数据的信噪比过低时,水陆检数据的标定效果会受到较大的影响;同时 Z 分量数据中含有大量的泄露的转换波噪声不易去除,匹配因子的精确求取影响较大;所

以如何避免信噪比的影响,求得更稳定的匹配因子,需要继续进行研究。

OBC 浅水区水层多次波压制技术是建立在二维模型基础上的,对于宽方位数据,需要一种三维的多次波建模技术,可以提高多次压制的效果与精度,所以这也是一个需要进一步研究的方面。

转换波数据处理虽然取得了一定的效果,但是还没有应用到实际生产中去,除了地质原因阻碍了转换波优势的发挥,主要是因为转换波偏移参数求取的精度和没有进行纵、横波联合反演,得到更多的地质信息。所以转换波数据的处理技术在偏移参数的精确求取和纵、横波联合反演方面还需要做较多的工作。

4 发展展望

与陆地多分量勘探相比,海上多分量勘探在作业效率、勘探成本以及资料品质等多方面具有更大的优势,因而近年来发展迅猛。国外在这一领域的研究与应用已经实现了重大的突破,采集装备的研制、专门的处理软件等重大技术难题已相继被攻克,实际应用已取得了重要成果。

海底地震技术由于有着海上拖缆地震无法比拟的功用和优势,未来市场应用前景广阔。随着我国对海洋油气资源勘探的日益重视,未来对海底地震技术也有着迫切需求。目前我国的油气海底地震技术仅处于初步应用阶段,除海底地震仪之外,其他相关核心装备研发几乎处于空白状态。

随着海洋油气勘探开发的不断深入,由寻找构造油气藏转向复杂构造、盐下、岩性、复合圈闭、深层油气藏为勘探目标,这就要求地震资料具有更高的信噪比、更宽的频带、更大的方位角信息等。海底地震勘探提供多于单分量勘探的信息,可以获得拖缆地震无法实现的宽方位,甚至全方位数据,有利于构造复杂、岩性复杂地区的勘探,是未来海洋油气勘探的发展方向,符合物探技术发展潮流。由于滩浅海绳系 OBN 采集技术大大降低了施工,必将在浅滩海地区勘探中发挥作用。

对于海上已开发油气田,由于钻井平台、各种水下设备的存在,拖缆地震实施难度非常大。海底地震技术可以实现成熟油气田区的地震施工,以寻找新的勘探目标及监控油气开采情况,为老油气田延长生命周期提供基础资料。

参考文献 (References):

