

DOI: 10.14056/j.cnki.naoe.2017.03.006

# “海洋石油 707”综合勘察船的总体设计

贺明鸣, 李 辉, 桂满海

(上海船舶研究设计院, 上海 201203)

**摘要:** 综合勘察船作为海洋油气田勘探的主力船型, 具有钻探取样、海洋水文调查和海底地形地貌勘察等多种功能。简要介绍某综合勘察船的主要技术特点、总布置特点、船舶性能和船舶定位系统设计等。为提高舒适性, 该船对上层建筑布置进行优化, 满足《2006 年海事劳工公约》的要求; 为提高作业能力, 该船布置钻机系统、单波束、多波束、浅剖和海流剖面仪等大量专业设备; 为兼顾深水和浅水的定位能力, 该船配备动力定位系统和四点锚泊系统。耐波性和稳性作为关键性能, 将直接影响勘察船的作业能力, 在对该船进行设计时采取一系列措施提高其作业能力。为保证该船的稳性和装载能力, 空船重量控制也是重点工作。

**关键词:** 综合勘察船; 钻探取样; 海洋水文调查; 海底地形地貌; 四点锚泊; 动力定位

中图分类号: U674.2; U662

文献标志码: A

文章编号: 2095-4069 (2017) 03-0027-04

## General Design of the Multi-Functional Survey Vessel

### *Hai Yang Shi You 707*

HE Ming-ming, LI Hui, GUI Man-hai

(Shanghai Merchant Ship Design and Research Institute, Shanghai 201203, China)

**Abstract:** As a major ship type of offshore oil and gas exploration, Multi-functional survey vessel has the functions of sample boring, oceanographic investigation and geotechnical exploration. This paper briefly introduces the technical specifications, the general arrangement, the performance and the positioning system of the multi-functional survey vessel. The superstructure of the vessel has been optimized for comfortability to meet the requirement of MLC2006. Some professional devices are equipped to improve the operation capability, including the drilling system, single-beam/multi-beam sub-bottom profiler and current profiler. The dynamic positioning system and four-point mooring system provide the ship with the positioning ability both in deepwater and shallow water. Besides, a series of measures have been taken to improve the ability of the ship as the sea-keeping ability and stability of the ship directly influence the survey operation. Light weight control is also one of the key considerations to guarantee the stability and loading capacity.

**Key words:** multi-functional survey vessel; drilling and sampling; oceanographic survey; geotechnical exploration; four-points mooring; dynamic positioning

## 0 引言

海上油气田开发分为勘探 (即寻找油气田)、开发和生产等 3 个阶段, 其中勘探是首要工作。在勘探阶段, 首先要找到有利于油、气储集的地质和构造, 然后从这些地质和构造中找出工业性油气藏, 包括查

收稿日期: 2016-04-15

作者简介: 贺明鸣, 男, 工程师, 1985 年生。2008 年毕业于华中科技大学船舶与海洋工程专业, 现从事船舶总体研发设计工作。

明油气田的大小、确定油气的储量和弄清油气层的性质等，为油气田开发做好准备。勘察船主要服务于勘探阶段，并为开发阶段提供海底地质构造情况及工程设计基础参数等<sup>[1]</sup>。

海上油气田勘探主要有工程地质调查和工程物探调查 2 种方法，其中：工程地质调查法主要通过工程地质钻探等手段获取海底土样，进行海底地质调查研究；工程物探调查法则是根据地下岩石物理性质的不同，利用各种勘探仪器进行测量，了解地下构造。

综合勘察船兼备工程地质调查和工程物探调查两大功能，可细分为水深和地形测量、浅地层剖面和海底地貌及障碍物调查、高分辨数字地震调查、海底表层取样、海洋水文环境观测、工程地质钻探和取样及原位静力触探测试等。这里以上海船舶研究设计院自主研发的“海洋石油 707”综合勘察船（见图 1）为例，对其总体设计进行分析。



