

文章编号: 1008-2336 (2021) 02-0109-06

## 水下机器人在 OBN 海底布放中的应用

邹建文, 施炎武

(中海辉固地学服务(深圳)有限公司, 广东深圳 518000)

**摘要:** 目前, OBN 海底布放通常采用人工抛放和水下机器人精确布放相结合的方式, 在水深小于 100 m、流速较小、水下地形平坦区域采用人工抛放; 在水深大于 100 m、流速较大、水下地形较复杂区域采用 ROV 精确布放。因为 ROV 单次下水可携带的 OBN 数量有限, 这严重制约了 ROV 精确布放 OBN 的效率, 此文结合实际工程案例介绍了一种专门设计的 ROV 友好式 OBN 释放系统及 ROV 布放操作方式, 基于 ROV 友好式设计理念, 按设计的操作方式可安全、快捷地从释放系统中取出 OBN, 实现在水下连续不间断地布放, 避免频繁回收释放 ROV 造成时效延误, 从而大幅提高 ROV 精确布放 OBN 的效率。

**关键词:** 海底节点; 水下机器人; ROV 友好式 OBN 释放回收系统; 海底精确布放

中图分类号: TP242 文献标识码: A DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2021.02.109

## Application of ROV in OBN Subsea Deployment

ZOU Jianwen, SHI Yanwu

(China Offshore Fugro Geosolutions (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China)

**Abstract:** At present, the deployments of Ocean Bottom Nodes (OBN) are usually carried out by two methods, lowering down from the vessel deck directly with connected securing cables, or deployment subsea via ROV. The method of lowering OBNs down from vessel deck directly is used in areas with water depth less than 100 m, low current conditions and flat seabed terrain. The ROV deployment method will be used in areas with water depth more than 100 m. It can be deployed in higher velocity current conditions and on complex underwater terrain environments. The number of OBNs carried by ROV is normally limited to each ROV launch, which will greatly limit the efficiency of any accurate OBN deployment by ROV. This paper introduces a bespoke ROV-friendly OBN launch and recovery system (LARS). Based on an ROV-friendly design concept, a large number of OBNs can be safely and quickly taken out from the launch and recovery system and deployed by the ROV in quick successions. This achieved continuous and uninterrupted subsea deployment, avoiding time delays which would have been caused by the frequent launch and recovery of the ROV system. The efficiency of accurate OBN deployment by ROV was thereby greatly improved.

**Keywords:** Ocean Bottom Node; Remote Operated Vehicle; ROV-friendly OBN Launch & Recovery System; subsea accurate deployment

海底节点 (Ocean Bottom Node, 简称 OBN), 是一种位于海底, 可以独立采集、记录地震信号的多分量地震仪。主要应用于海底地貌复杂, 地形变化大, 深浅结合带内油田油藏的地震数据采集, 具有高覆盖、多排列、宽方位、高精度等特点。同时能够存储数据, 提高地震成像质量, 提

高四维勘探的可重复性, 改善油藏监测结果<sup>[1-4]</sup>, 因而越来越受到国内外各大石油公司的高度重视。

近年来, OBN 地震数据采集已得到了大量的应用, 尤其在油藏监测领域应用效果显著, 国内方面中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司 (简称“东方地球物理公司”, BGP) 已成为

收稿日期: 2021-02-03; 改回日期: 2021-03-05

第一作者简介: 邹建文, 男, 1988 年生, 本科, 工程师, 2012 年毕业于中国海洋大学船舶与海洋工程专业, 现从事 ROV 水下工程作业技术研究和施工设计相关工作。E-mail: zoujw@cosl-fugro.com。

全球唯一不生产节点却掌握 OBN 全业务链的公司，包括整套节点采集技术、质控技术，并拥有完全自主知识产权的处理软件；万瑞（北京）科技有限公司已完成了具有国际先进水平的海底节点的研发工作，设计水深 3 500 m，目前已进入实测阶段，打破了国外公司的垄断<sup>[5-6]</sup>。

### 1 ROV 在 OBN 地震勘探中应用简介

OBN 地震作业示意图见图 1，其观测方法就是将 OBN 布放在海底，地震仪自备电池供电，震源船在震源点进行激发，OBN 则在海底独立采集、记录地震信号<sup>[7]</sup>。当震源船完成所有震源点激发后，回收 OBN 下载数据并进行处理与解释。

