

# “探海 1 号”大陆架科学钻探平台的设计与应用

宋宝杰, 栾东平, 杨 芳, 陈师逊  
(山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004)

**摘要:**为适用于水深在 10 m 以深 30 m 以浅距离海岸带上百千米的近海大陆架固体矿产勘探要求,同时满足中国地质调查局“中国东部海区科学钻探工程施工”项目 CSDP-02 井的钻探施工需要,根据以往简易海上平台研制的经验及基础,借鉴大型石油钻井平台的设计理念,研制出了一款多功能浅海钻探平台——“探海 1 号”。实际应用表明,效果良好。该平台甲板结构采用模块错缝搭接组合的创新形式以及可靠的桩体系统。介绍了该平台的方案设计、生产制造、海上安装以及应用效果情况。

**关键词:**大陆架科学钻探;海上钻探平台;甲板;模块错缝搭接;桩体系统;“探海 1 号”平台

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)09-0009-05

**Design and Application of “Tanhai No. 1” Platform for the Continental Shelf Scientific Drilling/SONG Bao-jie, LU-AN Dong-ping, YANG Fang, CHEN Shi-xun** (No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province, Yantai Shandong 264004, China)

**Abstract:** In order to meet the requirements of solid mineral exploration at the depth of 10m to 30m in offshore of the continental shelf over 100km from the coast belt, and also meet the requirements of CSDP-02 well drilling construction of China Geological Survey “China East Sea Area of Scientific Drilling Project Construction”, according to the past experience and the basis of the research on simple offshore platform, drawing lessons from design concept of large oil drilling platform, a multifunctional shallow sea drilling platform “Tanhai No. 1” was developed. The practical application shows good effects. The platform deck structure adopts the innovative form of module staggered joints and reliable pile system. The scheme design, manufacturing, offshore installation and the application effects of the platform are introduced.

**Key words:** continental shelf scientific drilling; offshore drilling platform; deck; module staggered joint; pile system; “Tanhai No. 1” platform

## 0 引言

目前,由于不同的海洋环境和工程需要,海上平台的类型很多。按运动方式分主要有固定式、半固定式、漂浮式等,按照适用范围、功能,这几种类型平台又分别适用于不同海域和施工领域<sup>[1]</sup>。而适用于水深在 10 m 以深 30 m 以浅距离海岸带上百千米的近海大陆架固体矿产勘探平台,目前国内尚属空白。2014 年我院承担了国家地质调查局“中国东部海区科学钻探工程施工”项目即 CSDP-02 井的钻探施工,此项目与以往的海上岩土工程勘察和固体矿产勘察项目区别很大,对平台功能要求特殊。所以,制造一个适用于此项目的浅海钻探平台,成为此项目能够顺利实施的重中之重。我们凭借以往简易海上平台研制的经验及基础,借鉴大型石油钻井

平台的设计理念,结合项目实际需要,设计制造了一款多功能浅海钻探平台即“探海 1 号”大陆架科学钻探平台。“探海 1 号”大陆架科学钻探平台的研制成功,不但解决了 CSDP-02 井的钻探施工问题,更重要的是为我院从陆地走向海洋的发展战略奠定了坚实的基础,推动了我国大陆架科学钻探、大陆架浅海资源地质勘探的快速发展。

## 1 项目概况

“中国东部海区科学钻探工程施工”项目即 CSDP-02 井的钻探施工,是中国地质调查局部署实施的 2014 年国家海洋地质专题项目之大陆架科学钻探项目的重要组成部分。CSDP-02 井以南黄海盆地中部隆起为主要目标区,设计深度为 2000 m,全

收稿日期:2016-02-29;修回日期:2016-06-18

基金项目:国家专项基金项目“大陆架科学钻探”(编号:GHZ201100202)

作者简介:宋宝杰,男,汉族,1985 年生,副厂长,助理工程师,机械设计专业,现主要负责生产管理等相关工作,山东省烟台市莱山区莱山工业园捷爱斯路 10 号,sbj@sddksd.com。