图 1 “海洋石油 707”综合勘察船

## 1 船型主要技术要素

通过论证分析，该船采用全回转舵桨电力推进形式，二级动力定位加四点锚泊定位。船舶主尺度和参数见表 1。

表 1 船舶主尺度和参数

总长 $L_{oa}/m$	垂线间长 $L_{pp}/m$	型宽 $B/m$	型深 $D/m$	吃水 $T/m$	航速/ $kn$
80.3	70.2	17.8	7.6	5.85	14.0
定员/人	主推进器	艏侧推	主机	中国船级社 (CCS) 船级符号	
56	$2 \times 2000 \text{ kW}$	$2 \times 850 \text{ kW}$	$4 \times 1670 \text{ kW}$	★ CSA Research Ship, SPS, Ice Class B, Clean, PSPC(B), In-Water Survey ★ CSM AUT-0, DP-2, Electrical Propulsion System, BWMP, BWMS	

## 2 总布置特点

### 2.1 上层建筑布置及舒适性优化

考虑到该船的尺度较小、作业人员较多，且需满足《2006 年海事劳工公约》的要求，对其上层建筑进行舒适性和实用性优化。

首先对该船的上层建筑进行功能分区，按照以下原则进行设计：

- 1) 将工作舱室与居住舱室分开，减少相互干扰，便于管理；
- 2) 使专业实验室与相关设备的距离缩小，提高工作效率；
- 3) 甲板越往上，噪声和振动越小，舒适性越高，居住舱应尽量往高处布置；
- 4) 住舱应尽量远离机舱棚和机舱通风口等噪声源。

经过优化设计后，该船的主甲板和第一船楼甲板后部为工作区域，第一船楼甲板前部及其以上部分为居住休息区域。与一般船舶相比，该船的工作区域增设有地球物理实验室、土样实验室、土样储存库和钻井修理间等专业舱室。该船的居住舱室满足《2006 年海事劳工公约》的要求，且所有住舱均有自然采光。经过振动噪声计算和设计优化，实测该船的振动噪声满足 ISO 6954 和 IMO A.468 XII 的要求。为满足该船动力定位作业时的视线要求，并提高作业的安全性，驾驶室采用 360°无遮挡设计，在后驾控台进行动力定位 (Dynamic Positioning, DP) 操作时能清楚地看到后甲板的作业情况和周边海域的情况。

此外，对其救生设备的布置进行优化，将救生筏布置在人员最易到达的区域，并在邻近区域设置面积



充足的集合站。同时,为更合理地利用空间,采用悬臂伸缩式阀吊。

## 2.2 专业设备布置

为增强勘察作业能力,该船需配备大量专业设备,主甲板需留出充足的作业面积,这对该船的精细化设计提出很高的要求。专业设备主要分为地质钻探系统和工程物探系统 2 类,其中:地质钻探系统主要包括钻探设备、取样设备和静力触探设备;工程物探系统主要包括单波束、多波束、浅剖、海流剖面仪和二维地震勘探设备等。

### 2.2.1 地质钻探系统

钻探设备是该船最重要的设备,在设计船舶时已对其进行大量优化。勘察船的钻机系统主要包含散料及泥浆系统、井架及提升系统、钻杆处理系统、水下设备及辅助设备和钻探控制系统等。与钻井平台和钻井船相比,该系统的不同之处在于:采用无隔水套管作业,钻井泥浆直接排到海底,泥浆不返回、不回收;不钻入油层,无防喷器;采用 5 寸钻杆,为便于取样和测试,口径比常规钻杆大。

该船配备的钻机最大作业水深为 300m,最大钻探深度为 200m,最大动态钩载为 60t,深沉补偿能力为 $\pm 1.5\text{m}$ ;井架采用箱式结构,支撑框架采用插销形式连接;顶驱采用液压驱动,井下工具可通过顶驱顶部进入;管子处理系统配备可吊式钻杆盒、伸缩式抓管机、液压动力猫道和液压式铁钻工;泥浆系统主要由高压泥浆泵、散料罐、泥浆搅拌器、混合漏斗和混合泵等组成;司钻房布置在井架右侧,设主司钻和副司钻 2 个综合操纵椅、集成多功能控制手柄和操作面板,主司钻主要控制钻井绞车和顶驱补偿装置等、副司钻主要控制抓管机和动力猫道等管子处理设备;配备具有自由落体功能的取样绞车、海底基盘及电动基盘绞车。