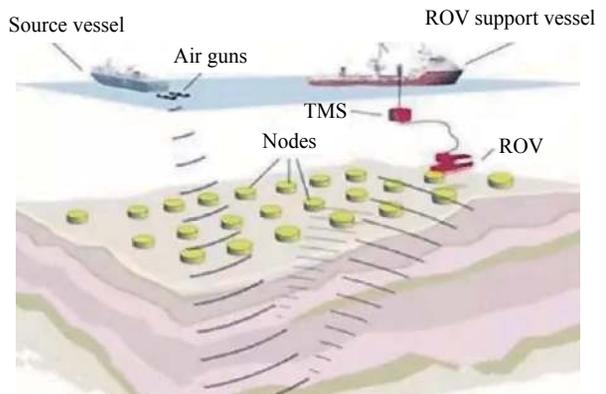


图 1 OBN 地震作业示意图

Fig. 1 Schematic of OBN seismic operation

OBN 布放通常采用人工抛放（图 2）和水下机器人（Remote Operated Vehicle，简称 ROV）精确布放（图 3）相结合的方式：

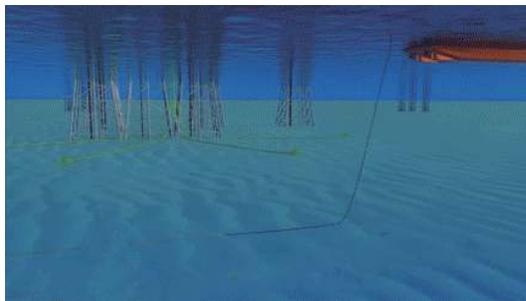


图 2 OBN 人工抛放示意图

Fig. 2 Schematic of OBN deployment by lowering down from vessel deck directly with connected securing cables

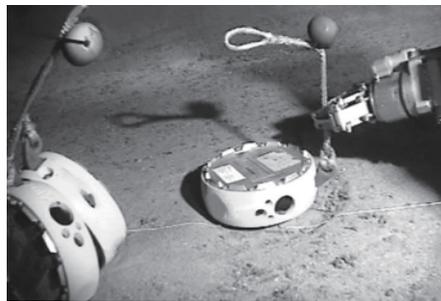
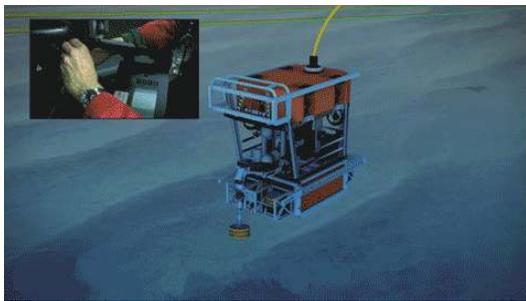


图 3 OBN 水下机器人精确布放示意图

Fig. 3 Schematic of accurate OBN subsea deployment via ROV

(1) 在水深小于 100 m、流速较小、水下地形平坦区域采用人工抛放，将 OBN 按顺序串接在缆绳上，作业支持船以一定速度朝设计路线航行，通过下放缆绳即可完成节点铺设；

(2) 在水深大于 100 m、流速较大、水下地形较复杂区域采用 ROV 精确布放，ROV 在水下将每个特定编号的 OBN 逐个放置于海底设计位置。

ROV 要完成 OBN 的精确布放需要借助于水面及水下定位系统，通常根据作业水深范围以及所需的布放精度来选择合适的定位系统。常规使用的是超短基线（Ultra Short Baseline，简称 USBL）水下定位系统<sup>[8]</sup>，其定位精度随水深的增加而降低。对于深水作业则可以采用组合定位导航的形式，由 USBL 水下定位系统结合惯性导航

系统 (Inertial Navigation System, 简称 INS) 组成, 它主要包括多普勒计程仪 (Doppler Velocity Log, 简称 DVL)、运动姿态传感器 (Inertial Measurement Unit, 简称 IMU)、深度传感器等设备。组合定位导航的方式可以整合水下位置、声速、姿态等信息, 优化位置算法, 能够有效地滤除 USBL 的跳动, 剔除位置噪点, 平滑位置轨迹, 定位精度可以提高 3~5 倍。

## 2 存在的问题及解决方法

因为 ROV 单次下水可携带 OBN 的数量有限, 这严重制约了 ROV 精确布放 OBN 的效率, 所以需要采用一套专门设计的 ROV 友好式 OBN 释放回收系统。以针对某海域 OBN 作业设计的释放回