孔取心,拟钻穿新近系,以建立南黄海陆架区晚新生代以来地质事件的高精度记录,查明前新生代基底地质属性为目标,为地层格架、陆架演化、环境变迁、源汇过程等科学研究提供基础资料。此井位于南黄海废黄河口外海域,距离海岸线最近约 100 km,位于连云港以东约 170 km、射阳河口东北约 110 km 位置,目标海域水深 19 ~ 21 m<sup>[2]</sup>。

## 2 平台的研制

### 2.1 平台参数确定

根据 CSDP-02 井钻探施工项目的具体要求以及钻孔井位井场勘查报告,平台应满足移动灵活,升迁、固定方便,可抵抗 12 级风浪,在水深 19 ~ 21 m 的海域施工深 2000 m 的大陆架科学钻探孔,同时满足不少于 30 名工作人员在平台安全工作生活所需;由于平台生产场地预设在地,所以平台的结构需要适合陆地生产,运输方式需要实现陆路运输。

在石油钻井平台中,自升式平台可适用于不同海底土壤条件和较大的水深范围,移位灵活方便,便于建造,因而得到广泛的应用<sup>[3]</sup>。参考石油钻井平台,最终“探海 1 号”大陆架科学钻探平台确定为插桩自升式可移动工作平台,外形参数:甲板为模块组合式,整体型长 36 m,型宽 20 m,型深 1.5 m,桩腿长度 58.5 m,平台配有生活区及消防、救生、通讯等设施。

### 2.2 设计方案

“探海 1 号”大陆架科学钻探平台主体结构分为:甲板、桩体系统两部分。甲板区域规划有生活区、工作区、动力区、管材区、消防区、逃生通道 6 大区域,同时还配备通讯、救生等设施。

#### 2.2.1 甲板的设计

平台甲板面积 720 m<sup>2</sup>,型长 36 m,型宽 20 m,型高 1.5 m;由 24 个独立箱体即 24 个模块结构分 7 排有序连接组成(如图 1 所示),每个模块内部由整体框架支撑,外部辅以 10 mm 厚的船用钢板<sup>[3]</sup>。模块化的结构不但易于生产加工,而且对生产加工环境要求较低,一般中小型加工车间就可完成,更重要的是标准模块化的结构实现了陆路运输,方便快捷,大大降低了运输成本;其次模块化错缝搭接能够保证甲板应有的强度。

甲板的核心在于模块化结构之间的连接方式,既要实现模块与模块之间的有序连接,又要保证

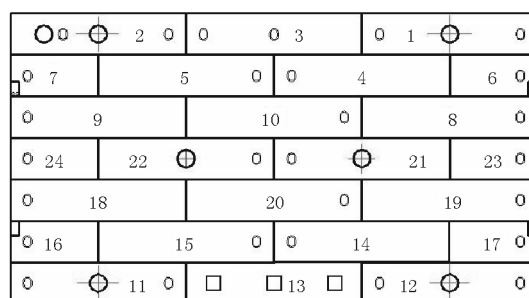


图1 24模块错缝搭接组合形式示意图

连接点的强度能够满足甲板的承载力。为了保证这两点,连接方式采取模块下部垂直销轴与轴套配合连接,模块上部采取销轴横向连接。

具体连接方式为:模块之间组装时,首先完成下部连接(连接方式如图2所示),A模块底部一侧有若干下连接销轴,相邻B模块一侧为若干下连接轴套,相邻两个AB模块之间通过此销轴轴套完成连接。每个模块底部连接位置对应上部都有一个上连接,第二步完成上部连接(连接方式如图3所示),预放在销轴箱中的销轴由A模块中推出,进入到B模块销轴箱中,最后插放销轴插板对销轴进行固定,以完成箱体模块之间的连接。24个箱体模块共有上连接168组,下连接168组,由这168组上下连接将24个箱体模块进行有序连接形成甲板<sup>[4]</sup>。