为高效地利用甲板面积并符合船东的作业习惯,钻机系统及取样设备的布置采用二层台形式,即在上层建筑后端设置独立的钻探甲板,将司钻房、钻杆处理系统及主要设备布置在钻探甲板上,将液压泵站、海底基盘等无需频繁操作的设备布置在主甲板上,将泥浆系统布置在主甲板下的舱室内。为缩短管系和电缆的长度,提高作业人员的工作效率,将钻机系统的所有设备布置在临近的区域内,并设置直通梯道。

### 2.2.2 工程物探系统

工程物探也是该船的主要功能之一,主要通过声学设备对海底进行清查,确定海床上有无海底光缆、电缆及油气管道等人工构筑物,有无沉船,有无特殊生物群落等;同时,测量工区的海底地形地貌,探测海底浅地层内有无影响安全的地质灾害因素等<sup>[2]</sup>。

该船固定安装多波束、单波束、浅地层剖面仪和海流剖面仪,按照作业要求,这些设备的换能器需安装在船底,而其对噪声和气泡极为敏感。因此,为避免噪声和船底气泡对换能器造成影响,在船底外设置独立的导流罩,并将声学设备的换能器布置在导流罩内。导流罩呈水滴形,可避免产生气泡并降低对船舶阻力的影响。二维地震勘探设备包括震源、电缆、扩展器、水听器和绞车等,按照作业要求,布置在艉部露天主甲板上。为配合勘察设备使用,船尾设置 1 台 30t 可变幅勘察作业 A 架,主甲板设置 1 台 5t/15m 折臂式克令吊,船尾左舷设置 1 台 2.5t 物探作业行车。

## 3 船舶定位系统设计

### 3.1 四点锚泊

四点锚泊定位系统主要用于船舶定位,是该船的设计难点之一。艏部和艉部各布置 2 台定位锚绞车,其中艉部钢丝绳的容量为艏部的 2 倍,可实现无需抛锚艇的自抛锚作业。为避免占用甲板作业面积,该船将 4 台定位锚绞车均匀布置在舱内,用滑轮将钢丝绳导出船外与定位锚相连。该系统能在水深 80m 以内的指定环境下进行四锚定位作业。在该船的设计研究中,利用水动力软件 Hydro Star 计算船体运动及漂移力的幅频响应函数,并应用锚系泊软件 ARAINE,采用动态分析法进行锚系泊计算分析,结合总体、舾装和结构等专业的协同优化设计确定最终的设计方案,使该方案具备作业能力优良、节约主甲板作业面积、降低空船重心高度和利于设备维护保养等优点。

### 3.2 动力定位

船舶在进行钻探作业时需精确地保持在井口附近, 若有较大程度的失位, 将发生钻杆弯曲, 甚至是断裂事故。因此, 该船在进行深水作业时采用动力定位系统保障船舶安全, 该系统能自动检测出船舶位置与目标位置的偏差, 结合风、浪、流等外界扰动的影响, 自动控制推进器产生的推力和扭矩, 抵消外界影响, 使船舶保持船位和艏向。该船配备二级动力定位系统, 既能在蒲式风级 7 级、有义波高 1.5 m、流速 1.5 kn 的环境下进行高精度的动力定位作业, 也能在最大单点故障 (1 个主推进器和 1 个艏侧推失效) 的情况下满足相应动力定位的要求, 保证钻探作业安全进行。

## 4 船舶性能

### 4.1 耐波性

该船配置的钻机升沉补偿能力为 $\pm 1.5$  m, 即在设计海况下作业时船舶的垂荡不能超过 $\pm 1.5$  m。这对该船的耐波性提出较高的要求。

为使该船的耐波性指标满足钻机系统的要求 (尤其是垂荡方面), 在设计时利用水动力学软件和耐波性船模试验等手段对该船的主尺度及线型进行优化。试验结果表明, 该船的耐波性性能优良, 满足钻机的作业要求。