收系统为例, 主要分为水面释放回收系统和水下吊篮两部分。水面释放回收系统主要由液动力单元、A 型门架、钢缆绞车、操控台等组成; 水下吊篮为其核心设计, 主要由吊篮本体和 OBN 挂杆等组成。在实际作业中, ROV 精确布放 OBN 的效率得到了大幅提升, OBN 水下吊篮在设计时主要考虑:

### (1) 可携带 OBN 的数量

OBN 水下吊篮内分为四个小方格, 每个小方格中安装一个 OBN 挂杆, 每个挂杆有四个挂钩, 每个挂钩上挂载一个 OBN (图 4)。因此, OBN 吊篮单次可携带 16 个 OBN 至水下。

### (2) ROV 抓取 OBN 的方式

OBN 挂杆由三部分组成: 中心柱、移动导柱、挂钩 (图 5), 中心柱是管状结构, 吊篮中心有 4

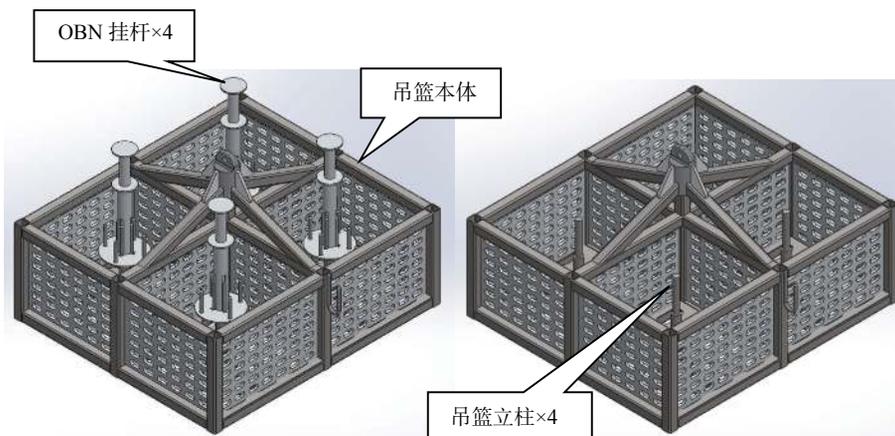


图 4 ROV 友好式 OBN 释放回收系统水下吊篮

Fig. 4 Subsea basket of the ROV-friendly OBN launch and recovery system

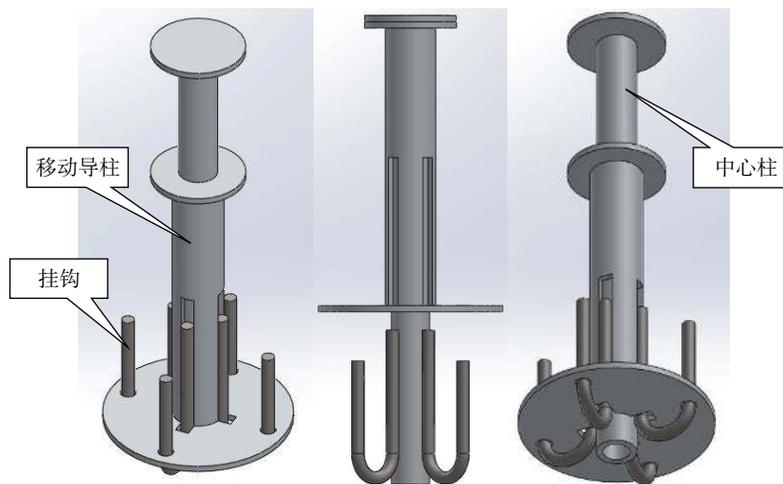


图 5 OBN 挂杆

Fig. 5 Hanging rod for OBN

根小立柱，挂杆挂载好 OBN 后，将挂杆中心柱插入到吊篮立柱中；移动导柱套在中心柱外，可以沿中心柱轴向移动，且移动导柱和中心柱上方均设计有一块挡板，对移动导柱向上移动起到限位作用；同时移动导柱下方也有一块挡板，与下方挂钩配合对准，钻有四个孔位，向上移动“移动导柱”使下方挡板脱离挂钩，将绑扎在 OBN 上的绳环挂入挂钩内，然后向下移动“移动导柱”使其落入挂钩中，可将 OBN 绳环压紧确保在释放过程中 OBN 不会发生意外脱落，安全可靠。