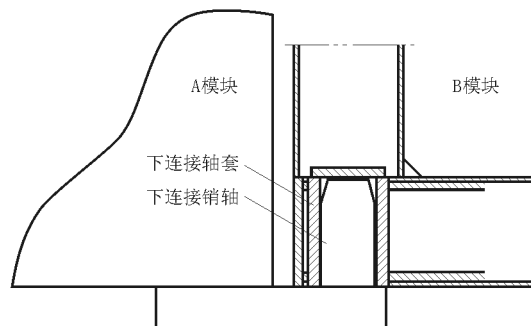


图2 模块下部连接方式

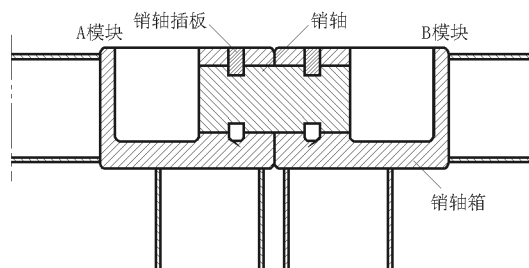


图3 模块上部连接方式

#### 2.2.2 桩体系统的设计

桩体系统主要功能是对平台甲板进行升降及支

撑整个平台,智能化操作,简单方便。桩体系统由 6 只桩腿,4 套液压站组成。位于甲板四角的 4 只桩腿配合 4 套液压站对平台进行升降,起升完毕后和其余 2 只桩腿共同支撑整个平台。单只桩腿长 58.5 m,液压站总起升能力 9600 kN,单次行程 0~1 m。

桩腿的设计:每只桩腿由若干两端带有法兰的桩管经高强螺栓进行连接,桩管内部不同位置有不同结构的加强筋板,以保证抗弯及抗压强度,桩管外部对称位置有导向板(插放桩腿时起导向作用),在导向板上开对称通孔即桩腿插销孔,孔间距为 1 m,桩管一端如图 4 所示。

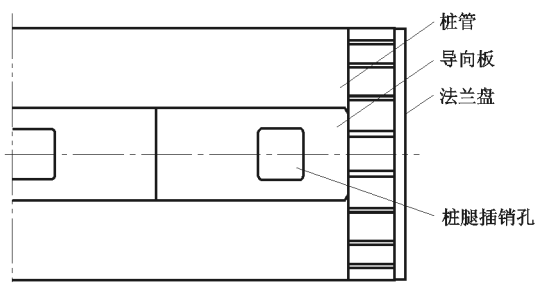


图 4 桩管一端示意图

桩腿参数设计依据(桩径、长度、壁厚):根据“中国东部海区科学钻探工程井场调查报告”所描述,CSDP-02 井位地形总体十分平缓,水深变化范围为 19.6~20.9 m,平均坡降为 0.6‰,所以取水深 21 m。一般在用于桩腿式钻井平台的地基土承载力计算中,最重要的计算参数是土的重度、抗剪强度和摩擦力。粘性土抗剪强度选用的是三轴不固结不排水试验的测试结果。根据本次井场调查结果,各土层参数见表 1 所示<sup>[4]</sup>。

表 1 土层参数表

层序	岩土名称	厚度/ m	重塑土抗剪 强度/kPa	密度/(g· cm <sup>-3</sup> )	不排水抗剪 强度/kPa
1	粘质粉土与砂 质粉土互层	4.40	3.3	1.91	
2	粉质粘土	8.40	12.0	1.87	36.95
3	粘土	2.00	66.0	1.99	109
4	粉质粘土	6.95	66.0	1.93	92

根据《海洋井场调查规范》(SY/T 6707—2008)推荐的承载力计算公式<sup>[5]</sup>,可得桩径取 1 m,桩腿入土深度 19.8 m 时,单桩极限承载力达到 2597.68 kN<sup>[6]</sup>,约为 2600 kN 力。6 只桩腿承载力为 15600 kN,满足要求。所以取桩径 1 m,桩腿入土 20 m。