- [1] 杨金华,朱桂清,张焕芝,等.影响未来油气勘探开发的前沿技术(I) [J].石油科技论坛,2014,33(2):47-55.
Yang J H, Zhu G Q, Zhang H Z, et al. Frontier technologies that influence future oil and gas exploration and development (I) [J]. Petroleum Technology Forum, 2014, 33(2): 47-55.
- [2] Cary P W, Stewart R R. Processing ocean bottom seismic data from the white rose oilfield, offshore Newfoundland [J]. Crews Research Report, 2003, 15.
- [3] Mienert J, Bunz S, Guidard S, et al. Ocean bottom seismometer investigations in the Oremn Lange area offshore mid-Norway provide evidence for shallow gas layers in subsurface sediments [J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22(1): 287-297.
- [4] 高轩,弓小平,高少武,等. OBC 水陆检数据标定因子估算方法 [J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(1): 49-53.
Gao X, Gong X P, Gao S W, et al. Scale factor estimation for OBC Dual-sensor data [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2016, 51(1): 49-53.
- [5] 高少武,赵波,高轩,等. OBC 水陆检数据匹配技术 [J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(1): 29-32.
Gao S W, Zhao B, Gao X, et al. A method for OBC Dual-sensor data matching [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2015, 50(1): 29-32.
- [6] 杨志国,陈昌旭,张建峰,等.提高浅海 OBC 地震资料采集作业放缆点位精确度的理论计算方法 [J]. 石油物探, 2011, 50(4): 406-409.
Yang Z G, Chen C X, Zhang J F, et al. A theoretical computation method for improving the positioning precision of cable deployment in OBC seismic data acquisition [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(4): 406-409.
- [7] 王东凯.浅海 OBC 资料自由表面多次波压制方法研究 [D]. 青岛:中国海洋大学, 2014.
Wang D K. Study on surface-related multiples attenuation of OBC data in shallow water [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [8] 张选民,倪光健. 4C OBC 深海地震采集系统技术发展 [J]. 物探装备, 2006, 16(1): 19-24.
Zhang X M, Ni G J. Technical development of 4C OBC deep ocean seismic acquisition system [J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2006, 16(1): 19-24.
- [9] Berg E, Svenning B, Martin J. SUMIC: Multicomponent sea-bottom seismic surveying in the North Sea-Data interpretation and applications [C]//SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1994: 477-480.
- [10] Berg E, et al. SUMIC-A new strategic tool for exploration and reservoir mapping [A]. EAGE-56th Meet. and Tech. Exhib [C]//Austria, GO550, 1994.
- [11] Caldwell J. Marine multicomponent seismology [J]. The leading EDGE, 1999, 11: 1274-1282.
- [12] Barr F J. Dual-sensor OBC technology [J]. The Leading EDGE, 1997(1): 45-51.
- [13] Thompson M, Arntsen B, Amundsen L. Full azimuth imaging through consistent application of ocean bottom seismic [C]//San Antonio: SEG Annual Meeting, 2007: 936-940.
- [14] 熊金良,王长春,刘原英,等.海上四分量地震勘探综述 [J]. 中国煤田地质, 2000(3): 41-46.
Xiong J L, Wang C C, Liu Y Y, et al. Marine four component seismic prospecting [J]. Coal Geology of China, 2000(3): 41-46.
- [15] Rogno H, Kristensen A, Amundsen L. The staffjord 3-D, 4-C OBC survey [J]. The Leading EDGE, 1999, 11: 1301-1305.
- [16] 王柄章.勘探地球物理方法技术的最新进展 [J]. 石油地球物理勘探, 1999, 34(4): 465-483.
Wang B Z. Recent advances in exploration geophysical methods [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1999, 34(4): 465-483.
- [17] Egil H, Lasse A. Decomposition of multicomponent sea floor data into primary PP, PS, SP, and SS wave responses [C]//SEG Annual Meeting, 1998: 2040.
- [18] Beaudoin G, Michell S. The Atlantis OBS project: OBS Nodes-defining the need, selecting the technology, and demonstrating the solution [C]//Offshore Technology Conference, 2006: 17977.
- [19] Ross A A, Openshaw G. The Atlantis OBS project overview [C]//Offshore Technology Conference, 2006: 17982.
- [20] Howie J, Mahob P, Shepherd D, et al. Unlocking the full potential of Atlantis with OBS nodes [C]//SEG Annual Meeting Expanded Abstracts, 2008: 363-367.
- [21] Reasnor M, Beaudoin G, Pfister M, et al. Atlantis time-lapse ocean bottom node survey: a project team's journey from acquisition through processing [C]//SEG Annual Meeting Expanded Abstracts, 2010: 4155-4159.
- [22] Fjellanger J P, Boen F, Ronning K J. Successful use of converted wave data for interpretation and well optimization on Grane [C]//SEG Annual Meeting Expanded Abstracts, 2006: 1138-1142.
- [23] Smit F, Perkins C, Lepre L, et al. Seismic data acquisition using ocean bottom seismic nodes at the Deimos Field, Gulf of Mexico [C]//SEG Annual Meeting Expanded Abstracts, 2008: 998-1002.
- [24] Bovet L, Ceragioli E, Tchikanha S, et al. Ocean bottom nodes processing: reconciliation of streamer and OBN data sets for time lapse seismic monitoring, the Angolan deep offshore experience [C]//SEG Annual Meeting Expanded Abstracts, 2010: 3751-3755.
- [25] Ao C, Areklett E K. Structural interpretation using PS seismic on the Kvitebjørn Field in the North Sea [J]. The Leading Edge, 2010: 402-407.
- [26] 丘学林,赵明辉,敖威,等.南海西南次海盆与南沙地块的探测和地壳结构 [J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3117-3128.
Qiu X L, Zhao M H, Ao W, et al. OBS survey and crustal structure of the Southwest sub-basin and Nansha Block, South China Sea [J]. Geophys, 2011, 54(12): 3117-3128.
- [27] Detomo R, Quadt E, Pirmez C, et al. Ocean bottom node seismic: learnings from bonga, deepwater offshore Nigeria [C]//SEG Annual Meeting Expanded Abstracts, 2012: 1-5.
- [28] 张树林,李绪宣,姜立红.海上多波多分量地震技术新进展与发展方向 [J]. 物探化探计算技术, 2000, 22(2): 97-107.
Zhang S L, Li X X, Jiang L H. Improvement and development of China offshore multiwave and multicomponent seismic technique [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2000, 22(2): 97-107.
- [29] 张树林,李绪宣,何汉漪,等.近海四分量地震构造勘探效果分析 [J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(5): 446-454.