水下作业时，ROV 机械手抓住 OBN 挂杆“移动导柱”向上飞行，移动导柱向上移动，当移动导柱接触到中心柱挡板后，整个 OBN 挂杆就会脱离 OBN 吊篮，在重力作用下，移动导柱下方挡板也会脱离挂钩并露出足够的间隙便于 ROV 机械手抓取（图 6）。



图 6 ROV 从 OBN 挂杆中抓取 OBN  
Fig. 6 ROV grabs OBN from hanging rod by 7 function manipulator

### 3 ROV 作业内容

ROV 在 OBN 地震作业中的主要作业内容包

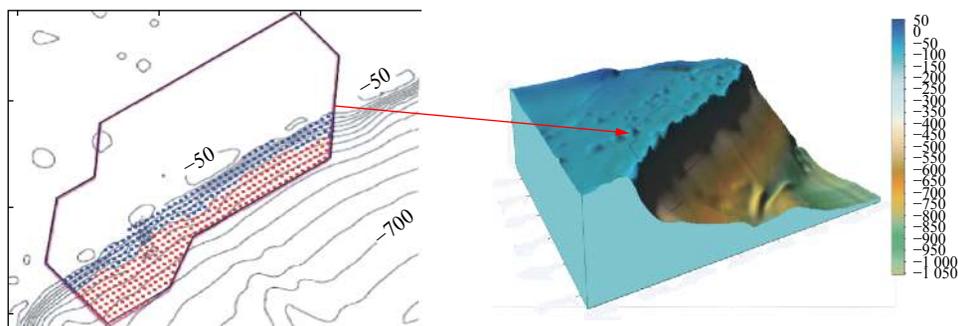


图 7 工区等深线及 3D 地形图（实际工程案例）  
Fig. 7 Isobath and 3D topographic map of the OBN deployment area

括海底预调查、海底精确布放、回收以及 OBN 丢失后的应急搜查打捞等。

#### 3.1 海底预调查

OBN 布放前，ROV 需提前对工区等深线密集坡度较大的斜坡区域进行预调查（图 7），确认海底地貌及水文信息。主要为了调查斜坡坡度、海底地质、水下能见度、水流情况以及划定特殊区域等，并针对实际的水文环境、海底地貌情况做出相应的分析和应对措施。

(1) 海底若为礁石珊瑚地貌，此种地貌能见度较好，布放时应选择合适地点放置 OBN，确保 OBN 不会二次滑动卡入石缝中；

(2) 海底若为沙地，此种地貌能见度较好，斜坡区域放置 OBN 存在流沙导致 OBN 二次移动或掩埋的可能，可为该区域内的 OBN 配备标识浮球以及带引线的固定插针，OBN 放置后由 ROV 操作将插针插入海床；

(3) 海底若为沉积物泥质海床，此种地貌能见度一般，泥质海床一般流水较小，同时海泥增加了 OBN 附着力，OBN 因流水导致二次移动的可能性较小，但存在 OBN 掩埋的可能。为便于节点的搜寻回收，可为该区域内的 OBN 配备标识浮球以及带引线的固定插针，同时在 OBN 表面粘贴反光标带。

海上作业时应根据至少未来 1 周的天天气预报信息（包括浪高、风速、表面流、以及台风预警）等合理制定作业计划，确保 OBN 布放期间海况条件良好，同时参照工区准确的海底水文信息，提前预判海底水流及能见度，规避海底水流急、能见度差可能带来的作业风险。