水深 21 m,桩腿入土 20 m,甲板高 1.5 m,桩腿在升降桶内 4.5 m,甲板离海平面 8~14 m,预计桩腿高度 55~61 m,而桩腿原材料单只桩管长度为 13 m,4.5 只桩管即为 58.5 m,另外半只作为备用。所以,设计单只桩腿由 4 只 13 m 和 1 只 6.5 m 桩管组成,总长 58.5 m(另有 6.5 m 桩管作为备用,需要时平台高度进行调整)。图 5 为平台各部分在海水中分布位置简易图。

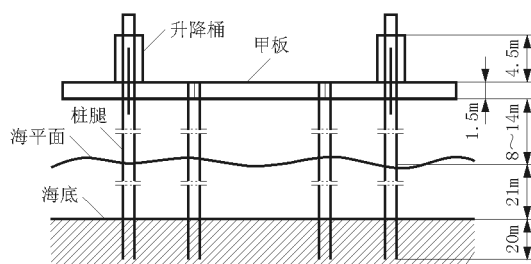


图 5 平台各部分在海水中分布位置简易图

通过“中国东部海区科学钻探工程井场调查报告”中对桩径及桩长的确定,和需负载重力,经过建模计算桩管壁厚 30 mm 可满足桩腿对桩管抗压及抗弯等性能参数的要求。

液压站的设计:主要是运用液压传动系统结合配套钢结构框架,实现了由管式桩腿支撑的“探海 1 号”浅海钻探平台的起升与降落,智能化操作,简单方便。每套液压站由控制柜、液压动力系统、升降桶总成 3 部分组成,单套液压站最大起升力 2400 kN,单次起升/降落高度范围为 0~1 m。桩体系统工作原理描述:升降桶与平台甲板通过高强螺栓进行连接后,首先将桩腿经过上导向梁放入升降桶总成内部(升降桶总成剖面如图 6 所示),液压站首次使用时根据桩腿上的插销孔位置通过调高丝杠对桩腿上下插销进行调整定位,使其对准桩腿插销孔;插销定位完毕后,此时主油缸处于收缩状态,桩腿上下插销处于收缩状态;操作控制柜将桩腿下插销推出,插入桩腿插销孔,由传感器报告推出完毕并停止动作;此时操作主油缸推出(最大行程为 1 m),推出 1 m 后(即平台起升 1 m),传感器报告并停止动作;继续操作固定梁上滑套内桩腿插销推出,插入桩腿插销孔,传感器报告推出完毕并停止动作;此时操作回收主油缸卸载,将平台重力转移到固定梁桩腿上插销;收回桩腿下插销并回收主油缸,传感器报告回收完毕并停止动作;操作推出桩腿下插销,并推出主油缸进行桩腿上插销卸载;卸载完毕后,平台重力转移至移

动梁桩腿下插销;操作收回桩腿上插销,传感器报告收回完毕并停止动作;此时操作主油缸推出;依此顺序重复操作直至平台升起至合适位置<sup>[7-8]</sup>。

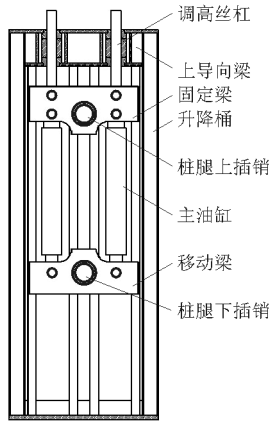


图6 升降桶总成剖面示意图

### 2.3 生产制造

“探海1号”进入实际生产制造阶段后,为了保证加工质量及精度,制定了相关的制造流程,严格按照设计图纸及加工工艺进行制造,并且组成平台的每一个模块结构均需在预制的胎具上完成焊接过程,以确保质量及精度。

组成甲板的每一个箱体模块均需做气密试验,保证箱体结构的密封性,所施加的空气试验压力为0.015 MPa<sup>[9]</sup>。关键部位做超声波探伤,保证焊接质量及强度。为了保证海上钻探平台的使用寿命,模块结构生产检验完毕后均需彻底打磨除锈,涂装船舶专用油漆,以达到较好的防锈效果。