为提高耐波性和舒适性, 该船设置舭龙骨和减摇水舱。舭龙骨对船舶建造成本的影响极小, 能有效减小船舶的横摇。通过论证, 该船采用 U 型被动可控式减摇水舱。该类型水舱主要有水阀控制式与气阀控制式 2 种, 其中: 水阀控制式水舱通过调节水流通道的面积改变水舱的固有振荡周期, 使其适应船舶当前的装载情况和海况; 气阀控制式水舱通过控制气阀的开闭调节舱内水在每个振荡周期的相位, 使其总是滞后于船舶的横摇相位约  $90^\circ$ 。该船采用气阀控制式减摇水舱, 通过试航验证减摇率达 35% 以上, 可显著提高船舶的舒适性及人员作业的安全性。

### 4.2 船舶稳性

该船定员 56 人, 其中船员 16 人、特种作业人员 40 人。由于该船所载特种人员超过 12 人, 因此属于特种用途船, 需满足《特种用途船安全规则》<sup>[3]</sup>的要求。按照该规则, 完整稳性应符合《2008 年完整稳性规则》<sup>[4]</sup>的要求, 破舱稳性应满足 SOLAS 概率论破舱对客船的要求<sup>[5]</sup>, 但  $R$  值取  $0.8R$ 。针对该船的各个作业工况 (如压载、满载、钻机作业和 A 架作业等) 进行稳性校核。对于钻探工况, 钻机系统顶驱所持有的最大钻杆的质量假定为 30 t, 其重心应放在顶驱作业可到达的最高点; 同时, 还应在作业甲板上装载适当的其他作业设备, 该假定可大大提高船舶完整稳性的要求<sup>[6]</sup>。

该船的钻机系统采用作业便利的二层台式设计, 需将井架和多个绞车的位置提高。钻机系统的重心高、受风面积大, 为保证其稳性满足要求, 降低对船舶重心的影响, 采取一系列措施, 如: 严格限制二层台的甲板高度; 散料和泥浆系统布置在主甲板下的舱室内; 四点锚泊绞车降低布置高度及合理地布置压载舱和其他液舱等。考虑到该船稳性的特殊性和重要性, 在设计初期根据该船型的设计经验, 仔细地在全船的重心进行分项估算, 并在后期设计中持续更新。为提高船舶的破舱稳性, 设置 2 对左右连通的 U 形空舱, 可减小破损后船舶的不利横倾。此外, 该船配备装载计算机, 便于船员校核装载方案的安全性。

### 4.3 空船重量控制

空船重量和重心控制是该船设计的关键技术之一, 分为设计初始阶段的预估、设计控制和建造控制。由于该船具有船宽较小、主甲板以上设备较多、上层建筑体积较大等特点, 导致其重心偏高, 要满足稳性要求必须对重心进行精确控制。若建成后超重或重心位置偏离较大, 则会产生载重量不足、稳性不够和浮态难以调整等问题。因此, 该船的空船重量控制必须贯穿从基本设计到完工的所有阶段。在设计之初精确估算各项质量大小; 在设备招标时对质量大小提出明确限制; 在建造过程中禁止以重代轻、以大代小。同时, 每月对变化的质量进行统计, 并提交汇总表。若发现重大出入或超出设计预估值, 则应及时对其进行校核分析, 并采取有效措施加以控制。

## 5 结 语

“海洋石油707”是我国第一艘自主研发设计的新型综合勘察船，其成功交付打破了国外设计公司对于勘察船领域的垄断，填补了国内相关领域的技术空白。该船于2015年9月试航并顺利交付，各项性能指标均达到和超过了原设计任务书的要求。随着我国海洋强国建设进程不断加快，海洋勘察领域前景广阔，未来我国必将建造更多功能强大的海洋勘察船。该船型的成功研发也将为后续系列船型的研发升级打下基础，并提供经验和技術支撑。

### 【参 考 文 献】

- [1] 安国亭, 卢佩琼. 海洋石油开发工艺与设备[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.
- [2] 薄玉宝, 陈敏娟. 深水海洋工程地质勘察船技术综述[J]. 海洋石油, 2013, 33 (3): 90-96.
- [3] IMO MSC.226(84). 特种用途船舶安全规则[S].
- [4] IMO MSC.267(85). 2008 年国际完整稳性规则[S].
- [5] IMO. SOLAS Consolidated Edition 2009[S].
- [6] 桂满海. 深水工程勘察船总体性能研究[J]. 船舶与海洋工程, 2012, 28 (2): 34-36.