#### 3.2 OBN 海底精确布放

采用 ROV 友好式 OBN 释放回收系统进行

OBN 水下精确布放示意图见图 8。如果作业水深较深或者 OBN 布放间距较短, OBN 吊篮回收及

下放期间存在 ROV 水下等待, 可采用两套 OBN 释放系统来回交替进行释放回收。

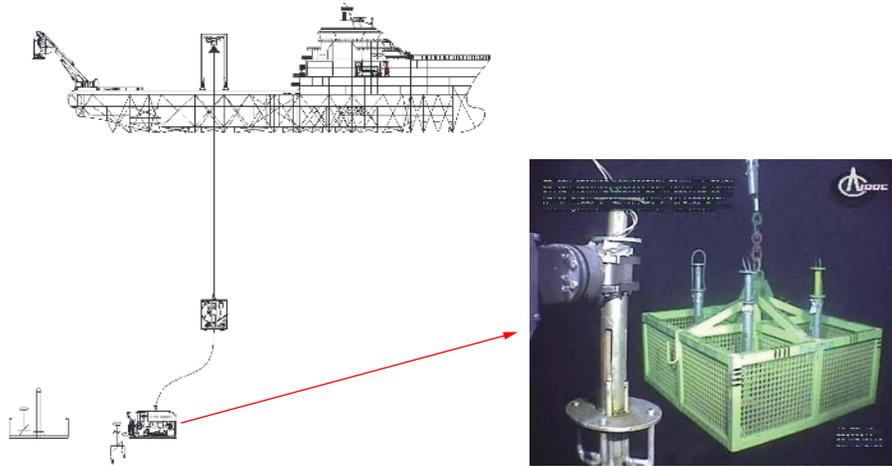


图 8 ROV 友好式 OBN 释放回收系统精确布放 OBN 示意图

Fig. 8 Schematic of accurate OBN deployment by ROV-friendly launch and recovery system

ROV 首先从水下吊篮中取出 OBN 挂杆, 然后使用七功能机械手逐个抓取 OBN, 根据水下定位指引将其放置于海底设计位置, 如果某些 OBN 设计有插针, 则在 OBN 放置到位后将其插针插入海床并在水下定位系统中进行标识记录。如果放置某些 OBN 时有方位要求, 可在 ROV 前端安装绿色激光仪, 通过 ROV 艏向结合激光仪的光束来辅助判断 OBN 的方位并调整至设计方位角 (图 9)。

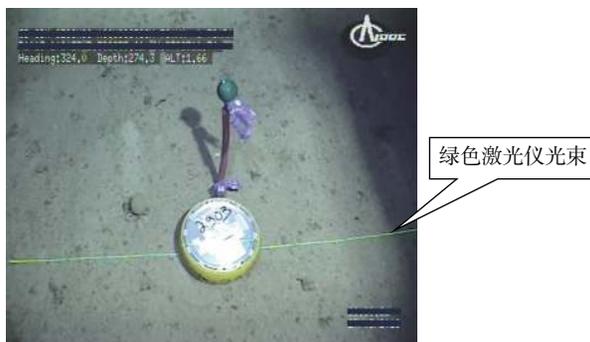


图 9 绿色激光仪辅助判断 OBN 方位

Fig. 9 Green laser projector assisted for judging the heading of OBN

### 3.3 OBN 回收

OBN 铺设、布放完成后, 物探船到达设计震源点进行激发, OBN 则在海底采集、记录地震信号, 待所有震源点激发完成后对 OBN 进行回收。人工抛放部分, 采用水面挂钩缆绳可直接回收; 而 ROV 布放部分则需由 ROV 逐个进行水下抓取, 再由 OBN 释放系统回收至 ROV 支持船甲板。

### 3.4 布放回收过程中的应急作业

工程作业型 ROV 通常配备有一个 5 功能和一个 7 功能机械手, 同时可搭载各类型水下作业工具, 具备水下解挂钩、水下切割、吹泥、应急打捞等作业能力, OBN 布放回收过程中的应急作业如下:

(1) 若人工抛放段出现缆绳缠绕、钩挂海底障碍物等情况, ROV 可携带液压剪或软绳割刀进行水下切割, 并使用回收抓钩进行打捞回收;

(2) 若出现人工抛放段起始点浮标偏移丢失或者 OBN 掩埋情况, ROV 可搭载吹泥工具进行水下吹泥搜查。

## 4 发展前景

常规拖缆和海底电缆勘探作业受海洋区域影响较大。例如在近海区、禁采区、暗礁区等位置作业空间受限, 传统勘探过程都难以顺利实施。离岸平台方圆 500 m 都是禁采隔离区, 不允许物探拖缆船靠近, 平台周围的锚泊定位系统也限制了海底电缆勘探技术。除此以外, 沟壑纵横的海底地形也会影响海底电缆的布置<sup>[9]</sup>。而 OBN 作为一个个独立的检波器独立自主的布置在海底接收地震波, 它既摆脱了电缆的束缚, 又能够在海底灵活部署, 定位更准、采集的数据质量更高, 诸多的应用优势加之海洋勘探逐步走向深水, 采用

ROV 进行 OBN 海底布放具有灵活性及精准性的特点, 势必会在未来海洋地震勘探中得到越来越广泛的应用。

### 5 结论

ROV 友好式 OBN 释放回收系统以及布放方式为提高 ROV 精确布放 OBN 的效率提供了一种可行性方案:

(1) 单次最多可携带 16 个 OBN 至水下, ROV 操作安全、高效, 布放效率显著提高;