### 2.4 海上安装

因为模块化的结构,平台实现了陆地运输与海上运输相结合,通过陆地运输将模块化的结构运至距离施工海域最近的码头进行组装,然后将平台甲板进行拖航,其它相关组件由拖船运输。到达施工海域后,首先经过信标机的精确定位,然后开始安装工作。平台的海上安装分为4步:定位,桩腿的插放,甲板的起升及配套设备、舾装设施的安装<sup>[10]</sup>。

**定位:**由于甲板无法进行抛锚,所以自身无法固定,通过信标机精确定位后,需与拖船相连,将拖船抛锚固定以达到稳定甲板的效果。

**桩腿插放:**桩腿插放分为两部分,第一部分是位于平台四角的4只配有液压升降系统的桩腿的插放,在甲板定位完毕后开始实施;第二部分是甲板横向中心对称位置两只桩腿的插放,在平台起升完毕

后进行插放。桩腿插放主要分为桩腿自由下放和振动锤打桩。

第一部分的桩腿插放,单只桩腿由5只桩管经过法兰连接而成。插放桩腿时首先起吊最下面一只桩管,放入升降桶,将插杠插入桩管一端预留的桩腿插销孔。然后吊装第二只桩管与第一只连接,吊车将两只连接好后的桩管吊起,抽出插杠;由吊车下放桩管,然后再由插杠进行固定;第三只桩管需先与锤头相连,然后由吊车吊起与第二只相连,然后再吊起连接好后的锤头与3只桩管,抽出插杠,继续由吊车控制下放桩管,到达海底后,直至由桩腿自重形成的下压趋势消失,启动振动锤进行打桩,重复动作将第四只桩腿连接并且打桩,直至桩腿深入海底深度达到预计的20 m,最后将第五只桩管吊起与第四只连接好即可,其它3只桩腿用同样方法进行连接下放打桩。

**甲板起升:**带有液压升降系统的4只桩腿插桩完毕后,启动液压升降系统,对平台进行起升。根据“2.2.2 桩体系统的设计”中工作原理描述操作,直至将平台升至预定高度。

**配套设备、舾装设施的安装:**配套设备、舾装设施等安装之前需要将甲板横向中心对称位置的两只桩腿插放到位,插放顺序及方式与之前的4只桩腿相同。配套设备及舾装等设施按照既定计划由吊车吊至甲板人工配合安装即可。平台效果如图7所示。

## 3 应用效果

目前“探海1号”大陆架科学钻探平台正应用于南黄海CSDP-02井的钻探施工中,2015年3月29日开钻,并且于8月20日完成进尺621.61 m,进入基岩24 m,结束第一阶段钻探任务,并顺利通过验收。截止目前已完成进尺1700余米,经历数次台风洗礼,未出现任何安全问题,应用效果良好。图8为“探海1号”大陆架科学钻探平台施工现场图。

应用表明,“探海1号”大陆架科学钻探平台的优点主要表现为:

- (1) 模块化结构,运输、海上安装方便快捷;
- (2) 自动化液压升降系统,操作简单,升降灵活,安全可靠;
- (3) 安全平稳,不随浪涌晃动、不受潮汐影响,降低了施工难度;