- Zhang S L, Li X X, He H Y, et al. Analysis on prospecting effects of offshore 4-C seismic structure [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2002, 37(5): 446-454.
- [30] 李庆春. 海上多波地震勘探技术 [A]. 中国科学技术协会、吉林省人民政府. 新世纪 新机遇 新挑战——知识创新和高新技术产业发展(上册) [G]. 2001: 1.
- Li Q C. Offshore multi-wave seismic exploration technology [A]. China Science and Technology Association, Jilin Provincial People's Government, New century, new opportunities, new challenges—Knowledge Innovation and high-tech Industry Development (Volume one) [G]. 2001: 1.
- [31] 祁江豪, 张训华, 吴志强, 等. 南黄海 OBS2013 海陆联合深地震探测初步成果 [J]. *热带海洋学报*, 2015, 34, (2): 76-84.
- Qi J H, Zhang X H, Wu Z Q, et al. Preliminary results of the South Yellow Sea OBS 2013 onshore-offshore joint deep seismic surveys [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2015, 34(2): 76-84.
- [32] 世界前沿科技: 海底节点地震勘探技术 [J]. *海洋石油*, 2014, 34(3): 75.
- World Frontier Technology: Submarine Node Seismic Exploration Technology [J]. *Offshore Oil*, 2014, 34(3): 75.
- [33] 余本善, 孙乃达. 海底地震采集技术发展现状及建议 [J]. *海洋石油*, 2015, 35(2): 1-5.
- Yu B S, Sun N D. Current development situations and suggestion on the techniques of ocean bottom seismic acquisition [J]. *Offshore Oil*, 2015, 35(2): 1-5.
- [34] 成景旺. 海上 OBC 三维地震多波多分量采集并行模拟及应用研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2014.
- Cheng J W. Parallel modeling of 3D multi-wave and multi-component seismic exploration for marine OBC acquisition and its application [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014.
- [35] Whitebread R, Dawson A, King B, et al. 3D surface-related multiple elimination on ocean-bottom sensor data—An integrated compressional and converted wave approach using towed streamer data in the North Sea [C]//London: Presented at the PETEX, 2014.
- [36] Yu Z Q, Marques V, Douma H. Using multiples to extend the imaged area of OBN data from the Santos basin [C]//Rio de Janeiro: 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EX-POGEF, 2017: 1344-1349.
- [37] Castelan A R, Kostov C, Saragoussi E, et al. OBN multiple attenuation using OBN and towed-streamer data: Deepwater Gulf of Mexico case study, Thunder Horse Field [C]//SEG International Exposition and 86th Annual Meeting Expanded Abstracts, 2016: 4513-4517.

Summary of development and key issues of offshore OBC-OBN technology

LI Bin^{1,2}, FENG Qi-Kun¹, ZHANG Yi-Biao¹, HUANG Fu-Qiang¹

(1. Shanghai Geophysical Branch, Sinopec Offshore Oilfield Services Corporation LTD, Shanghai 201208, China; 2. College of Marine and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In recent years, offshore OBC and OBN technology has achieved rapid development. Whether it is OBC acquisition or OBN acquisition, many new equipment and methods were developed. Based on the latest research results and published papers, this paper summarizes the development history and research status of offshore OBC and OBN technology, and summarizes the technology and equipment for offshore four-component seismic exploration and acquisition, as well as processing and interpretation techniques. It is considered that the seabed multi-component seismic is the development trend of marine seismic, because it has the advantages of multi-component data, wide azimuth and wide frequency compared with the marine tow streamer. But the processing of data and conversion wave need to be researched. Now offshore oil and gas exploration is in the stage of complex structures and lithologic reservoirs, as the cost of submarine seismic decreases and the processing technology advances, it will be get more applications.

Key words: OBC; OBN; acquisition technology; equipment introduction; processing and explanation

(本文编辑:叶佩)