(2) OBN 挂杆采用重力自锁设计, 有效地防止及避免了 OBN 在释放回收过程中发生意外脱落丢失;

(3) 采用组合定位导航的形式, 确保了 OBN 水下布放精度, 深水区域布放精度在±5 m 以内;

(4) 针对不同地质的海床, 为 OBN 配备标识浮球、带引线的固定插针、反光标, 回收 OBN 时 ROV 更容易发现目标, OBN 回收完好率可达 100%。

相比于传统作业模式, 无论是作业方式方法、布放精度、布放效率都得到了提高。但是, OBN 释放回收系统及布放方式仍需进一步的优化和改进, 才能适应未来更大规模以及超深水 OBN 布放

作业对布放精度、时效性的需求, ROV 精确布放 OBN 技术有待进一步的研究。

#### 参考文献:

[1] 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.

[2] 李伟, 丁冠东, 邓波, 等. 节点与高效混合采集技术在地震勘探中的应用//中国石油学会石油物探专业委员会(SPG), 国际勘探地球物理学家学会(SEG). SPG/SEG南京2020年国际地球物理会议论文集(中文)[C]. 北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司, 2020: 4.

[3] 吴志强, 张训华, 赵维娜, 等. 海底节点(OBN)地震勘探: 进展与成果 [J]. 地球物理学进展, 2021, 36 (1): 412-424.

[4] 全海燕, 徐朝红, 罗敏学, 等. 海洋节点地震数据采集技术及应用//中国石油学会2017年物探技术研讨会论文集[C]. 天津: 石油地球物理勘探编辑部, 2017: 4.

[5] 郝天珧, 游庆瑜. 国产海底地震仪研制现状及其在海底结构探测中的应用 [J]. 地球物理学报, 2011, 54 (12): 3352-3361.

[6] 天工. 2018年国际石油十大科技进展(三)—海底节点地震勘探技术取得新进展 [J]. 天然气工业, 2019, 39 (6): 12.

[7] 何进勇. 节点采集技术在复杂水域地震资料采集中的应用 [J]. 物探与化探, 2014, 38 (1): 87-89.

[8] 余航, 罗敏学, 全海燕, 等. 超短基线定位系统在节点勘探中的应用//中国石油学会2019年物探技术研讨会论文集[C]. 成都: 石油地球物理勘探编辑部, 2019: 4.

[9] 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.



(上接第 102 页)

### 3 结论

(1) 对独立桩栈桥平台油气输送管线应力分析, 平台附加位移荷载是需要重点关注的外载荷。

(2) 独立桩栈桥管道采用基于管桩耦合分析模型, 将油气输送管道、独立桩平台及栈桥作为一个整体系统进行应力分析, 更符合实际。

(3) 基于桩管耦合分析, 结合管道优化布置可有效降低管道应力水平, 避免类似项目常规采用非金属柔性连接件频繁更换引起的停产难题。

#### 参考文献:

[1] 王培海, 孙宁松. 胜利浅海油田采油平台独立桩有限元分析 [J]. 胜利油田师范专科学校学报, 2005, 19 (4): 90-92.

[2] 陈同彦. 埕岛油田浅滩海独立桩结构优化探讨 [J]. 石油工程建

设, 2009, 35 (4): 9-11.

[3] 张宗峰, 刘锦昆, 邵怀海. 减小独立桩桩顶平台水平位移方法探讨 [J]. 石油工程建设, 2009, 35 (2): 17-18, 22.

[4] 张海成, 刘敏, 罗翊, 等. 海洋平台栈桥管道应力分析的模拟方法 [J]. 中国造船, 2011, 52 (S1): 200-204.

[5] 张晓峰, 蒋习民, 刘锦昆. 独立桩平台内加强板关键设计参数研究 [J]. 中国水运, 2013, 13 (2): 237-238.

[6] The American Society of Mechanical Engineers. ASME B31.3-2016 Process Piping[S]. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2016.

[7] 唐永进. 压力管道应力分析[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003.

[8] Peng L C, Peng T L. Pipe Stress Engineering[M]. Fairfield: American Society of Mechanical Engineers, 2009.

[9] 方新, 陶平. 大位移井口管道布置与应力分析研究 [J]. 辽宁化工, 2016, 45 (6): 731-735, 738.

[10] 刘娟, 王亮, 李晨光. 简易导管架平台结构设计及选型研究 [J]. 海洋石油, 2020, 40 (4): 85-90.