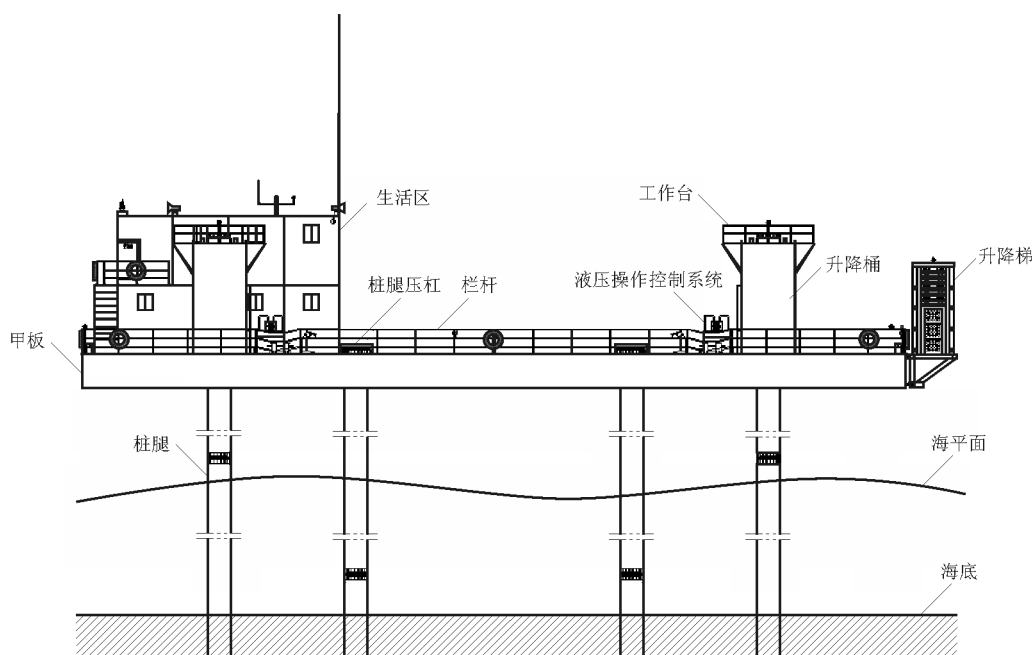


图7 平台效果图



图8 “探海1号”大陆架科学钻探平台施工现场图

(4)适用范围广,可承担近海大陆架30 m以浅上百千米内,3000 m岩心钻探施工、海上观测、工程勘查施工等项目。

通过应用发现,平台安装期间对天气的依赖性很强,只能在风力不超过3级的情况下进行安装,有风有浪涌的情况下会增加海上安装难度,尤其是插放桩腿难度加大。

#### 4 结语

目前,国内海上钻探平台形式多样,适用范围及功能各不相同,但是适用于近海大陆架10 m以深30 m以浅上百千米内,3000 m岩心钻探施工、海上观测、工程勘查施工等项目的平台尚属空白。“探海1号”大陆架科学钻探平台的研制成功关键

在于平台甲板结构创新形式——“模块错缝搭接组合”的应用,以及桩体系统的成功研制。它的成功应用不但解决了南黄海CSDP-02井的钻探施工问题,更重要的是填补了国内空白,为我院乃至全国的地勘行业从陆地走向海洋奠定了坚实的基础,推动了我国浅海海域地质勘探的快速发展。

#### 参考文献:

- [1] 陈师逊,杨芳.海上工程平台的设计与应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):46-50.
- [2] 陈师逊,宋世杰.中国东部海区科学钻探施工技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):1-5.
- [3] 陈建民,娄敏,王天霖.海洋石油平台设计[M].北京:石油工业出版社,2012:76-319.
- [4] 张海波,张英传,栾东平,等.拼装式浅海勘探平台:中国,201520109166.7[P].2015-10-07.
- [5] SY/T 6707—2008,海洋井场调查规范[S].
- [6] 林少一,鲁治江,张雪飞,等.中国东部海区科学钻探工程井场调查报告[R].2014.
- [7] 栾东平,张英传,宋宝杰,等.浅海勘探平台的液压升降机构:中国,201520109167.1[P].2015-08-19.
- [8] 张英传,宋宝杰,栾东平,等.浅海自升式勘探平台:中国,201520108965.2[P].2015-08-05.
- [9] 中国船级社.海上移动平台入级规范[M].北京:人民交通出版社,2012:1-36.
- [10] 陈师逊,朱金凤.龙口海上煤田钻探施工平台的设计与应用[J].地质调查与研究,2008,31(3):256-259.